


<b>AMMINISTRAZIONE COMPETENTE</b> Regione Emilia-Romagna Area Valutazione Impatto Ambientale e autorizzazioni <i>vipsa@postacert.regione.emilia-romagna.it</i> <b>ARPAE SAC di Ravenna</b> <i>aoora@cert.arpa.emr.it</i>	
<b>SOGGETTO PROPONENTE</b> ITALIANA POLIMERI Srl Via Martiri della Libertà n.62, 48024, Massa Lombarda (RA)	
<b>PROGETTAZIONE</b> BPG RICERCA E SVILUPPO Srl Lungotevere Sangallo n.1, 00186, Roma (RM) <b>In collaborazione con:</b> POWER ENGINEERING Srl Via delle Industrie n.1, 31050, Ponzano Veneto (TV)	

<b>AUTORIZZAZIONE RICHIESTA</b> <b>VERIFICA DI ASSOGGETTABILITÀ A VIA</b> Ai sensi dell'art. 10 della LR n.4/2018 e dell'art.19 del D.lgs. n.152/2006
<b>PROGETTO</b> <b>NUOVO IMPIANTO DI RECUPERO RIFIUTI PLASTICI COSTITUITI DA POLIETILENE A BASSA DENSITÀ (LDPE) DA REALIZZARE PRESSO LO STABILIMENTO SITO IN VIA MARTIRI DELLA LIBERTÀ N.62, MASSA LOMBARDA (RA)</b>
<b>LOCALIZZAZIONE</b> <b>COMUNE DI MASSA LOMBARDA (RA)</b> Via Martiri della Libertà n.62, 48024, Massa Lombarda (RA)
<b>ELABORATO</b> <b>RELAZIONE GEOLOGICA</b>
<b>LIVELLO</b> <b>SVIA_03.05_RelazioneGeologica</b>

<b>TIMBRI E FIRME</b>		
		

NOME FILE - SVIA_03.05_RelazioneGeologica						
COD. AUTORIZ.	AUTORIZZ.	PROGRESS.	TIPO DOC.	LIVELLO	FORMATO	DATA
01.	SVIA	00.01.	REL.	03.05.	A4	05/2023

## PREMESSA

Il progetto consiste nella riqualificazione di un immobile industriale attualmente dismesso, in Via Martiri della Libertà n.62 nel Comune di Massa Lombarda (RA), al fine della realizzazione da parte della società ITALIANA POLIMERI S.R.L. di un nuovo impianto di recupero rifiuti plastici costituiti da polietilene a bassa densità (LDPE), in particolare la tipologia COREPLA FIL/S.

La società POLYMER LOOP SRL ha acquistato l'area e gli immobili che vi insistono in Via Martiri della Libertà n.62, nel Comune di Massa Lombarda, in data 27/06/2019 dalla precedente proprietà FRUGES SRL in liquidazione.

All'atto di acquisto dell'area l'attività precedente era già stata interrotta, ma l'immobile presentava all'interno ancora impianti e strutture legate alla precedente attività (conservazione e lavorazione della frutta).

La società POLYMER LOOP SRL ha presentato in data 16/12/2019 istanza di avvio del procedimento di Verifica di Assoggettabilità (Screening) alla Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) relativa al progetto *"Nuovo impianto recupero rifiuti plastici costituiti da polietilene a bassa densità (LDPE)" in Via Martiri della Libertà n.62 nel Comune di Massa Lombarda (RA)* alla Regione Emilia-Romagna (acquisita al prot. PG.2019.926960 del 20/12/2019) e all'ARPAE di Ravenna (acquisita al prot. PG.2019.196029 del 20/12/2019).

La Regione Emilia-Romagna con Atto del Dirigente *DETERMINAZIONE n.10179 del 17/06/2020* avente per oggetto *"LR 4/2018, ART. 11: PROCEDURA DI VERIFICA DI ASSOGGETTABILITÀ A VIA (SCREENING) AI SENSI DEL D.LGS. n.152/2006 E DELLA L.R. n.4/2018 RELATIVA AL PROGETTO DI UN NUOVO IMPIANTO RECUPERO RIFIUTI PLASTICI IN VIA MARTIRI DELLA LIBERTÀ n.62 IN COMUNE DI MASSA LOMBARDA (RA) PRESENTATO DA POLYMER LOOP SRL"* si è espressa determinando *"di escludere, ai sensi dell'art.11, comma 1, della L.R. 4/2018, il progetto denominato "Nuovo impianto recupero rifiuti plastici in Via Martiri della Libertà n.62 in comune di Massa Lombarda (RA)" dalla ulteriore procedura di VIA"*.

Successivamente la società ITALIANA POLIMERI SRL ha acquisito la POLYMER LOOP SRL, acquisendo di conseguenza anche i diritti sull'area e gli immobili oggetto dell'intervento di progetto, distinti al catasto del Comune di Massa Lombarda al *Foglio 24 - Mappale 37*.

La società ITALIANA POLIMERI SRL ha deciso di presentare nuova istanza di Verifica di Assoggettabilità (Screening) alla Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) al fine di apportare modifiche migliorative al progetto elaborato e precedentemente assoggettato a Screening dalla società POLYMER LOOP SRL.

Il progetto originario è stato rivisto al fine di aumentare il recupero di materia e in subordine produrre CSS-C End of Waste da destinare a cementifici e/o centrali elettriche.

Il progetto consiste nella realizzazione da parte della società ITALIANA POLIMERI S.R.L. di un nuovo impianto di recupero rifiuti plastici costituiti da polietilene a bassa densità (LDPE), in particolare la tipologia COREPLA FIL/S.

L'impianto, che in ogni caso è in grado di trattare tutti i materiali che contengono una percentuale maggioritaria di polietilene al loro interno, è specificamente progettato per trattare la tipologia **COREPLA FIL/S** (rifiuti a base di polietilene di dimensione inferiore all'A3) che a causa delle problematiche specifiche di trattamento attualmente costituisce un flusso per la maggior parte confluyente nel flusso del PLASMIX la cui prevalente destinazione di recupero è quella energetica (incenerimento).

Attraverso il processo che si intende autorizzare verranno lavorate massimo 36.000 t/anno di rifiuti di cui sopra selezionati provenienti dalle piattaforme di selezione COREPLA o dai soggetti autorizzati che raccolgono questa tipologia di materiali già preselezionati alla fonte (scarti di origine industriale e/o agricola), dai quali verranno prodotte minimo 18.500 t/a di Materia Prima Secondaria (MPS) costituita da granuli in LDPE e minimo 8.750 t/a di CSS-C End of Waste.

Si riporta a seguire il documento *"Studio del terreno di fondazione di un fabbricato industriale sito in Via Martiri della Libertà nel Comune di massa Lombarda (RA)"* precedentemente allegato dalla società Polymer Loop Srl all'istanza di avvio del procedimento di Verifica di Assoggettabilità (Screening) alla Valutazione di Impatto Ambientale (VIA), presentata in data 16/12/2019 alla Regione Emilia-Romagna (acquisita al prot. PG.2019.926960 del 20/12/2019) e all'ARPAE di Ravenna (acquisita al prot. PG.2019.196029 del 20/12/2019), relativa al progetto *"Nuovo impianto recupero rifiuti plastici costituiti da polietilene a bassa densità (LDPE)" in Via Martiri della Libertà n.62 nel Comune di Massa Lombarda (RA)*, in quanto invariato ai fini della nuova istanza.

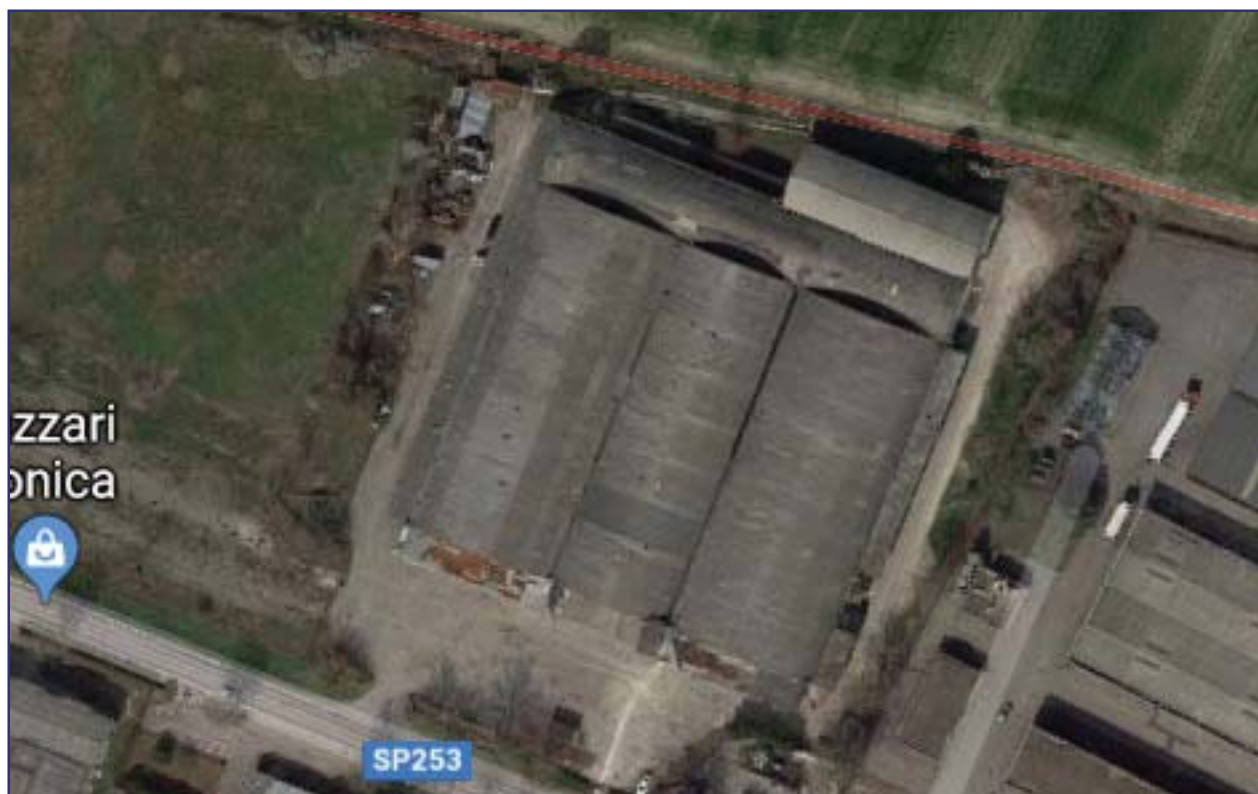
# Comune di Massa Lombarda

## Provincia di Ravenna

RELAZIONE GEOLOGICA inerente la 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:

**Studio del terreno di fondazione di un fabbricato industriale, sito in Via Martiri della Libertà, nel Comune di Massa Lombarda(RA)**



Dott. Geol. Pierluigi Dallari  
Luglio 2019  
Rif. 406/19

ASSOCIATO



**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)



**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)

### **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**

**Relazione geologica e sismica inerente la caratterizzazione geologica, geotecnica e sismica a supporto dello studio del terreno di fondazione di un fabbricato industriale, sito in Via Martiri della Libertà, nel Comune di Massa Lombarda (RA)**

---

### **GEO GROUP 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: [geo.group@libero.it](mailto:geo.group@libero.it)





## INDICE DEL CONTENUTO

1. PREMESSE .....	3
1.1 Inquadramento geografico .....	4
2. INQUADRAMENTO GENERALE .....	5
2.1 Aspetti geologici generali .....	5
3. INDAGINI GEOGNOSTICHE .....	5
3.1 Campagna geognostica e analisi di laboratorio geotecnico .....	5
3.1.2 Prova penetrometrica statica con punta elettrica e piezocono CPTU .....	6
4. RELAZIONE GEOTECNICA .....	9
4.1 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE E LITOSTRATIGRAFICHE DEL SOTTOSUOLO .....	9
4.2 MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO .....	11
4.2 VERIFICHE GEOTECNICHE .....	12
4.2.1 VERIFICA DEI CEDIMENTI .....	13
4.2.2 MODULO DI SOTTOFONDO .....	14
5. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO .....	15
5.1 INDAGINI GEOFISICHE .....	15
5.1.1 Indagine sismica con metodo MASW .....	15
5.1.2 Indagine sismica con metodo Re.Mi. ....	16
5.1.3 Indagini sismiche Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) .....	17
5.2 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO (§ 3.2.2 NNTC 2018) .....	18
5.3 AZIONE SISMICA E RISPOSTA SISMICA DEL SITO .....	19
5.4 AZIONE SISMICA: STUDIO DI RISPOSTA SISMICA LOCALE (III LIVELLO DI APPROFONDIMENTO) .....	22
5.4 STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE (§ 7.11.3.4 NNTC 2018) .....	30
5.5 VERIFICA NEI CONFRONTI DEGLI SLU (6.4 NNTC 2018) .....	33
6. CONCLUSIONI .....	35

## TAVOLE

<b>Tav. n. 1:</b> “Carta corografica”	scala 1: 25.000;
<b>Tav. n. 2:</b> “Carta topografica”	scala 1: 5.000;
<b>Tav. n. 3:</b> “Ripresa fotografica aerea”	scala 1: 2000;
<b>Tav. n. 4:</b> “Carta geologica”	scala 1:5.000;
<b>Tav. n. 5:</b> “Ubicazione delle indagini”	scala grafica.

## ALLEGATI

- ALL. n. 1** Prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono CPTU;
- ALL. n. 2** Verifiche geotecniche;
- ALL. n. 3** Indagine sismica MASW;
- ALL. n. 4** Indagine sismica RE.MI;
- ALL. n. 5** Indagine sismica HVSr;
- ALL. n. 6** Verifiche della suscettività del sito al fenomeno della liquefazione.

### GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41123 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo 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: [geo.group@libero.it](mailto:geo.group@libero.it)



## 1. PREMESSE

Nel mese di Luglio 2019, per incarico della proprietà ed in accordo con i tecnici progettisti, è stata eseguita la caratterizzazione geologica, geotecnica e sismica a supporto dello studio del terreno di fondazione di un fabbricato industriale, sito in Via Martiri della Libertà, nel Comune di Massa Lombarda (RA).



Fig. n. 1.1 – Riprese aeree del fabbricato oggetto di studio.

### GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41123 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-59.60.176

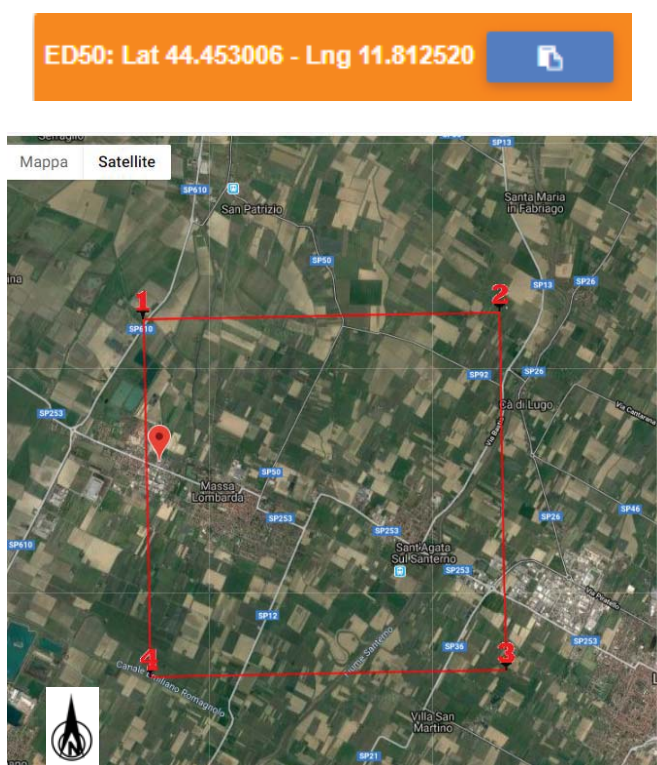
p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: [geo.group@libero.it](mailto:geo.group@libero.it)



## 1.1 Inquadramento geografico

L'area in esame è collocata ad ovest del centro abitato del comune di Massa Lombarda, in un'area a carattere prevalentemente industriale, come illustrato nella "Carta corografica" (**Tav. n. 1**), in scala 1:25.000, nella "Carta topografica" (**Tav. n. 2**) in scala 1:10.000 e nella "Ripresa fotografica aerea dell'area di interesse" (**Tav. n. 3**), riportate in allegato.

Le coordinate geografiche di riferimento sono le seguenti:



*Fig. n. 1.2 – Ripresa fotografica dell'area di interesse*

### **GEO GROUP 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: [geo.group@libero.it](mailto:geo.group@libero.it)



---

## 2. INQUADRAMENTO GENERALE

---

---

### 2.1 Aspetti geologici generali

---

Dalla consultazione della cartografia geologica redatta dalla Regione Emilia Romagna (Progetto CARG) presso l'area di interesse affiorano le seguenti coperture quaternarie:

#### **AES8 – Subsintema 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).*

L'area oggetto di studio è posta nella provincia di Ravenna, in un'area a carattere industriale e pianeggiante alla quota topografica media di circa 9.00 m s.l.m..

---

## 3. INDAGINI GEOGNOSTICHE

---

---

### 3.1 Campagna geognostica e analisi di laboratorio geotecnico

---

Con la finalità di definire il modello stratigrafico, geotecnico e sismico dei terreni che compongono il volume significativo di sottosuolo coinvolto dai futuri interventi in progetto sono state eseguite le seguenti indagini:

- n° 2 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono **CPTu** spinte alla profondità di -20.00 m da p.c.;
- n° 1 indagine sismica attiva secondo metodologia **MASW**;
- n° 1 indagine sismica passiva secondo metodologia **RE.MI**;
- n° 2 indagini sismiche passive secondo metodologia **HVSR**.

Si procede, nel capitolo successivo, a descrivere le metodologie di indagine e analisi adottate a supporto della redazione del presente documento.





### 3.1.2 Prova penetrometrica statica con punta elettrica e piezocono CPTU

---

Il penetrometro utilizzato per realizzare le prove statiche è un Gouda da 200 kN di spinta, montato su autocarro gommato a trazione integrale.

La prova penetrometrica statica con punta elettrica (CPTE/U), 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.



Attrezzatura di prova utilizzata.

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.

Il piezocono da Noi utilizzato è un Pagani, con sistema di acquisizione TGAS07 ed è dotato di un dispositivo di misura della pressione costituito da un cilindro metallico saturato con grasso, situato poco al di sopra della punta conica. Si riportano, di seguito, la composizione dell'attrezzatura di prova ed il collegamento con il sistema di acquisizione dei dati digitale TGAS07 e le caratteristiche del piezocono:

---

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

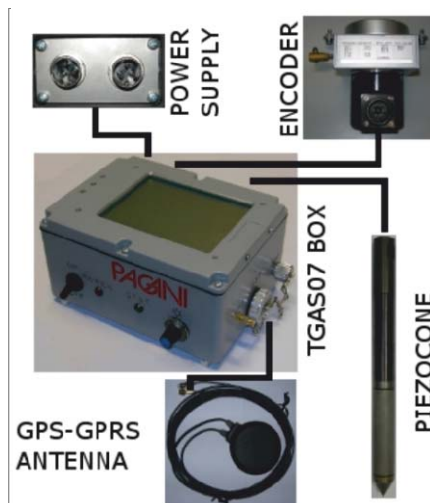
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41123 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo 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: [geo.group@libero.it](mailto:geo.group@libero.it)





Attrezzatura di prova e collegamento con il sistema di acquisizione digitale.

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

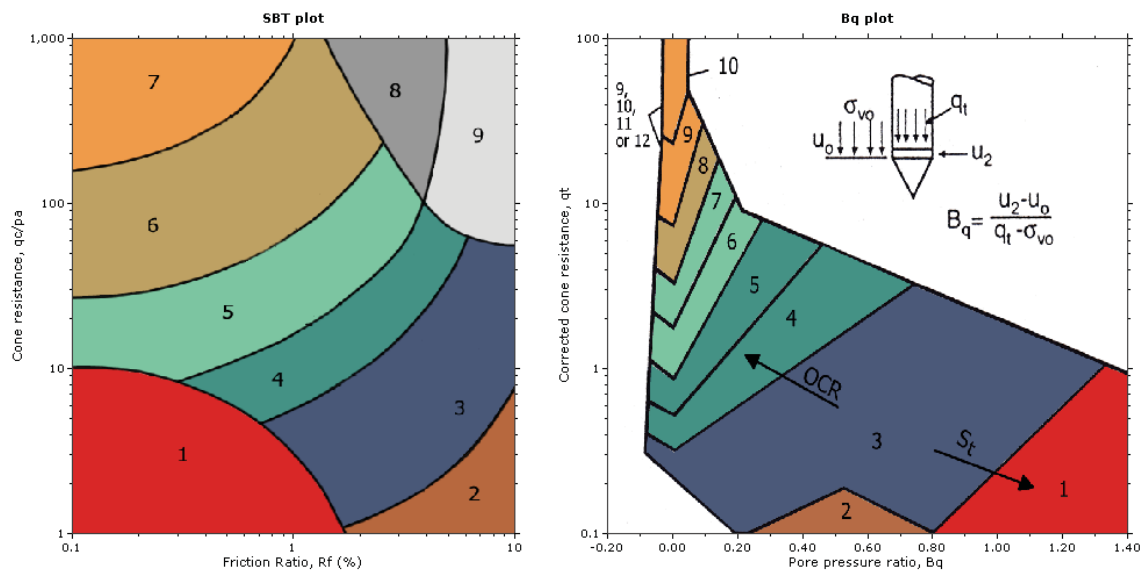
Caratteristiche del Piezocono Pagani.

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 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).

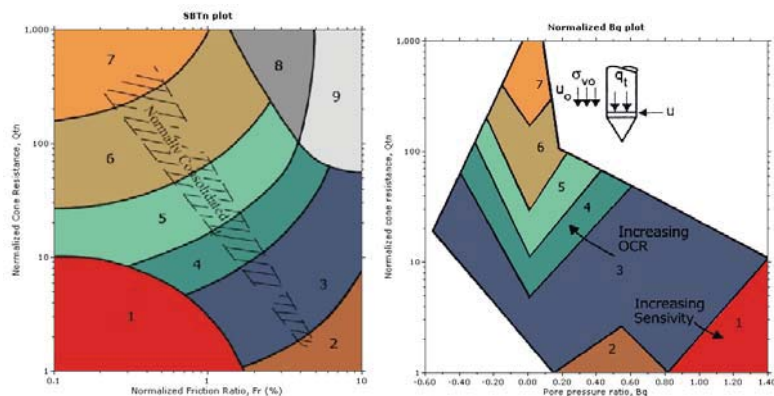






#### SBT legend

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



#### SBTn legend

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

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 e il valore dei parametri geotecnici caratteristici dei terreni. Il software utilizzato per l'elaborazione delle prove utilizza le correlazioni riportate nello schema seguente.

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

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41123 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo 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: [geo.group@libero.it](mailto:geo.group@libero.it)



<p><b>:: Unit Weight, <math>\gamma</math> (kN/m<sup>3</sup>) ::</b></p> $\gamma = \gamma_{sat} \cdot \left( 0.27 \cdot \log(R_f) + 0.36 \cdot \log\left(\frac{q_t}{p_a}\right) + 1.236 \right)$ <p>where <math>\gamma_{sat}</math> = water unit weight</p> <p><b>:: Permeability, <math>k</math> (m/s) ::</b></p> <p><math>I_c &lt; 3.27</math> and <math>I_c &gt; 1.00</math> then <math>k = 10^{0.952 - 3.04 \cdot I_c}</math></p> <p><math>I_c \leq 4.00</math> and <math>I_c &gt; 3.27</math> then <math>k = 10^{-4.52 - 1.37 \cdot I_c}</math></p> <p><b>:: <math>N_{60}</math> (blows per 30 cm) ::</b></p> $N_{60} = \left( \frac{q_t}{p_a} \right) \cdot \frac{1}{10^{1.1268 - 0.2817 \cdot I_c}}$ $N_{160} = Q_{tn} \cdot \frac{1}{10^{1.1268 - 0.2817 \cdot I_c}}$ <p><b>:: Young's Modulus, <math>E_s</math> (MPa) ::</b></p> $(q_t - \sigma_v) \cdot 0.015 \cdot 10^{0.55 \cdot I_c + 1.68}$ <p>(applicable only to <math>I_c &lt; I_{c,limit}</math>)</p> <p><b>:: Relative Density, <math>D_r</math> (%) ::</b></p> $100 \cdot \sqrt{\frac{Q_{tn}}{k_{BR}}} \quad \text{(applicable only to SBTs: 5, 6, 7 and 8 or } I_c < I_{c,limit} \text{)}$ <p><b>:: State Parameter, <math>\psi</math> ::</b></p> $\psi = 0.56 - 0.33 \cdot \log(Q_{tn,60})$ <p><b>:: Peak drained friction angle, <math>\phi</math> (°) ::</b></p> $\phi = 17.60 + 11 \cdot \log(Q_{tn})$ <p>(applicable only to SBTs: 5, 6, 7 and 8)</p> <p><b>:: 1-D constrained modulus, <math>M</math> (MPa) ::</b></p> <p>If <math>I_c &gt; 2.20</math></p> <p><math>a = 14</math> for <math>Q_{tn} &gt; 14</math></p> <p><math>a = Q_{tn}</math> for <math>Q_{tn} \leq 14</math></p> <p><math>M_{CPT} = a \cdot (q_t - \sigma_v)</math></p> <p>If <math>I_c \leq 2.20</math></p> $M_{CPT} = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 \cdot I_c + 1.68}$	<p><b>:: Small strain shear Modulus, <math>G_0</math> (MPa) ::</b></p> $G_0 = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 \cdot I_c + 1.68}$ <p><b>:: Shear Wave Velocity, <math>V_s</math> (m/s) ::</b></p> $V_s = \left( \frac{G_0}{\rho} \right)^{0.50}$ <p><b>:: Undrained peak shear strength, <math>S_u</math> (kPa) ::</b></p> $N_{kt} = 10.50 + 7 \cdot \log(F_r) \text{ or user defined}$ $S_u = \frac{(q_t - \sigma_v)}{N_{kt}}$ <p>(applicable only to SBTs: 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></p> $S_{u(rem)} = f_s \quad \text{(applicable only to SBTs: 1, 2, 3, 4 and 9 or } I_c > I_{c,limit} \text{)}$ <p><b>:: Overconsolidation Ratio, OCR ::</b></p> $k_{OCR} = \left[ \frac{Q_{tn}^{0.20}}{0.25 \cdot (10.50 + 7 \cdot \log(F_r))} \right]^{1.25} \text{ or user defined}$ $OCR = k_{OCR} \cdot Q_{tn}$ <p>(applicable only to SBTs: 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></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 <math>I_c &gt; I_{c,limit}</math>)</p> <p><b>:: Soil Sensitivity, <math>S_t</math> ::</b></p> $S_t = \frac{N_{kt}}{F_r}$ <p>(applicable only to SBTs: 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></p> $\phi' = 29.5^\circ \cdot B_q^{0.123} \cdot (0.256 + 0.336 \cdot B_q + \log Q_t)$ <p>(applicable for <math>0.10 &lt; B_q &lt; 1.00</math>)</p>
--	---

Correlazioni utilizzate per la stima dei parametri geotecnici.

## 4 RELAZIONE GEOTECNICA

### 4.1 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE E LITOSTRATIGRAFICHE DEL SOTTOSUOLO

Le prove eseguite, ubicate come illustrato nella **tavola n. 5** hanno raggiunto le profondità elencate nella seguente tabella:

INDAGINE	PROFONDITÀ	LIVELLO FALDA FREATICA
CPTU 1	-20.26 m da p.c.	-2.30 m da p.c. (02/07/19)
CPTU 2	-20.47 m da p.c.	-2.30 m da p.c. (02/07/19)

Tabella con riportate le profondità raggiunte dalle prove penetrometriche

Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione geotecnica e litostratigrafica delle n. 2 prove penetrometriche CPTU effettuate si allegano le sezioni geotecniche estrapolate dall'elaborazione delle suddette:

## GEO GROUP 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: [geo.group@libero.it](mailto:geo.group@libero.it)

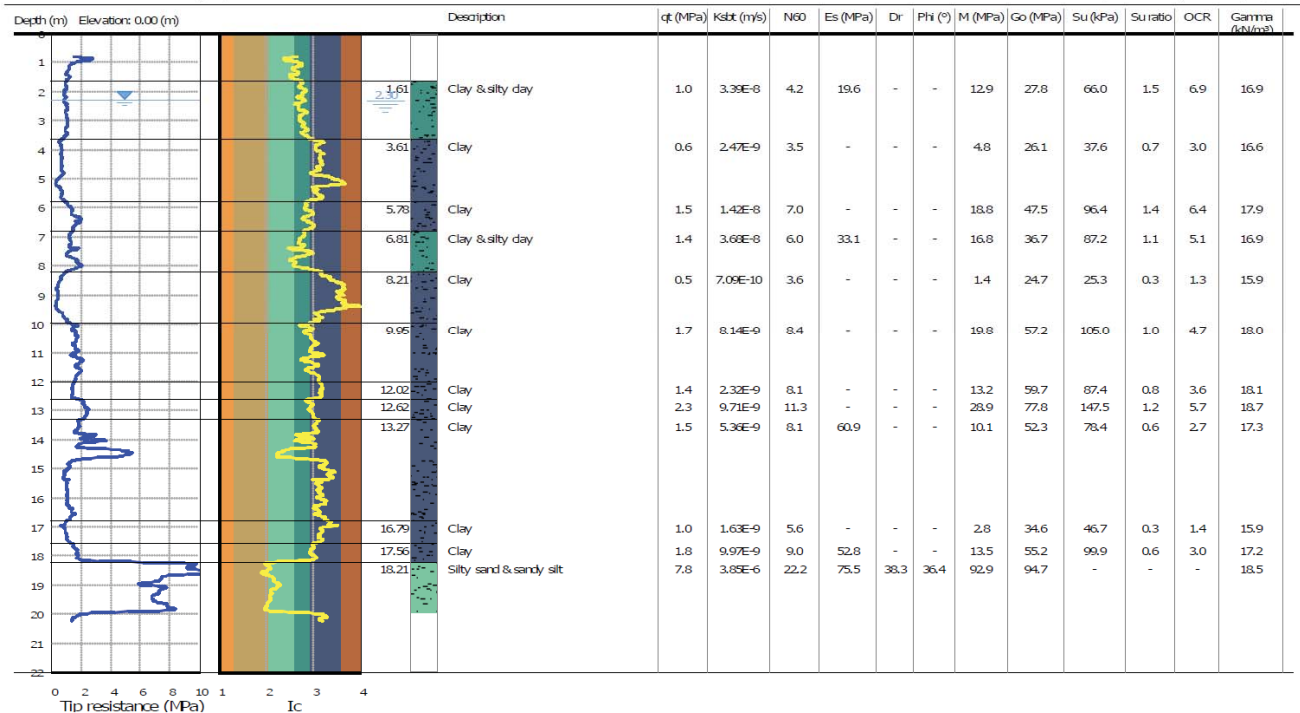


## CPTU 1

Project: Studio del terreno di fondazione  
Location: Massa Lombarda (RA)

