

**VARIANTE 2 PIANO PARTICOLAREGGIATO  
COMPARTO "A1" EX-NUOVA SILAN**

**RELAZIONE GEOLOGICA  
1° STRALCIO**



**INGEGNERE MARC'AURELIO SANTI**

Via C. Cattaneo, 17, 41012 Carpi – tel 059/6229007 fax 059  
Email [ingsanti@ingsanticarpi.eu](mailto:ingsanti@ingsanticarpi.eu)

# COMUNE DI CARPI

## PROVINCIA DI MODENA

### RELAZIONE GEOLOGICA

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

### RELAZIONE GEOTECNICA

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);

### RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA

Relativa alla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione (NTC 2018, DGR RER 1373/2011).



OGGETTO

VARIANTE DI PIANO PARTICOLAREGGIATO  
COMPARTO "A1" – EX – NUOVA SILAN

LOCALITÀ

CARPI

Giugno 2022

**Rif. 434/2022**

**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](mailto:info@geogroupmodena.it) Pec: [geo.group@winpec.it](mailto:geo.group@winpec.it) Sito:  
[www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it)





**COMUNE DI CARPI**  
Provincia di Modena

OGGETTO

**VARIANTE DI PIANO PARTICOLAREGGIATO COMPARTO “A1” – EX –  
NUOVA SILAN**

LOCALITÀ

**CARPI**

**RELAZIONE GEOLOGICA- GEOTECNICA -SISMICA**

**Rif. n. 434/2022**



## INDICE DEL CONTENUTO

1	PREMESSE.....	3
2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO .....	5
2.1	Inquadramento geografico .....	5
2.2	Elementi geologici e geomorfologici .....	6
2.3	Inquadramento sismico.....	6
3	INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	8
3.1	Indagini Geotecniche .....	8
3.1.1	Prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono CPTE/U.....	8
3.1.2	Prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT.....	11
3.2	Indagini Geofisiche .....	12
3.2.1	Indagine sismica passiva a stazione singola (analisi HVSR) .....	12
3.2.2	Indagine sismica attiva con metodo MASW .....	12
4	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO .....	13
4.1	Pericolosità sismica di base .....	13
4.2	Categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 NTC2018).....	15
4.3	Azione sismica e risposta sismica del sito – Risposta sismica locale al terzo livello di approfondimento.....	17
4.4	Stabilità nei confronti della liquefazione (§ A2.2. DGR 476/2021).....	27
4.5	Stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica (§ B. DGR 476/2021) .....	30
5	MODELLAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA DEL SITO .....	31
5.1	Modello geotecnico del sottosuolo .....	31
6	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	32

## TAVOLE

**Tav. n. 1:** "Carta Topografica"  
**Tav. n. 2:** "Ripresa Satellitare"  
**Tav. n. 3:** "Ubicazione indagini"

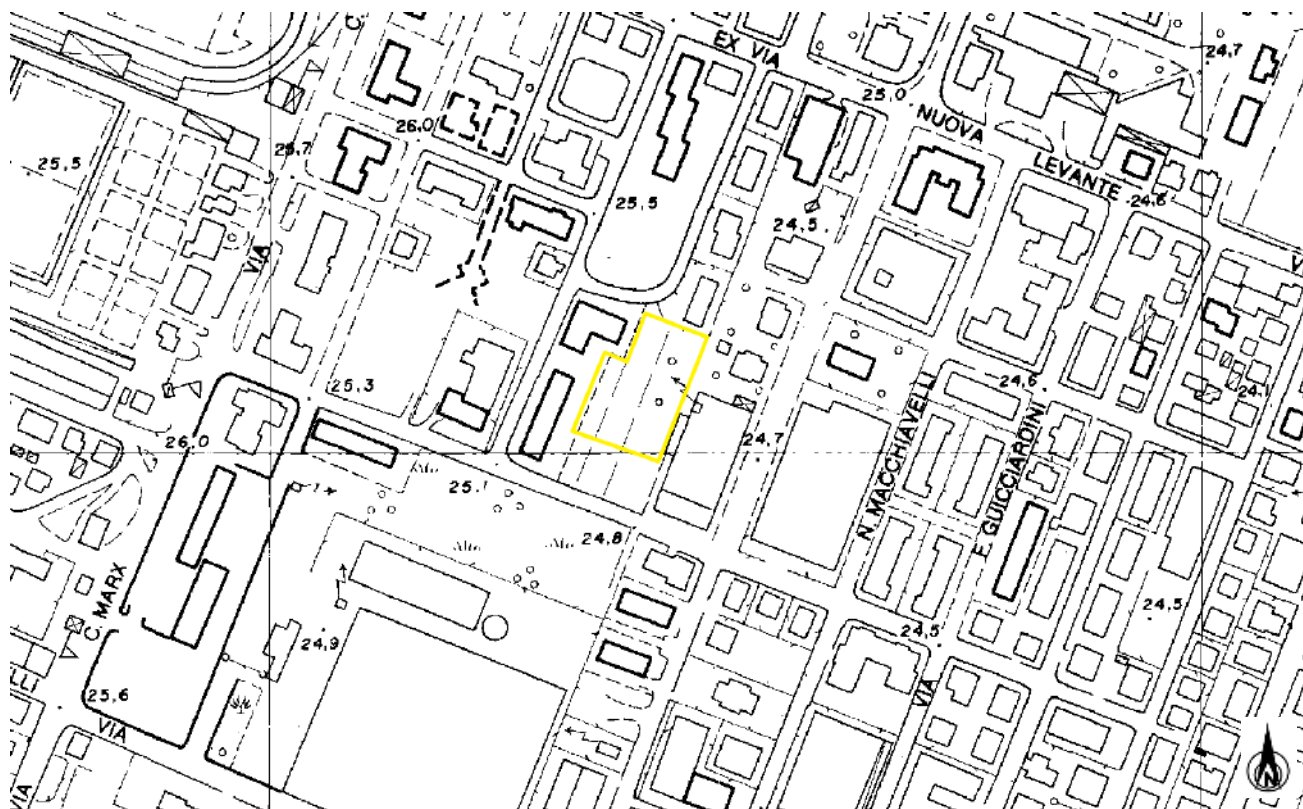
scala 1: 5.000;  
 scala 1: 5.000;  
 scala 1: 500.

## ALLEGATI

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

# 1 PREMESSE

Nei mesi di maggio e giugno 2022 è stato eseguito il presente studio geologico, geotecnico e sismico inerente alla variante di piano particolareggiato – comparto “A1” Ex – nuova Silan, nel Comune di Carpi (MO) (Fig.1.1 – 1.2).



**Fig.1.1 - Ubicazione del sito in studio**



**Fig.1.2 - Ubicazione lotti**

Il presente studio è stato condotto secondo la seguente Normativa Tecnica e documentazione di riferimento:

- **D.M. 17.01.2018** - Norme Tecniche per le Costruzioni 2018;
- **OPCM 3274/2003** - Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica;
- **D.G.R. 476/2021**– Aggiornamento dell'”Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017)” di cui alla deliberazione della Giunta regionale 29 aprile 2019 n. 630;
- **Microzonazione sismica del Comune di Carpi (MO).**

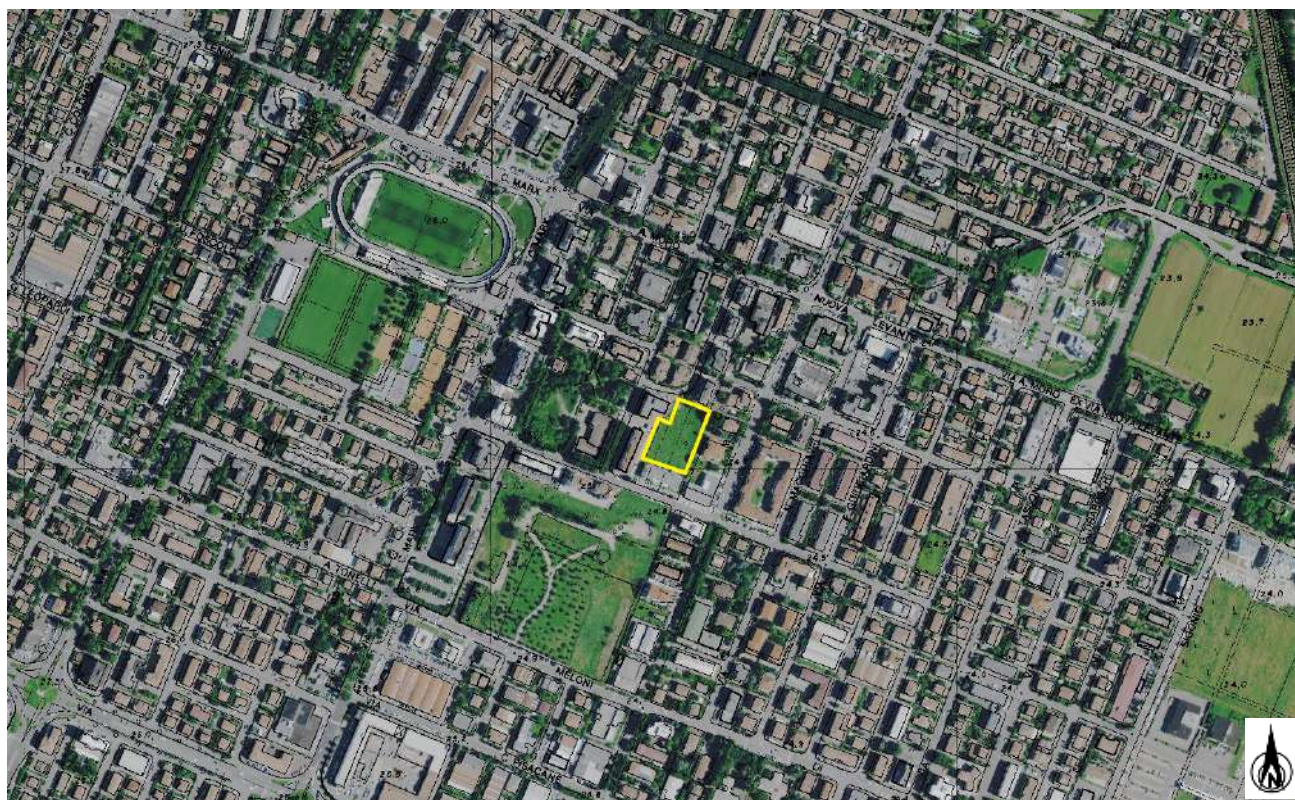


## 2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

### 2.1 Inquadramento geografico

L'area in esame è collocata in ambiente di pianura nel centro del comune di Carpi (MO) (Fig.2.1). Le coordinate specifiche dell'area sono le seguenti:

SITO IN ESAME	
COORDINATE GEOGRAFICHE	
LATITUDINE	LONGITUDINE
44.774389	10.886210



**Fig.2.1 - Ubicazione del sito in studio.**

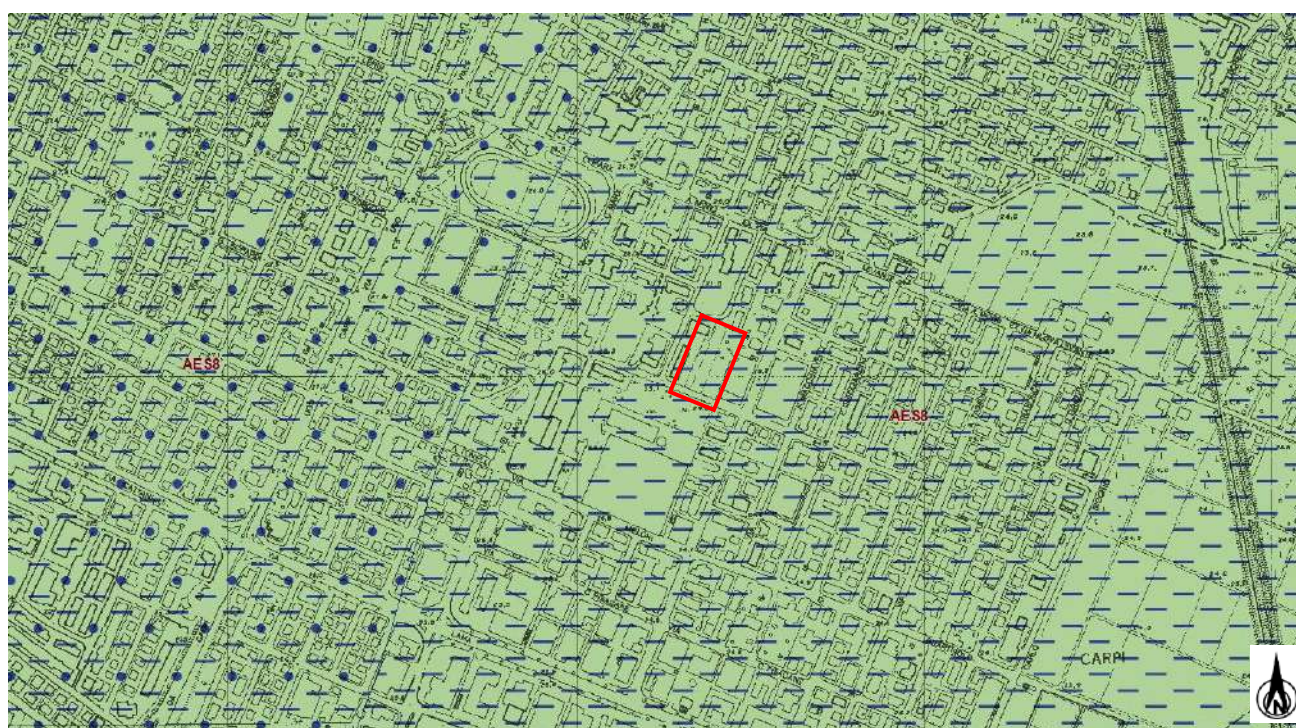
Per un completo inquadramento geografico dell'area si rimanda alla cartografia allegata alla presente relazione, in particolare alla "Carta topografica" alla scala 1: 5.000 (tav. n. 1) e alla "Ripresa satellitare" alla scala 1: 5.000 (tav. n. 2).



## 2.2 Elementi geologici e geomorfologici

Dalla consultazione della carta delle coperture, si evidenzia come l'area in studio sia caratterizzata da **limo** tipico di un ambiente alluvionale di piana inondabile.

In particolare l'area in studio è caratterizzata dal **Subsistema di Ravenna – AES8**, caratterizzata da limi sabbiosi e limi argillosi negli apparati dei torrenti minori o ghiaie in lenti entro limi, subordinate ghiaie e ghiaie sabbiose in quelli dei torrenti e fiumi principali. A tetto suoli a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente fino a 150 cm e parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallo-bruno. Nell'alta pianura su AES7b (affiorante solo in cave). Potenza fino a oltre 20 m (Fig. 2.2).



### Ambienti deposiz. e litologie (10K)

Argilla - Piana alluvionale

Limo - Piana alluvionale

▨ Limo Sabbioso - Piana alluvionale

### Coperture quaternarie (10K)

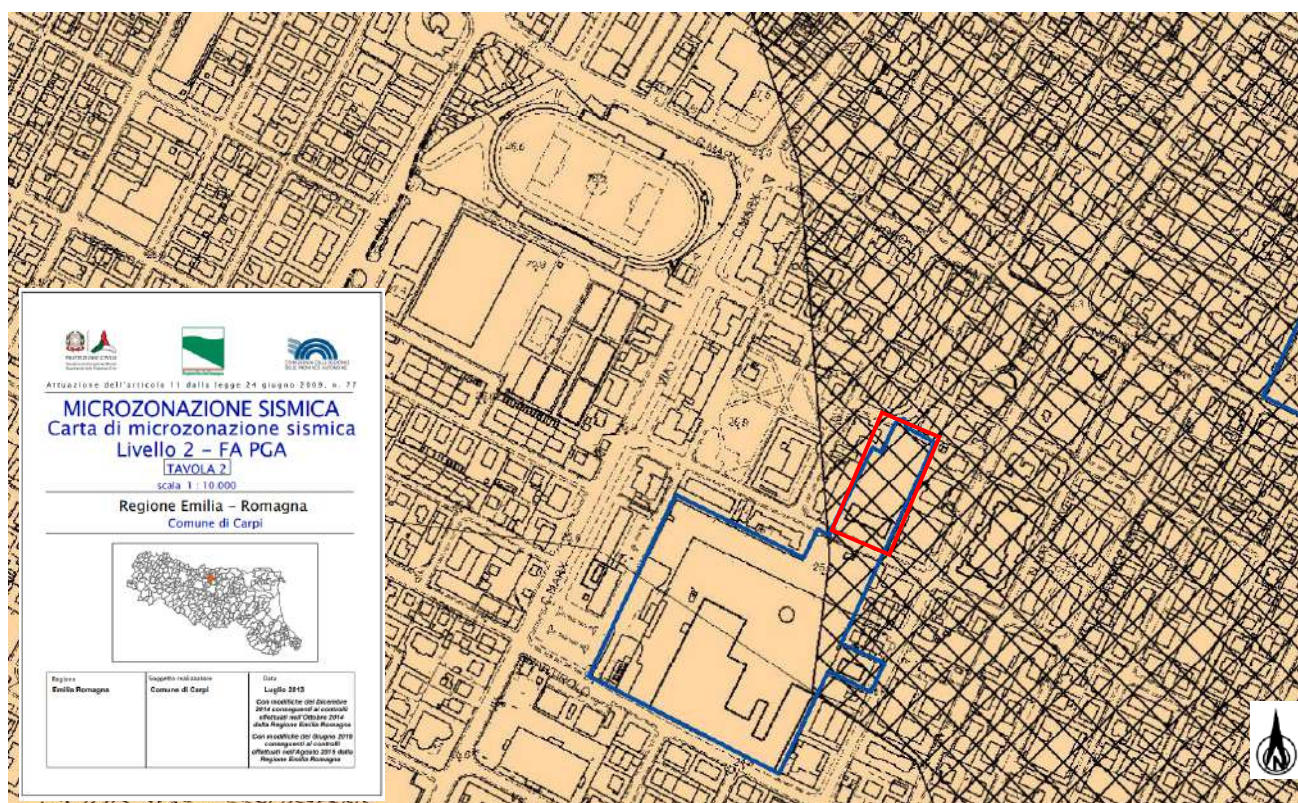
■ AES8 - Subsistema di Ravenna

**Fig.2.2 – Estratto della carta di litologia di superficie.**



## 2.3 Inquadramento sismico

A supporto dell'analisi sismica e della valutazione della stabilità del sito, successivamente descritta nei paragrafi seguenti, per quel che concerne i fenomeni co-sismici è stata preliminarmente consultata la cartografia relativa allo studio di Microzonazione Sismica del Comune di Carpi (MO), ed in particolare dalla "Carta delle microzonazione sismica Livello 2 – FA PGA", un cui estratto è riportato in figura (Fig. 2.3), si nota come l'area in studio ricade in zona suscettibile di instabilità per liquefazione, pertanto al fine di derivare la pericolosità sismica locale, risulta necessario eseguire la risposta sismica locale al terzo livello di approfondimento, successivamente illustrato al paragrafo §4.3.



### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (FA PGA)

Fa = 1,5 - 1,6

Fa = 1,7 - 1,8

### Zone suscettibili di instabilità

Liquefazioni

Aree urbanizzate e urbanizzabili

Fig.2.3 – Estratto della “Carta delle microzonazione sismica Livello 2 – FA PGA” – Microzonazione Sismica del Comune di Carpi (MO) – Tav.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 – eseguite in data 16/05/2022.**
- **n.6 prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT – eseguite in data 13/11/2006.**

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:

<b>Caratteristiche del Piezocono</b>			
<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 <sup>2</sup>
Inclinazione:	0 - 40°	Superficie laterale:	150 cm <sup>2</sup>
		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><b>:: Unit Weight, <math>g</math> (kN/m<sup>3</sup>) ::</b></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 <math>g_w</math> = water unit weight</p> <p><b>:: Permeability, <math>k</math> (m/s) ::</b></p> <p><math>I_c &lt; 3.27</math> and <math>I_c &gt; 1.00</math> then <math>k = 10^{0.952 - 3.04 \cdot I_c}</math></p> <p><math>I_c \leq 4.00</math> and <math>I_c &gt; 3.27</math> then <math>k = 10^{-4.52 - 1.37 \cdot I_c}</math></p> <p><b>:: <math>N_{60}</math> (blows per 30 cm) ::</b></p> $N_{60} = \left( \frac{q_c}{P_a} \right) \cdot \frac{1}{10^{1.1268 - 0.2817 I_c}}$ $N_{160} = Q_{60} \cdot \frac{1}{10^{1.1268 - 0.2817 I_c}}$ <p><b>:: Young's Modulus, <math>E_s</math> (MPa) ::</b></p> $(q_c - \sigma_v) \cdot 0.015 \cdot 10^{0.55 I_c - 1.168}$ <p>(applicable only to <math>I_c &lt; I_{c, \text{crit}}</math>)</p> <p><b>:: Relative Density, <math>D_r</math> (%) ::</b></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><b>:: State Parameter, <math>\psi</math> ::</b></p> $\psi = 0.56 - 0.33 \cdot \log(Q_{60, \text{cl}})$ <p><b>:: Peak drained friction angle, <math>\phi</math> (°) ::</b></p> $\phi = 17.60 + 11 \cdot \log(Q_{60})$ <p>(applicable only to SBTs: 5, 6, 7 and 8)</p> <p><b>:: 1-D constrained modulus, <math>M</math> (MPa) ::</b></p> <p>If <math>I_c &gt; 2.20</math></p> <p><math>\alpha = 14</math> for <math>Q_{60} &gt; 14</math></p> <p><math>\alpha = Q_{60}</math> for <math>Q_{60} \leq 14</math></p> <p><math>M_{CPT} = \alpha \cdot (q_c - \sigma_v)</math></p> <p>If <math>I_c \leq 2.20</math></p> <p><math>M_{CPT} = (q_c - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 I_c - 1.168}</math></p>	<p><b>:: Small strain shear Modulus, <math>G_0</math> (MPa) ::</b></p> $G_0 = (q_c - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 I_c - 1.168}$ <p><b>:: Shear Wave Velocity, <math>V_s</math> (m/s) ::</b></p> $V_s = \left( \frac{G_0}{\rho} \right)^{0.50}$ <p><b>:: Undrained peak shear strength, <math>S_u</math> (kPa) ::</b></p> $N_{1t} = 10.50 + 7 \cdot \log(F_r) \text{ or user defined}$ $S_{1t} = \frac{(q_c - \sigma_v)}{N_{1t}}$ <p>(applicable only to SBTs: 1, 2, 3, 4 and 9 or <math>I_c &gt; I_{c, \text{crit}}</math>)</p> <p><b>:: Remolded undrained shear strength, <math>S_u(\text{rem})</math> (kPa) ::</b></p> $S_{u(\text{rem})} = f_s \quad \text{(applicable only to SBTs: 1, 2, 3, 4 and 9 or } I_c > I_{c, \text{crit}})$ <p><b>:: Overconsolidation Ratio, OCR ::</b></p> $k_{OCR} = \left[ \frac{Q_m^{0.20}}{0.25 \cdot (10.50 + 7 \cdot \log(F_r))} \right]^{1.25} \text{ or user defined}$ $OCR = k_{OCR} \cdot Q_m$ <p>(applicable only to SBTs: 1, 2, 3, 4 and 9 or <math>I_c &gt; I_{c, \text{crit}}</math>)</p> <p><b>:: In situ Stress Ratio, <math>K_0</math> ::</b></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 <math>I_c &gt; I_{c, \text{crit}}</math>)</p> <p><b>:: Soil Sensitivity, <math>S_t</math> ::</b></p> $S_t = \frac{N_{1t}}{F_r}$ <p>(applicable only to SBTs: 1, 2, 3, 4 and 9 or <math>I_c &gt; I_{c, \text{crit}}</math>)</p> <p><b>:: Effective Stress Friction Angle, <math>\phi</math> (°) ::</b></p> $\phi = 29.5^\circ \cdot B_q^{0.121} \cdot (0.256 + 0.336 \cdot B_q + \log Q_t)$ <p>(applicable for <math>0.10 &lt; B_q &lt; 1.00</math>)</p>
--	--

**Tab.3.1 - Correlazioni utilizzate per la stima dei parametri geotecnici.**

Di seguito si riporta la stratigrafia della prova eseguita (Fig. 3.1).

Project: STUDIO TECNICO

Location: CARPI - AREA EX SILAN - VIA TIZIANO VECELLIO

CPT: CPTU

Total depth: 20.46 m, Date: 16/05/2022

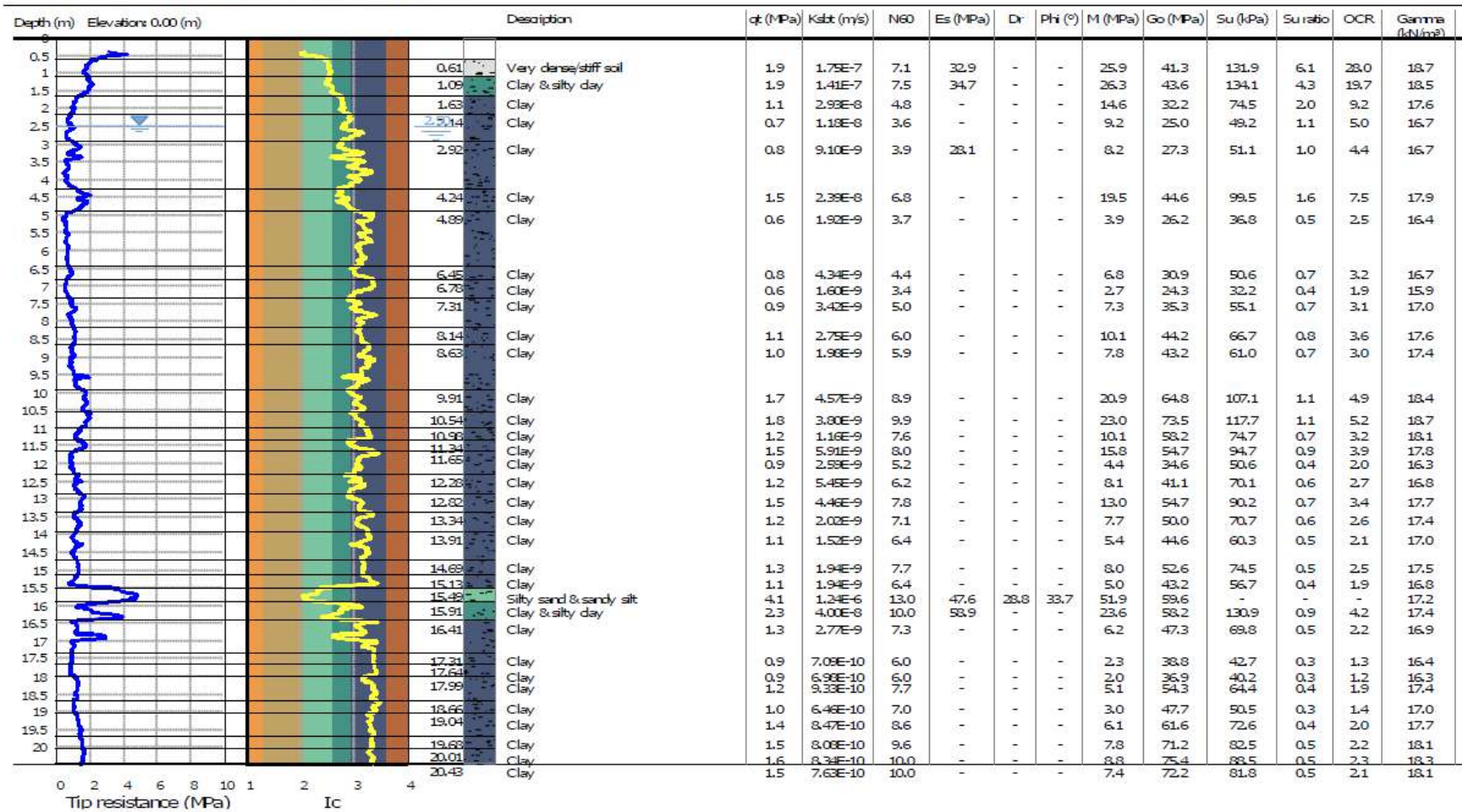


Fig.3.1 – Stratigrafia CPTU.



### 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 dall'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:

<b>Spinta</b>	S	200 kN
<b>Punta conica meccanica</b>		
Diametro	$\Phi$	35.7 mm
Area punta	A	10 cm <sup>2</sup>
Angolo di apertura	$\alpha$	60°
<b>Manicotto laterale di attrito</b>		
Diametro	$\Phi$	35.7 mm
Altezza	h	133 mm
Area	A	150 cm <sup>2</sup>
<b>Velocità di avanzamento costante</b>	V	2 cm/sec
<b>Intervallo di misura</b>		20 cm

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 – RICCERI 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 – RICCERI ET AL. 1974 – HOLDEN 1973)

Peso unità di volume  $\gamma_{sat}$  (saturo sotto falda) –  $\gamma$  (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. 1 indagine sismica passive HVSR;**
- **n.1 indagine sismica attive MASW.**

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)

La misura sismica passiva a stazione singola è stata eseguita 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.

### 3.2.2 Indagine sismica attiva con metodo MASW

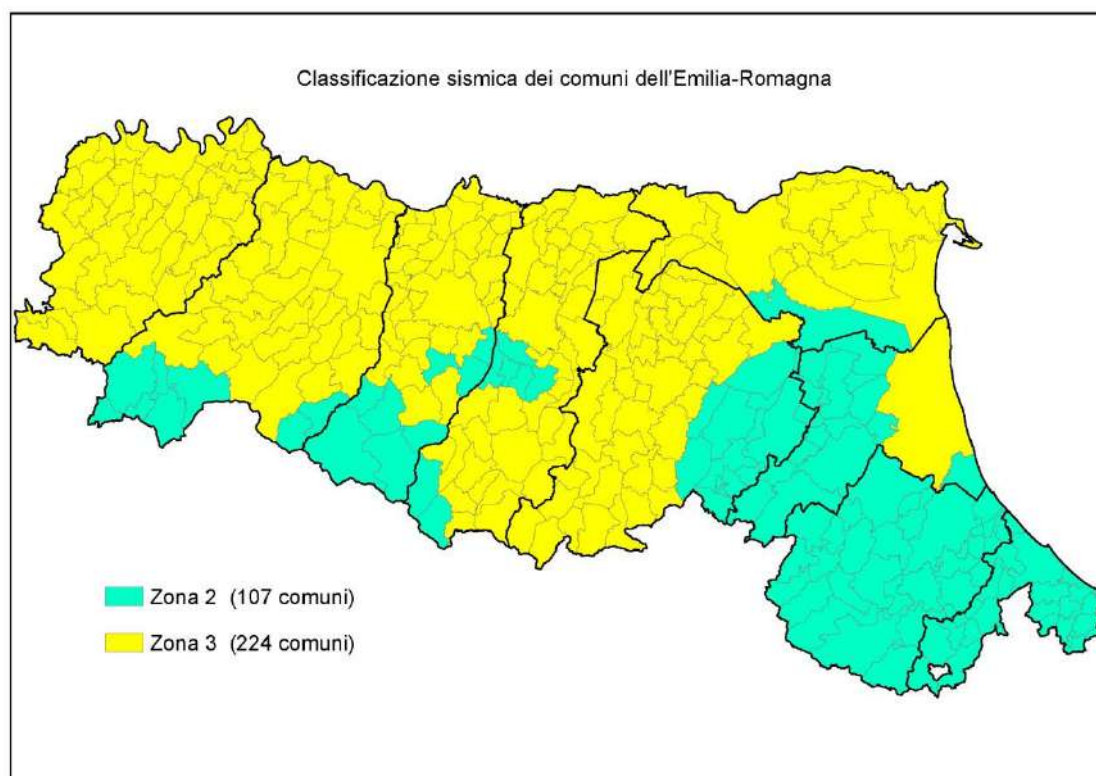
Per misurare le velocità delle onde di taglio si possono eseguire prospezioni sismiche mediante stendimenti superficiali, utilizzando geofoni verticali da 4,5 Hz ed acquisendo attivamente i segnali delle onde rifratte alla superficie mediante una sorgente artificialmente provocata. Questa tecnica, nota 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 (Vs). 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 Vs/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.



