



Comune di Castel Maggiore

“PROGETTO DI FATTIBILITA’ TECNICA ED ECONOMICA DEL SOTTOPASSO DI VIA CHIESA”

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA

Codice: S19184-PP-RT-003-0

REV.	DATA	REDATTO	CONTROLLATO
0	02/10/2020	FA	AG
1			
2			

APPROVATO
GF



ENSER SRL
C.F./P.IVA/Registro Imprese RA 02058800398

WEB: www.enser.it
www.enser.fr

E-MAIL: ingegneria@enser.it
P.E.C.: ensersrl-ra@legalmail.it

SEDE PRINCIPALE
Viale A. Baccarini, 29/2
48018 Faenza (RA)
Tel. (+39) 0546 663423

SEDE DI BOLOGNA
Via E. Zacconi, 16
40127 Bologna (BO)
Tel. (+39) 051 245663

SEDE DI SANTARCANGELO
Via A. Costa, 115
47822 Santarcangelo di Romagna (RN)
Tel. (+39) 0546 663423

SUCCURSALE DI PARIGI
1 Rue de Stockholm
75008 Paris (France)
Tel. +33 (0)6 60688977



INDICE

1	PREMESSA	5
2	NORMATIVA E RIFERIMENTI.....	6
2.1	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	6
2.2	RIFERIMENTI PROGETTUALI	7
2.3	NORME TECNICHE DI RIFERIMENTO.....	7
2.4	ABBREVIAZIONI	7
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO	11
3.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE	11
3.2	GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA LOCALI.....	13
3.3	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	14
3.3.1	Idrogeologia locale	16
3.4	SUBSIDENZA.....	17
4	CARTOGRAFIA DELLE PERICOLOSITÀ E VINCOLI TERRITORIALI	19
5	INDAGINI GEOGNOSTICHE	21
6	MODELLO STRATIGRAFICO DI RIFERIMENTO	22
6.1	UNITÀ STRATIGRAFICHE	22
6.2	LIVELLI PIEZOMETRICI	22
7	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	24
7.1	PROPRIETÀ FISICHE.....	24
7.1.1	Umidità naturale e peso di volume naturale	24
7.1.2	Limiti di Atterberg.....	27
7.1.3	Caratteristiche di resistenza al taglio	29
7.1.4	Condizioni non drenate.....	31
7.2	CARATTERISTICHE DI DEFORMABILITÀ.....	32
7.2.1	Modulo di deformabilità non confinato	32
7.3	PROVE DI PERMEABILITÀ IN SITU.....	34
7.3.1	Prove Lefranc.....	34
7.3.2	Prove di dissipazione	34
8	DEFINIZIONE DEI PARAMETRI GEOTECNICI.....	37
8.1	PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI.....	37
9	SISMICITÀ DELL'AREA.....	38
9.1	CLASSIFICAZIONE SISMICA E PERICOLOSITÀ DI BASE.....	38

9.2	SISMICITÀ STORICA.....	43
9.3	MAGNITUDO DI RIFERIMENTO.....	44
9.4	PARAMETRI PER LA DETERMINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO	46
9.4.1	Categoria di sottosuolo	46
9.5	CONDIZIONI TOPOGRAFICHE	47
9.6	VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO.....	47
9.7	ANALISI DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE.....	48
9.7.1	Premessa.....	48
9.7.2	Parametri di base del rischio di liquefazione	49
9.8	RISULTATI DELLE ANALISI DI LIQUEFAZIONE	49
9.9	ANALISI DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE.....	54
10	CONCLUSIONI	55

FIGURE

FIGURA 1.1:	UBICAZIONE DEL SOTTOPASSO DI VIA CHIESA.	5
FIGURA 3-1.	RAPPRESENTAZIONE DELLA BASE DEL SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE (DA "NOTE ALLA CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA").....	12
FIGURA 3-2.	SCHEMA EVOLUTIVO DELLA PIANURA EMILIANO-ROMAGNOLA (DA PELLEGRINI, 2007).	13
FIGURA 3-3:	CARTA GEOLOGICA DEL COMUNE DI CASTEL MAGGIORE, IN ROSSO L'AREA DI STUDIO.	14
FIGURA 3-4:	SCHEMA IDROSTRATIGRAFICO DELLA PIANURA EMILIANO-ROMAGNOLA	15
FIGURA 3-5:	SEZIONE IDRO-STRATIGRAFICA RAPPRESENTATIVA DEL BACINO DELLA PIANURA EMILIANO-ROMAGNOLA (DAL PTA REGIONALE) CON L'EVIDENZA I GRUPPI ACQUIFERI A, B E C.	16
FIGURA 3-6:	STRALCIO TAV. 1.2A "CARTA IDROGEOLOGICA – 1:25.000" ALLEGATA AL PSC DEL COMUNE DI CASTEL MAGGIORE, IN ROSSO L'AREA DI STUDIO.	17
FIGURA 3-7:	CARTA DELLE VELOCITÀ DI MOVIMENTO VERTICALE DEL SUOLO (2006-2011) (FONTE: ARPAE), CERCHIATO IN ROSSO IL COMUNE DI CASTEL MAGGIORE	18
FIGURA 4-1:	STRALCIO DELLA "TAVOLA DEI VINCOLI" ALLEGATA AL PSC DEL COMUNE DI CASTEL MAGGIORE.....	20
FIGURA 5-1:	UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE EFFETTUATE, SCALA GRAFICA.	21
FIGURA 6-1:	PROFILO STRATIGRAFICO DI RIFERIMENTO PER L'AREA DI STUDIO.....	23
FIGURA 7-1:	PESO DI VOLUME NATURALE	25
FIGURA 7-2:	UMIDITÀ NATURALE.....	26
FIGURA 7-3:	CARTA DI PLASTICITÀ DI CASAGRANDE.....	27
FIGURA 7-4:	UMIDITÀ VS CAMPO DI PLASTICITÀ	28
FIGURA 7-5:	COESIONE EFFICACE DI PICCO (TAGLIO DIRETTO CD).	29
FIGURA 7-6:	ANGOLO DI RESISTENZA A TAGLIO DI PICCO (TAGLIO DIRETTO CD).....	30
FIGURA 7-7:	RESISTENZA A TAGLIO NON DRENATA DA PROVE CPTU E DI CAMPO	31
FIGURA 7-8:	STIMA DEL MODULO DI DEFORMABILITÀ CONFINATO.....	33
FIGURA 7-9:	PERMEABILITÀ (M/S)	36

FIGURA 9-1: CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI COMUNI DELL'EMILIA-ROMAGNA. IN ROSSO IL COMUNE DI CASTEL MAGGIORE.	38
FIGURA 9-2: MAPPA DI PERICOLOSITÀ SISMICA 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	39
FIGURA 9-3: STORIA SISMICA DEL COMUNE DI CASTEL MAGGIORE	44
FIGURA 9-4: VALORI DI M_{wmax} PER LE ZONE SISMOGENETICHE DI ZS9	44
FIGURA 9-5: ZONA SISMOGENETICA “DORSALE FERRARESE” NELLA QUALE RICADE L’AREA DI STUDIO (IN ROSSO) DA GOOGLE EARTH, SCALA GRAFICA.	45
FIGURA 9-6: ZONE SISMOGENETICHE PER LA MAPPA DI PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE DI RIFERIMENTO	45
FIGURA 9-7: PARAMETRI DI OUTPUT – SPETTRI-NTC 1.0.3.	48
FIGURA 9-8: POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE IL PER LA VERTICALE DI INDAGINE CPTU1.....	50
FIGURA 9-9: POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE IL PER LA VERTICALE DI INDAGINE CPTU2.....	51
FIGURA 9-10: POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE IL PER LA VERTICALE DI INDAGINE SCPTU3.....	52
FIGURA 9-11: POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE IL PER LA VERTICALE DI INDAGINE CPTU4.....	53

TABELLE

TABELLA 6-1: MONITORAGGIO PIEZOMETRICO - SOGGIACENZE	22
TABELLA 7-1: RISULTANZE, IN TERMINI DI K_H DELLE PROVE LEFRANC ESEGUITE DURANTE L’AVANZAMENTO DEL SONDAGGIO C1	34
TABELLA 7-2: RISULTATI, IN TERMINI DI K_H , DELLE PROVE DI DISSIPAZIONE EFFETTUATE DURANTE L’ESECUZIONE DELLE PROVE PENETROMETRICHE.	35
TABELLA 8-1: DEFINIZIONE DEI PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI PER LE VARIE UNITÀ.....	37
TABELLA 9-1: 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	39
TABELLA 9-2: VALORI DEI PARAMETRI DI A_g , F_0 , T_{c*} PER I PERIODI DI RITORNO T_R DI RIFERIMENTO	40
TABELLA 9-3: STORIA SISMICA DEL COMUNE DI CASTEL MAGGIORE	43
TABELLA 9-4: POTENZIALE IL.....	49
TABELLA 9-5: CALCOLO DEI CEDIMENTI	54

APPENDICI

APPENDICE 1: REPORT DELLE INDAGINI	56
------------------------------------------	----

1 PREMESSA

La presente relazione è redatta nell'ambito dell'incarico conferito alla ENSER SRL per la redazione del progetto di fattibilità tecnica ed economica del sottopasso di Via Chiesa sito nel Comune di Castel Maggiore, Provincia di Bologna.

Si tratta di un'opera che sottopassa la linea ferroviaria in corrispondenza di via della Chiesa (Figura Figura 1.1).

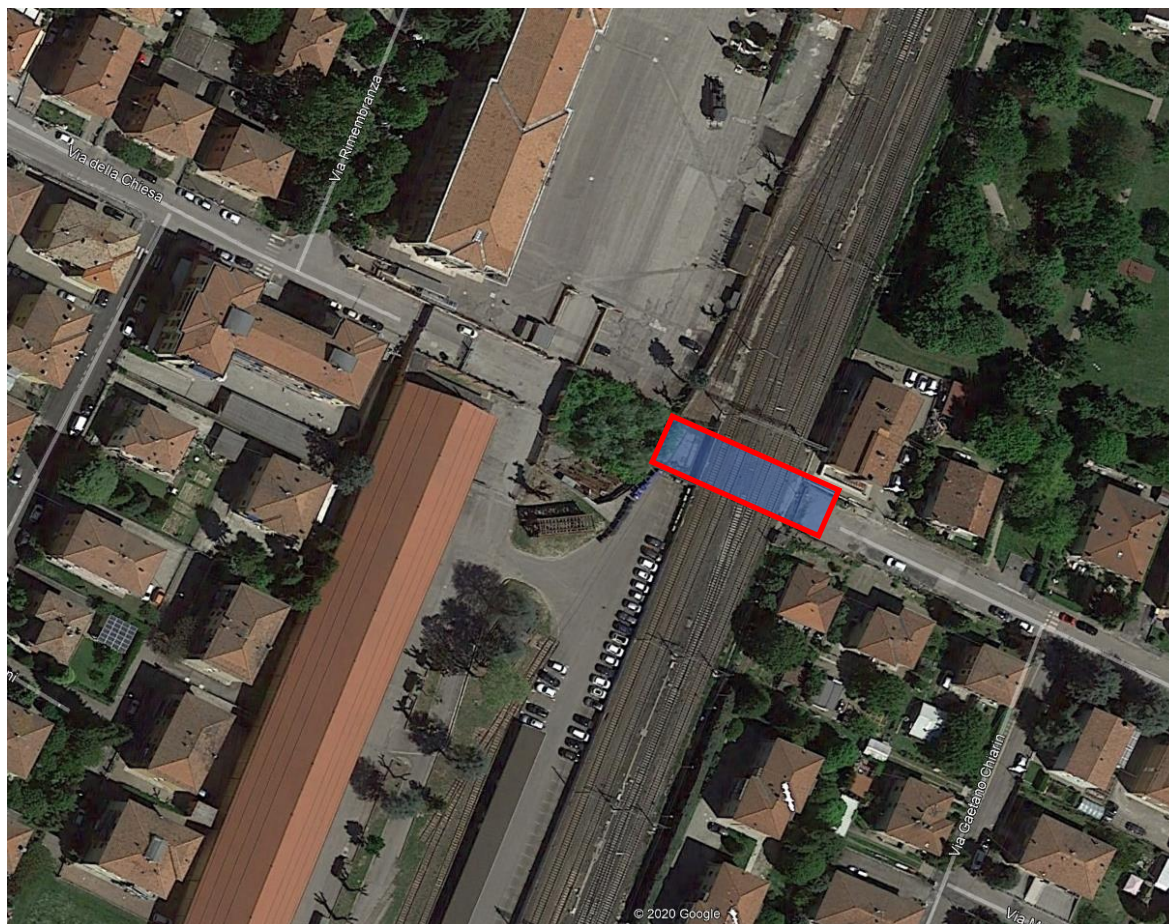


Figura 1.1: Ubicazione del sottopasso di via Chiesa.

Il presente documento ha lo scopo di sviluppare il quadro geologico e geotecnico del progetto e si articola in:

- Normativa e riferimenti bibliografici;
- Breve inquadramento geologico dell'area di studio;
- Illustrazione dei dati geognostici;
- Interpretazione indagini e stratigrafie di riferimento;
- Caratterizzazione geotecnica dei terreni;
- Definizione dei parametri geotecnici caratteristici e della falda di progetto;
- Pericolosità sismica di base e di sito;
- Analisi di liquefazione.

2 NORMATIVA E RIFERIMENTI

2.1 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [Ref1] Cestari F. (1990) "Prove Geotecniche in situ" Geograph, Segrate (Italy).
- [Ref2] Clayton C.R.I., Matthews M.C. & Simons N.E. (1995), "Site Investigation" - 2nd Ed.
- [Ref3] Bowles J. "Foundation Analysis and design", Ed. McGraw-Hill, 1988.
- [Ref4] Calabresi G. (2004) "Conferenza "Arrigo Croce" - Terreni argillosi consistenti: esperienze italiane". In: Rivista Italiana di Geotecnica, 1/2004, pp. 14÷57
- [Ref5] D'Appolonia D.J., D'Appolonia E, Brissette R.F. (1970) "Settlement of spread footings on sand". Journal of The Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol. 96, No. Sm2, Pp. 754-761.
- [Ref6] Durgunoglu H. T. and Mitchell J. K. "Static Penetration Resistance of Soils". Proc. ASCE spec. Conf. on In-situ Measurement of soil parameters, ASCE, New York, N.Y., 1, (1975) 151÷171.
- [Ref7] Jamiolkowski, M., Ladd, C.C., Germaine, J.T. e Lancellotta, R. (1985) - "New developments in field and laboratory testing of soils", Proceedings 11th International Conference on soil mechanics and foundation engineering, San Francisco, Volume 1, Balkema, Rotterdam, pp. 57-153.
- [Ref8] Jamiolkowski M. et al. (1988) - "New correlations of penetration tests for Design Practice" - ISOPT, Orlando, Vol. 1, pag. 263.
- [Ref9] Kulhawy, F.H & Mayne, P. H. (1990) "Manual on estimating soil properties for foundation design". Electric Power Research Institute, EPRI, August 1990.
- [Ref10] Ladd C.C., Foot R., Ishihara K., Schlosser F., Poulos H.G. (1977) – "Stress-Deformation and Strength Characteristics". SOA Report. Proc. IX ICSMFE; Tokio.
- [Ref11] Lunne T., Robertson P.K., Powell J.J.M. "Cone penetration testing in geotechnical practice" (1997), Blackie Academic & Professional (an imprint of Chapman and Hall).
- [Ref12] Mitchell, J. K; Gardner, W. S. (1975) "In Situ Measurement of Volume Change Characteristics", SOA paper to Session IV, Proc. ASCE Conf. on In Situ Measurement of Soil Properties, Raleigh, N.C.; Vol. II, pp. 279-346.
- [Ref13] NAVFAC-DM 7.1 (1971) - "Soil mechanics, foundations and earth structures – Design Manual". Dept. of the Navy – Naval Facilities Engineering Command.
- [Ref14] NAVFAC-DM 7 (1982) - "Design Manual - Soil mechanics, foundations, and earth structures" Dept. of the navy - Naval Facilities Engineering Command.
- [Ref15] Perez L., Fauriel R. (1988) "Advantages from piezocone application to in-situ tests" Revue Francaise de Geotechnique, 44, pp.13–27.
- [Ref16] Philipponnat G. (1987). Sols expansifs en France. Identification et recommandations pour les fondations. Proceedings, 6th International Conference on Expansive Soils, New-Delhi, India.
- [Ref17] Robertson P. K. (2009) "Interpretation of cone penetration tests - a unified approach" in Canadian Geotechnical Journal, 46:(11) pp. 1337-1355.

- [Ref18] Robertson, P.K., and Campanella, R.G. (1983a) "Interpretation of cone penetration tests - Part I (sand)" Canadian Geotechnical Journal, 20(4): 718-733.
- [Ref19] Schmertmann, J. (1977) - "Guidelines for cone penetration test performance and design" Rep. No. FHWA-TS-78-209, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
- [Ref20] Skempton A.W. (1986) - "Standard Penetration Test Procedures and the Effects in Sands of Overburden Pressure, Relative Density, Particle Size, Aging and Overconsolidation" –Geotechnique, Vol. 36, pp. 425÷447.
- [Ref21] Teh C. I., Houlsby G. T. (1991) "An analytical study of the cone penetration test in clay" Geotechnique, 41, 17–34.
- [Ref22] Terzaghi, K. (1943) "Theoretical soil mechanics" John Wiley & Sons, New York.
- [Ref23] Terzaghi, K. & Peck, Rb. (1948) "Soil Mechanics in Engineering Practice", I and II edition, John Wiley, New York. C.R.I. Clayton, M.C: Matthews & N.E. Simons (1995), "Site Investigation" - 2nd Ed.

2.2 RIFERIMENTI PROGETTUALI

- [Ref24] "Indagini sui terreni del primo sottosuolo di un'area sita in via Chiesa dove è in progetto la realizzazione di un sottopasso" - Report indagini geognostiche in situ e prove di laboratorio – Geo Probe – Luglio 2020
- [Ref25] PSC – Piano strutturale comunale – Unione Reno Galliera (<http://www.renogalliera.it/lunione/uffici-e-servizi/uffici/area-gestione-del-territorio/urbanistica/pianificazione-di-livello-comunale-psc-poc-rue/castel-maggiore/psc>)

2.3 NORME TECNICHE DI RIFERIMENTO

- [Ref26] Raccomandazioni AGI giugno 1977 "Programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche";
- [Ref27] DM 17-01-18 Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni";
- [Ref28] C.M. n.35 del 11-02-2019 – "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al D.M. 17/01/2018.
- [Ref29] Linee guida AGI 2005 "Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica".
- [Ref30] UNI EN 1997-1:2005 "Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 1: Regole generali";
- [Ref31] UNI EN 1998-5:2005 "Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici".

2.4 ABBREVIAZIONI

A = parametro "A" di Skempton;

B = parametro "B" di Skempton;

a = rapporto di area netta del cono;



c' = coesione efficace di picco;
 cc = indice di compressione;
 ch = coefficiente di consolidazione primaria (orizzontale);
CPT = prova penetrometrica statica con punta meccanica;
CR = rapporto di compressione;
 cs = indice di rigonfiamento;
CSL = linea di stato critico;
 Cu = coefficiente di uniformità;
 cv = coefficiente di consolidazione primaria (verticale);
D10 = Diametro del passante al 10% della curva granulometrica;
D60 = Diametro del passante al 60% della curva granulometrica;
DPSH = Prova penetrometrica dinamica super-pesante
DR = densità relativa;
 E' , \bar{E} = Modulo di deformabilità operativo drenato;
 E'_{50} = Modulo di deformabilità drenato e secante al 50% dello stress a rottura;
 $E_{u,50}$ = Modulo di deformabilità non drenato e secante al 50% dello stress a rottura;
 E_{ref} = Modulo di deformabilità ad una pressione di riferimento standard (valore di default= 100 kPa);
 E_{ur} = Modulo di deformabilità a seguito di scarico/ricarico
 e = indice dei vuoti;
 e_0 = indice dei vuoti iniziale;
 ER_i = Efficienza energetica di un apparato SPT;
 ε (%) = deformazione per compressione generica;
FC = contenuto in fini;
 f_s = attrito sul manicotto laterale;
 G = modulo di taglio;
 g = accelerazione di gravità standard (9.81 m/s^2);
 γ , ρ = peso di volume naturale;
 γ = deformazione di taglio;
 γ' , ρ' = peso di volume immerso;
 γ_d , ρ_d = densità secca;
 γ_w , ρ_w = densità dell'acqua;
GS = peso specifico dei grani;

i = gradiente idraulico;
 i_c = gradiente idraulico critico;
 k_0 = coefficiente di spinta a riposo;
 k_v = permeabilità verticale;
 k_h = permeabilità orizzontale;
 LL, w_l = limite liquido;
 m_{slm} = metri sul livello del mare;
 M, E_{oed} = Modulo di deformabilità confinato (edometrico);
 n = porosità;
 ν = coefficiente di Poisson;
 $N, NSPT$ = numero di colpi per avanzare un campionatore Raymond negli ultimi $\frac{1}{2} + \frac{1}{2}$ piedi;
 $N(60)$ = NSPT normalizzato all'efficienza energetica;
 $N1(60), N'(60)$ = NSPT normalizzato all'efficienza energetica ed alla tensione litostatica efficace;
 ϕ', ϕ'_p = angolo di resistenza a taglio di picco;
 PI, IP = indice plastico;
 PL, w_p = limite plastico;
 q_t = resistenza di punta corretta;
 q_u = resistenza a rottura non drenata;
 RR = rapport di ri-compressione;
 σ = tensioni di compressione (segno convenzionalmente positivo);
 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ = tensioni principali max, media, minima;
 σ_N = tensione normale;
 $\sigma'_1, \sigma'_2, \sigma'_3$ = tensioni principali efficaci max, media, minima;
 σ_{v0} = tensione litostatica totale iniziale;
 σ'_{v0} = tensione litostatica efficace iniziale;
 SPT = standard penetration test;
 SR = rapport di rigonfiamento;
 s_u, c_u = resistenza non drenata di picco;
 τ = tensione tangenziale;
 V_0 = volume iniziale;
 ΔV = variazione volumetrica;
 u_0 = pressione dell'acqua dei pori;



u_2 = pressione dell'acqua misurata dietro il cono;

U (%) = grado di consolidazione;

w = contenuto gravimetrico in acqua.

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

3.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

I depositi che formano il settore della pianura padana in cui ricade il comune di Castel Maggiore costituiscono il riempimento del bacino d'avanfossa di età pliocenica - quaternaria, compreso tra la catena appenninica a sud e quella alpina a nord, rappresentati dalle alluvioni del Fiume Reno, dei suoi affluenti Samoggia e Lavino e, marginalmente del fiume Panaro e Po. La parte centro-meridionale della Pianura Padana, che costituisce dal punto di vista geologico, un grande bacino subsidente plio-quaternario di tipo sedimentario, comincia a delinearsi sin dall'inizio del Triassico (225 milioni di anni fa) e viene interessato da subsidenza differenziata sia nel tempo che nello spazio in diversi periodi (Mesozoico, Cenozoico, ma soprattutto Pliocene e Quaternario), con movimenti verticali controllati dai caratteri strutturali presenti in profondità; più in particolare, l'area ricade nel suo settore appenninico, in diretta influenza del Po e dei suoi affluenti di destra.

Nel Pleistocene inferiore (circa 1.1 Ma), l'orogenesi ed il conseguente sollevamento del margine appenninico provoca, a partire da ovest, la progressiva regressione marina e l'instaurarsi di ambienti sempre meno profondi. Ne consegue una brusca modifica nello stile deposizionale che vede, all'inizio del Pleistocene medio (circa 1-0.9 Ma) la deposizione di sabbie di piattaforma interna e litorali (Sabbie Gialle regressive). Nella parte inferiore del Pleistocene medio, a testimonianza di una ulteriore fase di sollevamento, e pressoché lungo tutto il margine appenninico si depositano sabbie costiere (Sabbie di Imola, 0.8-0.65 Ma circa) che segnano la fine del ciclo Pleistocenico inferiore marino. Nel Pleistocene medio la prosecuzione del sollevamento comporta il definitivo instaurarsi della deposizione continentale e inizia a sedimentarsi il Supersistema Emiliano Romagnolo. Questo supersistema è articolato in due sistemi: il Sistema Emiliano-Romagnolo inferiore (SERI) compreso tra 0.65 e 0.45 Ma ed il Sistema Emiliano-Romagnolo superiore (SERS) compreso tra 0.45 Ma ed il presente. Si tratta di depositi alluvionali formati dall'attività deposizionale del Po, dei suoi affluenti di destra e dei fiumi emiliano-romagnoli. Tale quadro stratigrafico è stato individuato mediante l'interpretazione di profili sismici integrati da dati profondi di pozzo che forniscono, per il Supersistema Emiliano Romagnolo dati di spessore di circa 600-700 m.

I depositi che appartengono al SERI sono prevalentemente costituiti da argille limose di piana alluvionale con intercalazioni di sabbie di canale e ghiaie di conoide alluvionale. I depositi del SERS sono invece costituiti da prevalenti ghiaie e sabbie di terrazzo e conoide alluvionale. In Figura 3-1 è rappresentata la quota della base del SERS, con sfumature di colore corrispondenti ad intervalli di 50 metri. Si osserva che nella porzione di pianura in esame esso risulta particolarmente superficiale e compreso fra 100 e 150m.

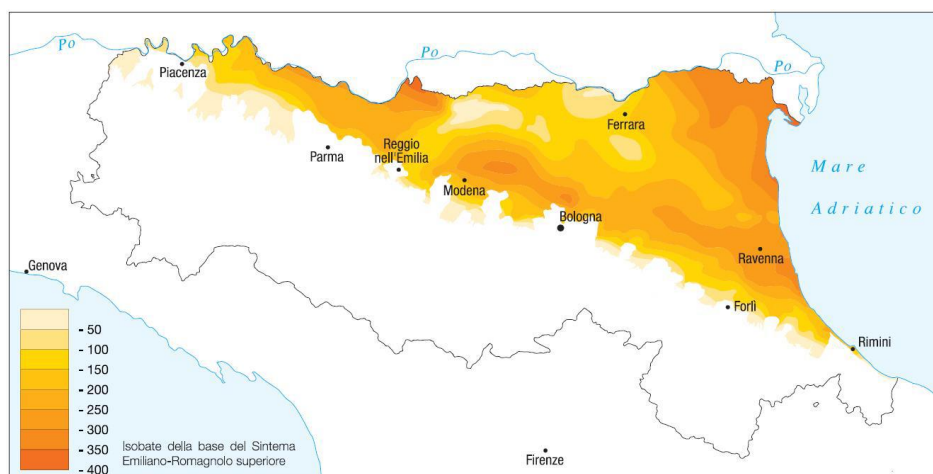


Figura 3-1. Rappresentazione della base del Sintema emiliano-romagnolo superiore (da “note alla carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna”).

Questo settore della Pianura padana è caratterizzato dalla presenza di strisce rilevate, dette “dossi”, corrispondenti ad alvei antichi od attuali pensili sulla pianura circostante e da zone morfologicamente depresse, dette “valli”, all’interno delle quali l’acqua tenderebbe a ristagnare, se non allontanata dai canali di bonifica. I dossi e i paleodossi sono di forma generalmente allungata e sinuosa, poco rilevati e dolcemente raccordati alle superfici adiacenti. In pianura, di fatto qualsiasi corso d’acqua in condizioni naturali (ossia prima dell’interferenza antropica) tende a costruire un alveo pensile, con arginature lievemente più in rilievo rispetto all’alveo (Fase A, Figura 3-2). Nell’alveo si rinvenivano materiali grossolani, mentre al di fuori tenderanno a depositarsi materiali fini in occasioni di alluvioni. Il dislivello fra alveo e pianura circostante tende a crescere, finché in occasione di una piena il fiume rompe l’argine e si immette su un nuovo percorso, costruendo un nuovo sistema alveo+argini (Fase B) e abbandonando il precedente. L’alveo abbandonato ha la forma di un cordone allungato ed in debole rilievo rispetto alla pianura circostante. In una fase ancora successiva (C) l’alveo di fase B viene a sua volta abbandonato, mentre l’alveo di fase A è ormai sepolto dai sedimenti deposti nel frattempo.

La distribuzione dei dossi e, più in generale, delle unità geomorfologiche degli argini naturali e dei bacini interfluviali ha condizionato sia l’assetto idraulico di superficie che la distribuzione degli insediamenti antropici, soprattutto storici: le strutture rilevate (dossi), vere e proprie direttrici geomorfologiche, sono state infatti sede preferenziale dello sviluppo insediativo e viario, a causa della migliore difesa dalle esondazioni e delle migliori condizioni geotecniche dei terreni; al contrario le aree depresse, specie nelle zone di vera e propria conca, sono state sede di paludi ed acquitrini fino alla avvenuta bonifica.

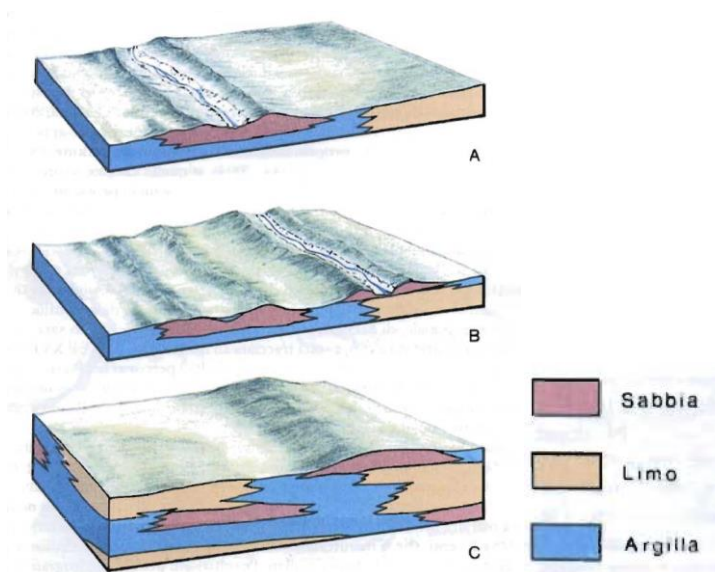


Figura 3-2. Schema evolutivo della pianura emiliano-romagnola (da Pellegrini, 2007).

3.2 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA LOCALI

L'area di studio è ubicata nella parte settentrionale della pianura bolognese e dal punto di vista litologico è caratterizzata, nei primi metri del sottosuolo, dalla presenza dell'unità allostratigrafica di età Olocenica formalmente denominata "Subsistema di Ravenna– AES8" facente parte del SERS e costituita da *"Depositi fluviali intravallivi e di piana alluvionale, di piana di sabbia litorale e, nel settore a mare, di prodelta e transizione alla piattaforma. Limite superiore coincidente con il piano topografico, dato da suoli variabili da non calcarei a calcarei. Limite inferiore coincidente, in affioramento, con una superficie di erosione fluviale o con il contatto delle tracimazioni fluviali sul suolo non calcareo al tetto di AES7. Subsistema contenente un'unità di rango gerarchico inferiore (AES8a) che, dove presente, ne costituisce il tetto stratigrafico. Spessore massimo di 20-25 metri"*.

Questa unità è stata associata ai depositi prevalentemente limoso-argillosi di piana inondabile (zone interfluviali, Figura 3-3).

Da un punto di vista morfologico, non si notano morfologie particolari.



UNITA' STRATIGRAFICHE		SEQUENZE DEPOSIZIONALI		ETA' (milioni di anni)	SCALA CRONOSTRATIGRAFICA (milioni di anni)	UNITA' IDROSTRATIGRAFICHE		
						GRUPPO ACQUIFERO	COMPLESSO ACQUIFERO	SISTEMA ACQUIFERO
SUPERSISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO	SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE	Qc	Qc ₂	~0.12	PLEISTOCENE SUPERIORE-OLOCENE 			

 Superficie di discontinuità principale
  Superficie di discontinuità minore

Figura 3-4: Schema idrostratigrafico della pianura emiliano-romagnola

Attualmente le conoscenze idrogeologiche del Bacino della Pianura Emiliano - Romagnola sono raccolte nella pubblicazione "Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia - Romagna" (1998) a cura di Di Dio a cui si fa riferimento per la parte teorica introduttiva.

In tali studi si definisce Unità Idrostratigrafico - Sequenziale (UIS) una particolare sottoclasse di Unità Idrostratigrafiche (Maxey, 1964) i cui componenti presentano le seguenti caratteristiche:

- sono costituiti da una o più Sequenze Deposizionali;
- sono comprensivi di un livello geologico basale, scarsamente permeabile (acquitardo) o impermeabile (acquicludo), arealmente continuo (la continuità areale va intesa in senso geologico e non letterale).

Dalla prima caratteristica consegue che un'UIS è un corpo geologico complesso, formato da gruppi di strati con geometrie e caratteri petrofisici variabili ma legati geneticamente, cioè depositi in ambienti sedimentari contigui ed in continuità di sedimentazione; questo comporta che le superfici di strato possano toccare ma non intersecare i limiti di un'UIS (Figura 3-5). Dal momento che, se si escludono le aree di ricarica diretta, negli acquiferi regionali i flussi idrici avvengono con componente parallela alle superfici di strato molto maggiore di quella ortogonale, si può concludere che tali flussi sono necessariamente confinati all'interno della medesima UIS.

Dalla seconda caratteristica consegue che ogni UIS può essere considerata idraulicamente isolata da quelle adiacenti, sicché il livello piezometrico misurato in un acquifero appartenente ad una determinata UIS è di norma indipendente dai livelli piezometrici misurati, sulla stessa verticale, in acquiferi contenuti in altre UIS.

Come brevemente descritto in precedenza, ogni Unità Idrostratigrafica è costituita da un corpo e un tetto composto da sedimenti non coesivi, essenzialmente ghiaioso-sabbiosi prodotti nella fase deposizionale di alta energia, e da una base prevalentemente fine che costituisce una barriera di permeabilità regionale prodotta nella fase deposizionale di bassa energia (disattivazione) dei sistemi sedimentari, che generalmente prende campo, per motivi climatici, nell'intervallo tra la fine della risalita eustatica e l'inizio della caduta successiva; essa corrisponde all'intervallo tra il tardo "Trasgressive Systems Tract" e il tardo "Highstand Systems Tract" (Posamentier & Vail, 1988).

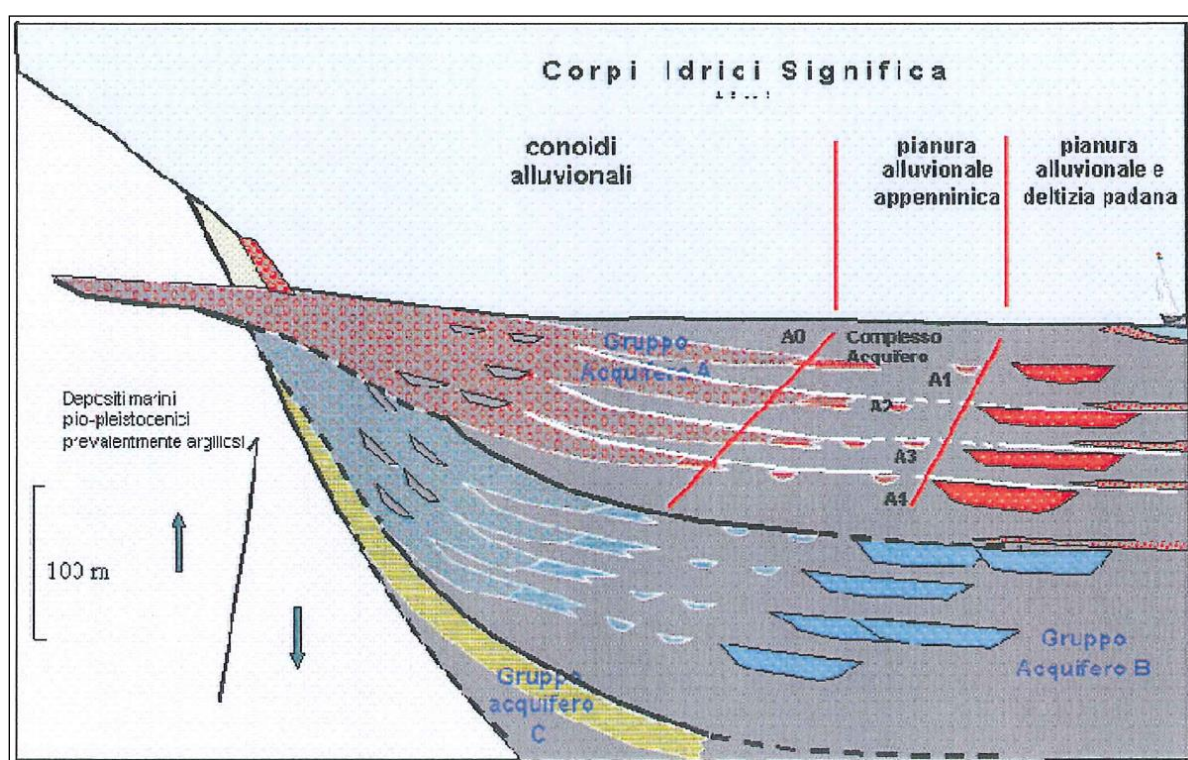


Figura 3-5: Sezione idro-stratigrafica rappresentativa del Bacino della Pianura Emiliano-Romagnola (dal PTA regionale) con l'evidenza i Gruppi acquiferi A, B e C.

3.3.1 IDROGEOLOGIA LOCALE

Nell'ambito del PSC del comune di Castel Maggiore è stata redatta una Carta dell'idrologia e piezometria, di cui uno stralcio si riporta nella successiva Figura 3-6.

L'area del sottopasso è compresa fra le isopieze 24 e 26m slm, vale a dire soggiacenze intorno a 2-3 m dal piano campagna. La direzione del flusso idrico è SSW -NNE .



Il fenomeno di subsidenza naturale è caratterizzato dal costipamento provocato dal peso dei carichi sovrastanti sui sedimenti incoerenti (limo, argilla e torba). Il fenomeno di subsidenza artificiale è imputabile all'azione dell'uomo, in relazione all'estrazione di acqua dal sottosuolo, alla bonifica di valli e di terreni paludosi, all'alterazione, spesso dovuta ad inquinamento, delle caratteristiche chimiche delle acque sotterranee. Costipamento e subsidenza sono causati anche dall'estrazione di idrocarburi dal sottosuolo, sia liquidi che gassosi.

Documento: Relazione geologica, geotecnica e sismica
Codice: S19184-PP-RT-003-0
Data: 02/10/2020

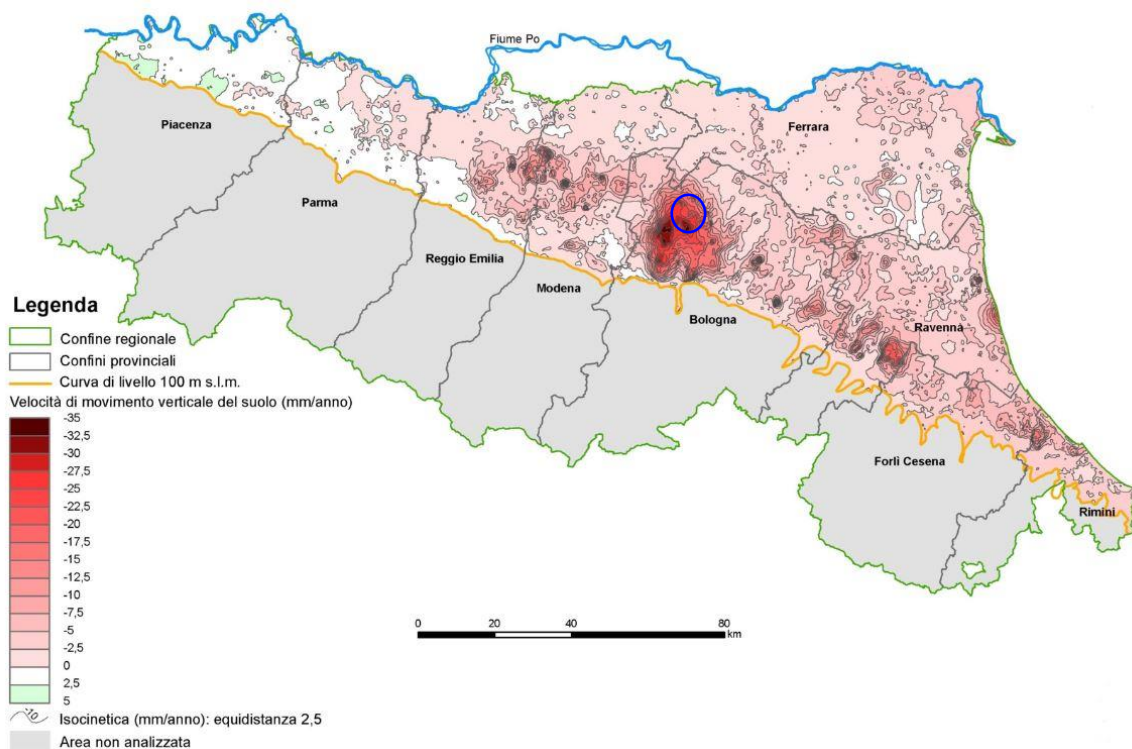
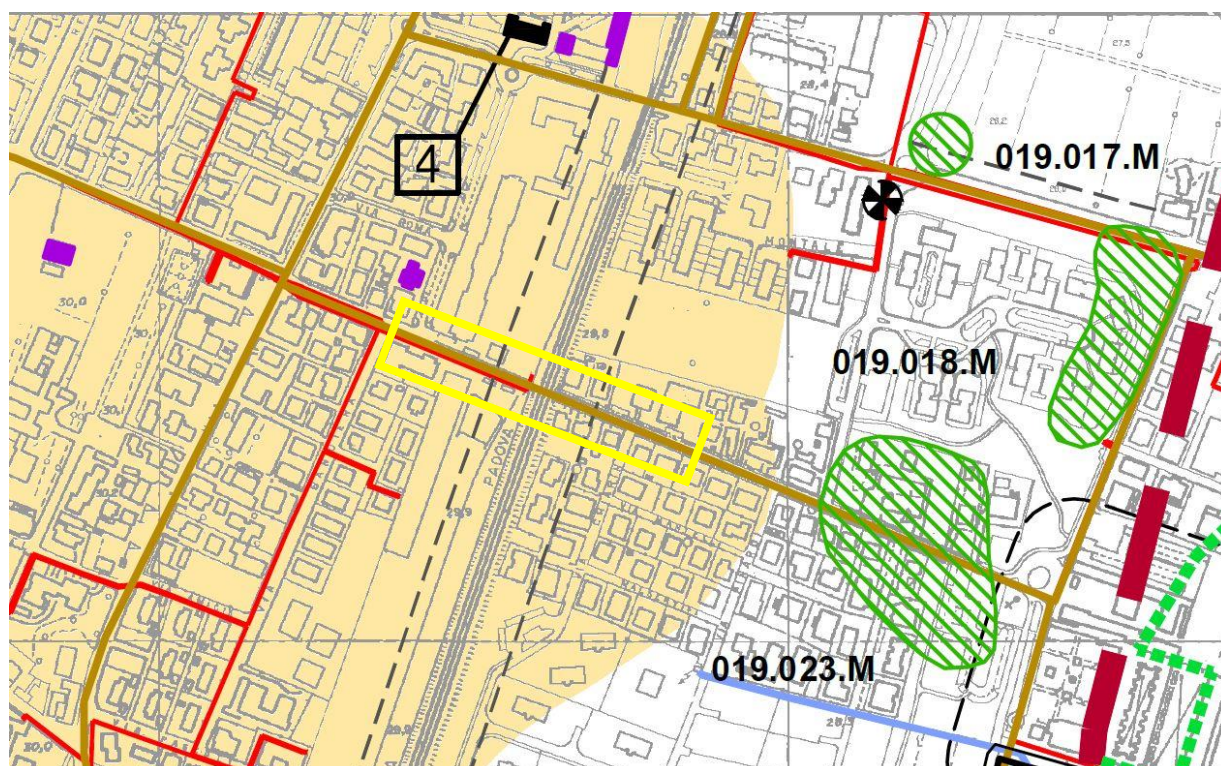


Figura 3-7: Carta delle velocità di movimento verticale del suolo (2006-2011) (fonte: ARPAE), cerchiato in rosso il comune di Castel Maggiore

4 CARTOGRAFIA DELLE PERICOLOSITÀ E VINCOLI TERRITORIALI

La seguente Figura 4-1 riporta uno stralcio della “Carta dei vincoli” allegato al PSC (Piano strutturale Comunale) del comune di Castel Maggiore approvata con delibera C.C. n.13 del 29.03.2018. La tavola completa è disponibile al seguente link: <http://www.renogalliera.it/unione/uffici-e-servizi/uffici/area-gestione-del-territorio/urbanistica/pianificazione-di-livello-comunale-psc-poc-rue/castel-maggiore/tavola-dei-vincoli-e-scheda-dei-vincoli>.



SIMBOLOGIA

- Territorio extracomunale
- Territorio edificato

Sistema delle infrastrutture

- Corridoio di salvaguardia infrastrutturale del Passante Nord
- Corridoio di salvaguardia infrastrutturale della principale viabilità di progetto

SISTEMI CONDIZIONANTI

Sistema delle risorse naturali e paesaggistiche

- Siti di importanza Comunitaria - SIC
- Zona umida
- Aree forestali
- Fascia di interesse paesaggistico dei corsi d'acqua (art.142 D.Lgs 42/2004)
- Nodo ecologico complesso provinciale (zone di particolare interesse naturalistico e paesaggistico della pianura)
- Nodo ecologico complesso provinciale (zone di particolare interesse naturalistico e paesaggistico della pianura)
- Zona di rispetto del nodo ecologico complesso provinciale (zone di particolare interesse naturalistico e paesaggistico della pianura)

Sistema idrografico

- Invasi e alvei fluviali
- Reticolo idrografico minore
- Fasce di tutela fluviale
- Fasce di pertinenza fluviale
- Li
- Li-N3
- Aree di localizzazione per la realizzazione di interventi idraulici strutturali
- Aree di localizzazione per la realizzazione di interventi idraulici strutturali: impianto di fitodepurazione
- Aree ad alta probabilità di inondazione

Sistema idrogeologico

- Area di ricarica di tipo B
- Area di ricarica di tipo D

Sistema delle risorse storiche e archeologiche

- Viabilità storica
- Principali canali storici
- 019.001.R Persistenza della centuriazione Romana e relativo codice di riferimento
- 019.001.R Diretrice strada Bologna-Padova romana
- 019.001.M Siti di epoca Medioevale indiziati
- 019.001.R Siti di epoca Romana accertati
- 019.001.R Siti di epoca Romana indiziati
- 019.001.F Siti di epoca Villanoviana accertati

Elementi e complessi di valore storico, architettonico, culturale e testimoniale

- Complessi edilizi di valore storico-testimoniale
- Edifici e manufatti singoli di valore storico testimoniale
- Edifici e complessi di valore storico-architettonico con vincolo D.Lgs 42/2004
- Numero di riferimento alla tabella degli edifici e complessi di interesse storico-architettonico
- Edifici, complessi edilizi e manufatti segnalati dal PTCP
- Edifici e complessi di interesse storico-architettonico di proprietà pubblica (Art. 10, 1° comma, D.Lgs 42/2004)
- Area di tutela delle risorse paesaggistiche complesse
- Aree ed edifici assoggettati a decreto ministeriale L.1089 del 03/11/1997 - Villa Rossi

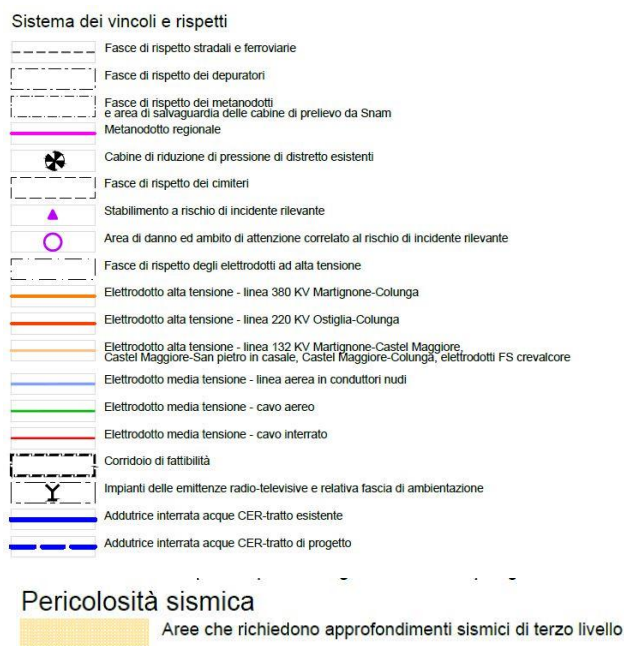


Figura 4-1: Stralcio della “Tavola dei vincoli” allegata al PSC del comune di Castel Maggiore

Dalla tavola emerge che l’area di studio si trova all’interno di un’area critica dal punto di vista sismico. Ricade infatti nelle aree per le quali viene richiesto un approfondimento sismico di terzo livello. Attraversa inoltre una viabilità storica.

5 INDAGINI GEOGNOSTICHE

A supporto del seguente studio è stata effettuata una campagna indagini nel mese di Maggio 2020 che ha previsto l'esecuzione di:

- n.1 prova penetrometrica statica con cono sismico (SCPTU3) spinta fino a 27.37m di profondità da p.c., con l'esecuzione di prove di dissipazione nei livelli coesivi;
- n.3 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono (CPTU1, CPTU2 e CPTU4) spinte fino alla profondità di:
 - 29.11m la prova CPTU1
 - 20.00m le prove CPTU2 e CPTU4,con l'esecuzione di prove di dissipazione nei livelli coesivi;
- n.1 sondaggio spinto fino alla profondità di 30 metri con l'esecuzione di prove SPT (Standard Penetration Test) con campionatore Raymond ogni 1.5 m nei primi 20m (5 prove), prove di permeabilità in foro, estrazione di 5/6 campioni per laboratorio e prove Lefranc di permeabilità;

La seguente Figura 5-1 mostra l'ubicazione delle indagini effettuate.



Figura 5-1: Ubicazione indagini geognostiche effettuate, scala grafica.

In Appendice 1 si allega il report delle indagini geognostiche effettuate.

6 MODELLO STRATIGRAFICO DI RIFERIMENTO

6.1 UNITÀ STRATIGRAFICHE

In riferimento alle condizioni geologiche dell'area ed alle indagini geognostiche in sito, è stato ricostruito il modello stratigrafico di riferimento. Esso si articola nelle seguenti unità stratigrafiche:

- **Unità R:** terreno di riporto superficiale a comportamento incoerente, da 0 a 2.0m da p.c.;
- **Unità 1:** Limo argilloso con locali passaggi limoso-sabbiosi; questa unità è presente sia da circa 2.0 a circa 8.0 m da pc (Unità 1 superiore) e da circa 19 a circa 27 m da pc (Unità 1 inferiore);
- **Unità 2:** Alternanza di limi argillosi e limi sabbiosi; questa unità è presente da circa 8.0 a circa 12.0 m da pc.;
- **Unità 3:** Sabbie pulite e sabbie limose; questa unità è presente sia da circa 12.0 a circa 19.0 m da pc e da circa 27.0 da pc alla massima profondità indagata;

In Figura 6-1 si riporta il modello stratigrafico di riferimento.

6.2 LIVELLI PIEZOMETRICI

I fori del sondaggio C1 e quello della CPTU4 sono stati attrezzati con piezometro a tubo aperto tipo Norton per il monitoraggio della falda. La seguente Tabella 6-1 riporta i risultati delle misure della soggiacenza eseguite:

Tabella 6-1: Monitoraggio piezometrico - soggiacenze

Punto	19/05/20	08/06/20	03/07/20
C 1	-3,20	-3,21	-3,24
CPTU 4	-3,20	-3,22	-3,27

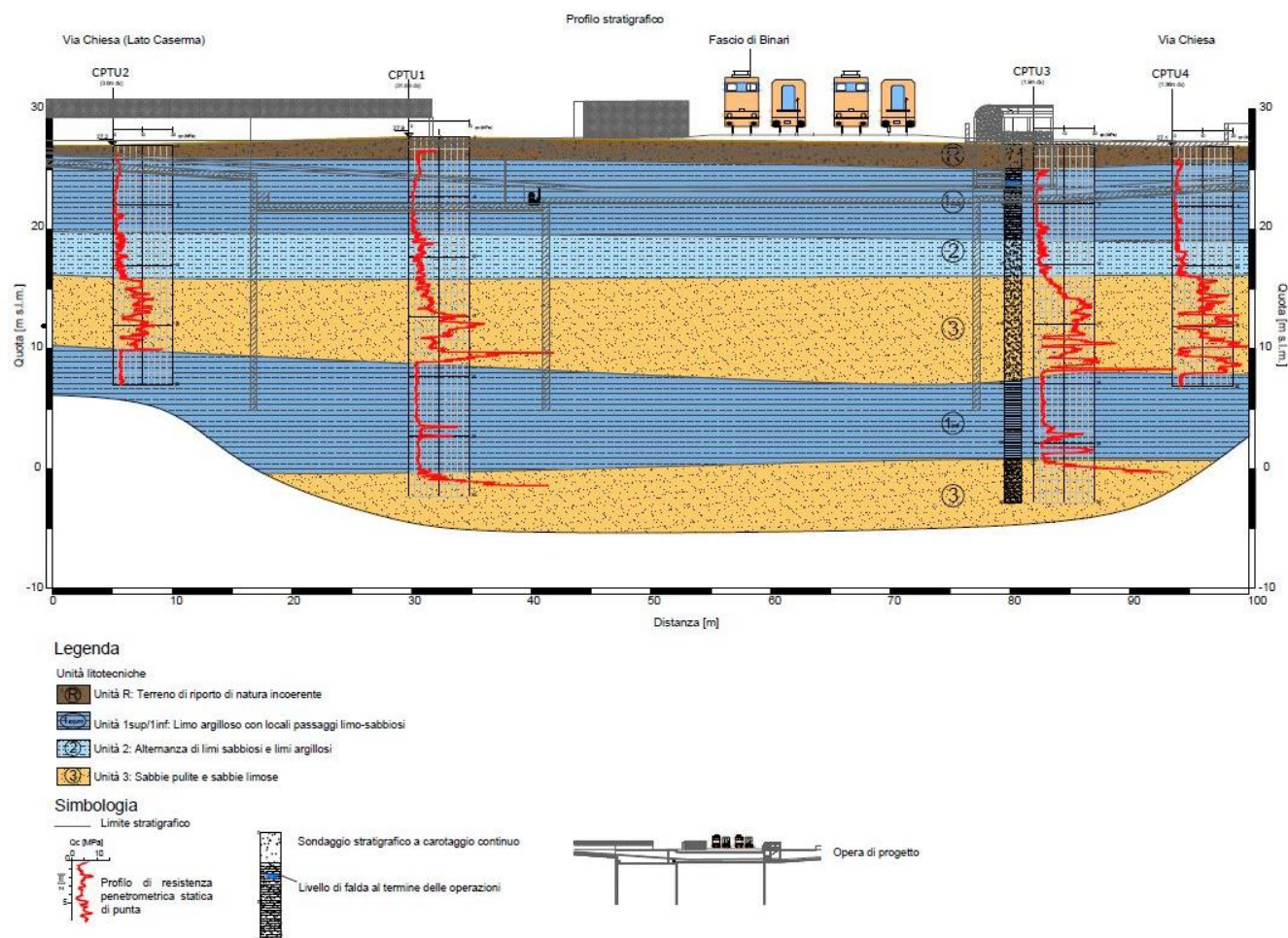


Figura 6-1: Profilo stratigrafico di riferimento per l'area di studio.

7 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

La caratterizzazione geotecnica si è basata sulle determinazioni sperimentali dirette di laboratorio realizzate durante la campagna indagini svoltesi all'interno del sito di studio nel mese di maggio 2020.

Le prove di laboratorio fanno capo ai campioni prelevati nel sondaggio C1 e consistono in:

- descrizione geotecnica dei campioni,
- proprietà indice (umidità naturale, peso di volume naturale e secco, indice dei vuoti, grado di saturazione, porosità)
- classifica (distribuzione granulometrica e plasticità delle frazioni fini)
- prove di taglio diretto (parametri di picco)
- prove edometriche a carico controllato IL con determinazione dei parametri di consolidazione e permeabilità.

Nel successivo paragrafo verranno esposti i valori delle proprietà indice e dei parametri geotecnici in funzione della profondità, ottenuti dalle prove di laboratorio.

7.1 PROPRIETÀ FISICHE

7.1.1 UMIDITÀ NATURALE E PESO DI VOLUME NATURALE

I dati relativi all'umidità naturale ed al peso di volume naturale sono graficate in funzione della profondità in Figura 7-1 ed in Figura 7-2 . Si tratta di terreni aventi un peso di volume medio di 18.5 kN/m³ ed umidità relativamente ridotta (tra il 15% ed il 30%).

