

COMUNE DI CAMPOGALLIANO

PROVINCIA DI MODENA

RELAZIONE GEOLOGICA

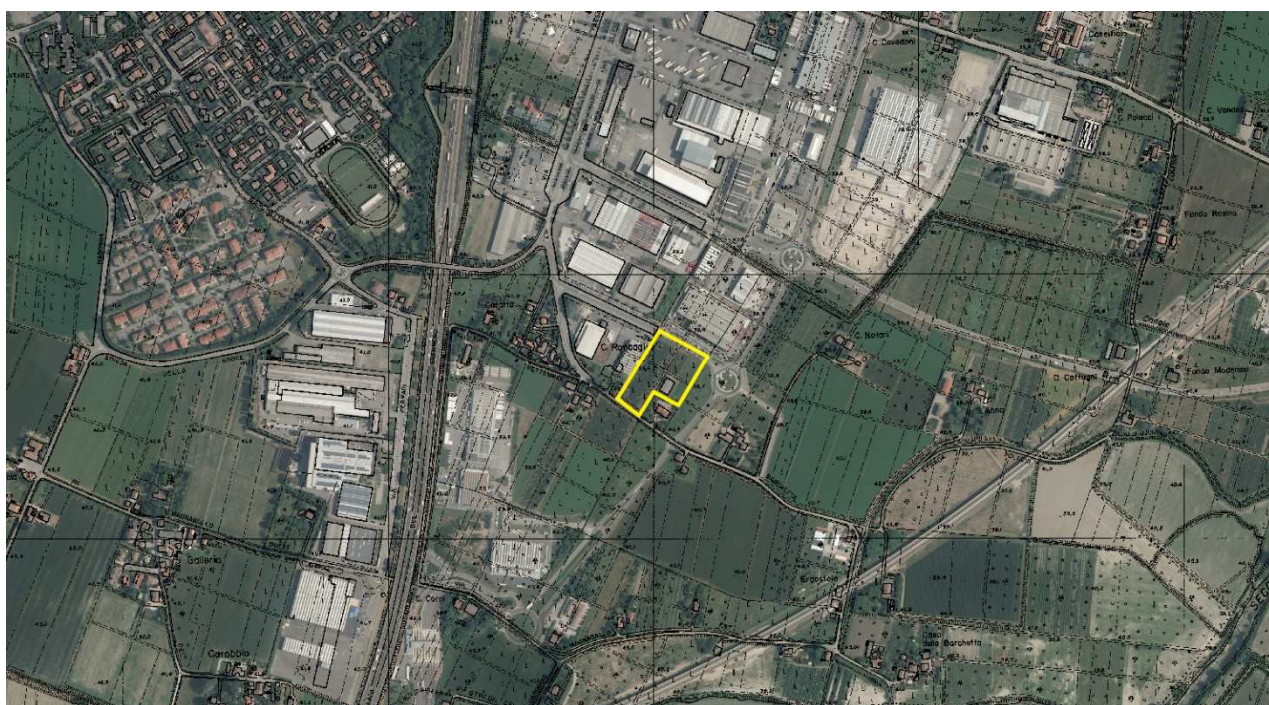
inerente alla caratterizzazione e modellazione geologica del sito (6.2.1 NTC 2018);

RELAZIONE GEOTECNICA

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

ANALISI PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

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



OGGETTO

Caratterizzazione geologica geotecnica e sismica a supporto del progetto di ampliamento di edifici ad uso industriale, in via Italia nel Comune di Campogalliano (Mo).

Rif. n. 201/2020

Agosto 2023



Dott. Geol. Pier Luigi Dallari



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



RELAZIONE TECNICA

comprendente:

RELAZIONE GEOLOGICA

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

RELAZIONE GEOTECNICA

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

ANALISI PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

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

OGGETTO

Caratterizzazione geologica geotecnica e sismica a supporto del progetto di ampliamento di edifici ad uso industriale, in via Italia nel Comune di Campogalliano (Mo).

SOGGETTO AUTORE:

MODENA TERMINAL srl
Viale delle Nazioni 14 – 41011 Campogalliano
P.I. 00993810365

PROPRIETÀ:

TORRICELLI PAOLA E TORRICELLI LUISA

Rif. n. 201/2020



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

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

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

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



INDICE DEL CONTENUTO

1	PREMESSE.....	3
2	INQUADRAMENTO GENERALE.....	4
2.1	Inquadramento geografico	4
2.1	Elementi geologici e geomorfologici	5
3	INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	8
3.1	Indagini Geotecniche	8
3.1.1	Prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono CPTe/U.....	8
3.2	Indagini Geofisiche	10
3.2.1	Indagine sismica passiva a stazione singola (analisi HVSR)	10
3.2.2	Indagine sismica attiva con metodo MASW	10
4	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO	12
4.1	Pericolosità sismica di base	12
4.2	Categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 NTC2018).....	14
4.3	Azione sismica e risposta sismica del sito – Secondo livello di approfondimento (DGR 476/2021)	15
5	MODELLAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA DEL SITO.....	17
5.1	Caratteristiche litostratigrafiche del terreno	17
5.2	Modello geotecnico del sottosuolo.....	20
5.3	Stabilità nei confronti della liquefazione (§ A2.2. DGR 476/2021)	21
6	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	23

TAVOLE

Tav. n. 1:	“Carta Topografica”	scala 1: 5.000;
Tav. n. 2:	“Ripresa Satellitare”	scala 1: 5.000;
Tav. n. 3:	“Ubicazione indagini”	scala 1: 1.000.

ALLEGATI

- ALL. n. 1** Prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono CPTe/U;
ALL. n. 2 Indagini sismiche;
ALL. n. 3 Verifica alla liquefazione.

1 PREMESSE

Nel mese di agosto 2023 è stato eseguito il presente studio geologico, geotecnico e sismico inerente all'ipotesi di ampliamento di edifici ad uso industriale, sito in via Italia, nel Comune di Campogalliano (Mo) (Fig.1.1).

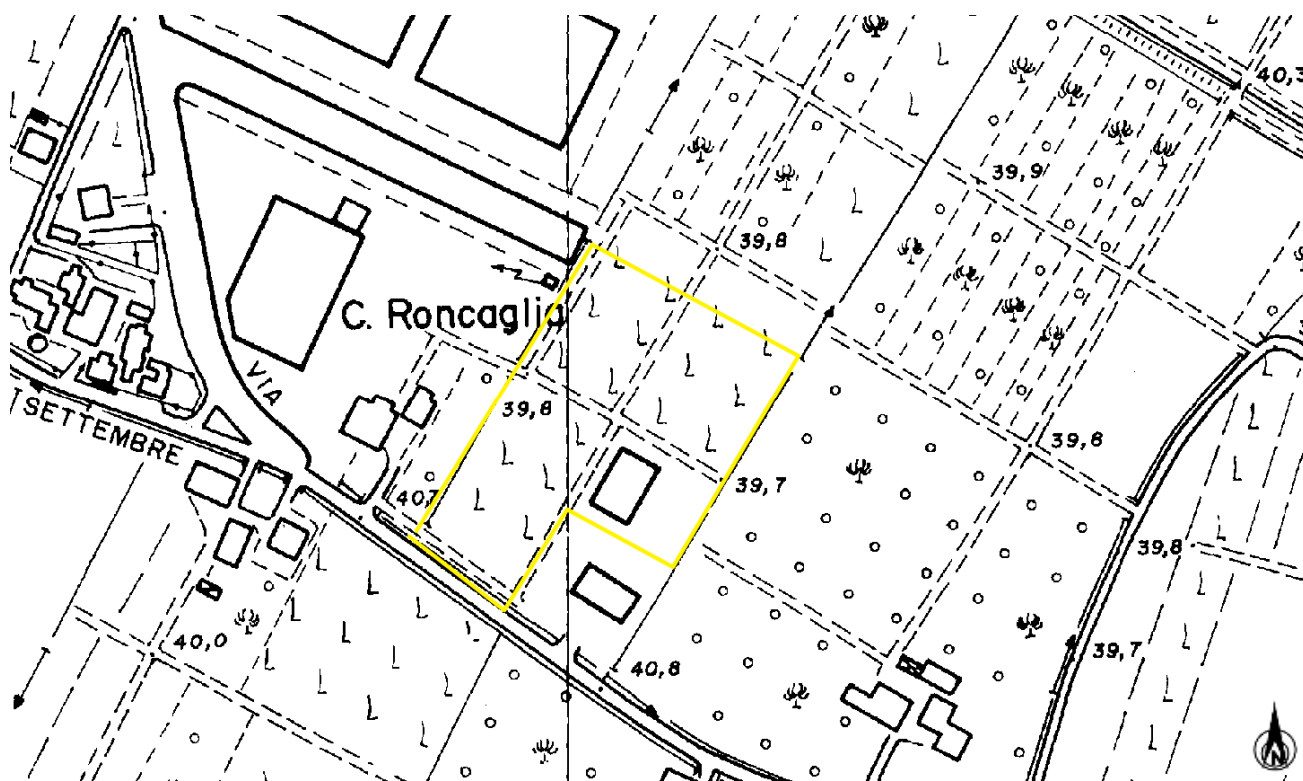


Fig.1.1 - Ubicazione del sito in studio – Comune di Campogalliano.

La presente relazione fa riferimento alle disposizioni normative contenute in:

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

2 INQUADRAMENTO GENERALE

2.1 Inquadramento geografico

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

SITO IN ESAME	
COORDINATE GEOGRAFICHE	
LATITUDINE	LONGITUDINE
44.683485	10.854614



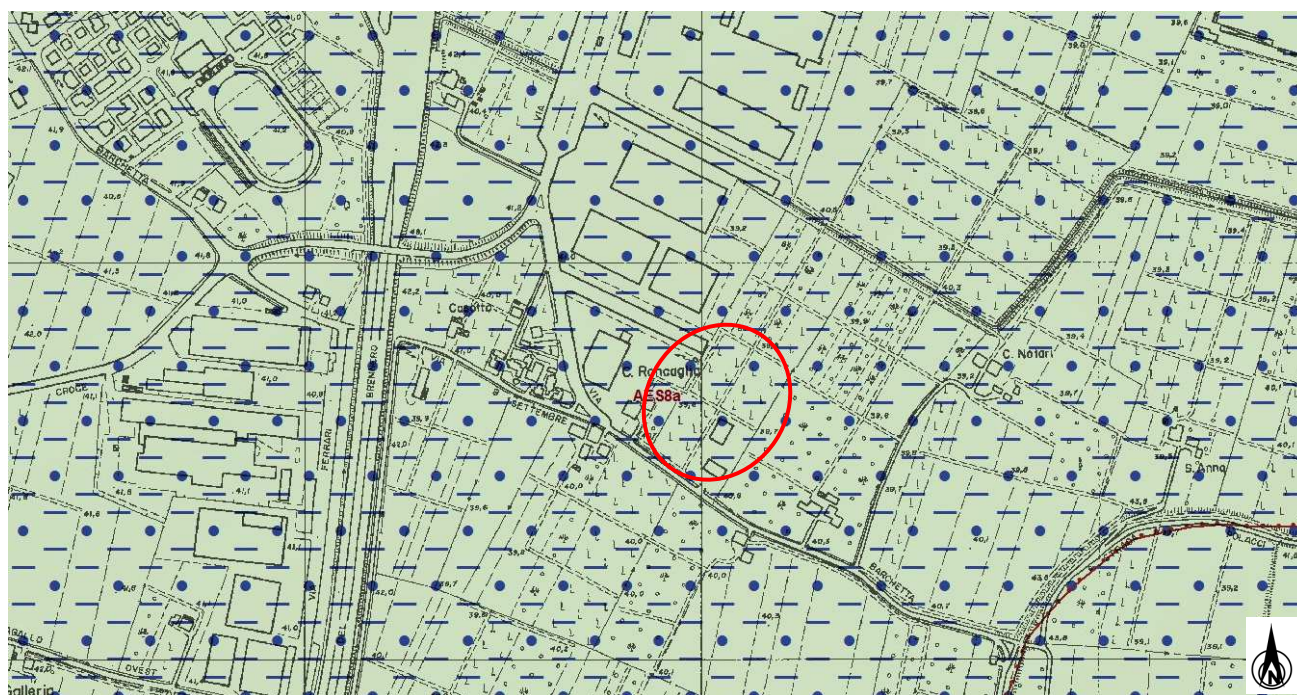
Fig.2.1 - Ubicazione del sito in studio a sud est del Comune di Campogalliano.

Per un completo inquadramento geografico dell'area si rimanda dalla cartografia allegata alla presente relazione, in particolare alla "Carta corografica", alla scala 1: 15.000 (tav. n. 1) "Carta topografica", alla scala 1: 5.000 (tav. n. 2) e alla "Ripresa satellitare" alla scala 1: 5.000 (tav. n. 3).

2.1 Elementi geologici e geomorfologici

Dalla cartografia consultata e di seguito riportata si evince che l'area indagata sia caratterizzata da limo di piana alluvionale. In particolare dall' **Unità di Modena AES8a: 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 (Fig. 2.2).

In particolare dalla "Carta tetto ghiaie e sabbie" dello studio di Microzonazione sismica del Comune di Campogalliano, la profondità delle ghiaie nell'area in studio risulta essere alla profondità compresa tra -30 e -28.0 m da p.c. (Fig. 2.3).



Ambienti deposiz. e litologie (10K)

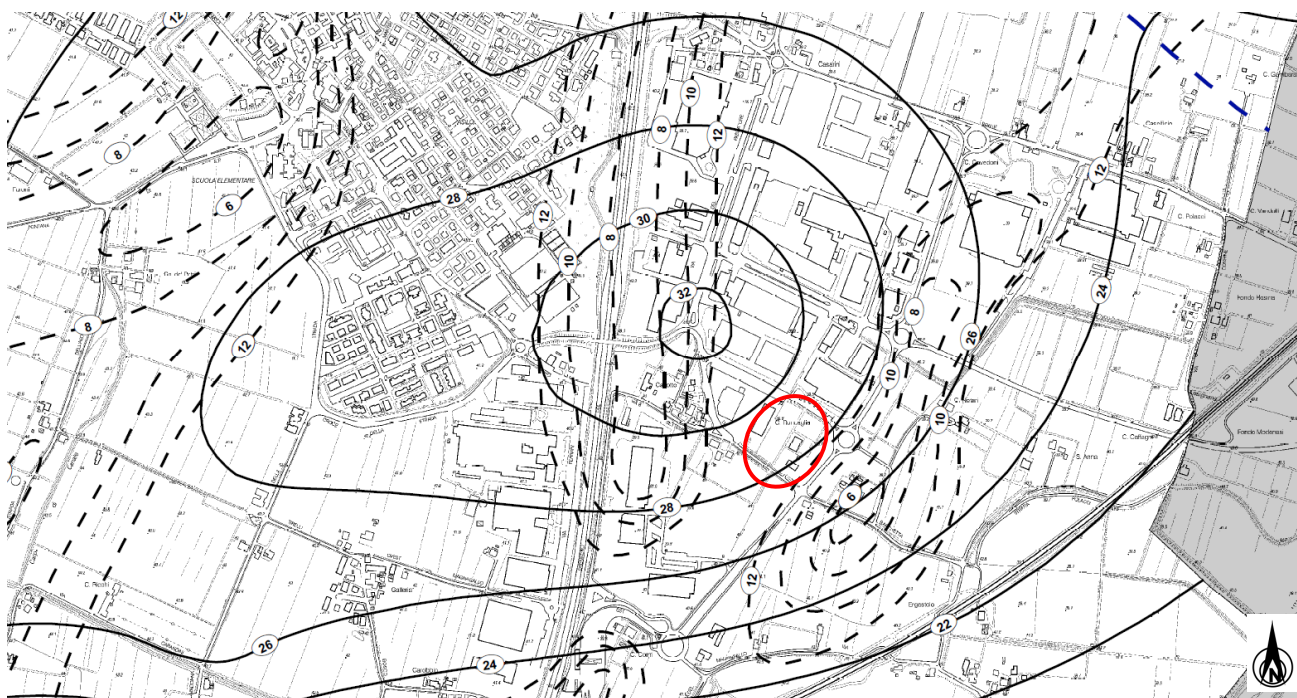
Limo - Piana alluvionale

▤ Limo Sabbioso - Piana alluvionale




Coperture quaternarie (10K)

■ AES8a - Unità di Modena

Fig.2.2 – Estratto della “Carta della litologia di superficie” – Regione Emilia Romagna.



Elementi geologici e idrogeologici

-  30 Profondità tetto delle ghiaie (metri dal piano di campagna)
-  10 Profondità tetto delle sabbie (metri dal piano di campagna)
-  120 Isobate del substrato sepolto

Altri elementi rappresentati


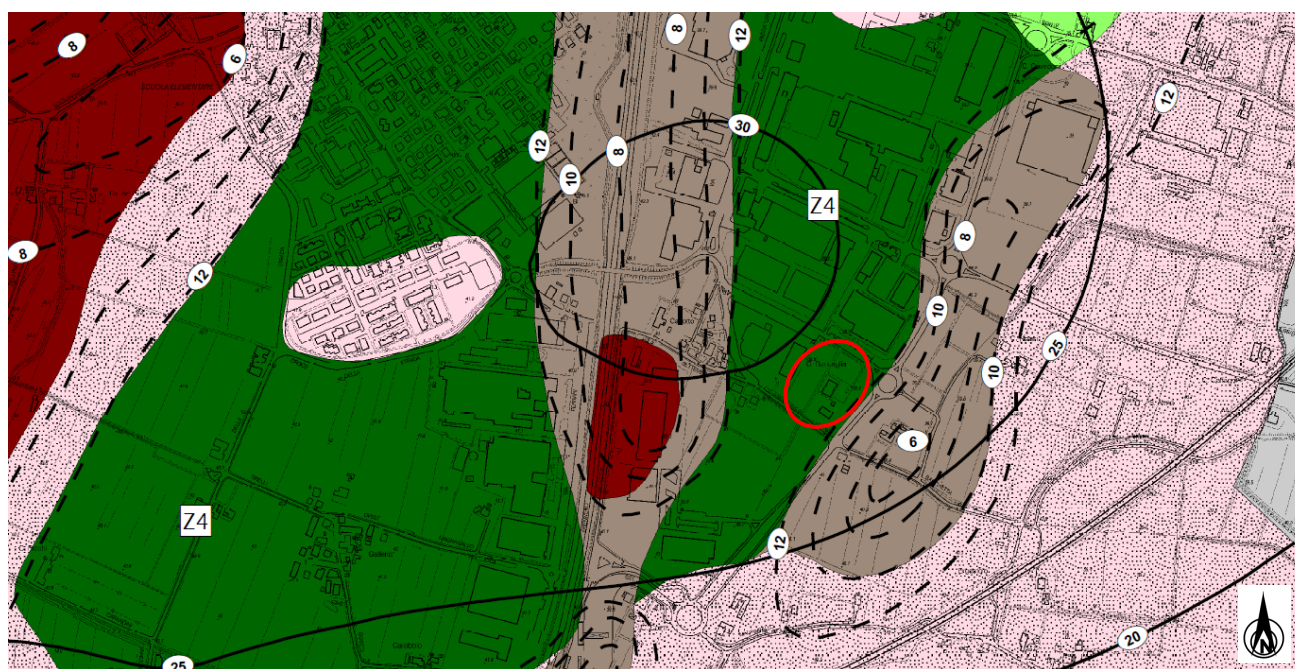
-  Limite di Comune

Fig.2.3 - Estratto della “Carta tetto ghiaie e sabbie” – Studio di Microzonazione sismica del Comune di Campogalliano.

2.2 Inquadramento sismico

A supporto dell'analisi sismica e della valutazione della stabilità del sito, successivamente descritta nei paragrafi seguenti, per quel che concerne i fenomeni co-sismici è stata preliminarmente consultata la cartografia relativa allo studio di Microzonazione sismica del Comune di Campogalliano.

In particolare dalla "Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica" l'area in studio si colloca in corrispondenza di una microzona stabile suscettibile di amplificazione locale, in particolare ricade nella **zona 4** (Fig. 2.4).



Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

- ZONA 1** Ghiaie sabbiose poco assortite addensate (GP-12); limi - limi sabbiosi, moderatamente addensati (MH-12).
Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostatigrafiche.
Approfondimenti di II° livello.
- ZONA 2** Limi - limi argillosi - limi sabbioso argillosi ed argille limose, moderatamente consistenti (ML/CL-24) contenenti sottili corpi lentiformi sabbioso limosi di spessore tra 0,5 e 1,5 m, moderatamente addensati (SM-12).
Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostatigrafiche.
Approfondimenti di II° livello.
- ZONA 3** Limi - limi argillosi - argille limose, moderatamente consistenti (ML/OH-24) contenenti sottili corpi lentiformi sabbioso limosi con spessore tra 0,5 e 1,5 m poco addensati (SM-13).
Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostatigrafiche.
Approfondimenti di II° livello.
- ZONA 4** Argille limose - argille, moderatamente consistenti (CL/OH-24) con intercalati corpi lentiformi limoso argilloso moderatamente consistenti (ML-24).
Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostatigrafiche.
Approfondimenti di II° livello.

Zone stabili suscettibili di instabilità

- POTENZIALE LIQUEFAZIONE**
Sabbie e sabbie limose in strati con spessori tra 4 e 8 m, moderatamente addensate (SM-12) con intercalate alternanze limose - limoso argillose moderatamente consistenti (ML-24).
Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostatigrafiche, potenziale liquefazione.
Approfondimenti di III° livello per valutazione di suscettività alla liquefazione.
- POTENZIALI CEDIMENTI DIFFERENZIALI**
Argille limose e limi argillosi poco consistenti (CL/ML-25) moderatamente consistenti con l'aumento della profondità (24)
Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostatigrafiche, cedimenti differenziali.
Approfondimenti di III° livello per stima dei cedimenti differenziali.
- POTENZIALI CEDIMENTI DIFFERENZIALI**
Limi - limi argilloso sabbiosi, moderatamente consistenti (ML/OH-24) con intercalati corpi lentiformi sabbioso limosi con spessori tra 1,5 e 3 m moderatamente addensati (SM-12) ed orizzonti argilloso limosi - limoso argilloso moderatamente consistenti (CL-24).
Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostatigrafiche potenziali cedimenti differenziali per densificazione/liquefazione di sottili strati sabbioso limosi.
Approfondimenti di III° livello per stima dei cedimenti.
- ZONA SUSCETTIBILE DI SOVRAPPOSIZIONE DI INSTABILITA' DIFFERENTI**
Sabbie limose da poco addensate (SM-13) e moderatamente addensate (11) con l'incremento della profondità e limi argillosi da poco consistenti (ML-25) a moderatamente consistenti (24) con l'aumento della profondità.
Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostatigrafiche, potenziale liquefazione e cedimenti differenziali.
Approfondimenti di III° livello per valutazione di suscettività alla liquefazione e stima dei cedimenti differenziali.

Fig.2.4 – Estratto della "Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica" – Microzonazione Sismica del Comune di Campogalliano - Tavola n 1.6.

3 INDAGINI GEOGNOSTICHE

3.1 Indagini Geotecniche

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

- **n. 2 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono CPTu, eseguite in data 11-12/05/2020;**

I risultati delle suddette indagini sono riportati nell'**allegato n. 1**, mentre l'ubicazione è illustrata nella **tav. n. 4**.

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

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

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

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

Correlazioni utilizzate per la stima dei parametri geotecnici

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

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

3.2 Indagini Geofisiche

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

- **n. 2 indagini sismiche passive HVSR, eseguita in data 15/06/2020;**
- **n. 1 indagine sismica attiva MASW, eseguita in data 15/06/2020.**

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

3.2.1 Indagine sismica passiva a stazione singola (analisi HVSR)

Le misure sismiche passive a stazione singola sono state eseguite mediante un tomografo digitale dotato di tre canali velocimetrici, modello Tromino® prodotto da Moho srl (Marghera (VE), Italia). Per l'acquisizione è stata adottata una frequenza di campionamento di 128 Hz per una durata totale di 20 minuti (Fig.3.1).

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

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

dove h è lo spessore dello strato.

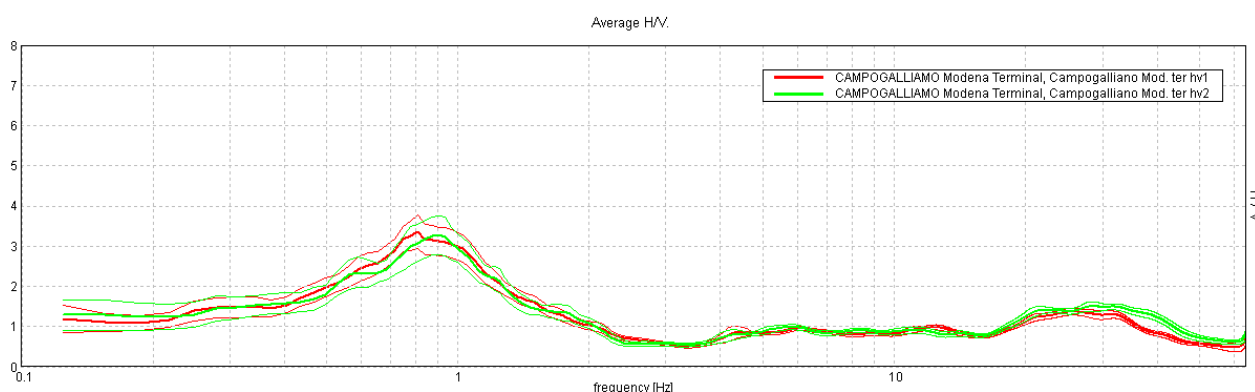


Fig.3.1 - Curva HVSR che identifica un picco a 0.81 Hz per HVSR n.1 e a 0.91Hz per HVSR n. 2.

3.2.2 Indagine sismica attiva con metodo MASW

Per misurare le velocità delle onde di taglio si possono eseguire prospezioni sismiche mediante stendimenti superficiali, utilizzando geofoni verticali da 4,5 Hz ed acquisendo attivamente i segnali delle onde rifratte alla superficie mediante una sorgente artificialmente provocata. Questa tecnica, nota con la sigla **MASW** (Multichannel Analysis of Surface Waves), permette di ricostruire il profilo verticale delle V_s 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

Pag. 10

“picking” del segnale ad elevata intensità è stata ottenuta la “**curva di dispersione**”, dalla cui inversione è stato calcolato il **modello sismo-stratigrafico** espresso in termini di velocità delle onde di taglio (V_s). I dati sono stati registrati mediante un sismografo *Geode Geometrics* 24 bit con filtri disinseriti, velocità di campionamento (sample rate) di 0.25 millisecondi e lunghezza delle acquisizioni di 2 secondi. Si effettuano battute poste ad offset diversi (10 m e 15 m di distanza dal primo geofono) mediante grave da 8,0 kg di massa. Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh, $V(\text{fase})/\text{freq.}$, può essere convertito nel profilo $V_s/\text{profondità}$. Tale metodo non è univoco e quindi il modello che ne scaturisce è un modello teorico; per questo motivo è preferibile operare in presenza di dati di taratura (come nel caso specifico) onde ricavare il modello reale (Fig.3.2).