## 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 dei comuni della Regione Emilia-Romagna (DGR 1164/18).**

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 ▾

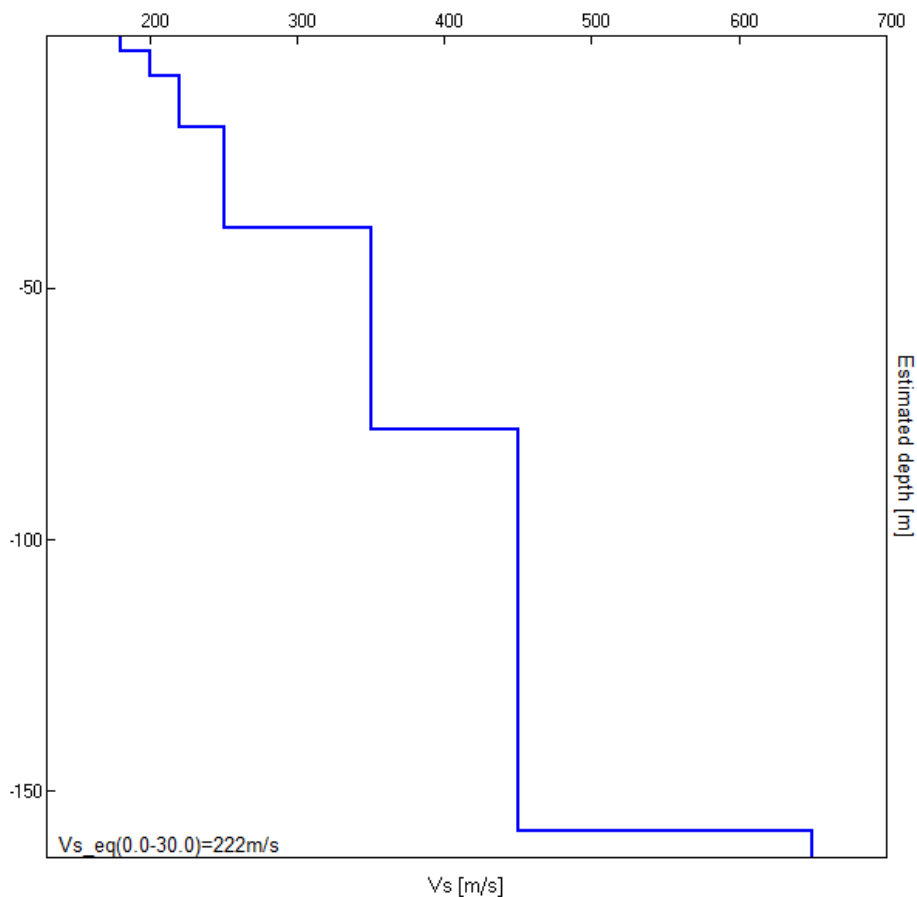
**CU = 1**

Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	Fo	$T_c^*$ [s]
Operatività (SLO)	30	0.043	2.511	0.250
Danno (SLD)	50	0.054	2.508	0.266
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.154	2.585	0.270
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.207	2.526	0.278
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

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

## 4.2 Categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 NTC2018)

Si illustrano successivamente i risultati ottenuti dall'interpretazione delle indagini eseguite in sito (Fig. 4.2) – (Tab.4.2).



**Fig.4.2 – Sintesi del modello di velocità ottenuto dall'elaborazione congiunta delle indagini sismiche HVSR-MASW.**

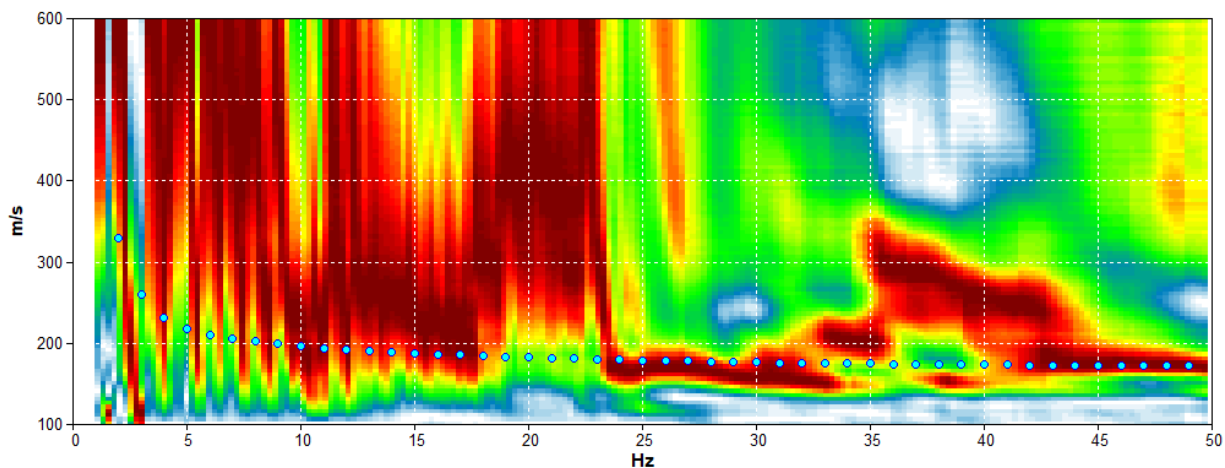
Il modello di velocità ricavato è il seguente:

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
3.00	3.00	180	0.45
8.00	5.00	200	0.45
18.00	10.00	220	0.44
38.00	20.00	250	0.44
78.00	40.00	350	0.43
158.00	80.00	450	0.43
inf.	inf.	650	0.42

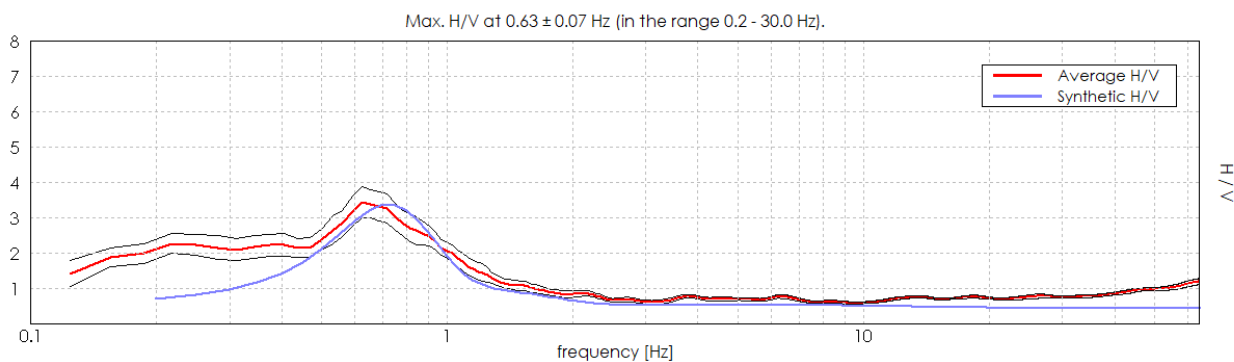
**Tab.4.2 – Modello geofisico ottenuto dall'elaborazione congiunta delle indagini sismiche HVSR-MASW.**



Sulla scorta della velocità derivate dall'elaborazione congiunta delle indagini sismiche MASW e HVSR appena illustrate e in riferimento a quanto illustrato nel paragrafo 3.2.2 delle NTC 2018 è possibile definire come le indagini riconducano il terreno a una categoria di **sottosuolo C** (Fig. 4.3). **Dall'analisi della curva HVSR è emersa una frequenza fondamentale di sito pari a 0.63 Hz** (Fig. 4.4).



**Fig.4.3 - Curva di dispersione MASW.**



**Fig.4.4 - Curva HVSR che identifica un picco a 0.63 Hz.**

### 4.3 Azione sismica e risposta sismica del sito – Risposta sismica locale al terzo livello di approfondimento

Per ottemperare ai riferimenti normativi citati l'analisi è stata svolta secondo quanto indicato nella DGR 476/21, 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  $\gamma$  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  $\gamma$ . 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 ( $t$ ):

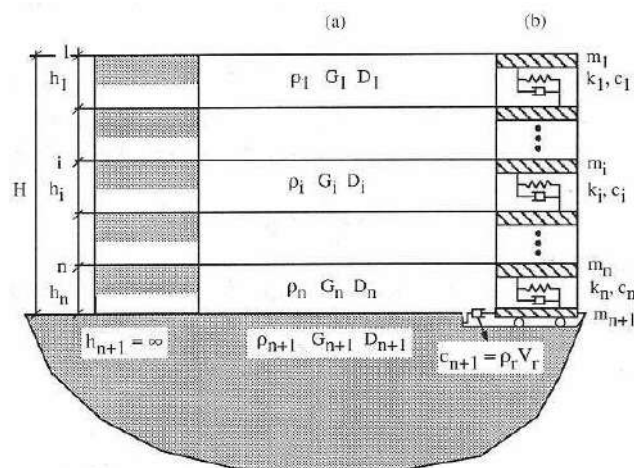
$$u(z, t) = A \exp [i (\omega t + k^* z)] + B \exp [i (\omega t - k^* z)]$$

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 ( $\rho$ ). Le relazioni sono le seguenti:

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

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

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 dalle prove geofisiche che compongono 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.

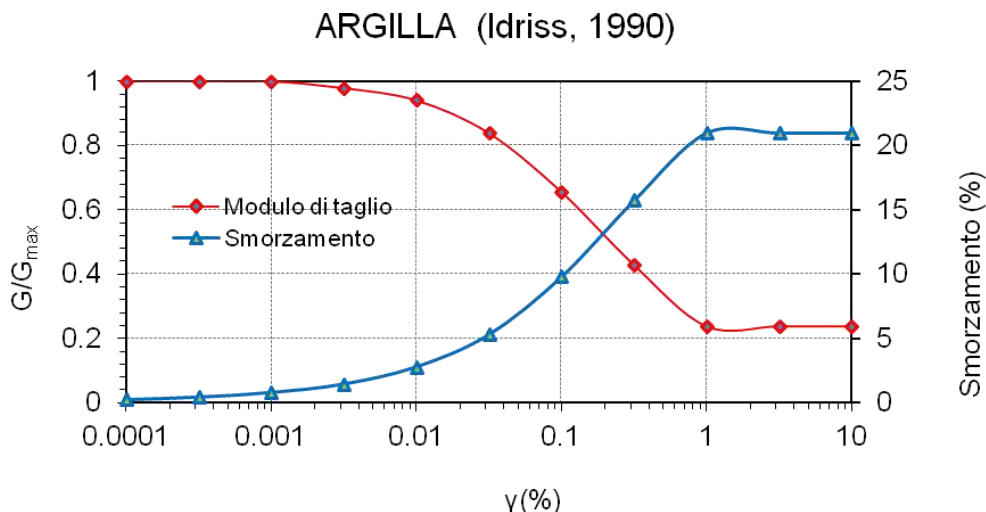
Il profilo sismico del sottosuolo utilizzato per la modellazione della RSL deriva dall'elaborazione congiunta delle indagini HVSR e MASW eseguite in sito, integrate con dati di bibliografia. Si illustra successivamente il modello utilizzato:

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
3.00	3.00	180	0.45
8.00	5.00	200	0.45
18.00	10.00	220	0.44
38.00	20.00	250	0.44
78.00	40.00	350	0.43
158.00	80.00	450	0.43
inf.	inf.	650	0.42

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

Per descrivere il comportamento dinamico dei terreni costituenti il modello sono state considerate curve di decadimento dei moduli di rigidezza 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:





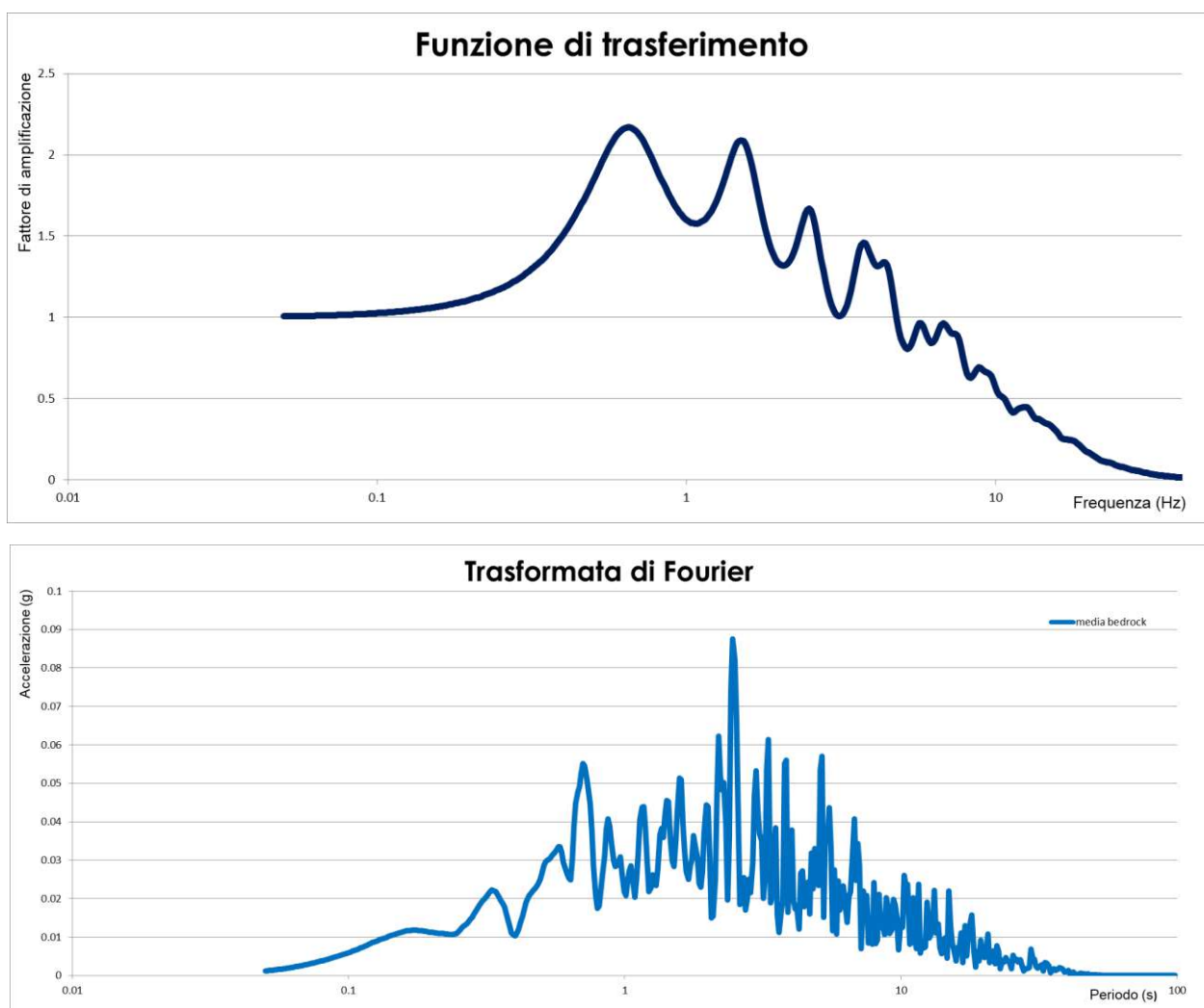
**Fig.4.3 - Curva di decadimento dei moduli  $G/G_{max}$  e smorzamento  $D$ , utilizzati per descrivere il comportamento dei materiali coesivi che compongono il sottosuolo in oggetto.**

In accordo con quanto esposto nella D.G.R. 476/21, l'analisi RSL in oggetto è stata svolta adottando come input sismico 7 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.

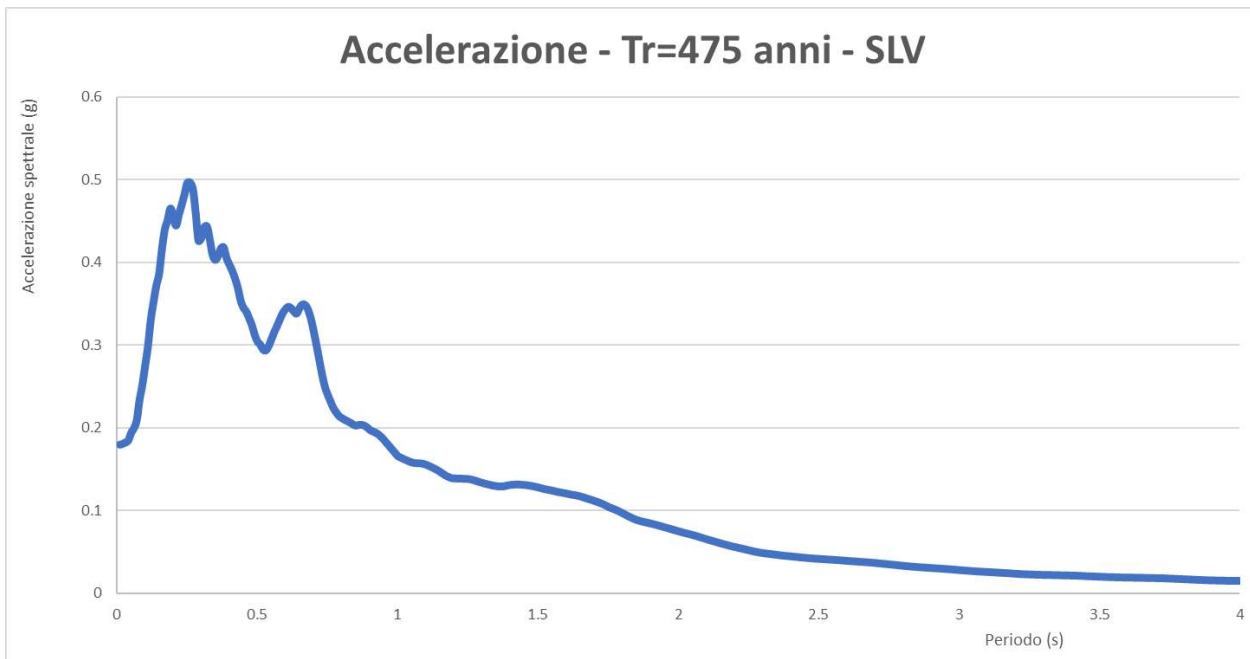
Per il sito in oggetto tale valore è pari a **0.154g** considerando un valore di  **$C_u = 1.00$**  (Classe d'uso II) e  **$V_n = 50$  anni** per ottenere un tempo di ritorno pari a 475 anni.

### RISULTATI OTTENUTI

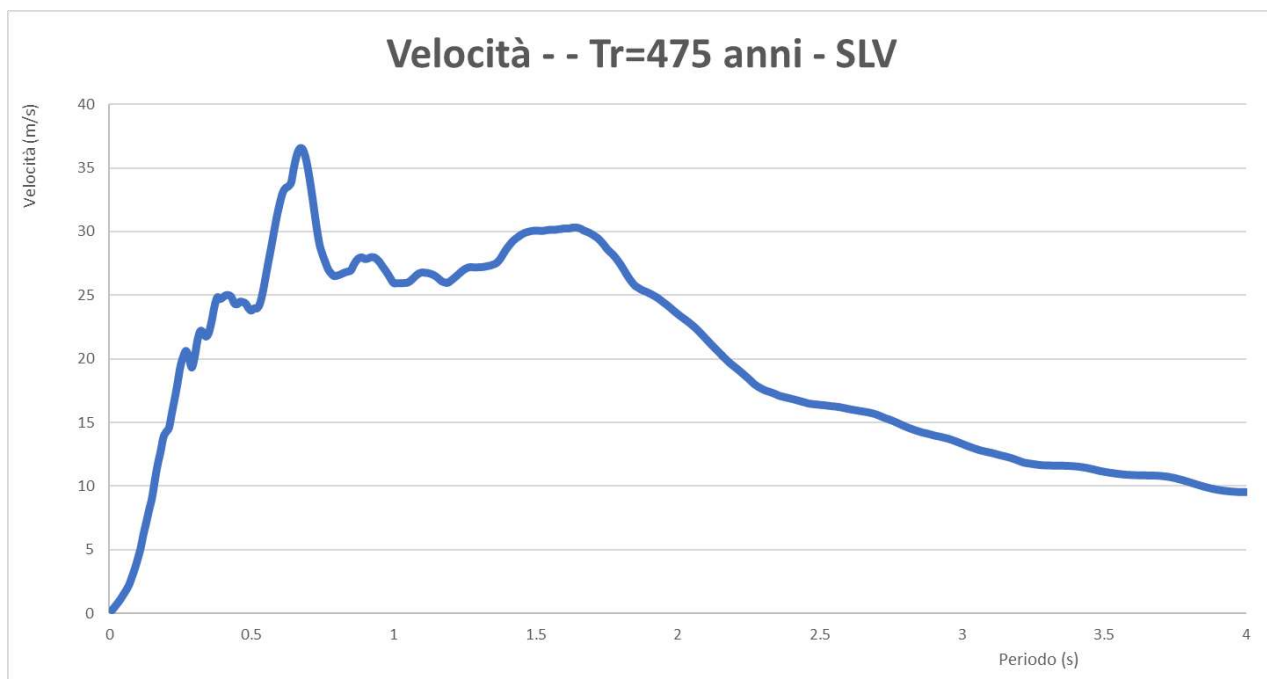
Sulla scorta delle verifiche svolte mediante software STRATA, in riferimento al modello considerato, è stato possibile definire, nel dominio delle frequenze, la funzione TF (Funzione di trasferimento) e rapporto spettrale di amplificazione associato. Per via grafica si inserisce successivamente la funzione 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 e funzione FFT.**



**Fig.4.5 - Spettro accelerazione RSL terzo livello di approfondimento**



**Fig.4.6 - Spettro velocità RSL terzo livello di approfondimento**



**SPETTRO DI RSL – SLV – 475 anni**

T [s]	Ag				
0.00	0.19558	0.5	0.300993	1.01	0.162849
0.01	0.195929	0.51	0.29519	1.02	0.161291
0.02	0.19768	0.52	0.293977	1.03	0.159851
0.03	0.199108	0.53	0.299123	1.04	0.158552
0.04	0.199117	0.54	0.307548	1.05	0.157879
0.05	0.199743	0.55	0.316187	1.06	0.157606
0.06	0.209459	0.56	0.323489	1.07	0.157488
0.07	0.233634	0.57	0.331535	1.08	0.156971
0.08	0.252	0.58	0.339005	1.09	0.155947
0.09	0.275214	0.59	0.34377	1.1	0.154433
0.1	0.298847	0.6	0.346698	1.11	0.15292
0.11	0.331041	0.61	0.345063	1.12	0.151253
0.12	0.352606	0.62	0.340919	1.13	0.149451
0.13	0.372647	0.63	0.338686	1.14	0.147382
0.14	0.386897	0.64	0.345181	1.15	0.145099
0.15	0.416611	0.65	0.349424	1.16	0.142791
0.16	0.440052	0.66	0.348947	1.17	0.141163
0.17	0.45123	0.67	0.343566	1.18	0.139715
0.18	0.465566	0.68	0.332887	1.19	0.139325
0.19	0.456775	0.69	0.318217	1.2	0.139105
0.2	0.44486	0.7	0.301111	1.21	0.138961
0.21	0.457605	0.71	0.283095	1.22	0.138888
0.22	0.469781	0.72	0.265463	1.23	0.138777
0.23	0.482126	0.73	0.250593	1.24	0.138518
0.24	0.496437	0.74	0.240896	1.25	0.138007
0.25	0.496972	0.75	0.232616	1.26	0.137193
0.26	0.4893	0.76	0.224824	1.27	0.136054
0.27	0.460647	0.77	0.219465	1.28	0.134985
0.28	0.426667	0.78	0.214914	1.29	0.133966
0.29	0.429555	0.79	0.212372	1.3	0.132996
0.3	0.442515	0.8	0.210296	1.31	0.132115
0.31	0.443961	0.81	0.208541	1.32	0.131363
0.32	0.428804	0.82	0.206752	1.33	0.130574
0.33	0.409645	0.83	0.204768	1.34	0.130004
0.34	0.403376	0.84	0.203037	1.35	0.129449
0.35	0.408168	0.85	0.20381	1.36	0.129443
0.36	0.41719	0.86	0.204149	1.37	0.129899
0.37	0.418479	0.87	0.203251	1.38	0.13071
0.38	0.405563	0.88	0.201195	1.39	0.131303
0.39	0.397758	0.89	0.198105	1.4	0.131698
0.4	0.390361	0.9	0.196215	1.41	0.131877
0.41	0.381362	0.91	0.194746	1.42	0.131841
0.42	0.370065	0.92	0.192675	1.43	0.131612
0.43	0.354552	0.93	0.189812	1.44	0.13142
0.44	0.345768	0.94	0.186265	1.45	0.131048
0.45	0.340974	0.95	0.182146	1.46	0.130516
0.46	0.333214	0.96	0.178289	1.47	0.129878
0.47	0.324788	0.97	0.174298	1.48	0.129178
0.48	0.313353	0.98	0.170162	1.49	0.128404
0.49	0.304833	0.99	0.166261	1.5	0.12753
		1	0.164492	1.51	0.126579
				1.52	0.125839
				1.53	0.125195
				1.54	0.124496
				1.55	0.123717
				1.56	0.122932
				1.57	0.122308
				1.58	0.121628
				1.59	0.121021
				1.6	0.120309
				1.61	0.119565
				1.62	0.119091
				1.63	0.118398
				1.64	0.117559
				1.65	0.11653
				1.66	0.115334
				1.67	0.114317
				1.68	0.113271
				1.69	0.112103
				1.7	0.11092
				1.71	0.109655
				1.72	0.108217
				1.73	0.106622
				1.74	0.104933
				1.75	0.103488
				1.76	0.102155
				1.77	0.100693
				1.78	0.099099
				1.79	0.097391
				1.8	0.095596
				1.81	0.093761
				1.82	0.092047
				1.83	0.090485
				1.84	0.08911
				1.85	0.088158
				1.86	0.087192
				1.87	0.086354
				1.88	0.085592
				1.89	0.084795
				1.9	0.083967
				1.91	0.083109
				1.92	0.082215
				1.93	0.081266
				1.94	0.080253
				1.95	0.079308
				1.96	0.078318
				1.97	0.077306
				1.98	0.076301
				1.99	0.07533
				2	0.074408

Come descritto nell'all. 2 della DGR 476/2021, 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  $\zeta$  è lo smorzamento; sono stati considerati quattro intervalli di periodo proprio T ottenendo quattro valori di intensità spettrale:

	<b>T<sub>1</sub></b>	<b>T<sub>2</sub></b>
<b>SA1</b>	0,1 s	0,5 s
<b>SA2</b>	0,4 s	0,8 s
<b>SA3</b>	0,7 s	1,1 s
<b>SA4*</b>	0,5 s	1,5 s

- intensità spettrale SI

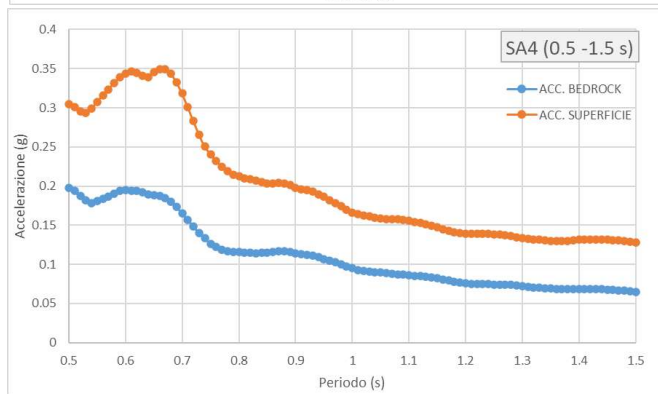
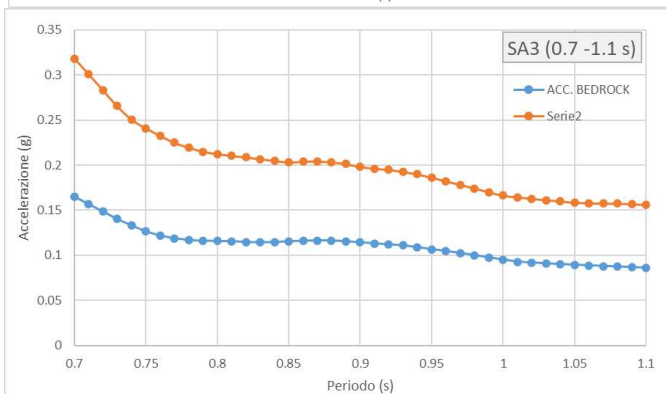
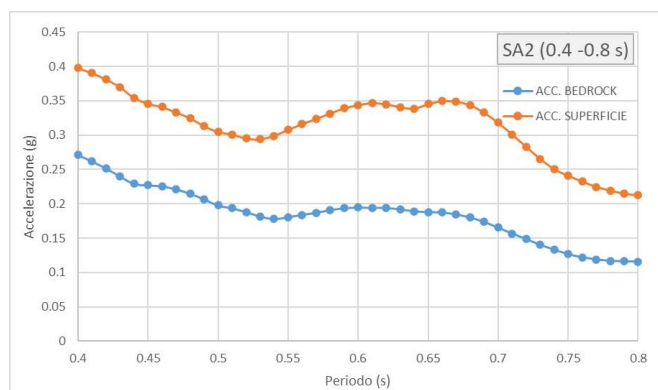
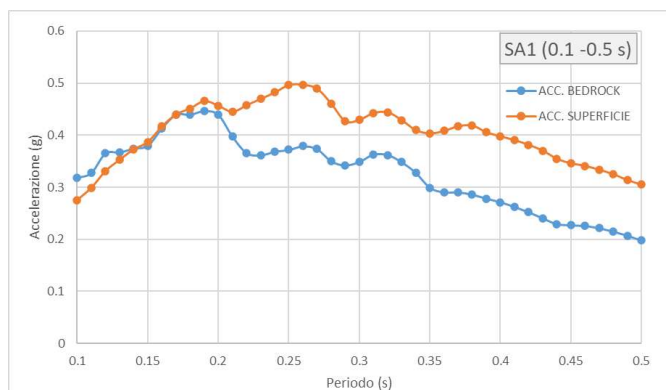
$$SI = \int_{T_1}^{T_2} V(T, \zeta) dT$$

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

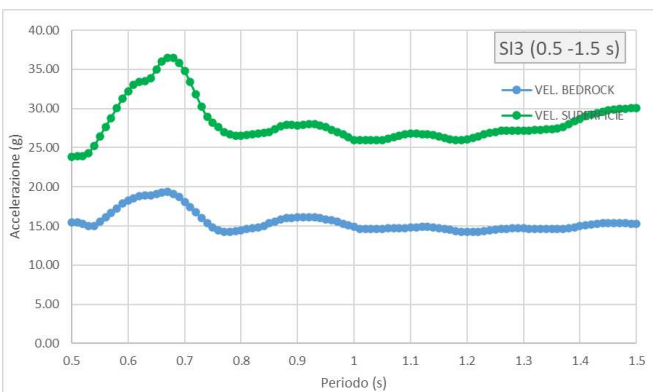
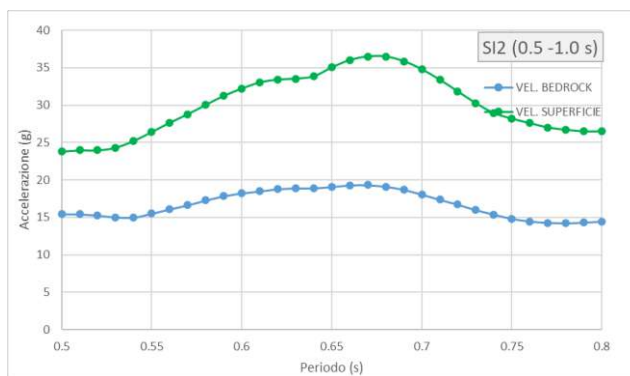
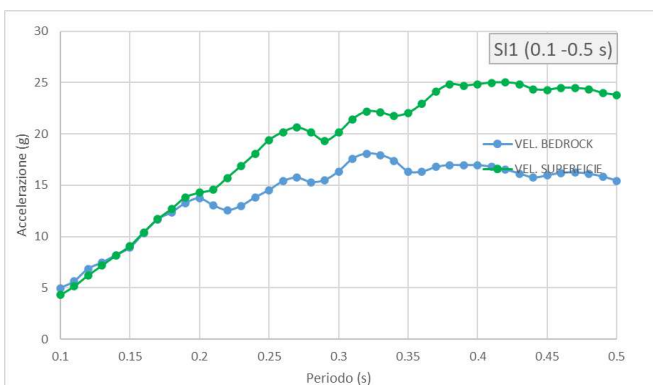
	<b>T<sub>1</sub></b>	<b>T<sub>2</sub></b>
<b>SI1</b>	0,1 s	0,5 s
<b>SI2</b>	0,5 s	1,0 s
<b>SI3*</b>	0,5 s	1,5 s

