

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 seconda variante da pk 187+095,24 a pk 187+513,48

GENERALE

Relazione Geotecnica

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

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA Progr. REV. FOGLIO

I	N	1	7	1	0	E	I	2	R	B	R	I	6	9	B	0	0	0	1	A	-	-	-	P	-	-	-
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

	VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
	Firma	Data
	Luca RANDOLFI 	Aprile 2021



Progettazione:

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

CIG. 8377957CD1	CUP: J41E91000000009	File: IN1712EI2RBRI69B0001A.DOCX
		Cod. origine:





Progetto cofinanziato dalla Unione Europea

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante da pk 187+095,24 a pk 187+513,48 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI69B0001A</p>	<p>Foglio 2 di 45</p>

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	4
2.1	Documentazione di progetto.....	4
2.2	Normativa e standard di riferimento.....	4
2.3	Bibliografia	5
3	INQUADRAMENTO DELL'OPERA	6
3.1	Geometria del rilevato.....	6
4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	7
4.1	Indagini disponibili.....	7
4.2	Inquadramento stratigrafico	8
4.3	Condizioni geotecniche del sito	10
4.4	Sintesi del modello geotecnico di riferimento	20
4.4.1	Materiale da rilevato.....	20
4.4.2	Falda	20
5	CARATTERISTICHE SISMICHE E SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE.....	21
5.1	Sollecitazione sismica di progetto.....	21
5.1.1	Vita Nominale.....	21
5.1.2	Classe d'uso	21
5.1.3	Periodo di riferimento per l'azione sismica	22
5.1.4	Categorie di Sottosuolo.....	22
5.1.5	Condizioni topografiche	22
5.1.6	Accelerazione sismica di riferimento	23
5.2	Suscettibilità alla liquefazione.....	23
5.2.1	CRR da correlazione su prove CPT	25
5.2.2	CRR da correlazione su prove SPT.....	27
5.3	Risultati delle verifiche a liquefazione.....	30
6	VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO	34
7	CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI	35
Allegati		36
ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO.....		37
ALLEGATO 2 - SONDAGGI.....		39

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante da pk 187+095,24 a pk 187+513,48 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI69B0001A</p>	<p>Foglio 3 di 45</p>

1 INTRODUZIONE

Il presente documento costituisce la Relazione Geotecnica del rilevato RI69B, previsto nell'ambito del Progetto Esecutivo della sub tratta Verona – Vicenza della Linea AV/AC Verona – Padova. Tale rilevato si estende tra il km 187+095,24 ed il km 187+513,48.

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).

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante da pk 187+095,24 a pk 187+513,48 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI69B0001A</p>	<p>Foglio 4 di 45</p>

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Documentazione di progetto

- [1] Sezioni di Progetto Esecutivo
- [2] IN1710EI2RBGE0000004A Relazione Geotecnica (da 33+500 a 44+250)
- [3] IN1710EI2RHGE0000004A Relazione idrogeologica 2/2 (da 22+000 a 44+250)
- [4] IN1710EI2RHGE0000006A Relazione sulla modellazione sismica del sito e pericolosità sismica di base 2/2 (da 22+000 a 44+250)
- [5] IN1710EI2LZGE0000021A Planimetria con ubicazione indagini e profilo geotecnico tav.10-11
- [6] IN1710EI2P5GE0000021A Planimetria con ubicazione indagini di Progetto Esecutivo tav.10-11
- [7] IN1710EI2RHGE0000008A Relazione di sintesi dei sondaggi e prove eseguite 2/2 (da 21+990 a 44+250)
- [8] IN1710EI2PRGE0000002A Risultati Indagini in sito di Progetto Esecutivo – SOCOTEC (da 21+990 a 44+250)
- [9] IN1710EI2PRGE0000004A Risultati Indagini in sito di Progetto Esecutivo – ATI GEOSERVING – GEOLAVORI (da 21+990 a 44+250)
- [10] IN1710EI2PRGE0000007A-8A, Risultati Prove di laboratorio di Progetto Esecutivo – SOCOTEC (da 21+990 a 44+250)
- [11] IN1710EI2PRGE00000011A-12A, Risultati Prove di laboratorio di Progetto Esecutivo – ATI GEOSERVING - GEOLAVORI (da 21+990 a 44+250)
- [12] IN1710EI2IGGE0000002A Risultati Indagini Geofisiche di Progetto Esecutivo – SOCOTEC (da 21+990 a 44+250)
- [13] IN1710EI2IGGE0000004A 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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante da pk 187+095,24 a pk 187+513,48 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI69B0001A</p>	<p>Foglio 5 di 45</p>

- [19] RFI DTC SI CS MA IFS 001 B Manuale di progettazione delle opere civili, Parte II – Sezione 3, Corpo stradale
- [20] RFI DTC INC PO SP IFS 001 A Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario
- [21] RFI DTC INC CS SP IFS 001 A Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie
- [22] RFI DTC SICS SP IFS 001 B Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 5 – “Opere in terra e scavi”– RFI
- [23] RFI TCAR ST AR 01 001 D Standard di qualità geometrica del binario con velocità fino a 300 km/h
- [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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante da pk 187+095,24 a pk 187+513,48 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI69B0001A</p>	<p>Foglio 6 di 45</p>

3 INQUADRAMENTO DELL'OPERA

Il rilevato ferroviario in esame si estende dalla pk 187+095,24 alla pk 187+513,48 per una lunghezza totale di 418,24 m, in affiancamento alla linea AV (RI69A), ed ha inizio dalla fine della galleria GA04. E' presente un nuovo attraversamento idraulico Ø800 e, sul lato Nord proprio al piede della scarpata del rilevato ferroviario della LS (RI69b), dapprima una pista di manutenzione/accesso e a seguire un raccordo di un canale di scolo esistente con la deviazione scolo Cavazza (WBS IN64).

3.1 Geometria del rilevato

Il rilevato è realizzato a raso rispetto al piano campagna; solo in alcune sezioni è presente un livellamento del terreno ai margini del rilevato di circa 1÷1.50 m rispetto al piano campagna medio. Il rilevato in esame risulta sempre in affiancamento alla linea AV. Nei punti ove necessario, si raccorda al terreno naturale con una scarpata con pendenza 2/3 (V:H).

Di seguito si riporta la sezione n. 5 alla pk 187+153 della linea LS che risulta più rappresentativa per conformazione geometrica del rilevato.

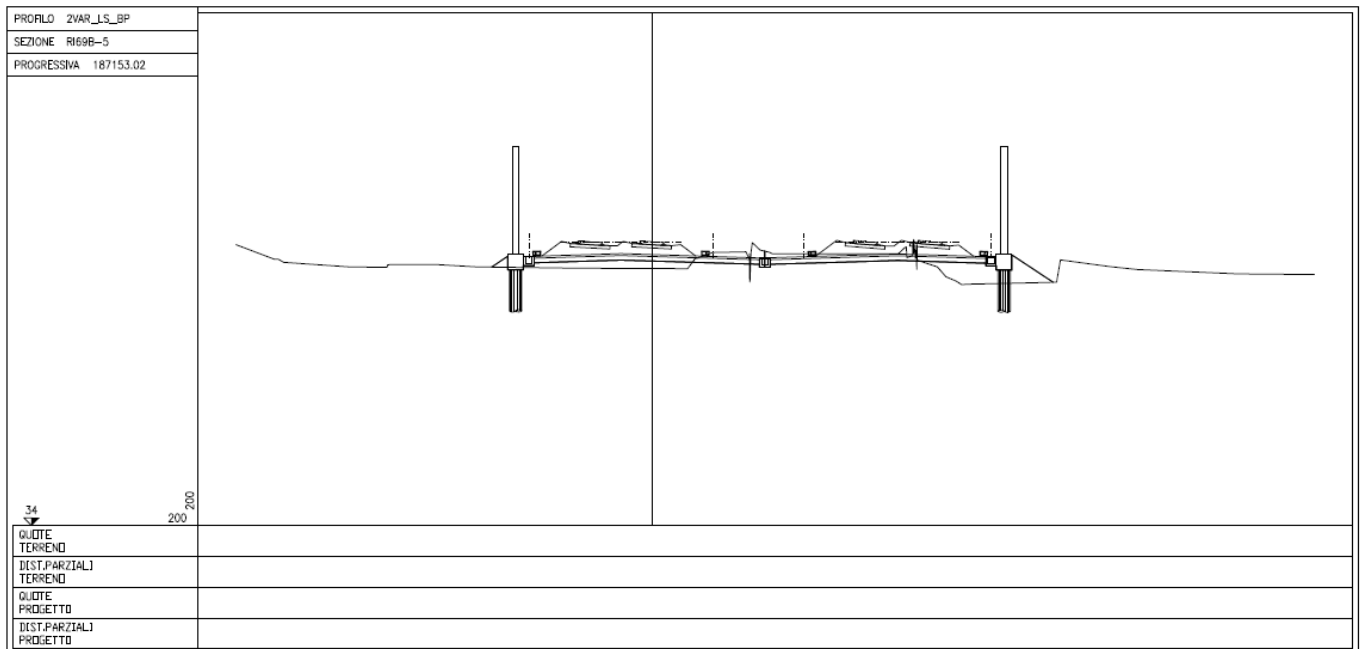




Figura 1 – Sezione di riferimento n° 5 (pk 187+153) estratta da sezioni PE (Doc Rif. [1])

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario seconda variante da pk 187+095,24 a pk 187+513,48 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI69B0001A	Foglio 7 di 45

4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

4.1 Indagini disponibili

L'ubicazione delle indagini disponibili relative all'opera esaminata è illustrata nella Figura 2, estratta dalla Planimetria geotecnica con ubicazione indagini e profilo geotecnico (Doc. Rif. [5]). Per ulteriori dettagli si rimanda alle relazioni di sintesi delle indagini (Doc. Rif. [8]-[13]).

Il risultato delle indagini è riportato in ALLEGATO 2 - .

Le indagini disponibili lungo il tratto d'interesse per il rilevato in oggetto sono elencate in Tabella 1. Nel seguente paragrafo si riporta la caratterizzazione geotecnica, ottenuta basandosi sui risultati delle indagini relative all'area di interesse e sulla caratterizzazione generale dell'area in cui si inserisce il rilevato, presentata nella Relazione Geotecnica (Doc. Rif. [2]).

