

Comune di Maranello

Provincia di Modena

PROCEDIMENTO UNICO AI SENSI DELL'ART. 53, COMMA 1,
LETTERA B) DELLA DISCIPLINA REGIONALE SULLA TUTELA E L'USO DEL
TERRITORIO 24/2017 PER L'APPROVAZIONE DEL PROGETTO DI
AMPLIAMENTO DELL'INSEDIAMENTO PRODUTTIVO FERRARI S.P.A.
Area compresa tra la Strada Provinciale 467 e via Musso,
a Maranello (MO)

PERMESSO DI COSTRUIRE - 3 - e-BUILDING ED OPERE ESTERNE PRIVATE

LA COMMITTENZA

Ferrari



FERRARI S.p.A.
Via Abetone Inferiore 4
41053 Maranello (Mo)

Tel: +39 05 36 94 92 90
Fax: +39 05 36 24 14 76

SPAZIO PER PROTOCOLLO U.T.

PROGETTO INTEGRATO



Ing. Stefano Neri

PROGETTO INVOLUCRO EDILIZIO



Arch. Mario Cucinella

PROGETTAZIONE IMPIANTI ELETTRICI

SY.TEC. S.r.l.

Per. Ind. Mauro Adorni

PROGETTAZIONE IMPIANTI MECCANICI

Pool Progetti Studio Associato

Per. Ind. Lino Bruni

PROGETTO PREVENZIONE INCENDI

Studio IDF S.r.l.
Ingegneria del fuoco

Ing. Andrea Luppi

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

Geo-Probe S.r.l.

Geol. Graziano Grimaldi

PERMESSO DI COSTRUIRE

TITOLO ELABORATO

RELAZIONE GEOTECNICA

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDAZIONE	CONTROLLATO	APPROVATO
00	18.10.2021	EMISSIONE			SN

SCALA

-

TAVOLA

PU.EB.RG.00



COMUNE DI MARANELLO (MO)

STUDIO GEOLOGICO-TECNICO DEI
TERRENI DEL PRIMO SOTTOSUOLO DI
UN'AREA SITA IN VIA TREBBO, SULLA
QUALE È IN PROGETTO LA NUOVA AREA
DI SVILUPPO FERRARI.

Committente:
– PlannIng. S.r.l.



Codice Lavoro: 2021.078/RG

Revisione 0.0 Settembre 2021

GEO-PROBE

– *Studio Geologico Associato* –

Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono 051.613.51.18

Email: geoprobe@geo-probe.com

INDICE

1. PREMESSA	1
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
3. SITUAZIONE MORFOLOGICA E GEO-LITOLOGICA GENERALE	4
4. INDAGINE GEOGNOSTICA	7
5. LITOLOGIA E CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE DEI TERRENI.....	11
6. LAVORI E SCELTA DEL SISTEMA FONDALE	13
7. MODELLAZIONE GEOTECNICA DEL SITO.....	14
8. PARAMETRIZZAZIONE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE.....	16
9. PERICOLOSITÀ E CLASSIFICAZIONE SISMICA	18
10. MODELLAZIONE SISMICA	20
11. RISCHIO DI LIQUEFAZIONE DEI TERRENI.....	26
12. DETERMINAZIONE DEI PRINCIPALI PARAMETRI FISICO MECCANICI PER IL DIMENSIONAMENTO DI FONDAZIONI PROFONDE.....	28
13. CONSIDERAZIONI FINALI	30

ALLEGATI:

- diagrammi penetrometrie statiche con punta elettrica;
- certificati penetrometrie dinamiche superpesanti;
- diagrammi penetrometrie dinamiche superpesanti;
- stratigrafie sondaggi a carotaggio continuo;
- documentazione fotografica;
- indagine sismica;
- classificazione orientativa dei terreni attraversati
(Robertson, 1990).

* * *

1. PREMESSA

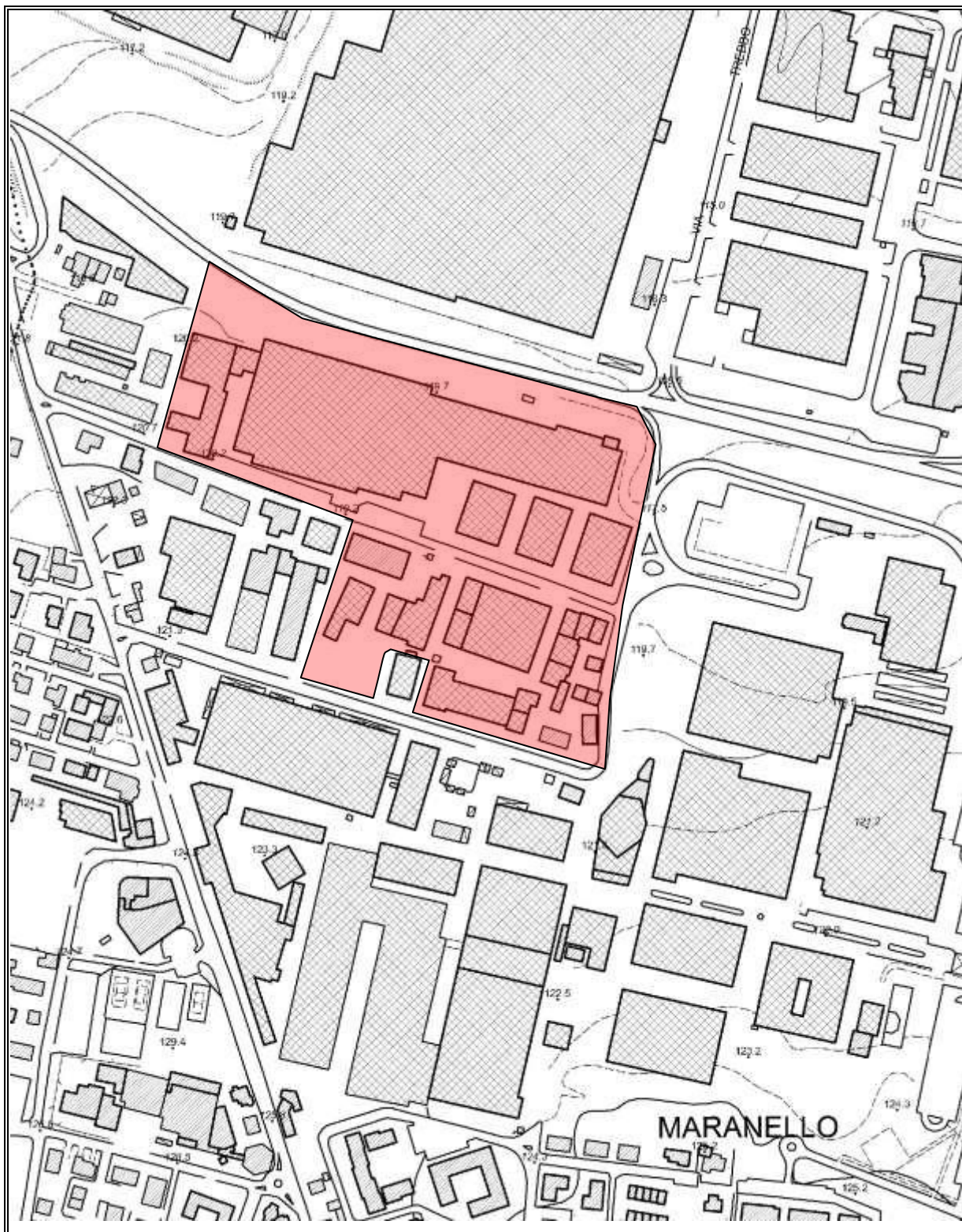
A seguito dell'incarico ricevuto dalla PlannIng S.r.l. si trasmette, in conformità con le normative vigenti, la seguente relazione geologico-tecnica riguardante lo studio dei terreni del primo sottosuolo di un'area sulla quale è in progetto la nuova area di sviluppo Ferrari.

L'area in esame si ubica in via Trebbo, in Comune di Maranello (MO) (TAV. 1: estratto C.T.R. Scala 1:5.000; elemento n. 219074 – Maranello).

Il presente studio è stato articolato nei seguenti punti:

- a) analisi e descrizione della situazione
morfologica e geo-litologica generale;
- b) determinazione della natura dei terreni
costituenti il primo sottosuolo;
- c) determinazione delle caratteristiche
fisico-meccaniche degli stessi;
- d) caratterizzazione e modellazione geologica del sito;
- e) modellazione sismica dei terreni di fondazione;
- f) analisi della risposta sismica locale;
- g) valutazione della resistenza di progetto dei
terreni di fondazione in condizioni statiche.

TAV. 1 - UBICAZIONE AREA IN ESAME



Area in esame

Scala 1:5.000

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La stesura della seguente relazione 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).
- 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).
- Delibera della Giunta della Regione Emilia Romagna progr. N. 1661/2009 del 2 novembre 2009.
- Ordinanza del Commissario Delegato per la Ricostruzione n. 70 del 13/11/2012.
- "Raccomandazioni per la redazione della relazione geologica ai sensi delle N.C.T." a cura del Centro Studi del C.N.G.
- "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.
- Delibera della Giunta della Regione Emilia Romagna progr. N. 630/2019 del 29 aprile 2019
- Delibera della Giunta della Regione Emilia Romagna progr. N. 476/2021 del 12 aprile 2021

3. SITUAZIONE MORFOLOGICA E GEO-LITOLOGICA GENERALE

L'area in esame ricade in un settore deposizionale dell'alta Pianura Padana, nella fascia antistante il margine appenninico, caratterizzato da moderate ondulazioni che degradano progressivamente verso Nord; più esattamente si ubica ad una quota media di 120,00 m s.l.m., in una zona pressoché pianeggiante o di bassissima acclività.

La morfologia superficiale risente di una forte pressione antropica che ha comportato un elevato grado di urbanizzazione civile e soprattutto industriale.

Da un punto di vista geo-litologico, secondo quanto riportato nella Carta Geologica che copre il territorio della Regione Emilia – Romagna (TAV. 2; estratto Sezione 219070 - Maranello; Scala 1:10.000) l'area oggetto d'intervento ricade all'interno dei terreni appartenenti al Sintema Emiliano Romagnolo Superiore in particolare dal Subsintema di Ravenna (**AES8**), caratterizzato da ghiaie sabbiose passanti a sabbie e limi organizzati in numerosi ordini di terrazzi alluvionali.

Verso Sud/Ovest si evidenziano le ghiaie passanti a sabbie e limi di terrazzi alluvionali appartenenti all'Unità di Vignola (**AES7b**) e verso Est i depositi continentali ghiaioso sabbiosi o limosi di terrazzi alluvionali appartenenti all'Unità di Neviano (**AES7a**).

I suddetti terreni ricoprono le argille plioceniche appartenenti alla Formazione delle Argille Azzurre (**FAA**) e verso Ovest le sabbie gialle appartenenti al Sistema di Costemezzana (**CMZ**).

L'elemento idrografico principale che caratterizza la zona in esame è rappresentato dal Torrente Tiepido che sviluppa il proprio corso ad Est dell'area in esame; il reticolo idrografico non appare particolarmente gerarchizzato.

La falda principale presenta una soggiacenza dell'ordine di 25,00÷30,00 m dal p.c., non si esclude tuttavia la presenza di orizzonti saturi sospesi a profondità minori all'interno di lenti grossolane.

The map shows a topographic representation of a region with various geographical features and infrastructure. Key labels include:

- CMZ**: Located in the upper left corner.
- FAA**: Located in the upper center, within a light-colored shaded area.
- AES8**: Two locations marked with red text. One is in the upper right, near a cluster of blue circles. The other is in the center-right, near a red dotted line.
- AES7b**: Located in the lower left, near a cluster of buildings.
- VIA TREBBO**: A road running vertically on the right side.
- VIA BARANZONA**: A road running horizontally in the upper right.
- 101.5**: A numerical label near the bottom center, possibly indicating an elevation or distance.

The map is overlaid with a grid of blue dashed lines. A red dotted line outlines a specific area in the center-right, which appears to be the focus of the investigation. The terrain is depicted with contour lines and various symbols for buildings, roads, and other features.

 Area in esame

Scala 1:5.000

LEGENDA



AES8 - Substema di Ravenna

Ghiaie e ghiaie sabbiose, passanti a sabbie e limi organizzate in numerosi ordini di terrazzi alluvionali. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. A tetto suoli a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente fino a 150 cm e parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallo-bruno. Contengono frequenti reperti archeologici di età del Bronzo, del Ferro e Romana. Potenza fino a oltre 25 m. (Olocene (età radiometrica della base: 11.000 - 8.000 anni).)



AES7a - Unità di Niviano

Depositi continentali ghiaioso sabbiosi o limosi dei terrazzi. Copertura colluviale limosa e argillosa alla base dei versanti. Al tetto suoli decarbonatati, a luoghi rubefatti, con fronte di alterazione fino a 5m, orizzonti superficiali con colore variabile a seconda della litologia da rosso bruno a giallo bruno. Contatto inferiore in discontinuità su unità più antiche. Potenza affiorante < 10 m o non valutabile. (Pleistocene sup.)



AES7b - Unità di Vignola

Ghiaie con matrice limo-sabbiosa, passanti a limi e limi sabbiosi. Deposito fluviale intravallivo. Copertura colluviale limosa e argillosa alla base dei versanti. Al tetto suoli decarbonatati con tracce di illuviazione di argilla e fronte di alterazione tra 1,5 e 2 m, orizzonti superficiali di colore da rosso bruno a bruno scuro. Contatto inferiore in discontinuità su unità più antiche. Potenza di alcuni metri. (Pleistocene sup. - Olocene basale)



CMZ - Sintema di Costamezzana

Sabbie gialle in strati da sottili a spessi con lamine piano-parallele od oblique, poco cementate, con intercalazioni a luoghi lentiformi di ghiaie e di orizzonti di peliti grigio chiare. Contatto inferiore graduale per alternanze su FAA. Spessore da 5 a 50 metri circa. (Pleistocene inf. - medio?)



FAA - Argille Azzurre

Argille, argille marnose, marne argillose e siltose grigie e grigio-azzurre, talora grigio plumbeo, in strati medi e subordinatamente sottili, a giunti poco o non visibili per bioturbazione, con subordinati strati arenacei sottili risedimentati. Localmente sono presenti sottili livelli discontinui di biocalcareni fini e siltiti giallo, o ocra se alterate, sottilmente laminate. Nella parte alta possono essere presenti slumps. Limite inferiore paraconcordante o marcato da una lieve discordanza angolare su FCO, discordante su unità più antiche. Potenza di alcune centinaia di metri. (Pliocene inf. - Pleistocene sup.)

4. INDAGINE GEOGNOSTICA

Nell'area interessata dall'intervento, allo scopo di verificare la successione stratigrafica che caratterizza i terreni del primo sottosuolo e valutare le caratteristiche fisico meccaniche degli stessi, si è provveduto ad eseguire un'indagine in sito e un'indagine sismica locale al fine di determinare il parametro Vs30 per poi classificare il suolo di fondazione.

4.1. Indagine geognostica in sito

L'indagine geognostica in sito, eseguita dalla Geo-Probe S.r.l., è consistita nella realizzazione di n. 8 penetrometrie statiche con punta elettrica (CPTE) che, rispetto al p.c. attuale, hanno raggiunto profondità comprese tra 10,40 m e 20,00 e di n. 3 penetrometrie dinamiche superpesanti (DPSH) della lunghezza variabile da 8,80 m a 10,00 m; inoltre da parte della Sogeo S.r.l., su richiesta della Geo-Probe S.r.l., sono stati eseguiti n. 3 sondaggi con il metodo del carotaggio continuo spinti alla profondità di 20,00 m.

I punti di indagine, compatibilmente alla presenza di utenze sotterranee ed alla accessibilità dei luoghi e su indicazione della Committente sono stati ubicati per essere rappresentativi dell'area oggetto di intervento; l'esatta ubicazione degli stessi viene riportata di seguito nella TAV. 3.

Per l'esecuzione delle prove con punta elettrica 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.

I risultati delle penetrometrie statiche con punta elettrica 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 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.

Il penetrometro dinamico superpesante, montato su cingolato Pagani TG63, è del tipo *EMILIA-DPSH* e presenta le seguenti caratteristiche:

peso del maglio	= 63,5 kg
altezza di caduta	= 75 cm
diametro base punta	= 50,5 mm
angolo apertura cono	= 60°

area base cono	= 20 cm ²
peso delle aste	= 6,2 kg

Il conteggio del numero dei colpi (N) necessari all'infissione è stato effettuato ogni 20 cm di avanzamento (N₂₀).

La prova penetrometrica dinamica super pesante (DPSH - *Dynamic Probing Superheavy*) consiste nell'infiggere verticalmente nel terreno una punta conica metallica posta all'estremità di un'asta di acciaio, prolungabile con successive aste, utilizzando un maglio di massa M per un'altezza di caduta costante H.

Mediante la formula detta degli "Olandesi" è possibile determinare il valore di resistenza dinamica (qd), tramite il quale si può valutare, in modo approssimativo, la capacità portante dei terreni.

$$qd = \frac{M}{M + M'} \cdot \frac{M \cdot H}{A \cdot e}$$

dove:

M = massa del maglio;

M' = peso totale dell'asta di guida, testa della battuta e batteria delle aste;

H = altezza di caduta;

A = area della sezione trasversale della base della punta conica;

e = penetrazione media di un colpo.

Mediante il numero di colpi (N) misurati nel corso della prova penetrometrica dinamica superpesante è inoltre possibile risalire al numero di colpi relativi alla prova Standard Penetration Test (N_{SPT}) ed utilizzare le correlazioni messe a punto per questo tipo di prova.

Varie esperienze eseguite in Italia e all'estero in formazioni con materiali compresi in una ampia gamma granulometrica hanno indicato la seguente relazione:

$$N'_{30(DPSH)}/N_{SPT} = 1,0 \div 1,15$$

I risultati delle penetrometrie dinamiche superpesanti vengono rappresentati in forma diagrammatica negli appositi moduli allegati dove si riporta in numero di colpi (N) misurati per l'avanzamento e il valore **qd** (valore di resistenza dinamica) espresso in MPa.

Per l'esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo è stata utilizzata una sonda perforatrice Ellettari EK200/STR di proprietà della Sogeo S.r.l..

Nel corso dei sondaggi a carotaggio continuo, sono state effettuate n. 6 prove S.P.T. (*Standard Penetration Test*), per l'identificazione della resistenza dinamica alla penetrazione del terreno 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').

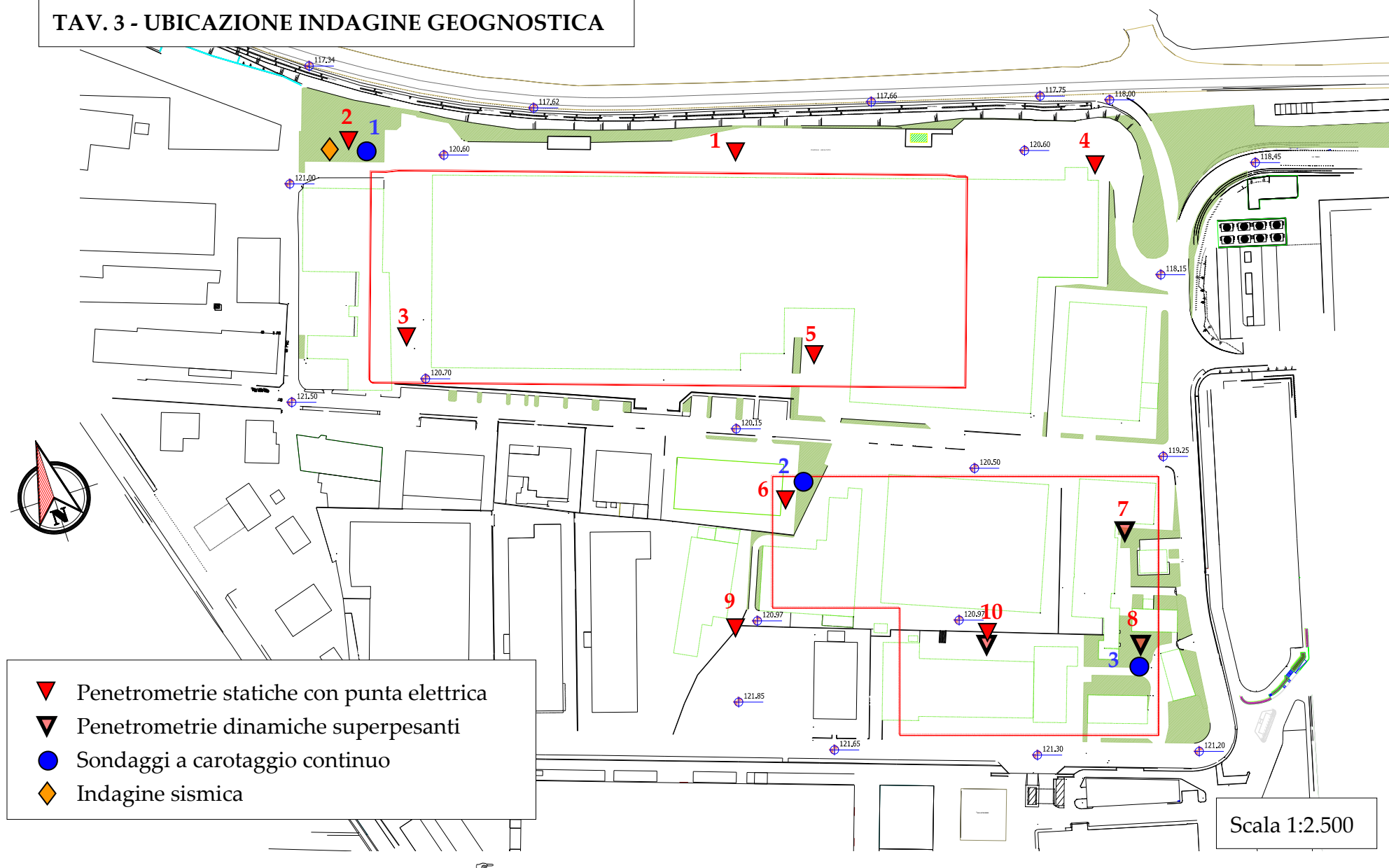
All'interno del foro di carotaggio n. 2 è stato posto in opera un piezometro a tubo aperto tipo Norton microfessurato del diametro di 2"1/2, protetto da botola carrabile, allo scopo di verificare nel tempo la presenza di falde freatiche o di circolazioni idriche localizzate.

Le stratigrafie ottenute, lo schema del piezometro, e la documentazione fotografica, viene riportata in allegato.

4.2. Indagine sismica

Al fine di determinare il parametro V_{seq} , necessario a classificare il suolo di fondazione del sito, da parte dello Studio Associato CGA, su incarico della Geo-Probe S.r.l., è stata eseguita un'indagine sismica mediante metodologia MASW; l'ubicazione, la metodologia di indagine e l'elaborazione dei dati ottenuti viene riportata nell'apposita relazione allegata.

