

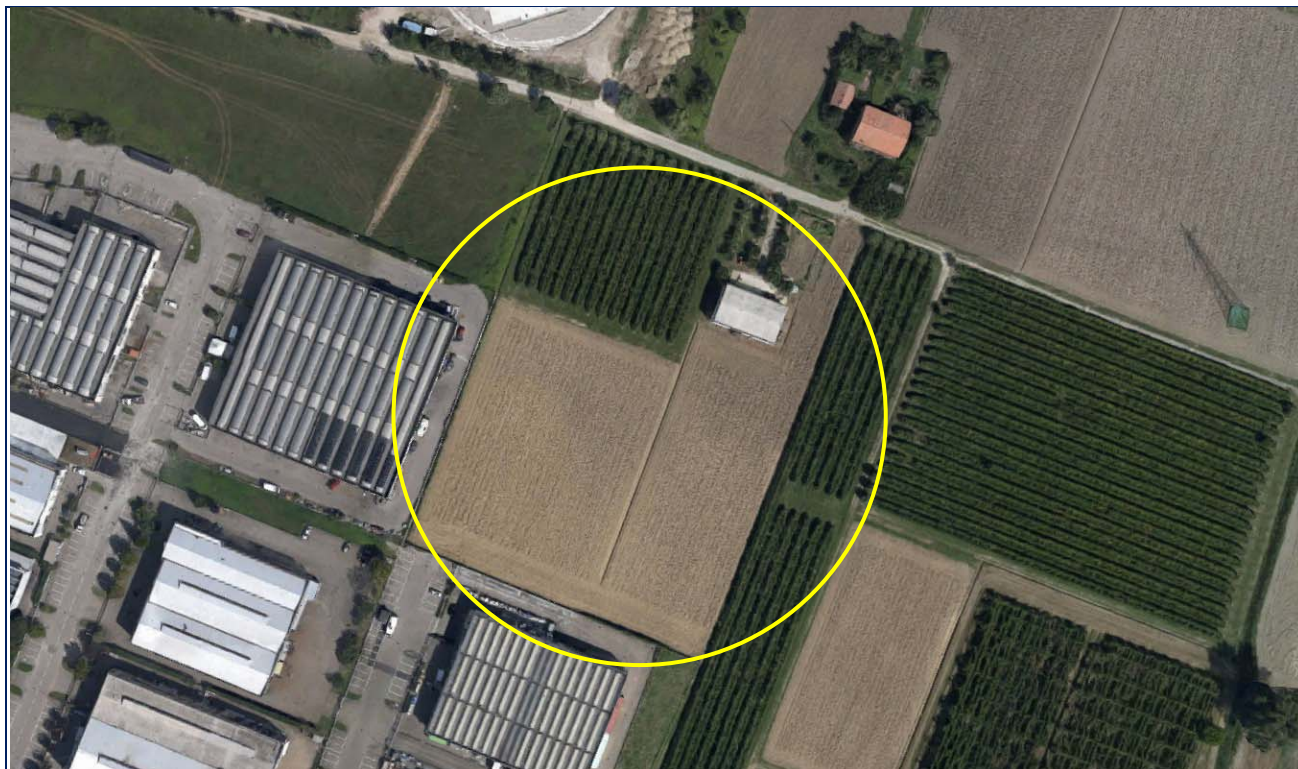
# COMUNE DI SOLIERA

## PROVINCIA DI MODENA

### RELAZIONE GEOLOGICA

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

**MICROZONAZIONE SISMICA** dell'area secondo gli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica, ai sensi della Delibera di Assemblea Legislativa n.112/2007 e della Delibera Giunta Regionale n. 2193/2015.



OGGETTO:

**studio geologico e sismico inerente il PUA per un lotto di terreno sito in via Boito, nel Comune di Soliera (MO)**



Dot. Geol. Pier Luigi Dallari

**RIF. 249/19**

Maggio 2019

ASSOCIATO



**GEO GROUP s.r.l.**

**GEO GROUP s.r.l.**

Via C. Costa, 182 - 41123 MODENA

Tel. 059/3967169

Fax. 059/5960176

E-mail: [info@geogroupmodena.it](mailto:info@geogroupmodena.it)

P.IVA e C.F. 02981500362

[www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it)



ISO 9001

**AZIENDA CON SISTEMA  
DI GESTIONE QUALITÀ  
CERTIFICATO DA DNV  
= ISO 9001 =**

## **Relazione Tecnica**

comprendente:

### **RELAZIONE GEOLOGICA**

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

**MICROZONAZIONE SISMICA** dell'area secondo gli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica, ai sensi della Delibera di Assemblea Legislativa n.112/2007 e della Delibera Giunta Regionale n. 2193/2015.

### **Oggetto:**

**studio geologico e sismico inerente il PUA per un lotto di terreno sito in via Boito, nel Comune di Soliera (MO)**

---

## Indice del contenuto

1	Premesse .....	3
2.	Relazione Geologica .....	5
2.1	Modellazione geologica del sito - geologia .....	5
2.2	Indagini geotecniche .....	6
2.2.1	Prove penetrometriche con piezocono CPTU .....	6
2.3	Caratteristiche litostratigrafiche del sito di indagine .....	9
3	Caratterizzazione sismica del sito .....	13
3.1	Indagini geofisiche.....	13
3.1.1	Indagine sismica con metodo MASW .....	13
3.1.2	Indagini sismiche Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR).....	15
3.2	Categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 NTC 2018) .....	16
3.3	Microzonazione Sismica: Rischio Sismico.....	17
3.3.1	Il Livello Di Approfondimento – Analisi Semplificata .....	17
3.4	Stabilità del sito nei confronti del fenomeno di Liquefazione (Approccio DGR 2193/2015) .....	20
4	Considerazioni conclusive .....	23

## Tavole

<b>Tav. n. 1:</b> “Carta Corografica”	scala 1: 25.000;
<b>Tav. n. 2:</b> “Carta Topografica”	scala 1: 10.000;
<b>Tav. n. 3:</b> “Ripresa satellitare dell’area di interesse”	scala grafica;
<b>Tav. n. 4:</b> “Carta della litologia di superficie”	scala 1: 5.000;
<b>Tav. n. 5:</b> “Indagini geognostiche”	scala 1: 5.000;

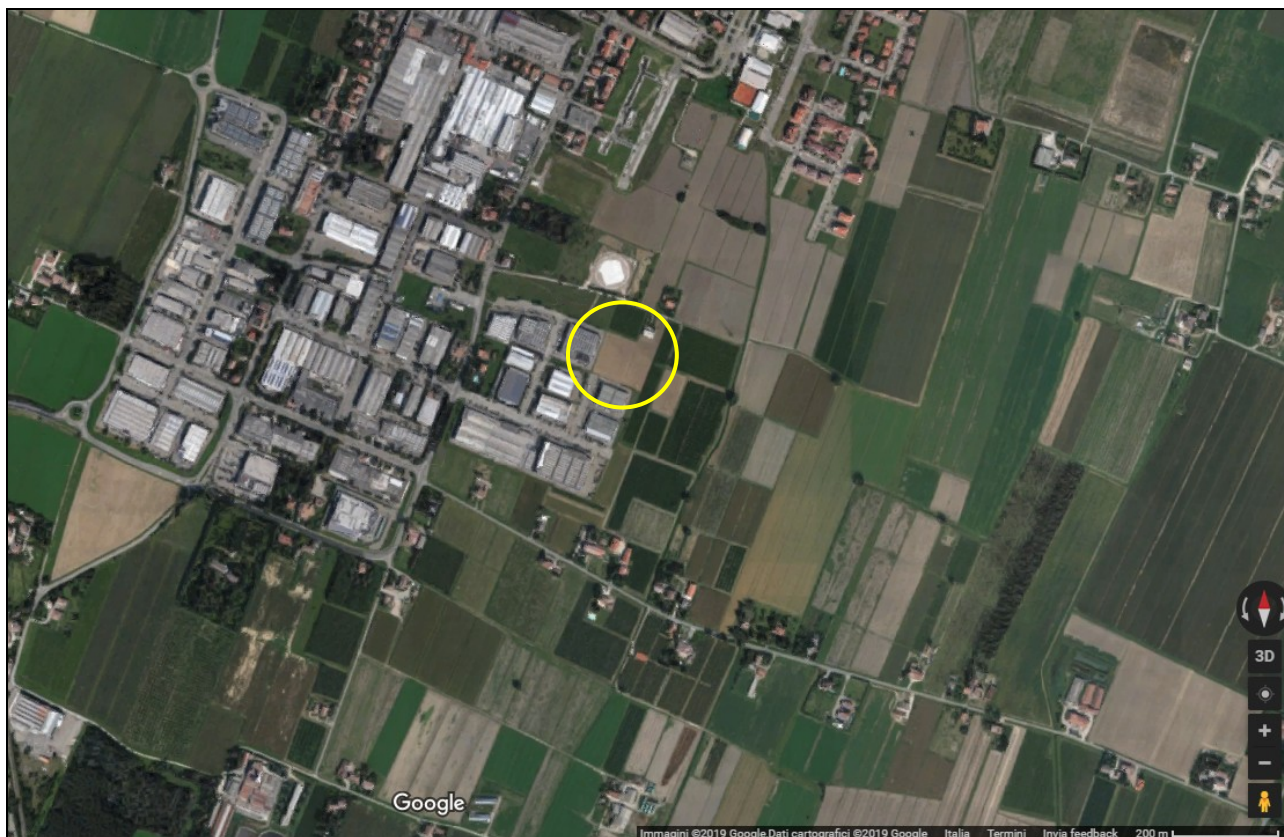
## Allegati

- ALL. n. 1** Prove penetrometriche CPT corredate di interpretazione geotecnica;  
**ALL. n. 2** Indagini sismiche;  
**ALL. n. 3** Verifica alla liquefazione.

## 1 Premesse

Nel mese di aprile 2019 è stato eseguito il presente studio geologico e sismico inerente il PUA per un lotto di terreno sito in via Boito, nel Comune di Soliera (MO), in ottemperanza alle vigenti normative NTC 2018 e DAL n.112/2007 e DGR n. 2193/2015.

Il lotto in oggetto, in via Boito, è sito a sud rispetto al centro abitato del Comune di Soliera (MO), in direzione est rispetto all'area industriale, come illustrato nella cartografia allegata alla presente relazione.



***Inquadramento geografico dell'area di interesse; immagini tratte da Google Maps.***



*Inquadramento geografico dell'area di interesse; immagini tratte da Google Maps.*

## 2. Relazione Geologica

### 2.1 Modellazione geologica del sito - geologia

L'area oggetto di studio è collocata in una zona pianeggiante a una quota topografica media di circa 27.0 m s.l.m..

Dal punto di vista geologico nell'area affiorano i depositi di seguito illustrati e riportati nella "Carta della litologia di superficie" (**tav. n. 4**), tratta dalla "Carta geologica e dei suoli", a scala 1:5.000, redatta dal CARG, Servizio geologico, sismico e dei suoli della Regione Emilia Romagna:

#### **AES8 – Subsistema di Ravenna**

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

#### **AES8a – Unità di Modena**

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). *Post-VI secolo d.C.* Nell'area in esame affiora la litofacies argillosa.

Nell'area mancano evidenze geomorfologiche degne di nota, la zona è completamente pianeggiante con una leggera inclinazione verso nord-nord est in concordanza con l'andamento generale della Pianura Padana.

## 2.2 Indagini geotecniche

Per la caratterizzazione geologica, litostratigrafica e geotecnica dell'area in oggetto, sono state eseguite in sito le seguenti indagini:

- ***n. 3 prove penetrometriche statiche con piezocono CPTU.***

Le prove penetrometriche eseguite hanno raggiunto le profondità indicate nella seguente tabella:

CPTU 1	-20.47 m da p.c.
CPTU 2	-20.00 m da p.c.
CPTU 3	-20.00 m da p.c.

I risultati delle suddette indagini sono riportate nell'**allegato n. 1**, mentre l'ubicazione è illustrata in fig. 2.1.

### 2.2.1 Prove penetrometriche con piezocono CPTU

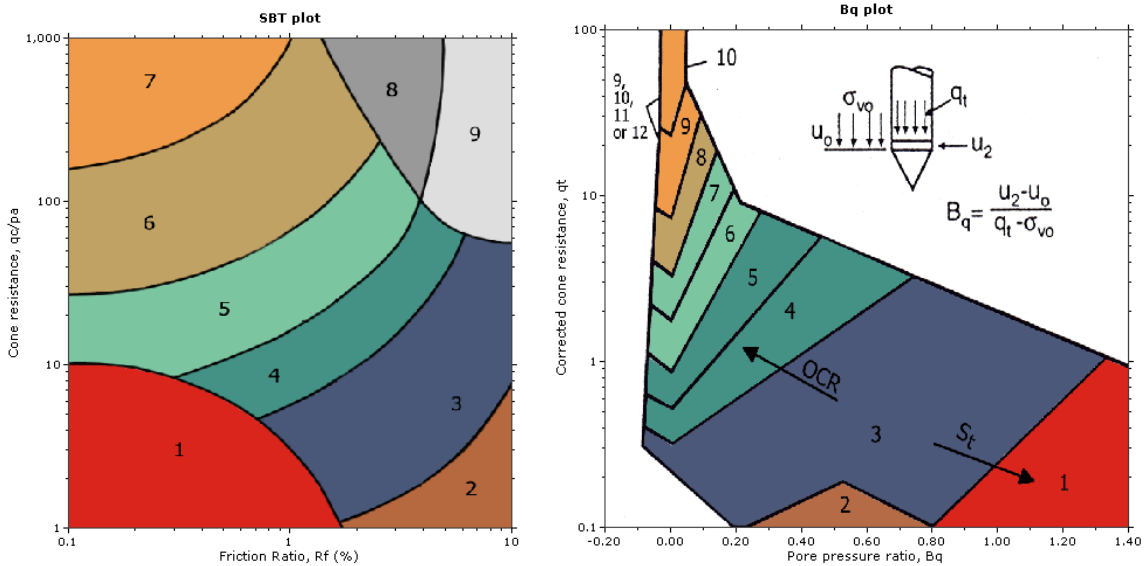
La prova penetrometrica statica con punta elettrica (CPTU), consiste essenzialmente nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta conica standard, connessa all'estremità inferiore di una batteria di aste cave, che viene infissa a pressione e velocità costante nel terreno tramite un dispositivo di spinta idraulico che agisce alla sommità delle aste.

La punta elettrica è strumentata con sensori elettrici e un sistema di trasmissione dei dati in superficie via cavo, che permette l'acquisizione e la registrazione dei dati quasi in continuo, ogni centimetro. I dati misurati durante la prova sono la resistenza totale alla penetrazione  $Q_t$ , la resistenza alla penetrazione della punta  $Q_c$  e la resistenza laterale del manicotto  $F_s$ ; è possibile inoltre monitorare, durante l'esecuzione della prova, alcuni parametri di controllo, quali l'inclinazione rispetto alla verticalità e la velocità di penetrazione del cono.

Una punta elettrica particolare, detta "piezocono", è dotata anche di un dispositivo di misura della pressione, attraverso il quale viene misurata la pressione dell'acqua nei pori del terreno  $u$  (CPTU). La pressione che viene misurata è la pressione  $u = u_0 + \Delta u$ , dove  $u_0$  è la pressione dovuta al livello idrostatico e  $\Delta u$  quella generata dallo sforzo alla penetrazione nel terreno.

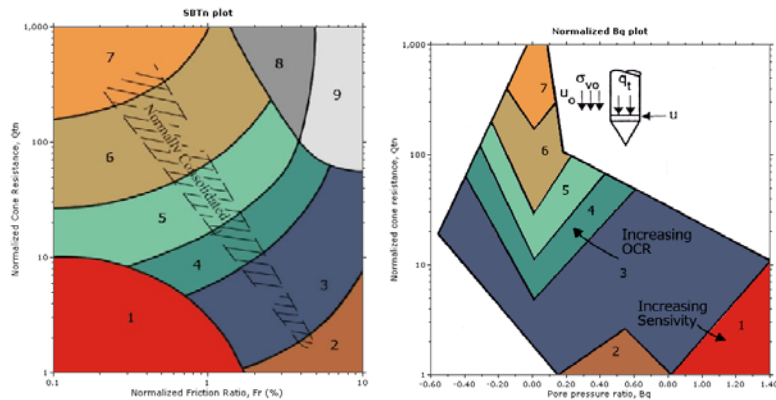
I dati acquisiti sono stati elaborati con software CPeT – IT v. 1.7.4.13 prodotto da GeoLogisMiki – Geotechnical Software. I report, in cui sono riportati su grafici i dati di resistenza e pressione interstiziale misurati e l'interpretazione litostratigrafica e geotecnica delle prove, sono riportati 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:  $q_t$ , resistenza alla punta corretta,  $R_f$ ,  $B_q$ , nella prima carta (1986) e con i parametri normalizzati nella seconda (1990).



**SBT 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   |



**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   |

La ricerca e la disponibilità di numerosi dati ottenuti in camera di calibrazione e in campagna ha prodotto numerose correlazioni tra i dati misurati in sito ed il valore dei parametri geotecnici caratteristici dei terreni. Il software utilizzato per l'elaborazione della prova utilizza le correlazioni riportate nello schema seguente.



<p><b>:: Unit Weight, <math>g</math> (kN/m<sup>3</sup>) ::</b>  <math>g = g_w \cdot (0.27 \cdot \log(R_r) + 0.36 \cdot \log(\frac{q_t}{P_a}) + 1.236)</math>            where <math>g_w</math> = water unit weight</p> <p><b>:: Permeability, <math>k</math> (m/s) ::</b>  <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>  <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>  <math>N_{60} = \left( \frac{q_c}{P_a} \right) \cdot \frac{1}{10^{1.1268 - 0.2817 \cdot I_c}}</math>  <math>N_{100} = Q_{63} \cdot \frac{1}{10^{1.1268 - 0.2817 \cdot I_c}}</math></p> <p><b>:: Young's Modulus, <math>E_s</math> (MPa) ::</b>  <math>(q_t - \sigma_v) \cdot 0.015 \cdot 10^{0.55 \cdot I_c - 1.68}</math>            (applicable only to <math>I_c &lt; I_{c,limit}</math>)</p> <p><b>:: Relative Density, <math>D_r</math> (%) ::</b>  <math>100 \cdot \sqrt{\frac{Q_{63}}{k_{DR}}}</math> (applicable only to SBT<sub>s</sub>: 5, 6, 7 and 8            or <math>I_c &lt; I_{c,limit}</math>)</p> <p><b>:: State Parameter, <math>\psi</math> ::</b>  <math>\psi = 0.56 - 0.33 \cdot \log(Q_{63})</math></p> <p><b>:: Peak drained friction angle, <math>\phi</math> (°) ::</b>  <math>\phi = 17.60 + 11 \cdot \log(Q_{63})</math>            (applicable only to SBT<sub>s</sub>: 5, 6, 7 and 8)</p> <p><b>:: 1-D constrained modulus, <math>M</math> (MPa) ::</b>            If <math>I_c &gt; 2.20</math>  <math>\alpha = 14</math> for <math>Q_{63} &gt; 14</math>  <math>\alpha = Q_{63}</math> for <math>Q_{63} \leq 14</math>  <math>M_{CPT} = \alpha \cdot (q_t - \sigma_v)</math>            If <math>I_c \leq 2.20</math>  <math>M_{CPT} = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 \cdot I_c - 1.68}</math></p>	<p><b>:: Small strain shear Modulus, <math>G_0</math> (MPa) ::</b>  <math>G_0 = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 \cdot I_c - 1.68}</math></p> <p><b>:: Shear Wave Velocity, <math>V_s</math> (m/s) ::</b>  <math>V_s = \left( \frac{G_0}{\rho} \right)^{0.50}</math></p> <p><b>:: Undrained peak shear strength, <math>S_u</math> (kPa) ::</b>  <math>N_{60} = 10.50 + 7 \cdot \log(F_r)</math> or user defined  <math>S_u = \frac{(q_t - \sigma_v)}{N_{60}}</math>            (applicable only to SBT<sub>s</sub>: 1, 2, 3, 4 and 9 or <math>I_c &gt; I_{c,limit}</math>)</p> <p><b>:: Remolded undrained shear strength, <math>S_u(rem)</math> (kPa) ::</b>  <math>S_{u(rem)} = f_s</math> (applicable only to SBT<sub>s</sub>: 1, 2, 3, 4 and 9            or <math>I_c &gt; I_{c,limit}</math>)</p> <p><b>:: Overconsolidation Ratio, OCR ::</b>  <math>k_{OCR} = \left[ \frac{Q_{63}^{0.20}}{0.25 \cdot (10.50 + 7 \cdot \log(F_r))} \right]^{1.25}</math> or user defined  <math>OCR = k_{OCR} \cdot Q_{63}</math>            (applicable only to SBT<sub>s</sub>: 1, 2, 3, 4 and 9 or <math>I_c &gt; I_{c,limit}</math>)</p> <p><b>:: In situ Stress Ratio, <math>K_0</math> ::</b>  <math>K_0 = 0.1 \cdot \left( \frac{q_t - \sigma_v}{\sigma_v} \right)</math>            (applicable only to SBT<sub>s</sub>: 1, 2, 3, 4 and 9 or <math>I_c &gt; I_{c,limit}</math>)</p> <p><b>:: Soil Sensitivity, <math>S_t</math> ::</b>  <math>S_t = \frac{N_{60}}{F_r}</math>            (applicable only to SBT<sub>s</sub>: 1, 2, 3, 4 and 9 or <math>I_c &gt; I_{c,limit}</math>)</p> <p><b>:: Effective Stress Friction Angle, <math>\phi'</math> (°) ::</b>  <math>\phi' = 29.5^\circ \cdot B_q^{0.121} \cdot (0.256 + 0.336 \cdot B_q + \log Q_t)</math>            (applicable for <math>0.10 &lt; B_q &lt; 1.00</math>)</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

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

### 2.3 Caratteristiche litostratigrafiche del sito di indagine

Dalle indagini geotecniche eseguite in sito si caratterizza l'area oggetto di indagine con la presenza di terreni alluvionali a granulometria fine a comportamento prevalentemente coesivo, da argille a argille limose. In particolare, tutte le prove eseguite individuano, dopo un primo livello superficiale di terreni argillosi sovraconsolidati di spessore variabile tra 0.80÷1.00 m, terreni a litologia prevalentemente argilloso-limosa fino a circa -6.00÷-7.00 m da p.c., caratterizzati da consistenza media con valori di coesione mediamente compresi nell'intervallo 60÷70 kPa; dopodiché si individuano litologie prevalentemente argillose fino alla massima profondità indagata, che presentano una consistenza da medio-scarso a elevata. I parametri geotecnici di dettaglio desunti da ciascuna prova CPTU eseguita, interpretati dal software, sono riportati nelle figure seguenti.

Al termine delle prove penetrometriche è stata rilevata la soggiacenza della falda freatica all'interno dei fori di sondaggio. Le quote rilevate sono riportate nella seguente tabella. Le misure sono state eseguite nel mese di aprile 2019.

Prova	Soggiacenza della falda (aprile 2019)
CPTU 1	Foro chiuso a -1.20 m da p.c.
CPTU 2	-1.70 m da p.c.
CPTU 3	-1.50 m da p.c.



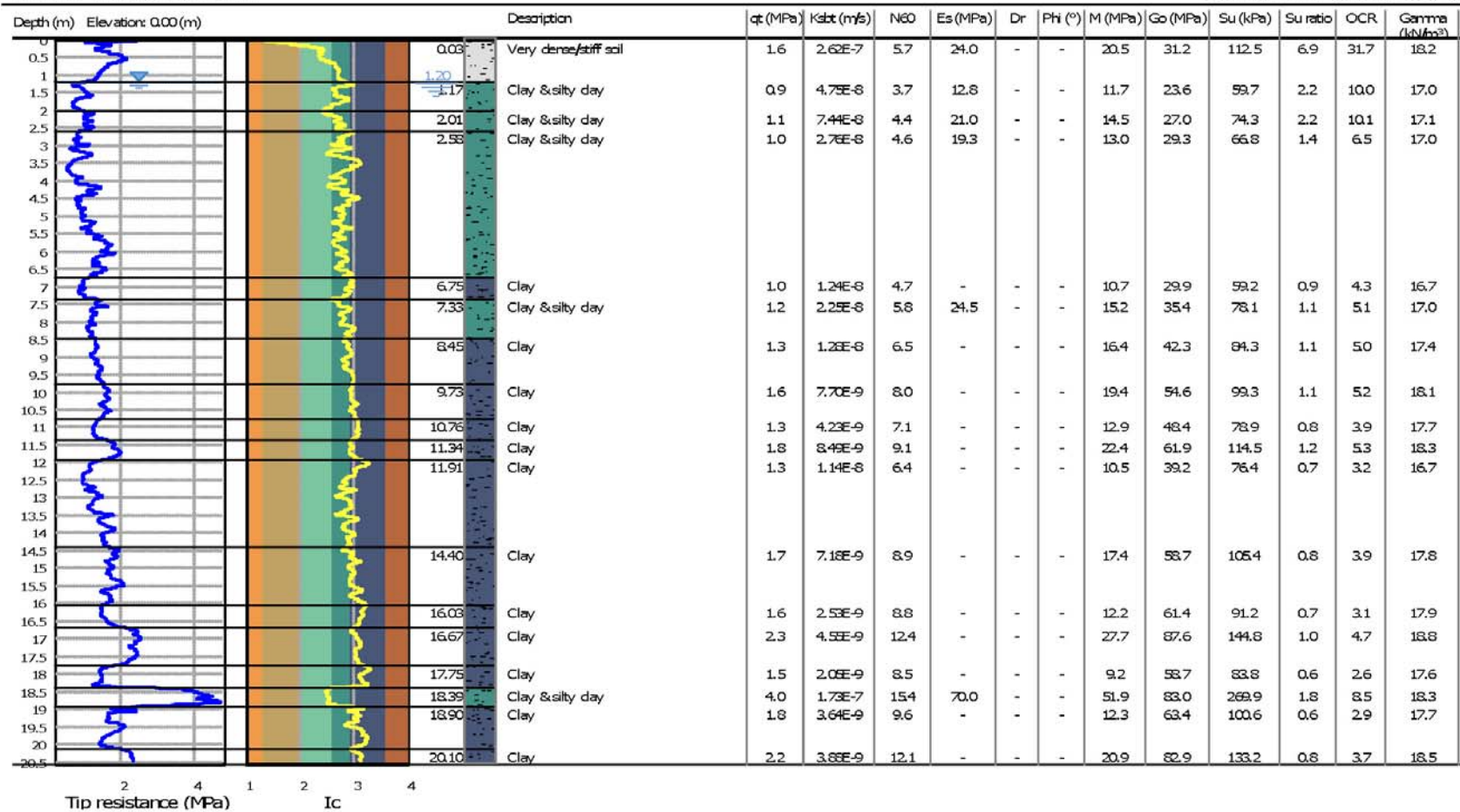
*Ripresa fotografica dell'esecuzione delle prove penetrometriche nell'area di indagine.*

Project: PUA

CPT: CPTU 1

Location: Soliera (MO), via Boito

Total depth: 20.47 m, Date: 23/04/2019



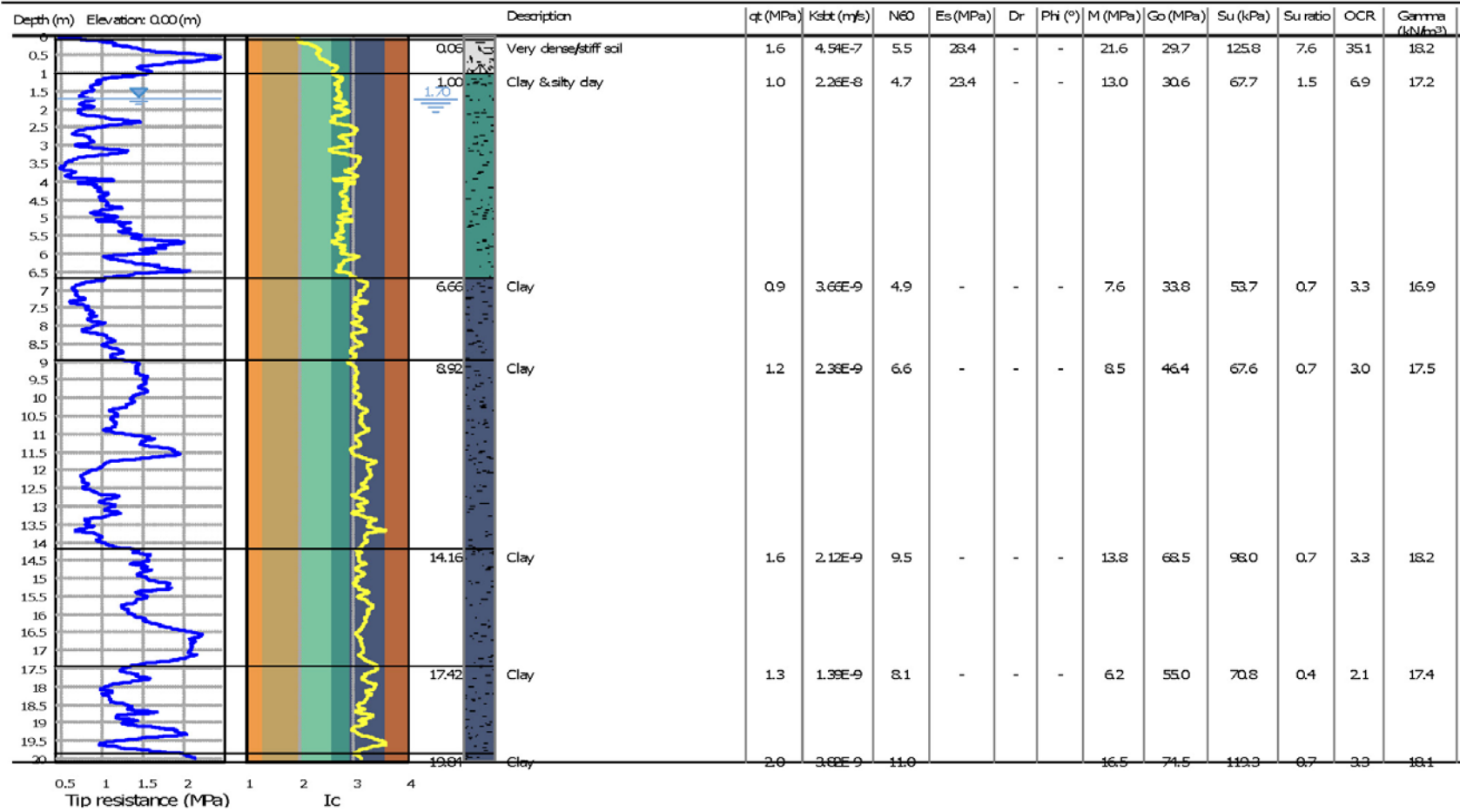
### Sezione geotecnica relativa alla prova CPTU 1

Project: PUA

Location: Soliera (MO), via Boito

CPT: CPTU 2

Total depth: 20.00 m, Date: 26/04/2019



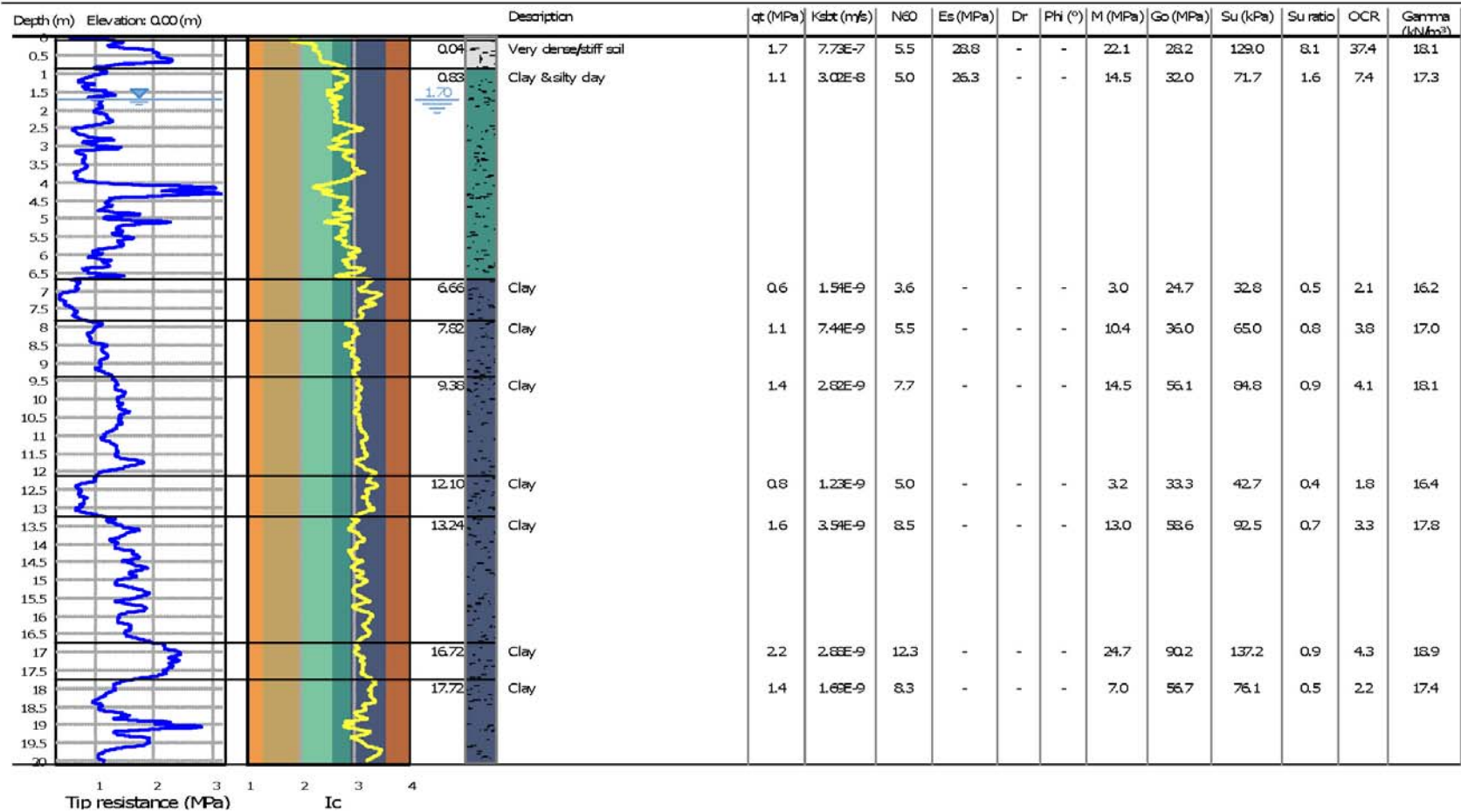
Sezione geotecnica relativa alla prova CPTU 2

Project: PUA

CPT: CPTU 3

Location: Soliera (MO), via Boito

Total depth: 20.00 m, Date: 26/04/2019



### Sezione geotecnica relativa alla prova CPTU 3

### 3 Caratterizzazione sismica del sito

#### 3.1 Indagini geofisiche

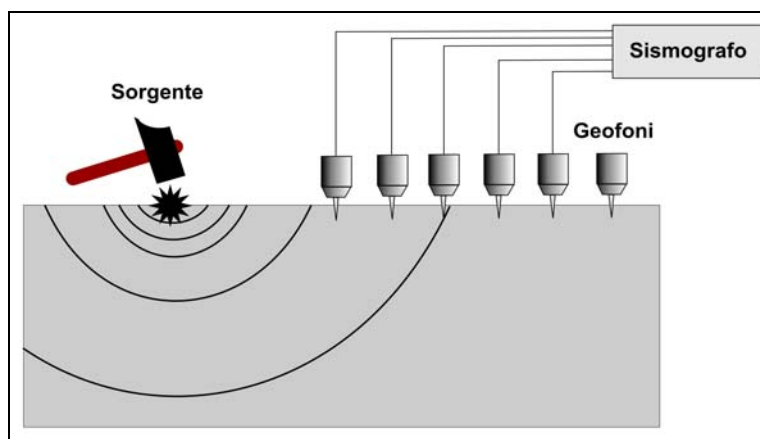
Per la caratterizzazione sismica dell'area di studio, in data **19/04/2019** sono state eseguite in sito le seguenti indagini geofisiche:

- **n. 1 indagine sismica MASW;**
- **n. 1 indagine sismica HVSR.**

I risultati delle indagini sismiche sopra citate sono riportati integralmente nell'**allegato n. 2**.

##### 3.1.1 Indagine sismica 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.



*Schema di Array lineare e punto energizzante.*



*Ripresa fotografica dello stendimento sismico MASW eseguito nell'area di indagine.*

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.

### 3.1.2 Indagini sismiche Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr)

La caratterizzazione sismica dei terreni tramite la tecnica di **indagine sismica passiva HVSr** (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio – Metodo di Nakamura*) è finalizzata all'individuazione delle frequenze caratteristiche di risonanza di sito. Esse sono correlabili ai cambi litologici presenti sia all'interno della copertura che nell'ammasso roccioso. L'utilizzo di algoritmi di calcolo finalizzati ad una modellizzazione sintetica dello spettro H/V, permette di correlare ogni picco spettrale con le discontinuità presenti nel sottosuolo (per esempio i cambi litologici). I dati che si possono ricavare sono spessori, profondità e velocità di propagazione delle onde di taglio all'interno del sismo-strato individuato. Tramite l'elaborazione di moti superiori e l'analisi dell'andamento delle tre componenti del moto, è possibile distinguere i picchi di origine naturale da quelli generati dai moti superiori o da artefatti, al fine di garantire una corretta interpretazione dello spettro sismico registrato. La tecnica dei rapporti spettrali (HVSr) trova la sua massima applicazione negli studi di microzonazione sismica poiché fornisce un parametro fondamentale (frequenza propria di risonanza di sito) per una corretta progettazione di edifici antisismici. Negli ultimi anni si è affermata anche per la sua versatilità poiché si è dimostrato come lo spettro sismico può rappresentare un modello sismo – stratigrafico del sottosuolo.

La tecnica **HVSr** è totalmente **non invasiva, molto rapida**, si può applicare ovunque e non necessita di nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazioni esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque. Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un "velocimetro triassiale" conforme alle norme SESAME.

