

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 41+615,35 a pk 42+071,63

GENERALE

Relazione Geotecnica

GENERAL CONTRACTOR				DIRETTORE LAVORI				SCALA -
IL PROGETTISTA INTEGRATORE		Consorzio Iricav Due		Data:				
 Ing. Giovanni MALAVENDA Insieme all'ordine degli Ingegneri di Venezia n. 4289 Data: Agosto 2021		ing. Luca Carmona Data: Agosto 2021						

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	FOGLIO
I N 1 7	1 2	E	I 2	R B	R I 7 9 A 0	0 0 1	A	- - - P - - -

	VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
	Firma	Data
	Luca RANDOLFI	Agosto 2021



Progettazione:

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	IL PROGETTISTA
A	EMISSIONE	M. Conti	Agosto 2021	V. Pastore	Agosto 2021	P. Ascari	Agosto 2021	 P. Ascari Data: Agosto 2021
		<i>Maria Conti</i>		<i>V. Pastore</i>		<i>P. Ascari</i>		

CIG. 8377957CD1	CUP: J41E91000000009	File: IN1712E12RBRI79A0001A_01
		Cod. origine:



Progetto cofinanziato dalla Unione Europea

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 41+615,35 a pk 42+071,63 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI79A0001A	Foglio 2 di 48

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	21
4.4.1	Materiale da rilevato	21
4.4.2	Falda	21
5	CARATTERISTICHE SISMICHE E SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE	22
5.1	Sollecitazione sismica di progetto	22
5.1.1	Vita Nominale	22
5.1.2	Classe d'uso	22
5.1.3	Periodo di riferimento per l'azione sismica	23
5.1.4	Categorie di Sottosuolo	23
5.1.5	Condizioni topografiche	23
5.1.6	Accelerazione sismica di riferimento	24
5.2	Suscettibilità alla liquefazione	24
5.2.1	CRR da correlazione su prove CPT	26
5.2.2	CRR da correlazione su prove SPT	28
5.3	Risultati delle verifiche a liquefazione	31
6	VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO	36
7	CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI	37
Allegati		38
ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO		39
ALLEGATO 2 - SONDAGGI		41



GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 41+615,35 a pk 42+071,63 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI79A0001A	Foglio 3 di 48
---	------------------	-------------	-----------------------------	-------------------

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 41+615,35 a pk 42+071,63 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI79A0001A	Foglio 4 di 48

1 INTRODUZIONE



Il presente documento costituisce la Relazione Geotecnica del rilevato RI78A, previsto nell'ambito del Progetto Esecutivo della sub tratta Verona – Vicenza della Linea AV/AC Verona – Padova. Tale rilevato si estende tra il km 41+615,35 e il km 42+071,63.

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 41+615,35 a pk 42+071,63 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI79A0001A	Foglio 5 di 48



2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Documentazione di progetto

- [1] Sezioni di Progetto Esecutivo
- [2] IN1710EI2RBGE0000004C Relazione Geotecnica (da 33+500 a 44+250)
- [3] IN1710EI2LZGE0000021C Planimetria con ubicazione indagini e profilo geotecnico tav.10-11
- [4] IN1710EI2RHGE0000006B Relazione sulla modellazione sismica del sito e pericolosità sismica di base 2/2 (da 22+000 a 44+250)
- [5] IN1710EI2P5GE0000001B-11B Planimetrie con classificazione sismica del territorio
- [6] IN1710EI2RHGE0000004C Relazione idrogeologica 2/2 (da 22+000 a 44+250)
- [7] IN1710EI2RHGE0000008C Relazione di sintesi dei sondaggi e prove eseguite 2/2 (da 21+990 a 44+250)
- [8] IN1710EI2PRGE0000002B Risultati Indagini in sito di Progetto Esecutivo – SOCOTEC (da 21+990 a 44+250)
- [9] IN1710EI2PRGE0000004B Risultati Indagini in sito di Progetto Esecutivo – ATI GEOSERVING – GEOLAVORI (da 21+990 a 44+250)
- [10] IN1710EI2PRGE0000007B-8B, Risultati Prove di laboratorio di Progetto Esecutivo – SOCOTEC (da 21+990 a 44+250)
- [11] IN1710EI2PRGE00000011B-12B, Risultati Prove di laboratorio di Progetto Esecutivo – ATI GEOSERVING - GEOLAVORI (da 21+990 a 44+250)
- [12] IN1710EI2IGGE0000002B Risultati Indagini Geofisiche di Progetto Esecutivo – SOCOTEC (da 21+990 a 44+250)
- [13] IN1710EI2IGGE0000004B Risultati Indagini Geofisiche di Progetto Esecutivo – ATI GEOSERVING – GEOLAVORI (da 21+990 a 44+250)

2.2 Normativa e standard di riferimento

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 41+615,35 a pk 42+071,63 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI79A0001A	Foglio 6 di 48

stradale

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

2.3 Bibliografia

- [25] Hynes, M.E., and Olsen, R.S. (1999), “Influence of confining stress on liquefaction resistance”, Proc., Int. Workshop on Phys. And Mech. Of Soil Liquefaction, Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 145-152.
- [26] Idriss, I.M. and Boulanger, R.W. (2004), “Semi-empirical procedures for evaluating liquefaction potential during earthquakes”. In: Proceedings, 11th International Conference on Soil Dynamics and Earthquake engineering, and 3d International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering. D. Doolin et al., eds., Stallion press, Vol. 1, pp. 32-56.
- [27] Liao, S.C.C. and Whitman, R.V. (1986), “Overburden Correction Factors for SPT in sand”, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 112, No. 3, 373-377.
- [28] Robertson P.K. and Wride C.E. (1998). “Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test”. Canadian Geotechnical Journal, Ottawa, 35(3), pp. 442-459.
- [29] 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.
- [30] Seed, H.B. and Idriss, I.M. (1982), “Ground motions and soil liquefaction during earthquakes”, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA, USA.
- [31] 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.
- [32] 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.
- [33] Rocscience (2017), Slide ver 9.012, dic. 2020
- [34] Rocscience (2009), Settle 3D ver 2.011

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 41+615,35 a pk 42+071,63 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI79A0001A	Foglio 7 di 48

3 INQUADRAMENTO DELL'OPERA

Il rilevato ferroviario in esame è quello relativo alla Linea AV. Ha inizio alla pk 41+615,35e si estende fino alla pk 42+071,63, per una lunghezza totale di 456,28 m.

3.1 Geometria del rilevato

Il rilevato, lungo 456,28 m, presenta nel suo sviluppo altezze massime pari a 1 m rispetto al piano campagna. Il rilevato in esame risulta in affiancamento alla seconda variante della linea storica. Nei punti ove necessario, si raccorda al terreno naturale con una scarpata con pendenza 2/3 (V:H).

Di seguito si riportano la sezione n. 13 alla pk 41+875,00 che risulta rappresentativa per conformazione geometrica del rilevato. Come si può notare, il rilevato si presente raso, e non applica incrementi di carico al terreno esistente.

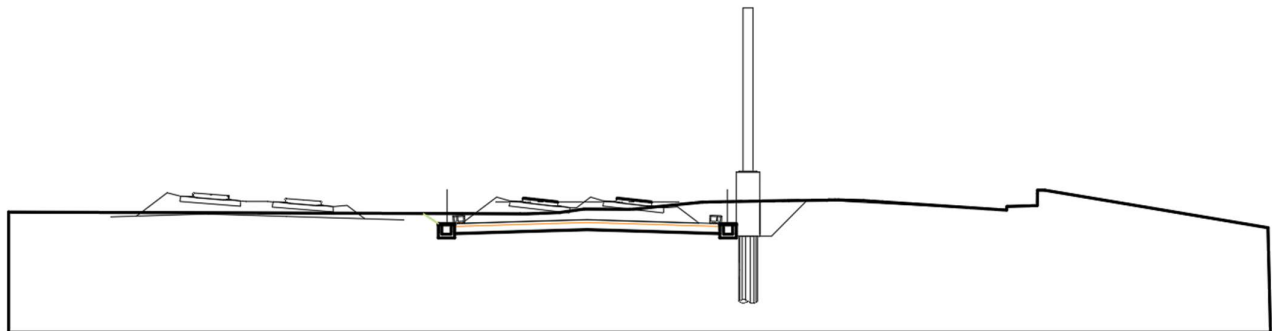




Figura 1 – Sezioni di riferimento n.13 RI79A alla pk 41+875,00 estratte da sezioni PE (Doc Rif.[1]).

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 41+615,35 a pk 42+071,63 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI79A0001A	Foglio 8 di 48

4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

4.1 Indagini disponibili

L'ubicazione delle indagini disponibili, in prossimità dell'opera esaminata, è illustrata nella Figura 2, estratta dalla Planimetria geotecnica con ubicazione indagini e profilo geotecnico. Per ulteriori dettagli si rimanda alle relazioni di sintesi delle indagini (Doc. Rif [13]).

Il risultato delle indagini è riportato in ALLEGATO 2 - .

Le indagini disponibili lungo la tratta in cui ricade il rilevato in oggetto (dalla pk 41+615,35 a pk 42+071,63) 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 41+615,35 a pk 42+071,63

Progressiva pk	ID indagini -	Campagna anno
41+590	CPTU98	2015
41+610	S 77	2015
41+643	BH-PE-88	2020-2021
41+754	MASW-PE-24	2020-2021
42+040	S 78	2015
42+090	PT67	2015

Rilevato ferroviario da pk 41+615,35 a pk 42+071,63
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI79A0001A

Foglio

9 di 48

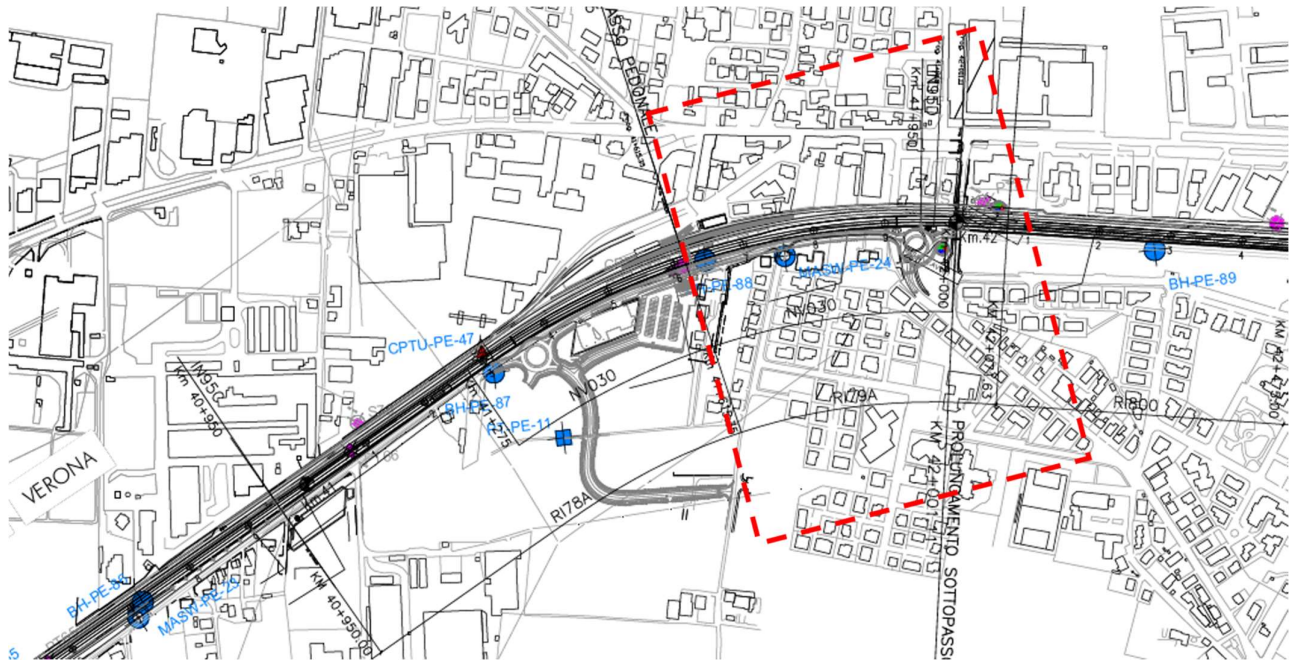


Figura 2 - Planimetria Rilevato R179A, estratto dalla Planimetria Generale (Doc. Rif.[3])

4.2 Inquadramento stratigrafico

L'andamento stratigrafico nell'area del rilevato è caratterizzato dalla presenza di uno strato superficiale di terreni di riporto, di natura eterogenea, costituiti da ghiaia sabbiosa limosa e/o argille limoso-sabbiose, con locale presenza di laterizi, con spessore variabile dal metro di S78 fino ai 3 m ritrovati dal sondaggio BH-PE-88. Al di sotto è presente uno strato di argilla da debolmente limosa a limosa, a tratti sabbiosa, di spessore variabile, seguito da uno strato di ghiaia, presente fino alle massime profondità indagate.

