

COMMITTENTE:



ALTA  
SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE  
OBIETTIVO N. 443/01  
LINEA AV/AC TORINO – VENEZIA Tratta VERONA – PADOVA  
Lotto funzionale Verona – Bivio Vicenza  
PROGETTO ESECUTIVO  
RILEVATI  
Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00  
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	2	E	I	2	R	B	R	I	7	2	A	0	0	0	1	A	-	-	-	P	-	-	-
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

	VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
	Firma Luca RANDOLFI	Data Aprile 2021

Progettazione:

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

CIG: 8377957CD1	CUP: J41E91000000009	File: IN1712EI2RBR172A0001A.DOCX
		Cod. origine:



Progetto cofinanziato  
dalla Unione Europea

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI72A0001A</p>	<p>Foglio 2 di 85</p>

## INDICE

1	INTRODUZIONE .....	4
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	5
2.1	Documentazione di progetto.....	5
2.2	Normativa e standard di riferimento.....	5
2.3	Bibliografia .....	6
3	INQUADRAMENTO DELL'OPERA .....	8
3.1	Geometria del rilevato.....	8
4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....	9
4.1	Inquadramento geotecnico .....	9
4.1.1	Indagini disponibili.....	10
4.1.2	Livello di falda .....	12
4.2	Condizioni geotecniche del sito .....	13
4.3	Sintesi del modello geotecnico di riferimento .....	22
4.3.1	Materiale da rilevato.....	22
5	CARATTERISTICHE SISMICHE E SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE.....	23
5.1	Sollecitazione sismica di progetto.....	23
5.1.1	Vita Nominale.....	23
5.1.2	Classe d'uso .....	23
5.1.3	Periodo di riferimento per l'azione sismica .....	24
5.1.4	Categorie di Sottosuolo.....	24
5.1.5	Condizioni topografiche .....	24
5.1.6	Accelerazione sismica di riferimento .....	25
5.2	Suscettibilità alla liquefazione.....	25
5.2.1	CRR da correlazione su prove CPT .....	27
5.2.2	CRR da correlazione su prove SPT.....	29
5.3	Risultati delle verifiche a liquefazione .....	32
6	VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO .....	35
7	RESISTENZA DEI PALI SOGGETTI A CARICHI ASSIALI .....	36
7.1	Introduzione .....	36
7.2	Analisi agli stati limite.....	36
7.3	Metodologia di calcolo .....	39
7.3.1	Portata laterale.....	39
7.3.1.1	Depositi coesivi .....	39

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI72A0001A	Foglio 3 di 85

7.3.1.2	Depositi incoerenti .....	40
7.3.2	Portata di base .....	40
7.3.2.1	Depositi coesivi .....	40
7.3.2.2	Depositi incoerenti .....	40
7.3.2.3	Terreni stratificati .....	41
7.4	Stratigrafia di calcolo e fattori parziali .....	42
7.5	Risultati .....	42
7.5.1	PALI D = 600 mm .....	43
7.5.2	PALI D = 800 mm .....	47
8	CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI .....	51
Allegati .....		52
ALLEGATO 1 - STRATIGRAFIE .....		53
ALLEGATO 2 - SONDAGGI .....		55
ALLEGATO 3 - TABULATI DI CALCOLO PALI D = 600 .....		68
ALLEGATO 4 - TABULATI DI CALCOLO PALI D = 800 .....		77

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI72A0001A	Foglio 4 di 85

## 1 INTRODUZIONE

Il presente documento costituisce la Relazione Geotecnica del rilevato RI72A, previsto nell'ambito del Progetto Esecutivo della sub tratta Verona – Vicenza della Linea AV/AC Verona – Padova. Tale rilevato si estende tra il km 38+420,83 ed il km 38+725,00 della linea AV.

La relazione descrive in dettaglio il modello geotecnico definito per il rilevato sulla base delle indagini geognostiche eseguite nelle vicinanze dell'opera e delle caratteristiche geotecniche attribuite ai materiali rinvenuti lungo la tratta. Le analisi e verifiche discusse sono state eseguite ai sensi della Normativa applicabile (v. capitolo seguente) per garantire 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);
- calcolo curve di resistenza pali di fondazione (capitolo 7)
- conclusioni e raccomandazioni (capitolo 8).

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI72A0001A</p>	<p>Foglio 5 di 85</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] IN1710EI2LZGE0000021A Planimetria con ubicazione indagini e profilo geotecnico 10 di 11
- [4] IN1710EI2RHGE00000065A Relazione sulla modellazione sismica del sito e pericolosità sismica di base 2/2
- [5] IN1710EI2P5GE0000010A Planimetrie con classificazione sismica del territorio 10 di 11
- [6] IN1710EI2RHGE0000004A Relazione idrogeologica 2/2
- [7] IN1710EI2RHGE0000007A-8A Relazione di sintesi dei sondaggi e delle prove eseguite
- [8] IN1710EI2PRGE0000001A-2A, Risultati Indagini in sito di Progetto – SOCOTEC
- [9] IN1710EI2PRGE0000003A-4A, Risultati Indagini in sito di Progetto Esecutivo – ATI GEOSERVING – GEOLAVORI
- [10] IN1710EI2PRGE0000005A-8A, Risultati Prove di laboratorio di Progetto Esecutivo – SOCOTEC
- [11] IN1710EI2PRGE0000009A-12A, Risultati Prove di laboratorio di Progetto Esecutivo – ATI GEOSERVING - GEOLAVORI
- [12] IN1710EI2IGGE0000001A-2A, Risultati Indagini Geofisiche di Progetto Esecutivo – SOCOTEC
- [13] IN1710EI2IGGE0000003A-4A, Risultati Indagini Geofisiche di Progetto Esecutivo – ATI GEOSERVING - GEOLAVORI

### 2.2 Normativa e standard di riferimento

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI72A0001A</p>	<p>Foglio 6 di 85</p>

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

## 2.3 Bibliografia

- [25] Hynes, M.E., and Olsen, R.S. (1999), “Influence of confining stress on liquefaction resistance”, Proc., Int. Workshop on Phys. And Mech. Of Soil Liquefaction, Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 145-152.
- [26] Idriss, I.M. and Boulanger, R.W. (2004), “Semi-empirical procedures for evaluating liquefaction potential during earthquakes”. In: Proceedings, 11th International Conference on Soil Dynamics and Earthquake engineering, and 3d International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering. D. Doolin et al., eds., Stallion press, Vol. 1, pp. 32-56.
- [27] Liao, S.C.C. and Whitman, R.V. (1986), “Overburden Correction Factors for SPT in sand”, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 112, No. 3, 373-377.
- [28] Robertson P.K. and Wride C.E. (1998). “ Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test”. Canadian Geotechnical Journal, Ottawa, 35(3), pp. 442-459.
- [29] 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 7.0, 2017
- [34] Rocscience (2009), Settle 3D ver 2.0, 2009
- [35] Matlock, H., Reese, L.C. (1960) "Generalized Solutions for Laterally Loaded Piles". Journal of Soil Mechanics and Foundations Division. ASCE, Vol.86, No.SM5, pp.63-91

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI72A0001A	Foglio 7 di 85

[36] Reese L.C. and O'Neill M.W. (1999), "Drilled shafts. Construction procedures and design methods" Federal Highway administration. Report FHWA-IF-99-025

[37] Fioravante, V., Ghionna, V.N., Jamiolkowski, M.B. and Pedroni, S. (1995). "Load carrying capacity of large diameter bored piles in sand and gravel". Proc. 10th ARCSMFE, 2, 3-15.

[38] Meyerhof G.G. (1976), "Bearing capacity and settlement of pile foundations" JGED, ASCE, GT3, pp.197-228

[39] Ghionna, V.N., Jamiolkowski, M.B., Pedroni, S. and Salgado, R. et al (1994). "Tip displacement of drilled shafts in sands". in Vertical and Horizontal Deformations of Foundations and Embankments. Ed. A.T. Yeung and G.Y. Felio, ASCE, GSP40, New York, 2, 1039-1057.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI72A0001A</p>	<p>Foglio 8 di 85</p>

### 3 INQUADRAMENTO DELL'OPERA

Il rilevato ferroviario in esame si estende dalla pk 38+420,83 alla pk 38+725,00 per una lunghezza totale di 304,17 m. Il rilevato viene realizzato in un'area interessata dalla seconda variante della linea storica. In particolare, il rilevato risulta in affiancamento ad essa per tutta la tratta in esame. Non si evidenziano interferenze con opere principali adiacenti e/o attraversate.

#### 3.1 Geometria del rilevato

Come detto il rilevato risulta sempre in affiancamento alla seconda variante della LS. Il rilevato, lungo 304,17 m, ha una sezione uniforme per tutto il suo sviluppo, è realizzato in affiancamento sul lato Nord e risulta a raso con il piano campagna. Il lato Sud è interessato da un muro di mitigazione che si estende dall'inizio della WBS in esame fino alla progressiva pk 38+576,92. La stabilità di questo muro viene garantita con fondazione su pali.

Alla pk 38+468,58, sezione n. RI72B-4, si riscontra la sezione con il muro sul lato Sud con paramento di altezza pari a 4,00 m, vedi Sezione A (Figura 1). Non sono previste analisi di stabilità e di cedimento in quanto non sussistono rischi geotecnici per il rilevato in esame, trattandosi di un'opera a raso. Si riporta comunque la caratterizzazione geotecnica per la tratta e le curve di resistenza di progetto per i pali.

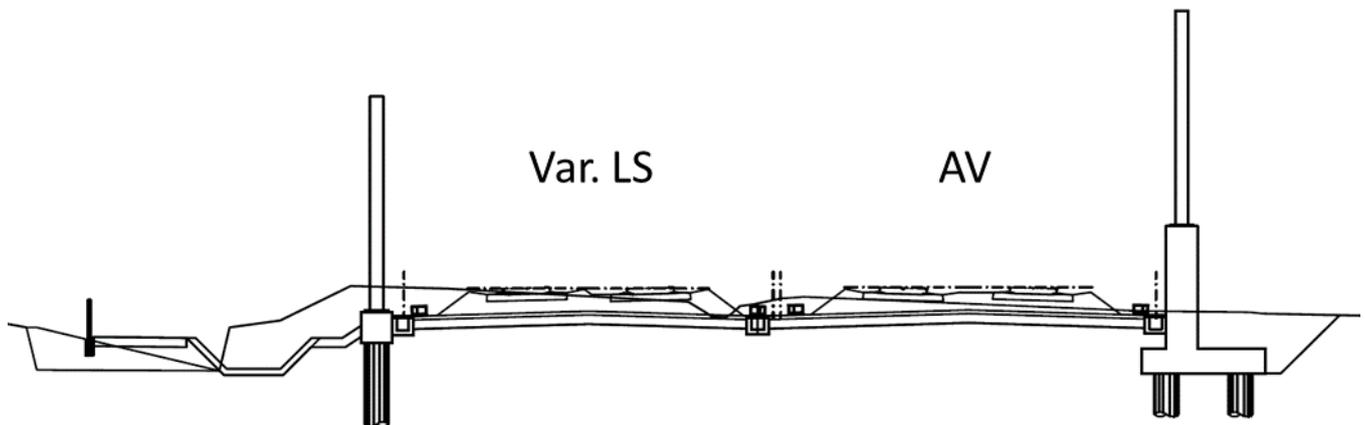


Figura 1 – Sezione di riferimento A (pk 38+468,58 n. RI72B-4) estratta da sezioni PE (Doc Rif. [1])

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI72A0001A	Foglio 9 di 85

## 4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

### 4.1 Inquadramento geotecnico

La tratta relativa al rilevato in esame si estende dalla progressiva pk 38+420,83 alla pk 38+725,00 della linea AV. Dal punto di vista geotecnico la parte sommitale della stratigrafia è generalmente occupata da limi argillosi sabbiosi (Unità 2). Lo spessore è variabile fra 7 e 10 m dal p.c., in tutto questo tratto, al di sotto della copertura superficiale si trovano ghiaie sabbiose (unità 6).

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

Nella Figura 2 si riporta il profilo geotecnico specifico per il rilevato RI72A, estratto dalla Planimetria e Profilo Geotecnico Tav. 10 di 11 (Doc. Rif. [3]), vedi ALLEGATO 1 - .

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI72A0001A</p>	<p>Foglio 10 di 85</p>

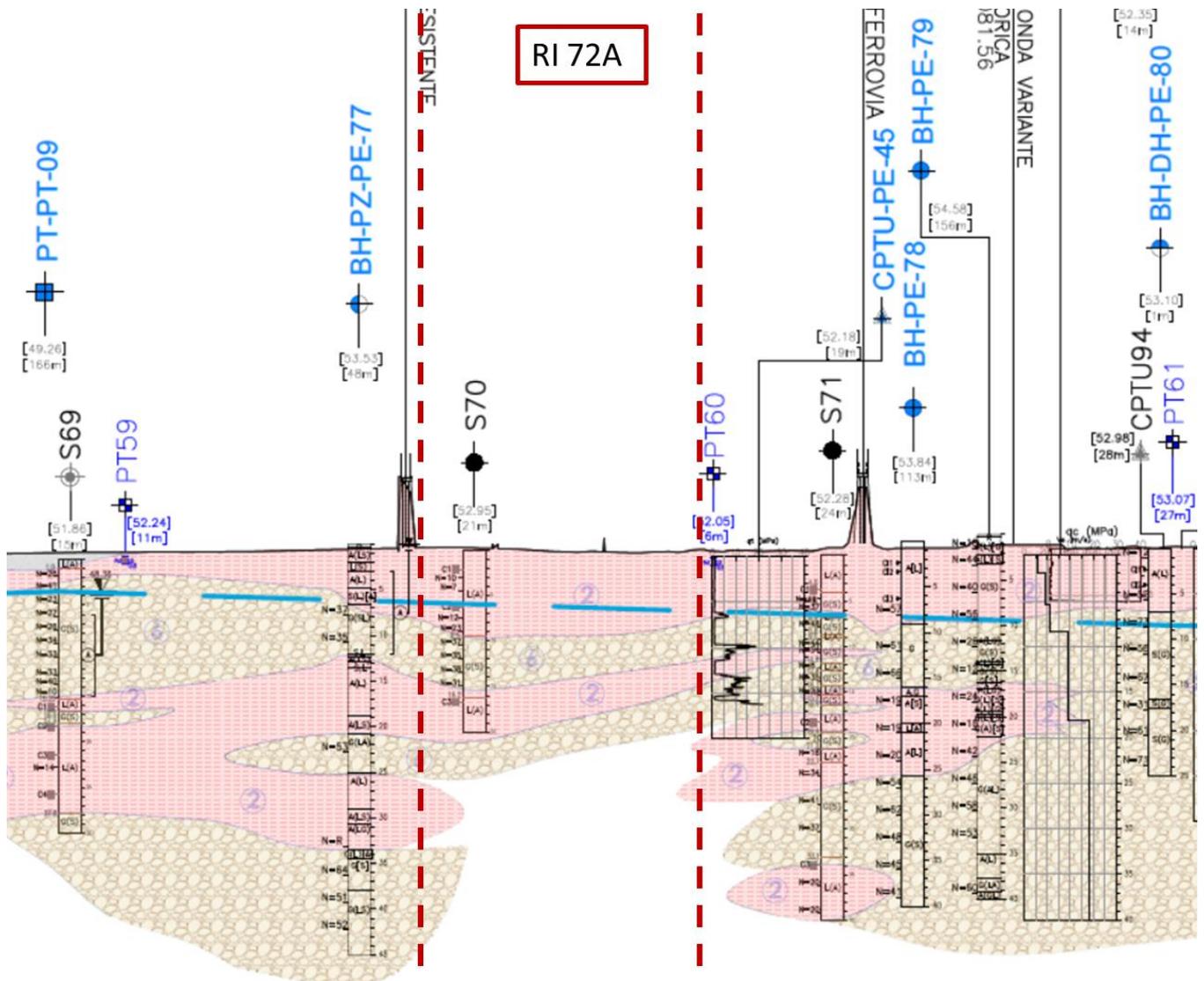


Figura 2 - Profilo Geotecnico Rilevato RI72A, estratto dal Profilo Geotecnico Generale (Doc. Rif. [3])

#### 4.1.1 Indagini disponibili

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

Il risultato delle indagini è riportato in ALLEGATO 2 - .

Le indagini disponibili lungo il tratto d'interesse per il rilevato in oggetto sono elencate in Tabella 1. Nel seguente paragrafo si riporta la caratterizzazione geotecnica, ottenuta basandosi sui risultati delle indagini relative all'area di

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI72A0001A	Foglio 11 di 85

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 38+100 a pk 39+000*

<b>Progressiva pk</b>	<b>ID indagini -</b>	<b>Campagna anno</b>
38+355	BH-PE-77	2020-2021
38+480	S 70	2015
38+870	S 71	2015
38+900	CPTU-PE-45	2020-2021
38+958	BH-PE-78	2020-2021
38+955	BH-PE-79	2020-2021

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI72A0001A</p>	<p>Foglio 12 di 85</p>

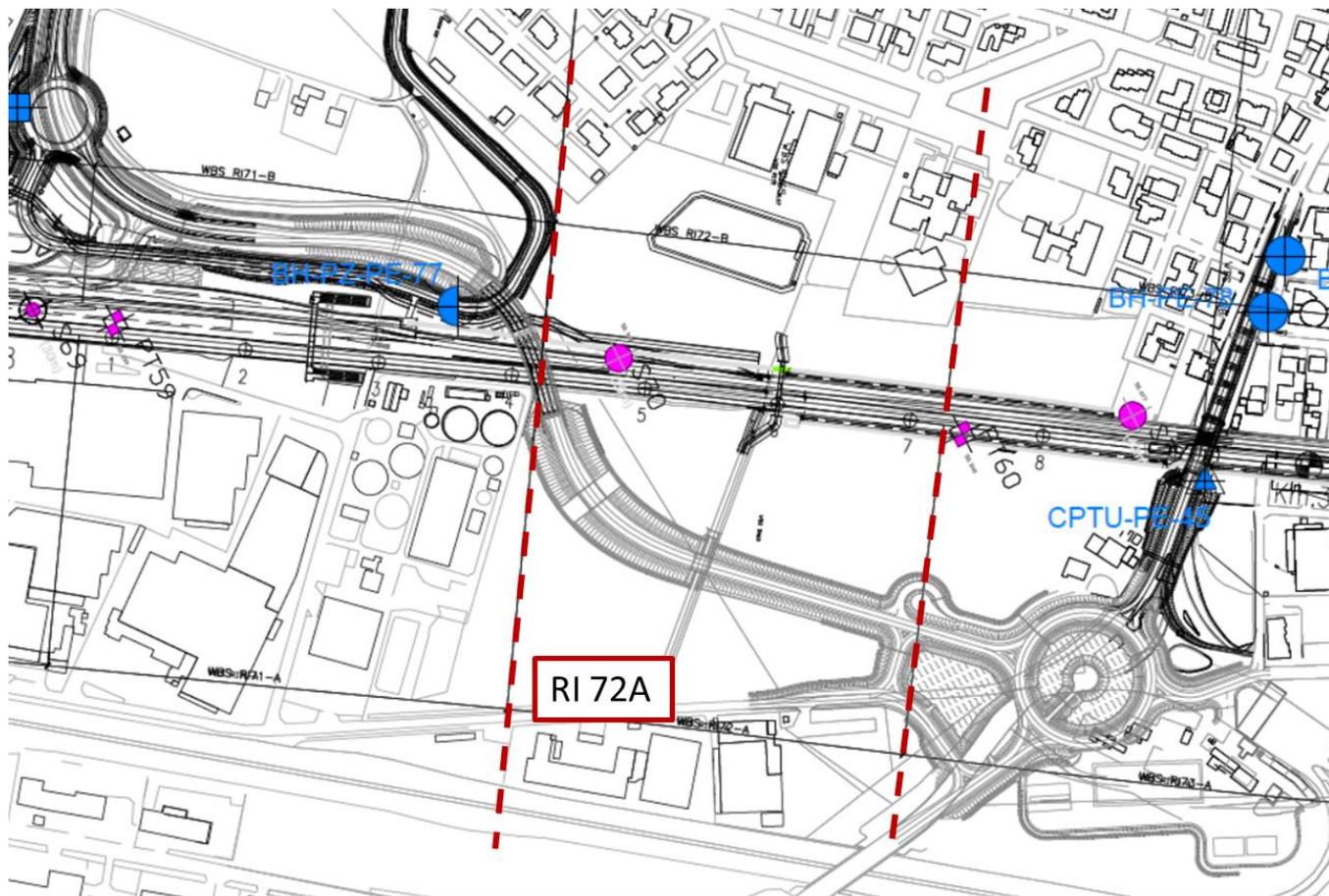


Figura 3 - Planimetria Rilevato RI72A, estratto dalla Planimetria Generale (Doc. Rif. [3])

#### 4.1.2 Livello di falda

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

Ai fini progettuali si assume:

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI72A0001A</p>	<p>Foglio 13 di 85</p>

## 4.2 Condizioni geotecniche del sito

La Figura 5 mostra i risultati delle prove SPT eseguite nel tratto interessato dal rilevato in esame.

