

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 14+640,00 a pk 15+055,33
GENERALE
Relazione Geotecnica**

GENERAL CONTRACTOR		DIRETTORE LAVORI		SCALA -
IL PROGETTISTA INTEGRATORE	Consorzio Iricav Due ing. Paolo Armona Data: Luglio 2021			

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	FOGLIO
IN17	12	E	I2	RB	R12400	001	A	- - - - - -

	VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
	Firma Luca RANDOLFI	Data Luglio 2021



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	P. Ascari
								Data: Luglio 2021

CIG: 8377957CD1	CUP: J41E91000000009	File: IN1712EI2RBRI2400001A_01
		Cod. origine:



Progetto cofinanziato dalla Unione Europea

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI2400001A</p>	<p>Foglio 2 di 97</p>

INDICE

1	INTRODUZIONE	4
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
2.1	Documentazione di progetto	5
2.2	Normativa e standard di riferimento	5
2.3	Bibliografia	6
3	INQUADRAMENTO DELL'OPERA	7
3.1	Geometria del rilevato	7
4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	8
4.1	Indagini disponibili	8
4.2	Inquadramento stratigrafico	9
4.3	Condizioni geotecniche del sito	11
4.4	Sintesi del modello geotecnico di riferimento	22
4.4.1	Materiale da rilevato	22
4.4.2	Falda	22
5	CARATTERISTICHE SISMICHE E SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE	23
5.1	Sollecitazione sismica di progetto	23
5.1.1	Vita Nominale	23
5.1.2	Classe d'uso	23
5.1.3	Periodo di riferimento per l'azione sismica	24
5.1.4	Categorie di Sottosuolo	24
5.1.5	Condizioni topografiche	24
5.1.6	Accelerazione sismica di riferimento	25
5.2	Suscettibilità alla liquefazione	25
5.2.1	CRR da correlazione su prove CPT	27
5.2.2	CRR da correlazione su prove SPT	29
5.3	Risultati delle verifiche a liquefazione e descrizione degli interventi previsti	32
6	VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO	42
6.1	Criteri di verifica agli Stati Limite	42
6.1.1	Stati limite ultimi (SLU)	42
6.1.2	Stati limite di esercizio (SLE)	44
6.1.3	Verifiche in condizioni sismiche e post-sismiche	44
6.2	Azioni di progetto	44
6.2.1	Azioni permanenti	45
6.2.2	Azioni variabili	45

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12



Codifica

EI2RBRI2400001A

Foglio

3 di 97

6.2.3	Azione sismica	45
6.3	Verifiche e risultati SLU	46
6.3.1	Premessa	46
6.3.2	Verifiche SLU in condizione statiche	46
6.3.3	Verifiche SLU in condizioni sismiche	47
6.4	Verifica e risultati SLE	49
7	CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI	54
	Allegati	55
	ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO	56
	ALLEGATO 2 - SONDAGGI	58
	ALLEGATO 3 - SEZ. N° 496 – TABULATI DI SLIDE	74
	ALLEGATO 4 - SEZ. N° 496 - TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE	91

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2400001A	Foglio 4 di 97

1 INTRODUZIONE



Il presente documento costituisce la Relazione Geotecnica del rilevato RI24, previsto nell'ambito del Progetto Esecutivo della sub tratta Verona – Vicenza della Linea AV/AC Verona – Padova. Tale rilevato si estende tra il km 14+640,00 ed il km 15+055,33.

La relazione descrive in dettaglio il modello geotecnico definito per il rilevato, ricavato 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 applicata (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 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2400001A	Foglio 5 di 97



2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Documentazione di progetto

- [1] Sezioni di Progetto Esecutivo
- [2] IN1710EI2RBGE0000002A Relazione Geotecnica (da 10+050 a 21+990)
- [3] IN1710EI2LZGE0000014A Planimetria con ubicazione indagini e profilo geotecnico 4 di 11
- [4] IN1710EI2RHGE0000005A Relazione sulla modellazione sismica del sito e pericolosità sismica di base 1/2
- [5] IN1710EI2P5GE0000001A-11A Planimetrie con classificazione sismica del territorio 1 di 11
- [6] IN1710EI2RHGE0000003A Relazione idrogeologica 1/2
- [7] IN1710EI2P5GE0000012A-22A Planimetria con ubicazione indagini di Progetto Esecutivo tav.1-11
- [8] IN1710EI2RHGE0000007A-8A Relazione di sintesi dei sondaggi e delle prove eseguite
- [9] IN1710EI2PRGE0000001A-2A, Risultati Indagini in sito di Progetto – SOCOTEC
- [10] IN1710EI2PRGE0000003A-4A, Risultati Indagini in sito di Progetto Esecutivo – ATI GEOSERVING – GEOLAVORI
- [11] IN1710EI2PRGE0000005A-8A, Risultati Prove di laboratorio di Progetto Esecutivo – SOCOTEC
- [12] IN1710EI2PRGE0000009A-12A, Risultati Prove di laboratorio di Progetto Esecutivo – ATI GEOSERVING - GEOLAVORI
- [13] IN1710EI2IGGE0000001A-2A, Risultati Indagini Geofisiche di Progetto Esecutivo – SOCOTEC
- [14] IN1710EI2IGGE0000003A-4A, Risultati Indagini Geofisiche di Progetto Esecutivo – ATI GEOSERVING - GEOLAVORI

2.2 Normativa e standard di riferimento



- [15] 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
- [16] 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
- [17] UNI EN 1997-1 : Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- [18] UNI EN 1998-5 : Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici
- [19] RFI DTC SI PS MA IFS 001 B Manuale di progettazione delle opere civili, Parte II – Sezione 2, Ponti e strutture
- [20] RFI DTC SI CS MA IFS 001 B Manuale di progettazione delle opere civili, Parte II – Sezione 3, Corpo stradale
- [21] 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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI2400001A</p>	<p>Foglio 6 di 97</p>

- [22] RFI DTC INC CS SP IFS 001 A Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie
- [23] 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
- [24] RFI TCAR ST AR 01 001 D Standard di qualità geometrica del binario con velocità fino a 300 km/h
- [25] 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

- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] 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.
- [29] 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.
- [30] 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.
- [31] Seed, H.B. and Idriss, I.M. (1982), “Ground motions and soil liquefaction during earthquakes”, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA, USA.
- [32] 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.
- [33] 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.
- [34] Rocscience (2017), Slide ver 9.012, dic. 2020
- [35] Rocscience (2009), Settle 3D ver 2.011

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2400001A	Foglio 7 di 97

3 INQUADRAMENTO DELL'OPERA

Il rilevato ferroviario in esame è quello relativo alla Linea AV. Ha inizio alla pk 14+640,00 e si estende fino alla pk 15+055,3, per una lunghezza totale di 415,33 m.

3.1 Geometria del rilevato

Il rilevato, lungo 415,33 m, presenta nel suo sviluppo una altezza variabile da circa 2 metri a circa 2,80 m rispetto al piano campagna.

La sezione del rilevato si raccorda al terreno naturale con una scarpata con pendenza 2/3 (V:H).

Di seguito si riporta la sezione n.496 alla pk 14+720 che risulta la più rappresentativa per altezza massima del rilevato.

La presente relazione pertanto riporta le analisi di stabilità e dei cedimenti della sezione appena descritta.

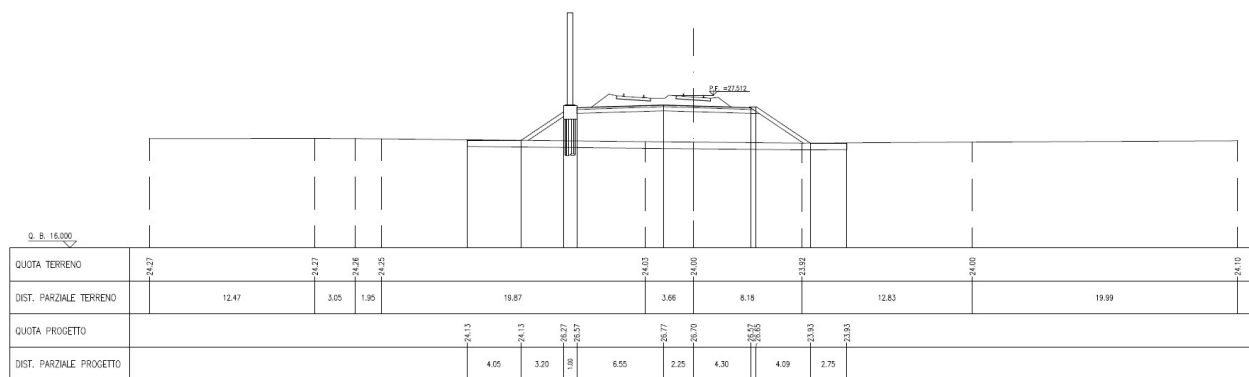




Figura 1 – Sezione di riferimento n.496 RI24 alla pk 14+720 estratta da sezioni PE (Doc Rif.[1]).

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2400001A	Foglio 8 di 97

4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

4.1 Indagini disponibili

L'ubicazione delle indagini disponibili, in prossimità dell'opera esaminata, è illustrata in Figura 2 così come 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.[8] - Doc. Rif [14]).

Il risultato delle indagini è riportato in ALLEGATO 2 - .

Le indagini disponibili lungo la tratta in cui ricade il rilevato in oggetto (dalla pk 14+640,00 alla pk 15+055,33) e nelle immediate vicinanze sono elencate in Tabella 1. Nel seguente paragrafo si riporta la caratterizzazione geotecnica, ottenuta basandosi sui risultati delle indagini eseguite nella tratta 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 14+640,00 A pk 15+055,33

Progressiva pk	ID indagini -	Campagna anno
14+705	CPTU-PE-10	2020-2021
14+691	BH-PE-32	2020-2021
14+691	BH-PE-32Bis	2020-2021
14+830	CPTU34	2014-2015
14+830	CPTU34bis	2014-2015
14+830	CPTU33	2014-2015
14+830	CPTU33bis	2014-2015
14+860	CPTU35	2014-2015
14+860	CPTU35bis	2014-2015
14+940	CPTU37	2014-2015
14+940	CPTU37bis	2014-2015
14+886	SP22	2014-2015
14+880	SPA23	2014-2015
15+150	SA203C011	2002



Figura 2 - Planimetria Rilevato RI24, estratto dalla Planimetria Generale (Doc. Rif.[3])

4.2 Inquadramento stratigrafico

L'andamento stratigrafico nell'area del rilevato è caratterizzato dalla presenza di una coltre superficiale di spessore di 5 m circa di depositi limoso argillosi (Unità 3b). Sotto di essi si trova uno strato di ghiaie mediamente addensate (Unità 6) fino a una profondità di 10 m ed infine il substrato sabbioso (Unità 4) che si estende fino alle massime profondità indagate. All'interno del substrato sabbioso, a profondità di circa 13 m, si incontrano circa 2-3 m di limi argillosi (Unità 2).

Da quanto sopra, e tenendo in conto la modesta altezza del rilevato, 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]). Nella Figura 3 si riporta il profilo geotecnico specifico per il rilevato RI24, estratto dalla Planimetria e Profilo Geotecnico (Doc. Rif. [3]).

Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33
 Relazione Geotecnica

Progetto
 IN17

Lotto
 12

Codifica
 EI2RBRI2400001A

Foglio
 10 di 97

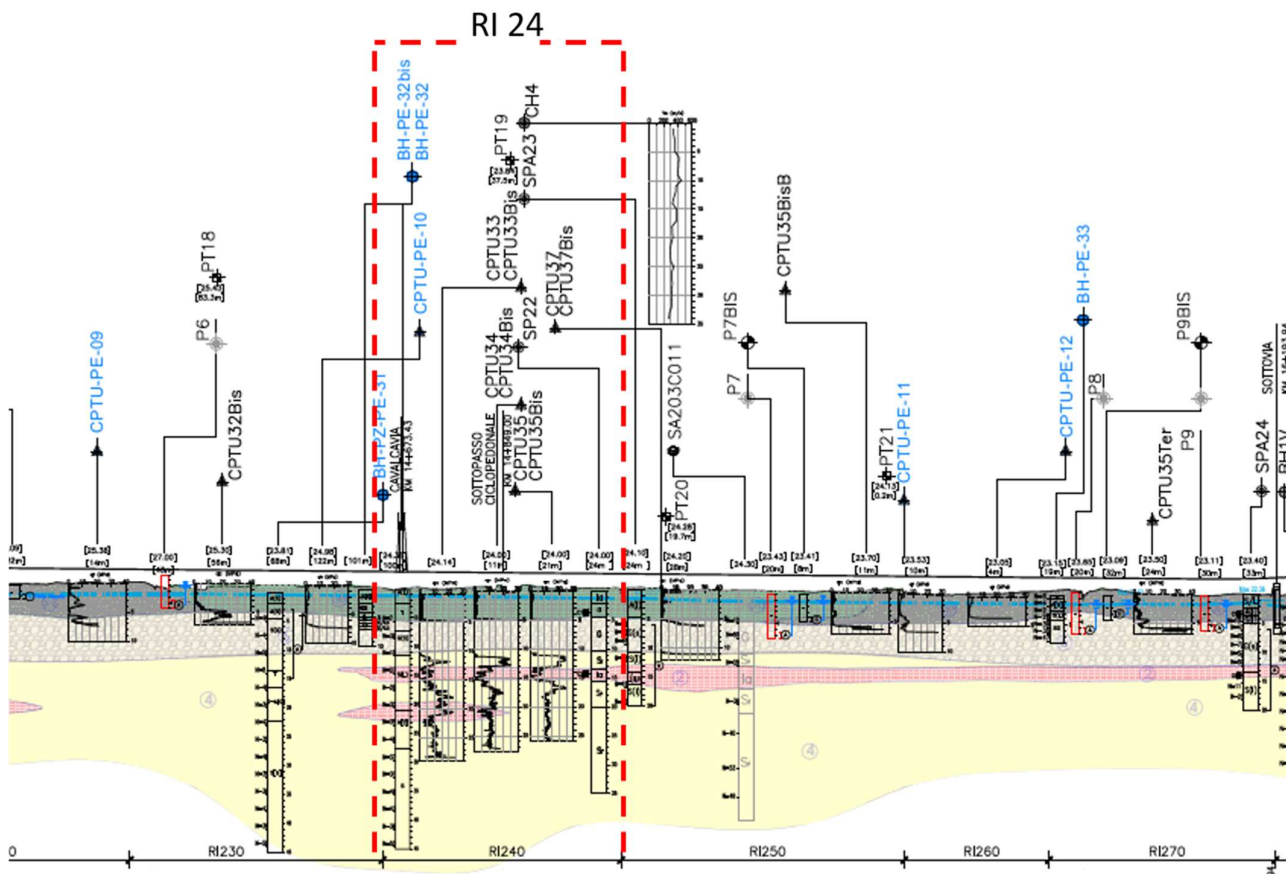




Figura 3 - Profilo Geotecnico Rilevato RI24, estratto dal Profilo Geotecnico Generale (Doc. Rif.[3])

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI2400001A</p>	<p>Foglio 11 di 97</p>

4.3 Condizioni geotecniche del sito

Come definito dall'inquadramento stratigrafico, il tratto in oggetto è caratterizzato da una copertura superficiale di circa 5 m di spessore, composta da prevalenti argille limose/limi argillosi (Unità 3b), così come si evince dalle descrizioni dei materiali dei sondaggi e dalle caratteristiche granulometriche stimabili dalle prove penetrometriche statiche. Procedendo con la profondità si trova uno strato di ghiaie (Unità 6), fino a una profondità di circa 10 m, ed infine il substrato sabbioso (Unità 4) che si estende fino alle massime profondità indagate. All'interno del substrato sabbioso, a profondità di circa 13 m, si incontrano circa 2-3 m di limi argillosi (Unità 2).

La Figura 6 riporta i valori della resistenza al taglio non drenata ricavati dall'interpretazione dalle prove penetrometriche statiche eseguite nel tratto in esame all'interno della copertura superficiale: il deposito è caratterizzato da valori della c_u decrescenti con la profondità da 80 a 30kPa. Sulla base delle correlazioni riportate in [2], per questi materiali risulta stimabile una pressione di preconsolidazione di 135 kPa.

Sulla base dei dati edometrici disponibili nell'area, si sono considerati i seguenti parametri di compressibilità in condizioni edometriche:

$$RR = 0.02, CR = 0.18$$

Sui campioni prelevati dai sondaggi sono state eseguite prove di laboratorio. In particolare, sono state eseguite misure di contenuto d'acqua ($w\%$) e limiti liquido e plastico (LL, LP). Il contenuto d'acqua è intorno al 30-40%. Il limite plastico varia tra il 20 e il 25% (Figura 9), mentre il limite liquido varia tra il 40 e il 50%. Con riferimento alla Carta di Casagrande (Figura 10), i materiali sono classificabili come argille inorganiche di media plasticità.



All'interno del deposito ghiaioso (Unità 6) le percentuali di materiale a grana fine sono inferiori a 10% e si registrano valori di N_{SPT} variabili da 30 a 45 colpi/30cm. La densità relativa delle ghiaie risulta mediamente dell'ordine 40% e quindi il deposito risulta mediamente addensato.

Nel sottostante deposito di sabbia limosa (Unità 4), le percentuali di materiale fino sono inferiori al 10%, i valori medi di N_{SPT} sono pari a 60 colpi/30cm con valori fino a 70 colpi/30cm. La densità relativa delle sabbie risulta generalmente attorno a 60-70%.

L'unità 4 è interrotta da uno strato di limi con argilla debolmente sabbiosi, (Unità 2) a profondità tra 13 e 15 m pc. Tali materiali sono debolmente sovraconsolidati.

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 10 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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2400001A	Foglio 12 di 97

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].

- Valori N_{SPT} da prove SPT (v. Figura 4);
- Risultati analisi granulometriche (v. Figura 5)
- Resistenza al taglio non drenata da CPTU per unità 3b (v. Figura 6);
- Densità relativa stimata da prove SPT (v. Figura 7);
- Angolo di resistenza al taglio stimato da prove SPT (v. Figura 8);
- Contenuto d'acqua, limite liquido e limite plastico terreni Unità 3b e 2 (v. Figura 9)
- Carta di Casagrande terreni Unità 3b (v. Figura 10)
- Velocità delle onde di taglio stimata da prove in sito (v. Figura 11);
- Modulo di taglio alle piccole deformazioni valutati a partire dai valori stimati di V_s (v. Figura 12).

AV/AC VERONA VICENZA

RI24 da pk 14+640,00 a pk 15+055,33

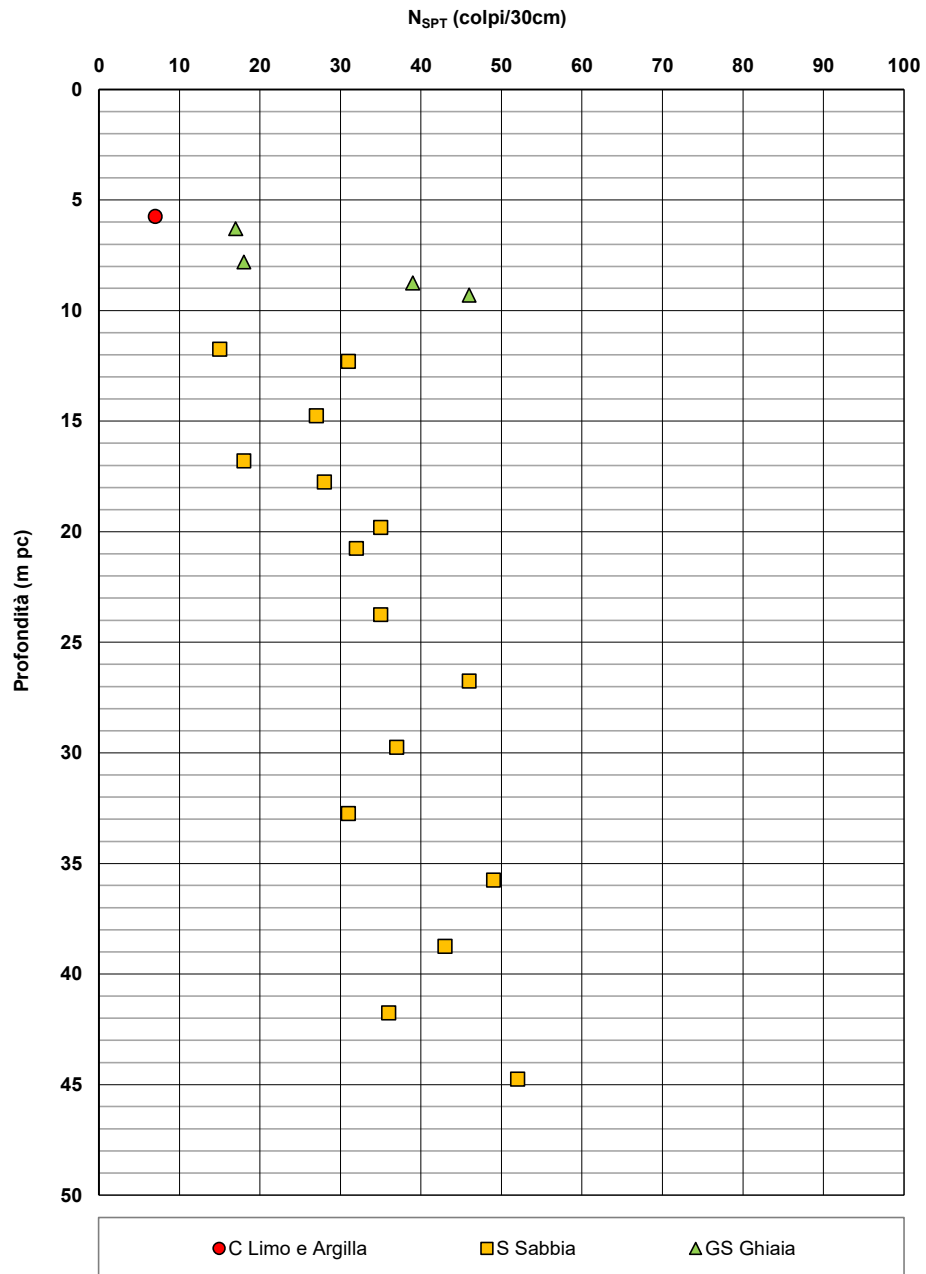


Figura 4 – Risultati delle prove SPT – RI24

AV/AC VERONA VICENZA

RI24 da pk 14+640,00 a pk 15+055,33

Contributi granulometrici (%)