TAV. 3 - UBICAZIONE INDAGINE GEOGNOSTICA



Scala 1:2.500

5. LITOLOGIA E CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE DEI TERRENI

L'indagine geognostica eseguita ci consente di ricostruire con discreta precisione la litologia del primo sottosuolo e di valutare le caratteristiche meccaniche dei terreni attraversati.

Schematicamente possiamo ricostruire la seguente successione stratigrafica:

al tetto sino ad una profondità variabile da 1,00 m a circa 3,50 m (fascia Nord/Est; CPTe 4) sono inizialmente presenti dei terreni di riporto costituiti da limi argillosi e/o sabbiosi, con inglobata ghiaie localmente prevalente.

Sotto sono presenti dei limi argillosi e/o sabbiosi di colore da bruno oliva a marrone, di consistenza variabile da plastica a plastica dura ($q_c = 1,0 \div 3,6$ MPa; $R_f = 2,2 \div 7,5$ %), con presenza di diffusi calcinelli, e inglobanti localmente orizzonti a consistenza dura ($q_c = 3,7 \div 5,0$ MPa; $R_f = 2,5 \div 4,5$ %), che localmente sono preceduti da un orizzonte di consistenza molto elevata ($q_c = 5,1 \div 7,5$ MPa; $R_f = 2,5 \div 4,2$ %), presumibilmente causa sovraconsolidazione per essiccamento.

I suddetti terreni inglobano lenti di ghiaie dello spessore variabile da 3,50 m a 5,50 m circa, di granulometria da medio fini a medie, in matrice sabbiosa e/o limo sabbiosa localmente prevalente, di addensamento da medio scarso a medio buono ($q_c = 7,2 \div 17,8$ MPa; $R_f = 0,5 \div 2,0$ %) ($q_d = 9,0 \div 23,3$ MPa).

Le prove SPT eseguito in corrispondenza degli orizzonti ghiaiosi hanno evidenziato valori di N_{30} variabili da 15 a 63, dai quali si ottengono valori normalizzati $(N_1)_{60}$ compresi tra 13 e 37 e densità relative variabili dal 45 al 80%.

Dove prevale la frazione sabbiosa la prova SPT eseguita ha evidenziato un valore di N_{30} pari a 10 dai quali si ottiene un valore normalizzato $(N_1)_{60}$ di 6 ed una densità relativa pari al 32%.

La distribuzione delle ghiaie si presenta scarsamente omogenea, infatti nella fascia Sud/Est il tetto delle ghiaie si evidenzia a partire da 2,00 m (DPSH 8; C 3) a circa 3,00 m (DPSH 7) ed in profondità è presente un sottile orizzonte a circa 15,70 m, mentre spostandoci verso Ovest le ghiaie sono presenti a partire da una profondità variabili da 10,00 m a 14,00 m circa, e nella fascia Nord/Est risultano assenti e/o presenti in sottilissimi orizzonti.

I suddetti terreni sono caratterizzati dalla presenza di una falda freatica di superficie, il cui livello statico al termine dell'indagine è stato rilevato ad una profondità di circa 5,00÷5,50 m da p.c. attuale.

Per un maggior dettaglio in allegato, oltre alla stratigrafia dei sondaggi a carotaggio, viene riportata la litologia dei terreni del primo sottosuolo rilevata in corrispondenza delle penetrometrie statiche con punta elettrica e ricostruita mediante la teoria di Robertson (1990).

6. LAVORI E SCELTA DEL SISTEMA FONDALE

Si tratta della realizzazione di due edifici aventi uno sviluppo verticale variabile da due a tre piani fuori terra.

Nell'area di intervento non si prevedono sostanziali variazioni morfologiche, di conseguenza il p.c. fine lavori corrisponderà approssimativamente a quello attuale.

L'indagine geognostica ha evidenziato come la litologia del primo sottosuolo, al disotto di un orizzonte di terreno di riporto eterogeneo variabile da 1,00 m a circa 3,50 m, risulta caratterizzata dalla presenza di limi argillosi e/o sabbiosi di consistenza variabile prevalentemente da plastica a plastico dura, inglobanti lenti di ghiaie dello spessore massimo variabile da 3,50 m a 5,50 m circa.

La distribuzione delle ghiaie si presenta scarsamente omogenea, infatti nella fascia Sud/Est il tetto delle ghiaie si evidenzia a partire da 2,20 m a circa 3,00 m, mentre spostandoci verso Ovest le ghiaie sono presenti a partire da una profondità variabili da 10,00 m a 14,00 m circa, e nella fascia Nord/Est risultano assenti e/o presenti in sottilissimi orizzonti.

I suddetti terreni sono caratterizzati dalla presenza di una falda freatica di superficie, il cui livello statico al termine dell'indagine è stato rilevato ad una profondità di circa 5,00÷5,50 m da p.c. attuale.

In considerazione della disomogeneità che caratterizza i terreni del primo sottosuolo e della tipologia di intervento, che comporta carichi decisamente elevati, per quanto in progetto si prevede l'adozione di un sistema fondale profondo (pali).

7. MODELLAZIONE GEOTECNICA DEL SITO

La caratterizzazione geotecnica del sito viene fatta ricostruendo un modello in termini di unità geotecniche del volume significativo del terreno inteso come la parte di sottosuolo influenzata direttamente o indirettamente dalla costruzione dell'opera e che influenza l'opera stessa.

Ciascuna unità geotecnica (U.G.) è ottenuta correlando i dati stratigrafici e i dati di resistenza misurati nel corso dell'indagine geognostica in modo da suddividere il volume significativo in elementi omogenei.

Sulla base dei risultati dell'indagine geognostica è possibile distinguere il terreno secondo le unità geotecniche indicate nella tabella successiva.

U.G.	Profondità m da p.c.		Litologia prevalente	qc/ N30 MPa/ N	γ (kN/mc)	Cu (kPa)	φ (°)	Dr (%)
	da	a						
0	0,00	1,00÷3,50	R	-	-	-	-	-
A	1,00÷3,50	fine indag.	LAS	1,0÷3,6	19,1÷19,4	50÷150	-	0
A1	0,50÷2,00	2,00÷3,50	LAS	5,1÷7,5	19,5÷19,8	200÷300	-	0
B1	2,00÷4,60	6,40÷8,20	G/SL	7,2÷17,8 15÷35	18,5÷18,6	0	36÷41	45÷75
B2	10,0÷14,0	15,50÷18,50	G/SL	7,5÷38,8 40÷63	18,5÷18,6	0	38÷42	58÷85

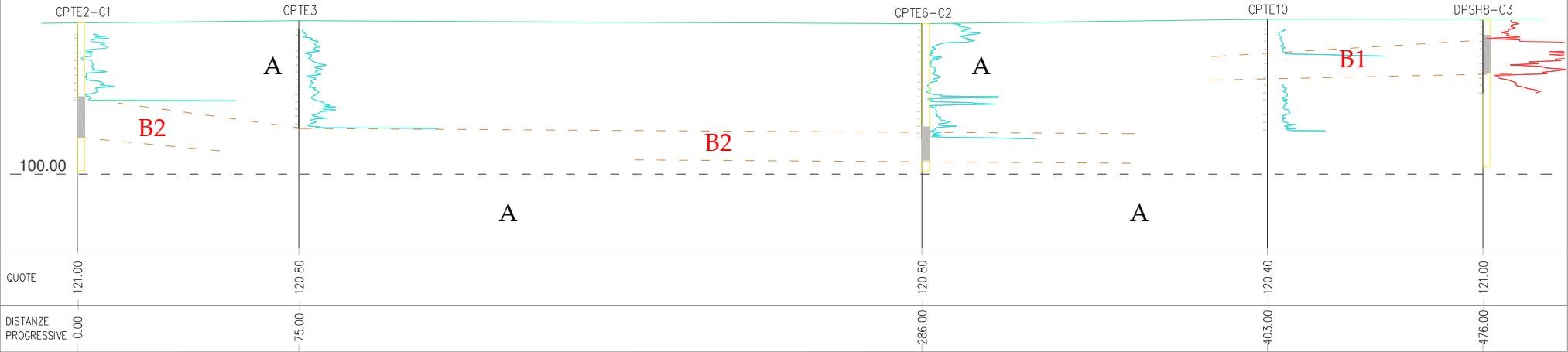
R = terreno di riporto;

LAS = limi argillosi e/o sabbiosi;

G/SL = ghiaie in matrice sabbiosa e limosa.

SEZIONE GEO-LITOLOGIA

Scala Lunghezze 1:2.000
Scala Altezze 1:400
Misure espresse in metri



8. PARAMETRIZZAZIONE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE

Sulla base dei risultati dell'indagine geognostica è stato possibile suddividere il volume significativo di terreno in unità geotecniche, delle quali di seguito, vengono definiti i parametri geomeccanici.

Unità geotecnica 0

È costituita da terreno di riporto eterogeneo e si evidenzia sino ad una profondità variabile da 1,00 m a circa 3,50 m circa dal p.c. attuale.

Unità geotecnica A

È costituita da limi argillosi e sabbiosi di consistenza prevalentemente da plastica a plastico dura ed umidità da media alla totale saturazione idrica.

L'unità A si evidenzia da 1,00÷3,50 m dal p.c. attuale sino alla profondità indagata, ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qc (MPa)	γ (kN/mc)	Cu (kPa)	φ (°)
CPTE 1	2,6	19,3	120	-
CPTE 2	2,9	19,3	130	-
CPTE 3	2,7	19,3	125	-
CPTE 4	2,0	19,2	100	-
CPTE 5	2,1	19,2	105	-
CPTE 6	2,0	19,2	100	-
CPTE 9	1,9	19,2	95	
CPTE 10	1,8	19,2	90	-

Unità geotecnica A1

È costituita da limi argillosi e sabbiosi di consistenza molto dura ed umidità scarsa, presumibilmente sovraconsolidati per essiccazione.

L'unità A1 si evidenzia da 0,50÷2,00 m sino ad una profondità variabile da 2,50 m a 3,50 m circa dal p.c. attuale, ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qc (MPa)	γ (kN/mc)	Cu (kPa)	φ (°)
CPTE 5	5,0	19,5	200	-
CPTE 6	6,4	19,6	250	-

Unità geotecnica B1

È costituita da ghiaie in matrice limo sabbiosa di addensamento da medio scarso a medio buono, ed umidità da media ad elevata.

L'unità B1 si evidenzia nella fascia Sud/Est da 2,00÷4,60 m sino ad una profondità variabile da 6,40 m a 8,20 m dal p.c. attuale ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qc/ N30 (MPa/ N)	γ (kN/mc)	Cu (kPa)	φ (°)
CPTE 10	12,2	18,5	0	37
DPSH 7	24	18,5	0	38
DPSH 8	22	18,5	0	38
DPSH 10	25	18,5	0	38
C 3	20	18,5	0	37

Unità geotecnica B2

È costituita da ghiaie in matrice limo sabbiosa di addensamento da medio scarso a medio buono, presumibilmente sature.

L'unità B2 si evidenzia da 10,00÷14,00 m sino ad una profondità variabile da 15,50 m a 18,50 m circa dal p.c. attuale ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qc/ N30 (MPa/ N)	γ (kN/mc)	Cu (kPa)	φ (°)
CPTE 2	22,5	18,5	0	37
CPTE 3	22,6	18,5	0	37
CPTE 6	13,1	18,5	0	36
C 1	58	18,5	0	41
C 2	40	18,5	0	38

9. PERICOLOSITÀ E CLASSIFICAZIONE SISMICA

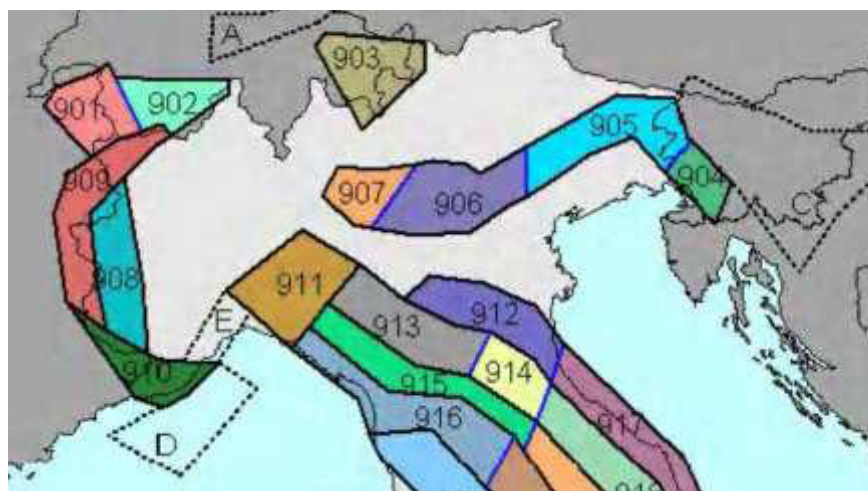
La pericolosità e il rischio sismico del territorio nazionale sono stati affrontati dal Servizio Sismico Nazionale utilizzando il calcolo probabilistico di Cornell, in grado di considerare tutte le possibili sorgenti influenzanti di un sisma.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni ideali di sito di riferimento con superficie topografica orizzontale di categoria A.

Il Comune di Maranello (TAV. 3 – Mappa di pericolosità sismica) presenta un'accelerazione al suolo tipo A con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni $PGA = 0,150 - 0,175g$.

La Magnitudo dell'area si ottiene, come riportato negli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica – Gruppo di Lavoro MS 2008" sulla base della zonazione sismogenetica ZS 9, secondo la quale la sismicità può essere distribuita in 36 zone, a ciascuna delle quali è associata una magnitudo massima.

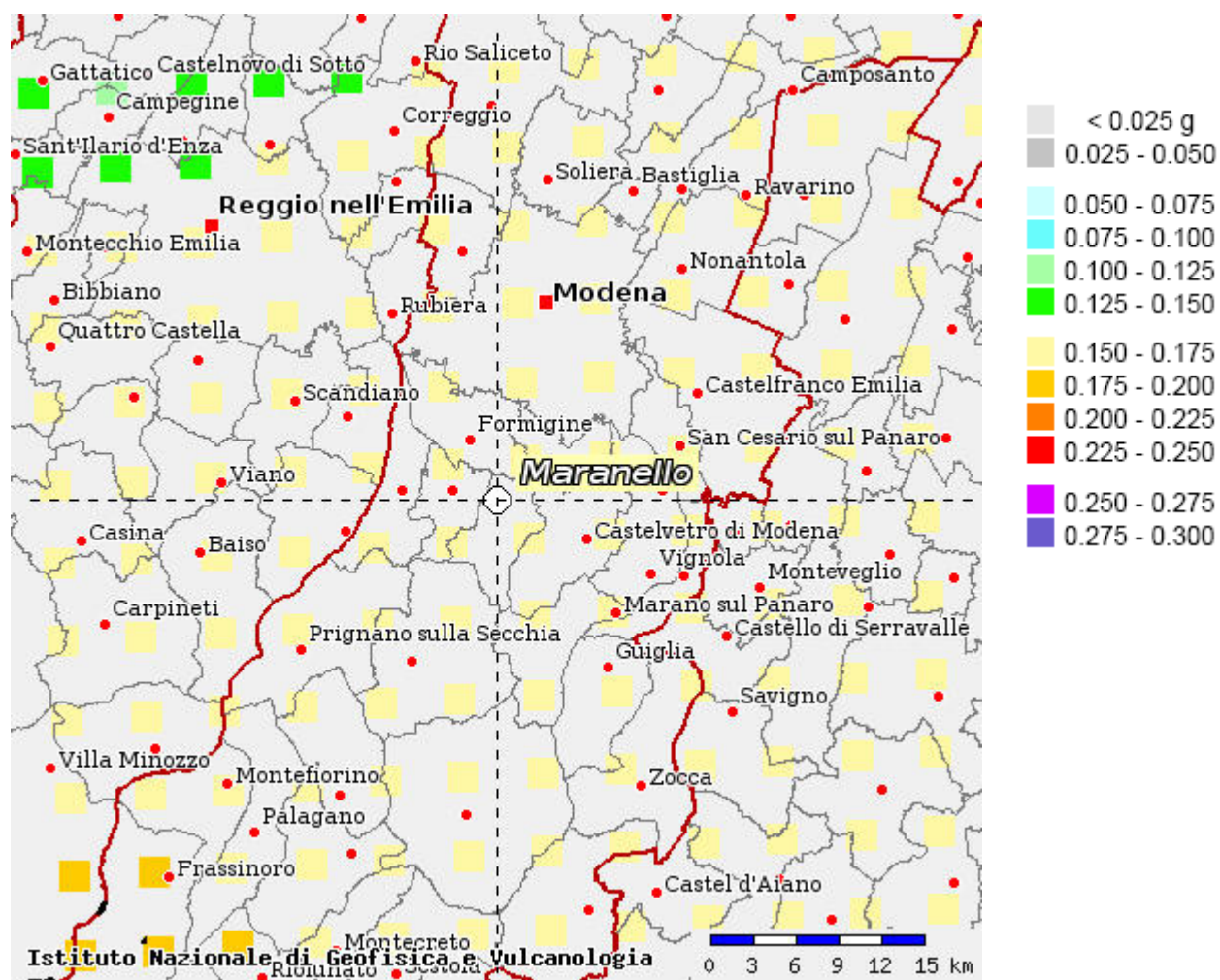
Come evidenziato dalla mappa delle zone sismogenetiche di cui si riporta uno stralcio, l'Emilia Romagna ricade nelle zone 911-914 alle quali è attribuito un valore di M pari a 6,14.



La pericolosità sismica in un generico sito viene definita in termini di valori di accelerazione orizzontale massima e di spettri di risposta nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale, in corrispondenza dei punti di un reticolo e per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno ricadenti in un intervallo di riferimento compreso tra 30 e 2475 anni.

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presenti nel sito in esame e della morfologia di superficie.

TAV. 3 – MAPPA DI PERICOLOSITÀ SISMICA



10. MODELLAZIONE SISMICA

10.1. Vita nominale

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

La vita nominale delle diverse tipologie di opere è riportata nella seguente tabella.

Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per diversi tipi di costruzione

TIPI DI COSTRUZIONE		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Nell'area in esame sono previste opere tipo "2" per le quali si prevede una vita nominale V_N minima di 50 anni.

10.2. Classi d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso distinte nel modo seguente:

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

Ad ogni classe d'uso è associato un coefficiente come da tabella seguente:

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso C_u

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_u	0,7	1,0	1,5	2,0

Le opere da realizzare nell'area in esame, sono relative alla Classe II, pertanto alle stesse è associato un coefficiente d'uso pari a $C_u = 1,0$

10.3. Periodo di riferimento

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione sono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_u :

$$V_R = V_N \cdot C_u$$

Per il sito in esame il periodo di riferimento è pari a $V_R = 50$ anni.

10.4. Azione sismica

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} , nel periodo di riferimento V_R .

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento P_{VR} , nel periodo di riferimento V_R , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Nella seguente tabella vengono riportati i suddetti parametri elaborati per il sito in esame (individuato dalle coordinate Lat. 44.534594; Long. 10.866023), considerando un periodo di riferimento per l'azione sismica (VR) di 50 anni, in relazione al periodo di ritorno e agli stati limite di esercizio e agli stati limite ultimi e relative probabilità di superamento.

Stato limite		PVR (%)	TR (anni)	ag (g)	Fo (-)	Tc* (s)
Stati limite di esercizio	SLO	81	30	0,052	2,486	0,254
	SLD	63	50	0,065	2,494	0,266
Stati limite ultimi	SLV	10	475	0,163	2,381	0,291
	SLC	5	975	0,205	2,394	0,305

10.5. Categoria di sottosuolo

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche e dai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio Vseq (in m/s) definita dalla espressione:

$$V_{Seq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{Si}}}$$

con:

hi = spessore dell'i-esimo strato;

Vsi = 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 Vs non inferiore a 800 m/s

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio Vseq è definita dal parametro Vs30, ottenuto ponendo H = 30 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, di seguito riportata:

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

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> 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	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti</i> , 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	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti</i> , 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	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti</i> , 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 m/s e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C e D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

Come si evidenzia dall'indagine eseguita, i terreni del primo sottosuolo sono caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità, e alla profondità di 2,00 m, quota prevista per la testa delle fondazioni profonde, presentano una V_{seq} pari a circa 377 m/sec, pertanto ricadono nella Categoria B, che comprende *“Depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine 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.”*

In considerazione di quanto sopra non si ritiene necessario eseguire un'analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

10.6. Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale mentre per configurazioni semplici può essere adottata la seguente classificazione.

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 $i > 30^\circ$

10.7. Amplificazione stratigrafica

Per sottosuolo di categoria A i coefficienti S_s e C_c valgono 1; per le altre categorie vengono calcolati in funzione di a_g , F_o e T_c^* mediante le espressioni fornite nella seguente tabella.

Tab. 3.2.IV – Espressioni di S_s e di C_c

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,4 - 0,4 \cdot F_o \cdot a_g/g \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,7 - 0,6 \cdot F_o \cdot a_g/g \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,4 - 1,50 \cdot F_o \cdot a_g/g \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot a_g/g \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Per il sito in esame otteniamo:

Stato limite	S_s	C_c
SLO	1,200	1,447
SLD	1,200	1,433
SLV	1,200	1,408
SLC	1,200	1,394

10.8. Amplificazione topografica

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati nella Tab. 3.2.V, in funzione della categoria topografiche e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Tab. 3.2.V – Valori massimi dei coefficienti di amplificazione topografica S_T

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o del rilievo, dalla sommità o dalla cresta, dove S_T assume il valore massimo riportato nella Tab. 3.2.V, fino alla base, dove S_T assume un valore unitario.

L'area in esame si pone in corrispondenza di una superficie pianeggiante, perciò si configura una categoria topografica tipo T1 cui è associato un coefficiente di amplificazione topografica pari a 1,0.

10.9 Accelerazione massima al sito

L'accelerazione massima attesa al sito può essere valutata mediante la relazione:

$$a_{\max} = S \cdot a_g = (S_s \cdot S_T) \cdot a_g$$

Nel nostro caso per i parametri considerati in precedenza e per lo stato limite SLV si ottiene un valore pari a 1,919 m/sec².

11.10 Coefficiente sismico orizzontale e verticale

Il coefficiente sismico orizzontale si ottiene mediante la relazione:

$$k_h = \frac{\beta_s \times a_{\max}}{g}$$

dove:

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito ricavabile dalla sottostante tabella.

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0,2 < a_g (g) \leq 0,4$	0,30	0,28
$0,1 < a_g (g) \leq 0,2$	0,27	0,24
$a_g (g) \leq 0,1$	0,20	0,20

Nel nostro caso assumendo un valore di β_s pari a 0,24, si ottiene un coefficiente sismico orizzontale (k_h) pari a 0,047.