La porzione più superficiale, localmente, potrà essere costituita da un sottile strato di terreno di riporto (Unità 1), che sarà, con ogni probabilità, rimosso completamente nell'ambito di attività di scotico.

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 da 1 m pc fino a circa 10 m da pc. Per quanto concerne i parametri di resistenza al taglio, dai risultati delle prove triassiali e dai risultati dei pocket penetrometer si stimano valori di resistenza al taglio non drenata variabili fra 50 e 80 kPa. Le curve edometriche definiscono materiali generalmente sovraconsolidati, specie in sommità con valori della pressione di preconsolidazione stimati nel campo di 200-300 kPa. Infine, sempre a partire dai risultati delle prove edometriche, si sono stimati i valori di deformabilità:

- Rapporto di ricompressione  $RR = 0.015-0.025$
- Rapporto di compressione  $CR = 0.15-0.20$

Proseguendo in profondità si incontra uno strato di ghiaie sabbiose debolmente limose ben addensate (Unità 6), che si estende da 10 m pc a circa 15 m pc. All'interno del deposito incoerente le percentuali di materiale a grana fine sono generalmente inferiori al 20% e si registrano valori di  $N_{SPT}$  mediamente pari a 40 colpi/30cm, con valori anche superiori a 60 colpi/30cm. La densità relativa delle ghiaie risulta generalmente variabile fra il 30 e il 50% e quindi il deposito risulta mediamente addensato.

Infine più in profondità si individua un ulteriore strato di materiale fine (Unità 2), come mostrato nel profilo geotecnico in Figura 2, inserito nel substrato ghiaioso (Unità 6). Si evidenzia in ogni caso che i modestissimi incrementi di carico attesi, andranno ad interessare (e si esauriranno) all'interno dei primi due strati presenti in sommità. Si può pertanto concludere che il contributo ai cedimenti degli strati al disotto del primo strato ghiaioso sia del tutto trascurabile.

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, da p.c. fino a circa 8 – 10 m di profondità, di terreni limoso-argillosi (Unità 2) seguiti in profondità da materiali incoerenti da mediamente addensati ad addensati. Fino a 15 m da p.c., 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 con la profondità e 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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI72A0001A	Foglio 14 di 85

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 valutato 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. Per i materiali a grana fine il valore del modulo di Young ( $E_0$ ) è stato stimato 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);
- Coesione non drenata stimata da prove CPTU (v. Figura 8);
- Velocità delle onde di taglio stimata da prove in sito (v. Figura 9);
- Modulo di taglio alle piccole deformazioni valutati a partire dai valori stimati di  $V_s$  (v. Figura 10).

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI72A0001A</p>	<p>Foglio 15 di 85</p>

## AV/AC VERONA VICENZA

**RI 72A da pk 38+420,83 a pk 38+725,00**

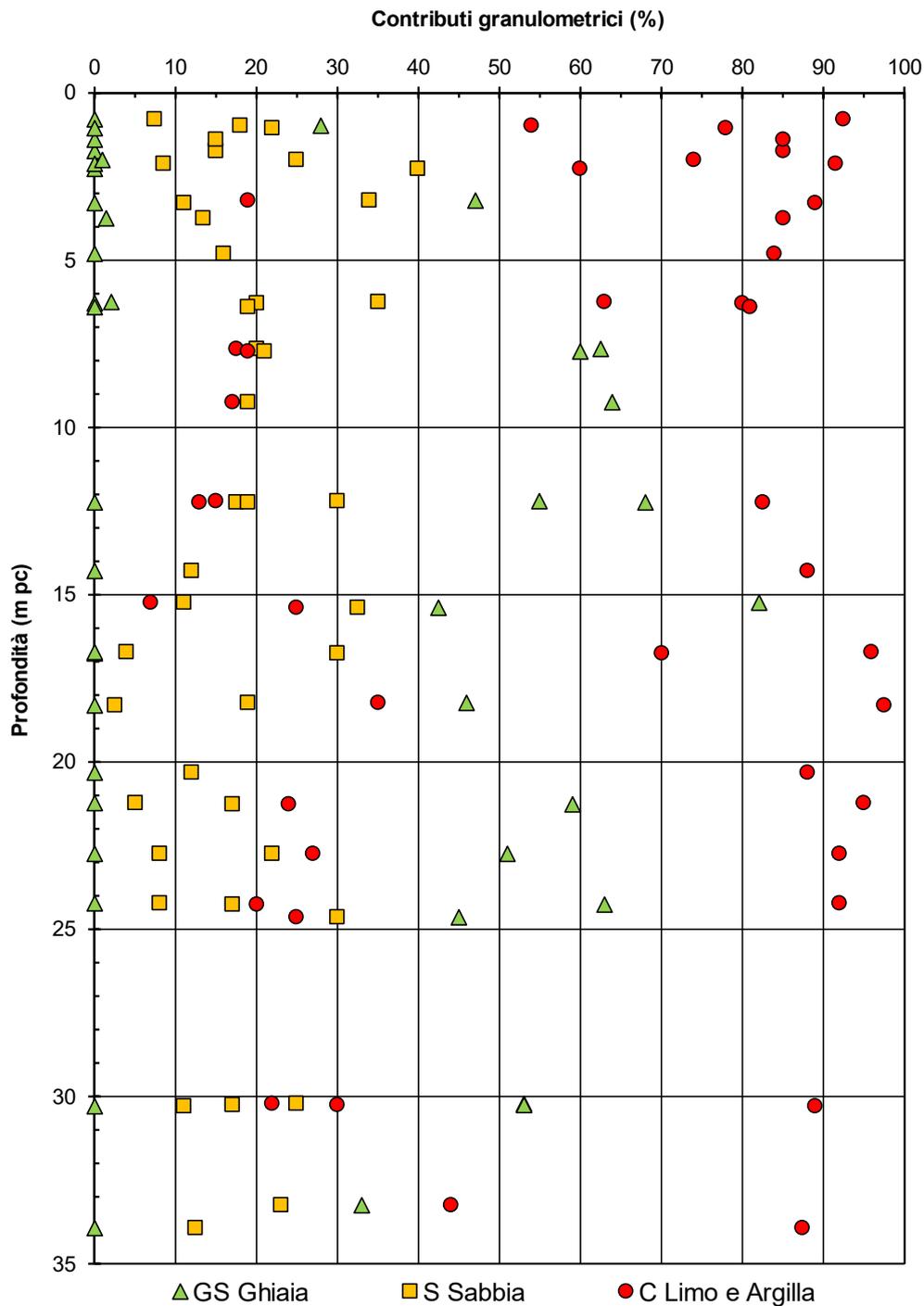


Figura 4 – Sintesi analisi granulometriche tra pk 38+420,83 a pk 38+725,00

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI72A0001A</p>	<p>Foglio 16 di 85</p>

## AV/AC VERONA VICENZA

RI 72A da pk 38+420,83 a pk 38+725,00

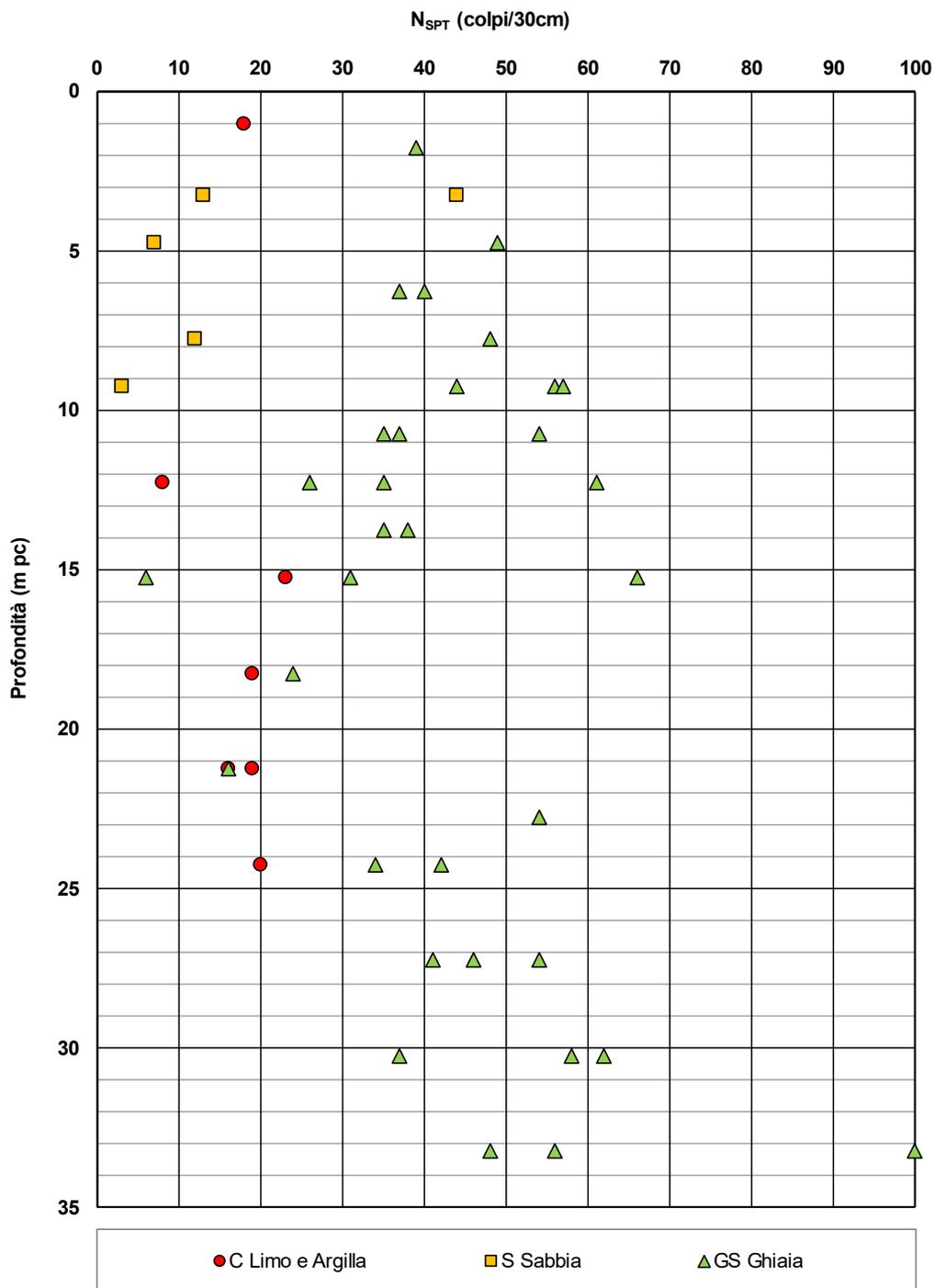


Figura 5 – Esito delle prove SPT tra pk 38+420,83 a pk 38+725,00

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI72A0001A</p>	<p>Foglio 17 di 85</p>

**AV/AC VERONA VICENZA**

**RI 72A da pk 38+420,83 a pk 38+725,00**

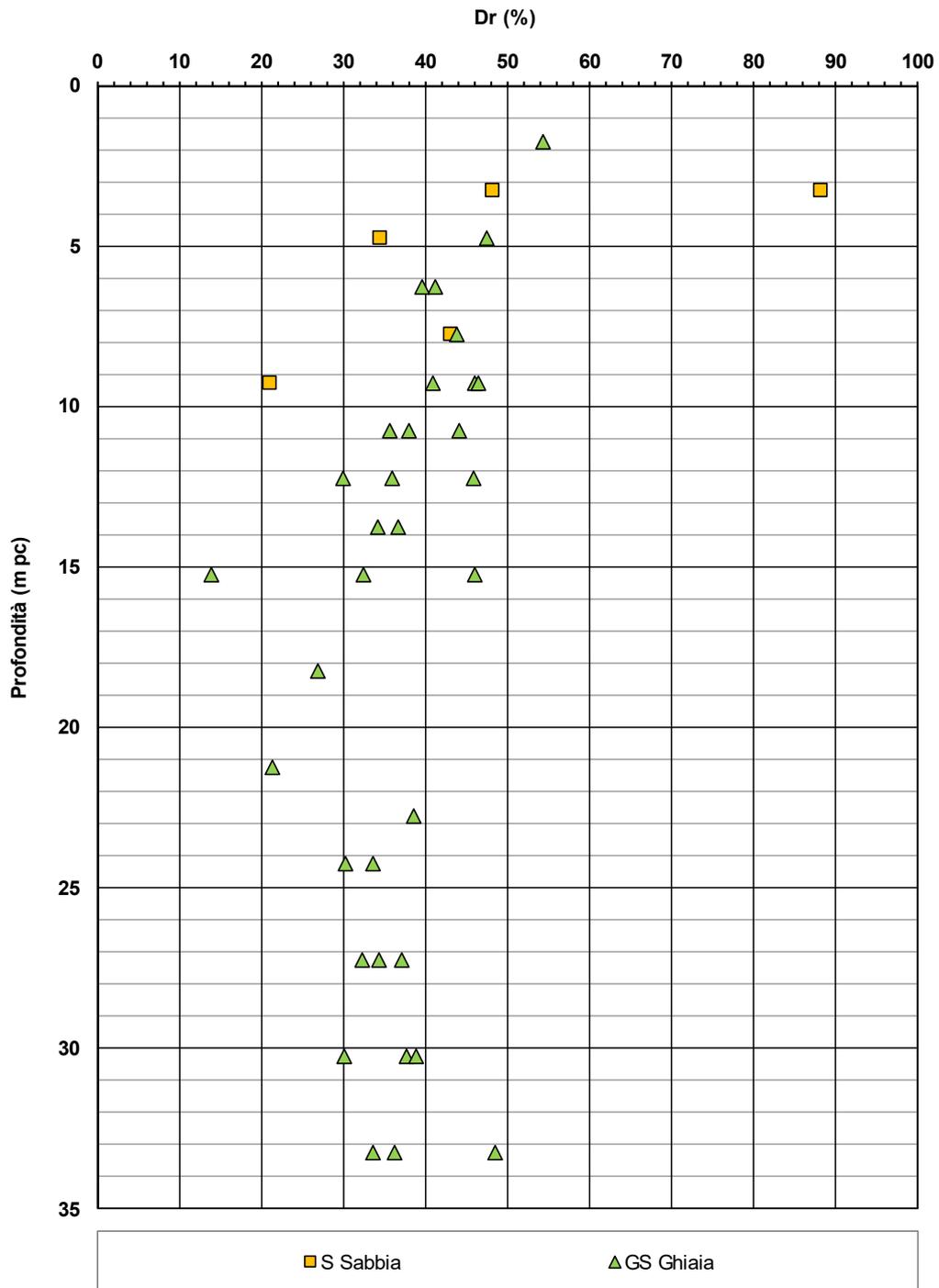


Figura 6 – Densità relativa da prove SPT tra pk 38+420,83 a pk 38+725,00

**AV/AC VERONA VICENZA**

RI 72A da pk 38+420,83 a pk 38+725,00

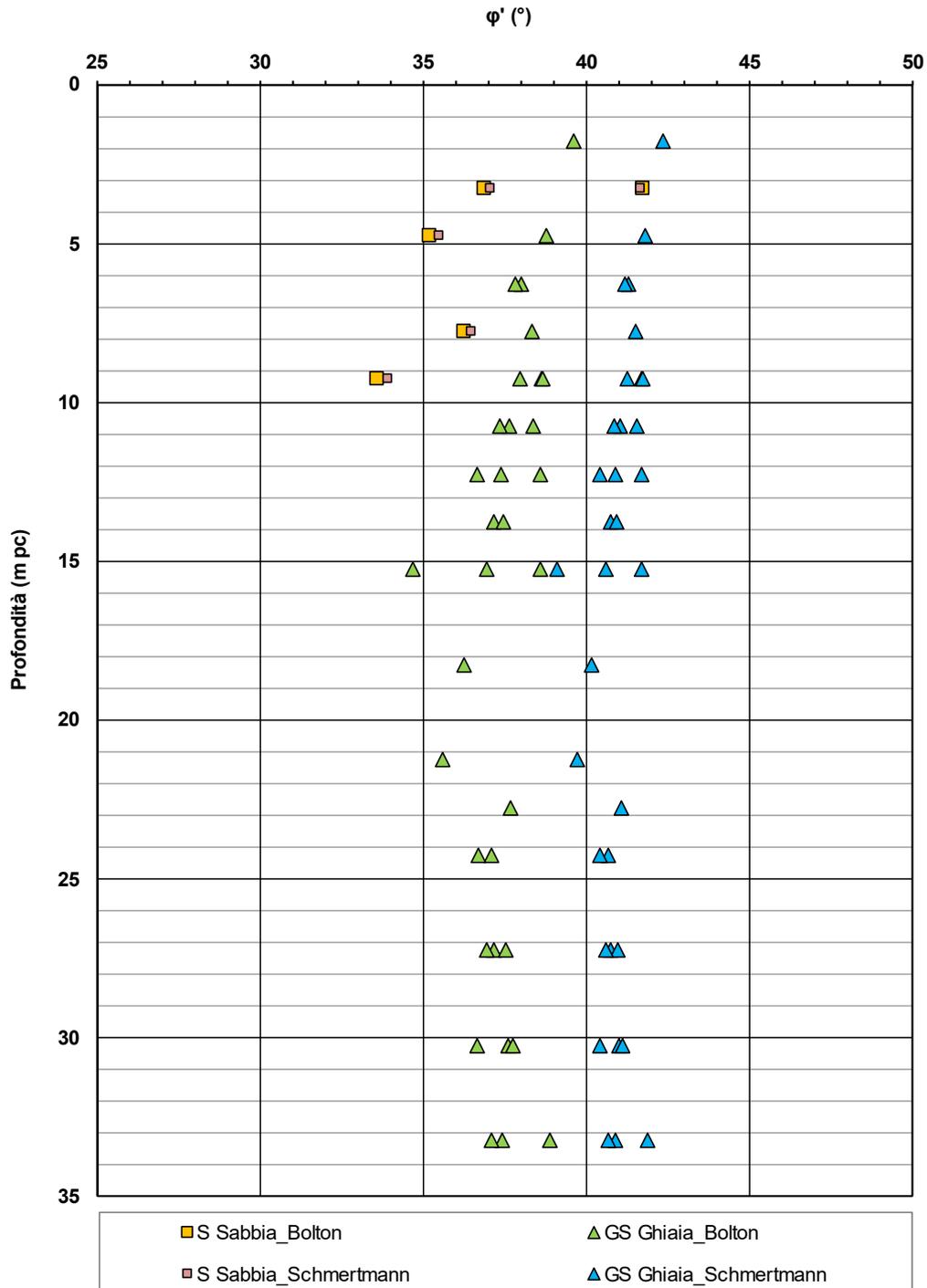


Figura 7 – Angoli di attrito da prove SPT tra pk 38+420,83 a pk 38+725,00

**AV/AC VERONA VICENZA**

pk 38+300 - pk 39+300

Cu (kPa)