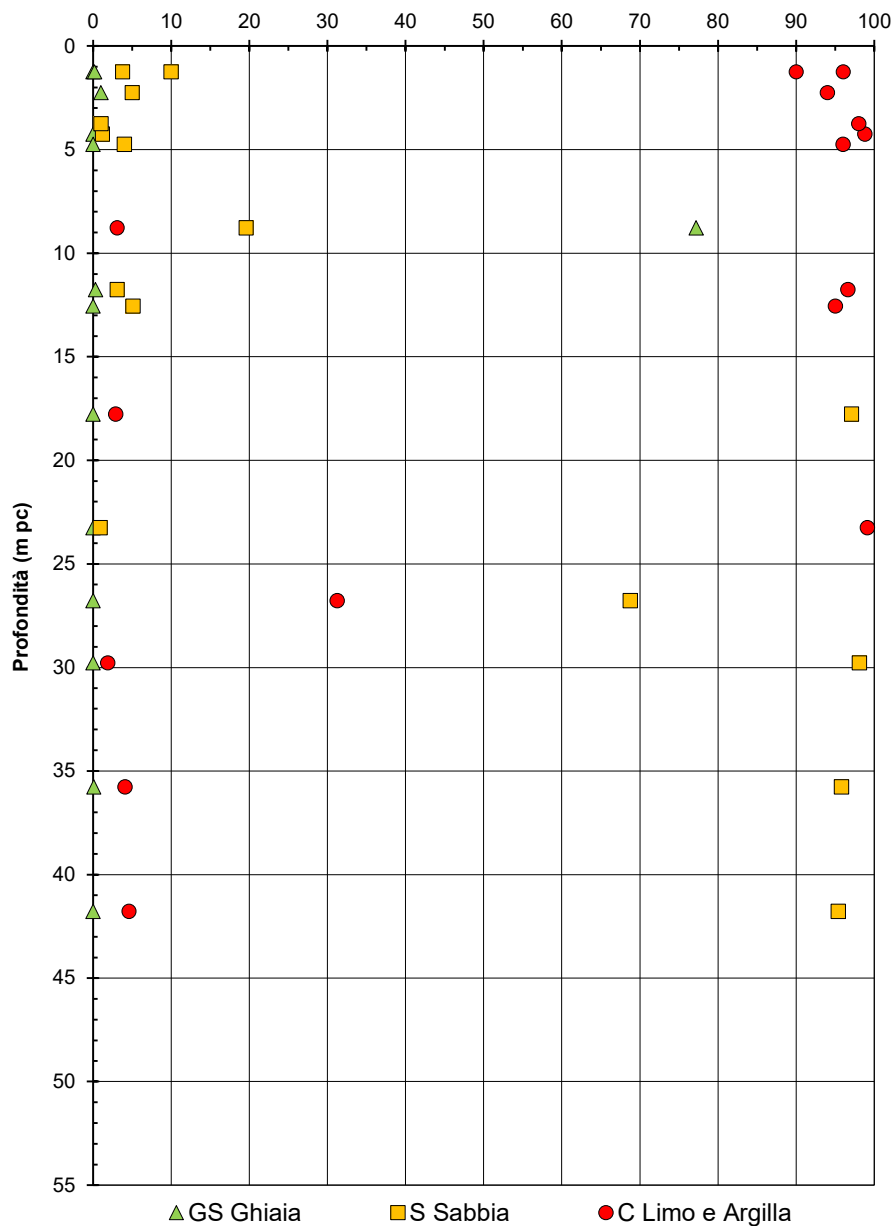


Figura 5 – Sintesi analisi granulometriche – RI24

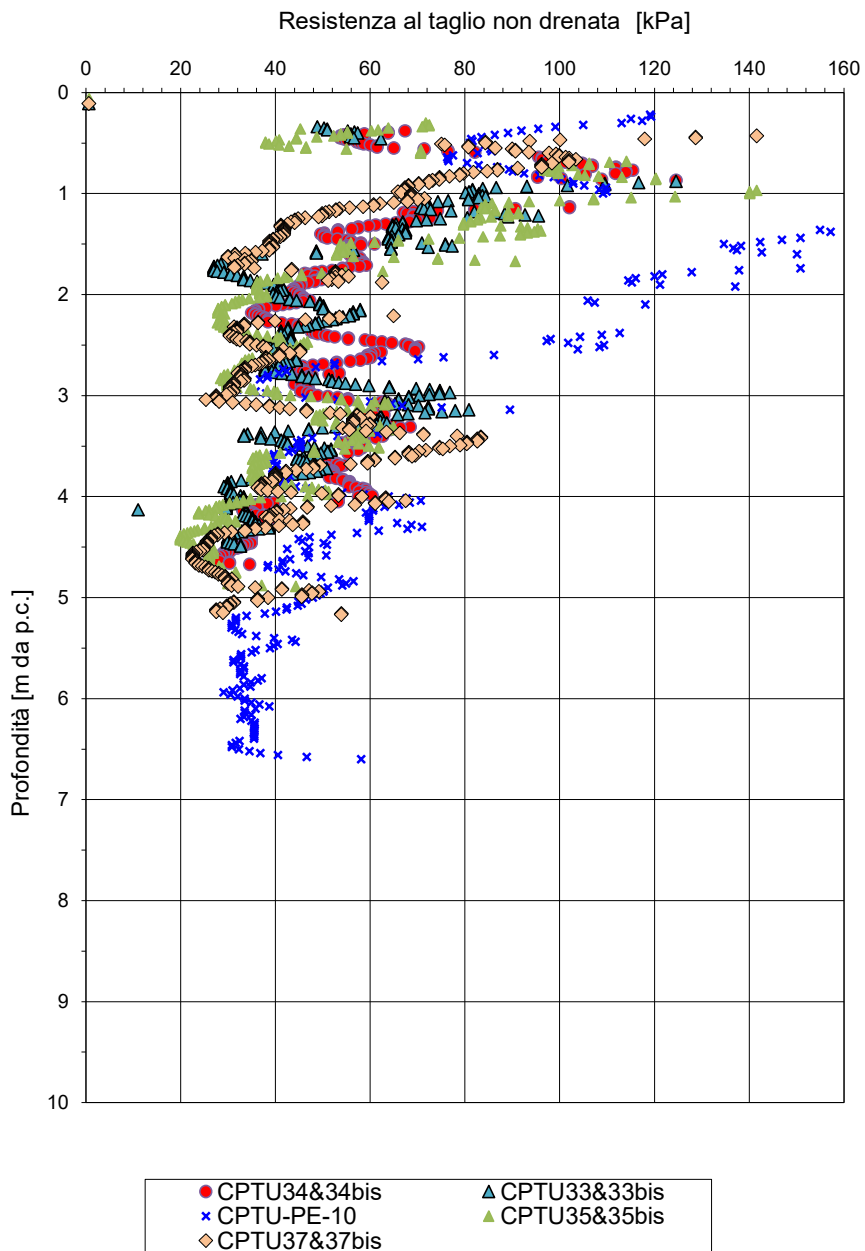


Figura 6 – Resistenza al taglio non drenata da prove penetrometriche statiche

AV/AC VERONA VICENZA

RI24 da pk 14+640,00 a pk 15+055,33

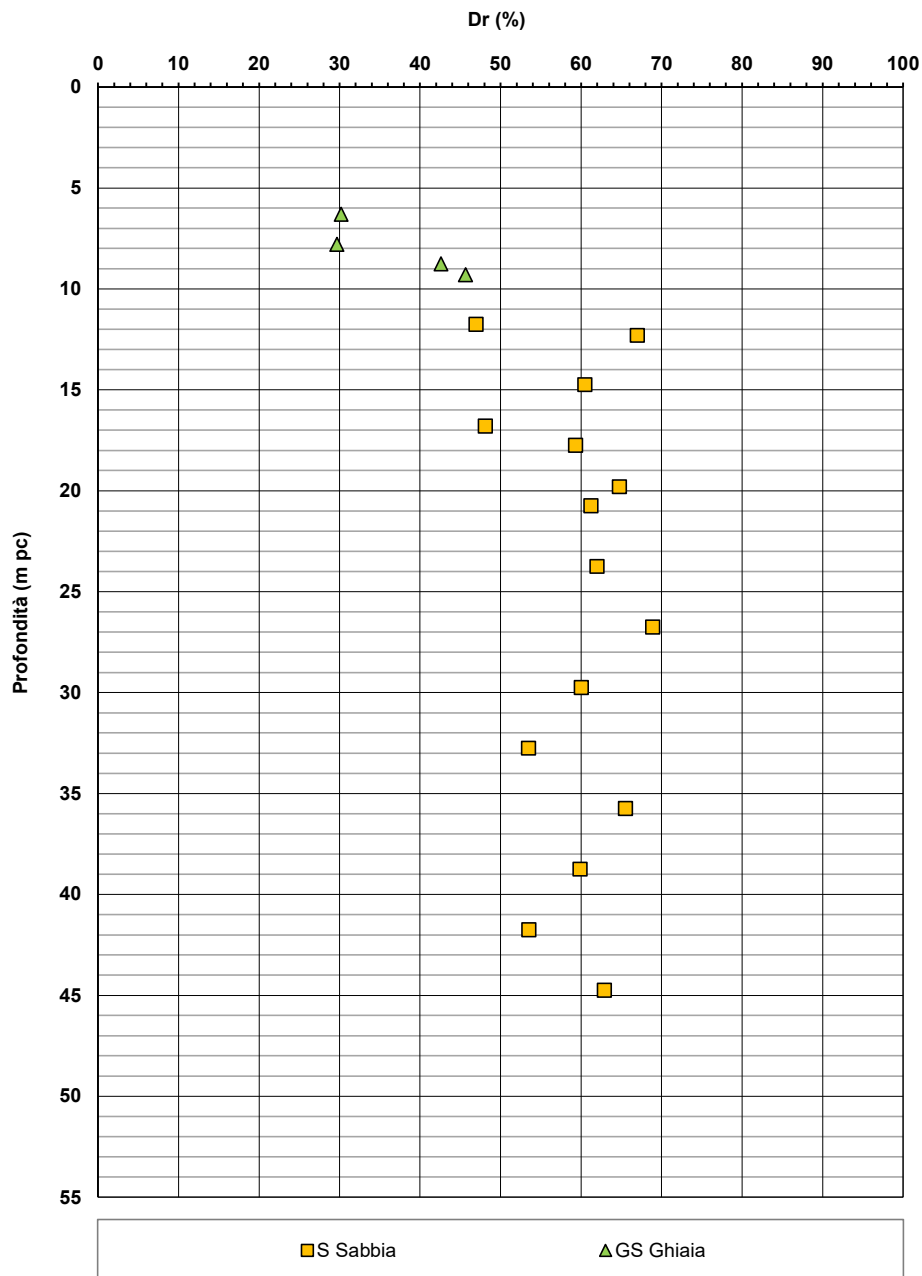


Figura 7 – Densità relativa da prove SPT – RI24

AV/AC VERONA VICENZA

RI24 da pk 14+640,00 a pk 15+055,33

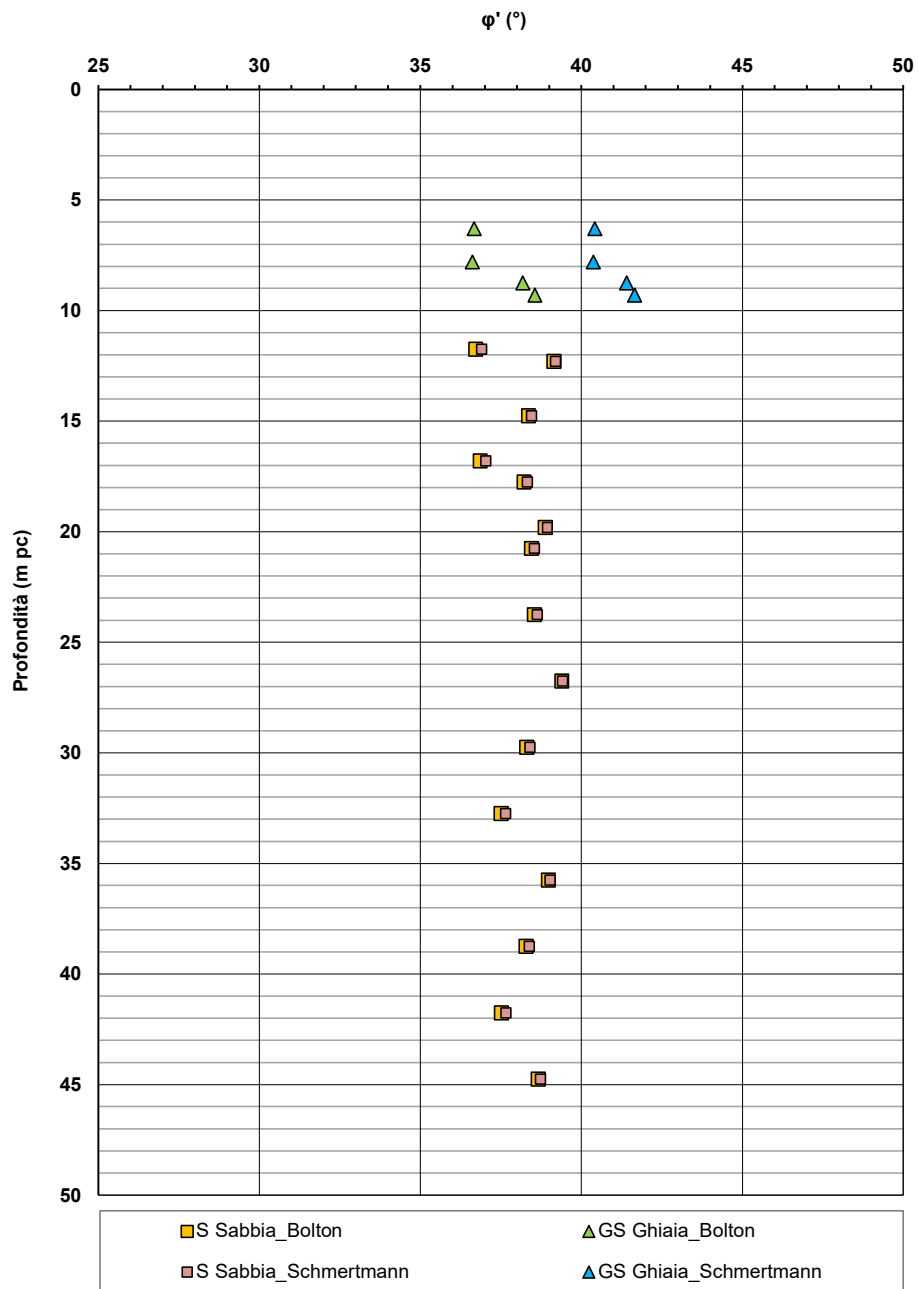


Figura 8 – Angoli di resistenza al taglio da prove SPT – RI24

AV/AC VERONA VICENZA

RI24 da pk 14+640,00 a pk 15+055,33

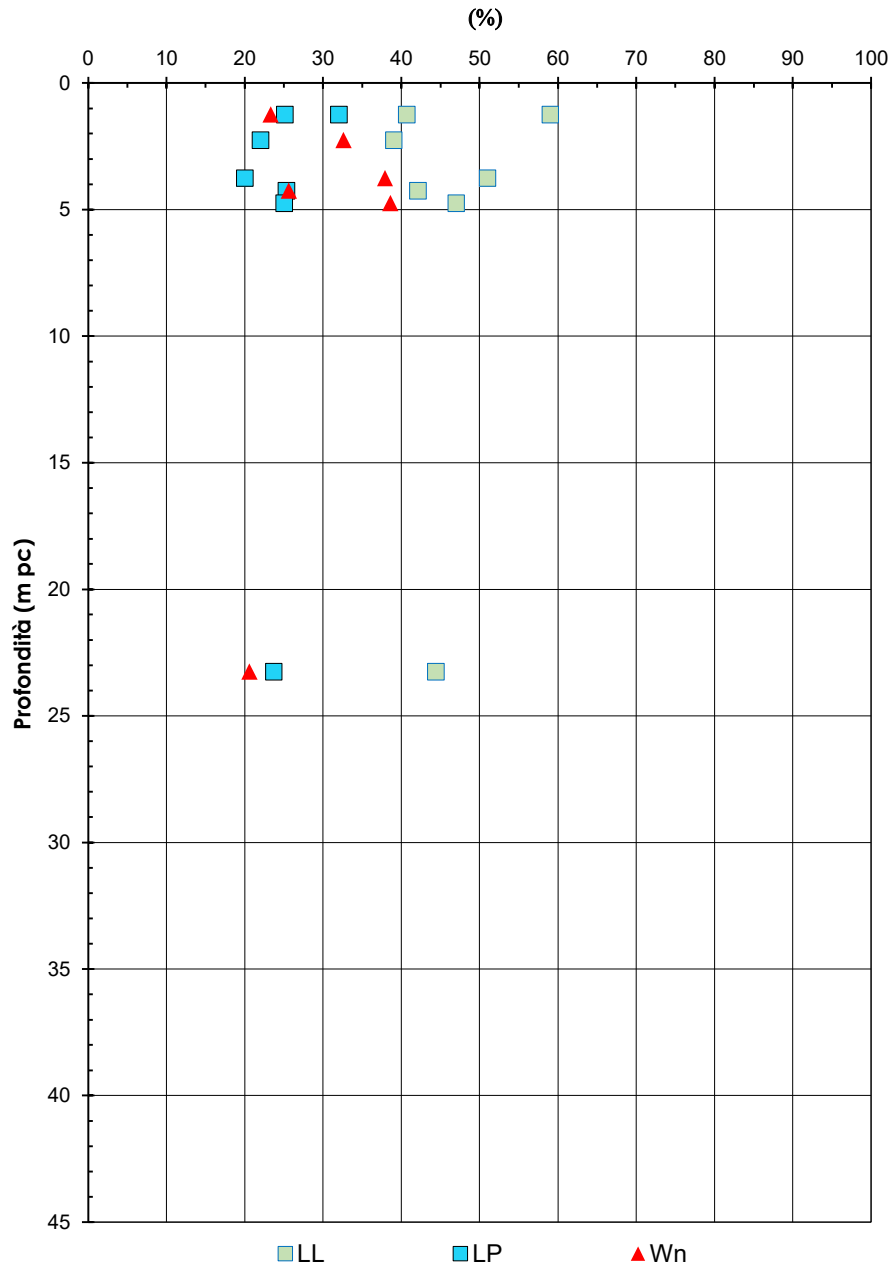


Figura 9 – Contenuto d’acqua, limite liquido e limite plastico – RI24

AV/AC VERONA VICENZA

RI24 da pk 14+640,00 a pk 15+055,33

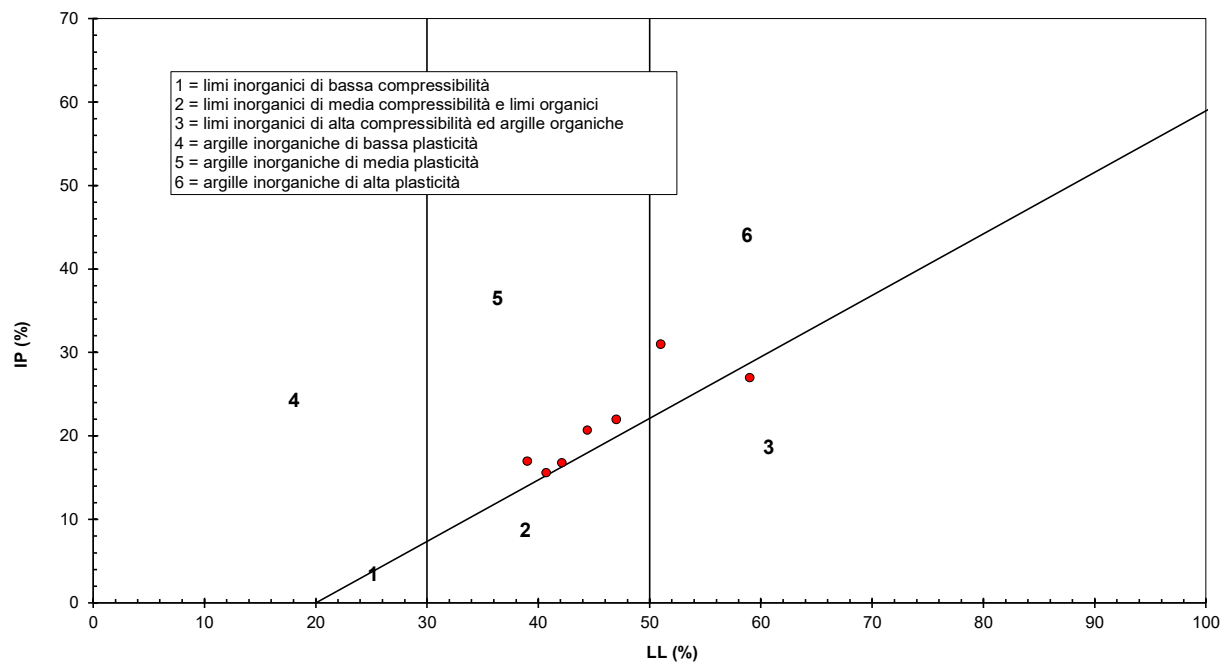


Figura 10 – Carta di Casagrande terreni Unità 3b – RI24

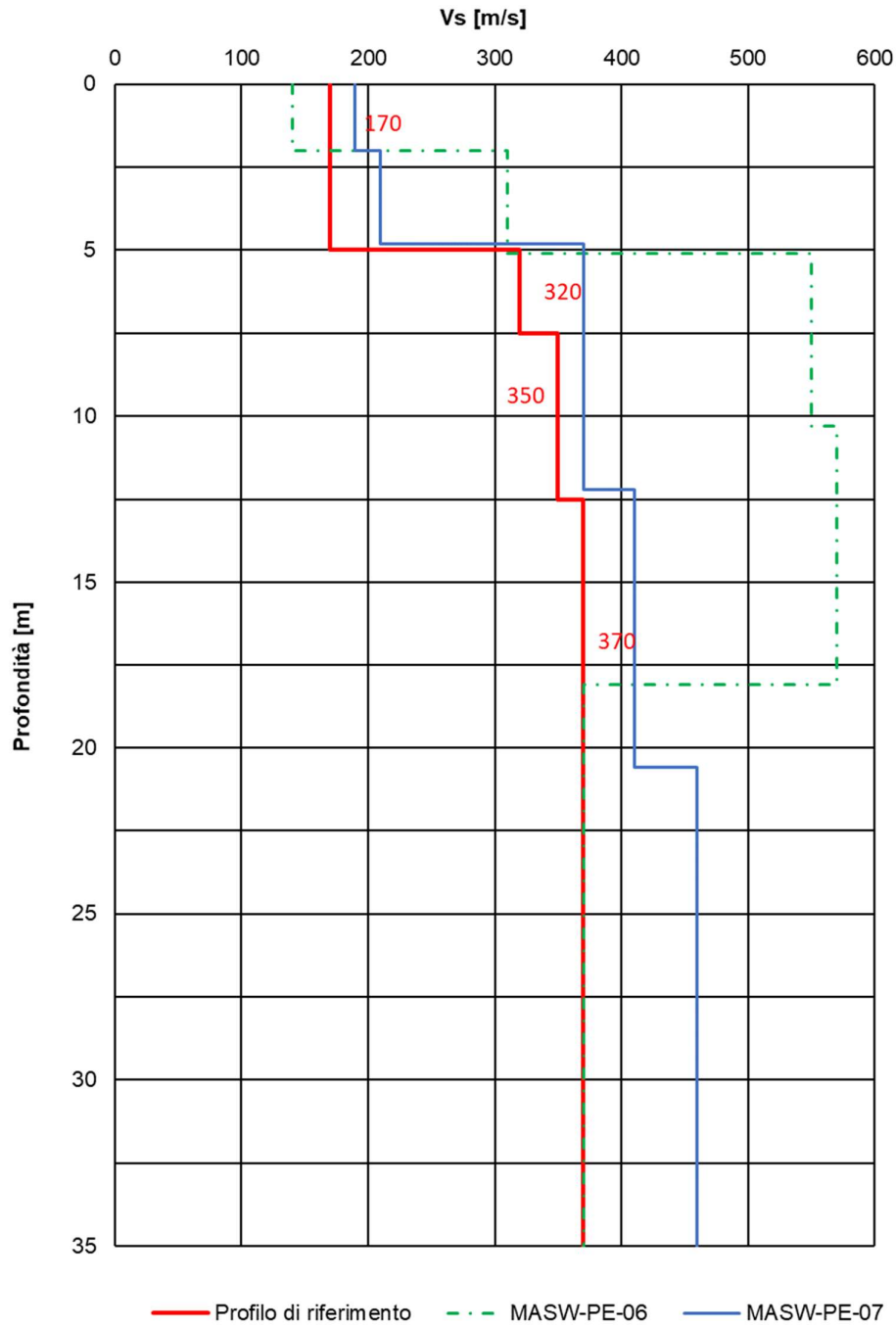


Figura 11 – Profilo di Vs di riferimento a confronto con dati di prove geofisiche tipo MASW eseguite in corrispondenza dell'adiacente RI25 (pk 15+055 - pk 15+549)

AV/AC VERONA VICENZA

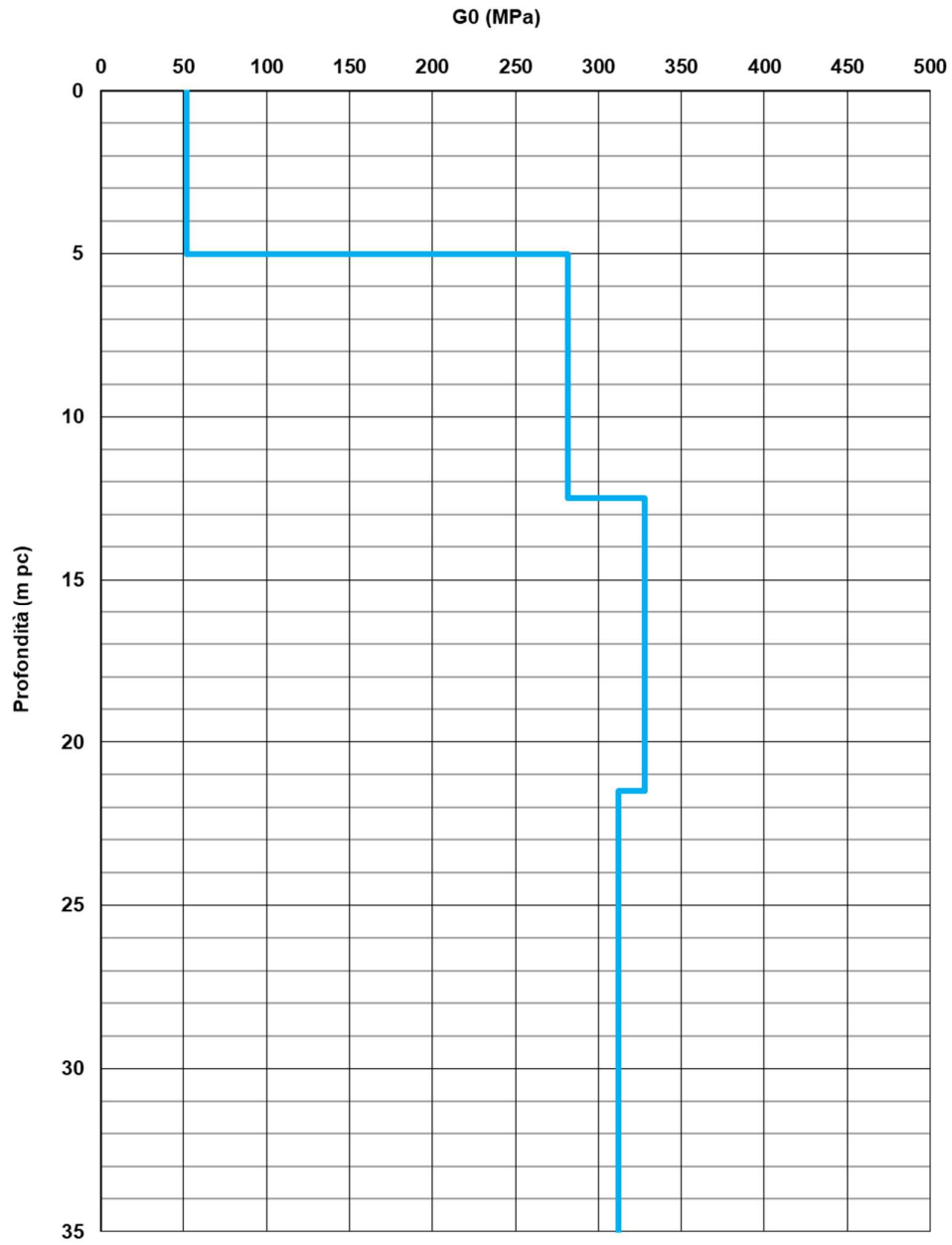




Figura 12 – Profilo generale G_0 pk 13+240 – pk 20+000 (Doc. Rif.[2]).

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2400001A	Foglio 22 di 97

4.4 Sintesi del modello geotecnico di riferimento

Sulla base di quanto esposto al punto precedente, il modello geotecnico considerato per le verifiche del rilevato in questione è riportato in Tabella 2.

Tabella 2 – Modello geotecnico di riferimento

Unità	da m pc	a m pc	γ kN/m ³	φ_k °	c'_k kPa	$c_{u,k}$ kPa	RR	CR	σ'_p KPa	G_0 MPa	E'_{op} MPa
3b	1	1.5	18	-	-	80	-	-	-	-	12
3b	1.5	4	18	-	-	50	0.02	0.18	135	-	-
3b	4	5	18	-	-	30	0.02	0.18	135	-	-
6	5	10	19	39	0	-	-	-	-	160	60
4	10	13	19	38	0	-	-	-	-	230	80
2	13	15	19	28	-	60	-	-	-	-	25
4	15	-	19	38	0	-	-	-	-	230	80

4.4.1 Materiale da rilevato

Le caratteristiche dei rilevati ferroviari sono desunte dal MdP (Doc. rif. [20]) e sono di seguito riassunte:

Tabella 3 - Caratteristiche materiale da rilevato



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

4.4.2 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. Rif. [6]). Quest'ultimi indicano una sostanziale stabilità nelle escursioni stagionali.

Ai fini progettuali si assume:

- falda di progetto a medio e lungo termine: piano campagna
- falda di progetto media: piano campagna

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2400001A	Foglio 23 di 97

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. [19] e [20]), l'opera in oggetto viene inserita nella tipologia di costruzione con $V_N = 100$ anni.

Tabella 4 – Vita nominale delle infrastrutture ferroviarie

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

5.1.2 Classe d'uso

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

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

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



GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2400001A	Foglio 24 di 97

Tabella 5 – Valori del coefficiente di uso C_u

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

5.1.3 Periodo di riferimento per l'azione sismica

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

5.1.4 Categorie di Sottosuolo



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

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

5.1.5 Condizioni topografiche

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

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI2400001A</p>	<p>Foglio 25 di 97</p>

5.1.6 Accelerazione sismica di riferimento

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

a_g (g) (SLV)	0.218
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 applicata (Doc. rif. [15]).



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 CPT111.
- Magnitudo attesa per un periodo di ritorno pari almeno a 975 anni valutata sulla base del modello di zone sismogenetiche ZS9, alla base delle mappe di pericolosità sismica del territorio italiano allegato 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 espresse 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 6.5.

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 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2400001A	Foglio 26 di 97

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

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

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 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2400001A	Foglio 27 di 97

Idriss e Boulanger (2004) si è assunto per $M = 6.0 - MSF = 2.0$.