CPT: CPTU1

Total depth: 20.26 m, Date: 02/07/2019

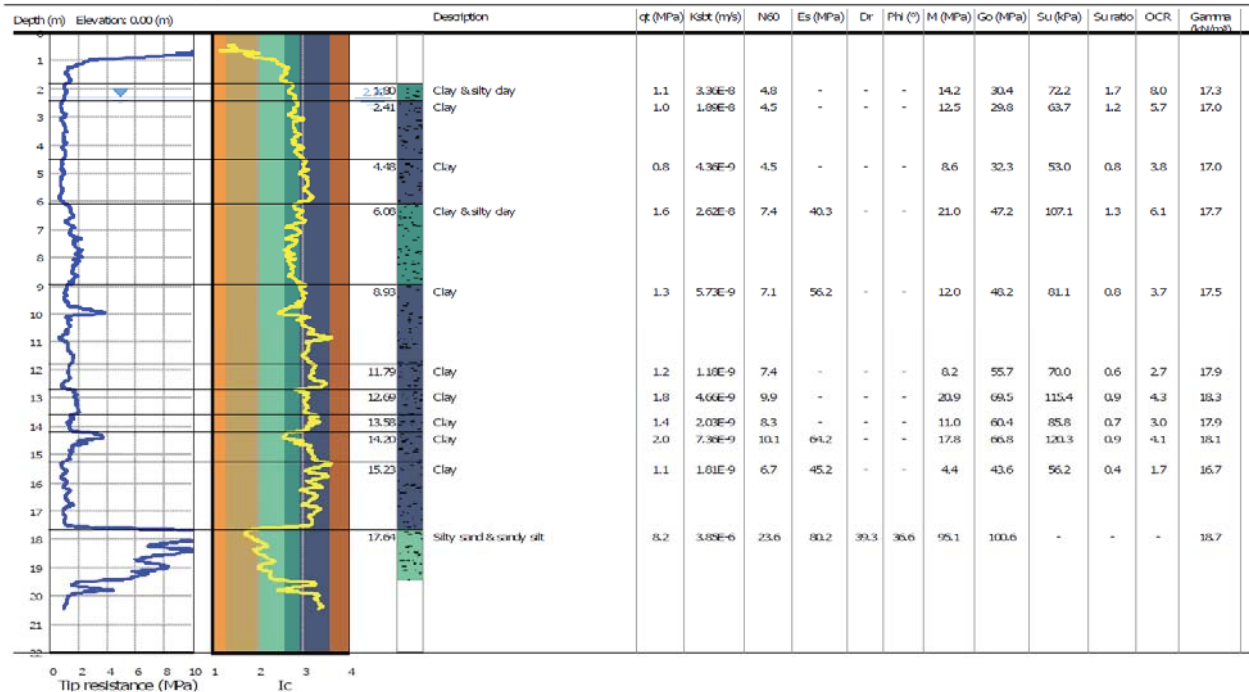


## CPTU 2

Project: Studio del terreno di fondazione  
Location: Massa Lombarda (RA)

CPT: CPTU 2

Total depth: 20.47 m, Date: 02/07/2019



## GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41123 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo 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: [geo.group@libero.it](mailto:geo.group@libero.it)



## 4.2 MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

Il modello geotecnico è finalizzato a fornire tutti i dati geotecnici necessari per l'intervento in oggetto. Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione geotecnica e litostratigrafica delle indagini geotecniche eseguite in sito si possono riassumere i seguenti modelli geotecnici schematici del terreno investigato:

### MODELLO GEOTECNICO MEDIO

	Profondità	Falda	Litotipo	Parametri geotecnici	
<b>1</b>	<b>0.0 – 8.00</b> m da p.c.	<b>-2.30 m</b> da p.c.	Argilla o argilla limosa mediamente consistente	$\gamma$	$1800 \text{ kg/cm}^3 \approx 18.00 \text{ kN/m}^3$
				$\gamma'$	$2100 \text{ kg/cm}^3 \approx 21.00 \text{ kN/m}^3$
				$C_{uk}$	$0.50 \text{ kg/cm}^2 \approx 50.0 \text{ kN/m}^2$
				$C'_k$	$0.05 \text{ kg/cm}^2 \approx 5.0 \text{ kN/m}^2$
				$M_0$	$45.0 \text{ kg/cm}^2 \approx 4500 \text{ kN/m}^2$
				$\phi_k$	$23^\circ$
				$v$	0.40
				$E_s$	$70.0 \text{ kg/cm}^2 \approx 7000 \text{ kN/m}^2$
<b>2</b>	<b>8.00 – 10.00</b> m da p.c.		Argilla o argilla limosa poco consistente	$\gamma$	$1750 \text{ kg/cm}^3 \approx 17.50 \text{ kN/m}^3$
				$\gamma'$	$2050 \text{ kg/cm}^3 \approx 20.50 \text{ kN/m}^3$
				$C_{uk}$	$0.30 \text{ kg/cm}^2 \approx 30.0 \text{ kN/m}^2$
				$C'_k$	$0.03 \text{ kg/cm}^2 \approx 3.0 \text{ kN/m}^2$
				$M_0$	$25.0 \text{ kg/cm}^2 \approx 2500 \text{ kN/m}^2$
				$\phi_k$	$21^\circ$
				$v$	0.50
				$E_s$	$42.0 \text{ kg/cm}^2 \approx 4200 \text{ kN/m}^2$
<b>3</b>	<b>10.00 – 14.80</b> m da p.c.		Argilla o argilla limosa a medio-elevata consistenza	$\gamma$	$2100 \text{ kg/cm}^3 \approx 21.00 \text{ kN/m}^3$
				$\gamma'$	$2300 \text{ kg/cm}^3 \approx 23.00 \text{ kN/m}^3$
				$C_{uk}$	$0.90 \text{ kg/cm}^2 \approx 90.0 \text{ kN/m}^2$
				$C'_k$	$0.09 \text{ kg/cm}^2 \approx 9.0 \text{ kN/m}^2$
				$M_0$	$80.0 \text{ kg/cm}^2 \approx 8000 \text{ kN/m}^2$
				$\phi_k$	$24^\circ$
				$v$	0.35
				$E_s$	$126.0 \text{ kg/cm}^2 \approx 12600 \text{ kN/m}^2$
<b>4</b>	<b>14.80 - 18.00</b> m da p.c.		Argilla o argilla limosa a scarsa consistenza	$\gamma$	$1750 \text{ kg/cm}^3 \approx 17.50 \text{ kN/m}^3$
				$\gamma'$	$2050 \text{ kg/cm}^3 \approx 20.50 \text{ kN/m}^3$
				$C_{uk}$	$0.35 \text{ kg/cm}^2 \approx 35.0 \text{ kN/m}^2$
				$C'_k$	$0.035 \text{ kg/cm}^2 \approx 3.5 \text{ kN/m}^2$
				$M_0$	$30.0 \text{ kg/cm}^2 \approx 3000 \text{ kN/m}^2$
				$\phi_k$	$21^\circ$
				$v$	0.50
				$E_s$	$49.0 \text{ kg/cm}^2 \approx 4900 \text{ kN/m}^2$
<b>5</b>	<b>Da - 18.00</b> m da p.c.		Sabbia limosa mediamente addensata	$\gamma$	$1900 \text{ kg/cm}^3 \approx 19.00 \text{ kN/m}^3$
				$\gamma'$	$2200 \text{ kg/cm}^3 \approx 22.00 \text{ kN/m}^3$
				$Dr$	35%
				$\phi_k$	$36^\circ$

### GEO GROUP 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: [geo.group@libero.it](mailto:geo.group@libero.it)



			<b>v</b>	0.30
			<b>Es</b>	760.0 kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 76000 kN/m <sup>2</sup>
<b>Legenda</b>	$\gamma$	=	peso specifico terreno naturale	
	$\gamma'$	=	peso specifico terreno saturo	
	$C_{uk}$	=	coesione non drenata caratteristica	
	$C'_k$	=	coesione efficace caratteristica (valore cautelativo)	
	$D_r$	=	densità relativa	
	$M_0$	=	modulo di deformazione edometrico	
	$E_s$	=	modulo di deformazione elastico	
	$\phi_k$	=	angolo d'attrito caratteristico	

Si riportano di seguito le referenze bibliografiche e le correlazioni utilizzate per la determinazione dei parametri geotecnici sopra riportati:

$\gamma'$  = peso dell'unità di volume (efficace) del terreno [Terzaghi & Peck 1967 - Bowles 1982]

$C_{uk}$  = coesione non drenata (terreni coesivi) [Formula di Lunne & Eide]

$D_r$  = densità relativa (terreni granulari) [Schmertmann 1976]

$M_0$  = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973]

$E_s$  = modulo elastico (terreni coesivi) [Trofimov 1974]

$\phi_k$  = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari) [Meyerhof 1956/1976, sabbie limose]

$\phi_k$  = angolo di attrito interno efficace (terreni coesivi) [prove di laboratorio CID da Noi eseguite su analoghi litotipi presso Nostro laboratorio certificato dal "Ministero delle infrastrutture e dei trasporti n.1845" per l'esecuzione e certificazione di prove su terre e rocce, categoria A]

## 4.2 VERIFICHE GEOTECNICHE

Al fine di verificare il sistema terreno-fondazione da un punto di vista geotecnico, sulla base dei dati forniti dal progettista si sono ipotizzate delle **fondazioni superficiali impostate su plinti di forma quadrata** in c.a..

Per i calcoli si sono inoltre utilizzati i parametri geotecnici emersi dalle prove penetrometriche eseguite. Si riportano di seguito i dati relativi al terreno e alle fondazioni considerate.

### plinti in c.a.

larghezza della base	<b>B</b>	=	3.50 m
lunghezza della fondazione	<b>B<sup>I</sup></b>	=	3.50 m
profondità della quota di imposta	<b>D</b>	=	-1.50 m da p.c.

## GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41123 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo 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: [geo.group@libero.it](mailto:geo.group@libero.it)



## parametri del terreno

peso specifico terreno naturale	$\gamma$	=	1800 kg/m <sup>3</sup> $\approx$ 18.00 kN/m <sup>3</sup>
peso specifico terreno saturo	$\gamma'$	=	2100 kg/m <sup>3</sup> $\approx$ 21.00 kN/m <sup>3</sup>
coesione non drenata caratteristica	$C_{uk}$	=	0.50 kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 50.0 kN/m <sup>2</sup>
coesione efficace caratteristica	$C'_k$	=	0.05 kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 5.0 kN/m <sup>2</sup>
angolo d'attrito caratteristico	$\varphi_k$	=	23°
modulo di Poisson	$\nu$	=	0.40
modulo di deformazione edometrico	$M_0$	=	45.0 kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 4500 kN/m <sup>2</sup>
modulo di deformazione elastico	$E_s$	=	70.0 kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 7000 kN/m <sup>2</sup>
profondità falda freatica	$D_w$	=	-2.30 m da p.c.

### 4.2.1 VERIFICA DEI CEDIMENTI

È stato eseguito, attraverso il programma *GEOSTRU* il calcolo della distribuzione delle tensioni indotte al terreno di fondazione dall'intervento in progetto secondo il metodo di Newmark (**Allegato n. 2**).

Il metodo di Newmark si basa sul presupposto che il terreno di fondazione possa essere assimilato ad uno spazio semi-infinito a comportamento perfettamente elastico, omogeneo e isotropo.

Per la verifica dei cedimenti sono stati considerati i parametri geotecnici emersi dall'elaborazione delle prove penetrometriche eseguite in sito e al fine del calcolo è stato **considerato** un carico applicato al terreno di fondazione pari a  **$P = 1.00 \text{ kg/cm}^2 \approx 100 \text{ kN/m}^2$** .

Tutto ciò premesso, sono stati ottenuti i seguenti risultati:

#### Cedimenti CPTU 1

Quota di imposta <b>D = - 1.50 m da piano campagna</b>	
Carico applicato sul terreno <b>P = 100 kN/m<sup>2</sup></b>	
<b>Metodo di calcolo degli strati coesivi di Steinbrenner</b>	
Cedimento totale degli strati coesivi	<b>S = 2.36 cm</b>

#### Cedimenti CPTU 2

Quota di imposta <b>D = - 1.50 m da piano campagna</b>	
Carico applicato sul terreno <b>P = 100 kN/m<sup>2</sup></b>	
<b>Metodo di calcolo degli strati coesivi di Steinbrenner</b>	
Cedimento totale degli strati coesivi	<b>S = 1.72 cm</b>

#### GEO GROUP 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: [geo.group@libero.it](mailto:geo.group@libero.it)





È stato eseguito inoltre il calcolo della distribuzione delle tensioni indotte nel terreno attraverso il programma GeoLogisMiki – Geotechnical Software. I cedimenti calcolati sono i seguenti:

**CPTU 1**

**Total primary settlement: 1.78**  
**Total secondary settlement: 0.13**  
**Total calculated settlement: 1.91**

**CPTU 2**

**Total primary settlement: 1.06**  
**Total secondary settlement: 0.06**  
**Total calculated settlement: 1.12**

#### **4.2.2 MODULO DI SOTTOFONDO**

---

Il modello di Winkler considera il terreno come formato da una distribuzione di vincoli semplici bilaterali elastici. La relazione che ne regola il comportamento è di tipo lineare tra il cedimento ( $w$ ) e la pressione di contatto ( $p$ ):  **$p = kw$** .

Il parametro  $k$  è detto costante di sottofondo. Come è noto,  $k$  non dipende solo dal terreno ma anche dai carichi applicati, dalle proprietà del terreno, dalla forma e le dimensioni della fondazione.

Utilizzando la Formula di Bowles (1974):

$$k \text{ (kN/mc)} = 40 \cdot Q_{lim} \cdot F_c,$$

dove  $F_c = 2.54/\text{cedimento della fondazione (cm)}$ , considerando i cedimenti di riferimento calcolati ed i carichi ipotizzati e sopra riportati, si sono ottenuti i seguenti risultati per il **modulo di sottofondo** (o **costante di Winkler**):

<b>carico applicato</b>	<b>Cedimento di riferimento</b>	<b>modulo di sottofondo (K di Winkler)</b>
$P = 1.00 \text{ kg/cm}^2 \approx 100 \text{ kN/m}^2$	$S = 2.36 \text{ cm}$	$K = 1.29 \text{ kg/cm}^3$

---

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

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41123 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo 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: [geo.group@libero.it](mailto:geo.group@libero.it)



---

## 5 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

---

---

### 5.1 INDAGINI GEOFISICHE

---

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

- *n. 1 indagine sismica MASW;*
- *n. 1 indagine sismica RE.MI;*
- *n. 2 indagini sismiche HVSR.*

I risultati delle indagini sismiche sono riportati integralmente nell'**allegato n. 3, n. 4 e n. 5**.

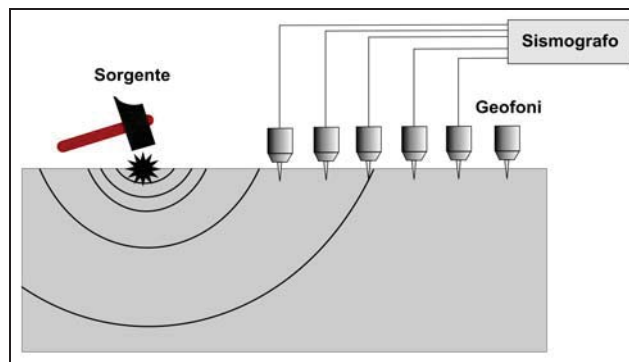
---

#### 5.1.1 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.**

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.

---

#### **5.1.2 Indagine sismica con metodo Re.Mi.**

---

Per estendere la caratterizzazione sismica del sottosuolo e raggiungere un'elevata coerenza dei dati acquisiti, sono state svolte acquisizioni di rumore sismico ambientale utilizzando un array 2D. Tale tecnica, conosciuta come la metodologia Re.Mi., permette di campionare le frequenze più basse, caratterizzanti le porzioni più profonde del sottosuolo. In generale le tecniche sfruttano la capacità di poter mettere in relazione le velocità di fase e le frequenze, relative alle onde di taglio, con le forme di dispersione delle onde di superficie. I microtremori sismici naturali determinano, in corrispondenza della superficie, la formazione di onde superficiali di Rayleigh.

Si utilizzano dunque i microtremori naturali come sorgente sismica, i quali vengono misurati attraverso geofoni verticali disposti secondo array lineari. L'analisi avviene grazie a un passaggio delle registrazioni ottenute, attraverso la trasformata di Fourier, da un dominio spazio/tempo a un dominio frequenza/inverso della velocità. Il risultato dell'analisi è l'identificazione dello spettro energetico del segnale, in funzione della frequenza e dell'inverso della velocità. Dato che i livelli energetici possono variare significativamente alle diverse frequenze, lo spettro durante la fase di elaborazione viene normalizzato.



### 5.1.3 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.

Dall'analisi HVSR eseguita in sito, e riportata integralmente nell'**allegato n. 5** non è stato individuato nessun picco di frequenza H/V.

## 5.2 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO (§ 3.2.2 NNTC 2018)

---

Per determinare il parametro Vs30 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 Vs con la profondità fino ad una quota di -30.00 m dal piano di posa delle fondazioni, attraverso la formula:

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

Dall'elaborazione delle indagini sismiche eseguite si è ottenuto il valore di  $V_{s,30}$  pari a:

<b>MASW</b>	<b><math>V_{s,30}=287</math> m/s</b>
<b>Re.Mi.</b>	<b><math>V_{s,30}=261</math> m/s</b>

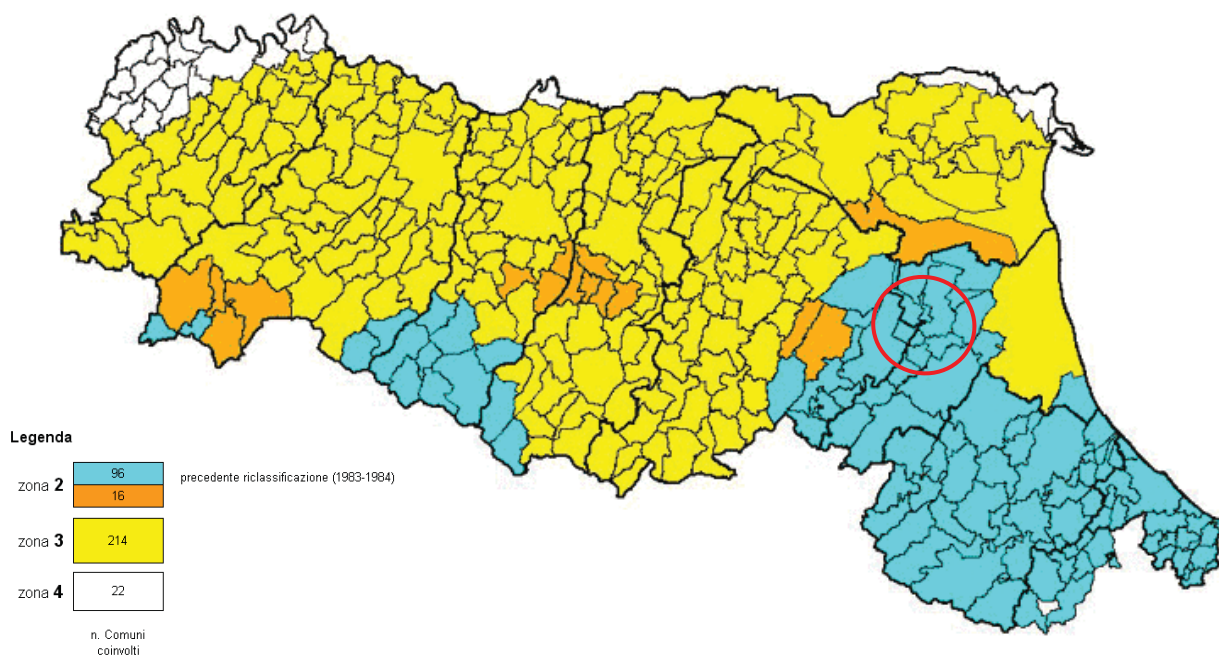
Pertanto, secondo la classificazione del sottosuolo imposta dal NTC 2018, si definisce il terreno di fondazione dell'area studiata come appartenente alla appartenente alla **categoria C**, corrispondente a:

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**.



### 5.3 AZIONE SISMICA E RISPOSTA SISMICA DEL SITO

Secondo la classificazione sismica del territorio nazionale proposta a partire dall'O.P.C.M. n. 3274/2003 e successive modifiche, il **Comune di Massa Lombarda (RA)** risulta appartenente alla **classe di sismicità 2** (Fig. 5.3.1).



**Fig. 5.3.1:** Classificazione sismica e dei comuni della regione Emilia-Romagna a partire dall'O.P.C.M. n. 3274/2003 e successive modifiche e ubicazione del territorio comunale di Massa Lombarda (RA).

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 l'area in oggetto, identificata dalle seguenti coordinate geografiche (**Sistema di riferimento ED50**): Latitudine: 44.453006°, Longitudine 11.812520°, in relazione a un periodo di riferimento  $T_R$  stimato di 475 anni, è stato definito un parametro di accelerazione massima attesa  $a_g$  pari a  **$a_g \text{ attesa} =$**

**0.183.**





## 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	0.056	2.452	0.260
Danno (SLD)	50	0.071	2.439	0.273
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.183	2.403	0.304
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.238	2.414	0.310
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.017	0.021	0.063	0.091
kv	0.008	0.011	0.032	0.045

**Fig. 5.3.2 - Parametri sismici caratteristici della maglia di punti riportata in figura, in cui ricade l'area oggetto del presente studio (da [www.geostru.com/us/parametri-sismici/](http://www.geostru.com/us/parametri-sismici/))**

L'accelerazione orizzontale di picco attesa  $a_g$  è 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 sopra.

Ai fini della definizione dell'azione sismica, determinata la pericolosità sismica di base, occorre valutare gli **effetti di sito** mediante specifiche analisi di risposta sismica locale.

Per la definizione dell'azione sismica, sulla base di quanto previsto dalle N.N.T.C., si può fare riferimento ad un approccio semplificato che **si basa sull'individuazione della categoria di**



**sottosuolo e le condizioni topografiche del sito**, in funzione delle quali si definiscono l'entità dell'amplificazione stratigrafica e topografica.

Sulla base delle NTC 2018, e tenendo conto dei dati ottenuti **dall'indagine geofisica eseguita in sito**, si **classifica** il terreno di fondazione in oggetto, come appartenente alla **categoria C**.

Poiché tale valore di accelerazione sismica orizzontale  $a_g$  si riferisce al *bedrock*, per definire il valore di  $a_g$  in superficie si calcola inizialmente il fattore stratigrafico  $S_s$ , essendo in classe C, si avrà :

$$S_s = 1,00 \leq 1,70 - (0,60 \cdot F_o \cdot a_g/g) \leq 1,50$$

dove:

- $F_o$  = fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2.2; per il sito oggetto di studio tale valore, calcolato mediante l'utilizzo di apposito software, risulta pari a **2.403**;
- $a_g/g$  = accelerazione orizzontale del sito, con tempo di ritorno pari a **475 anni**/accelerazione di gravità;
- $S_s$  = coefficiente di amplificazione stratigrafica o fattore stratigrafico, calcolato tramite la relazione 4.1.1; per il sito oggetto di studio risulta pari a **1.44**.

Successivamente, sulla base delle condizioni topografiche del sito studiato, si calcola il fattore topografico  $S_T$  dalla seguente tabella:

Categoria topografica	Ubicazione opera/intervento	ST
<b>T1</b>	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$	<b>1.0</b>
<b>T2</b>	Pendii con inclinazione media $> 15^\circ$	<b>1.2</b>
<b>T3</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	<b>1.2</b>
<b>T4</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $> 30^\circ$	<b>1.4</b>

Per l'area studiata, sita, come suddetto in una zona di pianura e appartenente, quindi alla categoria topografica **T1**, si ottiene un fattore topografico  $S_T$  pari a **1.0**.

In base a tali valori del fattore stratigrafico  $S_s$  e del fattore topografico  $S_T$  si procede al calcolo dell'accelerazione massima orizzontale  $A_{max}$ : Dott.Geol. Pier Luigi Dallari

$$A_{max} = S_s \cdot S_T \cdot a_g = 1.44 \cdot 1.0 \cdot 0.183 \text{ g} = 0.264 \text{ g}$$



#### **5.4 AZIONE SISMICA: STUDIO DI RISPOSTA SISMICA LOCALE (III LIVELLO DI APPROFONDIMENTO)**

---

Alla luce di quanto esposto nel § 3.2.3 delle NTC 2018, è stata definita l'azione sismica di progetto secondo uno studio di risposta sismica locale, secondo III livello di approfondimento, relativamente all'intervento in progetto che prevede lo studio del terreno di fondazione di un fabbricato industriale, per la quale si è considerata una *classe d'uso II* e una *vita nominale pari a 50 anni*.

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

Ai fini della restituzione degli spettri di accelerazione, relativi allo stato limite SLV, è stata svolta la verifica dell'amplificazione del sito mediante l'utilizzo di un modello simulato in campo lineare equivalente. Tale analisi è svolta per ottemperare a ciò che è richiesto dalla normativa nazionale vigente (NTC 2018). Utilizzando un modello lineare equivalente è possibile ottenere una soluzione di un modello non lineare, attraverso analisi lineari complete nelle quali, al termine di ogni interazione vengono aggiornati i parametri di rigidezza e smorzamento che sono dipendenti dallo stato di deformazione del terreno. Attraverso un'iterazione di calcoli si raggiunge una convergenza prefissata a monte della fase di computazione.

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



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

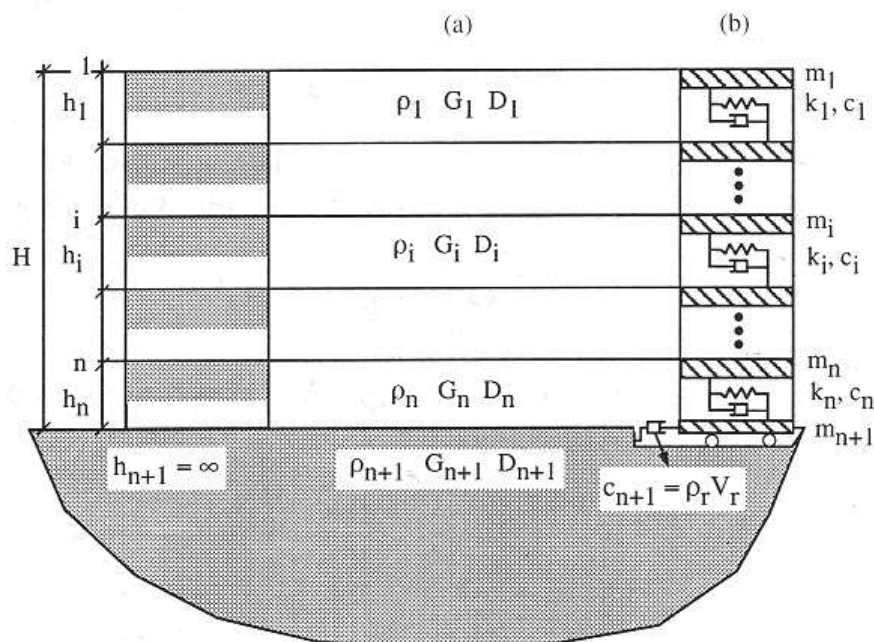
Nell'equazione appena presentata A e B rappresentano le corrispettive amplificazioni del tetto e della base dello strato considerato. Il fattore  $k^*$  risulta dipendente dal modulo di taglio ( $G$ ), dal grado di smorzamento ( $D$ ) e dalla densità del terreno ( $\rho$ ). Le relazioni sono le seguenti:

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

$$v_s^* = \sqrt{\frac{G^*}{\rho}}$$

$$G^* = G(1 - 2D^2 + i2D\sqrt{1 - D^2}) \approx G(1 + i2D)$$

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



### Modello a strati continui adottato per la simulazione con il codice di calcolo STRATA

#### MODELLO SIMULATO

Il modello simulato deriva dai dati ottenuti dalle prove che compongono la campagna geognostica eseguita in sito. Tale profilo approssima il comportamento del sottosuolo, dal punto di vista sismico, in corrispondenza dell'area studiata. Il profilo considerato deriva dall'interpolazione dei dati

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

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41123 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-59.60.176

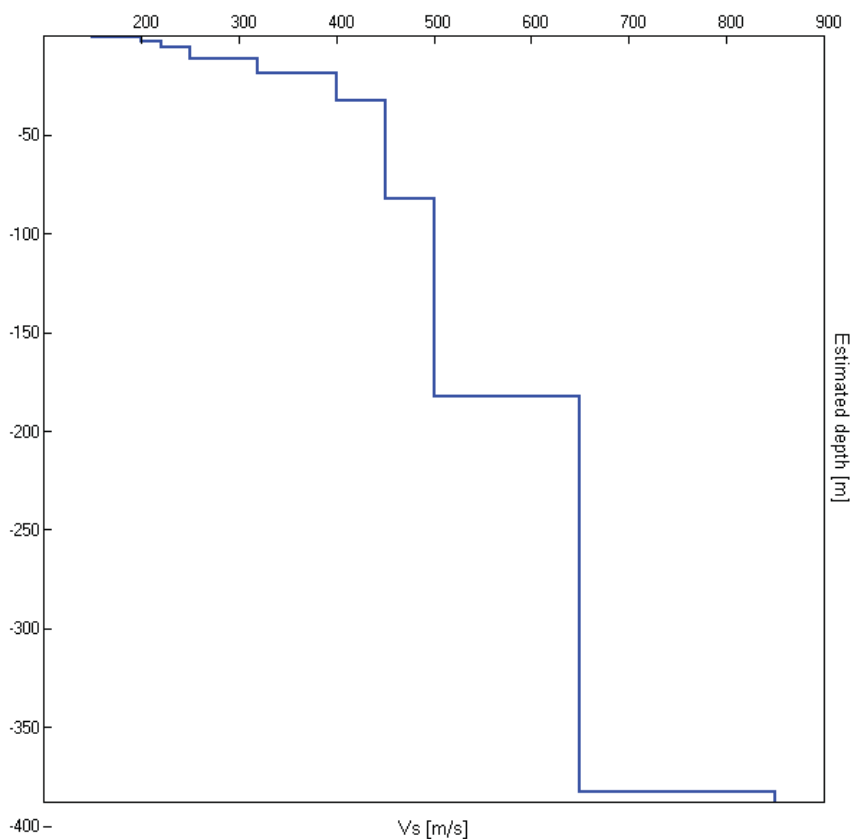
p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: [geo.group@libero.it](mailto:geo.group@libero.it)



provenienti dalle indagini geofisiche eseguite e i dati, di natura bibliografica, disponibili per il sito di riferimento.