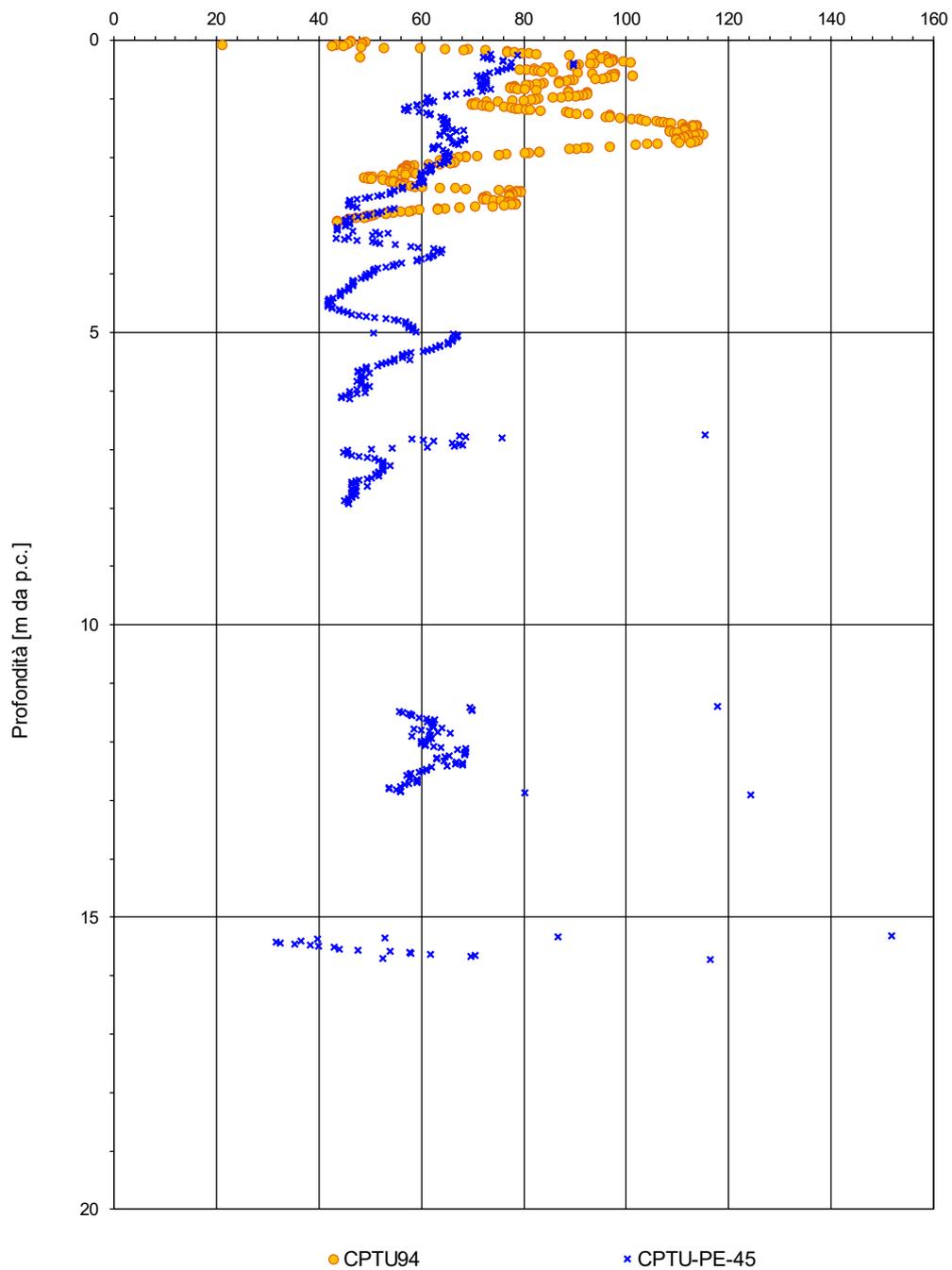


Figura 8 – Coesione non drenata da prove CPTU tra pk 38+300,00 a pk 39+300,00

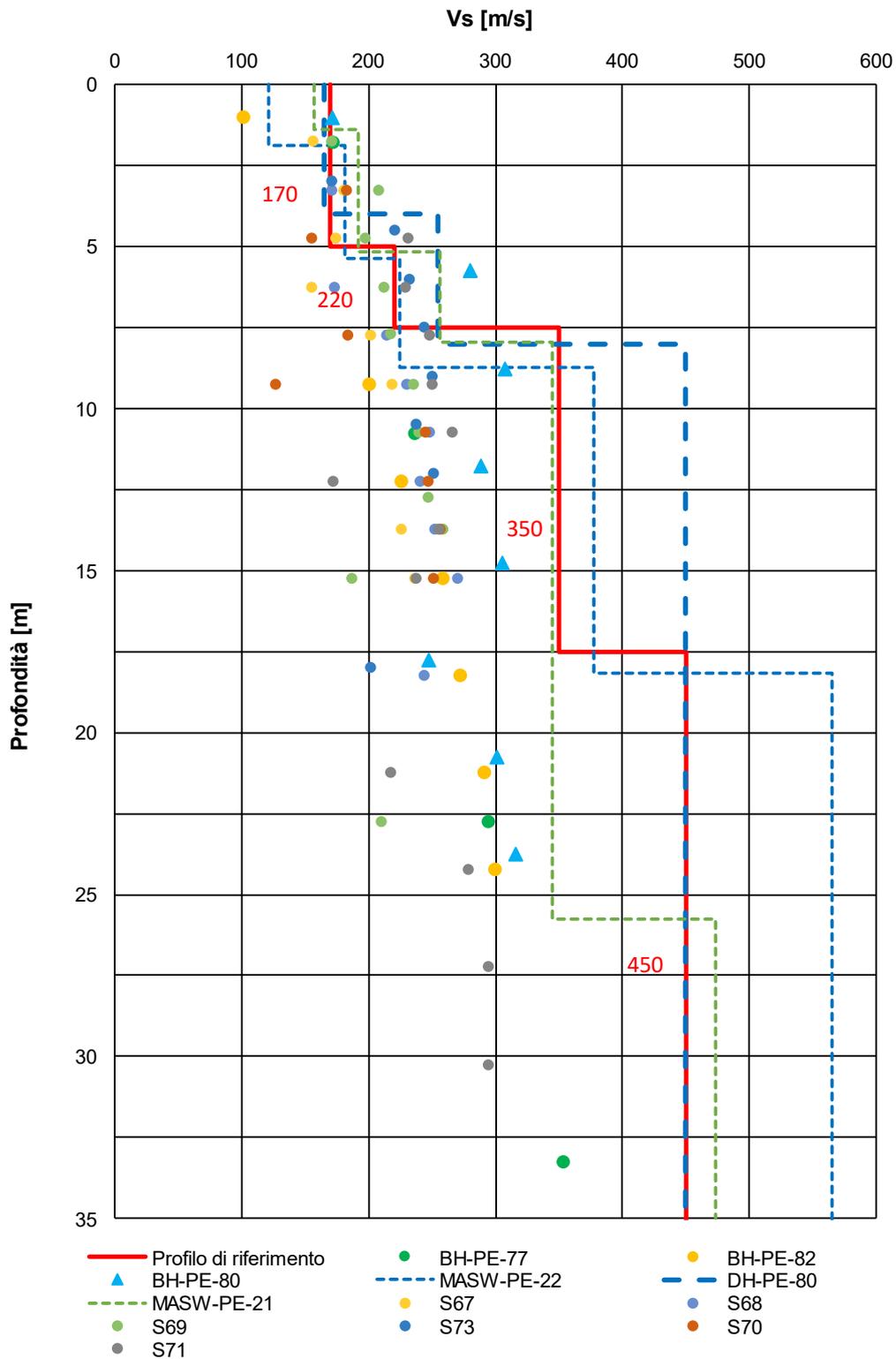


Figura 9 – Profilo di vs di riferimento, a confronto con dati di correlazioni con SPT e prove geofisiche tipo MASW tra pk 38+420,83 a pk 38+725,00

**AV/AC VERONA VICENZA**

pk 37+500 - pk 39+500

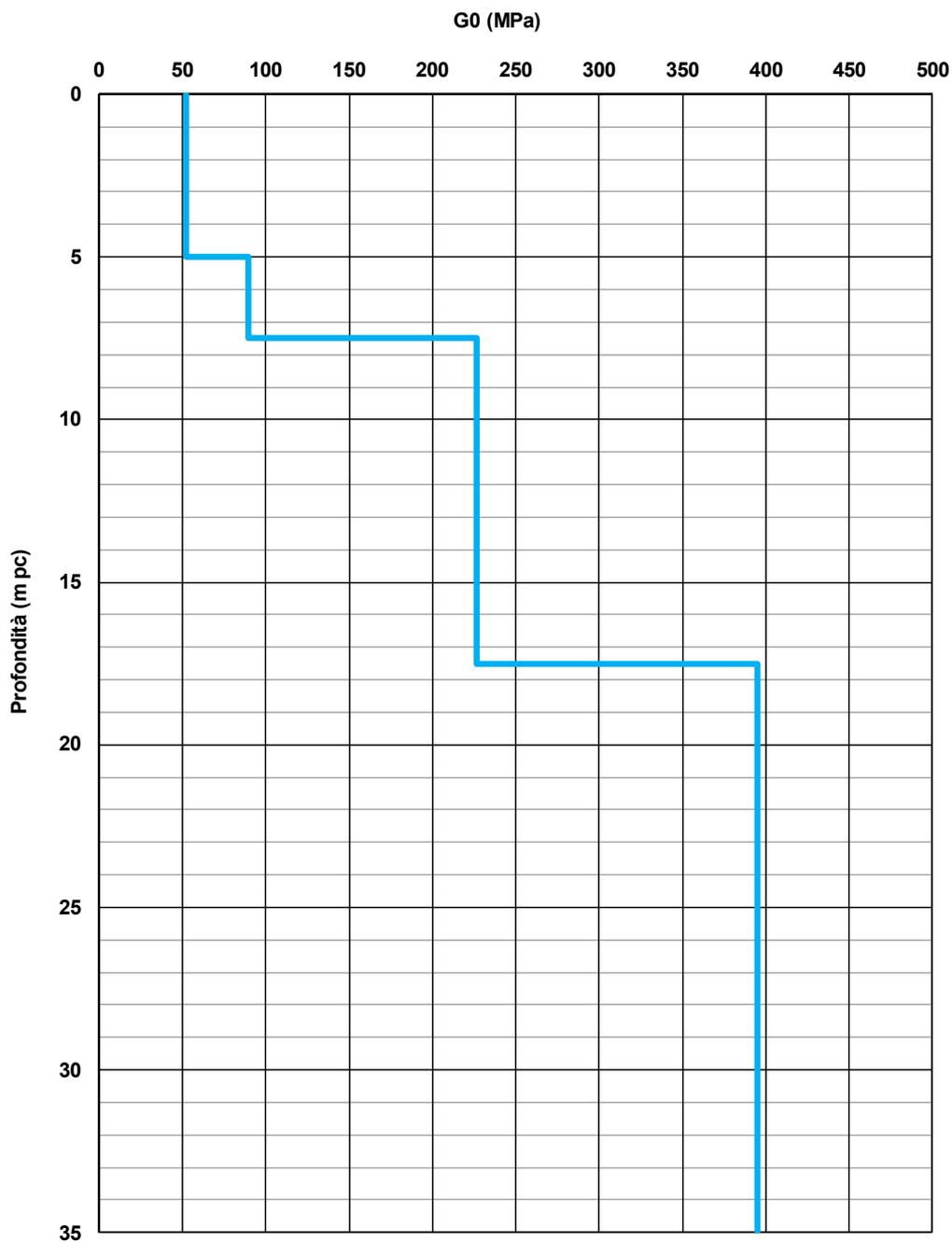


Figura 10 – Modulo di taglio G<sub>0</sub> tra pk 38+420,83 a pk 38+725,00

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI72A0001A</p>	<p>Foglio 22 di 85</p>

### 4.3 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*	$\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	$\varphi_k$ °	$c_k'$ kPa	$c_{u,k}$ kPa	$G_0$ MPa	$E'_{op}$ MPa
2	1	3	19	-	-	70	-	15
2	3	10	19	-	-	50	-	10
6	10	15	19	39	0	-	80-200**	60-100**
2	15	25	19	-	-	80	-	20
6	25	-	19	45	0	-	350	250

\* quota piano campagna = 52,50 m s.l.m.

\*\* valori crescenti con la profondità. Si rileva comunque come i valori di deformabilità non intervengano sul dimensionamento geotecnico dell'opera in esame.

#### 4.3.1 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*

	$\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	$\varphi$ °	$c'$ kPa
Materiale da rilevato	20	38	0

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI72A0001A	Foglio 23 di 85

## 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 (<math>V &lt; 250</math> km/h)</i>	$V_N = 50$ anni
<i>Altre opere nuove a velocità <math>V &lt; 250</math> km/h</i>	$V_N = 75$ anni
<i>Altre opere nuove a velocità <math>V \geq 250</math> 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 dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI72A0001A	Foglio 24 di 85

Tabella 5 – Valori del coefficiente di uso  $C_u$

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

### 5.1.3 Periodo di riferimento per l'azione sismica

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

### 5.1.4 Categorie di Sottosuolo

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

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

### 5.1.5 Condizioni topografiche

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

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI72A0001A</p>	<p>Foglio 25 di 85</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 $S_s$	1.378
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 vigente (Doc. rif. [4]).

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

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

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

Facendo sempre riferimento al Doc. rif. [4] per i dettagli dell'analisi sopra descritta, e in continuità con le considerazioni esposte in sede di Progetto Definitivo, è stato considerato ragionevole assumere per il tracciato di progetto un valore di magnitudo di riferimento da adottare nelle verifiche a liquefazione di cui ai paragrafi successivi pari a 6.5.

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:

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI72A0001A</p>	<p>Foglio 26 di 85</p>

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

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

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

$\tau_c$  valore rappresentativo dello sforzo di taglio ciclico

$\sigma_{vo}$  tensione verticale alla profondità in esame, in termini di tensioni totali

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

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

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

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

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

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI72A0001A</p>	<p>Foglio 27 di 85</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 5-1: 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 5-1, 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  $\sigma'_{v0}$  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 dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI72A0001A	Foglio 28 di 85

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):

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI72A0001A	Foglio 29 di 85

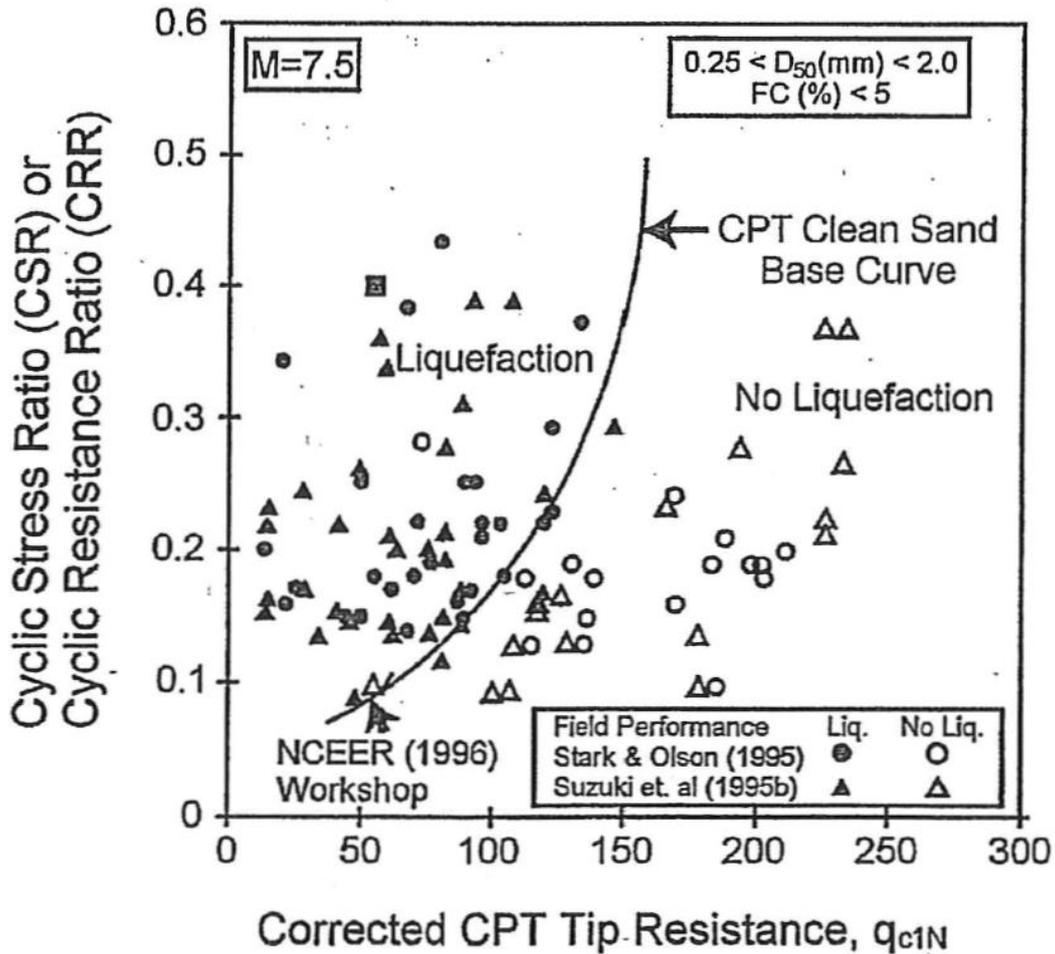


Figura 5-1: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e valori corretti di resistenza alla punta  $q_{c1N}$  – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Robertson & Wride, 1998)

### 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 5-2, originariamente proposta da Seed e Idriss (1971,1982) e da Seed et al. (1985), e successivamente confermata da Youd et al. (2001).