I risultati che si possono ottenere da indagini sismiche HVSr sono:

- La **frequenza caratteristica di risonanza del sito** che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto **dimensionamento degli edifici antisismici**. Si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare strutture aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno, per evitare l'effetto di "**doppia risonanza**", fenomeno estremamente pericoloso per la stabilità delle costruzioni.
- La **frequenza fondamentale di risonanza di un edificio**, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In seguito sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito e capire se, in caso di sisma, la costruzione potrà essere o meno a rischio.
- La **stratigrafia del sottosuolo** con un *range* di indagine compreso tra 0.5 e 700 m di profondità, anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri. Il principio su cui si basa la tecnica **HVSr**, in termini di **stratigrafia del sottosuolo**, è rappresentato dalla definizione di strato, inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un **contrasto d'impedenza**, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.



Dalle analisi HVSR eseguite in sito, e riportate integralmente nell'**allegato n. 2**, è stato individuato un picco H/V alla frequenza  $f_0=0.93$  Hz.

Il picco individuato deriva da un contrasto di impedenza importante, dovuta a discontinuità stratigrafiche piuttosto profonde (circa 100 m).

### 3.2 Categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 NTC 2018)

Per determinare il parametro  $V_{s,30}$  e definire quindi la categoria di sottosuolo dell'area indagata (§ 3.2.2 NTC 2018) sono state eseguite in sito le indagini sismiche descritte nel precedente paragrafo. L'elaborazione delle indagini sismiche sopra citate restituisce un grafico che riporta la curva di dispersione attraverso un'immagine a colori che mostra il profilo delle velocità delle onde di Rayleigh come velocità di fase e frequenza. Analizzando tale grafico si ottiene un modello teorico dell'andamento delle  $V_s$  con la profondità fino ad una quota di  $-30.00$  m dal piano di posa delle fondazioni, attraverso la formula:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_i \frac{h_i}{V_{si}}}$$

Dalle indagini sismiche eseguite e sopra citate si è ottenuto il valore di  $V_{s,30}=272$  m/s.

Pertanto, secondo la classificazione del sottosuolo imposta dal NTC 2018, si definisce il terreno di fondazione dell'area studiata 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**.

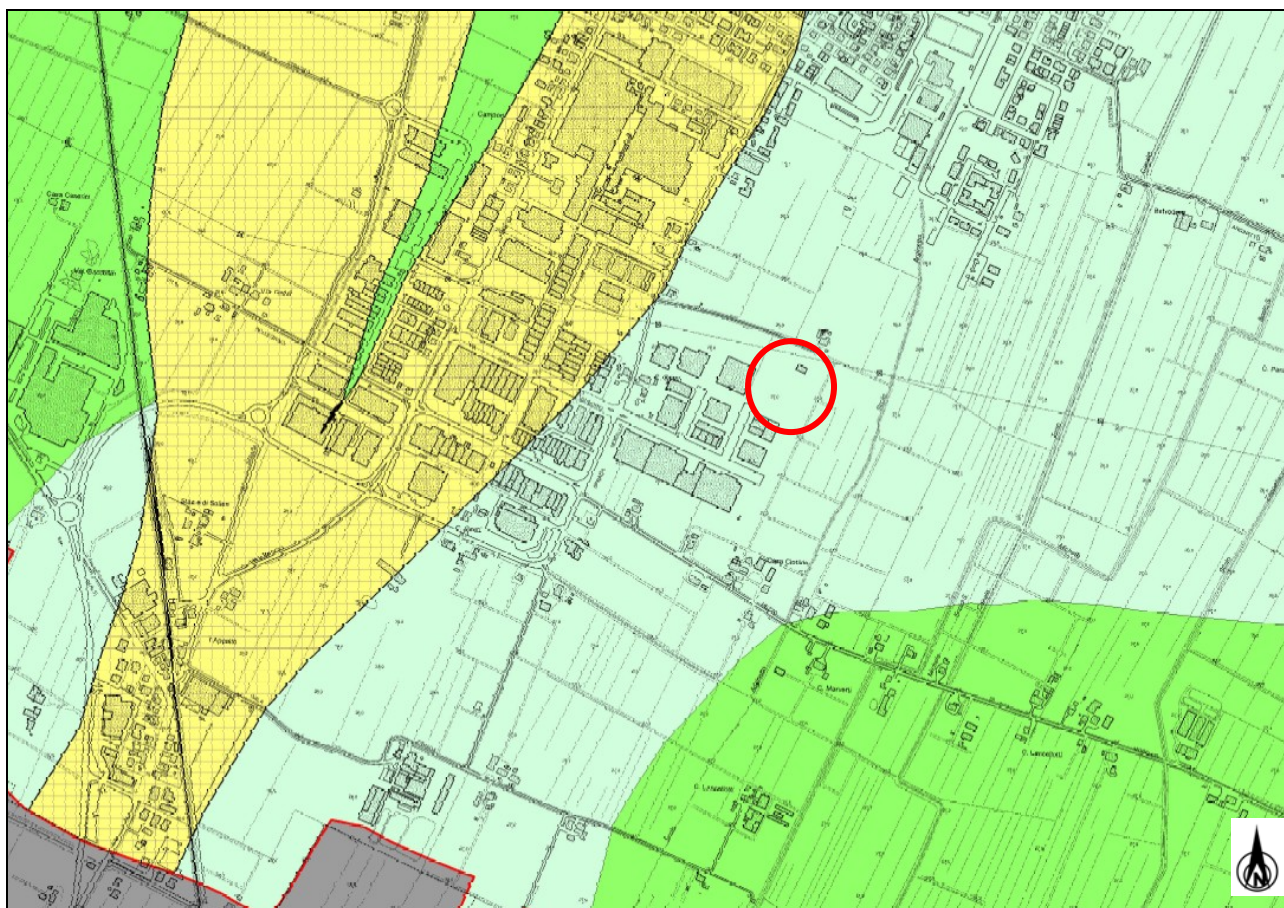
### 3.3 Microzonazione Sismica: Rischio Sismico

Dall'Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna con deliberazione n.112 - oggetto n°2131 del 02/05/2007 e successiva modifica D.G.R. 2193/2015, sono stati forniti i criteri per l'individuazione delle aree soggette ad effetti locali e per la microzonazione sismica del territorio con particolare riguardo alla tipologia e al livello di approfondimento degli studi da effettuare per una migliore definizione della risposta sismica locale.

La microzonazione sismica risulta essere un efficace strumento di prevenzione e riduzione del rischio sismico, in quanto rappresenta la suddivisione dettagliata del territorio in base al comportamento dei terreni durante un evento sismico e ai possibili effetti indotti (risposta sismica locale). Lo studio di microzonazione sismica consiste in due fasi: la prima vuole identificare le zone del territorio suscettibile di effetti locali, mentre la seconda ha come obiettivo la microzonazione del territorio attraverso due differenti livelli di approfondimento, un'analisi semplificata (secondo livello di approfondimento) o un'analisi più approfondita (terzo livello di approfondimento).

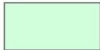
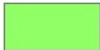


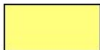
#### 3.3.1 Il Livello Di Approfondimento – Analisi Semplificata

Dalla consultazione dello studio di Microzonazione Sismica del Comune di Soliera, di cui si porta un estratto in figura, il lotto in oggetto risulta classificato come **Z1 Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità; Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche stratigrafiche; Studi previsti: Approfondimento di II livello.**



## Legenda

### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

- |                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>Z1 Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità<br/>           Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche stratigrafiche<br/>           Studi previsti: Approfondimento di II° livello</p>                                                                                                                                                                                                                            |
|  | <p>Z2 Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose, limi argillosi di bassa plasticità<br/>           Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche stratigrafiche<br/>           Studi previsti: Approfondimenti di II° livello</p>                                                                                                                                                                                                                              |
|  | <p>Z3 Argille organiche di media plasticità, con intercalazioni composte da limi-sabbiosi e sabbie limose (spessore massimo 2.00 m) a medio - elevato addensamento<br/>           Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche stratigrafiche<br/>           Studi previsti: Approfondimenti di II° Livello</p>                                                                                                                                                                     |
|  | <p>Z4 Sabbie limose e miscele di sabbia e limo, raccolte in banchi superficiali con spessore variabile da 4.00 a 10.00 m, con al tetto sottili depositi argilloso limosi (Area golenale - Fiume Secchia).<br/>           Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche stratigrafiche e potenziali fenomeni di liquefazione dei livelli incoerenti<br/>           Studi previsti: Approfondimenti di III° livello per la stima del potenziale di liquefazione</p>                    |
|  | <p>Z5 Sabbie argillose, intercalazioni di orizzonti argillosi ad alta plasticità e livelli sabbiosi da scarso a medio addensamento. Fascia di trasgressione fluviale (Fiume Secchia e canalizzazioni secondarie)<br/>           Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche stratigrafiche e potenziali fenomeni di liquefazione dei livelli incoerenti<br/>           Studi previsti: Approfondimenti di III° per stima del potenziale di liquefazione e cedimenti co-sismici</p> |

**Estratto della TAV. n. 6 "Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica" dello studio di MS del Comune di Soliera**

Per la valutazione del coefficiente di amplificazione litologica, nelle aree in cui è ritenuto sufficiente l'analisi semplificata di II livello, si utilizzano gli abachi, le formule e le procedure indicate nell'allegato A2 della DGR 2193/2015.

Si è proceduto, pertanto, alla verifica del fattore di amplificazione secondo approccio DGR 2193/2015, attraverso la comparazione degli abachi contenuti nella predetta normativa, considerando i risultati ottenuti dalle indagini geognostiche eseguite in sito (*indagine sismica MASW:  $V_{s30} = 272$  m/s*).

L'area in oggetto, sulla scorta delle informazioni geologiche disponibili e precedentemente illustrate, risulta classificabile secondo la tipologia **PIANURA 2**, così caratterizzato: *settore di pianura con 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.* Si illustra successivamente la tabella di riferimento per la stima del fattore di amplificazione del moto sismico e delle relative intensità spettrali:

$V_{s30}(m/s) \rightarrow$	150	200	250	300	350	400
F.A. PGA	1.7	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5
F.A. SI1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6
F.A. SI2	3.1	3.0	2.7	2.4	2.1	2.0
F.A. SI3	3.6	3.3	2.9	2.5	2.2	2.0

Pianura 2. Tabella dei Fattori di Amplificazione **PGA**, **SI1**, **SI2** e **SI3**.

Considerando i risultati delle indagini geofisiche eseguite, si ricavano per conseguenza i seguenti parametri:

**F.A. P.G.A. = 1.7**

**F.A. SI1 = 1.9**

**F.A. SI2 = 2.7**

**F.A. SI3 = 2.9**

dove:

- PGA= accelerazione massima orizzontale alla superficie
- SI = indice di Housner
- F.A. P.G.A.= Fattore di amplificazione P.G.A.
- F.A. S1 (intensità spettrale  $0.1\text{sec} < T_0 < 0.5\text{sec}$ )
- F.A. S2 (intensità spettrale  $0.5\text{sec} < T_0 < 1.0\text{sec}$ )
- F.A. S3 (intensità spettrale  $1.0\text{sec} < T_0 < 1.5\text{sec}$ )

Adottando un fattore di amplificazione della PGA pari a 1.70 e un valore di PGA di base pari a 0.158 g (Tr 475 anni SLV), si ottiene un valore di PGA in superficie pari a:

**$A_{\max} = 0.269$  g (Approccio DGR 2193/15 II livello di approfondimento)**

### 3.4 Stabilità del sito nei confronti del fenomeno di Liquefazione (Approccio DGR 2193/2015)

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 2193/2015 della Regione Emilia Romagna.

Le verifiche sono state svolte considerando una magnitudo di riferimento  $M = 6.14$ , una accelerazione massima al suolo  $A_{max} = 0.269$  g (calcolata secondo Approccio DGR 2193/15, Il livello di approfondimento) e con soggiacenza della falda freatica alle profondità rilevate durante l'esecuzione delle indagini.

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)

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

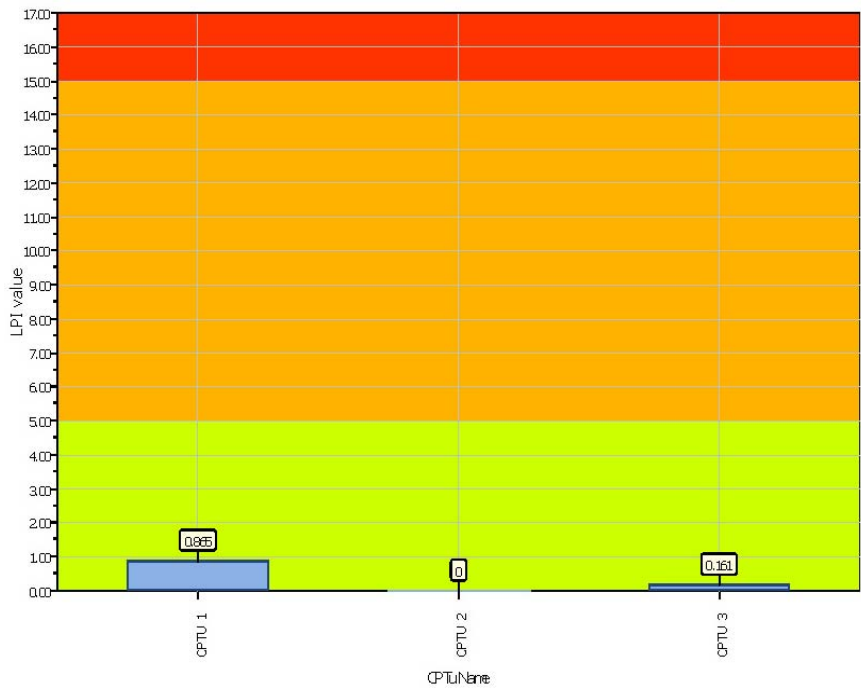
In base al valore di LPI ottenuto è possibile fornire un'indicazione del rischio di liquefazione. In considerazione delle linee guida emesse dalla Regione Emilia Romagna, a seguito degli eventi sismici di maggio e giugno 2012, si considera la classificazione di rischio definita da Somnez (2003):

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

A seguito della verifica, in riferimento alle verticali di prova CPTU, sono stati ottenuti i seguenti valori di LPI:

INDAGINE	INDICE DI LIQUEFAZIONE IL	RISCHIO
CPTU 1	0.865	BASSO
CPTU 2	0.0	NULLO
CPTU 3	0.161	BASSO

Overall Liquefaction Potential Index report



**LPI color scheme**  
 Very high risk  
 High risk  
 Low risk

**Basic statistics**  
 Total CPT number: 3  
 100.00% low risk  
 0.00% high risk  
 0.00% very high risk

## 4 Considerazioni conclusive

Il presente studio geologico e sismico è stato eseguito per caratterizzare il sottosuolo di un lotto di terreno sito in via Boito nel Comune di Soliera (MO), in ottemperanza alle vigenti normative NTC 2018 e DAL n.112/2007 e DGR n. 2193/2015.

La caratterizzazione sismica del sito è stata condotta sulla base di una indagine sismica di tipo MASW e una indagine HVSR eseguite in sito, da cui si è determinato che la velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità  $V_{s30}$  ha il valore  $V_{s30}=272$  m/s.

sulla base delle NTC 2018, 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**.

La presente relazione è stata redatta in accordo con i nuovi indirizzi di Microzonazione sismica della Regione Emilia Romagna (**DGR 2193/2015**) relativamente alla definizione dell'azione sismica del sito in oggetto. In accordo con la predetta normativa e sulla scorta delle prescrizioni di piano (PSC del Comune di Soliera) è stato valutato il fattore di amplificazione e delle relative intensità spettrali secondo il **II livello di approfondimento**. Considerando i risultati delle indagini geofisiche eseguite, si ricavano per conseguenza i seguenti parametri:

$$\mathbf{F.A. P.G.A. = 1.7}$$

$$\mathbf{F.A. SI1 = 1.9}$$

$$\mathbf{F.A. SI2 = 2.7}$$

$$\mathbf{F.A. SI3 = 2.9}$$

Adottando un fattore di amplificazione della PGA pari a 1.70 e un valore di PGA di base pari a 0.159 g (Tr 475 anni SLV), si ottiene un valore di PGA in superficie pari a:

$$\mathbf{A_{max} = 0.269 g (Approccio DGR 2193/15 Il livello di approfondimento)}$$

È stata eseguita la verifica della suscettibilità al fenomeno della liquefazione (metodo di calcolo **Boulanger & Idriss, 2014, in accordo con la DGR 2193/15**) sulla base delle prove penetrometriche eseguite in sito, precedentemente citate e descritte, considerando una accelerazione massima al suolo  $A_{max} = 0.269g$  (calcolata con approfondimento di **II livello DGR 2193/15**), considerando la soggiacenza della falda freatica alle profondità rilevate nel corso delle indagini geotecniche (§ 2.3 della presente relazione), e una



**magnitudo di riferimento** pari a **M=6.14**. I calcoli così eseguiti hanno fornito i valori di indice di liquefazione IL riportati nella seguente tabella:

INDAGINE	INDICE DI LIQUEFAZIONE IL	RISCHIO
CPTU 1	0.865	BASSO
CPTU 2	0.0	NULLO
CPTU 3	0.161	BASSO

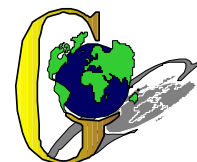
Per quanto riguarda la caratteristiche geotecniche del terreno riscontrate, riassunte al paragrafo 2.3 della presente relazione, nella progettazione delle future strutture da realizzare appare possibile utilizzare fondazioni dirette superficiali le quali se approfondite alla quota  $D = 1.00$  m dal p.c. potranno utilizzare una portanza del terreno già fattorizzata agli SLU (Approccio 2 Combinazione 1) pari a  $Q \approx 1.5 \text{ daN/cm}^2$ .

Si raccomanda comunque, in fase di progettazione, di predisporre ulteriori adeguati studi e indagini geognostiche del sottosuolo finalizzati a verificare in modo puntuale la stabilità del sito nei confronti della liquefazione e la soggiacenza della falda, e a definire con maggiore dettaglio le caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche del terreno di fondazione, in relazione alla progettazione delle nuove strutture.

**Modena, 2 maggio 2019**

**Dott. Geol. Pier Luigi Dallari**

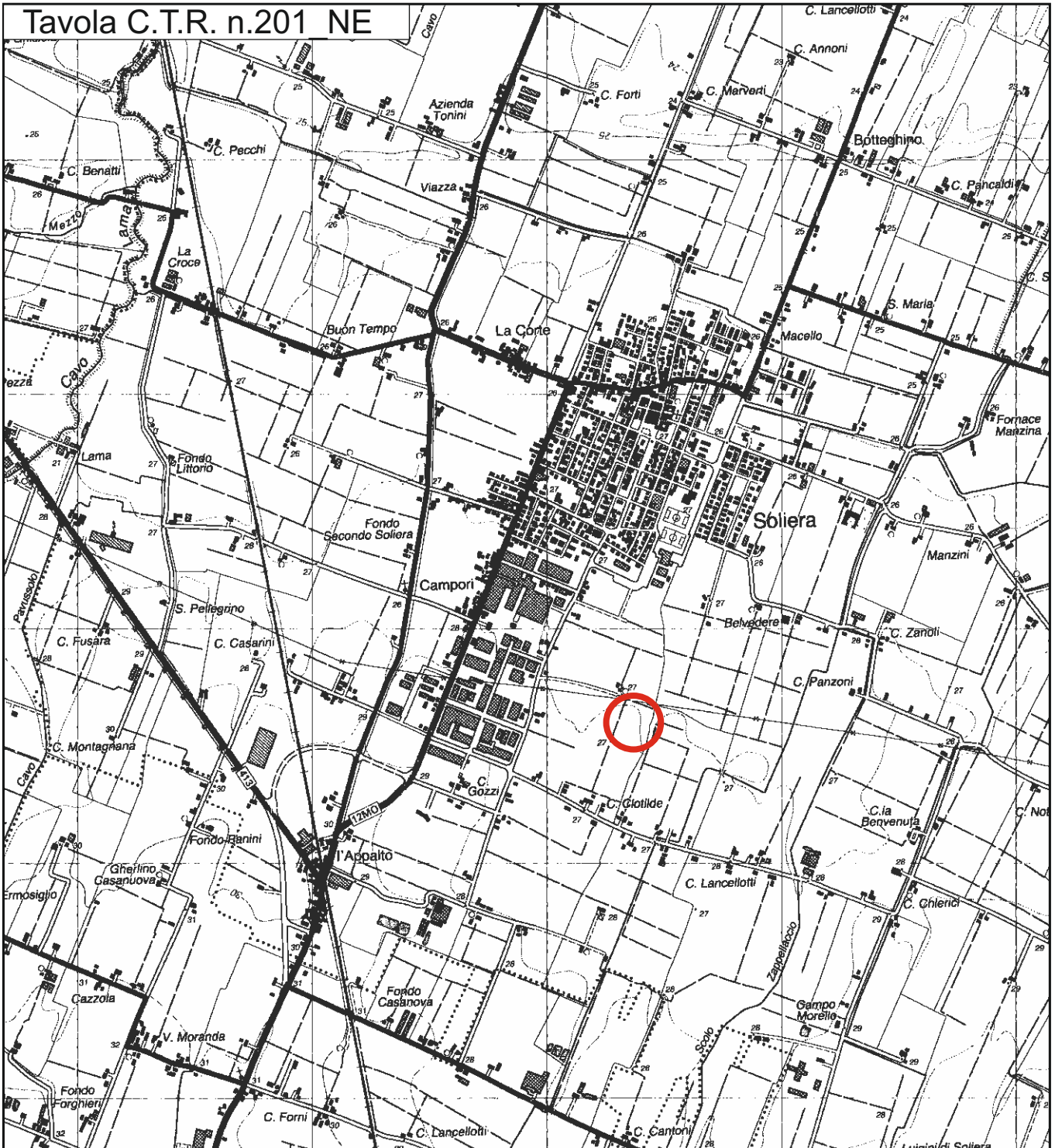




## TAVOLE

# GEO GROUP s.r.l.

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche  
182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5332019 - E-mail: info@geogroupmodena.it



Tav. n. 1 "Carta Corografica"



Scala 1: 25000

Legenda

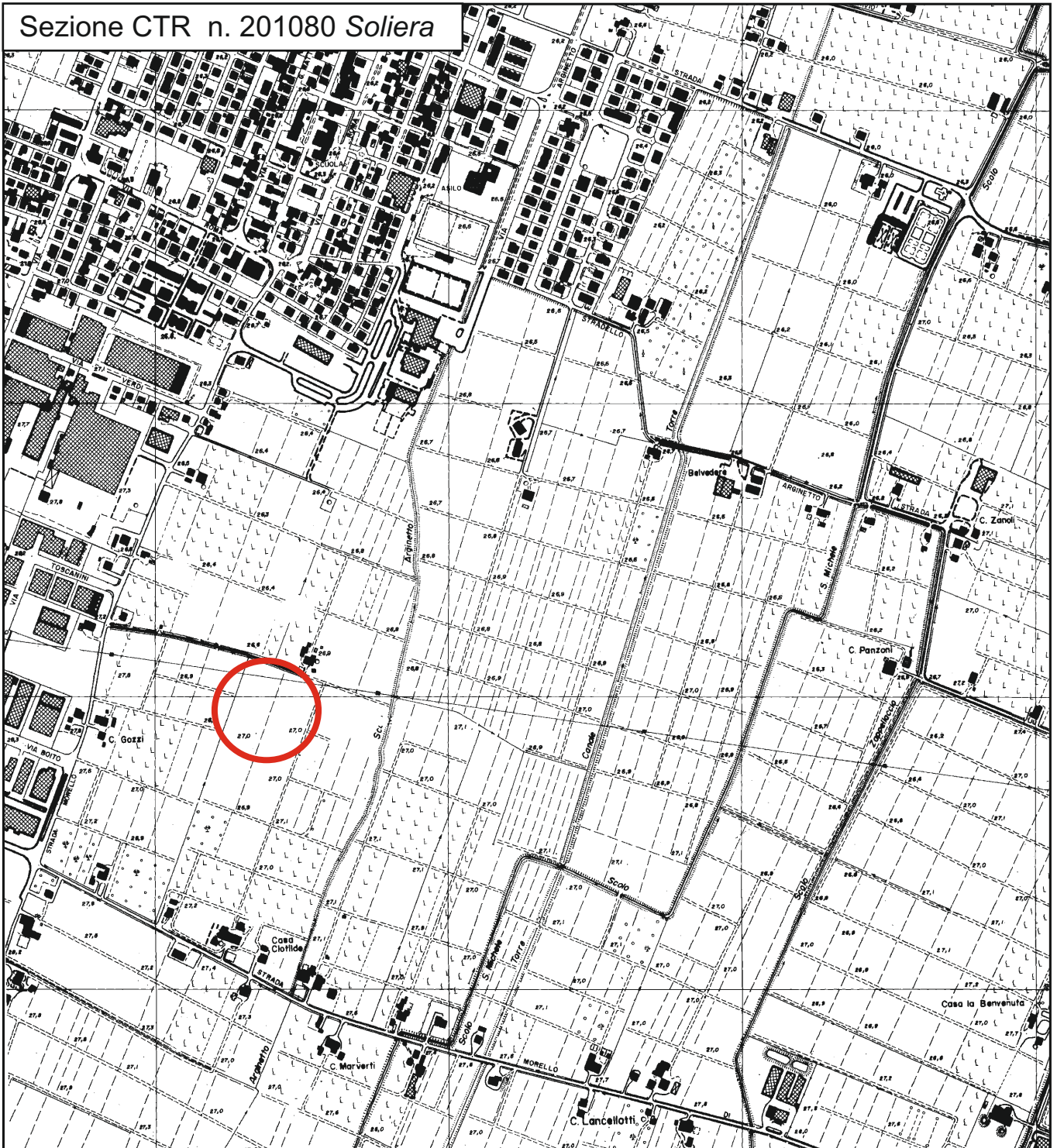


Area di interesse

# GEO GROUP s.r.l.

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche  
182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5332019- E-mail: info@geogroupmodena.it

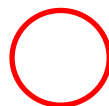
## Sezione CTR n. 201080 Soliera



Tav. n. 2 "Carta topografica"  
Scala 1: 10000



Legenda



Area di interesse

## **GEO GROUP s.r.l.**

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche  
182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5332019- E-mail: info@geogroupmodena.it



### Tav. n. 3 “Ripresa fotografica generale dell’area di interesse”

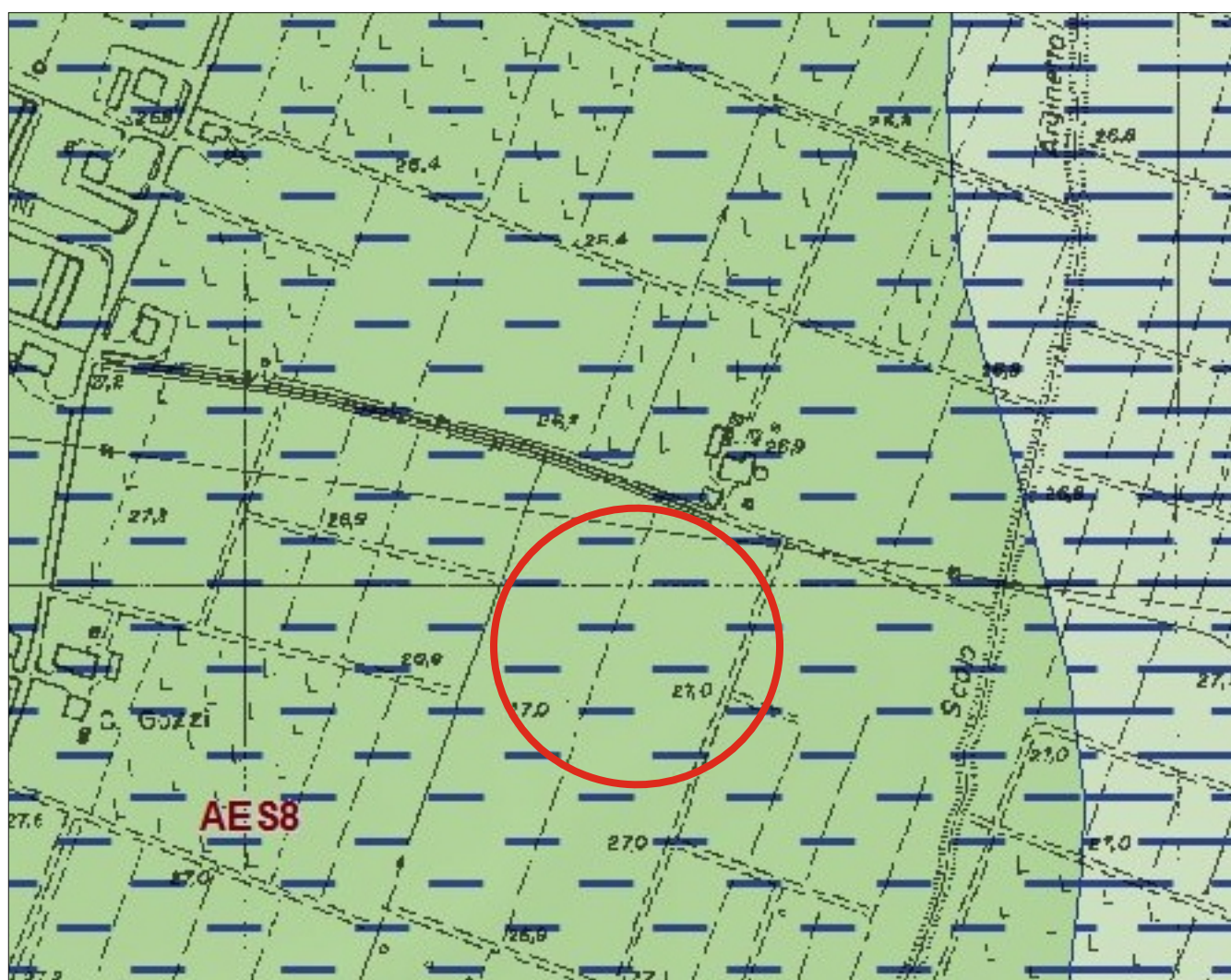
(tratta da “Google Earth”)  
Scala grafica



Area oggetto di studio

## GEO GROUP s.r.l.

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche  
182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5332019- E-mail: info@geogroupmodena.it



### Tav. n. 4 "Carta della litologia di superficie"

Scala 1: 5000



#### Legenda



area di interesse



#### **AES8 - Subsistema di Ravenna**

Ghiaie e ghiaie sabbiose, passanti a sabbie e limi organizzate in numerosi ordini di terrazzi alluvionali. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. orizzonti superficiali di colore giallo-bruno. Contengono frequenti reperti archeologici di età del Bronzo, del Ferro e Romana. Potenza fino a oltre 25 m. Tessitura: limo



#### **AES8a - Unità di Modena**

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). Tessitura: argilla




## GEO GROUP s.r.l.

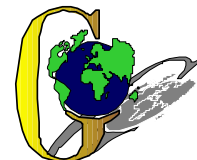
Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche  
182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5332019- E-mail: info@geogroupmodena.it



### Tav. n. 5 “Indagini geognostiche”

Scala grafica

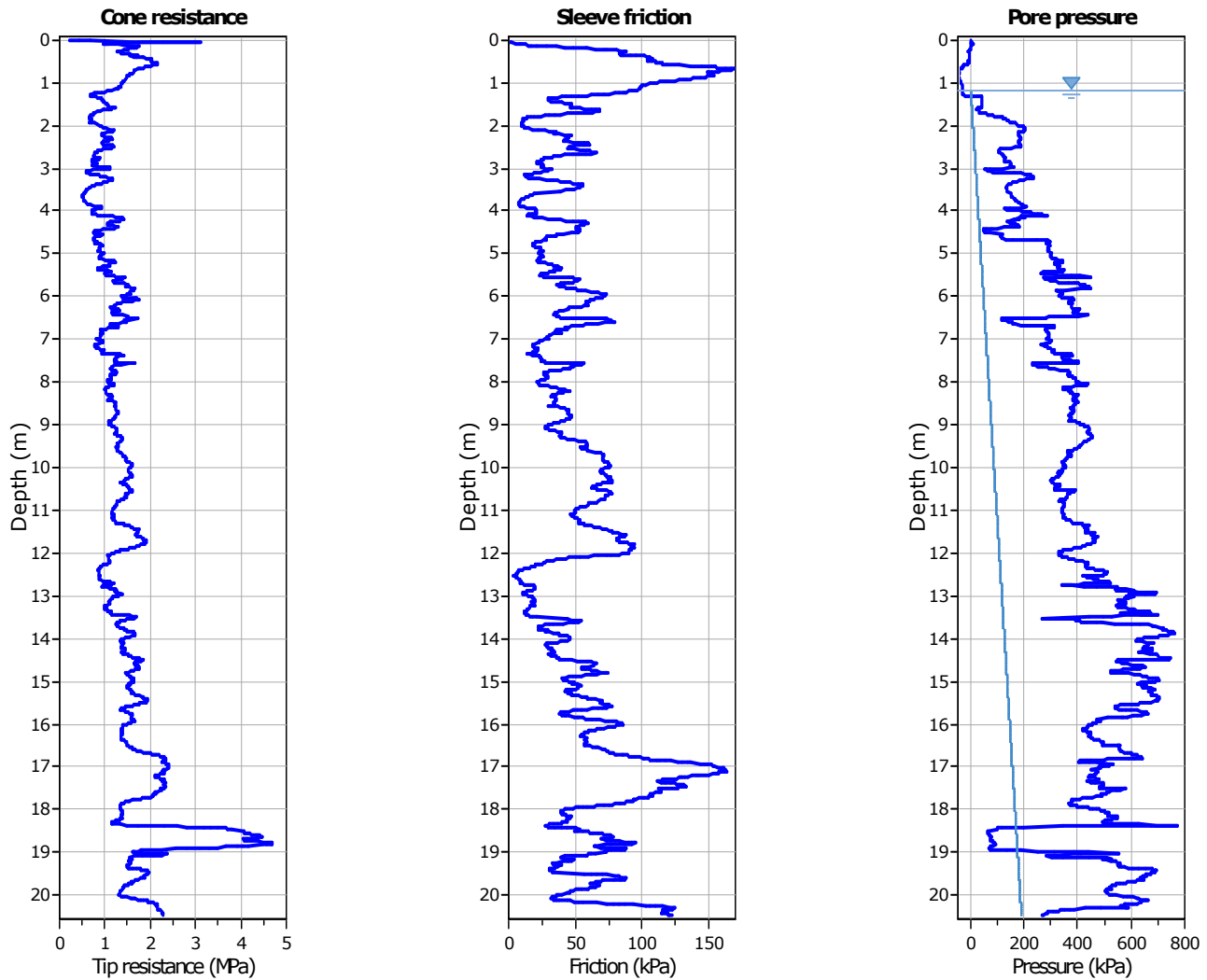
-  prove penetrometriche CPTU
-  indagine sismica HVSR
-  indagine sismica MASW



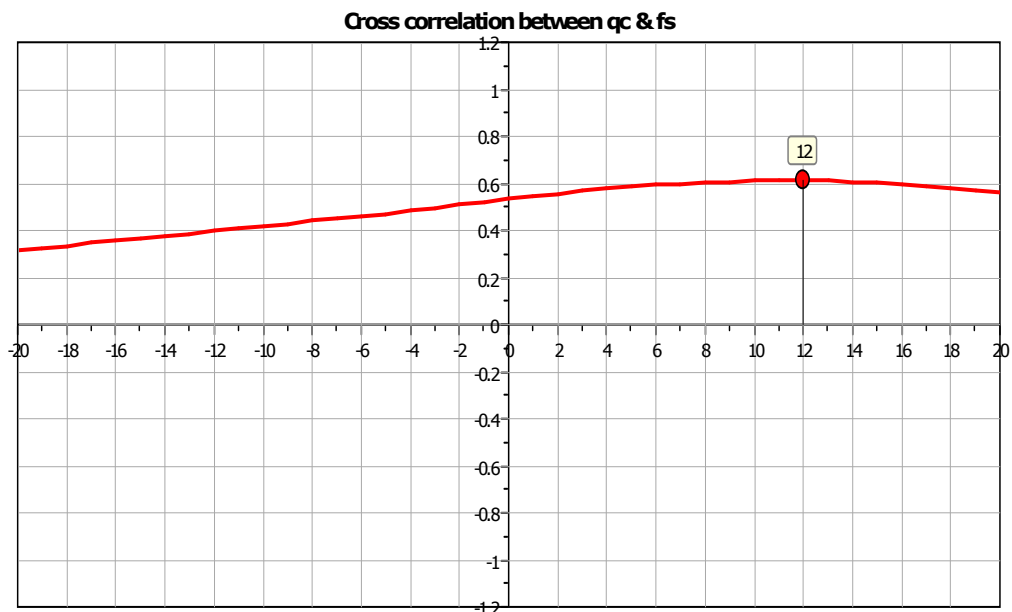
# ALLEGATO 1

## PROVE PENETROMETRICHE

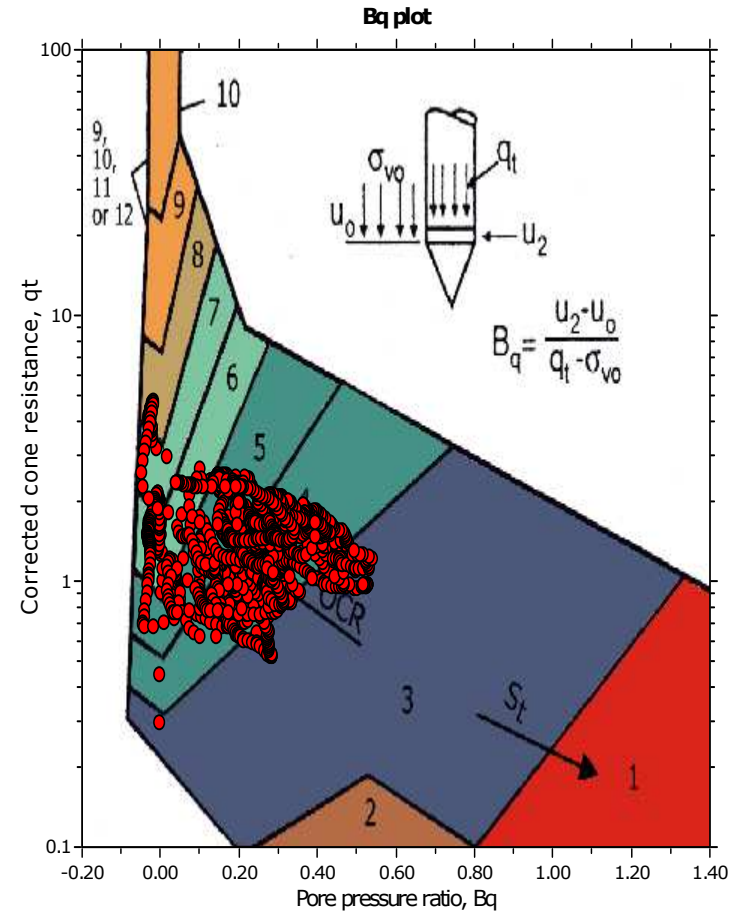
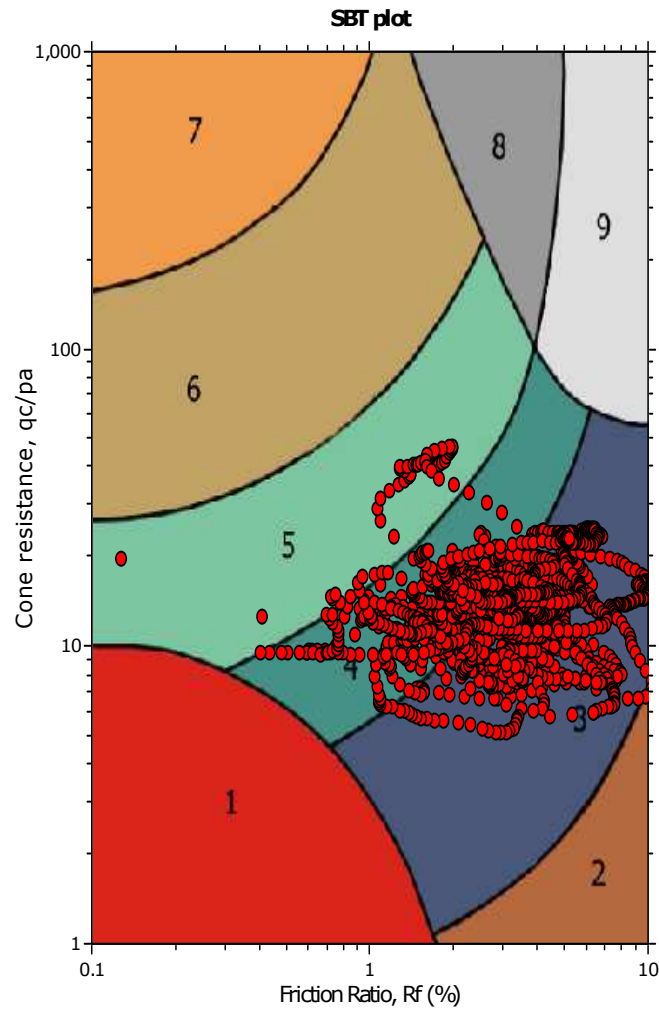




The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw  $q_c$  and  $f_s$  values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).