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	$0.1s \leq T \leq 0.5s$	1.27
Fattore di Amplificazione SA2	$0.4s \leq T \leq 0.8s$	1.73
Fattore di Amplificazione SA3	$0.7s \leq T \leq 1.1s$	1.80
Fattore di Amplificazione SA4	$0.5s \leq T \leq 1.5s$	1.82

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

Fattore di amplificazione	Periodo T (s)	FA
Fattore di Amplificazione SI1	$0.1s \leq T \leq 0.5s$	1.27
Fattore di Amplificazione SI2	$0.5s \leq T \leq 1.0s$	1.81
Fattore di Amplificazione SI3	$0.5s \leq T \leq 1.5s$	1.82

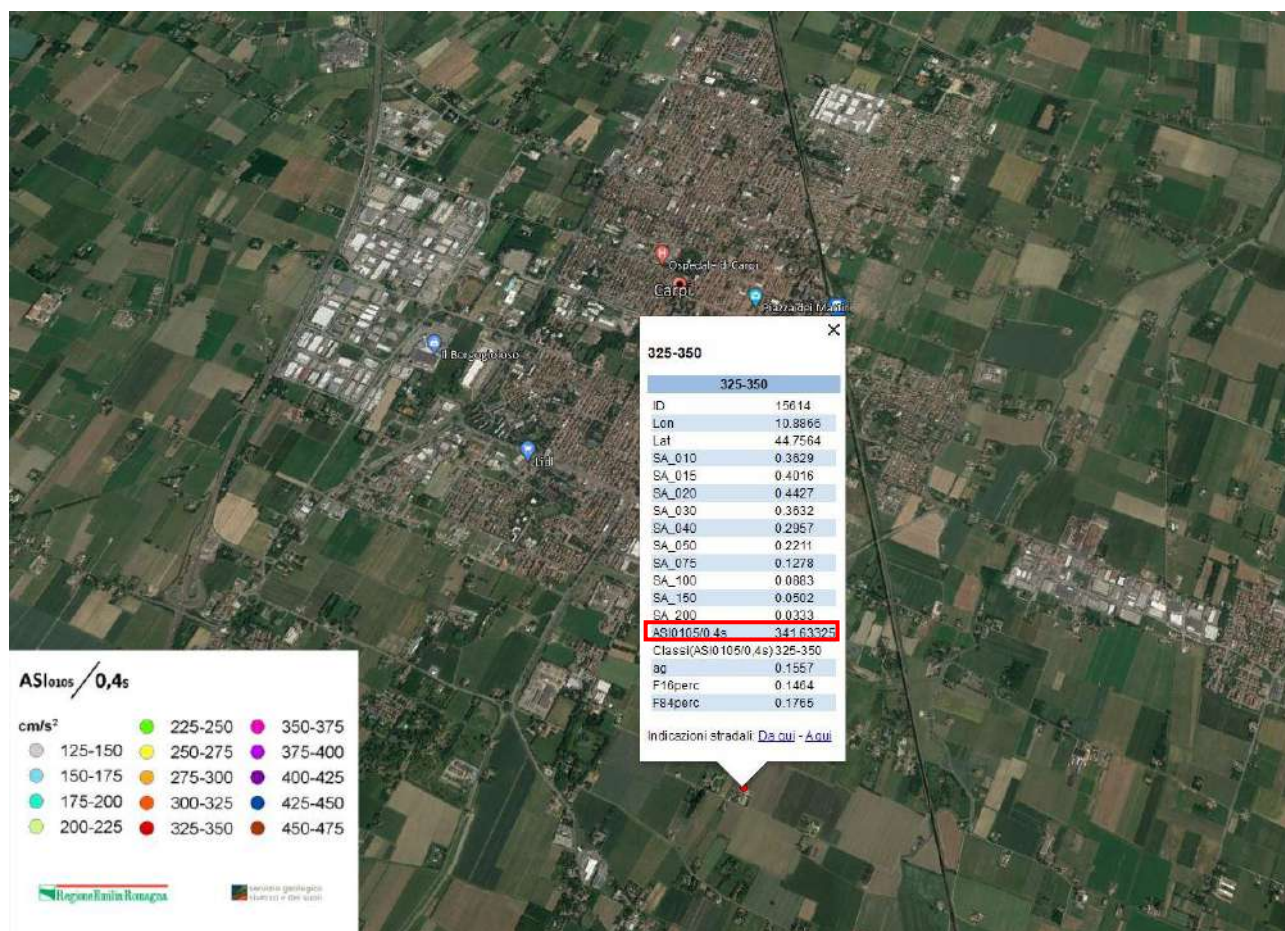
**Tab.4.5 – Fattori di amplificazione SI1 –SI2 –SI3.**

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  $ASI_{HS}/\Delta T$  pari a **341**.



**Fig.4.7 – Valori di ASI<sub>UHS</sub>/ΔT per l'area in studio - griglia INGV.**

Di seguito si riportano i valori di  $H_{SM}$  e  $H_{0.408}$ ,  $H_{0.711}$ ,  $H_{0.515}$  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)
$H_{SM} = 434$	$0,1 s \leq T \leq 0,5s$
$H_{0.408} = 589$	$0,4 s \leq T \leq 0,8s$
$H_{0.711} = 613$	$0,7 s \leq T \leq 1,1s$
$H_{0.515} = 619$	$0,5 s \leq T \leq 1,5s$

**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  $PGA_{max} = A_{max} = 0.195g$  (per  $T=0$  s).

#### 4.4 Stabilità nei confronti della liquefazione (§ A2.2. DGR 476/2021)

In accordo con la normativa regionale DGR 476/21 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<sub>σ</sub>** 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:

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

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 476/2021 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  $A_{max} = 0.180g$  (Risposta sismica locale al terzo livello di approfondimento).

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)

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

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	Nulla
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, considerando un'accelerazione massima al suolo approssimata a  $A_{max} = 0.2g$  (calcolata secondo RSL – terzo livello di approfondimento), la soggiacenza **della falda freatica è stata ipotizzata in condizioni sismiche alla profondità  $D_w = -1.00$  m** e una magnitudo di riferimento pari a  $M = 6.14$ .

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

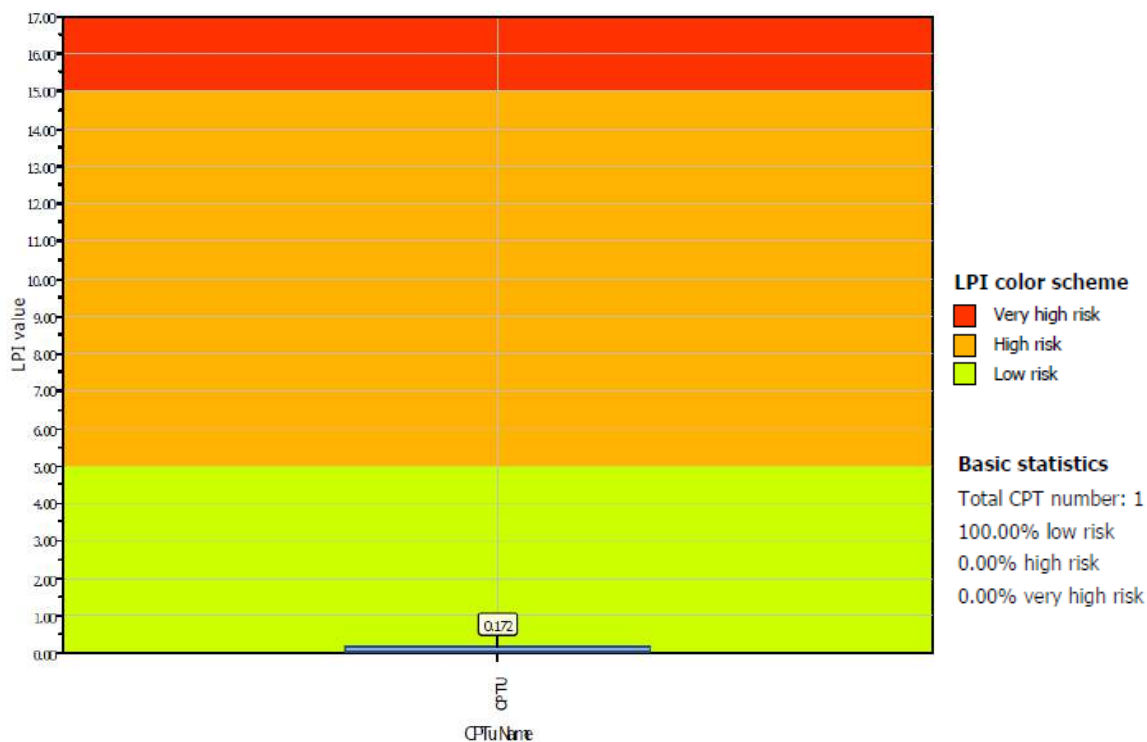
INDAGINE	INDICE DI LIQUEFAZIONE	RISCHIO
CPTU	0.172	BASSO



Project title : STUDIO TECNICO

Location : CARPI - AREA EX SILAN - VIA TIZIANO VECELLIO

**Overall Liquefaction Potential Index report**



**Fig.4.8 – Indice di liquefazione dalla prova CPTU.**

## 4.5 Stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica (§ B. DGR 476/2021)

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:

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

$\varepsilon_{vi}$  = deformazione volumetrica;

$\Delta z_i$  = 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.

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

CPTU	Dry Seattle (cm)	Liq Seattle (cm)
CPTU	0	1.03

## 5 MODELLAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA DEL SITO

### 5.1 Modello geotecnico del sottosuolo

Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione geotecnica e litostratigrafica delle indagini geotecniche eseguite in sito, si può riassumere il seguente modello geotecnico schematico del terreno investigato:

#### Parametri di resistenza e deformabilità:

Modello geotecnico medio										
	Profondità	Deposito	$\gamma_{NAT} / \gamma_{SAT}$	$c'$	$C_u$	$D_r$	$\phi^I$	$E_s$	$M$	$D_w$
A	0.0 - 1.6	Argilla limosa sovraconsolidata	18.5/21.5	8.0	80.0	/	25	11200	6000	
B	1.6 - 7.3	Argilla limosa a scarsa consistenza	18.0/21.0	3.5	35.0	/	21	4900	3000	-2.5
C	7.3 - 9.9	Argilla limosa a media consistenza	18.0/21.0	6.0	60.0	/	23	8400	4000	
D	9.9 - 17.3	Argilla limosa a media elevata consistenza	18.0/21.0	7.0	70.0	/	24	9800	5000	
E	17.3 - 19.0	Argilla limosa a media scarsa consistenza	18.0/21.0	4.5	45.0	/	22	6300	3500	
F	19.0 - 21.0	Argilla limosa a elevata consistenza	18.5/21.5	8.0	80.0	/	25	11200	6000	
		Descrizione litologica	Peso di volume naturale e saturo	Coesione efficace	Coesione non drenata	Densità relativa	Angolo d'attrito efficace di picco	Modulo di Young	Modulo edometrico	Soggiacenza
	M da p.c.		(kN/m <sup>3</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(%)	(°)	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(m da p.c.)

La quota zero del presente modello corrisponde al piano campagna, dove sono state eseguite le prove penetrometriche.

## 6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Nei mesi di maggio e giugno 2022 è stato eseguito il presente elaborato al fine di verificare le condizioni di edificabilità e di pericolosità sismica dell'area.

La caratterizzazione sismica del sito è stata condotta sulla base di indagini geofisiche di tipo MASW e HVSR eseguite 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  $V_{s30} = 222 \text{ m/s}$ . 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 eseguito uno studio di risposta sismica locale al terzo livello di approfondimento (§ 4.3). Dai risultati esposti si ottiene un valore di accelerazione massima attesa al suolo del valore  $PGA_{max}=A_{max}=0.195g$  (per  $T=0 \text{ s}$ ).

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  $A_{max} = 0.195g$  (calcolata dal terzo livello di risposta sismica locale DGR 476/2021), la soggiacenza della falda freatica è stata ipotizzata in condizioni sismiche alla profondità **Dw=-1.00 m da p.c.**, e una **magnitudo di riferimento** pari a **M=6.14**. Dall'analisi della suscettibilità nei confronti del fenomeno della liquefazione così eseguita sono ottenuti i seguenti valori di LPI (§ 4.6):

INDAGINE	INDICE DI LIQUEFAZIONE	RISCHIO
CPTU	0.172	BASSO

Sono stati inoltre calcolati i cedimenti indotti dall'azione sismica di seguito riportati (§ 4.5).

CPTU	Dry Seattle (cm)	Liq Seattle (cm)
CPTU	0	1.03

Modena, 15 giugno 2021

**Dott. Geol. Pier Luigi Dallari**

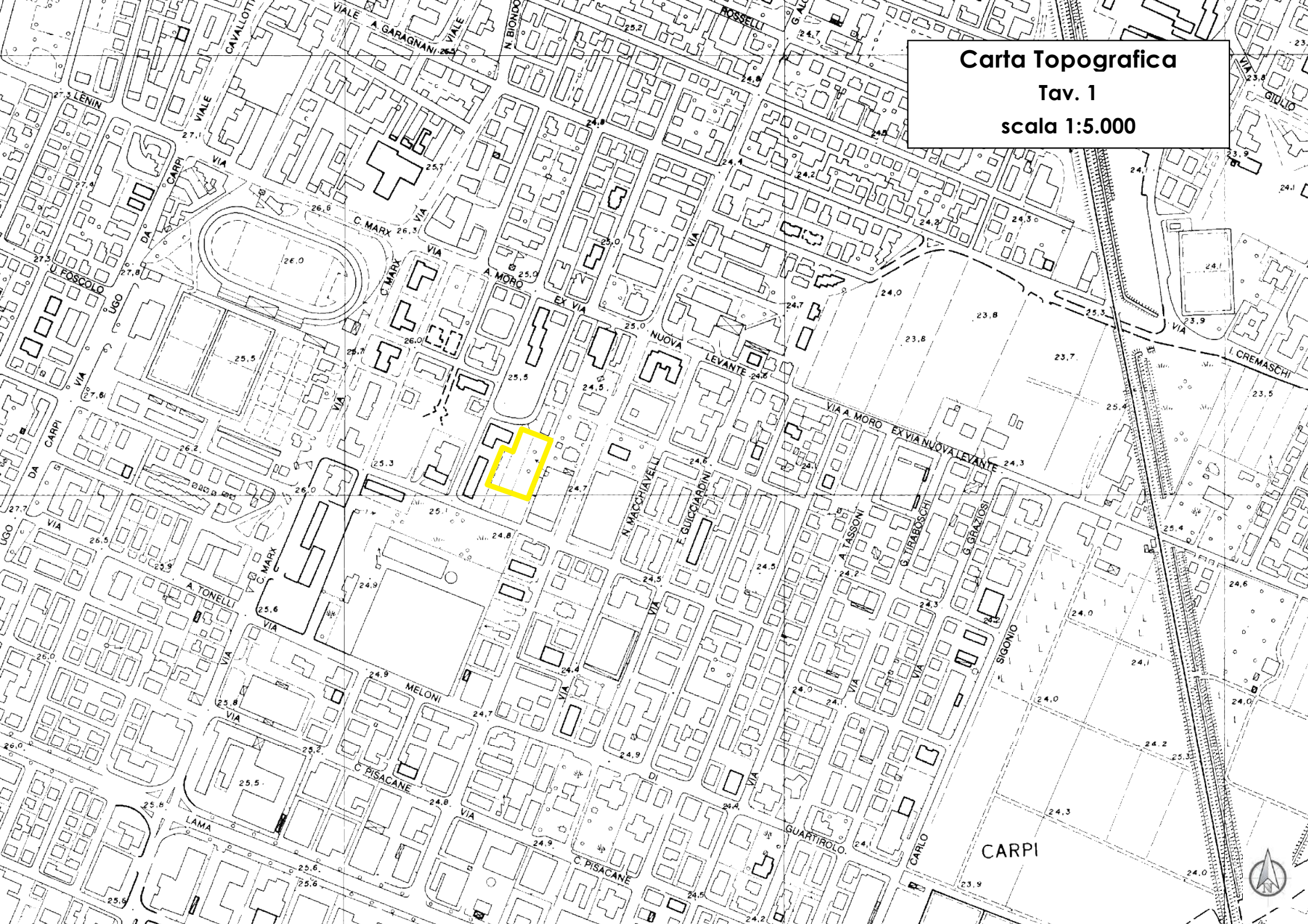


# TAVOLE

# Carta Topografica

Tav. 1

scala 1:5.000





# Ripresa Satellitare

Tav. 2

scala 1:5.000

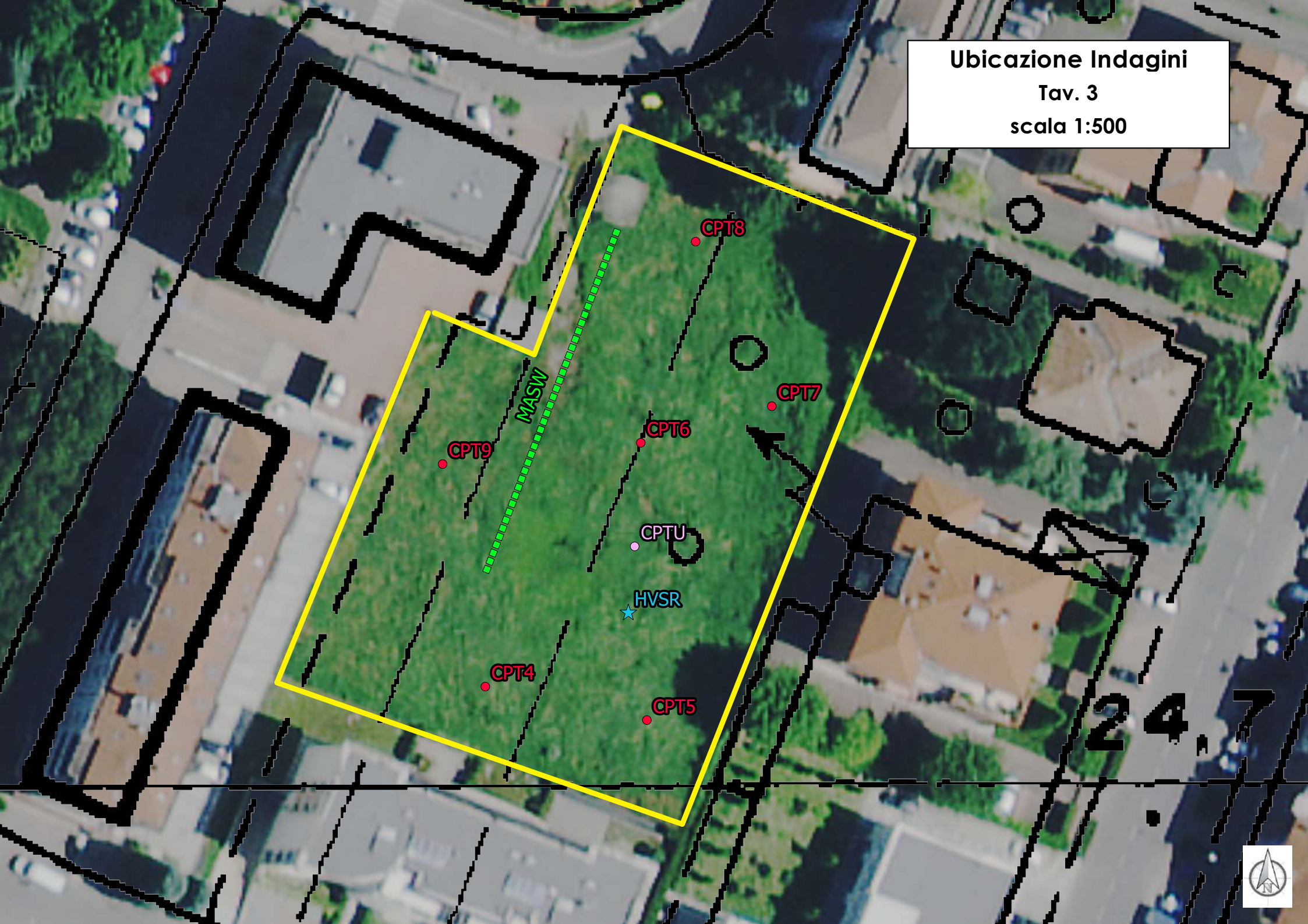




# Ubicazione Indagini

Tav. 3

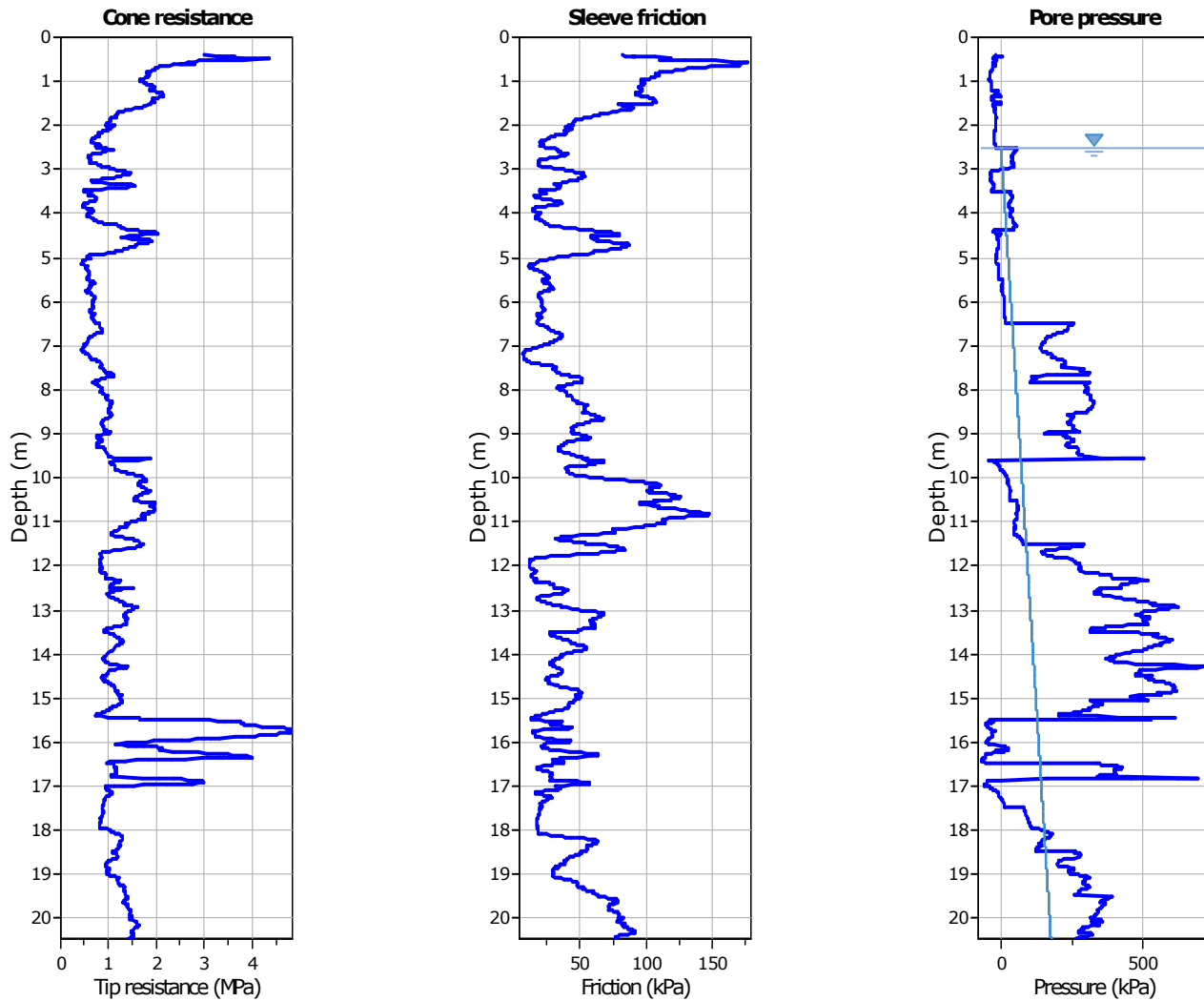
scala 1:500



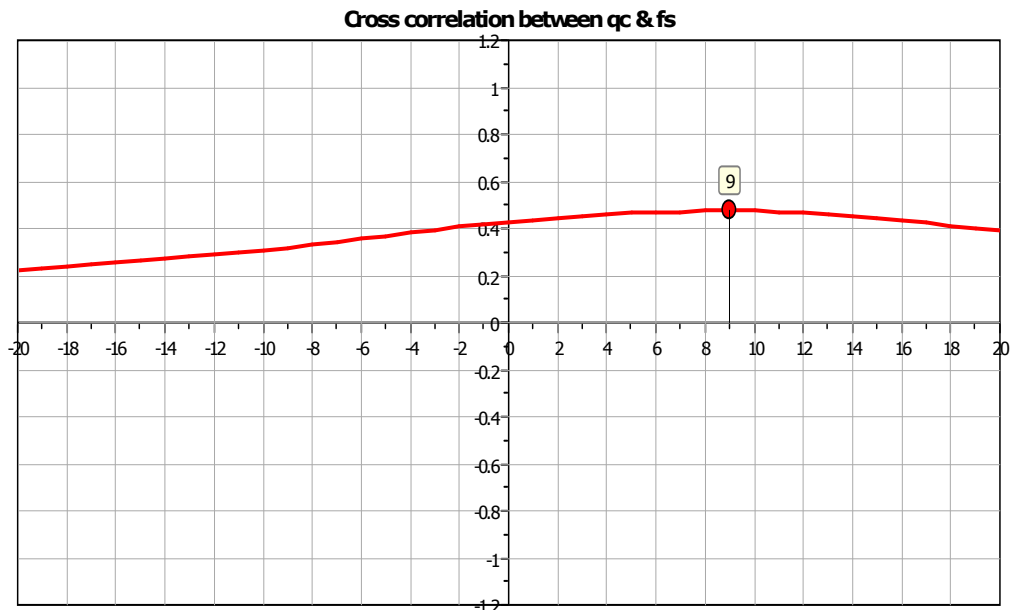


# ALLEGATO 1

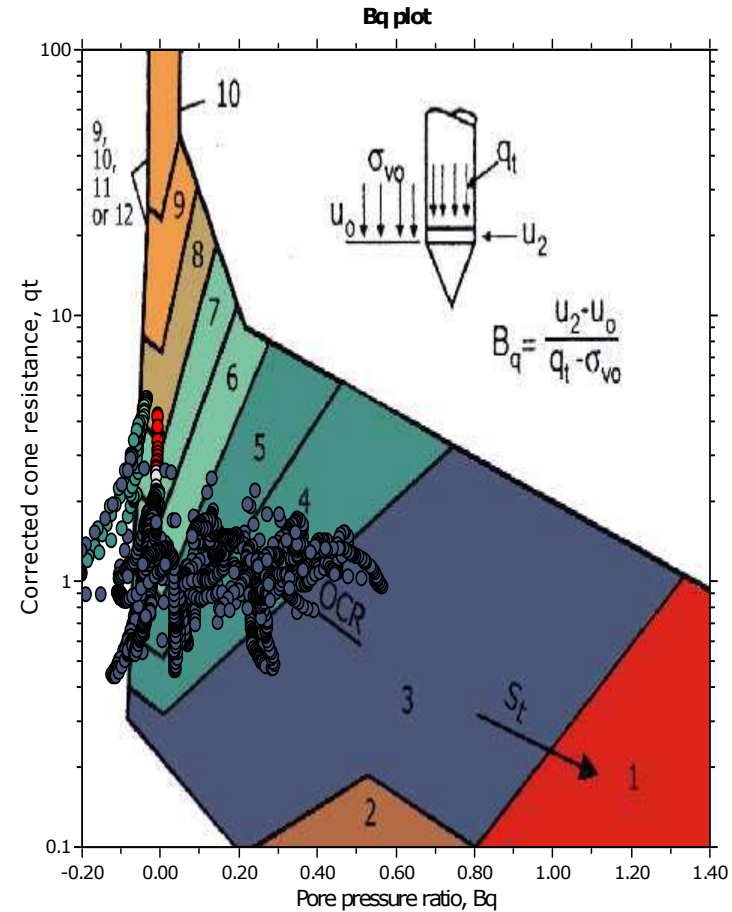
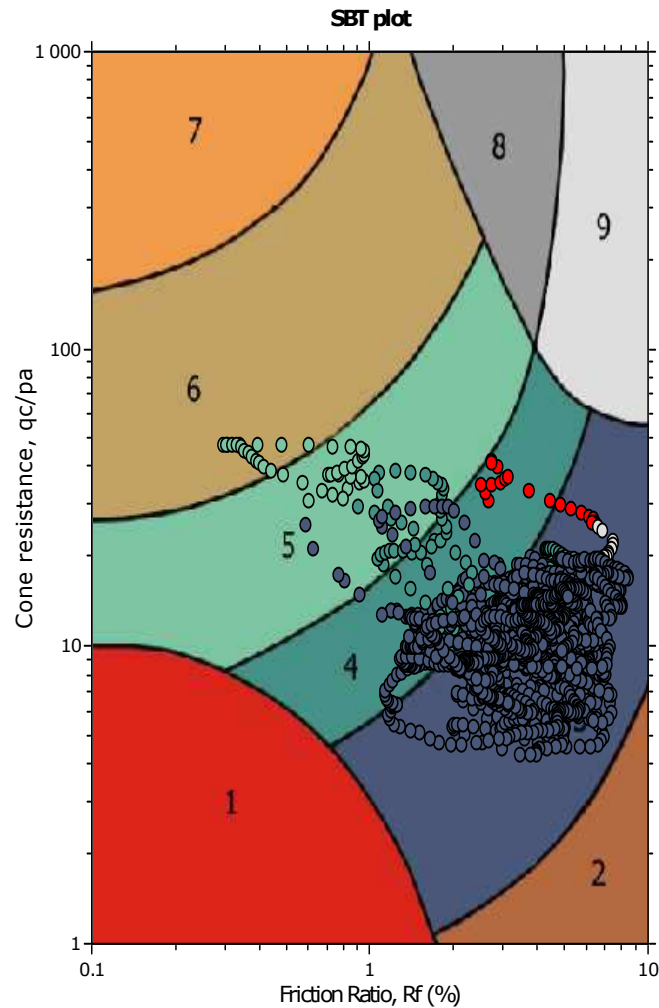
## PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPTE/U