In Figura 5-2, 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 dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI72A0001A	Foglio 30 di 85

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  $\sigma'_{vo}$  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 5-2, 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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI72A0001A	Foglio 31 di 85

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:

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

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

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

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

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

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

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:

$\sigma'_{v0}$  = 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 dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI72A0001A</p>	<p>Foglio 32 di 85</p>

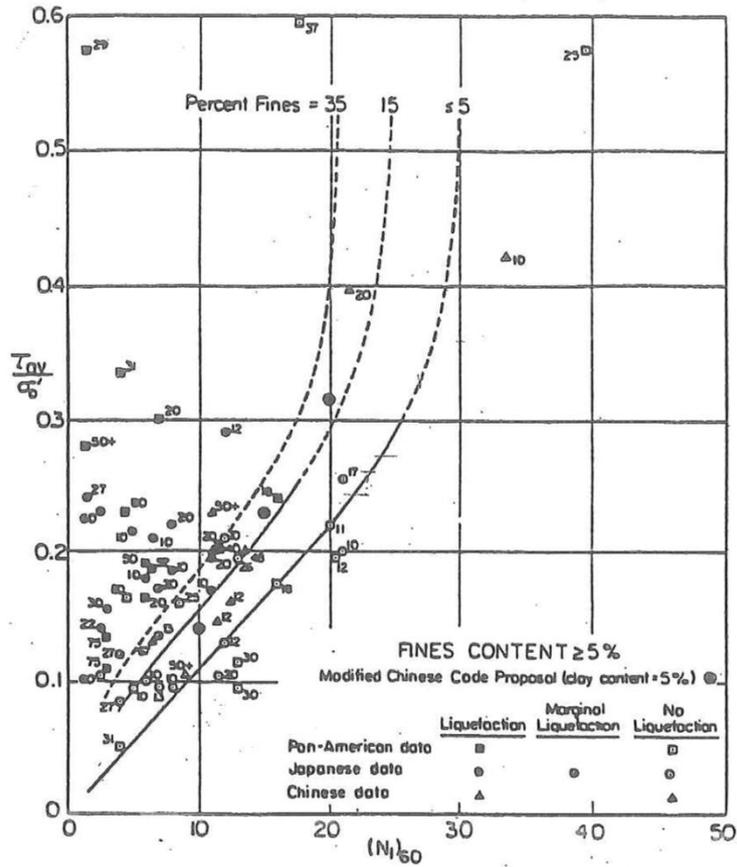


Figura 5-2: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e  $(N_1)_{60}$  – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Seed et al., 1985).

### 5.3 Risultati delle verifiche a liquefazione

I risultati (cfr. Figura 3 e Figura 4) indicano come non si evidenzino rischi di potenziale liquefazione nella porzione di tracciato interessata dal rilevato RI72A, in linea con gli stati di addensamento e le granulometrie descritte in precedenza.

Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

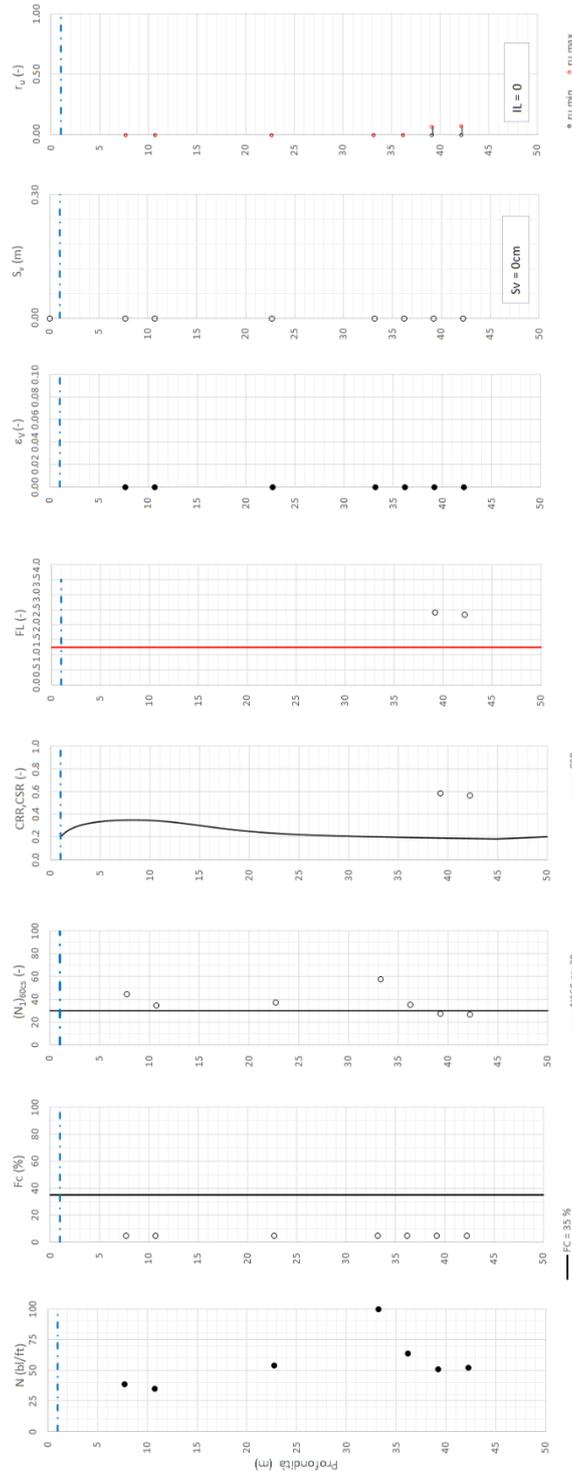
Codifica  
EI2RBRI72A0001A

Foglio  
33 di 85

Tretta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 2 - Prova BH-PE-77 Pr. 384350

$a_{max} = 0.305g$   $M_{calc} = 6.5$  MSF = 1.7 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001

Altezza rilevato = 0m



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

Foglio verifica a base dati NCEER, 1/02

Figura 3 – Verifica Liquefazione da risultati SPT BH-PE-77

Tratta AC/AV Verona - Padova - Sub Tratta - Verona - Vicenza - Prova S70 Pr.38+480

Am<sub>max</sub>\_calc / g = 0.305 M<sub>calc</sub> = 6.5 Approccio NCEER 1996 - 1998 - 2001 MSF = 1.7

Sovraccarico = 0 kPa

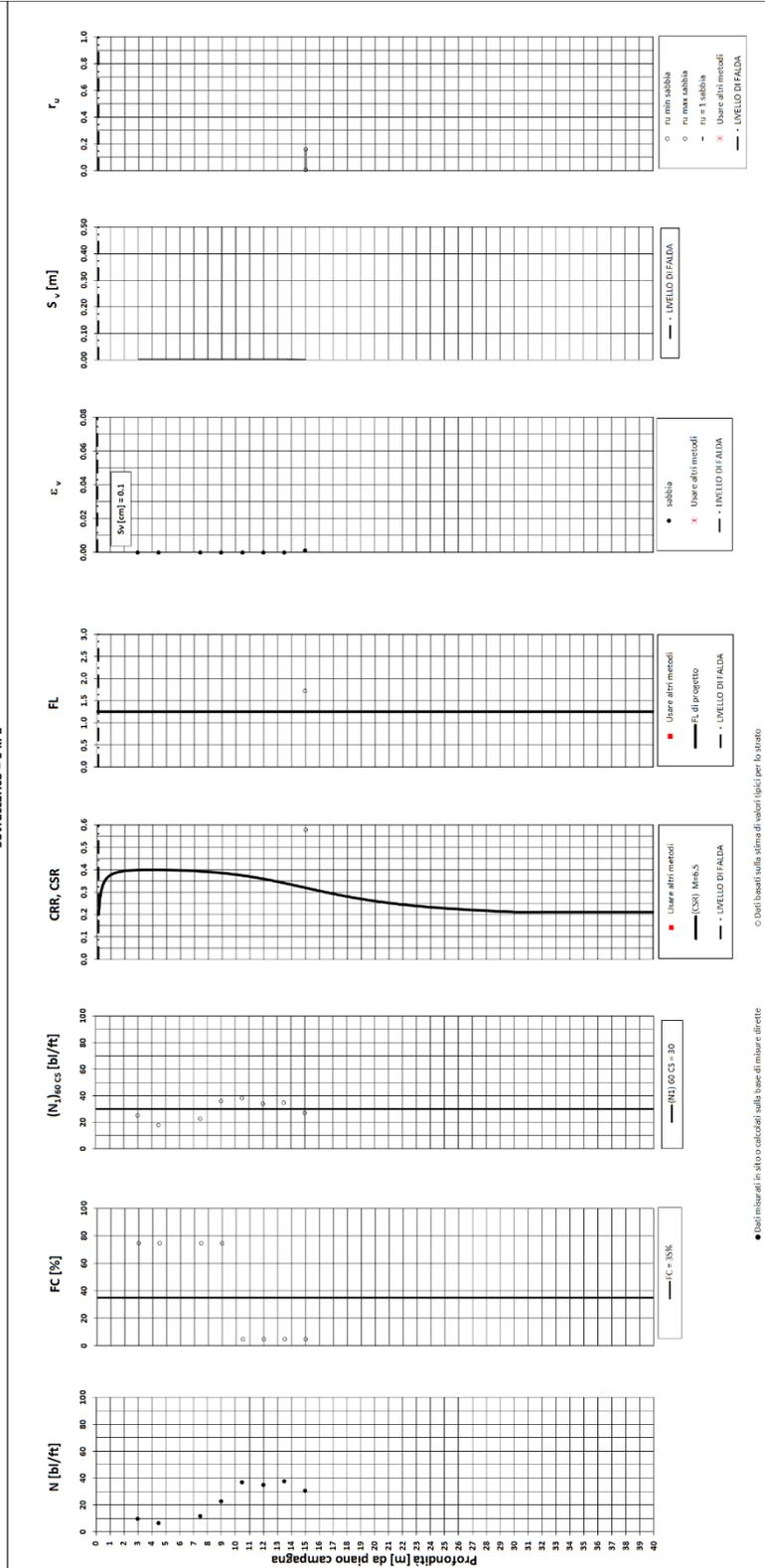


Figura 4 – Verifica Liquefazione da risultati SPT SP70

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI72A0001A	Foglio 35 di 85

## 6 VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO

Data la geometria del rilevato in esame, rilevato 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.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI72A0001A	Foglio 36 di 85

## 7 RESISTENZA DEI PALI SOGGETTI A CARICHI ASSIALI

### 7.1 Introduzione

Il muro di mitigazione del terrapieno sul versante Nord, sarà fondato su pali in calcestruzzo gettati in opera. La necessità dei pali di fondazione deriva dalle elevate azioni orizzontali applicate sul muro nel caso dello svio del treno. Il calcolo del muro e le relative verifiche sono contenuti nel documento di progetto del muro di sostegno.

Di seguito si riportano i calcoli di dimensionamento dei pali sotto carico assiale, condotti per il diametro  $D = 600$  mm e  $D = 800$  mm.

I calcoli sono stati svolti in accordo alle NTC 2008, seguendo i dettami validi per i pali trivellati. I calcoli sono anche da ritenere validi nel caso di impiego di pali CFA.

Per quanto concerne il comportamento dei pali sotto carichi orizzontali, i calcoli di verifica e dimensionamento sono contenuti nel documento relativo al calcolo del muro.

Il calcolo è stato condotto in accordo all'approccio elastico di Matlock e Reese (1960) [35] utilizzando i seguenti valori di molle orizzontali:

$E_h = k_h \cdot z$ , con  $z$  profondità da p.c.

In particolare:

$E_h = 400 \cdot C_u = 28000$  kN/m<sup>2</sup> per argilla da p.c. a 3 m di profondità

$E_h = 400 \cdot C_u = 20000$  kN/m<sup>2</sup> per argilla da 3 m a 10 m di profondità

$E_h = k_h \cdot z = 15000 \cdot z$  kN/m<sup>2</sup> ( $k_h = 15000$  kN/m<sup>3</sup>, con  $z$  profondità da p.c.) per ghiaie da 10 m a 15 m di profondità

$E_h = 400 \cdot C_u = 32000$  kN/m<sup>2</sup> per argilla da 15 m a 25 m di profondità

$E_h = k_h \cdot z = 15000 \cdot z$  kN/m<sup>2</sup> ( $k_h = 15000$  kN/m<sup>3</sup>, con  $z$  profondità da p.c.) per ghiaie da 25 m di profondità

### 7.2 Analisi agli stati limite

Le verifiche di capacità portante dei pali sono svolte secondo la metodologia degli stati limite ultimi, in accordo alla normativa vigente (DM 2008). La verifica della capacità portante dei pali è soddisfatta se:

$$F_{cd} < R_{cd}$$

essendo:

$$R_{cd} = R_k / \gamma_R$$

dove:

$F_{cd}$  carico assiale di compressione di progetto;

$R_{cd}$  capacità portante di progetto nei confronti dei carichi assiali;

$R_k$  valore caratteristico della capacità portante limite del palo;

$\gamma_R$  coefficiente di sicurezza sulle resistenze

In particolare, le verifiche di capacità portante dei pali agli stati limite ultimi (SLU) sono condotte con riferimento ad

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI72A0001A	Foglio 37 di 85

almeno uno dei due approcci:

*Approccio 1:*

Combinazione 1: A1 + M1 + R1

Combinazione 2: A2 + M1 + R2

*Approccio 2:*

Combinazione 1: A1 + M1 + R3,

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati in Tab. 5.2.V (ponti ferroviari), e Tab. 6.4.II delle NTC 2008 (Doc.Rif. [14]) e riportati nelle seguenti Tabella 6 e Tabella 7.

Il peso del palo, in accordo con quanto riportato al paragrafo 6.4.3 delle NTC2008, deve essere incluso tra le azioni permanenti di cui alla Tabella 6.

La resistenza di progetto a compressione  $R_{c,d}$  è calcolata applicando al valore caratteristico della resistenza  $R_{c,k}$  i coefficienti parziali  $\gamma_R$  riportati in tabella seguente, relativi alla condizione di pali trivellati.

Il valore caratteristico della resistenza  $R_{c,k}$  a compressione ed a trazione  $R_{t,k}$  è ottenuto applicando i fattori di correlazione  $\xi_3$  e  $\xi_4$  (Tabella 8) alle resistenze di calcolo  $R_{cal}$ ; tali fattori sono funzione del numero di verticali d'indagine rappresentative:

$$R_{c,k} = \min \left\{ \frac{(R_{c;cal})_{media}}{\xi_3}, \frac{(R_{c;cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

$$R_{t,k} = \min \left\{ \frac{(R_{t;cal})_{media}}{\xi_3}, \frac{(R_{t;cal})_{min}}{\xi_4} \right\}.$$

I valori di  $\xi_3$  e  $\xi_4$  da utilizzare nelle analisi sono funzione dal numero di sondaggi che sono stati considerati per valutare la resistenza del palo per ogni area omogenea o struttura/opera.

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI72A0001A	Foglio 38 di 85

Tabella 6 – Tab. 5.2.V, NTC 2008

		Coefficiente	EQU <sup>(1)</sup>	A1 STR	A2 GEO	Combinazione eccezionale	Combinazione Sismica
Carichi permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00	1,00	1,00
Carichi permanenti non strutturali <sup>(2)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Ballast <sup>(3)</sup>	favorevoli	$\gamma_B$	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Carichi variabili da traffico <sup>(4)</sup>	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25	0,20 <sup>(5)</sup>	0,20 <sup>(5)</sup>
Carichi variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	0,00
Precompressione	favorevole	$\gamma_P$	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 <sup>(6)</sup>	1,00 <sup>(7)</sup>	1,00	1,00	1,00

Tabella 7 – Tab. 6.4.II, NTC 2008

Tabella 6.4.II – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche.

Resistenza	Simbolo	Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
		(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)
Base	$\gamma_b$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,7	1,35	1,0	1,6	1,3
Laterale in compressione	$\gamma_s$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale <sup>(*)</sup>	$\gamma_t$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,6	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25

<sup>(\*)</sup> da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

Tabella 8 – Tab. 6.4.IV NTC 2008 - Fattori di correlazione  $\xi$  per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali d'indagine

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	$\geq 10$
$\xi_s$	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
$\xi_t$	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

In conclusione, sulla base di quanto prescritto dalle NTC al paragrafo 7.11.5.3, in condizioni sismiche le curve di capacità portante sono da calcolarsi con riferimento all'Approccio 2. Risultano, quindi, pressoché coincidenti con quelle calcolate agli SLU, utilizzando il medesimo approccio: le differenze si riducono ad un diverso fattore parziale applicato ad una frazione del peso del palo. Pertanto, nel caso in esame la stima è eseguita cautelativamente assumendo la combinazione A1+M1+R3, sia per le combinazioni statiche che per quelle sismiche. Per le verifiche in condizioni sismiche i coefficienti delle azioni A1 sono assunti unitari, come da §7.11.5.3-NTC2008.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI72A0001A	Foglio 39 di 85

## 7.3 Metodologia di calcolo

La portata di progetto di un palo trivellato (eseguito con completa asportazione del terreno) “ $Q_{tot\_c,d}$ ” in compressione è espressa dalla seguente relazione:

$$Q_{tot\_c,d} = Q_{II} / F_{SL,C} + Q_{bl} / F_{SB} - W'_{p-s} = Q_{L,c,d} + Q_{b,d} - W_{p-s,d}$$

dove:

- $Q_{II}$  valore di calcolo della portata laterale,
- $Q_{bl}$  valore di calcolo della portata di base,
- $Q_{L,c,d}$  valore di progetto della portata laterale,
- $F_{SL,C}$  fattore di sicurezza per la portata laterale in compressione ( $= \xi \cdot \gamma_s$ ),
- $F_{SB}$  fattore di sicurezza per la portata di base ( $= \xi \cdot \gamma_b$ ),
- $Q_{b,d}$  valore di progetto della portata di base,
- $W_{p-s}$  valore di progetto del peso del palo, al netto del peso del terreno asportato.

Diversamente, la portata di progetto a trazione “ $Q_{tot\_tr,d}$ ” è espressa dalla seguente relazione:

$$Q_{tot\_tr,d} = Q_{LL,Tr} / F_{SL} + W'_P = Q_{L,tr,d} + W'_p$$

dove:

- $Q_{LL}$  valore di calcolo della portata laterale,
- $W'_P$  peso efficace del palo, alleggerito se sotto falda,
- $F_{SL,Tr}$  fattore di sicurezza per la portata laterale in trazione ( $= \gamma_{st} \cdot \xi$ ).

### 7.3.1 Portata laterale

La portata laterale limite è valutata con la seguente relazione:

$$Q_{II} = \pi \cdot D \cdot \sum_i (\tau_i \cdot h_i)$$

dove:

- $D$  diametro palo,
- $\tau_i$  tensione di adesione laterale limite nello strato i-esimo,
- $h_i$  altezza dello strato i-esimo.

#### 7.3.1.1 Depositi coesivi

Per i terreni coesivi la tensione di adesione laterale limite è valutata con la seguente espressione:

$$\tau_{lim} \text{ (kPa)} = \alpha \cdot c_u \leq \tau_{us,max}$$

dove:

- $c_u$  resistenza al taglio non drenata.
- $\alpha$  coefficiente empirico, determinato in accordo a quanto indicato nel manuale FHWA 2010:

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI72A0001A</p>	<p>Foglio 40 di 85</p>

$$\alpha = 0.55 \quad \text{per } (c_u/p_a) \leq 1.5;$$

$$\alpha = 0.55 - 0.1 \cdot (c_u/p_a - 1.5) \quad \text{per } 1.5 \leq (c_u/p_a) \leq 2.5$$

Inoltre, per la resistenza laterale si impongono anche le seguenti condizioni:

$$\tau_{lim} \text{ (kPa)} \geq 0.23 \cdot \sigma'_{v0}$$

$$\tau_{us,max} = 100 \text{ kPa (resistenza laterale massima in terreno coesivo),}$$

dove:

$$\sigma'_{v0} \quad \text{tensione verticale efficace alla quota di riferimento.}$$

### 7.3.1.2 Depositi incoerenti

Per i terreni incoerenti la tensione di aderenza laterale limite è valutata mediante metodo  $\beta$  con la seguente espressione (Reese & O'Neill, 1999, recepito nel manuale FHWA del 2010):

$$\tau_{lim} \text{ (kPa)} = \beta \cdot \sigma'_{v0} \leq \tau_{us,max}$$

dove:

$$\beta = 1.5 - 0.245 \cdot z^{0.50} \quad (0.25 \leq \beta \leq 1.20) \text{ per sabbie;}$$

$$\beta = 2.0 - 0.147 \cdot z^{0.75} \quad (0.25 \leq \beta \leq 1.80) \text{ per sabbie ghiaiose;}$$

$$\sigma'_{v0} \quad \text{tensione verticale efficace alla quota di riferimento.}$$

$$\tau_{us,max} = 150 \text{ kPa (resistenza laterale massima in terreno incoerente)}$$

### 7.3.2 Portata di base

Per la valutazione della portata di base limite si utilizzano le seguenti relazioni:

$$Q_{bl} = A_p \cdot q_{bl}$$

dove:

$$A_p \quad \text{area della base del palo,}$$

$$q_{bl} \quad \text{portata limite specifica di base.}$$

#### 7.3.2.1 Depositi coesivi

La portata di base limite nei terreni coesivi è valutata con la seguente relazione:

$$q_{b,ult} \text{ (kPa)} = 9 \cdot c_{u,k}$$

dove:

$$c_{u,k} \quad \text{valore caratteristico della resistenza a taglio non drenata.}$$

#### 7.3.2.2 Depositi incoerenti

Il valore della portata di base allo stato critico ( $q_{bcr}$ ) è stato valutato, considerando un rapporto fra il cedimento della



GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI72A0001A	Foglio 42 di 85

## 7.4 Stratigrafia di calcolo e fattori parziali

I calcoli sono stati eseguiti con riferimento alla stratigrafia riportata nel paragrafo 4.3.