Il coefficiente sismico verticale (k_v) si ottiene mediante la relazione:

$$k_v = 0,5 k_h = 0,0235$$

11. RISCHIO DI LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

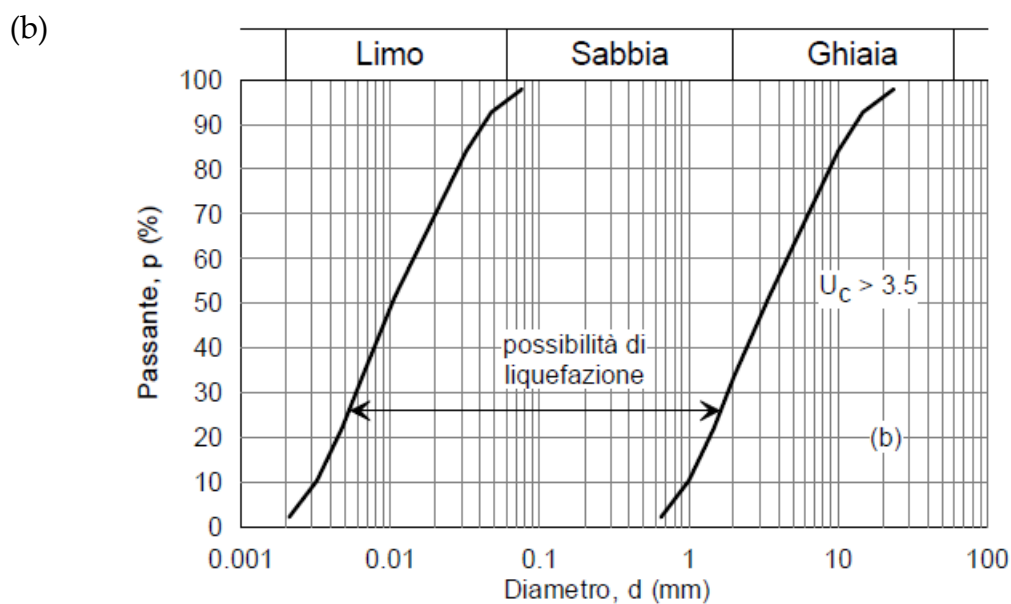
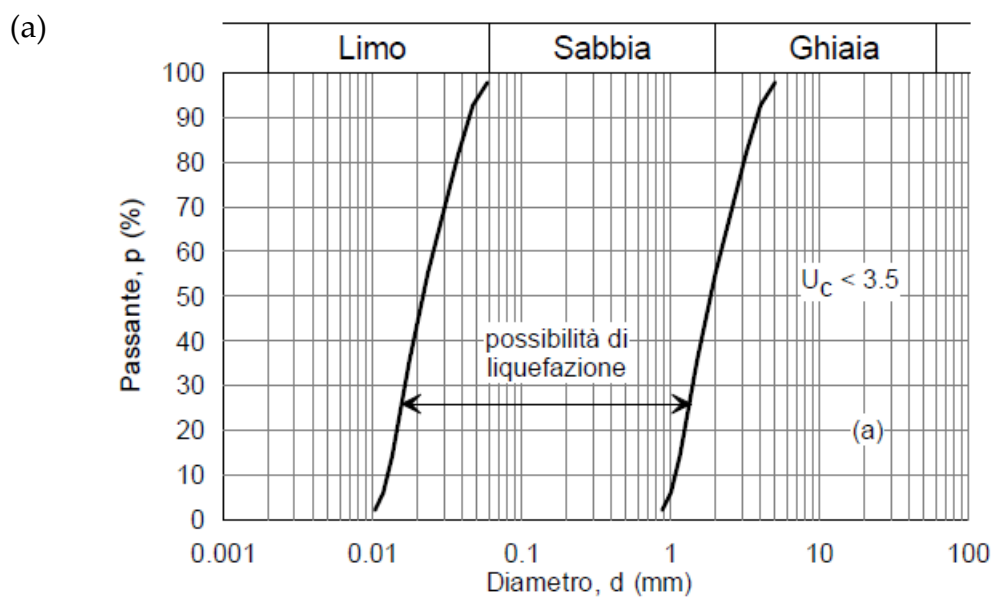
In occasione di un evento sismico particolare attenzione deve essere posta nella liquefazione dei terreni, ovvero la fluidificazione degli stessi con perdita improvvisa della resistenza al taglio, tendenza all'addensamento e conseguente riduzione di volume.

La verifica alla liquefazione può essere omessa quando risulta soddisfatta almeno uno delle seguenti circostanze come da N.T.C. 7.11.3.4.2:

1. Accelerazioni massime attese al p.c. in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g; nel nostro caso $a_{maxs} = 0,196g$ (*non soddisfatta*).

Quando la condizione 1 non risulti soddisfatta, le indagini geotecniche devono essere finalizzate alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle successive condizioni:

2. Profondità media stagionale della falda superiore a 15,00 m dal p.c., per p.c. suborizzontale e strutture con fondazioni superficiali; nel nostro caso nel corso delle indagini è stata evidenziata la presenza di una falda freatica di superficie, il cui livello statico, è stato misurato ad una profondità di circa 5,00÷5,20 dal p.c. attuale, (*non soddisfatta*).
3. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $(q_{c1N}) > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa, e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa; dall'indagine eseguita è emerso che litologia di superficie è rappresentata in prevalenza da limi argillosi e/o sabbiosi inglobanti localmente lenti di ghiaie generalmente prive di continuità laterale, mentre le sabbie sono pressoché assenti o presenti in sottili lenti prive di continuità laterale (*soddisfatta*).
4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella figura (a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U < 3,5$ ed in figura (b) per terreni con $U > 3,5$; a livello operativo l'applicazione di questo criterio implica l'esecuzione di un sondaggio con prelievo di campioni di sabbia satura.



Essendo soddisfatta almeno una delle precedenti circostanze previste dalle N.T.C. 7.11.3.4.2, non si è proceduto ad eseguire la verifica alla liquefazione.

12. DETERMINAZIONE DEI PRINCIPALI PARAMETRI FISICO MECCANICI PER IL DIMENSIONAMENTO DI FONDAZIONI PROFONDE

Nella tabella seguente vengono riportati i principali parametri fisico meccanici che caratterizzano i terreni del primo sottosuolo, espressi sia in termini di valore medio che di valore caratteristico, per il dimensionamento di fondazioni profonde.

I parametri caratteristici di coesione (C_{uk}), di angolo di attrito interno (φ_k) da utilizzare nel dimensionamento vengono ricavati mediante analisi statistica dai valori di resistenza meccanica misurati nel corso dell'indagine geognostica.

In considerazione della disomogeneità che caratterizza i terreni del primo sottosuolo, vengono prese in esame tre possibili casi.

CPTE 4

Profondità (m)	Porzione palo	Valori medi			Valori caratteristici		
		Cu (kPa)	φ (°)	γ (kN/mc)	C _{uk} (kPa)	φ_k (°)	γ_k (kN/mc)
2,00÷3,50	laterale	35	-	18,9	32	-	18,9
3,50÷6,50	laterale	110	-	19,1	100	-	19,1
6,50÷16,50	laterale	80	-	19,2	75	-	19,2
16,50÷20,00	laterale	110	-	19,2	100	-	19,2
16,50÷20,00	laterale	110	-	19,2	70	-	19,2

CPTE 2 – C 1

Profondità (m)	Porzione palo	Valori medi			Valori caratteristici		
		Cu (kPa)	φ (°)	γ (kN/mc)	C _{uk} (kPa)	φ_k (°)	γ_k (kN/mc)
2,00÷3,50	laterale	160	-	19,4	140	-	19,4
3,50÷5,00	laterale	115	-	19,2	105	-	19,2
5,00÷6,50	laterale	145	-	19,3	135	-	19,3
6,50÷7,50	laterale	105	-	19,2	95	-	19,2
7,50÷9,50	laterale	160	-	19,4	150	-	19,4
9,50÷10,40	laterale	115	-	19,2	105	-	19,2
10,40÷15,50	laterale	0	41	18,5	0	39	18,5
10,40÷15,50	punta	0	41	18,5	0	32	18,5

CPTÉ 10 – C 3

Profondità (m)	Porzione palo	Valori medi			Valori caratteristici		
		Cu (kPa)	φ (°)	γ (kN/mc)	Cuk (kPa)	φ_k (°)	γ_k (kN/mc)
2,00÷4,00	laterale	75	-	19,2	65	-	19,2
4,00÷8,00	laterale	0	37-	18,5	0	35	18,5
8,00÷20,00	laterale	100	-	19,2	90	-	19,2
8,00÷20,00	punta	100		19,2	65		19,2

13. CONSIDERAZIONI FINALI

L'area in esame si ubica ad una quota media di 120,00 m s.l.m., in una zona pressoché pianeggiante o di bassissima acclività, caratterizzato da moderate ondulazioni che degradano progressivamente verso Nord.

La litologia del primo sottosuolo al tetto sino ad una profondità variabile da 1,00 m a circa 3,50 m (fascia Nord/Est) risulta inizialmente caratterizzata dalla presenza di terreni di riporto costituiti in da limi argillosi e/o sabbiosi, con inglobata ghiaie localmente prevalente.

Sotto sono presenti dei limi argillosi e/o sabbiosi di colore da bruno oliva a marrone, di consistenza variabile da plastica a plastico dura ($q_c = 1,0 \div 3,6$ MPa; $R_f = 2,2 \div 7,5$ %), con presenza di diffusi calcinelli, e inglobanti localmente orizzonti a consistenza dura ($q_c = 3,7 \div 5,0$ MPa; $R_f = 2,5 \div 4,5$ %), che localmente sono preceduti da un orizzonte di consistenza molto elevata ($q_c = 5,1 \div 7,5$ MPa; $R_f = 2,5 \div 4,2$ %), presumibilmente causa sovraconsolidazione per essiccamento.

I suddetti terreni inglobano lenti di ghiaie dello spessore variabile da 3,50 m a 5,50 m circa, di granulometria da medio fini a medie, in matrice sabbiosa e/o limo sabbiosa localmente prevalente, di addensamento da medio scarso a medio buono ($q_c = 7,2 \div 17,8$ MPa; $R_f = 0,5 \div 2,0$ %) ($q_d = 9,0 \div 23,3$ MPa).

Le prove SPT eseguito in corrispondenza degli orizzonti ghiaiosi hanno evidenziato valori di N_{30} variabili da 15 a 63, dai quali si ottengono valori normalizzati $(N_1)_{60}$ compresi tra 13 e 37 e densità relative variabili dal 45 al 80%.

Dove prevale la frazione sabbiosa la prova SPT eseguita ha evidenziato un valore di N_{30} pari a 10 dai quali si ottiene un valore normalizzato $(N_1)_{60}$ di 6 ed una densità relativa pari al 32%.

La distribuzione delle ghiaie si presenta scarsamente omogenea, infatti nella fascia Sud/Est il tetto delle ghiaie si evidenzia a partire da 2,00 m (DPSH 8; C 3) a circa 3,00 m (DPSH 7) ed in profondità è presente un sottile orizzonte a circa 15,70 m, mentre spostandoci verso Ovest le ghiaie sono presenti a partire da una profondità variabili da 10,00 m a 14,00 m circa, e nella fascia Nord/Est risultano assenti e/o presenti in sottilissimi orizzonti.

I suddetti terreni sono caratterizzati dalla presenza di una falda freatica di superficie, il cui livello statico al termine dell'indagine è stato rilevato ad una profondità di circa 5,00÷5,50 m da p.c. attuale.

In considerazione della disomogeneità che caratterizza i terreni del primo sottosuolo e della tipologia di intervento, che comporta carichi decisamente elevati, per quanto in progetto si prevede l'adozione di un sistema fondale profondo (pali).

I terreni del primo sottosuolo sono caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità, e alla profondità di 2,00 m, quota prevista per la testa delle fondazioni profonde, presentano una V_{seq} pari a circa 377 m/sec, pertanto ricadono nella Categoria B, che comprende *“Depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine 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.*

In considerazione di quanto sopra non si ritiene necessario eseguire un'analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

Nell'area in esame sedimenti potenzialmente liquefabili sono inesistenti, essendo la litologia di superficie rappresentata in prevalenza da limi argillosi e/o sabbiosi inglobanti localmente lenti di ghiaie generalmente prive di continuità laterale, mentre le sabbie sono pressoché assenti o presenti in sottili lenti prive di continuità laterale.

In considerazione di quanto sopra si può pertanto affermare che da un punto di vista geologico non vi è nulla che impedisca la realizzazione degli interventi in progetto.

Casalecchio di Reno, 30 Settembre 2021

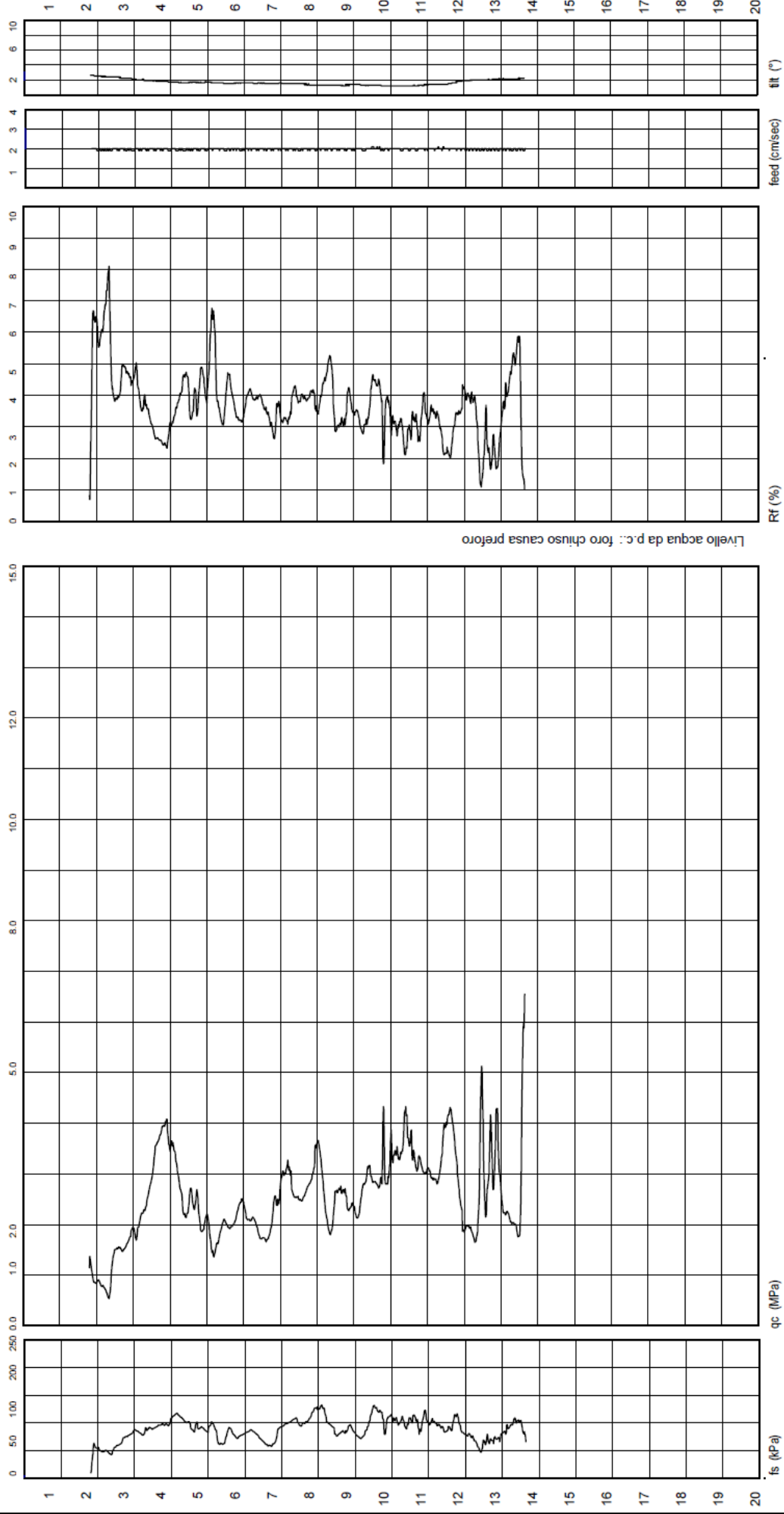


ALLEGATI

Indagine geognostica

Penetrometrie statiche con punta elettrica

GEO-PROBE S.r.l. <i>Indagini Geognostiche</i> 40033 Casalecchio di Reno (BO) Via Cimarosa, 119 – Tel. 051/61.33.072	C P T E (electric cone penetration test)		N. 1	Rapporto di Prova N. 21.0608/RSP
	Committente :	Plann. Ing		Quota : ---
	Località :	Maranello (MO)	Cantiere: via Trebbo	Preforo : 180,00 cm
	Attrezzatura:	Punta Pagani Mod. MKJ386 -	Penetrometro da 200 kN	Data Prova : 30/08/2021
	Note:	---		Codice Lavoro : 2021.124



Procedura di Prova	Normativa di riferimento	Rapporto di Prova N°	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
IO_004	ASTM D 5778-12	21.0608/RSP	0	30/08/2021	Dr. Conti	Dr. Luca Conti

GEO-PROBE

Indagini Geognostiche

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

C P T E (electric cone penetration test)

N. 3

Rapporto di Prova N.

21.0610/RSP

Committente : Plann.Ing

Località : Maranello (MO)

Cantiere: via Trebbo

Attrezzatura:

Punta Pagani Mod. MKJ386 - Penetrometro da 200 kN

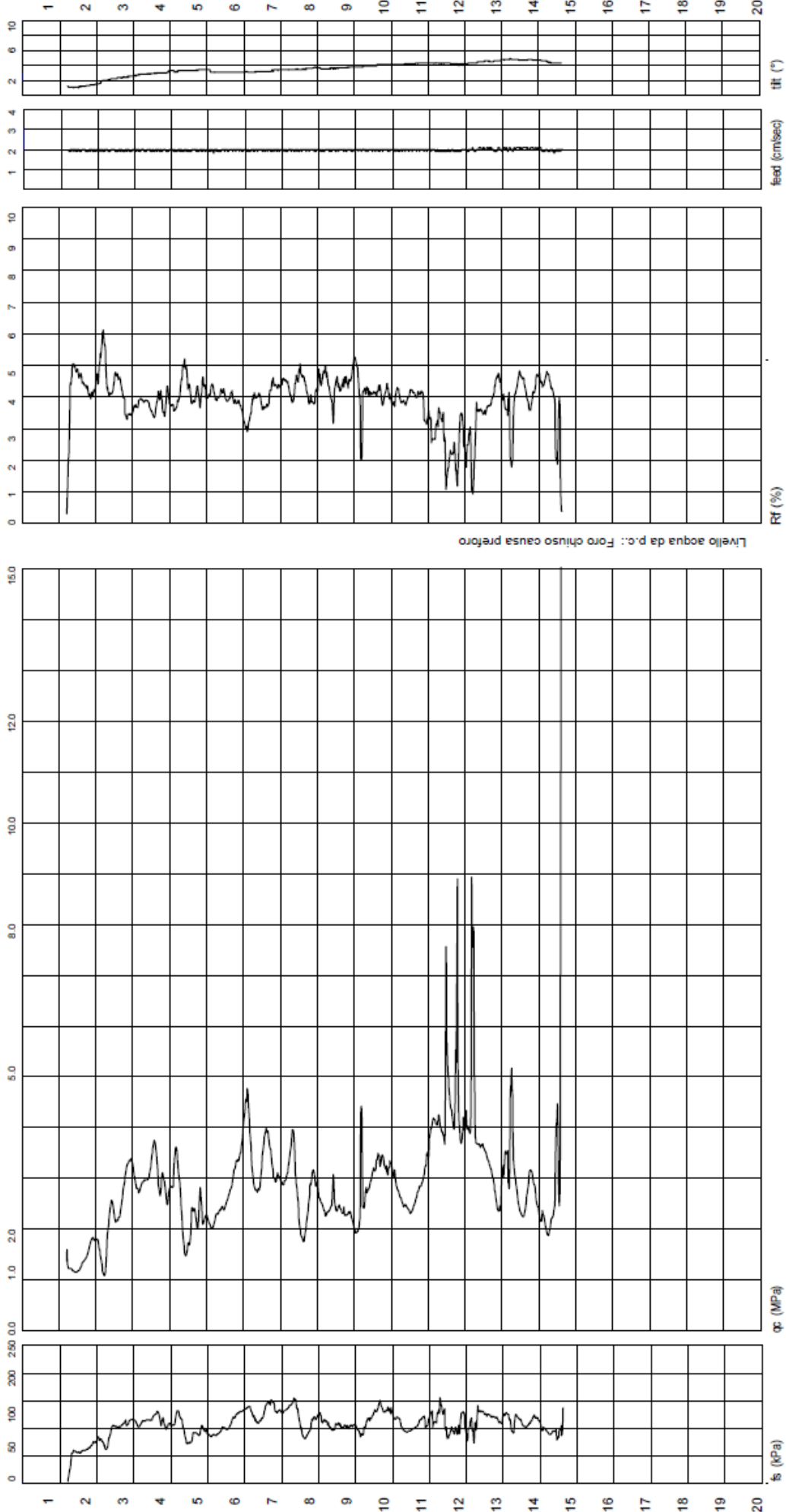
Note:

Data Prova : 30/08/2021

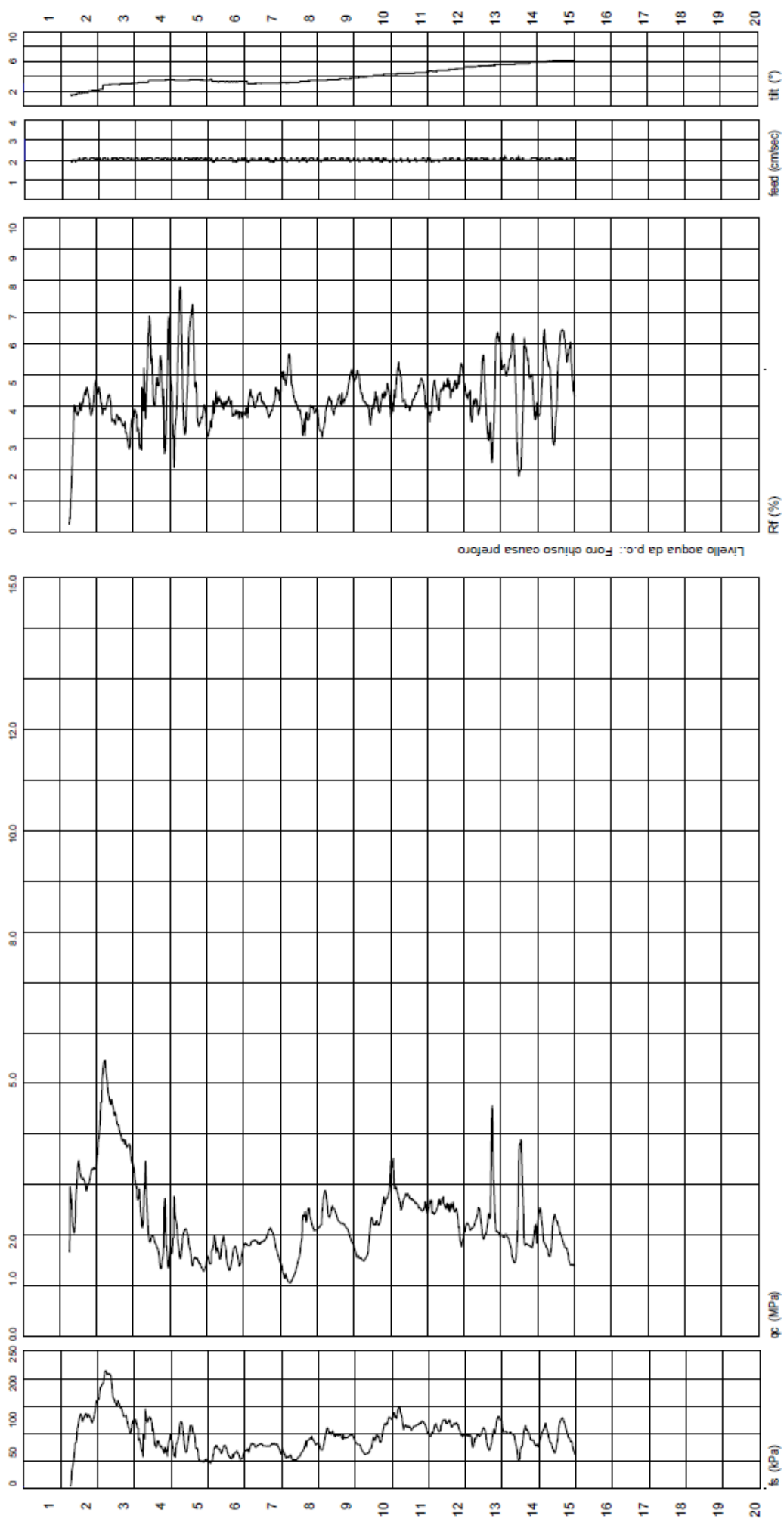
Preforo : 120,00 cm

Codice Lavoro : 2021.124

Quota : ---



Procedura di Prova	IO_004	Normativa di riferimento	Rapporto di Prova N°				Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio	
			ASTM D 5778-12	21.0610/RSP	0	30/08/2021		Dr. Conti	Dr. Luca Conti



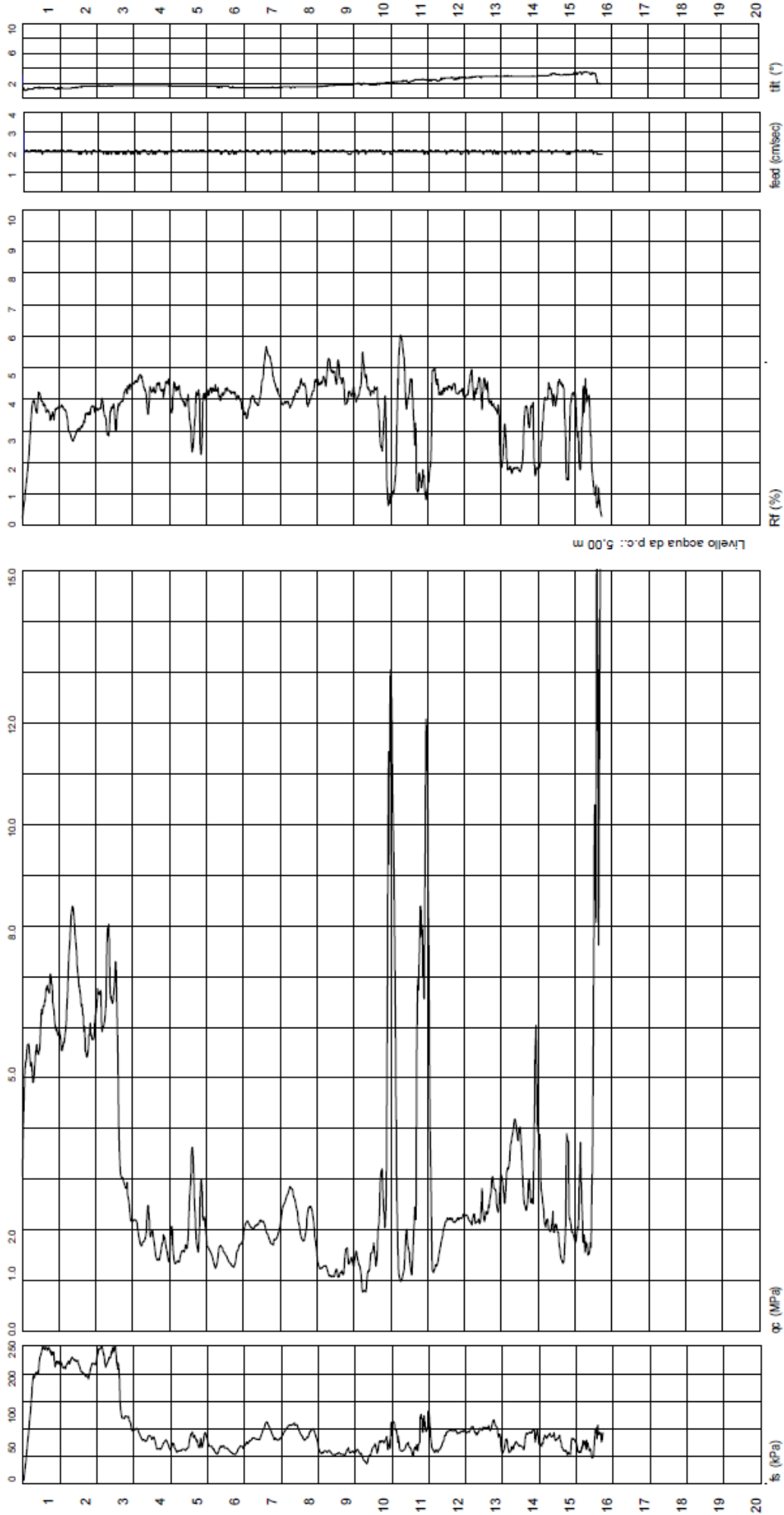
Procedura di Prova	Normativa di riferimento	Rapporto di Prova N°	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
IO_004	ASTM D 5778-12	21.0612/RSP	0	30/08/2021	Dr. Conti	Dr. Luca Conti

C P T E (electric cone penetration test) N. 6

Rapporto di Prova N. 21.0613/RSP

Committente : Plann.Ing
Località : Maranello (MO)
Attrezzatura: Punta Pagani Mod. MKJ387 - Penetrometro da 200 kN
Note: ---
Cantiere: via Trebbo

Quota : ---
Preforo : 0,00 cm
Data Prova : 30/08/2021
Codice Lavoro : 2021.124



Procedura di Prova	Normativa di riferimento	Rapporto di Prova N°	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
IO_004	ASTM D 5778-12	21.0613/RSP	0	30/08/2021	Dr. Conti	Dr. Luca Conti

GEO-PROBE S.r.l.

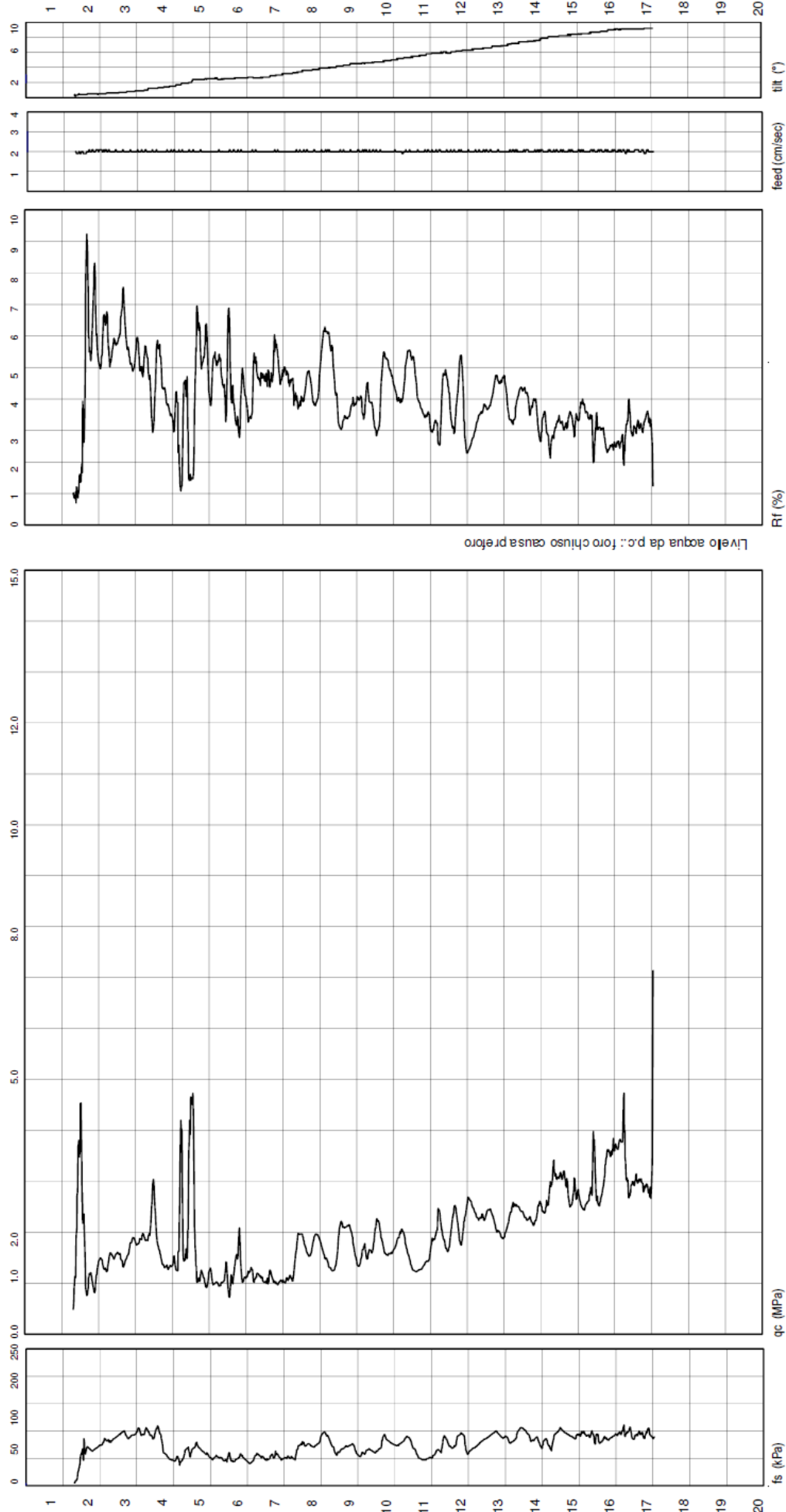
Indagini Geognostiche

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

C P T E (electric cone penetration test) N. 9

Rapporto di Prova N. 21.0616/RSP

Committente : Plann.Ing
Località : Maranello (MO)
Attrezzatura: Punta Pagani Mod. MKJ387 - Penetrometro da 200 kN
Note: ---
Quota : ---
Preforo : 130.00 cm
Data Prova : 30/08/2021
Codice Lavoro : 2021.124



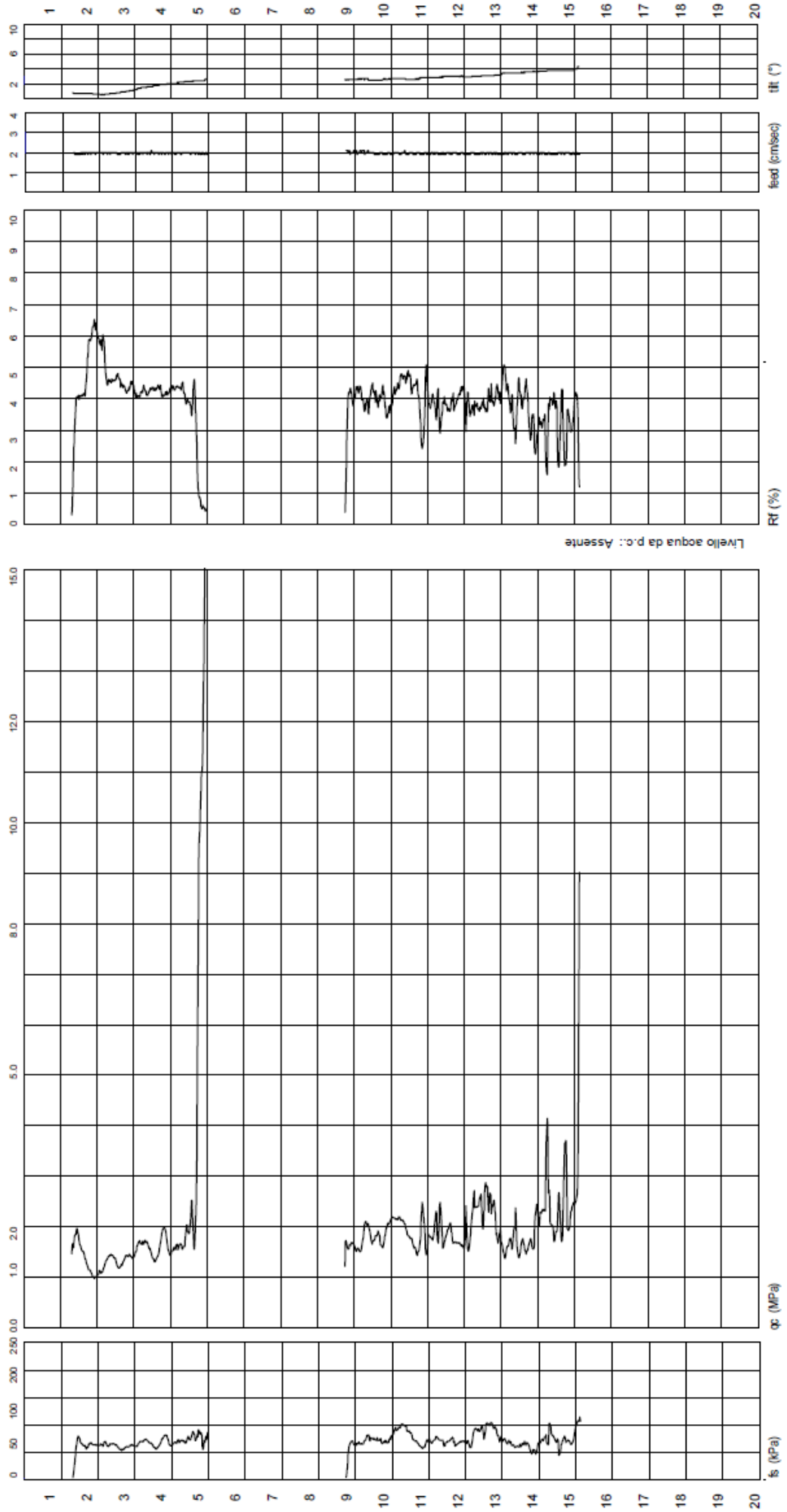
Procedura di Prova	Normativa di riferimento	Rapporto di Prova N°	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
IO_004	ASTM D 5778-12	21.0616/RSP	0	30/08/2021	Dr. Conti	Dr. Luca Conti

GEO-PROBE S.r.l.
Indagini Geognostiche
40033 Casalecchio di Reno (BO)
Via Cimarosa, 119 - Tel. 051/61.33.072

C P T E (electric cone penetration test) N. 10

Rapporto di Prova N. 21.0617/RSP

Committente : Plann.Ing
Località : Maranello (MO)
Attrezzatura: Punta Pagani Mod. MKJ386 - Penetrometro da 200 kN
Note: ---
Quota : ---
Preforo : 130,00 cm
Data Prova : 30/08/2021
Codice Lavoro : 2021.124
Cantiere: via Trebbo



Procedura di Prova	Normativa di riferimento	Rapporto di Prova N°	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
IO_004	ASTM D 5778-12	21.0617/RSP	0	30/08/2021	Dr. Conti	Dr. Luca Conti

Penetrometrie dinamiche superpesanti

Committente : Plann.Ing
 Località : Maranello (MO)
 Cantiere : via Trebbo
 n° prova : 7
 Profondità falda : 5,60 m
 Attrezzatura: Penetrometro dinamico Emilia-DPSH
 Note: ---

Rapporto di prova N°: **21.0614 /RSP**

Data prova: 30/08/2021
 Quota: ---
 Codice lavoro: 2021.124
 Procedura di prova: ---

prof. (m)	N	qd MPa	
0,20	4	4,2	m 0
0,40	4	4,2	
0,60	5	5,3	
0,80	4	4,2	
1,00	4	4,2	m 1
1,20	5	4,8	
1,40	4	3,9	
1,60	4	3,9	
1,80	3	2,9	
2,00	4	3,9	m 2
2,20	4	3,6	
2,40	6	5,4	
2,60	1	0,9	
2,80	6	5,4	
3,00	6	5,4	m 3
3,20	16	13,3	
3,40	23	19,2	
3,60	17	14,2	
3,80	25	20,8	
4,00	26	21,7	m 4
4,20	21	16,4	
4,40	12	9,4	
4,60	18	14,0	
4,80	12	9,4	
5,00	16	12,5	m 5
5,20	18	13,2	
5,40	14	10,2	
5,60	15	11,0	
5,80	9	6,6	
6,00	11	8,0	m 6
6,20	6	4,1	
6,40	12	8,3	
6,60	13	9,0	
6,80	17	11,7	
7,00	15	10,3	m 7
7,20	13	8,5	
7,40	14	9,1	
7,60	3	2,0	
7,80	4	2,6	
8,00	4	2,6	m 8
8,20	6	3,7	
8,40	7	4,3	
8,60	8	4,9	
8,80	8	4,9	
9,00	8	4,9	m 9
9,20	10	5,9	
9,40	11	6,5	
9,60	13	7,6	
9,80	14	8,2	
10,00	13	7,6	m 10

Revisione	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
0	31/08/2021	Dr. Conti	Dr. Luca Conti

Committente : Plann.Ing
 Località : Maranello (MO)
 Cantiere : via Trebbo
 n° prova : 8
 Profondità falda : 5,20 m
 Attrezzatura: Penetrometro dinamico Emilia-DPSH
 Note: ---

Rapporto di prova N°: **21.0615 /RSP**

Data prova: 30/08/2021
 Quota: ---
 Codice lavoro: 2021.124
 Procedura di prova: ---

prof. (m)	N -	qd MPa	
0,20	18	19,0	m 0
0,40	20	21,1	
0,60	15	15,8	
0,80	12	12,7	
1,00	12	12,7	m 1
1,20	9	8,7	
1,40	6	5,8	
1,60	6	5,8	
1,80	12	11,6	m 2
2,00	19	18,4	
2,20	22	19,7	
2,40	26	23,3	
2,60	18	16,1	m 3
2,80	10	9,0	
3,00	13	11,7	
3,20	12	10,0	
3,40	9	7,5	m 4
3,60	12	10,0	
3,80	22	18,3	
4,00	17	14,2	
4,20	22	17,1	m 5
4,40	12	9,4	
4,60	13	10,1	
4,80	12	9,4	
5,00	10	7,8	m 6
5,20	22	16,1	
5,40	12	8,8	
5,60	11	8,0	
5,80	13	9,5	m 7
6,00	11	8,0	
6,20	11	7,6	
6,40	15	10,3	
6,60	14	9,7	m 8
6,80	9	6,2	
7,00	5	3,4	
7,20	7	4,6	
7,40	5	3,3	m 9
7,60	7	4,6	
7,80	8	5,2	
8,00	9	5,9	
8,20	7	4,3	m 10
8,40	8	4,9	
8,60	10	6,2	
8,80	11	6,8	
9,00	10	6,2	m 10
9,20	8	4,7	
9,40	9	5,3	
9,60	12	7,1	
9,80	12	7,1	
10,00	13	7,6	

Revisione	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
0	31/08/2021	Dr. Conti	Dr. Luca Conti

Committente : Plann.Ing
 Località : Maranello (MO)
 Cantiere : via Trebbo
 n° prova : 10
 Profondità falda : -
 Attrezzatura: Penetrometro dinamico Emilia-DPSH
 Note: ---

Rapporto di prova N°: **21.0617 /RSP**

Data prova: 30/08/2021
 Quota: ---
 Codice lavoro: 2021.124
 Procedura di prova: ---

prof. (m)	N -	qd MPa	
0,20	46	48,5	m 0
0,40	31	32,7	
0,60	14	14,8	
0,80	16	16,9	
1,00	11	11,6	m 1
1,20	4	3,9	
1,40	4	3,9	
1,60	4	3,9	
1,80	3	2,9	
2,00	4	3,9	m 2
2,20	4	3,6	
2,40	4	3,6	
2,60	4	3,6	
2,80	3	2,7	
3,00	4	3,6	m 3
3,20	5	4,2	
3,40	4	3,3	
3,60	4	3,3	
3,80	4	3,3	
4,00	5	4,2	m 4
4,20	4	3,1	
4,40	5	3,9	
4,60	16	12,5	
4,80	18	14,0	
5,00	20	15,6	m 5
5,20	21	15,4	
5,40	24	17,6	
5,60	16	11,7	
5,80	13	9,5	
6,00	18	13,2	m 6
6,20	10	6,9	
6,40	12	8,3	
6,60	16	11,0	
6,80	18	12,4	
7,00	20	13,8	m 7
7,20	20	13,0	
7,40	10	6,5	
7,60	18	11,7	
7,80	13	8,5	
8,00	18	11,7	m 8
8,20	16	9,9	
8,40	9	5,6	
8,60	8	4,9	
8,80	3	1,9	

Revisione	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
0	31/08/2021	Dr. Conti	Dr. Luca Conti

GEO-PROBE s.r.l.

