

COMUNE DI BUDRIO

Progetto per

INTERVENTO UNITARIO CONVENZIONATO (IUC) IUC 58A E IUC 58B per l'ampliamento di un edificio ad uso produttivo e magazzino posto a Cento di Budrio in via Enrico Mattei, 4

PROPRIETA'

COMET spa
via Michelino, 105
40127 Bologna

PROGETTISTA

Ing. Stefano Marzadori
Via Gyula, 43
40054 Budrio (BO)

COLLABORATORE

Arch. Susanne Rueff

SPAZIO RISERVATO ALL'UFFICIO TECNICO

OGGETTO:

Studio geologico tecnico e sismico

SCALA

TAVOLA N°

URB 1.5

1°	30 MARZO 2023	IUC COMET	N° ARCHIVIO:
2°			U/779
3°			
4°			
5°			
6°			
REV.	DATA	DESCRIZIONE	



COMUNE DI BUDRIO (BO)

STUDIO GEOLOGICO TECNICO E SISMICO
DEI TERRENI DEL PRIMO SOTTOSUOLO DI
UN'AREA SITA IN VIA MATTEI, SULLA QUALE
È IN PROGETTO LA REALIZZAZIONE DI UN
FABBRICATO COMMERCIALE.

Committente:
- Comet S.p.A.



Codice Lavoro: 2022.065/RG

Revisione 0.0 Luglio 2022

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	6
5. LITOLOGIA E CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE DEI TERRENI.....	8
6. LAVORI E SCELTA DEL SISTEMA FONDALE	10
7. MODELLAZIONE GEOTECNICA DEL SITO.....	11
8. PARAMETRIZZAZIONE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE.....	12
9. PERICOLOSITÀ E CLASSIFICAZIONE SISMICA	16
10. MODELLAZIONE SISMICA	18
11. RISCHIO DI LIQUEFAZIONE DEI TERRENI.....	24
12 VALUTAZIONE INDICE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE.....	27
13. DETERMINAZIONE DEI PRINCIPALI PARAMETRI FISICO MECCANICI PER IL DIMENSIONAMENTO DI FONDAZIONI PROFONDE.....	28
14. CONSIDERAZIONI FINALI	31

ALLEGATI:

- *diagrammi penetrometrie con punta elettrica;*
- *stratigrafia trivellazione a secco;*
- *indagine sismica;*
- *classificazione orientativa dei terreni attraversati*
(Robertson, 1990);
- *procedure di calcolo RSL.*
- *verifiche rischio di liquefazione.*

* * *

1. PREMESSA

A seguito dell'incarico ricevuto dalla Comet S.p.A., 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 realizzazione di un fabbricato commerciale.

L'area in esame si ubica in via Mattei in Comune di Budrio (BO) (TAV. 1: estratto C.T.R. Scala 1:5.000; elementi n. 221073 – Cento di Budrio).

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 geologico-geotecnica del sito;
- e) modellazione sismica dei terreni di fondazione;
- f) valutazione della resistenza di progetto dei terreni di fondazione in condizioni statiche.

TAV. 1- UBICAZIONE AREE 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 della media Pianura Padana caratterizzato da moderate ondulazioni che degradano progressivamente verso Nord; più esattamente si ubica ad una quota media di 27,50 m s.l.m., in una zona pressoché pianeggiante o di bassissima acclività.

La morfologia superficiale risente sia del costante intervento umano, volto a migliorarne l'efficienza dal punto di vista agricolo, sia della vicinanza di vari fossi di scolo e canali che, in fase di tracimazione e di sedimentazione, hanno depositato lenti alluvionali che si interdigitano tra di loro conferendo alla zona un andamento leggermente ondulato; a questi fattori si sono aggiunti interventi edificatori a carattere prevalentemente abitativo, che stanno interessando aree adiacenti.

La litologia del primo sottosuolo, come segnalata nella Carta Geologica della Regione Emilia - Romagna, (TAV. 2, Scala 1:10.000), l'area ricade in un settore di depositi alluvionali quaternari appartenenti alla Unità di Modena (**AES8a**), caratterizzati essenzialmente da materiali medio fini (argille e limi) aventi permeabilità generalmente da media a scarsa (10^{-4} - 10^{-7} m/sec), che risultano interrotti localmente da sottili lenti grossolane (sabbie).

Il sottosuolo è sostanzialmente caratterizzato da una successione di depositi sedimentari di età quaternaria che danno luogo ad una serie idrologica costituita da unità permeabili (acquiferi) separate da livelli impermeabili.

L'idrografia superficiale primaria è rappresentata dal Torrente Idice che sviluppa il proprio corso a Ovest della zona in esame, e quella secondaria da piccoli fossi di scolo bordanti le zone coltivate, che raccolgono le acque di precipitazione eccessive per incanalarle verso i collettori principali.

L'acquifero è da considerarsi multifalda con livelli a permeabilità ben differenziata con falde localmente in pressione e intercomunicanti, data la discontinuità degli orizzonti trasmissivi.

La prima falda superficiale si attesta generalmente ad una profondità media di 2,00÷3,00 m, mentre l'acquifero profondo presenta una piezometrica ad una profondità media di 16,00÷18,00 m dal p.c. attuale.

TAV. 2 - CARTA GEO-LITOLOGICA



Area in esame

Scala 1: 10.000



AES8a - Unità di Modena

Nei settori intravallivi ghiaie prevalenti organizzate in 2 ordini di terrazzi alluvionali. Negli sbocchi vallivi e nella piana alluvionale ghiaie, sabbie, limi ed argille. Limite superiore sempre affiorante dato da un suolo calcareo di colore bruno olivastro e bruno grigiastro privo di reperti archeologici romani, o più antichi, non rimaneggiati. Limite inferiore dato da una superficie di erosione fluviale nelle aree intra. Spessore massimo in pianura 7 metri, nel sottosuolo circa 10m.
(Età post-romana (IV-VI sec. d.C. - Attuale: datazione archeologica).)

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, è stata eseguita un'indagine geognostica in sito, inoltre, al fine di determinare il parametro V_{seq} e classificare il suolo di fondazione del sito, vengono utilizzati i risultati di una indagine sismica eseguita nel 2015 ad Ovest dell'area in esame.

4.1. Indagine geognostica in sito

L'indagine geognostica in sito, eseguita dalla Geo-Probe S.r.l, è consistita nell'esecuzione di n. 9 penetrometrie statiche con punta elettrica (CPTE) che rispetto al p.c. attuale hanno raggiunto profondità comprese tra 15,00 m e 20,00 m e di n.1 sondaggio con il metodo della trivellazione a secco della profondità di 4,00 m.

I punti di indagine sono stati posizionati in corrispondenza del fabbricato in progetto; 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 cm^2 per la misurazione della resistenza alla punta ed un manicotto di frizione (*friction jacket*) della superficie di 150 cm^2 per la misurazione dell'attrito laterale locale.

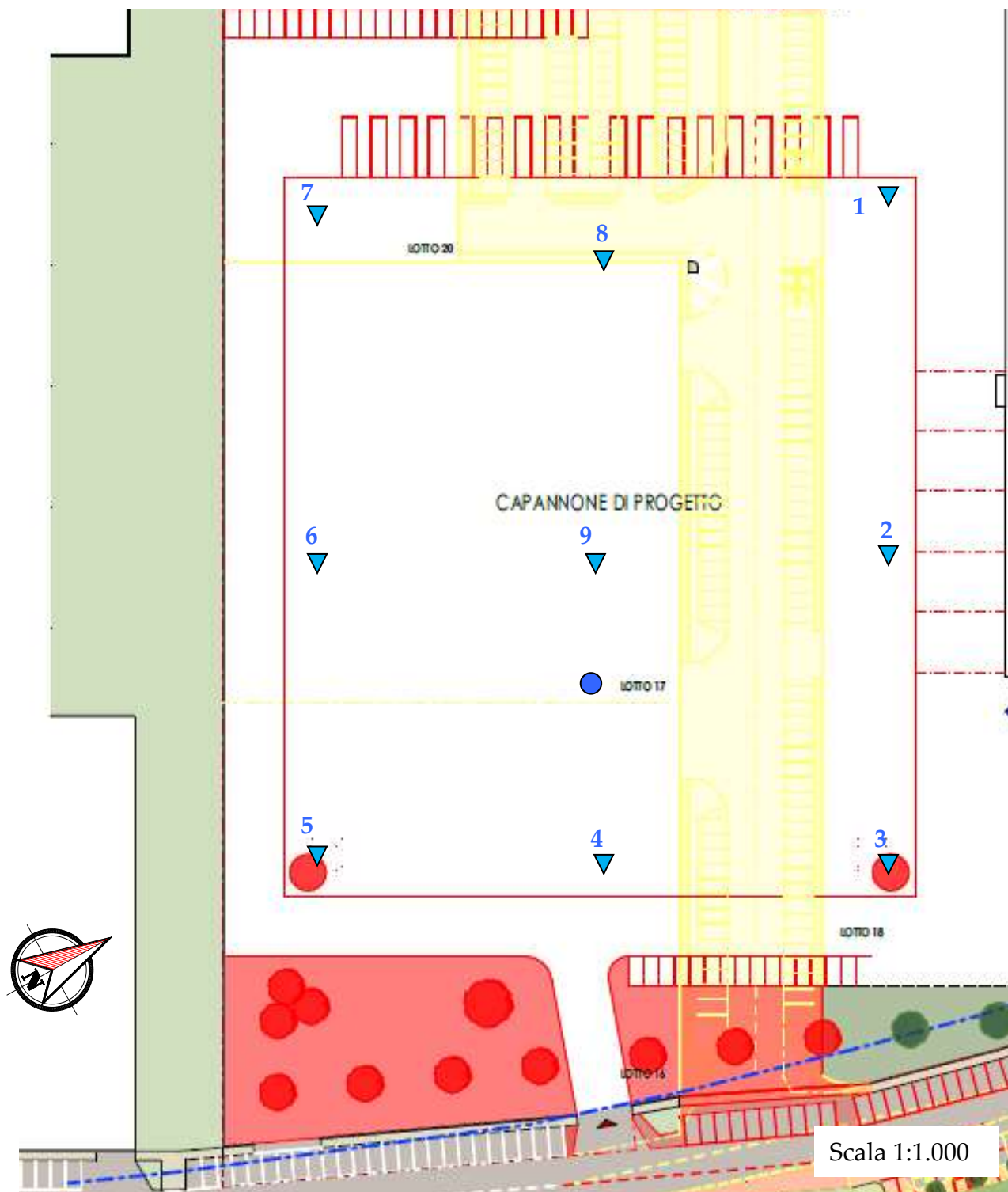
I risultati delle penetrometrie statiche con punta elettrica vengono rappresentati in forma diagrammatica nelle apposite tavole allegate, dove viene riportato il valore q_c (resistenza alla punta) il valore f_s (resistenza attrito laterale locale), espressi rispettivamente in MPa e kPa, il rapporto R_f (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.

La trivellazione a secco è stata eseguita mediante aste elicoidali del diametro di 120 mm mosse da propulsore idraulico montato sull'autocarro Mercedes; la stratigrafia ottenute viene riportata in allegato negli appositi moduli.

4.2. Indagine sismica

Al fine di determinare il parametro V_{seq} , necessario a classificare il suolo di fondazione del sito e la profondità del bedrock sismico, vengono utilizzati i risultati di una indagine sismica, eseguita mediante metodologia MASW nell'anno 2015 da parte dello Studio Associato CGA, su richiesta della Geo-Probe S.r.l.; l'ubicazione, la metodologia di indagine e l'elaborazione dei dati ottenuti vengono riportate nelle apposite relazioni allegate.

TAV. 3 - UBICAZIONE INDAGINE GEOGNOSTICA



- ▼ Penetrometrie statiche con punta elettrica
- Trivellazione a secco

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, al disotto di un orizzonte di terreno pedogenizzato e/o di riporto dello spessore variabile da 0,40 m a circa 1,60 m, sino ad una profondità variabile da circa 2,20 m a 3,30 m sono inizialmente presenti dei limi variabilmente sabbiosi di colore grigiastro, di consistenza da plastica a plastico dura ($q_c = 1,2 \div 3,2$ MPa; $R_f = 3,0 \div 6,0$ %), ed umidità medio scarsa, inglobanti localmente sottili lenti sabbiose di addensamento medio buono ($q_c = 3,5 \div 4,0$ MPa; $R_f = 1,5 \div 2,0$ %).

Sotto si alternano dei limi sabbiosi di colore da grigiastro a marrone, di consistenza da plastico tenera a plastica ($q_c = 0,5 \div 1,9$ MPa; $R_f = 3,8 \div 6,3$ %), con i valori più bassi prevalenti nella Est, ed umidità da media ad elevata sino alla totale saturazione idrica, con delle lenti di sabbie variabilmente limose di addensamento da medio scarso a medio buono ($q_c = 2,5 \div 6,4$ MPa; $R_f = 0,8 \div 2,0$ %), prevalenti nella fascia Ovest (CPTE 7 e 8).

A partire da una profondità variabile da 5,40 m a circa 8,00 m (fascia Nord/Est; CPTE 9), e sino a 9,70÷11,80 m, prevalgono dei limi sabbiosi e/o argillosi di consistenza prevalentemente plastica ($q_c = 1,0 \div 1,6$ MPa; $R_f = 3,8 \div 5,8$ %), con rare e sottili intercalazioni plastico tenere ($q_c = 0,8 \div 0,9$ MPa; $R_f = 3,8 \div 5,8$ %), inglobanti lenti sabbiose variabilmente limose di addensamento da medio scarso a medio buono ($q_c = 2,1 \div 6,5$ MPa; $R_f = 0,6 \div 2,0$ %).

Sotto sono presenti dei limi argillosi e/o sabbiosi di consistenza da plastica a plastico dura ($q_c = 1,0 \div 2,7$ MPa; $R_f = 3,0 \div 6,0$ %), inglobanti localmente lenti sabbiose di addensamento da medio scarso a medio ($q_c = 2,1 \div 6,6$ MPa; $R_f = 0,5 \div 1,9$ %), prevalenti nella fascia Nord/Ovest (CPTE 1 e 8) sino alla profondità di circa 14,40 m.

Suddetti terreni sono sopportati da sabbie limose e ghiaiose di addensamento da medio ad elevato ($q_c = 4,1 \div 16,3$ MPa; $R_f = 0,5 \div 2,0$ %), il cui tetto è stato evidenziato ad una profondità media di 19,10÷19,80 m dal p.c. attuale

I suddetti terreni sono caratterizzati dalla presenza di una falda freatica di superficie il cui livello statico al termine dell'indagine, alla data di esecuzione della stessa, rispetto al p.c. attuale è stato misurato ad una profondità media di 2,95÷3,25 m, quote presumibilmente soggette a variazioni stagionali.

Per un maggior dettaglio in allegato, oltre la stratigrafia della trivellazione a secco, viene riportata la litologia dei terreni del primo sottosuolo rilevata in corrispondenza delle penetrometrie statiche e ricostruita mediante la teoria di Robertson (1990).

6. LAVORI E SCELTA DEL SISTEMA FONDALE

Si tratta della costruzione di un capannone industriale di pianta rettangolare (100,00x120,00 m circa).

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

L'indagine geognostica ha evidenziato come i terreni del primo sottosuolo, al disotto di un orizzonte di terreno pedogenizzato e/o di riporto dello spessore variabile da 0,40 m a 1,60 m circa, sono inizialmente rappresentati da limi sabbiosi e/o viceversa di consistenza da plastica a plastico dura, che in breve assumono una consistenza da plastico tenera a plastica ed inglobano lenti sabbiose di addensamento da medio a medio buono.

I suddetti terreni sono caratterizzati dalla presenza di una falda freatica di superficie il cui livello statico al termine dell'indagine, alla data di esecuzione della stessa, rispetto al p.c. attuale è stato misurato ad una profondità media di 2,95÷3,25 m, quote presumibilmente soggette a variazioni stagionali.

In considerazione delle scarse caratteristiche meccaniche che caratterizzano i terreni del primo sottosuolo e della disomogeneità degli stessi, per quanto in progetto si prevede l'adozione di un sistema fondale profondo della lunghezza di 8,00÷10,00 m.

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, con riferimento al p.c. attuale, è possibile distinguere il terreno secondo le unità geotecniche indicate nella tabella successiva.

U.G.	Profondità m da p.c.		Litologia prevalente	qc MPa	γ (kN/mc)	Cu (kPa)	φ (°)	Dr (%)
0	0,00	0,40÷1,60	P/R	-	-	-	-	-
A	0,40÷1,60	2,20÷3,30	LS	1,2÷3,2	19,1÷19,3	60÷140	-	0
B	2,20÷3,30	5,40÷8,00	LS	0,5÷1,9	18,9÷19,2	25÷95	-	0
B1	2,10÷3,90	3,30÷5,00	S/SL	2,5÷6,4	18,5÷18,6	0	33÷38	30÷65
C	5,40÷8,00	9,70÷11,80	LAS	1,0÷1,6	19,0÷19,2	50÷80	-	0
C1	5,60÷9,30	8,30÷11,10	S/SL	2,1÷6,5	18,5÷18,6	0	32÷37	27÷65
D	9,70÷11,80	19,10÷20,00	LAS	1,0÷2,7	19,1÷19,3	50÷124	-	0
D1	10,20÷17,10	11,00÷17,50	S/SL	2,1÷6,6	18,5÷18,6	0	32÷36	22÷60
E	19,10÷19,80	fine indag.	S/SLG	4,1÷16,3	18,5÷18,6	0	34÷42	26÷70

P/R = terreno pedogenizzato e/o di riporto;

LA/AL = limi argillosi e/o viceversa;

LAS = limi argillosi e sabbiosi;

LS = limi sabbiosi;

S/SL = sabbie variabilmente limose;

SL/SLG= sabbie limose localmente con ghiaie.