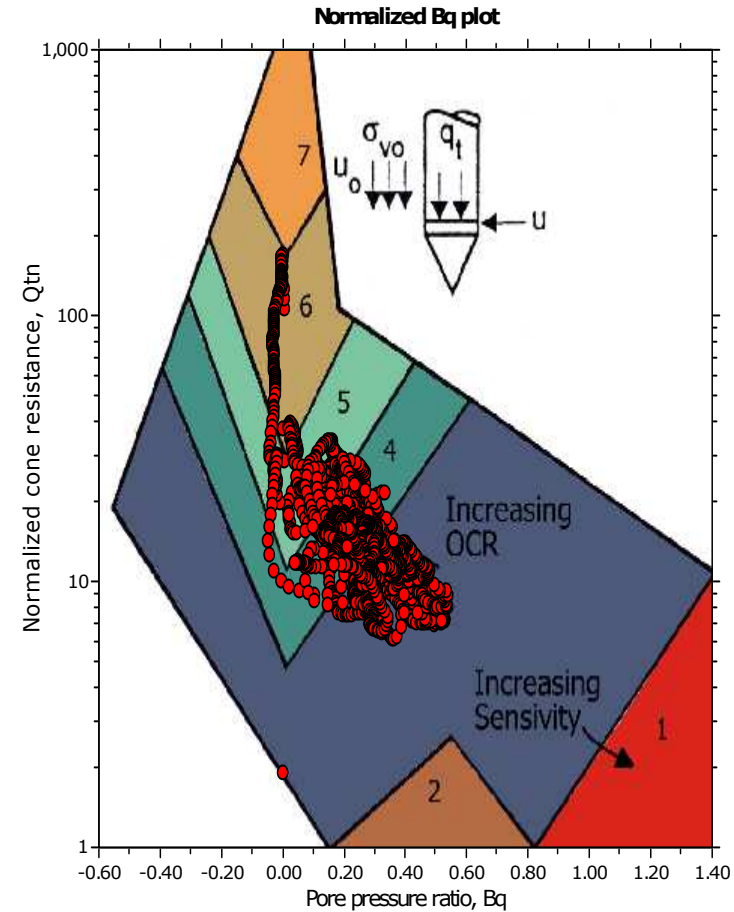
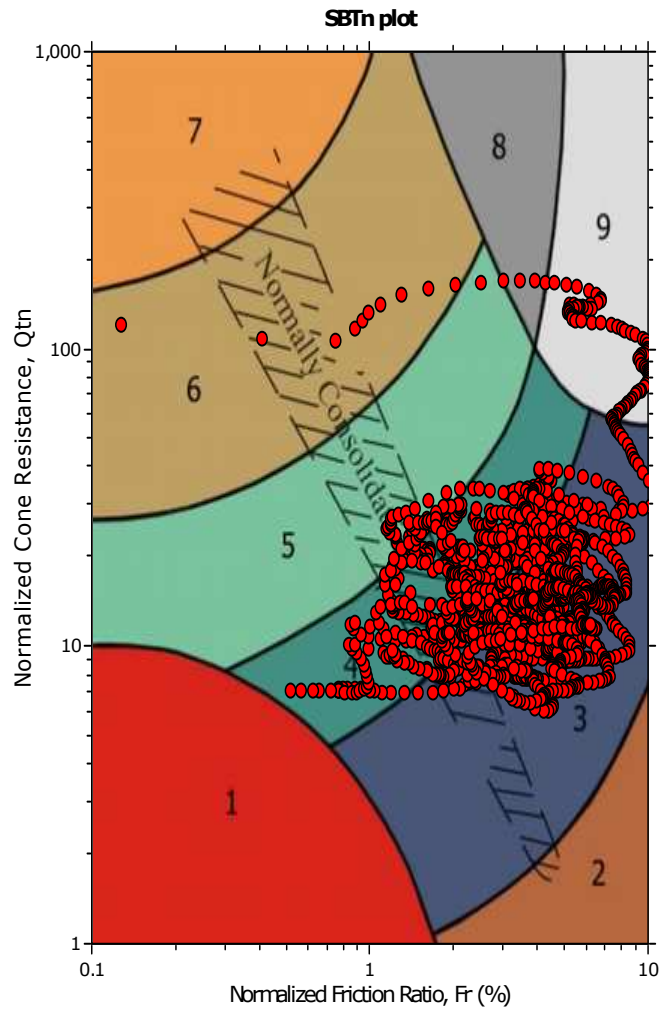
SBT - Bq plots



SBT legend

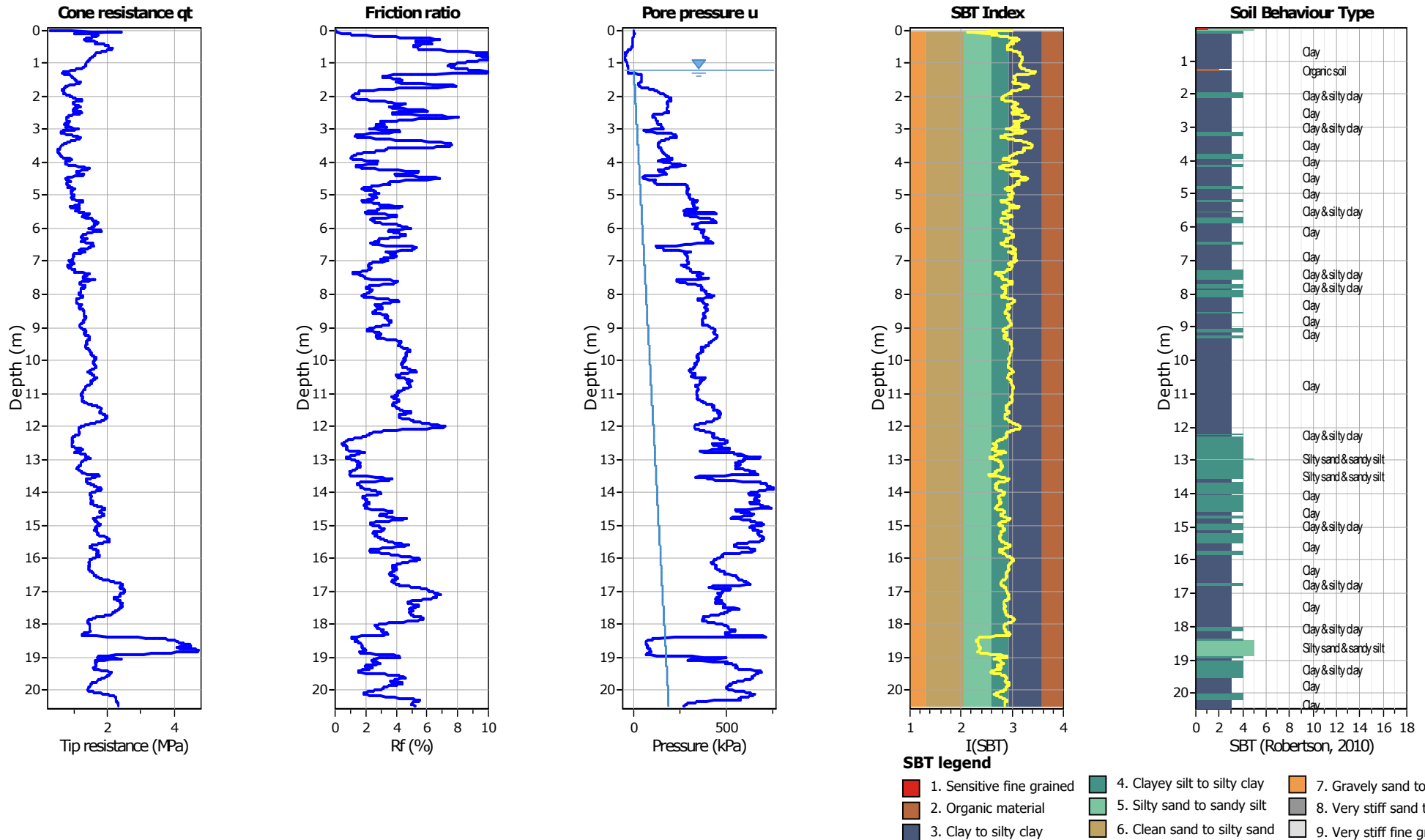
- |                           |                              |                                   |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty clay | 7. Gravely sand to sand           |
| 2. Organic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

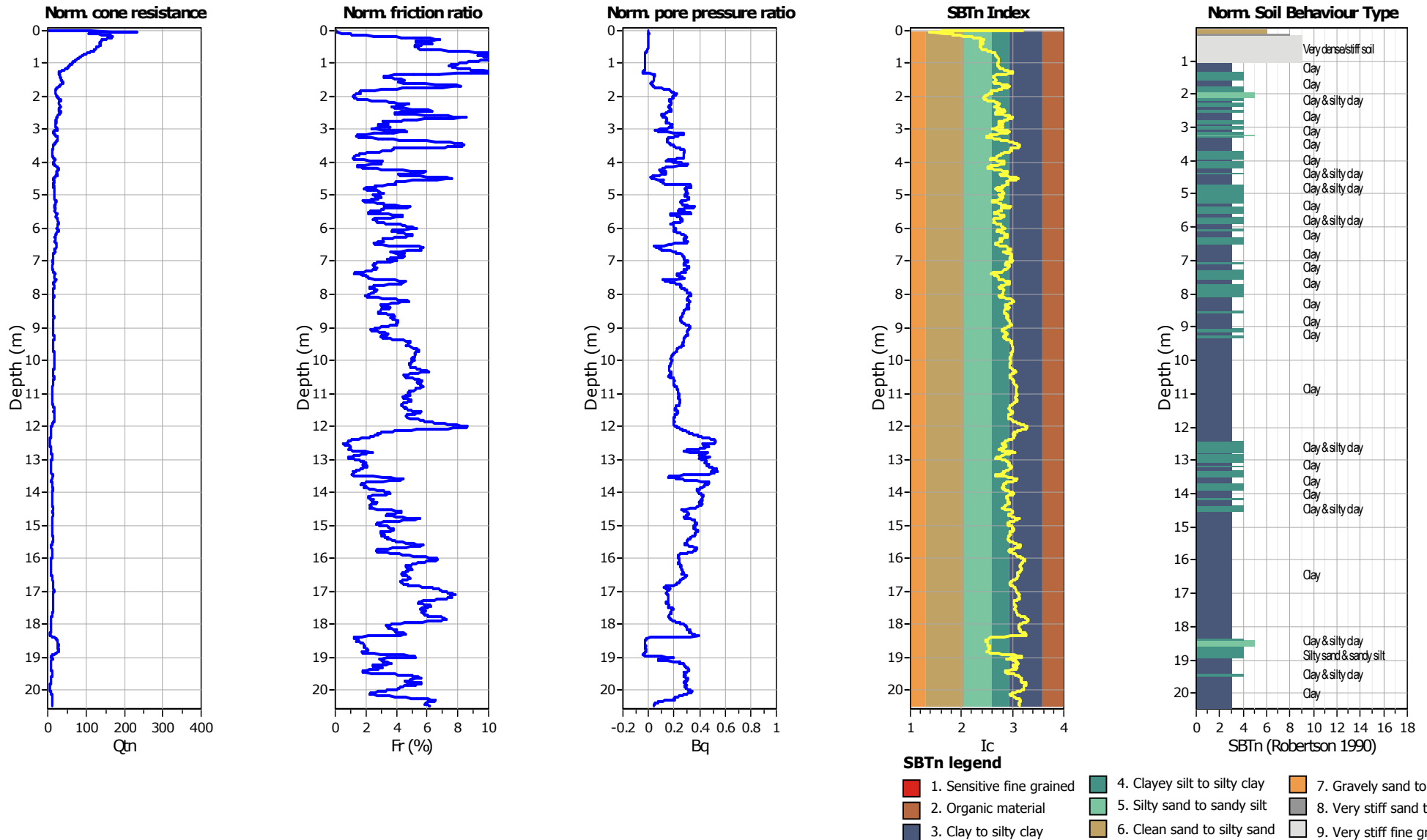
**SBT - Bq plots (normalized)**

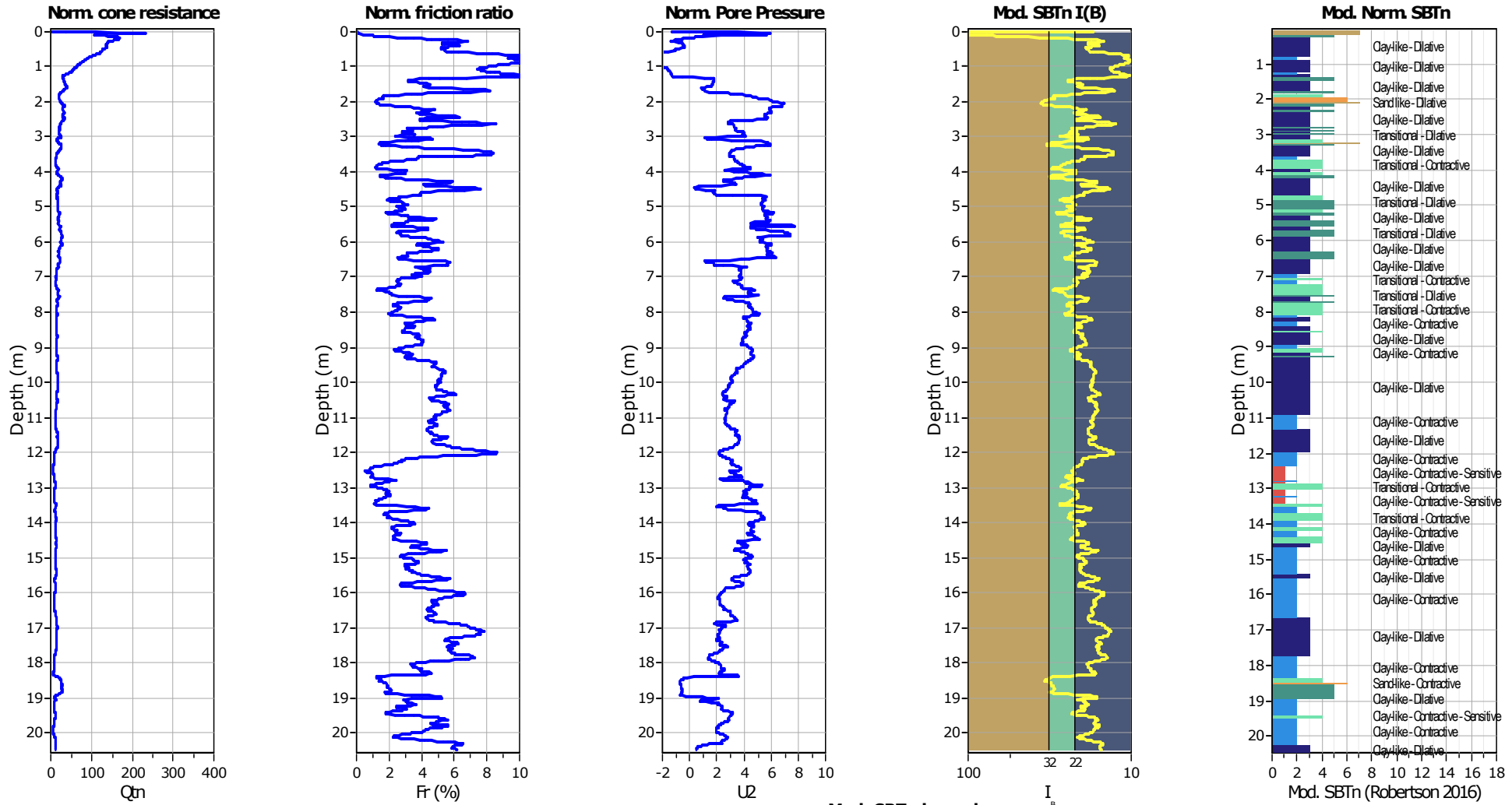


**SBTn legend**

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



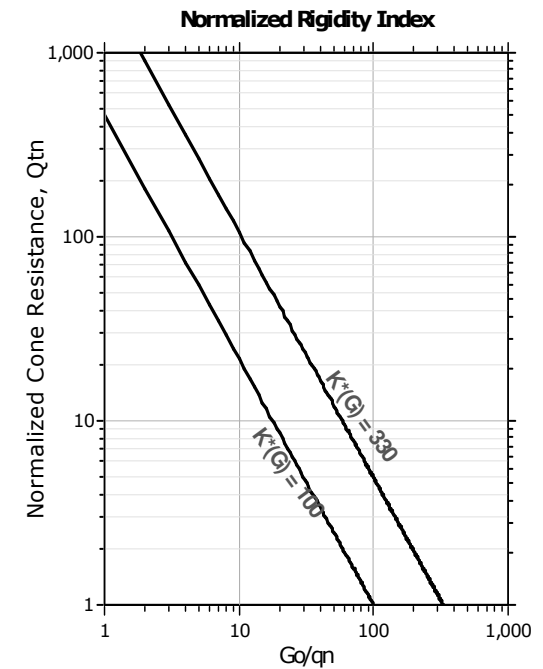
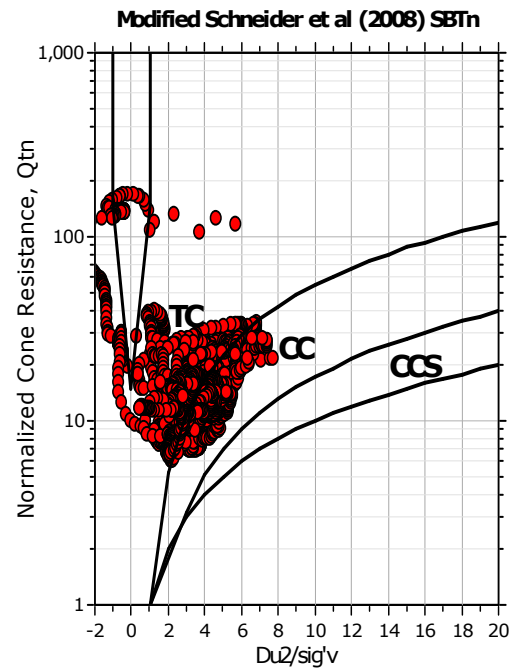
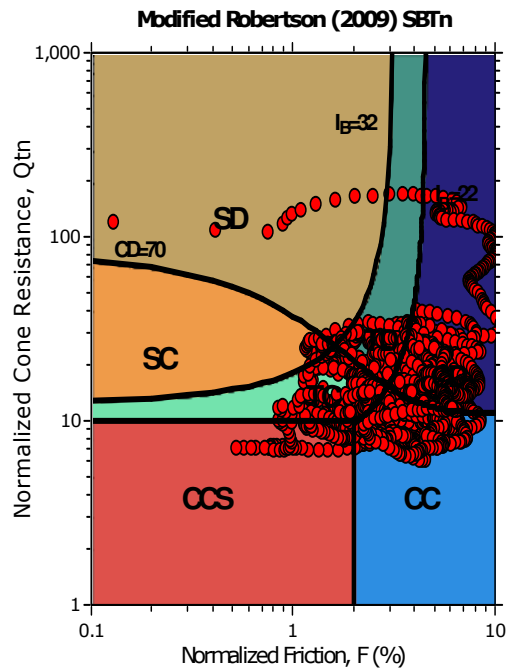




**Mod. SBTn legend**

- |                                                                              |                                                                          |                                                                   |
|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| <span style="color: red;">■</span> 1. CCS: ClayLike - Contractive, Sensitive | <span style="color: teal;">■</span> 4. TC: Transitional - Contractive    | <span style="color: orange;">■</span> 7. SD: Sand-like - Dilative |
| <span style="color: brown;">■</span> 2. CC: Clay-like - Contractive          | <span style="color: lightgreen;">■</span> 5. TD: Transitional - Dilative |                                                                   |
| <span style="color: darkblue;">■</span> 3. CD: Clay-Like: Dilative           | <span style="color: tan;">■</span> 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)

**Geo Group Srl**

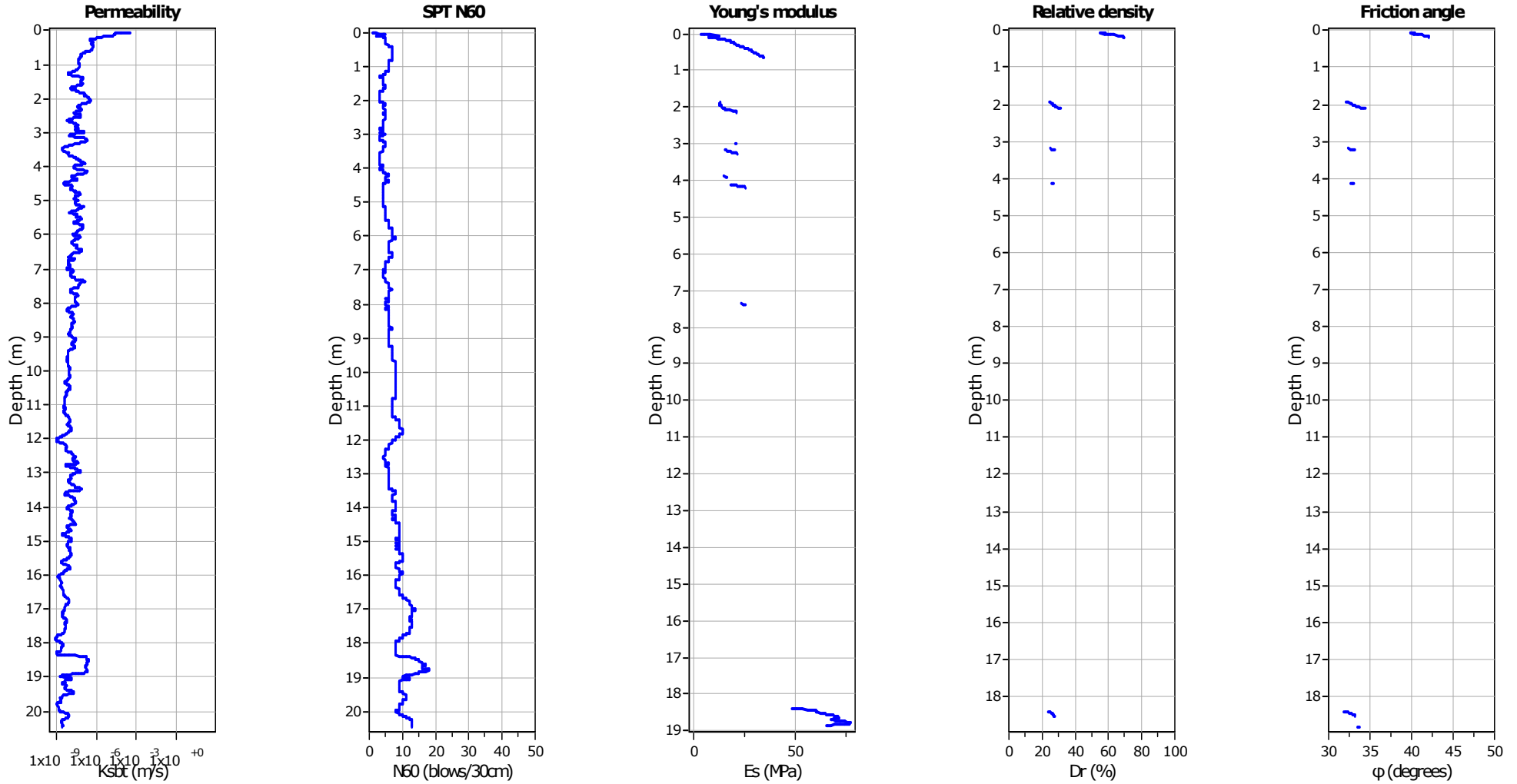
Via Per Modena 12  
Castelnuovo Rangone (MO)  
059/3967169

**Project: PUA**

**Location: Soliera (MO), via Boito**

**CPT: CPTU 1**

Total depth: 20.47 m, Date: 23/04/2019



**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>

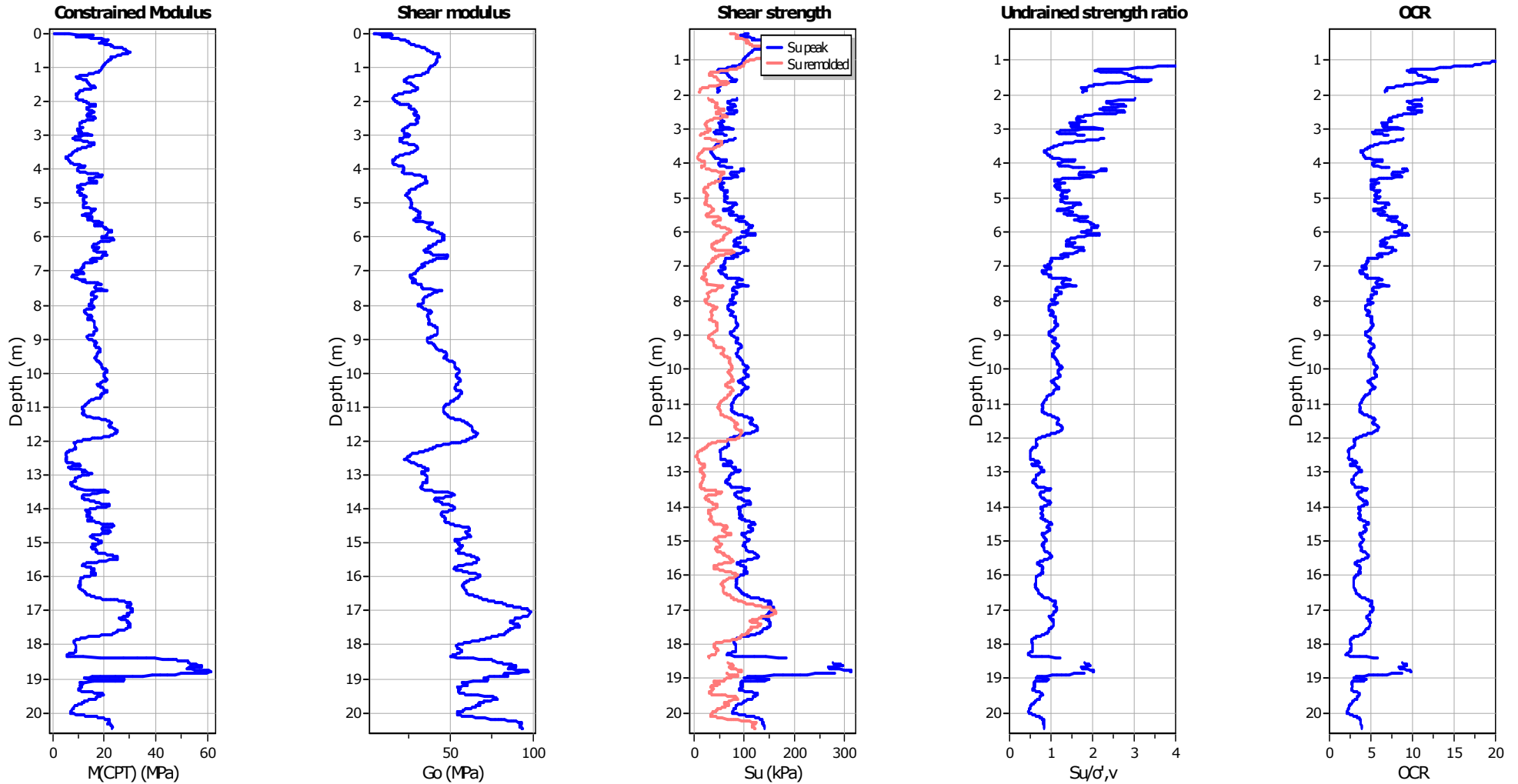
Young's modulus: Based on variable alpha using I<sub>c</sub> (Robertson, 2009)

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)

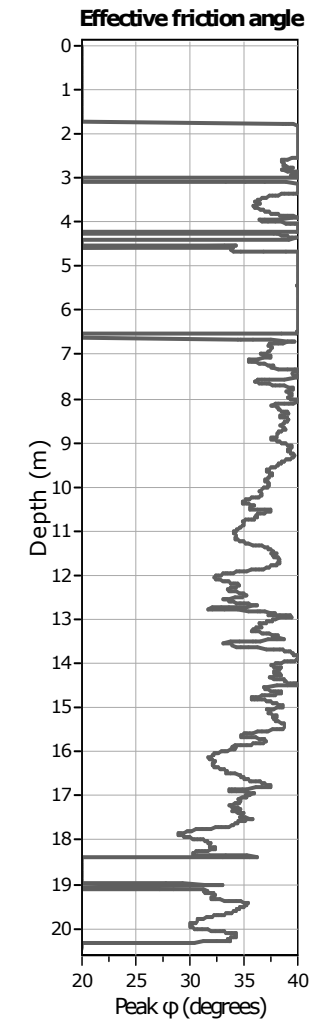
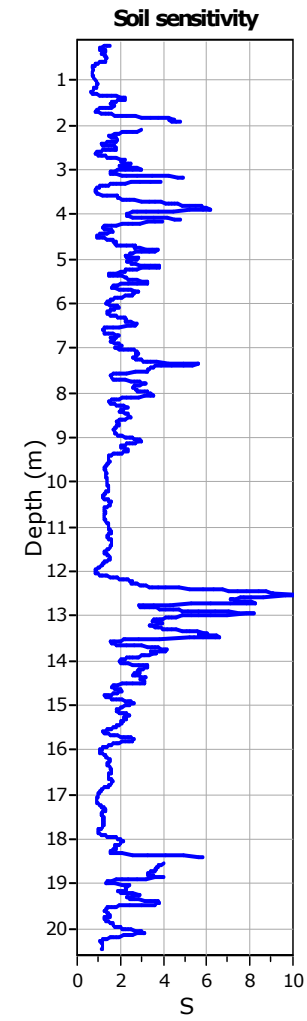
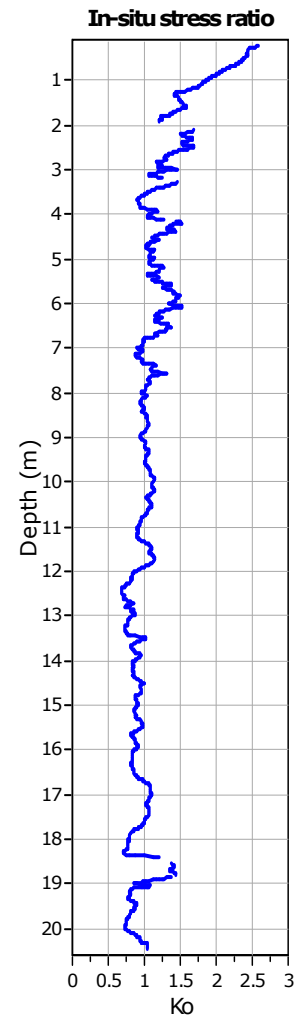
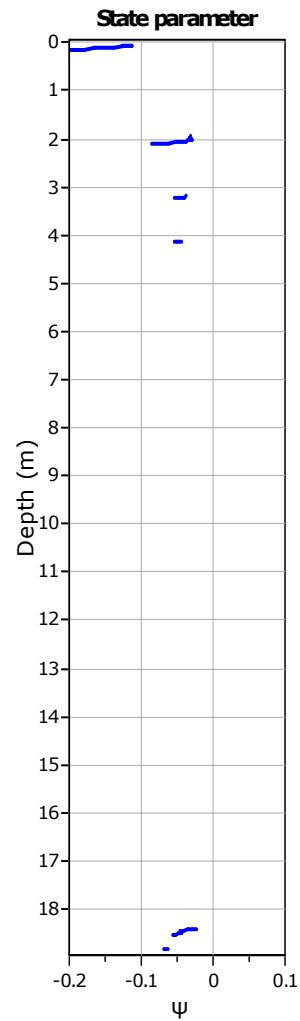
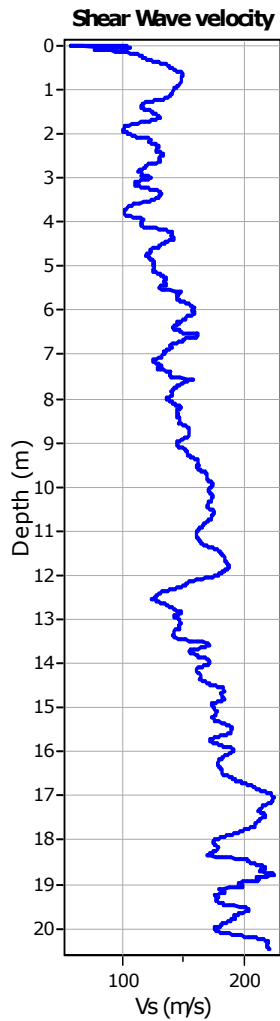
Go: Based on variable *alpha* using  $I_c$  (Robertson, 2009)

