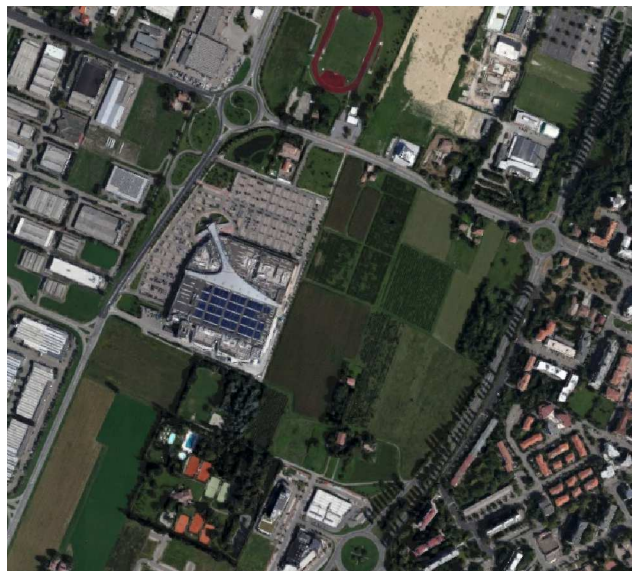


COMUNE DI CARPI

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PIANO PARTICOLAREGGIATO DI INIZIATIVA PRIVATA - COMPARTO "F2" - IN VIA NUOVA PONENTE A CARPI



Massimo Barbi

INGEGNERE

Ingegneria

Architettura

Urbanistica

Arredamento

Sicurezza Cantieri

Acustica Ambientale

Studio Tecnico

41012 Carpi (Mo) - via C. Marx, 97
Tel. 059/64.40.40 - Fax. 059/64.44.58
e-mail: info@ingbarbi.com
web: www.ingbarbi.com

PROPRIETA':

Sig. Pietro Bellelli

Sig.ra Sara Bellelli

Sig.ra Maura Tamani

Sig.ra Lucia Bellelli

Sig.ra Angela Bellelli

BINDAJ S.r.l.

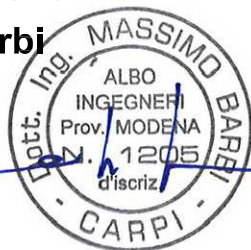
**BE.TA SOCIETA' A
RESPONSABILITA' LIMITATA**

Sig. Giorgio Rovatti

Sig.ra Marzia Pignatti

PROGETTAZIONE URBANISTICA:

Ing. Massimo Barbi



TECNICO:

**Dott.Geol.
Pier Luigi Dallari**

DESCRIZIONE:

**RELAZIONE GEOLOGICA -
GEOTECNICA E SISMICA**

ELABORATO:

F

Rev1

dwg 027/21

Agosto 2023

COMUNE DI CARPI

PROVINCIA DI MODENA

RELAZIONE GEOLOGICA

inerente alla caratterizzazione e modellazione geologica del sito (6.2.1 NTC 2018);

RELAZIONE GETECNICA

Relativa alle indagini, alla caratterizzazione e alla modellazione geotecnica a supporto della progettazione strutturale (6.2.2. NTC 2018) nonché relativa alla verifica delle opere di fondazione (6.4.NTC 2018);

ANALISI PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

Relativa alla caratterizzazione geofisica del volume significativo di terreno (3.2.2 NTC 2018), valutazione dell'azione sismica di riferimento (3.2.3. NTC 2018), Risposta sismica locale e verifica della stabilità nei confronti della liquefazione (7.11.3. NTC 2018).



OGGETTO

Caratterizzazione geologica geotecnica e sismica a supporto del progetto per la realizzazione di un piano particolareggiato di iniziativa privata – COMPARTO F2 – in via Nuova Ponente nel Comune di Carpi (Mo).

Rif. n. 246/2020

Maggio 2020



Dott. Geol. Pier Luigi Dallari



GEO GROUP s.r.l.
UFFICI: via Per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo R. (MO)
SEDE LEGALE: via C. Costa, 182 – 41123 Modena (MO)
tel. 059/3967169; 059/828367 - p. Iva e C.F.02981500362
Email: info@geogroupmodena.it Pec: geo_group@winpec.it Sito:
www.geogroupmodena.it



RELAZIONE TECNICA

comprendente:

RELAZIONE GEOLOGICA

inerente alla caratterizzazione e modellazione geologica del sito (6.2.1 NTC 2018)

RELAZIONE GETECNICA

Relativa alle indagini, alla caratterizzazione e alla modellazione geotecnica a supporto della progettazione strutturale (6.2.2. NTC 2018) nonché relativa alla verifica delle opere di fondazione (6.4.NTC 2018)

ANALISI PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

Relativa alla caratterizzazione geofisica del volume significativo di terreno (3.2.2 NTC 2018), valutazione dell'azione sismica di riferimento (3.2.3. NTC 2018), Risposta sismica locale e verifica della stabilità nei confronti della liquefazione (7.11.3. NTC 2018)

OGGETTO

Caratterizzazione geologica geotecnica e sismica a supporto del progetto per la realizzazione di un piano particolareggiato di iniziativa privata – COMPARTO F2 – in via Nuova Ponente nel Comune di Carpi (Mo).

Rif. n. 246/2020

PROPRIETÀ

Sig. Mauro Bellelli
Sig. Ivano Bellelli
Sig.ra Angela Bellelli
Sig. Giorgio Rovatti
Sig. Gianni Rovatti
BINDAJ s.r.l.
EMILIANA s.r.l.



UFFICI: via Per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo R. (MO)

SEDE LEGALE: via C.Costa,182 - 41123 Modena (MO)

tel. 059/3967169; 059/828367 - p. Iva e C.F.02981500362

Email: info@geoqgroupmodena.it Pec: geo.group@winpec.it Sito: www.geoqgroupmodena.it

INDICE DEL CONTENUTO

1	PREMESSE.....	3
2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	4
2.1	Elementi geologici generali	4
3	INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	7
3.1	Indagini Geotecniche	7
3.1.1	Prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono CPTE/U.....	7
3.1.2	Prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT.....	8
3.2	Indagini Geofisiche	10
3.2.1	Indagine sismica passiva a stazione singola (analisi HVSR)	10
3.2.2	Indagine sismica attiva con metodo MASW	10
4	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO	12
4.1	Pericolosità sismica di base.....	12
4.2	Categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 NTC2018)	14
4.3	Azione sismica e risposta sismica del sito – Risposta sismica locale.....	15
5	MODELLAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA DEL SITO	28
5.1	Caratteristiche litostratigrafiche del terreno	28
5.2	Modello geotecnico del sottosuolo.....	30
5.3	Stabilità nei confronti della liquefazione (§ A.2.2. DGR 630/2019)	31
5.4	Stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica (§ B. DGR 630/2019).....	34
6	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	36

TAVOLE

Tav. n. 1: "Carta Topografica"	scala 1: 5.000;
Tav. n. 2: "Ripresa Satellitare"	scala 1: 5.000;
Tav. n. 3: "Ubicazione indagini"	scala 1: 5.000.

ALLEGATI

- ALL. n. 1** Prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono CPTE;
- ALL. n. 2** Prove penetrometriche statiche CPT;
- ALL. n. 3** Indagini sismiche;
- ALL. n. 4** Verifica alla liquefazione.

1 PREMESSE

Nel mese di maggio 2020 è stato eseguito il presente studio geologico, geotecnico e sismico a supporto del progetto per la realizzazione di un piano particolareggiato di iniziativa privata – COMPARTO F2 – in via Nuova Ponente nel Comune di Carpi (Mo) (Fig.1.1).



Fig.1.1 - Ubicazione del sito in studio – Comune di Carpi.

Per un completo inquadramento geografico dell'area si rimanda alla cartografia allegata alla presente relazione, in particolare alla "Carta topografica", alla scala 1: 5.000 (tav. n. 1) e alla "Ripresa satellitare" alla scala 1: 5.000 (tav. n. 2).

La presente relazione fa riferimento alle disposizioni normative contenute in:

- Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 – D.M. 17/01/2018
- DGR 630/2019.

2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

2.1 Elementi geologici generali

Dalla consultazione della Carta della litologia di superficie della Regione Emilia Romagna, si evidenzia come l'area in studio sia caratterizzata da limo sabbioso di piana alluvionale.

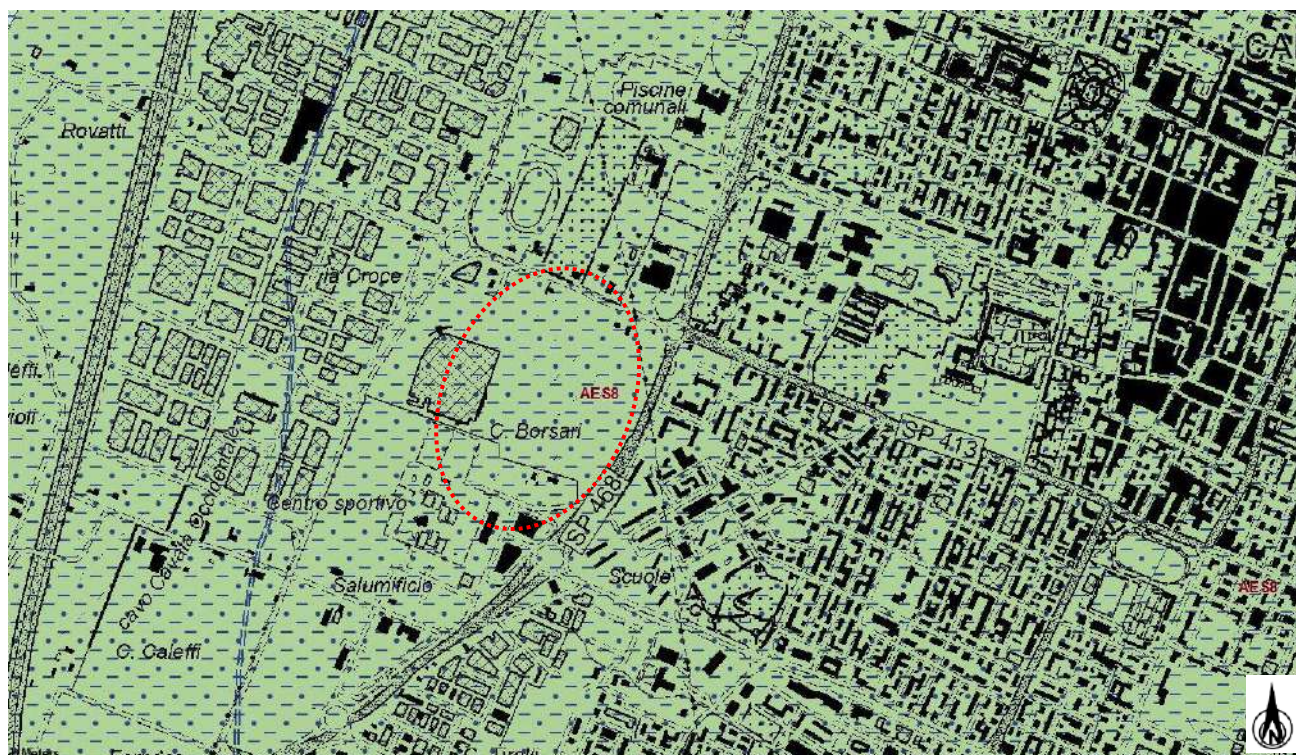
Al fine di definire un quadro generale dell'area, sono state consultate le seguenti cartografie:

- *Carta della litologia di superficie – Carta della Regione Emilia Romagna;*
- *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica – Comune di Carpi – Tavola n.2.*

In particolare l'area in studio è caratterizzata dal **Subsistema di Ravenna AES8**, caratterizzato da ghiaie e ghiaie sabbiose, passanti a sabbie e limi organizzate in numerosi ordini di terrazzi alluvionali. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide (Fig.2.1).

Dal punto di vista della microzonazione sismica, l'area ricade in **zona 6**, caratterizzata da una successione stratigrafica costituita da alternanze tra strati metrici/plutimetrici sabbiosi e strati metrici/plurimetrici pelitici. In particolare l'area in oggetto ricade in zona di attenzione per instabilità, caratterizzata da **"liquefazioni"** (Fig.2.2).


Di seguito si riportano gli stralci delle carte sopra elencate.




Ambienti deposiz. e litologie (10K)

Argilla - Piana alluvionale

Limo - Piana alluvionale

 Limo Sabbioso - Piana alluvionale

Coperture quaternarie (10K)

 AES8 - Subsistema di Ravenna


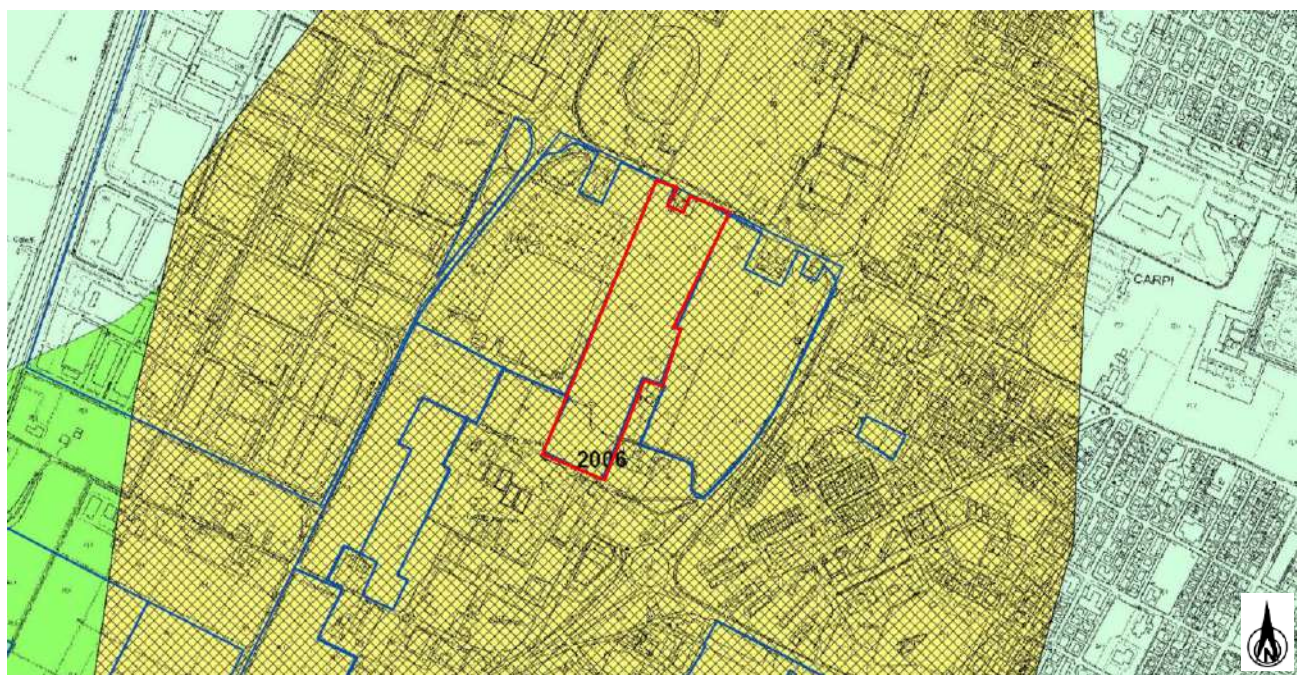
 AES8a - Unità di Modena

Fig.2.1 - Carta della litologia di superficie – Carta della Regione Emilia Romagna.



Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

- 2001 Zona 1-Alternanze di strati di argille e argille limose con strati di limi, limi sabbiosi e sabbie limose (sedimenti di provenienza appenninca)
- 2002 Zona 2- Argille e argille limose (con radi strati sabbiosi) sovrastate da un orizzonte superficiale limo-sabbioso
- 2003 Zona 3-Argille e limi prevalenti (con radi strati sabbiosi) fino ad almeno 25-40 m di profondità, sovrastanti depositi sabbii
- 2004 Zona 4-Peliti prevalenti (con radi strati sabbiosi) fino almeno 20-30 m di profondità
- 2005 Zona 5-Argille e limi fino 5-10 m di profondità. Sabbie prevalenti tra 5-20 m di profondità
- 2006 Zona 6-Alternanze tra strati metrici/plurimetrici sabbiosi e strati metrici/plurimetrici pelitici

Zone suscettibili di instabilità

- Liquefazioni
- Aree urbanizzate e urbanizzabili

Fig.2.2 - Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica – Comune di Carpi– Tavola n. 2.

3 INDAGINI GEOGNOSTICHE

3.1 Indagini Geotecniche

In relazione alla litologia presente nell'area e in base alla tipologia di intervento in progetto, sono state eseguite le seguenti indagini geognostiche:

- *n. 1 prova penetrometrica statica con punta elettrica e piezocono CPTU, eseguita in data 08/05/2020;*
- *n. 3 prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT, eseguite in data 08/05/2020 e 14/05/2020.*

I risultati delle suddette indagini sono riportati nell'**allegato n. 1-2**, mentre l'ubicazione è illustrata nella **tav. n. 3**.

3.1.1 Prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono CPTE/U

La prova è stata eseguita con un penetrometro Gouda dotato di punta elettrica e piezocono CPTE/U. Le caratteristiche tecniche dello strumento impiegato sono le seguenti:

Caratteristiche del Piezocono			
<i>Canali di misura:</i>		<i>Dimensioni:</i>	
Resistenza di punta (qc):	10; 50; 100 MPa	Angolo di apertura cono:	60°
Attrito laterale (fs):	0,5 MPa	Diametro:	36 mm
Pressione nei pori (U):	2,5 MPa	Sezione di spinta:	10 cm ²
Inclinazione:	0 - 40°	Superficie laterale:	150 cm ²
		Peso:	2,1 kg
		Lunghezza:	413 mm

La prova è stata elaborata mediante il software CPeT – IT v. 1.7.4.13 prodotto da GeoLogisMiki – Geotechnical Software. I report, in cui sono riportati su grafici i dati di resistenza e pressione interstiziale misurati ed illustrata l'interpretazione litostratigrafica e geotecnica della prova, sono riportati in **Allegato n.1**. La caratterizzazione litostratigrafica del terreno è stata effettuata in funzione delle carte proposte da Robertson, in cui il tipo di comportamento del terreno è definito da tre parametri: qt, resistenza alla punta corretta, Rf, Bq, nella prima carta (1986) e con i parametri normalizzati nella seconda (1990).

Correlazioni utilizzate per la stima dei parametri geotecnici

<p>:: Unit Weight, g (kN/m³) ::</p> $g = g_w \cdot \left(0.27 \cdot \log(R_f) + 0.36 \cdot \log\left(\frac{q_c}{P_a}\right) + 1.236 \right)$ <p>where g_w = water unit weight</p> <p>:: Permeability, k (m/s) ::</p> <p>$I_c < 3.27$ and $I_c > 1.00$ then $k = 10^{0.952 - 3.04 \cdot I_c}$</p> <p>$I_c \leq 4.00$ and $I_c > 3.27$ then $k = 10^{-4.52 - 1.37 \cdot I_c}$</p> <p>:: N_{60} (blows per 30 cm) ::</p> $N_{60} = \left(\frac{q_c}{P_a} \right) \cdot \frac{1}{10^{1.1268 - 0.2817 \cdot I_c}}$ $N_{160} = Q_{60} \cdot \frac{1}{10^{1.1268 - 0.2817 \cdot I_c}}$ <p>:: Young's Modulus, E_s (MPa) ::</p> $(q_c - \sigma_v) \cdot 0.015 \cdot 10^{0.55 \cdot I_c - 1.68}$ <p>(applicable only to $I_c < I_{c, \text{crit}}$)</p> <p>:: Relative Density, D_r (%) ::</p> $100 \cdot \frac{\sqrt{Q_{60}}}{\sqrt{k_{DR}}} \quad \text{(applicable only to SBTs: 5, 6, 7 and 8 or } I_c < I_{c, \text{crit}})$ <p>:: State Parameter, ψ ::</p> $\psi = 0.56 - 0.33 \cdot \log(Q_{60, \text{cl}})$ <p>:: Peak drained friction angle, ϕ (°) ::</p> $\phi = 17.60 + 11 \cdot \log(Q_{60})$ <p>(applicable only to SBTs: 5, 6, 7 and 8)</p> <p>:: 1-D constrained modulus, M (MPa) ::</p> <p>If $I_c > 2.20$</p> <p>$a = 14$ for $Q_{60} > 14$</p> <p>$a = Q_{60}$ for $Q_{60} \leq 14$</p> <p>$M_{CPT} = a \cdot (q_c - \sigma_v)$</p> <p>If $I_c \leq 2.20$</p> <p>$M_{CPT} = (q_c - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 \cdot I_c - 1.68}$</p>	<p>:: Small strain shear Modulus, G_0 (MPa) ::</p> $G_0 = (q_c - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 \cdot I_c - 1.68}$ <p>:: Shear Wave Velocity, V_s (m/s) ::</p> $V_s = \left(\frac{G_0}{\rho} \right)^{0.50}$ <p>:: Undrained peak shear strength, S_u (kPa) ::</p> <p>$N_{60} = 10.50 + 7 \cdot \log(F_r)$ or user defined</p> $S_u = \frac{(q_c - \sigma_v)}{N_{60}}$ <p>(applicable only to SBTs: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c, \text{crit}}$)</p> <p>:: Remolded undrained shear strength, $S_u(\text{rem})$ (kPa) ::</p> <p>$S_{u(\text{rem})} = F_s$ (applicable only to SBTs: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c, \text{crit}}$)</p> <p>:: Overconsolidation Ratio, OCR ::</p> $k_{OCR} = \left[\frac{Q_m^{0.20}}{0.25 \cdot (10.50 + 7 \cdot \log(F_r))} \right]^{1.25}$ or user defined <p>$OCR = k_{OCR} \cdot Q_m$</p> <p>(applicable only to SBTs: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c, \text{crit}}$)</p> <p>:: In situ Stress Ratio, K_0 ::</p> $K_0 = 0.1 \cdot \left(\frac{q_c - \sigma_v}{\sigma_{vo}} \right)$ <p>(applicable only to SBTs: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c, \text{crit}}$)</p> <p>:: Soil Sensitivity, S_t ::</p> $S_t = \frac{N_{60}}{F_r}$ <p>(applicable only to SBTs: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c, \text{crit}}$)</p> <p>:: Effective Stress Friction Angle, ϕ (°) ::</p> $\phi = 29.5 \cdot B_q^{0.121} \cdot (0.256 + 0.336 \cdot B_q + \log Q_t)$ <p>(applicable for $0.10 < B_q < 1.00$)</p>
---	--

Tab.3.1 - Correlazioni utilizzate per la stima dei parametri geotecnici.**3.1.2 Prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT**

Nell'Allegato n. 2 sono riportati i grafici e le tabelle riguardanti le prove eseguite, corredate dell'elaborazione geotecnica e litostratigrafica.

Le prove sono state eseguite con un penetrometro Pagani dotato di punta Begemann. Le caratteristiche tecniche dello strumento impiegato sono le seguenti:

Spinta	S	100 kN
Punta conica meccanica		
Diametro	Φ	35.7 mm
Area punta	A	10 cm ²
Angolo di apertura	α	60°
Manicotto laterale di attrito		
Diametro	Φ	35.7 mm
Altezza	h	133 mm
Area	A	150 cm ²
Velocità di avanzamento costante	V	2 cm/sec

Intervallo di misura		20 cm
----------------------	--	-------

Tab.3.2 – Caratteristiche tecniche dello strumento.

Le prove sono state elaborate mediante un software che restituisce l'interpretazione litologica dei terreni indagati effettuata sulla base del rapporto qc/fs (Begemann, 1965; A.G.I. 1977) e la stima dei parametri geotecnici in condizioni non drenate tramite correlazioni.

Correlazioni utilizzate per la stima dei parametri geotecnici

Coesione non drenata (terreni coesivi) C_u

RACCOMANDAZIONI AGI 1977 – RICCI ET AL. 1974 – MARSLAND ET AL. 1974/1979

Modulo di deformazione non drenato E_u

DUNCAN-BUCHIGANI 1976

Modulo edometrico M_o

SANGLERAT 1972 – MITCHELL/GARDNER 1975 – RICCI ET AL. 1974 – HOLDEN 1973)

Peso unità di volume γ_{sat} (saturo sotto falda) – γ (umido sopra falda)

IN BASE ALLA NATURA LITOLOGICA TERZAGHI-PECK 1967 – BOWELS 1982

Velocità delle onde di taglio V_s

YOSHIDAMOTONORI 1988

3.2 Indagini Geofisiche

Per la caratterizzazione sismica dell'area di studio, sono state eseguite le seguenti indagini geofisiche:

- **n. 2 indagini sismiche passive HVSR, eseguite in data 08/05/2020;**
- **n.1 indagine sismica attiva MASW, eseguita in data 08/05/2020.**

I risultati delle indagini sismiche sopra citate sono riportati integralmente nell'allegato n. 3.

3.2.1 Indagine sismica passiva a stazione singola (analisi HVSR)

Le misure sismiche passive a stazione singola sono state eseguite mediante un tromografo digitale dotato di tre canali velocimetrici, modello Tromino® prodotto da Moho srl (Marghera (VE), Italia). Per l'acquisizione è stata adottata una frequenza di campionamento di 128 Hz per una durata totale di 20 minuti.

Lo scopo dell'indagine è la misura della frequenza di risonanza del terreno, la quale è legata alla velocità delle onde di taglio Vs nel terreno dalla formula:

$$f = \frac{V_s}{4h}$$

dove h è lo spessore dello strato.

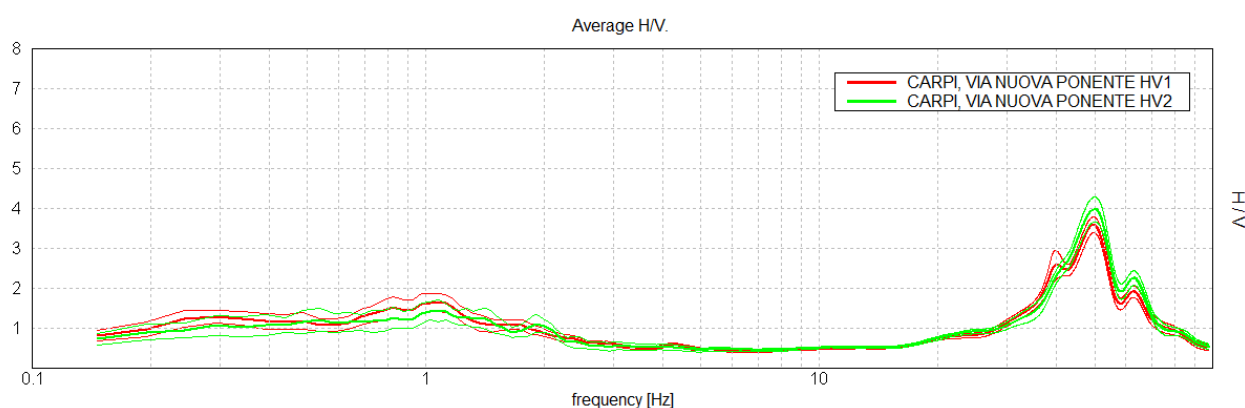


Fig.3.1 - Curve HVSR che identificano un picco rispettivamente a 1.07 Hz.

3.2.2 Indagine sismica attiva con metodo MASW

Per misurare le velocità delle onde di taglio si possono eseguire prospezioni sismiche mediante stendimenti superficiali, utilizzando geofoni verticali da 4,5 Hz ed acquisendo attivamente i segnali delle onde rifratte alla superficie mediante una sorgente artificialmente provocata. Questa tecnica, nota con la sigla **MASW** (Multichannel Analysis of Surface Waves), permette di ricostruire il profilo verticale delle Vs con procedimenti di modellazione diretta delle velocità di fase delle onde, rifratte alla superficie. Partendo dal sismogramma registrato mediante sorgente energizzante in asse con lo stendimento, viene eseguita un'analisi spettrale che ha consentito di elaborare un'immagine della distribuzione del segnale di velocità

sismica in funzione delle diverse frequenze che lo compongono. Da tale elaborazione, tramite una fase di “picking” del segnale ad elevata intensità è stata ottenuta la “**curva di dispersione**”, dalla cui inversione è stato calcolato il **modello sismo-stratigrafico** espresso in termini di velocità delle onde di taglio (V_s). I dati sono stati registrati mediante un sismografo *Geode Geometrics* 24 bit con filtri disinseriti, velocità di campionamento (sample rate) di 0.25 millisecondi e lunghezza delle acquisizioni di 2 secondi. Si effettuano battute poste ad offset diversi (10 m e 15 m di distanza dal primo geofono) mediante grave da 8,0 kg di massa. Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh, $V(\text{fase})/\text{freq.}$, può essere convertito nel profilo $V_s/\text{profondità}$. Tale metodo non è univoco e quindi il modello che ne scaturisce è un modello teorico; per questo motivo è preferibile operare in presenza di dati di taratura (come nel caso specifico) onde ricavare il modello reale.

MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE

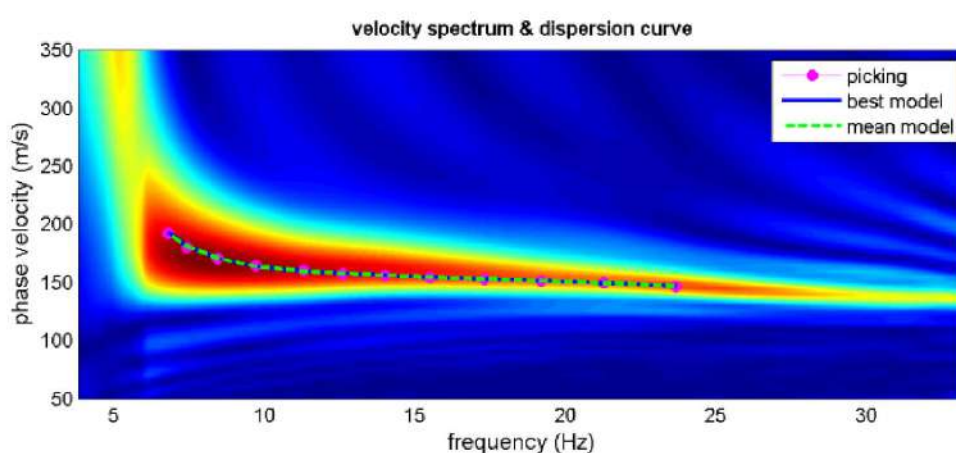


Fig.3.2 - Curva di dispersione MASW.

4 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

4.1 Pericolosità sismica di base

Secondo la classificazione sismica del territorio nazionale proposta a partire dall'O.P.C.M. n. 3274/2003 e successive modifiche, il **Comune di Carpi (MO)** risulta appartenente alla **classe di sismicità 3**.