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 pedogenizzato e/o di riporto e si evidenzia sino ad una profondità variabile da circa 0,40 m a 1,60 m dal p.c. attuale.

Unità geotecnica A

È costituita da limi sabbiosi di consistenza da plastica a plastico dura ed umidità media.

L'unità A si evidenzia da una di 0,40÷1,60 m sino ad una profondità variabile da 2,20 m a circa 3,30 m dal p.c. attuale, ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qc (MPa)	γ (kN/mc)	Cu (kPa)	φ (°)
CPTE 1	1,8	19,2	90	-
CPTE 2	1,6	19,2	80	-
CPTE 3	2,4	19,2	115	-
CPTE 4	2,6	19,3	120	-
CPTE 5	2,0	19,2	100	-
CPTE 6	1,8	19,2	90	-
CPTE 7	2,0	19,2	100	-
CPTE 8	1,6	19,2	80	-
CPTE 9	1,5	19,2	75	-

Unità geotecnica B

È costituita da limi sabbiosi di consistenza da plastico tenera a plastica di umidità da media ad elevata sino alla totale saturazione idrica.

L'unità B si evidenzia da circa 2,20÷3,30 m sino ad una profondità variabile da 5,40 m a 8,00 m dal p.c. attuale, ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qc (MPa)	γ (kN/mc)	Cu (kPa)	φ (°)
CPTE 1	1,0	19,0	50	-
CPTE 2	1,0	19,0	50	-
CPTE 3	0,7	18,9	35	-
CPTE 4	1,0	19,0	50	-

Verticale	qc (MPa)	γ (kN/mc)	Cu (kPa)	φ (°)
CPTE 5	0,8	18,9	40	-
CPTE 6	1,0	19,0	50	-
CPTE 7	1,1	19,1	55	-
CPTE 8	1,1	19,1	55	-
CPTE 9	1,0	19,0	50	-

Unità geotecnica B1

È costituita da sottili lenti di sabbie variabilmente limose di addensamento da medio a medio buono, presumibilmente sature.

L'unità B1 si evidenzia da circa 2,10÷3,90 m sino ad una profondità variabile da 3,30 m a 5,00 m dal p.c. attuale, ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qc (MPa)	γ (kN/mc)	Cu (kPa)	φ (°)
CPTE 1	2,7	18,5	0	33
CPTE 3	2,8	18,5	0	33
CPTE 4	2,8	18,5	0	33
CPTE 6	2,8	18,5	0	33
CPTE 7	3,8	18,5	0	36
CPTE 8	3,8	18,5	0	36
CPTE 9	2,6	18,5	0	33

Unità geotecnica C

È costituita da limi argillosi e/o viceversa di consistenza plastica, presumibilmente saturi.

L'unità C si evidenzia da 5,40÷8,00 m sino ad una profondità variabile da 9,70 m a 11,80 m dal p.c. attuale, ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qc (MPa)	γ (kN/mc)	Cu (kPa)	φ (°)
CPTE 1	1,2	19,1	60	-
CPTE 2	1,3	19,1	65	-
CPTE 3	1,3	19,2	65	-
CPTE 4	1,2	19,1	60	-
CPTE 5	1,4	19,1	70	-
CPTE 6	1,3	19,0	65	-
CPTE 7	1,3	19,1	65	-

Verticale	qc (MPa)	γ (kN/mc)	Cu (kPa)	φ (°)
CPTE 8	1,3	19,1	65	-
CPTE 9	1,3	19,1	65	-

Unità geotecnica C1

È costituita da lenti di sabbie variabilmente limose di addensamento da medio a medio buono, presumibilmente sature.

L'unità C1 si evidenzia da circa 5,60÷9,30 m sino ad una profondità variabile da 8,30 m a 11,10 m dal p.c. attuale, ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qc (MPa)	γ (kN/mc)	Cu (kPa)	φ (°)
CPTE 1	4,5	18,5	0	35
CPTE 2	3,4	18,5	0	33
CPTE 3	4,0	18,5	0	34
CPTE 4	3,3	18,5	0	33
CPTE 5	2,8	18,5	0	33
CPTE 6	3,6	18,5	0	33
CPTE 7	4,0	18,5	0	34
CPTE 8	3,4	18,5	0	33
CPTE 9	3,1	18,5	0	33

Unità geotecnica D

È costituita da limi argillosi e/o sabbiosi di consistenza prevalentemente plastica, presumibilmente saturi.

L'unità D si evidenzia da circa 9,70÷11,80 m sino ad una profondità di circa 19,10÷20,00 m dal p.c. attuale, ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qc (MPa)	γ (kN/mc)	Cu (kPa)	φ (°)
CPTE 1	1,8	19,2	90	-
CPTE 2	1,7	19,2	85	-
CPTE 3	1,9	19,2	95	-
CPTE 4	1,8	19,2	90	-
CPTE 5	1,8	19,2	90	-
CPTE 6	1,7	19,2	85	-
CPTE 7	1,8	19,2	90	-
CPTE 8	1,8	19,2	90	-
CPTE 9	1,8	19,2	90	-

Unità geotecnica D1

È costituita da lenti di sabbie variabilmente limose di addensamento da medio a medio buono, presumibilmente sature.

L'unità D1 si evidenzia localmente da circa 10,20÷17,10 m sino ad una profondità variabile da 11,00 m a 17,50 m dal p.c. attuale, ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qc (MPa)	γ (kN/mc)	Cu (kPa)	φ (°)
CPTE 1	3,2	18,5	0	33
CPTE 2	2,8	18,5	0	33
CPTE 3	3,5	18,5	0	33
CPTE 8	3,4	18,5	0	33
CPTE 9	3,9	18,5	0	33

Unità geotecnica E

È costituita da sabbie limose localmente con ghiaie di addensamento da medio a medio buono, presumibilmente sature.

L'unità E si evidenzia da 19,10÷19,80 m dal p.c. attuale alla profondità indagata, ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qc (MPa)	γ (kN/mc)	Cu (kPa)	φ (°)
CPTE 1	8,6	18,5	0	36
CPTE 5	11,5	18,5	0	40
CPTE 7	5,7	18,5	0	34
CPTE 9	6,8	18,5	0	35

9. PERICOLOSITÀ E CLASSIFICAZIONE SISMICA

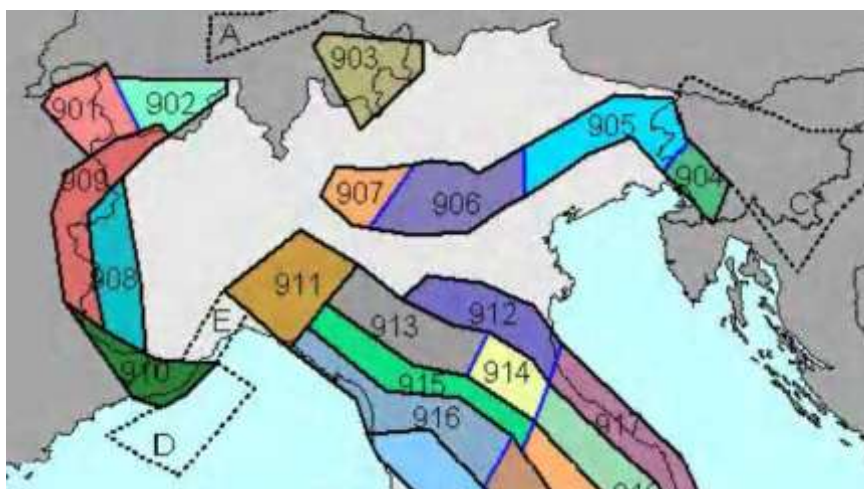
La pericolosità e il rischio sismico del territorio nazionale sono stati affrontati dal Servizio Sismico Nazionale utilizzando il calcolo probabilistico di Cornell, in grado di considerare tutte le possibili sorgenti influenzanti di un sisma.

La pericolosità sismica di base 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 Budrio (TAV. 4 – 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.

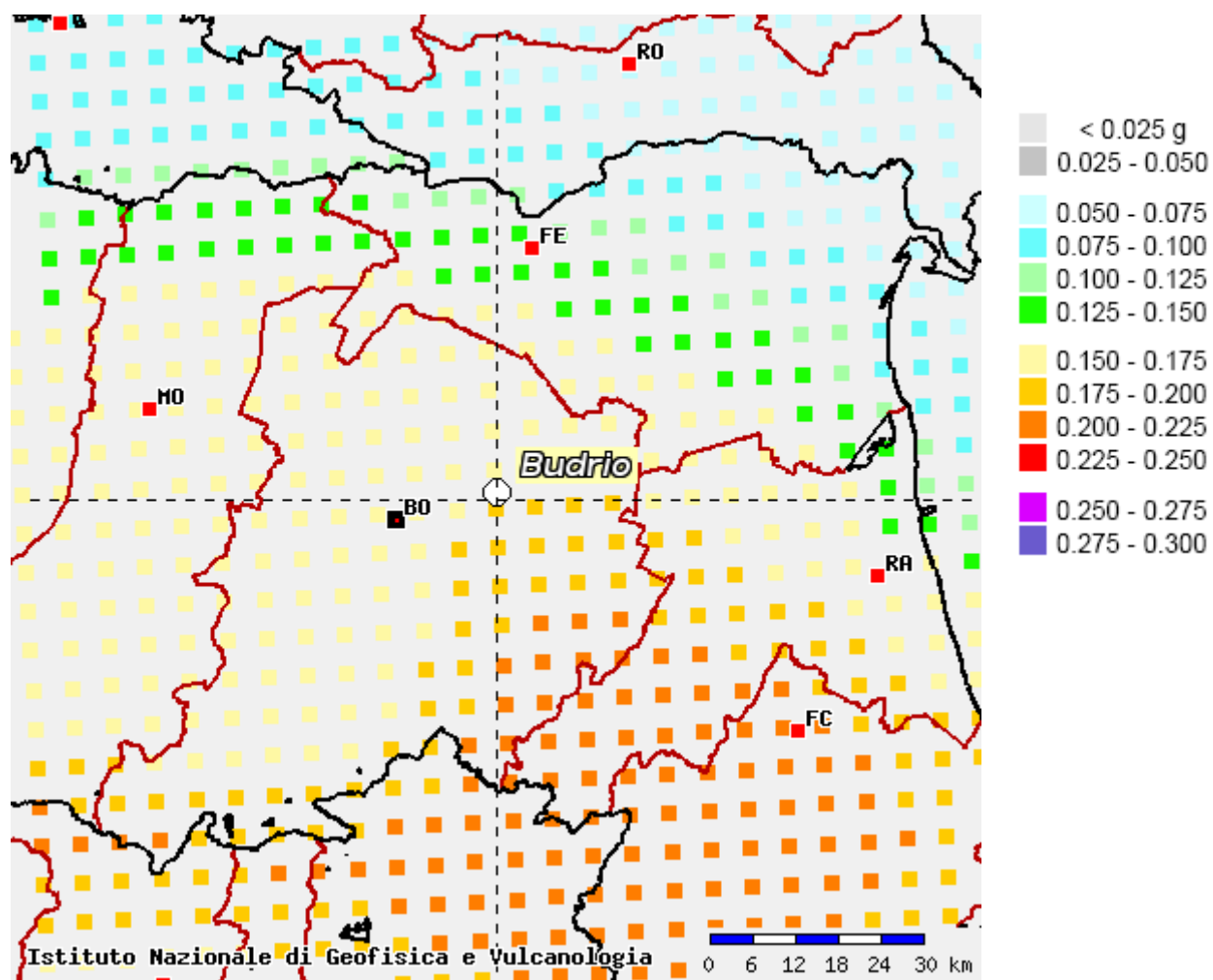
Come evidenziato dalla mappa delle zone sismogenetiche di cui si riporta uno stralcio, l'Emilia Romagna ricade nelle zone 911-914 alle quali è attribuito un valore di M pari a 6,14.



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. 4 – 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 WGS84 Lat. 44.518864; Long. 11.533182), 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	0,054	2,464	0,259
	SLD	63	50	0,068	2,457	0,272
Stati limite ultimi	SLV	10	475	0,175	2,425	0,306
	SLC	5	975	0,229	2,396	0,312

10.5. Categoria di sottosuolo

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai 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 una profondità del substrato superiore a 30,00 m e da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e al p.c. m presentano una V_{seq} pari a circa 199 m/sec, pertanto ricadono nella Categoria C, che comprende *“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30,0 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”*.

In considerazione di quanto sopra, da un punto di vista geologico, non si ritiene necessario 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	1,500	1,640
SLD	1,500	1,613
SLV	1,445	1,553
SLC	1,370	1,542

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 2,456 m/sec².

10.10. 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 0,061.

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

$$k_v = 0,5 k_h = 0,0305$$

11. RISCHIO DI LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

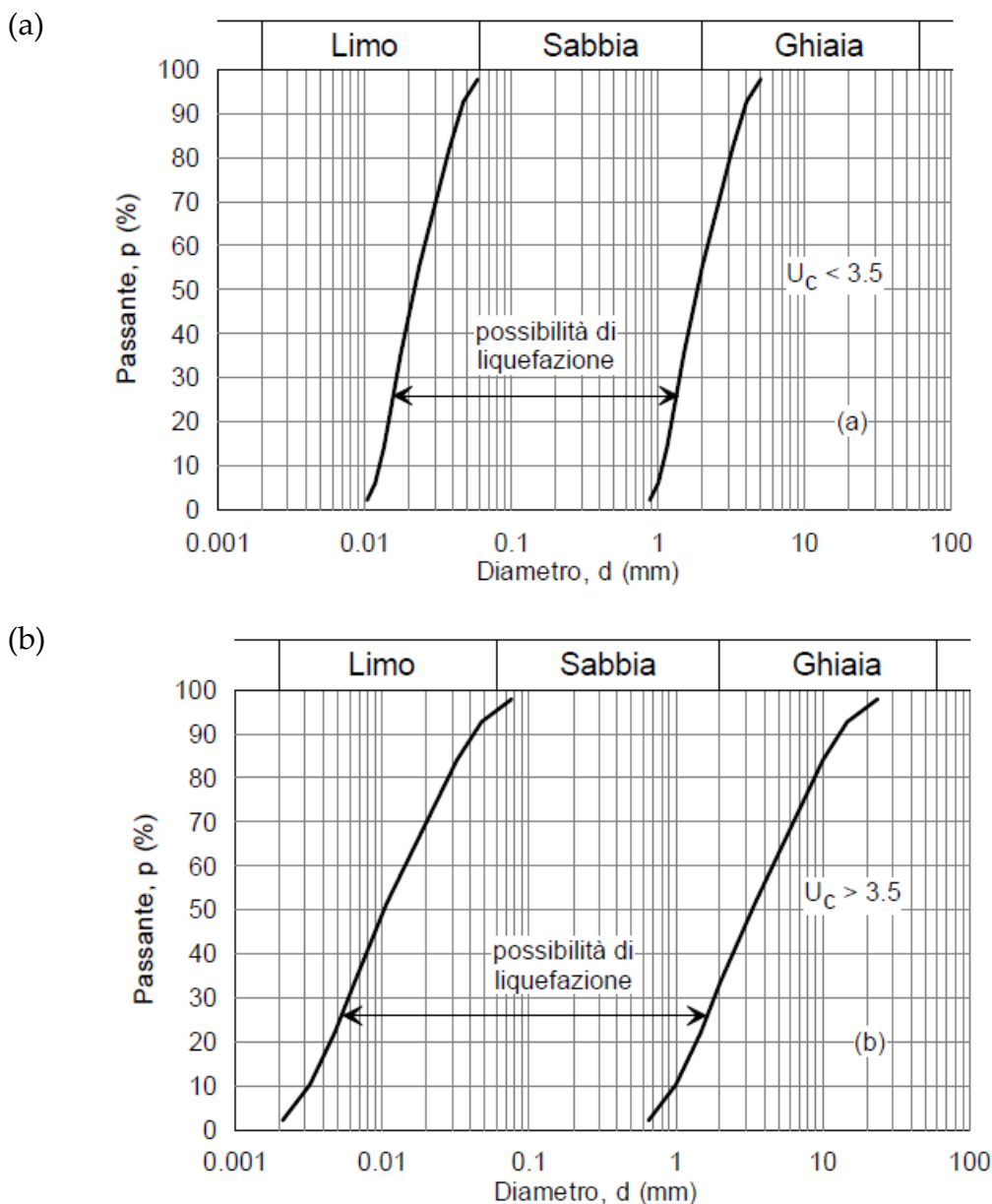
In occasione di un evento sismico particolare attenzione deve essere posta nella liquefazione dei terreni, ovvero la fluidificazione degli stessi con perdita improvvisa della resistenza al taglio, tendenza all'addensamento e conseguente riduzione di volume.

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 $a_{maxs} = 0,253g$ (*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; al termine dell'indagine all'interno dei suddetti terreni è stata rilevata la presenza di una falda freatica di superficie il cui livello statico è stato misurato ad una profondità variabile da 2,95 m a 3,25 m rispetto al p.c. attuale, presumibilmente soggetta a variazioni stagionali (*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; dalle prove penetrometriche eseguite la litologia di superficie è rappresentata da terreni limosi e argillosi con intercalazioni sabbiose (*non soddisfatta*).
4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella figura (a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in figura (b) per terreni con $U_c > 3,5$; a livello operativo l'applicazione di questo criterio implica l'esecuzione di un sondaggio con prelievo di campioni di sabbia satura.



Non essendo soddisfatta alcuna delle precedenti circostanze previste dalle N.T.C. 7.11.3.4.2, si è proceduto ad eseguire la verifica alla liquefazione.

Il fattore di sicurezza nei confronti della liquefazione (FSL) è espresso attraverso il rapporto fra la resistenza ciclica normalizzata (CRR) e lo sforzo ciclico normalizzato (CSR); Se il rapporto (FSL) è maggiore di 1,2 il terreno è non liquefacibile, mentre diventa liquefacibile in caso contrario.

