

# COMUNE DI CAMPOGALLIANO

## 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

**Caratterizzazione geologica geotecnica e sismica a supporto del PUA denominato Area 6**

Via Jugularia – loc. Panzano  
Comune di Campogalliano (MO)

Novembre 2021  
**Rif. 1003/2021**



**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)



## RELAZIONE TECNICA

### **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)

### **ANALISI PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE**

Relativa alla caratterizzazione geofisica del volume significativo di terreno (3.2.2 NTC 2018), valutazione dell'azione sismica di riferimento (3.2.3. NTC 2018), Risposta sismica locale e verifica della stabilità nei confronti della liquefazione (DGR 476/2021)

### **OGGETTO**

#### **Caratterizzazione geologica geotecnica e sismica a supporto del PUA denominato Area 6**

---

Via Jugularia – loc. Panzano  
Comune di Campogalliano (MO)

### **COMMITTENTE**

Soc. Agricola Vigna

## Rif. n. 1003/2021



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)



## INDICE DEL CONTENUTO

1	PREMESSE.....	3
2	INQUADRAMENTO GENERALE.....	4
2.1	Inquadramento geografico.....	4
2.2	Elementi geologici e geomorfologici .....	5
2.3	Inquadramento sismico .....	5
3	INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	7
3.1	Indagini Geotecniche .....	7
3.1.1	Prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono CPTe/U.....	7
3.1.2	Prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT.....	10
3.2	Indagini Geofisiche .....	11
3.2.1	Indagine sismica passiva a stazione singola (analisi HVSr) .....	11
3.2.2	Indagine sismica attiva con metodo MASW .....	11
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 – Secondo livello di approfondimento (DGR 476/2021) .....	16
4.4	Stabilità nei confronti della liquefazione (§ A2.2. DGR 476/2021) considerando il valore di PGA ottenuto dallo studio di secondo livello .....	19
5	MODELLAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA DEL SITO.....	22
5.1	Modello geotecnico del sottosuolo.....	22
6	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE .....	24

## TAVOLE

<b>Tav. n. 1:</b>	“Carta Topografica”	scala 1: 5.000;
<b>Tav. n. 2:</b>	“Ripresa Satellitare”	scala 1: 5.000;
<b>Tav. n. 3:</b>	“Ubicazione indagini”	scala 1: 2.000.

## ALLEGATI

**ALL. n. 1** Prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono CPTe/U;

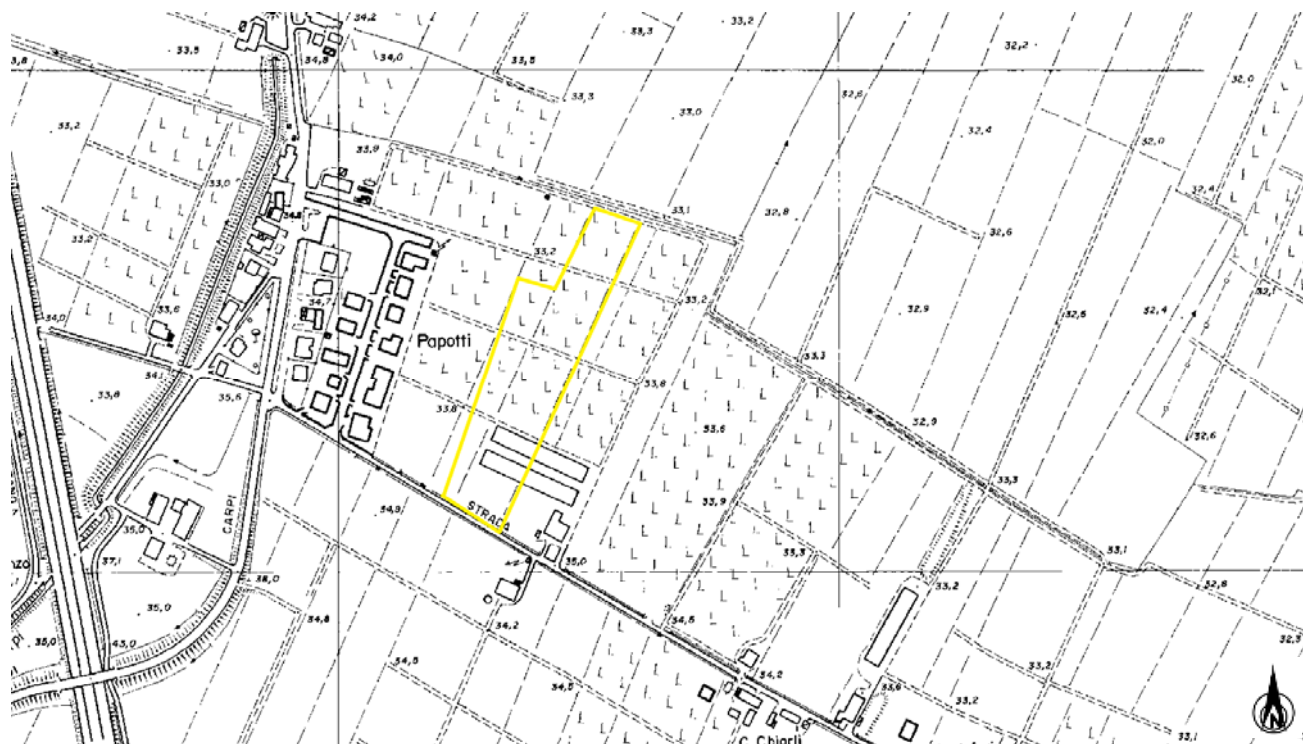
**ALL. n. 2** Prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT;

**ALL. n. 3** Indagini sismiche;

**ALL. n. 4** Verifica alla liquefazione.

# 1 PREMESSE

Nei mesi di ottobre e novembre 2021 è stato eseguito il presente studio geologico, geotecnico e sismico a supporto del PUA denominato Area 6, in località Panzano via Jugularia – Comune di Campogalliano (MO) (Fig.1.1).



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

La presente relazione fa riferimento alle disposizioni normative contenute in:

- Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 – D.M. 17/01/2018;
- DGR 476/2021.

## 2 INQUADRAMENTO GENERALE

### 2.1 Inquadramento geografico

L'area in esame è collocata in ambiente di pianura, a nord del territorio comunale di Campogalliano (Fig.2.1). Le coordinate specifiche dell'area sono le seguenti:

SITO IN ESAME	
COORDINATE GEOGRAFICHE	
LATITUDINE	LONGITUDINE
44.722788	10.853082



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

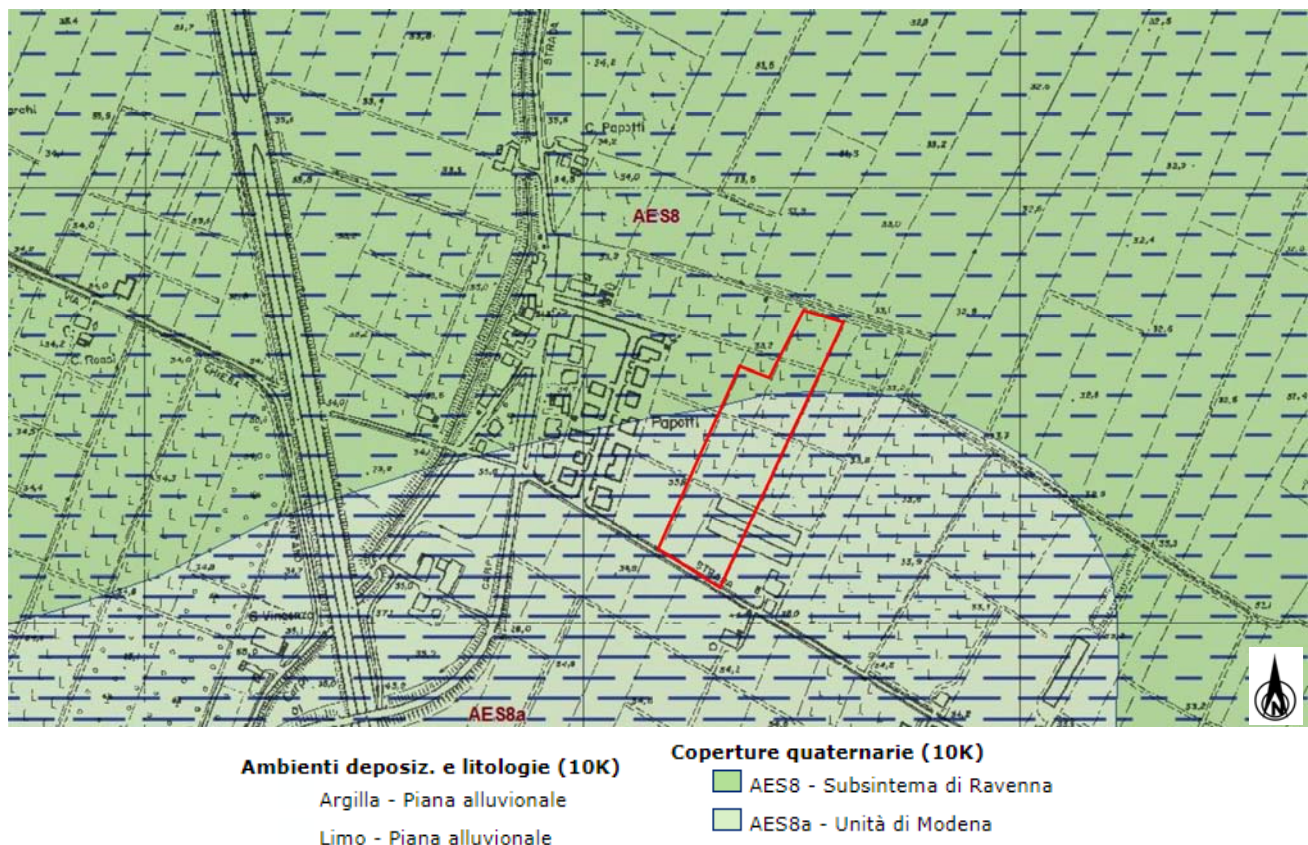
Per un completo inquadramento geografico dell'area si rimanda alla cartografia allegata alla presente relazione, in particolare alla "Carta topografica", alla scala 1: 5.000 (tav. n. 1) e alla "Ripresa satellitare" alla scala 1: 5.000 (tav. n. 2).

## 2.2 Elementi geologici e geomorfologici

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

In particolare l'area in studio è caratterizzata in parte dal:

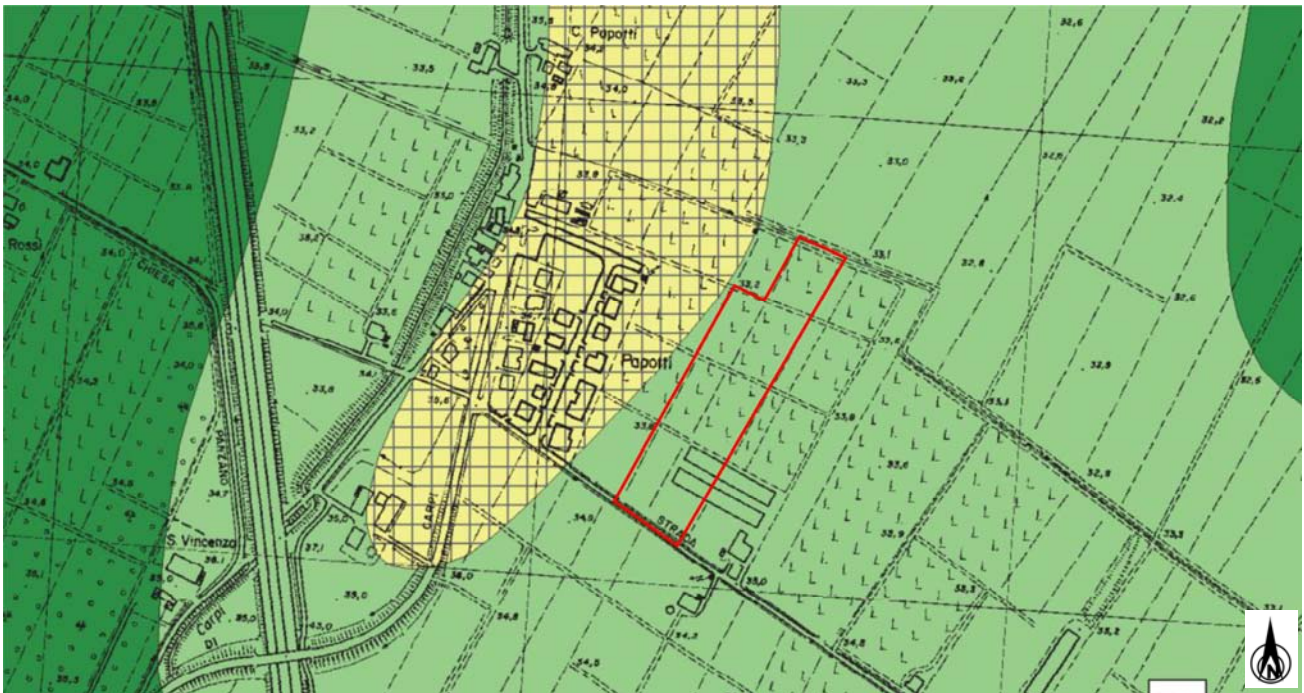
- **Subsistema di Ravenna – AES8**, caratterizzata da ghiaie e ghiaie sabbiose, passanti a sabbie e limi organizzate in numerosi ordini di terrazzi alluvionali. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. A tetto suoli a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente fino a 150 cm e parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallo-bruno. Contengono frequenti reperti archeologici di età del Bronzo, del Ferro e Romana. Potenza fino a oltre 25 m.
- **Unità di Modena – AES8a**, caratterizzata da depositi ghiaiosi passanti a sabbie e limi di terrazzo alluvionale. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. Unità definita dalla presenza di un suolo a bassissimo grado di alterazione, con profilo potente meno di 100 cm, calcareo, grigio-giallastro o bruno grigiastro. Nella pianura ricopre resti archeologici di età romana del VI secolo d.C.. Potenza massima di alcuni metri (< 10 m). (Fig. 2.2).



**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 Campogalliano (MO), ed in particolare dalla "Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica", un cui estratto è riportato in figura (Fig. 2.3), si nota come l'area in studio ricade nella zona Z2, suscettibile di amplificazione locale, pertanto al fine di derivare la pericolosità sismica locale, risulta necessario eseguire la risposta sismica locale al secondo livello di approfondimento, successivamente illustrato al paragrafo §4.3.



### Legenda

#### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

- ZONA 1** Ghiaie sabbiose poco assortite addensate (GP-12); limi - limi sabbiosi, moderatamente addensati (MH-12).  
 Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche.  
 Approfondimenti di II° livello.
- ZONA 2** Limi - limi argillosi - limi sabbioso argillosi ed argille limose, moderatamente consistenti (ML/CL-24) contenenti sottili corpi lentiformi sabbioso limosi di spessore tra 0,5 e 2 m, moderatamente addensati (SM-12).  
 Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche.  
 Approfondimenti di II° livello.
- ZONA 3** Limi - limi argillosi - argille limose, moderatamente consistenti (ML/OH-24) contenenti sottili corpi lentiformi sabbioso limosi con spessore tra 0,5 e 1,5 poco addensati (SM-13).  
 Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche.  
 Approfondimenti di II° livello.
- ZONA 4** Argille limose - argille, moderatamente consistenti (CL/OH-24) con intercalati corpi lentiformi limoso argillosi moderatamente consistenti (ML-24).  
 Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche.  
 Approfondimenti di II° livello.
- ZONA 5** Sabbie e sabbie limose in strati con spessori tra 4 e 8 m, moderatamente addensate (SM-12) con intercalate alternanze limose - limoso argillose moderatamente consistenti (ML-24).  
 Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche, potenziale liquefazione.  
 Approfondimenti di II° livello per amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche e di III° livello per valutazione di suscettività alla liquefazione.

**Fig.2.3 – Estratto della “Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica” – Microzonazione Sismica del Comune di Campogalliano (MO) – Tav. Nord.**

## 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. 2 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono CPTE/U;**
- **n. 1 prova penetrometrica statica con punta meccanica CPT.**

I risultati delle suddette indagini sono riportati negli **allegati 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

Le prove sono state eseguite con un penetrometro Gouda dotato di punta elettrica e piezocono CPTE/U. Le caratteristiche tecniche dello strumento impiegato sono le seguenti:

Caratteristiche del Piezocono			
Canali di misura:		Dimensioni:	
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

Le prove sono state elaborate 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 delle prove, 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).

Di seguito si riportano le stratigrafie delle due verticali eseguite (Fig.3.1 -3.2).



**Correlazioni utilizzate per la stima dei parametri geotecnici**

<p><b>:: Unit Weight, g (kN/m<sup>3</sup>) ::</b></p> $g = g_w \cdot \left( 0.27 \cdot \log(R_r) + 0.36 \cdot \log\left(\frac{q_c}{P_a}\right) + 1.236 \right)$ <p>where <math>g_w</math> = water unit weight</p> <p><b>:: Permeability, k (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>:: N<sub>60</sub> (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, Es (MPa) ::</b></p> $(q_c - \sigma_v) \cdot 0.015 \cdot 10^{0.55 I_c + 1.68}$ <p>(applicable only to <math>I_c &lt; I_{c, \text{crit}}</math>)</p> <p><b>:: Relative Density, Dr (%) ::</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, M (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> $M_{CPT} = (q_c - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 I_c + 1.68}$	<p><b>:: Small strain shear Modulus, Go (MPa) ::</b></p> $G_0 = (q_c - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 I_c + 1.68}$ <p><b>:: Shear Wave Velocity, Vs (m/s) ::</b></p> $V_s = \left( \frac{G_0}{\rho} \right)^{0.50}$ <p><b>:: Undrained peak shear strength, Su (kPa) ::</b></p> <p><math>N_{60} = 10.50 + 7 \cdot \log(F_r)</math> or user defined</p> $S_u = \frac{(q_c - \sigma_v)}{N_{60}}$ <p>(applicable only to SBTs: 1, 2, 3, 4 and 9 or <math>I_c &gt; I_{c, \text{crit}}</math>)</p> <p><b>:: Remolded undrained shear strength, Su(rem) (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> $k_{OCR} = \left[ \frac{Q_m^{0.20}}{0.25 \cdot (10.50 + 7 \cdot \log(F_r))} \right]^{-1.25}$ <p>OCR = <math>k_{OCR} \cdot Q_{60}</math></p> <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, Ko ::</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, Si ::</b></p> $S_i = \frac{N_{60}}{F_r}$ <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.**

Project: STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE  
Location: CAMPOGALLIANO - LOC. PANZANO VIA JUGULARIA

CPT: CPTU1

Total depth: 20.35 m, Date: 02/11/2021

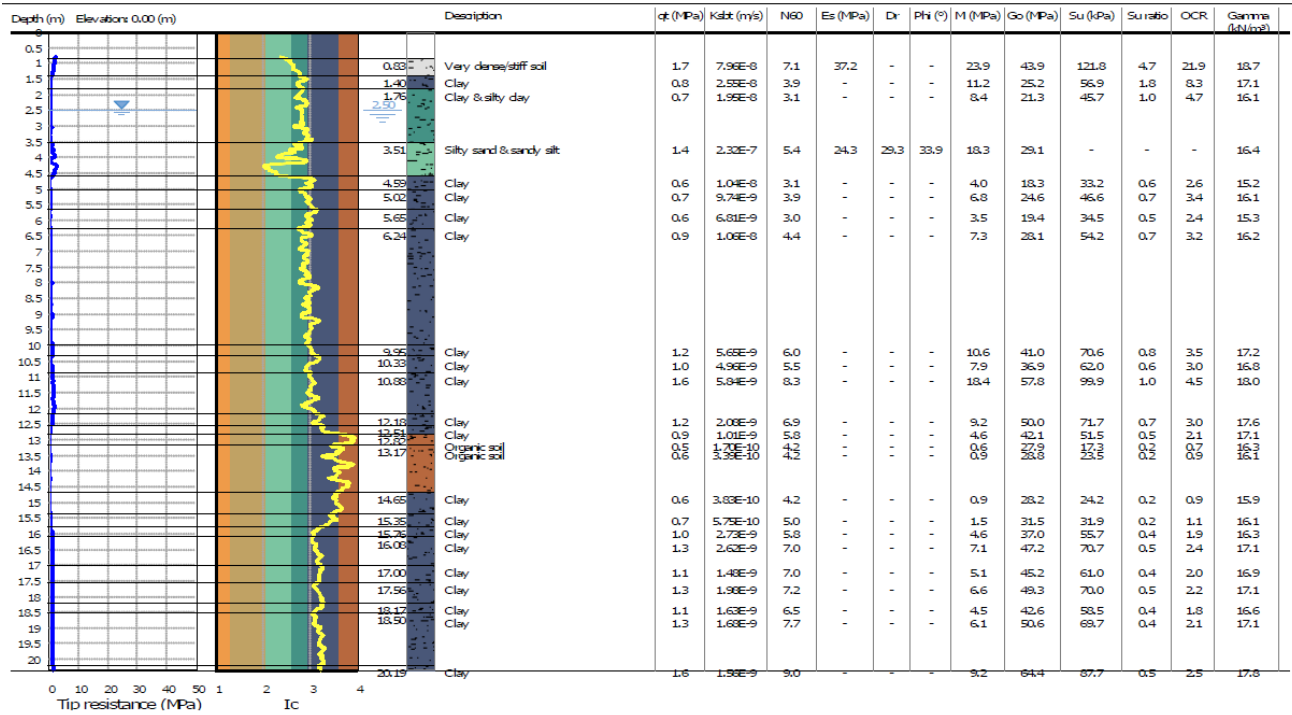


Fig.3.1 – Stratigrafia CPTU1

Project: STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE  
Location: CAMPOGALLIANO - LOC. PANZANO VIA JUGULARIA

CPT: CPTU2

Total depth: 20.44 m, Date: 02/11/2021

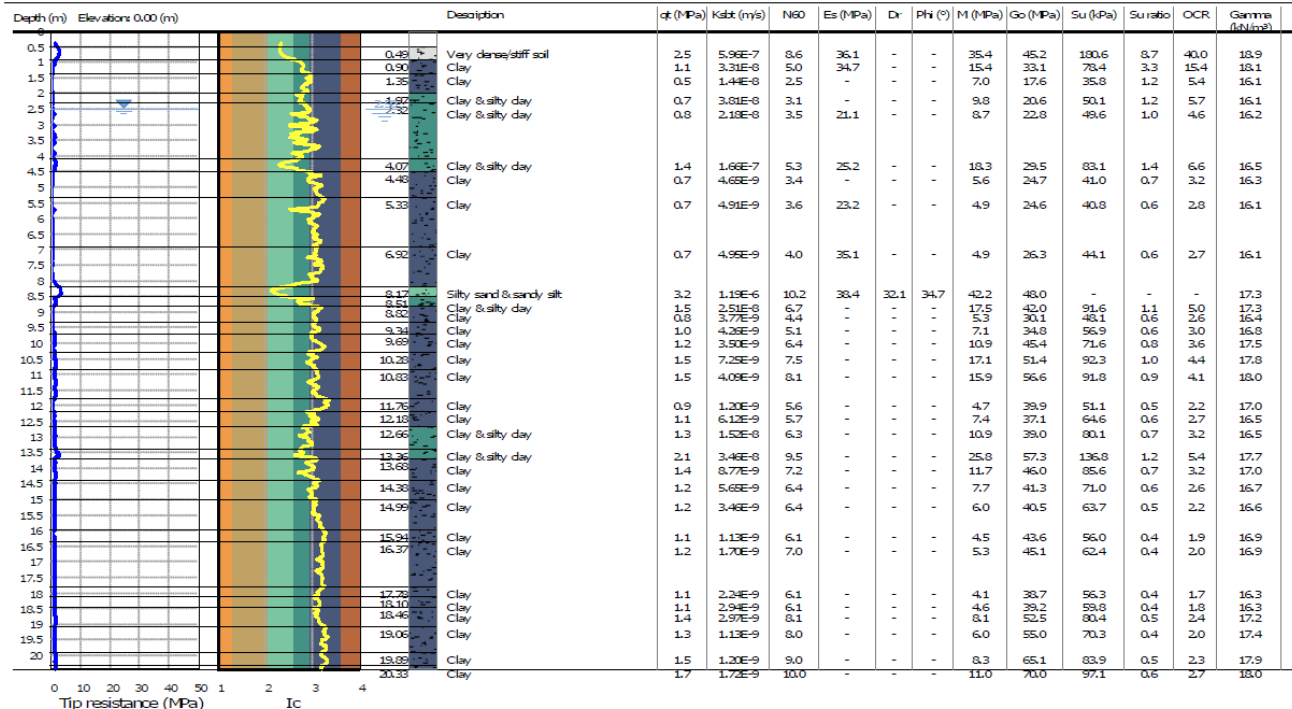


Fig.3.2 – Stratigrafia CPTU2

### 3.1.2 Prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT

Nell'Allegato n. 2 sono riportati i grafici e le tabelle riguardanti la prova eseguita, corredata dall'elaborazione geotecnica e litostratigrafica. La prova è stata eseguita con un penetrometro Pagani dotato di punta Begemann. Le caratteristiche tecniche dello strumento impiegato sono le seguenti:

<b>Spinta</b>	S	100 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

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

#### **Correlazioni utilizzate per la stima dei parametri geotecnici**

Coesione non drenata (terreni coesivi)  $C_u$

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

Modulo di deformazione non drenato  $E_u$

DUNCAN-BUCHIGANI 1976

Modulo edometrico  $M_o$

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

Peso unità di volume  $\gamma_{sat}$  (saturo sotto falda) –  $\gamma$  (umido sopra falda)

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

Velocità delle onde di taglio  $V_s$

YOSHIDA MOTONORI 1988

## 3.2 Indagini Geofisiche

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

- **n. 1 indagine sismica passiva HVSr;**
- **n. 1 indagine sismica attiva MASW.**

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

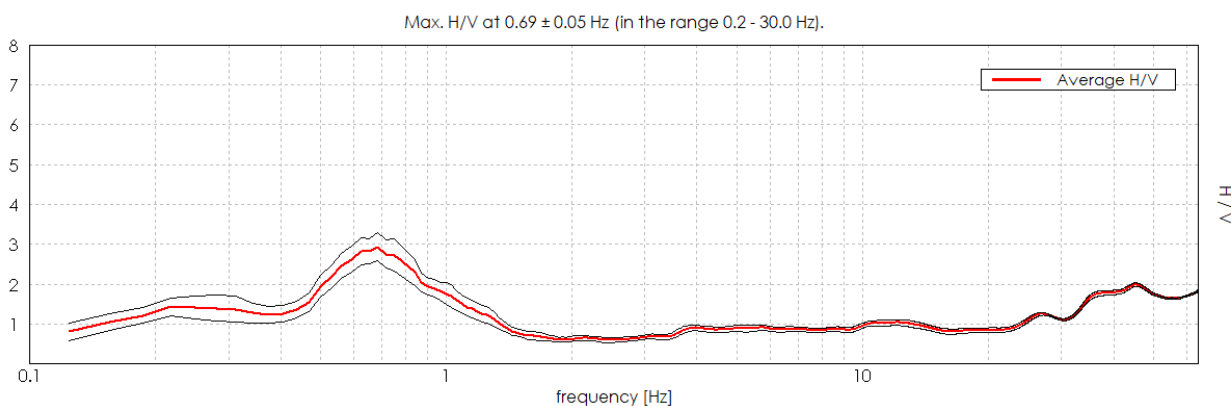
### 3.2.1 Indagine sismica passiva a stazione singola (*analisi HVSr*)

Le misure sismiche passive a stazione singola sono state eseguite mediante un tomografo 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 (Fig.3.3).

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

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

dove  $h$  è lo spessore dello strato.