La testa pali è stata considerata a 2 m dal p.c.

La falda è stata considerata 1 m sotto al p.c.

Tenuto conto delle indagini a disposizione, e del fatto che la stratigrafia è da considerarsi come ragionevolmente cautelativa rispetto alle condizioni medie del sito, si è considerato un valore di  $\xi_4 = 1.55$ .

## 7.5 Risultati

Si riportano di seguito le curve di capacità portante del palo singolo, calcolate sulla base della metodologia di calcolo discussa nei capitoli precedenti, per pali  $D = 600$  mm e  $D = 800$  mm. Per quanto riguarda le condizioni sismiche, si faccia riferimento alle curve agli SLU.

I tabulati di calcolo sono riportati in ALLEGATO 3 - e ALLEGATO 4 -

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI72A0001A</p>	<p>Foglio 43 di 85</p>

### 7.5.1 PALI D = 600 mm

lpalo m	CARICO LIMITE ULTIMO			CURVE SLU				
	Q <sub>l,lim</sub> kN	Q <sub>b,cr</sub> kN	Q <sub>TOT,lim</sub> kN	Q <sub>l,c,d</sub> kN	Q <sub>l,tr,d</sub> kN	Q <sub>b,d</sub> kN	Q <sub>tot,c,d</sub> kN	Q <sub>tot,tr,d</sub> kN
0.00	0	153	153	0	0	73	73	0
0.50	36	140	175	20	19	67	86	20
1.00	70	127	196	39	36	61	97	38
1.50	98	127	223	55	51	61	112	54
2.00	124	127	248	70	64	61	126	67
2.50	150	127	273	84	77	61	139	81
3.00	176	127	298	99	91	61	153	96
3.50	202	127	323	113	104	61	166	110
4.00	228	127	349	128	118	61	179	125
4.50	254	127	374	142	131	61	192	139
5.00	280	127	399	157	145	61	207	153
5.50	306	127	424	172	158	61	220	167
6.00	332	127	449	186	171	61	233	181
6.50	358	127	474	201	185	61	247	196
7.00	384	127	499	215	198	61	260	210
7.50	410	127	524	230	212	61	273	225
8.00	457	127	570	256	236	61	298	250
8.50	547	272	805	307	282	130	418	296
9.00	660	417	1062	370	341	199	549	356
9.50	775	562	1321	435	400	269	682	416
10.00	892	707	1582	500	460	338	815	477
10.50	1009	707	1698	566	521	338	880	539
11.00	1128	707	1816	633	582	338	945	601
11.50	1247	581	1809	700	644	278	950	664
12.00	1367	455	1802	767	706	217	957	726
12.50	1487	329	1795	834	767	157	963	788
13.00	1587	204	1769	890	819	97	958	841
13.50	1649	204	1829	925	851	97	992	874
14.00	1690	204	1870	948	872	97	1013	896
14.50	1732	204	1910	972	894	97	1035	919
15.00	1773	204	1951	995	915	97	1058	940
15.50	1814	204	1992	1018	936	97	1080	962
16.00	1856	204	2032	1041	958	97	1102	985
16.50	1897	204	2073	1064	979	97	1124	1007
17.00	1939	204	2114	1088	1001	97	1146	1030
17.50	1980	204	2154	1111	1022	97	1168	1052
18.00	2022	204	2195	1134	1044	97	1190	1075
18.50	2064	204	2236	1158	1065	97	1214	1096
19.00	2106	204	2278	1181	1087	97	1236	1119
19.50	2150	204	2320	1206	1110	97	1259	1143
20.00	2194	204	2364	1231	1132	97	1282	1166
20.50	2240	204	2409	1257	1156	97	1307	1191
21.00	2287	204	2455	1283	1180	97	1332	1216
21.50	2334	204	2501	1309	1205	97	1358	1241
22.00	2383	204	2549	1337	1230	97	1384	1267
22.50	2432	204	2598	1364	1255	97	1411	1293
23.00	2490	204	2654	1397	1285	97	1442	1324
23.50	2560	400	2920	1436	1321	191	1573	1361
24.00	2632	597	3188	1477	1358	285	1707	1399
24.50	2701	793	3452	1515	1394	379	1838	1436
25.00	2765	990	3712	1551	1427	473	1968	1469

Figura 7-6 – Riassunto curve di carico limite ultimo e di resistenza di progetto SLU per pali D=600 mm

Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00  
 Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

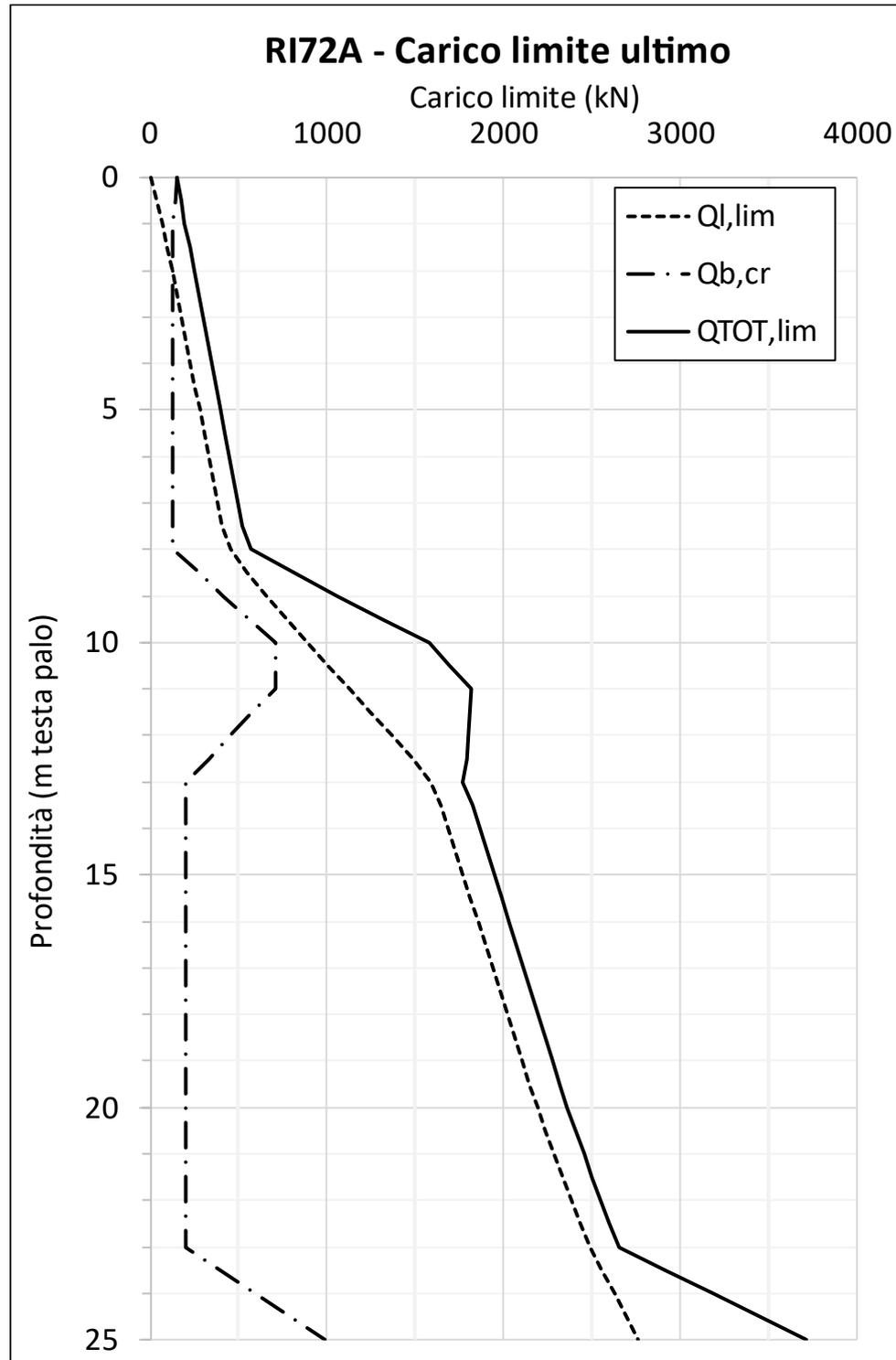
12

Codifica

EI2RBRI72A0001A

Foglio

44 di 85


 Figura 7-7 – Curve di carico limite ultimo per pali  $D=600$  mm

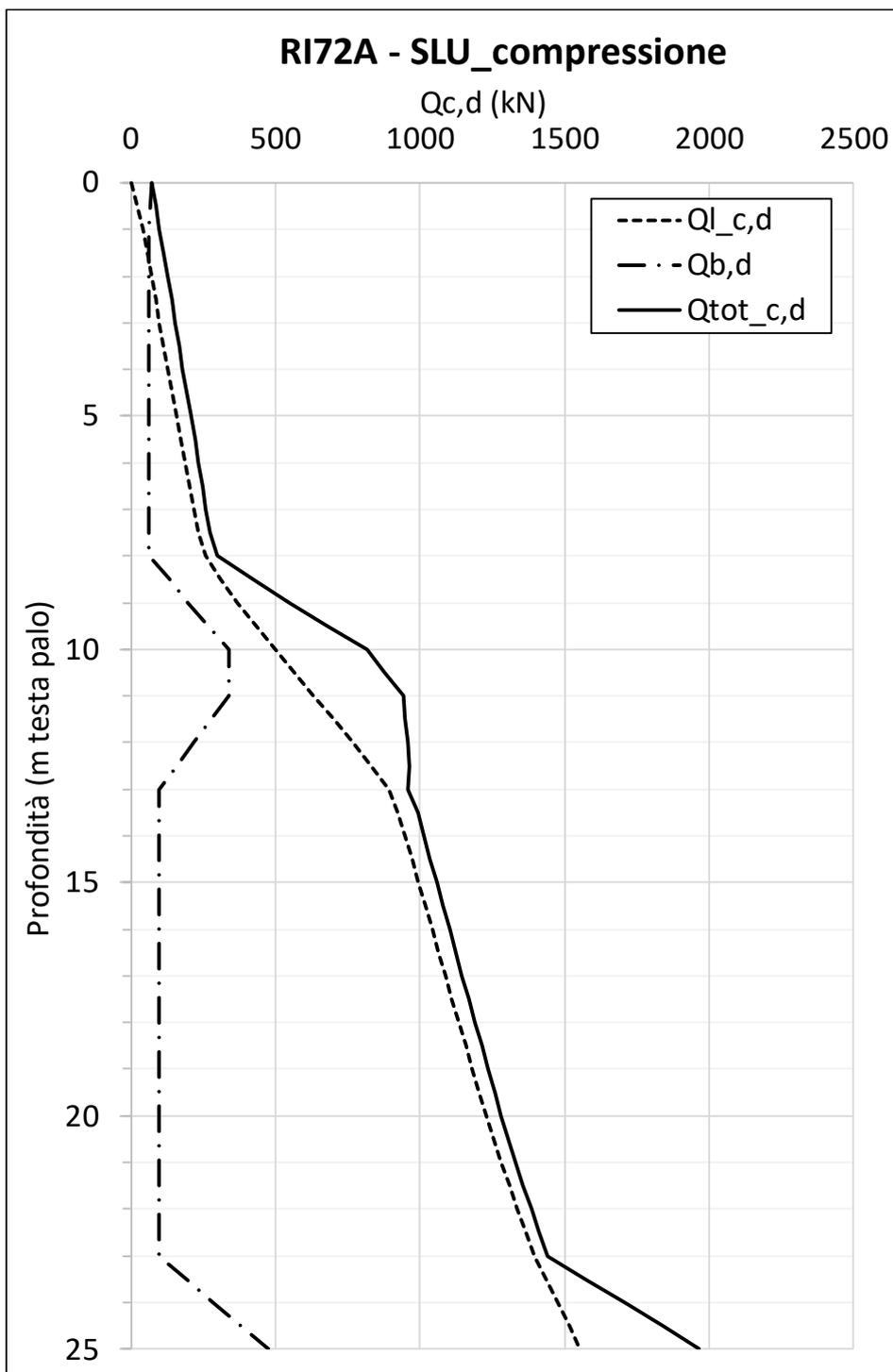


Figura 7-8 – Curve di resistenza di progetto SLU, compressione per pali D=600 mm

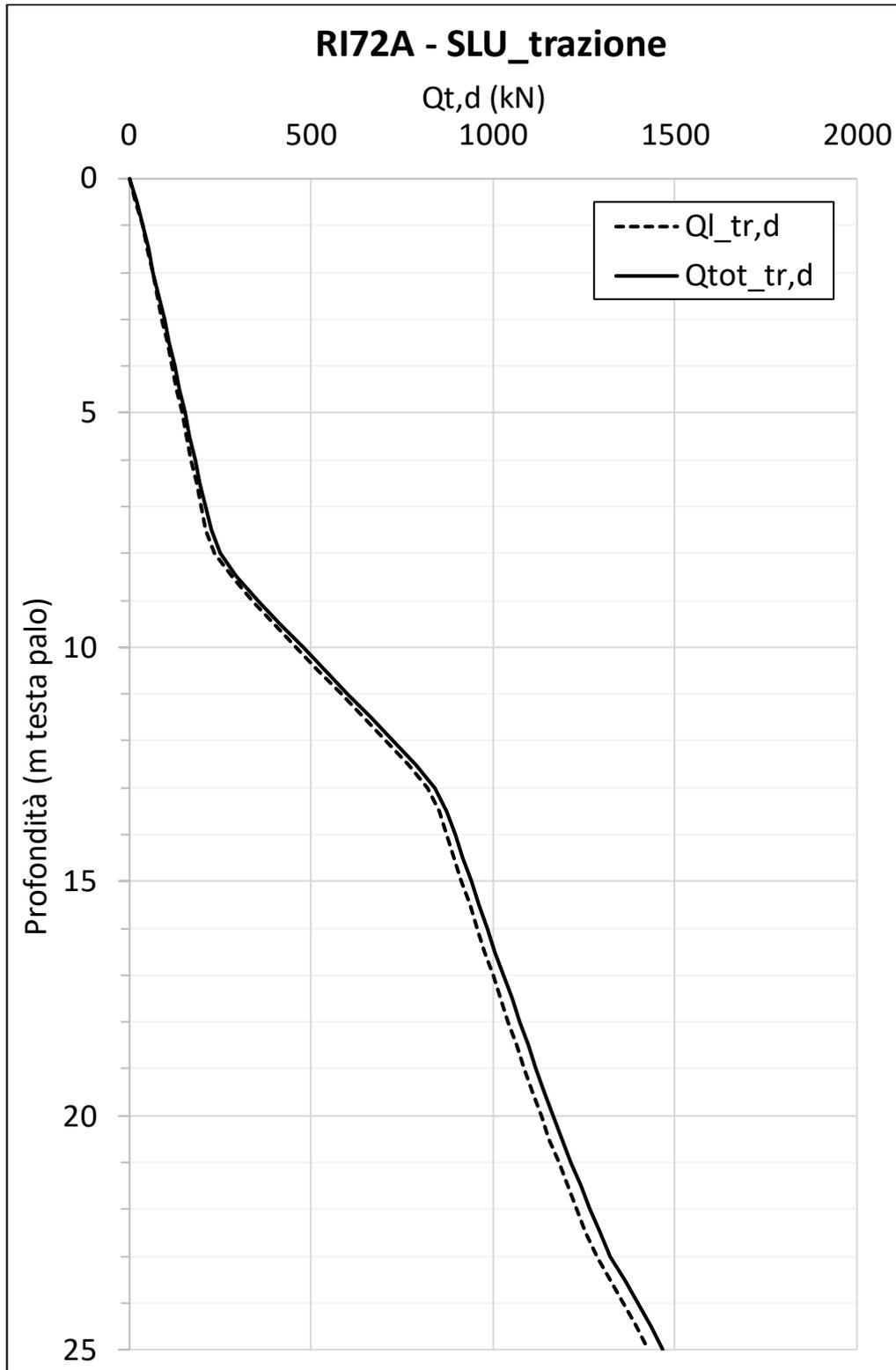


Figura 7-9 – Curve di resistenza di progetto SLU, trazione per pali D=600 mm

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI72A0001A</p>	<p>Foglio 47 di 85</p>

## 7.5.2 PALI D = 800 mm

lpalo m	CARICO LIMITE ULTIMO			CURVE SLU				
	Q <sub>u,lim</sub> kN	Q <sub>b,cr</sub> kN	Q <sub>TOT,lim</sub> kN	Q <sub>l,c,d</sub> kN	Q <sub>l,tr,d</sub> kN	Q <sub>b,d</sub> kN	Q <sub>tot,c,d</sub> kN	Q <sub>tot,tr,d</sub> kN
0.00	0	262	262	0	0	125	125	0
0.50	48	244	291	27	25	117	141	27
1.00	93	226	316	52	48	108	156	51
1.50	131	226	353	73	68	108	175	73
2.00	166	226	386	93	86	108	193	92
2.50	200	226	419	112	103	108	209	111
3.00	235	226	452	132	121	108	228	130
3.50	270	226	485	151	139	108	245	150
4.00	304	226	518	171	157	108	262	169
4.50	339	226	551	190	175	108	279	189
5.00	373	226	584	209	193	108	297	208
5.50	408	226	617	229	211	108	314	228
6.00	442	226	650	248	228	108	332	246
6.50	477	226	683	268	246	108	349	266
7.00	511	226	717	287	264	108	366	285
7.50	546	226	750	306	282	108	383	305
8.00	609	226	811	342	314	108	417	338
8.50	729	432	1136	409	376	206	580	402
9.00	880	638	1492	494	454	305	762	481
9.50	1034	844	1850	580	534	403	944	563
10.00	1189	1051	2209	667	614	502	1129	644
10.50	1346	1257	2571	755	695	601	1313	727
11.00	1504	1078	2548	844	776	515	1314	809
11.50	1663	899	2527	933	858	430	1315	893
12.00	1822	720	2506	1022	940	344	1318	976
12.50	1983	541	2486	1112	1023	259	1320	1061
13.00	2117	362	2439	1188	1093	173	1308	1132
13.50	2198	362	2519	1233	1134	173	1351	1175
14.00	2253	362	2573	1264	1163	173	1380	1205
14.50	2309	362	2627	1295	1192	173	1409	1236
15.00	2364	362	2681	1326	1220	173	1438	1265
15.50	2419	362	2734	1357	1249	173	1467	1296
16.00	2475	362	2788	1388	1277	173	1497	1325
16.50	2530	362	2842	1419	1306	173	1525	1356
17.00	2585	362	2896	1450	1334	173	1554	1385
17.50	2640	362	2950	1481	1363	173	1583	1416
18.00	2696	362	3003	1512	1391	173	1613	1445
18.50	2751	362	3058	1543	1420	173	1641	1476
19.00	2808	362	3113	1575	1449	173	1671	1506
19.50	2867	362	3170	1608	1480	173	1702	1539
20.00	2926	362	3228	1642	1510	173	1734	1570
20.50	2987	362	3287	1676	1542	173	1765	1604
21.00	3049	362	3347	1711	1574	173	1798	1637
21.50	3112	362	3409	1746	1606	173	1831	1671
22.00	3177	362	3472	1782	1640	173	1866	1706
22.50	3243	362	3537	1819	1674	173	1901	1742
23.00	3319	362	3612	1862	1713	173	1942	1782
23.50	3413	641	3983	1915	1762	306	2125	1833
24.00	3510	921	4358	1969	1812	440	2312	1884
24.50	3601	1200	4728	2020	1859	573	2494	1933
25.00	3686	1480	5091	2068	1902	707	2674	1977