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



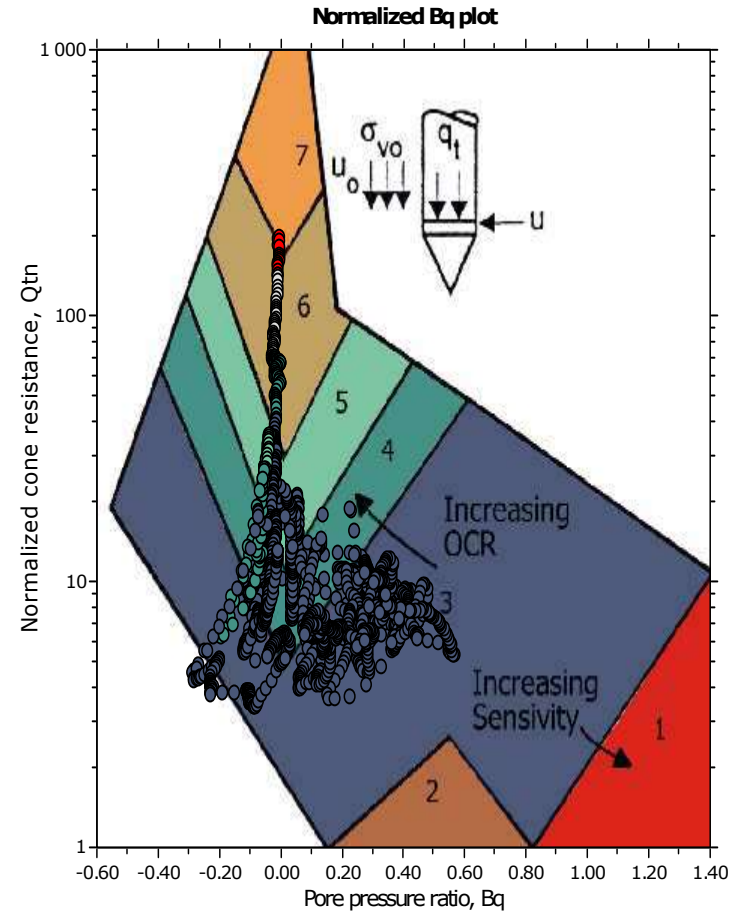
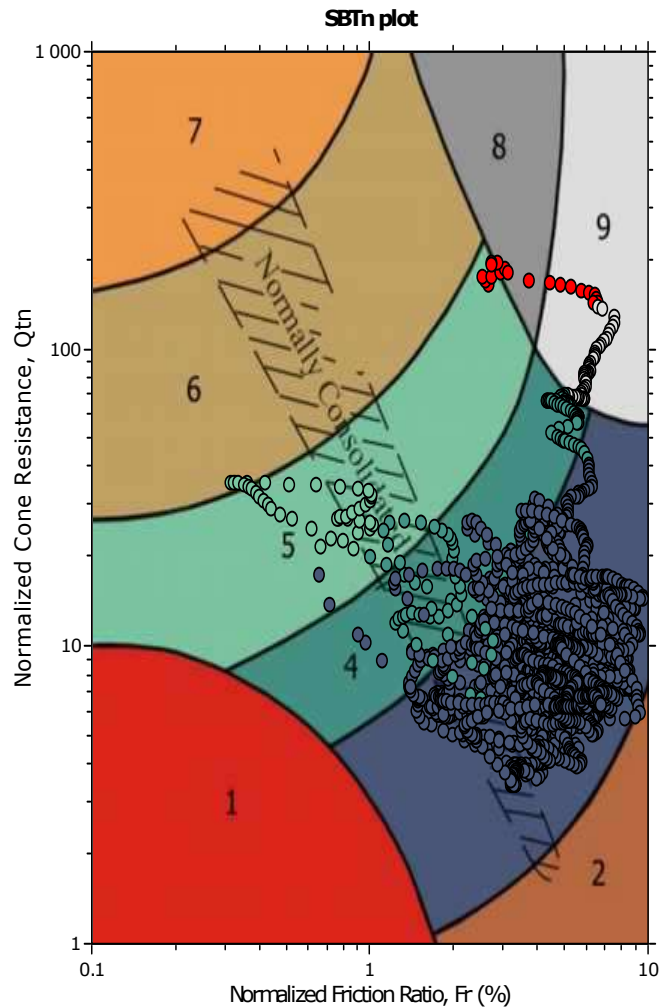
SBT - Bq plots



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        |

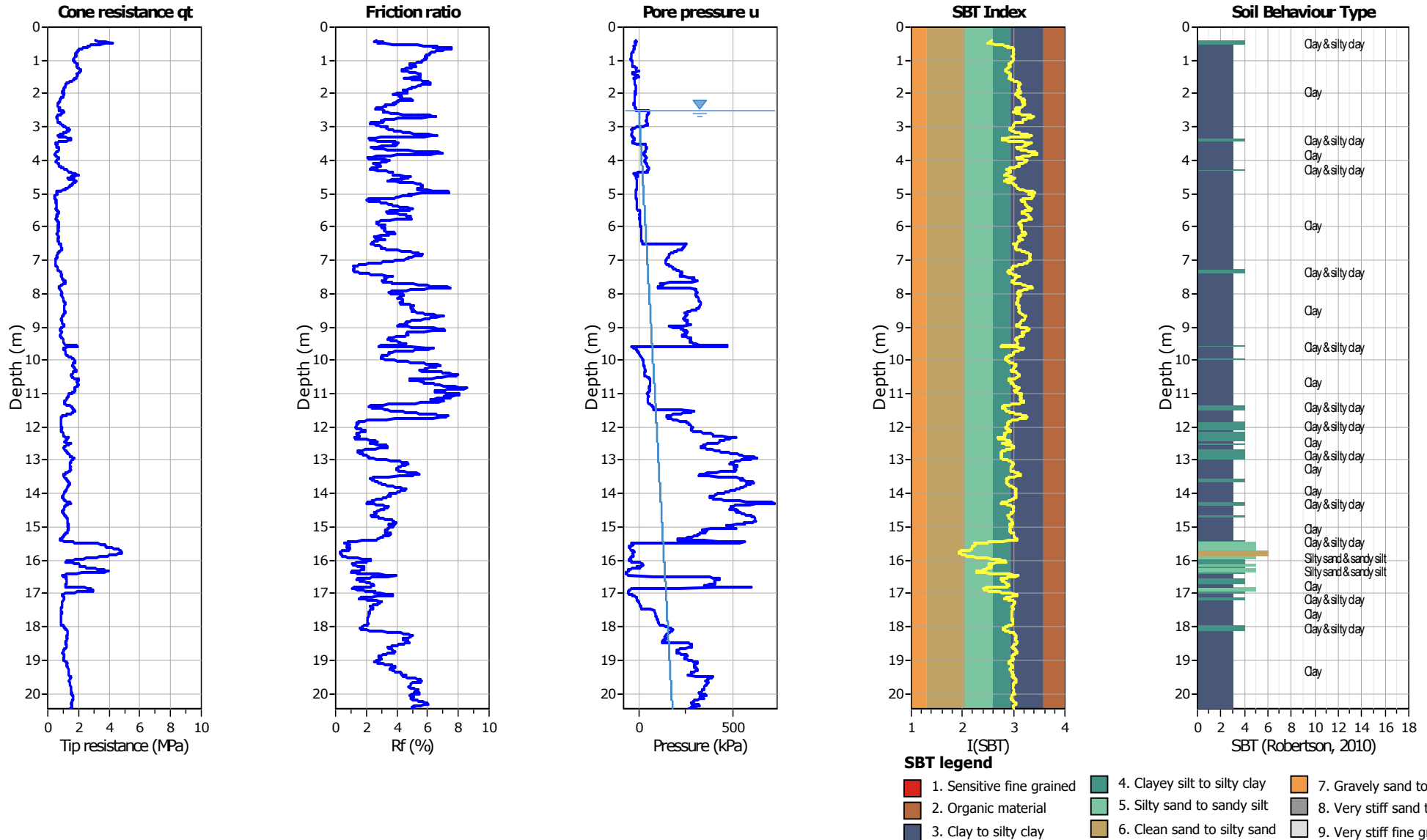
SBT - Bq plots (normalized)

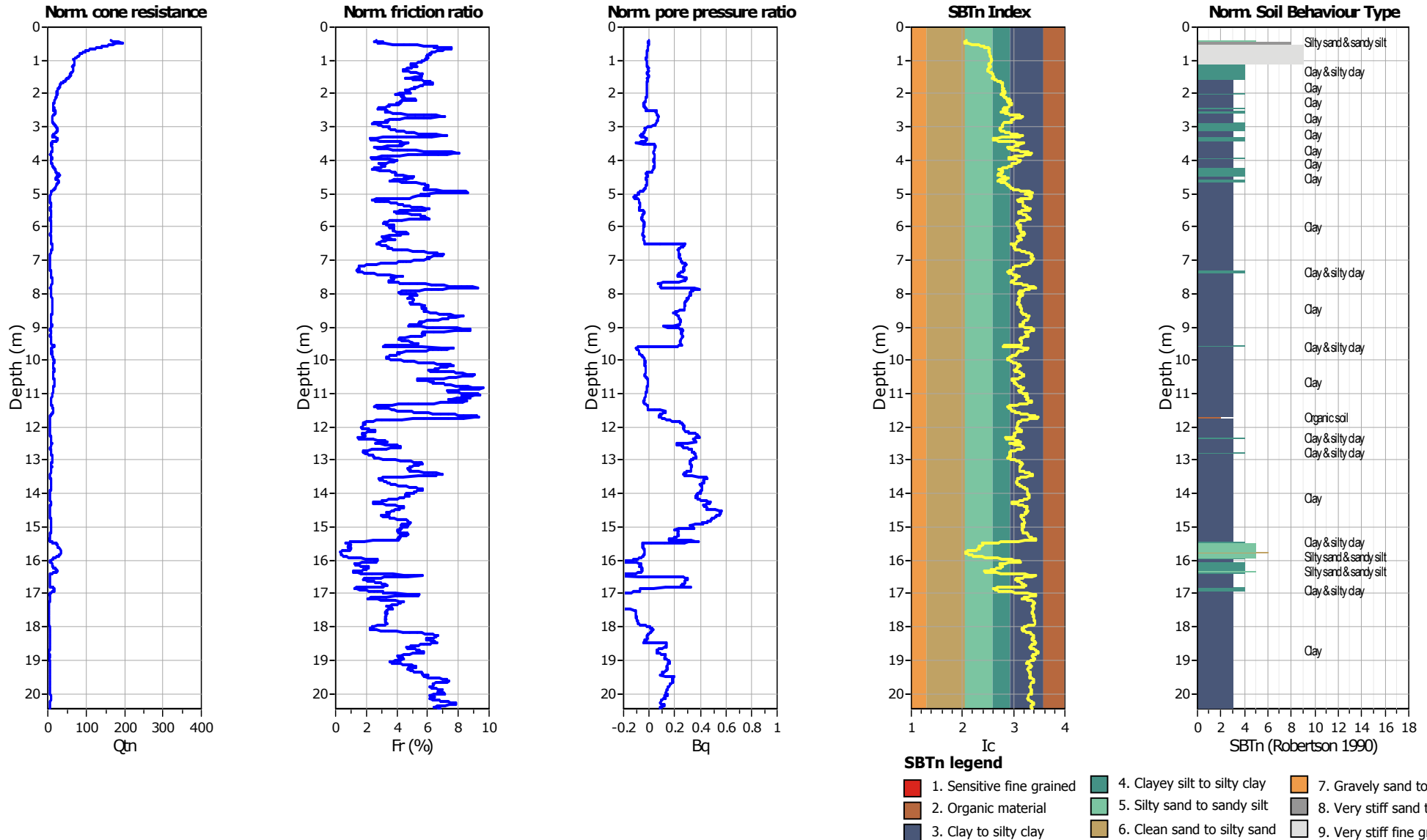


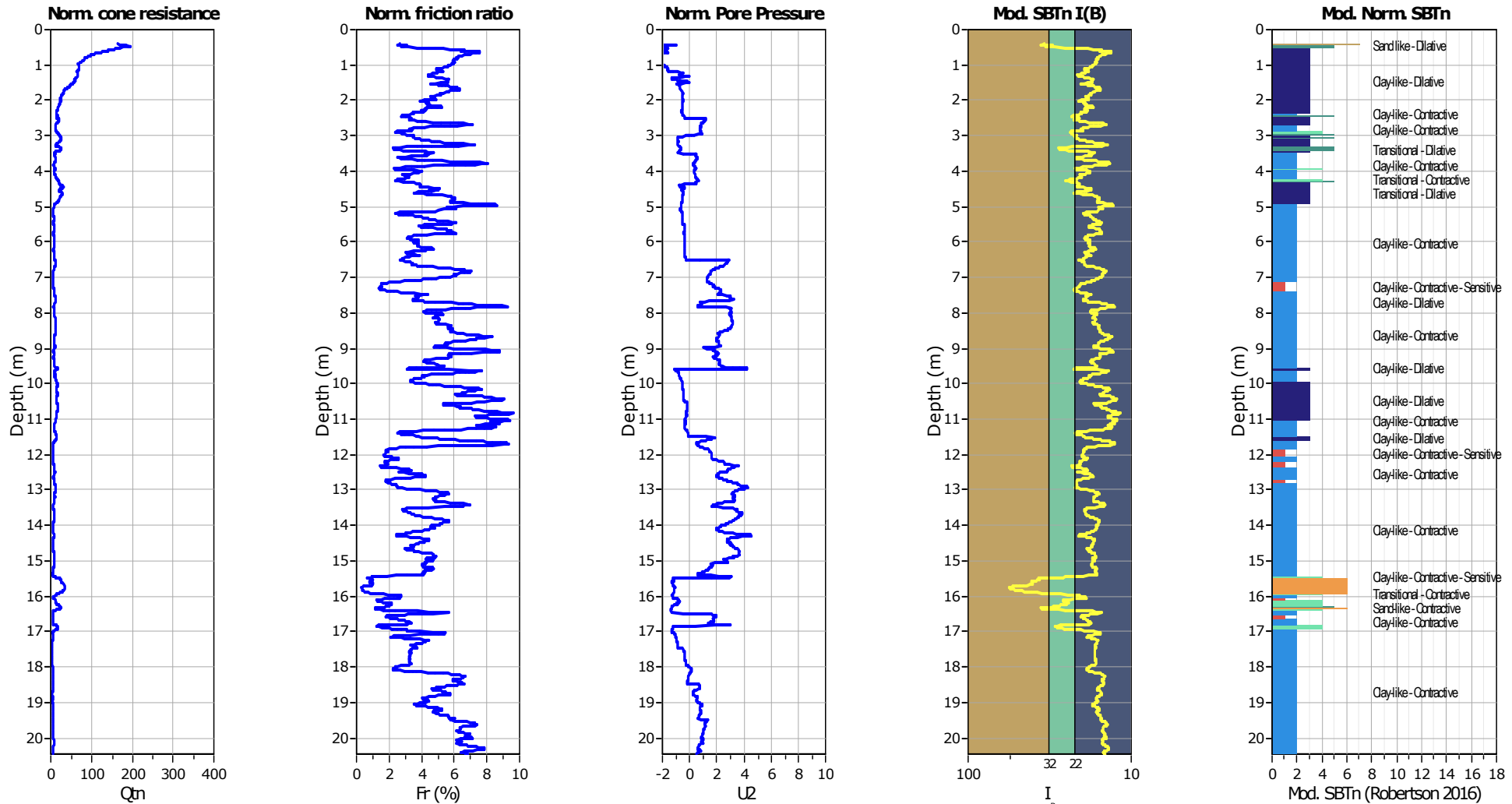
SBTn legend

- |  |   |   |
|--|---|---|
| <span style="color: red;">■</span> 1. Sensitive fine grained | <span style="color: teal;">■</span> 4. Clayey silt to silty clay      | <span style="color: orange;">■</span> 7. Gravely sand to sand         |
| <span style="color: brown;">■</span> 2. Organic material     | <span style="color: lightgreen;">■</span> 5. Silty sand to sandy silt | <span style="color: grey;">■</span> 8. Very stiff sand to clayey sand |
| <span style="color: blue;">■</span> 3. Clay to silty clay    | <span style="color: tan;">■</span> 6. Clean sand to silty sand        | <span style="color: lightgrey;">■</span> 9. Very stiff fine grained   |





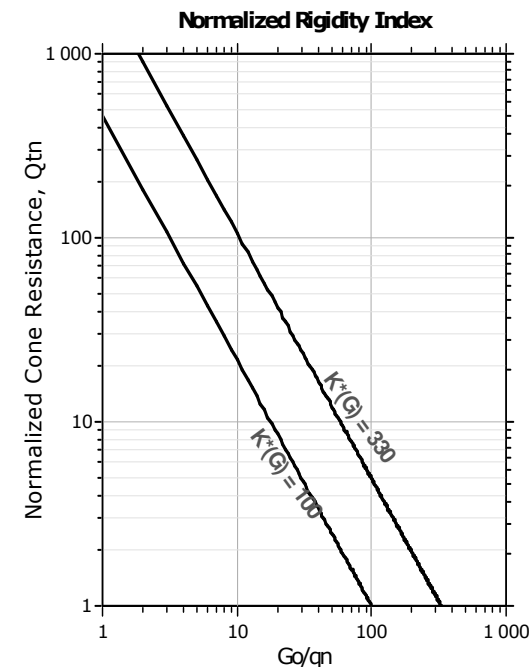
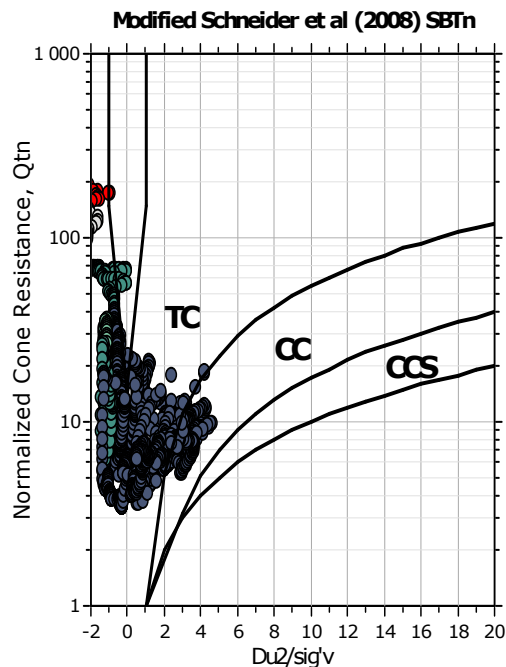
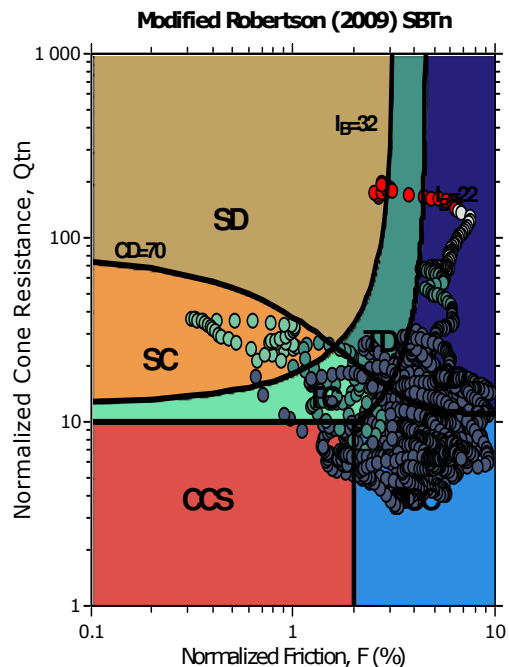




Mod. SBTn legend

- |   |                                   |                             |
|---|-----------------------------------|-----------------------------|
| 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    |                             |

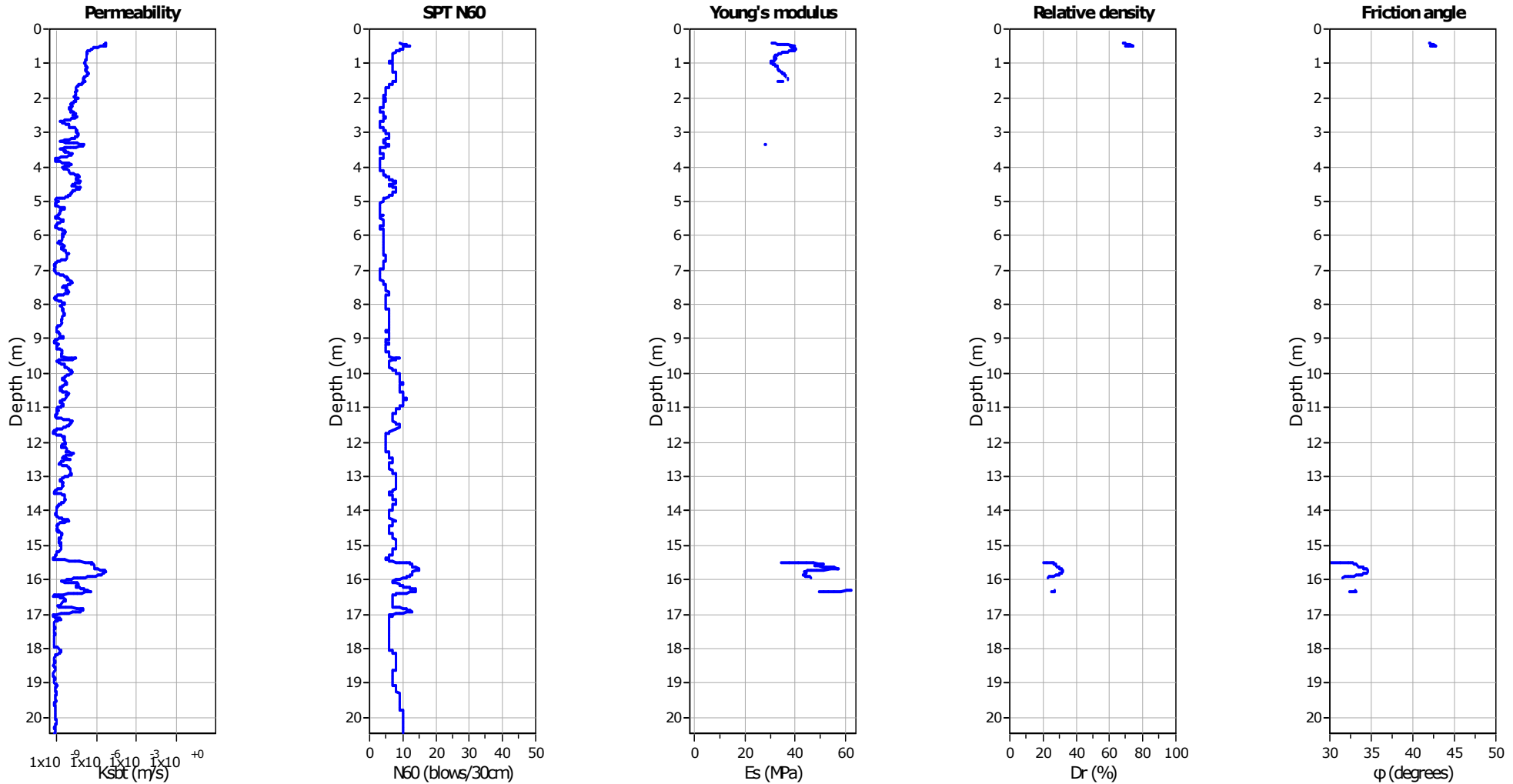
Updated SBTn plots



- 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<sub>n</sub>

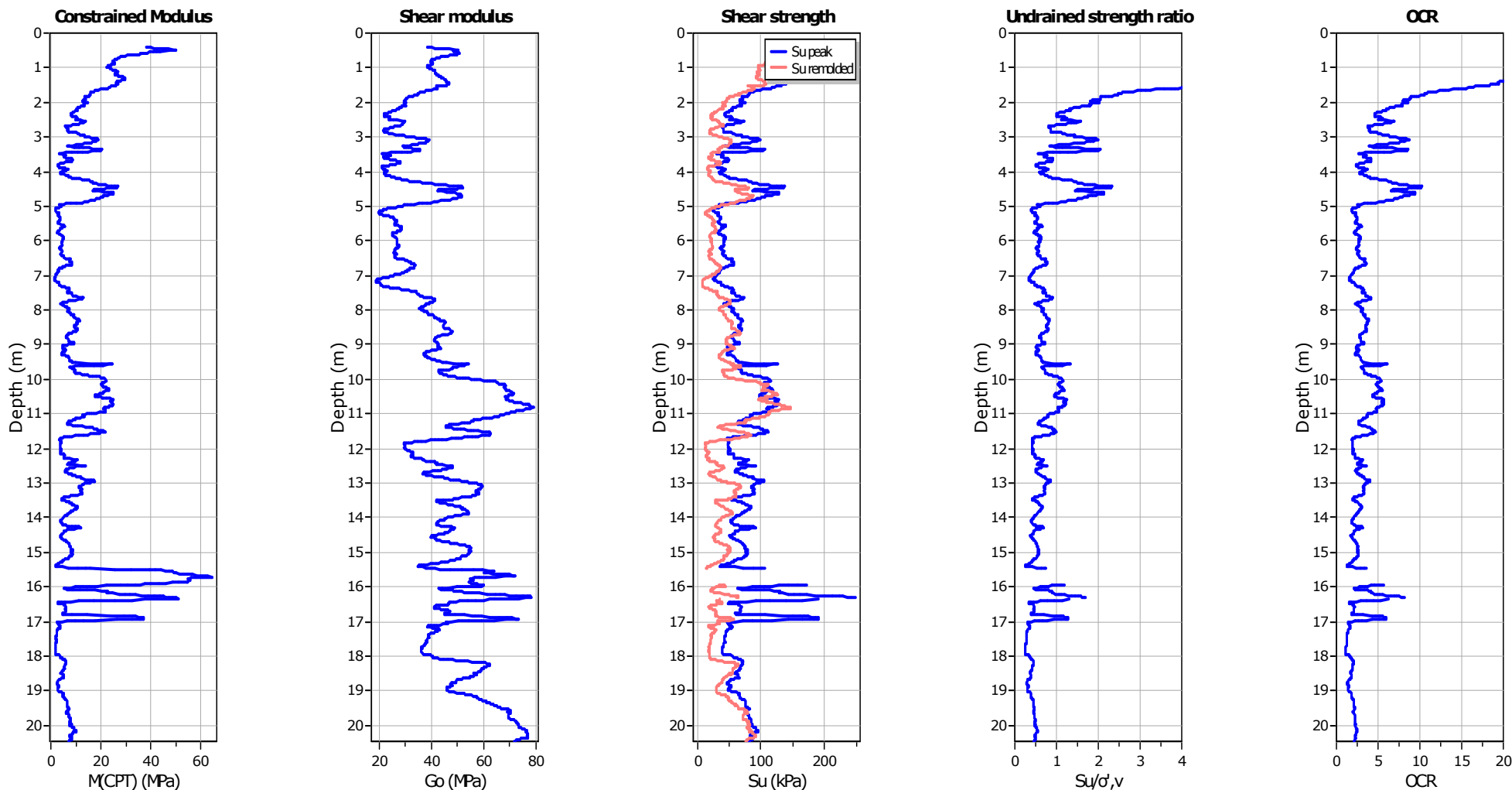
SPT N<sub>60</sub>: Based on I<sub>c</sub> and q<sub>t</sub>

Young's modulus: Based on variable alpha using I<sub>c</sub> (Robertson, 2009)

Relative density constant, C<sub>Dr</sub>: 350.0

Phi: Based on Kulhawy & Mayne (1990)

● — User defined estimation data



**Calculation parameters**

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

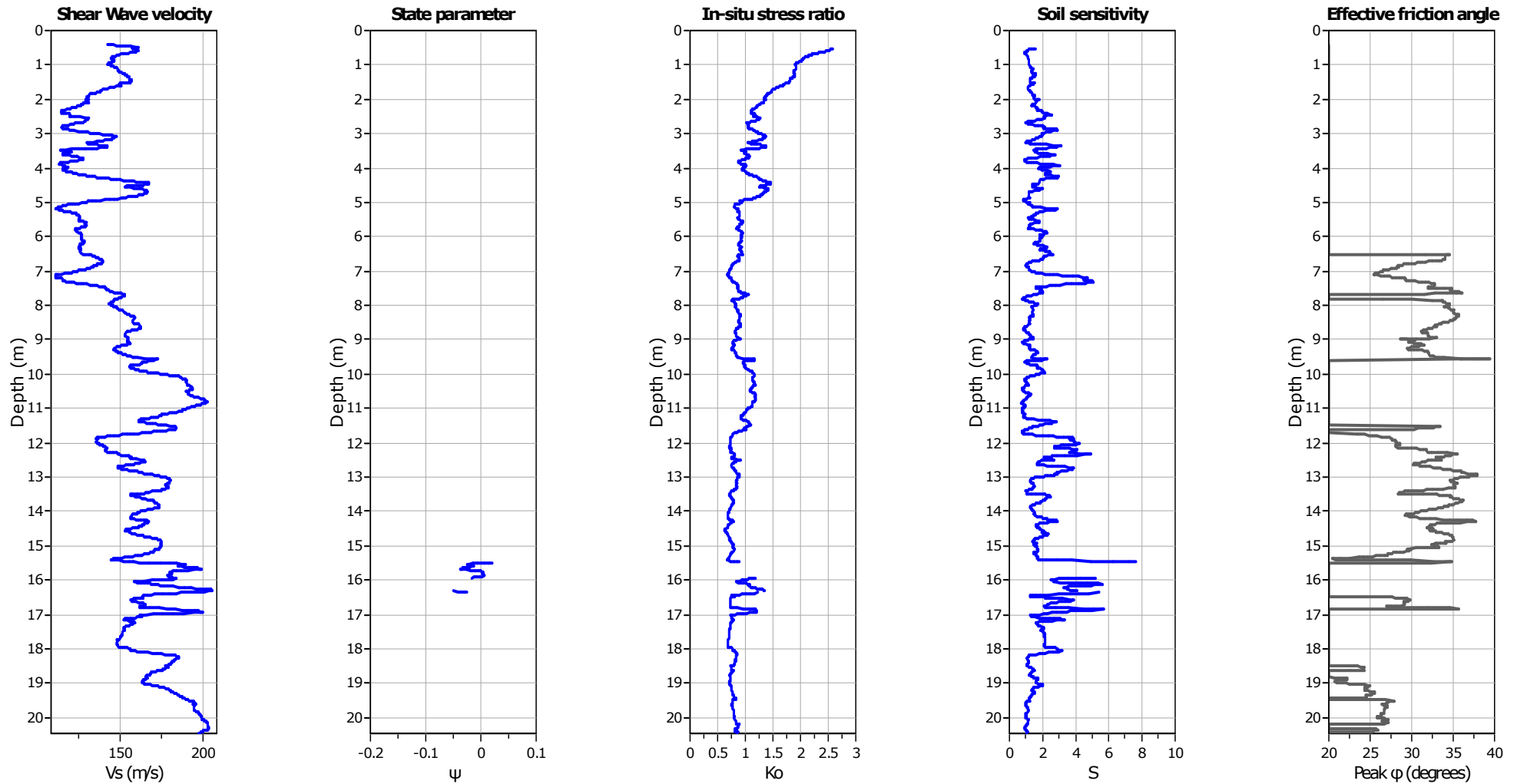
Go: Based on variable *alpha* using  $I_c$  (Robertson, 2009)

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 STATICHE CPT



GEO GROUP s.r.l.

Via C. Costa 182, 41100 Modena

Tel. 059/828367- 059/3967169; fax 059/5332019

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA VALORI DI CAMPAGNA, PUNTA E LATERALE

n°	<b>CPT4</b>
riferimento	<b>133-06</b>
certificato n°	<b>904</b>
n° verbale accett.	