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 13: 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 13, la resistenza alla punta q_c è normalizzata rispetto al valore di pressione atmosferica ($p_a = 100 \text{ kPa}$) e corretta (q_{c1N}) mediante la seguente relazione:

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

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

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



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

dove:

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2400001A	Foglio 28 di 97

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):

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

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

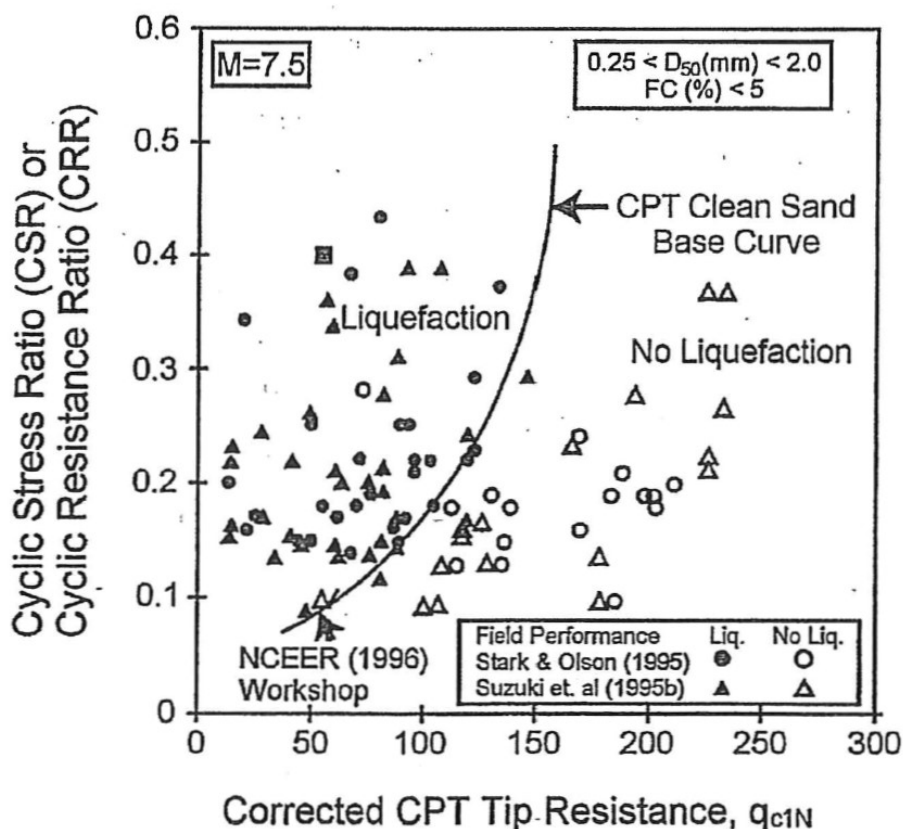




Figura 13: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e valori corretti di resistenza alla punta q_{c1N} – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Robertson & Wride, 1998)

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2400001A	Foglio 29 di 97

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 14, originariamente proposta da Seed e Idriss (1971,1982) e da Seed et al. (1985), e successivamente confermata da Youd et al. (2001).

In Figura 14, 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 14, viene riportato il valore di CSR calcolato ed i corrispondenti valori di $N_{1(60)}$ da siti in cui sono stati osservati o meno gli effetti della liquefazione per eventi simili avvenuti in passato, con Magnitudo pari $M = 7.5$. Le corrispondenti curve CRR sono state determinate all'interno del grafico in modo da separare chiaramente i dati corrispondenti all'avvenuta liquefazione da quelli per i quali non è stato osservato il fenomeno in esame.

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2400001A	Foglio 30 di 97

Si può osservare dalla Figura 14 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):

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

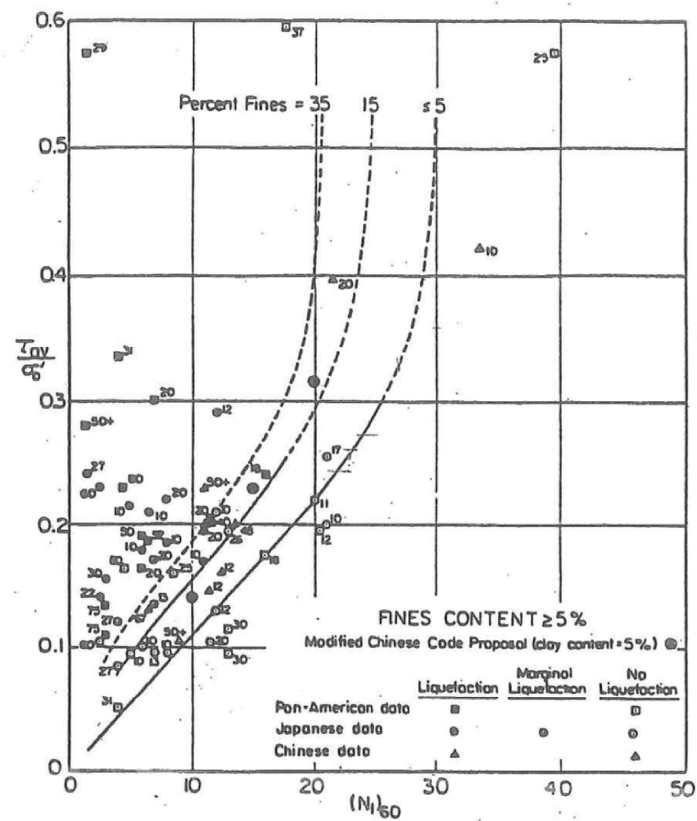




Figura 14: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e $N_{1(60)}$ – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Seed et al., 1985).

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2400001A	Foglio 32 di 97

5.3 Risultati delle verifiche a liquefazione e descrizione degli interventi previsti

La verifica a liquefazione viene eseguita sfruttando le prove disponibili nel tratto in esame.

I risultati delle analisi (cfr. da Figura 15 a Figura 23) indicano rischi di potenziale liquefazione nella porzione di tracciato interessata dal rilevato RI24. In particolare:

- dai risultati delle CPTU si evidenzia la presenza di materiale potenzialmente liquefacibile, con $FL < 1.0$, nei primi metri da p.c.
- Non si evidenziano problemi di liquefazione dai risultati SPT nei sondaggi BH-PE-31 (RI23), BH-PE-32, SPA23.

Per quanto riguarda i rischi evidenziati dalla CPTU-PE-10, si sono esaminati i sondaggi vicini a quest'ultima (cfr BH-PE-31 e BH-PE-32) e, dalla quale emerge quanto segue:

- I dati delle CPTU, in termini di previsione di potenziale di liquefazione, risultano molto simili, con valori di I_c praticamente coincidenti con il valore "sparticque" di 2.6, fra terreni clay-like e sand-like
- In tali circostanze, i risultati del metodo rimangono in un terreno ai limiti della applicabilità.
- Tuttavia, i sondaggi eseguiti in prossimità della CPTU-PE10 (BH-PE-32bis e BH-PE-32) indicano chiaramente che si tratta di terreni argillosi, e che quindi non suscettibili di liquefazione.

Si può pertanto concludere che i terreni delle coperture superficiali sono costituiti da materiali appartenenti all'Unità 3b, e pertanto non suscettibili di liquefazione.

Al fine di evitare possibili problemi legati alla presenza di eventuali materiali sciolti passibili di liquefazione, si prescrive quanto segue:

- realizzazione di uno scotico + bonifica per uno spessore complessivo di 1.0 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 in misura tale da renderlo non più suscettibile a liquefazione.
- relazione del rinterro in accordo alle specifiche.

Si segnala che, probabilmente, lo scavo fino a 1.0 m e la compattazione potranno avvenire sotto falda. Ciò dipenderà anche molto dal periodo dell'anno nel quale verranno eseguiti i lavori e dalle fluttuazioni stagionali. Nel caso, si dovrà provvedere a mantenere lo scavo asciutto. Il trattamento di cui sopra è prescritto per l'intero tratto interessato dal rilevato in oggetto.