Lo sforzo ciclico normalizzato può essere valutato nell'ipotesi di mezzo perfettamente rigido, in cui si propagano solo onde di taglio, con la seguente espressione semplificata che tiene conto del mezzo deformabile:

$$CSR = \frac{\tau_{hm}}{\sigma'_z} = 0,65 \times a_{\max s} \times \frac{\sigma_z}{\sigma'_z} \times \frac{r_d}{g} \times \frac{1}{MSF}$$

dove:

τ_{hm} = tensione tangenziale media indotta dal sisma di progetto;

a_{maxs} = accelerazione massima al sito = $S \cdot a_g = 0,253g$;

σ_z e σ'_z = valori della tensione litostatica totale ed effettiva alla profondità z dal p.c.;

r_d = coefficiente funzione della profondità dal p.c.;

MSF = coefficiente correttivo funzione della magnitudo massima attesa $M = 6,14$, per le zone sismogenetiche 911÷914.

La resistenza ciclica normalizzata (CRR) da prove CPTE/CPTU in accordo con quanto prescritto al punto A2.2) dell'All. A3 del D.G.R 630/2019 viene valutata mediante il metodo di Boulanger e Idriss (2014) che permette di correlare la resistenza al taglio mobilitata nel terreno con i risultati della prova penetrometrica.

La procedura di calcolo si basa sulla seguente equazione:

$$CRR = \exp \left[\frac{(q_{c1n})_{cs}}{113} \right] + \left[\frac{(q_{c1n})_{cs}}{1000} \right]^2 - \left[\frac{(q_{c1n})_{cs}}{140} \right]^3 + \left[\frac{(q_{c1n})_{cs}}{137} \right]^4 - 2,80$$

dove $(q_{c1n})_{cs}$ è funzione della resistenza alla punta normalizzata e corretta per tenere conto della percentuale di fine presente FC determinata sulla base dell'indice di classificazione del terreno I_c .

Dalla verifica vengono esclusi gli orizzonti di transizione da litotipi argillosi a sabbiosi e viceversa e caratterizzati da $1,51 < I_c < 3,23$.

Il dettaglio della procedura di calcolo della resistenza alla liquefazione (Boulanger & Idriss 2014) eseguito mediante il software Cliq della Geologismiki, viene riportato nel diagramma di flusso in allegato.

Le procedure di calcolo applicate alle prove eseguite hanno evidenziato la presenza di sottili lenti caratterizzate da un coefficiente di sicurezza $F_s < 1,2$.

12. VALUTAZIONE INDICE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

La verifica alla liquefazione ha evidenziato la presenza di terreni potenzialmente liquefacibili, pertanto occorre effettuare la stima dell'indice di liquefazione IL in termini quantitativi.

Iwasaki et al., (1978) hanno introdotto il parametro "Indice del potenziale di Liquefazione IL", esplicabile mediante le seguenti relazioni:

$$I_L = \int_0^{z_{crit}} F(z) \times w(z) \cdot dz$$

dove:

$$\begin{aligned} F(z) &= 0 && \text{per } FSL \geq 1,2 \\ F(z) &= 2 \cdot 10^6 \exp(-18,427 \cdot FSL) && \text{per } 1,2 > FSL > 0,95 \\ F(z) &= 1 - FSL && \text{per } FSL \leq 0,95 \\ w(z) &= 10 - 0,5 \times z \\ z &= \text{profondità dal piano campagna;} \\ z_{crit} &= \text{profondità critica pari a 15 m.} \end{aligned}$$

In base al valore di IL è possibile fornire un'indicazione del rischio di liquefazione attraverso la seguente tabella (Sonmez 2003):

Valore IL	Potenziale di liquefazione
IL = 0	Non liquefacibile (FSL ≥ 1,2)
0 < IL ≤ 2	Basso
2 < IL ≤ 5	Moderato
5 < IL ≤ 15	Alto
IL > 15	Molto alto

Nell'area in esame le valutazioni analitiche hanno espresso un Indice del potenziale di Liquefazione IL variabile da 0,69 a 3,25 traducibile in altri termini in un rischio di liquefazione da "Basso" a "Moderato"

In allegato sono riportati uno schema delle verifiche eseguite.

13. 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 in termini di valore medio per il dimensionamento di fondazioni profonde della lunghezza di 10,00 m.

Con riferimento al p.c. attuale, 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.

CPTE 1

Profondità (m)	Porzione palo	Valori medi		
		Cu (kPa)	φ (°)	γ (kN/mc)
1,00÷2,20	laterale	90	-	19,2
2,20÷6,10	laterale	50	-	19,0
6,10÷8,60	laterale	60	-	19,1
8,60÷9,80	laterale	0	35	18,5
9,80÷11,00	laterale	65	-	19,1
9,80÷11,00	punta	65	-	19,1

CPTE 2

Profondità (m)	Porzione palo	Valori medi		
		Cu (kPa)	φ (°)	γ (kN/mc)
1,00÷2,40	laterale	80	-	19,2
2,40÷6,10	laterale	50	-	19,0
6,10÷11,00	laterale	65	-	19,1
6,10÷11,00	punta	65	-	19,1

CPTE 3

Profondità (m)	Porzione palo	Valori medi		
		Cu (kPa)	φ (°)	γ (kN/mc)
1,00÷3,00	laterale	115	-	19,2
3,00÷8,00	laterale	35	-	18,9
8,00÷11,00	laterale	65	-	19,1
8,00÷11,00	punta	65	-	19,1

CPTE 4

Profondità (m)	Porzione palo	Valori medi		
		Cu (kPa)	φ (°)	γ (kN/mc)
1,00÷2,20	laterale	120	-	19,3
2,20÷5,70	laterale	50	-	19,1
5,60÷11,00	laterale	60	-	19,2
9,20÷11,00	punta	60	-	19,1

CPTE 5

Profondità (m)	Porzione palo	Valori medi		
		Cu (kPa)	φ (°)	γ (kN/mc)
1,00÷2,90	laterale	100	-	19,2
2,90÷6,00	laterale	40	-	18,9
6,00÷11,00	laterale	70	-	19,1
6,00÷11,00	punta	70	-	19,1

CPTE 6

Profondità (m)	Porzione palo	Valori medi		
		Cu (kPa)	φ (°)	γ (kN/mc)
1,00÷3,30	laterale	90	-	19,2
3,30÷5,60	laterale	50	-	19,0
5,60÷11,00	laterale	65	-	19,1
3,00÷11,00	punta	65	-	19,1

CPTE 7

Profondità (m)	Porzione palo	Valori medi		
		Cu (kPa)	φ (°)	γ (kN/mc)
1,00÷3,10	laterale	100	-	19,2
3,10÷5,00	laterale	0	36	18,5
5,00÷6,60	laterale	65	-	19,1
6,60÷11,00	laterale	70	-	19,1
7,80÷11,00	punta	70	-	19,1

CPTE 8

Profondità (m)	Porzione palo	Valori medi		
		Cu (kPa)	φ (°)	γ (kN/mc)
1,00÷2,20	laterale	80	-	19,2
2,20÷5,00	laterale	0	36	18,5
5,00÷10,00	laterale	65	-	19,2
10,00÷11,00	laterale	100		19,2
10,00÷11,00	punta	100	-	19,2

CPTE 9

Profondità (m)	Porzione palo	Valori medi		
		Cu (kPa)	φ (°)	γ (kN/mc)
1,00÷3,40	laterale	65	-	19,1
3,40÷6,40	laterale	45	-	19,0
6,40÷7,60	laterale	70	-	19,1
7,60÷8,80	laterale	0	33	18,5
8,80÷11,00	laterale	70	-	19,1
8,80÷11,00	punta	70	-	19,1

14. CONSIDERAZIONI FINALI

L'area in esame ricade in un settore deposizionale della media Pianura Padana caratterizzato da moderate ondulazioni che degradano progressivamente verso Nord; più esattamente si ubica ad una quota media di 27,50 m s.l.m., in una zona pressoché pianeggiante o di bassissima acclività.

La litologia del primo sottosuolo al tetto, al disotto di un orizzonte di terreno pedogenizzato e/o di riporto dello spessore variabile da 0,40 m a circa 1,60 m, sino ad una profondità variabile da circa 2,20 m a 3,30 m risulta inizialmente caratterizzata dalla presenza di limi variabilmente sabbiosi di colore grigiastro, di consistenza da plastica a plastica dura ($q_c = 1,2 \div 3,2$ MPa; $R_f = 3,0 \div 6,0$ %), ed umidità medio scarsa, inglobanti localmente sottili lenti sabbiose di addensamento medio buono ($q_c = 3,5 \div 4,0$ MPa; $R_f = 1,5 \div 2,0$ %).

Sotto si alternano dei limi sabbiosi di colore da grigiastro a marrone, di consistenza da plastico tenera a plastica ($q_c = 0,5 \div 1,9$ MPa; $R_f = 3,8 \div 6,3$ %), con i valori più bassi prevalenti nella Est, ed umidità da media ad elevata sino alla totale saturazione idrica, con delle lenti di sabbie variabilmente limose di addensamento da medio scarso a medio buono ($q_c = 2,5 \div 6,4$ MPa; $R_f = 0,8 \div 2,0$ %), prevalenti nella fascia Ovest.

A partire da una profondità variabile da 5,40 m a circa 8,00 m (fascia Nord/Est), e sino a 9,70÷11,80 m, prevalgono dei limi sabbiosi e/o argillosi di consistenza prevalentemente plastica ($q_c = 1,0 \div 1,6$ MPa; $R_f = 3,8 \div 5,8$ %), con rare e sottili intercalazioni plastico tenere ($q_c = 0,8 \div 0,9$ MPa; $R_f = 3,8 \div 5,8$ %), inglobanti lenti sabbiose variabilmente limose di addensamento da medio scarso a medio buono ($q_c = 2,1 \div 6,5$ MPa; $R_f = 0,6 \div 2,0$ %).

Sotto sono presenti dei limi argillosi e/o sabbiosi di consistenza da plastica a plastico dura ($q_c = 1,0 \div 2,7$ MPa; $R_f = 3,0 \div 6,0$ %), inglobanti localmente lenti sabbiose di addensamento da medio scarso a medio ($q_c = 2,1 \div 6,6$ MPa; $R_f = 0,5 \div 1,9$ %), prevalenti nella fascia Nord/Ovest sino alla profondità di circa 14,40 m.

Suddetti terreni sono sopportati da sabbie limose e ghiaiose di addensamento da medio ad elevato ($q_c = 4,1 \div 16,3$ MPa; $R_f = 0,5 \div 2,0$ %), il cui tetto è stato evidenziato ad una profondità media di 19,10÷19,80 m dal p.c. attuale

I suddetti terreni sono caratterizzati dalla presenza di una falda freatica di superficie il cui livello statico al termine dell'indagine, alla data di esecuzione della stessa, rispetto al p.c. attuale è stato misurato ad una profondità media di 2,95÷3,25 m, quote presumibilmente soggette a variazioni stagionali.

Per quanto in progetto si prevede l'adozione di un sistema fondale profondo (pali trivellati) della lunghezza di 8,00÷10,00 m.

I terreni del primo sottosuolo sono caratterizzati da una profondità del substrato superiore a 30,00 m e da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e al p.c. m presentano una V_{Seq} pari a circa 199 m/sec, pertanto ricadono nella Categoria C, che comprende *“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30,0 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”*.

In considerazione di quanto sopra, da un punto di vista geologico, non si ritiene necessario un'analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

Nell'area in esame le valutazioni analitiche hanno espresso un Indice del potenziale di Liquefazione IL variabile da 0,69 a 3,25 traducibile in altri termini in un rischio di liquefazione da “Basso” a “Moderato”.

In considerazione di quanto sopra si può pertanto affermare che, seguendo le prescrizioni riportate in precedenza, da un punto di vista geologico non vi è nulla che impedisca la realizzazione di quanto in progetto.

Casalecchio di Reno, 12 Luglio 2022



ALLEGATI

Indagine geognostica

CPT E (electric cone penetration test)

N. 1

Rapporto di Prova N. 22.0238/RSP

Committente : Comet S.p.A.

Località : Budrio (BO)

Attrezzatura : Punta Pagani Mod. MKJ385 - Penetrometro da 200 kN

Note: ---

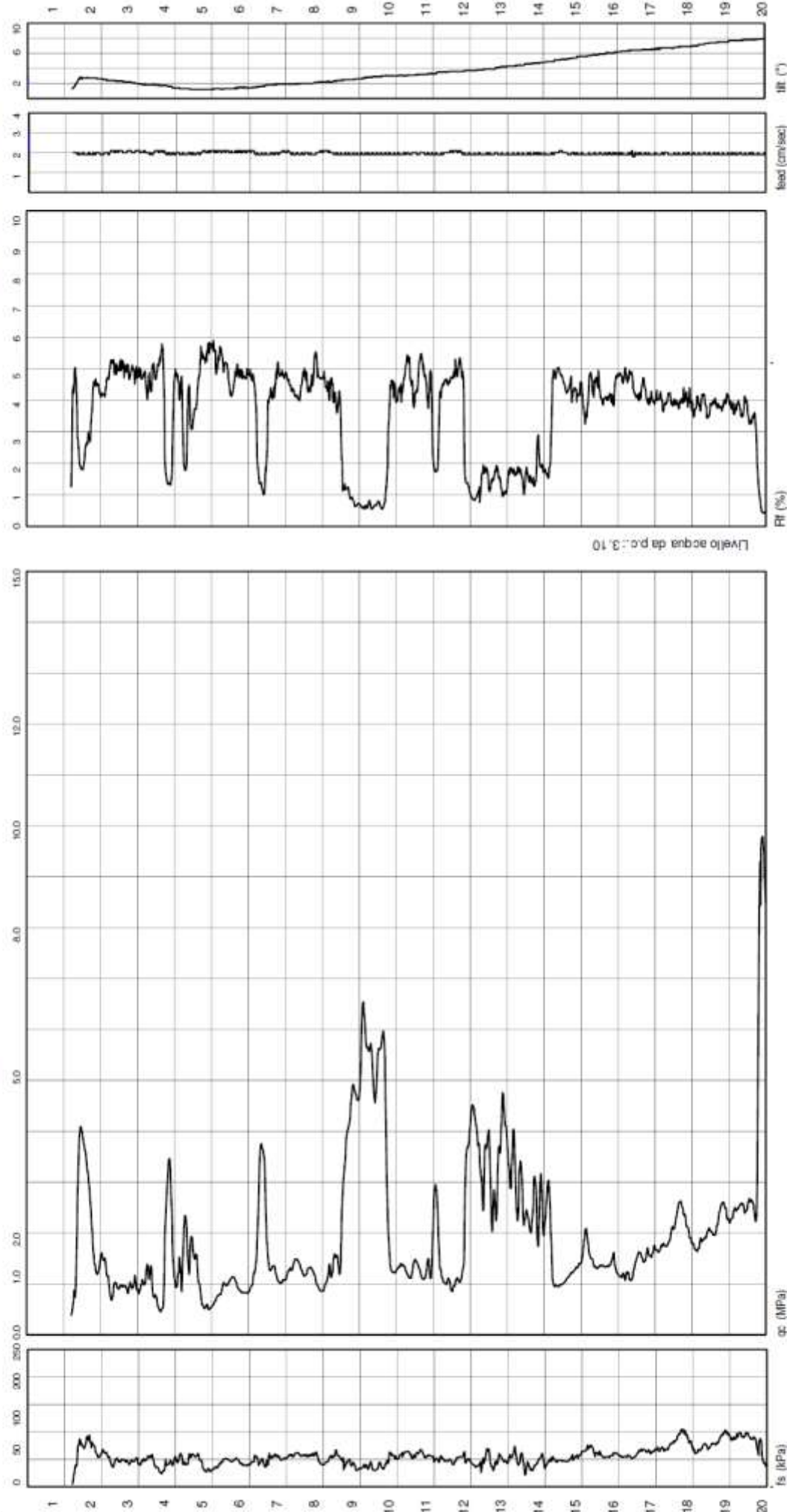
Cantiere: via Mattei

Quota : ---

Profondità : 120.00 cm

Data Prova : 19/04/2022

Codice Lavoro : 2022.048



Procedura di Prova	Normativa di riferimento	Rapporto di Prova N°	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
IO_004	ASTM D 5778-12	22.0238/RSP	0	21/04/2022	Dr. Conti	Dr. Luca Conti

C P T E (electric cone penetration test)

N. 3

Rapporto di Prova N.

22.0240/RSP

Committente : Comet S.p.A.