Il profilo sismico del sottosuolo utilizzato per la modellazione della RSL deriva dall'elaborazione dell'indagine HVSR eseguita in sito integrate con dati di bibliografia. Si illustra successivamente il modello utilizzato:

z (m)	Vs (m/s)	S (m)	Curva di riferimento
0.00	150.00	0.3	Argilla (Idriss 1990)
0.30	180.00	0.5	Argilla (Idriss 1990)
0.80	200.00	2.10	Sabbia(Idriss 1990)
2.90	220.00	2.60	Sabbia(Idriss 1990)
5.50	250.00	6.20	Sabbia(Idriss 1990)
11.70	320.00	7.10	Sabbia(Idriss 1990)
18.80	400.00	13.70	Sabbia(Idriss 1990)
32.50	450.00	50.00	Argilla (Idriss 1990)
82.50	500.00	100.00	Argilla (Idriss 1990)
182.50	650.00	200.0	Argilla (Idriss 1990)
382.50	850.00	<b>0.0</b>	<b>BEDROCK</b>



## GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41123 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)

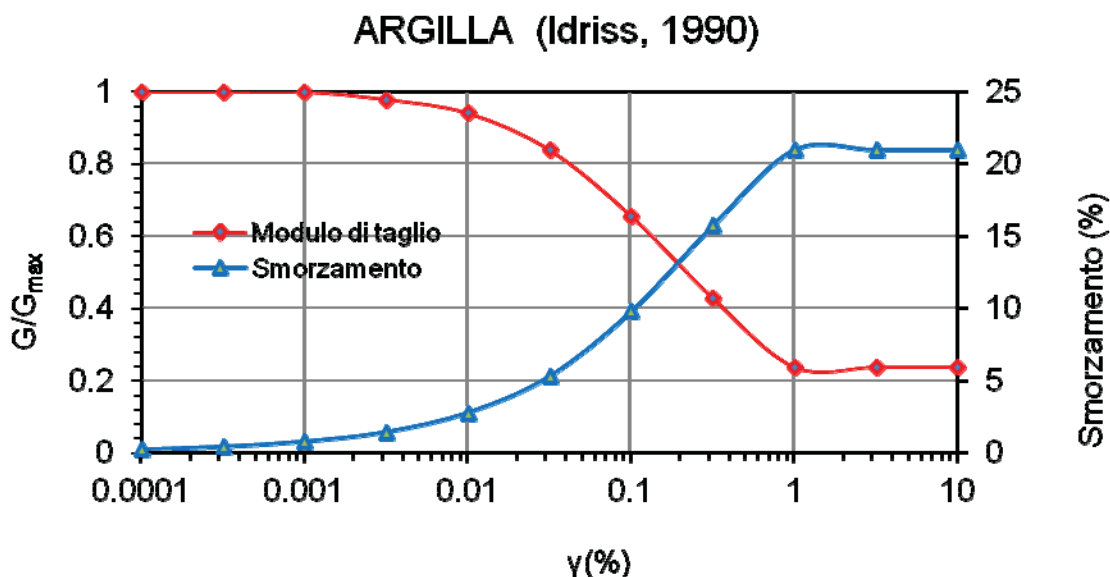
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-59.60.176

p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: [geo.group@libero.it](mailto:geo.group@libero.it)



### Modello sismico ricavato dalle indagini sismiche eseguite in sito.

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

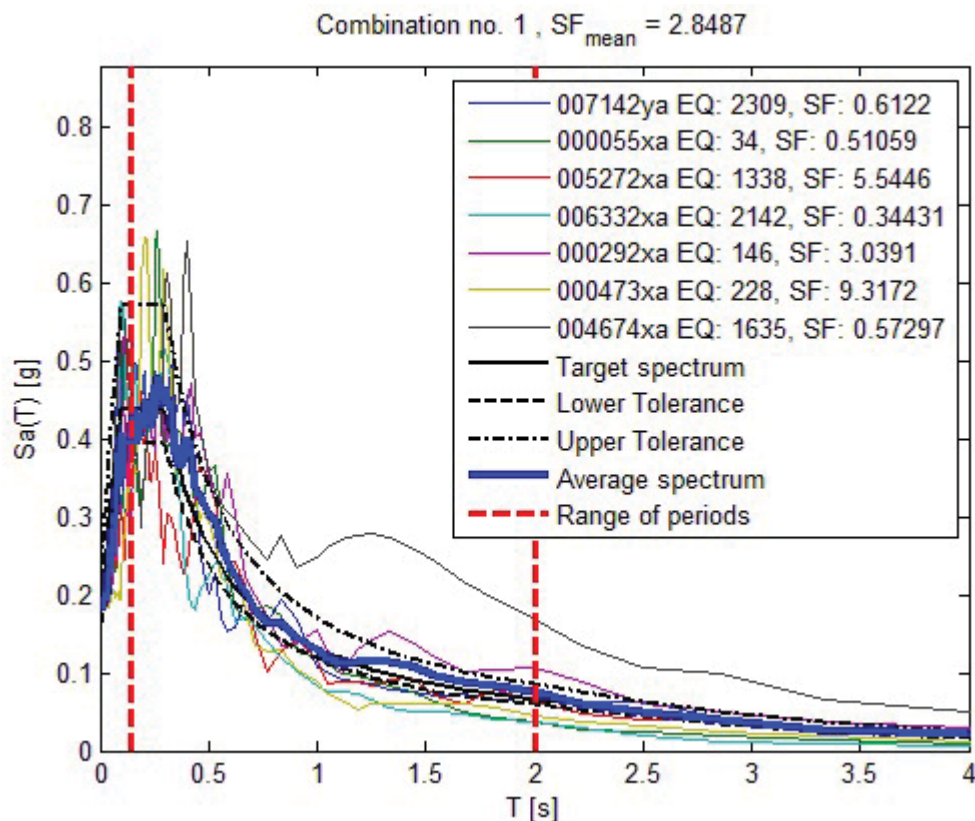


**Curve di decadimento dei moduli  $G/G_{max}$  e  $D$ , utilizzate per descrivere il comportamento dei materiali coesivi e granulari che compongono il sottosuolo in oggetto.**

Trattandosi di una verifica diretta ai fini progettuali, in accordo con quanto esposto nel § 7.3 delle NTC 2018, l'analisi RSL in oggetto è stata svolta adottando come input sismico 7 accelerogrammi, corrispondenti allo stato limite SLV. Gli accelerogrammi reali e misurati, sono stati individuati mediante l'utilizzo del software REXEL v. 3.5 (Computer aided code-based real record selection for seismic analysis of structures) realizzato dal Dipartimento di Strutture per l'ingegneria e l'architettura dell'Università degli Studi di Napoli Federico II. Utilizzando le coordinate relative al sito di riferimento, considerando una categoria di sottosuolo A e una classe d'uso pari a II e una vita nominale pari a 50 anni, sono stati definiti n. 7 accelerogrammi per lo stato limite SLV. Gli accelerogrammi sono stati prelevati dal "European Strong-motion Database".







*Forme spettrali relative agli accelerogrammi considerati*

## **RISULTATI OTTENUTI**

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

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

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41123 Modena

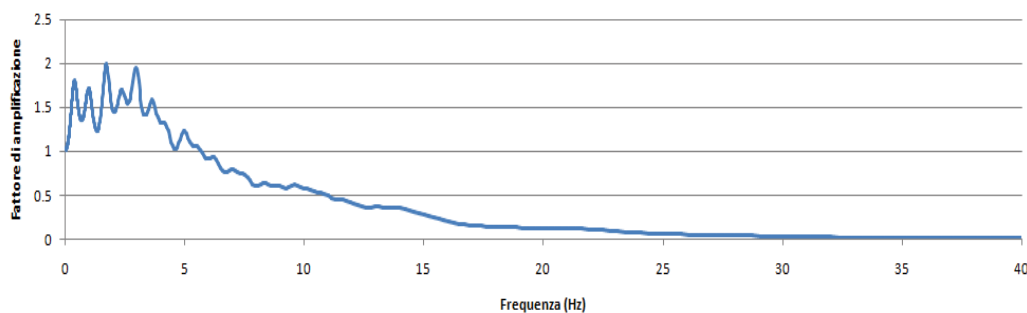
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-59.60.176

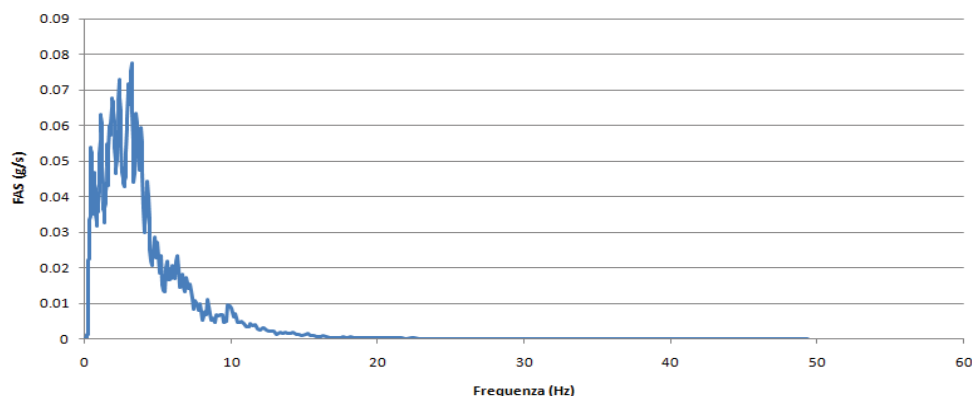
p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: [geo.group@libero.it](mailto:geo.group@libero.it)



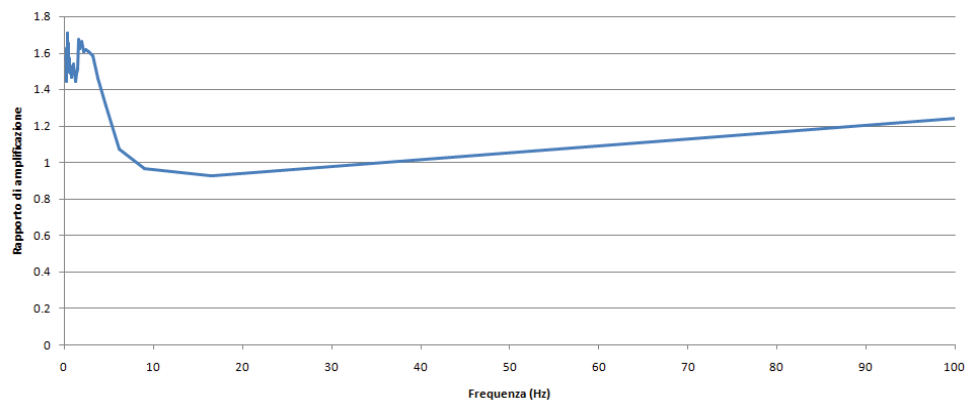
**Funzione di trasferimento**



**Trasformata di Fourier**



**Rapporto spettrale**



***Dall'alto: Funzione di Trasferimento, funzione FFT e rapporto spettrale di amplificazione.***

Definiti i parametri che descrivono il comportamento del sottosuolo nel campo elastico lineare equivalente e descritti gli accelerogrammi su suolo rigido validi per il sito in oggetto, attraverso il software STRATA sono state definite le seguenti forme spettrali, in termini accelerazione e velocità alla superficie:

---

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

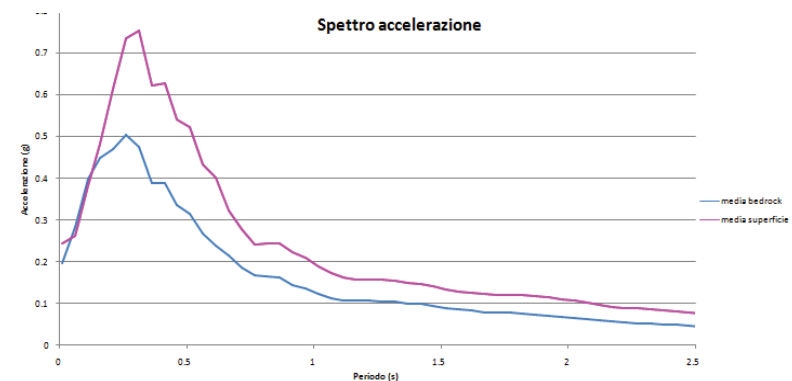
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41123 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)

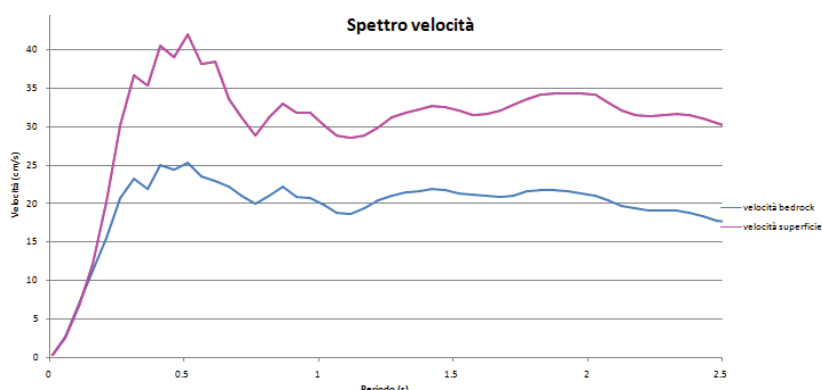
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-59.60.176

p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: [geo.group@libero.it](mailto:geo.group@libero.it)

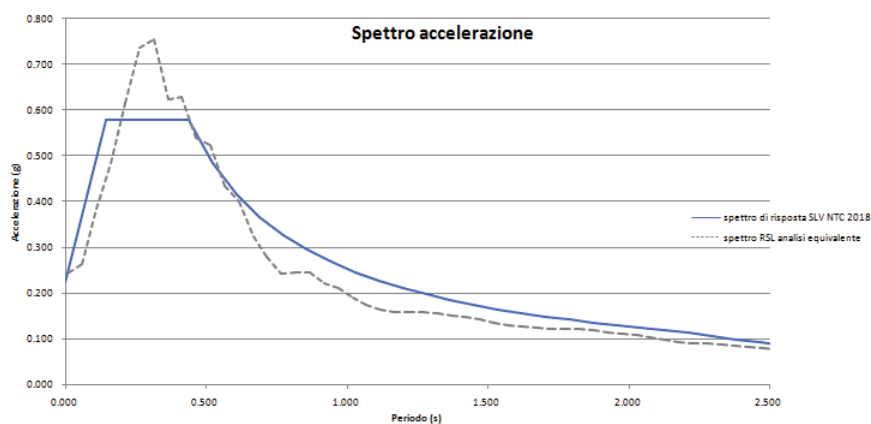




**Accelerazioni spettrali relative a un periodo di ritorno pari a 475 anni (SLV)**



**Velocità spettrali relative a un periodo di ritorno pari a 475 anni (SLV).**



**Spettro RSL e Spettro NTC**

**GEO GROUP 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: [geo.group@libero.it](mailto:geo.group@libero.it)



T [s]	Ag
0.01	0.244
0.06	0.263
0.11	0.385
0.16	0.483
0.21	0.616
0.26	0.737
0.31	0.753
0.36	0.624
0.41	0.627
0.46	0.540
0.51	0.523
0.56	0.433
0.61	0.401
0.67	0.324
0.72	0.280
0.77	0.242
0.82	0.245
0.87	0.244
0.92	0.222
0.97	0.211
1.02	0.190
1.07	0.172
1.12	0.163
1.17	0.158
1.22	0.157
1.27	0.157
1.32	0.155
1.37	0.151
1.42	0.147
1.47	0.142
1.52	0.135
1.57	0.129
1.62	0.125

1.67	0.123
1.72	0.122
1.77	0.121
1.82	0.120
1.87	0.117
1.92	0.114
1.98	0.111
2.03	0.108
2.08	0.102
2.13	0.097
2.18	0.093
2.23	0.090
2.28	0.089
2.33	0.087
2.38	0.085
2.43	0.082
2.48	0.079
2.53	0.076
2.58	0.075
2.63	0.072
2.68	0.070
2.73	0.067
2.78	0.064
2.83	0.060
2.88	0.056
2.93	0.053
2.98	0.050
3.03	0.048
3.08	0.047
3.14	0.045
3.19	0.043

3.24	0.041
3.29	0.040
3.34	0.039
3.39	0.038
3.44	0.037
3.49	0.036
3.54	0.035
3.59	0.034
3.64	0.033
3.69	0.033
3.74	0.032
3.79	0.032
3.84	0.030
3.89	0.029
3.94	0.027
3.99	0.026
4.04	0.026
4.09	0.025
4.14	0.024
4.19	0.023
4.24	0.022
4.29	0.021
4.34	0.020
4.40	0.019
4.45	0.018
4.50	0.017
4.55	0.016
4.60	0.016
4.65	0.015
4.70	0.014
4.75	0.014
4.80	0.014
4.85	0.013
4.90	0.013
4.95	0.012
5	0.012

Dai risultati sopra esposti dell'analisi di risposta sismica locale si ottiene un valore di accelerazione massima attesa al suolo del valore  **$PGA_{max}=A_{max}=0.244$  g** (per  $T=0$  s), valore che risulta minore rispetto al valore ottenuto mediante l'utilizzo dell'approccio semplificato dell'NTC 2018, pari a  $A_{max}=0.264$  g,

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

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41123 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo 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: [geo.group@libero.it](mailto:geo.group@libero.it)



come esposto al paragrafo 5.3 della presente relazione. Si ritiene pertanto più cautelativo considerare, ai fini della progettazione antisismica, il valore ottenuto con approccio semplificato in quanto determina un'azione sismica maggiore.

#### 5.4 STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE (§ 7.11.3.4 NNTC 2018)

##### *Cenni teorici*

Per liquefazione di un terreno s'intende il quasi totale annullamento della sua resistenza al taglio, con l'assunzione del comportamento meccanico caratteristico dei liquidi. I fenomeni di liquefazione interessano i **depositi sabbiosi saturi** e dipendono da:

- proprietà geotecniche dei terreni;
- caratteristiche delle vibrazioni sismiche e loro durata;
- genesi e storia geologica dei terreni;
- fattori ambientali.

Un **terreno incoerente saturo**, in assenza di sollecitazioni sismiche, è soggetto soltanto alla pressione litostatica, dovuta al peso dei sedimenti sovrastanti (in campo libero e con superficie piana).

Durante una sollecitazione sismica vengono indotte nel terreno delle sollecitazioni cicliche di taglio, dovute alla propagazione delle onde sismiche verso la superficie, mentre la pressione litostatica resta costante. Per tutta la durata della scossa ogni elemento di terreno è soggetto ad una serie di sforzi tangenziali che cambiano ripetutamente verso ed ampiezza.

Nel terreno si possono generare fenomeni di liquefazione se la scossa sismica produce un numero di cicli tale da far sì che la pressione interstiziale uguagli la pressione di confinamento. Nei depositi la pressione di confinamento aumenta con la profondità, mentre l'ampiezza dello sforzo di taglio indotto dal sisma diminuisce. La resistenza alla liquefazione quindi è maggiore con la profondità. Di conseguenza, maggiore è la **durata di un terremoto** (maggiore numero di cicli), più alta è la possibilità che si arrivi alla liquefazione. Inoltre, maggiore è l'**ampiezza della vibrazione** e della deformazione indotta e minore è il numero di cicli necessari per giungere a tale condizione.

Il terreno può essere però soggetto a sforzi di taglio statici dovuti alla presenza di strutture in superficie o alla sua particolare posizione (per es. al di sotto di un versante). In questo caso l'instaurarsi del fenomeno della liquefazione dipende, oltre che dalle caratteristiche del sisma, anche dal rapporto che si stabilisce tra le tensioni di taglio indotte da quest'ultimo e quelle statiche preesistenti al terremoto.

La probabilità che un deposito raggiunga le condizioni per la liquefazione dipende anche dallo stato di addensamento, dalla composizione granulometrica, dalle condizioni di drenaggio, dalla storia delle sollecitazioni sismiche e dall'età del deposito stesso.

Tanto minore è il **grado di addensamento** del materiale (elevato indice dei vuoti e bassa densità relativa) tanto maggiore è la probabilità che, a parità di altre condizioni, un deposito raggiunga lo stato di liquefazione.

Anche la **distribuzione**, la **forma delle particelle** e il **grado di uniformità** influenzano notevolmente il fenomeno, per le implicazioni che questi fattori hanno sulla resistenza al taglio e per il modo di dissiparsi della pressione interstiziale in eccesso.

Per quanto riguarda la **storia delle sollecitazioni sismiche**, si può affermare che precedenti deformazioni moderate influiscano positivamente sulla resistenza del deposito, mentre una storia caratterizzata da alti livelli di deformazione (deposito già soggetto a liquefazione) ha effetti negativi sul potenziale di riliquefazione.

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

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41123 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo 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: [geo.group@libero.it](mailto:geo.group@libero.it)





I depositi sabbiosi con più alto potenziale di liquefazione sono i più recenti. A parità di composizione e di altre condizioni lo stesso deposito, se più antico, avrà sviluppato legami intergranulari e cementazioni sempre più forti con il tempo.

Inoltre, la struttura di un deposito antico sarà resa più stabile e omogenea per gli effetti delle vibrazioni indotte da precedenti terremoti di piccola entità.

Dopo aver caratterizzato il terreno attraverso l'interpretazione di dati da prove penetrometriche statiche CPT, è stata eseguita una stima del rischio di liquefazione di terreni sotto falda in condizioni sismiche, mediante il metodo semplificato di **“Robertson e Wride”**.

I metodi semplificati richiedono che venga definito un sisma di progetto, attraverso l'introduzione dell'*accelerazione sismica orizzontale massima* in superficie e della *magnitudo di riferimento*.

I dati del sisma di progetto sono stati ricavati attraverso l'analisi probabilistica dei dati del Catalogo Sismico Nazionale.

Tutti i metodi semplificati permettono di esprimere la suscettibilità alla liquefazione del deposito attraverso un coefficiente di sicurezza, dato dal rapporto fra la **resistenza al taglio mobilitabile nello strato ( R )** e lo **sforzo tangenziale indotto dal sisma ( T )**. In pratica si avrà:

$$F_s = \frac{R}{T}$$

Un deposito dovrà essere considerato suscettibile di liquefazione se il coefficiente di sicurezza  $F_s$  sarà minore di 1.

La grandezza **T** dipende dai parametri del sisma di progetto (accelerazione sismica e magnitudo di progetto). **R** è funzione delle caratteristiche meccaniche dello strato, principalmente del suo stato di addensamento, e può essere ricavato direttamente attraverso correlazioni con i risultati di prove penetrometriche statiche.

La grandezza **T** viene ricavata attraverso la relazione:

$$T = 0.65 \frac{a_{\max}}{g} \frac{\sigma_{v0}}{\sigma_{v0}'} r_d \frac{1}{MSF};$$

dove:

$a_{\max}$	= accelerazione sismica massima;
$g$	= accelerazione di gravità = 980.7 cm/s <sup>2</sup> ;
$\sigma_{v0}$	= pressione verticale totale alla profondità $z$ dal p.c.;
$\sigma_{v0}'$	= pressione verticale efficace alla profondità $z$ dal p.c.;
$r_d$	= coefficiente funzione della profondità dal p.c., valutabile secondo il seguente schema: $r_d = 1 - 0.00765z$ per $z \leq 9.15$ m $r_d = 1.174 - 0.0267z$ per $9.15 < z \leq 23$ m $r_d = 0.774 - 0.008z$ per $23 < z \leq 30$ m $r_d = 0.5$ per $z > 30$ m
MSF	= coefficiente correttivo funzione della magnitudo del sisma.

Il metodo di **Robertson e Wride** permette di correlare la resistenza al taglio **R** mobilitata nel terreno con i risultati delle prove penetrometriche statiche (CPT). La procedura di calcolo si basa sulle due seguenti equazioni:

$$R = 0.883 \left[ \frac{(q_{c1n})_{cs}}{1000} \right] + 0.05 \quad \text{per } (q_{c1n})_{cs} < 50 \text{ e}$$



$$R = 93 \left[ \frac{(q_{c1n})_{cs}}{1000} \right]^3 + 0.08 \quad \text{per } 50 \leq (q_{c1n})_{cs} < 160.$$

La grandezza  $(q_{c1n})_{cs}$  rappresenta la resistenza alla punta normalizzata e corretta per tenere conto della percentuale di fine presente.

Viene considerato **non** liquefacibile un deposito in cui sia  $F_s > 1$ .

### Calcolo dell'indice di liquefacibilità

Una stima del rischio di liquefazione complessivo lungo una verticale di calcolo viene fornita dal parametro indice di liquefazione **IL**. Tale indice viene definito dalla seguente relazione:

$$IL = \sum_{i=1}^n FW(z) \Delta z$$

dove:

$n$  = numero degli intervalli di calcolo di  $F_s$  lungo la verticale;

$F$  =  $1 - F_s$  per  $F_s \leq 1$  e  $F = 0$  per  $F_s > 1$ ;

$\Delta z$  = spessore dell'intervallo di calcolo;

$W(z)$  =  $10 - 0,5z$ , con  $z$  = profondità di calcolo (massimo 20 m).

Nell'analisi per l'area in oggetto, è stata considerata un'accelerazione massima al suolo  **$A_{max} = 0.264g$**  (calcolata secondo approccio semplificato NTC 2018), la soggiacenza della falda freatica alla profondità  **$Dw = -2.30$  m da p.c.**, e una **magnitudo di riferimento pari a  $M = 6.14$** .

Per il rischio di liquefazione si fa riferimento alla seguente tabella:

TABELLA 1 – CLASSI DI POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE SECONDO SONMEZ (2003)	
LPI	Potenziale di liquefazione
0	Non liquefacibile ( $FSL \geq 1.2$ )
$0 < LPI \leq 2$	Basso
$2 < LPI \leq 5$	Moderato
$5 < LPI \leq 15$	Alto
$15 < LPI$	Molto alto

Tutto ciò premesso, dall'analisi della suscettibilità nei confronti del fenomeno della liquefazione si è ottenuto il valore di **Indice di Liquefazione pari a  $IL = 0.91$  per la CPTU1 e  $IL = 0.97$  per la CPTU2**, corrispondente a un **rischio di liquefazione basso**.



## 5.5 VERIFICA NEI CONFRONTI DEGLI SLU (6.4 NNTC 2018)

In relazione a quanto esposto nella normativa tecnica nazionale NTC 2018, si procede alla verifica nei confronti degli stati limite ultimi (**SLU**) di resistenza del terreno (**GEO**) relativamente alle opere di fondazione in oggetto, di **tipo superficiale**, fornendo il valore di resistenza offerta dal sistema geotecnico ( $R_{d\text{ GEO}}$ ). Il valore di progetto della resistenza **Rd** può essere determinato:

- a) in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, diviso per il valore del coefficiente parziale  $\gamma_M$  specificato nella Tab. 6.2.II (NNTC 2018) e tenendo conto, ove necessario, dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  specificati nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera;
- b) in modo analitico, con riferimento a correlazioni con i risultati di prove in sito, tenendo conto dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera;
- c) sulla base di misure dirette su prototipi, tenendo conto dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera.

Le verifiche sono effettuate applicando la combinazione (A1+M1+R3) di coefficienti parziali prevista dall'approccio 2, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.4.I.

### Fattori correttivi sismici: Paolucci e Pecker (1997)

Per tener conto degli effetti inerziali indotti dal sisma nei riguardi della determinazione del  $q_{lim}$  vengono introdotti, all'interno della formula di Terzaghi, i fattori correttivi  $z$ :

$$z_q = 1 - 0.32 \cdot K_h \qquad z_q = \left(1 - \frac{K_h}{\tan \varphi}\right)^{0.35} \qquad z_y = z_q$$

Dove il  $K_h$  è il coefficiente sismico orizzontale. Le verifiche sono state effettuate considerando quindi i seguenti parametri sismici:

- $a_{MAX}$  (ag/g): **0.264g** (relativa a SLV ;  $T_r = 475$  anni);
- coefficiente intensità sismica del terreno  $K_h$ : **0.063**

La determinazione della resistenza  $R_d$  GEO è stata svolta nella condizione sia a breve che a lungo termine per l'intervento in progetto.

La resistenza  $R_d$  calcolata in condizioni “**non drenate**” dove  **$C_u \neq 0$  e  $\varphi = 0$** , applicando il coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata secondo la seguente relazione  **$C_{ud} = C_{uk} / 1.0$** , per cui si avrà  **$C_{ud} = C_{uk}$** , dove  **$C_{ud}$  = coesione non drenata di progetto** e  **$C_{uk}$  = coesione non drenata caratteristica**, sarà pari a:

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

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41123 Modena  
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo 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: [geo.group@libero.it](mailto:geo.group@libero.it)



CONDIZIONE STATICA – CONDIZIONI NON DRENATE – A1+M1+R3		
Profondità di imposta	Dimensioni della fondazione	Carico limite ultimo SLU F.S. = 2.3
-1.50 m da p.c.	B = 3.50 m x L = 3.50 m	1.71 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 171 kN/m <sup>2</sup>

La resistenza  $R_d$  calcolata in condizioni “drenate” seguendo l’**Approccio 2**, combinazione (**A1 + M1 + R3**), applicando il coefficiente di riduzione parziale per la tangente dell’angolo di attrito secondo la relazione:  $\text{tg } \varphi'd = \text{tg } \varphi'k / 1,0$ , dove  $\varphi'd$  è l’angolo d’attrito di progetto, ne deriva, essendo  $\varphi'k = \varphi'd$ . Quindi secondo la formula di Terzaghi si ottiene, per l’intervento in progetto uno stato limite ultimo pari a:

CONDIZIONE STATICA – CONDIZIONI DRENATE – A1+M1+R3		
Profondità di imposta	Dimensioni della fondazione	Carico limite ultimo SLU F.S. = 2.3
-1.50 m da p.c.	B = 3.50 m x L = 3.50 m	2.02 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 202 kN/m <sup>2</sup>

CONDIZIONE PSEUDO-STATICA – CONDIZIONI DRENATE – A1+M1+R3		
Profondità di imposta	Dimensioni della fondazione	Carico limite ultimo SLU F.S. = 2.3
-1.50 m da p.c.	B = 3.50 m x L = 3.50 m	1.91 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 191 kN/m <sup>2</sup>

## GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41123 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo 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: [geo.group@libero.it](mailto:geo.group@libero.it)



## 6 CONCLUSIONI

Su incarico della Proprietà e in accordo con il tecnico progettista nel mese di Luglio 2019 è stato eseguito il presente studio geologico-geotecnico e sismico, al fine di definire le caratteristiche litostratigrafiche, geologiche e sismiche nonché i parametri geotecnici caratteristici del terreno di fondazione di un capannone industriale sito in via Martiri della Libertà nel comune di Massa Lombarda (RA).

Sulla base dei dati emersi dall'indagine geotecnica eseguita (§ 2.2), si fornisce per il terreno di fondazione indagato il **modello geotecnico** schematico riportato nel § 3.1 della presente relazione.

In relazione a quanto esposto nelle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni in zona sismica del 2018, si è proceduto alla **verifica nei confronti degli stati limite ultimi (SLU)**. Nel nostro caso specifico, per quanto riguarda le **opere di fondazione**, nelle verifiche di sicurezza agli stati limite ultimi è stato calcolato lo SLU sia **a breve che a lungo termine** per l'intervento in progetto, utilizzando i seguenti approcci di calcolo:

### a) Approccio 2 combinazione (A1 + M1 + R3).

I risultati sono visibili nel § 4.2.3.

Si riassumono nella seguente tabella i valori di portanza del terreno di fondazione calcolati agli stati limite ultimi **SLU** relativamente alle fondazioni ipotizzate e sopra descritte.

SLU – APPROCCIO 2 (A1 + M1 + R3) – F.S.= 2.3		
CONDIZIONI NON DRENATE	CONDIZIONI DRENATE	
	STATICHE	SISMICHE PSEUDOSTATICHE
1.71 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 171 kN/m <sup>2</sup>	2.02 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 202 kN/m <sup>2</sup>	1.91 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 191 kN/m <sup>2</sup>

La **caratterizzazione sismica** del sito è stata condotta sulla base di un'indagine sismica di tipo MASW (§ 4.2.1), che ha permesso di determinare, dalla misura della velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità **V<sub>s30</sub>**, i seguenti valori:

MASW	V <sub>s30</sub> = 287 m/s
REMI	V <sub>s30</sub> = 261 m/s

### GEO GROUP 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: [geo.group@libero.it](mailto:geo.group@libero.it)



Pertanto, sulla base delle N.N.T.C., e tenendo conto delle indagini sismiche sopra menzionate, si classifica il terreno di fondazione in oggetto come appartenente alla **categoria C** e corrispondente a: "DEPOSITI DI TERRENI A GRANA GROSSA MEDIAMENTE ADDENSATI O TERRENI A GRANA FINA MEDIAMENTE CONSISTENTI CON SPESSORI SUPERIORI A 30 METRI, CARATTERIZZATI DA UN GRADUALE MIGLIORAMENTO DELLE PROPRIETÀ MECCANICHE CON LA PROFONDITÀ E DA VALORI DI  $V_{s30}$  COMPRESI TRA **180 m/s** E **360 m/s** (OVVERO CON VALORI DI  $15 < N_{SPT,30} < 50$  NEI TERRENI A GRANA GROSSA E  $70 < CU_{30} < 250$  kPa NEI TERRENI A GRANA FINA)".

Inoltre, secondo quanto indicato dalle N.N.T.C., per ogni costruzione deve essere definita un'accelerazione di riferimento propria, in funzione delle coordinate geografiche dell'area e della vita nominale dell'opera. All'area in oggetto, identificata dalle seguenti coordinate geografiche (**Sistema di riferimento ED50**): Latitudine: 44.453006°, Longitudine 11.812520°, in relazione ad un periodo di riferimento  $T_R$  stimato di 475 anni, è stato definito un parametro di accelerazione massima attesa  $a_g$  pari a  **$a_{g\text{ attesa}} = 0.183$** .

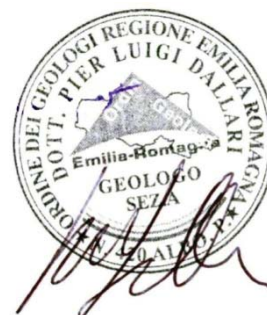
Dai risultati sopra esposti dell'analisi di risposta sismica locale si ottiene un valore di accelerazione massima attesa al suolo del valore  **$PGA_{max} = A_{max} = 0.244$  g** (per  $T=0$  s), valore che risulta minore rispetto al valore ottenuto mediante l'utilizzo dell'approccio semplificato dell'NTC 2018, pari a  $A_{max} = 0.264$  g, come esposto al paragrafo 5.3 della presente relazione. Si ritiene pertanto più cautelativo considerare, ai fini della progettazione antisismica, il valore ottenuto con approccio semplificato in quanto determina un'azione sismica maggiore.

La **verifica alla liquefazione** eseguita ha fornito un risultato di **indice di liquefazione pari a  $IL=0.91$  per la CPTU1 e  $IL=0.97$  per la CPTU2**, corrispondente a un **rischio di liquefazione basso**.