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

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

● User defined estimation data

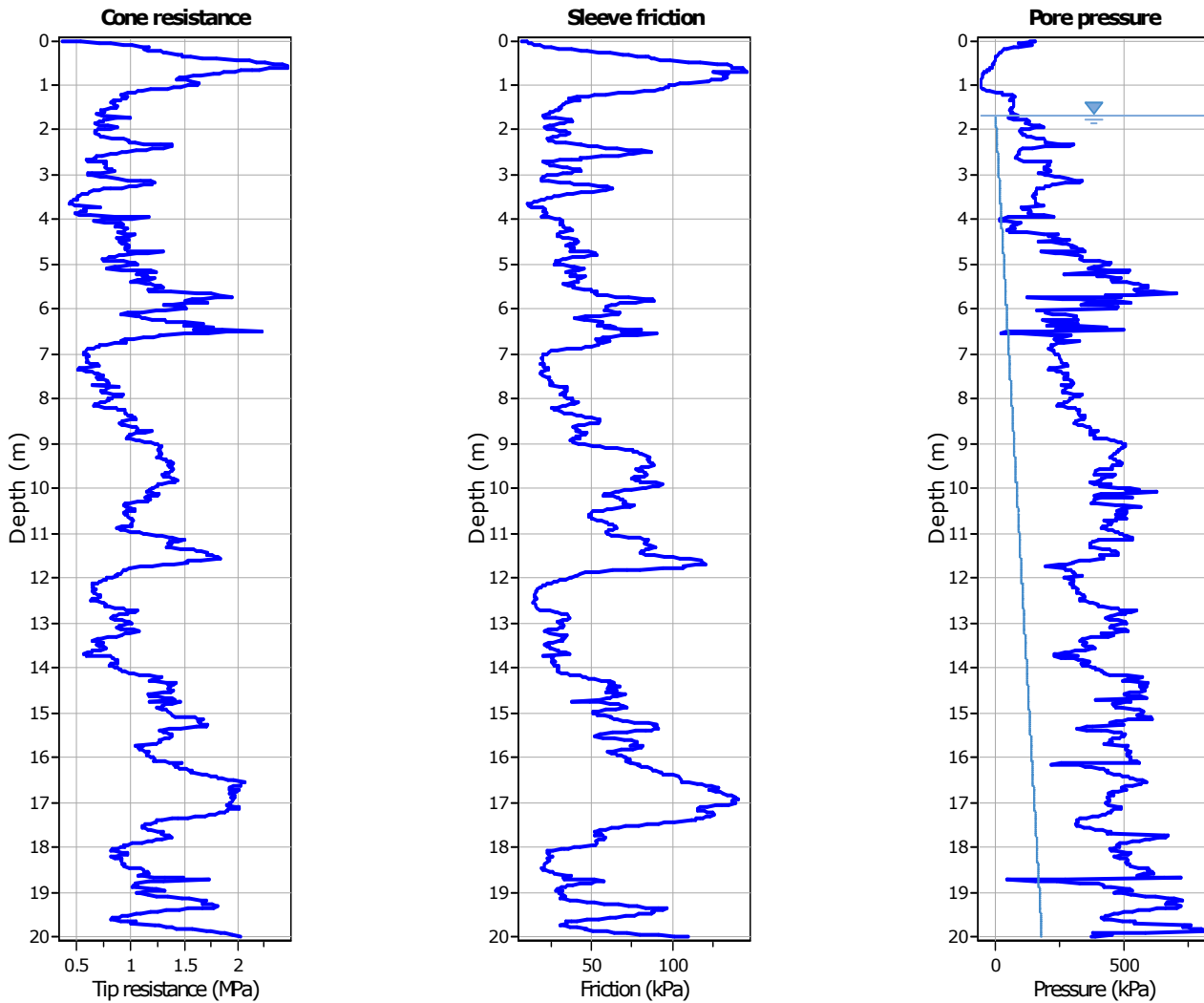
● Flat Dilatometer Test data



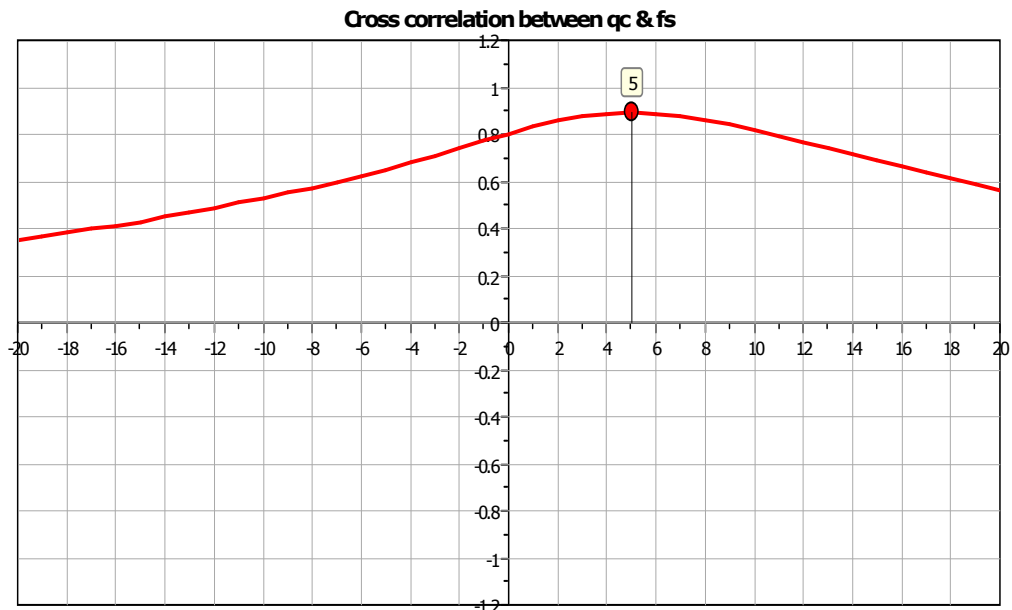
Calculation parameters

Soil Sensitivity factor,  $N_s$ : 7.00

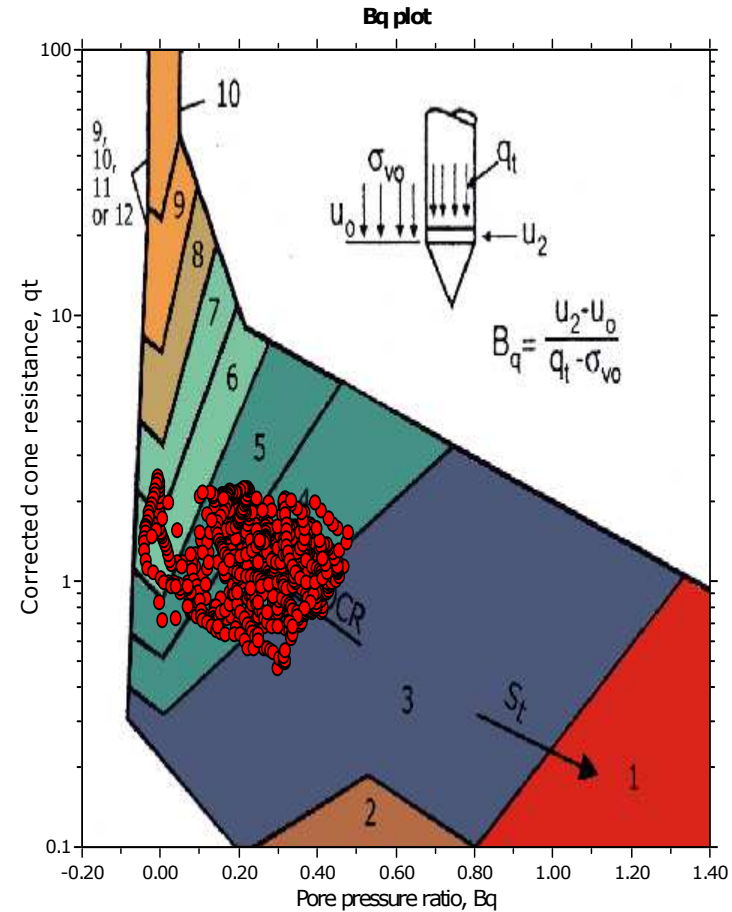
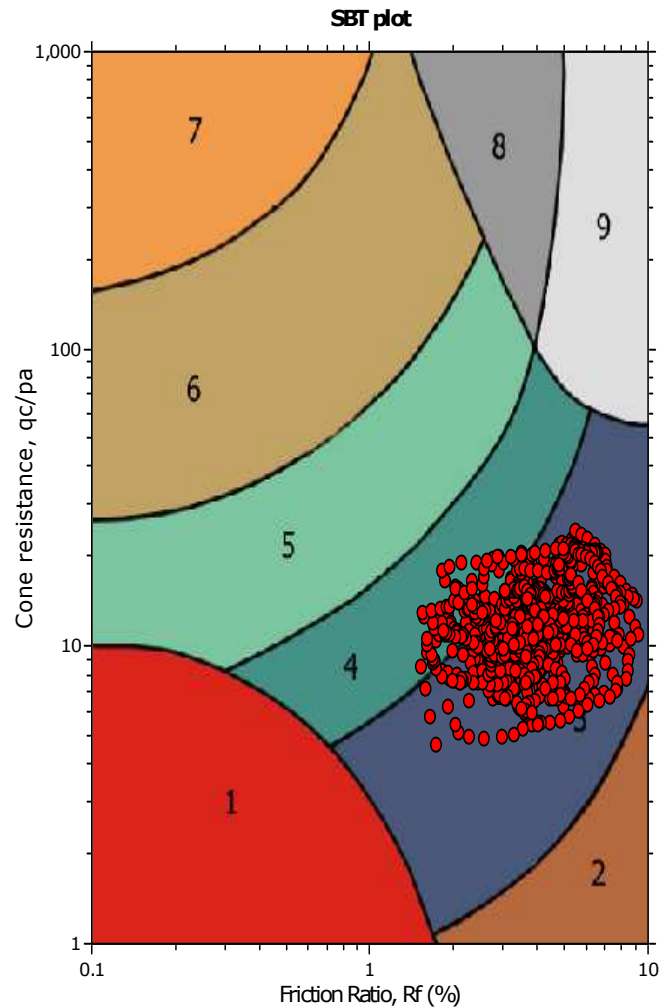
—●— User defined estimation data



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



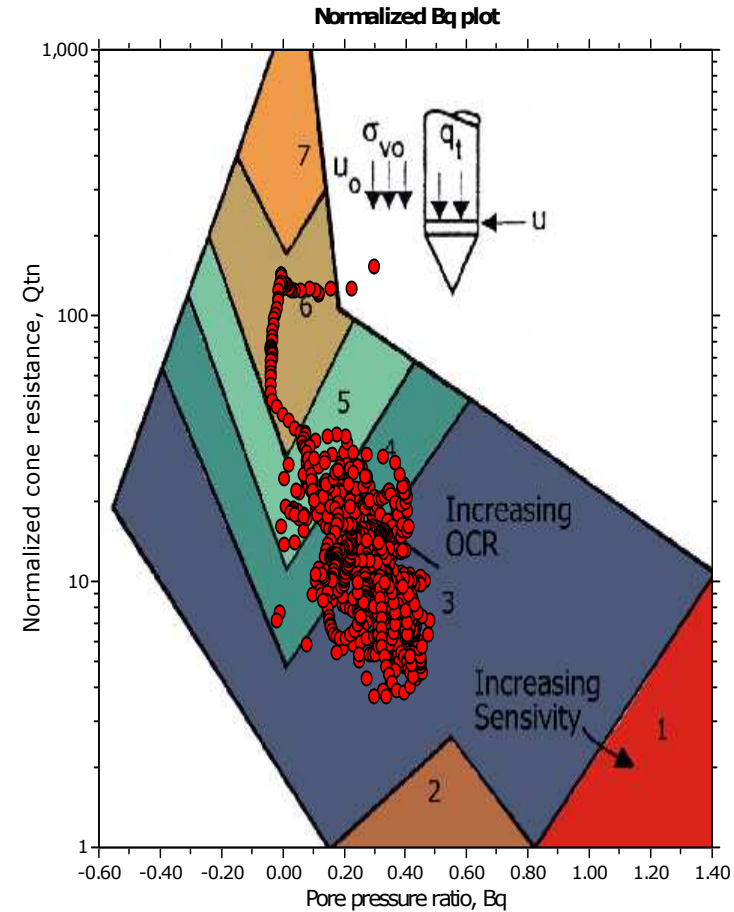
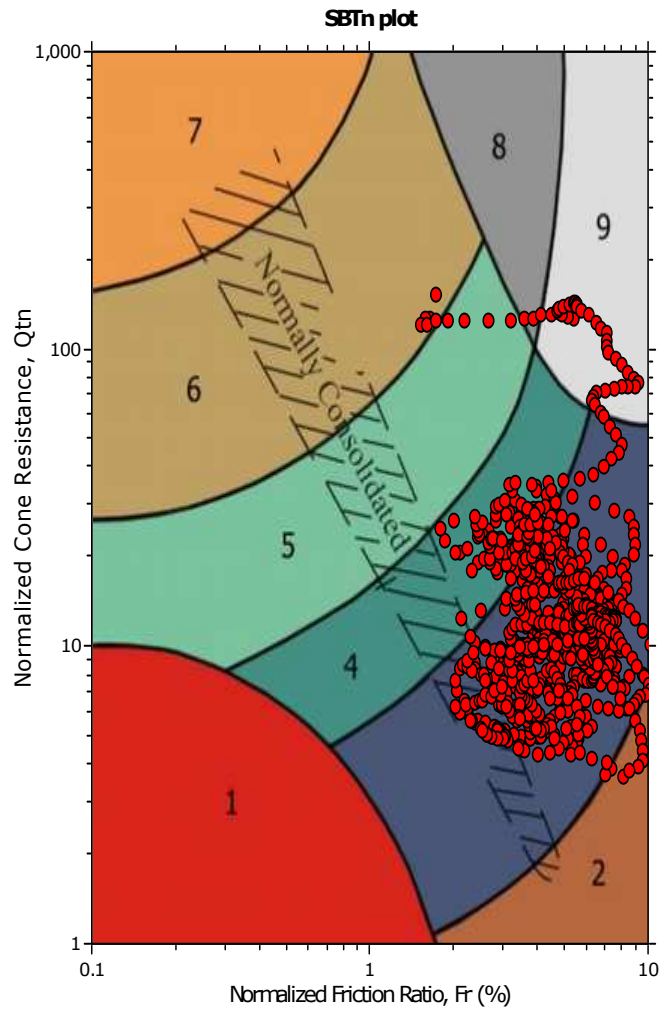
SBT - Bq plots



SBT legend

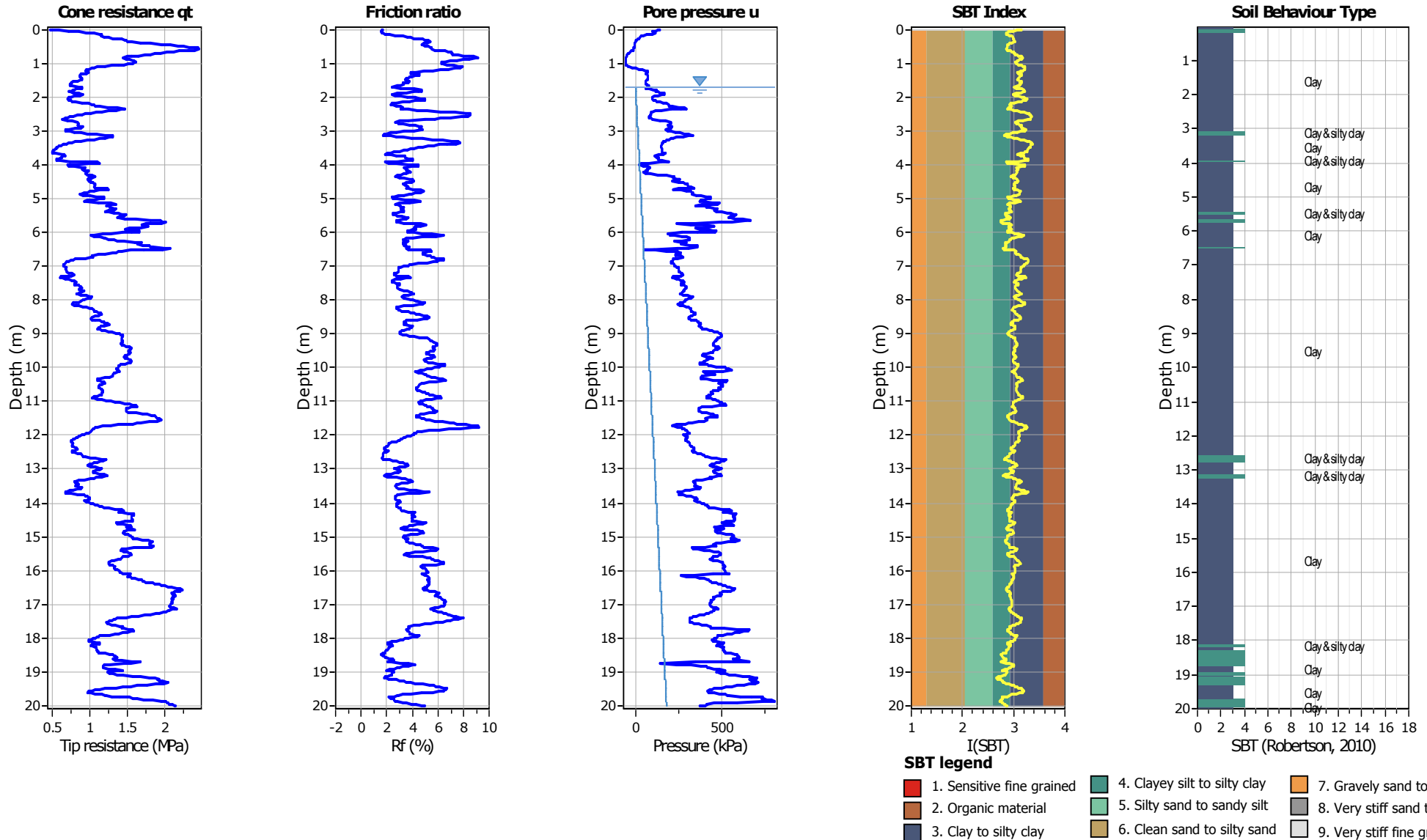
- |                           |                              |                                   |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty clay | 7. Gravely sand to sand           |
| 2. Organic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

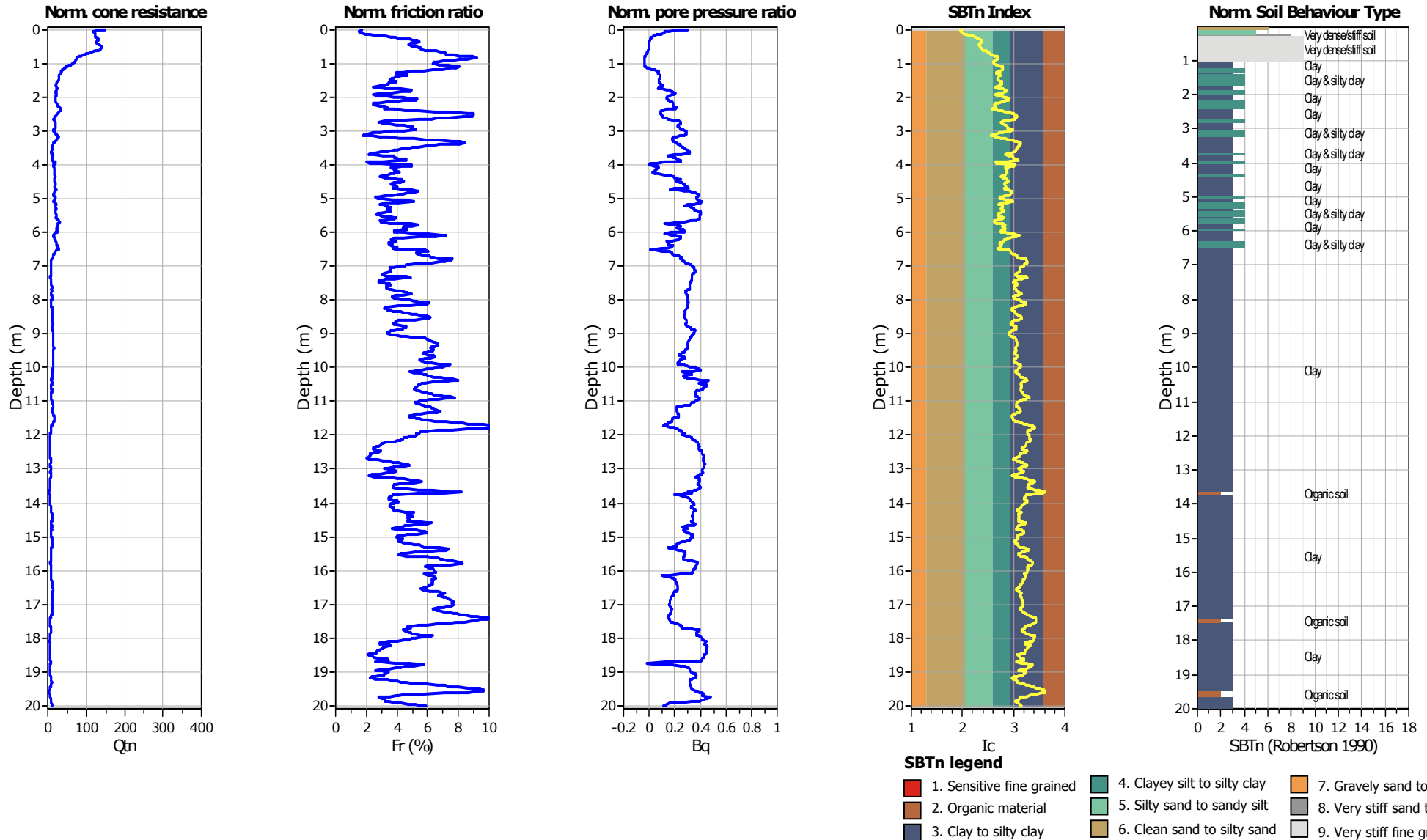
**SBT - Bq plots (normalized)**

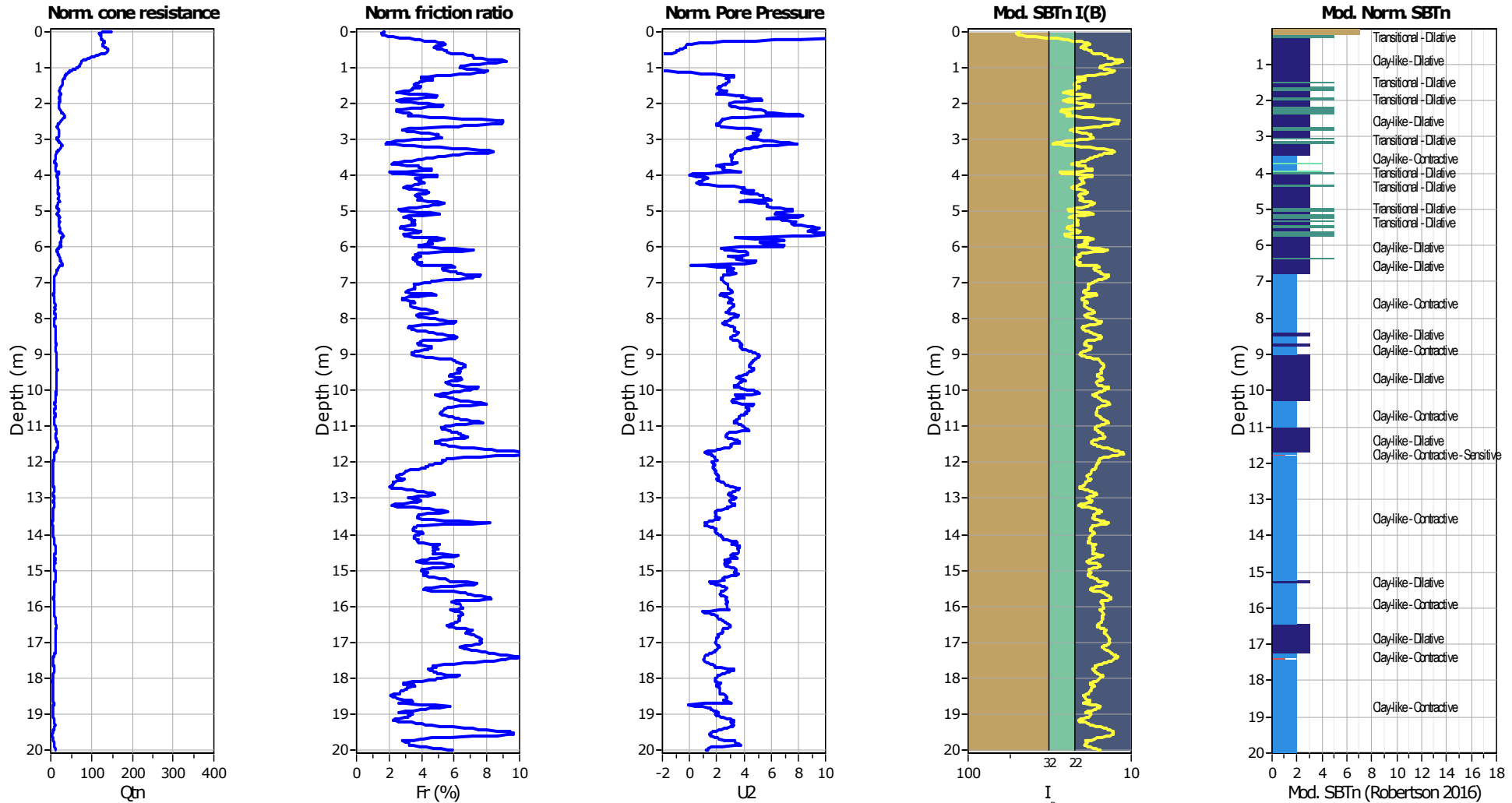


**SBTn legend**

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





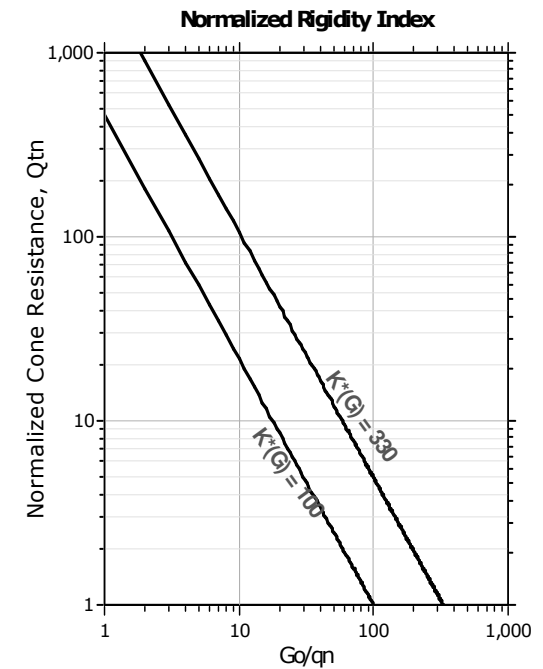
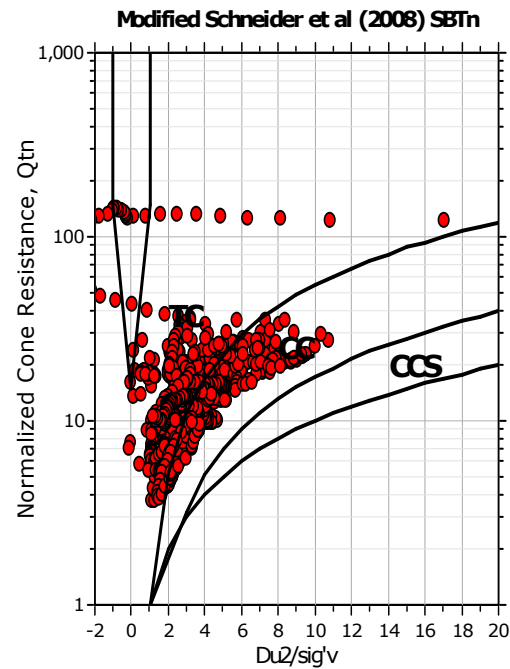
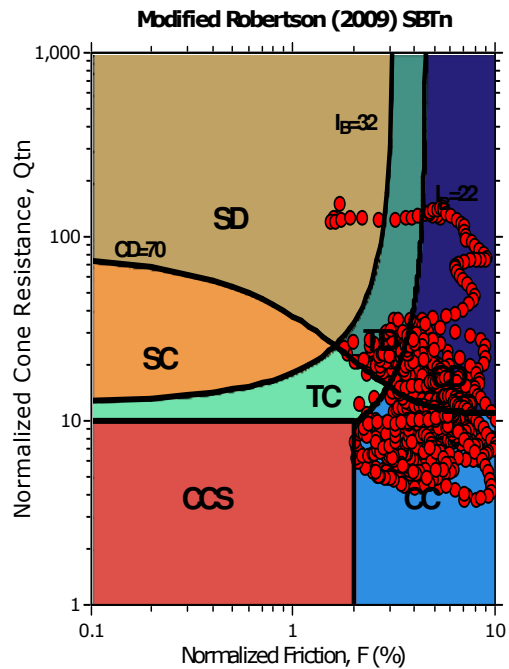


Mod. SBTn legend

- 1. CCS: ClayLike - Contractive, Sensitive
- 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)

**Geo Group Srl**

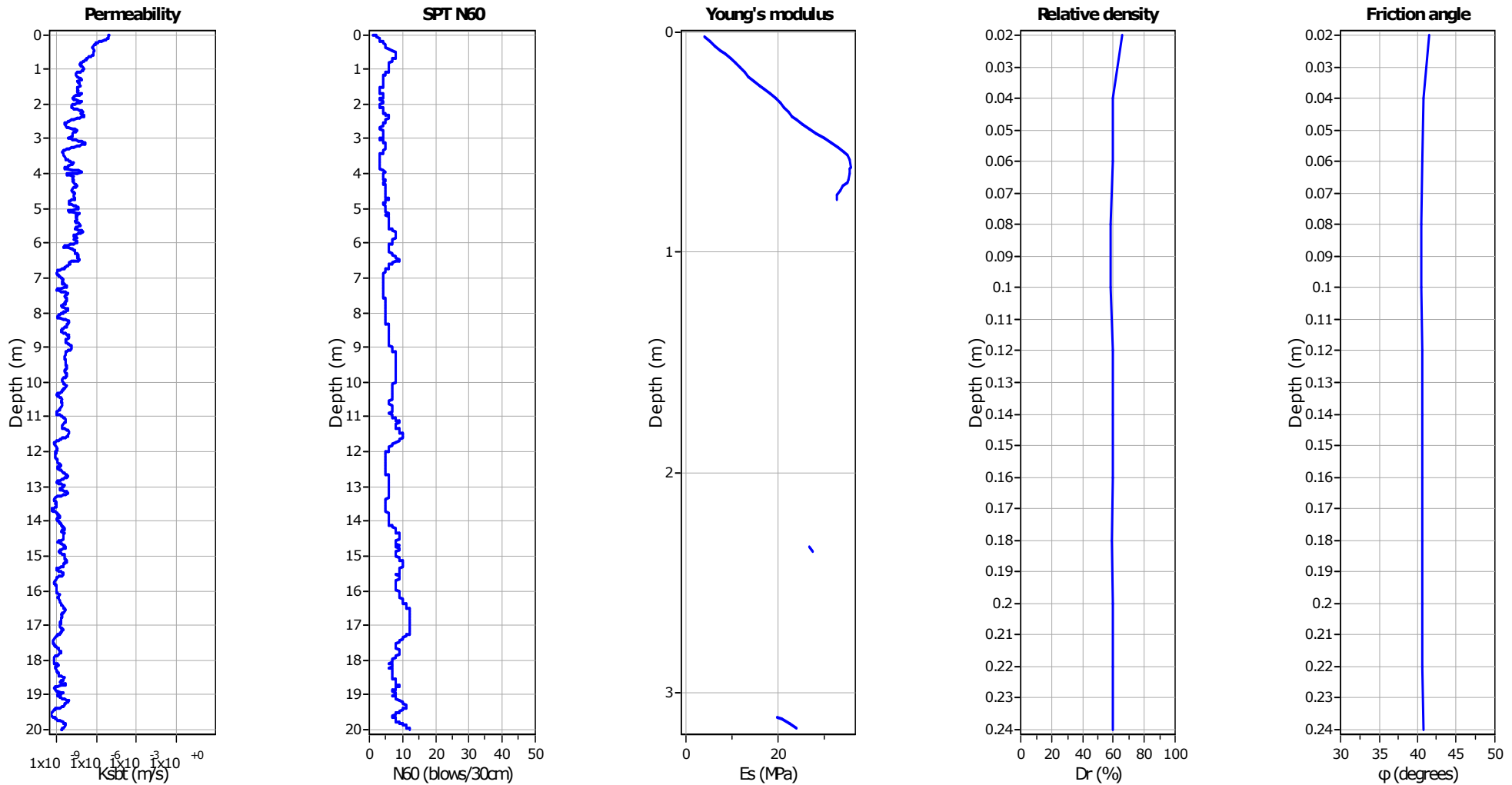
Via Per Modena 12  
Castelnuovo Rangone (MO)  
059/3967169

**Project: PUA**

**Location: Soliera (MO), via Boito**

**CPT: CPTU 2**

Total depth: 20.00 m, Date: 26/04/2019



**Calculation parameters**

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

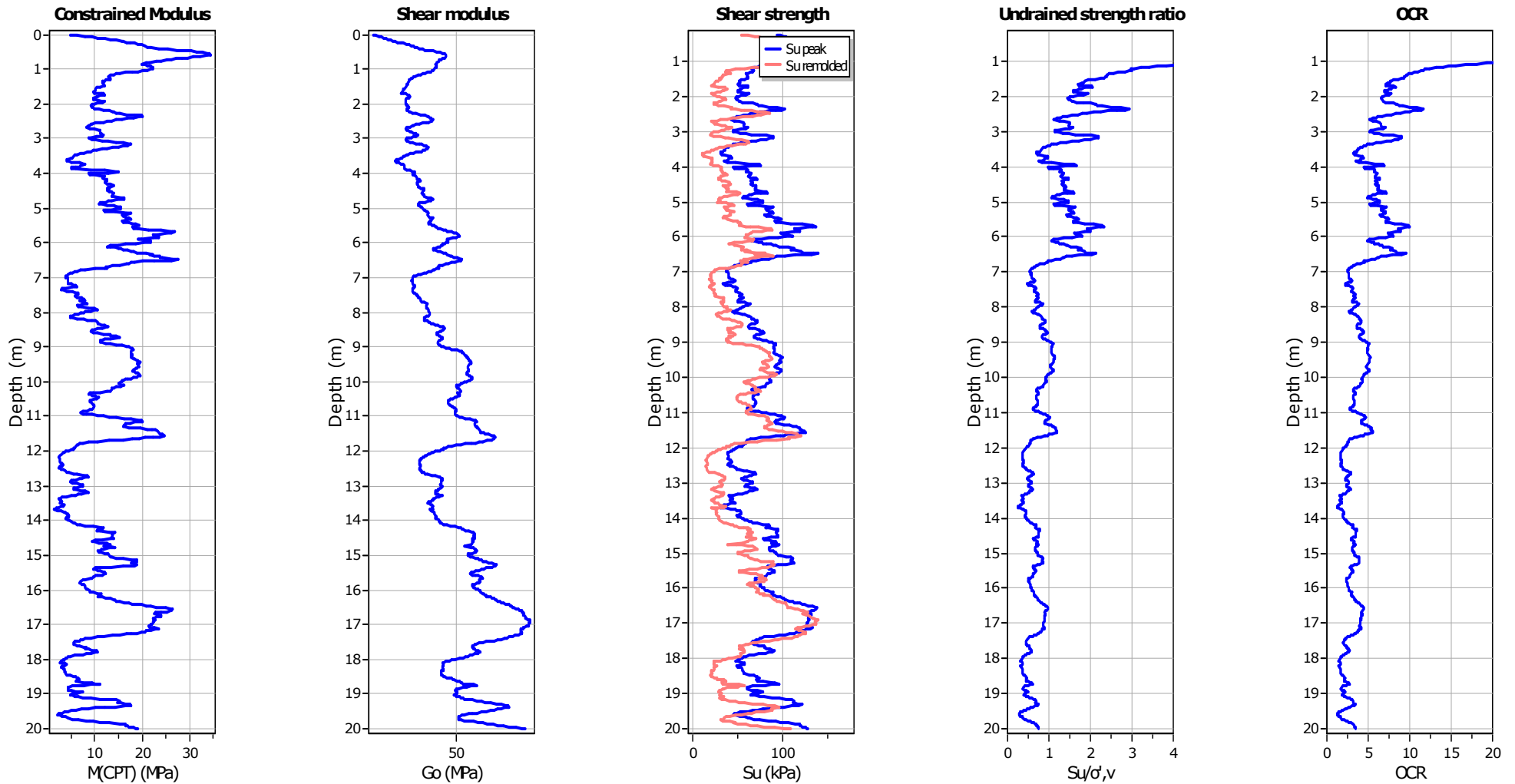
SPT N<sub>60</sub>: Based on I<sub>c</sub> and q<sub>t</sub>

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  $Q_{in}$  (Robertson, 2009)

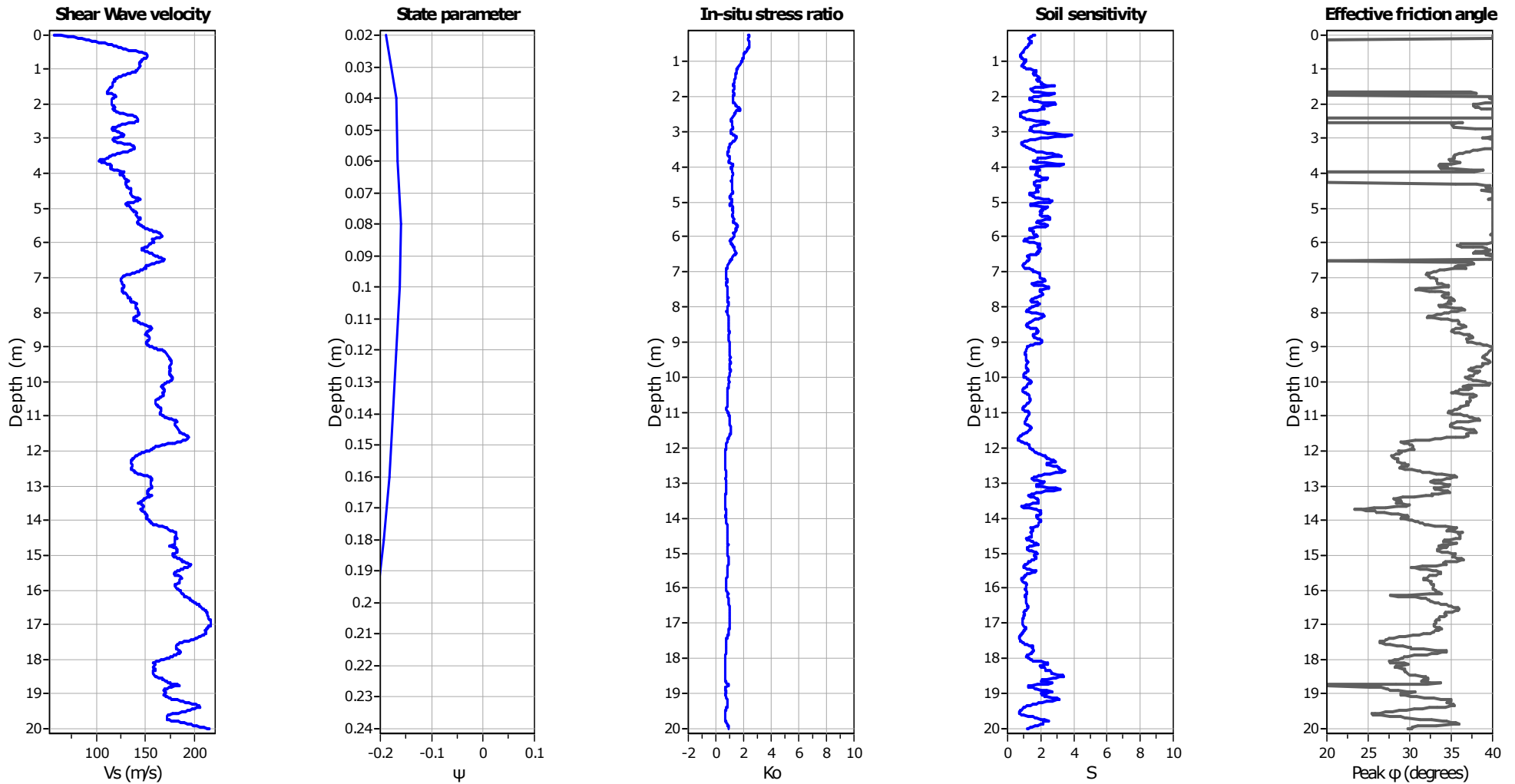
Go: Based on variable *alpha* using  $I_c$  (Robertson, 2009)