Località : Budrio (BO)

Cantiere: via Mattei

Attrezzatura: Punta Pagani Mod. MKJ386 - Penetrometro da 200 kN

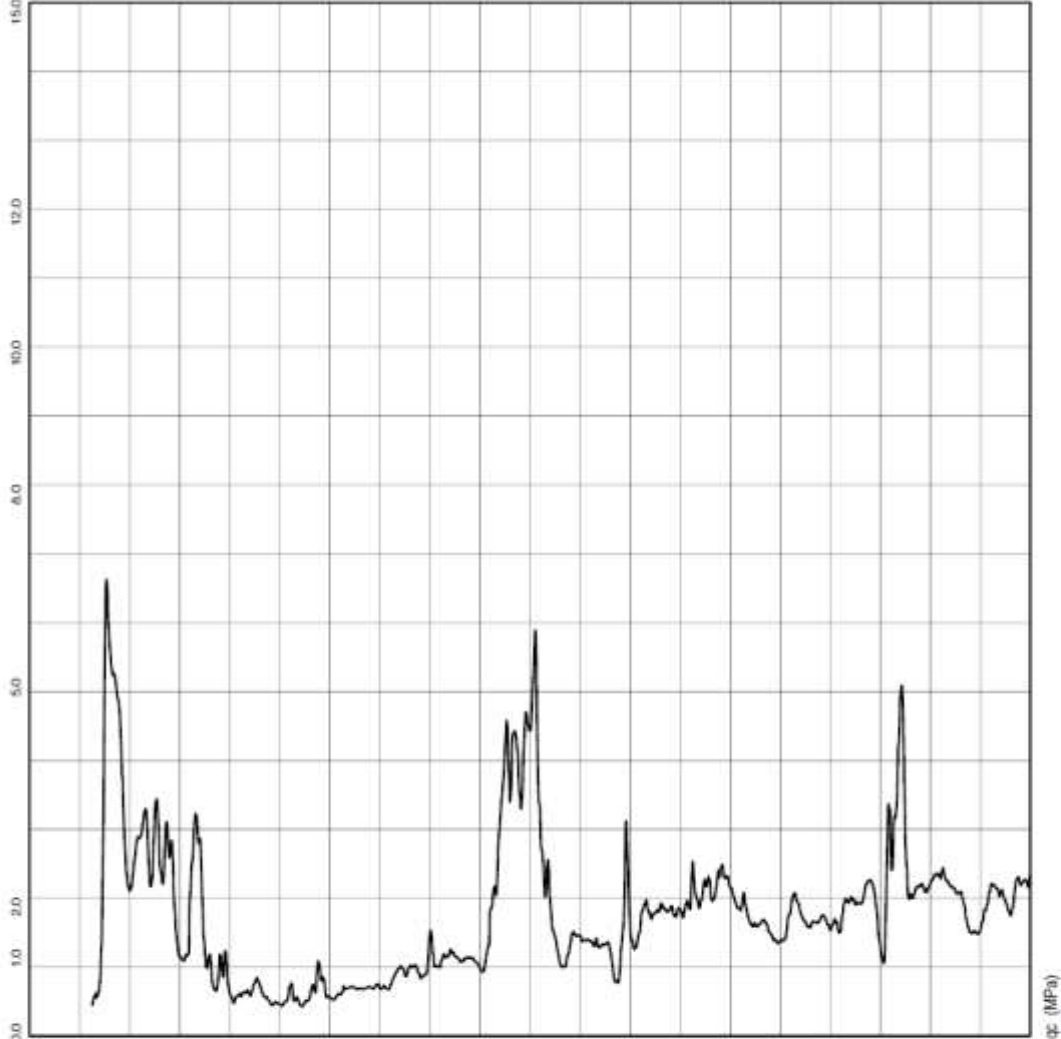
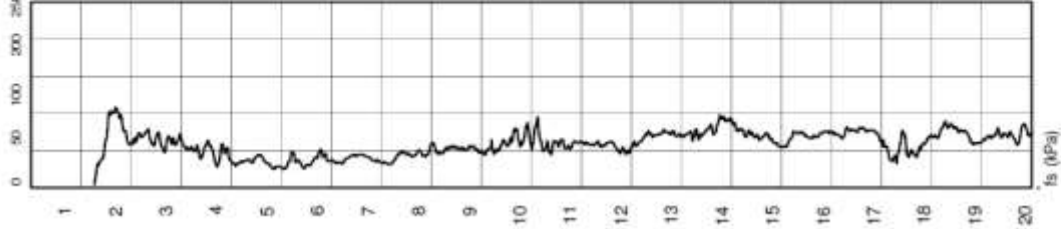
Note: ---

Quota : ---

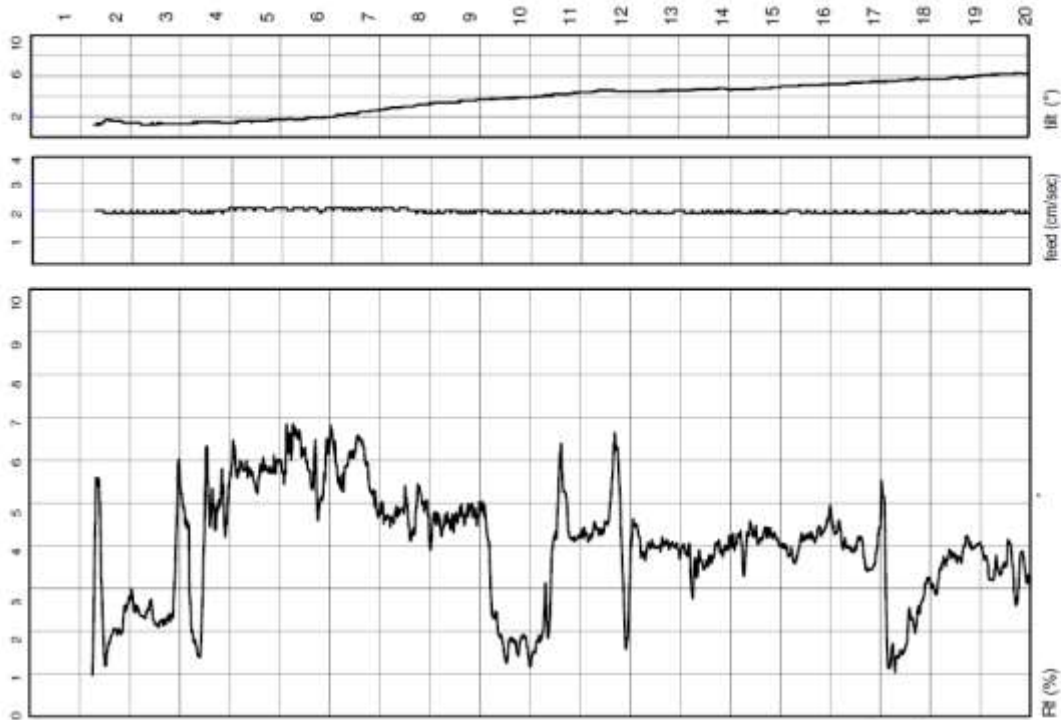
Profondità : 125.00 cm

Data Prova : 19/04/2022

Codice Lavoro : 2022.048



Livello acqua da p.c.: 3.05



Procedura di Prova	Normativa di riferimento	Rapporto di Prova N°	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
IO_004	ASTM D 5778-12	22.0240/RSP	0	21/04/2022	Dr. Conti	Dr. Luca Conti

C P T E (electric cone penetration test)

N. 4

Rapporto di Prova N. 22.0241/RSP

Committente :

Comet S.p.A.

Località :

Budrio (BO)

Cantiere: via Mattei

Attrezzatura:

Puntia Pagani Mod. MKJ387 - Penetrometro da 200 kN

Quota :

Preforo :

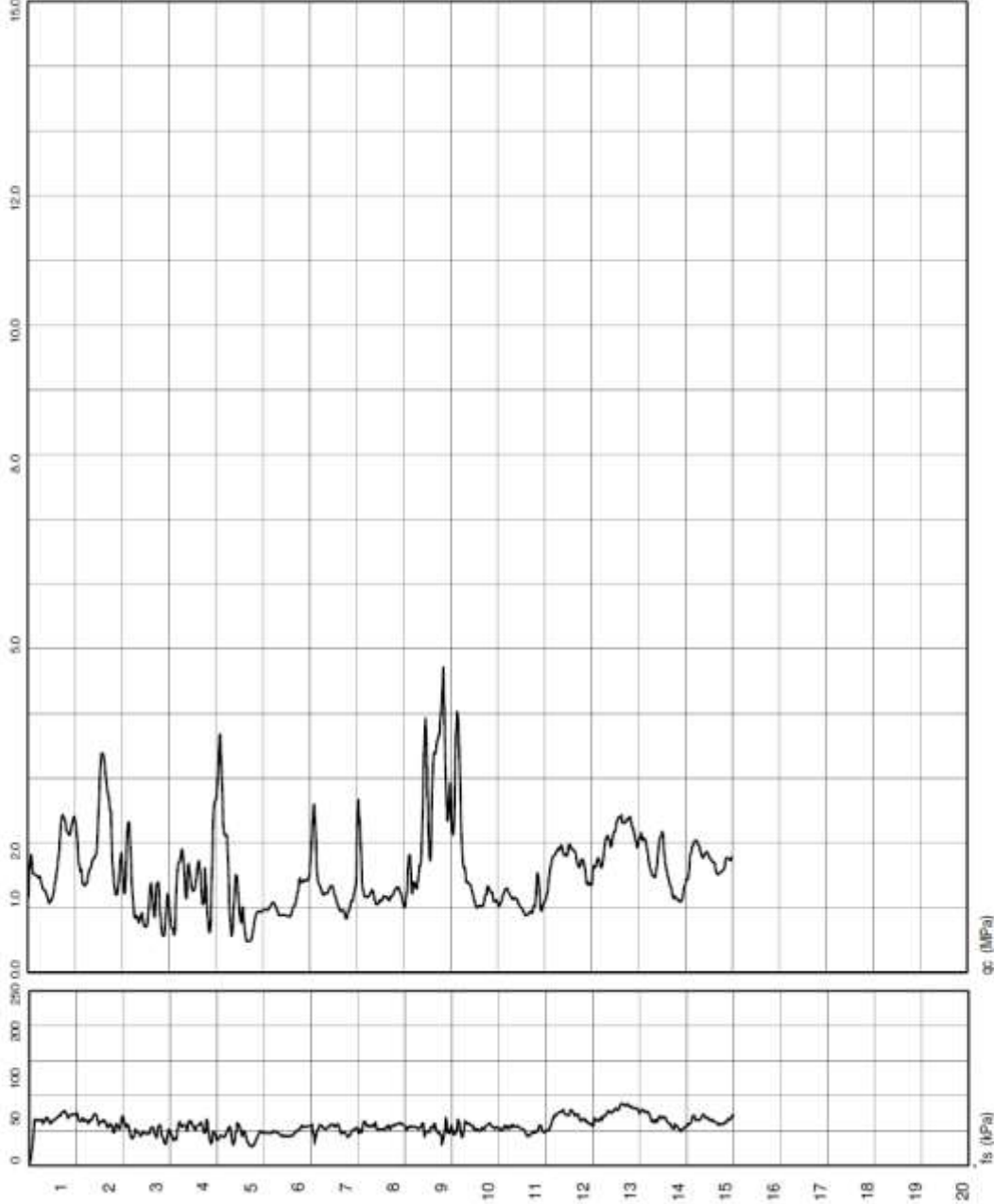
0.00 cm

Data Prova :

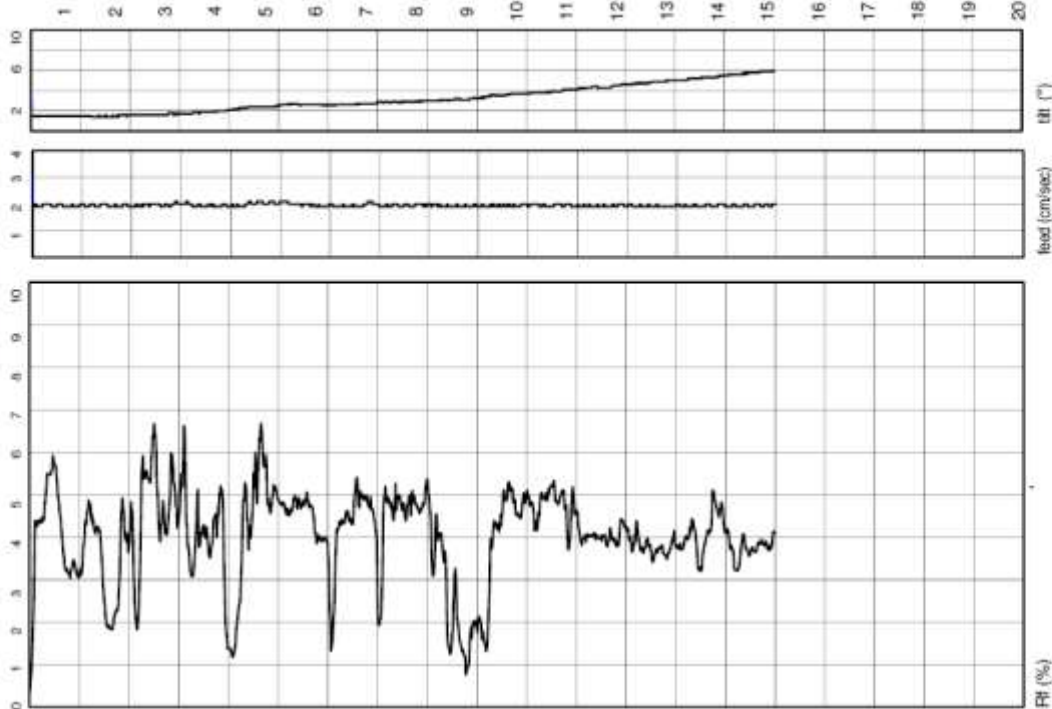
19/04/2022

Note:

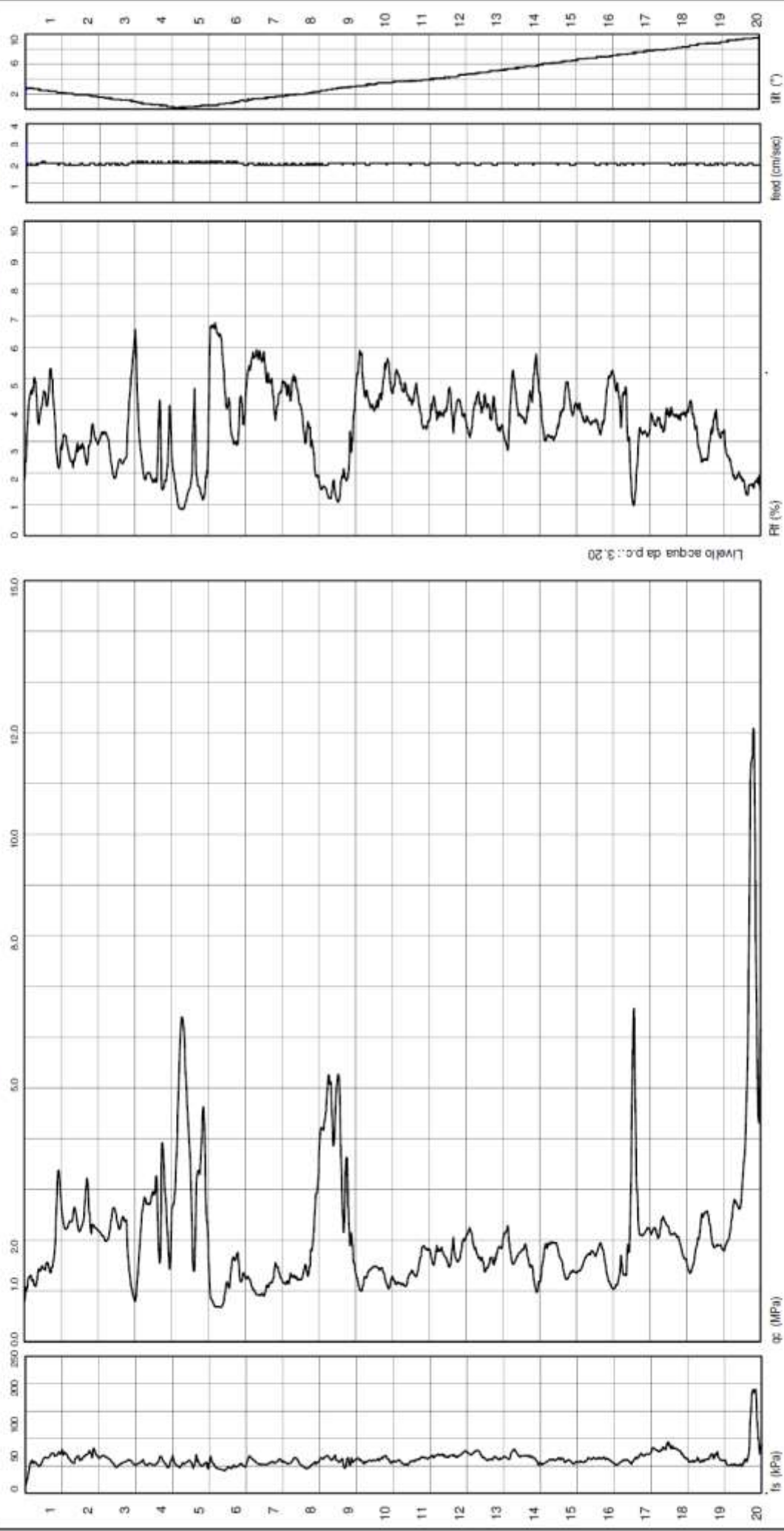
Codice Lavoro : 2022.048



Livello acqua da p.c.: 3.15



Procedura di Prova	Normativa di riferimento	Rapporto di Prova N°	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
IO_004	ASTM D 5778-12	22.0241/RSP	0	21/04/2022	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	22.0244/RSP	0	21/04/2022	Dr. Conti	Dr. Luca Conti

C P T E (electric cone penetration test)

N. 9

Rapporto di Prova N. 22.0246/RSP

Committente : Comet S.p.A.