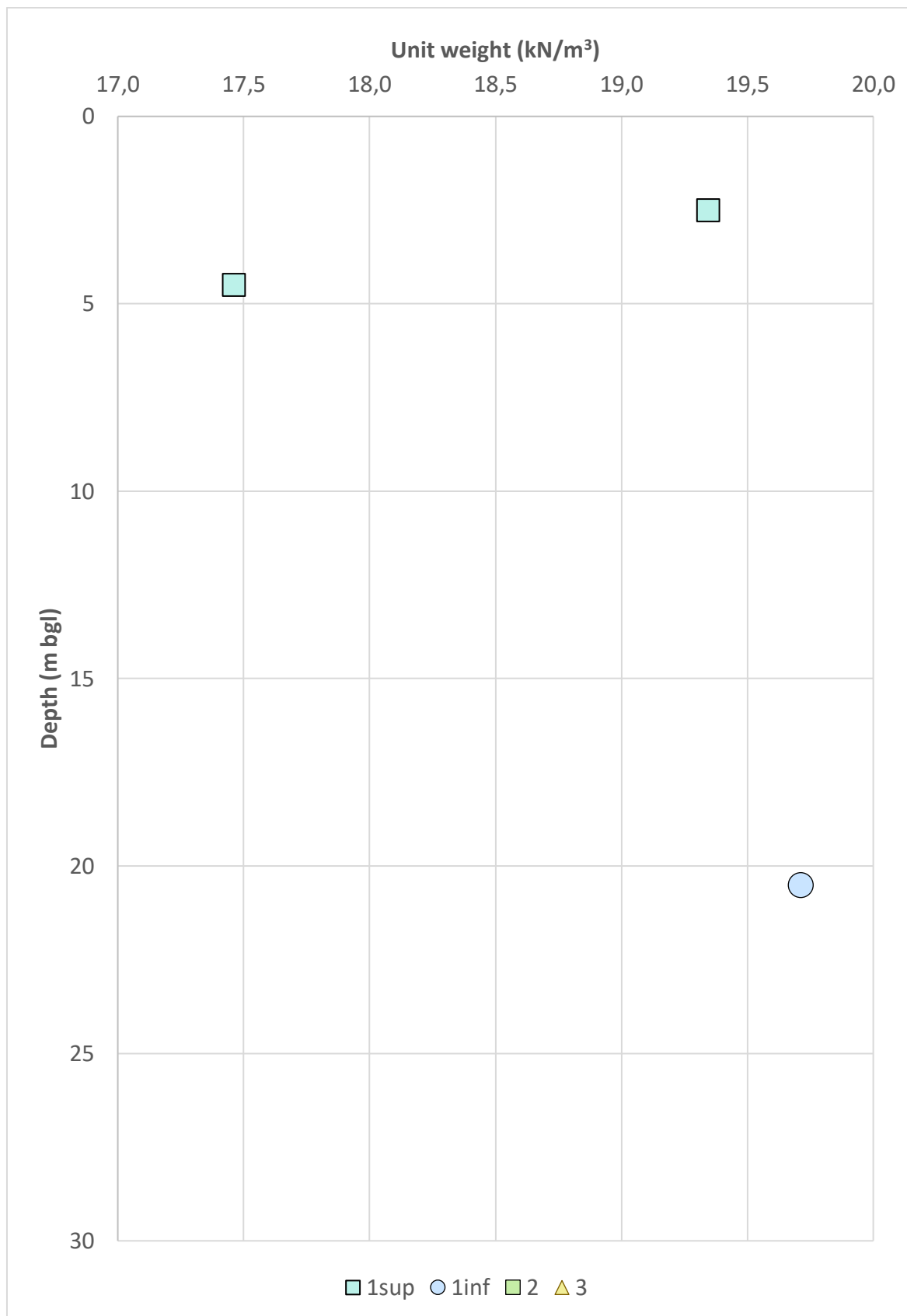


Figura 7-1: Peso di volume naturale

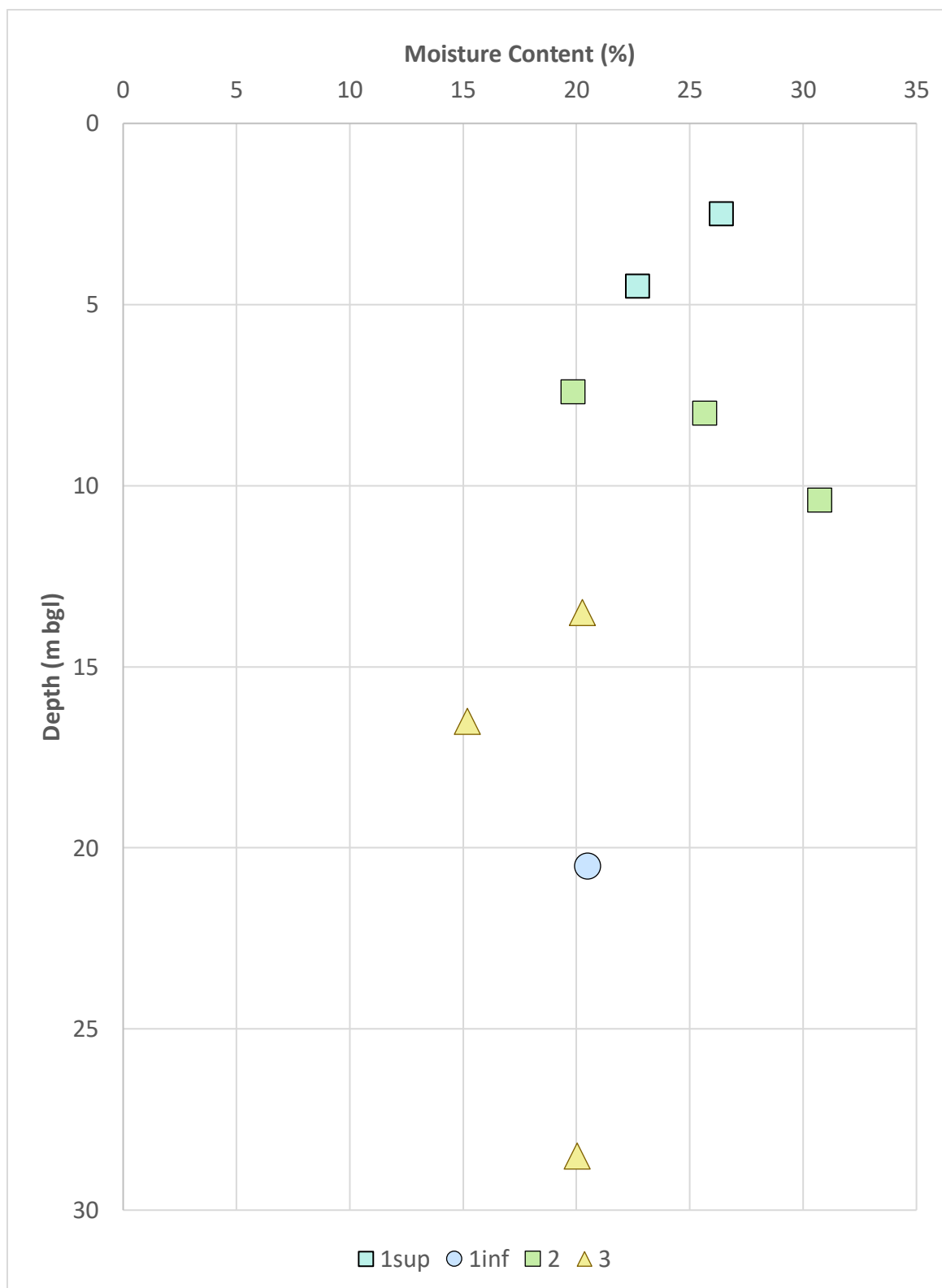


Figura 7-2: Umidità naturale

7.1.2 LIMITI DI ATTERBERG

I limiti di Atterberg sono riportati nella Carta di Plasticità di Casagrande in Figura 7-3 ed anche in rapporto al contenuto d'acqua iniziale dei campioni in Figura 7-4.

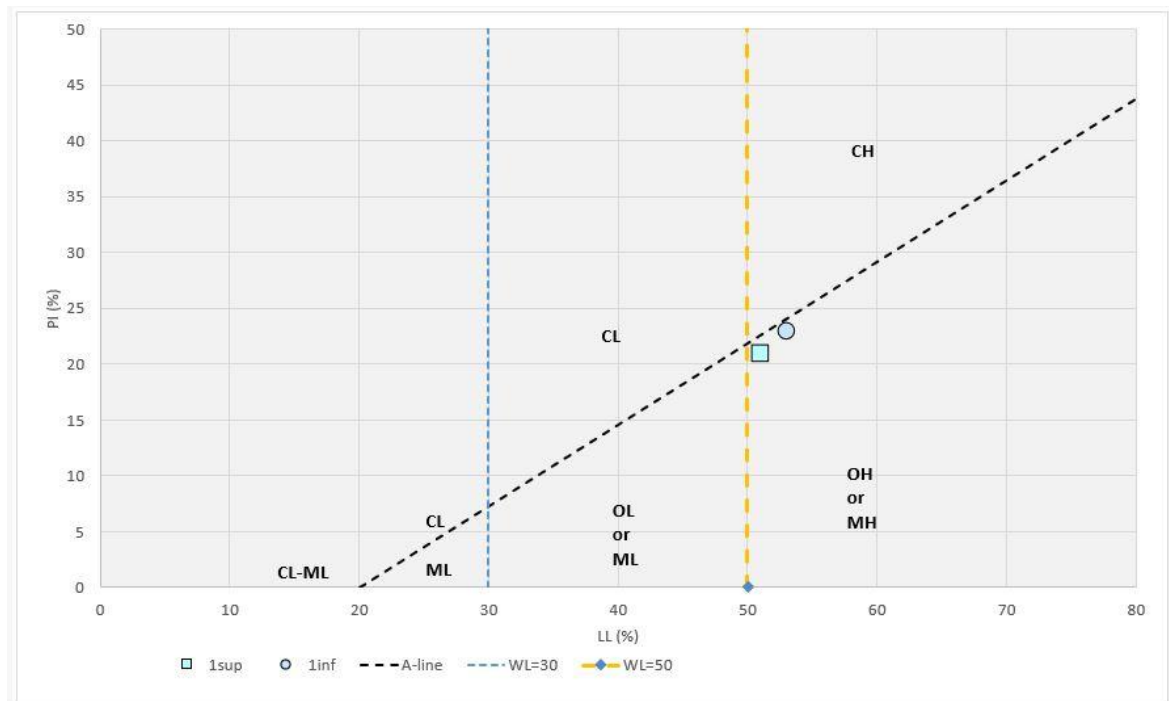


Figura 7-3: Carta di Plasticità di Casagrande

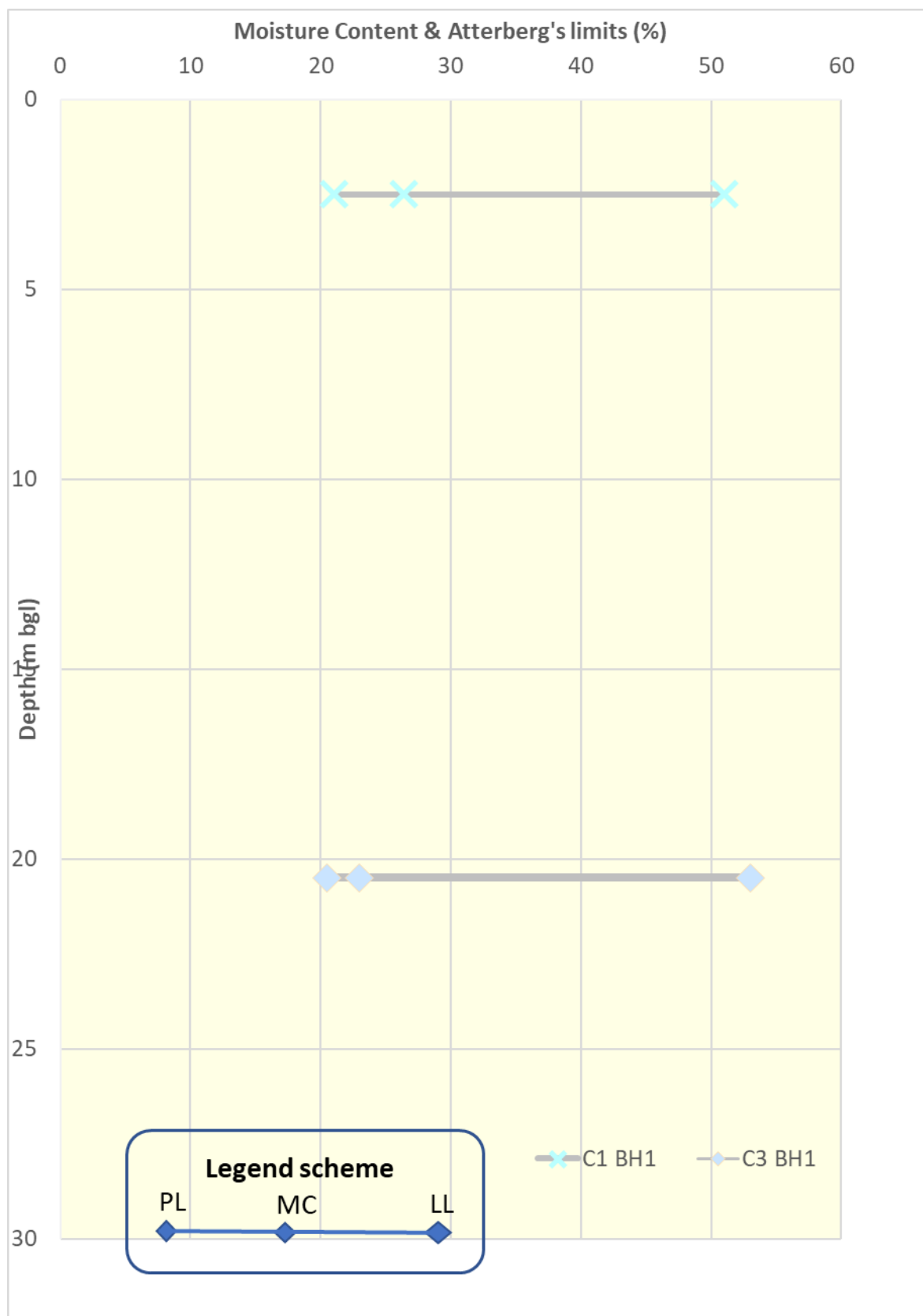


Figura 7-4: Umidità vs Campo di Plasticità

7.1.3 CARATTERISTICHE DI RESISTENZA AL TAGLIO

Le caratteristiche di resistenza al taglio sono state valutate per terreni coesivi in condizioni drenate a partire dalle prove di taglio diretto CD eseguite su campioni indisturbati o parzialmente disturbati (parametri di resistenza di picco). Per i terreni incoerenti, invece, si è fatto riferimento alla correlazione proposta da Robertson (2009).

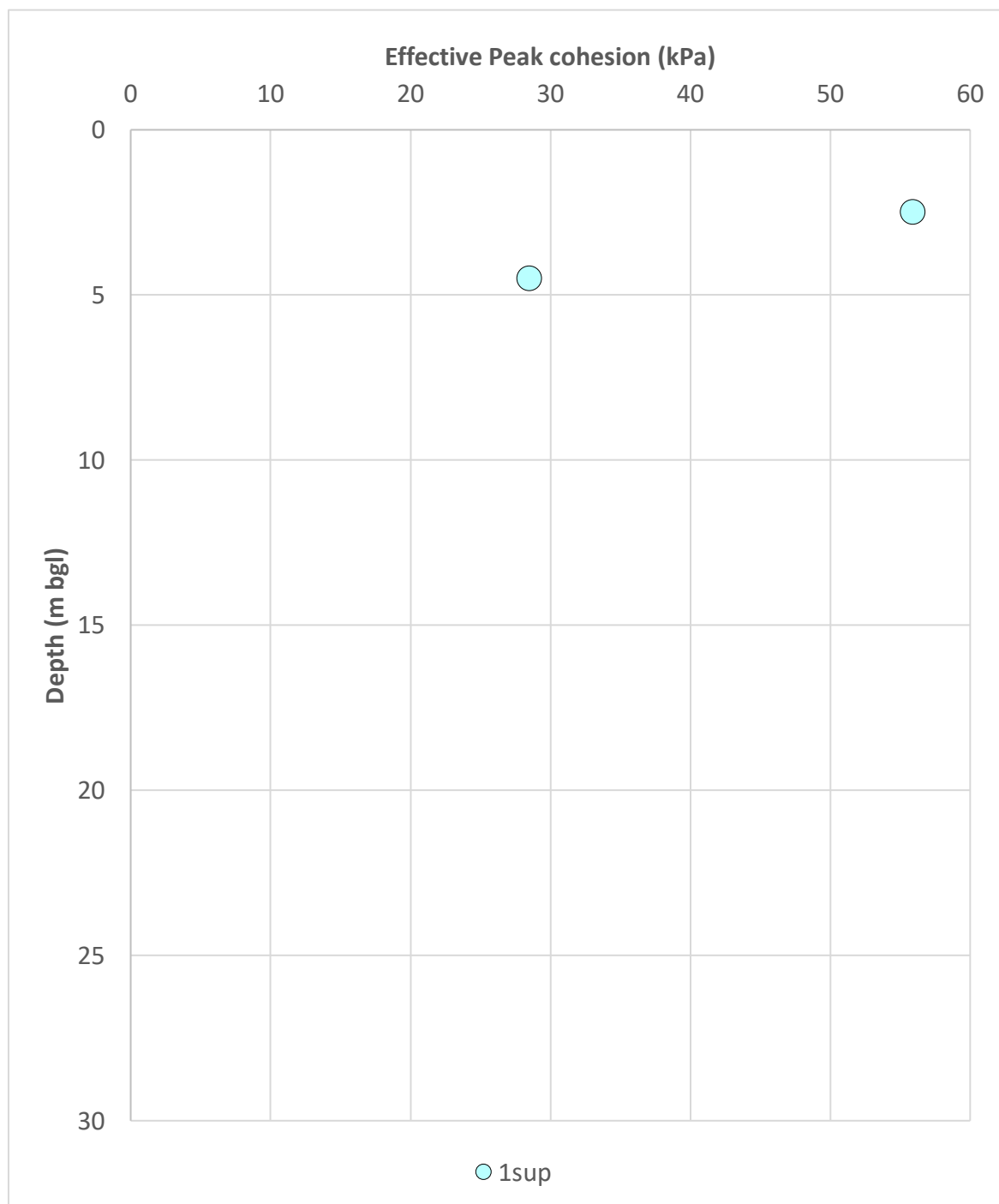


Figura 7-5: Coesione efficace di picco (taglio diretto CD).

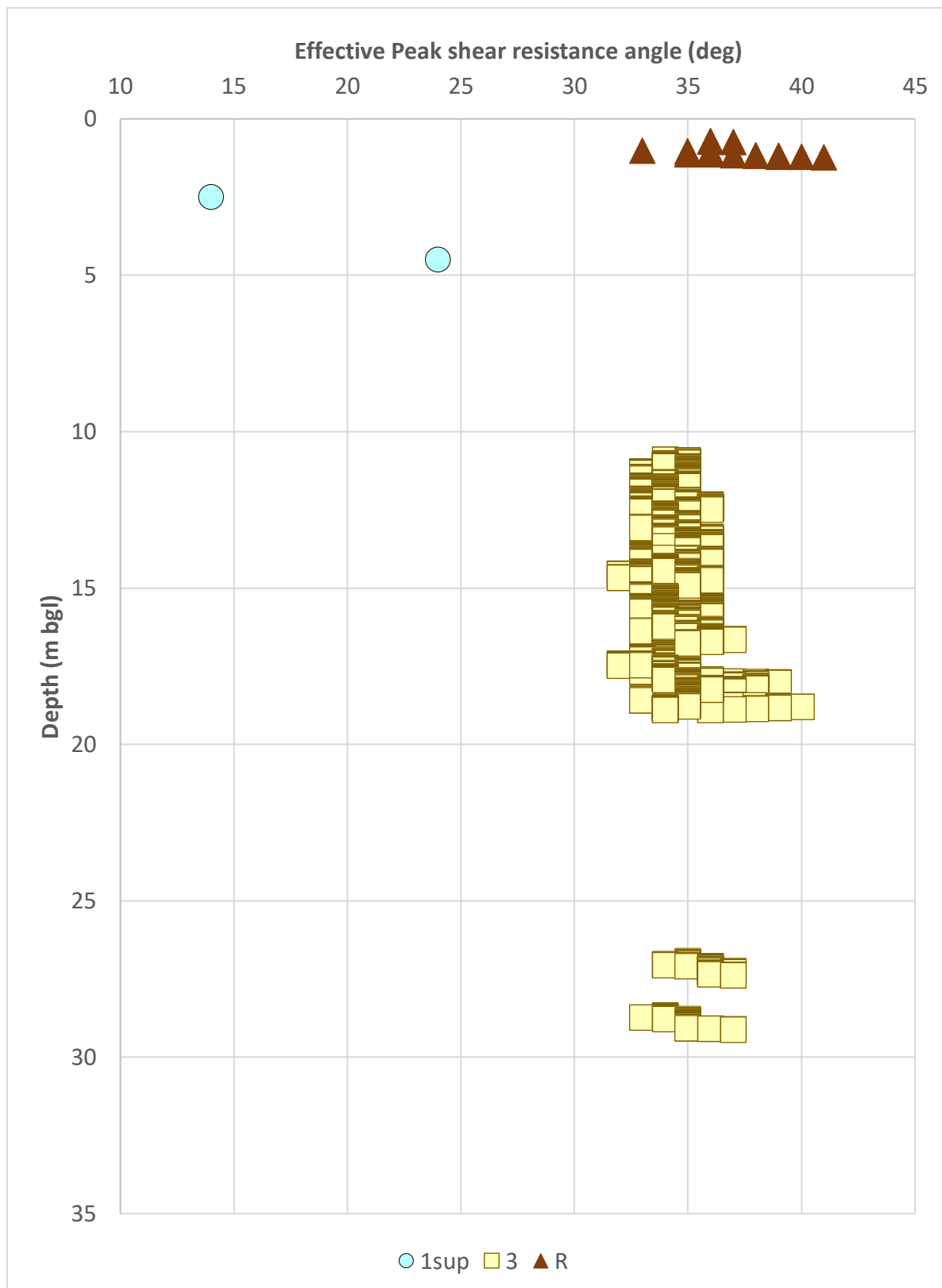


Figura 7-6: Angolo di resistenza a taglio di picco (taglio diretto CD).

7.1.4 CONDIZIONI NON DRENATE

Le caratteristiche di resistenza al taglio sono state valutate per terreni coesivi in condizioni non drenate a partire dai valori di q_c misurati durante l'esecuzione delle prove CPTU, nonché dai valori di pocket e vane test sui campioni indisturbati.

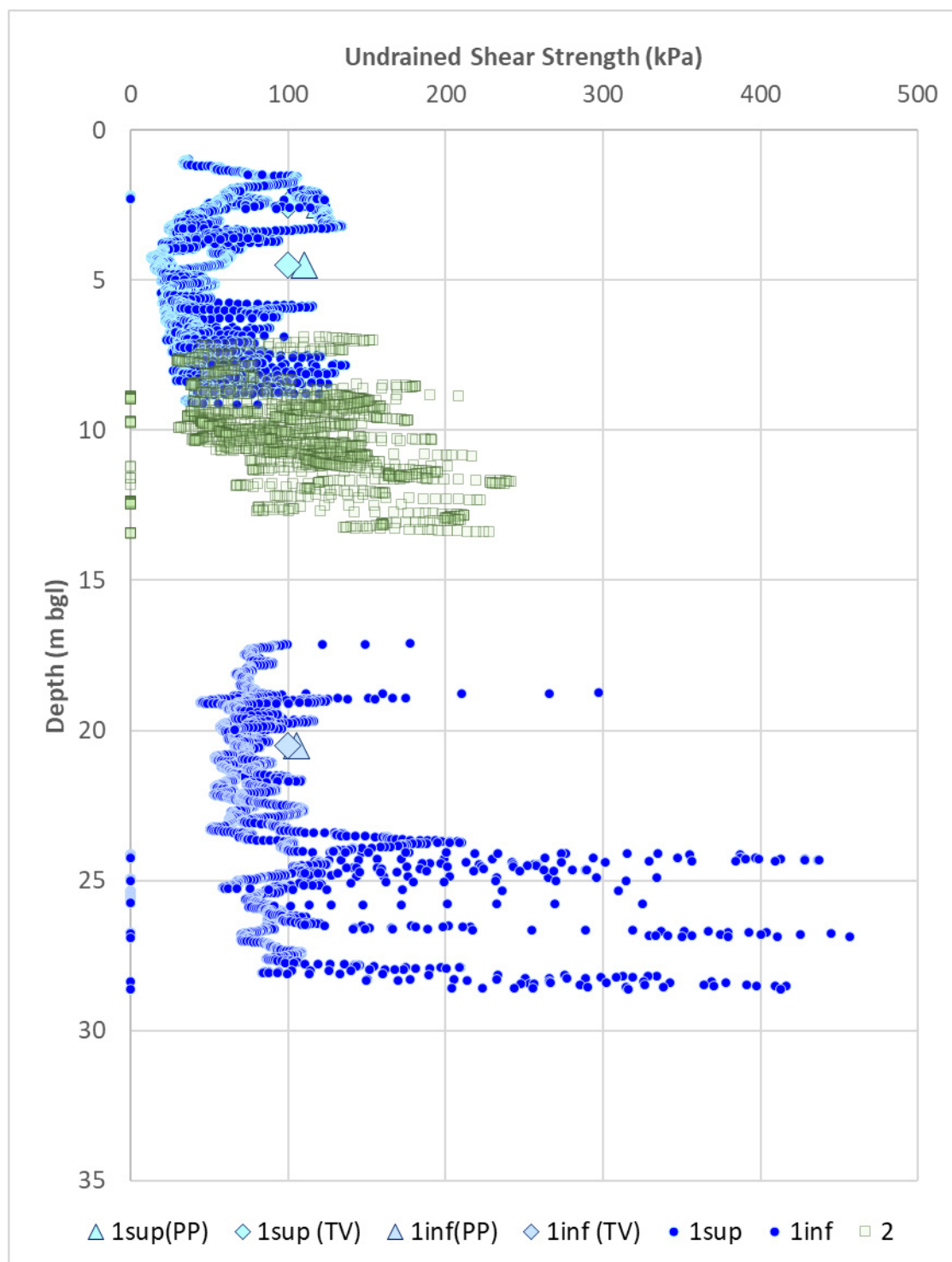


Figura 7-7: Resistenza a taglio non drenata da prove CPTU e di campo

7.2 CARATTERISTICHE DI DEFORMABILITÀ

7.2.1 MODULO DI DEFORMABILITÀ NON CONFINATO

La valutazione dei moduli elastici è stata effettuata interpretando le indagini in sito e secondo la correlazione di Robertson (2009), nonché valutando i dati di laboratorio (prove edometriche) e facendo riferimento a precedenti esperienze sui terreni locali.

Il valore del modulo di deformabilità in condizioni non confinate E' può essere stimato a partire dalla teoria dell'elasticità:

$$E' = 0.74 M \text{ per } \nu = \text{cost} = 0.3$$

Nel grafico in Figura 7-8 si riportano i dati correlati, unitamente a quelli calcolati dalle prove edometriche eseguite.

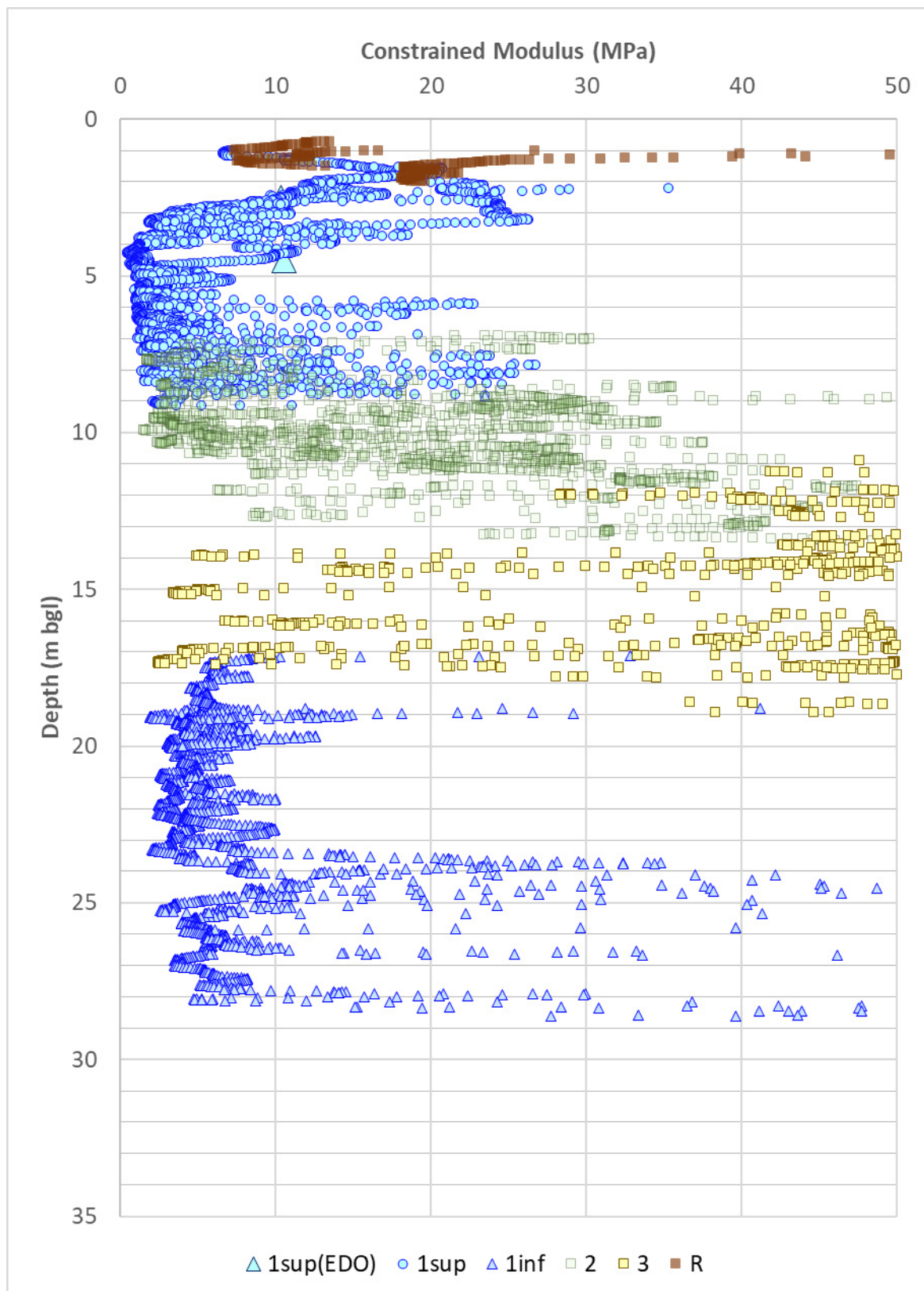


Figura 7-8: Stima del modulo di deformabilità confinato.

7.3 PROVE DI PERMEABILITÀ IN SITU

7.3.1 PROVE LEFRANC

Di seguito vengono riassunti e commentati i risultati delle prove di permeabilità tipo Lefranc effettuate durante l'esecuzione del sondaggio C1; Sono state eseguite in totale 5 prove: 3 a carico variabile e 2 a carico costante, la seguente Tabella 7-1 riporta le risultanze delle prove effettuate in termini di k_h .

Punto	Profondità (m da p.c.)	K_h m/sec
LEFCV	3,00	2,83E-06
LEFCV	5,00	6,71E-06
LEFCC	8,60	4,54E-04
LEFCC	15,00	4,64E-07
LEFCV	17,70	3,02E-05

Tabella 7-1: Risultanze, in termini di k_h delle prove Lefranc eseguite durante l'avanzamento del sondaggio C1

Tra le prove di Lefranc effettuate una apparentemente non mostra corrispondenza con quanto descritto in stratigrafia; la prova alla profondità di 15.00 ha dato come risultato un coefficiente k tipico di un terreno coesivo nonostante la profondità sia quella del banco sabbioso dell'unità 3; la prova potrebbe essere stata effettuata all'interno di un intervallo coesivo presente nel banco sabbioso, non riconoscibile dal sondaggio stratigrafico ma corrispondente alle cadute in termini di q_c dei profili di resistenza delle curve penetrometriche. Per quanto riguarda le restanti prove i risultati sono coerenti con la litologia: si tratta infatti di permeabilità piuttosto basse, tipiche di depositi limosi/argillosi.

7.3.2 PROVE DI DISSIPAZIONE

Durante l'esecuzione delle prove penetrometriche sono stati effettuati degli stop per poter misurare le sovrappressioni interstiziali con delle prove di dissipazione. In totale sono state effettuate n.9 prove di dissipazione, distribuite sulle 4 verticali effettuate. La seguente Tabella 7-2 riporta in termini di k_h , le risultanze delle prove di dissipazione effettuate.

Punto	Profondità (m da p.c.)	K (Parez & Furiel) cm/sec	K (Teh & Houlsby) cm/sec
CPTU 1	4,87	4,76E-07	1,30E-06
	15,03	9,74E-08	4,73E-09
CPTU 2	5,45	6,12E-06	4,73E-05
	19,50	7,04E-08	3,40E-07
CPTU 3	5,52	5,66E-08	5,89E-08
	20,00	3,94E-06	9,71E-06
CPTU 4	2,00	2,55E-07	2,54E-07
	5,66	4,18E-06	6,65E-06
	15,04	7,40E-07	1,48E-06

Tabella 7-2: Risultati, in termini di k_h , delle prove di dissipazione effettuate durante l'esecuzione delle prove penetrometriche.

Anche in questo caso, il corpo sabbioso dell'unità 3 mostra dei valori di permeabilità bassi; questo può essere dovuto all'anisotropia del materiale stesso ed ai sottili passaggi stratigrafici limosi presenti all'interno del banco sabbioso. Si tratta infatti di permeabilità tipiche di depositi limosi/argillosi. In particolare, durante l'avanzamento della CPTU1 è stato misurato un valore di permeabilità estremamente basso (4.37E-09) cm/sec, tipico di un'argilla compatta ed omogenea.

I risultati di tutte le prove di permeabilità effettuate, comprensive delle determinazioni di laboratorio da prova edometrica, sono riportati nella seguente Figura 7-9.

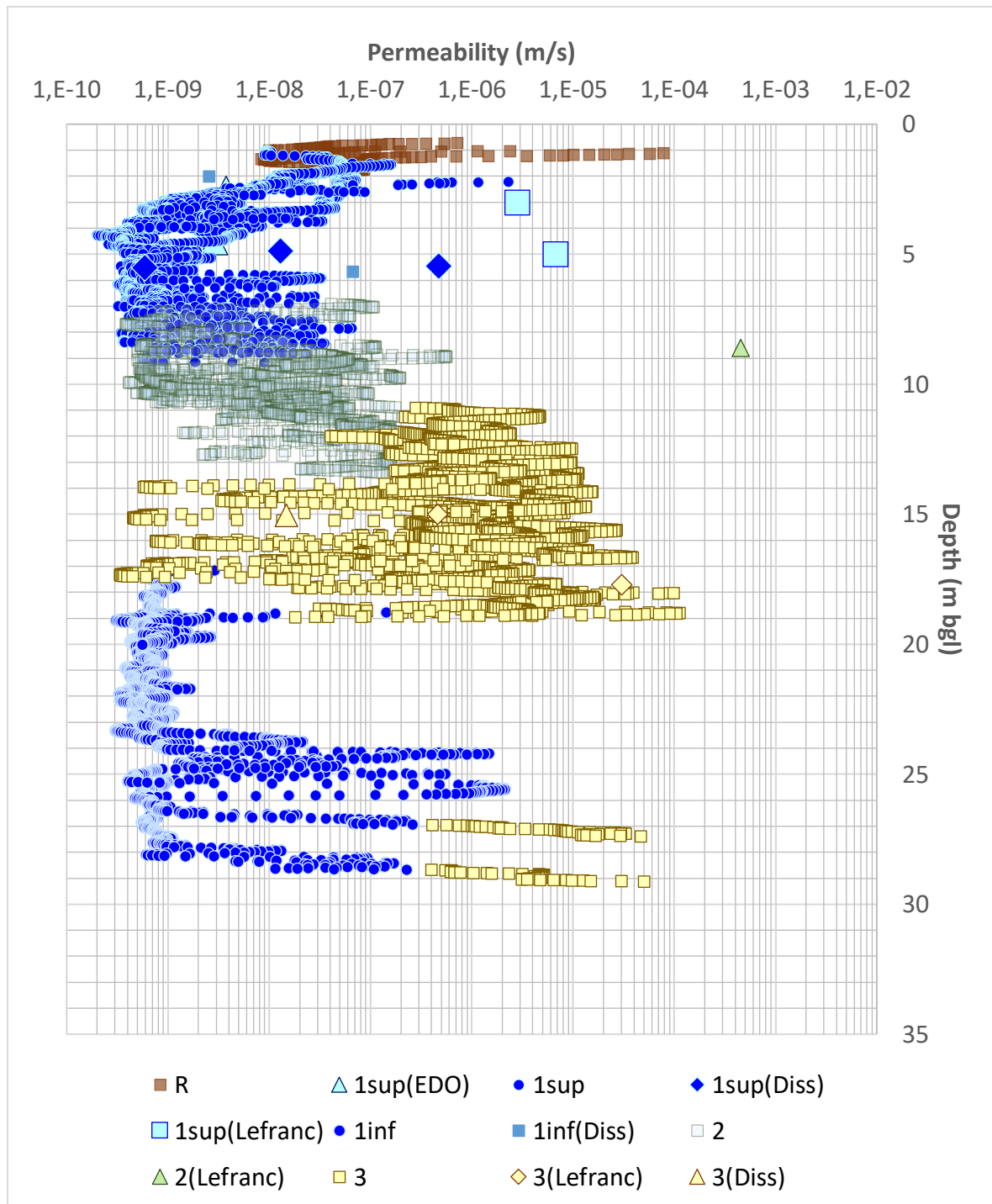


Figura 7-9: Permeabilità (m/s)

8 DEFINIZIONE DEI PARAMETRI GEOTECNICI

La stima delle proprietà geotecniche delle unità deriva dall'interpretazione delle indagini in sito e del laboratorio, coadiuvata dalle esperienze pregresse condotte nelle aree limitrofe e da dati di letteratura. La successiva valutazione dei parametri geotecnici caratteristici è stata fatta in senso cautelativo ed in riferimento alle dispersioni dei dati, laddove le popolazioni relative dei dati abbiano significatività e/o facendo ricorso all'esperienza degli scriventi su terreni similari.

8.1 PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI

Si possono individuare gli intervalli di parametri geotecnici caratteristici riportati in Tabella 8-1.

Tabella 8-1: Definizione dei parametri geotecnici caratteristici per le varie unità

SOTTOPASSO VIA CHIESA					
	Unità R	Unità 1 sup	Unità 2	Unità 3	Unità 1 inf
	Riporto incoerente	Limi argillosi (leggermente OC) plastici	Alternanze limi argillosi e limi sabbiosi	Sabbie pulite o limose	Limi argillosi (NC) plastici
Profondità da p.c.	0m÷1.9m	1.9m÷8.0m	8.0m÷11.4m	11.4m÷19.9m 27.0÷30.0	19.9m÷27.0m
γ [kN/m ³]	18	19	18,5	18	19
c_u [kPa]	-	30÷40	60÷70	-	60÷80
c' [kPa]	0	0÷4	0÷2	0	0
ϕ' [°]	28	26÷28	28÷30	32÷34	26÷28
M [MPa]	10	1÷3	15÷20	50÷60	4÷6
k_h [m/s]	1,00E-07	5,00E-08	1,00E-06	2,00E-05	7,00E-08
k_v [m/s]	1,00E-07	5,00E-09	1,00E-08	2,00E-06	7,00E-10

9 SISMICITÀ DELL'AREA

9.1 CLASSIFICAZIONE SISMICA E PERICOLOSITÀ DI BASE

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 S. La classificazione sismica attualmente in vigore in Piemonte è quella richiamata nella DGR n. 65-7656 del 21 maggio 2014, che riprende quanto già individuato con le precedenti DDGR n. 4-3084 del 12.12.2011 e n. 11-13058 del 19.01.2010. La zona sismica 3S comprende i 41 comuni già classificati in zona sismica 2 dalla DGR n. 61 - 11017 del 17 novembre 2003, e prima ancora dal Decreto 4 febbraio 1982, cui si aggiungono il comune di Limone Piemonte (CN) ed i comuni di Baceno e Crodo (VCO); la zona sismica 3 comprende 364 comuni, in parte già individuati dall'OPCM 3274/2003; la zona sismica 4 comprende i restanti 794 comuni.

Come stabilito dal D.G.R. n. 1164 del 23/07/2018, il comune di Castel Maggiore risulta classificato in zona "3", come riportato in Figura 9-1. Rispetto 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 $0.05 \div 0.15g$ (Tabella 9-1).

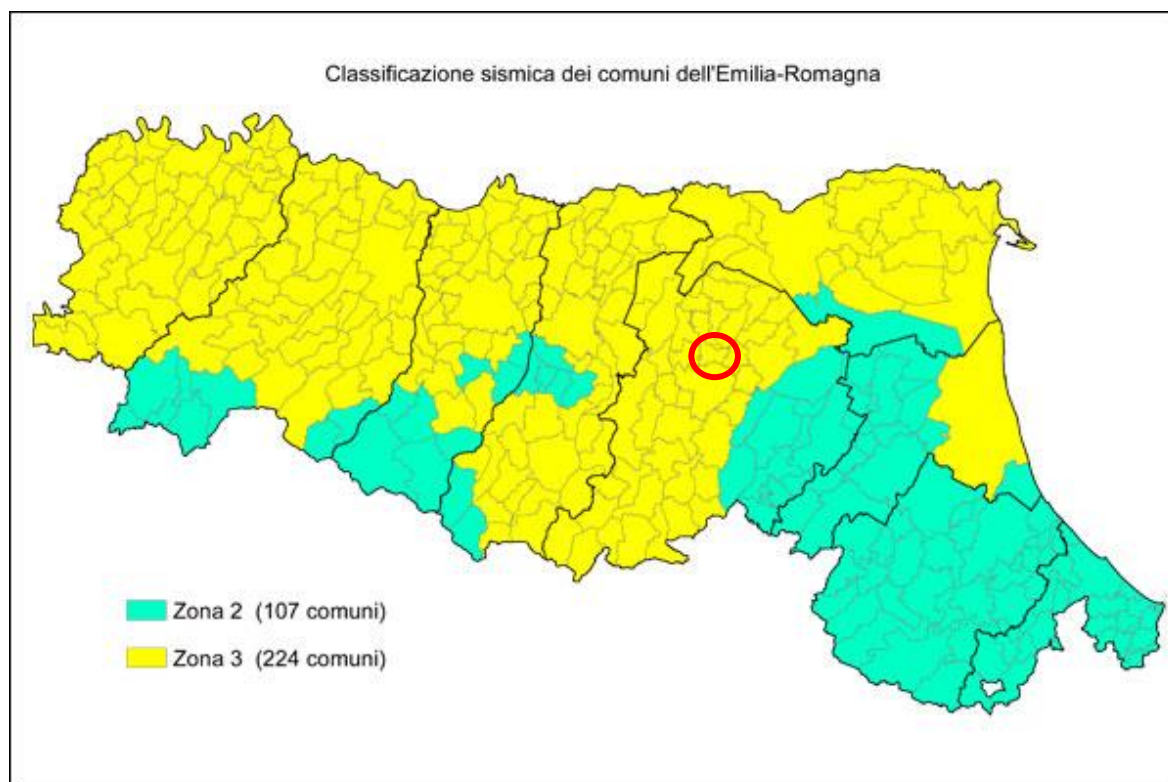


Figura 9-1: Classificazione sismica dei comuni dell'Emilia-Romagna. In rosso il comune di Castel Maggiore.

Tabella 9-1: 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	$0.15 \div 0.25$	0.25
3	$0.05 \div 0.15$	0.15
4	<0.05	0.05

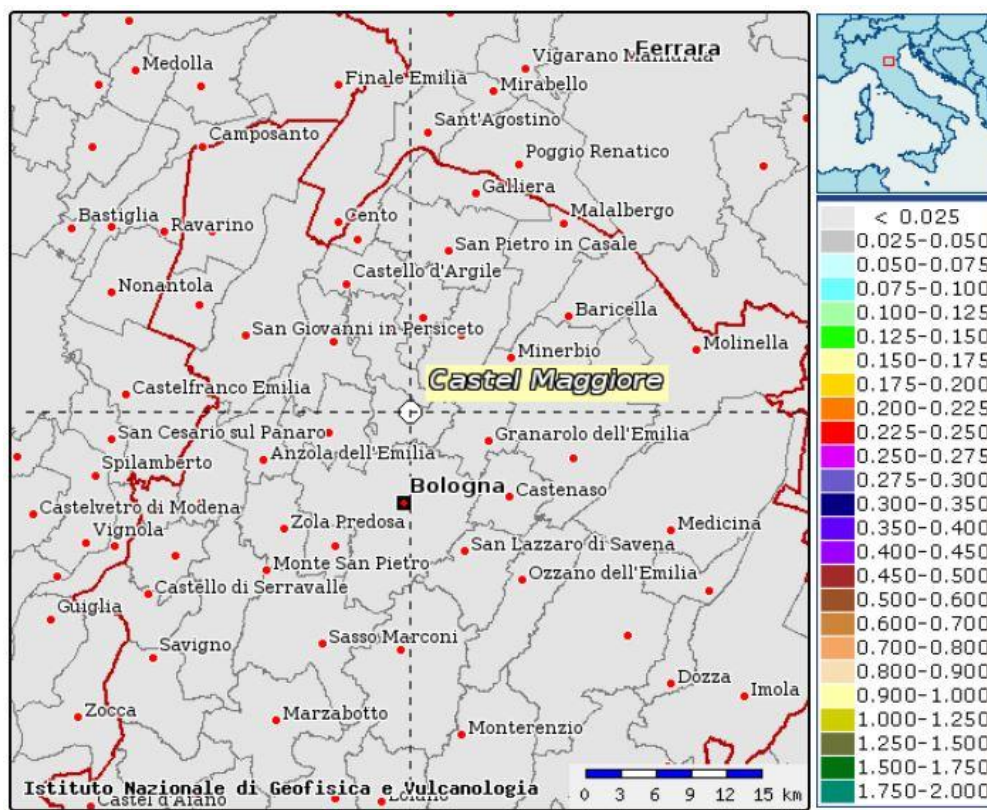


Figura 9-2: Mappa di pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima del suolo (a_{max}) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli molto rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s) – da INGV

In Tabella 9-2 vengono forniti, per l'area di studio, per periodi di ritorno T_R di 30 anni, 50 anni, 72 anni, 101 anni, 140 anni, 201 anni, 475 anni, 975 anni e 2475 anni, i valori dei parametri a_g , F_0 e T_C^* da utilizzare per definire l'azione sismica.

Nel dettaglio:

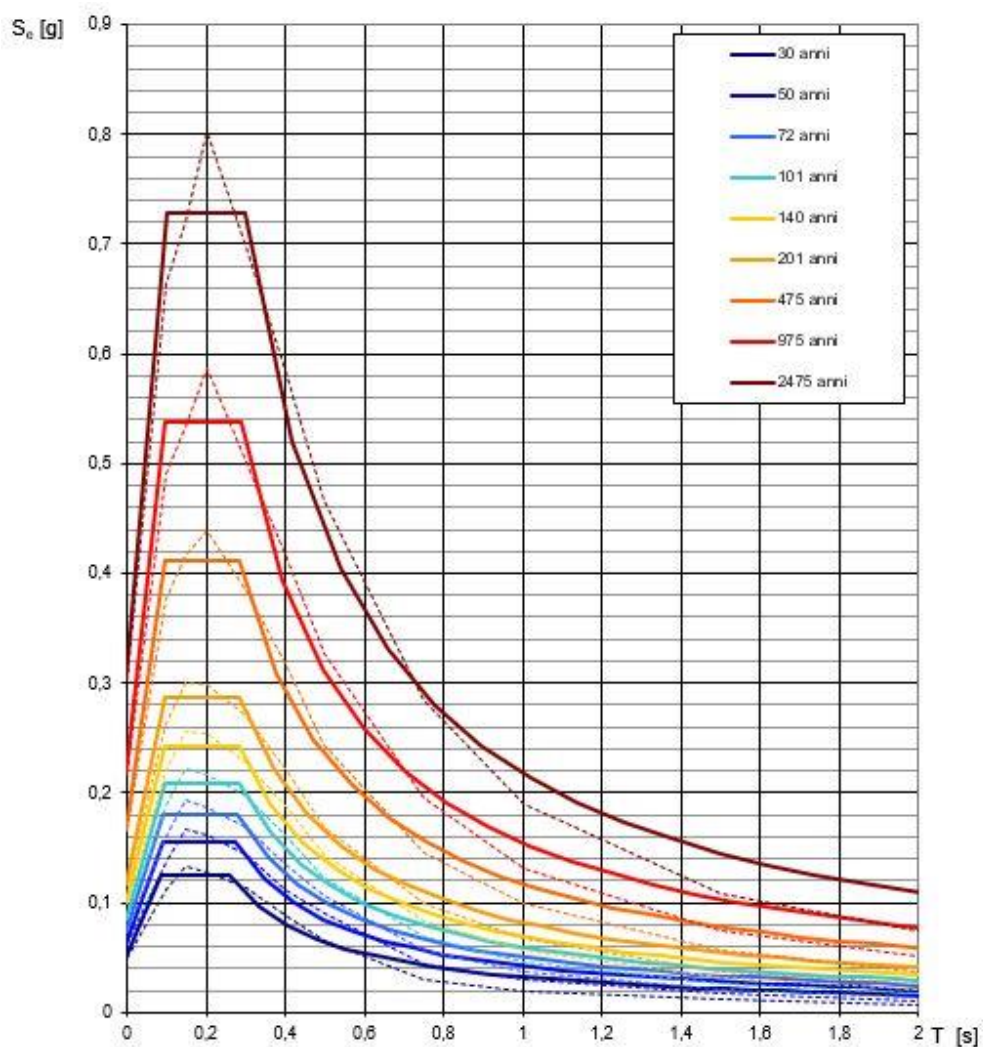
a_g = accelerazione orizzontale massima al sito su suolo tipo A;

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.

Tabella 9-2: Valori dei parametri di a_g , F_0 , T_{c*} per i periodi di ritorno T_R di riferimento

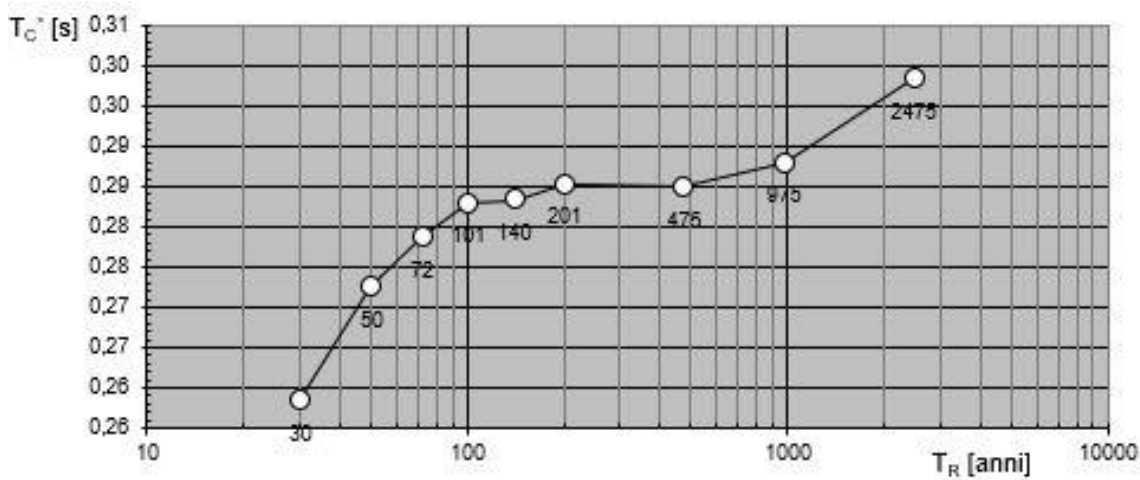
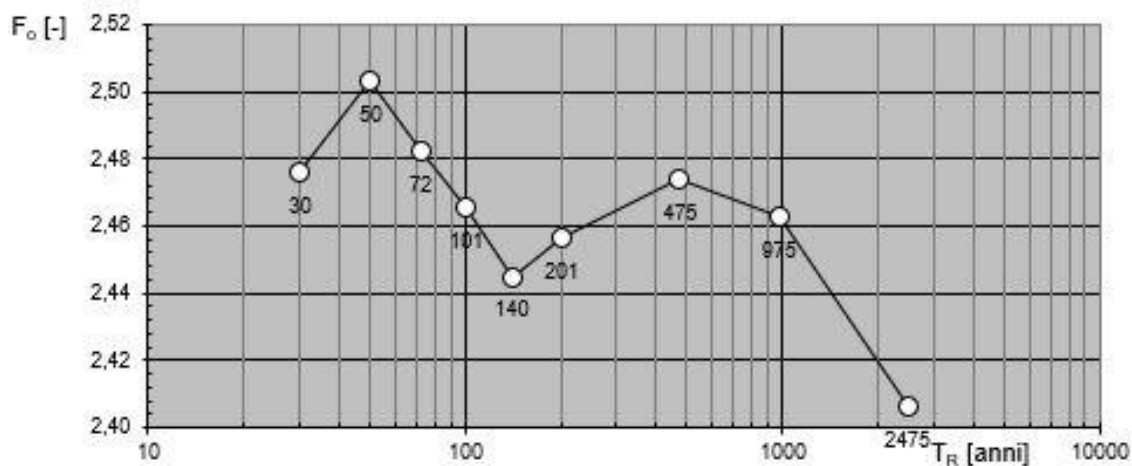
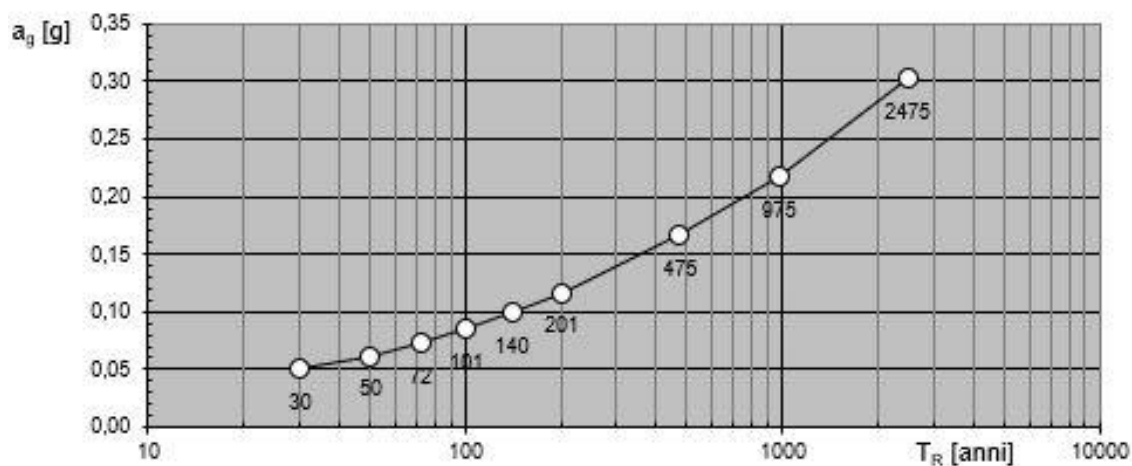
T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_{c*} [s]
30	0,050	2,476	0,258
50	0,062	2,503	0,273
72	0,073	2,482	0,279
101	0,085	2,466	0,283
140	0,099	2,445	0,283
201	0,117	2,456	0,285
475	0,166	2,474	0,285
975	0,218	2,463	0,288
2475	0,303	2,406	0,299



NOTA:

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

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



9.2 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 Castel Maggiore. Nello specifico, le informazioni riportate di seguito derivano dalla consultazione del DBMI15 (Locati et al., 2016), il database macrosismico utilizzato per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 (Rovida et al., 2016, consultabile on-line al sito <http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>).

Nella successiva sono indicati con i seguenti simboli:

Is = intensità in sito (MCS);
















Anno = anno Me = mese Gi = giorno Or = ora;

NMDP = numero di osservazioni macrosismiche del terremoto;

Io = intensità massima (MCS);

Mw = magnitudo momento

Tabella 9-3: Storia sismica del comune di Castel Maggiore

Effetti	In occasione del terremoto del												
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw			
4		1889	03	08	02	57	0 Bolognese	38	5	4.53			
NF		1898	01	16	13	10	Romagna settentrionale	110	6	4.59			
NF		1908	06	02	22	30	Frignano	18	4-5	4.50			
5		1909	01	13	00	45	Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36			
5		1929	04	20	01	10	Bolognese	109	7	5.36			
NF		1956	04	26	03	00	0 Appennino bolognese	89	6	4.74			
NF		1965	11	09	15	35	Appennino reggiano	32	5	4.17			
3		1971	07	15	01	33	2 Parmense	228	8	5.51			
4		1983	11	09	16	29	5 Parmense	850	6-7	5.04			
NF		1986	12	06	17	07	1 Ferrarese	604	6	4.43			
3-4		1987	05	02	20	43	5 Reggiano	802	6	4.71			
3-4		1989	09	13	21	54	0 Prealpi Vicentine	779	6-7	4.85			
NF		1992	04	17	11	59	0 Appennino bolognese	56	4-5	4.11			
NF		2000	05	06	22	07	0 Faentino	85	5	4.08			
NF		2000	05	08	12	29	5 Faentino	126	5	4.67			
NF		2000	05	10	16	52	1 Faentino	151	5-6	4.82			
3		2000	06	18	07	42	0 Pianura emiliana	304	5-6	4.40			
NF		2002	06	18	22	23	3 Frignano	186	4	4.30			
5		2003	09	14	21	42	5 Appennino bolognese	133	6	5.24			
3		2005	07	15	15	17	1 Forlivese	173	4-5	4.29			

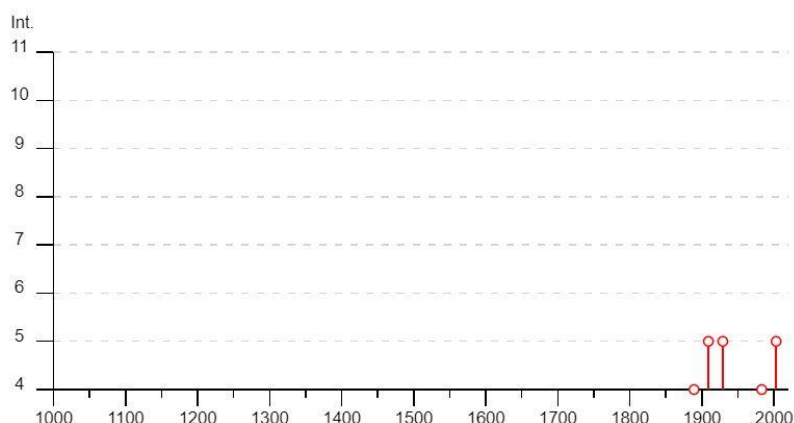


Figura 9-3: Storia sismica del comune di Castel Maggiore

9.3 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 rate di sismicità attesa zona per zona. Questo modello, che si pone come base per la redazione della carta di pericolosità sismica (Figura 9-6) è rappresentato dalla mappa delle zone sismogenetiche ZS9 (Meletti & 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 zona sismogenetica, 912 "Dorsale Ferrarese" caratterizzata da $M_w=6.14$ (Figura 9-4).

