

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: J81H02000000001

U.O. INFRASTRUTTURE NORD

PROGETTO DEFINITIVO

**COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA - LA SPEZIA
(PONTREMOLESE)**

TRATTA PARMA - VICOFERTILE

**GEOTECNICA
RELAZIONE GEOTECNICA**

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

I P 0 0 0 0 0 D 2 6 R G G E 0 0 0 0 0 0 0 1 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Definitiva	P. Cucino	Febbraio 2022	P. Scarano <i>P. Scarano</i>	Febbraio 2022	G. Fadda <i>G. Fadda</i>	Febbraio 2022	A. PEREGO Febbraio 2022
B	Emissione Definitiva	P. Cucino	Aprile 2022	P. Scarano <i>P. Scarano</i>	Aprile 2022	G. Fadda <i>G. Fadda</i>	Aprile 2022	A. PEREGO Aprile 2022

File:IP0000D26RGGE0000001B

n. Elab.:

INDICE

PREMESSA	7
1 INTRODUZIONE.....	8
2 NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	9
2.1 DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO	9
2.2 NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO	11
2.3 BIBLIOGRAFIA.....	11
3 DESCRIZIONE DEL TRACCIATO	16
4 CAMPAGNE D'INDAGINE	18
4.1 INDAGINI ESEGUITE A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO	18
5 PROFILO FREATICO	21
5.1 MONITORAGGIO PIEZOMETRICO	21
6 CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	29
6.1 GENERALITÀ	29
6.2 MATERIALI A GRANA FINE	29
6.2.1 <i>Classificazione</i>	29
6.2.2 <i>Stato tensionale iniziale</i>	33
6.2.3 <i>Resistenza al taglio in condizioni non drenate</i>	34
6.2.3.1 Prove di laboratorio	35
6.2.3.2 Valutazione di c_u da prove SPT.....	35
6.2.4 <i>Parametri di resistenza al taglio in termini di sforzi efficaci</i>	35
6.2.5 <i>Caratteristiche di deformabilità</i>	35
6.2.5.1 Moduli elastici iniziali	35
6.2.5.2 Moduli elastici iniziali da prove SPT	36
6.2.5.3 Moduli elastici "operativi" in condizioni drenate	36
6.2.5.4 Moduli elastici "operativi" in condizioni non drenate	38
6.2.5.5 Moduli di reazione orizzontale alla Matlock & Reese (1960).....	39
6.2.6 <i>Coefficienti di permeabilità e di consolidazione primaria e secondaria</i>	39
6.3 MATERIALI A GRANA GROSSA	40

6.3.1	<i>Stato iniziale del deposito</i>	41
6.3.2	<i>Densità relativa</i>	42
6.3.2.1	Densità relativa dalle prove penetrometriche dinamiche in sabbia, SPT.....	42
6.3.3	<i>Angolo di resistenza al taglio</i>	43
6.3.4	<i>Caratteristiche di deformabilità</i>	45
6.3.4.1	Moduli elastici iniziali	45
6.3.4.2	Moduli elastici iniziali da prove SPT	45
6.3.4.3	Moduli elastici "operativi"	46
6.3.4.4	Moduli di reazione orizzontale alla Matlock & Reese (1960).....	49
6.3.5	<i>Coefficienti di permeabilità</i>	50
7	QUADRO DI RIFERIMENTO GEOLOGICO-GEOTECNICO	52
7.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	52
7.2	ASSETTO STRUTTURALE	53
7.3	ELEMENTI DI GEOMORFOLOGIA	55
7.4	MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO	55
7.5	PROFILO GEOLOGICO-GEOTECNICO: UNITÀ LITOTECNICHE	58
7.6	PROFILO GEOLOGICO IN ASSE AL TRACCIATO	61
8	CARATTERIZZAZIONE DELLE UNITA' STRATIGRAFICHE GEOTECNICHE	63
8.1	UNITÀ GEOTECNICA A1 (L)	63
8.1.1	<i>Generale</i>	63
8.1.2	<i>Risultati ed interpretazione delle prove in sito</i>	63
8.1.3	<i>Risultati ed interpretazione delle prove di laboratorio</i>	72
8.2	UNITA' GEOTECNICA A2 (G)	85
8.2.1	<i>Generale</i>	85
8.2.2	<i>Risultati ed interpretazione delle prove in sito</i>	85
8.3	UNITA' GEOTECNICA A3 (S)	93
8.3.1	<i>Generale</i>	93
8.3.2	<i>Risultati ed interpretazione delle prove in sito</i>	93
8.4	PERMEABILITA'	99

8.5	DEFINIZIONE DEI PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO	103
9	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TRACCIATO	106
9.1	TRATTA 1 – DAL KM 0+000 AL KM 1+034.....	107
9.2	TRATTA 2 – DAL KM 1+034 AL KM 1+550.....	108
9.3	TRATTA 3 – DAL KM 1+550 AL KM 2+850.....	109
9.4	TRATTA 4 – DAL KM 2+850 AL KM 3+250.....	110
9.5	TRATTA 5 – DAL KM 3+250 AL KM 3+900.....	111
9.6	TRATTA 6 – DAL KM 3+900 AL KM 4+150.....	112
9.7	TRATTA 7 – DAL KM 4+150 AL KM 5+250.....	113
9.8	TRATTA 8 – DAL KM 5+250 AL KM 5+900.....	114
9.9	TRATTA 9 – DAL KM 5+900 AL KM 6+500.....	115
9.10	TRATTA 10 – DAL KM 6+500 AL KM 6+800.....	116
9.11	TRATTA 11 – DAL KM 6+800 AL KM 7+250.....	117
9.12	TRATTA 12 – DAL KM 7+250 AL KM 7+800.....	118
9.13	TRATTA 13 – DAL KM 7+800 AL KM 8+100.....	119
10	POSSIBILE RIUTILIZZO DEL MATERIALE PROVENIENTE DAGLI SCAVI	120
10.1	CLASSIFICAZIONE DEL MATERIALE SCAVATO.....	120
10.2	VERIFICA PER IL POSSIBILE RIUTILIZZO DEL MATERIALE CON TRATTAMENTO A CALCE	122
11	ACCELERAZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO PER LE VERIFICHE GEOTECNICHE	124
11.1	VITA NOMINALE, CLASSE D'USO, PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA	124
11.2	SISMICITÀ STORICA	132
11.3	MAGNITUDO DI RIFERIMENTO	133
11.4	PARAMETRI PER LA DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO	135
11.4.1	<i>Categorie di sottosuolo</i>	136
11.4.2	<i>Condizioni topografiche</i>	138
12	ANALISI DI SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE	139

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IP00	00	D26RG	GE0000 001	B	5 di 225

12.1	GENERALITÀ	139
12.2	CONDIZIONI DI ESCLUSIONE DA VERIFICA A LIQUEFAZIONE	140
12.3	PERICOLOSITÀ SISMICA E MAGNITUDO.....	141
12.4	PERICOLOSITÀ SISMICA E MAGNITUDO.....	146
12.5	METODO DI ANALISI	150
12.5.1	<i>CRR da correlazioni su prove SPT.....</i>	<i>151</i>
12.5.2	<i>Calcolo del fattore di sicurezza.....</i>	<i>155</i>
12.5.3	<i>Indice di potenziale di liquefazione.....</i>	<i>155</i>
12.6	SINTESI DEI RISULTATI DELLE VERIFICHE A LIQUEFAZIONE	156
13	OPERE D'ARTE MAGGIORI.....	171
13.1	GENERALITÀ	171
13.2	PIAZZALE CABINA TE (FA02).....	174
13.3	ACCESSO CABINA TE (NV01).....	176
13.4	PES BD IMBOCCO NORD (FA03)	178
13.5	RIPROFILATURA VIA DEI MERCATI (NV02).....	180
13.6	GALLERIA ARTIFICIALE BD (GA01)	182
13.7	GALLERIA ARTIFICIALE BP (GA02)	184
13.8	SCATOLARE A SPINTA (GA03).....	186
13.9	GALLERIA ARTIFICIALE BP (GA04)	188
13.10	SIFONE CANALE ABBEVERATOIA (IN01).	190
13.11	IMPIANTO DI SOLLEVAMENTO (IN71).....	192
13.12	DOPPIO BINARIO (GA06).....	194
13.13	SEZIONE ALLARGATA (GA07)	198
13.14	DOPPIO BINARIO (GA08).....	201
13.15	SIFONE CAVO VIA CAVA (IN02)	203
13.16	RIPROFILATURA VIA VALERA DI SOPRA (NV03).....	205

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IP00	00	D26RG	GE0000 001	B	6 di 225

13.17	IMPIANTO DI SOLLEVAMENTO (IN72)	207
13.18	CAVALCAFERROVIA (GA09).....	209
13.19	DEVIAZIONE VIA VOLTURNO (NV04)	212
13.20	INTERFERENZA NAVILE DEL TARO (IN03)	214
13.21	CAVALCAVIA TANGENZIALE OVEST (SL 01)	216
13.22	SCATOLARE TORRENTE MARETTO (SL02).....	218
13.23	INTERFERENZA CAVO MARETTO (IN11).....	220
13.24	CAVALCAVIA STRADA BERGONZI (SL03)	222
13.25	CAVALCAVIA VIA ROMA (SL04).....	224

PREMESSA

Oggetto della presente relazione è la presentazione delle opere geologico-geotecniche per il progetto definitivo del raddoppio della linea Parma-La Spezia nella tratta Parma-Vicofertile.

Questo documento illustra lo studio geologico-geotecnico definitivo relativo al progetto di completamento del raddoppio della linea Pontremolese, tratta Parma – Osteriazza, Lotto 10.

In particolare, il presente studio prende in esame la tratta compresa tra la città di Parma e la stazione di Vicofertile (PR).

La tratta esaminata, della lunghezza complessiva di circa 7 Km, percorre per la maggior parte la pianura alluvionale presente a sud di Parma.

La presente relazione mette in evidenza le caratteristiche geotecniche dell'area in esame.

Si è proceduto inoltre alla caratterizzazione geotecnica e geomeccanica dei terreni presenti lungo la tratta in esame ai fini della progettazione e del dimensionamento degli interventi in progetto.

Il presente studio è stato pertanto condotto sulla base del rilevamento geologico, geomorfologico, idrogeologico e geomeccanico di campagna e dell'indagine aerofotointerpretativa effettuati nel periodo 2008/2009, supportato ed integrato dalle risultanze delle indagini geognostiche in sito e di laboratorio realizzate nell'ambito della campagna indagini ITALFERR 2008/2009, nonché dai dati disponibili da campagne di indagine pregresse per l'area in esame (campagna ITALFERR 2002/2003 a supporto del progetto preliminare di completamento del raddoppio della linea Pontremolese, tratta Parma - Osteriazza, campagna RFI 2004/2005 per le opere trasversali di attraversamento della linea ferroviaria). Oltre a tutti questi studi, per questo studio vengono utilizzate anche le perforazioni e le campagne geofisiche eseguite nel 2021.

1 INTRODUZIONE

Il presente documento definisce il modello geotecnico del sottosuolo da adottare nell'ambito del Progetto Definitivo del raddoppio ferroviario della linea Parma-La Spezia nella tratta Parma-Vicofertile.

Nello specifico, oggetto di questa relazione è la caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione incontrati lungo il tracciato con la definizione delle stratigrafie e dei parametri geotecnici di progetto finalizzati al progetto definitivo dei rilevati, delle trincee e delle fondazioni delle opere d'arte principali previste nell'ambito del raddoppio ferroviario.

La relazione si articola come segue:

- il capitolo 2 elenca i documenti, le normative e la bibliografia di riferimento;
- il capitolo 3 riporta una breve descrizione del tracciato in esame;
- il capitolo 4 riporta una sintesi delle indagini geotecniche di sito e di laboratorio disponibili ai fini della presente caratterizzazione;
- il capitolo 5 riporta una sintesi delle letture piezometriche
- il capitolo 6 descrive i criteri di interpretazione delle indagini geotecniche;
- il capitolo 7 riporta il quadro di riferimento geologico e definisce le unità geotecniche incontrate lungo la tratta in esame;
- il capitolo 8 riporta la caratterizzazione geotecnica dei terreni quale risulta dall'interpretazione delle indagini;
- il capitolo 9 riporta una suddivisione del tracciato in tratte omogenee per stratigrafia e vengono qui riportati i parametri geotecnici di riferimento delle unità geotecniche per ogni tratta;
- il capitolo 10 definisce il possibile riutilizzo del materiale proveniente dagli scavi;
- il capitolo 11 definisce l'accelerazione sismica di riferimento per il progetto;
- il capitolo 12 riporta la valutazione della stabilità del sito nei confronti della liquefazione;
- il capitolo 13 riporta le schede geotecniche delle principali opere ferroviarie e stradali, ubicate lungo il tracciato in oggetto;

2 **NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

2.1 **DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO**

- [1] ITALFERR – Progetto Definitivo - Linea: Parma La Spezia Completamento Raddoppio Linea Pontremolese Tratta Parma-Osteriazza – Prove Geotechniche di Laboratorio (Doc.L05310D69PRGE0005001A)
- [2] ITALFERR – Progetto Definitivo – Linea: Parma La Spezia Completamento Raddoppio Linea Pontremolese Tratta Parma-Vicofertile – Relazione Geologica, Geomorfologica, Idrogeologica Allegato 2 – Misure Piezometriche (Doc.L05311D69RGGE0001001A)
- [3] ITALFERR – Progetto Definitivo – Linea: Parma La Spezia Completamento Raddoppio Linea Pontremolese Tratta Parma-Osteriazza – Indagini Geognostiche: – Stratigrafie – Prove In Foro – Documentazione Fotografica (Doc.L05310D69SGGE0005001A)
- [4] ITALFERR – Progetto Definitivo – Completamento Raddoppio Linea Parma La Spezia (Pontremolese) CUP J81H02000000001 Tratta Parma-Vicofertile E Adeguamento Funzionale Della Stazione Di Parma – Relazione Geologica, Geomorfologica, Idrogeologica (Doc.L05311D69RGGE0001001C)
- [5] ITALFERR – Progetto Definitivo – Completamento Raddoppio Linea Parma – La Spezia (Pontremolese) Cup J81H02000000001– Tratta Parma – Vicofertile - Relazioni Geotecnica (Doc.LO5311D29RBOC0001001A)
- [6] ITALFERR – Progetto Definitivo – Completamento Raddoppio Linea Parma – La Spezia (Pontremolese) Tratta Parma - Vicofertile – Indagini Geognostiche (Doc.IP0000D69SGGE0005001A)
- [7] ITALFERR – Progetto Definitivo – Linea: Parma La Spezia Completamento Raddoppio Linea Pontremolese Tratta Parma-Osteriazza – Indagini Geofisiche – Profili Sismici A Rifrazione – Prova Cross Hole (Doc.L05310D69IGGE0005001A)
- [8] ITALFERR – Progetto Definitivo – GEOTECNICA – COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA - LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA – VICOFERTILE – PROFILO LONGITUDINALE LINEA FERROVIARIA - TAV. 1/6 (Doc.IP0000D26F7GE0000001A)

- [9] ITAFERR – Progetto Definitivo – GEOTECNICA – COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA - LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA – VICOFERTILE – PROFILO LONGITUDINALE LINEA FERROVIARIA - TAV. 2/6 (Doc.IP0000D26F7GE0000002A)
- [10] ITAFERR – Progetto Definitivo – GEOTECNICA – COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA - LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA – VICOFERTILE – PROFILO LONGITUDINALE LINEA FERROVIARIA - TAV. 3/6 (Doc.IP0000D26F7GE0000003A)
- [11] ITAFERR – Progetto Definitivo – GEOTECNICA – COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA - LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA – VICOFERTILE – PROFILO LONGITUDINALE LINEA FERROVIARIA - TAV. 4/6 (Doc.IP0000D26F7GE0000004A)
- [12] ITAFERR – Progetto Definitivo – GEOTECNICA – COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA - LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA – VICOFERTILE – PROFILO LONGITUDINALE LINEA FERROVIARIA - TAV. 5/6 (Doc.IP0000D26F7GE0000005A)
- [13] ITAFERR – Progetto Definitivo – GEOTECNICA – COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA - LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA – VICOFERTILE – PROFILO LONGITUDINALE LINEA FERROVIARIA - TAV. 6/6 (Doc.IP0000D26F7GE0000006A)
- [14] ITAFERR – Progetto Definitivo – COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA – VICOFERTILE- RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA (Doc No. IP0000D69RGGE0001001A)
- [15] ITAFERR – Progetto Definitivo – COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA – VICOFERTILE- GEOLOGICA – CARTA GEOLOGICA CON ELEMENTI DI GEOMORFOLOGIA E PROFILO GEOLOGICO – TAV. 1-5 (Doc No. IP0000R69L6GE0001001A, IP0000R69L6GE0001002A, IP0000R69L6GE0001003A, IP0000R69L6GE0001004A, IP0000R69L6GE0001005A)
- [16] ITAFERR – Progetto Definitivo – COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA – VICOFERTILE- INDAGINI GEOFISICHE (P0000D69IGGE0005001A)

2.2 NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO

- [17] Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018: “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, G.U. n.29 del 20.2.2018, Supplemento Ordinario n.30.
- [18] Circolare del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21 gennaio 2019, n. 7 del Consiglio superiore dei Lavori Pubblici recante “Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”
- [19] IL MANUALE DI PROGETTAZIONE DA UTILIZZARE PER LO STUDIO IN ESAME È: RFI DTC SI MA IFS 001 E DEL 31.12.2020 - "MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI"
- [20] 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, modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N°2019/776 della Commissione del 16 Maggio 2019
- [21] UNI EN 1997-1 : Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- [22] UNI EN 1998-5 : Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.
- [23] AGI (1977) Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche.
- [24] AGI (2005) Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica. Linee guida.

2.3 BIBLIOGRAFIA

- [25] Andrus, RD, NP Mohanan, P Piratheepan, BS Ellis, and TL Holzer (2007). Predicting shear-wave velocity from cone penetration resistance, Proc., 4th Inter. Conf. on Earthq. Geotech. Eng., Thessaloniki, Greece.
- [26] Baldi G., Jamiolkowski M., Lo Presti D.C.F., Manfredini G., Rix G.J. (1989) “Italian experiences in assessing shear wave velocity from CPT and SPT” Earthquake Geotechnical Engineering, Proc. of Discussion Session on Influence of Local Conditions on Seismic Response, 12th Int. Conf. on S.M.F.E., Rio de Janeiro, Brasil, pp. 157-168.
- [27] Balmer G. (1952) “A general analytical solution for Mohr’s envelope” ASTM, 52.

- [28] Bieniawski Z.T. (1989) "Engineering Rock Mass Classifications" New York, John Wiley & Sons.
- [29] Bolton (1986) "The strength and dilatancy of sands" *Geotechnique* 36 , n° 1.
- [30] Boulanger, R. W. and Idriss, I. M. (2004). State normalization of penetration resistances and the effect of overburden stress on liquefaction resistance, in *Proceedings, 11th International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering, and 3rd International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering*, D. Doolin et al., eds., Stallion Press, Vol. 2, pp. 484–91.
- [31] Brown E.T., Hoek E. (1988) "Discussion on paper n° 20431 by R. Ucae entitled "Determination of shear failure envelope in rock masses" *Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE*, vol. 114, n° 3.
- [32] Burland, J.B. (1990). On the compressibility and shear strength of natural clays. *Géotechnique* 40, n° 3, 329-378.
- [33] Clayton C.R.I. (1995) "The Standard Penetration Test (SPT): Methods and use" CIRIA Report n° 143, 1995.
- [34] Cubrinowski M., Ishihara K. (1999) "Empirical correlation between SPT N-value and relative density for sandy soils" *Soils and Foundations*, vol. 39, n° 5, pp. 61-71.
- [35] Durgunoglu H.T., Mitchell J.K. (1975) "Static penetration resistance of soils, I -Analyses, II - Evaluation of the theory and interpretation for practice" *ASCE Specialty Conference on in Situ Measurements of Soil Properties*, Raleigh NC, V.I..
- [36] Fahey M. (1992) "Shear modulus of cohesionless soil: variation with stress and strain level" *Canadian Geotechnical Journal*, n°30.
- [37] Hoek E., Brown E.T. (1980) "Underground excavations in rock" London, Institution of Mining and Metallurgy.
- [38] Hoek E. (1983) "Strength of jointed rock masses" *Géotechnique*, 33, n° 3.
- [39] Hoek E., Brown E.T. (1988) "The Hoek-Brown failure criterion – A 1988 update" *Proc. of 15th Canadian Rock Mechanics Symposium*, Toronto, Canada.
- [40] Hoek E. (1990) "Estimating Mohr-Coulomb friction and cohesion values from the Hoek-Brown failure criterion" *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 27.

- [41] Hoek E., Wood D., Shah S. (1992) "A modified Hoek-Brown failure criterions for jointed rock masses" Proc. Int. ISRM Symposium on Rock Characterisation, EUROCK'92, Chester, United Kingdom.
- [42] Hoek E., Kaiser P.K., Bawden W.F. (1997) "Support of underground excavations in hard rock" Rotterdam, A.A. Balkema.
- [43] Hoek E., Marinos P., Benissi M. (1998) "Applicability of the Geological Strenght Index (GSI) classification for very weak and sheared rock masses" The Case of Athens Schist Formation, Bull. Engg, Geol, Env. 57(2), 151-160.
- [44] Hoek E., Carranza-Torres C.T., Corkum B. (2002) "Hoek-Brown failure criterion- 2002 edition" Proc. North American Rock Mechanics Society Meeting in Toronto, July.
- [45] Idriss, I.M. and Boulanger, R.W. (2008), "Soil liquefaction during earthquakes", MNO-12, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA, USA.
- [46] Ishihara, K. and Yoshimine, M., (1992), Evaluation of settlements in sand deposits following liquefaction during earthquakes: Soils and Foundations, 32(1), p.173-188.
- [47] Ishihara K., Tsukamoto Y., Shimizu Y. (2001) "Estimate of relative density from in-situ penetration tests" Proceedings In-situ 2001, Bali.
- [48] Iwasaki T., Tokida K., Tatsuoka F., Watanabe S., Yasuda S. and Sado H. (1982). "Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods", Vol III, Proc. 3rd Intl. Conf. on Microzonation, Seattle, pp. 1319-1330.
- [49] Jamiolkowski M., Ghionna V.N., Lancellotta R., Pasqualini E. (1988) "New correlations of penetration tests for design practice" Proceedings of I International Symposium on Penetration Testing, ISOPT I, Orlando.
- [50] Ladd C.C., Foot R. (1974) "A new design procedure for stability of soft clays" Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, vol.100, n° 7.
- [51] Ladd C.C., Foot R., Ishihara K., Schlosser F., Poulos H.G. (1977) "Stress deformation and strength characteristics" S.O.A. Report, Proc. IX Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., Tokyo, Vol. 2.

- [52] Lo Presti D.C.F. (1989) "Proprietà dinamiche dei terreni" Atti delle Conferenze di Geotecnica di Torino, 14th Ciclo, Comportamento dei terreni e delle fondazioni in campo dinamico.
- [53] Marchetti S. (1985) "On the field determination of k_0 in sand" Discussion Session 2A, 11th ICSMFE, S. Francisco.
- [54] Matlock, H., Reese, L.C. (1960). "Generalized Solutions for Laterally Loaded Piles". Journal of Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, V.86, No.SM5, pp.63-91.
- [55] Mayne, P.W., G.J. Rix, (1995). Correlation between shear wave velocity and cone tip resistance in natural clays, Soils and Foundations, vol. 35, n. 2, 107-110.
- [56] Mayne, P. W., (2006), In-situ test calibrations for evaluating soil parameters, Overview paper, Characterization and Engineering Properties of Natural Soils II (Proc. Singapore Workshop), Taylor & Francis Group, London, United Kingdom.
- [57] Ohta Y., Goto N. (1978) "Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristic soil indexes" Earthquake Engineering and Structural Dynamics, vol.6.
- [58] Rocchi G.F. (2003) "Correlazione empirica tra coefficiente di permeabilità, indice dei vuoti e caratteristiche di plasticità in argille e limi" Documento interno Studio Geotecnico Italiano.
- [59] 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.
- [60] 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.
- [61] Seed, H.B. and Idriss, I.M. (1982), "Ground motions and soil liquefaction during earthquakes", Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA, USA.
- [62] 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.
- [63] Simpson B., Calabresi G., Sommer H., Wallays M. (1979) "Design parameters for stiff clays" General Report, Proc. 7th ECSMFE, Brighton.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE PROGETTO DEFINITIVO</p>					
<p>RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE</p>	<p>COMMESSA IP00</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D26RG</p>	<p>DOCUMENTO GE0000 001</p>	<p>REV. B</p>	<p>FOGLIO 15 di 225</p>

- [64] Skempton A.W. (1986) “Standard Penetration Test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, ageing and overconsolidation” *Geotechnique* 36, n° 3.
- [65] Somerville S.H. (1986) “Control of groundwater for temporary works” CIRIA Report 113.
- [66] Stroud M.A. (1974) “The standard penetration test in insensitive clays and soft rocks” *Proceedings ESOPT I*.
- [67] Stroud M.A. (1988) “The Standard Penetration Test – Its application and interpretation” *Penetration Testing in UK, Proceedings of the Geotechnical Conference organized by ICE, Birmingham*.
- [68] Sykora, D. E., Stokoe K. H. (1983). Correlations of in situ measurements in sands of shear wave velocity. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 20: 125 – 136.
- [69] Tokimatsu K., Yoshimi Y. (1983) “Empirical correlation of soil liquefaction based on SPT N-value and fines content” *Soils and Foundations* 23, n° 4.
- [70] Vucetic M., Dobry R. (1991) “Effect of soil plasticity on cyclic response” *Journal of Geotechnical Engineering*, vol. 117, n° 1, pp. 89-107.
- [71] Yoshimine M., Nishizaki H., Amano K. and Hosono Y. (2006). “Flow deformation of liquefied sand under constant shear load and its application to analysis of flow slide in infinite slope”. *Soil dynamics and earthquake Eng.*, vol. 26, pp. 253-264.
- [72] Youd T.D. (1972) “Factors controlling maximum and minimum density of sands” *Proceedings of Symposium on Eval. Dens.*, ASTM STP 523.
- [73] 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

	COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D26RG	DOCUMENTO GE0000 001	REV. B

3 DESCRIZIONE DEL TRACCIATO

Con “Pontremolese” viene comunemente intesa la linea ferroviaria Parma – La Spezia, linea che congiunge come trasversale la linea Tirrenica con la dorsale Roma-Firenze-Bologna-Milano.

Nel 1976 entra a far parte del Corridoio Plurimodale Tirreno-Brennero (Ti-Bre) e fra gli anni '80 e '90 vengono realizzati il raddoppio delle tratte Vezzano Ligure-S.Stefano di Magra, e Ghiare di Berceto-Solignano e successivamente viene realizzato il prolungamento del raddoppio Solignano-Fornovo. A seguito dell’emanazione della Legge n. 443 del 21 dicembre 2001 (Legge Obiettivo), la restante parte da raddoppiare della linea (Parma-Osteriazza e Berceto-Chiesaccia) è stata inserita fra le opere strategiche.

Con Delibera n.19 del 8 maggio 2009, pubblicata sulla G.U.R.I. n. 301 del 29 dicembre 2009, il CIPE approva il Progetto Preliminare del Completamento del 2003. Delle tratte comprese tra Parma e Osteriazza e tra Berceto e Chiesaccia, vengono individuati tre lotti funzionali:

- Parma-Osteriazza
- Berceto-Pontremoli
- Pontremoli-Chiesaccia.

Di questi tre lotti funzionali, nella stessa Delibera, è stato individuato il primo, quello Parma-Osteriazza, come lotto prioritario, a sua volta suddiviso nei tre sub lotti Parma-Vicofertile, Vicofertile-Collecchio e Collecchio-Osteriazza.

Il progetto in oggetto è relativo al progetto definitivo del raddoppio della tratta Parma- Vicofertile

Rispetto al tracciato sviluppato nel Progetto Preliminare del 2004, il Progetto Definitivo vede una variante di tracciato per la parte d’innesto del raddoppio nei binari della stazione di Parma: la coppia di binari garantisce le relazioni merci Fornovo Bologna (direzioni P/D) e il solo binario dispari garantisce le relazioni viaggiatori con La Spezia attestate a Parma (evitando di fuori uscire dal corridoio urbanistico).

Tale variante, oltre a portare notevoli benefici ferroviari nella Stazione di Parma, permetterà di risolvere all’interno dell’abitato di Parma le interferenze della linea Pontremolese con la viabilità ordinaria e di rendere disponibile alla città un tratto di circa 3,5 km (il vecchio binario di tracciato).

Nel seguente schema si riporta lo stato attuale della linea con evidenziati i tratti già raddoppiati, quelli in corso di realizzazione e di progettazione.

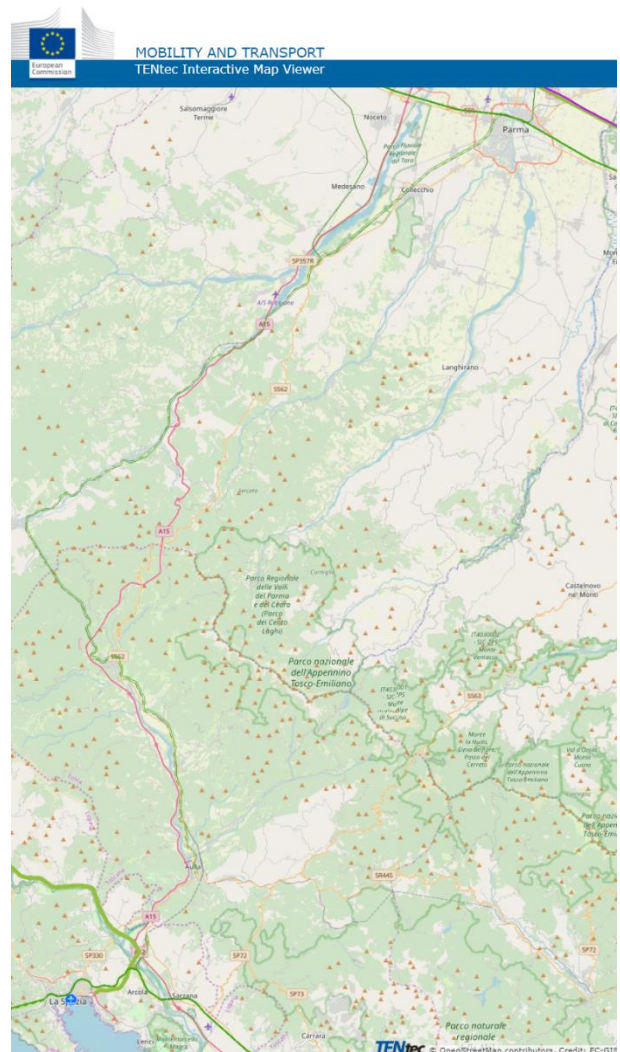
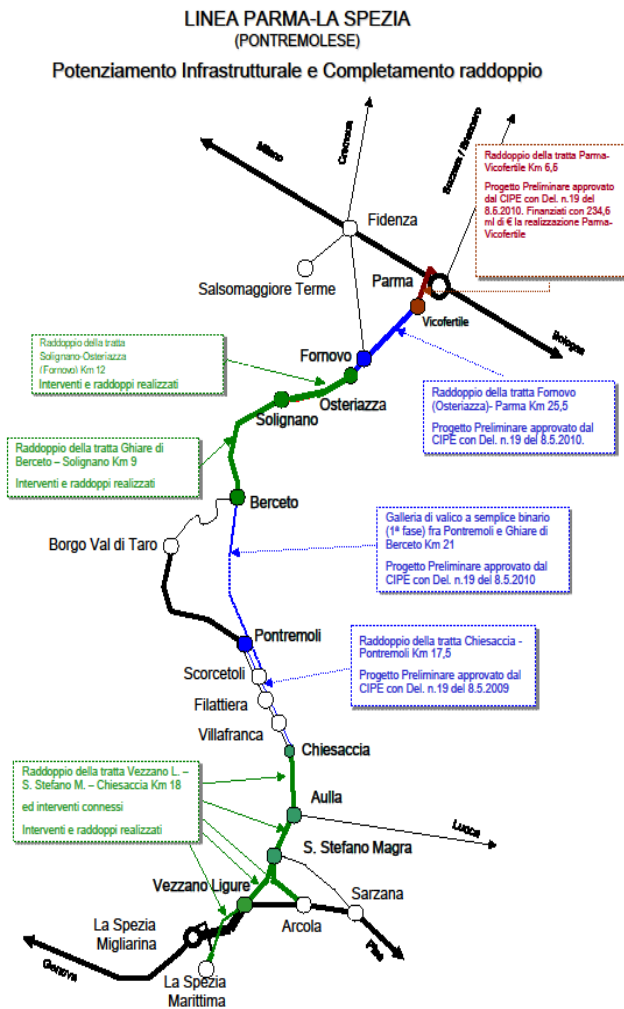


Figura 3.1: Stato attuale della linea

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D26RG	DOCUMENTO GE0000 001	REV. B

4 CAMPAGNE D'INDAGINE

I dati stratigrafici e geotecnici riportati in questa relazione e nei profili geotecnici sono stati derivati dai risultati delle indagini geotecniche e di laboratorio effettuate e da varie fonti bibliografiche, in particolare:

- Pozzi per acqua da database geognostico RER.
- Carotaggi continui che sono stati eseguiti per RFI nel 2004.
- Carotaggi continui che vengono eseguiti da ITALFERR nel 2002-2003.
- Carotaggi continui eseguiti da ITALFERR nel 2008-2009.
- Carotaggi continui codificati BH eseguiti nel 2021.
- Indagini MASW che sono state eseguite nel 2021.
- Indagini HVSR che sono state eseguite nel 2021.
- Indagine down-hole che sono state eseguite nel 2021.

Il dettaglio delle indagini geognostiche considerate nel presente report è riportato nei paragrafi successivi.

4.1 INDAGINI ESEGUITE A SUPPORTO DEL PROGETTO DEFINITIVO

In Tabella 4.1 si riporta una sintesi delle indagini considerate con le progressive (approssimate) di riferimento ottenute proiettando le indagini lungo la linea ferroviaria.

Tabella 4.1 – Indagini geognostiche da fonti bibliografiche

Progressiva (km »)	ID (sigla)	Tipo di indagine (Tipo)	Campagna d'indagine (Riferimento)	GAUSS BOAGA-FUSO O		Quota (m slmm)	Profondità (m)
				X	Y		
0+775	PR3	Sondaggio	Performed on 2016	604376.3969,	4963036.7240	54.60	30.00
1+298	BH1	Sondaggio	Performed on 2021	603847.5258,	4963094.7867	50.01	40.00
1+695	PCL053B01	Sondaggio	Indagini Italferr 2008-2009	603448.2778	4963117.2302	51.10	40.00
1+872	181160P748	Sondaggio	Indagini Da Database RER	603275.3566	4963070.5501	50.50	50.00
1+966	XL051G010	Sondaggio	Indagini Italferr 2002-2003	603180.1950	4963145.6333	50.00	30.00
2+103	BH2	Sondaggio	Performed on 2021	603140.1784	4962976.4582	49.80	40.00
2+270	CHL053B06	Sondaggio	Indagini Italferr 2008-2009	602979.8545	4962937.1834	51.00	40.00

Progressiva (km »)	ID (sigla)	Tipo di indagine (Tipo)	Campagna d'indagine (Riferimento)	GAUSS BOAGA-FUSO O		Quota (m slmm)	Profondità (m)
				X	Y		
2+338	PCL053B16	Sondaggio	Indagini Italferr 2008-2009	602880.9401	4962884.8238	51.00	37.00
2+384	PCL053B13	Sondaggio	Indagini Italferr 2008-2009	602874.3370	4962845.9862	51.00	35.00
2+394	XL051G009	Sondaggio	Indagini Italferr 2002-2003	602863.6201	4962835.7415	51.00	40.00
2+632	PCL053B02	Sondaggio	Indagini Italferr 2008-2009	602848.8141	4962603.8357	52.30	40.00
3+015	XL051B008	Sondaggio	Indagini Italferr 2002-2003	602798.4099	4962224.7775	53.00	26.00
3+478	PCL053B03	Sondaggio	Indagini Italferr 2008-2009	602628.5539	4961793.1890	56.20	40.00
3+778	PCL053B04	Sondaggio	Indagini Italferr 2008-2009	602552.9987	4961502.3591	57.80	40.00
4+000	BH3	Sondaggio	Performed on 2021	602501.3066	4961285.1241	60.60	40.00
4+340	PCL053B05	Sondaggio	Indagini Italferr 2008	602382.2356	4960961.7708	61.00	40.00
4+800	PCL053C22	Sondaggio	Indagini Italferr 2008-2009	602077.9207	4960596.0699	65.30	35.00
4+890	S8	Pozzo per acqua	INDAGINI RFI 2004	602031.9262	4960468.8107	67.00	40.00
5+617	BH4	Sondaggio	Performed on 2021	601374.3370	4960173.1783	70.60	40.00
6+333	BH5	Sondaggio	Performed on 2021	600753.2456	4959816.6733	75.70	40.00
6+574	BH6	Sondaggio	Performed on 2021	600534.7517	4959690.7110	77.20	40.00
6+917	S2	Sondaggio	INDAGINI RFI 2004	600276.3064	4959422.7855	78.00	20.00
6+005	PCL053O23	Sondaggio	Indagini Italferr 2008-2009	600220.7603	4959394.5838	79.70	25.00
7+650	BH7	Sondaggio	Performed on 2021	599609.1070	4959168.9060	82.70	40.00
7+833	XL051R007	Sondaggio	Indagini Italferr 2002-2003	599444.3573	4959033.8172	84.00	24.00

Durante la fase PD sono state effettuate perforazioni, indagini geofisiche (MASW, HVSR e down-hole) e prove di laboratorio.

Indagini in sito:

- n. 25 sondaggi a carotaggio continuo spinti sino a profondità variabile tra 26 e 46 m con:
 - installazione di n.4 piezometri di tipo Casagrande o tubo aperto;
 - esecuzione di n.1 prove Down-Hole nei sondaggi BH5.
 - esecuzione di n.180 prove penetrometriche in foro tipo SPT distribuite nei n.19 sondaggi;

- esecuzione di n.38 prove di permeabilità tipo Lefranc;
- esecuzione di n.4 prove pressiometriche;
- prelievo di n.44 campioni indisturbati durante le perforazioni;
- prelievo di n.73 campioni rimaneggiati durante le perforazioni;
- sono stati eseguiti 565 Pocket Penetrometer
- sono stati eseguiti 75 test delle Vane
- n.7 stendimenti MASW;
- n.13 pozzetti esplorativi (K) con esecuzione di prova di permeabilità tipo Lefranc;

Prove di laboratorio sui campioni prelevati:

- descrizione e prove di classificazione;
- prove di taglio diretto (TD);
- prove triassiali consolidate isotropicamente non drenate (TxCIU);
- prove triassiali non consolidate e non drenate (TxUU);
- prove edometriche.

Per il dettaglio delle prove si rimanda ai Doc. Rif.[14].

In Tabella 4.1 si riporta una sintesi delle indagini considerate con le progressive (approssimate) di riferimento ottenute proiettando le indagini lungo la linea ferroviaria.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D26RG	DOCUMENTO GE0000 001	REV. B

5 PROFILO FREATICO

Il modello idrogeologico dell'area è riportato in un capitolo dedicato nella Relazione geologica (Doc.Rif.[14]). Le letture piezometriche disponibili sono riportate in Tabella 5.1.

La falda freatica è mostrata sul profilo geotecnico con i valori minimo e massimo ([8], [9], [10], [11], [12], [13]).

5.1 MONITORAGGIO PIEZOMETRICO

Nell'area è stato attivato un monitoraggio piezometrico. Le prime letture risalgono al 2003 e le ultime al 2021.

Il monitoraggio antecedente al 2021 è riportato nelle tabelle dell'appendice. Nonostante il lungo periodo di monitoraggio, i dati di cui si dispone sono molto frammentati in quanto, in questo ventennio, si sono intervallati brevi periodi di monitoraggio mensile a lunghi periodi di assenza completa di monitoraggio.

Il quadro generale della scansione temporale delle misure è riportato nel grafico di Figura 5.1. Sull'asse orizzontale sono riportate le date mentre lungo l'asse verticale il numero di rilievi piezometrici eseguiti in corrispondenza di una determinata data.

Dal grafico si può osservare che c'è stata una prima campagna di monitoraggio nel periodo febbraio 2004 – gennaio 2004, poi un periodo di assenza di misure e quindi una seconda campagna di monitoraggio da luglio 2008 a maggio 2009. A questa seconda campagna di misure è seguito un altro periodo di assenza di misure e quindi è partita una terza campagna, iniziata in ottobre 2021 e attualmente in corso, con previsione di conclusione dopo circa un anno di monitoraggio.

Naturalmente, nel corso di questo periodo, alcuni piezometri sono andati distrutti, altri sono stati realizzati e quindi il dataset di letture non è omogeneo per tutti i punti monitorati.

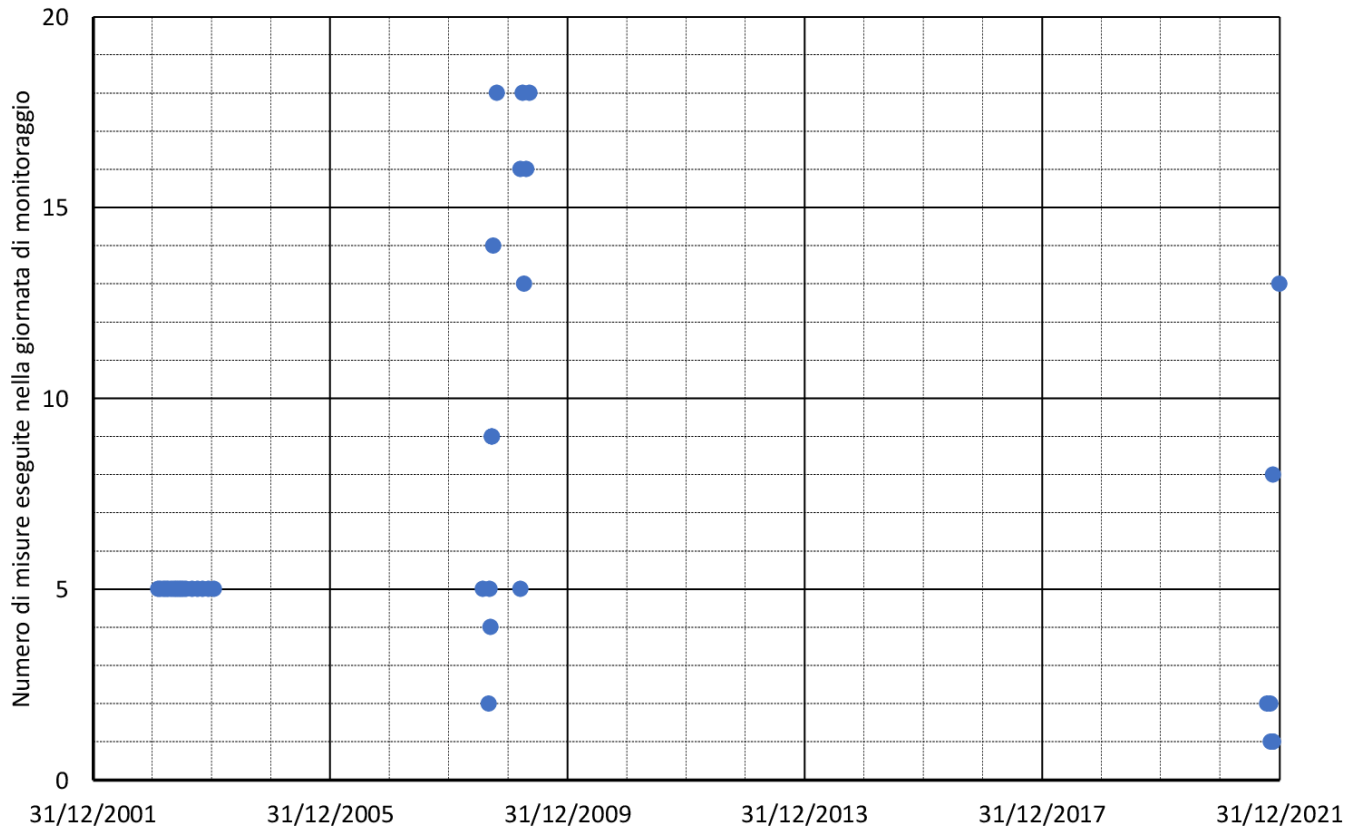


Figura 5.1: Numero di misure piezometriche eseguite nelle diverse campagne di monitoraggio

In considerazione dell'estrema discontinuità delle letture, per avere un quadro sintetico dei valori di quota di falda misurati nel corso dell'ultimo ventennio è stato realizzato il grafico di Figura 5.2. Il grafico riporta i valori di quota di falda massimo, minimo e medio rilevati nei piezometri durante l'intero periodo di monitoraggio. Le estremità delle linee nere verticali indicano l'escursione piezometrica. In pratica, l'estremità superiore della linea nera indica il massimo valore di falda registrato nel piezometro mentre l'estremità inferiore indica il minimo valore registrato.

Per completezza di informazione con un pallino rosso è stato riportato anche il valore di quota di falda medio. Occorre comunque considerare che il valore medio ha poco significato, visto l'estrema discontinuità di registrazione dei dati.

Quota piezometrica massima, minima e media rilevata nei piezometri durante il monitoraggio

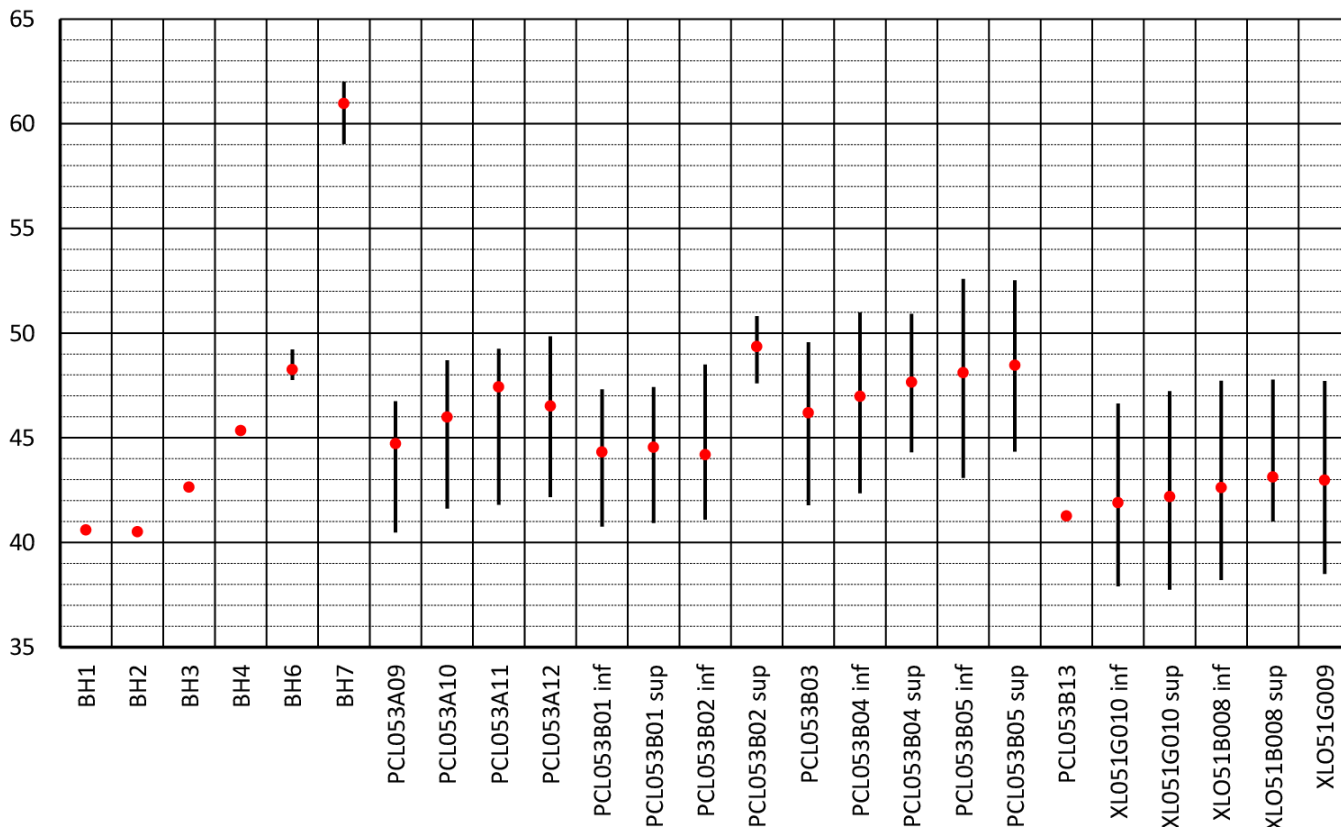


Figura 5.2: Sintesi dei valori di quota di falda massimo minimo e medio rilevati nei piezometri nel corso del monitoraggio

Dalla figura si osserva che i piezometri della serie BH (da BH1 a BH7) hanno una escursione piezometrica nulla o molto bassa. Questo è semplicemente dovuto al fatto che questi piezometri sono di recente realizzazione e pertanto per questi punti si dispone ancora di poche misure, generalmente da 1 a 4 letture al massimo, tutte concentrate nel periodo nov-dic 2021.

La numerazione di questi piezometri si incrementa progressivamente da Parma (BH1) verso Vicofertile (BH7). Dal grafico si osserva che tendenzialmente la quota di falda aumenta spostandosi verso sud, avvicinandosi al margine appenninico.

Per gli altri punti di monitoraggio si dispone di un numero superiore di letture e quindi l'escursione fra i valori massimi e minimi si incrementa. Generalmente l'escursione è di 7-9 m, variabile da punto a punto.

I valori graficati sono stati per completezza riportati anche nella Tabella 5.1. Per ogni punto di monitoraggio la tabella riporta il valore massimo, medio e minimo di soggiacenza e di quota. La soggiacenza è espressa in m da p.c., mentre la quota è espressa in m s.l.m. Per ogni punto è anche riportato il numero complessivo di misure di monitoraggio eseguite. Naturalmente, maggiore è il numero di letture di monitoraggio eseguite maggiore è la significatività dei valori massimi, minimi e medi riportati in tabella.

Tabella 5.1 – Sintesi dei valori massimi, minimi e medi rilevati in corso di monitoraggio.

Piezometro	Massimo		minimo		medio		Letture
	Sogg.	Quota	Sogg.	Quota	Sogg.	Quota	
BH1	9,3	40,6	9,3	40,6	9,3	40,6	1
BH2	9,3	40,7	8,9	40,4	9,1	40,5	2
BH3	16,5	42,7	16,4	42,6	16,4	42,6	2
BH4	25,6	45,5	25,3	45,2	25,4	45,3	3
BH6	29,3	49,2	27,8	47,8	28,8	48,3	3
BH7	23,6	62,0	20,6	59,0	21,6	61,0	3
PCL053A09	9,9	46,8	3,7	40,5	5,7	44,7	6
PCL053A10	10,1	48,7	3,0	41,6	5,7	46,0	6
PCL053A11	13,6	49,3	6,2	41,8	8,0	47,4	6
PCL053A12	12,2	49,9	4,6	42,2	7,9	46,5	8
PCL053B01 inf	10,4	47,3	3,8	40,8	6,8	44,3	11
PCL053B01 sup	10,2	47,4	3,7	40,9	6,6	44,5	11
PCL053B02 inf	11,2	48,5	3,8	41,1	8,1	44,2	13
PCL053B02 sup	4,7	50,8	1,5	47,6	2,9	49,4	14
PCL053B03	14,4	49,6	6,6	41,8	10,0	46,2	9
PCL053B04 inf	15,5	51,0	6,8	42,4	10,8	47,0	9
PCL053B04 sup	13,5	50,9	6,9	44,3	10,1	47,7	9
PCL053B05 inf	17,9	52,6	8,4	43,1	12,9	48,1	9
PCL053B05 sup	16,7	52,5	8,5	44,3	12,5	48,5	9
PCL053B13	10,0	41,4	9,7	41,1	9,8	41,3	2
XL051G010 inf	12,1	46,6	3,4	37,9	8,1	41,9	27
XL051G010 sup	12,3	47,2	2,8	37,8	7,8	42,2	27
XLO51B008 inf	14,8	47,7	5,3	38,2	10,4	42,6	24
XLO51B008 sup	12,0	47,8	5,2	41,0	9,9	43,1	24
XLO51G009	12,5	47,7	3,3	38,5	8,0	43,0	28

Per riuscire a rendere graficamente questa escursione piezometrica, nei profili geologici (tavola da IP0000D69L6GE0001001A a IP0000D69L6GE0001005A e IP0000D69W6GE0001001A) e idrogeologici (tavole da IP0000D69L6GE0002001A a IP0000D69L6GE0002005A) sono state inserite 2 piezometrie

virtuali ottenute congiungendo tutti i livelli massimi e tutti i livelli minimi rilevati nei piezometri in corso di monitoraggio. Queste due piezometrie non sono reali in quanto utilizzano per ogni piezometro il massimo e il minimo valore di quota piezometrica rilevato, a prescindere dal mese di rilevamento, però danno una indicazione sul livello piezometrico massimo possibile e sul livello piezometrico minimo possibile, sulla base dei dati disponibili al 31 dicembre 2021.

Nel novembre del 2021 è iniziato un monitoraggio piezometrico, che vede la misurazione dei piezometri di nuova costruzione (BH1, BH2, BH3, BH4, BH6 e BH7) e di quelli storici che è stato possibile recuperare. Sono risultati ancora attivi e funzionanti i piezometri XL051G010, XL051G09, PCL053B13, PCL053B02, PCL053A12 e PCL053A10. Sono quindi in fase di monitoraggio 12 piezometri, di cui 2 doppi (inferiore e superiore).

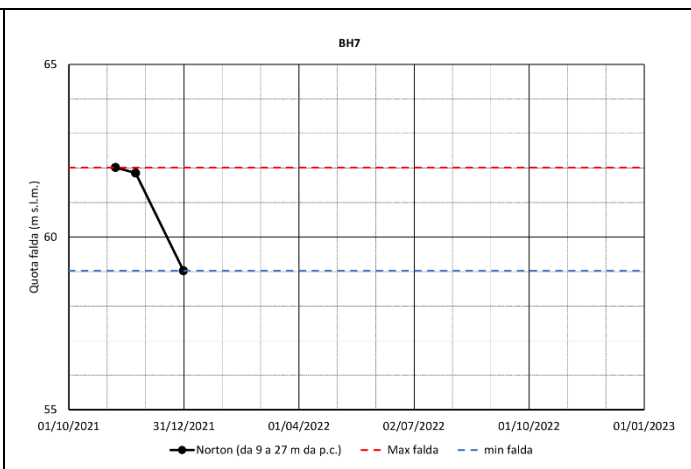
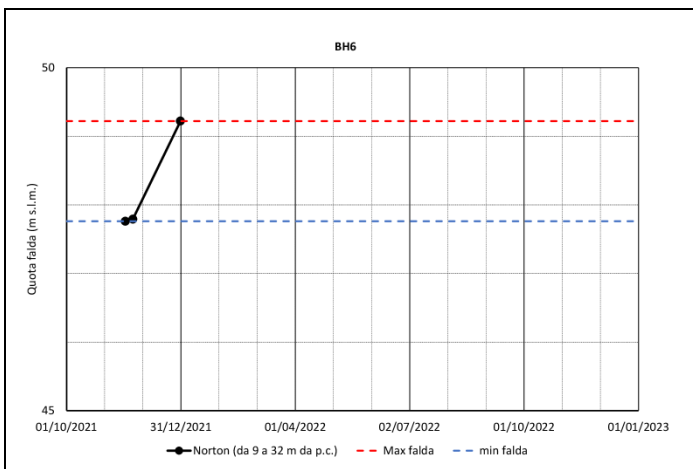
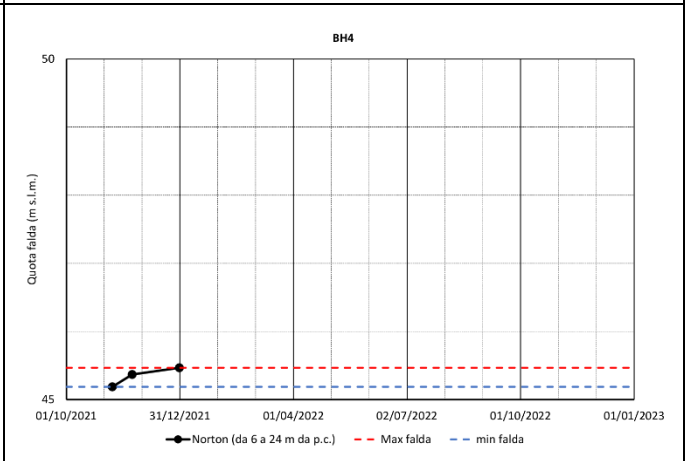
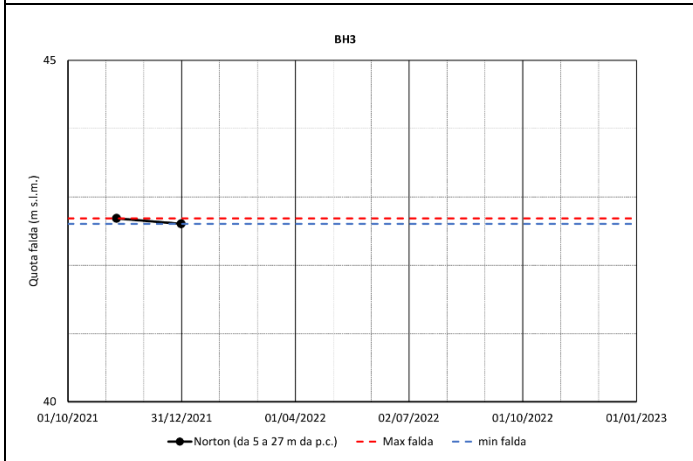
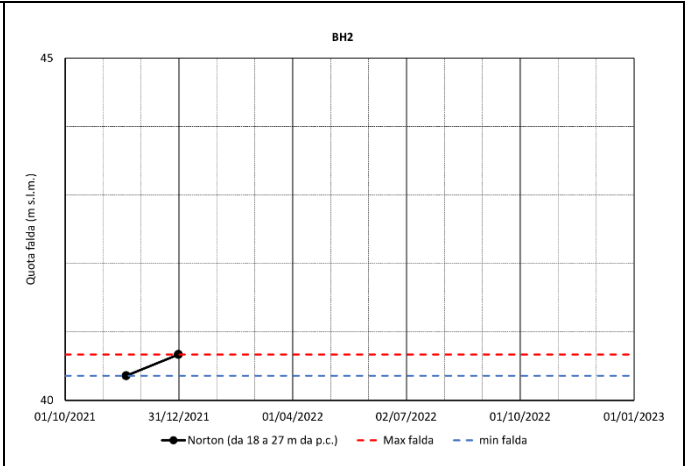
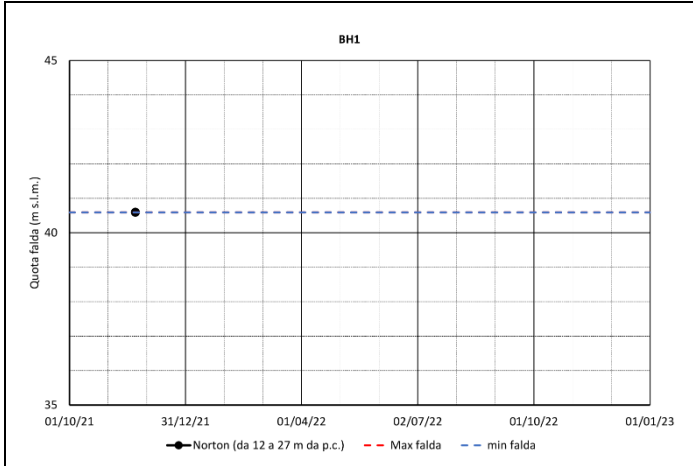
Nelle figure seguenti sono riportati i dati di monitoraggio registrati in questi punti da novembre 2021 in poi. Al momento si dispone di poche letture, che si incrementeranno nel corso del 2022.

Le figure sono impostate tutte nel medesimo modo: con una linea rossa tratteggiata è indicato il valore massimo registrato in corso di monitoraggio; con una linea blu tratteggiata è indicato il valore minimo registrato in corso di monitoraggio; con i pallini neri son indicate le letture eseguite nei mesi di novembre e dicembre 2021.

Nella medesima appendice sono anche riportate le tabelle dei dati che contengono tutta la serie storica delle letture per tutti i piezometri realizzati lungo la tratta, sia quelli ancora funzionanti sia quelli non funzionanti o distrutti.