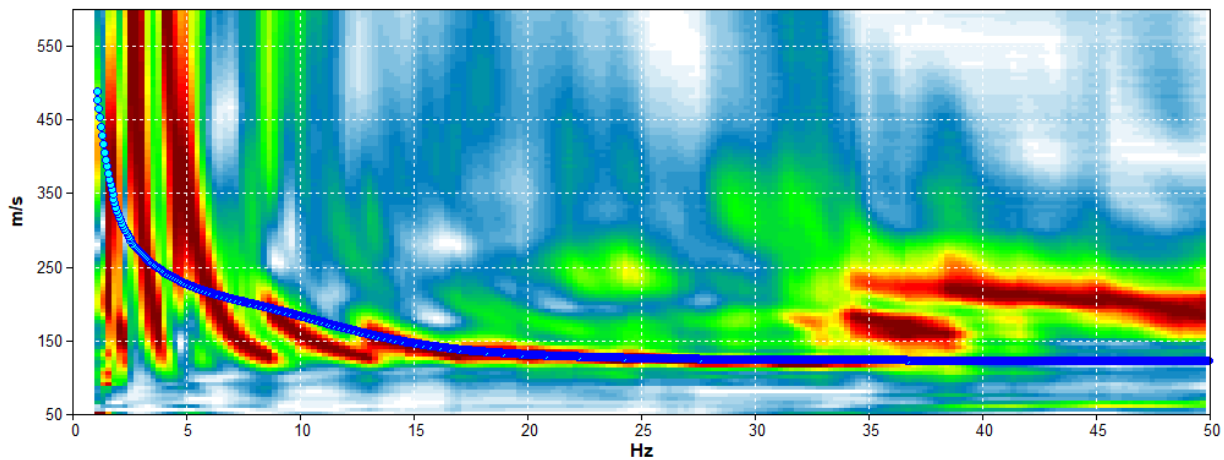


**Fig.3.3 - Curva HVSr che identifica un picco a 0.69 Hz**

### 3.2.2 Indagine sismica attiva con metodo MASW

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

sismica in funzione delle diverse frequenze che lo compongono. Da tale elaborazione, tramite una fase di “picking” del segnale ad elevata intensità è stata ottenuta la “**curva di dispersione**”, dalla cui inversione è stato calcolato il **modello sismo-stratigrafico** espresso in termini di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ). I dati sono stati registrati mediante un sismografo *Geode Geometrics 24* bit con filtri disinseriti, velocità di campionamento (sample rate) di 0.25 millisecondi e lunghezza delle acquisizioni di 2 secondi. Si effettuano battute poste ad offset diversi (10 m e 15 m di distanza dal primo geofono) mediante grave da 8,0 kg di massa. Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh,  $V(\text{fase})/\text{freq.}$ , può essere convertito nel profilo  $V_s/\text{profondità}$ . Tale metodo non è univoco e quindi il modello che ne scaturisce è un modello teorico; per questo motivo è preferibile operare in presenza di dati di taratura (come nel caso specifico) onde ricavare il modello reale (Fig.3.4).

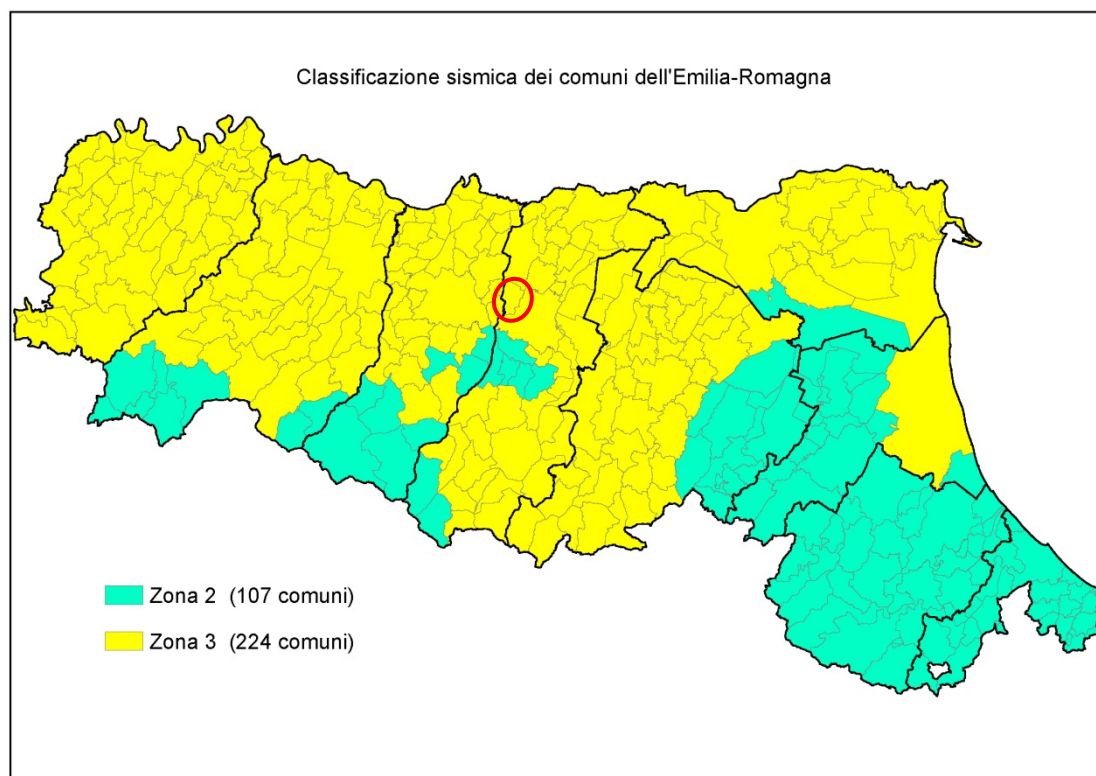


**Fig.3.4 - Curva di dispersione MASW.**

## 4 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

### 4.1 Pericolosità sismica di base

Secondo la classificazione sismica del territorio nazionale proposta a partire dall'O.P.C.M. n. 3274/2003 e successive modifiche, il **Comune di Campogalliano (MO)** risulta appartenente alla **classe di sismicità 3** (Fig. 4.1).



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

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

Per ciascuna area in oggetto, in relazione a un periodo di riferimento  $T_R$  stimato di 475 anni, è stato definito un parametro di accelerazione massima attesa  $a_g$  definita in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido e con superficie topografica orizzontale. L'accelerazione  $a_g$  rappresenta uno dei parametri principali che definisce la **pericolosità sismica di base**, insieme ai parametri  $F_0$  e  $T_c^*$  dello spettro di risposta elastico, desumibili nelle tabelle riportate sotto (Tab. 4.1).

### 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 <sub>g</sub> [g]	F <sub>o</sub>	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0.045	2.485	0.251
Danno (SLD)	50	0.057	2.500	0.267
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.159	2.528	0.275
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.210	2.512	0.279
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

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

## 4.2 Categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 NTC2018)

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

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_i \frac{h_i}{V_{si}}}$$

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

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

MASW	$V_{s30}$	217 m/s
------	-----------	---------

HVSR	0.69 ± 0.05 HZ	RISPETTA I CRITERI SESAME
------	----------------	---------------------------

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

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



### 4.3 Azione sismica e risposta sismica del sito – Secondo livello di approfondimento (DGR 476/2021)

Dalla consultazione della “Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica” l’area in studio si colloca in corrispondenza di una microzona stabile suscettibile di amplificazione locale per caratteristiche litostratigrafiche. Sono pertanto richiesti approfondimenti di II livello.

In accordo con la nuova normativa regionale DGR 476/2021 della Regione Emilia Romagna si procede alla verifica degli aspetti sismici specifici del sito di interesse.

In particolare per la stima del fattore di amplificazione FA sono state eseguite le indagini MASW e HVSR, al fine di definire lo spessore H del deposito di copertura e la velocità equivalente delle onde di taglio per lo spessore considerato. Dall’elaborazione congiunta delle indagini geofisiche, è stato possibile determinare uno spessore di copertura H pari a **169.00 m** con una Vs pari a **217 m/s**.

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:

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

- intensità spettrale SI

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

dove V è lo spettro di risposta in velocità, T è il periodo proprio e  $\zeta$  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

La scelta delle tabelle è stata eseguita non solo dalle caratteristiche litologiche e morfologiche dell'area ma anche da un'attenta valutazione sulle caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo, in particolare dalla profondità e dal tipo di substrato.

L'area in oggetto, sulla scorta delle informazioni geologiche disponibili e precedentemente illustrate, risulta inserita in un contesto di tipo **PIANURA 2**, caratterizzato da sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c. e dal tetto del substrato rigido a circa 150 m da p.c..

Di seguito si riportano le tabelle utilizzate per il calcolo del FA per la zona in oggetto, PIANURA 2. In particolare dall'indagine sismica MASW si è ricavata una  $V_{S30}$  pari 217 m/s, pertanto si è approssimato ai valori di Fa della colonna corrispondenti ad una Vs pari a 200 m/s.

<b>V<sub>S30</sub> (m/s)</b>	<b>150</b>	<b>200</b>	<b>250</b>	<b>300</b>	<b>350</b>	<b>400</b>
PGA	1.7	<b>1.7</b>	1.7	1.6	1.5	1.5

**Fattore di amplificazione PGA**

<b>V<sub>S30</sub> (m/s)</b>	<b>150</b>	<b>200</b>	<b>250</b>	<b>300</b>	<b>350</b>	<b>400</b>
SA1	1.8	<b>1.8</b>	1.8	1.7	1.6	1.5
SA2	2.7	<b>2.7</b>	2.4	2.1	1.9	1.8
SA1	3.3	<b>3.2</b>	2.8	2.5	2.3	2.1
SA4	3.3	<b>3.1</b>	2.7	2.4	2.1	1.9

**Fattore di amplificazione SA1 (0.1 s < T < 0.5 s), SA2 (0.4 s < T < 0.8 s), SA3 (0.7 s < T < 1.1 s), SA4 (0.5 s < T < 1.5 s).**

<b>V<sub>S30</sub> (m/s)</b>	<b>150</b>	<b>200</b>	<b>250</b>	<b>300</b>	<b>350</b>	<b>400</b>
SI1	2.0	<b>2.0</b>	1.9	1.8	1.7	1.6
SI2	3.1	<b>3.0</b>	2.7	2.4	2.1	2.0
SI1	3.6	<b>3.3</b>	2.9	2.5	2.2	2.0

**Fattore di amplificazione SI1 (0.1 s < T < 0.5 s), SI2 (0.5 s < T < 1.0 s), SI3 (0.5 s < T < 1.5 s).**

Rif. n. 1003/2021

COMUNE DI CAMPOGALLIANO (MO) – LOC. PANZANO VIA JUGULARIA

---

Di conseguenza, adottando un fattore di amplificazione della PGA pari a 1.70 e un valore di PGA di ancoraggio pari a 0.159 g (Tr 475 anni SLV), si ottiene un valore di PGA in superficie pari a **0.270g**.

## 4.4 Stabilità nei confronti della liquefazione (§ A2.2. DGR 476/2021) considerando il valore di PGA ottenuto dallo studio di secondo livello

In accordo con la normativa regionale DGR 476/21 si è proceduto alla verifica della liquefazione per le verticali di prova CPTu1 – CPTu2.

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:

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

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

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

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

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

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

Il valore **CRR** è stato ricavato attraverso la metodologia di calcolo proposta da **Boulanger&Idriss 2014**. Per le specifiche della procedura di calcolo adottata si faccia riferimento all'allegato **A2.2** della DGR 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  $A_{max} = 0.270g$ , approssimata a  $0.27g$  (DGR 476/2021).

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

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

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

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

In base al valore di LPI ottenuto è possibile fornire un'indicazione del rischio di liquefazione. In considerazione delle linee guida emesse dalla Regione Emilia Romagna, a seguito degli eventi sismici di Maggio e Giugno 2012, si considera la classificazione di rischio definita da **Somnez 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 dalle verticali di prova CPTu1 e CPTu2, considerando un'accelerazione massima al suolo  $A_{max} = 0.270g$  (DGR 476/2021), 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, si sono ottenuti i seguenti valori di LPI (Fig. 4.2):

INDAGINE	INDICE DI LIQUEFAZIONE	RISCHIO
CPTu1	1.193	BASSO
CPTu2	1.016	BASSO

### Overall Liquefaction Potential Index report

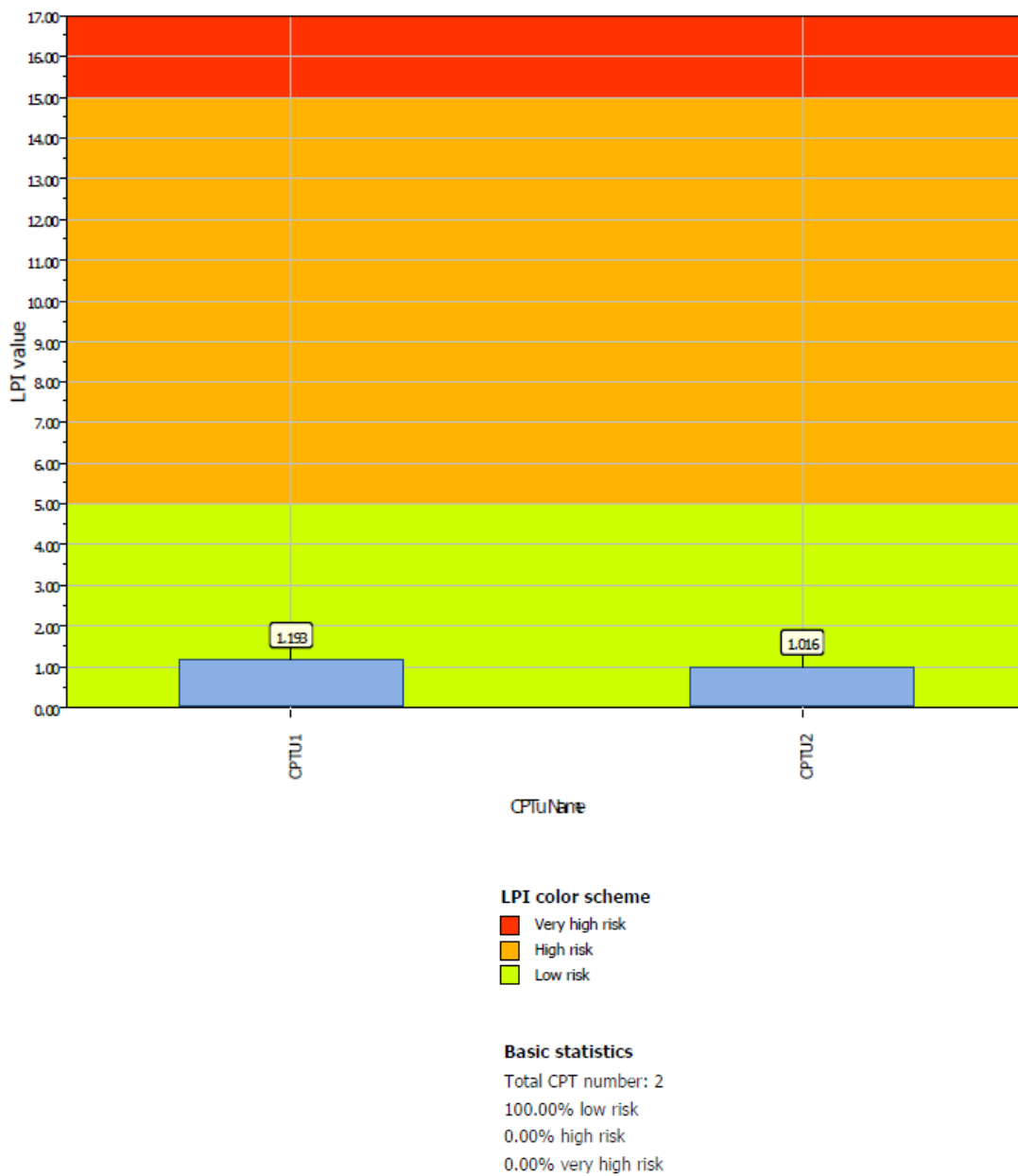


Fig.4.2 – Valori di LPI ottenuti dalle prove CPTu.

## 5 MODELLAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA DEL SITO

### 5.1 Modello geotecnico del sottosuolo

Sulla base dei dati emersi dalle elaborazioni geotecniche e litostratigrafiche delle indagini eseguite in sito e in relazione all'intervento in progetto, si possono riassumere i seguenti modelli geotecnici schematici del terreno investigato:

#### Parametri di resistenza e deformabilità:

#### MODELLO GEOTECNICO – CPTU1

Modello geotecnico medio										
	Profondità	Deposito	$\gamma_{NAT} / \gamma_{SAT}$	$c'$	$C_u$	$D_r$	$\phi'$	$E_s$	$M$	$D_w$
<b>A</b>	0.0 – 0.8	Argilla limosa sovra consolidata	18.5/21.5	10.0	100.0	/	25	14000	8000	
<b>B</b>	0.8 – 3.51	Argilla limosa a scarsa consistenza	18.0/21.0	4.8	48.0	/	22	6720	4000	-2.5
<b>C</b>	3.51 – 4.59	Sabbia limosa sciolta	18.0/21.0	/	/	29	33	18000	/	
<b>D</b>	4.59 – 9.95	Argilla limosa a scarsa consistenza	17.5/20.5	3.8	38.0	/	22	5320	3500	
<b>E</b>	9.95 – 12.51	Argilla limosa a media consistenza	18.0/21.0	6.0	60.0	/	23	8400	5000	
<b>F</b>	12.51 – 15.35	Argilla limosa a scarsa consistenza	17.5/20.5	2.5	25.0	/	20	3500	3000	
<b>G</b>	15.35 – 20.19	Argilla limosa a media consistenza	18.0/21.0	6.0	60.0	/	23	8400	5000	
<b>H</b>	Da 20.19	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.)

#### MODELLO GEOTECNICO – CPTU2

Modello geotecnico medio										
	Profondità	Deposito	$\gamma_{NAT} / \gamma_{SAT}$	$c'$	$C_u$	$D_r$	$\phi'$	$E_s$	$M$	$D_w$
<b>A</b>	0.0 – 0.9	Argilla limosa sovra consolidata	18.5/21.5	10.0	100.0	/	25	14000	8000	
<b>B</b>	0.9 – 8.17	Argilla limosa a scarsa consistenza	18.0/21.0	4.0	40.0	/	22	5600	4000	-2.5
<b>C</b>	8.17 – 11.76	Argilla limosa a media elevata consistenza	18.0/21.0	6.8	68.0	/	24	9520	5000	
<b>D</b>	11.76 – 18.10	Argilla limosa a media consistenza	18.0/21.0	6.0	60.0	/	23	8400	5000	
<b>E</b>	18.10 – 20.20	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.)

**MODELLO GEOTECNICO – CPT**

Modello geotecnico medio										
	Profondità	Deposito	$\gamma_{NAT} / \gamma_{SAT}$	$c'$	$C_u$	$D_r$	$\phi'$	$E_s$	$M$	$D_w$
<b>A</b>	0.0 – 1.0	Argilla limosa sovra consolidata	18.5/21.5	9.0	90.0	/	25	12600	8000	
<b>B</b>	1.0 – 3.6	Argilla limosa a scarsa consistenza	17.5/20.5	3.5	35.0	/	21	4900	3500	-1.9
<b>C</b>	3.6 – 5.4	Argilla limosa a media consistenza	18.0/21.0	5.0	50.0	/	23	7000	5000	
<b>D</b>	5.4 – 8.4	Sabbia limosa sciolta	18.0/21.0	/	/	34	29	8800	/	
<b>E</b>	8.4 – 10.0	Argilla limosa a scarsa consistenza	18.0/21.0	4.0	40.0	/	22	5600	4000	
<b>F</b>	10.0 – 15.0	Argilla limosa a media elevata consistenza	18.0/21.0	7.0	70.0	/	24	9800	5500	
		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.)



## 6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Nei mesi di ottobre e novembre 2021 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), dall'elaborazione congiunta di tali prove, è stato possibile determinare che la velocità media delle onde di taglio  $V_{s30} = 217 \text{ m/s}$  per lo spessore di copertura considerato, pari a **169.00 m**.

Sulla base delle NTC 2018, e tenendo conto dell'indagine sismica sopraccitata si può classificare 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 secondo livello di approfondimento (§ 4.3). Dall'analisi così eseguita si sono ottenuti i seguenti risultati:

RSL II LIVELLO DI APPROFONDIMENTO		
ag	F.A.	$A_{max}$
0.159g	1.70	<b>0.270g</b>

Considerando tale PGA (calcolata dal secondo livello di approfondimento della risposta sismica locale DGR 476/2021), è stata eseguita la verifica della suscettibilità al fenomeno della liquefazione sulla base delle prove penetrometriche eseguite in sito. Per tali verifiche è stata ipotizzata la soggiacenza della falda freatica 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 si è ottenuto un valore di LPI corrispondente a un **rischio di liquefazione basso** (§ 5.3).

Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione delle indagini geotecniche eseguite (§ 3.1), si evidenzia nei primi metri la presenza di terreno con scadenti proprietà geotecniche. **Pertanto in fase esecutiva, dovranno essere realizzate ulteriori indagini specifiche per ogni singolo fabbricato, al fine di poter valutare sulla base dei carichi trasmessi al terreno, il tipo di fondazioni da realizzare, se superficiali o profonde.**

Rif. n. 1003/2021

COMUNE DI CAMPOGALLIANO (MO) – LOC. PANZANO VIA JUGULARIA

---

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

Modena, 8 novembre 2021

**Dott. Geol. Pier Luigi Dallari**



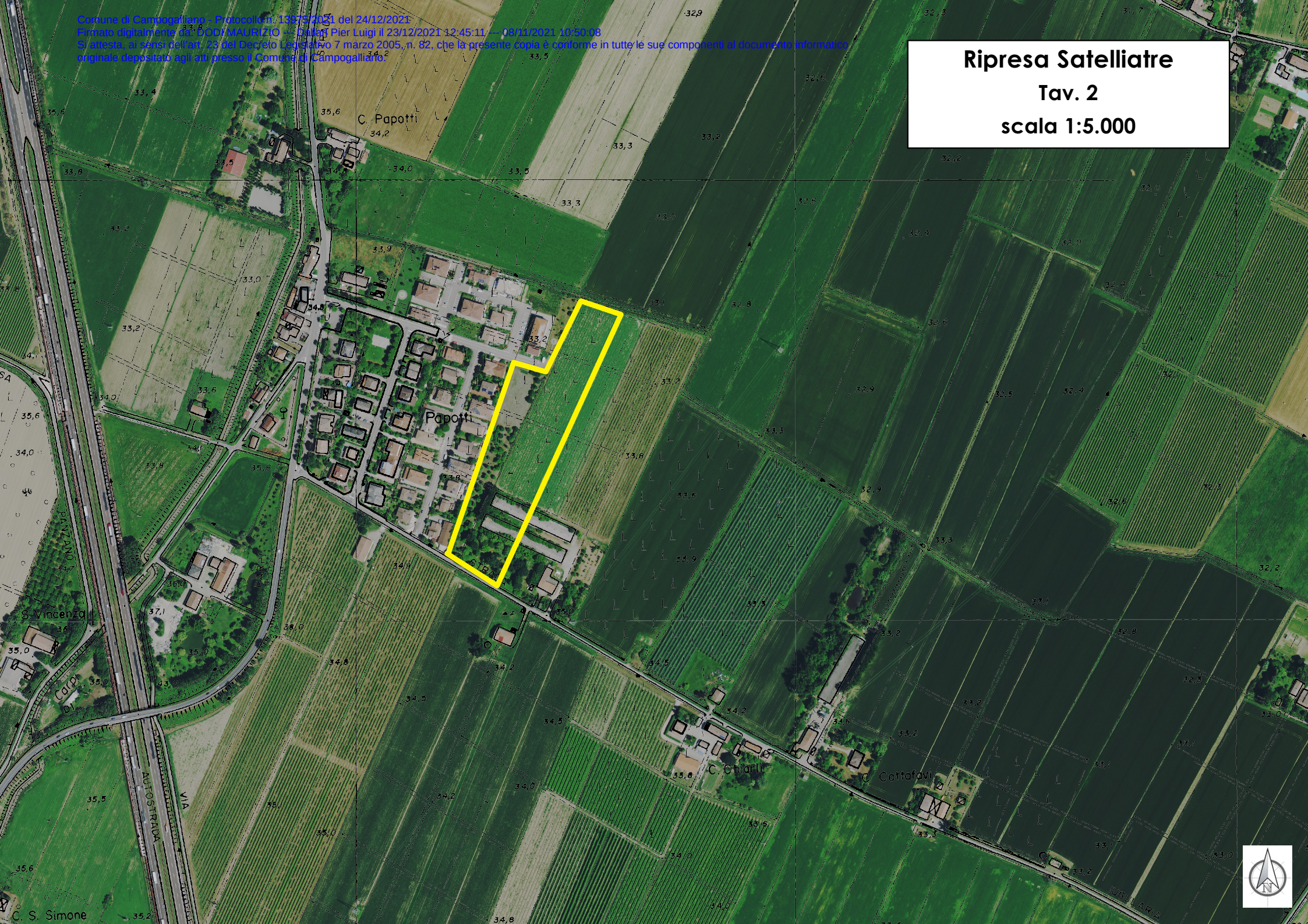


# TAVOLE



Comune di Campogalliano - Protocollo n. 13575/2021 del 24/12/2021  
Firma digitale di: PIER LUIGI MAURIZIO - Data: 23/12/2021 12:45:11 -- 00/00/2021 10:30:08  
Si attesta, ai sensi dell'art. 23 del Decreto Legislativo 7 marzo 2005, n. 82, che la presente copia è conforme in tutte le sue componenti al documento informatico originale depositato agli atti presso il Comune di Campogalliano.