40033 Casalecchio di Reno (BO)

Via Cimarosa, 119 - Tel. 051/61.33.072

P.I. 04135500371

D P S H 7

Data prova: 30/08/2021

Quota ---

Codice lavoro: 2021.124

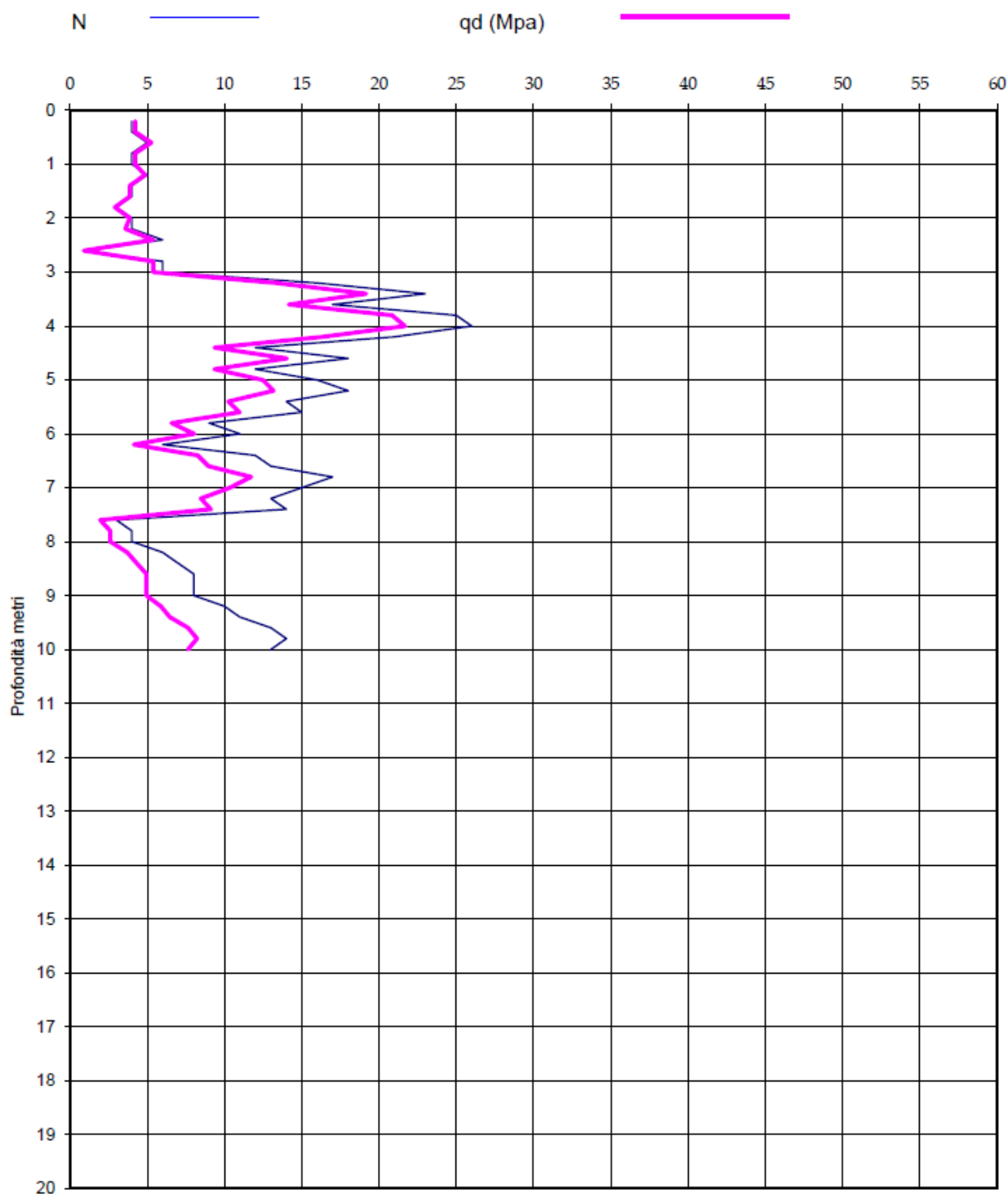
Committente: Plann.Ing

Rapporto di prova N. 21.0614 /RSP

Località: Maranello (MO)

via Trebbo

Attrezzatura: Penetrometro dinamico Emilia-DPSH



Note: ---

Profondità acqua da p.c. : 5,60 m

GEO-PROBE S.r.l. Indagini Geognostiche

Procedure di prova	Rapporto di prova N°	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
---	21.0614 /RSP	0	31/08/2021	Dr. Conti	Dr. Luca Conti

GEO-PROBE s.r.l.

40033 Casalecchio di Reno (BO)

Via Cimarosa, 119 - Tel. 051/61.33.072

P.I. 04135500371

D P S H 8

Data prova: 30/08/2021

Quota ---

Codice lavoro: 2021.124

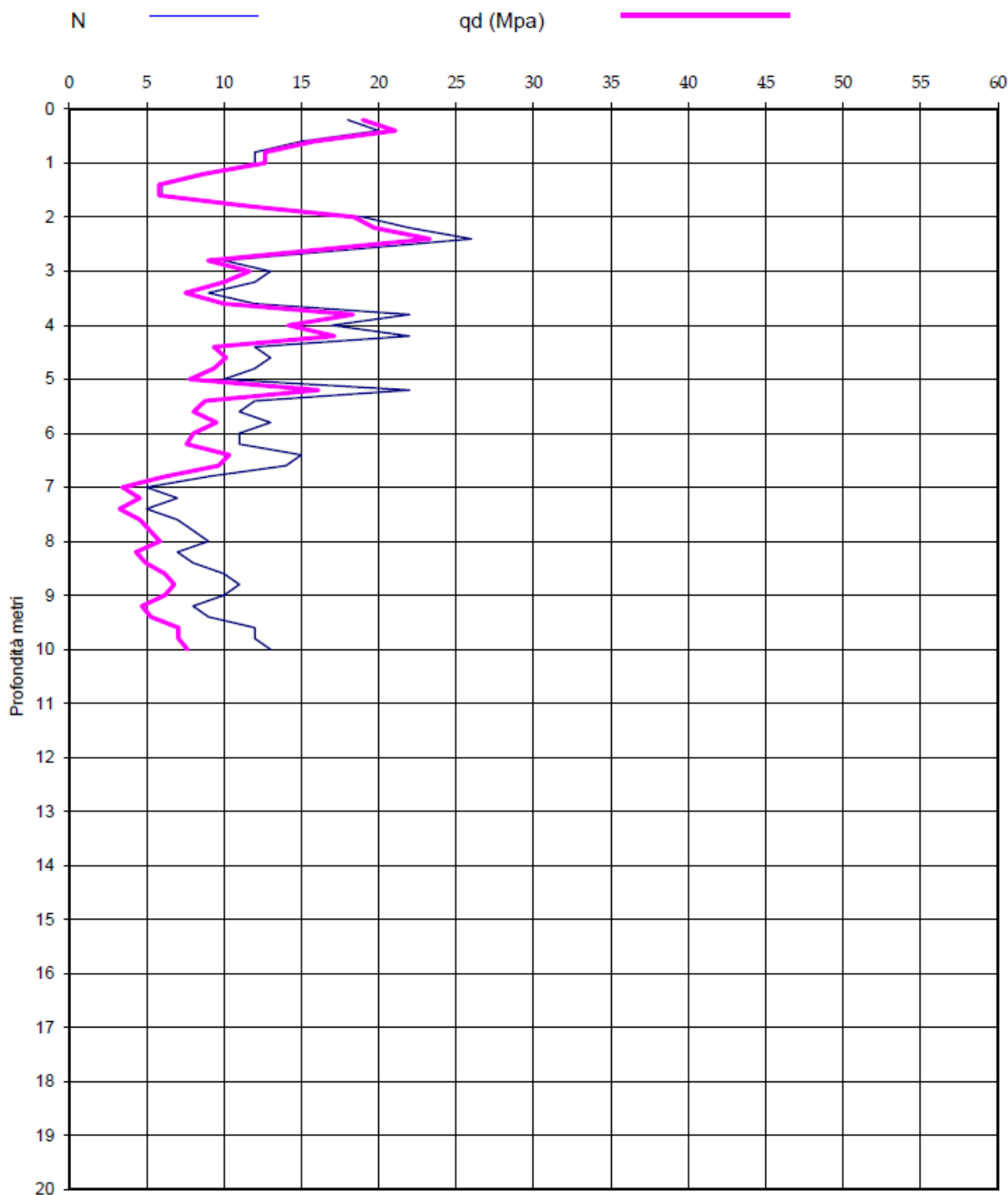
Committente: Plann.Ing

Rapporto di prova N. 21.0615 /RSP

Località: Maranello (MO)

via Trebbo

Attrezzatura: Penetrometro dinamico Emilia-DPSH



Note: ---

GEO-PROBE S.r.l. Indagini Geognostiche

Profondità acqua da p.c. : 5,20 m

Procedure di prova	Rapporto di prova N°	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
---	21.0615 /RSP	0	31/08/2021	Dr. Conti	Dr. Luca Conti

GEO-PROBE s.r.l.

40033 Casalecchio di Reno (BO)

Via Cimarosa, 119 - Tel. 051/61.33.072

P.I. 04135500371

D P S H 10

Data prova: 30/08/2021

Quota ---

Codice lavoro: 2021.124

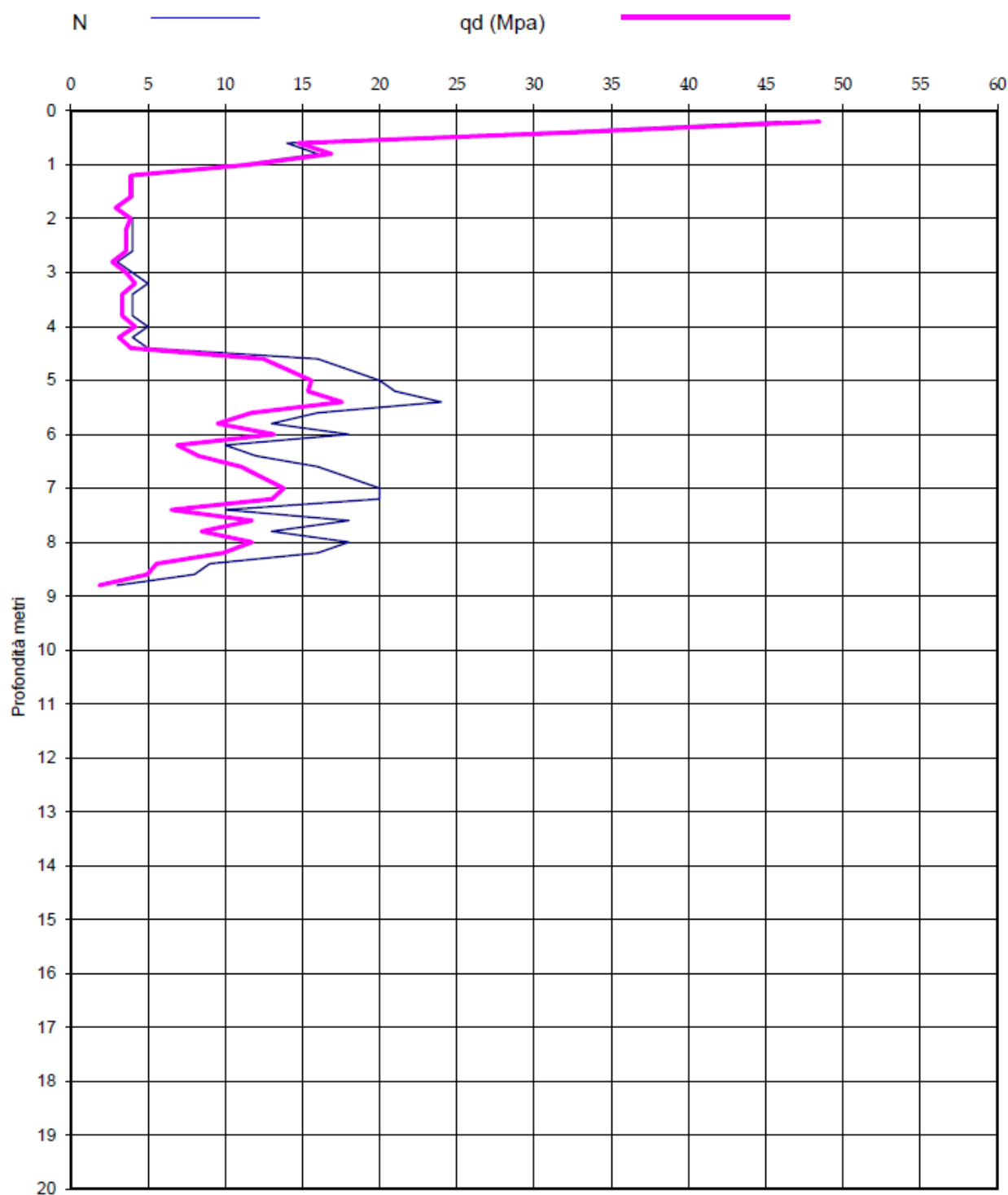
Committente: Plann.Ing

Rapporto di prova N. 21.0617 /RSP

Località: Maranello (MO)

via Trebbo

Attrezzatura: Penetrometro dinamico Emilia-DPSH



Note: ---

Profondità acqua da p.c. : -

GEO-PROBE S.r.l. Indagini Geognostiche

Procedure di prova	Rapporto di prova N°	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
---	21.0617 /RSP	0	31/08/2021	Dr. Conti	Dr. Luca Conti

Carotaggi continui

 SOGEO INDAGNI GEOGNOSTICHE ED AMBIENTALI Via S. Pietro n. 49 - 48022 S. Pietro al Taro (RA) Tel. 0545202042 - Fax 054534443 - E-mail: sogeo@sogeo.it Concessione Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore C Decreto n. 506754 del 06/02/2010	COMMITTENTE: Geo-Probe s.r.l.		SOND.N°: S.1	PROF.(m): 20.00
	CANTIERE: Via Nuvolari - Maranello (MO)		QUOTA (m): p.d.c.	
	PERFORATRICE: Elettrici EK200/STR		LATITUDINE (°):	
	METODO PERFORAZ.: Carotaggio continuo		LONGITUDINE (°):	
	RIVESTIMENTO: Ø 127 mm		DATA INIZ-FINE: 26/08/2021-26/08/2021	
PIEZOMETRO:		ATTREZZO PERFORAZ.: Carotiere semplice Ø 101 mm		SCALA: 1:100
RIF.PREV.N°: 176-21	CERTIFICATO N°: C21-071-1	RAPPORTO N°: -----	DATA DI EMISSIONE: 30/08/2021	PAGINA N°: 1 di 1

Scala 1:100	P.P. I [daN/cm²]	Vane Test [daN/cm²]	Profondità'	Stratigrafia	Descrizione	Campioni	Campioni Rim.	S.P.T. [n. colpi] P.A.	Falda	Pz.Norton
1			1.00		Limo di colore bruno, con ghiaia e apparti radicali					
2	> 6									
3	> 6 2.9	0.40								
4	5.5									
5	1.3 5.0 5.1	0.50								
6	4.3 4.3				Alternanza di limo e limo debolmente argilloso, di colore bruno chiaro, marrone da -6.50 a -7.40 m. Presenza diffusa di calcinelli					
7	4.1 1.3	1.40 0.50								
8	3.8 3.6	1.80 1.60								
9	4.5 4.6									
10	4.7 3.9	1.50								
11	2.6 3.1	0.90 1.40	10.00							
12								10.65 33/26/27 11.10		
13					Alternanza di ghiaia media fine, subarrotondata, in matrice limosa e di limo con ghiaia. Matrice di colore bruno			12.00 28/11/32 12.45		
14										
15										
16	3.1 3.0 3.3	1.60 1.40 1.60	15.50							
17	2.7	1.60	16.70		Limo argilloso di colore bruno, con screziature ocra e resti di materiale organico di colore nerastro. Da -16.70 a -17.40 m da debolmente ghiaioso a ghiaioso					
18	1.6	0.70	17.40							
19	1.6 0.8 0.8	0.80 0.40 0.40	18.30							
20					Limo argilloso di colore nocciola, talora debolmente ghiaioso					
21			20.00							
22										
23										
24										
25										

Lo Sperimentatore

Il Direttore del Laboratorio

 SOGEO INDAGINI GEOGNOSTICHE ED AMBIENTALI Via S. Pietro n. 43 - 48022 S. Pietro di LIGO (RA) tel. 0542/2042 - fax 0545/34463 - E-mail: sogeo@sogeo.it Consulenze, Missioni, Istruttorie Rapporti - Settore C Decr. n. 0067/94 del 05/02/2010	COMMITTENTE: Geo-Probe s.r.l.		SOND.N°: S.2	PROF.(m): 20.00
	CANTIERE: Via Nuvolari - Maranello (MO)		QUOTA (m): p.d.c.	
	PERFORATRICE: Ellettari EK200/STR		LATITUDINE (°):	
	METODO PERFORAZ.: Carotaggio continuo		LONGITUDINE (°):	
	ATTREZZO PERFORAZ.: Carotiere semplice Ø 101 mm		DATA INIZ-FINE: 25/08/2021-25/08/2021	
RIVESTIMENTO: Ø 127 mm	PIEZOMETRO: Installato piezometro Norton Ø2,5" a -20.00 m dal p.d.c. (fessurato da -4.5 a -20.0 m)		SCALA: 1:100	
RIF.PREV.N°: 176-21	CERTIFICATO N°: C21-071-2	RAPPORTO N°: -----	DATA DI EMISSIONE: 30/08/2021	PAGINA N°: 1 di 1

Scala 1:100	P.P. I [daN/cm²]	Vane Test [daN/cm²]	Profondità'	Stratigrafia	Descrizione	Campioni	Campioni Rim.	S.P.T. [n. colpi] P.A.	Falda	Pz.Norton
1	> 6				Limo argilloso di colore variabile da marrone a marrone scuro, con calcinelli e striature da -1.80 m					
2	> 6									
3	> 6									
4	2.2	0.80	2.60		Limo sabbioso passante a sabbia con limo, di colore nocciola chiaro, con striature arancioni					
5	2.4	0.70								
6	1.3	0.80	5.20							
7	2.5	1.30								
8	2.2	0.80			Limo argilloso-argilla limosa di colore grigio-nocciola fino a -6.20 m, poi grigio-verde, con rari calcinelli					
9	1.2	0.80								
10	0.6	0.40	9.40							
11					Sabbia limosa passante a sabbia limo ghiaiosa, con un livello di ghiaia limo sabbiosa da -10.50 a -10.80 m, con clasti Ømax = 4 cm, subarrotondati					
12	1.2	1.20	12.00					11.50 3/4/6 11.95		
13	2.2	1.00			Limo sabbioso passante a limo argilloso, di colore nocciola chiaro, con livelli ricchi in calcinelli					
14	2.0	1.00	14.00							
15										
16										
17					Ghiaia con sabbia e limo passante a limo con ghiaia e sabbia, di colore nocciola. Clasti Ømax 5 cm, subarrotondati. La frazione limosa scompare con la profondità			16.50 18/19/22 16.95		
18										
19	1.0	0.30	18.50							
20	0.9	0.50	20.00		Sabbia limosa passante a limo sabbioso, di colore nocciola					
21										20.00
22										
23										
24										
25										

Note:
livello acqua rilevato a fine sondaggio.

Lo Sperimentatore

Il Direttore del Laboratorio

 SOGEO S.p.A. INDAGNI GEOSCOSSICHE ED AMBIENTALI Via S. Pietro n. 45 - 48022 S. Pietro di UGO (RA) tel. 0542/25142 - Fax 0545/34463 - E-mail: sogeo@sogeo.it Consulenza - Istruttoria - Relazioni - Rapporti - Software C Decr. n. 0267/54 del 05/07/2010		COMMITTENTE: Geo-Probe s.r.l.	SOND.N°: S.3	PROF.(m): 20.00
		CANTIERE: Via Nuvolari - Maranello (MO)	QUOTA (m): p.d.c.	
		PERFORATRICE: Elettrici EK200/STR	LATITUDINE (°):	
		METODO PERFORAZ.: Carotaggio continuo	LONGITUDINE (°):	
RIVESTIMENTO: Ø 127 mm		ATTREZZO PERFORAZ.: Carotiere semplice Ø 101 mm	DATA INIZ-FINE: 26/08/2021-26/08/2021	
PIEZOMETRO:			SCALA: 1:100	
RIF.PREV.N°: 176-21	CERTIFICATO N°: C21-071-3	RAPPORTO N°: -----	DATA DI EMISSIONE: 30/08/2021	PAGINA N°: 1 di 1

Scala 1:100	P.P. I [daN/cm²]	Vane Test [daN/cm²]	Profondità'	Stratigrafia	Descrizione	Campioni	Campioni Rim.	S.P.T. [n. colpi] P.A.	Falda	Pz.Norton
1			0.10		Suolo di colore nero, con apparati radicali					
2			1.20		Limo sabbioso, a tratti debolmente ghiaioso, di colore bruno					
3			2.20		Ghiaia fine e media, subarrotondata, con sabbia, di colore grigio			2.20 22/13/12 2.65		
4										
5					Ghiaia media, subarrotondata, con limo e sabbia di colore bruno, grigio-azzurro da -6.30 m . Presenti livelli decimetrici con aumento della percentuale di matrice.			4.00 10/10/5 4.45		
6										
7			7.20							
8	3.2	1.70								
9	1.6	0.70								
10	1.0	0.60								
11	1.5	0.80								
12	2.5	1.20								
13	3.3	1.60								
14	2.5	1.60								
15	2.1	1.00								
16	3.0	1.40								
17	2.6	1.20			Limo argilloso di colore grigio-azzurro che passa gradualmente a bruno-nocciola da -11.80 m. Presente livello di colore nocciola da -8.00 a -8.50 m. Presenti calcinelli e alterazioni di colore nero					
18	2.5	1.20								
19	3.8	2.00								
20	2.4	1.40								
21	3.7	1.60								
22	3.4	1.60								
23	3.2	1.40								
24	3.3	1.80								
25	2.2	1.20								
26	1.6	1.20								
27	2.4	1.10	14.60		Limo argilloso, debolmente sabbioso, di colore nocciola e ocra. Presente livello debolmente ghiaioso da -15.70 a -15.80 m					
28			15.80							
29	2.4	1.00								
30	3.0	1.10								
31	2.2	1.20								
32	2.0	1.30								
33	1.6	0.70								
34	1.8	1.00			Limo argilloso di colore nocciola, debolmente sabbioso da -18.60 a -19.30 m e da -19.80 a -19.90 m. Presenti sporadici calcinelli					
35	2.8	0.80								
36	1.8	1.10								
37										
38	2.3	1.20								
39	1.7	1.00	20.00							
40										
41										
42										
43										
44										
45										

Lo Sperimentatore

Il Direttore del Laboratorio

**SOGEO**[®]

INDAGINI GEOGNOSTICHE ED AMBIENTALI
Via S. Pietro n. 43 - 48022 S. Pietro di LUGO (RA)
Tel. 054522042 - Fax 054534443 - E-mail: sogeo@sogeo-ist.com
Concessione Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore C.
Decr. n. 005754 del 05/07/2010

SCHEMA INSTALLAZIONE STRUMENTI

Piezometro "Norton" (Norm. rif. A.G.I. 1977)

COMMITTENTE: Geo-Probe s.r.l.