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

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

● User defined estimation data

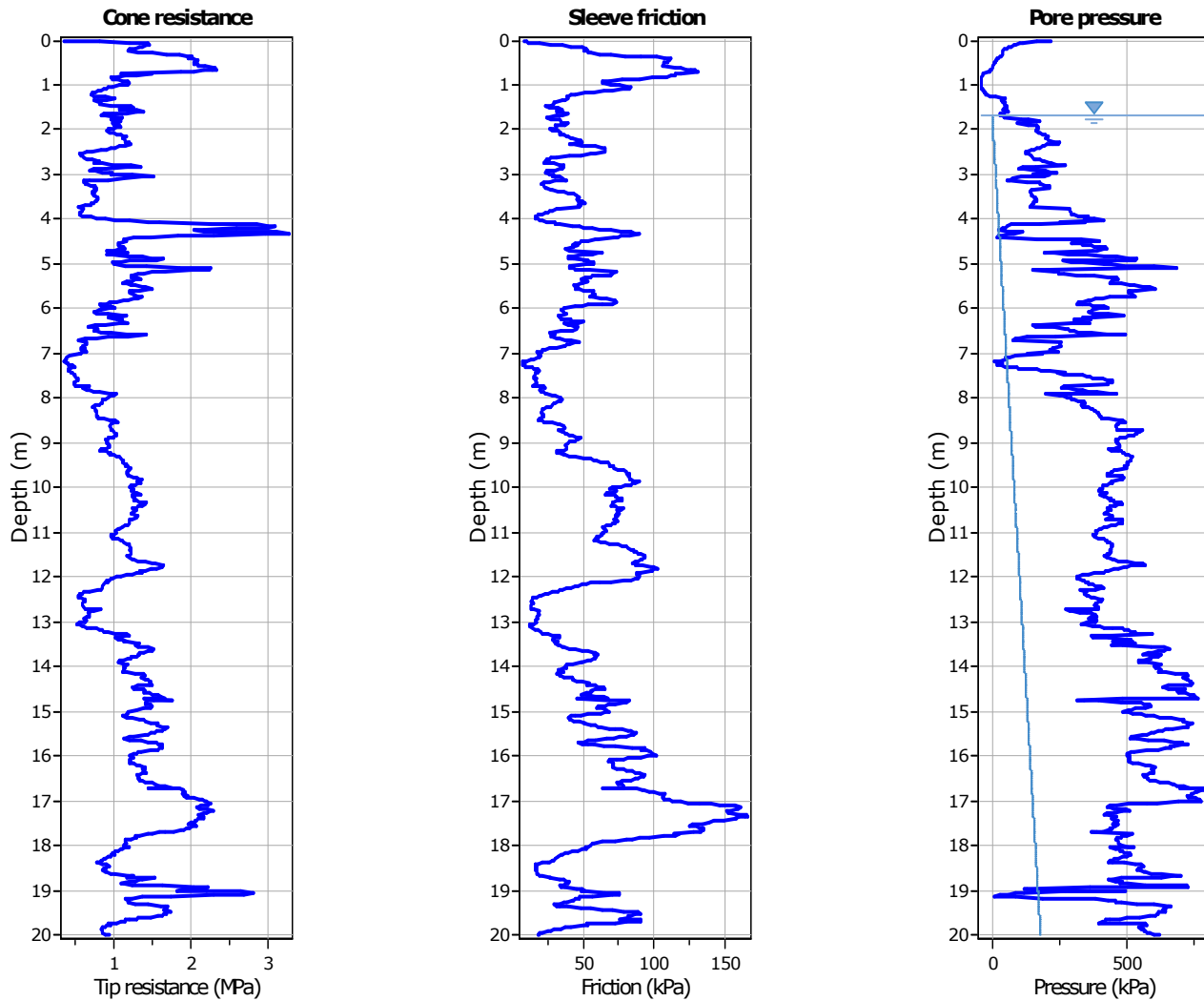
● Flat Dilatometer Test data



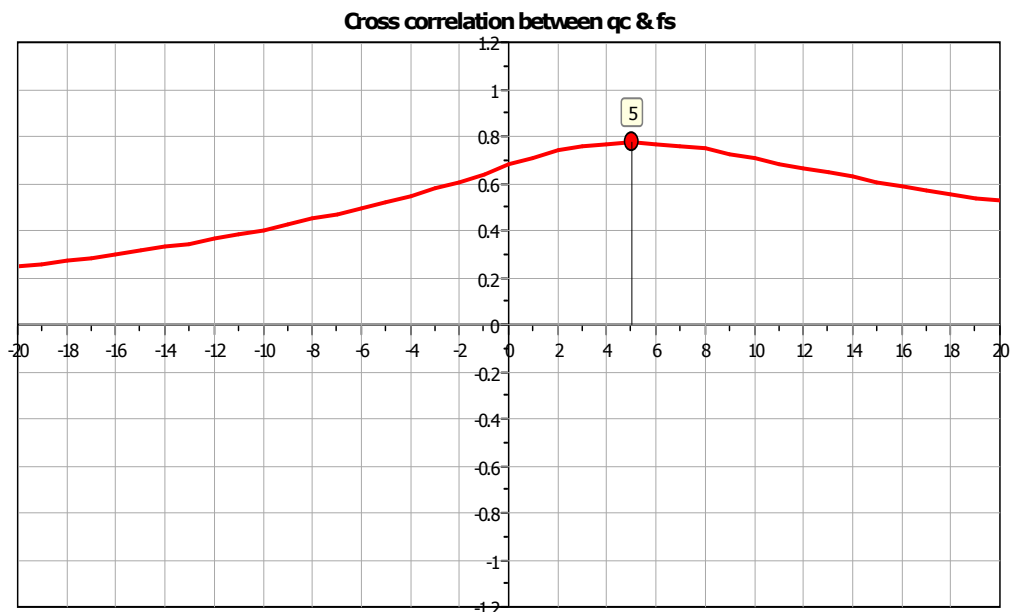
**Calculation parameters**

Soil Sensitivity factor,  $N_s$ : 7.00

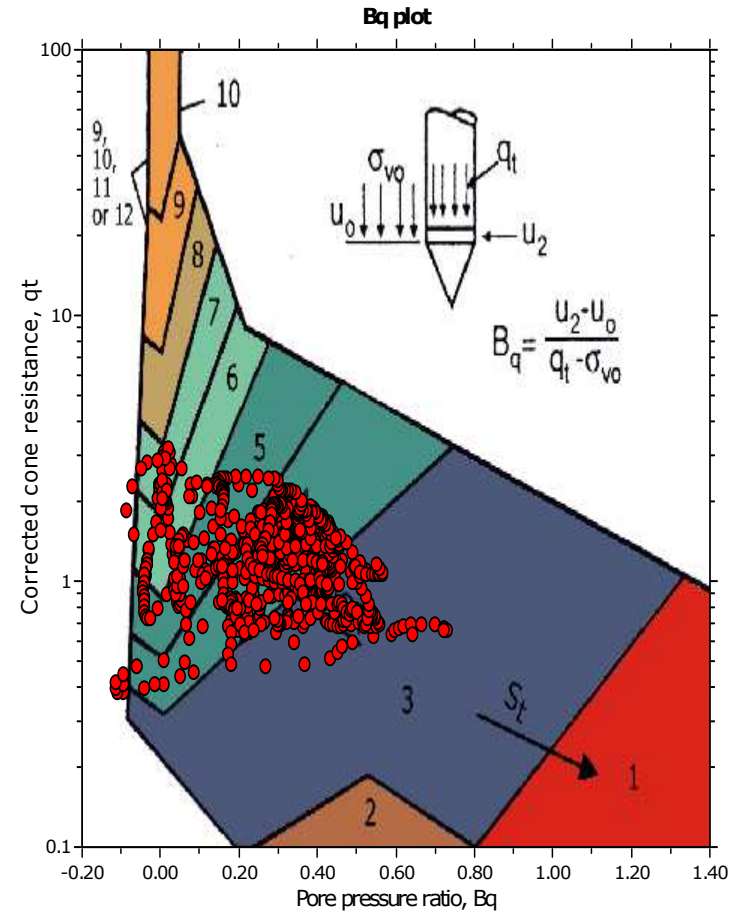
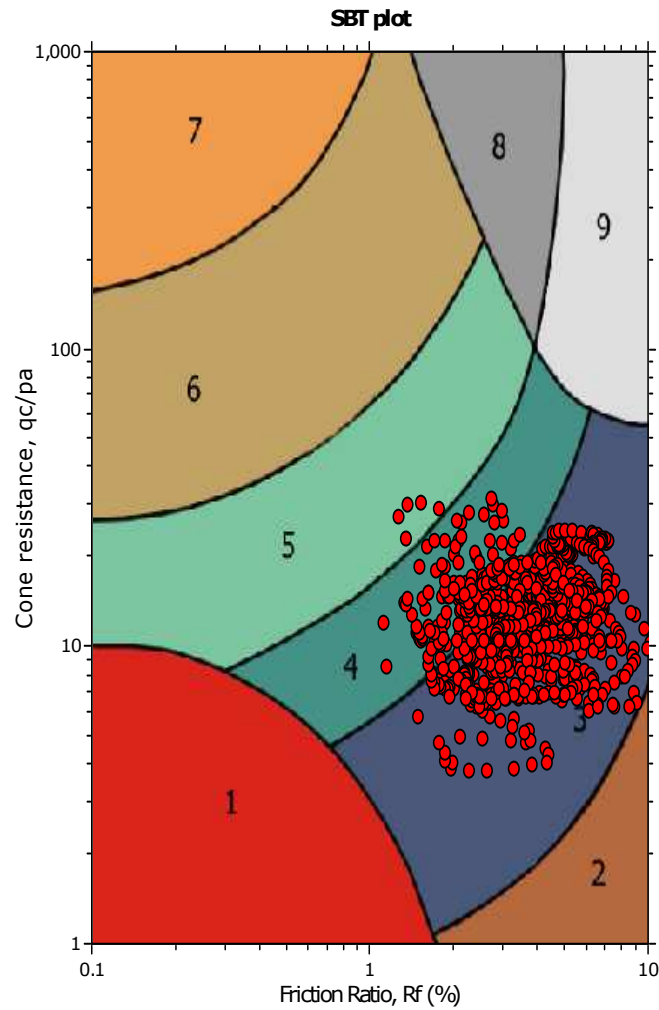
—●— User defined estimation data



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



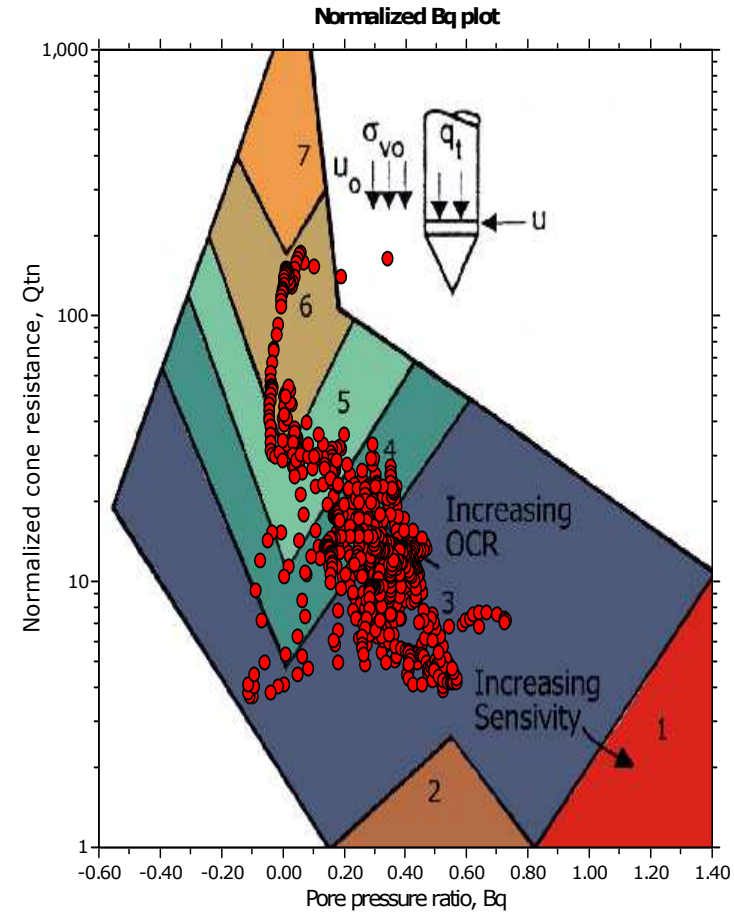
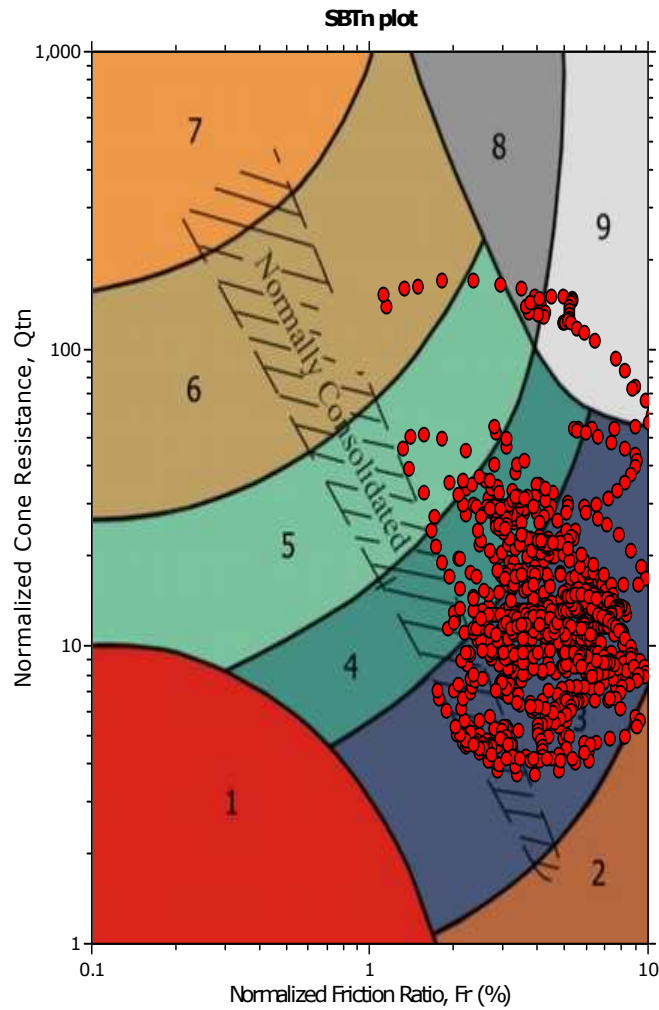
SBT - Bq plots



SBT legend

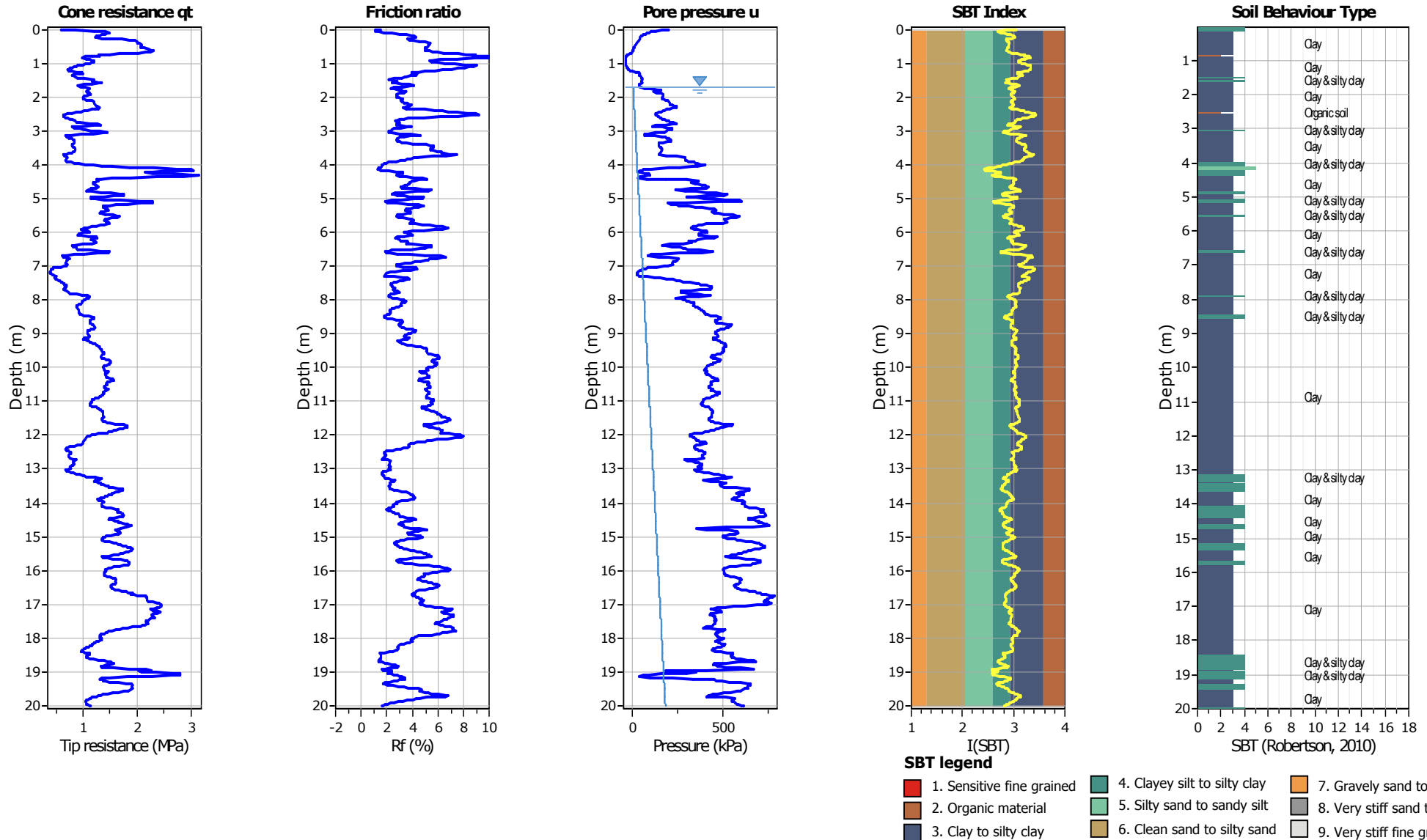
- |                           |                              |                                   |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty clay | 7. Gravely sand to sand           |
| 2. Organic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

**SBT - Bq plots (normalized)**

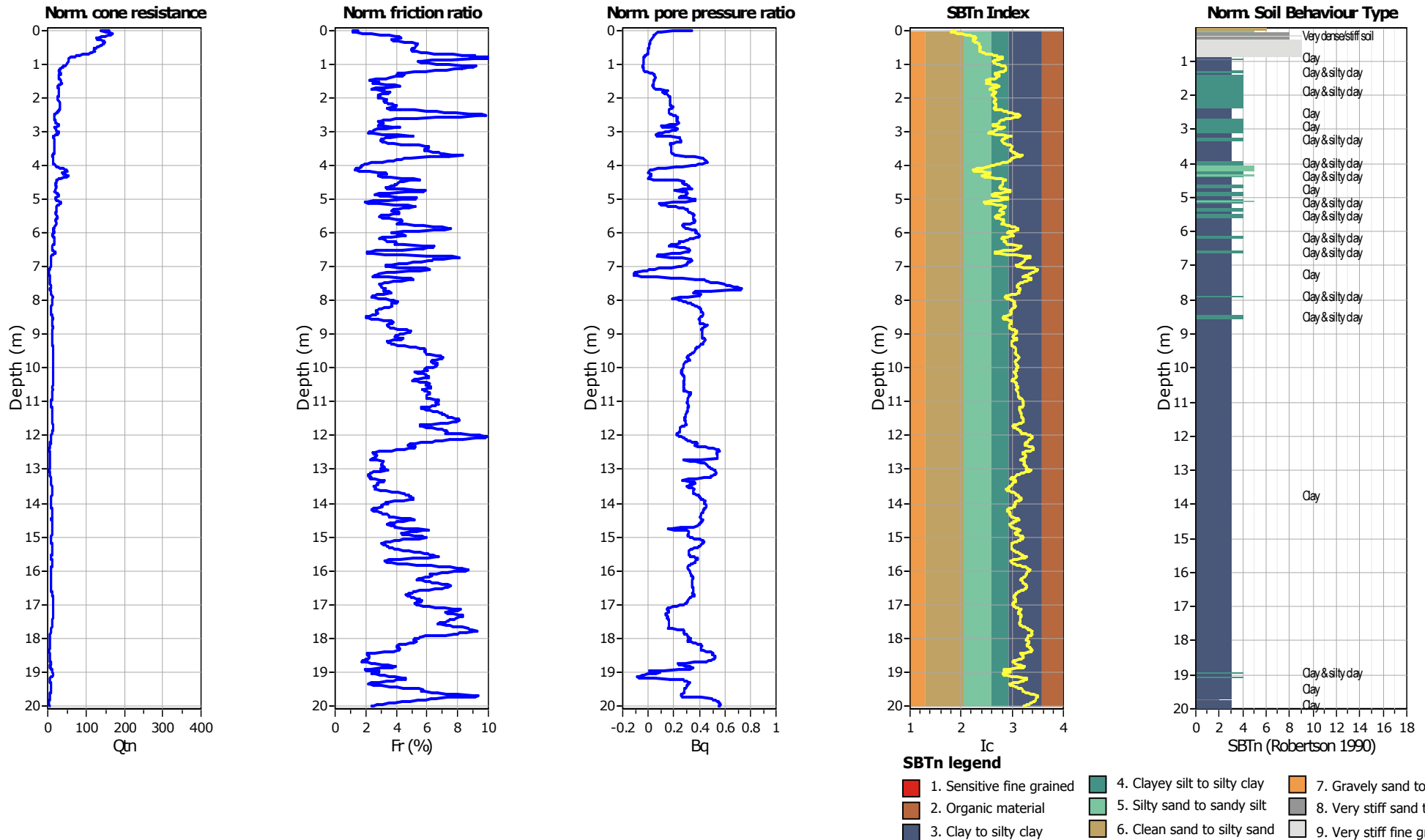


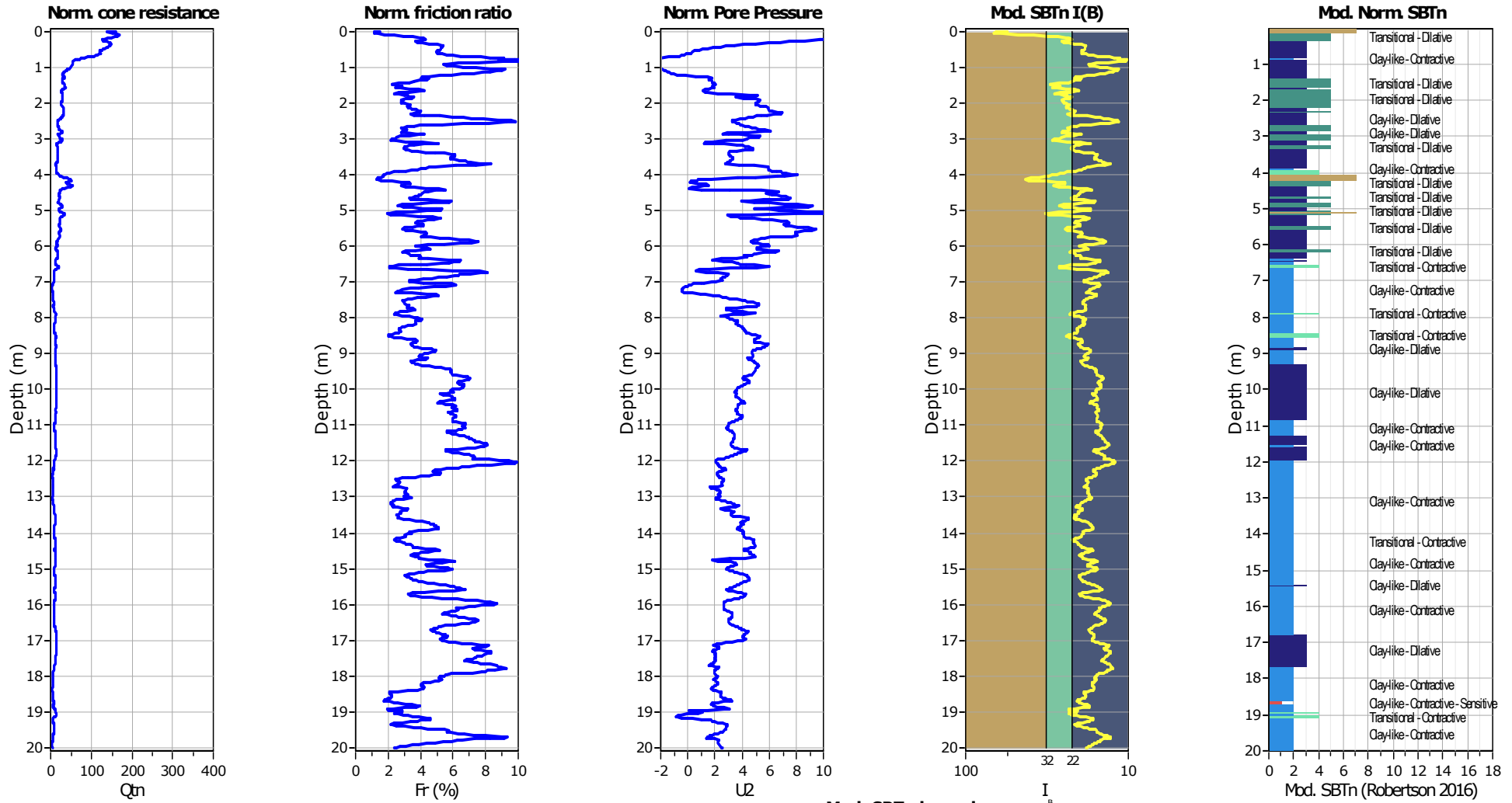
**SBTn legend**

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





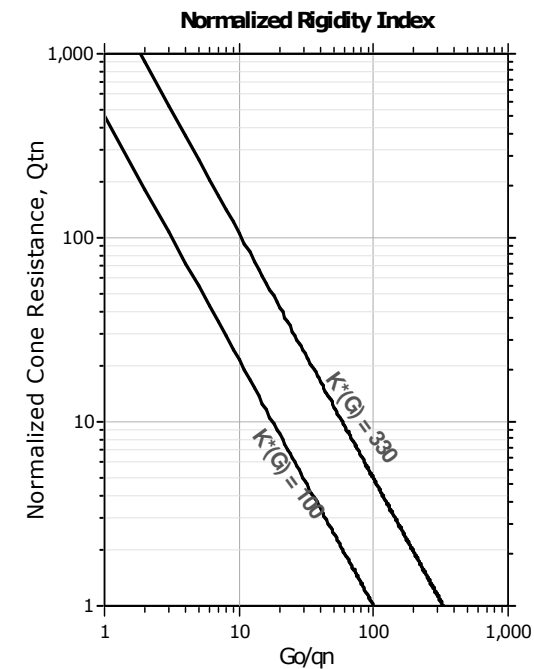
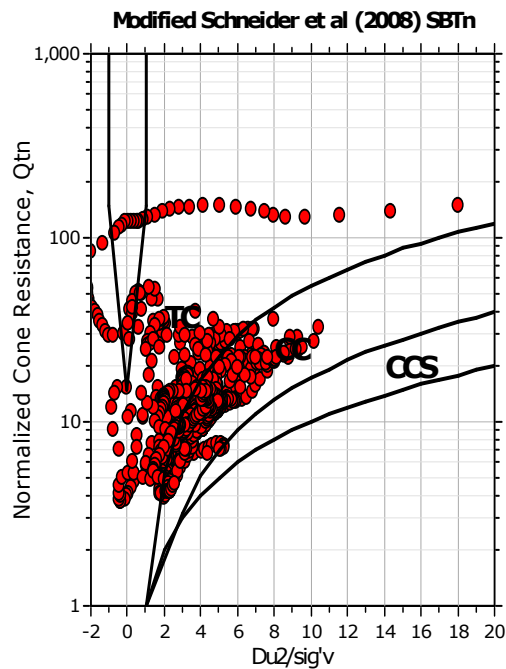
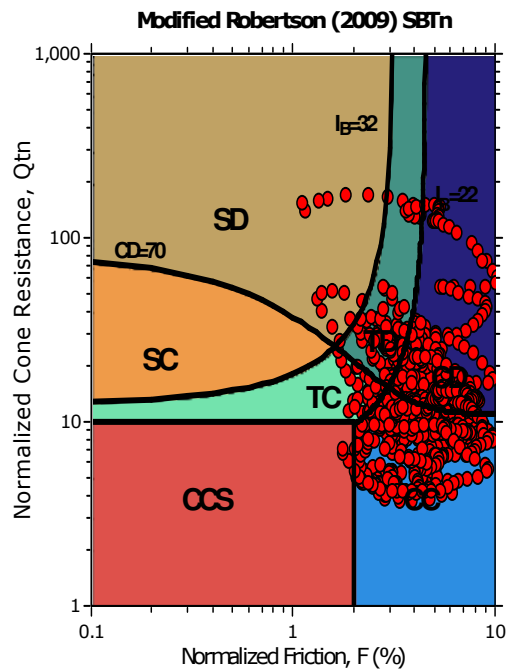




**Mod. SBTn legend**

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

Updated SBTn plots



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

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

**Geo Group Srl**

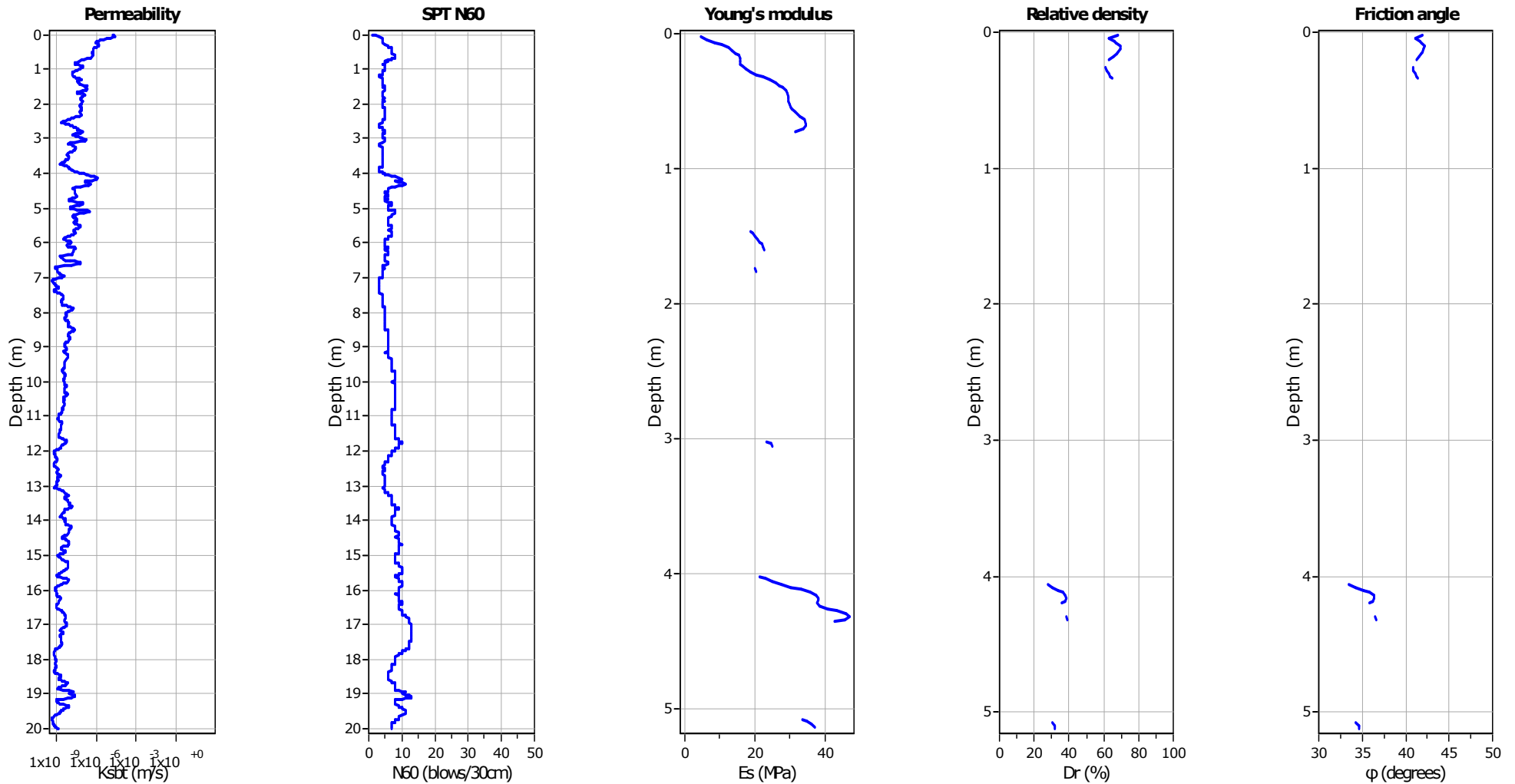
Via Per Modena 12  
Castelnuovo Rangone (MO)  
059/3967169

**Project: PUA**

**Location: Soliera (MO), via Boito**

**CPT: CPTU 3**

Total depth: 20.00 m, Date: 26/04/2019



**Calculation parameters**

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

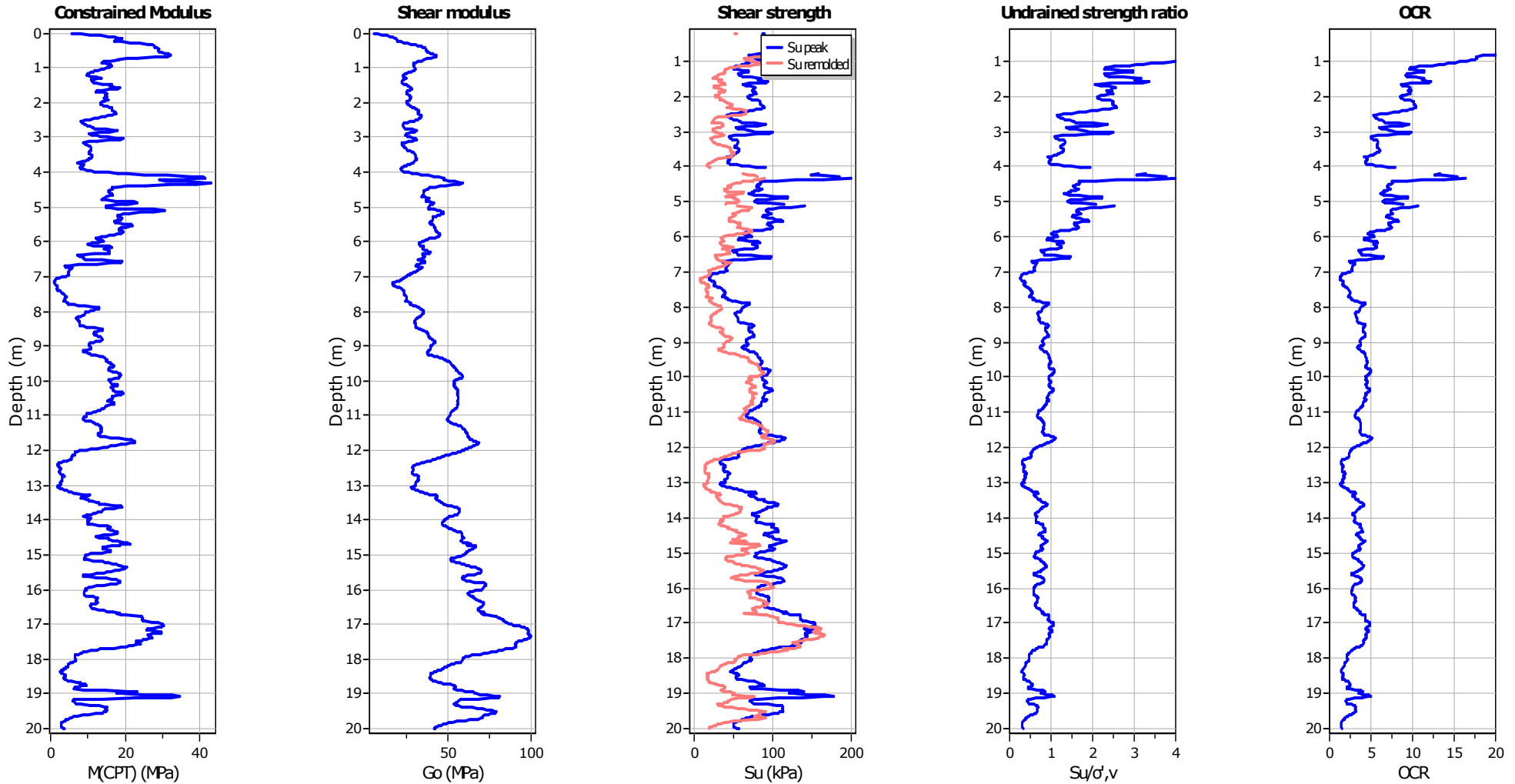
SPT N<sub>60</sub>: Based on I<sub>c</sub> and q<sub>t</sub>

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  $Q_{in}$  (Robertson, 2009)

