

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 da pk 17+266,00 a pk 17+38,47
GENERALE
Relazione Geotecnica**

GENERAL CONTRACTOR		DIRETTORE LAVORI		SCALA -
IL PROGETTISTA INTEGRATORE	Consorzio Iricav Due Ing. Paolo Carmona Data: Febbraio 2022			

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	FOGLIO
IN17	12	E	I2	RB	RI3100	001	B	- - - D - - -

	VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
	Firma Luca RANDOLFI	Data Febbraio 2022

Progettazione:

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	IL PROGETTISTA
A	EMISSIONE	M. Conti <i>Maria Conti</i>	Luglio 2021	V. Pastore <i>V. Pastore</i>	Luglio 2021	P. Ascari <i>P. Ascari</i>	Luglio 2021	
B	REVISIONE	M. Conti <i>Maria Conti</i>	Febbraio 2022	V. Pastore <i>V. Pastore</i>	Febbraio 2022	P. Ascari <i>P. Ascari</i>	Febbraio 2022	



Data: Febbraio 2022

CIG. 8377957CD1	CUP: J41E91000000009	File: IN1712E12RBRI3100001B.DOCX
		Cod. origine:



Progetto cofinanziato
dalla Unione Europea

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3100001B	Foglio 2 di 95



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	Geometria del rilevato	7
4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	9
4.1	Indagini disponibili	9
4.2	Inquadramento stratigrafico	9
4.3	Livello di falda	11
4.4	Condizioni geotecniche del sito	12
4.5	Sintesi del modello geotecnico di riferimento	20
4.6	Materiale da rilevato	21
5	CARATTERISTICHE SISMICHE E SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE	22
5.1	Sollecitazione sismica di progetto	22
5.1.1	Vita Nominale	22
5.1.2	Classe d'uso	22
5.1.3	Periodo di riferimento per l'azione sismica	23
5.1.4	Categorie di Sottosuolo	23
5.1.5	Condizioni topografiche	23
5.1.6	Accelerazione sismica di riferimento	23
5.2	Suscettibilità alla liquefazione	24
5.2.1	CRR da correlazione su prove CPT	26
5.2.2	CRR da correlazione su prove SPT	28
5.2.3	Commento ai risultati	31
5.2.4	Soil improvement	35
6	VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO	38
6.1	Criteri di verifica agli Stati Limite	38
6.1.1	Stati limite ultimi (SLU)	38
6.1.2	Stati limite di esercizio (SLE)	40
6.1.3	Verifiche in condizioni sismiche e post-sismiche	40
6.2	Azioni di progetto	40
6.2.1	Azioni permanenti	41
6.2.2	Azioni variabili	41



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI3100001B	3 di 95

6.2.3	Azione sismica	41
6.3	Verifiche e risultati SLU	42
6.3.1	Premessa	42
6.3.2	Verifiche SLU in condizione statiche	42
6.3.3	Verifiche SLU in condizioni sismiche	43
6.3.4	Verifiche SLU in condizioni post sismiche	45
6.4	Verifica e risultati SLE	47
6.4.1	Metodologia di calcolo	47
6.4.1	Schematizzazione e risultati	49
7	CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI	53
	Allegati	54
	ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO	55
	ALLEGATO 2 - SONDAGGI	57
	ALLEGATO 3 - TABULATI DI SLIDE – SEZIONE A – ANALISI SLU STATICA	60
	ALLEGATO 4 - TABULATI DI SLIDE – SEZIONE A – ANALISI SLU POST SISMA	68
	ALLEGATO 5 - TABULATI DI SLIDE – SEZIONE A – ANALISI SLU IN CAMPO SISMICO	76
	ALLEGATO 6 - TABULATI DI SLIDE – SEZIONE B – ANALISI SLU POST SISMA	84
	ALLEGATO 7 - TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE	91
	ALLEGATO 8 – VERSIONI SOFTWARE DI CALCOLO UTILIZZATI	95

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3100001B	Foglio 4 di 95



1 INTRODUZIONE

Il presente documento costituisce la Relazione Geotecnica del rilevato RI31, previsto nell'ambito del Progetto Esecutivo della sub tratta Verona – Vicenza della Linea AV/AC Verona – Padova. Tale rilevato si estende tra il km 17+266,00 e il km 17+638,47.

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);
- conclusioni e raccomandazioni (capitolo 7).

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3100001B	Foglio 5 di 95



2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Documentazione di progetto

- [1] Sezioni di Progetto Esecutivo
- [2] IN1710EI2RBGE0000002C Relazione Geotecnica (da 10+050 a 21+990)
- [3] IN1710EI2LZGE0000014B Planimetria con ubicazione indagini e profilo geotecnico 4 di 11
- [4] IN1710EI2RHGE0000005B Relazione sulla modellazione sismica del sito e pericolosità sismica di base 1/2
- [5] IN1710EI2P5GE0000001B Planimetrie con classificazione sismica del territorio 1 di 11
- [6] IN1710EI2RHGE0000003C Relazione idrogeologica 1/2
- [7] IN1710EI2RHGE0000007C-8C Relazione di sintesi dei sondaggi e delle prove eseguite
- [8] IN1710EI2PRGE0000001B-2B, Risultati Indagini in sito di Progetto – SOCOTEC
- [9] IN1710EI2PRGE0000003B-4B, Risultati Indagini in sito di Progetto Esecutivo – ATI GEOSERVING – GEOLAVORI
- [10] IN1710EI2PRGE0000005B-6B-7C-8B, Risultati Prove di laboratorio di Progetto Esecutivo – SOCOTEC
- [11] IN1710EI2PRGE0000009B-12B, Risultati Prove di laboratorio di Progetto Esecutivo – ATI GEOSERVING – GEOLAVORI
- [12] IN1710EI2IGGE0000001B-2B, Risultati Indagini Geofisiche di Progetto Esecutivo – SOCOTEC
- [13] IN1710EI2IGGE0000003B-4B, Risultati Indagini Geofisiche di Progetto Esecutivo – ATI GEOSERVING – GEOLAVORI

2.2 Normativa e standard di riferimento



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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3100001B	Foglio 6 di 95

[24] Specifiche Tecniche di interoperabilità 2015 (REGOLAMENTO (UE) N. 1299/2014 DELLA COMMISSIONE del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario dell'Unione europea)

2.3 Bibliografia

- [25] Hynes, M.E., and Olsen, R.S. (1999), "Influence of confining stress on liquefaction resistance", Proc., Int. Workshop on Phys. And Mech. Of Soil Liquefaction, Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 145-152.
- [26] Idriss, I.M. and Boulanger, R.W. (2004), "Semi-empirical procedures for evaluating liquefaction potential during earthquakes". In: Proceedings, 11th International Conference on Soil Dynamics and Earthquake engineering, and 3d International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering. D. Doolin et al., eds., Stallion press, Vol. 1, pp. 32-56.
- [27] Liao, S.C.C. and Whitman, R.V. (1986), "Overburden Correction Factors for SPT in sand", Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 112, No. 3, 373-377.
- [28] Robertson P.K. and Wride C.E. (1998). "Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test". Canadian Geotechnical Journal, Ottawa, 35(3), pp. 442-459.
- [29] Rocscience (2017), Slide ver 7.0, 2017
- [30] Rocscience (2009), Settle 3D ver 2.0, 2009
- [31] Seed, H.B. and Idriss, I.M. (1971), "Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential", Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, 97(9), pp.1249-1273.
- [32] Seed, H.B. and Idriss, I.M. (1982), "Ground motions and soil liquefaction during earthquakes", Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA, USA.
- [33] Seed, R.B., Tokimatsu, K., Harder, L.F., Chung, L.M. (1985), "The influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 111(12), pp.1425-1445.
- [34] Youd, T.L., Idriss, I.M., Andrus, R.D., Castro, G., Christian, J.T., Dobry, R., Finn, L.W.D., Harder, L.F. Jr., Hynes, M.H., Ishihara, K., Koester, J.P., Liao, S.S.C., Marcuson, W.F. III, Martin, G.R., Mitchell, J.K., Moriwaki, Y., Power, M.S., Robertson, P.K., Seed, R.B. and Stokoe, K.H. II (2001), "Liquefaction Resistance of Soil: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, vol. 127, n° 10, pp.817-833.
- [35] Priebe H.J., "Vibroreplacement to prevent earthquake induced liquefaction". Ground Engineering, September 1998.
- [36] Idriss I.M. and Boulanger R.W. (2008), "Soil liquefaction during earthquakes".

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3100001B	Foglio 7 di 95

3 INQUADRAMENTO DELL'OPERA

Il rilevato ferroviario in esame si estende tra il km 17+266,00 e il km 17+638,47 per una lunghezza totale di circa 370 m. Per la tratta in esame non si evidenziano altre interferenze con opere principali adiacenti e/o attraversate.

3.1 Geometria del rilevato

Il rilevato presenta una sezione regolare per tutto il tracciato, con scarpate di pendenza 2/3 (V:H). Alla pk 17+275, si riscontra l'altezza massima del rilevato pari a 2.4 m. La sezione citata, denominata Sezione A (Figura 1) è quella ritenuta più significativa per le verifiche del rilevato in esame.

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI3100001B

Foglio
8 di 95

SEZIONE N.: 606
PROGRESSIVA: 17+275,000
QUOTA P. F.: 24,337

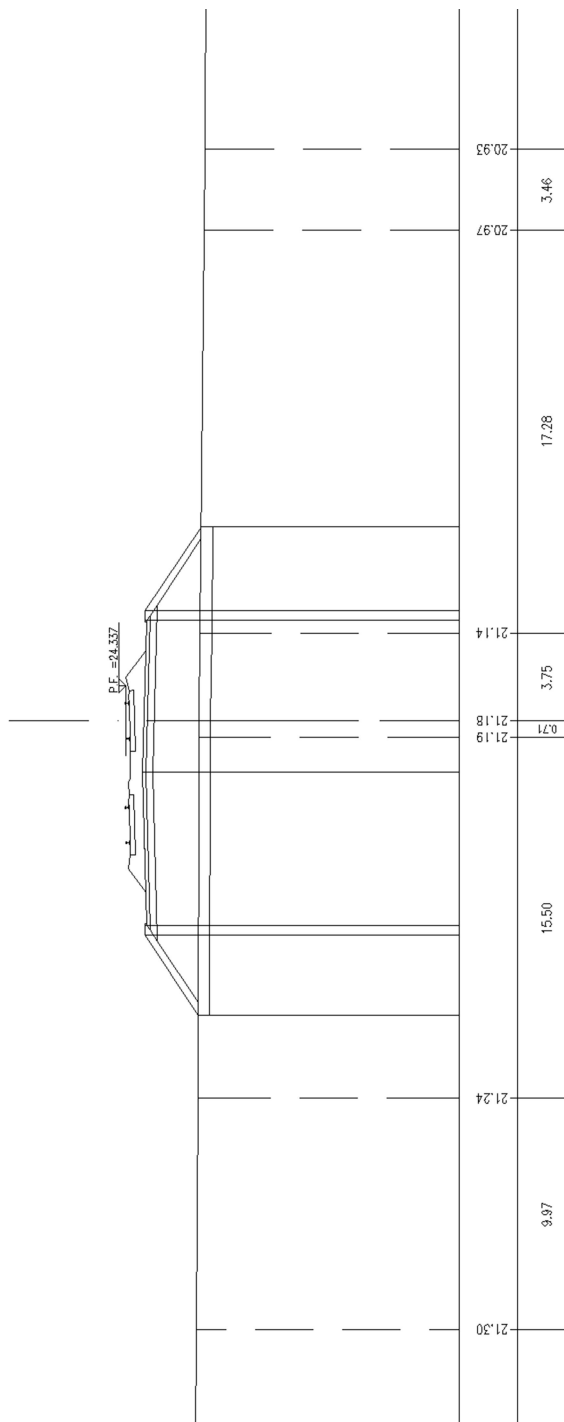




Figura 1 – Sezione di riferimento A (pk 17+275, n. 606) estratta da sezioni PE (Doc Rif. [1])

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3100001B	Foglio 9 di 95

4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

4.1 Indagini disponibili

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

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

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

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

Tabella 1 - Indagini da pk 17+266,00 a pk 17+638,47

Progressiva pk	ID indagini -	Campagna anno
17+359	SPA25	2015
17+420	CPTU4V	2015
17+580	BH4V	2015
17+600	P20	2015
17+650	CPTU-PE-17	2020-2021

4.2 Inquadramento stratigrafico

Dal punto di vista stratigrafico, l'area del rilevato è interessata dalla presenza di una coltre superficiale di spessore variabile tra 3m e 6m costituita da terreni sciolti di natura limoso sabbiosa, alternata a livelli argillo-limosi teneri (Unità 3a/3b). Al di sotto di questi depositi si riscontra uno strato di ghiaie ben addensate (Unità 6) fino a una profondità di circa 20 m. Al di sotto delle ghiaie si incontra il substrato sabbioso (Unità 4) che si estende in profondità.

Da quanto sopra, risulta evidente che il comportamento del rilevato sarà governato principalmente dalle caratteristiche della coltre superficiale soprastante le ghiaie. Pertanto, nei capitoli successivi, si presterà quindi particolare attenzione alle caratteristiche geotecniche di tale strato.

Per una trattazione di dettaglio delle unità sopra citate si rimanda alla Relazione Geotecnica Generale del tratto in esame (Doc. Rif. [2]).



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI3100001B

Foglio
10 di 95

Nella Figura 2 si riporta il profilo geotecnico specifico per il rilevato RI31, estratto dalla Planimetria e Profilo Geotecnico Tav. 4 di 11 (Doc. Rif. [3]).

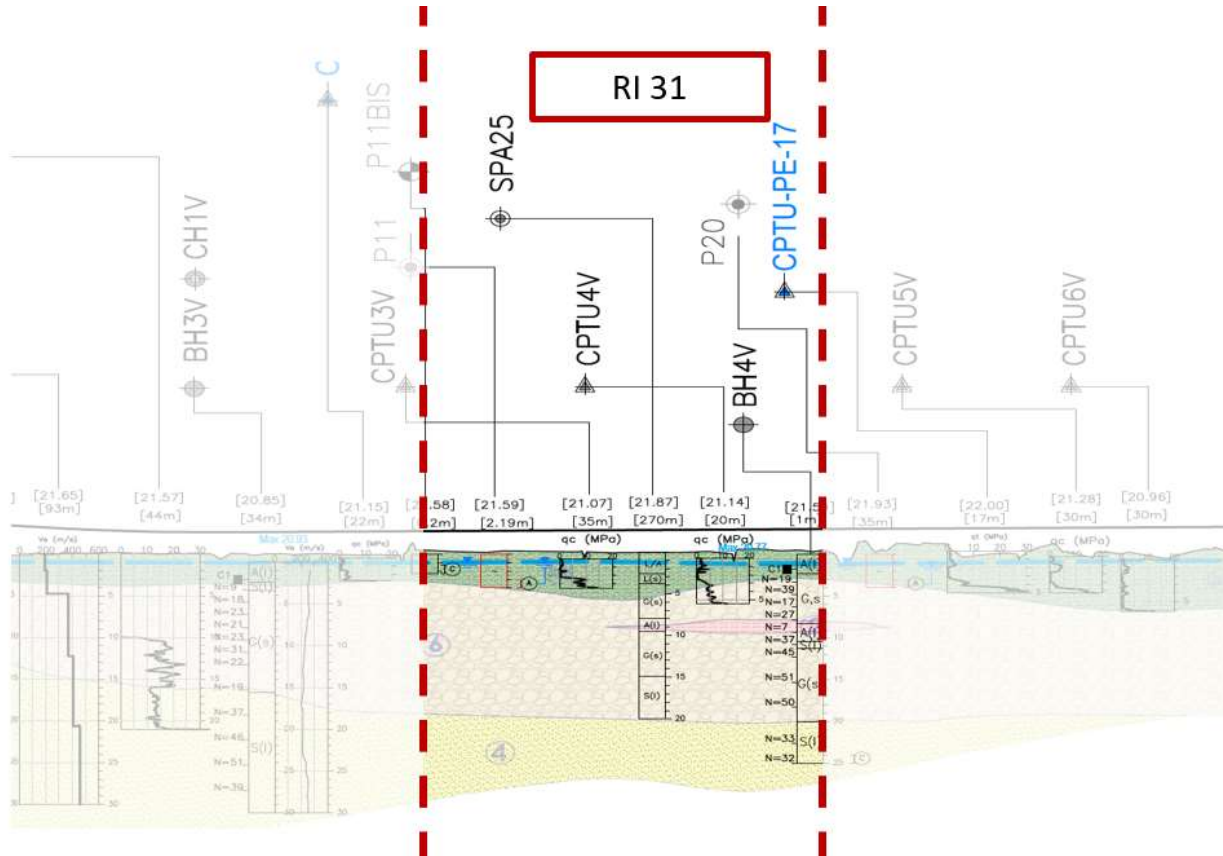


Figura 2 - Profilo Geotecnico Rilevato RI31, estratto dal Profilo Geotecnico Generale (Doc. Rif. [3])

Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
E12RBRI3100001B

Foglio
11 di 95

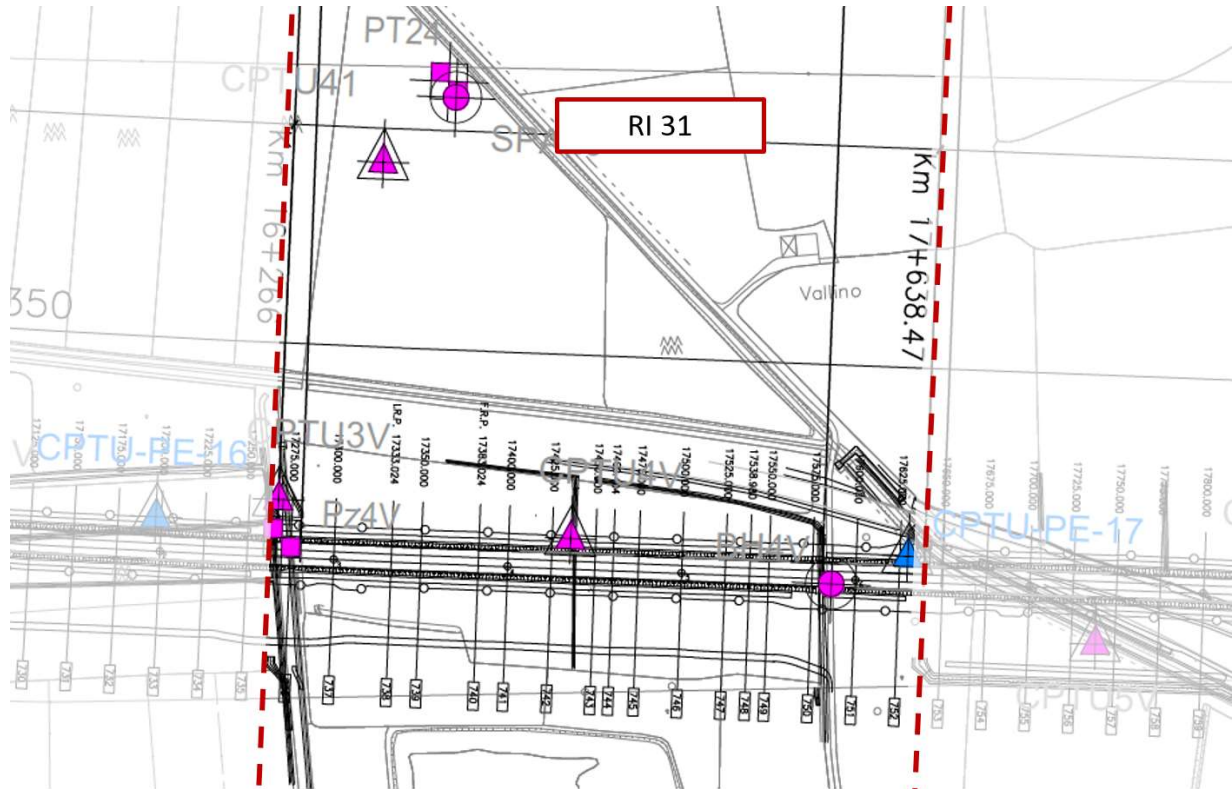




Figura 3 - Planimetria Rilevato RI31, estratto dalla Planimetria Generale (Doc. Rif. [3])

4.3 Livello di falda

Per il livello di falda si è fatto riferimento ai valori di soggiacenza misurati nei piezometri lungo l'area in cui si inserisce l'opera in esame e riportati nella Relazione Idrogeologica (Doc. Ref. [6]). Quest'ultimi indicano una sostanziale stabilità nelle escursioni stagionali.