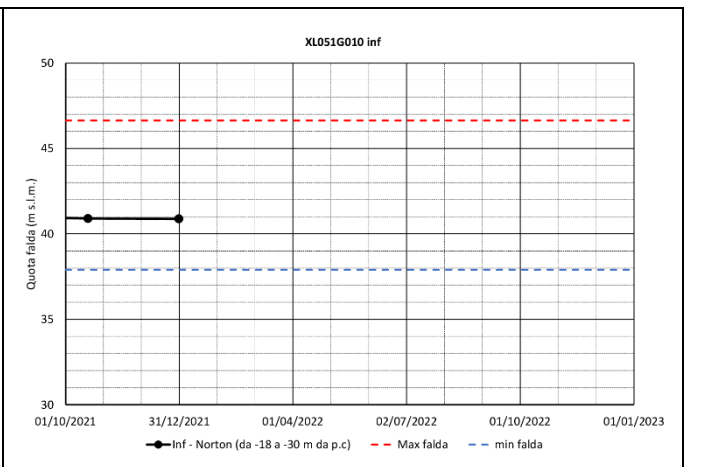
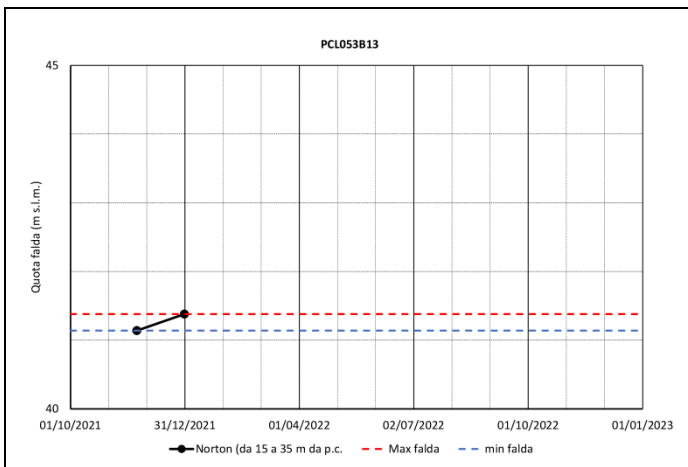
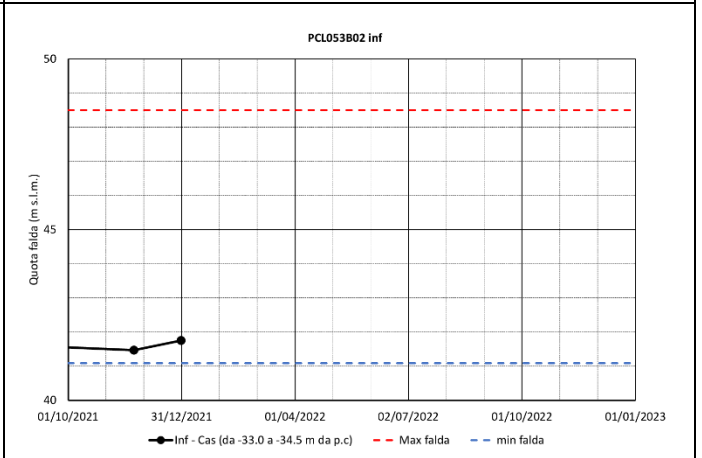
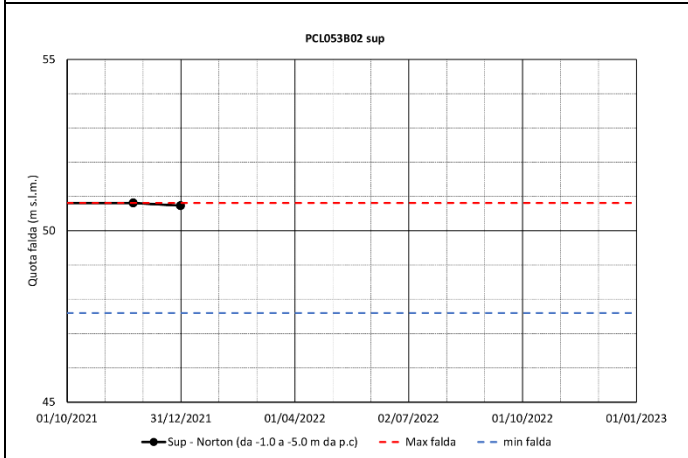
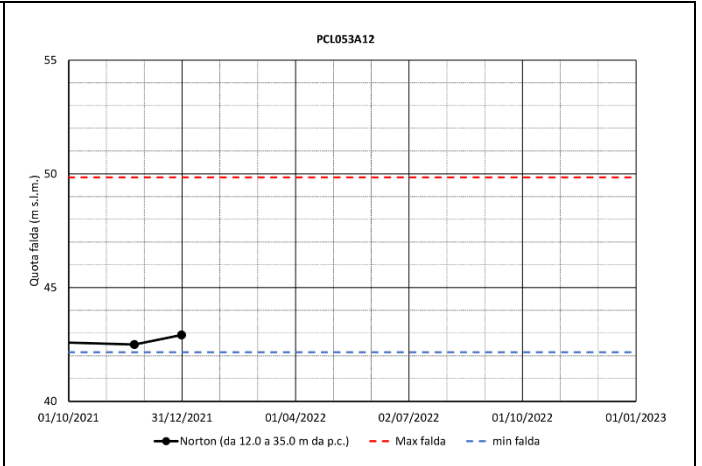
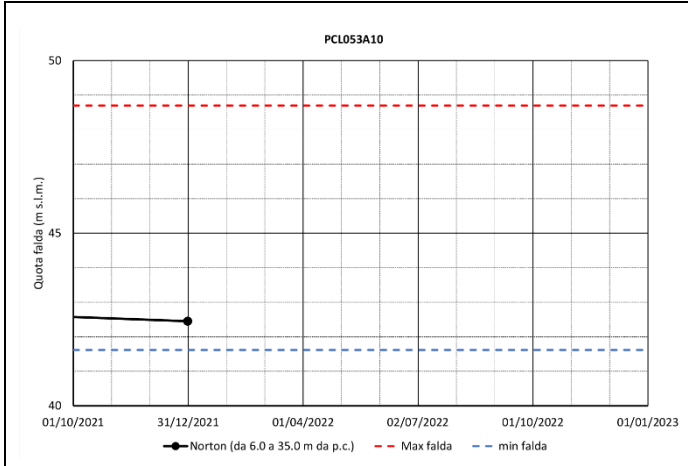
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IP00	00	D26RG	GE0000 001	B	26 di 225



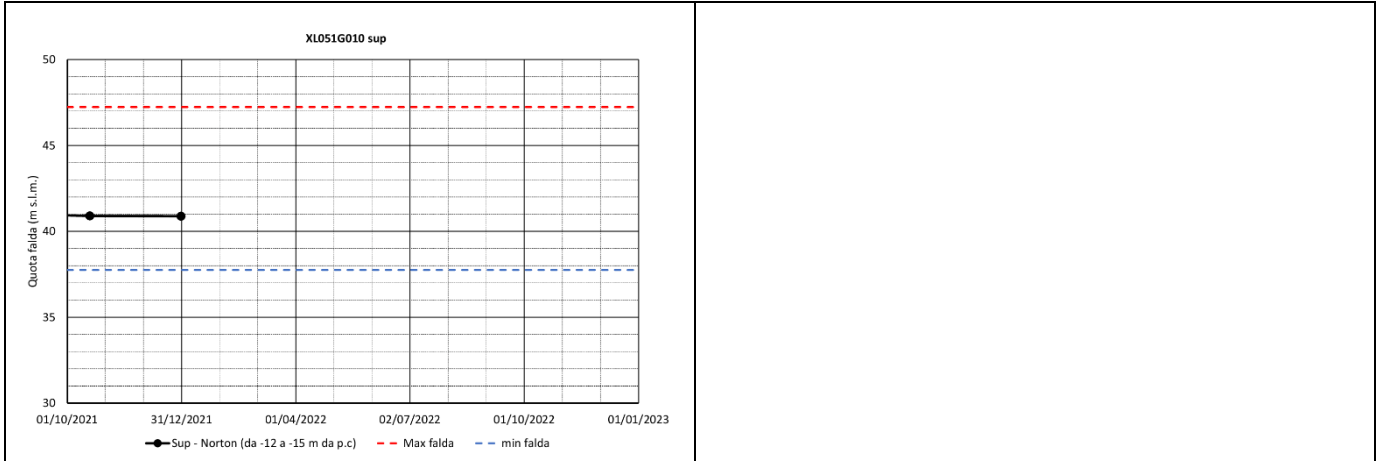
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IP00	00	D26RG	GE0000 001	B	27 di 225



RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IP00	00	D26RG	GE0000 001	B	28 di 225



6 CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

6.1 GENERALITÀ

I criteri di interpretazione delle indagini geotecniche, descritti di seguito, tengono conto del fatto che lungo il percorso sono stati trovati depositi di limo argilloso, ghiaia e sabbia.

Dal punto di vista dei criteri di caratterizzazione geotecnica si distinguono due tipologie di materiale:

- Materiali a grana fine (limi argillosi);
- Materiali a grana grossa (ghiaia e sabbia);

L'identificazione del tipo di materiale, e quindi la scelta del metodo di interpretazione, è fatta sulla base della descrizione stratigrafica dei sondaggi e delle prove di laboratorio dei campioni di terreno.

Sono stati inoltre analizzati i risultati, in termini di velocità delle onde di taglio (V_s), misurate dalle prove geofisiche Down-Hole e MASW.

6.2 MATERIALI A GRANA FINE

La caratterizzazione geotecnica dei terreni a grana fine è affidata sia all'interpretazione delle prove di laboratorio sia all'interpretazione delle prove in sito. Tali prove sono state programmate ed effettuate allo scopo di classificare i materiali e di determinarne:

- lo stato iniziale;
- i parametri di resistenza al taglio;
- i parametri di deformabilità;
- i coefficienti di permeabilità.

6.2.1 Classificazione

La classificazione dei terreni a grana fine sarà effettuata in modo convenzionale facendo riferimento ai risultati delle prove di laboratorio in termini di:

- fusi granulometrici;
- pesi di volume naturale e secco;
- limiti di Atterberg (limite liquido e limite plastico);
- contenuti d'acqua naturale;

- grado di saturazione;
- indice dei vuoti iniziale.

Oltre alla classificazione convenzionale, sarà considerata anche una classificazione basata su considerazioni legate alla posizione dello stato iniziale in sito, dato dall'indice dei vuoti (e_0), o da quello normalizzato corrispondente I_{v0} , e dalla pressione verticale efficace geostatica (σ'_{v0}), rispetto alla curva di compressibilità intrinseca edometrica (ICL_{oed}) definita da Burland (1990); quest'ultima è data dalla seguente equazione:

$$I_v = 2.45 - 1.285 \cdot \log \sigma'_v + 0.015 \cdot (\log \sigma'_v)^3$$

dove:

σ'_v = pressione verticale efficace corrente in kPa

L'indice dei vuoti normalizzato I_v può essere calcolato con la seguente equazione:

$$I_v = \frac{e^* - e_{100}^*}{C_c^*}$$

essendo:

e^* = rapporto dei vuoti corrente del materiale ricostituito;

$e_{100}^* = 0.109 + 0.679 \cdot e_L - 0.089 \cdot e_L^2 + 0.016 \cdot e_L^3$ = rapporto dei vuoti del materiale ricostituito in corrispondenza di una pressione verticale efficace $\sigma'_v = 100$ kPa

$$C_c^* = e_{100}^* - e_{1000}^* = 0.256 \cdot e_L - 0,04$$

e_{1000}^* = rapporto dei vuoti del materiale ricostituito in corrispondenza di una pressione verticale efficace $\sigma'_v = 1000$ kPa

e_L = indice dei vuoti corrispondente al limite liquido (LL).

L'indice dei vuoti iniziale normalizzato I_{v0} è dato quindi dalla seguente equazione:

$$I_{v0} = \frac{e_o - e_{100}^*}{C_c^*}$$

essendo:

e_0 = rapporto dei vuoti iniziale del materiale.

Con riferimento anche a quanto indicato nella Figura 6.1 (si veda ad esempio anche Nagaraj & Miura, 2001) si ha che:

- Terreni caratterizzati da stati iniziali $(I_{v0})-(\sigma'_{v0})$ alla sinistra della curva ICL_{oed} (terreni tipo B1) sono da considerare sovraconsolidati meccanicamente; in aggiunta alla sovraconsolidazione meccanica, tali terreni possono essere dotati anche di legami di cementazione;
- Terreni caratterizzati da stati iniziali $(I_{v0})-(\sigma'_{v0})$ che cadono sulla curva ICL_{oed} (terreni tipo B2) sono da considerare normalmente consolidati; tali terreni possono essere dotati anche di legami di cementazione;
- Terreni caratterizzati da stati iniziali $(I_{v0})-(\sigma'_{v0})$ alla destra della curva ICL_{oed} (terreni tipo A) sono da considerare sottoconsolidati; essi possono risultare in equilibrio sotto l'azione delle forze di gravità unicamente grazie alla presenza di particolari microstrutture “metastabili”, intese nel senso più generale come disposizione geometrica delle particelle e presenza di legami di cementazione (si veda ad esempio Mitchell, 1976).

In generale vale quanto segue:

1. I terreni tipo A, non appena vengono raggiunti determinati stati di sollecitazione di soglia critici, possono avere:
 - un comportamento di tipo fragile (riduzione delle caratteristiche di resistenza al taglio in termini di tensioni efficaci);
 - la propensione a sviluppare deformazioni volumetriche irreversibili (visco-plastiche) positive (riduzione dell'indice dei vuoti) in condizioni drenate o a sviluppare sovrappressioni interstiziali positive in condizioni non drenate.
2. I terreni tipo B2, se dotati di legami di cementazione, possono avere comportamenti simili a quelli dei terreni di tipo A; in assenza di legami di cementazione hanno invece:
 - un comportamento duttile o moderatamente fragile (riduzione delle caratteristiche di resistenza al taglio in termini di tensioni efficaci connessa solo a fenomeni di riorientazione delle particelle);

- la propensione a sviluppare deformazioni volumetriche irreversibili (plastiche), positive (riduzione dell'indice dei vuoti) in condizioni drenate o a sviluppare sovrappressioni interstiziali positive in condizioni non drenate.
3. I terreni di tipo B1, non appena vengono raggiunti determinati stati di sollecitazione di soglia critici, hanno:
- un comportamento di tipo fragile (riduzione delle caratteristiche di resistenza al taglio in termini di tensioni efficaci);
 - la propensione a sviluppare deformazioni volumetriche irreversibili (plastiche o visco-plastiche) negative (aumento dell'indice dei vuoti) in condizioni drenate o a sviluppare sovrappressioni interstiziali negative in condizioni non drenate.

Il comportamento fragile è accentuato se si è in presenza di legami di cementazione.

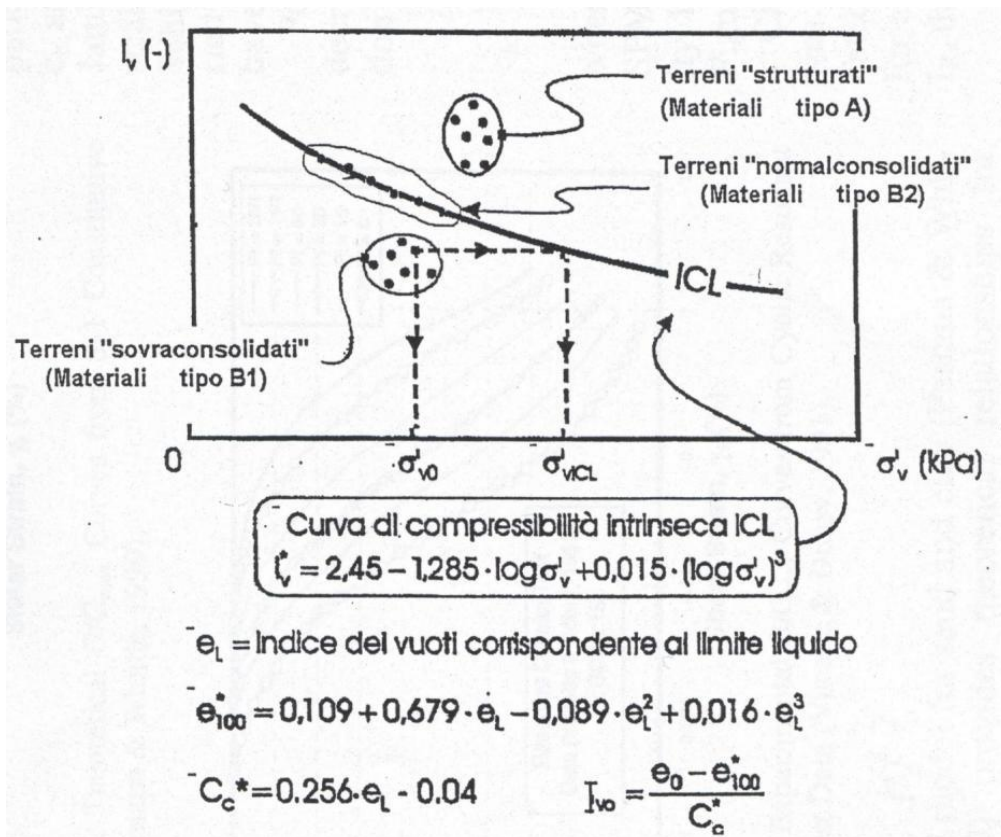


Figura 6.1: Diagramma di stato per i materiali a granulometria fine (limi e argille)

6.2.2 Stato tensionale iniziale

La valutazione dello stato tensionale iniziale verrà fatta sulla base:

- di quanto desumibile dagli studi di carattere geologico;
- dell'interpretazione delle prove di laboratorio.

In particolare, nel caso dei materiali B1, di cui al paragrafo 6.3.1, lo stato tensionale in sito sarà stimato sulla base dei risultati in termini di grado di sovraconsolidazione meccanico ($GSC = \sigma_{vmax}' / \sigma_{vo}'$), essendo σ_{vmax}' la pressione di preconsolidazione desumibile dalle prove edometriche con la nota costruzione di Casagrande e σ_{vo}' la pressione verticale efficace geostatica.

Il coefficiente di spinta del terreno a riposo k_o sarà stimato sulla base della seguente espressione:

$$k_o = (1 - \sin \phi') \cdot \sqrt{GSC}$$

essendo:

ϕ' = angolo di resistenza al taglio.

Nel caso dei terreni tipo B2 e tipo A la pressione di preconsolidazione $\sigma_{vp}' > \sigma_{vo}'$, determinabile dalle prove edometriche con la nota costruzione di Casagrande, non rappresenta né la tensione verticale massima (σ_{vmax}') subita dal deposito né la tensione in corrispondenza della quale si innescano deformazioni irreversibili visco-plastiche (σ_{vy}'); inoltre il grado di sovraconsolidazione OCR (definito convenzionalmente come $\sigma_{vp}' / \sigma_{vo}'$) non deriva da fenomeni di precompressione meccanica. In tali circostanze, in mancanza di rilievi sperimentali:

- il coefficiente di spinta del terreno a riposo verrà stimato sulla base della seguente equazione:

$$k_o = (1 - \sin \phi')$$

- la pressione σ_{vy}' verrà stimata sulla base della seguente equazione (vedi Bjerrum, 1967, Rocchi et al., 2003):

$$\sigma_{vy}' = \sigma_{vo}' + \frac{\sigma_{vp}' - \sigma_{vo}'}{3 \div 5}$$

- il grado di sovraconsolidazione equivalente OCR* verrà stimato sulla base della seguente espressione:

$$OCR^* = \frac{\sigma_{vy}}{\sigma_{vo}}$$

Per completezza e ove appropriato, la pressione di preconsolidazione σ_{vmax}' ed il grado di sovraconsolidazione $GSC = \sigma_{vmax}' / \sigma_{vo}'$ verranno determinati anche sulla base delle seguenti espressioni (vedi Ladd & Foot, 1974; Ladd et al. 1977):

$$(GSC)^{0.85} = \frac{\frac{C_u}{\sigma_{vo}}}{\left(\frac{C_u}{\sigma_{vo}}\right)_{NC}}$$

dove:

$$\left(\frac{C_u}{\sigma_{vo}}\right)_{NC} \cong 0.30 \text{ (Chandler et al., 2004)}$$

c_u = resistenza al taglio in condizioni non drenate in compressione e carico determinata con prove di laboratorio o con l'interpretazione delle prove CPT o SPT in accordo a quanto descritto nel paragrafo successivo;

σ_{vo}' = pressione verticale efficace geostatica.

6.2.3 Resistenza al taglio in condizioni non drenate

La resistenza al taglio non drenata dei terreni argillosi saturi sotto la falda acquifera sarà valutata facendo riferimento principalmente ai risultati delle prove di laboratorio disponibili e all'interpretazione delle prove in situ (penetrometro a palette e pocet).

Come è noto, la resistenza al taglio non drenata è una funzione delle pressioni di consolidamento efficaci e dei percorsi di carico; qui faremo riferimento a prove di laboratorio e a correlazioni empiriche per l'interpretazione delle prove SPT che forniscono valori c_u corrispondenti a pressioni di consolidamento efficaci uguali alle sollecitazioni geostatiche e ai percorsi di carico caratteristici delle

prove di compressione triassiale e di carico. A questi si aggiungono i valori di c_u ottenuti da prove Torvane e Pocket penetrometer.

6.2.3.1 Prove di laboratorio

Nella definizione della resistenza al taglio non drenata da prove di laboratorio si farà principalmente riferimento, laddove presenti, a prove condotte su campioni indisturbati saturi di buona qualità

6.2.3.2 Valutazione di c_u da prove SPT

La resistenza al taglio non drenata di materiali saturi sotto falda, associabile a quella di prove triassiali di compressione e carico, consolidate alle tensioni efficaci geostatiche, può essere stimata adottando la correlazione empirica proposta da Stroud (1974) (vedi anche Clayton, 1995). In base a tale correlazione risulta quanto segue:

$$c_u \cong (4,5 \div 5,5) \cdot N_{SPT} \quad (\text{kPa})$$

6.2.4 **Parametri di resistenza al taglio in termini di sforzi efficaci**

I parametri di resistenza di picco in termini di sforzi efficaci verranno determinati, laddove possibile, sulla base dei risultati delle prove di laboratorio disponibili: taglio diretto (TD) e triassiali consolidate non drenate (TX-CIU).

6.2.5 **Caratteristiche di deformabilità**

6.2.5.1 Moduli elastici iniziali

I moduli iniziali di taglio (G_0) e di Young (E_0) possono essere ricavati dai valori delle velocità delle onde di taglio V_s utilizzando le seguenti equazioni:

$$G_0 = \frac{\gamma_t}{9,81} \cdot (V_s)^2 \quad (\text{kPa})$$

$$E_0 = G_0 \cdot 2 \cdot (1 + \nu')$$

essendo:

γ_t = peso di volume naturale del terreno in kN/m^3

ν' = rapporto di Poisson del terreno = $0,15 \div 0,30$

V_s = velocità di propagazione delle onde di taglio in m/sec .

La velocità di propagazione delle onde di taglio V_s può essere ricavata direttamente dalle prove geofisiche “down hole”, “MASW” e “HVSr”.

6.2.5.2 Moduli elastici iniziali da prove SPT

I moduli di elasticità iniziali possono essere ricavati dalle misure dirette della velocità V_s ricorrendo alla correlazione di Ohta e Goto (1978) assumendo $f_G=1.00$ (6.3.4.2).

6.2.5.3 Moduli elastici “operativi” in condizioni drenate

Il comportamento dei terreni a grana fine risulta non lineare; i moduli elastici risultano infatti funzione sia della pressione efficace media corrente sia del livello di deformazione indotto o del grado di mobilitazione della resistenza al taglio.

In relazione a quanto sopra la scelta dei moduli di deformazione per le analisi ingegneristiche viene a dipendere anche dal metodo di analisi adottato. In generale saranno seguite le seguenti regole:

1. Per opere di sostegno e di fondazione su terreni sovraconsolidati meccanicamente (terreni tipo B1) con percorsi di sollecitazione indotti dalla costruzione dell’opera collocati all’interno della superficie di plasticizzazione primaria del materiale.

In tali situazioni le deformazioni plastiche indotte dalle variazioni tensionali sono relativamente contenute e l’utilizzo di modelli costitutivi elastici o elastici non lineari può essere ritenuto accettabile.

Nel caso di ricorso a metodi di calcolo elastico-non lineari, i dati di ingresso per le analisi sono essenzialmente:

- I moduli elastici iniziali di cui al paragrafo 6.2.5.1.
- Le curve di degrado del modulo in funzione del livello di deformazione o di spostamento indotto misurate in laboratorio o ricavabili dalla letteratura tecnica. Tipiche curve di degrado del modulo di taglio G in funzione del livello di deformazione di taglio γ indotto, proposte da Vucetic & Dobry

(1991), sono riportate nella Figura 6.2. In alternativa alle curve di degrado indicate Figura 6.2 possono essere adottate le espressioni (leggi iperboliche) riportate nel caso dei materiali a grana grossa.

Va tuttavia rilevato che la procedura suddetta, associata all'utilizzo delle curve di degrado del modulo di Figura 6.2, risulta rigorosamente applicabile in problemi di scarico e/o di scarico e ricarica tensionale; nel caso di problemi di "primo carico", caratterizzati da incrementi di tensione rispetto alla condizione geostatica potrebbe condurre ad una sottostima degli spostamenti.

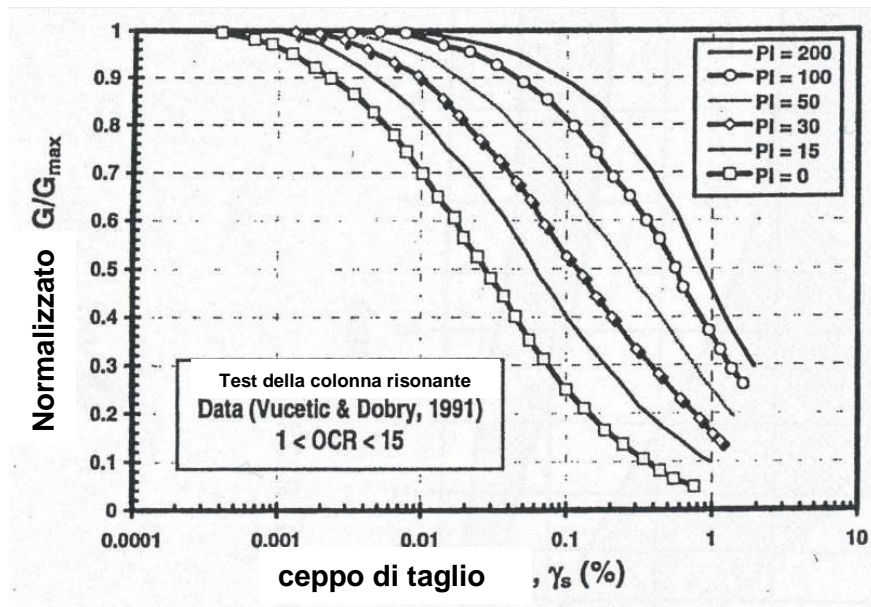


Figura 6.2: Curve sperimentali del rapporto G/G_{max} da prove di colonna risonante ciclica (Vucetic & Dobry, 1991)

Nel caso in cui la progettazione faccia ricorso a metodi di calcolo elastico-lineari o elastico-lineari-plastici i moduli di Young "operativi" E_{op} saranno convenzionalmente assunti pari a:

- E_{op1} pari a $1/10-1/12 E_0$ o $(150\div 200)\cdot cu$ o quanto desumibile dai risultati delle prove edometriche nel caso di problemi di "primo carico" (esempio fondazioni dirette, profonde e rilevati);
- E_{op2} pari a $1/5\cdot E_0$ o $(400\div 500)\cdot cu$ nel caso di problemi di scarico e/o di scarico-ricarico (esempio: fronti di scavo sostenuti con opere di sostegno tipo paratie tirantate e non).

2. Per opere di fondazione con percorsi di sollecitazione indotti dalla costruzione dell'opera collocati all'esterno della superficie di plasticizzazione del terreno.

Nelle analisi si farà necessariamente riferimento a modelli costitutivi elasto-plastici ed ai risultati delle prove edometriche ad incremento di carico (ED-IL) in termini di coefficienti di compressione (C_c e C_r).

6.2.5.4 Moduli elastici "operativi" in condizioni non drenate

Nella valutazione dei cedimenti immediati dei rilevati il modulo di Young "operativo" E_u verrà stimato essenzialmente sulla base della correlazione empirica proposta da Duncan & Buchignani (1976), riportata in Figura 6.3.

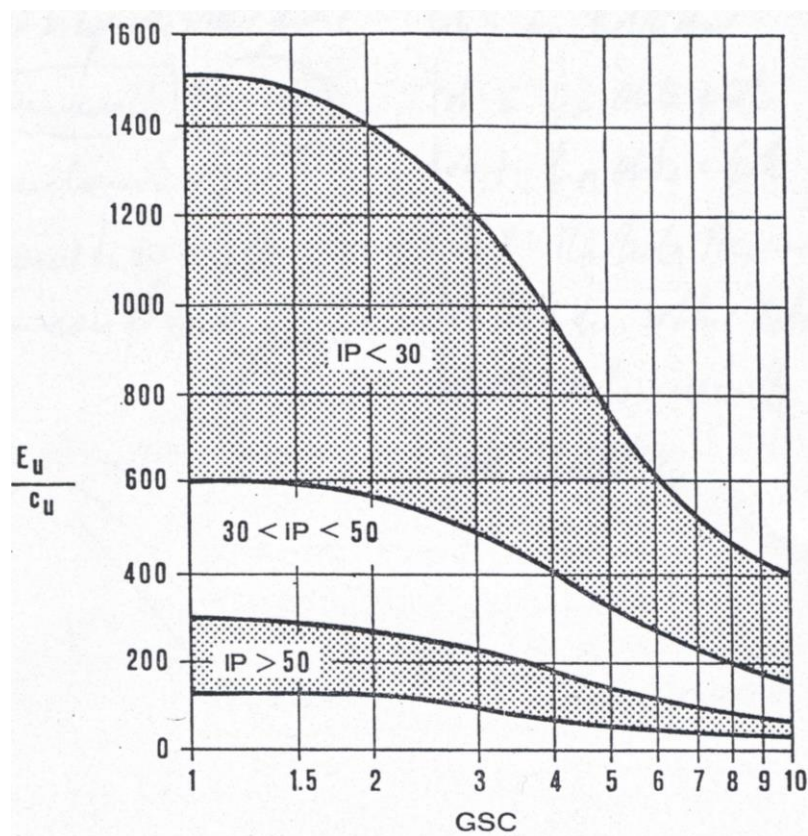


Figura 6.3: Modulo di Young operativo in condizioni non drenate (Duncan e Buchignani, 1976)

Il grado di sovraconsolidazione indicato nella figura è inteso essere il rapporto tra la pressione di preconsolidazione σ_p' e la pressione verticale efficace geostatica σ_{vo}' .

6.2.5.5 Moduli di reazione orizzontale alla Matlock & Reese (1960)

Nel caso del progetto di pali di fondazione il modulo di reazione orizzontale “operativo”, nel caso di ricorso a calcoli semplificati lineari, può essere assunto pari a (si veda ad esempio Elson (1984):

$$E_s = 400 \cdot c_u \quad (\text{kPa})$$

essendo:

c_u = resistenza al taglio non drenata di materiali saturi sotto falda, determinata secondo i criteri di cui al paragrafo 6.2.3.

6.2.6 **Coefficienti di permeabilità e di consolidazione primaria e secondaria**

Nella definizione delle caratteristiche di permeabilità si farà riferimento ai risultati delle prove di permeabilità tipo Lefranc in foro se disponibili ed a valori di bibliografia (si veda Tabella 6.7).

Si rileva che anche i valori dei coefficienti di permeabilità ottenuti dalla prove in foro si riferiscono a pressioni verticali efficaci pari a quelle geostatiche, ovvero ad indici dei vuoti pari a quelli iniziali e_o .

La variazione del coefficiente di permeabilità con l'indice dei vuoti corrente, potrà essere stimata sulla base della seguente espressione:

$$\log k = \log k_o - \frac{e_o - e}{C_k}$$

essendo:

k = coefficiente di permeabilità corrente

k_o = coefficiente di permeabilità corrispondente all'indice dei vuoti iniziale e_o

e = indice dei vuoti corrente

e_o = indice dei vuoti iniziale

$$C_k = 0.5 \cdot e_o.$$

I valori ricavabili dalle prove edometriche si riferiscono a direzioni di flusso verticali, ovvero a coefficienti di permeabilità in direzione verticale k_v . Inoltre essi si riferiscono a volumi estremamente ridotti e quindi non completamente rappresentativi della permeabilità dei terreni in sito.

I valori ricavabili dalle prove in foro si riferiscono a direzioni di flusso verosimilmente più prossime a quelle orizzontali, ovvero a coefficienti di permeabilità in direzione orizzontale k_h .

I coefficienti di consolidazione primaria c_v e secondaria c_α , applicabili a problemi di flusso in direzione verticale, utilizzabili, ove appropriato, nell'ambito di teorie di consolidazione convenzionali, saranno ricavati dalle prove di laboratorio (edometri).

6.3 MATERIALI A GRANA GROSSA

Lungo il tracciato in oggetto i materiali a grana grossa sono essenzialmente costituiti da, ghiaia, ghiaia sabbiosa e con sabbia (localmente limosa e/o argillosa); sabbia, sabbia limosa e debolmente limosa, localmente sabbia con ghiaia. In questa sede si intendono a grana grossa quei materiali caratterizzati da percentuali di fine (limo + argilla) inferiori a $\approx 35\%$.

In conseguenza del fatto che in tali materiali risulta difficile prelevare campioni indisturbati, la caratterizzazione geotecnica è affidata principalmente all'interpretazione delle prove in situ (mediante correlazioni empiriche) e delle prove di classificazione di laboratorio effettuate su campioni rimaneggiati.

Si rileva che le correlazioni empiriche riportate nei paragrafi seguenti sono rigorosamente applicabili ove è ragionevole ritenere che le prove interpretate siano avvenute in condizioni drenate, ovvero nei seguenti casi:

- Terreni sopra falda purché caratterizzati da percentuali di fine (limo e argilla) inferiori a $\approx 50\%$;
- Terreni sotto falda purché caratterizzati da percentuali di fine (limo e argilla) inferiori a $\approx 35\%$.

L'interpretazione delle prove in situ è finalizzata a determinare principalmente le seguenti caratteristiche:

- stato iniziale del deposito;
- parametri di resistenza al taglio;
- parametri di deformabilità;
- coefficienti di permeabilità.

6.3.1 Stato iniziale del deposito

In accordo a Jamiolkowski et al. (1988) ogni analisi geotecnica richiede la conoscenza dello stato iniziale del deposito in termini di:

- Tensioni geostatiche iniziali e storia tensionale;
- Pressioni interstiziali;
- Macrostruttura;
- Indice dei vuoti iniziale e_0 e densità relativa D_r .

Indicazioni sulle **tensioni geostatiche e sulla storia tensionale** possono essere ricavate con una certa approssimazione dagli studi di carattere geologico. In questa sede si faranno le seguenti ipotesi:

- I livelli prettamente sabbiosi non sono mai stati soggetti a pressioni litostatiche superiori a quelle attuali; essi verranno trattati pertanto come depositi normalmente consolidati, caratterizzati da un coefficiente di spinta a riposo $k_0 = (1 - \sin \phi') = 0.4 \div 0.5$.

Va rilevato che in tali depositi una leggera sovraconsolidazione potrebbe essere stata generata dai prelievi idrici ad uso agricolo ed industriale. Tuttavia, le implicazioni connesse col considerare o non considerare gli effetti di tale leggera sovraconsolidazione risultano relativamente contenute e confinate nell'ambito delle approssimazioni insite nell'interpretazione delle prove geotecniche in sito.

- I livelli di sabbie limose e sabbie con limo hanno subito storie desumibili dall'interpretazione delle prove di laboratorio sui campioni indisturbati, in accordo a quanto riportato nel paragrafo 6.2.2.

Le **pressioni interstiziali** possono essere ricavate sulla base della strumentazione (piezometri) messa in opera, nonché dalle risultanze dagli studi di carattere idrogeologico.

La **macrostruttura** del deposito può essere ricavata dall'analisi delle cassette catalogatrici e da osservazioni in sito su fronti di scavo, cave, etc..

L'**indice dei vuoti in sito (e_0) e la densità relativa (D_r)** possono essere ricavate con una certa approssimazione dall'interpretazione delle prove penetrometriche statiche e dinamiche e dalle prove geofisiche in foro di sondaggio come riportato nei paragrafi successivi.

Come noto, la densità relativa D_r è definita dal seguente rapporto:

$$D_r = \frac{e_{\max} - e_0}{e_{\max} - e_{\min}}$$

essendo:

e_{max} = indice dei vuoti massimo del materiale (-)

e_{min} = indice dei vuoti minimo del materiale (-)

e_o = indice dei vuoti in sito del materiale (-)

La valutazione di e_{max} ed e_{min} è normalmente effettuata in laboratorio facendo riferimento alle seguenti procedure:

- ASTM D4253 e D4254 per i materiali sabbiosi;
- Kokusho & Tanaka (1994) per i materiali ghiaiosi.

6.3.2 *Densità relativa*

6.3.2.1 Densità relativa dalle prove penetrometriche dinamiche in sabbia, SPT

In accordo a quanto indicato in Skempton (1986) la densità relativa D_r può essere correlata al valore N_{SPT} con la seguente legge:

$$D_r = \left(\frac{1}{A + B \cdot \sigma_{vo}'} \cdot N_{SPT} \right)^{0.5}$$

essendo:

A, B = costanti empiriche indicate in Tabella 6.1;

σ_{vo}' = pressione verticale efficace esistente in sito alla quota di esecuzione della prova SPT (kg/cm²)

N_{SPT} = numero di colpi per 30 cm di infissione

$(K_o)_{nc}$ = $1 - \sin\phi'$ = coefficiente di spinta a riposo per terreni normalmente consolidati (-)

$(k_o)_{sc}$ = $(K_o)_{nc} \cdot (GSC)^{0.5}$ = coefficiente di spinta a riposo per terreni sovra consolidati (-)

GSC = grado di sovra consolidazione (-)

D_r = densità relativa (-)

Tabella 6.1: Costanti empiriche A e B (Skempton, 1986)

Tipo di materiale	A	B
Sabbie fini normalmente consolidate	27,5	27,5
Sabbie grosse normalmente consolidate	43,3	21,7

Tipo di materiale	A	B
Sabbie sovra consolidate	27,5÷43,3	$(21,7÷27,5) \cdot \frac{1+2 \cdot (k_o)_{sc}}{1+2 \cdot (k_o)_{nc}}$

In questa sede, ove non specificato espressamente, si assumeranno valori di A e B corrispondenti alle sabbie medie.

Nel caso di raggiungimento delle condizioni di rifiuto, l'interpretazione geotecnica del dato sperimentale viene effettuata facendo riferimento ad un valore N_{SPT} calcolato come segue:

$$N_{SPT} = \frac{50}{a} \cdot 30 \quad \text{se il rifiuto viene raggiunto nel primo tratto di 15 cm}$$

$$N_{SPT} = \frac{50}{b} \cdot 30 \quad \text{se il rifiuto viene raggiunto nel secondo tratto di 15 cm}$$

$$N_{SPT} = N_2 + \frac{50}{c} \cdot 15 \quad \text{se il rifiuto viene raggiunto nel terzo tratto di 15 cm}$$

essendo (a), (b) e (c) gli affondamenti misurati (in centimetri) per un numero di colpi pari a 50, rispettivamente nel primo, secondo e terzo tratto di 15 cm.

6.3.3 Angolo di resistenza al taglio

L'angolo di resistenza al taglio di picco φ' può essere determinato facendo riferimento al metodo proposto da Bolton (1986) in base al quale:

$$\varphi' = \varphi_{cv}' + m \cdot DI$$

$$DI = D_r \cdot [Q - \ln(p_f')] - 1$$

essendo:

$$\varphi' = \text{angolo di resistenza al taglio di picco riferito a pressioni } \sigma_{ff}' = 272 \text{ kPa } (^\circ)$$

Q = coefficiente che dipende dalla composizione mineralogica e dalla forma delle particelle, assunto pari a 10

$$p_f' = 1,4 \cdot \sigma_{ff}' \text{ (vedi Jamiokowski et al. 1988) (kPa)}$$

$$\sigma_{ff}' = \text{tensione efficace normale alla superficie di rottura} = 272 \text{ kPa}$$

M = costante empirica dipendente dalle condizioni di deformazione prevalenti a rottura (vedi Tabella 6.2)

$$\varphi_{cv}' = \text{angolo di resistenza al taglio a volume costante o di stato critico } (^\circ)$$

D_r = densità relativa (-)

I valori di D_r utilizzati per definire l'angolo di resistenza al taglio, sono quelli determinati dalle prove SPT.

Tabella 6.2: Valori della costante empirica m secondo Bolton (1986)

Condizioni di rottura	m(·)
Prova triassiale di compressione ($\sigma_2' = \sigma_3'$)	3
Prova triassiale in Estensione o di deformazione piana ($\sigma_2' \neq \sigma_3'$)	5
σ_2' = tensione principale efficace intermedia	
σ_3' = tensione principale efficace minore	

I valori dell'angolo di resistenza al taglio $\phi_{cv'}$ sono ricavabili da prove di laboratorio (triassiali o di taglio diretto) su provini ricostituiti a basse densità relative o, in assenza di queste ultime, ipotizzabili in base a quanto indicato nella Tabella 6.3 (vedi ad esempio Youd, 1972; Stroud, 1988).

Tabella 6.3: Valori dell'angolo di resistenza al taglio $\phi_{cv'}$ per sabbie silicee secondo quanto riportato in Stroud (1988) e Youd (1972)

	Sabbie ben gradate	Sabbie uniformi
Sabbie a spigoli vivi	$\phi_{cv'} = 38^\circ$	$\phi_{cv'} = 34^\circ$
Sabbie a spigoli arrotondati	$\phi_{cv'} = 33^\circ$	$\phi_{cv'} = 30^\circ$

Nel caso delle ghiaie a spigoli arrotondati si può assumere mediamente $\phi_{cv'} = 34^\circ \div 36^\circ$.

In questa sede l'interpretazione delle prove, riportata nei successivi capitoli, verrà effettuata in accordo al metodo di Bolton (1986), assumendo cautelativamente, in considerazione del generalmente elevato contenuto di fine (limi e argille):

$\phi_{cv'}$ = 30° per le sabbie limose

$\phi_{cv'}$ = 33° per le sabbie e ghiaie

m = 3.

6.3.4 Caratteristiche di deformabilità

6.3.4.1 Moduli elastici iniziali

I moduli iniziali di taglio (G_0) e di Young (E_0) possono essere ricavati dai valori delle velocità delle onde di taglio V_s utilizzando le seguenti equazioni:

$$G_0 = \frac{\gamma_t}{9,81} \cdot (V_s)^2 \text{ (kPa)}$$

$$E_0 = G_0 \cdot 2 \cdot (1 + \nu')$$

essendo:

γ_t = peso di volume naturale del terreno in kN/m^3

ν' = rapporto di Poisson del terreno = $0,15 \div 0,30$

V_s = velocità di propagazione delle onde di taglio in m/sec .

La velocità di propagazione delle onde di taglio V_s può essere ottenuta direttamente dalle prove geofisiche "down hole", "MASW" o indirettamente interpretando i risultati delle prove SPT come descritto nei paragrafi seguenti.

6.3.4.2 Moduli elastici iniziali da prove SPT

La velocità delle onde di taglio da prove SPT in sabbie e ghiaie normalmente consolidate, silicee non cementate, può essere ricavata sulla base alla correlazione proposta da Ohta & Goto (1978) (vedi anche Baldi et al. 1989); in base a tale correlazione vale quanto segue:

$$V_s = C \cdot (N_{\text{SPT}})_{60\%}^{0.171} \cdot (z)^{0.199} \cdot f_A \cdot f_G \text{ (m/sec)}$$

essendo:

$C = 67,3$

z = profondità dal p.c. in metri

f_A = coefficiente funzione dell'epoca geologica del deposito (vedi la Tabella 6.4)

f_G = coefficiente funzione della composizione granulometrica (vedi la Tabella 6.5)

**Tabella 6.4: Relazione di Ohta e Goto, 1978 - Coefficiente f_A
(funzione dell'epoca geologica del deposito)**

f_A	Olocene	Pleistocene
	1,0	1,3

**Tabella 6.5: Relazione di Ohta e Goto, 1978 - Coefficiente f_G
(funzione della composizione granulometrica del deposito)**

f_G	Ghiaie	Sabbie ghiaiose	Sabbie grosse	Sabbie medie	Sabbie Fini
	1,45	1,15	1,14	1,07	1,09

Dai valori della velocità delle onde di taglio V_s si ottiene il modulo di taglio iniziale G_0 secondo quanto segue:

$$G_0 = \rho \cdot V_s^2$$

essendo:

ρ = Densità del materiale

6.3.4.3 Moduli elastici "operativi"

Il comportamento dei terreni a grana grossa risulta non lineare; i moduli di deformazione risultano infatti funzione sia delle pressioni efficaci medie correnti p' sia del livello di deformazione indotto o del grado di mobilitazione della resistenza al taglio.

In relazione a quanto sopra la scelta dei moduli di deformazione per le analisi ingegneristiche viene a dipendere anche dal metodo di analisi adottato.

Nel caso in cui la progettazione faccia ricorso a metodi di calcolo elastico-non lineari, i dati di ingresso per le analisi sono:

- I moduli elastici iniziali di cui al paragrafo 6.4.4.1.

- Le curve di degrado del modulo in funzione del livello di deformazione indotto. Tipiche curve di degrado del modulo di taglio G in funzione del livello di deformazione γ indotto, tratte da Lo Presti (1989), sono riportate nella Figura 6.4 e Figura 6.5.

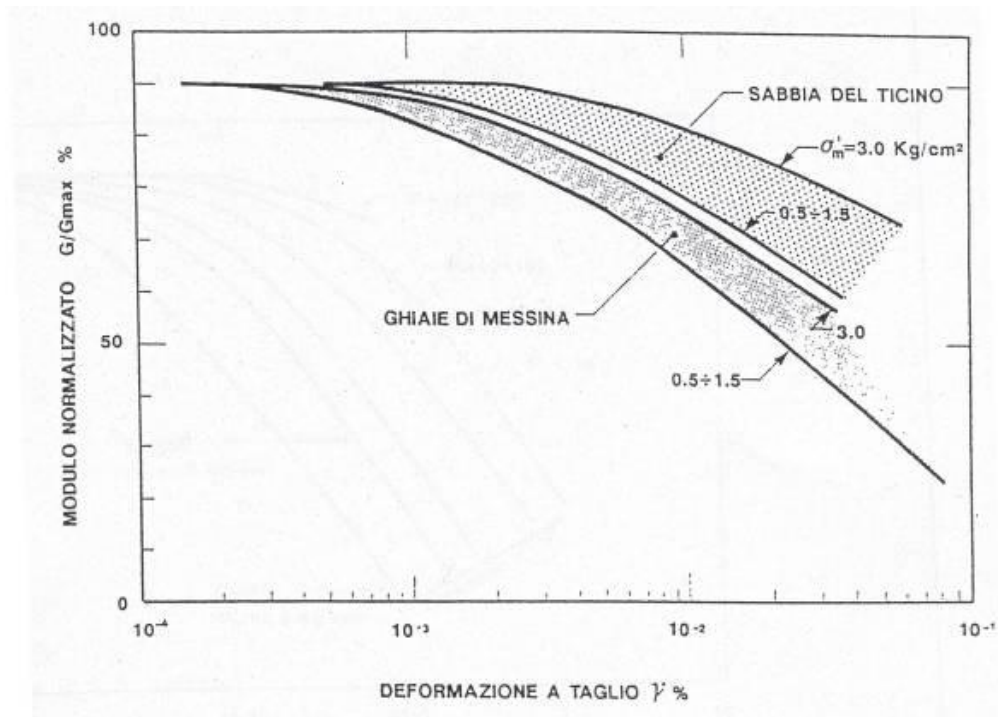


Figura 6.4: Degradamento del modulo G per terreni incoerenti

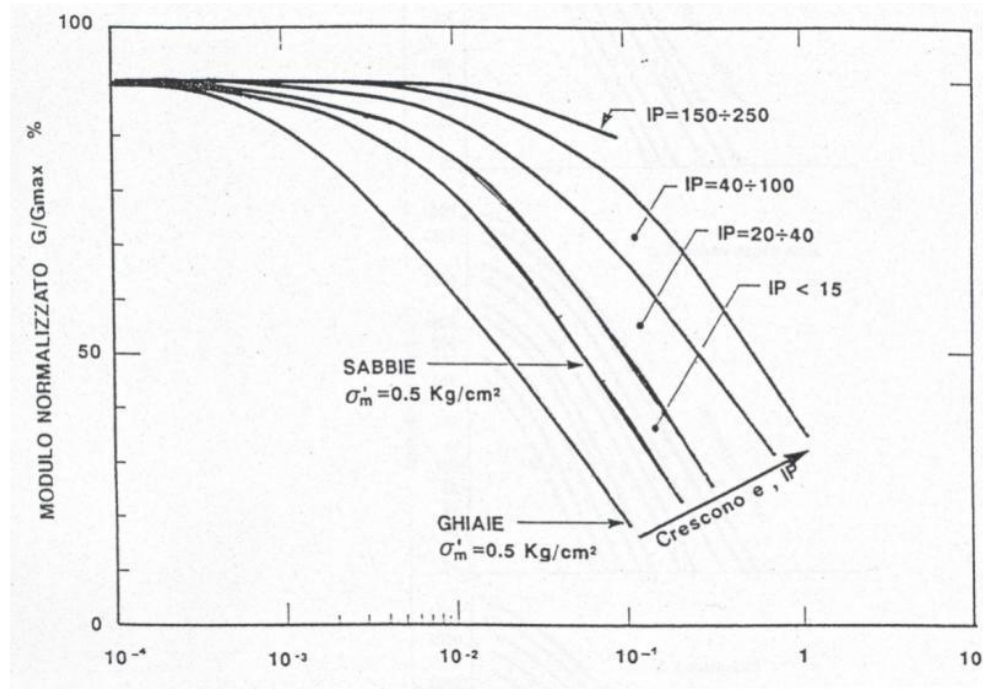


Figura 6.5: Degrado del modulo G per vari tipi di terreno

Nel caso in cui la progettazione faccia ricorso a metodi di calcolo elastico-lineari o elastico-lineari-plastici, per la stima dei moduli “operativi” da associare allo specifico problema al contorno verranno fatte le seguenti assunzioni “convenzionali”:

- nel calcolo dei cedimenti dei rilevati i moduli di Young “operativi” E_{op1} sono pari a circa $(1/6 \div 1/10) \cdot E_0$ o, in alternativa, pari a quelli desumibili dalle correlazioni empiriche riportate successivamente; per tali strutture in terra possono essere infatti ammessi cedimenti totali e differenziali maggiori di quelli delle fondazioni profonde e dirette.
- nell’analisi di fondazioni profonde e dirette i moduli di Young “operativi” E_{op2} sono pari a circa $1/5 \cdot E_0$, ciò in considerazione del fatto che:
 - gli spostamenti totali e differenziali ammissibili per l’opera sono molto contenuti (i cedimenti ammissibili sono infatti generalmente inferiori a $0.01 \cdot B$, essendo B la dimensione minore della fondazione).
 - da ciò deriva che, in base alla normativa vigente e alla pratica corrente, tale tipo di opere è caratterizzato infatti da coefficienti di sicurezza nei confronti della rottura per capacità portante generalmente superiori a $2.5 \div 3$;

Moduli elastici “operativi” E_{op1} da prove SPT in sabbia e ghiaia

In accordo a Jamiolkowski et al. (1988) per la stima dei moduli elastici operativi da prove SPT valgono le seguenti espressioni:

$$E_{op1} = E'_{25} = (10,5 - 3,5 \cdot D_r) \cdot N_{SPT} / 10 \quad \text{MPa} \quad \text{nel caso dei terreni normalmente consolidati}$$

$$E_{op1} = E'_{25} = (52,5 - 35 \cdot D_r) \cdot N_{SPT} / 10 \quad \text{MPa} \quad \text{nel caso dei terreni sovraconsolidati}$$

essendo:

E'_{25} = modulo di Young secante cui corrisponde un grado di mobilitazione della resistenza ultima pari al 25%;

D_r = densità relativa espressa come frazione dell'unità;

N_{SPT} = numero di colpi in prova SPT.

Where:

Si rileva che nel caso di materiali ghiaioso-sabbiosi e per valori di densità relativa D_r inferiori a 50% le espressioni suddette conducono ad una sottostima dei valori di E'_{25} .

6.3.4.4 Moduli di reazione orizzontale alla Matlock & Reese (1960)

Nel progetto delle fondazioni profonde su pali i moduli di reazione orizzontale iniziali (E_{si}) alla Matlock & Reese (1960), utili per definire la parte iniziale delle curve p-y, verranno valutati in accordo alla seguente espressione:

$$E_{si} = k_{hi} \cdot z \quad (\text{kPa})$$

essendo:

k_{hi} = gradiente con la profondità del modulo di reazione orizzontale, riportato nella Tabella 6.6 (vedi Reese et al, 1974 e Elson, 1984) (kN/m^3);

z = profondità dal piano campagna originario.

Tabella 6.6: Gradiente con la profondità del modulo di reazione orizzontale secondo Reese et al. (1974) (vedi anche Elson (1984))

D_r (%)	K_{hi} (kN/m ³)
35%	6000 ÷ 10000
50%	12000 ÷ 17000
70%	20000 ÷ 25000

6.3.5 Coefficienti di permeabilità

I coefficienti di permeabilità k sono determinabili sulla base dei risultati delle prove di permeabilità Lefranc in foro di sondaggio; in alternativa o per conferma essi possono essere stimati sulla base delle seguenti metodologie (vedi Sommerville, 1986):

1. Dati bibliografici riportati in Tabella 6.7.
2. Utilizzo della seguente procedura:
 - Valutazione del coefficiente di uniformità = D_{60}/D_{10} , essendo D_{60} il diametro corrispondente al 60% di passante e D_{10} il diametro corrispondente al 10% di passante;
 - Assegnazione del valore caratteristico di D_{50} , ovvero del diametro corrispondente al 50% di passante;
 - Utilizzo dei diagrammi riportati nella Figura 6.6.

Tabella 6.7: Stima dei coefficienti di permeabilità in base alla descrizione litologica

k (m/sec)	Grado di permeabilità	Tipo di terreno
$k > 1 \cdot 10^{-3}$	Alta	Ghiaie
$1 \cdot 10^{-3} > k > 1 \cdot 10^{-5}$	Media	Sabbie ghiaiose e Ghiaie sabbiose
$1 \cdot 10^{-5} > k > 1 \cdot 10^{-7}$	Bassa	Sabbie fini
$1 \cdot 10^{-7} > k > 1 \cdot 10^{-9}$	Molto bassa	Limi e sabbie argillose
$1 \cdot 10^{-9} > k$	Bassissima (impermeabile)	Argille

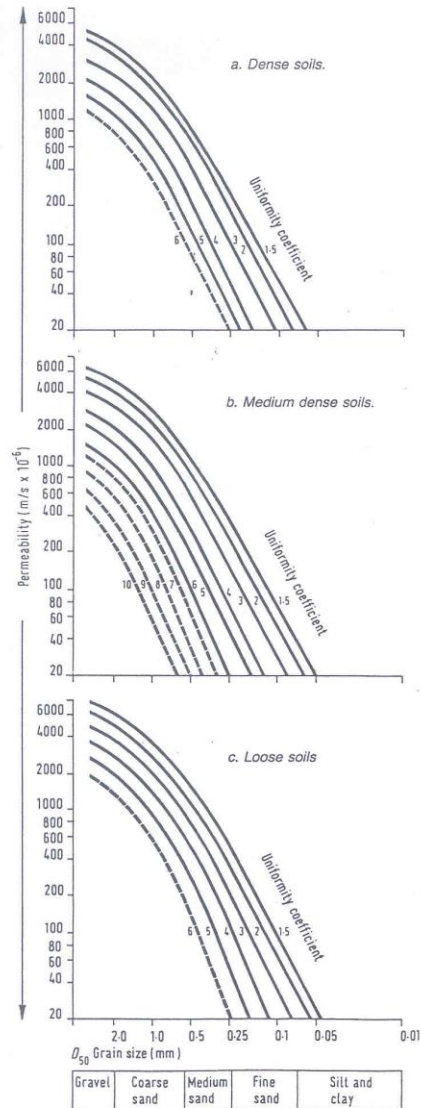


Figura 6.6: Coefficiente di permeabilità (k) in funzione del coefficiente di uniformità U (U=D₆₀/D₁₀) e del D₅₀ (Sommerville, 1986)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D26RG	DOCUMENTO GE0000 001	REV. B

7 QUADRO DI RIFERIMENTO GEOLOGICO-GEOTECNICO

7.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Sulla base di quanto riportato nella Relazione Geologica (Doc.Rif. [14]) e nei profili geologici (Doc.Rif. [15]), il modello geologico individuato è il seguente:

L'area interessata dal tracciato ferroviario in progetto si sviluppa nell'area della pianura parmense e si colloca a nord del versante emiliano dell'Appennino settentrionale. La catena si è originata in seguito alla convergenza crostale tra la placca adriatica ed europea ed alla conseguente sutura della stretta fascia del bacino oceanico ligure-piemontese, le cui antiche testimonianze sono oggi osservabili solo nelle rocce ofiolitiche sparse in alcune zone della catena.

Esso è caratterizzato dalla diffusa presenza in affioramento di rocce sedimentarie di origine marina formatesi per la maggior parte in un periodo compreso tra il Cretaceo inferiore (140 milioni di anni fa) ed il Pliocene superiore (circa 2 milioni di anni fa) in differenti domini paleogeografici: il Dominio ligure, che corrisponde in larga misura all'area oceanica, il Dominio epiligure, che si imposta a partire dall'Eocene medio sulle unità liguri già tettonizzate, il Dominio subligure, sviluppato sulla crosta assottigliata africana adiacente alla zona oceanica, e il Dominio toско-umbro, di pertinenza africana.

Tali rocce sono state successivamente sollevate e deformate durante le fasi tettoniche orogenetiche che hanno portato all'attuale assetto degli Appennini settentrionali, risultando, al termine del processo deformativo, traslate e sovrapposte in modo assai complesso.

Nell'area di pianura antistante al margine appenninico sono presenti due archi di accavallamenti per lo più sepolti, sviluppati con orientamento NO-SE: sono strutture anticlinali caratterizzate da piani inclinati di 20° - 30°, immergenti a SO, separati da zone sinclinali fortemente subsidenti. L'arco più meridionale ("Pedeappenninic Thrust Front") borda l'attuale margine dell'Appennino, mentre quello più settentrionale ("External Thrust Front") è un arco sepolto nel Bacino Padano, lungo l'asse Parma-Cremona.

L'intero Bacino Padano, infatti, si è originato grazie alle spinte deformative che, a partire dal Miocene superiore, hanno coinvolto l'Appennino Settentrionale e il substrato padano, provocandone la deformazione secondo falde sovrapposte. In particolare, nell'area prossima alla città di Parma sono presenti le unità tettoniche più esterne semi-alloctone del dominio Umbro-marchigiano-romagnolo, su cui sono sovrascorse le unità liguri.

Dal punto di vista geomorfologico, la configurazione della zona compresa tra l'Appennino Emiliano e la città di Parma risente della presenza del Fiume Taro e del Torrente Baganza, i cui terrazzi si estendono longitudinalmente in direzione SO-NE. Tali terrazzi sono caratterizzati da un'intensa pedogenesi, con suoli impostati su depositi alluvionali; quelli situati tra il T.Parma ed il T.Baganza risultano maggiormente inclinati a causa della tettonica che ha basculato in modo sensibile il settore compreso tra i due corsi d'acqua.

7.2 ASSETTO STRUTTURALE

Il territorio in esame non evidenzia strutture geologiche di superficie. Ciò nonostante, l'esplorazione geofisica effettuata per la ricerca di idrocarburi mostra che la Pianura Padana, a sud del Po, è caratterizzata dalla presenza di faglie inverse e sovrascorrimenti sepolti nord-vergenti associati ad anticlinali e costituenti i fronti più esterni della catena appenninica (Pieri e Groppi, 1975).

Il margine meridionale della Pianura mostra un andamento NW-SE parallelo all'adiacente catena ed è costituito al suo interno da quattro archi strutturali, estesi per centinaia di chilometri che, a partire da W, prendono il nome di Arco del Monferrato, Arco delle Pieghe Emiliano-Romagnole, Arco delle Pieghe Ferraresi e Arco Adriatico. Questi archi sono simmetrici e tra loro simili: nella parte occidentale sono costituiti da sistemi di sovrascorrimenti ovest-vergenti, mentre più ad est sono caratterizzati da un insieme di pieghe e faglie inverse NE-vergenti, ad alto angolo e profondamente radicate (Costa, 2003).

Essi coincidono con i sistemi di accavallamento a vergenza nord-orientale che delimitano zone di culminazione, in corrispondenza delle quali la sedimentazione Plio-Pleistocenica presenta spessori ridotti che delimitano, a nord e a sud, delle zone depresse nelle quali invece la sedimentazione plio-pleistocenica ha determinato l'accumulo di potenti successioni sedimentarie (Figura 7.1).

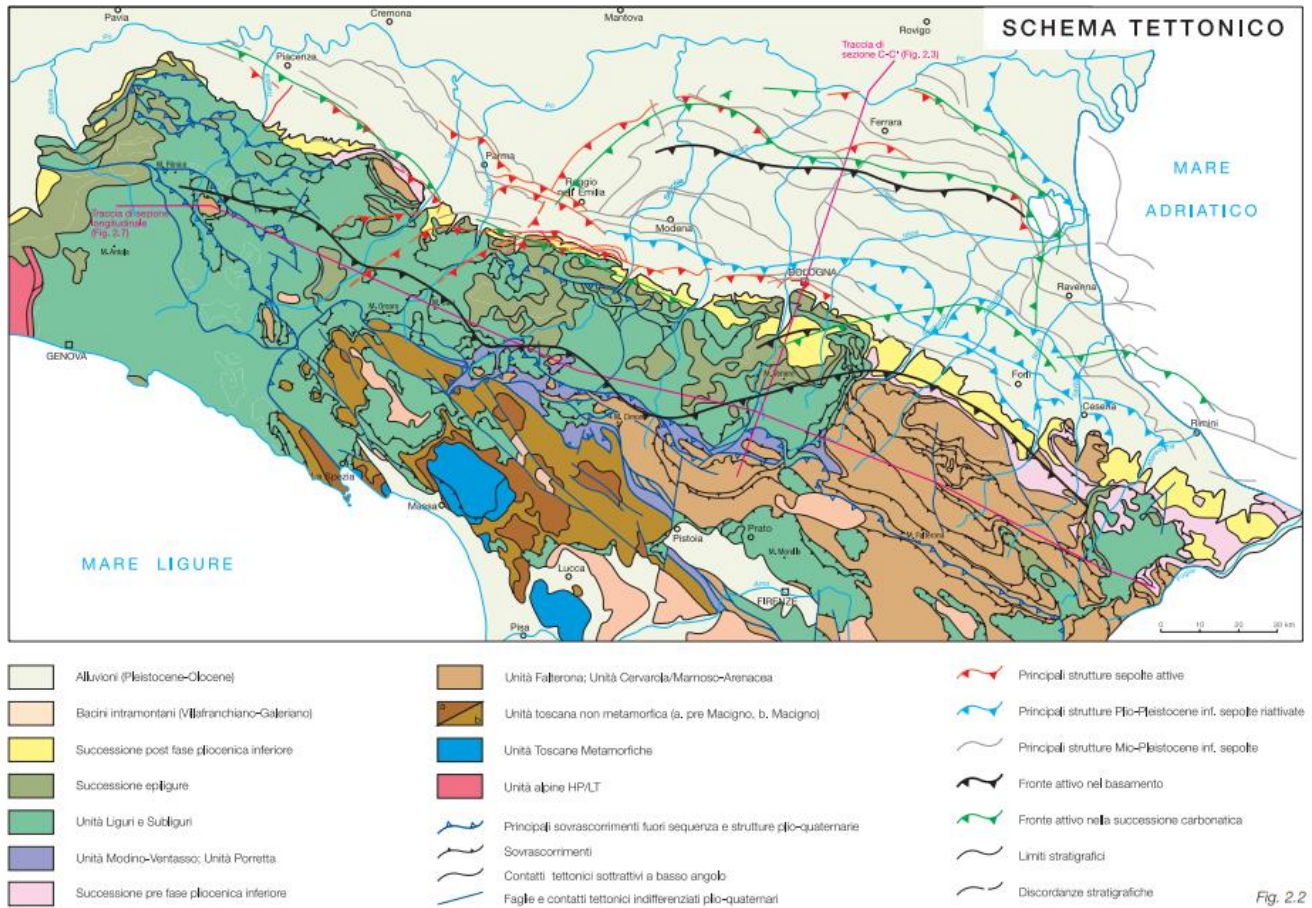


Figura 7.1: Strutture attive della Regione Emilia-Romagna (Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna in scala 1:250.000 – SGSS Regione Emilia-Romagna a cura di M. Boccaletti e L. Martelli). Il cerchio rosso individua l'area di studio

Immaginando di percorrere la linea ferroviaria che collega Parma a Fornovo Val di Taro è possibile distinguere due domini tettonico-stratigrafici separati, con evidenti riflessi sulla morfologia superficiale dell'area compresa tra gli Appennini e la città di Parma.