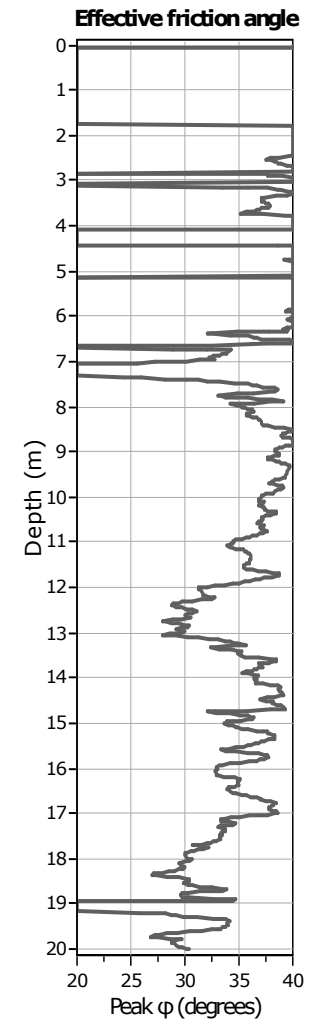
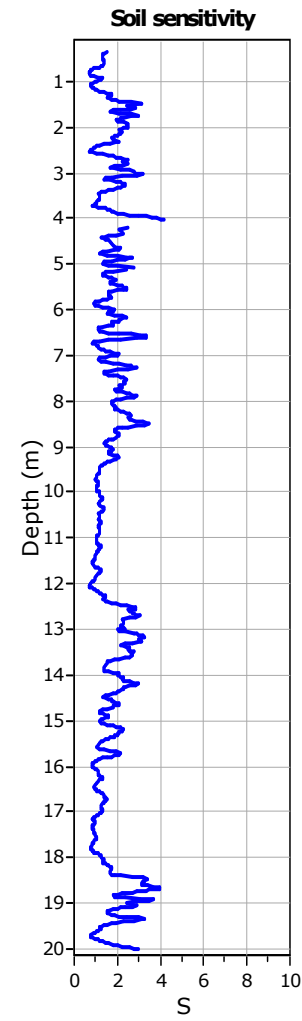
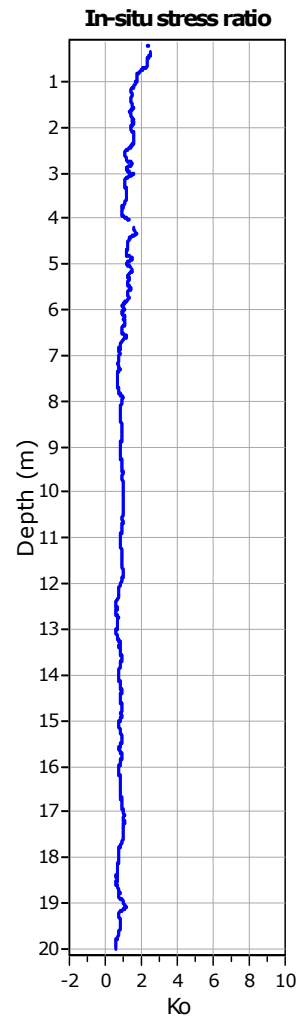
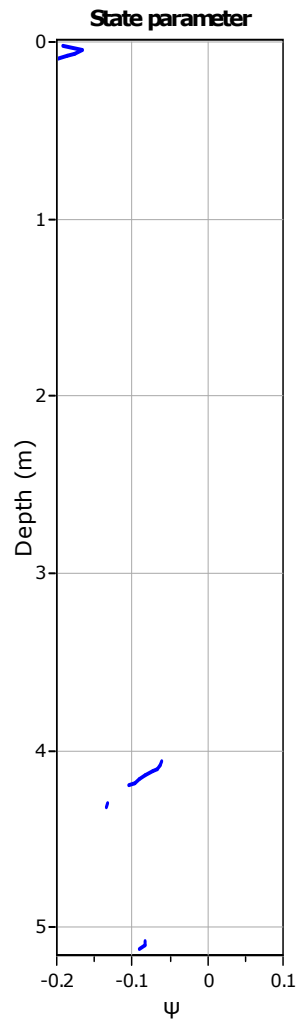
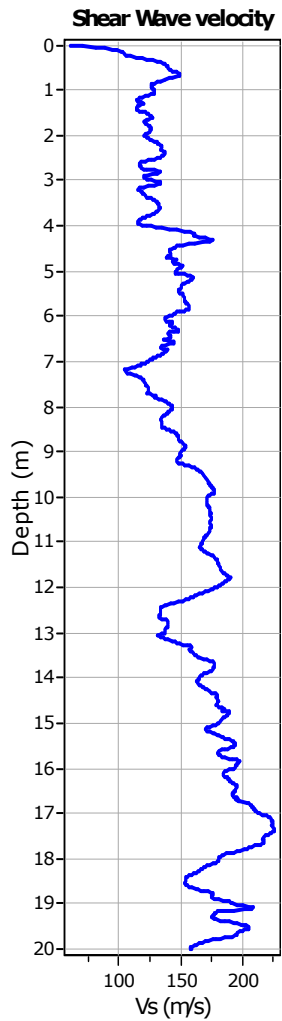
Go: Based on variable *alpha* using  $I_c$  (Robertson, 2009)

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

**Geo Group Srl**

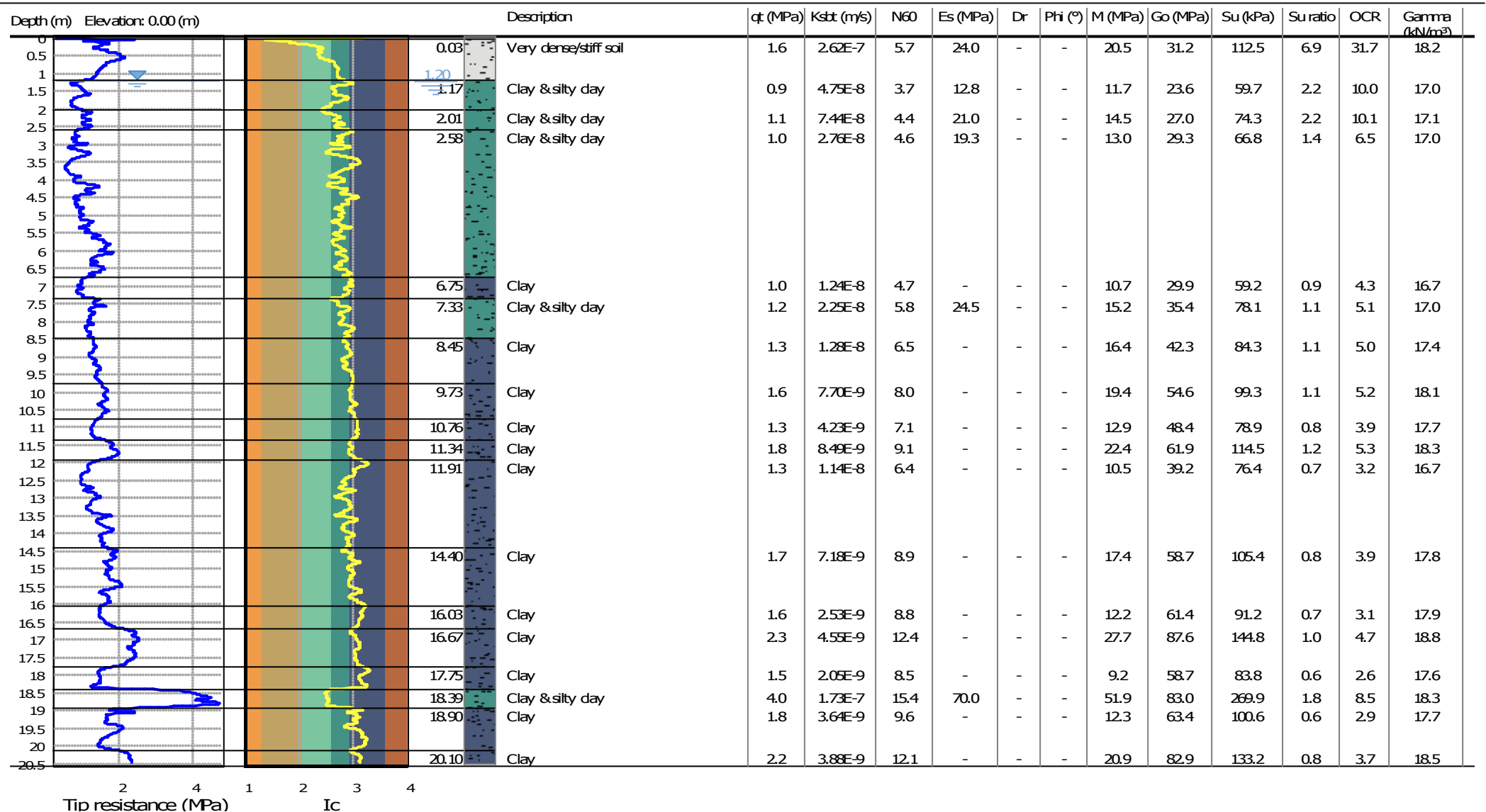
Via Per Modena 12  
Castelnuovo Rangone (MO)  
059/3967169

**Project: PUA**

**Location: Soliera (MO), via Boito**

**CPT: CPTU 1**

Total depth: 20.47 m, Date: 23/04/2019



**Geo Group Srl**

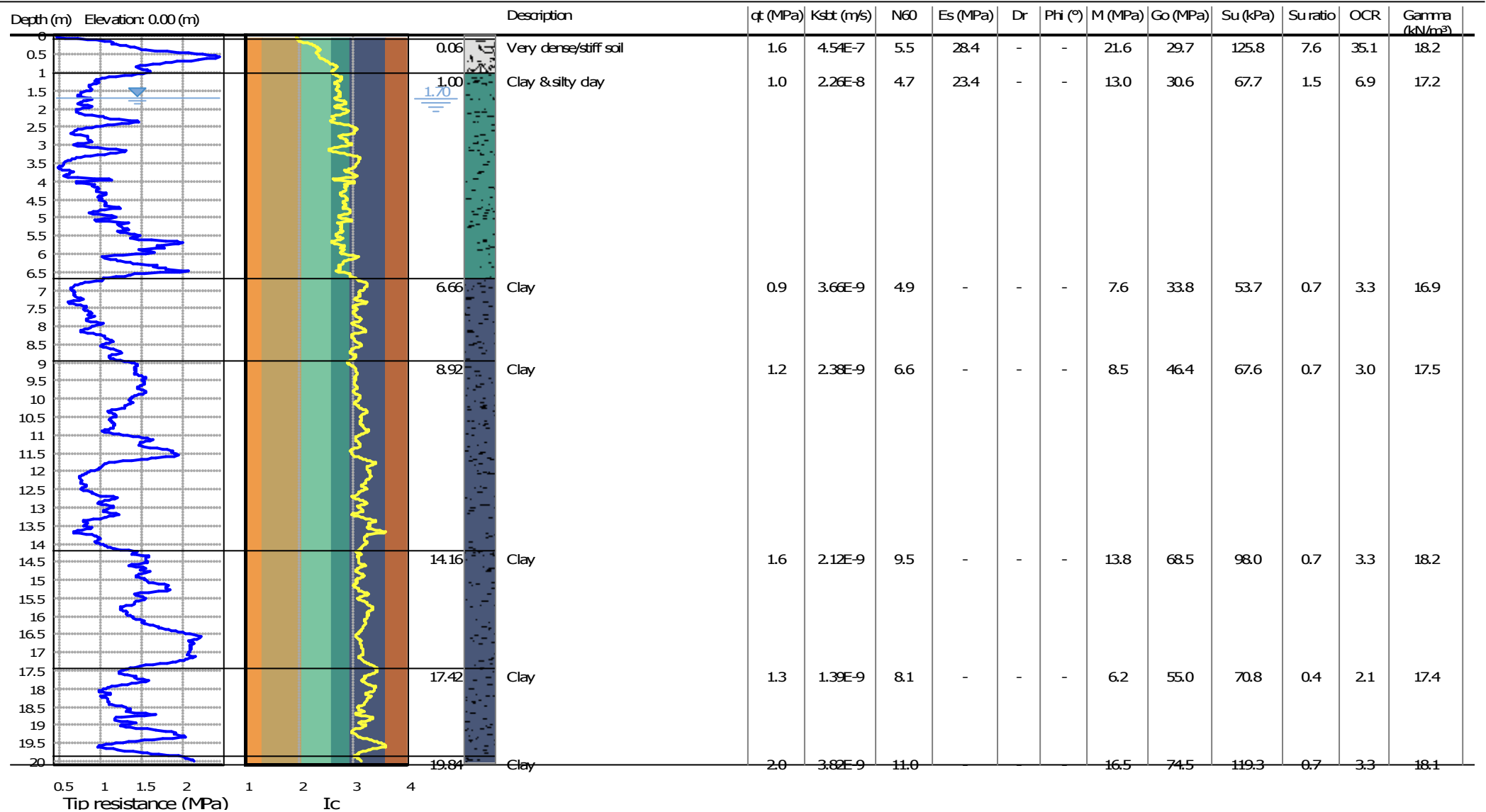
Via Per Modena 12  
Castelnuovo Rangone (MO)  
059/3967169

**Project: PUA**

**Location: Soliera (MO), via Boito**

**CPT: CPTU 2**

Total depth: 20.00 m, Date: 26/04/2019





**Geo Group Srl**

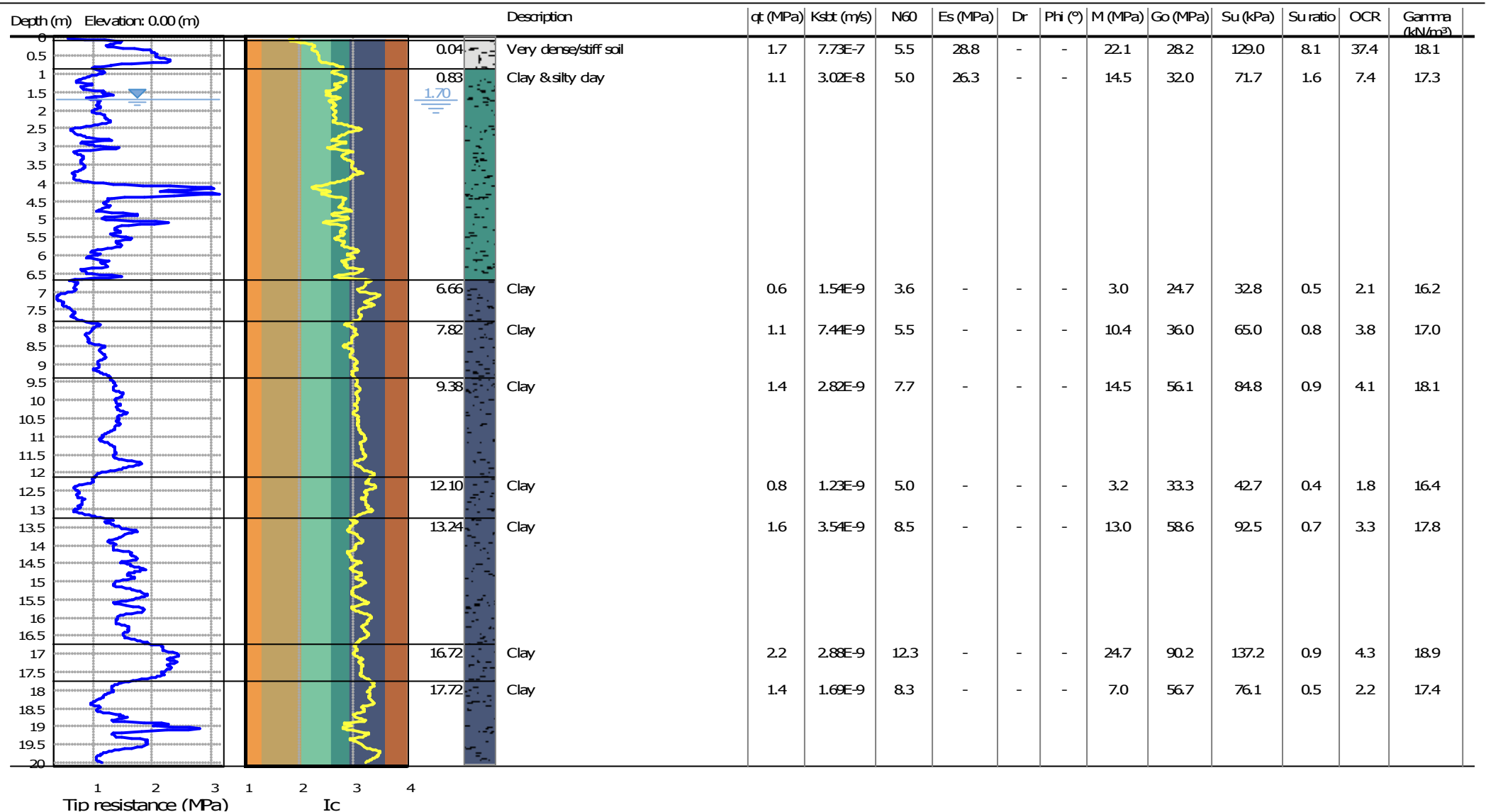
Via Per Modena 12  
Castelnuovo Rangone (MO)  
059/3967169

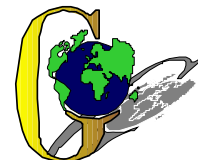
**Project: PUA**

**Location: Soliera (MO), via Boito**

**CPT: CPTU 3**

Total depth: 20.00 m, Date: 26/04/2019





## ALLEGATO 2

### INDAGINI SISMICHE



G E O G R O U P s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41123 Modena Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-59.60.176 - p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: info@geogroupmodena.it

**Località:** Soliera (MO), via Boito

**Lavoro:** PUA

---

## Acquisizione HVSR

Instrument: EXT- GEMINI 3D L

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: n.a.

Start recording: 19/04/19 09:08:08                      End recording: 19/04/19 09:28:08

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

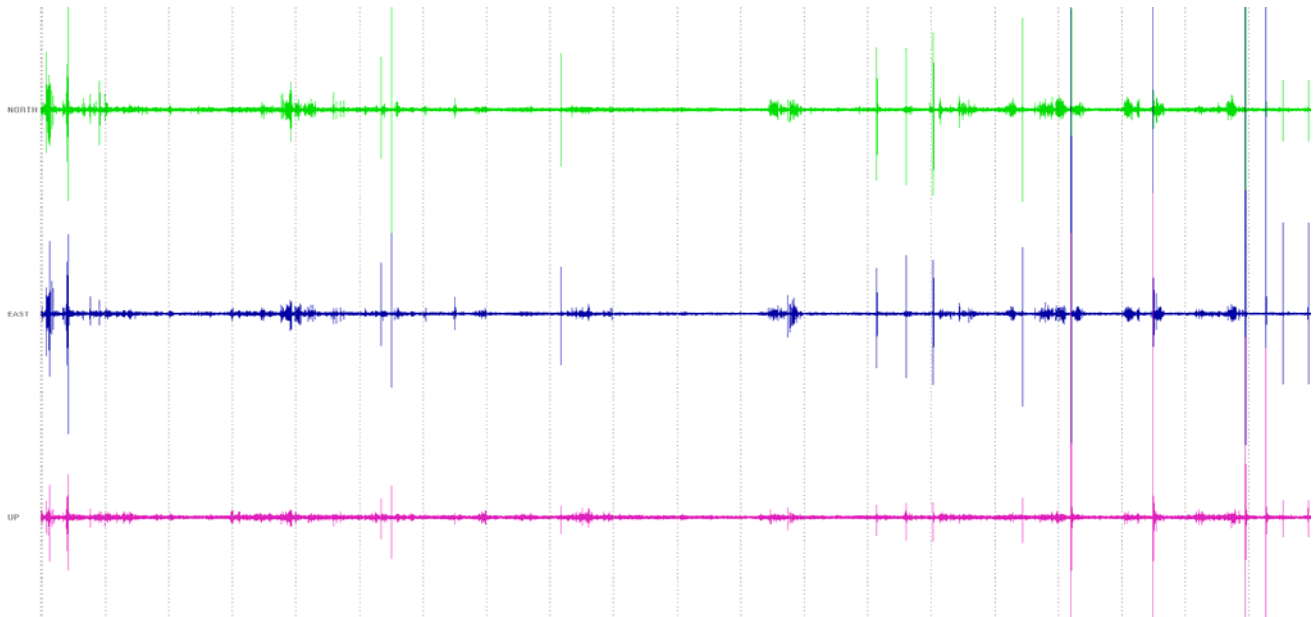
Trace length: 0h20'00".                      Analyzed 78% trace (manual window selection)

Sampling rate: 200 Hz

Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

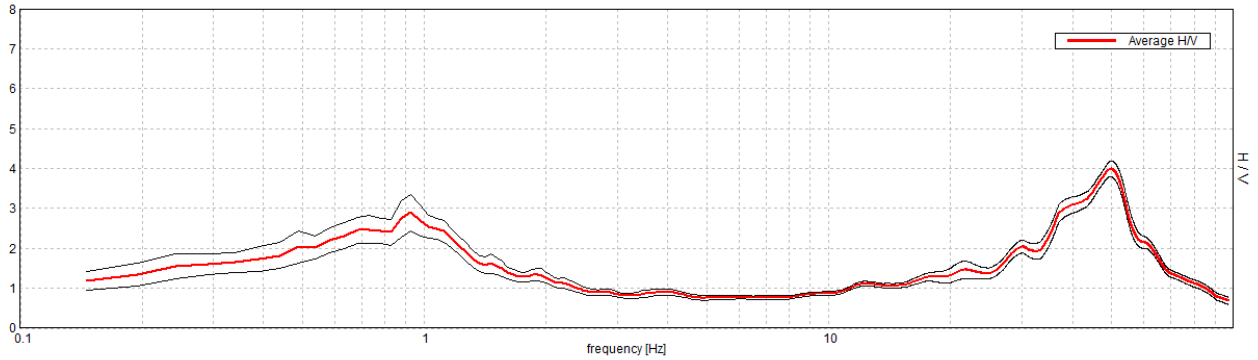
Smoothing: 10%



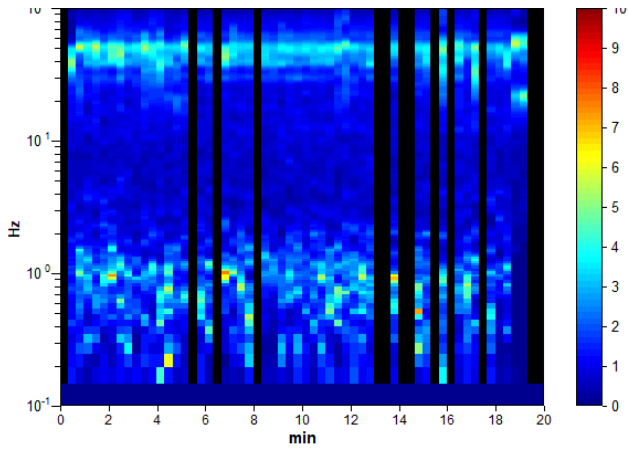


### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

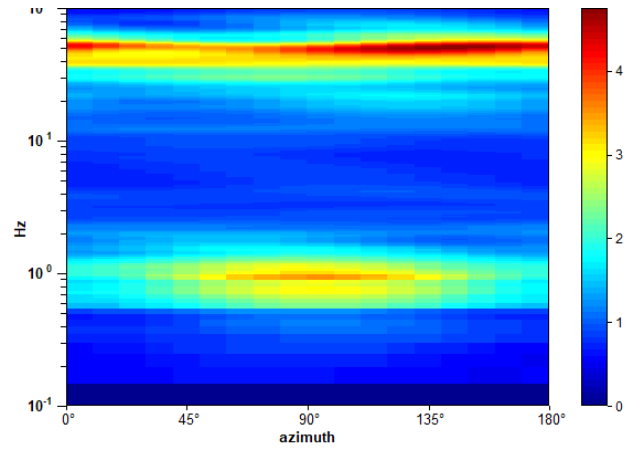
Max. H/V at  $0.93 \pm 4.24$  Hz (in the range 0.0 - 30.0 Hz).



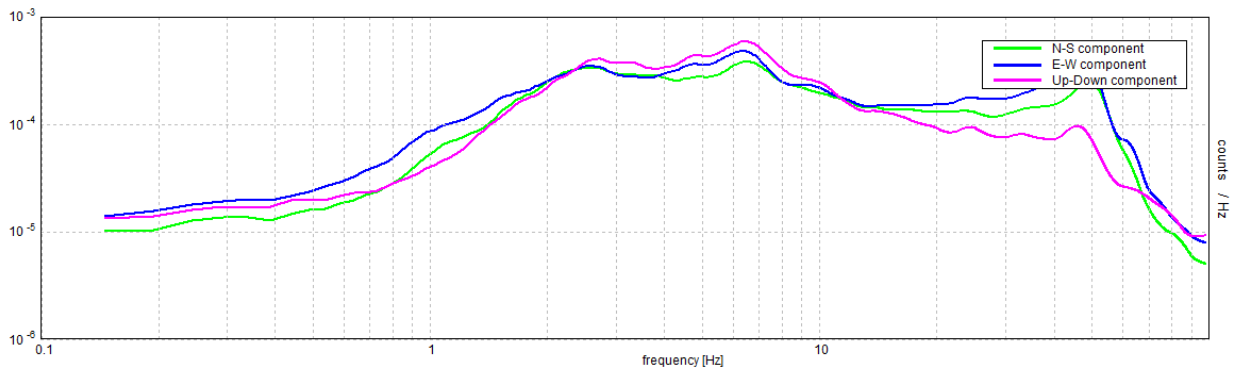
### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA





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

**Max. H/V at  $0.93 \pm 4.24$  Hz (in the range 0.0 - 30.0 Hz).**

<b>Criteria for a reliable H/V curve</b>			
[All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	$0.93 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$872.1 > 200$	<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 30 times	<b>OK</b>	
<b>Criteria for a clear H/V peak</b>			
[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 $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	$1.611$ Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$2.89 > 2$	<b>OK</b>	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 4.56796  < 0.05$		<b>NO</b>
$\sigma_f < \sigma(f_0)$	$4.23785 < 0.13916$		<b>NO</b>
$\sigma_A(f_0) < \sigma(f_0)$	$0.4658 < 2.0$	<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
$\sigma(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \sigma(f_0)$
$A_0$	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
$\sigma(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \sigma(f_0)$

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
$\sigma(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\sigma(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \sigma(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



G E O G R O U P s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 - 41123 Modena Sede operativa: via per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-59.60.176 - p.IVA e C.F. 02981500362 - [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: info@geogroupmodena.it

---

## Acquisizione MASW

Start recording: 19/04/19 09:52:21

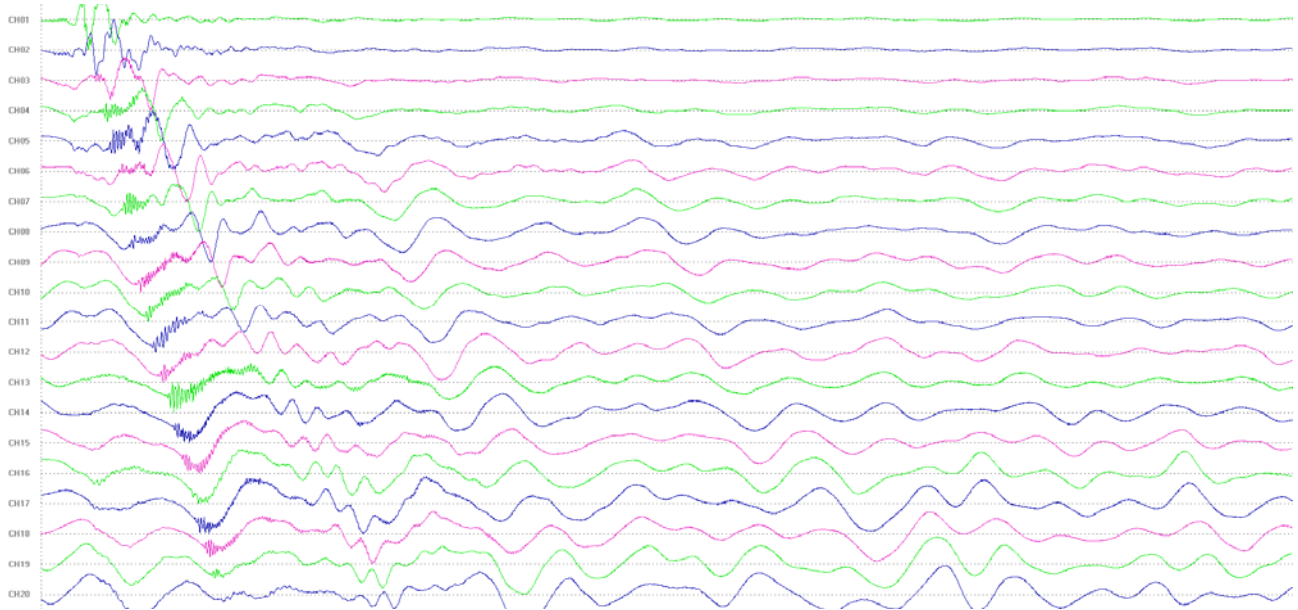
End recording: 19/04/19 09:52:23

Trace length: 0h00'02".

Analyzed 78% trace (manual window selection)

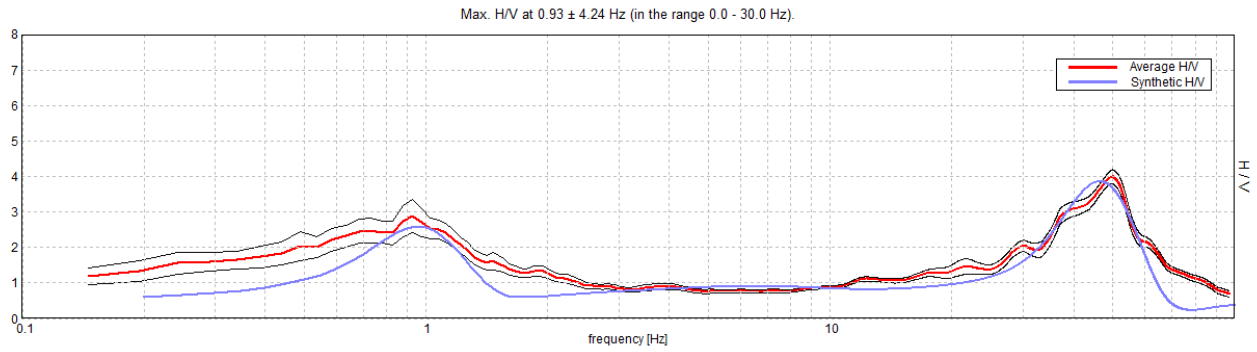
Sampling rate: 4000 Hz

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 38.0 m.

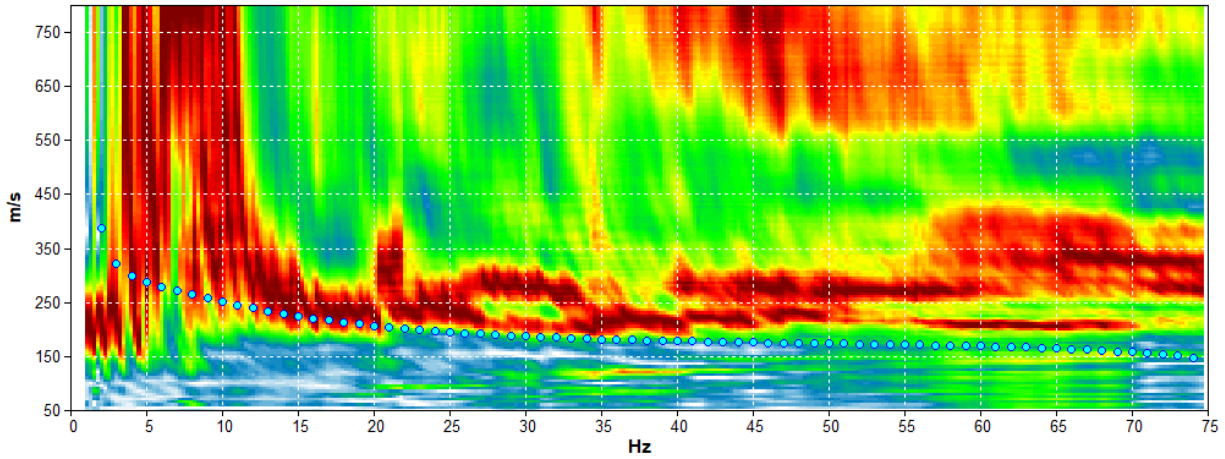




EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

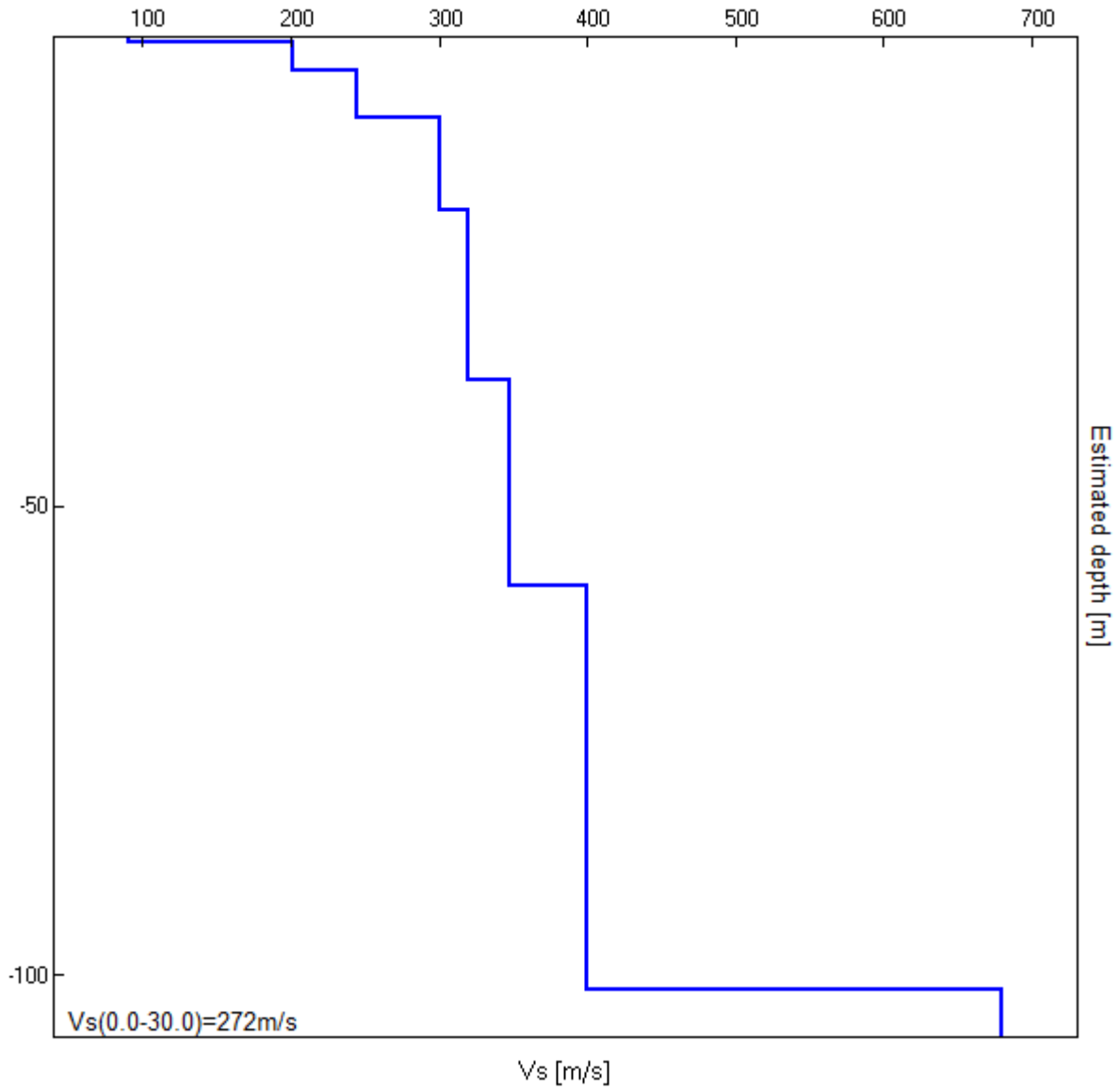


MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE

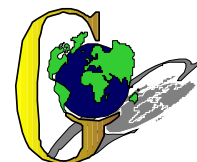


Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.50	0.50	90	0.45
3.50	3.00	201	0.42
8.50	5.00	245	0.40
18.50	10.00	300	0.40
36.50	18.00	320	0.40
58.50	22.00	348	0.40
101.50	43.00	400	0.38
inf.	inf.	680	0.38

**Vs(0.0-30.0)=272 m/s**







## ALLEGATO 3

### VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

**LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT**

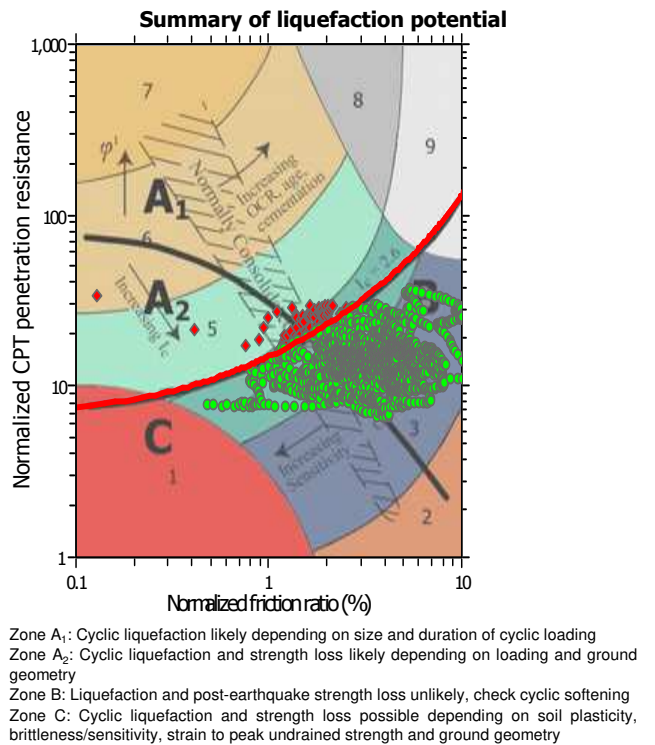
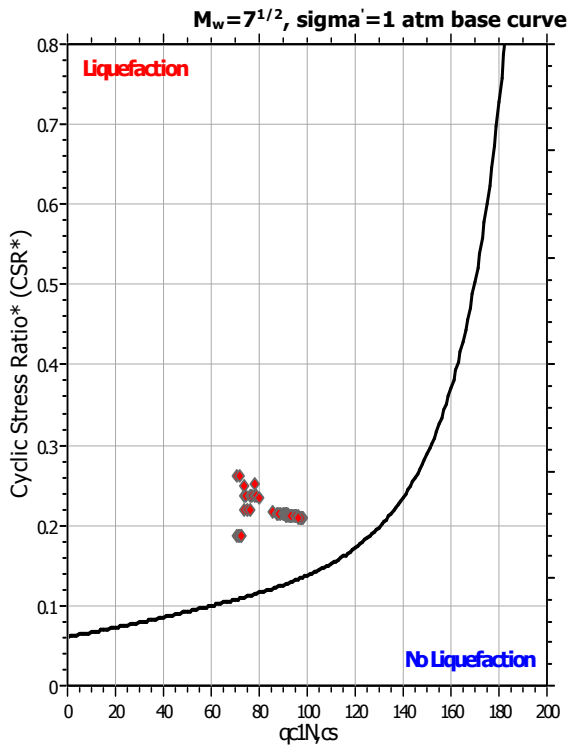
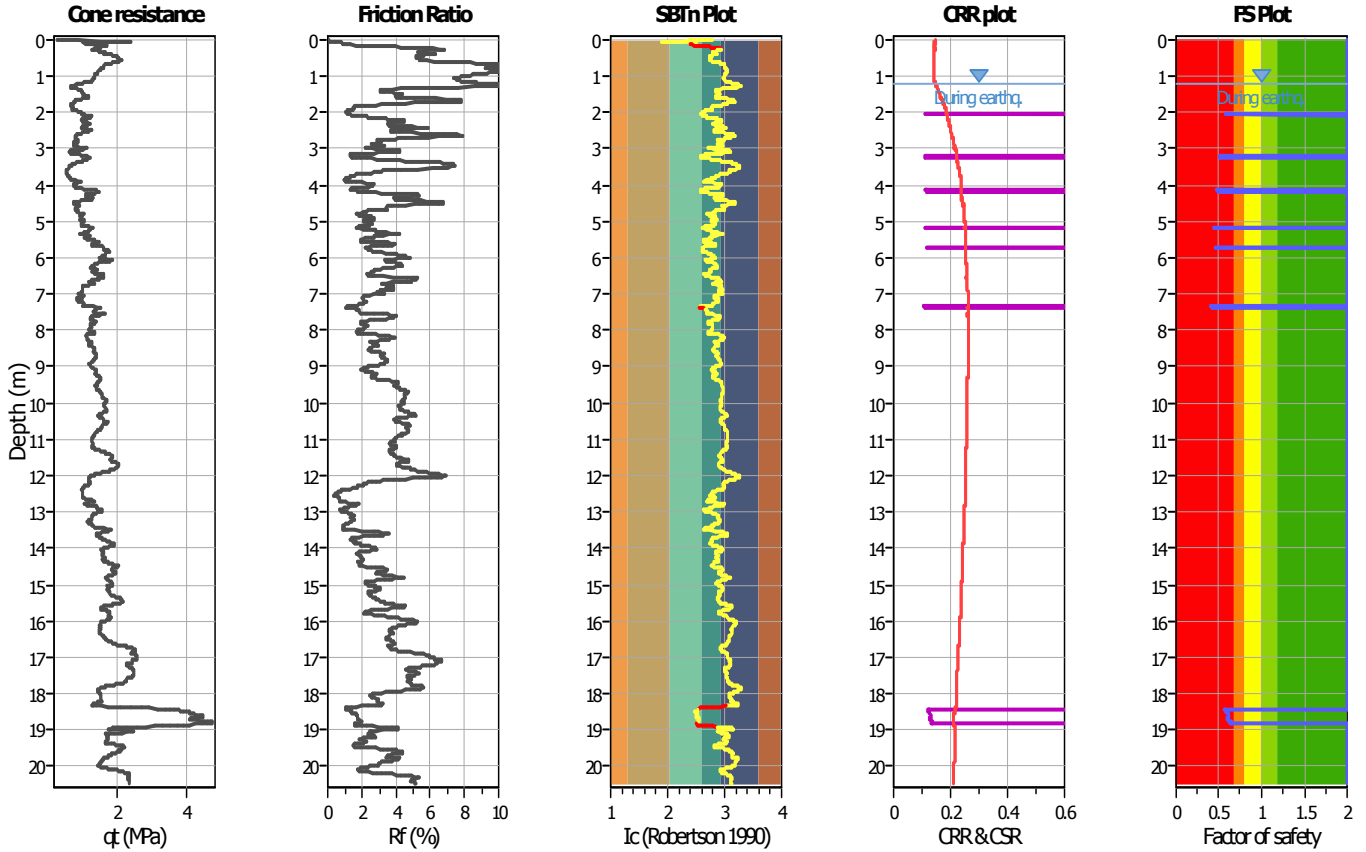
**Project title : PUA**