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 R179A, estratto dalla Planimetria e Profilo Geotecnico.

Rilevato ferroviario da pk 41+615,35 a pk 42+071,63
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI79A0001A

Foglio
10 di 48

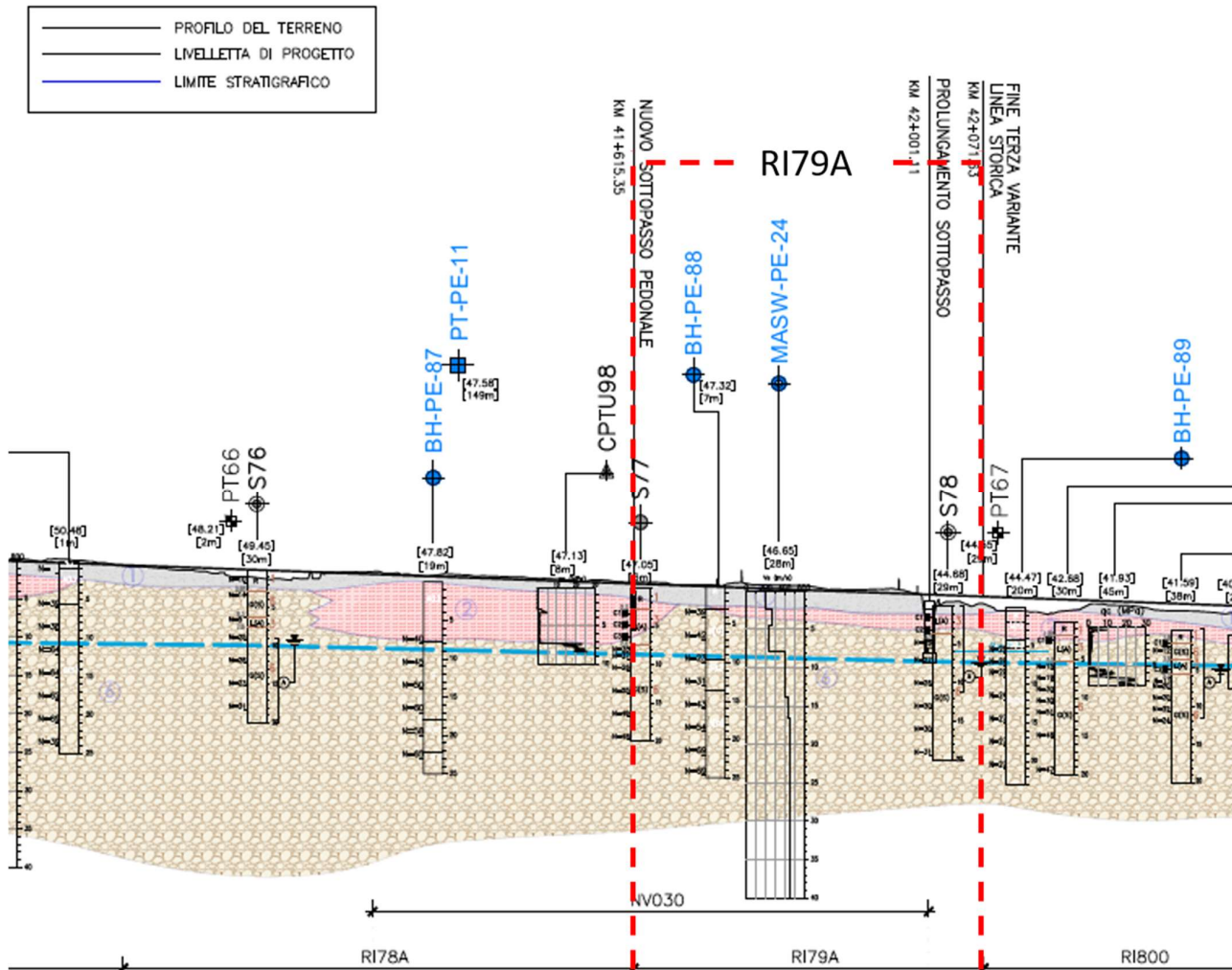




Figura 3 - Profilo Geotecnico Rilevato RI79A, estratto dal Profilo Geotecnico Generale

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 41+615,35 a pk 42+071,63 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI79A0001A</p>	<p>Foglio 11 di 48</p>

4.3 Condizioni geotecniche del sito

Come definito dall'inquadramento stratigrafico, il tratto in oggetto è caratterizzato dalla presenza di uno strato superficiale di terreni di riporto, di natura eterogenea, costituiti da ghiaia sabbiosa limosa e/o argille limoso-sabbiose, con locale presenza di laterizi, con spessore variabile fino a circa 3 m. I riporti poggiano direttamente sul substrato ghiaioso (Unità 6) o su uno strato di argilla, da debolmente limosa a limosa, a tratti sabbiosa (Unità 2), con spessori mediamente di 2 m, seguito da uno strato di ghiaia (Unità 6), presente fino alle massime profondità indagate.

I materiali a grana fine dell'Unità 2 hanno una plasticità da media ad alta, con LL variabile generalmente nel campo 50-70, e IP nel range 20-35. L'indice di consistenza I_c varia nel range 0,5 - 1, a testimonianza della buona consistenza dei materiali. Con riferimento alla Carta di Casagrande (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**), i materiali sono classificabili come argille inorganiche di alta plasticità.



All'interno dei materiali argillosi dell'Unità 2, si registrano resistenze alla punta q_c comprese tra 0.8 MPa e 1.5 MPa, mentre il penetrometro tascabile restituisce resistenze piuttosto alte ed in linea con la descrizione del materiale. Dai risultati delle prove di laboratorio e delle CPTU eseguite nelle aree adiacenti si stima una resistenza al taglio non drenata decrescente con la profondità: nel dettaglio si passa da valori di circa 100-130 kPa fino a 2 m p.c. a valori di circa 40-70 kPa a profondità maggiori. I risultati di prove edometriche indicano terreni sovraconsolidati.

Lo strato di base è costituito da ghiaia sabbiosa da debolmente limosa a limosa e/o sabbia ghiaiosa, avente un contenuto di fini generalmente nel campo 10-20%. Lo strato appare caratterizzato da N_{SPT} relativamente alti e prevalentemente compresi tra 25 colpi/30 cm e 55 colpi/30 cm, con valori fino a 70 colpi/30cm. L'unità, ove prevalgono le ghiaie, appare da poco a mediamente addensata, con DR = 30-40%; ove prevalgono le sabbie il grado di addensamento aumenta, con DR = 60-70%. Si stimano angoli di resistenza al taglio variabili tra 39° e 41°.

Il profilo di V_s derivante dalle interpretazioni discusse nella Relazione Sismica, 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, si stimano valori di V_s pari a 320-350 m/s. A profondità maggiori, le velocità sono superiori a 370 m/s. Sulla base dei valori di V_s si sono stimati i valori del modulo di taglio alle piccole deformazioni (G₀). Per le ghiaie i valori sono superiori a 250 MPa.

Per i materiali a grana grossa, si è stimato il valore del modulo di Young (E₀) utilizzando da teoria dell'elasticità a partire dal valore del modulo G₀, ed utilizzando valori di ν = 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 [3].

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 41+615,35 a pk 42+071,63 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI79A0001A	Foglio 12 di 48