Nome ZS	Numero ZS	M_{wmax}
Colli Albani, Etna	922, 936	5.45
Ischia-Vesuvio	928	5.91
Altre zone	901, 902, 903, 904, 907, 908, 909, 911, 912, 913, 914, 916, 917, 920, 921, 926, 932, 933, 934	6.14
Medio-Marchigiana/Abruzzese, Appennino Umbro, Nizza Sanremo	918, 919, 910	6.37
Friuli-Veneto Orientale, Garda-Veronese, Garfagnana-Mugello, Calabria Jonica	905, 906, 915, 930	6.60
Molise-Gargano, Ofanto, Canale d'Otranto	924, 925, 931	6.83
Appennino Abruzzese, Sannio – Irpinia-Basilicata	923, 927	7.06
Calabria tirrenica, Iblei	929, 935	7.29

Figura 9-4: Valori di M_{wmax} per le zone sismogenetiche di ZS9

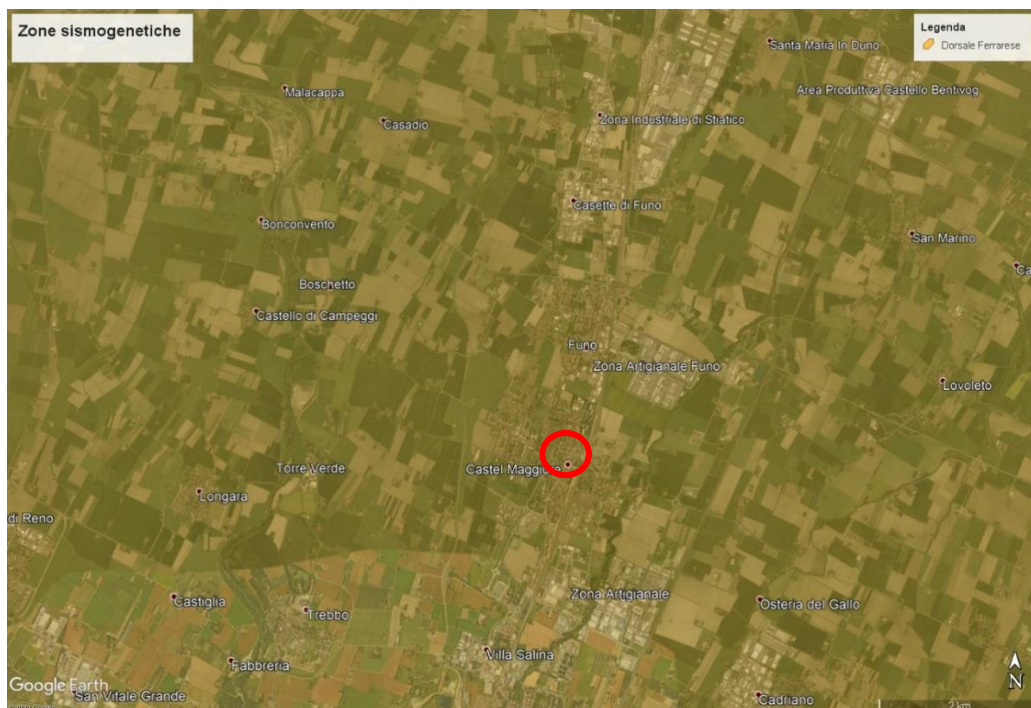


Figura 9-5: Zona Sismogenetica “Dorsale Ferrarese” nella quale ricade l’area di studio (in rosso) da Google Earth, scala grafica.

Nel caso in oggetto può pertanto essere definita la magnitudo di riferimento $M = 6.14$.

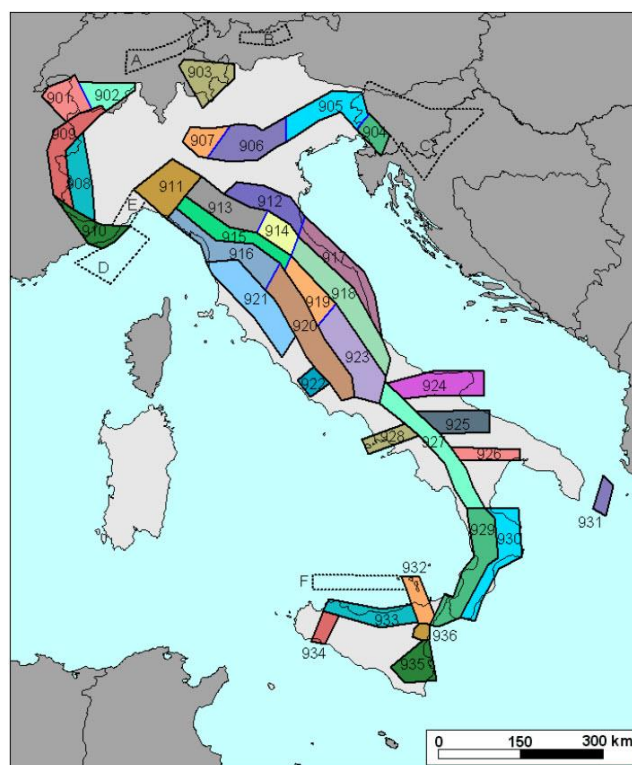


Figura 9-6: Zone sismogenetiche per la mappa di pericolosità sismica di base di riferimento

9.4 PARAMETRI PER LA DETERMINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO

Ai sensi del D.M. 17/01/2018, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto deve essere valutata l'influenza delle condizioni litologiche e geomorfologiche locali, determinando quindi la corrispondente categoria (o tipo) di sottosuolo nonché le condizioni topografiche del sito di interesse.

9.4.1 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II del D.M. 17/01/2018, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s . La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

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

con:

- H spessore dell' i -esimo strato;
- $V_{s,i}$ 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.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
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.

L'analisi dell'assetto stratigrafico e dei valori di $V_{s,30}$ calcolate sulla base delle risultanze della prova sismica SCPTU effettuata, ha permesso di definire la categoria di sottosuolo come "C" con un valore di $V_{s(30)} = 222$ m/s

9.5 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 nel D.M. 17/01/2018 in Tabella 3.2.III.

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

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

In particolare, i siti in oggetto possono essere classificati di categoria T1, "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ ", caratterizzata da un coefficiente di amplificazione topografica $S_T = 1,0$.

9.6 VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO

L'azione sismica di riferimento è individuata in termini di:

- a_g = accelerazione massima su suolo tipo A;
- S = fattore di amplificazione che dipende dalla categoria del suolo e dalla superficie topografica;
- F_0 = fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima;
- T_{C^*} = periodo di riferimento che consente di calcolare il periodo T_C corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro.

Prendendo quindi in considerazione l'area in oggetto di studio, individuabile all'incirca alle coordinate (ED₅₀) Lat= 44.574428° e Long= 11.365413°, nel seguito si riportano i parametri dell'azione sismica di riferimento.

In particolare, posto:

Vita nominale, V_N	100 anni
Classe d'uso	III
Coefficiente d'uso, C_u	1.5
Periodo di riferimento, V_R	150 anni

I suddetti parametri sono stati poi inseriti all'interno del foglio di calcolo "Spettri-NTC Versione 1.0.3." per la definizione dei parametri dipendenti ed indipendenti (Figura 9-7). Si ottiene:

Parametri indipendenti			
STATO LIMITE	SLV		
a_d	0,249 g		
F_o	2,440		
T_C^*	0,292 s		
S_S	1,335		
C_C	1,576		
S_T	1,000		
q	0,800		

Parametri dipendenti	
S	1,335
η	1,250
T_B	0,154 s
T_C	0,461 s
T_D	2,597 s

Figura 9-7: Parametri di output – Spettri-NTC 1.0.3.

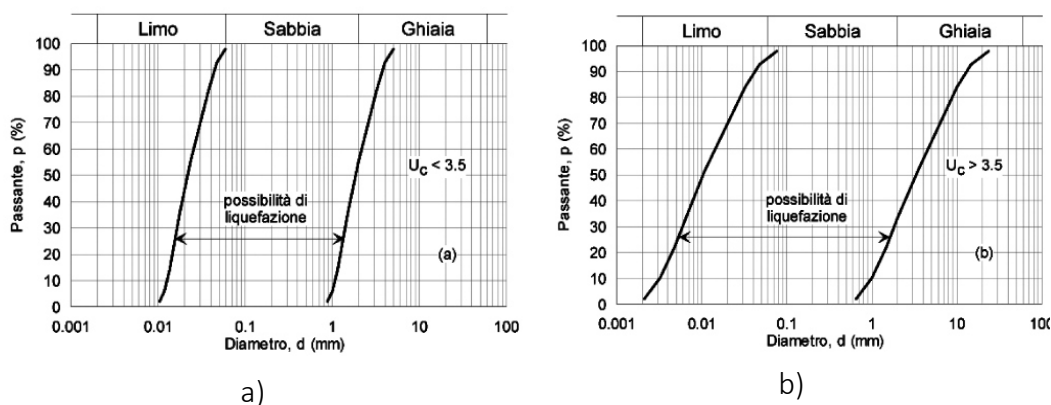
9.7 ANALISI DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE

9.7.1 PREMESSA

In terreni saturi sabbiosi sollecitati, in condizioni non drenate, da azioni cicliche dinamiche, il termine liquefazione comprende una serie di fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche.

L'avvenuta liquefazione si manifesta, in presenza di manufatti, attraverso la perdita di capacità portante e/o lo sviluppo di elevati cedimenti e rotazioni. In base ad D.M. 17/01/2018, la verifica di liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanza:

- accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti minori di 0.1g;
- 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 $qc1N > 180$, dove $N1(60)$ è il valore della resistenza, determinata in prove penetrometriche dinamiche (SPT), normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa, e $qc1N$ è il valore della resistenza, determinata in prove penetrometriche statiche (CPT), normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nel grafico a), nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e nel grafico b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.



Dall'analisi dei criteri esclusivi delle verifiche a liquefazione secondo NTC2018 è emersa la necessità di approfondire le analisi del rischio liquefazione per il sito di studio.

9.7.2 PARAMETRI DI BASE DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE

Nelle analisi di liquefazione intervengono i parametri di seguito descritti.

- Peso di volume del terreno: in tutte le analisi si è assunto il peso di volume del terreno pari a $\gamma=18.5 \text{ kN/m}^3$;
- Accelerazione massima: conformemente a quanto riportato al paragrafo 9.6, nelle analisi si è assunto un valore $a_{\max}=0.333 \text{ g}$;
- Magnitudo: Come definito al paragrafo 9.3, è pari a $M=6.14$;
- Livello di falda: nelle analisi di liquefazione è stato assunto un livello di falda a 3.2m di profondità da piano campagna.

9.8 RISULTATI DELLE ANALISI DI LIQUEFAZIONE

L'analisi di liquefazione è stata effettuata sulle verticali penetrometriche effettuate. La Valutazione del rischio di liquefazione in termini di potenziale di liquefazione è riassunta nella seguente Tabella 9-4.

I_L risulta genericamente **moderato**. La sua variabilità in profondità è mostrata Figura 9-8 a Figura 9-11.

Tabella 9-4: Potenziale I_L

Prova	Profondità (m da p.c.)	I_L
CPTU1	0 – 14.00	4.06 - Moderato
CPTU2	0 – 13.20	4.86 - Moderato
SCPTU3	0 – 11.90	4.41 - Moderato
CPTU4	0 – 10.90	5.05 - Alto

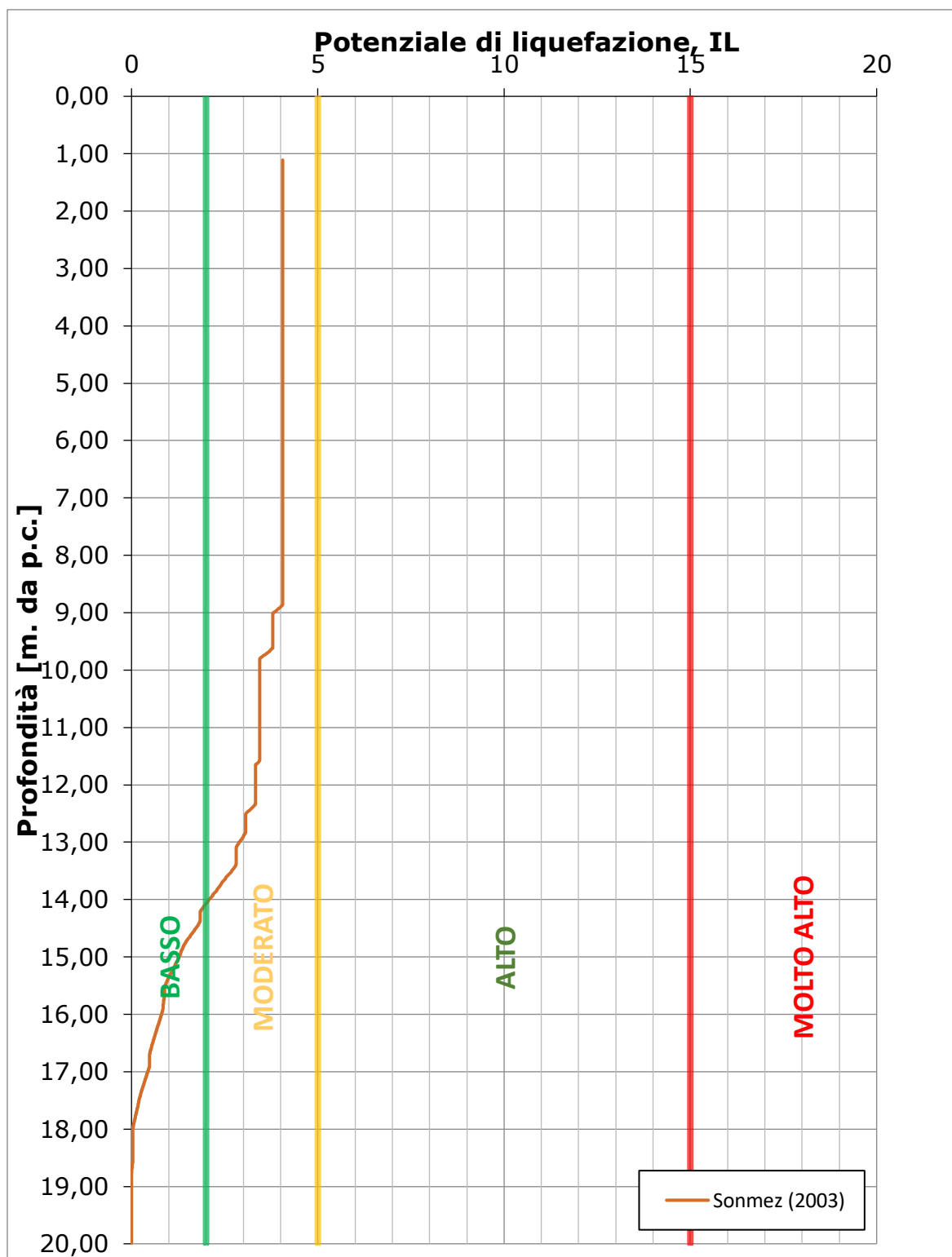


Figura 9-8: Potenziale di Liquefazione IL per la verticale di indagine CPTU1

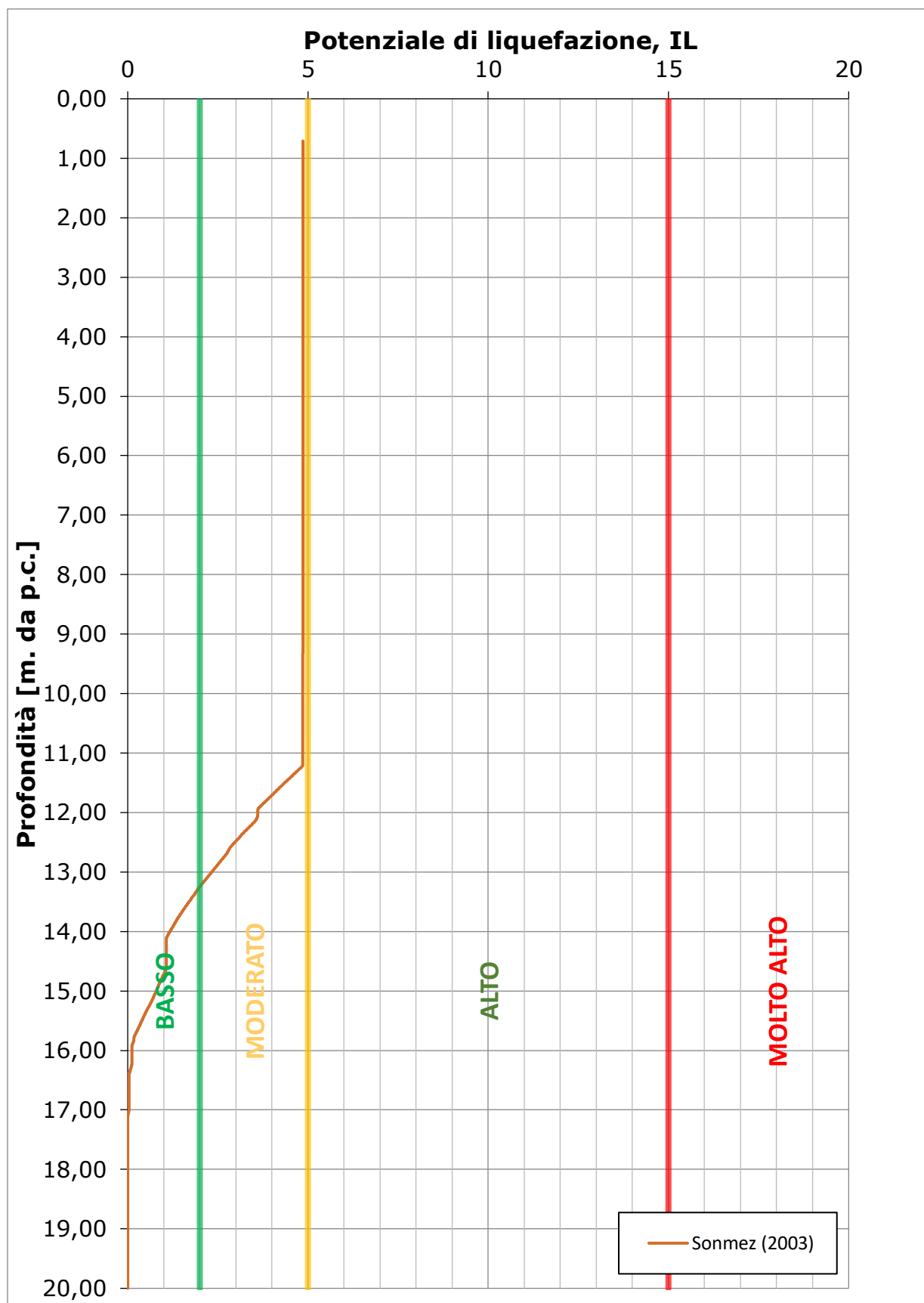


Figura 9-9: Potenziale di Liquefazione IL per la verticale di indagine CPTU2

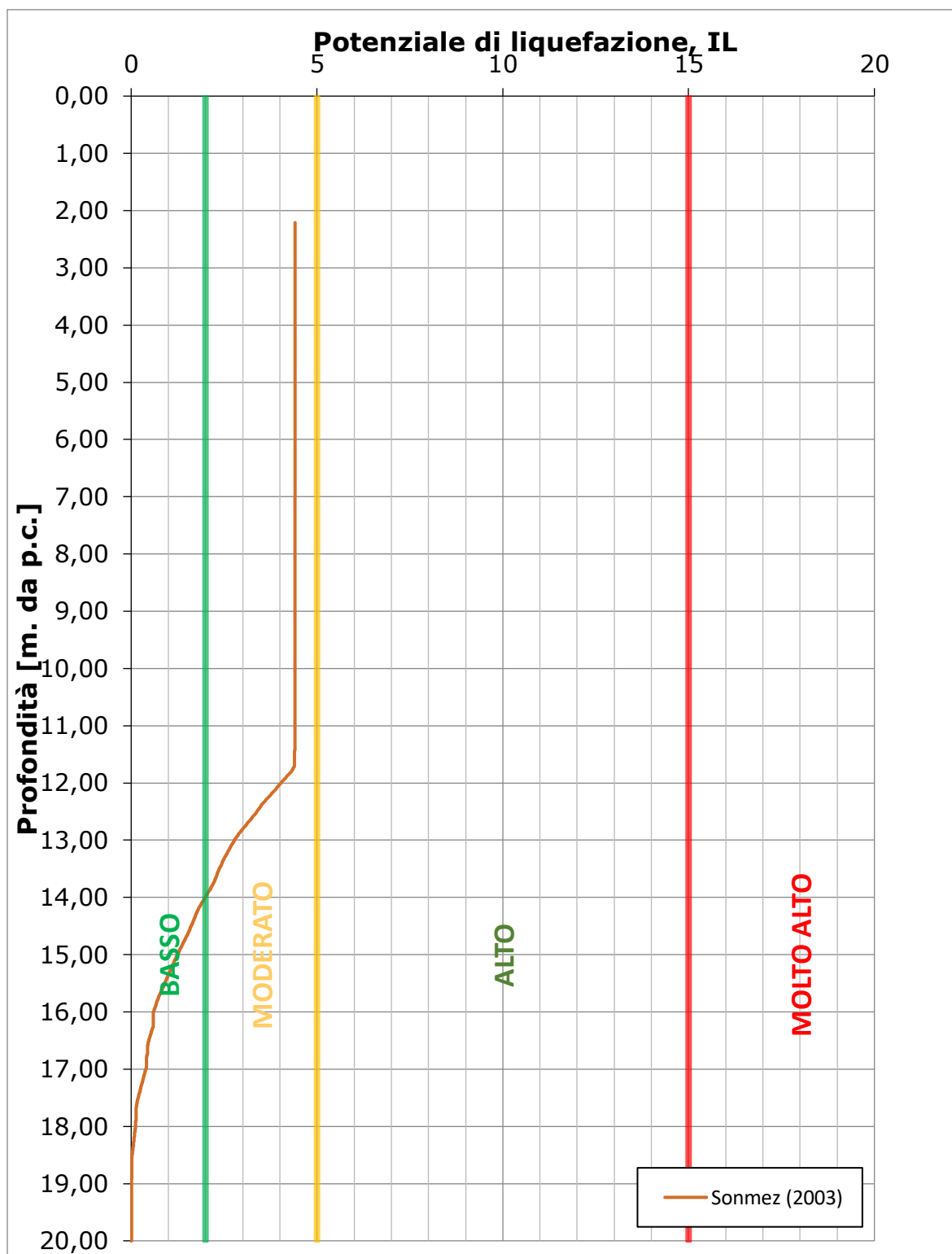


Figura 9-10: Potenziale di Liquefazione IL per la verticale di indagine SCPTU3

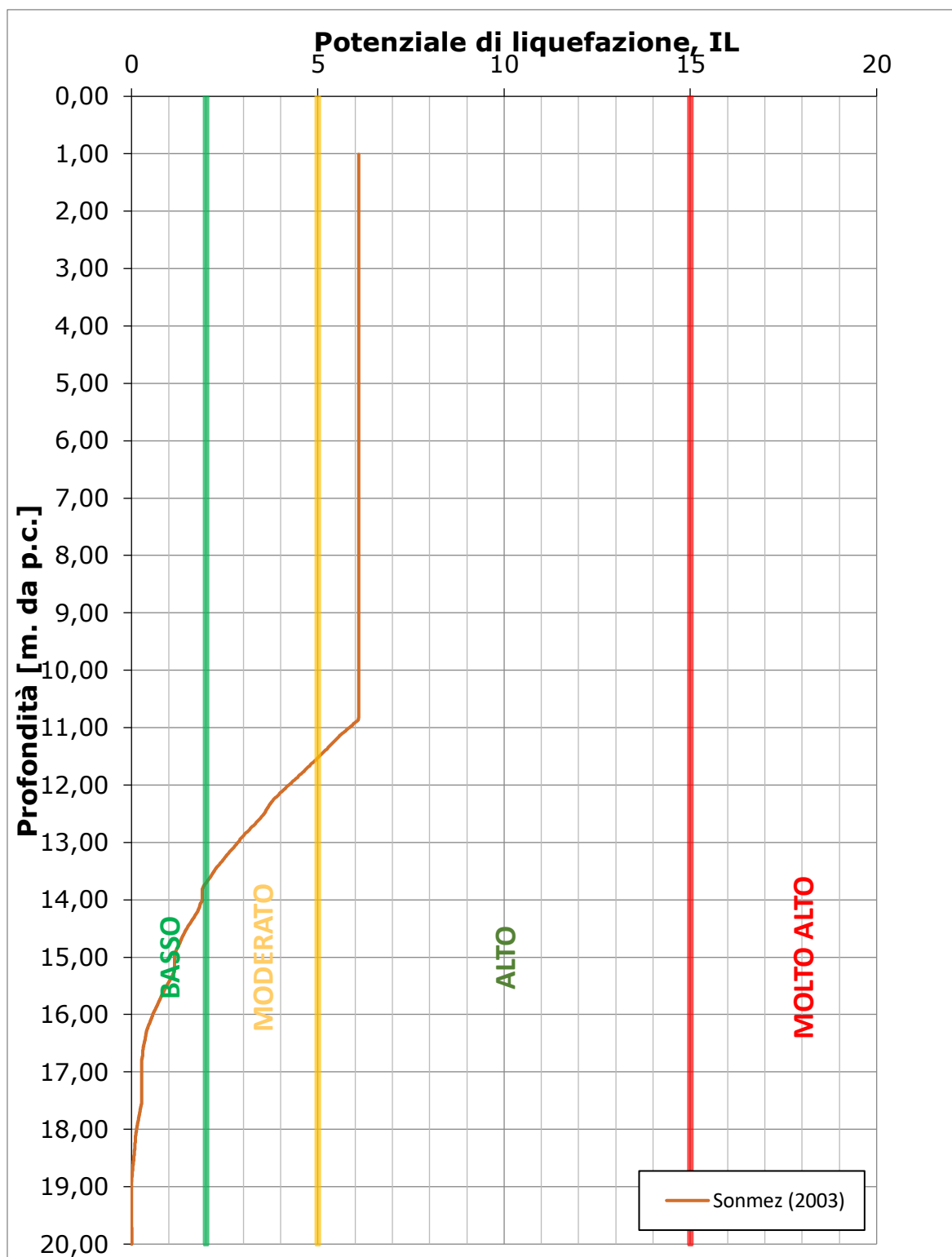


Figura 9-11: Potenziale di Liquefazione IL per la verticale di indagine CPTU4

9.9 ANALISI DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE

Nella seguente Tabella 9-5 vengono riportati i cedimenti post sismici relativi ad ogni prova geognostica. I cedimenti sono stati calcolati con il metodo di Yoshimine&al. (2006) e Ishihara&Yoshimine (1992):

Tabella 9-5: Calcolo dei cedimenti

Prova	Cedimenti [cm]
CPTU1	24
CPTU2	20
SCPTU3	26
CPTU4	28

Gli elevati cedimenti ottenuti, seppur preliminari, saranno da approfondirsi nelle successive fasi progettuali.

10 CONCLUSIONI

Il presente documento costituisce il supporto geologico e geotecnico del progetto di fattibilità tecnica ed economica per la realizzazione di un sottopasso in via Chiesa, nel comune di Castel Maggiore (BO). Per perseguire questo scopo, nell'area sono state eseguite diverse indagini geognostiche, costituite da n.3 prove penetrometriche con piezocono (CPTU), n.1 prova penetrometrica con piezocono e cono sismico per la misurazione delle onde Vs lungo la verticale indagata e n.1 sondaggio a carotaggio continuo; l'elaborazione delle indagini ha evidenziato la presenza di 4 unità così distribuite:

- **Unità R:** terreno di riporto superficiale a comportamento incoerente, da 0 a 2.0m da p.c.;
- **Unità 1:** Limo argilloso con locali passaggi limoso-sabbiosi; questa unità è presente sia da circa 2.0 a circa 8.0 m da pc (Unità 1 superiore) e da circa 19 a circa 27 m da pc (Unità 1 inferiore);
- **Unità 2:** Alternanza di limi argillosi e limi sabbiosi; questa unità è presente da circa 8.0 a circa 12.0 m da pc.;
- **Unità 3:** Sabbie pulite e sabbie limose; questa unità è presente sia da circa 12.0 a circa 19.0 m da pc e da circa 27.0 da pc alla massima profondità indagata;

Trattandosi di aree con estradosso sub-pianeggiante, la disamina della Carta Geologica del SGSS non ha messo in evidenza la presenza di forme di dissesto pregresse. Per quanto riguarda le acque sotterranee, nell'area di studio i livelli di falda sono stati registrati durante l'esecuzione delle prove, questa si attesta a 3.2m da p.c.; il foro della prova CPTU4 e quello del sondaggio stratigrafico sono stati attrezzati con tubo piezometrico per il monitoraggio.

La caratterizzazione geotecnica, eseguita con i dati delle indagini in sito e con le prove di laboratorio ottenute hanno consentito di mettere a punto i parametri caratteristici in Tabella 8-1.

Per quanto riguarda le caratteristiche sismiche, adottando l'approccio semplificato previsto dalla normativa per casi analoghi, si può classificare il terreno come "suolo di tipo C", avente categoria topografica T1.

In fase di dimensionamento definitivo dell'opera saranno da valutare gli aspetti legati all'interferenza con le acque sotterranee (verifiche idrauliche, in particolare, alla luce del tipo di terreni), nonché l'interazione con terreni incassanti a bassa consistenza ed elevata deformabilità. Sotto il profilo sismico, il banco sabbioso restituisce un potenziale di liquefazione medio alto ed i cedimenti sono sostanziali.

Tenuto conto delle suddette problematiche geologico-geotecniche, il giudizio finale sulla fattibilità è positivo.



Appendice 1: Report delle indagini



COMUNE DI CASTEL MAGGIORE (BO)

INDAGINI SUI TERRENI DEL PRIMO
SOTTOSUOLO DI UN'AREA SITA IN VIA
CHIESA, DOVE È IN PROGETTO LA
REALIZZAZIONE DI UN SOTTOPASSO
FERROVIARIO.

Committente:

– Comune Castel Maggiore



Codice Lavoro: 2020.030/R

Revisione 0.0 Luglio 2020

**INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITU
E ANALISI DI LABORATORIO**

GEO-PROBE

– *Indagini Geognostiche* –

Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono 051.613.30.72

Email: geoprobe@geo-probe.com

INDICE

1. PREMESSA	1
2. NOTE GENERALI DI CANTIERE.....	1
3. NORMATIVA E SIMBOLOGIA DI RIFERIMENTO.....	3
4. INDAGINI IN SITU	6
5. PERMEABILITÀ DEI TERRENI.....	12
6. IDROGEOLOGIA	13
7. ANALISI DI LABORATORIO	14

ALLEGATI:

- diagrammi penetrometrie statiche con punta elettrica e piezocono;
- diagrammi prove di dissipazione;
- valutazione del coefficiente di permeabilità;
- indagine sismica;
- stratigrafie sondaggi a carotaggio continuo;
- prove di permeabilità Lefranc;
- documentazione fotografica cassette catalogatrici;
- analisi di laboratorio;
- classificazione orientativa dei terreni attraversati
(Robertson, 1990).

* * *

1. PREMESSA

Costituiscono oggetto della presente relazione le indagini realizzate in via Chiesa, in Comune di Caste Maggiore, in corrispondenza dell'attraversamento della ferrovia Bologna - Padova (TAV. 1: estratto C.T.R. Scala 1:5.000; elemento n. 221013 – Corticella).

Tali indagini sono state condotte dalla ditta GEO-PROBE S.r.l. di Casalecchio di Reno (BO) a seguito dell'incarico del Comune di Castel Maggiore.

La quantità e la qualità delle opere da eseguire, nonché l'ubicazione dei punti di indagine e le operazioni da condurre nelle fasi di lavoro, sono state notificate alla ditta Geo-Probe S.r.l. dai tecnici del Comune di Castel Maggiore e dalla Società ENSER S.r.l., incaricata della progettazione.

2. NOTE GENERALI DI CANTIERE

Le indagini geognostiche in sito sono state eseguite dal giorno 07/05/2020 al giorno 19/05/2020.

I lavori sono stati approvati dal responsabile delle "Indagini Geognostiche" della Geo-Probe S.r.l., Dr. Geologo Luca Conti.

Non si sono registrati incidenti sul lavoro e non sono stati arrecati danni a cose o persone né direttamente né indirettamente.

 Area in esame

3. NORMATIVA E SIMBOLOGIA DI RIFERIMENTO

3.1. *Normativa e raccomandazioni di riferimento*

La stesura del seguente rapporto è stata compiuta in ottemperanza alle disposizioni contenute nelle normative di riferimento di seguito elencate:

- "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione". D.M. 11 Marzo 1988.
- Istruzioni relative alle "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione". Circ. Min. LL. PP. n. 30483, 24 Settembre 1988.
- AGI: raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche, Giugno 1977.
- AGI: raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio, Maggio 1990 (edizione provvisoria).
- A.S.T.M. American Society For Testing and Materials.
- Eurocodice Ec7 per l'ingegneria geotecnica, Settembre 1988.
- ISRM International Society for Rock Mechanics: Rock characterization testing and monitoring suggested methods - Commission on Testing Methods; 1981.
- "Norme tecniche per le costruzioni". D.M. 14 Gennaio 2008 (G.U. n. 29 del 04/02/08, supplemento ordinario n. 30).
- "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni". D.M. 17 Gennaio 2018 (G.U. n. 42 del 20/02/18, supplemento ordinario n. 8).
- Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17/01/2018. Circolare Cons. Sup. LL.PP. n. 7/2019.

3.2. Principali riferimenti bibliografici

- American Society for Testing and Materials, Annual Books of ASTM Standards, part 19, 1984, Philadelphia.
- CESTELLI GUIDI C.: "Geotecnica e Tecnica delle Fondazioni Vol. 1-2", Hoepli - Milano.
- Munsell Soil Color Charts, Macbeth, Kollmorgen Corporation, 1975, Baltimore.
- TERZAGHI, PECK: "Geotecnica", UTET, Torino, 1974.
- FERRUCCIO CESTARI: "Prove Geotecniche in sito", GEO-GRAPH s.n.c. - 1990 Segrate.
- RENATO LANCELOTTA: "GEOTECNICA", Zanichelli - 1991 Bologna.

3.3. Definizioni relative alla classificazione dei terreni

Per l'identificazione di terreni composti da più frazioni si segue il criterio:

Percentuale P in peso presente	Definizione usata
1 ÷ 5 %	con tracce di ...
5 ÷ 10 %	debolmente ... "oso"
10 ÷ 25 %	... "oso"
25 ÷ 50 %	con ...

siano A, B, C, i nomi degli intervalli principali (argilla, limo, ecc.); siano p_1 , p_2 , p_3 le percentuali di A, B, C, presenti nella terra in esame; se, per esempio $p_1 > p_2 > p_3$ il terreno viene denominato col nome della frazione A, seguito dai nomi delle frazioni B e C preceduti dalla congiunzione "con", se il corrispondente p è compreso tra il 50 e il 25 %, seguiti dal suffisso "oso" se p è tra il 25 e il 10 % o infine seguiti dal suffisso "oso" e preceduti da debolmente se p è compreso tra il 10 e il 5 %.

3.4. Grado di consistenza dei terreni coerenti

La consistenza dei terreni coesivi e semicoesivi può essere valutata sulla base della resistenza al penetrometro tascabile misurata sulla carota appena estratta e scortecciata, con frequenza di una prova ogni 20÷30 cm.

Il grado di consistenza sarà definito come segue:

Definizione	Resistenza al penetrometro tascabile (Kg/cm ²)
Privo di consistenza	< 0,25
Poco consistente	0,25 ÷ 0,5
Moderatamente consistente	0,5 ÷ 1,0
Consistente	1,0 ÷ 2,0
Molto consistente	>2,0

3.5. Addensamento dei terreni granulari e consistenza dei terreni coesivi

Il grado di addensamento e lo stato di consistenza verrà determinato sulla base dei valori di NSPT secondo la tabella seguente

NSPT	Valutazione Del grado di addensamento
0 ÷ 4	Sciolto
4 ÷ 10	Poco addensato
10 ÷ 30	Moderatamente addensato
30 ÷ 50	Addensato
> 50	Molto addensato

NSPT	Valutazione dello stato di consistenza
0 ÷ 2	Molle
2 ÷ 4	Tenero
4 ÷ 8	Medio
8 ÷ 15	Compatto
15 ÷ 30	Molto compatto
>30	Duro

4. INDAGINI IN SITU

L'indagine geognostica in situ, è consistita nell'esecuzione di:

- n. 4 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono (CPTU) di lunghezza variabile da 20,00 m a 29,11 m;
- n. 1 indagine sismica mediante cono sismico e misurazione della Vs in foro;
- n. 1 sondaggio con il metodo del carotaggio continuo della lunghezza di 30,00 m, attrezzato con piezometro a tubo aperto microfessurato del diametro di 2,5" della lunghezza di 18,00 m.

Le penetrometrie statiche n. 1 e 2 sono state posizionate ad Ovest della ferrovia, all'interno di un'area militare, le restanti penetrometrie, l'indagine sismica ed il carotaggio ad Est della ferrovia; l'ubicazione dei punti di indagine viene riportata di seguito nella TAV. 2.

Da evidenziare che la penetrometria statica n. 3 e la prova sismica sono state eseguite sulla stessa verticale.

4.1. Penetrometrie statiche con punta elettrica e piezocono

Per l'esecuzione delle prove con punta elettrica e piezocono è stato utilizzato un penetrometro statico montato su Unimog Mercedes 400L con cella di carico da 200 kN, che impiega una punta conica con apertura di 60° e superficie di 10 cm² per la misurazione della resistenza alla punta ed un manicotto di frizione (*friction jacket*) della superficie di 150 cm² per la misurazione dell'attrito laterale locale.

In aggiunta alla suddetta strumentazione si utilizza un filtro poroso situato immediatamente sopra alla estensione presente sulla punta conica, che permette di misurare la pressione dell'acqua interstiziale (pp) durante l'avanzamento.

Poiché tale pressione è legata al tipo di terreno e alla sua consistenza, il valore misurato permette di ottenere una descrizione dettagliata del profilo stratigrafico e, se combinato con la resistenza alla penetrazione misurata alla punta, anche un indice della storia tensionale del deposito.

I risultati delle penetrometrie statiche con punta elettrica e piezocono vengono rappresentati in forma diagrammatica nelle apposite tavole allegate, dove viene riportato il valore q_c (resistenza alla punta) il valore f_s (resistenza attrito laterale locale), espressi rispettivamente in MPa e kPa, il rapporto R_f (rapporto fra la resistenza laterale locale e la resistenza alla punta, espresso in %), che orientativamente ci permette una classificazione dei terreni attraversati, la pressione interstiziale dei pori (pp), espressa in kPa, la velocità di avanzamento (F) e l'angolazione della strumentazione (Tilt) nel corso dell'avanzamento riferita alla verticale.

Le suddette letture vengono eseguite per avanzamenti di 1,0 cm.

Nel corso delle prove penetrometriche con punta elettrica e piezocono, sono state eseguite n. 9 prove di dissipazione (*Dissipation test*) per la misura della variazione nel tempo della pressione dell'acqua nei pori (U), alle date profondità.

La prova di dissipazione viene eseguita misurando la velocità con cui avviene la dissipazione della pressione dei pori in eccesso fino a una certa percentuale del valore di equilibrio, che di solito coincide con il valore della pressione idrostatica agente alla profondità del trasduttore.

Generalmente la prova viene arrestata dopo avere raggiunto una percentuale stabilita di dissipazione (60÷80%) dell'eccesso della pressione dei pori, altre volte la dissipazione viene spinta fino a raggiungere l'equilibrio, ottenendo importanti informazioni sugli aspetti idrogeologici del deposito.

Mediante l'interpretazione della curva di dissipazione, è possibile ricavare il coefficiente di permeabilità k_h , sia attraverso correlazione diretta che attraverso la valutazione del coefficiente di consolidazione in direzione orizzontale (c_h).

Nel primo caso il coefficiente di permeabilità k_h può essere determinato mediante la relazione (Parez & Fauriel, 1988)

$$k_h = 1/(251 \cdot t_{50})^{1.25}$$

dove t_{50} è il tempo necessario per ottenere il 50% di dissipazione.

Nel secondo caso, la dissipazione della pressione dei pori dipende dal coefficiente di consolidazione in direzione orizzontale (c_h) che a sua volta è correlato alla permeabilità (k_h) e alla compressibilità (M) dalla seguente relazione:

$$k_h = (c_h \cdot \gamma_w)/M$$

dove:

γ_w = peso di volume dell'acqua.

Il valore del coefficiente di consolidazione c_h viene calcolato mediante la teoria di Houlsby and Teh's (1988) usando la seguente relazione:

$$c_h = (T \cdot r^2 \cdot Ir^{0.5})/t_{50}$$

dove:

T = fattore tempo = 0,245;

r = raggio del piezocono = 18 mm;

Ir = indice di rigidezza = G_0/C_u dove G_0 è il modulo di taglio e C_u la resistenza al taglio non drenata;

t_{50} = tempo corrispondente al 50% della consolidazione;

I risultati delle prove di dissipazione vengono riportati in allegato negli appositi moduli.

4.2. Indagine sismica

Allo scopo di determinare il parametro Vs30, necessario a classificare il suolo di fondazione del sito da parte del Dr. Geol. Rocco Carbonella, su richiesta della Geo-Probe S.r.l., è stata eseguita una misura delle onde di taglio (Vs) in foro tramite modulo sismico Marchetti (SCPTU); l'elaborazione dei dati ottenuti viene riportata nell'apposita relazione allegata.

4.3. Carotaggio continuo

Per l'esecuzione del carotaggio continuo, è stata utilizzata una sonda perforatrice IPC modello DRILL 830L con le seguenti caratteristiche:

- Coppia alla rotazione 1182 Kgm
- Velocità di rotazione 457 rpm
- Corsa continua 400 cm
- Spinta testa di rotazione 5000 Kg
- Trazione testa di rotazione 5000 Kg
- Pressione pompe:
 - 1) schiuma 50 bar
 - 2) a vite 24 bar
- Argano a fune d'acciaio 1100 Kg
- Aste di perforazione con nipples
 - a filetto conico n. 20 x 1500 mm x 76 mm
 - Carotieri semplici n. 2 x 1500 mm x 101 mm
- Corone in widia per ghiaie e argilla
- Campionatore Raymond per esecuzione di S.P.T.
- Campionatore Schelby per prelievo campioni indisturbati
- Rivestimento a filettatura tronco conica
 - con scarpa provvista di widia esterni
 - per alesare il foro - sp. 8 mm n. 24 x 1500 x 127
- Scandaglio a filo graduato da 50 m
- Freatimetro BFK graduato della lunghezza di 50 m
- Penetrometro tascabile tipo tubolare SEB (scala 0÷4,5 kg/cm²)
- Scissometro tascabile S75 S76 (scala 0÷2 kg/cm²)

Nel corso dei sondaggi a carotaggio continuo sono stati prelevati tre campioni disturbati e mediante campionatore a pareti sottili tipo Shelby, tre campioni indisturbati e da sottoporre ad analisi di laboratorio.

All'interno dei terreni incoerenti sono state effettuate n. 3 prove S.P.T. (*Standard Penetration Test*) mediante l'utilizzo di campionatore *Raymond*, per l'identificazione della resistenza dinamica alla penetrazione del terreno.

La strumentazione utilizzata per l'indagine (modello Nenzi) è costituita da un maglio del peso di 63,5 kg, fatto cadere da un'altezza di 760 mm su una testa di

battuta fissata alla sommità di una batteria di aste alla cui estremità inferiore è avvitato un campionatore di dimensioni standardizzate.

Il tubo campionatore tipo Raymond realizzato in acciaio indurito, con diametro interno di 35 mm ed esterno di 51 mm, presenta all'estremità inferiore una scarpa della lunghezza di 76 mm, con la parte terminale rastremata e tagliente per favorire la penetrazione.

All'estremità superiore del campionatore è avvitato un raccordo per le aste di manovra che contiene una valvola a sfera e degli sfiati sufficienti a non creare ostacoli alla fuoriuscita di aria, acqua o fango durante l'infissione.

Le prove S.P.T. eseguite all'interno dei fori di sonda sono state eseguite seguendo le raccomandazioni A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana), secondo le quali si deve procedere alla registrazione dei colpi (N_1 , N_2 , N_3) necessari per ottenere tre avanzamenti successivi di 15 cm ognuno della punta conica, interrompendo la prova quando con $N_1 = 50$ l'avanzamento è inferiore a 15 cm o, in seconda istanza, quando per $N_2 + N_3 = 100$ non si raggiunge l'avanzamento di 30 cm.

Il numero di colpi (N) necessario per una penetrazione della punta pari a 30 cm (15 + 15 cm) (dopo un primo avanzamento di 15 cm per superare i terreni alterati presenti generalmente sul fondo del foro di sonda) è il dato assunto come indice della resistenza alla penetrazione (N_{SPT}).

La resistenza alla penetrazione consente una valutazione della densità relativa (D_R) e dell'angolo di attrito efficace (φ').

Nel corso del carotaggio continuo, sono state eseguite n. 5 prove di permeabilità Lefranc di cui 2 a carico costante e 3 a carico variabile per la determinazione del coefficiente di permeabilità K .

La prova di permeabilità a carico costante consiste nel misurare la portata necessaria per mantenere costante il livello dell'acqua nel foro di sondaggio.

Sulla base della geometria della cavità e della situazione stratigrafica viene determinato il coefficiente di forma (F) mentre la portata (Q) viene ricavata dai dati misurati direttamente durante la prova.

Il valore del coefficiente di permeabilità K viene determinato mediante l'espressione generale

$$K = Q / (F \cdot h)$$

dove h è la differenza di altezza del livello dell'acqua provocato dall'immissione o dall'emungimento.

Nella prova di permeabilità a carico variabile si misura la velocità di riequilibrio del livello dell'acqua nel foro dopo averlo alterato mediante immissione o emungimento.

Sulla base della geometria della cavità e della situazione stratigrafica viene determinato il coefficiente di forma (F) mentre il valore del coefficiente di permeabilità K viene determinato mediante l'espressione generale

$$K = A / (F \bullet T)$$

dove T è il tempo di riequilibrio.

I risultati delle prove di permeabilità Lefranc vengono riportati in allegato negli appositi moduli.

Il foro di sondaggio è stato attrezzato con piezometro a tubo aperto microfessurato del diametro di 2,5" mm della lunghezza di 18,00 m, protetto in superficie con pozzetto carrabile.

La stratigrafia del carotaggio continuo e la documentazione fotografica delle cassette catalogatrici, vengono riportati in allegato negli appositi moduli.

Legend:

- ▼ Penetrometrie statiche con punta elettrica e piezocono
- ▼ Indagine sismica
- Carotaggio continuo

Scale: 1:500

5. PERMEABILITÀ DEI TERRENI

Nel corso delle penetrometrie statiche con punta elettrica e piezocono sono state eseguite n. 7 prove di dissipazione che hanno dato, per il valore di permeabilità k , i risultati riportati nella seguente tabella:

Punto	Profondità (m da p.c.)	K (Parez & Furiel) cm/sec	K (Teh & Houlsby) cm/sec
CPTU 1	4,87	4,76E-07	1,30E-06
	15,03	9,74E-08	4,73E-09
CPTU 2	5,45	6,12E-06	4,73E-05
	19,50	7,04E-08	3,40E-07
CPTU 3	5,52	5,66E-08	5,89E-08
	20,00	3,94E-06	9,71E-06
CPTU 4	2,00	2,55E-07	2,54E-07
	5,66	4,18E-06	6,65E-06
	15,04	7,40E-07	1,48E-06

Nel corso del sondaggio a carotaggio continuo sono state eseguita n. 5 prova di permeabilità Lefranc che ha dato i risultati riportati nella seguente tabella:

Punto	Profondità (m da p.c.)	Kh m/sec
LEFCV	3,00	2,83E-06
LEFCV	5,00	6,71E-06
LEFCC	8,60	4,54E-04
LEFCC	15,00	4,64E-07
LEFCV	17,70	3,02E-05

I certificati delle prove eseguite vengono riportati in allegato negli appositi moduli.

6. IDROGEOLOGIA

Come evidenziato in precedenza il foro di sondaggio a carotaggio e della penetrometria statica n. 4 sono stati attrezzati con piezometro a tubo aperto tipo Norton, al fine di monitorare nel tempo la falda freatica di superficie presente.

Al termine dell'indagine nei fori di prova e sondaggio il livello di falda, rispetto al p.c. attuale, è stato misurato ad una profondità di circa 3,20 m; successive misure, eseguite in data 08/06/20 e 03/07/20, hanno evidenziato un leggerissimo abbassamento della falda freatica.

Di seguito, con riferimento al p.c., si riporta una tabella con le misure eseguite.

Punto	19/05/20	08/06/20	03/07/20
C 1	-3,20	-3,21	-3,24
CPTU 4	-3,20	-3,22	-3,27

7. ANALISI DI LABORATORIO

Sui campioni indisturbati e disturbati prelevati nel corso dell'indagine sono state eseguite, da parte del laboratorio geotecnico Dr. Geol. Antonio Mucchi, le seguenti analisi di laboratorio:

- apertura e descrizione dei campioni con esecuzione prove di consistenza speditive al pocket penetrometer (ASTM D2488 – AGI 1977);
- contenuto in acqua (ASTM D2216) e peso unità di volume (ASTM D2937);
- analisi granulometrica per sedimentazione (ASTM D422 – AGI 1944);
- peso specifico dei grani mediante picnometro (ASTM D854)
- determinazione dei limiti di consistenza (ASTM D4318);
- prova di consolidazione edometrica (AGI 1994)
- prova di taglio diretto (AGI 1994).

I risultati delle analisi di laboratorio vengono riportate in allegato negli appositi moduli mentre nella tabella successiva viene riportato un quadro riepilogativo delle prove eseguite.

Campioni indisturbati	Profondità	DSC	γ	W	G	GS	LA	Ed	PT
BH1/C1	2,50÷3,00	X	X	X	X	---	X	X	X
BH1/C2	4,50÷5,00	X	X	X	X	X	---	X	X
BH1/C3	20,50÷21,00	X	X	X	X	---	X	---	---
Campioni disturbati	Profondità	DSC	γ	W	G	GS	LA	Ed	PT
BH1/CR1	7,40÷7,60	X	---	X	X	---	---	---	---
BH1/CR2	8,00÷8,60	X	---	X	X	---	---	---	---
BH1/CR3	10,40÷10,60	X	---	X	X	---	---	---	---
Campioni SPT	Profondità	DSC	γ	W	G	GS	LA	Ed	PT
BH1/SPT1	13,50÷13,95	X	---	X	X	---	---	---	---
BH1/SPT2	16,50÷16,95	X	---	X	X	---	---	---	---
BH1/SPT3	28,50÷29,00	X	---	X	X	---	---	---	---

DSC: estrazione di campione indisturbato da fustella, esecuzione di prove di consistenza speditive, descrizione geotecnica;

γ peso per unità di volume;

W contenuto in acqua;

G: analisi granulometrica;

GS: peso specifico dei grani;

LA: limite liquido e limite plastico;

Ed: prova edometrica;

PT: prova di taglio diretta.

Casalecchio di Reno, 06 Luglio 2020



ALLEGATI

Indagine geognostica

Penetrometrie statiche con punta elettrica e piezocono

[illegible]

Prove di dissipazione

CPTU N. 1 DISSIPAZIONE N. 1

Committente : Comune di Castel Maggiore

Località : Castel Maggiore (BO)

Attrezzatura: -

Note: --

Rapporto di Prova N. 20.0177/RSP

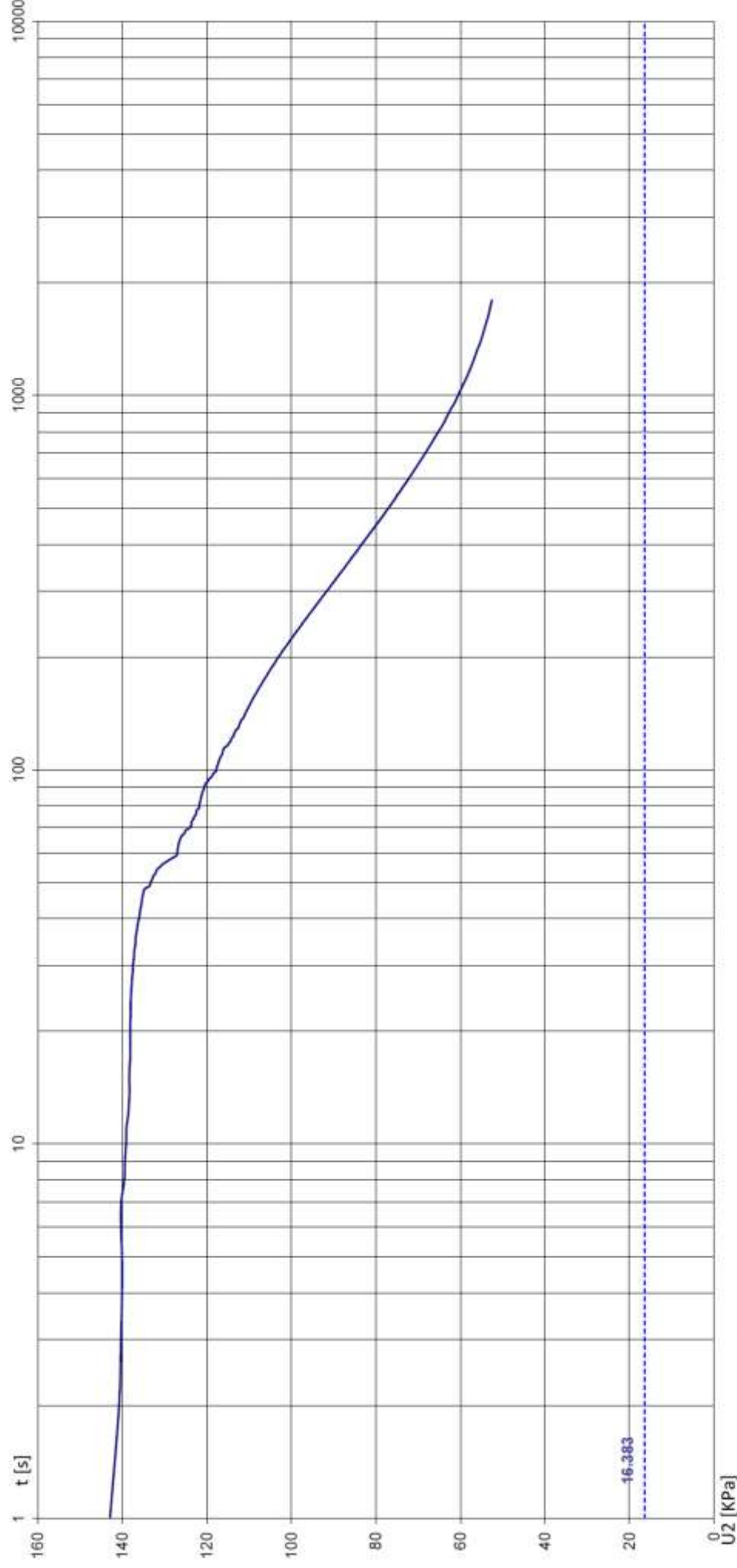
Quota diss. : 4.87 m da p.c.

Falda : 3.20 m da p.c.

Data Prova : 07/05/2020

Codice Lavoro : 2020.030

Cantiere: via Chiesa



Procedura di Prova	Normativa di riferimento	Rapporto di Prova N°	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
IO_005	ASTM D5578-12	20.0177/RSP	0	07/05/2020	Dr. Chelli	Dr. Luca Conti

CPTU N. 1 DISSIPAZIONE N. 2

Committente : Comune di Castel Maggiore

Località : Castel Maggiore (BO)

Attrezzatura: -

Note: ---

Cantiere: via Chiesa

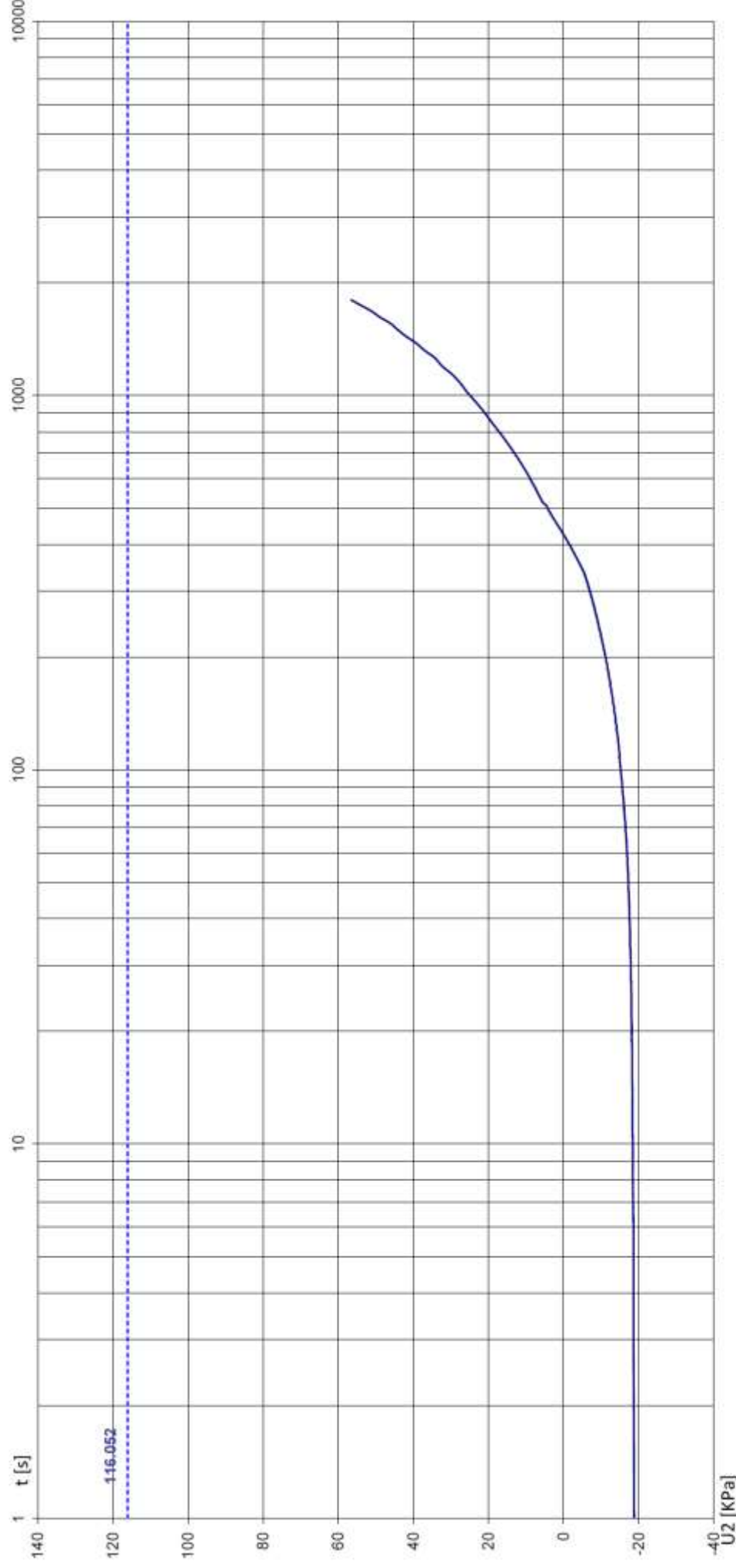
Rapporto di Prova N. 20.0178/RSP

Quota diss. : 15.03 m da p.c.

Falda : 3.20 m da p.c.

Data Prova : 07/05/2020

Codice Lavoro : 2020.030



Procedura di Prova	Normativa di riferimento	Rapporto di Prova N°	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
IO_005	ASTM D5578-12	20.0178/RSP	0	07/05/2020	Dr. Chelli	Dr. Luca Conti

CPTU N. 2 DISSIPAZIONE N. 1

Rapporto di Prova N. 20.0179/RSP

Quota diss. : 5.45 m da p.c.