Il primo dominio, identificato nell'area compresa tra Parma e Collecchio, è caratterizzato da una morfologia subpianeggiante generata dalla sedimentazione alluvionale del Fiume Taro e Torrente Baganza a ricoprimento delle strutture deformative frontali della catena Appenninica settentrionale.

Il secondo dominio tettonico coincide con i rilievi collinari presenti nell'intorno dell'abitato di Fornovo di Taro. In quest'area affiorano i termini cretacei e paleogenici delle successioni Liguri ed Epiliguri,

stratigraficamente inferiori alle unità del Messiniano terminale e del Plio-Pleistocene, appartenenti alle unità autoctone dell'avanfossa padana, alle successioni del quaternario marino e continentale fluvio-glaciale ed alluvionale.

Tutta l'area oggetto del presente studio si trova compresa all'interno del primo dominio strutturale.

7.3 ELEMENTI DI GEOMORFOLOGIA

Partendo dalla città di Parma fino all'abitato di Vicofertile il tracciato ferroviario si snoda nell'ambito dell'alta pianura alluvionale parmense, caratterizzata da un blando gradiente topografico generalmente immergente a nord - nord-est e con pendenze medie dell'ordine del 6‰.

Le uniche rotture di pendenza della superficie topografica sono rappresentate localmente da piccole anomalie morfologiche corrispondenti alle scarpate di terrazzo fluviale, a incisioni legate a fossi e canali di scolo, oltre che ad aree antropizzate (cave, trincee, rilevati, ecc.)

La cartografia fornita dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna mette in evidenza la presenza di numerose tracce di alvei fluviali abbandonati all'interno della pianura parmense.

La genesi e l'evoluzione di quest'area è strettamente connessa alla morfogenesi pleisto-olocenica della porzione mediana e del piede della grande conoide del Fiume Taro. Su questa conoide, ormai inattiva, è facilmente riconoscibile un uso del suolo di tipo agricolo, con colture prevalentemente a seminativo e a graminacee da destinare ai numerosi allevamenti bovini presenti in zona.

Il reticolo idrografico è costituito da fossi di scolo e corsi d'acqua minori ormai rettificati, deviati ed incanalati per scopi passati di bonifica ed irrigazione che costituiscono così una idrografia del tutto artificiale.

7.4 MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

Ai fini della rappresentazione del modello geologico dell'area in esame è stato sviluppato, lungo l'asse di progetto, il profilo geologico che costituisce una ricostruzione interpretativa basata sulle informazioni di terreno, integrate dai risultati delle indagini geognostiche condotte nelle varie fasi di progettazione o eseguite all'interno dell'areale di progetto. I dati raccolti ed acquisiti fanno sì che esso costituisca una rappresentazione previsionale delle condizioni geologiche lungo il tracciato adeguata al

livello progettuale, ed una raffigurazione del sottosuolo che ne esprima in maniera attendibile, in relazione ai dati a disposizione, le caratteristiche litostratigrafiche.

Il primo corpo ghiaioso, indicato con il numero 1, è presente esclusivamente nella parte iniziale del tracciato, tra le pk 0+000 e 1+200 circa. Questo orizzonte rappresenta con ogni probabilità un deposito grossolano legato all'attività del Torrente Parma ed è stato riconosciuto dal sondaggio PR3 per uno spessore di circa 11.5 m (Figura 7.2).



Figura 7.2: Sondaggio PR3, 5,00-10,00 m

Al di sotto e lateralmente a questo corpo ghiaioso si sviluppa un corpo prevalentemente limoso e argilloso che affiora in superficie e si estende per tutto il tracciato assottigliandosi gradualmente e poi interrompendosi alla pk 7+750 circa, in prossimità della stazione di Vicofertile.

Al di sotto di questo orizzonte limoso si sviluppa un potente banco di ghiaie di circa 20-30 m di spessore e continuo su tutto il tracciato. Verso Parma le ghiaie sono continue lungo tutta la verticale, dal tetto alla base; spostandosi verso Vicofertile, invece, alle ghiaie si intercalano lenti limoso argillose.

I sondaggi PCL053B01, BH2, PCL053B16 e XL051G009 sono esempi di sondaggi in cui le ghiaie risultano continue dalla base al tetto dell'intervallo; i sondaggi PCL053B03, PCL053B04, BH3 e PNL053C22 sono invece esempi di sondaggi nei quali si individuano lenti limoso argillose, anche di spessore significativo, intercalate all'interno del corpo ghiaioso principale.

Saltuariamente in questo corpo ghiaioso sono intercalate lenti a composizione prevalentemente sabbiosa.

Questo corpo ghiaioso è limitato alla base da un corpo limoso argilloso, ricostruito solamente nella porzione centrale del tracciato, di circa 5-10 m di spessore.

Al di sotto di questo orizzonte limoso argilloso i sondaggi PCL053B04, BH3 e PCL053B05 individuano ancora la presenza di ghiaie.

	COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D26RG	DOCUMENTO GE0000 001	REV. B	FOGLIO 58 di 225

7.5 PROFILO GEOLOGICO-GEOTECNICO: UNITÀ LITOTECNICHE

A partire dalle informazioni cartografiche e bibliografiche di carattere geologico disponibili per la zona, sulla base dell'interpretazione delle risultanze delle indagini geognostiche disponibili e delle informazioni derivate dai rilievi geologici effettuati in sito è stata ricostruita la stratigrafia dei terreni lungo il tracciato ferroviario in progetto, finalizzato in particolare alla successiva fase di caratterizzazione geotecnica dei vari litotipi.

È stato pertanto redatto un profilo-geologico geotecnico in asse al tracciato su base litologica in riferimento alle unità geologiche riportate nella cartografica tematica, rappresentato nelle tavole grafiche allegate al presente progetto.

Con riferimento ai suddetti dati e alle osservazioni effettuate nel corso dei rilievi in campo, sono state individuate, limitatamente all'area in oggetto, le unità stratigrafiche descritte nel seguito.

Si tratta di una descrizione basata principalmente sul riconoscimento e sull'osservazione diretta dei litotipi effettuata in campo in fase di indagine geognostica e di rilevamento geologico, e che pertanto può in parte differire rispetto alle descrizioni a carattere più generale fornite al capitolo [14].

In particolare, a partire dal piano di campagna si individuano:

- **A1-** Argille limose e limi argillosi di colore marrone chiaro, nocciola, avana e grigio, generalmente consistenti con frustoli carboniosi e livelli decimetrici a forte componente organica. Sono presenti locali intercalazioni limoso sabbiose e sabbiose, localmente ghiaiose. Si rinvencono concrezioni carbonatiche da millimetriche a centimetriche (calcinelli) (Figura 7.3).



Figura 7.3: Esempio di "limo argilloso". Sondaggio BH2, tratto limo argilloso da 1.0 a 18.0

- **A2** - Ghiaia, ghiaia sabbiosa e con sabbia, localmente limosa e/o argillosa di colore marrone chiaro e avana da media a grossolana, eterometrica, morfologicamente mediamente evoluta ed evoluta, poligenica, generalmente di natura calcarea, marnosa ed arenacea, di dimensioni da subcentimetriche a pluricentriche, presenti ciottoli sparsi subarrotondati (diametro anche maggiore di 10 cm) (Figura 7.4).



Figura 7.4: Esempio di litofacies "A2_Ghiaia". Sondaggio BH7, tratto ghiaioso da 18:0 a 40.0

- **A3** - Sabbia, sabbia limosa e debolmente limosa, localmente sabbia con ghiaia, generalmente di colore grigio con locale presenza di materiale organico (Figura 7.5).



Figura 7.5: Esempio di “Sabbia”. Sondaggio BH7, tratto sabbioso da 31.5 a 36.0

Per una corretta e completa comprensione ed interpretazione dei rapporti stratigrafici e geometrici tra le varie unità litotecniche individuate si rimanda ai profili geologico-geotecnici riportati nelle tavole grafiche allegate al presente progetto (Doc No. IP0000D26F7GE0000001A, IP0000D26F7GE0000002A, IP0000D26F7GE0000003A, IP0000D26F7GE0000004A, IP0000D26F7GE0000005A, IP0000D26F7GE0000006A).

7.6 PROFILO GEOLOGICO IN ASSE AL TRACCIATO

Il primo tratto del tracciato, dalla pk 0+000 alla pk 1+1200 è caratterizzato dalla presenza in superficie di depositi ghiaiosi grossolani (G) legati all'attività del Torrente Parma. Questi depositi si rinvennero per uno spessore di circa 11.5 m. Questo banco di ghiaie superficiali poggia su un livello

limoso-argilloso (L) di circa 11 m di spessore al di sotto del quale si rinvencono nuovamente ghiaie, caratterizzate dalla presenza di lenti limoso-argillose.

Dalla pk 1+200 alla pk 2+900 il tracciato si sviluppa prima in trincea e successivamente in galleria artificiale. La stratigrafia dei terreni è caratterizzata da un livello superficiale limoso-argilloso di spessore compreso tra i 17 m e i 10 m a cui segue un banco continuo di ghiaie il quale poggia nuovamente su limi-argillosi. In questo tratto le ghiaie sono continue dalla sommità alla base senza significative lenti limoso argillose intercalate all'interno. Lo spessore delle ghiaie in questo tratto supera i 20 m. Questo importante banco di ghiaie ospita una falda che risulta continua in tutta la sezione indagata e che, in questo tratto considerato, è in condizioni confinate nei periodi di alto piezometrico.

A seguire, dalla pk 2+900 alla pk 4+500 il tracciato si sviluppa ancora in galleria artificiale ed infine in trincea. L'assetto stratigrafico rimane sostanzialmente invariato: si ritrova sempre un corpo prevalentemente ghiaioso, continuo e limitato alla base e al tetto da livelli limoso argillosi. A differenza del tratto precedente, però, all'interno di questo corpo ghiaioso sono state ricostruite alcune lenti limoso-argillose. I sondaggi più profondi intercettano, a profondità superiori a 35 metri da p.c. nuovamente delle ghiaie. Il tetto di questo corpo ghiaioso profondo si colloca ad una profondità di circa 38 m da p.c.

Nel tratto compreso tra la pk 1+300 e la pk 4+500 il tracciato si sviluppa quindi in trincea e in galleria artificiale. Sulla base della ricostruzione stratigrafica derivante dalle indagini geognostiche a disposizione il tracciato, in prossimità della galleria artificiale, attraversa materiali prevalentemente coesivi costituiti da argille limose e limi argillosi (litofacies L), a luoghi sabbiose, con sporadiche e locali intercalazioni ghiaioso-sabbiose (litofacies G). In prossimità della galleria il tetto dei depositi ghiaiosi si colloca a profondità variabili tra 18 e 4 metri dal piano campagna; in particolare, in base alle stratigrafie elaborate, lo scavo della galleria lambisce il tetto delle ghiaie dalla pk 2+550 fino all'imbocco lato Vicofertile.

Dalla pk 4+500 fino a fine tracciato il modello geologico non presenta particolari variazioni stratigrafiche rispetto al tratto appena descritto. Il livello limoso-argilloso superficiale mantiene la sua continuità, assottigliandosi gradualmente interrompendosi alla pk 7+750 circa, in prossimità della stazione di Vicofertile.

In questo tratto nel corpo ghiaioso oltre alle lenti limose si trovano intercalate anche sporadiche lenti sabbiose.

8 CARATTERIZZAZIONE DELLE UNITA' STRATIGRAFICHE GEOTECNICHE

La caratterizzazione stratigrafica è stata eseguita sulla base dei risultati delle prove penetrometriche standard (SPT) eseguite nei fori di trivellazione e i risultati delle prove di laboratorio. Sono state analizzate anche le misure delle onde di taglio Vs eseguite nelle prove Down-Hole e MASW.

8.1 UNITÀ GEOTECNICA A1 (L)

8.1.1 Generale

Queste unità geotecniche sono costituite da limo argilloso e argilla limosa con sabbia, da debolmente sabbioso a limo sabbioso e argilla, a tratti debolmente sabbioso, mediamente fine, da debolmente umido a umido, generalmente coerente, di colore marrone avana, marrone nocciola e marrone grigiastro con livelli rossastri e verdastri. A tratti sono presenti patina nerastra o macchiettatura nerastra di materiale organico e livelli debolmente sabbiosi e livelli di torba. L'unità di depositi A1 (L) a grana fine raggiunge profondità di circa 10,0 da piano campagna. Queste unità sono presenti lungo tutto lo sviluppo della linea ferroviaria. Sulla base anche di quanto riportato nella Mappa Geologica, questi materiali di superficie sono con tutto il percorso con unità geologiche AES8/AES8a.

8.1.2 Risultati ed interpretazione delle prove in sito

Nel seguito sono presentati i risultati delle prove penetrometriche standard e la loro interpretazione, nello specifico:

- Risultati prove SPT (N_{SPT});
- Coesione non drenata da N_{SPT} ;
- Coesione non drenata da Vane Test;
- Coesione non drenata da Pocket Penetrometer Test;
- Modulo di elasticità tangenziale iniziale G_0 da N_{SPT} ;
- Modulo di elasticità tangenziale iniziale G_0 da MASW-DH;
- Modulo di elasticità iniziale E_0 da N_{SPT} ;
- Modulo di elasticità iniziale E_0 da MASW-DH;

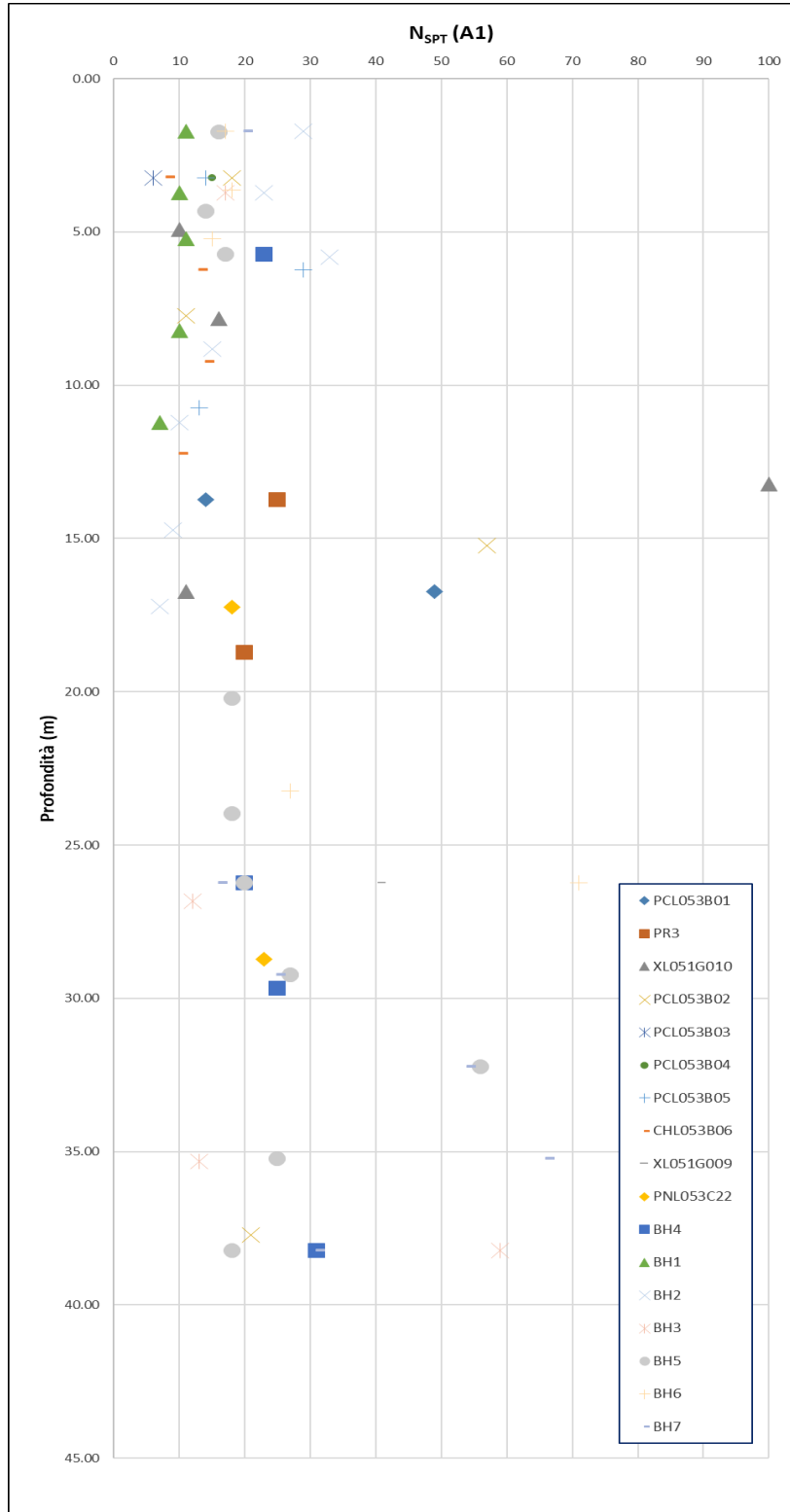


Figura 8.1 – Numero di colpi N_{SPT}

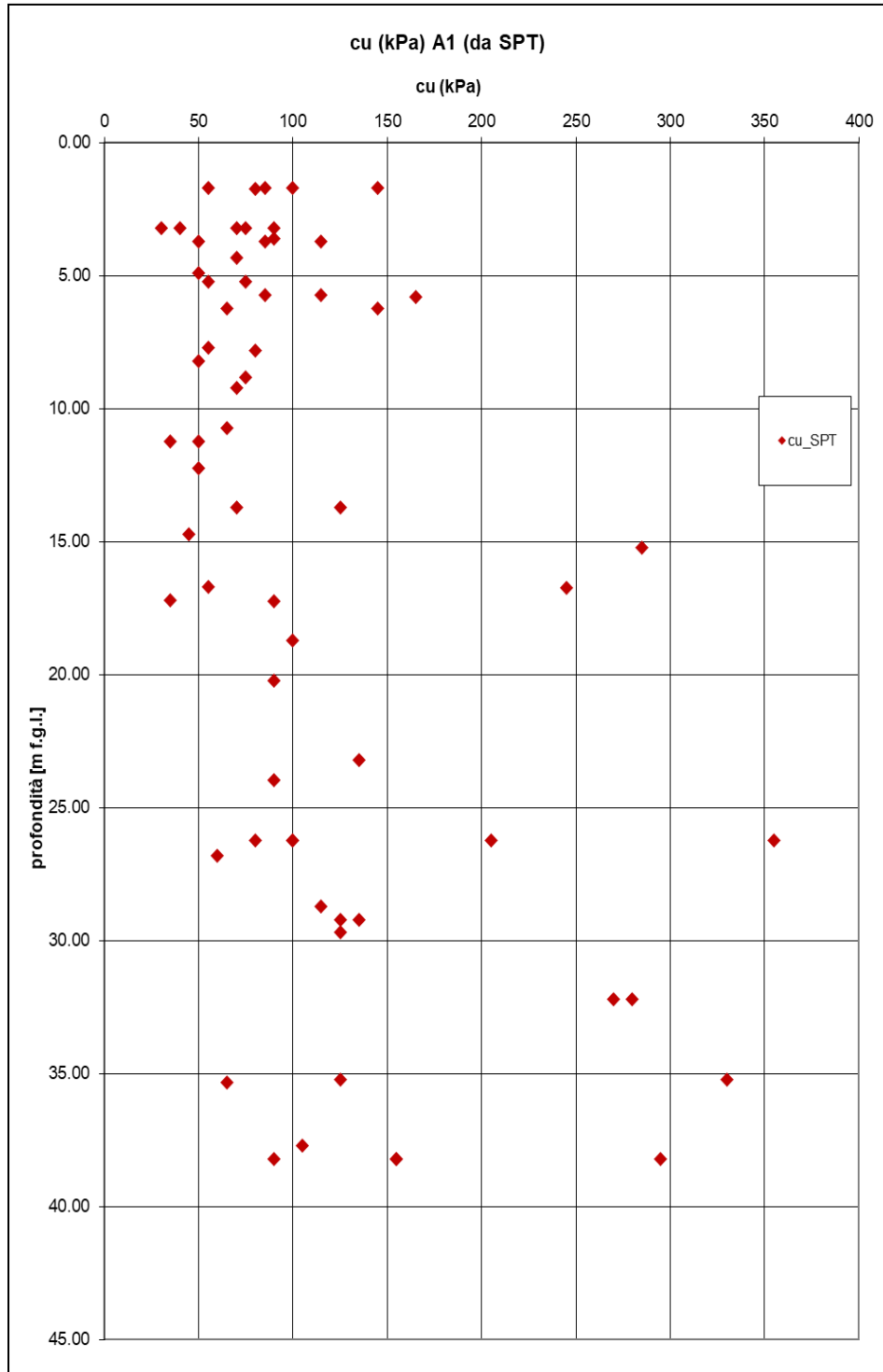


Figura 8.2 – Coesione non drenata da N_{SPT}

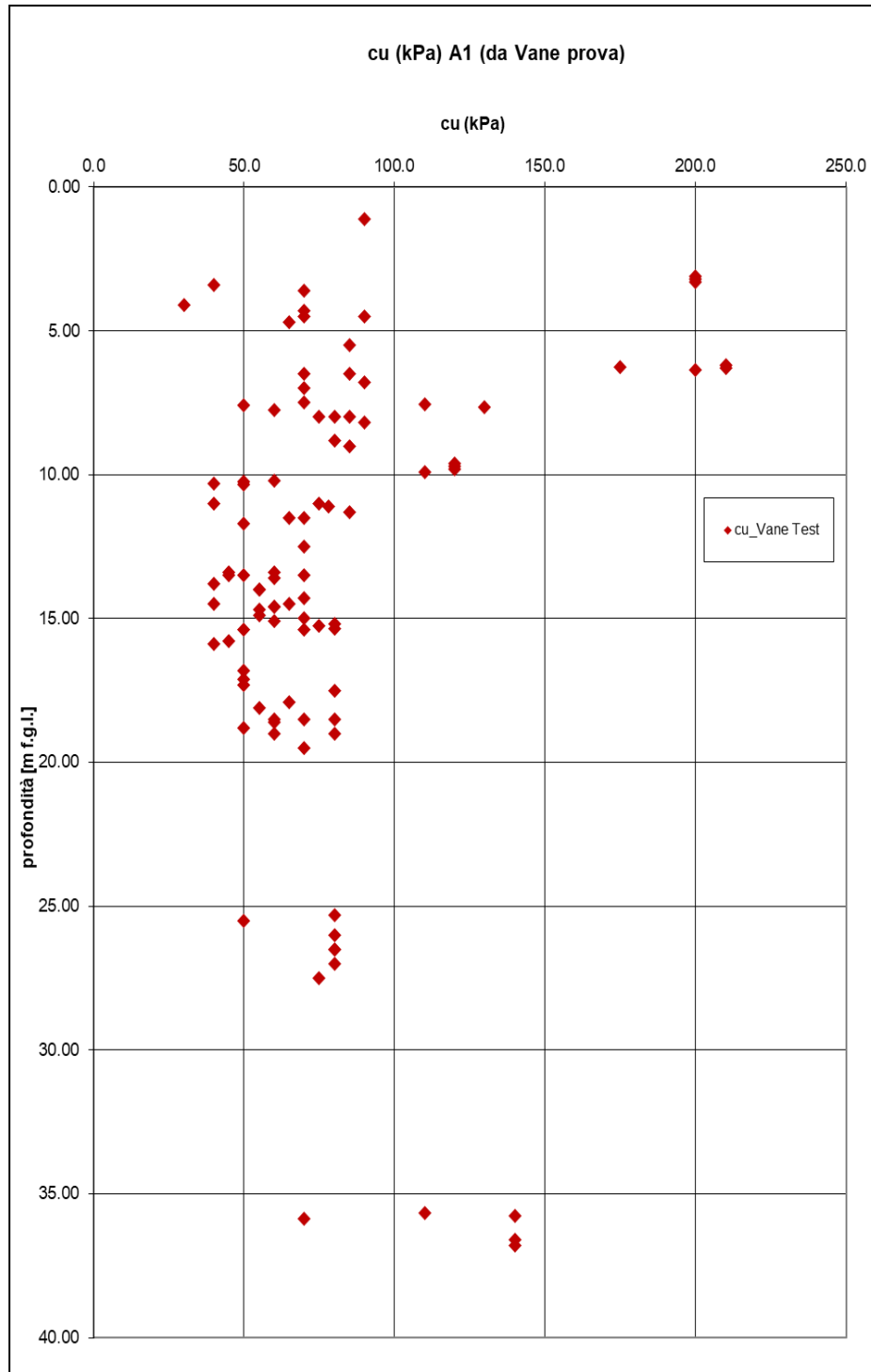


Figura 8.3 – Coesione non drenata da Vane test

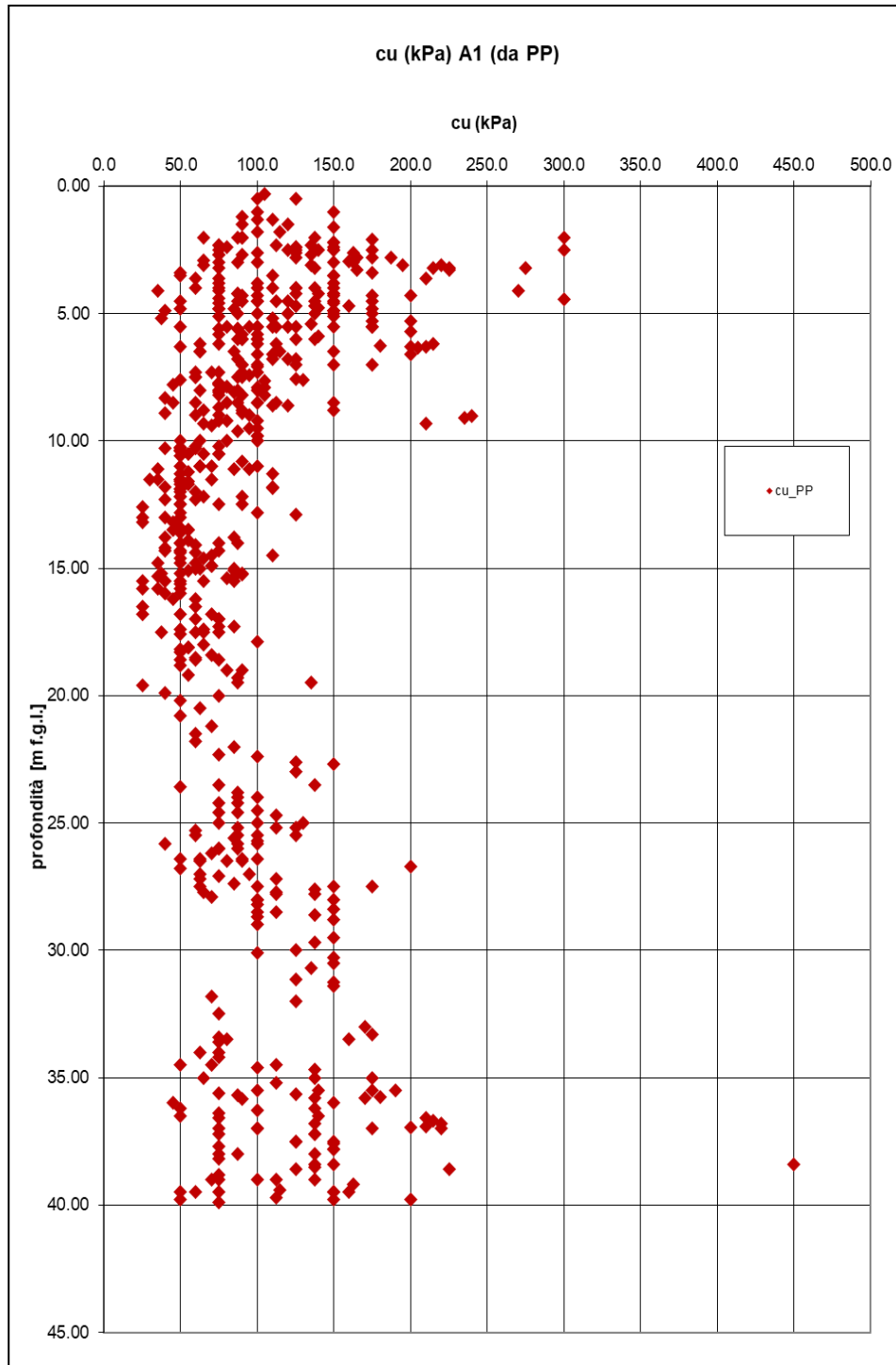


Figura 8.4 – Coesione non drenata da Pocket Penetrometer

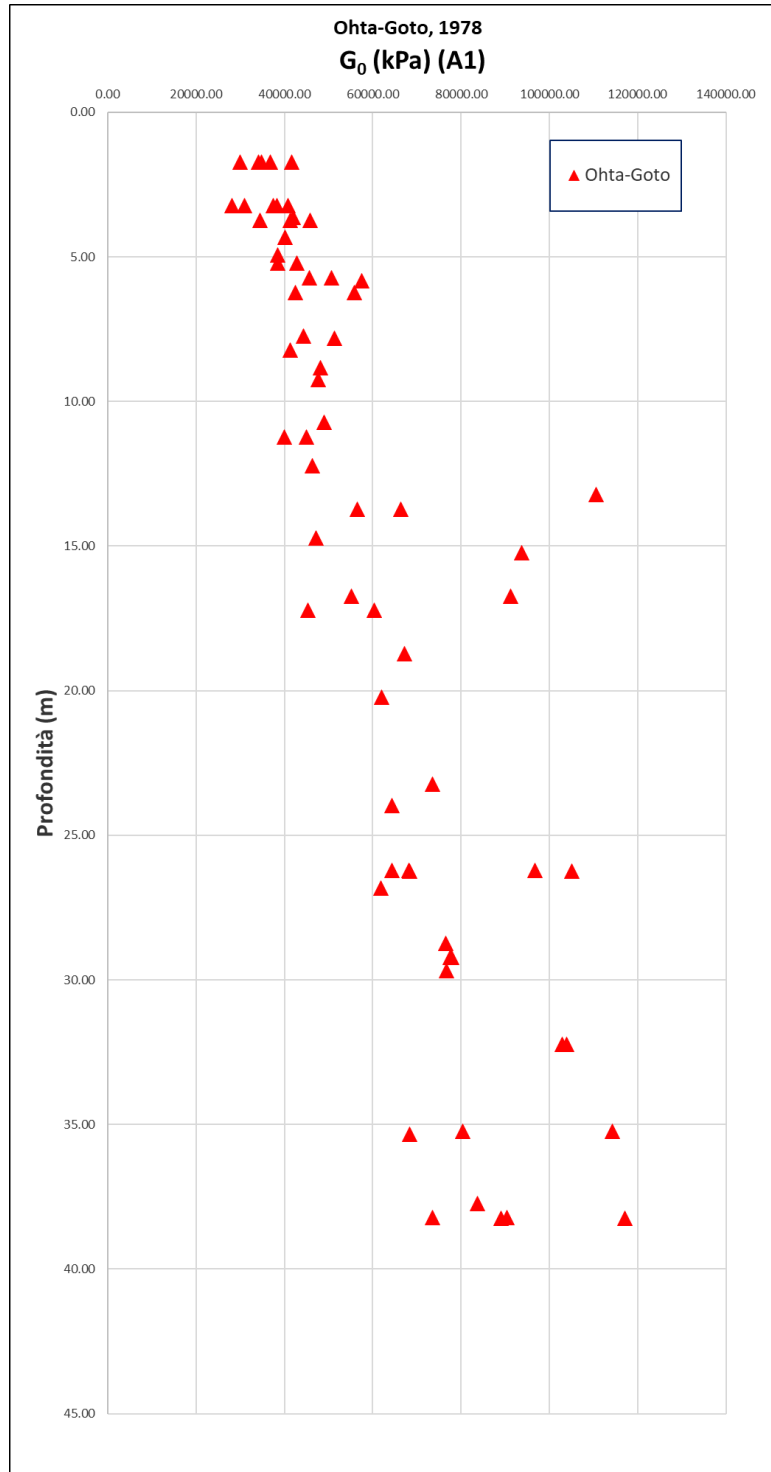


Figura 8.5 – G₀ da elaborazione N_{SPT}

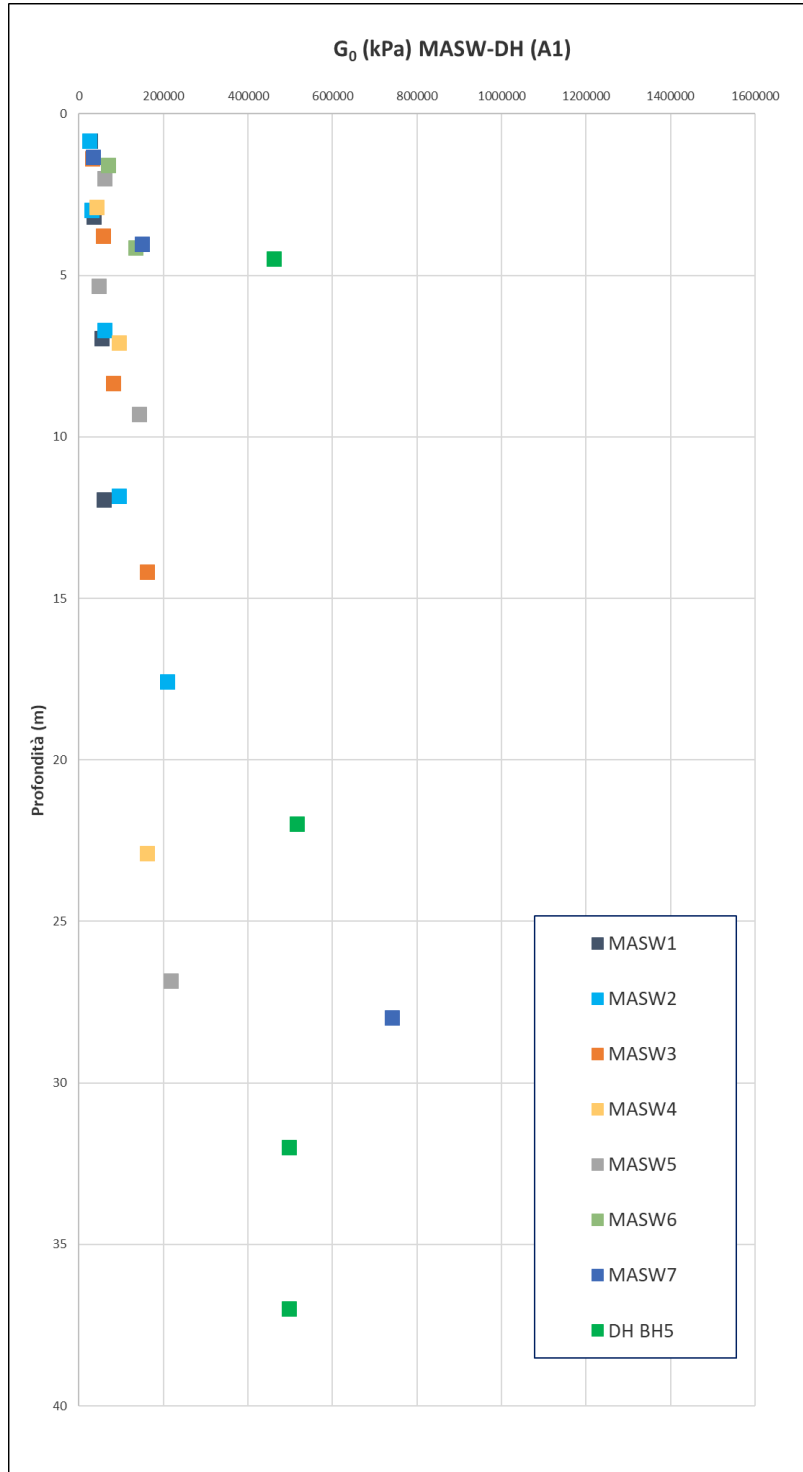


Figura 8.6 – G₀ da elaborazione MASW-DH

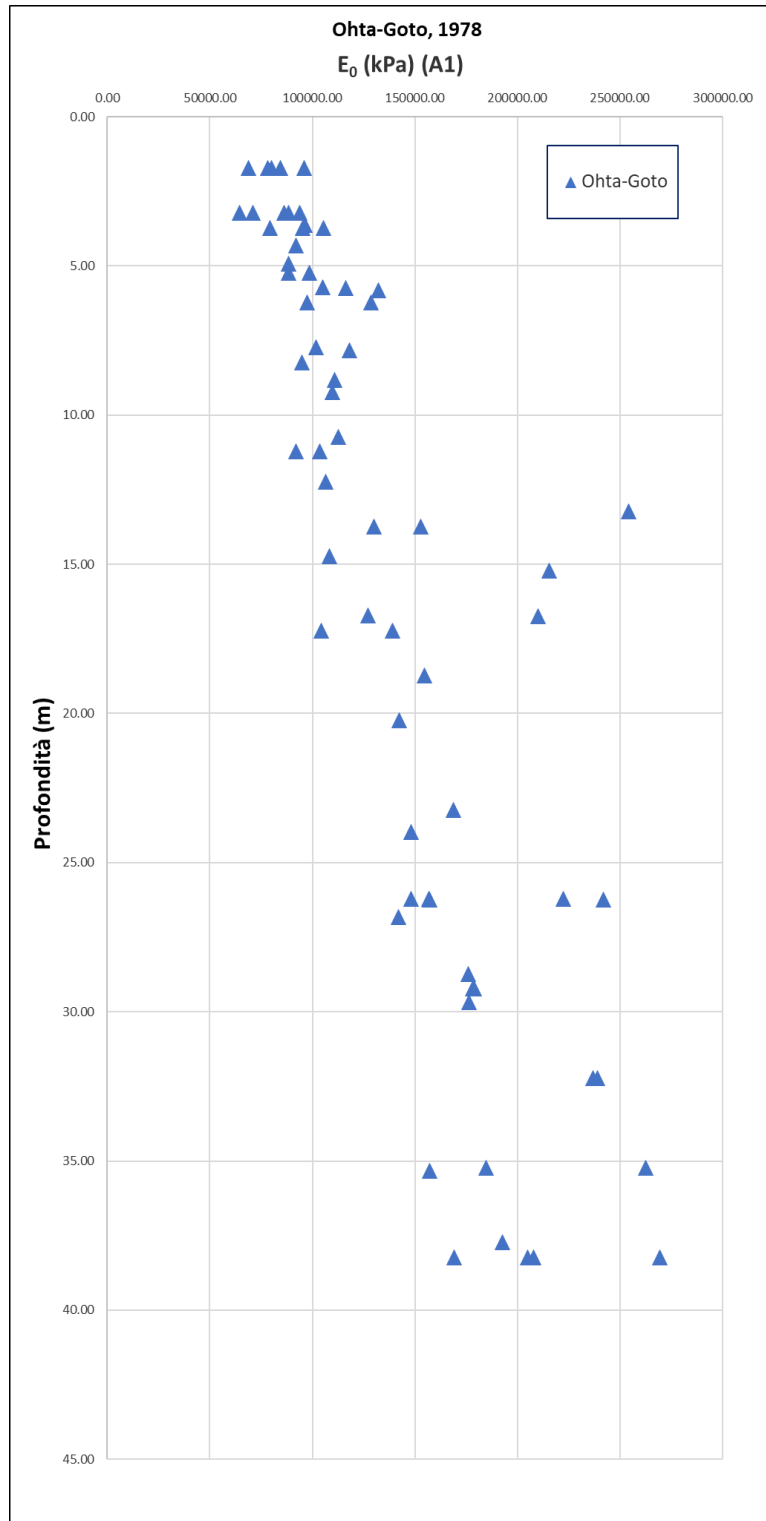


Figura 8.7 – E_0 da elaborazione N_{SPT}

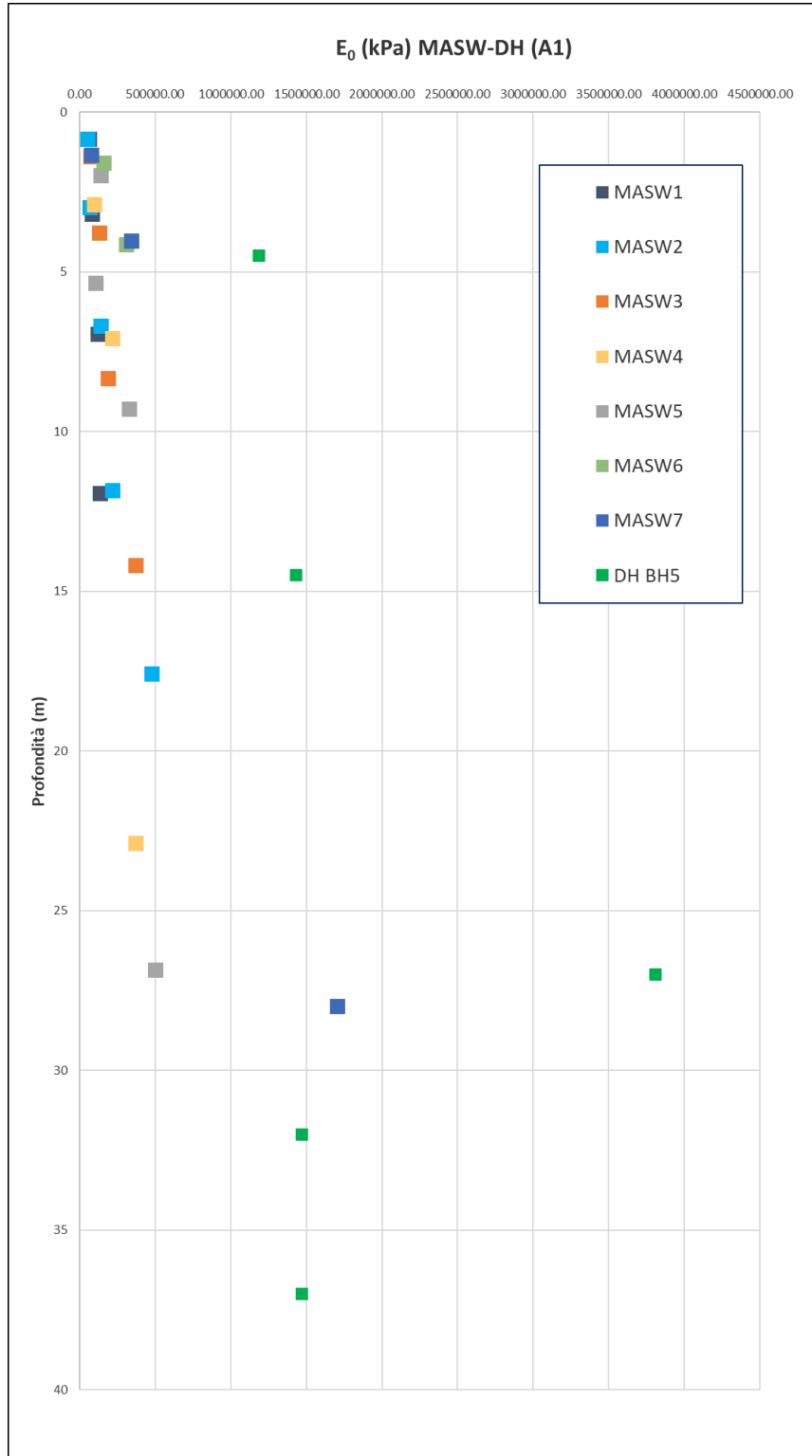


Figura 8.8 – E_0 da elaborazione MASW-DH

8.1.3 Risultati ed interpretazione delle prove di laboratorio

Nel seguito sono presentati i risultati delle prove condotte in laboratorio e la loro interpretazione. In particolare, si riportano:

- Pesi di volume;
- Contenuto di fine;
- Contenuto naturale d'acqua;
- Indice dei vuoti;
- Limite Liquido;
- Limite Plastico;
- Indice di plasticità;
- Curva di compressione intrinseca e indice dei vuoti in sito (Burland, 1990);
- Coesione non drenata da prove TX-UU;
- Angolo di attrito interno dall'interpretazione delle prove di taglio diretto e TX-CIU;
- Tabella riassuntiva parametri di deformabilità ricavati da Prove Edometriche. Nello specifico si riportano i risultati delle sole prove effettuate su campioni con un limite liquido maggiore del 35%.