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

AV/AC VERONA VICENZA

RI79A pk 41+615,35 a pk 42+071,63

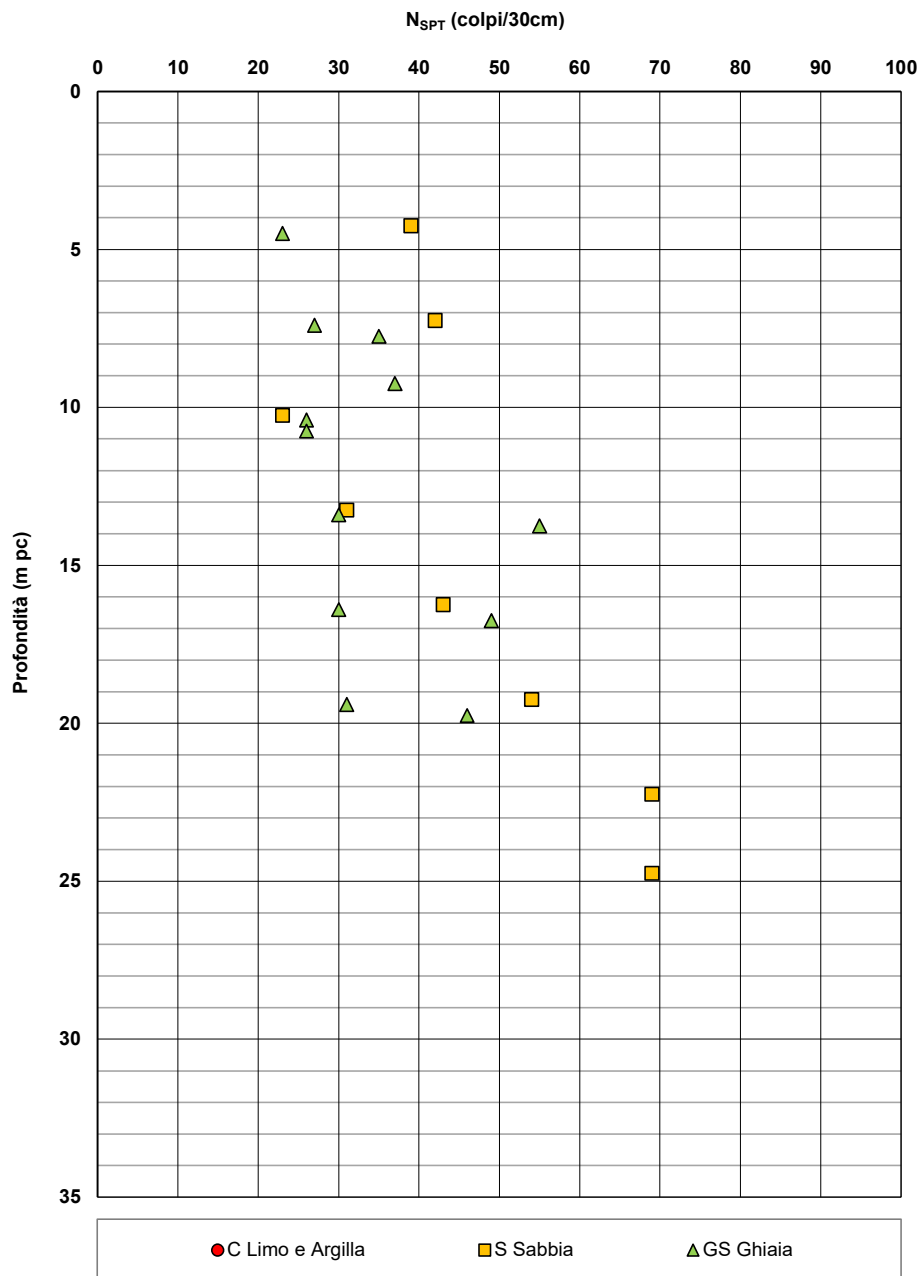


Figura 4 – Risultati delle prove SPT – RI79A

AV/AC VERONA VICENZA

RI79A pk 41+615,35 a pk 42+071,63

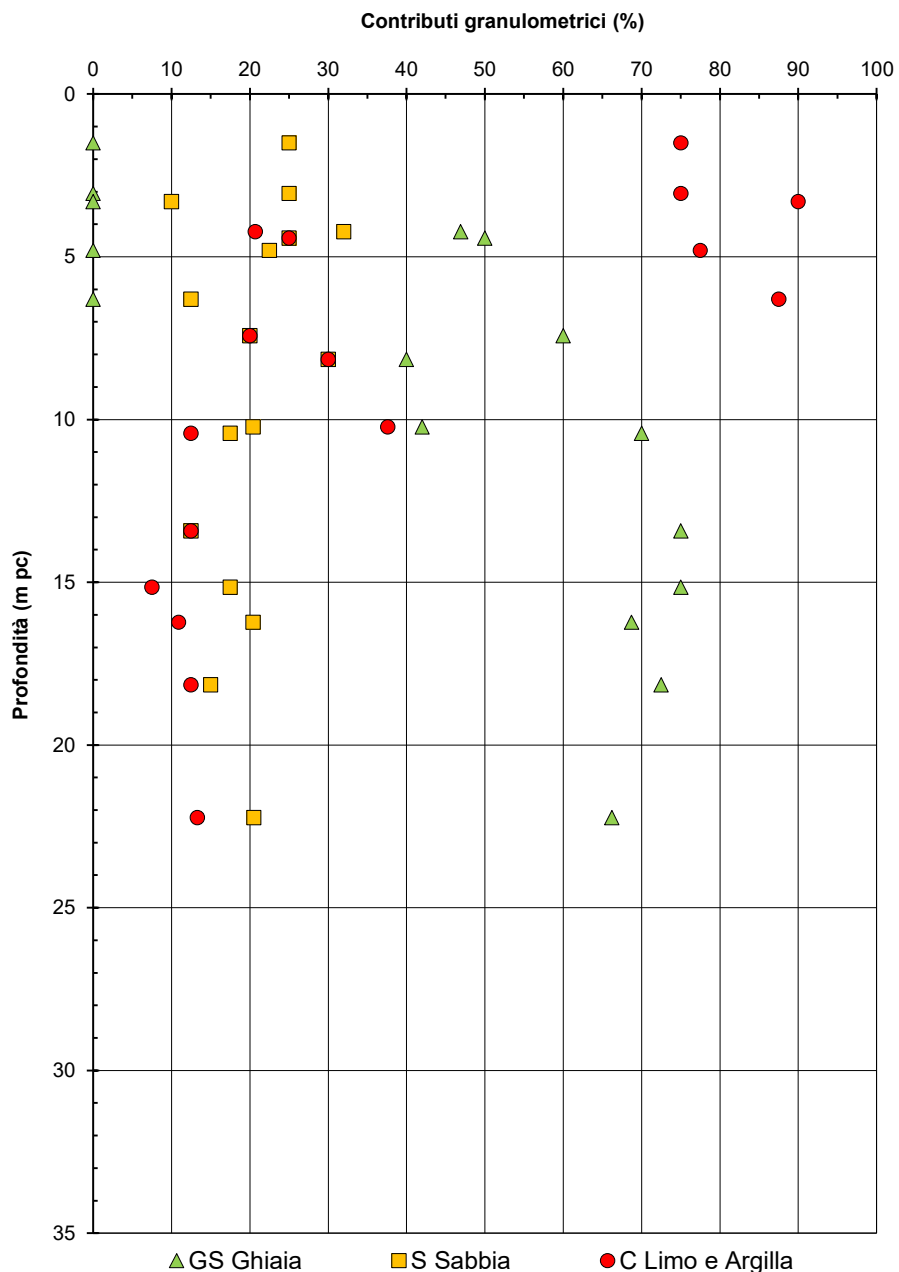


Figura 5 – Sintesi analisi granulometriche – RI79A

AV/AC VERONA VICENZA

RI79A pk 41+615,35 a pk 42+071,63

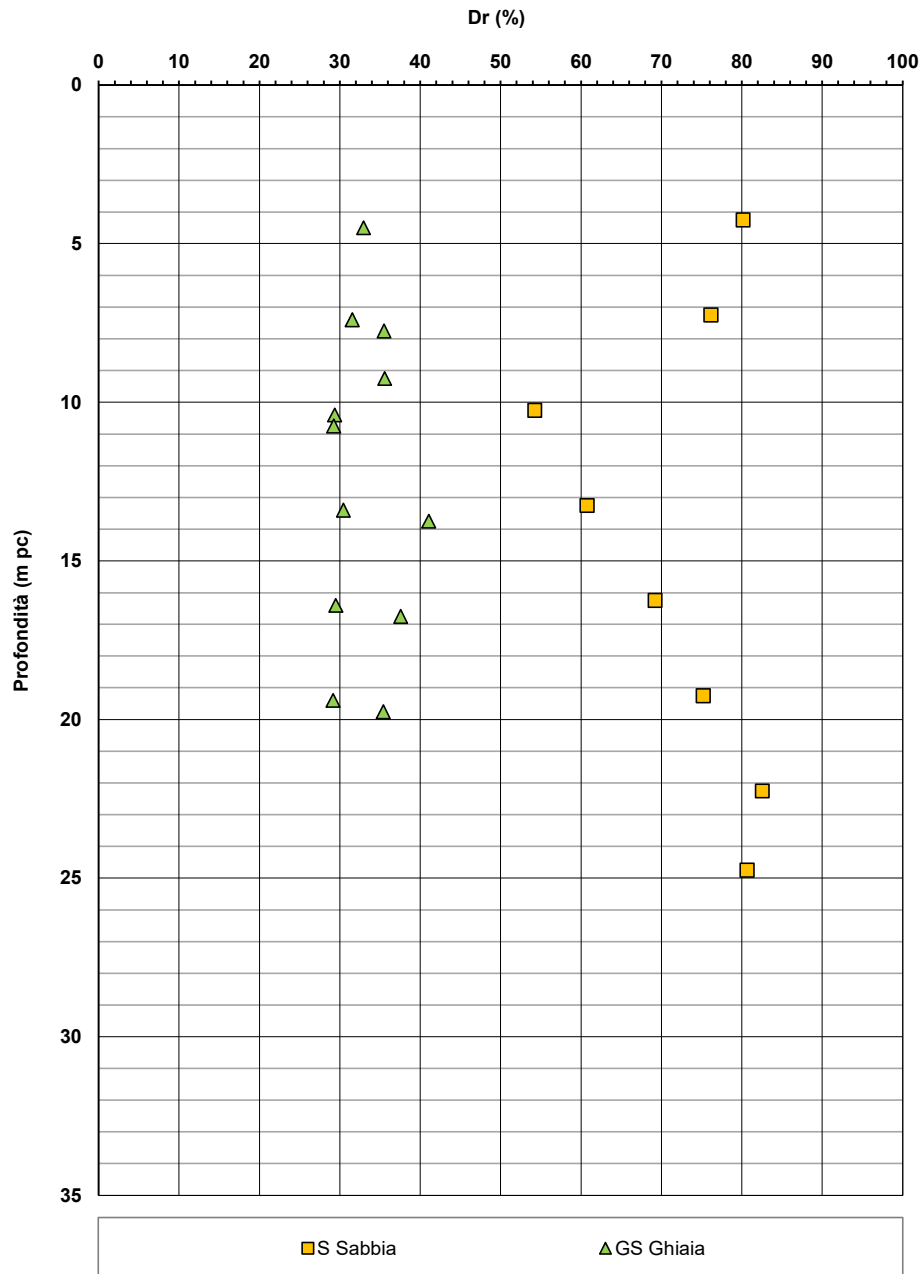


Figura 6 – Densità relativa da prove SPT – RI79A

AV/AC VERONA VICENZA

RI79A pk 41+615,35 a pk 42+071,63

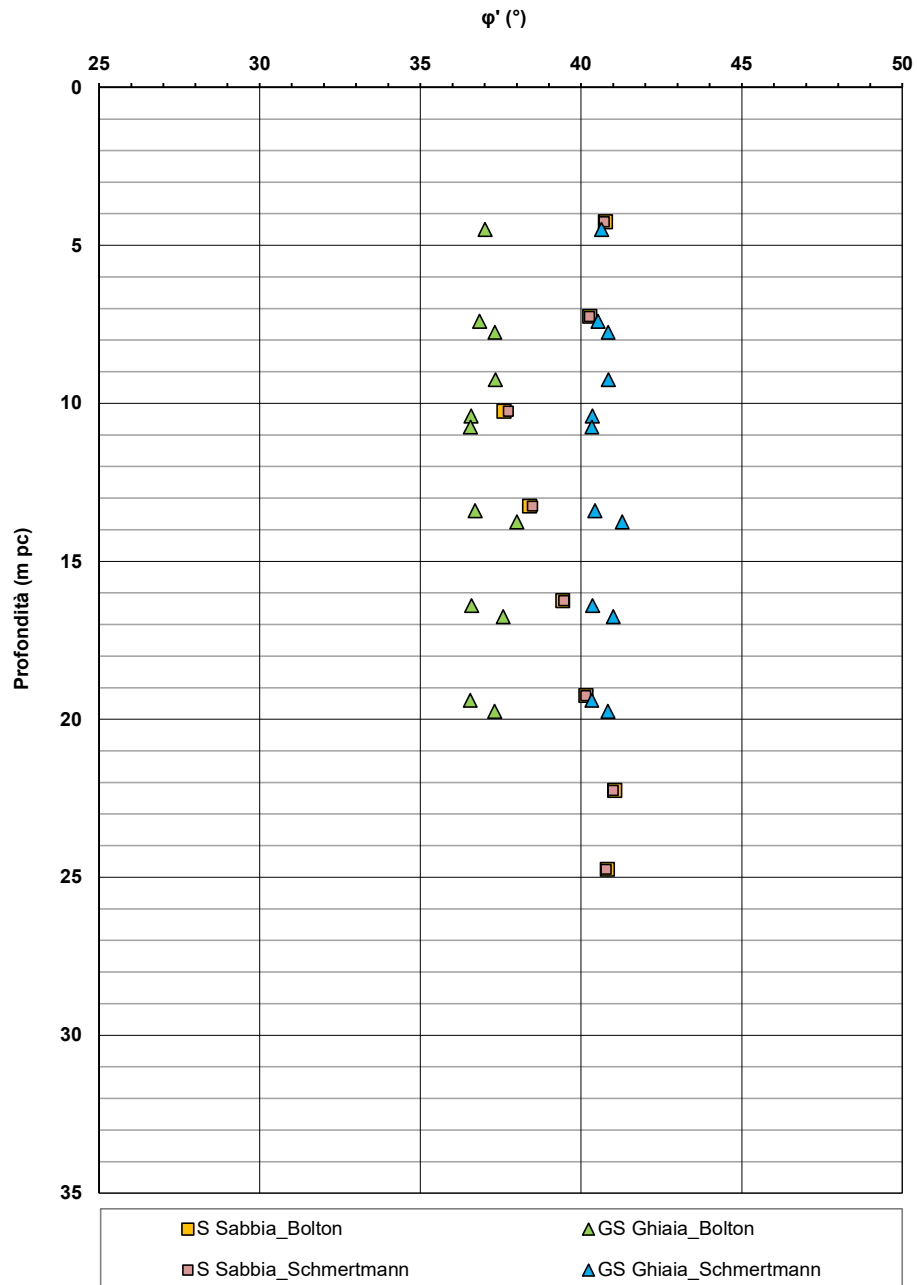