Ai fini progettuali si assume perciò una falda di progetto a piano campagna.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3100001B	Foglio 12 di 95

4.4 Condizioni geotecniche del sito

Come definito dalla sezione stratigrafica, il tratto in oggetto è caratterizzato da una copertura superficiale di prevalenti limi sabbiosi e limi argillosi (Unità3a/3b) per uno spessore variabile da 2 m a 5 m.

Gli spessori massimi sono rinvenuti m'nella parte centrale della WBS in oggetto, in corrispondenza dalla CPTU-4, mentre le CPT eseguite verso le estremità (CPTU 3V e CPTU-PE-17), indicano spessori molto più modesti (2-3 m). Le caratteristiche granulometriche stimabili dalla CPTU-4V indicano che tali coltri sono costituiti, in predominanza, da materiali sciolti (unità 3a).

A tale proposito, la Figura 4 riporta i dati granulometrici dei materiali granulari, così come ottenuti dalle determinazioni granulometriche di laboratorio delle indagini effettuate nella zona. Come si può notare, gran parte dei materiali di superficie ricade nell'ambito dei terreni potenzialmente liquefacibili, così come definiti dalle NTC 2008.

Le descrizioni dei materiali del sondaggio BH4V e le caratteristiche granulometriche stimabili dalla CPTU-PE-17 indicano la presenza di materiali sciolti (Unità 3a) solo nei primi 2m, al di sotto dei quali si trovano materiali per lo più limosi argillosi (Unità 3b). Tale deposito, presente tra 2 e 3 m p.c. può essere caratterizzato da una resistenza al taglio non drenata $c_u=25$ kPa. (si veda la Figura 5).

Procedendo con la profondità si incontra uno strato di ghiaie e ghiaie sabbiose ben addensate (Unità 6), che si estende fino anche 20 m pc. All'interno del deposito incoerente le percentuali di materiale a grana fine sono generalmente inferiori a 20% e si registrano valori di N_{SPT} mediamente pari a 50 colpi/30cm. La densità relativa delle ghiaie risulta pari 45% e quindi il deposito risulta mediamente addensato.

Sotto lo strato di ghiaie si individua un deposito di sabbia limosa mediamente addensata (Unità 4), a partire dalla profondità di 20 m pc fino alla quota di fine sondaggi. In questo deposito le percentuali di materiale fino sono inferiori al 10%, i valori medi di N_{SPT} sono pari a 40 colpi/30cm. La densità relativa delle sabbie risulta generalmente attorno a 60%.

Il profilo di V_s derivante dalle interpretazioni discusse nella Relazione Sismica (Doc. Rif. [4]), basata sui risultati delle prove DH, MASW e infine SPT, conferma la presenza di materiali incoerenti da mediamente a molto addensati. Fino a 15 m pc, per le ghiaie superficiali si stimano valori di V_s pari a 320-350 m/s. A profondità maggiori, nelle sabbie, le velocità sono pari a 370 m/s. Sulla base dei valori di V_s si sono stimati i valori del modulo di taglio alle piccole deformazioni (G_0). Per le ghiaie si considera un valore di 200 MPa, mentre per le sabbie profonde si ottengono valori pari a 300 MPa.

Per i materiali a grana grossa, si è stimato il valore del modulo di Young (E_0) utilizzando da teoria dell'elasticità a partire dal valore del modulo G_0 , ed utilizzando valori di $\nu = 0.25-0.30$. Il valore del modulo di Young operativo (E_{op}) per il calcolo di cedimenti di fondazioni superficiali e rilevati è stato calcolato ipotizzando valori del decadimento del modulo dell'ordine di 1/5 di quello iniziale per gli strati superficiali e dell'ordine di 1/3 di quello iniziale per gli strati più

in profondità, dove le deformazioni attese sono minori.

Le seguenti figure riportano i risultati delle principali prove di sito e dei parametri geotecnici dei terreni, interpretati alla luce di quanto riferito in [2] e [4].

- Distribuzione delle granulometrie da analisi di laboratorio, con riferimento all'Unità 3a/3b (v. Figura 4);
- Resistenza al taglio non drenata dell'unità 3b (v. Figura 5);
- Valori N_{SPT} da prove SPT (v. Figura 6);
- Densità relativa stimata da prove SPT (v. Figura 7);
- Angolo di attrito stimato da prove SPT (v. Figura 8);
- Velocità delle onde di taglio stimata da prove in sito (v. Figura 9);
- Modulo di taglio alle piccole deformazioni valutati a partire dai valori stimati di V_s (v. Figura 10).

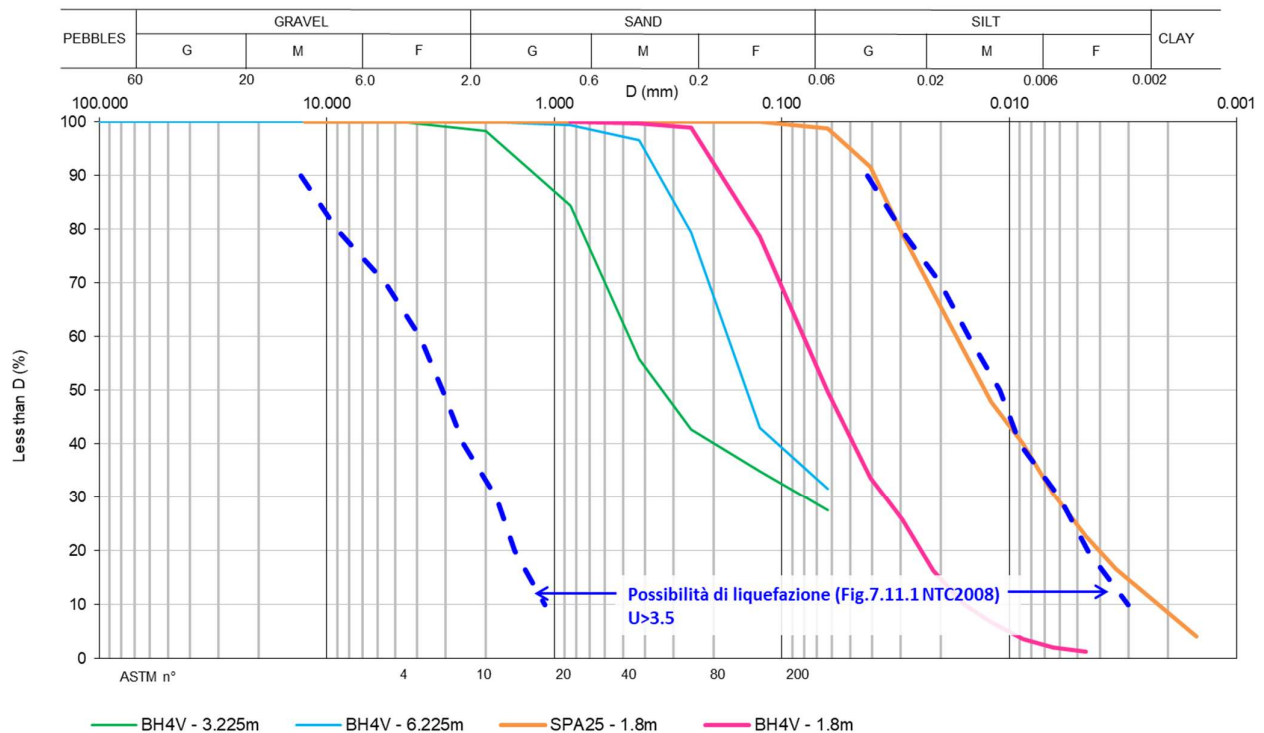


Figura 4 – Sintesi analisi granulometriche dei terreni superficiali, suscettibili alla liquefazione