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

Tabella 1 - Indagini da pk 187+095,24 a pk 187+513,48 che corrispondono alle pk da 37+328,86 a 37+775,00 della Linea AV

Progressiva pk	ID indagini -	Campagna anno
37+350	S66	2014
37+420	MASW-PE 21	2020
37+525	S67	2014
37+700	S68	2014

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante da pk 187+095,24 a pk 187+513,48 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI69B0001A</p>	<p>Foglio 8 di 45</p>

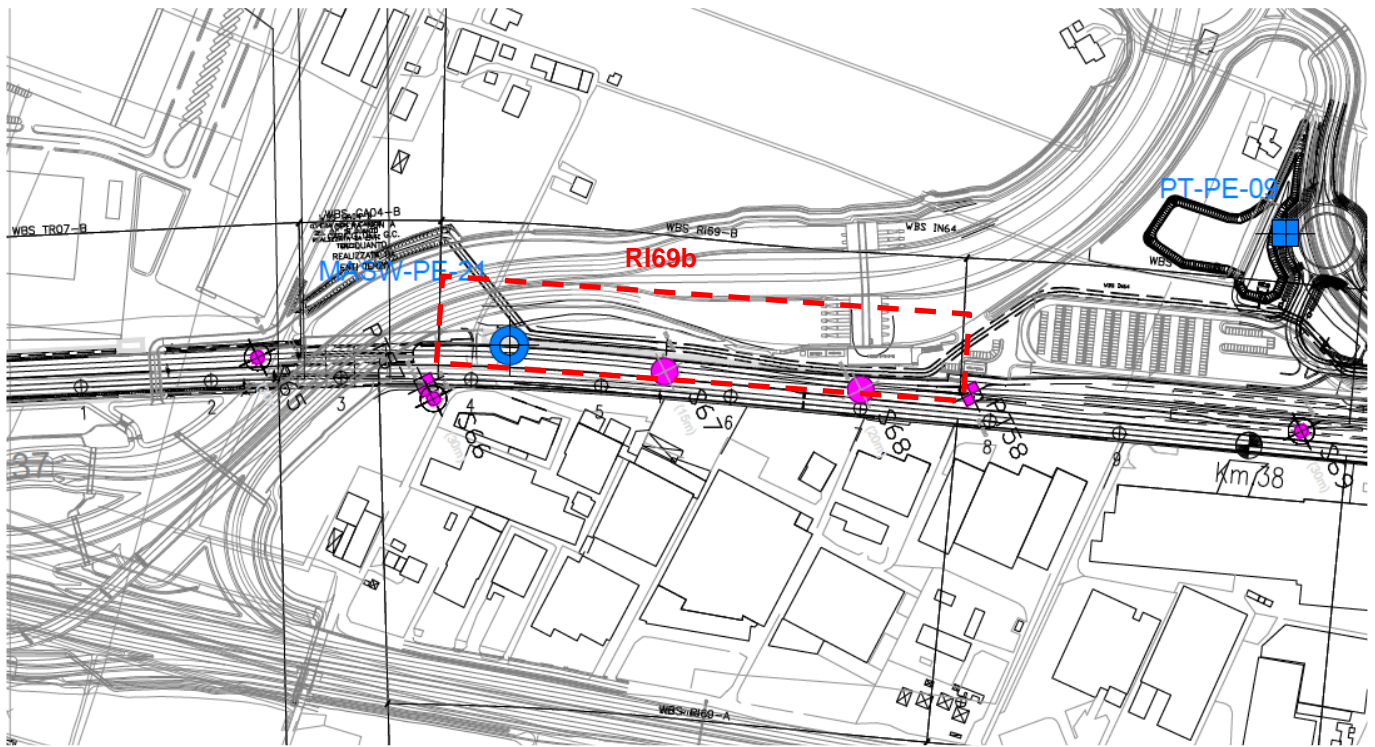


Figura 2 - Planimetria Rilevato RI69b, estratto dalla Planimetria Generale (Doc. Rif. [5])

4.2 Inquadramento stratigrafico

L'assetto stratigrafico dell'area è caratterizzato dalla presenza, al di sotto della coltre superficiale, di limi argillosi sabbiosi (Unità 2). Lo strato ha spessore variabile fra 3 e 7 m dal p.c. e, in tutto questo tratto, è impostato su un deposito di ghiaie sabbiose (Unità 6) che si estende almeno fino a circa 20 m da p.c.

Al di sotto delle ghiaie, si rinvenivano localmente livelli ancora di limi argillosi sabbiosi (Unità 2) e successivamente, in tutte le indagini condotte nell'area in questione, si riscontra nuovamente la presenza di materiali ghiaiosi dell'Unità 6.

Per quanto riguarda più specificamente la parte sommitale, i dati disponibili indicano uno strato superficiale di terreno naturale vegetale da rimuovere di modesta entità. Si presuppone quindi che uno scotico di 50 cm sia sufficiente allo scopo. Al di sotto si possono rinvenire spessori limitati di materiali granulari, potenzialmente compattabili, o terreni limosi dell'Unità 2, per i quali vi è la possibilità di intervenire con trattamenti a calce.

Per una trattazione di dettaglio delle unità sopra citate si rimanda alla Relazione Geotecnica Generale del tratto in

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante da pk 187+095,24 a pk 187+513,48 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI69B0001A</p>	<p>Foglio 9 di 45</p>

esame (Doc. Rif. [2]).

Nella Figura 3 si riporta il profilo geotecnico specifico per il rilevato RI69b, estratto dalla Planimetria e Profilo Geotecnico (Doc. Rif. [5]), vedi ALLEGATO 1 -

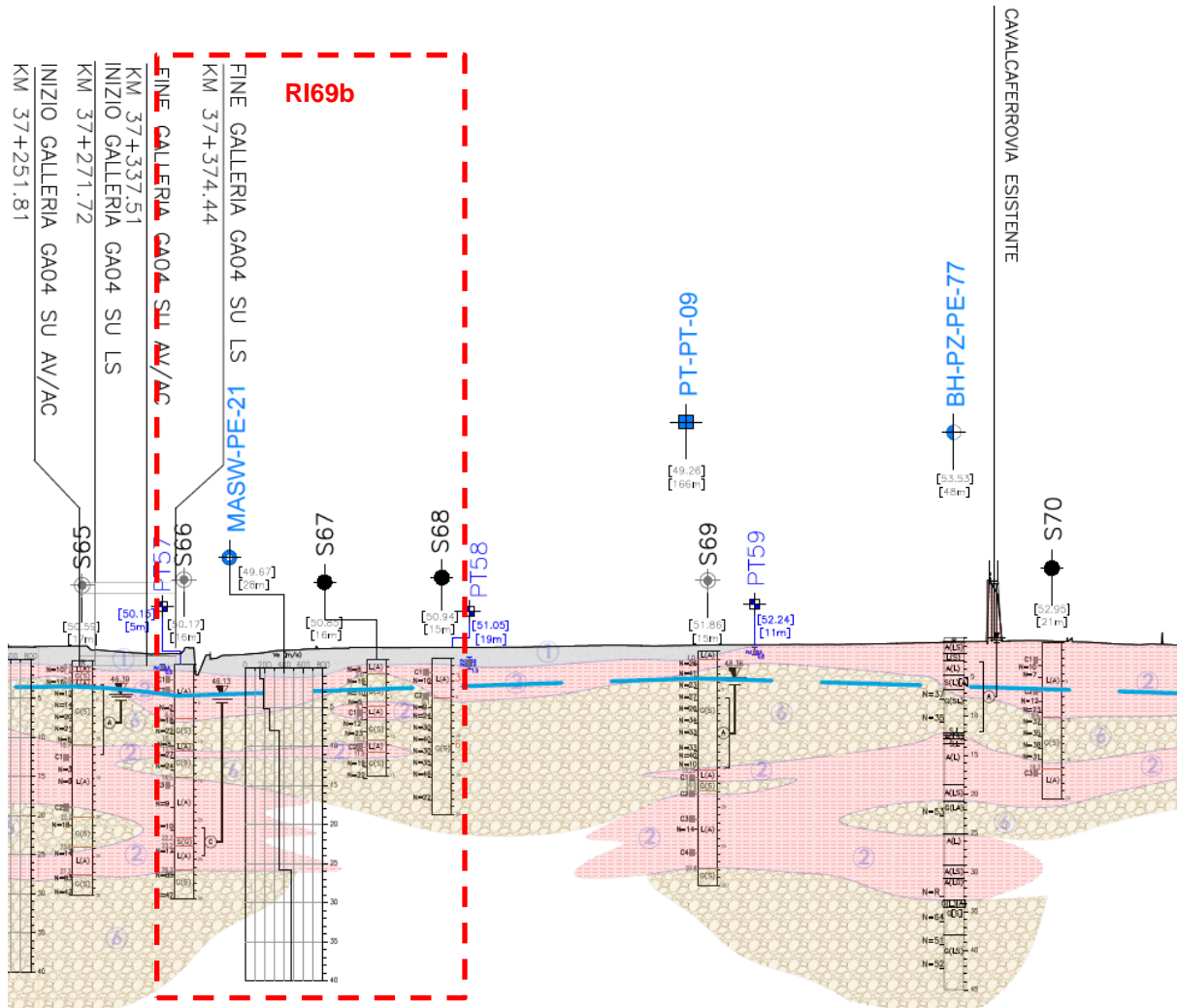


Figura 3 - Profilo Geotecnico Rilevato RI69b, estratto dal Profilo Geotecnico Generale (Doc. Rif. [5])

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante da pk 187+095,24 a pk 187+513,48 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI69B0001A</p>	<p>Foglio 10 di 45</p>

4.3 Condizioni geotecniche del sito

La porzione più superficiale è costituita da uno strato di terreno vegetale naturale, che verrà rimosso nell'ambito delle attività di scotico, che in base ai dati oggi disponibili dovrebbe avere le caratteristiche per costituire la base di appoggio del rilevato, generalmente a seguito di trattamento a calce, anche se non si può escludere a priori la presenza di terreni a grana grossa potenzialmente compattabili.

Procedendo con la profondità si incontra uno strato superficiale di materiale a grana fine (Unità 2) costituito in prevalenza da limo argilloso sabbioso, che si estende fino a circa 5÷7 m dal p.c. Tali materiali, di maggiore interesse progettuale in quanto governano l'esito delle verifiche di stabilità e di cedimento, risultano da poco a mediamente plastici, con valori di LP nel campo 20-30 e LL generalmente compresi fra 40 e 60. I corrispondenti valori dell'indice plastico sono generalmente compresi fra 2 e 35. Si presentano compatti, con valori del peso di volume dell'ordine dei 19 kN/m³, e contenuto d'acqua nel campo 25-35%. Le curve edometriche indicano la presenza di materiali generalmente sovraconsolidati, specie in sommità, con valori di preconsolidazione stimati nel campo di 200-350 kPa. Infine, sempre a partire dai risultati delle prove edometriche, si sono stimati i valori di deformabilità:

- Rapporto di ricompressione $RR = 0.015 \div 0.03$
- Rapporto di compressione $CR = 0.10 \div 0.20$

Proseguendo in profondità si incontra uno strato di ghiaie sabbiose debolmente limose ben addensate (Unità 6) con percentuali di materiale a grana fine inferiori al 15%. All'interno del deposito si registrano valori di N_{SPT} mediamente pari a 30 colpi/30cm, con valori anche superiori a 50 colpi/30cm. La densità relativa delle ghiaie risulta generalmente variabile fra il 30 e il 40% e quindi il deposito risulta mediamente addensato.

Più in profondità, come mostrato nel profilo geotecnico in Figura 3, è presente un ulteriore strato di materiale fine (Unità 2), inserito nel substrato ghiaioso (Unità 6).

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 addensati. Fino a 15 m dal pc, per le ghiaie superficiali si stimano valori di V_s crescenti e compresi tra 200 m/s e 350 m/s. A profondità maggiori, nelle sabbie, le velocità sono da considerarsi pressoché costanti pari a circa 450 m/s fino a 35 m pc. 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 ottengono valori crescenti compresi tra 80 MPa e 200 MPa, mentre per le sabbie profonde si ottengono valori maggiori di 300 MPa.