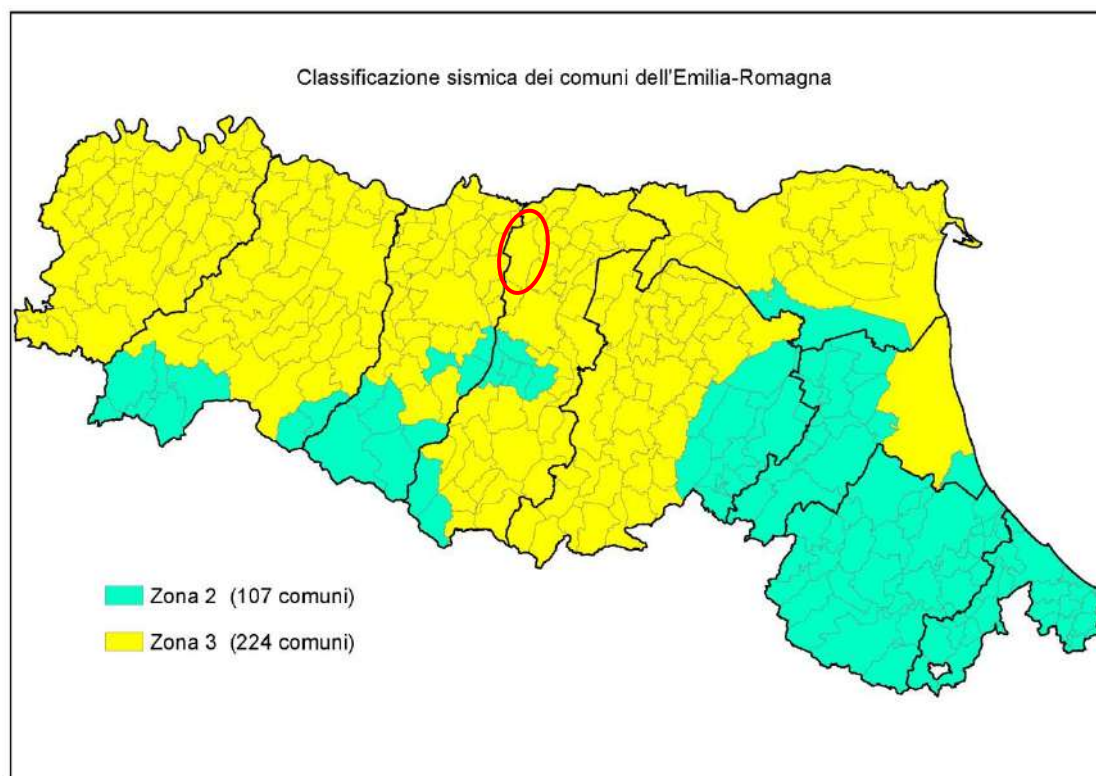


Fig.4.1 - Classificazione sismica e dei comuni della regione Emilia-Romagna a partire dall'O.P.C.M. n. 3274/2003 e successive modifiche (aggiornamento luglio 2018) e ubicazione del territorio comunale di Carpi (MO).

La suddivisione del territorio nazionale in zone a diversa classe di sismicità, caratterizzate da un valore di accelerazione di picco ed un corrispondente spettro di risposta elastico da utilizzare nella progettazione, risulta in realtà superata dall'entrata in vigore del D.M. 14/01/2008. Sulla base dei contenuti delle NNTC 2008 e delle successive NTC 2018, per ogni costruzione deve essere definita un'accelerazione di riferimento propria, in funzione delle coordinate geografiche dell'area e della vita nominale dell'opera.

Per ciascuna area in oggetto, in relazione a un periodo di riferimento T_R stimato di 475 anni, è stato definito un parametro di accelerazione massima attesa a_g definita in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido e con superficie topografica orizzontale. L'accelerazione a_g rappresenta uno dei parametri principali che definisce la **pericolosità sismica di base**, insieme ai parametri F_0 e T_c^* dello spettro di risposta elastico, desumibili nelle tabelle riportate sotto.

Stati limite

	Classe Edificio				
	II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...				
	Vita Nominale	50			
	Interpolazione	Media ponderata			
CU = 1					
Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	F _o	T _c ' [s]	
Operatività (SLO)	30	0.043	2.512	0.249	
Danno (SLD)	50	0.054	2.506	0.265	
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.153	2.576	0.271	
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.205	2.527	0.277	
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50				

Tab.4.1 - Tabella riassuntiva dei parametri sismici del sito in esame secondo NTC18.

4.2 Categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 NTC2018)

Per determinare il parametro V_{30} e definire quindi la categoria di sottosuolo dell'area indagata (§ 3.2.2 NTC 2018) sono state eseguite in sito le indagini sismiche sopra descritte nel paragrafo precedente. Il valore di V_{30} si calcola attraverso la formula 3.2.1 delle NTC 2018:

$$V_{S,Eq} = \frac{H}{\sum_i \frac{h_i}{V_{si}}}$$

dove H è la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Dall'elaborazione delle indagini sismiche MASW e HVSr si sono ottenuti i valori di $V_{s,30}$ e di frequenza naturale del terreno f_0 riportati nelle seguenti tabelle:

MASW	V_{s30}	240 m/s
-------------	-----------------------------	----------------

HVSr 1	1.07 ± 0.05 HZ	RISPETTA I CRITERI SESAME
HVSr 2	1.07 ± 0.14 HZ	RISPETTA I CRITERI SESAME

Pertanto, secondo la classificazione del sottosuolo imposta dal NTC 2018, si definisce il sottosuolo indagato come appartenente alla appartenente alla **categoria C**, corrispondente a

DEPOSITI DI TERRENI A GRANA GROSSA MEDIAMENTE ADDENSATI O TERRENI A GRANA FINA MEDIAMENTE CONSISTENTI CON PROFONDITÀ DEL SUBSTRATO SUPERIORI A 30 m, CARATTERIZZATI DA UN MIGLIORAMENTO DELLE PROPRIETÀ MECCANICHE CON LA PROFONDITÀ E DA VALORI DI VELOCITÀ EQUIVALENTE COMPRESI TRA **180 m/s** E **360 m/s**.

4.3 Azione sismica e risposta sismica del sito – Risposta sismica locale

Per ottemperare ai riferimenti normativi citati l'analisi è stata svolta secondo quanto indicato al § 7.11.3 delle NTC 2018, attraverso analisi numerica monodimensionale in campo lineare equivalente. Per fare ciò è stato utilizzato come strumento di lavoro il software di calcolo STRATA (University of Texas - Austin).

Ai fini della restituzione degli spettri di accelerazione, relativi allo stato limite SLV, è stata svolta la verifica dell'amplificazione del sito mediante l'utilizzo di un modello simulato in campo lineare equivalente.

Utilizzando un modello lineare equivalente è possibile ottenere una soluzione di un modello non lineare, attraverso analisi lineari complete nelle quali al termine di ogni interazione vengono aggiornati i parametri di **rigidezza** e **smorzamento** che sono dipendenti dallo stato di deformazione del terreno. Attraverso un'iterazione di calcoli si raggiunge una convergenza prefissata a monte della fase di computazione.

Il software STRATA è in grado di valutare la risposta sismica di un deposito di terreno, considerando un profilo monodimensionale in cui si propagano linearmente le onde sismiche, in funzione dei parametri dinamici attribuiti al terreno. Il terreno viene schematizzato come un sistema di N strati orizzontali omogenei, isotropi e visco-elastici, sovrastanti un semispazio uniforme, attraversati da un treno di onde di taglio che incidono verticalmente le superfici. Ogni strato è descritto per mezzo dello spessore H , del modulo di taglio massimo G_{max} o dalla corrispondente velocità massima V_{max} , dal valore dello smorzamento D , dal peso dell'unità di volume γ e dalle curve di decadimento del modulo di rigidezza a taglio normalizzato ($G/G_0 - \gamma$) e le corrispondenti curve dello smorzamento ($D - \gamma$) con la deformazione di taglio γ . Il modello lineare visco-elastico fa riferimento al modello reologico di Kelvin-Voigt, costituito da una molla e uno smorzatore viscoso in parallelo. Tale modello è descritto quindi dalla rigidezza (**G**) e dallo smorzamento (**D**). L'onda monodimensionale viene descritta dall'equazione in cui lo spostamento provocato (u) è funzione della profondità (z) e del tempo (t):

$$u(z, t) = A \exp [i (\omega t + k^* z)] + B \exp [i (\omega t - k^* z)]$$

Nell'equazione appena presentata A e B rappresentano le corrispettive amplificazioni del tetto e della base dello strato considerato. Il fattore k^* risulta dipendente dal modulo di taglio (G), dal grado di smorzamento (D) e dalla densità del terreno (ρ). Le relazioni sono le seguenti:

$$k^* = \frac{\omega}{v_s^*}$$

$$v_s^* = \sqrt{\frac{G^*}{\rho}} \qquad G^* = G \left(1 - 2D^2 + i2D \sqrt{1 - D^2} \right) \simeq G(1 + i2D)$$

Dove G^* e v_s^* rappresentano il modulo di taglio e la velocità di taglio.

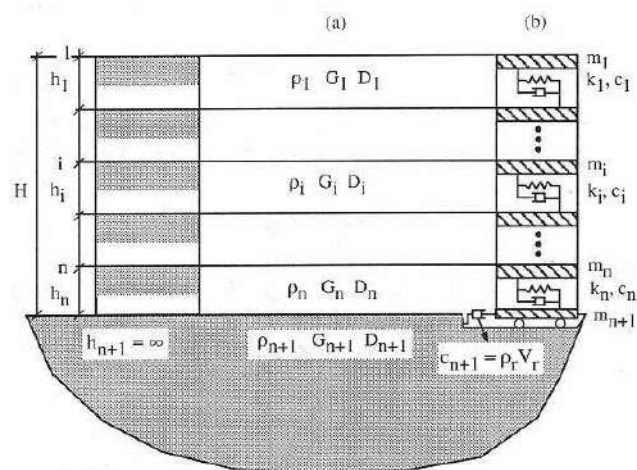


Fig.4.2 - Modello a strati continui adottato per la simulazione con il codice di calcolo STRATA.

MODELLO SIMULATO

Il modello simulato deriva dai dati ottenuti dalla prova geofisica che compone la campagna geognostica eseguita in sito. Tale profilo approssima il comportamento del sottosuolo, dal punto di vista sismico, in corrispondenza dell'area studiata. Il profilo considerato deriva dall'interpolazione dei dati provenienti dalle indagini geofisiche eseguite e i dati, di natura bibliografica, disponibili per il sito di riferimento.

Il profilo sismico del sottosuolo utilizzato per la modellazione della RSL deriva dall'elaborazione congiunta delle indagini HVSR2 e MASW eseguite in sito, integrate con dati di bibliografia. Si illustra successivamente il modello utilizzato:

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.50	0.50	100	0.45
10.50	10.00	200	0.45
21.50	11.00	300	0.43
46.50	25.00	333	0.43
106.50	60.00	450	0.43
inf.	inf.	600	0.43

Tab.4.2 – Modello ottenuto dall'elaborazione delle indagini sismiche congiunte MASW e HVSR2.

Per descrivere il comportamento dinamico dei terreni costituenti il modello sono state considerate curve di decadimento dei moduli di rigidità e smorzamento, al variare della deformazione percentuale $\gamma(\%)$. Si riporta successivamente la curva di decadimento considerata per l'esecuzione del calcolo di risposta sismica locale:

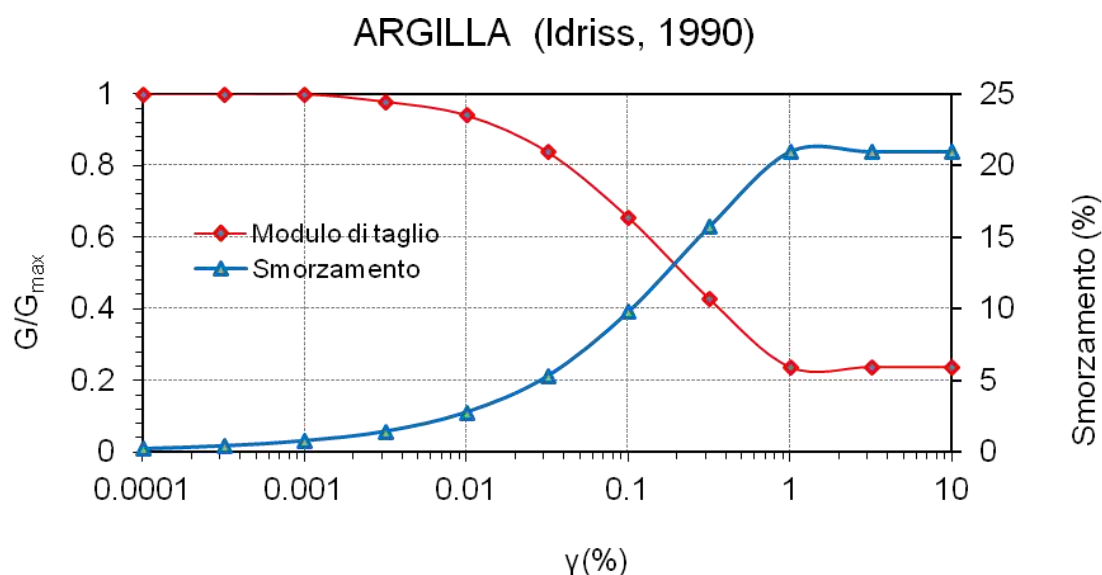


Fig.4.3 - Curva di decadimento dei moduli G/G_{max} e smorzamento D , utilizzati per descrivere il comportamento dei materiali coesivi che compongono il sottosuolo in oggetto.

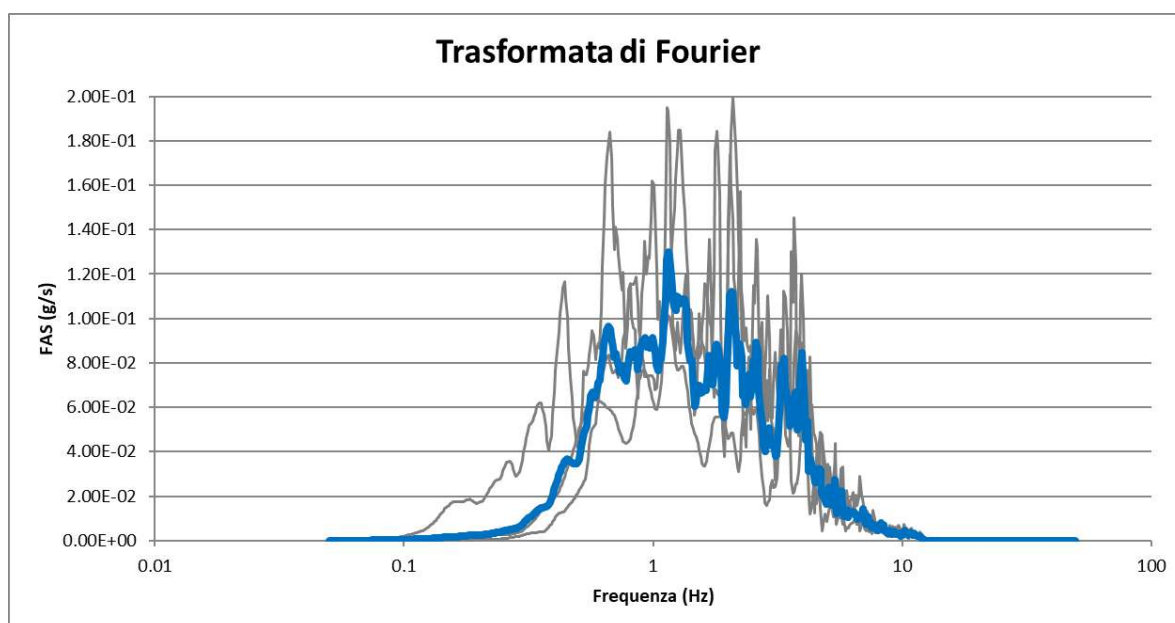
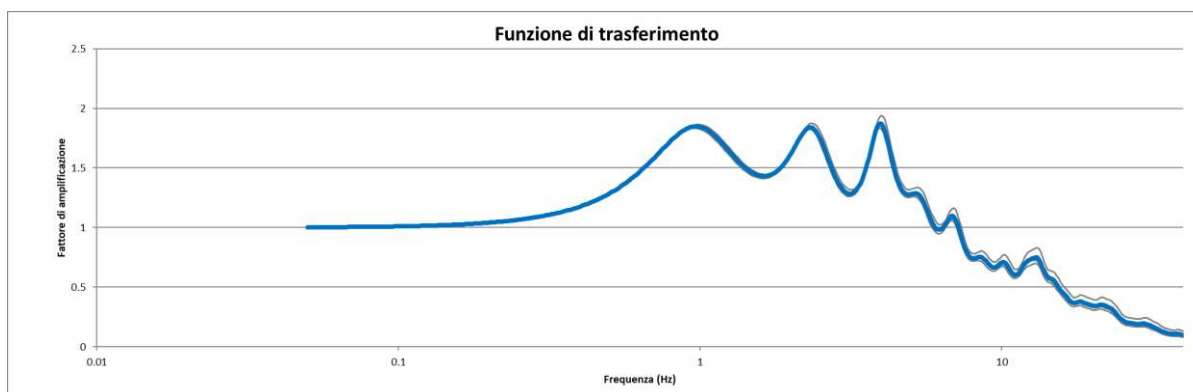
In accordo con quanto esposto nella D.G.R. 630/19, l'analisi RSL in oggetto è stata svolta adottando come input sismico 3 accelerogrammi, corrispondenti allo stato limite SLV. I segnali di riferimento sono stati successivamente scalati per il valore di PGA_0 atteso al suolo rigido in corrispondenza dell'areale oggetto di

analisi. Per fare ciò è stata considerata l'interpolazione spaziale dei valori di PGA_0 proposta da INGV per il territorio nazionale e resi disponibili per il territorio regionale sui punti di una griglia con passo 0.05 gradi.

Per il sito in oggetto tale valore è pari a **0.153g** considerando un valore di **Cu = 1.00** (Classe d'uso II) e **Vn = 50 anni** per ottenere un tempo di ritorno pari a 475 anni.

RISULTATI OTTENUTI

Sulla scorta delle verifiche svolte mediante software STRATA, in riferimento al modello considerato, è stato possibile definire, nel dominio delle frequenze, la funzione TF (Funzione di trasferimento) e rapporto spettrale di amplificazione associato. Per via grafica si inserisce successivamente la funzione di trasferimento TF ottenuta a seguito dell'analisi RSL in oggetto. Attraverso tale funzione è possibile definire il campo di frequenze entro il quale il sottosuolo, in corrispondenza del sito in oggetto, amplifica il segnale sismico, oltre che a quantificare l'amplificazione stessa.



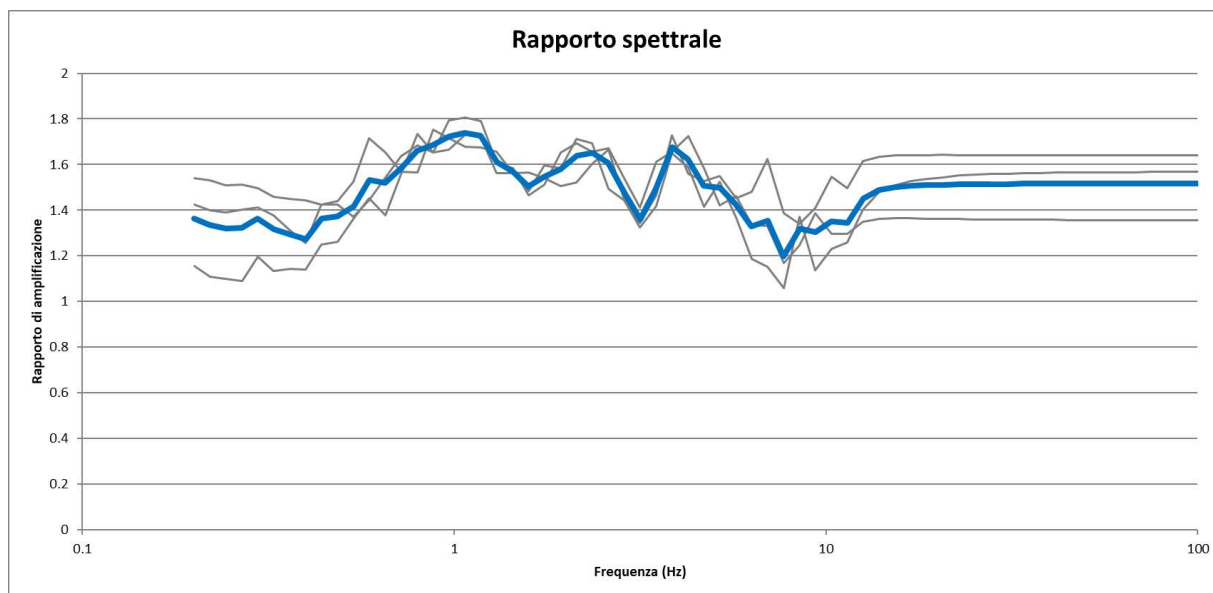


Fig.4.4 - Dall'alto: Funzione di Trasferimento, funzione FFT e rapporto spettrale di amplificazione.

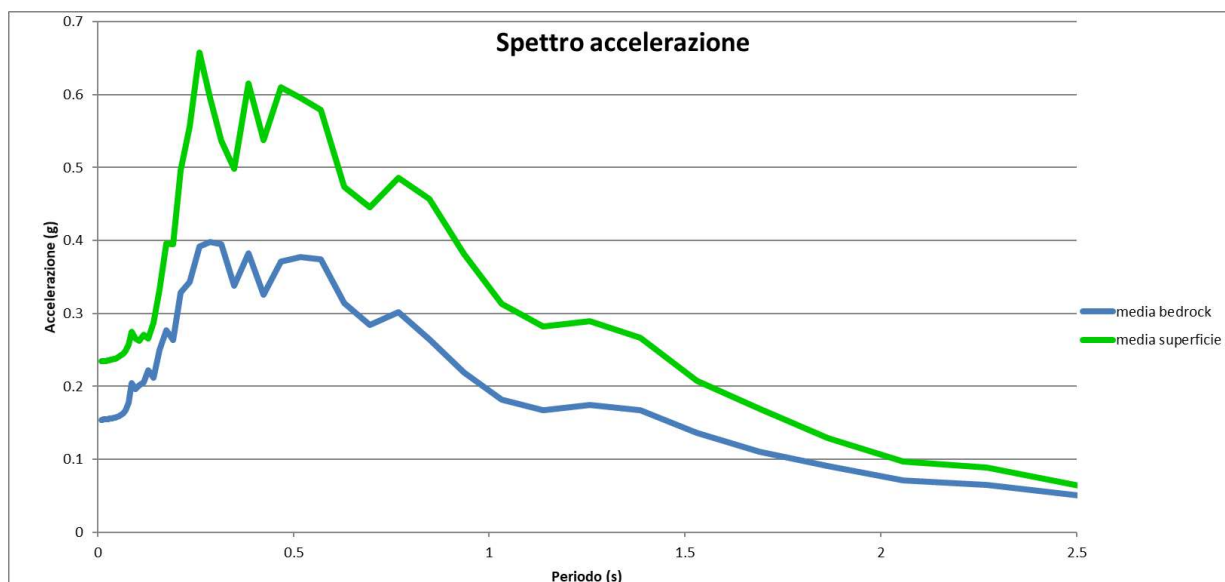


Fig.4.5 - Spettro accelerazione RSL

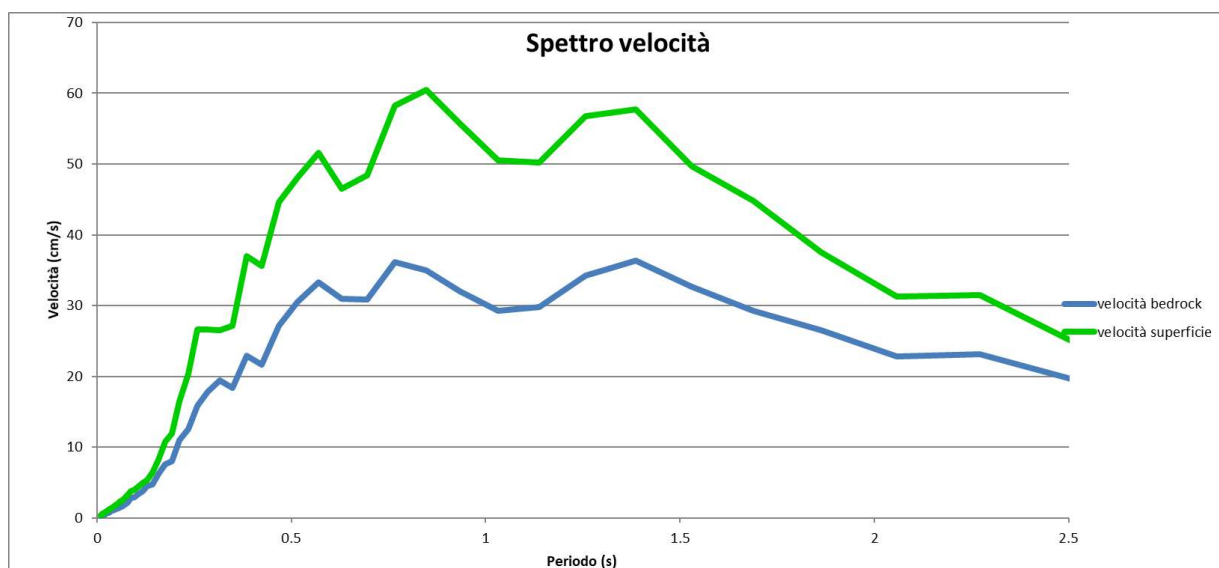


Fig.4.6 - Spettro velocità RSL

T [s]	Ag		
0.01	0.234143155	0.234912	0.556143633
0.011037	0.23418853	0.259266	0.657919673
0.012181	0.234246052	0.286146	0.595515721
0.013444	0.23431671	0.315811	0.536857838
0.014838	0.234399987	0.348553	0.498493956
0.016376	0.234501668	0.384689	0.615250154
0.018074	0.234625911	0.424571	0.53780484
0.019947	0.234777739	0.468588	0.609598767
0.022015	0.234958694	0.517168	0.596111133
0.024298	0.235182645	0.570785	0.579240317
0.026817	0.235458021	0.629961	0.473259494
0.029597	0.235803179	0.695271	0.446083696
0.032666	0.236229554	0.767353	0.485773553
0.036052	0.236756684	0.846907	0.457101795
0.03979	0.237417947	0.934709	0.381519314
0.043915	0.238157585	1.031614	0.313466624
0.048468	0.239162879	1.138566	0.282560364
0.053493	0.240565423	1.256605	0.289160292
0.059038	0.242441135	1.386883	0.266435401
0.065159	0.245084247	1.530666	0.208042673
0.071914	0.249232117	1.689356	0.16972142
0.07937	0.257796255	1.864499	0.128887304
0.087599	0.275247429	2.057799	0.097249652
0.09668	0.265203291	2.271139	0.088789597
0.106704	0.262995539	2.506597	0.063839062
0.117766	0.270627075	2.766465	0.052978619
0.129975	0.265882604	3.053276	0.042345265
0.14345	0.287826475	3.369821	0.029031448
0.158322	0.332412554	3.719184	0.023368976
0.174736	0.395708355	4.104766	0.019110048
0.192852	0.39532917	4.530323	0.014823222
0.212846	0.496458768	5	0.012005762

Tab.4.3 – Valori di A_{max} ottenuti dallo studio di risposta sismica locale.

Come descritto nell'all. 2 della DGR 630/2019, la stima del fattore di amplificazione **FA** è stata calcolata considerando un tempo di ritorno $TR=475$ anni, con uno smorzamento $\zeta=5\%$, e relativi parametri rappresentativi dello scuotimento sismico, in particolare:

- accelerazione di picco orizzontale (PGA);
- intensità spettrale SA

$$SA = \int_{T_1}^{T_2} A(T, \zeta) dT$$

dove A è lo spettro di risposta in accelerazione, T è il periodo proprio e ζ è lo smorzamento; sono stati considerati quattro intervalli di periodo proprio T ottenendo quattro valori di intensità spettrale:

	T₁	T₂
SA1	0,1 s	0,5 s
SA2	0,4 s	0,8 s
SA3	0,7 s	1,1 s
SA4*	0,5 s	1,5 s

- intensità spettrale SI

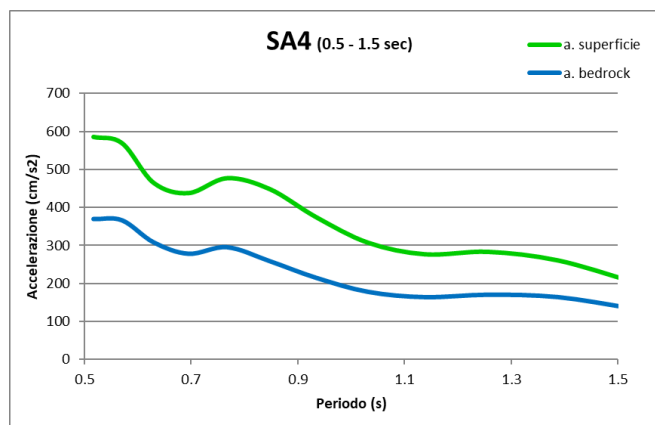
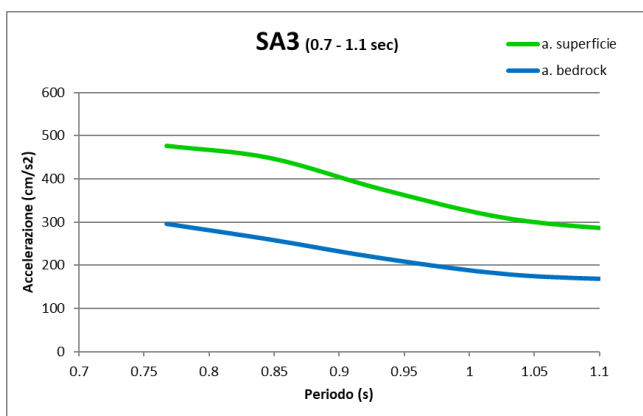
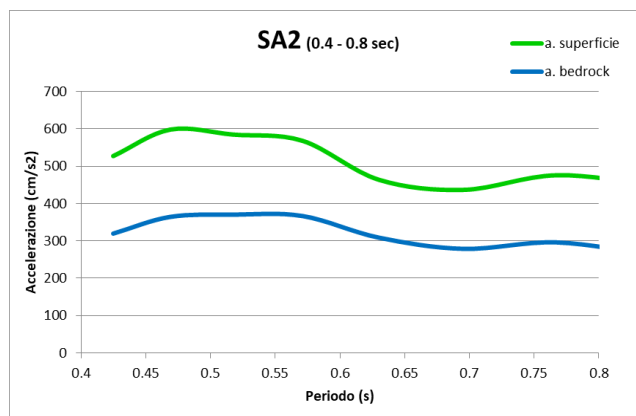
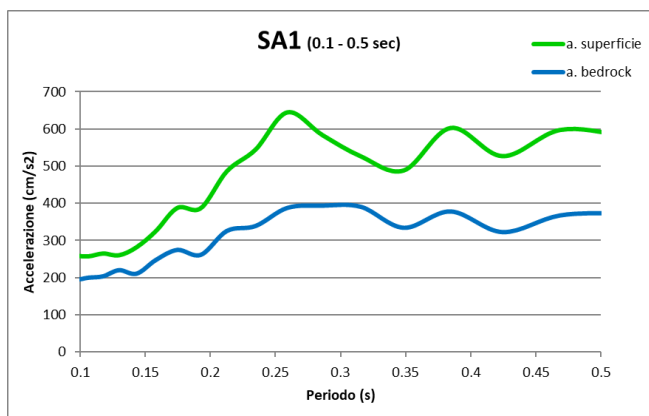
$$SI = \int_{T_1}^{T_2} V(T, \zeta) dT$$

dove V è lo spettro di risposta in velocità, T è il periodo proprio e ζ è lo smorzamento; sono stati considerati tre intervalli di periodo proprio T ottenendo tre valori di intensità

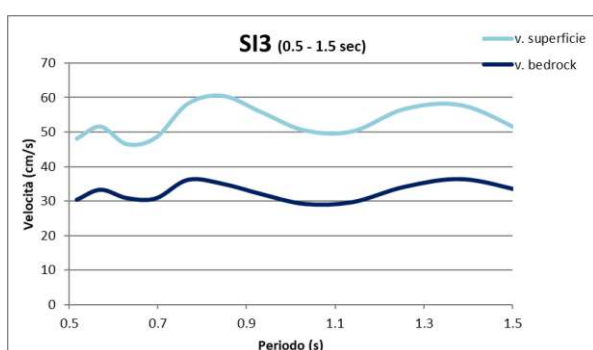
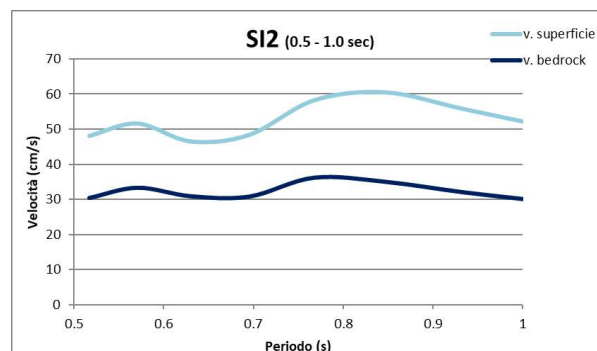
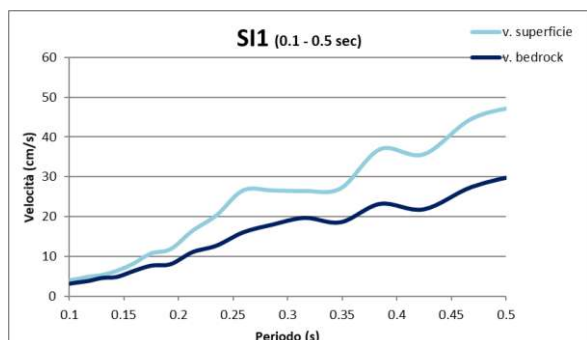
	T₁	T₂
SI1	0,1 s	0,5 s
SI2	0,5 s	1,0 s
SI3*	0,5 s	1,5 s

Di seguito si riportano i grafici degli spettri di risposta in accelerazione e velocità calcolati per l'area in studio.