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI3100001B

Foglio
14 di 95

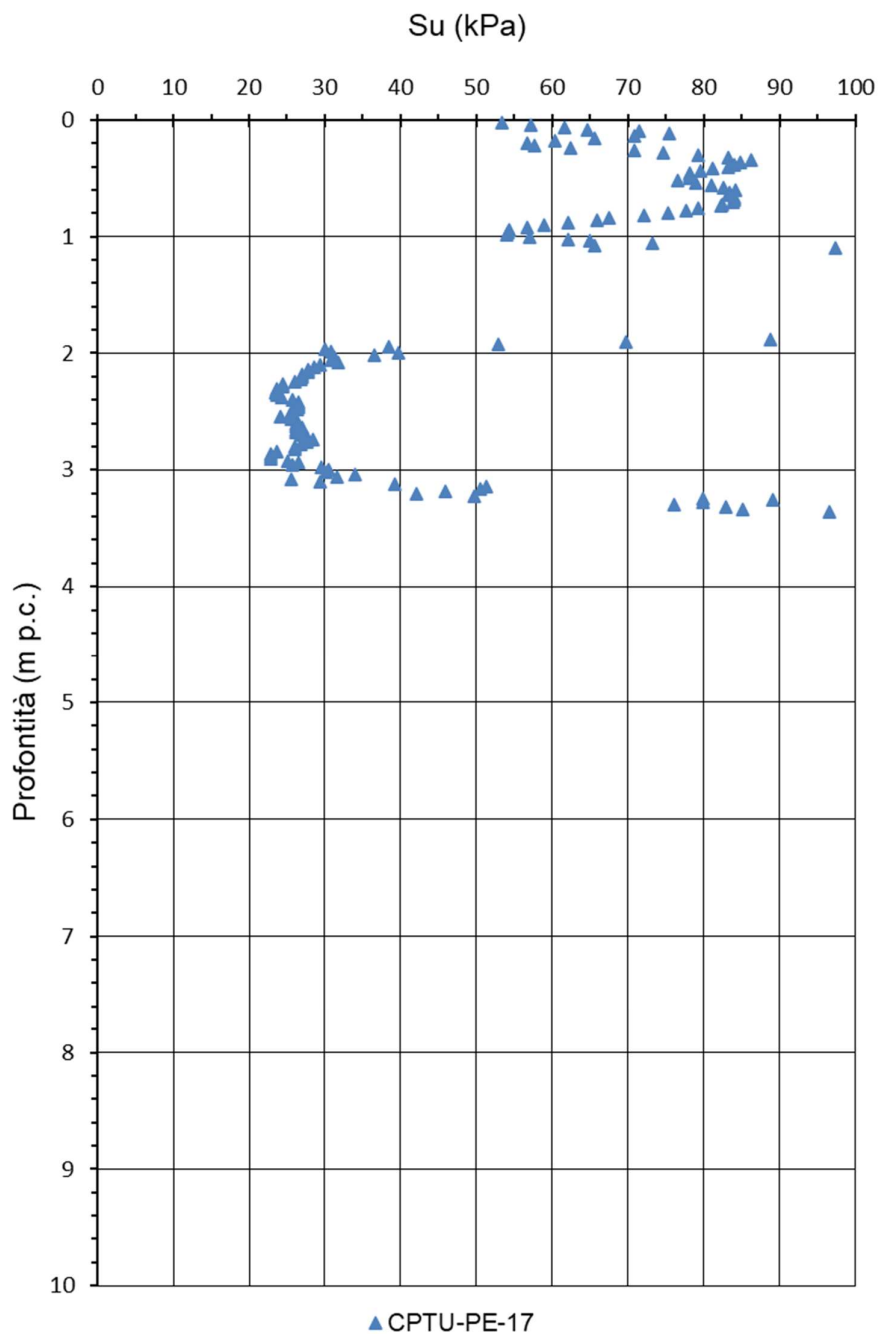


Figura 5 – Resistenza al taglio non drenata da CPTU-PE-17



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI3100001B

Foglio
15 di 95

AV/AC VERONA VICENZA

RI 31 tra pk 17+226 e 17+638

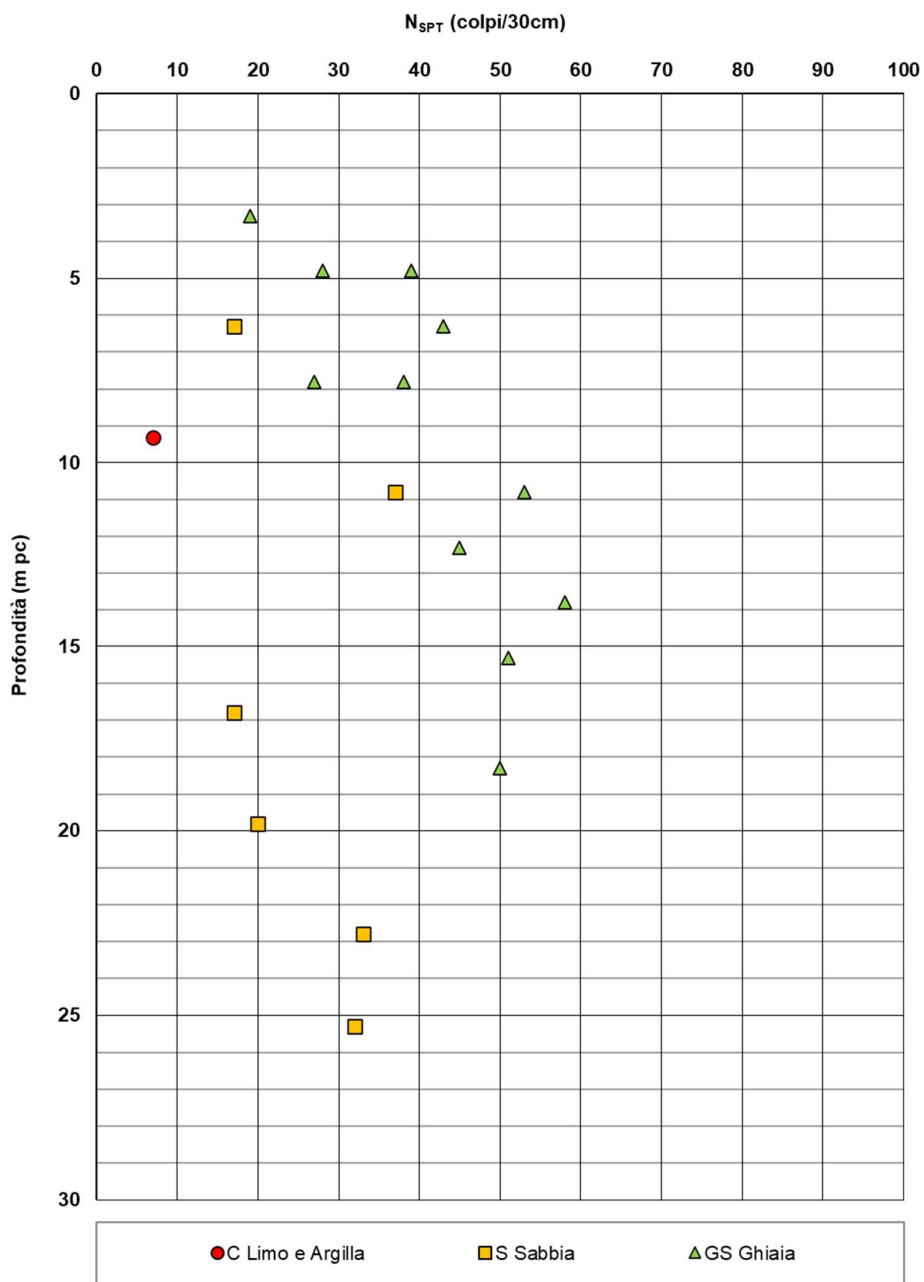


Figura 6 – Esito delle prove SPT da pk 17+266,00 a pk 17+638,47



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI3100001B

Foglio
16 di 95

AV/AC VERONA VICENZA

RI 31 fra pk 17+226 e 17+638

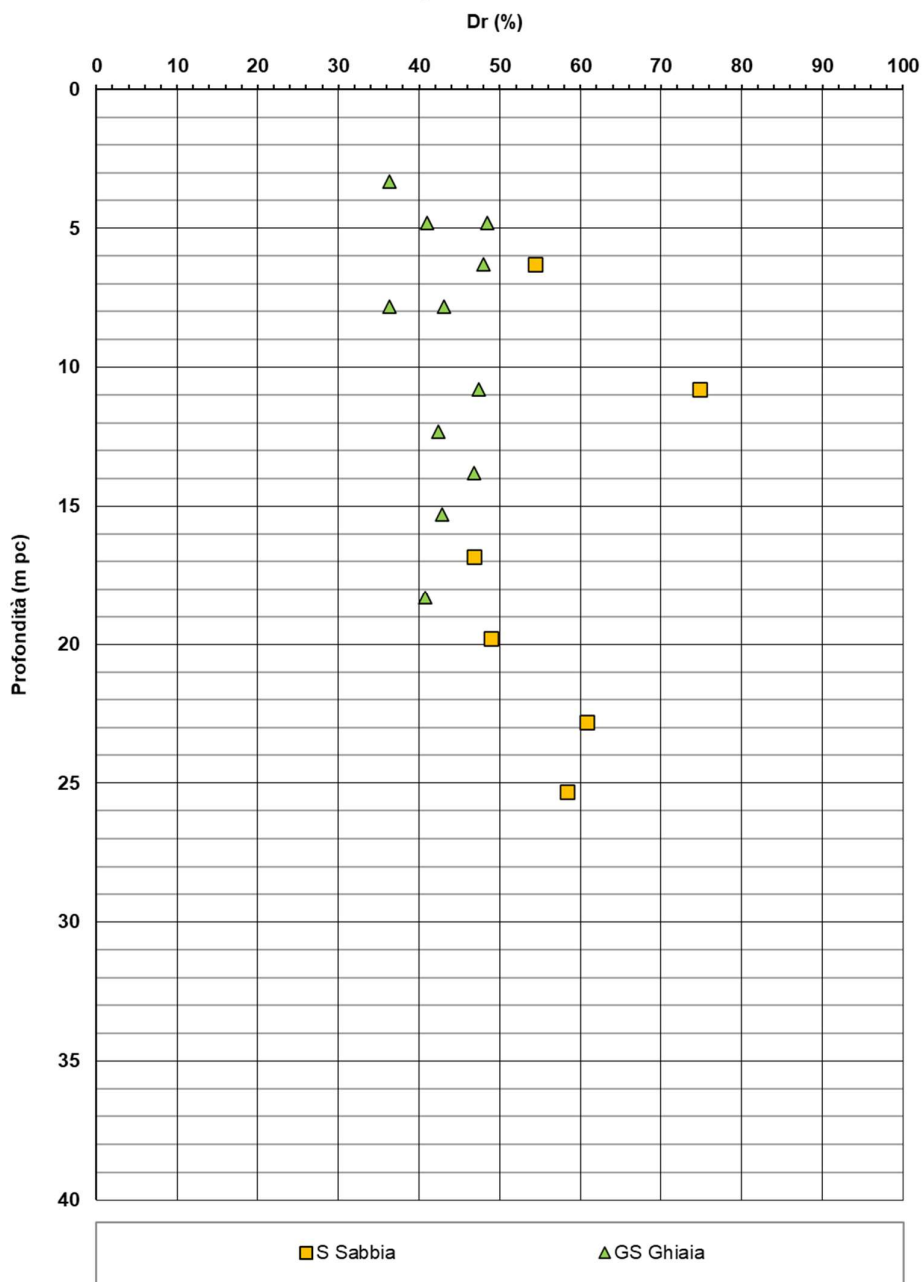


Figura 7 – Densità relativa da prove SPT da pk 17+266,00 a pk 17+638,47



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI3100001B

Foglio
17 di 95

AV/AC VERONA VICENZA

RI 31 tra pk 17+226 e 17+638

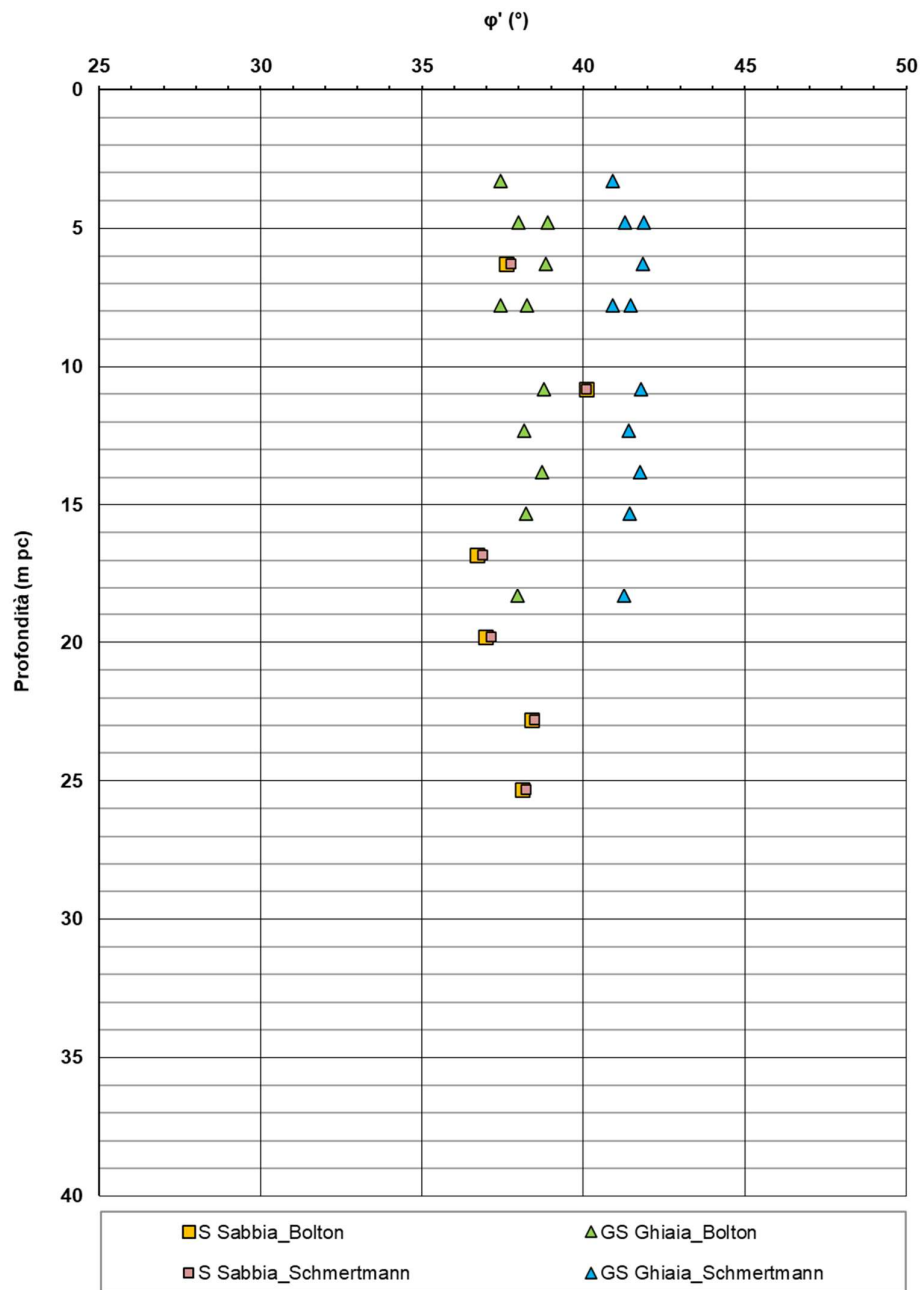


Figura 8 – Angoli di attrito da prove SPT da pk 17+266,00 a pk 17+638,47



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI3100001B

Foglio
18 di 95

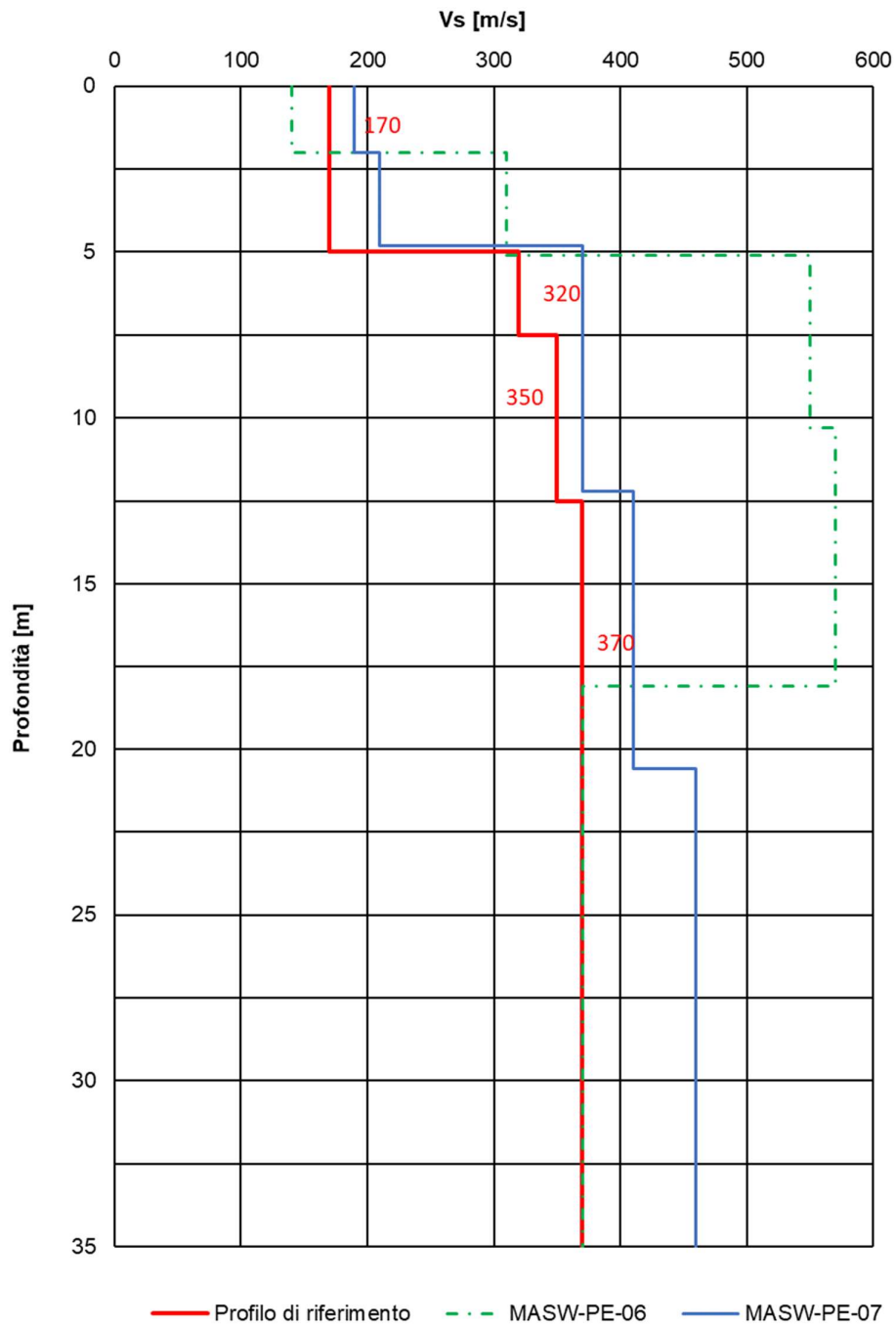


Figura 9 – Profilo di Vs di riferimento, a confronto con dati di correlazioni con SPT e prove geofisiche tipo MASW da pk 17+266,00 a pk 17+638,47



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI3100001B

Foglio

19 di 95

AV/AC VERONA VICENZA

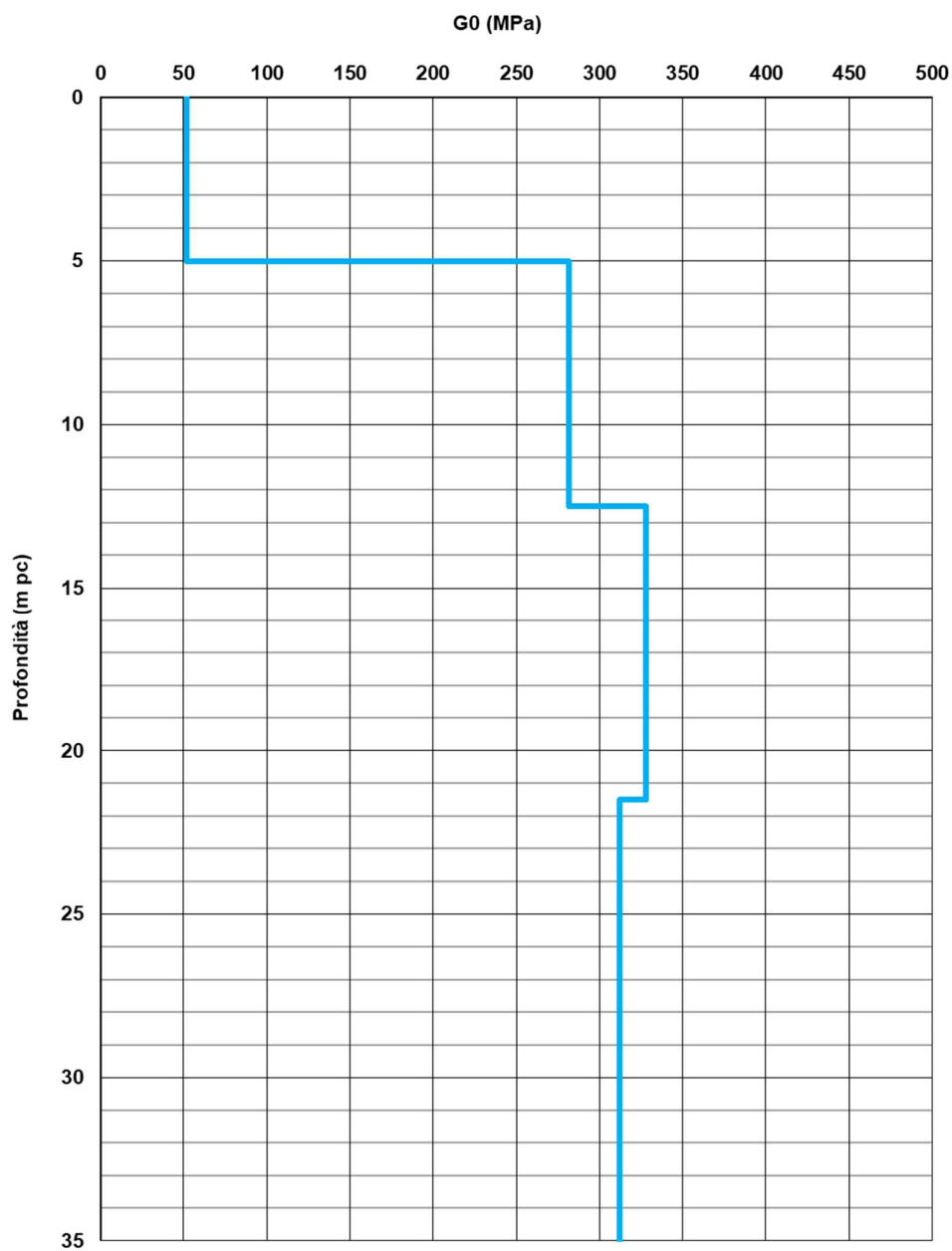




Figura 10 – Modulo di taglio G_0 da pk 17+266,00 a pk 17+638,47

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3100001B	Foglio 20 di 95

4.5 Sintesi del modello geotecnico di riferimento

Sulla base di quanto esposto al punto precedente, i modelli geotecnici considerati per le verifiche del rilevato in questione sono riportati in Tabella 2 (per il tratto iniziale e finale del rilevato) e in Tabella 3.

Tabella 2 – Modello geotecnico di riferimento per pk 17+266-17+300 e 17+550-17+638

Unità	da m pc*	a m pc*	γ kN/m ³	φ_k °	c_k' kPa	$c_{u,k}$ kPa	G_0 MPa	E'_{op} MPa
3a	1	2	18	34 [36]**	-	-	-	5 [20]**
3b	2	3	18	-	-	25	-	3
6	3	20	19	39	-	-	200	60
4	20	-	19	38	-	-	300	80

Tabella 3 – Modello geotecnico di riferimento da pk 17+300 a pk 17+550

Unità	da m pc*	a m pc*	γ kN/m ³	φ_k °	c_k' kPa	$c_{u,k}$ kPa	G_0 MPa	E'_{op} MPa
3a	0.5	5	18	34 (36)***	-	-	-	5(12)***
6	5	20	19	39	-	-	200	60
4	20	-	19	38	-	-	300	80

* quota piano campagna = 21.30 m s.l.m.

**i valori tra parentesi [] si riferiscono alle caratteristiche del terreno compattato

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI3100001B

Foglio



21 di 95

4.6 Materiale da rilevato

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

Tabella 4 - Caratteristiche materiale da rilevato

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3100001B	Foglio 22 di 95

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 5 – Vita nominale delle infrastrutture ferroviarie

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

5.1.2 Classe d'uso

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

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

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



GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3100001B	Foglio 23 di 95

Tabella 6 – 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 *Depositati 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 *Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.*
- E *Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.*



5.1.5 Condizioni topografiche

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

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

5.1.6 Accelerazione sismica di riferimento

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3100001B	Foglio 24 di 95

a_g (g) (SLV)	0.218
Coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s	1.382
Coefficiente di amplificazione topografica S_t	1.0
Accelerazione massima attesa al suolo	
a_{max} (g) ($a_{max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_t \cdot a_g$)	0.301

5.2 Suscettibilità alla liquefazione

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



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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3100001B	Foglio 25 di 95

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

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

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

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

dove:

a_{max} accelerazione di picco al sito

g accelerazione di gravità

τ_c valore rappresentativo dello sforzo di taglio ciclico

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

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

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



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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3100001B	Foglio 26 di 95

Idriss e Boulanger (2004) si è assunto per $M = 6.0 - MSF = 2$.

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

5.2.1 CRR da correlazione su prove CPT

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

Il procedimento utilizzato per la stima di CRR a partire dai risultati di prove CPT si basa sulla relazione riportata in Figura 11: la curva in figura si riferisce alla resistenza penetrometrica normalizzata q_{c1N} per le sabbie pulite che può essere espressa come segue (Robertson & Wride, 1998, come riportato da Youd et al., 2001):

$$\text{per } (q_{c1N})_{cs} < 50 \quad CRR_{7.5} = 0.833 \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right] + 0.05$$

$$\text{per } 50 \leq (q_{c1N})_{cs} < 160 \quad CRR_{7.5} = 93 \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right]^3 + 0.08$$

In Figura 11, la resistenza alla punta q_c è normalizzata rispetto al valore di pressione atmosferica ($p_a = 100$ kPa) e corretta (q_{c1N}) mediante la seguente relazione:

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

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

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

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

dove:

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

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

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

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

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

$$q_{c1Nes} = q_{c1N} \cdot k_c$$

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

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

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

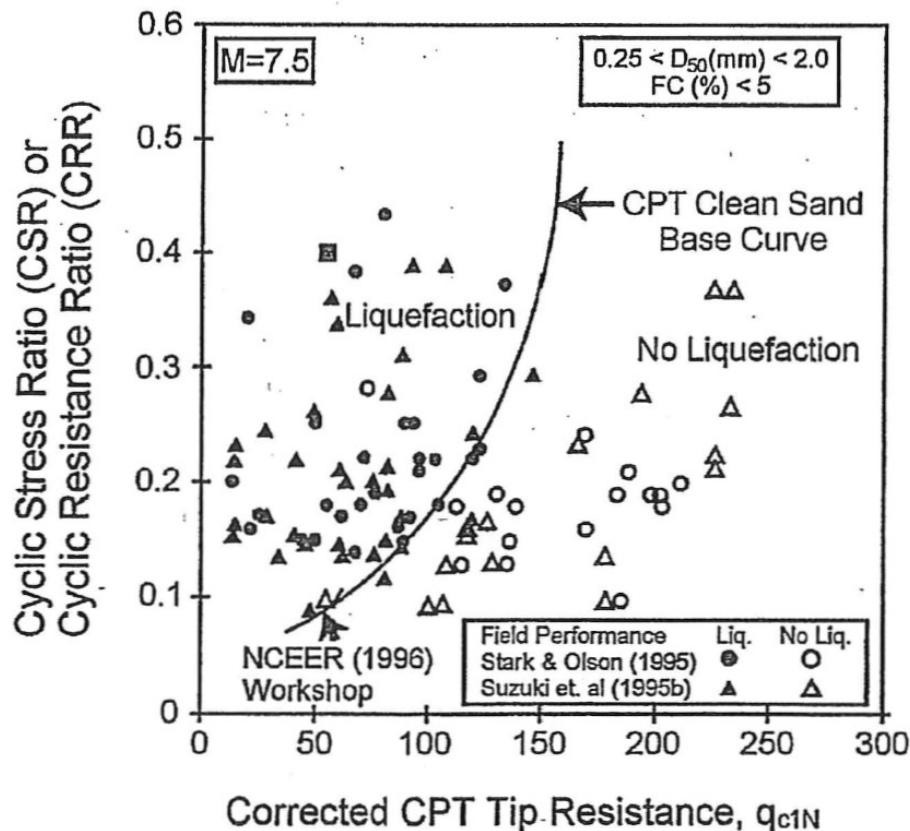




Figura 11: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e valori corretti di resistenza alla punta q_{c1N} – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Robertson & Wride, 1998)

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3100001B	Foglio 28 di 95

5.2.2 CRR da correlazione su prove SPT

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

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

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

dove:

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

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

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

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



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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3100001B	Foglio 29 di 95

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

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

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

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

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

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

In cui:

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

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

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

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

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

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

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

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

dove:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

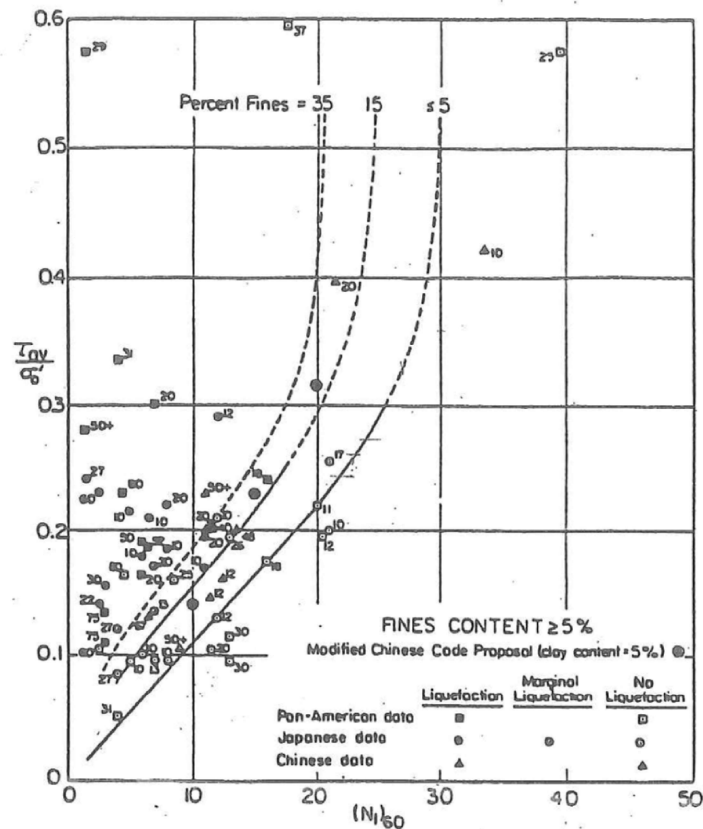




Figura 12: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e $N_{1(60)}$ – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Seed et al., 1985).