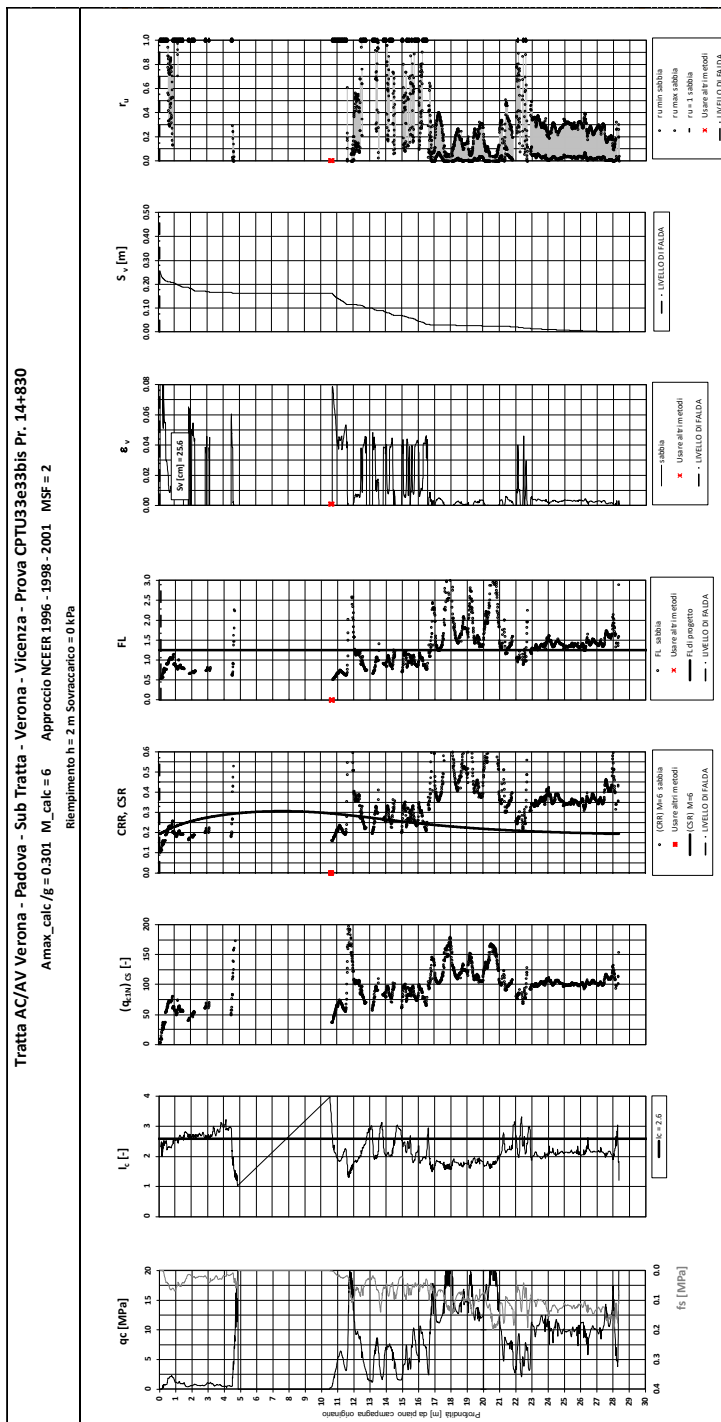


Figura 15 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU33 e CPTU33bis

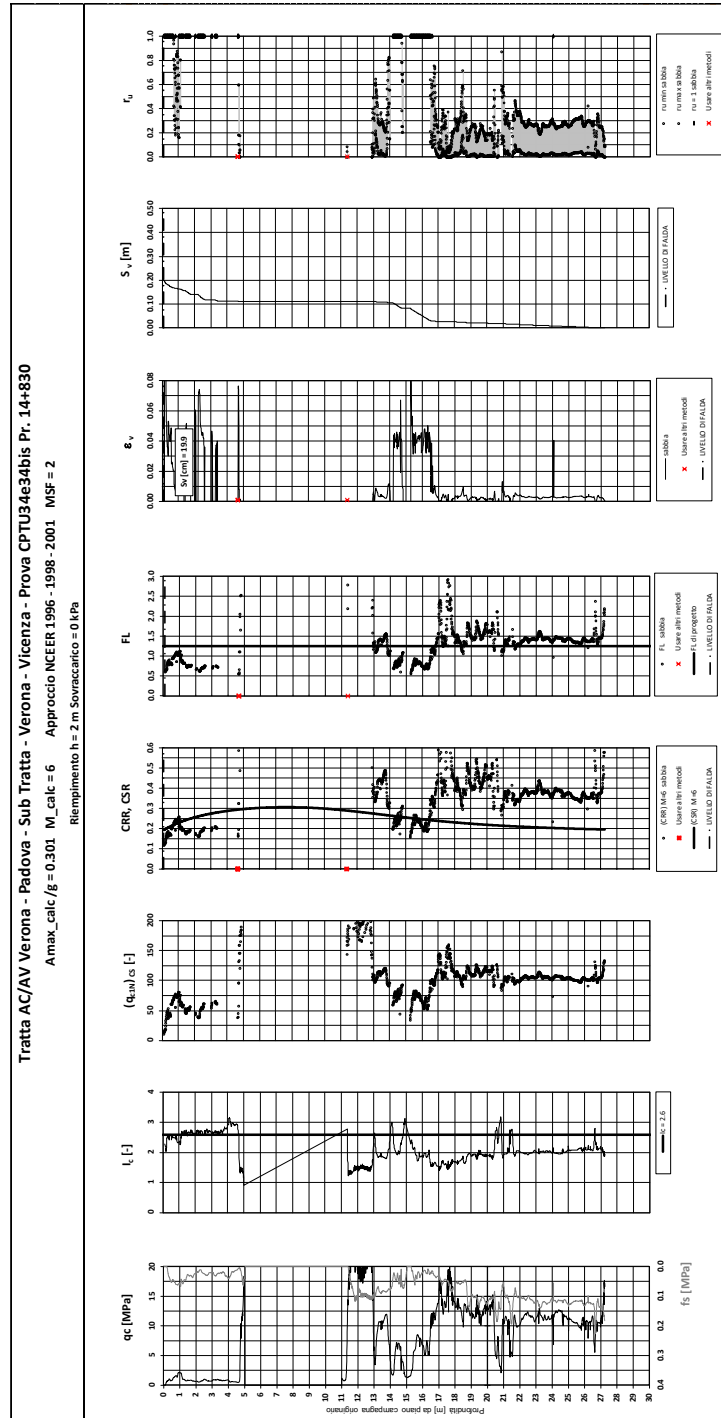


Figura 16 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU34 e CPTU34bis

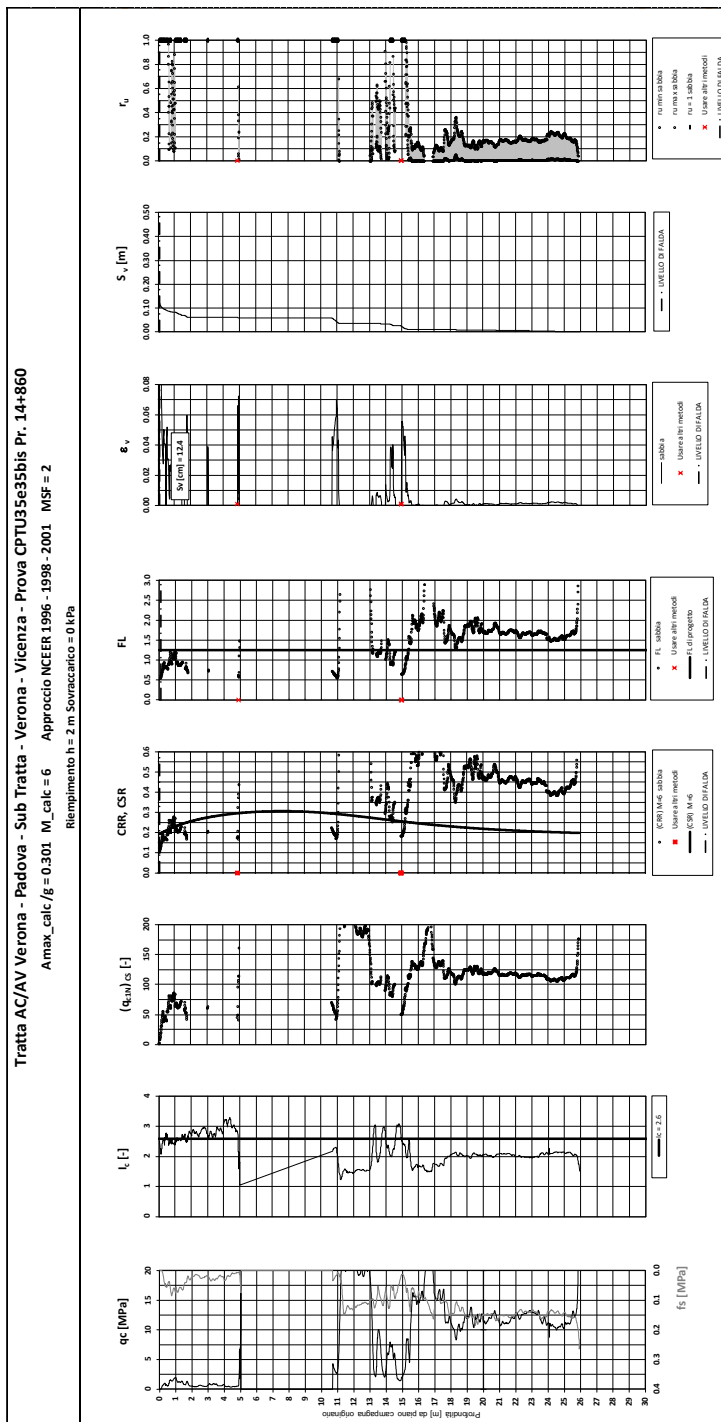


Figura 17 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU35 e CPTU35bis

Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33
 Relazione Geotecnica

Progetto
 IN17

Lotto
 12

Codifica
 EI2RBRI2400001A

Foglio
 36 di 97

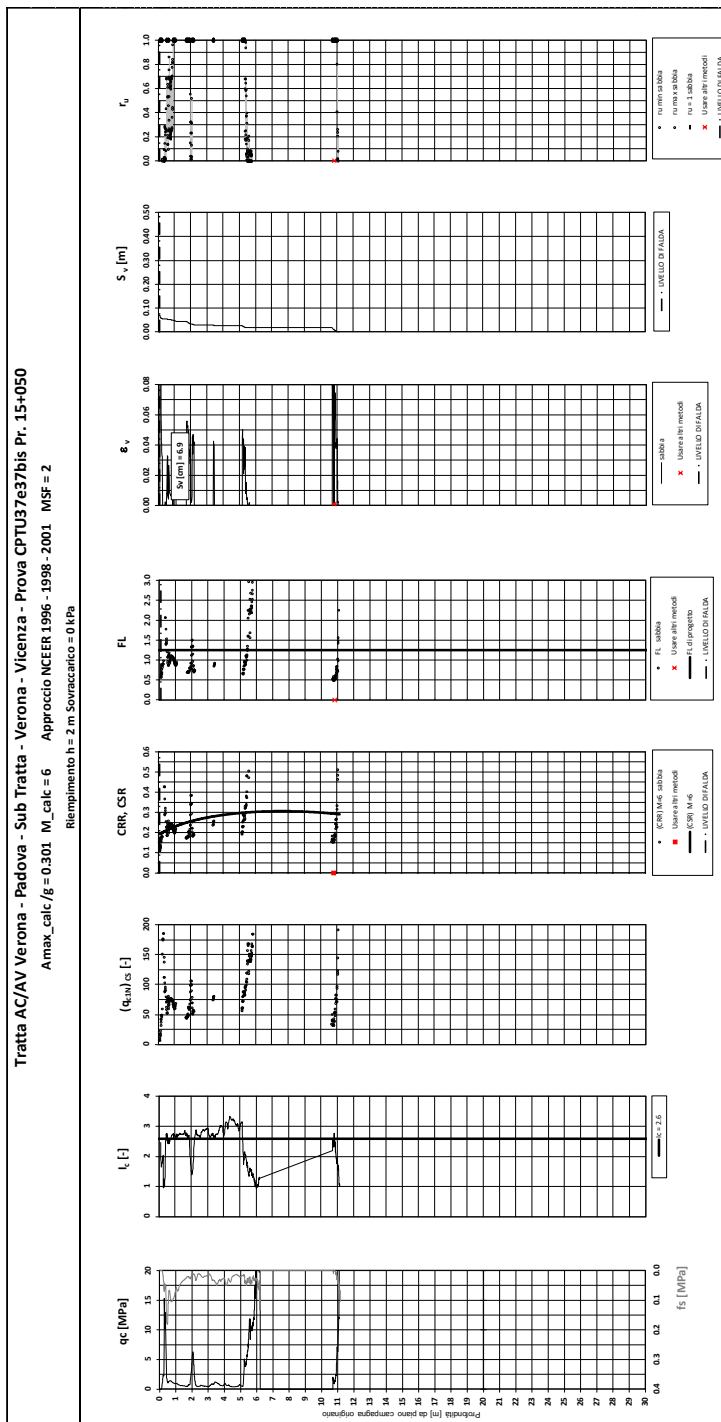


Figura 18 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU37 e CPTU37bis

Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI2400001A

Foglio
37 di 97

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prova CPTU-PE-10 Pr. 14+705
a_{max}=0.301g M_{calc}=6 MSF=2 Metodo NICEER 1996 - 1998 - 2001
Altezza rilevato = 2m

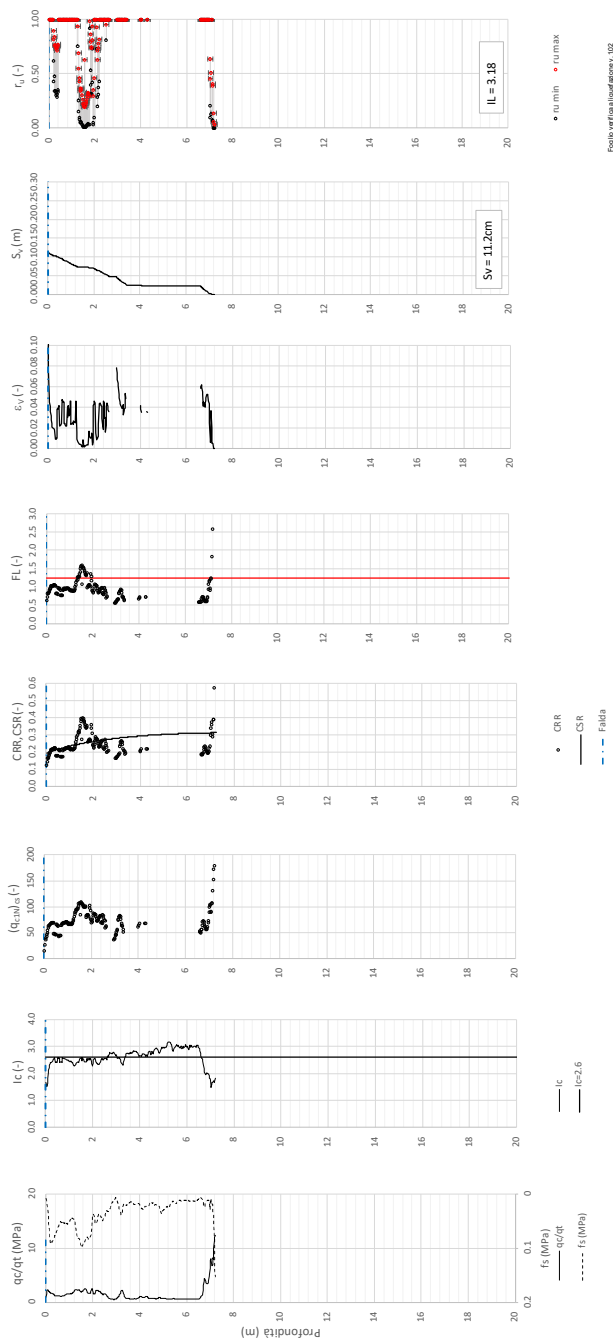


Figura 19 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU- PE-10

Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33
Relazione Geotecnica

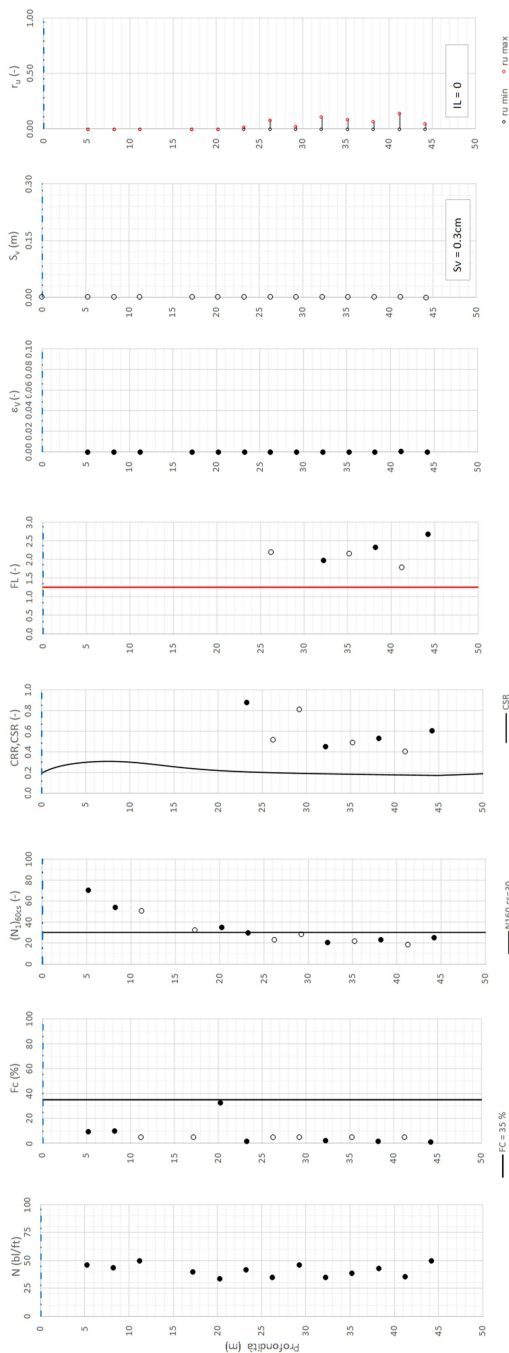
Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI2400001A

Foglio
38 di 97

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prove BH-PE-31 Pr. 14+673
 $a_{s,max} = 0.301g$ $M_{calc} = 6$ $MSF = 2$ Metodo NCEER 1998 - 1998 - 2001
 Altezza rilevato = 2m



Foglio verifica e certificazione: Hysp. v. 102

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

Figura 20 – Verifica Liquefazione da risultati BH-PE-31

Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI2400001A

Foglio
39 di 97

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prova BH-PE-32 Pr. 14-700
a_{max} = 0.301g W_{calc} = 6 MSF = 2 Metodo NCER1996 - 1998 - 2001
Altezza rilevato = 2m