**Ripresa Satellitare**  
**Tav. 2**  
**scala 1:5.000**



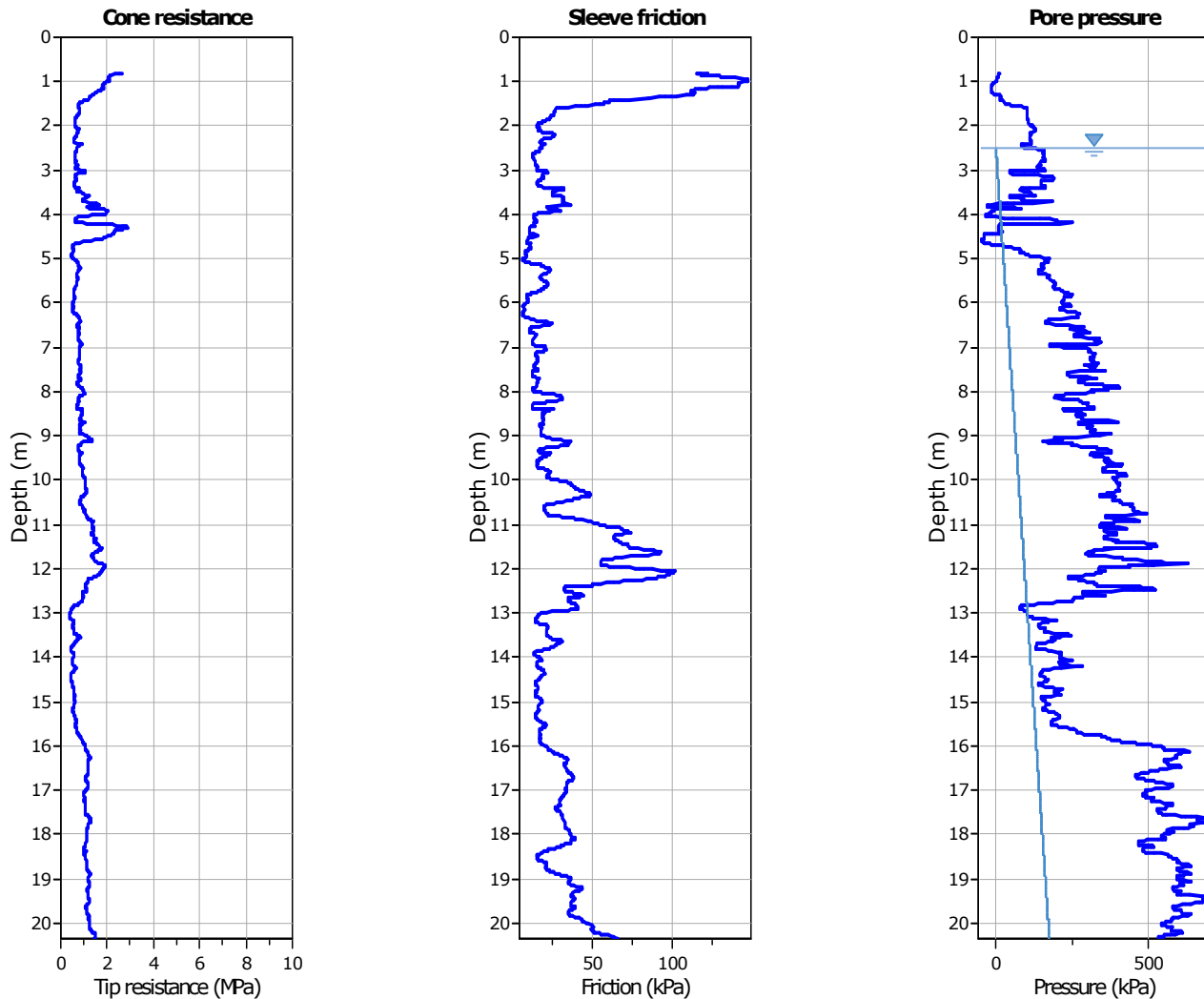
**Ubicazione Indagini**  
**Tav. 3**  
**scala 1:2.000**



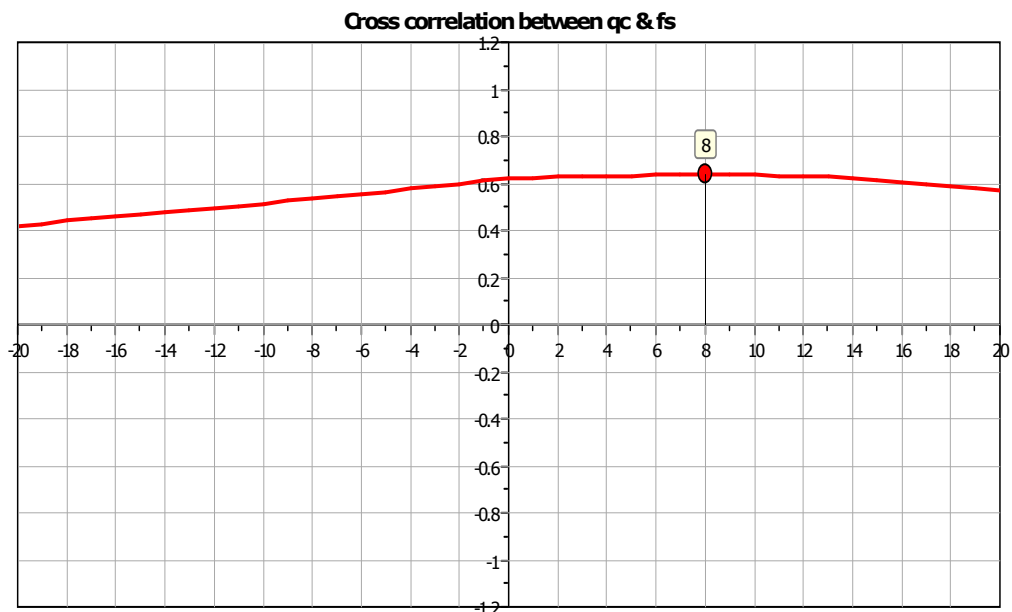


# ALLEGATO 1

## PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPTE/U

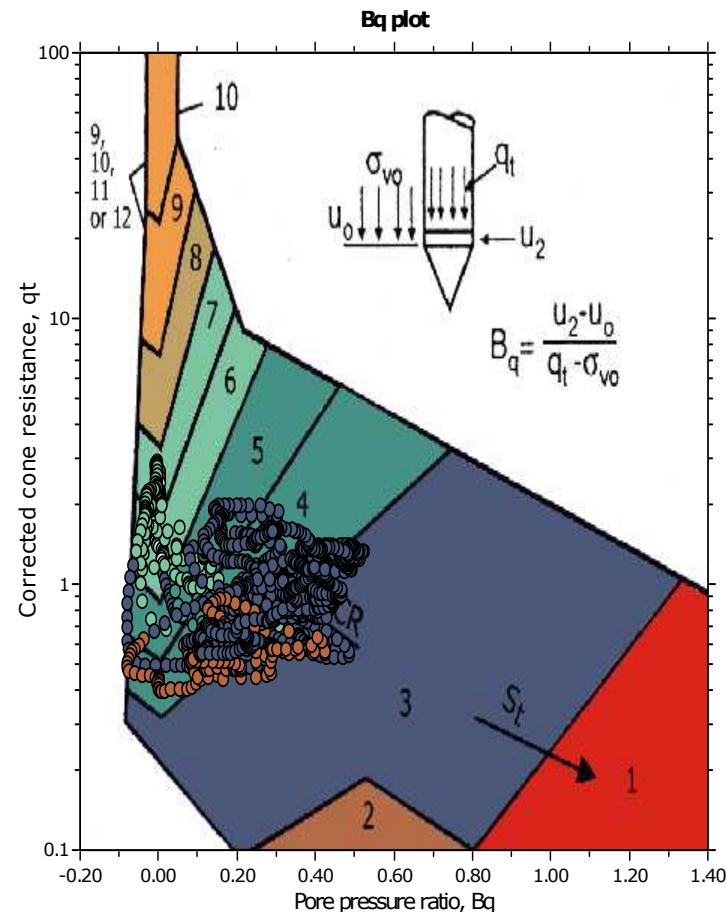
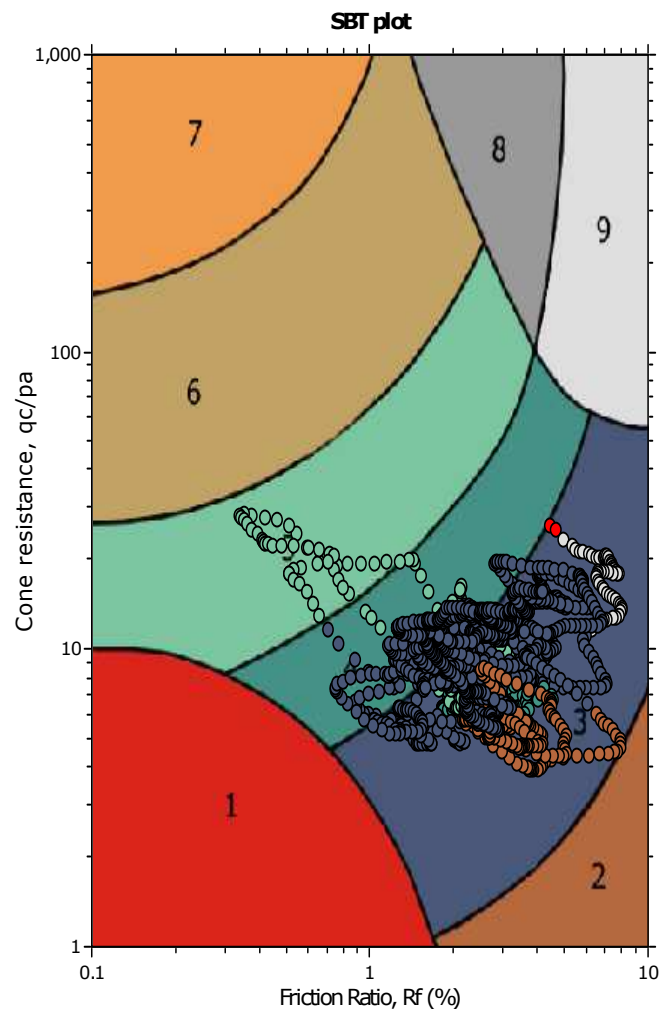


The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw qc and fs values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).





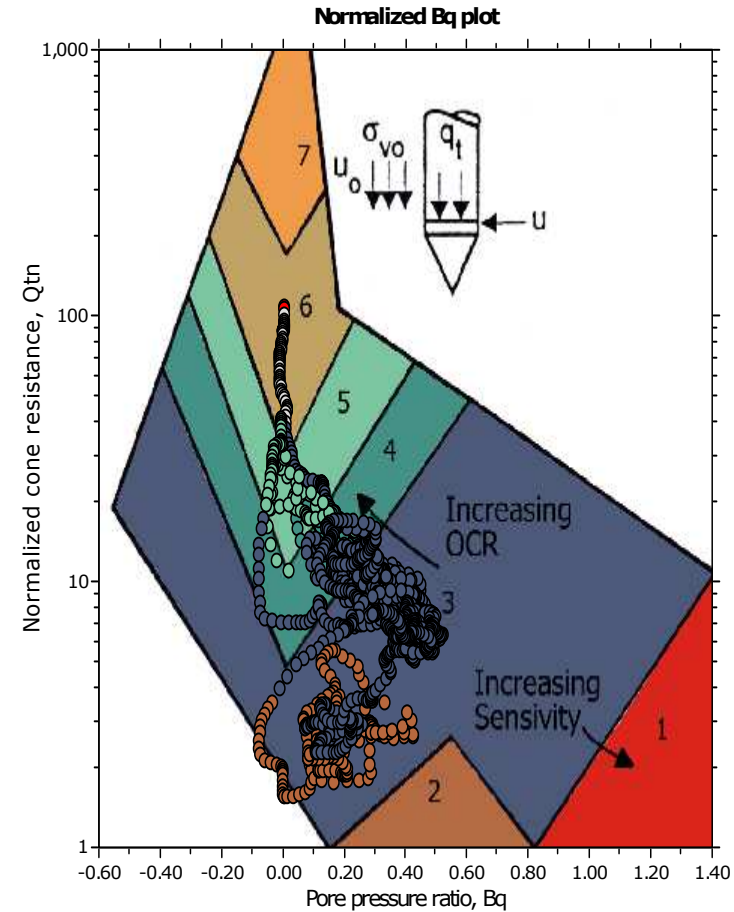
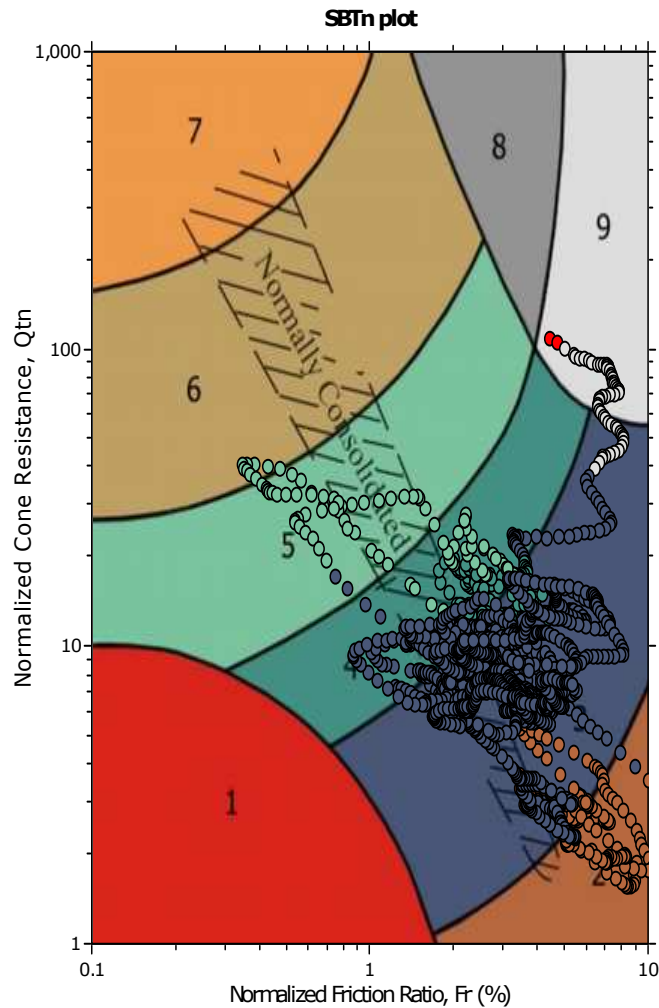
**SBT - Bq plots**



**SBT legend**

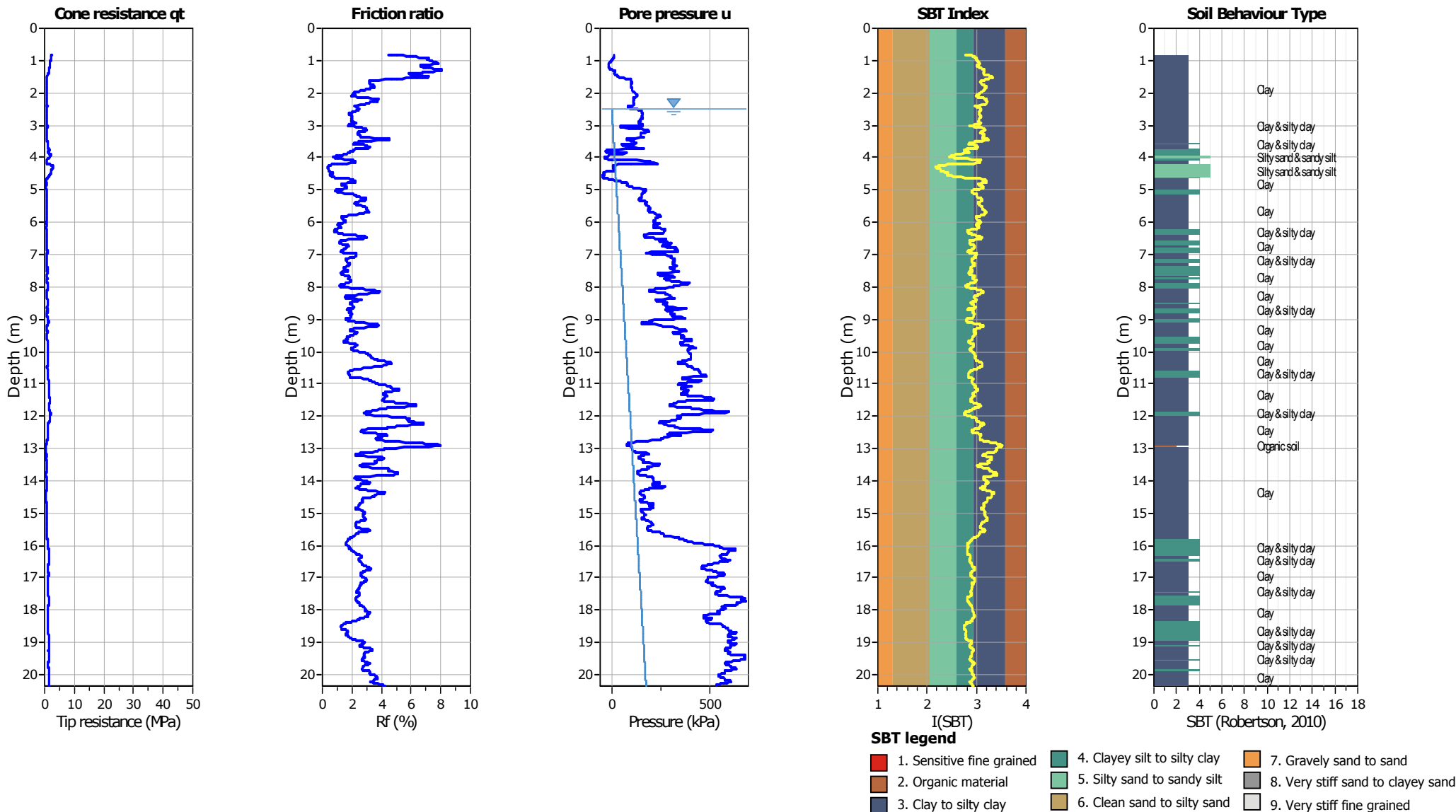
- |                           |                              |                                   |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty clay | 7. Gravely sand to sand           |
| 2. Organic 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        |

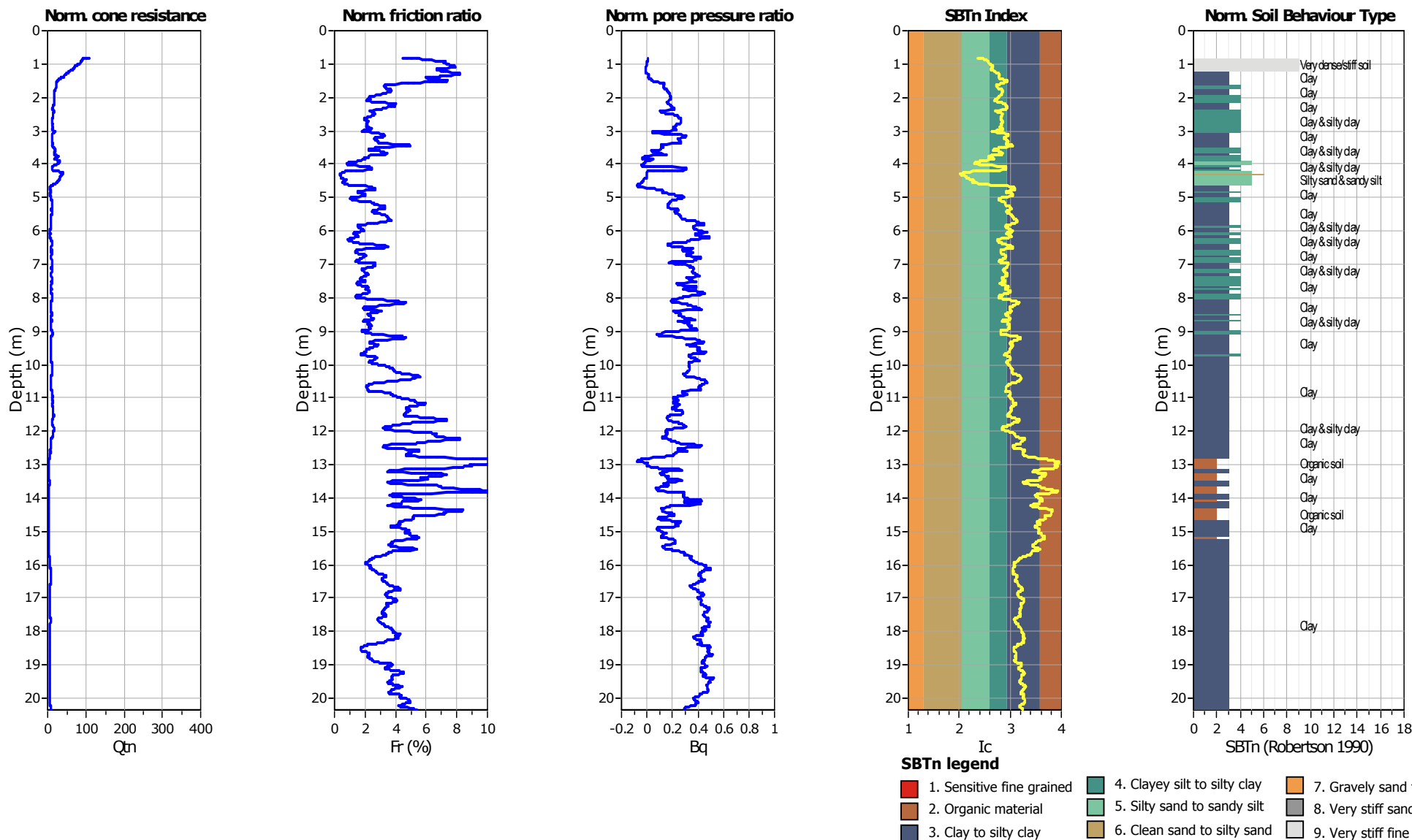
**SBT - Bq plots (normalized)**



**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   |



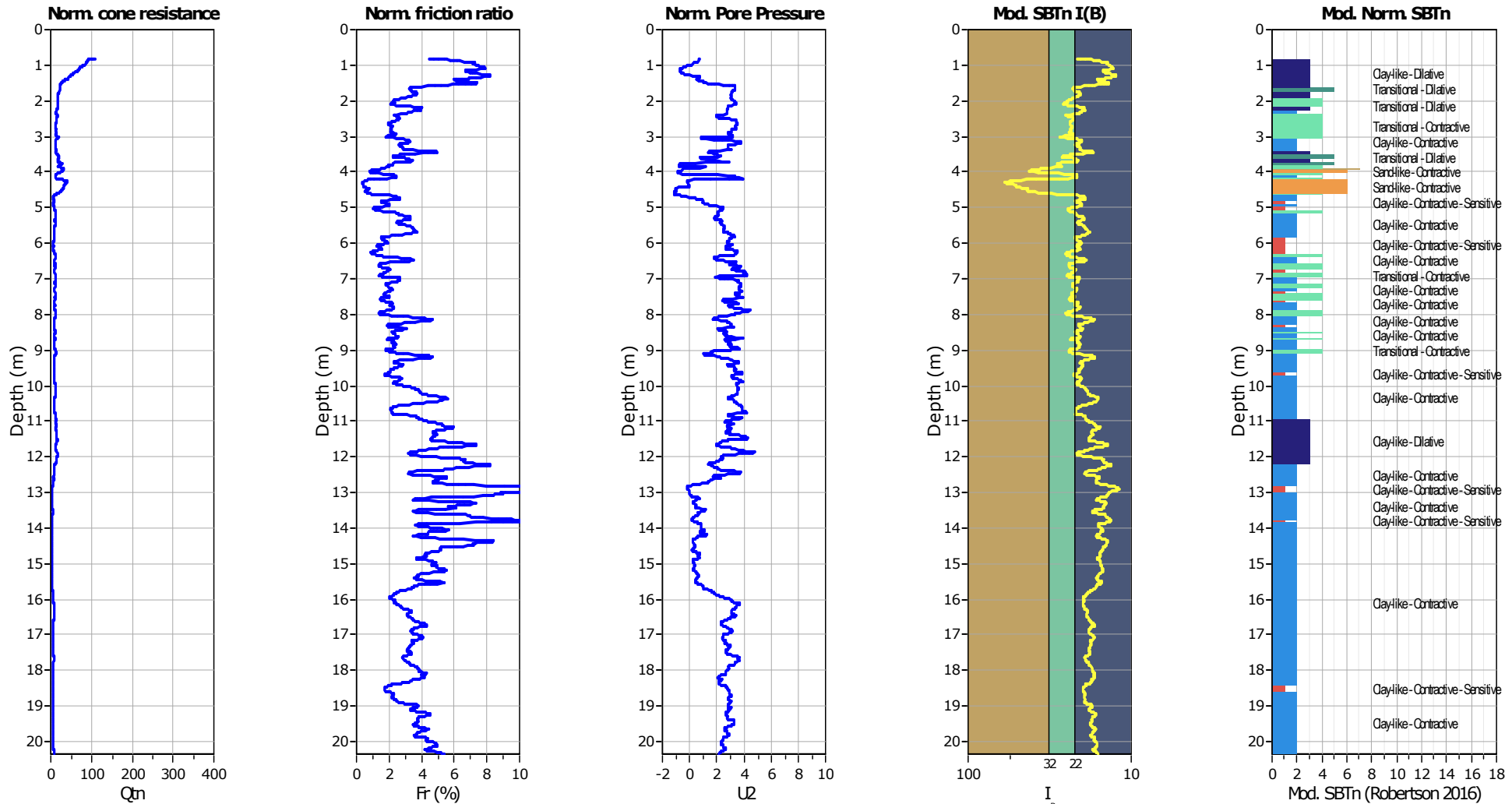


Project: STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Location: CAMPOGALLIANO - LOC. PANZANO VIA JUGULARIA

CPT: CPTU1

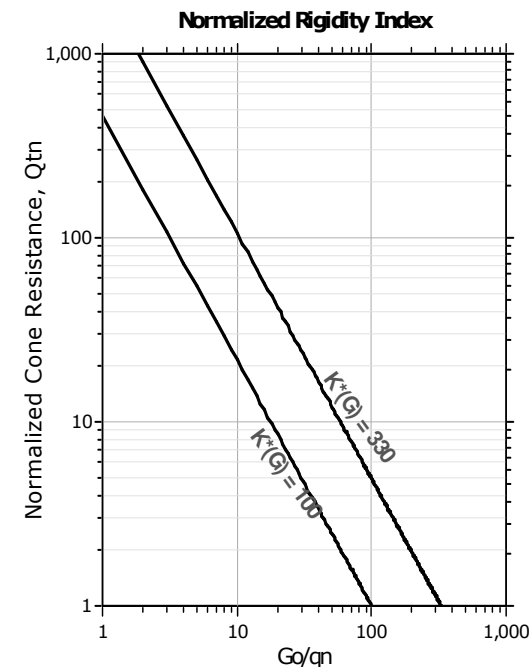
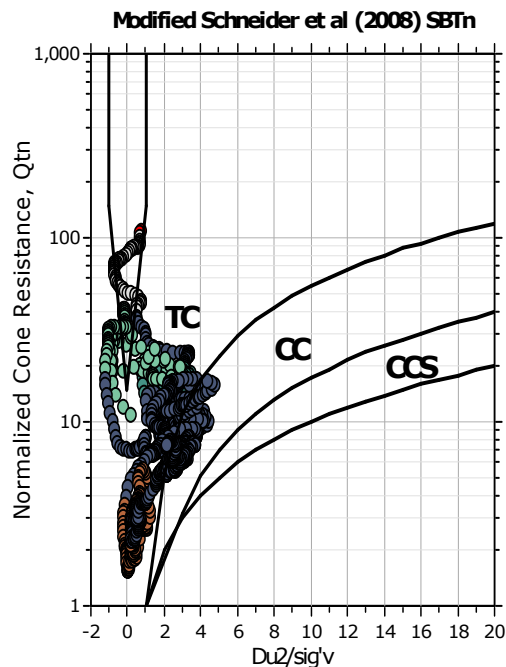
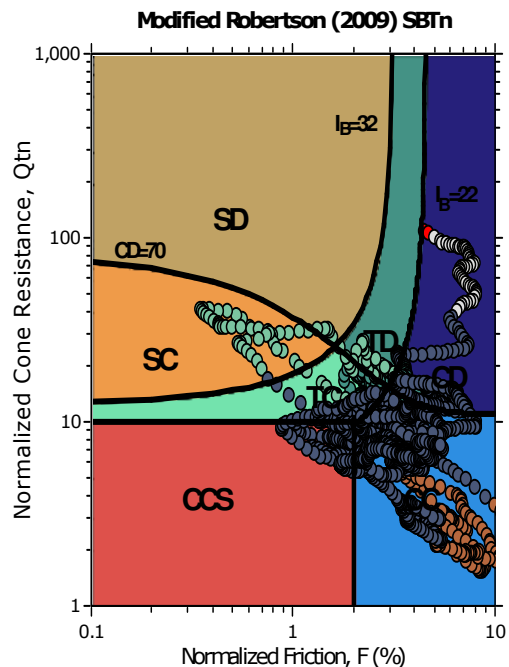
Total depth: 20.35 m, Date: 02/11/2021



Mod. SBTn legend

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

**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

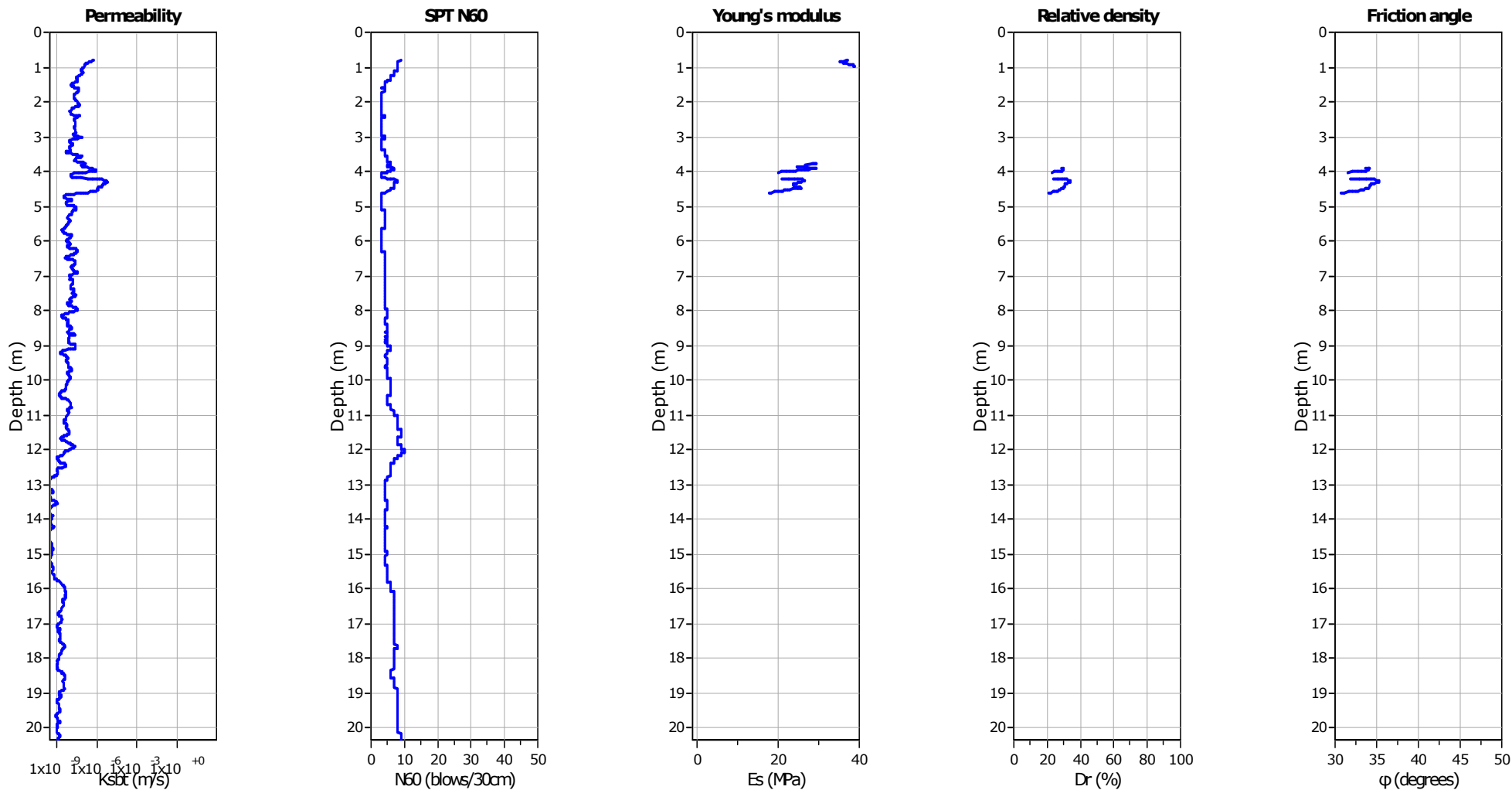
K(G) > 330: Soils with significant microstructure (e.g. age/cementation)