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario seconda variante da pk 187+095,24 a pk 187+513,48 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI69B0001A	Foglio 11 di 45

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. Per i materiali a grana fine il valore del modulo di Young (E_0) è stato calcolato a partire dal valore della resistenza al taglio non drenata.

Sulla base di questi criteri, i parametri geotecnici sono stati determinati mediante l'interpretazione dei risultati delle prove di sito e di laboratorio:

- Distribuzione delle granulometrie da analisi di laboratorio (v. Figura 4);
- Valori N_{SPT} da prove SPT (v. Figura 5);
- Densità relativa stimata da prove SPT (v. Figura 6);
- Angolo di attrito stimato da prove SPT (v. Figura 7);
- Contenuto d'acqua, limite liquido e limite plastico da prove di laboratorio (v. Figura 8);
- Carta di Casagrande da prove di laboratorio (v. Figura 9);
- Confronto della Velocità delle onde di taglio stimata da prove in sito (v. Figura 10);
- Confronto Modulo di taglio alle piccole deformazioni stimato da prove in sito (v. Figura 11)

AV/AC VERONA VICENZA

RI69B da pk 187+095,24 a pk 187+513,48

Contributi granulometrici (%)

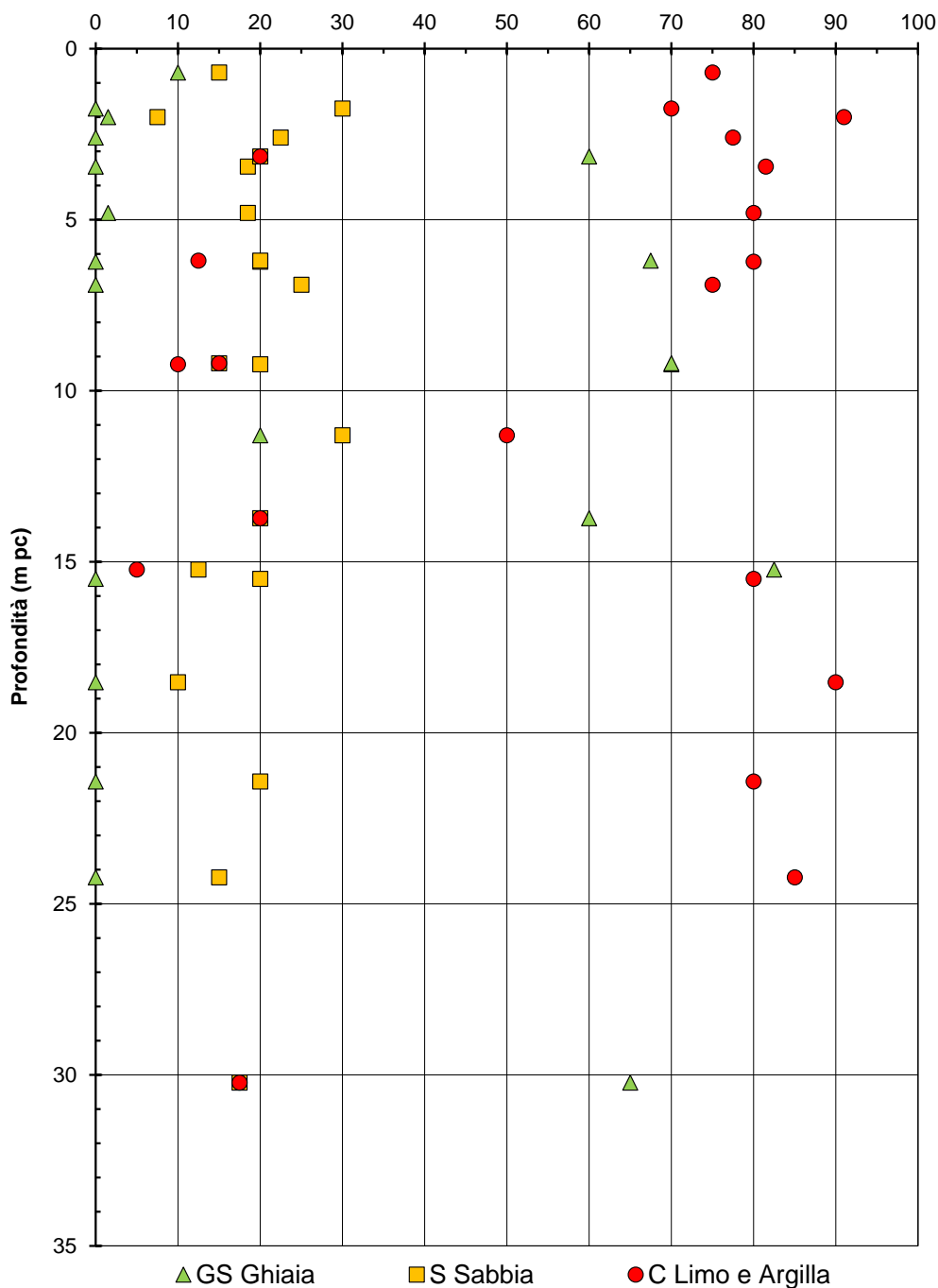


Figura 4 – Sintesi analisi granulometriche – RI69b (pk 37+328,86 ÷ 37+775,00 di AV)

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante da pk 187+095,24 a pk 187+513,48 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI69B0001A</p>	<p>Foglio 13 di 45</p>

AV/AC VERONA VICENZA

RI69B da pk 187+095,24 a pk 187+513,48

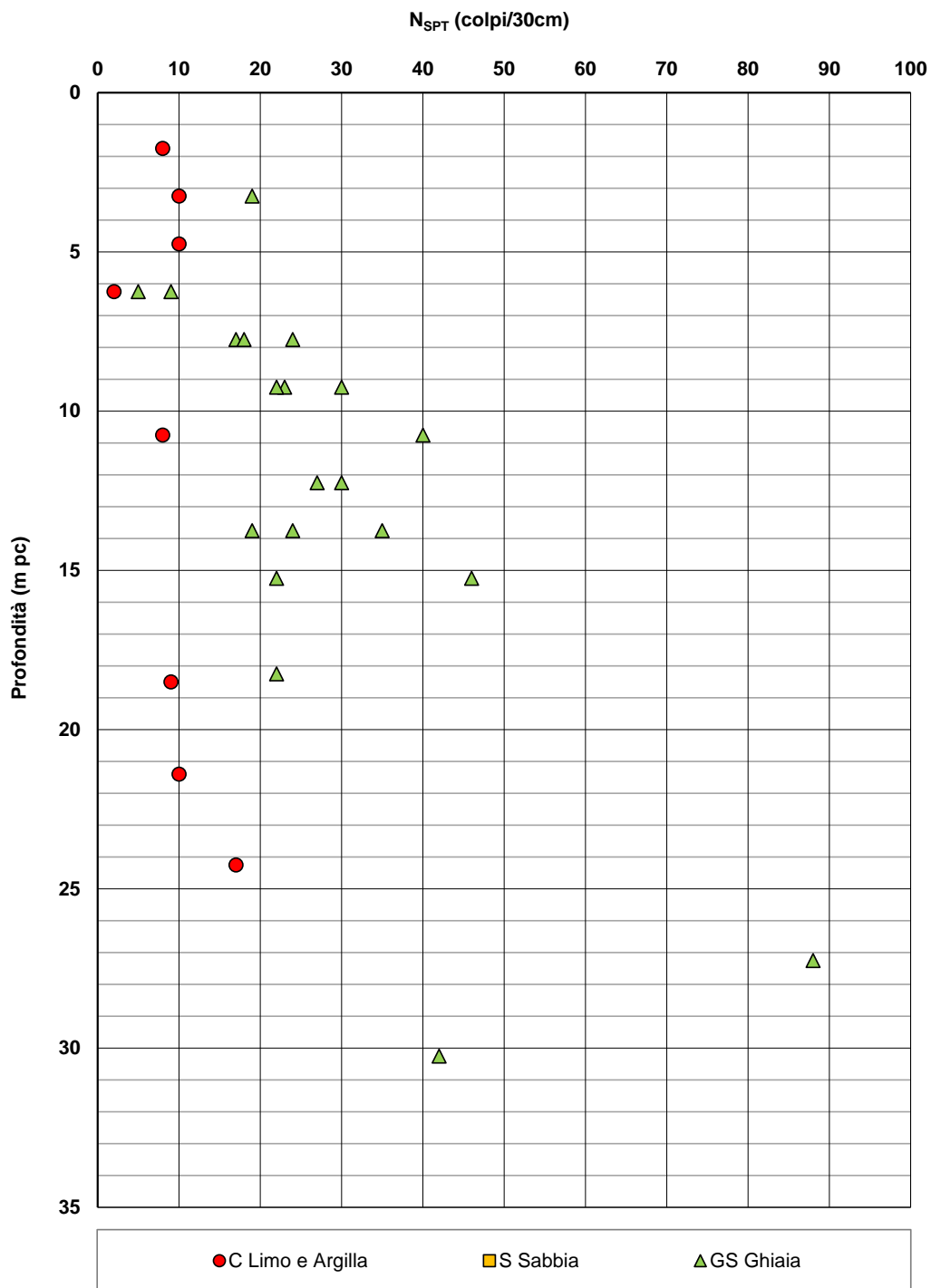


Figura 5 – Esito delle prove SPT – RI69b (pk 37+328,86 ÷ 37+775,00 di AV)