Figura 7 – Angoli di resistenza al taglio da prove SPT – RI79A

AV/AC VERONA VICENZA

RI79A pk 41+615,35 a pk 42+071,63

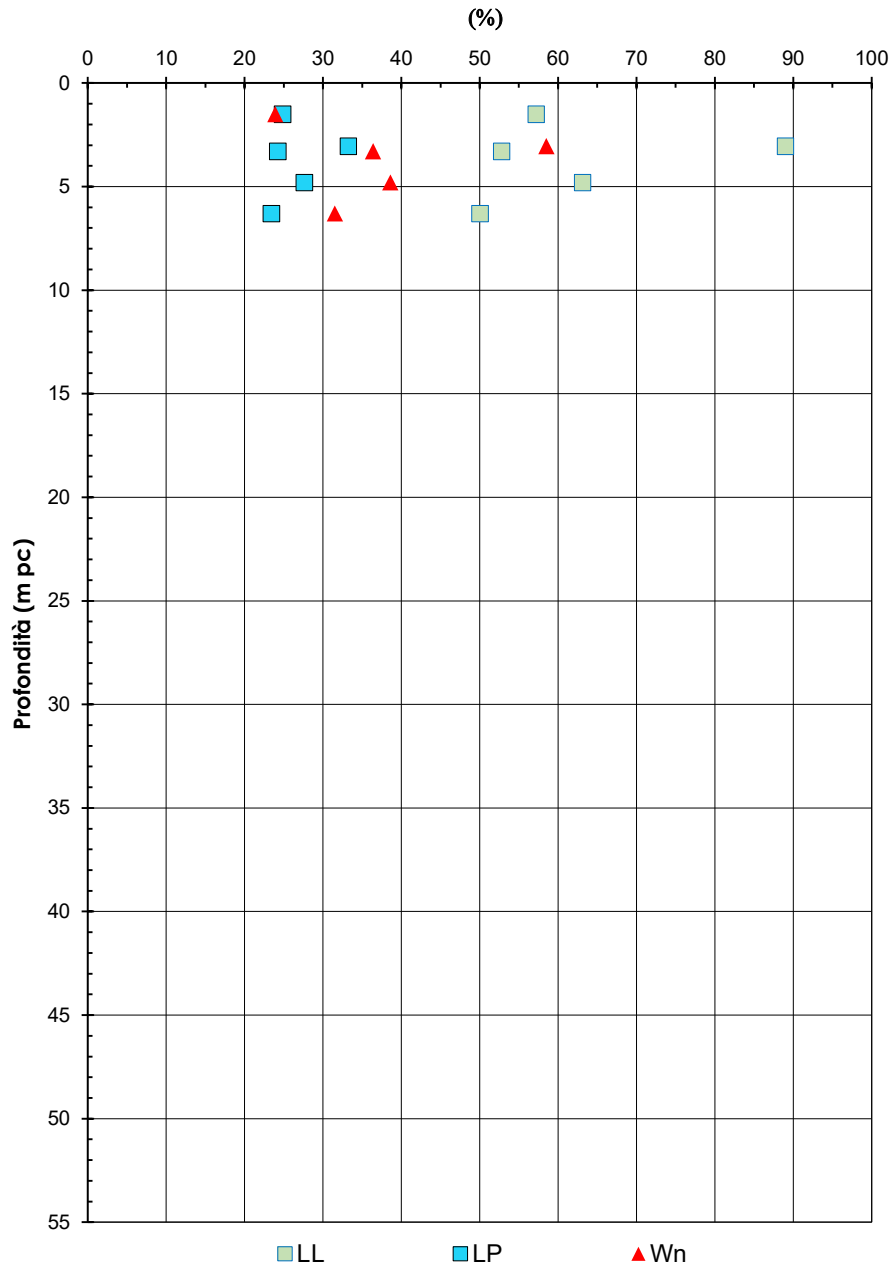


Figura 8 – Contenuto d'acqua, limite liquido e limite plastico – RI79A

AV/AC VERONA VICENZA

RI79A pk 41+615,35 a pk 42+071,63

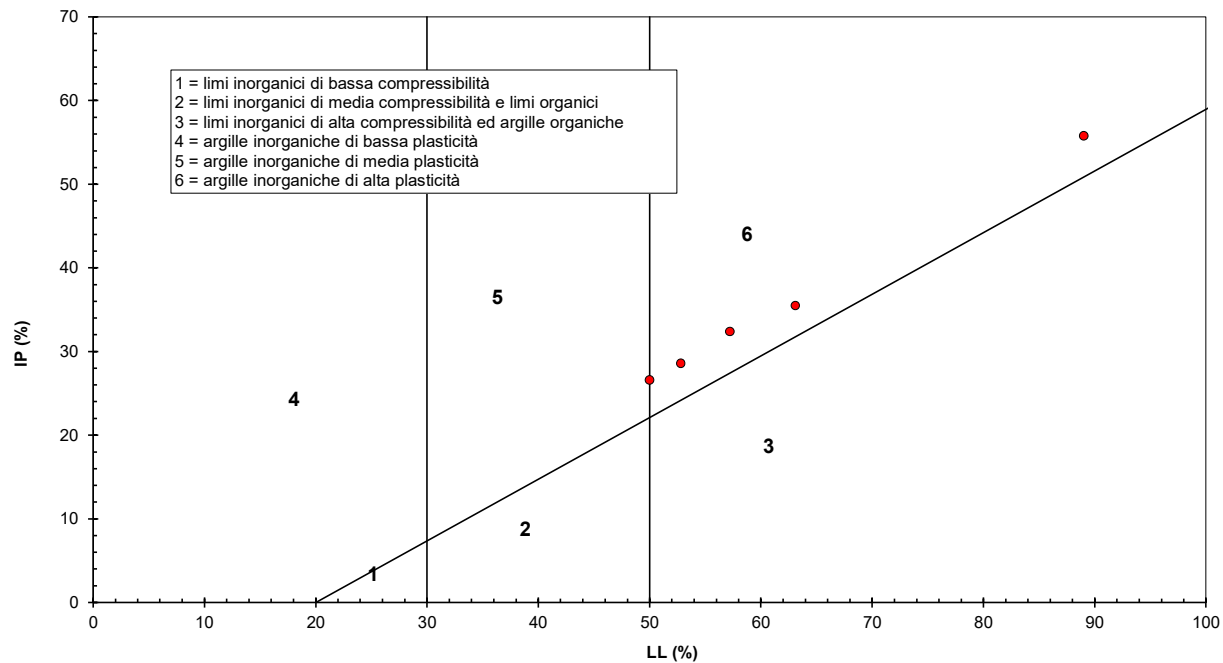


Figura 9 – Carta di Casagrande terreni Unità 2 – RI79A

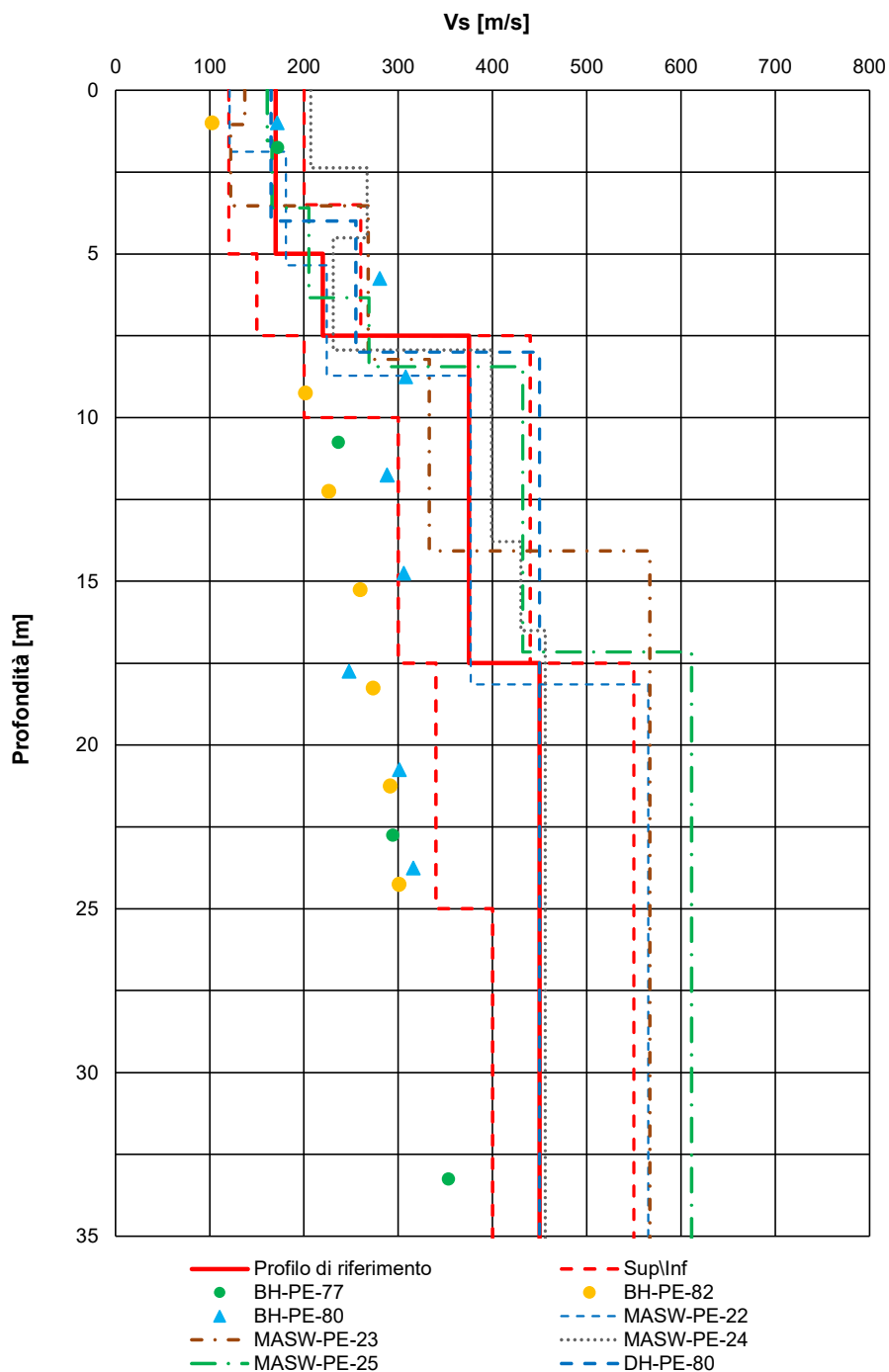


Figura 10 – Confronto Vs con dati di correlazioni da prove SPT e prove sismiche e Profilo generale tra pk 38+075 - pk 43+000 (Doc. Rif.[2])