SPETTRI DI RISPOSTA IN ACCELERAZIONE



SPETTRI DI RISPOSTA IN VELOCITÀ



Di seguito si riportano in tabella i FA:

Fattore di amplificazione	Periodo T (s)	FA
Fattore di Amplificazione SA1	$0.1s \leq T \leq 0.5s$	1.47
Fattore di Amplificazione SA2	$0.4s \leq T \leq 0.8s$	1.60
Fattore di Amplificazione SA3	$0.7s \leq T \leq 1.1s$	1.70
Fattore di Amplificazione SA4	$0.5s \leq T \leq 1.5s$	1.62

Tab.4.4 – Fattori di amplificazione SA1 –SA2 –SA3 – SA4.

Fattore di amplificazione	Periodo T (s)	FA
Fattore di Amplificazione SI1	$0.1s \leq T \leq 0.5s$	1.47
Fattore di Amplificazione SI2	$0.5s \leq T \leq 1.0s$	1.62
Fattore di Amplificazione SI3	$0.5s \leq T \leq 1.5s$	1.62

Tab.4.5 – Fattori di amplificazione SI1 –SI2 –SI3.

Infine si è calcolato il valore di H_{SM} , ovvero il parametro che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto, dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{UHS}), valore integrale dello

spettro di riferimento in accelerazione calcolato per l'intervallo di periodi $0.1 \leq T \leq 0.5$ s e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione (FA) calcolato per lo stesso intervallo di periodi:

$$H_{SM} = \frac{ASI_{UHS}}{\Delta T} \times FA$$

I valori di $ASI_{UHS}/\Delta T$, calcolati per ogni punto della griglia INGV, sono riportati nel file all_4_coord.kmz disponibili nella pagina web dedicata agli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica a cura del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, di seguito si riportano i valori della griglia INGV dell'area in studio.

La zona in studio presenta un valore di $ASI_{UHS}/\Delta T$ pari a **333**.

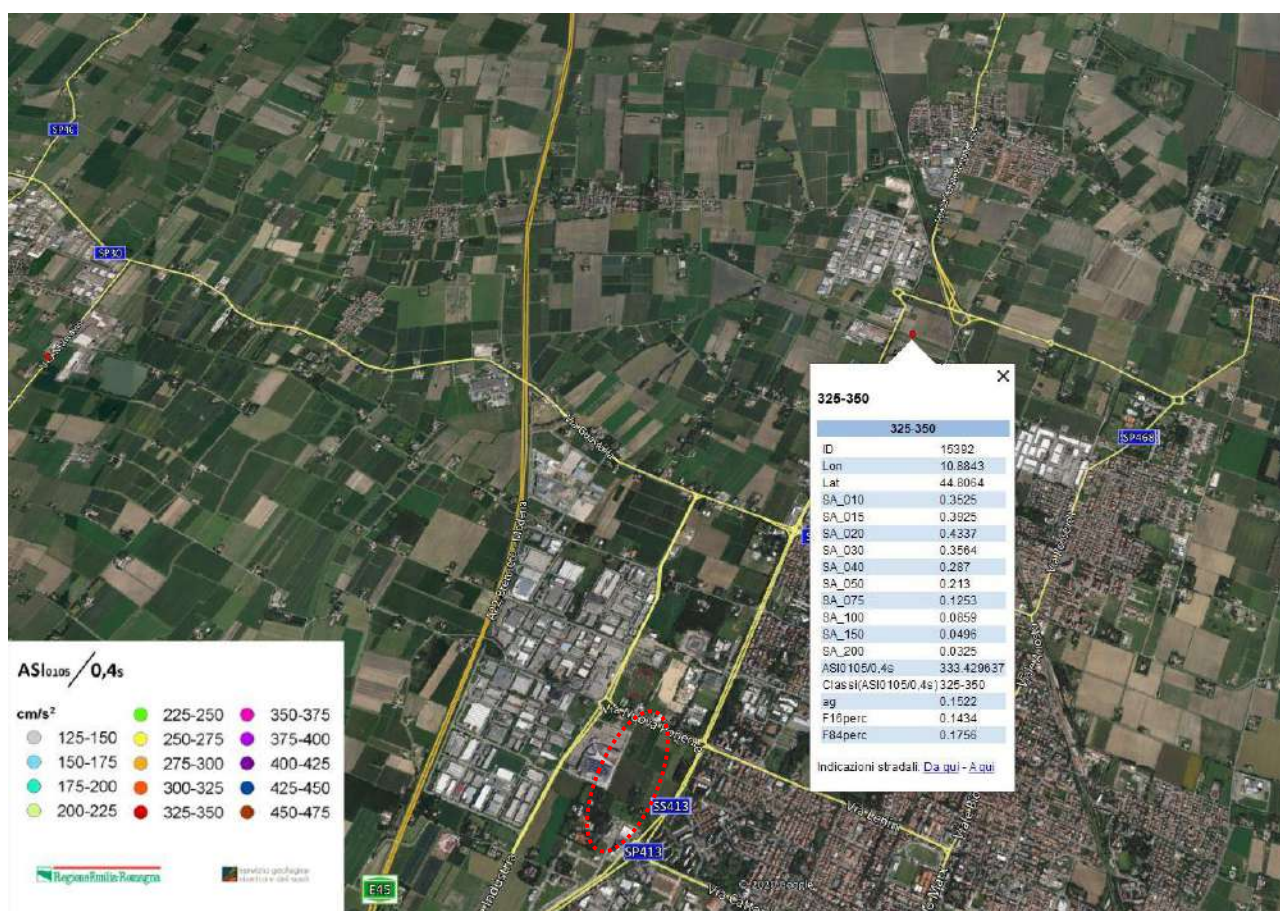


Fig.4.7 – Valori di $ASI_{UHS}/\Delta T$ per l'area in studio - griglia INGV.

Di seguito si riportano i valori di H_{SM} e H_{0408} , H_{0711} , H_{0515} ricavati, ovvero lo scuotimento in accelerazione (cm/s^2) atteso al sito per gli intervalli di periodi $0,4s \leq T \leq 0,8s$, $0,7s \leq T \leq 1,1s$ e $0,5s \leq T \leq 1,5s$.

H_{SM}	Periodo T (s)
$H_{SM} = 490$	$0,1 s \leq T \leq 0,5s$
$H_{0408} = 533$	$0,4 s \leq T \leq 0,8s$
$H_{0711} = 565$	$0,7 s \leq T \leq 1,1s$

$H_{0.515} = 539$	$0,5 \text{ s} \leq T \leq 1,5 \text{ s}$
-------------------	---

Tab.4.6 – Valori Hsm ottenuti per i diversi periodi.

Dai risultati sopra esposti dell'analisi di risposta sismica locale si ottiene un valore di accelerazione massima attesa al suolo del valore $PGA_{max}=A_{max}=0.234g$ (per $T=0$ s).

5 MODELLAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA DEL SITO

5.1 Caratteristiche litostratigrafiche del terreno

L'interpretazione congiunta dei risultati ottenuti dalla campagna di indagini geofisiche e geotecniche eseguite in sito ha permesso di ricostruire la stratigrafia del sottosuolo del sito in studio.

Le indagini CPT e CPTU eseguite in sito, risultano discretamente omogenee, a differenza della CPT4. Le prove CPT1, CPT2, CPT3 e CPTU sono caratterizzate dalla prevalenza di terreni coesivi con occasionali livelli di sabbia, a differenza della CPT4 caratterizzata da livelli metrici di sabbia.

Dalle indagini geotecniche è stato possibile ricavare i parametri meccanici del terreno nei primi 20 m di profondità. Dall'elaborazione delle prove penetrometriche è possibile individuare le seguenti unità litostratigrafiche:

Unità 1: Depositi prevalentemente coesivi argillosi e limosi **a media** consistenza, aventi valori di coesione non drenata C_u pari a 50 kN/m^2 e valori di V_{s30} pari a 200 m/s . Spessore indicativo 2.00 m .

Unità 2: Depositi prevalentemente coesivi argillosi e limosi **a scarsa** consistenza, aventi valori di coesione non drenata C_u pari a 40 kN/m^2 e valori di V_{s30} pari a 200 m/s . Spessore indicativo 8.00 m .

Unità 3: Depositi prevalentemente coesivi argillosi e limosi **a media** consistenza, aventi valori di coesione non drenata C_u pari a 60 kN/m^2 e valori di V_{s30} superiori a 300 m/s . Spessore indicativo 8.00 m .

Unità 4: Depositi prevalentemente coesivi argillosi e limosi **a elevata** consistenza, aventi valori di coesione non drenata C_u pari a 90 kN/m^2 e valori di V_{s30} superiori a 300 m/s . Da 17.80 m di profondità.

Al termine delle prove penetrometriche, in data 08/05/2020 la falda freatica risultava essere pari a -1.40 m da p.c..

Le misure sismiche passive a stazione singola hanno permesso di indagare il sottosuolo oltre le profondità raggiunte dalle indagini geotecniche. Dalla modellazione e dall'interpretazione delle curve HVSR ottenute, si è individuata un'ulteriore unità stratigrafica caratterizzata da valori di V_s compresi nell'intervallo $450\div 600 \text{ m/s}$, il cui tetto, individuato alla profondità indicativamente di circa -106 m da p.c., determina una frequenza di risonanza del terreno a 1.07 Hz (§ 3.2.2 della presente relazione), plausibilmente rappresentativa di un substrato alterato.

In generale si può osservare che l'area indagata risulta discretamente omogenea dal punto di vista litostratigrafico.

Di seguito si riporta la stratigrafia ottenuta dall'elaborazione della prova penetrometrica CPTU (Fig.5.1).

Project: STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE
Location: CARPI, VIA NUOVA PONENTE

CPT: CPTU

Total depth: 20.37 m, Date: 08/05/2020

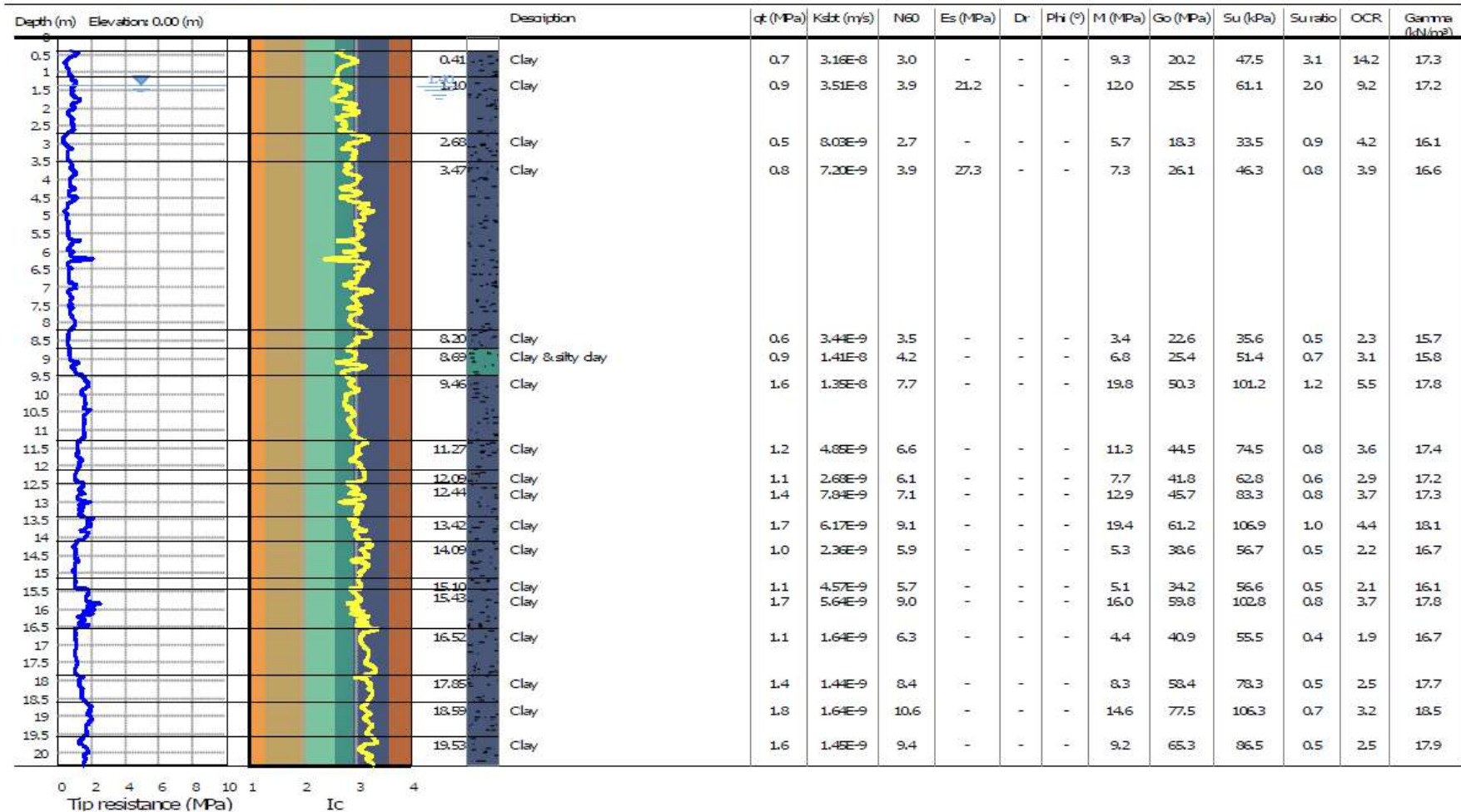


Fig. 5.1 – Stratigrafia ottenuta dall'elaborazione della prova CPTU

5.2 Modello geotecnico del sottosuolo

Il modello geotecnico è finalizzato a fornire tutti i dati geotecnici necessari l'intervento in oggetto. Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione geotecnica e litostratigrafica dell'indagine geotecnica eseguita in sito e in relazione all'intervento in progetto, si può riassumere il seguente modello geotecnico schematico del terreno investigato:

Parametri di resistenza e deformabilità:

Strato	Profondità	Falda	Litotipo	Parametri geotecnici	
1	0.0 – 2.0 m da p.c.	-1.40 m da p.c.	Argilla o argilla limosa a media consistenza - Unità 1	γ	1800 kg/m ³ ≈ 18.00 kN/m ³
				γ'	2100 kg/m ³ ≈ 21.00 kN/m ³
				C_{uk}	0.50 kg/cm ² ≈ 50.0 kN/m ²
				C'_k	0.05 kg/cm ² ≈ 5.00 kN/m ²
				M_0	40.0 kg/cm ² ≈ 4000 kN/m ²
				E_s	70.0 kg/cm ² ≈ 7000 kN/m ²
				ϕ_k	23°
2	2.00 – 10.0 m da p.c.		Argilla o argilla limosa a scarsa consistenza - Unità 2	γ	1750 kg/m ³ ≈ 17.50 kN/m ³
				γ'	2050 kg/m ³ ≈ 20.50 kN/m ³
				C_{uk}	0.40 kg/cm ² ≈ 40.0 kN/m ²
				C'_k	0.04 kg/cm ² ≈ 4.00 kN/m ²
				M_0	30.0 kg/cm ² ≈ 3000 kN/m ²
				E_s	56.0 kg/cm ² ≈ 5600 kN/m ²
				ϕ_k	21°
3	10.0 – 17.80 m da p.c.		Argilla o argilla limosa a media consistenza - Unità 3	γ	1800 kg/m ³ ≈ 18.00 kN/m ³
				γ'	2100 kg/m ³ ≈ 21.00 kN/m ³
				C_{uk}	0.60 kg/cm ² ≈ 60.0 kN/m ²
				C'_k	0.06 kg/cm ² ≈ 6.00 kN/m ²
				M_0	50.0 kg/cm ² ≈ 5000 kN/m ²
				E_s	84.0 kg/cm ² ≈ 8400 kN/m ²
				ϕ_k	23°
4	17.8 – 20.0 m da p.c.		Argilla o argilla limosa a elevata consistenza - Unità 4	γ	1850 kg/m ³ ≈ 18.50 kN/m ³
				γ'	2150 kg/m ³ ≈ 21.50 kN/m ³
				C_{uk}	0.90 kg/cm ² ≈ 90.0 kN/m ²
				C'_k	0.09 kg/cm ² ≈ 9.00 kN/m ²
				M_0	75.0 kg/cm ² ≈ 7500 kN/m ²
				E_s	126.0 kg/cm ² ≈ 12600 kN/m ²
				ϕ_k	25°
Legenda				γ =	peso specifico terreno naturale
				γ' =	peso specifico terreno saturo
				C_{uk} =	coesione non drenata caratteristica

	C'_k	=	coesione efficace caratteristica
	D_r	=	densità relativa
	M_0	=	modulo di deformazione edometrico
	E_s	=	modulo elastico
	ϕ_k	=	angolo d'attrito caratteristico

5.3 Stabilità nei confronti della liquefazione (§ A2.2. DGR 630/2019)

In accordo con la normativa regionale DGR 630/19 si è proceduto alla verifica della liquefazione per la verticale di prova CPTU.

La valutazione del fenomeno della liquefazione viene svolta attraverso il calcolo del fattore di sicurezza di ciascun livello che compone il sottosuolo analizzato nei confronti del fenomeno stesso. Il fattore di sicurezza è derivato secondo la seguente formulazione:

$$F_L(z) = \frac{CRR_{M=7.5; \sigma'_v=1atm}}{CSR} \cdot MSF \cdot K_\sigma$$

Dove:

CRR è rappresentato dal rapporto di resistenza ciclica

MSF rappresenta il fattore di scala della magnitudo che è funzione della magnitudo stessa, della PGA e del valore di CRR

K_σ è il fattore di correzione che tiene conto della pressione efficace alla profondità a cui la resistenza viene valutata

CSR è il rapporto di tensione ciclica, ovvero la tensione di taglio indotta dall'azione sismica, normalizzata rispetto alla tensione verticale efficace. Tale parametro è derivabile secondo la seguente formulazione:

$$CSR = \frac{\tau_{media}}{\sigma'_{v0}} = 0.65 \cdot \frac{a_{maxs}}{g} \cdot \frac{\sigma'_{v0}}{\sigma'_{v0}} \cdot r_d$$

I termini che compongono la seguente relazione sono rappresentati da a_{max}/g che descrive il valore dell'accelerazione orizzontale a $T = 0.00$ s, il rapporto della tensione litostatica totale ed efficace, e il coefficiente riduttivo r_d . Quest'ultimo, in accordo con la predetta normativa è stato stimato secondo la seguente formulazione:

$$r_d = \exp[\alpha(z) + \beta(z) \cdot M]$$

$$\alpha(z) = -1.012 - 1.126 \cdot \text{sen}\left(\frac{z}{11.73} + 5.133\right)$$

$$\beta(z) = 0.106 + 0.118 \cdot \text{sen}\left(\frac{z}{11.28} + 5.142\right)$$

dove M rappresenta il valore di magnitudo di riferimento per il sito in analisi.

Il valore **CRR** è stato ricavato attraverso la metodologia di calcolo proposta da **Boulanger&Idriss 2014**. Per le specifiche della procedura di calcolo adottata si faccia riferimento all'allegato **A2.2** della DGR 630/2019 della Regione Emilia Romagna. L'analisi di liquefazione è stata eseguita entro i -20.00 m rispetto al piano campagna come prescritto dalla normativa di riferimento.

Le verifiche sono state svolte considerando una magnitudo di riferimento **M = 6.14** (derivante dalla zonazione sismogenetica) e una accelerazione massima al suolo **A_{max} = 0.234g** (Risposta sismica locale).

A seguito dell'identificazione del fattore di sicurezza F_L è stato determinato l'indice potenziale di liquefazione IL (LPI) attraverso il quale è possibile definire l'esposizione del sito al rischio di liquefazione. Il potenziale di liquefazione LPI è stato determinato secondo la seguente formulazione:

$$I_L = \int_0^{z_{crit}} F(z) \cdot w(z) \cdot dz \quad \text{in cui} \quad w(z) = \frac{200}{z_{crit}} \cdot \left(1 - \frac{z}{z_{crit}}\right)$$

Dove $F(z)$ viene determinato secondo le formulazioni proposte da Somnez (2003)

$$\begin{array}{ll} F(z) = 0 & \text{per } F_L \geq 1.2 \\ F(z) = 2 \cdot 10^6 \cdot \exp(-18.427 \cdot F_L) & \text{per } 1.2 > F_L \geq 0.95 \\ F(z) = 1 - F_L & \text{per } F_L \leq 0.95 \end{array}$$

In base al valore di LPI ottenuto è possibile fornire un'indicazione del rischio di liquefazione. In considerazione delle linee guida emesse dalla Regione Emilia Romagna, a seguito degli eventi sismici di Maggio e Giugno 2012, si considera la classificazione di rischio definita da **Sonmez 2003**:

INDICE DI LIQUEFAZIONE	Rischio di liquefazione
LPI=0	Nullo
0<LPI≤2	Basso
2<LPI≤5	Moderato
5<LPI≤10	Alto
15>LPI	Molto alto

Si illustra successivamente il valore di LPI derivato dalla verticale di prova CPT1 considerando un'accelerazione massima al suolo $A_{max} = 0.234g$ (calcolata secondo RSL), la soggiacenza **della falda freatica è stata considerata alla profondità $D_w = -1.40$ m (in data 08/05/2020)** e una magnitudo di riferimento pari a $M=6.14$.

A seguito della verifica, in riferimento alla verticale CPT1, è stato ottenuto il seguente valore di LPI:

INDAGINE	INDICE DI LIQUEFAZIONE	RISCHIO
CPTU	0.248	BASSO

Project title : STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE
 Location : CARPI, VIA NUOVA PONENTE

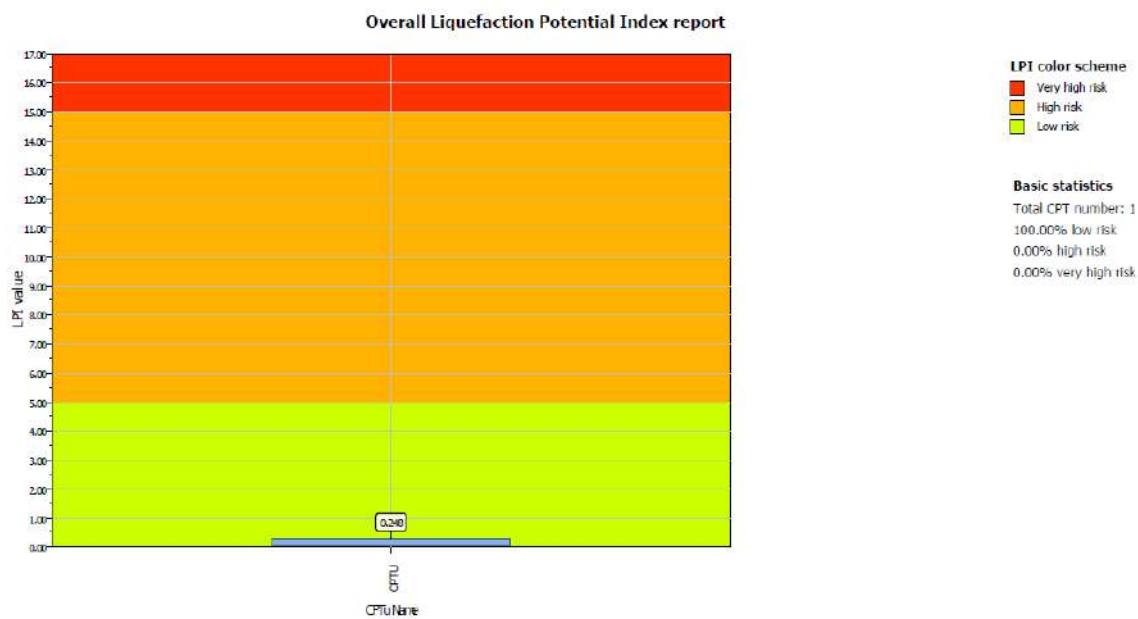


Fig.5.2 – Indice di liquefazione dalla prova CPTU.

5.4 Stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica (§ B. DGR 630/2019)

Per cedimento si intende l'abbassamento del piano campagna, ovvero la sommatoria dei prodotti della deformazione verticale media per lo spessore di ciascuno degli strati deformati.

Il cedimento post sismico può essere dovuto a terreni granulari saturi, insaturi e a terreni coesivi soffici; tali cedimenti vengono stimati con la seguente equazione:

$$s = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{vi} \cdot \Delta z_i$$

ε_{vi} = deformazione volumetrica;

Δz_i = spessore dello strato i-esimo.

I cedimenti conseguenti a liquefazione di terreni granulari saturi hanno luogo immediatamente dopo il terremoto o comunque in un tempo non superiore a un giorno, i cedimenti per densificazione di terreni granulari insaturi avvengono durante lo scuotimento sismico, mentre i cedimenti per consolidazione di terreni coesivi soffici possono richiedere tempi anche molto lunghi in funzione delle condizioni stratigrafiche e geotecniche.

Il calcolo dei cedimenti post sismici in terreni incoerenti in condizioni sature e insature, eseguiti per la verticale CPTU ha evidenziato quanto segue:

CEDIMENTO IN TERRENI INCOERENTI SATURI – (Liq. Seattle)	0.32 cm
CEDIMENTO IN TERRENI INCOERENTI INSATURI – (Dry. Seattle)	0.0 cm

Si riportano di seguito i valori calcolati dei cedimenti post sismici in terreni incoerenti sia in saturi (Liq. settlement) che insaturi (Dry settlement) per la verticale eseguita.

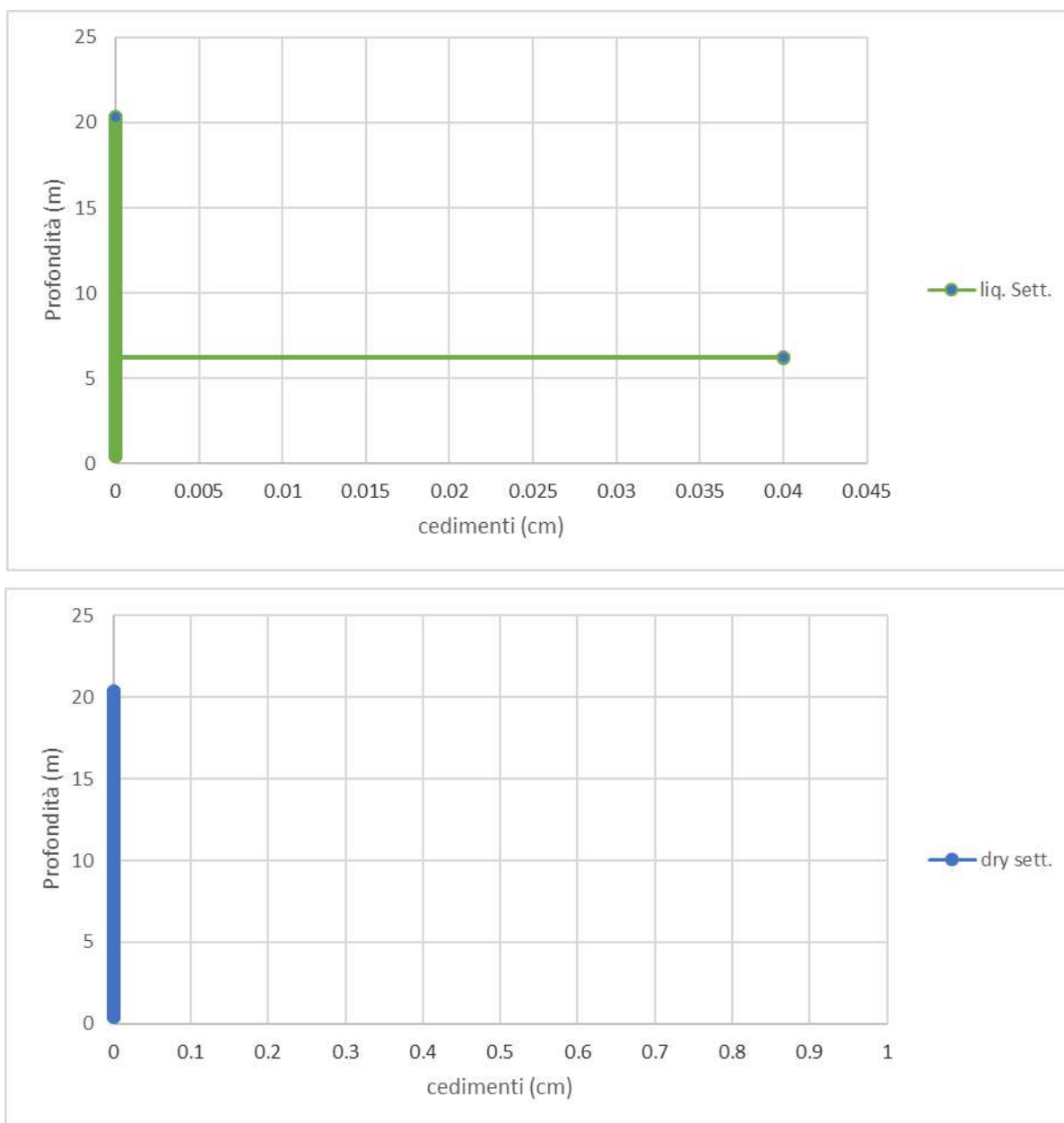


Fig.5.3 –Cedimenti post sismici in terreni incoerenti saturi (Liquef. Settlement) e in terreni incoerenti insaturi (Dry settlement) eseguiti per la prova CPTU.

La stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica nei terreni soffici ($V_s \leq 180$ m/s) non è stata eseguita, in quanto dal modello sismico adottato non evidenzia strati con velocità inferiori si 180 m/s, ad eccezione del primo strato di riporto.

6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Nel mese di maggio 2020 è stato eseguito il presente elaborato al fine di verificare le condizioni di edificabilità e di pericolosità sismica dell'area.

Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione delle indagini geotecniche eseguite (§ 3.1), si ritiene possibile l'utilizzo di fondazioni superficiali; si fornisce per il terreno di fondazione indagato il modello geotecnico medio riportato nel § 5.2 della presente relazione.