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

**Modena, 08 Luglio 2019**

**Dott. Geol. Pier Luigi Dallari**



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

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41123 Modena  
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)  
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-59.60.176  
p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogrouppmodena.it](http://www.geogrouppmodena.it) - e-mail: [geo.group@libero.it](mailto:geo.group@libero.it)







## GEO GROUP Srl

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41123 Modena  
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)  
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-59.60.176 p.IVA e C.F. 02981500362  
e-mail: [info@geogroupmodena.it](mailto:info@geogroupmodena.it) web: [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it)



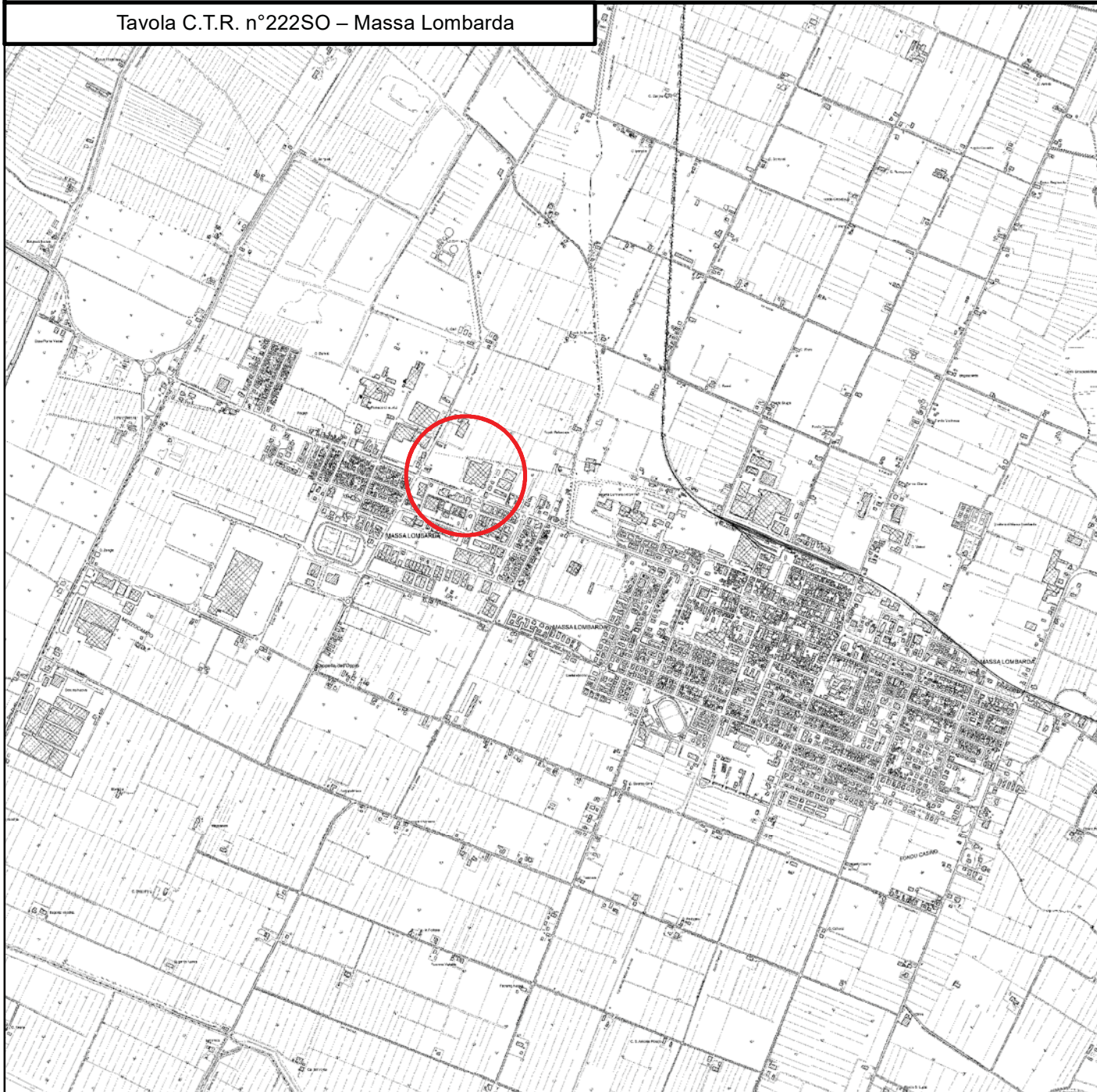
# TAVOLE

# **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](mailto:info@geogroupmodena.it)

Tavola C.T.R. n°222SO – Massa Lombarda

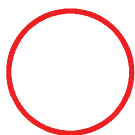


## **TAV. n.1 - "Carta Corografica"**

**Scala 1:25000**



**Legenda**



**Aree di Interesse**

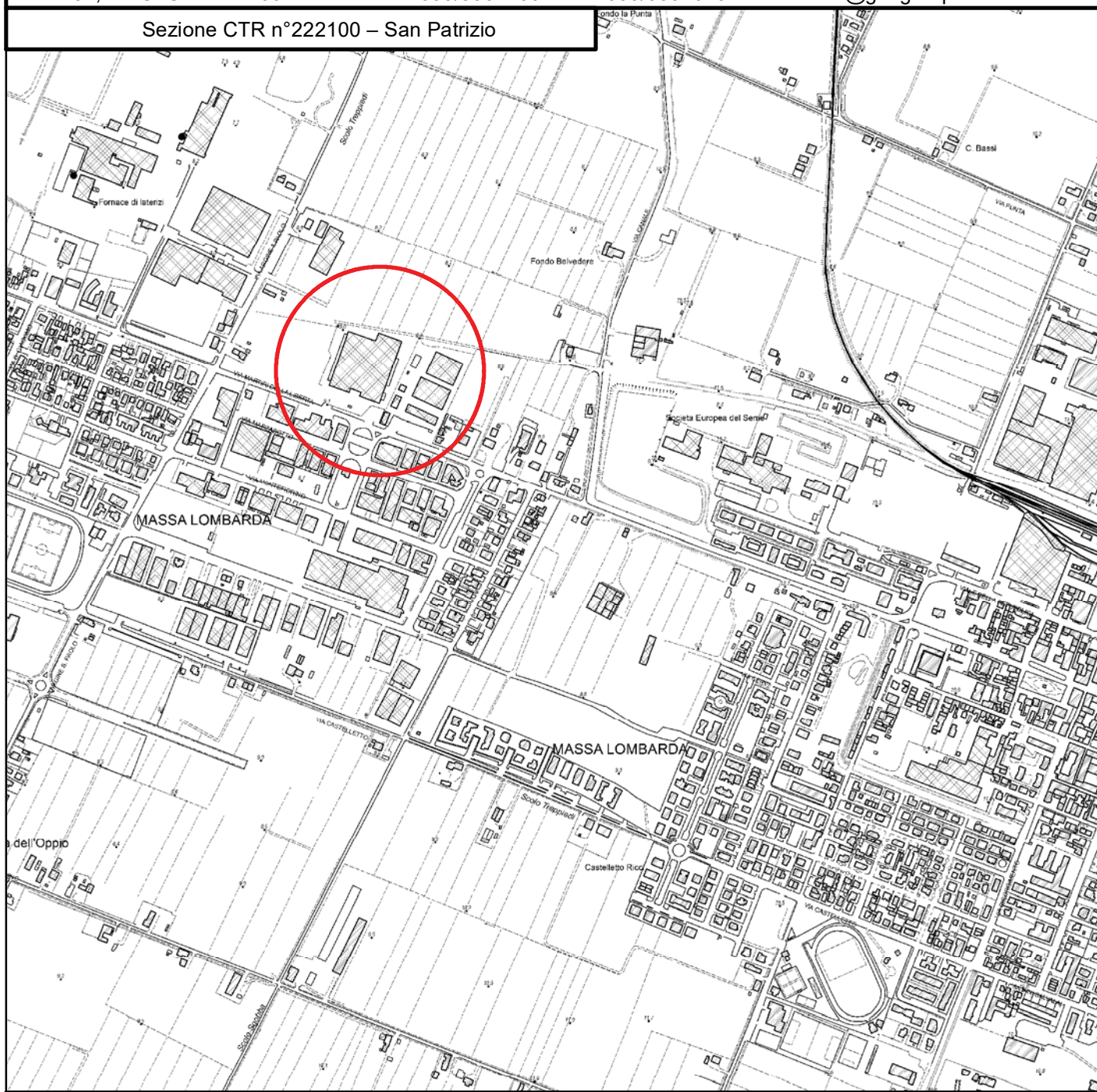


# **GEO GROUP s.r.l.**

**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](mailto:info@geogroupmodena.it)

Sezione CTR n°222100 – San Patrizio

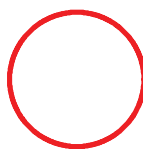


## **TAV. n.2 - "Carta Topografica"**

### **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](mailto:info@geogroupmodena.it)

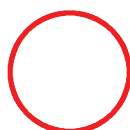


**TAV. n.3 - "Ripresa fotografica aerea  
dell'area di interesse"**

**Scala 1:2000**

---

**Legenda**



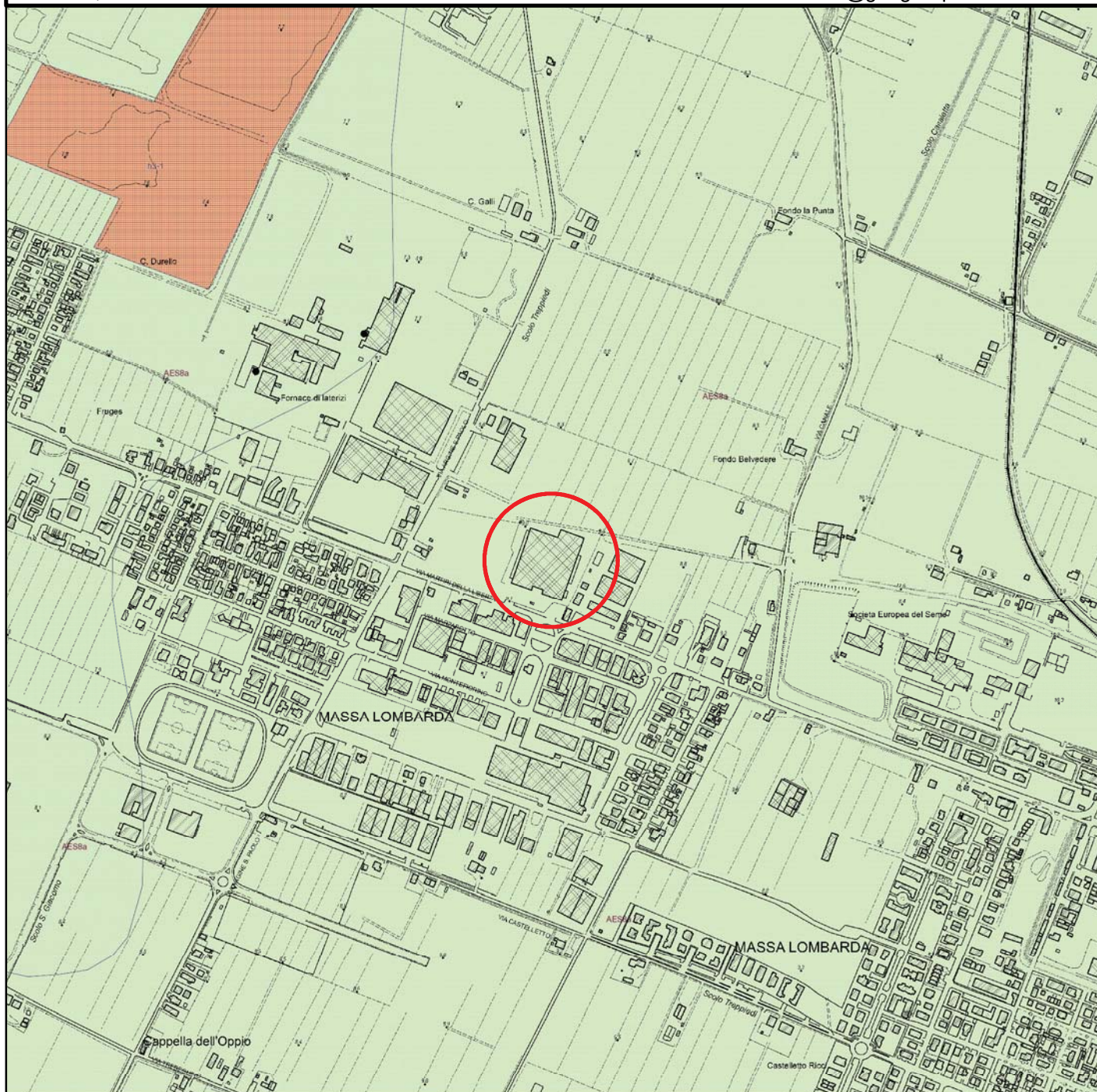
**Aree di Interesse**



# **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.4 - "Carta della litologia di superficie"**

### **Scala 1:10000**



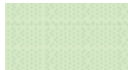
### **Legenda**



**Aree  
di Interesse**



**AES8 - Subsintema di Ravenna**



**AES8a - Unità di Modena**



## 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”

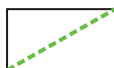
(immagine tratta da “Google Maps”)

Scala grafica

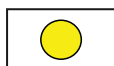
#### LEGENDA



INDAGINE SISMICA HVSR



INDAGINE SISMICA MASW-REMI



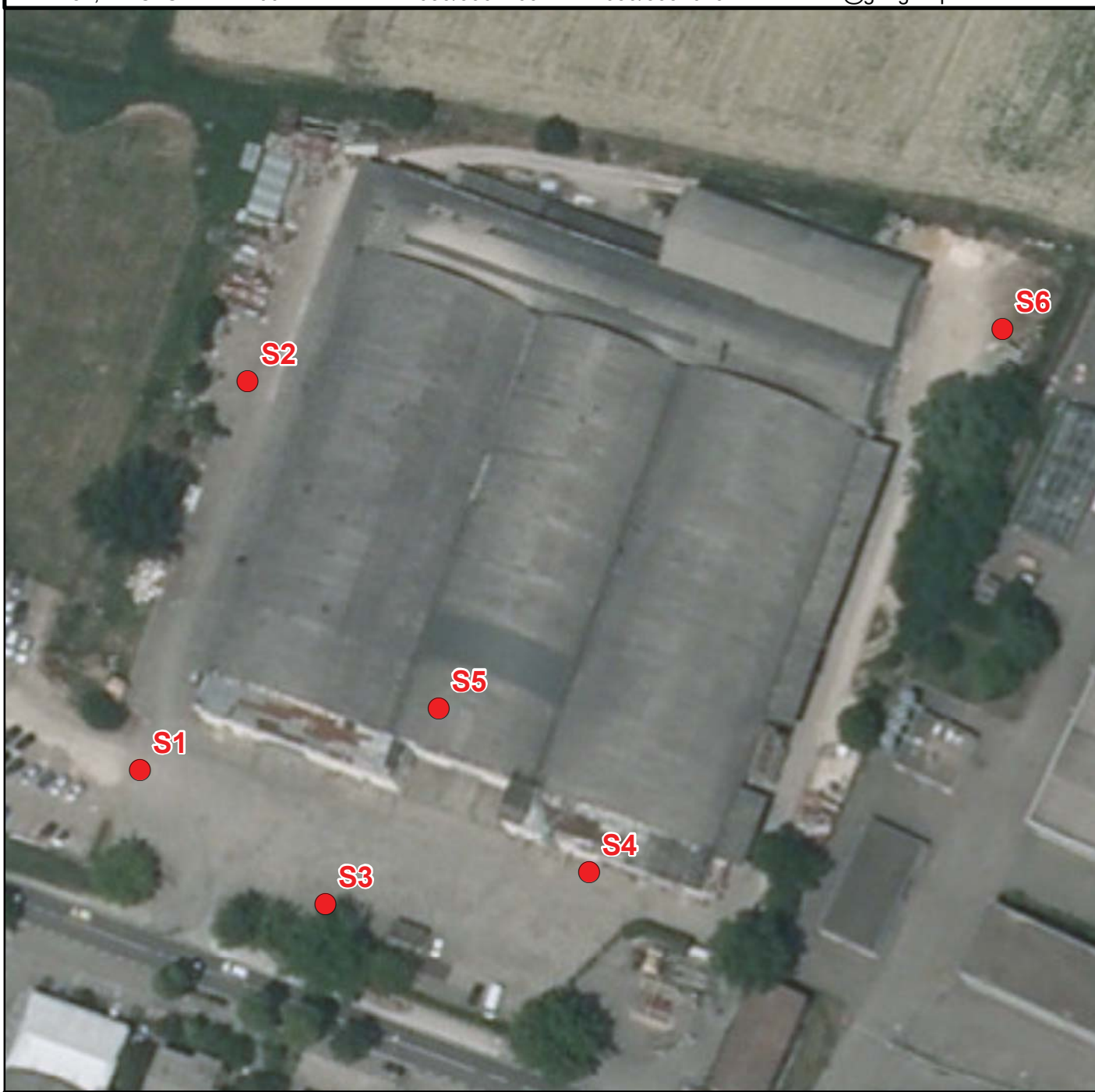
PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPTU



# **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 - "Ubicazione Indagini"**



Tratta da Orotofoto AGEA 2011

**Scala 1:1000**

### **Legenda**



**Sondaggi a Carotaggio**



# GEO GROUP Srl

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41123 Modena  
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)  
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-59.60.176 p.IVA e C.F. 02981500362  
e-mail: [info@geogroupmodena.it](mailto:info@geogroupmodena.it) web: [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it)



## **ALLEGATO N. 1**

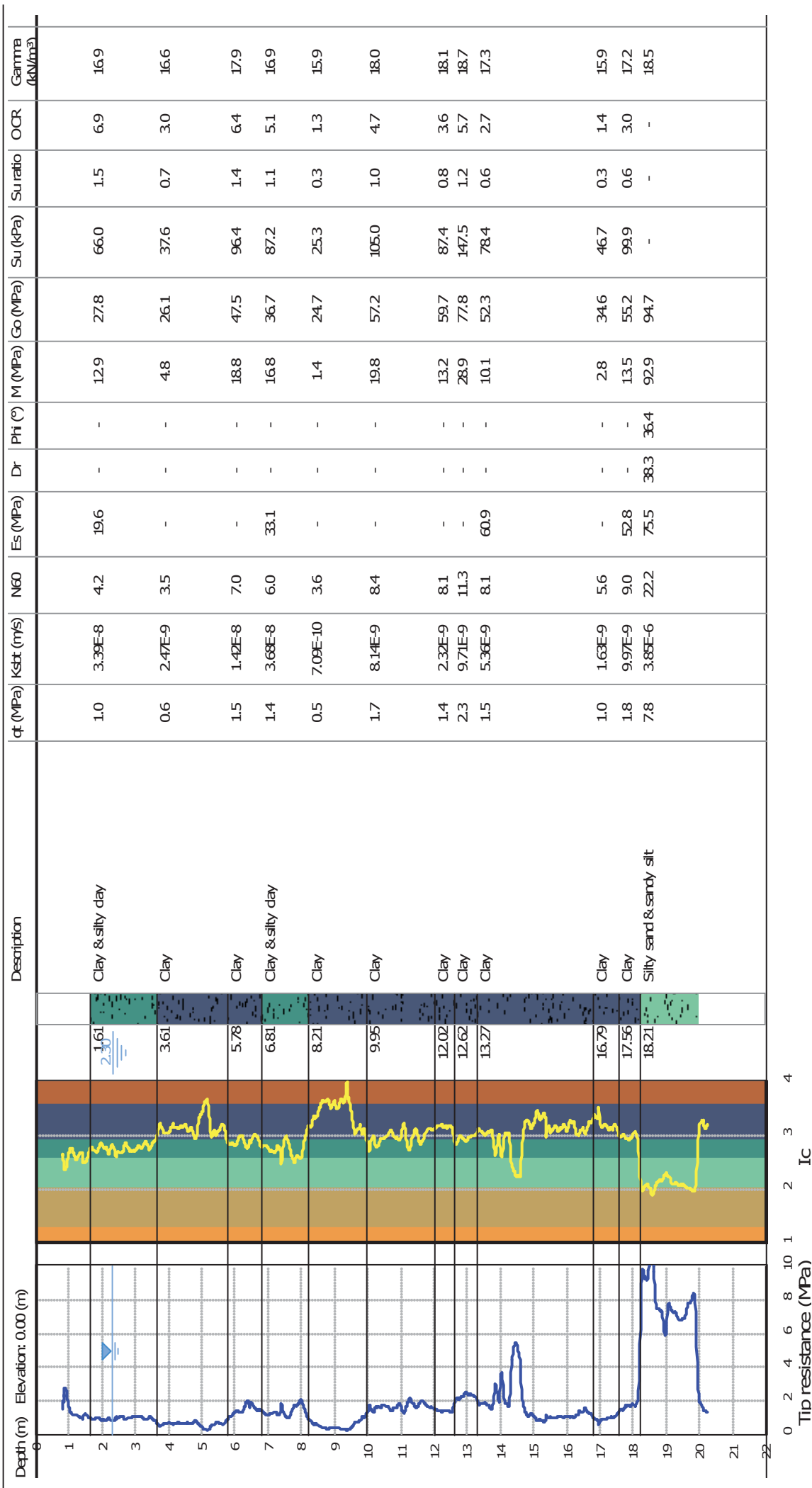
### **Prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono CPTu**

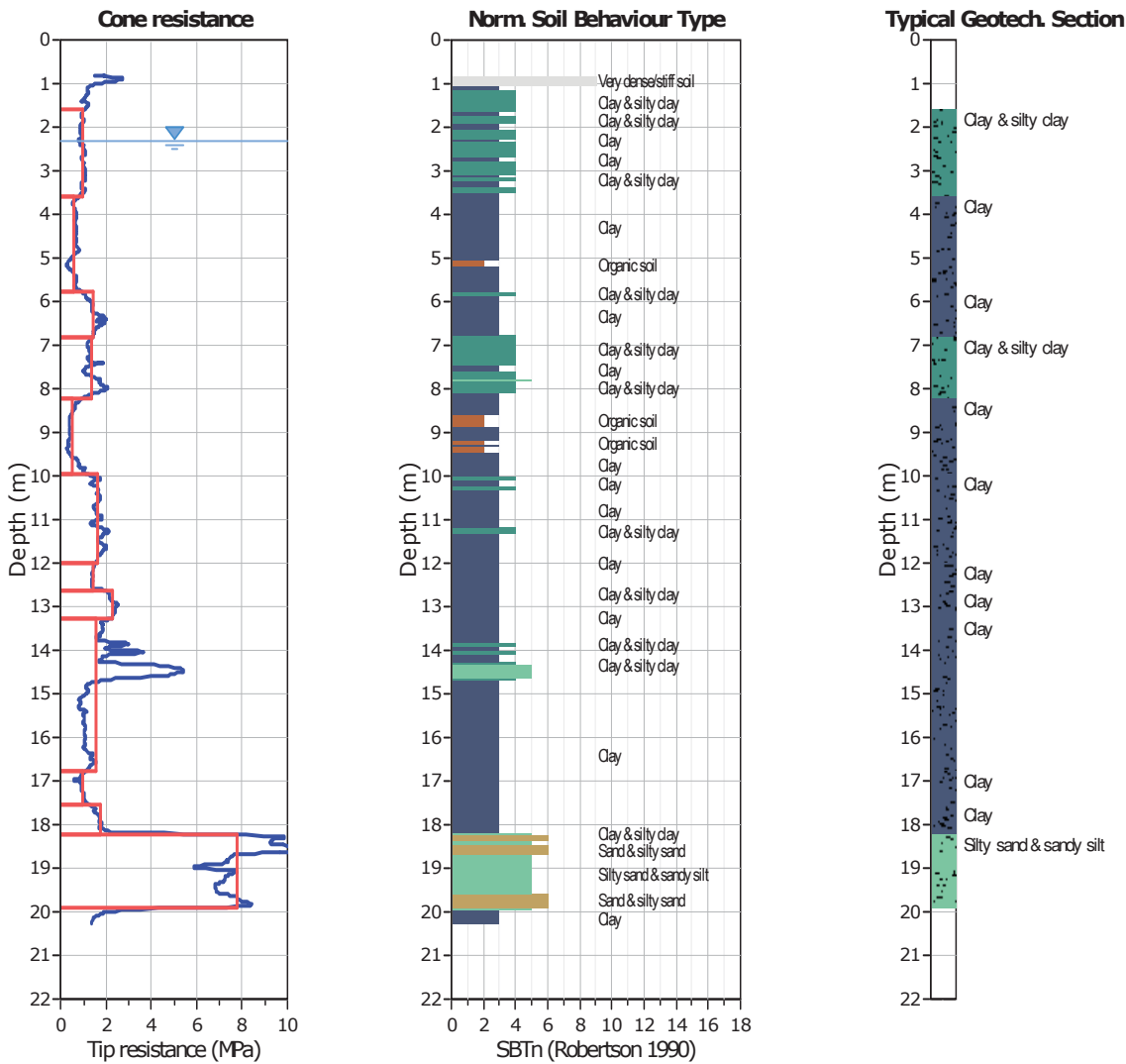
**Project: Studio del terreno di fondazione**

**Location: Massa Lombarda (RA)**

**CPT: CPTU1**

Total depth: 20.26 m, Date: 02/07/2019





### Tabular results

#### ::: Layer No: 1 :::

**Code:** Layer\_1      **Start depth:** 1.61 (m), **End depth:** 3.61 (m)

**Description:** Clay & silty clay

#### Basic results

Total cone resistance:  $0.97 \pm 0.09$  MPa

Sleeve friction:  $30.72 \pm 6.34$  kPa

SBT<sub>n</sub>: 4

SBT<sub>n</sub> description: Clay & silty clay

#### Estimation results

Permeability:  $3.39E-08 \pm 1.71E-08$  m/s

N<sub>60</sub>:  $4.25 \pm 0.44$  blows

Es:  $19.63 \pm 19.63$  MPa

Dr (%):  $0.00 \pm 0.00$

$\phi$  (degrees):  $0.00 \pm 0.00$  °

Unit weight:  $16.92 \pm 0.24$  kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.:  $12.93 \pm 1.23$  MPa

Go:  $27.76 \pm 2.20$  MPa

Su:  $65.98 \pm 6.28$  kPa

Su ratio:  $1.48 \pm 0.22$

O.C.R.:  $6.86 \pm 1.01$

**::: Layer No: 2 :::****Code:** Layer\_2    **Start depth:** 3.61 (m), **End depth:** 5.78 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 0.61 ±0.13 MPa

Sleeve friction: 26.56 ±8.55 kPa

SBT<sub>n</sub>: 3SBT<sub>n</sub> description: Clay**Estimation results**

Permeability: 2.47E-09 ±2.89E-09 m/s

N60: 3.53 ±0.63 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.57 ±0.47 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 4.82 ±2.37 MPa

Go: 26.06 ±3.67 MPa

Su: 37.64 ±9.56 kPa

Su ratio: 0.65 ±0.18

O.C.R.: 3.02 ±0.82

**::: Layer No: 3 :::****Code:** Layer\_3    **Start depth:** 5.78 (m), **End depth:** 6.81 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.46 ±0.26 MPa

Sleeve friction: 63.99 ±30.62 kPa

SBT<sub>n</sub>: 3SBT<sub>n</sub> description: Clay**Estimation results**

Permeability: 1.42E-08 ±7.78E-09 m/s

N60: 7.04 ±1.30 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.92 ±0.61 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 18.85 ±3.70 MPa

Go: 47.49 ±9.86 MPa

Su: 96.39 ±18.59 kPa

Su ratio: 1.39 ±0.24

O.C.R.: 6.40 ±1.11

**::: Layer No: 4 :::****Code:** Layer\_4    **Start depth:** 6.81 (m), **End depth:** 8.21 (m)**Description:** Clay & silty clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.37 ±0.29 MPa

Sleeve friction: 26.65 ±12.57 kPa

SBT<sub>n</sub>: 4SBT<sub>n</sub> description: Clay & silty clay**Estimation results**

Permeability: 3.68E-08 ±5.67E-08 m/s

N60: 6.03 ±0.98 blows

Es: 33.05 ±4.02 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.89 ±0.46 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 16.84 ±4.51 MPa

Go: 36.74 ±5.66 MPa

Su: 87.23 ±20.10 kPa

Su ratio: 1.10 ±0.22

O.C.R.: 5.08 ±1.04

**::: Layer No: 5 :::****Code:** Layer\_5    **Start depth:** 8.21 (m), **End depth:** 9.95 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 0.52 ±0.23 MPa

Sleeve friction: 16.26 ±9.29 kPa

SBT<sub>n</sub>: 3SBT<sub>n</sub> description: Clay**Estimation results**

Permeability: 7.09E-10 ±1.64E-09 m/s

N60: 3.60 ±0.95 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 15.95 ±0.66 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 1.44 ±2.65 MPa

Go: 24.65 ±6.66 MPa

Su: 25.28 ±16.20 kPa

Su ratio: 0.29 ±0.18

O.C.R.: 1.32 ±0.83

**::: Layer No: 6 :::****Code:** Layer\_6    **Start depth:** 9.95 (m), **End depth:** 12.02 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.66 ±0.20 MPa

Sleeve friction: 65.30 ±21.45 kPa

SBT<sub>n</sub>: 3SBT<sub>n</sub> description: Clay**Estimation results**

Permeability: 8.14E-09 ±1.07E-08 m/s

N60: 8.45 ±0.96 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.99 ±0.40 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 19.81 ±3.51 MPa

Go: 57.16 ±7.81 MPa

Su: 104.96 ±13.97 kPa

Su ratio: 1.03 ±0.13

O.C.R.: 4.75 ±0.58

**::: Layer No: 7 :::****Code:** Layer\_7    **Start depth:** 12.02 (m), **End depth:** 12.62 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.44 ±0.10 MPa

Sleeve friction: 73.84 ±7.84 kPa

SBT<sub>n</sub>: 3SBT<sub>n</sub> description: Clay**Estimation results**

Permeability: 2.32E-09 ±2.12E-09 m/s

N60: 8.09 ±0.30 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 18.08 ±0.12 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 13.20 ±2.31 MPa

Go: 59.71 ±1.78 MPa

Su: 87.39 ±7.17 kPa

Su ratio: 0.77 ±0.06

O.C.R.: 3.56 ±0.29

**::: Layer No: 8 :::****Code:** Layer\_8    **Start depth:** 12.62 (m), **End depth:** 13.27 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 2.29 ±0.15 MPa

Sleeve friction: 105.56 ±23.57 kPa

SBT<sub>n</sub>: 3SBT<sub>n</sub> description: Clay**Estimation results**

Permeability: 9.71E-09 ±4.32E-09 m/s

N60: 11.34 ±0.87 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 18.67 ±0.31 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 28.91 ±2.00 MPa

Go: 77.80 ±7.81 MPa

Su: 147.49 ±10.22 kPa

Su ratio: 1.24 ±0.08

O.C.R.: 5.74 ±0.36

**::: Layer No: 9 :::****Code:** Layer\_9    **Start depth:** 13.27 (m), **End depth:** 16.79 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.54 ±1.13 MPa

Sleeve friction: 37.99 ±28.78 kPa

SBT<sub>n</sub>: 3SBT<sub>n</sub> description: Clay**Estimation results**

Permeability: 5.36E-09 ±2.97E-07 m/s

N60: 8.13 ±3.15 blows

Es: 60.95 ±60.95 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.34 ±0.88 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 10.12 ±19.20 MPa

Go: 52.27 ±15.78 MPa

Su: 78.36 ±44.70 kPa

Su ratio: 0.58 ±0.37

O.C.R.: 2.67 ±1.73



**:: Layer No: 10 ::****Code:** Layer\_10    **Start depth:** 16.79 (m), **End depth:** 17.56 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 0.96 ±0.14 MPa

Sleeve friction: 13.22 ±6.37 kPa

SBT<sub>n</sub>: 3SBT<sub>n</sub> description: Clay**Estimation results**

Permeability: 1.63E-09 ±1.00E-09 m/s

N60: 5.64 ±0.71 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 15.93 ±0.53 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 2.85 ±1.19 MPa

Go: 34.61 ±5.26 MPa

Su: 46.73 ±9.55 kPa

Su ratio: 0.31 ±0.06

O.C.R.: 1.44 ±0.28

**:: Layer No: 11 ::****Code:** Layer\_11    **Start depth:** 17.56 (m), **End depth:** 18.21 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.79 ±0.68 MPa

Sleeve friction: 32.81 ±10.77 kPa

SBT<sub>n</sub>: 3SBT<sub>n</sub> description: Clay**Estimation results**

Permeability: 9.97E-09 ±2.15E-07 m/s

N60: 8.98 ±1.69 blows

Es: 52.83 ±52.83 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.23 ±0.41 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 13.49 ±11.39 MPa

Go: 55.19 ±7.73 MPa

Su: 99.95 ±19.82 kPa

Su ratio: 0.65 ±0.13

O.C.R.: 2.98 ±0.59

**:: Layer No: 12 ::****Code:** Layer\_12    **Start depth:** 18.21 (m), **End depth:** 19.93 (m)**Description:** Silty sand & sandy silt**Basic results**

Total cone resistance: 7.75 ±1.29 MPa

Sleeve friction: 60.46 ±20.21 kPa

SBT<sub>n</sub>: 5SBT<sub>n</sub> description: Silty sand & sandy silt**Estimation results**