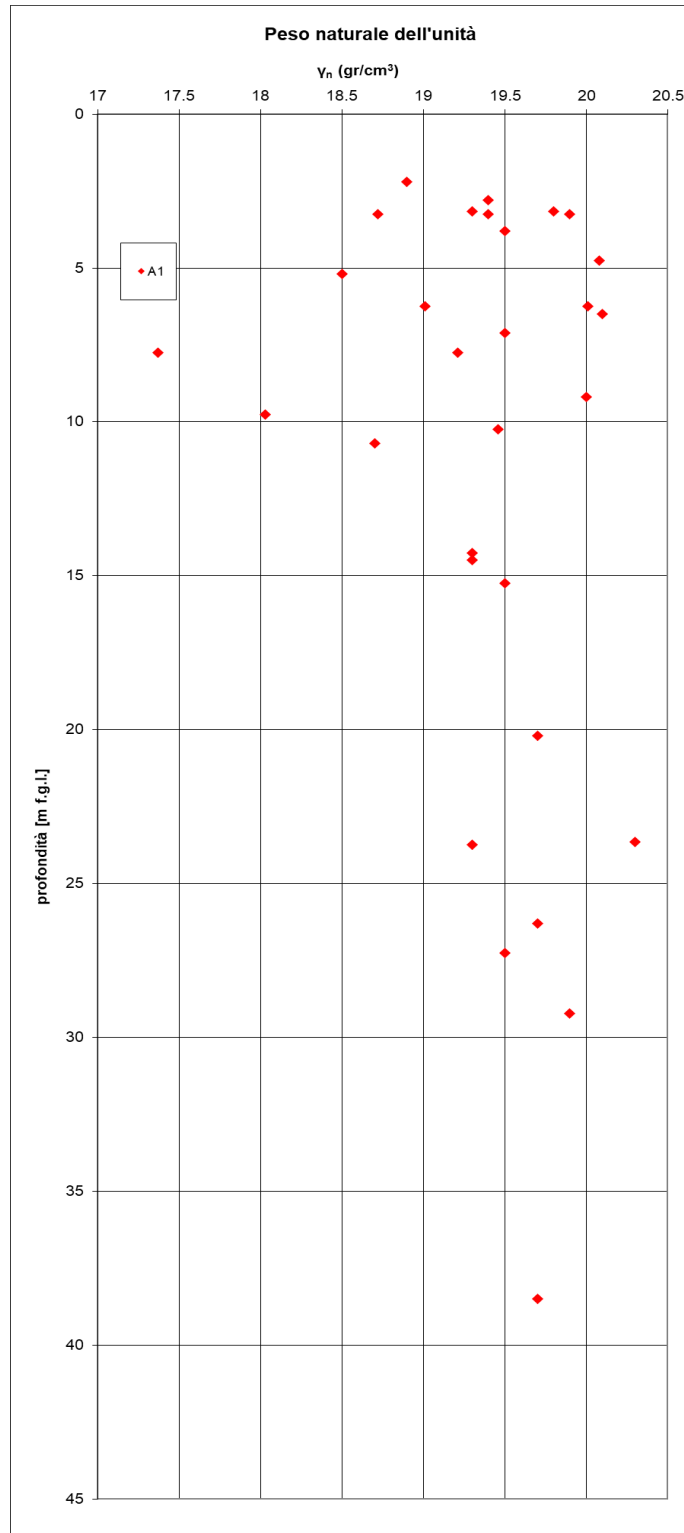


Figura 8.9 – Pesi di volume

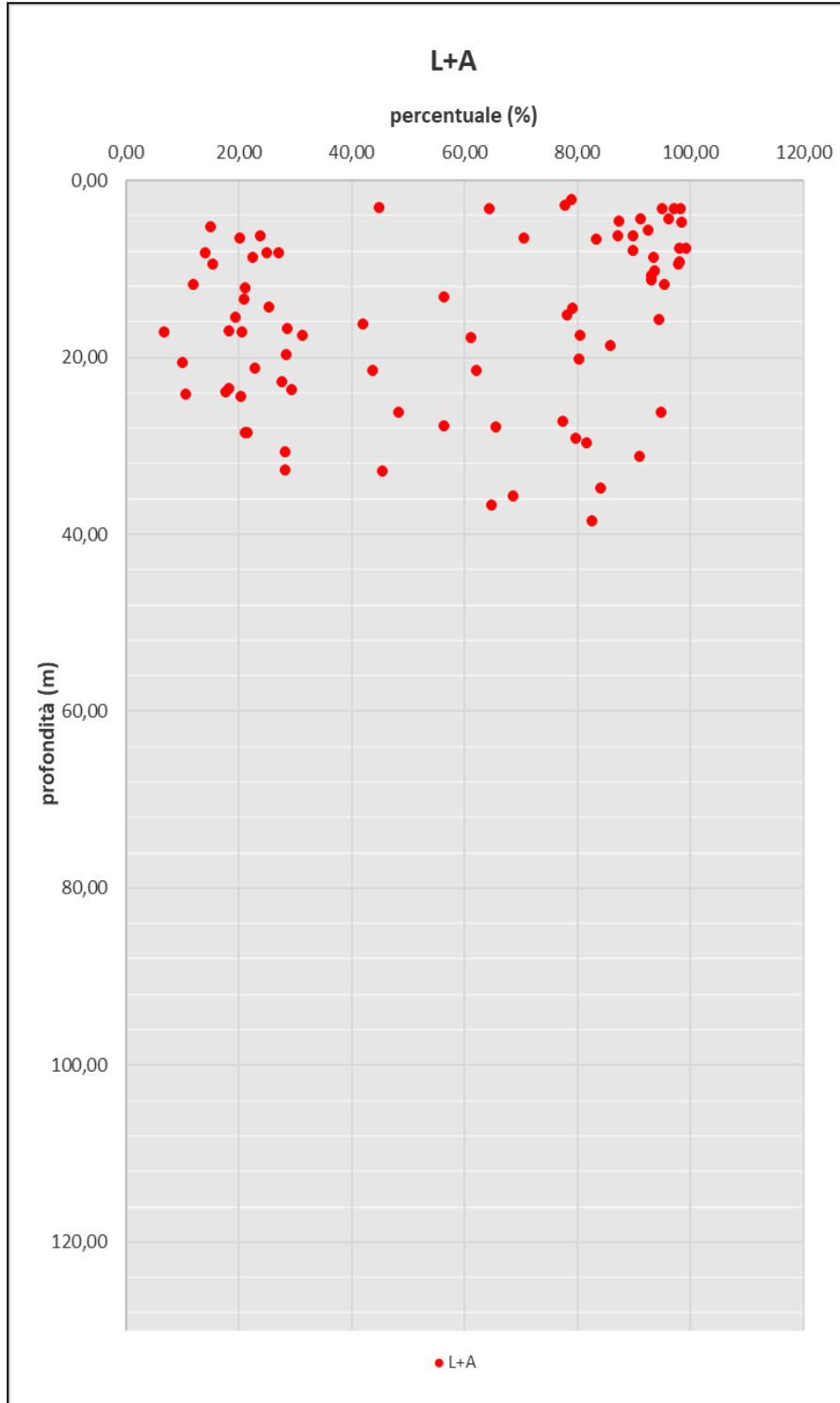


Figura 8.10 – Contenuto di fine

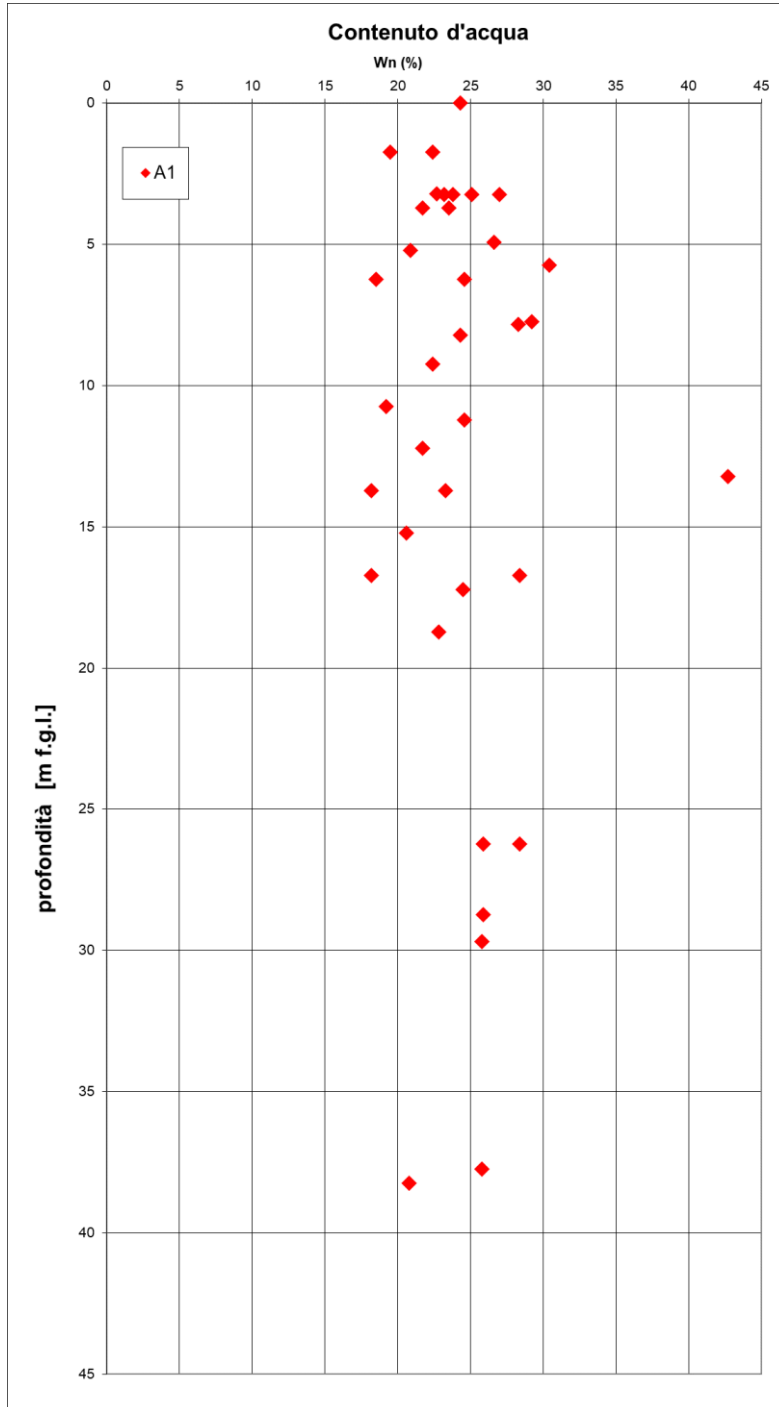


Figura 8.11 – Contenuto d'acqua naturale

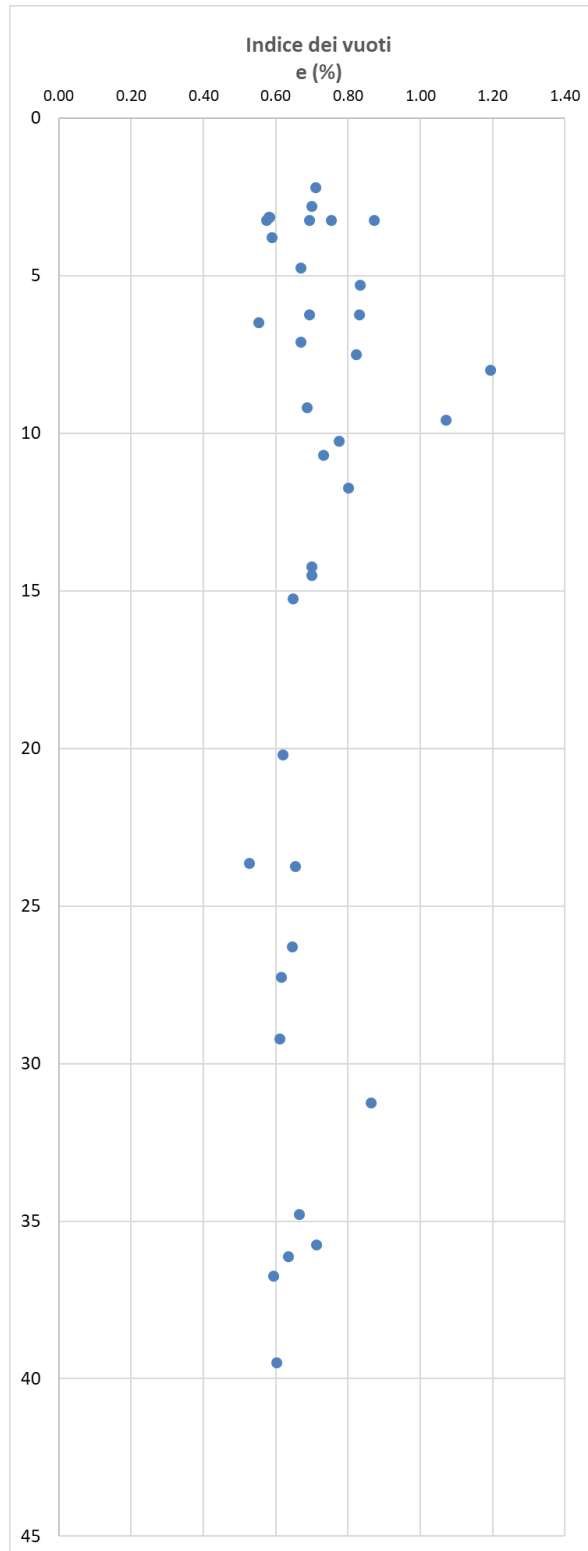


Figura 8.12 – Indice dei vuoti

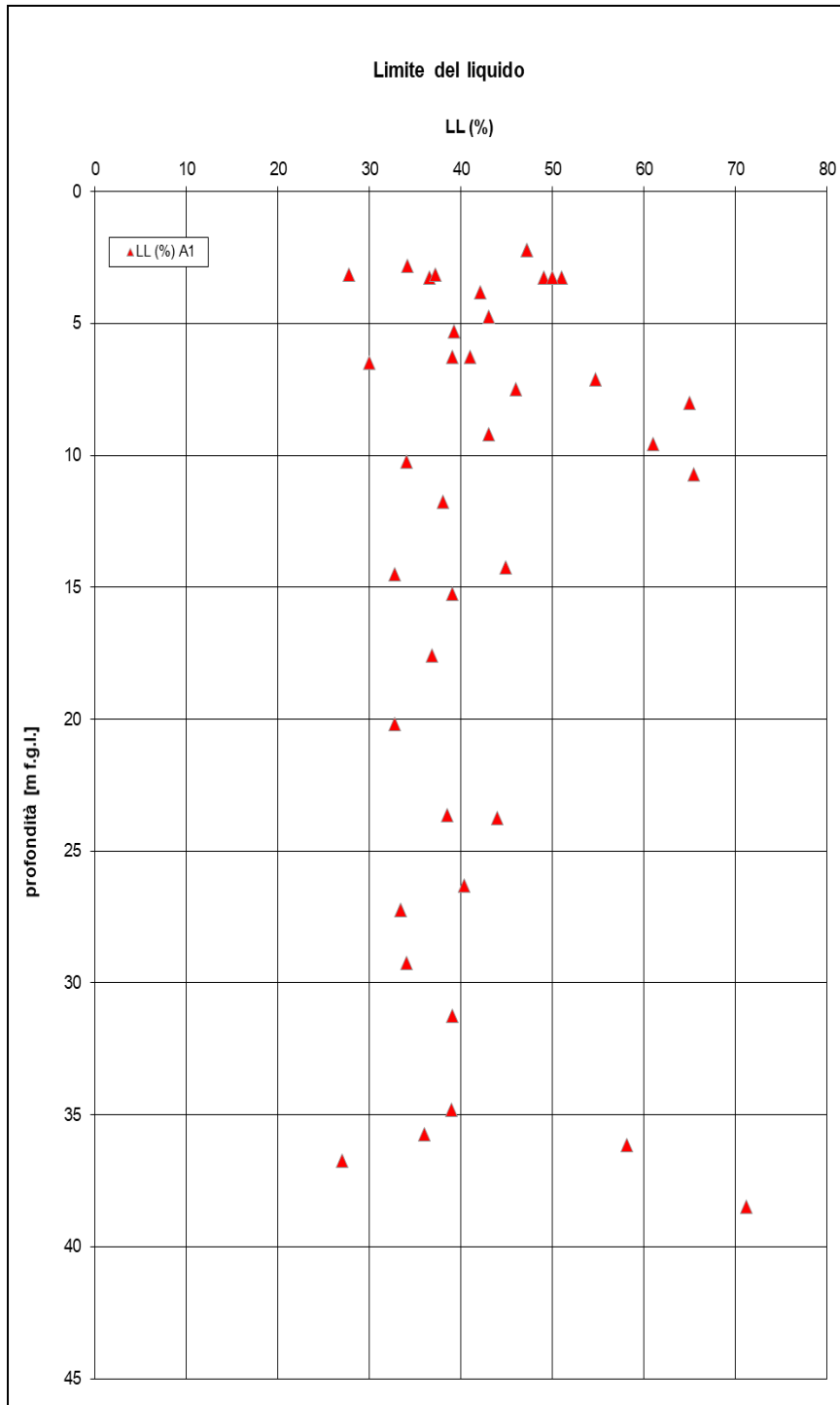


Figura 8.13 – Limite liquido

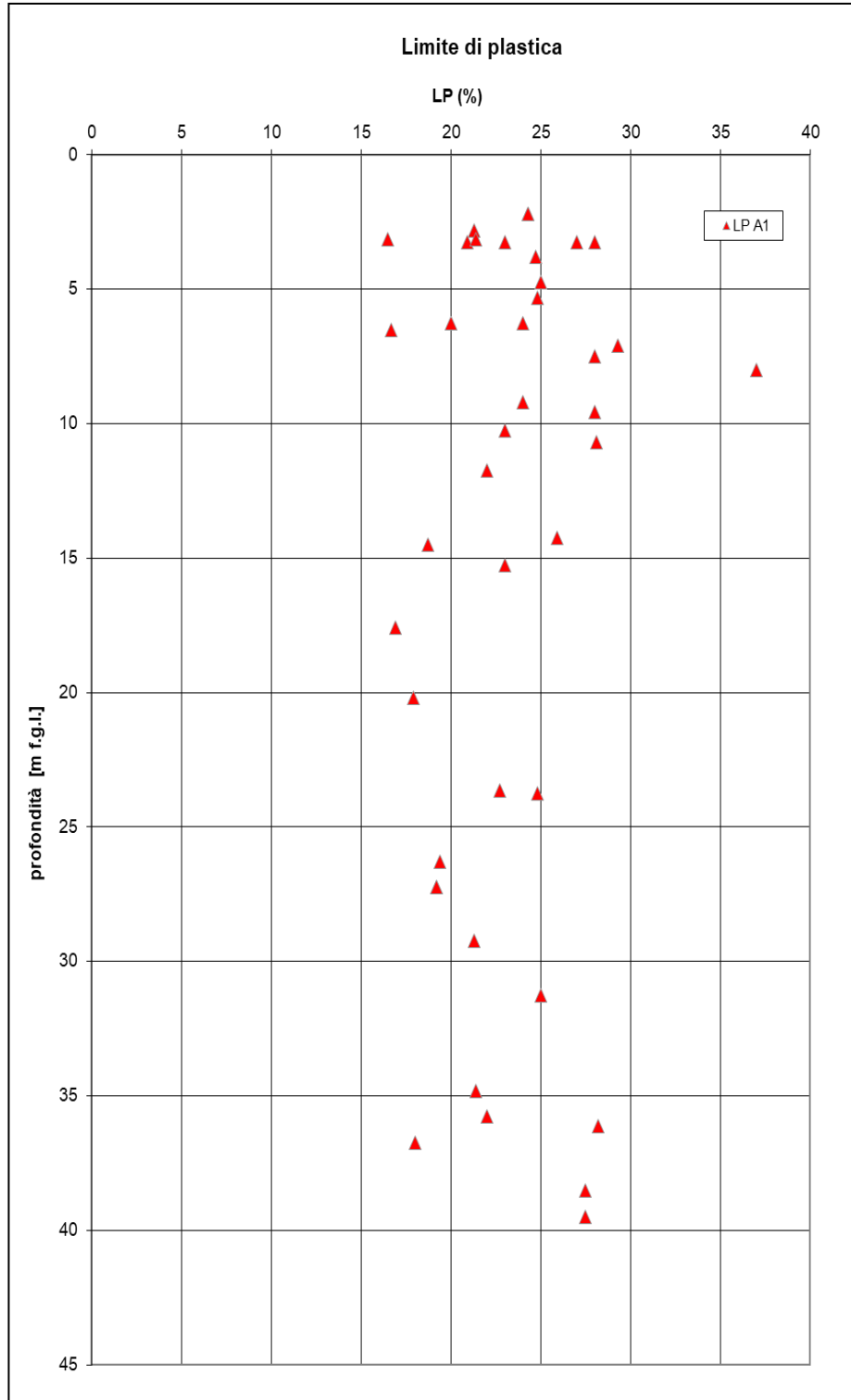


Figura 8.14 – Limite plastico

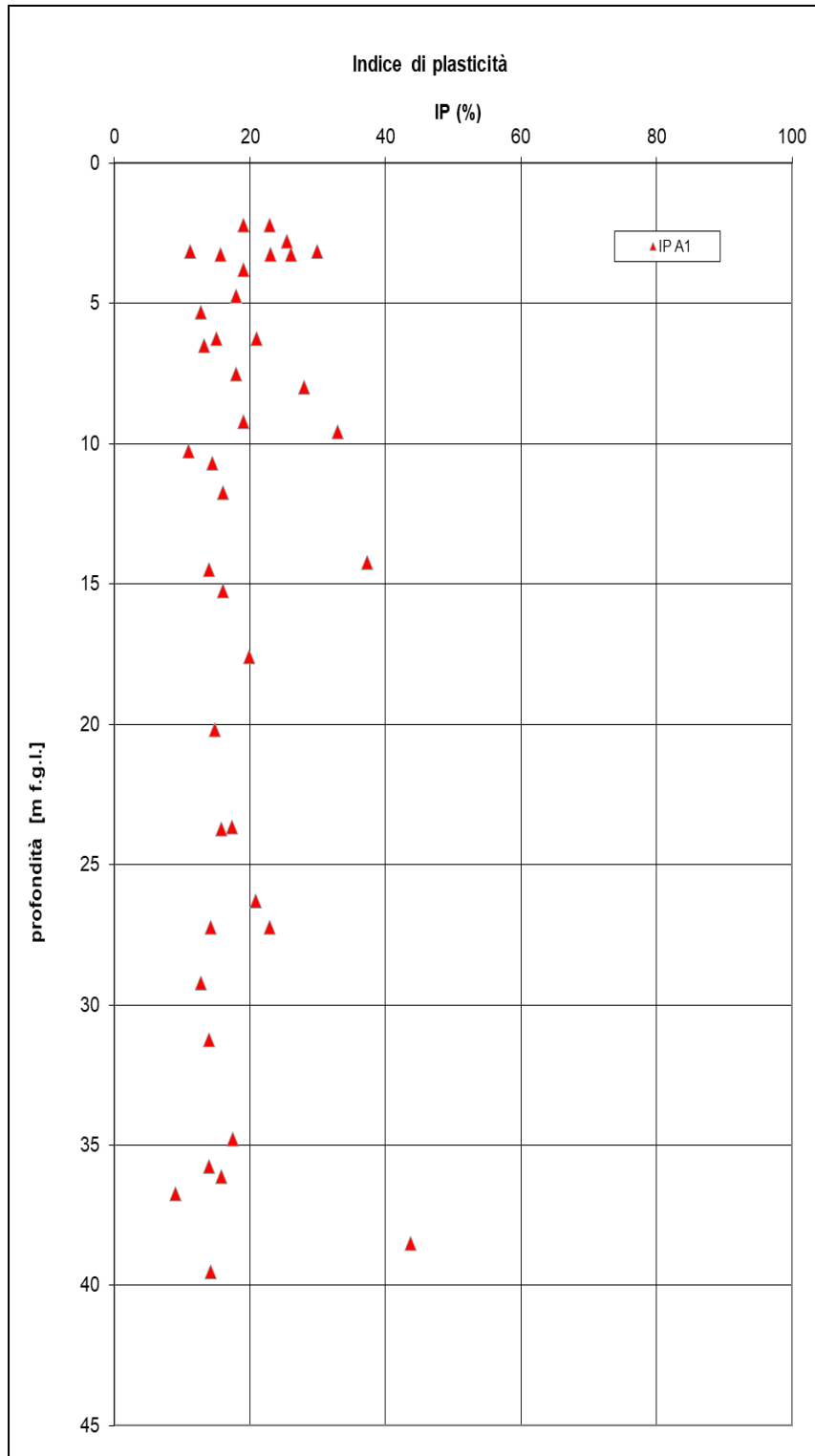


Figura 8.15 – Indice di plasticità

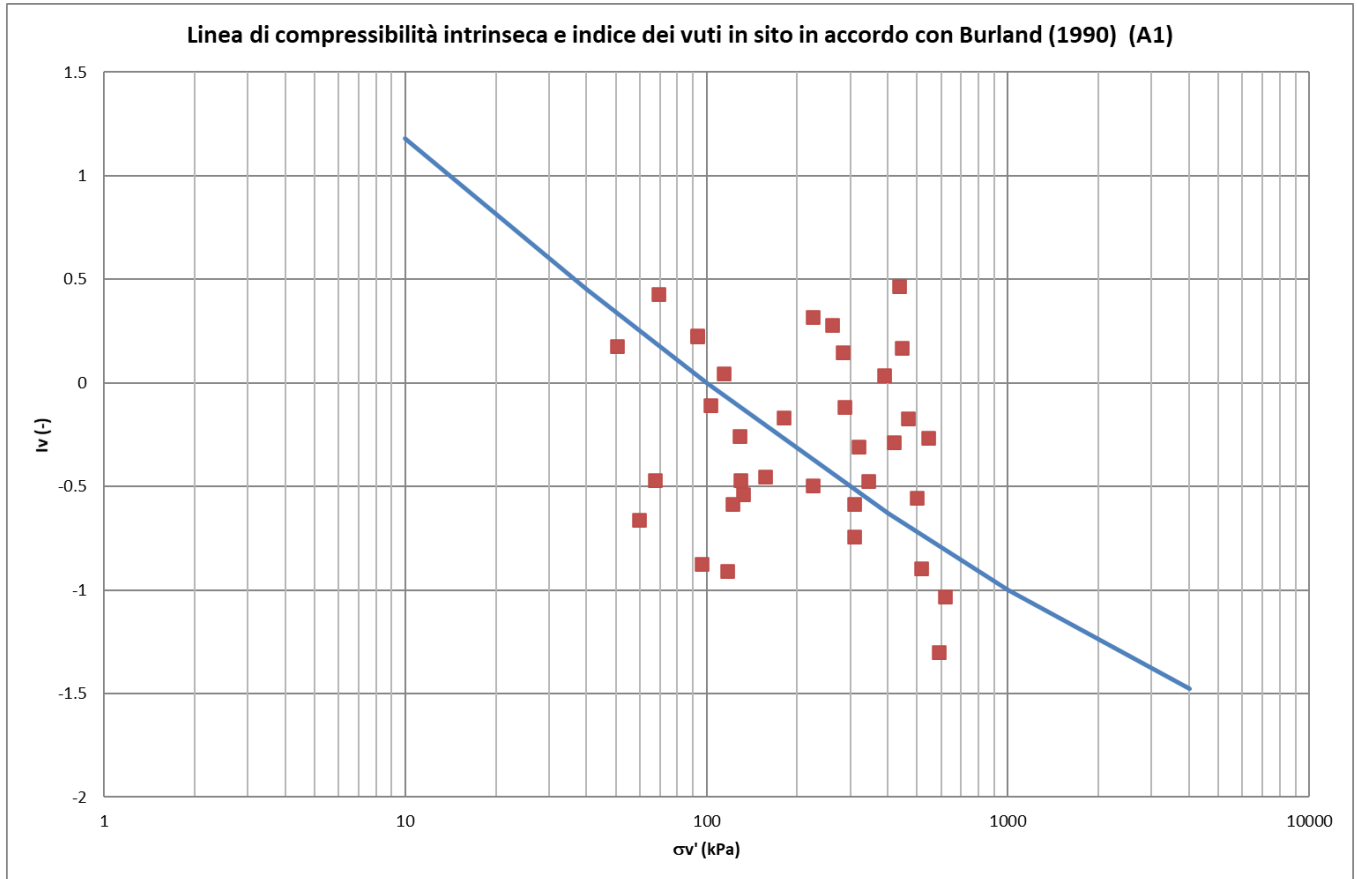


Figura 8.16 – Piano di Burland

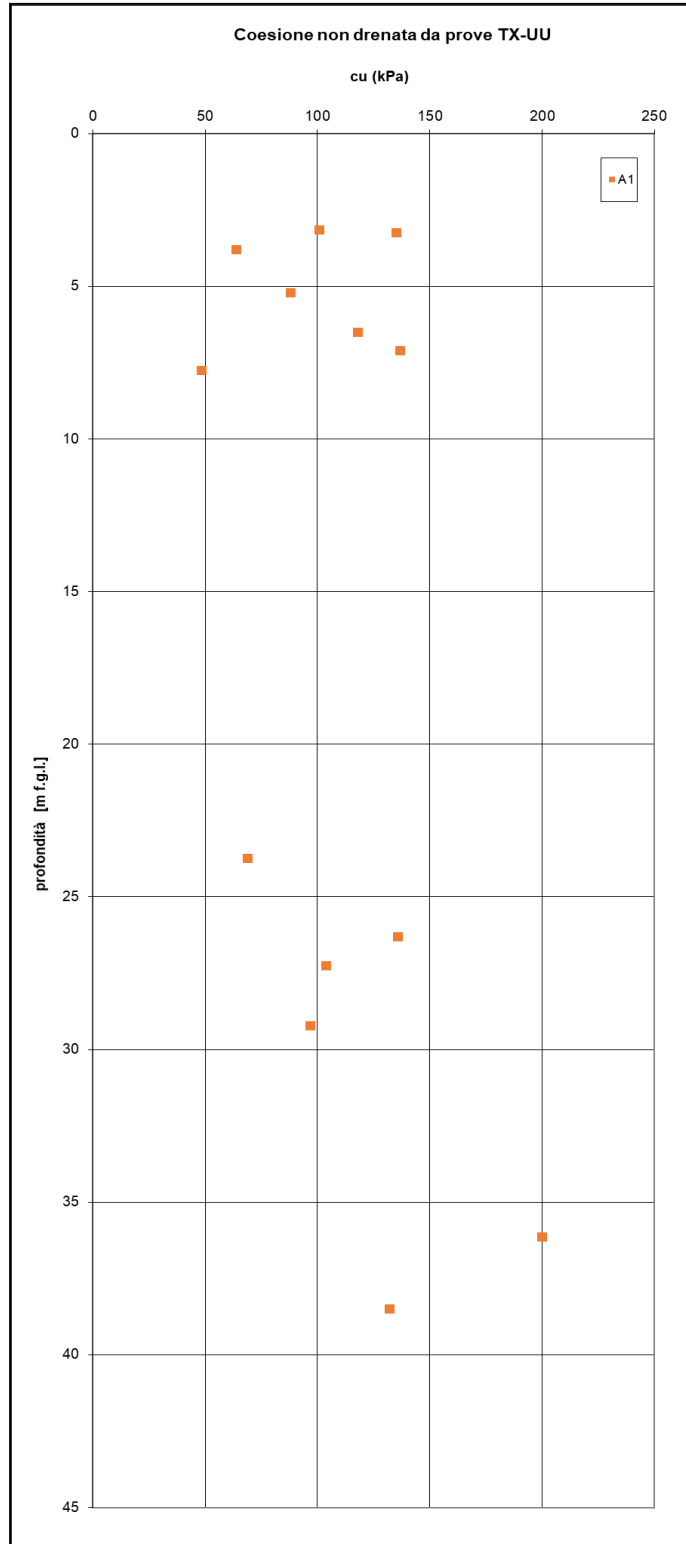


Figura 8.17 – Coesione non drenata da prove TX-UU

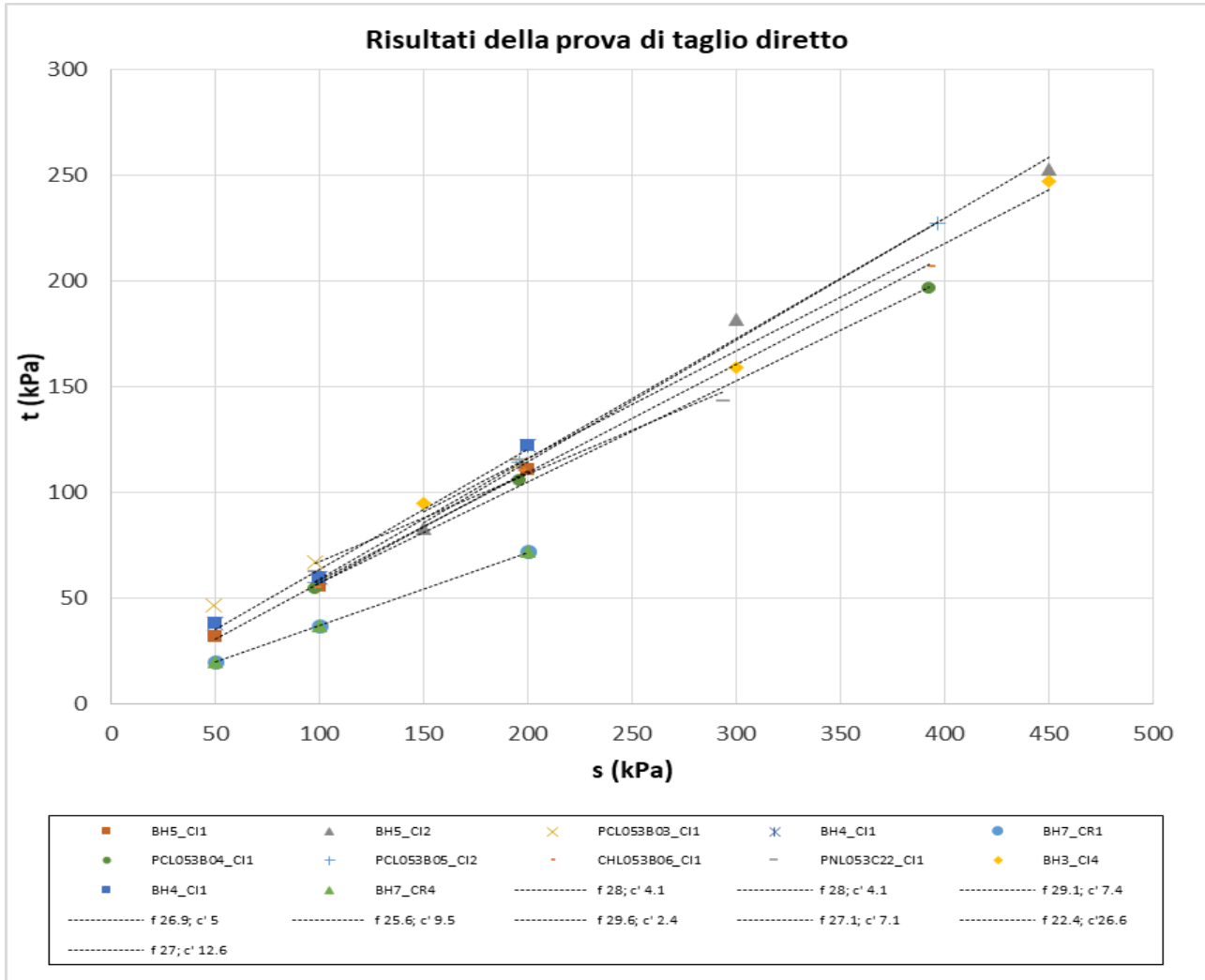


Figura 8.18 – Interpretazione prove di taglio diretto – Unità geotecnica A1 (L)

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IP00	00	D26RG	GE0000 001	B	83 di 225

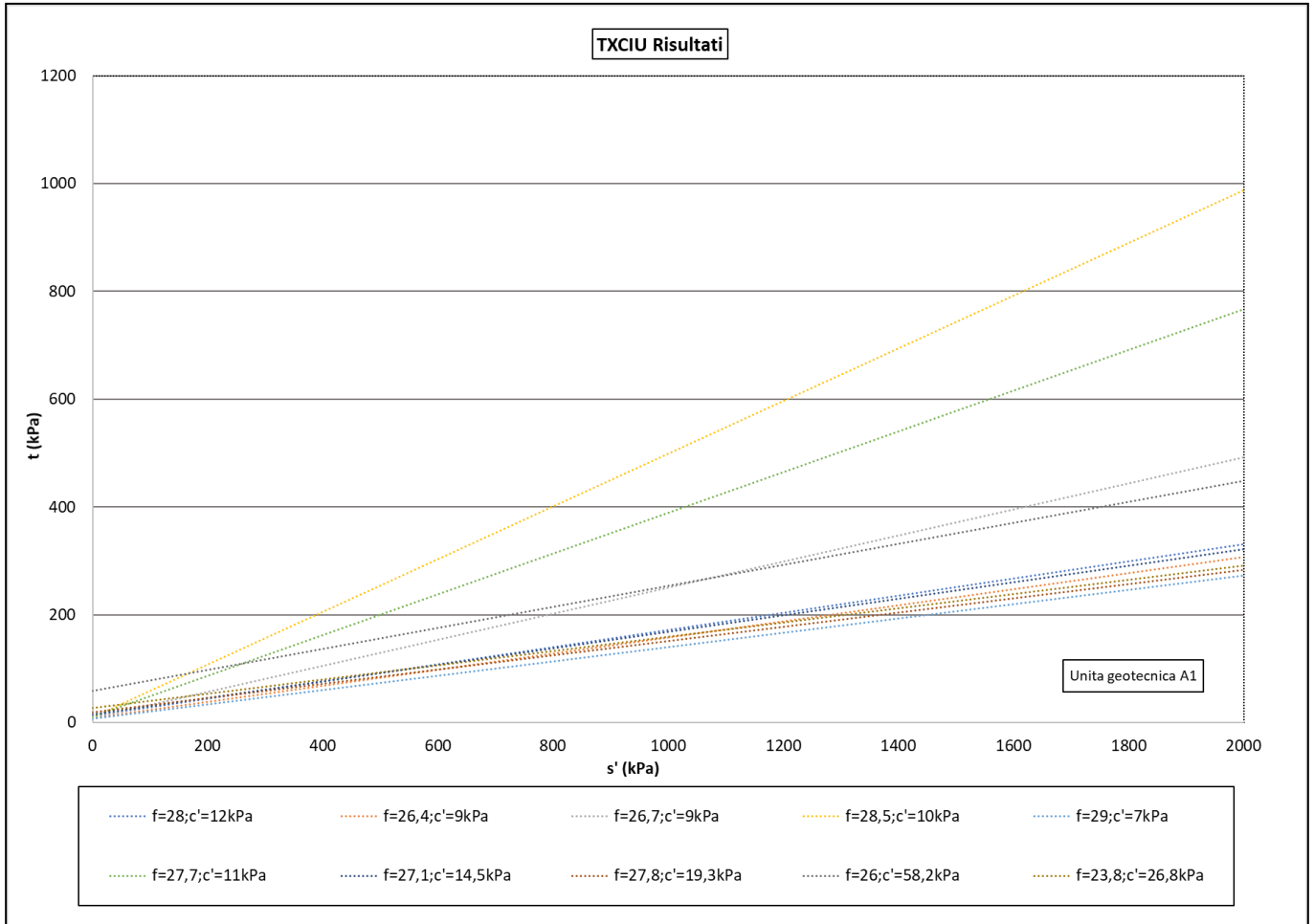


Figura 8.19 – Interpretazione prova TX-CIU – Unità geotecnica A1 (L)

Tabella 8.1: Tabella riassuntiva parametri di deformabilità da Prove Edometriche su campioni con $W_L \geq 35\%$ e $\varepsilon'_{vo} \leq 5\%$

CAMPIONE	Profondità	Unità geot.	LL	Indice dei vuoti (e)	σ'_{vo}	C_c	C_v	CR	RR	$C_{\alpha\epsilon}$
[-]	[m da pc]	[-]	[%]	[-]	[kPa]	[-]	[m ² /s]	[-]	[-]	[%]
BH1 – CI1	3.00-3.50	A1 (L)	50.0	0.693	50-100	-	-	-	-	0.0057
BH1 – CI2	6.80-7.40	A1 (L)	54.7	0.671	100-200	-	-	-	-	0.0053
BH3 – CI1	3.00-3.50	A1 (L)	36.5	0.576	50-100	0.061	-	0.019	0.023	0.0044
BH3 – CI2	14.30-14.70	A1 (L)	32.7	0.701	100-200	0.136	1.31E-6	0.021	0.033	0.0056
BH4 – CI1	3.00-3.30	A1 (L)	27.7	0.584	50-100	0.057	7.39E-9	0.024	0.014	0.0038
BH5 – CI1	3.50-4.10	A1 (L)	42.1	0.591	50-100	0.070	-	0.029	0.023	0.0044
BH5 – CI2	23.50-23.80	A1 (L)	38.5	0.527	200-400	0.111	7.39E-9	0.017	0.019	0.0040
BH6 – CI1	2.90-3.40	A1 (L)	37.2	0.582	50-100	0.034	2.05E-7	0.035	0.018	0.0046
PCL053B01 - CI2	6.00-6.50	A1 (L)	41	0.830	50-100	-	5.13E-5	-	-	0.0063
PCL053B01 – CI3	9.15-10.00	A1 (L)	61	1.070	100-200	-	5.00E-6	-	-	0.0081
PCL053B02 – CI1	9.00-9.40	A1 (L)	43	0.710	100-200	-	5.25E-6	-	-	0.0050
PCL053B05 – CI1	4.50-5.00	A1 (L)	43	0.067	50-100	-	1.65E-5	-	-	0.0049
PCL053B05 – CI2	10.00-10.50	A1 (L)	34	0.780	100-200	-	2.05E-4	-	-	0.00563
PNL053C22 - CI1	3.00-3.50	A1 (L)	51	0.870	50-10	-	1.43E-4	-	-	0.00630
PNL053C22 - CI3	31.00-31.50	A1 (L)	39	0.860	500-600	-	9.5E-5	-	-	0.00638
CHL053B06 – CI1	7.50-8.00	A1 (L)	46	0.820	100-200	-	2.05E-4	-	-	0.0075

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D26RG	DOCUMENTO GE0000 001	REV. B

8.2 UNITA' GEOTECNICA A2 (G)

8.2.1 Generale

Queste unità geotecniche consistono in ghiaia sabbiosa medio-fine, ghiaia con sabbia limosa, e ghiaia con limo sabbioso medio-fine, da umida a molto umida, molto addensata, di colore avana e grigiastra con livelli verdastri. La frazione ghiaiosa è poligenica, eterometrica, da angolare ad arrotondata. Sono presenti ciottoli, generalmente fino a 10 cm di diametro, livelli decimetrici dove la frazione ghiaiosa diminuisce, e livelli da centimetrici a decimetrici di argilla limosa e livelli sabbiosi limosi. Queste unità si collocano generalmente sotto le unità A1, tranne fra le chilometriche 0+000-1+150 e 7+800-8+100. Sulla base anche di quanto riportato nella Mappa Geologica, questi materiali di superficie corrispondono alle unità geologiche AES8/AES8a.

8.2.2 Risultati ed interpretazione delle prove in sito

Nel seguito si riportano i risultati delle prove penetrometriche standard e la loro interpretazione, nello specifico:

- Risultati prove SPT (N_{SPT});
- Densità relativa da SPT N_{SPT} ;
- Angolo di resistenza al taglio da N_{SPT} (calcolato da D_r da SPT solo per sabbie in accordo a Bolton);
- Modulo di elasticità tangenziale iniziale G_0 da N_{SPT} .
- Modulo di elasticità tangenziale iniziale G_0 da MASW-DH;
- Modulo di elasticità iniziale E_0 da N_{SPT} ;
- Modulo di elasticità iniziale E_0 da MASW-DH;

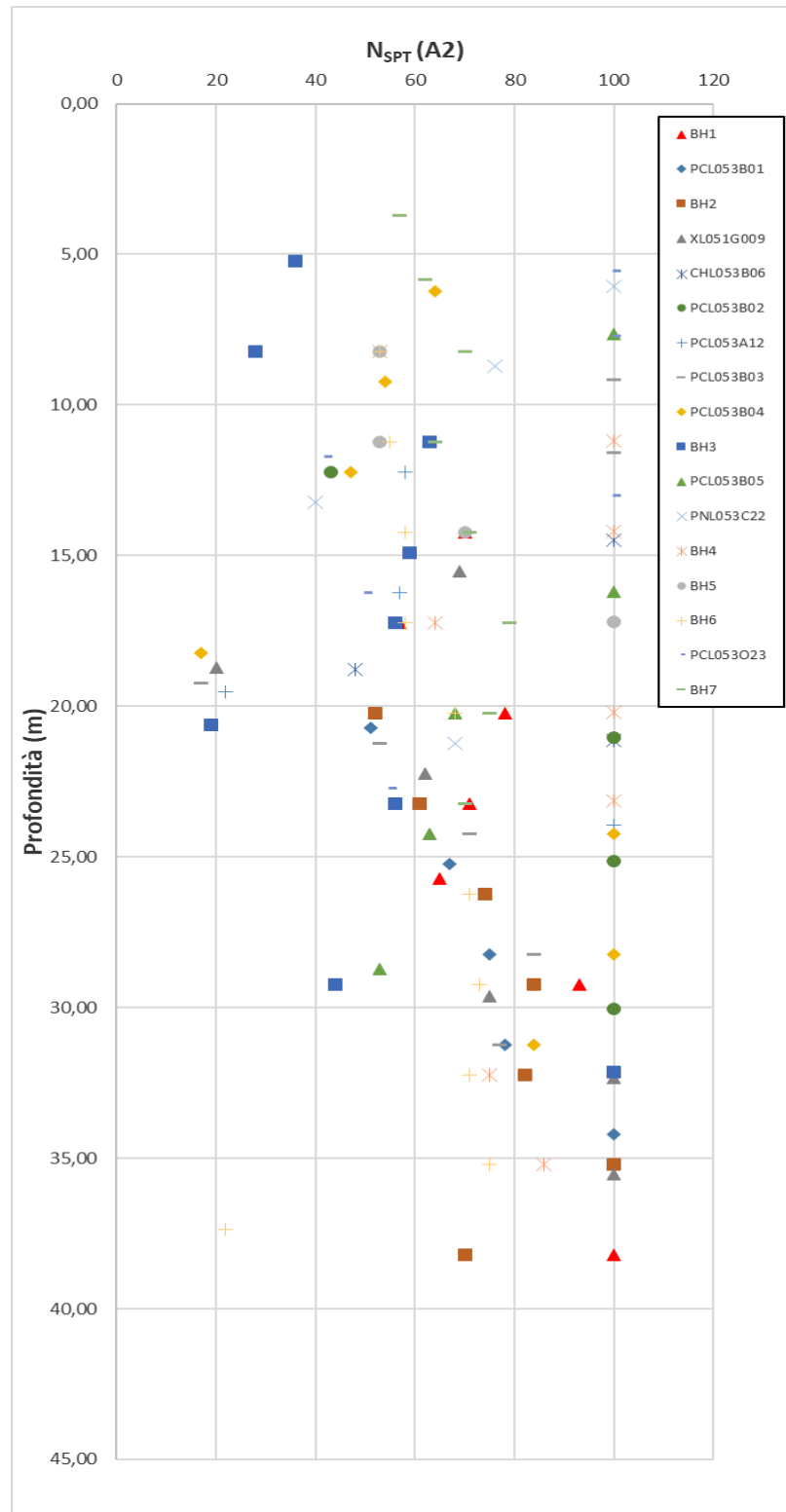


Figura 8.20 – Numero di colpi N_{SPT}

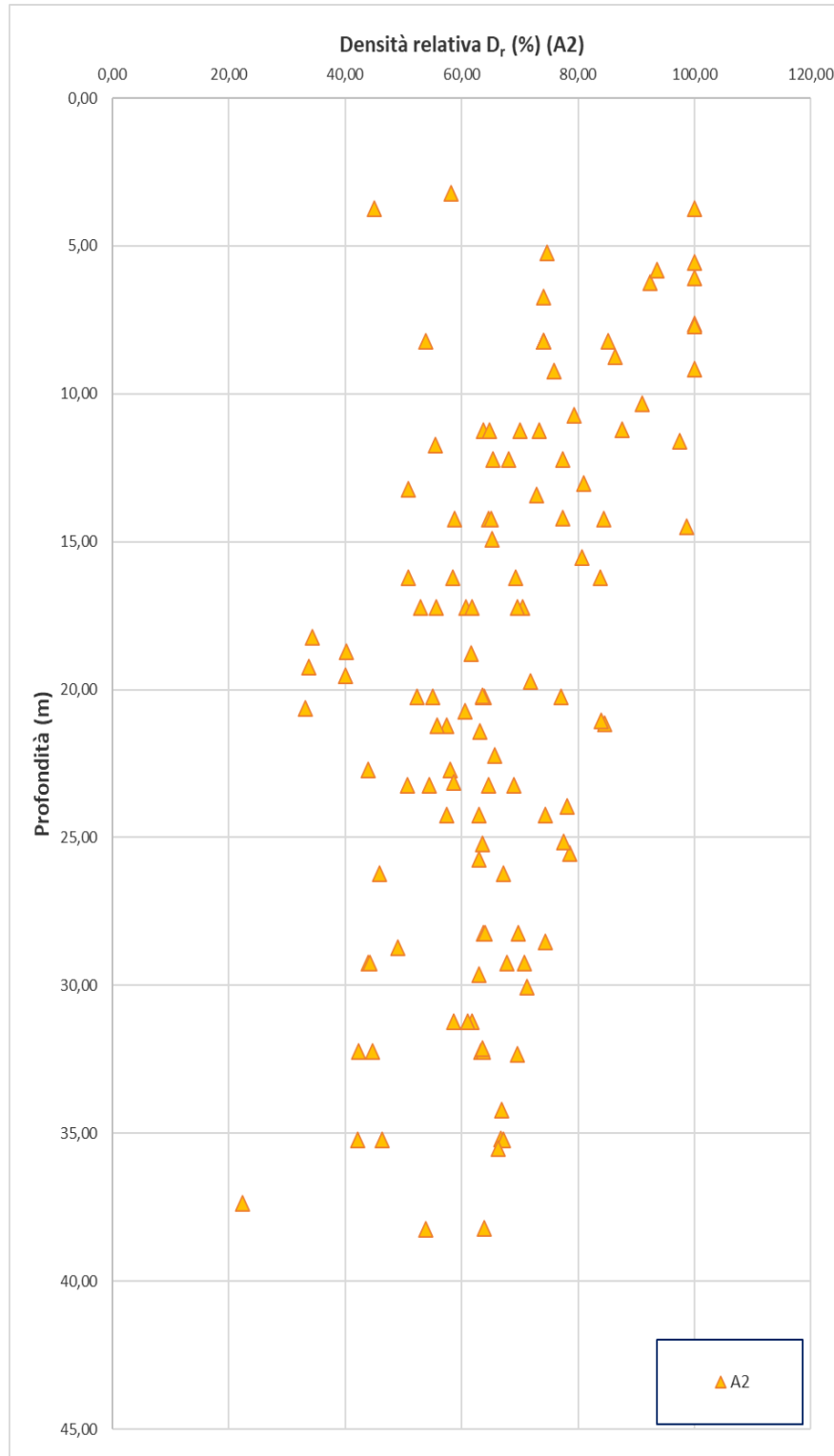


Figura 8.21 – Densità relativa da N_{SPT}

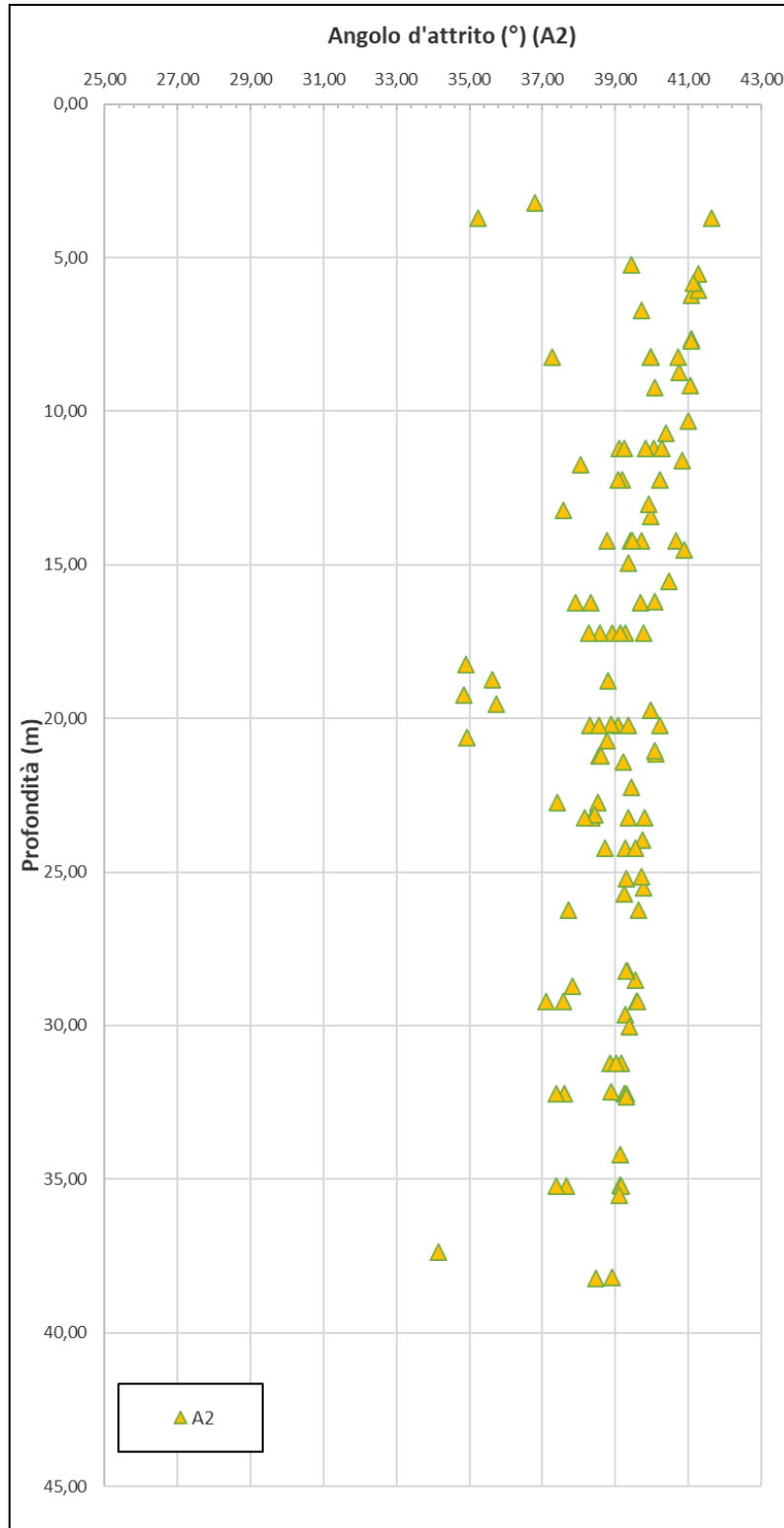


Figura 8.22 – Angolo di resistenza al taglio da N_{SPT}

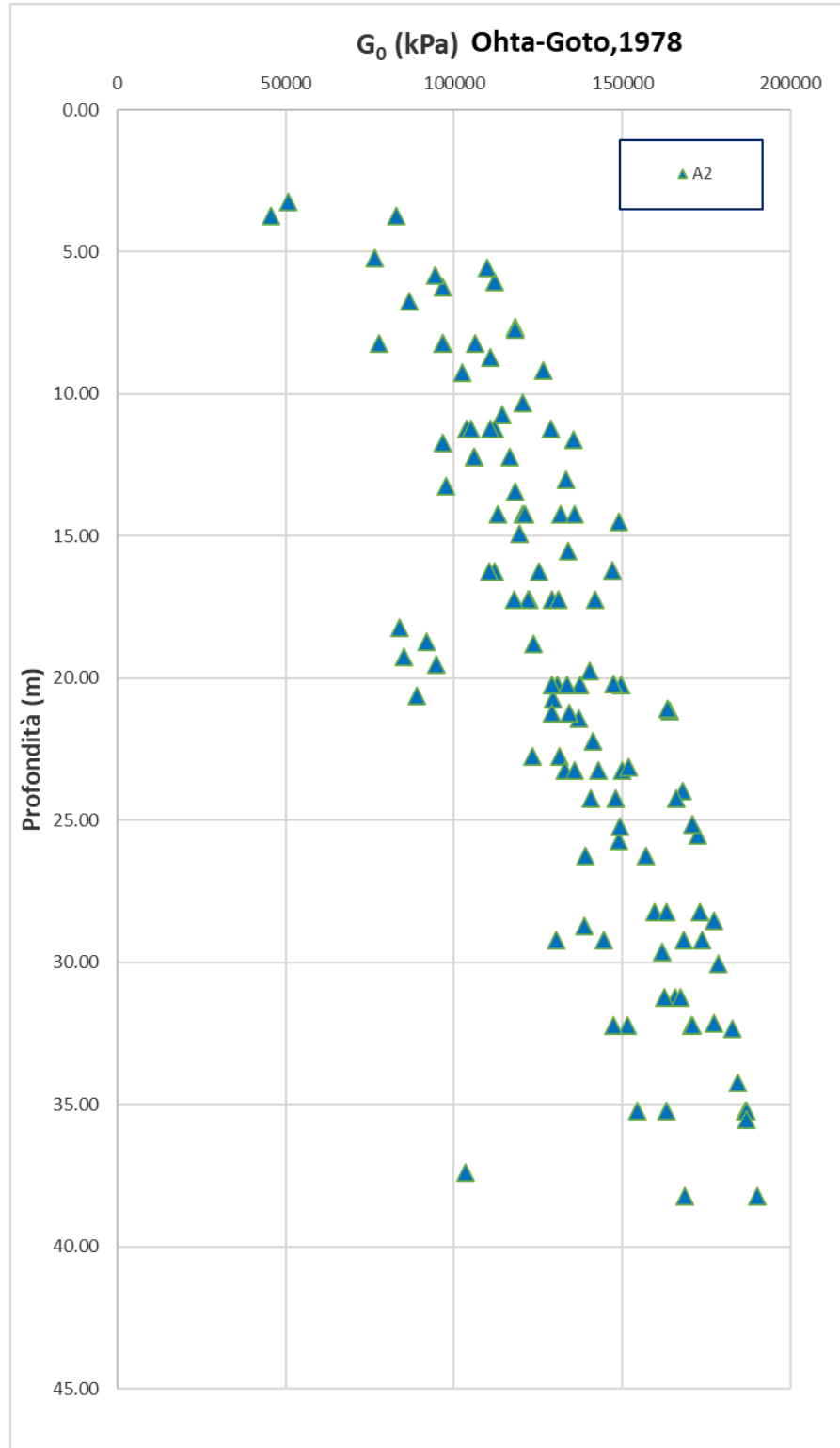


Figura 8.23 – G_0 da elaborazione N_{SPT}

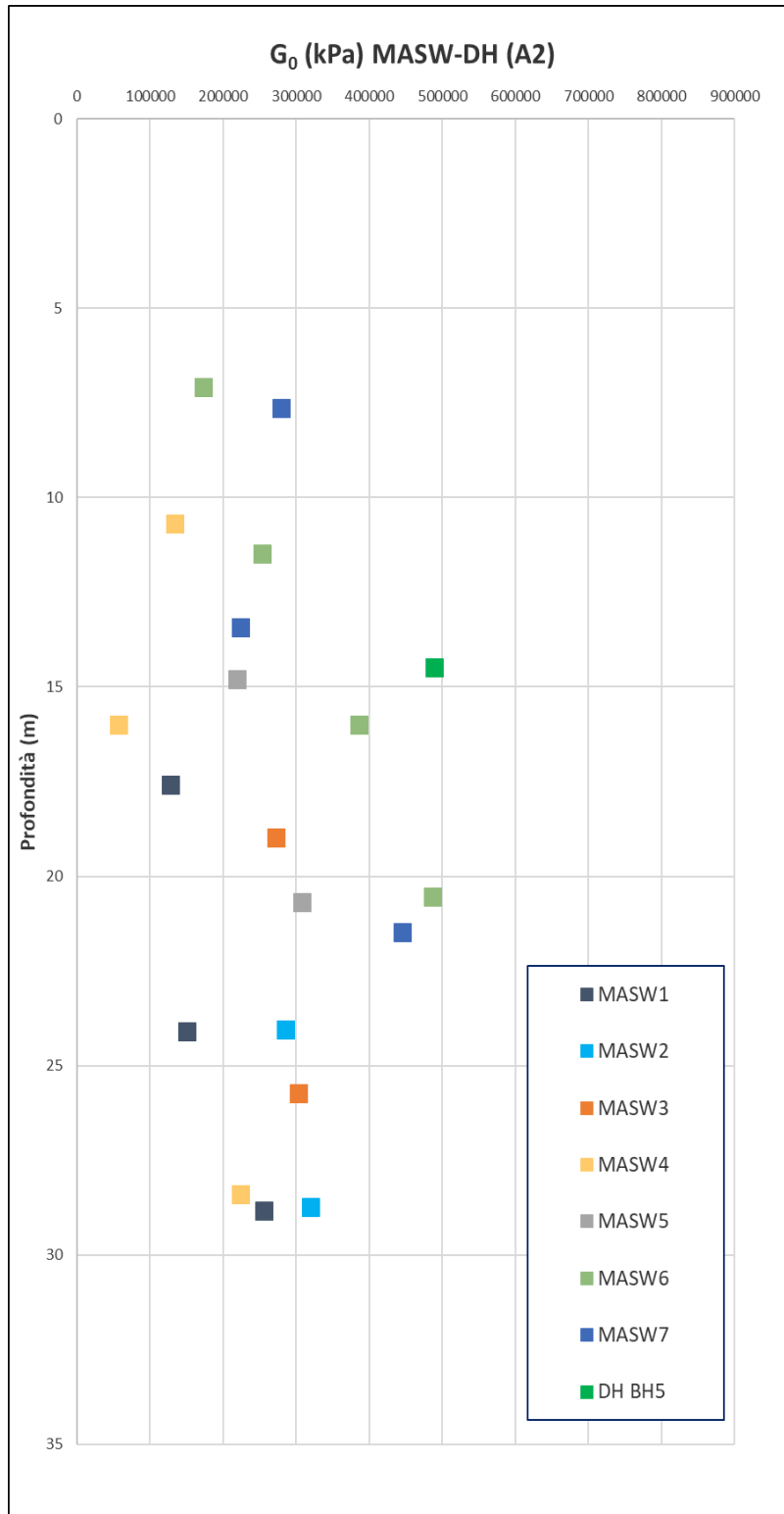


Figura 8.24 – G_0 da elaborazione MASW-DH

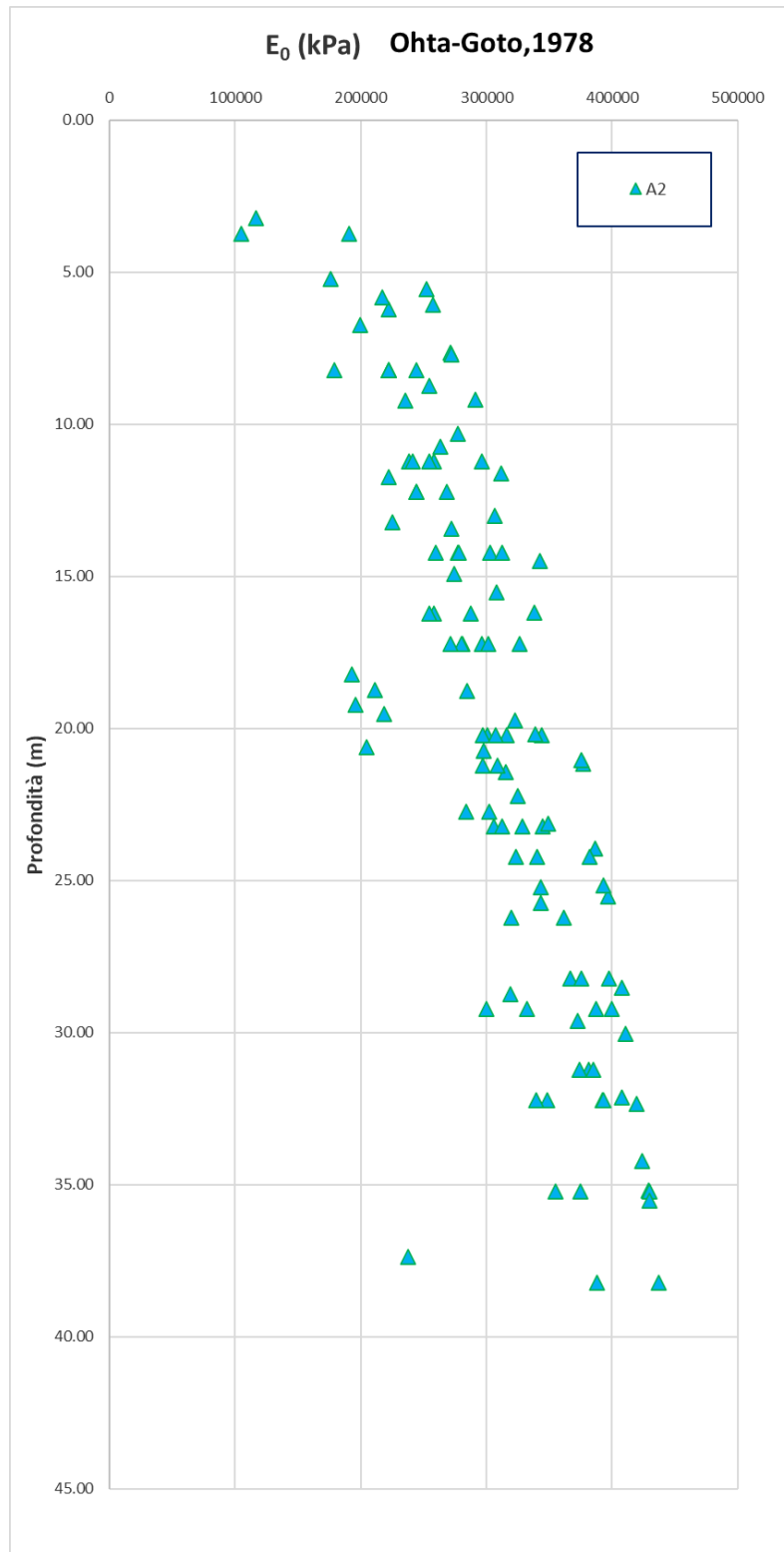


Figura 8.25 – E_0 da elaborazione N_{SPT}

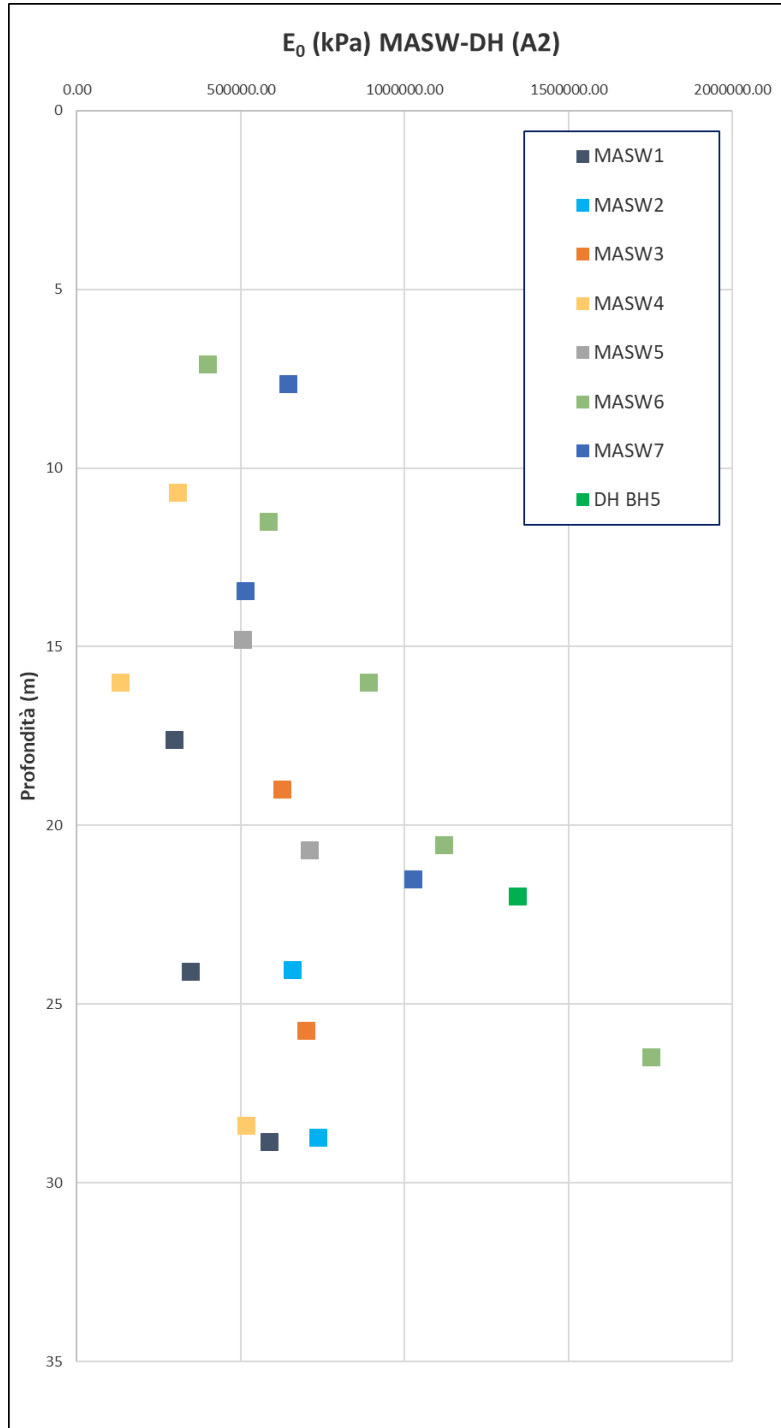


Figura 8.26 – E_0 da elaborazione MASW-DH

	COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D26RG	DOCUMENTO GE0000 001	REV. B	FOGLIO 93 di 225

8.3 UNITA' GEOTECNICA A3 (S)

8.3.1 *Generale*

Queste unità geotecniche consistono in sabbia medio-fine debolmente limosa a limosa, debolmente umida, poco addensata, di colore avana. Occasionalmente sono presenti rare ghiaie poligeniche e livelli sabbiosi limosi. Queste unità sembrano essere molto rare sul percorso previsto dopo il chilometro 5+400. Sulla base anche di quanto riportato nella Mappa Geologica questi materiali corrispondono alle unità geologiche AES8.

8.3.2 *Risultati ed interpretazione delle prove in sito*

Nel seguito sono presentati i risultati delle prove penetrometriche standard e la loro interpretazione, nello specifico:

- Risultati prove SPT (N_{SPT});
- Densità relativa da SPT N_{SPT} ;
- Angolo di resistenza al taglio da N_{SPT} (calcolato da D_r da SPT solo per sabbie in accordo a Bolton);
- Modulo di elasticità tangenziale iniziale G_0 da N_{SPT} .
- Modulo di elasticità tangenziale iniziale E_0 da N_{SPT} .

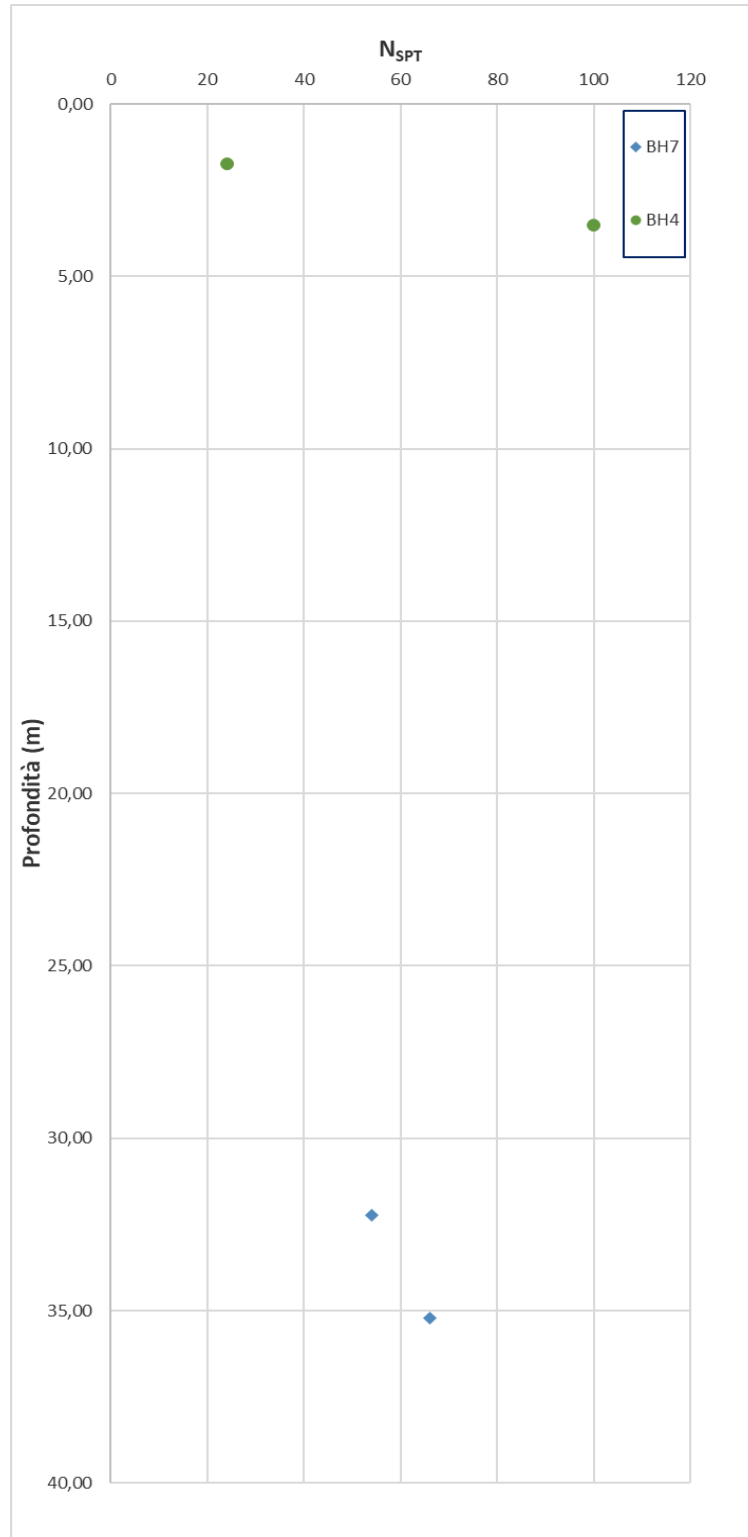


Figura 8.27 – Numero di colpi N_{SPT}

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IP00	00	D26RG	GE0000 001	B	95 di 225