Località : Budrio (BO)

Attrezzatura : Punta Pagani Mod. MKJ386 - Penetrometro da 200 kN

Note : ---

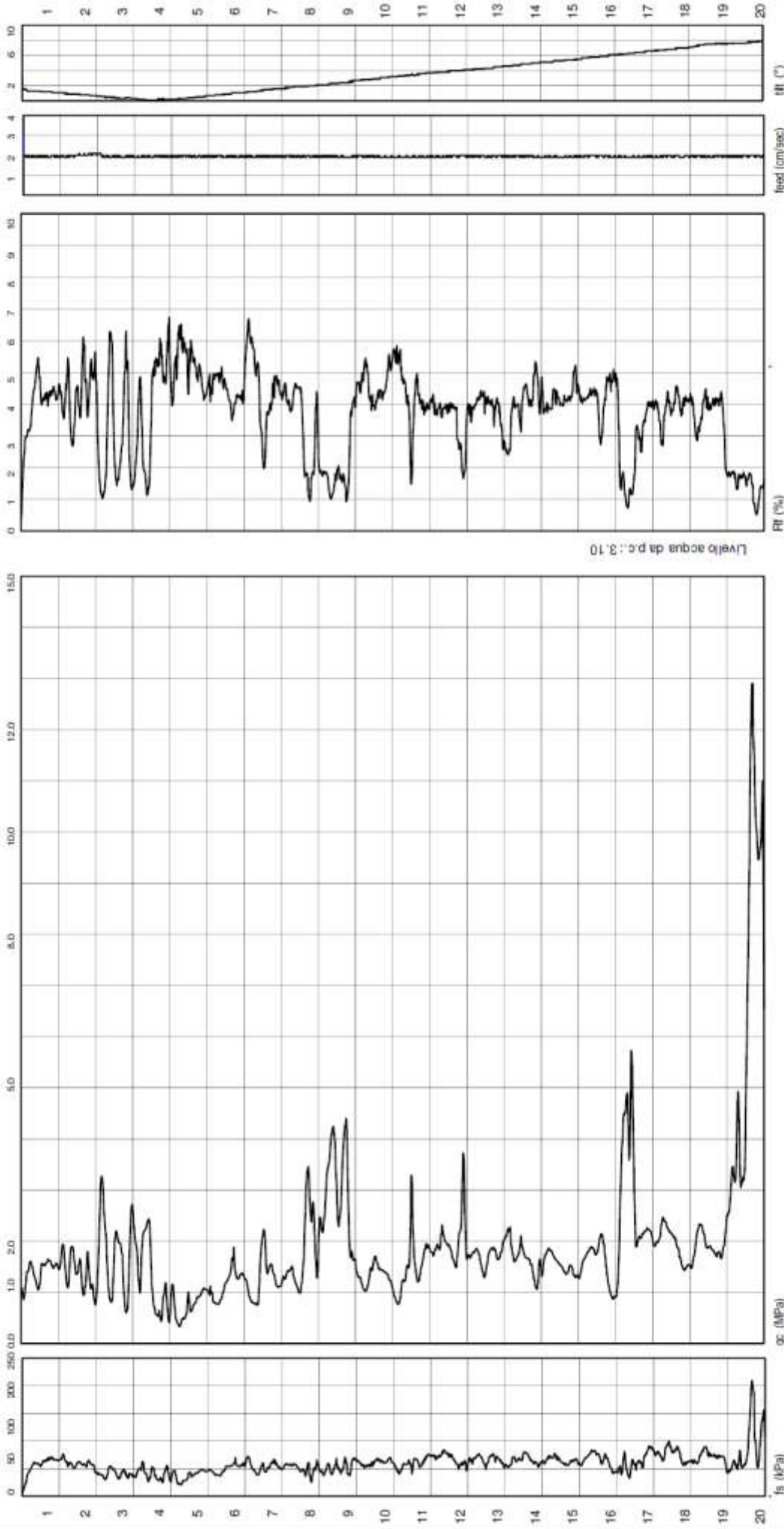
Quota : ---

Preforo : 0,00 cm

Data Prova : 19/04/2022

Codice Lavoro : 2022.048

Cantiere : via Mattel



Procedura di Prova	Normativa di riferimento	Rapporto di Prova N°	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
IO_004	ASTM D 5778-12	22.0246/RSP	0	21/04/2022	Dr. Conti	Dr. Luca Conti

GEO-PROBE s.r.l. <i>Indagini Geognostiche</i> 40033 CASALECCHIO DI RENO (BO) Via Cimarosa, 119 - Tel. 051/61.33.072		Committente: <u>Comet Spa</u>		Quota: <u>--</u>	Rap. Pr. N°22.0247/RSP	
		Località: <u>Budrio (BO)</u>		Profondità: <u>4.00 m</u>	Codice Lavoro 2022.048	
		Cantiere: <u>Via Mattei</u>		Data inizio: <u>19/04/2022</u>	SONDAGGIO	
		Perforazione: <u>Trivellazione a secco d 120 mm</u>		Data Fine: <u>19/04/2022</u>	FOGLIO	
Altrezzaatura: <u>U400L</u>		Il geologo: <u>Dr. Conti</u>		1		1
Procedura di Prova --	Rapporto di Prova N° 22.0247/RSP	Rev. 0	Data di emissione 22/04/2022	Lo Sperimentatore Dr. Conti	Il Direttore di Laboratorio Dr. Conti	

Profondità [m]	Scala 1:50	Stratigrafia	Descrizione stratigrafica	Campioni	Falda	Piezometro Norton
-0.20			Terreno agrario			
-0.40			Limo sabbioso di colore giallastro; terreno a consistenza plastica ed umidità media			
			Limo debolmente sabbioso di colore grigiastro; terreno a consistenza da plastica a plastica dura			
	1					
	2					
	3					
-3.60					3.25	
-4.00	4		Limo sabbioso e/o viceversa di color marrone; terreno scarsamente addensato in totale saturazione idrica			
	5					
	6					
	7					
	8					
	9					
	10					
	11					
	12					
	13					
	14					
	15					

Indagine sismica MASW

C.G.A.



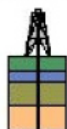
Studio Tecnico Associato di Consulenze di Geologia e Ambiente del Dott. Geol. F. Barbieri e del Dott. Geol. M. Ropa

Via E. Fermi n° 11/A - 40017 SAN GIOVANNI IN PERSICETO (BO) Codice Fiscale e P. IVA 04112290376

Tel. 051 – 687.11.13 FAX 051 – 687.43.28

Committente: Geoprobe S.r.l.

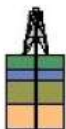
Rapporto di prova relativo all'esecuzione di una prova sismica MASW a uno shot eseguita in Via Trebbi, in località Cento nel Comune di Budrio (BO).



SOMMARIO

SOMMARIO	1
INTRODUZIONE	2
METODOLOGIA D'INDAGINE	3
INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA MASW	3
MODALITÀ ESECUTIVE	3
ELABORAZIONE DATI	5
SISMICA CON METODOLOGIA MASW	5
<i>Analisi delle immagini di dispersione</i>	<i>5</i>
<i>Interpretazione</i>	<i>5</i>
Densità Dinamica:	6
Modulo di taglio:	6
Modulo di Young:	6
PRESENTAZIONE DEI RISULTATI	7
DETERMINAZIONE DELLE CATEGORIE DI SUOLO DI FONDAZIONE	8
PROPRIETÀ GEOFISICHE DEI TERRENI	9

APPENDICE 1 – FIGURE ED ELABORATI GRAFICI



INTRODUZIONE

Su incarico della Geoprobe S.r.l. è stato redatto questo rapporto di prova relativo a una prova MASW a uno shot eseguita in Via Trebbi, in località Cento nel Comune di Budrio (BO).

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.

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 A6000-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. - A6000S

CPU NS Geode GXLV 233MHz
Memoria RAM 128 Mb PC100 Mhz
Hard Disk 512 Mb on Compact Flash Disk Udma/33
Batteria di riserva al Litio
Monitoraggio Hardware Winbond W83781D
Display LCD 10,5" Tft Transflective a colori, touch screen
Controller Fast Ethernet Intel 82559ER 10/100 Base-T
Alimentazione con alimentatore Switching 12 Volt 2Ah
Valigia in copolimeri di polypropylene antisciacchiamento
Temperatura di funzionamento da 0 a 60°C
Dimensioni e peso L280 X H220 X P170 mm, 3 Kg

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

GEOFONI GEOSPACE GS-11D

Natural Frequency	4,5 ± 0,75 Hz
Coil Resistance (@ 25°C ± 5%)	380 Ohms
Intrinsic Voltage Sensitivity with 380 Ohm Coil ± 10%	0,33 V/cm/s
Normalized Transduction Constant (V/in/sec)	0,42 (sq.root of R _c)
Open Circuit Damping	0,34 ± 20%
Damping Constant with 380 Ohm Coil	762
Optional Coil Resistances ± 5%	56,16 Ohms
Moving Mass ± 5%	23,6 g
Typical Case to Coil Motion P-P	0,18 cm
Harmonic Distortion with Driving Velocity of 0.7 in/sec (1.8 cm/sec) P-P	N/S
Dimensioni	
Height (less terminals*)	3,35 cm
Diameter	3,18 cm
Weight	111 g

* terminal height is 0,3429 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:

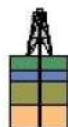
z_f = profondità di propagazione della frequenza f ;

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 4.2* 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.

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

Strato	Spessore medio (m)	Vs (m/s)
1	1.14	143.08
2	1.42	102.46
3	1.78	148.38
4	2.23	123.96
5	2.78	234.30
6	3.48	225.61
7	4.35	203.04
8	5.43	248.26
9	6.79	261.06
10	6.60	308.58

Tabella n° 4 – Stratigrafia da prova sismica e velocità di propagazione dell'onda sismica geofono 1012 Linea L1

Utilizzando le metodologie e le formule di cui al paragrafo relativo alla metodologia MASW e seguendo le prescrizioni dell'OPCM 3274/2003 e del D.M. 14.01.2008 la determinazione della V_{s30} è stata ottenuta utilizzando la formula:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{\Delta n} \frac{h_i}{V_{si}}}$$

dove:

h_i = spessore dello strato iesimo;

V_{si0} = Velocità orizzontale dello strato iesimo.

La V_{s30} , senza specifiche indicazioni dei progettisti, è calcolata per ogni shot di ogni linea sismica MASW eseguita a partire dal piano di campagna.

V_{s30} [m/s]	199.53
-----------------	--------

Tabella n° 5 – Valore calcolato di V_{s30} Linea L1



DETERMINAZIONE DELLE CATEGORIE DI SUOLO DI FONDAZIONE

Utilizzando le tabelle di seguito riportate, si è proceduto alla determinazione della Categoria di appartenenza dei terreni:

Categorie di suolo di fondazione:	
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/s.
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C e D e con spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_{s30} > 800$ m/s)
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s30} < 100$, che includono uno strato spesso almeno 8 m di terreni a grana fine di bassa consistenza oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreno suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.

Tabella n° 6 – Definizione dei profili stratigrafici

I terreni del sito appartengono alla Categoria C.



PROPRIETÀ GEOFISICHE DEI TERRENI

Per ogni prova eseguita, sono rappresentati graficamente in Appendice 1 le colonne sismostratigrafiche relative a V_s , V_p , e γ .

Di seguito la tabella di sintesi dei parametri geofisici:

Profondità	V_p (m/s)	V_s (m/s)	γ_{din} (kN/m ³)	E (Mpa)	G_0 (Mpa)
0.00	297.00	143.08	14.75	83.09	30.80
1.14	297.00	143.08	14.75	83.09	30.80
2.56	313.00	102.46	14.90	45.94	15.95
4.34	363.00	148.38	15.33	96.34	34.41
6.57	436.00	123.96	15.87	72.42	24.87
9.35	489.00	234.30	16.22	245.35	90.80
12.83	527.00	225.61	16.45	237.02	85.39
17.18	574.00	203.04	16.72	200.83	70.29
22.61	625.00	248.26	16.99	300.42	106.81
29.40	672.00	261.06	17.23	337.94	119.74
36.00	1039.00	308.58	18.72	527.66	181.75

Tabella n° 7 – Parametri geofisici

San Giovanni in Persiceto, 23.04.2015

I Geologi :



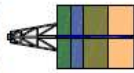
C.G.A.



Studio Tecnico Associato 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. 051 - 687.11.13 Fax 051 - 687.43.28

APPENDICE 1

Figure ed elaborati grafici

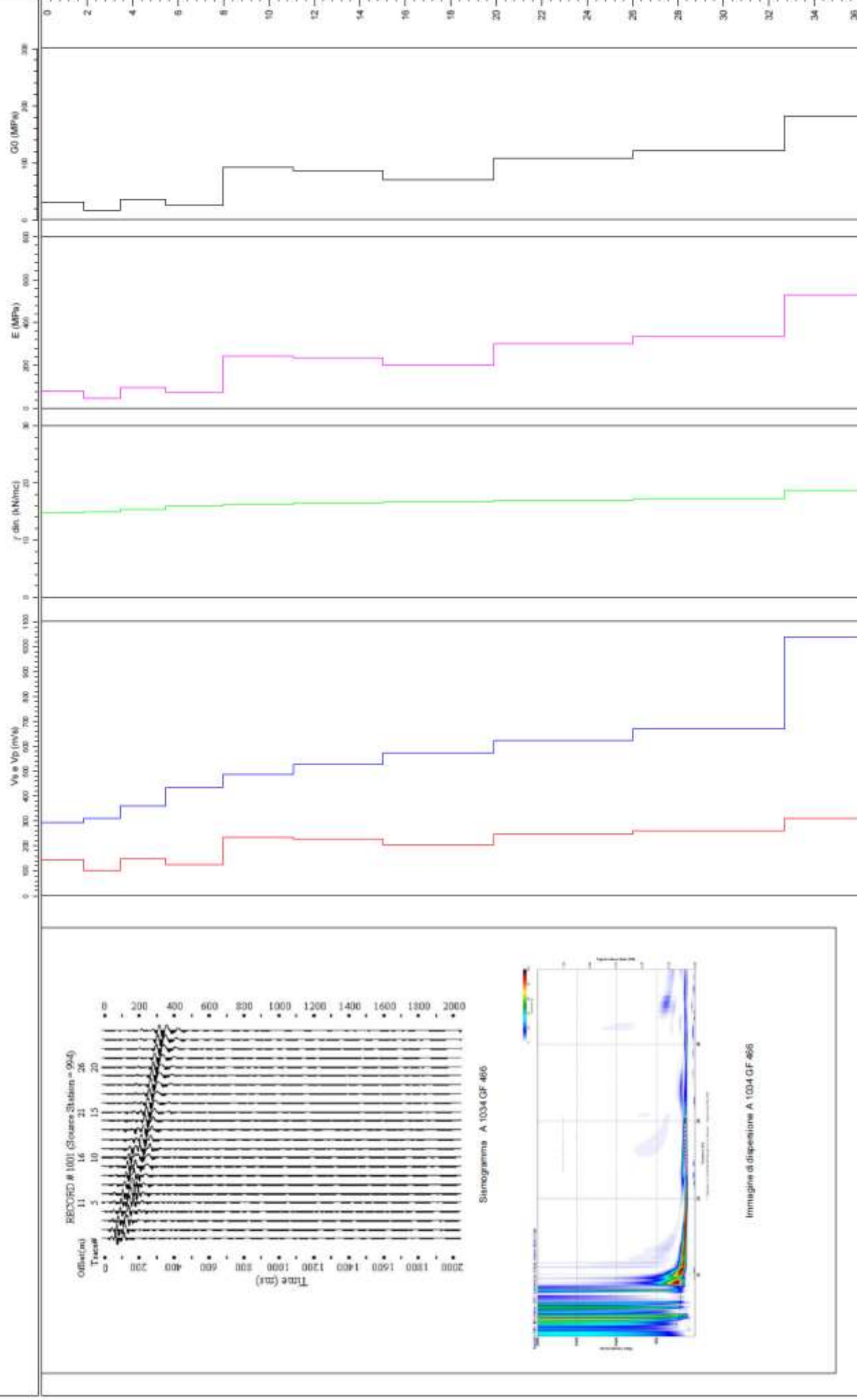




PROVA: MASW a 1 Shot

DATA DI ESECUZIONE: 22/04/2015

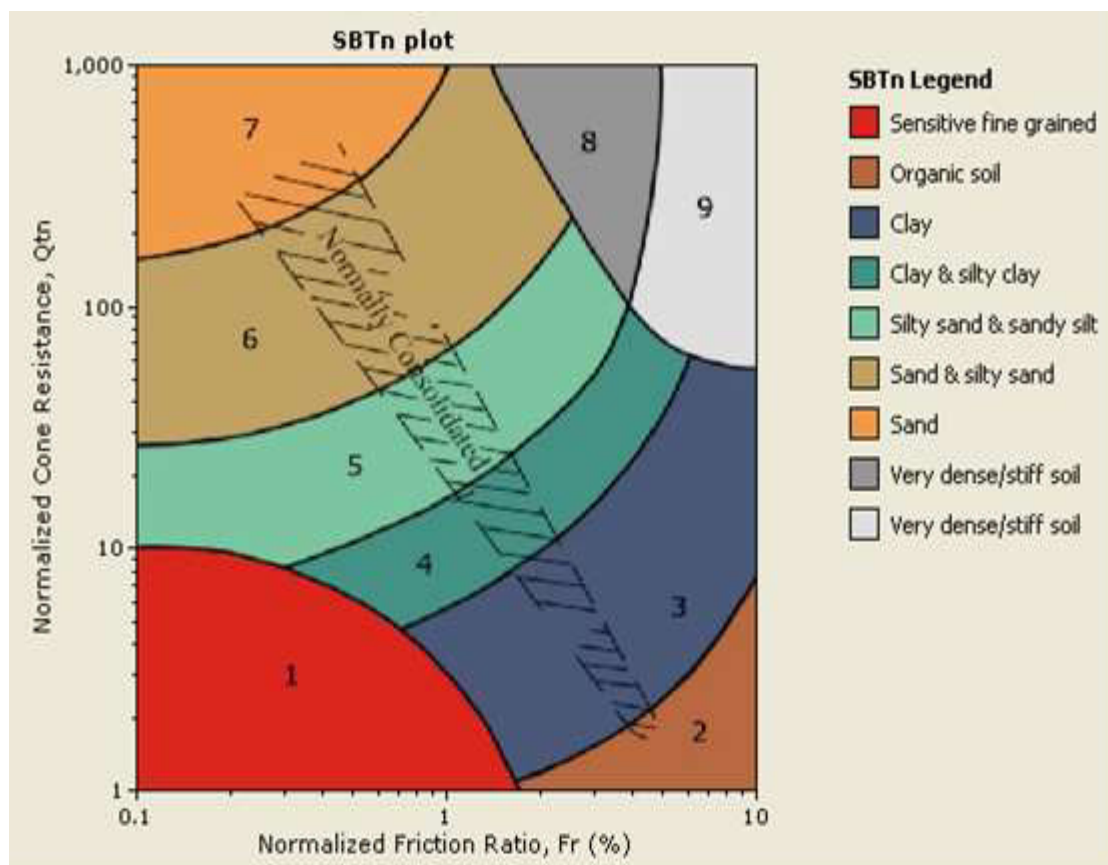
CERTIFICATO N°: A 1034 GF 466



Classificazione orientativa dei terreni *(Robertson, 1990)*

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

(Robertson, 1990)