AV/AC VERONA VICENZA

RI69B da pk 187+095,24 a pk 187+513,48

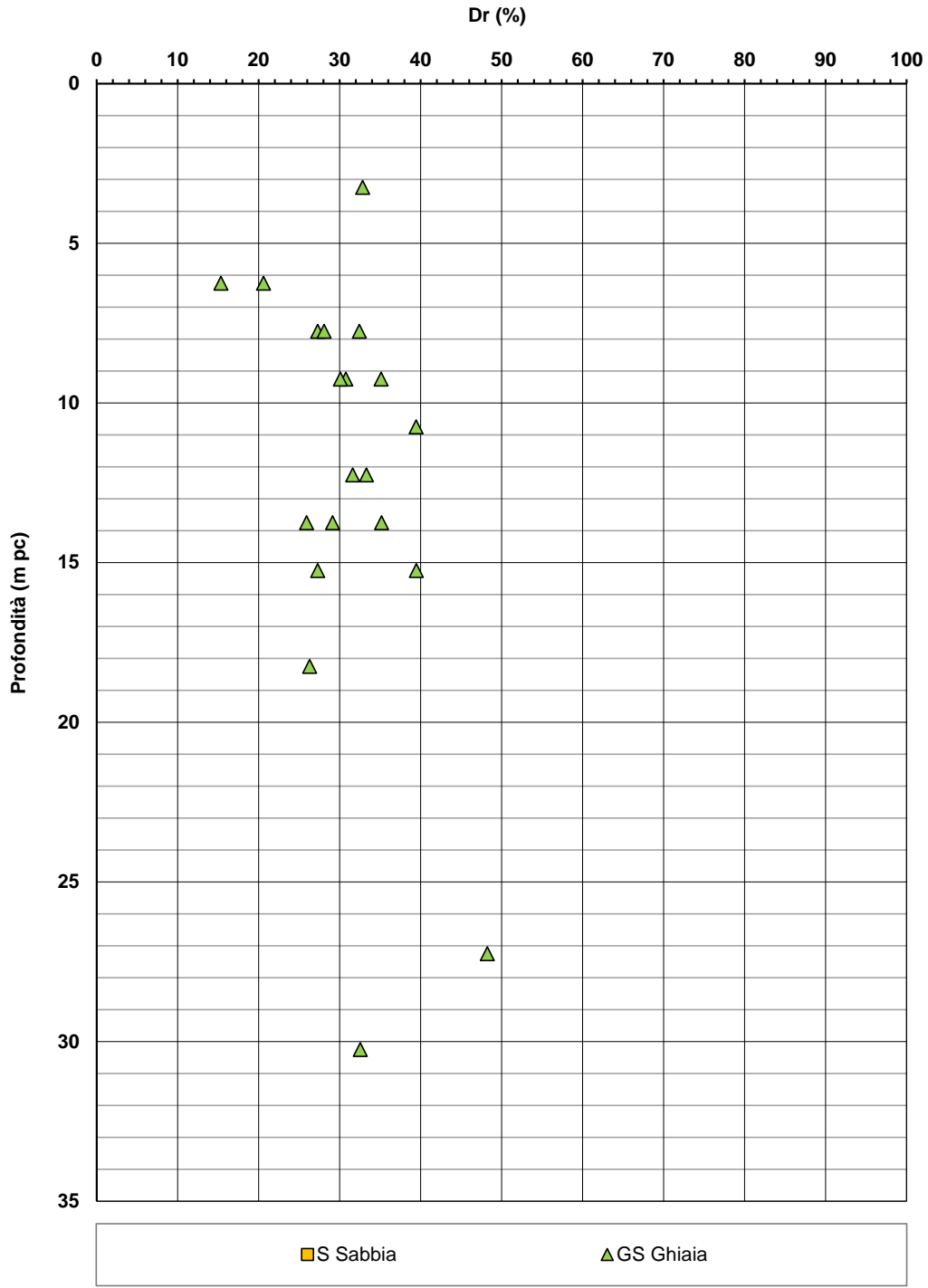


Figura 6 – Densità relativa da prove SPT - RI69b (pk 37+328,86 ÷ 37+775,00 di AV)

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante da pk 187+095,24 a pk 187+513,48 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI69B0001A</p>	<p>Foglio 15 di 45</p>

AV/AC VERONA VICENZA

RI69B da pk 187+095,24 a pk 187+513,48

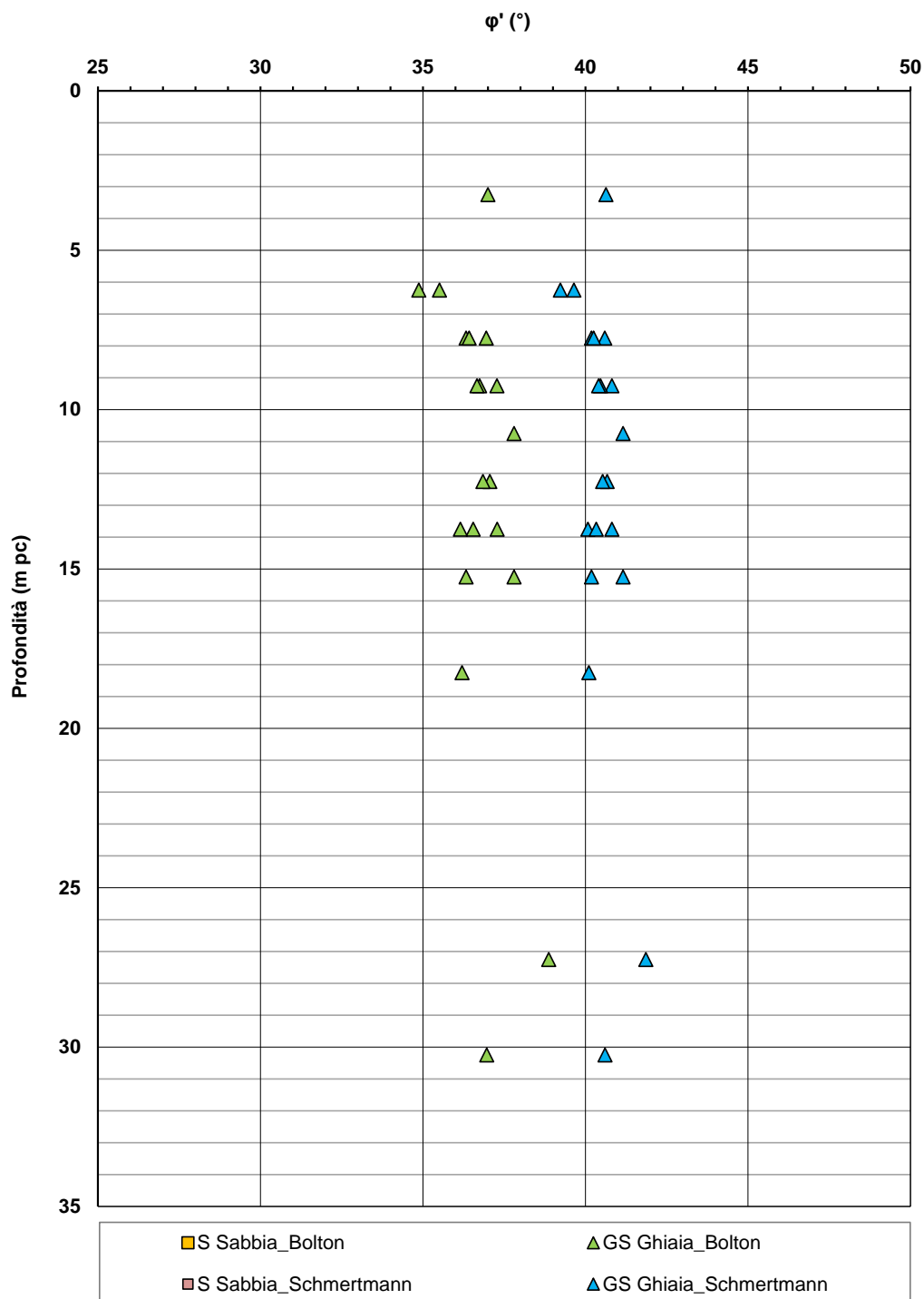


Figura 7 – Angoli di resistenza al taglio da prove SPT - RI69b (pk 37+328,86 ÷ 37+775,00 di AV)

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante da pk 187+095,24 a pk 187+513,48 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI69B0001A</p>	<p>Foglio 16 di 45</p>

AV/AC VERONA VICENZA

RI69B da pk 187+095,24 a pk 187+513,48

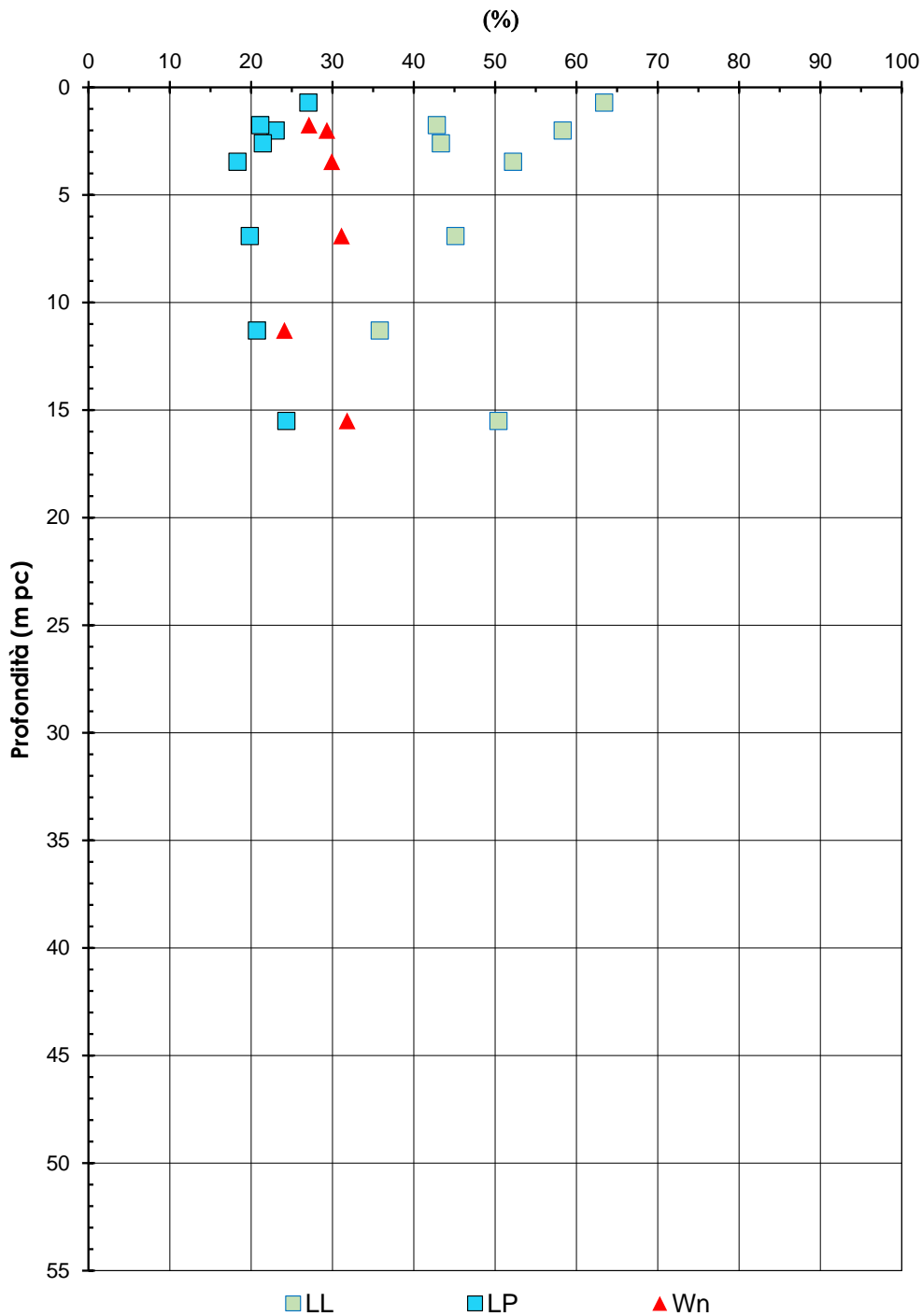


Figura 8 – Contenuto d'acqua, limite liquido e limite plastico - RI69b (pk 37+328,86 ÷ 37+775,00 di AV)

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante da pk 187+095,24 a pk 187+513,48 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI69B0001A</p>	<p>Foglio 17 di 45</p>