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3100001B	Foglio 31 di 95

5.2.3 Commento ai risultati

I risultati (cfr. Figura 13 - Figura 15) indicano rischi di potenziale liquefazione nella porzione di tracciato interessata dal rilevato RI31. In particolare:

- dall'analisi sulla CPTU3V e CPTU-PE-17 si evidenzia la presenza di materiale potenzialmente liquefacibile solo limitatamente alla porzione superficiale di terreno (nell'ambito dei primi 1-2 m) con $FL < 1.0$.
- dall'analisi sulla CPTU4V si evidenzia la presenza di materiale potenzialmente liquefacibile tra 0 e 5.0 m pc, con $FL < 1.0$.

Si conclude quindi che l'area è interessata da coperture superficiali di terreni potenzialmente liquefacibili, in misura tale da compromettere la stabilità dei rilevati. Si prescrivono pertanto interventi di miglioramento dei terreni, che verranno illustrati nel paragrafo successivo.



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI3100001B

Foglio
32 di 95

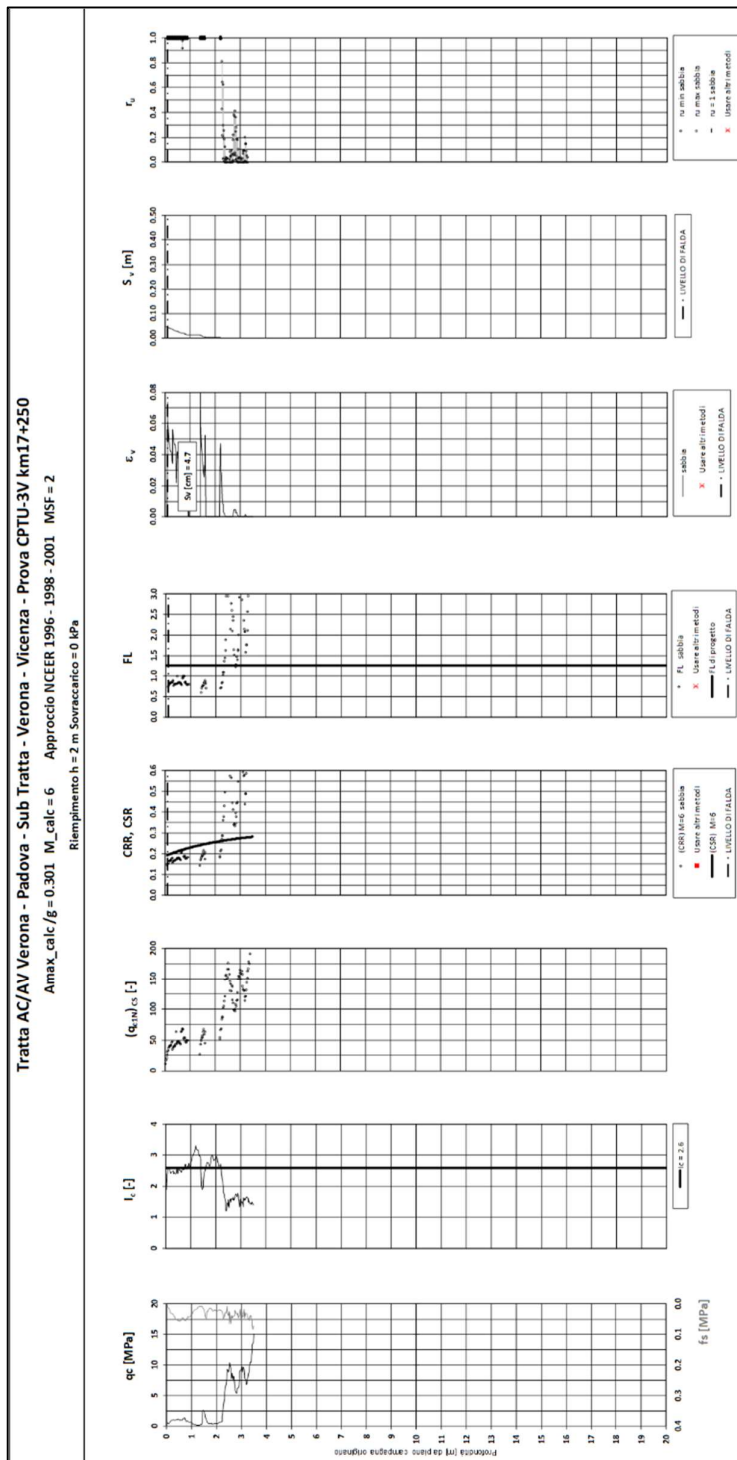


Figura 13 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU3V



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI3100001B

Foglio
33 di 95

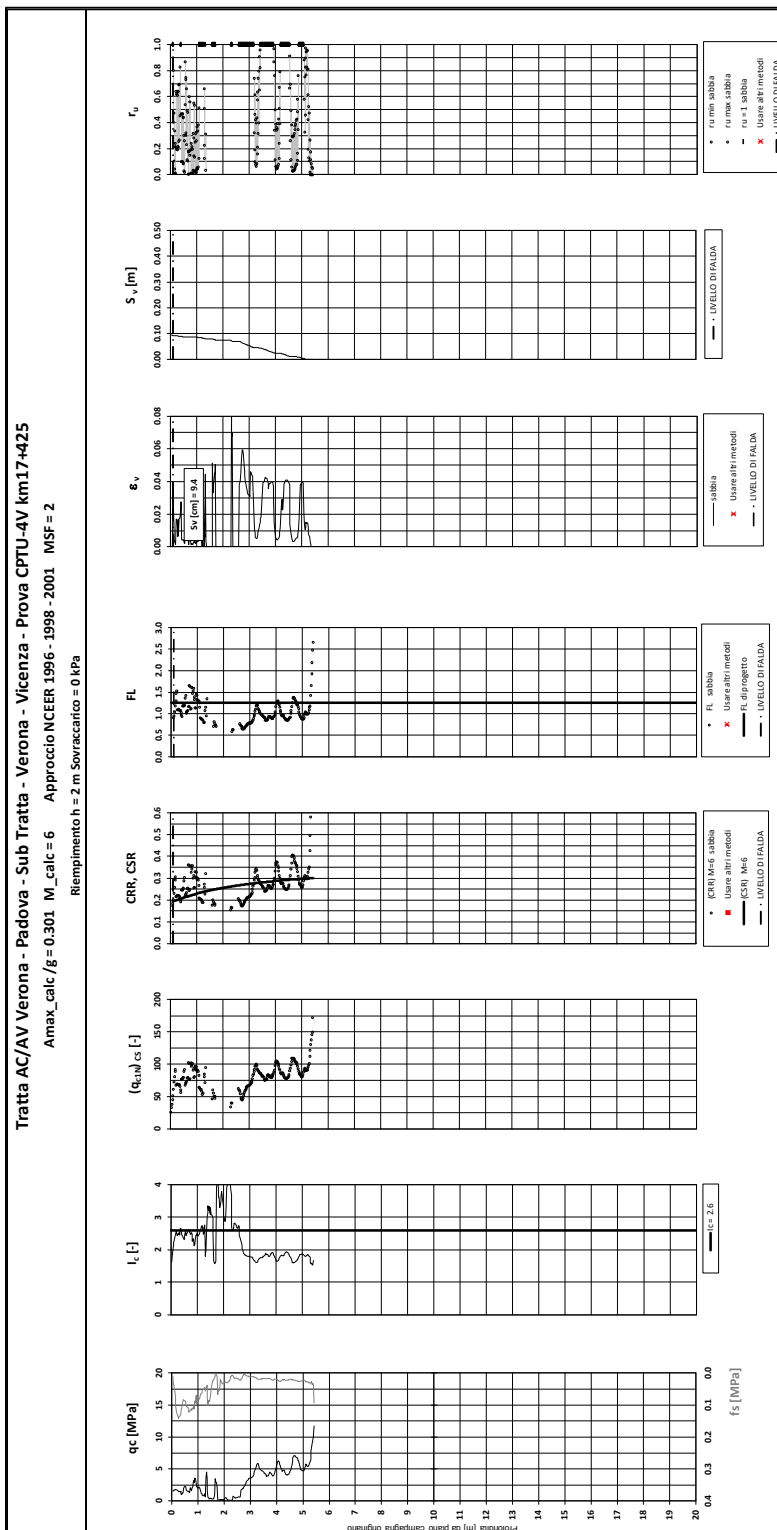


Figura 14 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU4V



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI3100001B

Foglio
34 di 95

Tratta AC(AV)Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prova CPTU-PE-17 Pr. 17-629
s_{u,max} = 0,30kg M_{calc} = 6 MSF = 2 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001
Altezza rilevato = 2m

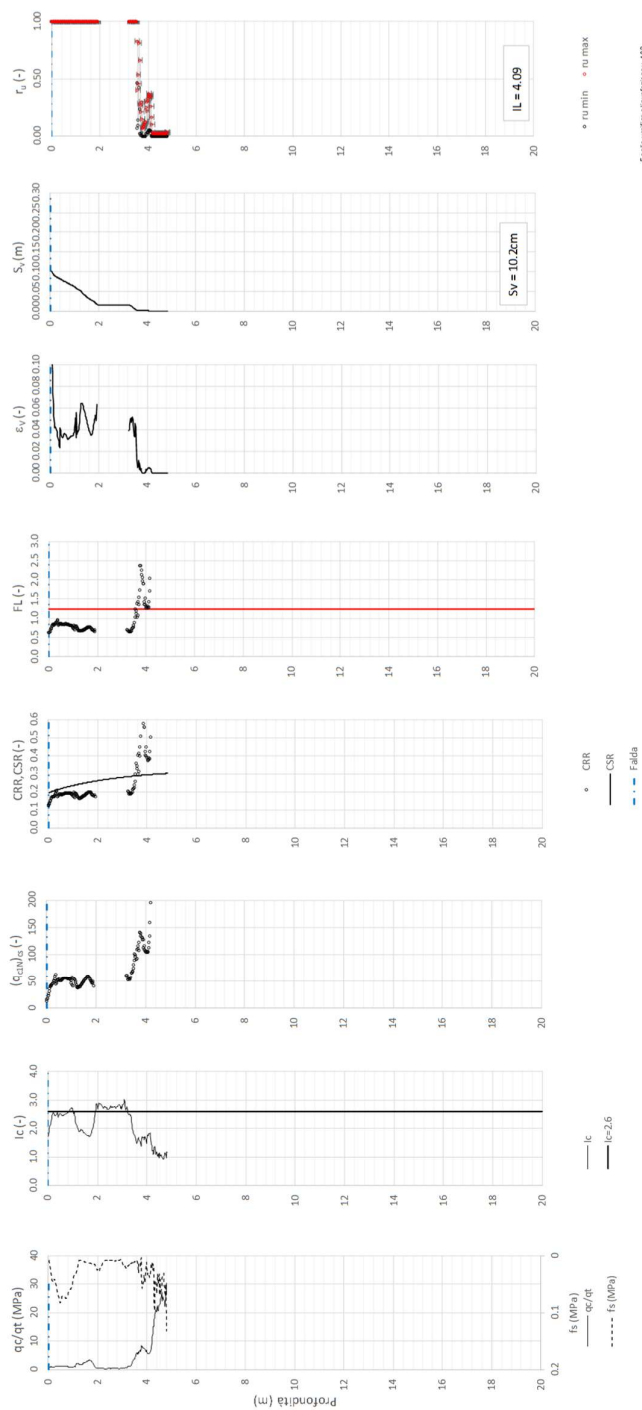




Figura 15 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-17

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3100001B	Foglio 35 di 95

5.2.4 Soil improvement

Come illustrato al punto precedente, le prove disponibili nell'area evidenziano la presenza di materiali liquefacibili. Nelle aree che presentano spessori modesti, ovvero nel tratto pk 17+266-17+300 e pk 17+550-17+638, si prescrive:

- realizzazione di uno scotico + bonifico per uno spessore complessivo di 1 m così da rimuovere, al disotto del rilevato e per uno spessore allargato di 2 m all'esterno del piede del rilevato, eventuali materiali sciolti passibili di liquefazione;
- compattazione del fondo scavo per mezzo di rulli vibranti con peso statico equivalente di almeno 15 t, raggiungendo i livelli di compattazione come da capitolato. Il grado di addensamento raggiunto, da verificare a fondo scavo con prove di carico su piastra ($M_d > 20$ MPa), aumenterà la densità relativa dei materiali compattati, ancora eventualmente presenti dal fondo scavo e fino al tetto delle ghiaie, in misura tale da renderlo non più suscettibile a liquefazione.
- relazione del rinterro in accordo alle specifiche.

Come mostrato dalla CPTU4V, alla pk 17+425 si evidenzia la presenza di 5-6 m di materiale a rischio di liquefazione. Pertanto, dalla pk 17+300 alla pk 17+550, si prescrive l'esecuzione di un trattamento di miglioramento delle caratteristiche dei terreni, mediante l'installazione di colonne in ghiaia con diametro $D=800$ mm, lunghezza $L=5$ m, interasse $i=2$ m, a maglia quadrata.

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

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

- Si è dimensionata la spaziatura degli interventi sulla base delle indicazioni di Priebe (Doc.Rif.[35]). Il metodo proposto da Priebe consiste nel valutare, in funzione della "densità" del trattamento (i.e., la spaziatura fra le colonne), la diminuzione di azione ciclica sul terreno dovuta alla presenza delle colonne stesse. Nel grafico di Figura 16 A_c è l'area della colonna, mentre A è l'area di pertinenza della colonna stessa. A titolo di esempio, spaziando colonne $D=800$ mm su maglia quadrata 2×2 m, si ottiene un "area ratio" $A/A_c=4/0.5=8$, che consente di ridurre l'azione ciclica sul terreno di un fattore (P_s/P nel grafico in ordinate) che può essere stimato pari a 0.6 per colonne realizzate con materiale avente angolo di resistenza al taglio dell'ordine dei 40° .
- Sulla base di tale riduzione, si è rivalutato l'effetto dell'azione ciclica ridotta sui terreni naturali. Nelle figure seguenti si riportano le verifiche di liquefazione eseguite con tale criterio. Come si può notare, per effetto della riduzione della PGA da 0.301 a 0.18 (appunto di un fattore 0.6), il materiale non viene più portato a liquefazione, ma si limita a sviluppare sovrappressioni interstiziali del tutto compatibili con la stabilità del rilevato.

Si noti che il risultato della verifica non si applica i terreni non trattati. Pertanto, quanto riportato in Figura 17 non si applica ai terreni a profondità superiori ai 5 m, ove le colonne non sono presenti. Per questi terreni, rimangono valide le verifiche di Figura 15.