La caratterizzazione sismica del sito è stata condotta sulla base di indagini geofisiche di tipo MASW e HVSr eseguita nel sito in studio (§ 4.2), tali prove, hanno permesso di determinare che la velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità $V_{s30} = 240$ m/s. Sulla base delle NTC 2018, e tenendo conto dell'indagine sismica sopraccitata, si classifica il terreno di fondazione in oggetto come appartenente alla **categoria C**, corrispondente a: DEPOSITI DI TERRENI A GRANA GROSSA MEDIAMENTE ADDENSATI O TERRENI A GRANA FINA MEDIAMENTE CONSISTENTI CON PROFONDITÀ DEL SUBSTRATO SUPERIORI A 30 m, CARATTERIZZATI DA UN MIGLIORAMENTO DELLE PROPRIETÀ MECCANICHE CON LA PROFONDITÀ E DA VALORI DI VELOCITÀ EQUIVALENTE COMPRESI TRA **180 m/s** E **360 m/s**.

Per la definizione dell'azione sismica del sito è stata eseguita uno studio di risposta sismica locale (§ 4.3). Dall'analisi così eseguita si sono ottenuti i seguenti risultati:

ag	RSL	
	F.A.	A _{max}
0.153g	1.53	0.234g

È stata eseguita la verifica della suscettibilità al fenomeno della liquefazione sulla base della prova penetrometrica CPTU eseguita in sito, considerando una accelerazione massima al suolo $A_{max} = 0.234g$ (calcolata dal terzo livello di risposta sismica locale DGR 630/2019), la soggiacenza della falda freatica alla profondità **Dw=-1.40 m da p.c.** (in data 08/05/2020), e una **magnitudo di riferimento** pari a **M=6.14**. Dall'analisi della suscettibilità nei confronti del fenomeno della liquefazione così eseguita si è ottenuto un valore di LPI corrispondente a un **rischio di liquefazione basso** (§ 5.3).

Sono stati inoltre calcolati i cedimenti indotti dall'azione sismica (§ 5.4).

In generale, dalla consultazione dei dati bibliografici, dalle cartografie e dalle caratteristiche geologico-stratigrafiche geotecniche e sismiche dell'area in studio, non si sono riscontrati elementi ostativi che possano compromettere l'intervento in progetto.

Si ricorda che, in fase esecutiva, dovranno essere realizzate ulteriori indagini specifiche per ogni singolo fabbricato, al fine di poter calcolare con maggior precisione la struttura di fondazione.

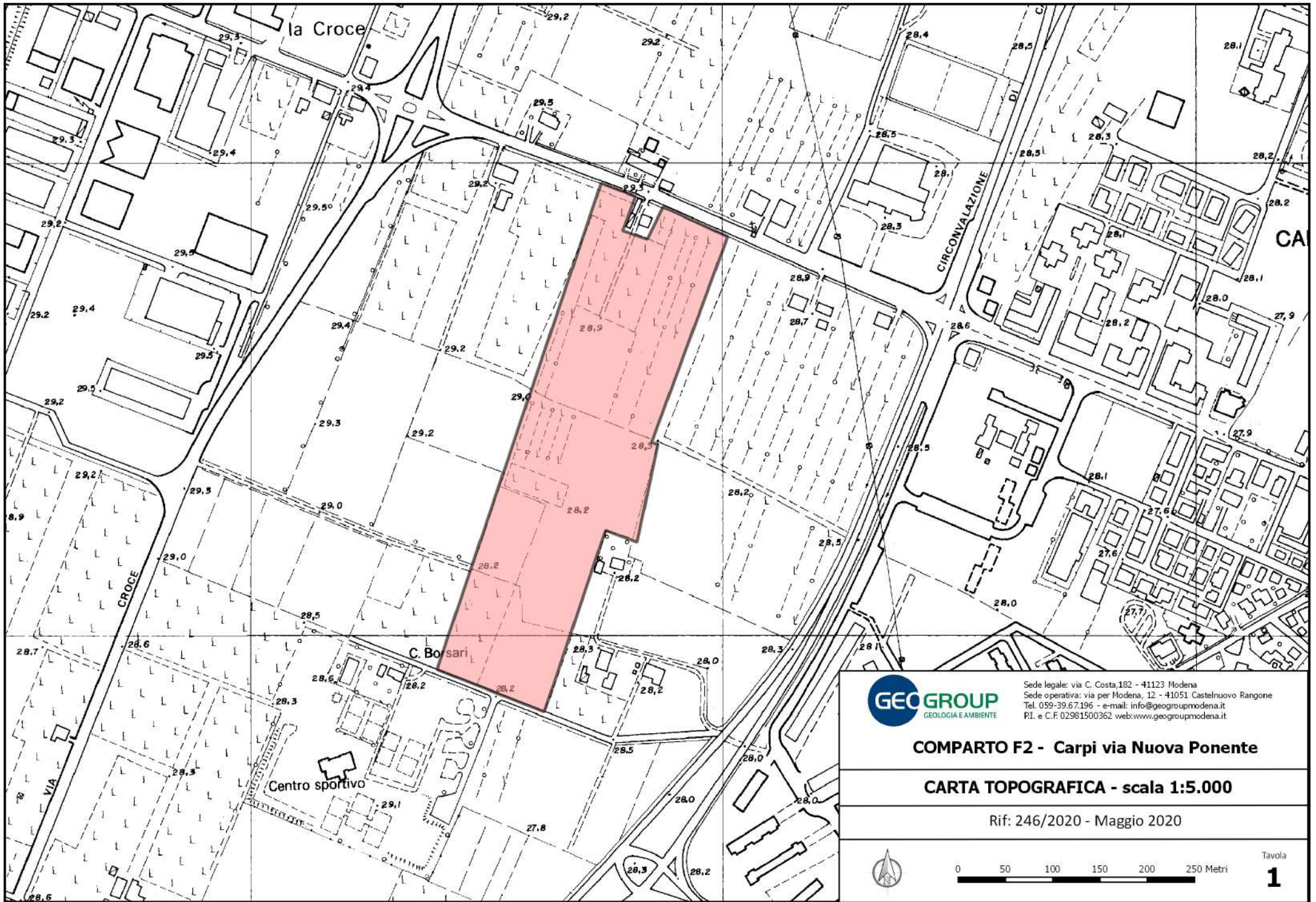
A disposizione per ulteriori chiarimenti, cogliamo l'occasione per porgere cordiali saluti.

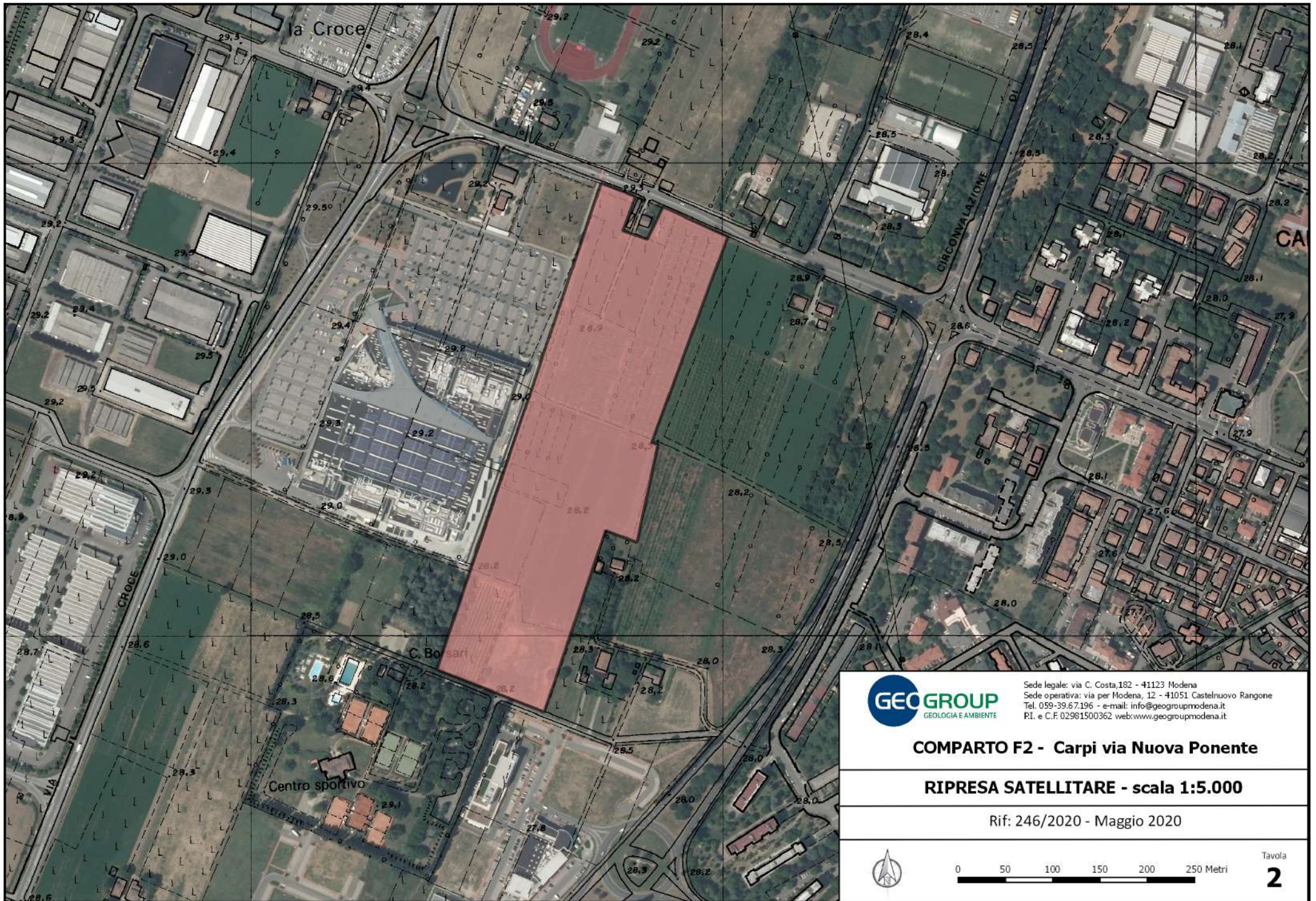
Modena, 25 maggio 2020

Dott. Geol. Pier Luigi Dallari



TAVOLE





Sede legale: via C. Costa,182 - 41123 Modena
Sede operativa: via per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo Rangone
Tel. 059-39.67.196 - e-mail: info@geogroupmodena.it
P.I. e C.F. 02981500362 web:www.geogroupmodena.it

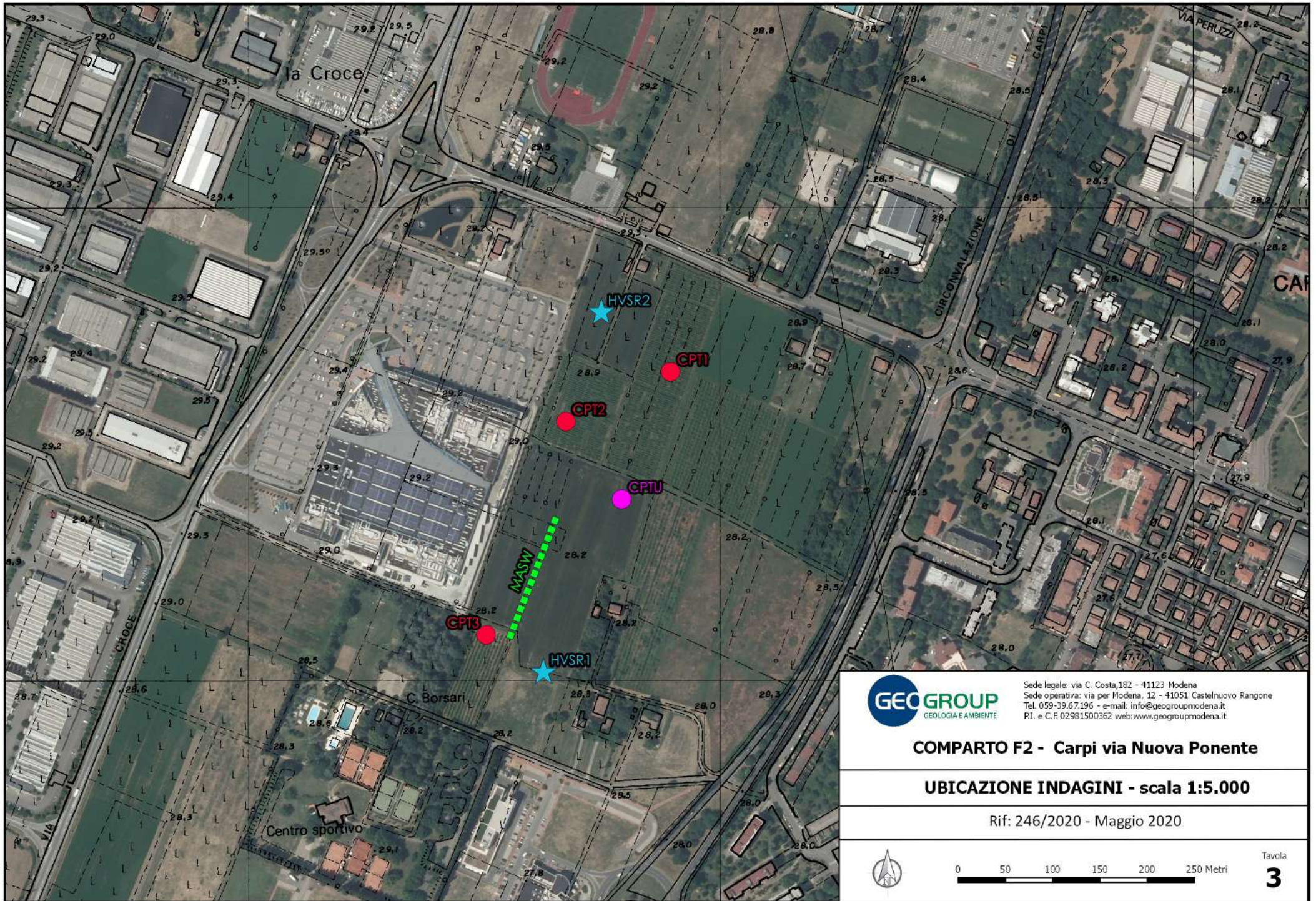
COMPARTO F2 - Carpi via Nuova Ponente

RIPRESA SATELLITARE - scala 1:5.000

Rif: 246/2020 - Maggio 2020



Tavola
2



Sede legale: via C. Costa,182 - 41123 Modena
 Sede operativa: via per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo Rangone
 Tel. 059-39.67.196 - e-mail: info@geogroupmodena.it
 P.I. e C.F. 02981500362 web:www.geogroupmodena.it

COMPARTO F2 - Carpi via Nuova Ponente

UBICAZIONE INDAGINI - scala 1:5.000

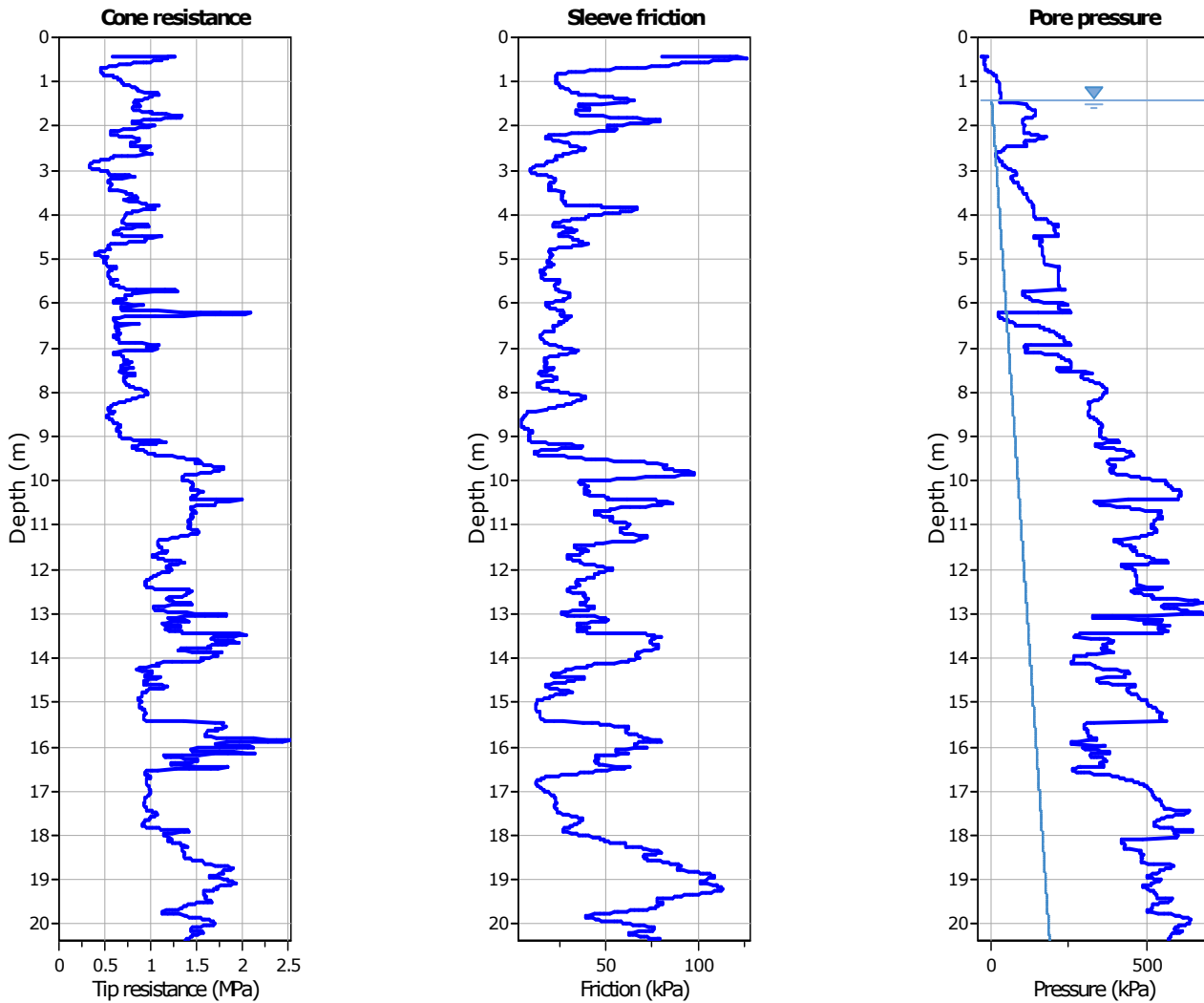
Rif: 246/2020 - Maggio 2020



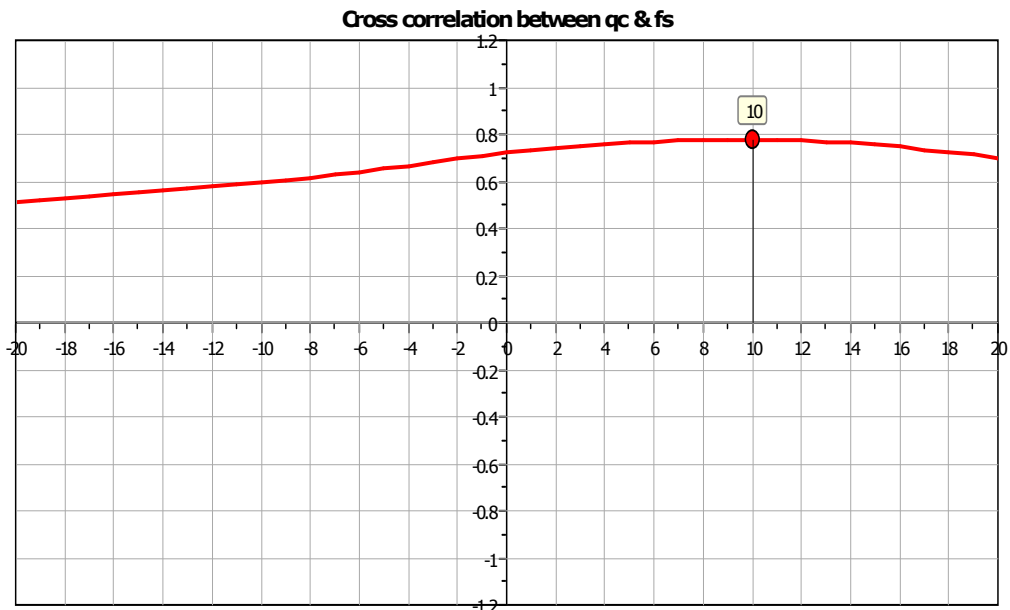
Tavola
3

ALLEGATO 1

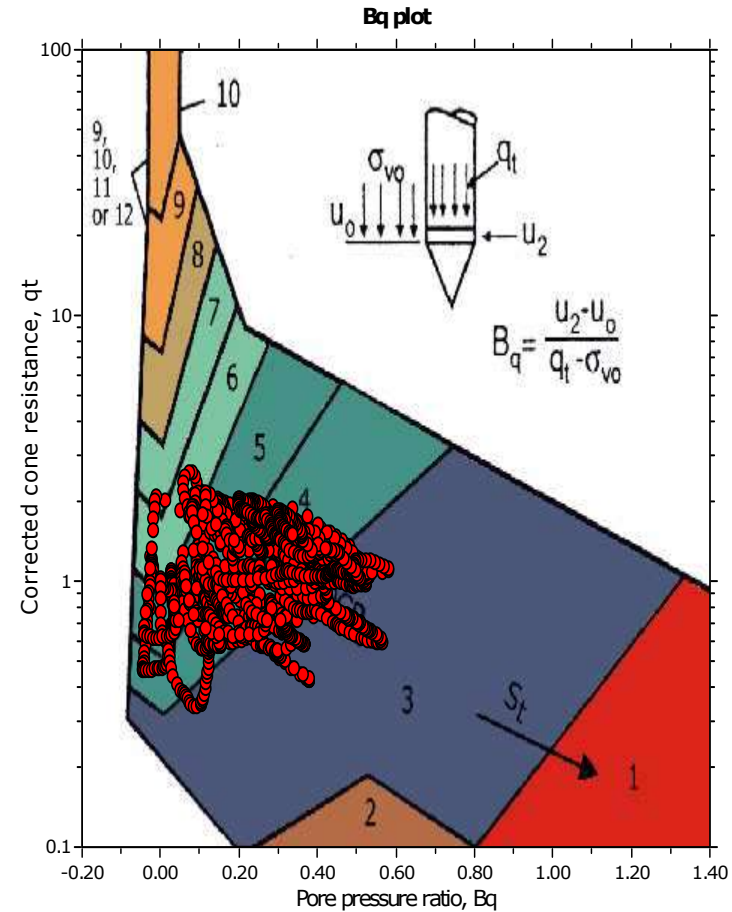
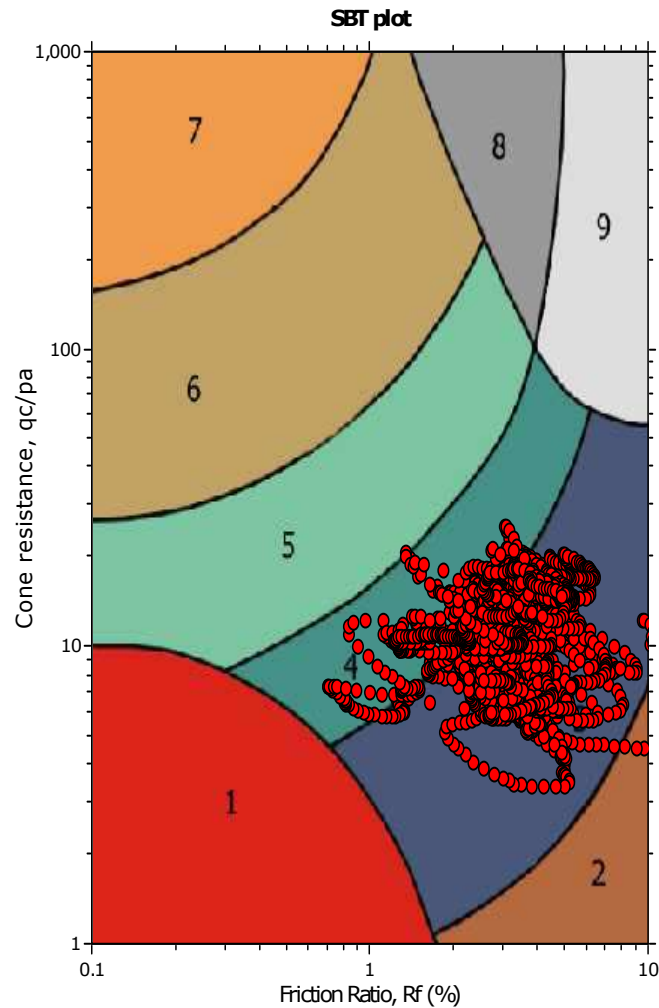
PROVE PENETROMETRICHE CPTU



The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw q_c and f_s values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).



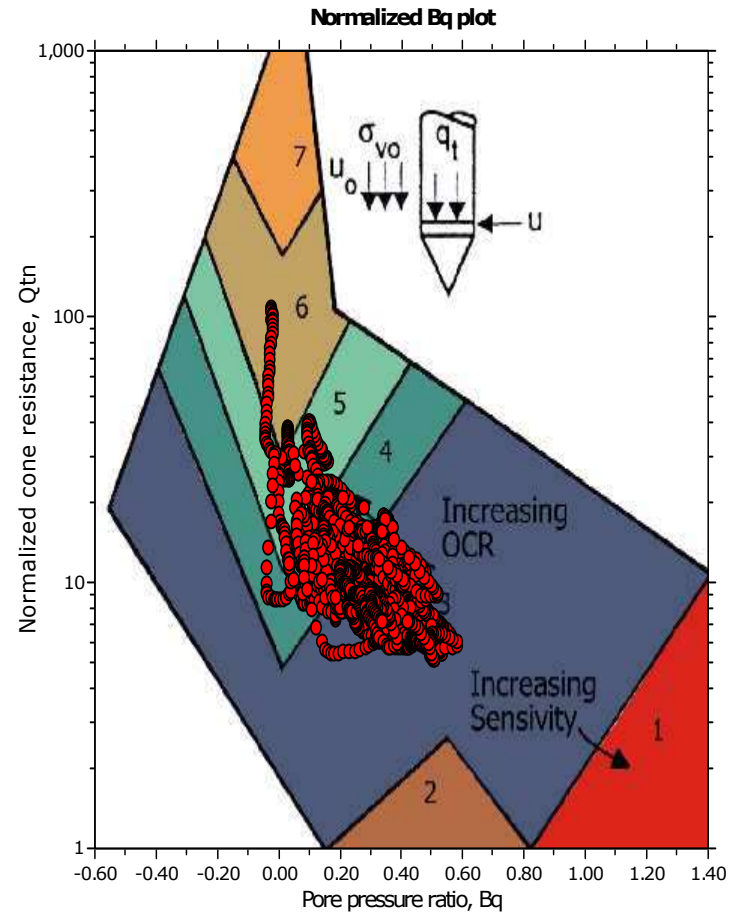
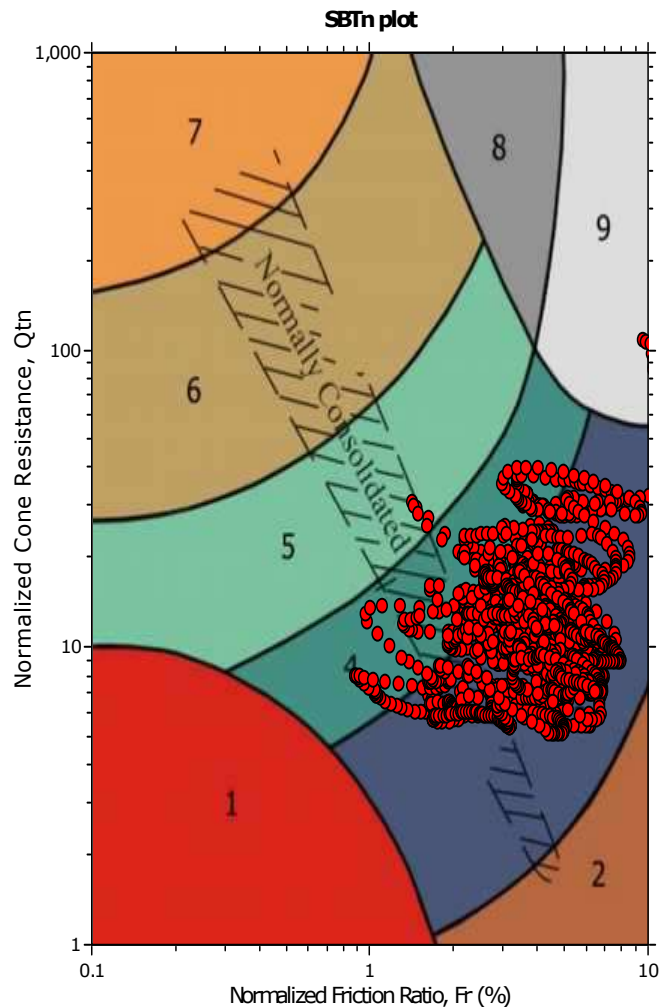
SBT - Bq plots



SBT legend

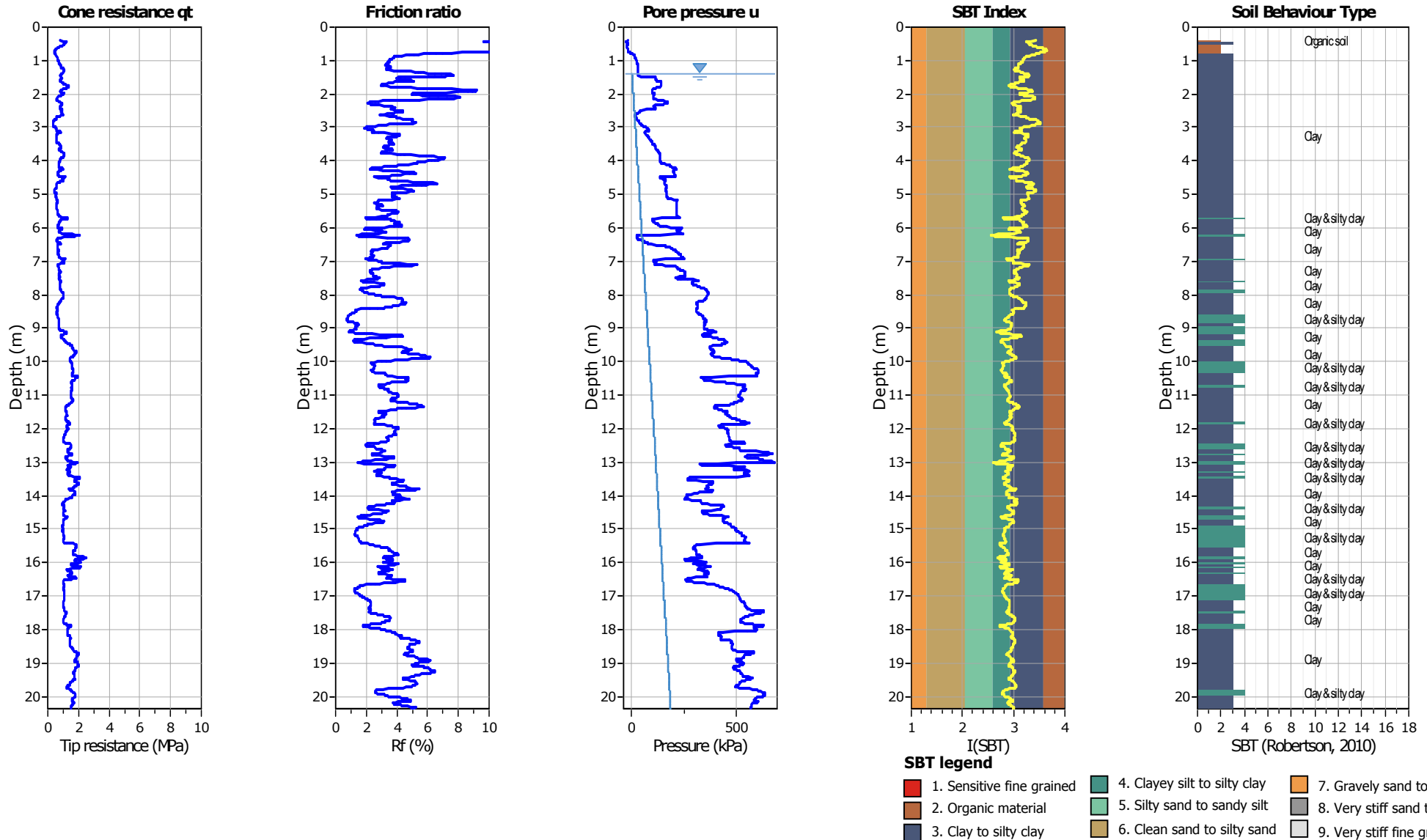
- | | | |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty clay | 7. Gravely sand to sand |
| 2. Organic material | 5. Silty sand to sandy silt | 8. Very stiff sand to clayey sand |
| 3. Clay to silty clay | 6. Clean sand to silty sand | 9. Very stiff fine grained |