Falda : 3.20 m da p.c.

Data Prova : 07/05/2020

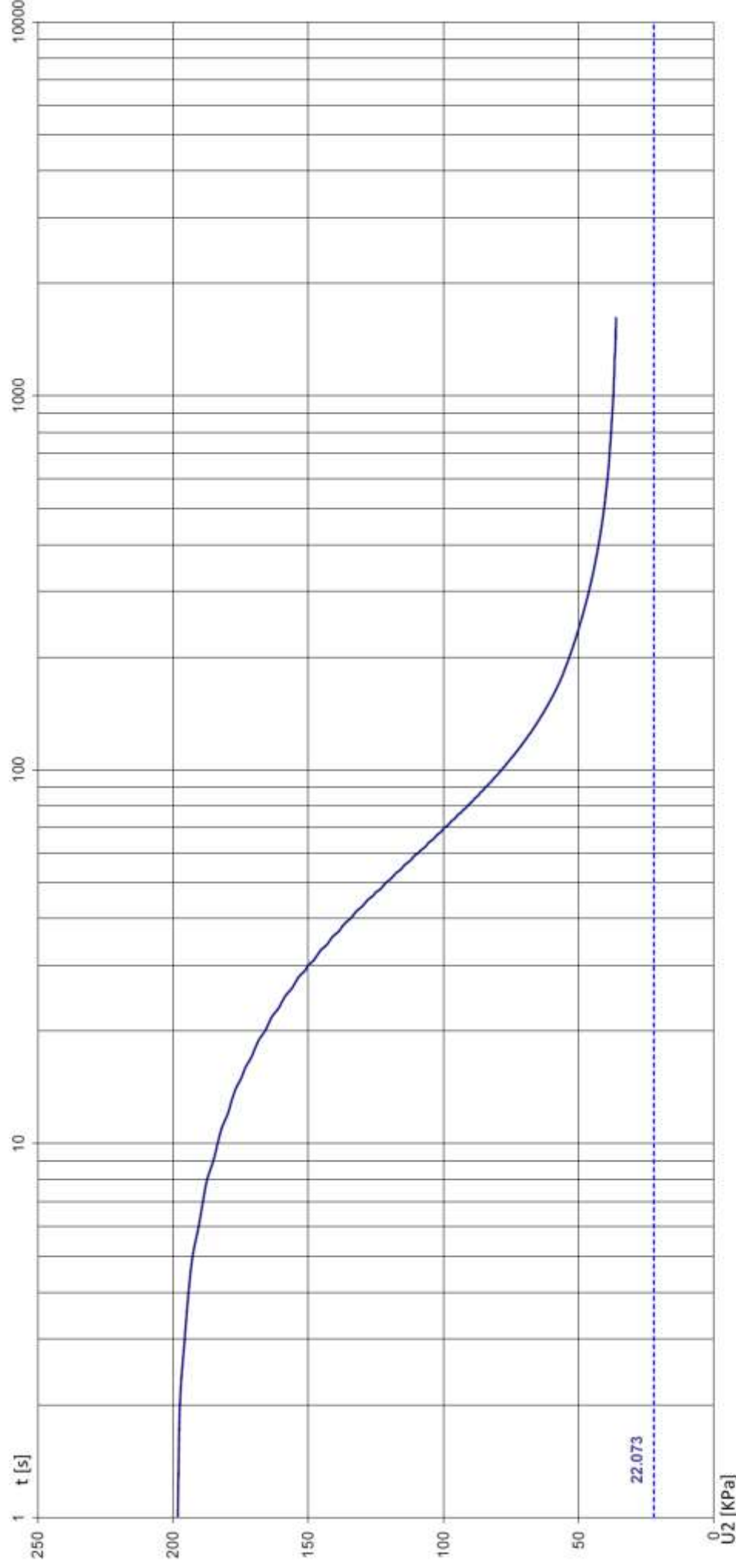
Codice Lavoro : 2020.030

Committente : Comune di Castel Maggiore

Località : Castel Maggiore (BO) Cantiere: via Chiesa

Attrezzatura: -

Note: -



Procedura di Prova	Normativa di riferimento	Rapporto di Prova N°	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
IO_005	ASTM D5578-12	20.0179/RSP	0	07/05/2020	Dr. Chelli	Dr. Luca Conti

CPTU N. 2 DISSIPAZIONE N. 2

Committente: Comune di Castel Maggiore

Località: Castel Maggiore (BO)

Attrezzatura: -

Note: -

Rapporto di Prova N. 20.0180/RSP

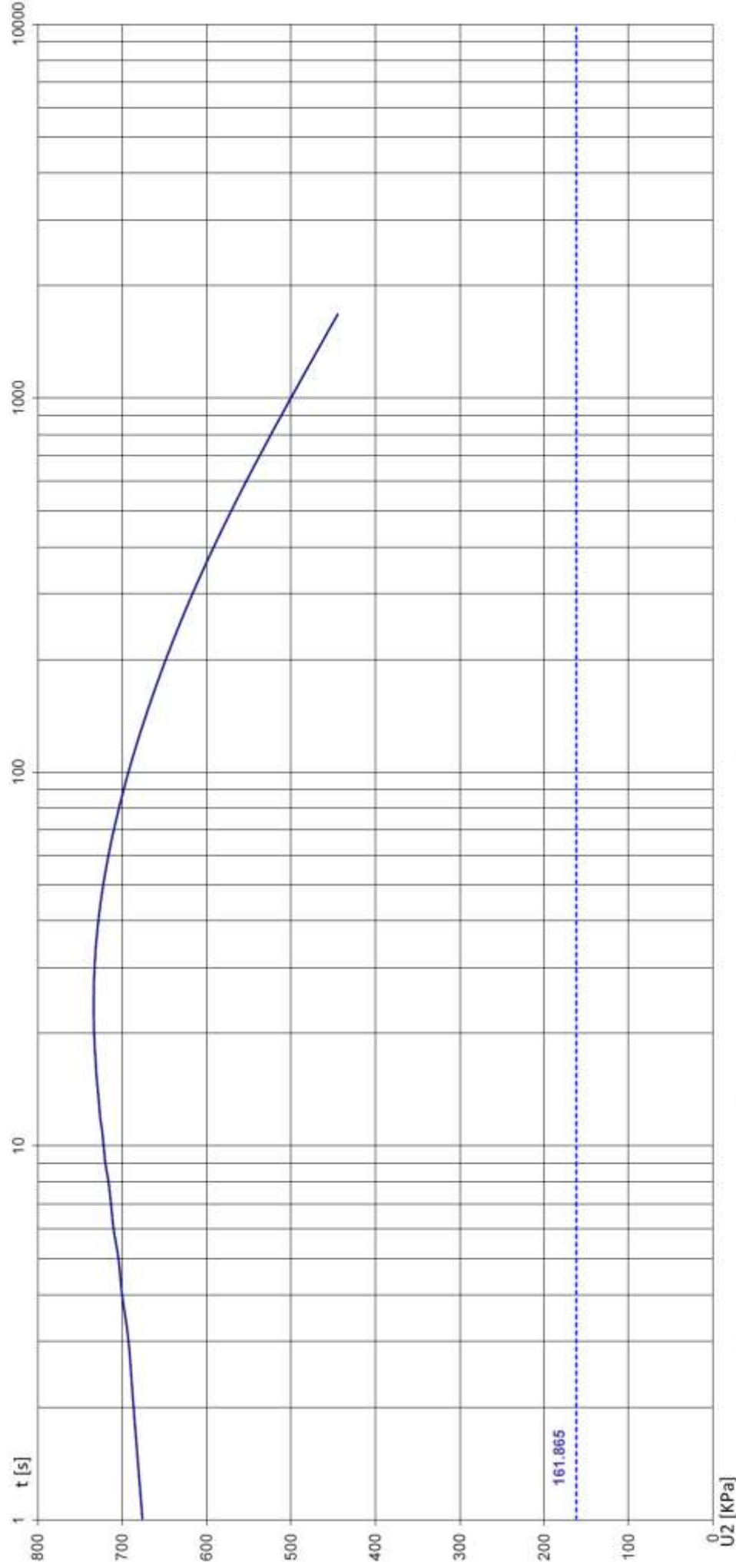
Quota diss.: 19.50 m da p.c.

Falda: 3.00 m da p.c.

Data Prova: 07/05/2020

Codice Lavoro: 2020.030

Cantiere: via Chiesa



Procedura di Prova	Normativa di riferimento	Rapporto di Prova N°	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
IO_005	ASTM D5578-12	20.0180/RSP	0	07/05/2020	Dr. Chelli	Dr. Luca Conti

CPTU N. 3 DISSIPAZIONE N. 1

Committente : Comune di Castel Maggiore

Località : Castel Maggiore (BO)

Attrezzatura: -

Note: -

Rapporto di Prova N. 20.0189/RSP

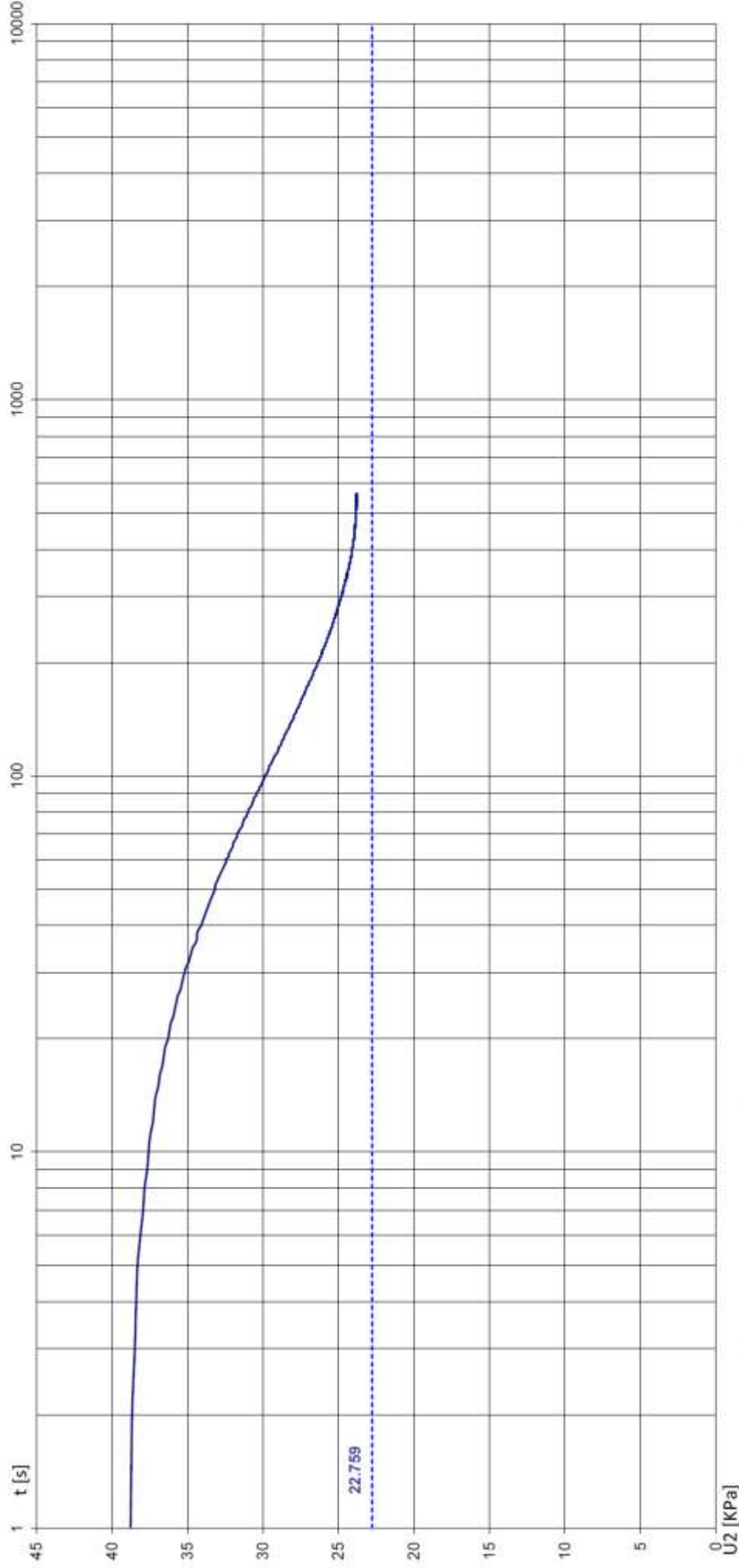
Quota diss. : 5.52 m da p.c.

Falda : 3.20 m da p.c.

Data Prova : 12/05/2020

Codice Lavoro : 2020.030

Cantiere: via Chiesa



Procedura di Prova	Normativa di riferimento	Rapporto di Prova N°	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
IO_005	ASTM D5578-12	20.0189/RSP	0	12/05/2020	Dr. Chelli	Dr. Luca Conti

CPTU N. 3 DISSIPAZIONE N. 2

Committente : Comune di Castel Maggiore

Località : Castel Maggiore (BO)

Attrezzatura: -

Note: --

Rapporto di Prova N. 20.0190/RSP

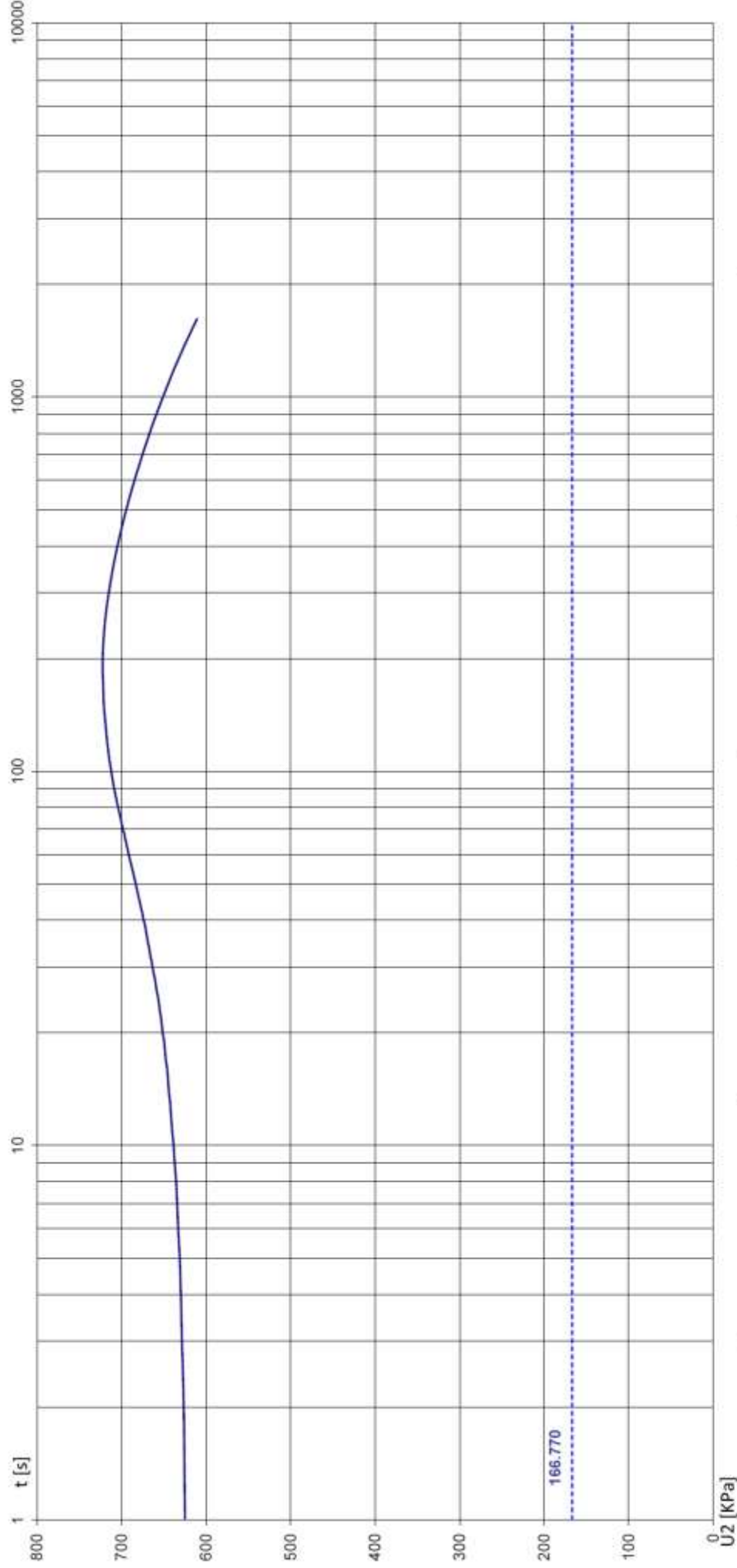
Quota diss. : 20.00 m da p.c.

Falda : 3.00 m da p.c.

Data Prova : 12/05/2020

Codice Lavoro : 2020.030

Cantiere: via Chiesa



Procedura di Prova	Normativa di riferimento	Rapporto di Prova N°	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
IO_005	ASTM D5578-12	20.0190/RSP	0	12/05/2020	Dr. Chelli	Dr. Luca Conti

CPTU N. 4 DISSIPAZIONE N. 1

Committente: Comune di Castel Maggiore

Località: Castel Maggiore (BO)

Attrezzatura: -

Note: -

Rapporto di Prova N. 20.0191/RSP

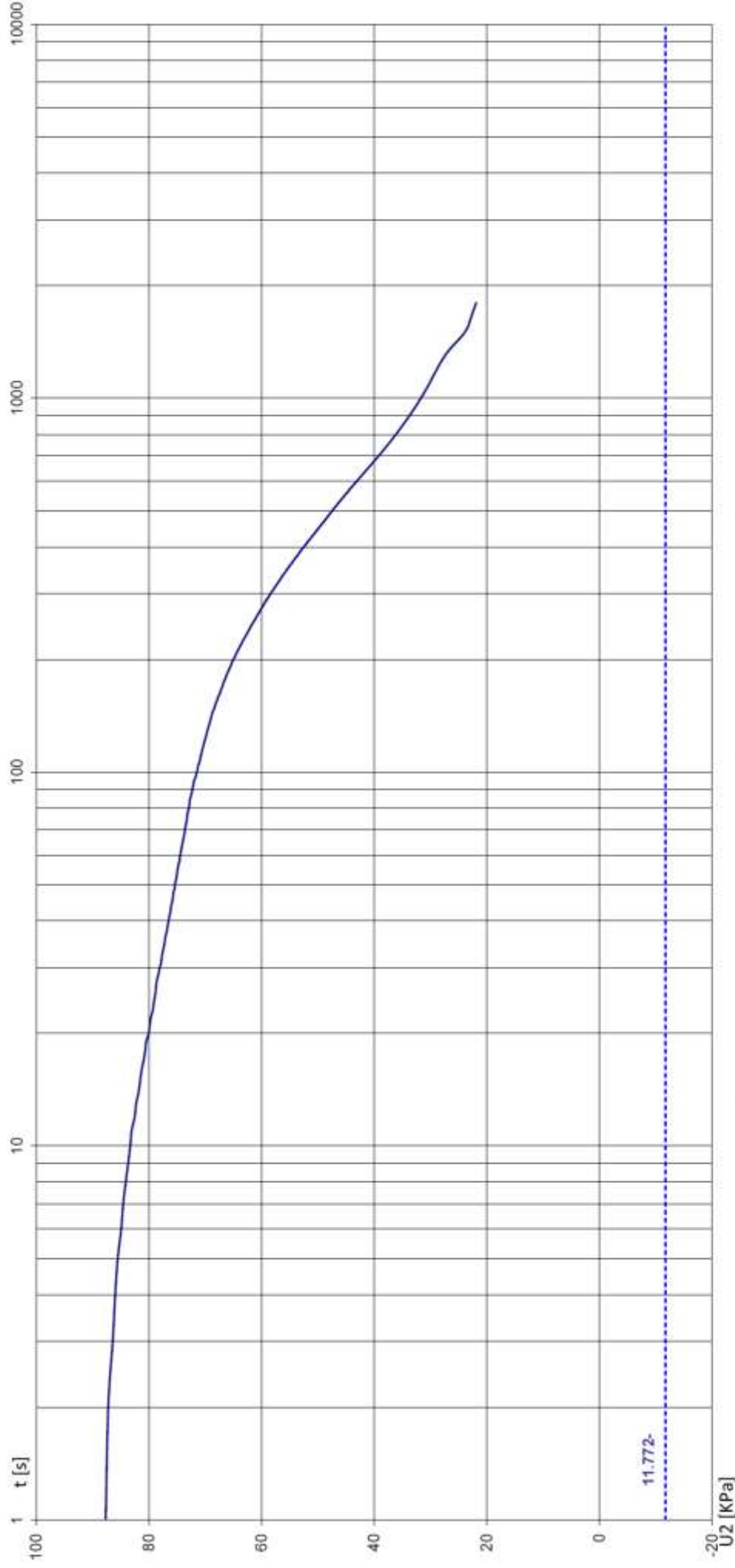
Quota diss.: 2.00 m da p.c.

Falda: 3.20 m da p.c.

Data Prova: 12/05/2020

Codice Lavoro: 2020.030

Cantiere: via Chiesa



Procedura di Prova	Normativa di riferimento	Rapporto di Prova N°	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
IO_005	ASTM D5578-12	20.0191/RSP	0	12/05/2020	Dr. Chelli	Dr. Luca Conti

CPTU N. 4 DISSIPAZIONE N. 2

Rapporto di Prova N. 20.0192/RSP

Quota diss. : 5.66 m da p.c.

Falda : 3.20 m da p.c.

Data Prova : 12/05/2020

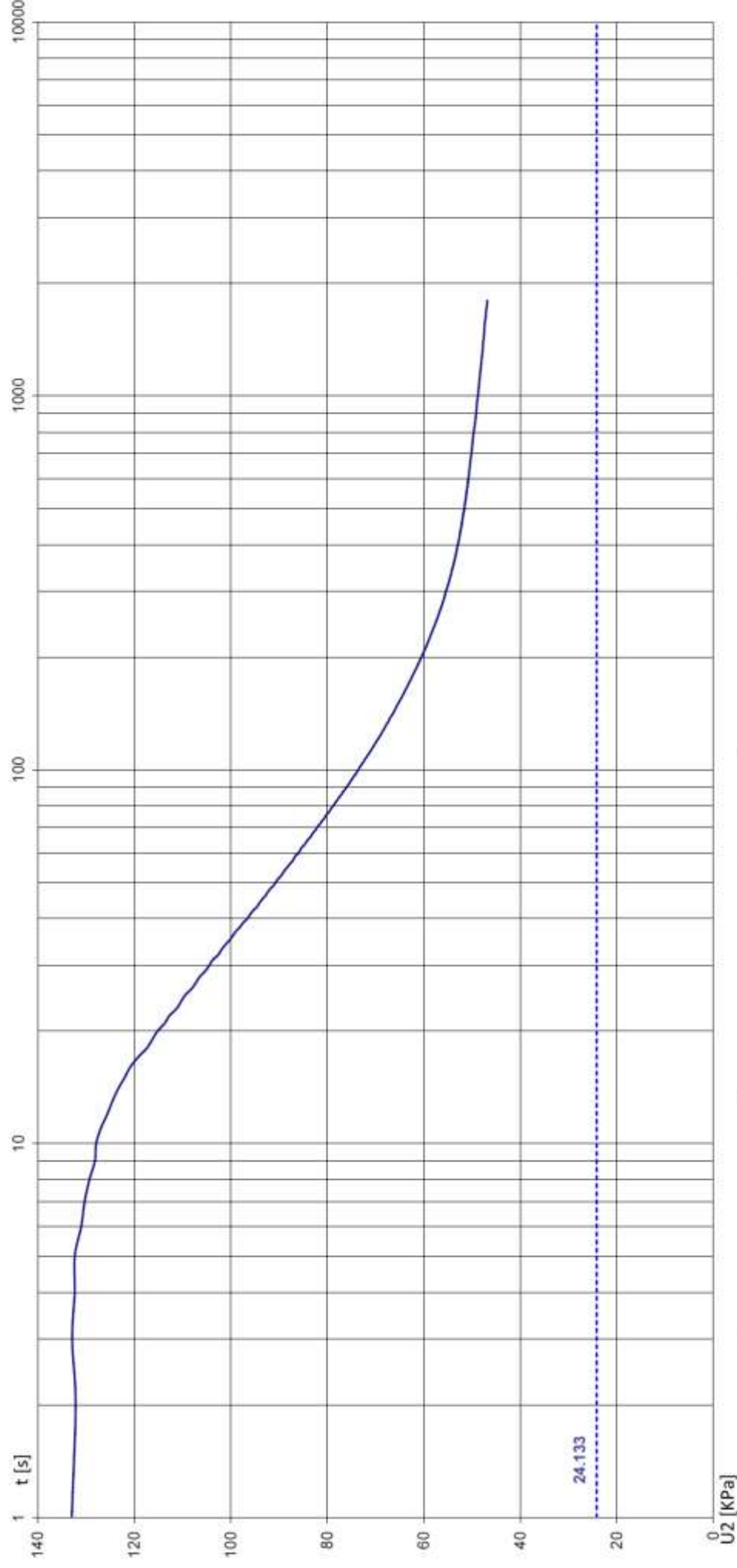
Codice Lavoro : 2020.030

Committente : Comune di Castel Maggiore

Località : Castel Maggiore (BO) Cantiere: via Chiesa

Attrezzatura: -

Note: -



Procedura di Prova	Normativa di riferimento	Rapporto di Prova N°	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
IO_005	ASTM D5578-12	20.0192/RSP	0	12/05/2020	Dr. Chelli	Dr. Luca Conti

GEO-PROBE

Indagini Geognostiche

40033 Casalecchio di Reno (BO)
Via Cimarosa, 119 - Tel. 051/61.33.072

CPTU N. 4 DISSIPAZIONE N. 3

Committente : Comune di Castel Maggiore

Località : Castel Maggiore (BO)

Attrezzatura: -

Note: ---

Rapporto di Prova N. 20.0193/RSP

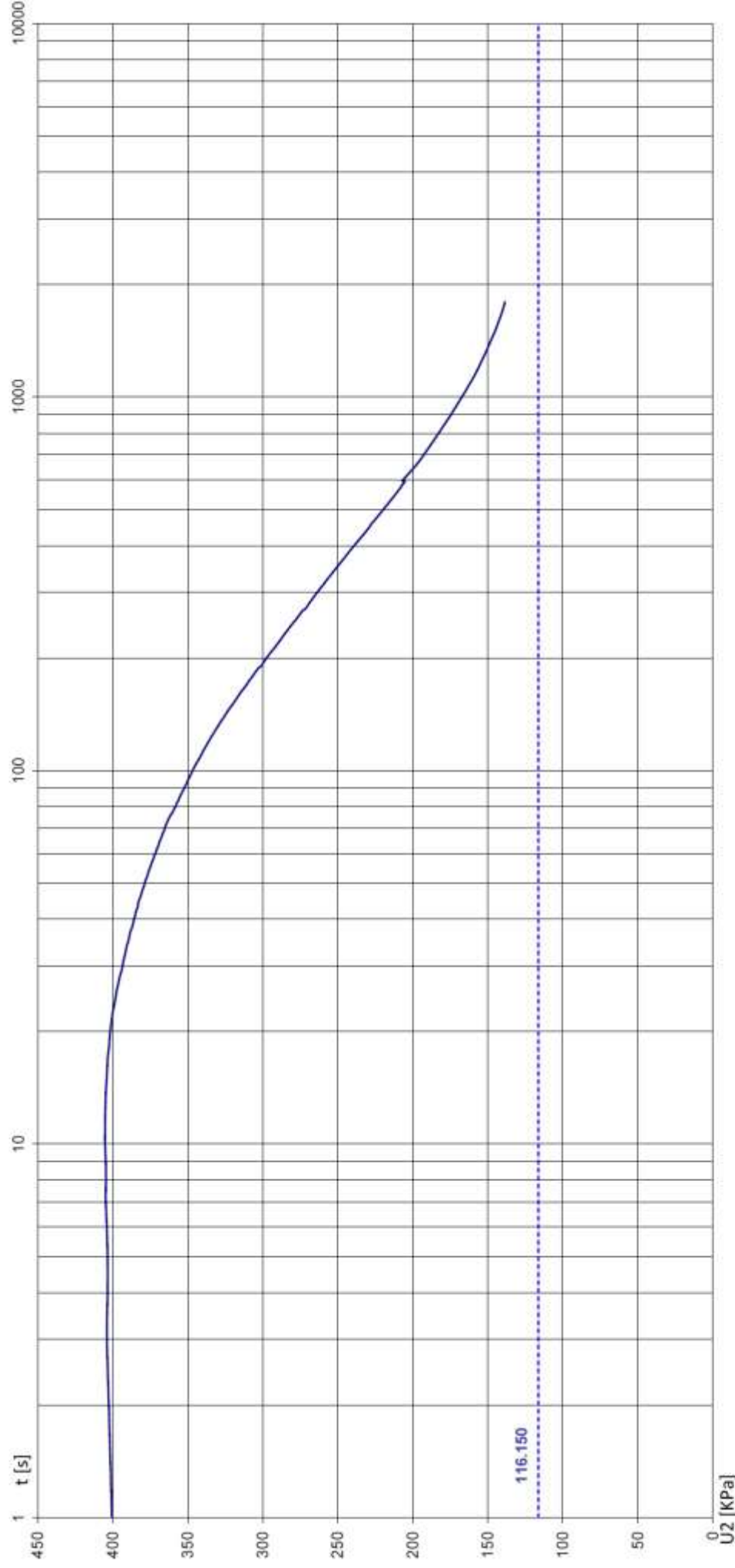
Quota diss.: 15.04 m da p.c.

Falda : 3.20 m da p.c.

Data Prova : 12/05/2020

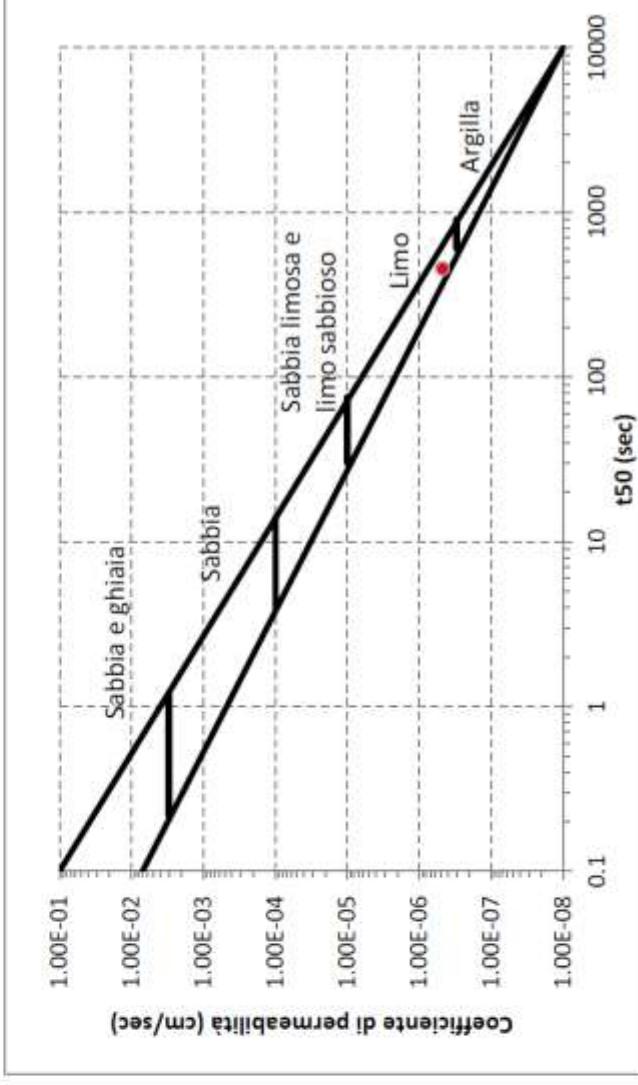
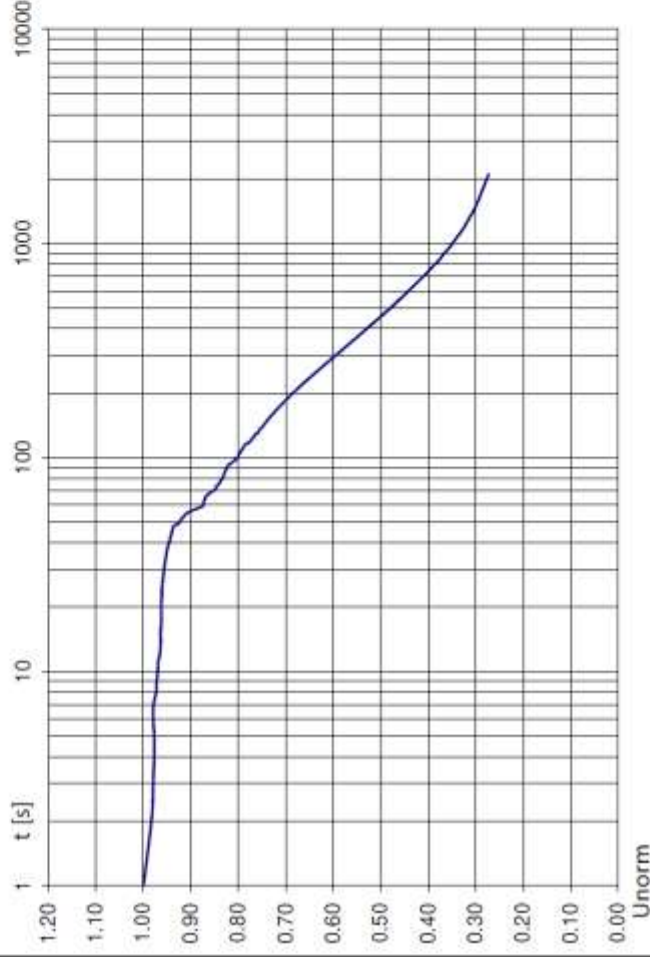
Codice Lavoro : 2020.030

Cantiere: via Chiesa



Procedura di Prova	Normativa di riferimento	Rapporto di Prova N°	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
IO_005	ASTM D5578-12	20.0193/RSP	0	12/05/2020	Dr. Chelli	Dr. Luca Conti

Valutazione del coefficiente di permeabilità da prove di dissipazione

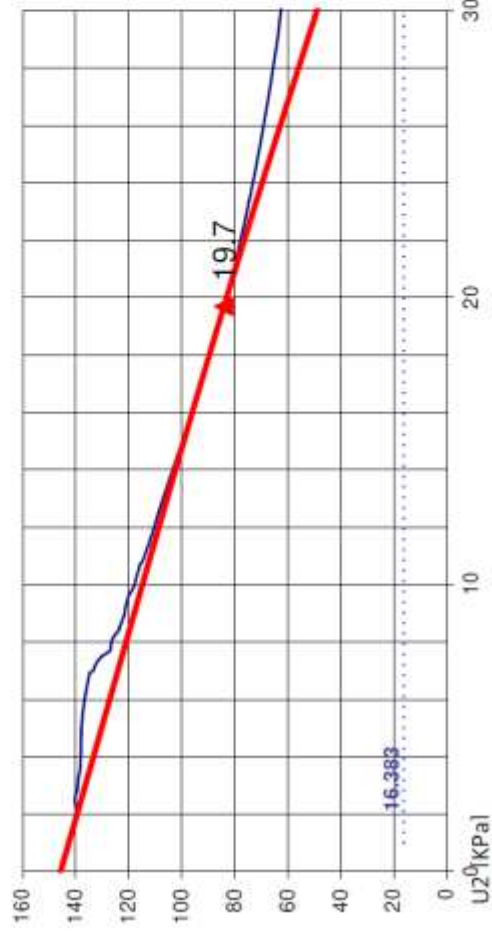


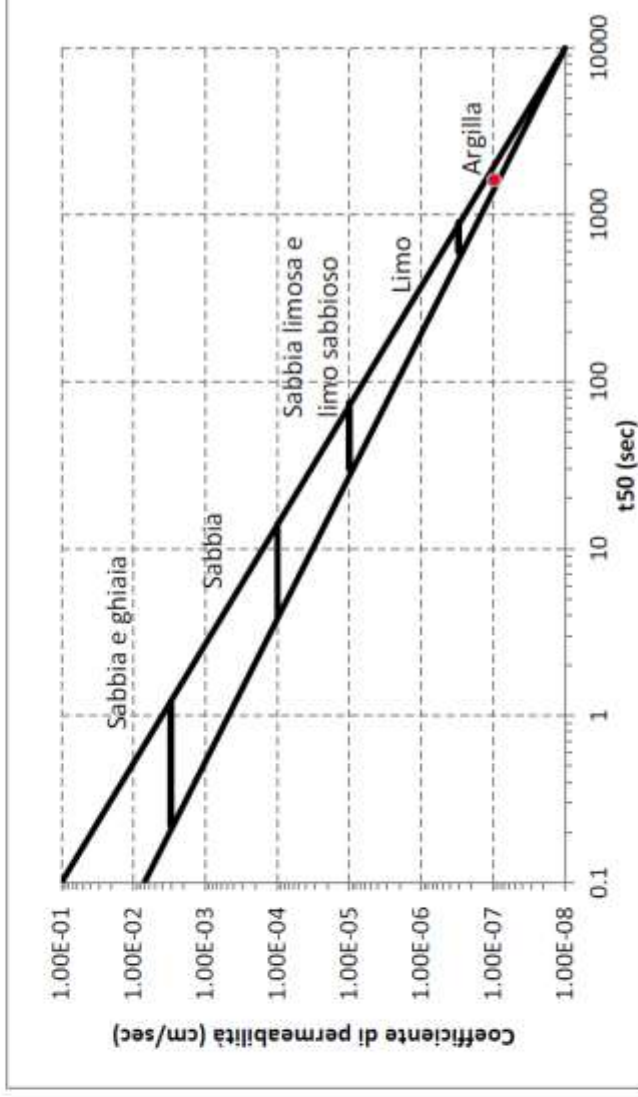
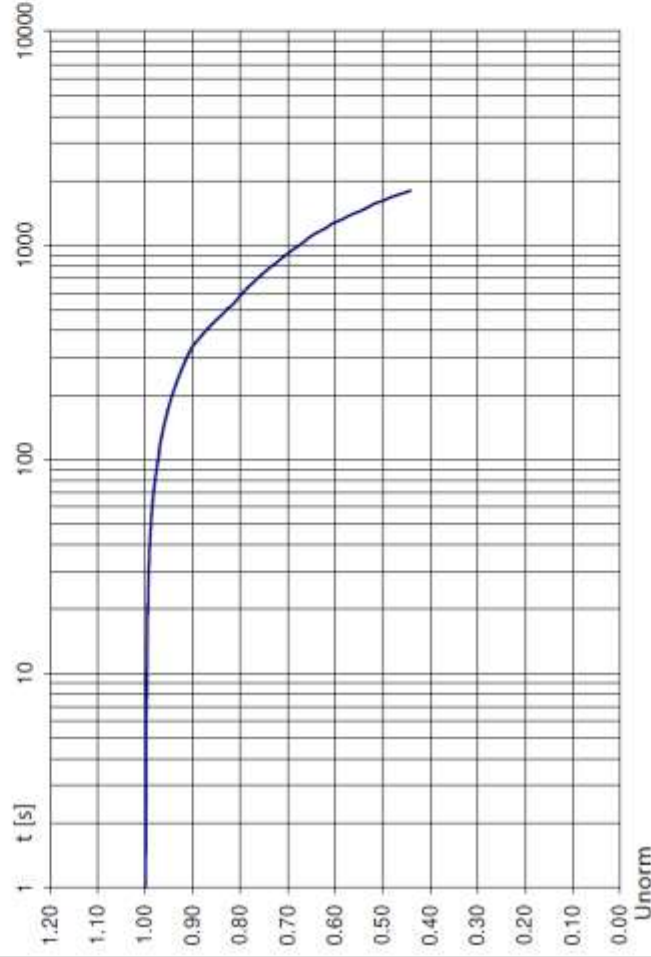
Parez & Fauriel (1988)

$$t_{50} = 455 \text{ sec}$$
$$K_h = 4.76E-07 \text{ cm/sec}$$

Teh & Houlsby (1991)

$$(t_{50})^{0.5} = 19.7 \text{ sec}$$
$$K_h = 1.30E-06 \text{ cm/sec}$$



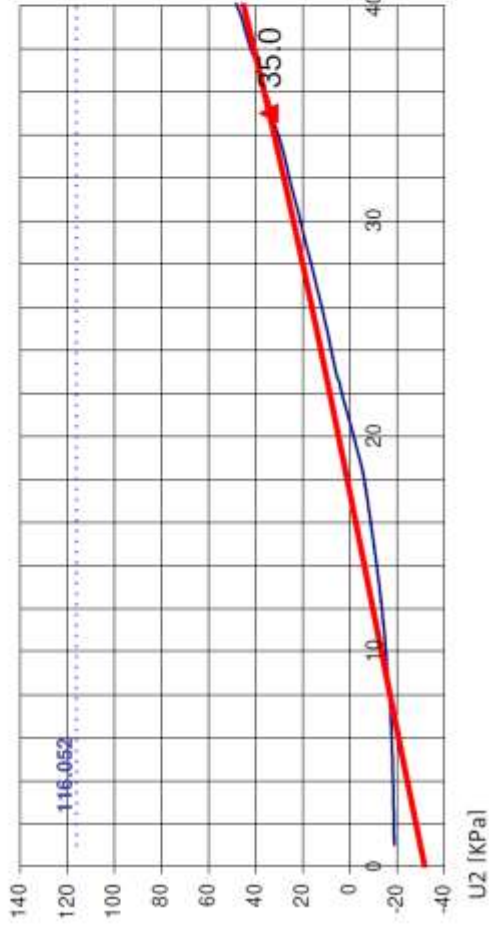


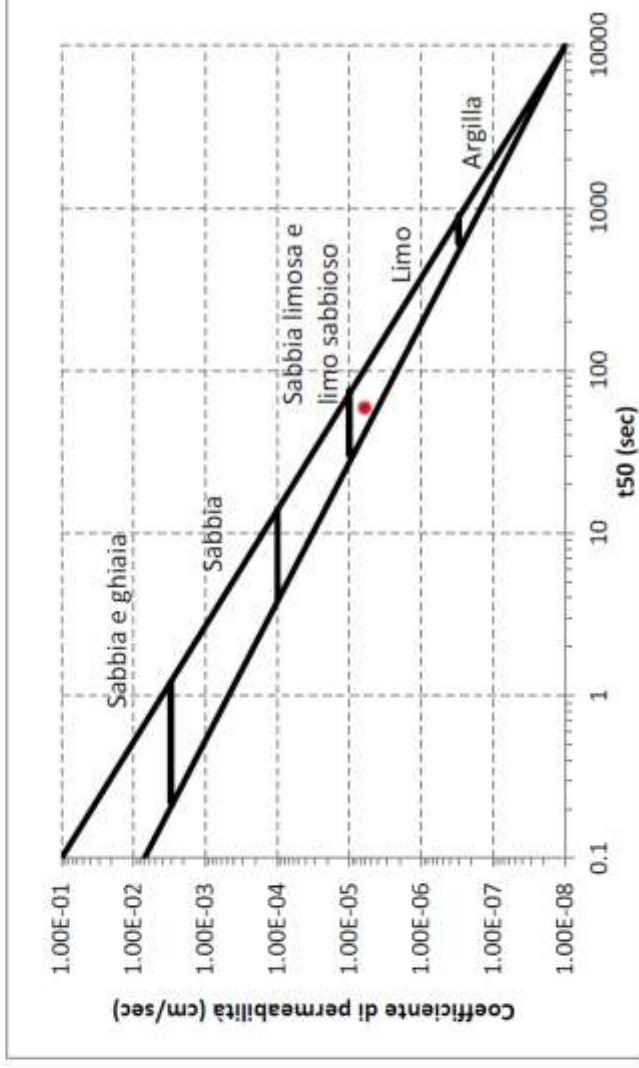
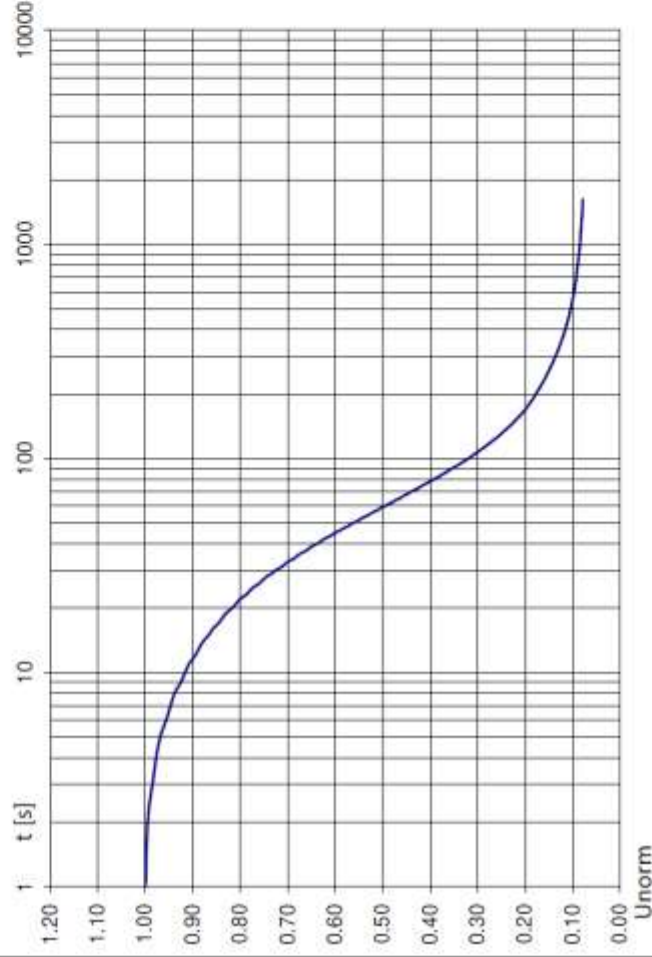
Parez & Fauriel (1988)

$$t_{50} = 1620 \text{ sec}$$
$$K_h = 9.74E-08 \text{ cm/sec}$$

Teh & Houlsby (1991)

$$(t_{50})^{0.5} = 35.0 \text{ sec}$$
$$K_h = 4.73E-09 \text{ cm/sec}$$





Parez & Fauriel (1988)

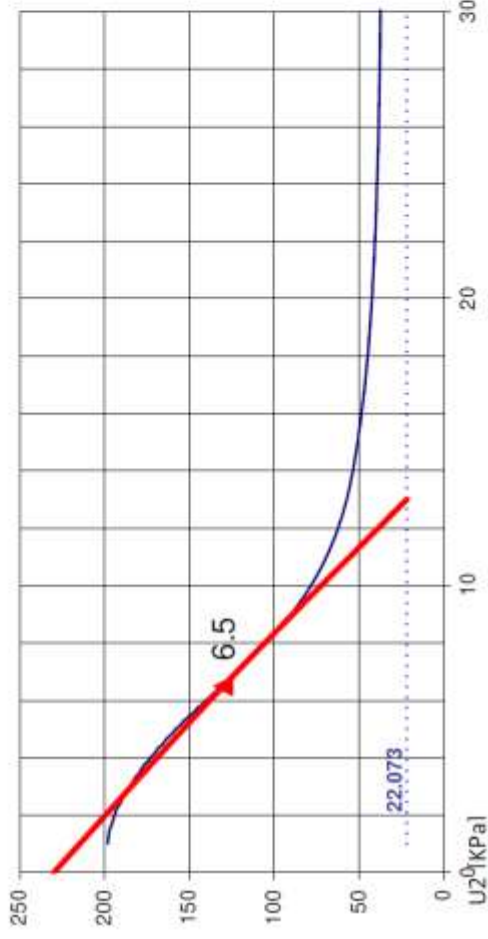
$$t_{50} = 59 \text{ sec}$$

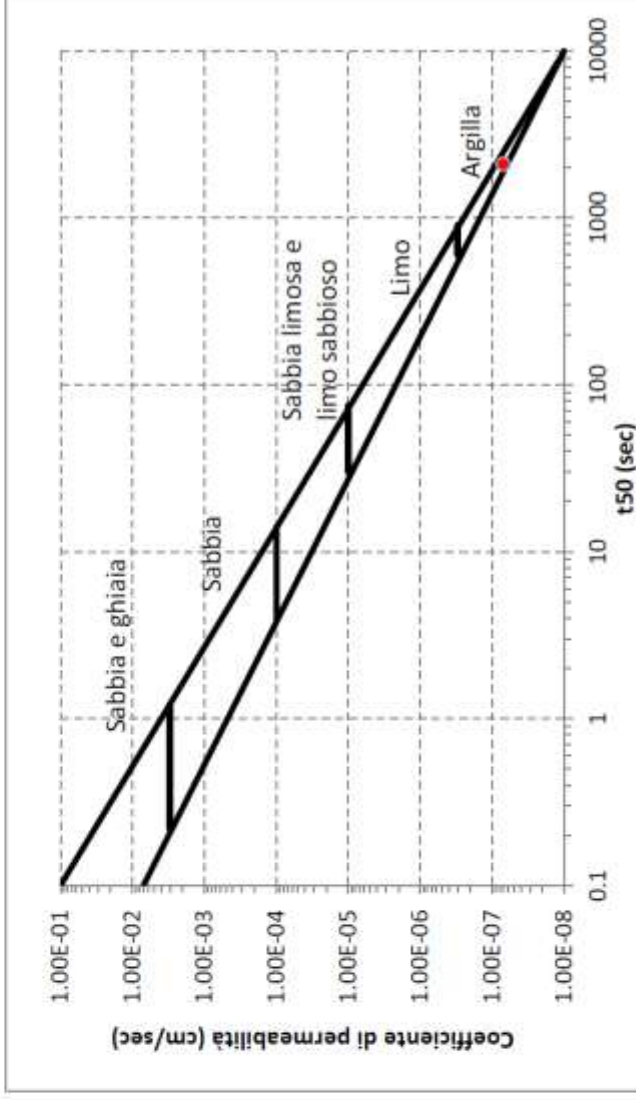
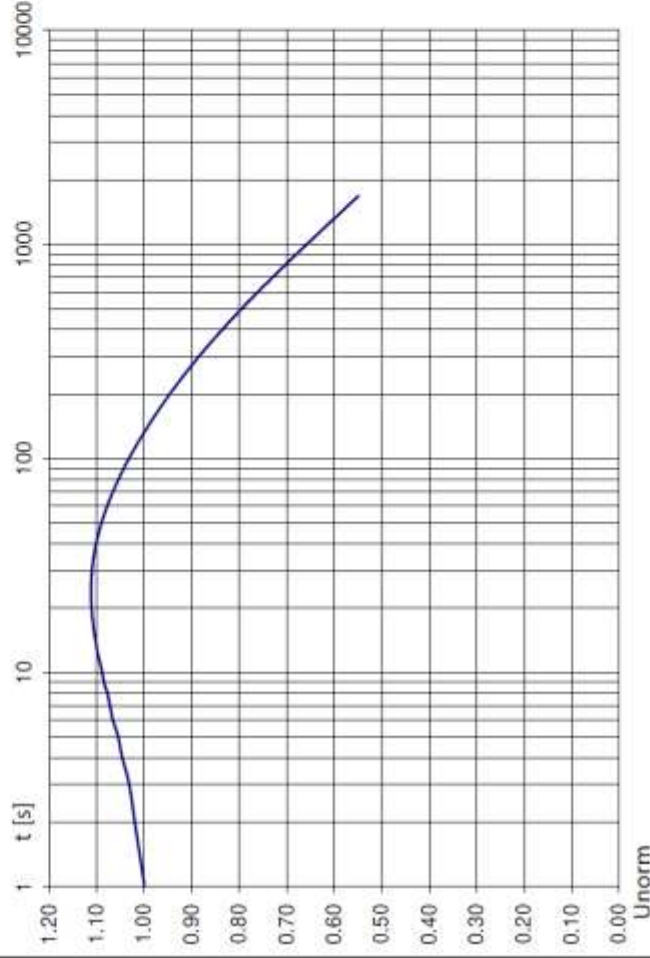
$$Kh = 6.12E-06 \text{ cm/sec}$$

Teh & Houlsby (1991)

$$(t_{50})^{0.5} = 6.5 \text{ sec}$$

$$Kh = 4.73E-05 \text{ cm/sec}$$



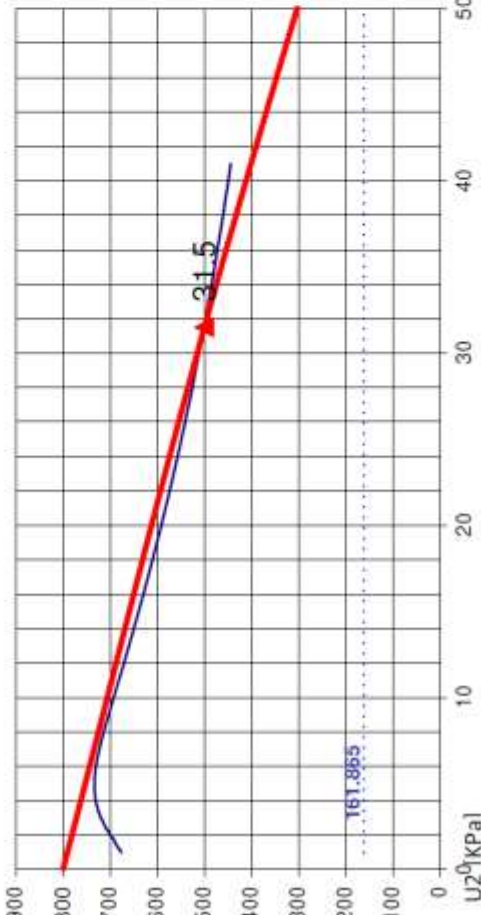


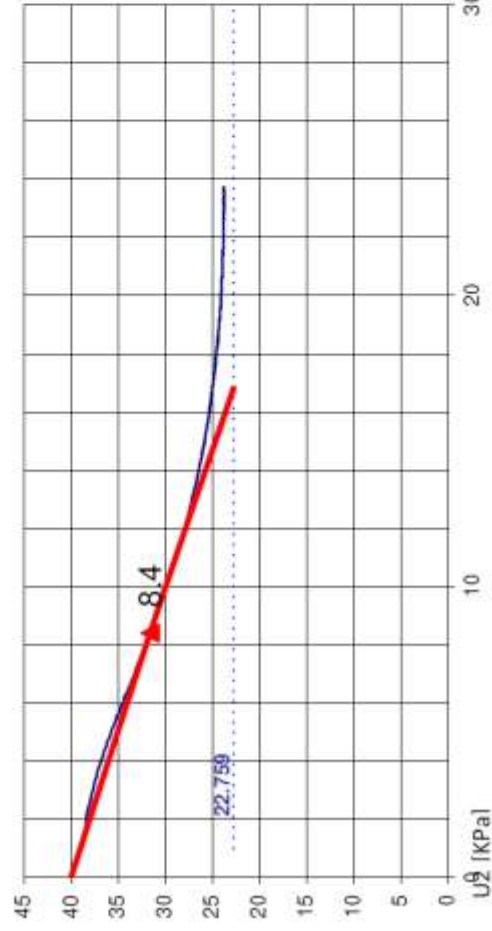
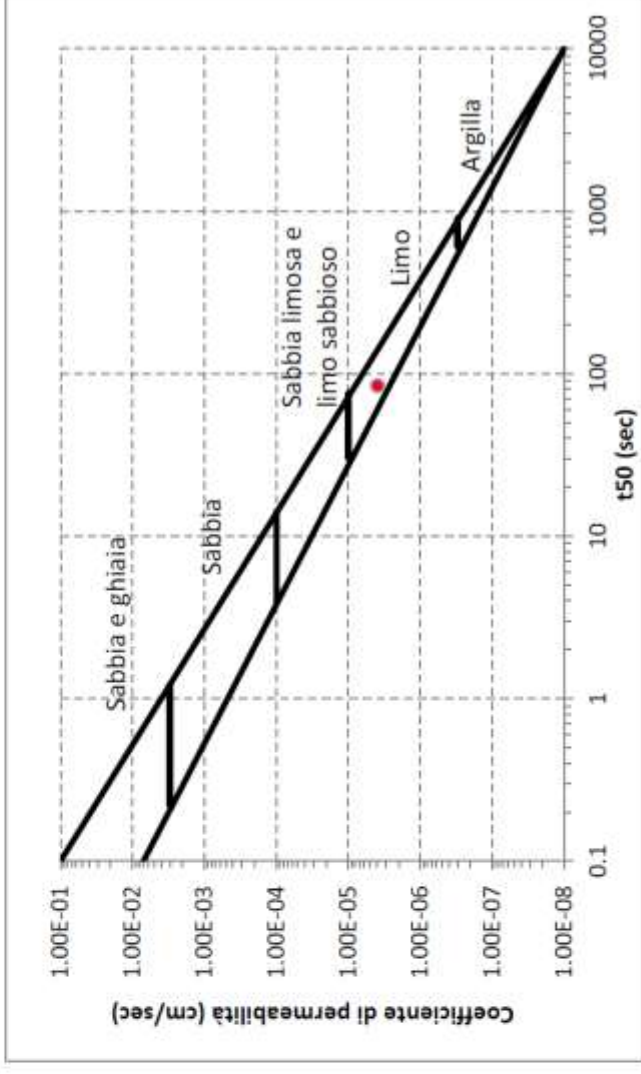
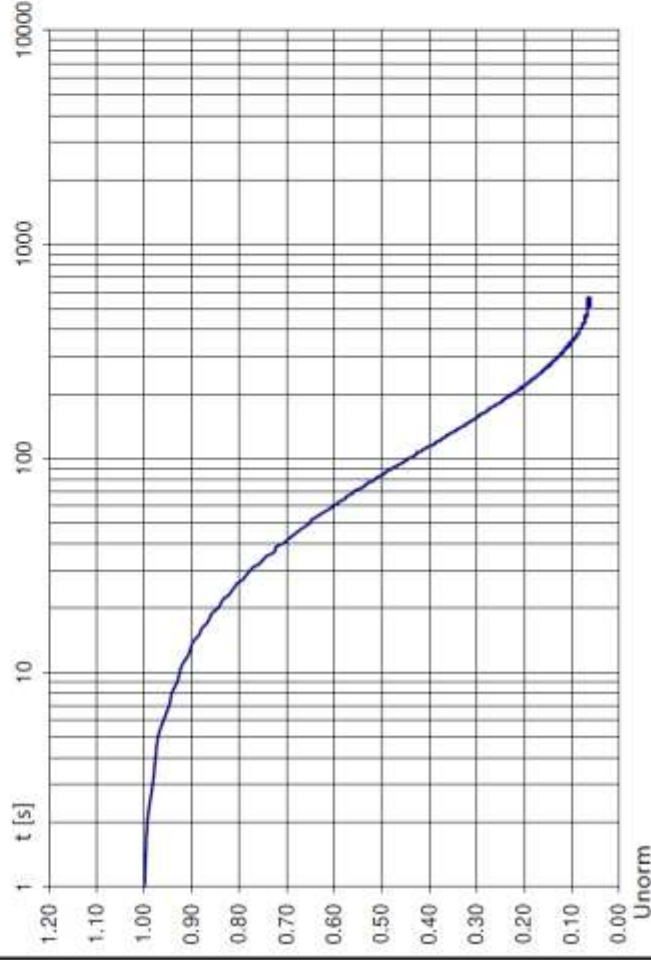
Parez & Fauriel (1988)