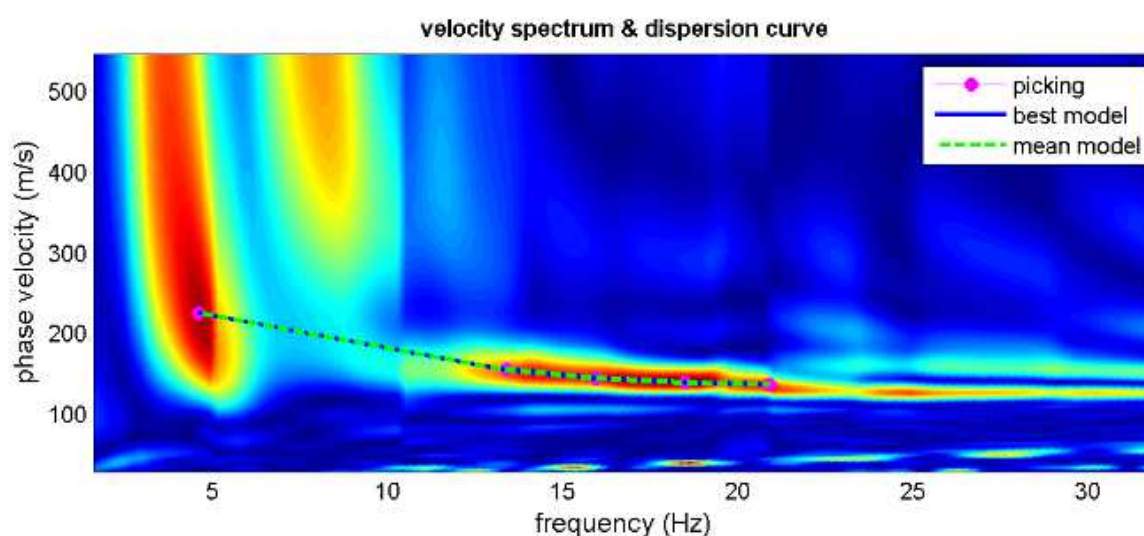


Fig.3.2 - Curva di dispersione MASW.

4 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

4.1 Pericolosità sismica di base

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

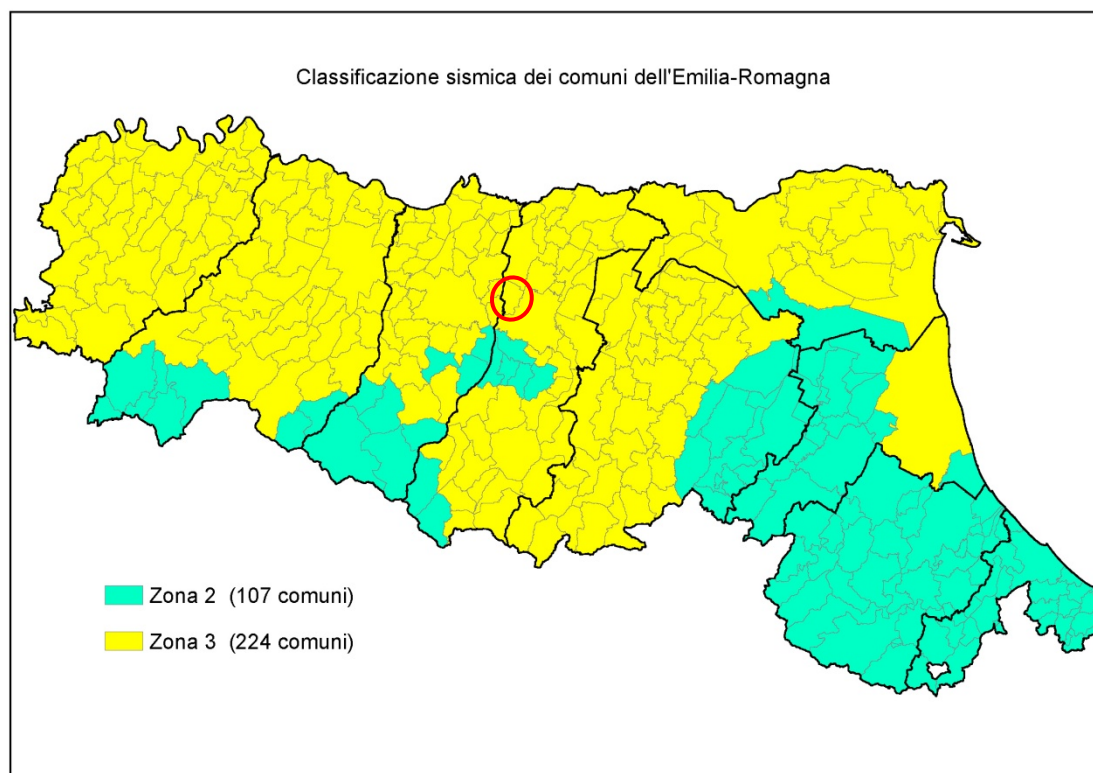


Fig.4.1 - Classificazione sismica e dei comuni della regione Emilia-Romagna a partire dall'O.P.C.M. n. 3274/2003 e successive modifiche (aggiornamento luglio 2018) e ubicazione del territorio comunale di Campogalliano (MO).

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

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

Stati limite



Classe Edificio

II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...



Vita Nominale

50



Interpolazione

Media ponderata

CU = 1

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	F_0	T_c^* [s]
Operatività (SLO)	30	0.047	2.475	0.252
Danno (SLD)	50	0.059	2.503	0.268
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.162	2.458	0.282
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.214	2.452	0.287
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

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

4.2 Categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 NTC2018)

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

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

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

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

MASW	V_{s30}	222 m/s
------	-----------	---------

HVSr 1	0.81 ± 0.02 HZ	RISPETTA I CRITERI SESAME
HVSr 2	0.91 ± 0.10 HZ	RISPETTA I CRITERI SESAME

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

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

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

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

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

In particolare per la stima del fattore di amplificazione FA sono state eseguite le indagini MASW e HVSR, al fine di definire lo spessore H del deposito di copertura e la velocità equivalente delle onde di taglio per lo spessore considerato. Dall’elaborazione congiunta delle indagini geofisiche, è stato possibile determinare uno spessore di copertura H pari a **123.50 m** con una Vs pari a **222 m/s**.

Come descritto nell’all. 2 della DGR 476/2021, la stima del fattore di amplificazione **FA** è stata calcolata considerando un tempo di ritorno TR=475 anni, con uno smorzamento $\zeta=5\%$, e relativi parametri rappresentativi dello scuotimento sismico, in particolare:

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

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

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

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

- intensità spettrale SI

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

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

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

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

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

Di seguito si riportano le tabelle utilizzate per il calcolo del FA per la zona in oggetto, PIANURA 2. In particolare dall'indagine sismica MASW si è ricavata una V_{s30} pari 222 m/s, pertanto si è approssimato ai valori di Fa della colonna corrispondenti ad una V_s pari a 220 m/s.

V_{s30} (m/s)	150	200	250	300	350	400
PGA	1.7	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5

Fattore di amplificazione PGA

V_{s30} (m/s)	150	200	250	300	350	400
SA1	1.8	1.8	1.8	1.7	1.6	1.5
SA2	2.7	2.7	2.4	2.1	1.9	1.8
SA1	3.3	3.2	2.8	2.5	2.3	2.1
SA4	3.3	3.1	2.7	2.4	2.1	1.9

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

V_{s30} (m/s)	150	200	250	300	350	400
SI1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6
SI2	3.1	3.0	2.7	2.4	2.1	2.0
SI1	3.6	3.3	2.9	2.5	2.2	2.0

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

Di conseguenza, adottando un fattore di amplificazione della PGA pari a 1.70 e un valore di PGA di ancoraggio pari a 0.162 g (Tr 475 anni SLV), si ottiene un valore di PGA in superficie pari a **0.275g**.

5 MODELLAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA DEL SITO

5.1 Caratteristiche litostratigrafiche del terreno

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

Dalle indagini geotecniche CPTu è stato possibile ricavare i parametri geotecnici del terreno nei primi 20.00 m di profondità. Le prove evidenziano la prevalenza di terreni coesivi, con occasionali livelli di sabbia.

Dall'elaborazione delle prove penetrometriche è possibile individuare le seguenti unità litostratigrafiche:

Unità 1: Depositi argillosi a media consistenza, aventi valori di coesione non drenata C_u compresi tra a 50 e 60 kN/m^2 e valori di V_{s30} pari a 150 m/s . Spessore variabile da 3.00 a 6.00 m.

Unità 2: La prova CPTu n. 3 è caratterizzata da depositi prevalentemente coesivi argillosi e limosi a media scarsa consistenza, aventi valori di coesione non drenata C_u pari a 45 kN/m^2 , spessore indicativo 7.00 m. Diversamente, nella prova CPTu n. 1 sono presenti depositi sabbiosi o sabbiosi limosi mediamente addensati, aventi una D_r pari a 40%. Spessore indicativo pari a 3.00 m. Valori di V_{s30} pari a 200 m/s .

Unità 3: Depositi argillosi a media e media elevata consistenza, aventi valori di coesione non drenata C_u compresi tra a 55 e 70 kN/m^2 e valori di V_{s30} pari a 200 m/s . Spessore indicativo 3.00 m.

Unità 4: Depositi argillosi a elevata consistenza, aventi valori di coesione non drenata C_u compresi tra a 90 e 100 kN/m^2 e valori di V_{s30} pari a 240 m/s . Da - 13.00 m di profondità.

Al termine delle prove penetrometriche, in data 11-12/06/2020 è stato misurato il livello della falda freatica pari a - 1.70 m da p.c..

Di seguito si riportano le stratigrafie ottenute dall'elaborazione delle prove penetrometriche CPTu (Fig. 5.1 e 5.3).

Project: STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE
 Location: CAMPOGALLIANO_MODENA TERMINAL

CPT: CPTU1

Total depth: 20.14 m, Date: 12/06/2020

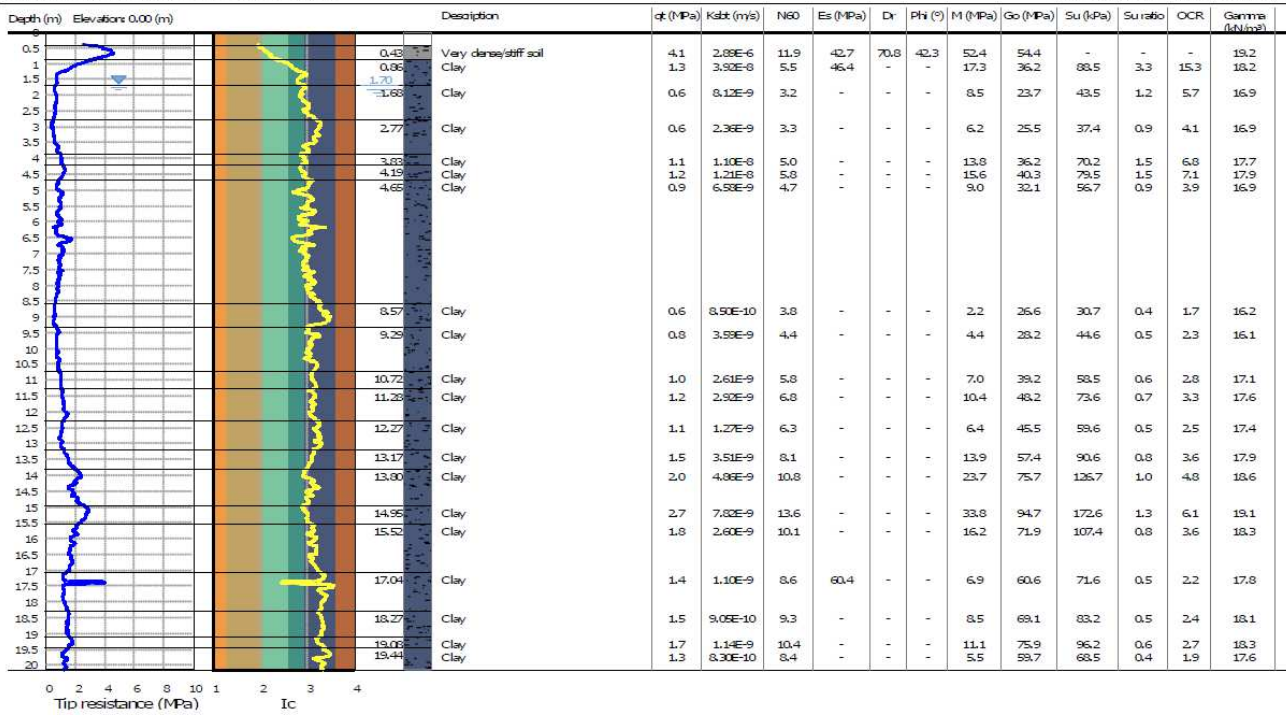


Fig.5.1 – Stratigrafia CPTu1.

Project: STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE
 Location: CAMPOGALLIANO_MODENA TERMINAL

CPT: CPTU3

Total depth: 20.32 m, Date: 18/06/2020

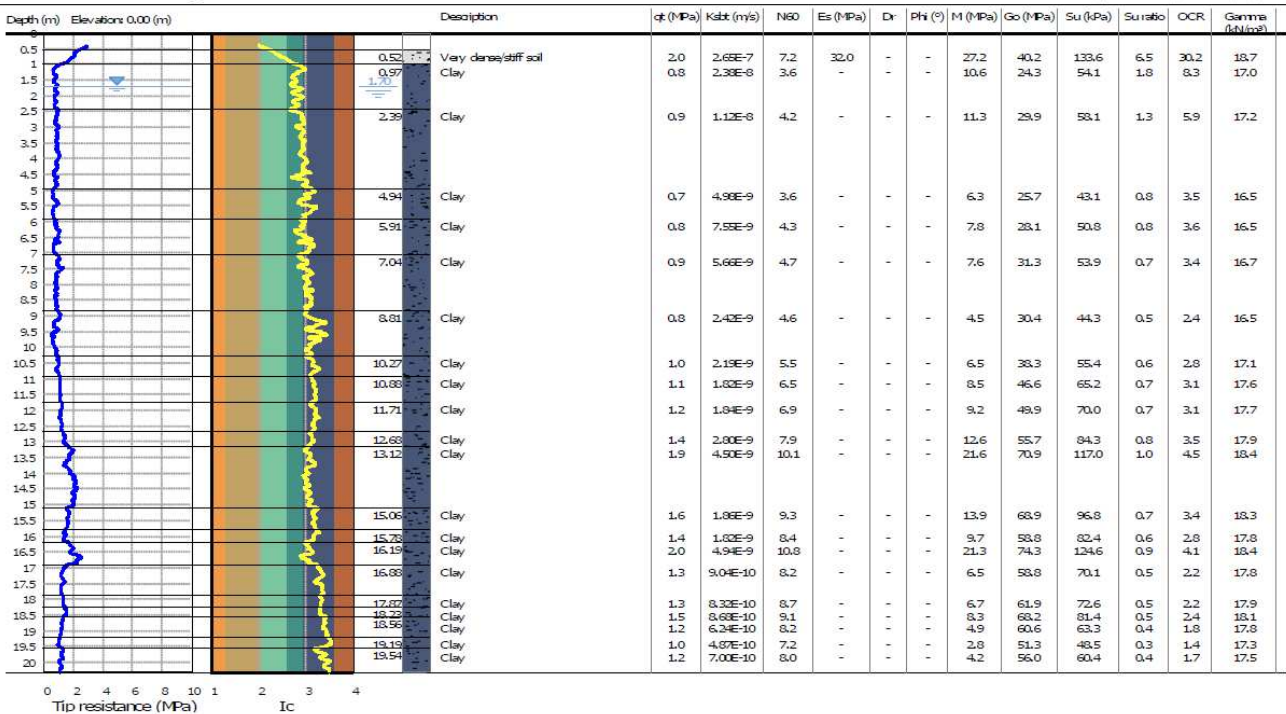


Fig.5.2 – Stratigrafia CPTu3.

La misura sismica passiva a stazione singola ha permesso di indagare il sottosuolo oltre la profondità raggiunta dalle indagini geotecniche. Dalla modellazione e dall'interpretazione della curva HVSR si è individuata una frequenza di risonanza del terreno a 0.81 Hz (§ 3.2.1 della presente relazione), plausibilmente rappresentativa di un substrato alterato.

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

5.2 Modello geotecnico del sottosuolo

Il modello geotecnico è finalizzato a fornire tutti i dati geotecnici necessari l'intervento in oggetto. Sulla base dei dati emersi dalle elaborazioni geotecniche e litostratigrafiche delle indagini geotecniche eseguite in sito e in relazione all'intervento in progetto, si può riassumere il seguente modello geotecnico schematico del terreno investigato:

Parametri di resistenza e deformabilità:

MODELLO

Strato	Profondità	falda	Litotipo	Parametri geotecnici	
1	Da p.c. – 2.40 m da p.c.	– 1.70 m da p.c.	Argilla o argilla limosa a media consistenza Unità 1	γ	1800 kg/m ³ ≈ 18.00 kN/m ³
				γ'	2100 kg/m ³ ≈ 21.00 kN/m ³
				C_{uk}	0.50 kg/cm ² ≈ 50.0 kN/m ²
				C'_k	0.05 kg/cm ² ≈ 5.0 kN/m ²
				M_0	47.0 kg/cm ² ≈ 4700 kN/m ²
				E	70.0 kg/cm ² ≈ 7000 kN/m ²
				ν	0.40
				ϕ_k	23°
2	2.40 – 11.20 m da p.c.		Argilla o argilla limosa a media scarsa consistenza Unità 2	γ	1800 kg/m ³ ≈ 18.00 kN/m ³
				γ'	2100 kg/m ³ ≈ 21.00 kN/m ³
				C_{uk}	0.45 kg/cm ² ≈ 45.0 kN/m ²
				C'_k	0.045 kg/cm ² ≈ 4.5 kN/m ²
				M_0	38.0 kg/cm ² ≈ 3800 kN/m ²
				E	63.0 kg/cm ² ≈ 6300 kN/m ²
				ν	0.42
				ϕ_k	21°
3	11.20 – 13.00 m da p.c.		Argilla o argilla limosa a media elevata consistenza Unità 3	γ	1800 kg/m ³ ≈ 18.00 kN/m ³
				γ'	2100 kg/m ³ ≈ 21.00 kN/m ³
				C_{uk}	0.70 kg/cm ² ≈ 70.0 kN/m ²
				C'_k	0.07 kg/cm ² ≈ 7.0 kN/m ²
				M_0	50.0 kg/cm ² ≈ 5000 kN/m ²
				E	98.0 kg/cm ² ≈ 9800 kN/m ²
				ν	0.38
				ϕ_k	24°
4	13.00 – 20.00 m da p.c.		Argilla o argilla limosa a elevata consistenza Unità 4	γ	1850 kg/m ³ ≈ 18.50 kN/m ³
				γ'	2150 kg/m ³ ≈ 21.50 kN/m ³
				C_{uk}	0.90 kg/cm ² ≈ 90.0 kN/m ²
				C'_k	0.09 kg/cm ² ≈ 9.0 kN/m ²
				M_0	72.0 kg/cm ² ≈ 7200 kN/m ²
				E	126.0 kg/cm ² ≈ 12600 kN/m ²
				ν	0.35
				ϕ_k	25°
Legenda			γ	=	peso specifico terreno naturale
			γ'	=	peso specifico terreno saturo
			C_{uk}	=	coesione non drenata caratteristica
			C'_k	=	coesione efficace caratteristica
			M_{0k}	=	modulo di deformazione edometrica caratteristico
			E_s	=	modulo elastico
			ϕ_k	=	angolo d'attrito caratteristico
			D_r	=	densità relativa
ν	=	coefficiente di Poisson			

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

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

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

Dove:

CRR è rappresentato dal rapporto di resistenza ciclica

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Il valore **CRR** è stato ricavato attraverso la metodologia di calcolo proposta da **Boulanger&Idriss 2014**. Per le specifiche della procedura di calcolo adottata si faccia riferimento all'allegato **A2.2** della DGR 476/2021 della Regione Emilia Romagna. L'analisi di liquefazione è stata eseguita entro i -20.00 m rispetto al piano campagna come prescritto dalla normativa di riferimento.

Le verifiche sono state svolte considerando una magnitudo di riferimento **M = 6.14** (derivante dalla zonazione sismogenetica) e una accelerazione massima al suolo **A_{max} = 0.275g**, approssimata a **0.28g** (DGR 476/2021).

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

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

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

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

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

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

Si illustra successivamente il valore di LPI derivato dalle verticali di prova CPTu1, CPTu2 e CPTu3, considerando un'accelerazione massima al suolo $A_{max} = 0.275g$, approssimata a **0.28g** (DGR 476/2021), la soggiacenza **della falda freatica è stata considerata alla profondità $D_w = -1.70$ m (in data 11-12/06/2020)** e una magnitudo di riferimento pari a **M=6.14**.

A seguito della verifica, si sono ottenuti i seguenti valori di LPI (Fig. 5.4):

INDAGINE	INDICE DI LIQUEFAZIONE	RISCHIO
CPTu1	0.022	BASSO
CPTu3	0	NULLO

6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

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

Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione delle indagini geotecniche eseguite (§ 3.1 e § 3.2), si ritiene possibile l'utilizzo di fondazioni dirette superficiali; si fornisce per il terreno di fondazione indagato due modelli geotecnici medi riportati nel § 5.2 della presente relazione.

La caratterizzazione sismica del sito è stata condotta sulla base di indagini geofisiche di tipo MASW e HVSR eseguita nel sito in studio (§ 4.2), dall'elaborazione congiunta di tali prove, è stato possibile determinare che la velocità media delle onde di taglio $V_{s30} = 222 \text{ m/s}$ per lo spessore di copertura considerato, pari a **123.50 m**.

Sulla base delle NTC 2018, e tenendo conto dell'indagine sismica sopraccitata si può classificare il terreno di fondazione in oggetto come appartenente alla **categoria C**, corrispondente a: DEPOSITI DI TERRENI A GRANA GROSSA MEDIAMENTE ADDENSATI O TERRENI A GRANA FINA MEDIAMENTE CONSISTENTI CON PROFONDITÀ DEL SUBSTRATO SUPERIORI A 30 m, CARATTERIZZATI DA UN MIGLIORAMENTO DELLE PROPRIETÀ MECCANICHE CON LA PROFONDITÀ E DA VALORI DI VELOCITÀ EQUIVALENTE COMPRESI TRA **180 m/s** E **360 m/s**.

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

ag	RSL	
	F.A.	A _{max}
0.162g	1.70	0.275g

È stata eseguita la verifica della suscettibilità al fenomeno della liquefazione sulla base delle prove penetrometriche CPTu eseguite in sito, considerando una accelerazione massima al suolo $A_{max} = 0.275g$ (calcolata dal secondo livello di approfondimento della risposta sismica locale DGR 476/2021), la soggiacenza della falda freatica alla profondità **Dw=-1.70 m da p.c.** (in data 11-12/06/2020), e una **magnitudo di riferimento** pari a **M=6.14**. Dall'analisi della suscettibilità nei confronti del fenomeno della liquefazione così eseguita si è ottenuto un valore di LPI corrispondente a un **rischio di liquefazione basso e nullo** (§ 5.3).

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

Si ricorda che, in fase esecutiva, dovranno essere realizzate ulteriori indagini geotecniche specifiche per ogni singolo intervento corredate di opportune relazioni geologiche geotecniche e sismiche, al fine di poter calcolare con maggior precisione la struttura di fondazione.