Committente: **Studio tecnico**  
Cantiere: **Studio terreno di fondazione**  
Località: **Carpi (Mo)**

U.M.: **MPa**      Data esecuzione: **13/11/2006**  
Scala:              Data certificato:  
Pagina: **1**        Preforo:  
Elaborato:         Fakla: **-2.70 m**

H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Fr	H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Fr
m	-	-	-	MPa	kPa	-	%	m	-	-	-	MPa	kPa	-	%
0.20	0.0	0.0		0.0											
0.40	50.0	85.0		4.9	233.00	21	4.7								
0.60	55.0	86.0		5.4	207.00	27	3.8								
0.80	57.0	83.0		5.6	173.00	33	3.0								
1.00	48.0	63.0		4.7	100.00	48	2.1								
1.20	40.0	54.0		3.9	93.00	43	2.3								
1.40	41.0	55.0		4.0	93.00	44	2.3								
1.60	32.0	46.0		3.1	93.00	34	2.9								
1.80	40.0	60.0		3.9	133.00	30	3.3								
2.00	38.0	52.0		3.7	93.00	41	2.4								
2.20	20.0	31.0		2.0	73.00	27	3.7								
2.40	33.0	50.0		3.2	113.00	29	3.4								
2.60	30.0	41.0		2.9	73.00	41	2.4								
2.80	40.0	50.0		3.9	67.00	60	1.7								
3.00	38.0	52.0		3.7	93.00	41	2.4								
3.20	18.0	26.0		1.8	53.00	34	2.9								
3.40	9.0	20.0		0.9	73.00	12	8.1								
3.60	12.0	18.0		1.2	40.00	30	3.3								
3.80	12.0	20.0		1.2	53.00	23	4.4								
4.00	13.0	23.0		1.3	67.00	19	5.2								
4.20	14.0	27.0		1.4	87.00	16	6.2								
4.40	20.0	34.0		2.0	93.00	22	4.7								
4.60	18.0	27.0		1.8	60.00	30	3.3								
4.80	23.0	30.0		2.3	47.00	49	2.0								
5.00	11.0	19.0		1.1	53.00	21	4.8								
5.20	10.0	17.0		1.0	47.00	21	4.7								
5.40	14.0	22.0		1.4	53.00	26	3.8								
5.60	14.0	26.0		1.4	80.00	18	5.7								
5.80	13.0	22.0		1.3	60.00	22	4.6								
6.00	9.0	21.0		0.9	80.00	11	8.9								
6.20	11.0	18.0		1.1	47.00	23	4.3								
6.40	12.0	20.0		1.2	53.00	23	4.4								
6.60	10.0	19.0		1.0	60.00	17	6.0								
6.80	8.0	17.0		0.8	60.00	13	7.5								
7.00	8.0	15.0		0.8	47.00	17	5.9								
7.20	5.0	11.0		0.5	40.00	13	8.0								
7.40	11.0	16.0		1.1	33.00	33	3.0								
7.60	13.0	24.0		1.3	73.00	18	5.6								
7.80	13.0	24.0		1.3	73.00	18	5.6								
8.00	14.0	25.0		1.4	73.00	19	5.2								
8.20	14.0	28.0		1.4	93.00	15	6.6								
8.40	13.0	26.0		1.3	87.00	15	6.7								
8.60	12.0	24.0		1.2	80.00	15	6.7								
8.80	13.0	25.0		1.3	80.00	16	6.2								
9.00	12.0	24.0		1.2	80.00	15	6.7								
9.20	11.0	23.0		1.1	80.00	14	7.3								
9.40	12.0	23.0		1.2	73.00	16	6.1								
9.60	14.0	26.0		1.4	80.00	18	5.7								
9.80	18.0	35.0		1.8	113.00	16	6.3								
10.00	25.0	40.0		2.5	100.00	25	4.0								
10.20	30.0	53.0		2.9	153.00	20	5.1								
10.40	24.0	52.0		2.4	187.00	13	7.8								
10.60	25.0	44.0		2.5	127.00	20	5.1								
10.80	24.0	44.0		2.4	133.00	18	5.5								
11.00	23.0	40.0		2.3	113.00	20	4.9								
11.20	15.0	29.0		1.5	93.00	16	6.2								
11.40	18.0	31.0		1.8	87.00	21	4.8								
11.60	24.0	33.0		2.4	60.00	40	2.5								
11.80	12.0	19.0		1.2	47.00	28	3.9								
12.00	12.0	18.0		1.2	40.00	30	3.3								

H = profondità                      qc = resistenza di punta  
L1 = prima lettura (punta)        fs = resistenza laterale  
L2 = seconda lettura (punta + laterale)    F = rapporto di Begemann (qc / fs)  
Lt = terza lettura (totale)         Fr = rapporto di Schmertmann (fs / qc)%

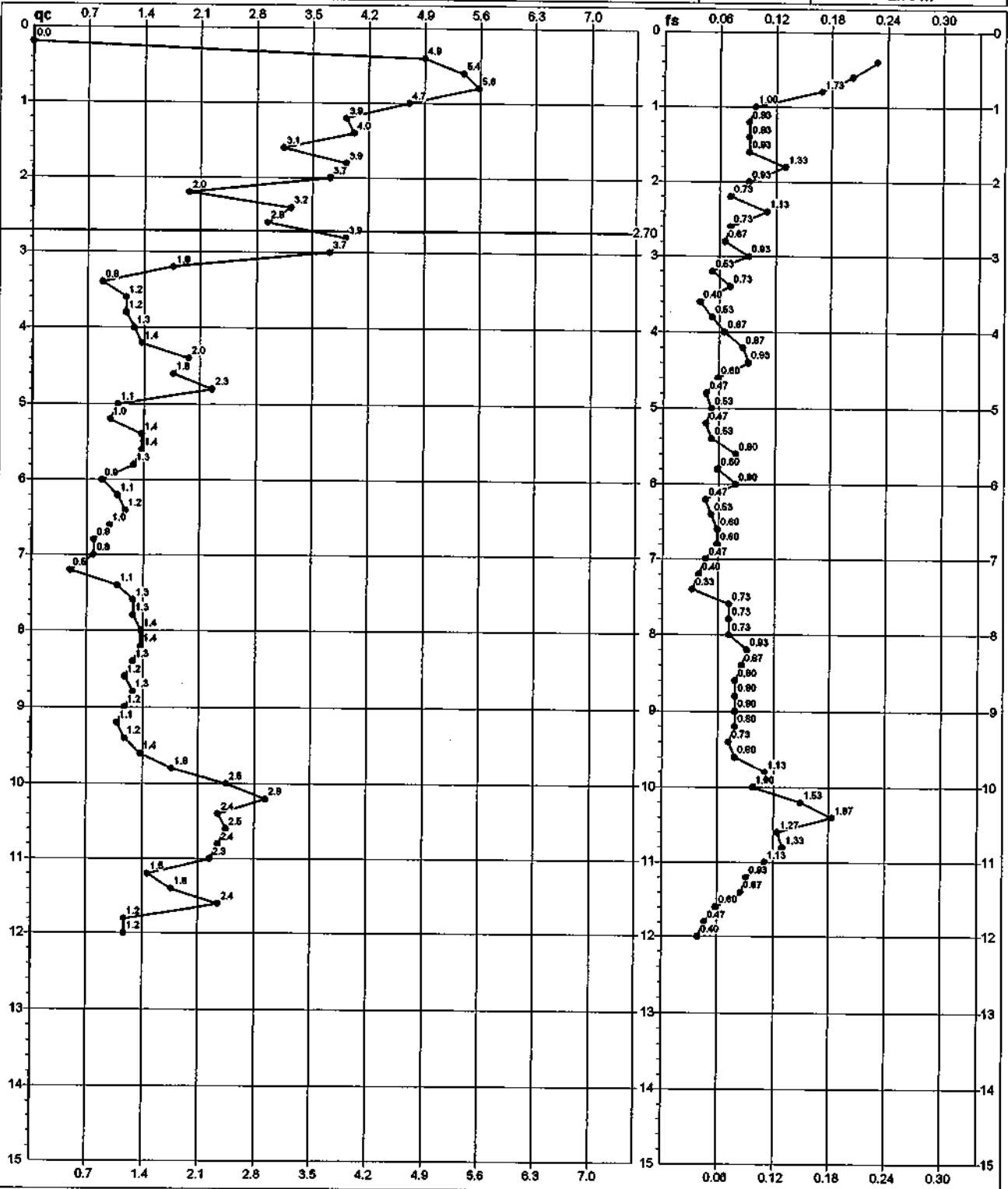
# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA E LITOLOGIA

n°	<b>CPT4</b>
riferimento	<b>133-06</b>
certificato n°	<b>904</b>
n° verbale accett.	

Committente: **Studio tecnico**  
 Cantiere: **Studio terreno di fondazione**  
 Località: **Carpi (Mo)**

U.M.: **MPa**  
 Scala: **1:75**  
 Pagina: **1**  
 Elaborato:

Data esecuzione: **13/11/2006**  
 Data certificato:  
 Preforo:  
 Falda: **-2.70 m**



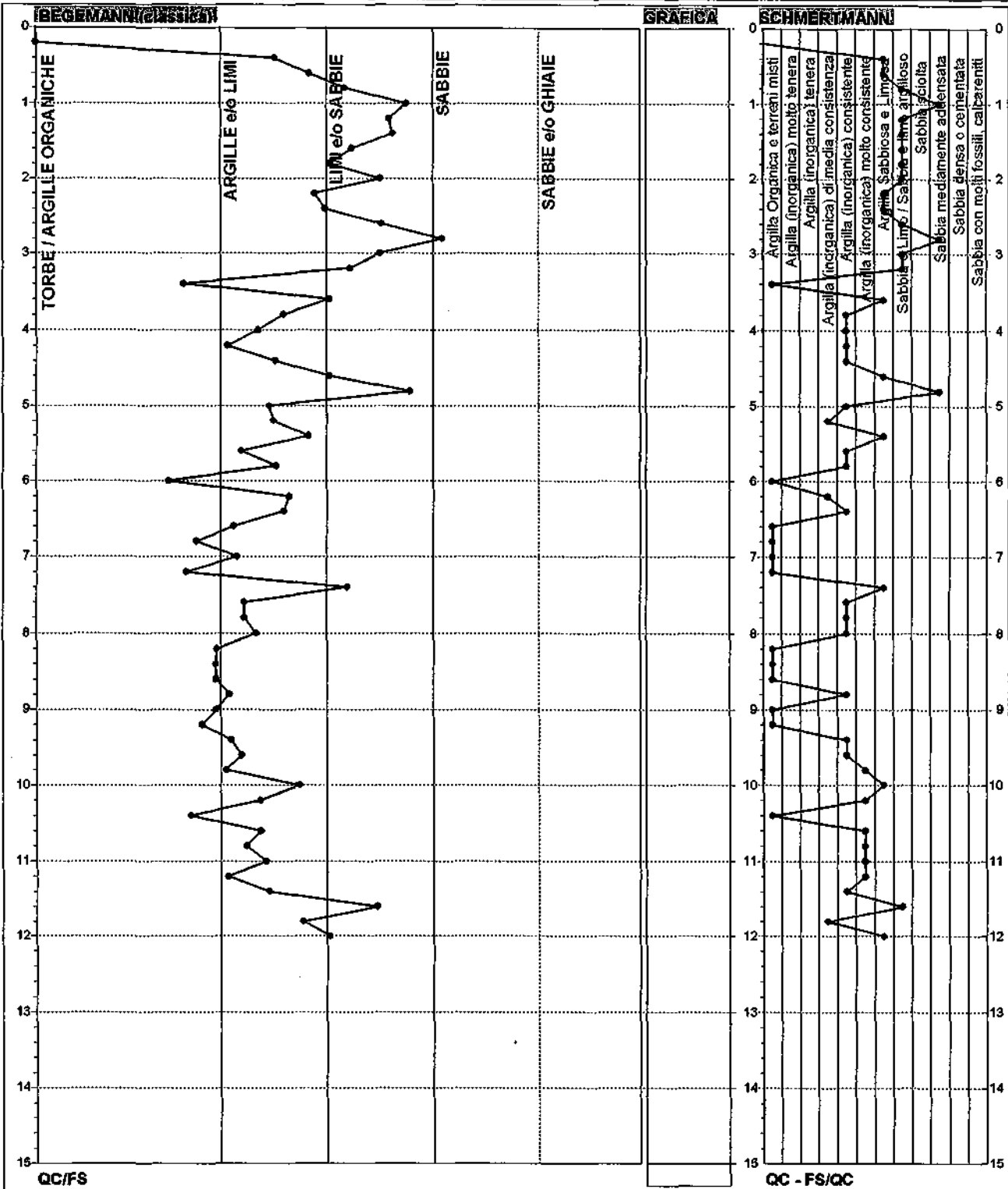
Coord. Relative	Coord. Geografiche	Penetrometro: <b>TG63-200</b>	Quota ass.:
Xr: m	Xg:	Responsabile: <b>Dott. Pier Luigi Dallari</b>	Corr.asline: <b>kN/m</b>
Yr: m	Yg:	Assistente: <b>Dott.sa Arianna Casarini</b>	Cod.ISTAT:
Zr: m	Zg:		

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA INTERPRETAZIONE LITOLOGICA

n°	<b>CPT4</b>
referimento	<b>133-06</b>
certificato n°	<b>904</b>
n° verbale accett.	

Committente: **Studio tecnico**  
 Cantiere: **Studio terreno di fondazione**  
 Località: **Carpi (Mo)**

U.M.: **MPa**  
 Scala: **1:75**  
 Pagina: **1**  
 Elaborato:  
 Data esecuzione: **13/11/2006**  
 Data certificato:  
 Preforo:  
 Falda: **-2.70 m**



Torbe / Argille organiche : 10 punti, 16.67%	Argilla Organica e terreni misti: 12 letture, 20.00%	Argilla Sabbiosa e Limosa: 10 punti, 16.67%
Argille e/o Limi : 38 punti, 60.00%	Argilla (inorganica) molto tenera: 0 punti, 0.00%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo argilloso: 10 punti, 16.67%
Limi e/o Sabbie : 14 punti, 23.33%	Argilla (inorganica) tenera: 0 punti, 0.00%	Sabbia sciolta: 0 punti, 0.00%
Sabbie: 0 punti, 0.00%	Argilla (inorganica) media consistenza : 3 punti, 5.00%	Sabbia mediamente addensata: 3 punti, 5.00%
Sabbie e/o Ghiaie : 0 punti, 0.00%	Argilla (inorganica) consistente: 15 punti, 25.00%	Sabbia densa o cementata: 0 punti, 0.00%
	Argilla (inorganica) molto consistente: 6 punti, 10.00%	Sabbia con molti fossili, calcarenti: 0 punti, 0.00%





# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA VALORI DI CAMPAGNA, PUNTA E LATERALE

n°	<b>CPT5</b>
riferimento	133-06
certificato n°	905
n° verbale accell.	

Committente: **Studio tecnico**  
Cantiere: **Studio terreno di fondazione**  
Località: **Carpi (Mo)**

U.M.: **MPa**  
Scala:  
Pagina: **1**  
Elaborato:  
Data esecuzione: **13/11/2006**  
Data certificato:  
Preforo:  
Falda: **-2.90 m**

H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Fr	H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Fr
m	-	-	-	MPa	kPa	-	%	m	-	-	-	MPa	kPa	-	%
0.20	0.0	0.0		0.0											
0.40	30.0	56.0		2.9	173.00	17	5.8								
0.60	40.0	68.0		3.9	187.00	21	4.7								
0.80	47.0	72.0		4.6	167.00	28	3.6								
1.00	50.0	80.0		4.9	200.00	25	4.0								
1.20	52.0	60.0		5.1	53.00	98	1.0								
1.40	22.0	40.0		2.2	120.00	18	5.5								
1.60	22.0	37.0		2.2	100.00	22	4.5								
1.80	16.0	27.0		1.6	73.00	22	4.6								
2.00	10.0	18.0		1.0	53.00	19	5.3								
2.20	11.0	18.0		1.1	47.00	23	4.3								
2.40	9.0	14.0		0.9	33.00	27	3.7								
2.60	8.0	15.0		0.8	47.00	17	5.9								
2.80	4.0	7.0		0.4	20.00	20	5.0								
3.00	4.0	7.0		0.4	20.00	20	5.0								
3.20	8.0	11.0		0.8	20.00	40	2.5								
3.40	8.0	13.0		0.8	33.00	24	4.1								
3.60	7.0	14.0		0.7	47.00	15	6.7								
3.80	10.0	18.0		1.0	53.00	19	5.3								
4.00	8.0	14.0		0.8	40.00	20	5.0								
4.20	17.0	22.0		1.7	33.00	52	1.9								
4.40	20.0	28.0		2.0	53.00	38	2.7								
4.60	5.0	11.0		0.5	40.00	13	8.0								
4.80	10.0	16.0		1.0	40.00	25	4.0								
5.00	12.0	18.0		1.2	40.00	30	3.3								
5.20	11.0	20.0		1.1	60.00	18	5.5								
5.40	10.0	19.0		1.0	60.00	17	6.0								
5.60	11.0	17.0		1.1	40.00	28	3.6								
5.80	9.0	16.0		0.9	47.00	19	5.2								
6.00	11.0	18.0		1.1	47.00	23	4.3								
6.20	15.0	22.0		1.5	47.00	32	3.1								
6.40	10.0	21.0		1.0	73.00	14	7.3								
6.60	9.0	15.0		0.9	40.00	23	4.4								
6.80	13.0	20.0		1.3	47.00	28	3.6								
7.00	12.0	20.0		1.2	53.00	23	4.4								
7.20	15.0	25.0		1.5	67.00	22	4.5								
7.40	14.0	26.0		1.4	80.00	18	5.7								
7.60	13.0	25.0		1.3	80.00	16	6.2								
7.80	11.0	22.0		1.1	73.00	15	6.6								
8.00	12.0	22.0		1.2	67.00	18	5.6								
8.20	11.0	23.0		1.1	80.00	14	7.3								
8.40	12.0	24.0		1.2	80.00	15	6.7								
8.60	11.0	23.0		1.1	80.00	14	7.3								
8.80	11.0	20.0		1.1	60.00	18	5.5								
9.00	10.0	21.0		1.0	73.00	14	7.3								
9.20	11.0	21.0		1.1	67.00	16	6.1								
9.40	14.0	25.0		1.4	73.00	19	5.2								
9.60	15.0	29.0		1.5	93.00	16	6.2								
9.80	16.0	30.0		1.6	93.00	17	5.8								
10.00	22.0	38.0		2.2	107.00	21	4.9								
10.20	28.0	48.0		2.5	153.00	16	6.1								
10.40	33.0	56.0		3.2	153.00	22	4.6								
10.60	30.0	56.0		2.9	173.00	17	5.8								
10.80	30.0	56.0		2.9	173.00	17	5.8								
11.00	25.0	47.0		2.5	147.00	17	5.9								
11.20	25.0	46.0		2.5	140.00	18	5.6								
11.40	25.0	44.0		2.5	127.00	20	5.1								
11.60	21.0	40.0		2.1	127.00	17	6.0								
11.80	18.0	32.0		1.8	93.00	19	6.2								
12.00	17.0	30.0		1.7	87.00	20	5.1								

H = profondità  
L1 = prima lettura (punta)  
L2 = seconda lettura (punta + laterale)  
Lt = terza lettura (totale)  
qc = resistenza di punta  
fs = resistenza laterale  
F = rapporto di Begemann (qc / fs)  
Fr = rapporto di Schmertmann (fs / qc)%

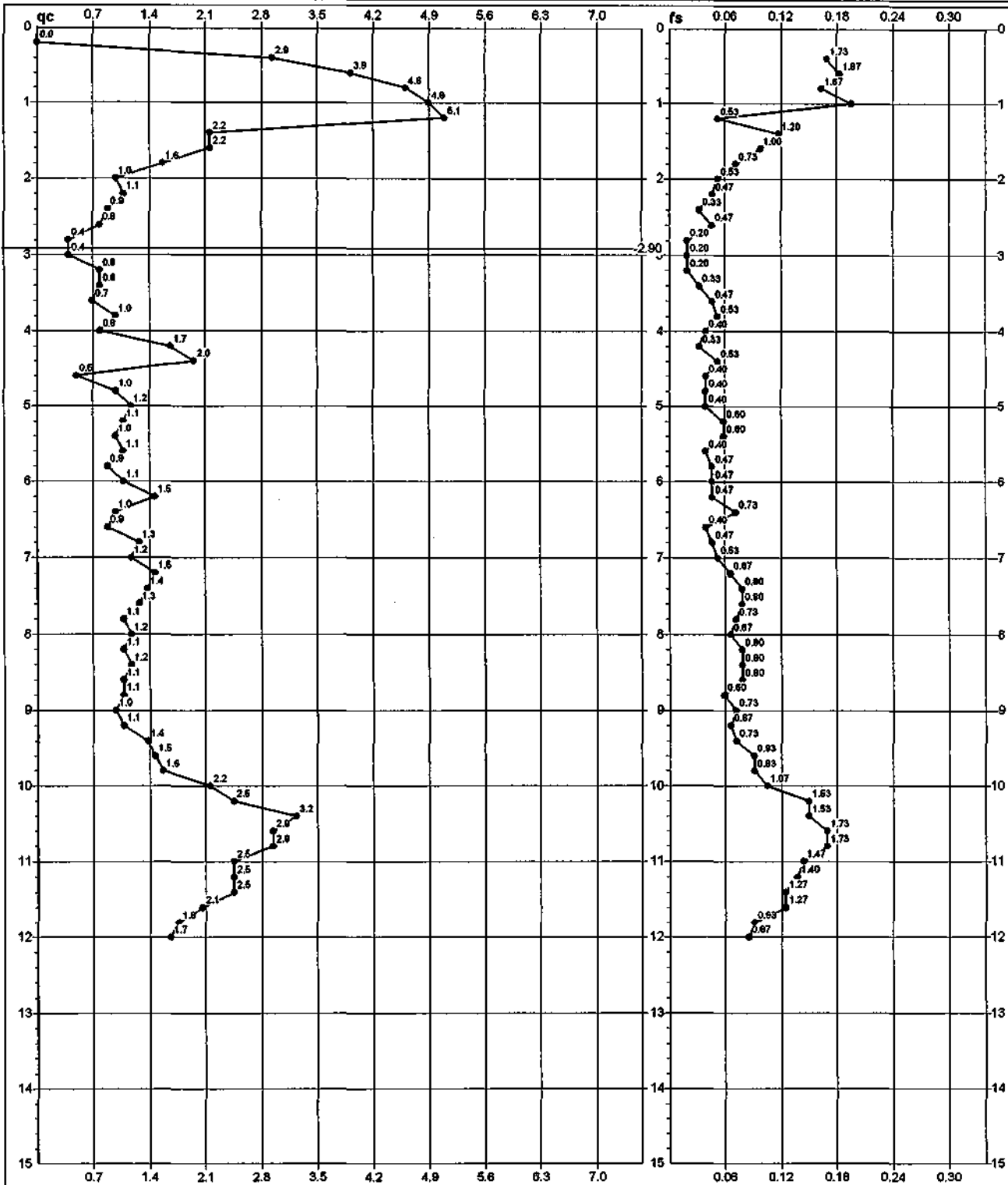
# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA E LITOLOGIA

n°	<b>CPT5</b>
riferimento	133-06
certificato n°	905
n° verbale accett.	

Committente: **Studio tecnico**  
Cantiere: **Studio terreno di fondazione**  
Località: **Carpi (Mo)**

U.M.: **MPa**  
Scala: **1:75**  
Pagina: **1**  
Elaborato:

Data esecuzione: **13/11/2006**  
Data certificato:  
Preforo:  
Falda: **-2.90 m**



Coord. Relative	Coord. Geografiche	Penetrometro: <b>TG63-200</b>	Quota ass.:
Xr: m	Xg:	Responsabile: <b>Dott. Pier Luigi Dallari</b>	Corr.astine: <b>kN/ml</b>
Yr: m	Yg:	Assistente: <b>Dott.sa Arianna Casarini</b>	Cod.ISTAT:
Zr: m	Zg:		

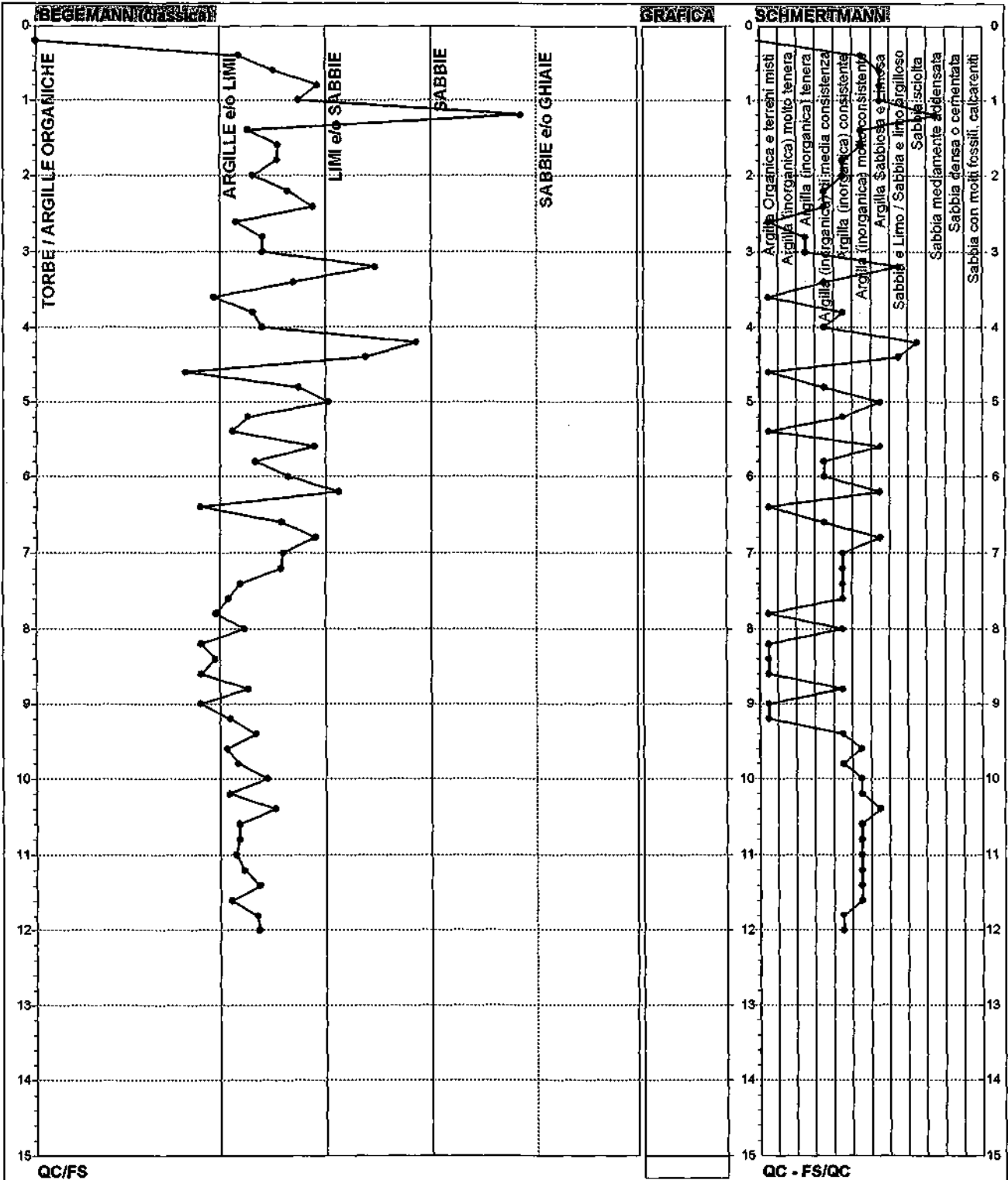
# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA INTERPRETAZIONE LITOLOGICA

n°	<b>CPT5</b>
referimento	133-06
certificato n°	906
n° verbale accett.	

Committente: **Studio tecnico**  
Cantiliere: **Studio terreno di fondazione**  
Località: **Carpi (Mo)**

U.M.: **MPa**  
Scala: **1:76**  
Pagina: **1**  
Elaborato:

Data esecuzione: **13/11/2006**  
Data certificato:  
Preforo:  
Falda: **-2.90 m**



Torbe / Argille organiche : 8 punti, 13.33%	Argilla Organica e terreni misti: 11 letture, 18.33%	Argilla Sabbiosa e Limosa: 8 punti, 13.33%
Argille e/o Limi : 47 punti, 78.33%	Argilla (inorganica) molto tenera: 0 punti, 0.00%	Sabbia e limo / Sabbia e limo argilloso: 2 punti, 3.33%
Limi e/o Sabbie : 4 punti, 6.67%	Argilla (inorganica) tenera: 2 punti, 3.33%	Sabbia sciolta: 1 punto, 1.67%
Sabbie: 1 punto, 1.67%	Argilla (inorganica) media consistenza : 8 punti, 13.33%	Sabbia mediamente addensata: 1 punto, 1.67%
Sabbie e/o Ghiaie : 0 punti, 0.00%	Argilla (inorganica) consistente: 14 punti, 23.33%	Sabbia densa o cementata: 0 punti, 0.00%
	Argilla (inorganica) molto consistente: 12 punti, 20.00%	Sabbia con molti fossili, calcareniti: 0 punti, 0.00%





GEO GROUP s.r.l.

Via C. Costa 182, 41100 Modena

Tel. 059/828367- 059/3967169; fax 059/5332019

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA VALORI DI CAMPAGNA, PUNTA E LATERALE

n°	<b>CPT6</b>
riferimento	<b>133-06</b>
certificato n°	<b>906</b>
n° verbale accett.	

Committente: **Studio tecnico**  
Cantiere: **Studio terreno di fondazione**  
Località: **Carpi (Mo)**

U.M.: **MPa**  
Scale:  
Pagina: **1**  
Elaborato:  
Data esecuzione: **13/11/2006**  
Data certificato:  
Preforo:  
Falda: **-3.00 m**

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Fr %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Fr %
0.20	0.0	0.0		0.0											
0.40	35.0	50.0		3.4	100.00	35	2.9								
0.60	38.0	53.0		3.7	100.00	38	2.6								
0.80	55.0	62.0		5.4	47.00	117	0.9								
1.00	57.0	80.0		5.6	153.00	37	2.7								
1.20	30.0	55.0		2.9	167.00	18	5.6								
1.40	22.0	40.0		2.2	120.00	18	5.5								
1.60	17.0	34.0		1.7	113.00	15	6.6								
1.80	15.0	29.0		1.5	93.00	16	6.2								
2.00	10.0	18.0		1.0	40.00	25	4.0								
2.20	13.0	21.0		1.3	53.00	25	4.1								
2.40	10.0	15.0		1.0	33.00	30	3.3								
2.60	16.0	21.0		1.6	33.00	48	2.1								
2.80	8.0	14.0		0.8	40.00	20	5.0								
3.00	7.0	11.0		0.7	27.00	26	3.9								
3.20	5.0	9.0		0.5	27.00	19	5.4								
3.40	6.0	9.0		0.6	20.00	30	3.3								
3.60	7.0	9.0		0.7	13.00	54	1.9								
3.80	4.0	6.0		0.4	13.00	31	3.3								
4.00	14.0	19.0		1.4	33.00	42	2.4								
4.20	7.0	12.0		0.7	33.00	21	4.7								
4.40	16.0	27.0		1.6	73.00	22	4.6								
4.60	16.0	21.0		1.6	33.00	48	2.1								
4.80	5.0	10.0		0.5	33.00	15	6.6								
5.00	6.0	11.0		0.6	33.00	18	5.5								
5.20	10.0	16.0		1.0	40.00	25	4.0								
5.40	9.0	19.0		0.9	67.00	13	7.4								
5.60	10.0	18.0		1.0	53.00	19	5.3								
5.80	9.0	17.0		0.9	53.00	17	5.9								
6.00	7.0	14.0		0.7	47.00	15	8.7								
6.20	10.0	15.0		1.0	33.00	30	3.3								
6.40	13.0	20.0		1.3	47.00	28	3.6								
6.60	10.0	19.0		1.0	60.00	17	6.0								
6.80	8.0	15.0		0.8	47.00	17	5.9								
7.00	7.0	12.0		0.7	33.00	21	4.7								
7.20	8.0	13.0		0.8	33.00	24	4.1								
7.40	11.0	18.0		1.1	47.00	23	4.3								
7.60	12.0	22.0		1.2	67.00	18	5.8								
7.80	13.0	25.0		1.3	80.00	16	6.2								
8.00	14.0	27.0		1.4	87.00	16	6.2								
8.20	12.0	24.0		1.2	80.00	15	6.7								
8.40	13.0	24.0		1.3	73.00	18	5.6								
8.60	11.0	25.0		1.1	93.00	12	8.5								
8.80	11.0	26.0		1.1	113.00	10	10.3								
9.00	12.0	28.0		1.2	107.00	11	8.9								
9.20	12.0	25.0		1.2	87.00	14	7.3								
9.40	14.0	25.0		1.4	73.00	19	5.2								
9.60	13.0	25.0		1.3	80.00	16	6.2								
9.80	14.0	27.0		1.4	87.00	16	6.2								
10.00	13.0	25.0		1.3	80.00	16	6.2								
10.20	22.0	38.0		2.2	107.00	21	4.9								
10.40	25.0	44.0		2.5	127.00	20	5.1								
10.60	31.0	55.0		3.0	160.00	19	5.2								
10.80	28.0	62.0		2.7	160.00	18	5.7								
11.00	25.0	50.0		2.5	167.00	15	6.7								
11.20	23.0	45.0		2.3	147.00	16	6.4								
11.40	25.0	47.0		2.5	147.00	17	5.9								
11.60	33.0	55.0		3.2	147.00	22	4.5								
11.80	21.0	40.0		2.1	127.00	17	6.0								
12.00	18.0	32.0		1.8	93.00	19	5.2								

H = profondità  
L1 = prima lettura (punta)  
L2 = seconda lettura (punta + laterale)  
Lt = terza lettura (totale)  
qc = resistenza di punta  
fs = resistenza laterale  
F = rapporto di Begemann (qc / fs)  
Fr = rapporto di Schmertmann (fs / qc)%

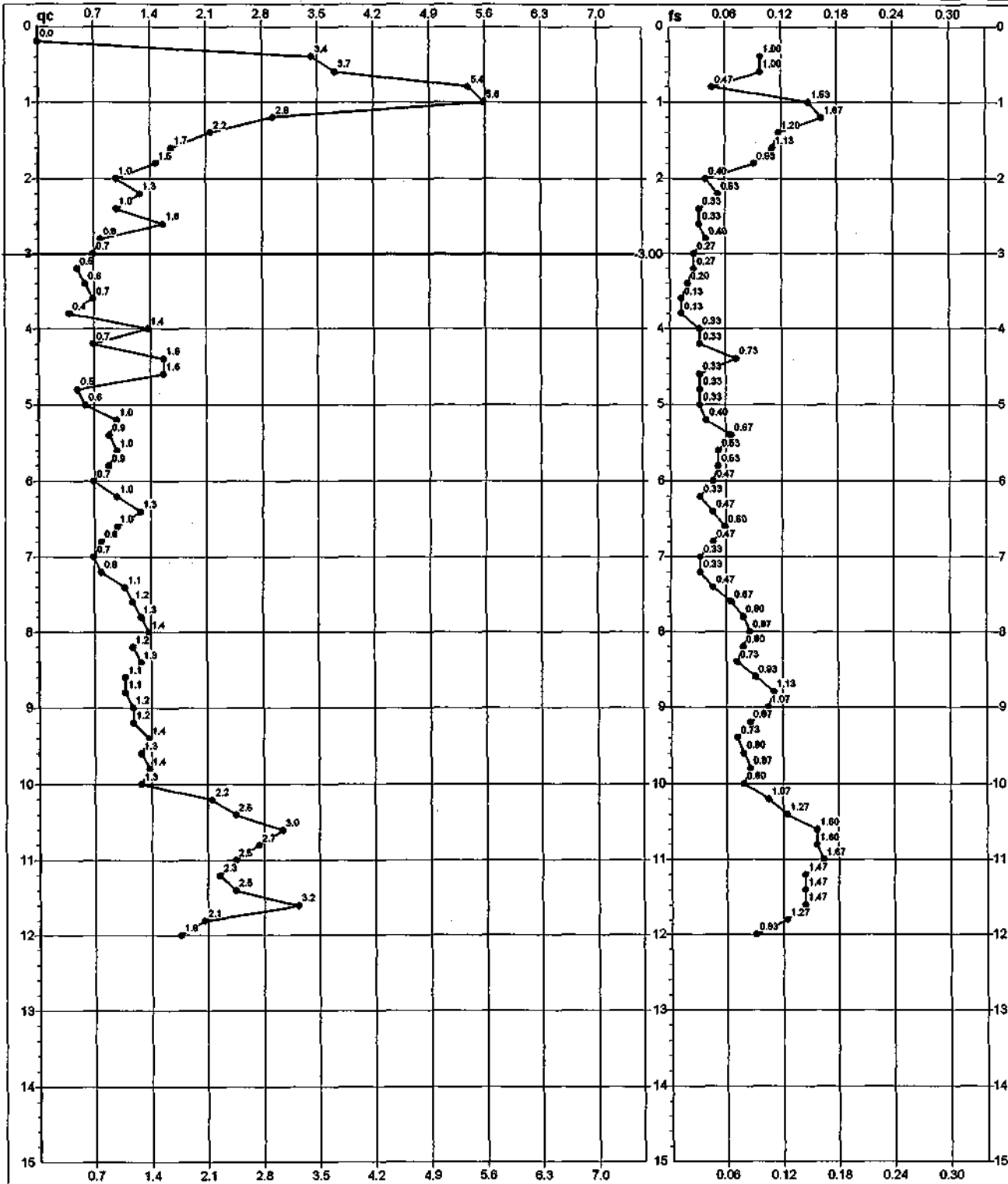
# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA E LITOLOGIA

n°	<b>CPT6</b>
riferimento	133-06
certificato n°	906
n° verbale accett.	