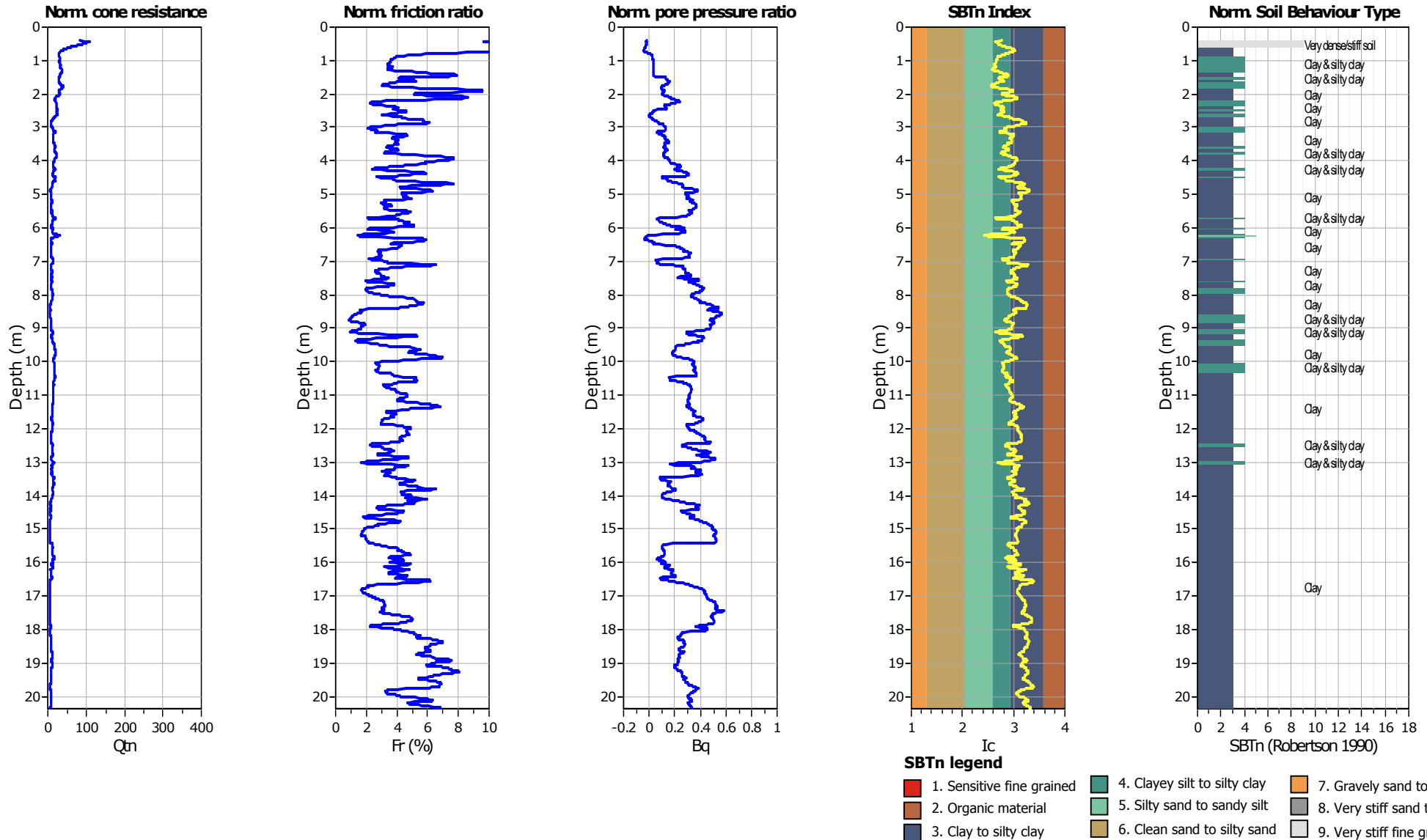
SBT - Bq plots (normalized)

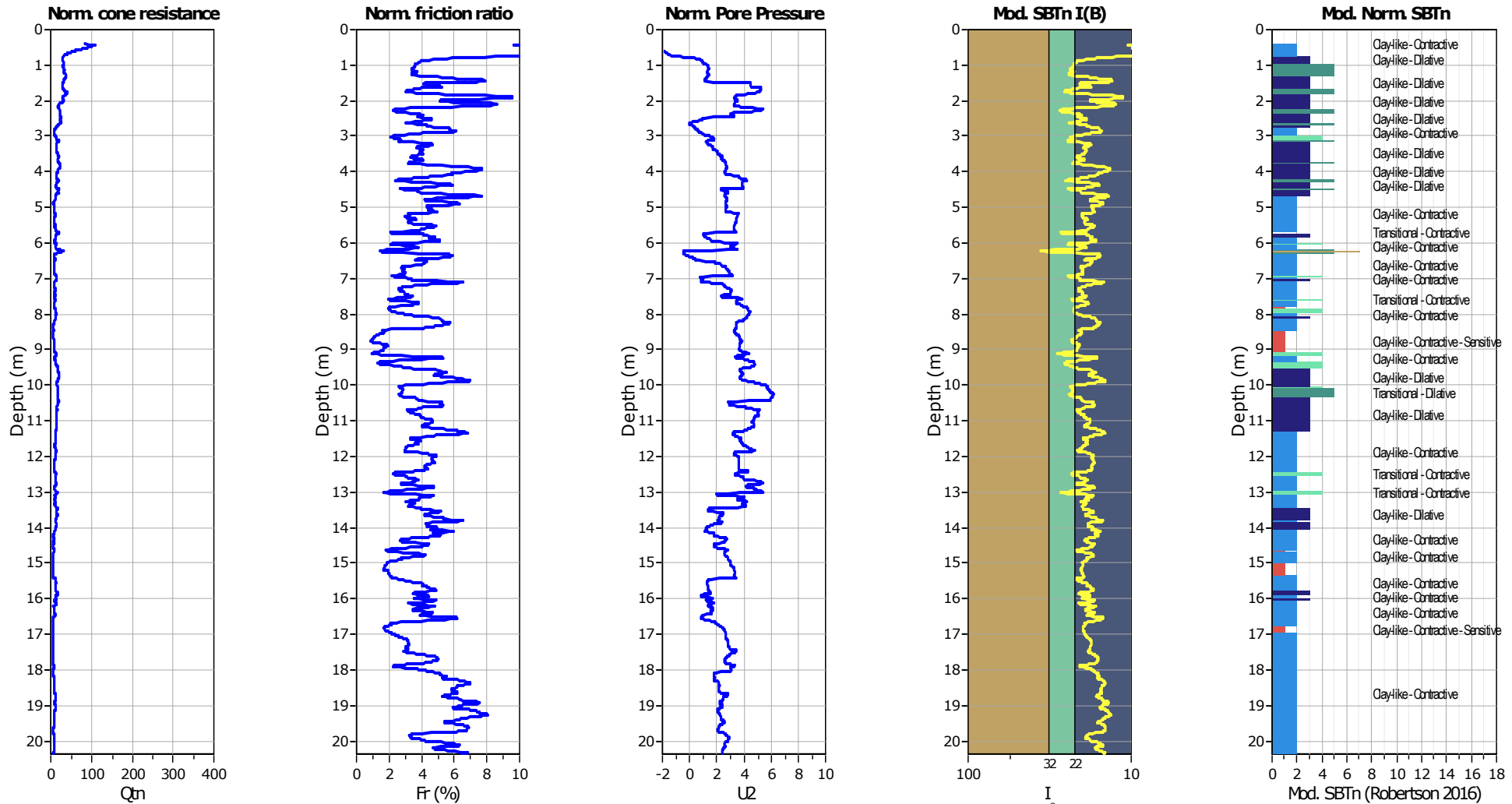


SBTn legend

- | | | |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty clay | 7. Gravely sand to sand |
| 2. Organic material | 5. Silty sand to sandy silt | 8. Very stiff sand to clayey sand |
| 3. Clay to silty clay | 6. Clean sand to silty sand | 9. Very stiff fine grained |



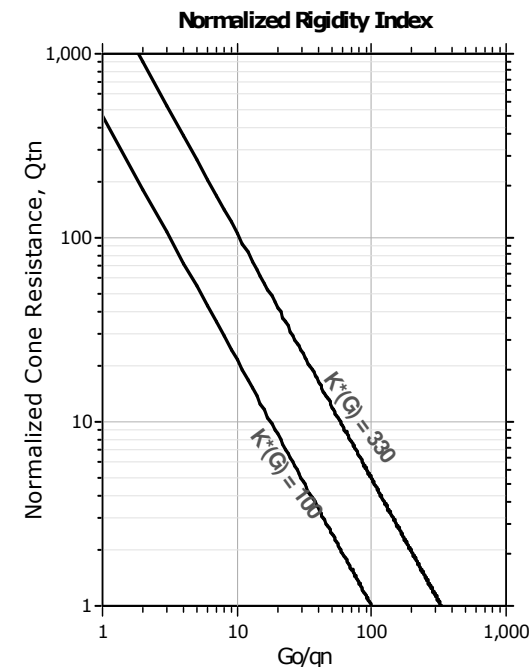
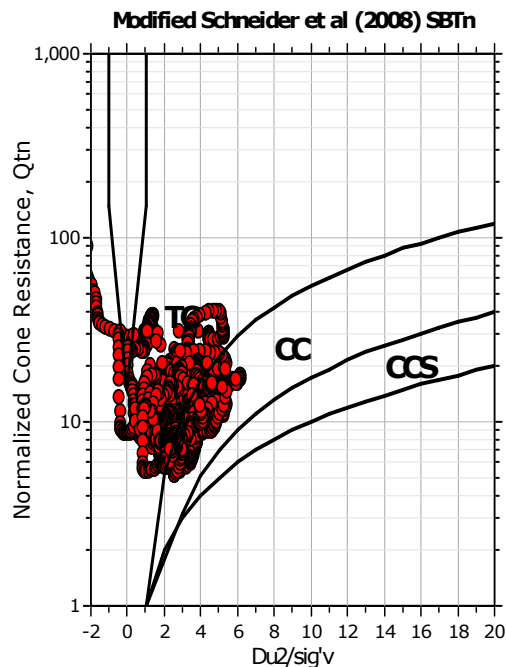
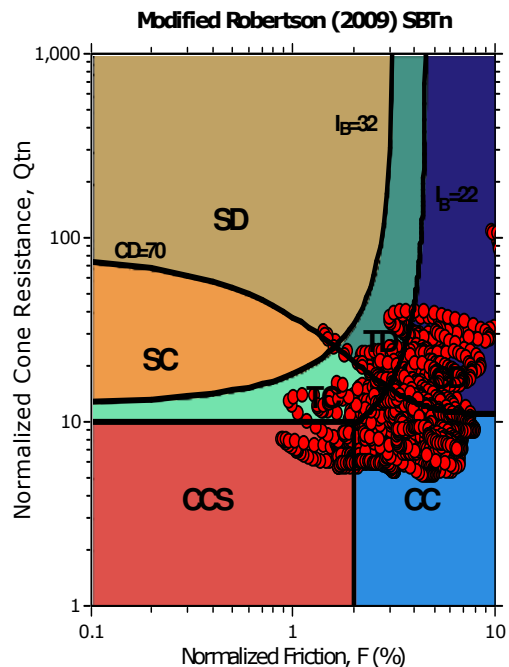




Mod. SBTn legend

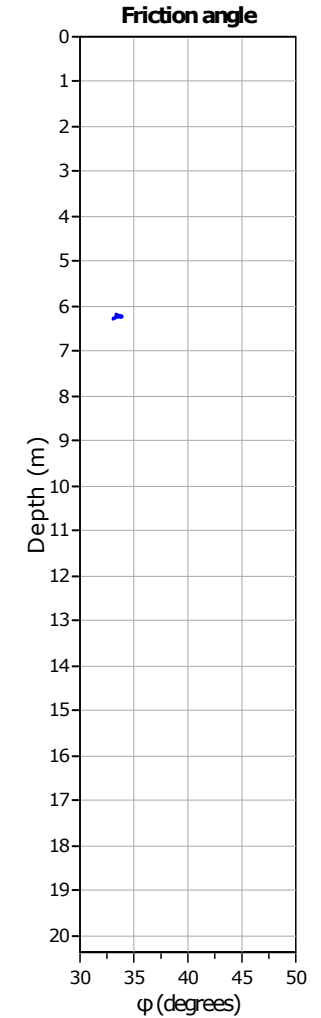
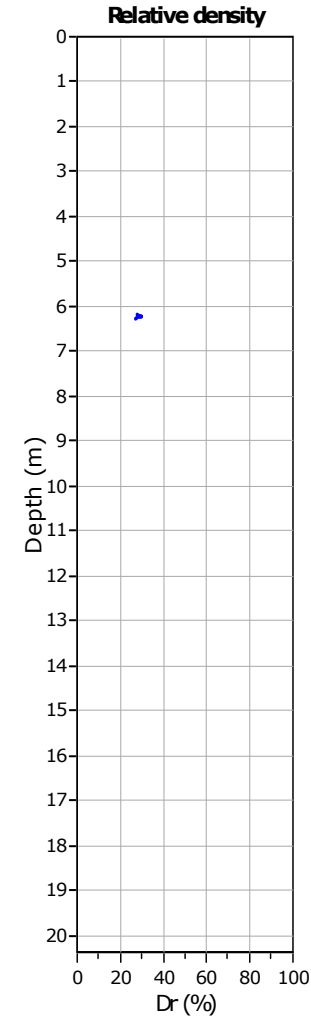
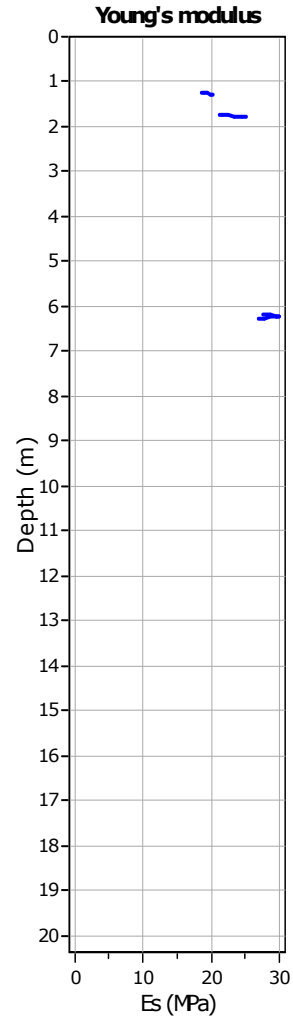
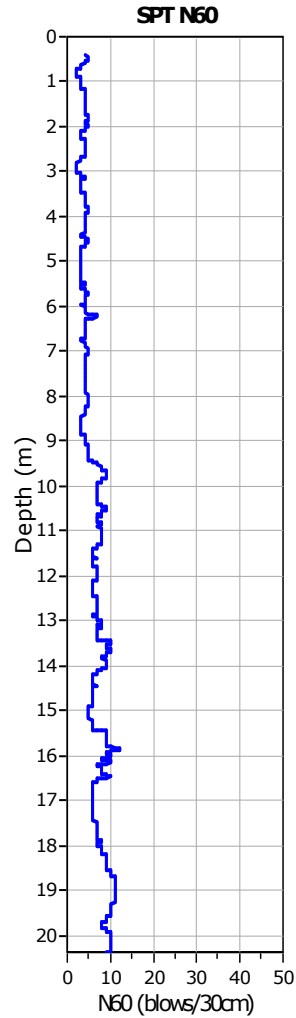
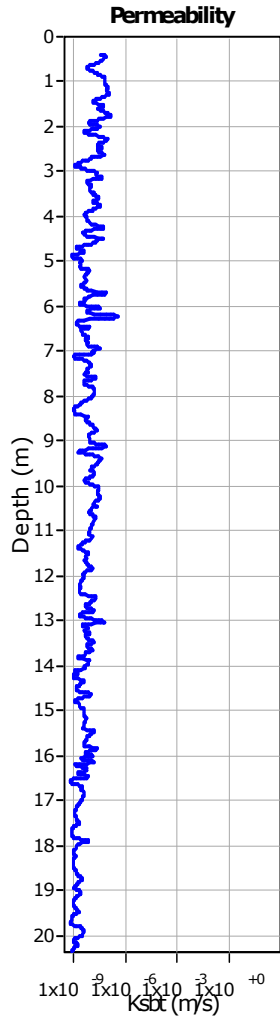
- | | | |
|--|--|---|
| ■ 1. CCS: ClayLike - Contractive, Sensitive | ■ 4. TC: Transitional - Contractive | ■ 7. SD: Sand-like - Dilative |
| ■ 2. CC: Clay-like - Contractive | ■ 5. TD: Transitional - Dilative | |
| ■ 3. CD: Clay-Like: Dilative | ■ 6. SC: Sand-like - Contractive | |

Updated SBTn plots



- CCS: Clay-like - Contractive - Sensitive
- CC: Clay-like - Contractive
- CD: Clay-like - Dilative
- TC: Transitional - Contractive
- TD: Transitional - Dilative
- SC: Sand-like - Contractive
- SD: Sand-like - Dilative

$K^*(G) > 330$: Soils with significant microstructure (e.g. age/cementation)



Calculation parameters

Permeability: Based on SBT_n

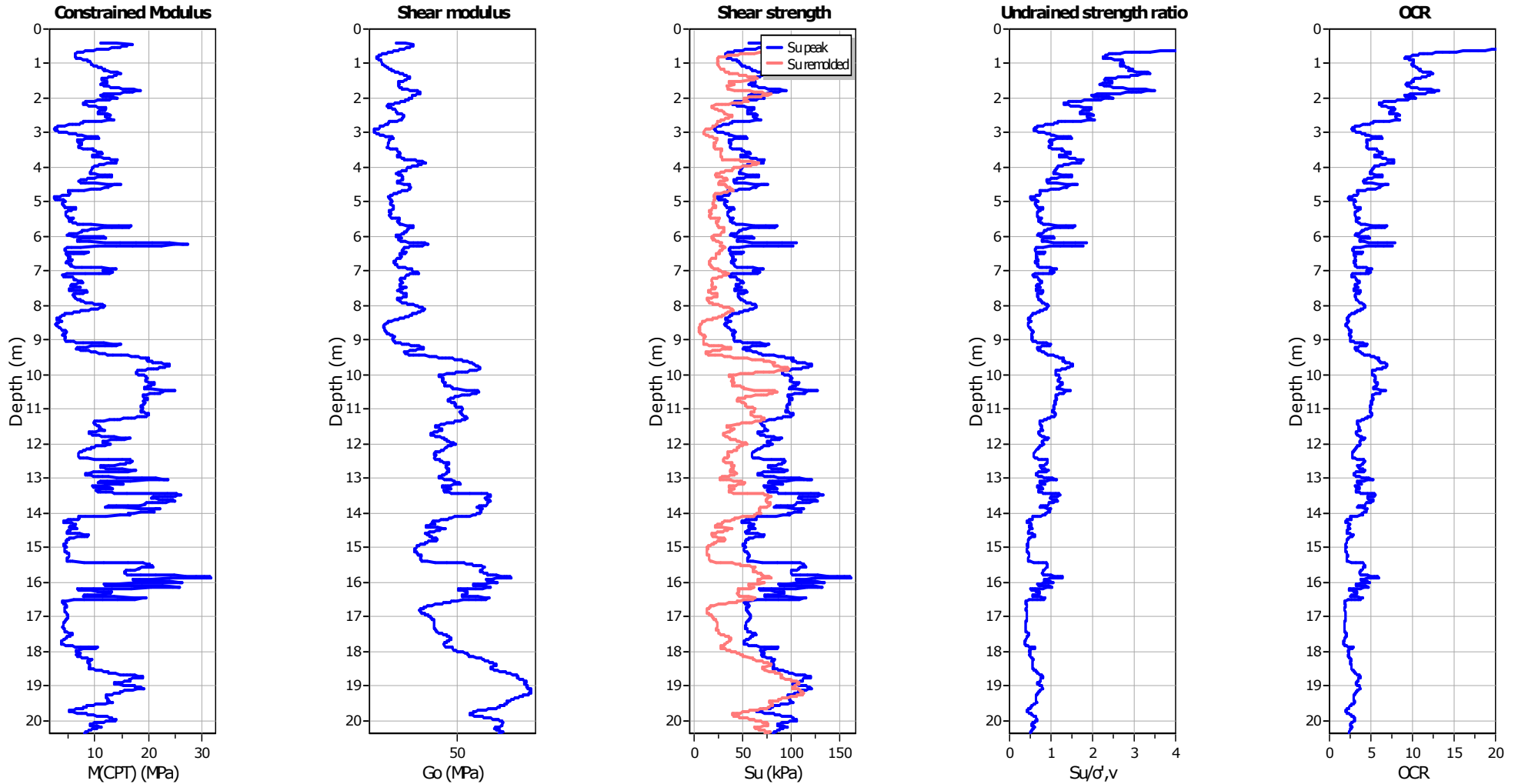
SPT N_{60} : Based on I_c and q_t

Young's modulus: Based on variable alpha using I_c (Robertson, 2009)

Relative density constant, C_{Dr} : 350.0

Phi: Based on Kulhavy & Mayne (1990)

● — User defined estimation data



Calculation parameters

Constrained modulus: Based on variable *alpha* using I_c and Q_{tn} (Robertson, 2009)

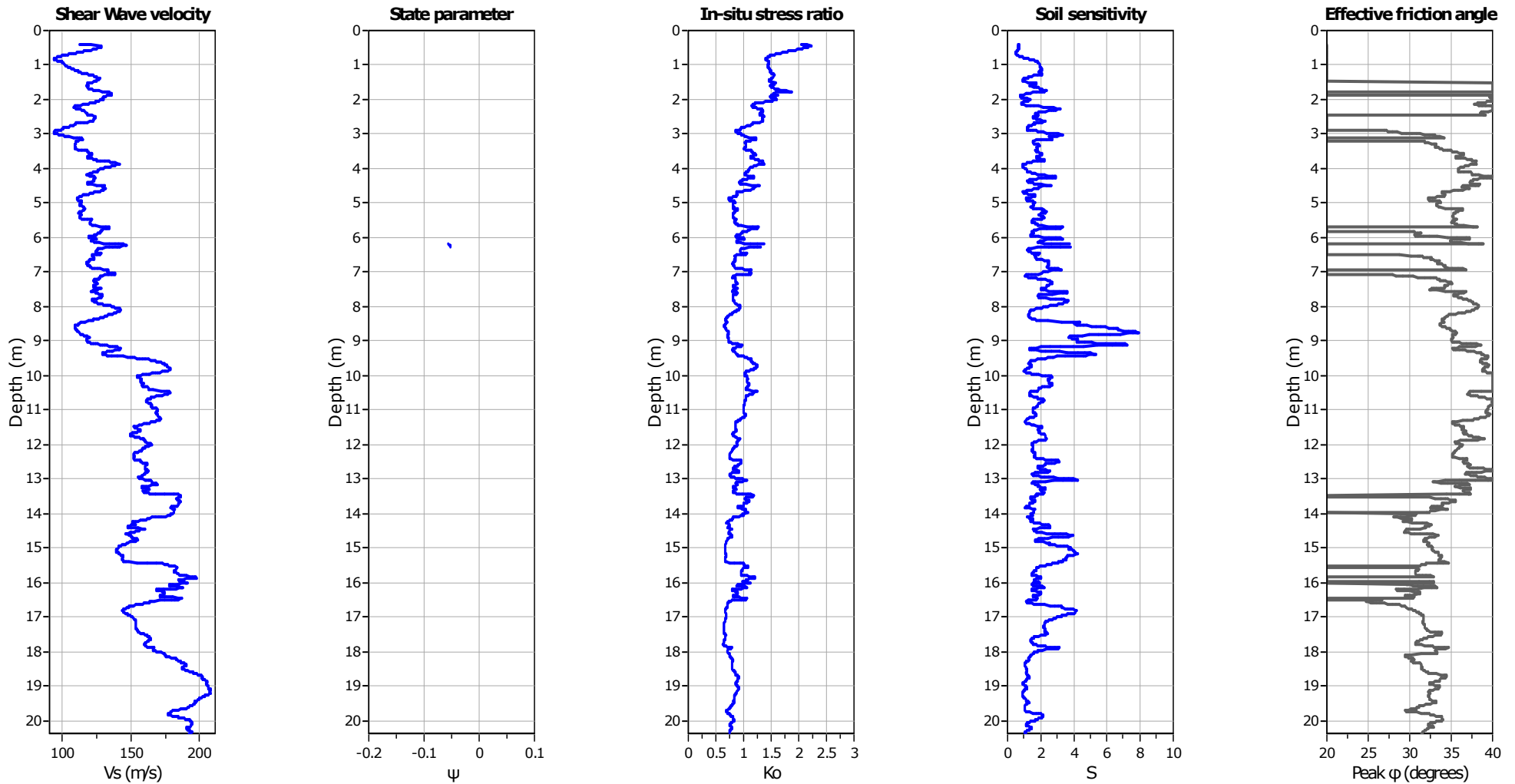
Go: Based on variable *alpha* using I_c (Robertson, 2009)

Undrained shear strength cone factor for clays, N_{kt} : 14

OCR factor for clays, N_{kt} : 0.33

● User defined estimation data

● Flat Dilatometer Test data



Calculation parameters

Soil Sensitivity factor, N_s : 7.00

—●— User defined estimation data

ALLEGATO 2

PROVE PENETROMETRICHE CPT

LEGENDA VALORI DI RESISTENZA FATTORI DI CONVERSIONE

Strumento utilizzato:
SP200 - GeoDeepDrill

Caratteristiche:

- punta conica meccanica \varnothing 35.7 mm, area punta $A_p = 10 \text{ cm}^2$
- punta conica meccanica angolo di apertura: $\alpha = 60^\circ$
- manicotto laterale di attrito tipo 'Begemann' ($\varnothing = 35.7 \text{ mm} - h = 133 \text{ mm} - A_m = 150 \text{ cm}^2$)
- velocità di avanzamento costante $V = 2 \text{ cm/sec}$ ($\pm 0,5 \text{ cm / sec}$)
- spinta max nominale dello strumento S_{max} variabile a seconda del tipo
- costante di trasformazione $CT = \text{SPINTA (Kg)} / \text{LETTURA DI CAMPAGNA}$
(dato tecnico legato alle caratteristiche del penetrometro utilizzato, fornito dal costruttore)

fase 1 - resistenza alla punta: $q_c \text{ (MPa)} = (L_1) \times CT / 10$

fase 2 - resistenza laterale locale: $f_s \text{ (kPa)} = [(L_2) - (L_1)] \times CT / 150$

fase 3 - resistenza totale : $R_t \text{ (kPa)} = (L_t) \times CT$

- Prima lettura = lettura di campagna durante l'infissione della sola punta (fase 1)
- Seconda lettura = lettura di campagna relativa all'infissione di punta e manicotto (fase 2)
- Terza lettura = lettura di campagna relativa all'infissione delle aste esterne (fase 3)

N.B. : la spinta $S \text{ (Kg)}$, corrispondente a ciascuna fase, si ottiene moltiplicando la corrispondente lettura di campagna L per la costante di trasformazione CT .

N.B. : causa la distanza intercorrente (20 cm circa) fra il centro del manicotto laterale e la punta conica del penetrometro, la resistenza laterale locale f_s viene computata 20 cm sopra la punta.

CONVERSIONI

1 kN (kiloNewton) = 1000 N \approx 100 kg = 0,1 t

1 MN (megaNewton) = 1.000 kN = 1.000.000 N \approx 100 t

1 kPa (kiloPascal) = 1 kN/m² = 0,001 MN/m² = 0,001 MPa \approx 0,1 t/m² = 0,01 kg/cm²

1 MPa (megaPascal) = 1 MN/m² = 1.000 kN/m² = 1000 kPa \approx 100 t/m² = 10 kg/cm²

1 kg/cm² = 10 t/m² \approx 100 kN/m² = 100 kPa = 0,1 MN/m² = 0,1 MPa

1 t = 1000 kg \approx 10 kN

LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE CORRELAZIONI GENERALI

Valutazioni in base al rapporto: $F = (q_c / f_s)$

Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977

Valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

F = q_c / f_s	NATURA LITOLOGICA	PROPRIETA'
$F \leq 1470$ kPa	TORBE ED ARGILLE ORGANICHE	COESIVE
1470 kPa < $F \leq 2940$ kPa	LIMI ED ARGILLE	COESIVE
2940 kPa < $F \leq 5880$ kPa	LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE	GRANULARI
$F > 5880$ kPa	SABBIE E SABBIE CON GHIAIA	GRANULARI

**Vengono inoltre riportate le valutazioni stratigrafiche fornite da Schmertmann (1978),
ricavabili in base ai valori di q_c e di $FR = (f_s / q_c) \% :$**

- AO = argilla organica e terreni misti
- Att = argilla (inorganica) molto tenera
- At = argilla (inorganica) tenera
- Am = argilla (inorganica) di media consistenza
- Ac = argilla (inorganica) consistente
- Acc = argilla (inorganica) molto consistente
- ASL = argilla sabbiosa e limosa
- SAL = sabbia e limo / sabbia e limo argilloso
- Ss = sabbia sciolta
- Sm = sabbia mediamente addensata
- Sd = sabbia densa o cementata
- SC = sabbia con molti fossili, calcareniti

Secondo Schmertmann il valore della resistenza laterale da usarsi, dovrebbe essere pari a:

- $1/3 \pm 1/2$ di quello misurato , per depositi sabbiosi
- quello misurato (inalterato) , per depositi coesivi.

**PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI**

CPT

1

Riferimento

082-2020

Committente **Studio tecnico**
Cantiere **Studio del terreno di fondazione**
Località **Carpi, via Nuova Ponente**

U.M.: **MPa** Data esec. **08/05/2020**
Pagina **1**
Elaborato **Falda -1.40 m**

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %
0.20	0.0	0.0		0.00	193.00	0		15.20	11.0	16.0		1.08	80.00	14	7.3
0.40	50.0	79.0		4.90	127.00	39	2.5	15.40	14.0	26.0		1.37	100.00	14	7.1
0.60	50.0	69.0		4.90	100.00	50	2.0	15.60	15.0	30.0		1.47	127.00	12	8.5
0.80	15.0	30.0		1.47	67.00	22	4.5	15.80	16.0	35.0		1.57	80.00	20	5.0
1.00	10.0	20.0		0.98	60.00	17	6.0	16.00	29.0	41.0		2.84	67.00	43	2.3
1.20	9.0	18.0		0.88	80.00	11	8.9	16.20	30.0	40.0		2.94	73.00	41	2.4
1.40	11.0	23.0		1.08	73.00	15	6.6	16.40	14.0	25.0		1.37	67.00	21	4.8
1.60	10.0	21.0		0.98	80.00	13	8.0	16.60	16.0	26.0		1.57	60.00	27	3.8
1.80	12.0	24.0		1.18	67.00	18	5.6	16.80	12.0	21.0		1.18	87.00	14	7.3
2.00	10.0	20.0		0.98	53.00	19	5.3	17.00	15.0	28.0		1.47	80.00	19	5.3
2.20	8.0	16.0		0.78	47.00	17	5.9	17.20	15.0	27.0		1.47	73.00	21	4.9
2.40	10.0	17.0		0.98	53.00	19	5.3	17.40	14.0	25.0		1.37	80.00	18	5.7
2.60	8.0	16.0		0.78	67.00	12	8.4	17.60	14.0	26.0		1.37	120.00	12	8.6
2.80	10.0	20.0		0.98	60.00	17	6.0	17.80	23.0	41.0		2.25	133.00	17	5.8
3.00	9.0	18.0		0.88	40.00	23	4.4	18.00	27.0	47.0		2.65	147.00	18	5.4
3.20	6.0	12.0		0.59	47.00	13	7.8	18.20	30.0	52.0		2.94	200.00	15	6.7
3.40	7.0	14.0		0.69	40.00	18	5.7	18.40	30.0	60.0		2.94	207.00	14	6.9
3.60	7.0	13.0		0.69	53.00	13	7.6	18.60	34.0	65.0		3.33	213.00	16	6.3
3.80	10.0	18.0		0.98	33.00	30	3.3	18.80	34.0	66.0		3.33	153.00	22	4.5
4.00	10.0	15.0		0.98	47.00	21	4.7	19.00	27.0	50.0		2.65	180.00	15	6.7
4.20	9.0	16.0		0.88	67.00	13	7.4	19.20	23.0	50.0		2.25	173.00	13	7.5
4.40	10.0	20.0		0.98	47.00	21	4.7	19.40	23.0	49.0		2.25	127.00	18	5.5
4.60	7.0	14.0		0.69	33.00	21	4.7	19.60	20.0	39.0		1.96	127.00	16	6.4
4.80	7.0	12.0		0.69	67.00	10	9.6	19.80	26.0	45.0		2.55	133.00	20	5.1
5.00	8.0	18.0		0.78	47.00	17	5.9	20.00	20.0	40.0		1.96			
5.20	8.0	15.0		0.78	47.00	17	5.9								
5.40	9.0	16.0		0.88	47.00	19	5.2								
5.60	6.0	13.0		0.59	53.00	11	8.8								
5.80	7.0	15.0		0.69	33.00	21	4.7								
6.00	5.0	10.0		0.49	33.00	15	6.6								
6.20	6.0	11.0		0.59	40.00	15	6.7								
6.40	6.0	12.0		0.59	33.00	18	5.5								
6.60	6.0	11.0		0.59	40.00	15	6.7								
6.80	8.0	14.0		0.78	47.00	17	5.9								
7.00	7.0	14.0		0.69	47.00	15	6.7								
7.20	9.0	16.0		0.88	60.00	15	6.7								
7.40	9.0	18.0		0.88	87.00	10	9.7								
7.60	20.0	33.0		1.96	47.00	43	2.4								
7.80	9.0	16.0		0.88	40.00	23	4.4								
8.00	6.0	12.0		0.59	40.00	15	6.7								
8.20	6.0	12.0		0.59	67.00	9	11.2								
8.40	10.0	20.0		0.98	33.00	30	3.3								
8.60	16.0	21.0		1.57	40.00	40	2.5								
8.80	6.0	12.0		0.59	47.00	13	7.8								
9.00	7.0	14.0		0.69	47.00	15	6.7								
9.20	8.0	15.0		0.78	47.00	17	5.9								
9.40	8.0	15.0		0.78	47.00	17	5.9								
9.60	7.0	14.0		0.69	47.00	15	6.7								
9.80	9.0	16.0		0.88	33.00	27	3.7								
10.00	8.0	13.0		0.78	47.00	17	5.9								
10.20	10.0	17.0		0.98	67.00	15	6.7								
10.40	10.0	20.0		0.98	87.00	11	8.7								
10.60	15.0	28.0		1.47	73.00	21	4.9								
10.80	20.0	31.0		1.96	73.00	27	3.7								
11.00	16.0	27.0		1.57	67.00	24	4.2								
11.20	15.0	25.0		1.47	53.00	28	3.5								
11.40	18.0	26.0		1.76	73.00	25	4.1								
11.60	10.0	21.0		0.98	80.00	13	8.0								
11.80	12.0	24.0		1.18	67.00	18	5.6								
12.00	14.0	24.0		1.37	73.00	19	5.2								
12.20	14.0	25.0		1.37	120.00	12	8.6								
12.40	23.0	41.0		2.25	80.00	29	3.5								
12.60	13.0	25.0		1.27	93.00	14	7.2								
12.80	14.0	28.0		1.37	67.00	21	4.8								
13.00	21.0	31.0		2.06	120.00	18	5.7								
13.20	24.0	42.0		2.35	120.00	20	5.0								
13.40	24.0	42.0		2.35	133.00	18	5.5								
13.60	17.0	37.0		1.67	127.00	13	7.5								
13.80	20.0	39.0		1.96	113.00	18	5.7								
14.00	21.0	38.0		2.06	133.00	16	6.3								
14.20	18.0	38.0		1.76	80.00	23	4.4								
14.40	12.0	24.0		1.18	67.00	18	5.6								
14.60	10.0	20.0		0.98	47.00	21	4.7								
14.80	9.0	16.0		0.88	47.00	19	5.2								
15.00	10.0	17.0		0.98	33.00	30	3.3								

H = profondità
L1 = prima lettura (punta)
L2 = seconda lettura (punta + laterale)
Lt = terza lettura (totale)
CT = 10.00 costante di trasformazione

qc = resistenza punta
fs = resistenza laterale
0.20 m sopra quota qc
F = rapporto Begemann (qc / fs)
Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

CPT

1

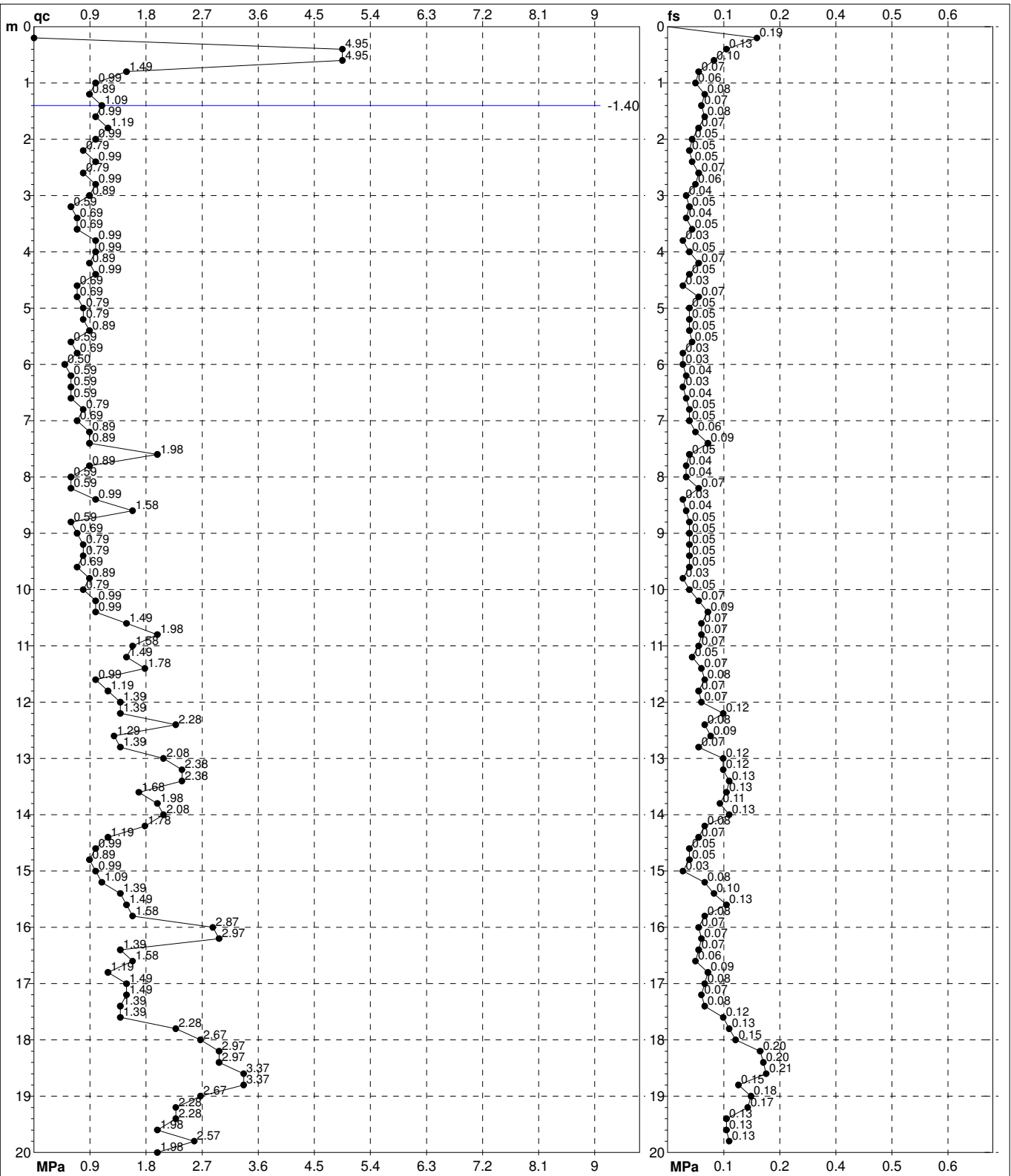
Riferimento

082-2020

Committente **Studio tecnico**
Cantiere **Studio del terreno di fondazione**
Località **Carpi, via Nuova Ponente**

U.M.: **MPa**
Scala: **1:100**
Pagina **1**
Elaborato

Data esec. **08/05/2020**
Quota inizio:
Falda **-1.40 m**



Penetrometro: SP200
Responsabile:
Assistente:

preforo m
Corr.astine: kN/ml
Cod. tip:

FON111

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT

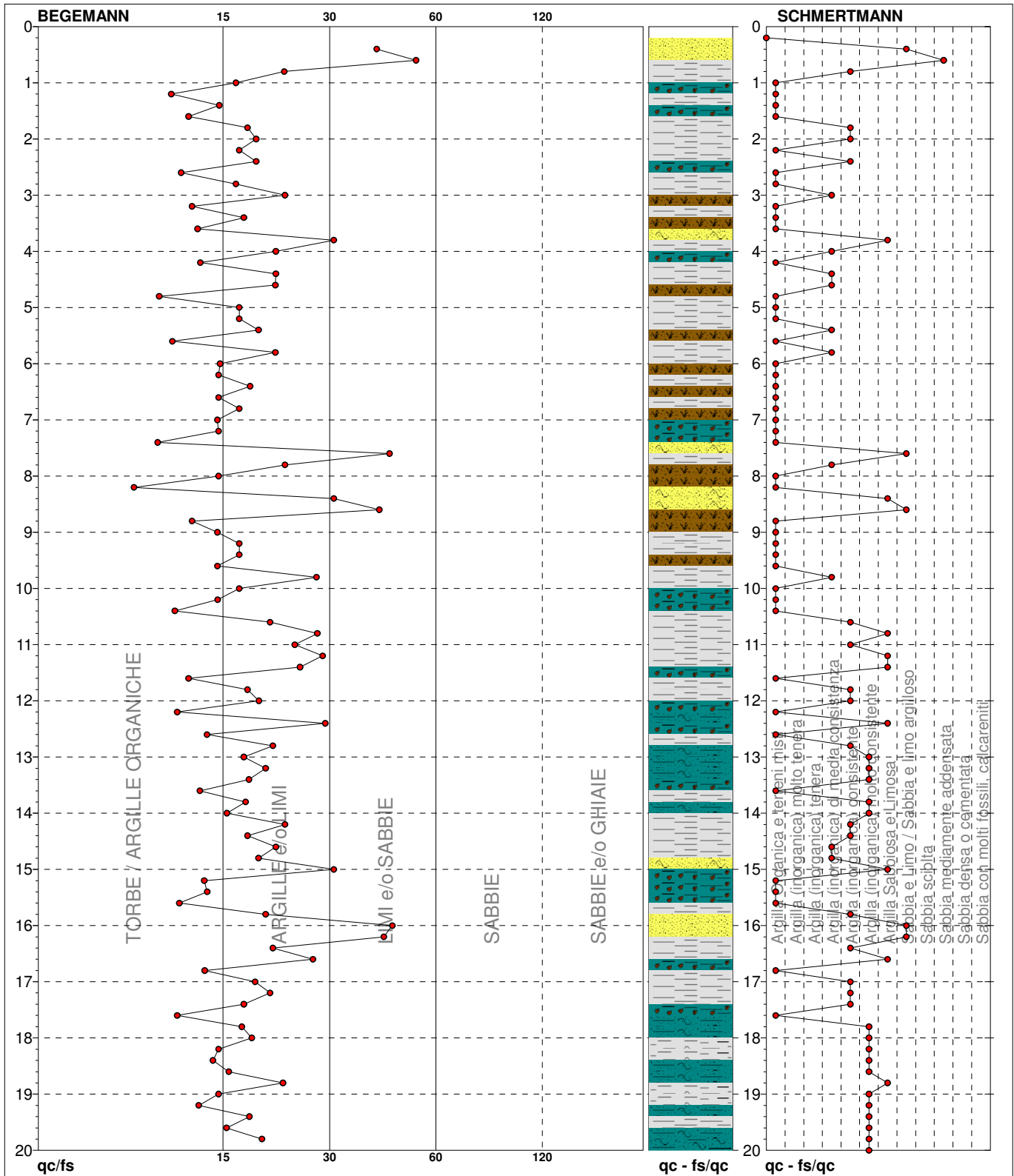
Riferimento

1

082-2020

Committente **Studio tecnico**
 Cantiere **Studio del terreno di fondazione**
 Località **Carpì, via Nuova Ponente**

U.M.: **MPa** Data esec. **08/05/2020**
 Scala: **1:100**
 Pagina **1**
 Elaborato **Falda -1.40 m**



TORBE / ARGILLE OR	34 punti, 34.00%	Argilla Organica e terreni misti	42 punti, 42.00%	Argilla Sabbiosa e Limosa	9 punti, 9.00%
ARGILLE e/o LIMI	56 punti, 56.00%	Argilla (inorganica) di media consistenza	10 punti, 10.00%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo argilloso	5 punti, 5.00%
LIMI e/o SABBIE	9 punti, 9.00%	Argilla (inorganica) consistente	16 punti, 16.00%	Sabbia mediamente addensata	1 punto, 1.00%
		Argilla (inorganica) molto consistente	15 punti, 15.00%		

FON111

**PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI**

CPT

2

Riferimento

082-2020

Committente **Studio tecnico**
Cantiere **Studio del terreno di fondazione**
Località **Carpi, via Nuova Ponente**

U.M.: **MPa** Data esec. **08/05/2020**
Pagina **1**
Elaborato **Falda -1.50 m**

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %
0.20	0.0	0.0		0.00	140.00	0		15.20	10.0	19.0		0.98	80.00	13	8.0
0.40	19.0	40.0		1.86	87.00	22	4.6	15.40	18.0	30.0		1.76	93.00	19	5.2
0.60	12.0	25.0		1.18	60.00	20	5.0	15.60	16.0	30.0		1.57	100.00	16	6.3
0.80	9.0	18.0		0.88	53.00	17	5.9	15.80	20.0	35.0		1.96	73.00	27	3.7
1.00	8.0	16.0		0.78	67.00	12	8.4	16.00	19.0	30.0		1.86	67.00	28	3.5
1.20	10.0	20.0		0.98	53.00	19	5.3	16.20	15.0	25.0		1.47	67.00	22	4.5
1.40	10.0	18.0		0.98	53.00	19	5.3	16.40	12.0	22.0		1.18	73.00	16	6.1
1.60	11.0	19.0		1.08	80.00	14	7.3	16.60	14.0	25.0		1.37	73.00	19	5.2
1.80	12.0	24.0		1.18	80.00	15	6.7	16.80	16.0	27.0		1.57	100.00	16	6.3
2.00	13.0	25.0		1.27	67.00	19	5.2	17.00	15.0	30.0		1.47	80.00	19	5.3
2.20	10.0	20.0		0.98	40.00	25	4.0	17.20	15.0	27.0		1.47	73.00	21	4.9
2.40	6.0	12.0		0.59	40.00	15	6.7	17.40	15.0	26.0		1.47	73.00	21	4.9
2.60	6.0	12.0		0.59	40.00	15	6.7	17.60	14.0	25.0		1.37	73.00	19	5.2
2.80	7.0	13.0		0.69	33.00	21	4.7	17.80	18.0	29.0		1.76	113.00	16	6.3
3.00	13.0	18.0		1.27	33.00	39	2.5	18.00	23.0	40.0		2.25	160.00	14	7.0
3.20	5.0	10.0		0.49	33.00	15	6.6	18.20	26.0	50.0		2.55	167.00	16	6.4
3.40	7.0	12.0		0.69	40.00	18	5.7	18.40	30.0	55.0		2.94	187.00	16	6.2
3.60	6.0	12.0		0.59	33.00	18	5.5	18.60	33.0	61.0		3.23	187.00	18	5.7
3.80	5.0	10.0		0.49	87.00	6	17.4	18.80	28.0	56.0		2.74	167.00	17	6.0
4.00	5.0	18.0		0.49	27.00	19	5.4	19.00	25.0	50.0		2.45	133.00	19	5.3
4.20	4.0	8.0		0.39	20.00	20	5.0	19.20	20.0	40.0		1.96	133.00	15	6.7
4.40	3.0	6.0		0.29	20.00	15	6.7	19.40	25.0	45.0		2.45	140.00	18	5.6
4.60	4.0	7.0		0.39	40.00	10	10.0	19.60	25.0	46.0		2.45	140.00	18	5.6
4.80	8.0	14.0		0.78	40.00	20	5.0	19.80	26.0	47.0		2.55	107.00	24	4.1
5.00	6.0	12.0		0.59	40.00	15	6.7	20.00	24.0	40.0		2.35			
5.20	6.0	12.0		0.59	47.00	13	7.8								
5.40	10.0	17.0		0.98	53.00	19	5.3								
5.60	8.0	16.0		0.78	40.00	20	5.0								
5.80	6.0	12.0		0.59	40.00	15	6.7								
6.00	8.0	14.0		0.78	40.00	20	5.0								
6.20	6.0	12.0		0.59	40.00	15	6.7								
6.40	6.0	12.0		0.59	40.00	15	6.7								
6.60	7.0	13.0		0.69	40.00	18	5.7								
6.80	9.0	15.0		0.88	47.00	19	5.2								
7.00	7.0	14.0		0.69	27.00	26	3.9								
7.20	8.0	12.0		0.78	60.00	13	7.5								
7.40	11.0	20.0		1.08	60.00	18	5.5								
7.60	10.0	19.0		0.98	60.00	17	6.0								
7.80	11.0	20.0		1.08	60.00	18	5.5								
8.00	10.0	19.0		0.98	60.00	17	6.0								
8.20	10.0	19.0		0.98	53.00	19	5.3								
8.40	8.0	16.0		0.78	27.00	30	3.4								
8.60	5.0	9.0		0.49	47.00	11	9.4								
8.80	7.0	14.0		0.69	40.00	18	5.7								
9.00	8.0	14.0		0.78	67.00	12	8.4								
9.20	8.0	18.0		0.78	53.00	15	6.6								
9.40	8.0	16.0		0.78	80.00	10	10.0								
9.60	12.0	24.0		1.18	107.00	11	8.9								
9.80	10.0	26.0		0.98	73.00	14	7.3								
10.00	9.0	20.0		0.88	67.00	13	7.4								
10.20	22.0	32.0		2.16	93.00	24	4.2								
10.40	15.0	29.0		1.47	127.00	12	8.5								
10.60	16.0	35.0		1.57	87.00	18	5.4								
10.80	17.0	30.0		1.67	93.00	18	5.5								
11.00	14.0	28.0		1.37	80.00	18	5.7								
11.20	12.0	24.0		1.18	87.00	14	7.3								
11.40	13.0	26.0		1.27	73.00	18	5.6								
11.60	20.0	31.0		1.96	27.00	74	1.4								
11.80	20.0	24.0		1.96	87.00	23	4.4								
12.00	14.0	27.0		1.37	93.00	15	6.6								
12.20	14.0	28.0		1.37	67.00	21	4.8								
12.40	17.0	27.0		1.67	100.00	17	5.9								
12.60	20.0	35.0		1.96	113.00	18	5.7								
12.80	26.0	43.0		2.55	127.00	20	4.9								
13.00	16.0	35.0		1.57	140.00	11	8.8								
13.20	20.0	41.0		1.96	120.00	17	6.0								
13.40	15.0	33.0		1.47	107.00	14	7.1								
13.60	19.0	35.0		1.86	133.00	14	7.0								
13.80	20.0	40.0		1.96	107.00	19	5.4								
14.00	18.0	34.0		1.76	80.00	23	4.4								
14.20	13.0	25.0		1.27	47.00	28	3.6								
14.40	10.0	17.0		0.98	53.00	19	5.3								
14.60	9.0	17.0		0.88	40.00	23	4.4								
14.80	9.0	15.0		0.88	60.00	15	6.7								
15.00	9.0	18.0		0.88	60.00	15	6.7								

H = profondità
L1 = prima lettura (punta)
L2 = seconda lettura (punta + laterale)
Lt = terza lettura (totale)
CT = 10.00 costante di trasformazione

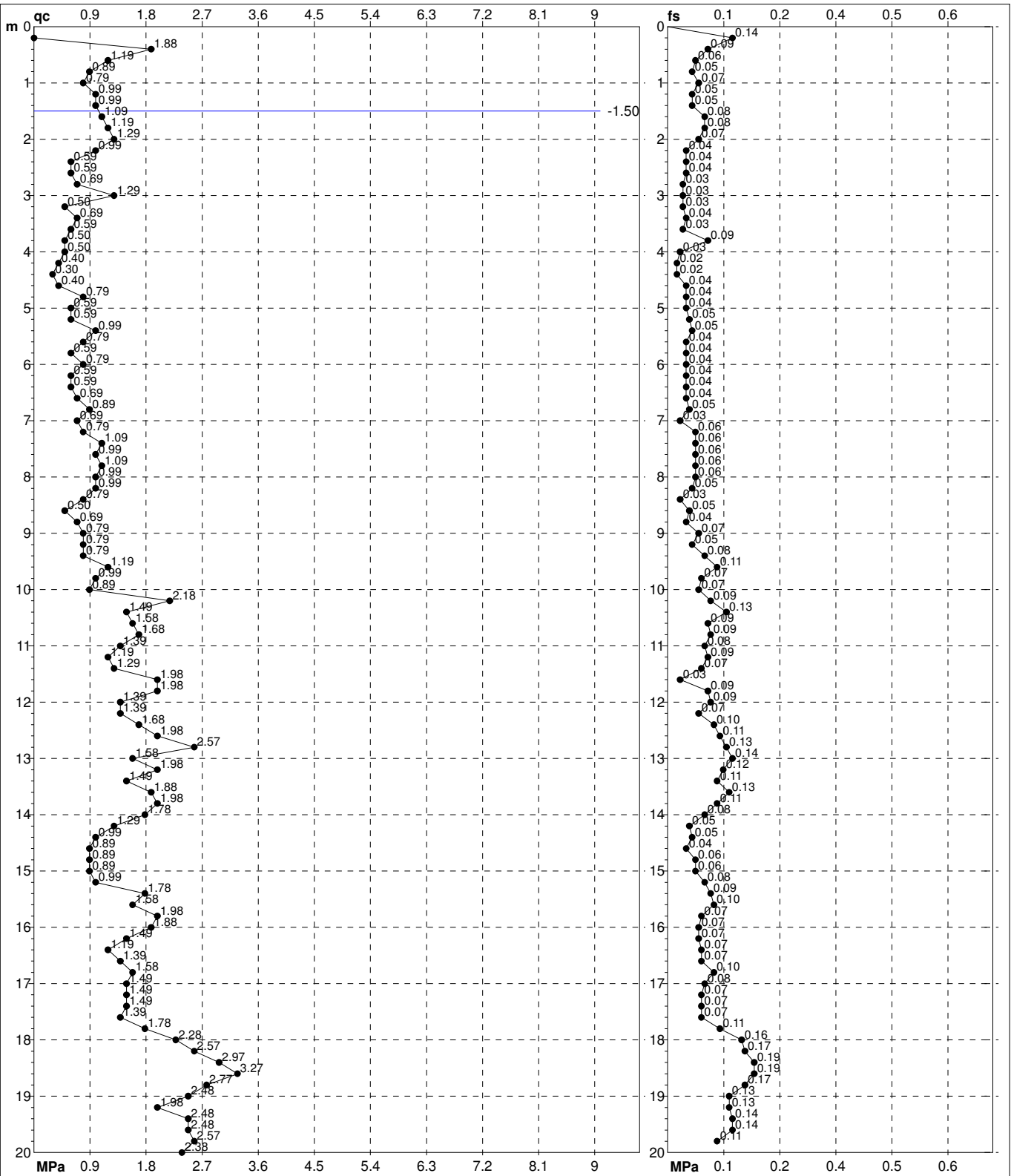
qc = resistenza punta
fs = resistenza laterale
0.20 m sopra quota qc
F = rapporto Begemann (qc / fs)
Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100

**PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA**

CPT	2
Riferimento	082-2020

Committente **Studio tecnico**
Cantiere **Studio del terreno di fondazione**
Località **Carpi, via Nuova Ponente**

U.M.: **MPa** Data eseg. **08/05/2020**
Scala: **1:100**
Pagina **1** Quota inizio:
Elaborato Falda **-1.50 m**



	Penetrometro: SP200	preforo m
	Responsabile:	Corr.astine: kN/ml
	Assistente:	Cod. tip:

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT

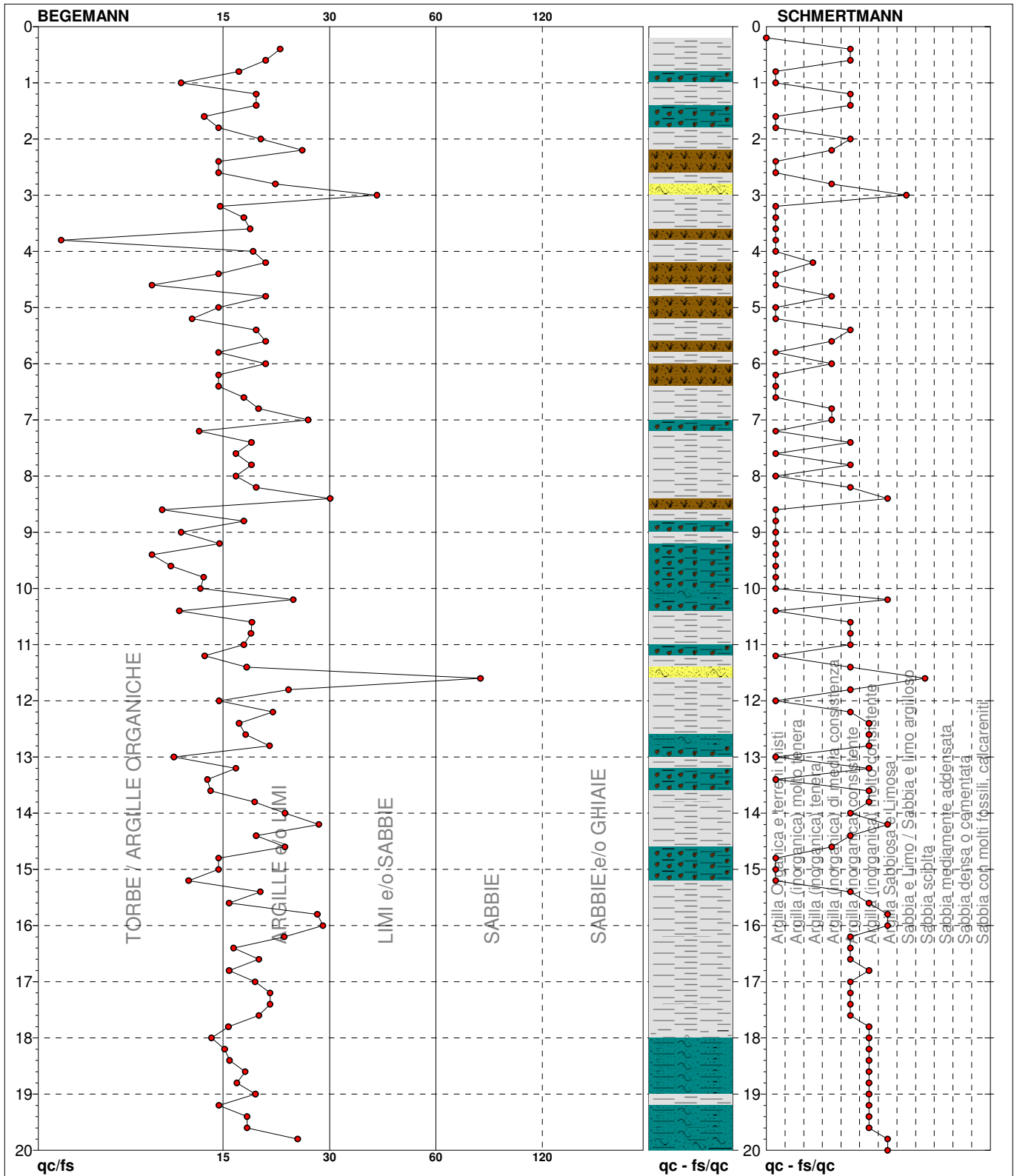
2

Riferimento

082-2020

Committente **Studio tecnico**
 Cantiere **Studio del terreno di fondazione**
 Località **Carpi, via Nuova Ponente**

U.M.: **MPa** Data esec. **08/05/2020**
 Scala: **1:100**
 Pagina **1**
 Elaborato **Falda -1.50 m**



TORBE / ARGILLE OR	30 punti, 30.00%	Argilla Organica e terreni misti	38 punti, 38.00%	Argilla Sabbiosa e Limosa	6 punti, 6.00%
ARGILLE e/o LIMI	67 punti, 67.00%	Argilla (inorganica) tenera	1 punti, 1.00%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo argilloso	1 punti, 1.00%
LIMI e/o SABBIE	1 punti, 1.00%	Argilla (inorganica) di media consistenza	8 punti, 8.00%	Sabbia sciolta	1 punti, 1.00%
SABBIE	1 punti, 1.00%	Argilla (inorganica) consistente	25 punti, 25.00%		
		Argilla (inorganica) molto consistente	18 punti, 18.00%		

FON111

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 2
Riferimento 082-2020

Committente Studio tecnico
Cantiere Studio del terreno di fondazione
Località Carpi, via Nuova Ponente
U.M.: MPa
Data eseg. 08/05/2020
Pagina 1
Elaborato Falda -1.50 m

Table with columns: H (m), qc (U.M.), qc/fs, zone, gamma (t/m³), sigma'vo (kPa), Vs (m/s), Cu (kPa), OCR (%), Eu50 (U.M.), Eu25 (U.M.), Mo (U.M.), Dr (%), Sc (°), Ca (°), Ko (°), DB (°), DM (°), Me (°), E'50 (U.M.), E'25 (U.M.), Mo (U.M.), FL1, FL2. Rows include data for depths from 0.20 to 20.00 meters.