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 41+615,35 a pk 42+071,63
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI79A0001A

Foglio

20 di 48

AV/AC VERONA VICENZA

pk 38+075 - pk 43+000

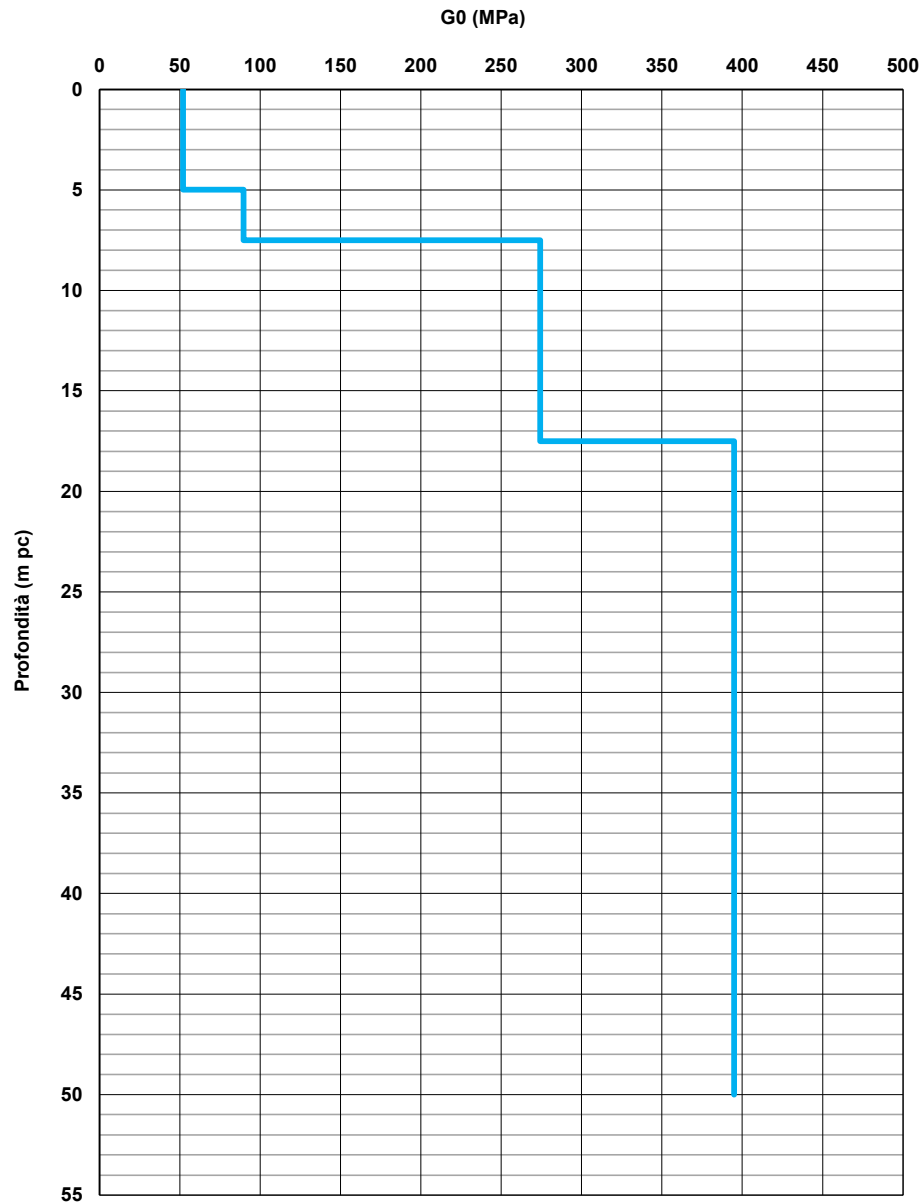




Figura 11 – Profilo generale G₀ tra pk 38+075 - pk 43+000 (Doc. Rif.[2]).

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 41+615,35 a pk 42+071,63 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI79A0001A	Foglio 21 di 48

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	σ'_p KPa	G_0 MPa	E'_{op} MPa
2	1 (*)	2	18	26-28	10-15	100	-	15-25	
2	2	4	18	26-28	0-10	70-50 (**)	-	10-20	
6	4	-	19	39	0	-	-	230-270 80-100	

Note: (*) localmente le indagini hanno rilevato la presenza di materiale di riporto di spessore variabile fino a 3 m dal p.c.

(**) (valori decrescenti) con la profondità.

4.4.1 Materiale da rilevato

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

Tabella 3 - Caratteristiche materiale da rilevato



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

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. Quest'ultimi indicano una sostanziale stabilità nelle escursioni stagionali.

Ai fini progettuali si assume:

- falda di progetto a medio e lungo termine: -1 m da piano campagna

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 41+615,35 a pk 42+071,63 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI79A0001A	Foglio 22 di 48

5 CARATTERISTICHE SISMICHE E SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

5.1 Sollecitazione sismica di progetto

5.1.1 Vita Nominale

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

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

Tabella 4 – Vita nominale delle infrastrutture ferroviarie

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

5.1.2 Classe d'uso

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

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

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



GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 41+615,35 a pk 42+071,63 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI79A0001A	Foglio 23 di 48

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 $i > 30^\circ$.*

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 41+615,35 a pk 42+071,63 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI79A0001A	Foglio 24 di 48

5.1.6 Accelerazione sismica di riferimento

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

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

5.2 Suscettibilità alla liquefazione

Lo studio della suscettibilità alla liquefazione dei terreni identificati nell'area di realizzazione del rilevato è stato eseguito nel rispetto della normativa applicata (Doc. rif. [14]).



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 alla relazione sismica 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 41+615,35 a pk 42+071,63 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI79A0001A	Foglio 25 di 48

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

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

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

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

dove:

a_{max} accelerazione di picco al sito

g accelerazione di gravità

τ_c valore rappresentativo dello sforzo di taglio ciclico

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

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



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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 41+615,35 a pk 42+071,63 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI79A0001A	Foglio 26 di 48

Nel presente studio, in accordo sia alle prescrizioni dell'Eurocodice 8, sia a quanto suggerito da Youd et al., 2001 e Idriss e Boulanger (2004) si è assunto per $M = 6.5 - MSF = 1.7$.

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 12: 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 12, la resistenza alla punta q_c è normalizzata rispetto al valore di pressione atmosferica ($p_a = 100 \text{ kPa}$) e corretta (q_{c1N}) mediante la seguente relazione:

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

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



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

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

dove:

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

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 41+615,35 a pk 42+071,63 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI79A0001A</p>	<p>Foglio 27 di 48</p>

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

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

$$q_{c1N_{cs}} = q_{c1N} \cdot K_c$$

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

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

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

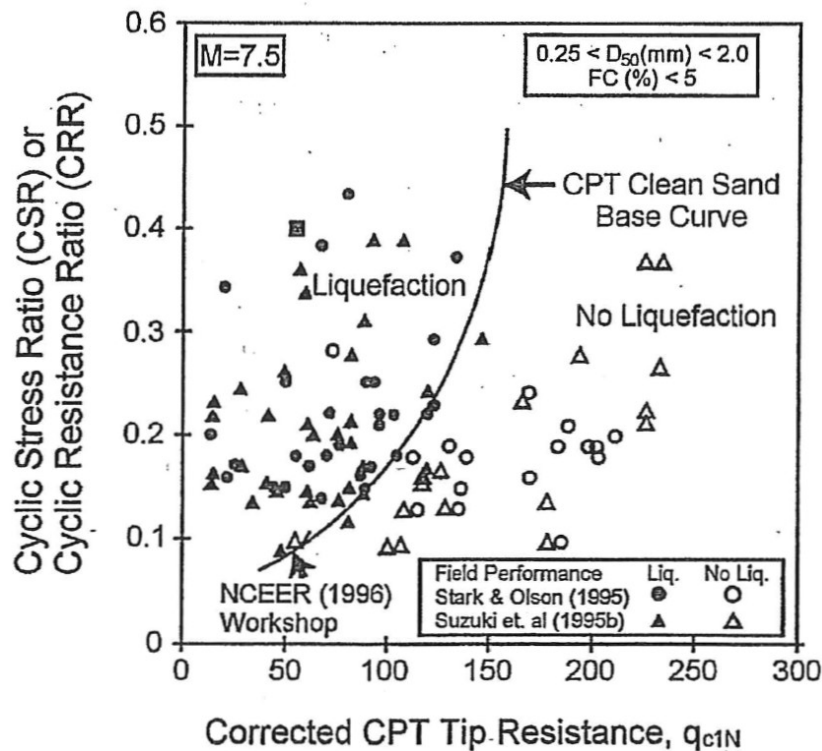




Figura 12: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e valori corretti di resistenza alla punta q_{c1N} – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Robertson & Wride, 1998)

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 41+615,35 a pk 42+071,63 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI79A0001A	Foglio 28 di 48

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

In Figura 13, i risultati delle prove SPT sono espressi in termini di numero di colpi corretti $N_{1(60)}$, ossia i valori sono normalizzati per una pressione verticale efficace pari a 100 kPa e corretti per un valore standard di energia trasmessa (60% del valore nominale) come segue:

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

dove:

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

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

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

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



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

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

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

Sempre in Figura 13, 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 41+615,35 a pk 42+071,63 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI79A0001A	Foglio 29 di 48

Si può osservare dalla Figura 13 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:

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

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

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):

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

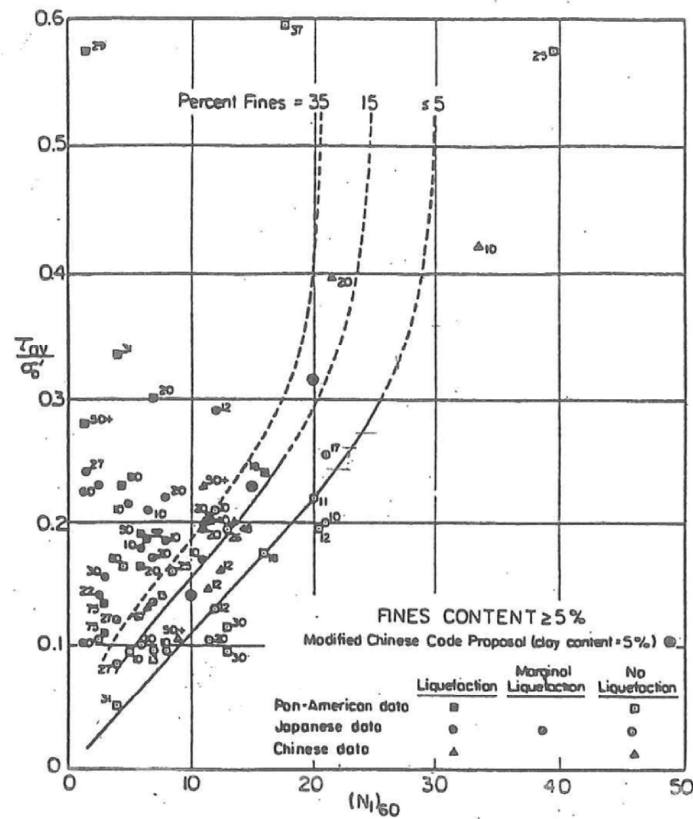




Figura 13: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e $N_{1(60)}$ – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Seed et al., 1985).