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

Modena, 31 agosto 2023

Dott. Geol. Pier Luigi Dallari

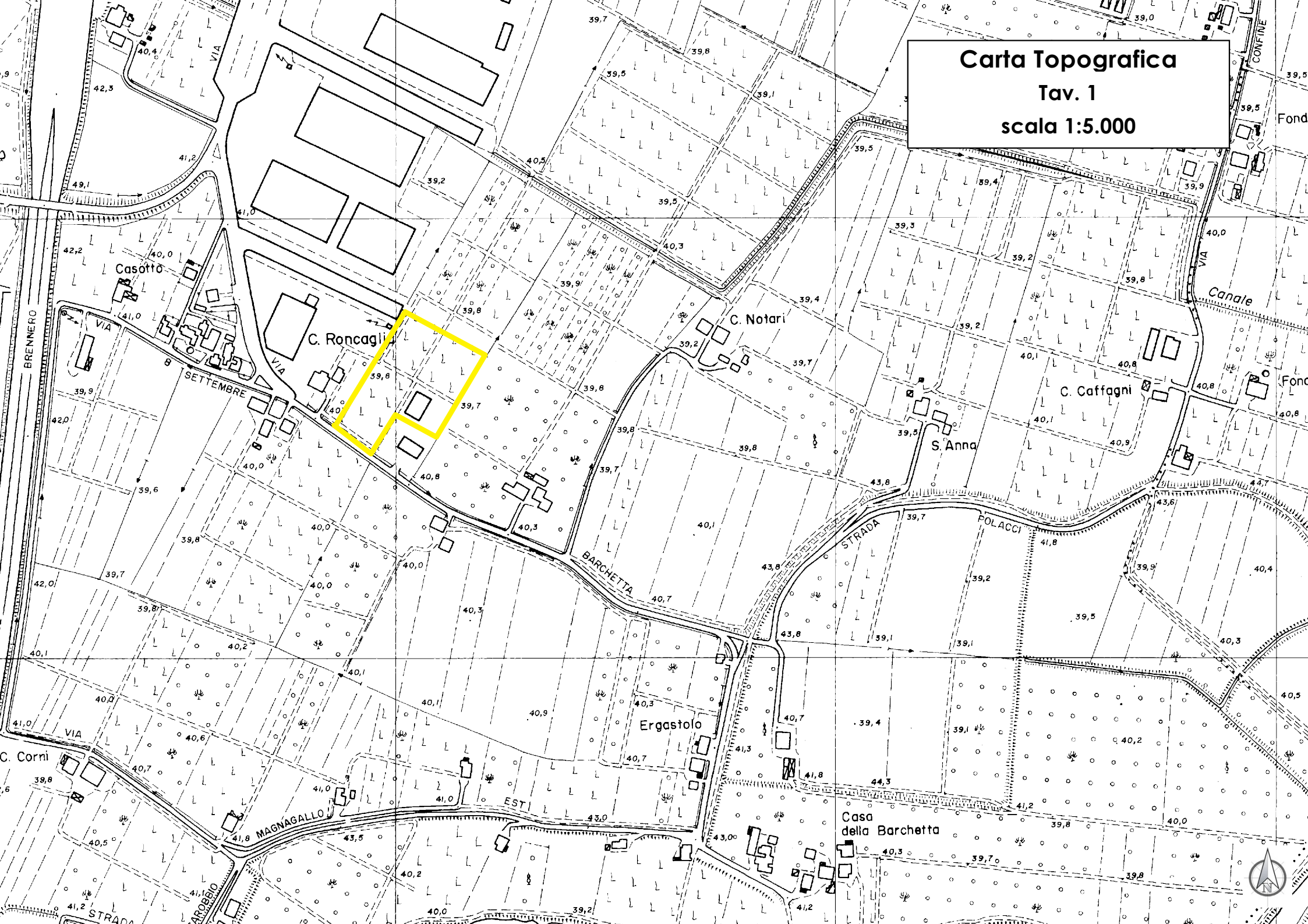


TAVOLE

Carta Topografica

Tav. 1

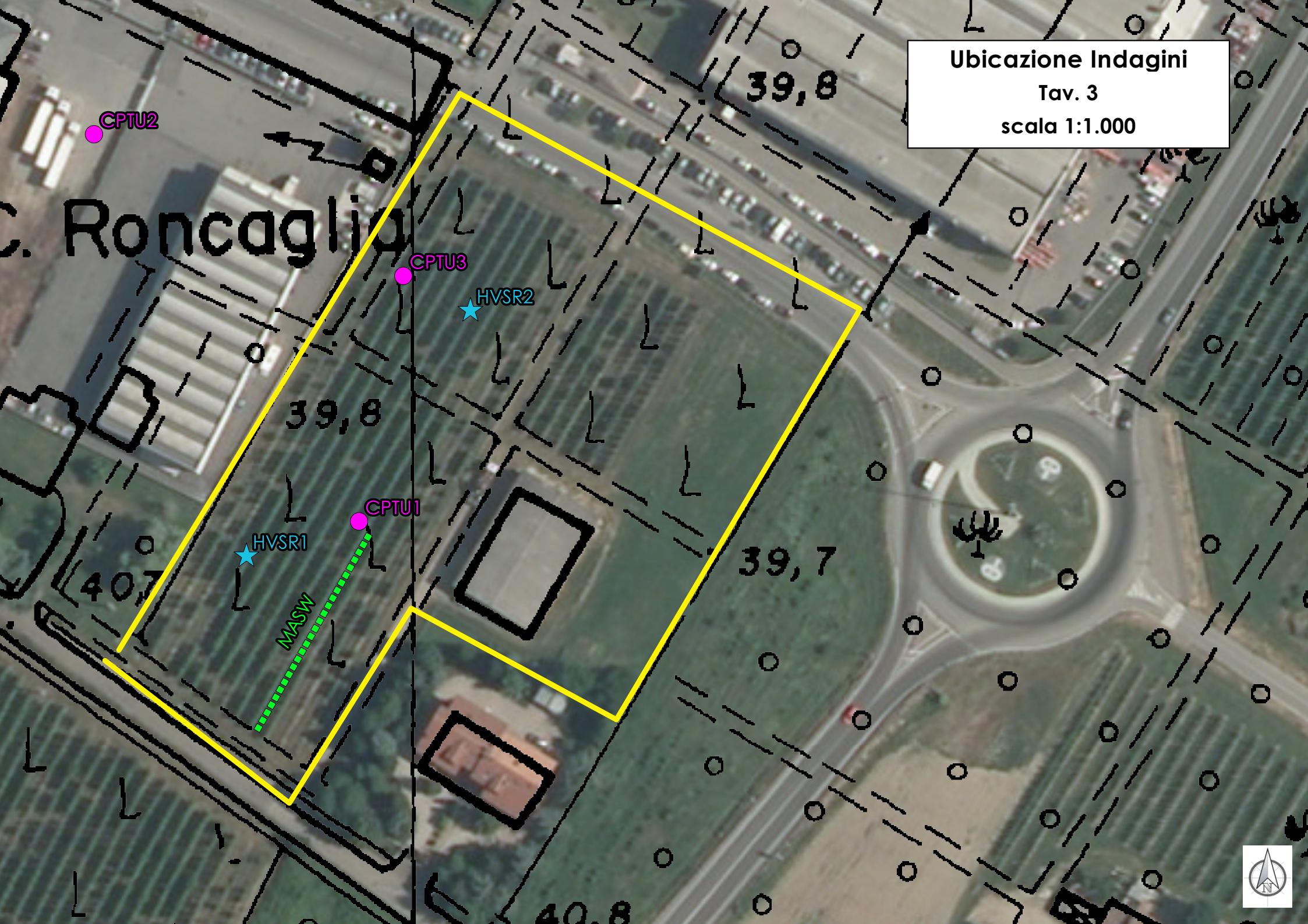
scala 1:5.000



Ubicazione Indagini

Tav. 3

scala 1:1.000



C. Roncaglia

CPTU2

CPTU3

HVSRI2

39,8

39,7

HVSRI

CPTU1

MASW

39,8

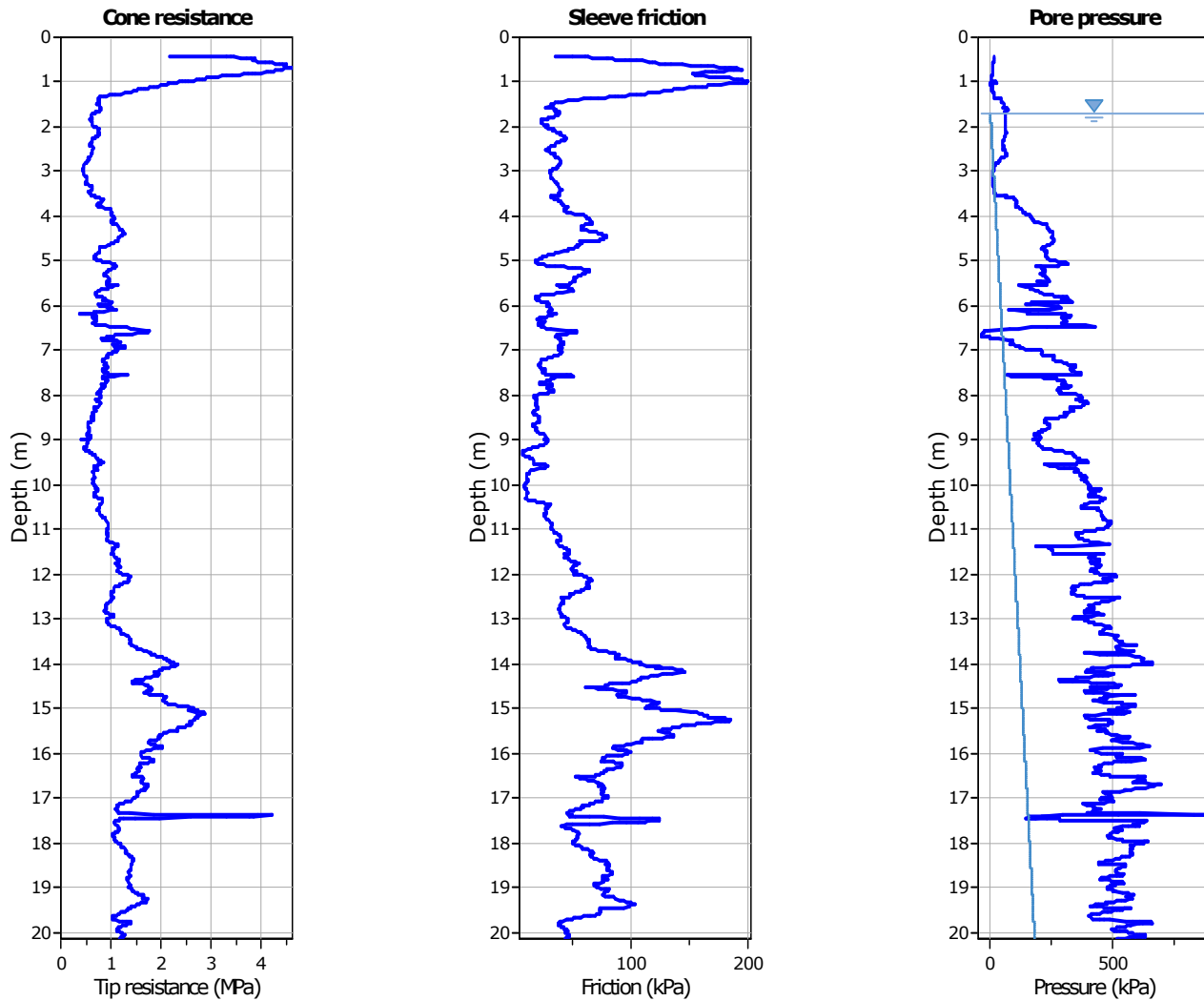
40,7

40,8

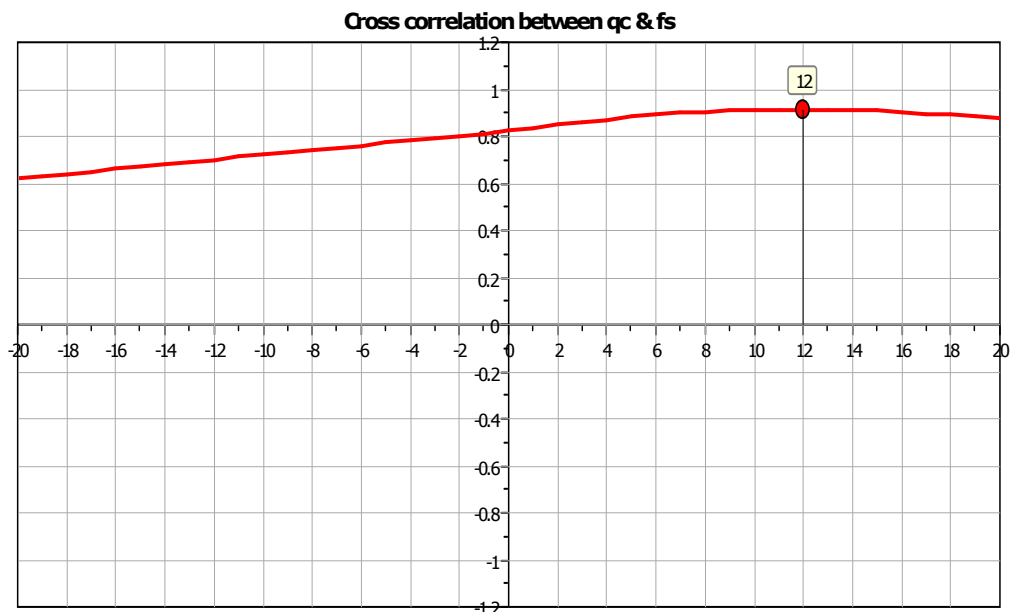


ALLEGATO 1

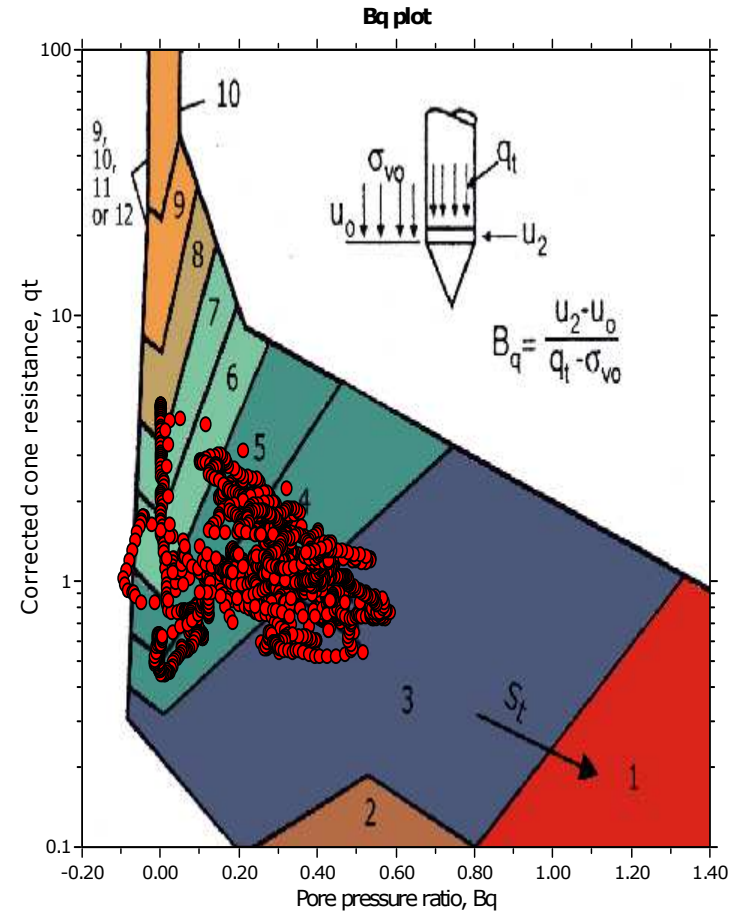
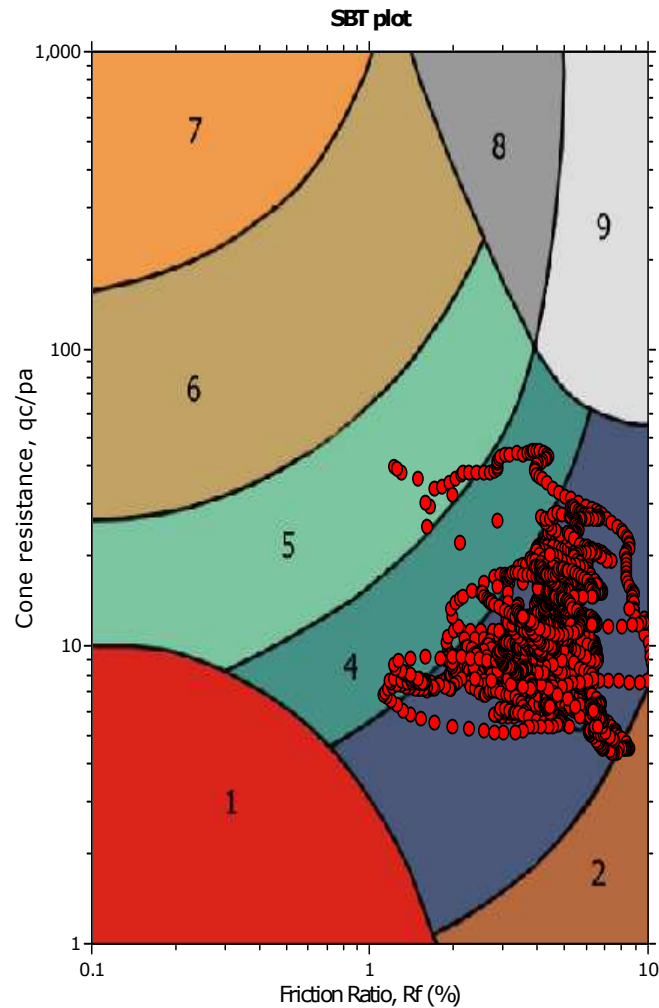
PROVE PENETROMETRICHE CPTU



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



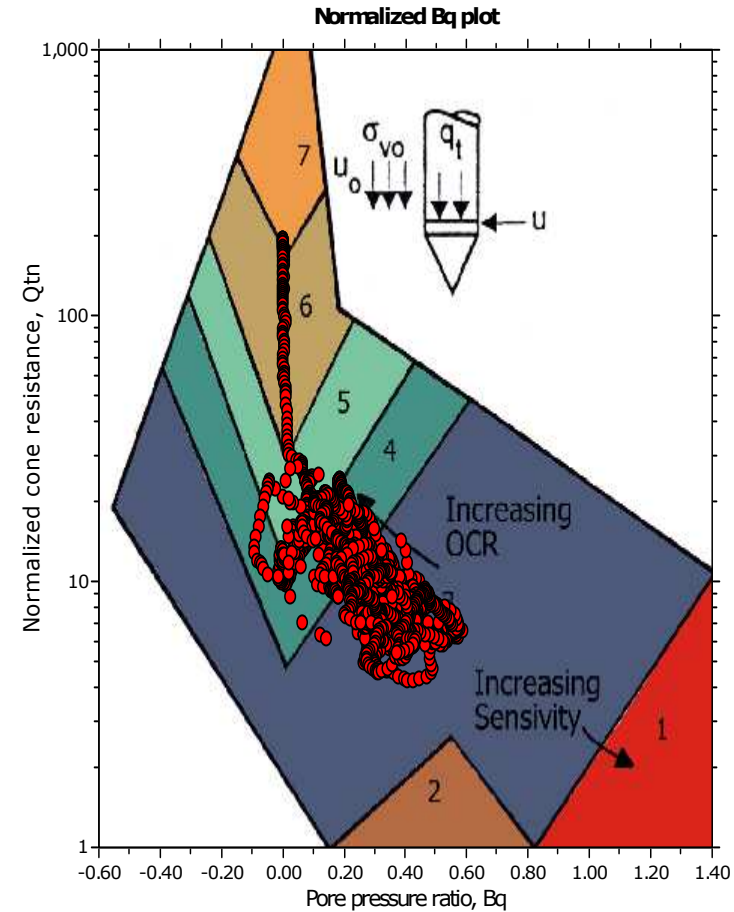
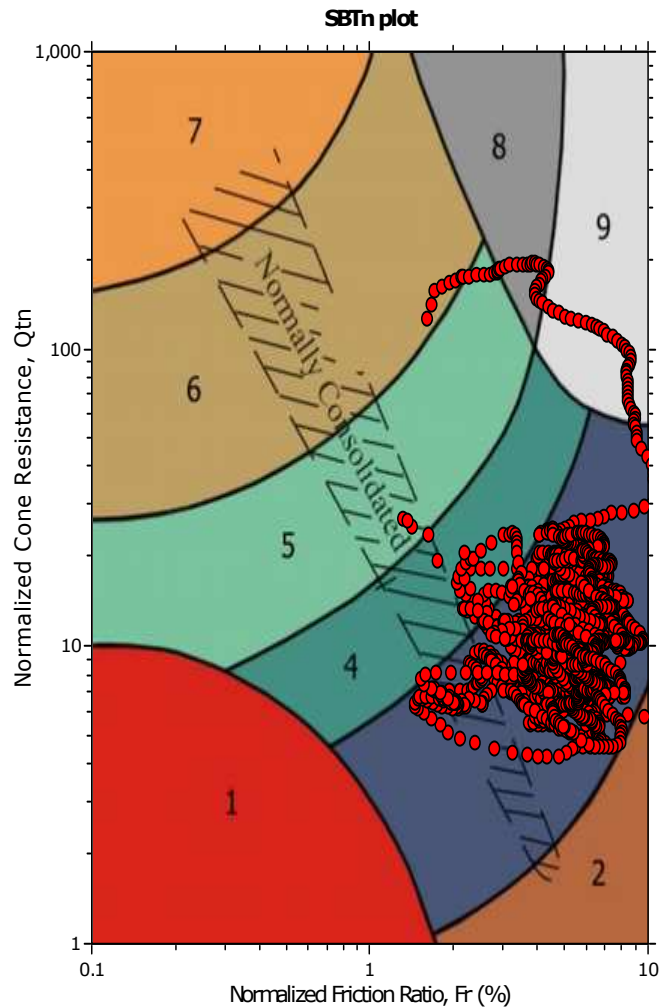
SBT - Bq plots



SBT legend

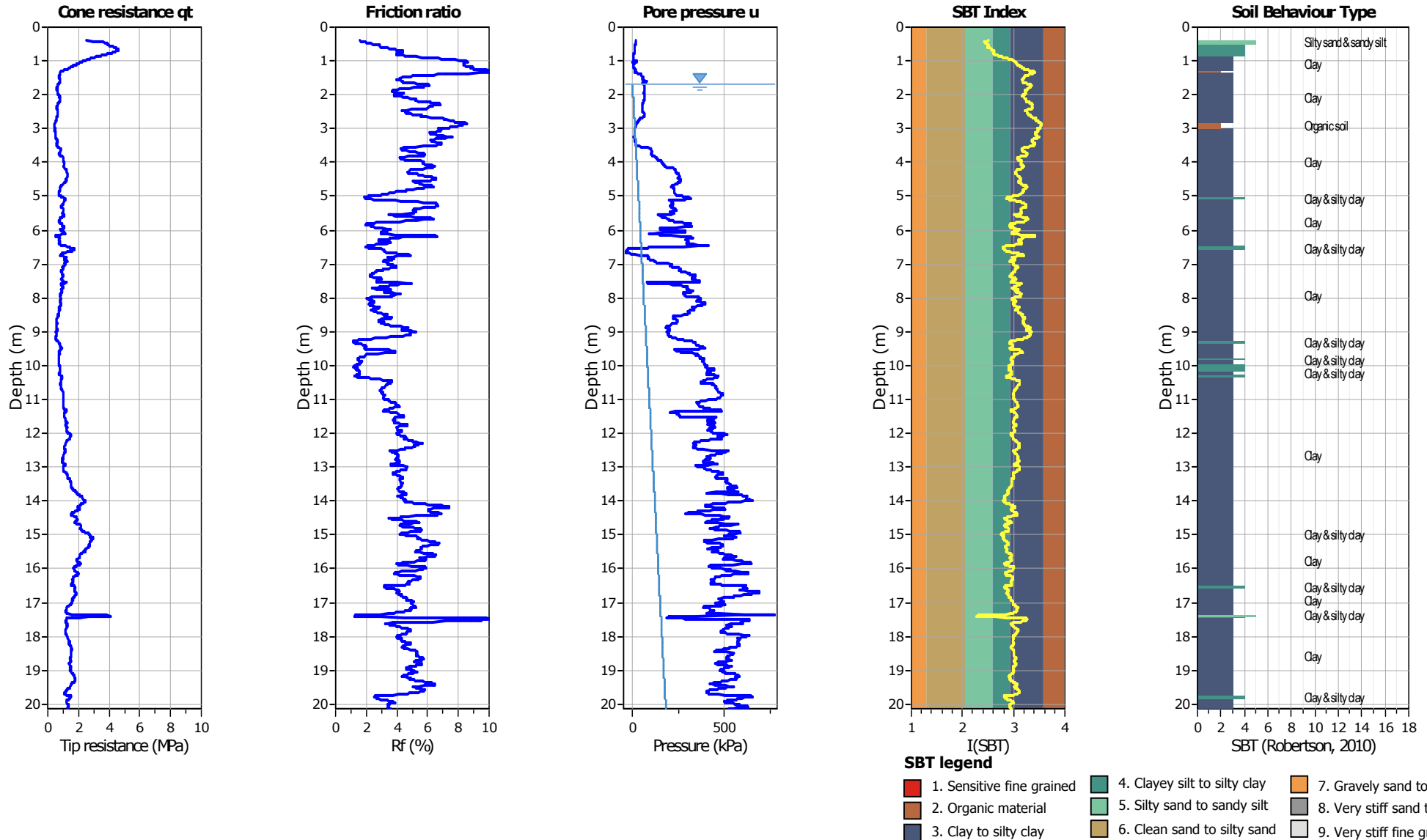
- | | | |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty clay | 7. Gravely sand to sand |
| 2. Organic material | 5. Silty sand to sandy silt | 8. Very stiff sand to clayey sand |
| 3. Clay to silty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

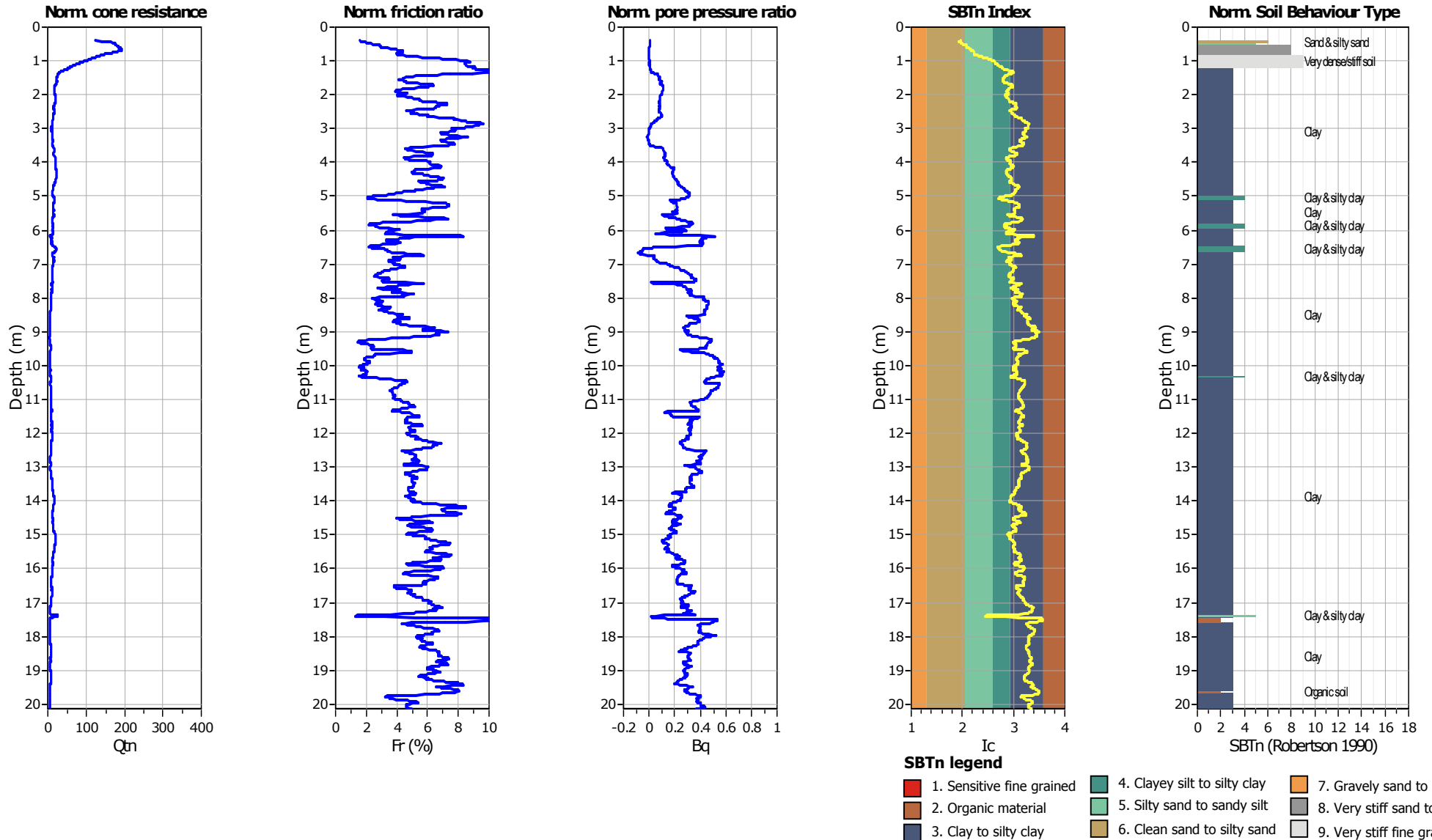
SBT - Bq plots (normalized)