**Project: STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE**

**Location: CAMPOGALLIANO - LOC. PANZANO VIA JUGULARIA**

**CPT: CPTU1**

Total depth: 20.35 m, Date: 02/11/2021



**Calculation parameters**

Permeability: Based on SBT<sub>n</sub>

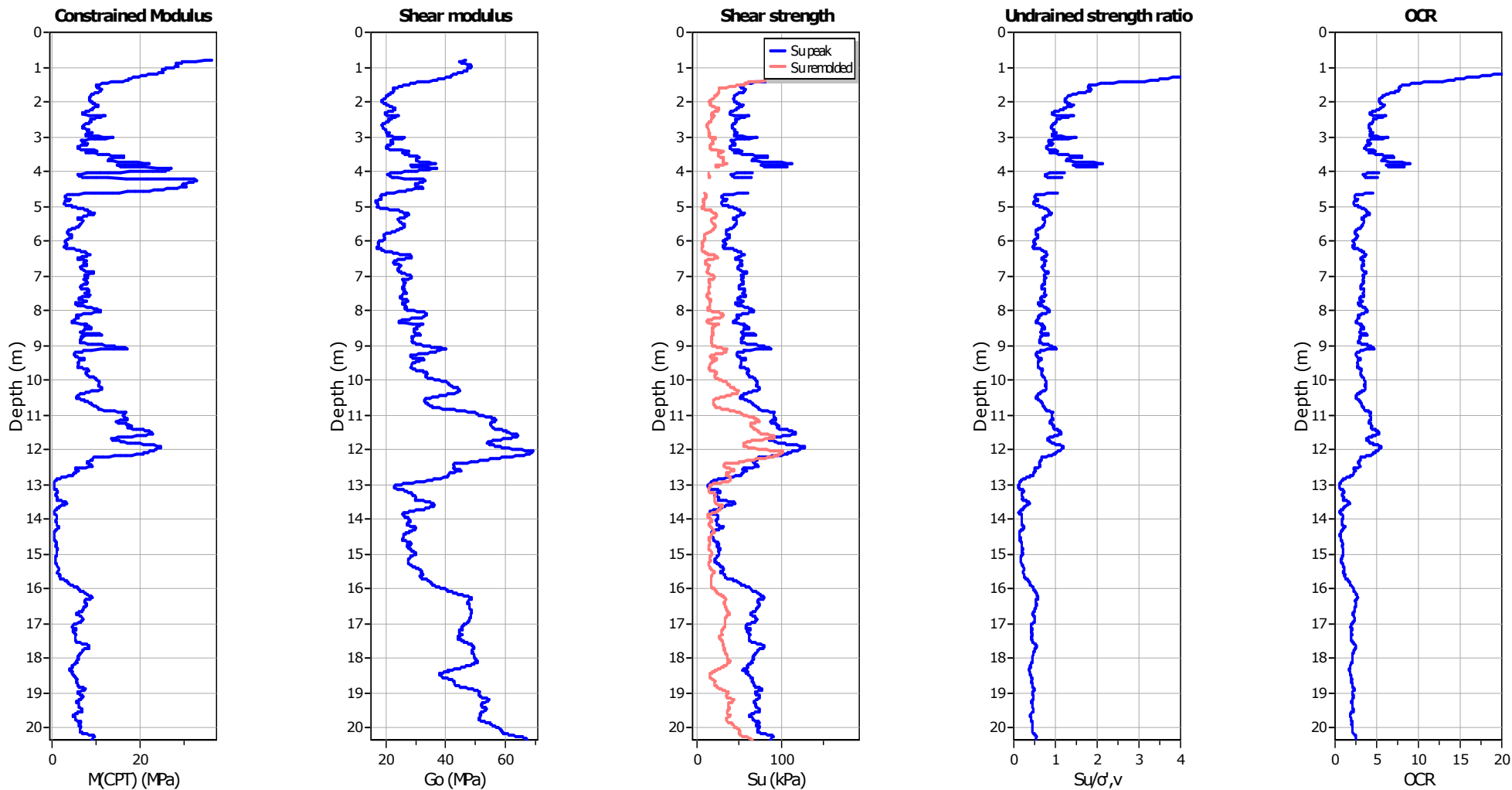
SPT N<sub>60</sub>: Based on I<sub>c</sub> and q<sub>t</sub>

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 Kulhavy & Mayne (1990)

● User defined estimation data



**Calculation parameters**

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

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

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

OCR factor for clays,  $N_{kt}$ : 0.33

● User defined estimation data

● Flat Dilatometer Test data

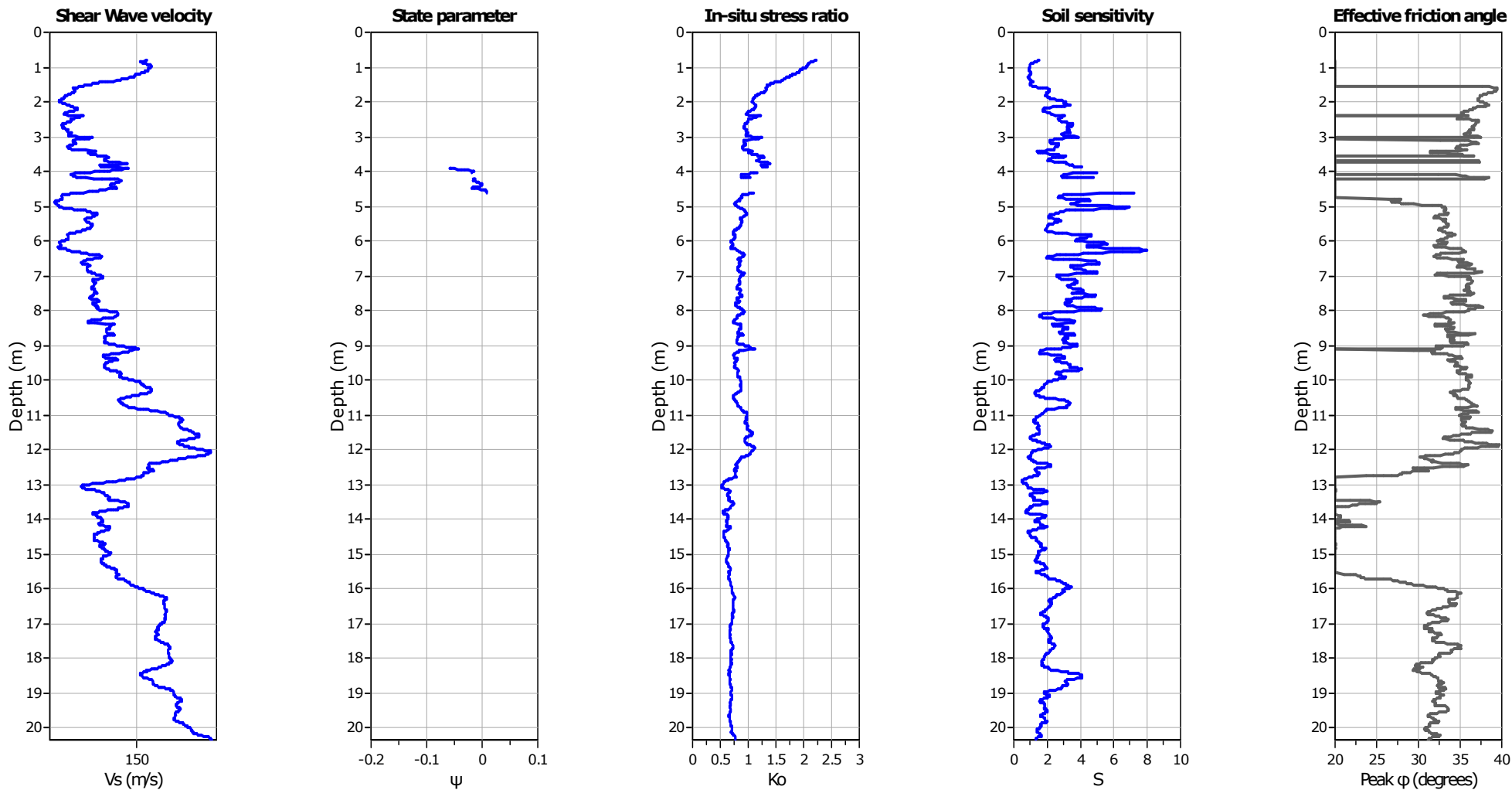


**Project: STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE**

**Location: CAMPOGALLIANO - LOC. PANZANO VIA JUGULARIA**

**CPT: CPTU1**

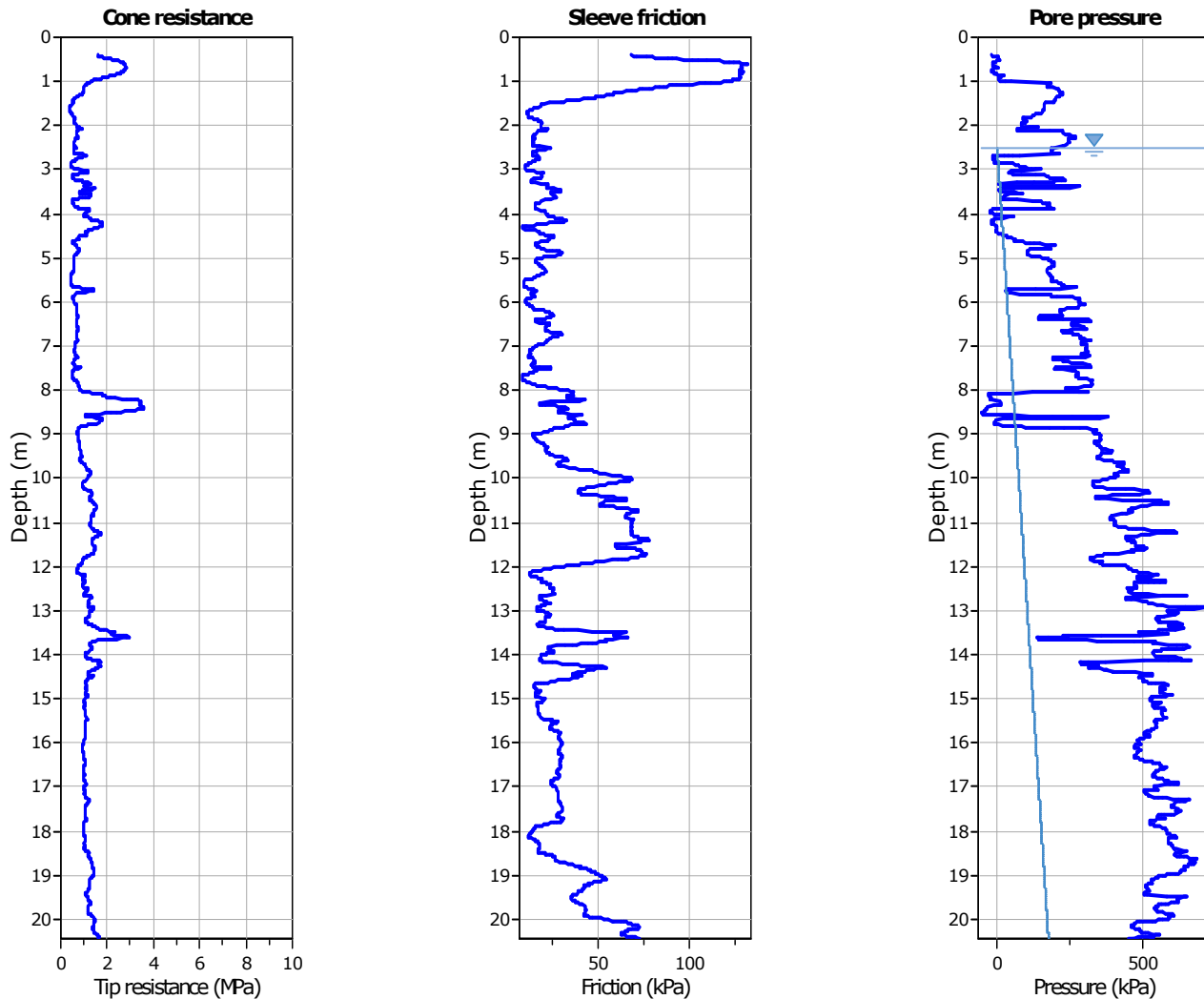
Total depth: 20.35 m, Date: 02/11/2021



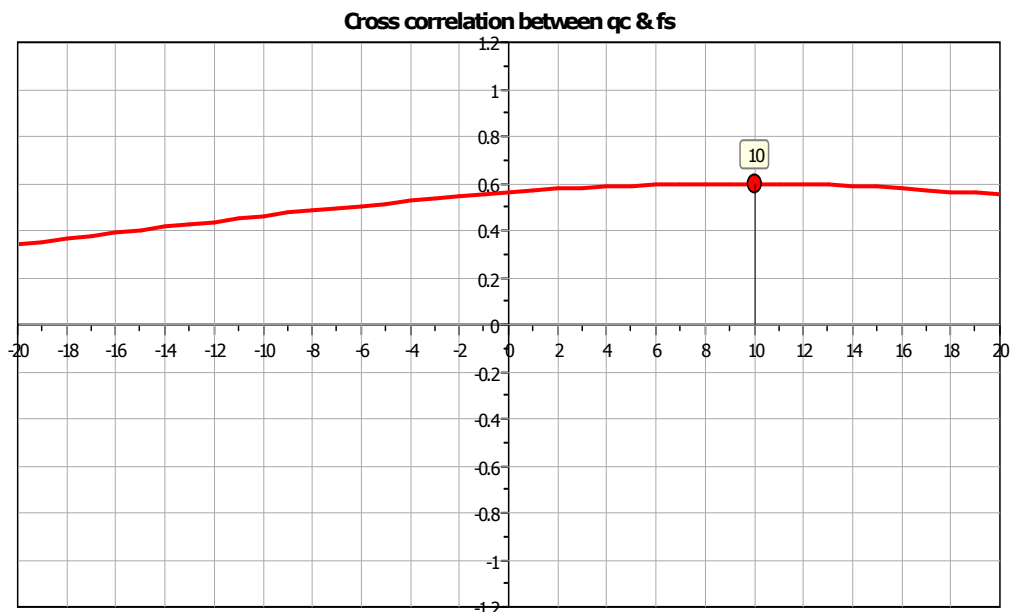
**Calculation parameters**

Soil Sensitivity factor,  $N_s$ : 7.00

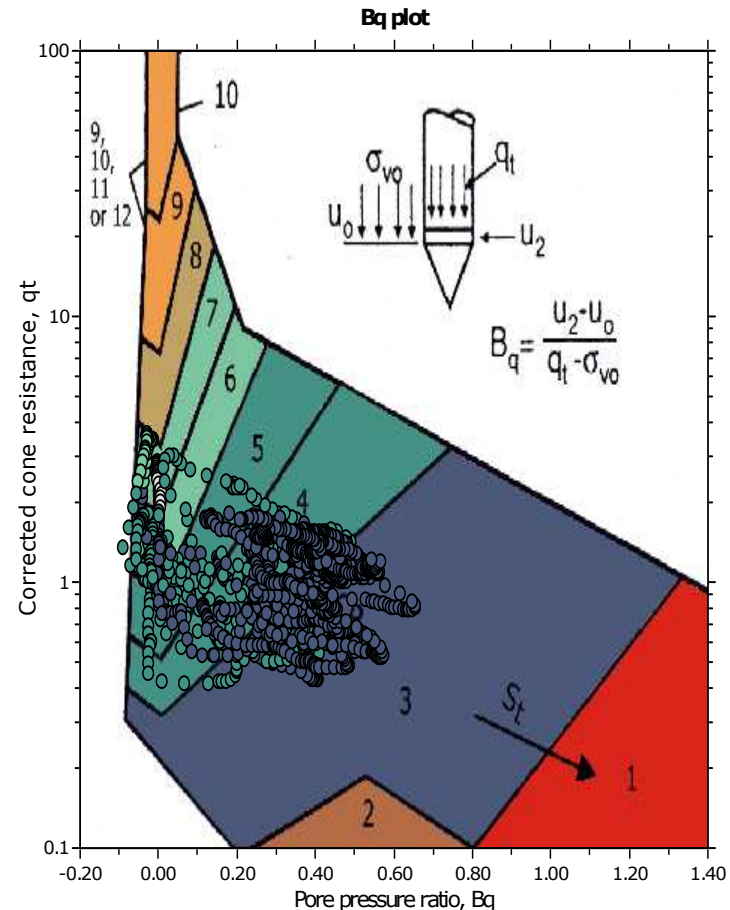
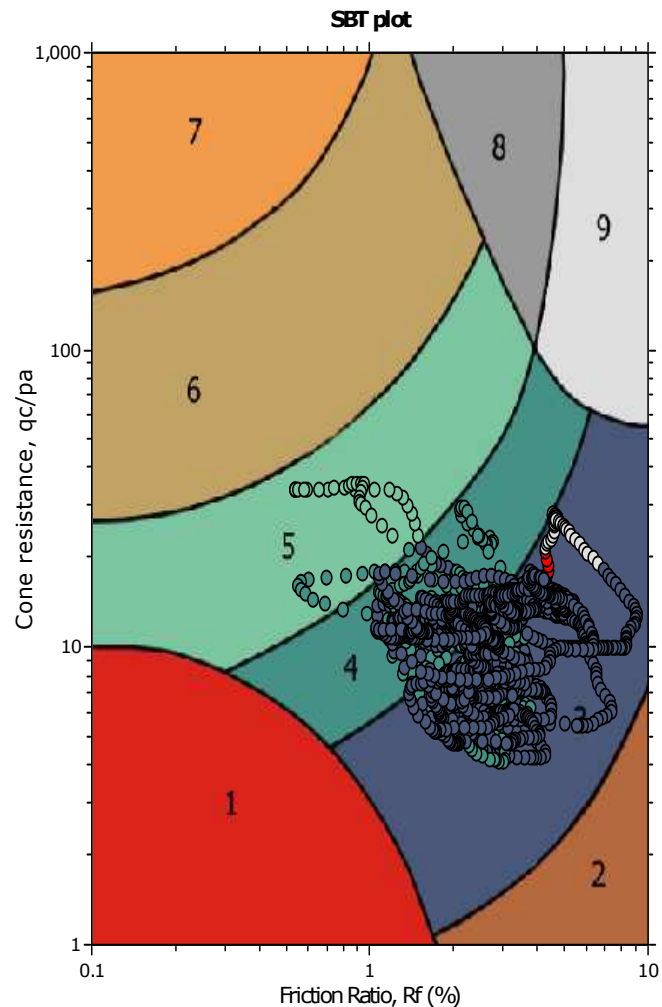
—●— User defined estimation data



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).



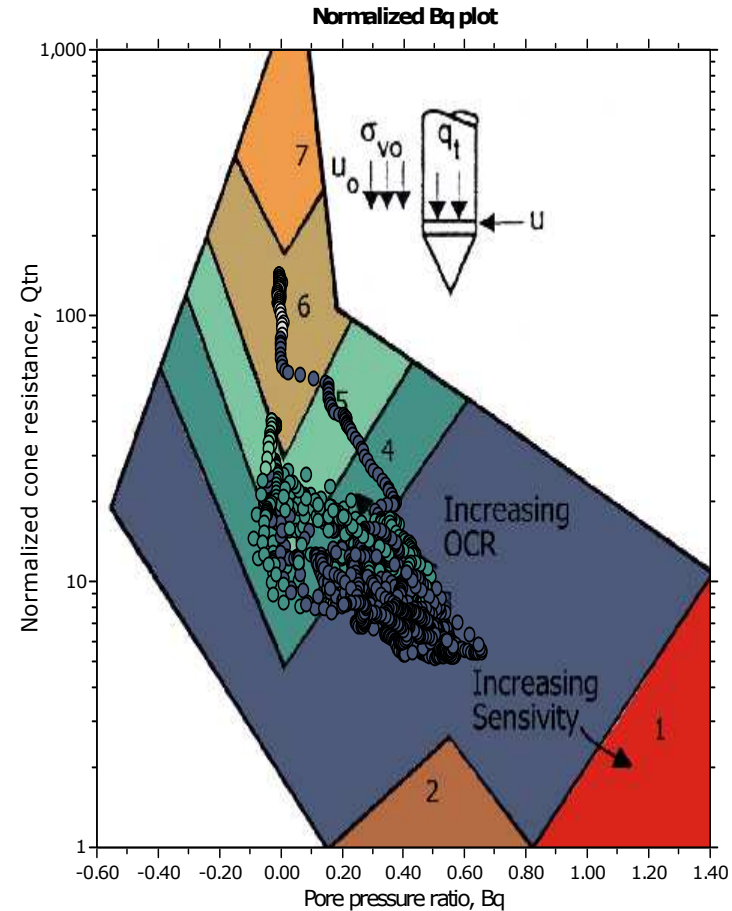
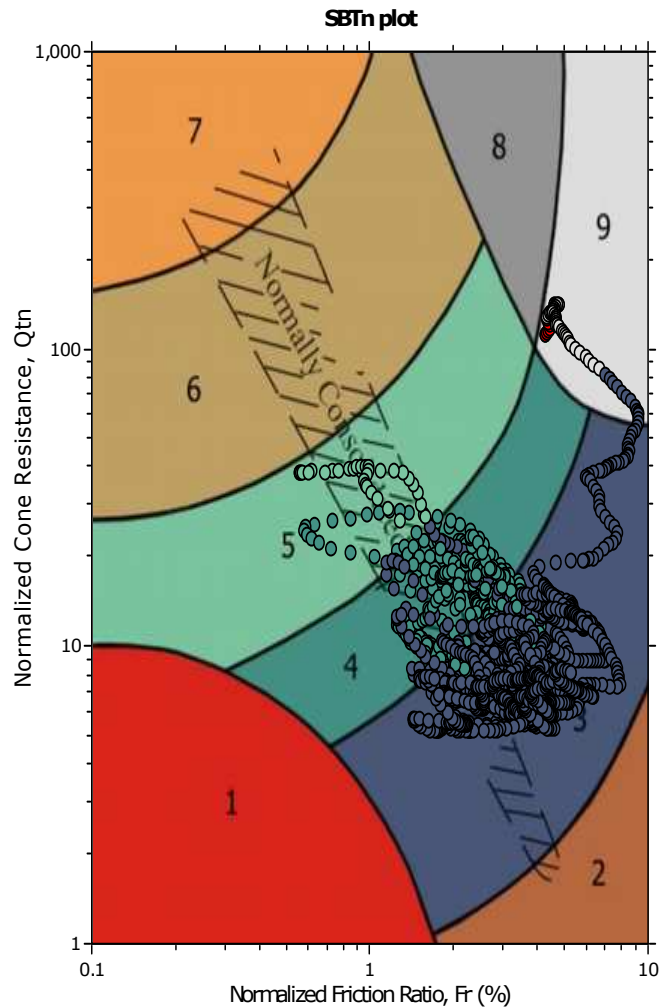
**SBT - Bq plots**



**SBT legend**

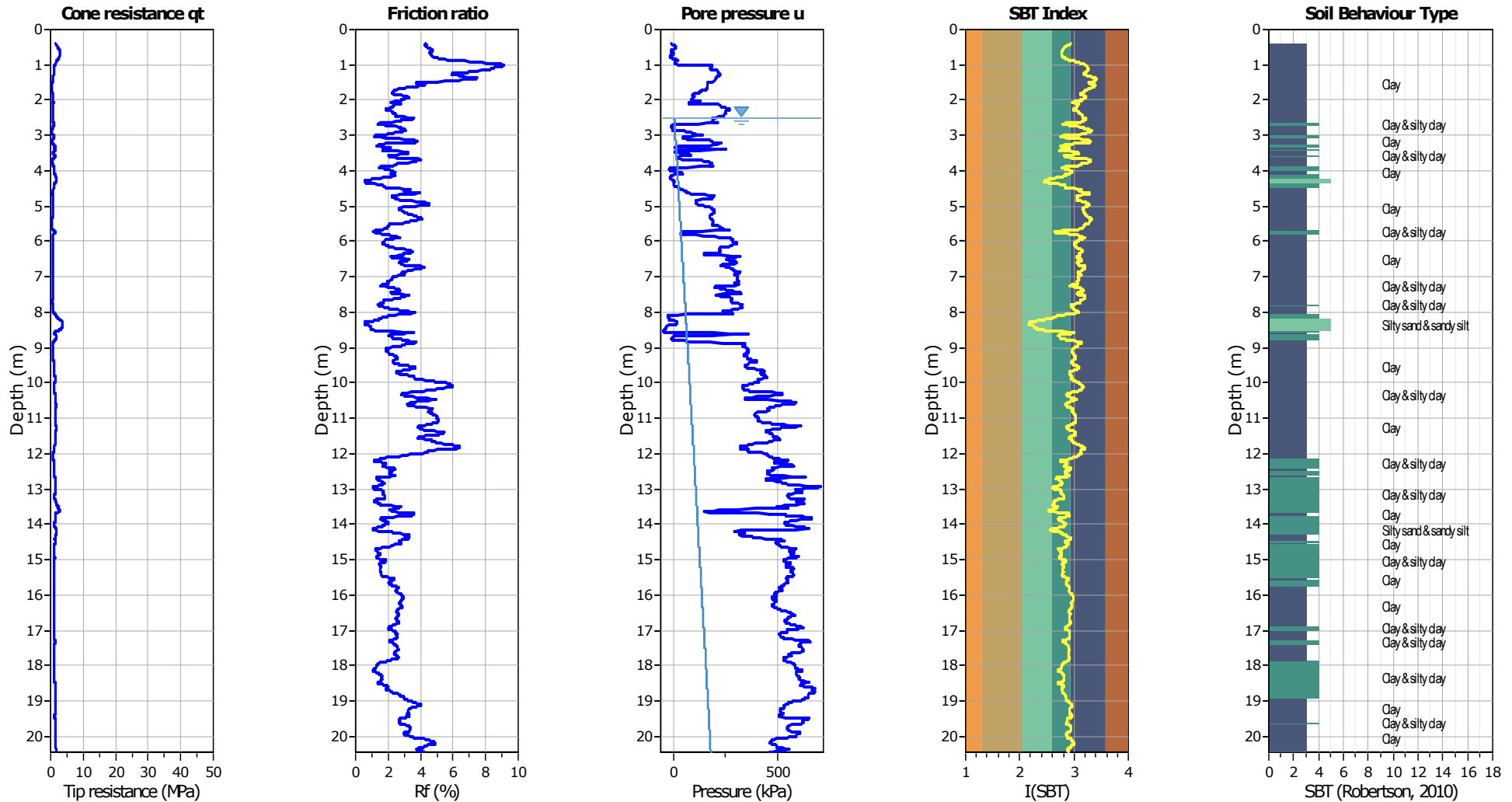
- |                           |                              |                                   |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty clay | 7. Gravely sand to sand           |
| 2. Organic 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)**