Figura 10 – Riassunto curve di carico limite ultimo e di resistenza di progetto SLU per pali D=800 mm

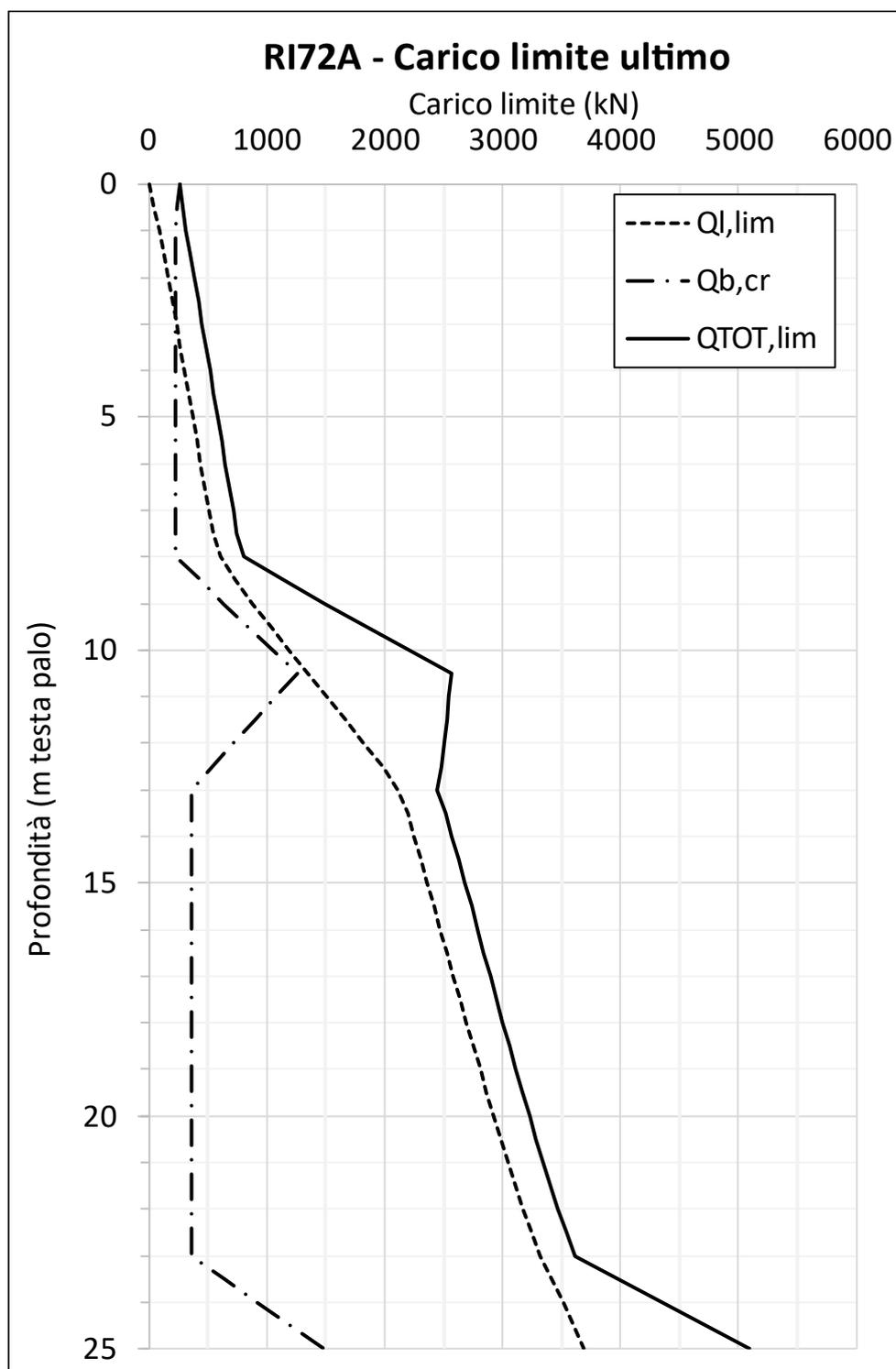


Figura 11 – Curve di carico limite ultimo per pali D=800 mm

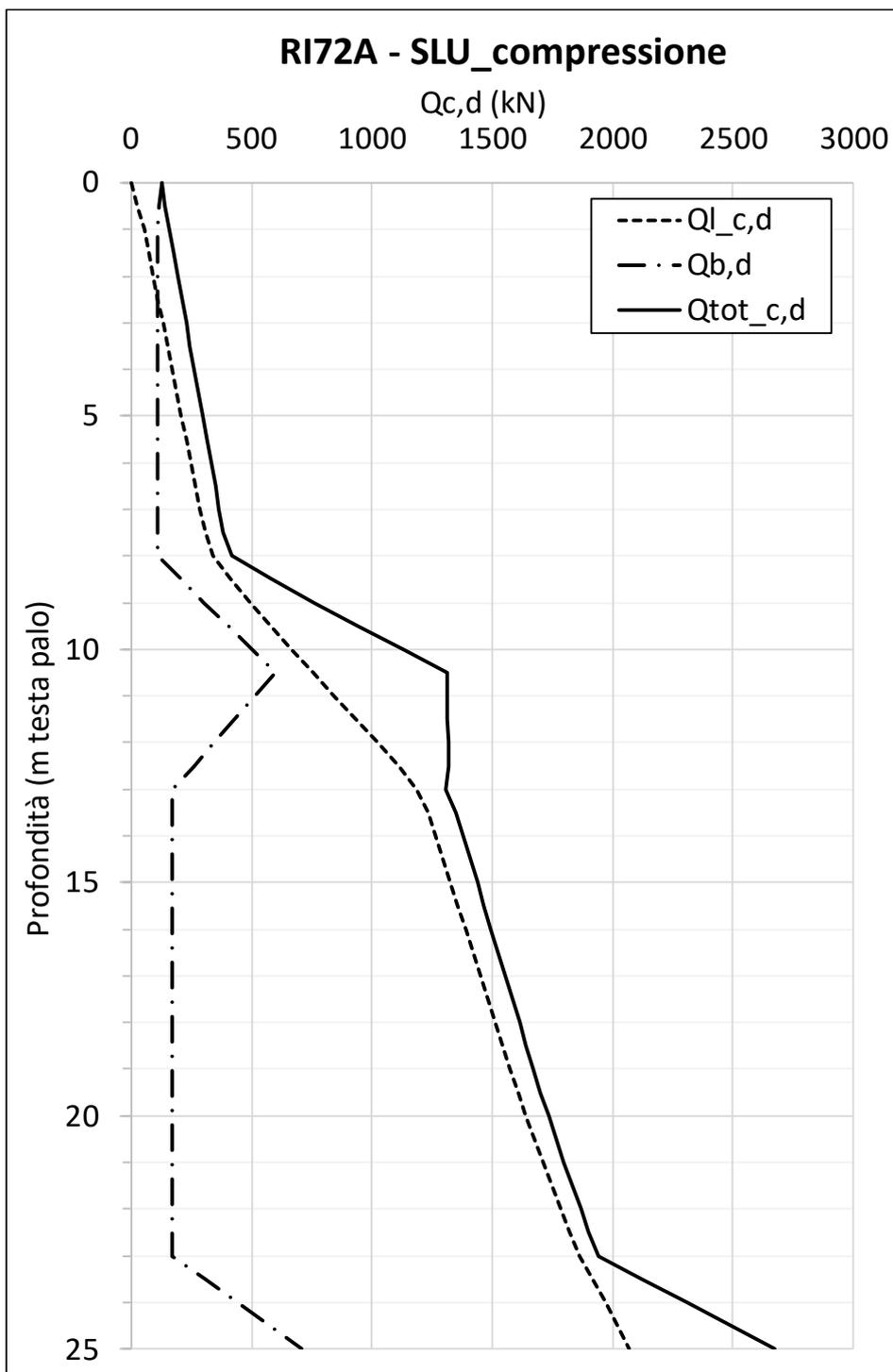


Figura 12 – Curve di resistenza di progetto SLU, compressione per pali D=800 mm

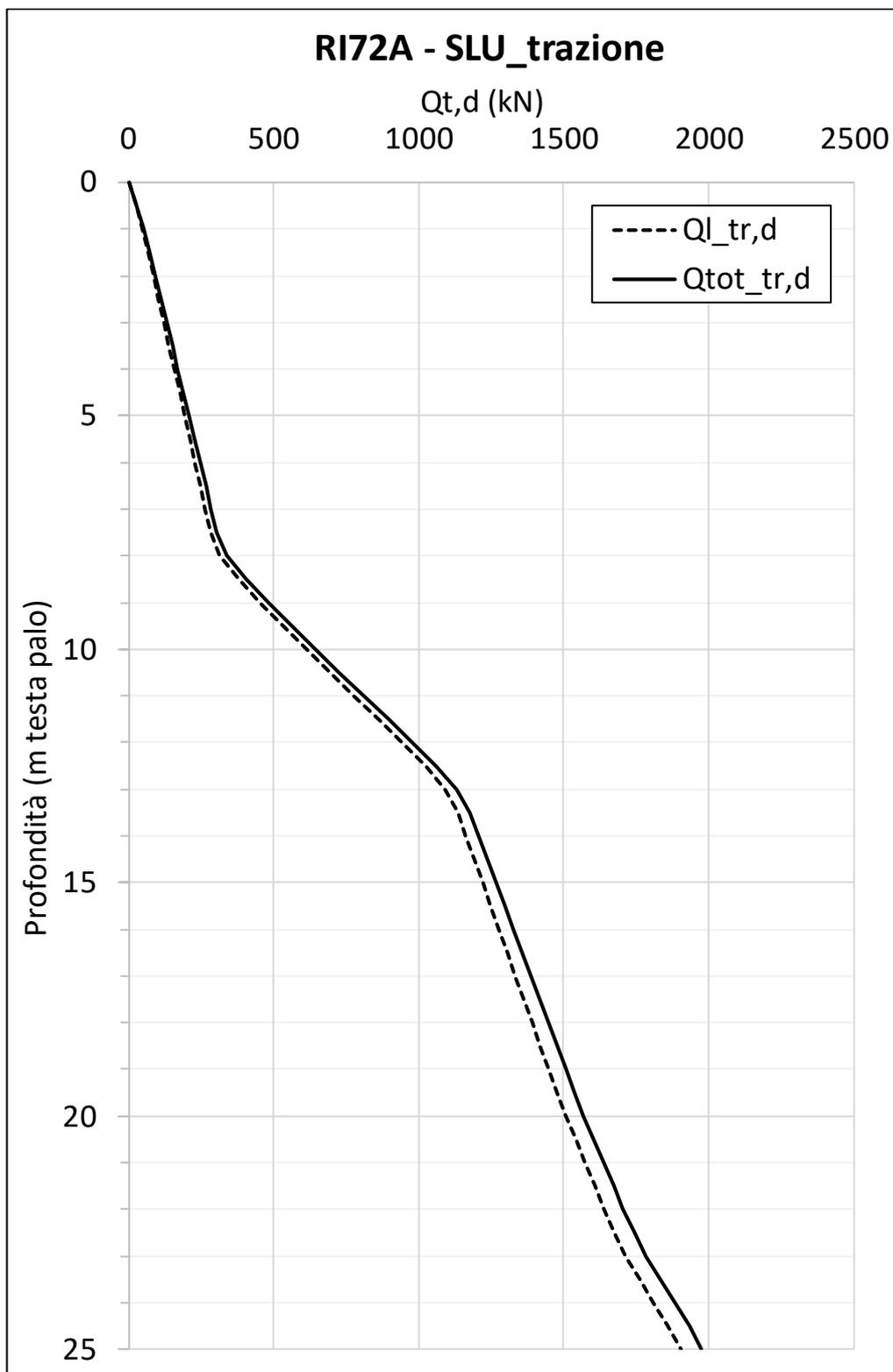


Figura 13 – Curve di resistenza di progetto SLU, trazione per pali D=800 mm

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI72A0001A</p>	<p>Foglio 51 di 85</p>

## 8 CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI

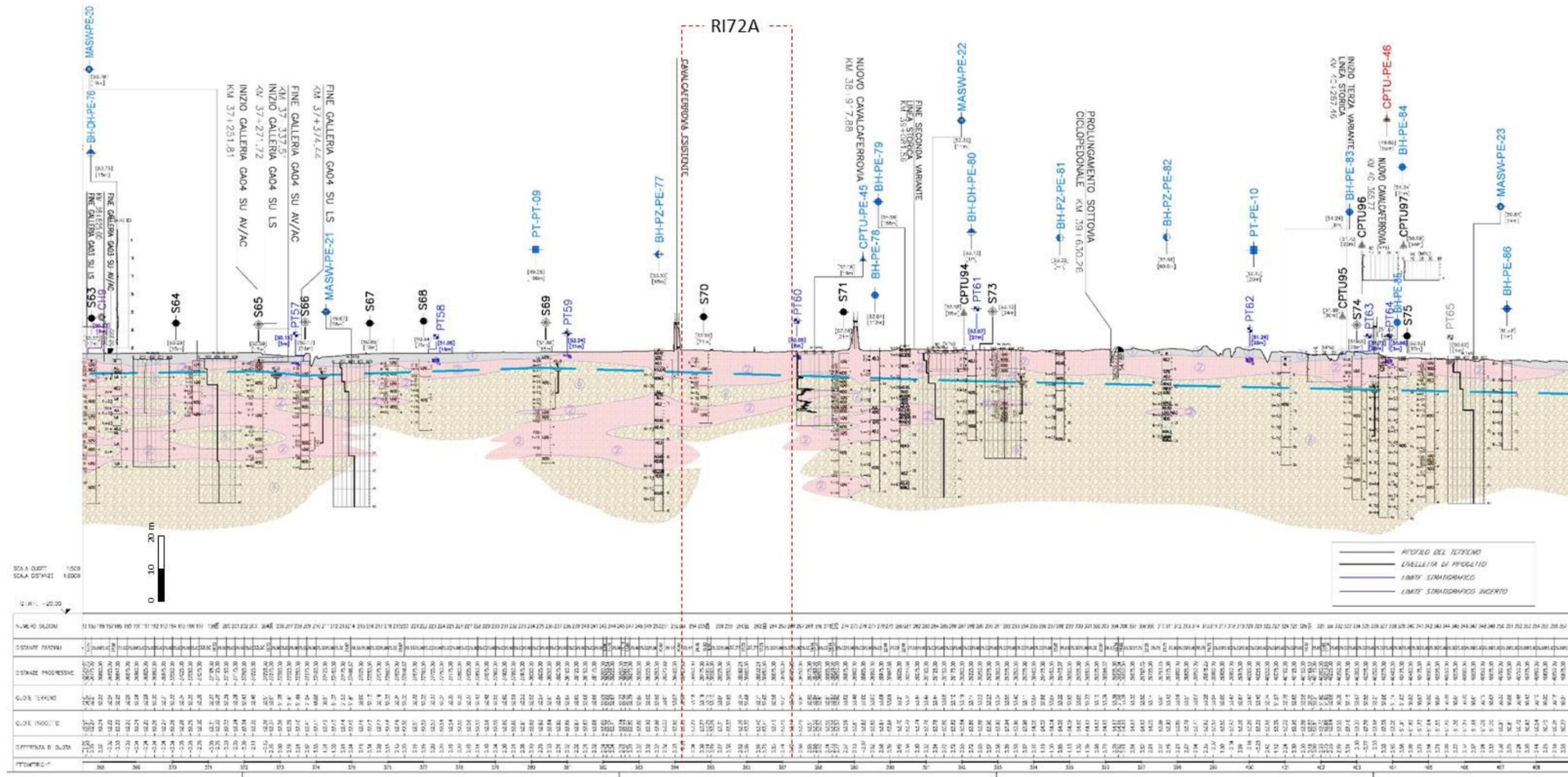
In conclusione, per il rilevato in oggetto non si evidenziano criticità di tipo geotecnico e pertanto non è previsto un monitoraggio.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI72A0001A</p>	<p>Foglio 52 di 85</p>

**ALLEGATI**

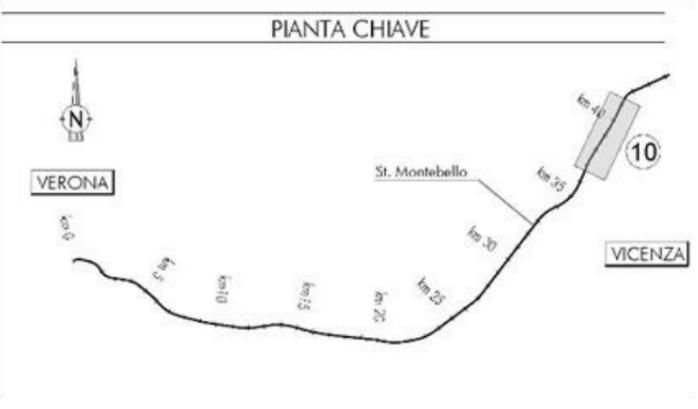
<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI72A0001A</p>	<p>Foglio 53 di 85</p>

## ALLEGATO 1 - STRATIGRAFIE



SCALA QUOTE 1:500  
SCALA DISTANZE 1:8000

Q.U.M. -22.30



- LEGENDA**
- Campagna indagini integrative PE**
- BH-PE-A Sondaggio a carotaggio continuo
  - BH-PZ-PE-A Sondaggio a carotaggio continuo con l'installazione di piezometro a tubo aperto a Casagrande
  - MASW-PE-A Indagini MASW
  - CPTU-PE-A Prova penetrometrica statica con piezometro
- Campagna indagini 2018 per CDS**
- Sondaggio geognostico
- Campagna indagini 2015**
- P1+P15, P20 Sondaggio a carotaggio continuo con installazione di Piezometro a Tubo Aperto (A)
  - P1+15Bis Foro a distribuzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C)
- Campagna indagini 2014**
- SP Sondaggio a carotaggio continuo
  - SP-A Sondaggio a carotaggio continuo (SP) con installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
  - SP-C Foro a distribuzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
  - CPTU Prova penetrometrica statica con piezometro (possibilità di avanzamento con trivellazione)
  - CPTU-A Prova penetrometrica statica con piezometro "tradizionale"
  - CH Foro a distribuzione di nucleo per esecuzione prove CROSS-HOLE
  - PE Pozzetto esplorativo a 1,5 m da p.c. con prove di carico su piastra
  - Profondità delle indagini
- Campagna indagini pregresse**
- MASS-PE-02 Sondaggio geognostico (campagna 1998)
  - MASS-PE-03 Sondaggio geognostico, numero di riferimento (campagna 2002)
  - CPTU-01 CPTU, numero di riferimento (campagna 2002)
  - 400000 Pozzo con stratigrafia, numero di riferimento (Dati ex Aziende Industriali Municipalizzate (VI) per gentile concessione Centro Idrico Novoledo s.r.l.)
- Classi dei terreni**
- 1 Riparto
  - 2 Limi argillosi e limi da compatte a molto compatte, generalmente sovraconsolidati
  - 3a Area con prevalenza di sabbie limose/ con limo e limi sabbiosi/ con sabbia, a comportamento drenato, da sciolti a mediamente addensati
  - 3b Area con prevalenza di limi argillosi e argille limose, da tenere a mediamente compatte, generalmente NC a debolmente OC
  - 3c Area di alternanza, sia in verticale che planimetrica, di materiali 3a e 3b
  - 4 Sabbie generalmente da debolmente limose a limose, da mediamente addensati a molto addensati
  - 6 Ghiaie, ghiaie con sabbie, con presenza locale di ciottoli, anche di grandi dimensioni (fino a 80/100mm)