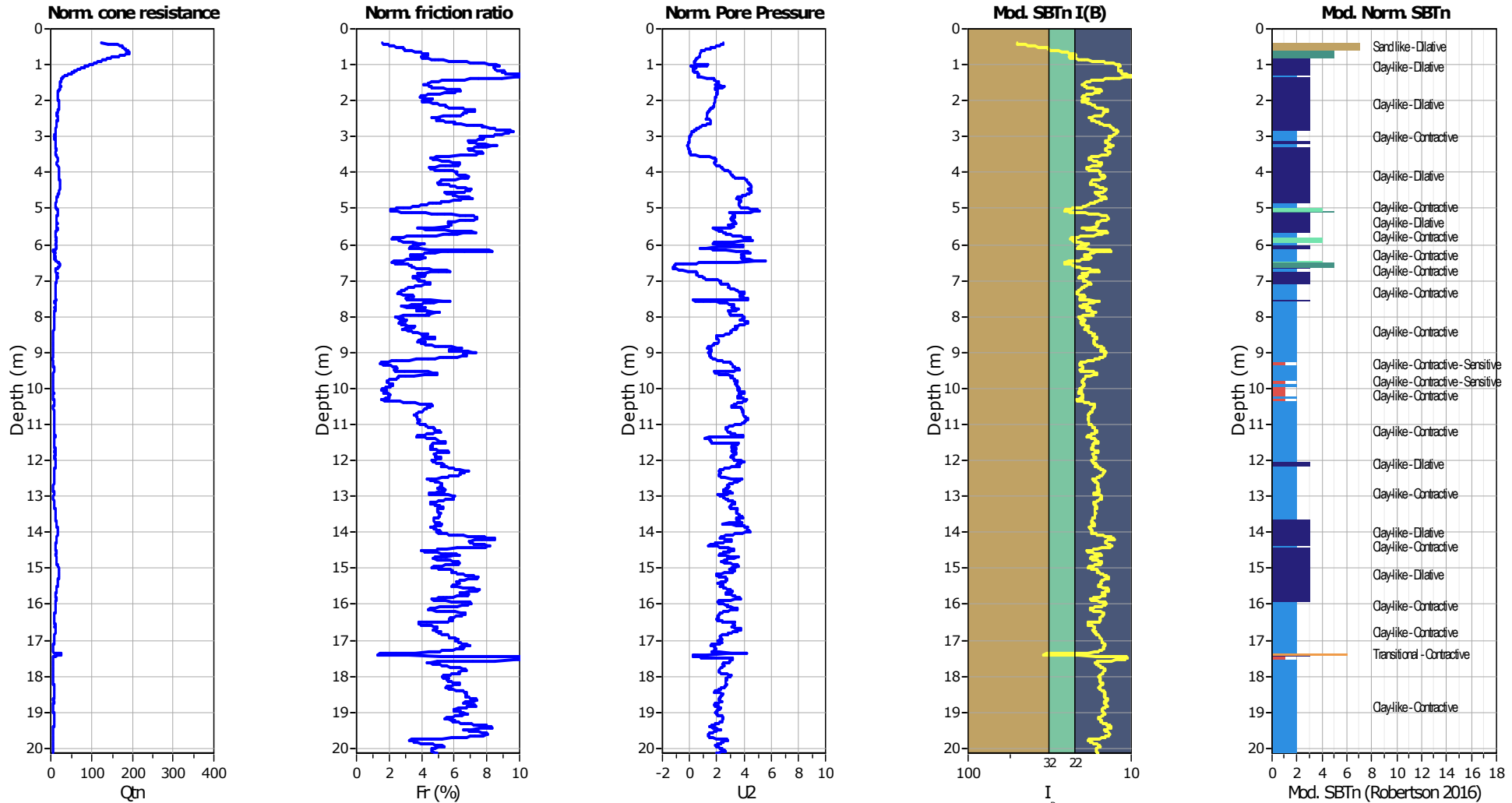


SBTn legend

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



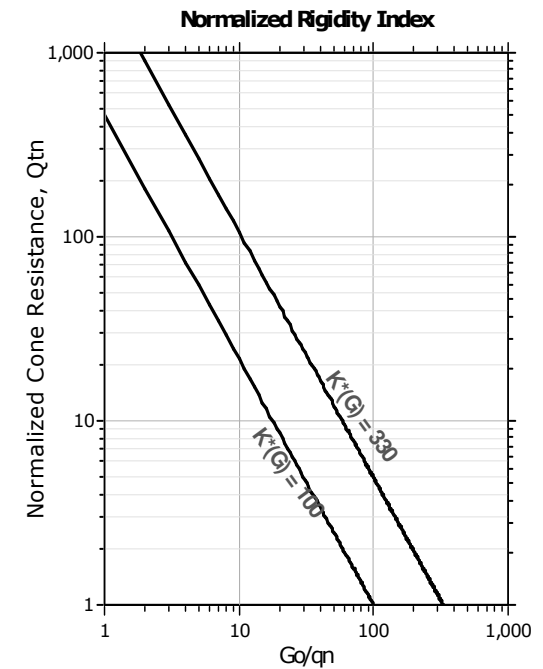
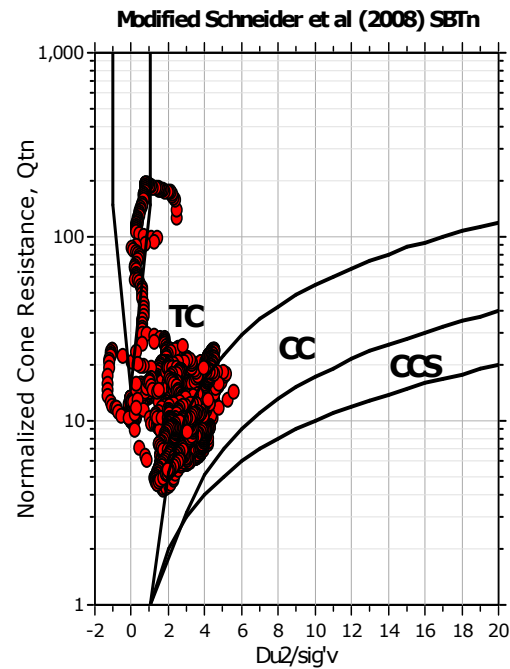
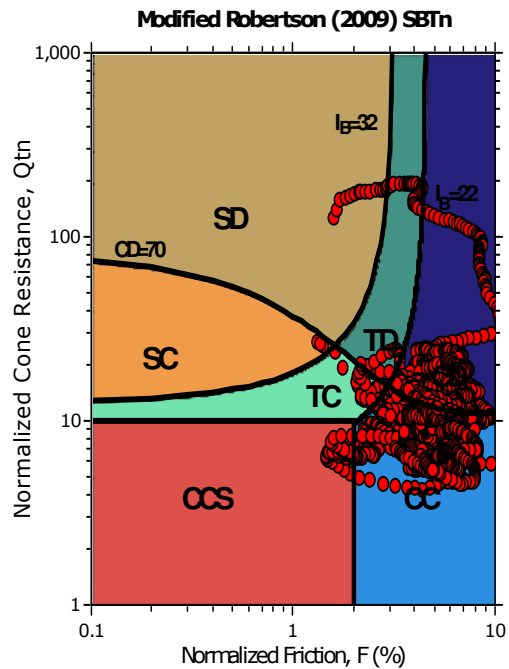




Mod. SBTn legend

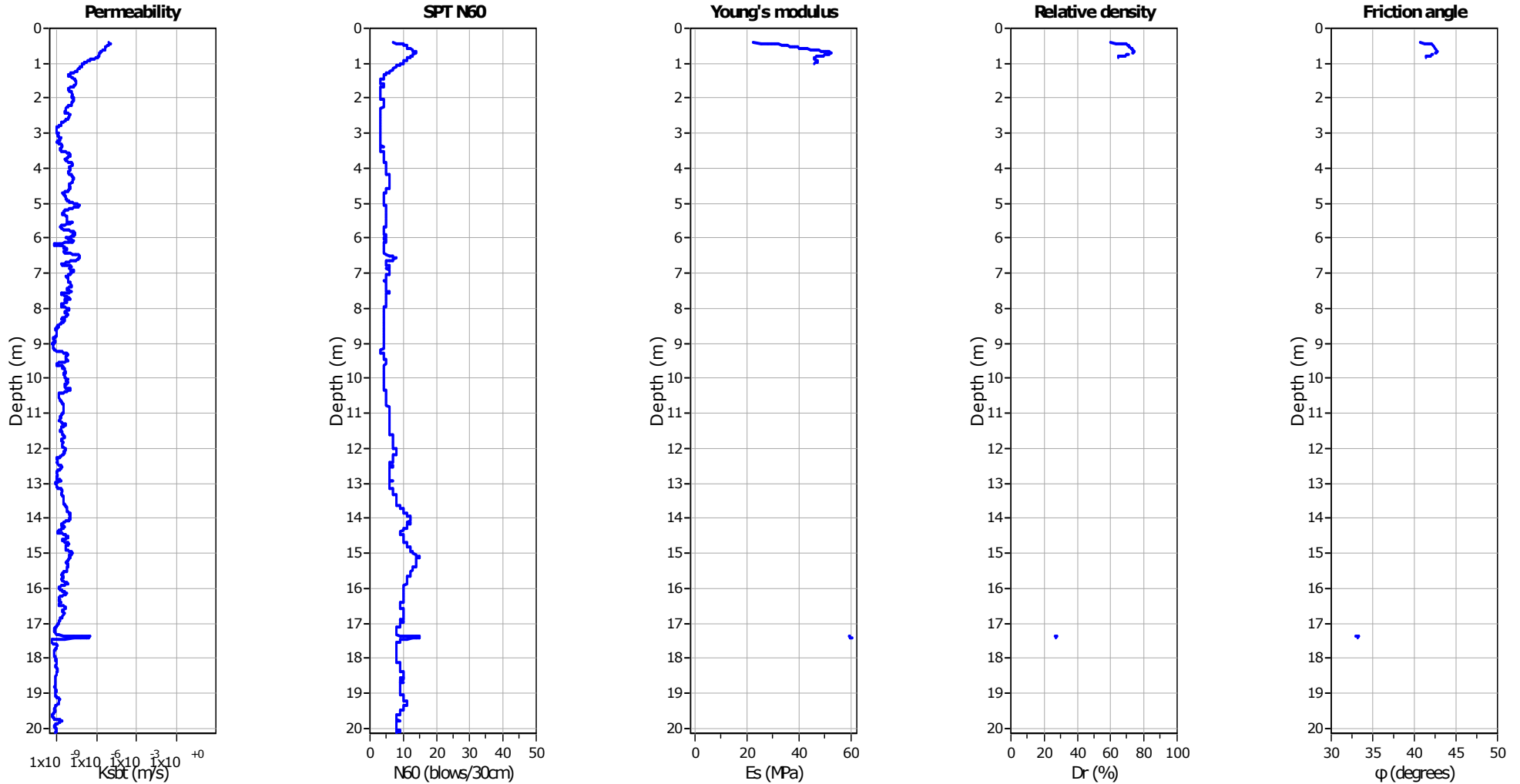
- | | | |
|--|--|---|
| ■ 1. CCS: ClayLike - Contractive, Sensitive | ■ 4. TC: Transitional - Contractive | ■ 7. SD: Sand-like - Dilative |
| ■ 2. CC: Clay-like - Contractive | ■ 5. TD: Transitional - Dilative | |
| ■ 3. CD: Clay-Like: Dilative | ■ 6. SC: Sand-like - Contractive | |

Updated SBTn plots



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

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



Calculation parameters

Permeability: Based on SBT_n

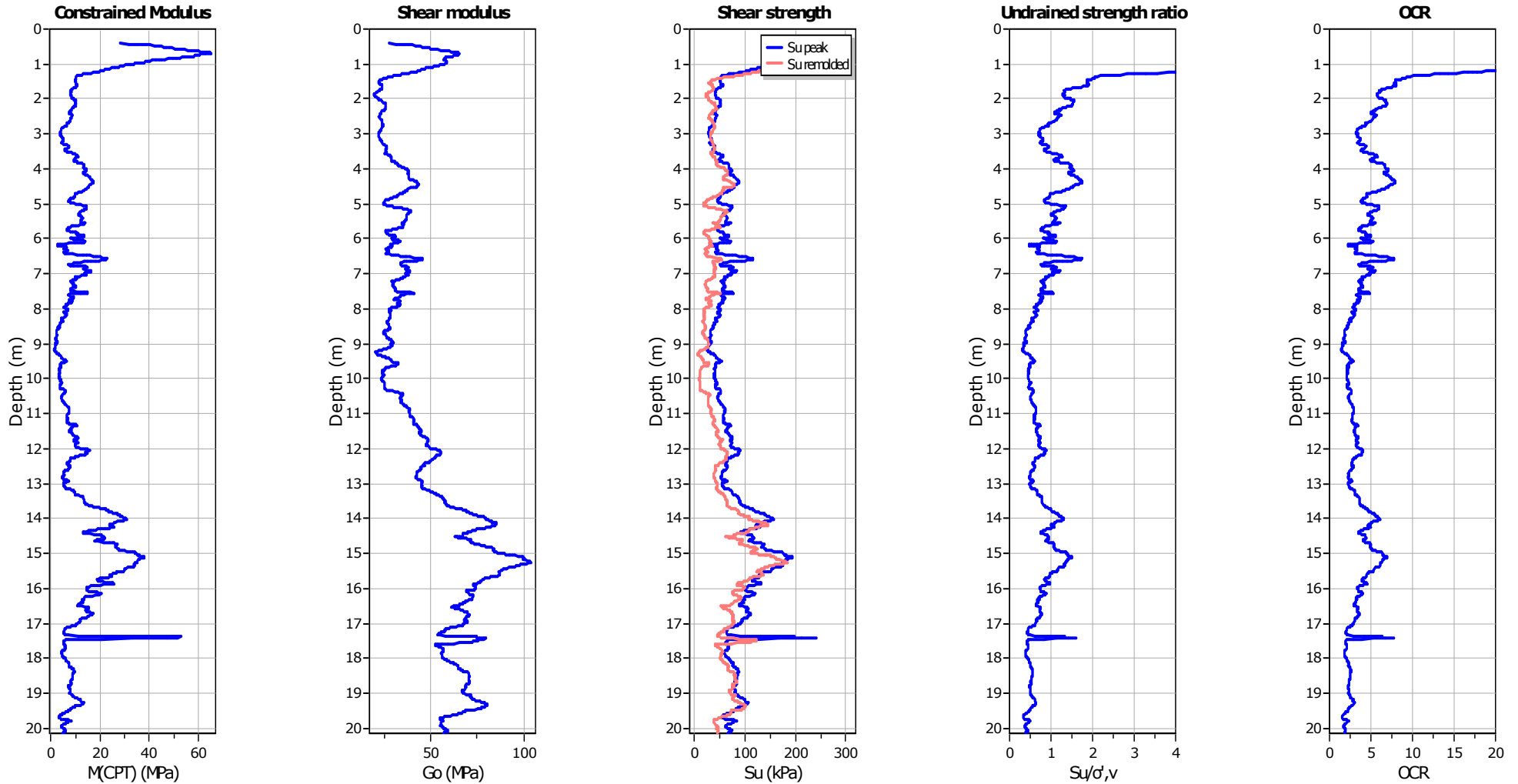
SPT N₆₀: Based on I_c and q_t

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

Relative density constant, C_{Dr}: 350.0

Phi: Based on Kulhawy & Mayne (1990)

● User defined estimation data



Calculation parameters

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

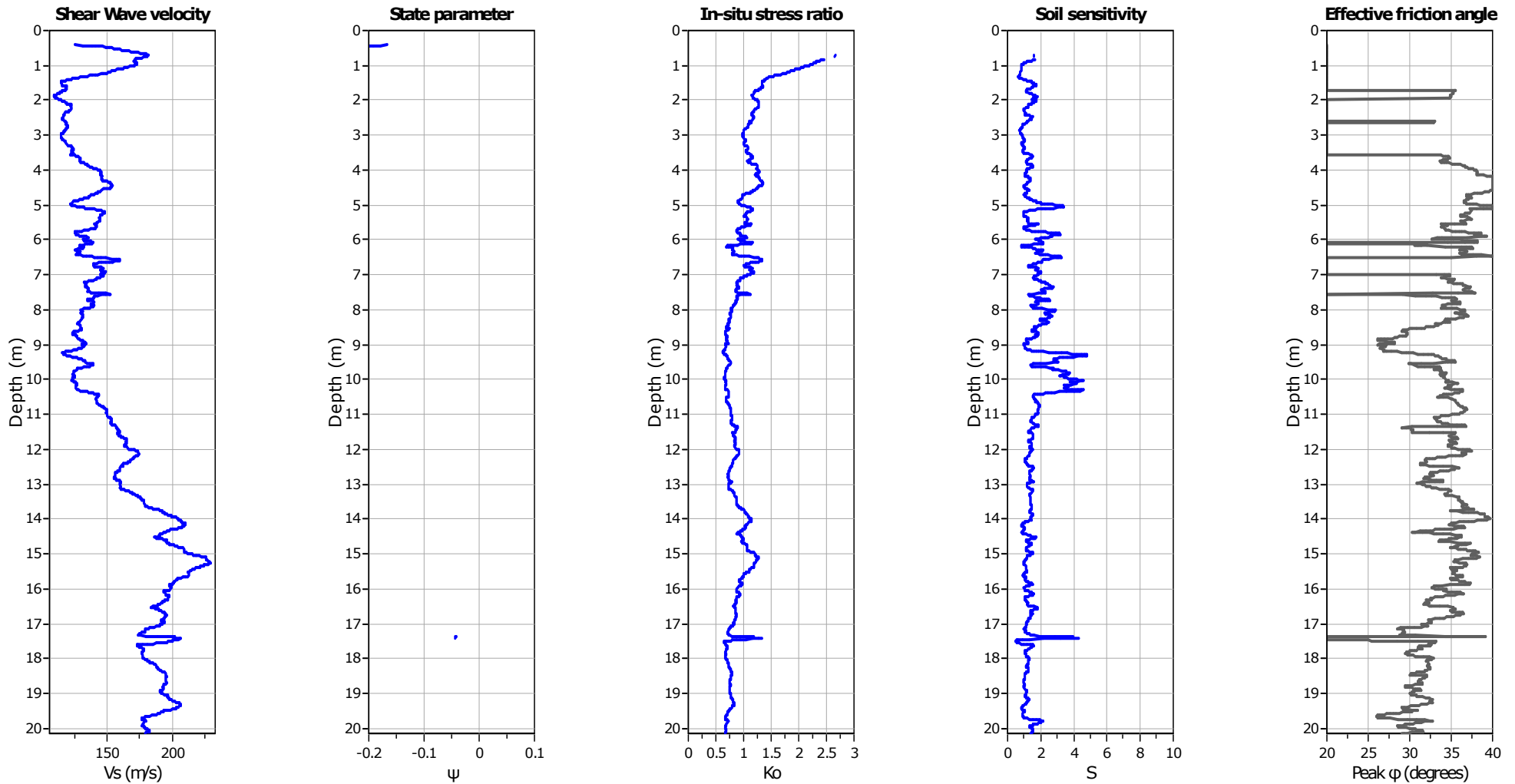
Go: Based on variable *alpha* using I_c (Robertson, 2009)

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

OCR factor for clays, N_{kt} : 0.33

● User defined estimation data

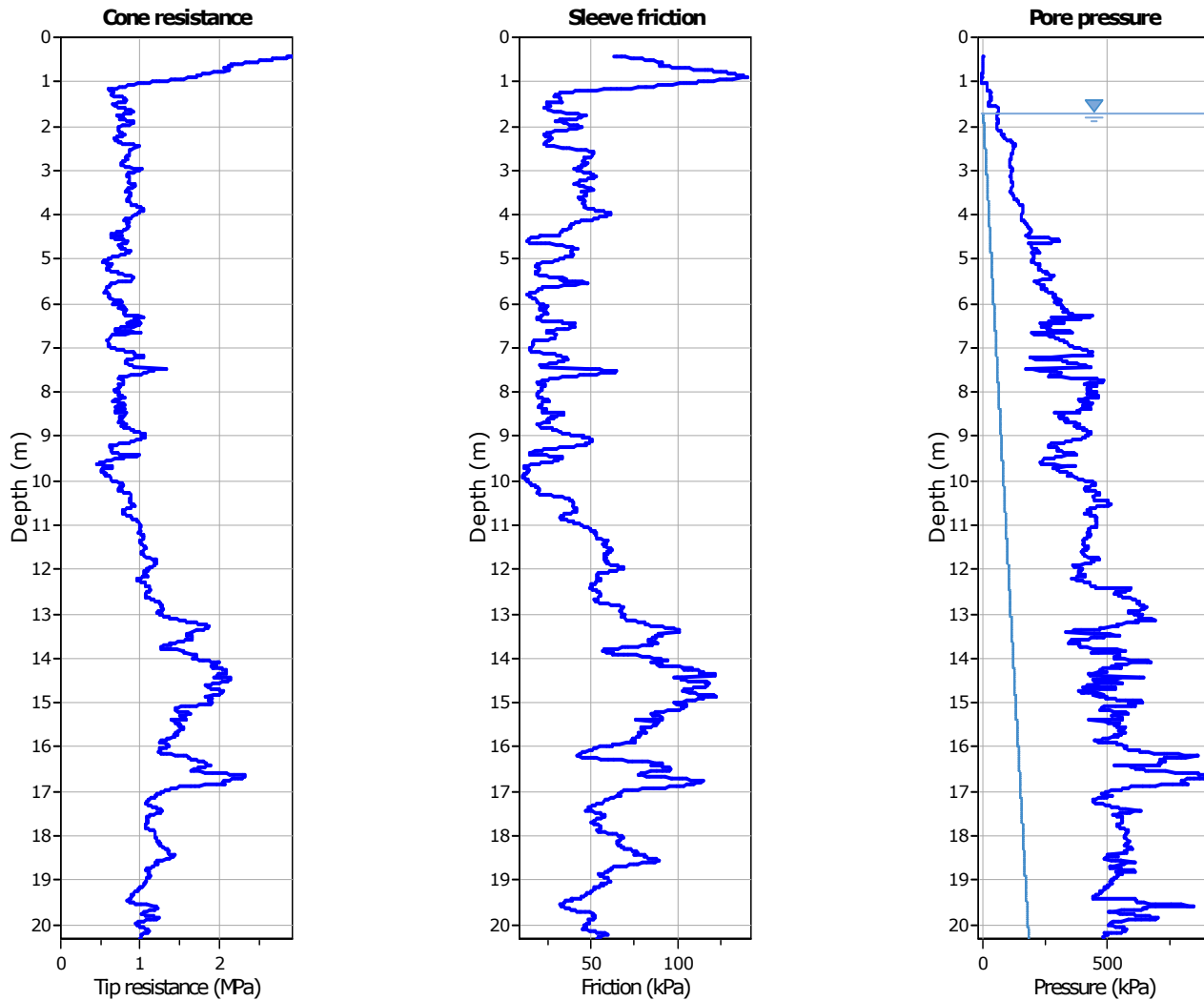
● Flat Dilatometer Test data



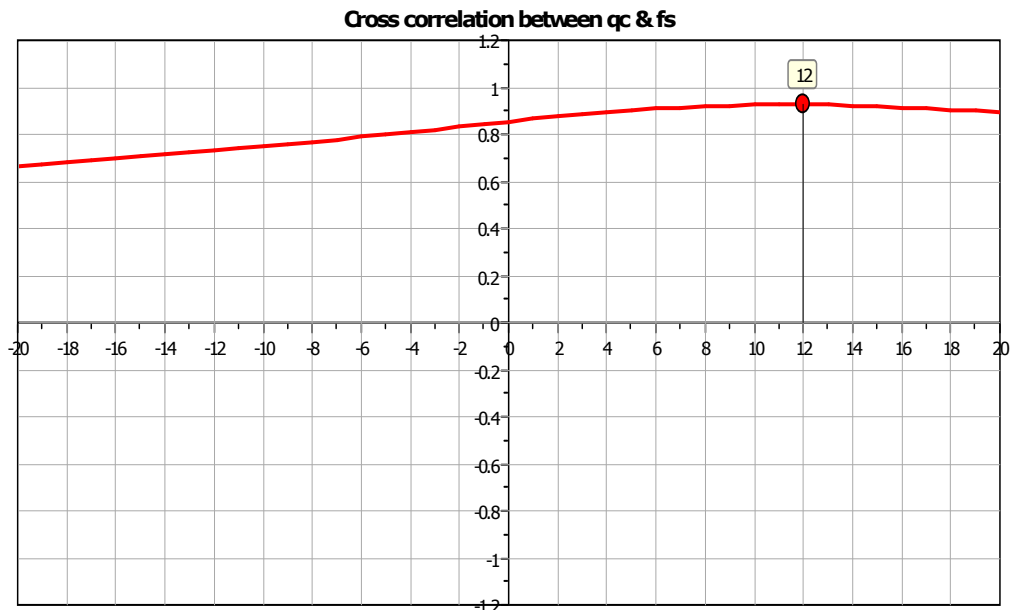
Calculation parameters

Soil Sensitivity factor, N_s : 7.00

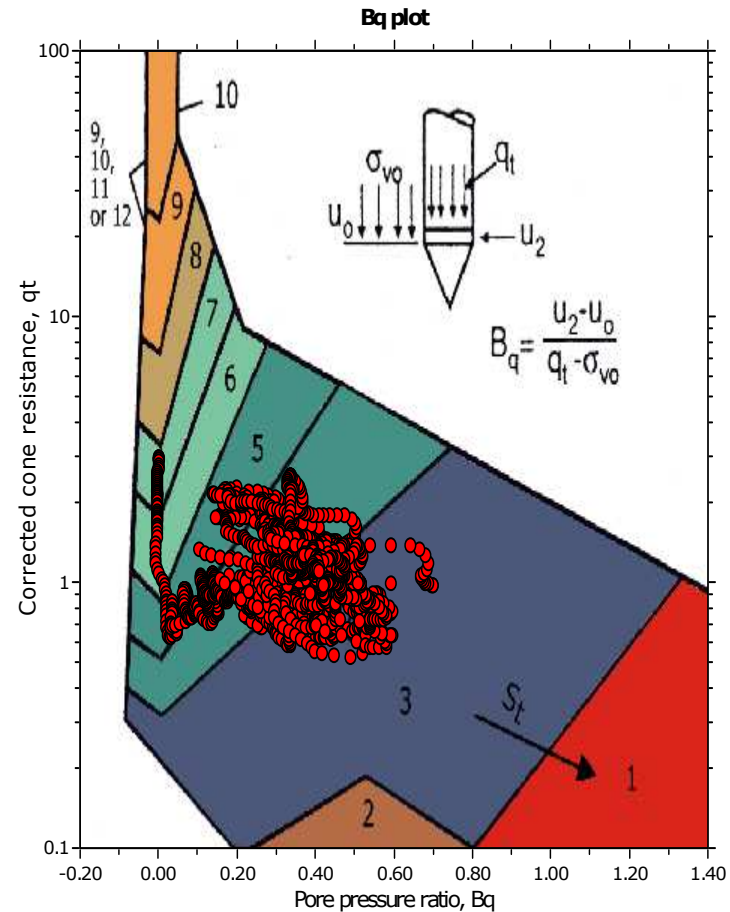
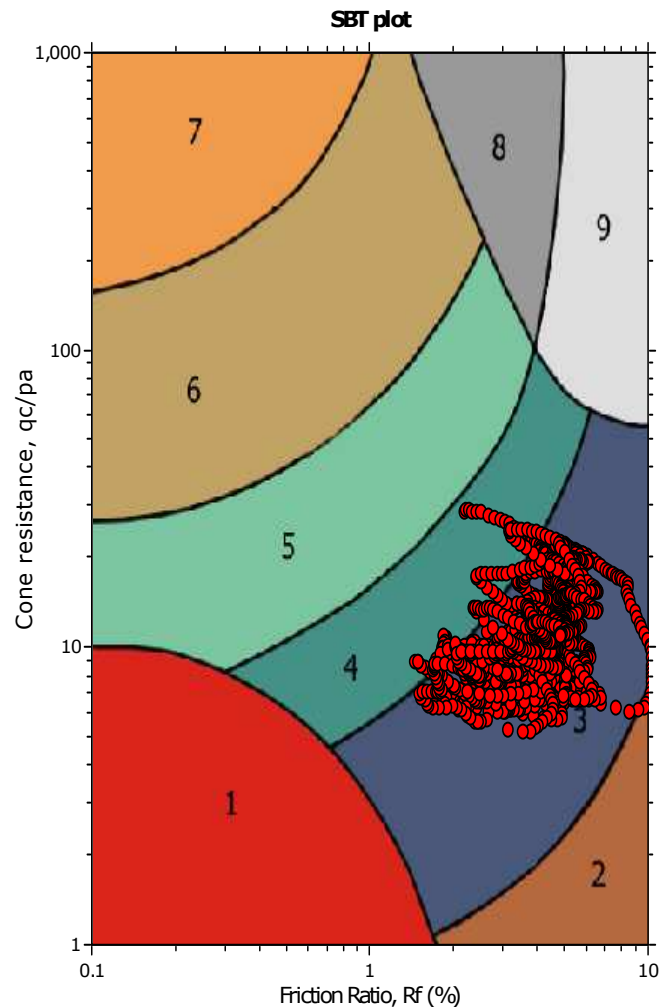
—●— User defined estimation data