SONDAGGIO N°: S.2

CANTIERE: Via Nuvolari

RIF. PREV. N: 176-21

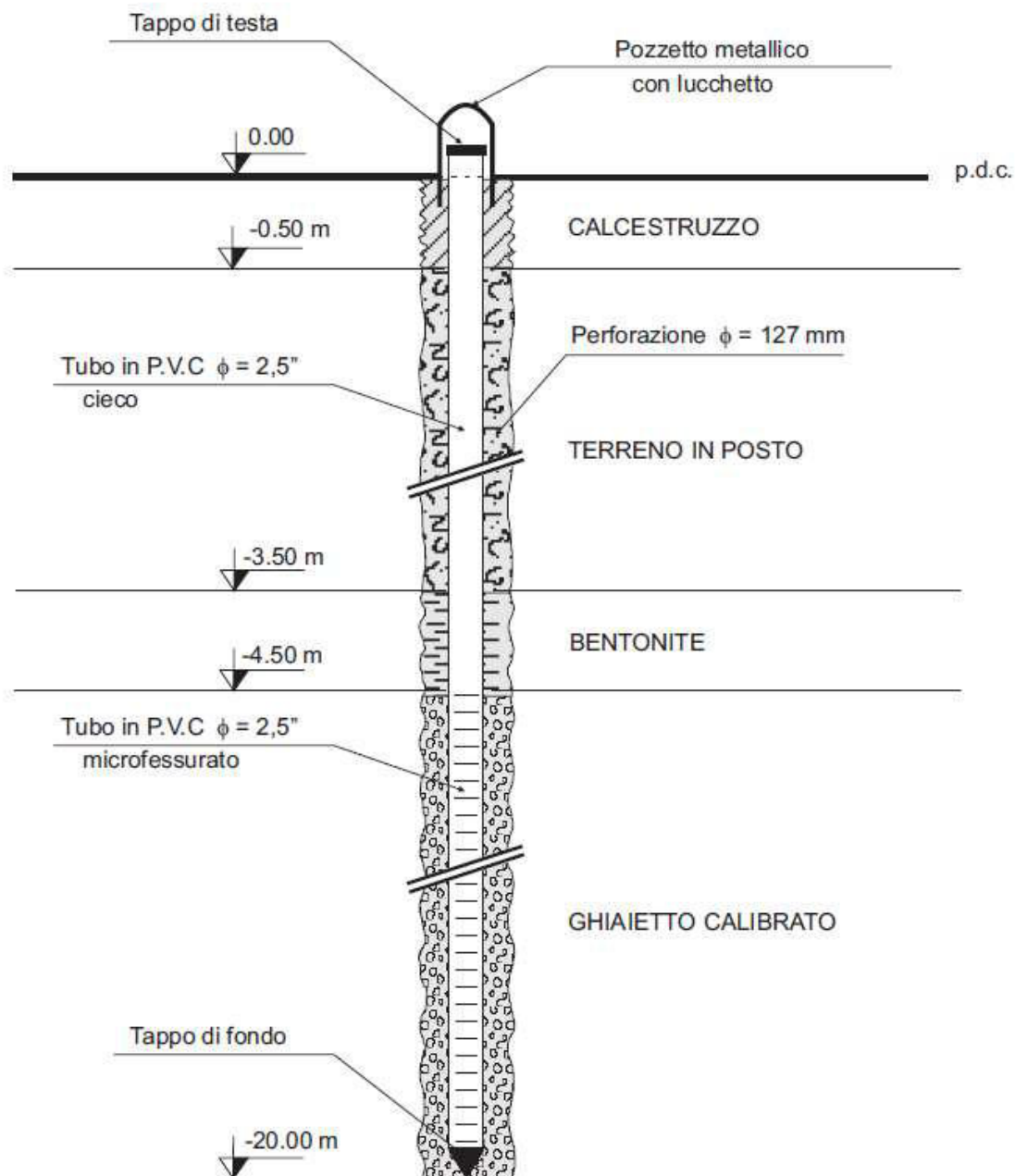
LOCALITA': Maranello (MO)

DATA DI ESECUZIONE: 25/08/2021

N° CERTIFICATO: C21-071-2

N° RAPPORTO: -----

DATA DI EMISSIONE: 30/08/2021



N.B: SCHEMA NON IN SCALA

Lo Sperimentatore

Note ed osservazioni:

Livello acqua rilevato a fine sondaggio a -5.00 m dal p.d.c.

Il Direttore del Laboratorio



SOGEO spa
Ricerca Geotecnica ed Ambientale
Via S. Paolo n. 43 - 48022 S. Polo d'Urgo (RA)
Tel. 05452042 - Fax 054534443 - E-mail: sogeo@sogeo-silcom.it

COMMITTENTE: Geo-Probe s.r.l.

RIF. N° : 176-21

LOCALITA': Maranello (MO)

ALLEGATO A: C21-71-1

SONDAGGIO N: S1

DATA: 26/08/2021



Cassa 2 da -4.0 a -8.0 m



Cassa 4 da -12.0 a -16.0 m



Cassa 1 da 0.0 a -4.0 m



Cassa 3 da -8.0 a -12.0 m



SOGEO[®] s.r.l.

INGEGNERIA GEOLOGICA E PROTEZIONE DEL TERRITORIO
Via S. Pietro n. 43 - 40025 Poio di Lughe' (RA)
Tel. 0546/22042 - Fax 0546/34443 - E-mail: sogeo@sogeo-ai.com

COMMITTENTE: Geo-Probe s.r.l.

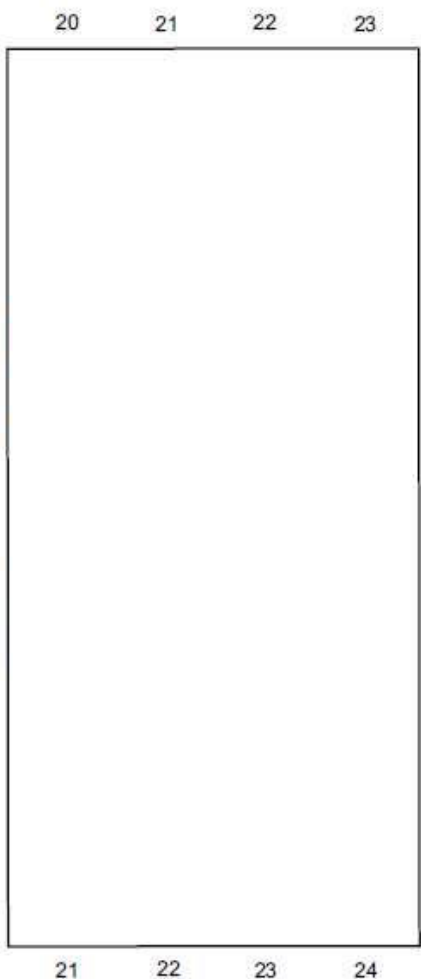
RIF. N°: 176-21

LOCALITA': Maranello (MO)-

ALLEGATO A: C21-071-1

SONDAGGIO N: S1

DATA: 26/08/2021



Posizione sondaggio



SOGEO s.r.l.
INGEGNERIA GEOGNOSTICA ED AMBIENTALE
Via S. Pietro n. 43 - 48022 S. Pietro di Lago (RA)
Tel. 054520292 - Fax 054534443 - E-mail: sogeo@sogeo.it - www.sogeo.it

COMMITTENTE: Geo-Probe s.r.l.
RIF. N°: 176-21

LOCALITA': Maranello (MO)
ALLEGATO A: C21-071-2

SONDAGGIO N: S2
DATA: 25/08/2021



Cassa 2 da -4.0 a -8.0 m



Cassa 4 da -12.0 a -16.0 m



Cassa 1 da 0.0 a -4.0 m



Cassa 3 da -8.0 a -12.0 m

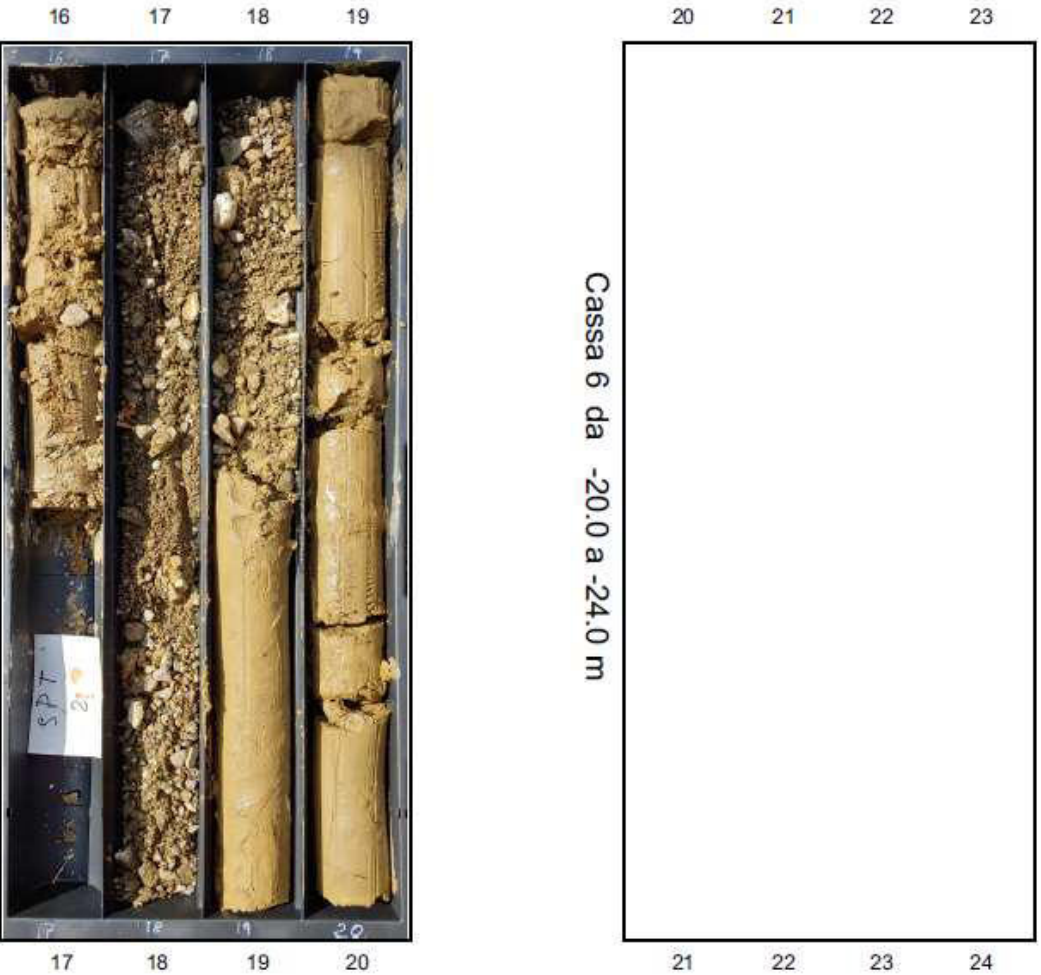


SOGEO
s.r.l.
NOVA GEOTECNICHE ED AMBIENTI
Via S. Pietro n. 43 - 48022 S. Pietro di Lugo (RA)
Tel. 054523042 - Fax 054534443 - E-mail: sogeo@sogeo-rl.com

COMMITTENTE: Geo-Probe s.r.l.
RIF. N° : 176-21

LOCALITA': Maranello (MO)-
ALLEGATO A: C21-071-2

SONDAGGIO N: S2
DATA: 26/08/2021



Posizione sondaggio



SOGEO s.r.l.
Ricerca Geotecnica ed Ambientale
Via S. Paolo n. 43 - 48022 S. Pietro di Lugo (RA)
Tel. 054522042 - Fax 054534443 - E-mail: sogeo@sogeo-rl.com

COMMITTENTE: Geo-Probe s.r.l.

RIF. N° : 176-21

LOCALITA': Maranello (MO)

ALLEGATO A: C21-71-3

SONDAGGIO N: S3

DATA: 26/08/2021



Cassa 2 da -4.0 a -8.0 m



Cassa 4 da -12.0 a -16.0 m



Cassa 1 da 0.0 a -4.0 m



Cassa 3 da -8.0 a -12.0 m

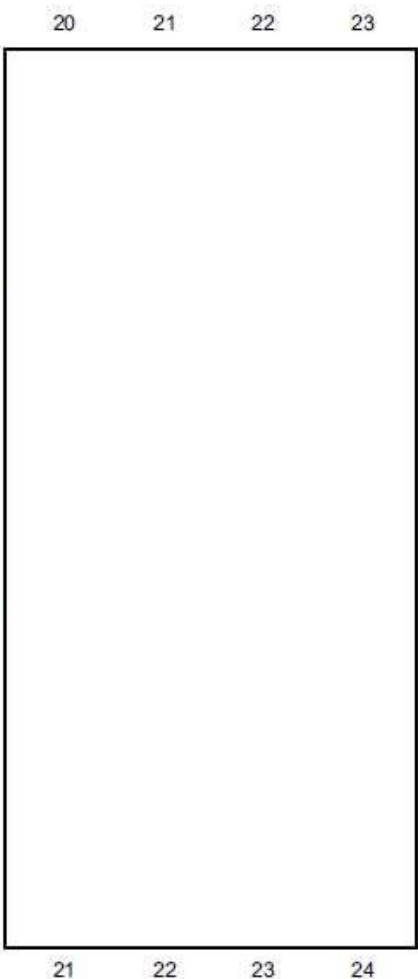


SOGEO s.r.l.
MURARI E COOPERAZIONE EURO-MERIDIONALE
Via S. Pietro n. 43 - 41022 S. Pietro d. Lupo (PA)
Tel. 0942/2042 - Fax 0942/34445 - E-mail: sogeo@sogeo-srl.com

COMMITTENTE: Geo-Probe s.r.l.
RIF. N° : 176-21

LOCALITA': Maranello (MO)-
ALLEGATO A: C21-071-3

SONDAGGIO N: S3
DATA: 26/08/2021



Cassa 6 da -20.0 a -24.0 m



Cassa 5 da -16.0 a -20.0 m



Posizione sondaggio

Indagine sismica



Studio Tecnico Associato di Consulenze di Geologia e Ambiente del Dott. Geol. F. Barbieri e del Dott. Geol. M. Ropa
Via E. Fermi n° 11/A – 40017 SAN GIOVANNI IN PERSICETO (BO) Tel. +39 051 6871113 FAX +39 051 6874328
C.F. e Partita IVA 04112290376
Email: cgastudio@cgastudio.eu

Committente:	Geoprobe S.r.l.
Prova:	MASW 24 ch
Località:	Via Tazio Nuvolari - Maranello (MO)
Data:	9 settembre 2021
Certificato:	A1569GF793MaswL2



SOMMARIO

SOMMARIO	2
INTRODUZIONE.....	3
METODOLOGIA D'INDAGINE	4
INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA MASW.....	4
MODALITÀ ESECUTIVE	4
ELABORAZIONE DATI	6
SISMICA CON METODOLOGIA MASW.....	6
<i>Analisi delle immagini di dispersione</i>	<i>6</i>
<i>Interpretazione</i>	<i>6</i>
Densità Dinamica:	7
Modulo di taglio:	7
Modulo di Young:	7
PRESENTAZIONE DEI RISULTATI	8
SISMOSTRATIGRAFIA.....	8
DETERMINAZIONE DELLA V_{sEQ}	8
PROPRIETÀ GEOFISICHE DEI TERRENI.....	9
APPENDICE 1	10



INTRODUZIONE

Su incarico di Geoprobe S.r.l. è stato redatto questo rapporto di prova relativo all'esecuzione di una prova sismica MASW a uno shot in Via Tazio Nuvolari - Maranello (MO) .

L'ubicazione della zona di indagine è rappresentata in figura n° 1.

Lo studio ha seguito il seguente sviluppo:

- esecuzione di n° 1 prova sismica a shot singolo con metodo MASW;
- elaborazione dei dati raccolti.



METODOLOGIA D'INDAGINE

INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA MASW

Il metodo MASW (*Multichannel Acquisition Surf Wave*) ha come obiettivo quello di ricostruire il profilo sismostratigrafico di un sito, valutando in particolare la distribuzione della velocità delle onde "S" sia per la ricostruzione del profilo del sottosuolo che per la definizione *in situ* della V_{s30} .

Al fine di migliorare il rapporto segnale disturbo per ogni punto di offset vengo eseguiti, in modalità iterativa, tre shots.

Il metodo MASW prevede la costruzione di una curva di dispersione per le onde di superficie, attraverso l'elaborazione di un'immagine di dispersione derivata dall'analisi della propagazione delle onde di Rayleigh e, quando necessario, delle onde di Love.

La tecnica di prospezione MASW utilizza quindi un'immagine rappresentativa delle frequenze delle onde superficiali, espressa in funzione della velocità di fase delle stesse. Nell'immagine di dispersione (*Over Tone Image*) viene inoltre enfatizzata cromaticamente l'ampiezza delle vibrazioni evidenziando così le aree corrispondenti al miglior rapporto segnale/disturbo.

Una volta individuata la sequenza di frequenze e velocità di fase corrispondenti alla più probabile distribuzione della dispersione nel sottosuolo esaminato (analisi della curva di dispersione) si procede alla ricostruzione delle stratigrafia rappresentativa della distribuzione delle velocità delle onde S tramite l'utilizzo di un algoritmo di inversione.

La tecnica di prospezione MASW può essere così schematizzata:

- acquisizione delle onde superficiali;
- costruzione delle curve di dispersione (grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza);
- inversione delle curve di dispersione per ottenere il profilo verticale delle V_s .

MODALITÀ ESECUTIVE

Le indagini MASW vengono eseguite disponendo sul terreno almeno 24 sensori (geofoni), posti ad intervallo costante, collegati ad un sismografo mediante un cavo multipolare.

Dopo l'allestimento del dispositivo di ricezione si provvede a generare artificialmente vibrazioni impulsive ad alta frequenza in corrispondenza di un punto prestabilito lungo il profilo (*punto di scoppio*): nello stesso istante di partenza della vibrazione viene trasmesso al sismografo il comando di avvio della registrazione (*trigger*). Da questo istante inizia l'acquisizione digitale, con intervallo di campionamento pari a 0.25 ms e tempo di registrazione pari ad almeno 1 secondo.

Ogni scoppio ed ogni registrazione per ogni distanza di offset se necessario vengono ripetuti tre volte.



Lo strumento utilizzato è il sismografo digitale X610S-S di produzione M.A.E. s.r.l. ad acquisizione digitale con dinamica a 24 bit.

Gli impulsi sismici sono stati generati con l'utilizzo di una massa battente da 10.0 Kg.

Nel caso specifico la geometria dell'array di indagine è riassunta nella seguente tabella:

MASW	n° geofoni	Spacing [m]	Offset [m]	Lunghezza array [m]
L1	24	1.00	7.00	30.00

Tabella n° 1 - Array dello stendimento MASW.

Le caratteristiche del sismografo e dei geofoni utilizzati sono di seguito sinteticamente riassunte:

SISMOGRAFO M.A.E. X610-S

Convertitori: risoluzione 24 bit, tecnologia sigma-delta
Range dinamico: 144 dB (teorico)
Numero di campioni per evento: impostabile da 1024 a 21800 con incrementi di 512
Interfacce disponibili: LAN, USB, VGA
Auto-calibrazione interna dei convertitori prima di ogni acquisizione
Intervallo di campionamento: 1/30, 1/15, 1/7.5, 1/3.75, 0.5, 1.0, 2.0, 10.0, 20.0 ms
Archiviazione dati: in memoria FLASH interna (fino a 3GB disponibili) e/o su USB pen-drive rimovibile
Alimentazione: 12V DC con assorbimento medio di 1.5A
Display: LCD 11.2" con touch-screen integrato optical bonding
Dimensioni e peso: 46x32,7x17 cm, 8 Kg (cavi e sensori esclusi)
Condizioni ambientali: -20/80°C

Tabella n° 2 - Tabella delle caratteristiche del sismografo utilizzato.

GEOFONI GEOSPACE GS-11B

Natural Frequency	4.1 ± 0.75 Hz
Cold Resistance @ 25°C ± 5%	280 Ohm
Intrinsic Voltage Sensitivity with 280 Ohm Coil ± 10%	0.32 V/cm/s
Normalized Transduction Constant (V in/sec)	0.42 (sq root of R/s)
Open Circuit Damping	0.34 ± 20%
Damping Constant with 280 Ohm Coil	762
Optional Coil Resistance ± 5%	56.16 Ohm
Mounting Mass ± 5%	23.8 g
Typical Case to Coil Mount P-P	0.18 cm
Resonant Distortion with Driving Velocity of 0.7 in/sec (1.8 cm/sec) P-P	N/S

Dimensioni

Height (See Intrinside*)	3.35 cm
Diameter	3.18 cm
Weight	111 g

* measured length is 3.1428 cm

Tabella n° 3 - Tabella delle caratteristiche dei geofoni utilizzati.



ELABORAZIONE DATI

SISMICA CON METODOLOGIA MASW

ANALISI DELLE IMMAGINI DI DISPERSIONE

Le immagini di dispersione rappresentano, in forma grafica, lo spettro di dispersione delle onde di Rayleigh che si propagano nel sottosuolo dell'area indagata.

Le immagini illustrano la dispersione vera e propria intesa come variazione della velocità di fase in funzione delle frequenze dello spettro. Evidenziano inoltre l'ampiezza delle vibrazioni (energia associata) utilizzando variazioni di toni di colori.

L'obiettivo dell'analisi dell'immagine di dispersione è l'individuazione del "tono fondamentale" della vibrazione (fundamental mode), distinguendolo da tutti gli ipertoni associati (higher tone) e dai rumori di fondo (noise).

L'individuazione del "tono fondamentale" permette di giungere alla principale chiave di lettura della prospezione cioè all'individuazione della "curva di dispersione" e quindi, tramite inversione, alla ricostruzione della sequenza sismostratigrafica del sito indagato.

INTERPRETAZIONE

Il profilo delle V_s è determinato sulla base di un algoritmo iterativo di inversione che utilizza i dati ottenuti dallo studio della curva di dispersione. L'interpretazione è stata effettuata per entrambi i metodi di filtrazione adottati.

L'algoritmo si basa sulle seguenti considerazioni:

- la frequenza è direttamente legata alla profondità di indagine (basse frequenze alte profondità);
- la velocità di fase dipende essenzialmente dalle proprietà elastiche dei materiali interessati dal propagarsi della perturbazione.

L'algoritmo di inversione tiene inoltre conto della necessità di soddisfare la seguente relazione:

$$z_f = a \lambda_f$$

dove:

z_f = profondità di propagazione della frequenza f ;

a = coefficiente adimensionale;

λ_f = lunghezza d'onda corrispondente alla frequenza f .

Le iterazioni necessarie per l'elaborazione in precedenza descritta avvengono tramite l'utilizzo di un programma di calcolo specifico (*Surfseis 6.7* del *Kansas Geological Survey*).



In Appendice 1 sono riportati sia i sismogrammi che le immagini di dispersione (*Over Tone Image*) relative alla somma di ogni shot effettuato, con relative curve di dispersione.