- Asse di progetto**
- confine di Provincia**
- Confine Comunale**

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI72A0001</p>	<p>Foglio 55 di 85</p>

## ALLEGATO 2 - SONDAGGI





Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI72A0001A

Foglio  
57 di 85

SCHEDA DI SONDAGGIO		CANTIERE		CANTIERE	
PROFONDITÀ	PROFONDITÀ	PROFONDITÀ	PROFONDITÀ	PROFONDITÀ	PROFONDITÀ
0-10	0-10	0-10	0-10	0-10	0-10
10-20	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20
20-30	20-30	20-30	20-30	20-30	20-30
30-40	30-40	30-40	30-40	30-40	30-40
40-50	40-50	40-50	40-50	40-50	40-50
50-60	50-60	50-60	50-60	50-60	50-60
60-70	60-70	60-70	60-70	60-70	60-70
70-80	70-80	70-80	70-80	70-80	70-80
80-90	80-90	80-90	80-90	80-90	80-90
90-100	90-100	90-100	90-100	90-100	90-100

| MANOVRA DI CARICAMENTO |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 0%                     | 1%                     | 2%                     | 3%                     | 4%                     | 5%                     |
| 10                     | 12                     | 14                     | 16                     | 18                     | 20                     |
| 20                     | 22                     | 24                     | 26                     | 28                     | 30                     |
| 30                     | 32                     | 34                     | 36                     | 38                     | 40                     |
| 40                     | 42                     | 44                     | 46                     | 48                     | 50                     |
| 50                     | 52                     | 54                     | 56                     | 58                     | 60                     |
| 60                     | 62                     | 64                     | 66                     | 68                     | 70                     |
| 70                     | 72                     | 74                     | 76                     | 78                     | 80                     |
| 80                     | 82                     | 84                     | 86                     | 88                     | 90                     |
| 90                     | 92                     | 94                     | 96                     | 98                     | 100                    |









Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

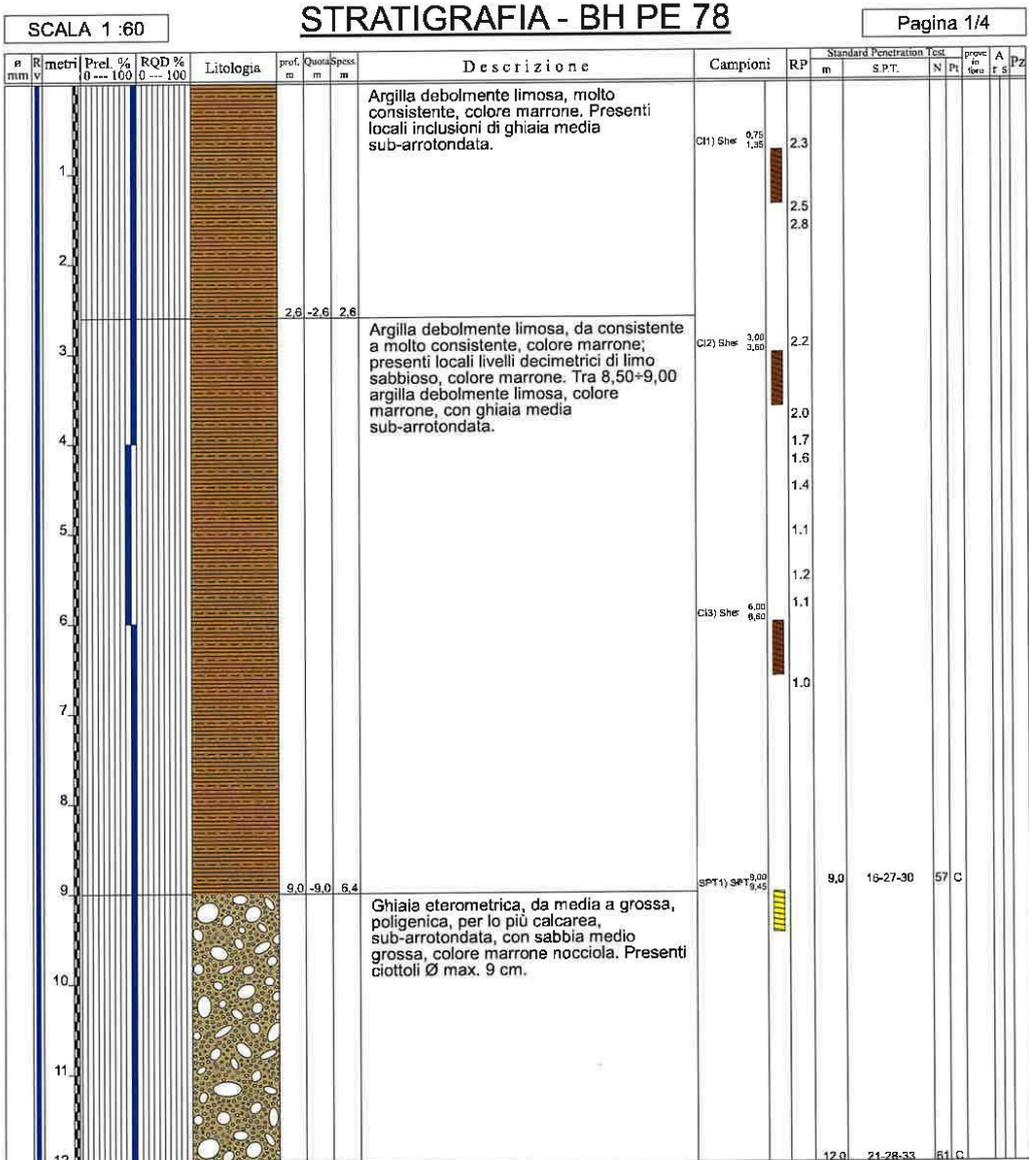
EI2RBRI72A0001A

Foglio

62 di 85



Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 78
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 25/11/2020 - 27/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: A 65, prog. 38+910	



Il Geologo di Cantiere  
dott.geol. Gabriele Sprocati

Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI72A0001A

Foglio  
63 di 85

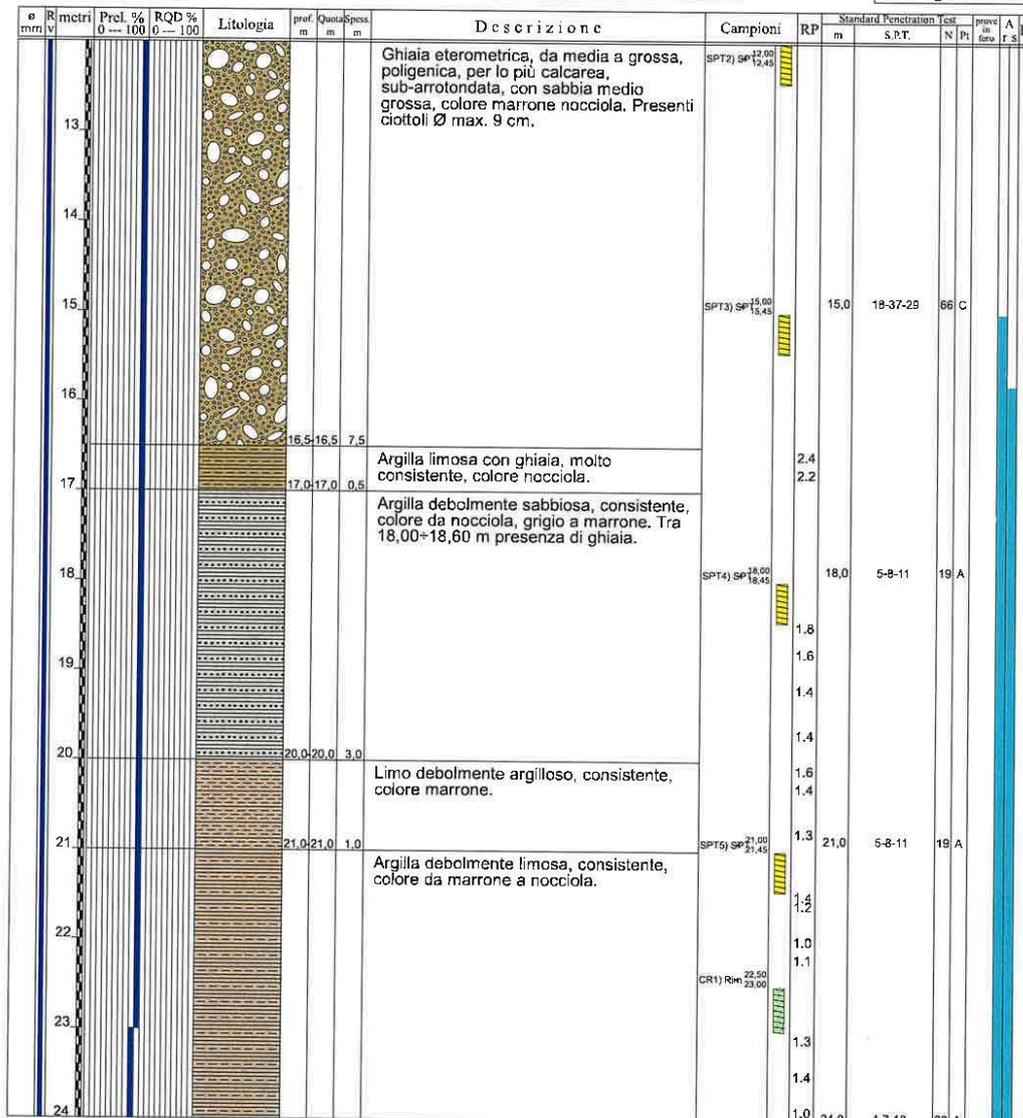


Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 78
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 25/11/2020 - 27/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: A 65, prog. 38+910	

SCALA 1:60

### STRATIGRAFIA - BH PE 78

Pagina 2/4



Il Geologo di Cantiere  
dott.geol. Gabriele Sprocati



Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI72A0001A

Foglio

65 di 85



Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 78
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 25/11/2020 - 27/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: A 65, prog. 38+910	

SCALA 1 :60

## STRATIGRAFIA - BH PE 78

Pagina 4/4

Prof. m	Rimetro	Prel. %	RQD %	Litologia	Descrizione	Campioni	RP	Standard Penetration Test		Cat.	prove in sito	A	Pz
								m	S.P.T.				
37,0					Ghiaia sabbioso-limosa, eterometrica, media e grossa, poligenica, da sub-arrotondata a sub-angolare, colore da marrone a nocciola; presenza di ciottoli Ø max. 10 cm.	SPT10) 36,00 32,45							
38,0													
39,0						SPT11) 39,00 38,45	39,0	25-19-22	41	C			
40,0													

Utilizzato carotiere semplice.  
Prelevati n. 3 campioni indisturbati.  
Prelevato n. 1 campione rimaneggiato.  
Prelevati n. 11 campioni rimaneggiati SPT.  
Eseguite n. 11 prove SPT.





<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI72A0001A</p>	<p>Foglio 68 di 85</p>

**ALLEGATO 3 - TABULATI DI CALCOLO PALI D = 600**

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI72A0001A	Foglio 69 di 85

\*\*\* P A L \*\*\*  
Programma per l'analisi della capacita' portante  
assiale di un palo di fondazione

(C) G.Guiducci - Studio SINTESI (RN - Italy)  
ottobre 2006

pag. 1

MURO RI72A - CURVE CAPACITA' PORTANTE  
Palo D=600mm SLE

Quota testa palo da p.c.	=	2.00 m
Quota falda da p.c.	=	1.00 m
Peso di volume del palo	=	6.00 kN/m <sup>3</sup>
Fattore di sicurezza portata laterale	=	1.00 (FS,l)
Fattore di sicurezza portata di base	=	1.00 (FS,b)

Elemento cilindrico,      Diametro fusto =      600. mm

Criterio per la determinazione della portata di base in uno strato "i"  
quando la  $Q_{b,i}$  ad esso attribuibile e' superiore a quella degli  
strati adiacenti:

La base del palo deve essere situata almeno:  $3.0 * .600 = 1.80$  m  
entro lo strato se quello sovrastante e' piu' debole

La base del palo deve essere situata almeno:  $3.0 * .600 = 1.80$  m  
sopra lo strato sottostante se esso e' piu' debole

La variazione di  $Q_b$  viene assunta lineare dal passaggio di strato

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI72A0001A	Foglio 70 di 85

pag. 2

MURO RI72A - CURVE CAPACITA' PORTANTE  
Palo D=600mm SLE

DEFINIZIONE PARAMETRI E CRITERI DI CALCOLO PER GLI STRATI DI TERRENO

Strato 1 "LA " (Coesivo) da .00 a 3.00 m

$$G_n = 19.0 \text{ kN/m}^3$$

$$G_e = 9.0 \text{ kN/m}^3$$

$$\tau = \alpha * C_u < 100.0 \text{ kPa}$$

Criterio  $\alpha(C_u)$  nel seguito

$$\tau > .23 * S'_v$$

$$Q_b = 9.0 * C_u$$

$$C_u \text{ variabile lin. da } 70.0 \text{ a } 70.0 \text{ kPa}$$

Strato 2 "LA " (Coesivo) da 3.00 a 10.00 m

$$G_n = 19.0 \text{ kN/m}^3$$

$$G_e = 9.0 \text{ kN/m}^3$$

$$\tau = \alpha * C_u < 100.0 \text{ kPa}$$

Criterio  $\alpha(C_u)$  nel seguito

$$\tau > .23 * S'_v$$

$$Q_b = 9.0 * C_u$$

$$C_u \text{ variabile lin. da } 50.0 \text{ a } 50.0 \text{ kPa}$$

Strato 3 "G " (Incoerente) da 10.00 a 15.00 m

$$G_n = 19.0 \text{ kN/m}^3$$

$$G_e = 9.0 \text{ kN/m}^3$$

$$\tau = \beta * S'_v < 150.0 \text{ kPa}$$

$$\beta = 2.00 - .147 Z^{.75}$$

Z = profondita da piano campagna

$$\tau > .25 * S'_v$$

$$\tau < 1.80 * S'_v$$

$$Q_b \text{ variabile lin. da } 2500. \text{ a } 2500. \text{ kPa}$$

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI72A0001A	Foglio 71 di 85

pag. 3

MURO RI72A - CURVE CAPACITA' PORTANTE  
Palo D=600mm SLE

DEFINIZIONE PARAMETRI E CRITERI DI CALCOLO PER GLI STRATI DI TERRENO

Strato 4 "LA " (Coesivo) da 15.00 a 25.00 m

$$G_n = 19.0 \text{ kN/m}^3$$

$$G_e = 9.0 \text{ kN/m}^3$$

$$\tau = \alpha * C_u < 100.0 \text{ kPa}$$

Criterio  $\alpha(C_u)$  nel seguito

$$\tau > .23 * S'_v$$

$$Q_b = 9.0 * C_u$$

$$C_u \text{ variabile lin. da } 80.0 \text{ a } 80.0 \text{ kPa}$$

Strato 5 "G " (Incoerente) da 25.00 a 30.00 m

$$G_n = 19.0 \text{ kN/m}^3$$

$$G_e = 9.0 \text{ kN/m}^3$$

$$\tau = \beta * S'_v < 150.0 \text{ kPa}$$

$$\beta = 2.00 - .147 Z^{.75}$$

Z = profondita da piano campagna

$$\tau > .25 * S'_v$$

$$\tau < 1.80 * S'_v$$

$$Q_b \text{ variabile lin. da } 3500. \text{ a } 3500. \text{ kPa}$$

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI72A0001A	Foglio 72 di 85

pag. 4

MURO RI72A - CURVE CAPACITA' PORTANTE  
Palo D=600mm SLE

MOLTIPLICATORI per i parametri di calcolo

strato	Molt. Tau	Molt. Qb	Molt. Cu
1 "LA "	1.00	1.00	1.00
2 "LA "	1.00	1.00	1.00
3 "G "	1.00	1.00	-
4 "LA "	1.00	1.00	1.00
5 "G "	1.00	1.00	-

NOTA: i moltiplicatori non influenzano le limitazioni superiori o inferiori dei parametri

Per terreni coesivi: Criterio  $\tau = \alpha * C_u$

Cu kPa	alfa
.0	.55
150.0	.55
250.0	.45
400.0	.45

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI72A0001A	Foglio 73 di 85

pag. 5

MURO RI72A - CURVE CAPACITA' PORTANTE  
Palo D=600mm SLE

STAMPA parametri per valutazione capacita' portante

zz m	S'v kPa	Sv kPa	Cu kPa	Tau/S'v -	Tau kPa	qb kPa
2.00	28.0	38.0	70.0	1.38	38.5	540.
2.50	32.5	47.5	70.0	1.18	38.5	495.
3.00	37.0	57.0	70.0	.89	33.0	450.
3.50	41.5	66.5	50.0	.66	27.5	450.
4.00	46.0	76.0	50.0	.60	27.5	450.
4.50	50.5	85.5	50.0	.54	27.5	450.
5.00	55.0	95.0	50.0	.50	27.5	450.
5.50	59.5	104.5	50.0	.46	27.5	450.
6.00	64.0	114.0	50.0	.43	27.5	450.
6.50	68.5	123.5	50.0	.40	27.5	450.
7.00	73.0	133.0	50.0	.38	27.5	450.
7.50	77.5	142.5	50.0	.35	27.5	450.
8.00	82.0	152.0	50.0	.34	27.5	450.
8.50	86.5	161.5	50.0	.32	27.5	450.
9.00	91.0	171.0	50.0	.30	27.5	450.
9.50	95.5	180.5	50.0	.29	27.5	450.
10.00	100.0	190.0	50.0	.72	72.4	450.
10.50	104.5	199.5	--	1.14	119.4	963.
11.00	109.0	209.0	--	1.11	121.2	1475.
11.50	113.5	218.5	--	1.08	122.8	1988.
12.00	118.0	228.0	--	1.05	124.2	2500.
12.50	122.5	237.5	--	1.02	125.3	2500.
13.00	127.0	247.0	--	.99	126.2	2500.
13.50	131.5	256.5	--	.96	126.9	2055.
14.00	136.0	266.0	--	.94	127.3	1610.
14.50	140.5	275.5	--	.91	127.5	1165.
15.00	145.0	285.0	--	.59	85.8	720.
15.50	149.5	294.5	80.0	.29	44.0	720.
16.00	154.0	304.0	80.0	.29	44.0	720.
16.50	158.5	313.5	80.0	.28	44.0	720.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI72A0001A	Foglio 74 di 85

pag. 6

MURO RI72A - CURVE CAPACITA' PORTANTE  
Palo D=600mm SLE

STAMPA parametri per valutazione capacita' portante

zz m	S'v kPa	Sv kPa	Cu kPa	Tau/S'v -	Tau kPa	qb kPa
17.00	163.0	323.0	80.0	.27	44.0	720.
17.50	167.5	332.5	80.0	.26	44.0	720.
18.00	172.0	342.0	80.0	.26	44.0	720.
18.50	176.5	351.5	80.0	.25	44.0	720.
19.00	181.0	361.0	80.0	.24	44.0	720.
19.50	185.5	370.5	80.0	.24	44.0	720.
20.00	190.0	380.0	80.0	.23	44.0	720.
20.50	194.5	389.5	80.0	.23	44.7	720.
21.00	199.0	399.0	80.0	.23	45.8	720.
21.50	203.5	408.5	80.0	.23	46.8	720.
22.00	208.0	418.0	80.0	.23	47.8	720.
22.50	212.5	427.5	80.0	.23	48.9	720.
23.00	217.0	437.0	80.0	.23	49.9	720.
23.50	221.5	446.5	80.0	.23	50.9	720.
24.00	226.0	456.0	80.0	.23	52.0	720.
24.50	230.5	465.5	80.0	.23	53.0	720.
25.00	235.0	475.0	80.0	.29	68.9	720.
25.50	239.5	484.5	--	.33	79.5	1415.
26.00	244.0	494.0	--	.31	75.0	2110.
26.50	248.5	503.5	--	.28	70.3	2805.
27.00	253.0	513.0	--	.26	65.5	3500.
27.50	257.5	522.5	--	.25	64.4	3500.
28.00	262.0	532.0	--	.25	65.5	3500.
28.50	266.5	541.5	--	.25	66.6	3500.
29.00	271.0	551.0	--	.25	67.8	3500.
29.50	275.5	560.5	--	.25	68.9	3500.
30.00	280.0	570.0	--	.25	70.0	3500.