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



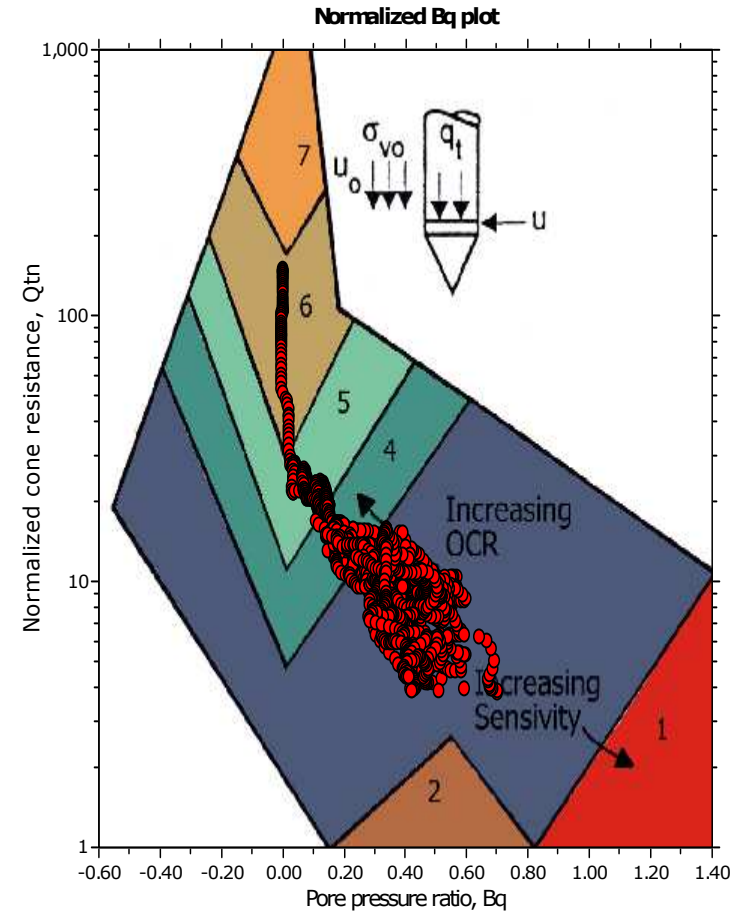
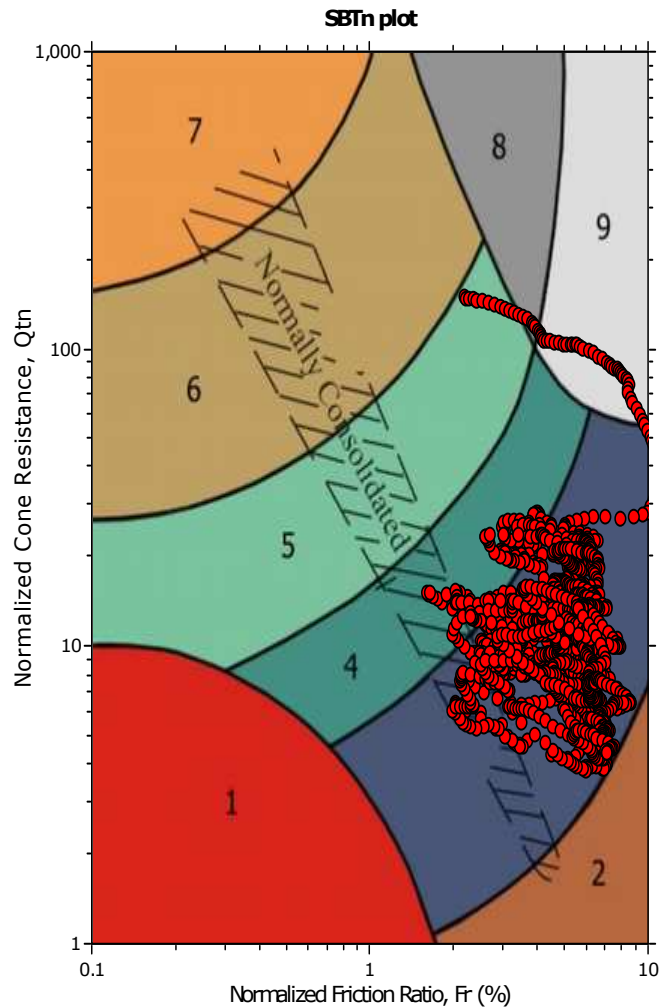
SBT - Bq plots



SBT legend

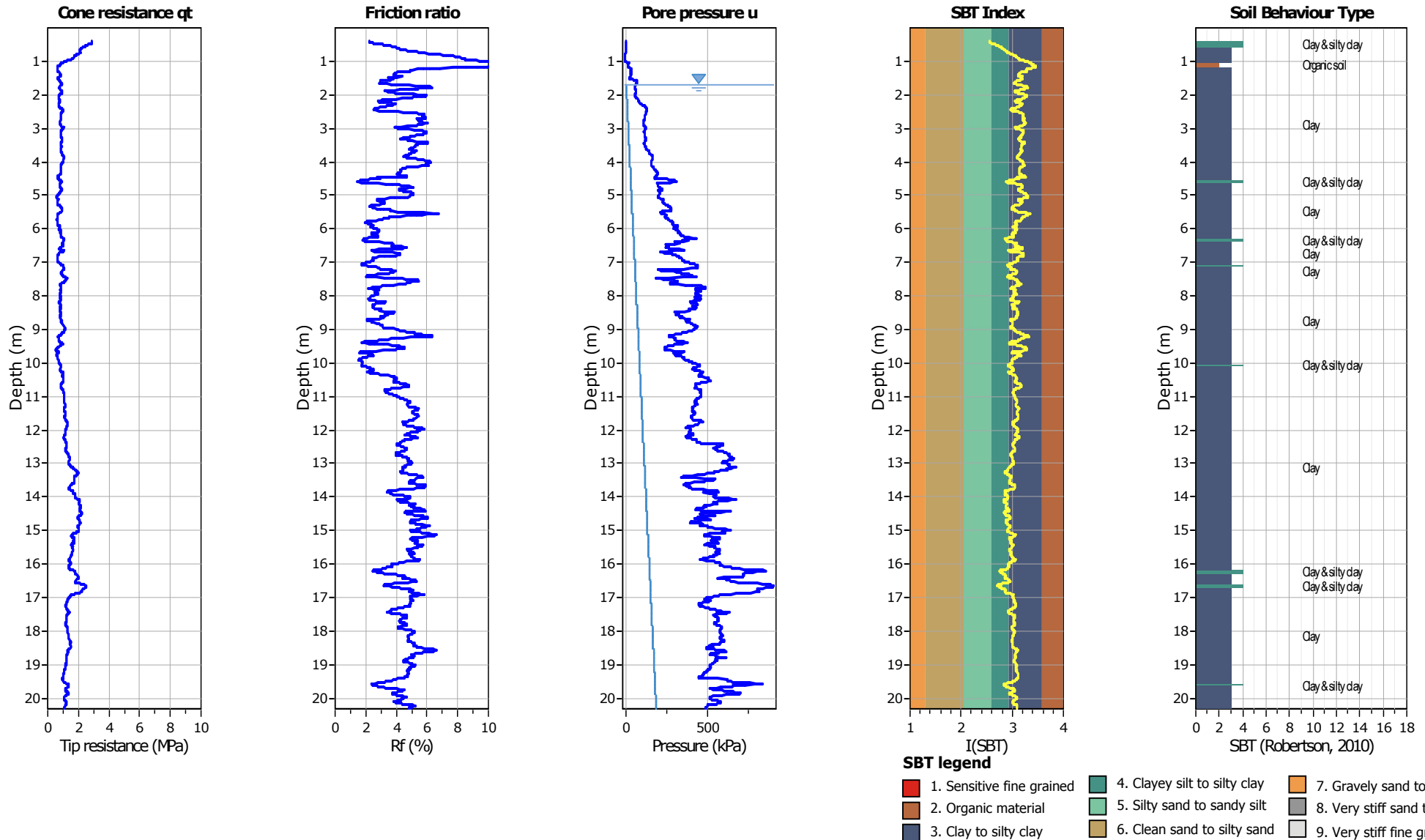
- | | | |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty clay | 7. Gravely sand to sand |
| 2. Organic material | 5. Silty sand to sandy silt | 8. Very stiff sand to clayey sand |
| 3. Clay to silty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

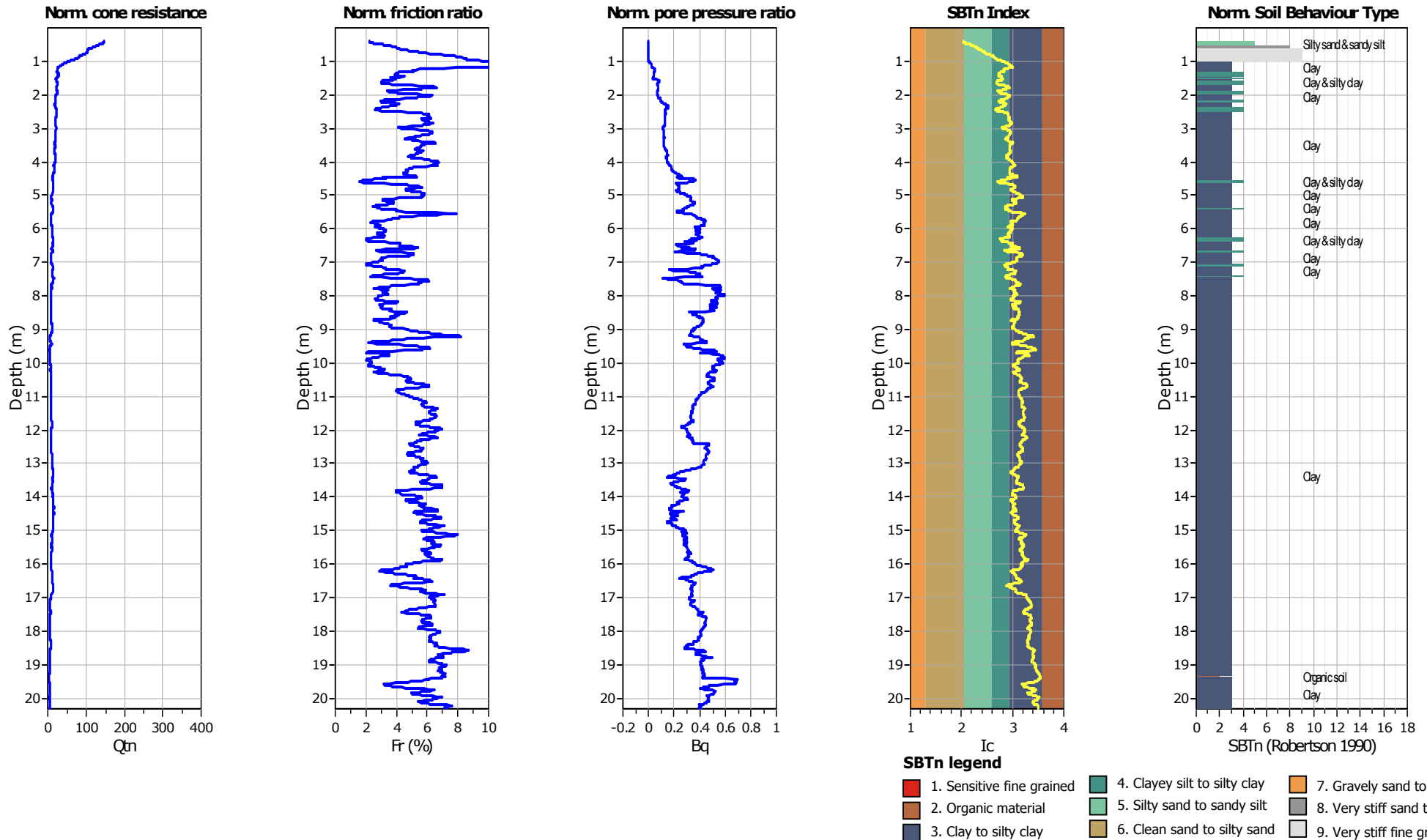
SBT - Bq plots (normalized)

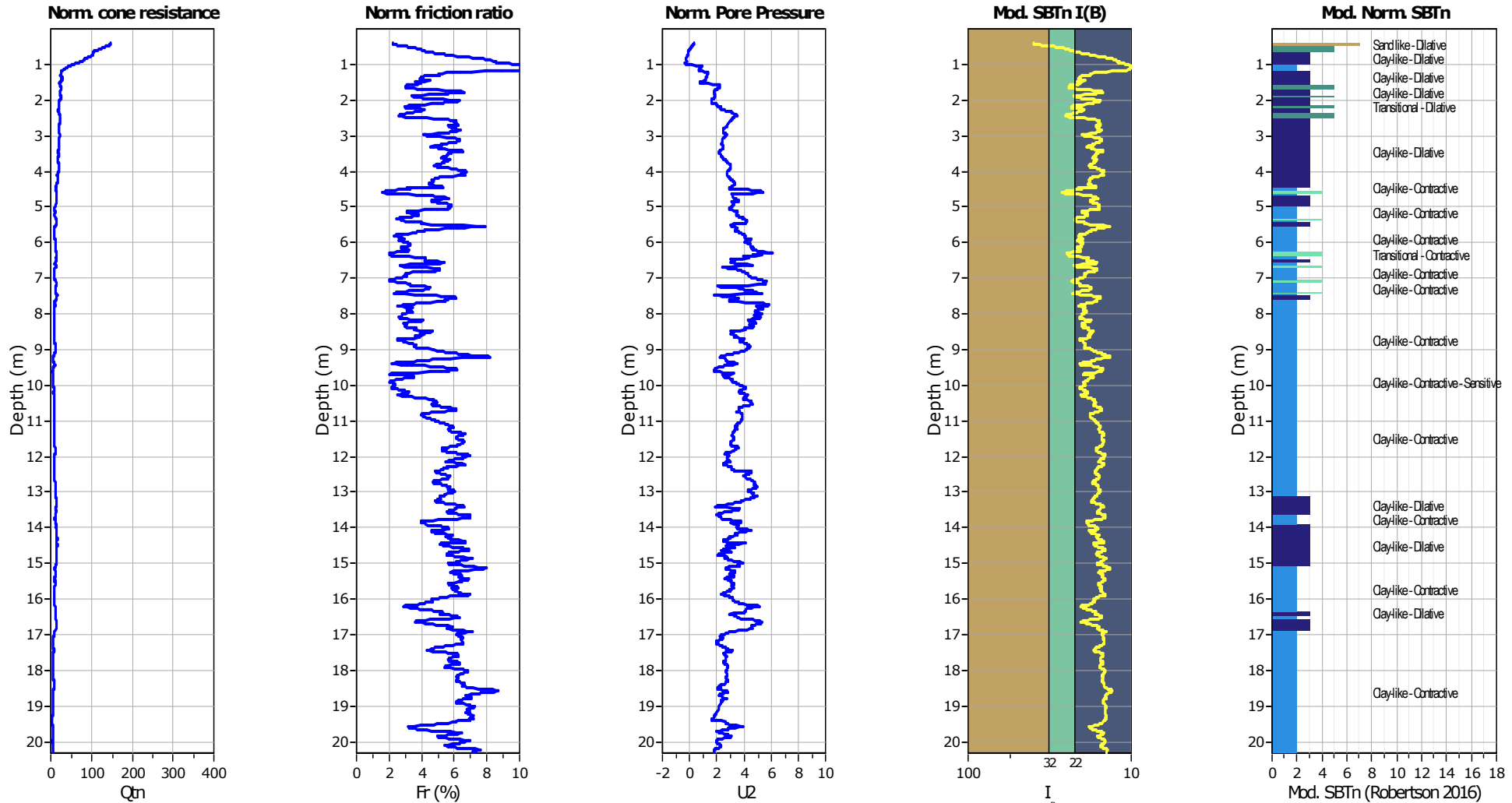


SBTn legend

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



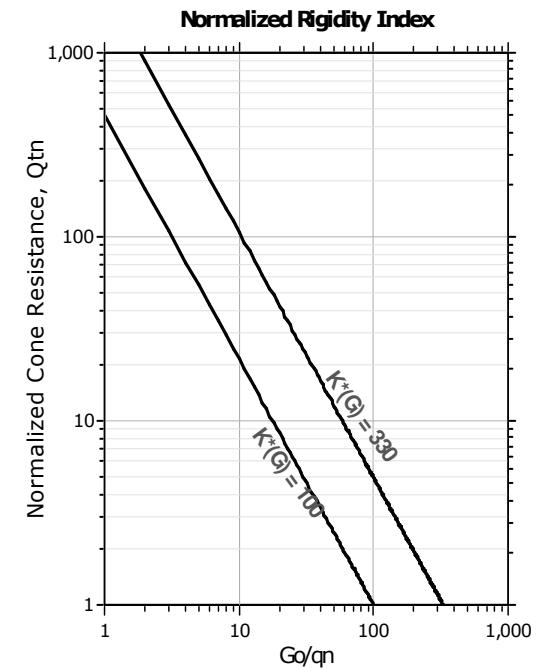
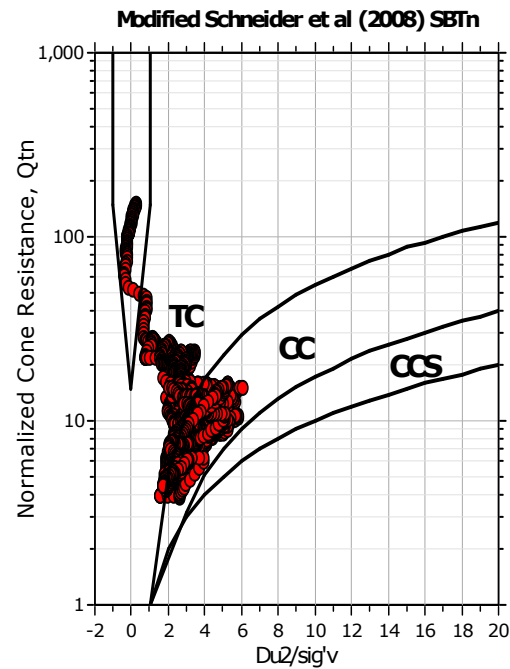
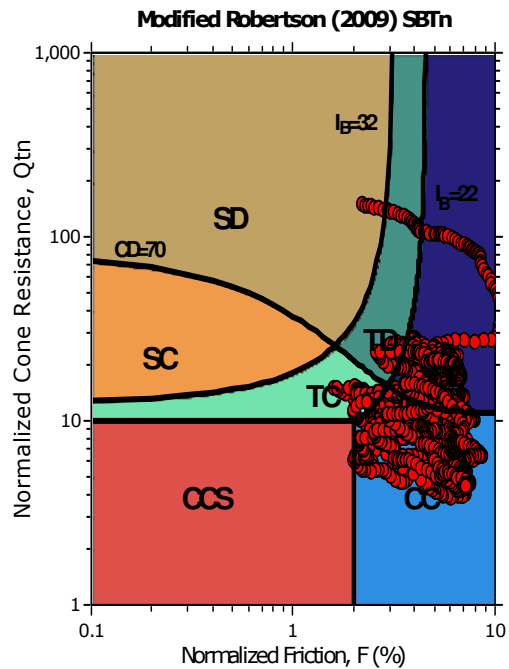




Mod. SBTn legend

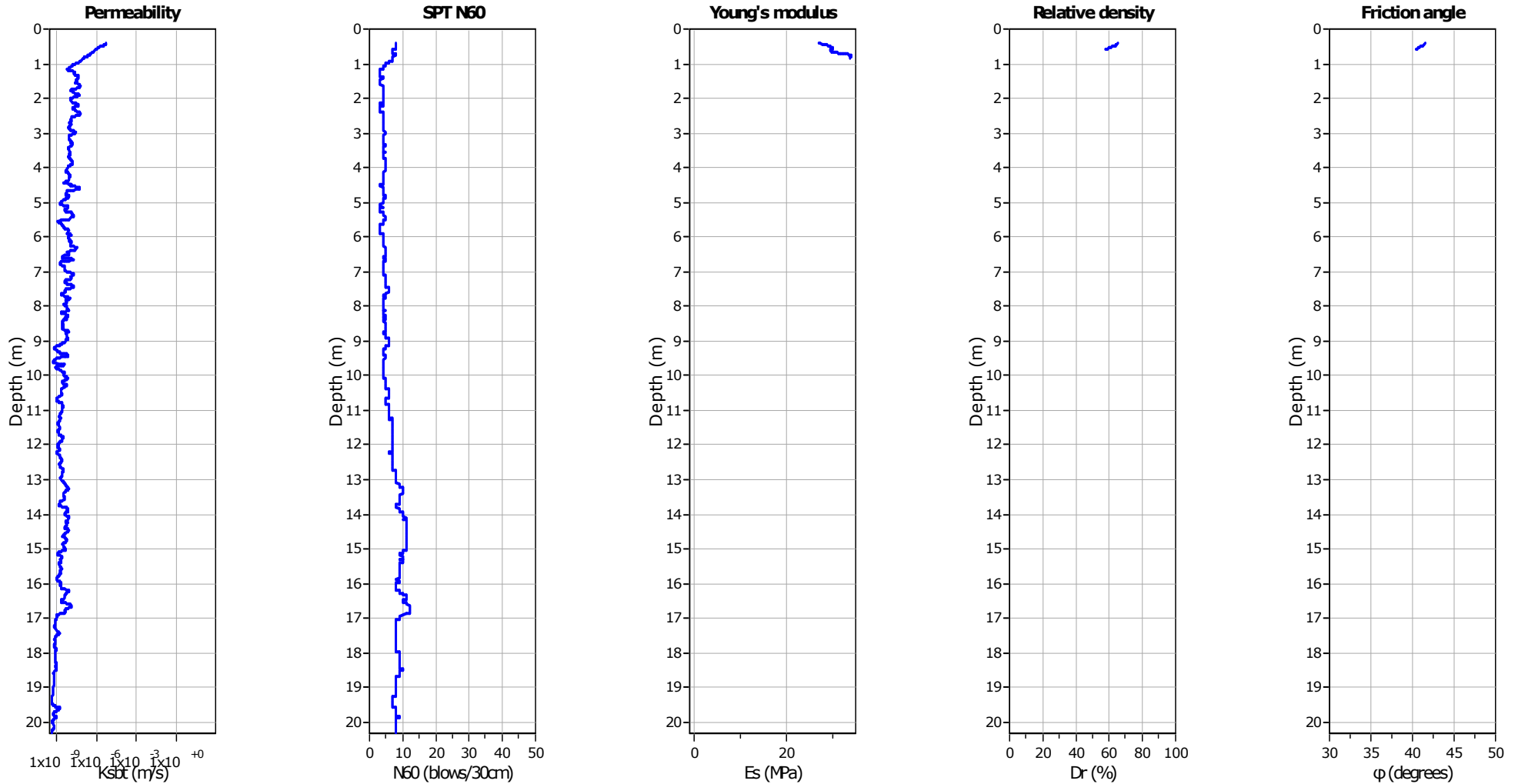
- 1. CCS: ClayLike - Contractive, Sensitive
 - 2. CC: Clay-like - Contractive
 - 3. CD: Clay-Like: Dilative
- 4. TC: Transitional - Contractive
 - 5. TD: Transitional - Dilative
 - 7. SD: Sand-like - Dilative
 - 6. SC: Sand-like - Contractive

Updated SBTn plots



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

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



Calculation parameters

Permeability: Based on SBT_n

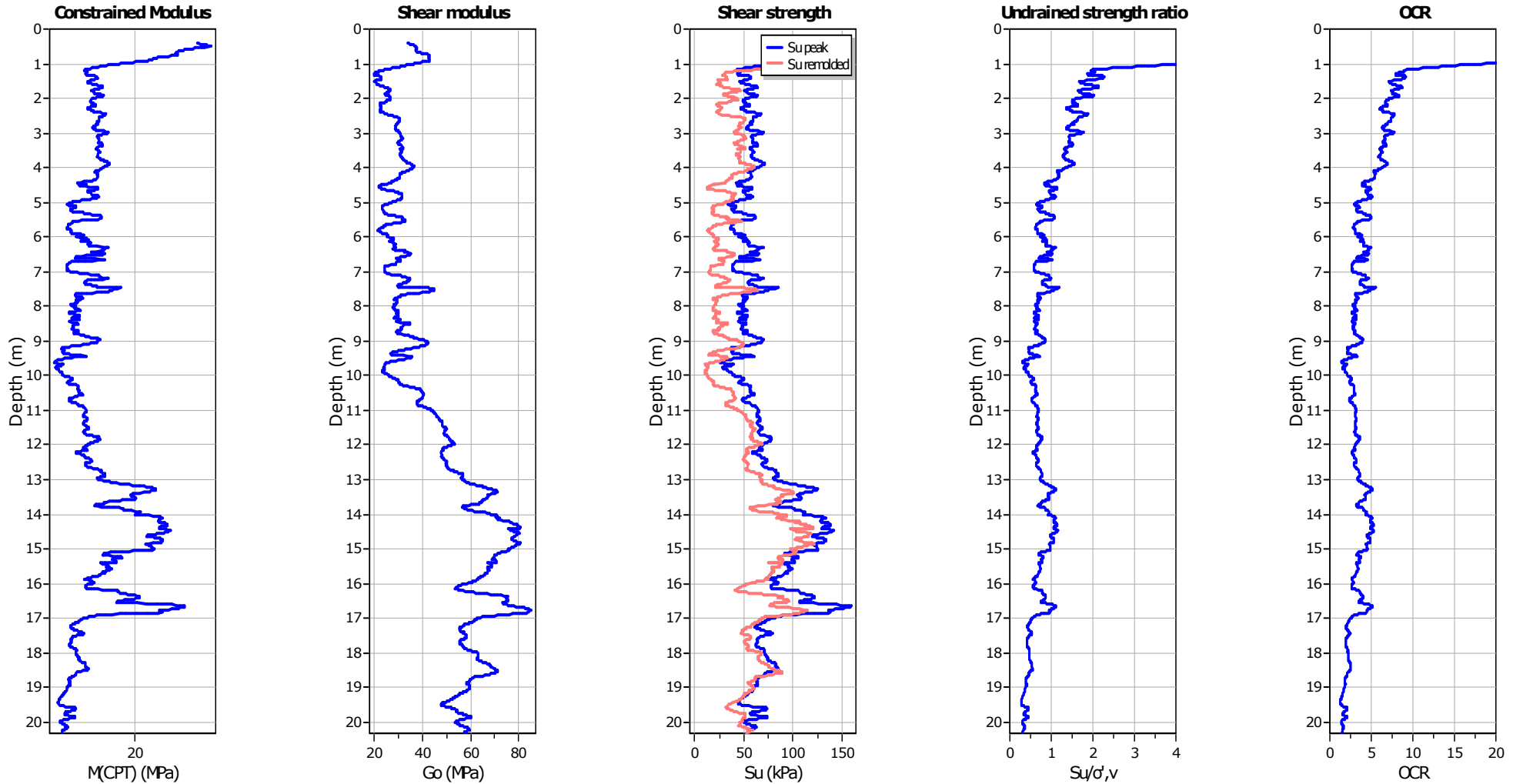
SPT N₆₀: Based on I_c and q_t

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

Relative density constant, C_{Dr}: 350.0

Phi: Based on Kulhawy & Mayne (1990)