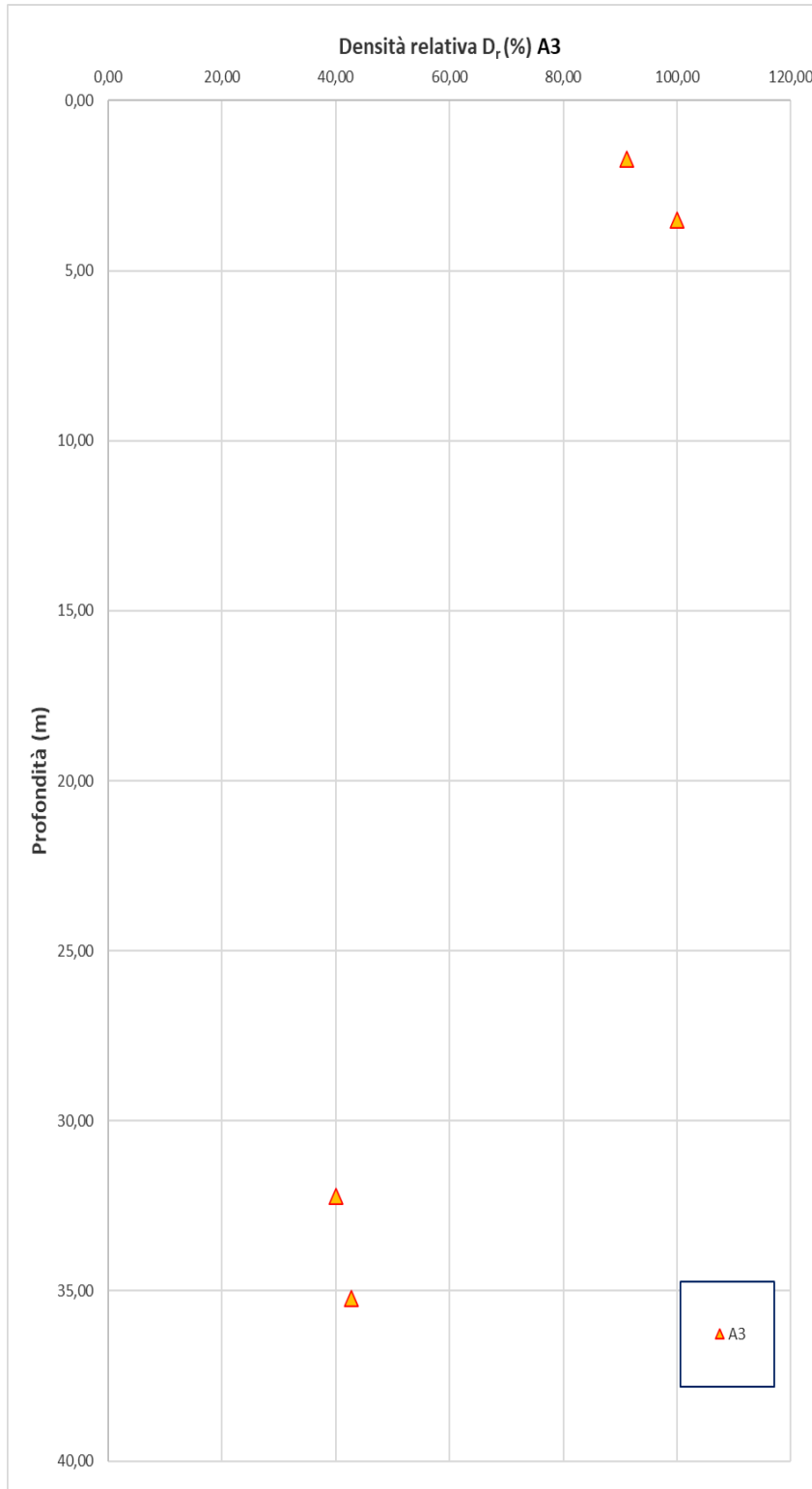


Figura 8.28 – Densità relativa da N_{SPT}

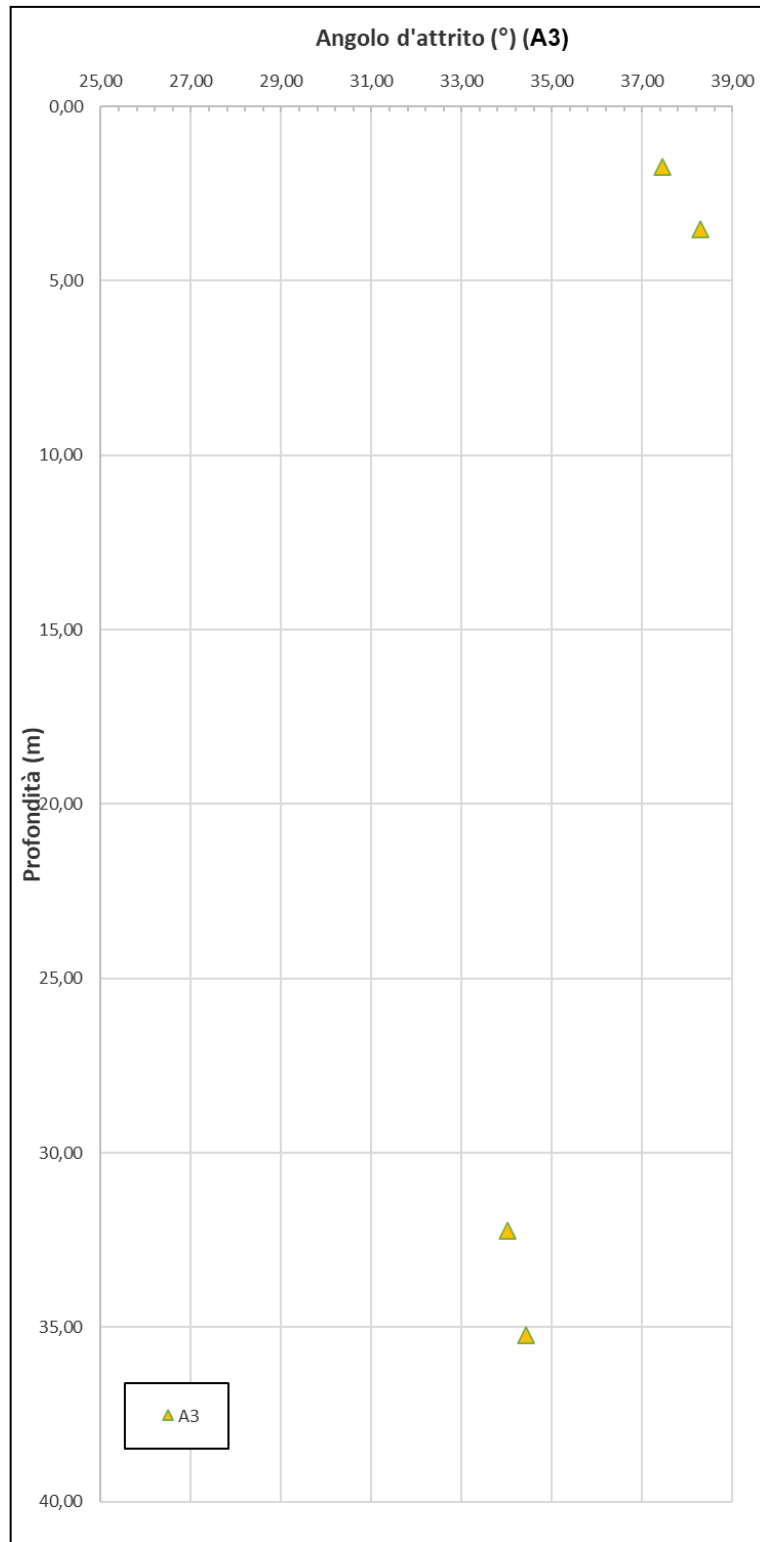


Figura 8.29 – Angolo di resistenza al taglio da N_{SPT}

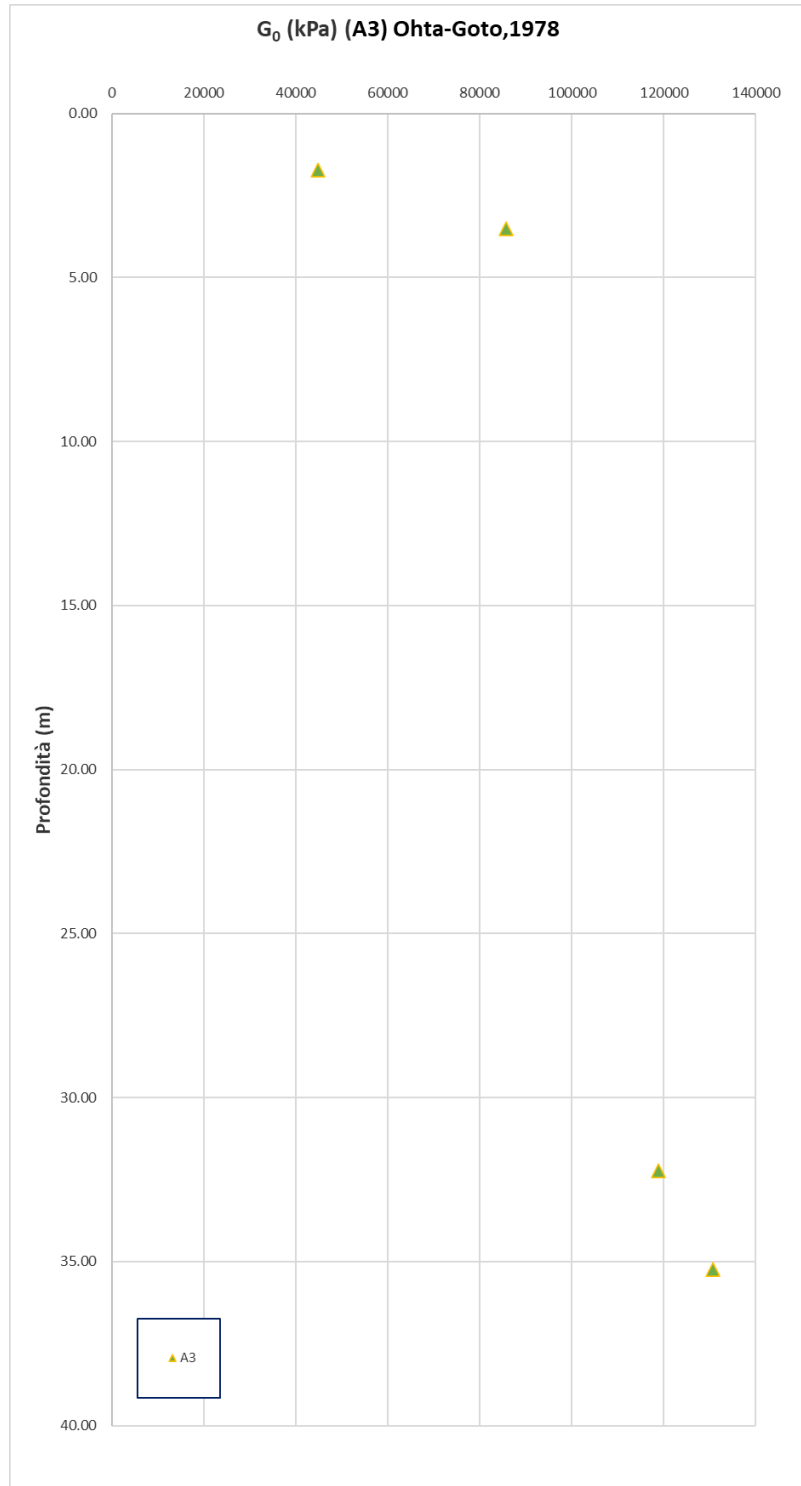


Figura 8.30 – G_0 da elaborazione N_{SPT}

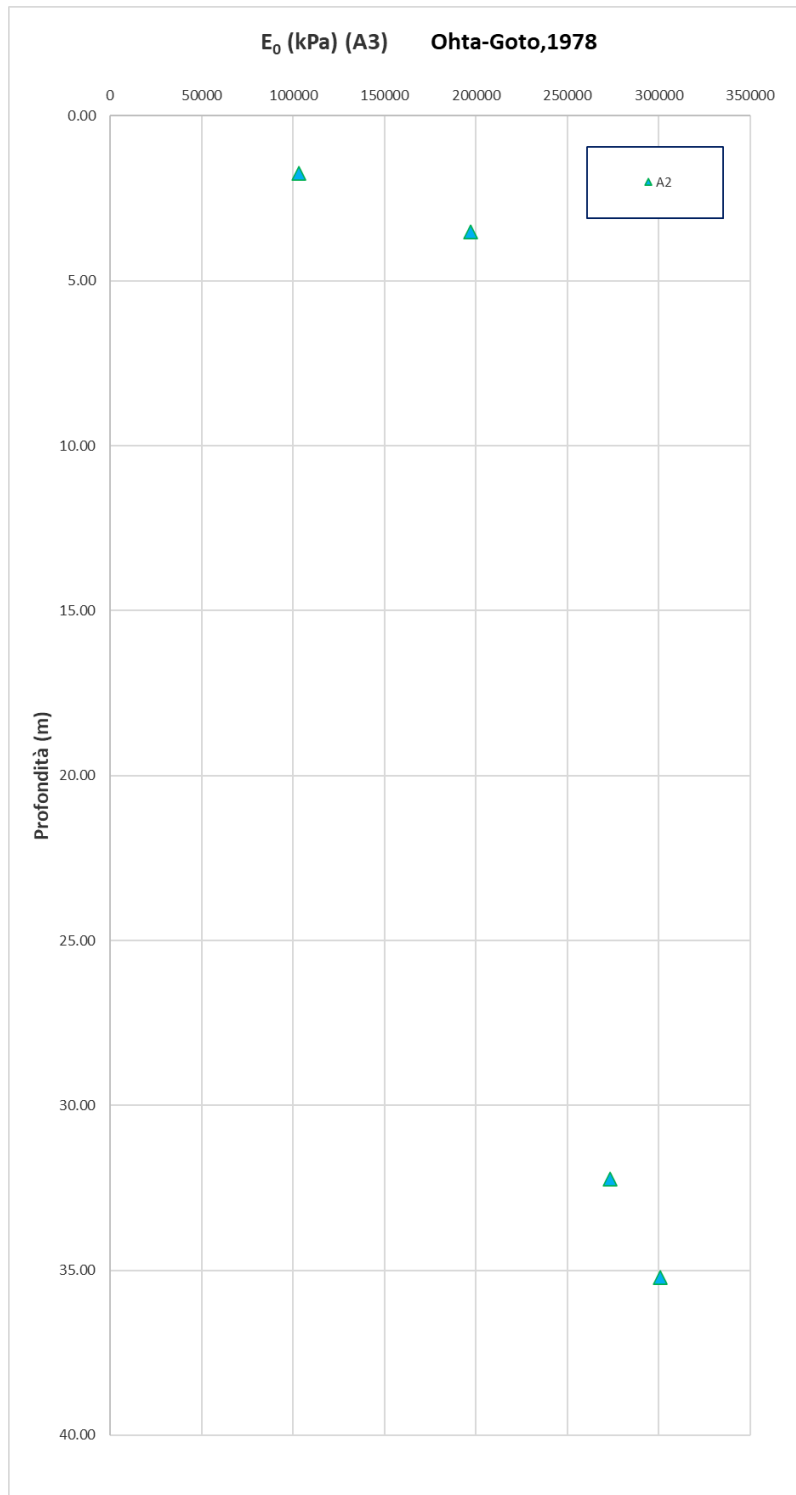


Figura 8.31 – E_0 da elaborazione N_{SPT}

8.4 PERMEABILITA'

Nell'ambito della campagna di indagine PD, sono state eseguite diverse prove di permeabilità di tipo Lefranc a carico variabile. Le figure seguenti riportano i valori dei coefficienti di permeabilità Kh ottenuti dalle prove e suddivisi per unità geotecnica.

I valori dei coefficienti di permeabilità di progetto sono stati stimati sulla base dei risultati delle prove Lefranc e sulla base dei riferimenti bibliografici considerando la litologia del materiale (si vada Tabella 6.7). I valori di progetto sono riportati nel paragrafo 6.3.5.

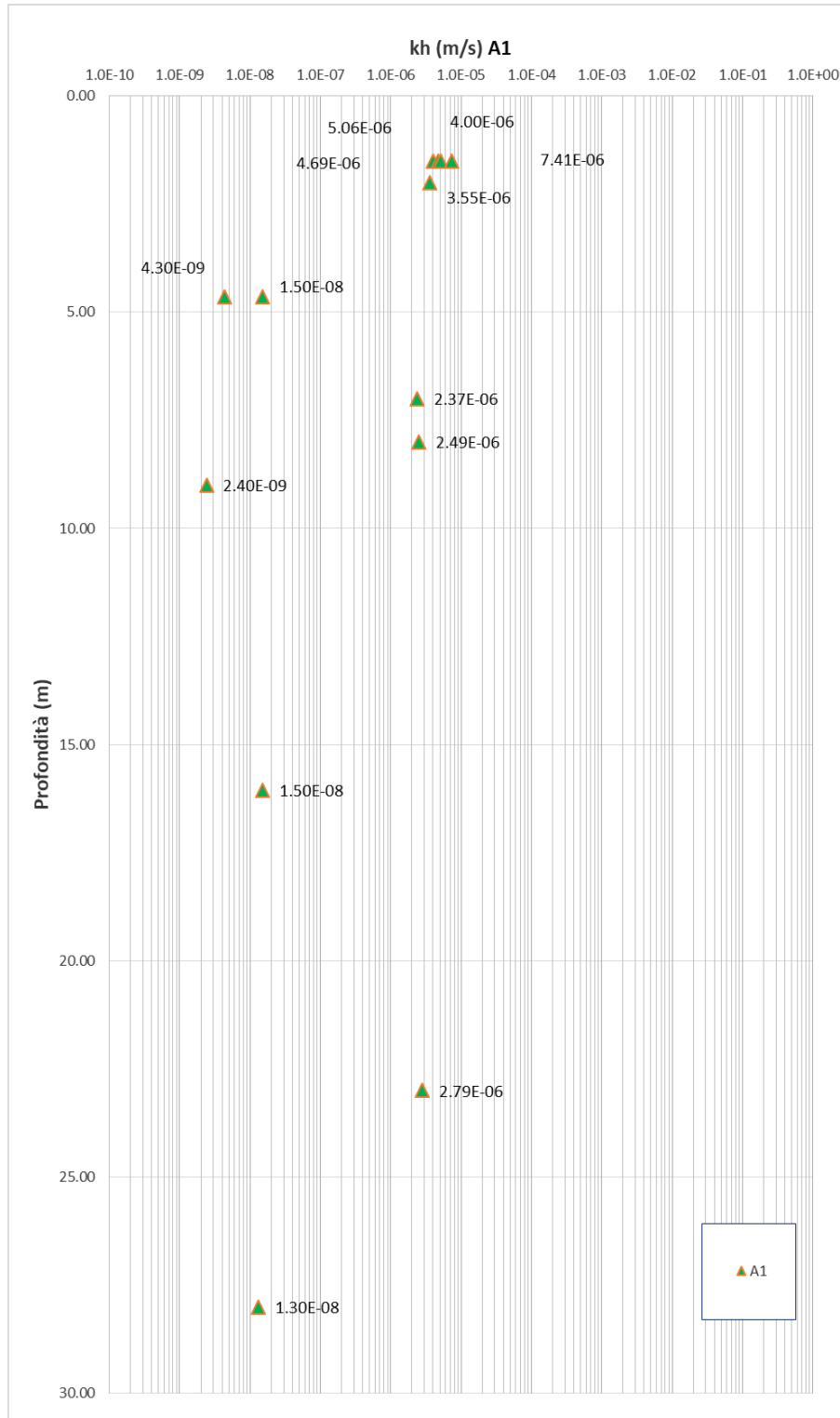


Figura 8.32 – Permeabilità k_h da prove Lefranc – Unità geotecnica A1

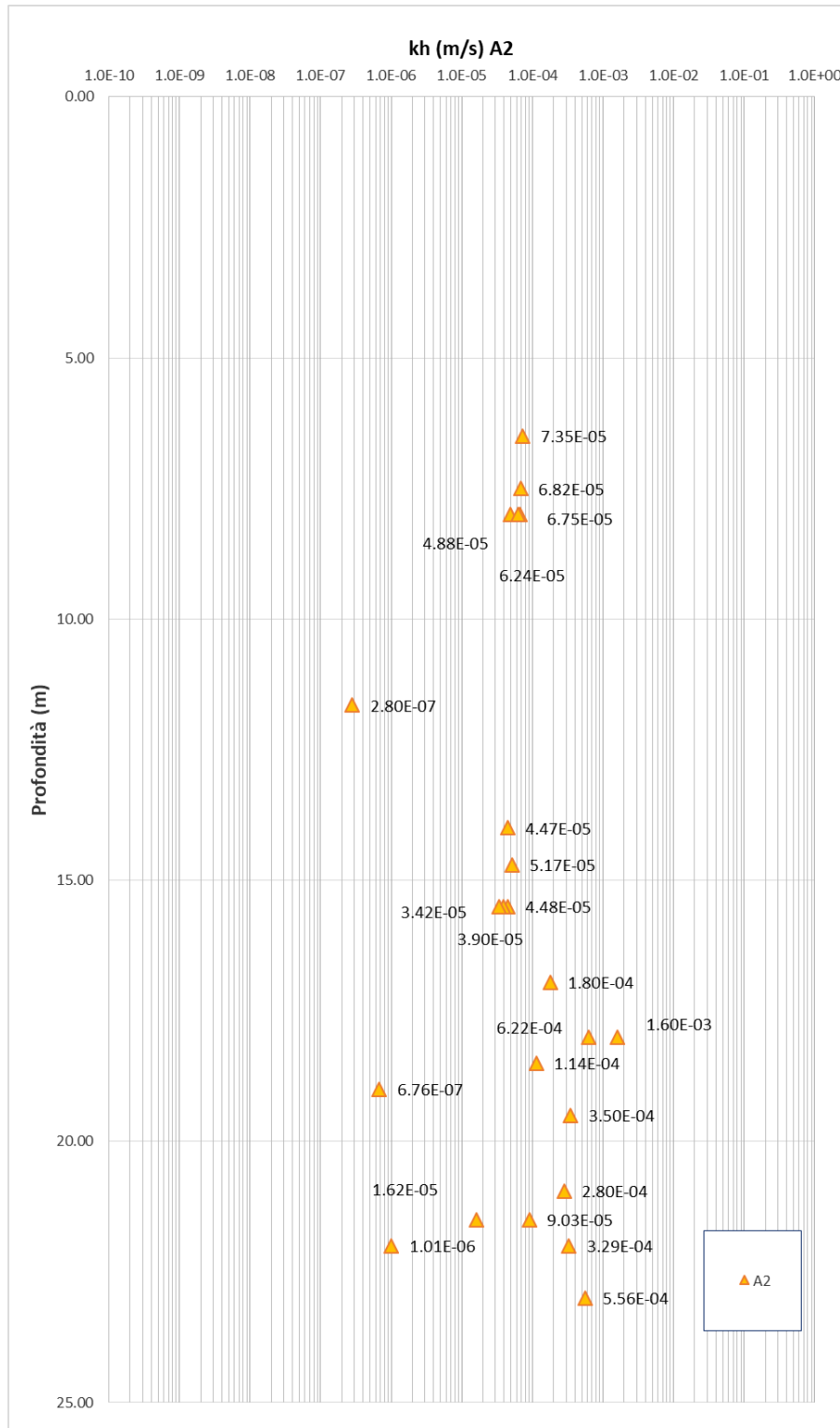


Figura 8.33 – Permeabilità k_h da prove Lefranc – Unità geotecnica A2

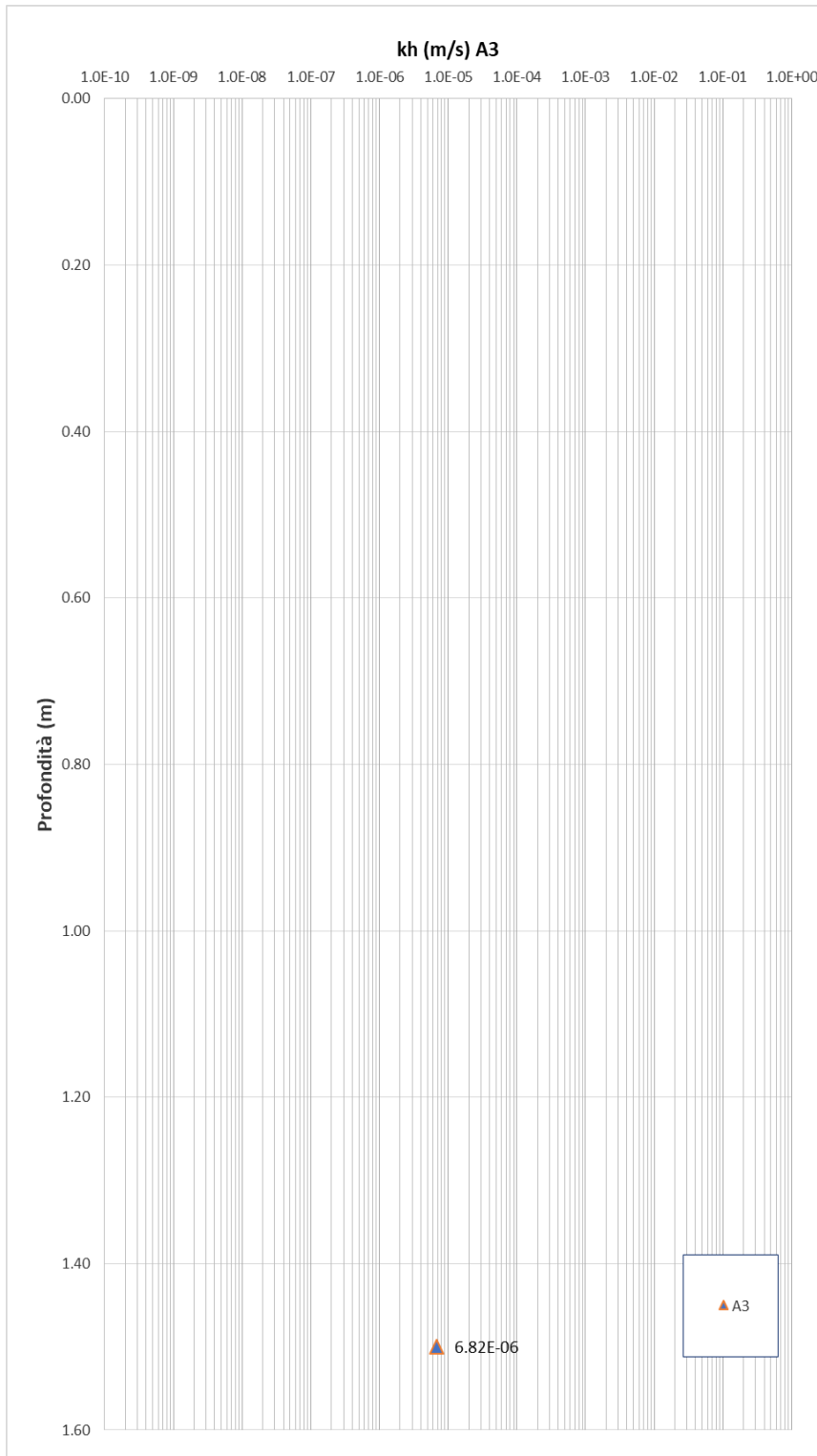


Figura 8.34 – Permeabilità k_h da prove Lefranc – Unità geotecnica A3

	COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D26RG	DOCUMENTO GE0000 001	REV. B

8.5 DEFINIZIONE DEI PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO

Dall'analisi delle prove ad oggi disponibili, condotte sia in sito che in laboratorio, e presentate ai paragrafi precedenti, si sono determinati i parametri geotecnici associati alle diverse unità stratigrafiche individuate.

In particolare, valgono le seguenti considerazioni:

- Le unità geotecniche più superficiali sono A1 (L), A2 (G) e A3 (S).
- I pesi di volume naturale dei materiali sono stati determinati in base ai risultati delle prove di laboratorio che sono stati considerati nel loro complesso, individuando un valore medio da associare ai materiali.
- Per le unità geotecniche con un $FC > 35\%$ si sono valutati i parametri geotecnici di resistenza sia in condizioni drenate che in condizioni non drenate, nello specifico:
 - i parametri di resistenza in condizioni non drenate sono stati desunti principalmente dalle prove di laboratorio TX-UU, tali valori sono stati poi confrontati con quelli desumibili dall'interpretazione delle prove N_{SPT} .
 - i parametri di resistenza in condizioni drenate sono stati desunti principalmente dalle prove di laboratorio TD e TX-CIU.
- Per le unità geotecniche con un $FC < 35\%$ i parametri geotecnici di resistenza sono stati desunti principalmente dall'interpretazione delle prove N_{SPT} .
- I moduli iniziali di elasticità tangenziale G_0 sono stati ottenuti dalle prove in sito, nello specifico si sono ricavati
 - i valori di G_0 ottenuti a partire dalle V_s ricavate dall'interpretazione con Otha e Goto delle misure di N_{SPT} effettuate lungo il tracciato;
 - i valori di G_0 ottenuti dalle misure dirette delle V_s in sito effettuate dalle indagini geofisiche (Down-Hole e MASW).
- I moduli di elasticità normale (o di Young) iniziali E_0 sono stati ottenuti a partire dai valori dei moduli G_0 .
- I moduli di elasticità normale (o di Young) operativi sono stati derivati dai valori stimati per i moduli iniziali di elasticità tangenziale considerando un degrado del modulo in funzione del livello di deformazione atteso per la singola unità geotecnica. In particolare, sono riportati i valori dei due livelli di operatività individuati; ossia E_{op1} caratteristico di livelli deformativi tipici di problemi di cedimento

(problemi di carico), e come tali più bassi, ed E_{op2} da adottare nel caso di analisi di scavi o di opere di sostegno, quindi in presenza di problemi di scarico, dove si possono considerare valori più elevati. Si sottolinea che, per quanto riguarda i materiali coesivi, tali parametri possono essere utilizzati solo fintanto che con l'applicazione dei sovraccarichi (carichi, rilevati, ecc, ...) i materiali rimangono in campo sovraconsolidato, ossia permangono all'interno del comportamento pseudo-elastico di scarico e ricarico. Laddove invece l'applicazione dei carichi faccia superare al deposito la pressione di sovraconsolidazione, l'applicazione di tali parametri non può essere fatta e necessariamente i calcoli devono essere eseguiti con modelli costitutivi che permettano l'uso dei rapporti di compressione CR e di ricomprensione RR.

- I rapporti di sovraconsolidazione OCR sono stati calcolati dai risultati di alcuni edometri (quelli le cui curve sforzo-deformazione permettevano la costruzione grafica di Casagrande (1936). Salendo verso la superficie, il grado di sovra-consolidazione dei materiali a grana fine aumenta.
- I rapporti di compressione CR e di ricomprensione RR sono stati valutati dall'interpretazione delle prove edometriche dove disponibili. Si segnala che solo alcune delle prove edometriche sono state ritenute significative in quanto caratterizzate da un grado di disturbo del campionamento relativamente contenuto (inferiore al 5%) e pertanto utilizzate per la definizione dei parametri di deformabilità
- Il coefficiente di Poisson è stato assunto per tutte le unità pari a 0.30.
- I valori di permeabilità sono stati definiti in accordo alle considerazioni fatte al precedente capitolo 8.4 a cui si rimanda per ogni dettaglio.
- I valori minimi e massimi del livello di falda di progetto sono indicati nel profilo geotecnico (Doc.Ref. da [8] a [13]) e i valori minimi sono utilizzati per i calcoli.

Sulla base delle considerazioni sopra riportate sono stati definiti i parametri geotecnici per ciascuno strato individuato, da utilizzarsi per la progettazione. Una sintesi di tali valori è di seguito riportata in Tabella 8.2.

Tabella 8.2: Parametri geotecnici caratteristici associati alle unità stratigrafiche

UNITA'	DESCRIZIONE	N _{SPT}	γ	Dr	Parametri di resistenza			Parametri di deformabilità									
					φ'	c'	Cu	G ₀	E ₀	E ₀ /10	E ₀ /5	OCR	CR	RR	C _{αε}	v'	k _h
(Nome)	(-)	(colpi/30 cm)	(kN/m ³)	(%)	(°)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(-)	(-)	(-)	(%)	(-)	(m/s)
A1	L	6-100	18.5-20	-	23-29	7-26	60-160	550×pax(σv'/pa) ^{0.5}	70-200	7-20	14-40	3.50-6.80	0.024	0.021	0.0055	0.30	9.62E-07
A2	G	10-100	19.0	50-100	36-41	0	-	1100×pax(σv'/pa) ^{0.5}	100-400	10-40	25-80	-	-	-	--	0.30	2.03E-04
A3	S	55	19.0	40	35	0	-	110	270	27	54	-	-	-	-	0.30	6.82E-06

Legenda:

(*) c'=12 per 0<h<10 m da p.c.. c'=8 per h>10 m da p.c..

(**) kh=permeabilità da prove Lefranc

(***) H falda=max quota di falda misurata

Nspt = valori di riferimento ottenuti da prove SPT nella tratta in oggetto;

γ = peso di volume;

Dr= densità relativa

φ' = angolo d'attrito

c' = coesione efficace

Cu = coesione non drenata

G₀ = modulo di taglio iniziale riferito alle pressioni efficaci geostatiche;

E'op/10: modulo di Young per rilevati

E'op/5: modulo di Young per opere d'arte

OCR = Grado di sovraconsolidazione

CR e RR = coefficienti di consolidazione primaria nel piano ε – log (σ), CR = rapporto di compressione e RR rapporto di ricomprensione

9 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TRACCIATO

Il tracciato ferroviario è stato suddiviso in tratte omogenee per stratigrafia e caratteristiche geotecniche. Per ogni tratta sono stati definiti i profili ed i parametri geotecnici di progetto da adottarsi per le verifiche di sicurezza e funzionalità delle opere riportate nelle specifiche relazioni geotecniche di calcolo.

Sono state individuate n.13 stratigrafie di calcolo, nei paragrafi seguenti si riporta la caratterizzazione in corrispondenza della porzione di tracciato di pertinenza, in termini di successione stratigrafica caratteristica e relativi parametri geotecnici. Nel caso in cui vi sia una distanza considerevole tra un sondaggio e quello successivo, rispetto ai quali sono stati stimati i parametri geotecnici, un'eventuale caratterizzazione del tratto intermedio è stata ottenuta per interpolazione dei valori a disposizione. Questo capitolo, per facilitarne la lettura, deve essere letto contestualmente alle tavole dei profili geotecnici.

Il valore del modulo di Young iniziale, riferito alle pressioni efficaci geostatiche, sarà calcolato a partire dal valore del modulo di taglio iniziale, riferito alle pressioni geostatiche, mediante la seguente espressione:

$$E_0 = G_0 \cdot 2 \cdot (1 + \nu')$$
 (kPa)

I valori dei moduli operativi da adottare per le verifiche di sicurezza e funzionalità delle opere saranno i seguenti:

$E_{op1} = E_0/10$ Modulo di young "operativo" per l'analisi dei cedimenti dei rilevati con metodi elastici lineari e non lineari;

$E_{op2} = E_0/(3\div 5)$ Modulo di young "operativo" per l'analisi di opere di sostegno con metodi elastici lineari e non lineari.

Nelle tratte dove non si avevano informazioni sufficienti per definire i parametri geotecnici di progetto, (nello specifico modulo di taglio iniziale G_0 e coesione non drenata), i valori assunti derivano dalla caratterizzazione generale di lotto e dalle informazioni disponibili delle tratte (stratigrafie omogenee) adiacenti.

9.1 TRATTA 1 – DAL KM 0+000 AL KM 1+034

L'indagine di riferimento è :PR3

Tabella 9.1:Stratigrafia e parametri geotecnici caratteristici – Tratta 1 dal km 0+000 al km 57+200

TRATTA 1 - dal km 0+000 al km 1+034 - PR3																	
UNITA'	DA	A	Nspt	γ_n	ϕ'	c' (*)	C_u	E0	Eop2	Eop1	G_0	OCR	CR	RR	$C_{\alpha E}$	k_n (**)	H falda da p.c. (***)
(-)	(m pc)	(m pc)	(colpi/ 30cm)	(°)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(-)	(-)	(-)	(%)	[m/s]	[m]
G	0.00	13.00	10-67	19.0	37	0	-	100-250	20-50	10-25	50-110	-	-	-	-	2.03E-04	9.1
L	13.00	25.00	20-25	19.0	27	8	70-110	140-190	28-38	14-19	60-80	3.50-6.80	0.024	0.021	0.0055	9.62E-07	
G	25.00	29.00	-	19.0	37	0	-	350	70	35	150	-	-	-	-	2.03E-04	
L	29.00	32.00	-	19.0	27	8	150	190	38	19	85	3.50-6.80	0.024	0.021	0.0055	9.62E-07	
G	>32	-	-	19.0	37	0	-	350	70	35	150	-	-	-	-	2.03E-04	

Note:

Legenda:

Nspt = valori di riferimento ottenuti da prove SPT nella tratta in oggetto;

γ_n = peso di volume;

ϕ' = angolo di attrito "operativo";

(*) c' =12 per $0 < h < 10$ m da p.c.. c' =8 per $h > 10$ m da p.c..

C_u = coesione non drenata;

E_0 = modulo di Young

$E'_{op}/10$ (E_{op1}): modulo di Young per rilevati

$E'_{op}/5$ (E_{op2}): modulo di Young per opere d'arte

G_0 = modulo di taglio iniziale riferito alle pressioni efficaci geostatiche;

OCR = Grado di sovraconsolidazione;

CR e RR = coefficienti di consolidazione primaria nel piano e- log (σ), CR = rapporto di compressione e RR rapporto di ricomprensione;

$C_{\alpha E}$ = coefficiente di consolidazione secondaria (dipendono dal contenuto di acqua)

(**) k_n =permeabilità da prove Lefranc

(***) H falda=max quota di falda misurata

9.2 TRATTA 2 – DAL KM 1+034 AL KM 1+550

Le indagini di riferimento sono: BH1, MASW01 e HVSR01.

Tabella 9.2: Stratigrafia e parametri geotecnici caratteristici – Tratta 2 dal km 1+034 al km 1+550

TRATTA 2 – DAL KM 1+034 AL KM 1+550 - BH1, MASW01 e HVSR01.

UNITA'	DA	A	Nspt	γ_n	φ'	c'	Cu	G ₀	E ₀	E _{op2}	E _{op1}	OCR	CR	RR	C _{αs}	kh	H falda da p.c. (***)
(-)	(m pc)	(m pc)	(colpi/30cm)	(°)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(-)	(-)	(-)	(%)	[m/s]	[m]
L	0.00	16.00	7-11	19.0	27	12-8	60-90	35-60	80-140	16-27	8-14	3.50-6.80	0.024	0.021	0.0055	9.62E-07	7
G	>16.00	-	50-100	19.0	37	0	-	130	300	60	30	-	-	-	-	2.03E-04	

Note:

Legenda:

Nspt = valori di riferimento ottenuti da prove SPT nella tratta in oggetto;

γ_n = peso di volume;

φ' = angolo di attrito "operativo";

(*) c'=12 per 0<h<10 m da p.c.. c'=8 per h>10 m da p.c..

Cu = coesione non drenata;

E₀= modulo di Young

E'_{op/10} (E_{op1}): modulo di Young per rilevati

E'_{op/5} (E_{op2}): modulo di Young per opere d'arte

G₀ = modulo di taglio iniziale riferito alle pressioni efficaci geostatiche;

OCR = Grado di sovraconsolidazione;

CR e RR = coefficienti di consolidazione primaria nel piano e– log (σ), CR = rapporto di compressione e RR rapporto di ricomprensione;

C_{αs} = coefficiente di consolidazione secondaria (dipendono dal contenuto di acqua)

(**) k_n=permeabilità da prove Lefranc

(***) H falda=max quota di falda misurata

9.3 TRATTA 3 – DAL KM 1+550 AL KM 2+850

Le indagini di riferimento sono: PCL053B01, 181160P748, XL051G010, BH2, CHL053B06, PCL053B16, PCL053B13, XL051G009, PCL053B02, MASW02, HVSR02, MASW03 e HVSR03.

Tabella 9.3: Stratigrafia e parametri geotecnici caratteristici – Tratta 3 dal km 1+550 al km 2+850

TRATTA 3 – DAL KM 1+550 AL KM 2+850 - PCL053B01, 181160P748, XL051G010, BH2, CHL053B06, PCL053B16, PCL053B13, XL051G009, PCL053B02, MASW02, HVSR02, MASW03 e HVSR03																	
UNITA'	DA	A	Nspt	γ_n	φ'	c'	Cu	G_0	E0	Eop2	Eop1	OCR	CR	RR	$C_{\alpha\epsilon}$	kh	H falda da p.c. (***)
(-)	(m pc)	(m pc)	(colpi/30cm)	(°)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(-)	(-)	(-)	(%)	[m/s]	[m]
L	0.00	13.00-16.00	8-49	19.0	27	12-8	60-90	35-60	70-140	14-27	7-14	3.50-6.80	0.024	0.021	0.0055	9.62E-07	2,5-6,5
G	13.00-16.00	38.00	20-100	19.0	37	0	-	130-180	300-400	60-80	30-40	-	-	-	-	2.03E-04	
L	>38.00		21	19.0	27	8	150	90	200	40	20	3.50-6.80	0.024	0.021	0.0055	9.62E-07	

Note:
Legenda:
Nspt = valori di riferimento ottenuti da prove SPT nella tratta in oggetto;
 γ_n = peso di volume;
 φ' = angolo di attrito "operativo";
(*) c' =12 per 0<h<10 m da p.c.. c' =8 per h>10 m da p.c..
Cu = coesione non drenata;
E0= modulo di Young
E'op/10 (E_{op1}): modulo di Young per rilevati
E'op/5 (E_{op2}): modulo di Young per opere d'arte
G₀ = modulo di taglio iniziale riferito alle pressioni efficaci geostatiche;
OCR = Grado di sovraconsolidazione;
CR e RR = coefficienti di consolidazione primaria nel piano e– log (σ), CR = rapporto di compressione e RR rapporto di ricomprensione;
C_{αε} = coefficiente di consolidazione secondaria (dipendono dal contenuto di acqua)
(**) k_n=permeabilità da prove Lefranc
(***) H falda=max quota di falda misurata

9.4 TRATTA 4 – DAL KM 2+850 AL KM 3+250

Le indagini di riferimento sono: XL051B008, .

Tabella 9.4: Stratigrafia e parametri geotecnici caratteristici – Tratta 4 dal km 2+850 al km 3+250

TRATTA 4 DAL KM 2+850 AL KM 3+250 - XL051B008																	
UNITA'	DA	A	Nspt	γ_n	ϕ'	c'	Cu	G_0	E0	Eop2	Eop1	OCR	CR	RR	$C_{\alpha\epsilon}$	kh	H falda da p.c. (***)
(-)	(m pc)	(m pc)	(colpi/30cm)	(°)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(-)	(-)	(-)	(%)	[m/s]	[m]
L	0.00	8.00-13.00	-	19.0	27	12-8	60-80	35-60	70-140	14-27	7-14	3.50-6.80	0.024	0.021	0.0055	9.62E-07	6.0-6.5
G	8.00-13.00	30.00-35.00	42-75	19.0	37	0	-	130-180	300-400	60-80	30-40	-	-	-	-	2.03E-04	
L	>35.00		-	19.0	27	8	150	90	200	40	20	3.50-6.80	0.024	0.021	0.0055	9.62E-07	

Note:

Legenda:

Nspt = valori di riferimento ottenuti da prove SPT nella tratta in oggetto;

γ_n = peso di volume;

ϕ' = angolo di attrito "operativo";

(*) c'=12 per 0<h<10 m da p.c.. c'=8 per h>10 m da p.c..

Cu = coesione non drenata;

E₀ = modulo di Young

E'op/10 (E_{op1}): modulo di Young per rilevati

E'op/5 (E_{op2}): modulo di Young per opere d'arte

G₀ = modulo di taglio iniziale riferito alle pressioni efficaci geostatiche;

OCR = Grado di sovraconsolidazione;

CR e RR = coefficienti di consolidazione primaria nel piano e– log (σ), CR = rapporto di compressione e RR rapporto di ricomprensione;

$C_{\alpha\epsilon}$ = coefficiente di consolidazione secondaria (dipendono dal contenuto di acqua)

(**) k_n=permeabilità da prove Lefranc

(***) H falda=max quota di falda misurata

9.5 TRATTA 5 – DAL KM 3+250 AL KM 3+900

Le indagini di riferimento sono: PCL053B03, PCL053B04, MASW04 e HVSR04.

Tabella 9.5: Stratigrafia e parametri geotecnici caratteristici – Tratta 5 dal km 3+250 al km 3+900

TRATTA 5 – DAL KM 3+250 AL KM 3+900 - PCL053B03, PCL053B04, MASW04 e HVSR04																	
UNITA'	DA	A	Nspt	γ_n	φ'	c'	Cu	G_0	E0	Eop2	Eop1	OCR	CR	RR	$C_{\alpha\epsilon}$	kh	H falda da p.c. (***)
(-)	(m pc)	(m pc)	(colpi/30cm)	(°)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(-)	(-)	(-)	(%)	[m/s]	[m]
L	0.00	4.00-8.00	6-15	19.0	27	12	60	30-45	70-100	14-20	7-10	3.50-6.80	0.024	0.021	0.0055	9.62E-07	6.0-8.0
G	4.00-8.00	14.00	47-100	19.0	37	0	-	90-130	200-300	40-60	20-30	-	-	-	-	2.03E-04	
L	14.00	19.00	17	19.0	27	8	100	60-70	140-160	28-32	14-16	3.50-6.80	0.024	0.021	0.0055	9.62E-07	
G	19.00	25.00	17-100	19.0	37	0	-	140-160	320-370	65-75	32-37	-	-	-	-	2.03E-04	
L	25.00	27.00	-	19.0	27	8	120	85	195	39	19	3.50-6.80	0.024	0.021	0.0055	9.62E-07	
G	27.00	33.00	77-100	19.0	37	0	-	180	400	80	40	-	-	-	-	2.03E-04	
L	>33.00		-	19.0	27	8	160	90	200	80	20	3.50-6.80	0.024	0.021	0.0055	9.62E-07	

Note:

Legenda:

Nspt = valori di riferimento ottenuti da prove SPT nella tratta in oggetto;

γ_n = peso di volume;

φ' = angolo di attrito "operativo";

(*) $c'=12$ per $0 < h < 10$ m da p.c.. $c'=8$ per $h > 10$ m da p.c..

Cu = coesione non drenata;

E₀ = modulo di Young

E'_{op/10} (E_{op1}): modulo di Young per rilevati

E'_{op/5} (E_{op2}): modulo di Young per opere d'arte

G₀ = modulo di taglio iniziale riferito alle pressioni efficaci geostatiche;

OCR = Grado di sovraconsolidazione;

CR e RR = coefficienti di consolidazione primaria nel piano e– log (σ), CR = rapporto di compressione e RR rapporto di ricomprensione;

$C_{\alpha\epsilon}$ = coefficiente di consolidazione secondaria (dipendono dal contenuto di acqua)

(**) k_h = permeabilità da prove Lefranc

(***) H falda = max quota di falda misurata

9.6 TRATTA 6 – DAL KM 3+900 AL KM 4+150

Il sondaggio è: BH3.

Tabella 9.6: Stratigrafia e parametri geotecnici caratteristici – Tratta 6 dal km 3+900 al km 4+150

TRATTA 6 – DAL KM 3+900 AL KM 4+150 - BH3																
UNITA'	DA	A	Nspt	γ_n	φ'	c'	Cu	G ₀	E ₀	E _{op2}	E _{op1}	OCR	CR	RR	kh	H falda da p.c. (***)
(-)	(m pc)	(m pc)	(colpi/30cm)	(°)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(-)	(-)	(-)	[m/s]	[m]
L	0.00	3.5-5.0	17	19.0	27	12	60	35	70	14	7	3.50-6.80	0.024	0.021	9.62E-07	7.5-8.5
G	3.5-5.0	24.00-26.00	19-63	19.0	37	0	-	60-165	140-380	28-75	14-38	-	-	-	2.03E-04	
L	24.00-26.00	24.00-28.00	12	19.0	27	8	120	80	185	37	18	3.50-6.80	0.024	0.021	9.62E-07	
G	24.00-28.00	32.00	44-100	19.0	37	0	-	165-190	380-400	75-80	38-40	-	-	-	2.03E-04	
L	>32.00		13-59	19.0	27	8	150	90	200	40	20	3.50-6.80	0.024	0.021	9.62E-07	

Note:

Legenda:

Nspt = valori di riferimento ottenuti da prove SPT nella tratta in oggetto;

γ_n = peso di volume;

φ' = angolo di attrito "operativo";

(*) c'=12 per 0<h<10 m da p.c.. c'=8 per h>10 m da p.c..

Cu = coesione non drenata;

E₀= modulo di Young

E'_{op/10} (E_{op1}): modulo di Young per rilevati

E'_{op/5} (E_{op2}): modulo di Young per opere d'arte

G₀ = modulo di taglio iniziale riferito alle pressioni efficaci geostatiche;

OCR = Grado di sovraconsolidazione;

CR e RR = coefficienti di consolidazione primaria nel piano e– log (σ), CR = rapporto di compressione e RR rapporto di ricomprensione;

c_{acc} = coefficiente di consolidazione secondaria (dipendono dal contenuto di acqua)

(**) k_n=permeabilità da prove Lefranc

(***) H falda=max quota di falda misurata

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IP00	00	D26RG	GE0000 001	B	113 di 225

9.7 TRATTA 7 – DAL KM 4+150 AL KM 5+250

Le indagini di riferimento sono: PCL053B05, PNL053C22 e S8.

Tabella 9.7: Stratigrafia e parametri geotecnici caratteristici – Tratta 7 dal km 4+150 al km 5+250

TRATTA 7 –DAL KM 4+150 AL KM 5+250 - PCL053B05, PNL053C22 e S8																	
UNITA'	DA	A	Nspt	γ_n	ϕ'	c'	Cu	G ₀	E ₀	E _{op2}	E _{op1}	OCR	CR	RR	C _{αε}	kh	H falda da p.c. (***)
(-)	(m pc)	(m pc)	(colpi/30cm)	(°)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(-)	(-)	(-)	(%)	[m/s]	[m]
L	0.00	5.00-8.00	14-29	19.0	27	12	60	35-45	70-100	14-20	7-10	3.50-6.80	0.024	0.021	0.0055	9.62E-07	8.0-22.0
G	5.00-8.00	10.00-12.00	76-100	19.0	37	0	-	75-115	170-265	35-50	17-26	-	-	-	-	2.03E-04	
L	10.00-12.00	26.00-30.00	13-18	19.0	27	8	70-120	50-90	70-210	16-40	8-21	3.50-6.80	0.024	0.021	0.0055	9.62E-07	
G	26.00-30.00	31.00-33.00	58-68	19.0	37	0	-	165-190	380-400	75-80	38-40	-	-	-	-	2.03E-04	
L	>33.00		23	19.0	27	8	150	90	200	40	20	3.50-6.80	0.024	0.021	0.0055	9.62E-07	

Note:

Legenda:

Nspt = valori di riferimento ottenuti da prove SPT nella tratta in oggetto;

γ_n = peso di volume;

ϕ' = angolo di attrito "operativo";

(*) c'=12 per 0<h<10 m da p.c.. c'=8 per h>10 m da p.c..

Cu = coesione non drenata;

E₀= modulo di Young

E'_{op/10} (E_{op1}): modulo di Young per rilevati

E'_{op/5} (E_{op2}): modulo di Young per opere d'arte

G₀ = modulo di taglio iniziale riferito alle pressioni efficaci geostatiche;

OCR = Grado di sovraconsolidazione;

CR e RR = coefficienti di consolidazione primaria nel piano e– log (σ), CR = rapporto di compressione e RR rapporto di ricomprensione;

C_{αε} = coefficiente di consolidazione secondaria (dipendono dal contenuto di acqua)

(**) k_h=permeabilità da prove Lefranc

(***) H falda=max quota di falda misurata

9.8 TRATTA 8 – DAL KM 5+250 AL KM 5+900

Le indagini di riferimento sono: BH4, MASW05 e HVSR05.

Tabella 9.8: Stratigrafia e parametri geotecnici caratteristici – Tratta 8 dal km 5+250 al km 5+900

TRATTA 8 –DAL KM 5+250 AL KM 5+900 - BH4, MASW05 e HVSR05																	
UNITA'	DA	A	Nspt	γ_n	ϕ'	c'	Cu	G_0	E0	Eop2	Eop1	OCR	CR	RR	$C_{\alpha\epsilon}$	kh	H falda da p.c. (***)
(-)	(m pc)	(m pc)	(colpi/30cm)	(°)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(-)	(-)	(-)	(%)	[m/s]	[m]
L	0.00	6.50-8.00	23	19.0	27	12	60	35-45	70-100	14-20	7-10	3.50-6.80	0.024	0.021	0.0055	9.62E-07	22.0-26.0
G	6.50-8.00	24.00-30.00	53-100	19.0	37	0	-	80-180	180-420	35-85	18-42	-	-	-	-	2.03E-04	
L	24.00-30.00	33.00	20-25	19.0	27	8	120-140	80-95	180-220	35-45	18-22	3.50-6.80	0.024	0.021	0.0055	9.62E-07	
G	33.00	35.00	75-86	19.0	37	0	-	190	400	80	40	-	-	-	-	2.03E-04	
L	>35.00		31	19.0	27	8	150	90	200	40	20	3.50-6.80	0.024	0.021	0.0055	9.62E-07	

Note:

Legenda:

Nspt = valori di riferimento ottenuti da prove SPT nella tratta in oggetto;

γ_n = peso di volume;

ϕ' = angolo di attrito "operativo";

(*) $c'=12$ per $0 < h < 10$ m da p.c.. $c'=8$ per $h > 10$ m da p.c..

Cu = coesione non drenata;

E₀ = modulo di Young

E'_{op/10} (E_{op1}): modulo di Young per rilevati

E'_{op/5} (E_{op2}): modulo di Young per opere d'arte

G₀ = modulo di taglio iniziale riferito alle pressioni efficaci geostatiche;

OCR = Grado di sovraconsolidazione;

CR e RR = coefficienti di consolidazione primaria nel piano e– log (σ), CR = rapporto di compressione e RR rapporto di ricomprensione;

$C_{\alpha\epsilon}$ = coefficiente di consolidazione secondaria (dipendono dal contenuto di acqua)

(**) k_h = permeabilità da prove Lefranc

(***) H falda = max quota di falda misurata

9.9 TRATTA 9 – DAL KM 5+900 AL KM 6+500

Le indagini di riferimento sono: BH5 e DH-BH5.

Tabella 9.9: Stratigrafia e parametri geotecnici caratteristici – Tratta 9 dal km 5+900 al km 6+500

TRATTA 9 –DAL KM 5+900 AL KM 6+500 - BH5 e DH-BH5

UNITA'	DA	A	Nspt	γ_n	ϕ'	c'	Cu	G ₀	E ₀	E _{op2}	E _{op1}	OCR	CR	RR	C _{αε}	kh	H falda da p.c. (***)
(-)	(m pc)	(m pc)	(colpi/30cm)	(°)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(-)	(-)	(-)	(%)	[m/s]	[m]
L	0.00	5.00-7.00	14-17	19.0	27	12	60	35-45	70-100	16-20	8-10	3.50-6.80	0.024	0.021	0.0055	9.62E-07	26-28
G	5.00-7.0	20.00-24.00	53-100	19.0	37	0	-	75-160	170-370	35-75	17-37	-	-	-	-	2.03E-04	
L	20.00-24.00	33.00-39.00	18-56	19.0	27	8	110	75-90	170-200	34-40	17-20	3.50-6.80	0.024	0.021	0.0055	9.62E-07	
G	>33.00-39.00		-	19.0	37	0	-	190	400	80	40	-	-	-	-	2.03E-04	

Note:

Legenda:

Nspt = valori di riferimento ottenuti da prove SPT nella tratta in oggetto;

γ_n = peso di volume;

ϕ' = angolo di attrito "operativo";

(*) c' =12 per 0<h<10 m da p.c.. c' =8 per h>10 m da p.c..

Cu = coesione non drenata;

E₀= modulo di Young

E'_{op/10} (E_{op1}): modulo di Young per rilevati

E'_{op/5} (E_{op2}): modulo di Young per opere d'arte

G₀ = modulo di taglio iniziale riferito alle pressioni efficaci geostatiche;

OCR = Grado di sovraconsolidazione;

CR e RR = coefficienti di consolidazione primaria nel piano e- log (σ), CR = rapporto di compressione e RR rapporto di ricomprensione;

C_{αε} = coefficiente di consolidazione secondaria (dipendono dal contenuto di acqua)

(**) k_h=permeabilità da prove Lefranc

(***) H falda=max quota di falda misurata

9.10 TRATTA 10 – DAL KM 6+500 AL KM 6+800

Le indagini di riferimento sono: BH6, MASW06 e HVSRO6.

Tabella 9.10: Stratigrafia e parametri geotecnici caratteristici – Tratta 10 dal km 6+500 al km 6+800

TRATTA 10 –DAL KM 6+500 AL KM 6+800 -BH6, MASW06 e HVSRO6																	
UNITA'	DA	A	Nspt	γ_n	ϕ'	c'	Cu	G ₀	E ₀	E _{op2}	E _{op1}	OCR	CR	RR	C _{αε}	kh	H falda da p.c. (***)
(-)	(m pc)	(m pc)	(colpi/30cm)	(°)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(-)	(-)	(-)	(%)	[m/s]	[m]
L	0.00	5.00-6.50	15-18	19.00	27	12	60	35-45	70-100	14-20	7-10	3.50-6.80	0.024	0.021	0.0055	9.62E-07	27-28
G	>6.50	-	22-75	19.00	37	0	-	75-190	170-400	35-80	17-40	-	-	-	-	2.03E-04	

Note:

Legenda:

Nspt = valori di riferimento ottenuti da prove SPT nella tratta in oggetto;

γ_n = peso di volume;

ϕ' = angolo di attrito "operativo";

(*) c'=12 per 0<h<10 m da p.c.. c'=8 per h>10 m da p.c..

Cu = coesione non drenata;

E₀= modulo di Young

E'_{op/10} (E_{op1}): modulo di Young per rilevati

E'_{op/5} (E_{op2}): modulo di Young per opere d'arte

G₀ = modulo di taglio iniziale riferito alle pressioni efficaci geostatiche;

OCR = Grado di sovraconsolidazione;

CR e RR = coefficienti di consolidazione primaria nel piano e– log (σ), CR = rapporto di compressione e RR rapporto di ricomprensione;

C_{αε} = coefficiente di consolidazione secondaria (dipendono dal contenuto di acqua)

(**) k_h=permeabilità da prove Lefranc

(***) H falda=max quota di falda misurata

9.11 TRATTA 11 – DAL KM 6+800 AL KM 7+250

Le indagini di riferimento sono: S2, PNL053O23.

Tabella 9.11: Stratigrafia e parametri geotecnici caratteristici – Tratta 11 dal km 6+800 al km 7+250

TRATTA 11 –DAL KM 6+800 AL KM 7+250 - S2, PNL053O23

UNITA'	DA	A	Nspt	γ_n	ϕ'	c'	Cu	G ₀	E ₀	E _{op2}	E _{op1}	OCR	CR	RR	C _{as}	kh	H falda da p.c. (***)
(-)	(m pc)	(m pc)	(colpi/30cm)	(°)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(-)	(-)	(-)	(%)	[m/s]	[m]
L	0.00	5.00	-	19.0	27	12	60	30	70	14	7	3.50-6.80	0.024	0.021	0.0055	9.62E-07	24-27
G	5.00	19.00	42-100	19.0	37	0	-	75-140	170-320	35-65	17-32	-	-	-	-	2.03E-04	
L	19.00	22.00	-	19.0	27	8	110	75	170	34	17	3.50-6.80	0.021	0.021	0.0055	9.62E-07	
G	>22.00	-	55	19.0	37	0	-	165	380	75	38	-	-	-	-	2.03E-04	

Note:

Legenda:

Nspt = valori di riferimento ottenuti da prove SPT nella tratta in oggetto;

γ_n = peso di volume;

ϕ' = angolo di attrito "operativo";

(*) c'=12 per 0<h<10 m da p.c.. c'=8 per h>10 m da p.c..

Cu = coesione non drenata;

E₀= modulo di Young

E'_{op/10} (E_{op1}): modulo di Young per rilevati

E'_{op/5} (E_{op2}): modulo di Young per opere d'arte

G₀ = modulo di taglio iniziale riferito alle pressioni efficaci geostatiche;

OCR = Grado di sovraconsolidazione;

CR e RR = coefficienti di consolidazione primaria nel piano e– log (σ), CR = rapporto di compressione e RR rapporto di ricomprensione;

C_{as} = coefficiente di consolidazione secondaria (dipendono dal contenuto di acqua)

(**) k_h=permeabilità da prove Lefranc

(***) H falda=max quota di falda misurata

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IP00	00	D26RG	GE0000 001	B	118 di 225

9.12 TRATTA 12 – DAL KM 7+250 AL KM 7+800

Le indagini di riferimento sono: BH7, MASW07 e HVSRO7.

Tabella 9.12: Stratigrafia e parametri geotecnici caratteristici – Tratta 12 dal km 7+250 al km 7+800

TRATTA 12 –DAL KM 7+250 AL KM 7+800 -BH7, MASW07 e HVSRO7																	
UNITA'	DA	A	Nspt	γ_n	ϕ'	c'	Cu	G_0	E0	Eop2	Eop1	OCR	CR	RR	$c_{\alpha\alpha}$	kh	H falda da p.c. (***)
(-)	(m pc)	(m pc)	(colpi/30cm)	(°)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(-)	(-)	(-)	(%)	[m/s]	[m]
L	0.00	6.00	-	19.0	27	12	60	30-45	70-100	14-20	7-10	3.50-6.80	0.024	0.021	0.0055	9.62E-07	21-24
G	6.00	26.00	42-100	19.0	37	0	-	75-140	170-390	35-78	17-39	-	-	-	-	2.03E-04	
L	26.00	32.00	-	19.0	27	12	120-140	80-90	180-200	35-40	18-20	3.50-6.80	0.024	0.021	0.0055	9.62E-07	
S	32.00	38.00	55	19.0	35	0	-	110	270	54	27	-	-	-	-	6.82E-06	
G	>38.00	-	55	19.0	37	0	-	190	400	80	40	-	-	-	-	2.03E-04	

Note:
Legenda:
 Nspt = valori di riferimento ottenuti da prove SPT nella tratta in oggetto;
 γ_n = peso di volume;
 ϕ' = angolo di attrito "operativo";
 (*) c'=12 per 0<h<10 m da p.c.. c'=8 per h>10 m da p.c..
 Cu = coesione non drenata;
 E₀ = modulo di Young
 E'_{op/10} (E_{op1}): modulo di Young per rilevati
 E'_{op/5} (E_{op2}): modulo di Young per opere d'arte
 G₀ = modulo di taglio iniziale riferito alle pressioni efficaci geostatiche;
 OCR = Grado di sovraconsolidazione;
 CR e RR = coefficienti di consolidazione primaria nel piano e– log (σ), CR = rapporto di compressione e RR rapporto di ricomprensione;
 c_{αα} = coefficiente di consolidazione secondaria (dipendono dal contenuto di acqua)
 (***) k_n=permeabilità da prove Lefranc
 (***) H falda=max quota di falda misurata

9.13 TRATTA 13 – DAL KM 7+800 AL KM 8+100

L'indagine di riferimento è: XL051R007.

Tabella 9.13: Stratigrafia e parametri geotecnici caratteristici – Tratta 13 dal km 7+800 al km 8+100

TRATTA 13 –DAL KM 7+800 AL KM 8+100 - XL051R007																	
UNITA'	DA	A	Nspt	γ_n	ϕ'	c'	Cu	G_0	E0	Eop2	Eop1	OCR	CR	RR	$C_{\alpha s}$	kh	H falda da p.c. (***)
(-)	(m pc)	(m pc)	(colpi/30cm)	(°)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(-)	(-)	(-)	(%)	[m/s]	[m]
G	0.00	25.00	-	19.0	37	0	-	50-190	100-400	20-80	10-40	-	0.024	0.021	-	2.03E-04	21

Note:
Legenda:
 Nspt = valori di riferimento ottenuti da prove SPT nella tratta in oggetto;
 γ_n = peso di volume;
 ϕ' = angolo di attrito "operativo";
 (*) $c'=12$ per $0 < h < 10$ m da p.c.. $c'=8$ per $h > 10$ m da p.c..
 Cu = coesione non drenata;
 E₀ = modulo di Young
 E'_{op/10} (E_{op1}): modulo di Young per rilevati
 E'_{op/5} (E_{op2}): modulo di Young per opere d'arte
 G₀ = modulo di taglio iniziale riferito alle pressioni efficaci geostatiche;
 OCR = Grado di sovraconsolidazione;
 CR e RR = coefficienti di consolidazione primaria nel piano e– log (σ), CR = rapporto di compressione e RR rapporto di ricomprensione;
 $c_{\alpha s}$ = coefficiente di consolidazione secondaria (dipendono dal contenuto di acqua)
 (***) k_n=permeabilità da prove Lefranc
 (***) H falda=max quota di falda misurata

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D26RG	DOCUMENTO GE0000 001	REV. B	FOGLIO 120 di 225

10 POSSIBILE RIUTILIZZO DEL MATERIALE PROVENIENTE DAGLI SCAVI

10.1 CLASSIFICAZIONE DEL MATERIALE SCAVATO

Secondo la vigente normativa in materia ambientale, le terre e le rocce provenienti da attività di scavo non sono classificate come rifiuti e pertanto, a seguito di determinate verifiche condotte, se soddisfano i requisiti stabiliti, possono essere reimpiegate quali materiali da costruzione per rilevati, trincee, riempimenti.

In base a quanto riportato nel documento RFI “Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 5” (Doc.Rif.[19]), nella formazione del corpo del rilevato dovranno essere innanzitutto impiegate le terre provenienti da scavi di sbancamento, di fondazione o di galleria appartenenti ai gruppi A1, A2-4, A2-5, A2-6, A2-7, A3 e A4, di cui alla classificazione delle terre della norma UNI 11531-1/2014, e inoltre terre provenienti da cave di prestito, appartenenti ai gruppi A1, A2-4, A2-5, A2-6, A2-7, A3. Non dovranno inoltre essere impiegate terre del gruppo A3 con coefficiente di disuniformità minore o uguale a 7, inteso quale rapporto tra i passanti ai setacci 0,4 mm e 0,063 mm.

I campioni di suolo prelevati dalle unità A1 e A2 sono stati considerati per l'intera linea ferroviaria. La classificazione dei suoli, applicata sui campioni prelevati e suddivisi nelle diverse unità geotecniche, è riportata in Tabella 10.1. Le stesse informazioni sono riportate in Figura 10.1 sotto forma di istogramma per evidenziare la percentuale di campioni che soddisfano i requisiti di riutilizzo del materiale sul totale dei campioni prelevati. ,

Dai risultati di cui sopra, si può vedere che l'unità geotecnica A1 ha il 100% dei campioni che soddisfano i requisiti di riutilizzo del materiale rispetto ai campioni prelevati. Questi campioni di terreno A1 possono essere riutilizzati per la costruzione di argini dopo il trattamento con la calce. D'altra parte, per i campioni A2, il 92% dei campioni soddisfa i requisiti di riutilizzo del materiale.