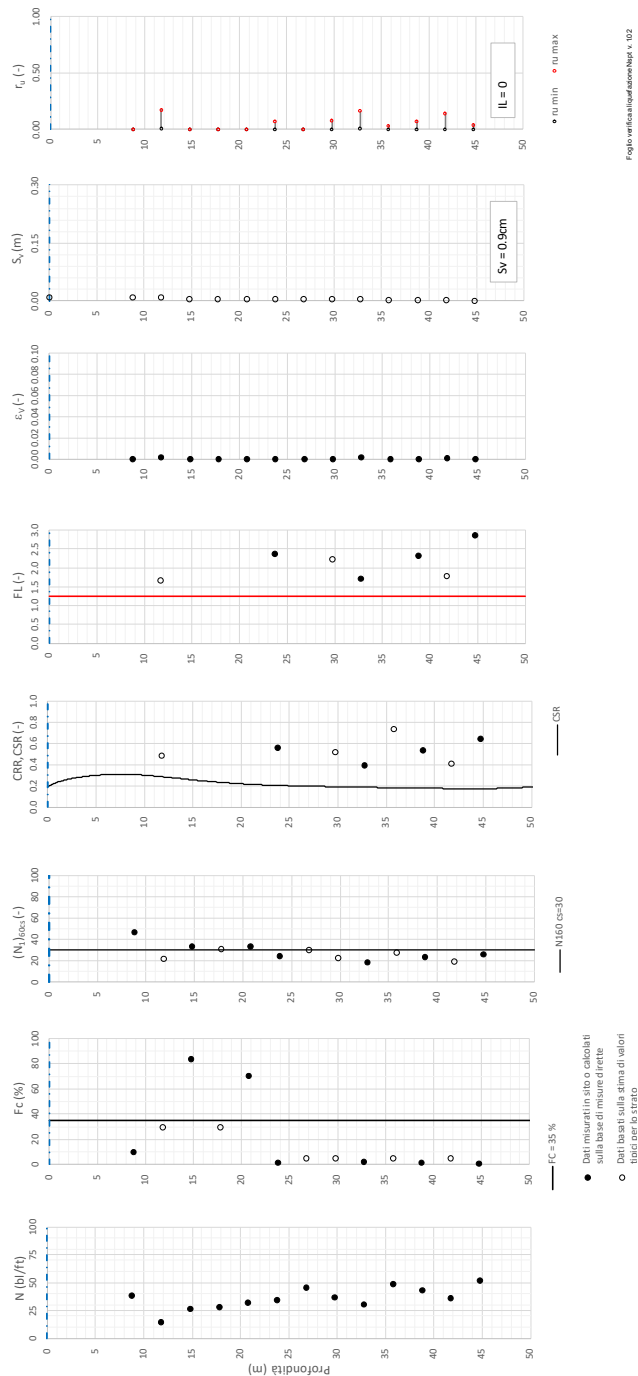


Figura 21 – Verifica Liquefazione da risultati BH-PE-32

Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33
 Relazione Geotecnica

Progetto
 IN17

Lotto
 12

Codifica
 EI2RBRI2400001A

Foglio
 40 di 97

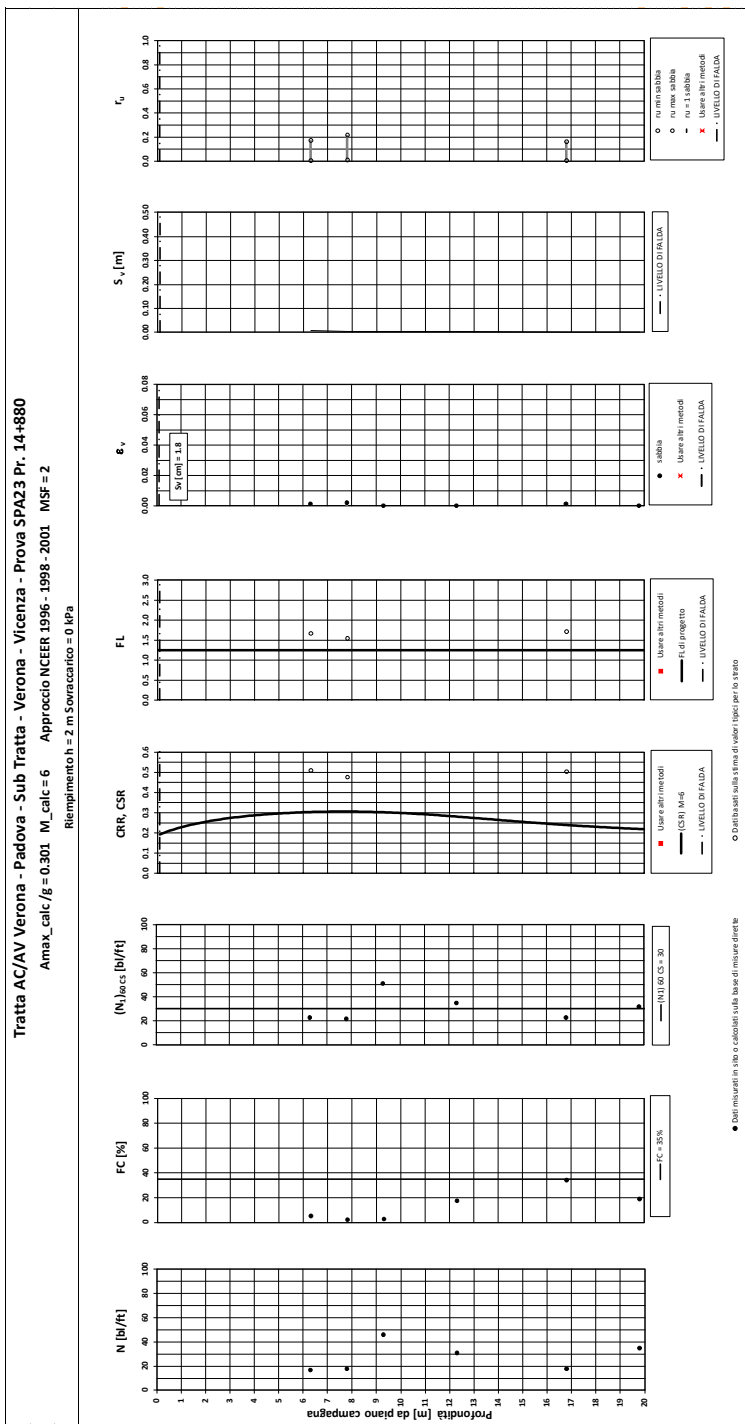


Figura 22 – Verifica Liquefazione da risultati SPA23

Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI2400001A

Foglio
41 di 97

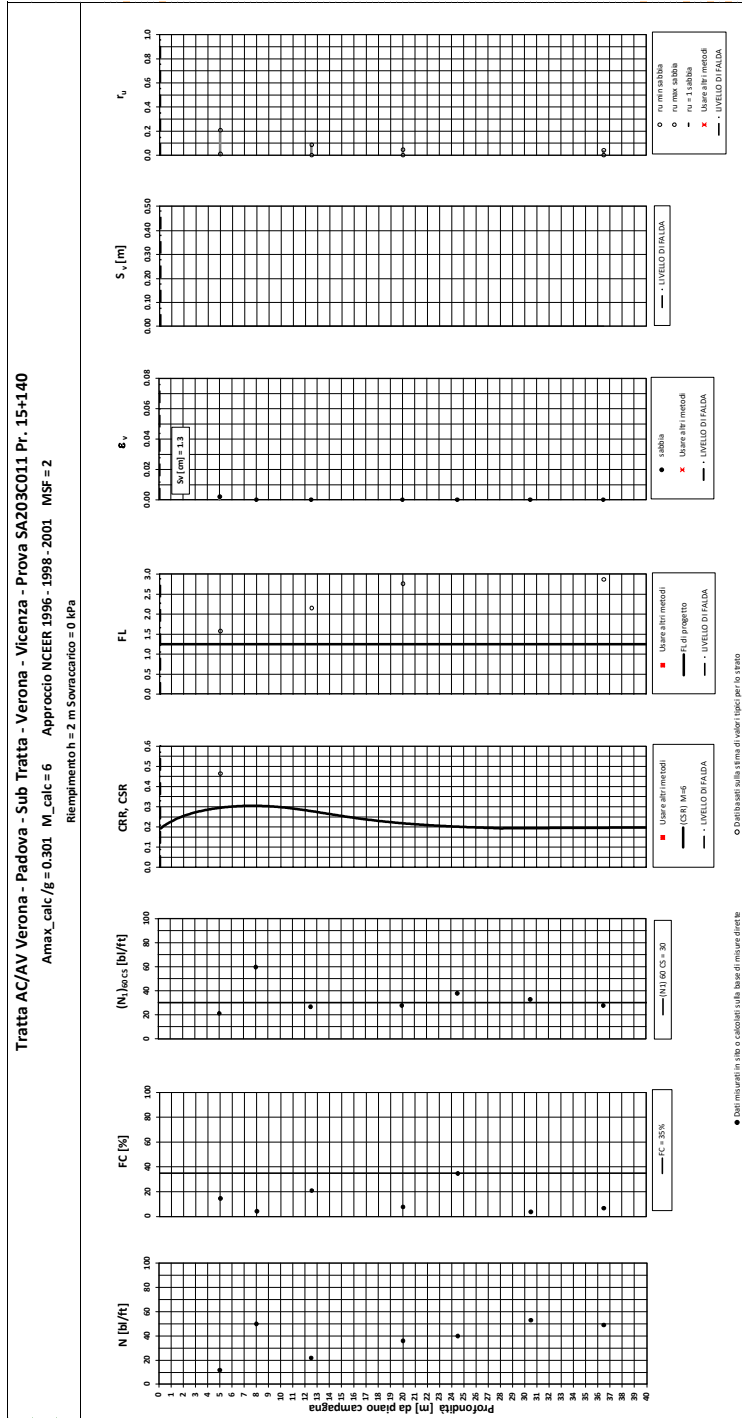




Figura 23 – Verifica Liquefazione da risultati SA203C011

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2400001A	Foglio 42 di 97

6 VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO

6.1 Criteri di verifica agli Stati Limite

Per le opere in esame, la normativa applicata richiede l'esecuzione delle seguenti verifiche di sicurezza e delle prestazioni attese (par. 6.2.3. del Doc. Rif. [15]):

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

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

$$E_d \leq R_d \quad (\text{Eq. 6.2.1 del Doc. Rif. [15]})$$

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. [15]).

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

$$E_d \leq C_d \quad (\text{Eq. 6.2.7 del Doc. Rif. [15]})$$

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. [15]), tenendo conto dei coefficienti parziali sotto definiti.

La verifica di stabilità globale si ritiene soddisfatta se:

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

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI2400001A</p>	<p>Foglio 43 di 97</p>

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

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

Facendo riferimento a quanto richiesto dalle NTC (Doc. rif. [15]), per le verifiche agli stati limite ultimi si sono adottati i valori dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle che seguono.

Tabella 6 – Coefficienti parziali sulle azioni

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

dove:



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

Tabella 7 – Coefficienti parziali sui terreni (Tab. 6.2.II, Doc. Rif. [15])

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

Tabella 8 – Coefficienti parziali per verifiche di stabilità globale - SLU

Coefficiente	R2
γ_R	1.1

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2400001A	Foglio 44 di 97

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. [15]), 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 piano di posa del ballast, e fino alla fine 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. [20] e [24]). Laddove si superino i limiti riferiti al primo livello di qualità (10 mm, Doc. rif. [24]), è richiesto il monitoraggio del binario durante la costruzione.

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



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

6.2 Azioni di progetto

Le azioni di progetto considerate nella analisi sono state definite coerentemente a quanto prescritto nel MdP (Doc. rif. [19]) e nelle NTC (Doc. rif. [15]) e sono di seguito descritte.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI2400001A</p>	<p>Foglio 45 di 97</p>

6.2.1 Azioni permanenti

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

- Peso massicciata e armamento 18 kN/m³
- Peso elementi in cls 25 kN/m³

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

6.2.2 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 10)

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

g accelerazione di gravità.

Tabella 10 - Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito (Doc. rif.[15])

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2400001A	Foglio 46 di 97

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 9 (Doc. Rif. [34]). Le combinazioni di carico adottate nelle analisi fanno riferimento rispettivamente ai coefficienti parziali (A2+M2) per le analisi in campo statico e ai coefficienti parziali (M2) per le analisi sismiche. Tali coefficienti sono contenuti nella Tabella 7 della presente relazione.

Come da NTC 2008 (Doc. Rif. [15]), la verifica SLU di stabilità globale è soddisfatta se è verificata, sia in condizioni statiche che sismiche, la relazione seguente:

$$FS \geq R2 = 1.1.$$

La verifica è stata condotta con riferimento alla già citate sezioni di riferimento, in condizioni drenate, in relazione ai litotipi presenti. La verifica è stata condotta facendo ricorso al metodo di Bishop modificato. Nel calcolo sono stati utilizzati i parametri geotecnici caratteristici definiti in Tabella 2, per i terreni di fondazione, e in Tabella 3, per il materiale da rilevato.

6.3.2 Verifiche SLU in condizione statiche

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 di lungo termine come da punto 4.4.2. Si sottolinea che nella ricerca delle superfici di rottura critiche sono state escluse tutte quelle superfici di spessore ridotto e che non interessano la sede ferroviaria.



In Figura 24 sono riportate le superfici di rottura critiche per la combinazione DA1C2 della sezione di calcolo; il fattore di sicurezza FS relativo a tali meccanismi è pari a:

Sezione	FS (DA1C2)
496	1.44

Essendo soddisfatta la relazione:

$$F_{S_{MIN}} \geq R2 = 1.1$$

le verifiche di stabilità globale in campo statico risultano soddisfatte.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2400001A	Foglio 47 di 97

6.3.3 Verifiche SLU in condizioni sismiche

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

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

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

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 stato inserito nei calcoli col proprio valore caratteristico in accordo a quanto specificato dalle NTC 2008 (vedasi Par.7.11.1 del Doc. Rif. [15]). Seguendo le prescrizioni desunte dal MdP (Doc. rif. [20]), in condizioni sismiche si applica il coefficiente di combinazione ψ per il carico variabile da traffico ferroviario pari a 0,2. La quota della falda è stata assunta come la media delle letture disponibili come riportato al punto 4.4.2. Si sottolinea che nella ricerca delle superfici di rottura critiche sono state escluse tutte quelle superfici di spessore ridotto e che non interessano la sede ferroviaria.

In Figura 25 sono riportate le superfici di rottura critiche della sezione di calcolo facendo riferimento alla situazione più gravosa, ovverosia quella con sisma verso l'alto (-kv); il fattore di sicurezza FS relativo a tali meccanismi è pari a:

Sezione	FS (sismica)
496	1.41

Essendo soddisfatta la relazione:

$$FS_{MIN} \geq R2 = 1.1,$$

le verifiche di stabilità globale in campo sismico risultano soddisfatte.

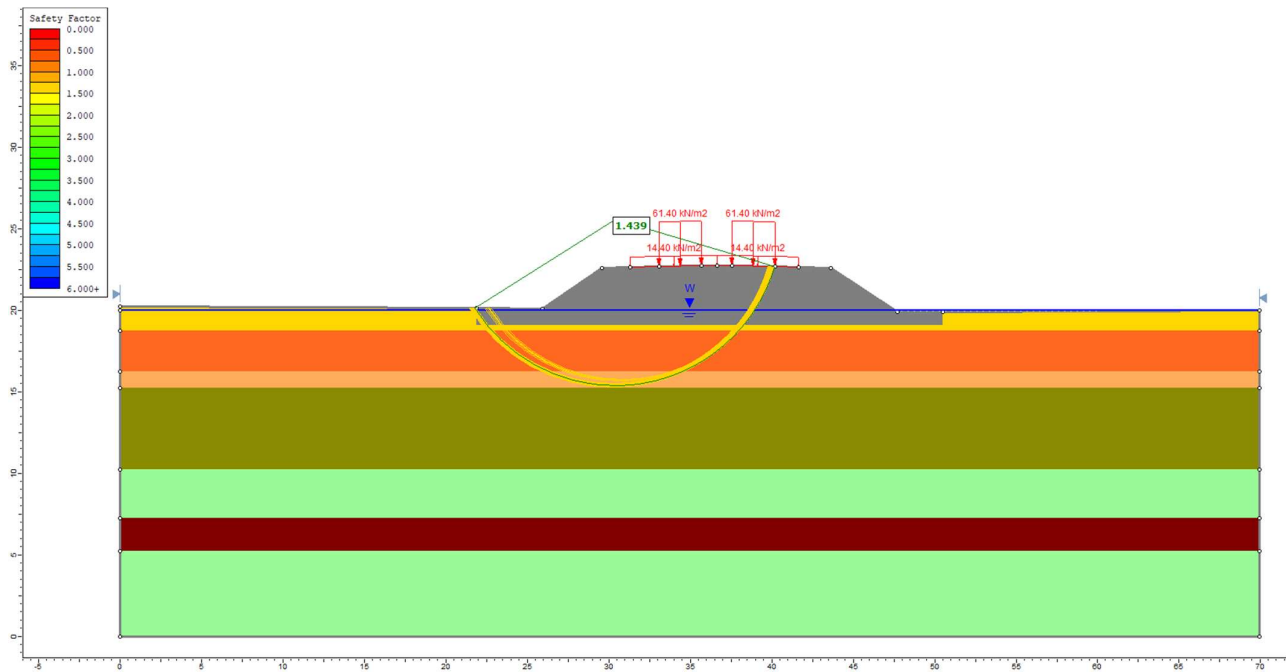


Figura 24 - Rilevato sezione n. 496 RI24 alla pk 14+720- Analisi SLU in campo statico DA1C2

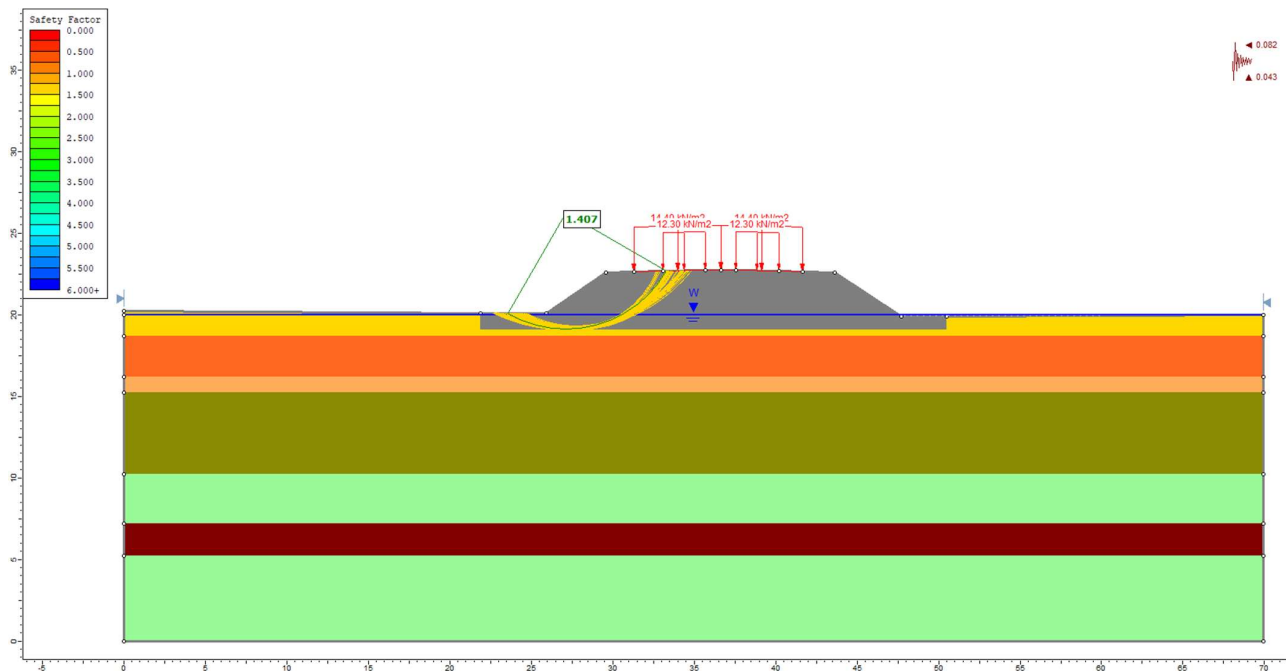




Figura 25 - Rilevato sezione n. 496 RI24 alla pk 14+720- Analisi SLU in campo sismico

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2400001A	Foglio 49 di 97

6.4 Verifica e risultati SLE

La determinazione del campo di spostamenti è stata svolta mediante l'utilizzo del codice di calcolo SETTLE 3D (Doc. Rif. [35]) 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).

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

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

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

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.

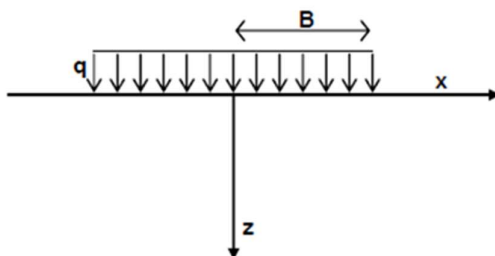


Figura 26 – Modello di calcolo Settle 3D – carico uniforme

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:

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

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

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

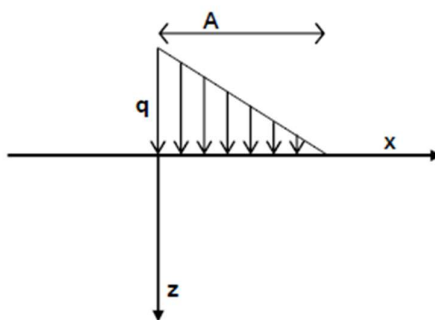




Figura 27 - Modello di calcolo Settle 3D – carico linearmente crescente

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.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2400001A	Foglio 51 di 97

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

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

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

$$E_d \leq C_d \quad (\text{Eq. 6.2.7 del Doc. Rif. [15]})$$

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.

La verifica è stata condotta con riferimento alle seguenti sezioni:

- sezione n. 496 - ubicata alla pk 14+720

illustrata alla figura Figura 1. Il modello di calcolo implementato la sezione analizzata è illustrato in Figura 28 e Figura 29.

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.



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

- Costruzione rilevato per AV
- Completamento rilevato con posa del ballast

I cedimenti totali sono stati calcolati in corrispondenza degli assi dei due binari AV di nuova costruzione. I risultati sono illustrati in Figura 30 dove sono anche indicate le posizioni degli assi dei binari della linea AV.

Risulta quanto segue:

- sezione n. 496 - ubicata alla pk 14+720
 - i cedimenti totali lungo i due assi delle nuove linee AV sono pari a 40 mm su entrambi gli assi;
 - il differenziale tra il cedimento dopo la costruzione del rilevato e quello dovuto alla posa del ballast è pari a circa 6 mm su entrambi gli assi della AV.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI2400001A</p>	<p>Foglio 52 di 97</p>

Considerato l'andamento stratigrafico (presenza in modo preponderante di materiali incoerenti), tale cedimento si esaurirà in pratica all'atto della applicazione dei carichi. I cedimenti di lungo termine sono da considerarsi nulli, e quindi non risultano essere necessarie analisi di consolidazione.

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

Dato il valore limitato dei cedimenti attesi, **la verifica SLE è quindi da considerarsi soddisfatta.**

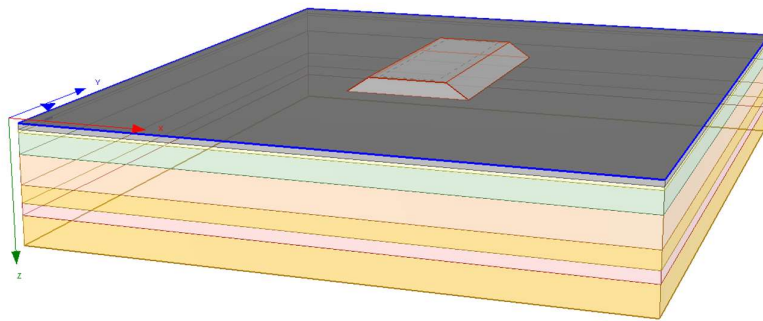


Figura 28 – Rilevato sezione n. 496 RI24 alla pk 14+720 - Analisi SLE – Modello di calcolo – Costruzione rilevato AV

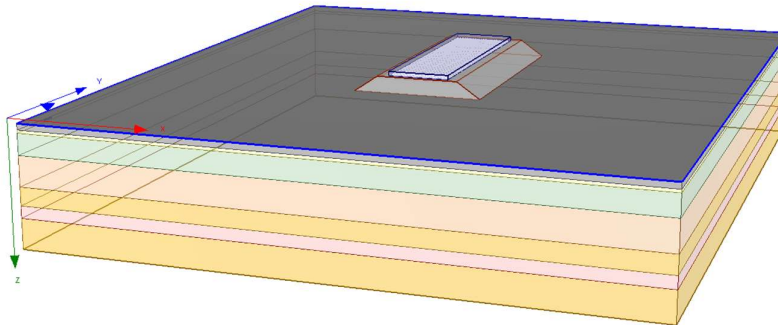


Figura 29 - Rilevato sezione n. 496 RI24 alla pk 14+720 - Analisi SLE – Modello di calcolo – Posa Ballast

Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33
 Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2400001A

Foglio

53 di 97

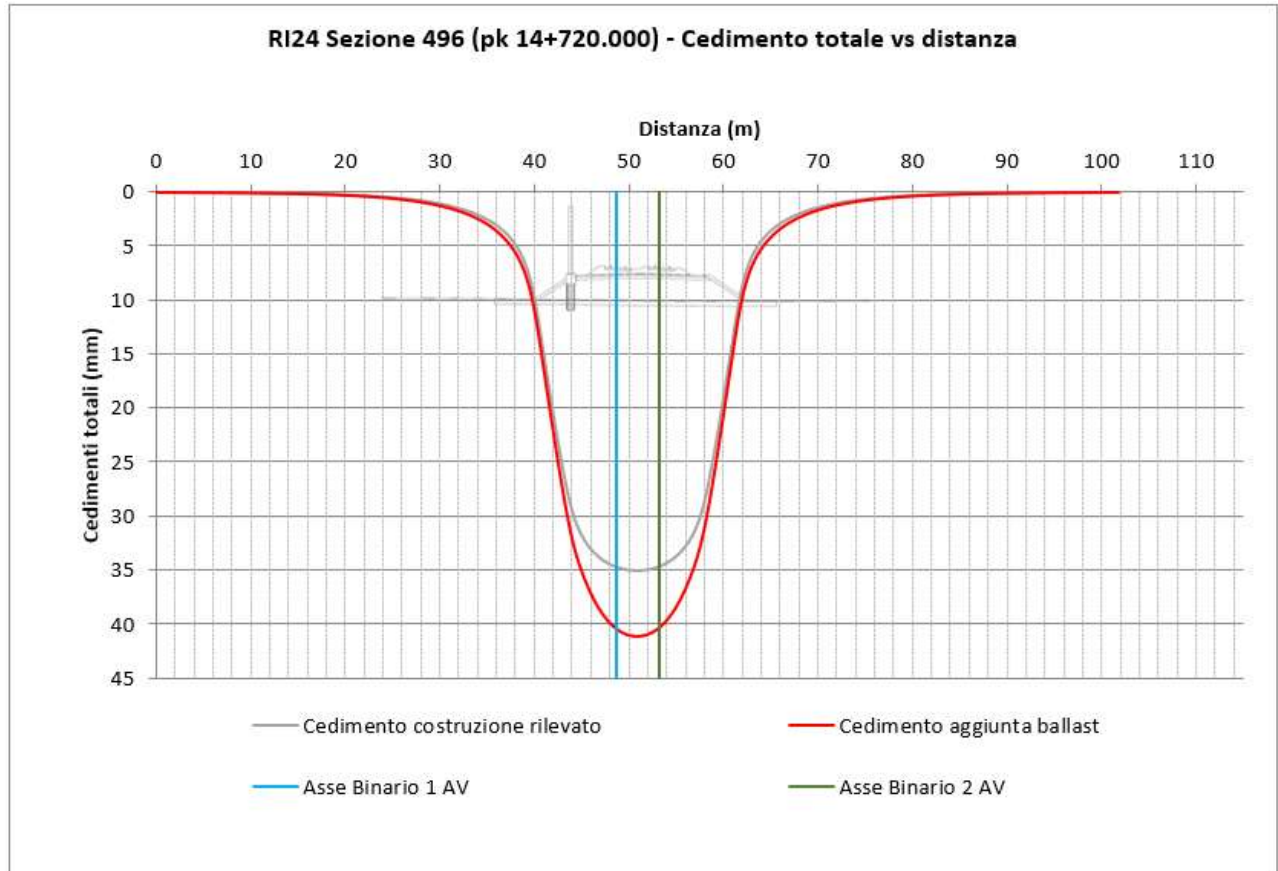




Figura 30 - Rilevato sezione n. 496 RI24 alla pk 14+720 - Analisi SLE – Risultato Cedimenti

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2400001A	Foglio 54 di 97

7 CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI

Per quanto concerne i cedimenti attesi questi sono limitati e non differiti nel tempo; non si evidenziano criticità di tipo geotecnico e pertanto non è previsto un monitoraggio.