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 41+615,35 a pk 42+071,63 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI79A0001A	Foglio 31 di 48

5.3 Risultati delle verifiche a liquefazione

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

I risultati delle analisi (cfr. da Figura 14 a Figura 17) non indicano rischi di potenziale liquefazione nella porzione di tracciato interessata dal rilevato RI79A. I dati delle prove CPT indicano infatti, concordemente a quelli delle granulometrie dei sondaggi, che si tratta di materiali a predominante comportamento coesivo e che non vi sono strati continui e di spessore tale da poter configurare problemi di stabilità dei rilevati stessi.

Rilevato ferroviario da pk 41+615,35 a pk 42+071,63
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI79A0001A

Foglio
32 di 48

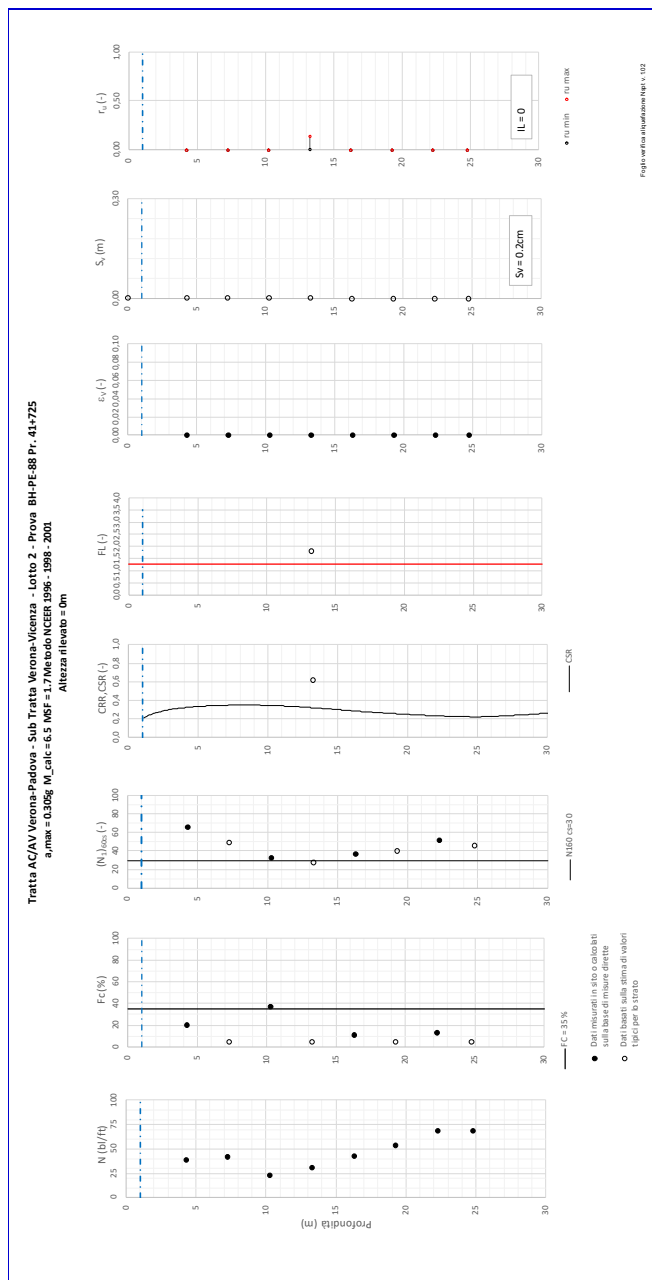


Figura 14 – Verifica Liquefazione da risultati BH-PE-88

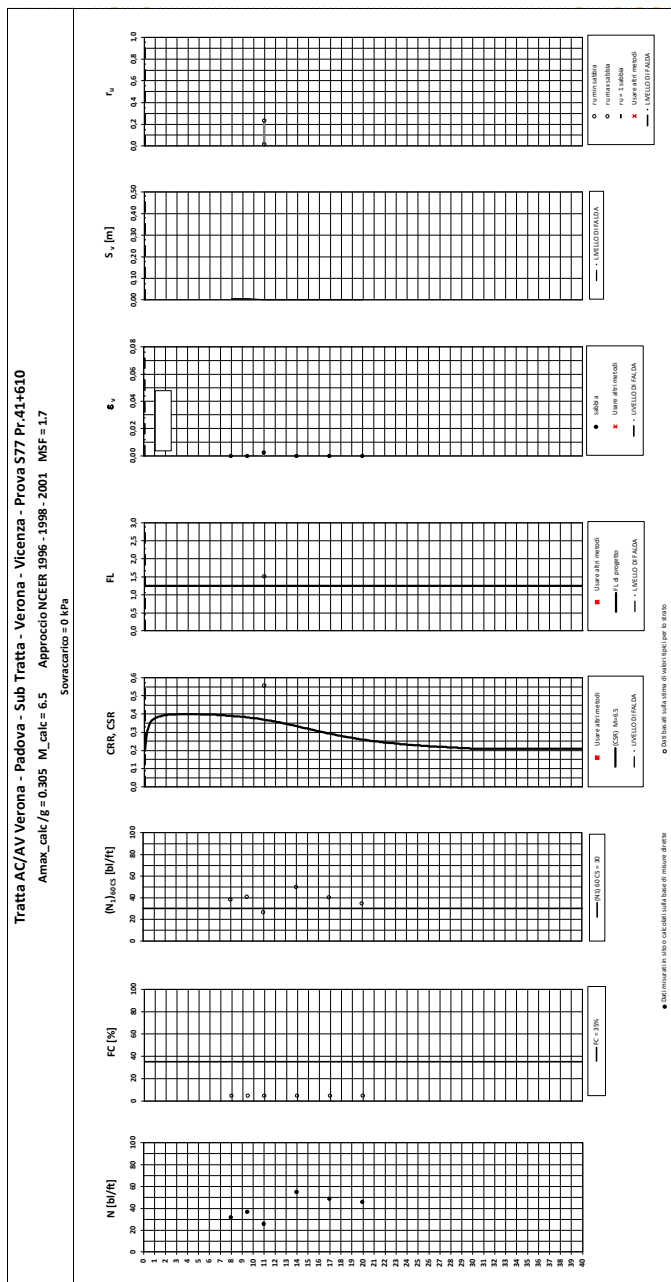


Figura 15 – Verifica Liquefazione da risultati S77

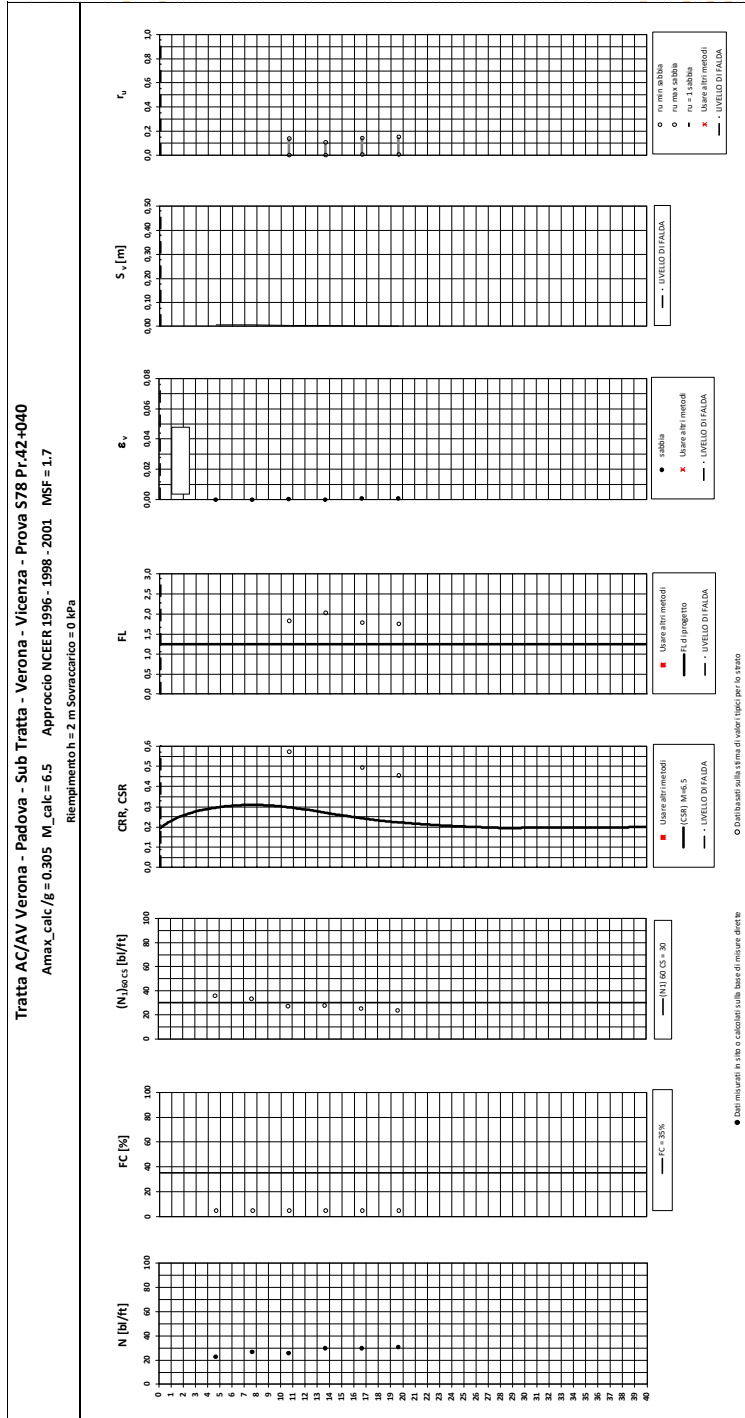


Figura 16 – Verifica Liquefazione da risultati S78

Rilevato ferroviario da pk 41+615,35 a pk 42+071,63
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI79A0001A