● — User defined estimation data



Calculation parameters

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

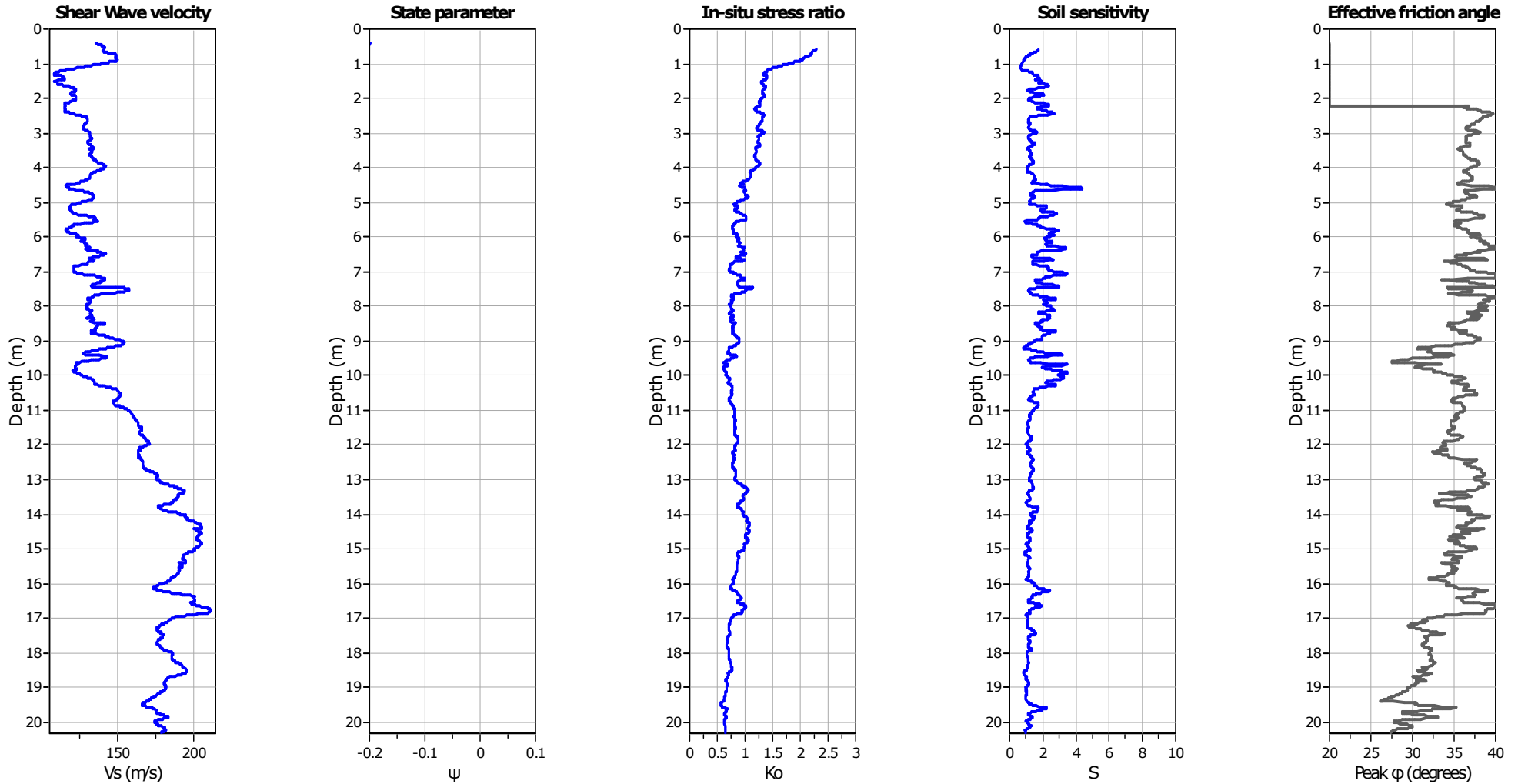
Go: Based on variable *alpha* using I_c (Robertson, 2009)

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

OCR factor for clays, N_{kt} : 0.33

● User defined estimation data

● Flat Dilatometer Test data



Calculation parameters

Soil Sensitivity factor, N_s : 7.00

—●— User defined estimation data

ALLEGATO 2

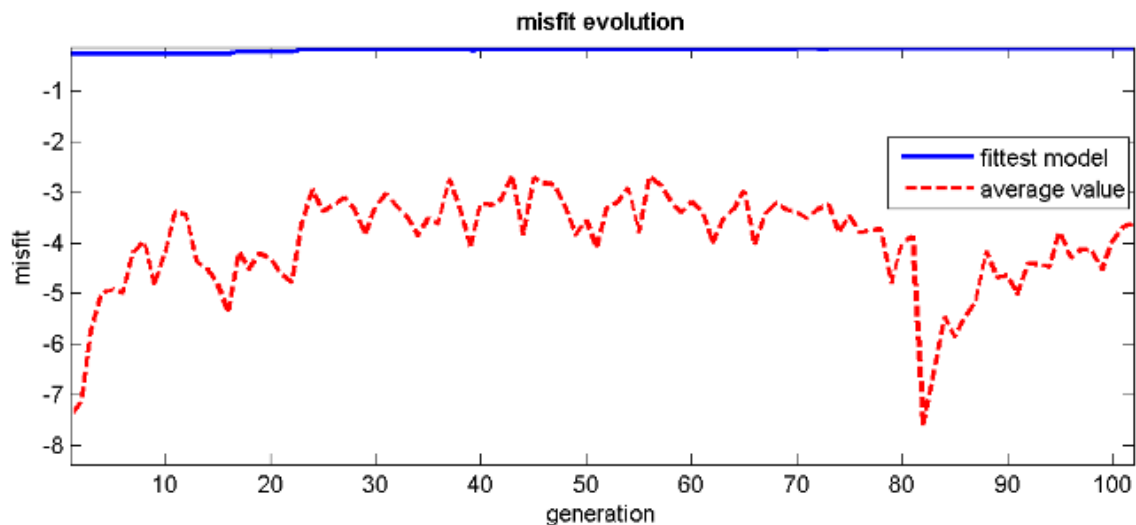
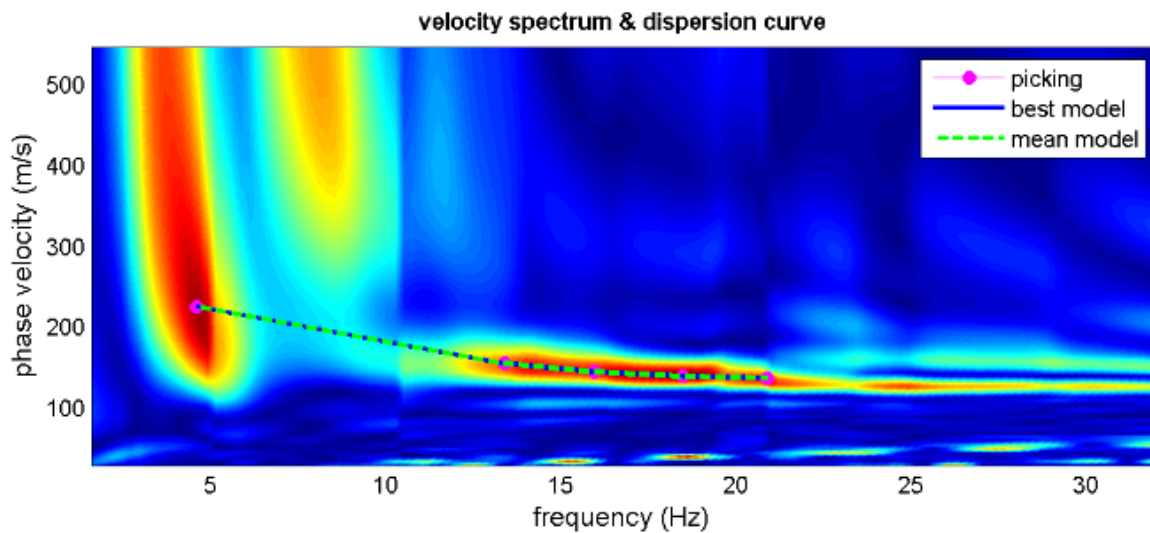
INDAGINI SISMICHE

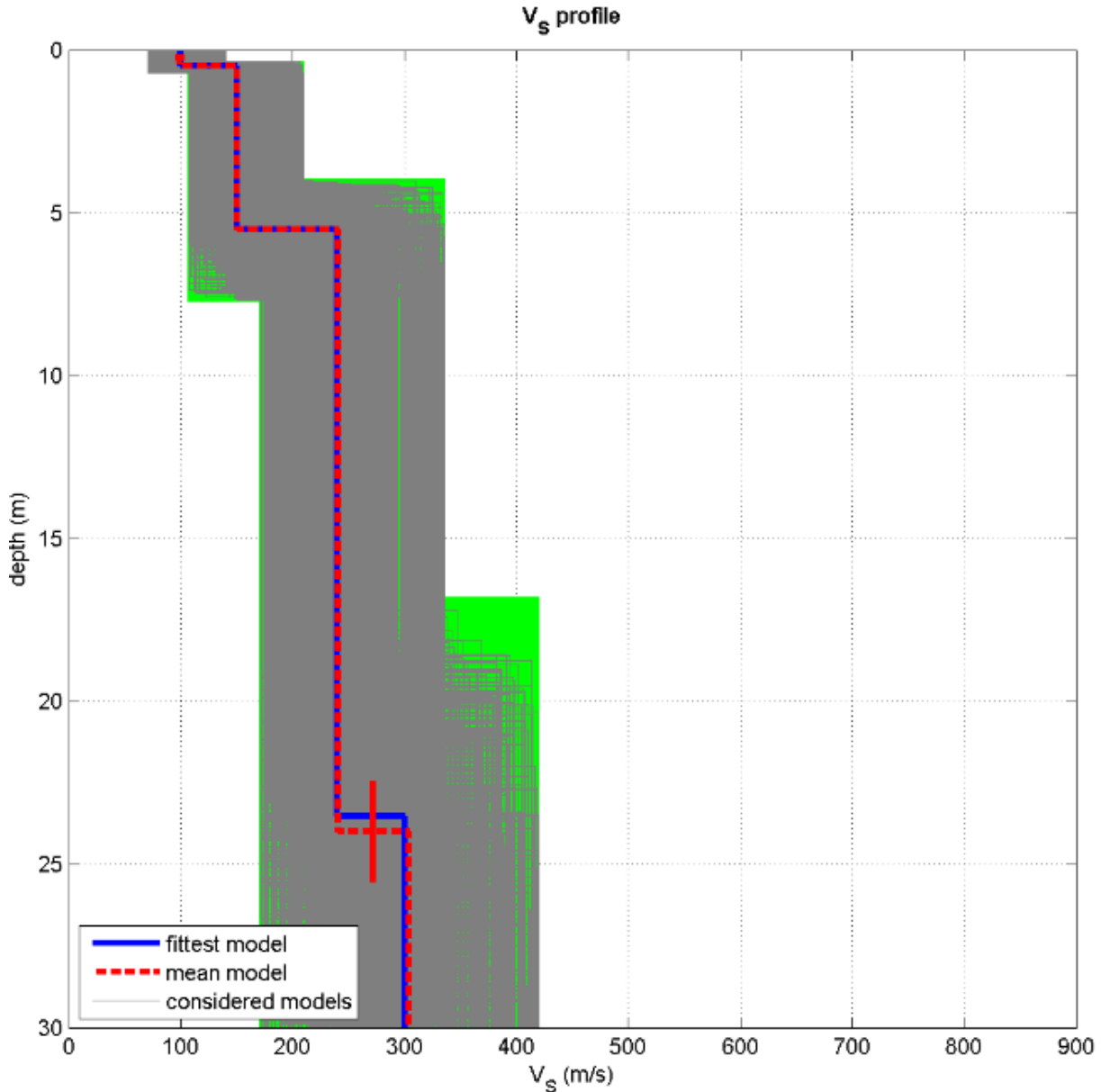
Indagine sismica MASW

INFORMAZIONI GENERALI

Cantiere: **MODENA TERMINAL srl** – Comune di Campogalliano (Mo)
Data esecuzione: **12/06/2020**
Strumentazione utilizzata: **GEODE GEOMETRICS 24bit/24ch** - Energizzazione: **Massa battente da 10 kg** -
Sensoristica: **Geofoni verticali 4.5 Hz**
Responsabile: **Dott. Geol. Pier Luigi Dallari**
Elaborazione: **Dott.ssa Lisa Gasparini**

MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE





dataset: 371.dat

dispersion curve: PICK.cdp

Vs30 (best model): 222 m/s

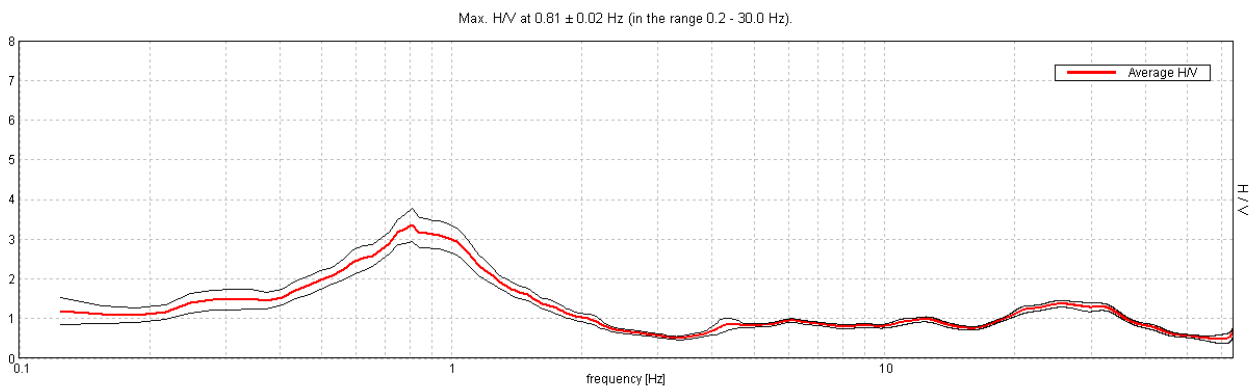
Vs30 (mean model): 222 m/s

V_s (0.0-30.0) = 222 m/s

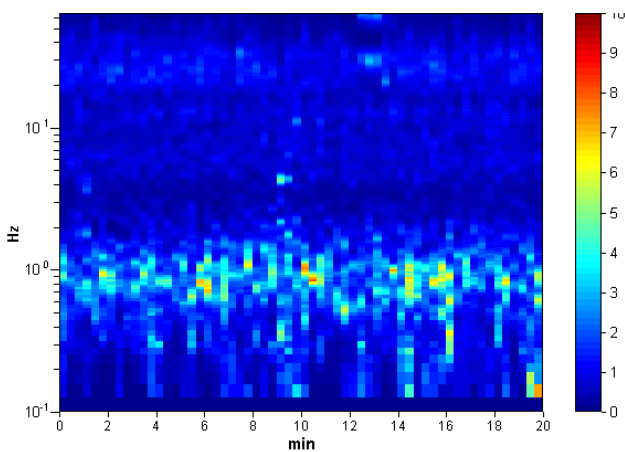
Indagine sismica HVSR n. 1

Cantiere: MODENA TERMINAL srl – Comune di Campogalliano (Mo)
Data esecuzione: 12/06/2020
Strumentazione utilizzata: TROMINO - MOHO - Sensoristica: **3 canali velocimetrici per l'acquisizione del micro-tremore sismico ambientale (fino a ± 1.5 mm/s ~)**
Responsabile: Dott. Geol. Pier Luigi Dallari
Elaborazione: Dott.ssa Lisa Gasparini

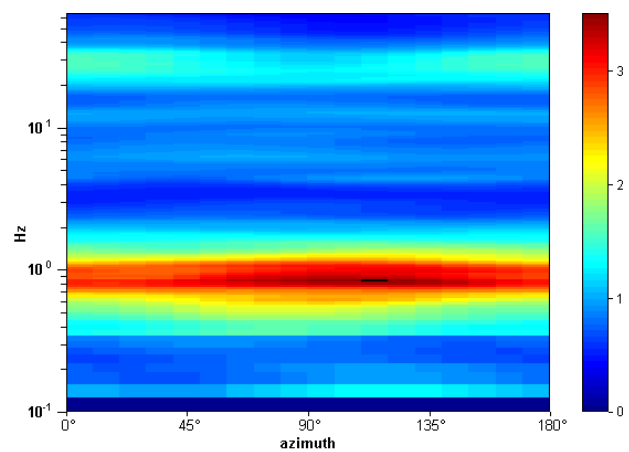
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



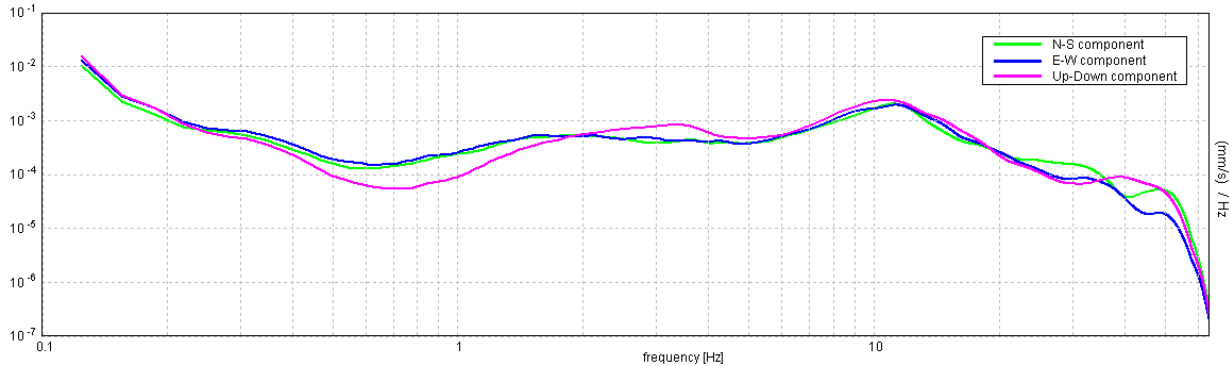
H/V TIME HISTORY



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 0.81 ± 0.02 Hz (in the range 0.2 - 30.0 Hz).

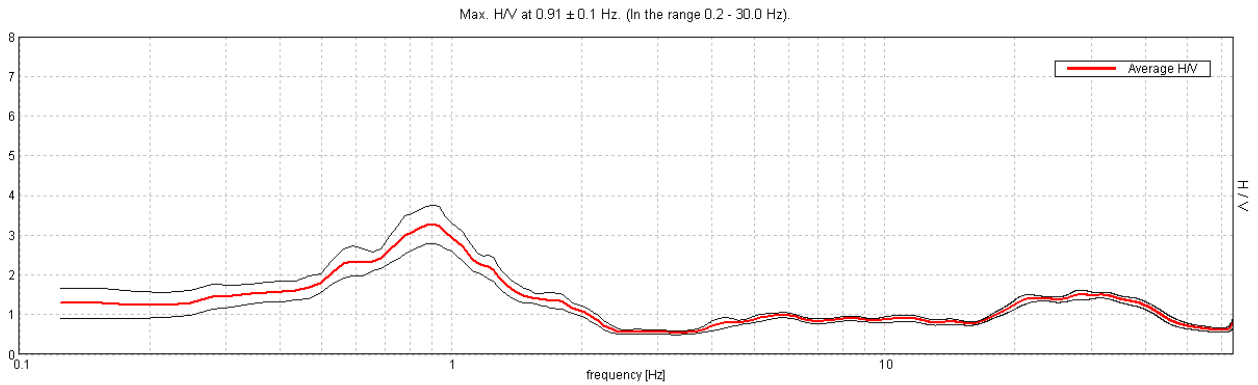
Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	0.81 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	975.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 40 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.406 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.438 Hz	OK	
$A_0 > 2$	3.35 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.02329 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.01892 < 0.12188	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.4176 < 2.0	OK	

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

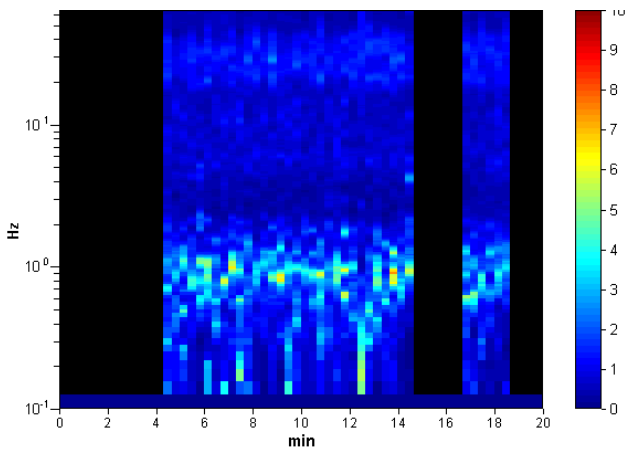
Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25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

Indagine sismica HVSR n. 2

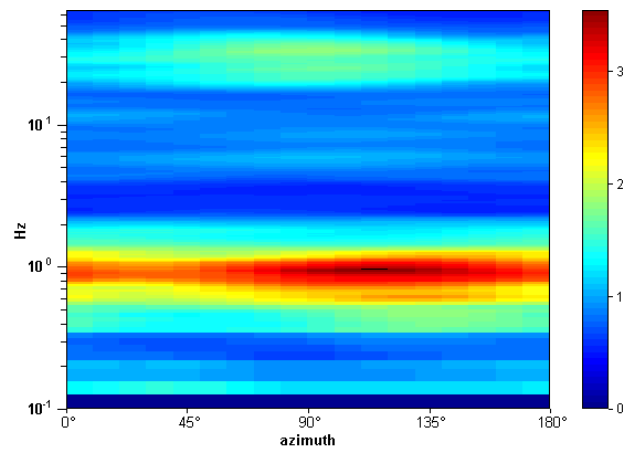
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



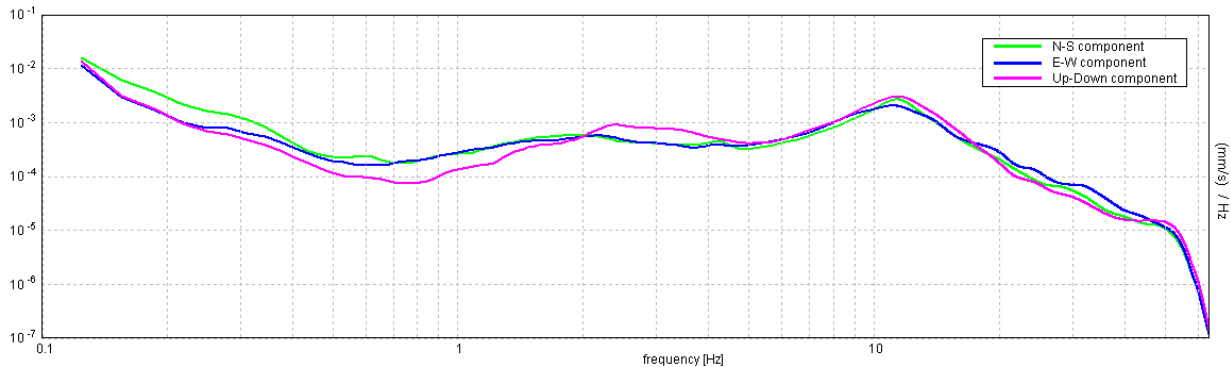
H/V TIME HISTORY



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 0.91 ± 0.1 Hz (in the range 0.2 - 30.0 Hz).

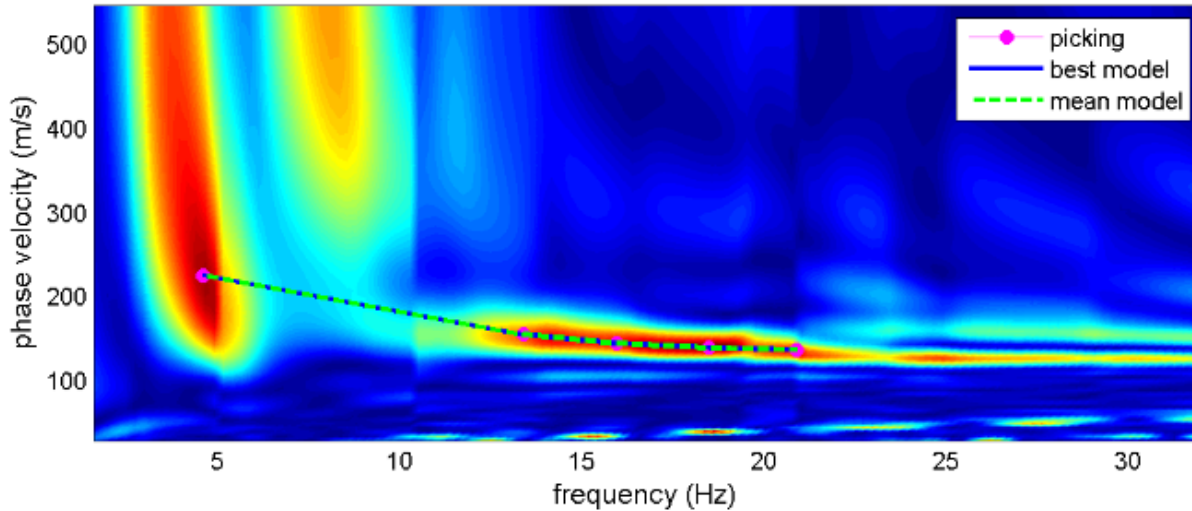
Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	0.91 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	670.6 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 44 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.438 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.406 Hz	OK	
$A_0 > 2$	3.27 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.11152 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.10107 < 0.13594	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.4728 < 2.0	OK	

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

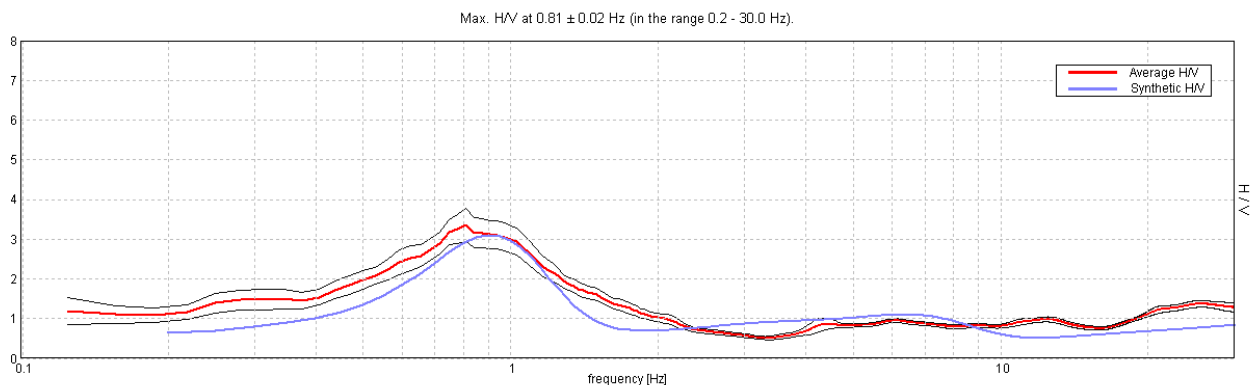
Freq. range [Hz]	Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$				
	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25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