zz = Profondita' da piano campagna  
S'v = Tensione verticale efficace  
Sv = Tensione verticale totale  
Cu = Coesione non drenata  
Tau = Tensione di adesione laterale limite  
qb = Portata di base limite unitaria

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI72A0001A	Foglio 75 di 85

pag. 7

MURO RI72A - CURVE CAPACITA' PORTANTE  
Palo D=600mm SLE

STAMPA capacita' portante e relativi contributi

Lp m	Ql1 kN	Qb1 kN	Wp kN	Qu kN	Qd kN
.00	0.	153.	0.	153.	153.
.50	36.	140.	1.	175.	175.
1.00	70.	127.	2.	196.	196.
1.50	98.	127.	3.	223.	223.
2.00	124.	127.	3.	248.	248.
2.50	150.	127.	4.	273.	273.
3.00	176.	127.	5.	298.	298.
3.50	202.	127.	6.	323.	323.
4.00	228.	127.	7.	349.	349.
4.50	254.	127.	8.	374.	374.
5.00	280.	127.	8.	399.	399.
5.50	306.	127.	9.	424.	424.
6.00	332.	127.	10.	449.	449.
6.50	358.	127.	11.	474.	474.
7.00	384.	127.	12.	499.	499.
7.50	410.	127.	13.	524.	524.
8.00	457.	127.	14.	570.	570.
8.50	547.	272.	14.	805.	805.
9.00	660.	417.	15.	1062.	1062.
9.50	775.	562.	16.	1321.	1321.
10.00	892.	707.	17.	1582.	1582.
10.50	1009.	707.	18.	1698.	1698.
11.00	1128.	707.	19.	1816.	1816.
11.50	1247.	581.	20.	1809.	1809.
12.00	1367.	455.	20.	1802.	1802.
12.50	1487.	329.	21.	1795.	1795.
13.00	1587.	204.	22.	1769.	1769.
13.50	1649.	204.	23.	1829.	1829.
14.00	1690.	204.	24.	1870.	1870.
14.50	1732.	204.	25.	1910.	1910.

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI72A0001A	Foglio 76 di 85

pag. 8

MURO RI72A - CURVE CAPACITA' PORTANTE  
Palo D=600mm SLE

STAMPA capacita' portante e relativi contributi

Lp m	Ql1 kN	Qb1 kN	Wp kN	Qu kN	Qd kN
15.00	1773.	204.	25.	1951.	1951.
15.50	1814.	204.	26.	1992.	1992.
16.00	1856.	204.	27.	2032.	2032.
16.50	1897.	204.	28.	2073.	2073.
17.00	1939.	204.	29.	2114.	2114.
17.50	1980.	204.	30.	2154.	2154.
18.00	2022.	204.	31.	2195.	2195.
18.50	2064.	204.	31.	2236.	2236.
19.00	2106.	204.	32.	2278.	2278.
19.50	2150.	204.	33.	2320.	2320.
20.00	2194.	204.	34.	2364.	2364.
20.50	2240.	204.	35.	2409.	2409.
21.00	2287.	204.	36.	2455.	2455.
21.50	2334.	204.	36.	2501.	2501.
22.00	2383.	204.	37.	2549.	2549.
22.50	2432.	204.	38.	2598.	2598.
23.00	2490.	204.	39.	2654.	2654.
23.50	2560.	400.	40.	2920.	2920.
24.00	2632.	597.	41.	3188.	3188.
24.50	2701.	793.	42.	3452.	3452.
25.00	2765.	990.	42.	3712.	3712.
25.50	2826.	990.	43.	3772.	3772.
26.00	2887.	990.	44.	3833.	3833.
26.50	2949.	990.	45.	3894.	3894.
27.00	3013.	990.	46.	3957.	3957.
27.50	3077.	990.	47.	4020.	4020.
28.00	3143.	990.	48.	4085.	4085.

Lp = Lunghezza utile del palo

Ql1 = Portata laterale limite

Qb1 = Portata di base limite

Wp = Peso efficace del palo

Qu = Portata totale limite

Qd = Portata di progetto =  $Ql1/FS,l + Qb1/FS,b - Wp$

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI72A0001A</p>	<p>Foglio 77 di 85</p>

**ALLEGATO 4 - TABULATI DI CALCOLO PALI D = 800**

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI72A0001A	Foglio 78 di 85

\*\*\* P A L \*\*\*  
Programma per l'analisi della capacita' portante  
assiale di un palo di fondazione

(C) G.Guiducci - Studio SINTESI (RN - Italy)  
ottobre 2006

pag. 1

MURO RI72A - CURVE CAPACITA' PORTANTE  
Palo D=800mm SLE

Quota testa palo da p.c.	=	2.00 m
Quota falda da p.c.	=	1.00 m
Peso di volume del palo	=	6.00 kN/m <sup>3</sup>
Fattore di sicurezza portata laterale	=	1.00 (FS,l)
Fattore di sicurezza portata di base	=	1.00 (FS,b)

Elemento cilindrico,      Diametro fusto =      800. mm

Criterio per la determinazione della portata di base in uno strato "i"  
quando la  $Q_{b,i}$  ad esso attribuibile e' superiore a quella degli  
strati adiacenti:

La base del palo deve essere situata almeno:  $3.0 * .800 = 2.40$  m  
entro lo strato se quello sovrastante e' piu' debole

La base del palo deve essere situata almeno:  $3.0 * .800 = 2.40$  m  
sopra lo strato sottostante se esso e' piu' debole

La variazione di  $Q_b$  viene assunta lineare dal passaggio di strato

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI72A0001A</p>	<p>Foglio 79 di 85</p>

pag. 2

MURO RI72A - CURVE CAPACITA' PORTANTE  
Palo D=800mm SLE

DEFINIZIONE PARAMETRI E CRITERI DI CALCOLO PER GLI STRATI DI TERRENO

Strato 1 "LA " (Coesivo) da .00 a 3.00 m

$$G_n = 19.0 \text{ kN/m}^3 \quad G_e = 9.0 \text{ kN/m}^3$$

$$\tau = \alpha * C_u < 100.0 \text{ kPa}$$

Criterio  $\alpha(C_u)$  nel seguito

$$\tau > .23 * S'v$$

$$Q_b = 9.0 * C_u$$

$$C_u \text{ variabile lin. da } 70.0 \text{ a } 70.0 \text{ kPa}$$

Strato 2 "LA " (Coesivo) da 3.00 a 10.00 m

$$G_n = 19.0 \text{ kN/m}^3 \quad G_e = 9.0 \text{ kN/m}^3$$

$$\tau = \alpha * C_u < 100.0 \text{ kPa}$$

Criterio  $\alpha(C_u)$  nel seguito

$$\tau > .23 * S'v$$

$$Q_b = 9.0 * C_u$$

$$C_u \text{ variabile lin. da } 50.0 \text{ a } 50.0 \text{ kPa}$$

Strato 3 "G " (Incoerente) da 10.00 a 15.00 m

$$G_n = 19.0 \text{ kN/m}^3 \quad G_e = 9.0 \text{ kN/m}^3$$

$$\tau = \beta * S'v < 150.0 \text{ kPa}$$

$$\beta = 2.00 - .147 Z^{.75}$$

$Z$  = profondita da piano campagna

$$\tau > .25 * S'v$$

$$\tau < 1.80 * S'v$$

$$Q_b \text{ variabile lin. da } 2500. \text{ a } 2500. \text{ kPa}$$

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI72A0001A	Foglio 80 di 85

pag. 3

MURO RI72A - CURVE CAPACITA' PORTANTE  
Palo D=800mm SLE

DEFINIZIONE PARAMETRI E CRITERI DI CALCOLO PER GLI STRATI DI TERRENO

Strato 4 "LA " (Coesivo) da 15.00 a 25.00 m

$$G_n = 19.0 \text{ kN/m}^3 \quad G_e = 9.0 \text{ kN/m}^3$$

$$\tau = \alpha * C_u < 100.0 \text{ kPa}$$

Criterio  $\alpha(C_u)$  nel seguito

$$\tau > .23 * S'v$$

$$Q_b = 9.0 * C_u$$

$$C_u \text{ variabile lin. da } 80.0 \text{ a } 80.0 \text{ kPa}$$

Strato 5 "G " (Incoerente) da 25.00 a 30.00 m

$$G_n = 19.0 \text{ kN/m}^3 \quad G_e = 9.0 \text{ kN/m}^3$$

$$\tau = \beta * S'v < 150.0 \text{ kPa}$$

$$\beta = 2.00 - .147 Z^{.75}$$

$Z$  = profondita da piano campagna

$$\tau > .25 * S'v$$

$$\tau < 1.80 * S'v$$

$$Q_b \text{ variabile lin. da } 3500. \text{ a } 3500. \text{ kPa}$$

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI72A0001A	Foglio 81 di 85

pag. 4

MURO RI72A - CURVE CAPACITA' PORTANTE  
Palo D=800mm SLE

MOLTIPLICATORI per i parametri di calcolo

strato	Molt. Tau	Molt. Qb	Molt. Cu
1 "LA "	1.00	1.00	1.00
2 "LA "	1.00	1.00	1.00
3 "G "	1.00	1.00	-
4 "LA "	1.00	1.00	1.00
5 "G "	1.00	1.00	-

NOTA: i moltiplicatori non influenzano le limitazioni superiori o inferiori dei parametri

Per terreni coesivi: Criterio  $\tau = \alpha * C_u$

Cu kPa	alfa
.0	.55
150.0	.55
250.0	.45
400.0	.45

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI72A0001A	Foglio 82 di 85

pag. 5

MURO RI72A - CURVE CAPACITA' PORTANTE  
Palo D=800mm SLE

STAMPA parametri per valutazione capacita' portante

zz	S'v	Sv	Cu	Tau/S'v	Tau	qb
m	kPa	kPa	kPa	-	kPa	kPa
2.00	28.0	38.0	70.0	1.38	38.5	522.
2.50	32.5	47.5	70.0	1.18	38.5	486.
3.00	37.0	57.0	70.0	.89	33.0	450.
3.50	41.5	66.5	50.0	.66	27.5	450.
4.00	46.0	76.0	50.0	.60	27.5	450.
4.50	50.5	85.5	50.0	.54	27.5	450.
5.00	55.0	95.0	50.0	.50	27.5	450.
5.50	59.5	104.5	50.0	.46	27.5	450.
6.00	64.0	114.0	50.0	.43	27.5	450.
6.50	68.5	123.5	50.0	.40	27.5	450.
7.00	73.0	133.0	50.0	.38	27.5	450.
7.50	77.5	142.5	50.0	.35	27.5	450.
8.00	82.0	152.0	50.0	.34	27.5	450.
8.50	86.5	161.5	50.0	.32	27.5	450.
9.00	91.0	171.0	50.0	.30	27.5	450.
9.50	95.5	180.5	50.0	.29	27.5	450.
10.00	100.0	190.0	50.0	.72	72.4	450.
10.50	104.5	199.5	--	1.14	119.4	860.
11.00	109.0	209.0	--	1.11	121.2	1270.
11.50	113.5	218.5	--	1.08	122.8	1680.
12.00	118.0	228.0	--	1.05	124.2	2090.
12.50	122.5	237.5	--	1.02	125.3	2500.
13.00	127.0	247.0	--	.99	126.2	2144.
13.50	131.5	256.5	--	.96	126.9	1788.
14.00	136.0	266.0	--	.94	127.3	1432.
14.50	140.5	275.5	--	.91	127.5	1076.
15.00	145.0	285.0	--	.59	85.8	720.
15.50	149.5	294.5	80.0	.29	44.0	720.
16.00	154.0	304.0	80.0	.29	44.0	720.
16.50	158.5	313.5	80.0	.28	44.0	720.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI72A0001A	Foglio 83 di 85

pag. 6

MURO RI72A - CURVE CAPACITA' PORTANTE  
Palo D=800mm SLE

STAMPA parametri per valutazione capacita' portante

zz	S'v	Sv	Cu	Tau/S'v	Tau	qb
m	kPa	kPa	kPa	-	kPa	kPa
17.00	163.0	323.0	80.0	.27	44.0	720.
17.50	167.5	332.5	80.0	.26	44.0	720.
18.00	172.0	342.0	80.0	.26	44.0	720.
18.50	176.5	351.5	80.0	.25	44.0	720.
19.00	181.0	361.0	80.0	.24	44.0	720.
19.50	185.5	370.5	80.0	.24	44.0	720.
20.00	190.0	380.0	80.0	.23	44.0	720.
20.50	194.5	389.5	80.0	.23	44.7	720.
21.00	199.0	399.0	80.0	.23	45.8	720.
21.50	203.5	408.5	80.0	.23	46.8	720.
22.00	208.0	418.0	80.0	.23	47.8	720.
22.50	212.5	427.5	80.0	.23	48.9	720.
23.00	217.0	437.0	80.0	.23	49.9	720.
23.50	221.5	446.5	80.0	.23	50.9	720.
24.00	226.0	456.0	80.0	.23	52.0	720.
24.50	230.5	465.5	80.0	.23	53.0	720.
25.00	235.0	475.0	80.0	.29	68.9	720.
25.50	239.5	484.5	--	.33	79.5	1276.
26.00	244.0	494.0	--	.31	75.0	1832.
26.50	248.5	503.5	--	.28	70.3	2388.
27.00	253.0	513.0	--	.26	65.5	2944.
27.50	257.5	522.5	--	.25	64.4	3500.
28.00	262.0	532.0	--	.25	65.5	3500.
28.50	266.5	541.5	--	.25	66.6	3500.
29.00	271.0	551.0	--	.25	67.8	3500.
29.50	275.5	560.5	--	.25	68.9	3500.
30.00	280.0	570.0	--	.25	70.0	3500.

zz = Profondita' da piano campagna  
S'v = Tensione verticale efficace  
Sv = Tensione verticale totale  
Cu = Coesione non drenata  
Tau = Tensione di adesione laterale limite  
qb = Portata di base limite unitaria

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI72A0001A	Foglio 84 di 85

pag. 7

MURO RI72A - CURVE CAPACITA' PORTANTE  
Palo D=800mm SLE

STAMPA capacita' portante e relativi contributi

Lp m	Q11 kN	Qb1 kN	Wp kN	Qu kN	Qd kN
.00	0.	262.	0.	262.	262.
.50	48.	244.	2.	291.	291.
1.00	93.	226.	3.	316.	316.
1.50	131.	226.	5.	353.	353.
2.00	166.	226.	6.	386.	386.
2.50	200.	226.	8.	419.	419.
3.00	235.	226.	9.	452.	452.
3.50	270.	226.	11.	485.	485.
4.00	304.	226.	12.	518.	518.
4.50	339.	226.	14.	551.	551.
5.00	373.	226.	15.	584.	584.
5.50	408.	226.	17.	617.	617.
6.00	442.	226.	18.	650.	650.
6.50	477.	226.	20.	683.	683.
7.00	511.	226.	21.	717.	717.
7.50	546.	226.	23.	750.	750.
8.00	609.	226.	24.	811.	811.
8.50	729.	432.	26.	1136.	1136.
9.00	880.	638.	27.	1492.	1492.
9.50	1034.	844.	29.	1850.	1850.
10.00	1189.	1051.	30.	2209.	2209.
10.50	1346.	1257.	32.	2571.	2571.
11.00	1504.	1078.	33.	2548.	2548.
11.50	1663.	899.	35.	2527.	2527.
12.00	1822.	720.	36.	2506.	2506.
12.50	1983.	541.	38.	2486.	2486.
13.00	2117.	362.	39.	2439.	2439.
13.50	2198.	362.	41.	2519.	2519.
14.00	2253.	362.	42.	2573.	2573.
14.50	2309.	362.	44.	2627.	2627.

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal Km 38+420,83 al Km 38+725,00 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI72A0001A	Foglio 85 di 85

pag. 8

MURO RI72A - CURVE CAPACITA' PORTANTE  
Palo D=800mm SLE

STAMPA capacita' portante e relativi contributi

Lp m	Ql1 kN	Qb1 kN	Wp kN	Qu kN	Qd kN
15.00	2364.	362.	45.	2681.	2681.
15.50	2419.	362.	47.	2734.	2734.
16.00	2475.	362.	48.	2788.	2788.
16.50	2530.	362.	50.	2842.	2842.
17.00	2585.	362.	51.	2896.	2896.
17.50	2640.	362.	53.	2950.	2950.
18.00	2696.	362.	54.	3003.	3003.
18.50	2751.	362.	56.	3058.	3058.
19.00	2808.	362.	57.	3113.	3113.
19.50	2867.	362.	59.	3170.	3170.
20.00	2926.	362.	60.	3228.	3228.
20.50	2987.	362.	62.	3287.	3287.
21.00	3049.	362.	63.	3347.	3347.
21.50	3112.	362.	65.	3409.	3409.
22.00	3177.	362.	66.	3472.	3472.
22.50	3243.	362.	68.	3537.	3537.
23.00	3319.	362.	69.	3612.	3612.
23.50	3413.	641.	71.	3983.	3983.
24.00	3510.	921.	72.	4358.	4358.
24.50	3601.	1200.	74.	4728.	4728.
25.00	3686.	1480.	75.	5091.	5091.
25.50	3768.	1759.	77.	5450.	5450.
26.00	3850.	1759.	78.	5531.	5531.
26.50	3933.	1759.	80.	5612.	5612.
27.00	4017.	1759.	81.	5695.	5695.
27.50	4103.	1759.	83.	5779.	5779.
28.00	4190.	1759.	84.	5865.	5865.

Lp = Lunghezza utile del palo

Ql1 = Portata laterale limite

Qb1 = Portata di base limite

Wp = Peso efficace del palo

Qu = Portata totale limite

Qd = Portata di progetto =  $Ql1/FS,l + Qb1/FS,b - Wp$