Foglio
35 di 48

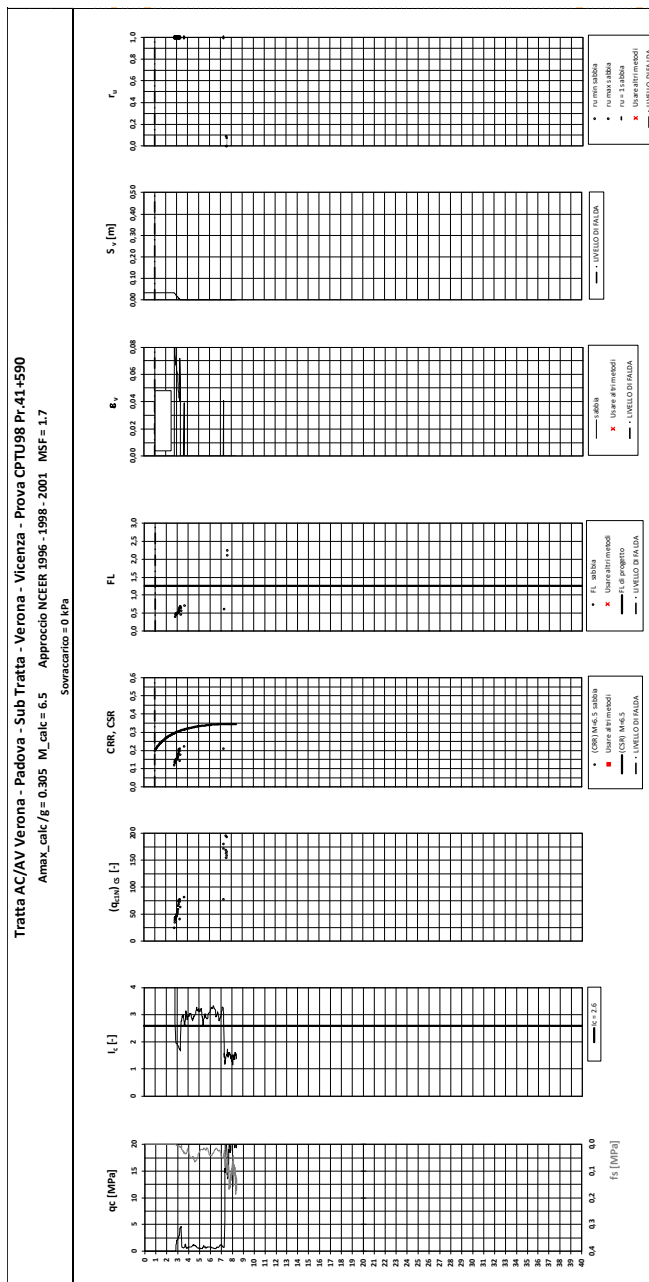




Figura 17 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU98

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 41+615,35 a pk 42+071,63 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI79A0001A	Foglio 36 di 48

6 VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO

Data la geometria del rilevato in esame, praticamente a raso (vedi paragrafo 3.1), e data la stratigrafia riportata nel paragrafo 4.4 non si evidenzia la necessità di condurre analisi di cedimento e di stabilità per l'assenza di problematiche di tipo geotecnico.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 41+615,35 a pk 42+071,63 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI79A0001A	Foglio 37 di 48

7 CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI

In conclusione, data la geometria del rilevato in oggetto (rilevato a raso) non si evidenziano criticità di tipo geotecnico e pertanto non è previsto un monitoraggio.

GENERAL CONTRACTOR





ALTA SORVEGLIANZA





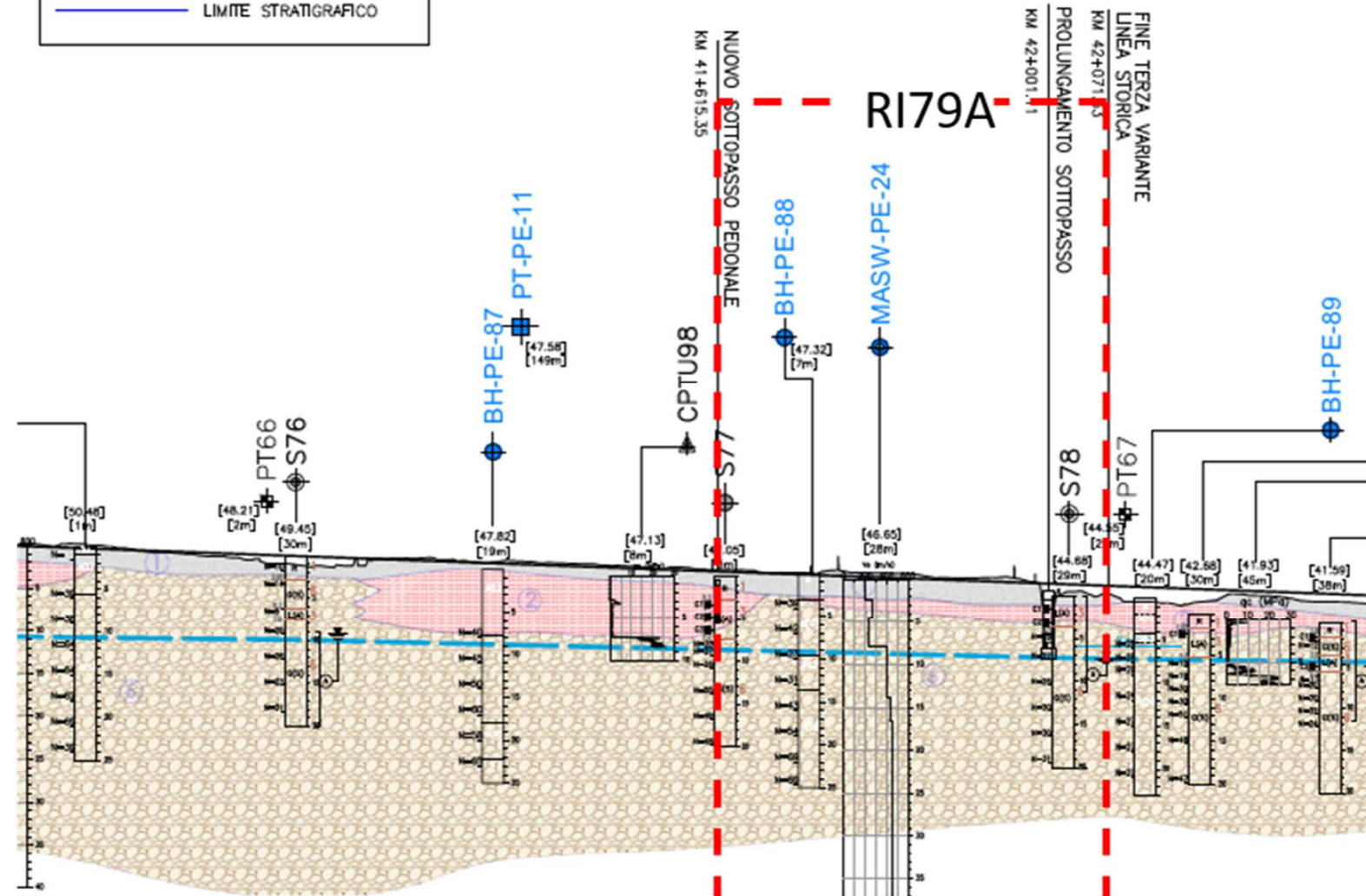
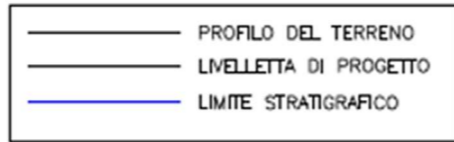
Rilevato ferroviario da pk 41+615,35 a pk 42+071,63 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI79A0001A	38 di 48

ALLEGATI

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 41+615,35 a pk 42+071,63 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI79A0001A</p>	<p>Foglio 39 di 48</p>

ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da 41+615,35 a pk 42+071,63 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI7900001A	Foglio 40 di 48



LEGENDA

Campagna indagini integrative PE

- Sondaggio a carotaggio continuo
- Sondaggio a carotaggio continuo con l'installazione di piezometro a tubo aperto o Casagrande
- Indagine MASW
- Prova penetrometrica statica con piezocono

- Pozzetto esplorativo
- Sondaggio con esecuzione di prova down hole
- Sondaggio con esecuzione di prova cross hole
- Indagini ambientali

Note per PE: Le sigle in blu si riferiscono a indagini disponibili e con coordinate certe. Le prove CPTU41bis, 42bis 43 bis e 43 ter sono state ripetute due volte, con due attrezzature diverse.

Campagna indagini 2014

- Sondaggio a carotaggio continuo
- Sondaggio a carotaggio continuo (SP) con installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
- Foro a distruzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
- Prova penetrometrica statica con piezocono (possibilità di avanzamento con trivellazione)
- Prova penetrometrica statica con piezocono "tradizionale"
- Foro a distruzione di nucleo per esecuzione prove CROSS-HOLE
- Pozzetto esplorativo a 1.5 m da p.c. con prove di carico su piastra

Campagna indagini pregresse

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

Campagna indagini 2018 per CDS

- Sondaggio geognostico

Campagna indagini 2015

- Sondaggio a carotaggio continuo con installazione di Piezometro a Tubo Aperto (A)
- Foro a distruzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C)

1800

Classi dei terreni

- Riporto
- Limi argillosi e limi da compatte a molto compatte, generalmente sovraconsolidati

- Area con prevalenza di sabbie limose/can limo e limi sabbiosi/con sabbia, a comportamento drenato, da sciolti a mediamente addensati
- Area con prevalenza di limi argillosi e argille limose, da tenere a mediamente compatte, generalmente NC o debolmente OC
- Area di alternanze, sia in verticale che planimetriche, di materiali 3a e 3b
- Sabbie generalmente da debolmente limose a limose, da mediamente addensati a molto addensati
- Ghiaie, ghiaie con sabbie, con presenza locale di ciottoli, anche di grandi dimensioni (fino a 80/100mm)

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 41+615,35 a pk 42+071,63 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI7900001A	41 di 48

ALLEGATO 2 - SONDAGGI



Rilevato ferroviario da pk 41+615,35 a pk 42+071,63
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI79A0001A

Foglio
42 di 48

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 88
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 18/11/2020 - 19/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: CMV1200, prog. 41+710	

SCALA 1 :55

STRATIGRAFIA - BH PE 88

Pagina 1/3

Prof. m	Ri metri	Prel. %	RQD %	Litologia	prof. m	QuantiSpec. m	Descrizione	Campioni	RP m	Standard Penetration Test S.P.T.	Test N Pt	prova in sito	A	Pz
0	0	0	0				Materiale di riporto; sabbia fine, colore da grigio a marrone. Presenti residui liliici di varia natura e forma, Ø max. 7+8 cm.							
3,0	3,0				3,0	3,0	Sabbia da debolmente ghiaiosa a ghiaiosa, da medio-fine a grossolana, colore marrone-rossastro fino a 13,60 m, tra 13,60+25,00 colore marrone chiaro-avana. Presenti ciottoli da sub-arrotolati ad arrotondati, di rado sub-angolari, Ø max. 8 cm. Tra 3,20+3,60 m e 9,70+13,60 presenti livelli di sabbia limosa.	SP(1) SP(1) _{4,45} ^{2,00}	4,0	13-19-20	39 C			
7,0								SPT(2) SP(2) _{7,45} ^{7,00}	7,0	11-16-24	42 C			
10,0								SPT(3) SP(3) _{10,45} ^{10,00}	10,0	11-12-11	23 A			

Il Geologo di Cantiere
dott.geol. Gerardo Barrasso

Il Responsabile della Commessa
dott.geol. Giuseppe Pacitti



Rilevato ferroviario da pk 41+615,35 a pk 42+071,63
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI79A0001A

Foglio
43 di 48

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 88
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 18/11/2020 - 19/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: CMV1200, prog. 41+710	