AV/AC VERONA VICENZA

RI69B da pk 187+095,24 a pk 187+513,48

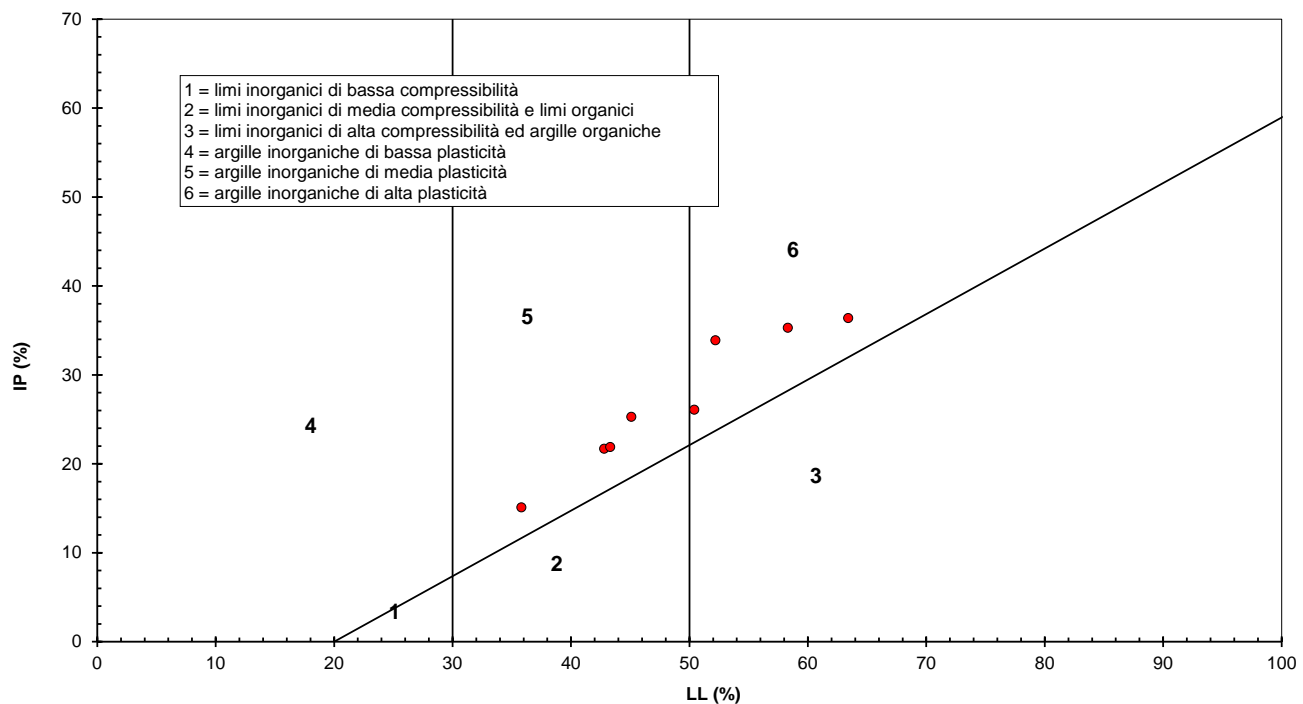


Figura 9 – Carta di Casagrande - RI69b (pk 37+328,86 ÷ 37+775,00 di AV)

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante da pk 187+095,24 a pk 187+513,48 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI69B0001A</p>	<p>Foglio 18 di 45</p>

AV/AC VERONA VICENZA

RI69B da pk 187+095,24 a pk 187+513,48

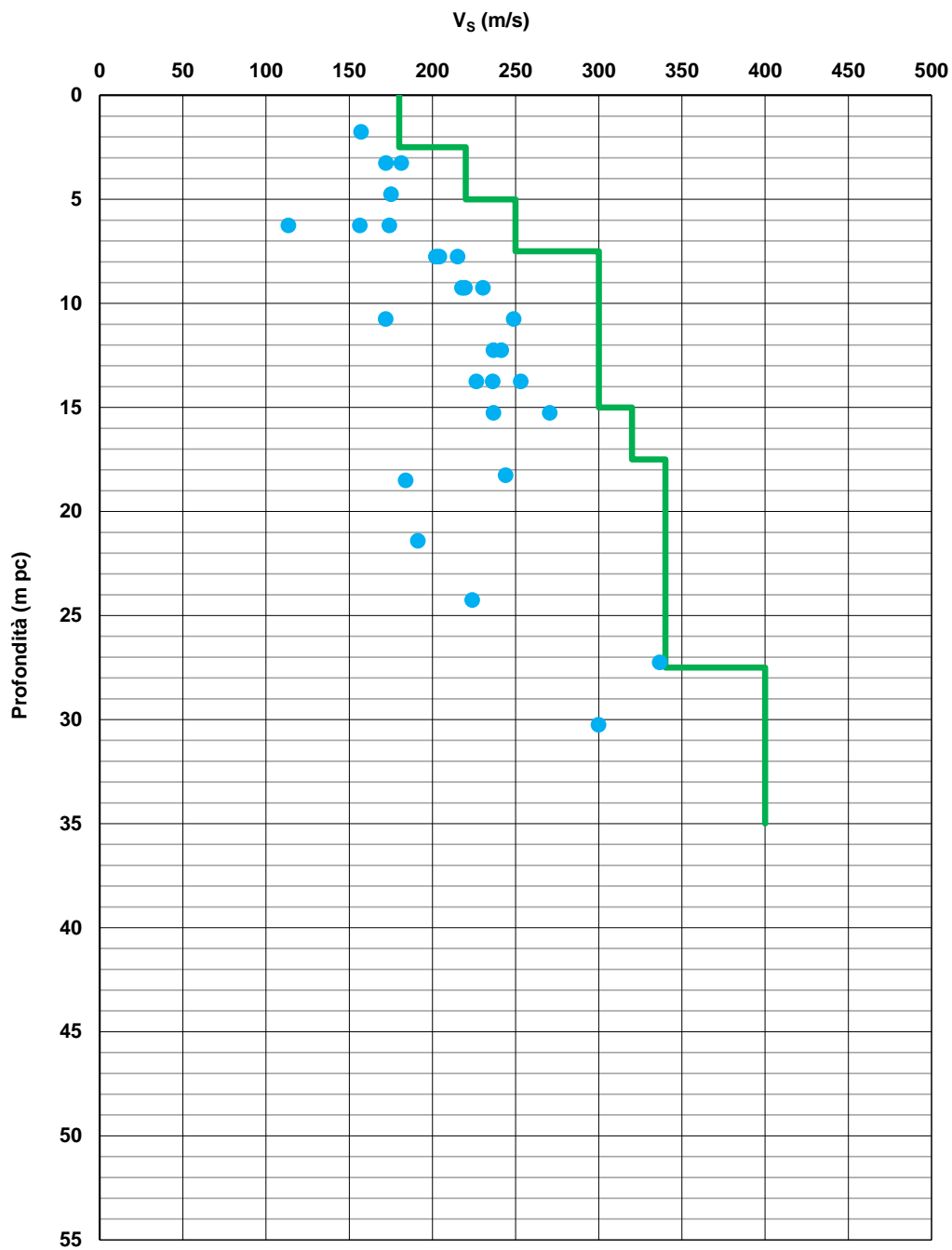


Figura 10 – Confronto V_s con dati di correlazioni con SPT di RI69b e Profilo generale di AV tra pk 37+328,86 a pk 37+775,00 (Doc. Rif.[2])

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante da pk 187+095,24 a pk 187+513,48 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI69B0001A</p>	<p>Foglio 19 di 45</p>

AV/AC VERONA VICENZA

RI69B da pk 187+095,24 a pk 187+513,48

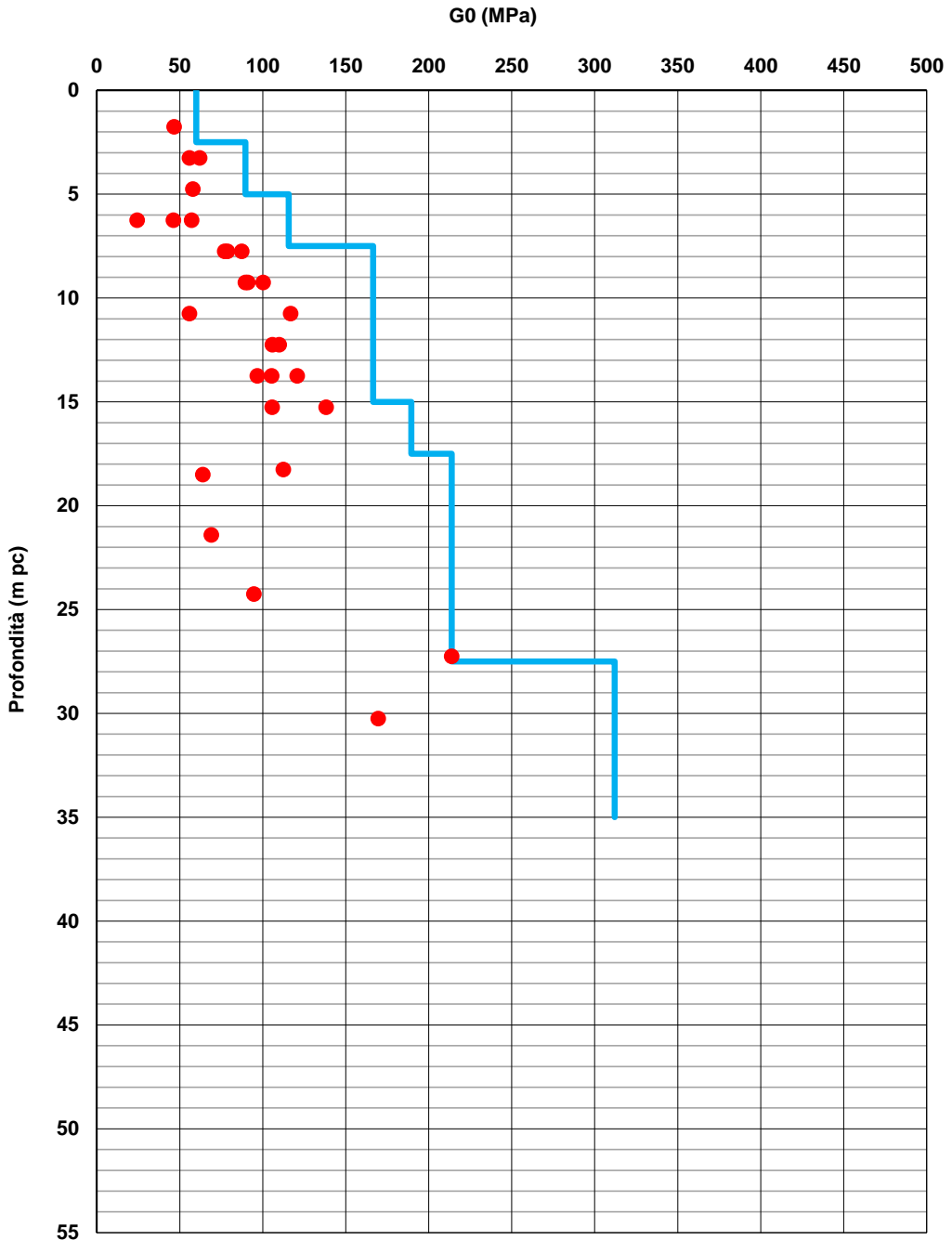




Figura 11 – Confronto G_0 con dati di correlazioni con SPT di RI69b e Profilo generale di AV tra pk 37+328,86 a pk 37+775,00 (Doc. Rif.[2])

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario seconda variante da pk 187+095,24 a pk 187+513,48 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI69B0001A	Foglio 20 di 45

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	G_0 MPa	E'_{op} MPa
2	0	7	18.5	26	0	50	-	10
6	7	10	20	39	0	-	120	60
2	10	12	18.5	26	0	60	-	10
6	12	17	20	39	0	-	200	100
2	17	27	18.5	26	0	100	-	25
6	27	---	20	39	0	-	250	120

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 (Doc. Ref. [3]). Quest'ultimi indicano una sostanziale stabilità nelle escursioni stagionali.