$t_{50} = 2100 \text{ sec}$
 $Kh = 7.04E-08 \text{ cm/sec}$

Teh & Houlsby (1991)

$(t_{50})^{0.5} = 31.5 \text{ sec}$
 $Kh = 3.40E-07 \text{ cm/sec}$





Parez & Fauriel (1988)

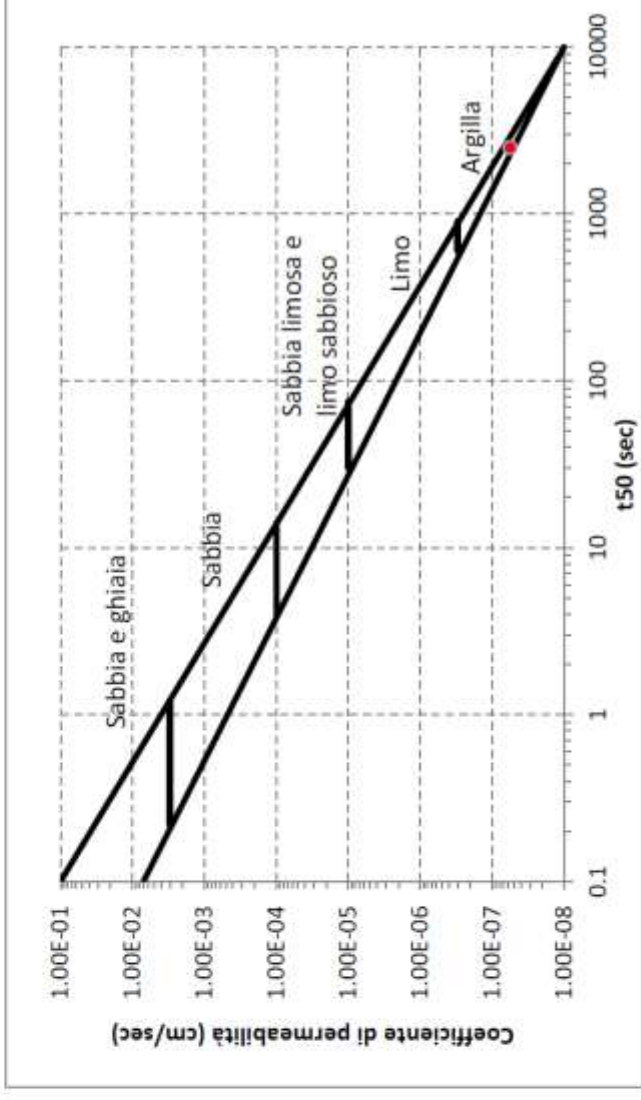
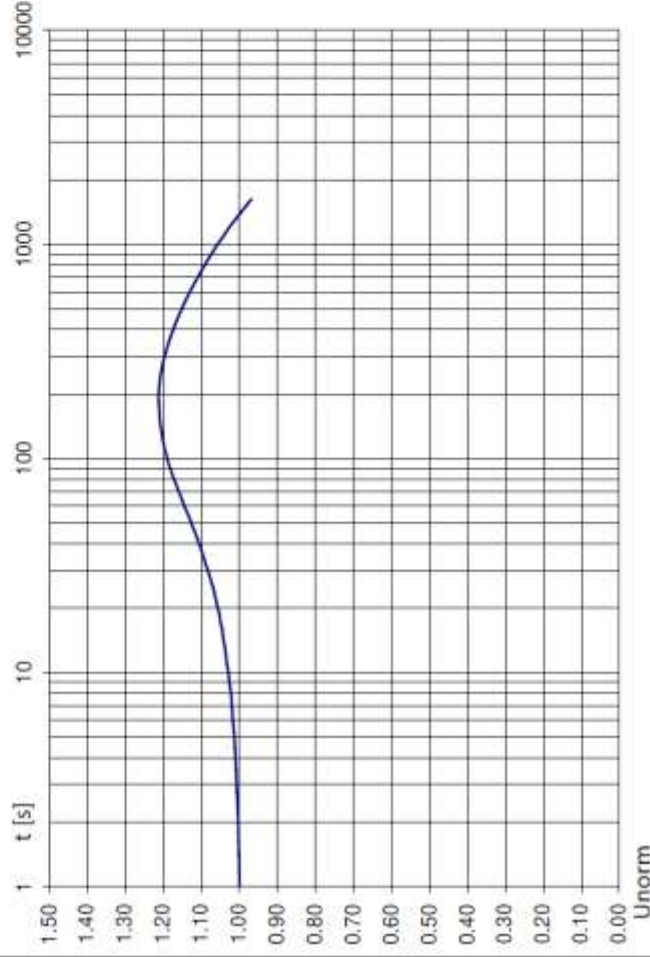
$t_{50} = 84$ sec

$Kh = 3.94E-06$ cm/sec

Teh & Houlsby (1991)

$(t_{50})^{0.5} = 8.4$ sec

$Kh = 9.71E-06$ cm/sec



Parez & Fauriel (1988)

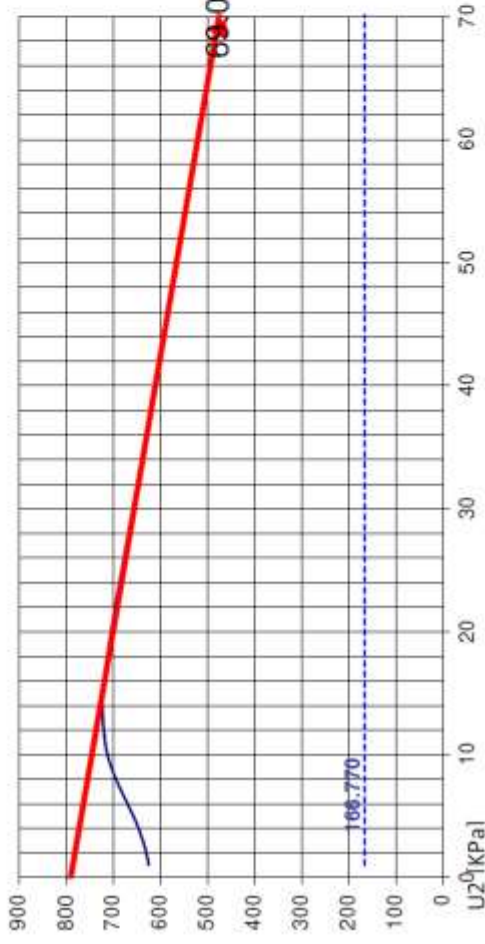
$t_{50} = 2500$ sec

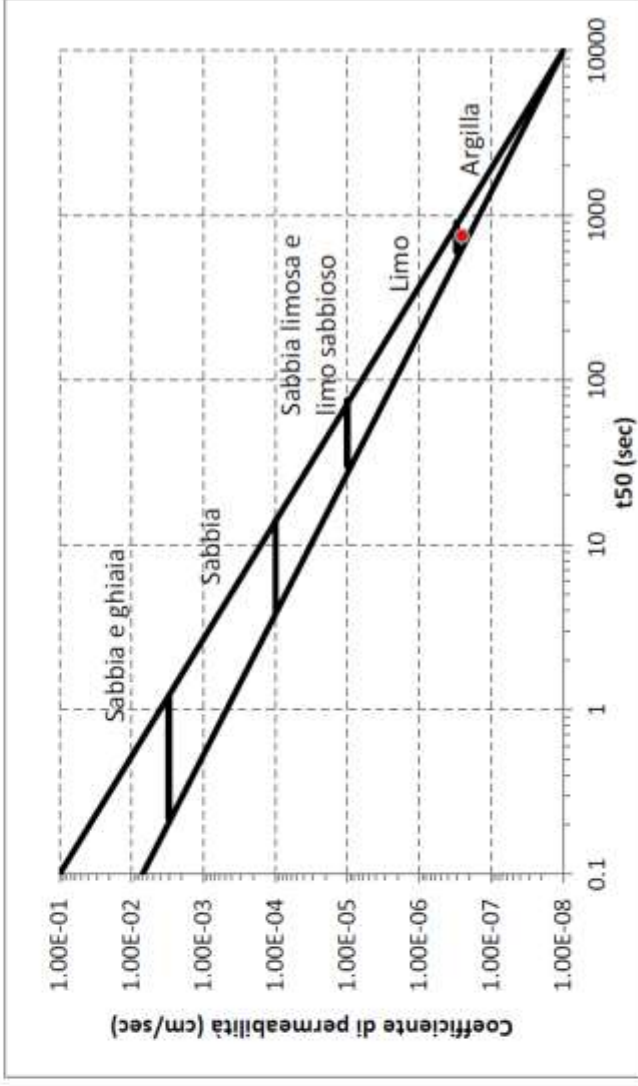
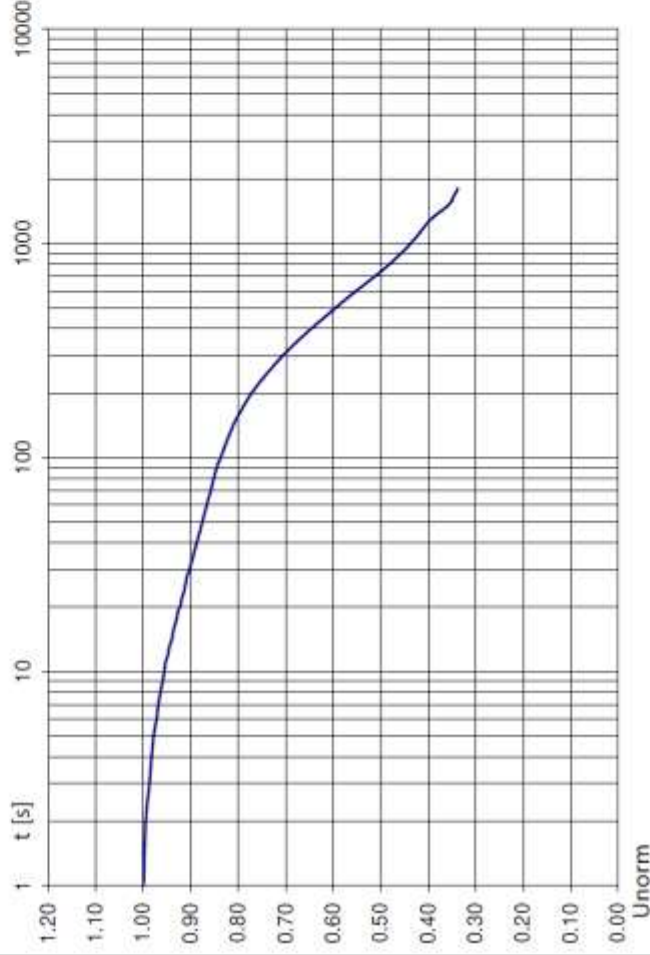
$Kh = 5.66E-08$ cm/sec

Teh & Houlsby (1991)

$(t_{50})^{0.5} = 69.0$ sec

$Kh = 5.89E-08$ cm/sec





Parez & Fauriel (1988)

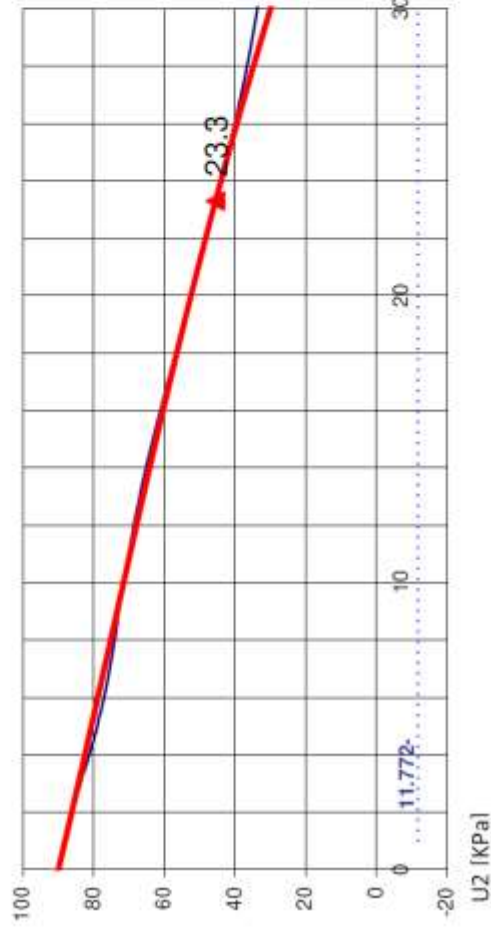
$$t_{50} = 750 \text{ sec}$$

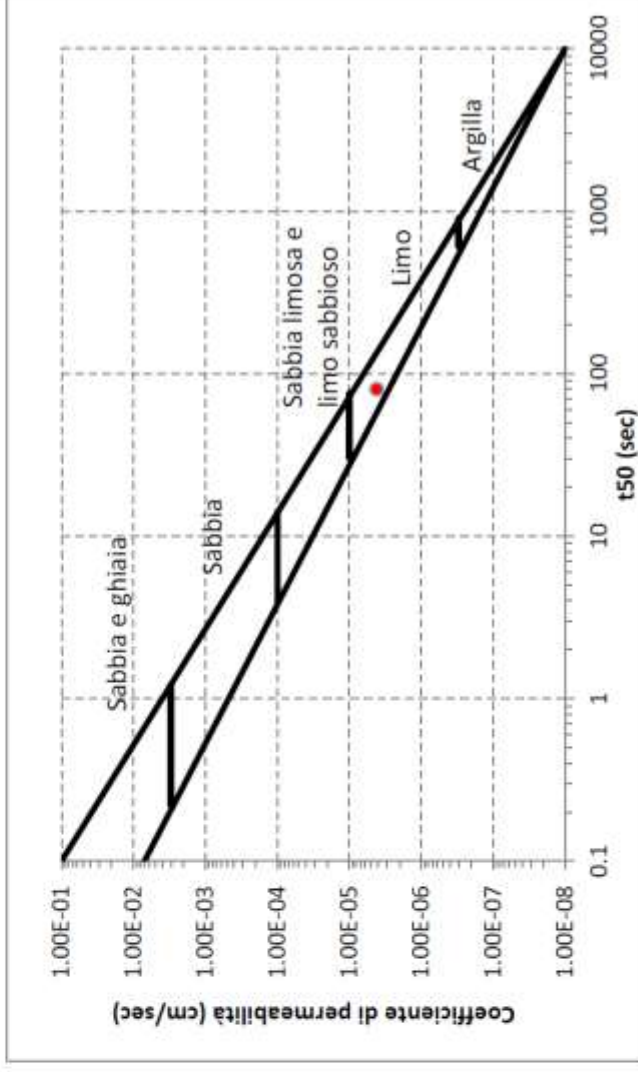
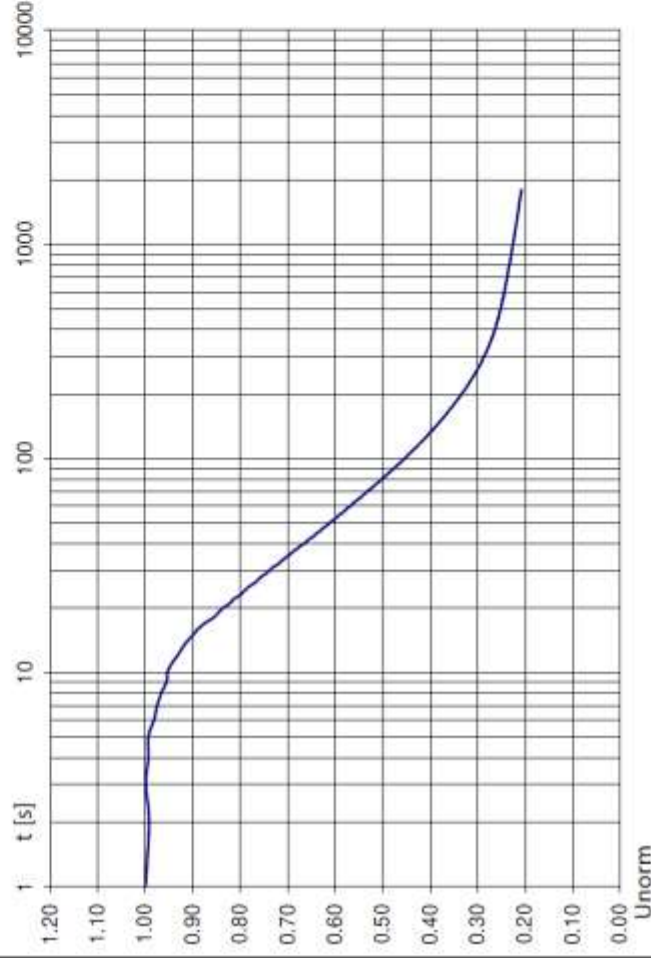
$$Kh = 2.55E-07 \text{ cm/sec}$$

Teh & Houlsby (1991)

$$(t_{50})^{0.5} = 23.3 \text{ sec}$$

$$Kh = 2.54E-07 \text{ cm/sec}$$



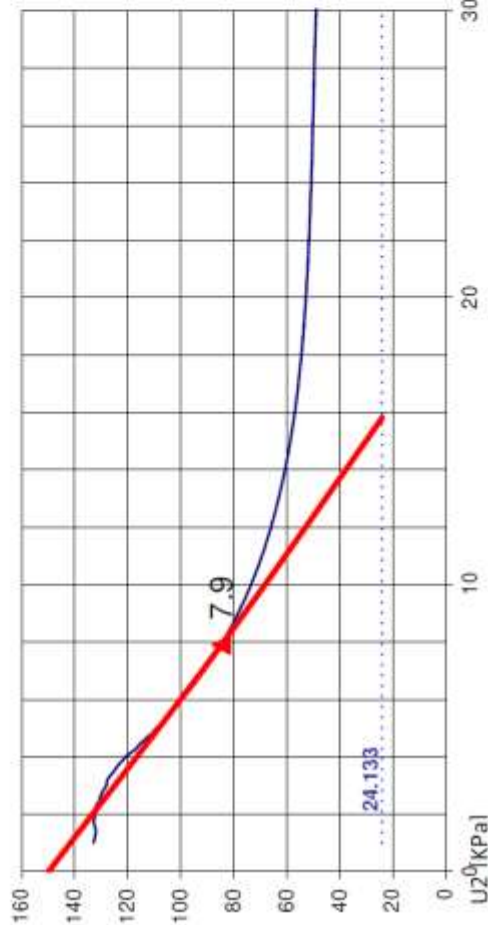


Parez & Fauriel (1988)

$$t_{50} = 80 \text{ sec}$$
$$K_h = 4.18E-06 \text{ cm/sec}$$

Teh & Houlbsby (1991)

$$(t_{50})^{0.5} = 7.9 \text{ sec}$$
$$K_h = 6.65E-06 \text{ cm/sec}$$



CPTU N. 4 DISSIPAZIONE N. 3

Committente : Comune di Castel Maggiore

Località : Castel Maggiore (BO)

Cantiere: via Chiesa

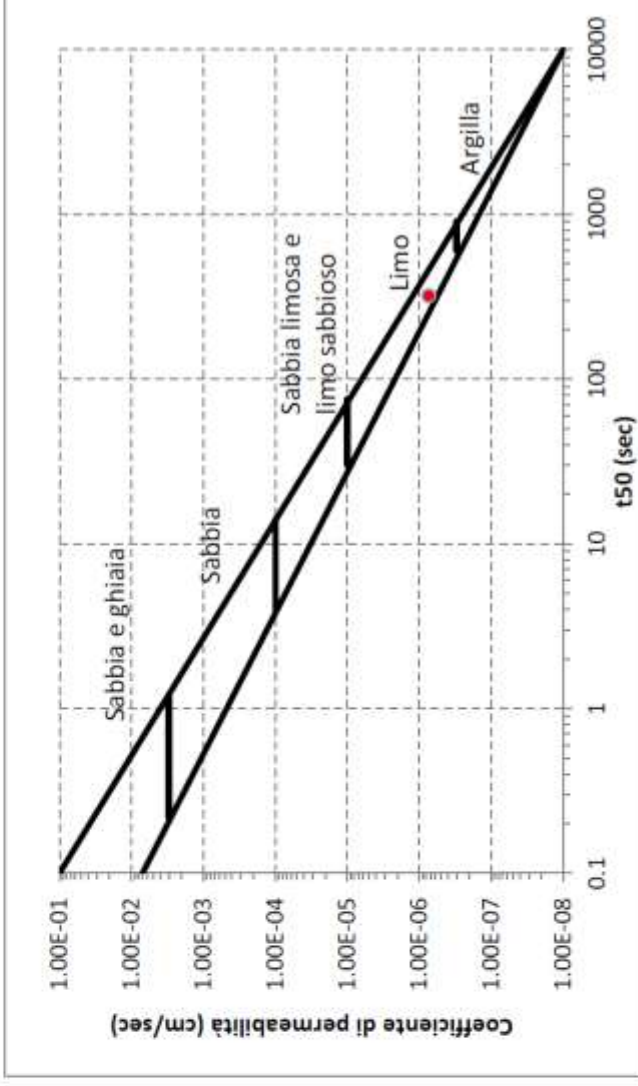
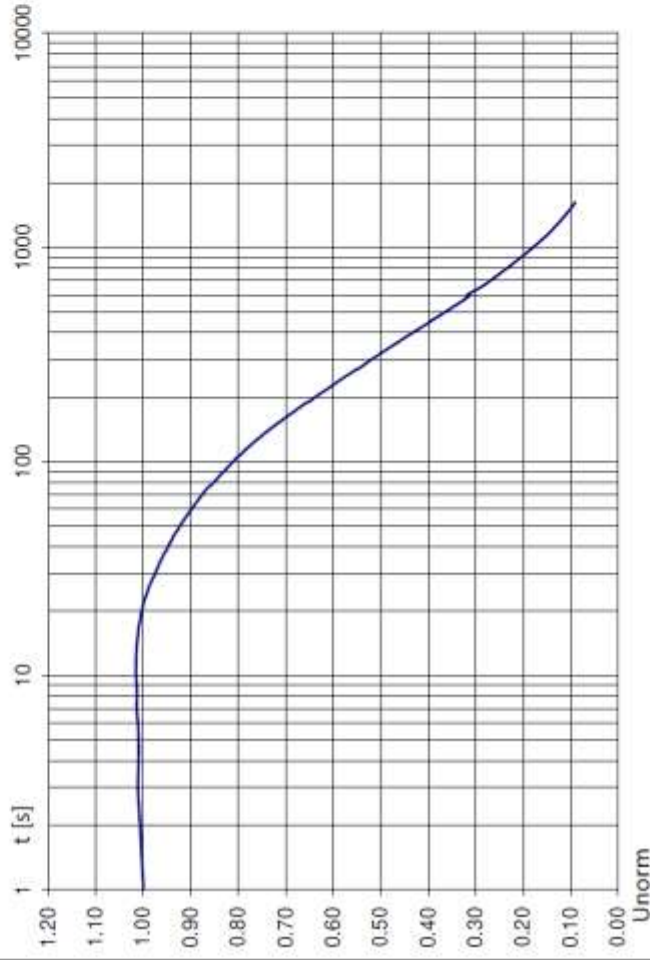
Rapporto di Prova N. 20.0193/RSP

Quota diss. : 15.04 m da p.c.

Falda : 3.20 m da p.c.

Data Prova : 12/05/2020

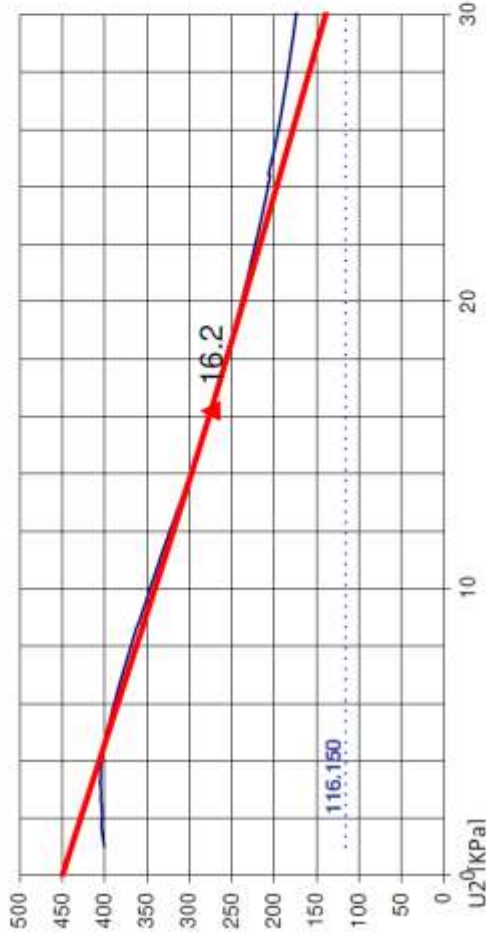
Codice Lavoro : 2020.030



Parez & Fauriel (1988)

 $t_{50} = 320 \text{ sec}$ $K_h = 7.40E-07 \text{ cm/sec}$

Teh & Houlsby (1991)

 $(t_{50})^{0.5} = 16.2 \text{ sec}$ $K_h = 1.48E-06 \text{ cm/sec}$ 

Indagine sismica



Dott. Carbonella Rocco
Via Toscana 119, 40141 Bologna
CELL 393 8376620
Mail: rocco.carbonella@fastwebnet.it
www.roccocarbonella.it



FORM: RDR_DQ_01

COD. DOC.

RDR_19_RIN_REV02

REPORT INDAGINI

R1_20_002/A_REV00

pag. 1 di 7



Misura alla VS in foro (SCPTU) eseguite a Castelmaggiore in Via Chiesa.



Committente:

GEO-PROBE S.r.l.
– Indagini Geognostiche –

SOMMARIO





Dott. Carbonella Rocco
Via Toscana 119, 40141 Bologna
CELL 393 8376620
Mail: rocco.carbonella@fastwebnet.it
www.roccocarbonella.it



FORM: RDR_DQ_01

COD. DOC.

RDR_19_RIN_REV02

REPORT INDAGINI

R1_20_002/A_REV00

pag. 2 di 7

1.	IDENTIFICAZIONE DOCUMENTO	3
2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3.	PREMESSE	5
4.	MISURA DELLE ONDE DI TAGLIO VS	6

 <p>Dott. Carbonella Rocco Via Toscana 119, 40141 Bologna CELL 393 8376620 Mail: rocco.carbonella@fastwebnet.it www.roccocarbonella.it</p>	 <p>TUV AUSTRIA HELLAS EN ISO 9001:2015</p>	FORM: RDR_DQ_01
		<p>COD. DOC.</p> <p>RDR_19_RIN_REV02</p>
REPORT INDAGINI	R1_20_002/A_REV00	pag. 3 di 7

1. identificazione documento

Identificazione.

Il presente lavoro viene identificato per mezzo del seguente codice 20_026C

Redazione del documento.

Il presente documento è stato redatto dal Dott. Geol. Rocco Carbonella in data 21/05/2020

Composizione del documento.

Il presente documento è formato da n° 7 pagine e n° 5 pagine allegate



 <p> Dott. Carbonella Rocco Via Toscana 119, 40141 Bologna CELL 393 8376620 Mail: rocco.carbonella@fastwebnet.it www.roccocarbonella.it </p>		FORM: RDR_DQ_01
		COD. DOC. RDR_19_RIN_REV02
REPORT INDAGINI	R1_20_002/A_REV00	pag. 4 di 7

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- UNI EN ISO 22476-12:2009
- UNI EN ISO 22476-2:2012
- UNI EN ISO 22476-1:2012
- RACCOMANDAZIONI AGI 1994
- ASTM (2008) "D 7400-08 Standard Test Methods for Downhole Seismic Testing"
- Eurocodice 7.2 (2002)
 - Progettazione geotecnica – Parte II :Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002).UNI
- Eurocodice 7.3 (2002)
 - Progettazione geotecnica – Parte II :Progettazione assistita con prove in sito (2002).UNI
- Eurocodice 8 (1998)
 - Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture
 - Parte 5:Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)
- Eurocodice 7.1 (1997)
 - Progettazione geotecnica – Parte I :Regole Generali .-UNI





Dott. Carbonella Rocco
Via Toscana 119, 40141 Bologna
CELL 393 8376620
Mail: rocco.carbonella@fastwebnet.it
www.roccocarbonella.it



FORM: RDR_DQ_01

COD. DOC.

RDR_19_RIN_REV02

REPORT INDAGINI

R1_20_002/A_REV00

pag. 5 di 7

3. Premesse

Su incarico della committenza, in data 12/05/2020, sono state eseguite le seguenti indagini geotecniche:

- Misura delle onde di taglio (VS) in foro tramite modulo sismico Marchetti

Nelle figura seguente è indicata l'area in esame.

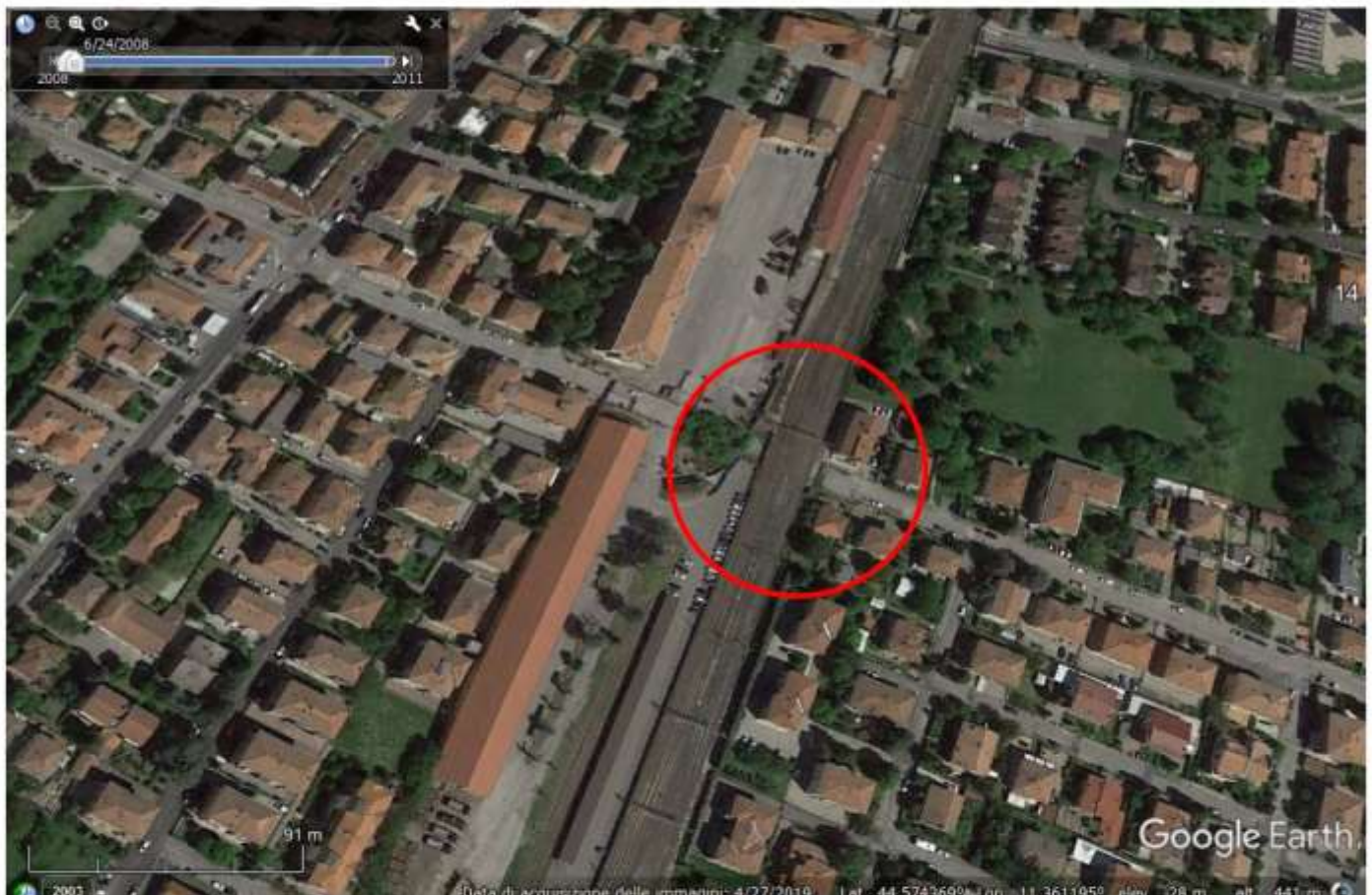


Figura 1 – Ubicazione dei luoghi



Dott. Carbonella Rocco
Via Toscana 119, 40141 Bologna
CELL 393 8376620
Mail: rocco.carbonella@fastwebnet.it
www.roccocarbonella.it



FORM: RDR_DQ_01

COD. DOC.

RDR_19_RIN_REV02

REPORT INDAGINI

R1_20_002/A_REV00

pag. 6 di 7

4. MISURA DELLE ONDE DI TAGLIO VS

Le misure sono state eseguite utilizzando il modulo sismico Marchetti. L'energizzazione avviene in superficie mediante un martello che percuote orizzontalmente una base di ferro parallelepipedica pressata verticalmente contro il terreno ed orientata con asse longitudinale parallelo all'asse dei ricevitori, in modo che essi offrano la massima sensibilità all'onda di taglio generata. Le energizzazioni di superficie e quindi le misure sismiche verranno effettuate ad intervalli di profondità di 1.0 m. Durante la prova la configurazione dei sensori è posta parallelamente alla linea d'impatto, ovvero all'asse longitudinale dell'incudine.

La configurazione della prova è "true interval" a due ricevitori. Tale configurazione evita i problemi connessi con la possibile inesatta determinazione dello zero dei tempi dall'impatto - talora riscontrati nella configurazione "pseudo interval" con un solo ricevitore. Inoltre la coppia di sismogrammi ai due ricevitori corrisponde allo stesso colpo, anziché a colpi successivi non necessariamente identici. Viene così molto migliorata la ripetibilità della misura di Vs.

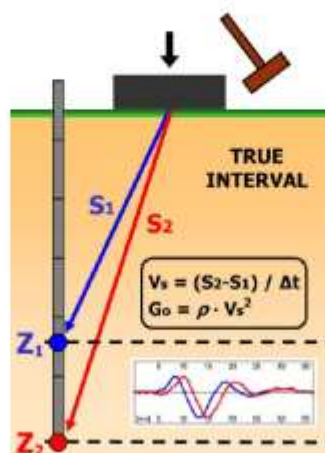


Figura 2 – Schema acquisizione delle VS

Ad ogni profondità di misura vengono effettuate almeno due energizzazioni e quindi due determinazioni della velocità Vs. La ripetibilità dei valori di Vs potrà essere ritenuta accettabile se tutti i valori ricadono nell'ambito dell'intervallo $\pm 5\%$ del valore medio, altrimenti vengono eseguite ulteriori determinazioni fino a che almeno l'80% dei valori sia compreso nel suddetto intervallo. In allegato sono riportati i dettagli delle misure eseguite.

Note: Nel presente lavoro, oltre i 25 m dal piano campagna, è stata riportata una sola energizzazione e sono state scartate tutte quelle ritenute non adeguate. Tale situazione si è manifestata per i seguenti motivi:

- notevole rumore di fondo
- presenza di riporto eterogeneo superficiale
- terreni poco consistenti superficiali con notevole perdita di energia nei primi metri di profondità



Dott. Carbonella Rocco
Via Toscana 119, 40141 Bologna
CELL 393 8376620
Mail: rocco.carbonella@fastwebnet.it
www.roccocarbonella.it



FORM: RDR_DQ_01

COD. DOC.

RDR_19_RIN_REV02

REPORT INDAGINI

R1_20_002/A_REV00

pag. 7 di 7

ALLEGATI

- Report misure delle onde di taglio (n° pagine 5)

RDR Carbonella Rocco

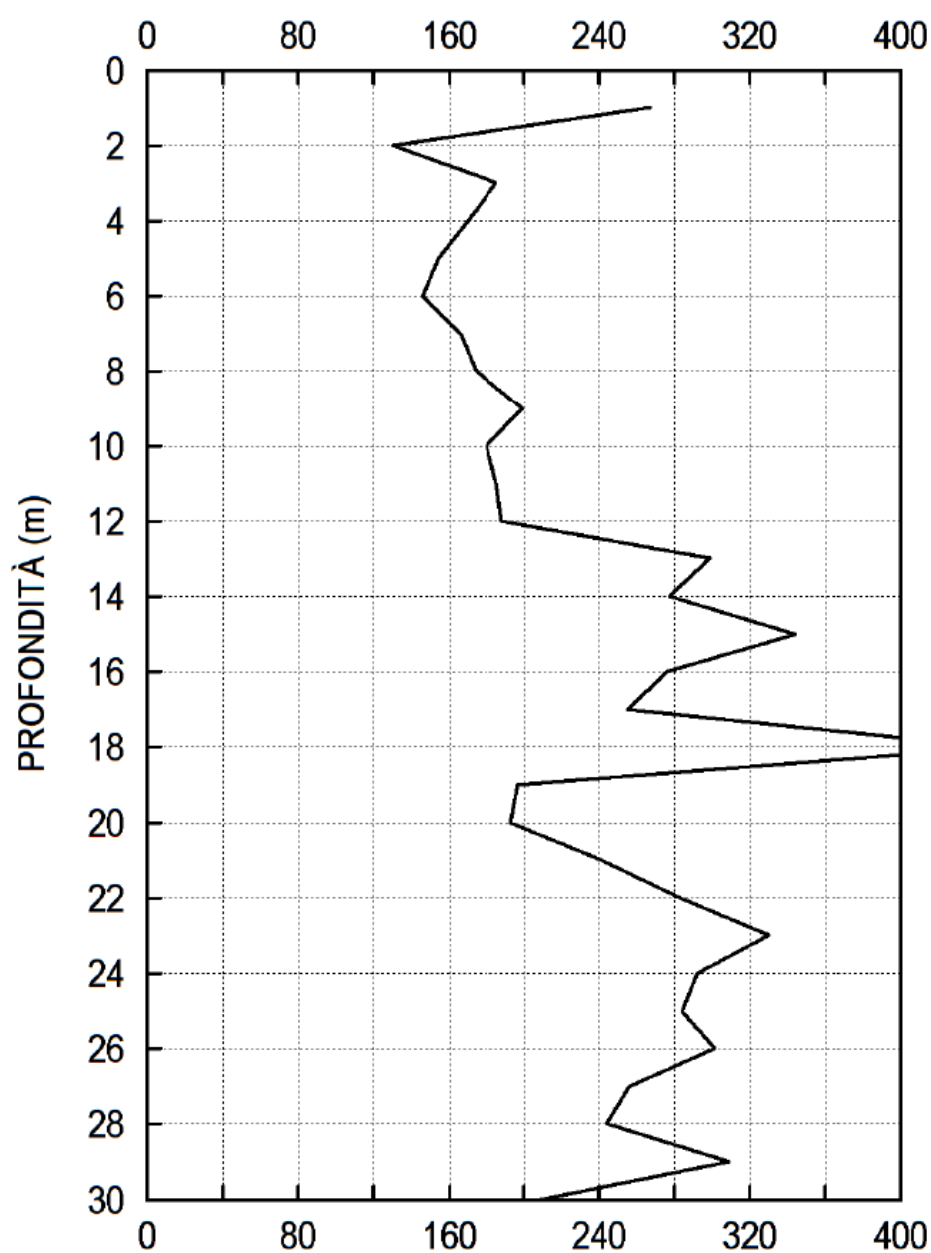
Geoprobe

Castelmaggiore

PROVA

SCPTU3

12 MAG 2020

VELOCITÀ ONDA DI TAGLIO: V_s (m/s)

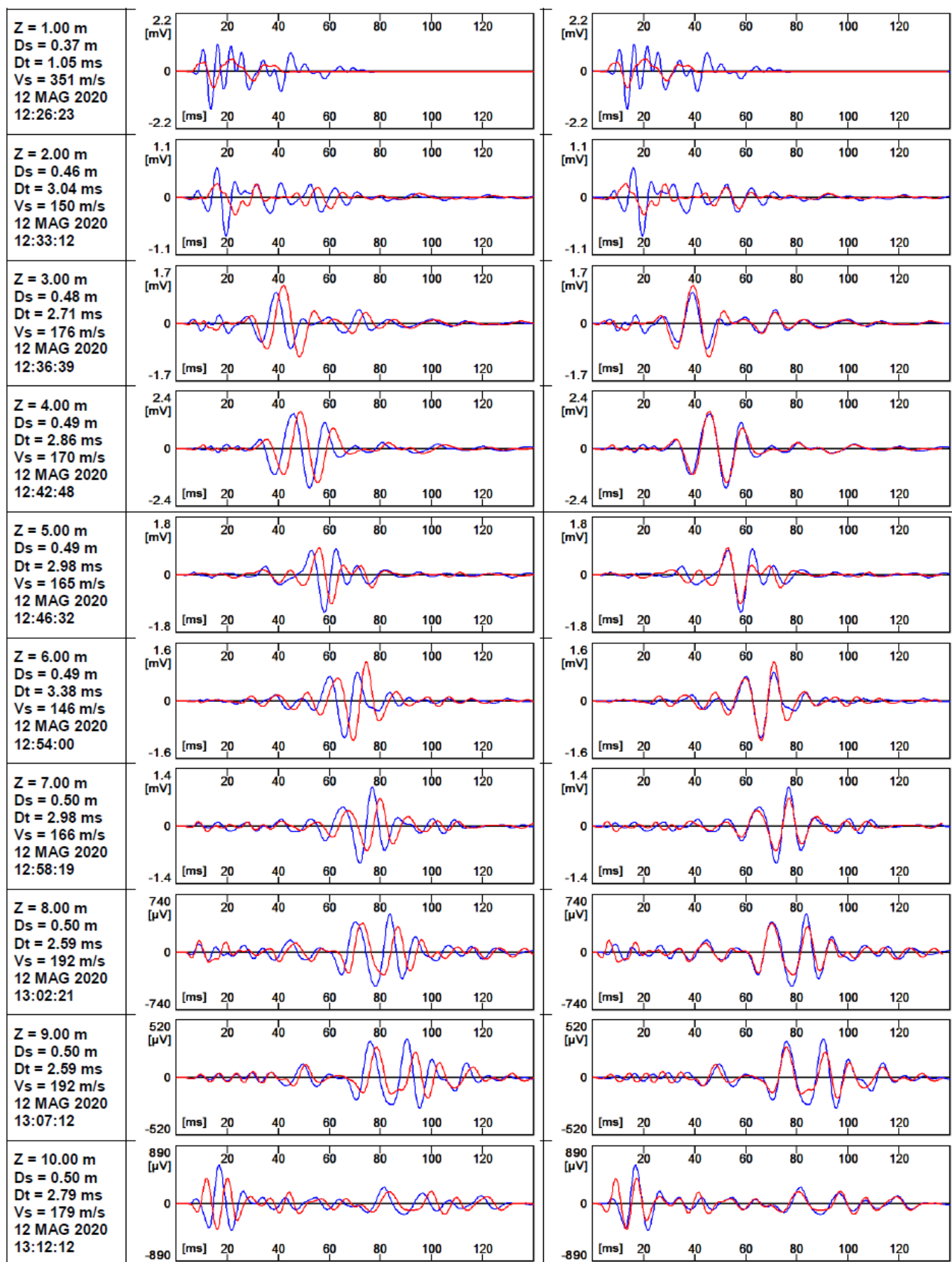
SCPTU3 - Tabulato: Vs, Go, ripetibilità di Vs

Ogni misura di Vs nella colonna 'Ripetibilità Vs' corrisponde ad una energizzazione distinta.

Z	Vs	Go	Rho	Ripetibilità Vs	Coeff. Var
[m]	[m/s]	[MPa]	[kg/m ³]	[m/s]	[%]
1.00	267	124	1733	351,147,246,437,233,189	36.84
2.00	130	29.3	1733	150,130,110	12.56
3.00	185	59.3	1733	176,192,214,173,169	8.95
4.00	170	50.1	1733	170,170	0.00
5.00	154	41.1	1733	165,154,153,146	4.43
6.00	146	36.9	1733	146,147	0.48
7.00	166	47.8	1733	166,167	0.43
8.00	174	52.5	1733	192,167,169,169	5.91
9.00	199	68.6	1733	192,199,207	3.08
10.00	180	56.1	1733	179,175,189,178	2.93
11.00	185	59.3	1733	180,182,192	2.84
12.00	188	61.2	1733	203,171,189	6.97
13.00	299	155	1733	285,300,313	3.83
14.00	277	133	1733	281,273,278	1.20
15.00	344	205	1733	345,342	0.46
16.00	276	132	1733	279,272	1.28
17.00	255	113	1733	234,249,267,271	5.81
18.00	451	352	1733	445,457	1.33
19.00	197	67.3	1733	196,198	0.51
20.00	193	64.5	1733	194,192	0.52
21.00	241	101	1733	239,243	0.83
22.00	283	139	1733	283,283	0.00
23.00	330	189	1733	349,313,328	4.47
24.00	292	148	1733	280,305	4.28
25.00	284	140	1733	265,303	6.69
26.00	301	157	1733	301	0.00
27.00	256	114	1733	256	0.00
28.00	244	103	1733	244	0.00
29.00	309	165	1733	309	0.00
30.00	209	75.7	1733	209	0.00

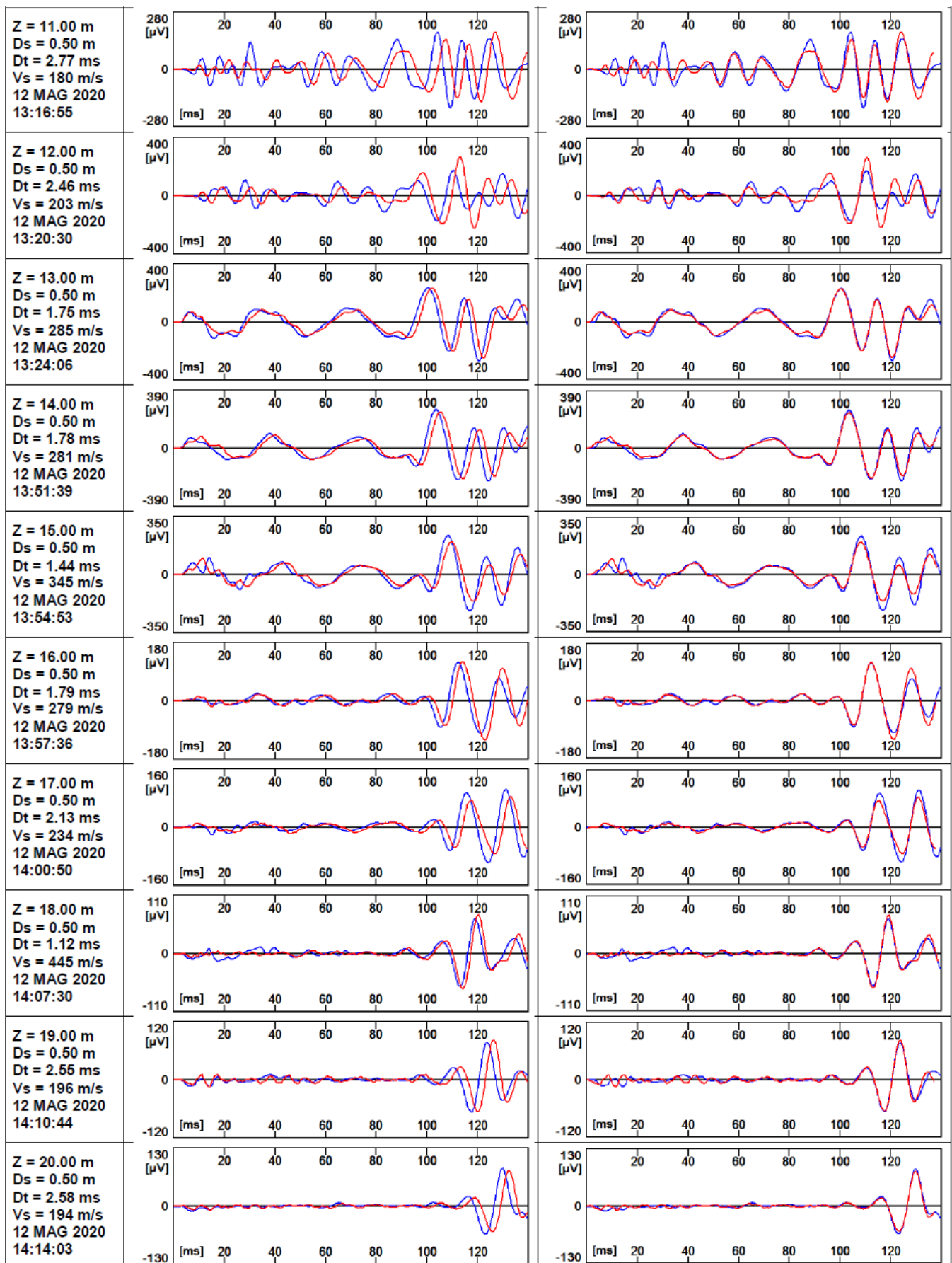
REGISTRATI

RIFASATI



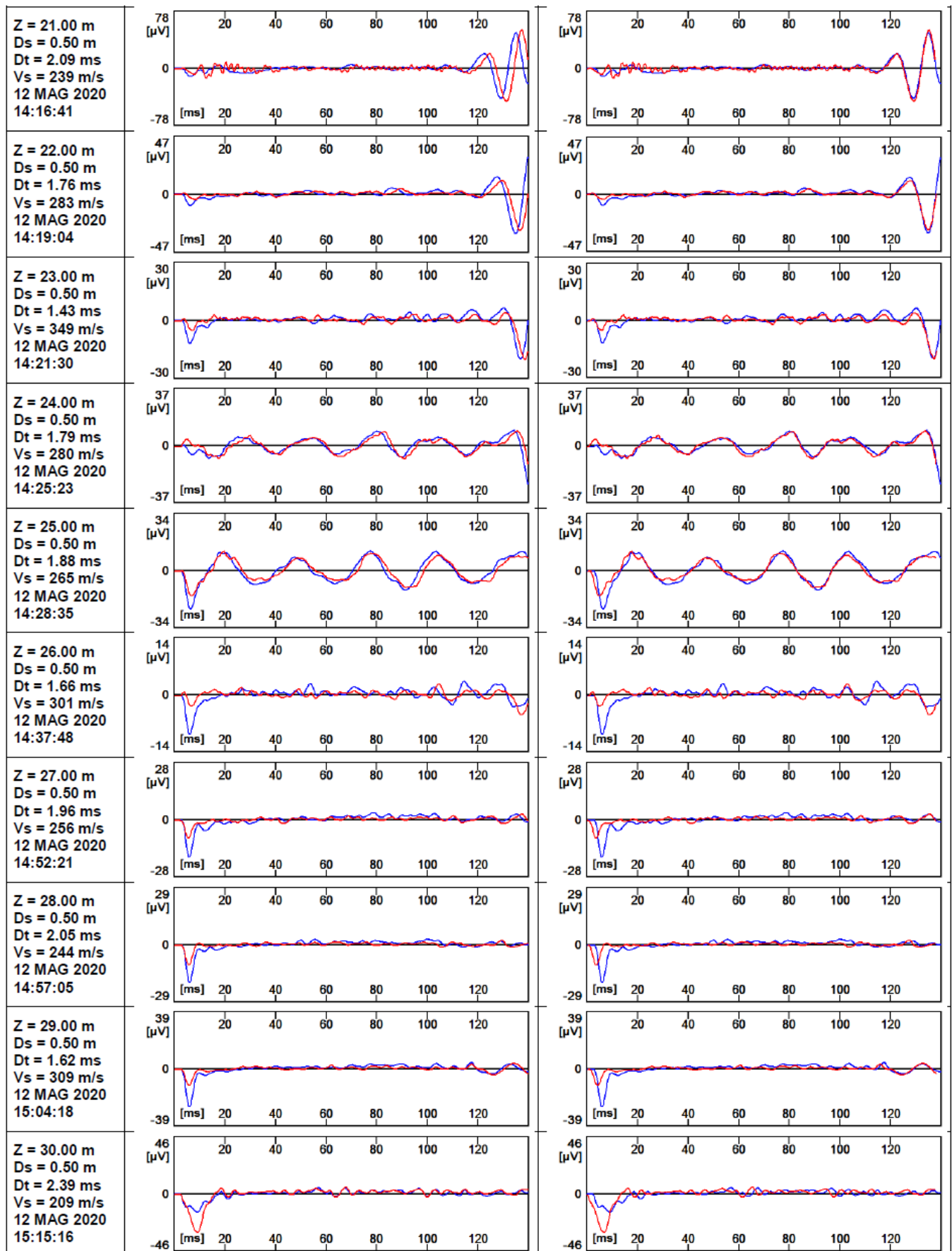
REGISTRATI

RIFASATI



REGISTRATI

RIFASATI



Stratigrafia sondaggio a carotaggio continuo

GEO-PROBE Indagini Geognostiche 40033 CASALECCHIO DI RENO (BO) Via Cimaraia, 119 - Tel. 051/61.33.072		Committente: <u>Comune di Castel Maggiore</u> Località: <u>Castel Maggiore (BO)</u> Cantiere: <u>via Chiesa</u> Perforazione: <u>Carotaggio Continuo diam. 101</u> Attrezzatura: <u>Sonda Drill 830L</u>		Quota: <u>---</u> Profondità: <u>30.00 m</u> Data Inizio: <u>12/05/2020</u> Data Fine: <u>19/05/2020</u> Il geologo: <u>Dr. Conti</u>		Rap. Pr. N°20.0206/RSP Codice Lavoro2020.030 SONDAGGIO <u>1</u> FOGLIO <u>1/2</u>									
Procedura di Prova IO_001	Rapporto di Prova N° 20.0206/RSP	Rev. 0	Data di emissione 19/05/2020	Lo Sperimentatore Dr. Dalmonte	Il Direttore di Laboratorio Dr. Conti										
Scala 1:50	Manovra Lunghezza carotere	Rivestimento	Profondità [m]	Stratigrafia	Descrizione stratigrafica	Percentuale Carotaggio	Campioni	Prot. SPT	N° colpi SPT	Tipo di punta	Scala 1:50	P. P. [kg/cmq]	V. T. [kg/cmq]	in Falda	Piezometro Norton
1	0.30		0.30		Terreno di riporto costituito da breccia e frammenti di laterizi e c.i.s. e piastrelle in matrice sabbioso limosa talora abbondante; terreno ad umidità medio scarsa.						1				
2	0.30		0.60								2				
3	0.30		0.90								3				
4	0.30		1.20								4				
5	0.30		1.50								5				
6	0.30		1.80								6				
7	0.30		2.10								7				
8	0.30		2.40								8				
9	0.30		2.70								9				
10	0.30		3.00								10				
11	0.30		3.30								11				
12	0.30		3.60								12				
13	0.30		3.90								13				
14	0.30		4.20								14				
15	0.30		4.50								15				
16	0.30		4.80								16				
17	0.30		5.10								17				
18	0.30		5.40								18				
19	0.30		5.70								19				
20	0.30		6.00								20				
21	0.30		6.30								21				
22	0.30		6.60								22				
23	0.30		6.90								23				
24	0.30		7.20								24				
25	0.30		7.50								25				
26	0.30		7.80								26				
27	0.30		8.10								27				
28	0.30		8.40								28				
29	0.30		8.70								29				
30	0.30		9.00								30				
31	0.30		9.30								31				
32	0.30		9.60								32				
33	0.30		9.90								33				
34	0.30		10.20								34				
35	0.30		10.50								35				
36	0.30		10.80								36				
37	0.30		11.10								37				
38	0.30		11.40								38				
39	0.30		11.70								39				
40	0.30		12.00								40				
41	0.30		12.30								41				
42	0.30		12.60								42				
43	0.30		12.90								43				
44	0.30		13.20								44				
45	0.30		13.50								45				
46	0.30		13.80								46				
47	0.30		14.10								47				
48	0.30		14.40								48				
49	0.30		14.70								49				
50	0.30		15.00								50				
51	0.30		15.30								51				
52	0.30		15.60								52				
53	0.30		15.90								53				
54	0.30		16.20								54				
55	0.30		16.50								55				
56	0.30		16.80								56				
57	0.30		17.10								57				
58	0.30		17.40								58				
59	0.30		17.70								59				
60	0.30		18.00								60				
61	0.30		18.30								61				
62	0.30		18.60								62				
63	0.30		18.90								63				
64	0.30		19.20								64				
65	0.30		19.50								65				
66	0.30		19.80								66				
67	0.30		20.10								67				
68	0.30		20.40								68				
69	0.30		20.70								69				
70	0.30		21.00								70				
71	0.30		21.30								71				
72	0.30		21.60								72				
73	0.30		21.90								73				
74	0.30		22.20								74				
75	0.30		22.50								75				
76	0.30		22.80								76				
77	0.30		23.10								77				
78	0.30		23.40								78				
79	0.30		23.70								79				
80	0.30		24.00								80				
81	0.30		24.30								81				
82	0.30		24.60								82				
83	0.30		24.90								83				
84	0.30		25.20								84				
85	0.30		25.50								85				
86	0.30		25.80								86				
87	0.30		26.10								87				
88	0.30		26.40								88				
89	0.30		26.70								89				
90	0.30		27.00								90				
91	0.30		27.30								91				
92	0.30		27.60								92				
93	0.30		27.90								93				
94	0.30		28.20								94				
95	0.30		28.50								95				
96	0.30		28.80								96				
97	0.30		29.10								97				
98	0.30		29.40								98				
99	0.30		29.70								99				
100	0.30		30.00								100				

Rilevamento acqua nel foro di sondaggio:

DATA	ORA IN	QUOTA F.F. (QUOTA R20)	ORA F.	QUOTA F.F. (QUOTA R20)
12/05/20	08:15	16:00	8:30	
13/05/20	09:40	8:40 m	2:06 m	15:00
14/05/20	09:00	13:50 m	3:55 m	15:45
15/05/20	09:20	18:50 m	4:07 m	14:45
16/05/20	09:20	21:00 m	4:07 m	14:45
17/05/20	09:10	21:00 m	4:30 m	16:10
18/05/20	08:30	27:20 m	5:40 m	16:45
19/05/20	08:30	30:00 m	3:20 m	

posta in opera piezometro microfessurato diam. 2.5" guarnito di cemento coassiale