**Location : Soliera (MO), via Boito**

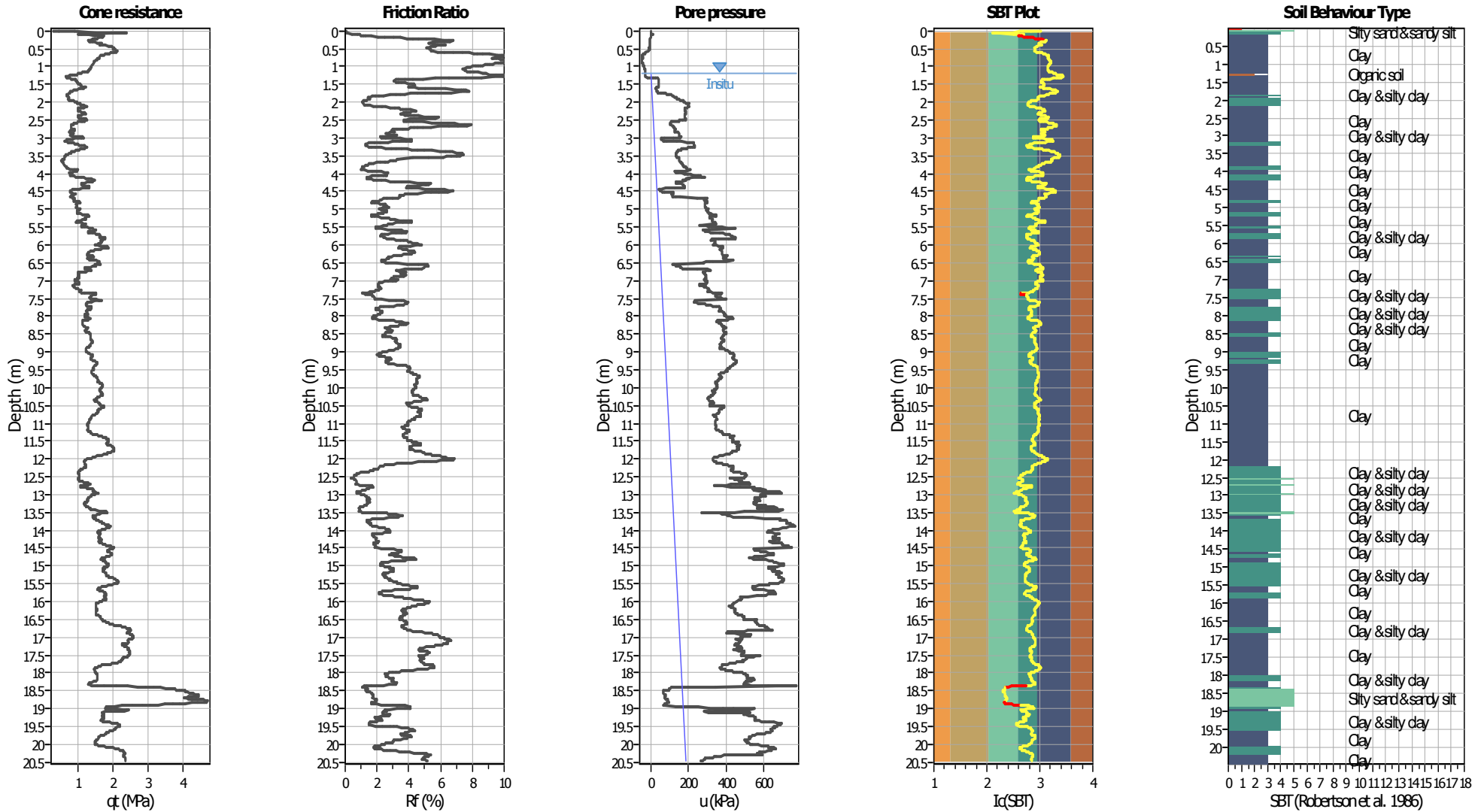
**CPT file : CPTU 1**

**Input parameters and analysis data**

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	1.20 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	1.20 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth:	20.00 m
Earthquake magnitude $M_w$ :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	MSF method:	Method
Peak ground acceleration:	0.27	Unit weight calculation:	Based on SBT	$K_\sigma$ applied:	Yes		



### CPT basic interpretation plots



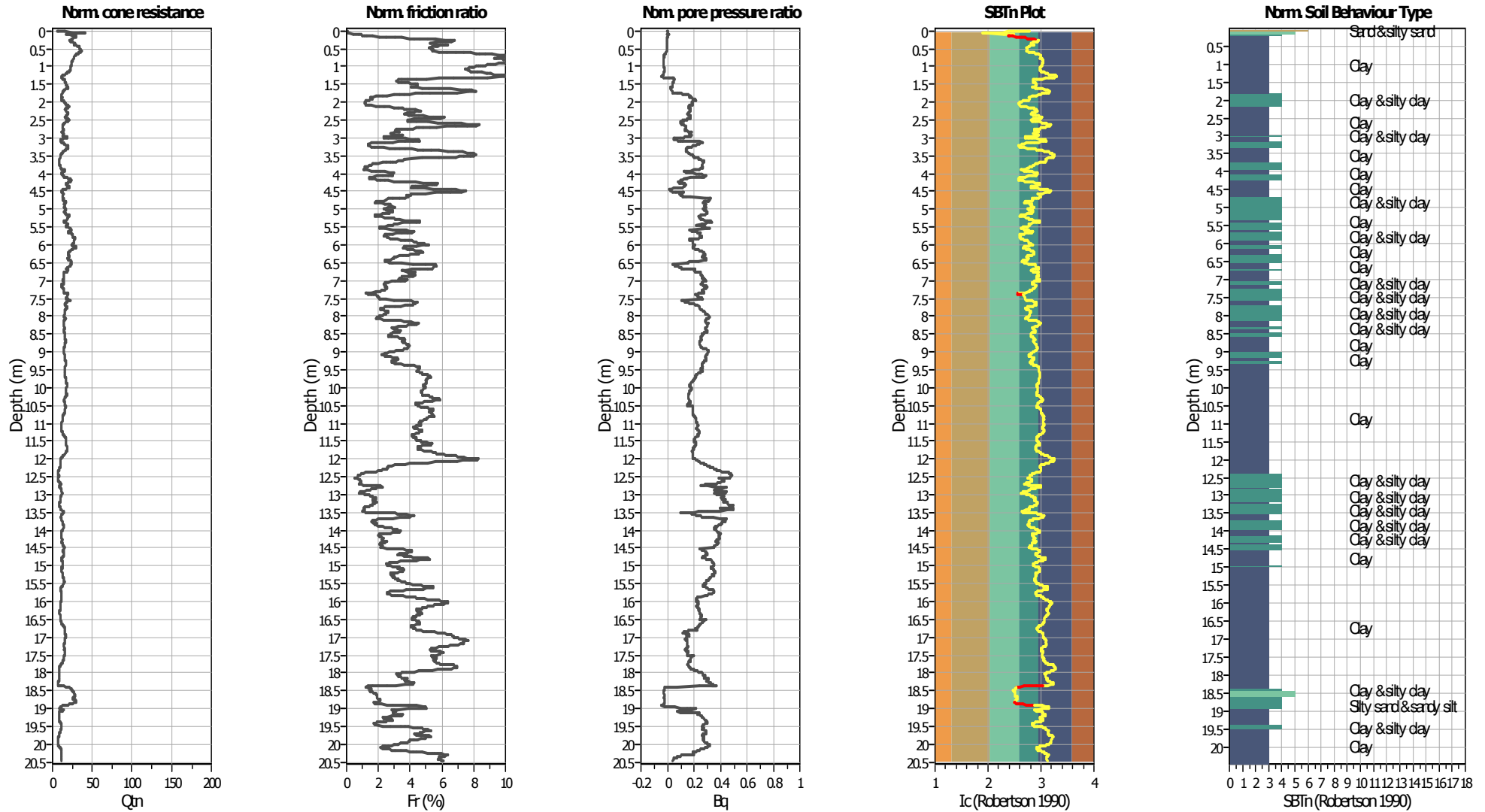
#### Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.20 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:	Yes
Depth to water table (insitu):	1.20 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

#### 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)



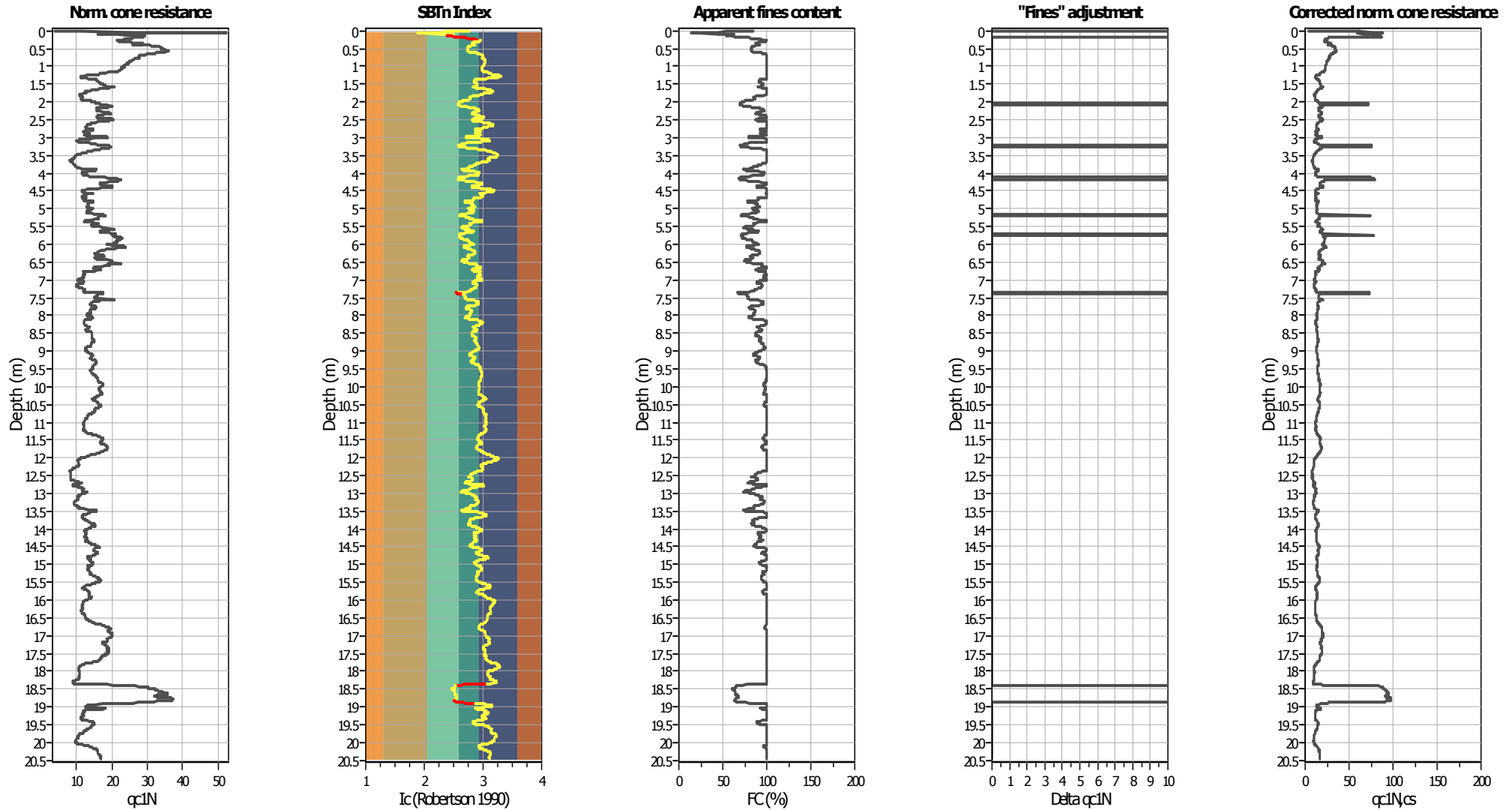
#### Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.20 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>0</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:	Yes
Depth to water table (insitu):	1.20 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

#### 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

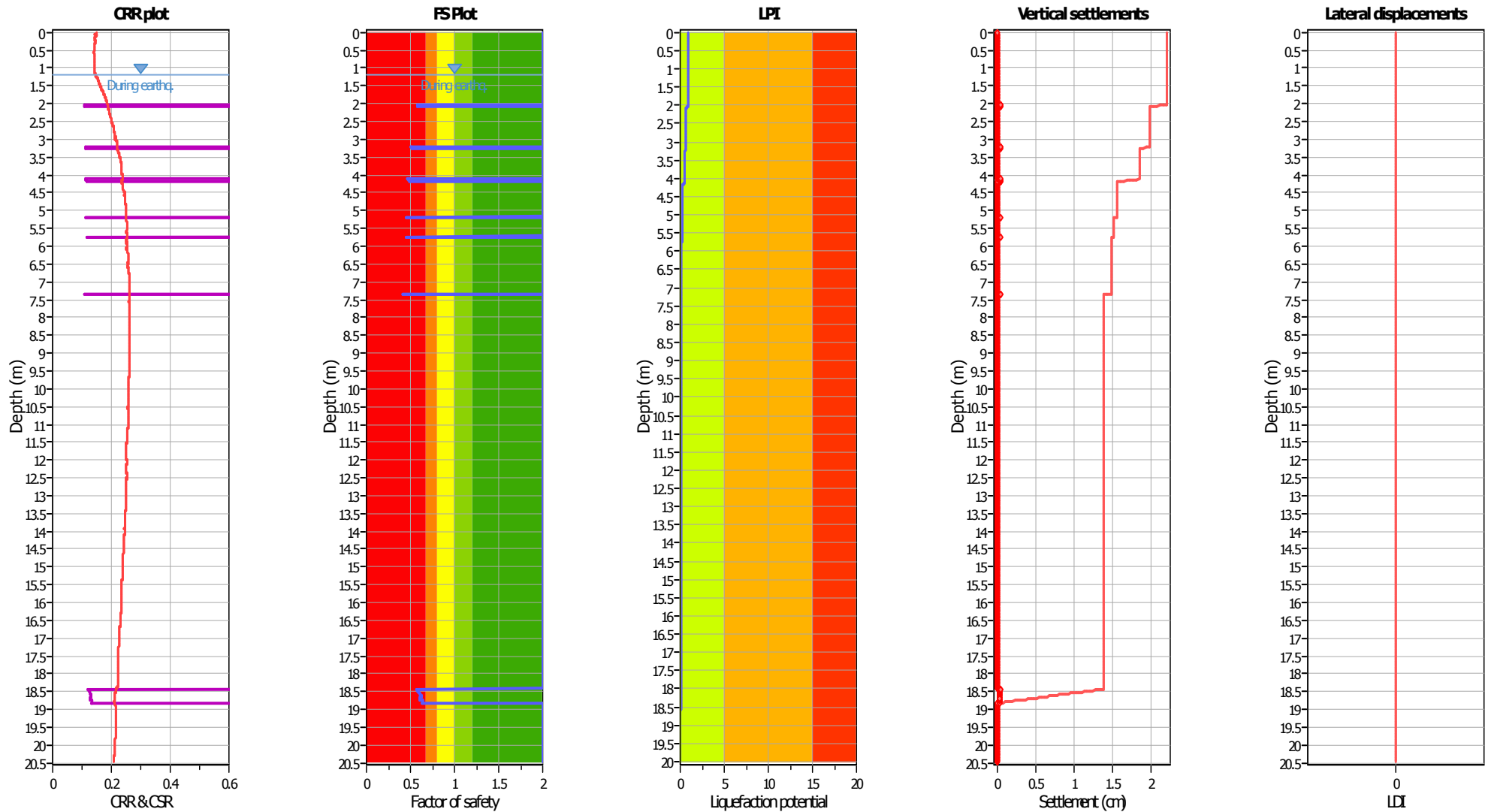
### Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



#### Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.20 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:	Yes
Depth to water table (insitu):	1.20 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

### Liquefaction analysis overall plots



**Input parameters and analysis data**

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.20 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:	Yes
Depth to water table (insitu):	1.20 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

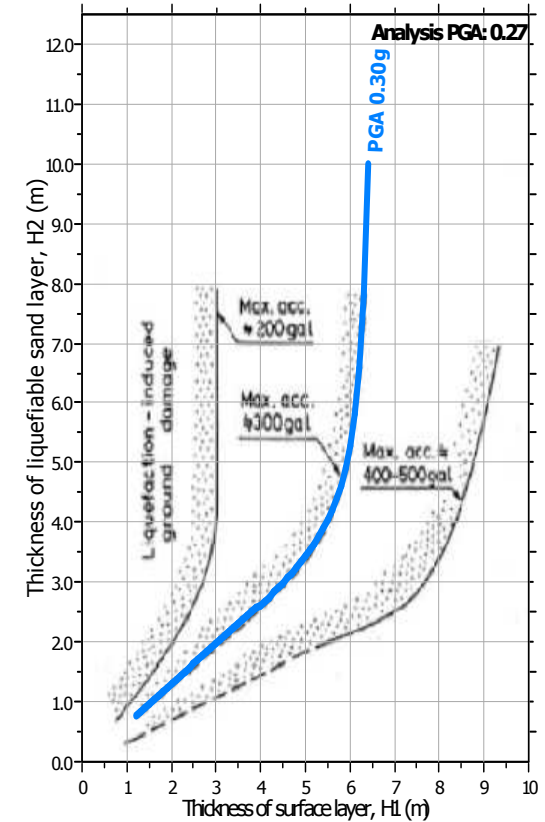
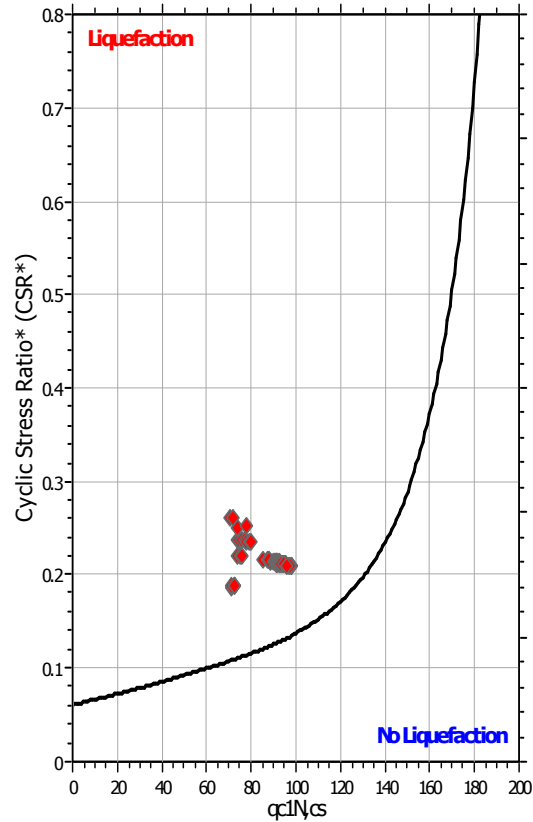
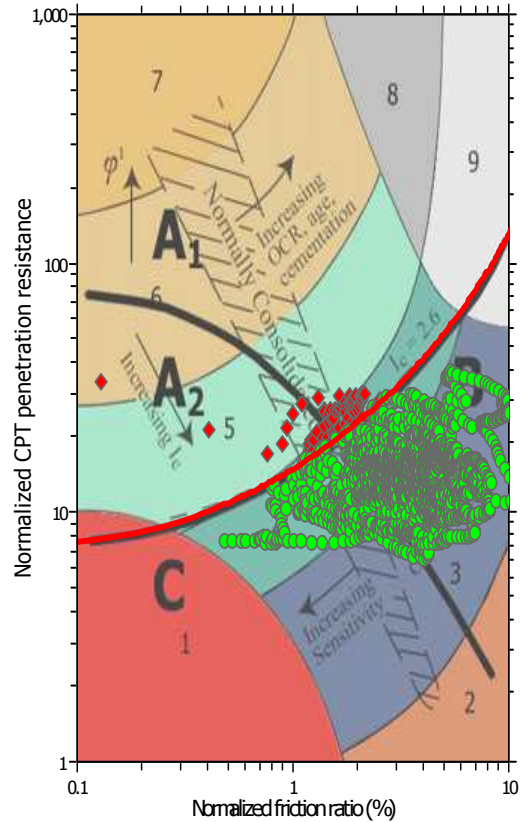
**F.S. color scheme**

- 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.):	1.20 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	$K_v$ applied:	Yes
Earthquake magnitude $M_w$ :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.27	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	1.20 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

**LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT**

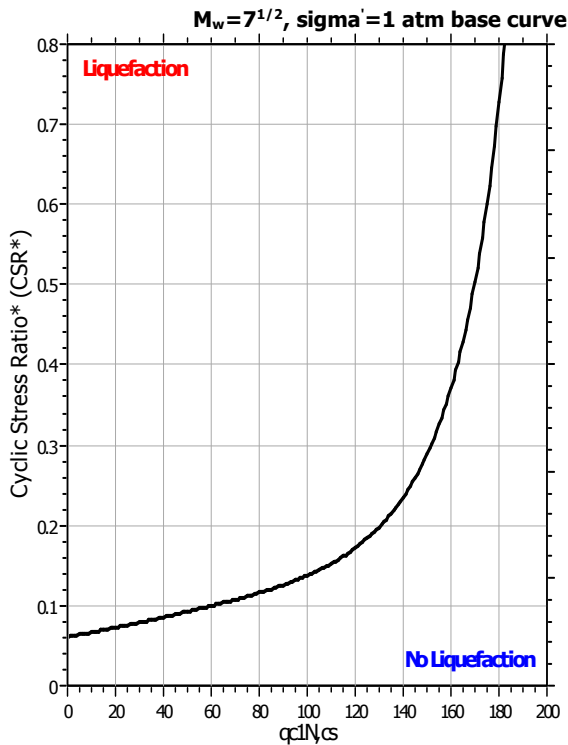
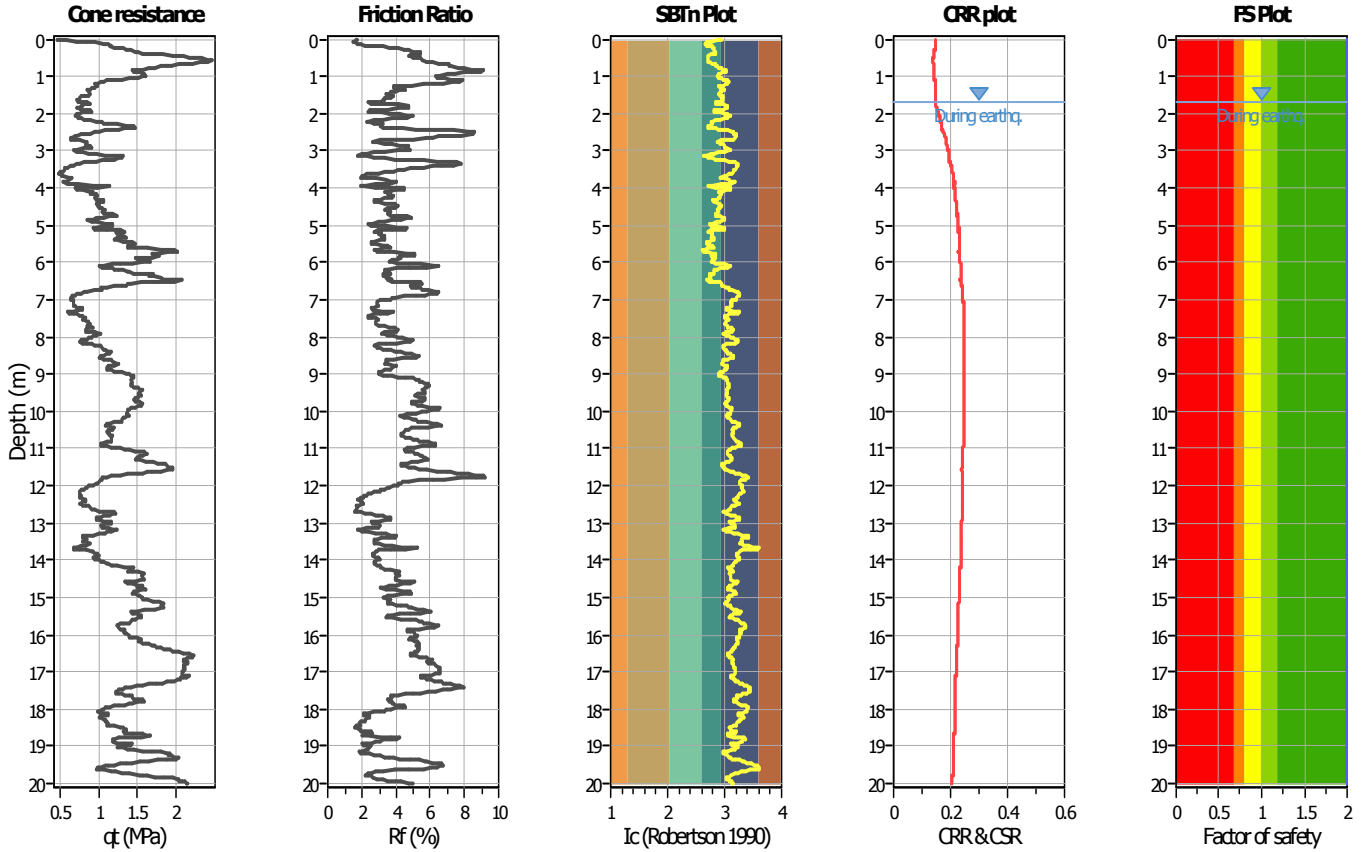
**Project title : PUA**

**Location : Soliera (MO), via Boito**

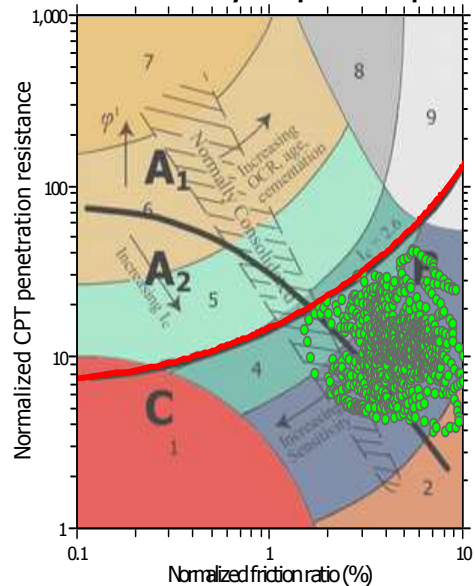
**CPT file : CPTU 2**

**Input parameters and analysis data**

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	1.70 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	1.70 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth:	20.00 m
Earthquake magnitude $M_w$ :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	MSF method:	Method
Peak ground acceleration:	0.27	Unit weight calculation:	Based on SBT	$K_\sigma$ applied:	Yes		



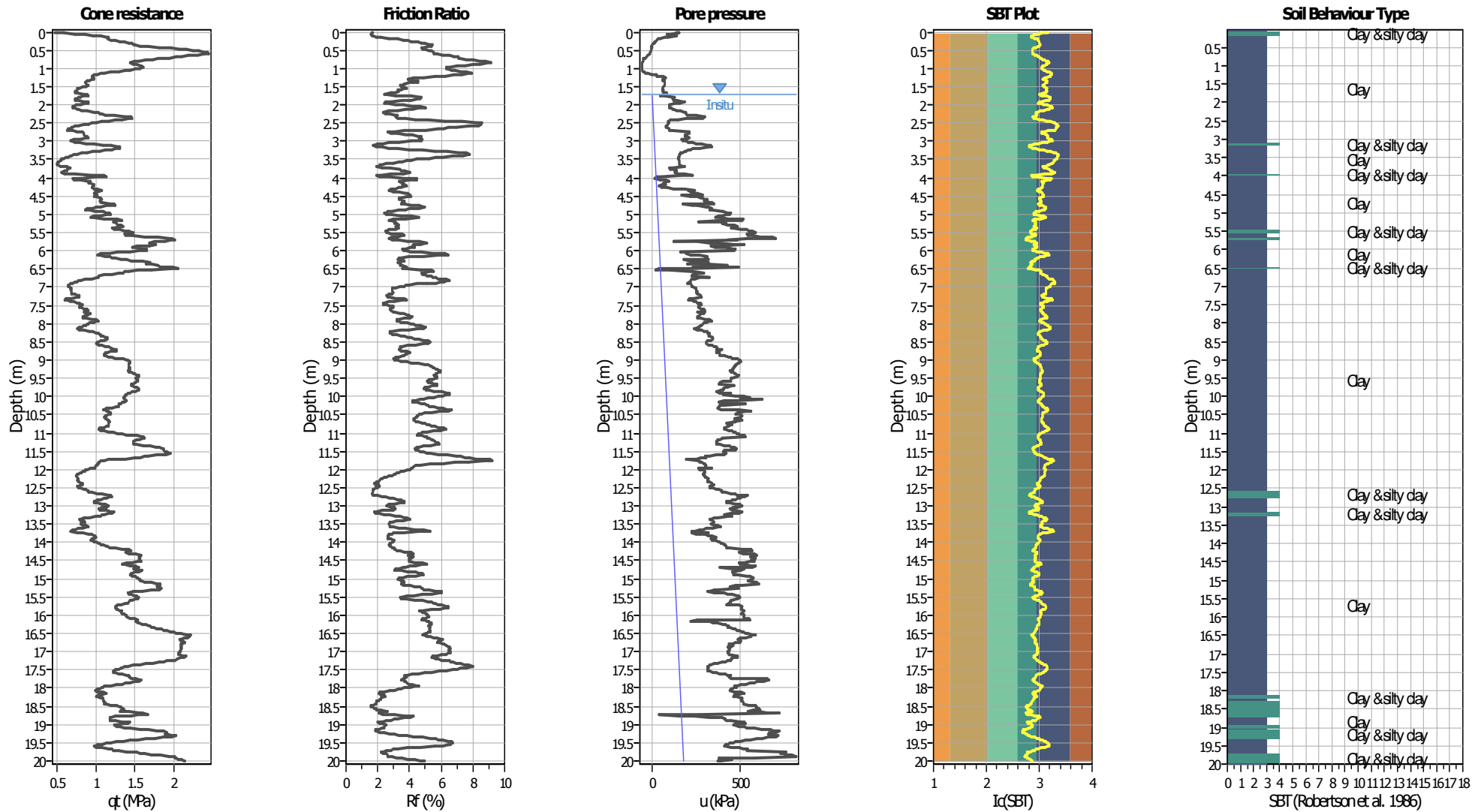
**Summary of liquefaction potential**



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



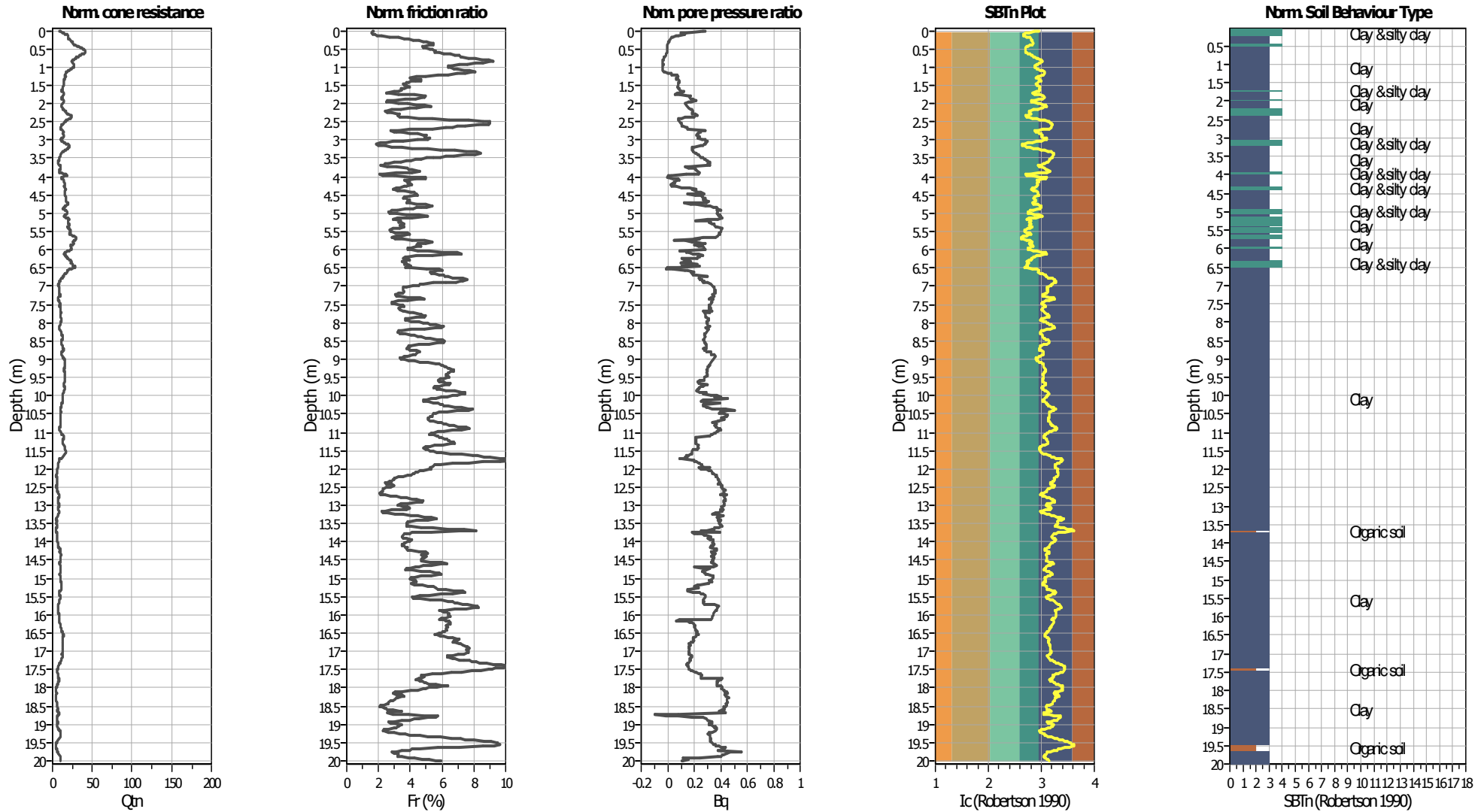
#### Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.70 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:	Yes
Depth to water table (insitu):	1.70 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