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI3100001B

Foglio

36 di 95

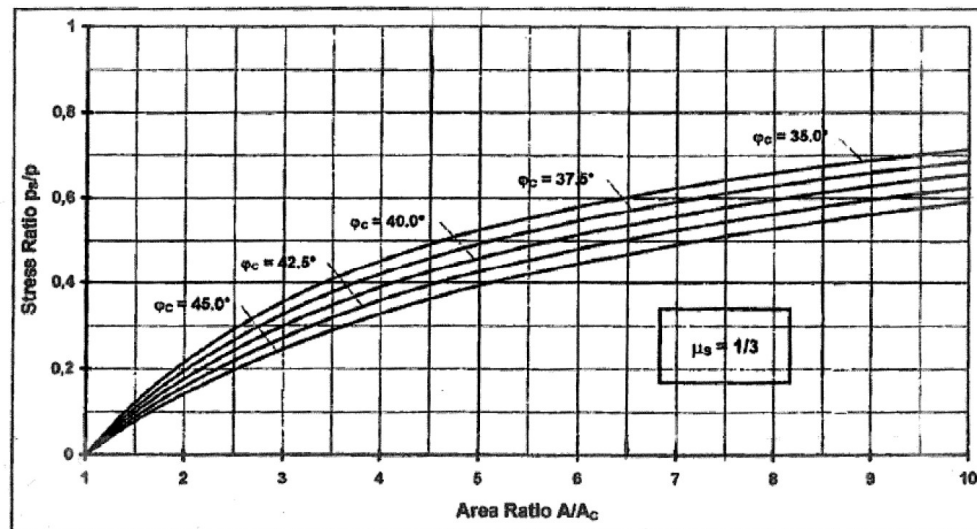


Figura 16 – Riduzione dello stress ratio sismico in funzione dell'area ratio delle colonne di ghiaia
(Doc.Rif.[35])



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI3100001B

Foglio
37 di 95

Tratta AC/AV Verona - Padova - Sub Tratta - Verona - Vicenza - Prova CPTU-4V km17+425
 $A_{max_calc}/g = 0.1806$ $M_{calc} = 6$ Approccio NCEER 1996 - 1998 - 2001 MSF = 2
 Riempimento $h = 2$ m Sovraccarico = 0 kPa

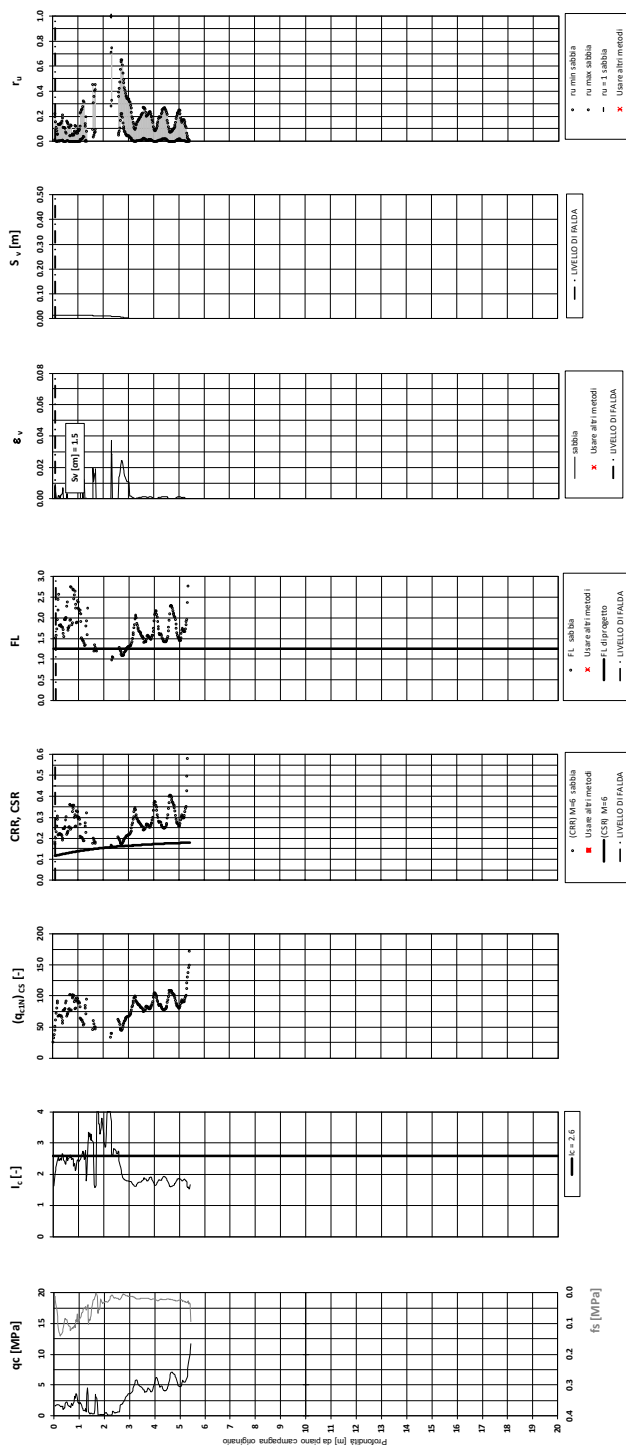




Figura 17 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU4V dopo soil improvement

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3100001B	Foglio 38 di 95

6 VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO

6.1 Criteri di verifica agli Stati Limite

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

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

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

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

dove:

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

R_d valore di progetto della resistenza.

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

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

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

dove:

E_d valore di progetto dell'effetto dell'azione;

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

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

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

6.1.1 Stati limite ultimi (SLU)



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

La verifica di stabilità globale si ritiene soddisfatta se:

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3100001B	Foglio 39 di 95

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 7 – 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 8 – Coefficienti parziali sui terreni (Tab. 6.2.II, Doc. Rif. [14])

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

Tabella 9 – Coefficienti parziali per verifiche di stabilità globale

Coefficiente	R2
γ_R	1.1

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3100001B	Foglio 40 di 95

6.1.2 Stati limite di esercizio (SLE)

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

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

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

Tabella 10 – Valori limite dei difetti in direzione trasversale (in mm)



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

6.1.3 Verifiche in condizioni sismiche e post-sismiche

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

6.2 Azioni di progetto

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3100001B	Foglio 41 di 95

6.2.1 Azioni permanenti

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

Peso massicciata e armamento 18 kN/m³

Peso elementi in cls 25 kN/m³

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

6.2.2 Azioni variabili

Le azioni variabili sono rappresentate dai carichi da traffico ferroviario, valutati nel rispetto delle normative di riferimento e considerando il caso peggiore tra i tre modelli di carico previsti: LM71, SW/0 ed SW/2. Per ogni binario, tale azione risulta essere pari a 61.4 kPa (LM71) ed applicata su una superficie definita dalla larghezza della traversa e dalla larghezza di diffusione del carico nel ballast (2.8 m in totale).

6.2.3 Azione sismica

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

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

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

dove



β_s coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa (v. Tabella 11)

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

g accelerazione di gravità.

Tabella 11 - Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito (Doc. rif.[14])

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3100001B	Foglio 42 di 95

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 8 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.

Le verifiche sono eseguite secondo il metodo di Bishop modificato. Nel calcolo sono stati utilizzati i parametri geotecnici caratteristici definiti in Tabella 2 e Tabella 3, per i rispettivi tipi di intervento.

6.3.2 Verifiche SLU in condizione statiche

La verifica in condizioni statiche è stata condotta con riferimento alla già citata sezione di riferimento A (sezione di massima altezza) riportata in Figura 1.

Il carico da traffico ferroviario (q), assunto pari a 61.4 kPa, è stato modellato come un carico distribuito applicato in corrispondenza delle impronte delle traversine ferroviarie. Tale sovraccarico è di tipo variabile- sfavorevole, pertanto, in accordo al coefficiente parziale sulle azioni A2 riportato e pari a 1.3. Per quanto riguarda la falda, è stata considerata la condizione a lungo termine e quindi è stato preso un livello coincidente a piano campagna, come riportato nel paragrafo 4.3. Si sottolinea che nella ricerca delle superfici di rottura critiche sono state escluse tutte quelle superfici di spessore ridotto e quelle che non interessano la sede ferroviaria.

In Figura 18 sono riportate le superfici di rottura critica per la combinazione DA1C2. Il valore minimo di FS è pari a:

$$F_{S\text{MIN}} (DA1C2) = 1.302 > R2 = 1.1$$

la verifica di stabilità globale in campo statico risulta soddisfatta.

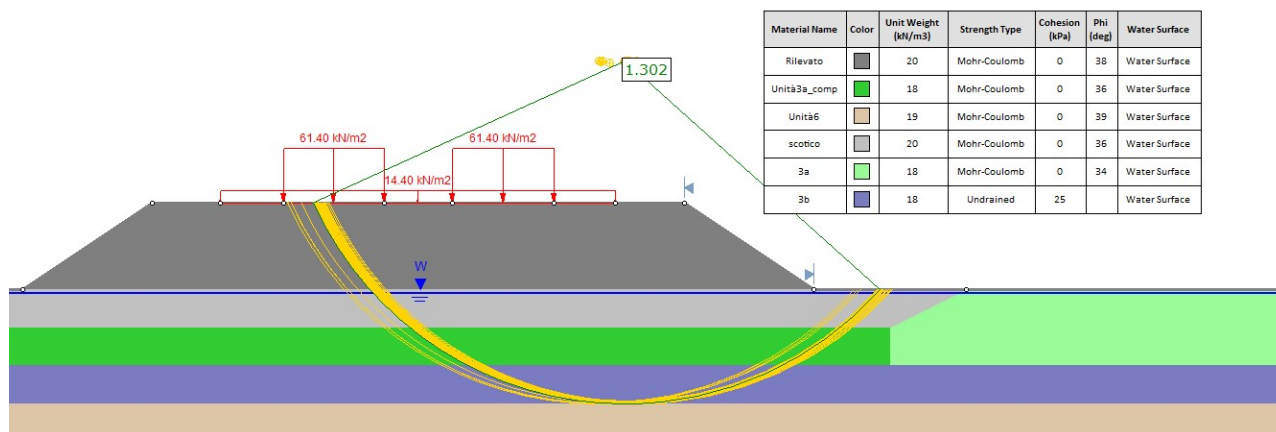


Figura 18 – Sezione A - Analisi SLU in campo statico DA1C2

6.3.3 Verifiche SLU in condizioni sismiche

La verifica in condizioni statiche è stata condotta con riferimento alla già citata sezione di riferimento A (sezione di massima altezza) riportata in Figura 1.

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

$$K_H = + 0.083 \quad (\text{concorde alla direzione di scivolamento})$$

$$K_V = \pm 0.042 \quad (\text{verificando la più cautelativa tra negativo e positivo})$$

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

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

In Figura 19 sono riportate le superfici di rottura critiche. Il fattore di sicurezza FS è pari a:

$$FS_{MIN} = 1.172 > R2 = 1.1$$



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI3100001B

Foglio
44 di 95

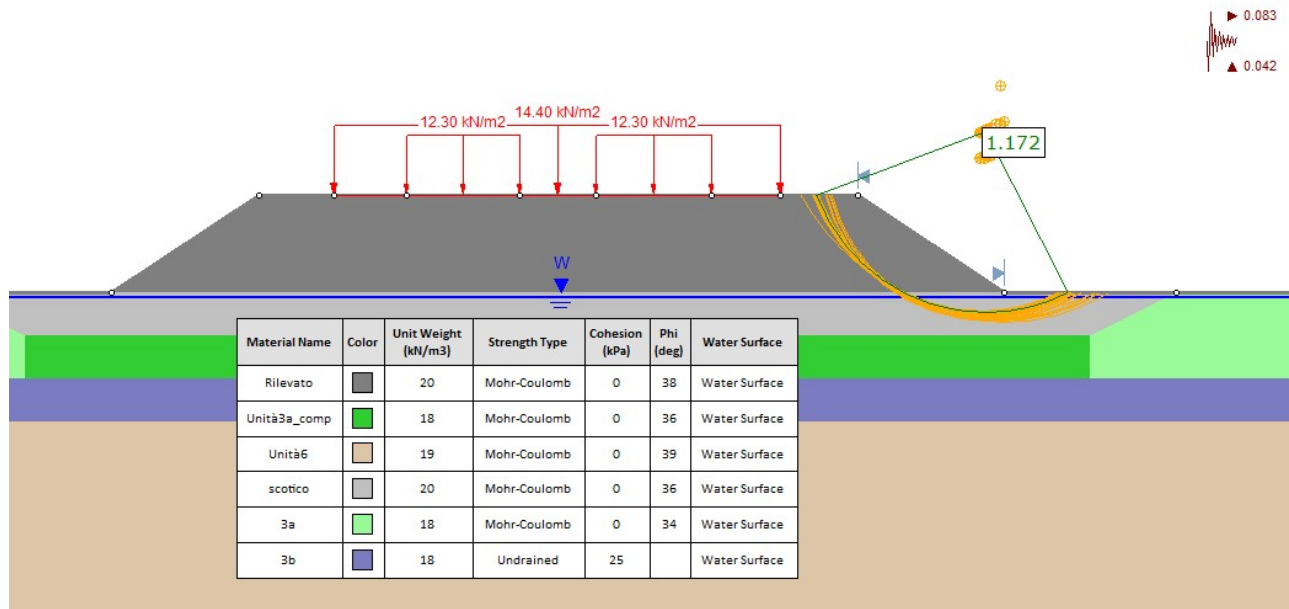




Figura 19 – Sezione A - Analisi SLU in campo sismico

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3100001B	Foglio 45 di 95

6.3.4 Verifiche SLU in condizioni post sismiche

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

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

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

La verifica in condizioni post sisma è stata eseguita per entrambe le tipologie di intervento, per appurare l'efficacia dei due interventi di soil improvement in caso di liquefazione. In particolare, la sezione di Figura 1 è rappresentativa dell'intervento di compattazione, mentre la sezione in Figura 20 è rappresentativa per l'intervento con colonne in ghiaia.

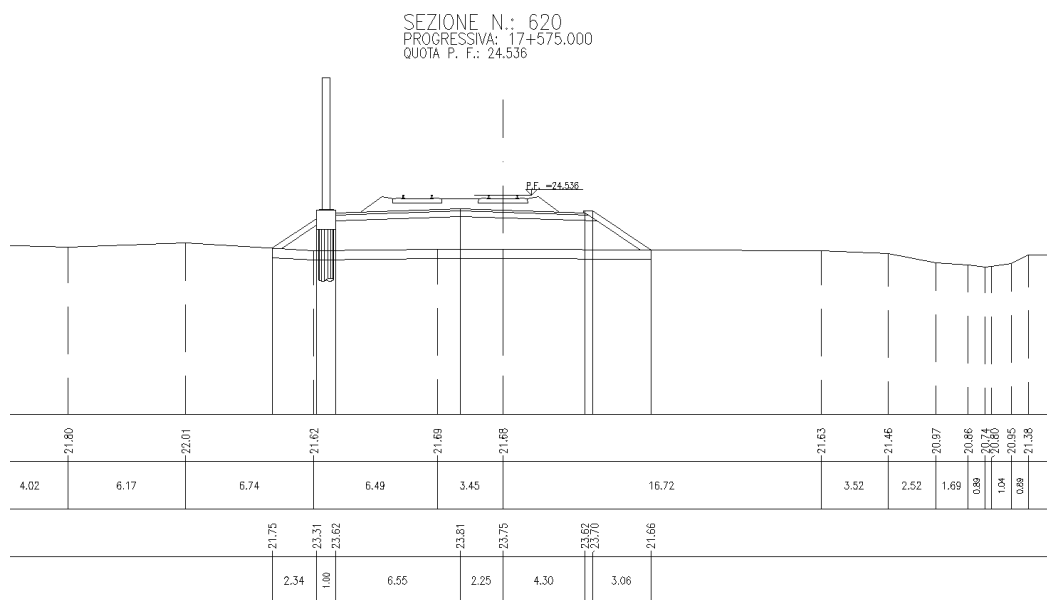


Figura 20 – Sezione di riferimento B (pk 17+575, n.620) estratta da sezioni PE (Doc Rif. [1])

Per i parametri di resistenza al taglio degli strati interessati dagli interventi di soil improvement, si veda quanto riportato al punto 4.5.

In Figura 21 e Figura 22 sono riportate le superfici di rottura critiche. Il fattore di sicurezza FS è pari a:

- Sezione A (scotico): $FS_{MIN} = 1.386 > R2 = 1.1$
- Sezione B (colonne in ghiaia): $FS_{MIN} = 1.454 > R2 = 1.1$



la verifica di stabilità globale post liquefazione risulta soddisfatta.

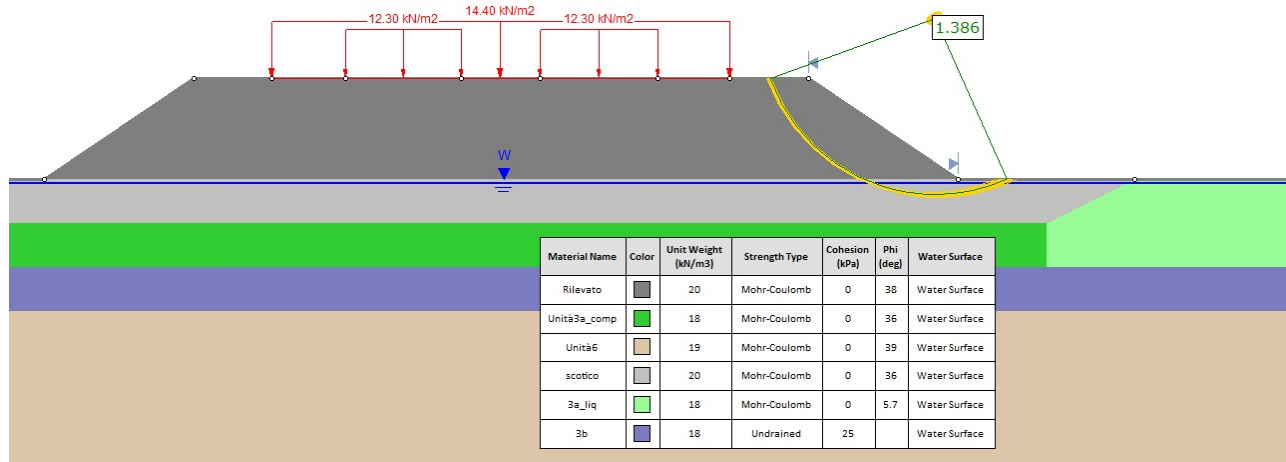


Figura 21 – Sezione A - Analisi SLU post sisma

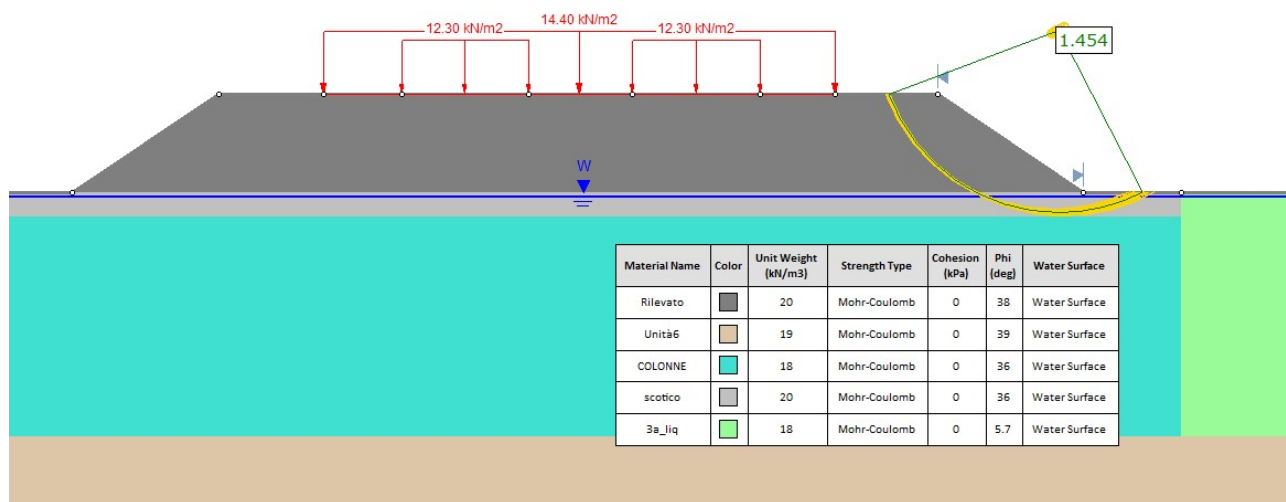




Figura 22 – Sezione B - Analisi SLU post sisma

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3100001B	Foglio 47 di 95

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 = semilarghezza dell'area di carico in direzione x

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

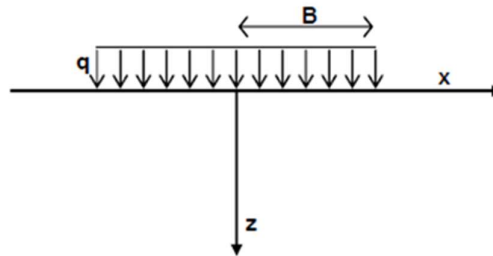


Figura 23 – Modello di calcolo Settle 3D – carico uniforme

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

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

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

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

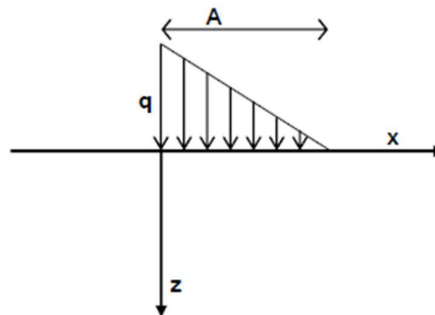




Figura 24 - Modello di calcolo Settle 3D – carico linearmente crescente

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3100001B	Foglio 49 di 95

di progetto riportata in Tabella 3. Si sono assunti i valori caratteristici sia sulle azioni che sui materiali.