Al fine di evitare possibili problemi legati alla presenza di eventuali materiali sciolti passibili di liquefazione, si prescrive quanto segue:

- realizzazione di uno scotico + bonifica per uno spessore complessivo di 1.0 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 in misura tale da renderlo non più suscettibile a liquefazione.
- relazione del rinterro in accordo alle specifiche.

Si segnala che, probabilmente, lo scavo fino a 1.0 m e la compattazione potranno avvenire sotto falda. Ciò dipenderà anche molto dal periodo dell'anno nel quale verranno eseguiti i lavori e dalle fluttuazioni stagionali. Nel caso, si dovrà provvedere a mantenere lo scavo asciutto. Il trattamento di cui sopra è prescritto per l'intero tratto interessato dal rilevato in oggetto.

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI2400001A	55 di 97

ALLEGATI

GENERAL CONTRACTOR

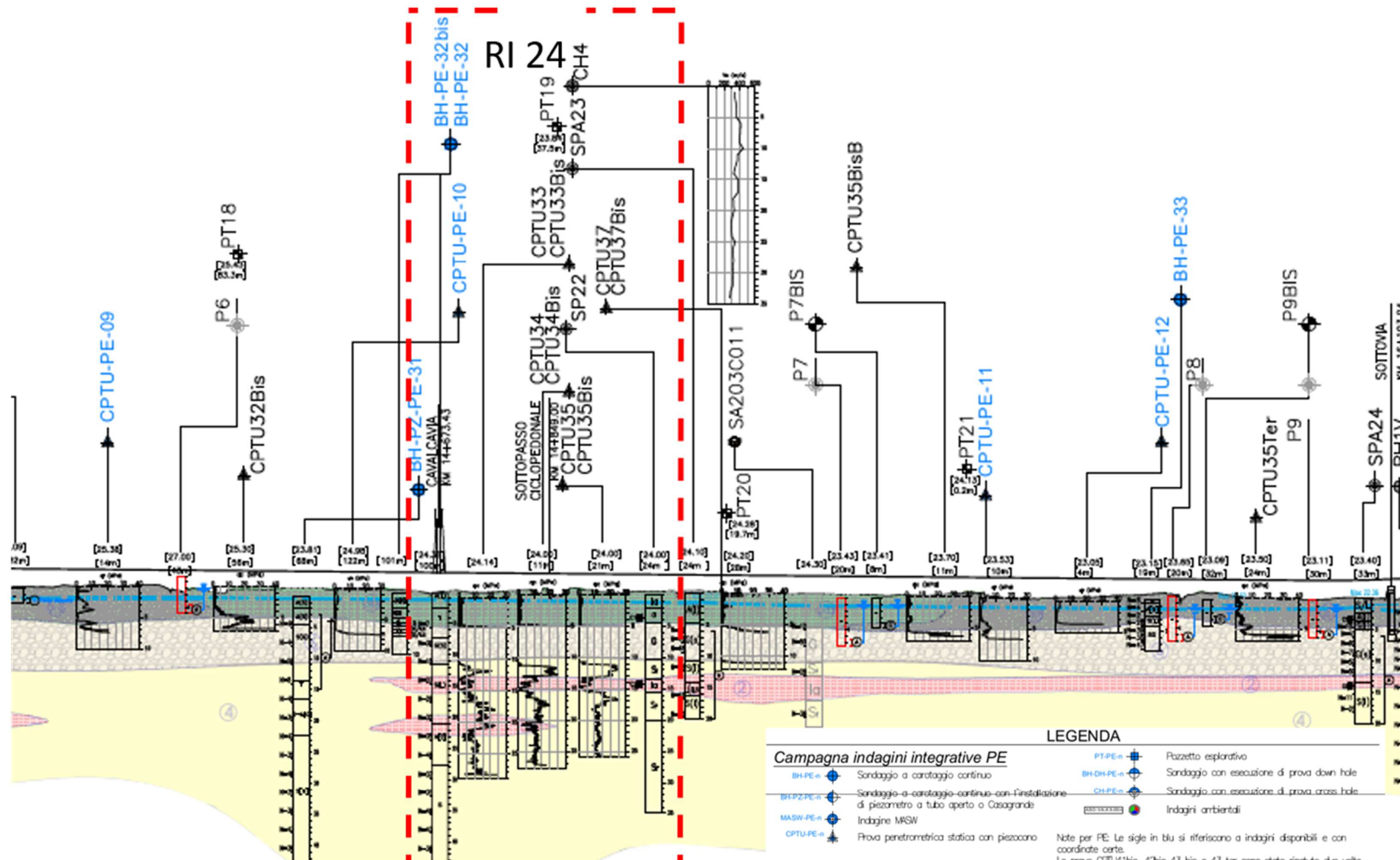


ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI2400001A	56 di 97

ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO



Campagna indagini pregresse

- S3 Sondaggio geognostico (campagna 1998)
- SA203X000 Sondaggio geognostico, numero di riferimento (campagna 2002)
- ▲ SPA203X000 CPTU, numero di riferimento (campagna 2002)
- 4060000 Pozzo con stratigrafia, numero di riferimento (Dati ex Aziende Industriali Municipalizzate (VI) per gentile concessione Centro Idrico Novoledo s.r.l.)

Classi dei terreni

- | | | |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> 1 Riporto 2 Limi argillosi e limi da compatte a molto compatte, generalmente sovraconsolidati | <ul style="list-style-type: none"> 3a Area con prevalenza di sabbie limose/con limo e limi sabbiosi/con sabbia, a compartimento drenato, da sciolti a mediamente addensati 3b Area con prevalenza di limi argillosi e argille limose, da tenere a mediamente compatte, generalmente NC o debolmente OC 3c Area di alternanze, sia in verticale che planimetriche, di materiali 3a e 3b | <ul style="list-style-type: none"> 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) |
|--|---|--|

LEGENDA

- | | | | |
|--|--|--|--|
| ● BH-PE-n | Sondaggio a carotaggio continuo | ● PT-PE-n | Pozzetto esplorativo |
| ● BH-PZ-PE-n | Sondaggio a carotaggio continuo con installazione di piezometro a tubo aperto a Casagrande | ● BH-DH-PE-n | Sondaggio con esecuzione di prova down hole |
| ● MASW-PE-n | Indagine MASW | ● CH-PE-n | Sondaggio con esecuzione di prova cross hole |
| ▲ CPTU-PE-n | Prova penetrometrica statica con piezocono | ● [] | Indagini ambientali |
- Note per PE: Le sigle in blu si riferiscono a indagini disponibili e con coordinate certe.
Le prove CPTU/1bis, 4/2bis 4/3 bis e 4/3 ter sono state ripetute due volte, con due attrezzature diverse.

Campagna indagini 2018 per CDS

- Sondaggio geognostico

Campagna indagini 2015

- P1+P15, P20 Sondaggio a carotaggio continuo con installazione di Piezometro a Tubo Aperto (A)
- P1+15Bis Foro a distruzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C)

Campagna indagini 2014

- 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 Sondaggio a carotaggio continuo (SP) con installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
- SPAA Sondaggio a carotaggio continuo (SP) con installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
- SDC Foro a distruzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
- SDA Foro a distruzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
- ▲ CPTU Prova penetrometrica statica con piezocono (possibilità di avanzamento con trivellazione)
- ▲ CPTU+ Prova penetrometrica statica con piezocono "tradizionale"
- CH Foro a distruzione di nucleo per esecuzione prove CROSS-HOLE
- PT Pozzetto esplorativo a 1,5 m da p.c. con prove di carico su piastra
- Profondità delle indagini

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 11+816,62 a pk 12+034,15 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI1600001A	58 di 97

ALLEGATO 2 - SONDAGGI



Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI2400001A

Foglio
59 di 97

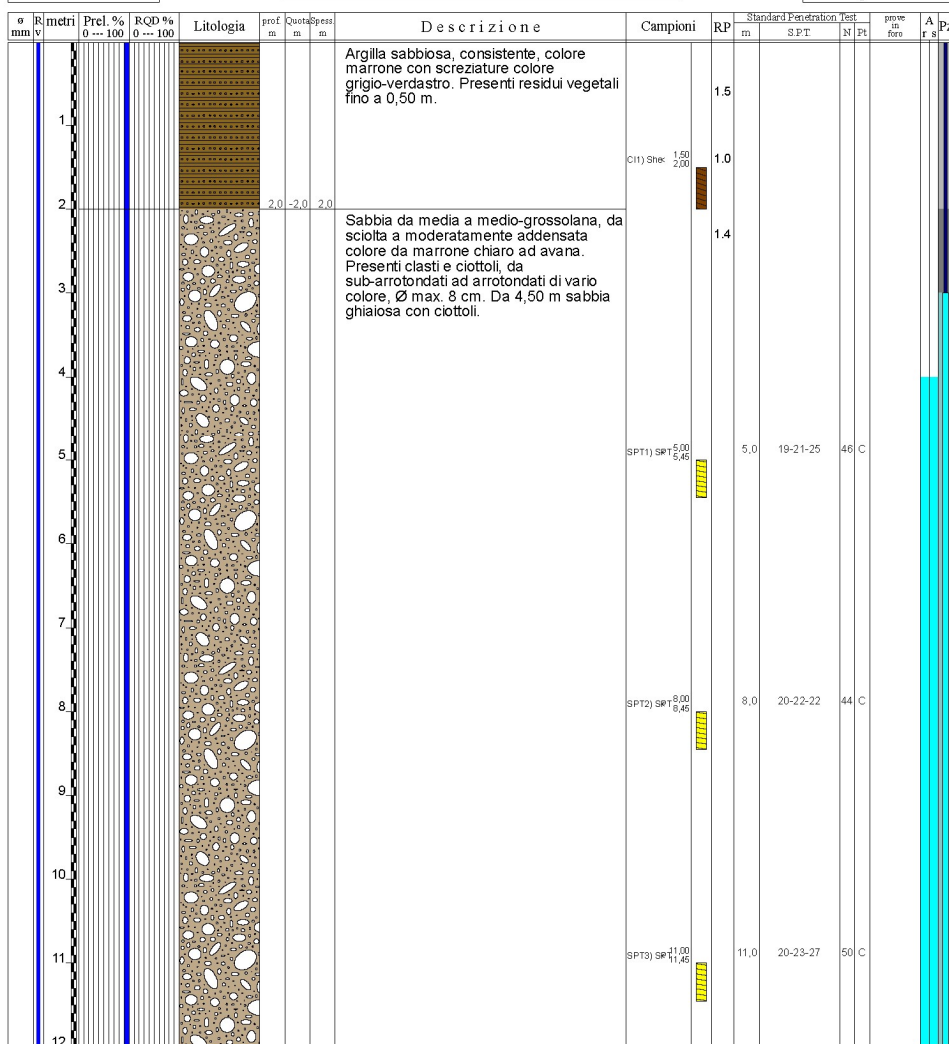
GEOSERVING S.r.l. Laboratorio Sperimentale
per prove geotecniche terre, rocce e prove in situ
Via Collemaroni, 3 - San Vittore del Lazio (FR)
e-mail: info@geoserving.it

Certificato n° del	Acceptance note n° V5845 del 29/10/2020
Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 31
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 16/11/2020 - 19/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: NENZI, prog. 14+650	

SCALA 1 :60

STRATIGRAFIA - BH PE 31

Pagina 1/4



Il Geologo di Cantiere
dott.geol. Gerardo Barrasso

Il Responsabile della Commessa
dott.geol. Giuseppe Pacitti

Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI2400001A

Foglio
60 di 97

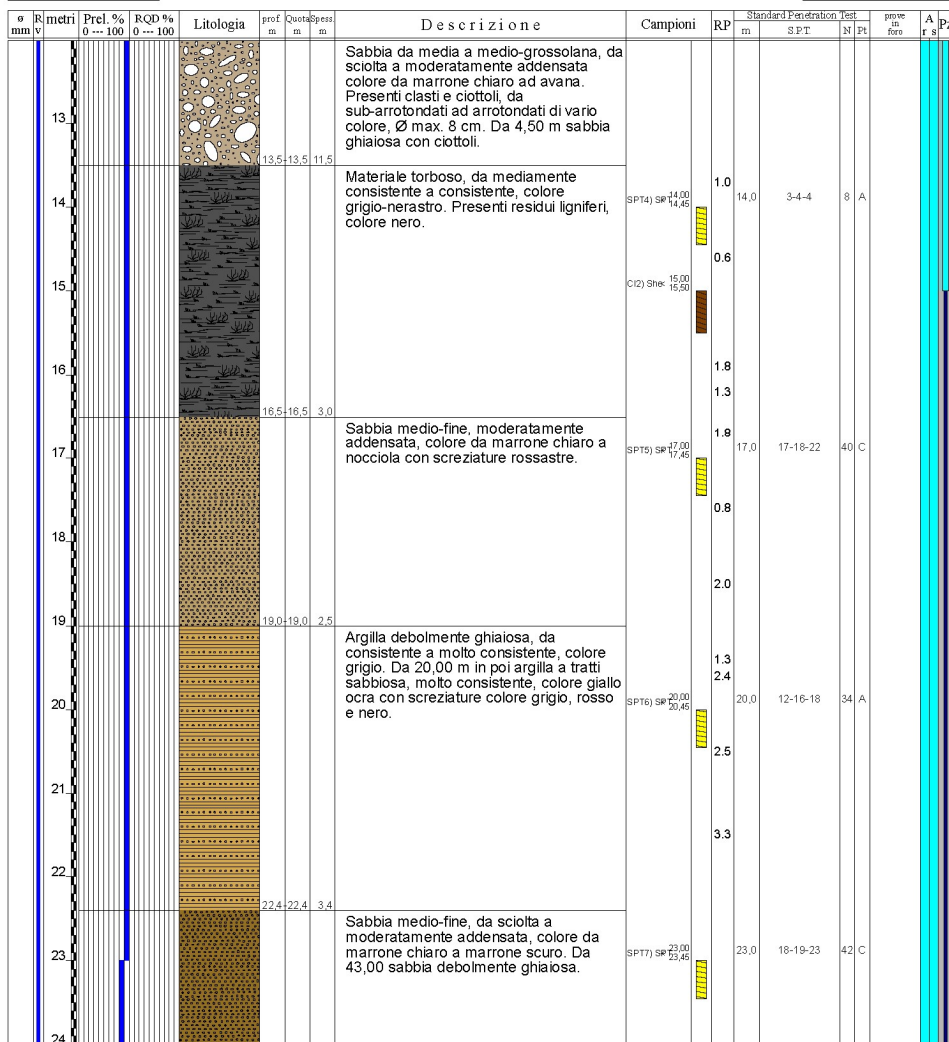
GEOSERVING S.r.l. Laboratorio Sperimentale
per prove geotecniche terre, rocce e prove in situ
Via Collemaroni, 3 - San Vittore del Lazio (FR)
e-mail: info@geoserving.it

Certificato n° del	Acceptance note n° V5845 del 29/10/2020
Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 31
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 16/11/2020 - 19/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: NENZI, prog. 14+650	

SCALA 1 : 60

STRATIGRAFIA - BH PE 31

Pagina 2/4



Il Geologo di Cantiere
dott.geol. Gerardo Barrasso

Il Responsabile della Commessa
dott.geol. Giuseppe Pacitti

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI240001A

Foglio

61 di 97

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

Certificato n° del	Acceptance note n° V5845 del 29/10/2020
Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 31
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 16/11/2020 - 19/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: NENZI, prog. 14+650	

SCALA 1:60

STRATIGRAFIA - BH PE 31

Pagina 3/4

Ø mm	R mm	metri	Prel. % 0 --- 100	RQD % 0 --- 100	Litologia	prof m	Quota m	Spes. m	Descrizione	Campioni	RP	Standard m	Fondation S.P.T.	Test N PT	prova in foro	A r s	Pz	
		25			Sabbia medio-fine, da sciolta a moderatamente addensata, colore da marrone chiaro a marrone scuro. Da 43,00 sabbia debolmente ghiaiosa.													
		26								SPT8) SP ^{26,00} _{26,46}		26,0	15-16-19	35	C			
		27																
		28																
		29								SPT9) SP ^{29,00} _{29,46}		29,0	22-23-23	46	C			
		30																
		31																
		32								SPT10) SP ^{32,00} _{32,46}		32,0	15-17-18	35	C			
		33																
		34																
		35								SPT11) SP ^{35,00} _{35,46}		35,0	19-19-20	39	C			
		36																

Il Geologo di Cantiere
dott.geol. Gerardo Barrasso

Il Responsabile della Commessa
dott.geol. Giuseppe Pacitti



Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI2400001A

Foglio
62 di 97

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

Certificato n° del	Acceptance note n° V5845 del 29/10/2020
Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 31
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 16/11/2020 - 19/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: NENZI, prog. 14+650	

SCALA 1 :60 **STRATIGRAFIA - BH PE 31** Pagina 4/4

Ø mm	R mm	metri	Prel. % 0 --- 100	RQD % 0 --- 100	Litologia	prof m	Quota m	Spes m	Descrizione	Campioni	RP	Standard m	Fondation S.P.T.	Test N PT	prova in foro	A r s	Pz	
		37			Sabbia medio-fine, da sciolta a moderatamente addensata, colore da marrone chiaro a marrone scuro. Da 43,00 sabbia debolmente ghiaiosa.													
		38								SPT12) Ø41,00 Ø38,45		38,0	17-19-24	43	C			
		39																
		40																
		41								SPT13) Ø41,00 Ø21,45		41,0	15-18-18	36	C			
		42																
		43																
		44								SPT14) Ø41,00 Ø21,45		44,0	20-23-27	50	C			
101		45				45,0	45,0	22,8										

Utilizzato carotiere semplice.
Prelevati n. 2 campioni indisturbati.
Prelevati n. 14 campioni rimaneggiati S.P.T.
Eseguiti n. 14 prove S.P.T.
Installato tubo piezometrico a tubo aperto da 2" fino a 15,00 m da p.c.
Installato chiusino in ferro.
Approvvigionamento e trasporto di acqua necessaria per la perforazione.