2022.065/RG



Project: Comet S.p.A.
Location: Budrio (BO) - via Mattei

CPTE: 1 22.0238/RSP
Total depth: 20.00 m, Date: 19/04/2022
Cone Type: MKJ386
Cone Operator: Dr. Conti

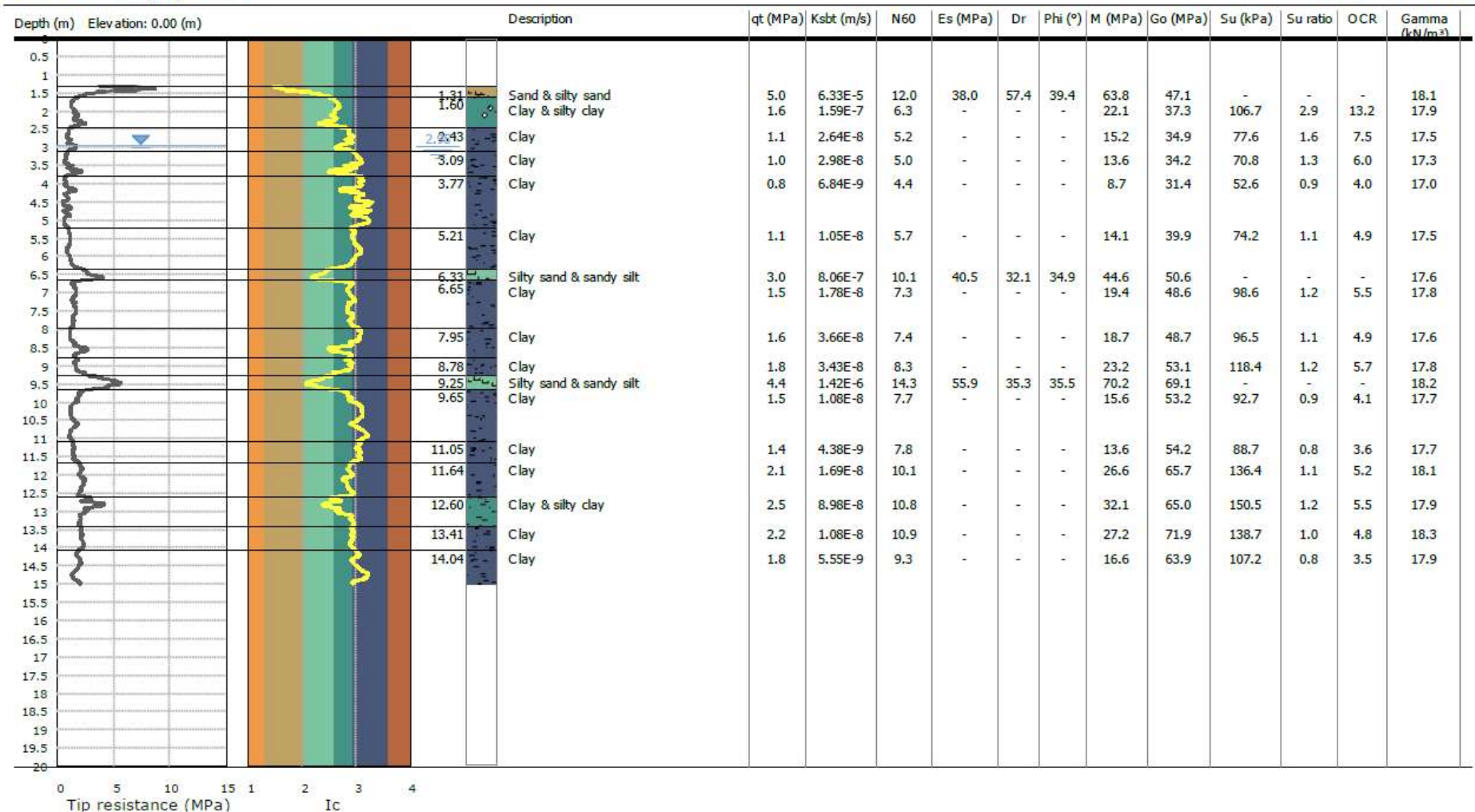
Depth (m)	Elevation: 0.00 (m)	Description	qt (MPa)	Ksbt (m/s)	N60	Es (MPa)	Dr	Phi (°)	M (MPa)	Go (MPa)	Su (kPa)	Su ratio	OCR	Gamma (kN/m ³)
0.5														
1														
1.5														
2														
2.5														
3														
3.5														
4														
4.5														
5														
5.5														
6														
6.5														
7														
7.5														
8														
8.5														
9														
9.5														
10														
10.5														
11														
11.5														
12														
12.5														
13														
13.5														
14														
14.5														
15														
15.5														
16														
16.5														
17														
17.5														
18														
18.5														
19														
19.5														
20														

2022.065/RG



Project: Comet S.p.A.
Location: Budrio (BO) - via Mattei

CPTE: 2 22.0239/RSP
Total depth: 15.00 m, Date: 19/04/2022
Cone Type: MKJ386
Cone Operator: Dr. Conti



2022.065/RG



CPTE: 3 22.0240/RSP

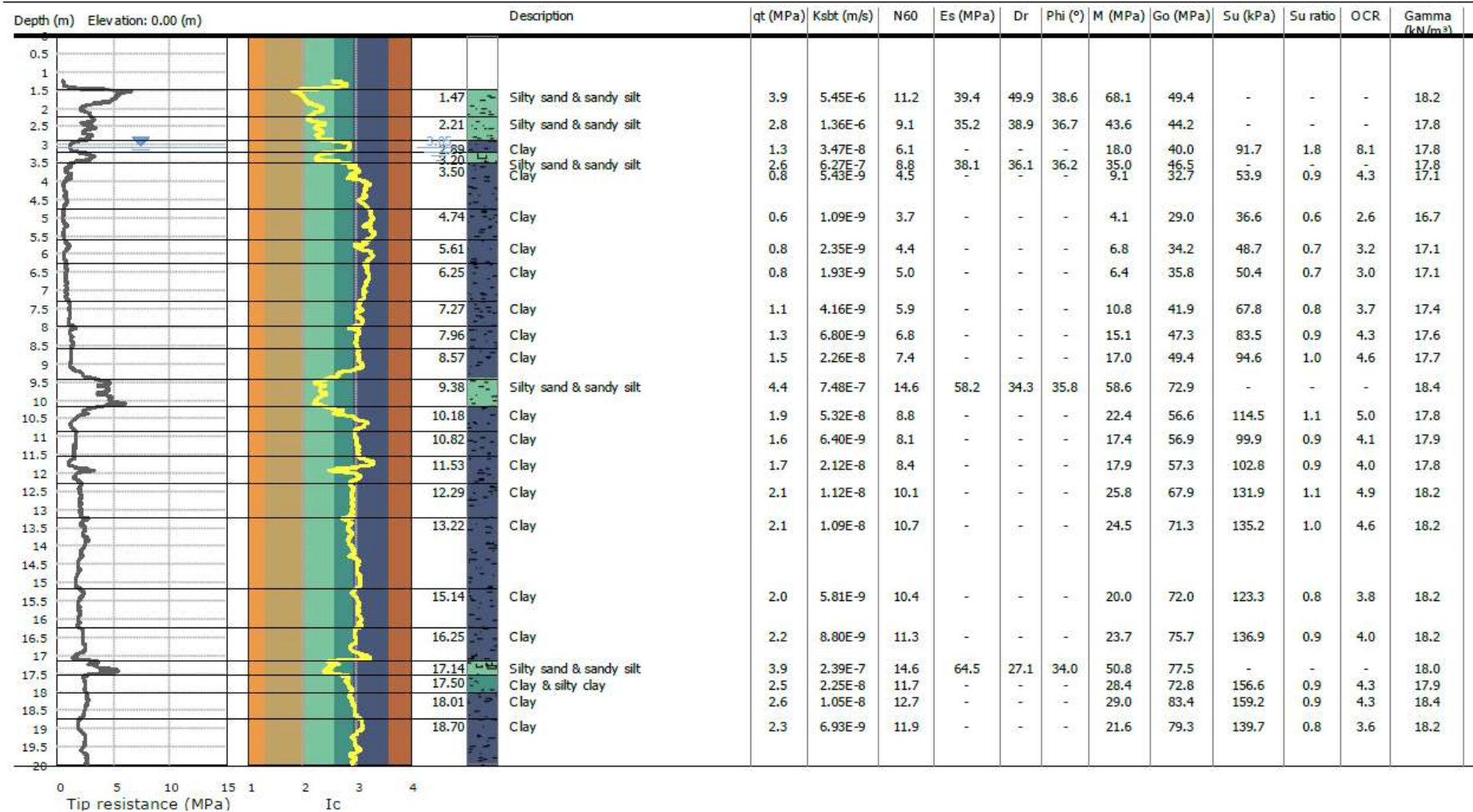
Total depth: 20.00 m, Date: 19/04/2022

Cone Type: MKJ386

Cone Operator: Dr. Conti

Project: Comet S.p.A.

Location: Budrio (BO) - via Mattei

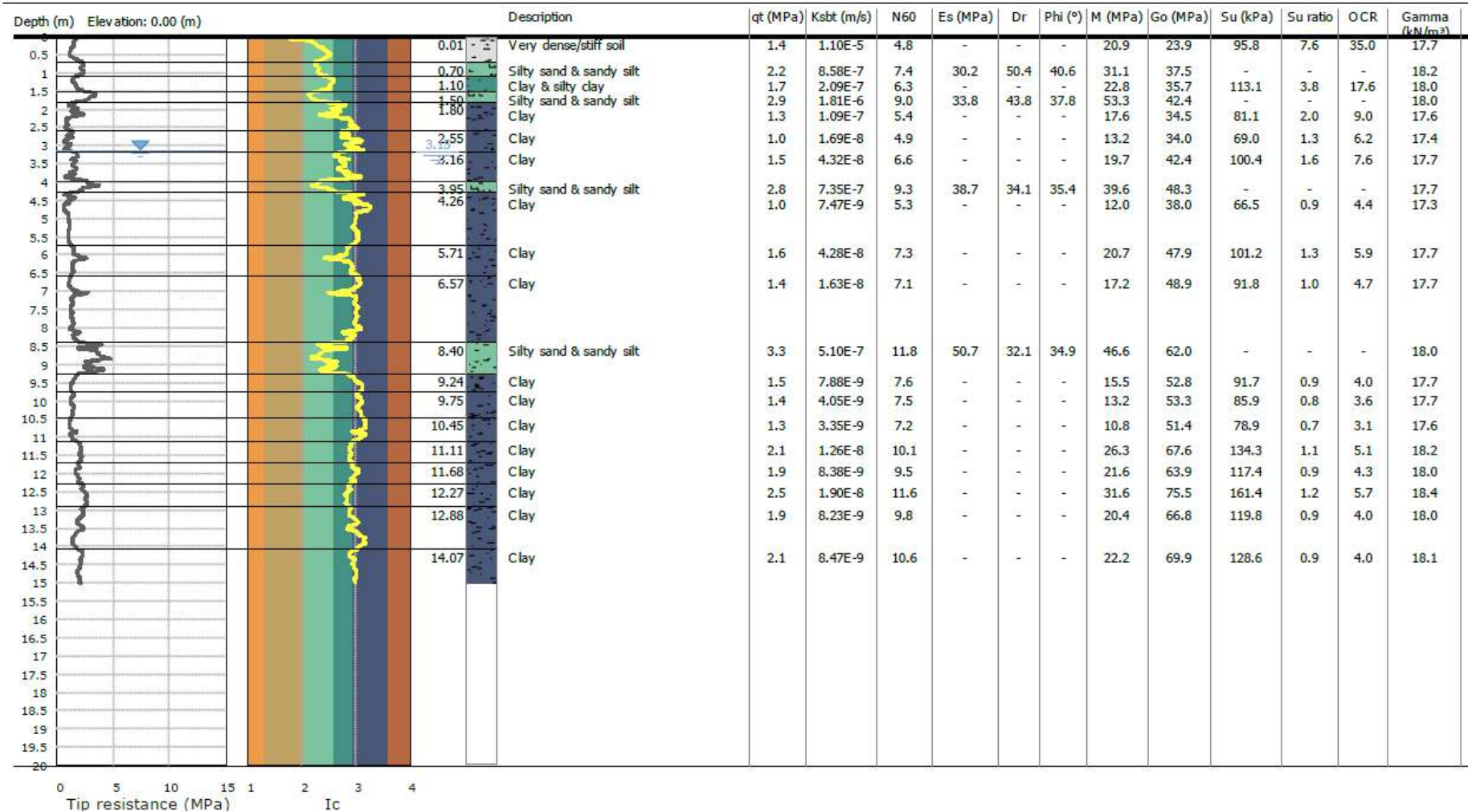


2022.065/RG



Project: Comet S.p.A.
Location: Budrio (BO) - via Mattei

CPTE: 4 22.0241/RSP
Total depth: 15.00 m, Date: 19/04/2022
Cone Type: MKJ387
Cone Operator: Dr. Conti



2022.065/RG



Project: Comet S.p.A.
Location: Budrio (BO) - via Mattei

CPTE: 5 22.0242/RSP
Total depth: 20.00 m, Date: 19/04/2022
Cone Type: MKJ387
Cone Operator: Dr. Conti

Depth (m)	Elevation: 0.00 (m)	Description	qt (MPa)	Ksbt (m/s)	N60	Es (MPa)	Dr	Phi (°)	M (MPa)	Go (MPa)	Su (kPa)	Su ratio	OCR	Gamma (kN/m ³)
0.5		0.01 Very dense/stiff soil	2.1	1.74E-5	6.1	21.4	76.6	43.4	32.3	29.6	-	-	-	18.1
1		0.75 Silty sand & sandy silt	3.4	6.00E-6	9.8	34.7	50.8	38.8	64.0	43.3	-	-	-	18.1
1.5		1.80 Clay & silty clay	1.7	1.19E-7	6.7	-	-	-	23.0	40.6	117.5	2.8	12.9	18.0
2		2.26 Silty sand & sandy silt	2.3	4.01E-7	8.0	34.8	35.1	36.7	30.9	43.0	-	-	-	17.8
2.5		2.77 Clay	1.3	4.93E-8	5.9	-	-	-	18.0	38.3	92.1	1.6	7.4	17.5
3		3.49 Clay	0.7	3.31E-9	4.0	-	-	-	6.8	30.5	45.5	0.7	3.4	16.9
3.5		4.53 Clay	0.9	8.77E-9	4.8	-	-	-	9.4	34.3	59.0	0.8	3.8	17.0
4		6.00 Silty sand & sandy silt	2.7	3.83E-7	9.8	42.6	31.6	35.3	36.6	51.8	-	-	-	17.8
4.5		6.20 Clay & silty clay	1.9	5.85E-8	8.1	-	-	-	24.8	50.7	126.6	1.5	7.1	17.8
5		7.10 Silty sand & sandy silt	2.8	2.98E-7	10.2	45.2	30.5	35.2	37.6	55.3	-	-	-	17.8
5.5		7.42 Clay	1.5	1.37E-8	7.5	-	-	-	18.6	50.9	98.0	1.1	4.9	17.8
6		8.46 Silty sand & sandy silt	3.3	3.76E-7	11.8	51.7	31.7	35.4	44.2	63.2	-	-	-	18.1
6.5		8.70 Clay & silty clay	2.9	1.05E-7	11.6	-	-	-	38.2	68.0	195.0	2.0	9.1	18.4
7		9.05 Clay	1.5	6.68E-9	7.7	-	-	-	16.3	53.9	93.0	0.9	4.1	17.8
7.5		9.93 Clay	1.5	7.37E-9	7.8	-	-	-	15.1	53.6	92.0	0.8	3.8	17.7
8		11.12 Clay	2.2	2.25E-8	10.2	-	-	-	27.6	65.1	141.2	1.1	5.2	18.0
8.5		13.33 Clay	1.7	3.91E-9	9.3	-	-	-	15.9	66.1	105.6	0.8	3.5	18.1
9		14.09 Clay	1.9	9.19E-9	9.5	-	-	-	18.6	63.7	115.8	0.8	3.7	17.8
9.5		14.74 Clay	1.9	7.94E-9	10.0	-	-	-	18.2	65.8	118.6	0.8	3.6	17.8
10		16.11 Clay	1.6	3.36E-9	9.1	-	-	-	11.3	63.8	94.0	0.6	2.7	17.8
10.5		16.80 Clay	2.4	1.65E-8	11.8	-	-	-	27.4	73.7	152.5	0.9	4.2	18.0
11		17.51 Clay	2.4	1.33E-8	11.9	-	-	-	25.0	76.9	146.7	0.8	3.9	18.1
11.5		18.45 Clay & silty clay	3.1	3.60E-8	13.8	-	-	-	36.9	84.5	193.5	1.1	5.0	18.2
12		19.52 Sand & silty sand	12.1	2.59E-5	29.8	89.8	46.4	36.1	171.7	112.6	-	-	-	18.8