Tabella 10.1: Classificazione HRB-AASHTO (CNR-UNI 10006) su campioni prelevati da unità A1 e A2 lungo la linea ferroviaria

NUMERA CAMPIONI-CLASSIFICAZIONE CNR UNI 10006													
	A1		A2				A3*	A4	A5	A6	A7		A8
	A1-a	A1-b	A2-4	A2-5	A2-6	A2-7	A3	A4	A5	A6	A7-5	A7-6	A8
A1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6	5	0
A2	4	4	19	0	7	1	0	0	0	1	0	0	0

— Terreni riutilizzabili per la costruzione di rilevati
 — Terreni riutilizzabili per la costruzione di rilevati previo trattamento a calce

* I Terreni di tipo A3 devono essere caratterizzati da un coefficiente di disuniformità maggiore di 7

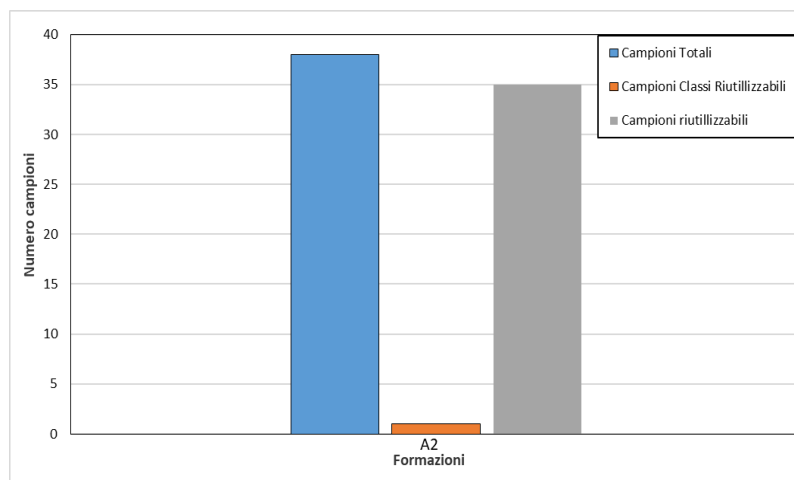
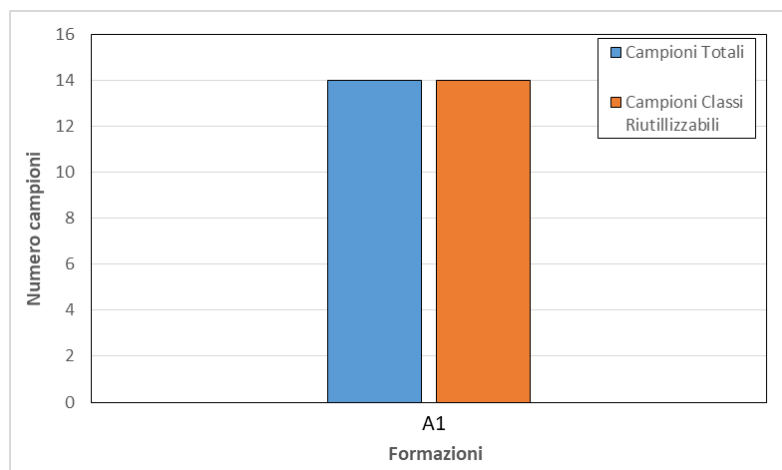


Figura 10.1: Classificazione HRB-AASHTO (CNR-UNI 10006) su campioni prelevati dall'unità A1 e A2 lungo la linea ferroviaria.

10.2 VERIFICA PER IL POSSIBILE RIUTILIZZO DEL MATERIALE CON TRATTAMENTO A CALCE

Il trattamento con calce è possibile per tutti i terreni argillosi, più o meno limosi, come definito dalla norma CNR BU n. 36, non dotati all'origine delle caratteristiche meccaniche e prestazionali richieste per la realizzazione di opere in terra. La terra da trattare deve essere priva di vegetazione e di qualsiasi materiale estraneo.

Secondo quanto riportato nel documento RFI "Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 18" (Doc.Rif.[19]), i limiti di accettazione del terreno naturale per essere trattato con calce sono quelli riportati in Tabella 10.2. L'idoneità del terreno ad essere trattato con calce è valutata mediante determinazione dell'analisi granulometrica, dell'indice di plasticità, del contenuto di sostanze organiche e di solfati.

Tabella 10.2: Tabella II.3.1 dei limiti di accettazione contenuta nelle Specifiche RFI (Doc.Rif.[19])

LIMITI DI ACCETTAZIONE DEL TERRENO NATURALE			
Test di Laboratorio	Norma di riferimento	Requisito	Limiti di accettabilità
Analisi granulometrica	CNR B.U n. 36 UNI EN 933-1 UNI CEN ISO/TS 17892-4	Granulometria	par. 2.1 della norma CNR B.U. n.36 ⁽¹⁾
Limiti di Atterberg (LL-LP)	UNI CEN ISO/TS 17892-12	Indice di plasticità IP	>10 ⁽¹⁾
Contenuto in sostanze organiche	ASTM D 2974 - C	Sostanze organiche	< 2% ⁽²⁾
Contenuto in solfati	UNI EN 1744-1	Solfati totali	< 0,25% ⁽³⁾

⁽¹⁾ Saranno ammesse granulometrie diverse da quelle interamente comprese nel fuso e un valore minore della plasticità a condizione che si dimostri l'idoneità della terra ad essere trattata, attraverso lo studio delle miscele di laboratorio e un campo prova preventivamente approvato da Ferrovie. In ogni caso il diametro massimo degli elementi non dovrà essere maggiore della metà dello spessore finito di ciascuno degli strati di terra trattata per la realizzazione dei rilevati e l'indice di plasticità dovrà essere IP>5

⁽²⁾ Questo valore può essere aumentato fino al 4%, nel caso di impiego del trattamento per il piano di posa del rilevato, a condizione che siano soddisfatti i valori delle prove sul prodotto finale riportati al capitolo II.5

⁽³⁾ Questo valore può essere aumentato fino a raggiungere l'1%, qualora lo studio di laboratorio della miscela sia stato ritenuto idoneo da Ferrovie

I limiti legati alla curva granulometrica e all'indice di plasticità corrispondono ai gruppi A6 e A7 della classificazione delle terre HRB-AASHTO (CNR-UNI 10006).

I campioni di suolo prelevati fino a una profondità di 10 m dal livello del suolo lungo tutta la linea ferroviaria sono stati considerati di nuovo. Basandosi sulla classificazione delle terre riportata precedentemente in Tabella 10.1, si riporta in Figura 10.2 un istogramma per evidenziare la percentuale dei campioni A6-A7 sui campioni totali prelevati.

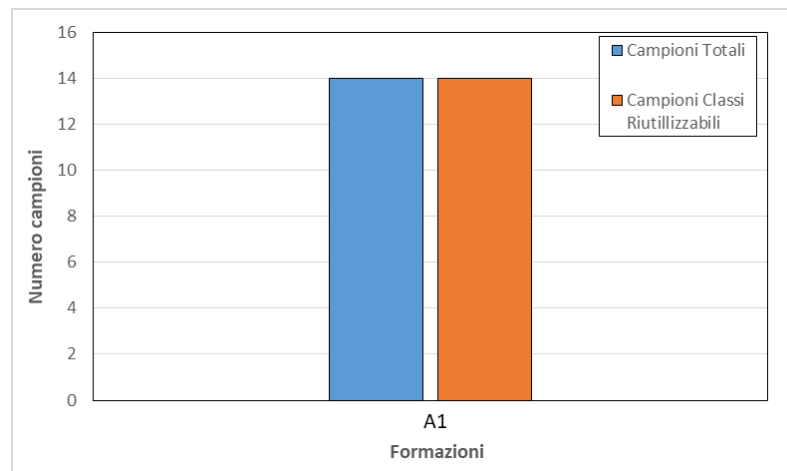


Figura 10.2: Classificazione HRB-AASHTO (CNR-UNI 10006) sui campioni prelevati nei primi 10 m di profondità lungo la linea ferroviaria.

Dai risultati di cui sopra, si osserva che tutti i campioni dell'unità geotecnica A1 sono in classe A6-A7 sulla classificazione. Inoltre, sembra che tutti i campioni siano riutilizzabili dopo il trattamento con la calce.

Non si dispongono le analisi chimiche (contenuto di sostanze organiche e solfati totali), per valutare il rispetto di tutti i requisiti riportati in Tabella 10.1, pertanto si rimanda alle fasi di progettazione successive, per lo svolgimento di analisi e prove in sito più dettagliate sui materiali da trattare.

11 ACCELERAZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO PER LE VERIFICHE GEOTECNICHE

L'azione sismica che governa il rispetto dei diversi Stati Limite per le strutture in progetto (di esercizio – SLE e Ultimi - SLU) è qui definita in accordo alle Norme Tecniche 2018 (NTC2018), a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione, espressa in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su suolo rigido, con superficie topografica orizzontale.

La definizione dell'azione sismica include le ordinate dello spettro di risposta elastico di accelerazione $S_e(T)$ corrispondenti a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R per la vita utile della struttura.

In sintesi, la forma degli spettri di risposta di progetto è definita dai seguenti parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima per sito rigido e superficie topografica orizzontale;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Nei paragrafi seguenti verrà dapprima stabilito il periodo di riferimento per l'azione sismica, in base alla classificazione delle opere in progetto. Successivamente, verranno definiti gli stati limite di interesse per la verifica strutturale, arrivando a definire i periodi di ritorno corrispondenti dell'azione sismica da considerare, determinata a sua volta per condizioni di suolo rigido ed a livello del piano campagna in corrispondenza di alcuni punti di interesse.

L'inquadramento sismo-tettonico e sismologico dell'area sono oggetto della relazione geologica a cui qui si fa diretto riferimento. Sempre oggetto della relazione geologica sono: la definizione della categoria di sottosuolo e della categoria topografica di riferimento e la definizione della magnitudo di riferimento per la verifica a liquefazione condotta nel presente studio.

11.1 VITA NOMINALE, CLASSE D'USO, PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA

La Vita Nominale V_N di un'opera, intesa come il periodo temporale entro cui l'opera stessa può essere usata per lo scopo al quale è destinata (purché soggetta alla manutenzione ordinaria), è così definita dalle NTC2018:

	COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D26RG	DOCUMENTO GE0000 001	REV. B	FOGLIO 125 di 225

- $V_N \leq 10$ anni, per opere provvisorie e opere provvisionali;
- $V_N \geq 50$ anni, per opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale;
- $V_N \geq 100$ anni, per grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di importanza strategica.

La classificazione sismica del territorio nazionale è stata elaborata e rivista in seguito ai principali terremoti; tra questi, in particolare, quelli verificatisi in Irpinia nel 1980 ed in Molise nel 2002. Fino al 2003 il territorio nazionale era classificato in tre categorie sismiche a diversa severità. I Decreti Ministeriali emanati dal Ministero dei Lavori Pubblici tra il 1981 ed il 1984 avevano classificato complessivamente 2.965 comuni italiani su di un totale di 8.102, che corrispondono al 45% della superficie del territorio nazionale, nel quale risiede il 40% della popolazione; la sismicità era definita attraverso il grado di sismicità .

La classificazione sismica attualmente in vigore in Emilia-Romagna è quella richiamata nella DGR n. 1164 del 23/07/2018, che riprende quanto già individuato dalla precedente DGR n. 1435 del 2003, aggiornandone la classificazione. L'allegato B della DGR 1164/2018 illustra la suddivisione della regione nelle zone sismiche di riferimento: la totalità dei comuni ricade all'interno delle zone 2 e 3 (Figura 11.1). Come stabilito dalla DGR 1164/2018, il comune di Parma risulta essere classificato in zona 3.

Classificazione sismica dei comuni dell'Emilia-Romagna



Figura 11.1 – Allegato B della DGR n. 1164 del 2018. Il cerchio rosso evidenzia il Comune di Parma, all'interno del quale si sviluppa l'opera in progetto.

Rispetto alla classificazione sismica del comune di Parma ed in base alla mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (O.P.C.M. 28/04/2006 n.3519), il range di accelerazione massima del suolo, con probabile eccedenza del 10% in 50 anni, nell'area in studio è compresa tra **0.125 g e 0.175 g** (Tabella 11.1 e Figura 11.2). (cfr. Relazione Geologica Doc. Rif.[14]):

Tabella 11.1: Valori di accelerazione massima del suolo a_g con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferito a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s,30} > 800$ m/s.

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g/g)	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche, a_g/g)
1	>0.25	0.35
2	0.15 ÷ 0.25	0.25
3	0.05 ÷ 0.15	0.15
4	<0.05	0.05

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE PROGETTO DEFINITIVO												
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IP00</td> <td>00</td> <td>D26RG</td> <td>GE0000 001</td> <td>B</td> <td>127 di 225</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IP00	00	D26RG	GE0000 001	B	127 di 225
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IP00	00	D26RG	GE0000 001	B	127 di 225								

In Tabella 11.2 e Tabella 11.3 vengono forniti, per l'area di studio e per periodi di ritorno TR di 30 anni, 50 anni, 72 anni, 101 anni, 140 anni, 201 anni, 475 anni, 975 anni, 2475 anni, i valori dei parametri a_g , F_0 e T_{C^*} da utilizzare per definire l'azione sismica nei diversi stati limite considerati. I parametri per la definizione dell'azione sismica sono stati calcolati tramite il foglio di calcolo Spettri di Risposta SPETTRI-NTC v.1.0.3b (distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, 2009). Considerata l'estensione dell'area di studio, il calcolo è stato eseguito su due punti, situati alle due estremità del tracciato, appartenenti a due quadranti diversi del reticolato di riferimento per il calcolo dell'azione sismica (Figura 11.3).

Nel dettaglio, i parametri sismici sono così identificati:

a_g = accelerazione orizzontale massima al sito su suolo tipo A;

F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_{C^*} = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

In Figura 11.4 si riportano gli spettri di risposta calcolati per i periodi di ritorno stabiliti, in riferimento ai parametri a_g , F_0 e T_{C^*} . La Figura 11.5 mostra invece la dipendenza di tali parametri dal periodo di ritorno T_R . Le figure sono relative ad entrambi i punti considerati nel calcolo.



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

Valori di pericolosità sismica del territorio nazionale

(riferimento: Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n.3519, All.1b)
espressi in termini di accelerazione massima del suolo
con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni
riferita a suoli rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s; cat.A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005)

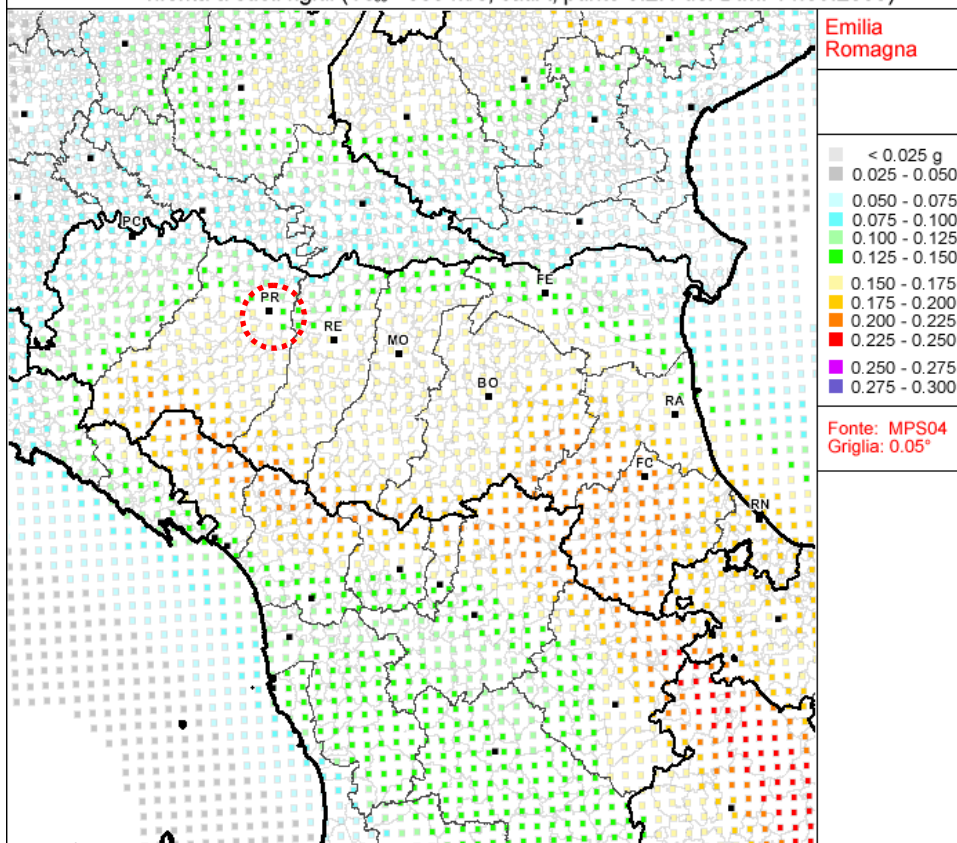


Figura 11.2 – Mappa di pericolosità sismica (MPS04-S1) espressa in termini di accelerazione massima del suolo (a_{max}) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli molto rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s) – da INGV (<http://zonesismiche.mi.ingv.it/>). Nel cerchio rosso il territorio comunale di Parma.



Figura 11.3 – Ubicazione dei due punti considerati per il calcolo dei parametri sismici. In rosso i quadranti del reticolato all'interno dei quali ricade l'area di studio; in nero il tracciato ferroviario.

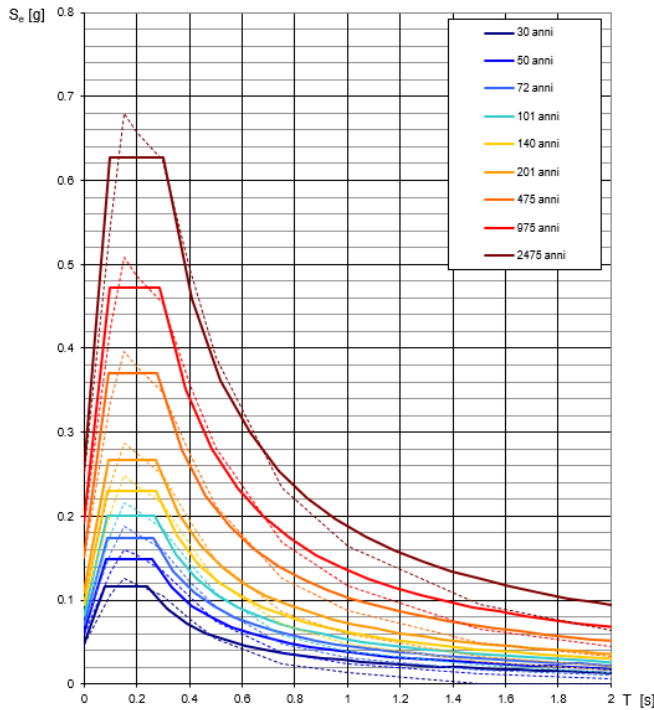
Tabella 11.2: Valori dei parametri di a_g , F_0 , T_{c^*} per i periodi di ritorno T_R di riferimento presso l'estremità sud-ovest del tracciato.

T_R [anni]	a_g [g]	F_0	T_{c^*}
30	0.048	2.459	0.241
50	0.060	2.486	0.256
72	0.071	2.463	0.263
101	0.081	2.466	0.267
140	0.094	2.444	0.271
201	0.109	2.455	0.273
475	0.151	2.454	0.279

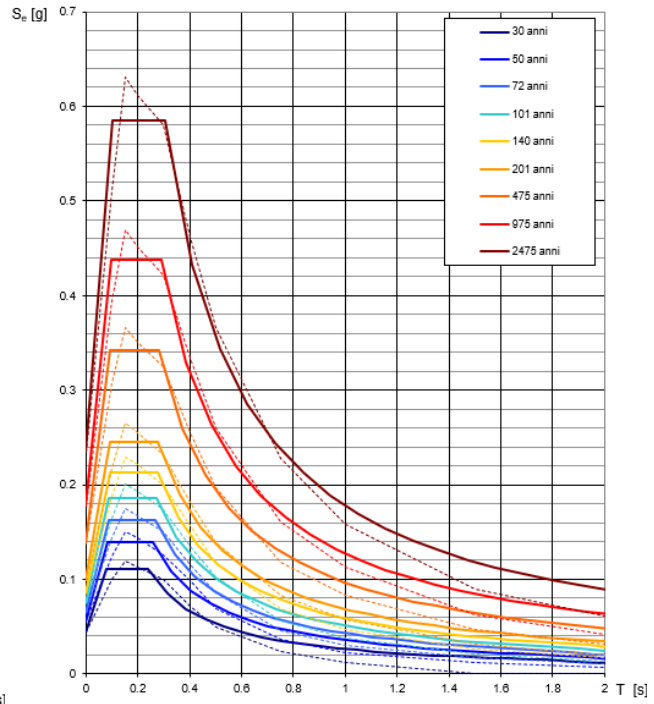
TR [anni]	a_g [g]	F_o	T_{c^*}
975	0.192	2.465	0.287
2475	0.251	2.500	0.299

Tabella 11.3: Valori dei parametri di a_g , F_o , T_{c^*} per i periodi di ritorno TR di riferimento presso l'estremità nord-est del tracciato.

TR [anni]	a_g [g]	F_o	T_{c^*}
30	0.044	2.493	0.240
50	0.056	2.501	0.256
72	0.065	2.498	0.266
101	0.075	2.489	0.271
140	0.086	2.482	0.276
201	0.099	2.474	0.279
475	0.138	2.468	0.283
975	0.178	2.469	0.290
2475	0.235	2.493	0.304



NOTA:
Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.



NOTA:
Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

Figura 11.4 – Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R di riferimento nell'area di studio. A sinistra gli spettri riguardanti l'area situata verso l'estremità sud-ovest del tracciato, a destra gli spettri riguardanti l'area situata verso l'estremità nord-est.

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IP00	00	D26RG	GE0000 001	B	132 di 225

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* : variabilità col periodo di ritorno T_R

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* : variabilità col periodo di ritorno T_R

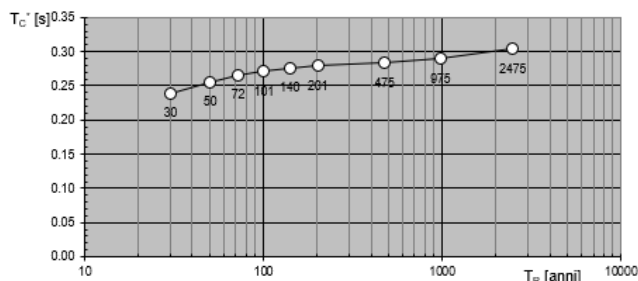
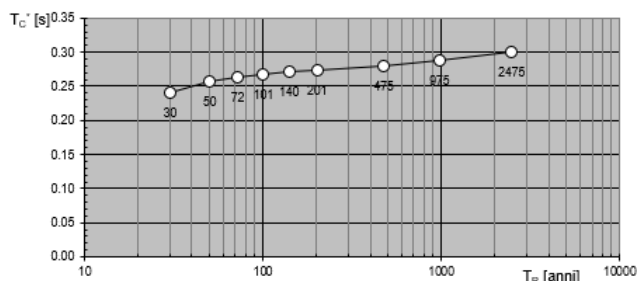
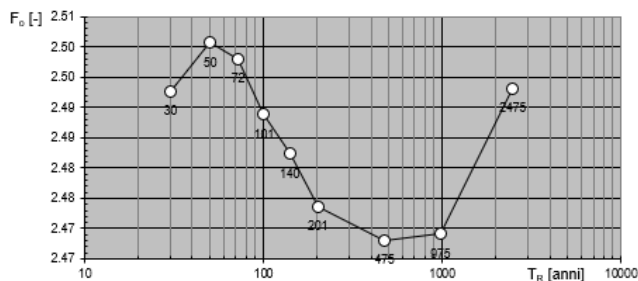
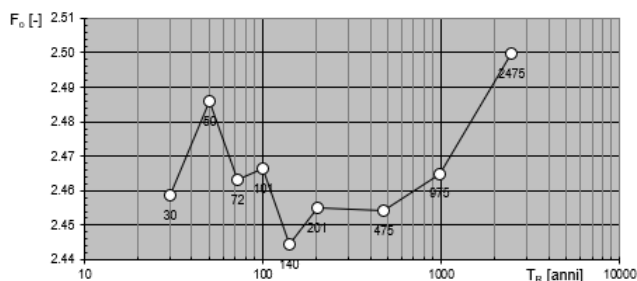
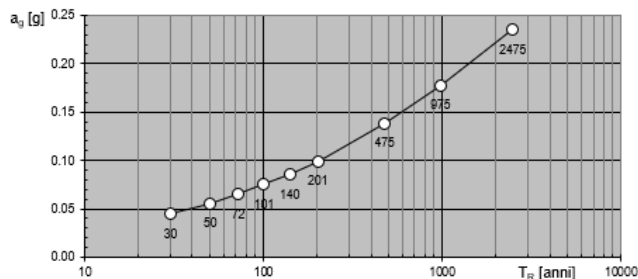
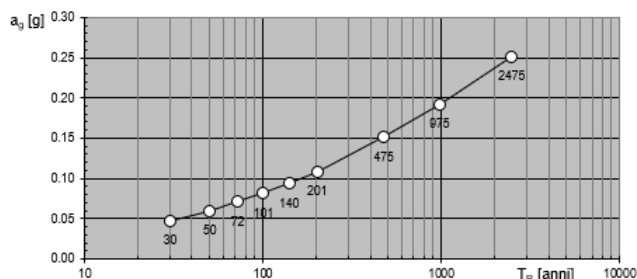


Figura 11.5 – Variabilità dei parametri a_g , F_o e T_C^* in funzione del periodo di ritorno T_R nell'area di studio. A sinistra i grafici riguardanti l'area situata verso l'estremità sud-ovest del tracciato, a destra i grafici riguardanti l'area situata verso l'estremità nord-est.

11.2 SISMICITÀ STORICA

Al fine di inquadrare dal punto di vista della sismicità storica l'area in esame, si riporta di seguito un riepilogo delle osservazioni macrosismiche di terremoti al di sopra della soglia del danno che hanno interessato storicamente il Comune di Parma.

Nello specifico, le informazioni riportate di seguito derivano dalla consultazione del DBMI15 (Locati et al. 2021), il database macrosismico utilizzato per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPT15 (Rovida et al. 2021, consultabile on-line al sito <https://emidius.mi.ingv.it/CPT15-DBMI15/>).

La seguente Figura 11.6 riassume l'andamento temporale delle principali informazioni raccolte relative ai terremoti storici che hanno colpito l'area.

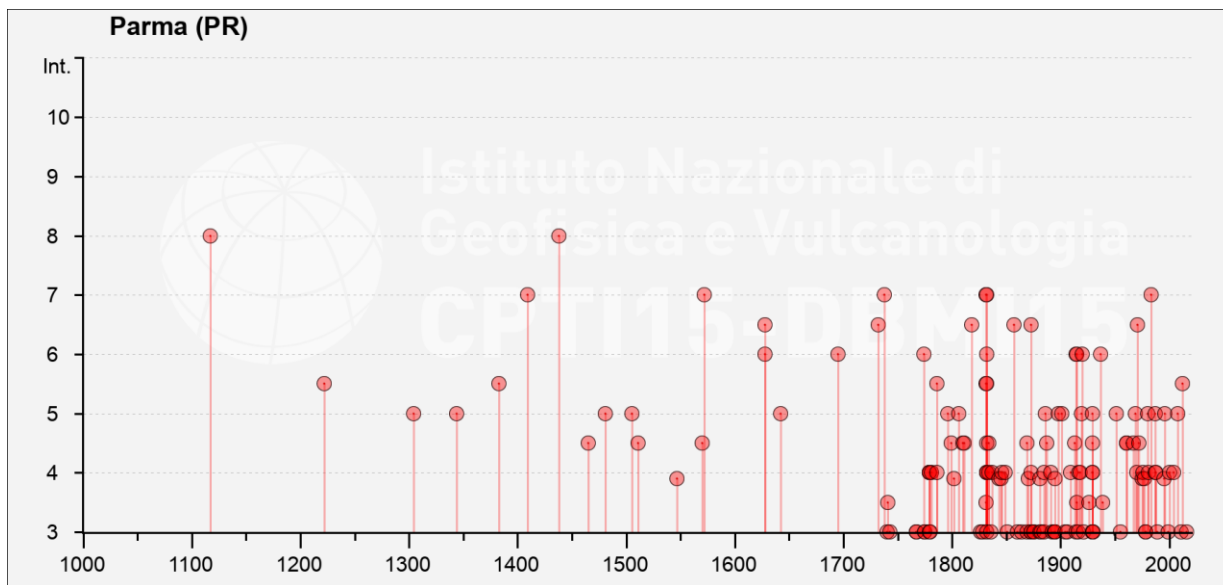


Figura 11.6 – Storia sismica del Comune di Parma.

11.3 MAGNITUDO DI RIFERIMENTO

Sulla base delle originali elaborazioni relative alla definizione delle sorgenti sismogenetiche (DISS2.0-2001) è stato elaborato un modello sintetico che descrive la localizzazione delle sorgenti di futuri terremoti, la magnitudo massima che questi potranno raggiungere ed i rates di sismicità attesa zona per zona. Questo modello, che si pone come base per la redazione della carta di pericolosità sismica (Figura 11.7) è rappresentato dalla mappa delle zone sismogenetiche ZS9 (Meletti and Valensise 2004).

In base alla zonazione sismogenetica ZS9 del territorio nazionale, la sismicità in Italia può essere distribuita in 36 zone, a ciascuna delle quali è associata una legge di ricorrenza della magnitudo, espressa in termini di magnitudo momento M_w .

Nel caso di siti che ricadono al di fuori di tali zone si dovrà eseguire un'analisi accoppiata magnitudo distanza per il calcolo del valore di magnitudo in relazione alla distanza minima di ogni sito dalle zone sismogenetiche circostanti.

Il territorio in oggetto ricade all'interno della zona 913, caratterizzata da $M_w = 6.14$ (Figura 11.7); pertanto non risulta necessaria l'analisi magnitudo-distanza e può pertanto essere definita la magnitudo di riferimento $M = 6.14$.

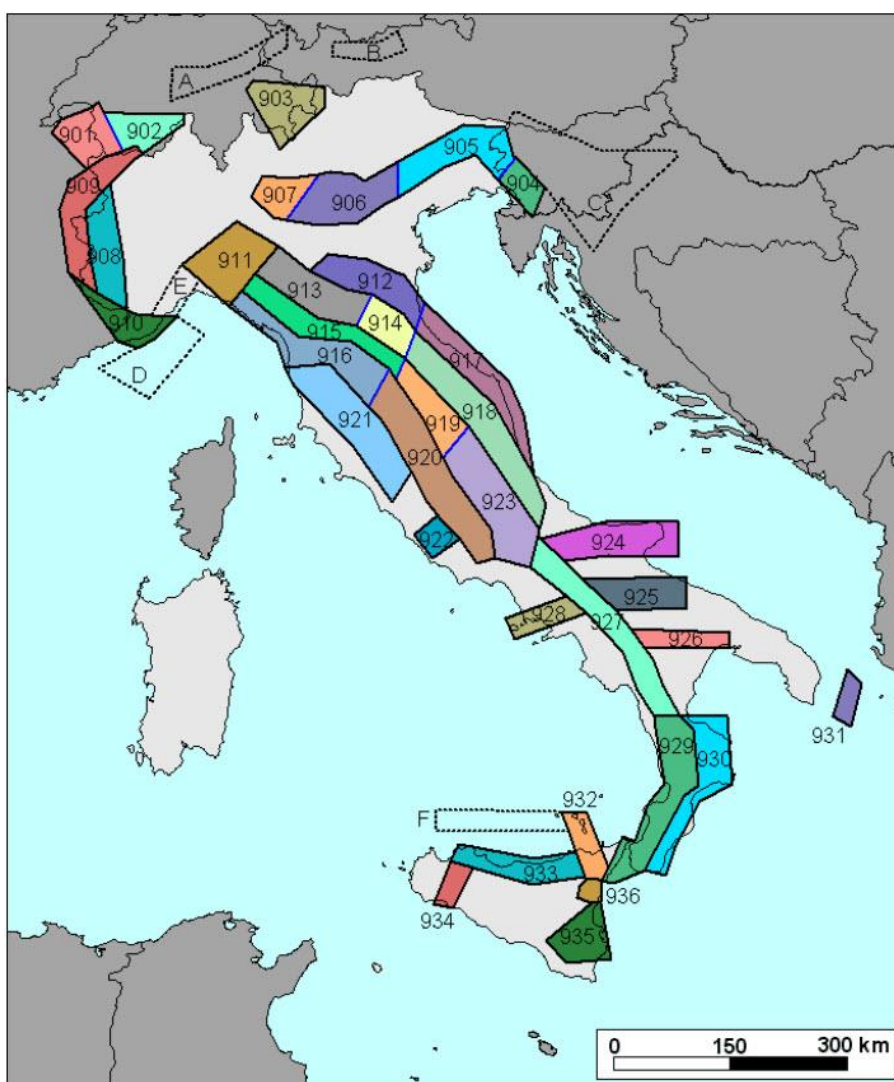


Figura 11.7 – Zone sismogenetiche per la mappa di pericolosità sismica di base di riferimento.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D26RG	DOCUMENTO GE0000 001	REV. B

11.4 PARAMETRI PER LA DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO

Ai fini dell'analisi di risposta sismica locale è necessario individuare la categoria di sottosuolo (Tabella 3.2.II delle NTC2018) di riferimento per il sito, sulla base del parametro $V_{S,eq}$ definito dalla normativa (NTC2018).

Nello specifico le NTC2018 definiscono il fattore di sito S come funzione sia della categoria di sottosuolo (SS), sia dell'andamento della superficie topografica (attraverso il coefficiente ST):

$$S = S_S \cdot S_T$$

Il coefficiente SS per la categoria di sottosuolo si ottiene dalla Tabella 3.2.II del par. 3.2.3 delle NTC2018 (Tabella 11.4), mentre il coefficiente ST relativo all'amplificazione topografica dalla Tabella 3.2.III al par.3.2.2.

A sua volta, la categoria di sottosuolo si individua in base alle condizioni stratigrafiche ed al valore equivalente di velocità di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s), definito dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

dove:

- h_i = spessore dell' i -esimo strato;
- $V_{S,i}$ = valore di velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;
- N = numero di strati;
- H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s.

La categoria di sottosuolo per il sito in esame è definita nel paragrafo seguente. Si rimanda al testo delle NTC2018 per ogni altra indicazione, ad esempio in merito alla definizione degli spettri elastici di risposta.

Tabella 11.4: Categorie di sottosuolo (Tabella 3.2II delle NTC2018).

Suolo	Descrizione geotecnica
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.

11.4.1 Categorie di sottosuolo

I dati delle indagini geofisiche sono stati utilizzati per determinare la categoria del sottosuolo.

La profondità a cui calcolare le $V_{s,eq}$ dipende dalla profondità del bedrock sismico ($V_{s,eq} > 800$ m/s) e dalla profondità del piano di posa. In caso di bedrock profondo, infatti, le NTC2018 stabiliscono che vada indagata una profondità di 30 m, definita a partire dal tipo di opera e fondazione in progetto; secondo la normativa “per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell’opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione”.

Per quanto riguarda il caso in esame le $V_{s,eq}$ sono state calcolate a partire dal piano campagna, in quanto in questo contesto la profondità del piano di posa delle possibili opere (principali e accessorie) in progetto non è definito. Si tenga conto, comunque, che i terreni in sito sono caratterizzati, generalmente, da un graduale aumento delle proprietà meccaniche con la profondità.

La Tabella 11.5 mostra i valori di $V_{s,eq}$ ottenuti da entrambi i sondaggi down-hole e MASW/HVSR. La tabella identifica anche le corrispondenti categorie del sottosuolo, derivate dalla Tabella 3.2II delle NTC2018 (vedi Tabella 9.5).

Tabella 11.5: Valori di $V_{s,eq}$ calcolati per le prove geofisiche disponibili.

ID	$V_{s,eq}$	Categoria di sottosuolo
MASW1	$V_{s,30} = 219$ m/s	C
MASW2	$V_{s,30} = 251$ m/s	C
MASW3	$V_{s,30} = 273$ m/s	C
MASW4	$V_{s,30} = 233$ m/s	C
MASW5	$V_{s,30} = 291$ m/s	C
MASW6	$V_{s,30} = 385$ m/s	B
MASW7	$V_{s,30} = 408$ m/s	B
HVSR1	$V_{s,30} = 234$ m/s	C
HVSR2	$V_{s,30} = 263$ m/s	C
HVSR3	$V_{s,30} = 234$ m/s	C
HVSR4	$V_{s,30} = 289$ m/s	C
HVSR5	$V_{s,30} = 353$ m/s	C
HVSR6	$V_{s,30} = 361$ m/s	B
HVSR7	$V_{s,30} = 385$ m/s	B
DH S5 (BH5)	$V_{s,30} = 444$ m/s	B

Dall'esame delle prove si osserva che la categoria C è quella che ricorre con maggiore frequenza lungo il tracciato, risultando in categoria B solo nella porzione terminale del tracciato (DH S5, MASW6/HVSR6, MASW7/HVSR7), a partire cioè dalla pk 6+000 circa sino a fine intervento.

Si ritiene pertanto di dover mantenere una categoria di suolo C anche in corrispondenza di tale punto singolare.

11.4.2 Condizioni topografiche

Per quanto concerne le caratteristiche della superficie topografica, essendo l'area in oggetto localizzata in ambito di pianura e non essendovi particolari emergenze topografiche che possano dar luogo ad effetti di amplificazione sismica locale, la morfologia dell'area può essere ricondotta ad una delle configurazioni superficiali semplici previste dall'NTC2018 in Tabella 3.2.III.

In particolare, l'area in oggetto può essere classificata di categoria T1, "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ ", caratterizzata da un coefficiente di amplificazione topografica $S_T = 1.0$.

12 ANALISI DI SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE

12.1 GENERALITÀ

Le NTC 2018, al par. 7.11.3.4.1 stabiliscono che:

Il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

In assenza di interventi di miglioramento del terreno, l'impiego di fondazioni profonde richiede comunque la valutazione della riduzione della capacità portante e degli incrementi delle sollecitazioni indotti nei pali.

Allo scopo di accertare la stabilità del sito di progetto rispetto alla liquefazione, è stata condotta una valutazione di pericolosità attraverso metodi semi-empirici basati sulla resistenza penetrometrica da prove SPT.

Si ricorda come, a causa della breve durata del moto sismico, il terreno reagisca in condizioni sostanzialmente non drenate. In tali condizioni, il comportamento non lineare dei materiali sabbiosi e sabbioso/limosi saturi, sottoposti a carichi ciclici indotti dal terremoto, porta alla generazione di sovrappressioni interstiziali con diminuzione anche significativa di resistenza e rigidezza apparente. Alla successiva dissipazione di tali sovrappressioni, corrisponde una riduzione di volume con la generazione di deformazioni permanenti in grado di causare, nello specifico, problematiche di esercizio post-sisma, stabilità dei rilevati, delle opere di sostegno e di attraversamento.

Il fenomeno della liquefazione è profondamente influenzato dal numero dei cicli del moto sismico del suolo, dalla densità relativa D_r e dalla granulometria del terreno. Un terreno a grana grossa, a parità di altri fattori, è maggiormente esposto al pericolo della liquefazione quanto minore è la sua densità relativa. Il potenziale di liquefazione aumenta poi, ovviamente, al crescere del numero di cicli, ossia del valore di magnitudo sismica di riferimento.

Il problema principale che si pone in fase di progettazione è valutare la stabilità del sito di progetto rispetto alla liquefazione quando il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sottofalda, anche se contenenti una frazione fine limoso-argillosa.

12.2 CONDIZIONI DI ESCLUSIONE DA VERIFICA A LIQUEFAZIONE

Le NTC2018 al paragrafo 7.11.3.4.2 stabiliscono che la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti una delle seguenti circostanze:

- Accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni di campo libero (cfr. a_{max}) minori di 0.1 g;
- Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche SPT normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche CPT, normalizzata ad una tensione verticale efficace di 100 kPa;
- Distribuzione granulometrica esterna alle zone comprese tra le curve rappresentate in Figura 12.1 (coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$) e Figura 12.2 (coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$).

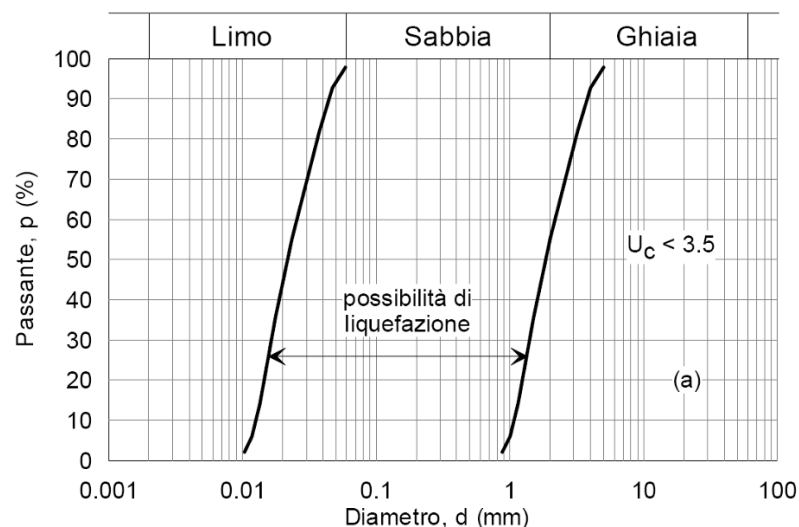


Figura 12.1: Dominio di suscettibilità alla liquefazione dei terreni ($U_c < 3.5$)

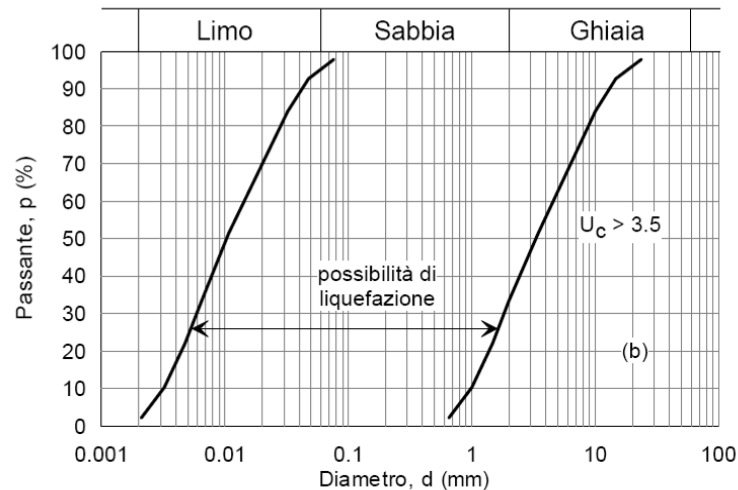


Figura 12.2: Dominio di suscettibilità alla liquefazione dei terreni ($U_c > 3.5$).

Nel caso in esame,

- a_{max} è sempre superiore a 0.1 g.
- La falda freatica ha una profondità media stagionale inferiore a 15 m, tranne dopo il chilometro 5+500 sul tracciato progettato. La profondità media stagionale della falda è maggiore di 15 m in questo tratto.
- I valori di $(N1)_{60}$ sono diffusamente inferiori al 30.
- La distribuzione granulometrica dei campioni prelevati è generalmente, anche se solo parzialmente, all'interno dei fusi di Figura 12.1 o Figura 12.2.

Pertanto, si procederà alla verifica a liquefazione come descritto ai paragrafi seguenti.

12.3 PERICOLOSITÀ SISMICA E MAGNITUDO

Per il sito in esame abbiamo una profondità minima della falda superiore generalmente a 15 m dal piano campagna. La falda freatica desunta dal profilo geotecnico per ciascun sondaggio è riportata in Tabella 12.1.

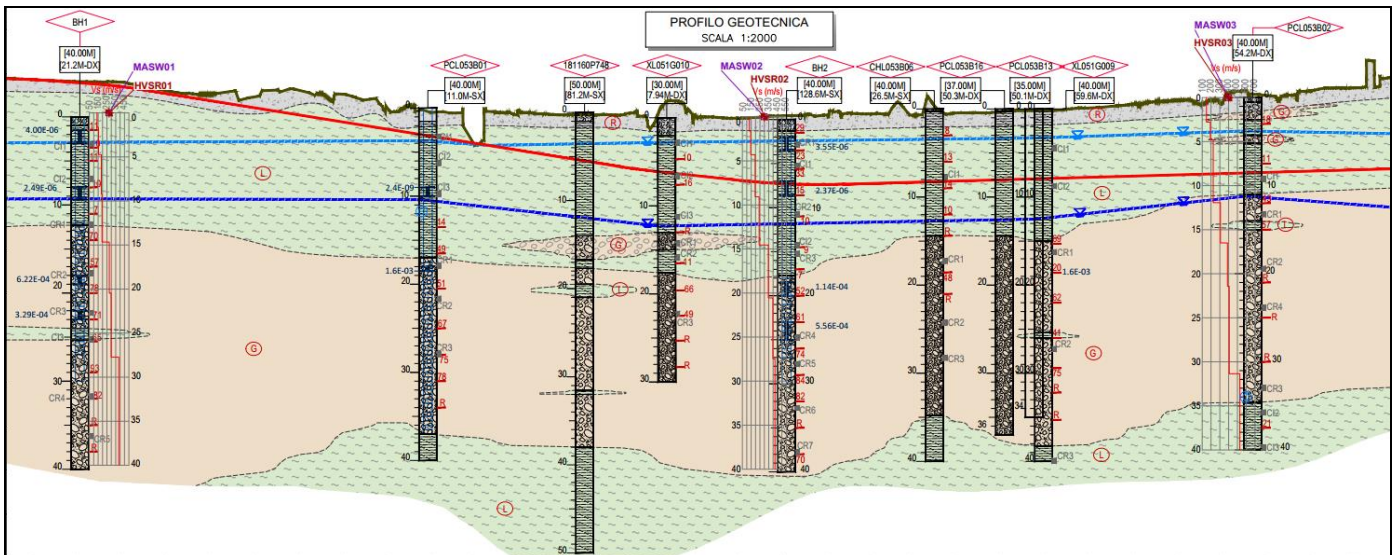
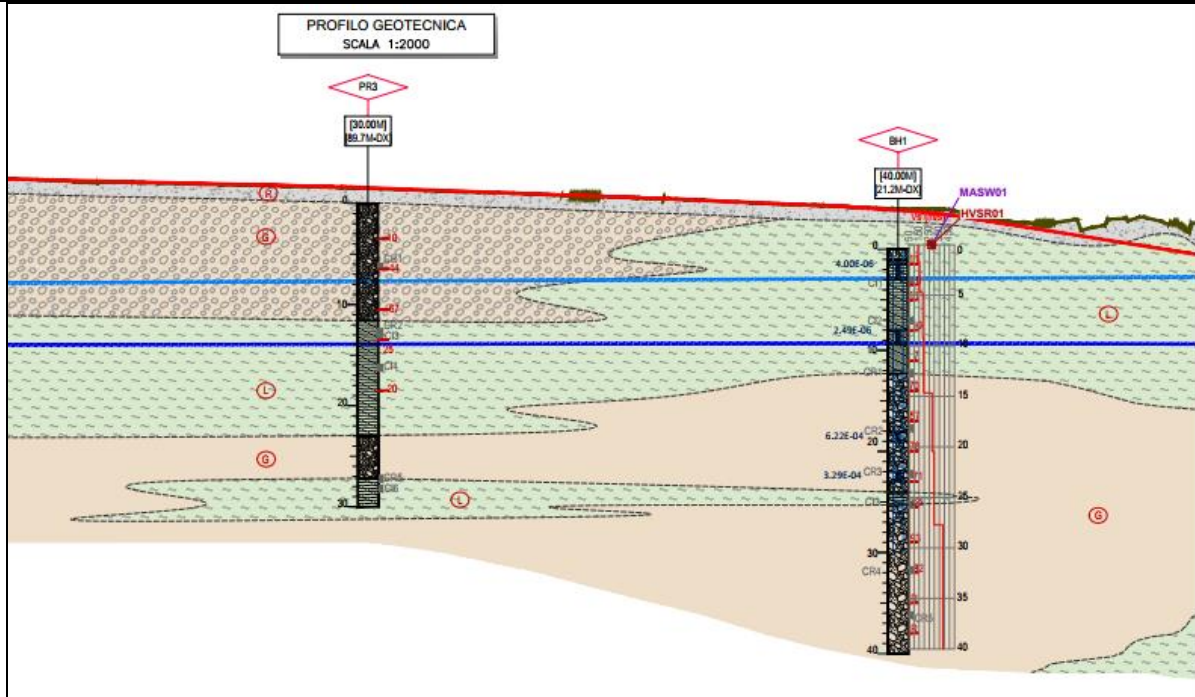
Tabella 12.1: Falda freatica per ciascun sondaggio.

Sondaggio	Z _w (m)
PR3	7,60
BH1	2,80
PCL053B01	3,70
XL051G010	2,79
BH2	2,40
CHL053B06	3,40
PCL053B16	3,34
XL051G009	3,27
PCL053B02	3,81
XL051B008	5,14
PCL053B03	6,56
PCL053B04	6,77
BH3	8,75
PCL053B05	8,44
PNL053C22)	15,36

Le aree interessate da una profondità di falda inferiore a 15m sono comprese tra pk 0+000 - 5+500 (come dedotto dalla Figura 12.3). Si specifica che prudenzialmente viene considerata la profondità minima della falda.

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IP00	00	D26RG	GE0000 001	B	143 di 225



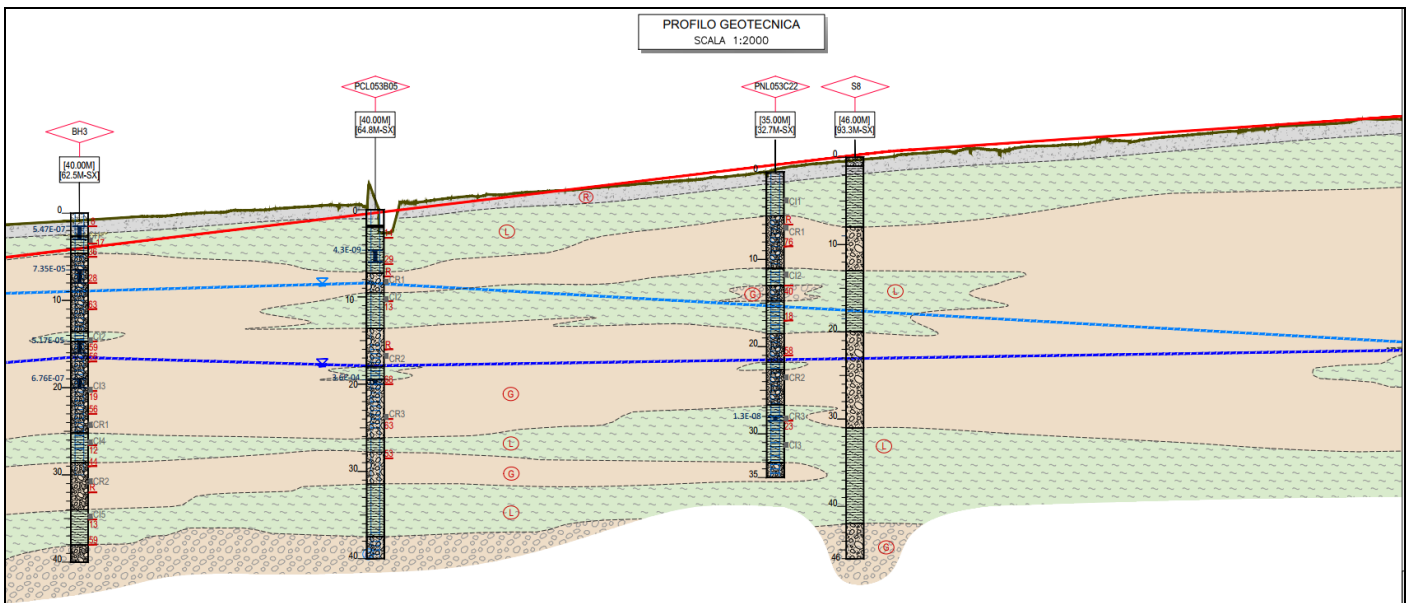
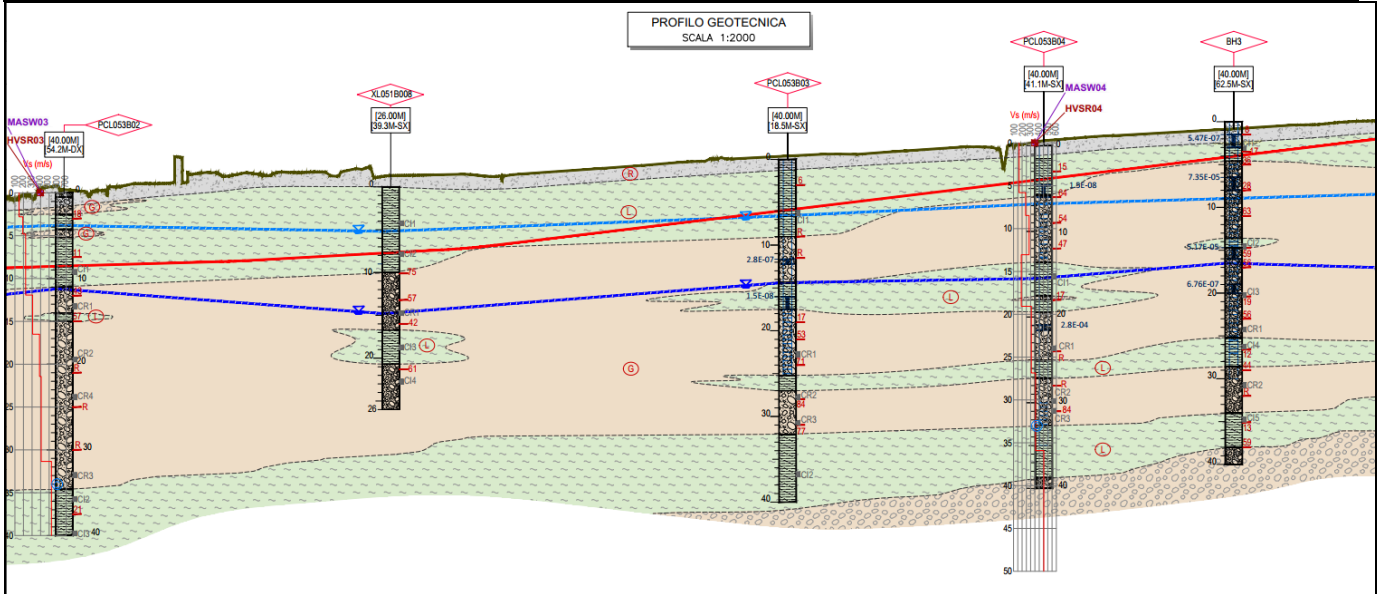


Figura 12.3: Aree interessate da una profondità di falda inferiore ai 15m

Per le verifiche di liquefazione vengono quindi considerati i sondaggi PR3, BH11, PCL053B01, XL051G010, BH2, CHL053B06, XL051G009, PCL053B02, XL051B008, PCL053B03, PCL053B04, BH3, PCL053B05 e PNL053C22. Per le perforazioni in questione, la tabella seguente mostra i valori di N_{spt} e di resistenza penotrometrica normalizzata $(N1)_{60}$ delle prove SPT eseguite sotto la falda e con valori inferiori a 30 di $(N1)_{60}$ (Tabella 12.2):

Tabella 12.2: N_{spt} e valori di resistenza penotrometrica normalizzata (N₁)₆₀ da prove SPT eseguite sotto con valori inferiori a 30 di (N₁)₆₀.

Sondaggio	Campione	Z _w (m)	N _{SPT}	N _{1,60}
PR3	SPT4	13.73	25	15.10
PR3	SPT5	18.73	20	9.62
BH1	SPT2	3.73	10	12.5
BH1	SPT3	5.23	11	10.4
BH1	SPT4	8.23	10	7.2
BH1	SPT5	11.23	7	4.1
BH1	SPT8	20.23	78	25.1
BH1	SPT9	23.23	71	20.4
BH1	SPT10	25.73	65	17.5
BH1	SPT11	29.23	93	22.3
BH1	SPT12	32.23	82	18.2
BH1	SPT13	35.20	100	20.7
BH1	SPT14	38.21	100	19.6
PCL053B01	SPT1	13.73	14	7.73
PCL053B01	SPT3	20.73	51	29.6
XL051G010	SPT1	4.93	10	10.4
XL051G010	SPT2	7.83	16	12.9
XL051G010	SPT4	16.73	11	5.4
XL051G010	SPT6	22.73	49	27.9
BH2	SPT2	3.73	23	26.2
BH2	SPT4	8.83	15	10.9
BH2	SPT5	11.23	10	5.9
BH2	SPT6	14.73	9	4.5
BH2	SPT7	17.23	7	2.9
BH2	SPT8	20.23	52	28
BH2	SPT14	38.23	70	28.6
CHL053B06	SPT2	6.23	13	11.1
CHL053B06	SPT3	9.23	14	9.6
CHL053B06	SPT4	12.23	10	5.6
CHL053B06	SPT6	18.78	48	27.9
XL051G009	SPT2	18.73	20	10.3
XL051G009	SPT4	26.23	41	19.3
PCL053B02	SPT2	7.73	11	8.6
PCL053B02	SPT3	12.23	43	28.9
PCL053B02	SPT8	37.73	21	6.75

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
IP00 00 D26RG GE0000 001 B 146 di 225

Sondaggio	Campione	Z _w (m)	N _{SPT}	N _{1,60}
XL051B008	SPT3	16.23	42	25.3
PCL053B03	SPT4	19.23	17	7.5
PCL053B03	SPT5	21.23	53	25.2
PCL053B04	SPT5	18.23	17	7.7
BH3	SPT4	8.23	28	21.2
BH3	SPT8	20.63	19	8.51
BH3	SPT9	23.23	56	16.12
BH3	SPT10	26.83	12	3.1
BH3	SPT11	29.23	44	10.6
BH3	SPT12	32.14	100	22.4
BH3	SPT13	35.33	13	2.8
BH3	SPT14	38.23	59	12.4
PCL053B05	SPT4	10.73	13	8.3
PCL053B05	SPT8	28.73	53	24.7
PNL053C22	SPT4	17.23	18	8.9
PNL053C22	SPT6	28.73	23	10.1

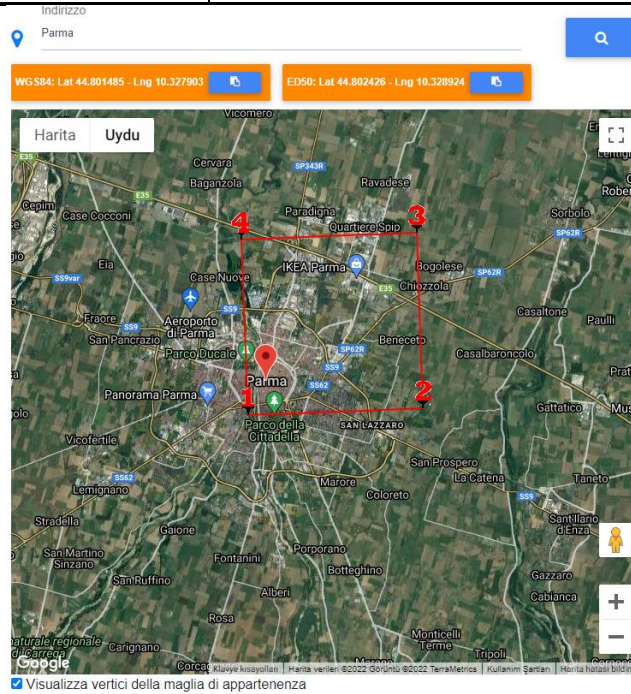
12.4 PERICOLOSITÀ SISMICA E MAGNITUDO

La valutazione del potenziale di liquefazione è stata condotta per il periodo di riferimento dell'azione sismica pari a quello dello stato limite SLV, ossia 112.5 anni avendo considerato una classe d'uso III, una vita nominale pari a 75 anni e categoria di Sottosuolo C e Topografia T1.

La pericolosità sismica di riferimento a_{max} per la valutazione della pericolosità a liquefazione è pari a 0.260g ($a_g * S_s * S_T = 0.182 * 1.43 * 1.000$). La magnitudo di riferimento per le verifiche, basata su quanto riportato nel Rapporto Geologico (Rif. Doc. [14]), e la selezione dell' a_{max} è fatta da <https://geoapp.eu/parametrisismici2018/>.

Le analisi strutturali sismiche sono state eseguite con i seguenti parametri:

PARAMETRI SISMICI			
PARMA			
Categoria Suolo	C	Coeff. Condiz. Topogr.	1.00



Stati limite

Classe Edificio

III. Affollamento significativo...

Vita Nominale: 75

Interpolazione: Media ponderata

CU = 1.5

Stato Limite	Tr [anni]	a _g [g]	F _o	Tc' [s]
Operatività (SLO)	68	0.063	2.500	0.265
Danno (SLD)	113	0.078	2.490	0.274
Salvaguardia vita (SLV)	1068	0.182	2.469	0.293
Prevenzione collasso (SLC)	2193	0.225	2.488	0.303
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	112.5			

Coefficienti sismici

Tipo: Paratie NTC 2018

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m): 1 us (m): 0.1

Cat. Sottosuolo: C

Cat. Topografica: T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,43	1,36
CC Coeff. funz categoria	1,63	1,61	1,57	1,56
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]: 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.049	0.061	0.135	0.159
kv	--	--	--	--
Amax [m/s²]	0.932	1.151	2.547	3.004
Beta	0.520	0.520	0.520	0.520

La pericolosità sismica di riferimento a_{max} per la valutazione della pericolosità da liquefazione per le tratte ferroviarie è riportata nella Tabella 12.5. La magnitudo di riferimento per le verifiche, sulla base di quanto riportato nella Relazione Geologica (Doc. Rif. [14]), è 6.14.

Tabella 12.3: Valori di accelerazione di progetto a_{max} e magnitudine di riferimento per la verifica della liquefazione per la linea ferroviaria.

Tipo di Opera	Nome di opera	Prog. km	T_R per SLV (anni)	a_g (g)	a_{max} (g)	M_w
Linea ferroviaria	TRATTA 1	DAL KM 0+000 AL KM 1+034	1068	0.178	0.256	6.14
	TRATTA 2	DAL KM 1+034 AL KM 1+550	1068	0.185	0.265	6.14
	TRATTA 3	DAL KM 1+550 AL KM 2+850	1068	0.185	0.265	6.14
	TRATTA 4	DAL KM 2+850 AL KM 3+250	1068	0.187	0.266	6.14
	TRATTA 5	DAL KM 3+250 AL KM 3+900	1068	0.187	0.266	6.14
	TRATTA 6	DAL KM 3+900 AL KM 4+150	1068	0.188	0.267	6.14
	TRATTA 7	DAL KM 4+150 AL KM 5+250	1068	0.188	0.267	6.14
	TRATTA 8	DAL KM 5+250 AL KM 5+900	1068	0.195	0.275	6.14
	TRATTA 9	DAL KM 5+900 AL KM 6+500	1068	0.196	0.276	6.14

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
IP00 00 D26RG GE0000 001 B 149 di 225

Tipo di Opera	Nome di opera	Prog. km	T _R per SLV (anni)	a _g (g)	a _{max} (g)	M _w
	TRATTA 10	DAL KM 6+500 AL KM 6+800	1068	0.196	0.276	6.14
	TRATTA 11	DAL KM 6+800 AL KM 7+250	1068	0.196	0.276	6.14
	TRATTA 12	DAL KM 7+250 AL KM 7+800	1068	0.196	0.276	6.14
	TRATTA 13	DAL KM 7+800 AL KM 8+100	1068	0.196	0.276	6.14

Tabella 12.4: Valori di accelerazione di progetto Amax e magnitudine di riferimento per la verifica della liquefazione per le linee stradali.