Il Geologo di Cantiere
dott.geol. Gerardo Barrasso

Il Responsabile della Commessa
dott.geol. Giuseppe Pacitti

Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI2400001A

Foglio
63 di 97

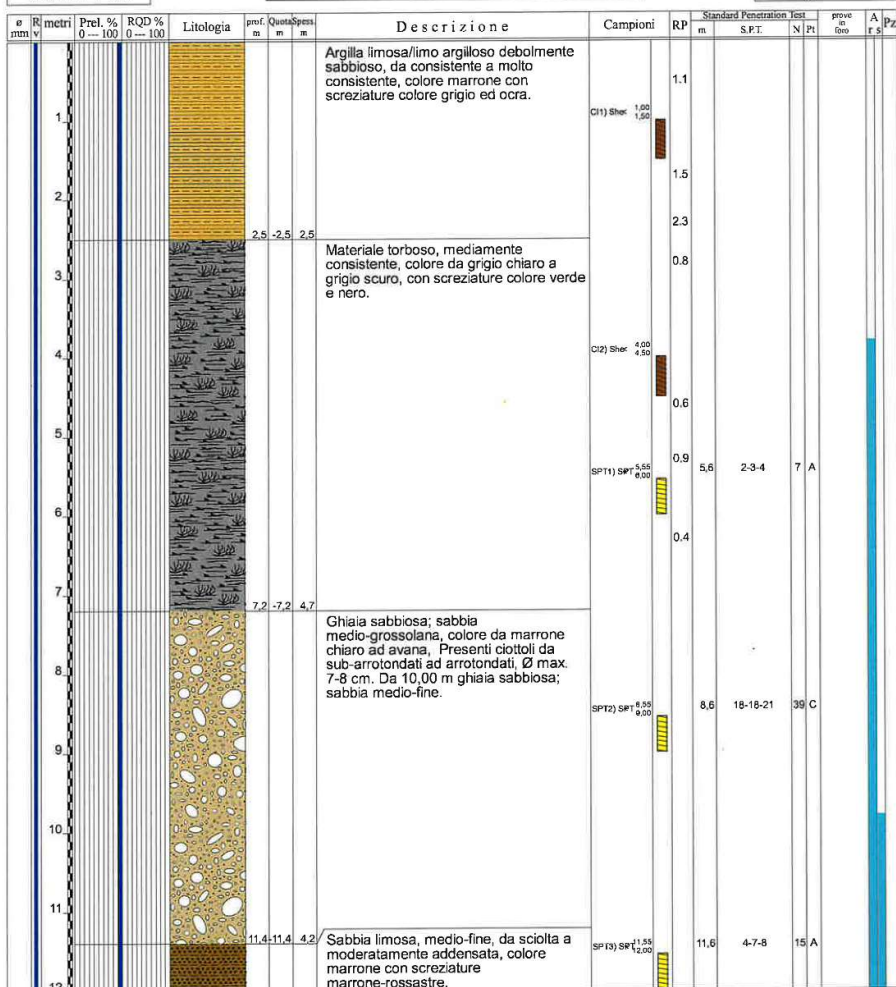
GEOSERVING S.r.l. Laboratorio Sperimentale
per prove geotecniche terre, rocce e prove in situ
Via Collemaroni, 3 - San Vittore dal Lazio (FR)
e-mail: info@geoserving.it

Certificato n° del	Acceptance note n° V5845 del 29/10/2020
Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 32
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 19/11/2020 - 25/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: NENZI, prog. 14+700	

SCALA 1 :60

STRATIGRAFIA - BH PE 32

Pagina 1/4



Il Geologo di Cantiere
dott.geol. Gerardo Barrasso

Il Responsabile della Commessa
dott.geol. Giuseppe Pacitti

Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI2400001A

Foglio
64 di 97



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

Certificato n° del	Acceptance note n° V5845 del 29/10/2020
Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 32
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 19/11/2020 - 25/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: NENZI, prog. 14+700	

SCALA 1:60

STRATIGRAFIA - BH PE 32

Pagina 2/4

a mm	R v	R metri	Prel. % 0-100	RQD % 0-100	Litologia	prof. m	Quota m	Spesi m	Descrizione	Campioni	RP m	Standard Penetration Test			prove in foto	A r	Pz
												S.P.T.	N	Pr			
		13							Sabbia limosa, medio-fine, da sciolta a moderatamente addensata, colore marrone con screziature marrone-rossastre.	CR1) Rm 12,30 12,90	2,2						
		14															
		15								SPT4) Sp 14,55 19,00	14,6	12-13-14	27	C			
		16															
		17															
		18								SPT5) Sp 17,55 19,00	17,6	13-13-15	28	C			
		19															
		20															
		21				21,0	21,0	9,6		SPT6) Sp 20,55 21,00	20,6	11-16-16	32	C			
		22							Argilla tra 22,00-23,00 m debolmente ghiaiosa e tra 25,00-27,60 sabbiosa, molto consistente colore da marrone ad oca con screziature colore verde, rosso e nero.		2,8						
		23								CI3) Shw 23,00 23,00	2,5						
		24								SPT7) Sp 23,55 24,00	23,6	13-16-19	35	A			

Il Geologo di Cantiere
dott.geol. Gerardo Barrasso

Il Responsabile della Commessa
dott.geol. Giuseppe Pacitti

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI2400001A

Foglio
65 di 97

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

Certificato n° del	Acceptance note n° V5845 del 29/10/2020
Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 32
Riferimento: Linea AVIAC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 19/11/2020 - 25/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: NENZI, prog. 14+700	

SCALA 1 :60

STRATIGRAFIA - BH PE 32

Pagina 3/4

q	Ri	Prel. %	RQD %	Litologia	prof.	Quota	Spes.	Descrizione	Campioni	RP	Standard Penetration	test	prove	A	Pz
mm	mm	0-100	0-100		m	m	m			m	S.P.T.	N	Pi	in foro	r s
								Argilla tra 22,00-23,00 m debolmente ghiaiosa e tra 25,00-27,60 sabbiosa, molto consistente colore da marrone ad ocre con screziature colore verde, rosso e nero.		3,5 3,5					
25															
26															
27									SPT8) SP 26,55 27,00	26,6	16-18-28	46	A		
28					27,6-27,6	6,6		Sabbia media, addensata, colore ocre. Tra 43,00-45,00 presenti inclusi litici sub-arrotondati.							
29															
30									SPT9) SP 26,55 30,00	29,6	16-18-19	37	C		
31															
32															
33									SPT10) SP 32,55 35,00	32,6	14-16-15	31	C		
34															
35															
36									SPT11) SP 35,55 36,00	35,6	20-22-27	49	C		

Il Geologo di Cantiere
dott.geol. Gerardo Barrasso

Il Responsabile della Commessa
dott.geol. Giuseppe Pacitti

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2400001A

Foglio

66 di 97



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

Certificato n° del	Acceptance note n° V5845 del 29/10/2020
Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 32
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 19/11/2020 - 25/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: NENZI, prog. 14+700	

SCALA 1:60

STRATIGRAFIA - BH PE 32

Pagina 4/4

m	R	Prci. % 0-100	RQD % 0-100	Litologia	prof. m	Quota m	Spess. m	Descrizione	Campioni	RP	Standard Penetration Test			prova in foro	A r s	Pz
											m	S.P.T.	N			
37								Sabbia media, addensata, colore ocra. Tra 43,00-45,00 presenti inclusi litici sub-arrotondati.								
38																
39									SPT12) 43,55 45,00	38,6	17-19-24	43	C			
40																
41																
42									SPT13) 41,55 42,00	41,6	18-18-18	36	C			
43																
44																
45									SPT14) 44,45 45,00	44,6	23-24-28	52	C			
101					45,0	45,0	17,4									

Utilizzato carotiere semplice.
Prelevati n. 3 campioni indisturbati.
Prelevato n. 1 campione rimaneggiato.
Prelevati n. 14 campioni rimaneggiati S.P.T.
Eseguite n. 14 prove S.P.T.
Approvvigionamento e trasporto di acqua necessaria per la perforazione.

Il Geologo di Cantiere
dott.geol. Gerardo Barrasso

Il Responsabile della Commessa
dott.geol. Giuseppe Pacitti

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

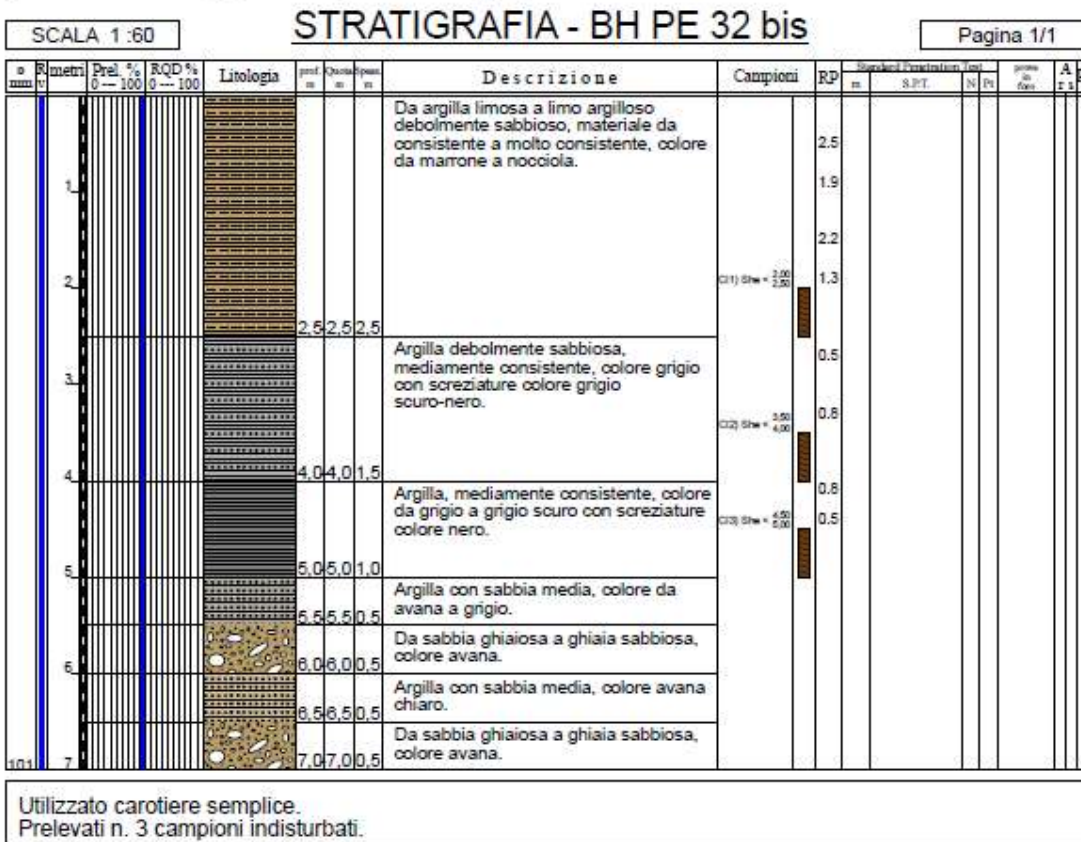
Codifica
EI2RBRI2400001A

Foglio
67 di 97



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

Certificato n° del	Acceptance note n° V5845 del 29/10/2020
Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 32 bis
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 18/12/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: NENZI, prog.	



Il Geologo di Cantiere
dott.geol. Gerardo Barrasso

Il Responsabile della Commessa
dott.geol. Giuseppe Pacitti



Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33
Relazione Geotecnica

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI240001A	68 di 97



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

Certificato n° del	Acceptance note n° V5845 del 29/10/2020
Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 32 bis
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 18/12/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: NENZI, prog.	

LEGENDA STRATIGRAFIA

Ø	R	metri	Prel. %	R.Q.D. %	Litologia	prof	Quota	Spes	Descrizione	Campioni	RP	Resistenza	S.P.T.	N/PS	Prova	A	Pz		
mm	mm		0-100	0-100		m	m	m			m	kg/cm²							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

- 1) Diametro del foro / Tipo di carotiere
- 2) Rivestimento
- 3) Scala metrica
- 4) Percentuale di prelievo (1-10, 11-20, ..., 91-100 %)
- 5) Percentuale R.Q.D. (1-10, 11-20, ..., 91-100 %)
- 6) Simbolo litologico
- 7) Profondità della base dello strato (m)
- 8) Quota assoluta della base dello strato (m)
- 9) Spessore dello strato (m)
- 10) Descrizione della litologia dello strato
- 11) Campioni (numero, tipo, profondità testa e scarpa)
- 12) Simbolo del campione
- 13) Resistenza alla punta (kg/cm²)
- 14) Profondità di inizio della prova S.P.T.
- 15) Prova S.P.T.
- 16) Valore di N_{spt}
- 17) Tipo di punta (A = punta aperta; C = punta chiusa)
- 18) Prove in foro
- 19) Profondità dell'acqua (rinvenimento e stabilizzazione)
- 20) Piezometri

She = Shelby
Den = Denison
Ost = Osterberg
Maz = Mazier
Crp = Craps
nk3 = NK3
Ind = Indisturbato
Dis = Disturbato
SDi = Semi disturbato
SPT = SPT

Lfr.C = Lefranc a carico costante
Lfr.V = Lefranc a carico variabile
Lug = Lugeon
Press = Prova pressiometrica
Dilat = Prova dilatometrica
Scis = Prova scissometrica
PLT = Point Load Test
Prov = Altra prova



GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2400001A

Foglio

69 di 97



Laboratorio Sperimentale
per prove geotecniche in situ, prove in situ
Via Colonnari, 5 - San Vittore del Lazio (FR)
www.geoserving.it

Certificato n° del	Acceptance note n° V5845 del 29/10/2020
Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 32 bis
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 18/12/2020
Fotografie - Pagina 1/2	Pagina 1



Cassetta n° 1 - profondità da m 0,00 a m 5,00



Cassetta n° 2 - profondità da m 5,00 a m 10,00

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2400001A

Foglio

70 di 97



Laboratorio Sperimentale
per prove geotecniche terra, roccia e prove in situ
Via Colonnari, 3 • San Vittore del Lazio (FR)
www: info@geoserving.it

Certificato n° del	Acceptance note n° V5845 del 29/10/2020
Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 32 bis
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 18/12/2020
Fotografie - Pagina 2/2	Pagina 2



Postazione

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI2400001A

Foglio
72 di 97

VICENZETTO S.p.A. - 35040 VILLA ESTENSE (PD) - VIA MUNICIPIO IL 15 - TEL. 0429917198 - FAX 042991200 - info@vicenzetto.it

VICENZETTO <small>SESTIONE SUCCESSIONE DAL 1917</small>		SCHEDA DI SONDAGGIO <small>SESTIONE SUCCESSIONE DAL 1917</small>		COMMITTEE: VICENZA DATA: 07/11/2014 OPERATORE: S.M. MOSE	
COMMITTENTE: Consorzio IricAV Due PROGETTO: Linea AVAC VR-PD Sub tratta VR-VI - 1° Sub lotto Verona - Montebellio V. PROIEZIONE N.: 5732 DATA INIZIO: 06/11/2014 ULTIMAZIONE: 08/11/2014 COORDINATE NAD: DATUM INIZIO: IRI/1954 ALTITUDINE: 98112014 RESPONSABILE NAD: Prof. Pizzarello Paolo OPERATORE: S.M. MOSE CANTIERE P.C.: ATREZZATURA: CPT 2		Data n. 2010 4 n. 2010 Puntata Inizio n. 2010 M. 2° 1° 2° SEZIONE: 1° 2° Profondità: 28,00 Profondità: 28,00 Profondità: 28,00		SCHEDA medio fine linea nociva. Sono 2 c. con dati geotecni e nodali ordinati da 28,00 m da qui a 28,00 m da qui. Sonda medio fine sezione (determina) linea nociva con var dati geotecni (Shane 6-7 con) sono.	
SIMBOLOGIA STRATIGRAFICA SPT NUMERO PROFONDITA' (m d.a.c.) PROFONDITA' (m d.a.c.) TORNAVE (kg/cm²) SPT		7 21,00 8 24,00 9 26,00 10 28,00 10 28,00 10 28,00		LINEA SONDAZIONE 28,00	

CAMERONE IMMAGINATO CAMERONE IMMAGINATO DA S.P.T. CAMERONE IMMAGINATO DA VIBRI TEST BREZZONE DI CANTIERA CAMERONE INDISTRIBUITO INFERI SOTTILI CAMERONE INDISTRIBUITO ANTERIORE CAMERONE INDISTRIBUITO ROTATIVO		PRONIA DI PERMEABILITA' VERSANO 100		METODO DI PERFORAZIONE CAROTAGGIO CONTINUO A BECCO CAROTIERE SEMPLICE Ø 101 mm TUBI Ø 127 mm DATA: 07/11/2014	
RILIEVO ACQUA IN TOPO DURANTE LA PERFORAZIONE SPOC (TPO) (M3) (M3) (M3) (M3) (M3) (M3) (M3)		ATREZZATURA PER SPT PERO (MAGAZ) 82,5 kg ALTEZZA CADUTA 70 cm PESO ASTE 50 mm PESO ASTE 12 kg/cm PIANTA CHIUSA		TUBO PAC Ø 97 PER CROSS HOLE TUBO PAC Ø 97 PER CROSS HOLE	

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI240001A

Foglio
73 di 97

VICENZETTO S.p.A. - 35040 VILLA ESTENSE (PD) - VIA MUNICIPIO n. 18 - TEL. 0429/1736 - FAX 0429/12501 - info@vicenzetto.it

VICENZETTO		SCHEDE DI SONDAGGIO		CONFERMA OPERA	
COMMITTENTE: Consorzio IricAV Due PROGETTO: Linea AV/AC VR-PD Sub tratta VR-VI 1° Sub lotto Verona - Montebellio V. OPERAZIONE N.: 8778 COORDINATE Nord: E81 RESPONSABILE: Dott. Francesco Pagan OPERATORE: Sra. Maria DATA INIZIO: 04/11/2014 DATA FINE: 07/11/2014 DIOTTA P.C.: ATTREZZATURA: Gintex 2		OPERAZIONE: SPT DATA: 08/11/2014 OPERAZIONE: SPT DATA: 07/11/2014		OPERAZIONE: SPT DATA: 08/11/2014 OPERAZIONE: SPT DATA: 07/11/2014	
Stabilità meccanica fine insonda rotazionale Identificare con simboli grafici e notiziari i valori indicati da 25,00 m da p.c. a 40,00 m da p.c. Sulla scala metrica fine partendo dall'inchiesta insonda rotazionale con vari diametri (Ømax 8-7 cm) sparsi.	PROFONDITA' (m da p.c.)	PROFONDITA' (m da p.c.)	PROFONDITA' (m da p.c.)	PROFONDITA' (m da p.c.)	PROFONDITA' (m da p.c.)
	21,00	24,00	26,50	28,50	30,00
	21,30	24,30	26,80	28,80	30,30
	21,60	24,60	27,10	29,10	30,60
	21,90	24,90	27,40	29,40	30,90
	22,20	25,20	27,70	29,70	31,20
	22,50	25,50	28,00	30,00	31,50
	22,80	25,80	28,30	30,30	31,80
	23,10	26,10	28,60	30,60	32,10
	23,40	26,40	28,90	30,90	32,40

VICENZETTO S.p.A.		SCHEDE DI SONDAGGIO		CONFERMA OPERA	
OPERAZIONE: SPT DATA: 08/11/2014 OPERAZIONE: SPT DATA: 07/11/2014		OPERAZIONE: SPT DATA: 08/11/2014 OPERAZIONE: SPT DATA: 07/11/2014		OPERAZIONE: SPT DATA: 08/11/2014 OPERAZIONE: SPT DATA: 07/11/2014	
PROFONDITA' (m da p.c.)	PROFONDITA' (m da p.c.)	PROFONDITA' (m da p.c.)	PROFONDITA' (m da p.c.)	PROFONDITA' (m da p.c.)	PROFONDITA' (m da p.c.)
28,00	30,00	31,00	33,00	35,00	37,00
28,30	30,30	31,30	33,30	35,30	37,30
28,60	30,60	31,60	33,60	35,60	37,60
28,90	30,90	31,90	33,90	35,90	37,90
29,20	31,20	32,20	34,20	36,20	38,20
29,50	31,50	32,50	34,50	36,50	38,50
29,80	31,80	32,80	34,80	36,80	38,80
30,10	32,10	33,10	35,10	37,10	39,10

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI2400001A	74 di 97

ALLEGATO 3 - SEZ. N° 496 – TABULATI DI SLIDE

Slide Analysis Information

RI_24

Project Summary

File Name:	RI_24.slmd
Slide Modeler Version:	9.012
Project Title:	SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Date Created:	13/07/2021, 11:36:39

Currently Open Scenarios

Group Name	Scenario Name	Global Minimum	Compute Time
Statica_A2+M2 	Master Scenario	Bishop Simplified: 1.439030 Spencer: 1.448380 Gle/morgenstern-price: 1.444550	00h:00m:02.671s
Sismica kv+ 	Master Scenario	Bishop Simplified: 1.453410 Spencer: 1.466520 Gle/morgenstern-price: 1.467610	00h:00m:02.448s
Sismica kv- 	Master Scenario	Bishop Simplified: 1.406530 Spencer: 1.417160 Gle/morgenstern-price: 1.424380	00h:00m:02.568s

General Settings

Units of Measurement:	Metric Units
Time Units:	days
Permeability Units:	meters/second
Data Output:	Standard
Failure Direction:	Right to Left

Design Standard

 Statica A2+M2

RI_24

martedì 13 luglio 2021

Selected Type: Eurocode 7 (User Defined)
Name: NTC2008 A2+M2+R2 Statica

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

◆ Sismica kv+

Selected Type: Eurocode 7 (User Defined)
Name: NTC2008 A2+M2+R2 Sismica

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

◆ Sismica kv-

RI_24

martedì 13 luglio 2021

Selected Type: Eurocode 7 (User Defined)
Name: NTC2008 A2+M2+R2 Sismica

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

All Open Scenarios

Slices Type:	Vertical
Analysis Methods Used	
	Bishop simplified
	GLE/Morgenstern-Price with interslice force function (Half Sine)
	Spencer
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

All Open Scenarios

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

RI_24

martedì 13 luglio 2021

Random Numbers

All Open Scenarios

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

Surface Options

All Open Scenarios

Surface Type: Circular
Search Method: Auto Refine Search
Divisions along slope: 20
Circles per division: 10
Number of iterations: 10
Divisions to use in next iteration: 50%
Composite Surfaces: Disabled
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth [m]: 3
Minimum Area: Not Defined
Minimum Weight: Not Defined

Seismic Loading

◆ Statica A2+M2

Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No

◆ Sismica kv+

Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No
Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.082
Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.043

◆ Sismica kv-

Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No
Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.082
Seismic Load Coefficient (Vertical): -0.043

Loading

◆ Statica A2+M2

Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2400001A

Foglio

79 di 97

RI_24

martedì 13 luglio 2021

 	
Distribution:	Constant
Magnitude [kPa]:	14.4
Orientation:	Vertical
Load Action:	Permanent
 	
Distribution:	Constant
Magnitude [kPa]:	61.4
Orientation:	Vertical
Load Action:	Variable
 	
Distribution:	Constant
Magnitude [kPa]:	61.4
Orientation:	Vertical
Load Action:	Variable

◆ Sismica kv+

 	
Distribution:	Constant
Magnitude [kPa]:	14.4
Orientation:	Vertical
Load Action:	Dead
 	
Distribution:	Constant
Magnitude [kPa]:	12.3
Orientation:	Vertical
Load Action:	Live
 	
Distribution:	Constant
Magnitude [kPa]:	12.3
Orientation:	Vertical
Load Action:	Live

◆ Sismica kv-

 	
Distribution:	Constant
Magnitude [kPa]:	14.4
Orientation:	Vertical
Load Action:	Dead
 	
Distribution:	Constant
Magnitude [kPa]:	12.3
Orientation:	Vertical
Load Action:	Live
 	
Distribution:	Constant
Magnitude [kPa]:	12.3
Orientation:	Vertical
Load Action:	Live

RI_24

martedì 13 luglio 2021

Materials

Rilevato

Color	
Strength Type	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	20
Cohesion [kPa]	0
Friction Angle [deg]	38
Water Surface	Assigned per scenario
Hu Value	Automatically Calculated

3b_01

Color	
Strength Type	Undrained
Unit Weight [kN/m3]	18
Cohesion [kPa]	80
Cohesion Type	Constant
Water Surface	Assigned per scenario
Hu Value	0