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

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

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

dove

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

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

6.4.1 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 2.4 m, è riportato in Figura 25. La larghezza del rilevato è pari a 21 m, con pendenza delle scarpate è 2V:3H. 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 del rilevato ferroviario.

I cedimenti sono stati calcolati al centro del nuovo rilevato, i valori calcolati sono riportati nella Figura 26.

Il cedimento calcolato in corrispondenza del centro del nuovo rilevato è di circa 4.2 cm.

Considerando che:

- La maggior parte (2 cm) avviene per compressione degli strati argillosi in superficie (Figura 27), che verranno ricompresi nel ramo di ricarico, con valori di cv elevati ($\geq 5 \cdot 10^{-7}$ m²/s);
- Gli strati di argilla hanno tempi di consolidazione rapidi, in quanto di ridottissimo spessore (1 m)

Si conclude che tali cedimenti si esauriranno praticamente all'atto dell'applicazione dei carichi, e quindi non risultano essere necessarie dettagliate analisi di consolidazione. Inoltre, considerata la natura dei terreni i cedimenti secondari sono trascurabili.

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

Per quanto concerne la deformabilità del terreno trattato con colonne di ghiaia, si può valutare un modulo equivalente dello strato trattato con colonne come media pesata fra l'area delle colonne e quella del terreno naturale.

Assumendo per le colonne un valore del modulo $E'=60$ MPa, ed un'area di competenza di ciascuna colonna $D=800$ mm pari a 4 m² (maglia 2x2), si ottiene un modulo equivalente pari a:

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3100001B	Foglio 50 di 95

$$E'_{eq} = (5 \cdot 3.5 + 60 \cdot 0.5) / 4 \approx 12 \text{ MPa.}$$

Considerate le caratteristiche dello strato migliorato con colonne di ghiaia (che arrivano a 5 m pc), e il fatto che la sezione interessata dalle colonne presenta altezze minori (dell'ordine di 2 m) rispetto alla sezione analizzata, l'analisi sopra riportata può essere considerata valida anche per la sezione trattata con colonne di ghiaia.

Considerando la presenza delle colonne di ghiaia D=800 a maglia quadrata con lato 2 m, se ne deduce che i massimi percorsi di drenaggio saranno dell'ordine del metro. In tali condizioni di drenaggio, e considerando la natura dei terreni, con prevalenza di componente sabbiosa, i cedimenti si esauriranno praticamente all'atto dell'applicazione dei carichi, e quindi non risultano essere necessarie dettagliate analisi di consolidazione.

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

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

La verifica SLE è quindi da considerarsi soddisfatta.

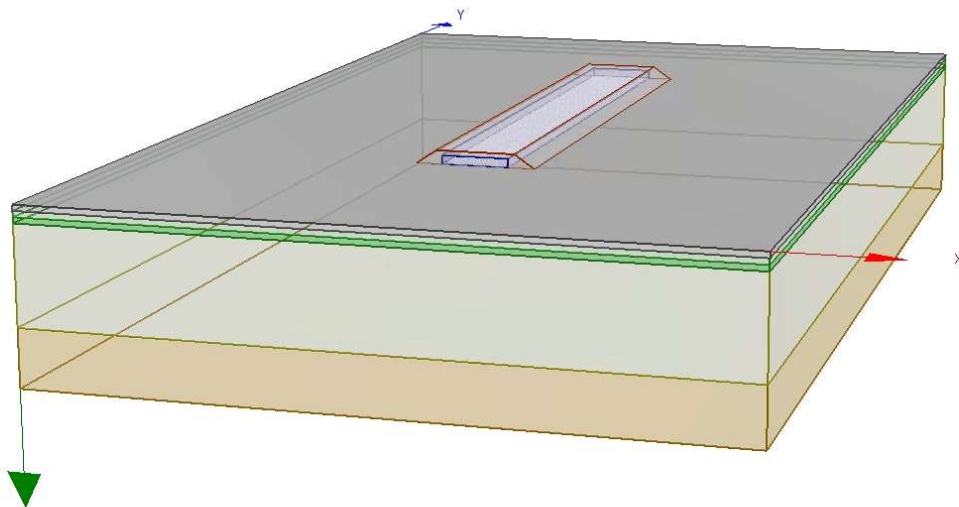


Figura 25 – Rilevato RI31 H=2.40 m - Analisi SLE – Modello di calcolo



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI3100001B

Foglio

51 di 95

Ri31 : Cedimento del rilevato ferroviario linea AV

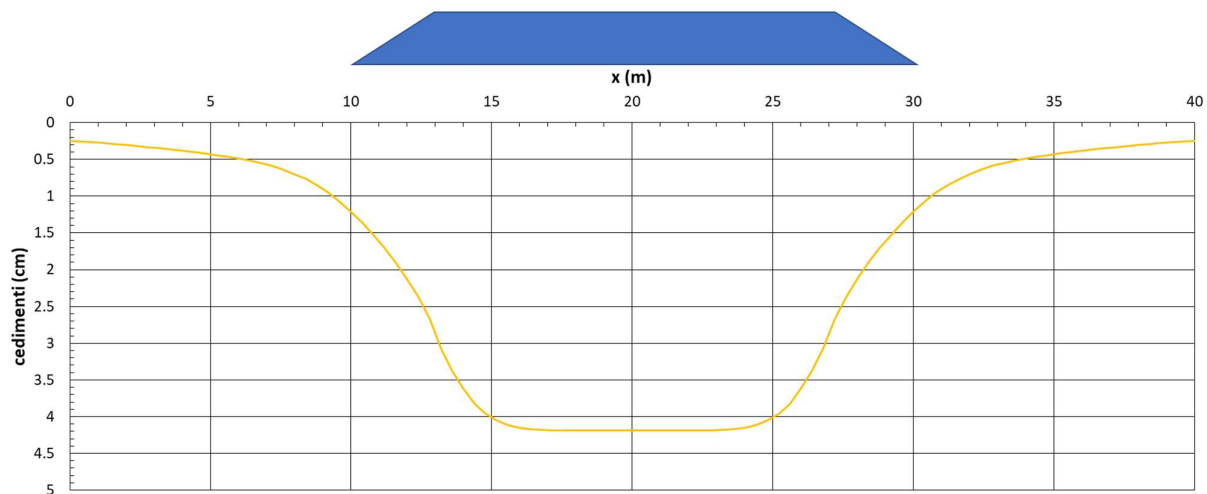


Figura 26 - Rilevato RI31 - Analisi SLE – Risultato Cedimenti



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI3100001B

Foglio

52 di 95

Ri31: Cedimento al centro del rilevato ferroviario

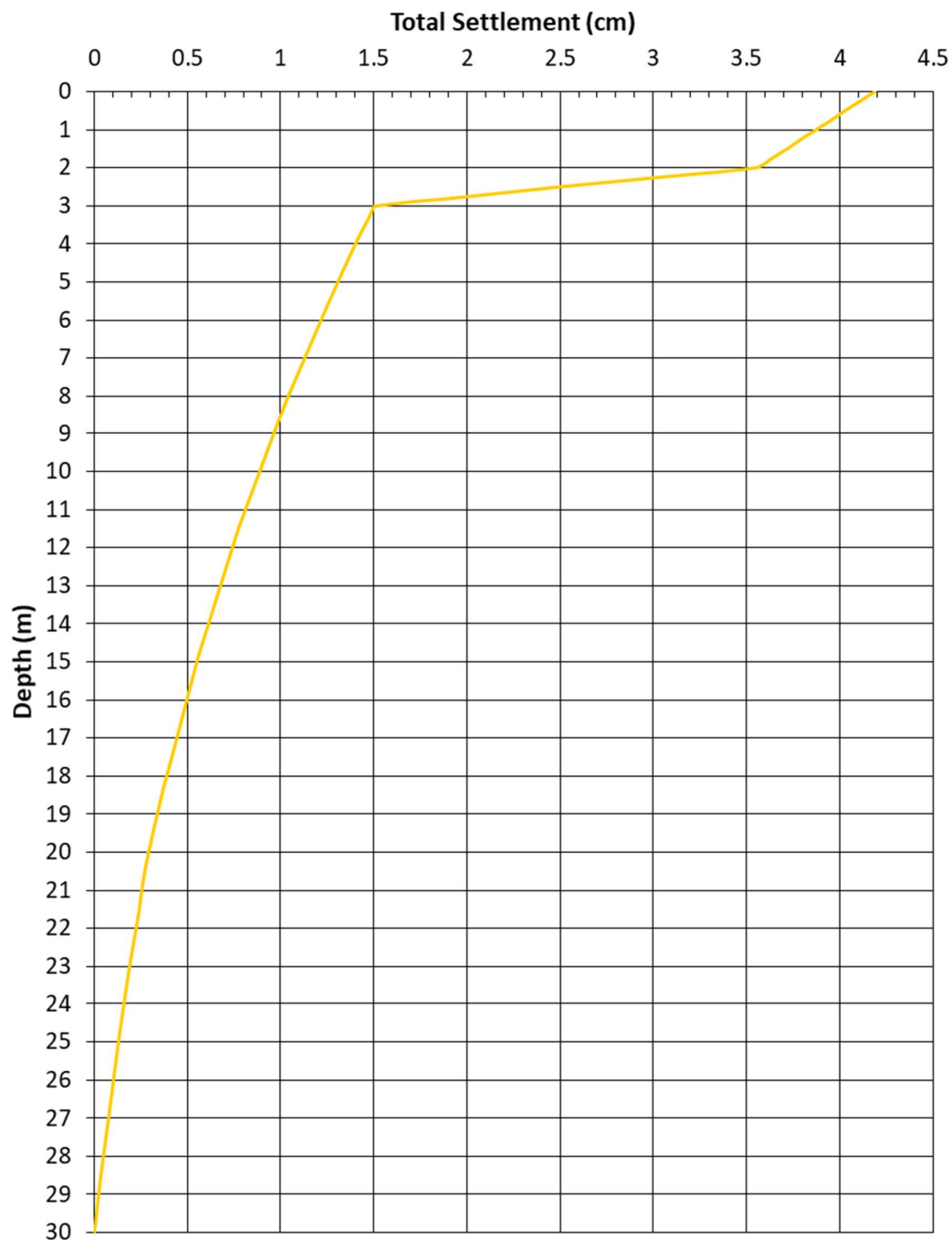




Figura 27 - Rilevato RI31 - Analisi SLE – Risultato cedimenti in profondità al centro del rilevato

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3100001B	Foglio 53 di 95

7 CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI

In conclusione, il rilevato oggetto di questa analisi risulta stabile e i cedimenti attesi sono limitati e non differiti nel tempo. Non si evidenziano criticità di tipo geotecnico e pertanto non è previsto un monitoraggio.

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI3100001B

Foglio

54 di 95

ALLEGATI

GENERAL CONTRACTOR

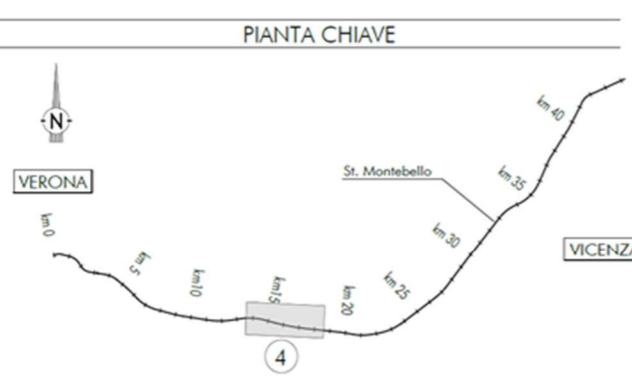
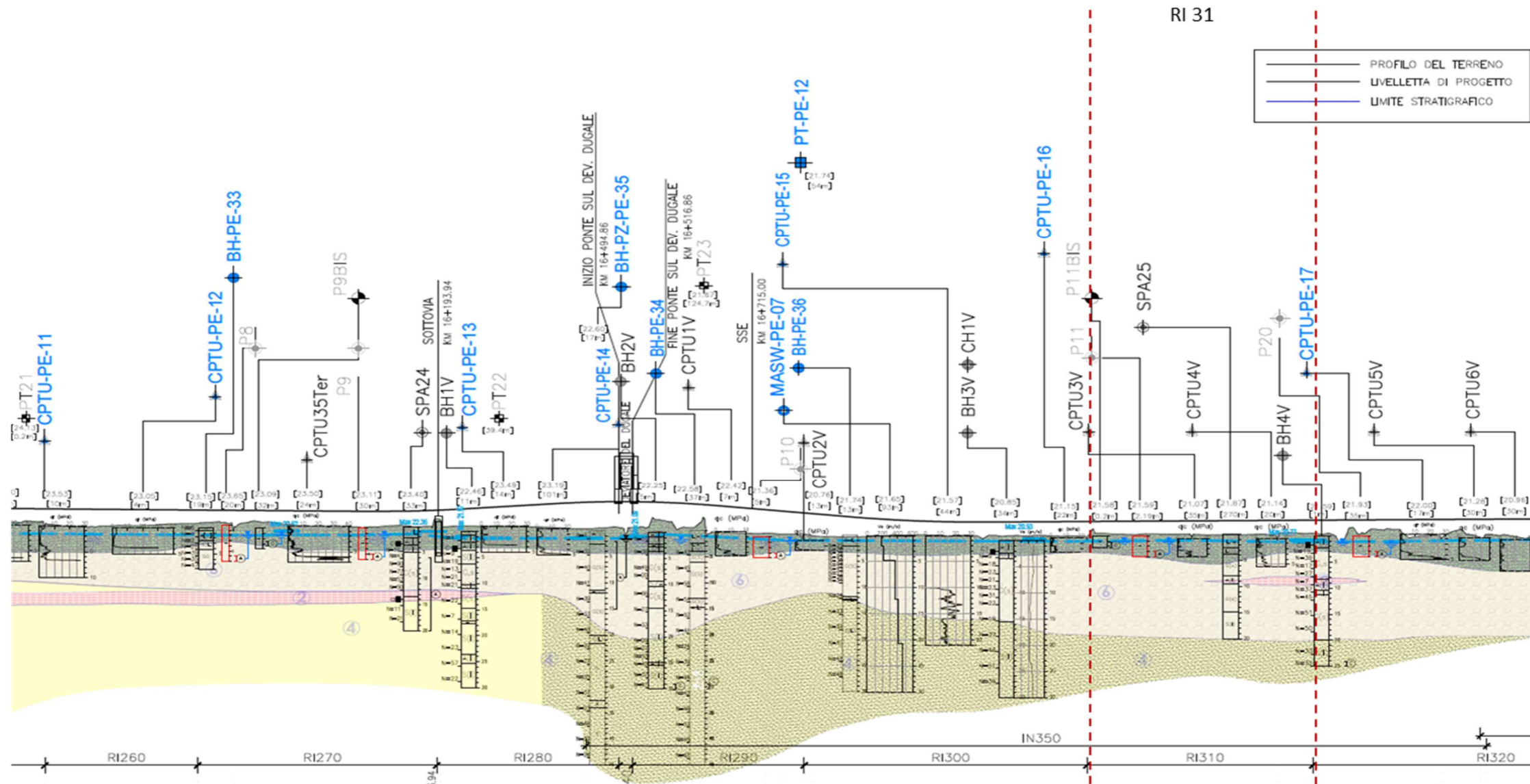


ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI3100001B	55 di 95

ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO



LEGENDA

Campagna indagini integrative PE

- BH-PE-A Sondaggio a carotaggio continuo
- BH-PZ-PE-A Sondaggio a carotaggio continuo con l'installazione di piezometro a tubo aperto o Casagrande
- MASW-PE-A Prova piezometrica statica con piezometro
- CPTU-PE-A Sondaggio geognostico
- P1-P15, P20 Sondaggio a carotaggio continuo con installazione di Piezometro a Tubo Aperto (A)
- P1-15BH Fori a distribuzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C)

Campagna indagini 2015

- SP Sondaggio a carotaggio continuo
- SPC Sondaggio a carotaggio continuo (SP) con installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
- SPA Fori a distribuzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
- SOC Fori a distribuzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
- CPTU Prova penetrometrica statica con piezometro (possibilità di avanzamento con trivellazione)
- CPTU-A Prova penetrometrica statica con piezometro "tradizionale"
- CH Fori a distribuzione di nucleo per esecuzione prove CROSS-HOLE
- PT Pizzetto esplorativo a 1,5 m da p.c. con prove di carico su piastra
- Profondità delle indagini

Campagna indagini 2014

- PT-PE-A Pizzetto esplorativo
- BH-DH-PE-A Sondaggio con esecuzione di prove down hole
- DH-PE-A Sondaggio con esecuzione di prove cross hole
- Indagini artificiali
- Nota per PE in blu le indagini disponibili e con coordinate artit. in rosso indagini ancora non disponibili o con coordinate non note

Campagna indagini pregresse

- IN Sondaggio geognostico (campagna 1998)
- IN350 Sondaggio geognostico, numero di riferimento (campagna 2002)
- IN350-2002 CPTU, numero di riferimento (campagna 2002)
- IN350-2002-2002 Pozzo con stratigrafia, numero di riferimento (Dati ex Aziende Industriali Municipalizzate (VI) per gentile concessione Centro Idrico Novoledo s.r.l.)