Prove di permeabilità Lefranc

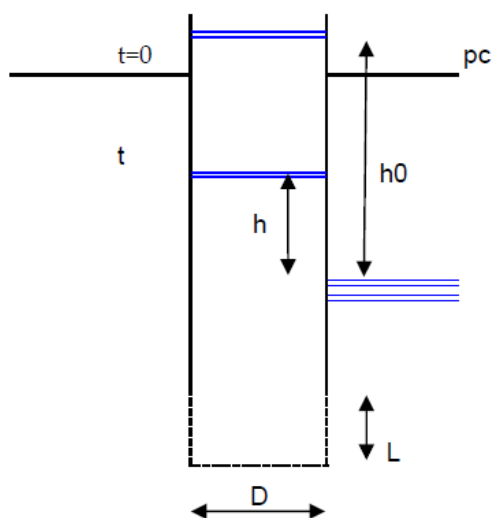
PROVA DI PERMEABILITA' LEFRANC A CARICO VARIABILE

Rapporto di prova N°: 20.0182/ RSP

Committente: Comune di Castel Maggiore
 Località: Castel Maggiore (BO)
 Cantiere: via Chiesa
 Carotaggio n°: 1
 Prova n°: 2

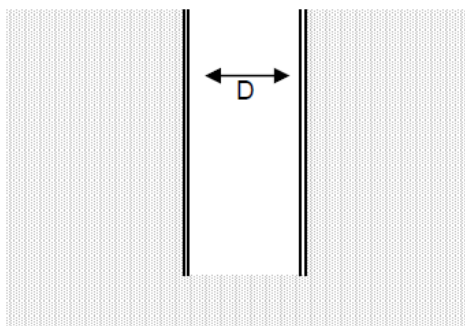
Codice lavoro: 2020.030
 Data prova: 12/05/2020
 Profondità falda: 3.20 m
 Profondità prova: 5.00 m
 Procedura di prova: IO_012

Configurazione foro



Geometria della cavità

Tipologia 4 - Fondo filtrante piano in terreno uniforme



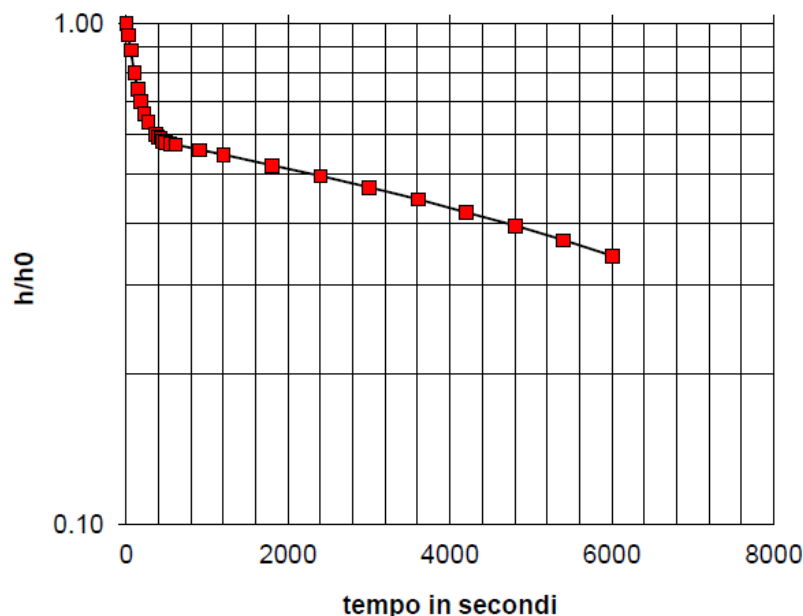
$$K = A / (F \cdot T) = 6.71E-06 \text{ m/sec}$$

$$T = 5400 \text{ sec}$$

Parametri geometrici

D	=	0.127	m
L	=	0.000	m
F	=	0.349	m
h	=	3.200	m
h0	=	5.500	m

Tempo	Abbassamenti		h	h/h0
sec	cm	m	m	---
0	0	0	5.500	1.00
20	27	0.27	5.230	0.95
50	62	0.62	4.880	0.89
100	110	1.1	4.400	0.80
140	142	1.42	4.080	0.74
180	165	1.65	3.850	0.70
220	186	1.86	3.640	0.66
270	200	2	3.500	0.64
360	219	2.19	3.310	0.60
390	223	2.23	3.270	0.59
420	225	2.25	3.250	0.59
450	229	2.29	3.210	0.58
480	232	2.32	3.180	0.58
540	233	2.33	3.170	0.58
600	235	2.35	3.150	0.57
900	242	2.42	3.080	0.56
1200	249	2.49	3.010	0.55
1800	263	2.63	2.870	0.52
2400	277	2.77	2.730	0.50
3000	291	2.91	2.590	0.47
3600	305	3.05	2.450	0.45
4200	319	3.19	2.310	0.42
4800	333	3.33	2.170	0.39
5400	347	3.47	2.030	0.37
6000	361	3.61	1.890	0.34

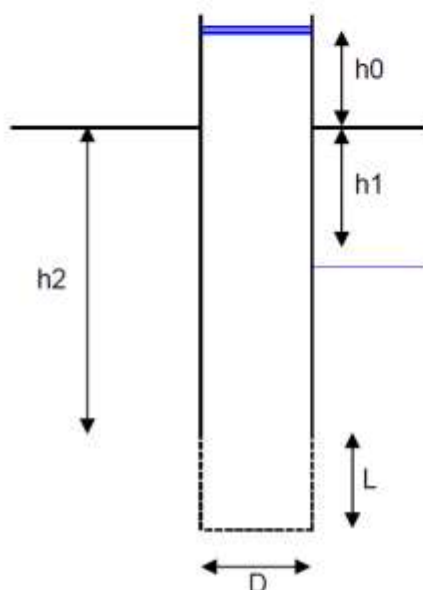


PROVA DI PERMEABILITA' LEFRANC A CARICO COSTANTE

Rapporto di prova N°: 20.0183/ RSP

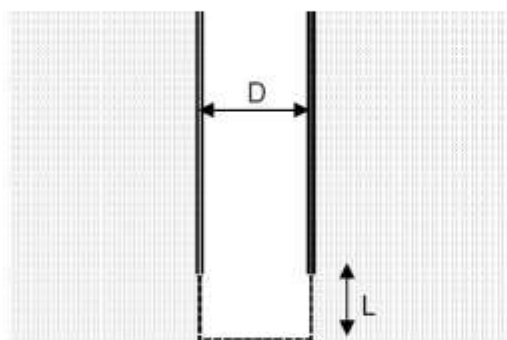
Committente: Comune di Castel Maggiore
 Località : Castel Maggiore (BO)
 Cantiere : via Chiesa
 Carotaggio n°: 1
 Prova n° : 3

Codice lavoro: 2020.030
 Data prova: 13/05/2020
 Profondità falda: 3.20 m
 Profondità prova: 8.60 m
 Procedura di prova: IO_012

Configurazione foro


Parametri geometrici		
D	=	0.127 m
L	=	0.300 m
h1	=	3.000 m
h0	=	0.700 m
h2	=	8.300 m

Parametri idraulici		
l	=	72.00
t	=	30 sec
Q	=	2.40E-03 mc/sec

Geometria della cavità
Tipologia 8 - Filtro cilindrico in terreno uniforme

Coefficiente di forma F

$$F = 1.429 \text{ m}$$

Coefficiente di permeabilità K

$$K = Q/F \cdot h = 4.54E-04 \text{ m/sec}$$

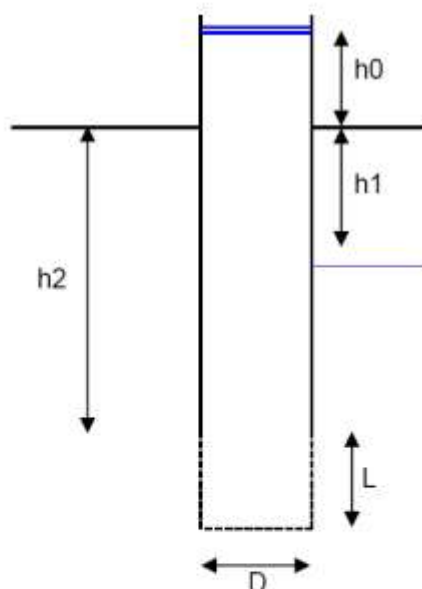
PROVA DI PERMEABILITA' LEFRANC A CARICO COSTANTE

Rapporto di prova N°: 20.0184/ RSP

Committente: Comune di Castel Maggiore
 Località: Castel Maggiore (BO)
 Cantiere: via Chiesa
 Carotaggio n°: 1
 Prova n°: 4

Codice lavoro: 2020.030
 Data prova: 14/05/2020
 Profondità falda: 3.20 m
 Profondità prova: 15.00 m
 Procedura di prova: IO_012

Configurazione foro

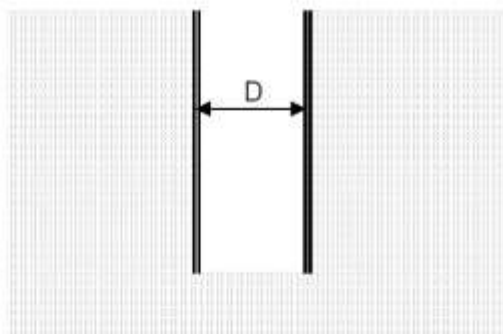


Parametri geometrici			
D	=	0.127	m
L	=	0.000	m
h1	=	3.200	m
h0	=	0.400	m
h2	=	15.000	m

Parametri idraulici			
l	=	2.10	
t	=	3600	sec
Q	=	5.83E-07	mc/sec

Geometria della cavità

Tipologia 4 - Fondo filtrante piano in terreno uniforme



Coefficiente di forma F

$$F = 2,75 \cdot D = 0.349 \text{ m}$$

Coefficiente di permeabilità K

$$K = Q/F \cdot h = 4.64E-07 \text{ m/sec}$$

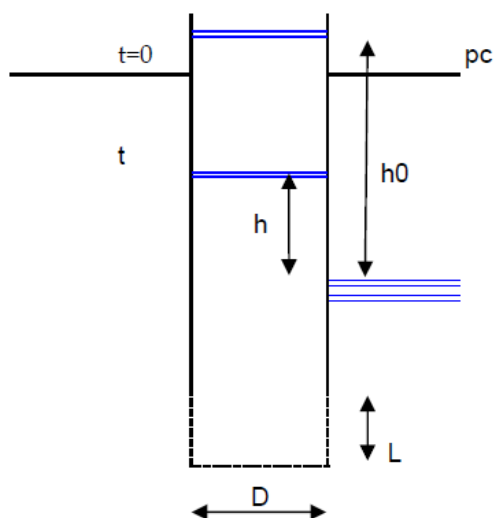
PROVA DI PERMEABILITA' LEFRANC A CARICO VARIABILE

Rapporto di prova N°: 20.0194/ RSP

Committente: Comune di Castel Maggiore
 Località : Castel Maggiore (BO)
 Cantiere : via Chiesa
 Carotaggio n° : 1
 Prova n° : 5

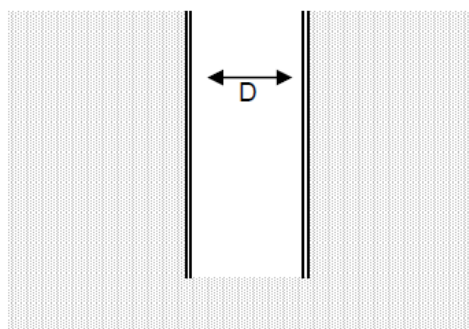
Codice lavoro: 2020.030
 Data prova: 15/05/2020
 Profondità falda: 3.20 m
 Profondità prova: 17.70 m
 Procedura di prova: IO_012

Configurazione foro



Geometria della cavità

Tipologia 4 - Fondo filtrante piano in terreno uniforme



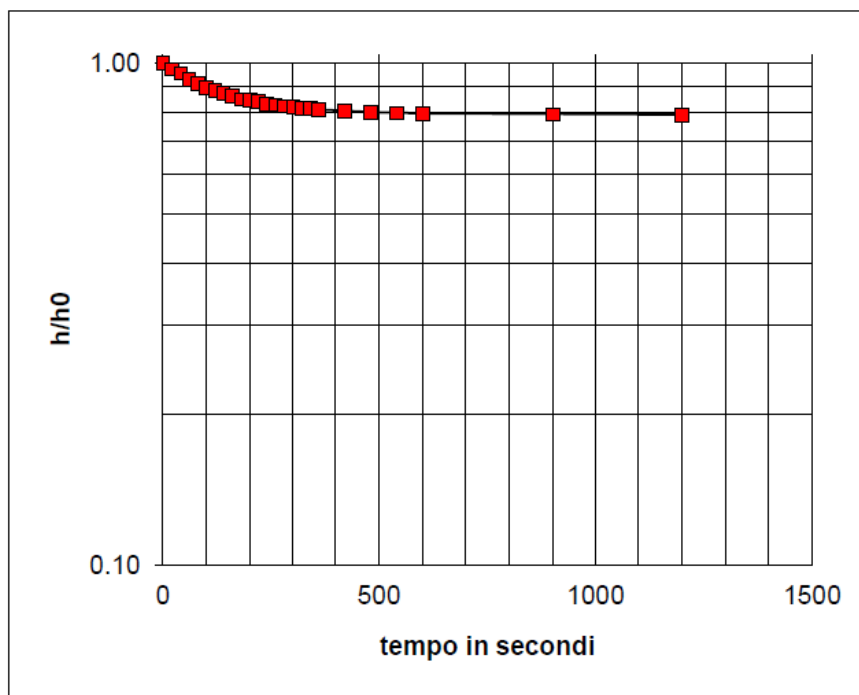
$$K=A/(F*T) = 3.02E-05 \text{ m/sec}$$

$$T = 1200 \text{ sec}$$

Parametri geometrici

D	=	0.127	m
L	=	0.300	m
F	=	0.349	m
h	=	3.200	m
h0	=	17.700	m

Tempo	Abbassamenti		h	h/h0
sec	cm	m	m	---
0	0	0	17.700	1.00
20	42	0.42	17.280	0.98
40	80	0.8	16.900	0.95
60	125	1.25	16.450	0.93
80	155	1.55	16.150	0.91
100	185	1.85	15.850	0.90
120	206	2.06	15.640	0.88
140	225	2.25	15.450	0.87
160	246	2.46	15.240	0.86
180	267	2.67	15.030	0.85
200	275	2.75	14.950	0.84
220	286	2.86	14.840	0.84
240	300	3	14.700	0.83
260	307	3.07	14.630	0.83
280	315	3.15	14.550	0.82
300	320	3.2	14.500	0.82
320	327	3.27	14.430	0.82
340	332	3.32	14.380	0.81
360	338	3.38	14.320	0.81
420	347	3.47	14.230	0.80
480	355	3.55	14.150	0.80
540	360	3.6	14.100	0.80
600	363	3.63	14.070	0.79
900	369	3.69	14.010	0.79
1200	372	3.72	13.980	0.79



Documentazione fotografica

Carotaggio 1 – Cassetta 1 (da 0,00 a 4,00 m)**Carotaggio 1 – Cassetta 2 (da 4,00 a 8,00 m)**

Carotaggio 1 – Cassetta 3 (da 8,00 a 12,00 m)



Carotaggio 1 – Cassetta 4 (da 12,00 a 16,00 m)



Carotaggio 1 – Cassetta 5 (da 16,00 a 20,00 m)**Carotaggio 1 – Cassetta 6 (da 20,00 a 24,00 m)**

Carotaggio 1 – Cassetta 7 (da 24,00 a 28,00 m)**Carotaggio 1 – Cassetta 8 (da 28,00 a 32,00 m)**

Analisi di laboratorio

 <p>LABORATORIO PROVE MATERIALI Aut. Min. ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01 Terre - Inerti - Riciclati - Asfalti</p>	<p>LABORATORIO GEOTECNICO Dr. Geol. Antonio Mucchi Via Alberto Ascari, 8 - Gualdo di Voghiera (FE) - Tel 0532/815681 www.mucchilab.it - email mucchilab@tin.it</p> <p><i>Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01</i></p>	<p>Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da KIWA =UNI EN ISO 9001=</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------

SCHEDA APERTURA CAMPIONE (Norma ASTM D2488 - AGI 1977)

COMMITTENTE: GEOPROBE Srl
CANTIERE: Via Chiesa - Castelmaggiore (BO)
DATA APERTURA: 28/05/2020

Verbale di accettazione n. Del 28/05/2020

SONDAGGIO	BH1	CAMPIONE	C1	PROF.	2.5
------------------	-----	-----------------	----	--------------	-----

Tipo di contenitore: fustella sacchetto cassetta

ALTO BASSO
 0 50 cm

(*) I simboli adottati per le prove sono descritti nella legenda a fondo pagina		PROVE DI LABORATORIO ESEGUITE									
Livello	Descr. litologica	P.P	V.T	Y	W	G	LA	Ed	PT	K	Proctor
A	argilla deb. Limosa nocciola	240	100	*	*	*	*	*	*		
B											

Qualità del campione: Scadente Discreta Buona Eccellente

LEGENDA PROVE

Pocket penetrometrico P.P. (kPa)	Granulometria G	Compressione E.L.L.C
Vane test V.T (kPa)	Limiti di Atterberg LA	Triassiale T.R
Peso di volume Y	Prova edometrica Ed	Permeabilità k
Contenuto d'acqua W	Prova di taglio PT	Peso specifico G.S

Pagina	Sperimentatore	Il Direttore	Certificato di prova n. 391
1 di 1	Dr. Malaguti D.	Dr. Geol. Mucchi Antonio	Data emissione : 18/06/2020





LABORATORIO GEOTECNICO Dr.Geol. Antonio Mucchi

Via Alberto Ascari, 8 - Gualdo di Voghiera (FE) - Tel 0532/815681
www.mucchilab.it - email mucchilab@tin.it

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01

Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da KIWA =UNI EN ISO 9001=

Committente : GEOPROBE Srl
Cantiere : Via Chiesa - Castelmaggiore (BO)
Campione : BH1 C1 mt. 2.5
Data prova : 17/06/2020 Verbale accettazione n° 22 del 28/05/2020

CONTENUTO D'ACQUA (ASTM D 2216)

Massa terreno umido + tara (g)	276.82
Massa terreno secco + Tara (g)	220.25
Massa tara (g)	5.70
Contenuto d'acqua - W (%)	26.4

PESO UNITA' DI VOLUME (ASTM D 2937)

Volume (cm ³)	86.83
Massa terreno umido + Tara (g)	245.01
Massa tara (g)	73.81
Peso unità di volume (γ)	(g/cm ³) 1.972
	(kN/m ³) 19.336
Peso secco unità di volume (γ _d)	(g/cm ³) 1.560
	(kN/m ³) 15.301

Pagina	Sperimentatore	Il Direttore	Certificato di prova n. 392
1 di 1	Dr. Malaguti D.	Dr. Geol. Mucchi Antonio	Data emissione : 18/06/2020





LABORATORIO GEOTECNICO Dr.Geol. Antonio Mucchi

Via Alberto Ascarelli, 8 - Gualdo di Voghera (FE) - Tel 0532/815681
www.mucchilab.it

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire
e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01

Azienda con sistema di
gestione per la qualità
certificato da KIWA
=UNI EN ISO 9001=

ANALISI GRANULOMETRICA PER SEDIMENTAZIONE **norma ASTM D 422 - AGI 1994**

Committente : GEOPROBE Srl
Cantiere : Via Chiesa - Castelmaggiore (BO)
Campione : BH1 C1 mt. 2.5

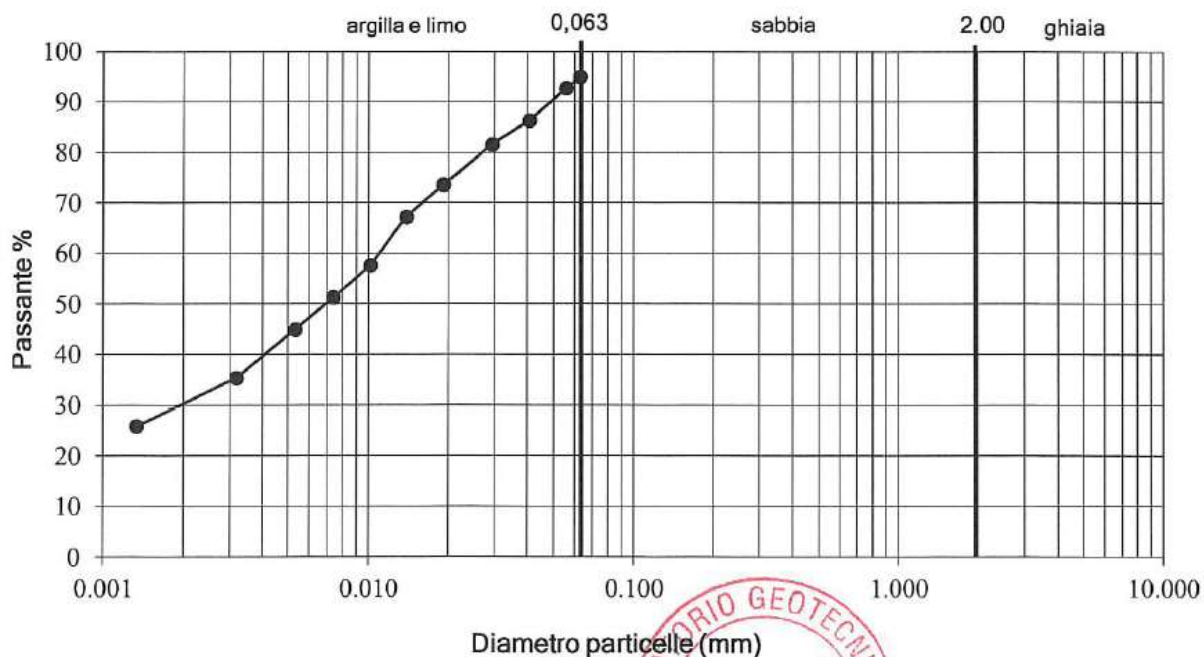
Data prova : 16/06/2020 **Verbale accettazione n° 22 del 28/05/2020**

Diametro (mm)	Passante (%)
0.063	95.00
0.0559	92.74
0.0407	86.36
0.0294	81.57
0.0192	73.61
0.0139	67.24
0.0102	57.69
0.0074	51.32
0.0053	44.95
0.0032	35.41
0.0013	25.88

Classificazione secondo norma AGI		
Sabbia	(2 - 0.063mm) :	5%
Limo	(0.063 - 0.002 mm) :	65%
Argilla	(< 0.002mm) :	30%

Trattenuto allo 0.063 mm :	5%
----------------------------	----

Umidità naturale W%	26.37
---------------------	-------



Pagina	Sperimentatore	Il Direttore	Certificato di prova n. 373
1 di 1	Dr. Malaguti D.	Dr. Geol. Mucchi Antonio	Data emissione : 18/06/2020



LABORATORIO GEOTECNICO Dr. Geol. Antonio Mucchi

Via Alberto Ascari, 8 - Gualdo di Voghiera (FE) - Tel 0532/815681
www.mucchilab.it - email mucchilab@tin.it

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01

Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da KIVA =UNI EN ISO 9001=

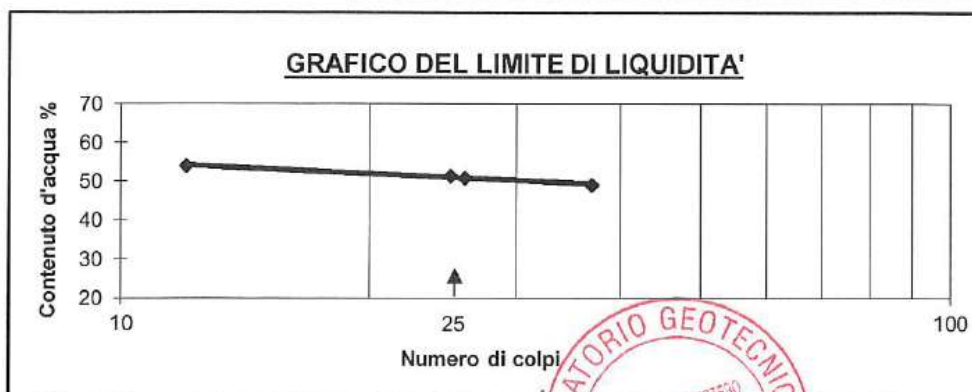
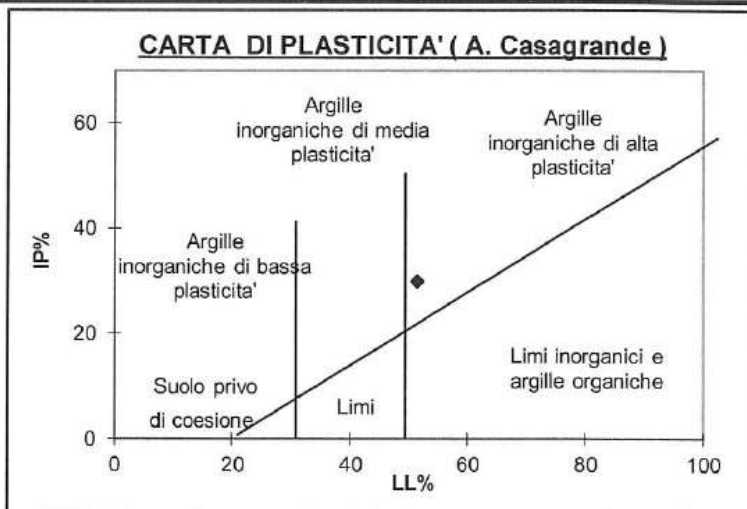
LIMITI DI ATTERBERG (Norma ASTM D4318)

Committente : GEOPROBE Srl
Cantiere : Via Chiesa - Castelmaggiore (BO)
Campione : BH1 C1 mt. 2.5

Data prova : 17/06/2020 **Verbale accettazione n° 22 del 28/05/2020**

	Limite liquido			Lim.plastico media 2 det.	Umidita' Naturale
N° CONTENITORE	1	2	3		4
N° COLPI	37	26	12		
Massa terreno umido + tara (g)	48.26	43.38	45.13	16.24	276.82
Massa terreno secco + tara (g)	39.15	33.21	34.03	15.14	220.25
Massa acqua contenuta (g)	12.63	10.17	11.10	1.10	56.57
Massa tara (g)	13.42	13.27	13.48	10.01	5.70
Massa terreno secco (g)	25.73	19.94	20.6	5.13	214.55
Contenuto d'acqua %	49.1	51.0	54.0	21.5	26.4

Limite liquido %	51
Limite Plastico %	21
Umidita' naturale %	26.4
Indice Plastico %	30
Indice di consistenza	0.84



Pagina	Sperimentatore	Il Direttore	CEAT. 394
1 di 1	Dr. Malaguti D.	Dr. Geol. Mucchi Antonio	Data remissione : 18/06/2020





LABORATORIO GEOTECNICO Dr. Geol. Antonio Mucchi

Via Alberto Ascarelli, 8 - Gualdo di Voghiera (FE) - Tel 0532/815681
www.mucchilab.it - email mucchilab@tin.it

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01

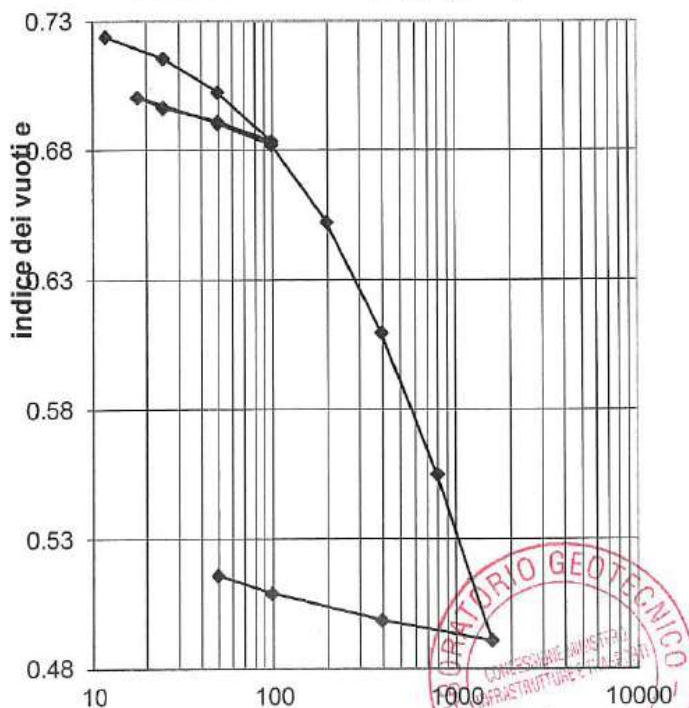
Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da KIWA =UNI EN ISO 9001=

COMMITTENTE: GEOPROBE Srl Verbaie accettazione n. 22 del 28/05/2020
CANTIERE: Via Chiesa - Castelmaggiore (I Sondaggio: BH1
DATA INIZIO PROVA : 28/05/2020 Campione: C1
Prof.(m): 2.5

NATURA DEL CAMPIONE: argilla deb. Limosa
PESO DI VOLUME NATURALE (kN/mc) : 18.990
PESO DI VOLUME SECCO (kN/mc) : 15.030
CONTENUTO D'ACQUA NATURALE (%) : 26.400

Dp(kPa)	DH(mm)	E %	e°	Mo(kPa)
11.768	.132	.660	.724	
24.518	0.23	1.150	.716	2550
49.035	.380	1.900	.703	3269
98.070	.600	3.000	.683	4561
49.035	.511	2.555	.691	
24.518	.450	2.250	.696	
17.768	.402	2.010	.701	
49.035	.520	2.600	.690	
98.070	.615	3.075	.682	
196.140	.960	4.800	.652	5448
392.280	1.450	7.250	.610	7925
784.560	2.080	10.400	.555	12553
1569.120	2.820	14.100	.491	21062
392.28	2.730	13.650	.499	
98.07	2.610	13.050	.509	
49.035	2.530	12.650	.516	

Tensione verticale (log p) (kPa)





LABORATORIO GEOTECNICO Dr. Geol. Antonio Mucchi

Via Alberto Ascari, 8 - Gualdo di Voghiera (FE) - Tel 0532/815681
www.mucchilab.it - email mucchilab@tin.it

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01

Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da KIWA =UNI EN ISO 9001=

PROVA DI CONSOLIDAZIONE EDOMETRICA (Norma A.G.I. 1994)

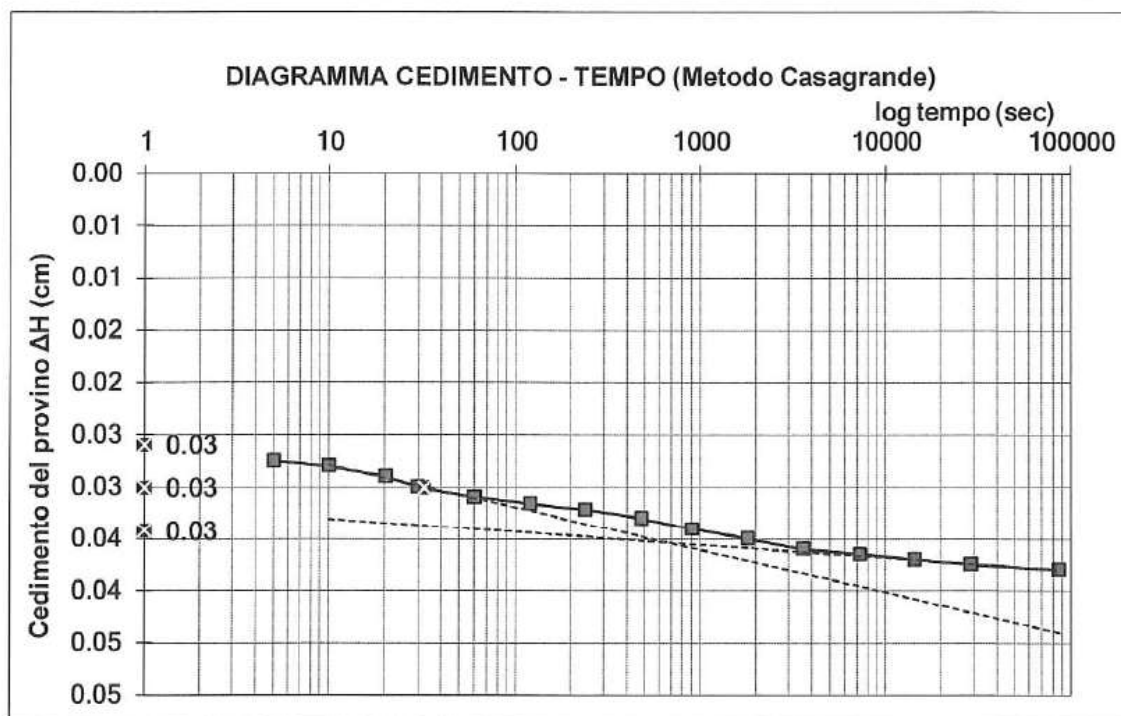
COMMITTENTE: GEOPROBE Srl
CANTIERE: Via Chiesa - Castelmaggiore (BO)
DATA: 28/05/2020
Verbale accettazione n°: 22 del : 28/05/2020

Sondaggio: BH1
Campione: C1
Prof(m): 2.5

NATURA DEL CAMPIONE: argilla deb. Limosa

Tensione verticale efficace (kPa) : 49.035
Cv (cmq/sec): 6.09E-03
C alfa 6.32E-06
t50 (sec) 32
Permeabilità (cm/sec) 3.74E-07

Tempo (sec)	ΔH (cm)
0	0.027
5	0.027
10	0.028
20	0.028
30	0.029
60	0.030
120	0.031
240	0.032
480	0.032
900	0.033
1800	0.034
3600	0.035
7200	0.036
14400	0.037
28800	0.037
86400	0.038



Pagina	Sperimentatore	Il Direttore	Certificato di prova n°:
2 di 7	Dr. Malaguti D.	Dr. Geol. Mucchi/Antonio	385
			Data emissione: 18/06/2020



LABORATORIO GEOTECNICO Dr. Geol. Antonio Mucchi

Via Alberto Ascari, 8 - Gualdo di Voghiera (FE) - Tel 0532/815681
www.mucchilab.it - email mucchilab@tin.it

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01

Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da KIVA = UNI EN ISO 9001=

PROVA DI CONSOLIDAZIONE EDOMETRICA (Norma A.G.I. 1994)

COMMITTENTE: GEOPROBE Srl
CANTIERE: Via Chiesa - Castelmaggiore (BO)
DATA: 28/05/2020
Verbale accettazione n°: 22 del: 28/05/2020

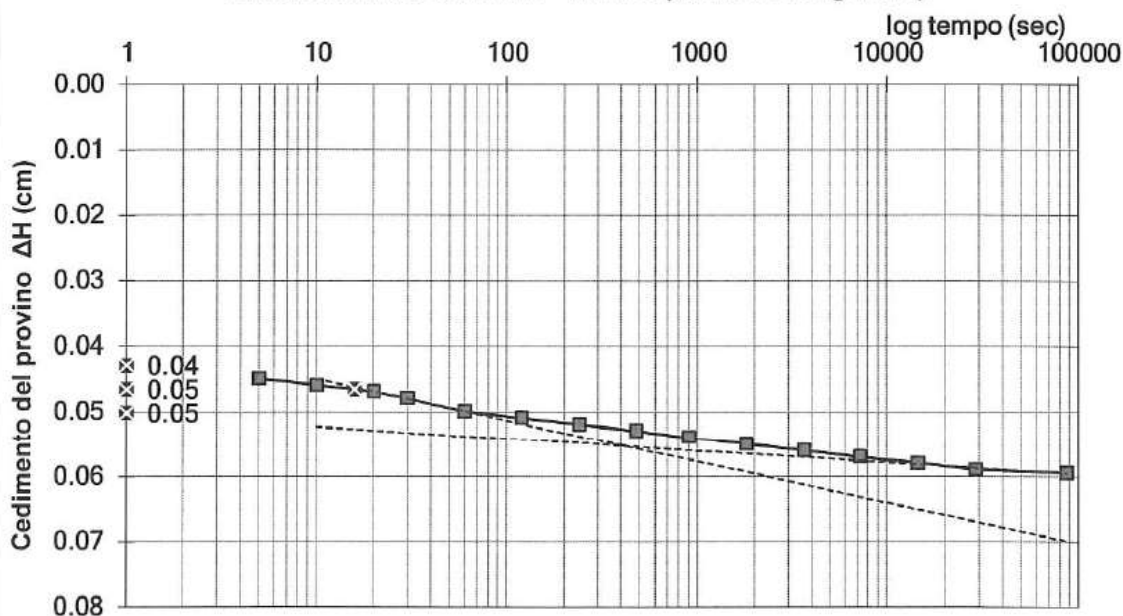
Sondaggio: BH1
Campione: C1
Prof(m): 3

NATURA DEL CAMPIONE: argilla deb. Limosa

Tensione verticale efficace (kPa) : 98.07
Cv (cmq/sec): 1.25E-02
C alfa 9.24E-06
t50 (sec) 16
Permeabilità (cm/sec) 2.68049E-07

Tempo (sec)	ΔH (cm)
0	0.043
5	0.045
10	0.046
20	0.047
30	0.048
60	0.050
120	0.051
240	0.052
480	0.053
900	0.054
1800	0.055
3600	0.056
7200	0.057
14400	0.058
28800	0.059
86400	0.060

DIAGRAMMA CEDIMENTI - TEMPO (Metodo Casagrande)



Pagina	Sperimentatore	Il Direttore	Certificato di prova n°: 325
3 di 7	Dr. Malaguti D.	Dr. Geol. Mucchi Antonio	Data emissione: 18/06/2020





LABORATORIO GEOTECNICO Dr. Geol. Antonio Mucchi

Via Alberto Ascarei, 8 - Gualdo di Voghiera (FE) - Tel 0532/815681
www.mucchilab.it - email mucchilab@tin.it

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01

Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da KJWA
=UNI EN ISO 9001=

PROVA DI CONSOLIDAZIONE EDOMETRICA (Norma A.G.I. 1994)

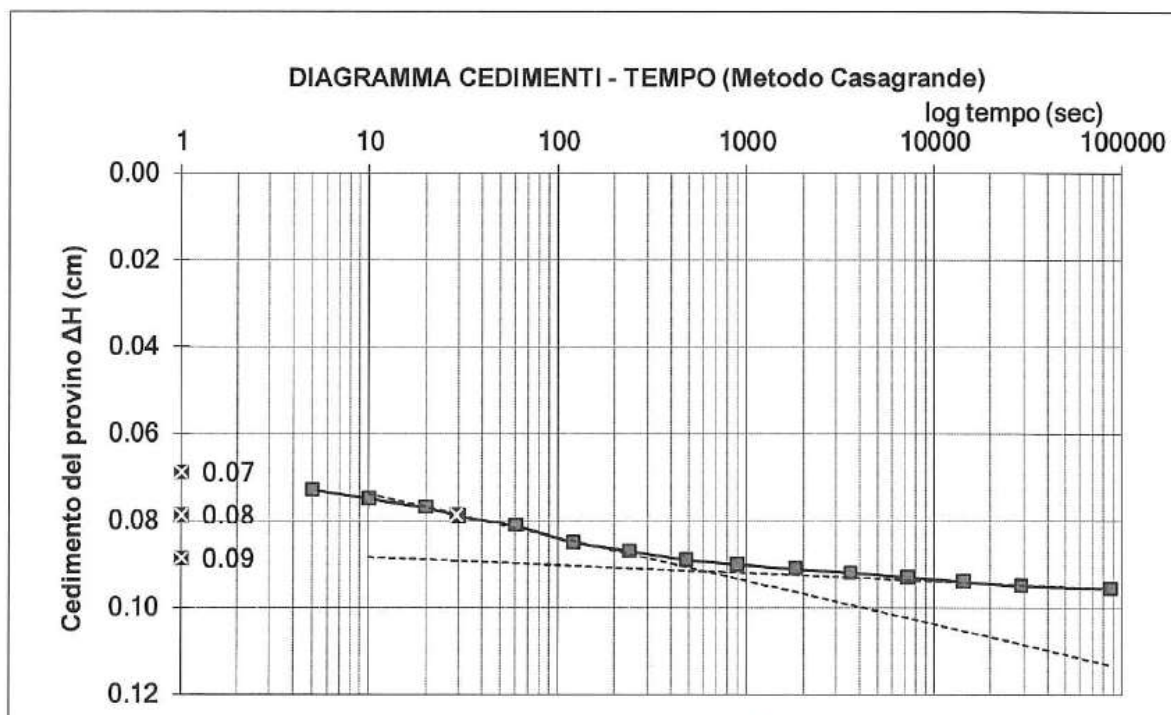
COMMITTENTE: GEOPROBE Srl
CANTIERE: Via Chiesa - Castelmaggiore (BO)
DATA: 28/05/2020
Verbale accettazione n°: 22 **del :** 28/05/2020

Sondaggio: BH1
Campione: C1
Prof(m): 2.5

NATURA DEL CAMPIONE: argilla deb. Limosa

Tensione verticale efficace (kPa) : 196.14
Cv (cmq/sec): 6.80E-03
C alfa 9.24E-06
t50 (sec) 29
Permeabilità (cm/sec) 1.22414E-07

Tempo (sec)	ΔH (cm)
0	0.071
5	0.073
10	0.075
20	0.077
30	0.079
60	0.081
120	0.085
240	0.087
480	0.089
900	0.090
1800	0.091
3600	0.092
7200	0.093
14400	0.094
28800	0.095
86400	0.096



Pagina	Sperimentatore	Il Direttore	Certificato di prova n°: 325
4 di 7	Dr. Malaguti D.	Dr. Geol. Mucchi Antonio	Data emissione: 18/06/2020





LABORATORIO GEOTECNICO Dr. Geol. Antonio Mucchi

Via Alberto Ascari, 8 - Gualdo di Voghiera (FE) - Tel 0532/815681
www.mucchiab.it - email mucchiab@tin.it

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01

Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da KIWA =UNI EN ISO 9001=

PROVA DI CONSOLIDAZIONE EDOMETRICA (Norma A.G.I. 1994)

COMMITTENTE: GEOPROBE Srl
CANTIERE: Via Chiesa - Castelmaggiore (BO)
DATA: 28/05/2020
Verbale accettazione n°: 22 del : 28/05/2020

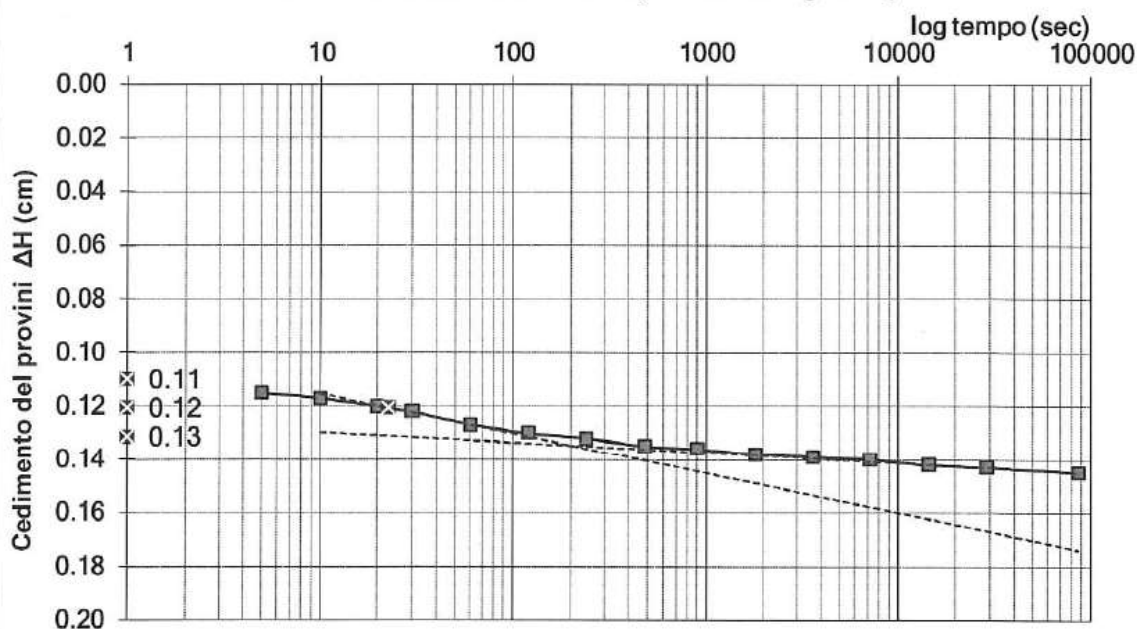
Sondaggio: BH1
Campione: C1
Prof(m): 2.5

NATURA DEL CAMPIONE: argilla deb. Limosa

Tensione verticale efficace (kPa) : 392.28
Cv (cmq/sec): 8.62E-03
C alfa 1.94E-05
t50 (sec) 23
Permeabilità (cm/sec) 1.06625E-07

Tempo (sec)	ΔH (cm)
0	0.111
5	0.115
10	0.117
20	0.120
30	0.122
60	0.127
120	0.130
240	0.132
480	0.135
900	0.136
1800	0.138
3600	0.139
7200	0.140
14400	0.142
28800	0.143
86400	0.145

DIAGRAMMA CEDIMENTI - TEMPI (metodo Casagrande)



Pagina	Sperimentatore	Il Direttore	Certificato di prova n°: 395
5 di 7	Dr. Malaguti D.	Dr. Geol. Mucchi Antonio	Data emissione: 18/06/2020





LABORATORIO GEOTECNICO Dr. Geol. Antonio Mucchi

Via Alberto Ascari, 8 - Gualdo di Voghiera (FE) - Tel 0532/815681
www.mucchilab.it - email mucchilab@tin.it

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01

Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da KIWA =UNI EN ISO 9001=

PROVA DI CONSOLIDAZIONE EDOMETRICA (Norma A.G.I. 1994)

COMMITTENTE: GEOPROBE Srl
CANTIERE: Via Chiesa - Castelmaggiore (BO)
DATA: 28/05/2020
Verbale accettazione n°: 22 del : 28/05/2020

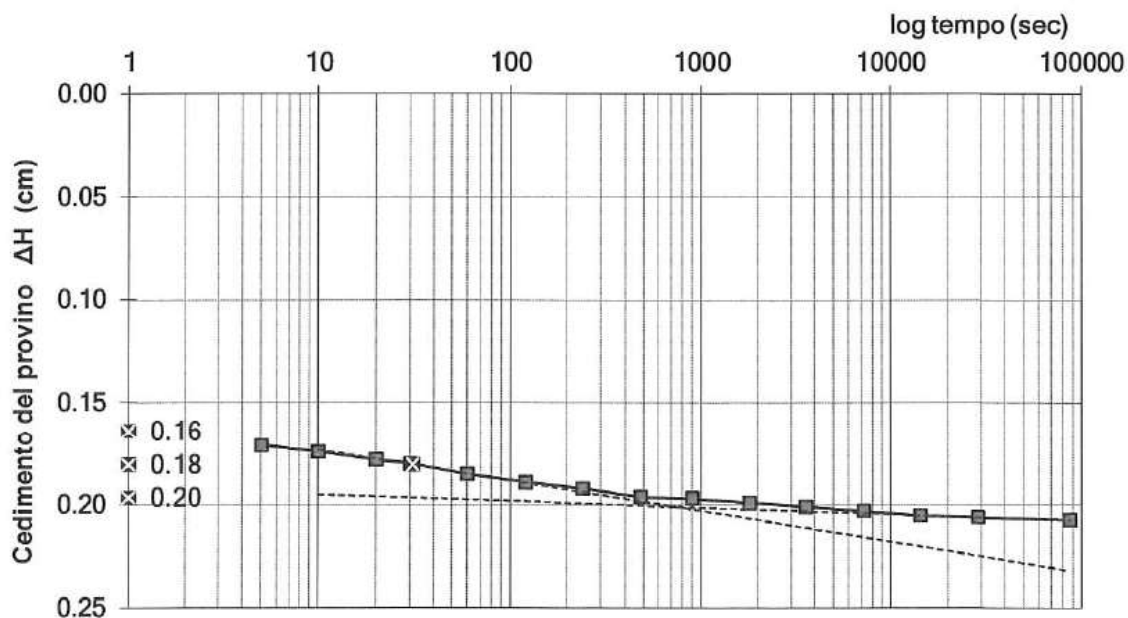
Sondaggio: BH1
Campione: C1
Prof(m): 2.5

NATURA DEL CAMPIONE: argilla deb. Limosa

Tensione verticale efficace (kPa) : 784.56
Cv (cmq/sec): 6.34E-03
C alfa 1.60E-05
t50 (sec) 31
Permeabilità (cm/sec) 4.952E-08

Tempo (sec)	ΔH (cm)
0	0.169
5	0.171
10	0.174
20	0.178
30	0.180
60	0.185
120	0.189
240	0.192
480	0.196
900	0.197
1800	0.199
3600	0.201
7200	0.203
14400	0.205
28800	0.206
86400	0.208

DIAGRAMMA CEDIMENTI-TEMPO (Metodo Casagrande)



Pagina	Sperimentatore	Il Direttore	Certificato di prova n°: 395
6 di 7	Dr. Malaguti D.	Dr. Geol. Mucchi Antonio	Data emissione: 18/06/2020





LABORATORIO GEOTECNICO Dr. Geol. Antonio Mucchi

Via Alberto Ascari, 8 - Gualdo di Voghiera (FE) - Tel 0532/815681
www.mucchilab.it - email mucchilab@tin.it

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01

Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da KIWA
=UNI EN ISO 9001=

PROVA DI CONSOLIDAZIONE EDOMETRICA (Norma A.G.I. 1994)

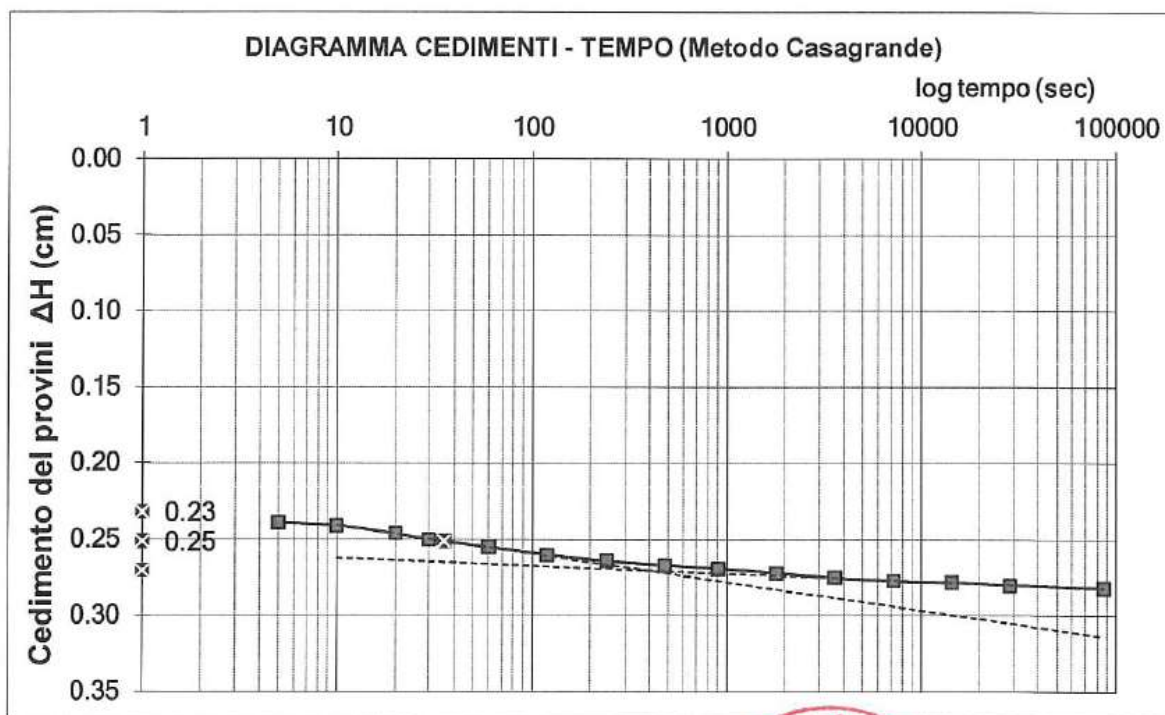
COMMITTENTE: GEOPROBE Srl
CANTIERE: Via Chiesa - Castelmaggiore (BO)
DATA: 28/05/2020
Verbale accettazione n°: 22 del : 28/05/2020

Sondaggio: BH1
Campione: C1
Prof(m): 2.5

NATURA DEL CAMPIONE: argilla deb. Limosa

Tensione verticale efficace (kPa) : 1569.12
Cv (cmq/sec): 5.47E-03
C alfa 2.53E-05
t50 (sec) 36
Permeabilità (cm/sec) 2.545E-08

Tempo (sec)	ΔH (cm)
0	0.235
5	0.239
10	0.241
20	0.246
30	0.250
60	0.255
120	0.260
240	0.264
480	0.267
900	0.269
1800	0.272
3600	0.275
7200	0.277
14400	0.278
28800	0.280
86400	0.282



Pagina	Sperimentatore	Il Direttore	Certificato di prova n°: 395
7 di 7	Dr. Malaguti D.	Dr. Geol. Mucchi Antonio	Data emissione: 18/06/2020



LABORATORIO GEOTECNICO Dr. Geol. Antonio Mucchi

Via Alberto Ascari, 8 - Gualdo di Voghiera (FE) - Tel 0532/815681
www.mucchilab.it - mucchilab@tin.it

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01

Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da KIWA =UNI EN ISO 9001=

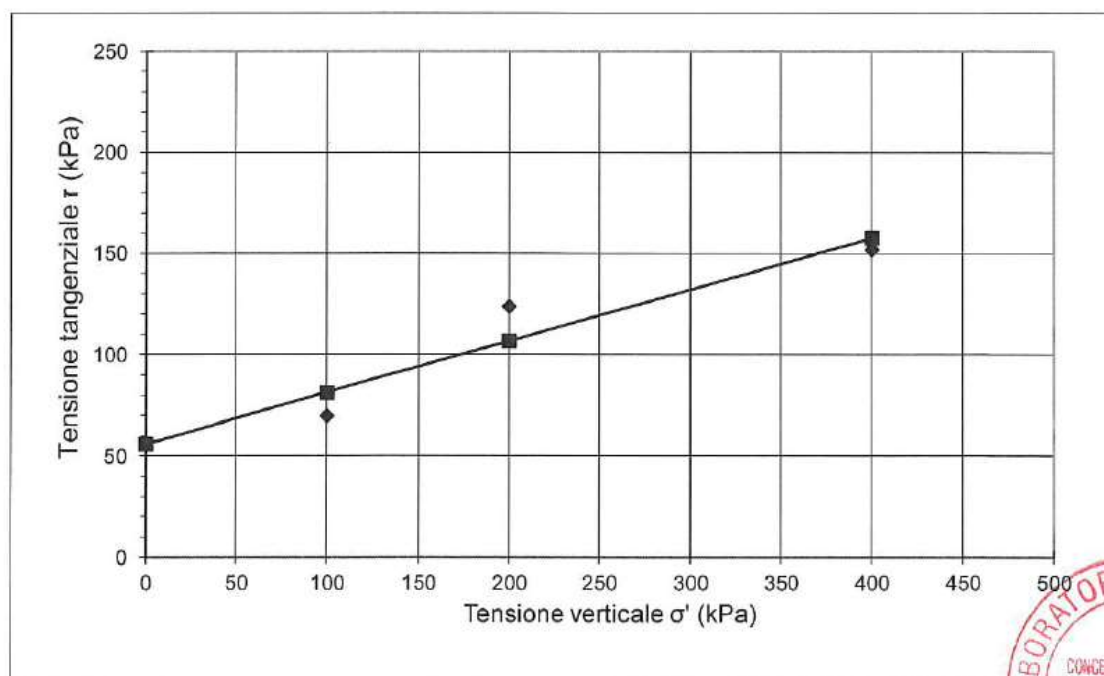
PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Committente: GEOPROBE SRI
Cantiere : Via Chiesa - Castelmaggiore (BO)
Campione: BH1C1
Prof. (mt) : 2.5
Data inizio prova : 30/05/2020

MISURE ALLA PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Provino (n°)	Tensione verticale σ' (kPa)	Tensione tangenziale τ (kPa)
1	100	69.924
2	200	124.059
3	300	152.107

COESIONE DRENATA (kPa):	55.90
ANGOLO D'ATTRITO (° sess):	14



L'interpretazione sopra riportata è frutto di una regressione lineare operata sulle tensioni massime determinate in laboratorio. La scelta dei parametri della resistenza al taglio più opportuni rispetto alla finalità prefissate spetta al Progettista o Professionista incaricato



LABORATORIO GEOTECNICO Dr. Geol. Antonio Mucchi

Via Alberto Ascari, 8 - Gualdo di Voghera (FE) - Tel 0532/815681
www.mucchilab.it - email mucchilab@tin.it

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01

Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da KIVA UNI EN ISO 9001=

Committente:

GEOPROBE SRI

Verbale accettazione n°:

22

Cantiere :

Via Chiesa - Castelmaggiore (BO)

Data verbale accettazione:

28/05/2020

Campione:

BH1C1

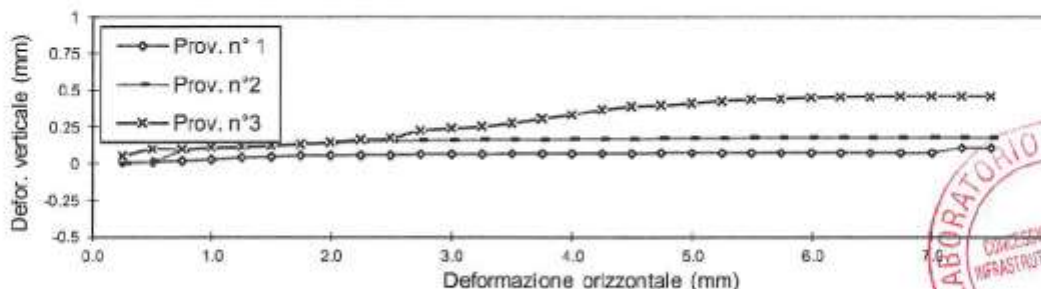
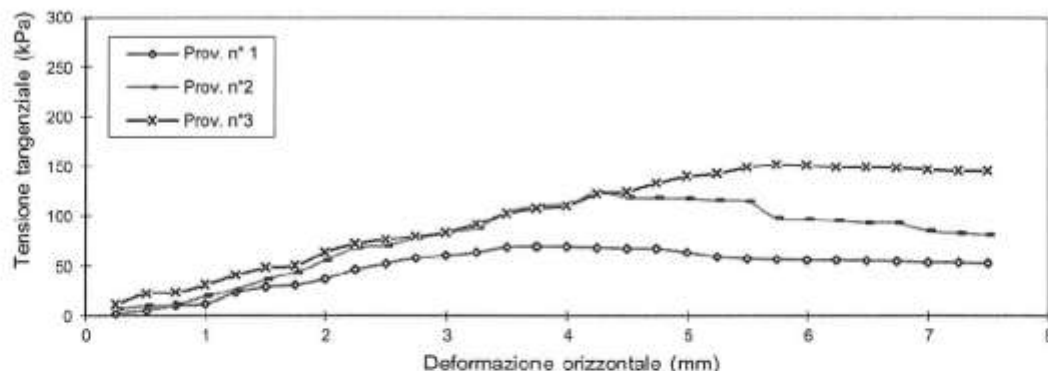
Prof. (mt) :