3b_02

Color	
Strength Type	Undrained
Unit Weight [kN/m3]	18
Cohesion [kPa]	50
Cohesion Type	Constant
Water Surface	Assigned per scenario
Hu Value	0

3b_03

Color	
Strength Type	Undrained
Unit Weight [kN/m3]	18
Cohesion [kPa]	30
Cohesion Type	Constant
Water Surface	Assigned per scenario
Hu Value	0

6

Color	
Strength Type	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	19
Cohesion [kPa]	0
Friction Angle [deg]	39
Water Surface	Assigned per scenario
Hu Value	Automatically Calculated

4

Color	
Strength Type	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	19
Cohesion [kPa]	0
Friction Angle [deg]	38
Water Surface	Assigned per scenario
Hu Value	Automatically Calculated








RI_24

martedì 13 luglio 2021

2

Color	
Strength Type	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	19
Cohesion [kPa]	0
Friction Angle [deg]	28
Water Surface	Assigned per scenario
Hu Value	Automatically Calculated



Materials In Use

Material	Statica_A2+M2	Sismica kv+	Sismica kv-
Rilevato 	✓	✓	✓
3b_01 	✓	✓	✓
3b_02 	✓	✓	✓
3b_03 	✓	✓	✓
6 	✓	✓	✓
4 	✓	✓	✓
2 	✓	✓	✓

Global Minimums◆ **Statica A2+M2****Method: bishop simplified**

FS	1.439030
Center:	30.400, 25.556
Radius:	10.164
Left Slip Surface Endpoint:	21.813, 20.120
Right Slip Surface Endpoint:	40.150, 22.686
Resisting Moment:	7574.96 kN-m
Driving Moment:	5263.94 kN-m
Total Slice Area:	87.6125 m2
Surface Horizontal Width:	18.3371 m
Surface Average Height:	4.77789 m

Method: spencer

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2400001A	Foglio 82 di 97

RI_24

martedì 13 luglio 2021

FS	1.448380
Center:	30.353, 25.572
Radius:	10.214
Left Slip Surface Endpoint:	21.715, 20.120
Right Slip Surface Endpoint:	40.150, 22.686
Resisting Moment:	7705.03 kN-m
Driving Moment:	5319.76 kN-m
Resisting Horizontal Force:	564.81 kN
Driving Horizontal Force:	389.96 kN
Total Slice Area:	88.372 m ²
Surface Horizontal Width:	18.4348 m
Surface Average Height:	4.79375 m

Method: gle/morgenstern-price



FS	1.444550
Center:	30.353, 25.572
Radius:	10.214
Left Slip Surface Endpoint:	21.715, 20.120
Right Slip Surface Endpoint:	40.150, 22.686
Resisting Moment:	7684.65 kN-m
Driving Moment:	5319.76 kN-m
Resisting Horizontal Force:	563.977 kN
Driving Horizontal Force:	390.417 kN
Total Slice Area:	88.372 m ²
Surface Horizontal Width:	18.4348 m
Surface Average Height:	4.79375 m

◆ Sismica kv+

Method: bishop simplified

FS	1.453410
Center:	27.074, 26.261
Radius:	7.127
Left Slip Surface Endpoint:	23.472, 20.111
Right Slip Surface Endpoint:	33.240, 22.688
Resisting Moment:	1387.49 kN-m
Driving Moment:	954.645 kN-m
Total Slice Area:	15.8529 m ²
Surface Horizontal Width:	9.76846 m
Surface Average Height:	1.62287 m

Method: spencer

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2400001A	Foglio 83 di 97

RI_24

martedì 13 luglio 2021

FS	1.466520
Center:	27.074, 26.261
Radius:	7.127
Left Slip Surface Endpoint:	23.472, 20.111
Right Slip Surface Endpoint:	33.240, 22.688
Resisting Moment:	1400.01 kN-m
Driving Moment:	954.645 kN-m
Resisting Horizontal Force:	175.178 kN
Driving Horizontal Force:	119.451 kN
Total Slice Area:	15.8529 m ²
Surface Horizontal Width:	9.76846 m
Surface Average Height:	1.62287 m

Method: gle/morgenstern-price



FS	1.467610
Center:	27.074, 26.261
Radius:	7.127
Left Slip Surface Endpoint:	23.472, 20.111
Right Slip Surface Endpoint:	33.240, 22.688
Resisting Moment:	1401.04 kN-m
Driving Moment:	954.645 kN-m
Resisting Horizontal Force:	175.255 kN
Driving Horizontal Force:	119.416 kN
Total Slice Area:	15.8529 m ²
Surface Horizontal Width:	9.76846 m
Surface Average Height:	1.62287 m

◆ Sismica kv-

Method: bishop simplified

FS	1.406530
Center:	27.139, 26.247
Radius:	7.104
Left Slip Surface Endpoint:	23.559, 20.111
Right Slip Surface Endpoint:	33.287, 22.689
Resisting Moment:	1270.72 kN-m
Driving Moment:	903.447 kN-m
Total Slice Area:	15.8951 m ²
Surface Horizontal Width:	9.72757 m
Surface Average Height:	1.63403 m

Method: spencer

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2400001A	Foglio 84 di 97

RI_24

martedì 13 luglio 2021

FS		1.417160
Center:	27.175, 26.220	
Radius:	7.059	
Left Slip Surface Endpoint:	23.639, 20.110	
Right Slip Surface Endpoint:	33.287, 22.689	
Resisting Moment:	1264.33 kN-m	
Driving Moment:	892.155 kN-m	
Resisting Horizontal Force:	159.876 kN	
Driving Horizontal Force:	112.814 kN	
Total Slice Area:	15.7535 m ²	
Surface Horizontal Width:	9.64841 m	
Surface Average Height:	1.63275 m	

Method: gle/morgenstern-price

FS		1.424380
Center:	27.139, 26.247	
Radius:	7.104	
Left Slip Surface Endpoint:	23.559, 20.111	
Right Slip Surface Endpoint:	33.287, 22.689	
Resisting Moment:	1286.85 kN-m	
Driving Moment:	903.447 kN-m	
Resisting Horizontal Force:	160.916 kN	
Driving Horizontal Force:	112.973 kN	
Total Slice Area:	15.8951 m ²	
Surface Horizontal Width:	9.72757 m	
Surface Average Height:	1.63403 m	

Global Minimum Support Data

All Open Scenarios

No Supports Present

Entity Information

◆ Statica_A2+M2

Shared Entities

Type	Coordinates (x,y)
------	-------------------

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI2400001A	85 di 97

RI_24

martedì 13 luglio 2021

External Boundary	0.0111141, 0.0137834 69.9258, 0.0137834 69.9258, 5.23139 69.9258, 7.23139 69.9258, 10.2314 69.9258, 15.2314 69.9258, 16.2314 69.9258, 18.7314 69.9258, 20.0138 50.4829, 19.9052 47.7303, 19.8898 43.641, 22.6173 41.659, 22.6561 40.1903, 22.6849 37.5831, 22.736 36.671, 22.7538 35.6918, 22.735 33.0975, 22.6849 31.3192, 22.6506 29.5916, 22.6173 25.9248, 20.0986 21.8776, 20.1194 0.0111141, 20.2319 0.0111141, 18.7314 0.0111141, 16.2314 0.0111141, 15.2314 0.0111141, 10.2314 0.0111141, 7.23139 0.0111141, 5.23139
Material Boundary	21.8776, 20.1194 21.8776, 19.0986 50.4829, 19.0986 50.4829, 19.9052
Material Boundary	31.3192, 22.6506 31.3192, 21.9144 41.6664, 21.9144 41.659, 22.6561
Material Boundary	33.0975, 22.6849 33.0975, 22.2636 35.6928, 22.2636 35.6918, 22.735
Material Boundary	37.5831, 22.736 37.5696, 22.2869 40.1893, 22.2869 40.1903, 22.6849
Material Boundary	0.0111141, 18.7314 69.9258, 18.7314
Material Boundary	0.0111141, 16.2314 69.9258, 16.2314
Material Boundary	0.0111141, 15.2314 69.9258, 15.2314
Material Boundary	0.0111141, 10.2314 69.9258, 10.2314
Material Boundary	0.0111141, 7.23139 69.9258, 7.23139
Material Boundary	0.0111141, 5.23139 69.9258, 5.23139

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2400001A

Foglio

86 di 97

RI_24

martedì 13 luglio 2021

Scenario-based Entities

Type	Coordinates (x,y)	Master Scenario
Water Table	0.0111141, 20.0138 69.9258, 20.0138	Assigned to: Rilevato 3b_01 3b_02 3b_03 6 4 ... and 1 more
Distributed Load	31.3192, 22.6506 33.0975, 22.6849 35.6918, 22.735 36.671, 22.7538 37.5831, 22.736 40.1903, 22.6849 41.659, 22.6561	Constant DistributionOrientation: VerticalMagnitude: 14.4 kN/m2Creates Excess Pore Pressure: No
Distributed Load	33.0975, 22.6849 35.6918, 22.735	Constant DistributionOrientation: VerticalMagnitude: 61.4 kN/m2Creates Excess Pore Pressure: No
Distributed Load	37.5831, 22.736 40.1903, 22.6849	Constant DistributionOrientation: VerticalMagnitude: 61.4 kN/m2Creates Excess Pore Pressure: No

Sismica kv+

Shared Entities

Type	Coordinates (x,y)
------	-------------------

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI2400001A	87 di 97

RI_24

martedì 13 luglio 2021

External Boundary	0.0111141, 0.0137834 69.9258, 0.0137834 69.9258, 5.23139 69.9258, 7.23139 69.9258, 10.2314 69.9258, 15.2314 69.9258, 16.2314 69.9258, 18.7314 69.9258, 20.0138 50.4829, 19.9052 47.7303, 19.8898 43.641, 22.6173 41.659, 22.6561 40.1903, 22.6849 37.5831, 22.736 36.671, 22.7538 35.6918, 22.735 33.0975, 22.6849 31.3192, 22.6506 29.5916, 22.6173 25.9248, 20.0986 21.8776, 20.1194 0.0111141, 20.2319 0.0111141, 18.7314 0.0111141, 16.2314 0.0111141, 15.2314 0.0111141, 10.2314 0.0111141, 7.23139 0.0111141, 5.23139
Material Boundary	21.8776, 20.1194 21.8776, 19.0986 50.4829, 19.0986 50.4829, 19.9052
Material Boundary	31.3192, 22.6506 31.3192, 21.9144 41.6664, 21.9144 41.659, 22.6561
Material Boundary	33.0975, 22.6849 33.0975, 22.2636 35.6928, 22.2636 35.6918, 22.735
Material Boundary	37.5831, 22.736 37.5696, 22.2869 40.1893, 22.2869 40.1903, 22.6849
Material Boundary	0.0111141, 18.7314 69.9258, 18.7314
Material Boundary	0.0111141, 16.2314 69.9258, 16.2314
Material Boundary	0.0111141, 15.2314 69.9258, 15.2314
Material Boundary	0.0111141, 10.2314 69.9258, 10.2314
Material Boundary	0.0111141, 7.23139 69.9258, 7.23139
Material Boundary	0.0111141, 5.23139 69.9258, 5.23139

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2400001A

Foglio

88 di 97

RI_24

martedì 13 luglio 2021

Scenario-based Entities

Type	Coordinates (x,y)	Master Scenario
Water Table	0.0111141, 20.0138 69.9258, 20.0138	Assigned to: Rilevato 3b_01 3b_02 3b_03 6 4 ... and 1 more
Distributed Load	31.3192, 22.6506 33.0975, 22.6849 35.6918, 22.735 36.671, 22.7538 37.5831, 22.736 40.1903, 22.6849 41.659, 22.6561	Constant DistributionOrientation: VerticalMagnitude: 14.4 kN/m2Creates Excess Pore Pressure: No
Distributed Load	33.0975, 22.6849 35.6918, 22.735	Constant DistributionOrientation: VerticalMagnitude: 12.3 kN/m2Creates Excess Pore Pressure: No
Distributed Load	37.5831, 22.736 40.1903, 22.6849	Constant DistributionOrientation: VerticalMagnitude: 12.3 kN/m2Creates Excess Pore Pressure: No

Sismica kv-

Shared Entities

Type	Coordinates (x,y)
------	-------------------

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI2400001A	89 di 97

RI_24

martedì 13 luglio 2021

External Boundary	0.0111141, 0.0137834
	69.9258, 0.0137834
	69.9258, 5.23139
	69.9258, 7.23139
	69.9258, 10.2314
	69.9258, 15.2314
	69.9258, 16.2314
	69.9258, 18.7314
	69.9258, 20.0138
	50.4829, 19.9052
	47.7303, 19.8898
	43.641, 22.6173
	41.659, 22.6561
	40.1903, 22.6849
	37.5831, 22.736
	36.671, 22.7538
	35.6918, 22.735
33.0975, 22.6849	
31.3192, 22.6506	
29.5916, 22.6173	
25.9248, 20.0986	
21.8776, 20.1194	
0.0111141, 20.2319	
0.0111141, 18.7314	
0.0111141, 16.2314	
0.0111141, 15.2314	
0.0111141, 10.2314	
0.0111141, 7.23139	
0.0111141, 5.23139	
Material Boundary	21.8776, 20.1194
Material Boundary	21.8776, 19.0986
Material Boundary	50.4829, 19.0986
Material Boundary	50.4829, 19.9052
Material Boundary	31.3192, 22.6506
Material Boundary	31.3192, 21.9144
Material Boundary	41.6664, 21.9144
Material Boundary	41.659, 22.6561
Material Boundary	33.0975, 22.6849
Material Boundary	33.0975, 22.2636
Material Boundary	35.6928, 22.2636
Material Boundary	35.6918, 22.735
Material Boundary	37.5831, 22.736
Material Boundary	37.5696, 22.2869
Material Boundary	40.1893, 22.2869
Material Boundary	40.1903, 22.6849
Material Boundary	0.0111141, 18.7314
Material Boundary	69.9258, 18.7314
Material Boundary	0.0111141, 16.2314
Material Boundary	69.9258, 16.2314
Material Boundary	0.0111141, 15.2314
Material Boundary	69.9258, 15.2314
Material Boundary	0.0111141, 10.2314
Material Boundary	69.9258, 10.2314
Material Boundary	0.0111141, 7.23139
Material Boundary	69.9258, 7.23139
Material Boundary	0.0111141, 5.23139
Material Boundary	69.9258, 5.23139

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2400001A

Foglio



90 di 97

RI_24

martedì 13 luglio 2021

Scenario-based Entities

Type	Coordinates (x,y)	Master Scenario
Water Table	0.0111141, 20.0138 69.9258, 20.0138	Assigned to: Rilevato 3b_01 3b_02 3b_03 6 4 ... and 1 more
Distributed Load	31.3192, 22.6506 33.0975, 22.6849 35.6918, 22.735 36.671, 22.7538 37.5831, 22.736 40.1903, 22.6849 41.659, 22.6561	Constant DistributionOrientation: VerticalMagnitude: 14.4 kN/m2Creates Excess Pore Pressure: No
Distributed Load	33.0975, 22.6849 35.6918, 22.735	Constant DistributionOrientation: VerticalMagnitude: 12.3 kN/m2Creates Excess Pore Pressure: No
Distributed Load	37.5831, 22.736 40.1903, 22.6849	Constant DistributionOrientation: VerticalMagnitude: 12.3 kN/m2Creates Excess Pore Pressure: No

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>Consorzio IricAV Due</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI2400001A</p>	<p>Foglio 91 di 97</p>

ALLEGATO 4 - SEZ. N° 496 - TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2400001A

Foglio

92 di 97

Settle3 Analysis Information

RI_24

Project Settings

Document Name RI_24.s3z
Date Created 13/07/2021, 12:00:43
Stress Computation Method Boussinesq
Minimum settlement ratio for subgrade modulus 0.9
Use average properties to calculate layered stresses
Improve consolidation accuracy
Ignore negative effective stresses in settlement calculations

Stage Settings

Stage #	Name
1	Costruzione
2	Ballast

Results

Time taken to compute: 1.56601 seconds

Stage: Costruzione

RI_24

martedì 13 luglio 2021

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [mm]	0	35.0094
Total Consolidation Settlement [mm]	0	7.34787
Virgin Consolidation Settlement [mm]	0	0
Recompression Consolidation Settlement [mm]	0	7.34787
Immediate Settlement [mm]	0	27.6615
Loading Stress ZZ [kPa]	0	54
Loading Stress XX [kPa]	-20.9168	45.052
Loading Stress YY [kPa]	-21.2919	85.4514
Effective Stress ZZ [kPa]	0	204.482
Effective Stress XX [kPa]	1.25593	217.722
Effective Stress YY [kPa]	-10.7156	261.272
Total Stress ZZ [kPa]	0	400.682
Total Stress XX [kPa]	1.25593	413.922
Total Stress YY [kPa]	-7.34815	457.472
Modulus of Subgrade Reaction (Total) [kPa/m]	0	0
Modulus of Subgrade Reaction (Immediate) [kPa/m]	0	0
Modulus of Subgrade Reaction (Consolidation) [kPa/m]	0	0
Total Strain	0	0.0156947
Pore Water Pressure [kPa]	0	196.2
Degree of Consolidation [%]	0	100
Pre-consolidation Stress [kPa]	0.5095	204.442
Over-consolidation Ratio	1	12.7411
Void Ratio	0	1.6
Hydroconsolidation Settlement [mm]	0	0
Undrained Shear Strength	0	4.29671

Stage: Ballast

RI_24

martedì 13 luglio 2021

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [mm]	0	41.1743
Total Consolidation Settlement [mm]	0	8.11692
Virgin Consolidation Settlement [mm]	0	0
Recompression Consolidation Settlement [mm]	0	8.11692
Immediate Settlement [mm]	0	33.0574
Loading Stress ZZ [kPa]	0	67.7383
Loading Stress XX [kPa]	-20.8909	46.7984
Loading Stress YY [kPa]	-19.9655	85.5564
Effective Stress ZZ [kPa]	0	207.812
Effective Stress XX [kPa]	1.12185	217.718
Effective Stress YY [kPa]	-9.24258	260.935
Total Stress ZZ [kPa]	0	404.012
Total Stress XX [kPa]	1.12185	413.918
Total Stress YY [kPa]	-5.89183	457.135
Modulus of Subgrade Reaction (Total) [kPa/m]	0	360.324
Modulus of Subgrade Reaction (Immediate) [kPa/m]	0	436.345
Modulus of Subgrade Reaction (Consolidation) [kPa/m]	0	2129.81
Total Strain	4.04268e-09	0.017286
Pore Water Pressure [kPa]	0	196.2
Degree of Consolidation [%]	0	100
Pre-consolidation Stress [kPa]	0.509581	207.774
Over-consolidation Ratio	1	12.7407
Void Ratio	0	1.6
Hydroconsolidation Settlement [mm]	0	0
Undrained Shear Strength	0	4.82215

Loads

1. Rectangular Load: "Rectangular Load 1"

Length	10.3 m
Width	38 m
Rotation angle	0 degrees
Load Type	Flexible
Area of Load	391.4 m ²
Load	14.4 kPa
Depth	-2.7 m
Installation Stage	Ballast

Coordinates



Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2400001A

Foglio

95 di 97

RI_24

martedì 13 luglio 2021

X [m]	Y [m]
-5.15	0.765431
5.15	0.765431
5.15	38.7654
-5.15	38.7654

Embankments

1. Embankment: "Embankment Load 1"

Label	Embankment Load 1						
Center Line	(0, 0) to (0, 40)						
Near End Angle	90 degrees						
Far End Angle	90 degrees						
Number of Layers	1						
Base Width	21.8						
Layer	Stage	Left Bench Width (m)	Left Angle (deg)	Height (m)	Unit Weight (kN/m3)	Right Angle (deg)	Right Bench Width (m)
1	Costruzione	0	34	2.7	20	34	0







Soil Layers

Layer #	Type	Thickness [m]	Depth [m]
1	Bonifica	1	0
2	3b_01	0.5	1
3	3b_sup	3.5	1.5
4	6	5	5
5	4	3	10
6	2	2	13
7	4	5	15

Soil Properties

RI_24

martedì 13 luglio 2021

Property	3b_01	3b_sup	6	4
Color				
Unit Weight [kN/m3]	18	18	19	19
Saturated Unit Weight [kN/m3]	18	18	19	19
K0	1	1	1	1
Immediate Settlement	Disabled	Enabled	Enabled	Enabled
Es [kPa]	-	12000	60000	80000
Esur [kPa]	-	12000	60000	80000
Primary Consolidation	Enabled	Disabled	Disabled	Disabled
Material Type	Non-Linear			
Cce	0.18	-	-	-
Cre	0.02	-	-	-
e0	1.6	-	-	-
Pc [kPa]	135	-	-	-
Undrained Su A [kN/m2]	0	0	0	0
Undrained Su S	0.2	0.2	0.2	0.2
Undrained Su m	0.8	0.8	0.8	0.8
Piezo Line ID	1	1	1	1
Property	2		Bonifica	
Color				
Unit Weight [kN/m3]	19		20	
Saturated Unit Weight [kN/m3]	19		20	
K0	1		1	
Immediate Settlement	Enabled		Enabled	
Es [kPa]	25000		20000	
Esur [kPa]	25000		20000	
Undrained Su A [kN/m2]	0		0	
Undrained Su S	0.2		0.2	
Undrained Su m	0.8		0.8	
Piezo Line ID	1		1	

Groundwater

Groundwater method
Water Unit WeightPiezometric Lines
9.81 kN/m3

Piezometric Line Entities

ID	Depth (m)
1	0 m

Query Lines

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 14+640,00 al pk 15+055,33
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2400001A

Foglio

97 di 97

RI_24

martedì 13 luglio 2021

Line #	Query Line Name	Start Location	End Location	Horizontal Divisions	Vertical Divisions
1	Query Line 1	-50.9, 19.7728	50.9, 19.7728	200	Auto: 75