Ai fini progettuali si assume:

- falda di progetto a medio termine e a lungo termine: -1 m da p.c.
- falda di progetto media: -3 metri da p.c.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario seconda variante da pk 187+095,24 a pk 187+513,48 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI69B0001A	Foglio 21 di 45

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 seconda variante da pk 187+095,24 a pk 187+513,48 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI69B0001A	Foglio 22 di 45

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 seconda variante da pk 187+095,24 a pk 187+513,48 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI69B0001A</p>	<p>Foglio 23 di 45</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)	0.217
Coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s	1.383
Coefficiente di amplificazione topografica S_t	1.0
Accelerazione massima attesa al suolo a_{max} (g) ($a_{max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_t \cdot a_g$)	0.300

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 CPTI11.
- Magnitudo attesa per un periodo di ritorno pari almeno a 975 anni valutata sulla base del modello delle zone sismogenetiche ZS9 (riportato in Figura 1), alla base delle mappe di pericolosità sismica del territorio italiano allegate alle NTC2008, e sulla distribuzione dei valori di magnitudo associati ai massimi terremoti storici.

Facendo sempre riferimento al Doc. rif. [14] 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 seconda variante da pk 187+095,24 a pk 187+513,48 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI69B0001A	Foglio 24 di 45

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

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

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

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

dove:

a_{max} accelerazione di picco al sito

g accelerazione di gravità

τ_c valore rappresentativo dello sforzo di taglio ciclico

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

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



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

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

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

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

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante da pk 187+095,24 a pk 187+513,48 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI69B0001A</p>	<p>Foglio 25 di 45</p>

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

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 ($p_a = 100$ 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:

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario seconda variante da pk 187+095,24 a pk 187+513,48 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI69B0001A	Foglio 26 di 45

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:

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

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

$$\text{for } I_c \leq 1.64 \quad K_c = 1.0$$

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante da pk 187+095,24 a pk 187+513,48 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI69B0001A</p>	<p>Foglio 27 di 45</p>

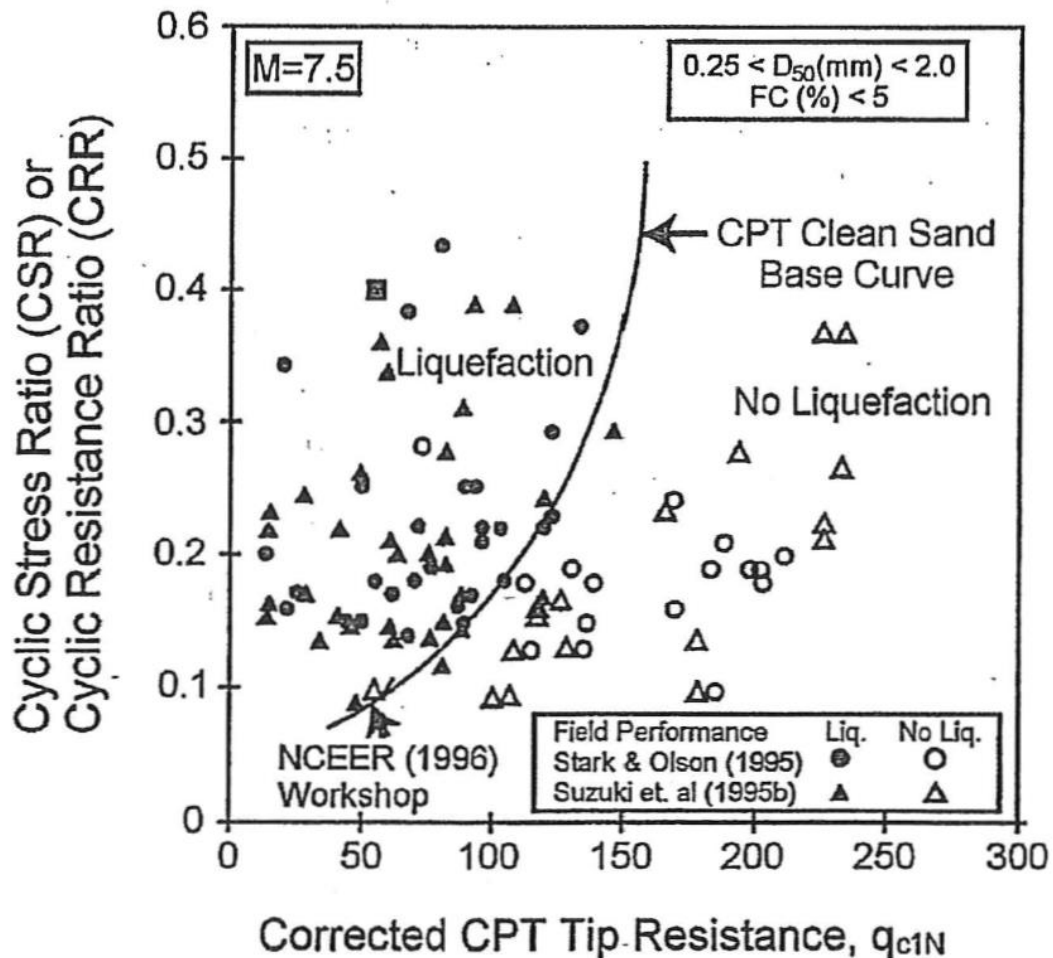


Figura 12: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e valori corretti di resistenza alla punta q_{c1N} – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Robertson & Wride, 1998)

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario seconda variante da pk 187+095,24 a pk 187+513,48 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI69B0001A	Foglio 28 di 45

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 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.


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 $N_{1(60)cs}$:

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario seconda variante da pk 187+095,24 a pk 187+513,48 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI69B0001A	Foglio 29 di 45

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

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:

σ'_{v0} = tensione verticale efficace

p_a = pressione atmosferica di riferimento

f = 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):

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante da pk 187+095,24 a pk 187+513,48 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI69B0001A</p>	<p>Foglio 30 di 45</p>

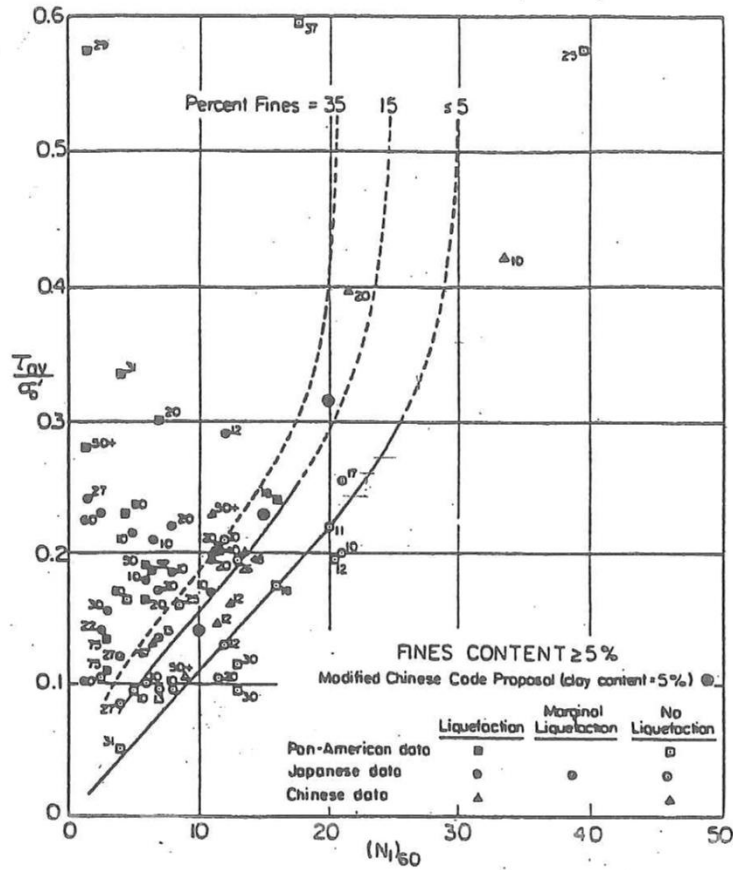


Figura 13: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e $N_{1(60)}$ – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Seed et al., 1985).

5.3 Risultati delle verifiche a liquefazione

I risultati (cfr. Figura 14, Figura 15 e Figura 16) indicano come non si evidenzino rischi di potenziale liquefazione nella porzione di tracciato interessata dal rilevato RI69B, in linea con gli stati di addensamento e le granulometrie descritte in precedenza.

Rilevato ferroviario seconda variante da pk 187+095,24 a pk 187+513,48
 Relazione Geotecnica

Progetto
 IN17

Lotto
 12

Codifica
 EI2RBRI69B0001A

Foglio
 31 di 45

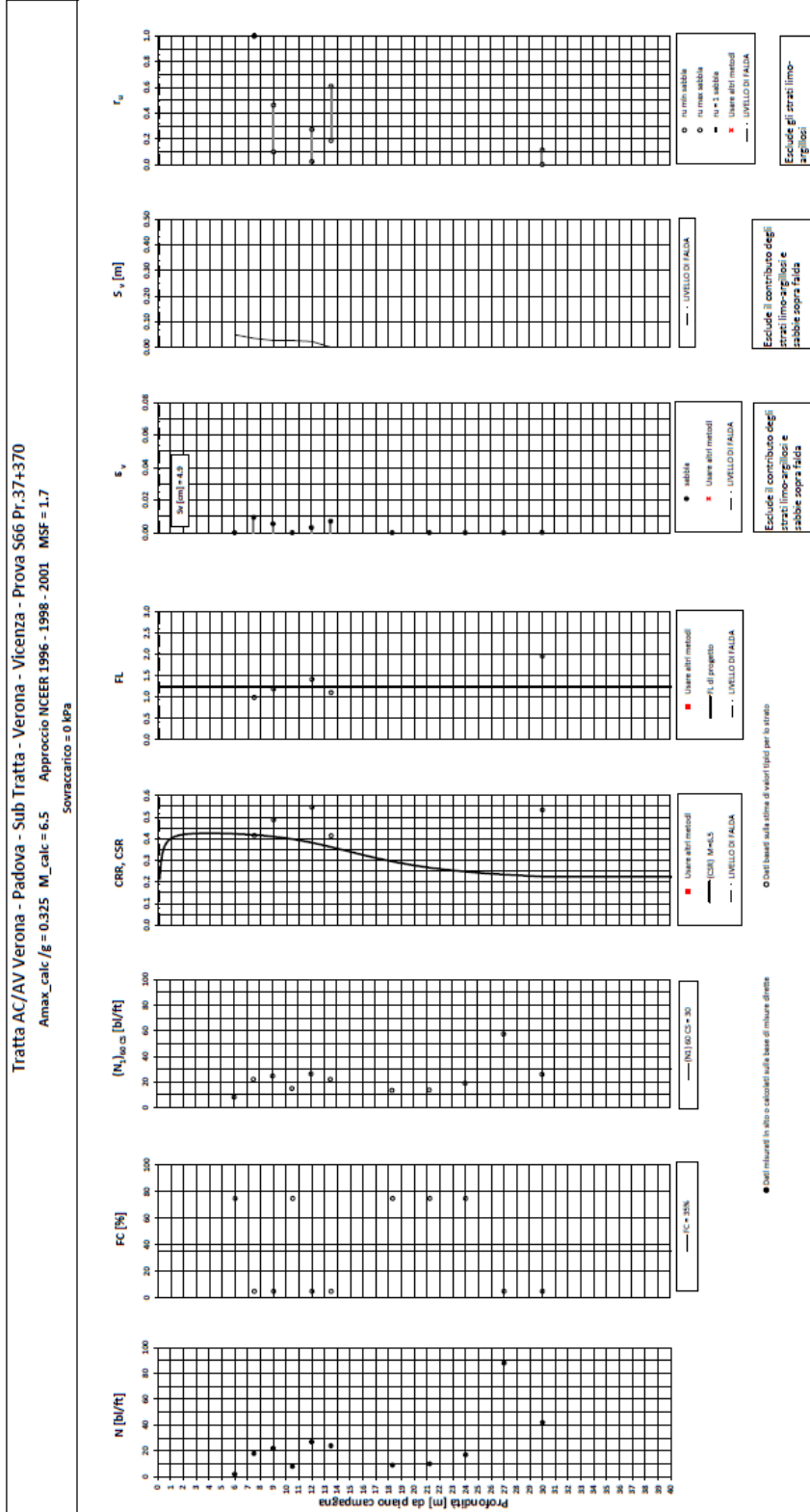


Figura 14 – Verifica Liquefazione da risultati SPT S66

Rilevato ferroviario seconda variante da pk 187+095,24 a pk 187+513,48
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI69B0001A