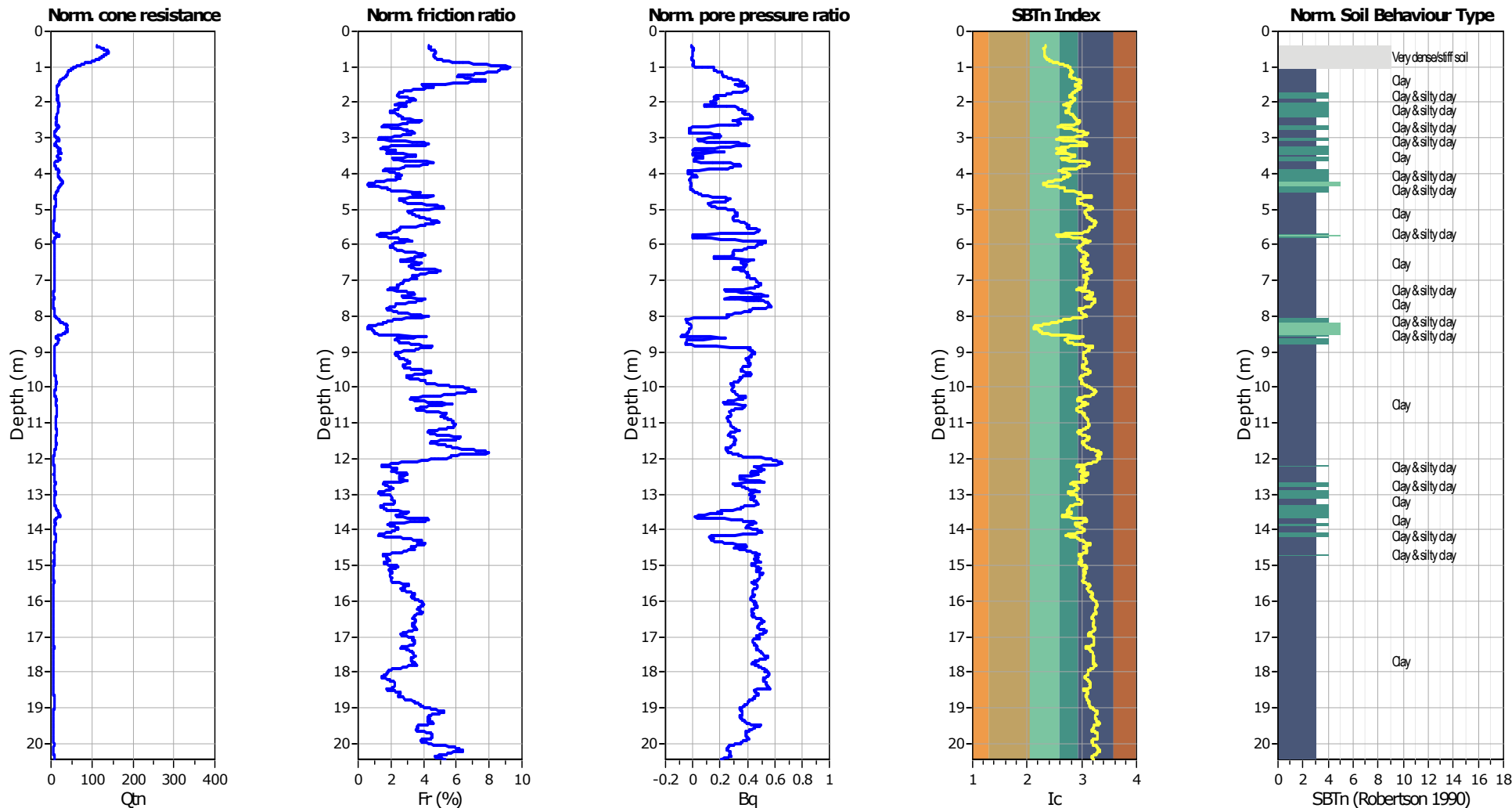
**SBTn legend**

- |  |   |   |
|--|---|---|
| <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   |



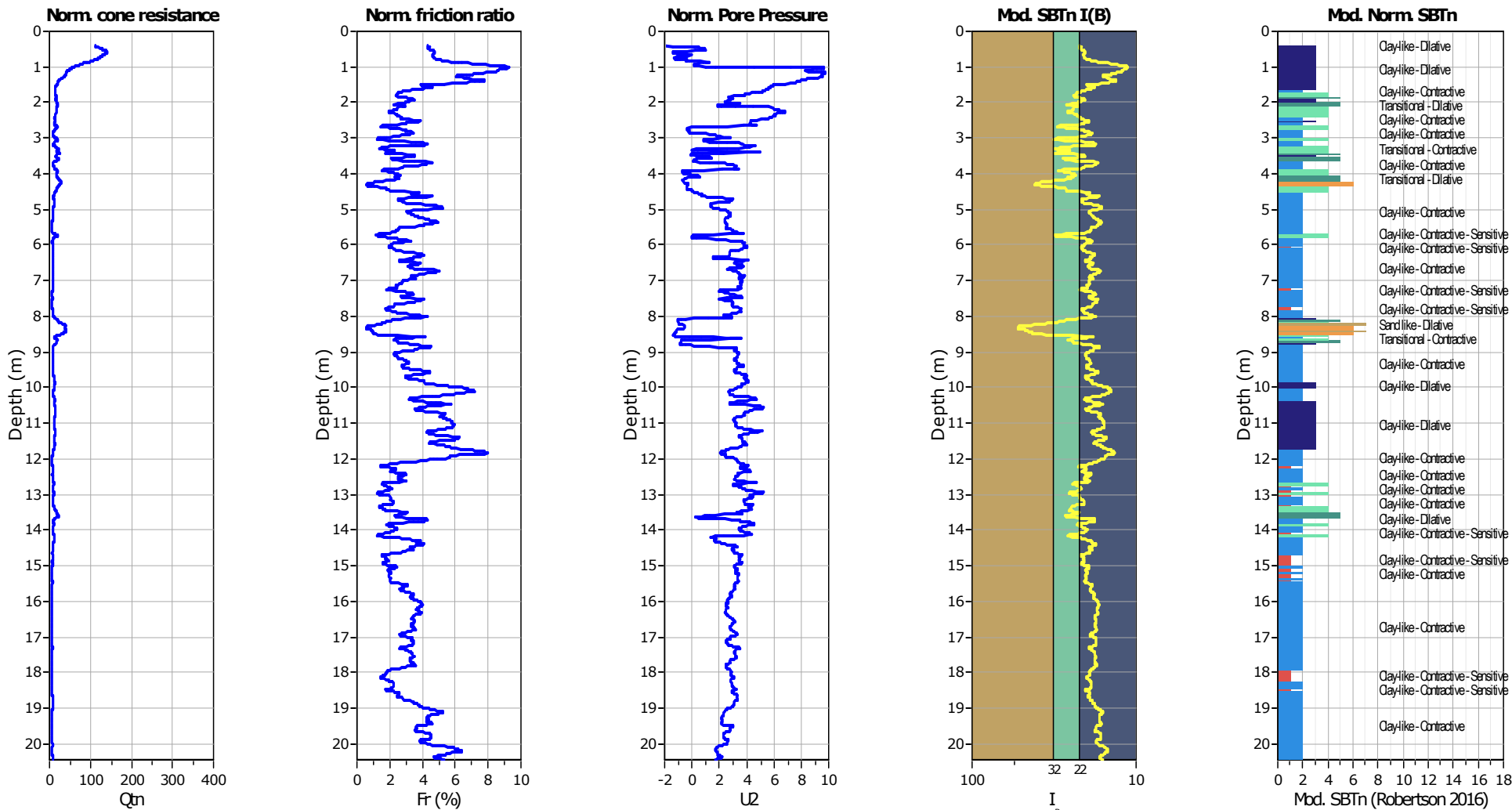
**SBT legend**

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



**SBTn legend**

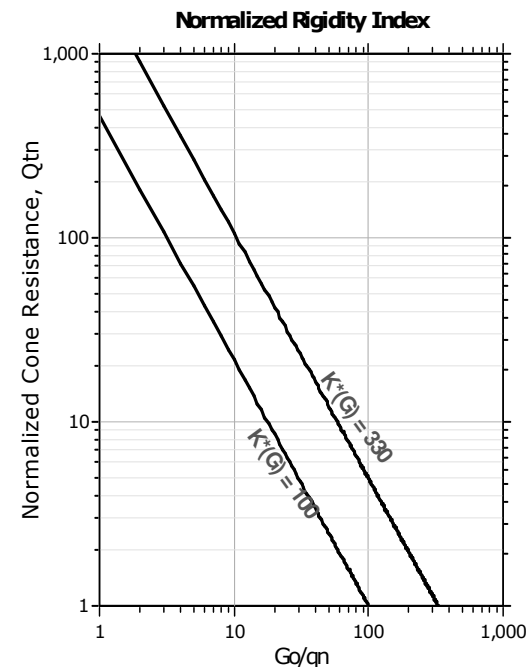
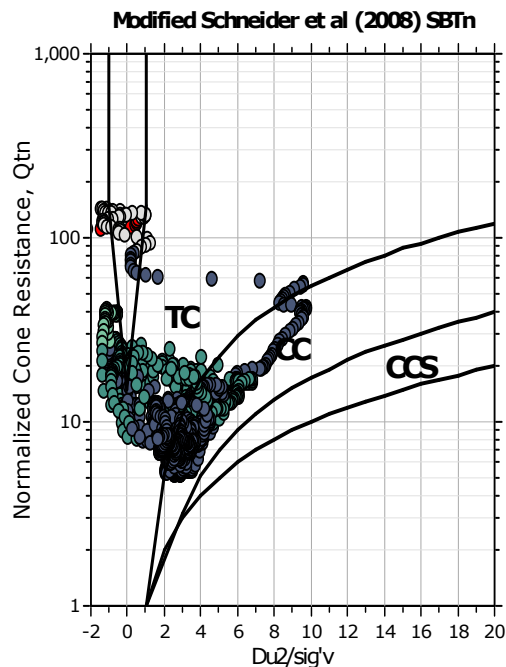
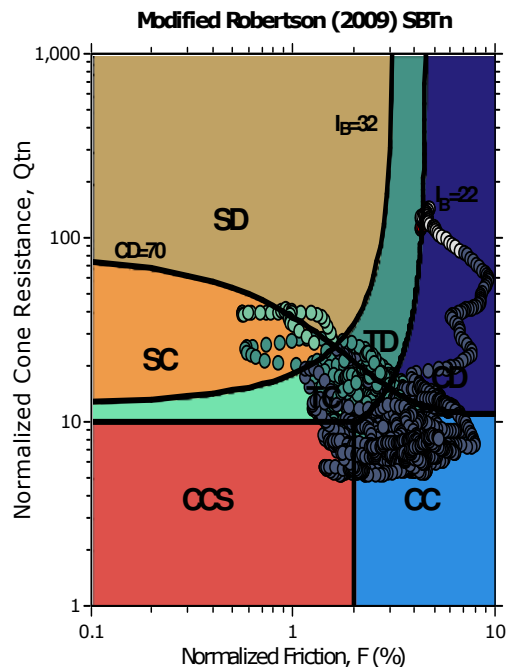
- |                           |                              |                                   |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty clay | 7. Gravely sand to sand           |
| 2. Organic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



**Mod. SBTn legend**

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

**Updated SBTn plots**



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

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

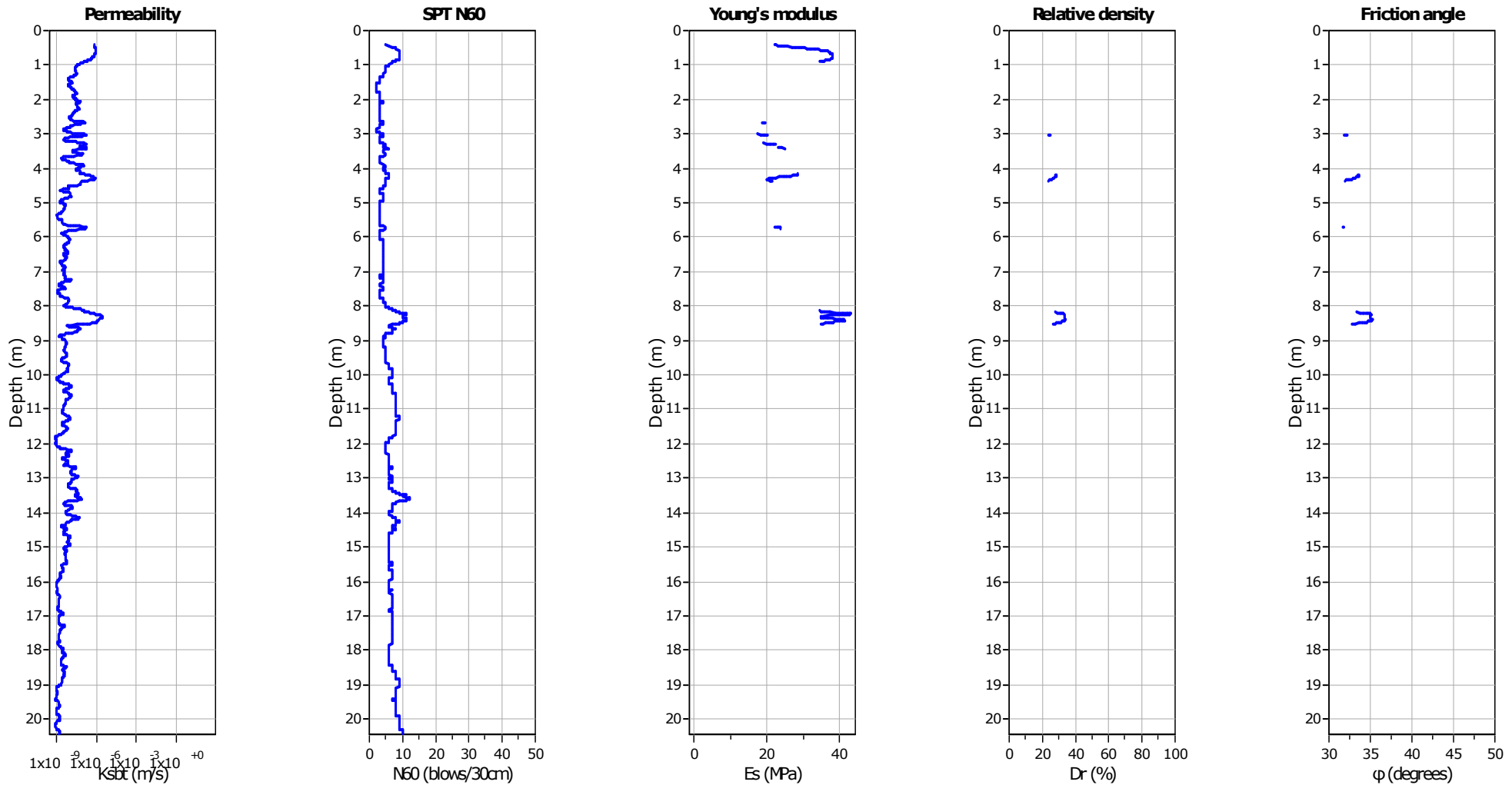


**Project: STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE**

**Location: CAMPOGALLIANO - LOC. PANZANO VIA JUGULARIA**

**CPT: CPTU2**

Total depth: 20.44 m, Date: 02/11/2021



**Calculation parameters**

Permeability: Based on SBT<sub>n</sub>

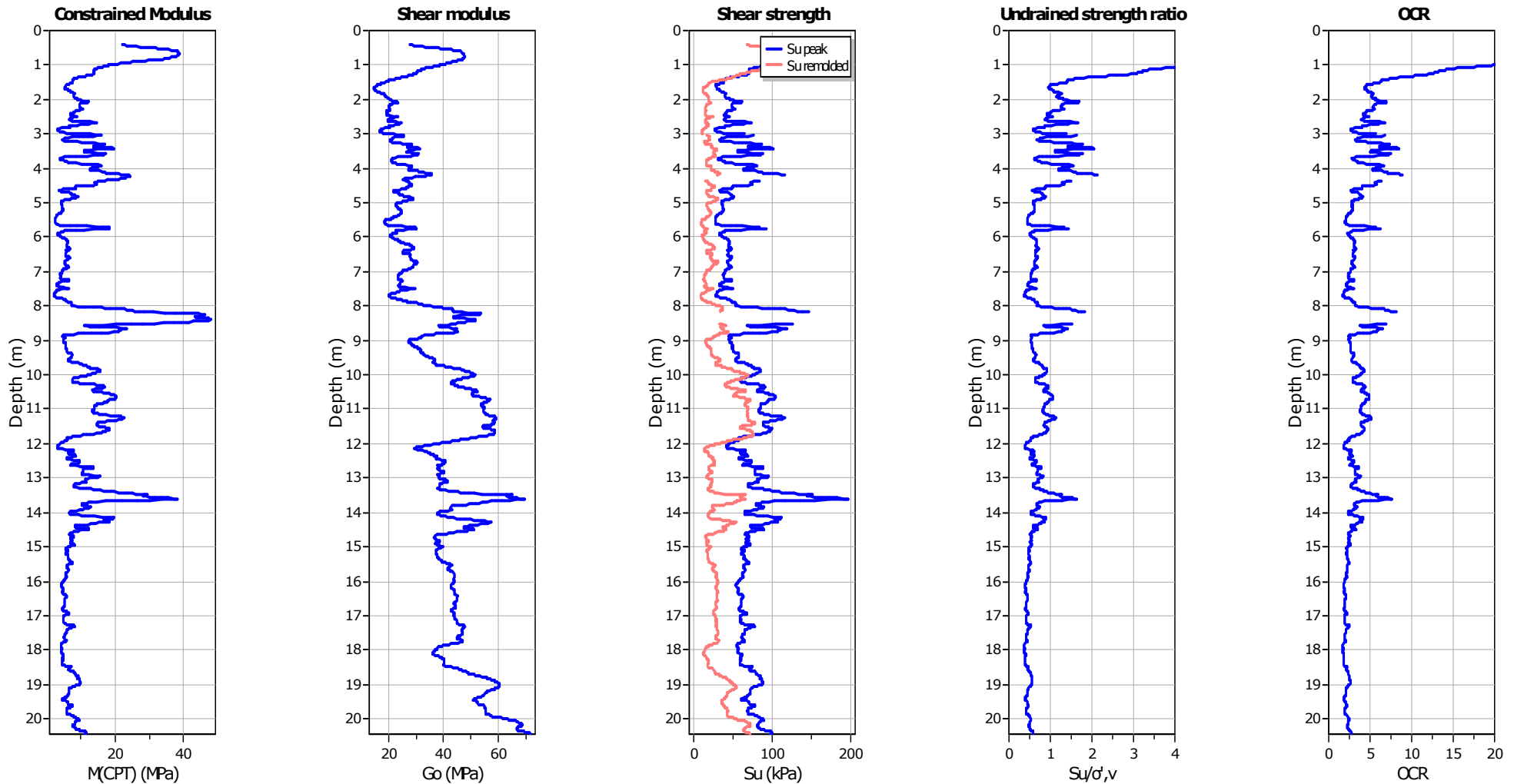
SPT N<sub>60</sub>: Based on I<sub>c</sub> and q<sub>t</sub>

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

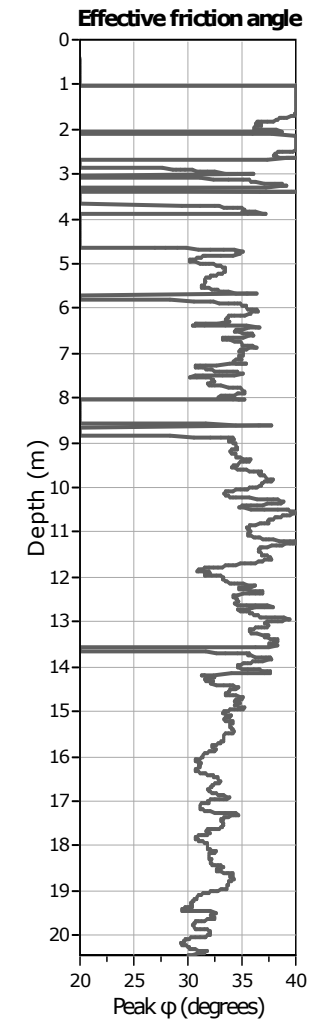
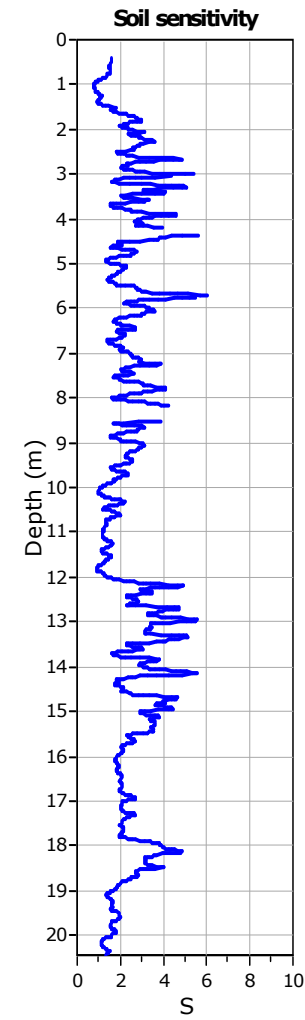
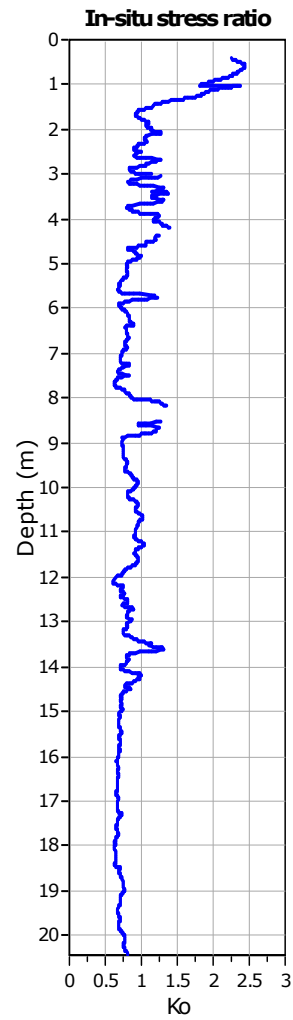
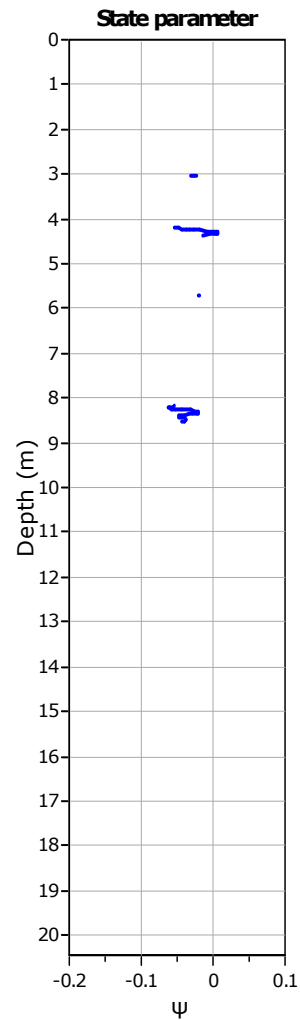
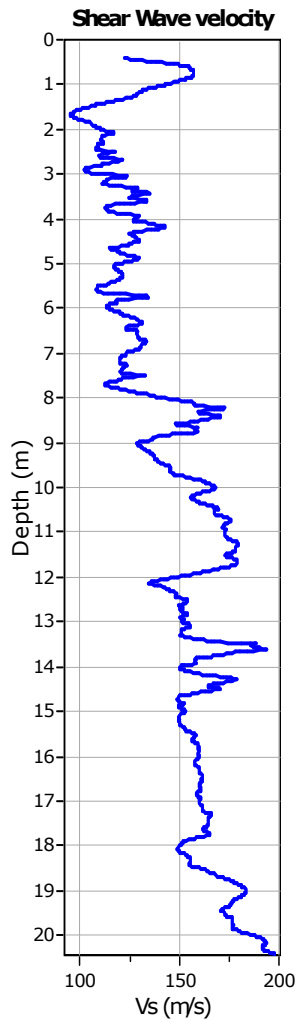
● Flat Dilatometer Test data

**Project: STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE**

**Location: CAMPOGALLIANO - LOC. PANZANO VIA JUGULARIA**

**CPT: CPTU2**

Total depth: 20.44 m, Date: 02/11/2021



**Calculation parameters**

Soil Sensitivity factor,  $N_s$ : 7.00

—●— User defined estimation data



## ALLEGATO 2

### PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT



## LEGENDA VALORI DI RESISTENZA FATTORI DI CONVERSIONE

**Strumento utilizzato:**  
**SP100 - GeoDeepDrill**

Caratteristiche:

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

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

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

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

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

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

N.B. : nonostante la distanza intercorrente (20 cm circa) fra il centro del manicotto laterale e la punta conica del penetrometro, la resistenza laterale locale  $f_s$  viene computata alla stessa quota della punta.