2.5

Data inizio prova :

30/05/2020

PROVA DI TAGLIO DIRETTO - raccomandazioni AGI 1994						
Def. Orizzontale (mm)	Tensione Tangenziale (kPa)			Deformazione verticale (mm)		
	Prov. n° 1	Prov. n° 2	Prov. n° 3	Prov. n° 1	Prov. n° 2	Prov. n° 3
0.25	2.16	7.36	11.47	0.012	0.002	0.05
0.50	5.49	10.40	22.05	0.012	0.015	0.090
0.75	10.69	11.47	23.83	0.02	0.085	0.097
1.00	12.16	19.91	31.09	0.027	0.1	0.109
1.25	23.54	26.58	40.90	0.039	0.112	0.114
1.50	29.22	36.78	48.45	0.046	0.125	0.125
1.75	31.58	43.74	50.31	0.054	0.136	0.131
2.00	37.27	55.41	64.04	0.054	0.142	0.145
2.25	46.58	68.35	72.38	0.056	0.148	0.162
2.50	52.76	70.41	76.59	0.056	0.152	0.169
2.75	58.16	77.77	80.12	0.061	0.156	0.225
3.00	60.61	84.54	84.05	0.063	0.159	0.241
3.24	63.94	88.36	92.38	0.063	0.161	0.252
3.49	69.34	104.25	103.17	0.066	0.162	0.274
3.74	69.92	110.13	107.98	0.068	0.164	0.304
3.99	69.53	112.88	110.43	0.068	0.1666	0.333
4.24	68.75	124.06	122.88	0.068	0.167	0.365
4.40	67.96	110.35	124.84	0.068	0.168	0.388
4.74	67.77	118.76	133.47	0.073	0.169	0.395
4.99	63.04	117.98	140.53	0.073	0.171	0.41
5.24	59.63	116.51	142.99	0.073	0.172	0.425
5.49	57.47	115.04	149.38	0.073	0.174	0.436
5.74	57.17	98.76	152.11	0.073	0.174	0.441
5.99	56.00	96.89	151.32	0.073	0.174	0.448
6.24	56.00	95.81	149.35	0.073	0.174	0.455
6.49	55.51	93.46	149.35	0.073	0.174	0.455
6.74	55.21	93.46	148.87	0.073	0.174	0.457
7.00	53.74	85.42	147.01	0.073	0.174	0.457
7.25	53.45	83.46	145.63	0.107	0.174	0.457
7.50	53.15	81.69	145.63	0.107	0.174	0.457



Pagina	Sperimentatore	Il Direttore	Certificato di prova n°
1 di 2	Dr. Malaguti D.	Dr. Geol. Mucchi Antonio	Data emissione : 18/06/2020



 <p>LABORATORIO PROVE MATERIALI Aut. Min. ai sensi dell'art. 39 del D.P.R. n° 340/01 Inge. - Ined. - Risciaff. - Aut. Min.</p>	<p>LABORATORIO GEOTECNICO Dr. Geol. Antonio Mucchi Via Alberto Ascarelli, 8 - Gualdo di Voghiera (FE) - Tel 0532/815681 www.mucchilab.it - email mucchilab@tin.it</p> <p><i>Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01</i></p>	<p>Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da KIVA «UNI EN ISO 9001»</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------

PROVA DI TAGLIO DIRETTO - raccomandazioni AGI 1994

Committente:	GEOPROBE SRI	Verbale accettazione n°	22
Cantiere :	Via Chiesa - Castelmaggiore (BO)	Data verbale accett.:	28/05/2020
Campione:	BH1C1		
Prof. (mt) :	2.5	Data inizio prova :	30/05/2020

Descrizione litologica del provino :	argilla nocciola
--------------------------------------	------------------

Caratteristiche dei provini

Provino :	1	2	3
Provino indisturbato :	*	*	*
Provino ricostruito su passante ai 2 mm :			
Altezza del provino (cm)	2.3	2.3	2.3
Sezione del provino (cm ²)	36	36	36
Peso dell'unità di volume allo stato naturale (kN/m ³)	18.887	19.214	19.038
Peso dell'unità di volume allo stato secco (kN/m ³)	14.946	15.212	15.056
Contenuto d'acqua : (W%)	26.37	26.31	26.45

Modalità di consolidazione e rottura

Tensione verticale (kPa)	100	200	300
Velocità di deformazione (mm/min)	0.0052	0.0052	0.0052

Pagina	Sperimentatore	Il Direttore	Certificato di prova n.
2 di 2	Dr. Malaguti D.	Dr. Geol. Mucchi Antonio	Data emissione : 18/06/2020



 LABORATORIO PROVE MATERIALI <small>Aut. Min. ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 340/01</small> <small>Isola - Bari - Foggia - Ascoli</small>	LABORATORIO GEOTECNICO Dr. Geol. Antonio Mucchi Via Alberto Ascarelli, 8 - Gualdo di Voghera (FE) - Tel 0532/815681 www.mucchilab.it - email mucchilab@tin.it	Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da KIVA «UNI EN ISO 9001»
	Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01	

SCHEDA APERTURA CAMPIONE (Norma ASTM D2488 - AGI 1977)

COMMITTENTE: GEOPROBE Srl
CANTIERE: Via Chiesa - Castelmaggiore (BO)
DATA APERTURA: 28/05/2020

Verbale di accettazione n. Del 28/05/2020

SONDAGGIO	BH1	CAMPIONE	C2	PROF.	4.5
------------------	-----	-----------------	----	--------------	-----

Tipo di contenitore:
☒ fustella
 ☐ sacchetto
 ☐ cassetta

ALTO BASSO
 0 50 cm

(*) I simboli adottati per le prove sono descritti nella legenda a fondo pagina		PROVE DI LABORATORIO ESEGUITE									
Livello	Descr. litologica	P.P	V.T	Y	W	G	LA	Ed	PT	G.S.	Proctor
A	limo nocciola	220	100	*	*	*	N.P.	*	*	*	
B											

Qualità del campione:
 Scadente
 ☐
 Discreta
 ☐
 Buona
 ☒
 Eccellente
 ☐

LEGENDA PROVE

Pocket penetrometrico P.P. (kPa)

Vane test V.T (kPa)

Peso di volume Y

Contenuto d'acqua W

Granulometria G

Limiti di Atterberg LA

Prova edometrica Ed

Prova di taglio PT

Compressione E.C.C

Triassiale T.R

Permeabilità K

Peso specifico G.S



Pagina	Sperimentatore	Il Direttore	Certificato di prova n. 229
1 di 1	Dr. Malaguti D.	Dr. Geol. Mucchi Antonio	Data emissione : 18/06/2020

 <p>LABORATORIO PROVE MATERIALI Aut. Min. di prov. del/let. 59 del D.P.R. n° 380/01 Torre - Nevio - Riccione - Asolo</p>	<p>LABORATORIO GEOTECNICO Dr.Geol. Antonio Mucchi Via Alberto Ascarli, 8 - Gualdo di Voghera (FE) - Tel 0532/815081 www.mucchiab.it - email mucchiab@tin.it</p> <p><i>Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01</i></p>	<p>Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da KIVA =UNI EN ISO 9001=</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------

Committente : GEOPROBE Srl
Cantiere : Via Chiesa - Castelmaggiore (BO)
Campione : BH1 C2 mt. 4.5

Data prova : 07/05/2020 Verbale accettazione n° 22 del 28/05/2020

CONTENUTO D'ACQUA (ASTM D 2216)

Massa terreno umido + tara (g)	281.49
Massa terreno secco + Tara (g)	230.47
Massa tara (g)	5.85
Contenuto d'acqua - W (%)	22.7

PESO UNITA' DI VOLUME (ASTM D 2937)

Volume (cm ³)	86.83
Massa terreno umido + Tara (g)	228.3
Massa tara (g)	73.68
Peso unità di volume (γ)	(g/cm ³) 1.781
	(kN/m ³) 17.463
Peso secco unità di volume (γ _d)	(g/cm ³) 1.451
	(kN/m ³) 14.231

Pagina	Sperimentatore	Il Direttore	Certificato di prova n. 378
1 di 1	Dr. Malaguti D.	Dr. Geol. Mucchi Antonio	Data emissione: 18/06/2020



LABORATORIO GEOTECNICO Dr. Geol. Antonio Mucchi

Via Alberto Ascari, 8 - Gualdo di Voghiera (FE) - Tel 0532/815681
www.mucchilab.it

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01

Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da KIVA =UNI EN ISO 9001=

ANALISI GRANULOMETRICA PER SEDIMENTAZIONE **norma ASTM D 422 - AGI 1994**

Committente : **GEOPROBE Srl**
Cantiere : **Via Chiesa - Castelmaggiore (BO)**
Campione : **BH1 C2** mt. **4.5**

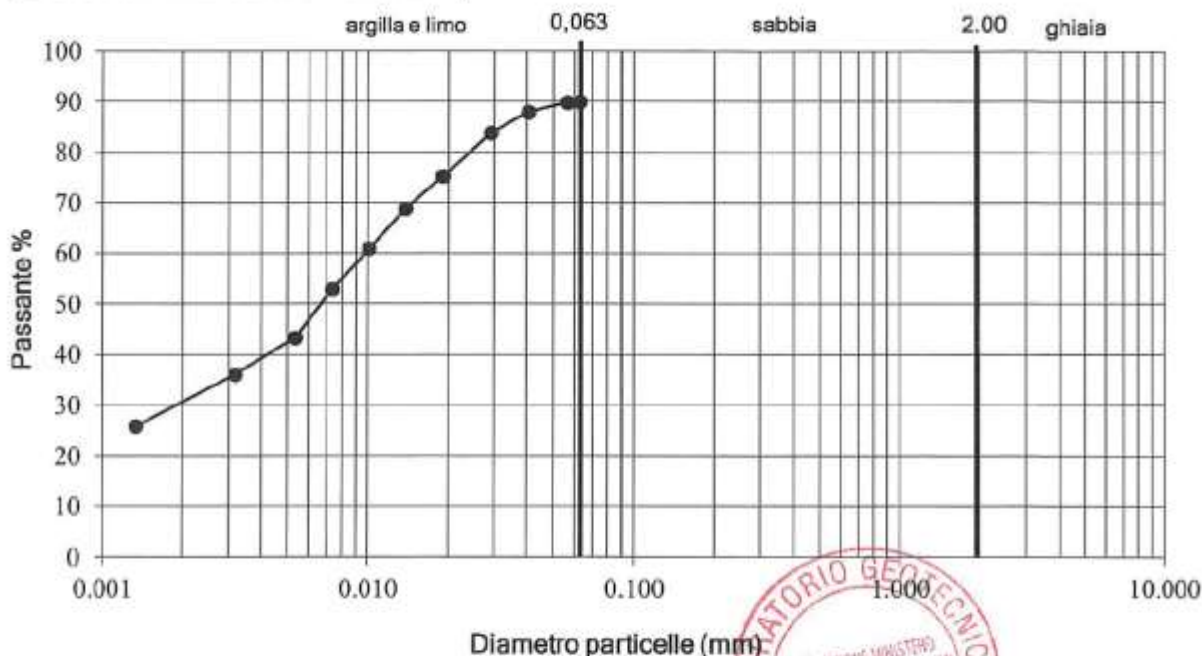
Data prova : **16/06/2020** Verbale accettazione n° 22 del 28/05/2020

Diametro (mm)	Passante (%)
0.063	90.00
0.0566	89.87
0.0404	87.95
0.0291	83.80
0.0191	75.20
0.0139	68.83
0.0101	60.87
0.0074	52.91
0.0054	43.36
0.0032	36.05
0.0013	25.88

Classificazione secondo norma AGI	
Sabbia	(2 - 0.063mm) : 10%
Limo	(0.063 - 0.002 mm) : 59%
Argilla	(< 0.002mm) : 31%

Trattenuto allo 0.063 mm :	10%
----------------------------	-----

Umidità naturale W%	22.71
---------------------	-------



Pagina	Sperimentatore	Il Direttore	Certificato di prova n. 384
1 di 1	Dr. Malaguti D.	Dr. Geol. Mucchi Antonio	Data emissione : 18/06/2020



Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da KQWA
=UNI EN ISO 9001=

Committente :	GEOPROBE Srl		
Cantiere :	Via Chiesa - Castelmaggiore (BO)		
Campione :	BH1 C2	mt.	4.5
Data prova :	17/06/2020		

Pagina	Sperimentatore	Il Direttore	Certificato di prova n. 400
1 di 1	Dr. Malaquiti D.	Dr. Geol. Mucchi Antonio	Data emissione : 12/06/2020


LABORATORIO GEOTECNICO Dr. Geol. Antonio Mucchi

Via Alberto Ascarelli, 8 - Gualdo di Voghera (FE) - Tel 0532/815681
www.mucchiab.it - email mucchiab@tin.it

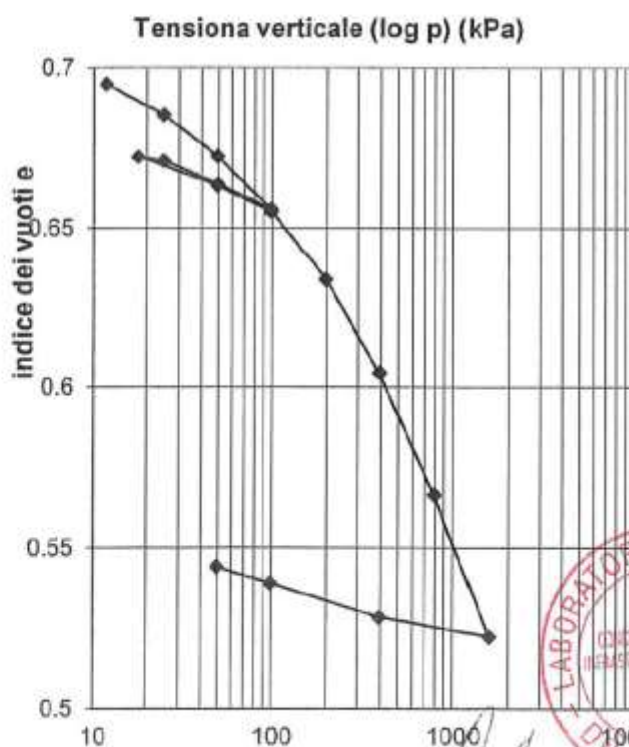
Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01

Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da KIVA «UNI EN ISO 9001»

COMMITTENTE: GEOPROBE Srl
CANTIERE: Via Chiesa - Castelmaggiore
DATA INIZIO PROVA: 28/05/2020
Verbale accettazione n. 22 del 28/05/2020
Sondaggio: BH1
Campione: C2
Prof. (m): 4.5

NATURA DEL CAMPIONE: Limo Nocciola
PESO DI VOLUME NATURALE (kN/mc): 18.810
PESO DI VOLUME SECCO (kN/mc): 15.320
CONTENUTO D'ACQUA NATURALE (%): 22.700

Dp(kPa)	DH(mm)	E %	e°	Mo(kPa)
11.768	.320	1.600	.695	
24.518	0.43	2.150	.685	2318
49.035	.580	2.900	.672	3269
98.070	.770	3.850	.656	5162
49.035	.680	3.400	.664	
24.518	.596	2.980	.671	
17.768	.581	2.905	.672	
49.035	.686	3.430	.663	
98.070	.779	3.895	.655	
196.140	1.030	5.150	.634	7544
392.280	1.370	6.850	.604	11538
784.560	1.810	9.050	.566	17831
1569.120	2.320	11.600	.523	30767
392.28	2.250	11.250	.529	
98.07	2.130	10.650	.539	
49.035	2.070	10.350	.544	





LABORATORIO GEOTECNICO Dr. Geol. Antonio Mucchi

Via Alberto Ascari, 8 - Gualdo di Voghera (FE) - Tel 0532/815681
www.mucchilab.it - email mucchilab@tin.it

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01

Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da KIWA - UNI EN ISO 9001-

PROVA DI CONSOLIDAZIONE EDOMETRICA (Norma A.G.I. 1994)

COMMITTENTE: GEOPROBE Srl
CANTIERE: Via Chiesa - Castelmaggiore (BO)
DATA: 28/05/2020
Verbale accettazione n°: 22 del : 28/05/2020

Sondaggio: BH1
Campione: C2
Prof(m): 4.5

NATURA DEL CAMPIONE: limo nocciola

Tensione verticale efficace (kPa): 49.035

Cv (cmq/sec):

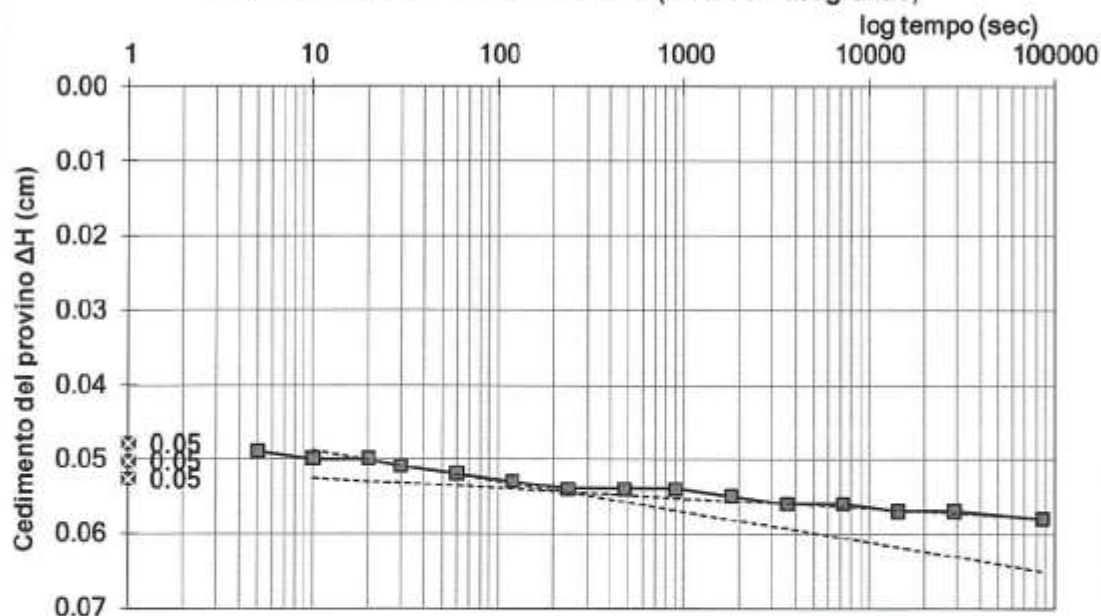
C alfa

t50 (sec)

Permeabilità (cm/sec)

Tempo (sec)	ΔH (cm)
0	0.047
5	0.047
10	0.049
20	0.050
30	0.050
60	0.051
120	0.052
240	0.053
480	0.054
900	0.054
1800	0.054
3600	0.055
7200	0.056
14400	0.056
28800	0.057
86400	0.057

DIAGRAMMA CEDIMENTO - TEMPO (Metodo Casagrande)



Pagina	Sperimentatore	Il Direttore	Certificato di prova n°	421
2 di 7	Dr. Malaguti D.	Dr. Geol. Mucchi Antonio	Data emissione:	18/06/2020





LABORATORIO GEOTECNICO Dr. Geol. Antonio Mucchi

Via Alberto Ascari, 8 - Gualdo di Voghera (FE) - Tel 0532/915681
www.mucchilab.it - email mucchilab@tin.it

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01

Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da KIWA
= UNI EN ISO 9001 =

PROVA DI CONSOLIDAZIONE EDOMETRICA (Norma A.G.I. 1994)

COMMITTENTE:

GEOPROBE Srl

CANTIERE:

Via Chiesa - Castelmaggiore (BO)

DATA:

28/05/2020

Verbale accettazione n°:

22

del:

28/05/2020

Sondaggio:

BH1

Campione:

C2

Prof(m):

5

NATURA DEL CAMPIONE:

limo nocciola

Tensione verticale efficace (kPa) :

98.07

Cv (cmq/sec):

1.51E-02

C alfa

6.32E-06

t50 (sec)

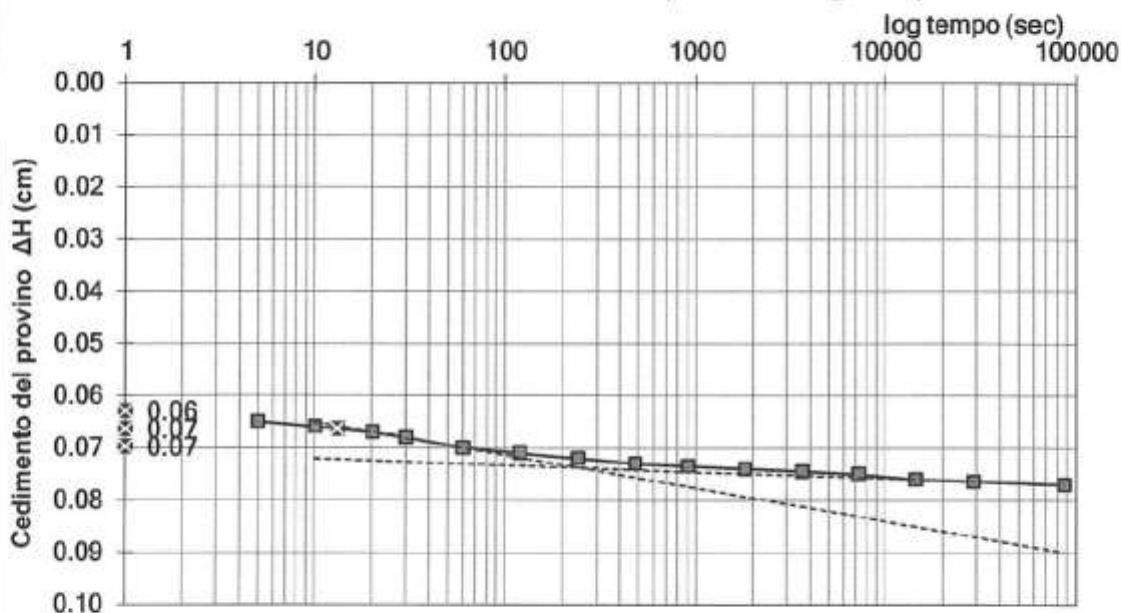
13

Permeabilità (cm/sec)

2.86067E-07

Tempo (sec)	ΔH (cm)
0	0.063
5	0.065
10	0.066
20	0.067
30	0.068
60	0.070
120	0.071
240	0.072
480	0.073
900	0.074
1800	0.074
3600	0.075
7200	0.075
14400	0.076
28800	0.077
86400	0.077

DIAGRAMMA CEDIMENTI - TEMPO (Metodo Casagrande)



Pagina	Sperimentatore	Il Direttore	Certificato di prova n°: 601
3 di 7	Dr. Malaguti D.	Dr. Geol. Mucchi Antonio	Data emissione: 18/06/2020





LABORATORIO GEOTECNICO Dr. Geol. Antonio Mucchi

Via Alberto Ascani, 8 - Gualdo di Voghera (FE) - Tel 0532/815681
www.mucchilab.it - email mucchilab@tin.it

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01

Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da KNA = UNI EN ISO 9001=

PROVA DI CONSOLIDAZIONE EDOMETRICA (Norma A.G.I. 1994)

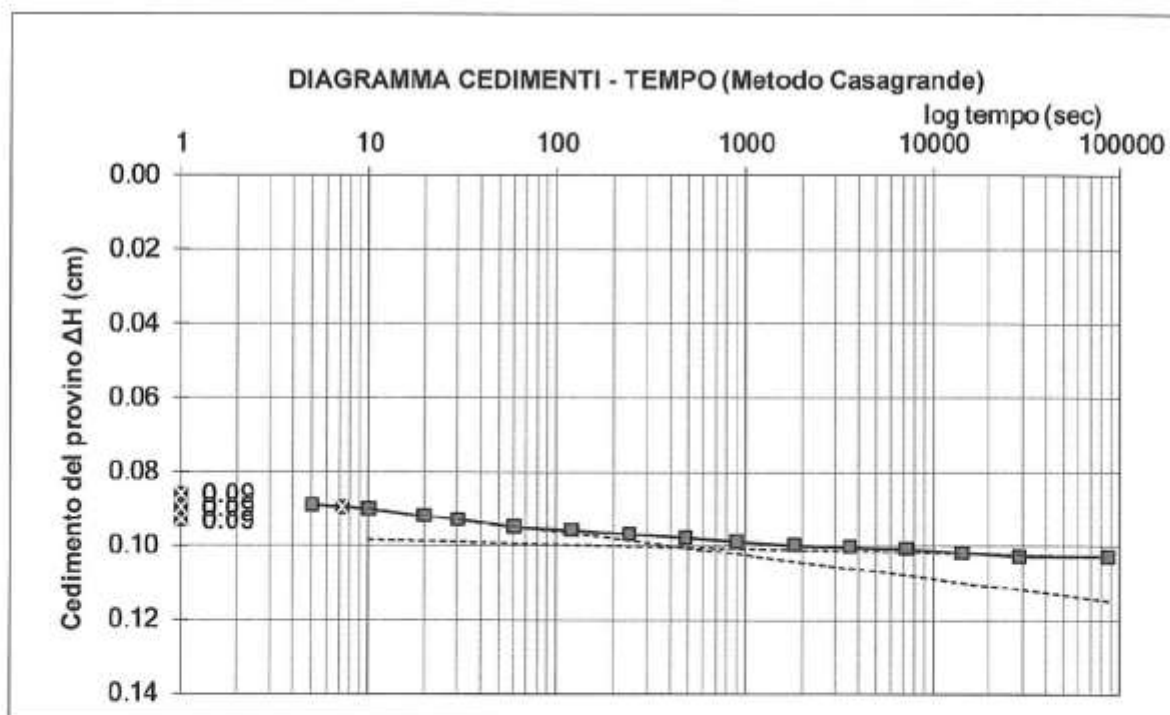
COMMITTENTE: GEOPROBE Srl
CANTIERE: Via Chiesa - Castelmaggiore (BO)
DATA: 28/05/2020
Verbale accettazione n°: 22 del : 28/05/2020

Sondaggio: BH1
Campione: C2
Prof(m): 4.5

NATURA DEL CAMPIONE: limo nocciola

Tensione verticale efficace (kPa) : 196.14
Cv (cmq/sec): 2.71E-02
C alfa 5.84E-06
t50 (sec) 7
Permeabilità (cm/sec) 3.51982E-07

Tempo (sec)	ΔH (cm)
0	0.087
5	0.089
10	0.090
20	0.092
30	0.093
60	0.095
120	0.096
240	0.097
480	0.098
900	0.099
1800	0.100
3600	0.101
7200	0.101
14400	0.102
28800	0.103
86400	0.103



Pagina	Sperimentatore	Il Direttore	Certificato di prova n°: 421
4 di 7	Dr. Malaguti D.	Dr. Geol. Mucchi Antonio	Data emissione: 18/06/2020



LABORATORIO GEOTECNICO Dr. Geol. Antonio Mucchi

Via Alberio Ascari, 8 - Gualdo di Voghera (FE) - Tel 0532/815681
www.mucchilab.it - email mucchilab@tin.it

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01

Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da KIWA - UNI EN ISO 9001-

PROVA DI CONSOLIDAZIONE EDOMETRICA (Norma A.G.I. 1994)

COMMITTENTE: GEOPROBE Srl
CANTIERE: Via Chiesa - Castelmaggiore (BO)
DATA: 28/05/2020
Verbale accettazione n°: 22 del : 28/05/2020

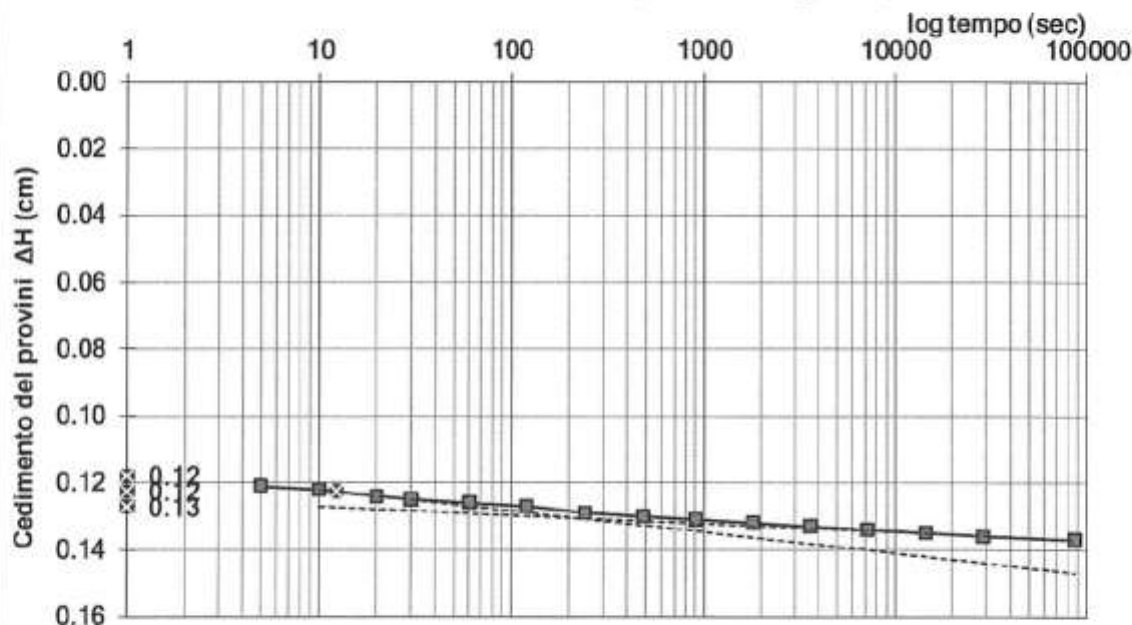
Sondaggio: BH1
Campione: C2
Prof(m): 4.5

NATURA DEL CAMPIONE: limo nocciola

Tensione verticale efficace (kPa) : 392.28
Cv (cmq/sec): 1.60E-02
C alfa 1.26E-05
t50 (sec) 12
Permeabilità (cm/sec) 1.35744E-07

Tempo (sec)	ΔH (cm)
0	0.119
5	0.121
10	0.122
20	0.124
30	0.125
60	0.126
120	0.127
240	0.129
480	0.130
900	0.131
1800	0.132
3600	0.133
7200	0.134
14400	0.135
28800	0.136
86400	0.137

DIAGRAMMA CEDIMENTI - TEMPI (metodo Casagrande)



Pagina	Sperimentatore	Il Direttore	Certificato di prova n°:
5 di 7	Dr. Malaguti D.	Dr. Geol. Mucchi Antonio	501
			Data emissione: 18/06/2020



LABORATORIO GEOTECNICO Dr. Geol. Antonio Mucchi

Via Alberto Ascarelli, 8 - Gualdo di Voghera (FE) - Tel 0532/815681
www.mucchilab.it - email mucchilab@tin.it

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 55 del D.P.R. n° 380/01

Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da KJWA
=UNI EN ISO 9001=

PROVA DI CONSOLIDAZIONE EDOMETRICA (Norma A.G.I. 1994)

COMMITTENTE: GEOPROBE Srl
CANTIERE: Via Chiesa - Castelmaggiore (BO)
DATA: 28/05/2020
Verbale accettazione n°: 22 del : 28/05/2020

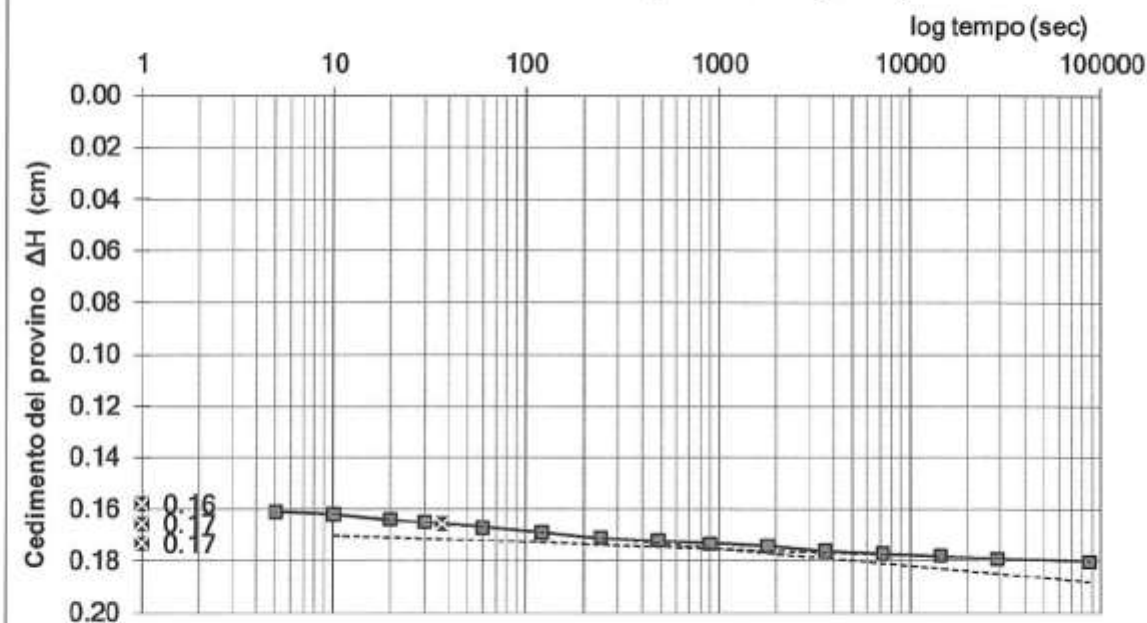
Sondaggio: BH1
Campione: C2
Prof(m): 4.5

NATURA DEL CAMPIONE: limo nocciola

Tensione verticale efficace (kPa) : 784.56
Cv (cmq/sec): 5.33E-03
C alfa 1.26E-05
t50 (sec) 37
Permeabilità (cm/sec) 2.864E-08

Tempo (sec)	ΔH (cm)
0	0.158
5	0.161
10	0.162
20	0.164
30	0.165
60	0.167
120	0.169
240	0.171
480	0.172
900	0.173
1800	0.174
3600	0.176
7200	0.177
14400	0.178
28800	0.179
86400	0.180

DIAGRAMMA CEDIMENTI-TEMPO (Metodo Casagrande)



Pagina	Sperimentatore	Il Direttore	Certificato di prova n°:
6 di 7	Dr. Malaguti D.	Dr. Geol. Mucchi Antonio	401
			Data emissione: 18/06/2020





LABORATORIO GEOTECNICO Dr. Geol. Antonio Mucchi

Via Alberto Ascani, 8 - Gualdo di Voghera (FE) - Tel 0532/815681
www.mucchilab.it - email mucchilab@tin.it

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01

Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da KIWA - UNI EN ISO 9001

PROVA DI CONSOLIDAZIONE EDOMETRICA (Norma A.G.I. 1994)

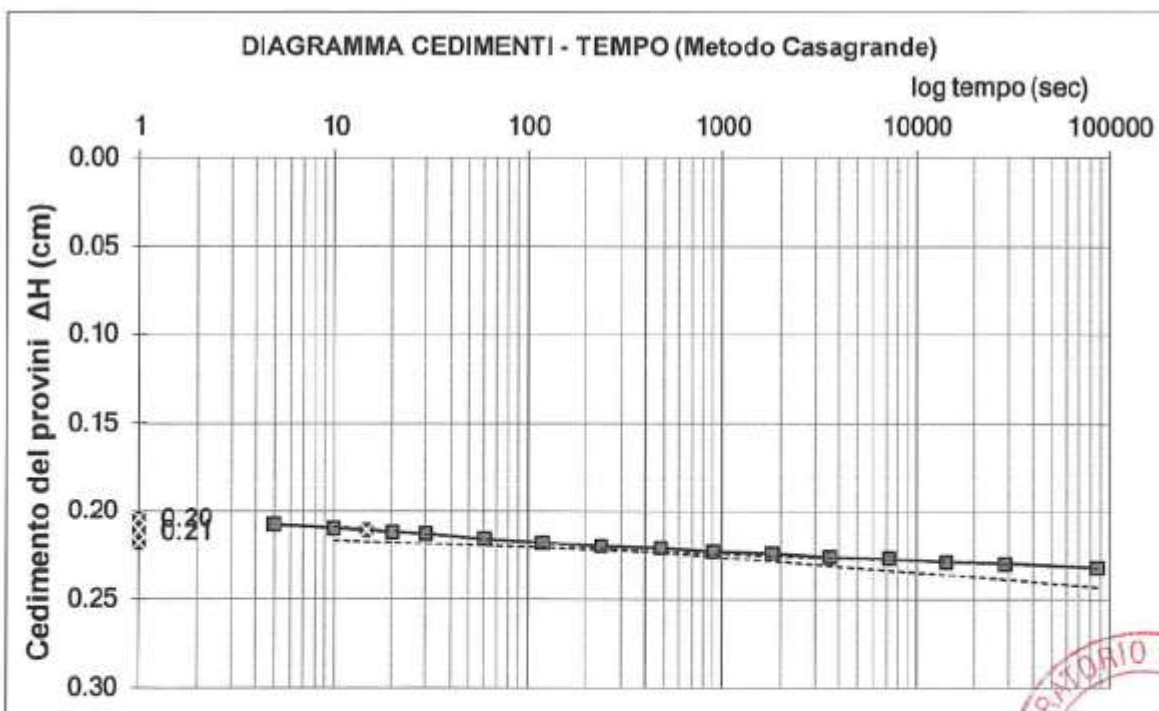
COMMITTENTE: GEOPROBE Srl
CANTIERE: Via Chiesa - Castelmaggiore (BO)
DATA: 28/05/2020
Verbale accettazione n°: 22 del : 28/05/2020

Sondaggio: BH1
Campione: C2
Prof(m): 4.5

NATURA DEL CAMPIONE: limo nocciola

Tensione verticale efficace (kPa) : 1569.12
Cv (cmq/sec): 1.32E-02
C alfa 1.94E-05
t50 (sec) 15
Permeabilità (cm/sec) 4.299E-08

Tempo (sec)	ΔH (cm)
0	0.204
5	0.208
10	0.210
20	0.212
30	0.213
60	0.216
120	0.218
240	0.220
480	0.221
900	0.223
1800	0.224
3600	0.226
7200	0.227
14400	0.229
28800	0.230
86400	0.232



Pagina	Sperimentatore	Il Direttore	Certificato di prova n°
7 di 7	Dr. Malaguti D.	Dr. Geol. Mucchi Antonio	Data emissione: 18/06/2020

**LABORATORIO GEOTECNICO Dr.Geol. Antonio Mucchi**

Via Alberto Ascarelli, 8 - Gualdo di Voghera (FE) - Tel 0532/815681
www.mucchilab.it - mucchilab@tin.it

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire
e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01

Azienda con sistema di
gestione per la qualità
certificato da KIVA
=UNI EN ISO 9001=

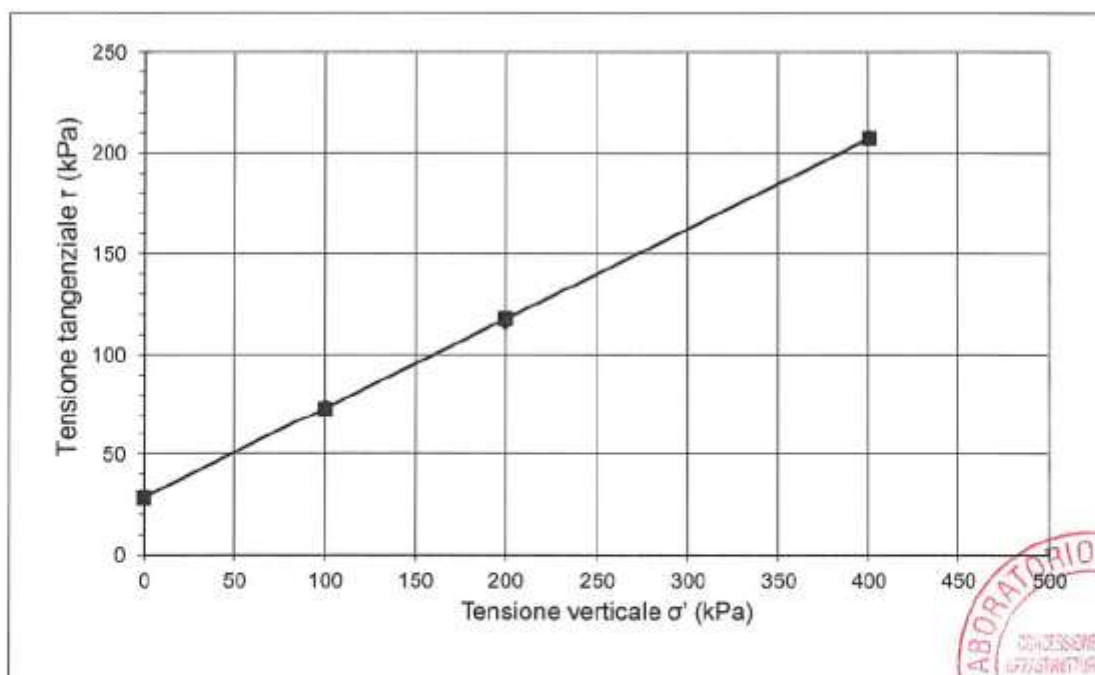
PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Committente: GEOPROBE SRI
Cantiere : Via Chiesa - Castelmaggiore (BO)
Campione: BH1C2
Prof. (mt) : 4.5
Data inizio prova : 30/05/2020

MISURE ALLA PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Provino (n°)	Tensione verticale σ' (kPa)	Tensione tangenziale τ (kPa)
1	100	74.435
2	200	116.017
3	300	207.908

COESIONE DRENATA (kPa):	28.49
ANGOLO D'ATTRITO (° sess):	24



L'interpretazione sopra riportata è frutto di una regressione lineare operata sulle tensioni massime determinate in laboratorio. La scelta dei parametri della resistenza al taglio più opportuni rispetto alla finalità prefissate spetta al Progettista o Professionista incaricato



LABORATORIO GEOTECNICO Dr.Geol. Antonio Mucchi

Via Alberto Ascari, 8 - Gualdo di Voghiera (FE) - Tel 0532/815681
www.mucchilab.it - email mucchilab@tin.it

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01

Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da KJWA - UNI EN ISO 9001-

PROVA DI TAGLIO DIRETTO - raccomandazioni AGI 1994

Committente:	GEOPROBE SRI	Verbale accettazione n°	22
Cantiere :	Via Chiesa - Castelmaggiore (BO)	Data verbale accett.:	28/05/2020
Campione:	BH1C2		
Prof. (mt) :	4.5	Data inizio prova :	30/05/2020

Descrizione litologica del provino : limo nocciola

Caratteristiche dei provini

Provino :	1	2	3
Provino indisturbato :	*	*	*
Provino ricostruito su passante ai 2 mm :			
Altezza del provino (cm)	2.3	2.3	2.3
Sezione del provino (cm ²)	36	36	36
Peso dell'unità di volume allo stato naturale (kN/m ³)	19.548	19.658	19.564
Peso dell'unità di volume allo stato secco (kN/m ³)	15.930	16.008	15.950
Contenuto d'acqua : (W%)	22.71	22.80	22.66

Modalità di consolidazione e rottura

Tensione verticale (kPa)	100	200	300
Velocità di deformazione (mm/min)	0.0052	0.0052	0.0052

Pagina	Sperimentatore	Il Direttore	Certificato di prova n. 452
2 di 2	Dr. Malaguti D.	Dr. Geol. Mucchi Antonio	Data emissione: 18/06/2020





LABORATORIO GEOTECNICO Dr. Geol. Antonio Mucchi

Via Alberto Ascarei, 8 - Gualdo di Voghera (FE) - Tel 0532/815681
www.mucchilab.it - email mucchilab@tin.it

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01

Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da KIVA - UNI EN ISO 9001=

Committente:

GEOPROBE SRI

Verbale accettazione n°:

22

Cantiere :

Via Chiesa - Castelmaggiore (BO)

Data verbale accettazione:

28/05/2020

Campione:

BH1C2

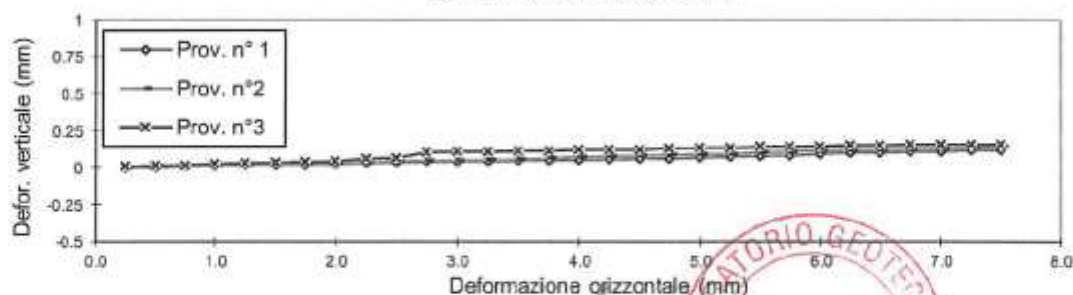
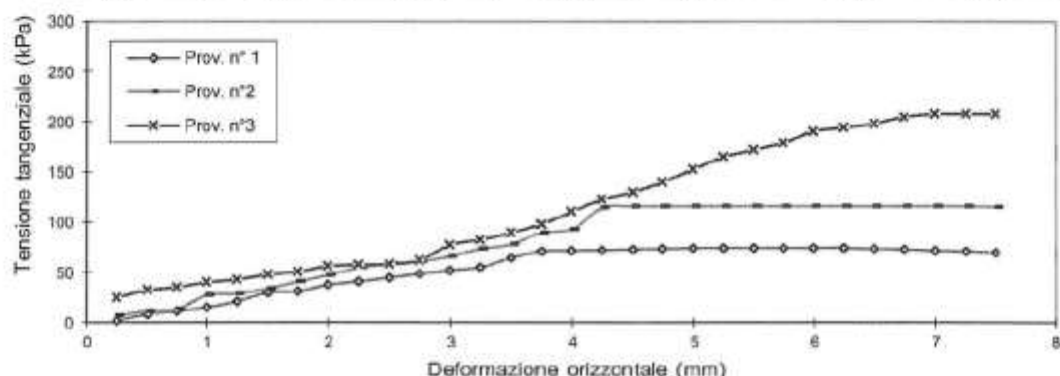
Prof. (mt) :

4.5

Data inizio prova :

30/05/2020

PROVA DI TAGLIO DIRETTO - raccomandazioni AGI 1994						
Def. Orizzontale (mm)	Tensione Tangenziale (kPa)			Deformazione verticale (mm)		
	Prov. n° 1	Prov. n° 2	Prov. n° 3	Prov. n° 1	Prov. n° 2	Prov. n° 3
0.25	2.16	7.36	24.81	0.002	0.002	0.01
0.50	8.43	11.38	32.46	0.002	0.013	0.016
0.75	11.67	13.44	35.40	0.01	0.015	0.017
1.00	15.10	27.56	40.50	0.017	0.016	0.029
1.25	20.89	28.83	43.15	0.018	0.017	0.034
1.50	30.11	34.03	48.15	0.019	0.021	0.035
1.75	31.28	40.80	50.31	0.021	0.026	0.041
2.00	37.56	47.17	56.00	0.025	0.031	0.045
2.25	40.70	54.62	57.57	0.031	0.035	0.052
2.50	44.92	58.65	57.96	0.036	0.043	0.069
2.75	48.74	60.90	62.27	0.039	0.049	0.105
3.00	51.78	65.90	77.18	0.043	0.051	0.111
3.24	55.12	73.65	82.57	0.045	0.053	0.112
3.49	64.43	77.77	89.44	0.048	0.057	0.114
3.74	70.90	89.54	98.07	0.051	0.067	0.114
3.99	71.89	92.87	110.43	0.053	0.075	0.123
4.24	72.38	114.25	122.98	0.057	0.079	0.124
4.49	73.06	116.02	129.94	0.063	0.084	0.125
4.74	73.55	116.02	139.85	0.063	0.087	0.133
4.99	74.14	116.02	152.60	0.071	0.093	0.136
5.24	74.34	116.02	164.76	0.075	0.095	0.136
5.49	74.44	116.02	172.01	0.081	0.105	0.143
5.74	74.44	116.02	178.98	0.085	0.111	0.144
5.99	74.44	116.02	190.45	0.093	0.115	0.145
6.24	74.44	116.02	194.18	0.103	0.121	0.155
6.49	73.55	116.02	198.10	0.103	0.121	0.155
6.74	72.67	116.02	204.87	0.109	0.125	0.157
7.00	71.79	115.62	207.91	0.112	0.131	0.157
7.25	70.81	115.82	207.91	0.117	0.137	0.157
7.50	69.83	115.23	207.91	0.121	0.145	0.157



Pagina	Sperimentatore	Il Direttore	Certificato di prova n. 402
1 di 2	Dr. Malaguti D.	Dr. Geol. Mucchi Antonio	Data emissione: 18/06/2020

 LABORATORIO PROVE MATERIALI <small>AUT. MIN. DI INT. D.D. 05/09/2010 N° 38001</small> <small>labori - materiali - Ricerche - Asst.</small>	LABORATORIO GEOTECNICO Dr.Geol. Antonio Mucchi Via Alberto Ascari, 8 - Gualdo di Voghera (FE) - Tel 0532/815681 www.mucchiab.it - email mucchiab@tin.it	Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da KIWA =UNI EN ISO 9001=
	Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01	

SCHEDA APERTURA CAMPIONE (Norma ASTM D2488 - AGI 1977)

COMMITTENTE: GEOPROBE Srl
CANTIERE: Via Chiesa - Castelmaggiore (BO)
DATA APERTURA: 28/05/2020

Verbale di accettazione n. Del 28/05/2020

SONDAGGIO	BH1	CAMPIONE	C3	PROF.	20.5
------------------	-----	-----------------	----	--------------	------

Tipo di contenitore: fustella sacchetto cassetta

ALTO

A

BASSO

0 50 cm

(*) I simboli adottati per le prove sono descritti nella legenda a fondo pagina		PROVE DI LABORATORIO ESEGUITE									
Livello	Descr. litologica	P.P	V.T	Y	W	G	LA	Ed	PT	G.S.	Proctor
A	argilla grigia	210	100	*	*	*	*				
B											

Qualità del campione: Scadente Discreta Buona Eccellente

LEGENDA PROVE

Pocket penetrometrico P.P. (kPa)

Vane test V.T (kPa)

Peso di volume Y

Contenuto d'acqua W

Granulometria G

Limiti di Atterberg LA

Prova edometrica Ed

Prova di taglio PT

Compressione E.L.L.C

Triassiale T.R

Permeabilità k

Peso specifico G.S.