Asse di progetto

- Asse di progetto
- confine di Provincia
- Confine Comunale

Classi dei terreni

- 1 Riporto
- 2 Limi argillosi e limi da compatte a molto compatte, generalmente sovraconsolidati
- 3a Area con prevalenza di sabbie limose/ con limo e limi sabbiosi/ con sabbia, a comportamento drenato, da soffici a mediamente addensati
- 3b Area con prevalenza di limi argillosi e argille limose, da tenere a mediamente compatte, generalmente NC o debolmente OC
- 3c Area d'altamarea, sia in verticale che planimetrica, di materiali 3a e 3b
- 4 Sabbie generalmente da debolmente limose a limose, da mediamente addensati a molto addensati
- 6 Ghiaie, ghiaie con sabbie, con presenza locale di ciottoli, anche di grandi dimensioni (fino a 80/100mm)

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3100001B	Foglio 57 di 95
---	------------------	-------------	-----------------------------	--------------------

ALLEGATO 2 - SONDAGGI



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBR13100001B

Foglio
58 di 95

RILIEVO ACQUA IN FORO DURANTE LA PERFORAZIONE		NOTE	
INIZIO	FINE	DATA	CONTENUTO
07/03	3.50	08/03/2015	ATTREZZATURA PER SPT MAGLIORINZI A SONDAGGIAMENTO AUTOMATICO 63.3 Kg ASO MAGLIO DIA METRO ASTE 50 mm DIAMETRO ASTE 7.2 kg/m UNITA Regolatore PIUNTA CONICA CRUSON
<input type="checkbox"/> CAMPIONE RIMANEGGIATO <input checked="" type="checkbox"/> CAMPIONE RIMANEGGIATO DA S.P.T. <input checked="" type="checkbox"/> CAMPIONE RIMANEGGIATO DA VANE TEST <input type="checkbox"/> SPEZZIONE DI CAROTA <input type="checkbox"/> CAMPIONE INDISTURBATO PARETI SOTTILI <input checked="" type="checkbox"/> CAMPIONE INDISTURBATO A RISTONE <input checked="" type="checkbox"/> CAMPIONE INDISTURBATO ROTATIVO			
<input type="checkbox"/> T.C.N. % <input type="checkbox"/> S.C.F.R. % <input type="checkbox"/> R.Q.D. % <input type="checkbox"/> DIMENSIONE SPIZZIONE		PERMEAB. LEFRANC VANE TEST PROVE STRUMENTAZIONE PIEZOMETRO CASAGRANDE CEMENTAZIONE IDOPPIO LUSO IN PVC Ø 127	
MANOVRA DI IN FORO T.C.N. % S.C.F.R. % R.Q.D. % DIMENSIONE SPIZZIONE		PERMEAB. LUZEON METODO DI CAROTAGGIO CONTINUO A SECCO CAROTIERE SEMPLICE Ø 101 mm DATA 07/03/2015 5.00 07/03/2015	
MANOVRA DI IN FORO T.C.N. % S.C.F.R. % R.Q.D. % DIMENSIONE SPIZZIONE		AGGOTTAMENTO IDRICO: N° 3 GIORNI ROZZETTO IN CALCESTRUZZO CON CHIUSINO CARROBBILE IN GHISA DIM. 30X30 cm	

SCHEDE DI SONDAGGIO		COM. cno1715	
PROFONDITA' (m)	TIPO	PROFONDITA' (m)	TIPO
0.40	Terreno vegetale.	1.5	0.80
2.30	Argilla debolmente limosa con resti vegetali sparsi; marone.	1.8	0.30
2.60	Sabbia fine limosa grigia.	7	3.00
5.00	Ghiglia eterometrica ed argilla con sabbia grossa, classi da arrotondali a sub-arrotondali, Ømax=5 cm. Da -3.00 m a -3.50 m da p.c. livello di sabbia eterometrica limosa.	12	3.45
6.80	Sabbia medio fine grigia con ghiglia fine sub-arrotondata.	12	4.50
8.00	Ghiglia fine con sabbia medio fine. Classi poligenici, arrotondali	12	4.95
8.30	SS205 medio fine grigia.	8	6.00
10.40	Argilla limosa e debolmente limosa ghiglia con fustoli vegetali sparsi. Tra -9.60 m e -9.80 m da p.c. livello di torba.	8	6.45
11.30	Limo sabbioso ghiglia pesante a -10.60 m da p.c. a sabbia ghigliosa. Classi arrotondali, poligenici, Ømax=7 cm.	7.50	7.95
		9	9.00
		9.45	0.5
		10.50	10.50
		10.95	10.95
		12.00	12.00
		12.45	12.45
		13.50	13.50
		14.00	14.00
		15.00	15.00
		15.45	15.45
		18.00	18.00
		18.45	18.45
		20.00	20.00



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17



Lotto
12

Codifica
EI2RBR13100001B

Foglio
59 di 95

Table with columns for PROVE, RILEVIO ACQUA IN FORO DURANTE LA PERFORAZIONE, and NOTE. Includes details on sampling and permeability tests.

SCHEDA DI SONDAGGIO (Soil Log) table with columns for depth (m), soil type, water content, and penetration resistance. Includes descriptive text for soil layers.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI3100001B</p>	<p>Foglio 60 di 95</p>

ALLEGATO 3 - TABULATI DI SLIDE – SEZIONE A – ANALISI SLU STATICA



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI3100001B

Foglio

61 di 95



Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: R131_scotico_stat
Slide Modeler Version: 7.029
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Date Created: 17/03/2021, 17:14:01

General Settings

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

Design Standard

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

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

Analysis Options

Slices Type: Vertical

Analysis Methods Used

Bishop simplified

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

Groundwater Analysis



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI3100001B

Foglio

62 di 95



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]: 1.5
Minimum Area: Not Defined
Minimum Weight: Not Defined

Seismic

Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No

Loading

3 Distributed Loads present

Distributed Load 1

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

Distributed Load 2

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

Distributed Load 3

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

Material Properties

Property	Rilevato	Unità3a_comp	Unità6	Unità4	scotico	3a	3b
Color							
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Undrained
Unit Weight [kN/m ³]	20	18	19	19	20	18	18
Cohesion [kPa]	0	0	0	0	0	0	0
Friction Angle [deg]	38	36	39	38	36	34	25
Cohesion Type							
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	0	1	1	1	1	0



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI3100001B

Foglio

63 di 95



Global Minimums

Method: bishop simplified

FS	1.301740
Center:	35.795, 27.285
Radius:	8.986
Left Slip Surface Endpoint:	27.611, 23.573
Right Slip Surface Endpoint:	42.498, 21.300
Resisting Moment:	4257.4 kN-m
Driving Moment:	3270.56 kN-m
Total Slice Area:	52.3602 m2
Surface Horizontal Width:	14.8874 m
Surface Average Height:	3.5171 m

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces:	1787
Number of Invalid Surfaces:	0

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.30174



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
E12RBR13100001B

Foglio
64 di 95

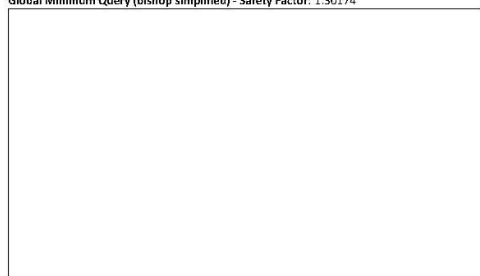


SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 4 of 7

Table with 14 columns: 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].

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.30174





Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI3100001B

65 di 95



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

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	27.6106	23.5732	0	0	0
2	27.9067	22.9795	23.0402	0	0
3	28.2028	22.4766	45.1233	0	0
4	28.499	22.0382	65.9957	0	0
5	28.7951	21.6492	85.4915	0	0
6	29.0912	21.3	103.493	0	0
7	29.1818	21.2	109.104	0	0
8	29.5015	20.87	127.256	0	0
9	29.8211	20.5713	136.005	0	0
10	30.1407	20.3	144.535	0	0
11	30.447	20.0629	150.654	0	0
12	30.7532	19.8459	155.904	0	0
13	31.0594	19.6473	160.213	0	0
14	31.3657	19.4657	164.468	0	0
15	31.6719	19.3	168.581	0	0
16	31.9765	19.15	190.249	0	0
17	32.281	19.0139	209.955	0	0
18	32.5856	18.891	227.696	0	0
19	32.8901	18.7808	243.47	0	0
20	33.1947	18.6828	257.275	0	0
21	33.4992	18.5966	269.108	0	0
22	33.8038	18.5218	278.967	0	0
23	34.1083	18.4581	283.904	0	0
24	34.4129	18.4054	285.59	0	0
25	34.7174	18.3633	286.143	0	0
26	35.022	18.3318	285.546	0	0
27	35.3265	18.3107	283.782	0	0
28	35.6311	18.3	280.8	0	0
29	35.9581	18.3	276.315	0	0
30	36.2626	18.3107	271.047	0	0
31	36.5672	18.3318	264.719	0	0
32	36.8717	18.3633	257.326	0	0
33	37.1763	18.4054	248.864	0	0
34	37.4808	18.4581	239.352	0	0
35	37.7854	18.5218	228.992	0	0
36	38.0899	18.5966	217.911	0	0
37	38.3945	18.6828	206.206	0	0
38	38.699	18.7808	193.981	0	0
39	39.0036	18.891	181.35	0	0
40	39.3081	19.0139	168.433	0	0
41	39.6127	19.15	155.362	0	0
42	39.9172	19.3	142.284	0	0
43	40.2235	19.4657	124.077	0	0
44	40.5297	19.6473	107.435	0	0
45	40.8359	19.8459	92.7681	0	0
46	41.1422	20.0629	79.2001	0	0
47	41.4484	20.3	66.5517	0	0
48	41.7681	20.5713	57.9914	0	0
49	42.0877	20.87	51.3734	0	0
50	42.4073	21.2	47.6104	0	0
51	42.498	21.3	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-1.076	21.2
61.955	21.2

Distributed Load

X	Y
35.5534	23.5732
25.1761	23.5732

Distributed Load

X	Y



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI3100001B

Foglio

66 di 95



X	Y
29.4776	23.5732
26.8439	23.5732

Distributed Load

X	Y
33.932	23.5732
31.2629	23.5732

External Boundary

X	Y
40.7561	21.3
37.348	23.5732
23.408	23.5732
20	21.3
16	21.3
0	21.3
0	19.3
0	18.3
0	1.3
0	0
60.7561	0
60.7561	1.3
60.7561	18.3
60.7561	19.3
60.7561	21.3
44.7561	21.3

Material Boundary

X	Y
20	21.3
40.7561	21.3

Material Boundary

X	Y
0	1.3
60.7561	1.3

Material Boundary

X	Y
16	21.3
18	20.3
42.7561	20.3
42.7561	19.3

Material Boundary

X	Y
0	19.3
18	19.3
42.7561	19.3
60.7561	19.3

Material Boundary

X	Y
0	18.3
60.7561	18.3

Material Boundary

X	Y
42.7561	20.3
44.7561	21.3

Material Boundary

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI3100001B



Foglio

67 di 95



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

X	Y
18	19.3
18	20.3

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI3100001B</p>	<p>Foglio 68 di 95</p>

ALLEGATO 4 - TABULATI DI SLIDE – SEZIONE A – ANALISI SLU POST SISMA



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI3100001B

Foglio

69 di 95



Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: RI31_A_post
Slide Modeler Version: 7.029
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Date Created: 17/03/2021, 17:14:01

General Settings

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

Design Standard

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

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

Analysis Options

Slices Type: Vertical

Analysis Methods Used

Bishop simplified

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

Groundwater Analysis



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI3100001B

Foglio

70 di 95



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]: 1.5
Minimum Area: Not Defined
Minimum Weight: Not Defined

Seismic

Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No

Loading

3 Distributed Loads present

Distributed Load 1

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

Distributed Load 2

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

Distributed Load 3

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

Material Properties





Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI3100001B

Foglio

71 di 95



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

Property	Rilevato	Unità3a_comp	Unità6	Unità4	scotico	3a_jiq	3b
Color							
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Undrained
Unit Weight [kN/m3]	20	18	19	19	20	18	18
Cohesion [kPa]	0	0	0	0	0	0	0
Friction Angle [deg]	38	36	39	38	36	5.7	25
Cohesion Type							
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	0	1	1	1	1	0

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS	1.385790
Center:	40.231, 24.947
Radius:	3.994
Left Slip Surface Endpoint:	36.481, 23.573
Right Slip Surface Endpoint:	41.859, 21.300
Resisting Moment:	215.84 kN-m
Driving Moment:	155.752 kN-m
Total Slice Area:	4.8454 m2
Surface Horizontal Width:	5.37719 m
Surface Average Height:	0.901104 m

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces:	1050
Number of Invalid Surfaces:	0

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.38579





Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBR13100001B

Foglio
72 di 95



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

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Angle of Slice Base [degrees]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]	Base Vertical Stress [kPa]	Effective Vertical Stress [kPa]
1	0.10614	0.276813	-67.8546	Rilevato	0	32.0066	0.558933	0.774564	1.23925	0	1.23925	2.61261	2.61261
2	0.10614	0.785549	-64.0917	Rilevato	0	32.0066	1.73371	2.40256	3.84393	0	3.84393	7.41306	7.41306
3	0.10614	1.21896	-60.7888	Rilevato	0	32.0066	2.87138	3.97913	6.36632	0	6.36632	11.5017	11.5017
4	0.10614	1.59934	-57.7997	Rilevato	0	32.0066	3.96554	5.4954	8.79222	0	8.79222	15.0893	15.0893
5	0.10614	1.93937	-55.0419	Rilevato	0	32.0066	5.01597	6.95108	11.1212	0	11.1212	18.2959	18.2959
6	0.10614	2.24714	-52.4633	Rilevato	0	32.0066	6.02439	8.34854	13.357	0	13.357	21.1978	21.1978
7	0.10614	2.52816	-50.0284	Rilevato	0	32.0066	6.99304	9.69089	15.5047	0	15.5047	23.8471	23.8471
8	0.10614	2.78641	-47.7116	Rilevato	0	32.0066	7.92422	10.9813	17.5693	0	17.5693	26.2815	26.2815
9	0.10614	2.9726	-45.4939	Rilevato	0	32.0066	8.66762	12.0115	19.2176	0	19.2176	28.036	28.036
10	0.10614	3.04538	-43.3605	Rilevato	0	32.0066	9.08457	12.5893	20.142	0	20.142	28.7209	28.7209
11	0.10614	3.10045	-41.2998	Rilevato	0	32.0066	9.44508	13.0889	20.9412	0	20.9412	29.2389	29.2389
12	0.10614	3.14136	-39.3024	Rilevato	0	32.0066	9.75819	13.5228	21.6355	0	21.6355	29.6232	29.6232
13	0.10614	3.1693	-37.3605	Rilevato	0	32.0066	10.0265	13.8946	22.2304	0	22.2304	29.8853	29.8853
14	0.10614	3.18529	-35.4678	Rilevato	0	32.0066	10.2521	14.2073	22.7307	0	22.7307	30.0347	30.0347
15	0.10614	3.19017	-33.6186	Rilevato	0	32.0066	10.4369	14.4634	23.1403	0	23.1403	30.0795	30.0795
16	0.10614	3.18466	-31.8084	Rilevato	0	32.0066	10.5823	14.6649	23.4628	0	23.4628	30.0263	30.0263
17	0.10614	3.16938	-30.033	Rilevato	0	32.0066	10.6898	14.8138	23.701	0	23.701	29.881	29.881
18	0.10614	3.14485	-28.2889	Rilevato	0	32.0066	10.7604	14.9116	23.8575	0	23.8575	29.6487	29.6487
19	0.10614	3.11155	-26.573	Rilevato	0	32.0066	10.795	14.9596	23.9342	0	23.9342	29.3336	29.3336
20	0.10614	3.06986	-24.8824	Rilevato	0	32.0066	10.7944	14.9588	23.9329	0	23.9329	28.9395	28.9395
21	0.122892	3.49151	-23.0848	scotico	0	30.1666	10.1143	14.0163	24.1147	0	24.1147	28.4256	28.4256
22	0.122892	3.41294	-21.1811	scotico	0	30.1666	10.0244	13.8917	23.9004	0	23.9004	27.7848	27.7848
23	0.106262	2.87909	-19.4275	scotico	0	30.1666	9.8367	13.6316	23.6366	0.18383	23.4527	27.1059	26.9221
24	0.106262	2.80458	-17.8186	scotico	0	30.1666	9.56083	13.2493	23.3303	0.53519	22.7951	26.4034	25.8682
25	0.106262	2.7231	-16.2241	scotico	0	30.1666	9.26324	12.8369	22.9399	0.854384	22.0855	25.6353	24.7809
26	0.106262	2.63483	-14.6424	scotico	0	30.1666	8.944	12.3945	22.4667	1.14223	21.3244	24.8035	23.6612
27	0.106262	2.53992	-13.072	scotico	0	30.1666	8.60325	11.9223	21.9115	1.39943	20.5121	23.9091	22.5097
28	0.106262	2.4385	-11.5116	scotico	0	30.1666	8.24115	11.4205	21.2752	1.6266	19.6486	22.9537	21.3271
29	0.106262	2.3307	-9.95982	scotico	0	30.1666	7.85754	10.8889	20.5584	1.82428	18.7341	21.9382	20.1139
30	0.106262	2.2166	-8.41538	scotico	0	30.1666	7.45236	10.3274	19.761	1.99292	17.7681	20.8635	18.8706
31	0.106262	2.0963	-6.87708	scotico	0	30.1666	7.02546	9.73581	18.8831	2.13289	16.7502	19.7304	17.5976
32	0.106262	1.96985	-5.34374	scotico	0	30.1666	6.57659	9.11377	17.9245	2.2445	15.68	18.5397	16.2952
33	0.106262	1.83731	-3.81424	scotico	0	30.1666	6.10541	8.46082	16.8847	2.32801	14.5566	17.2917	14.9637
34	0.106262	1.69871	-2.28746	scotico	0	30.1666	5.61153	7.7764	15.7627	2.38358	13.3791	15.9868	13.6033
35	0.106262	1.5541	-0.762308	scotico	0	30.1666	5.09443	7.05981	14.5575	2.41133	12.1462	14.6253	12.214
36	0.106262	1.40347	0.762308	scotico	0	30.1666	4.55355	6.31026	13.268	2.41133	10.8567	13.2074	10.7961
37	0.106262	1.24682	2.28746	scotico	0	30.1666	3.98817	5.52677	11.8922	2.38358	9.50865	11.7329	9.34934
38	0.106262	1.08415	3.81424	scotico	0	30.1666	3.39751	4.70823	10.4284	2.32801	8.10036	10.2019	7.87385
39	0.106262	0.915435	5.34374	scotico	0	30.1666	2.78062	3.85335	8.8741	2.2445	6.6296	8.61401	6.36951
40	0.106262	0.74091	6.87708	scotico	0	30.1666	2.13761	2.96228	7.22943	2.13289	5.09654	6.97162	4.83873
41	0.106262	0.64427	8.41538	scotico	0	30.1666	1.81963	2.52163	6.33133	1.99292	4.33841	6.06213	4.06921
42	0.106262	0.607737	9.95982	scotico	0	30.1666	1.76305	2.44322	6.02778	1.82428	4.2035	5.71818	3.8939
43	0.106262	0.564911	11.5116	scotico	0	30.1666	1.69152	2.34409	5.65955	1.6266	4.03295	5.31505	3.68845
44	0.106262	0.515696	13.072	scotico	0	30.1666	1.60425	2.22315	5.2243	1.39943	3.82487	4.85181	3.45238
45	0.106262	0.459976	14.6424	scotico	0	30.1666	1.50034	2.07916	4.71937	1.14223	3.57714	4.32738	3.18515
46	0.106262	0.397618	16.2241	scotico	0	30.1666	1.37879	1.91071	4.14172	0.854384	3.28734	3.74052	2.88613
47	0.106262	0.328468	17.8186	scotico	0	30.1666	1.23841	1.71617	3.48782	0.53519	2.95263	3.08977	2.55458
48	0.106262	0.252349	19.4275	scotico	0	30.1666	1.07785	1.49367	2.75366	0.18383	2.56983	2.3735	2.18967
49	0.122892	0.187263	21.1811	scotico	0	30.1666	0.762648	1.05687	1.81833	0	1.81833	1.52281	1.52281
50	0.122892	0.0643707	23.0848	scotico	0	30.1666	0.267321	0.370451	0.637352	0	0.637352	0.523413	0.523413