Committente: **Studio tecnico**  
 Cantiere: **Studio terreno di fondazione**  
 Località: **Carpi (Mo)**

U.M.: **MPa**  
 Scala: **1:75**  
 Pagina: **1**  
 Elaborato:

Data esecuzione: **13/11/2006**  
 Data certificato:  
 Preforo:  
 Falda: **-3.00 m**



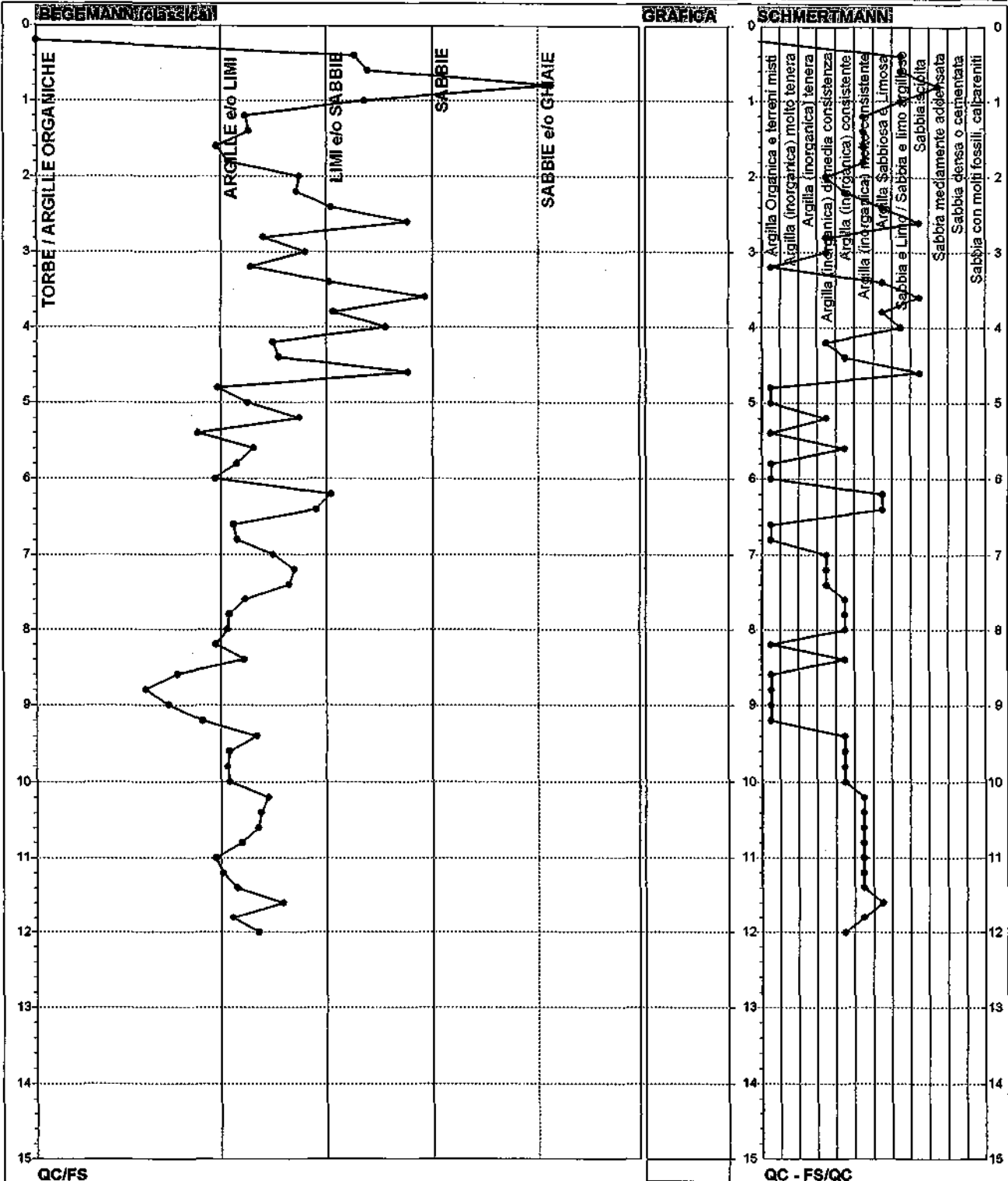
Coord. Relative	Coord. Geografiche	Penetrometro: <b>TG63-200</b>	Quota ass.:
Xr: m	Xg:	Responsabile: <b>Dott. Pier Luigi Dallari</b>	Corr.astine: <b>kN/ml</b>
Yr: m	Yg:	Assistente: <b>Dott.ssa Arianna Casarini</b>	Cod.ISTAT:
Zr: m	Zg:		

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA INTERPRETAZIONE LITOLOGICA

n°	<b>CPT6</b>
referimento	<b>133-06</b>
certificato n°	<b>906</b>
n° verbale accett.	

Committente: **Studio tecnico**  
 Cantiere: **Studio terreno di fondazione**  
 Località: **Carpi (Mo)**

U.M.: **MPa**      Data esecuzione: **13/11/2006**  
 Scala: **1:75**      Data certificato:  
 Pagina: **1**      Preforo:  
 Elaborato:      Falda: **-3,00 m**



Torbe / Argille organiche: 9 punti, 15.00%	Argilla Organica e terreni misti: 13 letture, 21.67%	Argilla Sabbiosa e Limosa: 8 punti, 10.00%
Argille e/o Limi: 40 punti, 66.67%	Argilla (inorganica) molto tenera: 0 punti, 0.00%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo argilloso: 4 punti, 6.67%
Limi e/o Sabbie: 10 punti, 16.67%	Argilla (inorganica) tenera: 0 punti, 0.00%	Sabbia sciolta: 3 punti, 5.00%
Sabbie: 1 punti, 1.67%	Argilla (inorganica) media consistenza: 6 punti, 13.33%	Sabbia mediamente addensata: 1 punti, 1.67%
Sabbie e/o Ghiaie: 0 punti, 0.00%	Argilla (inorganica) consistente: 12 punti, 20.00%	Sabbia densa o cementata: 0 punti, 0.00%
	Argilla (inorganica) molto consistente: 12 punti, 20.00%	Sabbia con molti fossili, calcareniti: 0 punti, 0.00%





GEO GROUP s.r.l.

Via C. Costa 182, 41100 Modena

Tel. 059/828367- 059/3967169, fax 059/5332019

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA VALORI DI CAMPAGNA, PUNTA E LATERALE

n°	<b>CPT7</b>
rilferimento	<b>133-06</b>
certificato n°	<b>907</b>
n° verbale accett.	

Committente: **Studio tecnico**  
Cantiere: **Studio terreno di fondazione**  
Località: **Carpi (Mo)**

U.M.: **MPa**      Data esecuzione: **13/11/2006**  
Scala:  
Pagina: **1**      Data certificato:  
Elaborato:      Proforo:  
Falda: **-3.00 m**

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Fr %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Fr %
0.20	0.0	0.0		0.0											
0.40	40.0	77.0		3.9	247.00	16	6.2								
0.60	44.0	80.0		4.3	240.00	18	5.5								
0.80	50.0	85.0		4.9	233.00	21	4.7								
1.00	44.0	70.0		4.3	173.00	25	3.9								
1.20	31.0	55.0		3.0	160.00	19	5.2								
1.40	18.0	26.0		1.8	53.00	34	2.9								
1.60	20.0	32.0		2.0	80.00	25	4.0								
1.80	15.0	22.0		1.5	47.00	32	3.1								
2.00	15.0	24.0		1.5	60.00	25	4.0								
2.20	16.0	24.0		1.6	53.00	30	3.3								
2.40	8.0	14.0		0.8	40.00	20	5.0								
2.60	12.0	18.0		1.2	40.00	30	3.3								
2.80	13.0	18.0		1.3	33.00	39	2.5								
3.00	9.0	15.0		0.9	40.00	23	4.4								
3.20	11.0	17.0		1.1	40.00	28	3.6								
3.40	6.0	16.0		0.6	67.00	9	11.2								
3.60	10.0	17.0		1.0	47.00	21	4.7								
3.80	7.0	12.0		0.7	33.00	21	4.7								
4.00	17.0	25.0		1.7	53.00	32	3.1								
4.20	8.0	10.0		0.8	13.00	62	1.6								
4.40	7.0	11.0		0.7	27.00	26	3.9								
4.60	6.0	12.0		0.6	40.00	15	6.7								
4.80	6.0	10.0		0.6	27.00	22	4.5								
5.00	4.0	6.0		0.4	13.00	31	3.3								
5.20	8.0	13.0		0.8	33.00	24	4.1								
5.40	8.0	13.0		0.8	33.00	24	4.1								
5.60	9.0	15.0		0.9	40.00	23	4.4								
5.80	10.0	17.0		1.0	47.00	21	4.7								
6.00	12.0	20.0		1.2	53.00	23	4.4								
6.20	9.0	17.0		0.9	53.00	17	5.9								
6.40	8.0	14.0		0.8	40.00	20	5.0								
6.60	9.0	14.0		0.9	33.00	27	3.7								
6.80	11.0	15.0		1.1	27.00	41	2.5								
7.00	10.0	18.0		1.0	53.00	19	5.3								
7.20	12.0	22.0		1.2	67.00	18	5.6								
7.40	13.0	25.0		1.3	80.00	16	6.2								
7.60	14.0	27.0		1.4	87.00	16	6.2								
7.80	15.0	28.0		1.5	87.00	17	5.8								
8.00	13.0	25.0		1.3	80.00	16	6.2								
8.20	11.0	21.0		1.1	67.00	16	6.1								
8.40	14.0	28.0		1.4	93.00	15	6.6								
8.60	13.0	25.0		1.3	80.00	16	6.2								
8.80	12.0	23.0		1.2	73.00	16	6.1								
9.00	13.0	24.0		1.3	73.00	18	5.6								
9.20	14.0	25.0		1.4	73.00	19	5.2								
9.40	16.0	29.0		1.6	87.00	18	5.4								
9.60	16.0	31.0		1.6	100.00	16	6.3								
9.80	25.0	43.0		2.5	120.00	21	4.8								
10.00	28.0	50.0		2.7	147.00	19	5.3								
10.20	52.0	55.0		5.1	20.00	260	0.4								
10.40	33.0	52.0		3.2	127.00	26	3.8								
10.60	28.0	51.0		2.7	153.00	18	5.5								
10.80	30.0	52.0		2.9	147.00	20	4.9								
11.00	26.0	50.0		2.5	160.00	16	6.2								
11.20	25.0	44.0		2.5	127.00	20	5.1								
11.40	24.0	41.0		2.4	113.00	21	4.7								
11.60	22.0	36.0		2.2	93.00	24	4.2								
11.80	21.0	38.0		2.1	113.00	19	5.4								
12.00	18.0	32.0		1.8	93.00	19	5.2								

H = profondità      qc = resistenza di punta  
L1 = prima lettura (punta)      fs = resistenza laterale  
L2 = seconda lettura (punta + laterale)      F = rapporto di Begemann (qc / fs)  
Lt = terza lettura (totale)      Fr = rapporto di Schmertmann (fs / qc)%

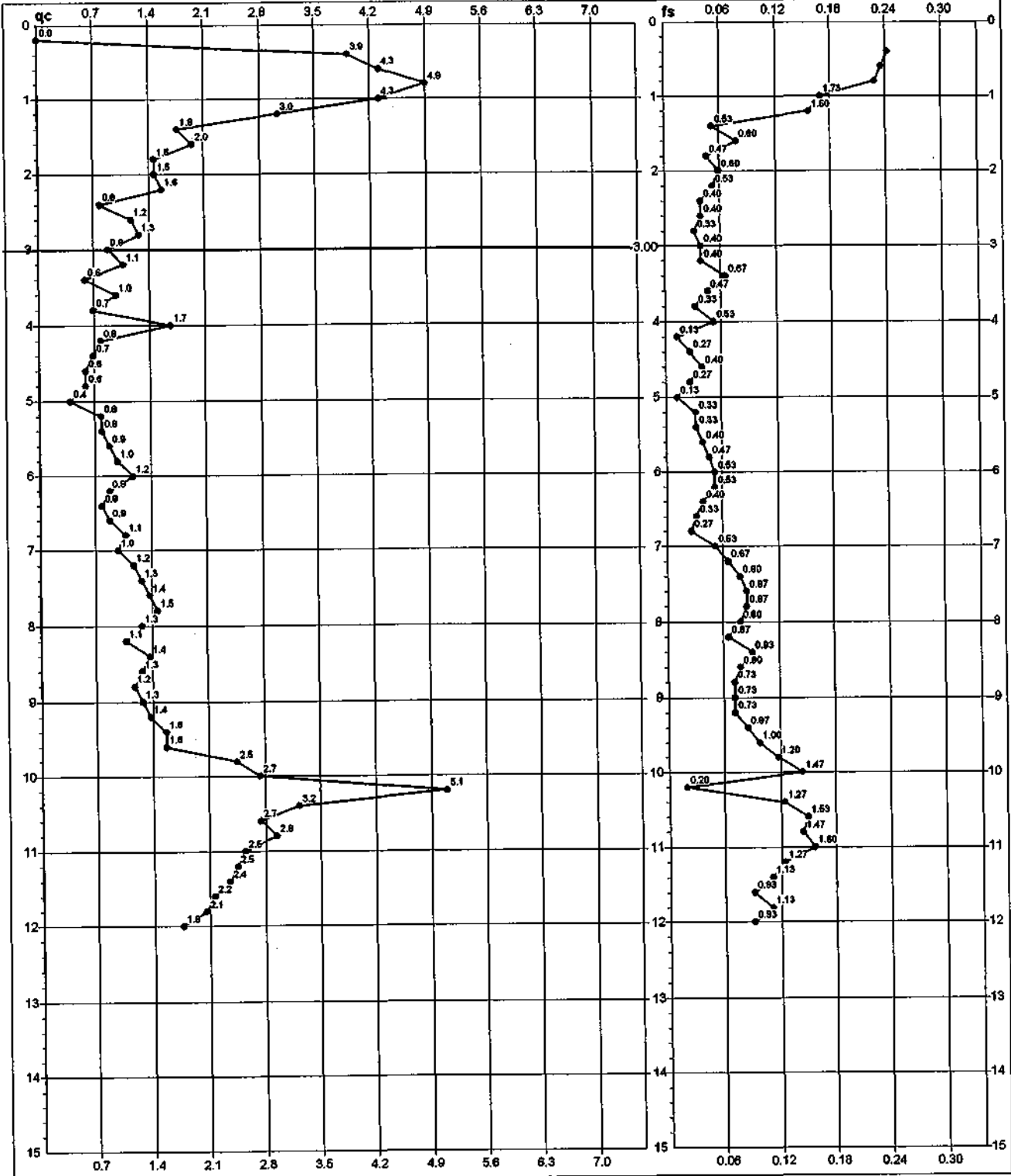
# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA E LITOLOGIA

n°	<b>CPT7</b>
riferimento	<b>133-06</b>
certificato n°	<b>907</b>
n° verbale accett.	

Committente: **Studio tecnico**  
Caniliere: **Studio terreno di fondazione**  
Località: **Carpi (Mo)**

U.M.: **MPa**  
Scala: **1:76**  
Pagina: **1**  
Elaborato:

Data esecuzione: **13/11/2006**  
Data certificato:  
Preforo:  
Falda: **-3.00 m**



<b>Coord. Relative</b>	<b>Coord. Geografiche</b>	<b>Penetrometro:</b> TG63-200	<b>Quota ass.:</b>
Xr: m	Xg:	<b>Responsabile:</b> Dott. Pier Luigi Dallari	<b>Corr.asline:</b> kN/ml
Yr: m	Yg:	<b>Assistente:</b> Dott.sa Arianna Casarini	<b>Cod.ISTAT:</b>
Zr: m	Zg:		

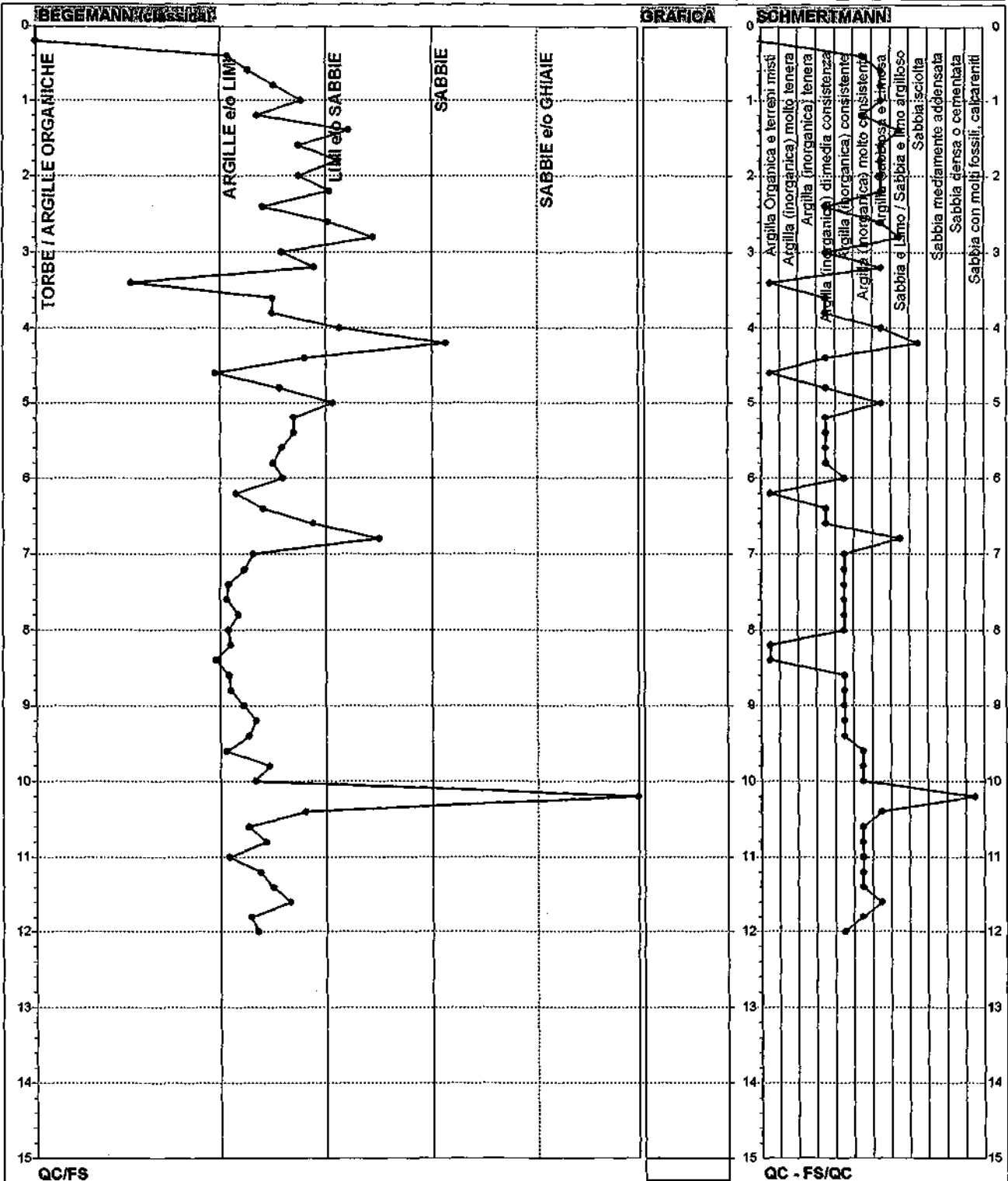
# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## INTERPRETAZIONE LITOLOGICA

n°	<b>CPT7</b>
riferimento	133-06
certificato n°	907
n° verbale accet.	

Committente: **Studio tecnico**  
 Cantiere: **Studio terreno di fondazione**  
 Località: **Carpi (Mo)**

U.M.: **MPa**  
 Scala: **1:75**  
 Pagina: **1**  
 Elaborato:  
 Data esecuzione: **13/11/2006**  
 Data certificato:  
 Preforo:  
 Falda: **-3.00 m**



Torbe / Argille organiche : 3 punti, 5.00%	Argilla Organica e terreni misti: 5 letture, 8.33%	Argilla Sabbiosa e Limosa: 13 punti, 21.67%
Argille e/o Limi : 48 punti, 80.00%	Argilla (inorganica) molto tenera: 0 punti, 0.00%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo argilloso: 3 punti, 5.00%
Limi e/o Sabbie : 7 punti, 11.67%	Argilla (inorganica) tenera: 0 punti, 0.00%	Sabbia sciolta: 1 punto, 1.67%
Sabbie: 1 punto, 1.67%	Argilla (inorganica) media consistenza : 12 punti, 20.00%	Sabbia mediamente addensata: 0 punti, 0.00%
Sabbie e/o Ghiaie : 1 punto, 1.67%	Argilla (inorganica) consistente: 13 punti, 21.67%	Sabbia densa o cementata: 0 punti, 0.00%
	Argilla (inorganica) molto consistente: 11 punti, 18.33%	Sabbia con molti fossili, calcareniti: 1 punti, 1.67%





GEO GROUP s.r.l.

Via C. Costa 182, 41100 Modena  
Tel. 059/828367- 059/3967169; fax 059/5332019

**PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA**  
**VALORI DI CAMPAGNA, PUNTA E LATERALE**

n°	<b>CPT8</b>
riferimento	<b>133-06</b>
certificato n°	<b>908</b>
n° verbale accett.	

Committente: **Studio tecnico**  
Cantiere: **Studio terreno di fondazione**  
Località: **Carpi (Mo)**

U.M.: **MPa**  
Scala:  
Pagina: **1**  
Elaborato:  
Data esecuzione: **13/11/2006**  
Data certificato:  
Preforo:  
Falda: **-2.80 m**

H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Fr	H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Fr
m	-	-	-	MPa	kPa	-	%	m	-	-	-	MPa	kPa	-	%
0.20	0.0	0.0		0.0											
0.40	50.0	80.0		4.9	200.00	25	4.0								
0.60	55.0	84.0		5.4	193.00	28	3.5								
0.80	45.0	70.0		4.4	167.00	27	3.7								
1.00	44.0	72.0		4.3	187.00	24	4.3								
1.20	43.0	56.0		4.2	87.00	49	2.0								
1.40	32.0	55.0		3.1	153.00	21	4.8								
1.60	20.0	40.0		2.0	133.00	15	6.7								
1.80	14.0	31.0		1.4	113.00	12	8.1								
2.00	12.0	23.0		1.2	73.00	16	6.1								
2.20	13.0	19.0		1.3	40.00	33	3.1								
2.40	12.0	19.0		1.2	47.00	26	3.9								
2.60	14.0	21.0		1.4	47.00	30	3.4								
2.80	9.0	13.0		0.9	27.00	33	3.0								
3.00	15.0	20.0		1.5	33.00	45	2.2								
3.20	9.0	14.0		0.9	33.00	27	3.7								
3.40	9.0	13.0		0.9	27.00	33	3.0								
3.60	10.0	15.0		1.0	33.00	30	3.3								
3.80	9.0	16.0		0.9	47.00	19	5.2								
4.00	11.0	18.0		1.1	47.00	23	4.3								
4.20	6.0	14.0		0.6	53.00	11	8.8								
4.40	8.0	11.0		0.8	20.00	40	2.5								
4.60	8.0	14.0		0.8	40.00	20	5.0								
4.80	8.0	12.0		0.8	27.00	30	3.4								
5.00	9.0	15.0		0.9	40.00	23	4.4								
5.20	7.0	12.0		0.7	33.00	21	4.7								
5.40	5.0	11.0		0.5	40.00	13	8.0								
5.60	9.0	15.0		0.9	40.00	23	4.4								
5.80	11.0	18.0		1.1	47.00	23	4.3								
6.00	9.0	18.0		0.9	60.00	15	6.7								
6.20	13.0	20.0		1.3	47.00	28	3.6								
6.40	11.0	21.0		1.1	67.00	16	6.1								
6.60	8.0	17.0		0.8	60.00	13	7.5								
6.80	11.0	18.0		1.1	47.00	23	4.3								
7.00	8.0	18.0		0.8	67.00	12	8.4								
7.20	12.0	17.0		1.2	33.00	36	2.8								
7.40	13.0	21.0		1.3	53.00	25	4.1								
7.60	14.0	25.0		1.4	73.00	19	5.2								
7.80	16.0	31.0		1.6	100.00	16	6.3								
8.00	15.0	31.0		1.5	107.00	14	7.1								
8.20	14.0	28.0		1.4	93.00	15	6.6								
8.40	14.0	29.0		1.4	100.00	14	7.1								
8.60	12.0	24.0		1.2	80.00	15	6.7								
8.80	12.0	24.0		1.2	80.00	15	6.7								
9.00	18.0	24.0		1.8	40.00	45	2.2								
9.20	16.0	30.0		1.6	93.00	17	5.8								
9.40	18.0	33.0		1.8	100.00	18	5.6								
9.60	18.0	35.0		1.8	113.00	16	6.3								
9.80	20.0	36.0		2.0	107.00	19	5.4								
10.00	28.0	43.0		2.7	100.00	28	3.6								
10.20	23.0	46.0		2.3	153.00	15	6.7								
10.40	26.0	46.0		2.5	133.00	20	5.1								
10.60	25.0	45.0		2.5	133.00	19	5.3								
10.80	25.0	47.0		2.5	147.00	17	5.9								
11.00	27.0	47.0		2.6	133.00	20	4.9								
11.20	20.0	37.0		2.0	113.00	18	5.7								
11.40	11.0	22.0		1.1	73.00	15	6.6								
11.60	9.0	16.0		0.9	47.00	19	5.2								
11.80	12.0	17.0		1.2	33.00	36	2.8								
12.00	15.0	20.0		1.5	33.00	45	2.2								
12.20	12.0	22.0		1.2	67.00	18	5.6								
12.40	11.0	20.0		1.1	80.00	18	5.5								
12.60	13.0	24.0		1.3	73.00	18	5.8								
12.80	20.0	52.0		2.0	213.00	9	10.7								
13.00	22.0	36.0		2.2	93.00	24	4.2								
13.20	16.0	31.0		1.6	100.00	16	6.3								
13.40	13.0	25.0		1.3	80.00	16	6.2								
13.60	14.0	26.0		1.4	80.00	18	5.7								
13.80	15.0	24.0		1.5	60.00	25	4.0								
14.00	15.0	26.0		1.5	73.00	21	4.9								
14.20	15.0	25.0		1.5	67.00	22	4.5								
14.40	16.0	32.0		1.6	107.00	15	6.7								
14.60	17.0	29.0		1.7	80.00	21	4.7								
14.80	15.0	28.0		1.5	87.00	17	5.8								
15.00	15.0	26.0		1.5	73.00	21	4.9								

H = profondità  
L1 = prima lettura (punta)  
L2 = seconda lettura (punta + laterale)  
Lt = terza lettura (totale)  
qc = resistenza di punta  
fs = resistenza laterale  
F = rapporto di Begemann (qc / fs)  
Fr = rapporto di Schmertmann (fs / qc)%

GEO GROUP s.r.l.

Via C. Costa 182, 41100 Modena

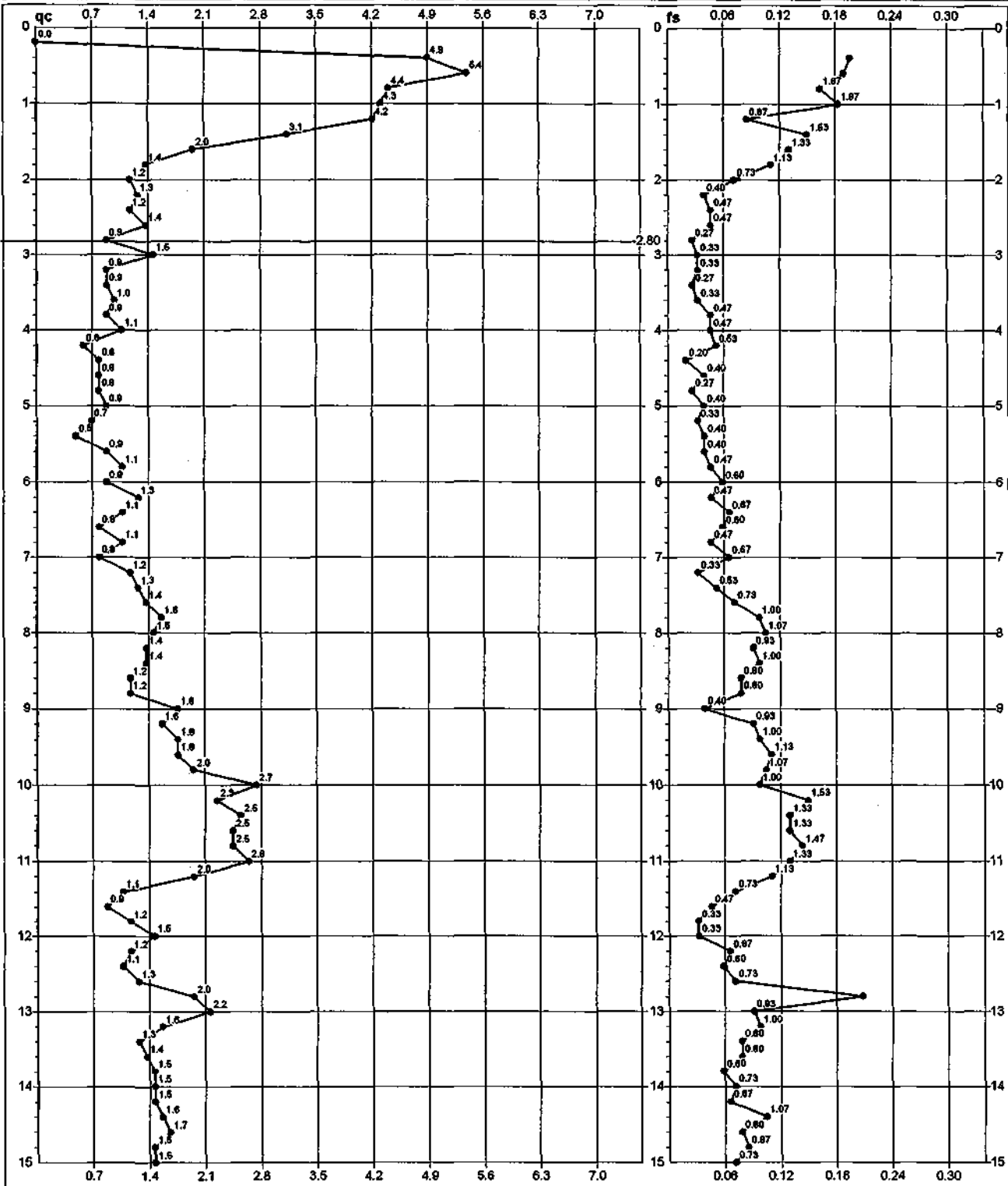
Tel. 059/828367- 059/3967169; fax 059/5332019

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA E LITOLOGIA

n°	<b>CPT8</b>
riferimento	133-06
certificato n°	908
n° verbale eccezz.	