Pagina	Sperimentatore	Il Direttore	Certificato di prova n. 403
1 di 1	Dr. Malaguti D.	Dr. Geol. Mucchi Antonio	Data emissione: 18/06/2020



 <p>LABORATORIO PROVE MATERIALI Aut. Min. al sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01 Torre - Pinerolo - Biadene - Asti</p>	<p>LABORATORIO GEOTECNICO Dr. Geol. Antonio Mucchi Via Alberto Ascarelli, 8 - Gualdo di Voghiera (FE) - Tel 0532/815681 www.mucchiab.it - email mucchiab@tin.it</p> <p><i>Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01</i></p>	<p>Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da KIVA =UNI EN ISO 9001=</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------

Committente : GEOPROBE Srl
Cantiere : Via Chiesa - Castelmaggiore (BO)
Campione : BH1 C3 mt. 20.5

Data prova : 07/06/2020 Verbale accettazione n° 22 del 28/05/2020

CONTENUTO D'ACQUA (ASTM D 2216)

Massa terreno umido + tara (g)	158.21
Massa terreno secco + Tara (g)	132.24
Massa tara (g)	5.70
Contenuto d'acqua - W (%)	20.5

PESO UNITA' DI VOLUME (ASTM D 2937)

Volume (cm ³)	86.83
Massa terreno umido + Tara (g)	248.37
Massa tara (g)	73.84
Peso unità di volume (γ)	(g/cm ³) 2.010
	(kN/m ³) 19.712
Peso secco unità di volume (γ _d)	(g/cm ³) 1.668
	(kN/m ³) 16.355

Pagina	Sperimentatore	Il Direttore	Certificato di prova n. 454
1 di 1	Dr. Malaguti D.	Dr. Geol. Mucchi Antonio	Data emissione: 18/06/2020





LABORATORIO GEOTECNICO Dr. Geol. Antonio Mucchi

Via Alberto Ascari, 8 - Gualdo di Voghera (FE) - Tel 0532/815681
www.mucchilab.it

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01

Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da KIWA - UNI EN ISO 9001

ANALISI GRANULOMETRICA PER SEDIMENTAZIONE **norma ASTM D 422 - AGI 1994**

Committente : GEOPROBE Srl
Cantiere : Via Chiesa - Castelmaggiore (BO)
Campione : BH1 C 3 mt. 20.5

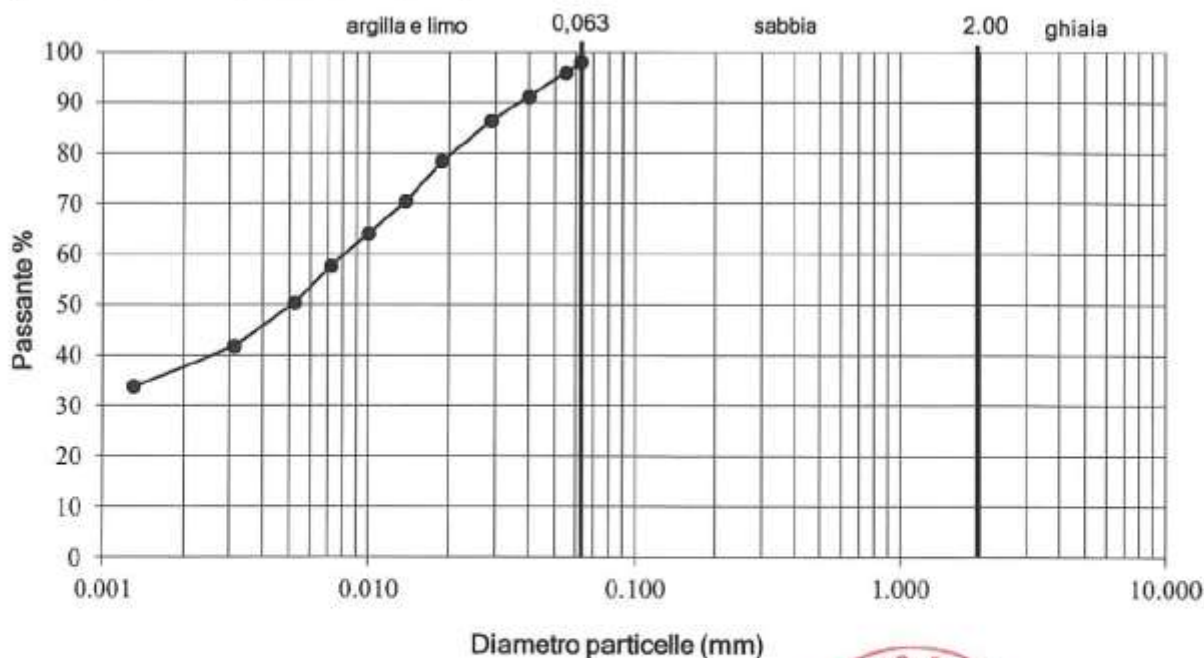
Data prova : 16/06/2020 Verbale accettazione n° 22 del 28/05/2020

Diametro (mm)	Passante (%)
0.063	98.00
0.0550	95.92
0.0398	91.13
0.0288	86.34
0.0189	78.38
0.0138	70.42
0.0100	64.04
0.0072	57.67
0.0052	50.35
0.0031	41.77
0.0013	33.82

Classificazione secondo norma AGI		
Sabbia	(2 - 0.063mm) :	2%
Limo	(0.063 - 0.002 mm) :	61%
Argilla	(< 0.002mm) :	37%

Trattenuto allo 0.063 mm :	2%
----------------------------	----

Umidità naturale W%	20.52
---------------------	-------



Pagina	Sperimentatore	Il Direttore	Certificato di prova n. 405
1 di 1	Dr. Malaguti D.	Dr. Geol. Mucchi Antonio	Data emissione: 18/06/2020





LABORATORIO GEOTECNICO Dr. Geol. Antonio Mucchi

Via Alberto Ascarelli, 8 - Gualdo di Voghera (FE) - Tel 0532/815681
www.mucchilab.it - email mucchilab@tin.it

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01

Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da KIVA
=UNI EN ISO 9001=

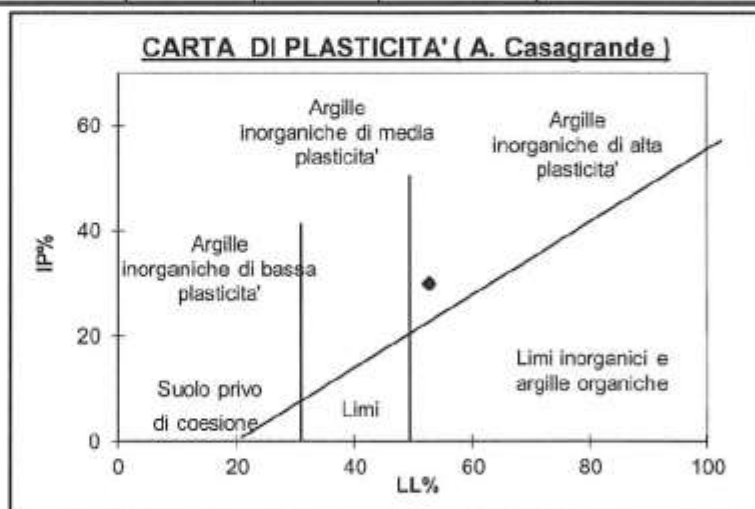
LIMITI DI ATTERBERG (Norma ASTM D4318)

Committente : GEOPROBE Srl
Cantiere : Via Chiesa - Castelmaggiore (BO)
Campione : BH1 C3 mt. 20.5

Data prova : 17/06/2020 **Verbale accettazione n°** 22 **del** 28/05/2020

N° CONTENITORE	Limite liquido			Lim.plastico media 2 det.	Umidita' Naturale
	1	2	3		
N° COLPI	38	26	15		
Massa terreno umido + tara (g)	51.38	49.28	48.11	13.56	158.21
Massa terreno secco + tara (g)	39.15	36.67	35.01	12.84	132.24
Massa acqua contenuta (g)	12.23	12.61	13.10	0.72	25.97
Massa tara (g)	13.42	11.87	12.34	9.66	5.70
Massa terreno secco (g)	25.73	24.80	22.7	3.18	126.54
Contenuto d'acqua %	47.5	50.8	57.8	22.6	20.5

Limite liquido %	53
Limite Plastico %	23
Umidita' naturale %	20.5
Indice Plastico %	30
Indice di consistenza	1.07



Pagina	Sperimentatore	Il Direttore	406
1 di 1	Dr. Malaguti D.	Dr. Geol. Mucchi Antonio	Data emissione : 18/06/2020

 LABORATORIO PROVE MATERIALI <small>Aut. Min. ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01</small> <small>Isone - Iserti - Rockwell - Autotri</small>	LABORATORIO GEOTECNICO Dr. Geol. Antonio Mucchi Via Alberto Ascarelli, 8 - Gualdo di Voghiera (FE) - Tel 0532/815681 www.mucchiab.it - email mucchiab@tin.it	Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da KIWA - UNI EN ISO 9001-
	Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01	

SCHEMA APERTURA CAMPIONE (Norma ASTM D2488 - AGI 1977)

COMMITTENTE: GEOPROBE Srl
CANTIERE: Via Chiesa - Castelmaggiore (BO)
DATA APERTURA: 28/05/2020

Verbale di accettazione n. Del 28/05/2020

SONDAGGIO	BH1	CAMPIONE	CR1	PROF.	7.4-7.6
-----------	-----	----------	-----	-------	---------

Tipo di contenitore: fustella sacchetto cassetta

ALTO BASSO
 0 20 cm

(*) I simboli adottati per le prove sono descritti nella legenda a fondo pagina		PROVE DI LABORATORIO ESEGUITE									
Livello	Descr. litologica	P.P.	V.T.	Y	W	G	LA	Ed	PT	G.S.	Proctor
A	limo marrone non plastico				*	*	N.P.				
B											

Qualità del campione: Scadente Discreta Buona Eccellente

LEGENDA PROVE

Pocket penetrometrico P.P. (kPa)

Vane test V.T (kPa)

Peso di volume Y

Contenuto d'acqua W

Granulometria G

Limiti di Atterberg LA

Prova edometrica Ed

Prova di taglio PT

Compressione E.L.L. C

Triassiale T.R

Permeabilità k

Peso specifico G.S

Pagina	Sperimentatore	Il Direttore	Certificato di prova n. 422
1 di 1	Dr. Malaguti D.	Dr. Geol. Mucchi Antonio	Data emissione : 18/06/2020



ANALISI GRANULOMETRICA PER SEDIMENTAZIONE

norma ASTM D 422 - AGI 1994

Committente : **GEOPROBE Srl**
 Cantiere : **Via Chiesa - Castelmaggiore (BO)**
 Campione : **BH1 CR1** mt. **7.4-7.6**

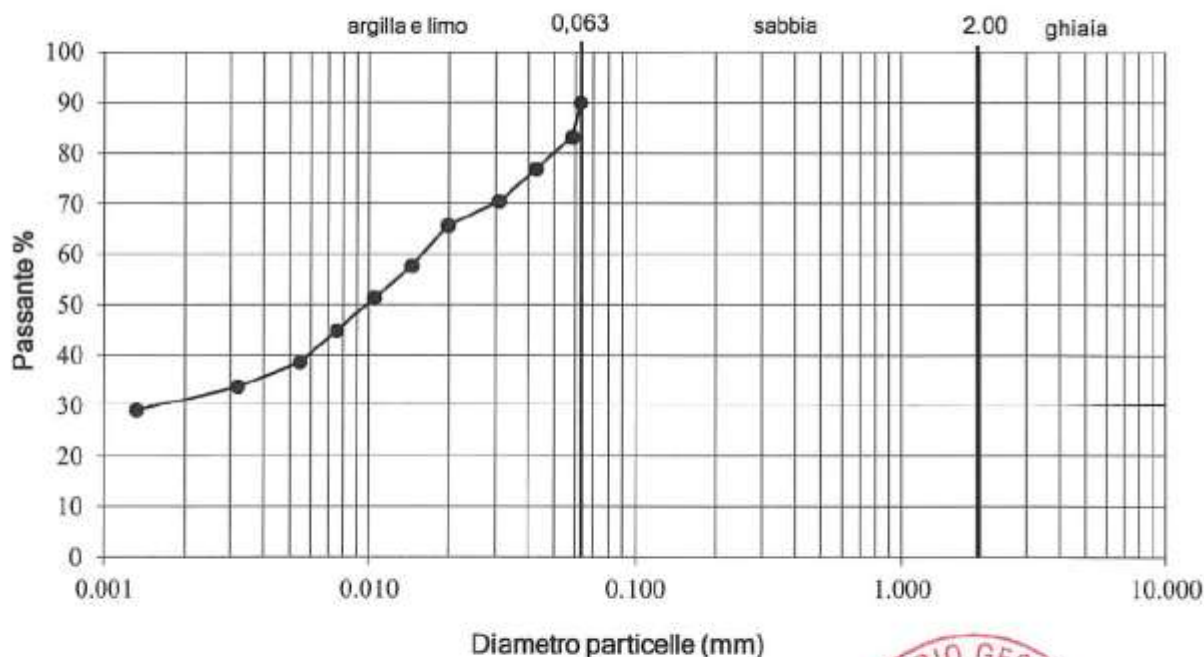
Data prova : **16/06/2020** Verbale accettazione n° 22 del 28/05/2020

Diametro (mm)	Passante (%)
0.063	90.00
0.0584	83.19
0.0424	76.82
0.0308	70.44
0.0198	65.66
0.0145	57.70
0.0105	51.33
0.0076	44.96
0.0055	38.60
0.0032	33.83
0.0013	29.05

Classificazione secondo norma AGI		
Sabbia	(2 - 0.063mm) :	10%
Limo	(0.063 - 0.002 mm) :	58%
Argilla	(< 0.002mm) :	32%

Trattenuto allo 0.063 mm :	10%
----------------------------	-----

Umidità naturale W%	19.85
---------------------	-------



Pagina	Sperimentatore	Il Direttore	Certificato di prova n°
1 di 1	Dr. Malaguti D.	Dr. Geol. Mucchi Antonio	504
			Data emissione : 16/06/2020



 <p>LABORATORIO PROVE MATERIALI Aut. Min. ex art. 59 del D.Lgs. n° 380/01 BORE - TRATTI - MUCCHI - ANTONIO</p>	<p>LABORATORIO GEOTECNICO Dr. Geol. Antonio Mucchi Via Alberto Ascarelli, 8 - Gualdo di Voghera (FE) - Tel 0532/815881 www.mucchiab.it - email mucchiab@en.it</p>	<p>Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da KIVA =UNI EN ISO 9001=</p>
	<p><i>Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01</i></p>	

SCHEDA APERTURA CAMPIONE (Norma ASTM D2488 - AGI 1977)

COMMITTENTE: GEOPROBE Srl
CANTIERE: Via Chiesa - Castelmaggiore (BO)
DATA APERTURA: 28/05/2020

Verbale di accettazione n. Del 28/05/2020

SONDAGGIO	BH1	CAMPIONE	CR2	PROF.	8
------------------	-----	-----------------	-----	--------------	---

Tipo di contenitore: fustella ☒ **sacchetto** ☐ cassetta ☐

ALTO BASSO
 0 20 cm

(*) I simboli adottati per le prove sono descritti nella legenda a fondo pagina		PROVE DI LABORATORIO ESEGUITE									
Livello	Descr. litologica	P.P	V.T	Y	W	G	LA	Ed	PT	G.S.	Proctor
A	limo nocciola sabbioso				*	*	N.P.				
B											

Qualità del campione: Scadente ☐ Discreta ☐ **Buona** ☒ Eccellente ☐

LEGENDA PROVE

Pocket penetrometrico P.P. (kPa)	Granulometria G	Compressione E.L.L.C
Vane test V.T (kPa)	Limiti di Atterberg LA	Triassiale T.R
Peso di volume Y	Prova edometrica Ed	Permeabilità k
Contenuto d'acqua W	Prova di taglio PT	Peso specifico G.S

Pagina	Sperimentatore	Il Direttore	Certificato di prova n. 428
1 di 1	Dr. Malaguti D.	Dr. Geol. Mucchi Antonio	Data emissione : 18/06/2020





LABORATORIO GEOTECNICO Dr. Geol. Antonio Mucchi

Via Alberto Ascari, 8 - Gualdo di Voghera (FE) - Tel 0532/815681
www.mucchilab.it

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire
e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 390/01

Azienda con sistema di
gestione per la qualità
certificato da KIWA
=UNI EN ISO 9001=

ANALISI GRANULOMETRICA PER SEDIMENTAZIONE **norma ASTM D 422 - AGI 1994**

Committente : GEOPROBE Srl
Cantiere : Via Chiesa - Castelmaggiore (BO)
Campione : BH1 CR2 mt. 8.0

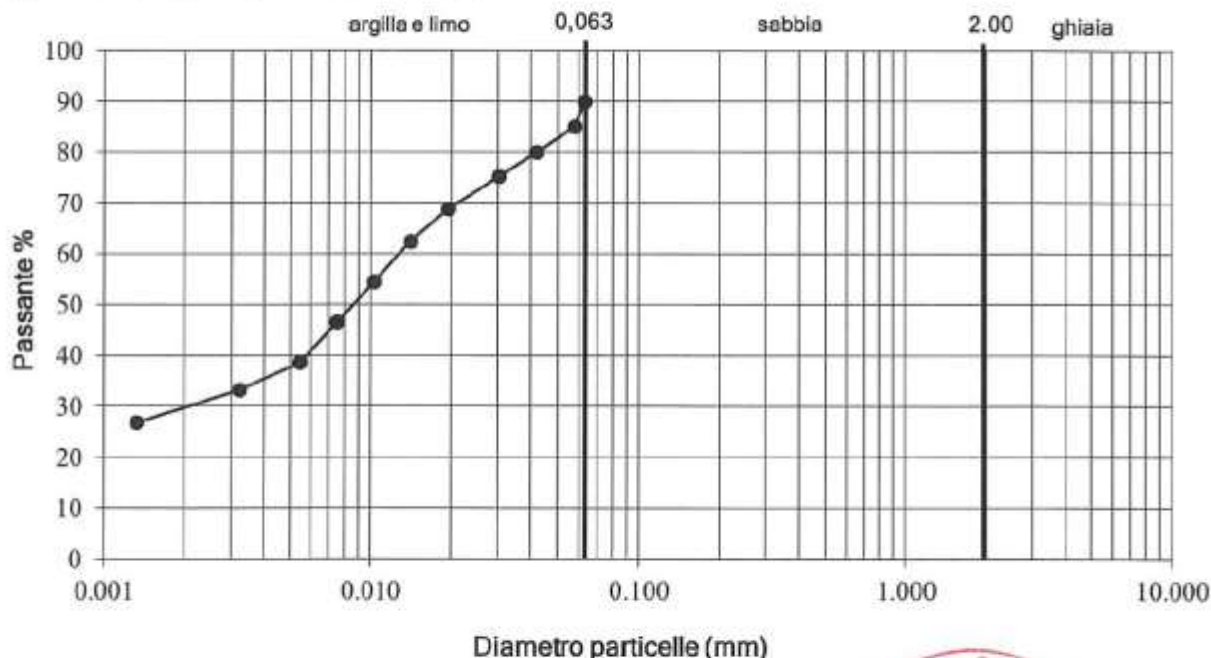
Data prova : 16/06/2020 **Verbale accettazione n° 22 del 28/05/2020**

Diametro (mm)	Passante (%)
0.063	90.00
0.0579	85.10
0.0419	80.00
0.0302	75.21
0.0196	68.84
0.0142	62.47
0.0103	54.51
0.0075	46.55
0.0055	38.60
0.0032	33.19
0.0013	26.83

Classificazione secondo norma AGI		
Sabbia	(2 - 0.063mm) :	10%
Limo	(0.063 - 0.002 mm) :	59%
Argilla	(< 0.002mm) :	31%

Trattenuto allo 0.063 mm :	10%
----------------------------	-----

Umidità naturale W%	25.67
---------------------	-------



Pagina	Sperimentatore	Il Direttore	Certificato di prova n°
1 di 1	Dr. Malaguti D.	Dr. Geol. Mucchi Antonio	510 Data emissione : 18/06/2020



 <p>LABORATORIO PROVE MATERIALI Aut. Min. di sent. dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01 Bene - Ined - Rocchi - Astori</p>	<p>LABORATORIO GEOTECNICO Dr. Geol. Antonio Mucchi Via Alberto Ascarelli, 8 - Gualdo di Voghera (FE) - Tel 0532/815681 www.mucchiab.it - email mucchiab@tin.it</p>	<p>Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da KIVA - UNI EN ISO 9001</p>
	<p>Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01</p>	

SCHEDA APERTURA CAMPIONE (Norma ASTM D2488 - AGI 1977)

COMMITTENTE: GEOPROBE Srl
CANTIERE: Via Chiesa - Castelmaggiore (BO)
DATA APERTURA: 28/05/2020

Verbale di accettazione n. Del 28/05/2020

SONDAGGIO	BH1	CAMPIONE	CR3	PROF.	10.4
------------------	-----	-----------------	-----	--------------	------

Tipo di contenitore: fustella sacchetto cassetta

 ALTO A BASSO
 0 20 cm

(*) I simboli adottati per le prove sono descritti nella legenda a fondo pagina		PROVE DI LABORATORIO ESEGUITE									
Livello	Descr. litologica	P.P	V.T	Y	W	G	LA	Ed	PT	G.S.	Proctor
A	sabbia medio fine grigia				*	*	N.P.				
B											

Qualità del campione: Scadente Discreta Buona Eccellente

LEGENDA PROVE

Pocket penetrometrico P.P. (kPa)	Granulometria G	Compressione E.L.L.C
Vane test V.T (kPa)	Limiti di Atterberg LA	Triassiale T.R
Peso di volume Y	Prova edometrica Ed	Permeabilità k
Contenuto d'acqua W	Prova di taglio PT	Peso specifico G.S

Pagina	Sperimentatore	Il Direttore	Certificato di prova n. 411
1 di 1	Dr. Malaguti D.	Dr. Geol. Mucchi Antonio	Data emissione: 18/06/2020





LABORATORIO GEOTECNICO Dr.Geol. Antonio Mucchi

Via Alberto Ascarel, 8 - Gualdo di Voghera (FE) - Tel 0532/815681
www.mucchilab.it - email mucchilab@tin.it

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01

Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da KIVA
«UNI EN ISO 9001»

DETERMINAZIONE DELLA DISTRIBUZIONE GRANULOMETRICA ANALISI GRANULOMETRICA per SETACCIATURA norma UNI EN 933 -1-2

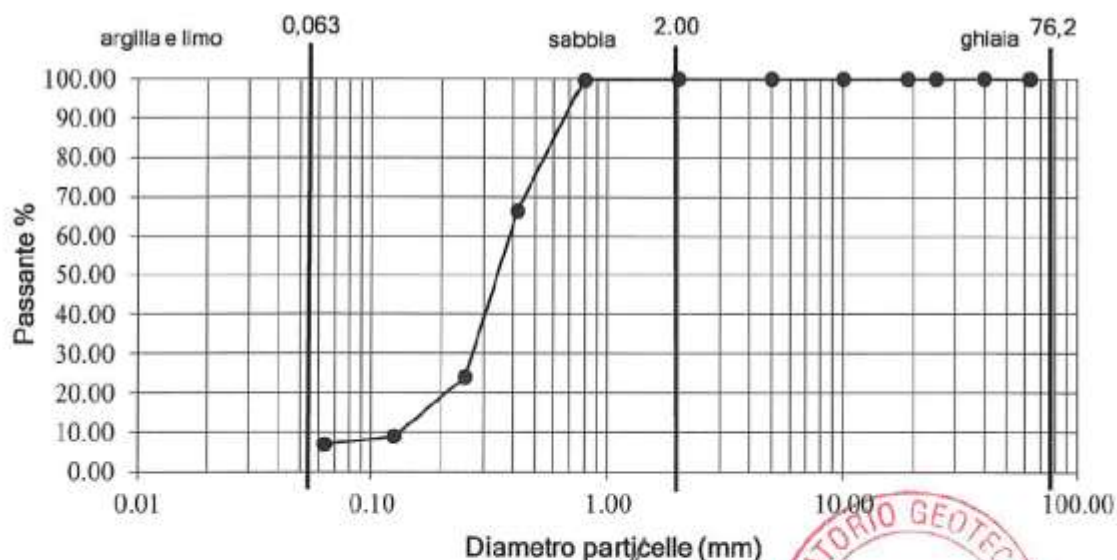
Committente : **GEOPROBE Srl**
Cantiere : **Via Chiesa - Castelmaggiore (BO)**
Campione : **BH1 CR3** mt. **10.4**

Data prova : **16/06/2020** Verbale accettazione n° 22 del 28/05/2020

Diametro (mm)	Passante (%)
63	100.00
40	100.00
25	100.00
19	100.00
10	100.00
5	100.00
2	100.00
0.800	99.70
0.420	66.50
0.250	23.92
0.1250	8.87
0.0630	6.99

Classificazione secondo norma AGI	
Ghiaia	(> 2.0 mm) : *
Sabbia	(2.0 - 0.063 mm) : 93%
Limo	(0.063 - 0.002 mm) : 7%
Argilla	(< 0.002 mm) : *

Umidità naturale W%	30.74
---------------------	-------



Pagina	Sperimentatore	Il Direttore	Certificato di prova n. 412
1 di 1	Dr. Malaguti D.	Dr. Geol. Mucchi Antonio	Data emissione : 18/06/2020



**LABORATORIO GEOTECNICO Dr.Geol. Antonio Mucchi**Via Alberto Ascari, 8 - Gualdo di Voghiera (FE) - Tel 0532/815681
www.mucchilab.it - email mucchilab@tin.itLaboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire
e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01Azienda con sistema di
gestione per la qualità
certificato da KIVA:
«UNI EN ISO 9001»**SCHEDA APERTURA CAMPIONE (Norma ASTM D2488 - AGI 1977)**

COMMITTENTE: GEOPROBE Srl
CANTIERE: Via Chiesa - Castelmaggiore (BO)
DATA APERTURA: 28/05/2020

Verbale di accettazione n. Del 28/05/2020

SONDAGGIO	BH1	CAMPIONE	SPT1	PROF.	13.5
-----------	-----	----------	------	-------	------

Tipo di contenitore: fustella ☒ sacchetto ☐ cassetta

ALTO

A

BASSO

0

20 cm

(*) I simboli adottati per le prove sono descritti nella legenda a fondo pagina		PROVE DI LABORATORIO ESEGUITE									
Livello	Descr. litologica	P.P	V.T	Y	W	G	LA	Ed	PT	G.S.	Proctor
A	sabbia medio fine grigia				*	*	N.P.				
B											

Qualità del campione: Scadente ☐ Discreta ☐ Buona ☒ Eccellente ☐**LEGENDA PROVE**

Pocket penetrometrico P.P. (kPa)

Granulometria G

Compressione E.L.L.C

Vane test V.T (kPa)

Limiti di Atterberg LA

Triassiale T.R

Peso di volume Y

Prova edometrica Ed

Permeabilità k

Contenuto d'acqua W

Prova di taglio PT

Peso specifico G.S

Pagina	Sperimentatore	Il Direttore	Certificato di prova n. 413
1 di 1	Dr. Malaguti D.	Dr. Geol. Mucchi Antonio	Data emissione 18/06/2020



LABORATORIO GEOTECNICO Dr.Geol. Antonio Mucchi

Via Alberto Ascari, 8 - Gualdo di Voghiera (FE) - Tel 0532/815681
www.mucchilab.it - email mucchilab@tin.it

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire
e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01

Azienda con sistema di
gestione per la qualità
certificato da KIWA
=UNI EN ISO 9001=

DETERMINAZIONE DELLA DISTRIBUZIONE GRANULOMETRICA ANALISI GRANULOMETRICA per SETACCIATURA norma UNI EN 933 -1-2

Committente : GEOPROBE Srl
Cantiere : Via Chiesa - Castelmaggiore (BO)
Campione : BH1 SPT1 mt. 13.5

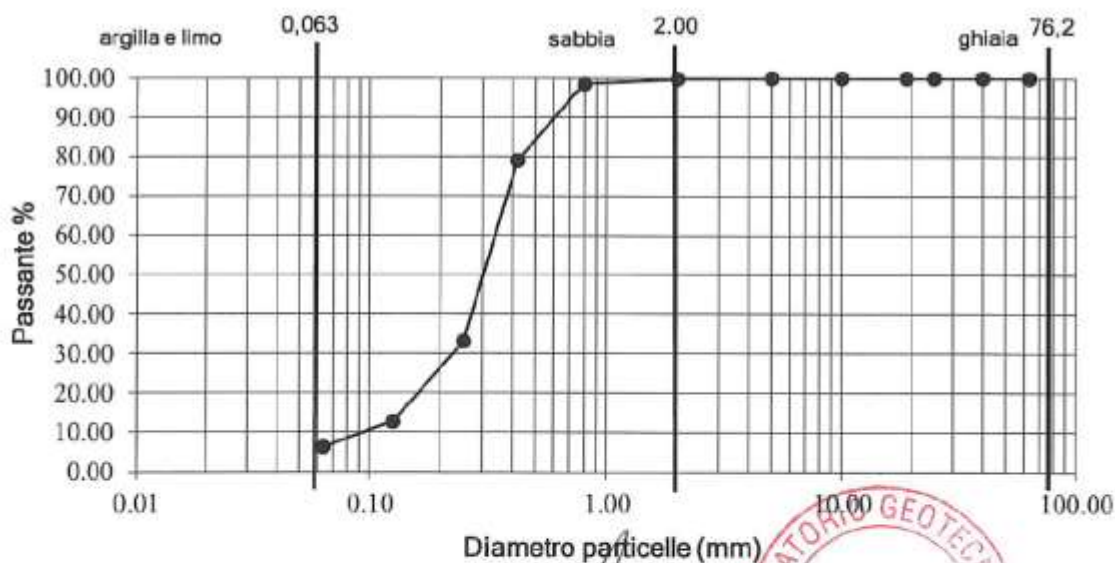
Data prova : 16/06/2020 Verbale accettazione n° 22 del 28/05/2020

Diametro (mm)	Passante (%)
63	100.00
40	100.00
25	100.00
19	100.00
10	100.00
5	100.00
2	99.81
0.800	98.57
0.420	78.99
0.250	33.14
0.1250	12.73
0.0630	6.36

Classificazione secondo norma AGI

Ghiaia (> 2.0 mm) : *
Sabbia (2.0 - 0.063 mm) : 94%
Limo (0.063 - 0.002 mm) : 6%
Argilla (< 0.002 mm) : *

Umidità naturale W% 20.26



Pagina	Sperimentatore	Il Direttore	Certificato di prova n. 514
1 di 1	Dr. Malaguti D.	Dr. Geol. Mucchi Antonio	Data emissione : 18/06/2020

 <p>LABORATORIO GEOTECNICO Dr. Geol. Antonio Mucchi Via Alberto Ascari, 8 - Gualdo di Voghiera (FE) - Tel 0532/815681 www.mucchiab.it - email mucchiab@tin.it</p> <p><small>LABORATORIO PROVE MATERIALI Aut. Min. ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01 Arese - Desio - Piacenza - Asti</small></p>	<p>LABORATORIO GEOTECNICO Dr. Geol. Antonio Mucchi Via Alberto Ascari, 8 - Gualdo di Voghiera (FE) - Tel 0532/815681 www.mucchiab.it - email mucchiab@tin.it</p> <p><i>Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01</i></p>	<p>Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da KIWA =UNI EN ISO 9001=</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------

SCHEDA APERTURA CAMPIONE (Norma ASTM D2488 - AGI 1977)

COMMITTENTE: GEOPROBE Srl
CANTIERE: Via Chiesa - Castelmaggiore (BO)
DATA APERTURA: 28/05/2020

Verbale di accettazione n. Del 28/05/2020

SONDAGGIO	BH1	CAMPIONE	SPT2	PROF.	16.5
------------------	-----	-----------------	------	--------------	------

Tipo di contenitore: fustella ☐ **sacchetto** ☒ cassetta ☐

ALTO BASSO
 0 20 cm

(*) I simboli adottati per le prove sono descritti nella legenda a fondo pagina		PROVE DI LABORATORIO ESEGUITE									
Livello	Descr. litologica	P.P.	V.T.	Y	W	G	LA	Ed	PT	G.S.	Proctor
A	sabbia medio fine grigia				*	*	N.P.				
B											

Qualità del campione: Scadente ☐ Discreta ☐ **Buona** ☒ Eccellente ☐

LEGENDA PROVE

Pocket penetrometrico P.P. (kPa)

Vane test V.T (kPa)

Peso di volume Y

Contenuto d'acqua W

Granulometria G

Limiti di Atterberg LA

Prova edometrica Ed

Prova di taglio PT

Compressione E.L.L.C

Triassiale T.R

Permeabilità k

Peso specifico G.S

Pagina	Sperimentatore	Il Direttore	Certificato di prova n. 415
1 di 1	Dr. Malaguti D.	Dr. Geol. Mucchi Antonio	Data emissione : 18/06/2020





LABORATORIO GEOTECNICO Dr. Geol. Antonio Mucchi

Via Alberto Ascarelli, 8 - Gualdo di Voghera (FE) - Tel 0532/815981
www.mucchiab.it - email mucchiab@tin.it

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01

Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da KIVA
=UNI EN ISO 9001=

**DETERMINAZIONE DELLA DISTRIBUZIONE GRANULOMETRICA
ANALISI GRANULOMETRICA per SETACCIATURA
norma UNI EN 933 -1-2**

Committente : GEOPROBE Srl
Cantiere : Via Chiesa - Castelmaggiore (BO)
Campione : BH1 SPT2 mt. 16.5

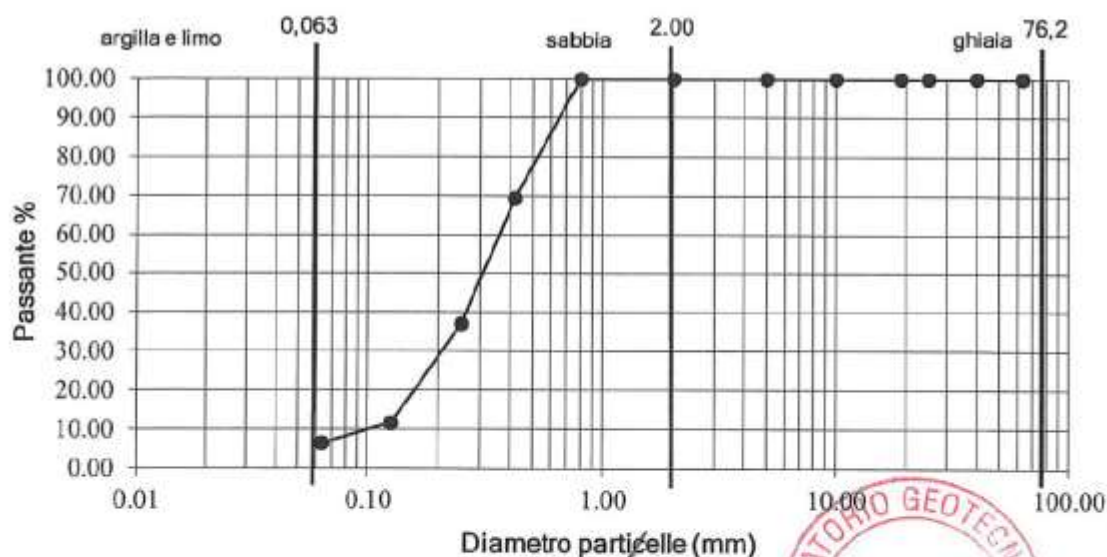
Data prova : 16/06/2020 **Verbale accettazione n°** 22 del 28/05/2020

Diametro (mm)	Passante (%)
63	100.00
40	100.00
25	100.00
19	100.00
10	100.00
5	100.00
2	100.00
0.800	99.95
0.420	69.39
0.250	36.95
0.1250	11.59
0.0630	6.52

Classificazione secondo norma AGI

Ghiaia	(> 2.0 mm) :	*
Sabbia	(2.0 - 0.063 mm) :	93%
Limo	(0.063 - 0.002 mm) :	7%
Argilla	(< 0.002 mm) :	*

Umidità naturale W%	15.19
---------------------	-------



Pagina	Sperimentatore	Il Direttore	Certificato di prova n. 416
1 di 1	Dr. Malaguti D.	Dr. Geol. Mucchi Antonio	Data emissione : 18/06/2020

**LABORATORIO GEOTECNICO Dr. Geol. Antonio Mucchi**

Via Alberto Ascari, 8 - Gualdo di Voghiera (FE) - Tel 0532/815681
www.mucchilab.it - email mucchilab@tin.it

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire
e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01

Azienda con sistema di
gestione per la qualità
certificato da KIWA
=UNI EN ISO 9001=

SCHEDA APERTURA CAMPIONE (Norma ASTM D2488 - AGI 1977)

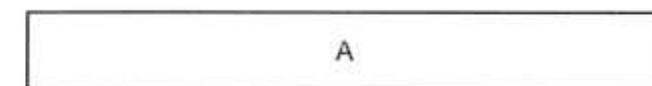
COMMITTENTE: GEOPROBE Srl
CANTIERE: Via Chiesa - Castelmaggiore (BO)
DATA APERTURA: 28/05/2020

Verbale di accettazione n. Del 28/05/2020

SONDAGGIO	BH1	CAMPIONE	SPT3	PROF.	28.5
------------------	-----	-----------------	------	--------------	------

Tipo di contenitore: fustella ☐ **sacchetto** ☒ cassetta ☐

ALTO



BASSO

0

20 cm

(*) I simboli adottati per le prove sono descritti nella legenda a fondo pagina		PROVE DI LABORATORIO ESEGUITE									
Livello	Descr. litologica	P.P	V.T	Y	W	G	LA	Ed	PT	G.S.	Proctor
A	sabbia medio fine grigia				*	*	N.P.				
B											

Qualità del campione: Scadente ☐ Discreta ☐ **Buona** ☒ Eccellente ☐

LEGENDA PROVE

Pocket penetrometrico P.P. (kPa)

Vane test V.T (kPa)

Peso di volume Y

Contenuto d'acqua W

Granulometria G

Limiti di Atterberg LA

Prova edometrica Ed

Prova di taglio PT

Compressione E.L.L.C

Triassiale T.R

Permeabilità k

Peso specifico G.S

Pagina	Sperimentatore	Il Direttore	Certificato di prova n. 17
1 di 1	Dr. Malaguti D.	Dr. Geol. Mucchi Antonio	Data emissione : 18/06/2020



LABORATORIO GEOTECNICO Dr. Geol. Antonio Mucchi

Via Alberto Ascari, 8 - Gualdo di Voghera (FE) - Tel 0532/815881
www.mucchilab.it - email mucchilab@tin.it

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ad eseguire
e certificare prove geotecniche ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/01

Azienda con sistema di
gestione per la qualità
certificato da KIWA
=UNI EN ISO 9001=

DETERMINAZIONE DELLA DISTRIBUZIONE GRANULOMETRICA ANALISI GRANULOMETRICA per SETACCIATURA norma UNI EN 933 -1-2

Committente : **GEOPROBE Srl**
Cantiere : **Via Chiesa - Castelmaggiore (BO)**
Campione : **BH1 SPT3 mt. 28.5**

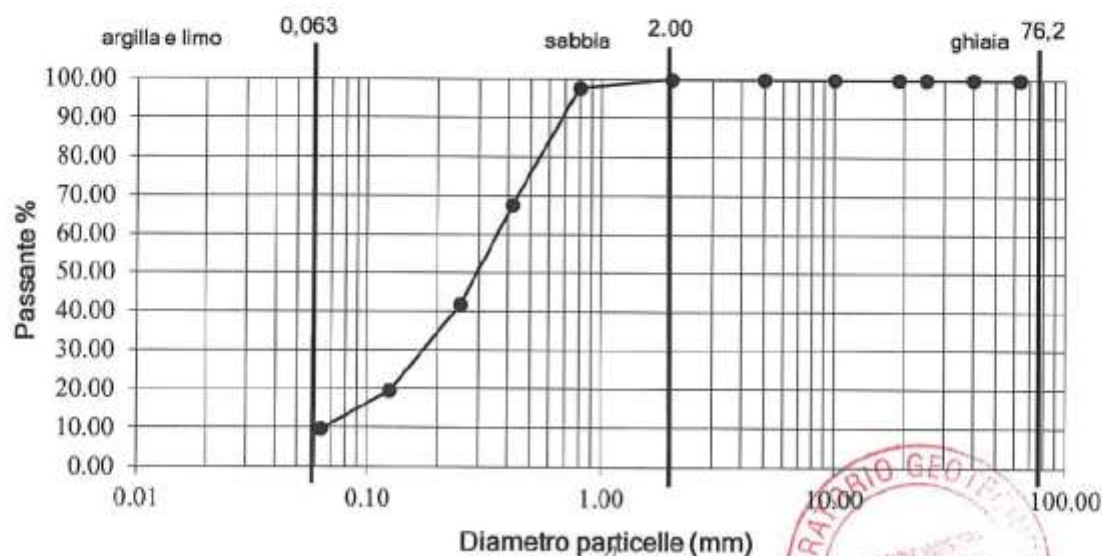
Data prova : **16/06/2020** Verbale accettazione n° 22 del 28/05/2020

Diametro (mm)	Passante (%)
63	100.00
40	100.00
25	100.00
19	100.00
10	100.00
5	100.00
2	99.99
0.800	97.77
0.420	67.62
0.250	41.76
0.1250	19.51
0.0630	9.81

Classificazione secondo norma AGI

Ghiaia (> 2.0 mm) : *
Sabbia (2.0 - 0.063 mm) : 90%
Limo (0.063 - 0.002 mm) : 10%
Argilla (< 0.002 mm) : *

Umidità naturale W% **20.03**

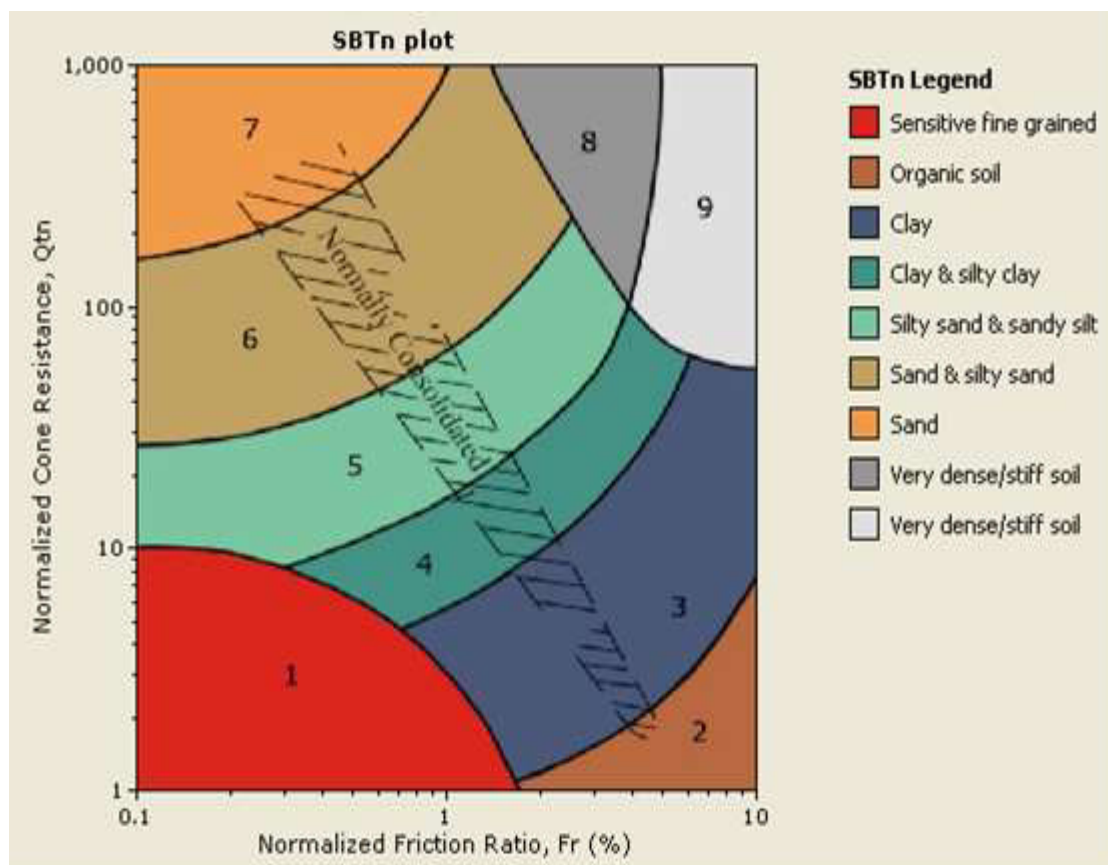


Pagina	Sperimentatore	Il Direttore	Certificato di prova n. 428
1 di 1	Dr. Malaguti D.	Dr. Geol. Mucchi Antonio	Data emissione 18/06/2020

Classificazione orientativa dei terreni *(Robertson, 1990)*

CLASSIFICAZIONE ORIENTATIVA DEI TERRENI IN BASE AI DATI PENETROMETRICI STATICI Q_{tn} e R_f

(Robertson, 1990)



2020.030/R

Geo-Probe S.r.l.

Indagini Geognostiche

40033 Casalecchio di Reno (BO)

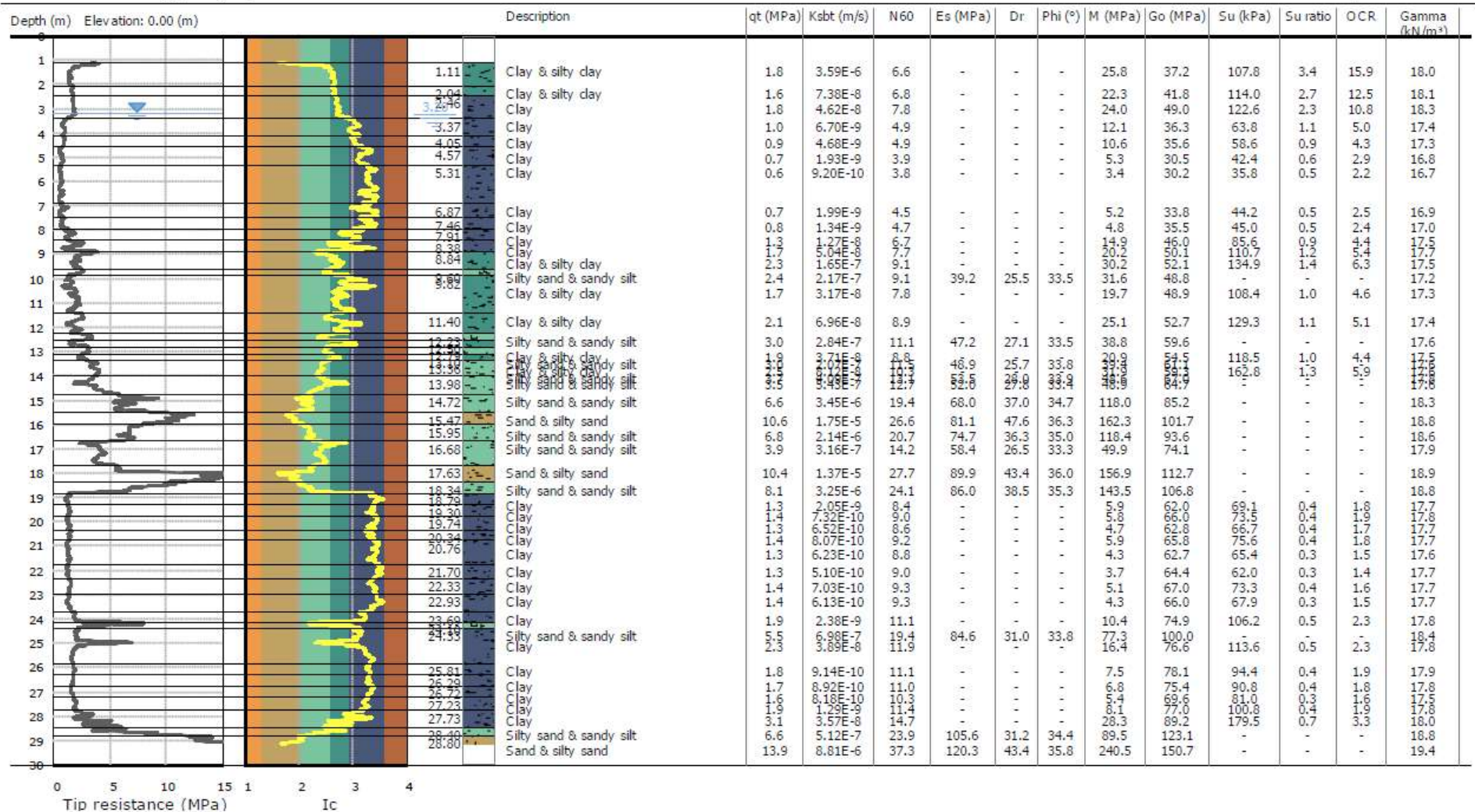
Via Cimarosa, 119 - Tel. 051/61.33.072

Project: Comune di Castel Maggiore**Location: Castel Maggiore (BO) - via Chiesa****CPTU: 1 20.0175/RSP**

Total depth: 29.11 m, Date: 07/05/2020

Cone Type: MKJ387

Cone Operator: Dr. Conti



2020.030/R

Geo-Probe S.r.l.

Indagini Geognostiche

40033 Casalecchio di Reno (BO)

Via Cimarosa, 119 - Tel. 051/61.33.072

Project: Comune di Castel Maggiore**Location:** Castel Maggiore (BO) - via Chiesa**CPTU: 2 20.0176/RSP**

Total depth: 20.00 m, Date: 07/05/2020

Cone Type: MKJ387

Cone Operator: Dr. Conti

Depth (m)	Elevation: 0.00 (m)	Description	qt (MPa)	Ksbt (m/s)	N60	Es (MPa)	Dr	Phi (°)	M (MPa)	Go (MPa)	Su (kPa)	Su ratio	OCR	Gamma (kN/m³)
0.5														
1		0.71 Clay	0.7	7.39E-8	3.0	-	-	-	9.5	20.0	47.6	2.4	11.2	17.0
1.5		1.37 Clay & silty clay	1.2	6.19E-8	5.0	-	-	-	16.4	31.6	83.5	2.6	12.1	17.7
2		1.91 Clay	1.1	2.28E-8	5.2	-	-	-	14.6	33.8	74.4	1.9	8.7	17.6
2.5		2.54 Clay	0.7	4.15E-9	4.0	-	-	-	8.9	30.7	49.3	1.0	4.4	17.2
3		3.20 Clay												
3.5		3.63 Clay	0.5	8.01E-10	3.0	-	-	-	2.9	25.7	29.4	0.5	2.3	16.6
4		4.09 Organic soil	0.4	4.75E-10	2.5	-	-	-	1.3	21.4	19.9	0.3	1.5	16.1
4.5		4.71 Clay	0.7	6.27E-9	3.9	-	-	-	5.8	28.6	42.2	0.6	2.7	16.6
5														
5.5														
6		6.09 Clay	0.5	6.98E-10	3.6	-	-	-	2.6	28.9	31.2	0.4	1.9	16.6
6.5		6.58 Clay	0.6	1.20E-9	4.0	-	-	-	3.6	30.5	37.1	0.5	2.1	16.7
7														
7.5		7.36 Clay	1.4	2.08E-8	6.7	-	-	-	16.6	44.7	90.2	1.0	4.8	17.5
8														
8.5		8.15 Clay	1.2	1.19E-8	6.1	-	-	-	12.8	41.9	76.5	0.8	3.9	17.2
9		8.83 Clay	1.3	3.32E-8	6.2	-	-	-	12.5	40.5	78.5	0.8	3.7	17.0
9.5		9.46 Clay	0.9	2.68E-9	5.4	-	-	-	6.4	38.6	54.8	0.5	2.5	17.0
10		9.98 Clay	1.2	1.22E-8	6.1	-	-	-	10.8	41.5	72.4	0.7	3.2	17.0
10.5		10.43 Clay & silty clay	1.8	4.21E-8	8.0	-	-	-	21.2	49.7	111.3	1.0	4.8	17.4
11														
11.5		11.22 Silty sand & sandy silt	4.5	1.88E-6	14.1	51.1	33.4	34.0	88.3	64.0	-	-	-	17.8
12		11.88 Silty sand & sandy silt	3.6	8.15E-7	12.4	50.4	29.5	33.9	52.6	62.2	-	-	-	17.7
12.5														
13		12.75 Silty sand & sandy silt	4.7	1.71E-6	15.0	56.0	32.7	34.2	76.9	70.2	-	-	-	18.0
13.5		13.35 Silty sand & sandy silt	5.0	1.55E-6	16.1	60.8	33.1	34.6	80.5	76.1	-	-	-	18.2
14														
14.5		14.12 Clay & silty clay	2.7	6.64E-8	11.6	-	-	-	32.6	70.2	173.0	1.3	6.0	18.1
15		14.59 Silty sand & sandy silt	5.3	1.07E-6	17.3	66.4	33.2	34.7	74.2	83.1	-	-	-	18.4
15.5		15.24 Silty sand & sandy silt	4.8	1.08E-6	15.9	60.9	31.1	34.0	74.1	76.2	-	-	-	18.0
16		15.89 Clay & silty clay	3.3	1.30E-7	13.3	-	-	-	40.3	76.8	185.5	1.2	5.7	18.2
16.5														
17		16.68 Silty sand & sandy silt	4.6	6.06E-7	16.5	72.1	33.2	34.7	65.2	86.8	-	-	-	18.4
17.5		17.12 Clay	1.5	2.01E-9	9.3	-	-	-	9.4	66.0	86.9	0.5	2.5	17.9
18														
18.5		17.92 Clay	1.4	9.14E-10	8.8	-	-	-	6.6	62.4	75.3	0.4	2.1	17.7
19														
19.5		18.63 Clay	1.5	1.35E-9	9.1	-	-	-	7.9	64.8	84.0	0.5	2.2	17.7
20														

Tip resistance (MPa)

Ic

2020.030/R

Geo-Probe S.r.l.

Indagini Geognostiche

40033 Casalecchio di Reno (BO)

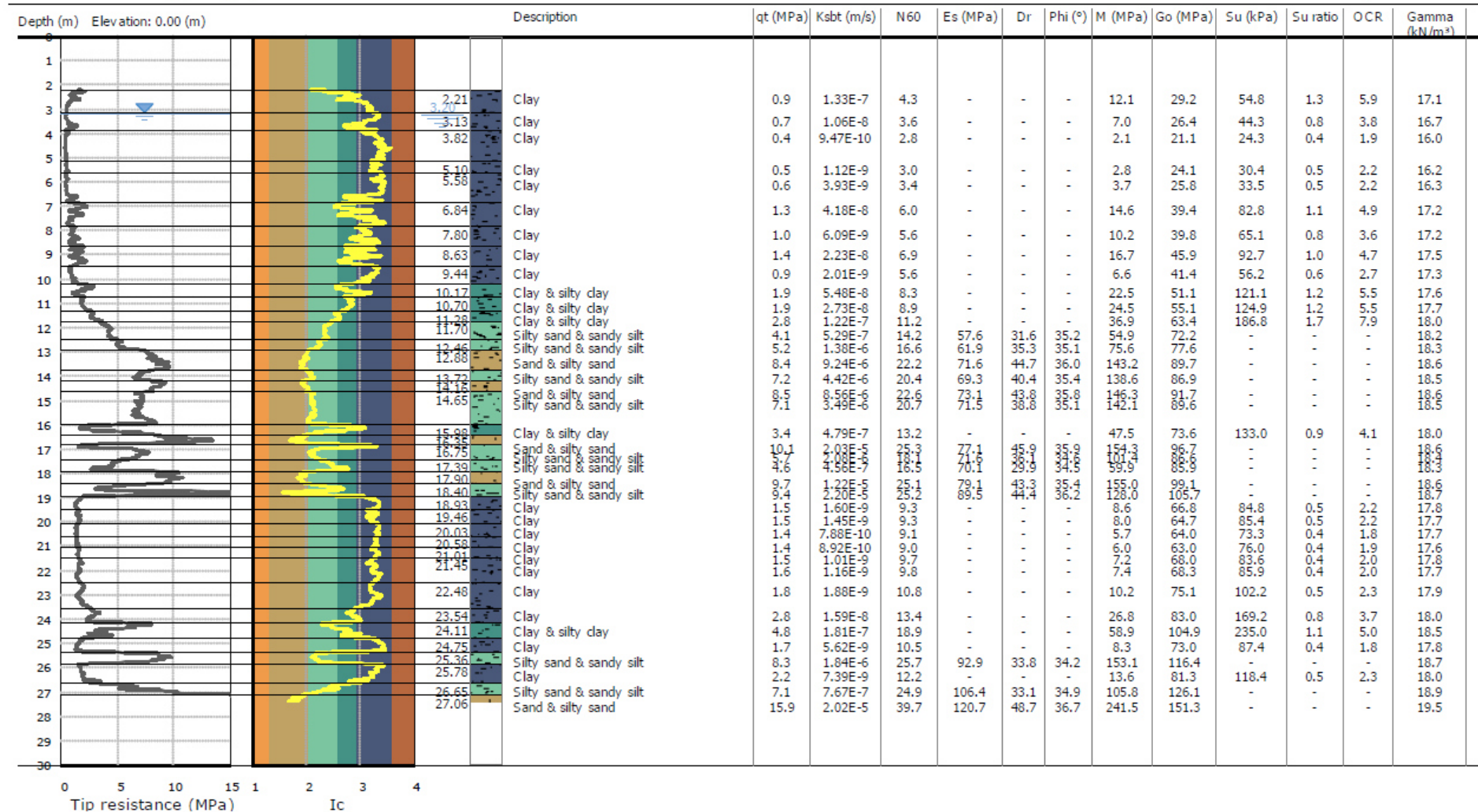
Via Cimarosa, 119 - Tel. 051/61.33.072

Project: Comune di Castel Maggiore**Location:** Castel Maggiore (BO) - via Chiesa**CPTU: 3 20.0187/RSP**

Total depth: 27.37 m, Date: 12/05/2020

Cone Type: MKJ386

Cone Operator: Dr. Conti



2020.030/R

Geo-Probe S.r.l.

Indagini Geognostiche

40033 Casalecchio di Reno (BO)

Via Cimarosa, 119 - Tel. 051/61.33.072

CPTU: 4 20.0188/RSP

Total depth: 20.00 m, Date: 12/05/2020

Cone Type: MKJ387

Cone Operator: Dr. Conti

Project: Comune di Castel Maggiore**Location: Castel Maggiore (BO) - via Chiesa**

Depth (m)	Elevation: 0.00 (m)	Description	qt (MPa)	Ksbt (m/s)	N60	Es (MPa)	Dr	Phi (°)	M (MPa)	Go (MPa)	Su (kPa)	Su ratio	OCR	Gamma (kN/m³)
0.5														
1														
1.5		1.01 Clay	0.8	1.52E-7	3.6	-	-	-	11.3	22.3	54.9	2.4	11.0	17.1
2		1.51 Clay	1.2	5.30E-8	5.0	-	-	-	15.9	33.2	81.2	2.4	11.1	17.7
2.5		2.31 Clay	0.8	9.91E-9	4.0	-	-	-	10.5	28.2	53.6	1.3	5.9	17.1
3		3.2073 Clay	0.7	5.81E-9	3.9	-	-	-	8.6	29.0	48.9	0.9	4.3	16.9
3.5														
4		3.67 Clay	0.4	6.26E-10	2.9	-	-	-	1.8	22.7	23.0	0.4	1.8	16.3
4.5														
5		4.82 Clay	0.5	1.09E-9	3.3	-	-	-	3.1	26.5	31.6	0.5	2.2	16.5
5.5		5.54 Clay	0.6	1.24E-9	3.9	-	-	-	4.1	29.9	37.8	0.5	2.5	16.8
6		6.00 Clay	0.9	4.40E-9	4.8	-	-	-	8.1	35.6	54.5	0.7	3.4	17.1
6.5														
7		6.87 Clay	0.9	2.90E-9	4.9	-	-	-	7.0	36.2	52.5	0.6	2.9	17.1
7.5														
8		7.84 Clay	0.8	1.85E-9	4.8	-	-	-	5.1	36.0	46.7	0.5	2.4	17.0
8.5														
9		8.77 Clay & silty clay	2.0	6.14E-8	8.6	-	-	-	26.4	51.7	134.8	1.4	6.6	17.7
9.5		9.28 Clay	1.6	2.36E-8	7.6	-	-	-	19.2	48.8	102.4	1.0	4.8	17.5
10														
10.5		10.00 Clay	1.5	1.92E-8	7.3	-	-	-	16.2	48.0	95.1	0.9	4.2	17.4
11														
11.5		10.82 Silty sand & sandy silt	5.4	2.75E-6	16.3	59.7	37.4	35.3	90.6	73.9	-	-	-	18.3
12		11.39 Silty sand & sandy silt	5.3	1.92E-6	16.3	59.8	36.0	35.0	94.3	75.0	-	-	-	18.3
12.5		11.95 Silty sand & sandy silt	5.9	3.29E-6	17.7	63.8	37.3	35.3	94.2	80.0	-	-	-	18.4
13		12.61 Silty sand & sandy silt	5.2	2.31E-6	16.4	63.9	36.0	35.0	86.0	77.9	-	-	-	18.3
13.5														
14		14.04 Sand & silty sand	8.5	9.64E-6	22.5	72.3	43.3	35.6	143.9	90.6	-	-	-	18.5
14.5														
15		14.80 Clay	3.0	9.55E-7	11.9	-	-	-	42.1	69.6	94.2	0.7	3.0	18.1
15.5		15.24 Silty sand & sandy silt	5.6	1.55E-6	18.0	68.0	33.1	34.6	85.9	85.1	-	-	-	18.4
16														
16.5		16.27 Sand & silty sand	10.2	1.19E-5	26.7	84.2	45.7	36.2	165.3	105.5	-	-	-	18.9
17		16.76 Clay	2.0	3.62E-8	10.1	-	-	-	18.8	65.9	109.1	0.7	3.1	17.8
17.5														
18		17.54 Sand & silty sand	9.0	7.12E-6	24.7	81.1	41.3	35.3	157.5	101.7	-	-	-	18.7
18.5														
18.5		18.27 Silty sand & sandy silt	8.2	2.63E-6	24.2	85.8	38.4	35.3	171.6	107.5	-	-	-	18.9
19		18.80 Sand & silty sand	8.7	4.73E-6	24.5	82.9	39.9	35.1	163.6	103.9	-	-	-	18.7
19.5		18.89 Clay	2.0	5.57E-8	10.8	-	-	-	15.9	72.7	101.0	0.6	2.6	18.0
20		19.43 Clay	1.5	1.05E-9	9.3	-	-	-	7.1	65.6	80.9	0.4	2.0	17.7

Tip resistance (MPa)

Ic

This software is licensed to: Graziano Grimandi

Presented below is a list of formulas used for the estimation of various soil properties. The formulas are presented in SI unit system and assume that all components are expressed in the same units.

:: Unit Weight, g (kN/m³) ::

$$g = g_w \cdot \left(0.27 \cdot \log(R_f) + 0.36 \cdot \log\left(\frac{q_t}{p_a}\right) + 1.236 \right)$$

where g_w = water unit weight

:: Permeability, k (m/s) ::

$$I_c < 3.27 \text{ and } I_c > 1.00 \text{ then } k = 10^{0.952 - 3.04 \cdot I_c}$$

$$I_c \leq 4.00 \text{ and } I_c > 3.27 \text{ then } k = 10^{-4.52 - 1.37 \cdot I_c}$$

:: N_{SPT} (blows per 30 cm) ::

$$N_{60} = \left(\frac{q_c}{p_a} \right) \cdot \frac{1}{10^{1.1268 - 0.2817 \cdot I_c}}$$

$$N_{1(60)} = Q_{tn} \cdot \frac{1}{10^{1.1268 - 0.2817 \cdot I_c}}$$

:: Young's Modulus, E_s (MPa) ::

$$(q_t - \sigma_v) \cdot 0.015 \cdot 10^{0.55 \cdot I_c + 1.68}$$

(applicable only to $I_c < I_{c_cutoff}$)

:: Relative Density, D_r (%) ::

$$100 \cdot \sqrt{\frac{Q_{tn}}{k_{DR}}} \quad \text{(applicable only to SBT}_n\text{: 5, 6, 7 and 8 or } I_c < I_{c_cutoff}\text{)}$$

:: State Parameter, ψ ::

$$\psi = 0.56 - 0.33 \cdot \log(Q_{tn,cs})$$

:: Peak drained friction angle, ϕ (°) ::

$$\phi = 17.60 + 11 \cdot \log(Q_{tn})$$

(applicable only to SBT_n: 5, 6, 7 and 8)

:: 1-D constrained modulus, M (MPa) ::

If $I_c > 2.20$

$$\alpha = 14 \text{ for } Q_{tn} > 14$$

$$\alpha = Q_{tn} \text{ for } Q_{tn} \leq 14$$

$$M_{CPT} = \alpha \cdot (q_t - \sigma_v)$$

If $I_c \leq 2.20$

$$M_{CPT} = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 \cdot I_c + 1.68}$$

:: Small strain shear Modulus, G_0 (MPa) ::

$$G_0 = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 \cdot I_c + 1.68}$$

:: Shear Wave Velocity, V_s (m/s) ::

$$V_s = \left(\frac{G_0}{\rho} \right)^{0.50}$$

:: Undrained peak shear strength, S_u (kPa) ::

$$N_{kt} = 10.50 + 7 \cdot \log(F_r) \text{ or user defined}$$

$$S_u = \frac{(q_t - \sigma_v)}{N_{kt}}$$

(applicable only to SBT_n: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c_cutoff}$)

:: Remolded undrained shear strength, $S_u(\text{rem})$ (kPa) ::

$$S_{u(\text{rem})} = f_s \quad \text{(applicable only to SBT}_n\text{: 1, 2, 3, 4 and 9 or } I_c > I_{c_cutoff}\text{)}$$

:: Overconsolidation Ratio, OCR ::

$$k_{OCR} = \left[\frac{Q_{tn}^{0.20}}{0.25 \cdot (10.50 + 7 \cdot \log(F_r))} \right]^{1.25} \text{ or user defined}$$

$$OCR = k_{OCR} \cdot Q_{tn}$$

(applicable only to SBT_n: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c_cutoff}$)

:: In situ Stress Ratio, K_0 ::

$$K_0 = (1 - \sin \phi') \cdot OCR^{\sin \phi'}$$

(applicable only to SBT_n: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c_cutoff}$)

:: Soil Sensitivity, S_t ::

$$S_t = \frac{N_s}{F_r}$$

(applicable only to SBT_n: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c_cutoff}$)

:: Effective Stress Friction Angle, ϕ' (°) ::

$$\phi' = 29.5^\circ \cdot B_q^{0.121} \cdot (0.256 + 0.336 \cdot B_q + \log Q_t)$$

(applicable for $0.10 < B_q < 1.00$)

References

- Robertson, P.K., Cabal K.L., Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering, Gregg Drilling & Testing, Inc., 5th Edition, November 2012
- Robertson, P.K., Interpretation of Cone Penetration Tests - a unified approach., Can. Geotech. J. 46(11): 1337-1355 (2009)