#### 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)



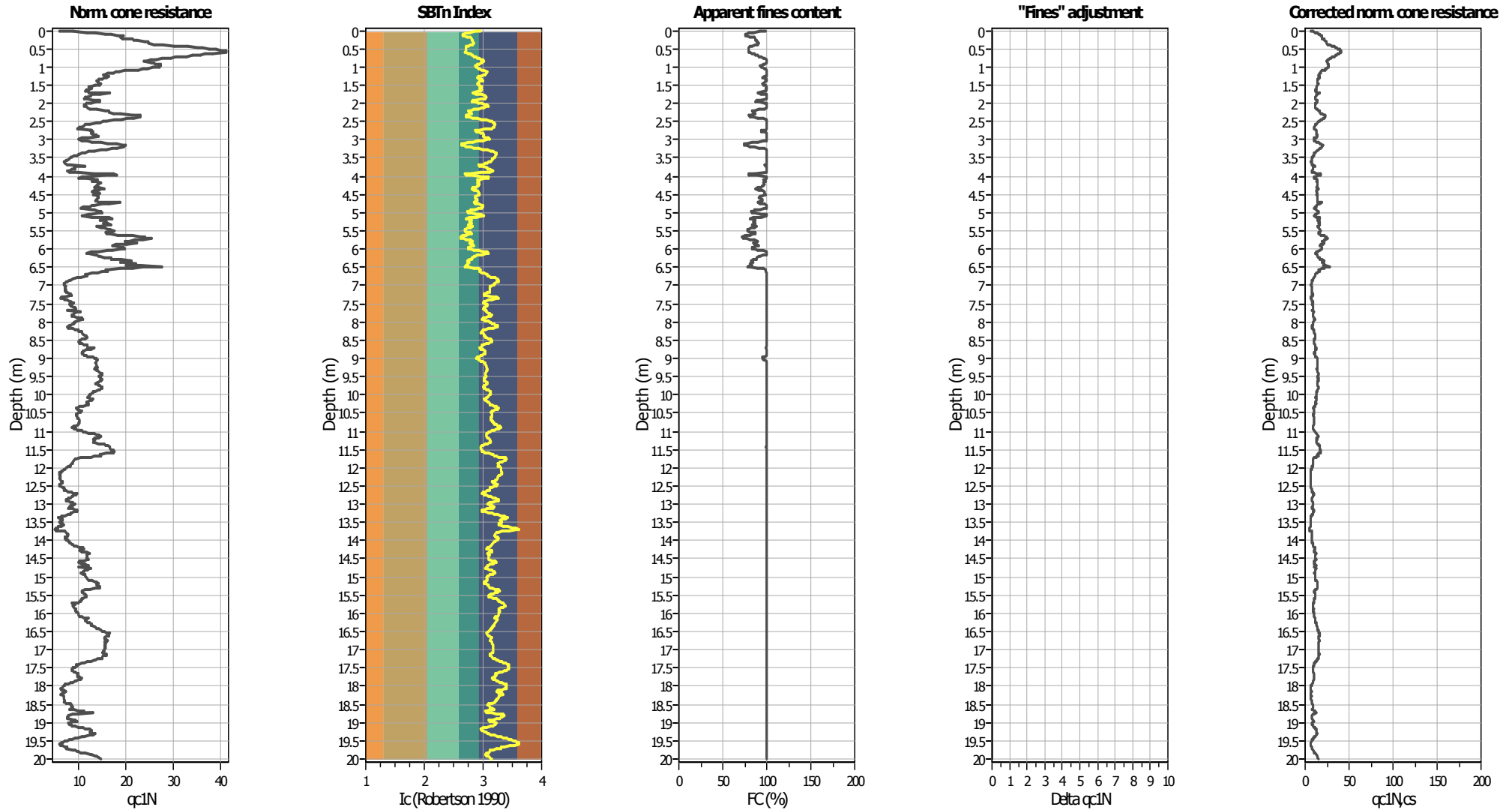
#### Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.70 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:	Yes
Depth to water table (insitu):	1.70 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

#### 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

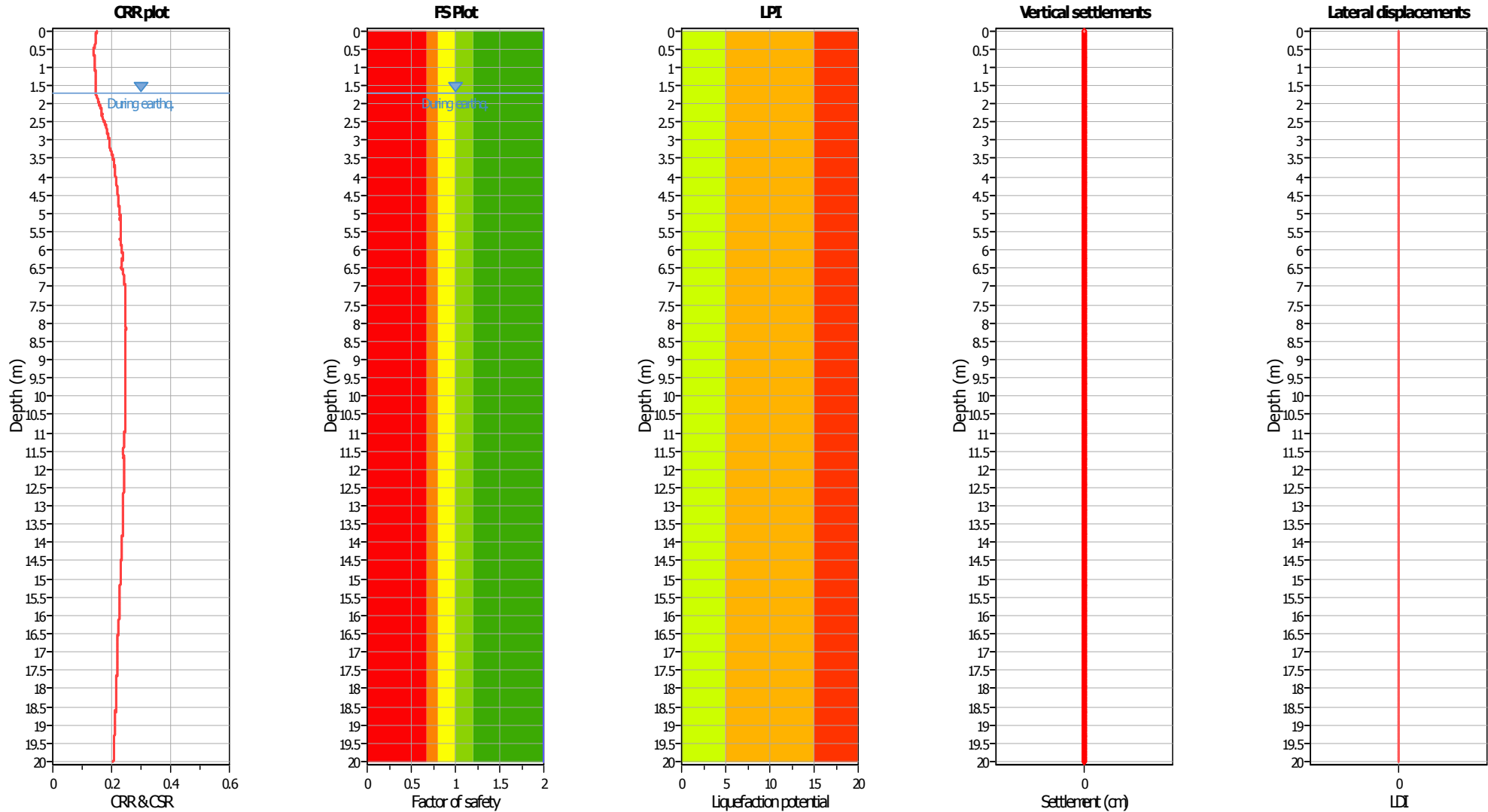
### Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



#### Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.70 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:	Yes
Depth to water table (insitu):	1.70 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

### Liquefaction analysis overall plots



**Input parameters and analysis data**

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.70 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	$K_f$ applied:	Yes
Earthquake magnitude $M_w$ :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.27	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	1.70 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

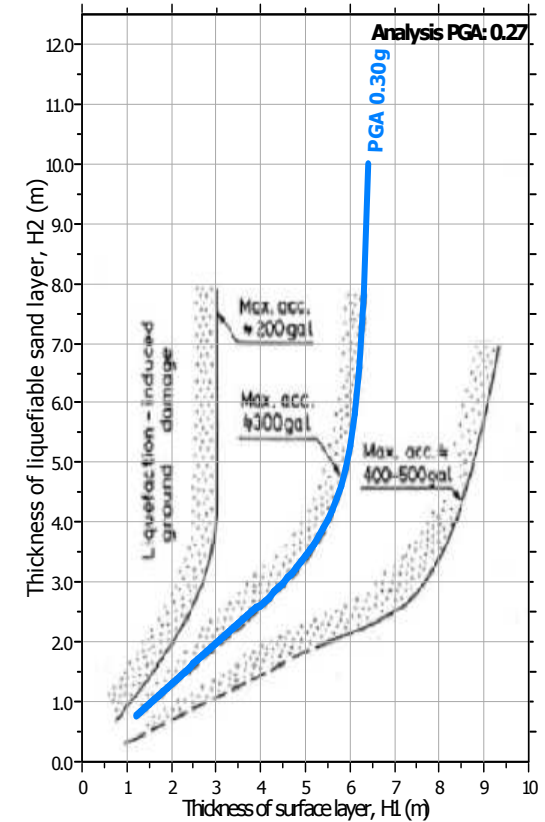
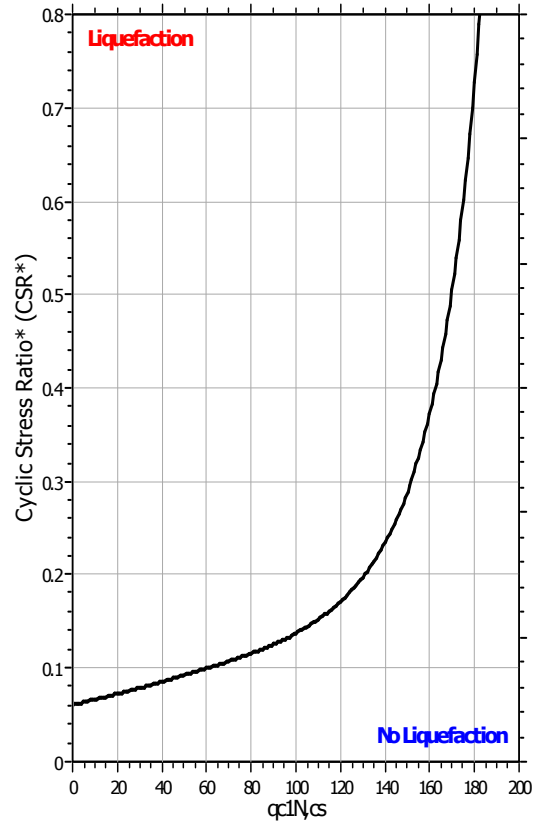
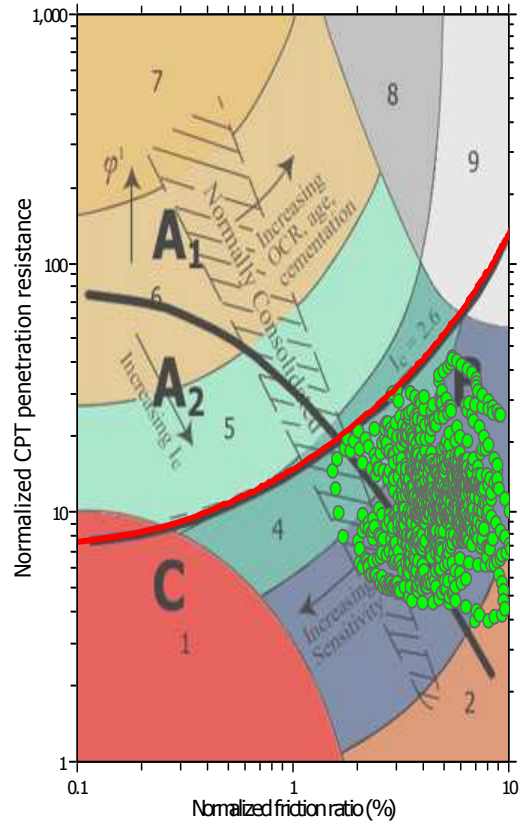
**F.S. color scheme**

- 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.):	1.70 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	$K_v$ applied:	Yes
Earthquake magnitude $M_w$ :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.27	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	1.70 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

**LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT**

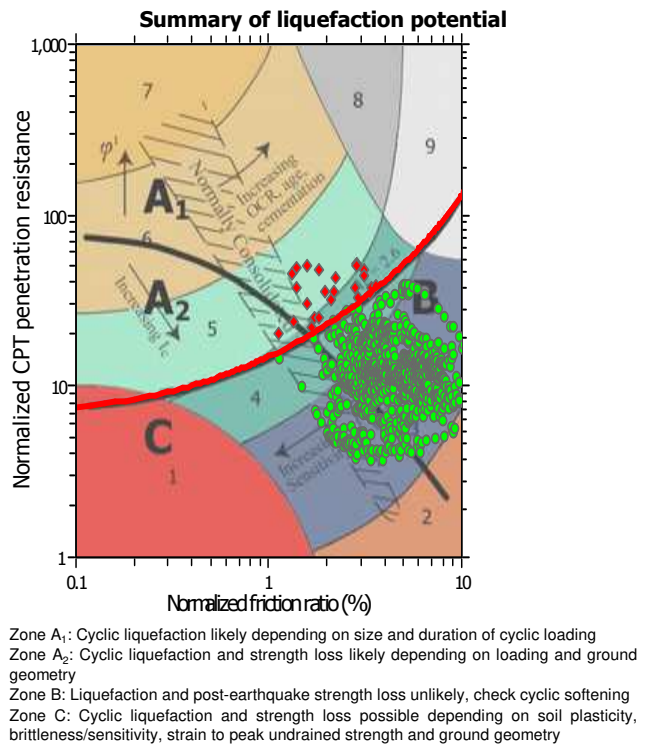
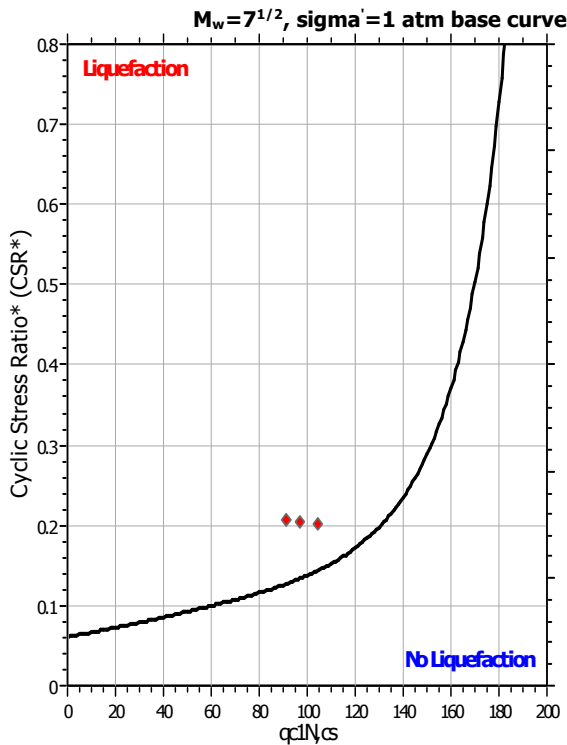
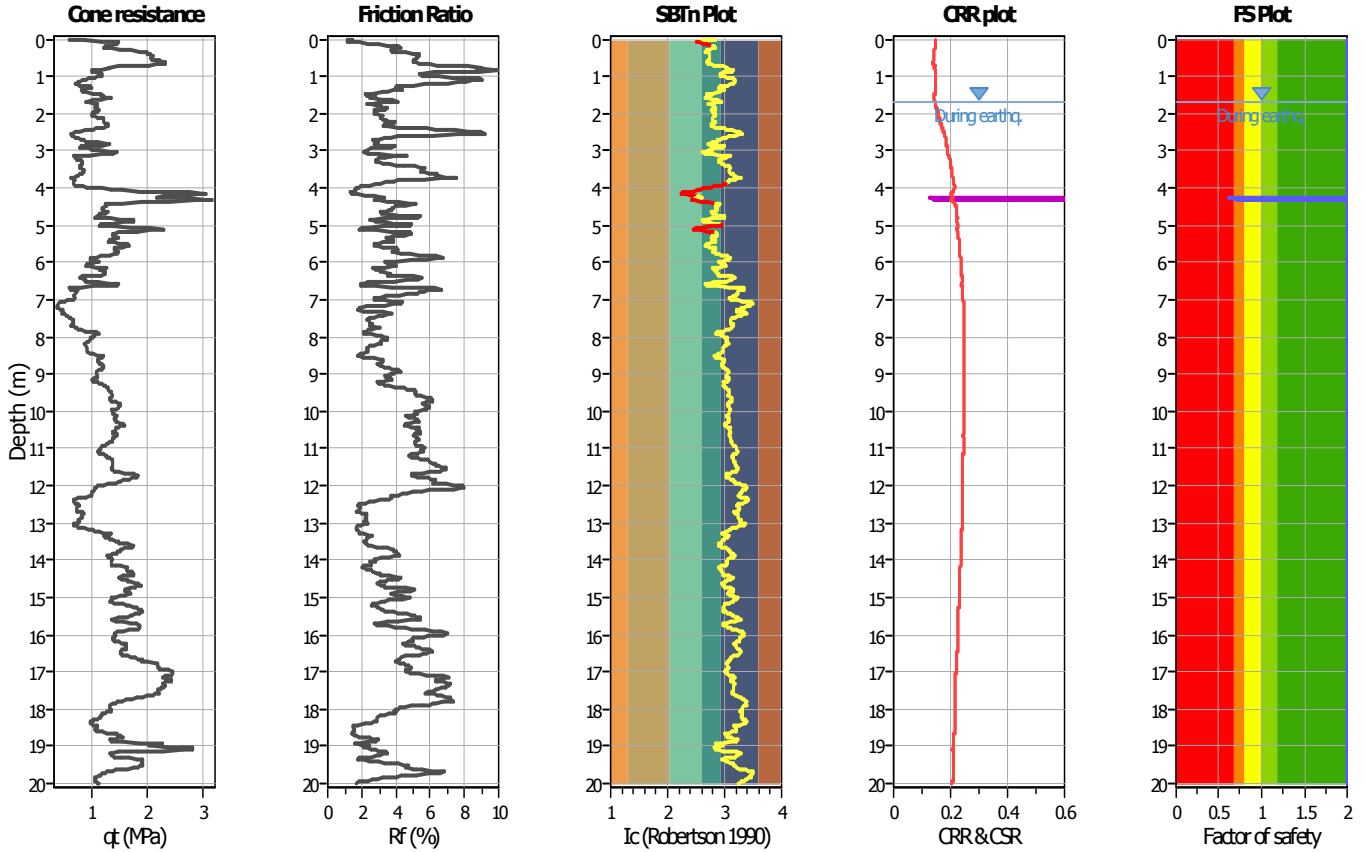
**Project title : PUA**

**Location : Soliera (MO), via Boito**

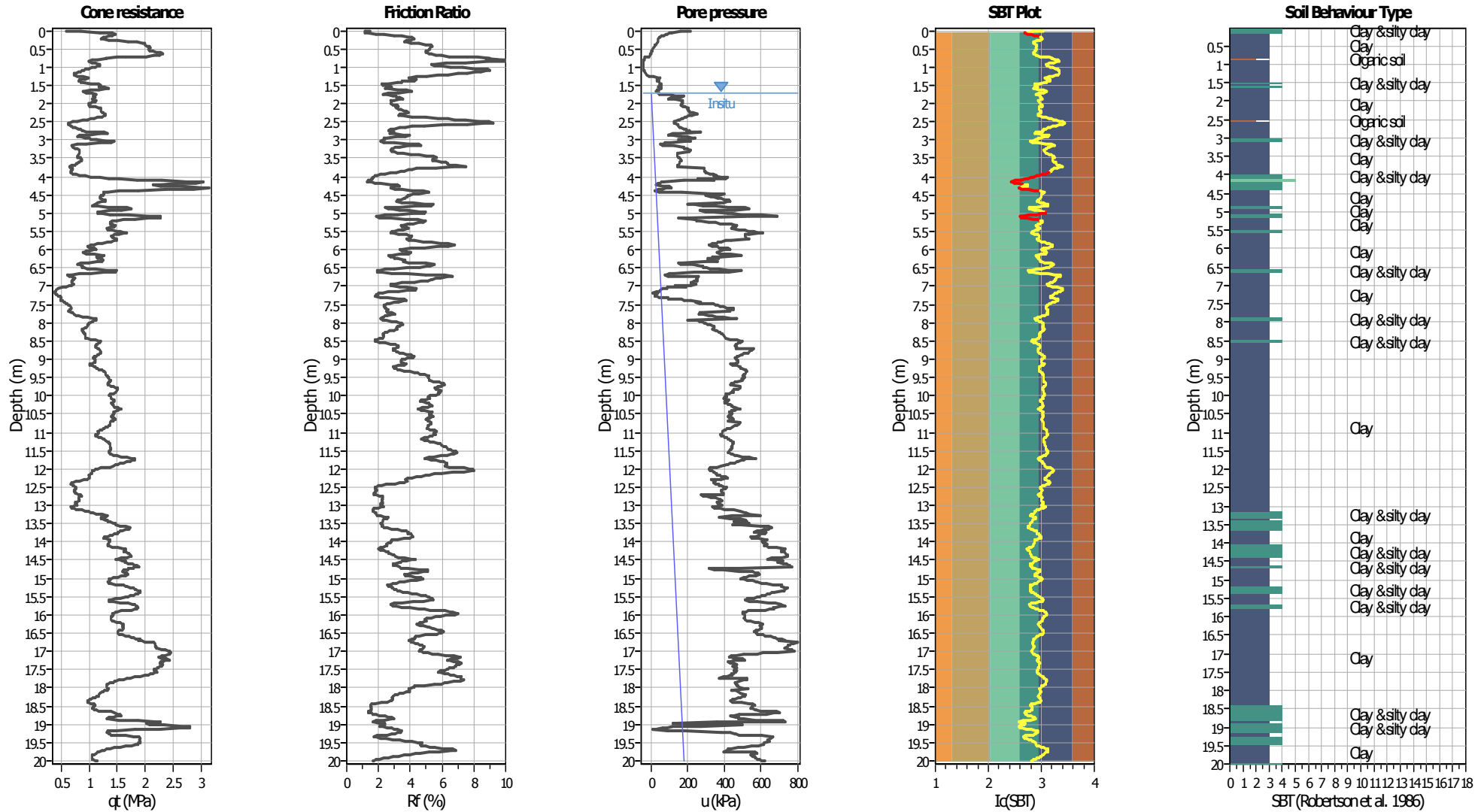
**CPT file : CPTU 3**

**Input parameters and analysis data**

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	1.70 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	1.70 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth:	20.00 m
Earthquake magnitude $M_w$ :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	MSF method:	Method
Peak ground acceleration:	0.27	Unit weight calculation:	Based on SBT	$K_\sigma$ applied:	Yes		



### CPT basic interpretation plots



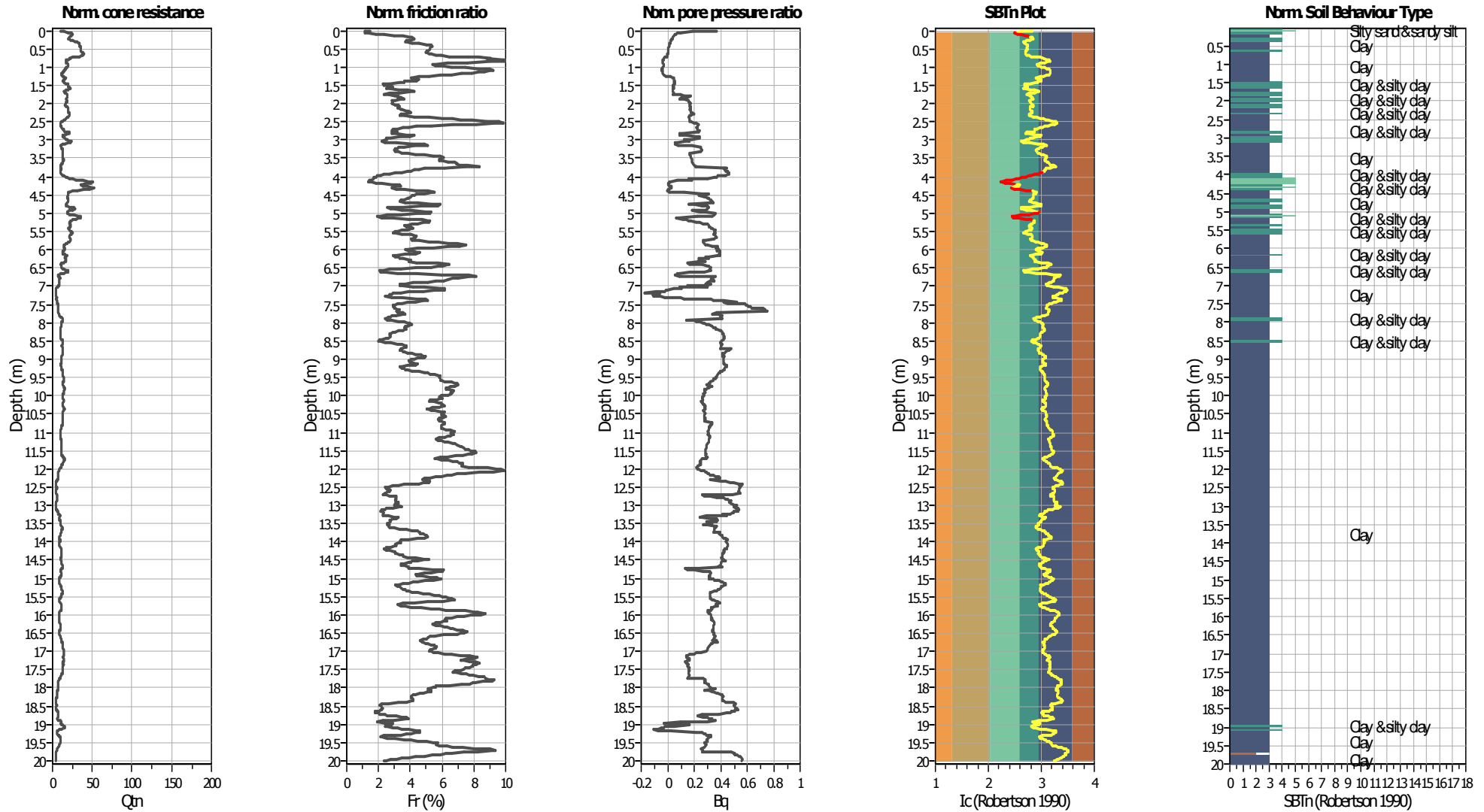
#### Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.70 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:	Yes
Depth to water table (insitu):	1.70 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

#### 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

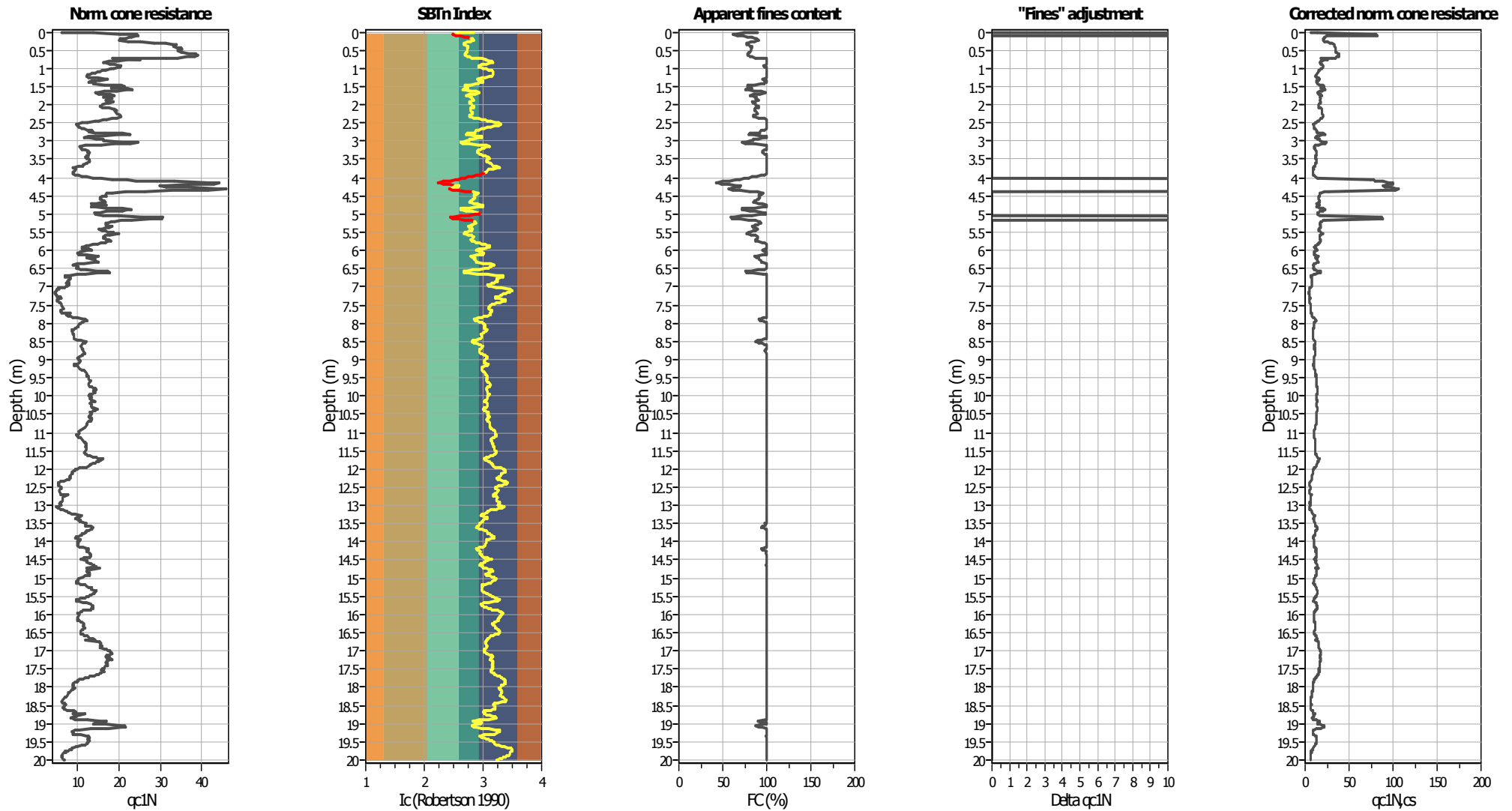
Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.70 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on I <sub>c</sub> value	I <sub>c</sub> cut-off value:	2.60	K <sub>q</sub> applied:	Yes
Earthquake magnitude 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:	Yes
Depth to water table (insitu):	1.70 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

#### 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



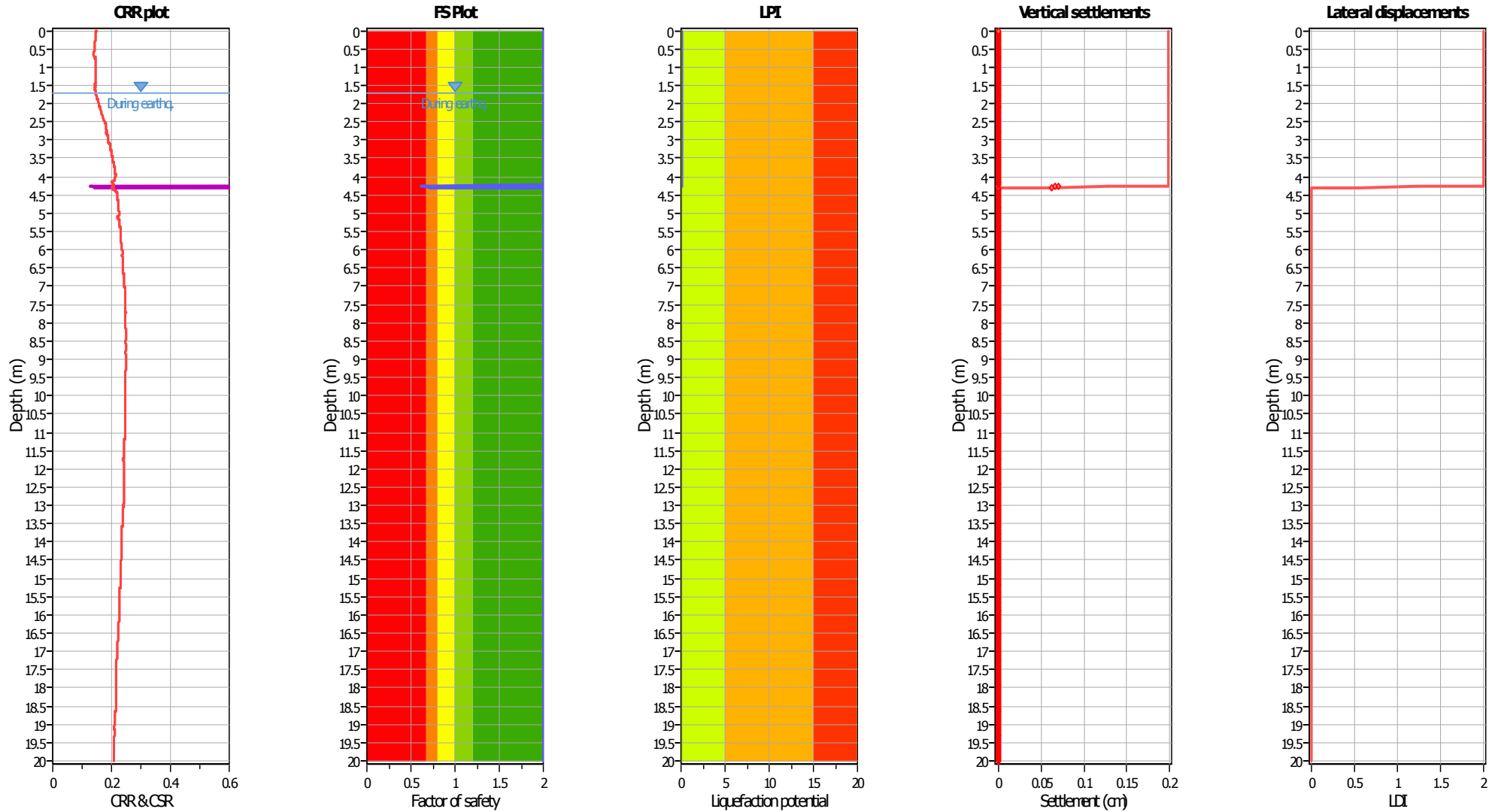
### Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



#### Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.70 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:	Yes
Depth to water table (insitu):	1.70 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

### Liquefaction analysis overall plots



**Input parameters and analysis data**

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (earthq.):	1.70 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:	0.27	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	1.70 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

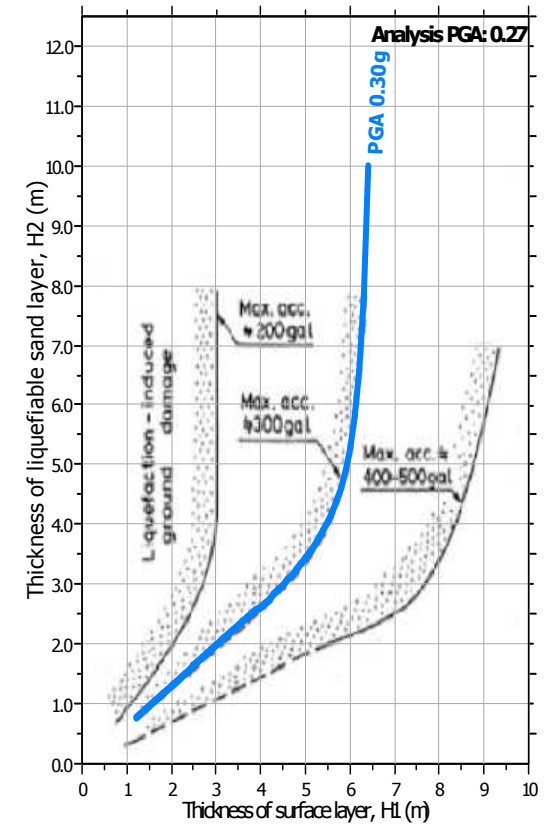
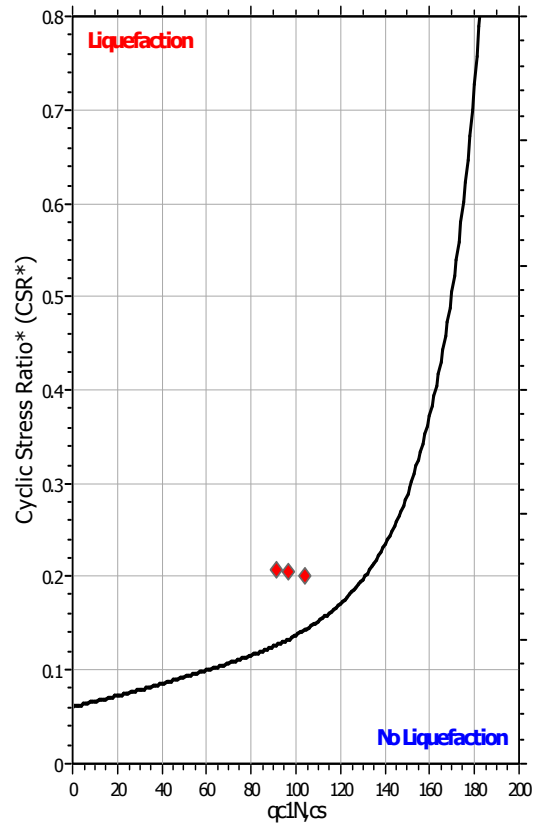
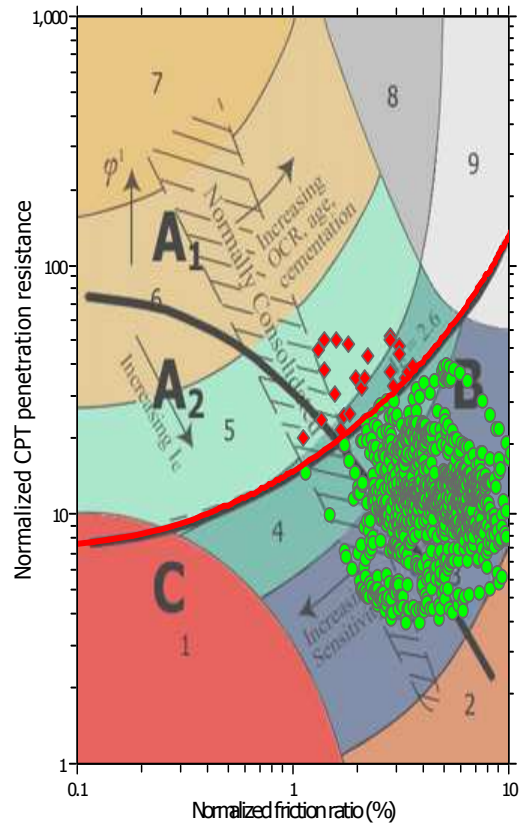
**F.S. color scheme**

- 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.):	1.70 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:	Yes
Depth to water table (insitu):	1.70 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m