Per quanto concerne il calcolo dei parametri elastici sono state utilizzate le seguenti formule:

Densità Dinamica:

$$\gamma = 0.51V_p^{0.19}$$

Dove:

γ = densità del mezzo attraversato;

V_p = velocità onde di compressione;

Modulo di taglio:

$$G = \rho V_s^2$$

Dove:

ρ = massa volumica (γ/g);

γ = densità del mezzo attraversato;

g = accelerazione di gravità;

V_s = velocità onde di taglio;

Modulo di Young:

$$E = 2G(1 + \nu)$$

Dove:

G = modulo di taglio;

ν = Coefficiente di Poisson.



PRESENTAZIONE DEI RISULTATI

I certificati delle indagini sismiche MASW eseguite sono riportate in appendice 1.

SISMOSTRATIGRAFIA

La stratigrafia sismica delle singole prove è riportata nelle seguenti tabelle:

Strato	Spessore medio (m)	Vs (m/s)
1	2.15	223.36
2	2.69	266.07
3	3.36	332.60
4	4.20	388.62
5	5.25	407.82
6	6.56	410.45
7	8.20	410.62
8	10.25	403.24
9	12.81	385.41
10	13.86	482.03

Tabella n° 4 – Stratigrafia da prova sismica e velocità di propagazione dell'onda sismica Linea L1

DETERMINAZIONE DELLA V_{seq}

Utilizzando le metodologie e le formule di cui al paragrafo relativo alla metodologia MASW e seguendo le prescrizioni del D.M. 17.01.2018 la determinazione della V_{seq} è stata ottenuta utilizzando la formula:

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

dove:

h_i = spessore dello strato i esimo;

$V_{s,i}$ = Velocità onde di taglio dello strato i esimo;

N = numero degli strati;

H = profondità del substrato ($H = 30$ m nel caso di substrato a profondità maggiore di 30 m)

La V_{seq} , senza specifiche indicazioni dei progettisti, è calcolata per ogni shot di ogni linea sismica MASW eseguita a partire dal piano di campagna.



Veq [m/s]	358.88
------------------	---------------

Tabella n° 5 – Valore calcolato di V_{eq} Linea L1

PROPRIETÀ GEOFISICHE DEI TERRENI

In Appendice 1 sono rappresentate graficamente le colonne sismostratigrafiche relative ai parametri geofisici, di seguito riassunti in forma tabellare:

Prova Masw					
Profondità	Vp (m/s)	Vs (m/s)	γ_{din} (kN/m ³)	E (Mpa)	G0 (Mpa)
2.15	547.13	223.36	16.57	236.04	84.30
4.84	651.74	266.07	17.13	346.26	123.66
8.19	814.70	332.60	17.87	564.49	201.61
12.39	951.93	388.62	18.41	793.82	283.51
17.64	998.95	407.82	18.58	882.23	315.08
24.20	1005.39	410.45	18.60	894.72	319.54
32.40	1005.81	410.62	18.60	895.55	319.84
42.65	987.73	403.24	18.54	860.67	307.38
55.46	944.06	385.41	18.38	779.52	278.40
69.32	1180.73	482.03	19.18	1272.29	454.39

Tabella n° 6 – Parametri geofisici

San Giovanni in Persiceto, 9 settembre 2021

I Geologi :





APPENDICE 1

Figure ed elaborati grafici



COMMITTENTE: Geoprobe S.r.l.

CANTIERE: Via Tazio Nuvolari - Maranello (MO)

CONSULENZA GEOFISICA: Studio Tec. Ass. CGA

UBICAZIONE PROVA A1569GF793Maswl2





COMMITTENTE: Geoprobe S.r.l.

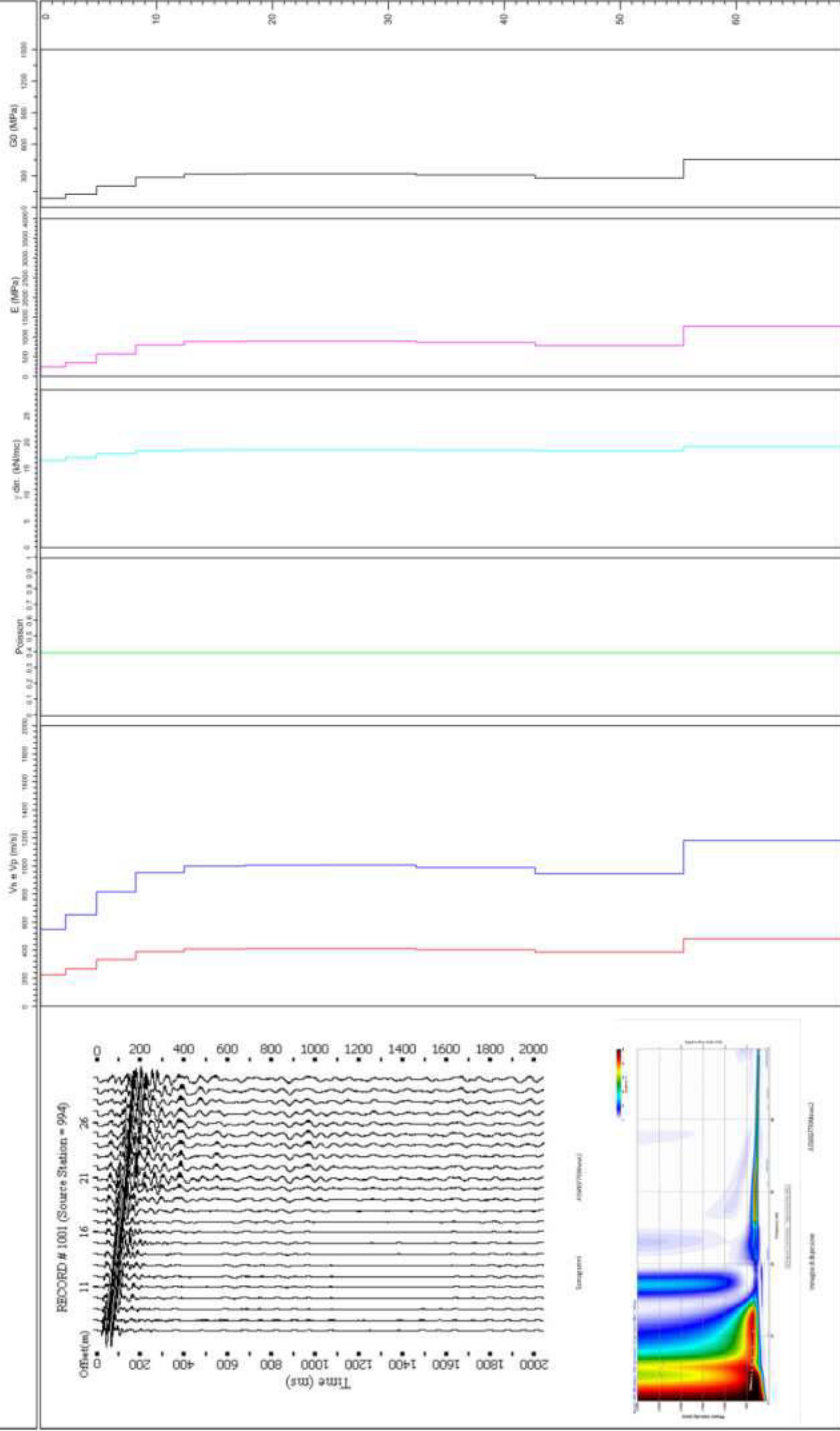
CANTIERE: Via Tazio Nuvolari - Maranello (MO)

PROVA: MASW a 1 Shot

CONSULENZA GEOFISICA: Studio Tec. Ass. CGA

DATA DI ESECUZIONE: 09/09/2021

CERTIFICATO N°: A1569GF793MaswL2





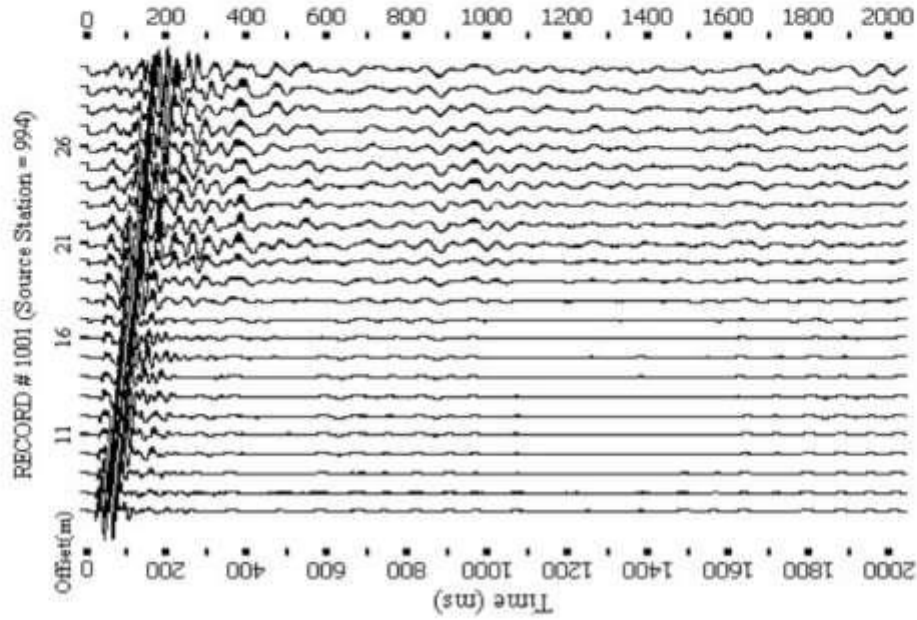
COMMITTENTE: Geoprobe S.r.l.

CANTIERE: Via Tazio Nuvolari - Maranello (MO)

PROVA: MASW a 1 Shot

CONSULENZA GEOFISICA: Studio Tec. Ass. CGA

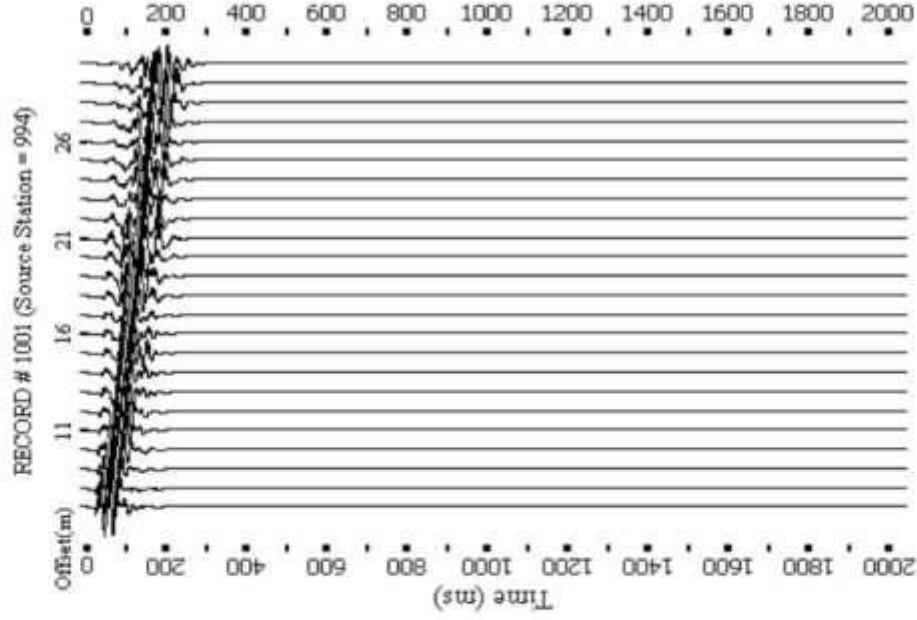
RAPPORTO DI FILTRAZIONE



Sismogrammi come acquisiti

Mute Top (L:\2021\A 1569 - GF 793 - Geoprobe
Ferrari - Maranello (MO)\IntA1569L2F1\A1569L2.dat)
Mute Velocity: 282 m/s
Tapering (ms): 102.147
Mute Start: Trace No. 1 at time 46.774 ms
Mute End: Trace No. 24 at time 353.594 ms
Mute Bottom (L:\2021\A 1569 - GF 793 - Geoprobe
Ferrari - Maranello (MO)\IntA1569L2F1\A1569L2.dat)
Mute Velocity: 222 m/s
Tapering (ms): 102.147
Mute Start: Trace No. 1 at time 84.473 ms
Mute End: Trace No. 24 at time 473.384 ms

Filtro utilizzato



Sismogrammi filtrati



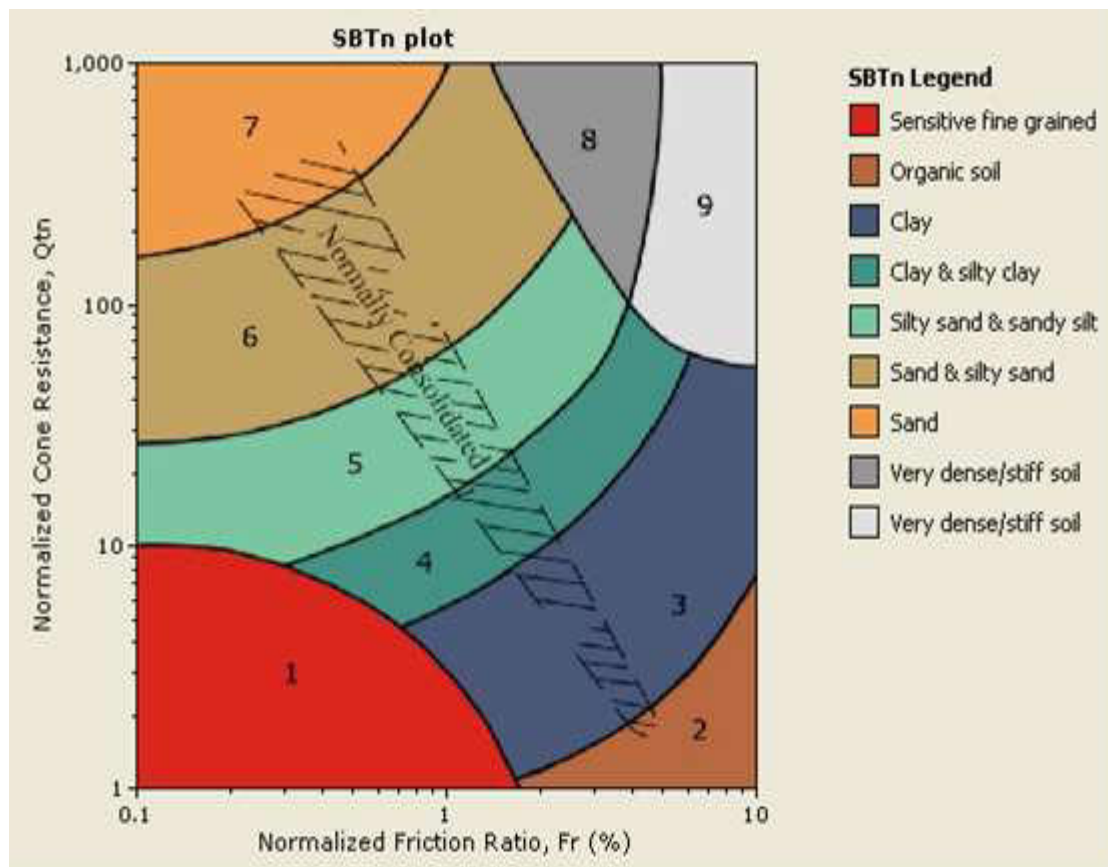
COMMITTENTE: Geoprobe S.r.l.
CANTIERE: Via Tazio Nuvolari - Maranello (MO)
PROVA: MASW a 1 Shot
DATA DI ESECUZIONE: 09/09/2021

REPERTORIO FOTOGRAFICO



Classificazione orientativa dei terreni *(Robertson, 1990)*

CLASSIFICAZIONE ORIENTATIVA DEI TERRENI IN BASE AI DATI
PENETROMETRICI STATICI Q_{tn} e R_f
(Robertson, 1990)



Geo-Probe S.r.l.

Indagini Geognostiche

40033 Casalecchio di Reno (BO)

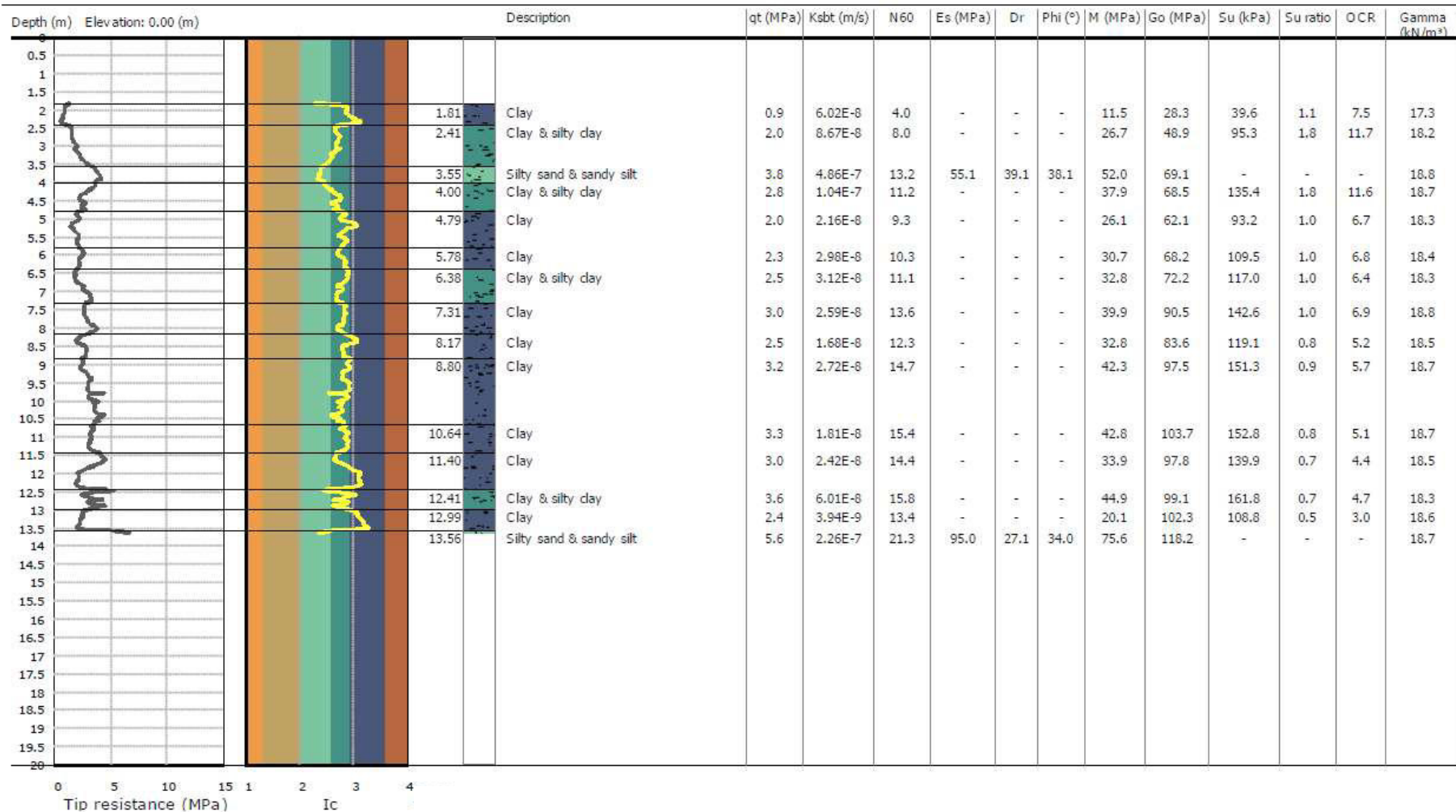
Via Cimarosa, 119 - Tel. 051/61.33.072

Project: Plann.Ing**Location: Maranello (MO) - via Trebbo****CPTe: 1 21.0608/RSP**

Total depth: 13.64 m, Date: 30/08/2021

Cone Type: MKJ386

Cone Operator: Dr. Conti



Geo-Probe S.r.l.

Indagini Geognostiche

40033 Casalecchio di Reno (BO)

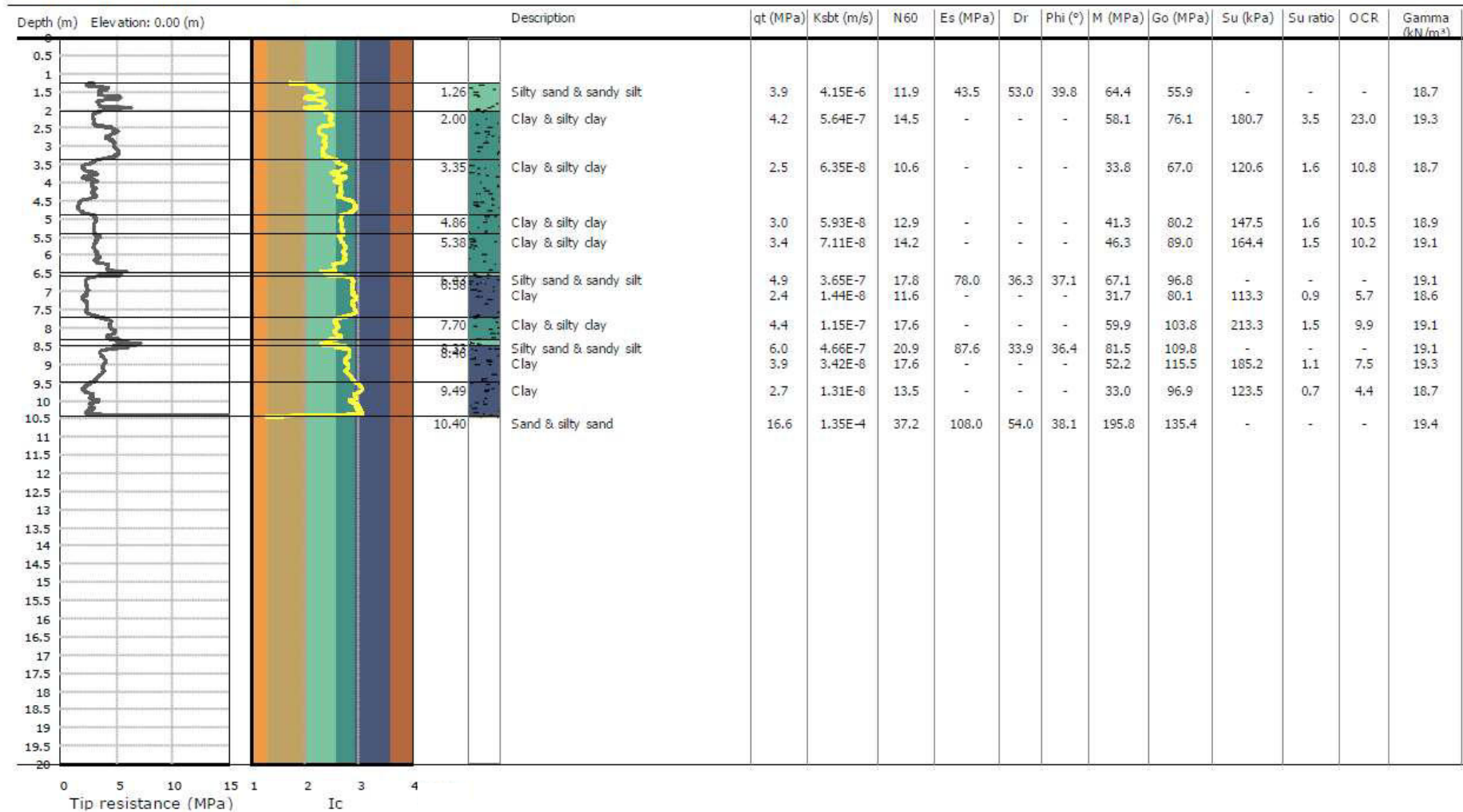
Via Cimarosa, 119 - Tel. 051/61.33.072

Project: Plann.Ing**Location: Maranello (MO) - via Trebbo****CPTE: 2 21.0609/RSP**

Total depth: 10.45 m, Date: 30/08/2021

Cone Type: MKJ387

Cone Operator: Dr. Conti



Geo-Probe S.r.l.