Permeability: 3.85E-06 ±3.19E-06 m/s

N60: 22.16 ±2.73 blows

Es: 75.54 ±8.50 MPa

Dr (%): 38.32 ±3.78

φ (degrees): 36.41 ±0.93 °

Unit weight: 18.49 ±0.39 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 92.90 ±11.27 MPa

Go: 94.67 ±10.65 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

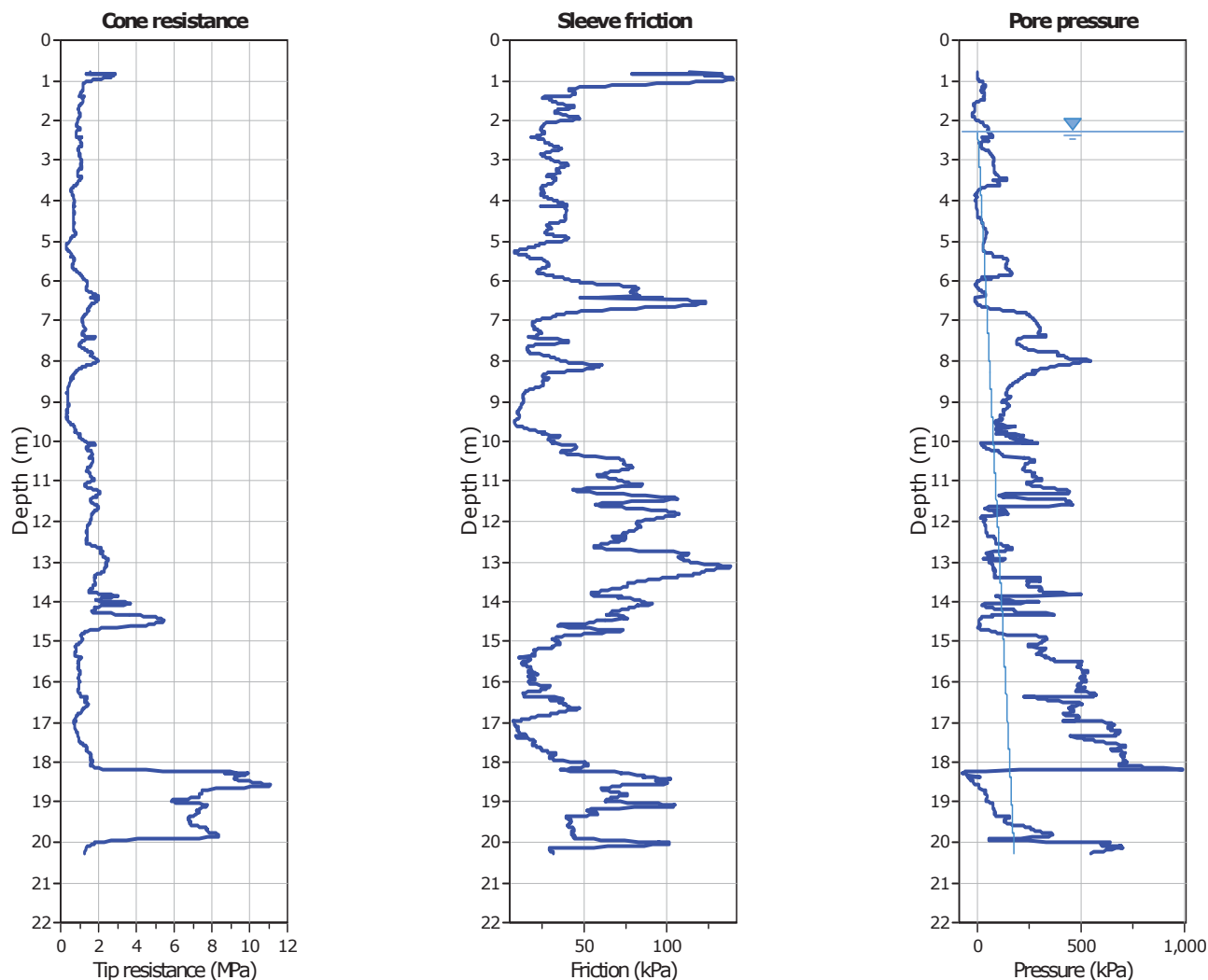
**Summary table of mean values**

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT <sub>N60</sub> (blows/30cm)	E <sub>s</sub> (MPa)	D <sub>r</sub>	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G <sub>0</sub> (MPa)	Undrained strength, S <sub>u</sub> (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
1.61	2.00	3.39E-08 (±1.71E-08)	4.2 (±0.4)	19.6 (±19.6)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	12.9 (±1.2)	27.8 (±2.2)	66.0 (±6.3)	1.5 (±0.2)	6.9 (±1.0)	16.9 (±0.2)
3.61												
3.61	2.17	2.47E-09 (±2.89E-09)	3.5 (±0.6)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	4.8 (±2.4)	26.1 (±3.7)	37.6 (±9.6)	0.7 (±0.2)	3.0 (±0.8)	16.6 (±0.5)
5.78												
5.78	1.03	1.42E-08 (±7.78E-09)	7.0 (±1.3)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	18.8 (±3.7)	47.5 (±9.9)	96.4 (±18.6)	1.4 (±0.2)	6.4 (±1.1)	17.9 (±0.6)
6.81												
6.81	1.40	3.68E-08 (±5.67E-08)	6.0 (±1.0)	33.1 (±4.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	16.8 (±4.5)	36.7 (±5.7)	87.2 (±20.1)	1.1 (±0.2)	5.1 (±1.0)	16.9 (±0.5)
8.21												
8.21	1.74	7.09E-10 (±1.64E-09)	3.6 (±1.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	1.4 (±2.7)	24.7 (±6.7)	25.3 (±16.2)	0.3 (±0.2)	1.3 (±0.8)	15.9 (±0.7)
9.95												
9.95	2.07	8.14E-09 (±1.07E-08)	8.4 (±1.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	19.8 (±3.5)	57.2 (±7.8)	105.0 (±14.0)	1.0 (±0.1)	4.7 (±0.6)	18.0 (±0.4)
12.02												
12.02	0.60	2.32E-09 (±2.12E-09)	8.1 (±0.3)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	13.2 (±2.3)	59.7 (±1.8)	87.4 (±7.2)	0.8 (±0.1)	3.6 (±0.3)	18.1 (±0.1)
12.62												
12.62	0.65	9.71E-09 (±4.32E-09)	11.3 (±0.9)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	28.9 (±2.0)	77.8 (±7.8)	147.5 (±10.2)	1.2 (±0.1)	5.7 (±0.4)	18.7 (±0.3)
13.27												
13.27	3.52	5.36E-09 (±2.97E-07)	8.1 (±3.2)	60.9 (±60.9)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	10.1 (±19.2)	52.3 (±15.8)	78.4 (±44.7)	0.6 (±0.4)	2.7 (±1.7)	17.3 (±0.9)
16.79												
16.79	0.77	1.63E-09 (±1.00E-09)	5.6 (±0.7)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	2.8 (±1.2)	34.6 (±5.3)	46.7 (±9.6)	0.3 (±0.1)	1.4 (±0.3)	15.9 (±0.5)
17.56												
17.56	0.65	9.97E-09 (±2.15E-07)	9.0 (±1.7)	52.8 (±52.8)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	13.5 (±11.4)	55.2 (±7.7)	99.9 (±19.8)	0.6 (±0.1)	3.0 (±0.6)	17.2 (±0.4)
18.21												

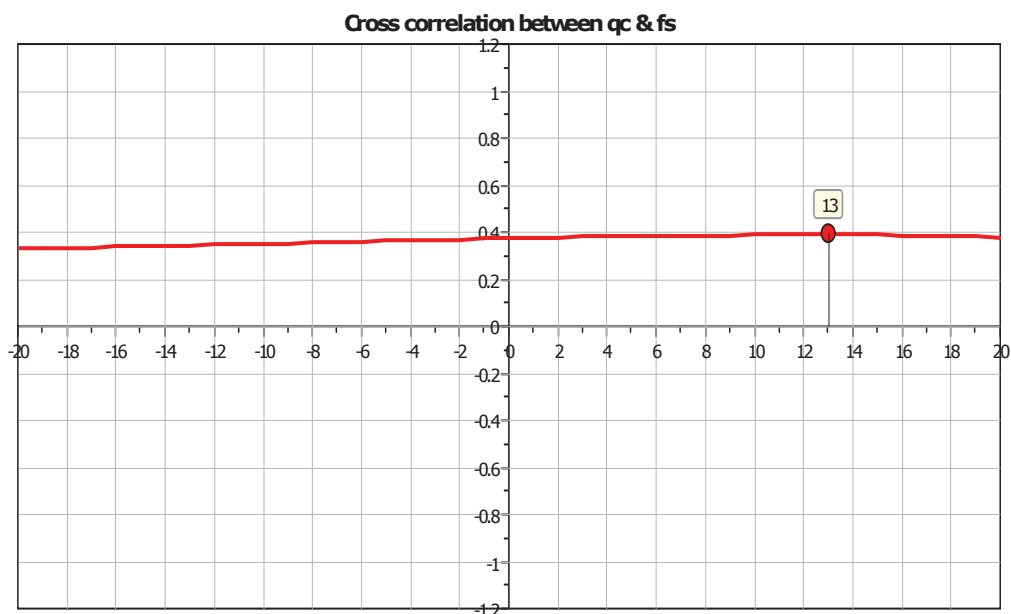
**Summary table of mean values**

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT <sub>N60</sub> (blows/30cm)	E <sub>s</sub> (MPa)	D <sub>r</sub>	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G <sub>o</sub> (MPa)	Undrained strength, S <sub>u</sub> (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
18.21	1.72	3.85E-06	22.2	75.5	38.3	36.4	92.9	94.7	0.0	0.0	0.0	18.5
19.93		(±3.19E-06)	(±2.7)	(±8.5)	(±3.8)	(±0.9)	(±11.3)	(±10.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.4)

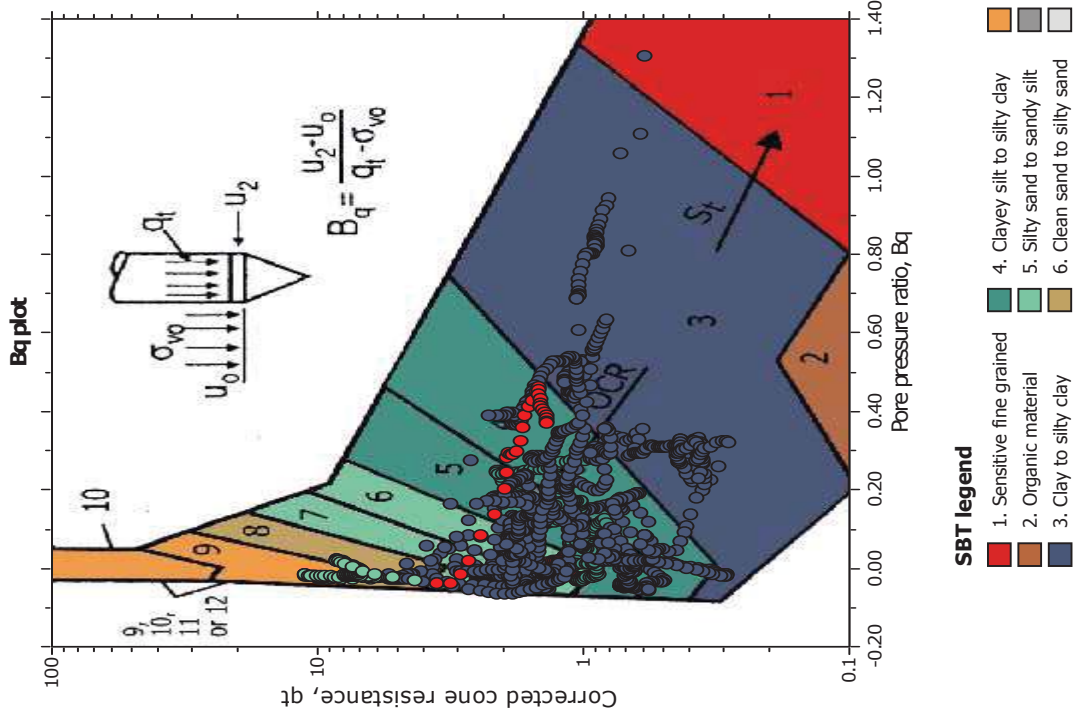
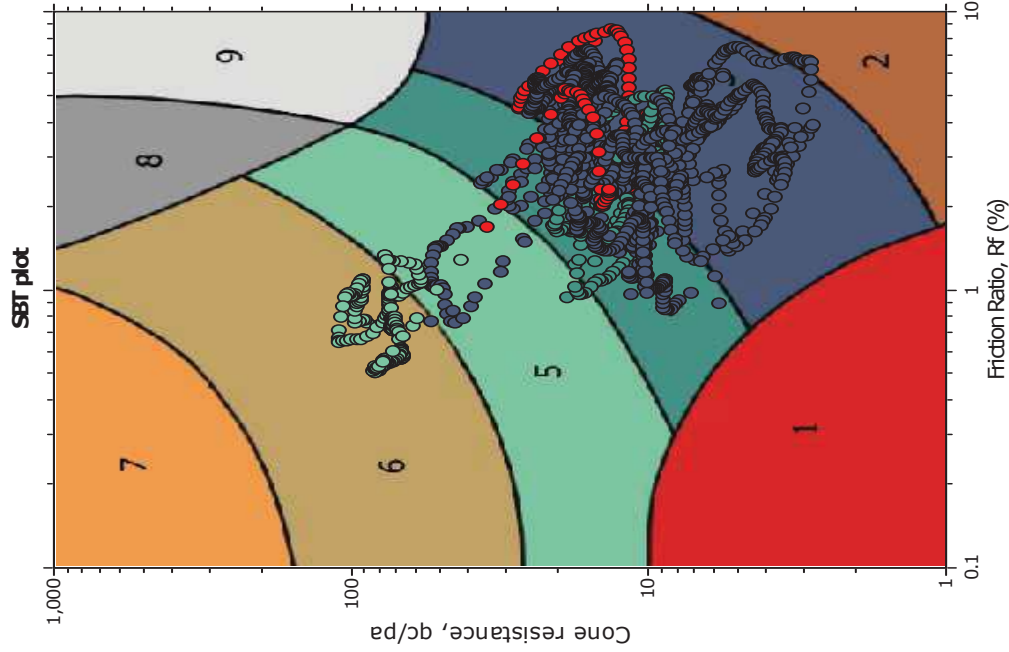
Depth values presented in this table are measured from free ground surface



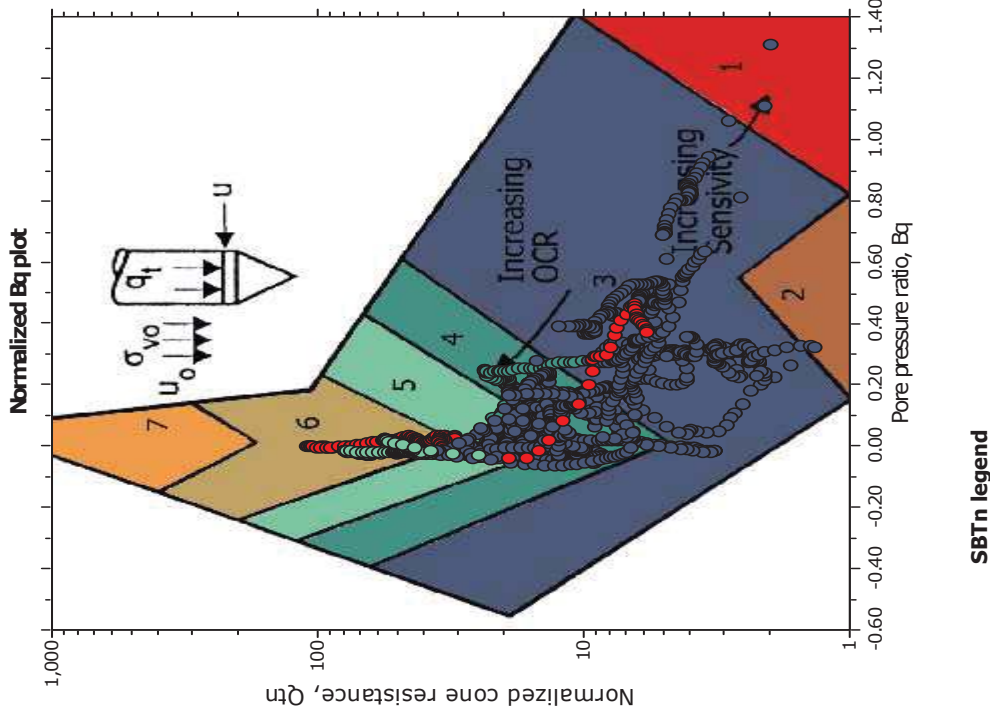
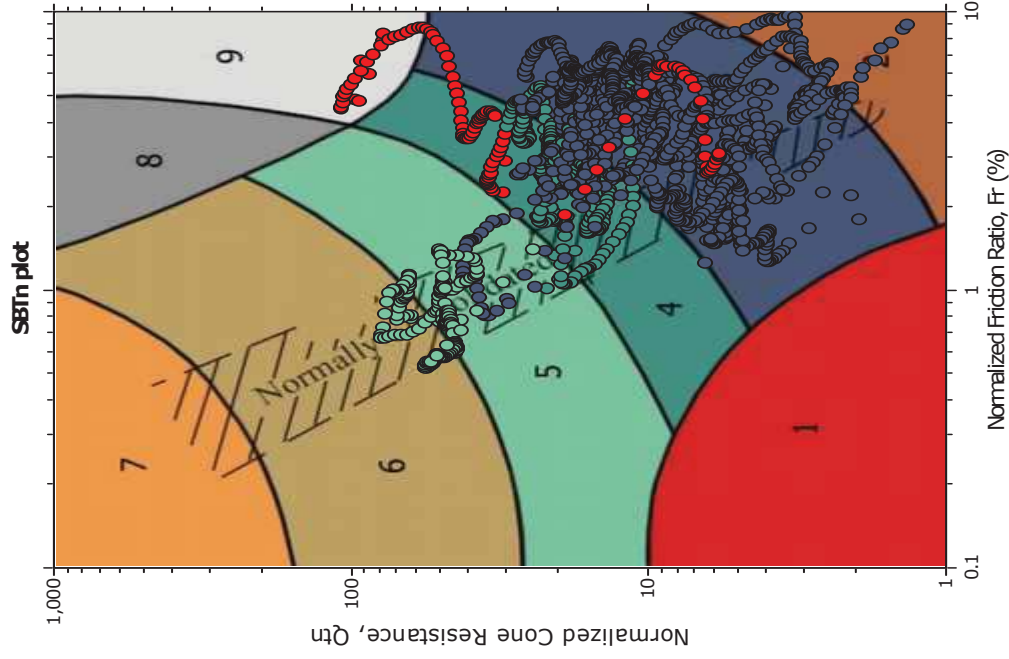
The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw  $q_c$  and  $f_s$  values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).



## SBT - Bq plots



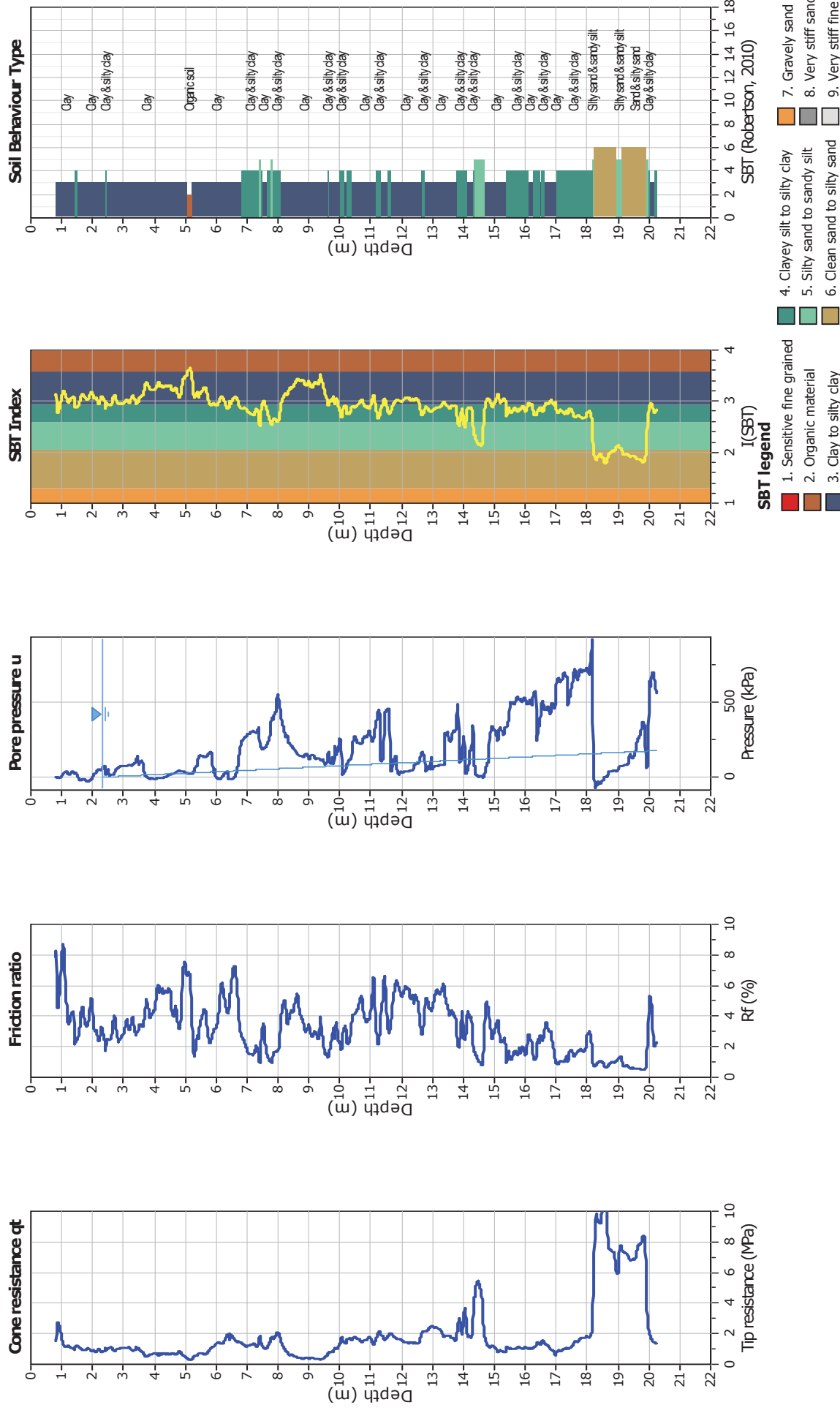
## SBT - Bq plots (normalized)

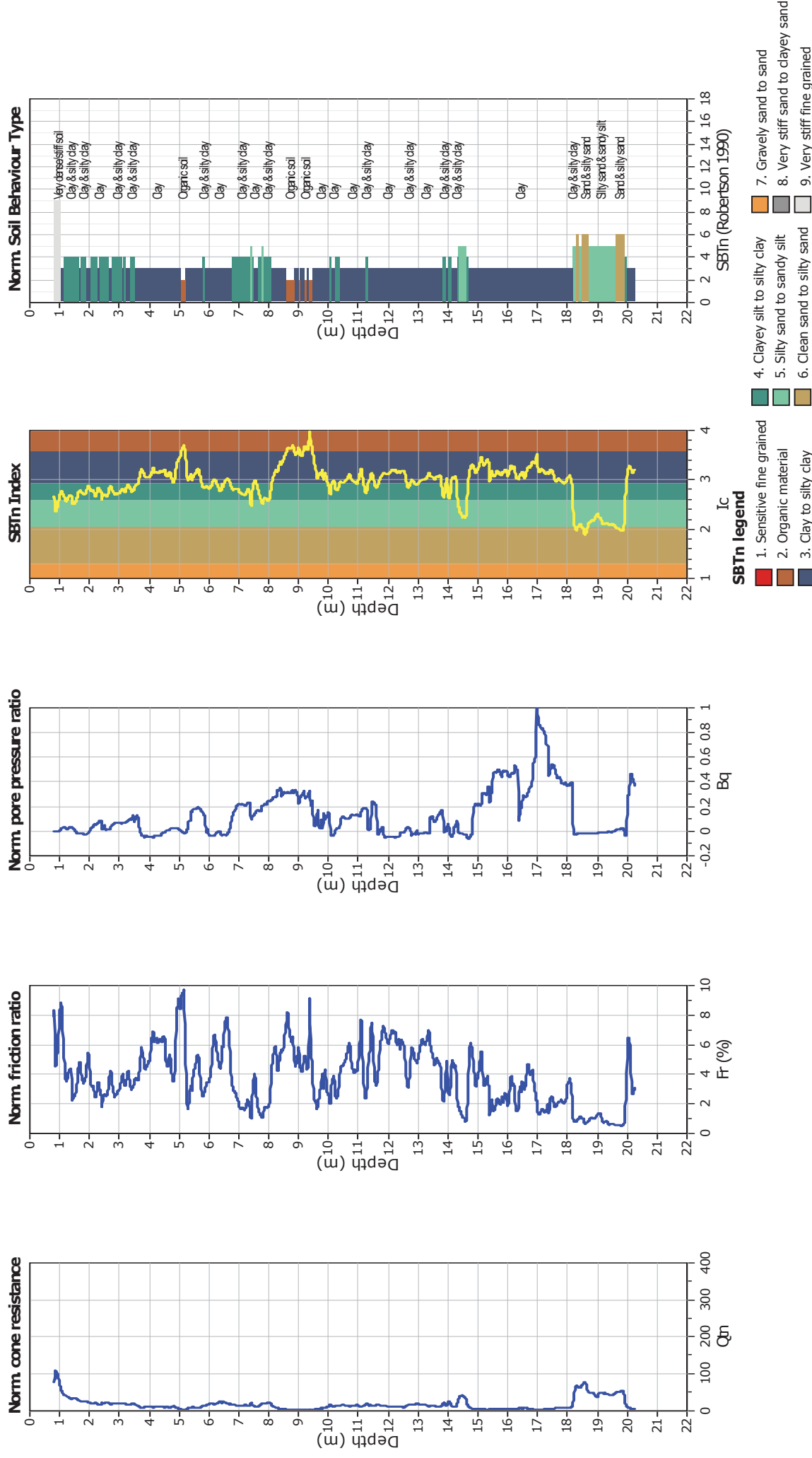


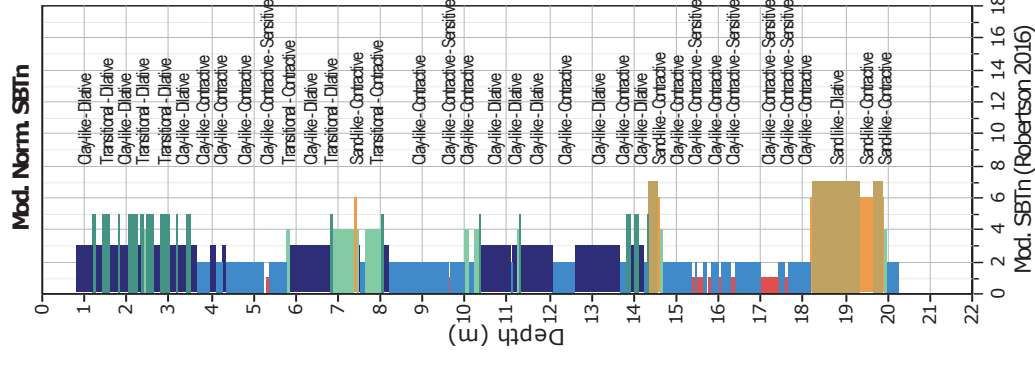
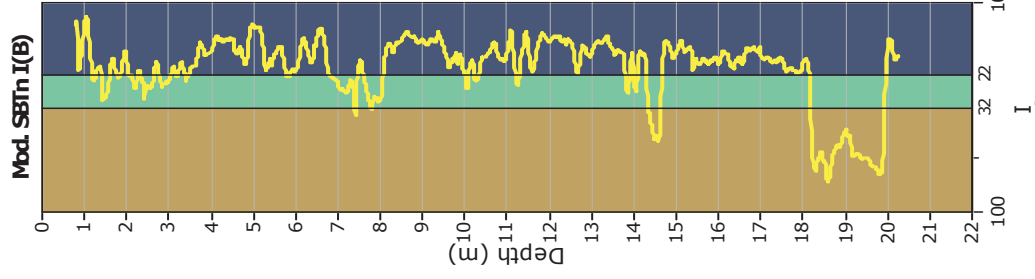
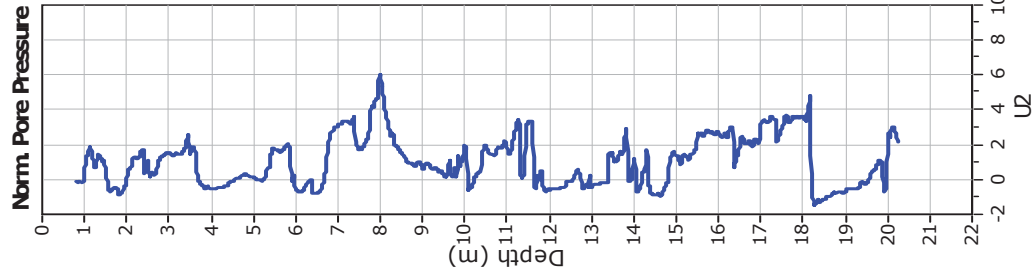
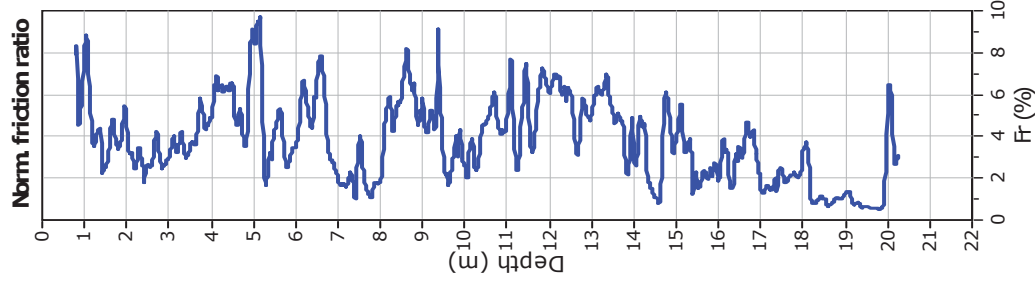
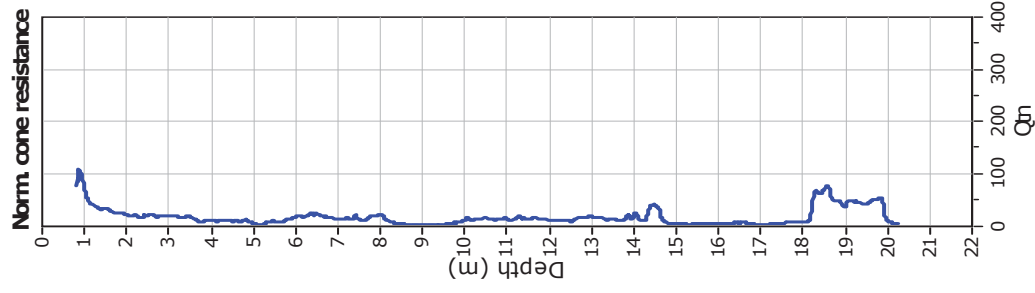
### SBTn legend