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

CPT**3**

Riferimento

082-2020Committente **Studio tecnico**U.M.: **MPa**

Data esec. 14/05/2020

Cantiere **Studio del terreno di fondazione**

Pagina 1

Località **Carpi, via Nuova Ponente**

Elaborato

Falda Foro chiuso

H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf	H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf
m	-	-	-	MPa	kPa	-	%	m	-	-	-	MPa	kPa	-	%
0.20	0.0	0.0		0.00	113.00	0		15.20	55.0	66.0		5.39	73.00	75	1.3
0.40	35.0	52.0		3.43	100.00	35	2.9	15.40	60.0	71.0		5.88	93.00	65	1.6
0.60	15.0	30.0		1.47	87.00	17	5.8	15.60	61.0	75.0		5.98	60.00	102	1.0
0.80	12.0	25.0		1.18	80.00	15	6.7	15.80	51.0	60.0		5.00	140.00	36	2.7
1.00	11.0	23.0		1.08	80.00	14	7.3	16.00	75.0	96.0		7.35	107.00	70	1.4
1.20	14.0	26.0		1.37	73.00	19	5.2	16.20	80.0	96.0		7.84	133.00	60	1.7
1.40	11.0	22.0		1.08	53.00	21	4.8	16.40	90.0	110.0		8.82	133.00	68	1.5
1.60	8.0	16.0		0.78	47.00	17	5.9	16.60	60.0	80.0		5.88	100.00	60	1.7
1.80	7.0	14.0		0.69	53.00	13	7.6	16.80	80.0	95.0		7.84	100.00	80	1.3
2.00	8.0	16.0		0.78	47.00	17	5.9	17.00	55.0	70.0		5.39	100.00	55	1.8
2.20	8.0	15.0		0.78	20.00	40	2.5	17.20	15.0	30.0		1.47	87.00	17	5.8
2.40	9.0	12.0		0.88	27.00	33	3.0	17.40	16.0	29.0		1.57	80.00	20	5.0
2.60	8.0	12.0		0.78	20.00	40	2.5	17.60	18.0	30.0		1.76	107.00	17	5.9
2.80	9.0	12.0		0.88	33.00	27	3.7	17.80	18.0	34.0		1.76	107.00	17	5.9
3.00	11.0	16.0		1.08	40.00	28	3.6	18.00	19.0	35.0		1.86	133.00	14	7.0
3.20	9.0	15.0		0.88	20.00	45	2.2	18.20	20.0	40.0		1.96	140.00	14	7.0
3.40	8.0	11.0		0.78	33.00	24	4.1	18.40	21.0	42.0		2.06	133.00	16	6.3
3.60	8.0	13.0		0.78	40.00	20	5.0	18.60	28.0	48.0		2.74	167.00	17	6.0
3.80	10.0	16.0		0.98	47.00	21	4.7	18.80	29.0	54.0		2.84	193.00	15	6.7
4.00	12.0	19.0		1.18	40.00	30	3.3	19.00	34.0	63.0		3.33	200.00	17	5.9
4.20	12.0	18.0		1.18	47.00	26	3.9	19.20	30.0	60.0		2.94	127.00	24	4.2
4.40	13.0	20.0		1.27	33.00	39	2.5	19.40	29.0	48.0		2.84	133.00	22	4.6
4.60	11.0	16.0		1.08	60.00	18	5.5	19.60	28.0	48.0		2.74	127.00	22	4.5
4.80	10.0	19.0		0.98	60.00	17	6.0	19.80	23.0	42.0		2.25	133.00	17	5.8
5.00	10.0	19.0		0.98	47.00	21	4.7	20.00	23.0	45.0		2.06			
5.20	9.0	16.0		0.88	47.00	19	5.2								
5.40	12.0	19.0		1.18	40.00	30	3.3								
5.60	15.0	21.0		1.47	133.00	11	8.9								
5.80	16.0	36.0		1.57	73.00	22	4.6								
6.00	11.0	22.0		1.08	53.00	21	4.8								
6.20	18.0	26.0		1.76	60.00	30	3.3								
6.40	16.0	25.0		1.57	67.00	24	4.2								
6.60	16.0	26.0		1.57	60.00	27	3.8								
6.80	19.0	28.0		1.86	40.00	48	2.1								
7.00	17.0	23.0		1.67	40.00	43	2.4								
7.20	12.0	18.0		1.18	40.00	30	3.3								
7.40	9.0	15.0		0.88	33.00	27	3.7								
7.60	6.0	11.0		0.59	47.00	13	7.8								
7.80	9.0	16.0		0.88	40.00	23	4.4								
8.00	8.0	14.0		0.78	40.00	20	5.0								
8.20	10.0	16.0		0.98	47.00	21	4.7								
8.40	12.0	19.0		1.18	53.00	23	4.4								
8.60	13.0	21.0		1.27	80.00	16	6.2								
8.80	13.0	25.0		1.27	53.00	25	4.1								
9.00	18.0	26.0		1.76	60.00	30	3.3								
9.20	10.0	19.0		0.98	73.00	14	7.3								
9.40	11.0	22.0		1.08	60.00	18	5.5								
9.60	17.0	26.0		1.67	93.00	18	5.5								
9.80	15.0	29.0		1.47	80.00	19	5.3								
10.00	12.0	24.0		1.18	80.00	15	6.7								
10.20	14.0	26.0		1.37	73.00	19	5.2								
10.40	29.0	40.0		2.84	160.00	18	5.5								
10.60	34.0	58.0		3.33	47.00	72	1.4								
10.80	49.0	56.0		4.80	87.00	56	1.8								
11.00	60.0	73.0		5.88	73.00	82	1.2								
11.20	24.0	35.0		2.35	73.00	33	3.0								
11.40	55.0	66.0		5.39	80.00	69	1.5								
11.60	70.0	82.0		6.86	60.00	117	0.9								
11.80	65.0	74.0		6.37	93.00	70	1.4								
12.00	58.0	72.0		5.68	73.00	79	1.3								
12.20	50.0	61.0		4.90	87.00	57	1.7								
12.40	62.0	75.0		6.08	20.00	310	0.3								
12.60	65.0	68.0		6.37	100.00	65	1.5								
12.80	55.0	70.0		5.39	100.00	55	1.8								
13.00	90.0	105.0		8.82	133.00	68	1.5								
13.20	80.0	100.0		7.84	133.00	60	1.7								
13.40	90.0	110.0		8.82	200.00	45	2.2								
13.60	70.0	100.0		6.86	147.00	48	2.1								
13.80	80.0	102.0		7.84	107.00	75	1.3								
14.00	57.0	73.0		5.59	133.00	43	2.3								
14.20	75.0	95.0		7.35	100.00	75	1.3								
14.40	65.0	80.0		6.37	107.00	61	1.6								
14.60	60.0	76.0		5.88	67.00	90	1.1								
14.80	66.0	76.0		6.47	73.00	90	1.1								
15.00	75.0	86.0		7.35	73.00	103	1.0								

H = profondità

qc = resistenza punta

L1 = prima lettura (punta)

fs = resistenza laterale

L2 = seconda lettura (punta + laterale)

0.20 m sopra quota qc

Lt = terza lettura (totale)

F = rapporto Begemann (qc / fs)

CT = 10.00 costante di trasformazione

Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

CPT

3

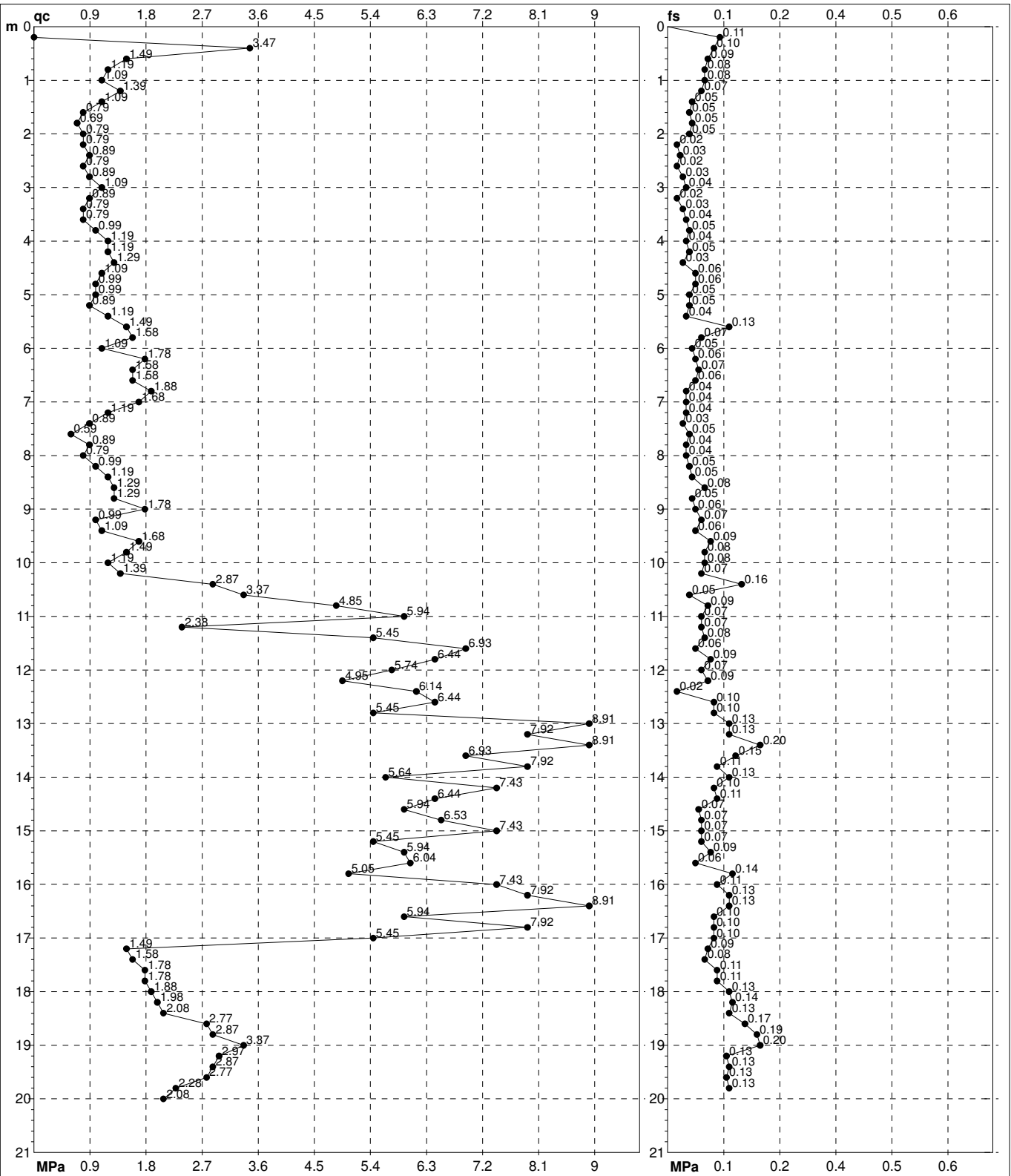
Riferimento

082-2020

Committente **Studio tecnico**
Cantiere **Studio del terreno di fondazione**
Località **Carpi, via Nuova Ponente**

U.M.: **MPa**
Scala: **1:105**
Pagina **1**
Elaborato

Data esec. **14/05/2020**
Quota inizio:
Falda **Foro chiuso**



Penetrometro: SP100
Responsabile:
Assistente:

preforo m
Corr.astine: kN/ml
Cod. tip:

FON111

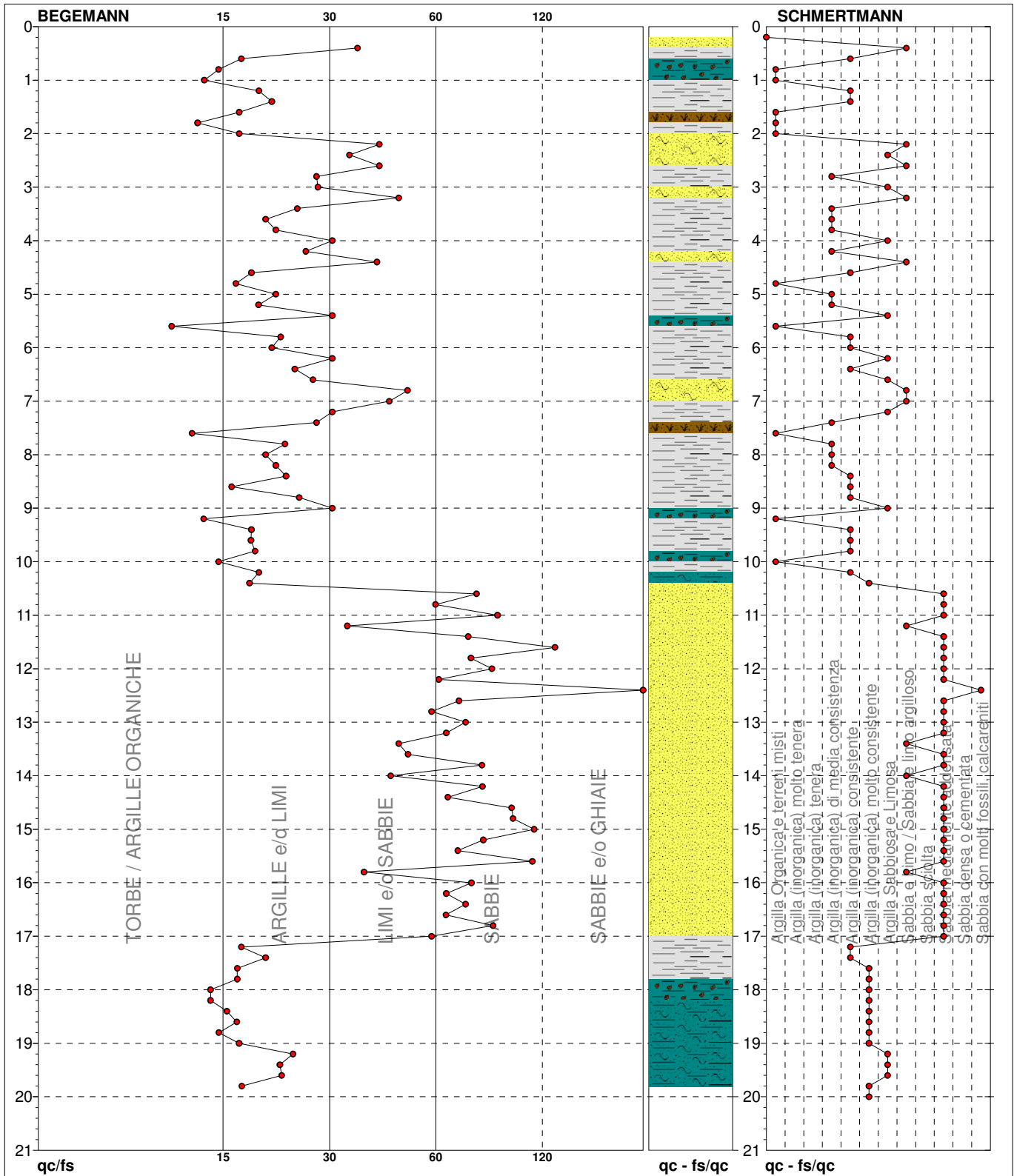
PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT	3
Riferimento	082-2020

Committente **Studio tecnico**
Cantiere **Studio del terreno di fondazione**
Località **Carpì, via Nuova Ponente**


U.M.: **MPa** Data esec. **14/05/2020**
Scala: **1:105**
Pagina **1**
Elaborato **Falda Foro chiuso**



TORBE / ARGILLE OR	10 punti, 10.00%	Argilla Organica e terreni misti	10 punti, 10.00%	Argilla Sabbiosa e Limosa	11 punti, 11.00%
ARGILLE e/o LIMI	48 punti, 48.00%	Argilla (inorganica) di media consistenza	11 punti, 11.00%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo argilloso	11 punti, 11.00%
LIMI e/o SABBIE	18 punti, 18.00%	Argilla (inorganica) consistente	16 punti, 16.00%	Sabbia mediamente addensata	28 punti, 28.00%
SABBIE	22 punti, 22.00%	Argilla (inorganica) molto consistente	10 punti, 10.00%	Sabbia con molti fossili, calcareniti	1 punti, 1.00%
SABBIE e/o GHIAIE	1 punti, 1.00%				

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA PARAMETRI GEOTECNICI	CPT	3
	Riferimento	082-2020

Committente	Studio tecnico	U.M.:	MPa	Data esec.	14/05/2020
Cantiere	Studio del terreno di fondazione	Pagina	2	Falda	Foro chiuso
Località	Carpi, via Nuova Ponente	Elaborato			

H m	qc U.M.	qc/fs	zone	γ' t/m ³	σ'_{vo} kPa	Vs m/s	NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE											
							Cu kPa	OCR %	Eu50 U.M.	Eu25 U.M.	Mo U.M.	Dr %	Sc (°)	Ca (°)	Ko (°)	DB (°)	DM (°)	Me (°)	E'50 U.M.	E'25 U.M.	Mo U.M.	FL1	FL2
20.00	2.06	--	3 	1.85	366.2	174	--	--	--	--	--	--	31	18	15	14	25	27	3.4	5.1	6.2	--	--

ALLEGATO 3

INDAGINI SISMICHE

Indagine sismica MASW

INFORMAZIONI GENERALI

Cantiere: **COMPARTO F2 – Comune di Carpi (Mo) – via Nuova Ponente**

Data esecuzione: **14/05/2020**

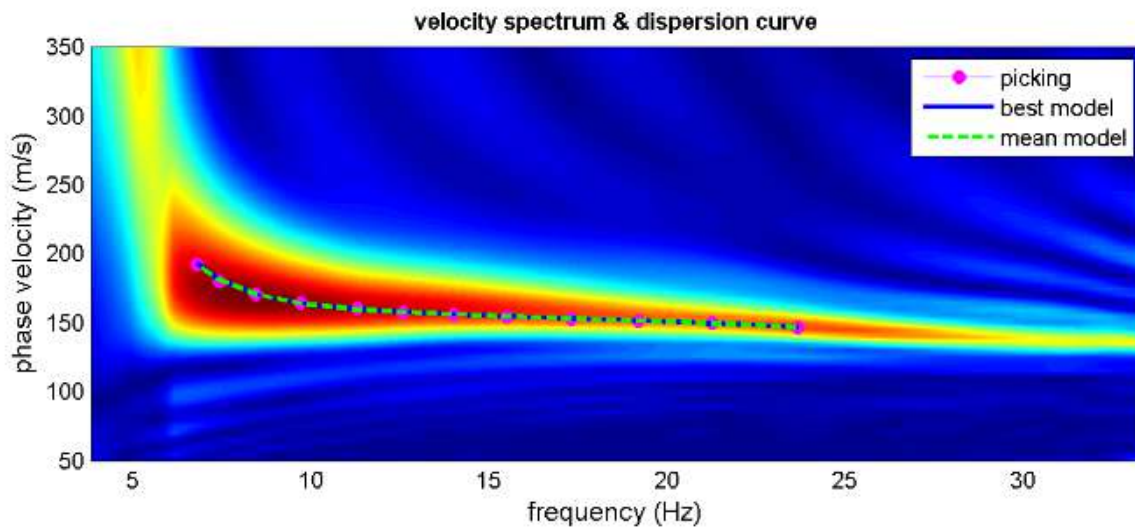
Strumentazione utilizzata: **GEODE GEOMETRICS 24bit/24ch - Energizzazione: Massa battente da 10 kg -**

Sensoristica: **Geofoni verticali 4.5 Hz**

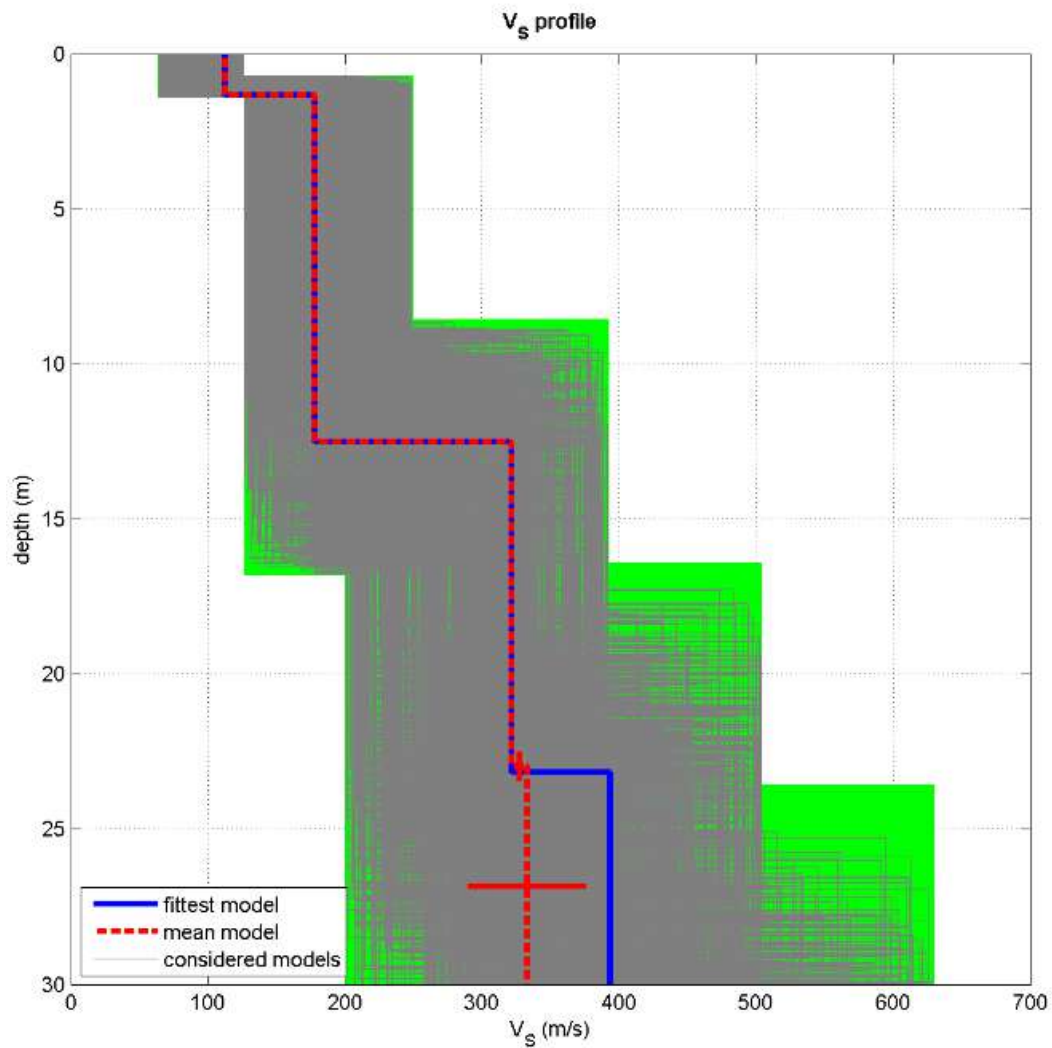
Responsabile: **Dott. Geol. Pier Luigi Dallari**

Elaborazione: **Dott.ssa Lisa Gasparini**

MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



$V_s (0.0-30.0) = 240 \text{ m/s}$



dataset: 970.dat

dispersion curve: MOD_pICK.cdp

Vs30 (best model): 240 m/s

Vs30 (mean model): 234 m/s

Indagine sismica HVSR n.1

INFORMAZIONI GENERALI

Cantiere: **COMPARTO F2 – Comune di Carpi (Mo) – via Nuova Ponente**

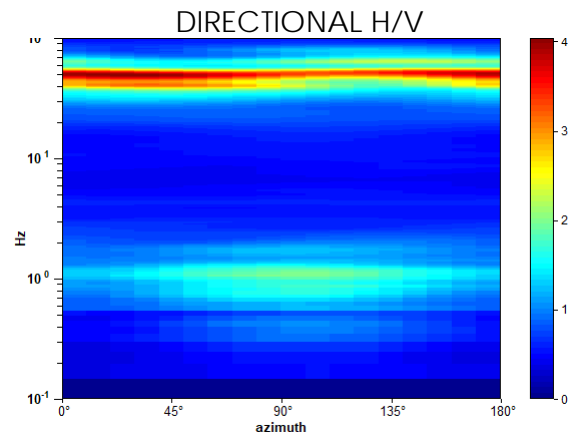
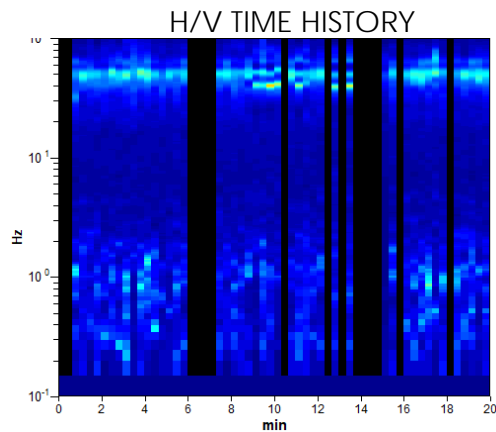
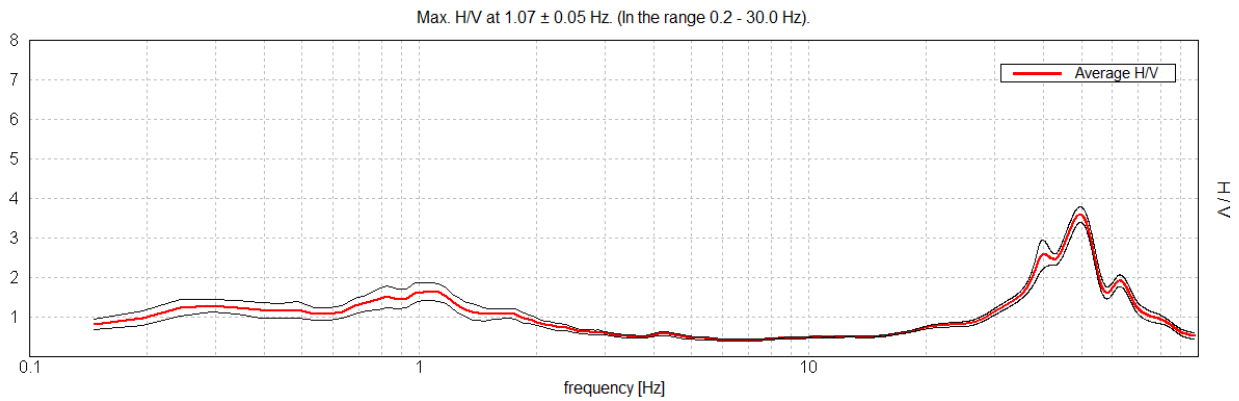
Data esecuzione: **14/05/2020**

Strumentazione utilizzata: **TROMINO ENGY 24bit – Lunghezza registrazione: 0h20'00"**

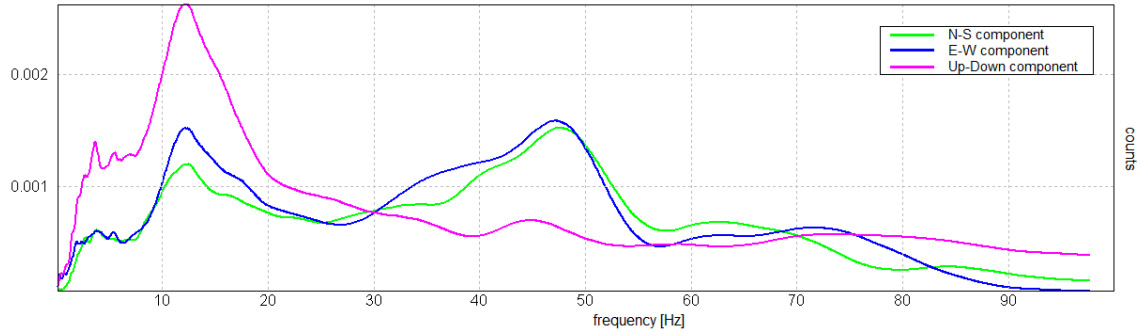
Responsabile: **Dott. Geol. Pier Luigi Dallari**

Elaborazione: **Dott.ssa Lisa Gasparini**

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the Grilla manual before interpreting the following tables.]