0 5 10 15 1 2 3 4
Tip resistance (MPa) Ic

2022.065/RG



CPTE: 6 22.0243/RSP

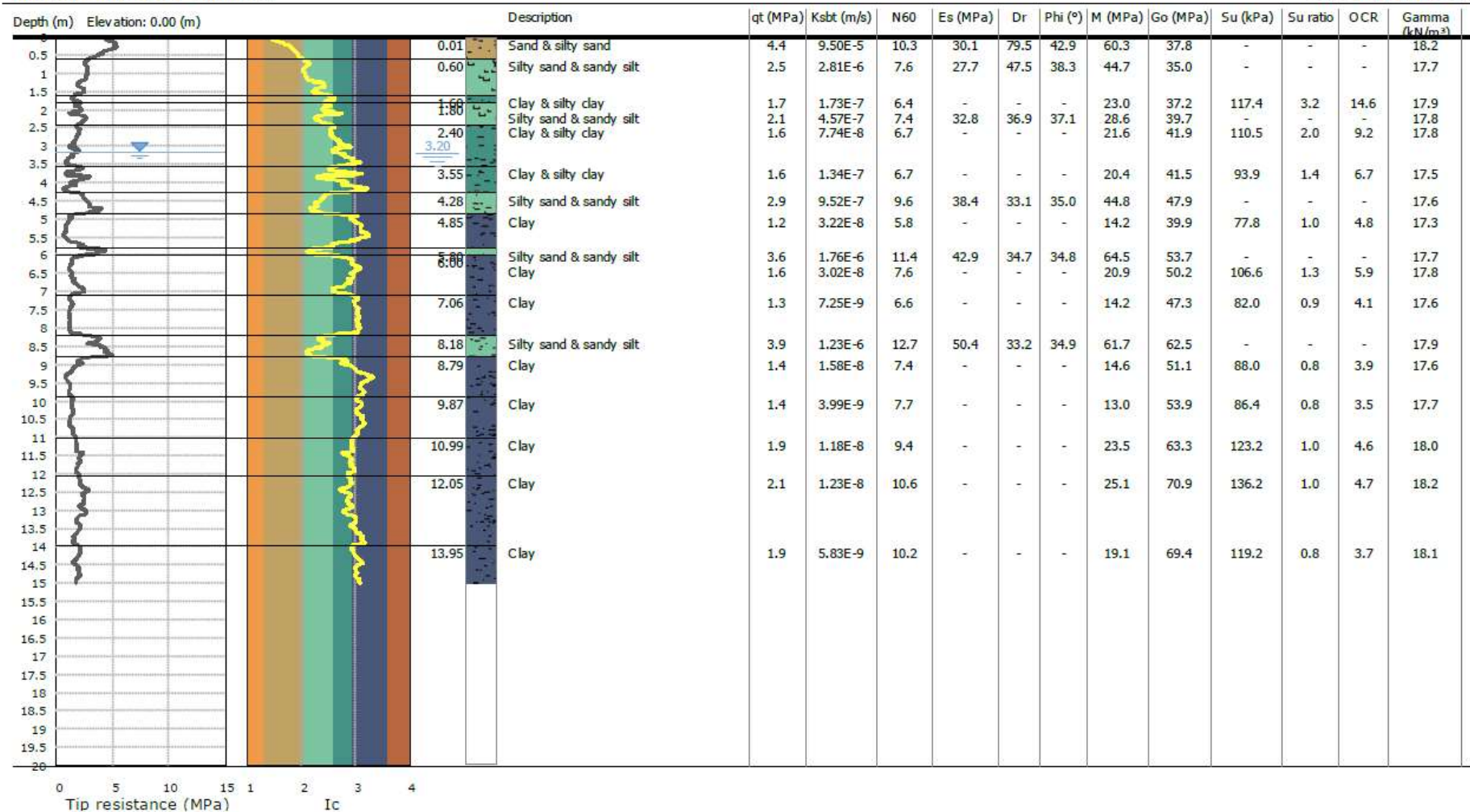
Total depth: 15.00 m, Date: 20/04/2022

Cone Type: MKJ386

Cone Operator: Dr. Conti

Project: Comet S.p.A.

Location: Budrio (BO) - via Mattei



2022.065/RG



Project: Comet S.p.A.
Location: Budrio (BO) - via Mattei

CPTE: 7 22.0244/RSP
Total depth: 20.00 m, Date: 19/04/2022
Cone Type: MKJ387
Cone Operator: Dr. Conti

Depth (m)	Elevation: 0.00 (m)	Description	qt (MPa)	Ksbt (m/s)	N60	Es (MPa)	Dr	Phi (°)	M (MPa)	Go (MPa)	Su (kPa)	Su ratio	OCR	Gamma (kN/m³)
0.5		0.01 Very dense/stiff soil	1.4	1.62E-6	4.6	-	-	-	19.7	23.9	98.4	7.2	33.1	17.7
1		0.80 Silty sand & sandy silt	2.5	1.76E-6	8.0	30.6	45.4	38.4	40.7	38.2	-	-	-	17.9
1.5		1.80 Clay & silty clay	2.2	2.70E-7	8.1	-	-	-	30.1	44.6	153.4	3.5	16.0	18.1
2		2.30 Silty sand & sandy silt	2.4	4.50E-7	8.6	36.4	35.8	37.1	33.5	45.6	-	-	-	17.9
2.5		3.20 Clay	1.5	5.93E-8	6.4	-	-	-	19.6	41.2	98.0	1.7	8.0	17.7
3		3.20 Silty sand & sandy silt	2.8	5.36E-7	9.7	41.8	35.2	36.3	37.9	51.5	-	-	-	18.0
3.5														
4														
4.5		4.40 Sand & silty sand	5.6	7.79E-6	15.3	50.4	45.3	36.4	99.4	63.2	-	-	-	18.2
5		4.40 Silty sand & sandy silt	3.4	1.14E-6	11.2	46.9	37.5	36.1	54.5	56.8	-	-	-	18.1
5.5		4.99 Clay	1.0	6.87E-9	5.5	-	-	-	11.1	40.3	66.2	0.9	4.1	17.4
6		5.58 Clay	1.5	2.26E-8	7.2	-	-	-	19.7	47.2	100.3	1.3	5.8	17.7
6.5		6.18 Clay	1.5	2.01E-8	7.2	-	-	-	18.2	49.3	95.5	1.1	5.0	17.7
7														
7.5														
8		7.97 Silty sand & sandy silt	4.3	1.02E-6	14.2	57.0	35.5	35.7	67.5	70.5	-	-	-	18.3
8.5														
9		8.80 Clay	1.6	1.27E-8	8.1	-	-	-	19.3	56.5	105.4	1.0	4.6	17.9
9.5														
10		9.79 Clay	1.4	4.09E-9	7.7	-	-	-	13.8	55.4	89.3	0.8	3.6	17.8
10.5														
11		10.74 Clay	2.0	1.25E-8	10.0	-	-	-	25.1	66.3	130.5	1.1	4.9	18.1
11.5														
12		12.21 Clay	1.9	7.15E-9	9.7	-	-	-	20.6	66.0	118.0	0.9	4.1	18.1
12.5														
13		12.86 Clay	1.9	8.74E-9	9.9	-	-	-	20.6	67.4	120.8	0.9	4.0	18.0
13.5														
14		14.10 Clay	1.9	7.23E-9	9.8	-	-	-	18.3	66.6	116.6	0.8	3.6	17.9
14.5														
15		15.20 Clay	2.1	7.21E-9	10.5	-	-	-	20.2	71.0	127.2	0.8	3.7	18.0
15.5														
16		15.80 Clay	1.6	2.89E-9	9.3	-	-	-	11.6	65.5	96.7	0.6	2.8	17.8
16.5														
17		16.44 Clay	2.8	1.03E-7	13.1	-	-	-	33.8	83.5	162.3	1.0	4.4	18.3
17.5														
18		17.87 Clay	2.3	1.10E-8	11.6	-	-	-	23.0	76.7	142.7	0.8	3.7	18.0
18.5														
19		18.67 Clay	2.3	8.13E-9	11.8	-	-	-	20.8	77.2	140.3	0.8	3.5	18.0
19.5		19.19 Clay & silty clay	3.3	5.67E-8	14.0	-	-	-	40.5	81.7	206.3	1.1	5.1	18.0
20		19.60 Silty sand & sandy silt	8.9	1.32E-6	28.4	107.9	37.6	36.2	153.0	134.4	-	-	-	19.4

Tip resistance (MPa)

Ic

2022.065/RG



CPTE: 8 22.0245/RSP

Total depth: 15.00 m, Date: 20/04/2022

Cone Type: MKJ386

Cone Operator: Dr. Conti

Project: Comet S.p.A.

Location: Budrio (BO) - via Mattei

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)
0.0														
0.5		Very dense/stiff soil	1.1	4.13E-6	3.3	12.2	71.4	43.0	18.3	15.7	-	-	-	17.1
1.0		Very dense/stiff soil	2.0	2.77E-6	6.7	-	-	-	30.7	33.4	129.2	6.8	31.6	18.2
1.5		Silty sand & sandy silt	2.0	9.39E-7	6.6	28.4	44.9	38.4	32.4	34.3	-	-	-	17.8
2.0		Silty sand & sandy silt	3.1	1.81E-6	9.5	35.8	44.0	37.7	56.3	44.9	-	-	-	18.0
2.5		Silty sand & sandy silt	2.9	8.36E-7	9.6	39.1	37.6	36.8	40.8	48.6	-	-	-	18.0
3.0														
3.5		Silty sand & sandy silt	4.4	2.21E-6	13.3	49.6	40.4	36.5	71.8	62.2	-	-	-	18.3
4.0														
4.5														
5.0		Clay	1.5	4.73E-8	7.2	-	-	-	19.6	48.1	92.9	1.2	5.4	17.8
5.5														
6.0														
6.5		Clay	1.7	4.84E-8	7.8	-	-	-	22.4	51.2	107.5	1.2	5.5	17.8
7.0														
7.5														
8.0		Silty sand & sandy silt	3.7	4.47E-7	12.9	54.3	32.4	35.7	49.2	67.2	-	-	-	18.2
8.5		Clay	1.6	1.13E-8	8.0	-	-	-	18.9	55.0	102.3	1.0	4.5	17.8
9.0														
9.5		Clay	1.3	4.25E-9	7.1	-	-	-	11.5	51.4	80.4	0.7	3.3	17.6
10.0														
10.5		Clay & silty clay	2.6	9.90E-8	11.0	-	-	-	32.7	66.6	153.1	1.3	6.0	18.1
11.0														
11.5		Clay	2.1	1.59E-8	9.9	-	-	-	24.8	65.4	131.7	1.0	4.8	18.0
12.0														
12.5		Clay	1.9	9.65E-9	9.7	-	-	-	21.6	65.8	121.8	0.9	4.1	18.0
13.0														
13.5		Clay	2.4	1.52E-8	11.7	-	-	-	30.1	77.0	155.7	1.1	5.0	18.3
14.0														
14.5		Clay	1.9	5.81E-9	10.0	-	-	-	16.9	68.6	113.7	0.8	3.5	18.0
15.0														
15.5														
16.0														
16.5														
17.0														
17.5														
18.0														
18.5														
19.0														
19.5														
20.0														

Tip resistance (MPa)

Ic

2022.065/RG



Project: Comet S.p.A.

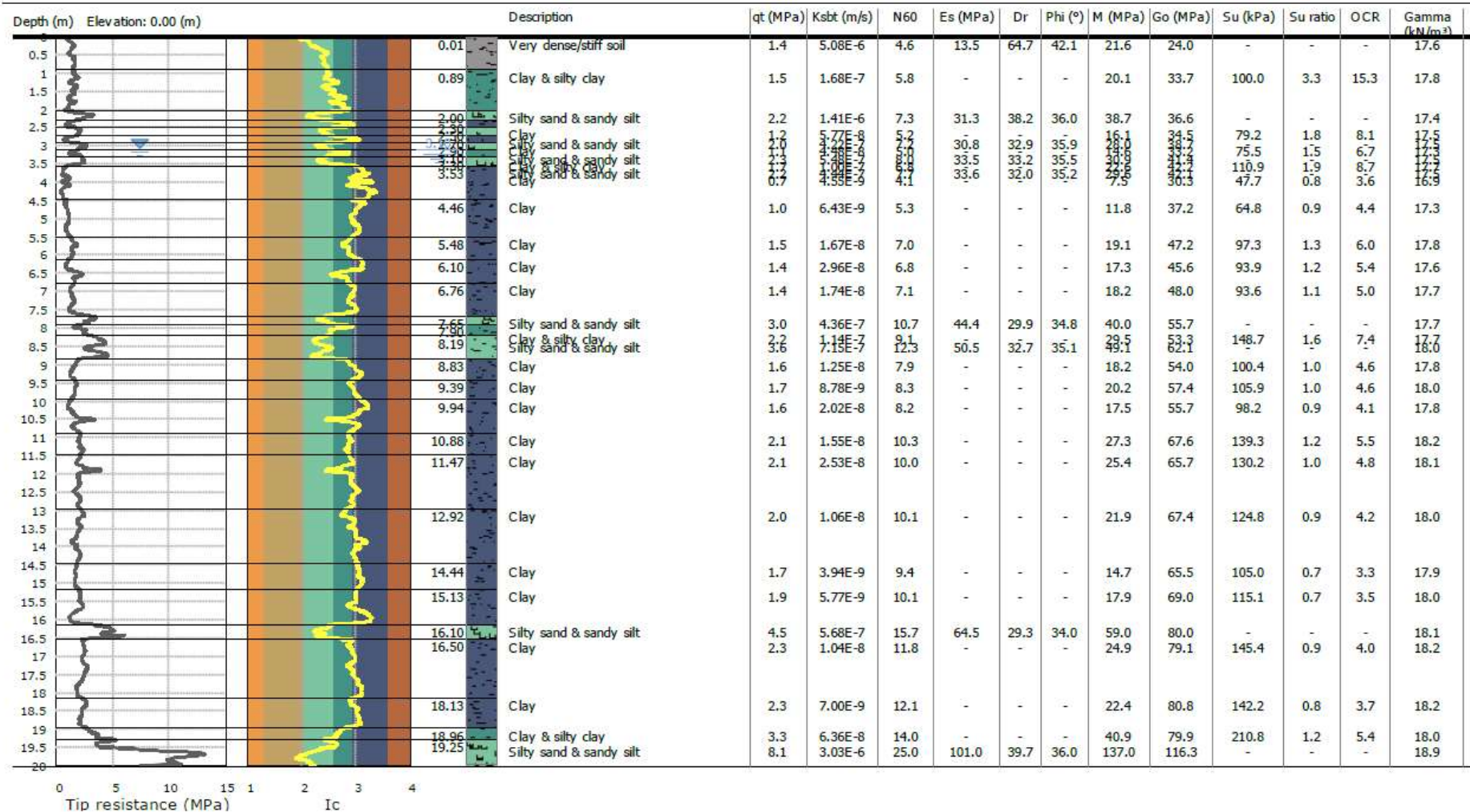
Location: Budrio (BO) - via Mattei

CPTE: 9 22.0246/RSP

Total depth: 20.00 m, Date: 19/04/2022

Cone Type: MKJ386

Cone Operator: Dr. Conti



This software is licensed to: Graziano Grimandi

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

:: Unit Weight, g (kN/m³) ::

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

where g_w = water unit weight

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

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

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

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

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

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

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

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

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

:: Relative Density, D_r (%) ::

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

:: State Parameter, ψ ::

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

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

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

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

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

If $I_c > 2.20$

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

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

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

If $I_c \leq 2.20$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

:: Remolded undrained shear strength, $S_{u(rem)}$ (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 ::

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

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

:: Soil Sensitivity, S_t ::

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

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

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

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

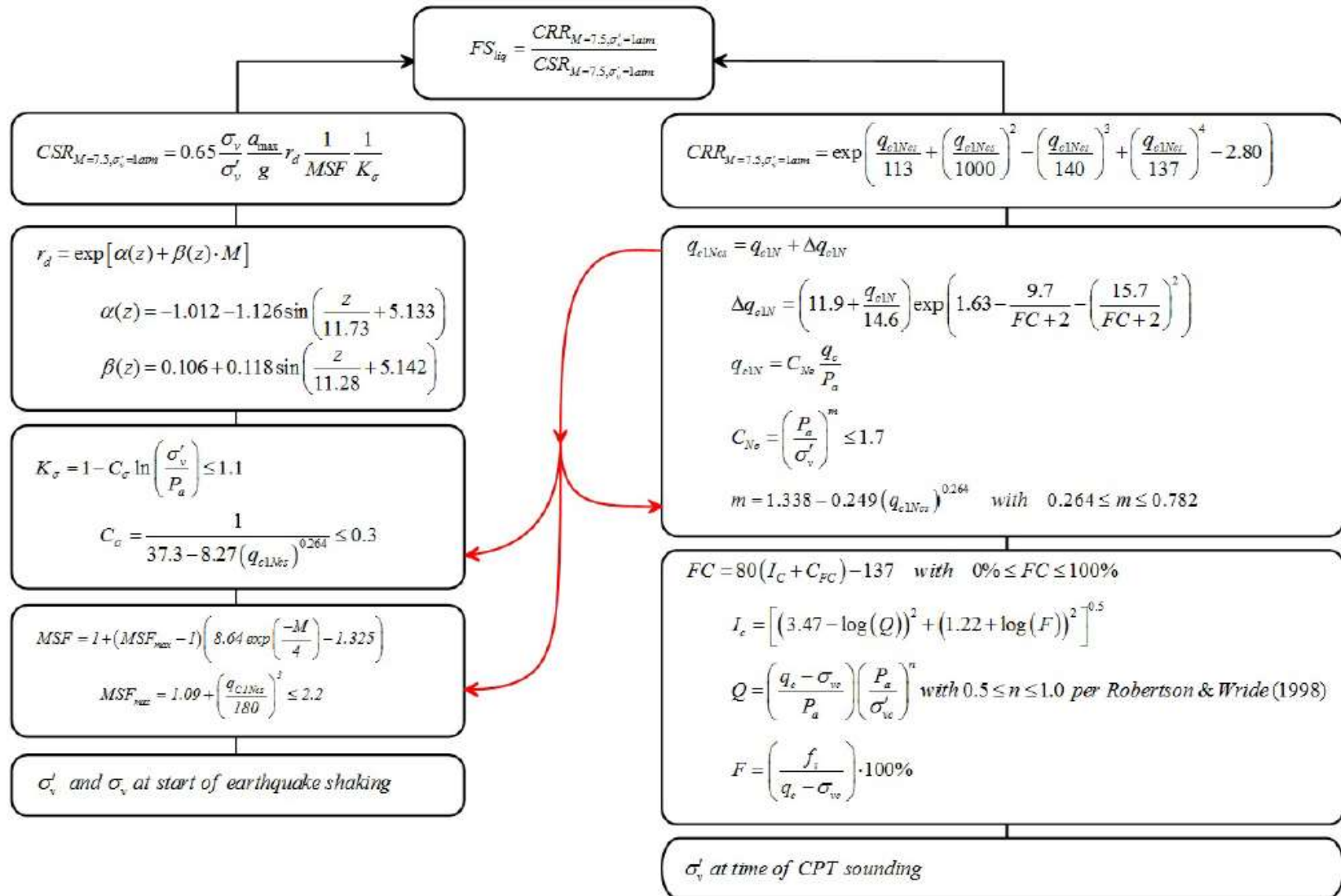
(applicable for $0.10 < B_q < 1.00$)