Committente: **Studio tecnico**  
 Cantiere: **Studio terreno di fondazione**  
 Località: **Carpi (Mo)**

U.M.: **MPa**      Data esecuzione: **13/11/2006**  
 Scala: **1:75**      Data certificato:  
 Pagina: **1**      Preforo:  
 Elaborato:      Falda: **-2,80 m**



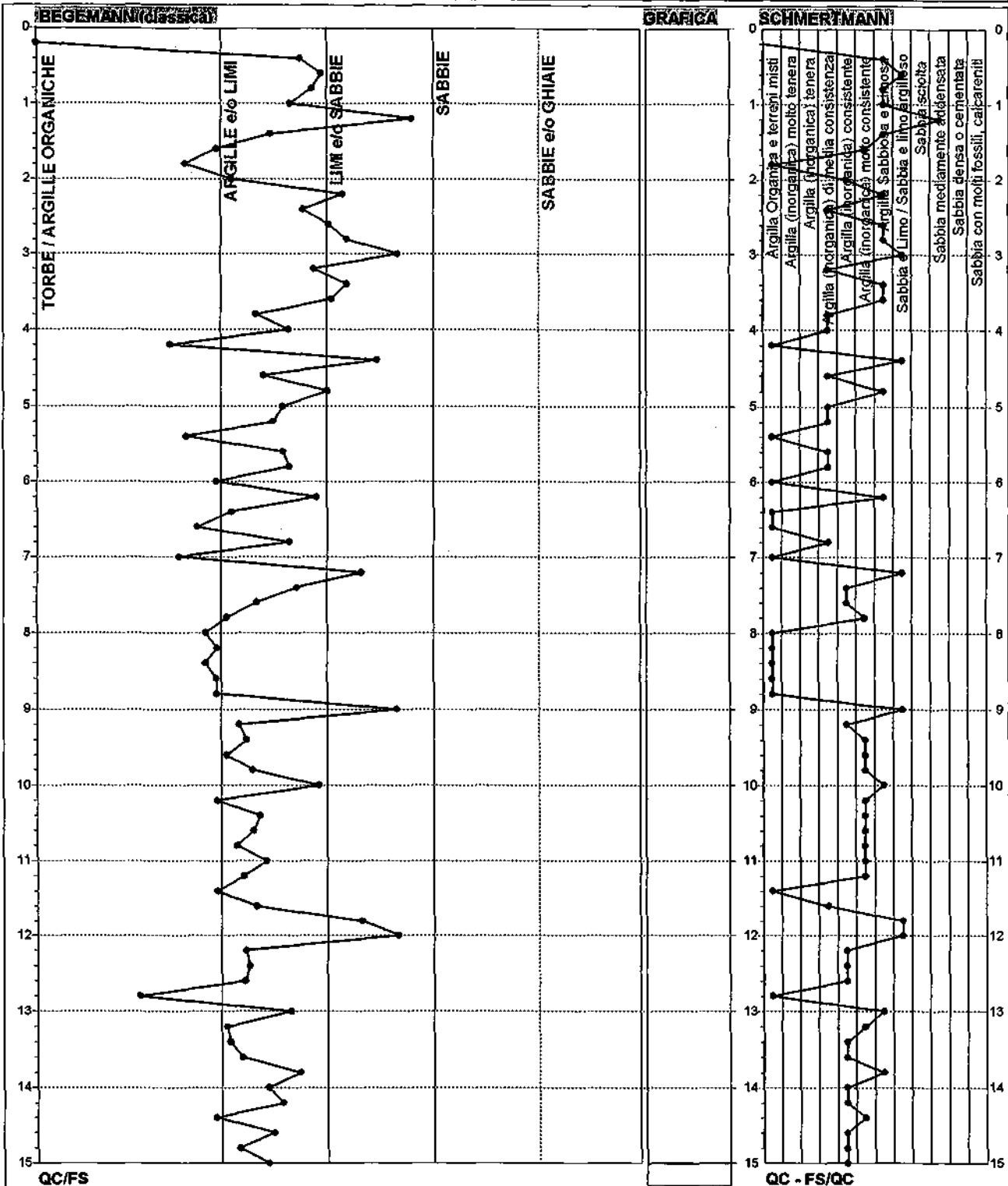
Coord. Relative	Coord. Geografiche	Penetrometro: <b>TG83-200</b>	Quota ass.:
Xr: m	Xg: m	Responsabile: <b>Dott. Pier Luigi Dallari</b>	Corr.astine: <b>kN/m</b>
Yr: m	Yg: m	Assistente: <b>Dott.ssa Arianna Casarini</b>	Cod.ISTAT:
Zr: m	Zg: m		

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA INTERPRETAZIONE LITOLOGICA

n°	<b>CPT8</b>
riferimento	<b>133-06</b>
certificato n°	<b>908</b>
n° verbale accetti.	

Committente: **Studio tecnico**  
 Cantilere: **Studio terreno di fondazione**  
 Località: **Carpi (Mo)**

U.M.: **MPa**      Data esecuzione: **13/11/2006**  
 Scala: **1:75**      Data certificato:  
 Pagina: **1**      Preforo:  
 Elaborato:      Falda: **-2.80 m**



Torbe / Argille organiche : 13 punti, 17.33%	Argilla Organica e terreni misti: 14 letture, 18.67%	Argilla Sabbiosa e Limosa: 14 punti, 18.67%
Argille e/o Limi : 51 punti, 68.00%	Argilla (inorganica) molto tenera: 0 punti, 0.00%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo argilloso: 7 punti, 9.33%
Limi e/o Sabbie : 11 punti, 14.67%	Argilla (inorganica) tenera: 0 punti, 0.00%	Sabbia sciolta: 0 punti, 0.00%
Sabbie: 0 punti, 0.00%	Argilla (inorganica) media consistenza : 11 punti, 14.67%	Sabbia mediamente addensata: 1 punto, 1.33%
Sabbie e/o Ghiaie : 0 punti, 0.00%	Argilla (inorganica) consistente: 14 punti, 18.67%	Sabbia densa o cementata: 0 punti, 0.00%
	Argilla (inorganica) molto consistente: 13 punti, 17.33%	Sabbia con molti fossili, calcareniti: 0 punti, 0.00%



GEO GROUP s.r.l.

Via C. Costa 182, 41100 Modena

Tel. 059/828367- 059/3967169; fax 059/5332019

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA VALORI DI CAMPAGNA, PUNTA E LATERALE

n°	<b>CPT9</b>
riferimento	133-06
certificato n°	909
n° verbale accett.	

Committente: **Studio tecnico**  
Cantiere: **Studio terreno di fondazione**  
Località: **Carpi (Mo)**

U.M.: **MPa**      Data esecuzione: **13/11/2006**  
Scala:              Data certificato:  
Pagina: **1**        Preforo:  
Elaborato:         Falda: **-2.60 m**

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Fr %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Fr %
0.20	0.0	0.0		0.0											
0.40	60.0	85.0		5.9	167.00	36	2.8								
0.60	72.0	90.0		7.1	120.00	60	1.7								
0.80	60.0	77.0		5.9	113.00	53	1.9								
1.00	46.0	76.0		4.5	200.00	23	4.3								
1.20	40.0	63.0		3.9	153.00	26	3.8								
1.40	24.0	42.0		2.4	120.00	20	5.0								
1.60	15.0	31.0		1.5	107.00	14	7.1								
1.80	16.0	33.0		1.8	113.00	14	7.1								
2.00	13.0	25.0		1.3	80.00	16	6.2								
2.20	11.0	20.0		1.1	60.00	18	5.5								
2.40	10.0	18.0		1.0	53.00	19	5.3								
2.60	10.0	14.0		1.0	27.00	37	2.7								
2.80	10.0	15.0		1.0	33.00	30	3.3								
3.00	7.0	13.0		0.7	40.00	18	5.7								
3.20	10.0	14.0		1.0	27.00	37	2.7								
3.40	12.0	16.0		1.2	27.00	44	2.3								
3.60	8.0	18.0		0.8	67.00	12	8.4								
3.80	7.0	12.0		0.7	33.00	21	4.7								
4.00	11.0	17.0		1.1	40.00	28	3.6								
4.20	9.0	16.0		0.9	47.00	19	6.2								
4.40	13.0	18.0		1.3	33.00	39	2.5								
4.60	12.0	16.0		1.2	27.00	44	2.3								
4.80	10.0	16.0		1.0	40.00	25	4.0								
5.00	10.0	18.0		1.0	53.00	19	5.3								
5.20	11.0	21.0		1.1	67.00	16	6.1								
5.40	11.0	20.0		1.1	60.00	18	5.5								
5.60	11.0	18.0		1.1	47.00	23	4.3								
5.80	10.0	19.0		1.0	60.00	17	6.0								
6.00	8.0	15.0		0.8	47.00	17	5.9								
6.20	8.0	15.0		0.8	47.00	17	5.9								
6.40	9.0	14.0		0.9	33.00	27	3.7								
6.60	11.0	19.0		1.1	53.00	21	4.8								
6.80	10.0	18.0		1.0	53.00	19	5.3								
7.00	8.0	15.0		0.8	47.00	17	5.9								
7.20	7.0	13.0		0.7	40.00	18	5.7								
7.40	6.0	12.0		0.6	40.00	15	6.7								
7.60	7.0	13.0		0.7	40.00	18	5.7								
7.80	12.0	18.0		1.2	40.00	30	3.3								
8.00	13.0	22.0		1.3	60.00	22	4.6								
8.20	11.0	22.0		1.1	73.00	15	6.6								
8.40	12.0	23.0		1.2	73.00	16	6.1								
8.60	10.0	21.0		1.0	73.00	14	7.3								
8.80	11.0	22.0		1.1	73.00	15	6.6								
9.00	14.0	27.0		1.4	87.00	16	6.2								
9.20	15.0	26.0		1.5	73.00	21	4.9								
9.40	12.0	24.0		1.2	80.00	15	6.7								
9.60	11.0	22.0		1.1	73.00	16	6.6								
9.80	14.0	28.0		1.4	93.00	15	6.6								
10.00	13.0	25.0		1.3	80.00	16	6.2								
10.20	15.0	31.0		1.5	107.00	14	7.1								
10.40	18.0	35.0		1.8	113.00	16	6.3								
10.60	22.0	40.0		2.2	120.00	18	5.5								
10.80	25.0	44.0		2.5	127.00	20	5.1								
11.00	26.0	50.0		2.5	160.00	16	6.2								
11.20	28.0	51.0		2.7	193.00	18	5.5								
11.40	22.0	40.0		2.2	120.00	18	5.5								
11.60	15.0	25.0		1.5	67.00	22	4.5								
11.80	11.0	20.0		1.1	60.00	18	5.5								
12.00	12.0	23.0		1.2	73.00	16	6.1								

H = profondità                      qc = resistenza di punta  
L1 = prima lettura (punta)        fs = resistenza laterale  
L2 = seconda lettura (punta + laterale)    F = rapporto di Begemann (qc / fs)  
Lt = terza lettura (totale)         Fr = rapporto di Scherzmann (fs / qc)%

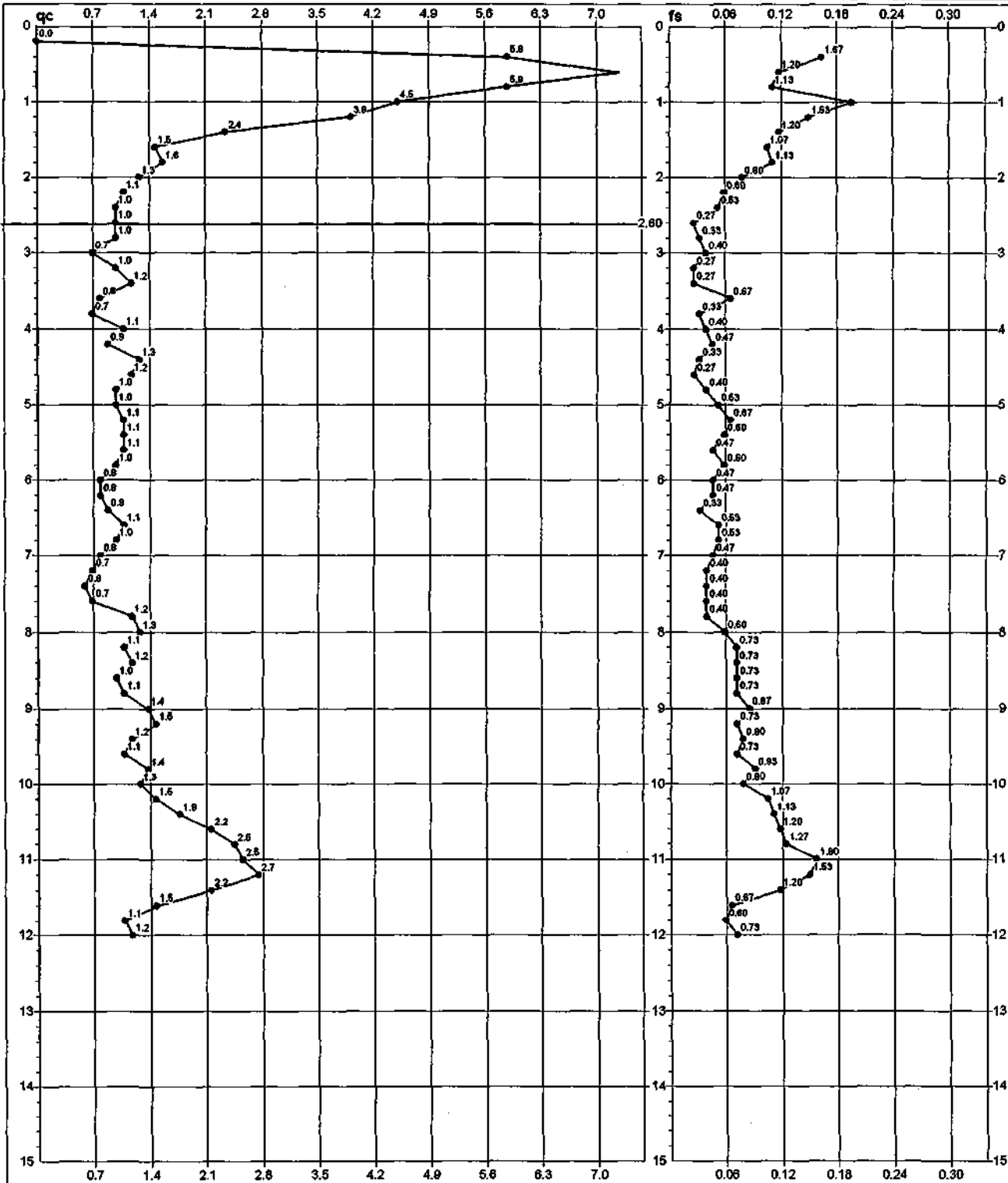


# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA E LITOLOGIA

n°	<b>CPT9</b>
riferimento	<b>133-06</b>
certificato n°	<b>909</b>
n° verbale accett.	

Committente: **Studio tecnico**  
 Cantiere: **Studio terreno di fondazione**  
 Località: **Carpi (Mo)**

U.M.: **MPa**      Data esecuzione: **13/11/2006**  
 Scala: **1:76**      Data certificato:  
 Pagina: **1**      Preforo:  
 Elaborato:      Falda: **-2.60 m**



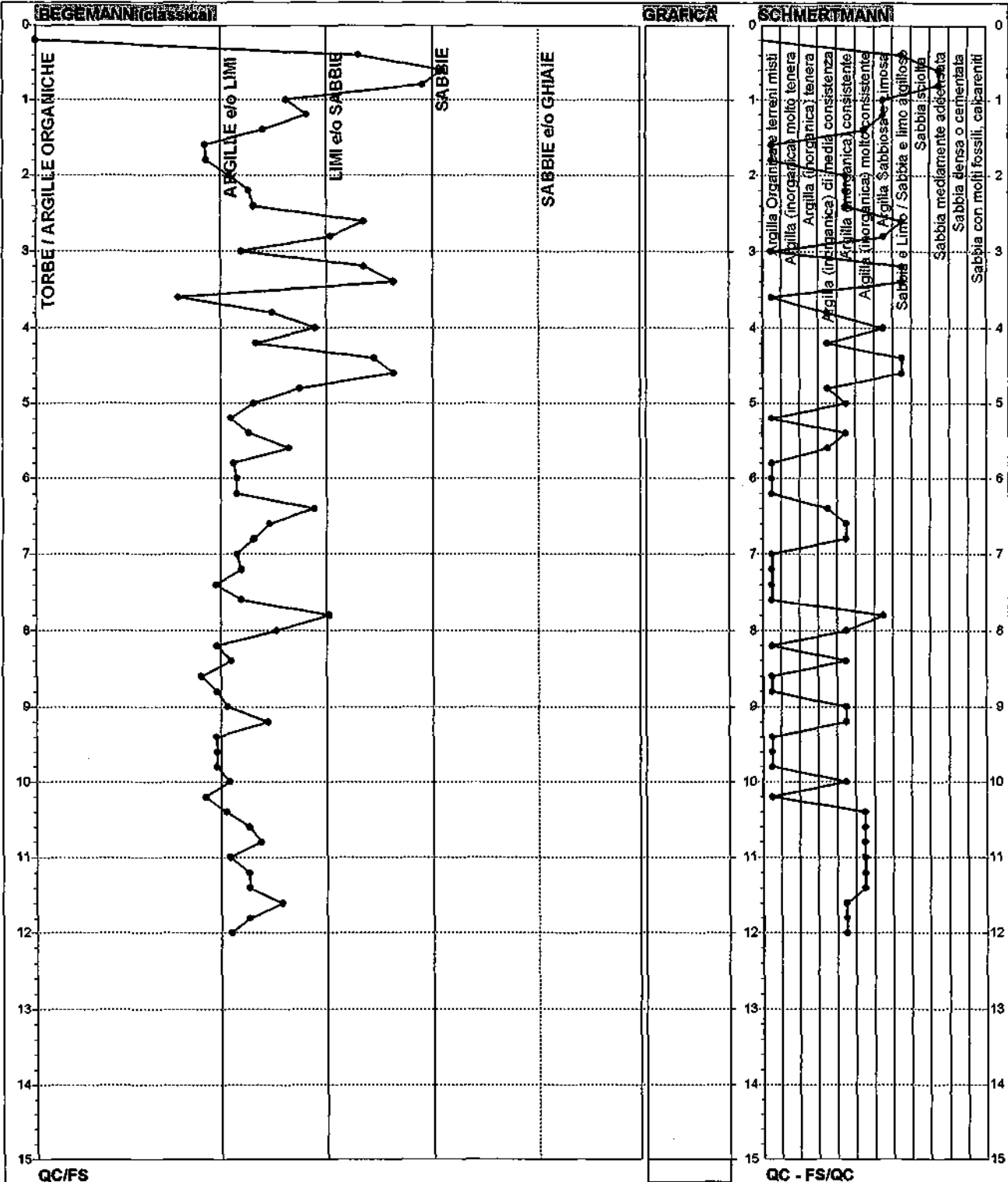
Coord. Relative Xr: m Yr: m Zr: m	Coord. Geografiche Xg: Yg: Zg:	Penetrometro: <b>TG63-200</b> Responsabile: <b>Dott. Pier Luigi Dallari</b> Assistente: <b>Dott.ssa Arianna Casarini</b>	Quota ass.: Corr.astine: <b>kN/ml</b> Cod.ISTAT:
--	---	--	--

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA INTERPRETAZIONE LITOLOGICA

n°	<b>CPT9</b>
referimento	<b>133-06</b>
certificato n°	<b>909</b>
n° verbale accetti.	

Committente: **Studio tecnico**  
Cantiere: **Studio terreno di fondazione**  
Località: **Carpi (Mo)**

U.M.: **MPa**      Data esecuzione: **13/11/2006**  
Scala: **1:75**      Data certificato:  
Pagina: **1**      Preforo:  
Elaborato:      Falda: **-2.60 m**



Torbe / Argille organiche :	8 punti,	13.33%
Argille e/o Limi :	43 punti,	71.67%
Limi e/o Sabbie :	9 punti,	15.00%
Sabbie :	0 punti,	0.00%
Sabbie e/o Ghiaie :	0 punti,	0.00%

Argilla Organica e terreni misti:	19 letture,	31.67%
Argilla (inorganica) molto tenera:	0 punti,	0.00%
Argilla (inorganica) tenera:	0 punti,	0.00%
Argilla (inorganica) media consistenza :	5 punti,	8.33%
Argilla (inorganica) consistente:	15 punti,	25.00%
Argilla (inorganica) molto consistente:	7 punti,	11.67%

Argilla Sabbiosa e Limosa:	5 punti,	8.33%
Sabbia e Limo / Sabbia e limo argilloso:	6 punti,	10.00%
Sabbia sciolta:	0 punti,	0.00%
Sabbia mediamente addensata:	2 punti,	3.33%
Sabbia densa o cementata:	0 punti,	0.00%
Sabbia con molti fossili, calcareniti:	0 punti,	0.00%



# **ALLEGATO 3**

## INDAGINI SISMICHE

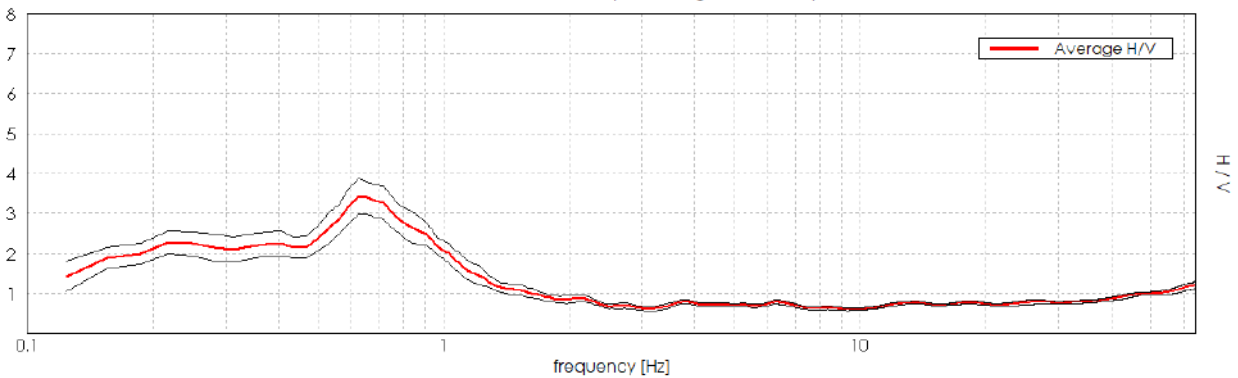
## CARPI, AREA EX-SILAN – VIA T. VECELLIO

Instrument: TE3-0303/01-17  
 Data format: 32 bit  
 Full scale [mV]: 51  
 Start recording: 18/05/2022 11:58:56 End recording: 18/05/2022 12:18:56  
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 GPS data not available

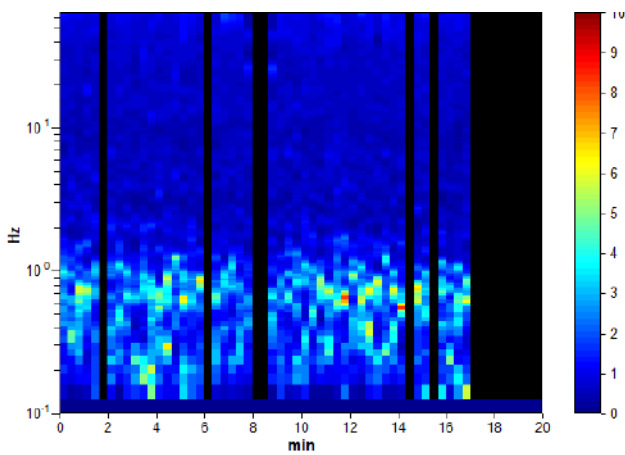
Trace length: 0h20'00". Analyzed 75% trace (manual window selection)  
 Sampling rate: 128 Hz  
 Window size: 20 s  
 Smoothing type: Triangular window  
 Smoothing: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

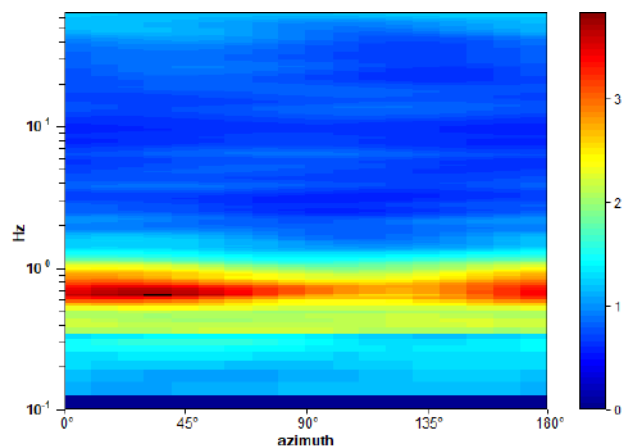
Max. H/V at  $0.63 \pm 0.07$  Hz (in the range 0.2 - 30.0 Hz).



### H/V TIME HISTORY

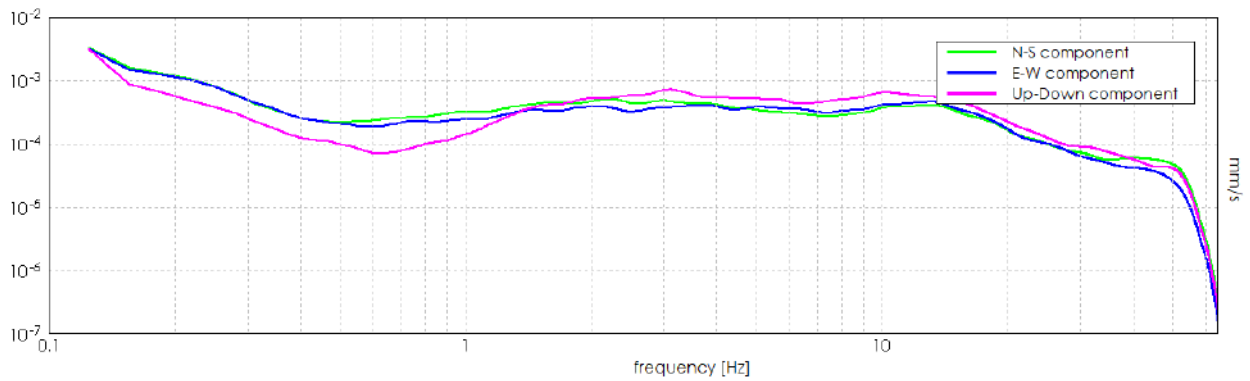


### DIRECTIONAL H/V

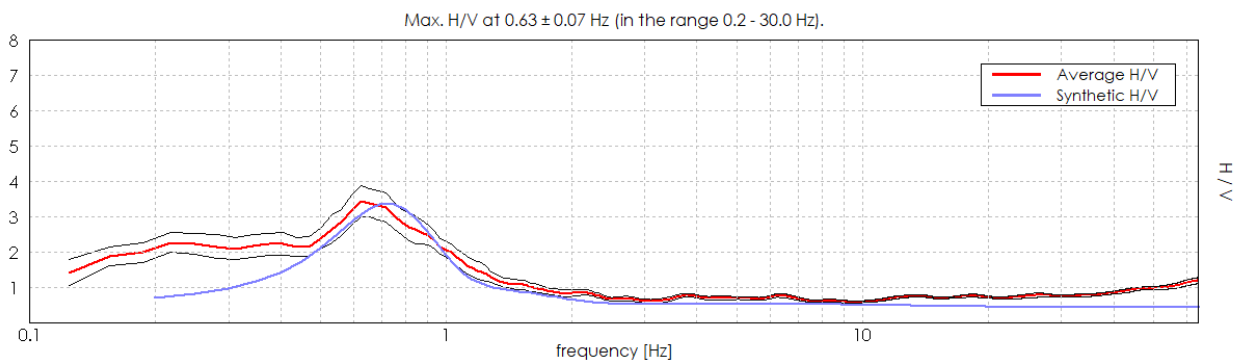




### SINGLE COMPONENT SPECTRA



### EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
3.00	3.00	180	0.45
8.00	5.00	200	0.45
18.00	10.00	220	0.44
38.00	20.00	250	0.44
78.00	40.00	350	0.43
158.00	80.00	450	0.43
inf.	inf.	650	0.42

**Vs\_eq (0.0-30.0) = 222 m/s**

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

**Max. H/V at  $0.63 \pm 0.07$  Hz (in the range 0.2 - 30.0 Hz).**

**Criteria for a reliable H/V curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.63 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$562.5 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ 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 31 times	<b>OK</b>	

**Criteria for a clear H/V peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			<b>NO</b>
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.125 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$3.43 > 2$	<b>OK</b>	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.11131  < 0.05$		<b>NO</b>
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.06957 < 0.09375$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.444 < 2.0$	<b>OK</b>	

$L_w$	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
$\sigma_f$	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  $\sigma_f$  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

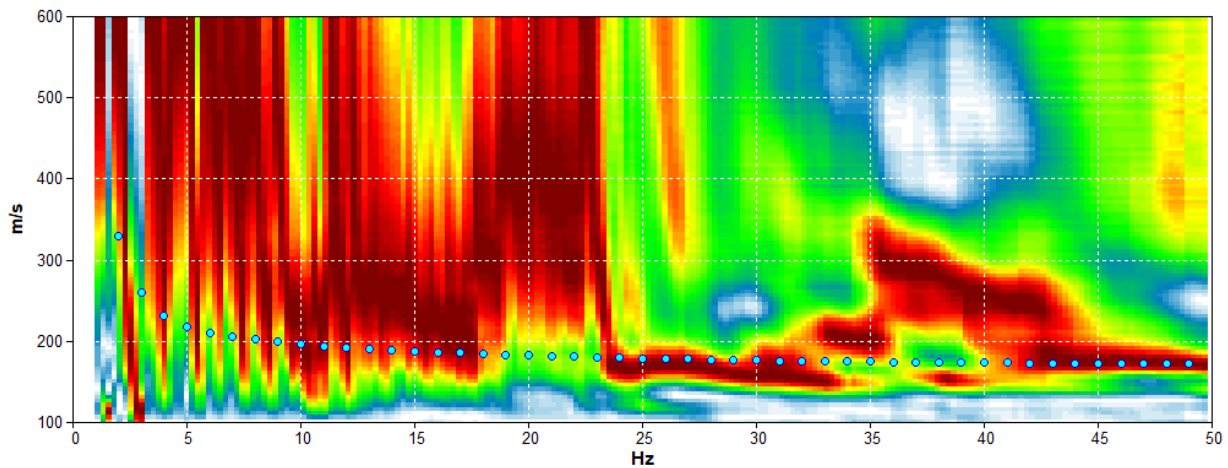
## CARPI, AREA EX-SILAN – VIA T. VECELLIO

Start recording: 18/05/2022 11:58:56 End recording: 18/05/2022 12:18:56  
 Trace length: 0h20'00". Analyzed 75% trace (manual window selection)  
 Sampling rate: 128 Hz

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

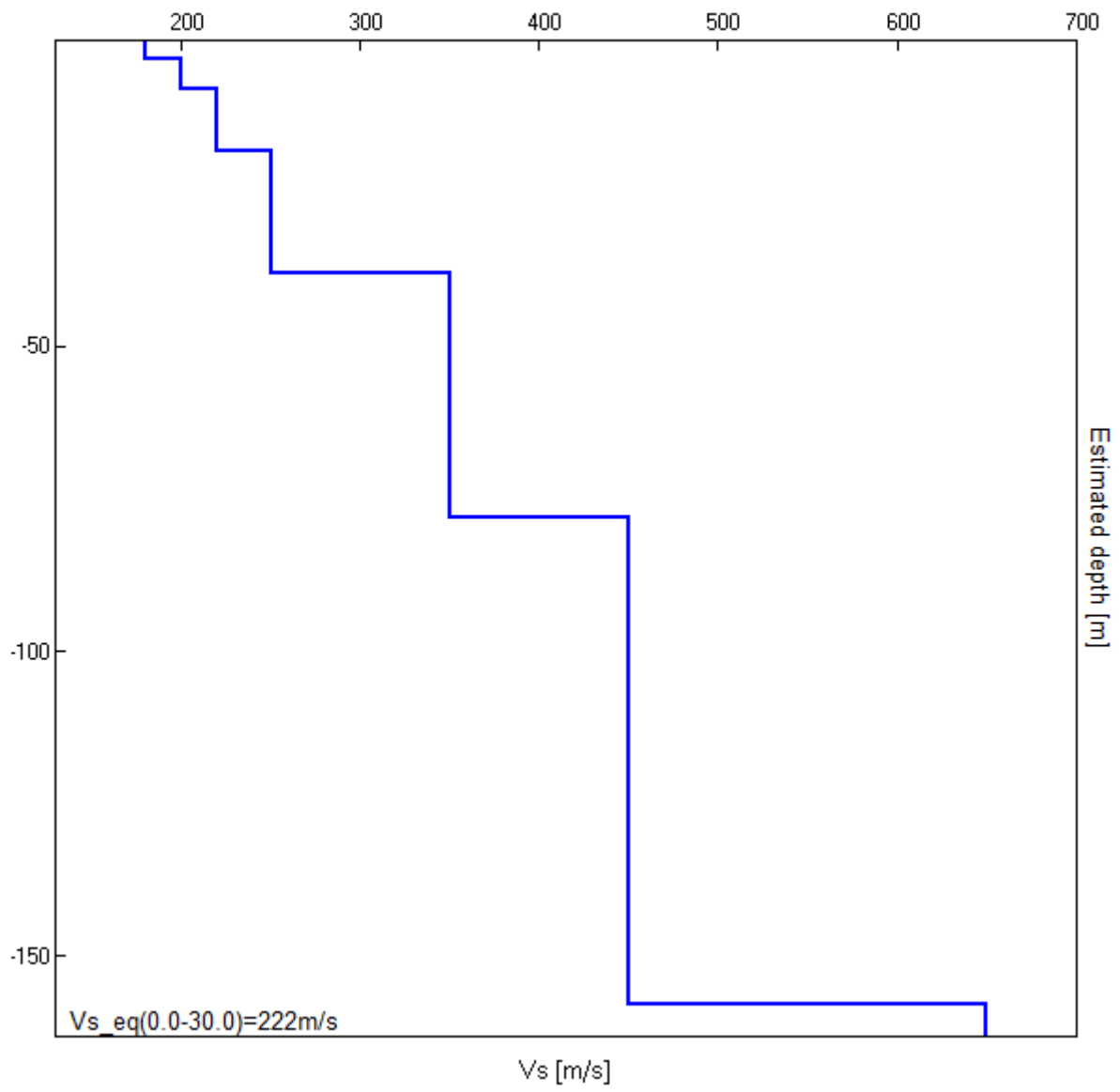
Array geometry (x): 0.0 2.0 4.0 6.0 8.0 10.0 12.0 14.0 m.

### MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
3.00	3.00	180	0.45
8.00	5.00	200	0.45
18.00	10.00	220	0.44
38.00	20.00	250	0.44
78.00	40.00	350	0.43
158.00	80.00	450	0.43
inf.	inf.	650	0.42

**Vs\_eq (0.0-30.0) = 222 m/s**



# ALLEGATO 4

## VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE



**LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT**

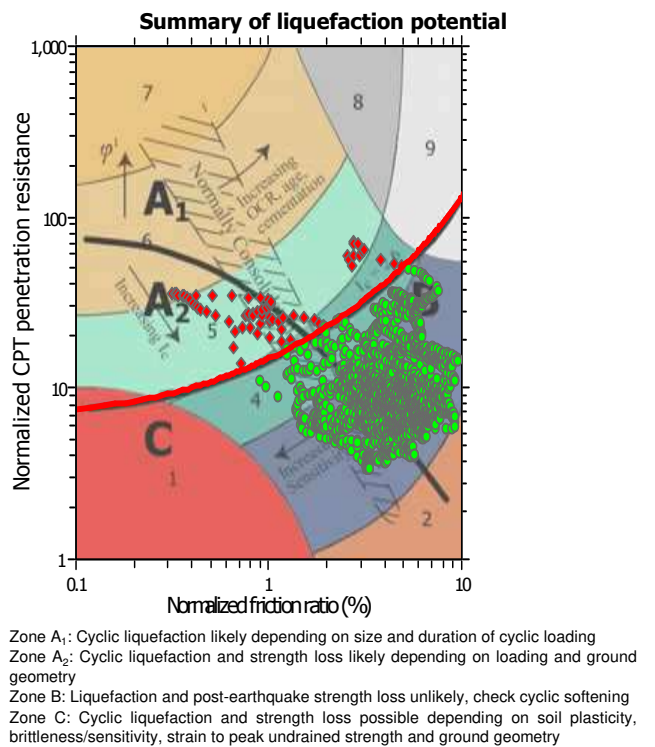
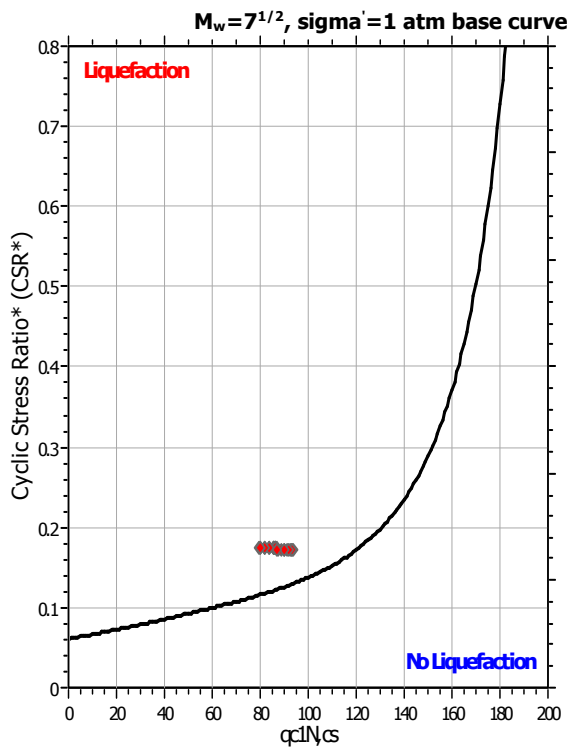
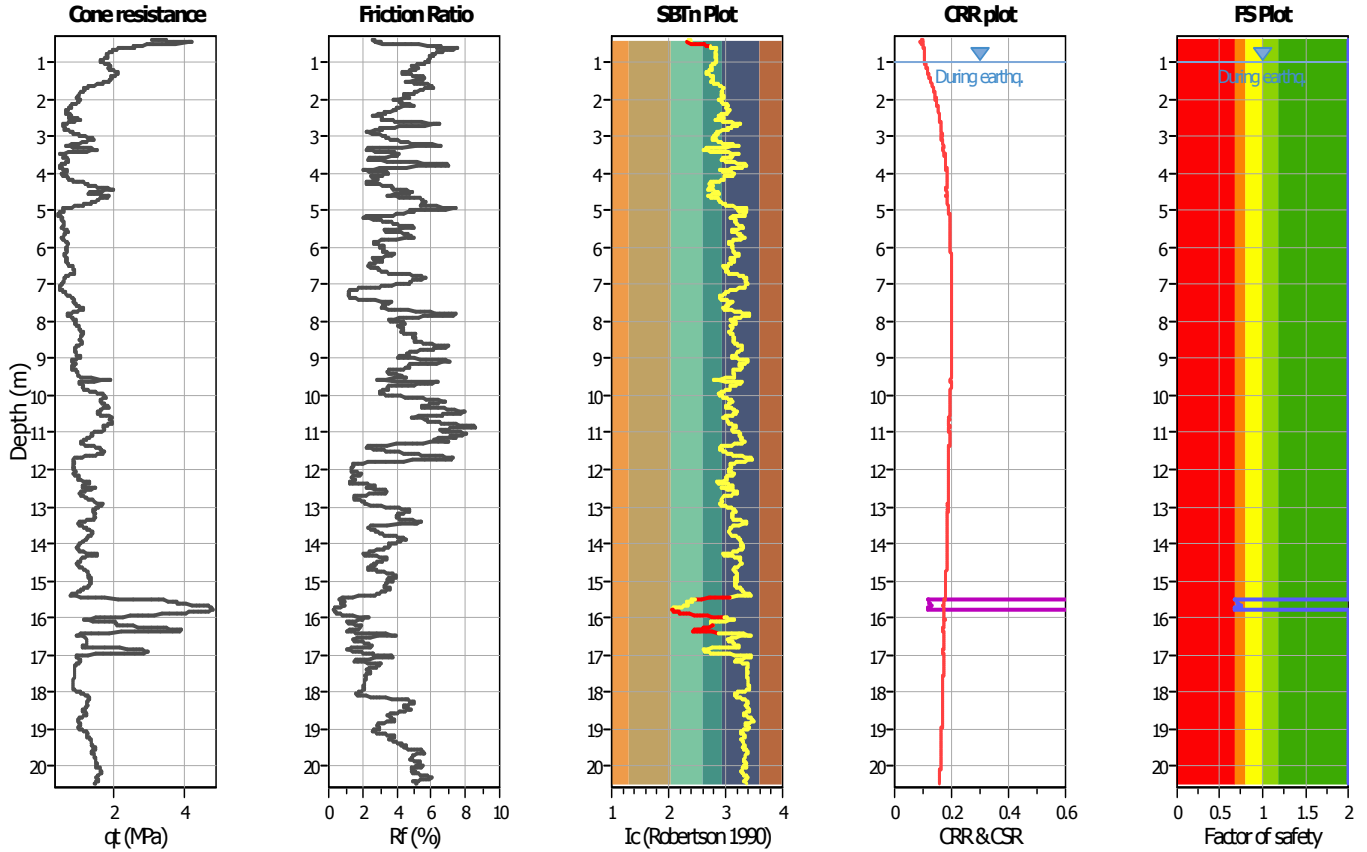
**Project title : STUDIO TECNICO**

**Location : CARPI - AREA EX SILAN - VIA TIZIANO VECELLIO**

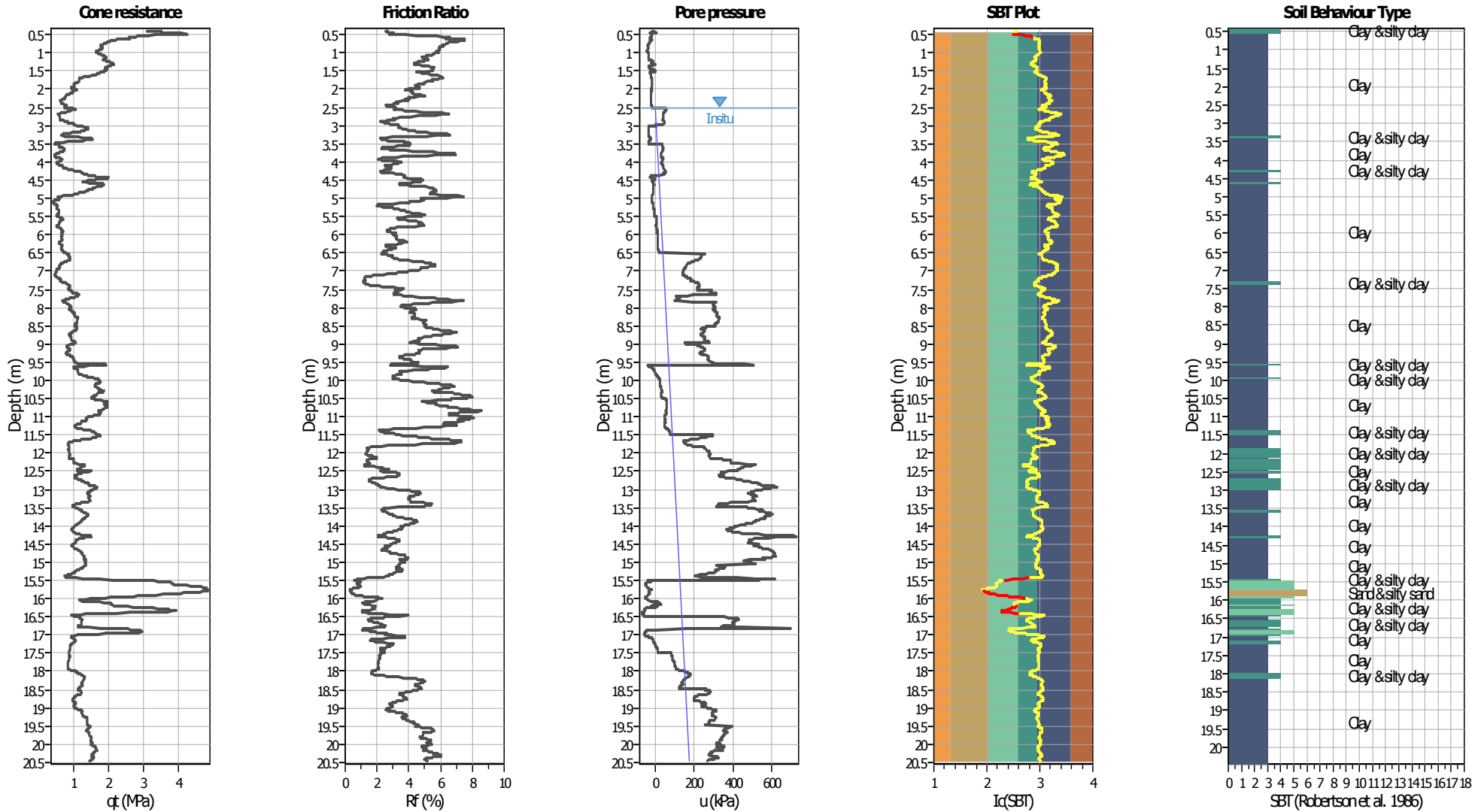
**CPT file : CPTU**

**Input parameters and analysis data**

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	2.50 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	1.00 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:	Yes	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.20	Unit weight calculation:	Based on SBT	$K_\sigma$ applied:	Yes	MSF method:	Method



### CPT basic interpretation plots



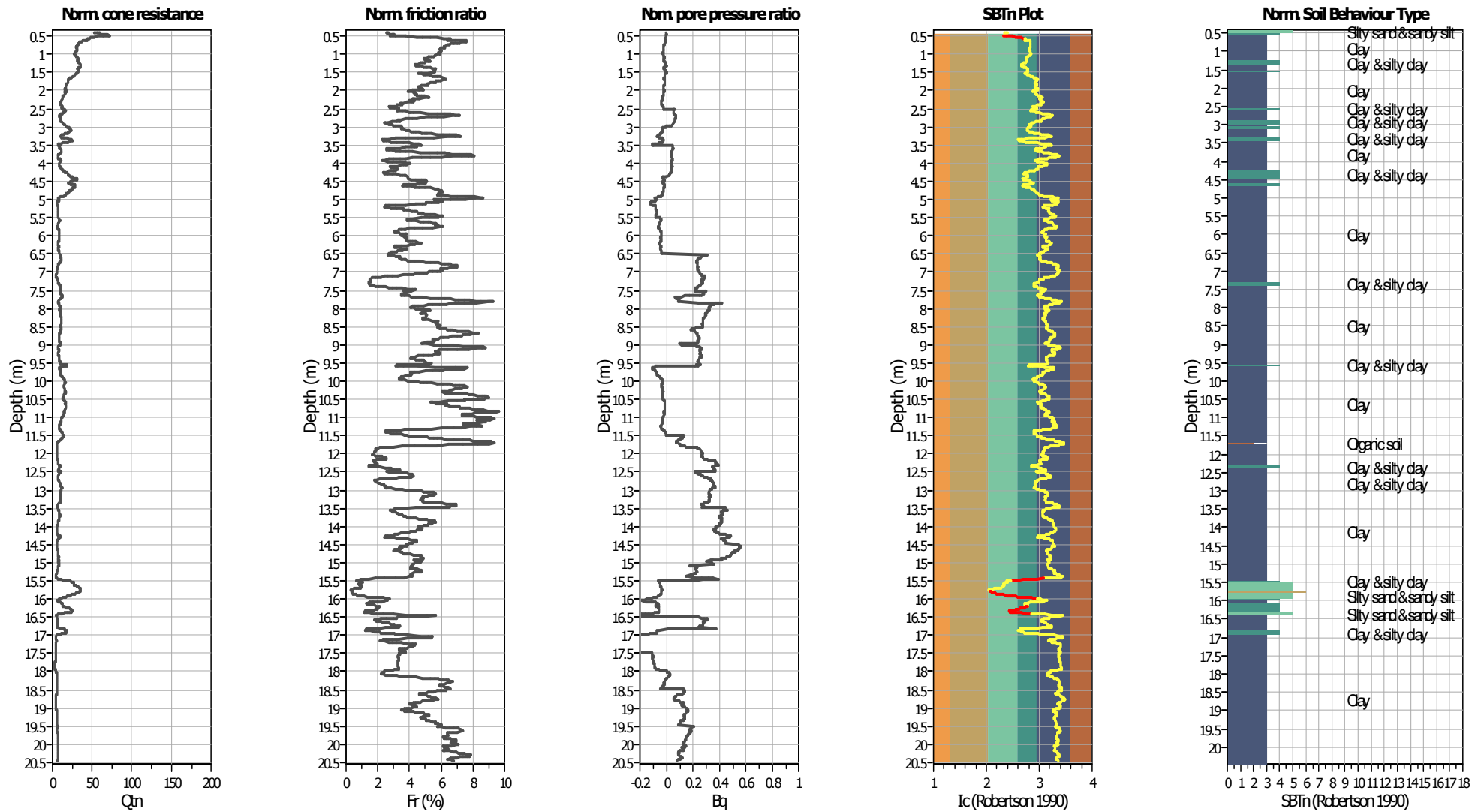
#### Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on $I_c$ value	$I_c$ cut-off value:	2.60	$K_{\sigma}$ applied:	Yes
Earthquake magnitude $M_w$ :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.20	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

#### SBT legend

<span style="color: red;">■</span> 1. Sensitive fine grained	<span style="color: teal;">■</span> 4. Clayey silt to silty	<span style="color: orange;">■</span> 7. Gravely sand to sand
<span style="color: brown;">■</span> 2. Organic material	<span style="color: lightgreen;">■</span> 5. Silty sand to sandy silt	<span style="color: grey;">■</span> 8. Very stiff sand to
<span style="color: blue;">■</span> 3. Clay to silty clay	<span style="color: tan;">■</span> 6. Clean sand to silty sand	<span style="color: lightgrey;">■</span> 9. Very stiff fine grained

### CPT basic interpretation plots (normalized)



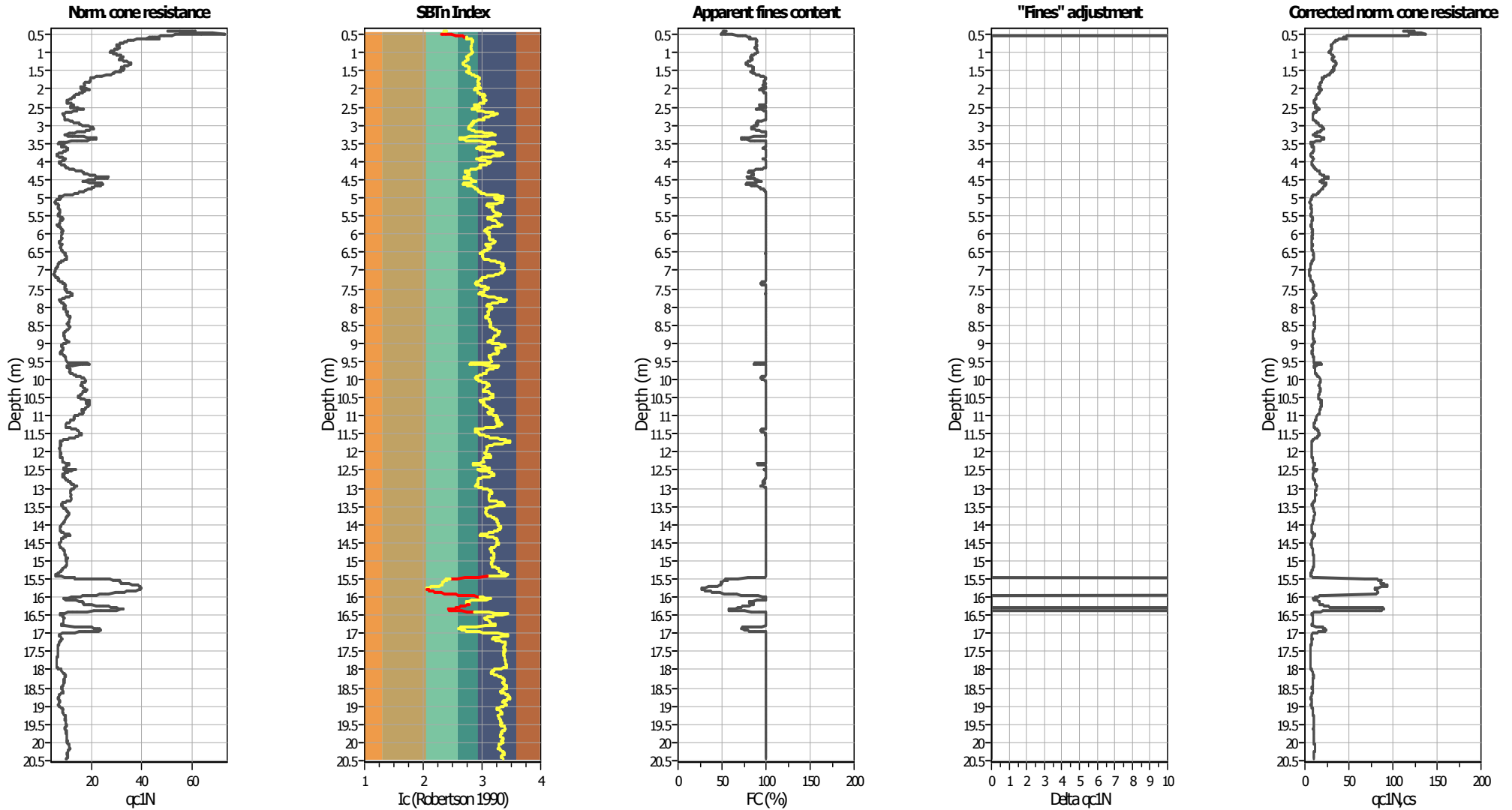
#### Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K <sub>q</sub> applied:	Yes
Earthquake magnitude M <sub>w</sub> :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.20	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.50 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

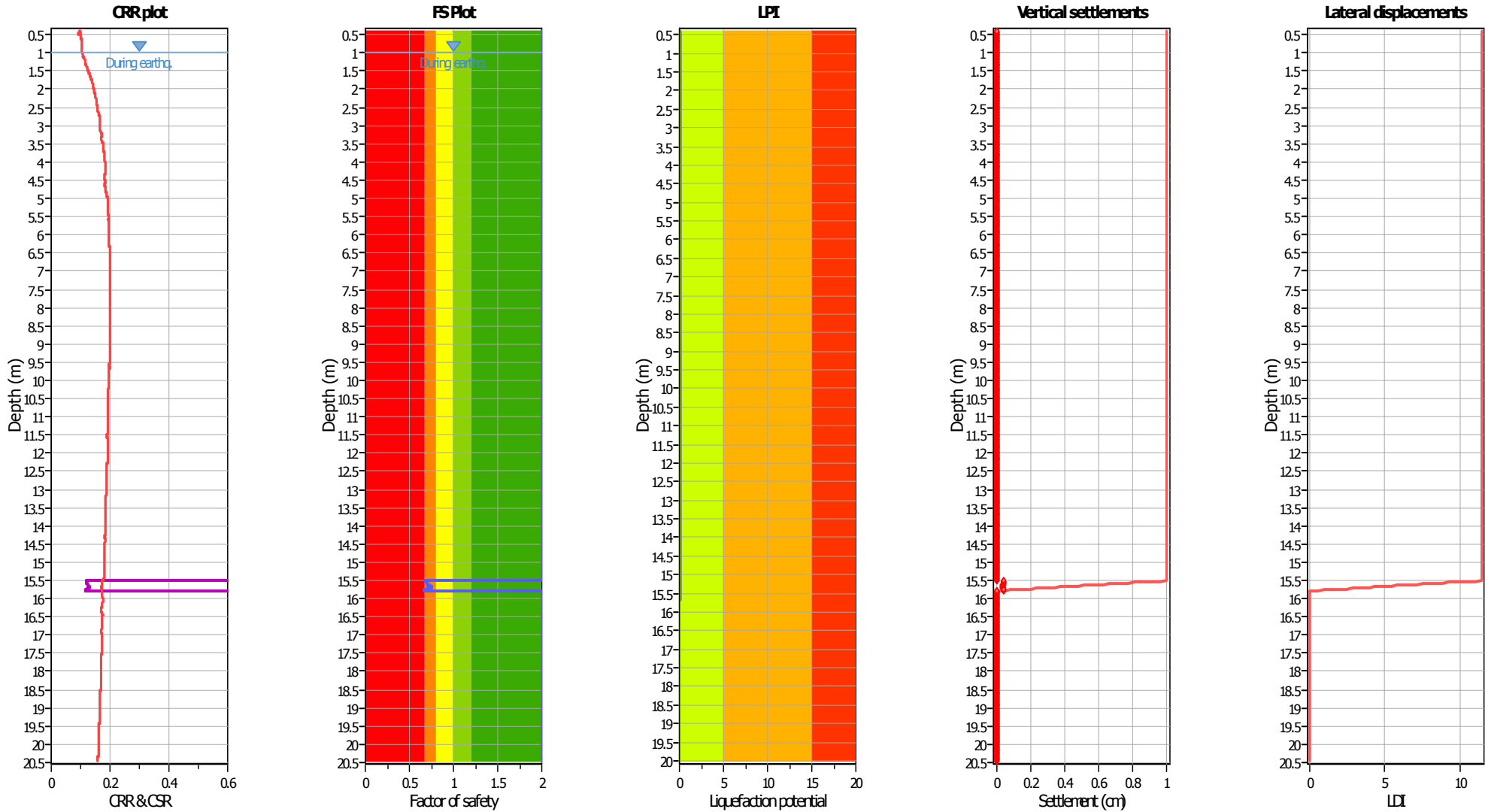
### Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



#### Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on $I_c$ value	$I_c$ cut-off value:	2.60	$K_{\sigma}$ applied:	Yes
Earthquake magnitude $M_w$ :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.20	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.50 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.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	$K_{\sigma}$ applied:	Yes
Earthquake magnitude $M_w$ :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.20	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

**F.S. color scheme**

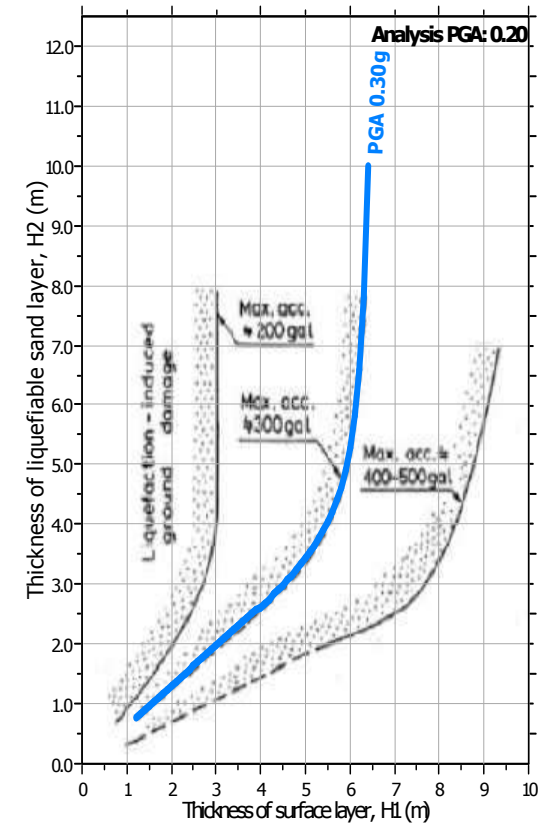
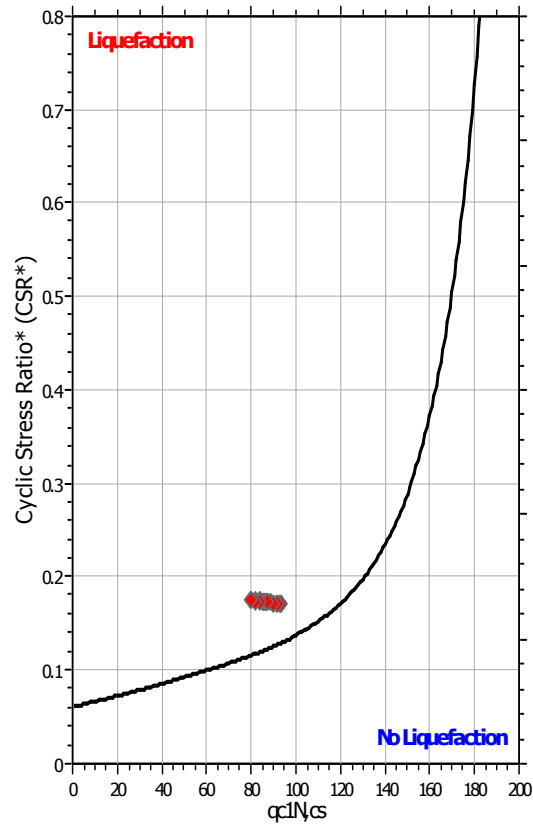
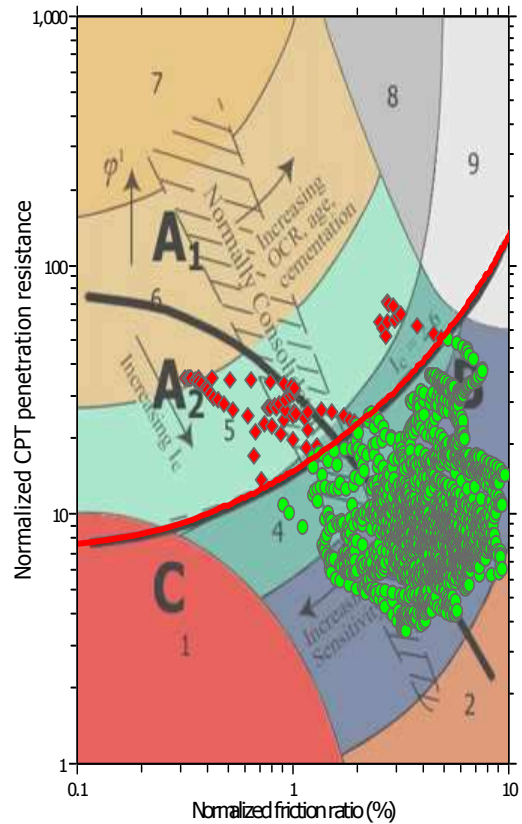
- Almost certain it will liquefy
- Very likely to liquefy
- Liquefaction and no liq. are equally likely
- Unlike to liquefy
- Almost certain it will not liquefy

**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.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K <sub>σ</sub> applied:	Yes
Earthquake magnitude M <sub>w</sub> :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.20	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A