Tipo di Opera	Prog. km	T _R per SLV (anni)	a _g (g)	a _{max} (g)	M _w
NV01 - Accesso Cabina TE	1+300.000	1068	0.185	0.265	6.14
NV02 - Riprofilatura Via Dei Mercati	1+660.000	1068	0.185	0.265	6.14
NV03 - Riprofilatura Via Valera Di Sopra	3+650.000	1068	0.187	0.266	6.14
NV04 – Deviazione Via Volturno	4+110.000	1068	0.188	0.267	6.14

12.5 METODO DI ANALISI

La valutazione del pericolo di liquefazione è stata 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:

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

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

Lo sforzo di taglio indotto ad ogni profondità in un sito 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 dell'accelerazione pari al 65% della accelerazione di picco a_{max} come segue:

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

dove:

a_{max} = accelerazione di picco al sito;

g = accelerazione di gravità;

τ_c = valore rappresentativo dello sforzo di taglio ciclico;

σ_{vc} = tensione verticale alla profondità in esame, in termini di tensioni totali;

σ'_{v0} = 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 $M \neq 7.5$ (nel caso in esame $M = 6.1$) è necessario introdurre un fattore di scala della magnitudo MSF così definito:

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

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

Nel presente studio è stato identificato un valore di $MSF = 1.429$ per $M = 6.14$ in accordo sia alle prescrizioni dell'Eurocodice 8 Parte 5, sia a quanto suggerito da Youd et al., 2001 e Idriss e Boulanger (2004).

Il rapporto di resistenza ciclica CRR può essere valutato da relazioni empiriche che correlano la sollecitazione sismica ai risultati delle prove in sito di tipo SPT, come descritto più avanti.

12.5.1 CRR da correlazioni su prove SPT

Il procedimento qui utilizzato si basa sulla relazione riportata in Figura 12.4, originariamente proposta da Seed e Idriss (1971,1982) e da Seed et al. (1985), e successivamente confermata da Youd et al. (2001).

In Figura 12.4, la resistenza penetrometrica SPT è espressa come numero di colpi $N_{1(60)}$ normalizzato ad una pressione verticale efficace di 100 kPa oltre che corretto per il 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 relazione proposta da Liao e Whitman (1986):

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

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

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

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

in cui ER_m è il fattore di rendimento (espresso in %) del trasferimento dell'energia del meglio 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 si considerano essere eseguite sulla base delle raccomandazioni fornite dall'AGI (1977).

Sempre in Figura 12.4, 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 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.

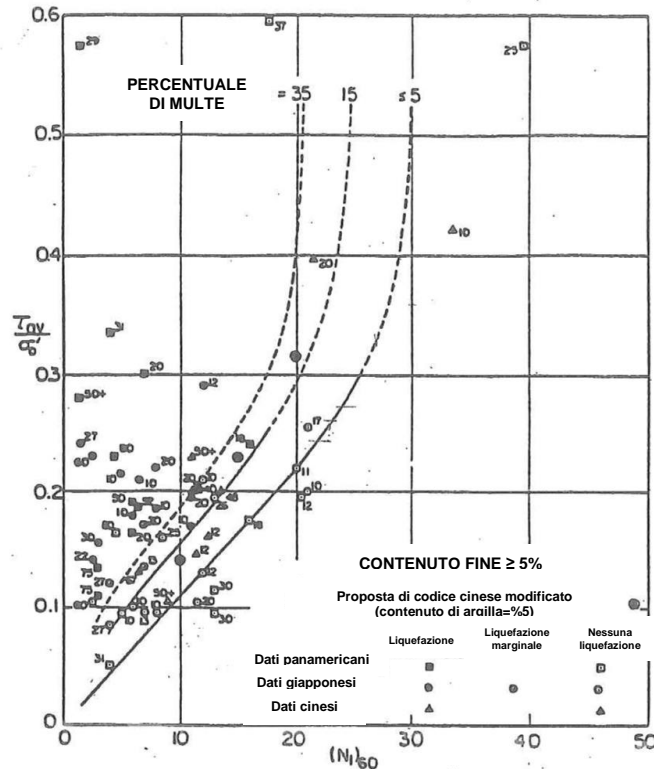


Figura 12.4: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e $N_{1(60)}$ – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Seed et al., 1985).

Le curve sono valide per eventi sismici 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 (6.1), come indicato in precedenza.

Si può osservare dalla Figura 12.4 come siano state sviluppate curve di resistenza ciclica per terreni aventi diverso contenuto di fini, a partire dalla curva di riferimento corrispondente alla sabbia pulita (FC < 5%).

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

$$CRR_{7.5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60}} + \frac{(N_1)_{60}}{135} + \frac{50}{[10 \cdot (N_1)_{60} + 45]^2} - \frac{1}{200}$$

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

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

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

In cui:

$$\alpha = 0 \quad \text{e} \quad \beta = 1 \quad \text{per FC} < 5\%$$

$$\alpha = \exp [1.76 - (190/FC^2)] \quad \text{e} \quad \beta = [0.99 + (FC1.5/1000)] \quad \text{per } 5\% < FC < 35\%$$

$$\alpha = 5 \quad \text{e} \quad \beta = 1.2 \quad \text{per FC} \geq 35\%$$

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

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

dove:

σ'_{v0} = tensione verticale efficace;

p_a = pressione atmosferica di riferimento;

f = fattore che dipende dalla densità relative del materiale in sito.

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

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

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

Pertanto, per ogni test SPT in cui non è disponibile il contenuto di fini relativo dai test di laboratorio, il contenuto di fini è stato selezionato dai valori dei risultati di laboratorio più vicini.

12.5.2 Calcolo del fattore di sicurezza

In conclusione, in accordo a Youd et al. (2001) il fattore di sicurezza FL rispetto al fenomeno della liquefazione vale:

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

12.5.3 Indice di potenziale di liquefazione

Con il fine di fornire una valutazione il più possibile quantitativa della pericolosità a liquefazione associabile ad ogni sondaggio o prova CPT, viene introdotto l'indice di Potenziale di Liquefazione (in letteratura LPI, Liquefaction Potential Index) in accordo a Iwasaki et al. (1982). Per ogni prova/sondaggio considerati, LPI viene determinato come segue:

$$LPI = \int_0^{20} F(z) \cdot W(z) dz$$

dove $W(z)$ rappresenta un moltiplicatore (peso) linearmente decrescente con la profondità z (da 0 a 20 m) in grado di assegnare una maggiore importanza a ciò che avviene all'interno degli strati più superficiali, rispetto a fenomeni di generazione di pressioni interstiziali più profondi:

$$W(z) = 10 - \frac{1}{2} z$$

Nel metodo utilizzato viene altresì definita una funzione $F(z)$ che lega il valore di LPI al fattore di sicurezza alla liquefazione FL, come segue:

$$F_L \geq 1 \quad F(z) = 0$$

$$F_L < 1 \quad F(z) = 1 - F_L$$

Iwasaki et al. (1982) hanno confrontato i valori di LPI calcolati come sopra con le risultanze di osservazioni condotte su un database di 63 siti presso i quali si è avuta liquefazione e 22 caratterizzati dalla sua assenza, a seguito di eventi sismici avvenuti in Giappone; la conclusione è che effetti severi di liquefazione si hanno per $LPI > 15$, mentre tali effetti non si osservano per $LPI < 5$. Queste considerazioni sono state ulteriormente sviluppate da Sonmez (2003), il quale ha raccomandato la classificazione di pericolosità a liquefazione in funzione di LPI come da Tabella 12.2.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D26RG	DOCUMENTO GE0000 001	REV. B

Tabella 12.5: Classi di pericolosità alla liquefazione in funzione di LPI (Sonmez, 2003)

Indice Potenziale di Liquefazione LPI	Pericolosità
LPI = 0	Nessuna
$0 < LPI \leq 2$	Bassa
$2 < LPI \leq 5$	Moderata
$5 < LPI \leq 15$	Alta
$15 < LPI$	Molto alta

12.6 SINTESI DEI RISULTATI DELLE VERIFICHE A LIQUEFAZIONE

Sulla base di quanto sopra esposto sono state condotte le verifiche a liquefazione ed i risultati ottenuti sono stati letti tenendo conto del dato stratigrafico e dei risultati delle indagini di laboratorio. In particolare, le verifiche sono state condotte:

- Sui test SPT dei sondaggi PR3, BH1, PCL053B01, XL051G010, BH2, CHL053B06, XL051G009, PCL053B02, XL051B008, PCL053B03, PCL053B04, BH3, PCL053B05 e PNL053C22.

Da Figura 12.5 a Figura 12.17 si allegano i risultati delle verifiche condotte i risultati delle verifiche condotte sulle prove SPT. I grafici delle verifiche a liquefazione svolte sui risultati delle prove mostrano:

- valori di SPT misurati a ciascuna profondità a partire dal piano campagna;
- contenuto di fine misurato in laboratorio sui campioni prelevati (simbolo pieno), oppure contenuto di fine stimato sulla base dei risultati disponibili dalle altre prove, per lo stesso orizzonte di terreno; nel caso in esame è stato utilizzato in maniera speditiva e cautelativa il valore minimo 5%.
- valori di $N1(60)_{cs}$, ovvero del numero di colpi/30cm corretto in funzione della tensione verticale in sito, in funzione dell'energia trasmessa in fase di esecuzione della prova e del contenuto di fini;
- andamento con la profondità dello sforzo di taglio ciclico CSR, riferito alla magnitudo di riferimento per l'analisi ($M=6.14$) e i valori puntuali della resistenza allo sforzo di taglio sismico calcolati per tutti i valori di SPT che non siano stati esclusi dal calcolo di suscettibilità alla liquefazione perché classificati come non liquefacibili (si veda quanto detto al paragrafo precedente);

- valore del fattore di sicurezza ottenuto come rapporto CRR/CSR per ogni dato. Si osserva a questo proposito che la verifica alla suscettibilità alla liquefazione deve tener conto del potenziale insorgere di deformazioni anche significative anche per valori di $FL > 1$ per cui si ritiene giustificato rappresentare la linea per $FL > 1.25$.

In sintesi, come mostrato nella Tabella 12.6, i valori LPI e FL stimati ottenuti escludono generalmente il rischio di liquefazione nella sezione in esame, tranne che per due campioni. Un campione di BH1 e un campione di PCL053B03 hanno valori FL inferiori a 1.25 ma i loro valori LPI sono a basso rischio.

Tabella 12.6: Sintesi risultati verifiche a liquefazione

Indagini di riferimento	Progressiva (km)	Tipo di indagine	Spessore materiale potenzialmente liquefacibile	Profondità		FL	LPI (*) Classe di pericolosità
			[m]	da [m]	a [m]		
PR3	0+775	Sondaggio	-	-	-	-	0
BH1	1+298	Sondaggio	1.00	10.00	11.00	1.21	0
PCL053B01	1+695	Sondaggio	-	-	-	-	0
XL051G010	1+966	Sondaggio	-	-	-	-	0
BH2	2+103	Sondaggio	-	-	-	-	0
CHL053B06	2+270	Sondaggio	-	-	-	-	0
XL051G009	2+394	Sondaggio	-	-	-	-	0
PCL053B02	2+632	Sondaggio	-	-	-	-	0
XL051B008	3+015	Sondaggio	-	-	-	-	0
PCL053B03	3+478	Sondaggio	1.00	2.00	3.00	1.21	0
PCL053B04	3+778	Sondaggio	-	-	-	-	0
BH3	4+000	Sondaggio	-	-	-	-	0
PCL053B05	4+340	Sondaggio	-	-	-	-	0
PNL053C22	4+800	Sondaggio	-	-	-	-	0

Nella seguente analisi, i valori $N1_{60}$ cs che sono superiori a 30 sono stati omessi.

a_{max}	(g)	0.256
M_w	(dyne*cm)	6.14
MSF	(-)	1.429

COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA - LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE PROGETTO DEFINITIVO

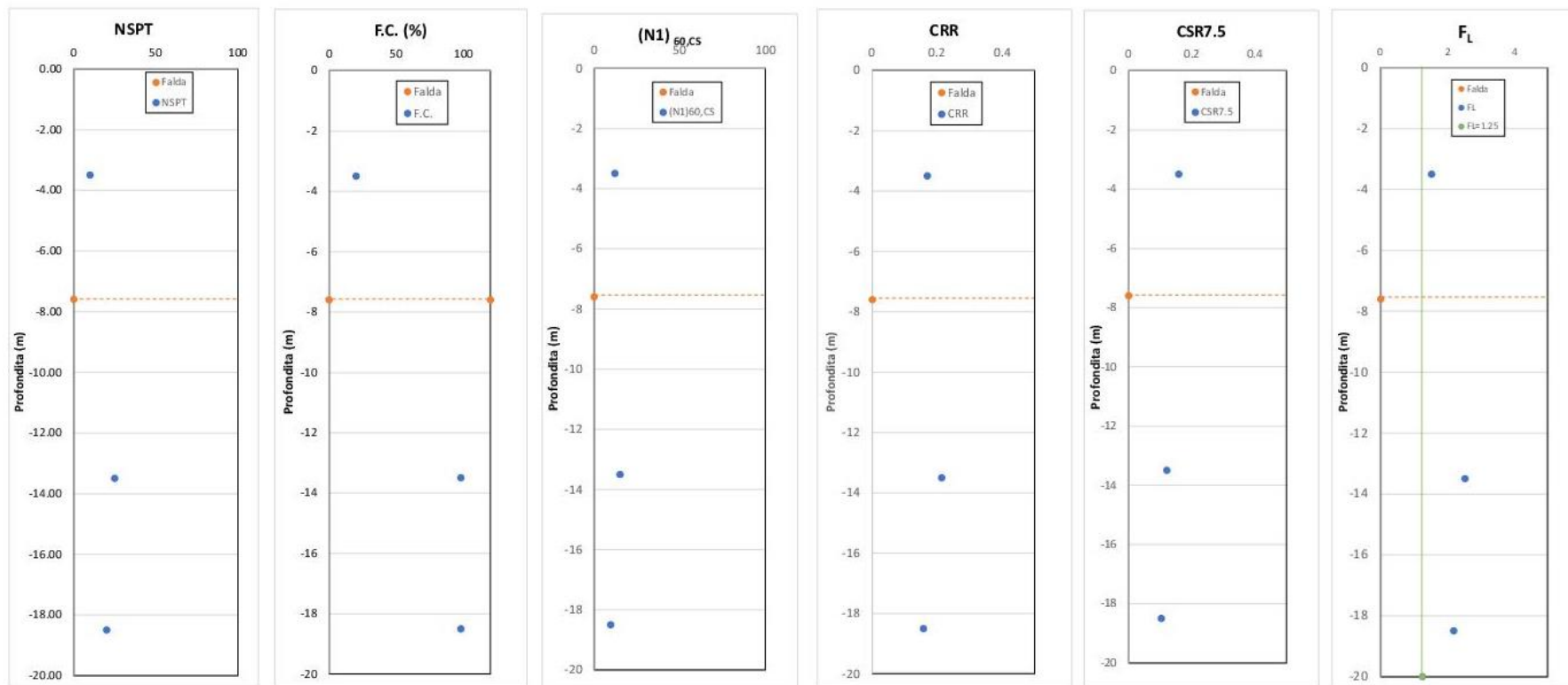


Figura 12.5: Verifica a liquefazione sondaggio PR3

a_{max}	(g)	0.265
M_w	(dyne*cm)	6.14
MSF	(-)	1.429

COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA - LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE PROGETTO DEFINITIVO

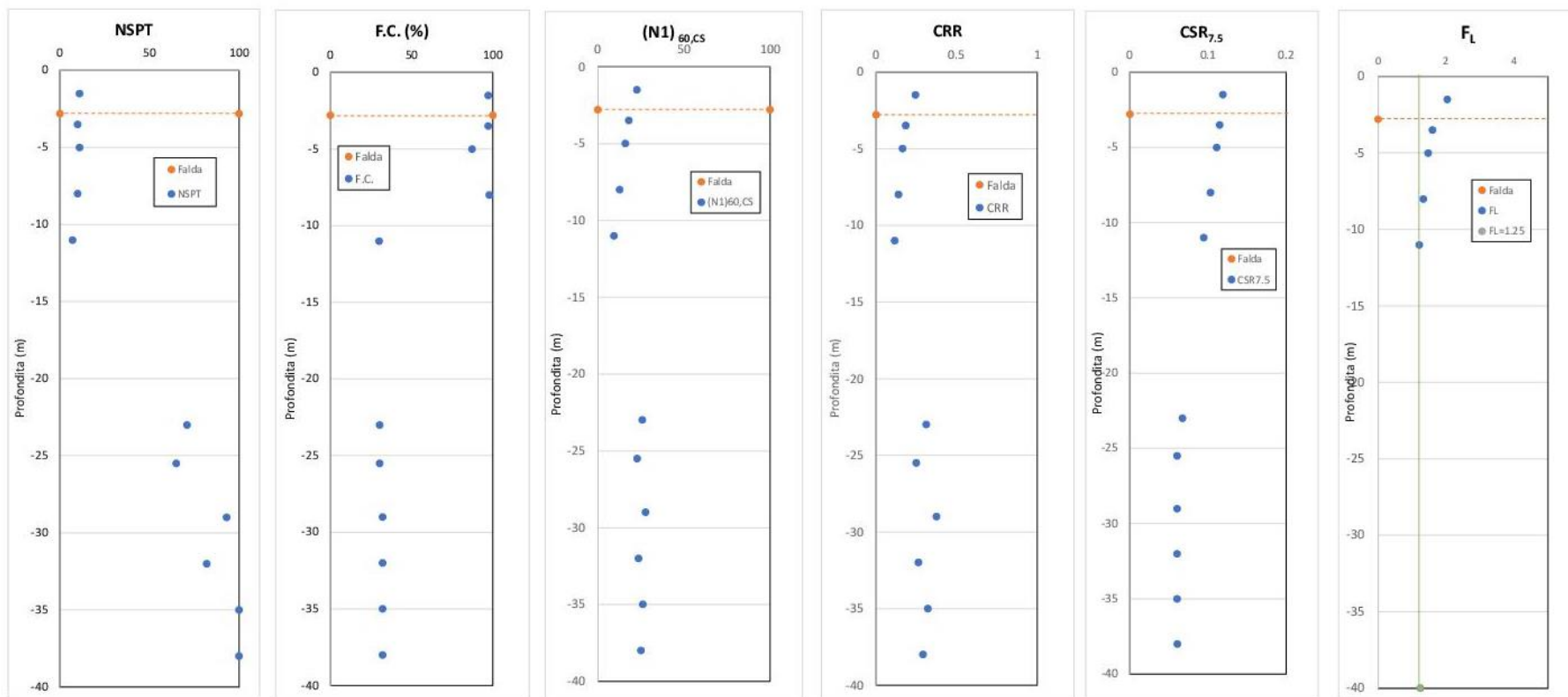


Figura 12.6: Verifica a liquefazione sondaggio BH1

a_{max}	(g)	0.265
M_w	(dyne*cm)	6.14
MSF	(-)	1.429

COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA - LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE PROGETTO DEFINITIVO

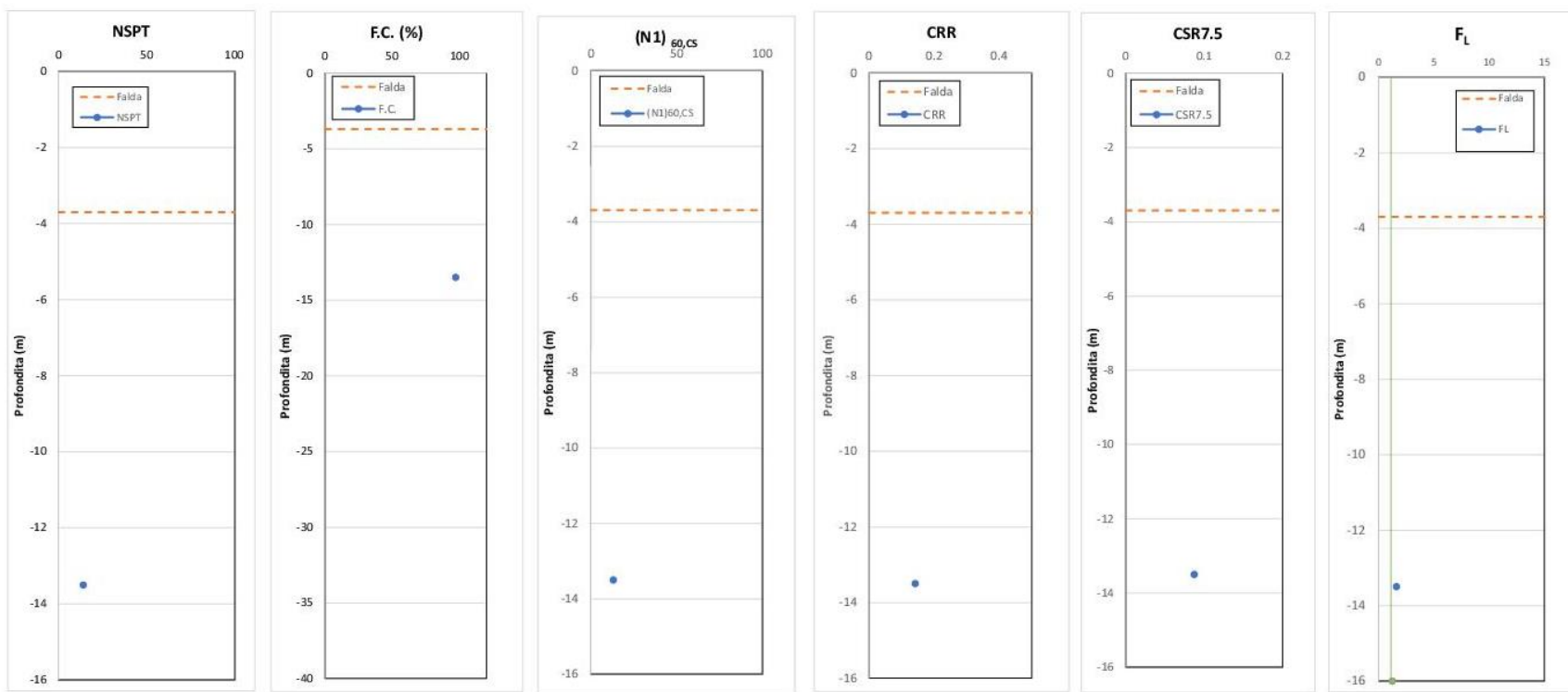


Figura 12.7: Verifica a liquefazione sondaggio PCL053B01

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IP00	00	D26RG	GE0000 001	B	161 di 225

a_{max}	(g)	0.265
M_w	(dyne*cm)	6.14
MSF	(-)	1.429

COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA - LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE PROGETTO DEFINITIVO

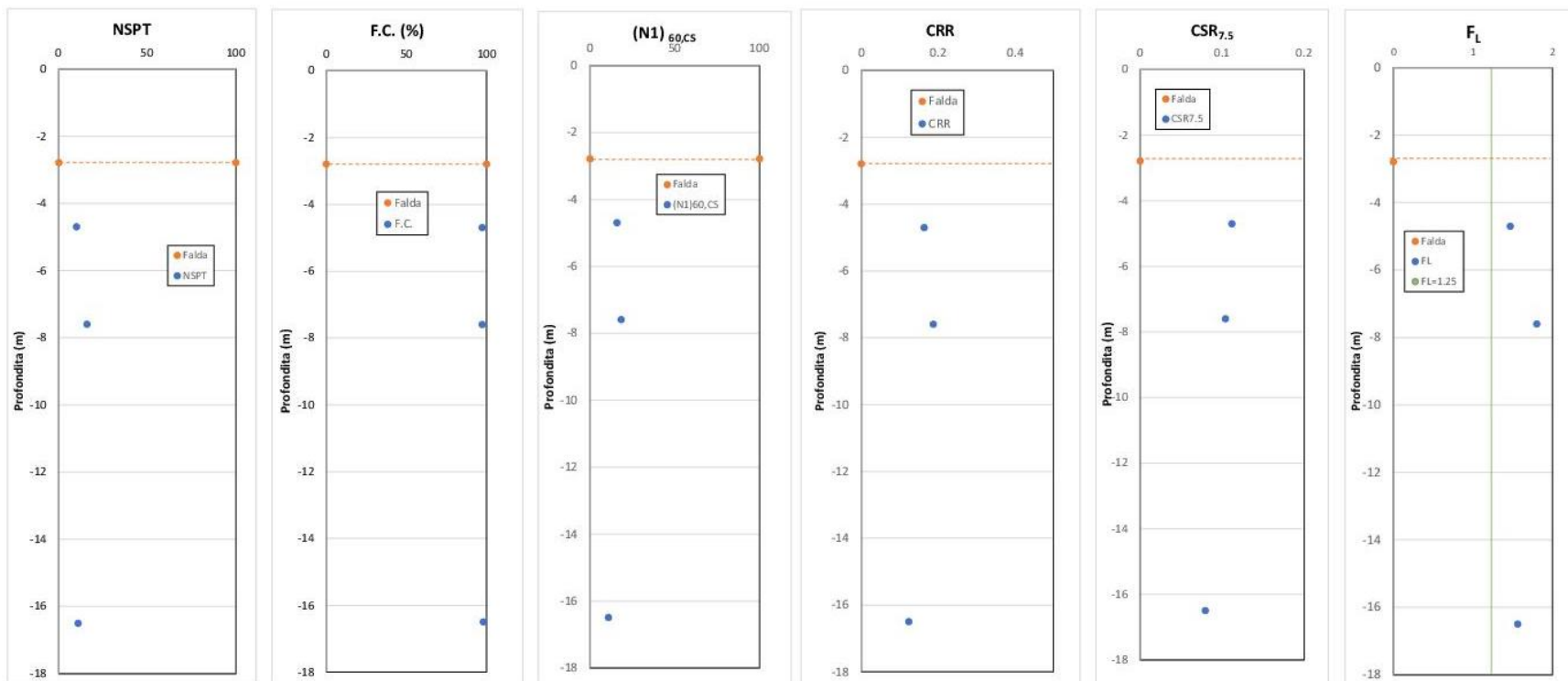


Figura 12.8: Verifica a liquefazione sondaggio XL051G010

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IP00	00	D26RG	GE0000 001	B	162 di 225

a_{max}	(g)	0.266
M_w	(dyne*cm)	6.14
MSF	(-)	1.429

COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA - LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE PROGETTO DEFINITIVO

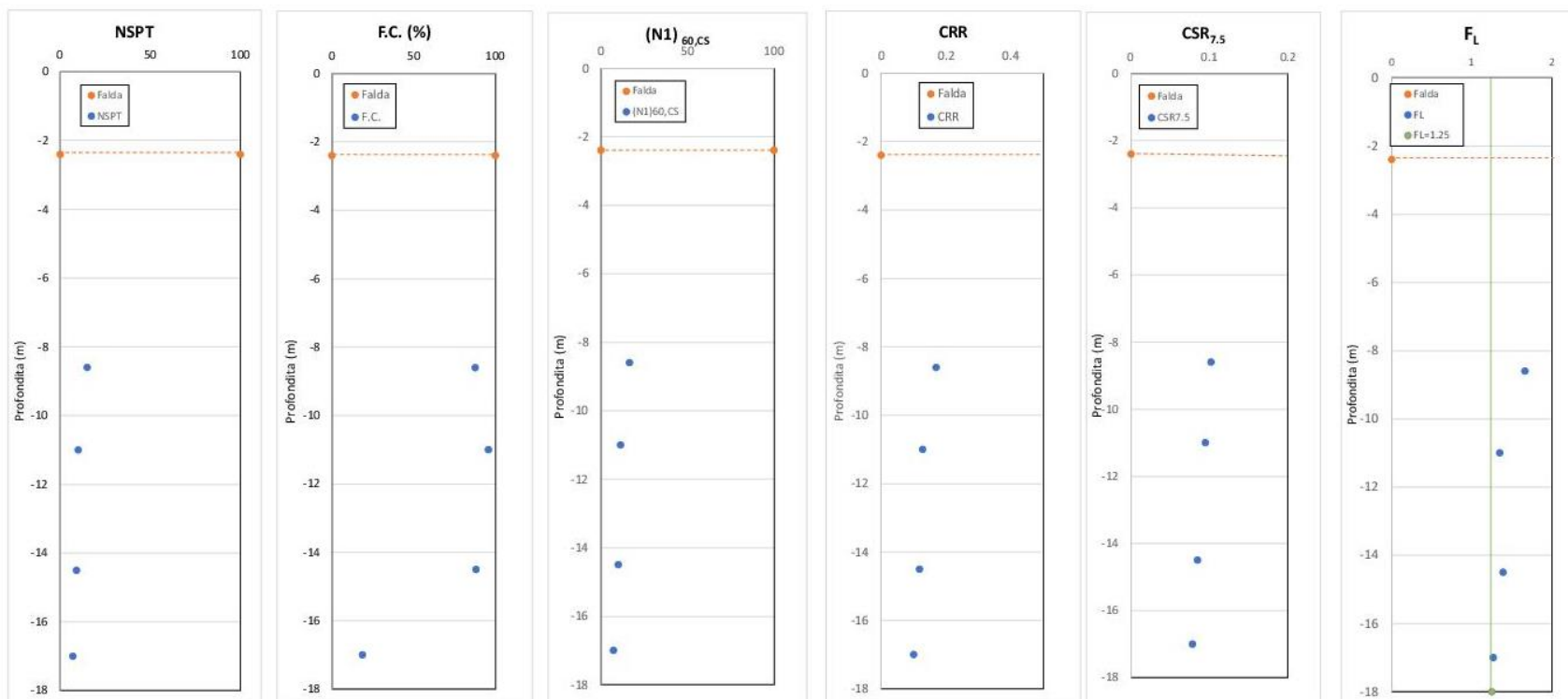


Figura 12.9: Verifica a liquefazione sondaggio BH2

a_{max}	(g)	0.265
M_w	(dyne*cm)	6.14
MSF	(-)	1.429

COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA - LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE PROGETTO DEFINITIVO

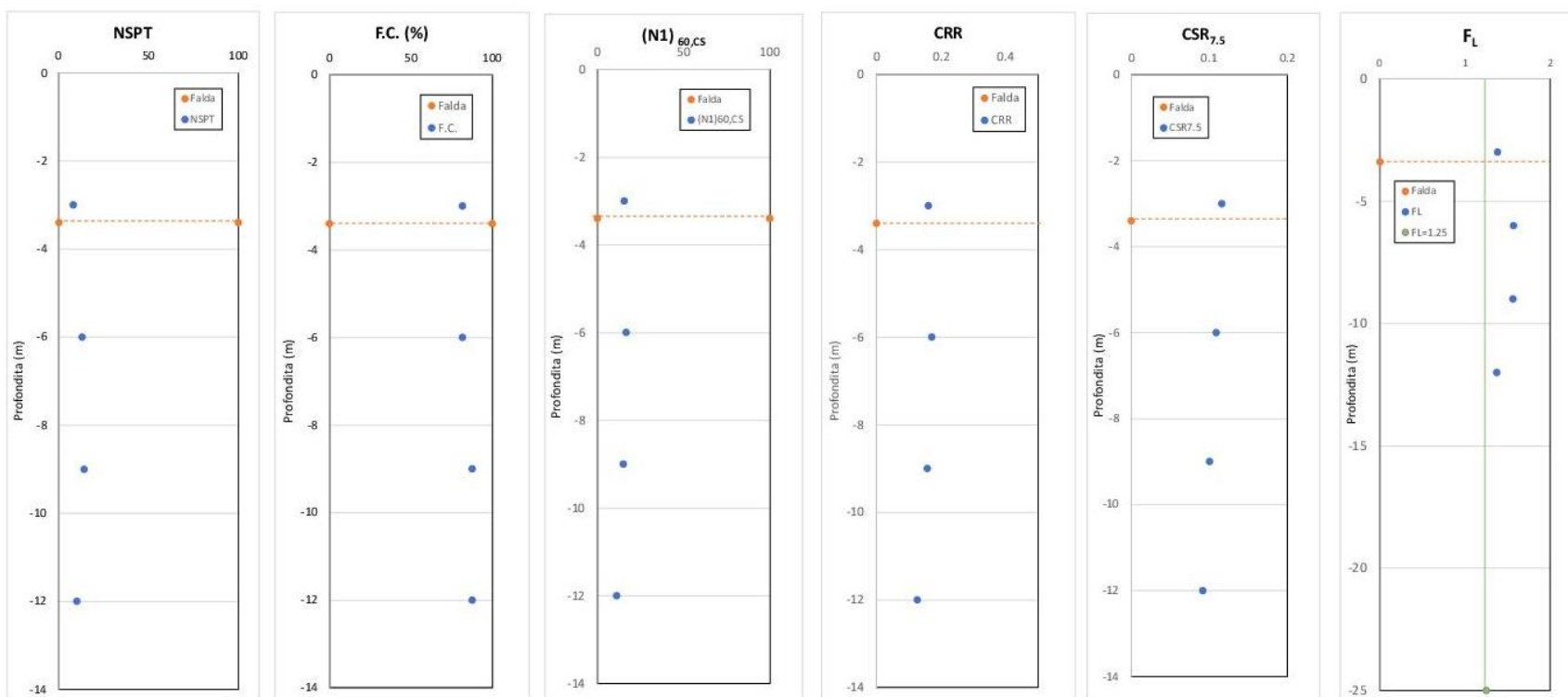


Figura 12.10: Verifica a liquefazione sondaggio CHL053B06

a_{max}	(g)	0.265
M_w	(dyne*cm)	6.14
MSF	(-)	1.429

COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA - LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE PROGETTO DEFINITIVO

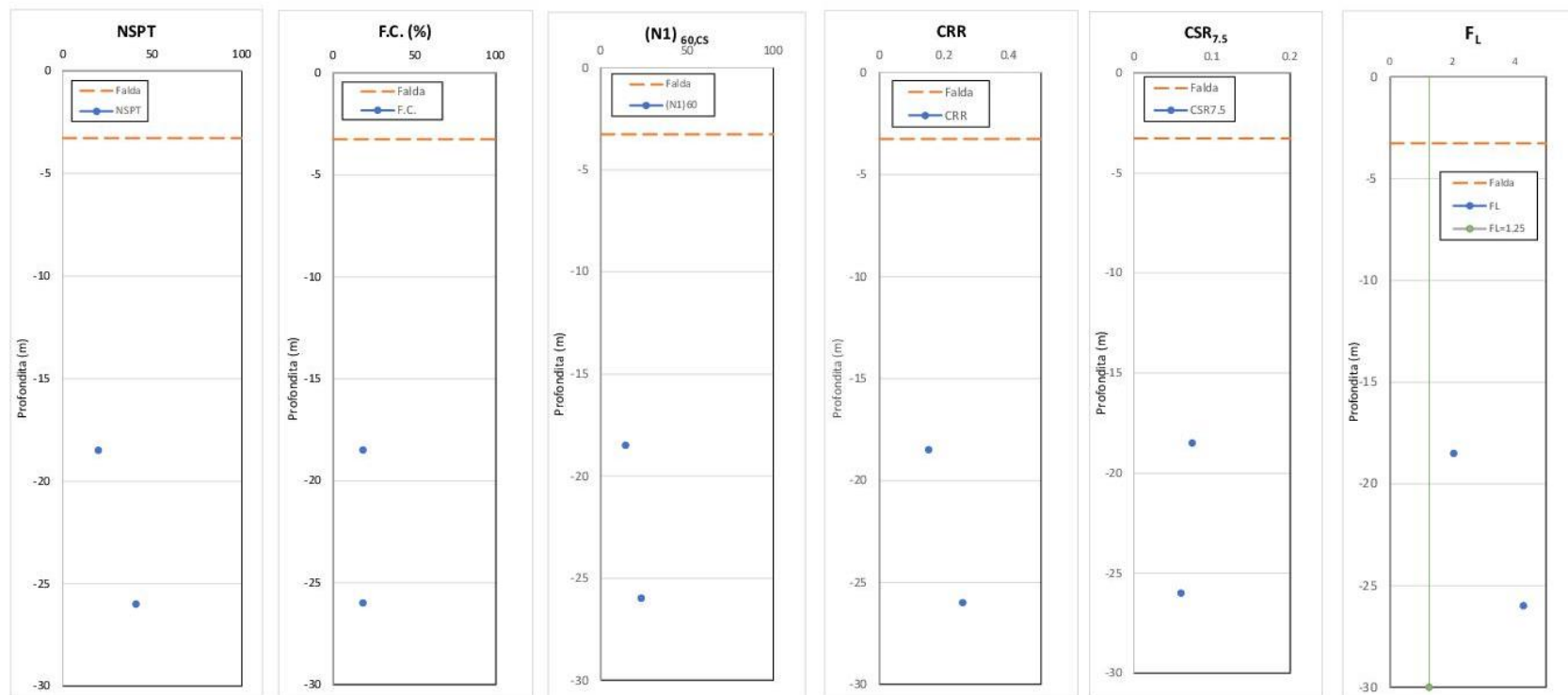


Figura 12.11: Verifica a liquefazione sondaggio XL051G009

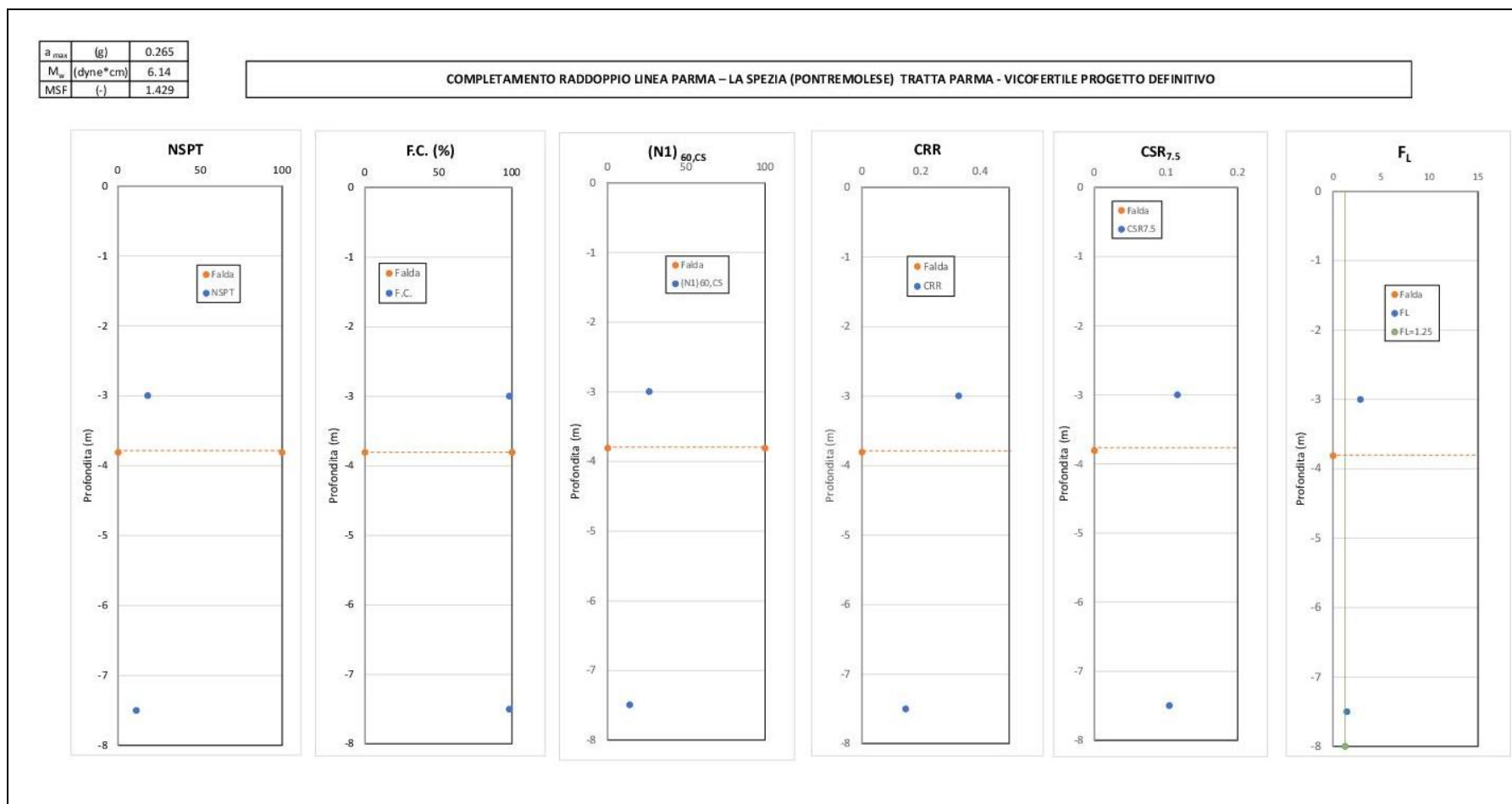


Figura 12.12: Verifica a liquefazione sondaggio PCL053B02

a_{max}	(g)	0.266
M_w	(dyne*cm)	6.14
MSF	(-)	1.429

COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA - LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE PROGETTO DEFINITIVO

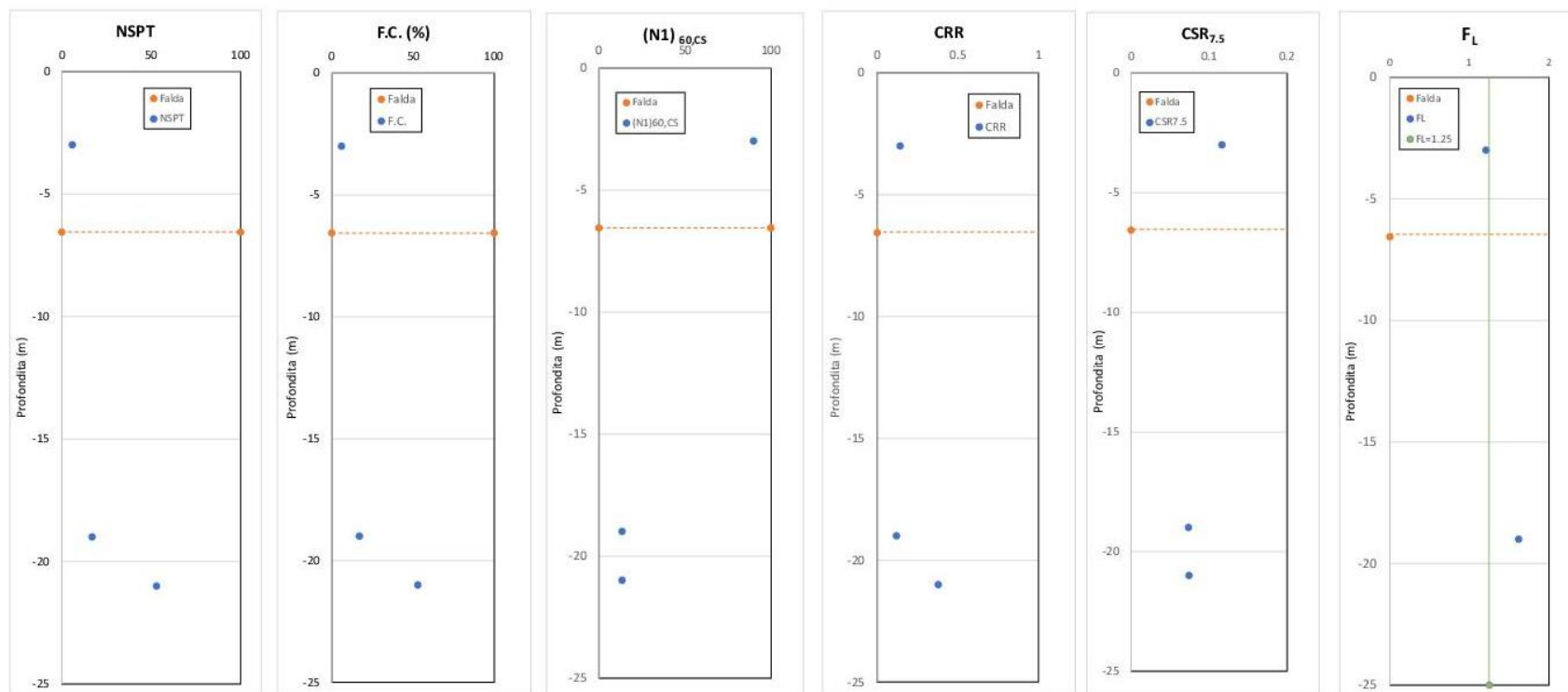


Figura 12.13: Verifica a liquefazione sondaggio PCL053B03

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IP00	00	D26RG	GE0000 001	B	167 di 225

a_{max}	(g)	0.266
M_w	(dyne*cm)	6.14
MSF	(-)	1.429

COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA - LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE PROGETTO DEFINITIVO

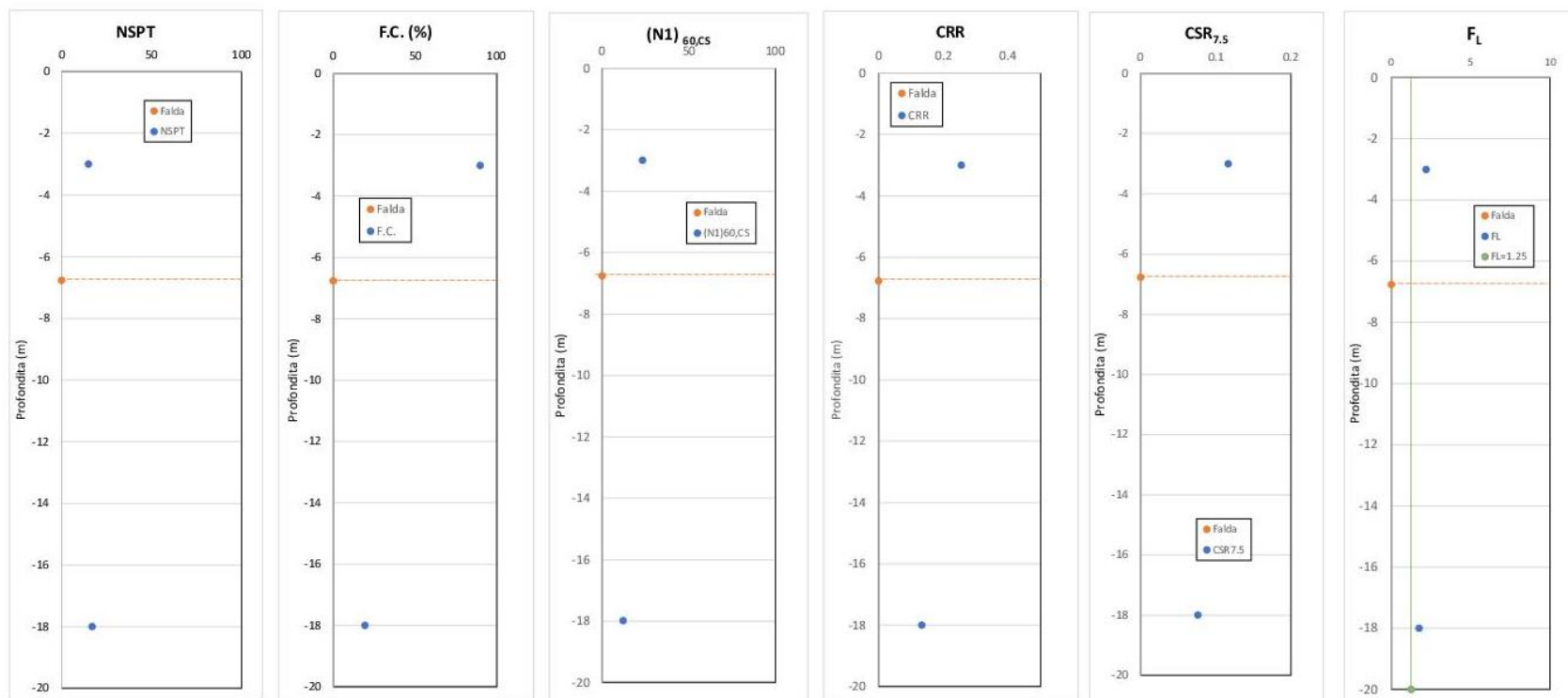


Figura 12.14: Verifica a liquefazione sondaggio PCL053B04

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IP00	00	D26RG	GE0000 001	B	168 di 225

a_{max}	(g)	0.267
M_w	(dyne*cm)	6.14
MSF	(-)	1.429

COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA - LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE PROGETTO DEFINITIVO

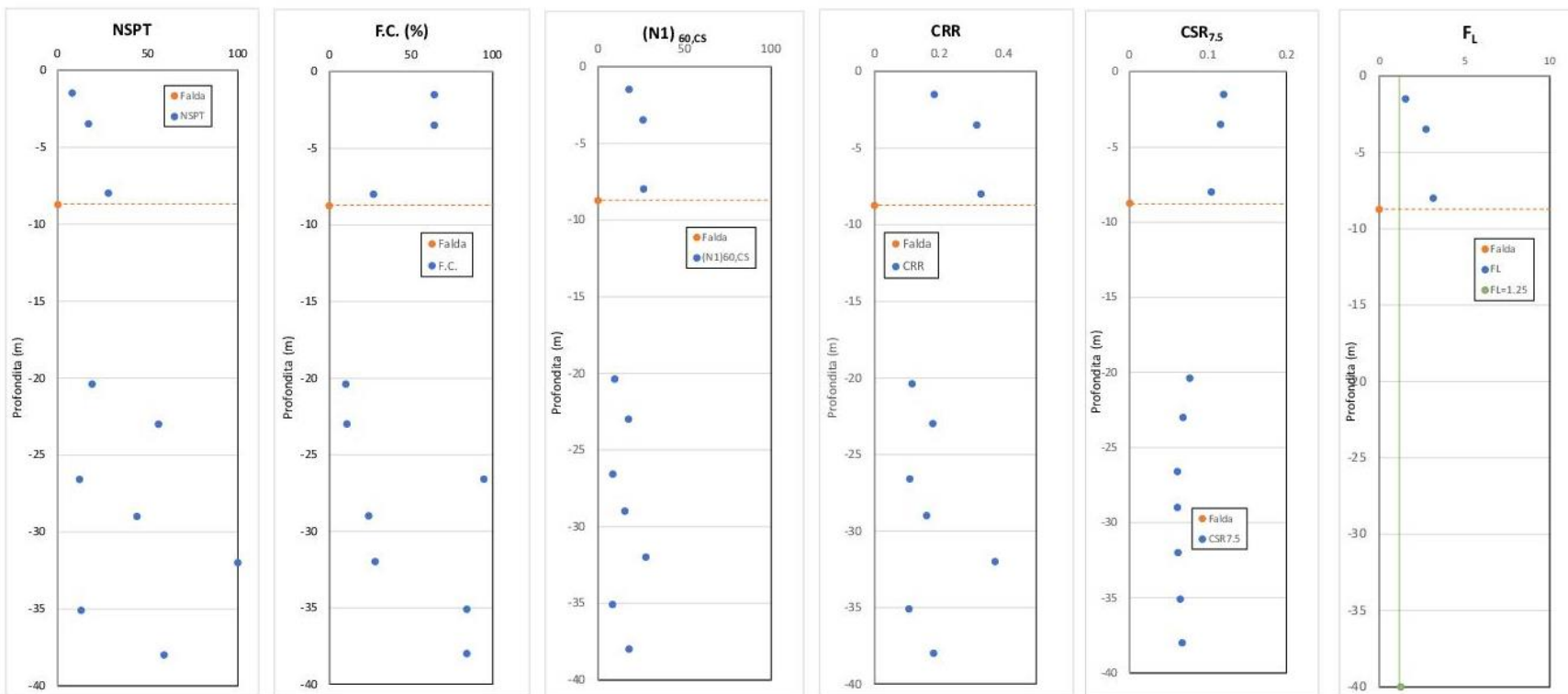


Figura 12.15: Verifica a liquefazione sondaggio BH3

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IP00	00	D26RG	GE0000 001	B	169 di 225

a_{max}	(g)	0.267
M_w	(dyne*cm)	6.14
MSF	(-)	1.429

COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA - LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE PROGETTO DEFINITIVO

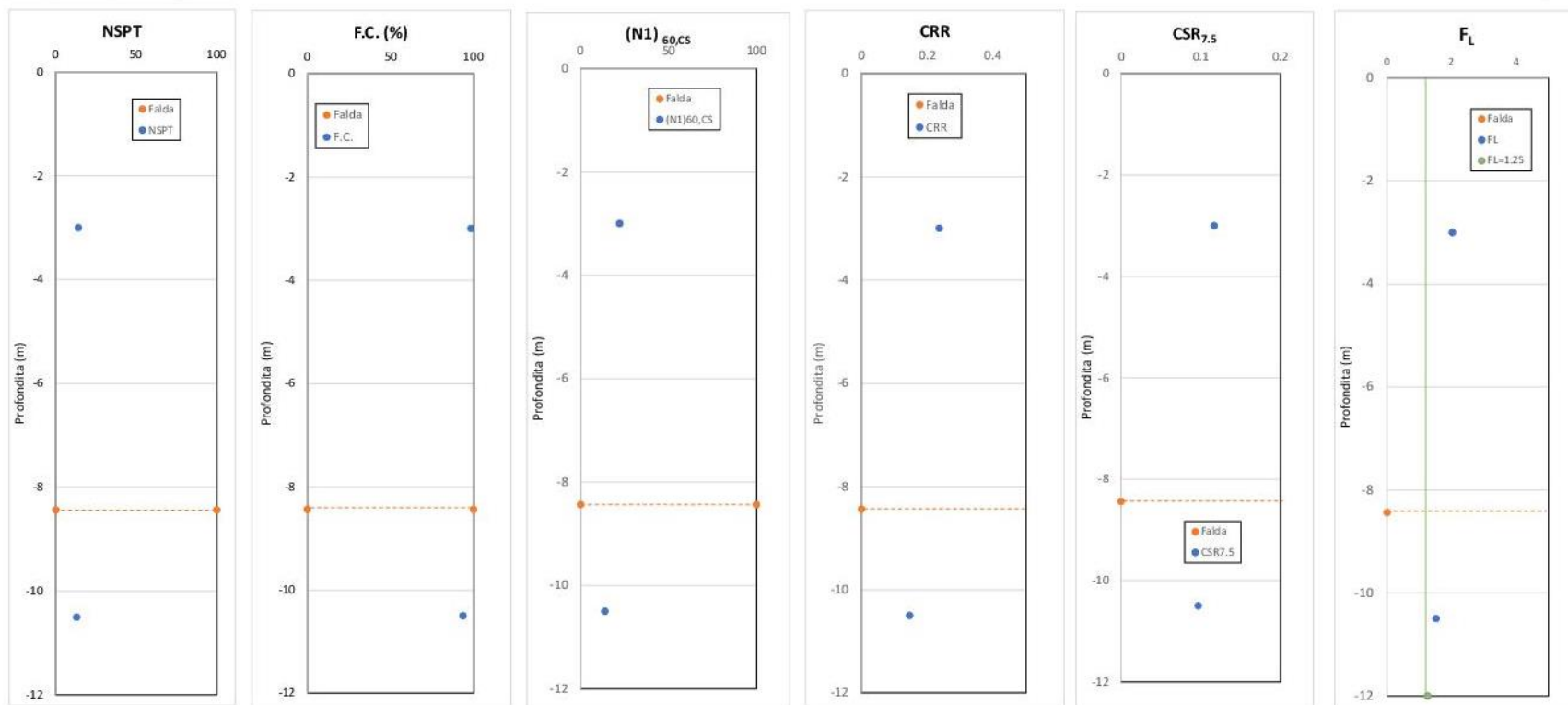


Figura 12.16: Verifica a liquefazione sondaggio PCL053B05

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IP00	00	D26RG	GE0000 001	B	170 di 225

a_{max}	(g)	0.267
M_w	(dyne*cm)	6.14
MSF	(-)	1.429

COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA - LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE PROGETTO DEFINITIVO

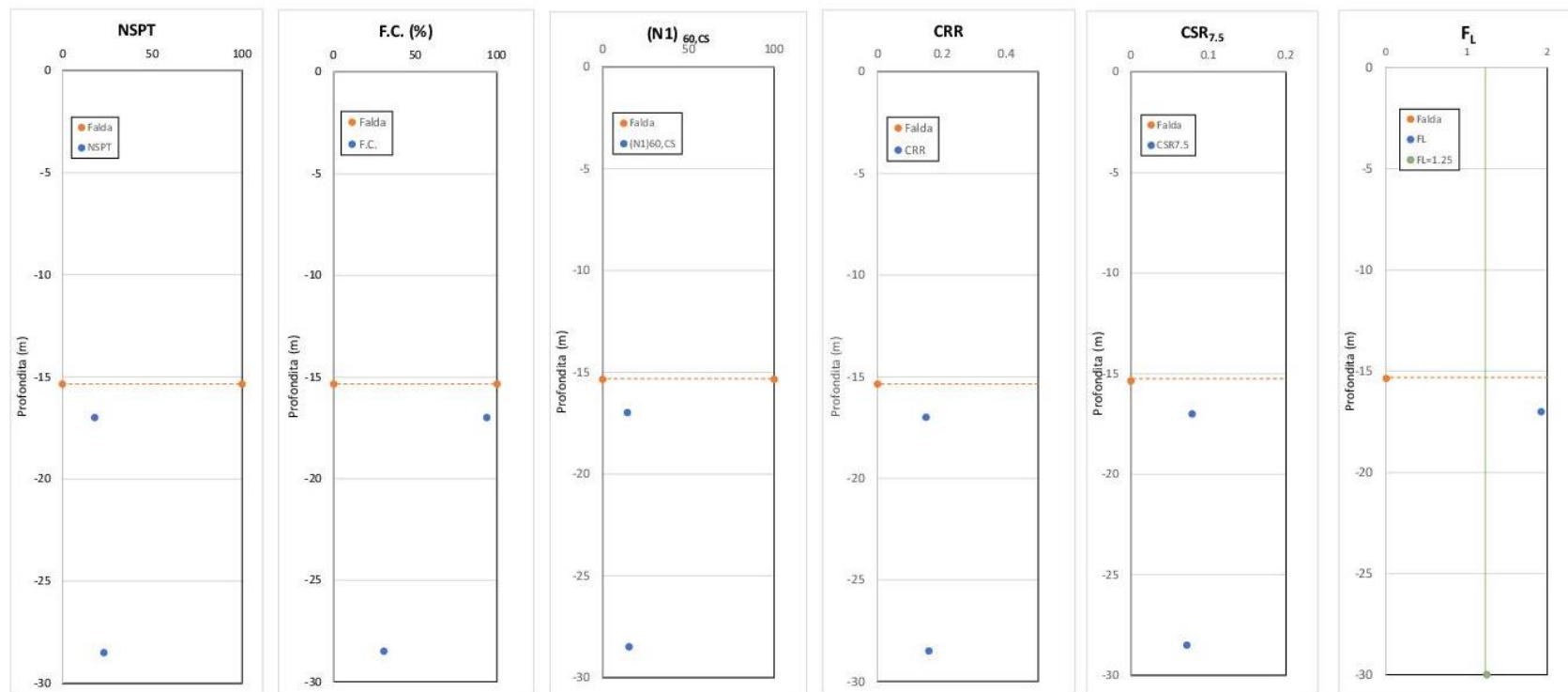


Figura 12.17: Verifica a liquefazione sondaggio PNL053C22

13 OPERE D'ARTE MAGGIORI

13.1 GENERALITÀ

In Tabella 13.1 è riportato l'elenco delle opere d'arte maggiori, differenziato tra le opere ferroviarie lungo linea e le opere stradali in attraversamento. Nei paragrafi successivi si riportano, per ogni opera:

- le indagini di riferimento;
- la stratigrafia, la profondità di falda ed i valori dei parametri geotecnici caratteristici di progetto;
- la categoria di sottosuolo.

La legenda dei parametri geotecnici utilizzati nelle tabelle sopra citate è di seguito riportata.

- γ = peso di volume naturale;
- ϕ' = angolo di attrito "operativo";
- c' = intercetta di coesione "operativa";
- C_u = resistenza al taglio non drenata;
- G_0 = modulo di taglio iniziale riferito alle pressioni efficaci geostatiche;
- E_0 = modulo di Young iniziale riferito alle pressioni efficaci geostatiche;
- $E_{op1} = E_0/10$ Modulo di young "operativo" per l'analisi dei cedimenti dei rilevati con metodi elastici lineari e non lineari;
- $E_{op2} = E_0/(3\div 5)$ Modulo di young "operativo" per l'analisi di opere di sostegno con metodi elastici lineari e non lineari;
- OCR = Grado di sovraconsolidazione;
- CR e RR = coefficienti di consolidazione primaria nel piano $\varepsilon - \log(\sigma)$, CR = rapporto di compressione e RR rapporto di ricomprensione;
- $c_{\alpha\varepsilon}$ = coefficiente di consolidazione secondaria nel piano $\varepsilon - \log(\sigma)$;
- k_v = coefficiente di permeabilità riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di flusso diretto principalmente nella direzione verticale.

Tabella 13.1: Elenco opere d'arte maggiori

Denominazione Opera	Progressiva	Tipo di opera	Paragrafo di riferimento
	(km)	(stradale/ferroviaria)	
FA02 - Piazzale Cabina TE	1+270.951	ferroviaria	13.2
NV01 - Accesso Cabina TE	1+300.000	stradale	13.3
FA03 - PES BD Imbocco Nord	1+560.000	stradale	13.4
NV02 - Riprofilatura Via Dei Mercati	1+660.000	stradale	13.5
GA01 - Galleria Artificiale BD	1+840.000 - 2+100.000	ferroviaria	13.6
GA02 - Galleria Artificiale BP	1+790.000 - 1+900.000	ferroviaria	13.7
GA03 - Scatolare A Spinta	1+900.000 – 2+000.000	ferroviaria	13.8
GA04 - Galleria Artificiale BP	2+000.000 – 2+050.000	ferroviaria	13.9
IN01 - Sifone Canale Abbeveratoio	2+070.000	ferroviaria	13.10
IN71 - Impianto Di Sollevamento	2+140.000	ferroviaria	13.11
GA06 - Doppio Binario	2+100.000 – 3+145.000	ferroviaria	13.12
GA07 - Sezione Allargata	3+145.000- 3+490.000	ferroviaria	13.13
GA08 - Doppio Binario	3+490.000- 3+760.000	ferroviaria	13.14
IN02 - Sifone Cavo Via Cava	3+730.000	ferroviaria	13.15
NV03 - Riprofilatura Via Valera Di Sopra	3+650.000	stradale	13.16
IN72 - Impianto di Sollevamento	3+760.000	ferroviaria	13.17
GA09 - Cavalcaferrovia	4+110.000 – 4+170.000	ferroviaria	13.18
NV04 – Deviazione Via Voltorno	4+110.000	stradale	13.19
IN03 – Interferenza Navile del Taro	4+490.000	ferroviaria	13.20

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IP00	00	D26RG	GE0000 001	B	173 di 225

Denominazione Opera	Progressiva	Tipo di opera	Paragrafo di riferimento
	(km)	(stradale/ferroviaria)	
SL01 – Cavalcavia Tangenziale Ovest	5+572.000	stradale	13.21
SL02 – Scatolare Torrente Maretto	6+700.000	stradale	13.22
IN11 – Interferenza Cavo Maretto	6+700.000	ferroviaria	13.23
SL03 – Cavalcavia Strada Bergonzi	6+985.000	stradale	13.24
SL04 – Cavalcavia Via Roma	8+038.000	stradale	13.25

13.2 PIAZZALE CABINA TE (FA02)

L'opera è collocata alla progressiva chilometrica 1+270.951. Nelle tabelle di seguito si riportano l'elenco delle indagini di riferimento disponibili, la stratigrafia di progetto ed i valori dei parametri geotecnici caratteristici. La legenda dei parametri geotecnici è riportata nel paragrafo 13.1. Sulla base di quanto riportato nel Doc.Rif.[16] per l'opera in oggetto la categoria di sottosuolo di riferimento è la Categoria di sottosuolo C.