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





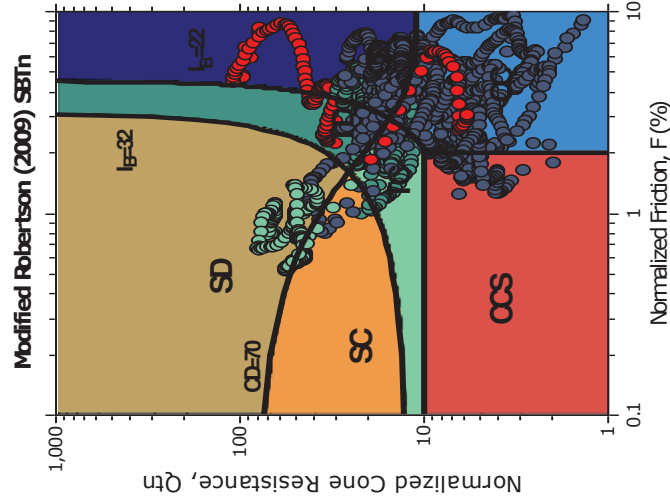




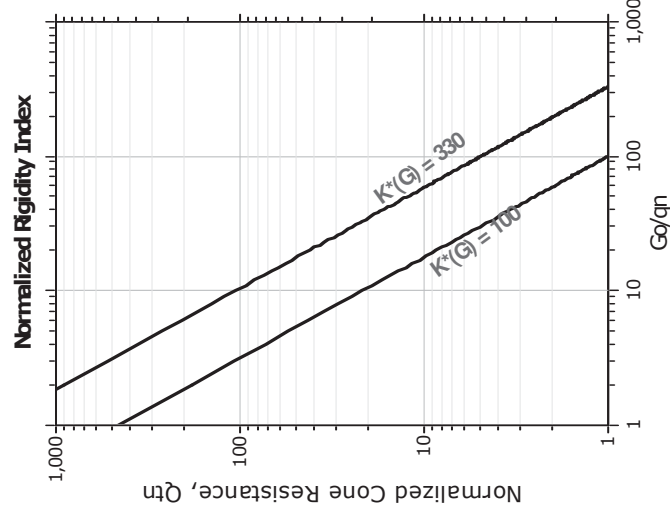
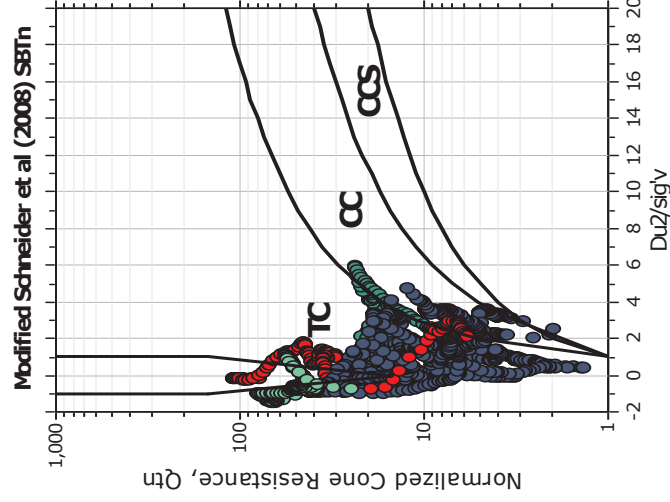
**Mod. SBTn legend**

- 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

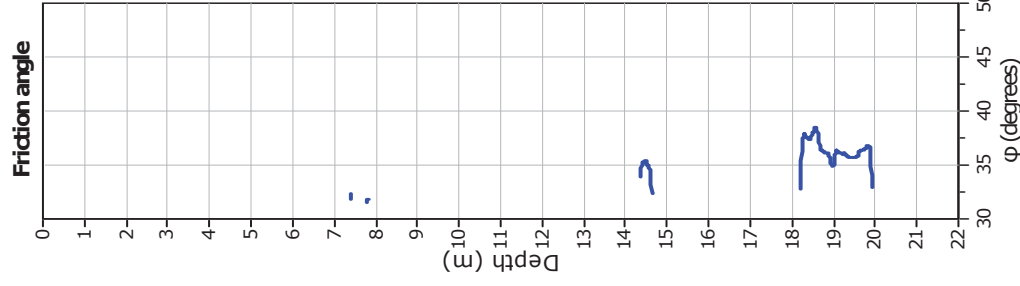
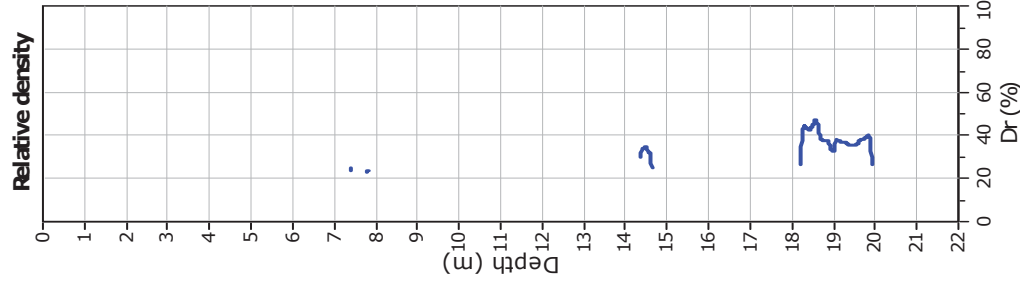
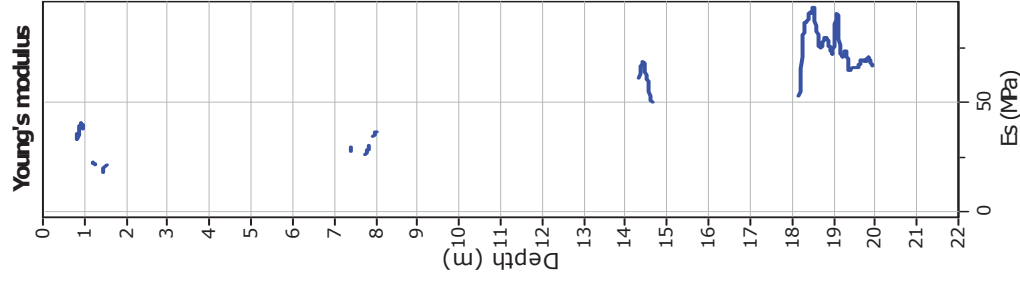
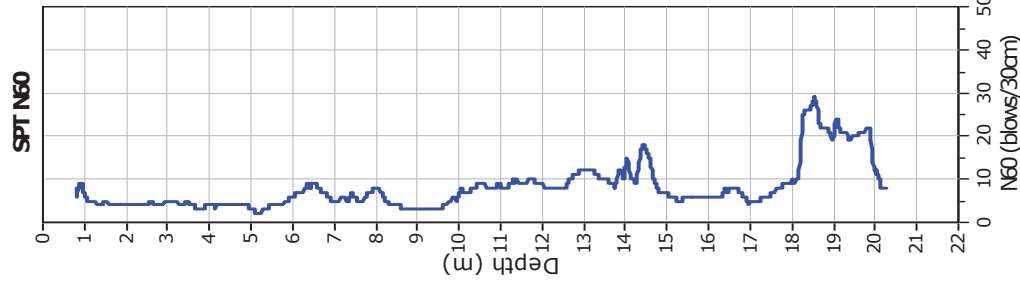
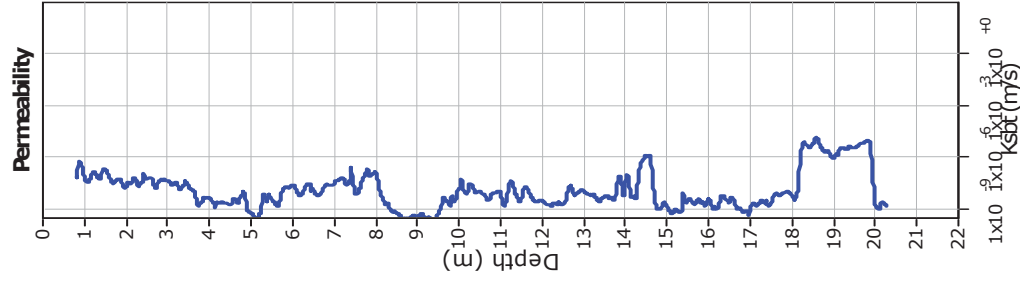
## Updated SBTn plots



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)



#### Calculation parameters

Permeability: Based on  $SBT_n$

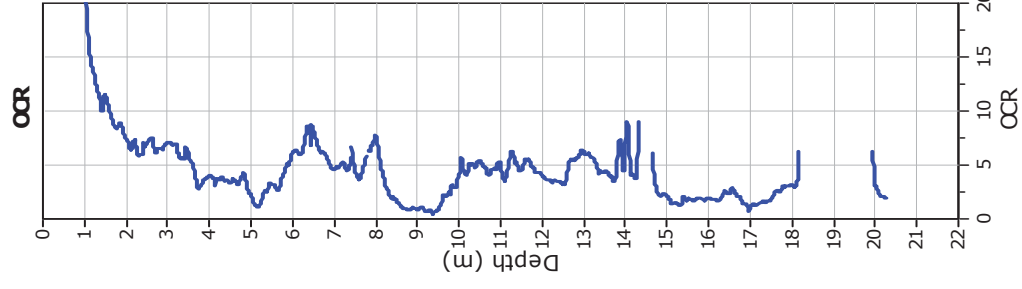
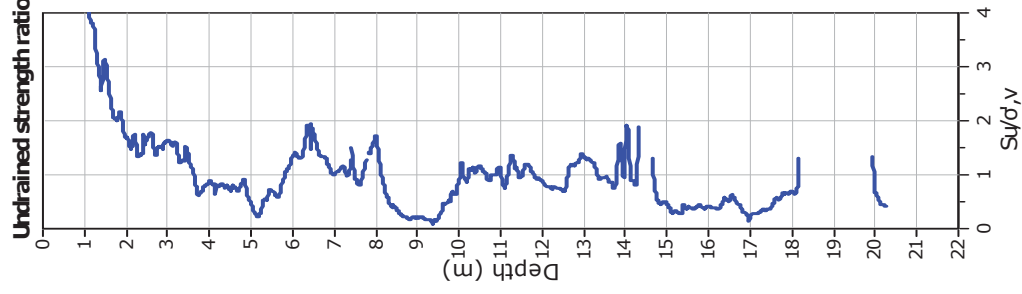
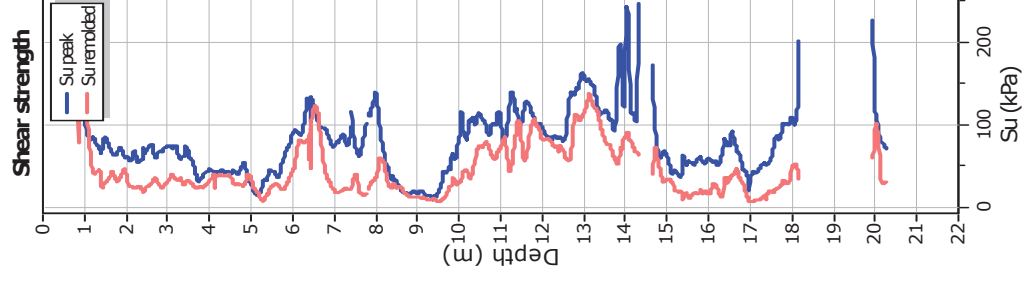
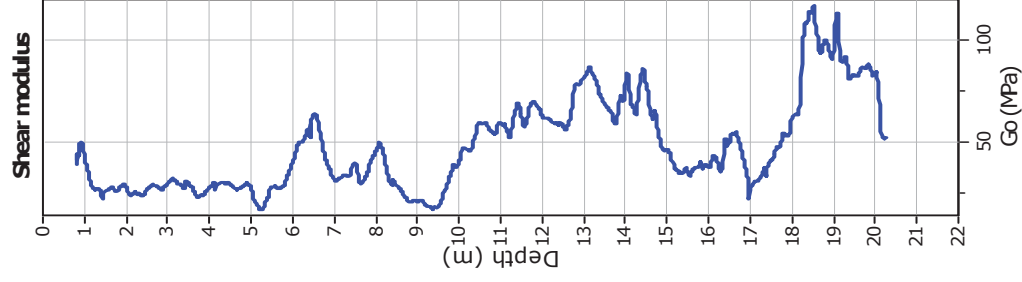
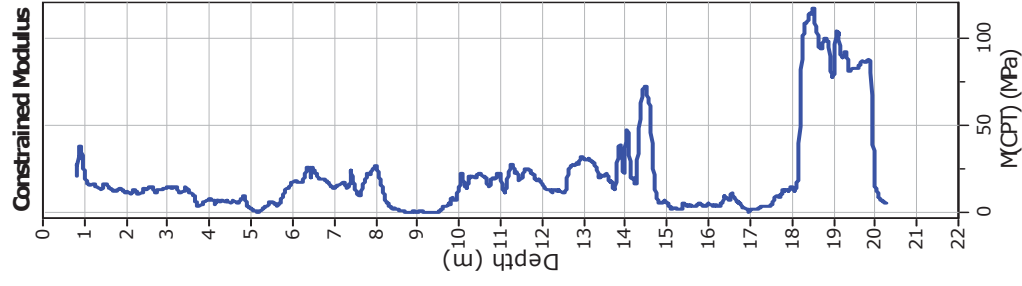
SPT  $N_{60}$ : Based on  $I_c$  and  $q_t$

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

Relative density constant,  $C_{or}$ : 350.0

Phi: Based on Kulhawy & Mayne (1990)

—●— User defined estimation data



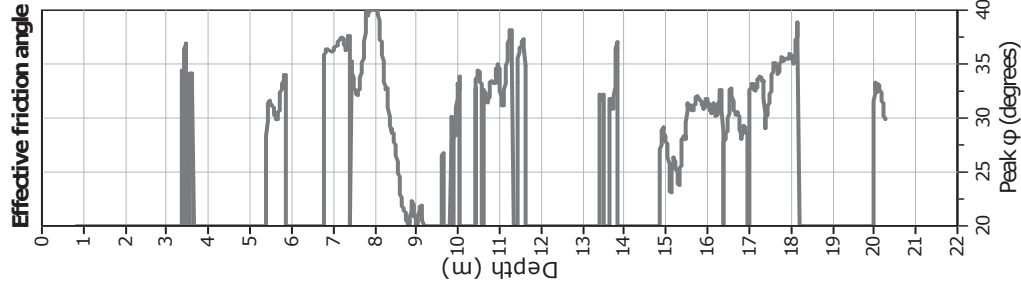
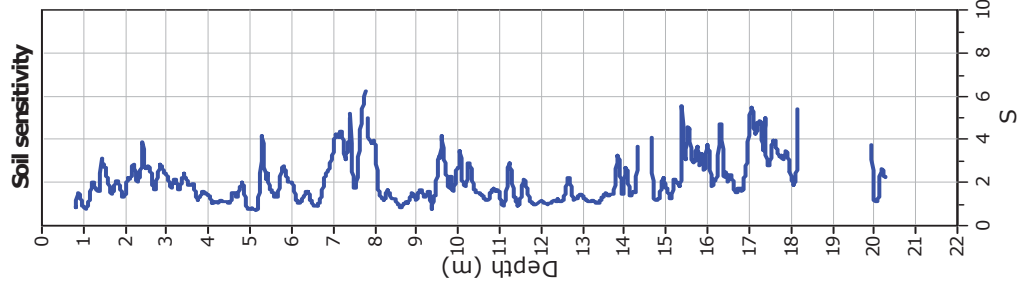
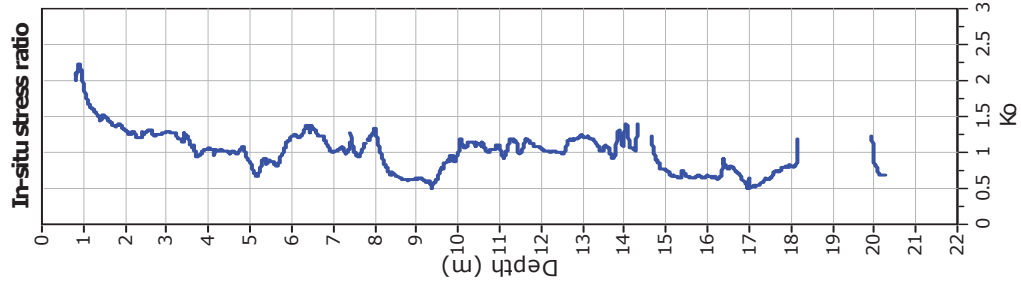
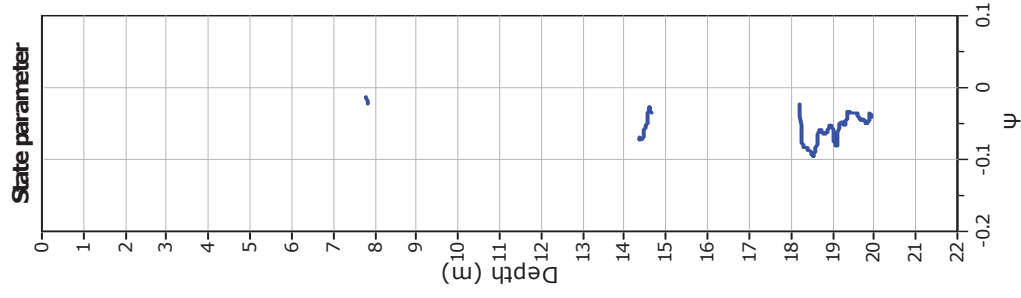
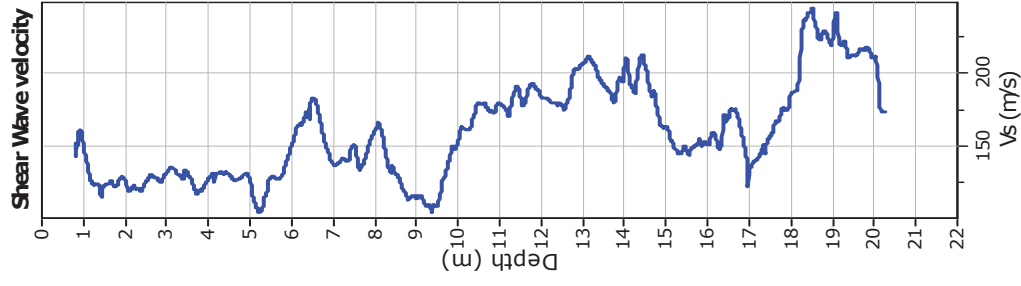
#### Calculation parameters

Constrained modulus: Based on variable  $\alpha/\rho/\eta$  using  $I_c$  and  $Q_m$  (Robertson, 2009)  
Go: Based on variable  $\alpha/\rho/\eta$  using  $I_c$  (Robertson, 2009)

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

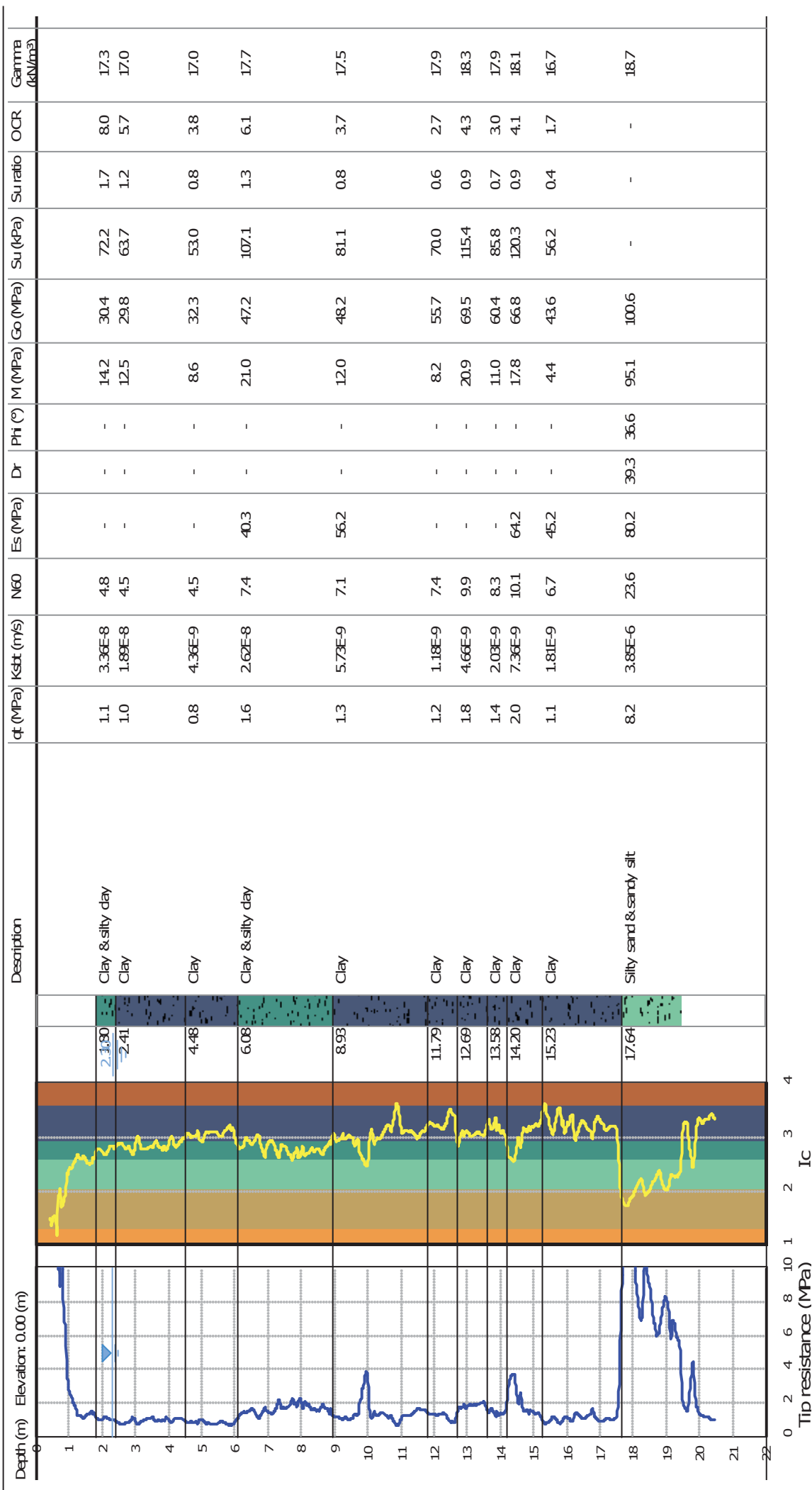
—●— User defined estimation data

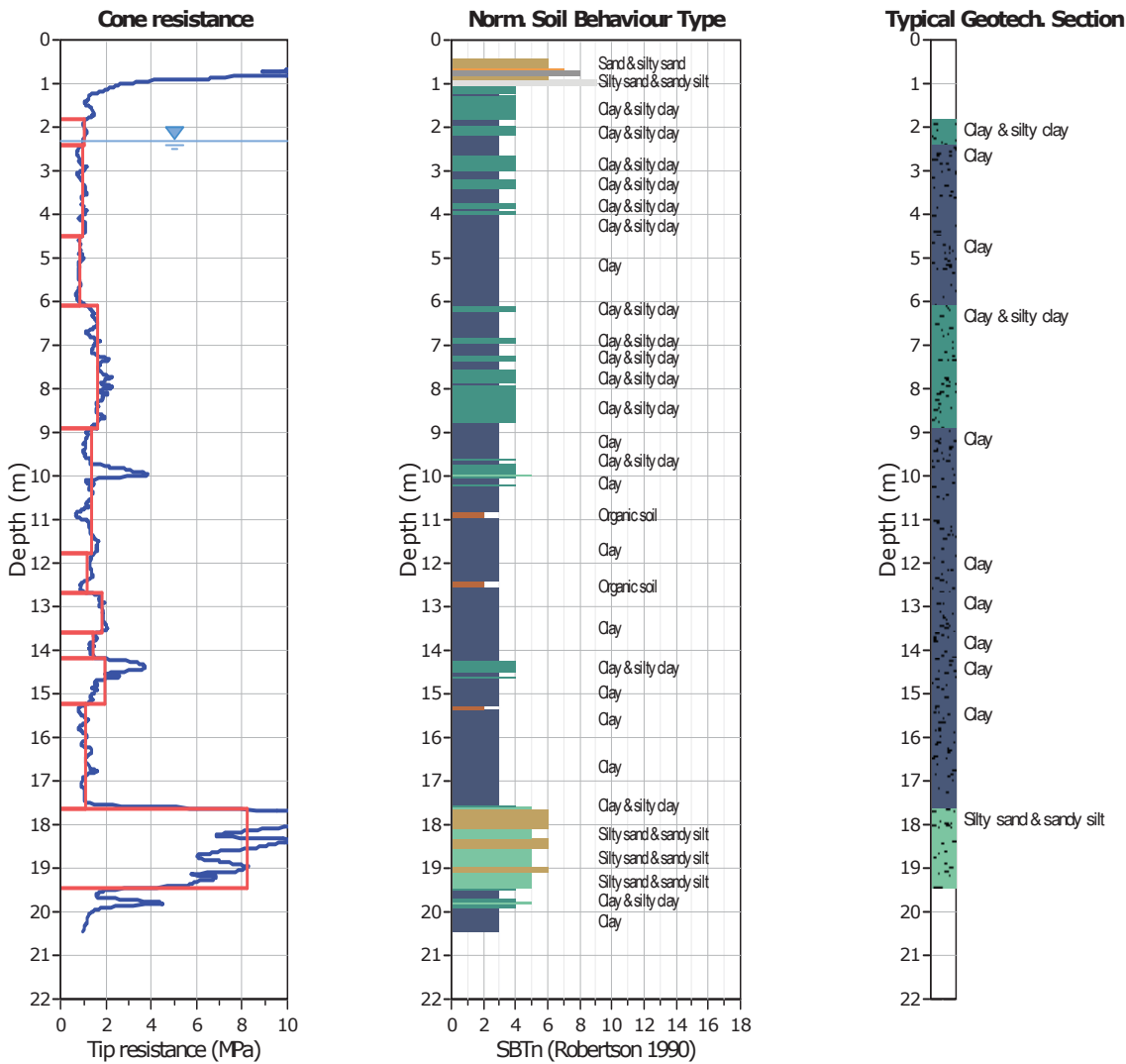
**Project: Studio del terreno di fondazione**

**Location: Massa Lombarda (RA)**

**CPT: CPTU 2**

Total depth: 20.47 m, Date: 02/07/2019





### Tabular results

#### ::: Layer No: 1 :::

**Code:** Layer\_1      **Start depth:** 1.80 (m), **End depth:** 2.41 (m)

**Description:** Clay & silty clay

#### Basic results

Total cone resistance: 1.05 ±0.07 MPa

Sleeve friction: 40.81 ±5.43 kPa

SBT<sub>n</sub>: 4

SBT<sub>n</sub> description: Clay & silty clay

#### Estimation results

Permeability: 3.36E-08 ±1.37E-08 m/s

N<sub>60</sub>: 4.84 ±0.36 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.27 ±0.15 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 14.15 ±0.94 MPa

Go: 30.43 ±1.20 MPa

Su: 72.22 ±4.80 kPa

Su ratio: 1.74 ±0.18

O.C.R.: 8.02 ±0.83

**::: Layer No: 2 :::****Code:** Layer\_2    **Start depth:** 2.41 (m), **End depth:** 4.48 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 0.95 ±0.13 MPa

Sleeve friction: 32.10 ±8.44 kPa

SBT<sub>n</sub>: 3SBT<sub>n</sub> description: Clay**Estimation results**

Permeability: 1.89E-08 ±1.06E-08 m/s

N60: 4.50 ±0.53 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.96 ±0.32 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 12.47 ±1.71 MPa

Go: 29.78 ±3.93 MPa

Su: 63.67 ±8.68 kPa

Su ratio: 1.23 ±0.13

O.C.R.: 5.70 ±0.59

**::: Layer No: 3 :::****Code:** Layer\_3    **Start depth:** 4.48 (m), **End depth:** 6.08 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 0.84 ±0.08 MPa

Sleeve friction: 35.38 ±4.44 kPa

SBT<sub>n</sub>: 3SBT<sub>n</sub> description: Clay**Estimation results**

Permeability: 4.36E-09 ±3.09E-09 m/s

N60: 4.46 ±0.50 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.02 ±0.16 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 8.59 ±2.16 MPa

Go: 32.31 ±1.21 MPa

Su: 53.00 ±6.24 kPa

Su ratio: 0.83 ±0.12

O.C.R.: 3.85 ±0.57

**::: Layer No: 4 :::****Code:** Layer\_4    **Start depth:** 6.08 (m), **End depth:** 8.93 (m)**Description:** Clay & silty clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.63 ±0.26 MPa

Sleeve friction: 49.27 ±13.69 kPa

SBT<sub>n</sub>: 4SBT<sub>n</sub> description: Clay & silty clay**Estimation results**

Permeability: 2.62E-08 ±2.51E-08 m/s

N60: 7.45 ±0.85 blows

Es: 40.34 ±0.40 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.66 ±0.30 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 20.97 ±3.57 MPa

Go: 47.22 ±4.41 MPa

Su: 107.13 ±18.05 kPa

Su ratio: 1.32 ±0.19

O.C.R.: 6.10 ±0.88

**::: Layer No: 5 :::****Code:** Layer\_5    **Start depth:** 8.93 (m), **End depth:** 11.79 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.34 ±0.61 MPa

Sleeve friction: 46.30 ±18.95 kPa

SBT<sub>n</sub>: 3SBT<sub>n</sub> description: Clay**Estimation results**

Permeability: 5.73E-09 ±5.07E-08 m/s

N60: 7.09 ±1.94 blows

Es: 56.25 ±3.20 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.51 ±0.52 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 12.02 ±10.04 MPa

Go: 48.18 ±10.14 MPa

Su: 81.13 ±40.27 kPa

Su ratio: 0.79 ±0.41

O.C.R.: 3.66 ±1.88

**::: Layer No: 6 :::****Code:** Layer\_6    **Start depth:** 11.79 (m), **End depth:** 12.69 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.20 ±0.20 MPa

Sleeve friction: 66.58 ±18.35 kPa

SBT<sub>n</sub>: 3SBT<sub>n</sub> description: Clay**Estimation results**

Permeability: 1.18E-09 ±1.28E-09 m/s

N60: 7.43 ±0.88 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.89 ±0.41 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 8.16 ±3.35 MPa

Go: 55.73 ±7.07 MPa

Su: 69.96 ±14.57 kPa

Su ratio: 0.60 ±0.13

O.C.R.: 2.75 ±0.61

**::: Layer No: 7 :::****Code:** Layer\_7    **Start depth:** 12.69 (m), **End depth:** 13.58 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.85 ±0.13 MPa

Sleeve friction: 84.23 ±20.75 kPa

SBT<sub>n</sub>: 3SBT<sub>n</sub> description: Clay**Estimation results**

Permeability: 4.66E-09 ±3.48E-09 m/s

N60: 9.95 ±0.89 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 18.32 ±0.40 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 20.89 ±2.77 MPa

Go: 69.50 ±7.85 MPa

Su: 115.38 ±8.69 kPa

Su ratio: 0.92 ±0.06

O.C.R.: 4.27 ±0.27

**::: Layer No: 8 :::****Code:** Layer\_8    **Start depth:** 13.58 (m), **End depth:** 14.20 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.45 ±0.15 MPa

Sleeve friction: 63.67 ±27.18 kPa

SBT<sub>n</sub>: 3SBT<sub>n</sub> description: Clay**Estimation results**

Permeability: 2.03E-09 ±2.56E-09 m/s

N60: 8.29 ±0.84 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.91 ±0.47 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 10.99 ±2.98 MPa

Go: 60.42 ±8.56 MPa

Su: 85.81 ±10.80 kPa

Su ratio: 0.65 ±0.08

O.C.R.: 3.02 ±0.39

**::: Layer No: 9 :::****Code:** Layer\_9    **Start depth:** 14.20 (m), **End depth:** 15.23 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.97 ±0.86 MPa

Sleeve friction: 65.16 ±7.76 kPa

SBT<sub>n</sub>: 3SBT<sub>n</sub> description: Clay**Estimation results**

Permeability: 7.36E-09 ±5.01E-08 m/s

N60: 10.09 ±2.30 blows

Es: 64.17 ±0.88 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 18.05 ±0.25 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 17.82 ±15.43 MPa

Go: 66.80 ±8.02 MPa

Su: 120.34 ±61.89 kPa

Su ratio: 0.88 ±0.49

O.C.R.: 4.05 ±2.25

**:: Layer No: 10 ::****Code:** Layer\_10    **Start depth:** 15.23 (m), **End depth:** 17.64 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.13 ±0.74 MPa

Sleeve friction: 24.52 ±9.98 kPa

SBT<sub>n</sub>: 3SBT<sub>n</sub> description: Clay**Estimation results**

Permeability: 1.81E-09 ±7.88E-07 m/s

N60: 6.72 ±1.65 blows

Es: 45.22 ±45.22 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.72 ±0.45 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 4.45 ±10.26 MPa

Go: 43.65 ±6.57 MPa

Su: 56.21 ±16.29 kPa

Su ratio: 0.37 ±0.10

O.C.R.: 1.73 ±0.48

**:: Layer No: 11 ::****Code:** Layer\_11    **Start depth:** 17.64 (m), **End depth:** 19.44 (m)**Description:** Silty sand & sandy silt**Basic results**

Total cone resistance: 8.22 ±2.55 MPa

Sleeve friction: 69.80 ±15.98 kPa

SBT<sub>n</sub>: 5SBT<sub>n</sub> description: Silty sand & sandy silt**Estimation results**