### CONVERSIONI

1 kN (kiloNewton) = 1000 N  $\approx 100 \text{ kg} = 0,1 \text{ t}$

1 MN (megaNewton) = 1.000 kN = 1.000.000 N  $\approx 100 \text{ t}$

1 kPa (kiloPascal) = 1 kN/m<sup>2</sup> = 0,001 MN/m<sup>2</sup> = 0,001 MPa  $\approx 0,1 \text{ t/m}^2 = 0,01 \text{ kg/cm}^2$

1 MPa (megaPascal) = 1 MN/m<sup>2</sup> = 1.000 kN/m<sup>2</sup> = 1000 kPa  $\approx 100 \text{ t/m}^2 = 10 \text{ kg/cm}^2$

1 kg/cm<sup>2</sup> = 10 t/m<sup>2</sup>  $\approx 100 \text{ kN/m}^2 = 100 \text{ kPa} = 0,1 \text{ MN/m}^2 = 0,1 \text{ MPa}$

1 t = 1000 kg  $\approx 10 \text{ kN}$



## LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE CORRELAZIONI GENERALI

**Valutazioni in base al rapporto:  $F = (qc / fs)$**

**Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977**

Valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

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

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

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

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

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





# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

**CPT****1**

Riferimento

**097-2021**

Committente **STUDIO TECNICO**  
 Cantiere **STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE**  
 Località **CAMPOGALLIANO - LOC. PANZANO - VIA JUGULARIA**

U.M.: **MPa**

Data esec. 18/10/2021

Pagina 1/17  
Elaborato

Falda -1,90 m

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %
0,20	0,00	0,00		0,00	0,00			15,20	12,00	24,00		1,18	80,00	15	6,7
0,40	30,00	58,00		2,94	187,00	16	6,2	15,40	14,00	28,00		1,37	93,00	15	6,6
0,60	32,00	56,00		3,14	160,00	20	5,0	15,60	13,00	26,00		1,27	87,00	15	6,7
0,80	35,00	72,00		3,43	247,00	14	7,1								
<b>1,00</b>	<b>21,00</b>	<b>42,00</b>		<b>2,06</b>	<b>140,00</b>	<b>15</b>	<b>6,7</b>								
1,20	17,00	39,00		1,67	147,00	12	8,6								
1,40	14,00	28,00		1,37	93,00	15	6,6								
1,60	12,00	24,00		1,18	80,00	15	6,7								
1,80	10,00	20,00		0,98	67,00	15	6,7								
<b>2,00</b>	<b>9,00</b>	<b>18,00</b>		<b>0,88</b>	<b>60,00</b>	<b>15</b>	<b>6,7</b>								
2,20	9,00	18,00		0,88	60,00	15	6,7								
2,40	10,00	19,00		0,98	60,00	17	6,0								
2,60	10,00	17,00		0,98	47,00	21	4,7								
2,80	7,00	13,00		0,69	40,00	18	5,7								
<b>3,00</b>	<b>8,00</b>	<b>16,00</b>		<b>0,78</b>	<b>53,00</b>	<b>15</b>	<b>6,6</b>								
3,20	6,00	12,00		0,59	40,00	15	6,7								
3,40	4,00	8,00		0,39	27,00	15	6,8								
3,60	5,00	10,00		0,49	33,00	15	6,6								
3,80	20,00	28,00		1,96	53,00	38	2,7								
<b>4,00</b>	<b>29,00</b>	<b>35,00</b>		<b>2,84</b>	<b>40,00</b>	<b>73</b>	<b>1,4</b>								
4,20	10,00	27,00		0,98	113,00	9	11,3								
4,40	13,00	20,00		1,27	47,00	28	3,6								
4,60	16,00	25,00		1,57	60,00	27	3,8								
4,80	9,00	14,00		0,88	33,00	27	3,7								
<b>5,00</b>	<b>7,00</b>	<b>14,00</b>		<b>0,69</b>	<b>47,00</b>	<b>15</b>	<b>6,7</b>								
5,20	13,00	26,00		1,27	87,00	15	6,7								
5,40	16,00	32,00		1,57	107,00	15	6,7								
5,60	25,00	34,00		2,45	60,00	42	2,4								
5,80	28,00	39,00		2,74	73,00	38	2,6								
<b>6,00</b>	<b>26,00</b>	<b>36,00</b>		<b>2,55</b>	<b>67,00</b>	<b>39</b>	<b>2,6</b>								
6,20	27,00	45,00		2,65	120,00	23	4,4								
6,40	38,00	56,00		3,72	120,00	32	3,2								
6,60	24,00	31,00		2,35	47,00	51	2,0								
6,80	28,00	38,00		2,74	67,00	42	2,4								
<b>7,00</b>	<b>39,00</b>	<b>51,00</b>		<b>3,82</b>	<b>80,00</b>	<b>49</b>	<b>2,1</b>								
7,20	36,00	55,00		3,53	127,00	28	3,5								
7,40	28,00	39,00		2,74	73,00	38	2,6								
7,60	26,00	34,00		2,55	53,00	49	2,0								
7,80	24,00	32,00		2,35	53,00	45	2,2								
<b>8,00</b>	<b>29,00</b>	<b>35,00</b>		<b>2,84</b>	<b>40,00</b>	<b>73</b>	<b>1,4</b>								
8,20	25,00	35,00		2,45	67,00	37	2,7								
8,40	39,00	45,00		3,82	40,00	98	1,0								
8,60	19,00	38,00		1,86	127,00	15	6,7								
8,80	10,00	20,00		0,98	67,00	15	6,7								
<b>9,00</b>	<b>9,00</b>	<b>20,00</b>		<b>0,88</b>	<b>73,00</b>	<b>12</b>	<b>8,1</b>								
9,20	10,00	15,00		0,98	33,00	30	3,3								
9,40	7,00	14,00		0,69	47,00	15	6,7								
9,60	7,00	14,00		0,69	47,00	15	6,7								
9,80	10,00	18,00		0,98	53,00	19	5,3								
<b>10,00</b>	<b>10,00</b>	<b>20,00</b>		<b>0,98</b>	<b>67,00</b>	<b>15</b>	<b>6,7</b>								
10,20	12,00	24,00		1,18	80,00	15	6,7								
10,40	14,00	28,00		1,37	93,00	15	6,6								
10,60	13,00	28,00		1,27	100,00	13	7,7								
10,80	13,00	25,00		1,27	80,00	16	6,2								
<b>11,00</b>	<b>15,00</b>	<b>29,00</b>		<b>1,47</b>	<b>93,00</b>	<b>16</b>	<b>6,2</b>								
11,20	19,00	36,00		1,86	113,00	17	5,9								
11,40	22,00	45,00		2,16	153,00	14	7,0								
11,60	22,00	44,00		2,16	147,00	15	6,7								
11,80	25,00	55,00		2,45	200,00	13	8,0								
<b>12,00</b>	<b>28,00</b>	<b>54,00</b>		<b>2,74</b>	<b>173,00</b>	<b>16</b>	<b>6,2</b>								
12,20	20,00	40,00		1,96	133,00	15	6,7								
12,40	31,00	48,00		3,04	113,00	27	3,6								
12,60	34,00	64,00		3,33	200,00	17	5,9								
12,80	29,00	56,00		2,84	180,00	16	6,2								
<b>13,00</b>	<b>15,00</b>	<b>30,00</b>		<b>1,47</b>	<b>100,00</b>	<b>15</b>	<b>6,7</b>								
13,20	18,00	30,00		1,76	80,00	23	4,4								
13,40	12,00	24,00		1,18	80,00	15	6,7								
13,60	12,00	25,00		1,18	87,00	14	7,3								
13,80	17,00	33,00		1,67	107,00	16	6,3								
<b>14,00</b>	<b>16,00</b>	<b>29,00</b>		<b>1,57</b>	<b>87,00</b>	<b>18</b>	<b>5,4</b>								
14,20	13,00	26,00		1,27	87,00	15	6,7								
14,40	13,00	27,00		1,27	93,00	14	7,2								
14,60	12,00	24,00		1,18	80,00	15	6,7								
14,80	13,00	25,00		1,27	80,00	16	6,2								
<b>15,00</b>	<b>11,00</b>	<b>22,00</b>		<b>1,08</b>	<b>73,00</b>	<b>15</b>	<b>6,6</b>								

H = profondità

L1 = prima lettura (punta)

L2 = seconda lettura (punta + laterale)

Lt = terza lettura (totale)

CT =10,00 costante di trasformazione

qc = resistenza punta

fs = resistenza laterale

alla stessa quota di qc

F = rapporto Begemann (qc / fs)

Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)\*100

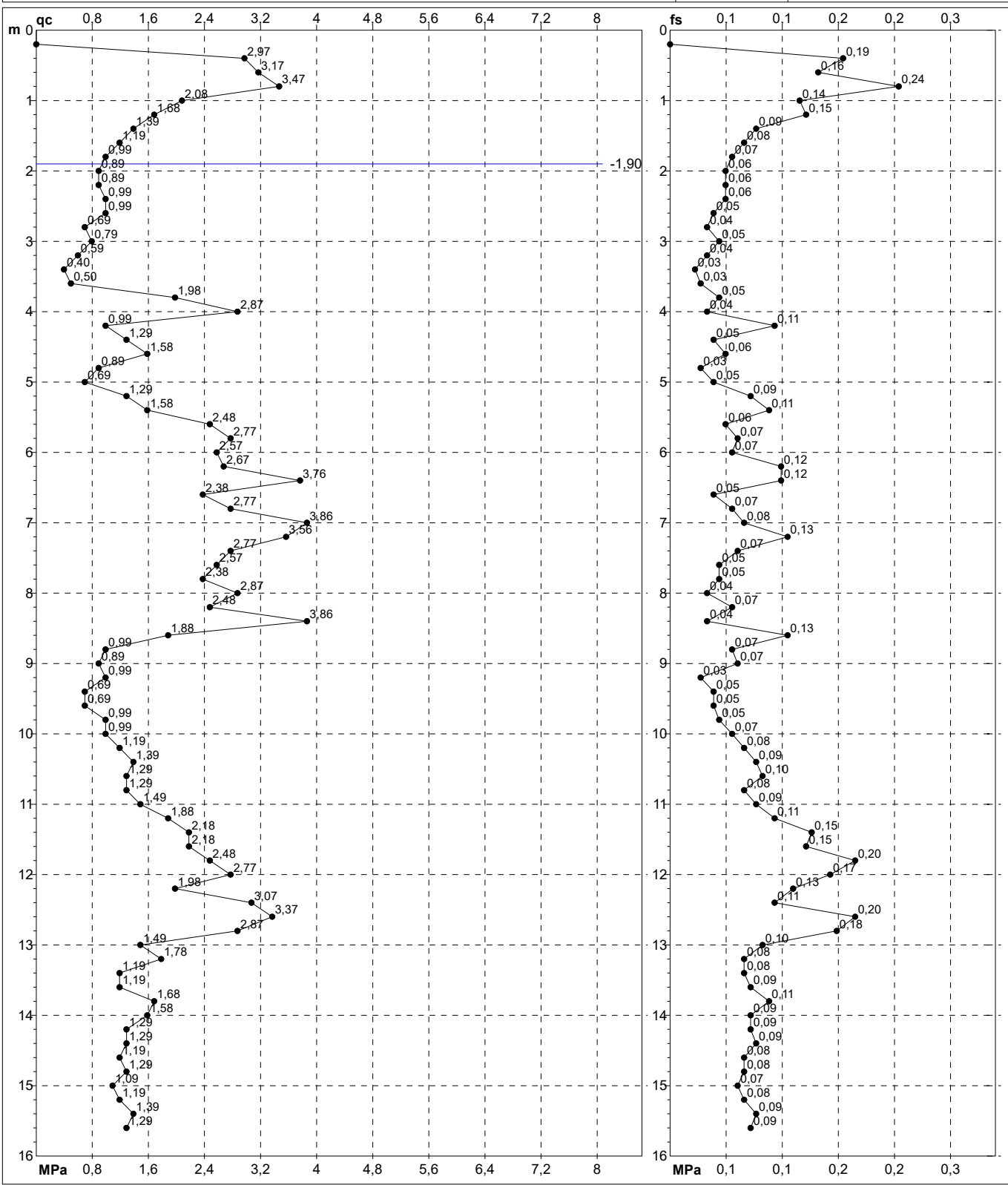




# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

<b>CPT</b>	<b>1</b>
Riferimento	<b>097-2021</b>

Committente	<b>STUDIO TECNICO</b>	U.M.:	<b>MPa</b>	Data exec.	18/10/2021
Cantiere	<b>STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE</b>	Scala:	1:80		
Località	<b>CAMPOGALLIANO - LOC. PANZANO - VIA JUGULARIA</b>	Pagina	2/17	Quota inizio:	Falda -1,90 m
		Elaborato			



		Penetrometro:	SP100	preforo	m
		Responsabile:		Corr.astine:	kN/ml
		Assistente:		Cod. tip:	



# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI LITOLOGIA

**CPT**

**1**

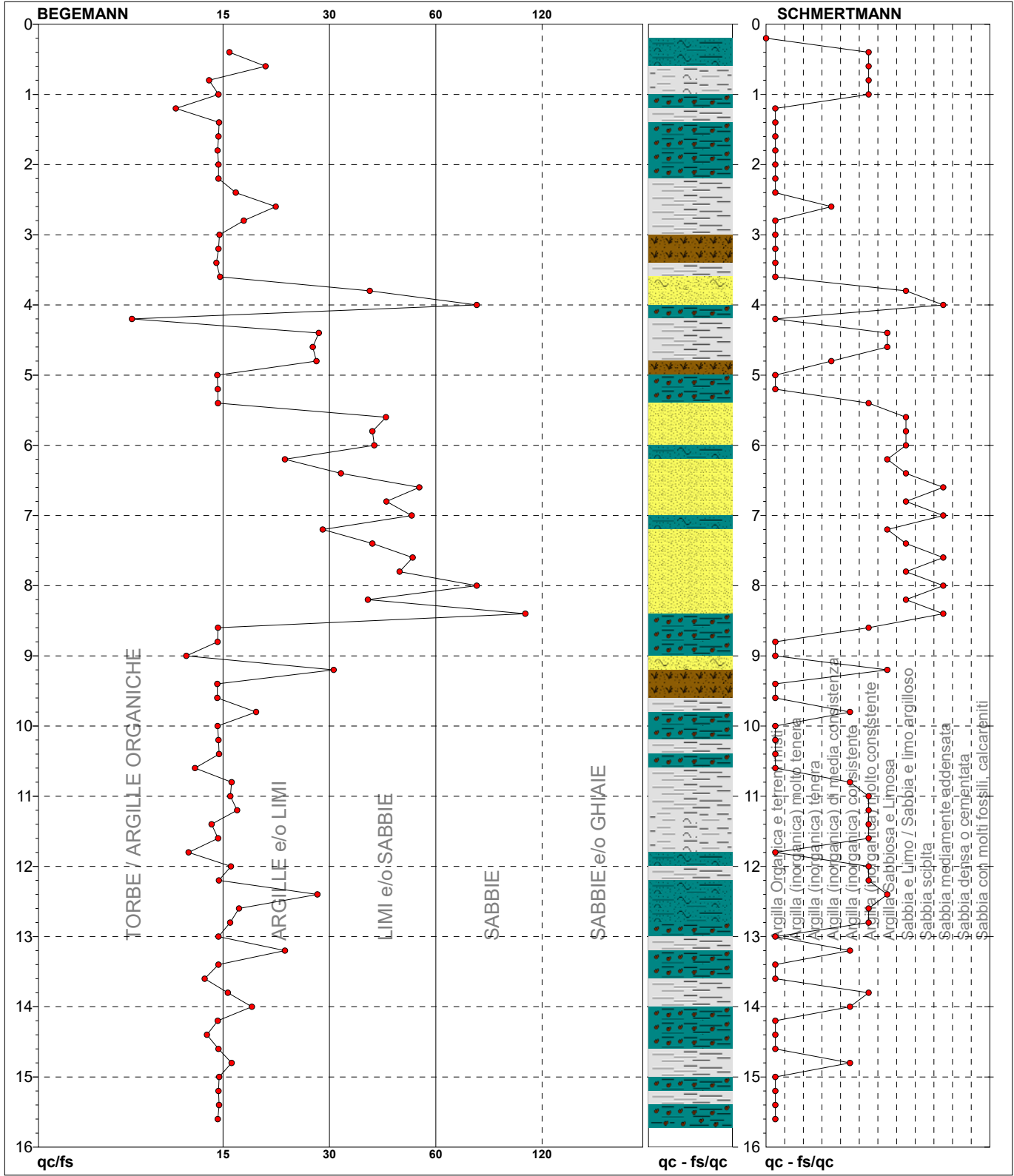
Riferimento

**097-2021**

Committente **STUDIO TECNICO**  
 Cantiere **STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE**  
 Località **CAMPOGALLIANO - LOC. PANZANO - VIA JUGULARIA**

U.M.: **MPa**  
 Scala: 1:80  
 Pagina 3/17  
 Elaborato

Data exec. 18/10/2021  
 Falda -1,90 m



TORBE / ARGILLE OR	33 punti, 41,77%	Argilla Organica e terreni misti	34 punti, 43,04%	Argilla Sabbiosa e Limosa	6 punti, 7,59%
ARGILLE e/o LIMI	29 punti, 36,71%	Argilla (inorganica) di media consistenza	2 punti, 2,53%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo argilloso	9 punti, 11,39%
LIMI e/o SABBIE	13 punti, 16,46%	Argilla (inorganica) consistente	5 punti, 6,33%	Sabbia mediamente addensata	6 punti, 7,59%
SABBIE	3 punti, 3,80%	Argilla (inorganica) molto consistente	15 punti, 18,99%		





# ALLEGATO 3

## INDAGINI SISMICHE

## CAMPOGALLIANO, LOC. PANZANO - VIA JUGULARIA

Instrument: TE3-0303/01-17

Data format: 32 bit

Full scale [mV]: 51

Start recording: 14/10/2021 12:08:22 End recording: 14/10/2021 12:28:22

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 55% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

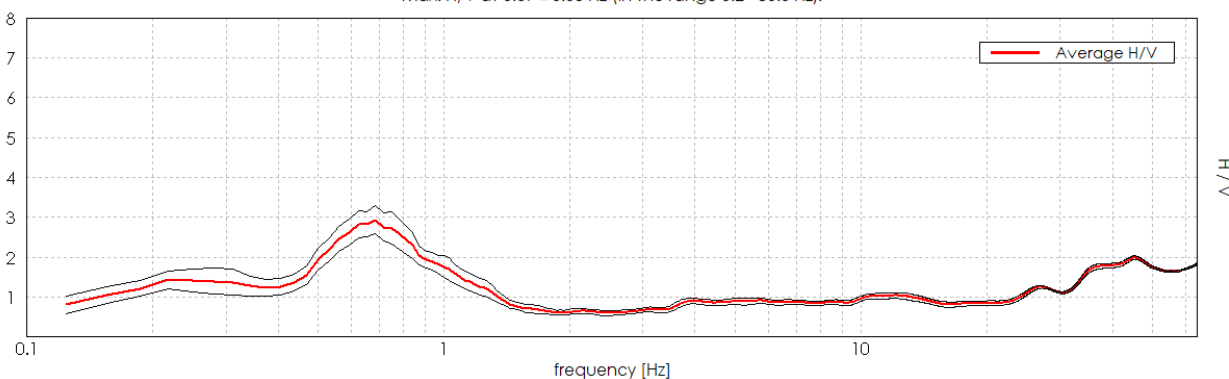
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

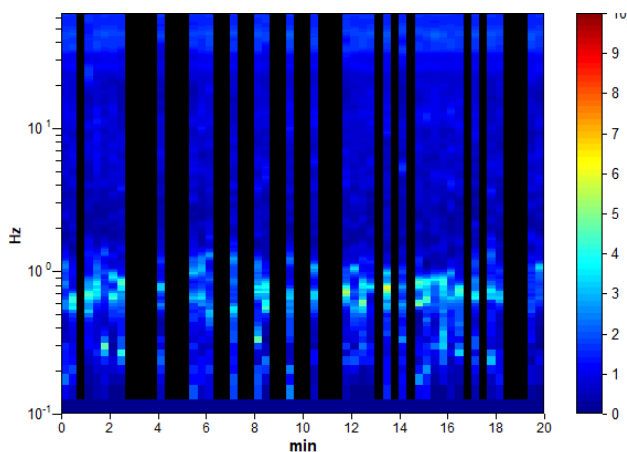
Smoothing: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

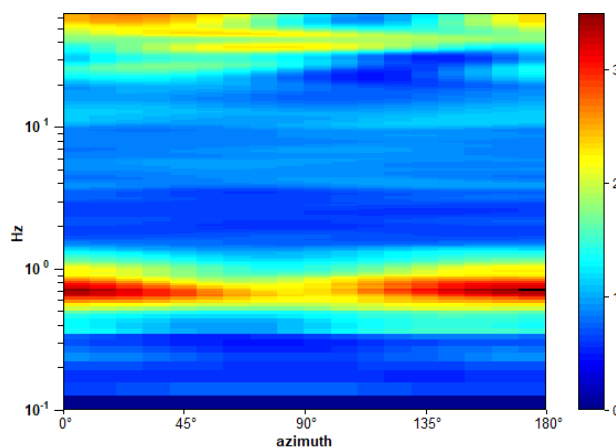
Max. H/V at  $0.69 \pm 0.05$  Hz (in the range 0.2 - 30.0 Hz).



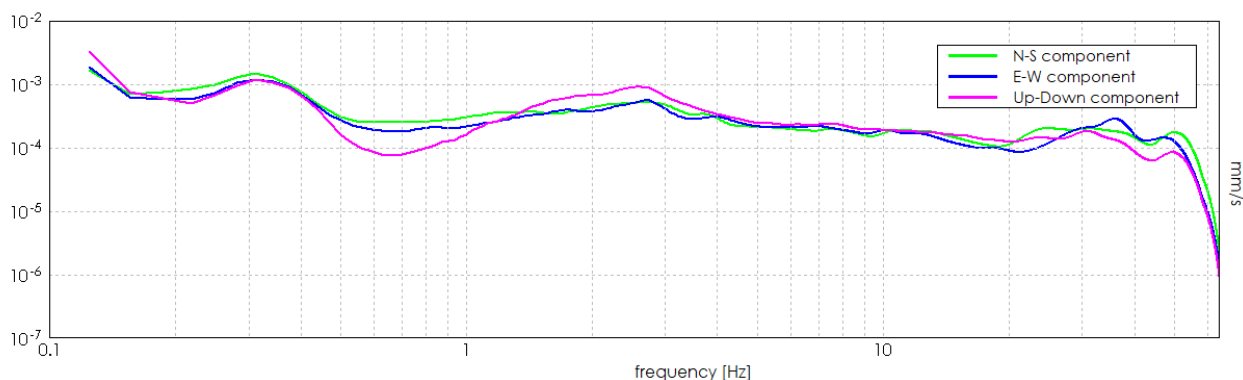
### H/V TIME HISTORY



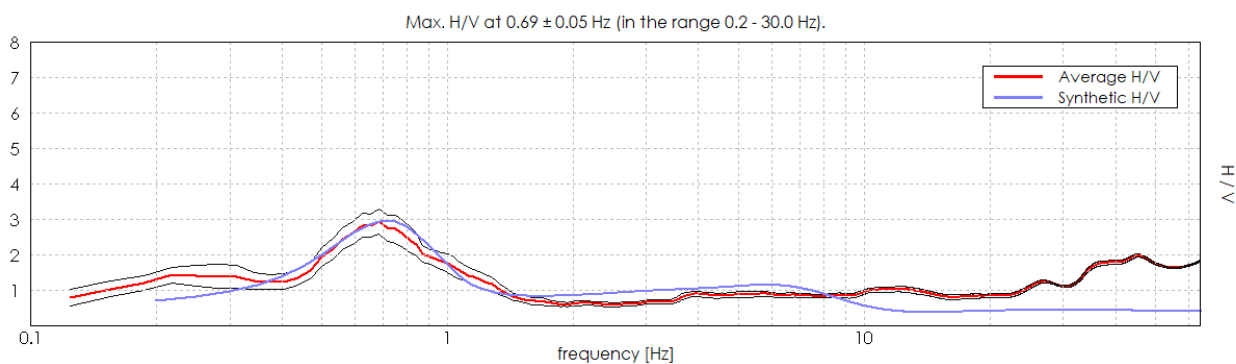
### DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA

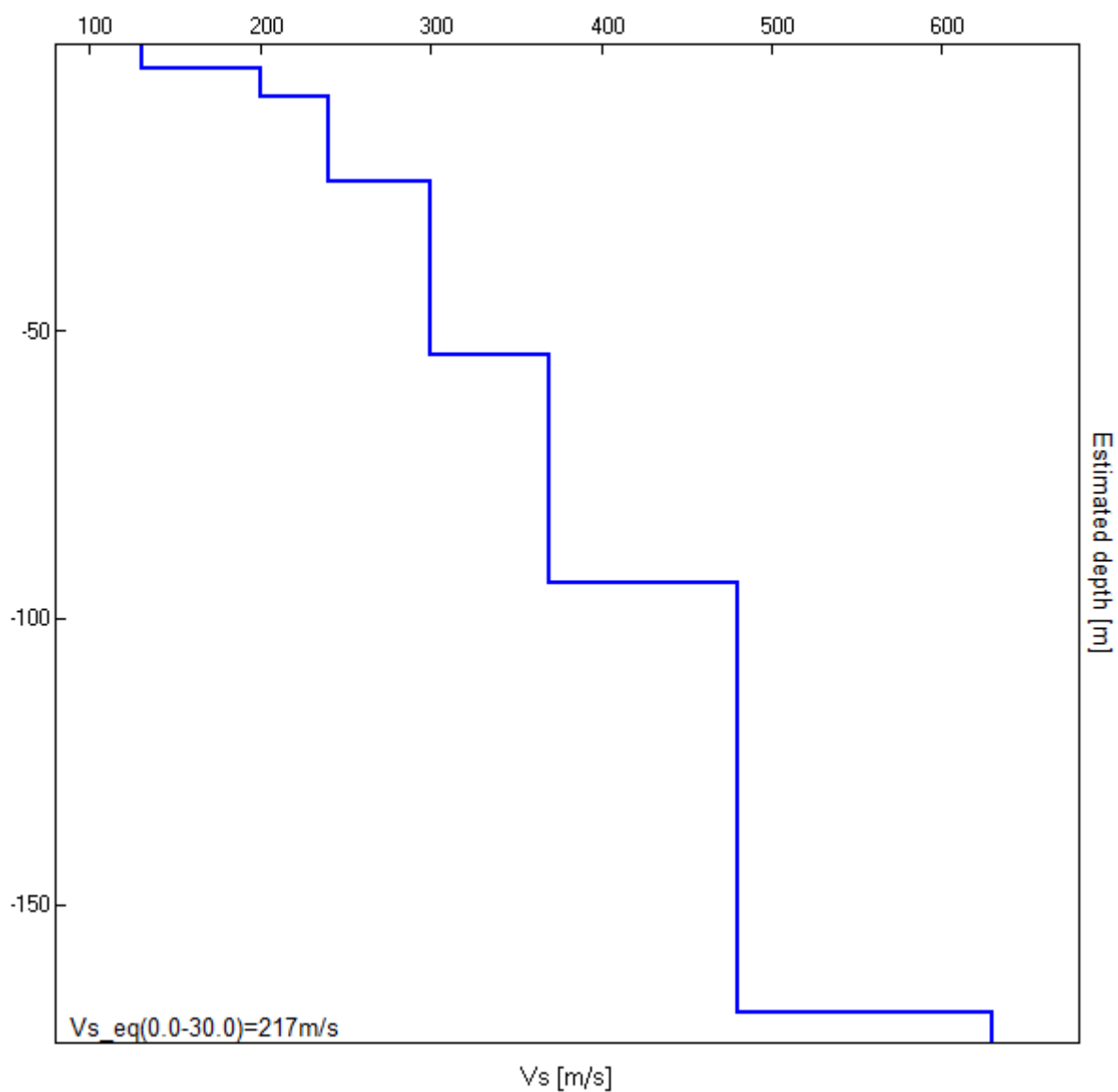


### EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
4.00	4.00	130	0.45
9.00	5.00	200	0.45
24.00	15.00	240	0.44
54.00	30.00	300	0.44
94.00	40.00	370	0.43
169.00	75.00	480	0.43
inf.	inf.	630	0.42

**Vs\_eq (0.0-30.0) = 217 m/s**



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

**Max. H/V at  $0.69 \pm 0.05$  Hz (in the range 0.2 - 30.0 Hz).**

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

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.69 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$453.8 > 200$	<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 34 times	<b>OK</b>	

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

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

<b>Exists <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>	0.438 Hz	<b>OK</b>	
<b>Exists <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	1.125 Hz	<b>OK</b>	
<b><math>A_0 &gt; 2</math></b>	$2.94 > 2$	<b>OK</b>	
<b><math>f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%</math></b>	$ 0.0662  < 0.05$		<b>NO</b>
<b><math>\sigma_f &lt; \varepsilon(f_0)</math></b>	$0.04551 < 0.10313$	<b>OK</b>	
<b><math>\sigma_A(f_0) &lt; \theta(f_0)</math></b>	$0.355 < 2.0$	<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



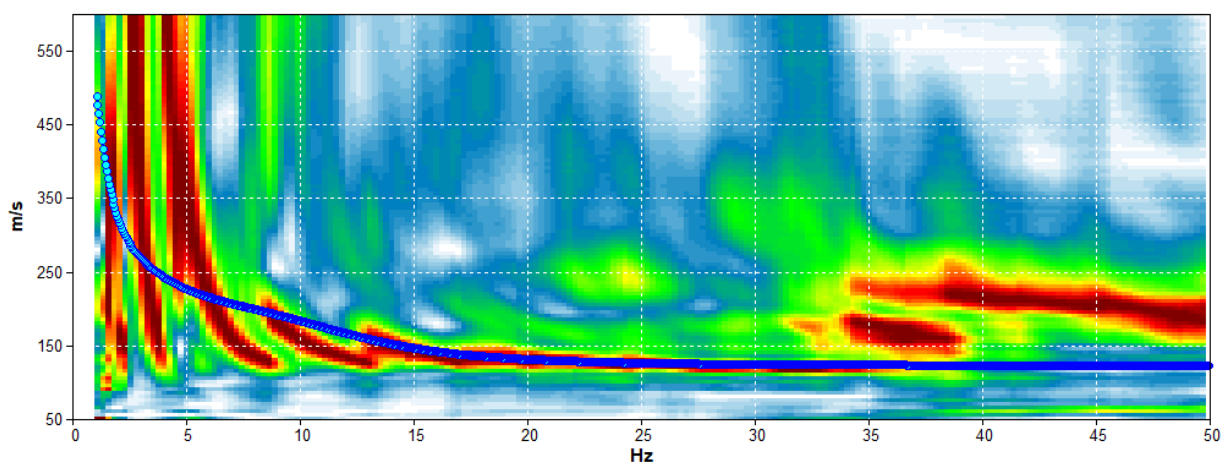
## CAMPOGALLIANO, LOC. PANZANO - VIA JUGULARIA

Start recording: 14/10/2021 12:08:22 End recording: 14/10/2021 12:28:22  
Trace length: 0h20'00". Analyzed 55% trace (manual window selection)  
Sampling rate: 128 Hz

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

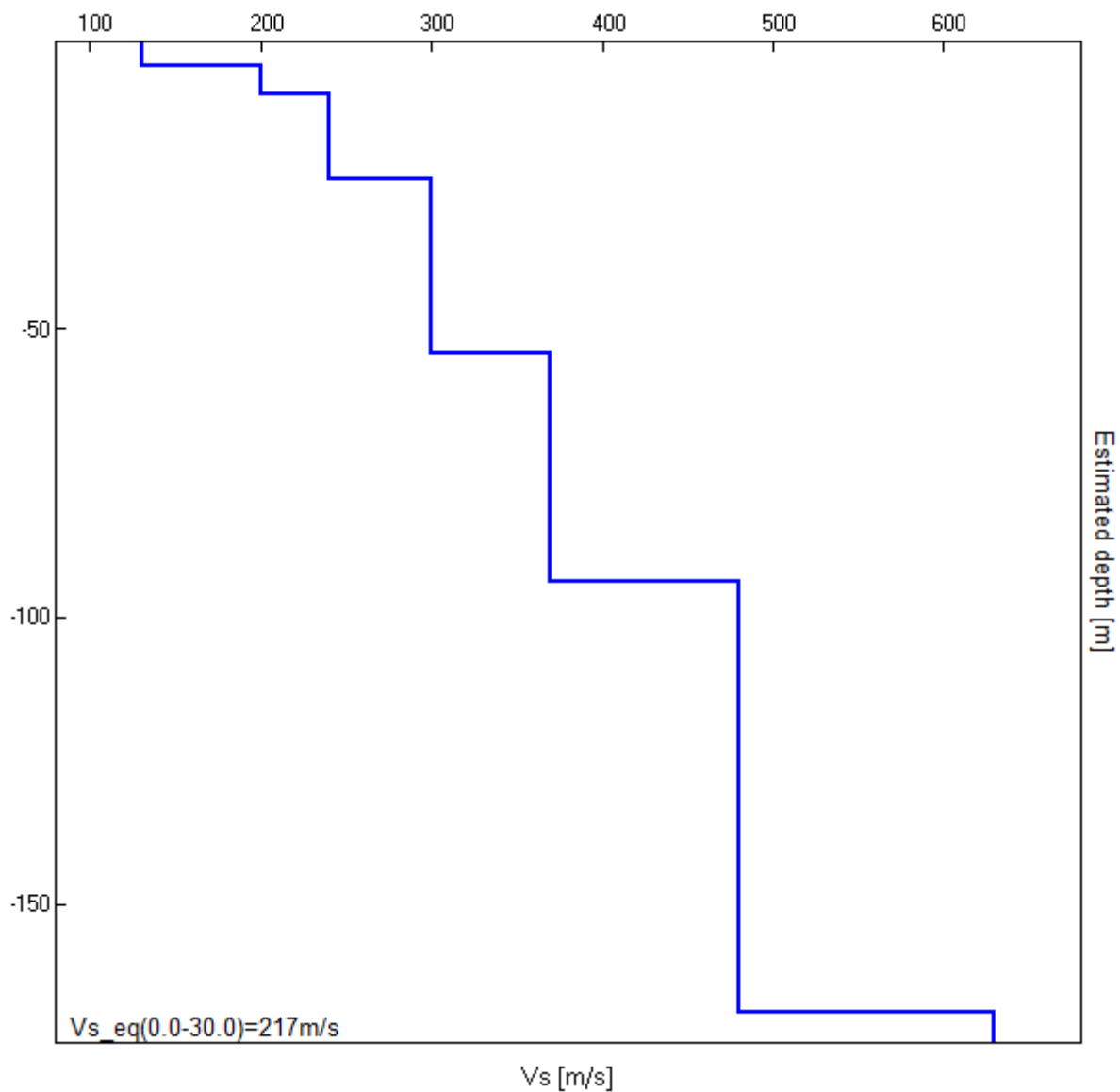
Array geometry (x): 0.0 2.0 4.0 6.0 8.0 10.0 12.0 14.0 16.0 18.0 20.0 22.0 24.0 26.0 28.0 30.0 32.0 34.0 36.0 m.

### MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
4.00	4.00	130	0.45
9.00	5.00	200	0.45
24.00	15.00	240	0.44
54.00	30.00	300	0.44
94.00	40.00	370	0.43
169.00	75.00	480	0.43
inf.	inf.	630	0.42

**Vs\_eq (0.0-30.0) = 217 m/s**





# ALLEGATO 4

## VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE



**Geo Group S.r.l.**  
 v. per Modena, 12- Castelnuovo Rangone (MO)  
 059 3967169  
 info@geogroupmodena.it

**LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT**

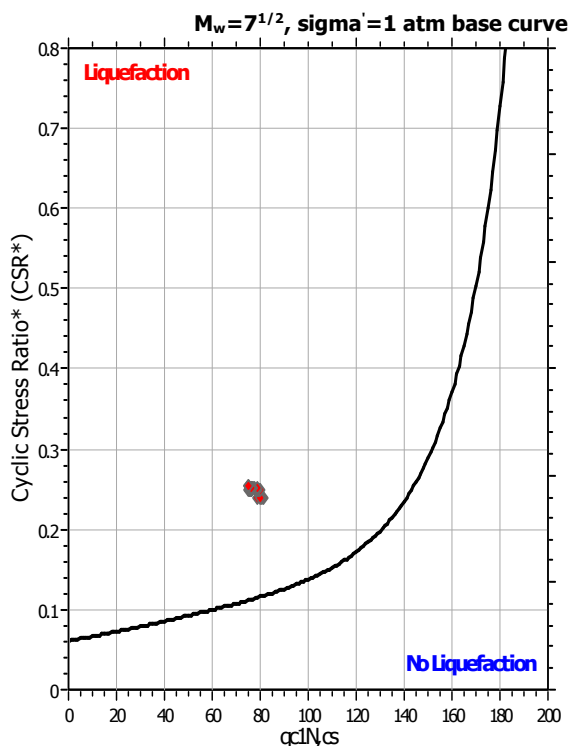
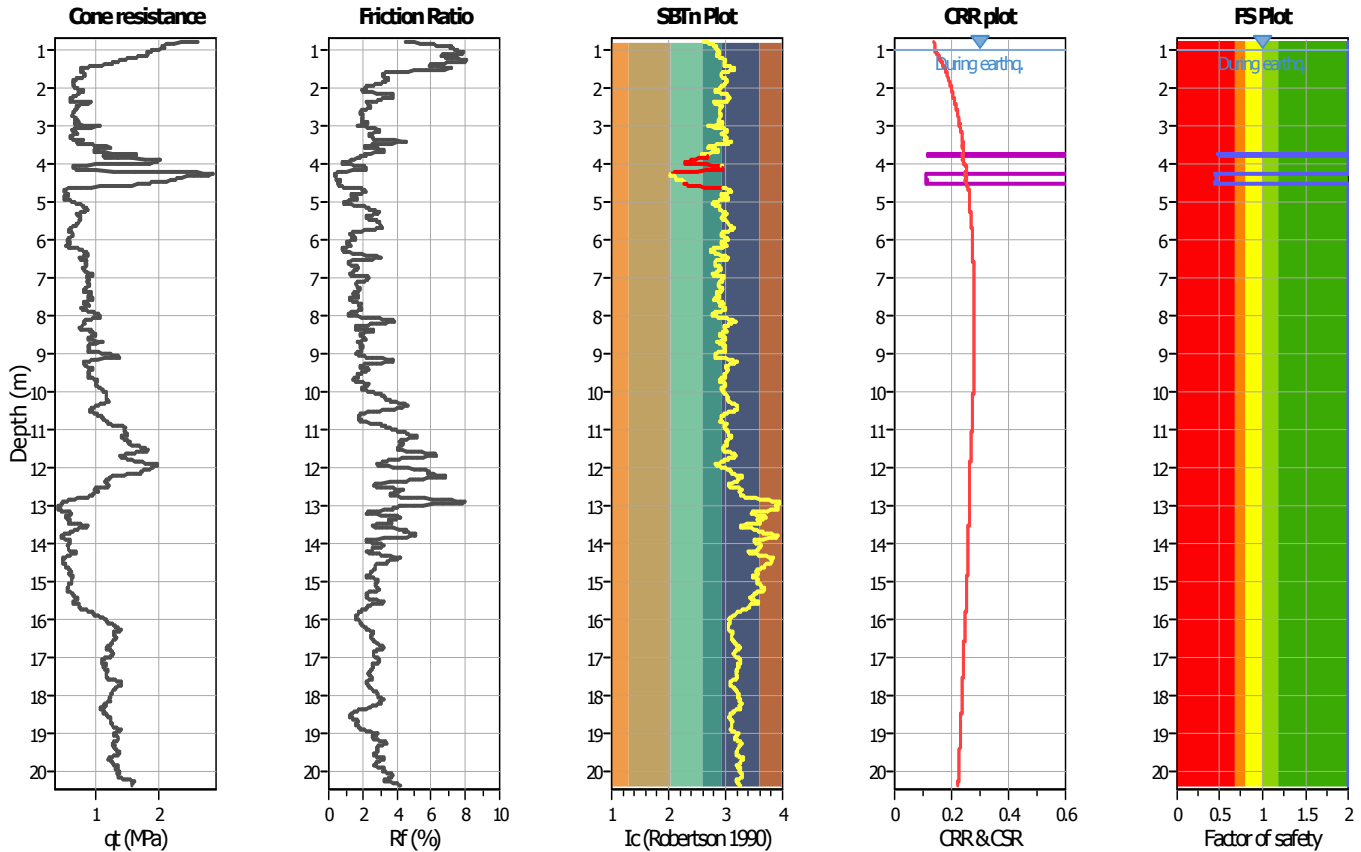
**Project title : STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE**

**Location : CAMPOGALLIANO - LOC. PANZANO VIA JUGULARIA**

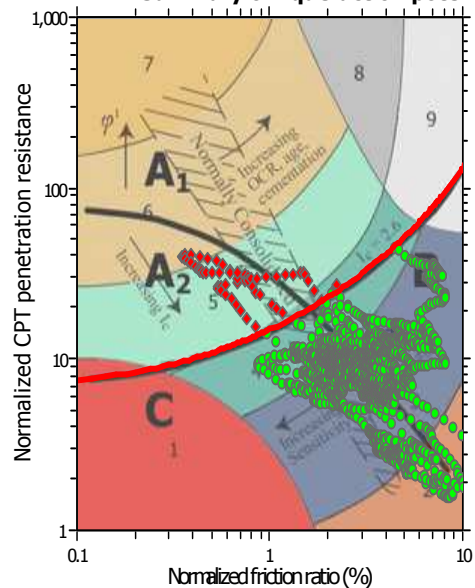
**CPT file : CPTU1**

**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:	0.27	Unit weight calculation:	Based on SBT	$K_\sigma$ applied:	Yes	MSF method:	Method

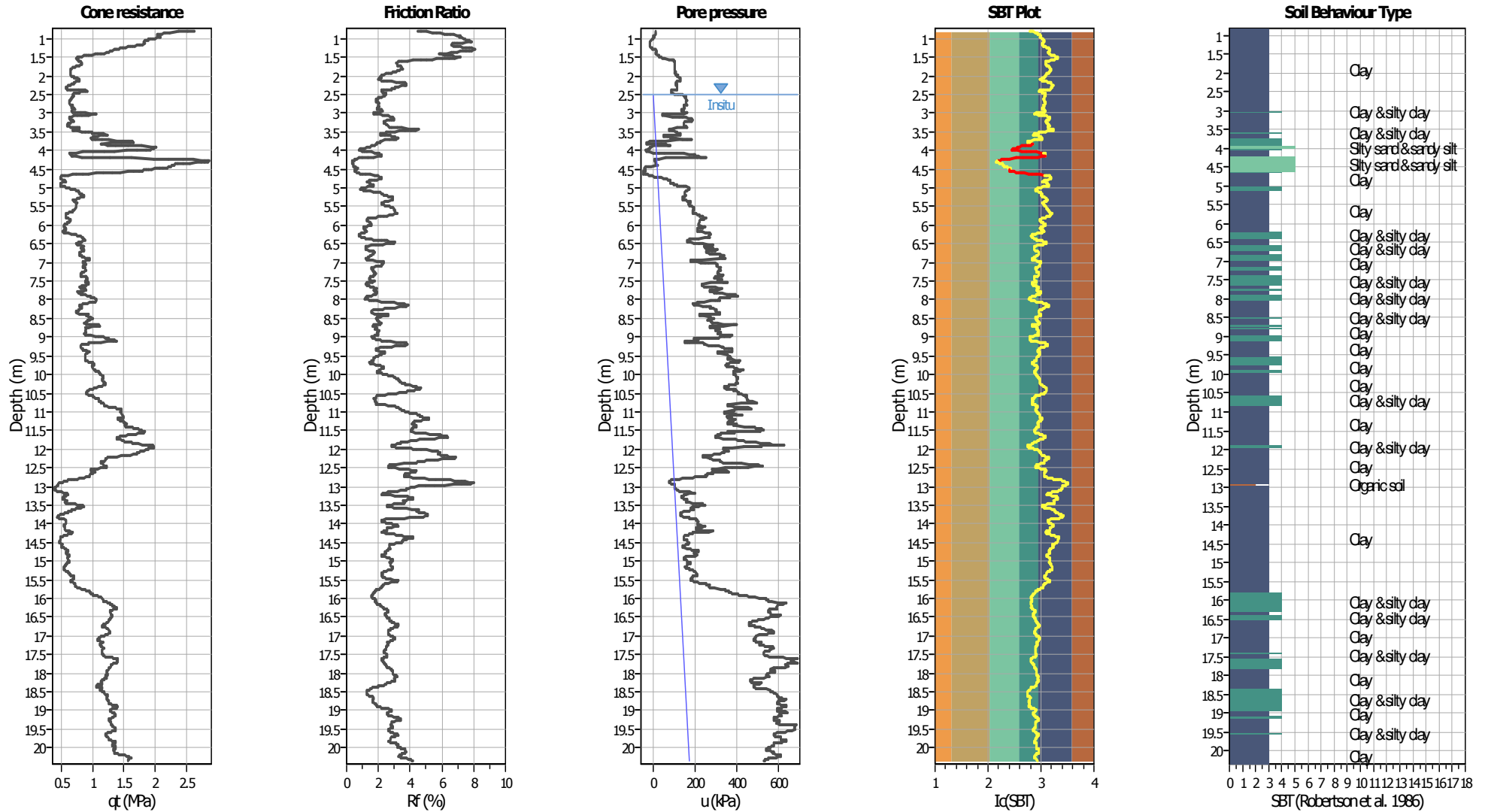


**Summary of liquefaction potential**



Zone A<sub>1</sub>: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading  
 Zone A<sub>2</sub>: Cyclic liquefaction and strength loss likely depending on loading and ground geometry  
 Zone B: Liquefaction and post-earthquake strength loss unlikely, check cyclic softening  
 Zone C: Cyclic liquefaction and strength loss possible depending on soil plasticity, brittleness/sensitivity, strain to peak undrained strength and ground geometry

### CPT basic interpretation plots



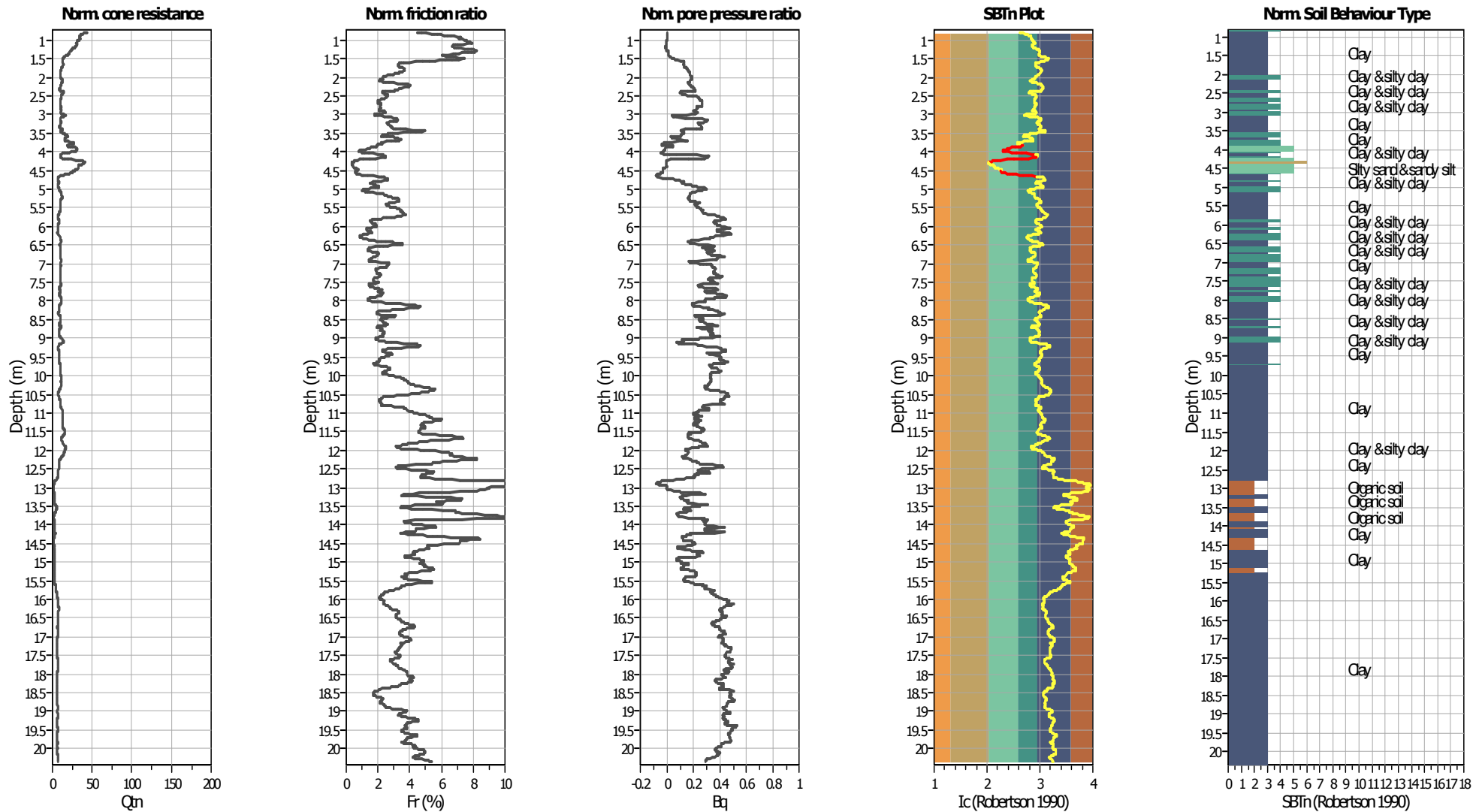
#### Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.00 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:	0.27	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

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

### CPT basic interpretation plots (normalized)



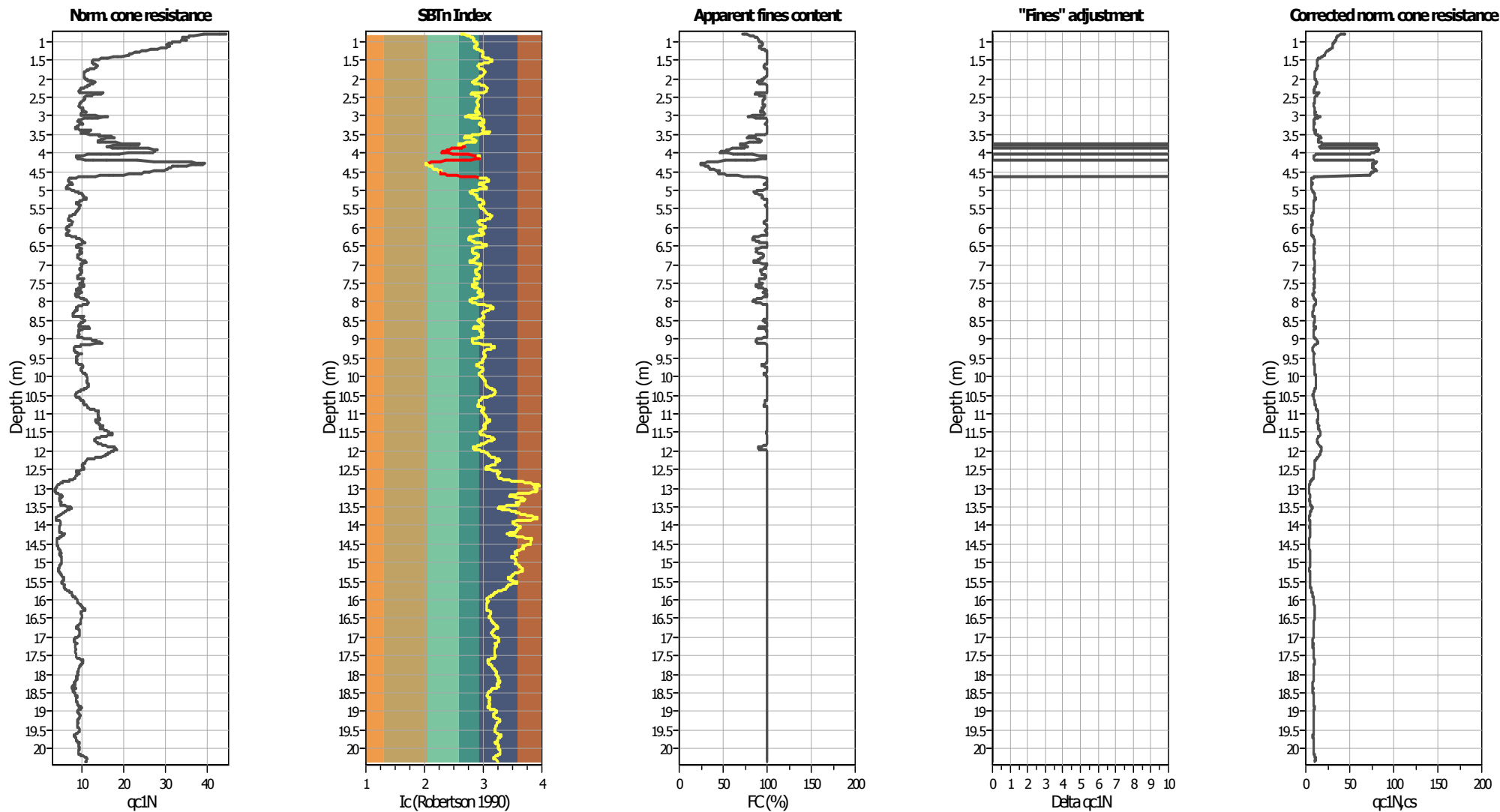
#### Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.00 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:	0.27	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

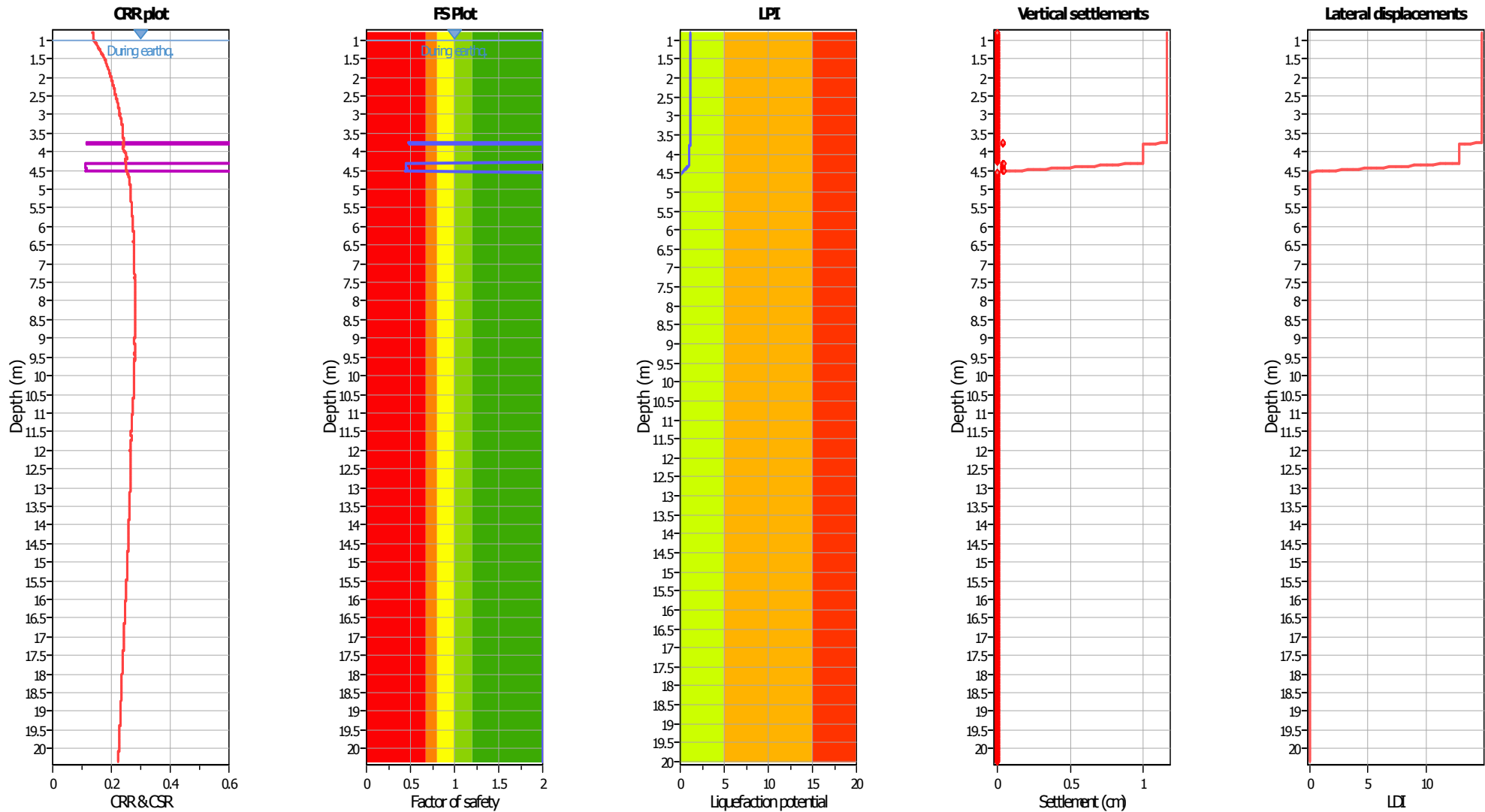
### Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



#### 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 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:	0.27	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:	0.27	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

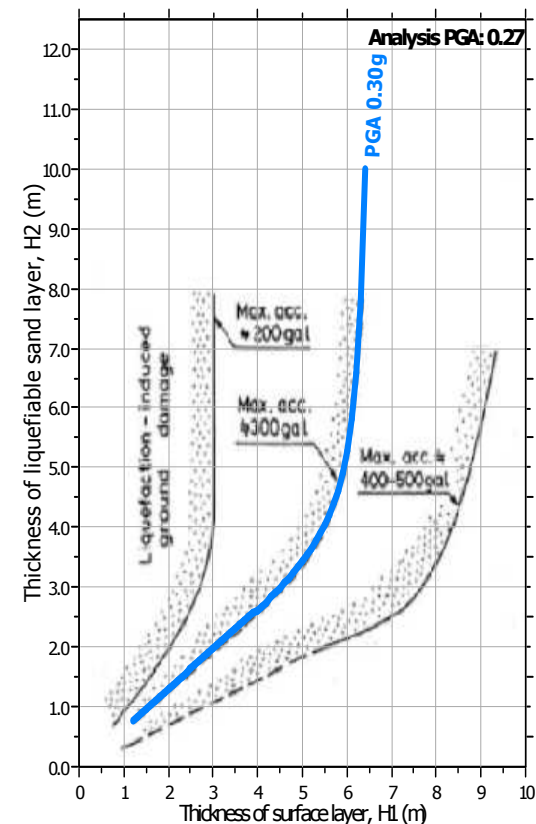
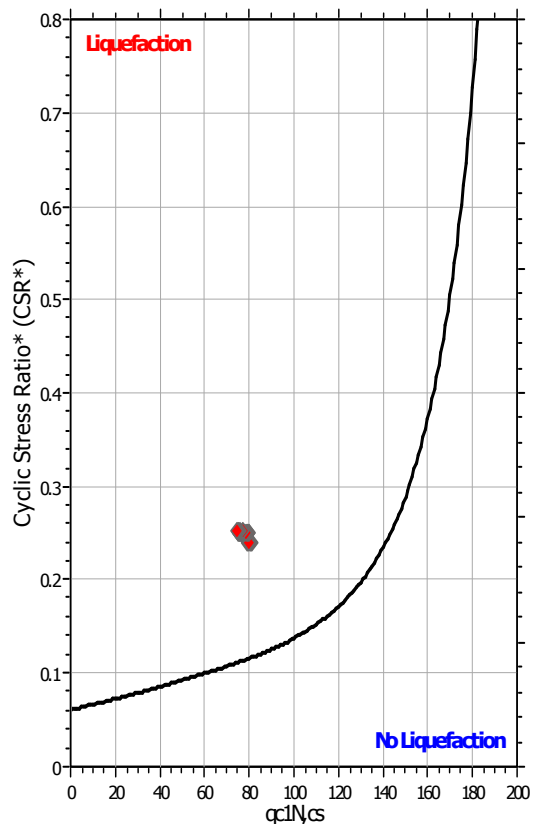
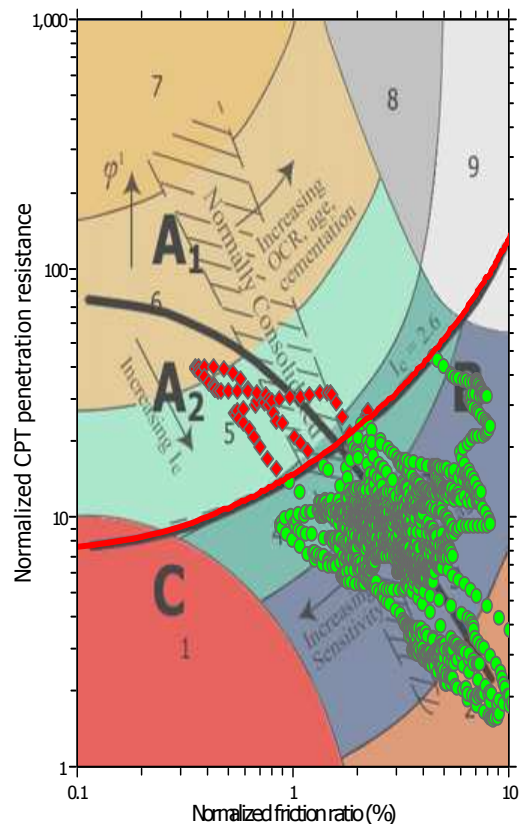
- Almost certain it will liquefy
- Very likely to liquefy
- Liquefaction and no liq. are equally likely
- Unlike to liquefy
- Almost certain it will not liquefy