Elaborazione congiunta MASW – HVSR n. 1

velocity spectrum & dispersion curve

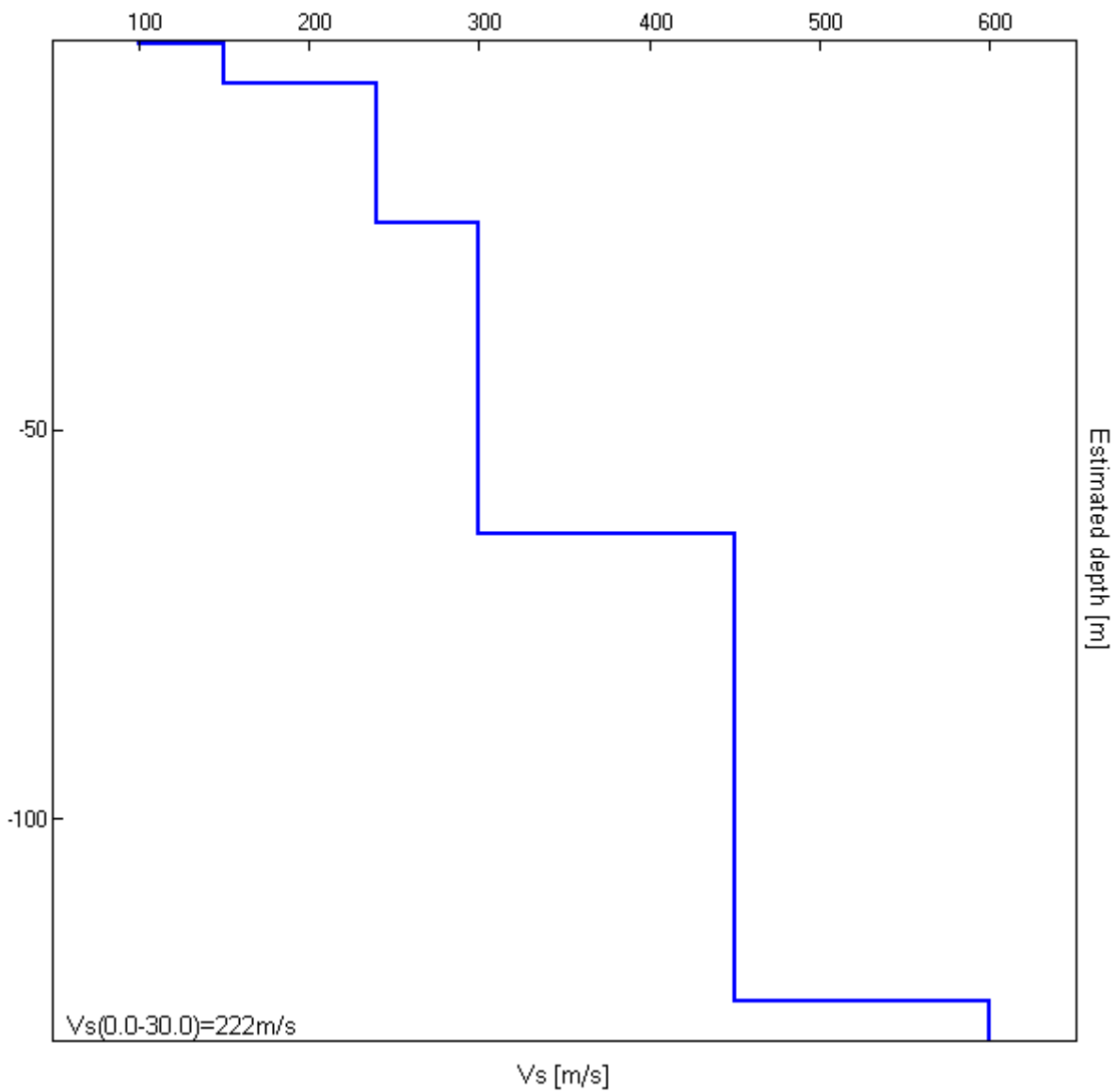


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.50	0.50	100	0.43
5.50	5.00	150	0.43
23.50	18.00	240	0.43
63.50	40.00	300	0.42
123.50	60.00	450	0.42
inf.	inf.	600	0.42

Vs (0.0-30.0) = 222 m/s



ALLEGATO 3

VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

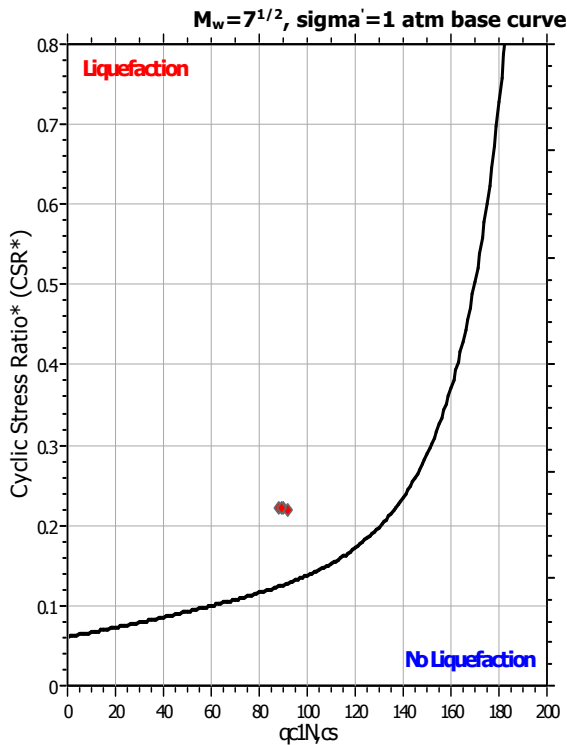
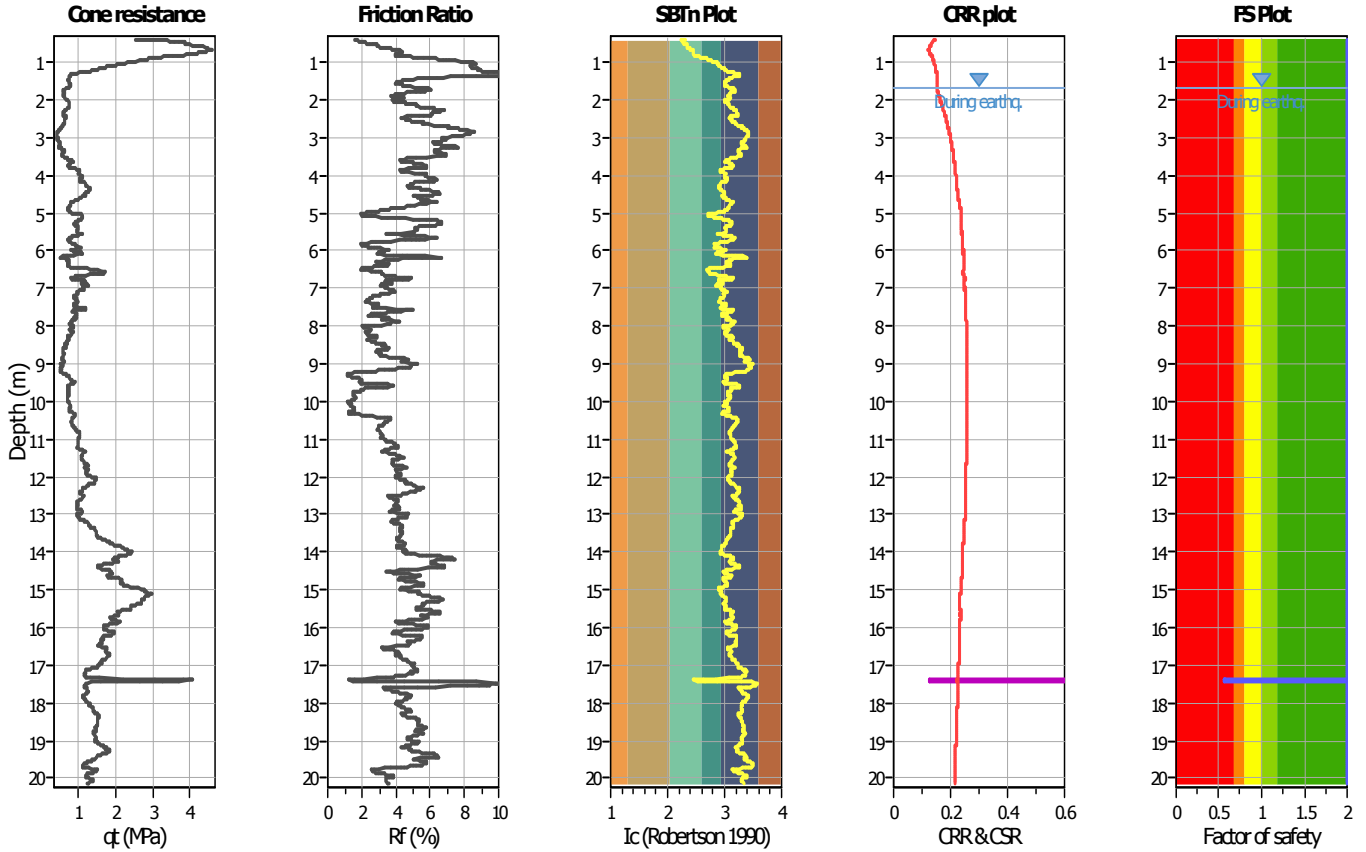
Project title : STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Location : CAMPOGALLIANO_MODENA TERMINAL

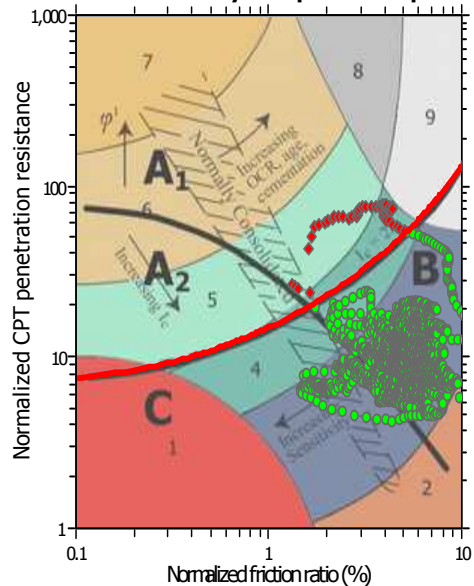
CPT file : CPTU1

Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	1.70 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	1.70 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	No
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.28	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_σ applied:	Yes	MSF method:	Method

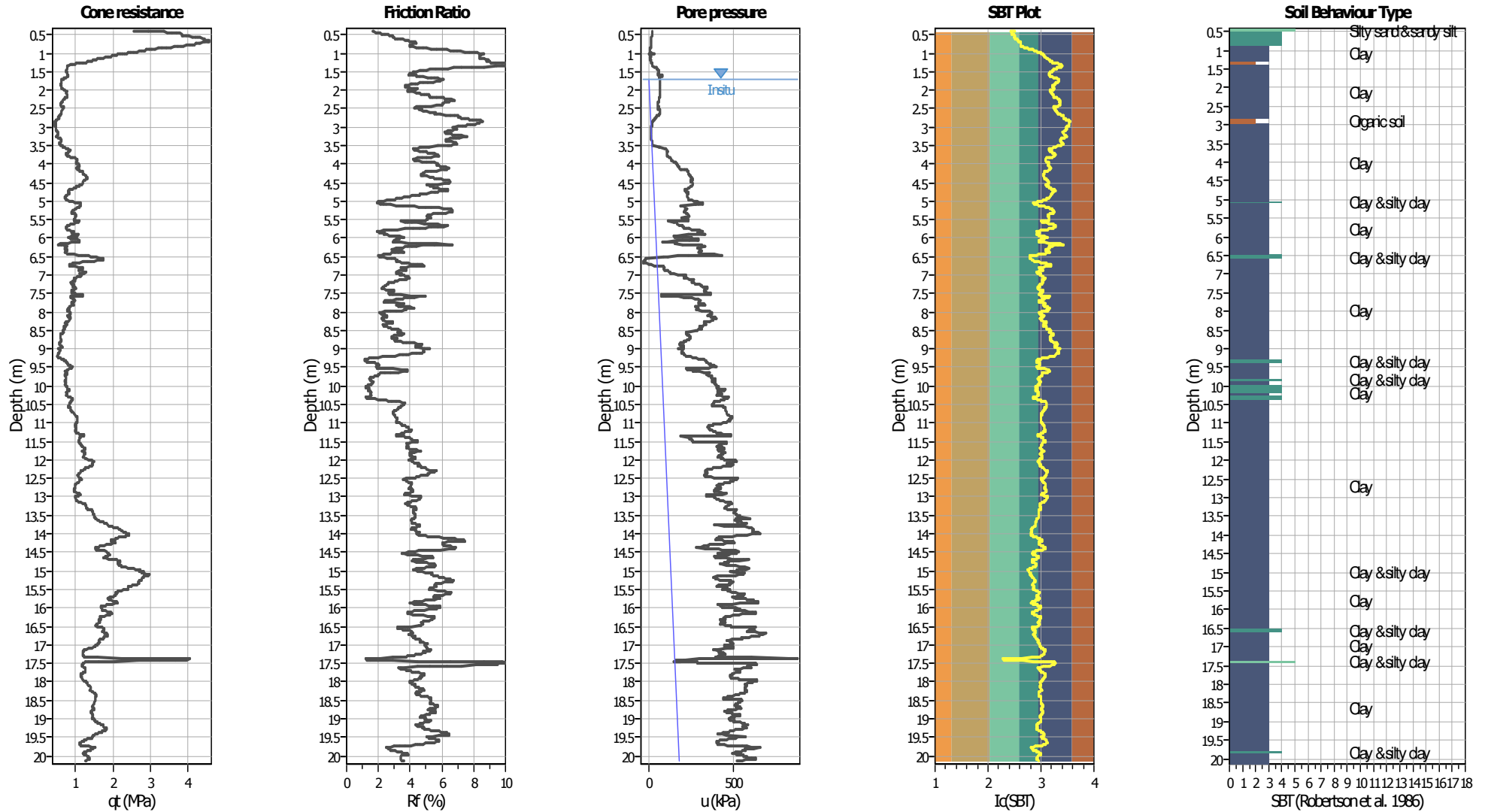


Summary of liquefaction potential



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

CPT basic interpretation plots



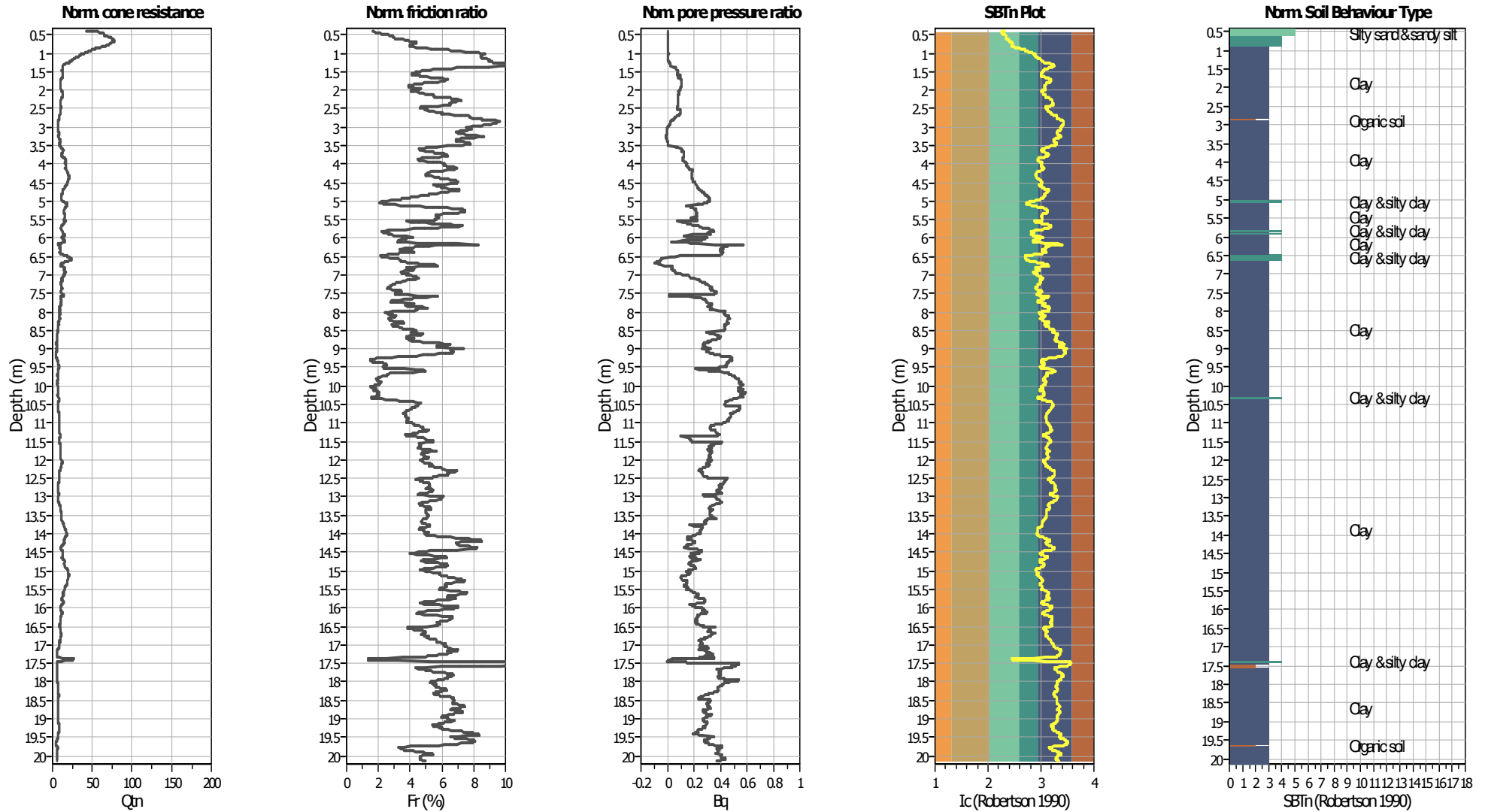
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.70 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on I_c value	I_c cut-off value:	2.60	K_{σ} applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.28	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.70 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBT legend

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

CPT basic interpretation plots (normalized)



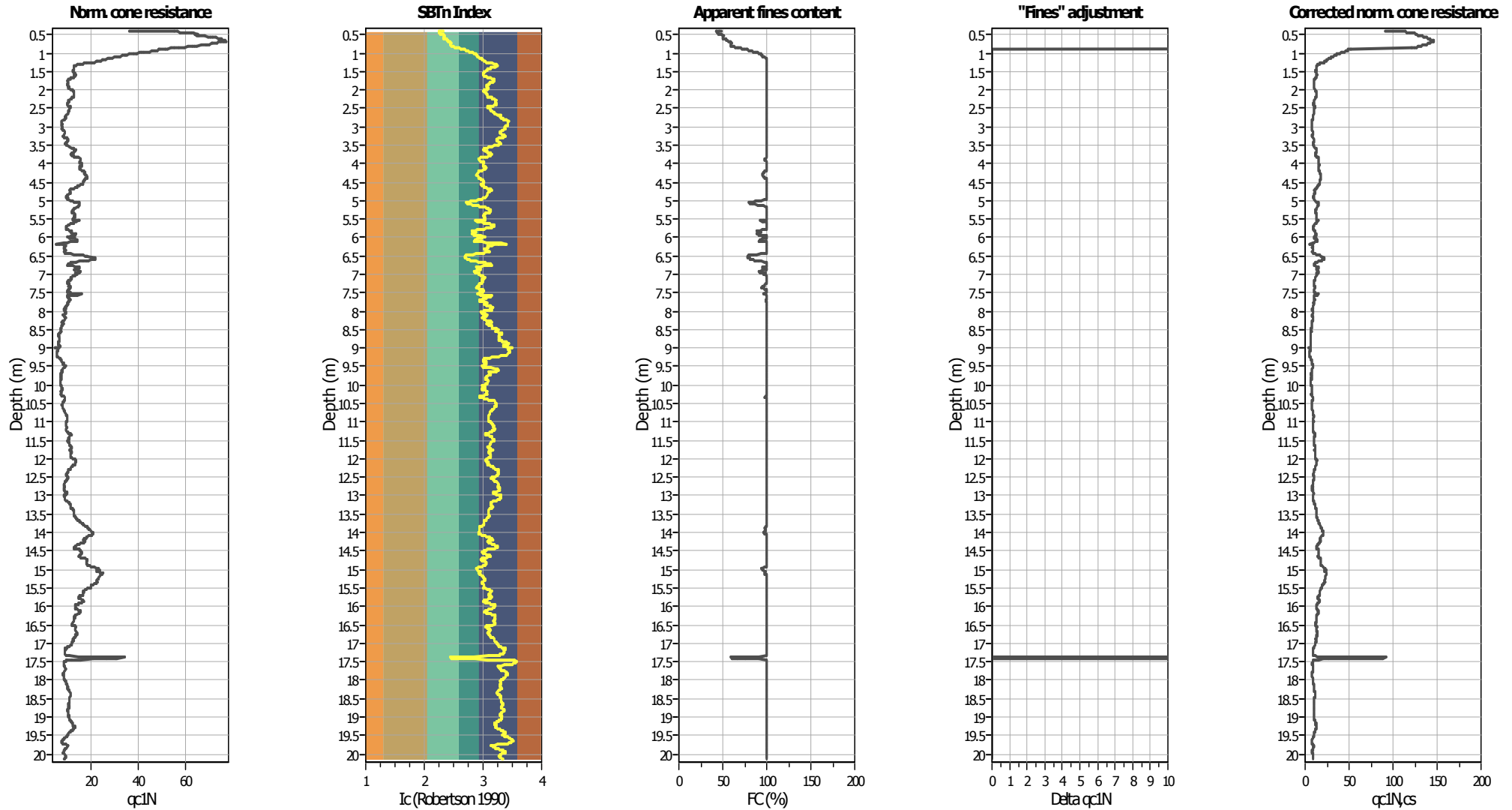
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.70 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _q applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.28	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.70 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBTn legend

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

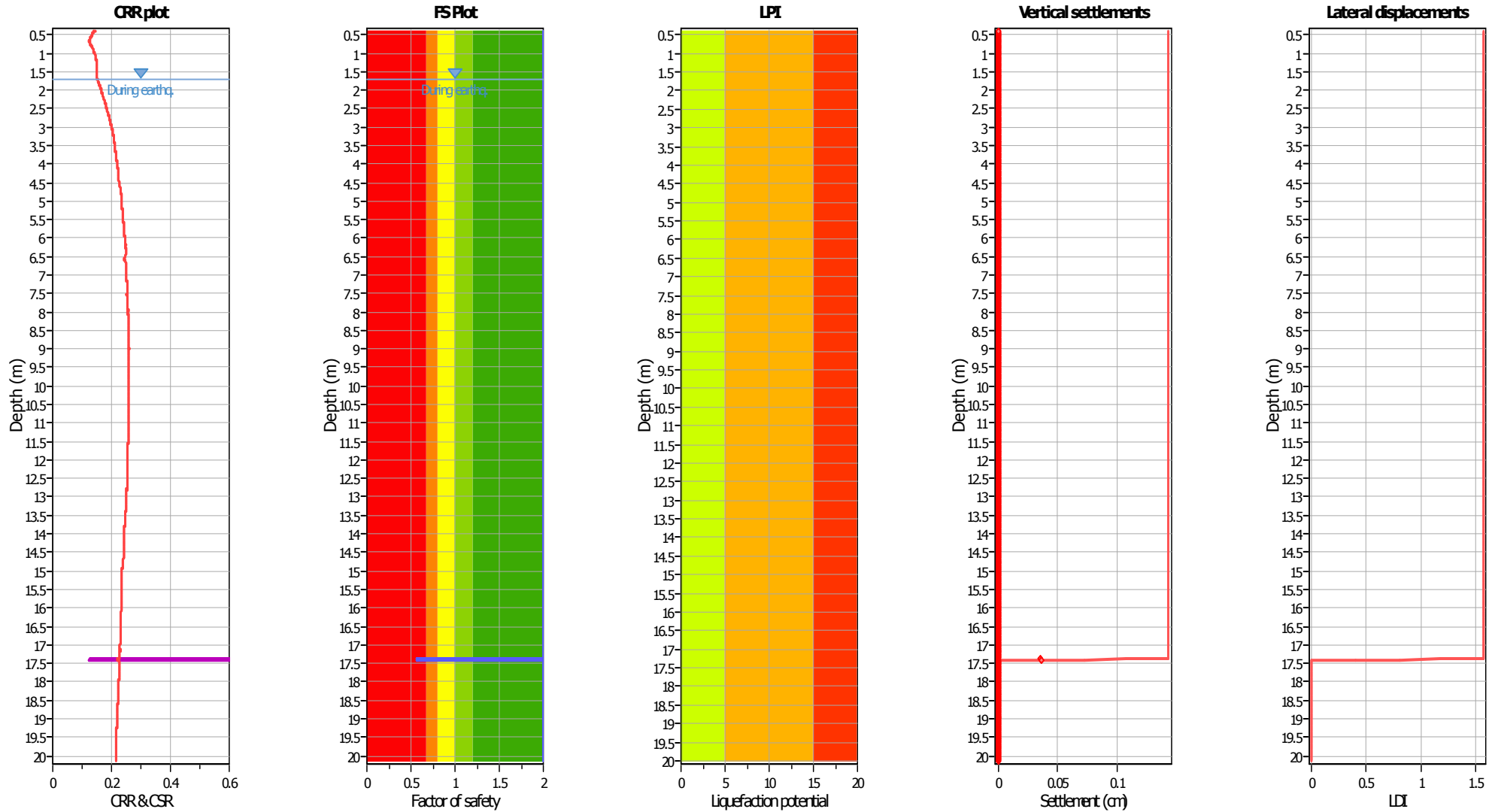
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.70 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _q applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.28	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.70 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.70 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K_f applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.28	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.70 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

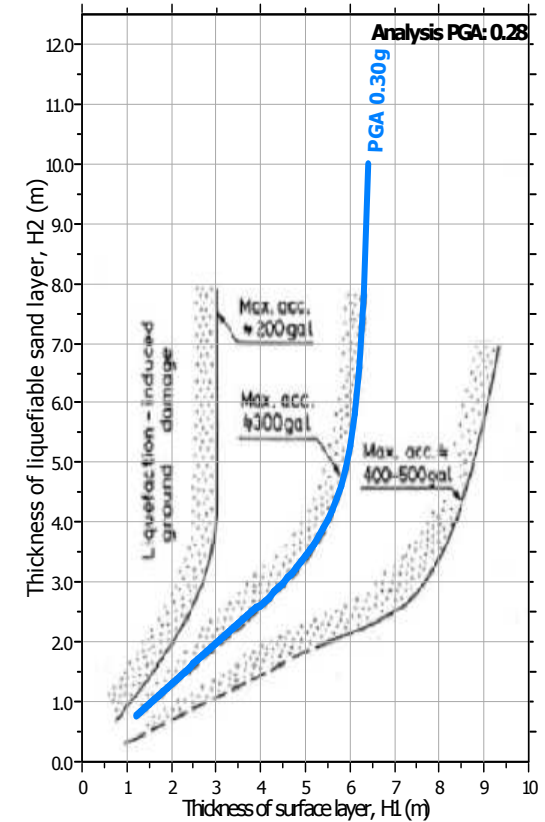
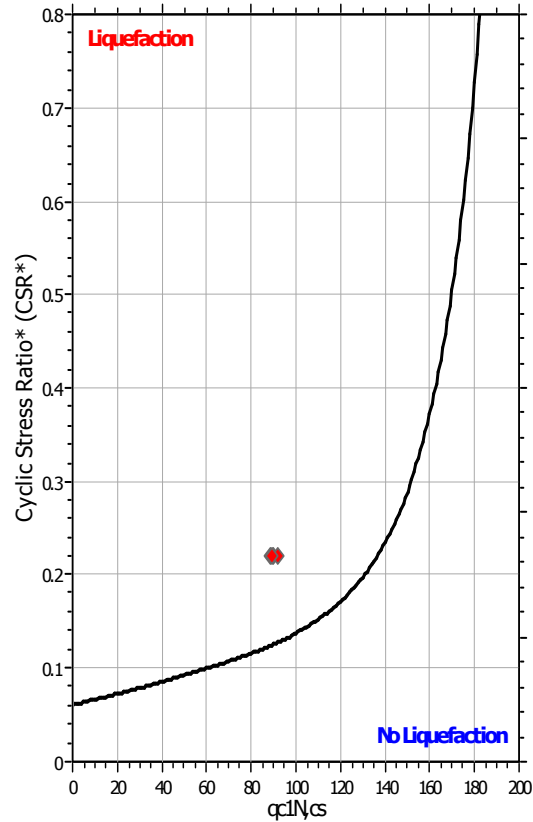
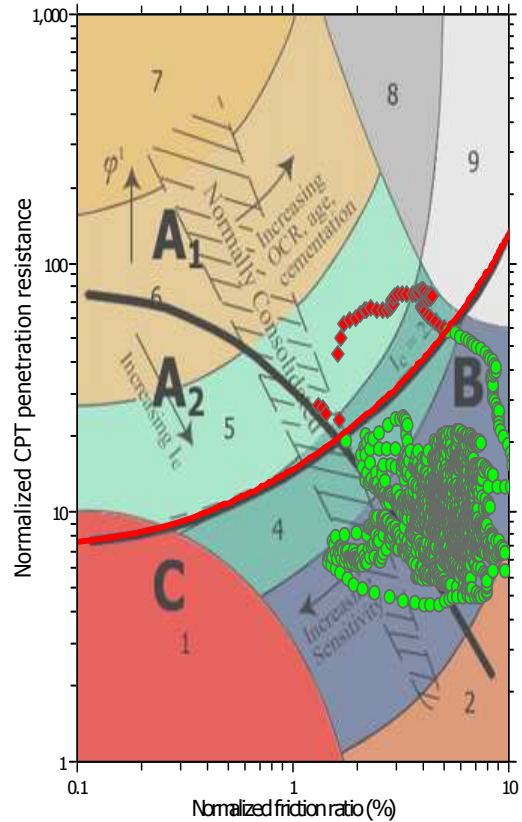
F.S. color scheme