Permeability: 3.85E-06 ±1.34E-05 m/s

N60: 23.60 ±4.19 blows

Es: 80.25 ±7.84 MPa

Dr (%): 39.31 ±7.08

φ (degrees): 36.63 ±1.63 °

Unit weight: 18.68 ±0.31 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 95.09 ±13.54 MPa

Go: 100.58 ±9.82 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

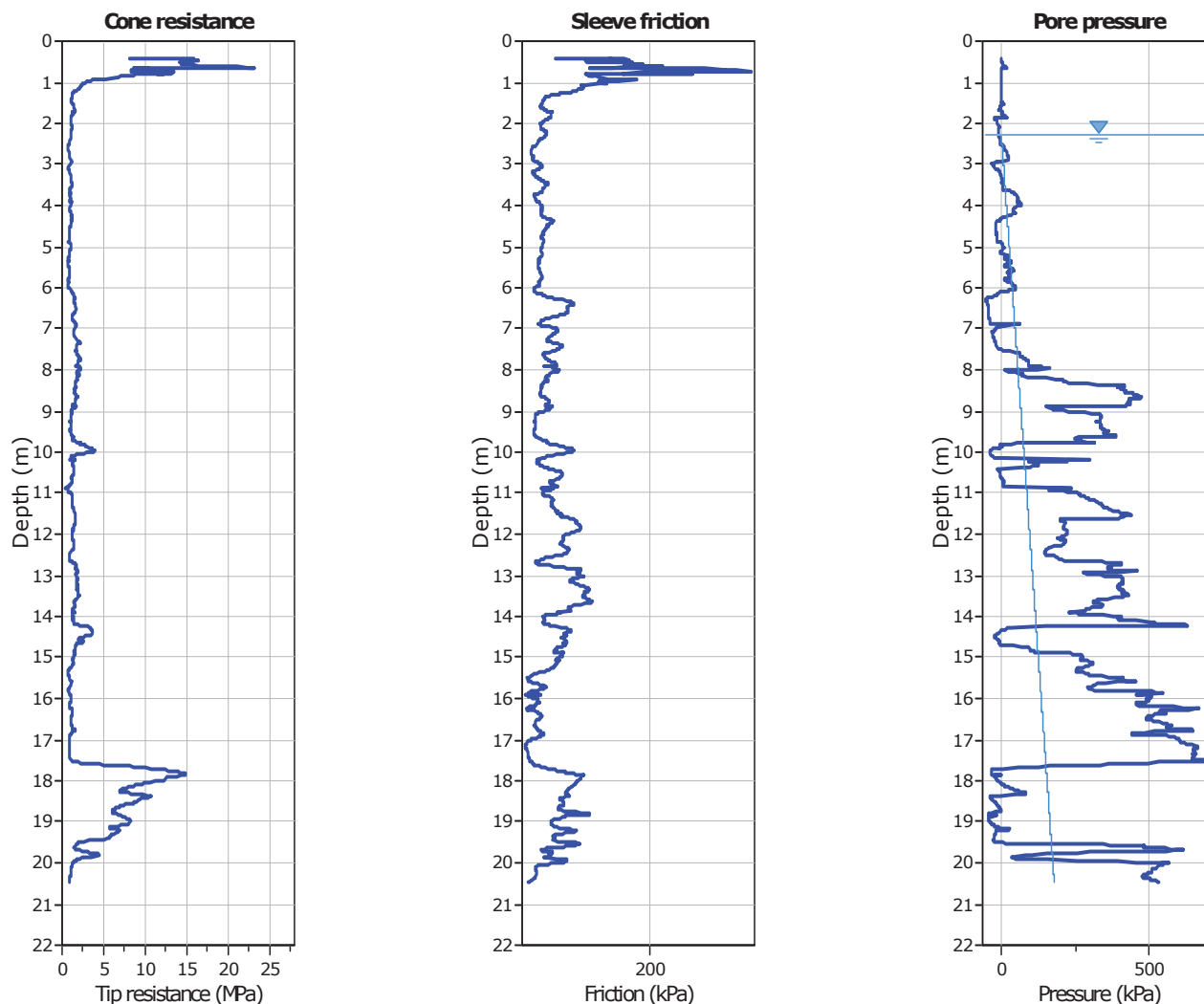
O.C.R.: 0.00 ±0.00



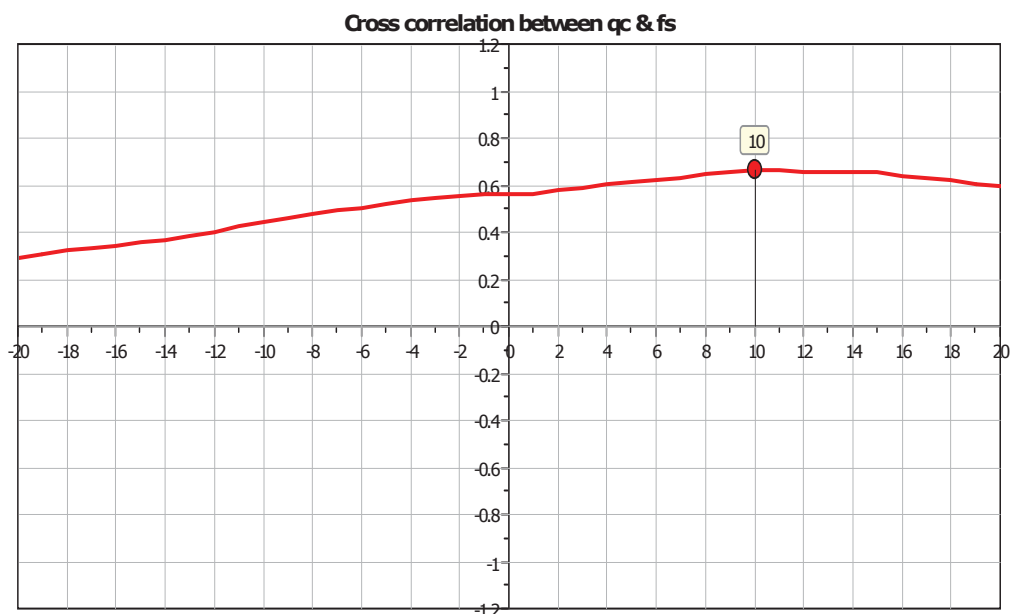
**Summary table of mean values**

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT <sub>N60</sub> (blows/30cm)	E <sub>s</sub> (MPa)	D <sub>r</sub>	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G <sub>0</sub> (MPa)	Undrained strength, S <sub>u</sub> (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
1.80	0.61	3.36E-08 (±1.37E-08)	4.8 (±0.4)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	14.2 (±0.9)	30.4 (±1.2)	72.2 (±4.8)	1.7 (±0.2)	8.0 (±0.8)	17.3 (±0.2)
2.41												
2.41	2.07	1.89E-08 (±1.06E-08)	4.5 (±0.5)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	12.5 (±1.7)	29.8 (±3.9)	63.7 (±8.7)	1.2 (±0.1)	5.7 (±0.6)	17.0 (±0.3)
4.48												
4.48	1.60	4.36E-09 (±3.09E-09)	4.5 (±0.5)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	8.6 (±2.2)	32.3 (±1.2)	53.0 (±6.2)	0.8 (±0.1)	3.8 (±0.6)	17.0 (±0.2)
6.08												
6.08	2.85	2.62E-08 (±2.51E-08)	7.4 (±0.9)	40.3 (±0.4)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	21.0 (±3.6)	47.2 (±4.4)	107.1 (±18.0)	1.3 (±0.2)	6.1 (±0.9)	17.7 (±0.3)
8.93												
8.93	2.86	5.73E-09 (±5.07E-08)	7.1 (±1.9)	56.2 (±3.2)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	12.0 (±10.0)	48.2 (±10.1)	81.1 (±40.3)	0.8 (±0.4)	3.7 (±1.9)	17.5 (±0.5)
11.79												
11.79	0.90	1.18E-09 (±1.28E-09)	7.4 (±0.9)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	8.2 (±3.3)	55.7 (±7.1)	70.0 (±14.6)	0.6 (±0.1)	2.7 (±0.6)	17.9 (±0.4)
12.69												
12.69	0.89	4.66E-09 (±3.48E-09)	9.9 (±0.9)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	20.9 (±2.8)	69.5 (±7.9)	115.4 (±8.7)	0.9 (±0.1)	4.3 (±0.3)	18.3 (±0.4)
13.58												
13.58	0.62	2.03E-09 (±2.56E-09)	8.3 (±0.8)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	11.0 (±3.0)	60.4 (±8.6)	85.8 (±10.8)	0.7 (±0.1)	3.0 (±0.4)	17.9 (±0.5)
14.20												
14.20	1.03	7.36E-09 (±5.01E-08)	10.1 (±2.3)	64.2 (±0.9)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	17.8 (±15.4)	66.8 (±8.0)	120.3 (±61.9)	0.9 (±0.5)	4.1 (±2.2)	18.1 (±0.3)
15.23												
15.23	2.41	1.81E-09 (±7.88E-07)	6.7 (±1.6)	45.2 (±45.2)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	4.4 (±10.3)	43.6 (±6.6)	56.2 (±16.3)	0.4 (±0.1)	1.7 (±0.5)	16.7 (±0.4)
17.64												
17.64	1.80	3.85E-06 (±1.34E-05)	23.6 (±4.2)	80.2 (±7.8)	39.3 (±7.1)	36.6 (±1.6)	95.1 (±13.5)	100.6 (±9.8)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	18.7 (±0.3)
19.44												

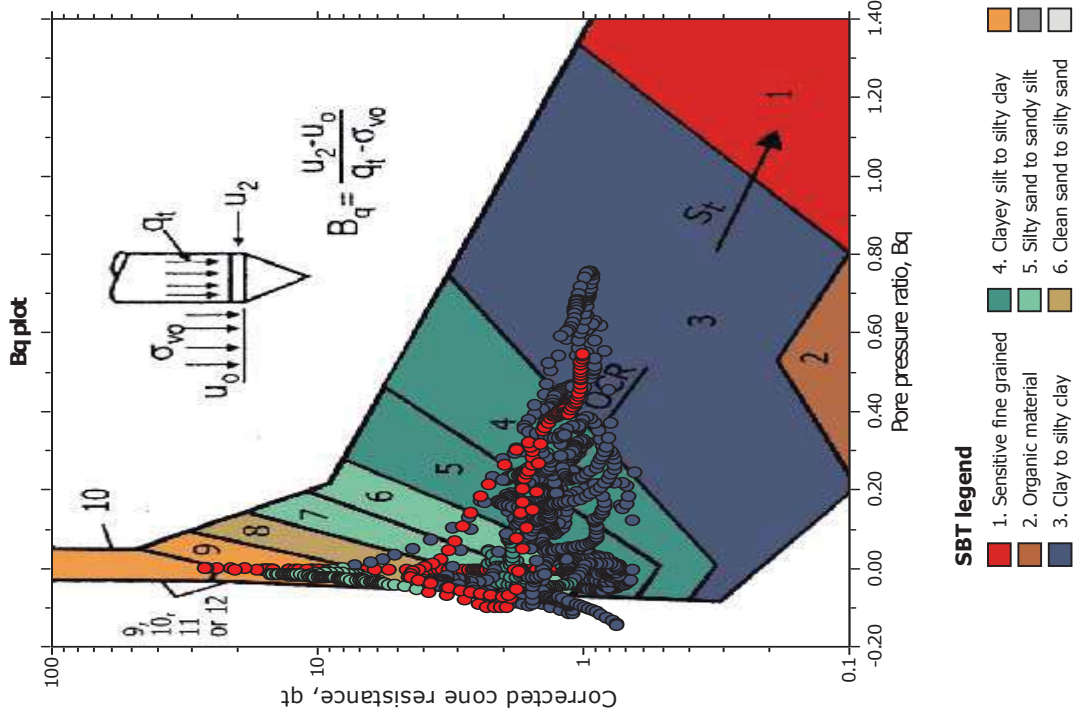
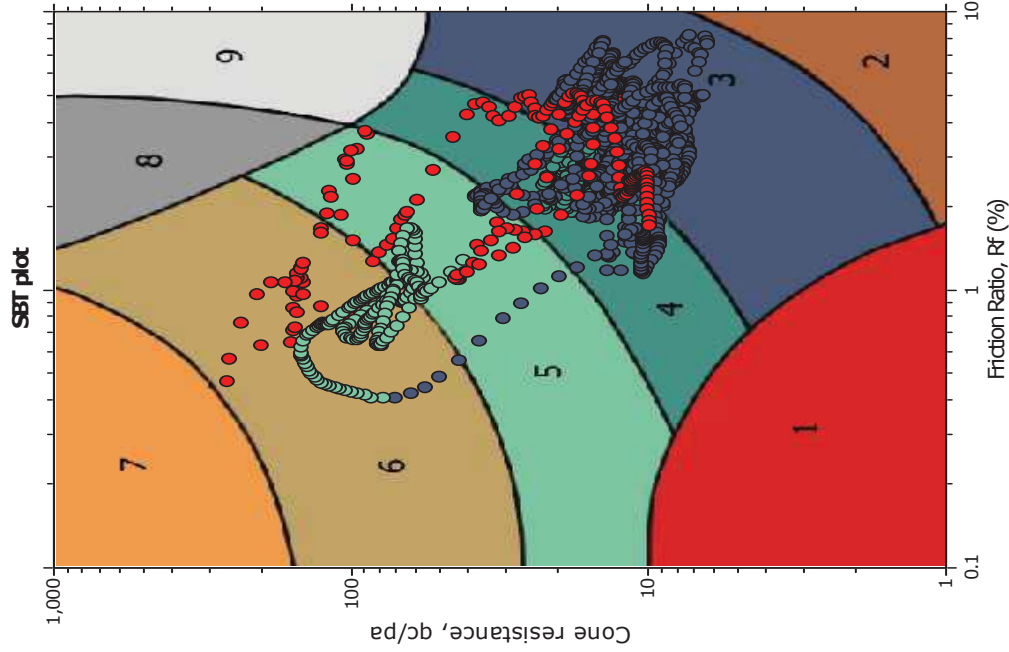
Depth values presented in this table are measured from free ground surface



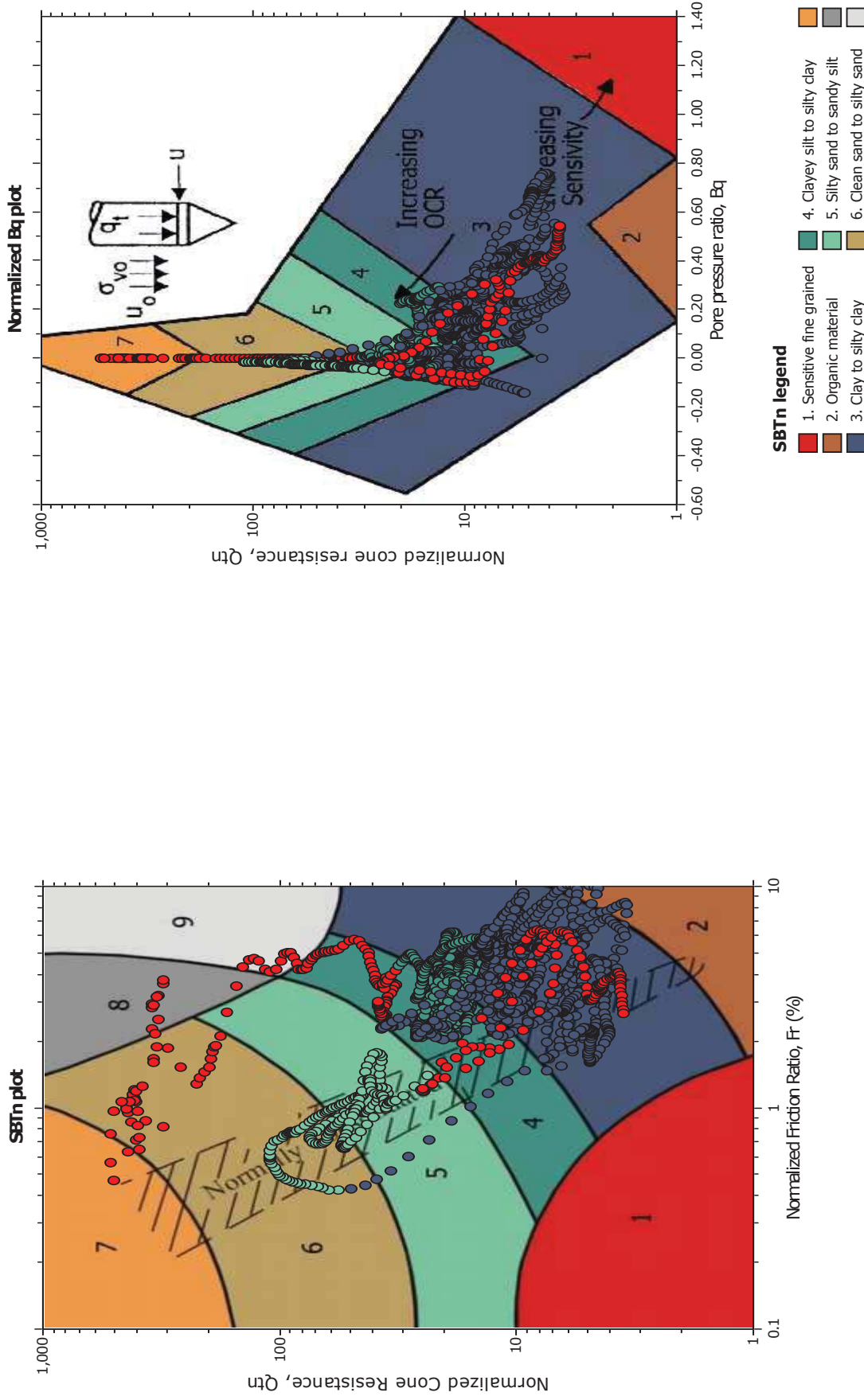
The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw  $q_c$  and  $f_s$  values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).

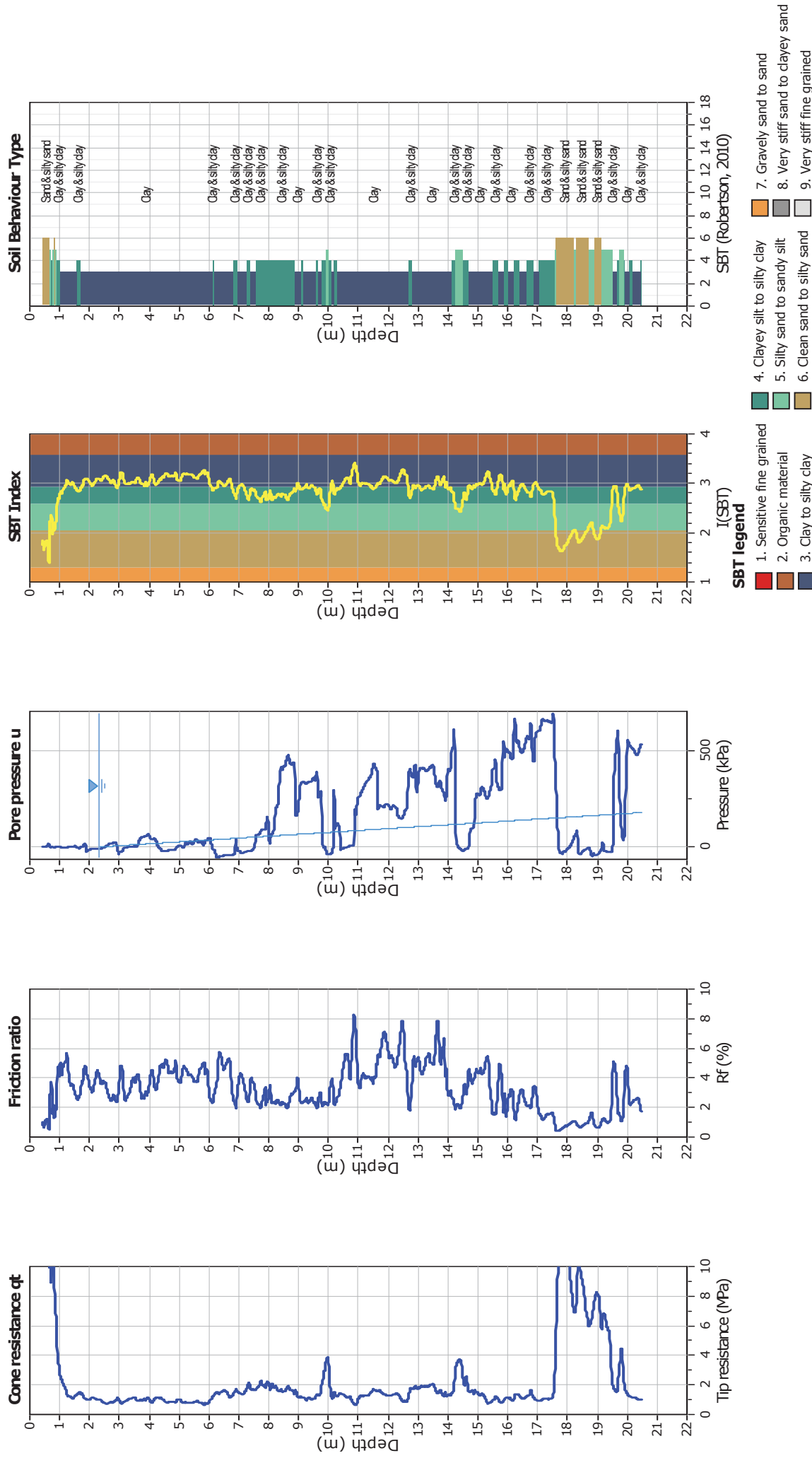


## SBT - Bq plots

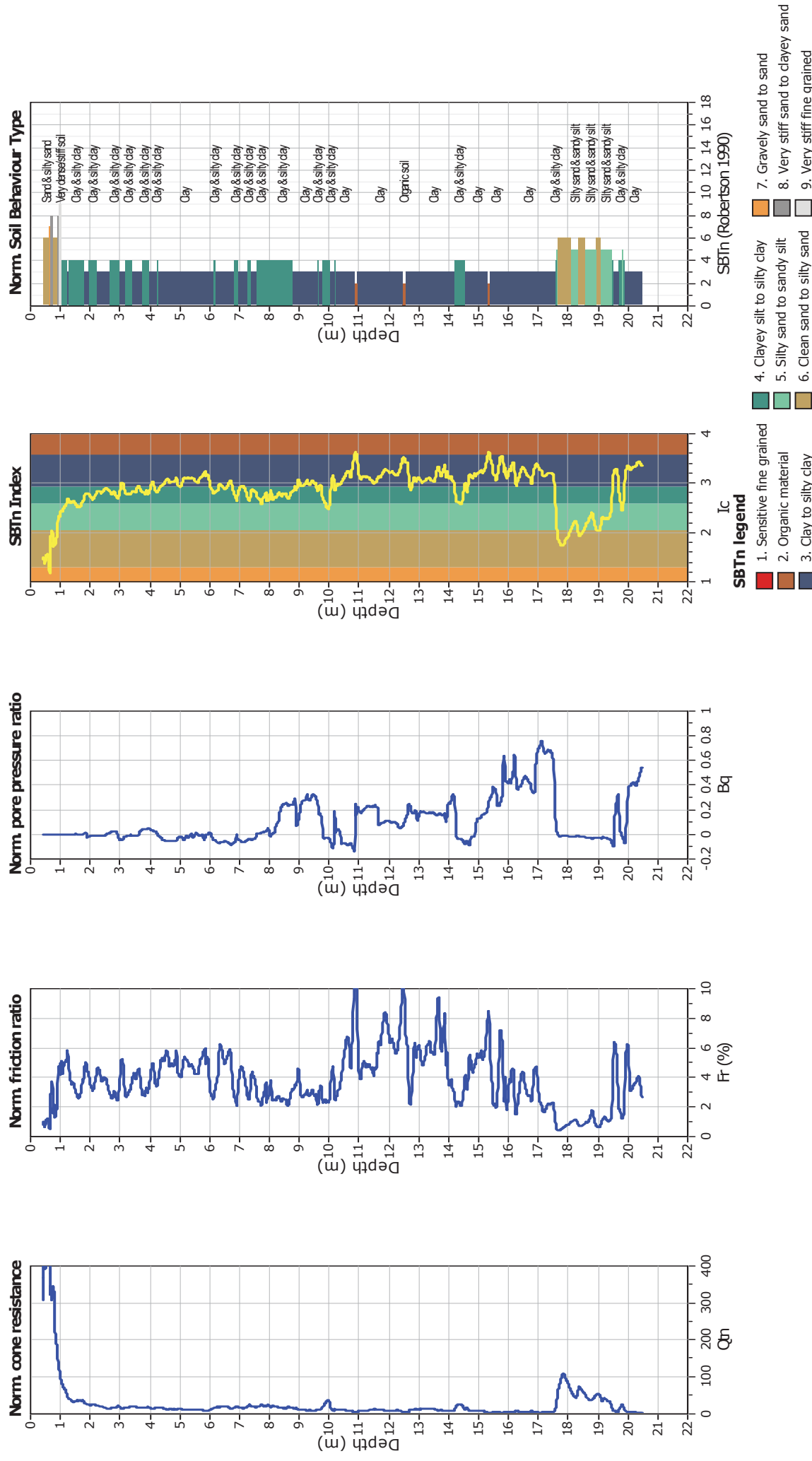


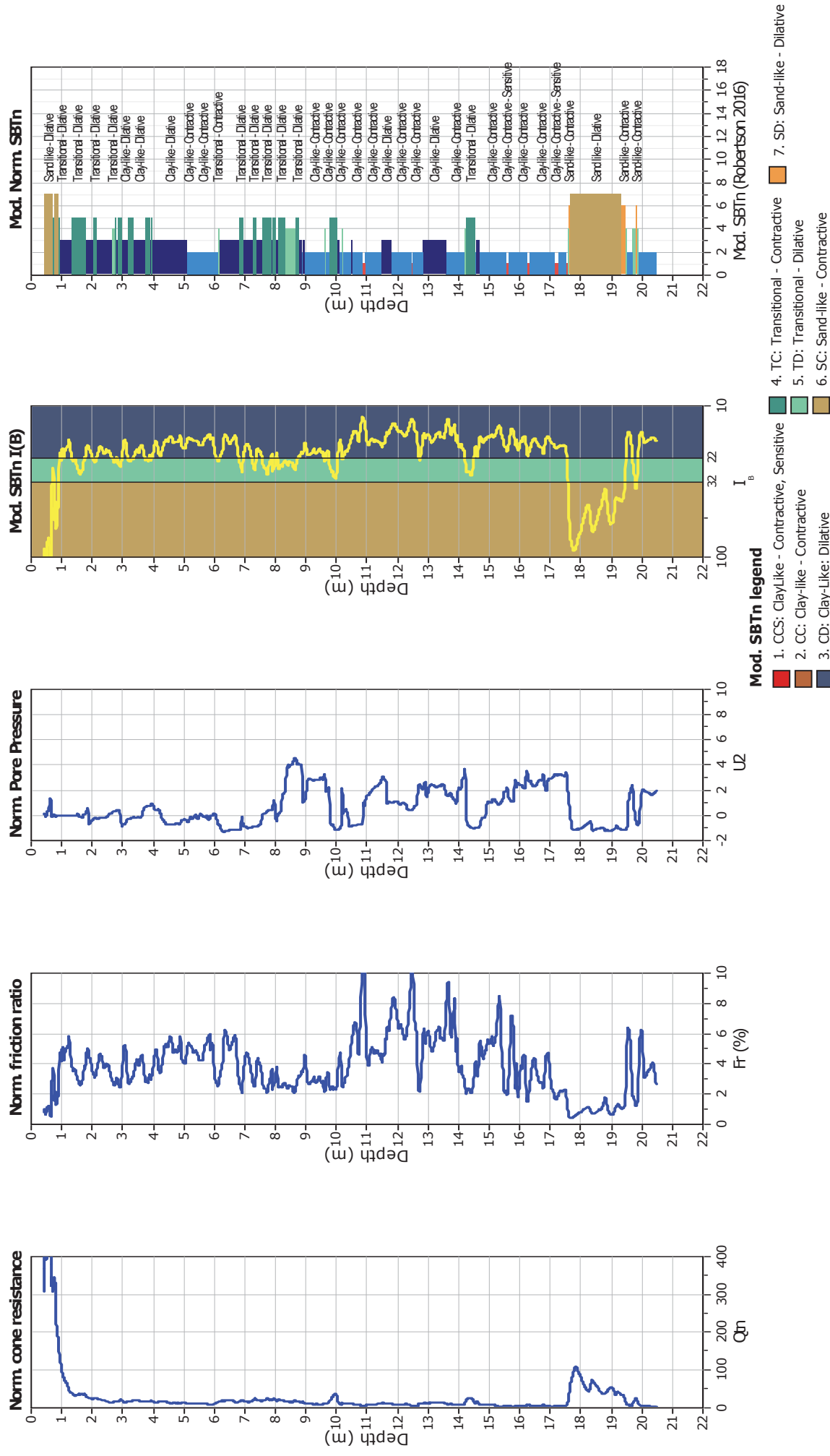
## SBT - Bq plots (normalized)



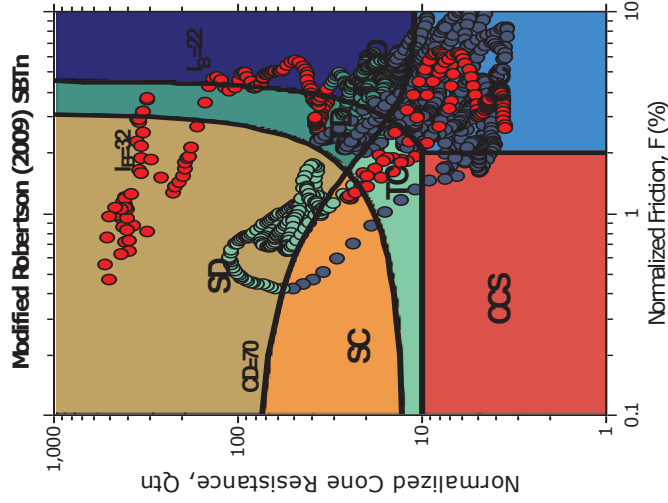




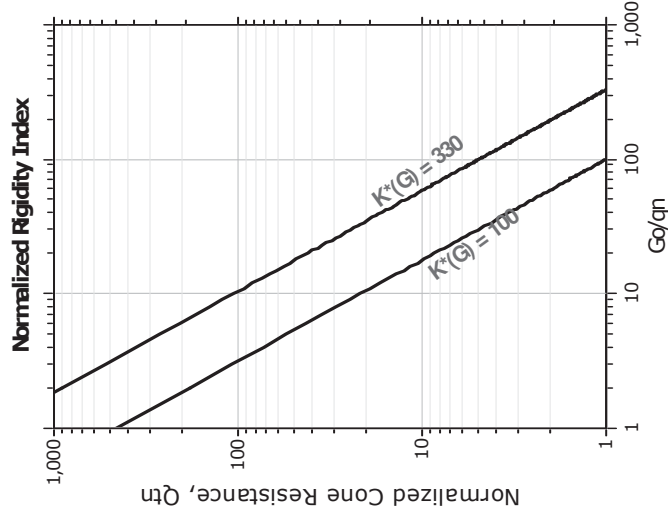
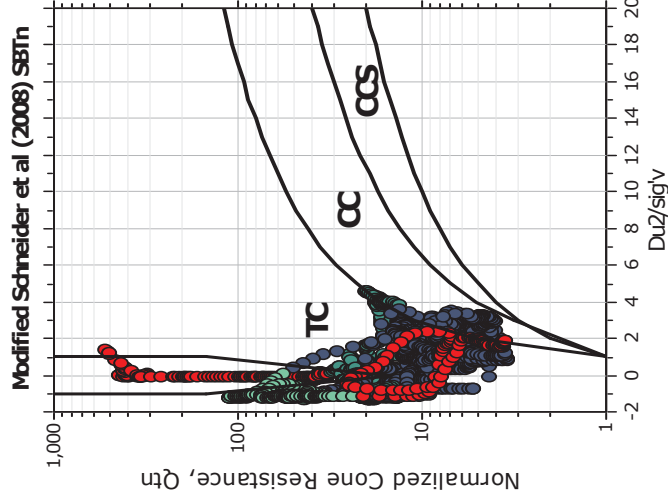