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.38579

--



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI3100001B

Foglio

73 di 95



Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	36.4813	23.5732	0	0	0
2	36.5875	23.3124	0.264068	0	0
3	36.6936	23.0939	0.920595	0	0
4	36.7997	22.904	1.82536	0	0
5	36.9059	22.7355	2.88776	0	0
6	37.012	22.5837	4.04559	0	0
7	37.1182	22.4455	5.25347	0	0
8	37.2243	22.3189	6.47694	0	0
9	37.3304	22.2022	7.68892	0	0
10	37.4366	22.0942	8.84726	0	0
11	37.5427	21.994	9.90516	0	0
12	37.6489	21.9007	10.8587	0	0
13	37.755	21.8139	11.7062	0	0
14	37.8611	21.7328	12.447	0	0
15	37.9673	21.6572	13.0814	0	0
16	38.0734	21.5866	13.6103	0	0
17	38.1796	21.5208	14.0355	0	0
18	38.2857	21.4594	14.359	0	0
19	38.3918	21.4023	14.5836	0	0
20	38.498	21.3492	14.7123	0	0
21	38.6041	21.3	14.7486	0	0
22	38.727	21.2476	14.7729	0	0
23	38.8499	21.2	14.6893	0	0
24	38.9562	21.1625	14.5274	0	0
25	39.0624	21.1284	14.3117	0	0
26	39.1687	21.0974	14.04	0	0
27	39.275	21.0697	13.7165	0	0
28	39.3812	21.045	13.3461	0	0
29	39.4875	21.0234	12.9337	0	0
30	39.5937	21.0047	12.4852	0	0
31	39.7	20.989	12.0066	0	0
32	39.8063	20.9762	11.5046	0	0
33	39.9125	20.9662	10.9862	0	0
34	40.0188	20.9591	10.4593	0	0
35	40.1251	20.9549	9.93189	0	0
36	40.2313	20.9535	9.41295	0	0
37	40.3376	20.9549	8.91195	0	0
38	40.4438	20.9591	8.43911	0	0
39	40.5501	20.9662	8.00542	0	0
40	40.6564	20.9762	7.62274	0	0
41	40.7626	20.989	7.3037	0	0
42	40.8689	21.0047	7.01146	0	0
43	40.9751	21.0234	6.71227	0	0
44	41.0814	21.045	6.41065	0	0
45	41.1877	21.0697	6.11185	0	0
46	41.2939	21.0974	5.82193	0	0
47	41.4002	21.1284	5.54785	0	0
48	41.5065	21.1625	5.29757	0	0
49	41.6127	21.2	5.08022	0	0
50	41.7356	21.2476	4.90022	0	0
51	41.8585	21.3	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-1.076	21.2
61.955	21.2

Distributed Load

X	Y
35.5534	23.5732
25.1761	23.5732

Distributed Load



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI3100001B

Foglio

74 di 95



X	Y
29.4776	23.5732
26.8439	23.5732

Distributed Load

X	Y
33.932	23.5732
31.2629	23.5732

External Boundary

X	Y
40.7561	21.3
37.348	23.5732
23.408	23.5732
20	21.3
16	21.3
0	21.3
0	19.3
0	18.3
0	1.3
0	0
60.7561	0
60.7561	1.3
60.7561	18.3
60.7561	19.3
60.7561	21.3
44.7561	21.3

Material Boundary

X	Y
20	21.3
40.7561	21.3

Material Boundary

X	Y
0	1.3
60.7561	1.3

Material Boundary

X	Y
16	21.3
18	20.3
42.7561	20.3
42.7561	19.3

Material Boundary

X	Y
0	19.3
18	19.3
42.7561	19.3
60.7561	19.3

Material Boundary

X	Y
0	18.3
60.7561	18.3

Material Boundary

X	Y
42.7561	20.3
44.7561	21.3

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI3100001B

Foglio

75 di 95



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

Material Boundary

X	Y
18	19.3
18	20.3

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI3100001B</p>	<p>Foglio 76 di 95</p>

ALLEGATO 5- TABULATI DI SLIDE – SEZIONE A – ANALISI SLU IN CAMPO SISMICO



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI3100001B

Foglio

77 di 95

SLIDEINTERPRET 7.038



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

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: RI31_A_sism
Slide Modeler Version: 7.038
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Date Created: 17/03/2021, 17:14:01

General Settings

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

Design Standard

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

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

Analysis Options

Slices Type: Vertical

Analysis Methods Used

Bishop simplified

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

Groundwater Analysis



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI3100001B

Foglio

78 di 95

SLIDEINTERPRET 7.038



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

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

Random Numbers

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

Surface Options

Surface Type: Circular
Search Method: Auto Refine Search
Divisions along slope: 10
Circles per division: 10
Number of iterations: 10
Divisions to use in next iteration: 50%
Composite Surfaces: Disabled
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth [m]: 1.6
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): -0.042

3 Distributed Loads present

Distributed Load 1

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

Distributed Load 2

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

Distributed Load 3

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

Material Properties





Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI3100001B

Foglio

79 di 95

SLIDEINTERPRET 7.038



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

Property	Rilevato	Unità3a_comp	Unità6	Unità4	scotico	3a	3b
Color							
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Undrained
Unit Weight [kN/m ³]	20	18	19	19	20	18	18
Cohesion [kPa]	0	0	0	0	0	0	0
Friction Angle [deg]	38	36	39	38	36	34	
Cohesion Type							25
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	0	1	1	1	1	0

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS	1.171670
Center:	40.315, 25.057
Radius:	4.213
Left Slip Surface Endpoint:	36.372, 23.573
Right Slip Surface Endpoint:	42.221, 21.300
Resisting Moment:	233.486 kN-m
Driving Moment:	199.277 kN-m
Total Slice Area:	5.52999 m ²
Surface Horizontal Width:	5.84874 m
Surface Average Height:	0.9455 m

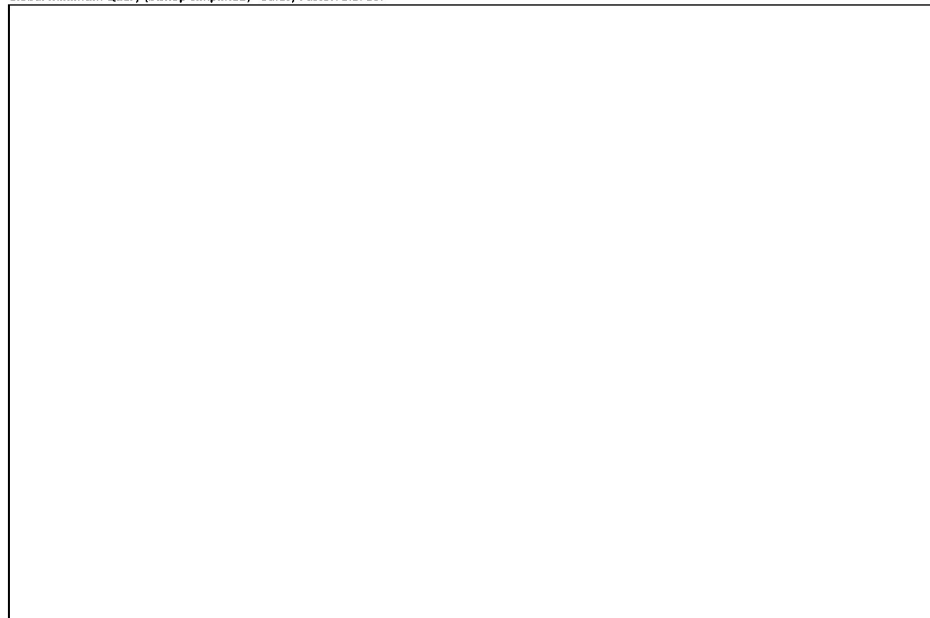
Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces:	1031
Number of Invalid Surfaces:	0

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.17167





Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI3100001B

81 di 95

SLIDEINTERPRET 7.038



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

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	36.3722	23.5732	0	0	0
2	36.492	23.2872	0.296226	0	0
3	36.6119	23.0485	1.03521	0	0
4	36.7317	22.8418	2.05544	0	0
5	36.8515	22.6588	3.25455	0	0
6	36.9714	22.4944	4.56157	0	0
7	37.0912	22.3452	5.9243	0	0
8	37.211	22.2088	7.3027	0	0
9	37.3309	22.0835	8.66501	0	0
10	37.4507	21.9679	9.96042	0	0
11	37.5706	21.861	11.1354	0	0
12	37.6904	21.7619	12.1855	0	0
13	37.8102	21.6699	13.1088	0	0
14	37.9301	21.5845	13.9044	0	0
15	38.0499	21.5051	14.5728	0	0
16	38.1697	21.4315	15.1152	0	0
17	38.2896	21.3632	15.5338	0	0
18	38.4094	21.3	15.8314	0	0
19	38.5152	21.2482	16.0894	0	0
20	38.621	21.2	16.2576	0	0
21	38.7378	21.1508	16.3562	0	0
22	38.8546	21.1056	16.3792	0	0
23	38.9715	21.0644	16.3291	0	0
24	39.0883	21.0269	16.209	0	0
25	39.2052	20.9932	16.023	0	0
26	39.322	20.9631	15.7756	0	0
27	39.4389	20.9365	15.4719	0	0
28	39.5557	20.9134	15.118	0	0
29	39.6725	20.8936	14.7203	0	0
30	39.7894	20.8773	14.286	0	0
31	39.9062	20.8642	13.8229	0	0
32	40.0231	20.8545	13.3396	0	0
33	40.1399	20.848	12.8456	0	0
34	40.2568	20.8447	12.3509	0	0
35	40.3736	20.8447	11.8665	0	0
36	40.4904	20.848	11.4045	0	0
37	40.6073	20.8545	10.9778	0	0
38	40.7241	20.8642	10.6007	0	0
39	40.841	20.8773	10.263	0	0
40	40.9578	20.8936	9.90525	0	0
41	41.0746	20.9134	9.52757	0	0
42	41.1915	20.9365	9.13463	0	0
43	41.3083	20.9631	8.73193	0	0
44	41.4252	20.9932	8.32602	0	0
45	41.542	21.0269	7.92453	0	0
46	41.6589	21.0644	7.53639	0	0
47	41.7757	21.1056	7.17203	0	0
48	41.8925	21.1508	6.84356	0	0
49	42.0094	21.2	6.56515	0	0
50	42.1152	21.2482	6.38943	0	0
51	42.2209	21.3	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-1.076	21.2
61.955	21.2

Distributed Load

X	Y
35.5534	23.5732
25.1761	23.5732

Distributed Load



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI3100001B

Foglio

82 di 95

SLIDEINTERPRET 7.038



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

X	Y
29.4776	23.5732
26.8439	23.5732

Distributed Load

X	Y
33.932	23.5732
31.2629	23.5732

External Boundary

X	Y
40.7561	21.3
37.348	23.5732
23.408	23.5732
20	21.3
16	21.3
0	21.3
0	19.3
0	18.3
0	1.3
0	0
60.7561	0
60.7561	1.3
60.7561	18.3
60.7561	19.3
60.7561	21.3
44.7561	21.3

Material Boundary

X	Y
20	21.3
40.7561	21.3

Material Boundary

X	Y
0	1.3
60.7561	1.3

Material Boundary

X	Y
16	21.3
18	20.3
42.7561	20.3
42.7561	19.3

Material Boundary

X	Y
0	19.3
18	19.3
42.7561	19.3
60.7561	19.3

Material Boundary

X	Y
0	18.3
60.7561	18.3

Material Boundary

X	Y
42.7561	20.3
44.7561	21.3

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI3100001B

Foglio

83 di 95

SLIDEINTERPRET 7.038



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

Material Boundary

X	Y
18	19.3
18	20.3

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3100001B	Foglio 84 di 95
---	------------------	-------------	-----------------------------	--------------------

ALLEGATO 6 - TABULATI DI SLIDE – SEZIONE B – ANALISI SLU POST SISMA



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI3100001B

Foglio

85 di 95



Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: RI31_B_post
Slide Modeler Version: 7.038
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Date Created: 17/03/2021, 17:14:01

General Settings

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

Design Standard

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

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

Analysis Options

Slices Type: Vertical

Analysis Methods Used

Bishop simplified

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

Groundwater Analysis



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI3100001B

Foglio

86 di 95



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]: 1.5
Minimum Area: Not Defined
Minimum Weight: Not Defined

Seismic

Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No

Loading

3 Distributed Loads present

Distributed Load 1

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

Distributed Load 2

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

Distributed Load 3

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

Material Properties

Property	Rilevato	Unità6	Unità4	COLONNE	scotico	3a_jiq
Color						
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m ³]	20	19	19	18	20	18
Cohesion [kPa]	0	0	0	0	0	0
Friction Angle [deg]	38	39	38	36	36	5.7
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1	1	1	1	1

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI3100001B

Foglio

87 di 95



Global Minimums

Method: bishop simplified

	FS	1.454410
Center:	40.260, 24.620	
Radius:	3.735	
Left Slip Surface Endpoint:	36.766, 23.300	
Right Slip Surface Endpoint:	41.971, 21.300	
Resisting Moment:	188.314 kN-m	
Driving Moment:	129.478 kN-m	
Total Slice Area:	4.6014 m2	
Surface Horizontal Width:	5.20542 m	
Surface Average Height:	0.883963 m	

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 904
Number of Invalid Surfaces: 0

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.45441





Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI3100001B

89 di 95



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 5 of 6

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	36.7659	23.3	0	0	0
2	36.8708	23.0502	0.252823	0	0
3	36.9757	22.8412	0.878816	0	0
4	37.0805	22.6599	1.73813	0	0
5	37.1854	22.4992	2.74331	0	0
6	37.2903	22.3547	3.8345	0	0
7	37.3951	22.2234	4.96821	0	0
8	37.5	22.1034	6.11147	0	0
9	37.6048	21.993	7.23846	0	0
10	37.7097	21.8911	8.32844	0	0
11	37.8146	21.7967	9.35707	0	0
12	37.9194	21.7092	10.2792	0	0
13	38.0243	21.6279	11.0891	0	0
14	38.1292	21.5523	11.7871	0	0
15	38.234	21.4821	12.3744	0	0
16	38.3389	21.4168	12.8528	0	0
17	38.4438	21.3562	13.2246	0	0
18	38.5486	21.3	13.4928	0	0
19	38.6535	21.248	13.7399	0	0
20	38.7584	21.2	13.889	0	0
21	38.862	21.1564	13.9529	0	0
22	38.9655	21.1164	13.9464	0	0
23	39.0691	21.0798	13.8721	0	0
24	39.1726	21.0466	13.7336	0	0
25	39.2762	21.0168	13.5345	0	0
26	39.3797	20.9901	13.2793	0	0
27	39.4833	20.9665	12.9728	0	0
28	39.5869	20.946	12.62	0	0
29	39.6904	20.9286	12.2268	0	0
30	39.794	20.9141	11.7993	0	0
31	39.8975	20.9025	11.344	0	0
32	40.0011	20.8939	10.8682	0	0
33	40.1047	20.8881	10.3795	0	0
34	40.2082	20.8852	9.88622	0	0
35	40.3118	20.8852	9.39715	0	0
36	40.4153	20.8881	8.92185	0	0
37	40.5189	20.8939	8.47062	0	0
38	40.6224	20.9025	8.05453	0	0
39	40.726	20.9141	7.68557	0	0
40	40.8296	20.9286	7.35614	0	0
41	40.9331	20.946	7.01607	0	0
42	41.0367	20.9665	6.66598	0	0
43	41.1402	20.9901	6.31061	0	0
44	41.2438	21.0168	5.95548	0	0
45	41.3473	21.0466	5.60698	0	0
46	41.4509	21.0798	5.27247	0	0
47	41.5545	21.1164	4.96041	0	0
48	41.658	21.1564	4.68077	0	0
49	41.7616	21.2	4.44418	0	0
50	41.8665	21.248	4.277	0	0
51	41.9714	21.3	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-1	21.2
62	21.2

Distributed Load

X	Y
35.6561	23.3
25.149	23.3

Distributed Load



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI3100001B

Foglio

90 di 95



X	Y
29.3545	23.3
26.7601	23.3

Distributed Load

X	Y
34.1069	23.3
31.4883	23.3

External Boundary

X	Y
40.7561	21.3
37.7576	23.3
22.9985	23.3
20	21.3
18	21.3
0	21.3
0	16.3
0	1.3
0	0
60.7561	0
60.7561	1.3
60.7561	16.3
60.7561	21.3
42.7561	21.3

Material Boundary

X	Y
20	21.3
40.7561	21.3

Material Boundary

X	Y
0	1.3
60.7561	1.3

Material Boundary

X	Y
18	16.3
18	20.8
18	21.3

Material Boundary

X	Y
0	16.3
18	16.3
42.7561	16.3
60.7561	16.3

Material Boundary

X	Y
42.7561	16.3
42.7561	20.8
42.7561	21.3

Material Boundary

X	Y
18	20.8
42.7561	20.8

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI3100001B

Foglio

91 di 95

ALLEGATO 7 - TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI3100001B

Foglio

92 di 95

Settle3D Analysis Information

Rilevato

Project Settings

Document Name: RI31.s3z
Project Title: Rilevato
Date Created: 08/06/2021, 14:59:10
Stress Computation Method: Boussinesq

Stage Settings

Stage #	Name
1	Stage 1

Results

Time taken to compute: 0 seconds

Stage: Stage 1

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [m]	0	0.0419118
Consolidation Settlement [m]	0	0
Immediate Settlement [m]	0	0.0419118
Loading Stress [kPa]	0	77.8376
Total Stress [kPa]	0	588.35
Total Strain	-0	0.0213119
Degree of Consolidation [%]	0	0
Pre-consolidation Stress [kPa]	1	588.166
Over-consolidation Ratio	1	6.20293
Void Ratio	0	0
Hydroconsolidation Settlement [m]	0	0

Loads

1. Rectangular Load

Length: 11.7 m
Width: 100 m
Rotation angle: 0 degrees
Load Type: Flexible
Area of Load: 1170 m²
Load: 13 kPa
Depth: 0 m
Installation Stage: Stage 1

Coordinates



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI3100001B

Foglio

93 di 95

X [m]	Y [m]
-5.84696	-50
5.85304	-50
5.85304	50
-5.84696	50

Embankments

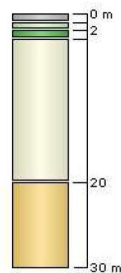
1. Embankment

Center Line: (0, -50) to (0, 50)
Number of Layers: 1
Near End Angle: 90 degrees
Far End Angle: 90 degrees
Base Width: 21

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	2.4	20	34	0

Soil Layers

Layer #	Type	Thickness [m]	Depth [m]
1	scotico	1	0
2	3a-tratt	1	1
3	3b	1	2
4	u6	17	3
5	u4	10	20



Soil Properties

Property	3a-tratt	u6	u4	scotico	3b
Color					
Unit Weight [kNm ³]	18	19	19	20	18
Immediate Settlement	Enabled	Enabled	Enabled	Enabled	Enabled
Es [kPa]	20000	60000	80000	20000	3000

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI3100001B

Foglio

94 di 95



Page 3 of 3



Esur [kPa]	20000	60000	80000	20000	3000
------------	-------	-------	-------	-------	------

Query Points

Point #	(X,Y) Location	Number of Divisions
1	0.00303833, 4.9738e-014	Auto: 55

Query Lines

Line #	Start Location	End Location	Horizontal Divisions	Vertical Divisions
1	-20, 0	20, 0	100	Auto: 47

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario da pk 17+266,00 a pk 17+638,47 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI3100001B</p>	<p>Foglio 95 di 95</p>

ALLEGATO 8 – VERSIONI SOFTWARE DI CALCOLO UTILIZZATI

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