References

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

Schema verifica rischio liquefazione

Procedure for the evaluation of soil liquefaction resistance, Boulanger & Idriss(2014)



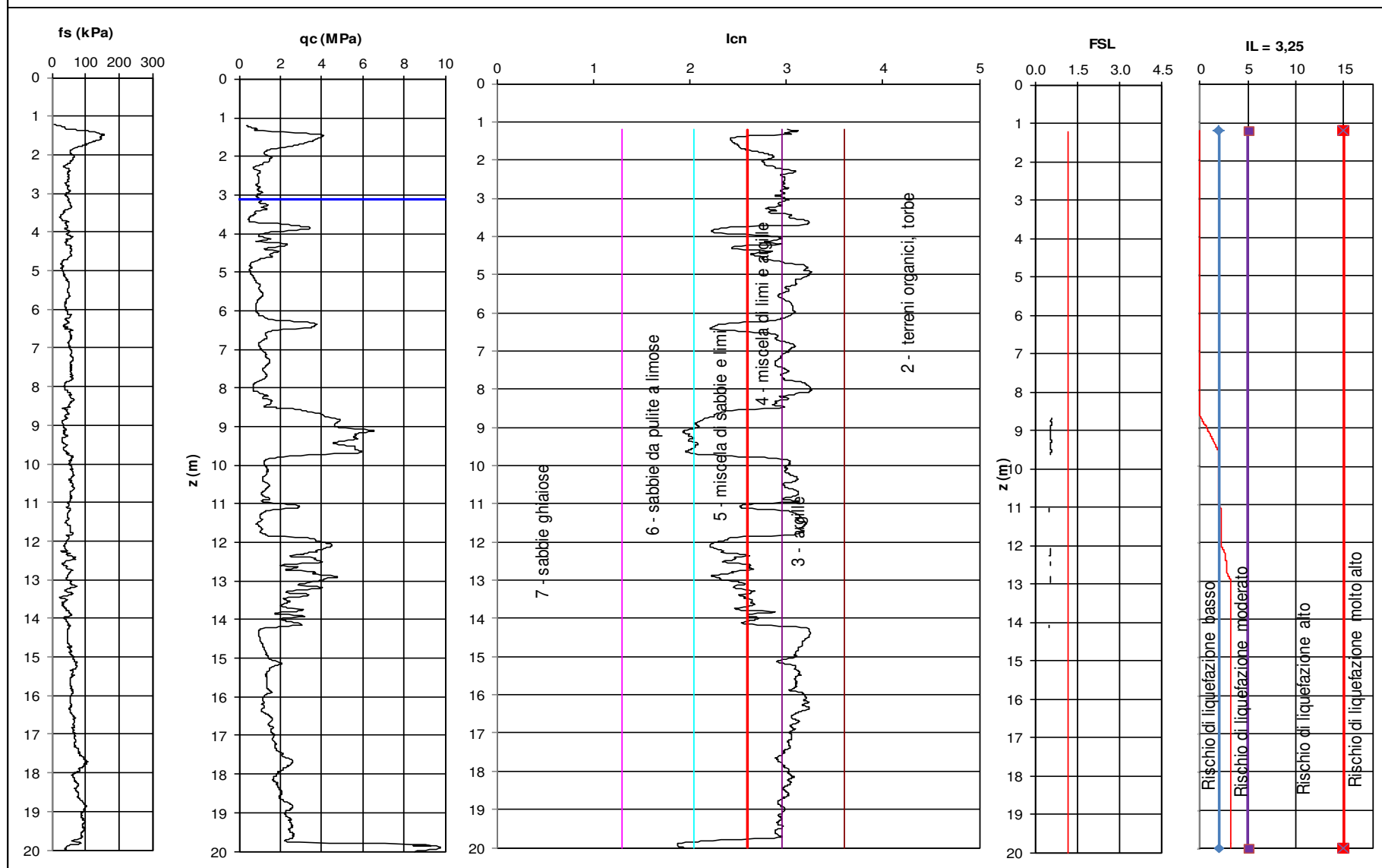
CPTe (electric cone penetration test) 1

Committente : Comet S.p.A.

Cantiere: Budrio (BO)

Via Mattei

Codice Lavoro 2022.048



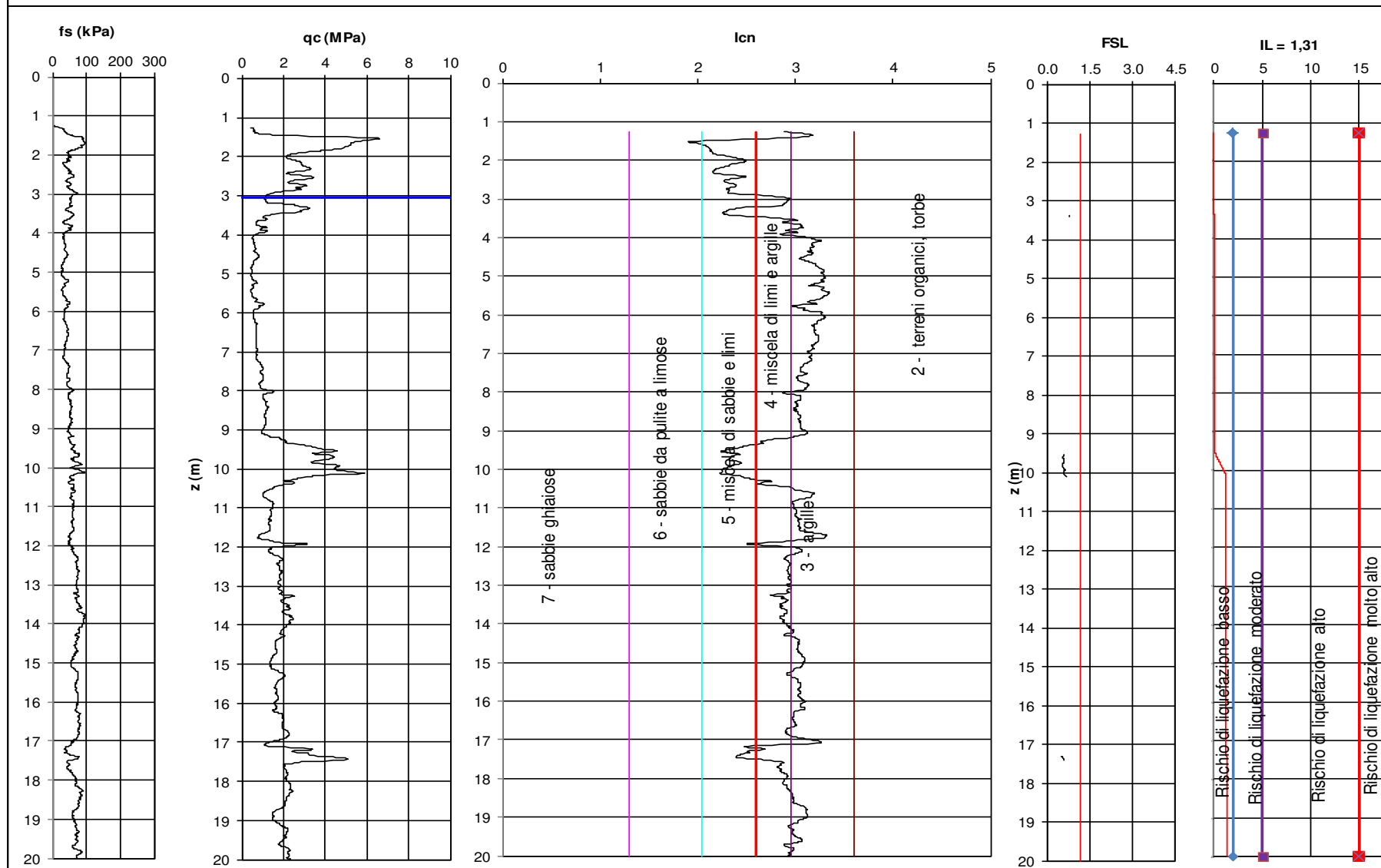
CPTE (electric cone penetration test) 3

Committente : Comet S.p.A.

Cantiere: Budrio (BO)

Via Mattei

Codice Lavoro 2022.048



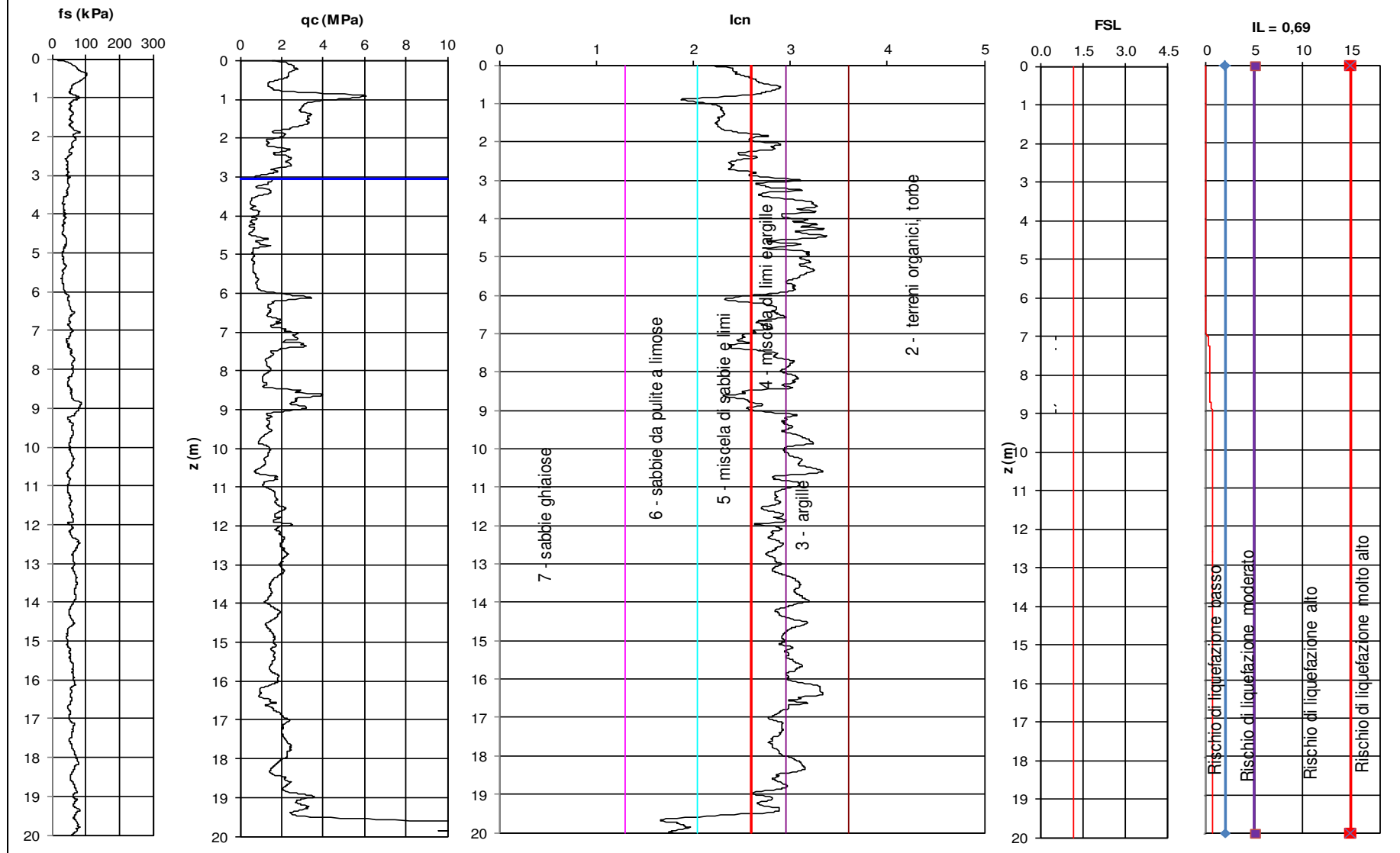
CPTE (electric cone penetration test) 5

Committente : Comet S.p.A.

Cantiere: Budrio (BO)

Via Mattei

Codice Lavoro 2022.048



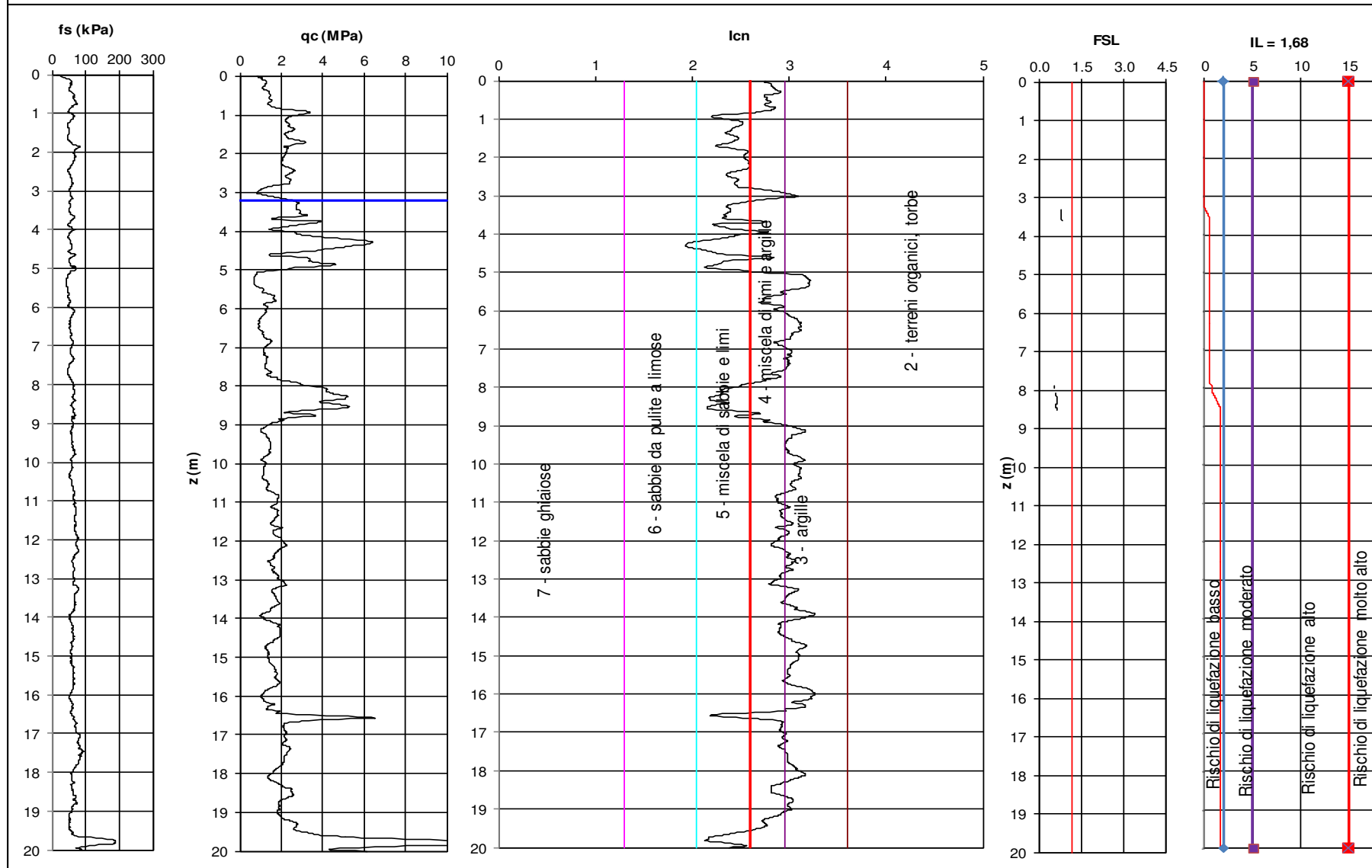
CPTE (electric cone penetration test) 7

Committente : Comet S.p.A.

Cantiere: Budrio (BO)

Via Mattei

Codice Lavoro 2022.048



CPTE (electric cone penetration test) 9

Committente : Comet S.p.A.

Cantiere: Budrio (BO)

Via Mattei

Codice Lavoro 2022.048