Foglio
32 di 45

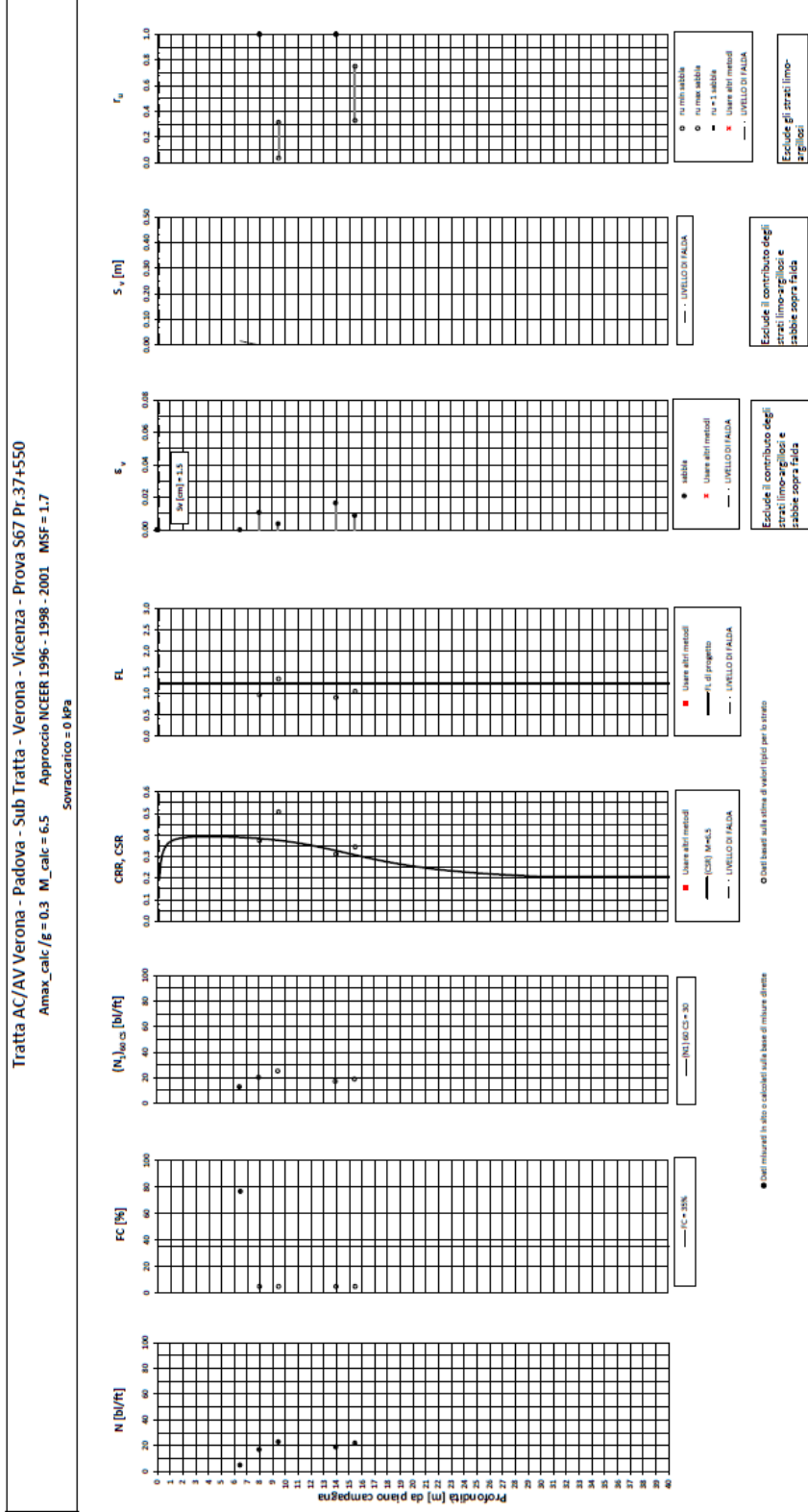


Figura 15 – Verifica Liquefazione da risultati SPT S67

Rilevato ferroviario seconda variante da pk 187+095,24 a pk 187+513,48
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI69B0001A

Foglio
33 di 45

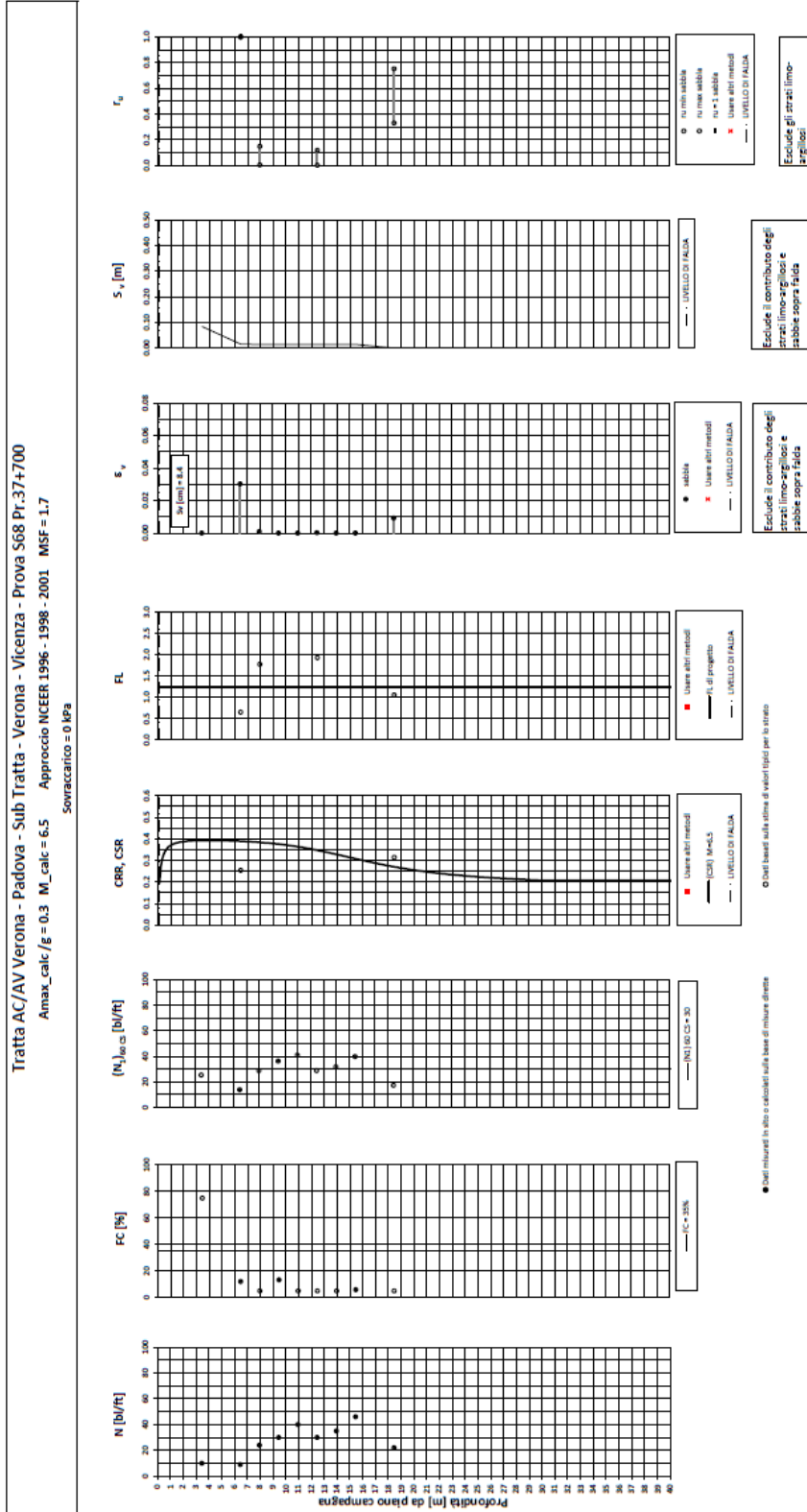


Figura 16 – Verifica Liquefazione da risultati SPT S68

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario seconda variante da pk 187+095,24 a pk 187+513,48 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI69B0001A	Foglio 34 di 45

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 4.3 non si evidenzia la necessità di condurre analisi di cedimento e di stabilità per l'assenza di problematiche di tipo geotecnico.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante da pk 187+095,24 a pk 187+513,48 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI69B0001A</p>	<p>Foglio 35 di 45</p>