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

LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

Liquefaction analysis summary plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.70 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K_v applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.28	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.70 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

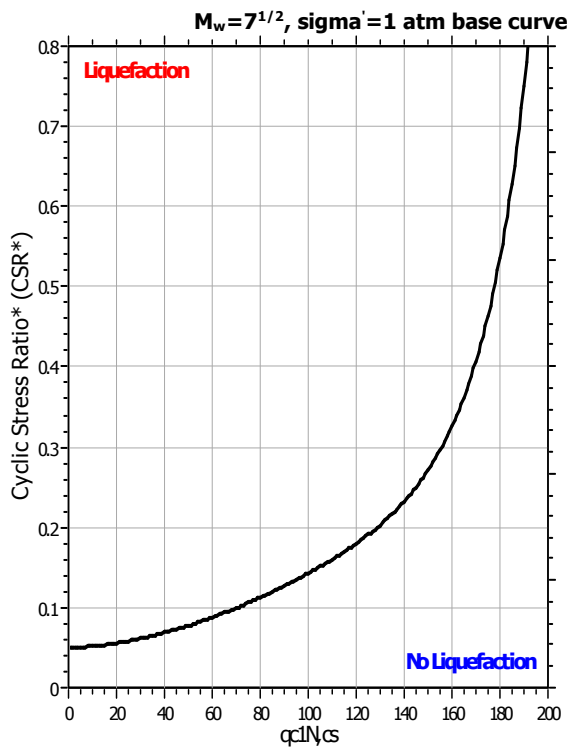
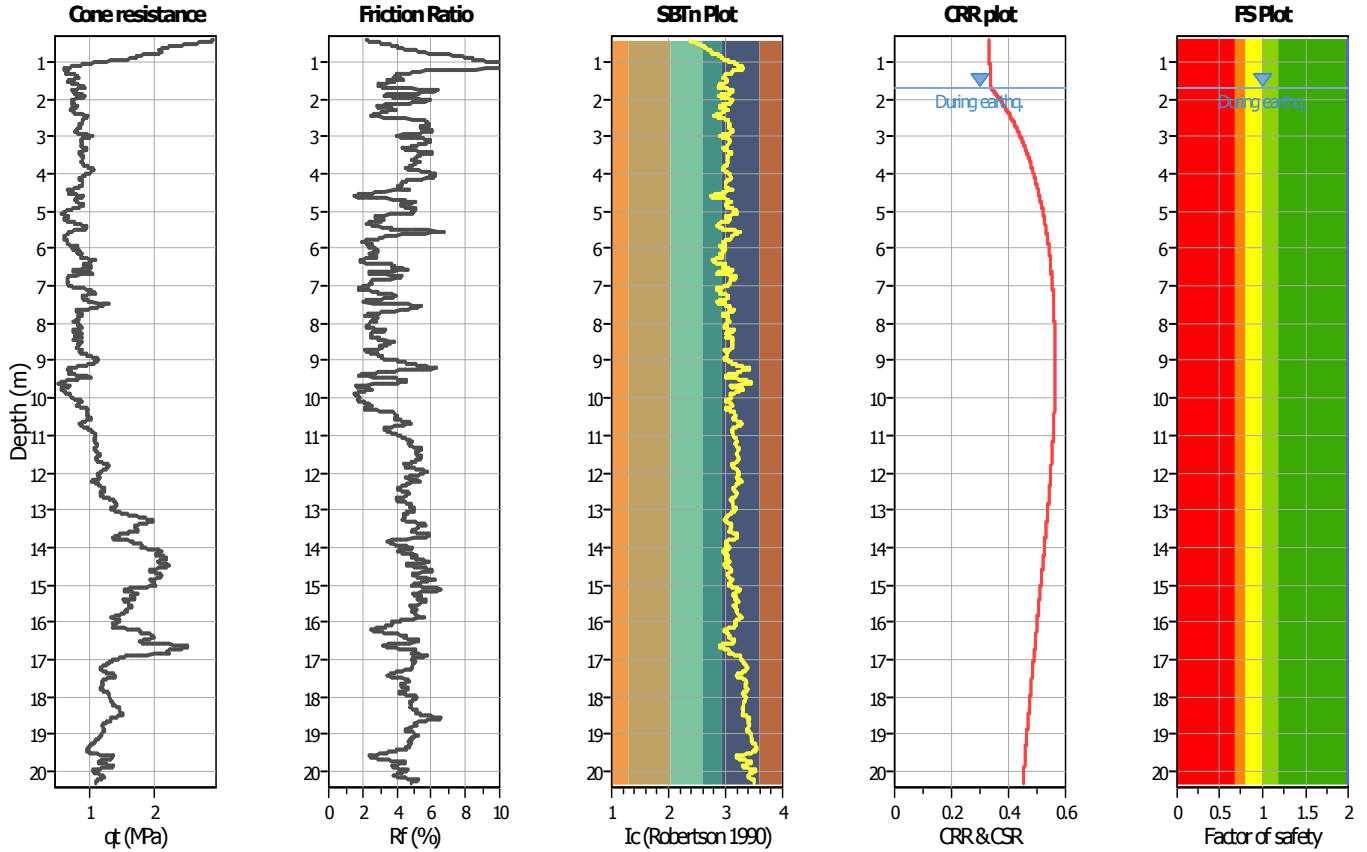
Project title : STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Location : CAMPOGALLIANO_MODENA TERMINAL

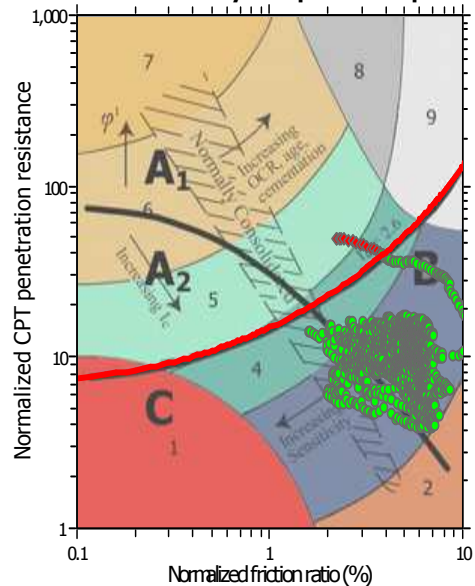
CPT file : CPTU3

Input parameters and analysis data

Analysis method:	I&B (2008)	G.W.T. (in-situ):	1.70 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	R&W (1998)	G.W.T. (earthq.):	1.70 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	No
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.80	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_σ applied:	Yes	MSF method:	Method

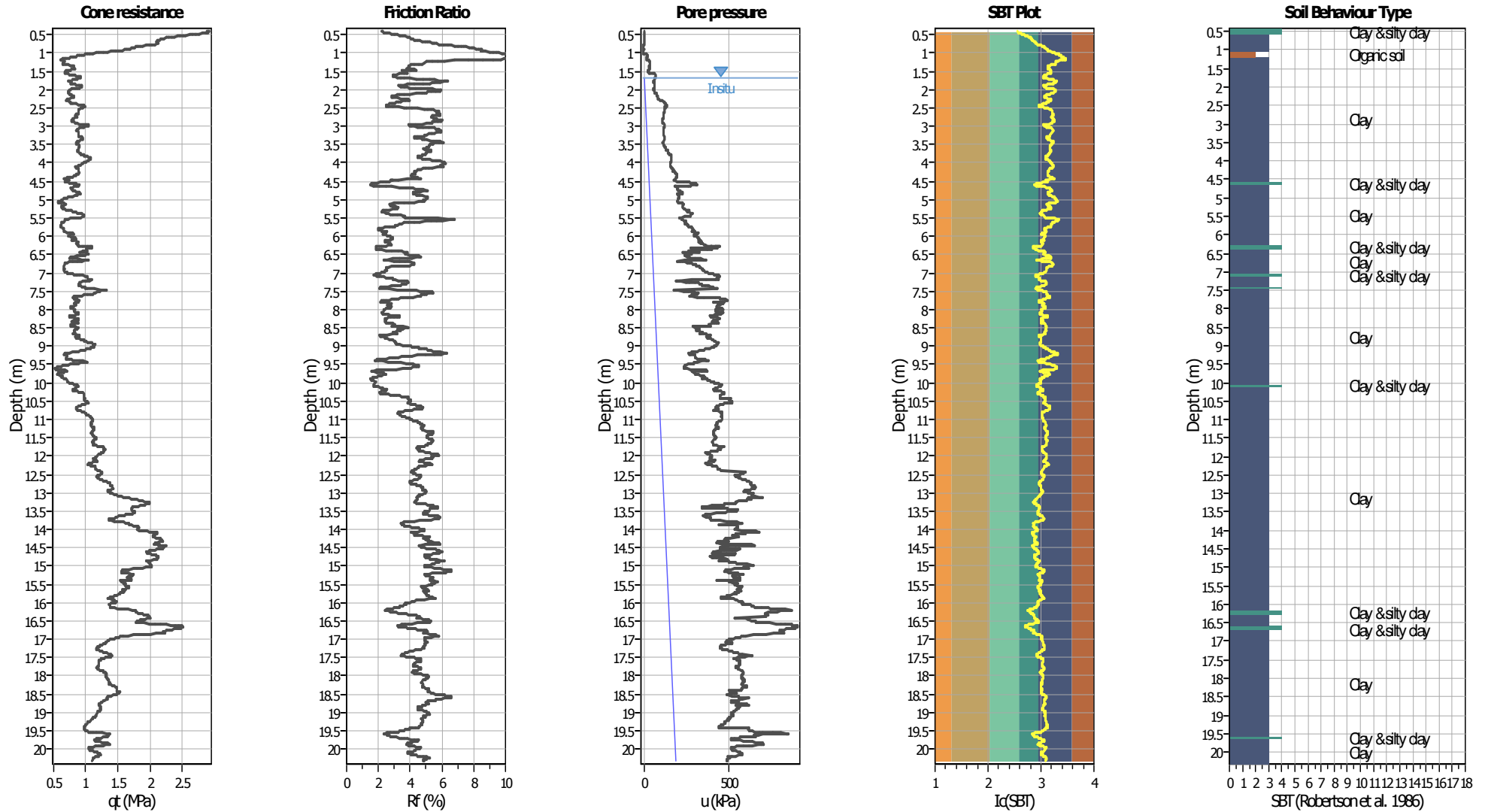


Summary of liquefaction potential



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

CPT basic interpretation plots



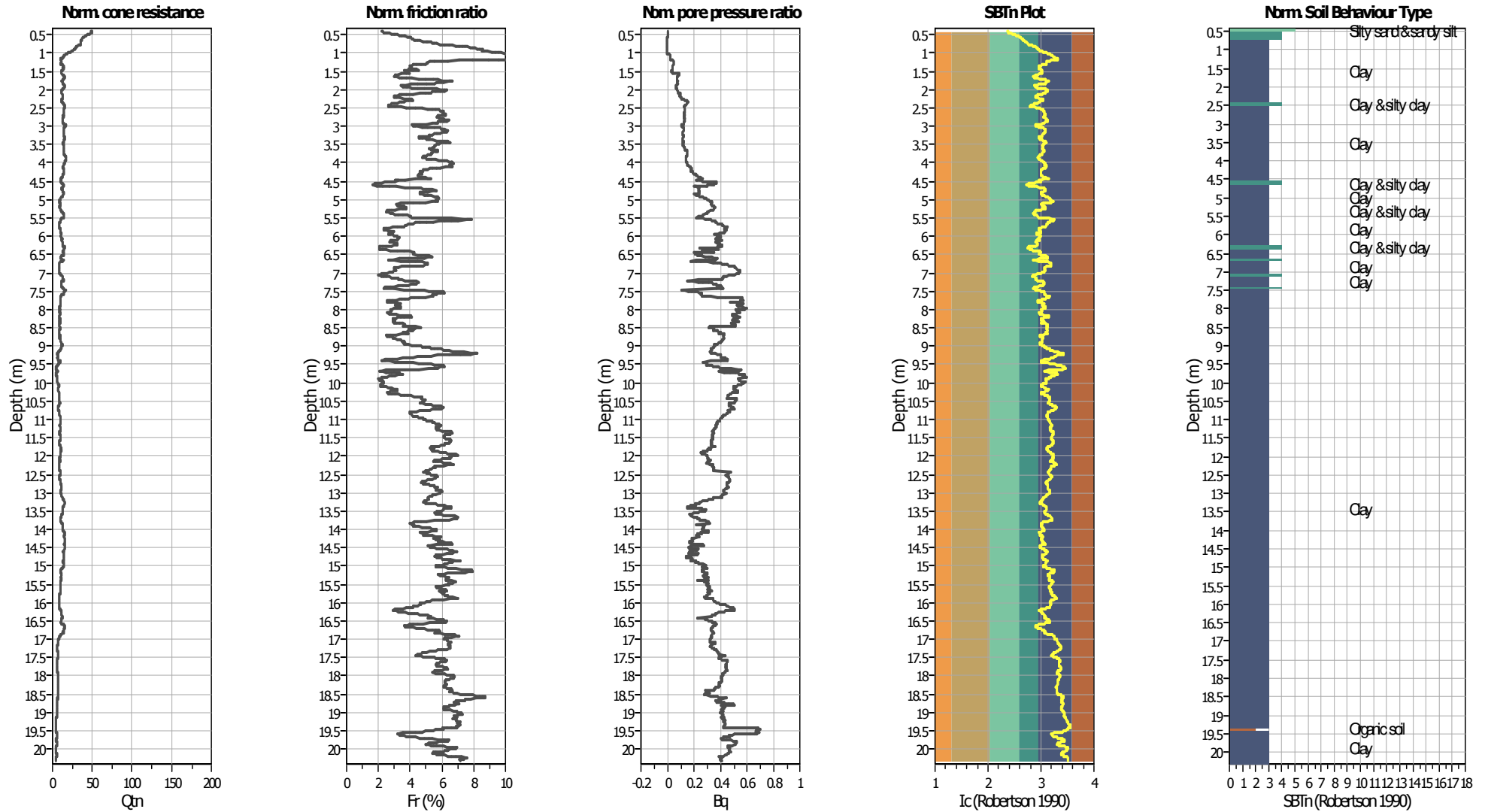
Input parameters and analysis data

Analysis method:	I&B (2008)	Depth to GWT (earthq.):	1.70 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	R&W (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on I_c value	I_c cut-off value:	2.60	K_{σ} applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.80	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.70 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBT legend

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

CPT basic interpretation plots (normalized)



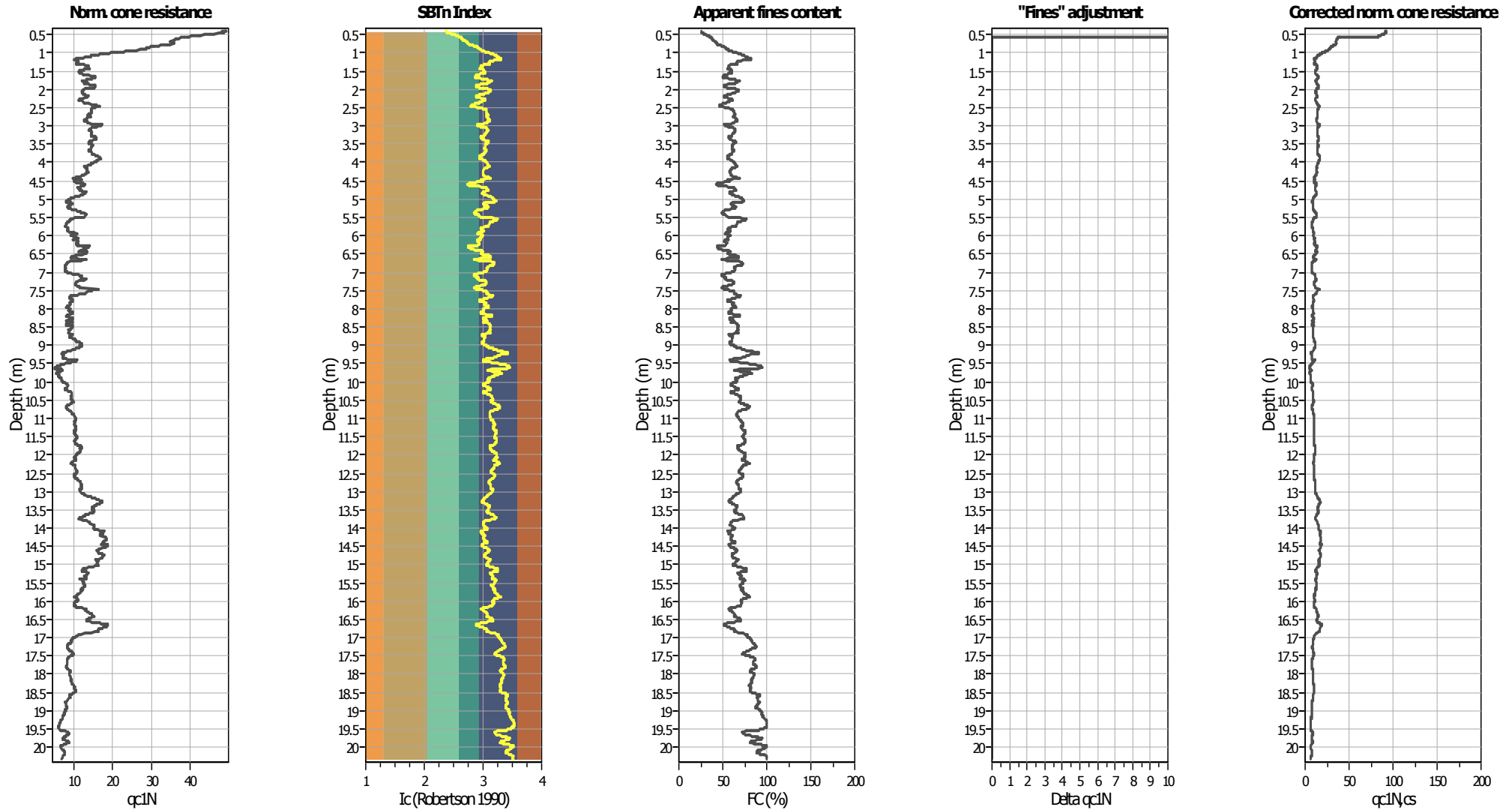
Input parameters and analysis data

Analysis method:	I&B (2008)	Depth to GWT (erthq.):	1.70 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	R&W (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on I_c value	I_c cut-off value:	2.60	K_{σ} applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.80	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.70 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBTn legend

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

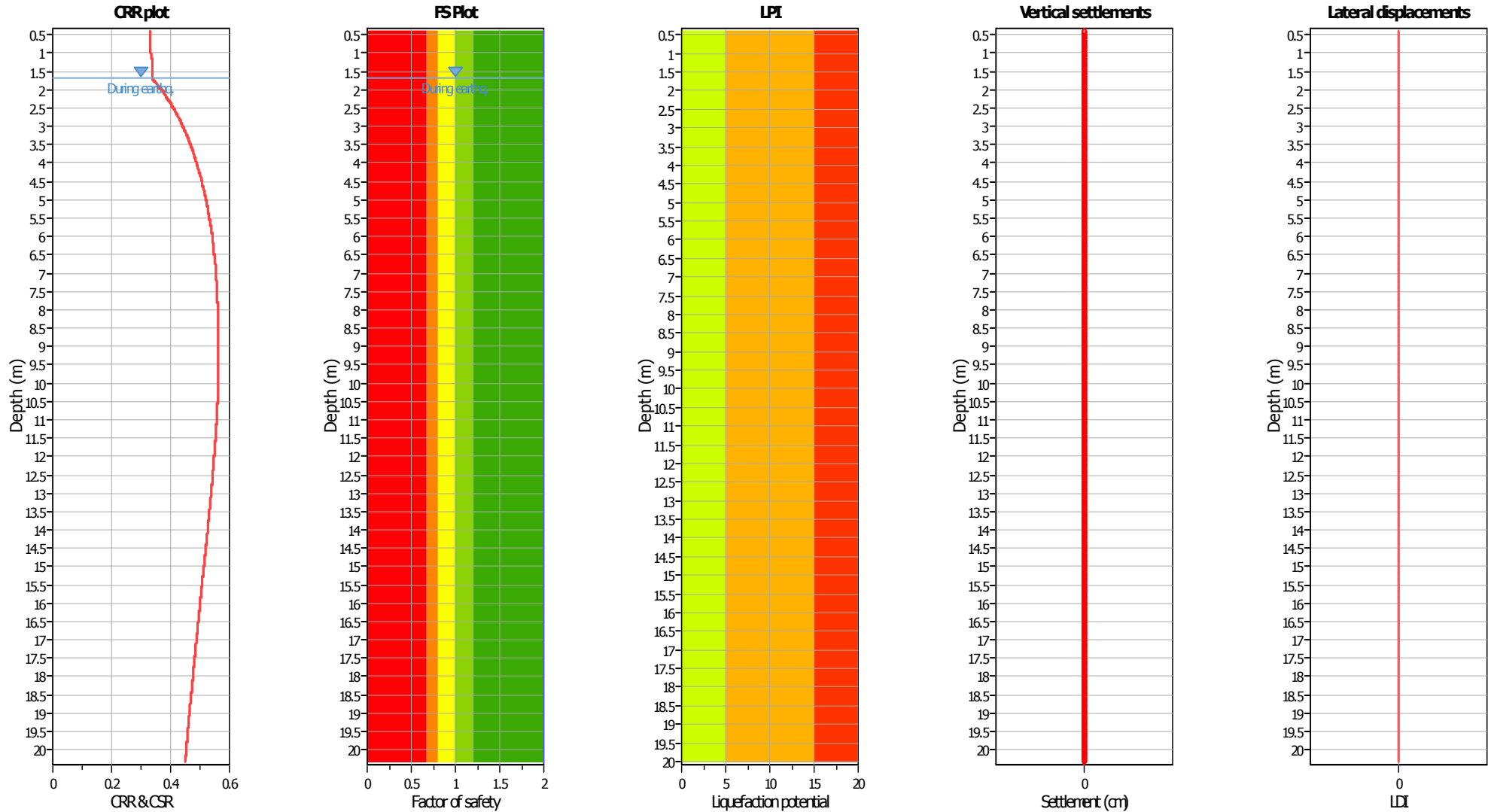
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	I&B (2008)	Depth to GWT (erthq.):	1.70 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	R&W (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _q applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.80	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.70 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	I&B (2008)	Depth to GWT (erthq.):	1.70 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	R&W (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K_{σ} applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.80	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.70 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

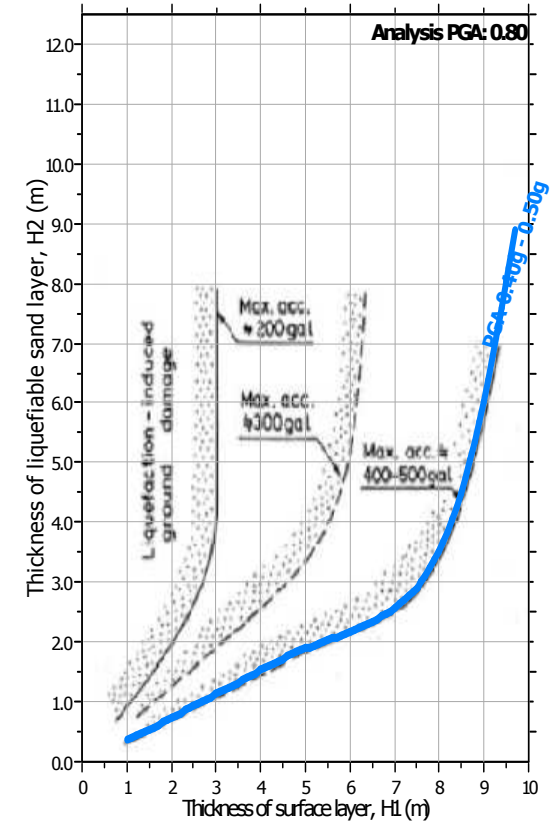
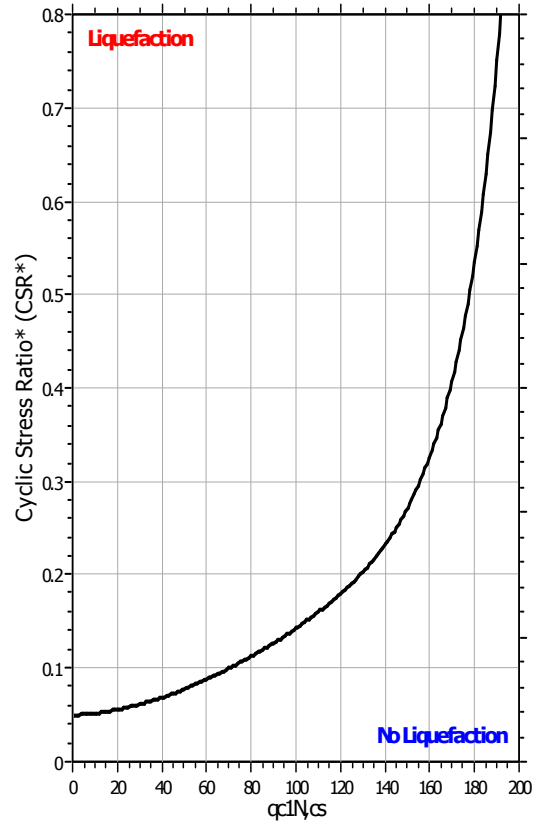
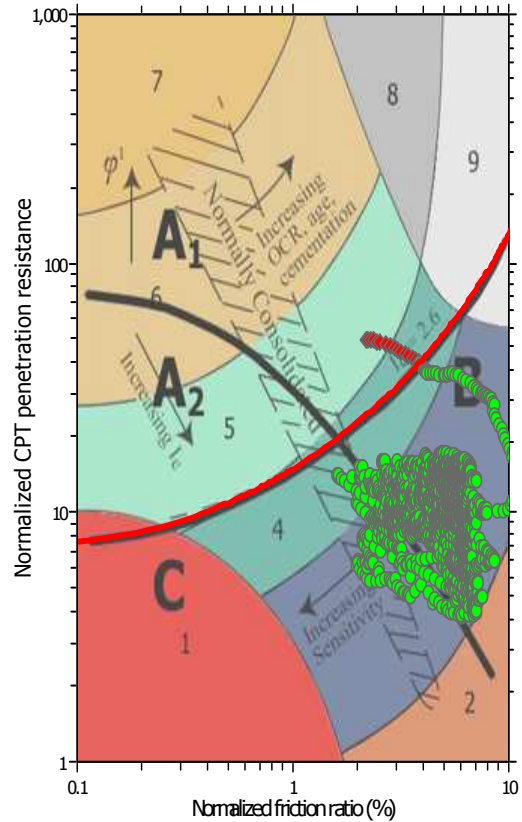
F.S. color scheme

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

LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

Liquefaction analysis summary plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	I&B (2008)	Depth to GWT (erthq.):	1.70 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	R&W (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _v applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.80	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.70 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A