Indagini Geognostiche

40033 Casalecchio di Reno (BO)

Via Cimarosa, 119 - Tel. 051/61.33.072

CPTE: 3 21.0610/RSP

Total depth: 14.62 m, Date: 30/08/2021

Cone Type: MKJ386

Cone Operator: Dr. Conti

Project: Plann.Ing**Location: Maranello (MO) - via Trebbo**

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		1.21 Clay & silty clay	1.3	3.49E-7	5.1	-	-	-	18.1	30.1	62.7	2.2	14.2	17.6
2		1.78 Clay & silty clay	1.9	1.11E-7	7.8	-	-	-	26.7	46.8	95.5	2.2	14.7	18.3
2.5														
3		2.75 Clay & silty clay	3.1	2.27E-7	11.5	-	-	-	42.3	64.9	151.2	2.6	17.2	18.8
3.5		3.38 Clay & silty clay	3.1	1.50E-7	12.3	-	-	-	43.0	71.2	153.5	2.2	14.4	18.9
4														
4.5		4.30 Clay	2.3	3.49E-8	10.2	-	-	-	31.1	66.6	110.9	1.3	8.3	18.5
5														
5.5														
6		5.67 Clay & silty clay	3.8	1.11E-7	15.2	-	-	-	51.8	90.9	185.0	1.8	11.6	19.1
6.5		6.21 Clay & silty clay	3.4	5.30E-8	14.7	-	-	-	46.2	91.9	164.8	1.4	9.4	19.0
7		6.80 Clay	3.3	3.17E-8	14.7	-	-	-	44.3	96.8	158.3	1.2	8.2	19.1
7.5		7.45 Clay	2.6	1.56E-8	12.6	-	-	-	34.5	86.9	124.2	0.9	5.8	18.7
8		8.08 Clay	2.7	1.42E-8	13.0	-	-	-	34.4	91.8	124.7	0.8	5.2	18.7
8.5														
9														
9.5														
10		9.52 Clay	3.4	1.70E-8	16.2	-	-	-	45.4	110.5	162.0	0.9	6.0	19.1
10.5		10.13 Clay	2.9	1.05E-8	14.4	-	-	-	36.7	101.9	136.1	0.7	4.6	18.8
11														
11.5		11.02 Clay & silty clay	4.5	9.15E-8	19.2	-	-	-	59.8	119.3	200.7	1.0	6.5	19.0
12		11.53 Clay & silty clay	5.1	1.84E-7	20.0	-	-	-	68.7	115.0	224.0	1.1	7.1	18.8
12.5		11.82 Clay & silty clay	4.9	2.41E-7	19.8	-	-	-	65.3	119.2	202.3	0.9	6.1	18.9
13		12.23 Clay	4.0	4.38E-8	18.6	-	-	-	52.8	123.8	181.4	0.8	5.2	19.1
13.5		12.69 Clay	3.4	1.60E-8	17.0	-	-	-	40.7	119.0	159.1	0.7	4.4	18.9
14		13.36 Clay	2.9	4.61E-9	15.6	-	-	-	28.7	116.4	133.7	0.5	3.5	18.8
14.5		13.97 Clay	2.8	1.24E-8	15.1	-	-	-	25.8	110.4	125.1	0.5	3.1	18.6
15		14.58 Sand & silty sand	16.1	5.56E-5	38.8	120.4	46.0	36.4	210.4	150.9	-	-	-	19.3
15.5														
16														
16.5														
17														
17.5														
18														
18.5														
19														
19.5														
20														

Tip resistance (MPa)

Ic

Geo-Probe S.r.l.

Indagini Geognostiche

40033 Casalecchio di Reno (BO)

Via Cimarosa, 119 - Tel. 051/61.33.072

CPTE: 4 21.0611/RSP

Total depth: 20.00 m, Date: 30/08/2021

Cone Type: MKJ386

Cone Operator: Dr. Conti

Project: Plann.Ing**Location: Maranello (MO) - via Trebbo**

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														
2		1.71 Clay	0.8	4.06E-8	3.9	-	-	-	11.4	25.9	40.8	1.2	7.9	17.1
2.5		2.58 Clay	0.6	3.64E-9	3.4	-	-	-	7.0	27.4	28.8	0.6	4.0	17.0
3														
3.5														
4		3.85 Silty sand & sandy silt	3.5	1.49E-6	11.0	44.4	39.9	36.6	58.6	53.9	-	-	-	18.1
4.5		4.97 Clay	2.2	4.52E-8	9.5	-	-	-	29.5	62.0	105.1	1.5	9.8	18.6
5														
5.5		4.97 Clay & silty clay	2.5	4.84E-8	10.9	-	-	-	33.9	68.7	121.0	1.3	8.8	18.6
6														
6.5		5.87 Clay & silty clay	3.0	4.85E-8	12.9	-	-	-	40.2	81.7	143.5	1.4	9.1	18.9
7		6.45 Clay	1.4	4.39E-9	7.6	-	-	-	14.3	56.9	64.4	0.6	3.6	17.8
7.5														
8		7.32 Clay	1.7	7.35E-9	9.1	-	-	-	19.4	65.1	80.2	0.6	4.0	18.0
8.5														
9		8.28 Clay	2.5	1.24E-8	12.0	-	-	-	32.2	83.2	115.2	0.8	5.1	18.5
9.5		8.95 Clay	2.7	1.43E-8	13.2	-	-	-	33.2	91.4	126.5	0.8	5.2	18.7
10														
10.5		9.78 Clay	1.5	1.89E-9	8.9	-	-	-	10.2	69.7	66.9	0.4	2.4	17.8
11														
11.5		11.15 Clay	1.8	1.46E-8	9.8	-	-	-	14.2	72.8	78.9	0.4	2.6	17.8
12														
12.5		12.22 Clay	1.7	1.48E-9	9.9	-	-	-	9.5	77.0	72.5	0.3	2.2	17.9
13														
13.5		13.21 Clay	2.4	1.93E-8	12.2	-	-	-	21.0	86.4	105.3	0.4	2.9	18.0
14														
14.5		14.45 Clay	2.2	4.08E-9	12.5	-	-	-	15.1	93.5	96.6	0.4	2.4	18.1
15														
15.5														
16		15.97 Clay	2.4	2.41E-9	13.8	-	-	-	16.3	105.4	105.8	0.4	2.4	18.4
16.5		16.56 Clay	2.9	2.99E-9	16.2	-	-	-	22.3	121.3	130.0	0.4	2.8	18.7
17														
17.5														
18		17.77 Clay	2.7	2.12E-9	15.6	-	-	-	17.7	118.3	118.8	0.4	2.5	18.6
18.5		18.30 Clay	2.4	1.32E-9	14.5	-	-	-	13.1	113.3	103.6	0.3	2.1	18.4
19														
19.5		19.19 Clay	2.4	1.21E-9	14.8	-	-	-	12.4	114.9	103.0	0.3	1.9	18.4
20														

Tip resistance (MPa)

Ic

Geo-Probe S.r.l.

Indagini Geognostiche

40033 Casalecchio di Reno (BO)

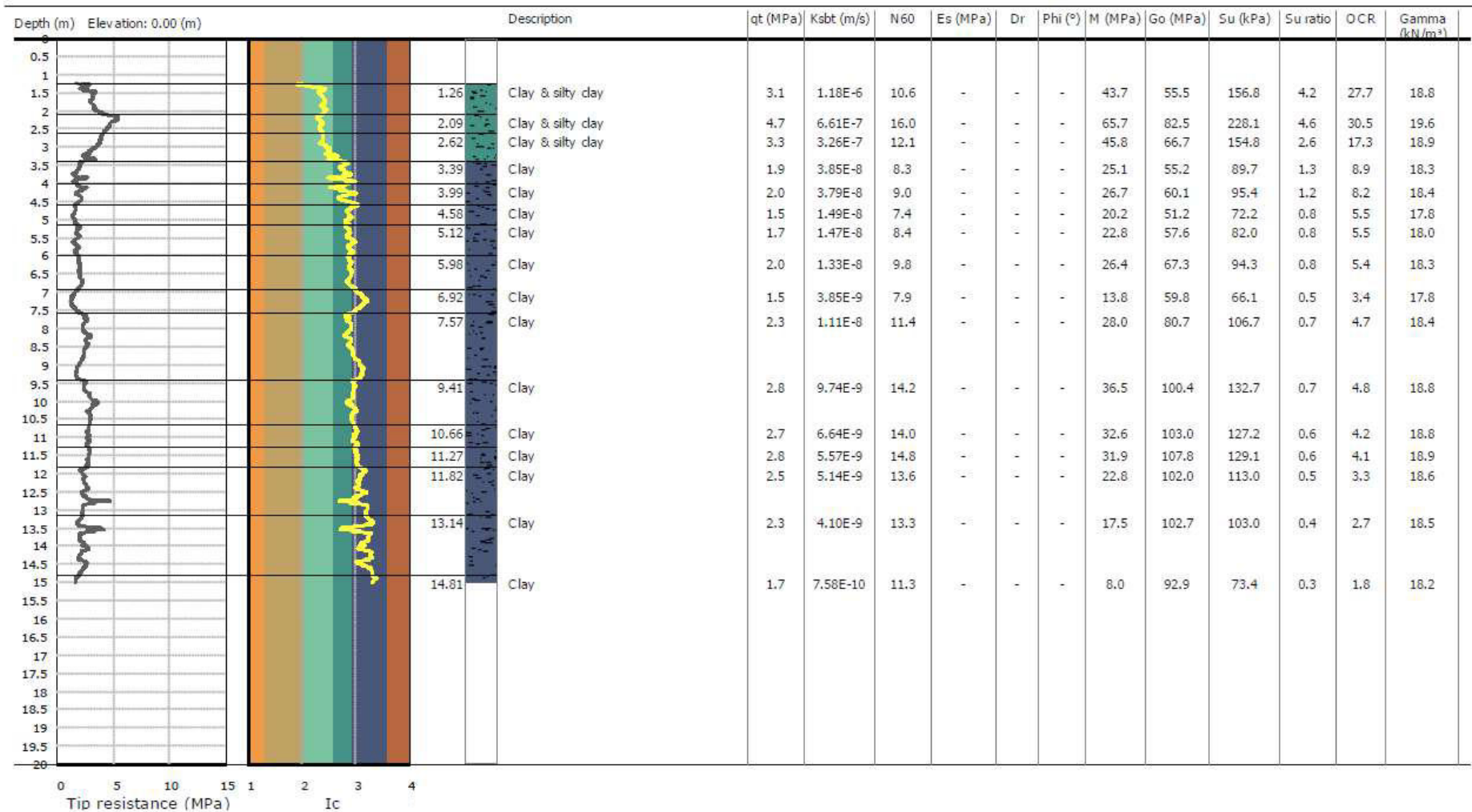
Via Cimarosa, 119 - Tel. 051/61.33.072

Project: Plann.Ing**Location: Maranello (MO) - via Trebbo****CPTE: 5 21.0612/RSP**

Total depth: 15.00 m, Date: 30/08/2021

Cone Type: MKJ386

Cone Operator: Dr. Conti



Geo-Probe S.r.l.

Indagini Geognostiche

40033 Casalecchio di Reno (BO)

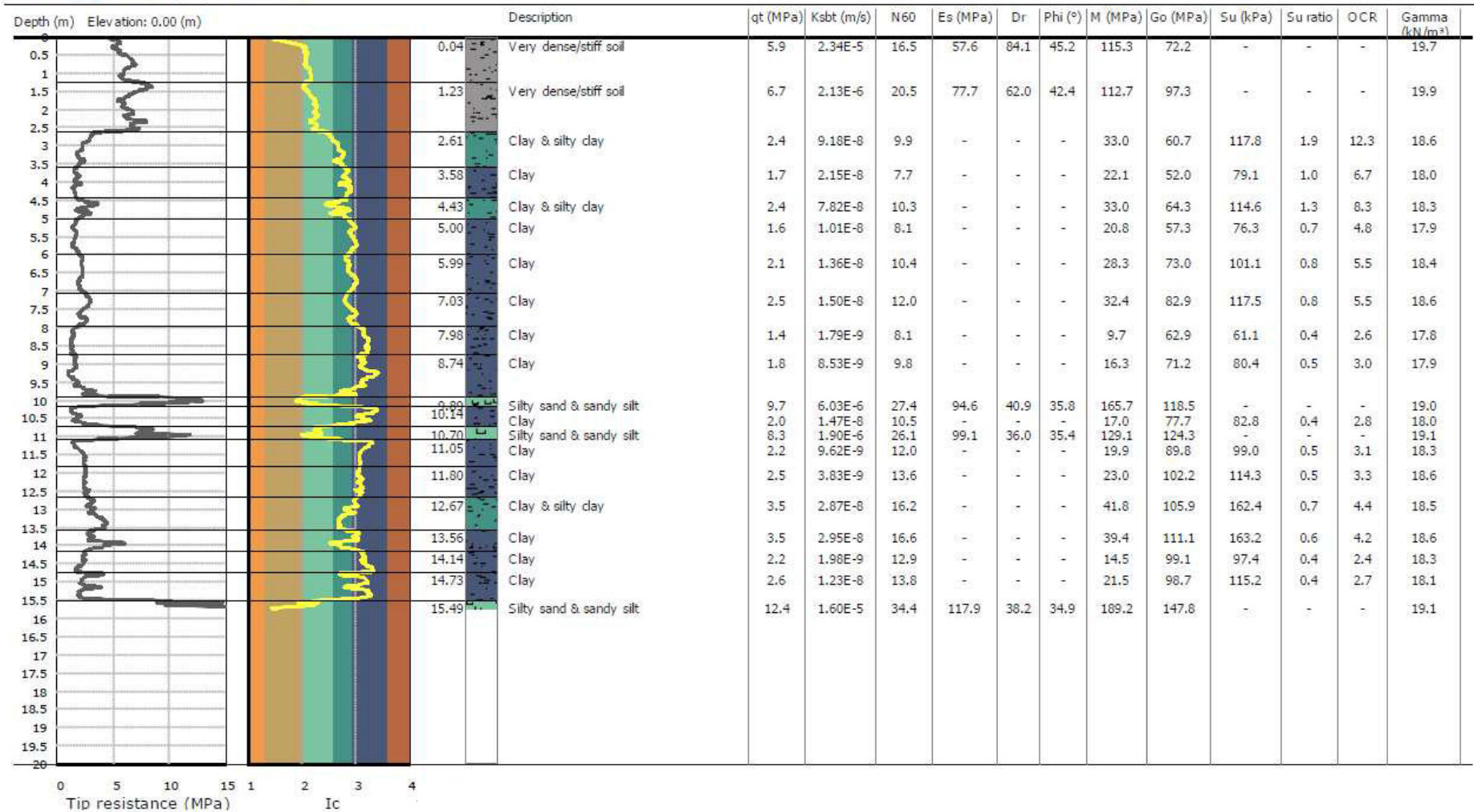
Via Cimarosa, 119 - Tel. 051/61.33.072

Project: Plann.Ing**Location: Maranello (MO) - via Trebbo****CPTE: 6 21.0613/RSP**

Total depth: 15.72 m, Date: 30/08/2021

Cone Type: MKJ387

Cone Operator: Dr. Conti



Geo-Probe S.r.l.

Indagini Geognostiche

40033 Casalecchio di Reno (BO)

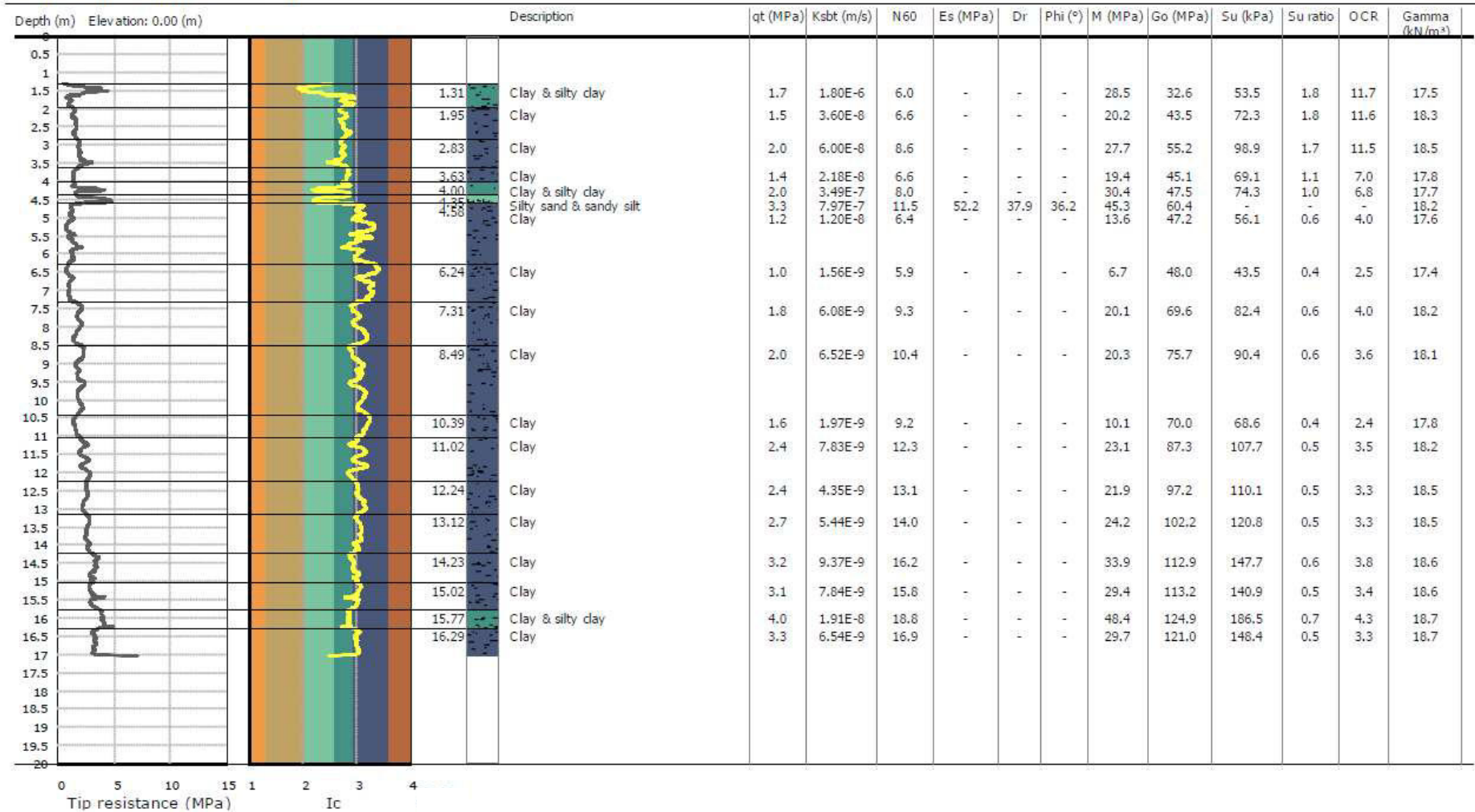
Via Cimarosa, 119 - Tel. 051/61.33.072

Project: Plann.Ing**Location: Maranello (MO) - via Trebbo****CPTE: 9 21.0616/RSP**

Total depth: 17.04 m, Date: 30/08/2021

Cone Type: MKJ387

Cone Operator: Dr. Conti



Geo-Probe S.r.l.

Indagini Geognostiche

40033 Casalecchio di Reno (BO)

Via Cimarosa, 119 - Tel. 051/61.33.072

Project: Plann.Ing**Location: Maranello (MO) - via Trebbo****CPTe: 10 21.0617/RSP**

Total depth: 4.98 m, Date: 30/08/2021

Cone Type: MKJ386

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														
1.5														
1.66		Clay & silty clay	1.7	6.86E-7	6.1	-	-	-	24.0	33.8	83.6	2.7	18.0	17.7
2		Clay	1.1	3.45E-8	5.1	-	-	-	15.4	33.7	55.0	1.6	10.8	17.8
2.20		Clay	1.4	3.74E-8	6.0	-	-	-	18.6	39.3	66.3	1.4	9.5	17.8
3														
3.07		Clay	1.6	3.33E-8	6.9	-	-	-	21.1	45.8	75.4	1.3	8.5	18.0
3.69		Clay	1.8	3.33E-8	8.2	-	-	-	24.2	53.3	85.3	1.2	7.7	18.1
4.5														
4.72		Sand & silty sand	11.1	7.55E-5	25.1	71.3	58.1	38.7	138.1	89.3	-	-	-	18.9

8.5														
9														
8.75		Clay	1.8	6.90E-9	9.4	-	-	-	18.2	68.0	80.4	0.6	3.7	18.0
9.5														
10		Clay	2.2	6.09E-9	11.3	-	-	-	25.0	82.1	99.6	0.6	4.1	18.4
10.42		Clay	1.9	3.87E-9	10.2	-	-	-	16.1	76.9	84.2	0.5	3.1	18.1
11														
11.5														
12														
12.18		Clay	2.5	5.99E-9	13.2	-	-	-	27.0	95.9	116.3	0.6	3.8	18.6
13		Clay	1.8	1.87E-9	10.4	-	-	-	11.2	80.3	77.6	0.4	2.4	18.0
13.5														
13.90		Clay	2.6	9.43E-9	13.4	-	-	-	23.5	95.6	116.5	0.5	3.2	18.3
14.5														
15														
15.11		Silty sand & sandy silt	6.6	2.64E-7	24.5	110.5	30.3	34.9	89.5	136.2	-	-	-	19.1
15.5														
16														
16.5														
17														
17.5														
18														
18.5														
19														
19.5														
20														

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 (°) ::

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

(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, $S_{u(rem)}$ (kPa) ::

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

:: 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 ::

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

(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' (°) ::

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

(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)