7 CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI

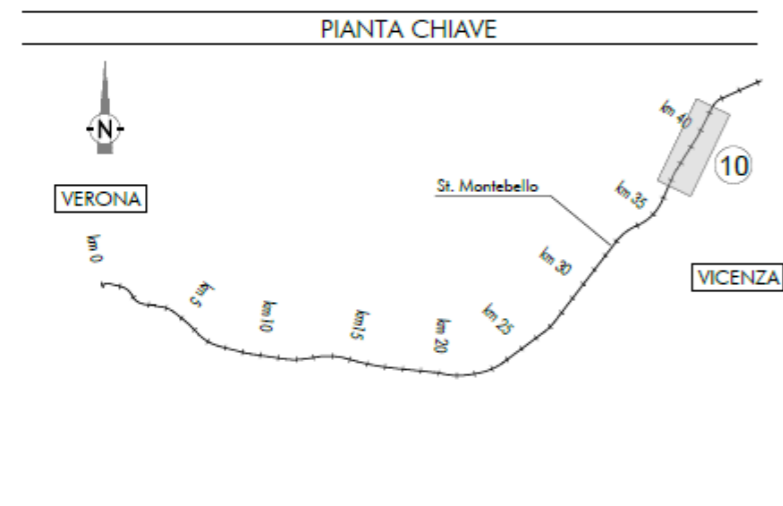
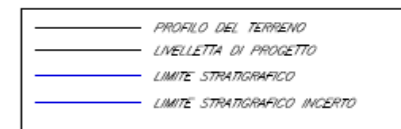
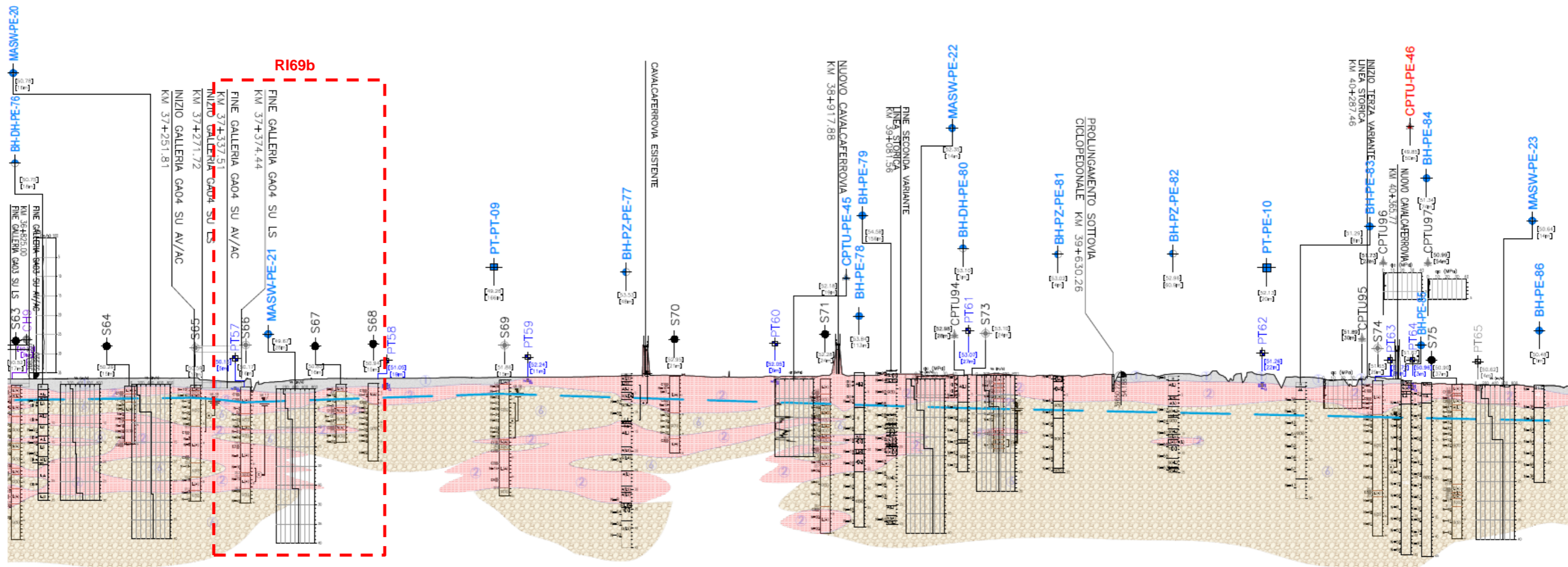
In conclusione, data la geometria del rilevato in oggetto (rilevato a raso) non si evidenziano criticità di tipo geotecnico e pertanto non è previsto un monitoraggio.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante da pk 187+095,24 a pk 187+513,48 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI69B0001A</p>	<p>Foglio 36 di 45</p>

ALLEGATI

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante da pk 187+095,24 a pk 187+513,48 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI69B0001A</p>	<p>Foglio 37 di 45</p>

ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO



LEGENDA

Campagna indagini integrative PE	PT-PE-A	Rozzetto esplorativo
BH-PE-A	BH-DH-PE-A	Sondaggio con esecuzione di prova down hole
BH-PZ-PE-A	CH-PE-A	Sondaggio con esecuzione di prova cross hole
MASW-PE-A		Indagini ambientali
CPTU-PE-A		Nota per PE: in blu le indagini disponibili e con coordinate certe, in rosso indagini ancora non disponibili o con coordinate non note
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)
P1-15B		Foro a distribuzione 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		
SPCA		
SOC		Foro a distribuzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
SDA		
CRU		Prova penetrometrica statica con piezocone (possibilità di avanzamento con trivellazione)
CRU		Prova penetrometrica statica con piezocone "tradizionale"
CH		Foro a distribuzione di nucleo per esecuzione prove CROSS-HOLE
CH		Pozzetto esplorativo a 1,5 m da p.c. con prove di carico su piastra
PT		Profondità delle indagini

Campagna indagini pregresse

GS	Sondaggio geognostico (campagna 1998)
MS-1998	Sondaggio geognostico, numero di riferimento (campagna 2002)
MS-2002	CPTU, numero di riferimento (campagna 2002)
MS-2004	Pozzo con stratigrafia, numero di riferimento (Dati ex Aziende Industriali Municipalizzate (VI) per gentile concessione Centro Idrico Novoledo s.r.l.)

Asse di progetto confine di Provincia Confine Comunale

Classi dei terreni

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>R110a Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 11</p>	<p>Codifica EI2GER110A0001</p>	<p>A</p>

ALLEGATO 2 - SONDAGGI



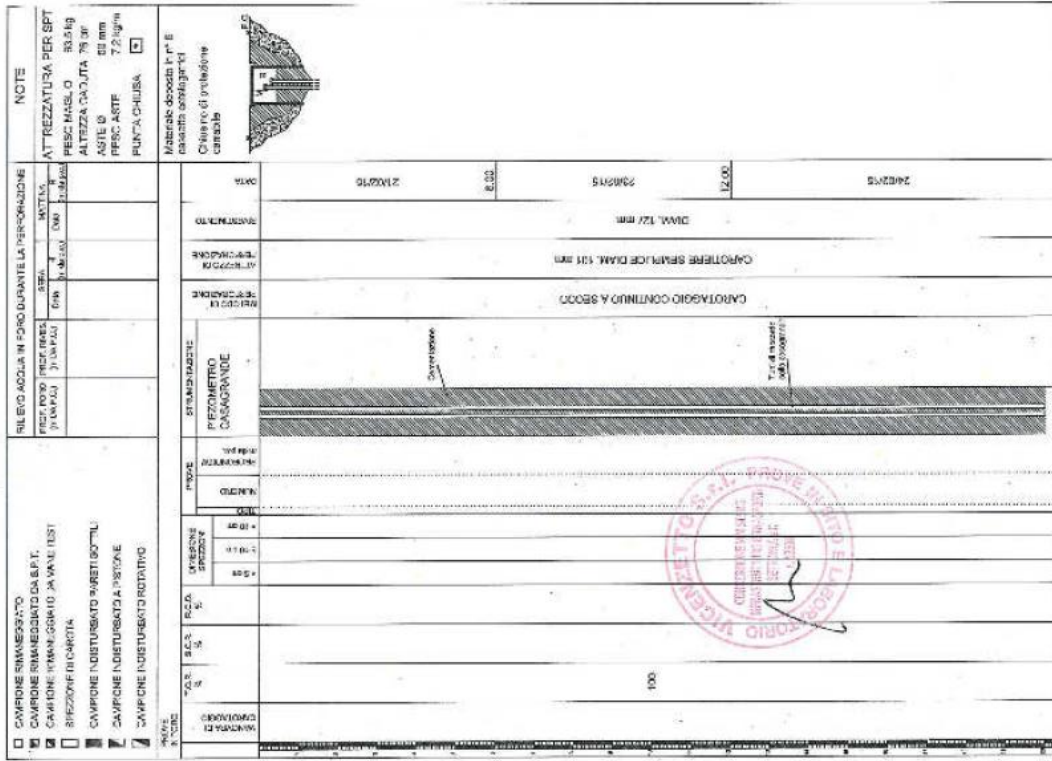
Rilevato ferroviario seconda variante da pk 187+095,24 a pk 187+513,48
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI69B0001A

Foglio
40 di 45



VICENZETTO		SCHEDA DI SONDAGGIO		CONVESSO		REDAZIONE	
Rev. 0	Data	CERTIFICATIVO	VERBALE DI ACCETTAZIONE	PAG. 1	DI 2	Aut.	Aut.
COMMITTENTE Consorzio Iricav Due PROGETTO Linea AV/AC Verona-Padova - 2° Sub-lotto Montebello Veronese-Venezia PERFORMANZA 3. B. COORDINATE M.F. 3. B. DATA N. 21/02/2015 RESPONSABILE DOTT. V. TORRESI OPERATORE DOTT. S. IANUZZI		QUOTA P.C. ATTREZZATURA		PROFONDITÀ PROFONDITÀ		PROFONDITÀ PROFONDITÀ	
1.00		0.00	1.30	2.0	2.0	1.00	1.00
6.00		6.00	3.20	3.00	3.00	6.00	6.00
10.10		10.10	3.70	3.70	3.70	10.10	10.10
11.10		11.10	6.00	6.00	6.00	11.10	11.10
14.00		14.00	6.40	6.40	6.40	14.00	14.00
			7.60	7.60	7.60		
			7.90	7.90	7.90		
			9.00	9.00	9.00		
			9.40	9.40	9.40		
			10.90	10.90	10.90		
			10.95	10.95	10.95		
			12.00	12.00	12.00		
			12.25	12.25	12.25		
			13.50	13.50	13.50		
			13.85	13.85	13.85		
			15.20	15.20	15.20		
			16.80	16.80	16.80		
			18.50	18.50	18.50		
			18.70	18.70	18.70		

Doc. 20.1 del contratto n. 16220 del 17/03/2015 - Relazione di sorveglianza di alta sorveglianza - prima parte - in 10 fogli (D.U. n. 222 del 20/03/2007 - S.C. n. 162)



Rilevato ferroviario seconda variante da pk 187+095,24 a pk 187+513,48
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI69B0001A

Foglio
41 di 45

RILEVATO ACQUA IN FORO DURANTE LE RIFERIMENTI		NOTE	
PROFONDITÀ (M)	QUANTITÀ (L)	PROFONDITÀ (M)	NOTE
0,00	0,00	0,00	ATTREZZATURA PER SP...
1,00	0,00	1,00	PESO MUGLIO 65 kg
2,00	0,00	2,00	ALTEZZA CADUTA 76 cm
3,00	0,00	3,00	ASTIG 30 mm
4,00	0,00	4,00	PESO ASTIG 7,5 kg
5,00	0,00	5,00	PUNTA CH-LBA

SCHEDA DI SONDAGGIO		COMPLESSIVA	
PROFONDITÀ (M)	DESCRIZIONE	PROFONDITÀ (M)	DESCRIZIONE
0,00	...	0,00	...
1,00	...	1,00	...
2,00	...	2,00	...
3,00	...	3,00	...
4,00	...	4,00	...
5,00	...	5,00	...
6,00	...	6,00	...
7,00	...	7,00	...
8,00	...	8,00	...
9,00	...	9,00	...
10,00	...	10,00	...
11,00	...	11,00	...

Documento approvato in data 20/08/2015 con delibera n. 10/15. Documento approvato in data 20/08/2015 con delibera n. 10/15. Documento approvato in data 20/08/2015 con delibera n. 10/15.