SCALA 1:55

STRATIGRAFIA - BH PE 88

Pagina 2/3

Prof. (m)	Ri (metri)	Prel. % (0-100)	RQD % (0-100)	Litologia	prof. (m)	Quanti (pezzi)	Descrizione	Campioni	RP (m)	Standard Penetration Test (S.P.T.)	Test (N Pt)	prova (foto)	A (r)	Pz	
12,0							Sabbia da debolmente ghiaiosa a ghiaiosa, da medio-fine a grossolana, colore marrone-rossastro fino a 13,60 m, tra 13,60+25,00 colore marrone chiaro-avana. Presenti ciottoli da sub-arrotondati ad arrotondati, di rado sub-angolari, Ø max. 8 cm. Tra 3,20+3,60 m e 9,70+13,60 presenti livelli di sabbia limosa.								
13,0								SPT4) SP 23,00 / 23,45	13,0	13-13-18	31 A				
14,0															
15,0															
16,0								SP15) SP 16,00 / 16,45	16,0	18-17-26	43 C				
17,0															
18,0															
19,0								SPT8) SP 19,00 / 19,45	19,0	21-24-30	54 C				
20,0															
21,0															
22,0									22,0	20-36-33	69 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 41+615,35 a pk 42+071,63
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI79A0001A

Foglio
44 di 48

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 88
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 18/11/2020 - 19/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: CMV1200, prog. 41+710	

SCALA 1 :55

STRATIGRAFIA - BH PE 88

Pagina 3/3

Prof. (m)	Ri (m)	Prel. %	RQD %	Litologia	prof. (m)	Quanti (spec.)	Descrizione	Campioni	RP (m)	Standard Penetration Test (S.P.T.)	Test (N Pt)	prova (foto)	A (r)	Pz
23.0				Sabbia da debolmente ghiaiosa a ghiaiosa, da medio-fine a grossolana, colore marrone-rossastro fino a 13,60 m, tra 13,60+25,00 colore marrone chiaro-avana. Presenti ciottoli da sub-arrotondati ad arrotondati, di rado sub-angolari, Ø max. 8 cm. Tra 3,20+3,60 m e 9,70+13,60 presenti livelli di sabbia limosa.				SPT(1) SP 22,00 / 22,45						
24.0								SPT(8) SP 21,25 / 25,00	24,6	21-33-36	69 C			
25.0						25,0	22,0							

Utilizzato carotiere semplice.
Prelevati n. 8 campioni rimaneggiati S.P.T.
Eseguite n. 8 prove S.P.T.
Approvvigionamento e trasporto di acqua necessaria per la perforazione.

Il Geologo di Cantiere
dott.geol. Gerardo Barrasso

Il Responsabile della Commessa
dott.geol. Giuseppe Pacitti



Rilevato ferroviario da pk 41+615,35 a pk 42+071,63
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI79A0001A

Foglio

45 di 48

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 88
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 18/11/2020 - 19/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: CMV1200, prog. 41+710	

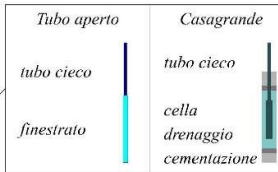
LEGENDA STRATIGRAFIA

α	R	Prel. %	RQD %	Litologia	prof	Quota	Spes.	Descrizione	Campioni	RP	Standard Penetration Test	prove	A	Pz					
mm	%	0-100	0-100		m	m	m			m	S.P.T.	N	Pa	Pa					
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 Nsp
- 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
Amb = Ambientale

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



Il Geologo di Cantiere
dott.geol. Gerardo Barrasso

Il Responsabile della Commessa
dott.geol. Giuseppe Pacitti

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



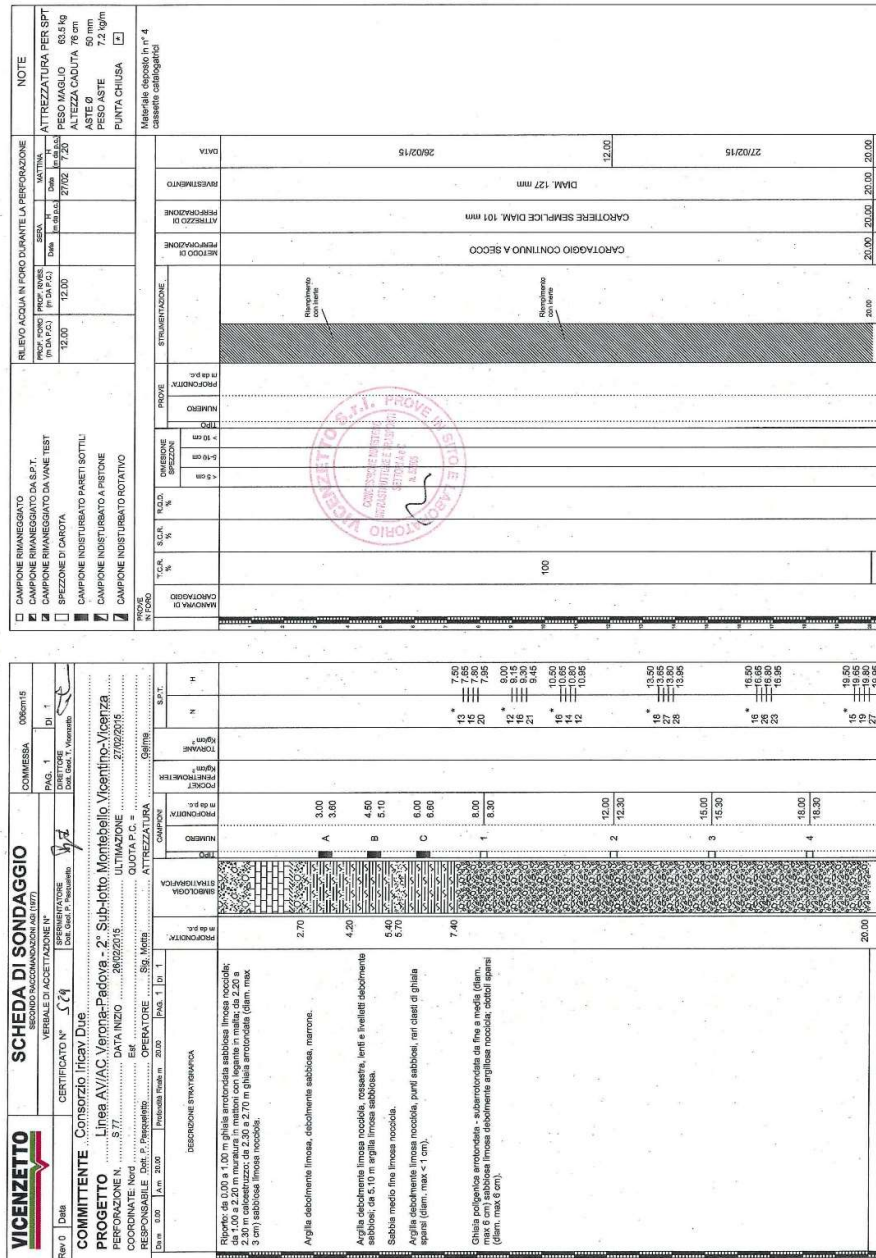
Rilevato ferroviario da pk 41+615,35 a pk 42+071,63
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI79A0001A

Foglio
46 di 48



Decreto di concessione n. 52896 del 11/10/2004 - rilascio dei certificati di cui al subord. c, prove in sito, art. 8 DPR 249/03 - O.L. n. 14 settembre 03 (G. U. n. 222 del 25/09/2003 - S. G. n. 159)

VICENZETTO S.p.A. - 39040 VILLA ESTENSE (PD) - VIA MUNICIPIO n. 16 - TEL. 0429/91790 - FAX 0429/91200 - info@vicenzetto.it



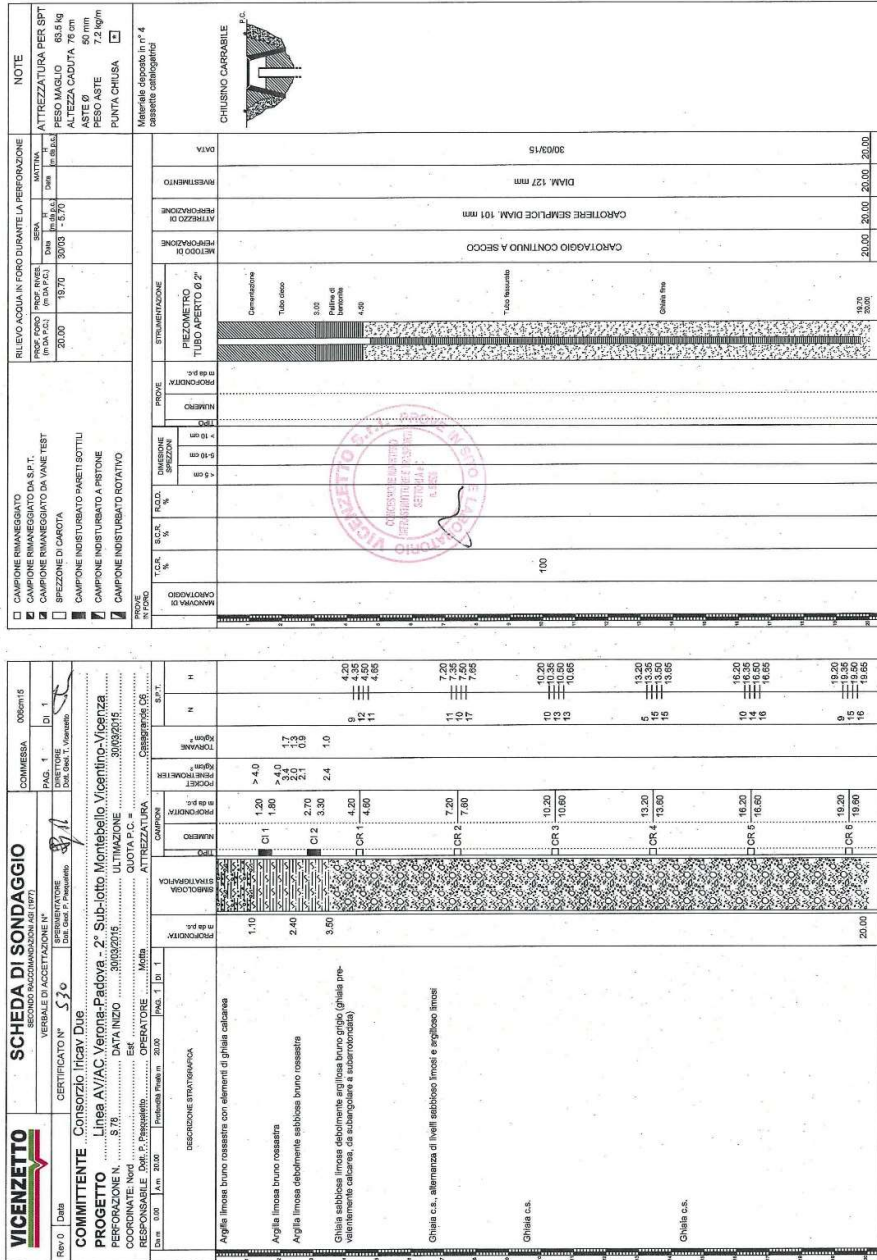
Rilevato ferroviario da pk 41+615,35 a pk 42+071,63
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI79A0001A

Foglio
47 di 48



Documento n. 55056 del 11/10/2004, rilascio dei certificati di cui al sottoseg. e prove in situ, art. 9 DPR 246/93 - D.L. n. 222 del 25/09/2005 - S. O. n. 1959

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 41+615,35 a pk 42+071,63
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI79A0001A

Foglio

48 di 48