#### 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	$K_{\phi}$ applied:	Yes
Earthquake magnitude $M_w$ :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.27	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A



**Geo Group S.r.l.**  
 v. per Modena, 12- Castelnuovo Rangone (MO)  
 059 3967169  
 info@geogroupmodena.it

**LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT**

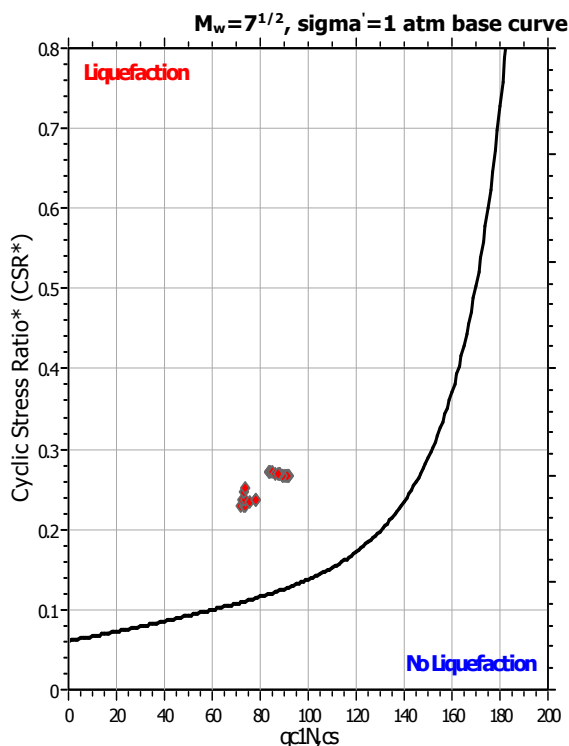
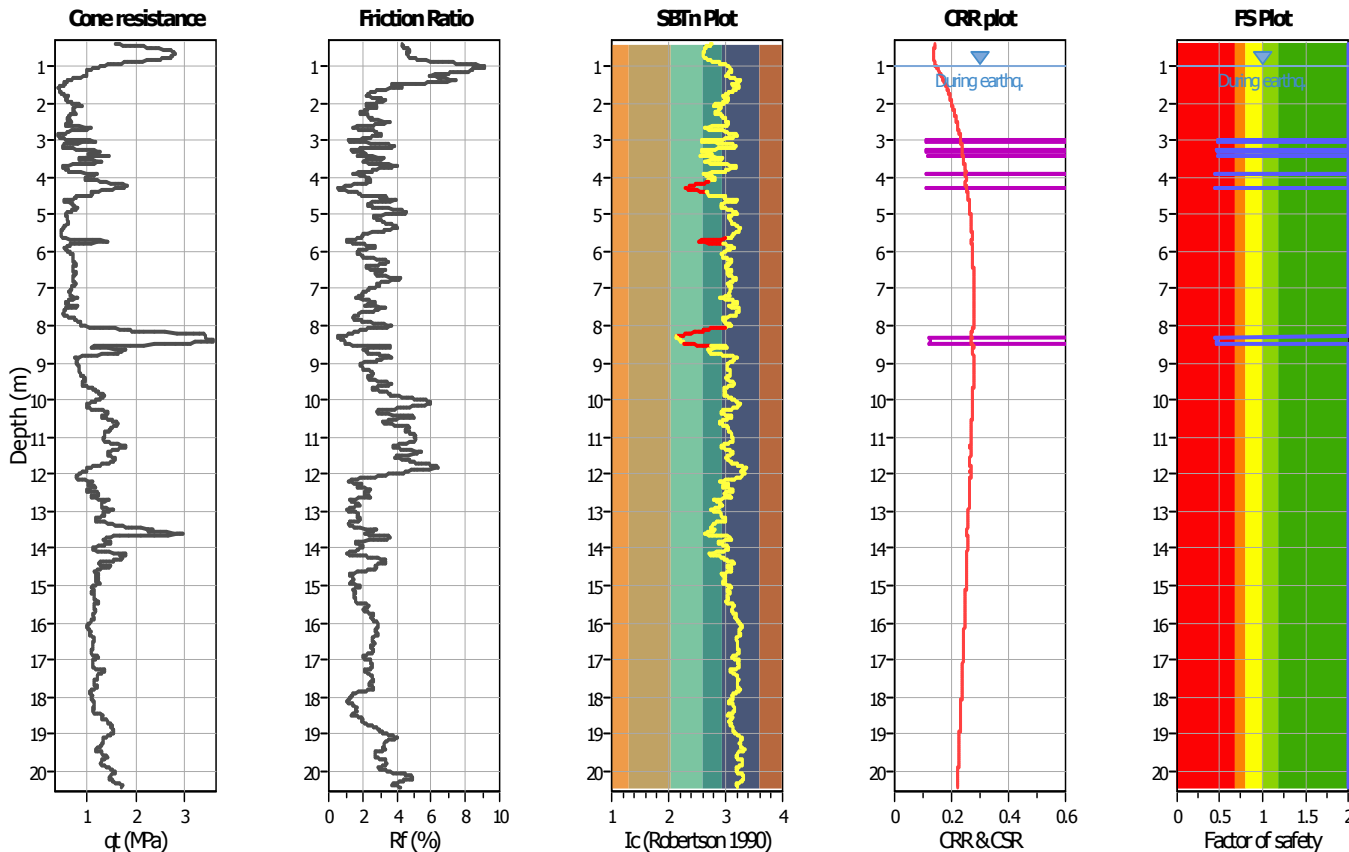
**Project title : STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE**

**Location : CAMPOGALLIANO - LOC. PANZANO VIA JUGULARIA**

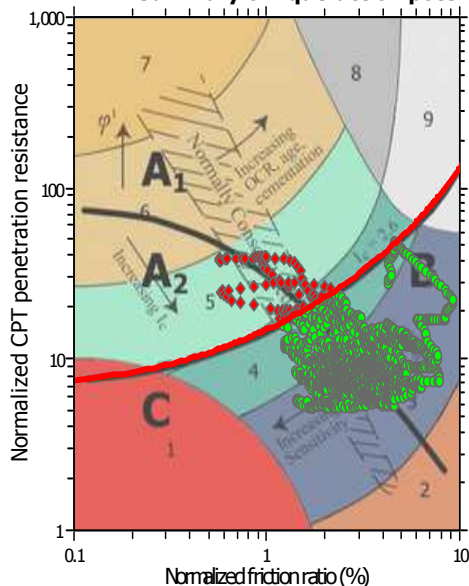
**CPT file : CPTU2**

**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:	0.27	Unit weight calculation:	Based on SBT	$K_\sigma$ applied:	Yes	MSF method:	Method

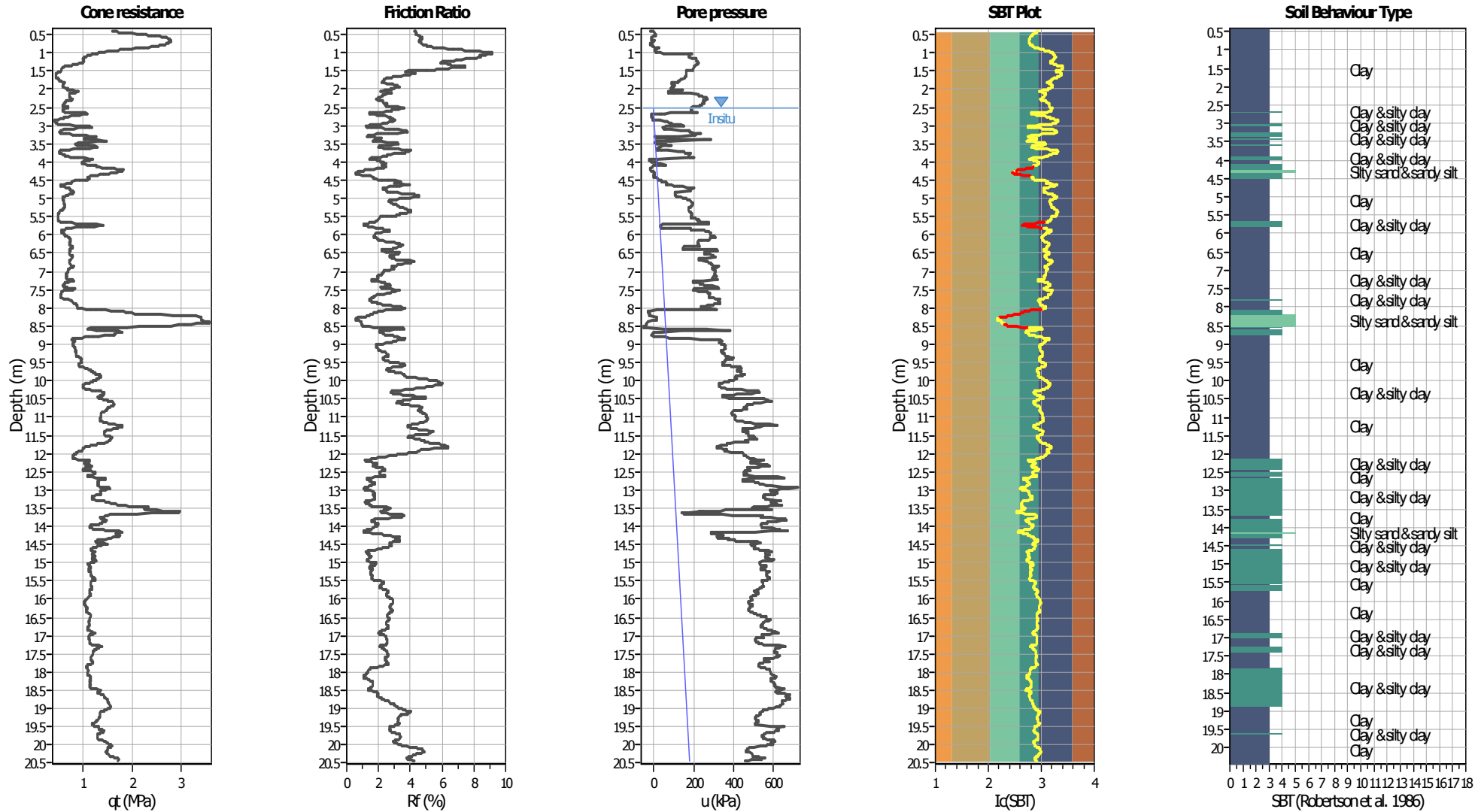


**Summary of liquefaction potential**



Zone A<sub>1</sub>: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading  
 Zone A<sub>2</sub>: Cyclic liquefaction and strength loss likely depending on loading and ground geometry  
 Zone B: Liquefaction and post-earthquake strength loss unlikely, check cyclic softening  
 Zone C: Cyclic liquefaction and strength loss possible depending on soil plasticity, brittleness/sensitivity, strain to peak undrained strength and ground geometry

### CPT basic interpretation plots



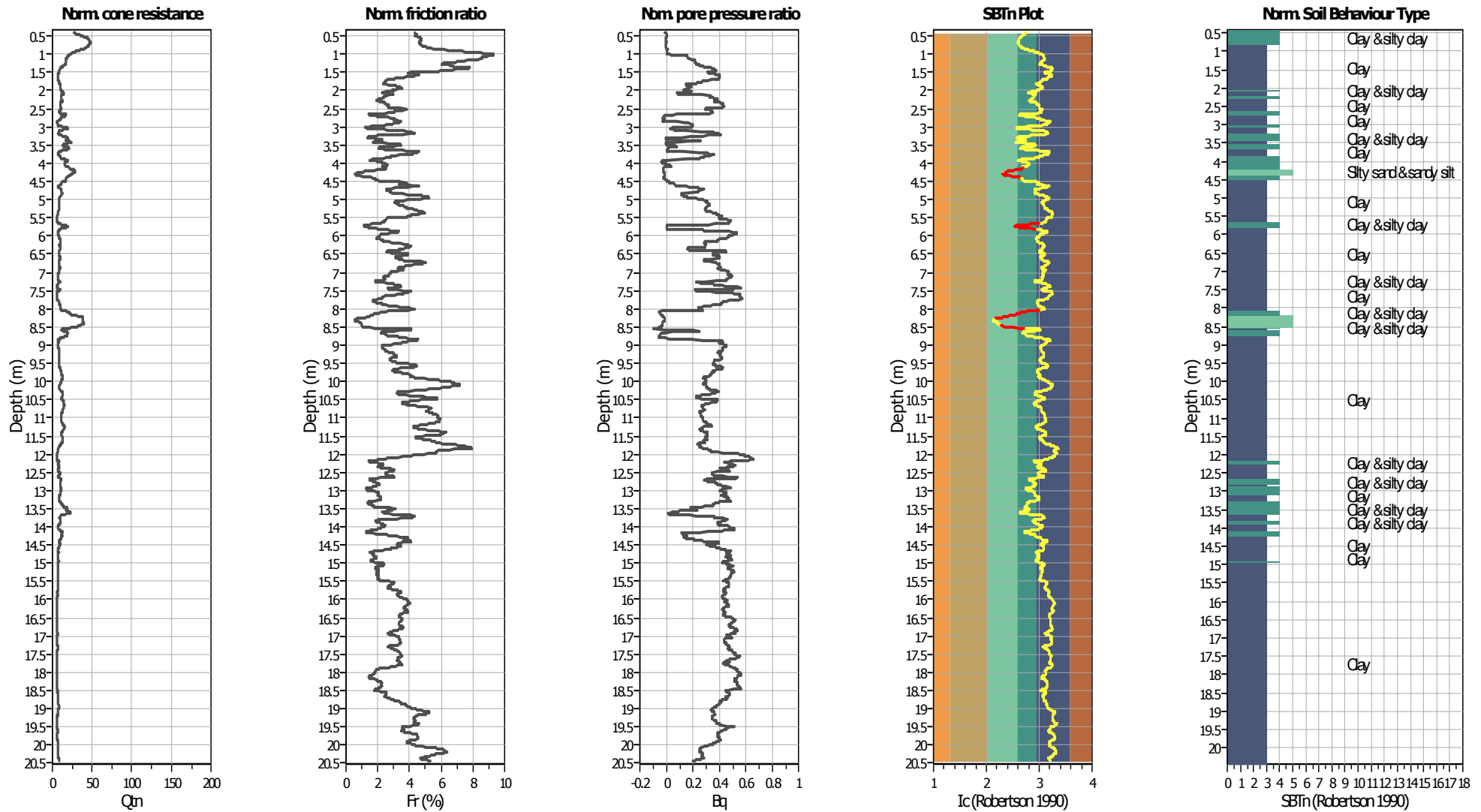
#### Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.00 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:	0.27	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

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

### CPT basic interpretation plots (normalized)



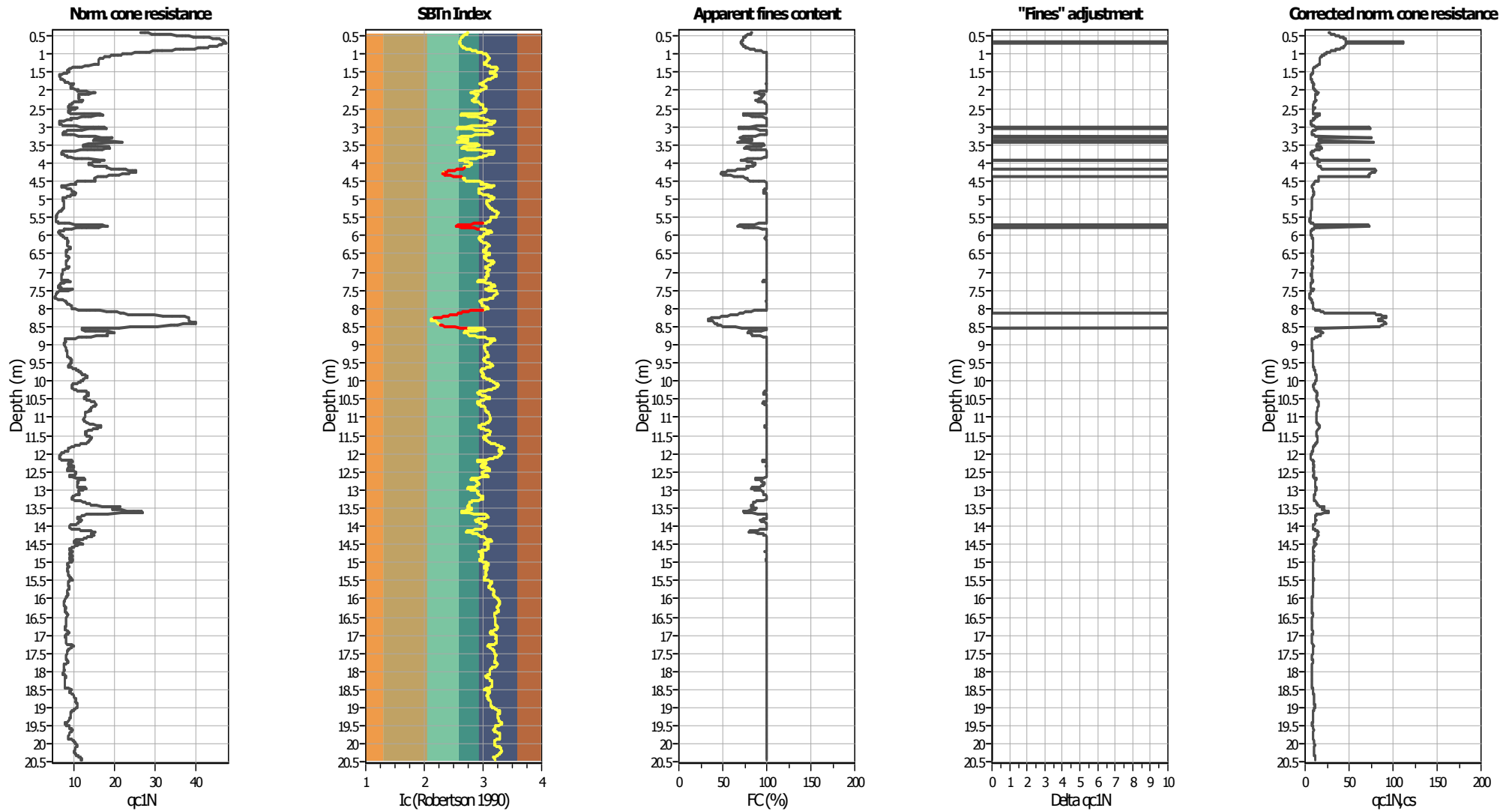
#### Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.00 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	$K_p$ applied:	Yes
Earthquake magnitude $M_w$ :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.27	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

<span style="color:red">■</span> 1. Sensitive fine grained	<span style="color:green">■</span> 4. Clayey silt to silty	<span style="color:orange">■</span> 7. Gravely sand to sand
<span style="color:blue">■</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:darkblue">■</span> 3. Clay to silty clay	<span style="color:yellow">■</span> 6. Clean sand to silty sand	<span style="color:lightgrey">■</span> 9. Very stiff fine grained

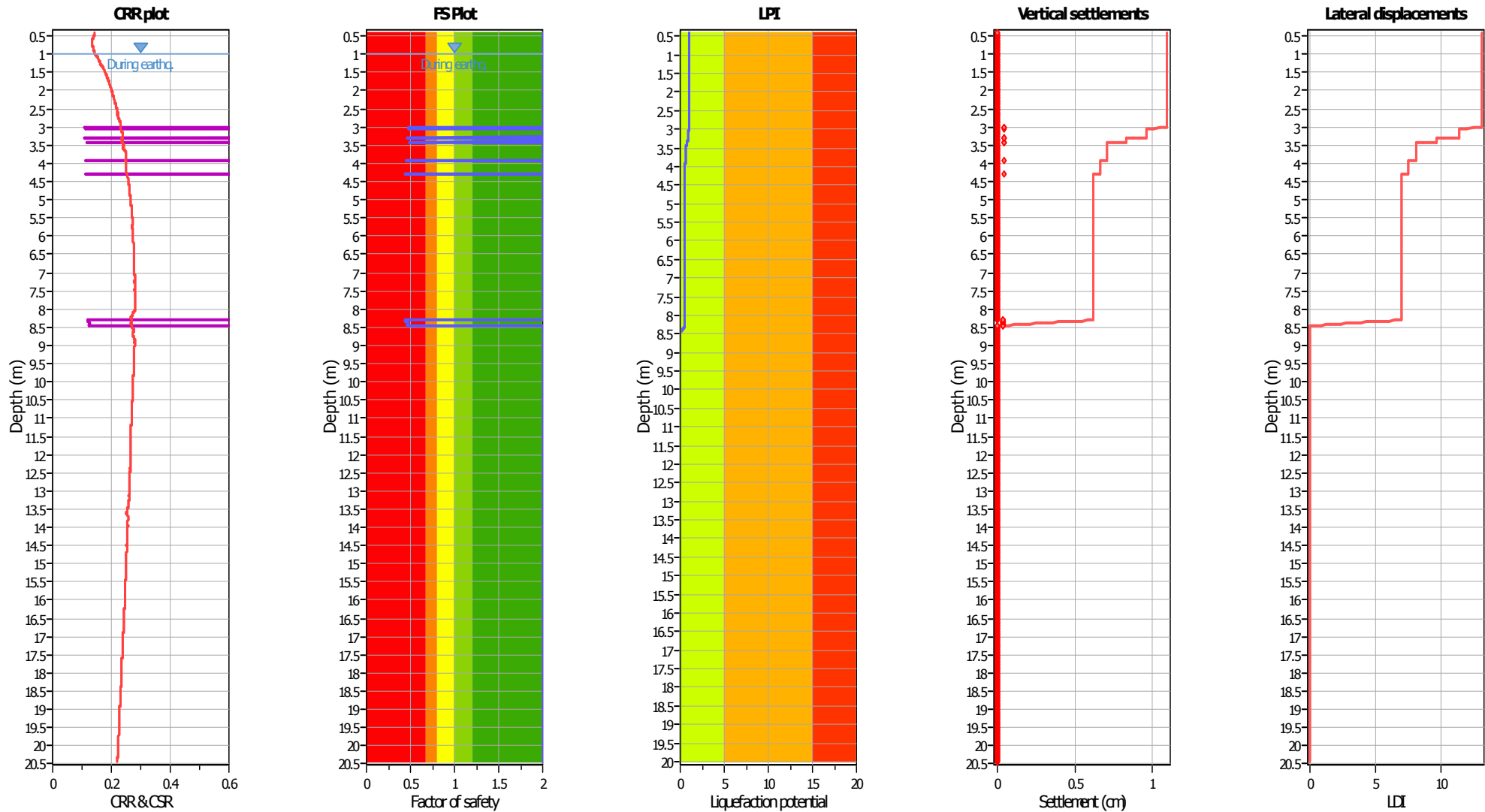
### Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



#### 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 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:	0.27	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:	0.27	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

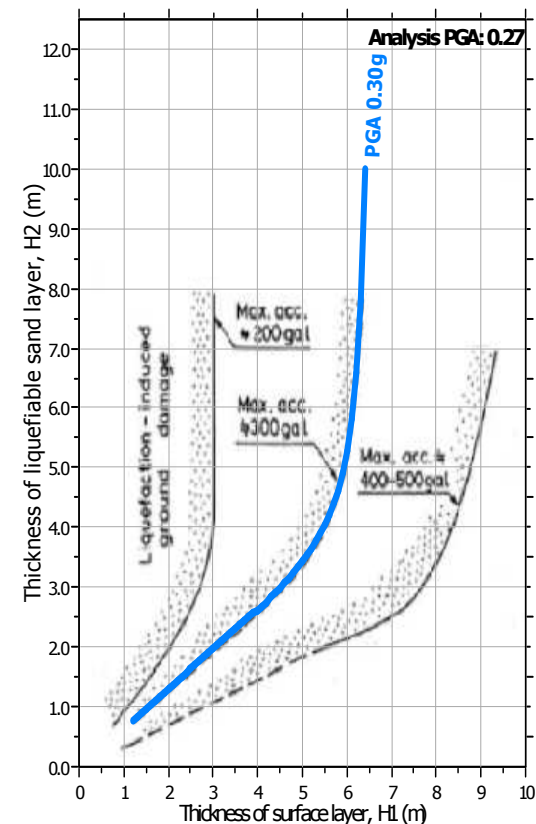
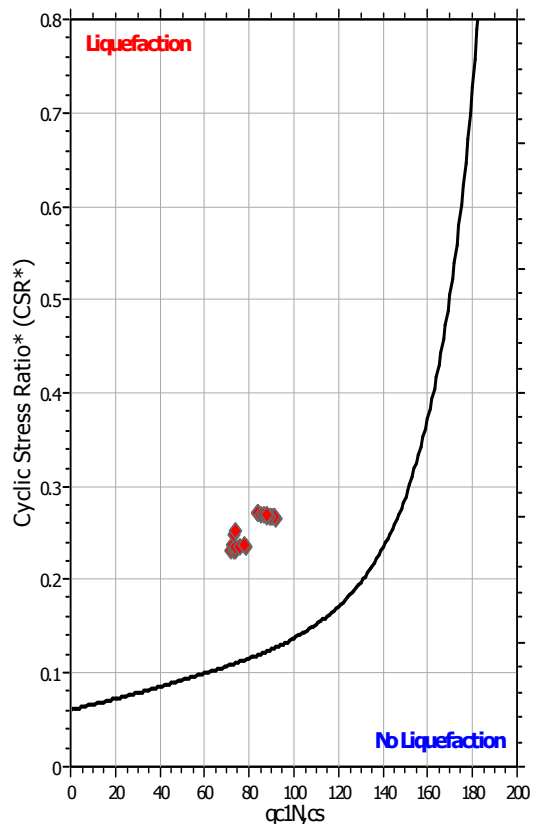
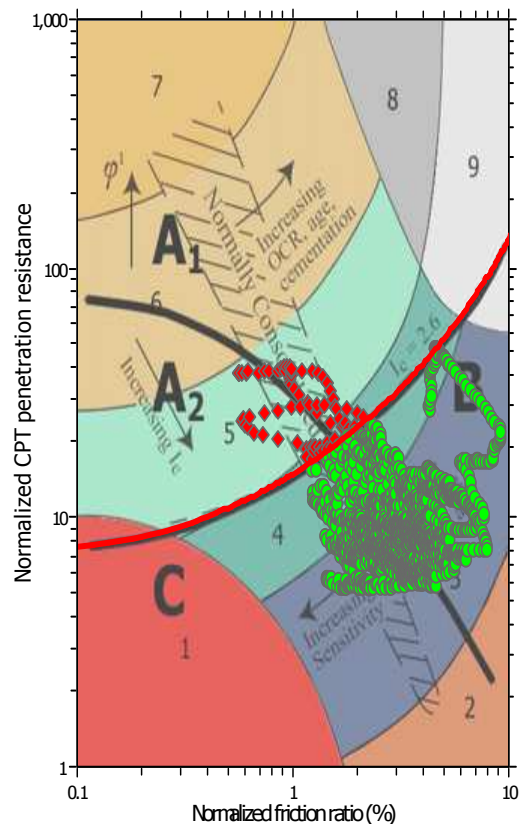
#### F.S. color scheme

- 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>v</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:	0.27	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A