Tabella 13.2: Indagini geognostiche di riferimento

ID	Tipo di indagine	Campagna d'indagine	Quota	Profondità	SPT	Lefranc	Campioni indisturbati	Campioni rimaneggiati
(sigla)	(Tipo)	(Riferimento)	(m slmm)	(m)	(n.prove)	(n.prove)	(#)	(#)
BH1	Sondaggio	ITALFERR 2021	2.89	40	14	4	3	5
MASW01	MASW	ITALFERR 2021	-	40	-	-	-	-
HVAR01	HVSR	ITALFERR 2021	-	40	-	-	-	-

Tabella 13.3: Stratigrafia di riferimento

UNITA' GEOTECNICA	DA	A	SPESSORE
(-)	(m pc)	(m pc)	(m)
A1	0.0	16	16
A2	16	44	28
Il livello minimo dell'acqua è di 7,0 m dal suolo.			

Tabella 13.4: Valori dei parametri geotecnici caratteristici

Parametro:	A1	A2
γ (kN/m ³)	19.0	19.0
ϕ' (°)	27	37
c' (kPa)	12	0
C_u (kPa)	60-90	-
G_0 (MPa)	35-60	130
E_0 (MPa)	80-140	300
E_{op1} (MPa)	8-14	30
E_{op2} (MPa)	16-27	60
OCR (-)	3.50-6.80	-
CR (-)	0.024	-
RR (-)	0.021	-
$C_{\alpha\epsilon}$ (%)	0.0055	-
k_h (m/s)	9.62E-07	2.03E-04

13.3 ACCESSO CABINA TE (NV01)

L'opera è collocata alla progressiva chilometrica 1+300.951. Nelle tabelle di seguito si riportano l'elenco delle indagini di riferimento disponibili, la stratigrafia di progetto ed i valori dei parametri geotecnici caratteristici. La legenda dei parametri geotecnici è riportata nel paragrafo 13.1. Sulla base di quanto riportato nel Doc.Rif. [16] per l'opera in oggetto la categoria di sottosuolo di riferimento è la Categoria di sottosuolo C.

Tabella 13.5: Indagini geognostiche di riferimento

ID	Tipo di indagine	Campagna d'indagine	Quota	Profondità	SPT	Lefranc	Campioni indisturbati	Campioni rimaneggiati
(sigla)	(Tipo)	(Riferimento)	(m slmm)	(m)	(n.prove)	(n.prove)	(#)	(#)
BH1	Sondaggio	ITALFERR 2021	2.89	40	14	4	3	5
MASW01	MASW	ITALFERR 2021	-	40	-	-	-	-
HVSR01	HVSR	ITALFERR 2021	-	40	-	-	-	-

Tabella 13.6: Stratigrafia di riferimento

UNITA' GEOTECNICA	DA	A	SPESSORE
(-)	(m pc)	(m pc)	(m)
A1	0.0	16	16
A2	16	44	28

Il livello minimo dell'acqua è di 7,0 m dal suolo.

Tabella 13.7: Valori dei parametri geotecnici caratteristici

Parametro:	A1	A2
γ (kN/m ³)	19.0	19.0
ϕ' (°)	27	37
c' (kPa)	12-8	0
Cu (kPa)	60-90	-

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IP00	00	D26RG	GE0000 001	B	177 di 225

Parametro:	A1	A2
G₀ (MPa)	35-60	130
E₀ (MPa)	80-140	300
E_{op1} (MPa)	8-14	30
E_{op2} (MPa)	16-27	60
OCR (-)	3.50-6.80	-
CR (-)	0.024	-
RR (-)	0.021	-
C_{ae} (%)	0.0055	-
k_h (m/s)	9.62E-07	2.03E-04

13.4 PES BD IMBOCCO NORD (FA03)

L'opera è collocata alla progressiva chilometrica 1+560.000. Nelle tabelle di seguito si riportano l'elenco delle indagini di riferimento disponibili, la stratigrafia di progetto ed i valori dei parametri geotecnici caratteristici. La legenda dei parametri geotecnici è riportata nel paragrafo 13.1. Sulla base di quanto riportato nel Doc.Rif. [16] per l'opera in oggetto la categoria di sottosuolo di riferimento è la Categoria di sottosuolo C.

Tabella 13.8: Indagini geognostiche di riferimento

ID	Tipo di indagine	Campagna d'indagine	Quota	Profondità	SPT	Lefranc	Campioni indisturbati	Campioni rimaneggiati
(sigla)	(Tipo)	(Riferimento)	(m slmm)	(m)	(n.prove)	(n.prove)	(#)	(#)
PCL053B01	Sondaggio	ITALFERR 2008	3.70	40	7	2	3	3
181160P748	Sondaggio		3.50	50	-	-	-	-
XL051G010	Sondaggio		2.70	30	8	-	3	3
BH2	Sondaggio	ITALFERR 2021	2.40	40	14	4	2	7
CHL053B06	Sondaggio	ITALFERR 2008	3.40	40	7	1	1	3
PCL053B16	Sondaggio	ITALFERR 2009	3.30	36	-	-	-	-
PCL053B13	Sondaggio	ITALFERR 2009	3.30	35	-	-	-	-
XL051G009	Sondaggio		3.30	40	7	1	2	3
PCL053B02	Sondaggio	ITALFERR 2008	3.80	40	8	-	3	4
MASW02	MASW	ITALFERR 2021	-	40	-	-	-	-
HVAR02	HVSR	ITALFERR 2021	-	40	-	-	-	-
MASW03	MASW	ITALFERR 2021		40	-	-	-	-
HVSR03	HVSR	ITALFERR 2021		40	-	-	-	-

Tabella 13.9: Stratigrafia di riferimento

UNITA' GEOTECNICA	DA	A	SPESSORE
(-)	(m pc)	(m pc)	(m)
A1	0	16.0	16.0
A2	16.0	38.0	22.0
A1	38.0	53.0	15.0

Il livello minimo dell'acqua è di 2,8 m dal suolo.

Tabella 13.10: Valori dei parametri geotecnici caratteristici

Parametro:	A1	A2
γ (kN/m ³)	19.0	19.0
ϕ' (°)	27	37
c' (kPa)	12-8	0
C_u (kPa)	60-150	-
G_0 (MPa)	35-60	130-180
E_0 (MPa)	70-140	300-400-
E_{op1} (MPa)	7-14	30-40
E_{op2} (MPa)	14-27	60-80
OCR (-)	3.50-6.80	-
CR (-)	0.024	-
RR (-)	0.021	-
$C_{\alpha\epsilon}$ (%)	0.0055	-
k_v (m/s)	9.62E-07	2.03E-04

13.5 RIPROFILATURA VIA DEI MERCATI (NV02)

L'opera è collocata alla progressiva chilometrica 1+660.000. Nelle tabelle di seguito si riportano l'elenco delle indagini di riferimento disponibili, la stratigrafia di progetto ed i valori dei parametri geotecnici caratteristici. La legenda dei parametri geotecnici è riportata nel paragrafo 13.1. Sulla base di quanto riportato nel Doc.Rif. [16] per l'opera in oggetto la categoria di sottosuolo di riferimento è la Categoria di sottosuolo C.

Tabella 13.11: Indagini geonostiche di riferimento

ID	Tipo di indagine	Campagna d'indagine	Quota	Profondità	SPT	Lefranc	Campioni indisturbati	Campioni rimaneggiati
(sigla)	(Tipo)	(Riferimento)	(m slmm)	(m)	(n.prove)	(n.prove)	(#)	(#)
PCL053B01	Sondaggio	ITALFERR 2008	3.70	40	7	2	3	3
181160P748	Sondaggio		3.50	50	-	-	-	-
XL051G010	Sondaggio		2.70	30	8	-	3	3
BH2	Sondaggio	ITALFERR 2021	2.40	40	14	4	2	7
CHL053B06	Sondaggio	ITALFERR 2008	3.40	40	7	1	1	3
PCL053B16	Sondaggio	ITALFERR 2009	3.30	36	-	-	-	-
PCL053B13	Sondaggio	ITALFERR 2009	3.30	35	-	-	-	-
XL051G009	Sondaggio		3.30	40	7	1	2	3
PCL053B02	Sondaggio	ITALFERR 2008	3.80	40	8	-	3	4
MASW02	MASW	ITALFERR 2021	-	40	-	-	-	-
HVAR02	HVSR	ITALFERR 2021	-	40	-	-	-	-
MASW03	MASW	ITALFERR 2021		40	-	-	-	-
HVSR03	HVSR	ITALFERR 2021		40	-	-	-	-

Tabella 13.12: Stratigrafia di riferimento

UNITA' GEOTECNICA	DA	A	SPESSORE
(-)	(m pc)	(m pc)	(m)
A1	0	16.0	16.0
A2	16.0	38.0	22.0
A1	38.0	53.0	15.0

Il livello minimo dell'acqua è di 2,8 m dal suolo.

Tabella 13.13: Valori dei parametri geotecnici caratteristici

Parametro:	A1	A2
γ (kN/m ³)	19.0	19.0
ϕ' (°)	27	37
c' (kPa)	12-8	0
C_u (kPa)	60-150	-
G_0 (MPa)	35-60	130-180
E_0 (MPa)	70-140	300-400
E_{op1} (MPa)	7-14	30-40
E_{op2} (MPa)	14-27	60-80
OCR (-)	3.50-6.80	-
CR (-)	0.024	-
RR (-)	0.021	-
$C_{\alpha\epsilon}$ (%)	0.0055	-
k_v (m/s)	9.62E-07	2.03E-04

13.6 GALLERIA ARTIFICIALE BD (GA01)

Il lavoro si trova tra il chilometraggio 1+840.000 - 2+100.000. Nelle tabelle di seguito si riportano l'elenco delle indagini di riferimento disponibili, la stratigrafia di progetto ed i valori dei parametri geotecnici caratteristici. La legenda dei parametri geotecnici è riportata nel paragrafo 13.1. Sulla base di quanto riportato nel Doc.Rif. [16] per l'opera in oggetto la categoria di sottosuolo di riferimento è la Categoria di sottosuolo C.

Tabella 13.14: Indagini geonostiche di riferimento

ID	Tipo di indagine	Campagna d'indagine	Quota	Profondità	SPT	Lefranc	Campioni indisturbati	Campioni rimaneggiati
(sigla)	(Tipo)	(Riferimento)	(m slmm)	(m)	(n.prove)	(n.prove)	(#)	(#)
PCL053B01	Sondaggio	ITALFERR 2008	3.70	40	7	2	3	3
181160P748	Sondaggio		3.50	50	-	-	-	-
XL051G010	Sondaggio		2.70	30	8	-	3	3
BH2	Sondaggio	ITALFERR 2021	2.40	40	14	4	2	7
CHL053B06	Sondaggio	ITALFERR 2008	3.40	40	7	1	1	3
PCL053B16	Sondaggio	ITALFERR 2009	3.30	36	-	-	-	-
PCL053B13	Sondaggio	ITALFERR 2009	3.30	35	-	-	-	-
XL051G009	Sondaggio		3.30	40	7	1	2	3
PCL053B02	Sondaggio	ITALFERR 2008	3.80	40	8	-	3	4
MASW02	MASW	ITALFERR 2021	-	40	-	-	-	-
HVAR02	HVSR	ITALFERR 2021	-	40	-	-	-	-
MASW03	MASW	ITALFERR 2021		40	-	-	-	-
HVAR03	HVSR	ITALFERR 2021		40	-	-	-	-

Tabella 13.15: Stratigrafia di riferimento

UNITA' GEOTECNICA	DA	A	SPESSORE
(-)	(m pc)	(m pc)	(m)
A1	0	16.0	16.0
A2	16.0	38.0	22.0
A1	38.0	53.0	15.0

Il livello minimo dell'acqua è di 2,8 m dal suolo.

Tabella 13.16: Valori dei parametri geotecnici caratteristici

Parametro:	A1	A2
γ (kN/m ³)	19.0	19.0
ϕ' (°)	27	37
c' (kPa)	12-8	0
C_u (kPa)	60-150	-
G_0 (MPa)	35-60	130-180
E_0 (MPa)	70-140	300-400
E_{op1} (MPa)	7-14	30-40
E_{op2} (MPa)	14-27	60-80
OCR (-)	3.50-6.80	-
CR (-)	0.024	-
RR (-)	0.021	-
$C_{\alpha\varepsilon}$ (%)	0.0055	-
k_v (m/s)	9.62E-07	2.03E-04

13.7 GALLERIA ARTIFICIALE BP (GA02)

L'opera è ubicata tra le chilometriche 1+790.000 - 1+900.000. Nelle tabelle di seguito si riportano l'elenco delle indagini di riferimento disponibili, la stratigrafia di progetto ed i valori dei parametri geotecnici caratteristici. La legenda dei parametri geotecnici è riportata nel paragrafo 13.1. Sulla base di quanto riportato nel Doc.Rif. [16] per l'opera in oggetto la categoria di sottosuolo di riferimento è la Categoria di sottosuolo C.

Tabella 13.17: Indagini geonostiche di riferimento

ID	Tipo di indagine	Campagna d'indagine	Quota	Profondità	SPT	Lefranc	Campioni indisturbati	Campioni rimaneggiati
(sigla)	(Tipo)	(Riferimento)	(m slmm)	(m)	(n.prove)	(n.prove)	(#)	(#)
PCL053B01	Sondaggio	ITALFERR 2008	3.70	40	7	2	3	3
181160P748	Sondaggio		3.50	50	-	-	-	-
XL051G010	Sondaggio		2.70	30	8	-	3	3
BH2	Sondaggio	ITALFERR 2021	2.40	40	14	4	2	7
CHL053B06	Sondaggio	ITALFERR 2008	3.40	40	7	1	1	3
PCL053B16	Sondaggio	ITALFERR 2009	3.30	36	-	-	-	-
PCL053B13	Sondaggio	ITALFERR 2009	3.30	35	-	-	-	-
XL051G009	Sondaggio		3.30	40	7	1	2	3
PCL053B02	Sondaggio	ITALFERR 2008	3.80	40	8	-	3	4
MASW02	MASW	ITALFERR 2021	-	40	-	-	-	-
HVAR02	HVSR	ITALFERR 2021	-	40	-	-	-	-
MASW03	MASW	ITALFERR 2021		40	-	-	-	-
HVSR03	HVSR	ITALFERR 2021		40	-	-	-	-

Tabella 13.18: Stratigrafia di riferimento

UNITA' GEOTECNICA	DA	A	SPESSORE
(-)	(m pc)	(m pc)	(m)
A1	0	16.0	16.0
A2	16.0	38.0	22.0
A1	38.0	53.0	15.0

Il livello minimo dell'acqua è di 2,8 m dal suolo.

Tabella 13.19: Valori dei parametri geotecnici caratteristici

Parametro:	A1	A2
γ (kN/m ³)	19.0	19.0
ϕ' (°)	27	37
c' (kPa)	12-8	0
C_u (kPa)	60-150	-
G_0 (MPa)	35-60	130-180
E_0 (MPa)	70-140	300-400
E_{op1} (MPa)	7-14	30-40
E_{op2} (MPa)	14-27	60-80
OCR (-)	3.50-6.80	-
CR (-)	0.024	-
RR (-)	0.021	-
$C_{\alpha s}$ (%)	0.0055	-
k_v (m/s)	9.62E-07	2.03E-04

13.8 SCATOLARE A SPINTA (GA03)

L'opera si trova tra le chilometriche 1+900.000 - 2+000.000. Nelle tabelle di seguito si riportano l'elenco delle indagini di riferimento disponibili, la stratigrafia di progetto ed i valori dei parametri geotecnici caratteristici. La legenda dei parametri geotecnici è riportata nel paragrafo 13.1. Sulla base di quanto riportato nel Doc.Rif. [16] per l'opera in oggetto la categoria di sottosuolo di riferimento è la Categoria di sottosuolo C.

Tabella 13.20: Indagini geonostiche di riferimento

ID	Tipo di indagine	Campagna d'indagine	Quota	Profondità	SPT	Lefranc	Campioni indisturbati	Campioni rimaneggiati
(sigla)	(Tipo)	(Riferimento)	(m slmm)	(m)	(n.prove)	(n.prove)	(#)	(#)
PCL053B01	Sondaggio	ITALFERR 2008	3.70	40	7	2	3	3
181160P748	Sondaggio		3.50	50	-	-	-	-
XL051G010	Sondaggio		2.70	30	8	-	3	3
BH2	Sondaggio	ITALFERR 2021	2.40	40	14	4	2	7
CHL053B06	Sondaggio	ITALFERR 2008	3.40	40	7	1	1	3
PCL053B16	Sondaggio	ITALFERR 2009	3.30	36	-	-	-	-
PCL053B13	Sondaggio	ITALFERR 2009	3.30	35	-	-	-	-
XL051G009	Sondaggio		3.30	40	7	1	2	3
PCL053B02	Sondaggio	ITALFERR 2008	3.80	40	8	-	3	4
MASW02	MASW	ITALFERR 2021	-	40	-	-	-	-
HVAR02	HVSR	ITALFERR 2021	-	40	-	-	-	-
MASW03	MASW	ITALFERR 2021		40	-	-	-	-
HVSR03	HVSR	ITALFERR 2021		40	-	-	-	-

Tabella 13.21: Stratigrafia di riferimento

UNITA' GEOTECNICA	DA	A	SPESSORE
(-)	(m pc)	(m pc)	(m)
A1	0	16.0	16.0
A2	16.0	38.0	22.0
A1	38.0	53.0	15.0

Il livello minimo dell'acqua è di 2,8 m dal suolo.

Tabella 13.22: Valori dei parametri geotecnici caratteristici

Parametro:	A1	A2
γ (kN/m ³)	19.0	19.0
ϕ' (°)	27	37
c' (kPa)	12-8	0
C_u (kPa)	60-150	-
G_0 (MPa)	35-60	130-180
E_0 (MPa)	70-140	300-400
E_{op1} (MPa)	7-14	30-40
E_{op2} (MPa)	14-27	60-80
OCR (-)	3.50-6.80	-
CR (-)	0.024	-
RR (-)	0.021	-
C_{ae} (%)	0.0055	-
k_v (m/s)	9.62E-07	2.03E-04

13.9 GALLERIA ARTIFICIALE BP (GA04)

L'opera si trova tra le chilometriche 2+000.000 - 2+050.000. Nelle tabelle di seguito si riportano l'elenco delle indagini di riferimento disponibili, la stratigrafia di progetto ed i valori dei parametri geotecnici caratteristici. La legenda dei parametri geotecnici è riportata nel paragrafo 13.1. Sulla base di quanto riportato nel Doc.Rif. [16] per l'opera in oggetto la categoria di sottosuolo di riferimento è la Categoria di sottosuolo C.

Tabella 13.23: Indagini geonostiche di riferimento

ID	Tipo di indagine	Campagna d'indagine	Quota	Profondità	SPT	Lefranc	Campioni indisturbati	Campioni rimaneggiati
(sigla)	(Tipo)	(Riferimento)	(m slmm)	(m)	(n.prove)	(n.prove)	(#)	(#)
PCL053B01	Sondaggio	ITALFERR 2008	3.70	40	7	2	3	3
181160P748	Sondaggio		3.50	50	-	-	-	-
XL051G010	Sondaggio		2.70	30	8	-	3	3
BH2	Sondaggio	ITALFERR 2021	2.40	40	14	4	2	7
CHL053B06	Sondaggio	ITALFERR 2008	3.40	40	7	1	1	3
PCL053B16	Sondaggio	ITALFERR 2009	3.30	36	-	-	-	-
PCL053B13	Sondaggio	ITALFERR 2009	3.30	35	-	-	-	-
XL051G009	Sondaggio		3.30	40	7	1	2	3
PCL053B02	Sondaggio	ITALFERR 2008	3.80	40	8	-	3	4
MASW02	MASW	ITALFERR 2021	-	40	-	-	-	-
HVAR02	HVSR	ITALFERR 2021	-	40	-	-	-	-
MASW03	MASW	ITALFERR 2021		40	-	-	-	-
HVSR03	HVSR	ITALFERR 2021		40	-	-	-	-

Tabella 13.24: Stratigrafia di riferimento

UNITA' GEOTECNICA	DA	A	SPESSORE
(-)	(m pc)	(m pc)	(m)
A1	0	16.0	16.0
A2	16.0	38.0	22.0
A1	38.0	53.0	15.0

Il livello minimo dell'acqua è di 2,8 m dal suolo.

Tabella 13.25: Valori dei parametri geotecnici caratteristici

Parametro:	A1	A2
γ (kN/m ³)	19.0	19.0
ϕ' (°)	27	37
c' (kPa)	12-8	0
C_u (kPa)	60-150	-
G_0 (MPa)	35-60	130-180
E_0 (MPa)	70-140	300-400
E_{op1} (MPa)	7-14	30-40
E_{op2} (MPa)	14-27	60-80
OCR (-)	3.50-6.80	-
CR (-)	0.024	-
RR (-)	0.021	-
$C_{\alpha s}$ (%)	0.0055	-
k_v (m/s)	9.62E-07	2.03E-04

13.10 SIFONE CANALE ABBEVERATOIA (IN01).

L'opera è collocata alla progressiva chilometrica 2+070.000. Nelle tabelle di seguito si riportano l'elenco delle indagini di riferimento disponibili, la stratigrafia di progetto ed i valori dei parametri geotecnici caratteristici. La legenda dei parametri geotecnici è riportata nel paragrafo 13.1. Sulla base di quanto riportato nel Doc.Rif. [16] per l'opera in oggetto la categoria di sottosuolo di riferimento è la Categoria di sottosuolo C.

Tabella 13.26: Indagini geonostiche di riferimento

ID	Tipo di indagine	Campagna d'indagine	Quota	Profondità	SPT	Lefranc	Campioni indisturbati	Campioni rimaneggiati
(sigla)	(Tipo)	(Riferimento)	(m slmm)	(m)	(n.prove)	(n.prove)	(#)	(#)
PCL053B01	Sondaggio	ITALFERR 2008	3.70	40	7	2	3	3
181160P748	Sondaggio		3.50	50	-	-	-	-
XL051G010	Sondaggio		2.70	30	8	-	3	3
BH2	Sondaggio	ITALFERR 2021	2.40	40	14	4	2	7
CHL053B06	Sondaggio	ITALFERR 2008	3.40	40	7	1	1	3
PCL053B16	Sondaggio	ITALFERR 2009	3.30	36	-	-	-	-
PCL053B13	Sondaggio	ITALFERR 2009	3.30	35	-	-	-	-
XL051G009	Sondaggio		3.30	40	7	1	2	3
PCL053B02	Sondaggio	ITALFERR 2008	3.80	40	8	-	3	4
MASW02	MASW	ITALFERR 2021	-	40	-	-	-	-
HVAR02	HVSR	ITALFERR 2021	-	40	-	-	-	-
MASW03	MASW	ITALFERR 2021		40	-	-	-	-
HVSR03	HVSR	ITALFERR 2021		40	-	-	-	-

Tabella 13.27: Stratigrafia di riferimento Spalla Ovest e Pile

UNITA' GEOTECNICA	DA	A	SPESSORE
(-)	(m pc)	(m pc)	(m)
A1	0	16.0	16.0
A2	16.0	38.0	22.0
A1	38.0	53.0	15.0

Il livello minimo dell'acqua è di 2,8 m dal suolo.

Tabella 13.28: Valori dei parametri geotecnici caratteristici

Parametro:	A1	A2
γ (kN/m ³)	19.0	19.0
ϕ' (°)	27	37
c' (kPa)	12-8	0
C_u (kPa)	60-150	-
G_0 (MPa)	35-60	130-180
E_0 (MPa)	70-140	300-400
E_{op1} (MPa)	7-14	30-40
E_{op2} (MPa)	14-27	60-80
OCR (-)	3.50-6.80	-
CR (-)	0.024	-
RR (-)	0.021	-
$C_{\alpha\epsilon}$ (%)	0.0055	-
k_v (m/s)	9.62E-07	2.03E-04

13.11 IMPIANTO DI SOLLEVAMENTO (IN71)

L'opera è collocata alla progressiva chilometrica 2+140.000. Nelle tabelle di seguito si riportano l'elenco delle indagini di riferimento disponibili, la stratigrafia di progetto ed i valori dei parametri geotecnici caratteristici. La legenda dei parametri geotecnici è riportata nel paragrafo 13.1. Sulla base di quanto riportato nel Doc.Rif. [16] per l'opera in oggetto la categoria di sottosuolo di riferimento è la Categoria di sottosuolo C.

Tabella 13.29: Indagini geonostiche di riferimento

ID	Tipo di indagine	Campagna d'indagine	Quota	Profondità	SPT	Lefranc	Campioni indisturbati	Campioni rimaneggiati
(sigla)	(Tipo)	(Riferimento)	(m slmm)	(m)	(n.prove)	(n.prove)	(#)	(#)
PCL053B01	Sondaggio	ITALFERR 2008	3.70	40	7	2	3	3
181160P748	Sondaggio		3.50	50	-	-	-	-
XL051G010	Sondaggio		2.70	30	8	-	3	3
BH2	Sondaggio	ITALFERR 2021	2.40	40	14	4	2	7
CHL053B06	Sondaggio	ITALFERR 2008	3.40	40	7	1	1	3
PCL053B16	Sondaggio	ITALFERR 2009	3.30	36	-	-	-	-
PCL053B13	Sondaggio	ITALFERR 2009	3.30	35	-	-	-	-
XL051G009	Sondaggio		3.30	40	7	1	2	3
PCL053B02	Sondaggio	ITALFERR 2008	3.80	40	8	-	3	4
MASW02	MASW	ITALFERR 2021	-	40	-	-	-	-
HVAR02	HVSR	ITALFERR 2021	-	40	-	-	-	-
MASW03	MASW	ITALFERR 2021		40	-	-	-	-
HVSR03	HVSR	ITALFERR 2021		40	-	-	-	-

Tabella 13.30: Stratigrafia di riferimento

UNITA' GEOTECNICA	DA	A	SPESSORE
(-)	(m pc)	(m pc)	(m)
A1	0	16.0	16.0
A2	16.0	38.0	22.0
A1	38.0	53.0	15.0

Il livello minimo dell'acqua è di 2,8 m dal suolo.

Tabella 13.31: Valori dei parametri geotecnici caratteristici

Parametro:	A1	A2
γ (kN/m ³)	19.0	19.0
ϕ' (°)	27	37
c' (kPa)	12-8	0
C_u (kPa)	60-150	-
G_0 (MPa)	35-60	130-180
E_0 (MPa)	70-140	300-400
E_{op1} (MPa)	7-14	30-40
E_{op2} (MPa)	14-27	60-80
OCR (-)	3.50-6.80	-
CR (-)	0.024	-
RR (-)	0.021	-
$C_{\alpha s}$ (%)	0.0055	-
k_v (m/s)	9.62E-07	2.03E-04

13.12 DOPPIO BINARIO (GA06)

L'opera è ubicata fra le chilometriche 2+100.000 - 3+145.000. Nelle tabelle di seguito si riportano l'elenco delle indagini di riferimento disponibili, la stratigrafia di progetto ed i valori dei parametri geotecnici caratteristici. La legenda dei parametri geotecnici è riportata nel paragrafo 13.1. Sulla base di quanto riportato nel Doc.Rif. [16] per l'opera in oggetto la categoria di sottosuolo di riferimento è la Categoria di sottosuolo C.

Tabella 13.32: Indagini geognostiche di riferimento (per i chilometri tra 1+550.00÷2+850.00)

ID	Tipo di indagine	Campagna d'indagine	Quota	Profondità	SPT	Lefranc	Campioni indisturbati	Campioni rimaneggiati
(sigla)	(Tipo)	(Riferimento)	(m slmm)	(m)	(n.prove)	(n.prove)	(#)	(#)
PCL053B01	Sondaggio	ITALFERR 2008	3.70	40	7	2	3	3
181160P748	Sondaggio		3.50	50	-	-	-	-
XL051G010	Sondaggio		2.70	30	8	-	3	3
BH2	Sondaggio	ITALFERR 2021	2.40	40	14	4	2	7
CHL053B06	Sondaggio	ITALFERR 2008	3.40	40	7	1	1	3
PCL053B16	Sondaggio	ITALFERR 2009	3.30	36	-	-	-	-
PCL053B13	Sondaggio	ITALFERR 2009	3.30	35	-	-	-	-
XL051G009	Sondaggio		3.30	40	7	1	2	3
PCL053B02	Sondaggio	ITALFERR 2008	3.80	40	8	-	3	4
MASW02	MASW	ITALFERR 2021	-	40	-	-	-	-
HVAR02	HVSR	ITALFERR 2021	-	40	-	-	-	-
MASW03	MASW	ITALFERR 2021		40	-	-	-	-
HVSR03	HVSR	ITALFERR 2021		40	-	-	-	-

Tabella 13.33: Indagini geognostiche di riferimento (per i chilometri tra 2+850.00÷3+250.00)

ID	Tipo di indagine	Campagna d'indagine	Quota	Profondità	SPT	Lefranc	Campioni indisturbati	Campioni rimaneggiati
(sigla)	(Tipo)	(Riferimento)	(m slmm)	(m)	(n.prove)	(n.prove)	(#)	(#)
XL051B008	Sondaggio	ITALFERR	5.20	26	4	-	4	1

Tabella 13.34: Stratigrafia di riferimento (per i chilometri tra 1+550.00÷2+850.00)

UNITA' GEOTECNICA	DA	A	SPESSORE
(-)	(m pc)	(m pc)	(m)
A1	0	16.0	16.0
A2	16.0	38.0	22.0
A1	38.0	53.0	15.0
Il livello minimo dell'acqua è di 2,8 m dal suolo.			

Tabella 13.35: Stratigrafia di riferimento (per i chilometri tra 2+850.00÷3+250.00)

UNITA' GEOTECNICA	DA	A	SPESSORE
(-)	(m pc)	(m pc)	(m)
A1	0	11.0	11.0
A2	11.0	33.0	22.0
A1	33.0	37.5	4.5
Il livello minimo dell'acqua è di 2,8 m dal suolo.			

Tabella 13.36: Valori dei parametri geotecnici caratteristici (per i chilometri tra 1+550.00÷2+850.00)

Parametro:	A1	A2
γ (kN/m ³)	19.0	19.0
ϕ' (°)	27	37
c' (kPa)	12-8	0
C_u (kPa)	60-150	-
G_0 (MPa)	35-60	130-180
E_0 (MPa)	70-140	300-400
E_{op1} (MPa)	7-14	30-40
E_{op2} (MPa)	14-27	60-80
OCR (-)	3.50-6.80	-
CR (-)	0.024	-
RR (-)	0.021	-
$C_{\alpha\epsilon}$ (%)	0.0055	-
k_v (m/s)	9.62E-07	2.03E-04

Tabella 13.37: Valori dei parametri geotecnici caratteristici (per i chilometri tra 2+850.00÷3+250.00)

Parametro:	A1	A2
γ (kN/m ³)	19.0	19.0
ϕ' (°)	27	37
c' (kPa)	12-8	0
C_u (kPa)	60-80	-
G_0 (MPa)	35-60	130-180
E_0 (MPa)	70-140	300-400
E_{op1} (MPa)	7-14	30-40
E_{op2} (MPa)	14-27	60-80

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IP00	00	D26RG	GE0000 001	B	197 di 225

Parametro:	A1	A2
OCR (-)	3.50-6.80	-
CR (-)	0.024	-
RR (-)	0.021	-
C_{ae} (%)	0.0055	-
k_v (m/s)	9.62E-07	2.03E-04

13.13 SEZIONE ALLARGATA (GA07)

L'opera è ubicata fra le chilometriche 3+145.000-3+490.000. Nelle tabelle di seguito si riportano l'elenco delle indagini di riferimento disponibili, la stratigrafia di progetto ed i valori dei parametri geotecnici caratteristici. La legenda dei parametri geotecnici è riportata nel paragrafo 13.1. Sulla base di quanto riportato nel Doc.Rif. [16] per l'opera in oggetto la categoria di sottosuolo di riferimento è la Categoria di sottosuolo C.

Tabella 13.38: Indagini geognostiche di riferimento (per i chilometri tra 2+850.00÷3+250.00)

ID	Tipo di indagine	Campagna d'indagine	Quota	Profondità	SPT	Lefranc	Campioni indisturbati	Campioni rimaneggiati
(sigla)	(Tipo)	(Riferimento)	(m slmm)	(m)	(n.prove)	(n.prove)	(#)	(#)
XL051B008	Sondaggio	ITALFERR 2008	5.20	26	4	-	4	1

Tabella 13.39: Indagini geognostiche di riferimento (per i chilometri tra 3+250.00÷3+900.00)

ID	Tipo di indagine	Campagna d'indagine	Quota	Profondità	SPT	Lefranc	Campioni indisturbati	Campioni rimaneggiati
(sigla)	(Tipo)	(Riferimento)	(m slmm)	(m)	(n.prove)	(n.prove)	(#)	(#)
PCL053B03	Sondaggio	ITALFERR 2008	6.60	40	8	2	2	3
PCL053B04	Sondaggio	ITALFERR 2008	6.80	40	8	2	-	3
MASW04	MASW	ITALFERR 2021	-	50	-	-	-	-
HVSR04	HVSR	ITALFERR 2021	-	50	-	-	-	-

Tabella 13.40: Stratigrafia di riferimento (per i chilometri tra 2+850.00÷3+250.00)

UNITA' GEOTECNICA	DA	A	SPESSORE
(-)	(m pc)	(m pc)	(m)
A1	0	11.0	11.0
A2	11.0	33.0	22.0
A1	33.0	37.5	4.5
Il livello minimo dell'acqua è di 6,4 m dal suolo.			

Tabella 13.41: Stratigrafia di riferimento (per i chilometri tra 3+250.00÷3+900.00)

UNITA' GEOTECNICA	DA	A	SPESSORE
(-)	(m pc)	(m pc)	(m)
A1	0	9.0	9.0
A2	9.0	15.0	6.0
A1	15.0	19.0	4.0
A2	19.0	33.0	14.0
A1	33.0	40.0	10.0
Il livello minimo dell'acqua è di 7,0 m dal suolo.			

Tabella 13.42: Valori dei parametri geotecnici caratteristici (per i chilometri tra 2+850.00÷3+250.00)

Parametro:	A1	A2
γ (kN/m ³)	19.0	19.0
ϕ' (°)	27	37
c' (kPa)	12-8	0
C_u (kPa)	60-150	-
G_0 (MPa)	35-60	130-180
E_0 (MPa)	70-140	300-400
E_{op1} (MPa)	7-14	30-40
E_{op2} (MPa)	14-27	60-80
OCR (-)	3.50-6.80	-

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IP00	00	D26RG	GE0000 001	B	200 di 225

Parametro:	A1	A2
CR (-)	0.024	-
RR (-)	0.021	-
$C_{\alpha\epsilon}$ (%)	0.0055	-
k_v (m/s)	9.62E-07	2.03E-04

Tabella 13.43: Valori dei parametri geotecnici caratteristici (per i chilometri tra 3+250.00÷3+900.00)

Parametro:	A1	A2
γ (kN/m ³)	19.0	19.0
ϕ' (°)	27	37
c' (kPa)	12	0
C_u (kPa)	60	-
G_0 (MPa)	30-45	90-130
E_0 (MPa)	70-100	200-300
E_{op1} (MPa)	7-10	20-30
E_{op2} (MPa)	14-20	40-60
OCR (-)	3.50-6.80	-
CR (-)	0.024	-
RR (-)	0.021	-
$C_{\alpha\epsilon}$ (%)	0.0055	-
k_v (m/s)	9.62E-07	2.03E-04

13.14 DOPPIO BINARIO (GA08)

L'opera è ubicata fra le chilometriche 3+490.000-3+760.000. Nelle tabelle di seguito si riportano l'elenco delle indagini di riferimento disponibili, la stratigrafia di progetto ed i valori dei parametri geotecnici caratteristici. La legenda dei parametri geotecnici è riportata nel paragrafo 13.1. Sulla base di quanto riportato nel Doc.Rif. [16] per l'opera in oggetto la categoria di sottosuolo di riferimento è la Categoria di sottosuolo C.

Tabella 13.44: Indagini geonostiche di riferimento

ID	Tipo di indagine	Campagna d'indagine	Quota	Profondità	SPT	Lefranc	Campioni indisturbati	Campioni rimaneggiati
(sigla)	(Tipo)	(Riferimento)	(m slmm)	(m)	(n.prove)	(n.prove)	(#)	(#)
PCL053B03	Sondaggio	ITALFERR 2008	6.60	40	8	2	2	3
PCL053B04	Sondaggio	ITALFERR 2008	6.80	40	8	2	-	3
MASW04	MASW	ITALFERR 2021	-	50	-	-	-	-
HVSR04	HVSR	ITALFERR 2021	-	50	-	-	-	-

Tabella 13.45: Stratigrafia di riferimento

UNITA' GEOTECNICA	DA	A	SPESSORE
(-)	(m pc)	(m pc)	(m)
A1	0	9.0	9.0
A2	9.0	15.0	6.0
A1	15.0	19.0	4.0
A2	19.0	33.0	14.0
A1	33.0	40.0	10.0

Il livello minimo dell'acqua è di 7,0 m dal suolo.

Tabella 13.46: Valori dei parametri geotecnici caratteristici

Parametro:	A1	A2
γ (kN/m ³)	19.0	19.0
ϕ' (°)	27	37
c' (kPa)	12-8	0
C_u (kPa)	60-150	-
G_0 (MPa)	30-45	90-130
E_0 (MPa)	70-100	200-300
E_{op1} (MPa)	7-10	20-30
E_{op2} (MPa)	14-20	40-60
OCR (-)	3.50-6.80	-
CR (-)	0.024	-
RR (-)	0.021	-
$C_{\alpha\epsilon}$ (%)	0.0055	-
k_v (m/s)	9.62E-07	2.03E-04

13.15 SIFONE CAVO VIA CAVA (IN02)

L'opera è collocata alla progressiva chilometrica 3+730.000. Nelle tabelle di seguito si riportano l'elenco delle indagini di riferimento disponibili, la stratigrafia di progetto ed i valori dei parametri geotecnici caratteristici. La legenda dei parametri geotecnici è riportata nel paragrafo 13.1. Sulla base di quanto riportato nel Doc.Rif. [16] per l'opera in oggetto la categoria di sottosuolo di riferimento è la Categoria di sottosuolo C.

Tabella 13.47: Indagini geonostiche di riferimento

ID	Tipo di indagine	Campagna d'indagine	Quota	Profondità	SPT	Lefranc	Campioni indisturbati	Campioni rimaneggiati
(sigla)	(Tipo)	(Riferimento)	(m slmm)	(m)	(n.prove)	(n.prove)	(#)	(#)
PCL053B03	Sondaggio	ITALFERR 2008	6.60	40	8	2	2	3
PCL053B04	Sondaggio	ITALFERR 2008	6.80	40	8	2	-	3
MASW04	MASW	ITALFERR 2021	-	50	-	-	-	-
HVSR04	HVSR	ITALFERR 2021	-	50	-	-	-	-

Tabella 13.48: Stratigrafia di riferimento

UNITA' GEOTECNICA	DA	A	SPESSORE
(-)	(m pc)	(m pc)	(m)
A1	0	9.0	9.0
A2	9.0	15.0	6.0
A1	15.0	19.0	4.0
A2	19.0	33.0	14.0
A1	33.0	40.0	10.0

Il livello minimo dell'acqua è di 7,0 m dal suolo.

Tabella 13.49: Valori dei parametri geotecnici caratteristici

Parametro:	A1	A2
γ (kN/m ³)	19.0	19.0
ϕ' (°)	27	37
c' (kPa)	12-8	0
C_u (kPa)	60-150	-
G_0 (MPa)	30-45	90-130
E_0 (MPa)	70-100	200-300
E_{op1} (MPa)	7-10	20-30
E_{op2} (MPa)	14-20	40-60
OCR (-)	3.50-6.80	-
CR (-)	0.024	-
RR (-)	0.021	-
$C_{\alpha\epsilon}$ (%)	0.0055	-
k_v (m/s)	9.62E-07	2.03E-04

13.16 RIPROFILATURA VIA VALERA DI SOPRA (NV03)

L'opera è collocata alla progressiva chilometrica 3+650.000. Nelle tabelle di seguito si riportano l'elenco delle indagini di riferimento disponibili, la stratigrafia di progetto ed i valori dei parametri geotecnici caratteristici. La legenda dei parametri geotecnici è riportata nel paragrafo 13.1. Sulla base di quanto riportato nel Doc.Rif. [16] per l'opera in oggetto la categoria di sottosuolo di riferimento è la Categoria di sottosuolo C.

Tabella 13.50: Indagini geonostiche di riferimento

ID	Tipo di indagine	Campagna d'indagine	Quota	Profondità	SPT	Lefranc	Campioni indisturbati	Campioni rimaneggiati
(sigla)	(Tipo)	(Riferimento)	(m slmm)	(m)	(n.prove)	(n.prove)	(#)	(#)
PCL053B03	Sondaggio	ITALFERR 2008	6.60	40	8	2	2	3
PCL053B04	Sondaggio	ITALFERR 2008	6.80	40	8	2	-	3
MASW04	MASW	ITALFERR 2021	-	50	-	-	-	-
HVSR04	HVSR	ITALFERR 2021	-	50	-	-	-	-

Tabella 13.51: Stratigrafia di riferimento

UNITA' GEOTECNICA	DA	A	SPESSORE
(-)	(m pc)	(m pc)	(m)
A1	0	9.0	9.0
A2	9.0	15.0	6.0
A1	15.0	19.0	4.0
A2	19.0	33.0	14.0
A1	33.0	40.0	10.0

Il livello minimo dell'acqua è di 7,0 m dal suolo.

Tabella 13.52: Valori dei parametri geotecnici caratteristici

Parametro:	A1	A2
γ (kN/m ³)	19.0	19.0
ϕ' (°)	27	37
c' (kPa)	12-8	0
C_u (kPa)	60-150	-
G_0 (MPa)	30-45	90-130
E_0 (MPa)	70-100	200-300
E_{op1} (MPa)	7-10	20-30
E_{op2} (MPa)	14-20	40-60
OCR (-)	3.50-6.80	-
CR (-)	0.024	-
RR (-)	0.021	-
$C_{\alpha\epsilon}$ (%)	0.0055	-
k_v (m/s)	9.62E-07	2.03E-04

13.17 IMPIANTO DI SOLLEVAMENTO (IN72)

L'opera è collocata alla progressiva chilometrica 3+760.000. Nelle tabelle di seguito si riportano l'elenco delle indagini di riferimento disponibili, la stratigrafia di progetto ed i valori dei parametri geotecnici caratteristici. La legenda dei parametri geotecnici è riportata nel paragrafo 13.1. Sulla base di quanto riportato nel Doc.Rif. [16] per l'opera in oggetto la categoria di sottosuolo di riferimento è la Categoria di sottosuolo C.

Tabella 13.53: Indagini geonostiche di riferimento

ID	Tipo di indagine	Campagna d'indagine	Quota	Profondità	SPT	Lefranc	Campioni indisturbati	Campioni rimaneggiati
(sigla)	(Tipo)	(Riferimento)	(m slmm)	(m)	(n.prove)	(n.prove)	(#)	(#)
PCL053B03	Sondaggio	ITALFERR 2008	6.60	40	8	2	2	3
PCL053B04	Sondaggio	ITALFERR 2008	6.80	40	8	2	-	3
MASW04	MASW	ITALFERR 2021	-	50	-	-	-	-
HVSR04	HVSR	ITALFERR 2021	-	50	-	-	-	-

Tabella 13.54: Stratigrafia di riferimento

UNITA' GEOTECNICA	DA	A	SPESSORE
(-)	(m pc)	(m pc)	(m)
A1	0	9.0	9.0
A2	9.0	15.0	6.0
A1	15.0	19.0	4.0
A2	19.0	33.0	14.0
A1	33.0	40.0	10.0

Il livello minimo dell'acqua è di 7,0 m dal suolo.

Tabella 13.55: Valori dei parametri geotecnici caratteristici

Parametro:	A1	A2
γ (kN/m ³)	19.0	19.0
ϕ' (°)	27	37
c' (kPa)	12-8	0
C_u (kPa)	60-150	-
G_0 (MPa)	30-45	90-130
E_0 (MPa)	70-100	200-300
E_{op1} (MPa)	7-10	20-30
E_{op2} (MPa)	14-20	40-60
OCR (-)	3.50-6.80	-
CR (-)	0.024	-
RR (-)	0.021	-
C_{ae} (%)	0.0055	-
k_v (m/s)	9.62E-07	2.03E-04

13.18 CAVALCAFERROVIA (GA09)

L'opera è ubicata fra le chilometriche 4+110.000 – 4+170.000. Nelle tabelle di seguito si riportano l'elenco delle indagini di riferimento disponibili, la stratigrafia di progetto ed i valori dei parametri geotecnici caratteristici. La legenda dei parametri geotecnici è riportata nel paragrafo 13.1. Sulla base di quanto riportato nel Doc.Rif. [16] per l'opera in oggetto la categoria di sottosuolo di riferimento è la Categoria di sottosuolo C.

Tabella 13.56: Indagini geognostiche di riferimento (per i chilometri tra 3+900.00÷4+150.00)

ID	Tipo di indagine	Campagna d'indagine	Quota	Profondità	SPT	Lefranc	Campioni indisturbati	Campioni rimaneggiati
(sigla)	(Tipo)	(Riferimento)	(m slmm)	(m)	(n.prove)	(n.prove)	(#)	(#)
BH3	Sondaggio	ITALFERR 2021	8.90	40	14	4	5	2

Tabella 13.57: Indagini geognostiche di riferimento (per i chilometri tra 4+150.00÷5+250.00)

ID	Tipo di indagine	Campagna d'indagine	Quota	Profondità	SPT	Lefranc	Campioni indisturbati	Campioni rimaneggiati
(sigla)	(Tipo)	(Riferimento)	(m slmm)	(m)	(n.prove)	(n.prove)	(#)	(#)
PCL053B05	Sondaggio	ITALFERR 2008	8.50	40	8	2	-	3
PNL053C22	Sondaggio	ITALFERR 2008	15.20	35	6	1	3	3
S8	Sondaggio	ITALFERR	17.60	46	-	-	-	-

Tabella 13.58: Stratigrafia di riferimento (per i chilometri tra 3+900.00÷4+150.00)

UNITA' GEOTECNICA	DA	A	SPESSORE
(-)	(m pc)	(m pc)	(m)
A1	0	4.5	16.0
A2	4.5	24.0	22.0
A1	24.0	28.0	15.0
A2	28.0	33.0	
A1	33.0	37.0	

Il livello minimo dell'acqua è di 7,9 m dal suolo.

Tabella 13.59: Stratigrafia di riferimento (per i chilometri tra 4+150.00÷5+250.00)

UNITA' GEOTECNICA	DA	A	SPESSORE
(-)	(m pc)	(m pc)	(m)
A1	0	8.0	8.0
A2	8.0	10.0	2.0
A1	10.0	15.0	5.0
A2	15.0	26.0	11.0
A1	26.0	38.0	12

Il livello minimo dell'acqua è di 9,4 m dal suolo.

Tabella 13.60: Valori dei parametri geotecnici caratteristici (per i chilometri tra 3+900.00÷4+150.00)

Parametro:	A1	A2
γ (kN/m ³)	19.0	19.0
ϕ' (°)	27	37
c' (kPa)	12	0
C_u (kPa)	60-150	-
G_0 (MPa)	30-45	90-130
E_0 (MPa)	70-100	200-300
E_{op1} (MPa)	7-10	20-30

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IP00	00	D26RG	GE0000 001	B	211 di 225

Parametro:	A1	A2
E_{op2} (MPa)	14-20	40-60
OCR (-)	3.50-6.80	-
CR (-)	0.024	-
RR (-)	0.021	-
C_{αε} (%)	0.0055	-
k_v (m/s)	9.62E-07	2.03E-04

Tabella 13.61: Valori dei parametri geotecnici caratteristici (per i chilometri tra 4+150.00÷5+250.00)

Parametro:	A1	A2
γ (kN/m³)	19.0	19.0
φ' (°)	27	37
c' (kPa)	12-8	0
Cu (kPa)	60-150	-
G₀ (MPa)	35	60-165
E₀ (MPa)	70	140-380
E_{op1} (MPa)	14	28-75
E_{op2} (MPa)	7	14-38
OCR (-)	3.50-6.80	-
CR (-)	0.024	-
RR (-)	0.021	-
C_{αε} (%)	0.0055	-
k_v (m/s)	9.62E-07	2.03E-04

13.19 DEVIAZIONE VIA VOLTURNO (NV04)

L'opera è collocata alla progressiva chilometrica 4+110.000. Nelle tabelle di seguito si riportano l'elenco delle indagini di riferimento disponibili, la stratigrafia di progetto ed i valori dei parametri geotecnici caratteristici. La legenda dei parametri geotecnici è riportata nel paragrafo 13.1. Sulla base di quanto riportato nel Doc.Rif. [16] per l'opera in oggetto la categoria di sottosuolo di riferimento è la Categoria di sottosuolo C.

Tabella 13.62: Indagini geonostiche di riferimento

ID	Tipo di indagine	Campagna d'indagine	Quota	Profondità	SPT	Lefranc	Campioni indisturbati	Campioni rimaneggiati
(sigla)	(Tipo)	(Riferimento)	(m slmm)	(m)	(n.prove)	(n.prove)	(#)	(#)
BH3	Sondaggio	ITALFERR 2021	8.90	40	14	4	5	2

Tabella 13.63: Stratigrafia di riferimento

UNITA' GEOTECNICA	DA	A	SPESSORE
(-)	(m pc)	(m pc)	(m)
A1	0	5.0	5.0
A2	5.0	25.0	20.0
A1	25.0	28.0	3.0
A2	28.0	32.0	4.0
A1	32.0	\	

Il livello minimo dell'acqua è di 8.5 m dal suolo.

Tabella 13.64: Valori dei parametri geotecnici caratteristici

Parametro:	A1	A2
γ (kN/m ³)	19.0	19.0
ϕ' (°)	27	37
c' (kPa)	12	0
C_u (kPa)	60-120	-
G_0 (MPa)	35	60-165
E_0 (MPa)	70	140-380
E_{op1} (MPa)	14	28-75
E_{op2} (MPa)	7	14-38
OCR (-)	3.50-6.80	-
CR (-)	0.024	-
RR (-)	0.021	-
$C_{\alpha\epsilon}$ (%)	0.0055	-
k_v (m/s)	9.62E-07	2.03E-04

13.20 INTERFERENZA NAVILE DEL TARO (IN03)

L'opera è collocata alla progressiva chilometrica 4+490.000. Nelle tabelle di seguito si riportano l'elenco delle indagini di riferimento disponibili, la stratigrafia di progetto ed i valori dei parametri geotecnici caratteristici. La legenda dei parametri geotecnici è riportata nel paragrafo 13.1. Sulla base di quanto riportato nel Doc.Rif. [16] per l'opera in oggetto la categoria di sottosuolo di riferimento è la Categoria di sottosuolo C.

Tabella 13.65: Indagini geonostiche di riferimento

ID	Tipo di indagine	Campagna d'indagine	Quota	Profondità	SPT	Lefranc	Campioni indisturbati	Campioni rimaneggiati
(sigla)	(Tipo)	(Riferimento)	(m slmm)	(m)	(n.prove)	(n.prove)	(#)	(#)
PCL053B05	Sondaggio	ITALFERR 2008	8.50	40	8	2	-	3
PNL053C22	Sondaggio	ITALFERR 2008	15.20	35	6	1	3	3
S8	Sondaggio	ITALFERR	17.60	46	-	-	-	-

Tabella 13.66: Stratigrafia di riferimento

UNITA' GEOTECNICA	DA	A	SPESSORE
(-)	(m pc)	(m pc)	(m)
A1	0	8.0	8.0
A2	8.0	10.0	2.0
A1	10.0	15.0	5.0
A2	15.0	26.0	11.0
A1	26.0	38.0	12

Il livello minimo dell'acqua è di 9,4 m dal suolo.

Tabella 13.67: Valori dei parametri geotecnici caratteristici

Parametro:	A1	A2
γ (kN/m ³)	19.0	19.0
ϕ' (°)	27	37
c' (kPa)	12	0
C_u (kPa)	60-100	-
G_0 (MPa)	35-45	75-115
E_0 (MPa)	70-100	170-265
E_{op1} (MPa)	7-10	17-26
E_{op2} (MPa)	14-20	35-50
OCR (-)	3.50-6.80	-
CR (-)	0.024	-
RR (-)	0.021	-
$C_{\alpha\epsilon}$ (%)	0.0055	-
k_v (m/s)	9.62E-07	2.03E-04

13.21 CAVALCAVIA TANGENZIALE OVEST (SL 01)

L'opera è collocata alla progressiva chilometrica 5+572.000. Nelle tabelle di seguito si riportano l'elenco delle indagini di riferimento disponibili, la stratigrafia di progetto ed i valori dei parametri geotecnici caratteristici. La legenda dei parametri geotecnici è riportata nel paragrafo 13.1. Sulla base di quanto riportato nel Doc.Rif. [16] per l'opera in oggetto la categoria di sottosuolo di riferimento è la Categoria di sottosuolo C.

Tabella 13.68: Indagini geonostiche di riferimento

ID	Tipo di indagine	Campagna d'indagine	Quota	Profondità	SPT	Lefranc	Campioni indisturbati	Campioni rimaneggiati
(sigla)	(Tipo)	(Riferimento)	(m slmm)	(m)	(n.prove)	(n.prove)	(#)	(#)
BH4	Sondaggio	ITALFERR 2021	25.10	40	14	4	2	6

Tabella 13.69: Stratigrafia di riferimento

UNITA' GEOTECNICA	DA	A	SPESSORE
(-)	(m pc)	(m pc)	(m)
A1	0	8.0	16.0
A2	8.0	26.0	22.0
A1	26.0	30.0	15.0
A2	30.0	38.0	
A1	38.0	40.0	

Il livello minimo dell'acqua è di 7,9 m dal suolo.

Tabella 13.70: Valori dei parametri geotecnici caratteristici

Parametro:	A1	A2
γ (kN/m ³)	19.0	19.0
ϕ' (°)	27	37
c' (kPa)	12	0
C_u (kPa)	60-120	-
G_0 (MPa)	35-45	80-180
E_0 (MPa)	70-100	180-420
E_{op1} (MPa)	7-10	18-42
E_{op2} (MPa)	14-20	35-85
OCR (-)	3.50-6.80	-
CR (-)	0.024	-
RR (-)	0.021	-
$C_{\alpha\epsilon}$ (%)	0.0055	-
k_v (m/s)	9.62E-07	2.03E-04

13.22 SCATOLARE TORRENTE MARETTO (SL02)

L'opera è collocata alla progressiva chilometrica 6+700.000. Nelle tabelle di seguito si riportano l'elenco delle indagini di riferimento disponibili, la stratigrafia di progetto ed i valori dei parametri geotecnici caratteristici. La legenda dei parametri geotecnici è riportata nel paragrafo 13.1. Sulla base di quanto riportato nel Doc.Rif. [16] per l'opera in oggetto la categoria di sottosuolo di riferimento è la Categoria di sottosuolo C.

Tabella 13.71: Indagini geonostiche di riferimento

ID	Tipo di indagine	Campagna d'indagine	Quota	Profondità	SPT	Lefranc	Campioni indisturbati	Campioni rimaneggiati
(sigla)	(Tipo)	(Riferimento)	(m slmm)	(m)	(n.prove)	(n.prove)	(#)	(#)
BH6	Sondaggio	ITALFERR 2021	27.70	40	14	4	2	6
MASW06	MASW	ITALFERR 2021	-	35				

Tabella 13.72: Stratigrafia di riferimento

UNITA' GEOTECNICA	DA	A	SPESSORE
(-)	(m pc)	(m pc)	(m)
A1	0	6.5	6.5
A2	6.5	40.0	33.5

Il livello minimo dell'acqua è di 28,4 m dal suolo.

Tabella 13.73: Valori dei parametri geotecnici caratteristici

Parametro:	A1	A2
γ (kN/m ³)	19.0	19.0
ϕ' (°)	27	37
c' (kPa)	12	0
C_u (kPa)	60	-
G_0 (MPa)	35-45	75-190

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IP00	00	D26RG	GE0000 001	B	219 di 225

Parametro:	A1	A2
E₀ (MPa)	70-100	170-400
E_{op1} (MPa)	7-10	17-40
E_{op2} (MPa)	14-20	35-80
OCR (-)	3.50-6.80	-
CR (-)	0.024	-
RR (-)	0.021	-
C_{as} (%)	0.0055	-
k_v (m/s)	9.62E-07	2.03E-04

13.23 INTERFERENZA CAVO MARETTO (IN11)

L'opera è collocata alla progressiva chilometrica 6+700.000. Nelle tabelle di seguito si riportano l'elenco delle indagini di riferimento disponibili, la stratigrafia di progetto ed i valori dei parametri geotecnici caratteristici. La legenda dei parametri geotecnici è riportata nel paragrafo 13.1. Sulla base di quanto riportato nel Doc.Rif. [16] per l'opera in oggetto la categoria di sottosuolo di riferimento è la Categoria di sottosuolo C.

Tabella 13.74: Indagini geonostiche di riferimento

ID	Tipo di indagine	Campagna d'indagine	Quota	Profondità	SPT	Lefranc	Campioni indisturbati	Campioni rimaneggiati
(sigla)	(Tipo)	(Riferimento)	(m slmm)	(m)	(n.prove)	(n.prove)	(#)	(#)
BH6	Sondaggio	ITALFERR 2021	27.70	40	14	4	2	6
MASW06	MASW	ITALFERR 2021	-	35				

Tabella 13.75: Stratigrafia di riferimento

UNITA' GEOTECNICA	DA	A	SPESSORE
(-)	(m pc)	(m pc)	(m)
A1	0	6.5	6.5
A2	6.5	40.0	33.5
Il livello minimo dell'acqua è di 28,4 m dal suolo.			

Tabella 13.76: Valori dei parametri geotecnici caratteristici

Parametro:	A1	A2
γ (kN/m ³)	19.0	19.0
ϕ' (°)	27	37
c' (kPa)	12	0
C_u (kPa)	60	-
G_0 (MPa)	35-45	75-190
E_0 (MPa)	70-100	170-400
E_{op1} (MPa)	7-10	17-40
E_{op2} (MPa)	14-20	35-80
OCR (-)	3.50-6.80	-
CR (-)	0.024	-
RR (-)	0.021	-
$C_{\alpha\epsilon}$ (%)	0.0055	-
k_v (m/s)	9.62E-07	2.03E-04

13.24 CAVALCAVIA STRADA BERGONZI (SL03)

L'opera è collocata alla progressiva chilometrica 6+985.000. Nelle tabelle di seguito si riportano l'elenco delle indagini di riferimento disponibili, la stratigrafia di progetto ed i valori dei parametri geotecnici caratteristici. La legenda dei parametri geotecnici è riportata nel paragrafo 13.1. Sulla base di quanto riportato nel Doc.Rif. [16] per l'opera in oggetto la categoria di sottosuolo di riferimento è la Categoria di sottosuolo C.

Tabella 13.77: Indagini geonostiche di riferimento

ID	Tipo di indagine	Campagna d'indagine	Quota	Profondità	SPT	Lefranc	Campioni indisturbati	Campioni rimaneggiati
(sigla)	(Tipo)	(Riferimento)	(m slmm)	(m)	(n.prove)	(n.prove)	(#)	(#)
S2	Sondaggio	ITALFERR	-	20	14	4	-	-
PNL053O23	Sondaggio	ITALFERR 2008	25.1	25	-	6	1	4

Tabella 13.78: Stratigrafia di riferimento

UNITA' GEOTECNICA	DA	A	SPESSORE
(-)	(m pc)	(m pc)	(m)
A1	0	5.0	5.0
A2	5.0	19.0	14.0
A1	19.0	22.0	3.0
A2	22.0	25.0	3.0

Il livello minimo dell'acqua è di 24,7 m dal suolo.

Tabella 13.79: Valori dei parametri geotecnici caratteristici

Parametro:	A1	A2
γ (kN/m ³)	19.0	19.0
ϕ' (°)	27	37
c' (kPa)	12	0
C_u (kPa)	60-100	-
G_0 (MPa)	30	75-140
E_0 (MPa)	70	170-320
E_{op1} (MPa)	7	17-32
E_{op2} (MPa)	14	35-65
OCR (-)	3.50-6.80	-
CR (-)	0.024	-
RR (-)	0.021	-
$C_{\alpha\epsilon}$ (%)	0.0055	-
k_v (m/s)	9.62E-07	2.03E-04

13.25 CAVALCAVIA VIA ROMA (SL04)

L'opera è collocata alla progressiva chilometrica 8+038.000. Nelle tabelle di seguito si riportano l'elenco delle indagini di riferimento disponibili, la stratigrafia di progetto ed i valori dei parametri geotecnici caratteristici. La legenda dei parametri geotecnici è riportata nel paragrafo 13.1. Sulla base di quanto riportato nel Doc.Rif. [16] per l'opera in oggetto la categoria di sottosuolo di riferimento è la Categoria di sottosuolo C.

Tabella 13.80: Indagini geonostiche di riferimento

ID	Tipo di indagine	Campagna d'indagine	Quota	Profondità	SPT	Lefranc	Campioni indisturbati	Campioni rimaneggiati
(sigla)	(Tipo)	(Riferimento)	(m slmm)	(m)	(n.prove)	(n.prove)	(#)	(#)
XL051R007	Sondaggio	ITALFERR	21.2	24	-	-	-	-

Tabella 13.81: Stratigrafia di riferimento

UNITA' GEOTECNICA	DA	A	SPESSORE
(-)	(m pc)	(m pc)	(m)
A2	0.0	24.0	24.0
Il livello minimo dell'acqua è di 21,2 m dal suolo.			

Tabella 13.82: Valori dei parametri geotecnici caratteristici

Parametro:	A2
γ (kN/m ³)	19.0
ϕ' (°)	37
c' (kPa)	0
C_u (kPa)	-
G_0 (MPa)	50-190
E_0 (MPa)	100-400
E_{op1} (MPa)	10-40
E_{op2} (MPa)	20-80
OCR (-)	-
CR (-)	-
RR (-)	-
$C_{\alpha\epsilon}$ (%)	-
k_v (m/s)	2.03E-04