0
Max. H/V at 1.07 ± 0.05 Hz (in the range 0.2 - 30.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	1.07 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	966.8 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 34 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.148 Hz	OK	
$A_0 > 2$	1.65 > 2		NO
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.04743 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.05095 < 0.10742	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.2207 < 1.78	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Indagine sismica HVSR n.2

INFORMAZIONI GENERALI

Cantiere: **COMPARTO F2 – Comune di Carpi (Mo) – via Nuova Ponente**

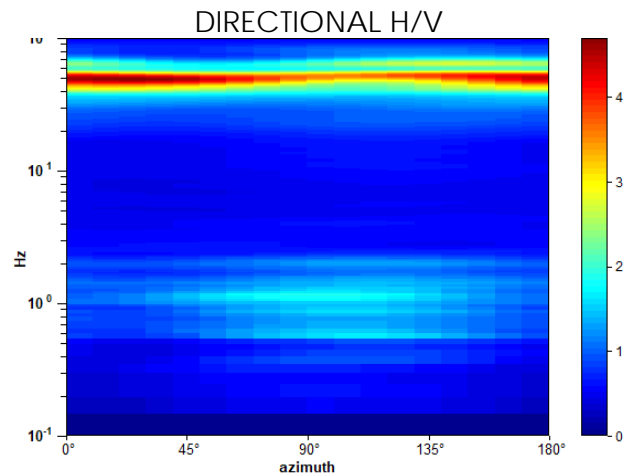
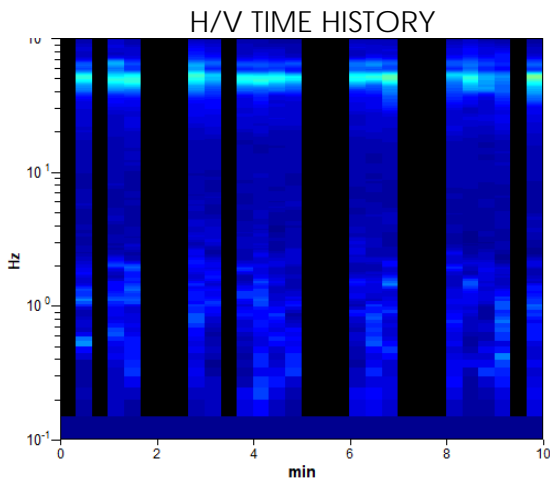
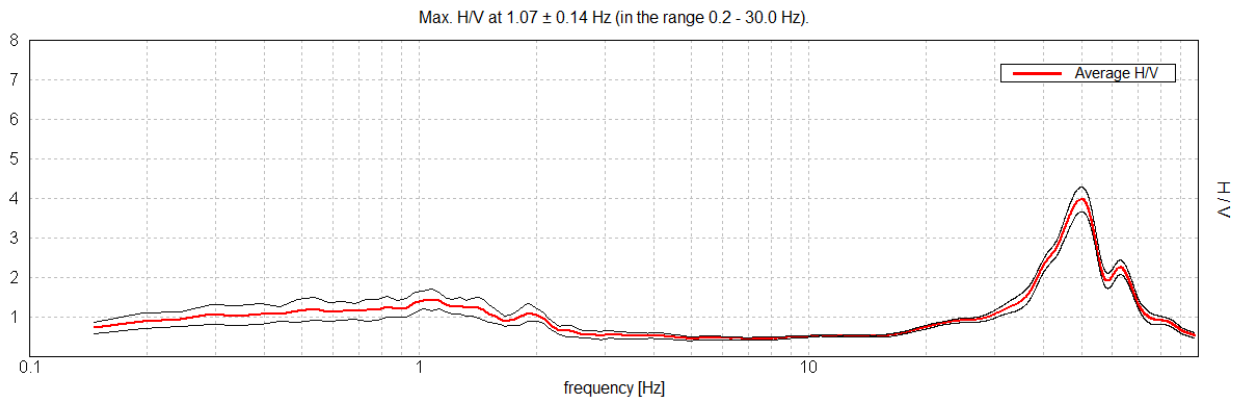
Data esecuzione: **14/05/2020**

Strumentazione utilizzata: **TROMINO ENGY 24bit – Lunghezza registrazione: 0h20'00"**

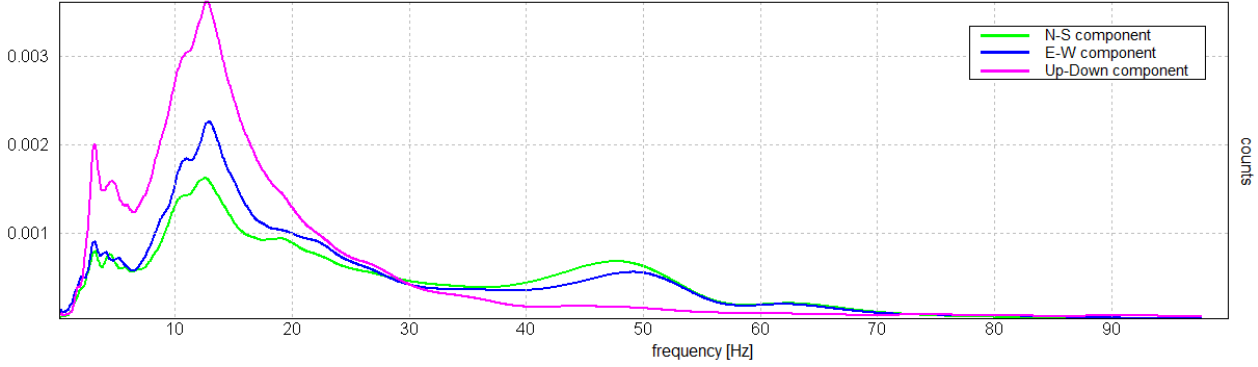
Responsabile: **Dott. Geol. Pier Luigi Dallari**

Elaborazione: **Dott.ssa Lisa Gasparini**

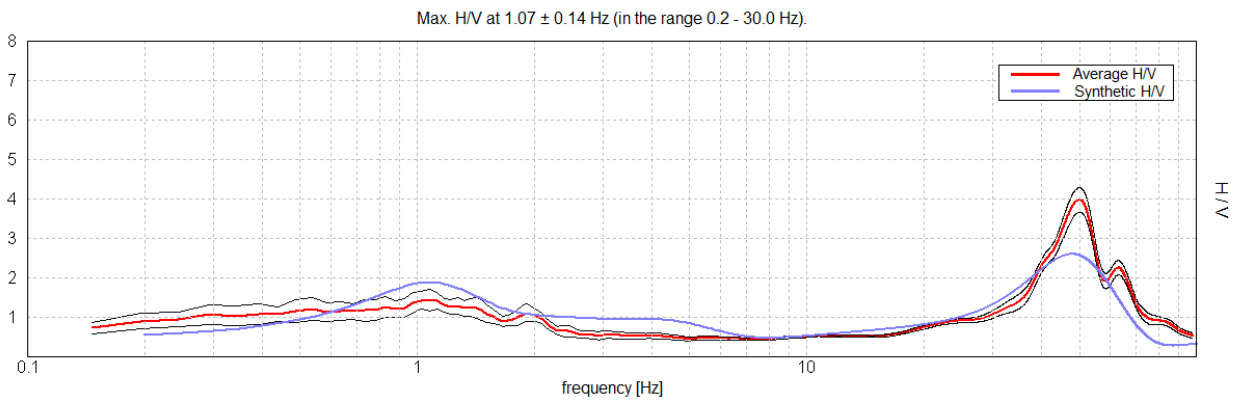
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



SINGLE COMPONENT SPECTRA



EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.50	0.50	100	0.45
10.50	10.00	200	0.45
21.50	11.00	300	0.43
46.50	25.00	333	0.43
106.50	60.00	450	0.43
inf.	inf.	600	0.43

[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 1.07 ± 0.14 Hz (in the range 0.2 - 30.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	1.07 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	365.2 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 34 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.295 Hz	OK	
$A_0 > 2$	1.44 > 2		NO
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.13321 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.14309 < 0.10742		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.267 < 1.78	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

ALLEGATO 4

VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

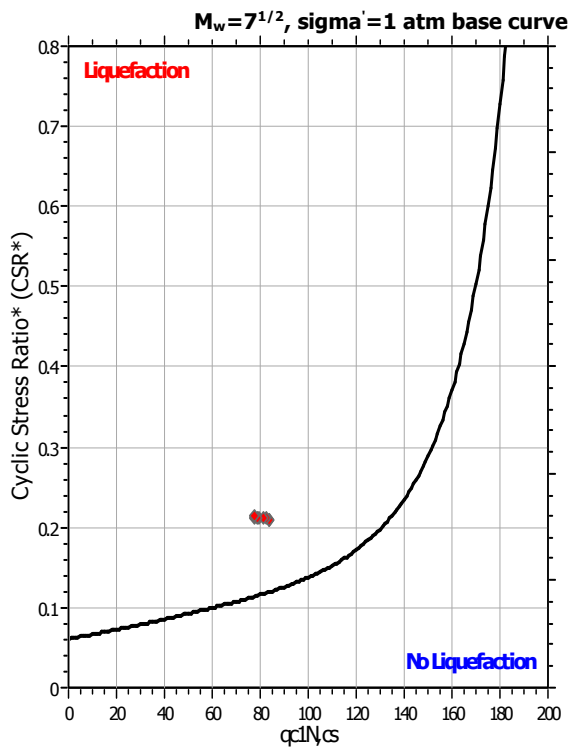
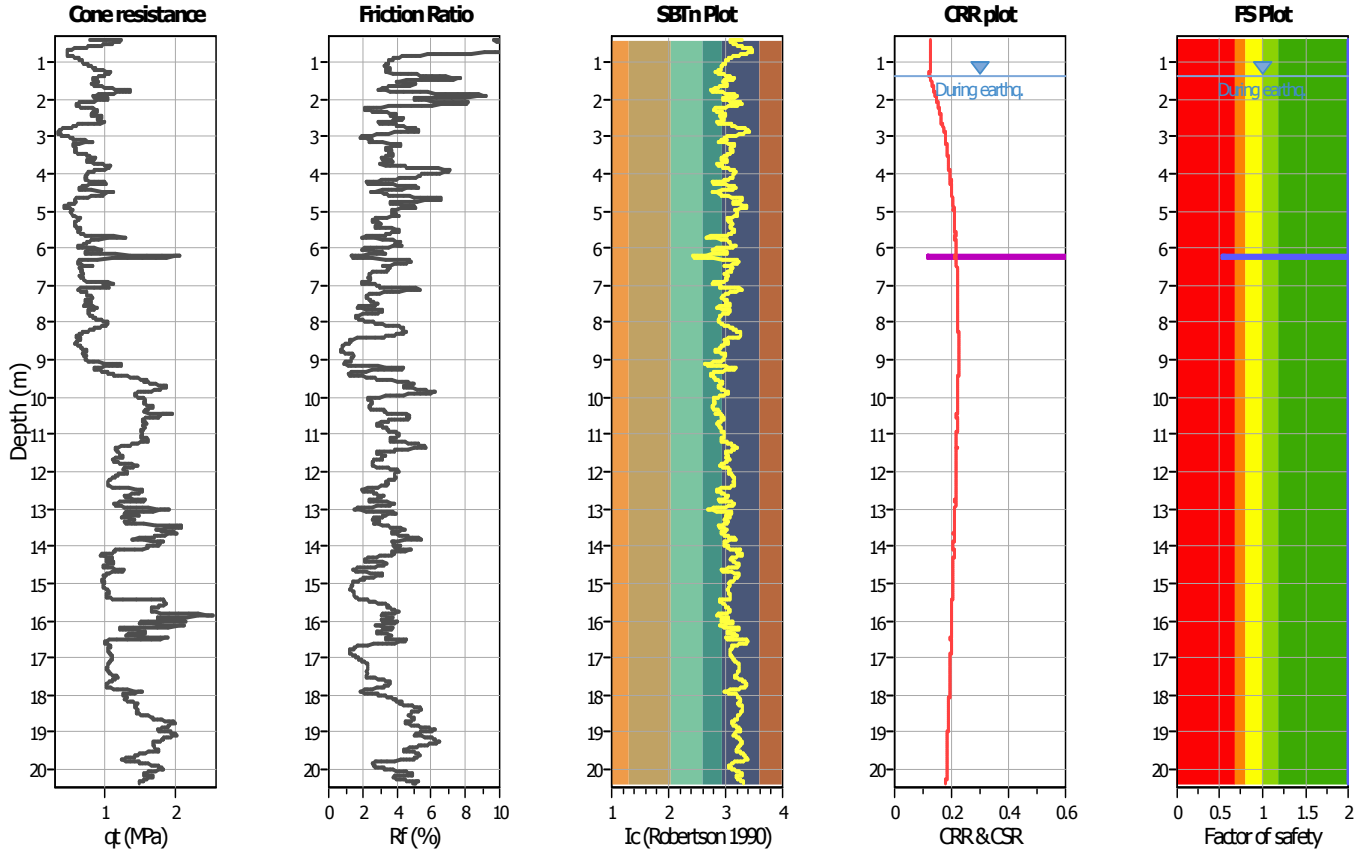
LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

Project title : STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE
CPT file : CPTU

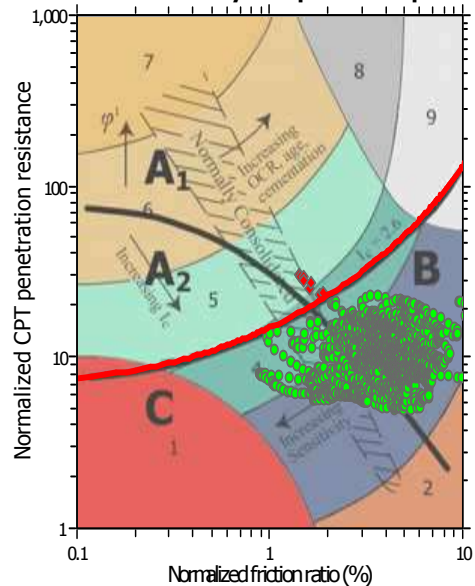
Location : CARPI, VIA NUOVA PONENTE

Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	1.40 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	1.40 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	No
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.23	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_σ applied:	Yes	MSF method:	Method

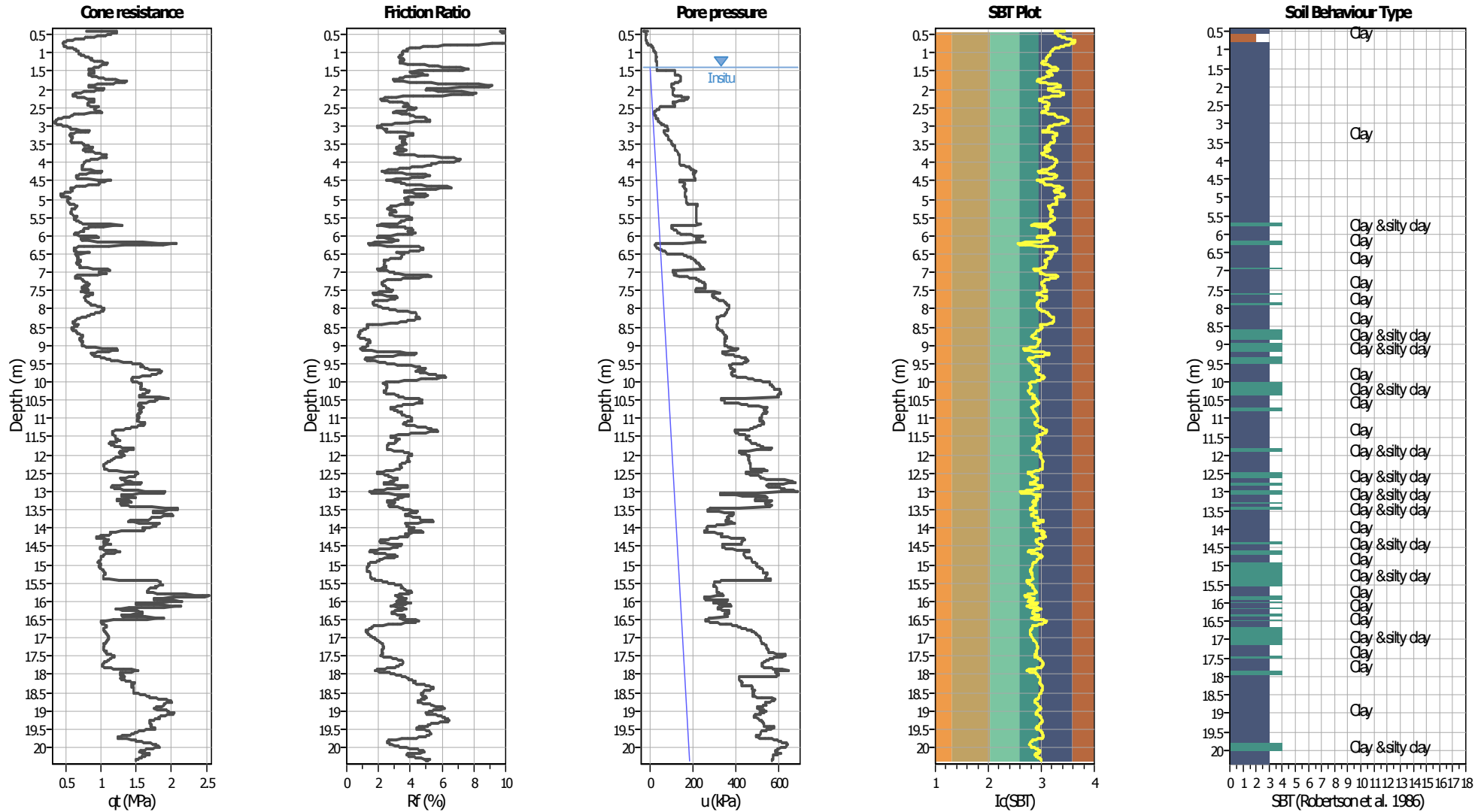


Summary of liquefaction potential



Zone A₁: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading
 Zone A₂: Cyclic liquefaction and strength loss likely depending on loading and ground geometry
 Zone B: Liquefaction and post-earthquake strength loss unlikely, check cyclic softening
 Zone C: Cyclic liquefaction and strength loss possible depending on soil plasticity, brittleness/sensitivity, strain to peak undrained strength and ground geometry

CPT basic interpretation plots



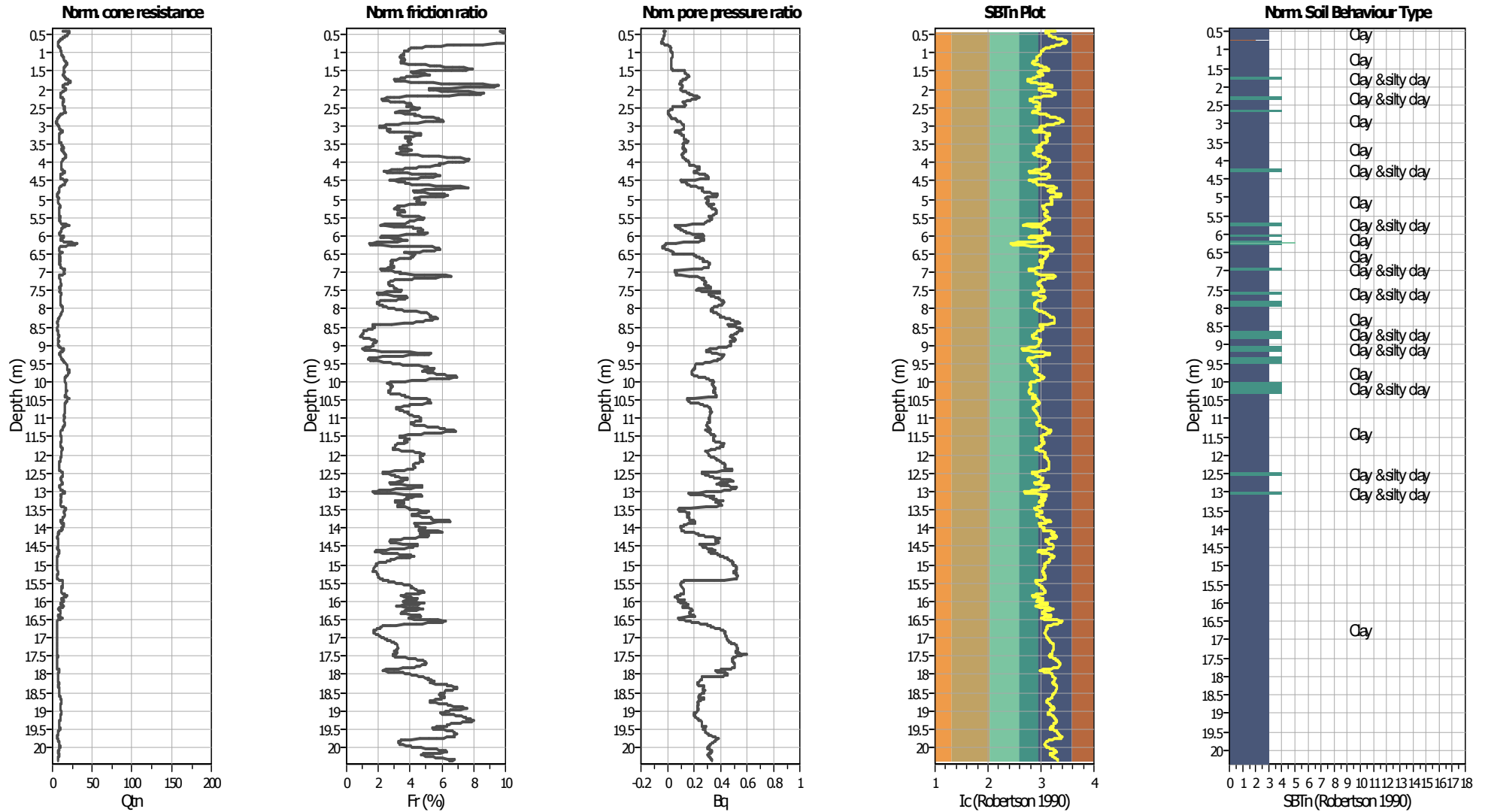
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.40 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on I_c value	I_c cut-off value:	2.60	K_{σ} applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.40 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBT legend

■ 1. Sensitive fine grained	■ 4. Clayey silt to silty	■ 7. Gravely sand to sand
■ 2. Organic material	■ 5. Silty sand to sandy silt	■ 8. Very stiff sand to
■ 3. Clay to silty clay	■ 6. Clean sand to silty sand	■ 9. Very stiff fine grained

CPT basic interpretation plots (normalized)



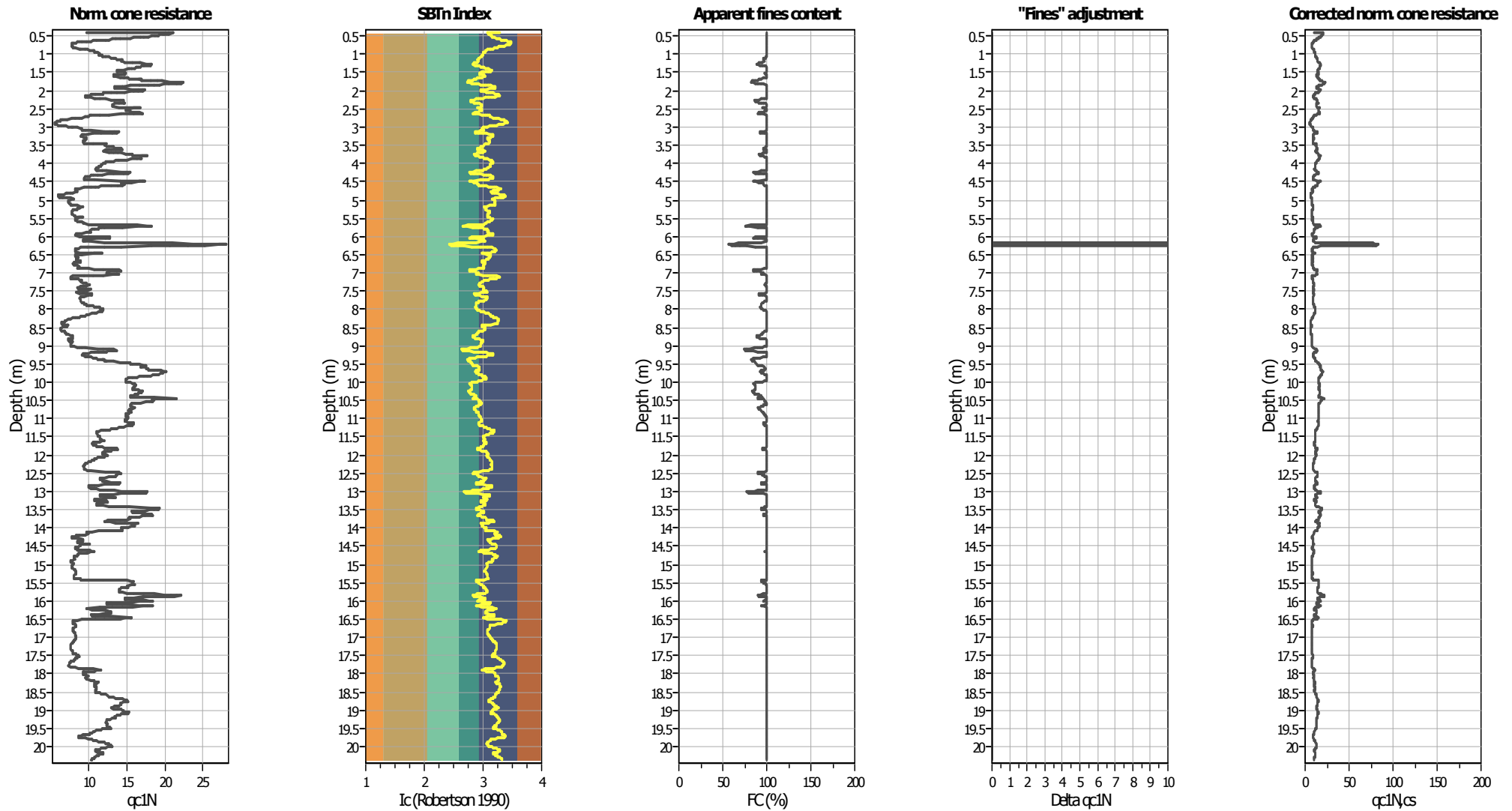
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.40 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K_{σ} applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.40 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBTn legend

1. Sensitive fine grained	4. Clayey silt to silty	7. Gravely sand to sand
2. Organic material	5. Silty sand to sandy silt	8. Very stiff sand to
3. Clay to silty clay	6. Clean sand to silty sand	9. Very stiff fine grained

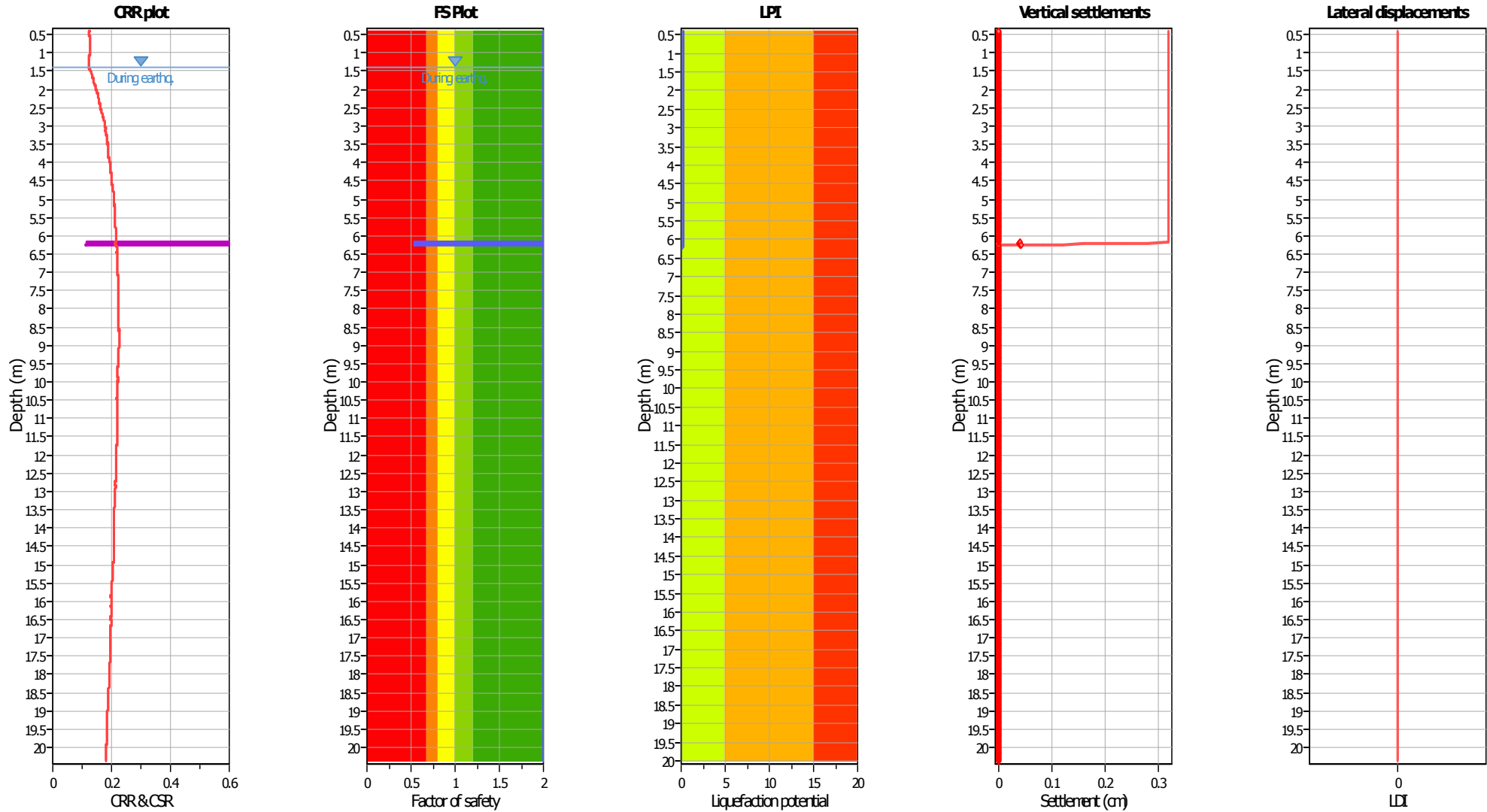
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.40 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _q applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.40 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.40 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K_f applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.40 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

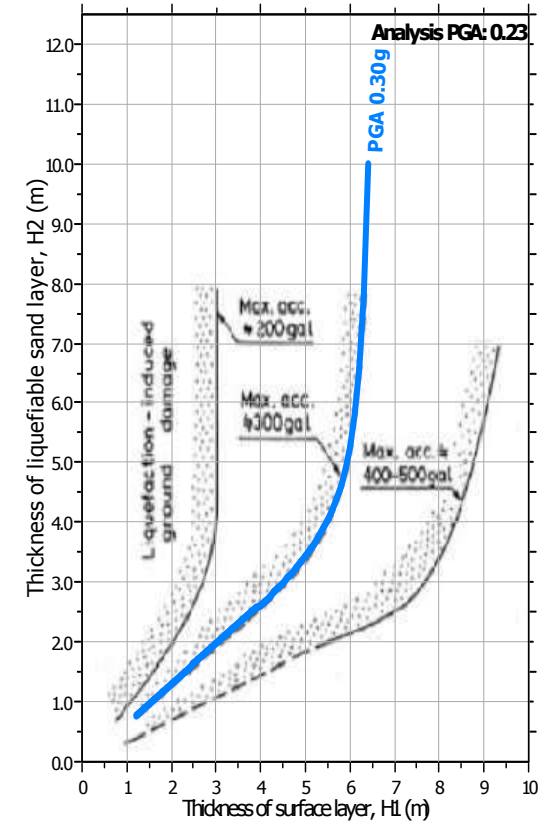
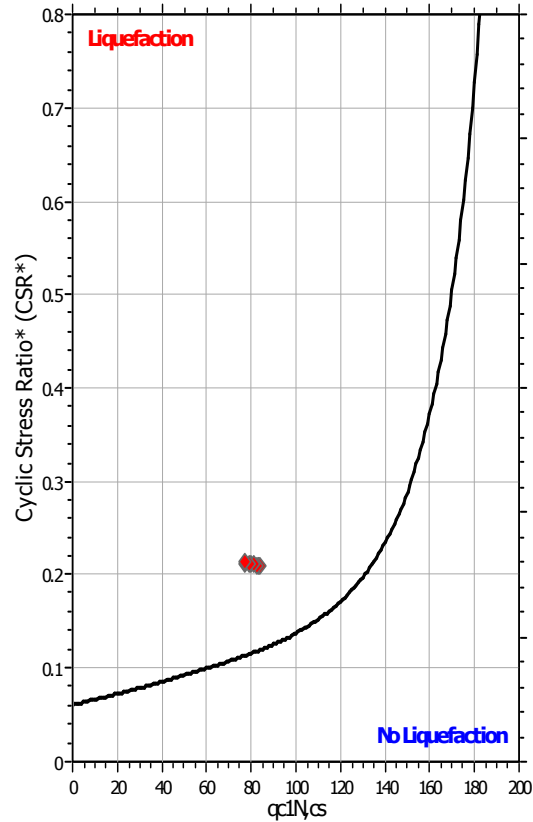
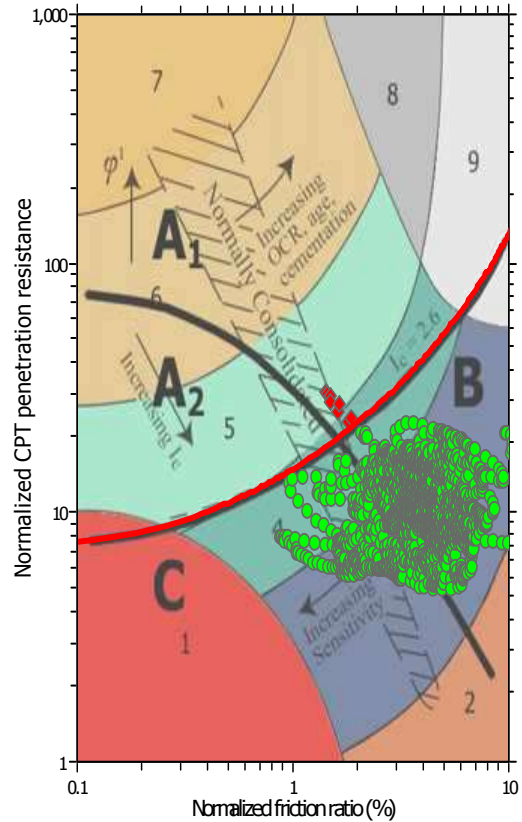
F.S. color scheme

- Almost certain it will liquefy
- Very likely to liquefy
- Liquefaction and no liq. are equally likely
- Unlike to liquefy
- Almost certain it will not liquefy

LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

Liquefaction analysis summary plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.40 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _v applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.40 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A