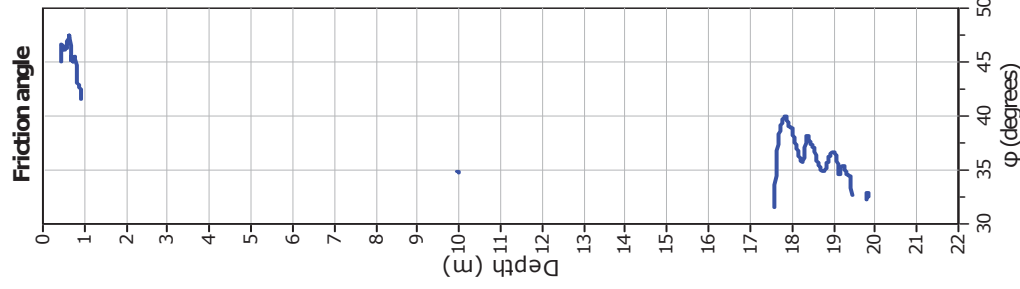
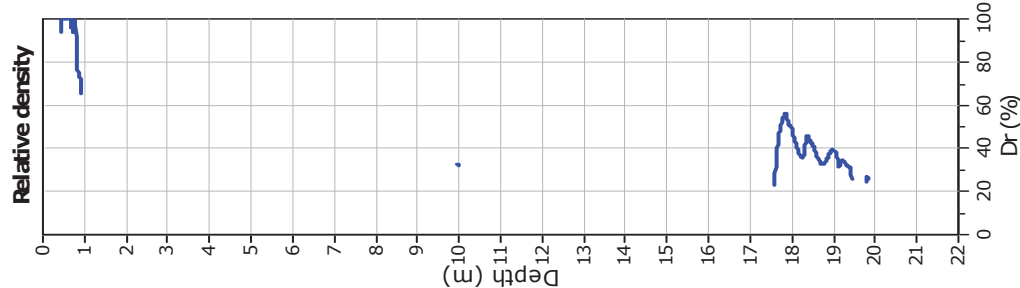
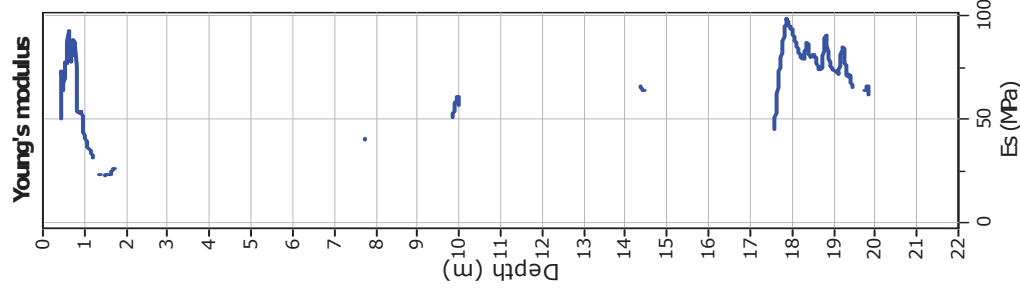
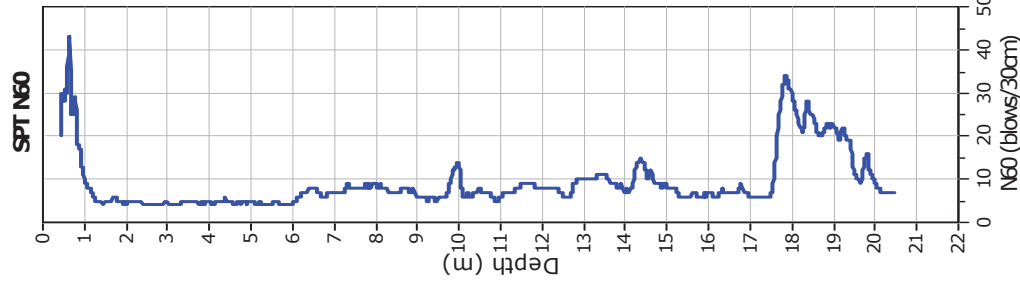
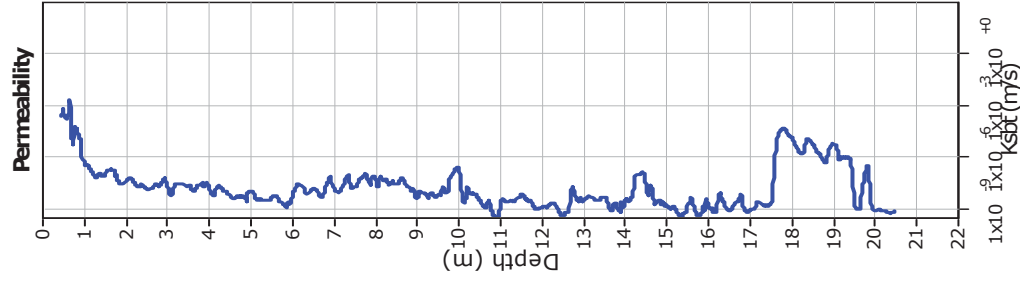
## Updated SBTn plots



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



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



#### Calculation parameters

Permeability: Based on  $SBT_n$

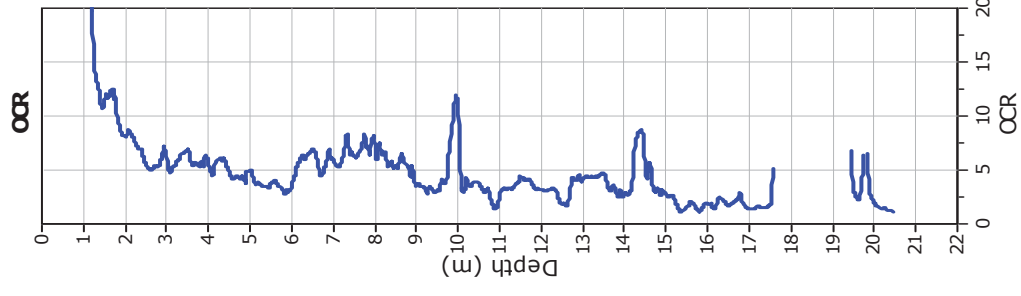
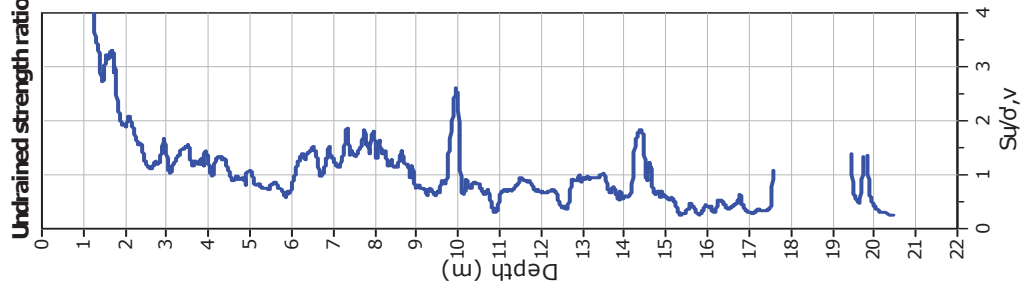
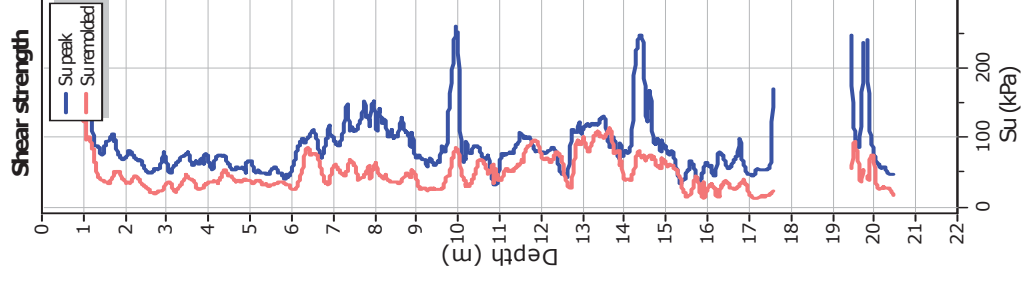
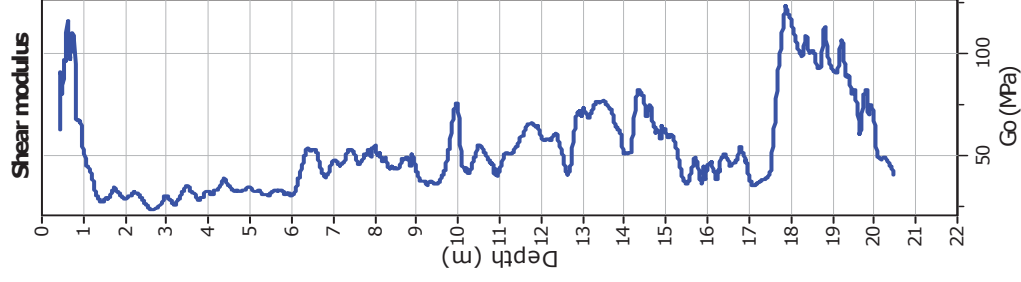
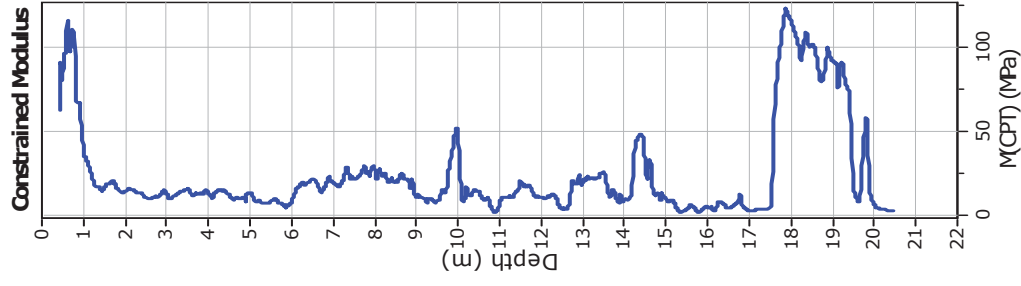
SPT  $N_{60}$ : Based on  $I_c$  and  $q_t$

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

Relative density constant,  $C_{or}$ : 350.0

Phi: Based on Kulhawy & Mayne (1990)

—●— User defined estimation data



#### Calculation parameters

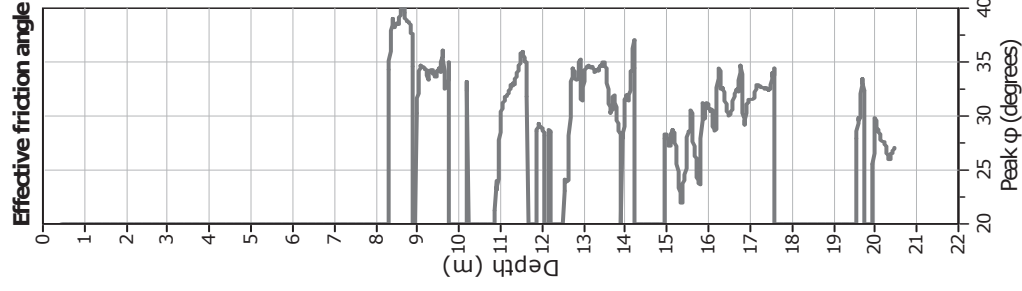
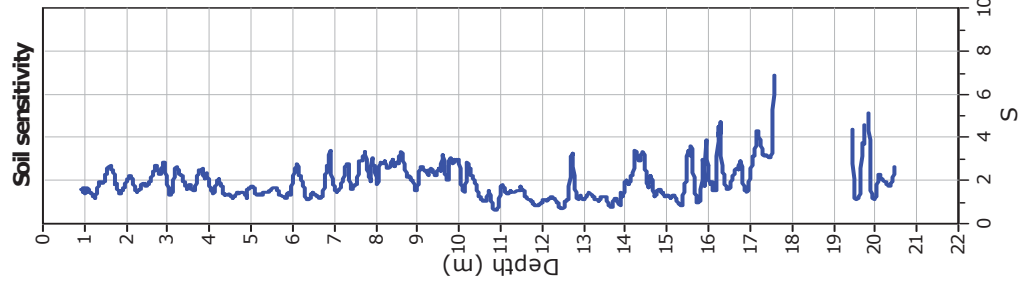
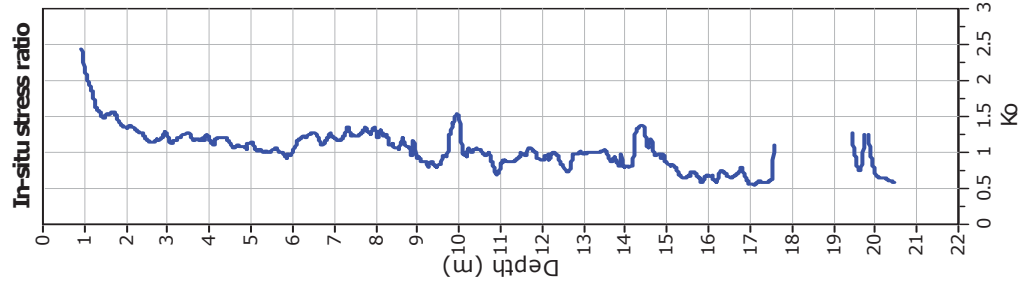
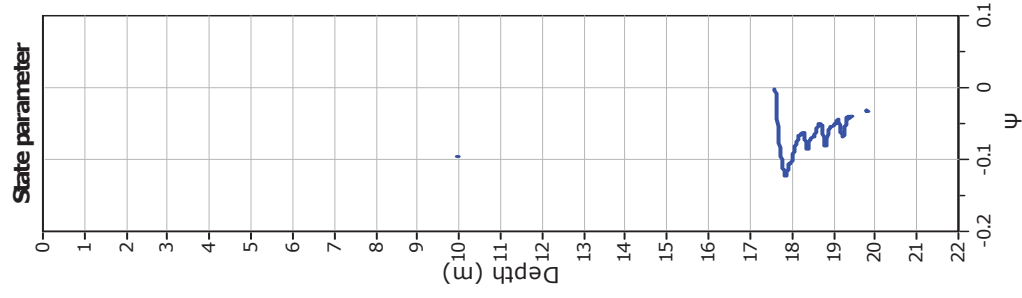
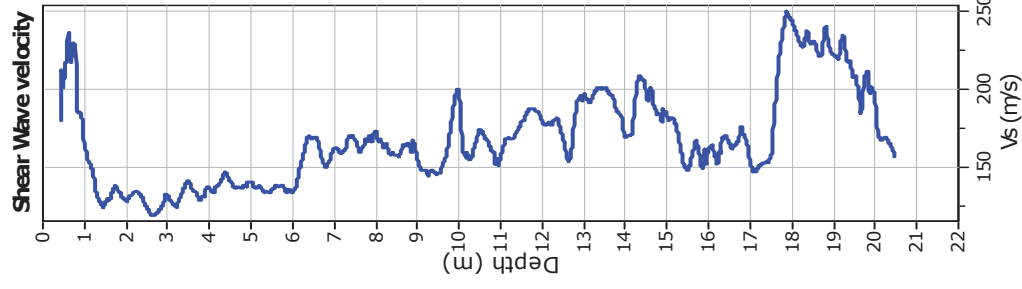
Constrained modulus: Based on variable  $\alpha/\rho/\eta$  using  $I_c$  and  $Q_m$  (Robertson, 2009)  
 Go: Based on variable  $\alpha/\rho/\eta$  using  $I_c$  (Robertson, 2009)

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

—●— User defined estimation data  
 —●— Flat Dilatometer Test data

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





#### Calculation parameters

Soil Sensitivity factor,  $N_s$ : 7.00

—●— User defined estimation data



# GEO GROUP Srl

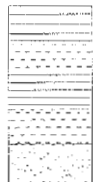
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41123 Modena  
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)  
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-59.60.176 p.IVA e C.F. 02981500362  
e-mail: [info@geogroupmodena.it](mailto:info@geogroupmodena.it) web: [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it)



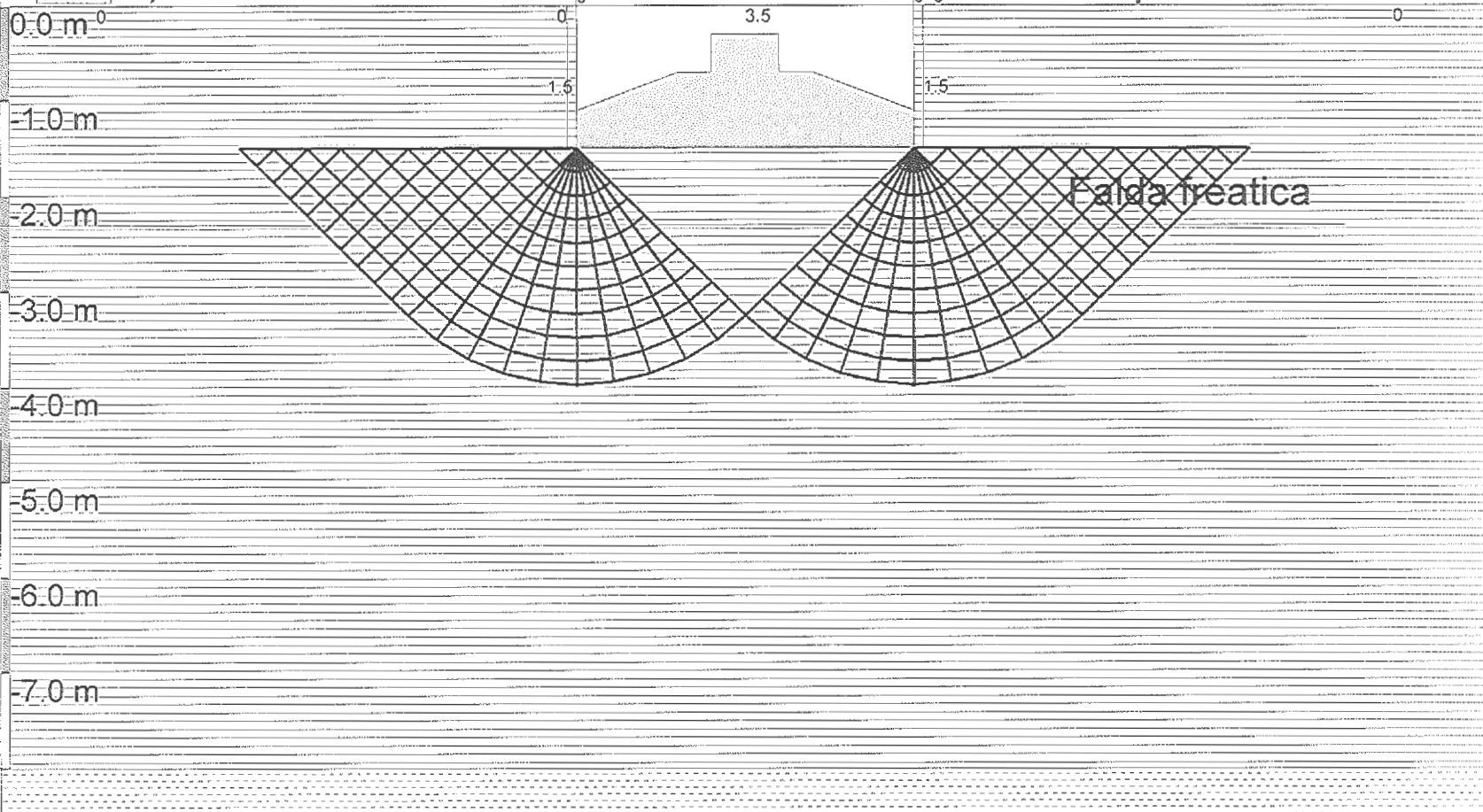
## **ALLEGATO N. 2**

### **Verifiche geotecniche**

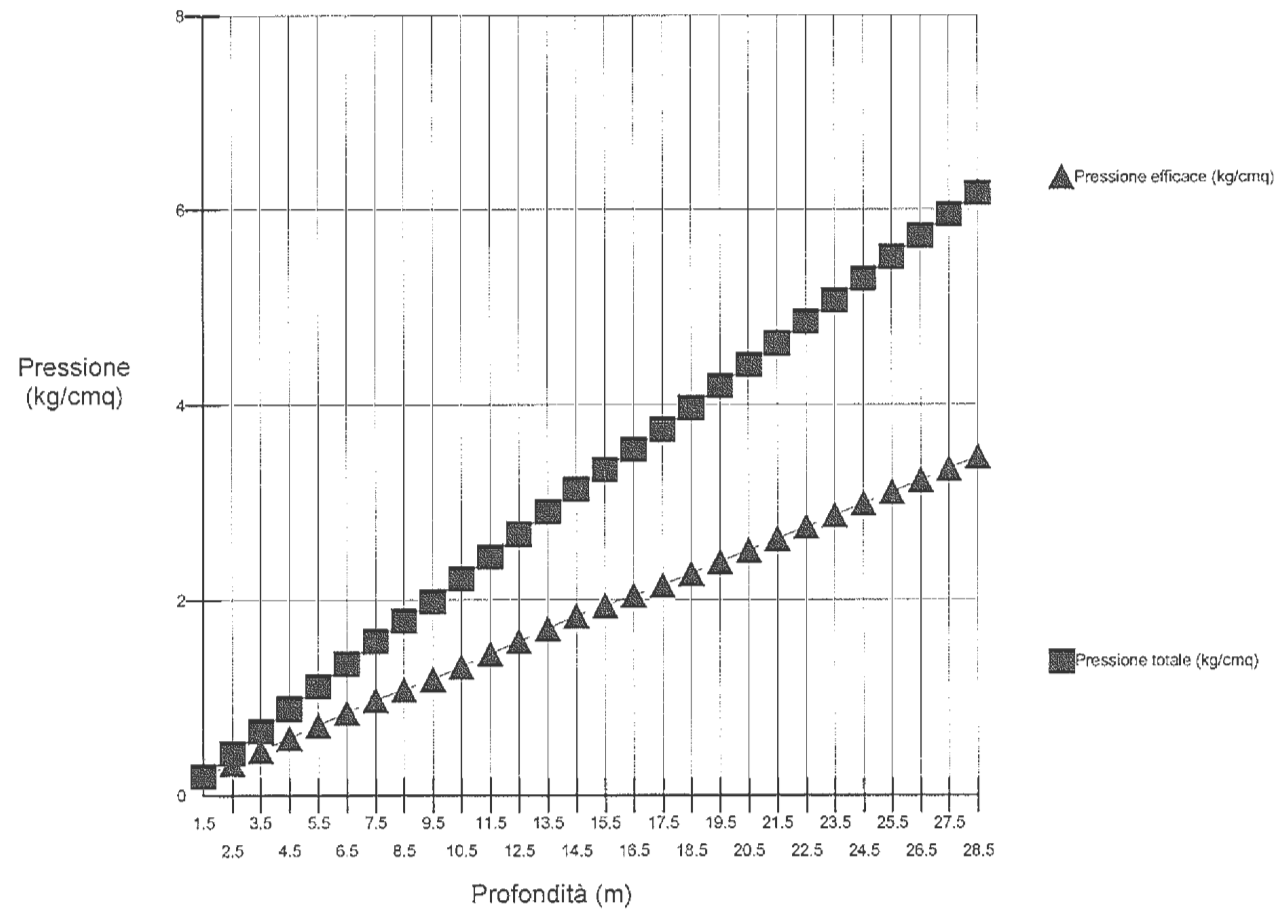
N.1		Commitente:					
		Località:					
		Data:					
Falda (m):2.3		Note:					
Tipologia fondazione:plinto							
Legenda: Phi(°)=angolo d'attrito - C(kg/cm <sup>q</sup> )=coesione - E(kg/cm <sup>q</sup> )=modulo di deformazione Pv(kg/mc)=peso di volume naturale							
H(m)		Φ	Descrizione	Phi (°)	C (kg/cm <sup>q</sup> )	E (kg/cm <sup>q</sup> )	Pv (kg/mc)
0.0	0.0						
1.0							
2.0							
3.0							
4.0			Argilla o argilla limosa mediamente consistente.	0	0.5	45.0	1301.2
5.0							
6.0							
7.0							
8.0	8.0		Argilla o argilla limosa poco consistente.	0	0.3	25.0	1050.0
9.0							
10.0	10.0		Argilla o argilla limosa a medio elevata consistenza.	0	0.9	80.0	1300.0
11.0							
12.0							
13.0							
14.0							
15.0	14.8		Argilla o argilla limosa poco consistente.	0	0.3	30.0	1050.0
16.0							
17.0							
18.0	18.0		Sabbia o sabbia limosa mediamente addensata	36	0.0	760.0	1200.0
19.0							
20.0							
21.0							
22.0							



- 1) Argilla o argilla limosa mediamente consistente.
- 2) Argilla o argilla limosa poco consistente.
- 3) Argilla o argilla limosa a medio elevata consistenza.
- 4) Argilla o argilla limosa poco consistente.
- 5) Sabbia o sabbia limosa mediamente addensata



Andamento della pressione totale ed efficace del terreno

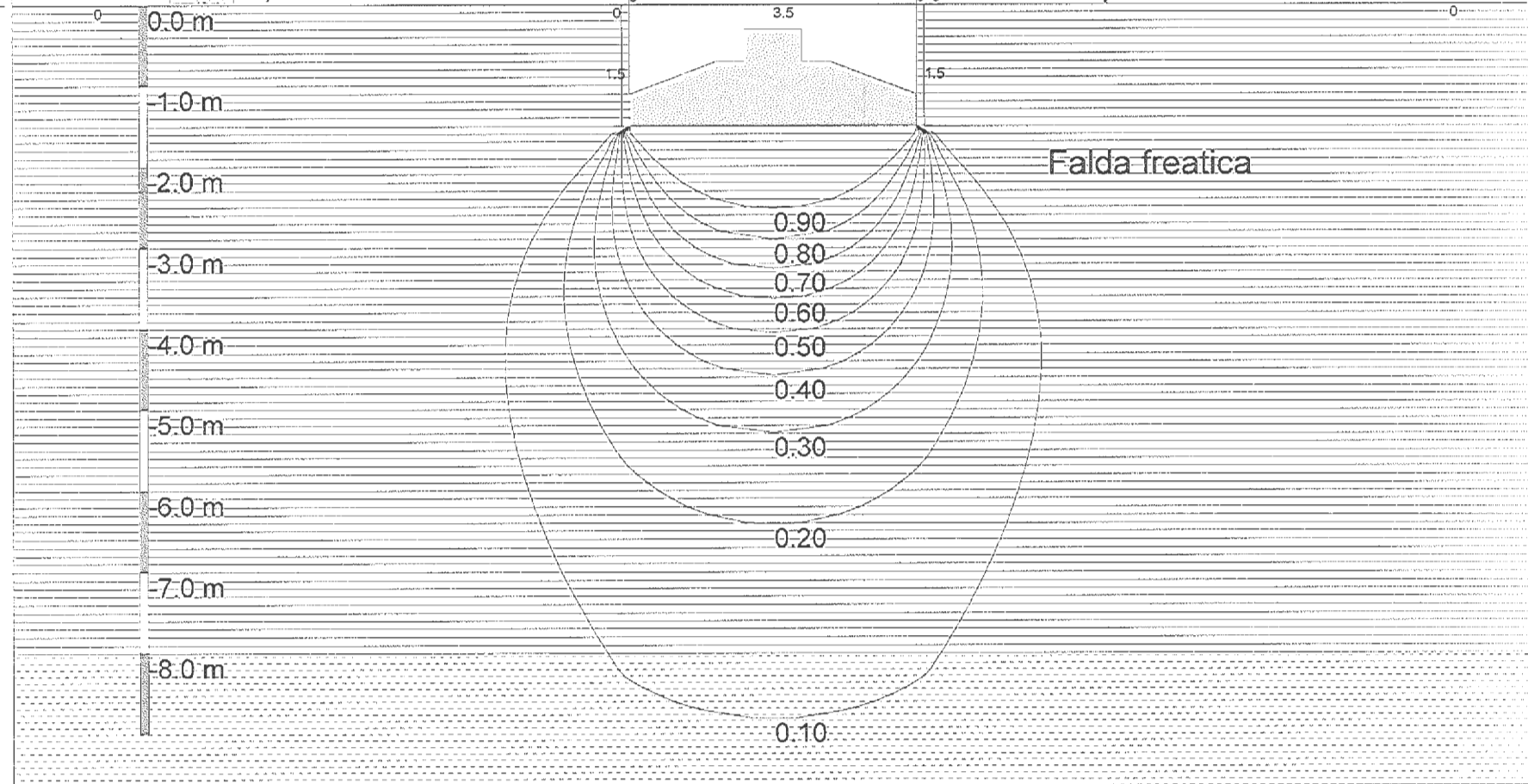




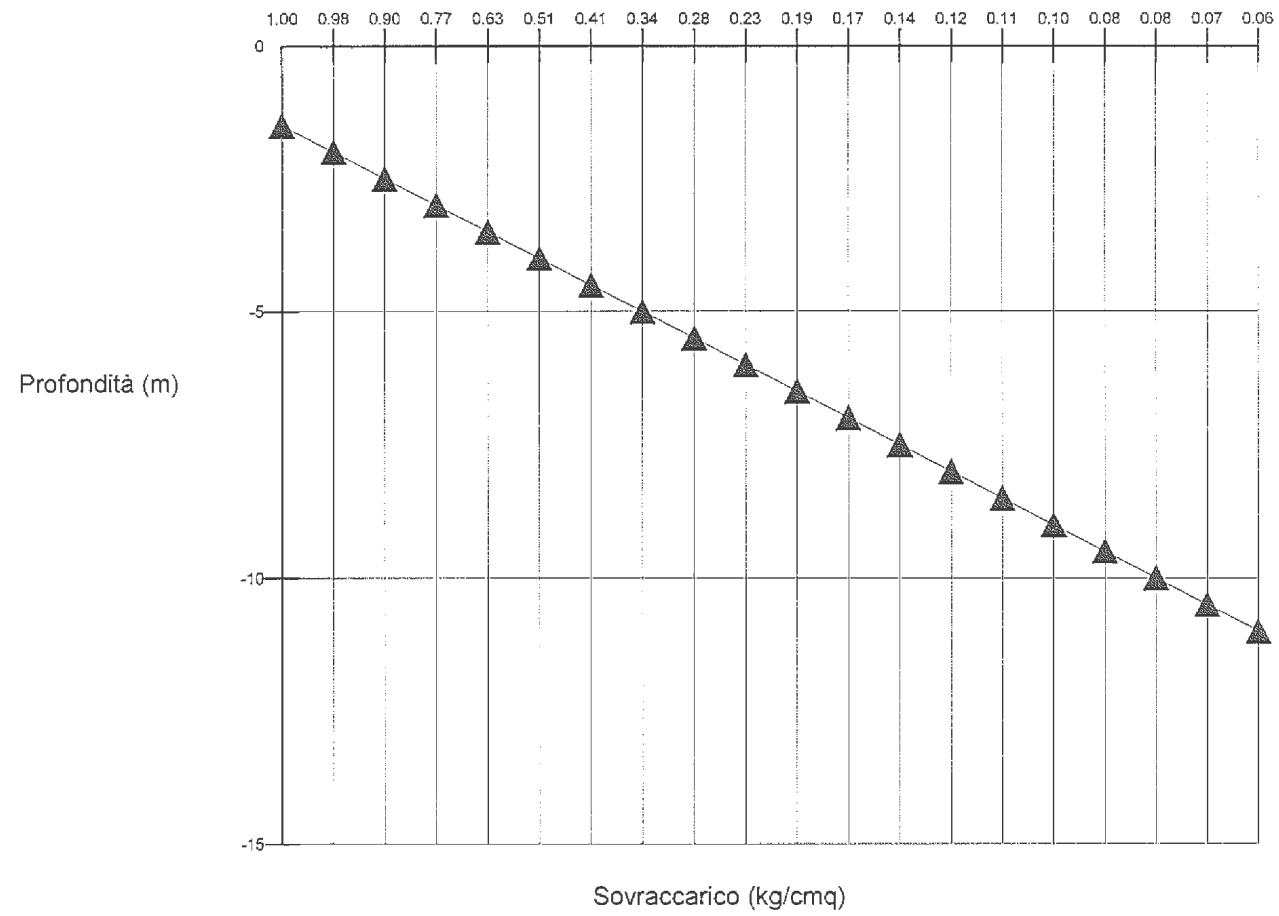
- 1) Argilla o argilla limosa mediamente consistente.
- 2) Argilla o argilla limosa poco consistente.
- 3) Argilla o argilla limosa a medio elevata consistenza.
- 4) Argilla o argilla limosa poco consistente.
- 5) Sabbia o sabbia limosa mediamente addensata

Cuneo di portanza

Falda freatica



Andamento delle sollecitazioni: criterio di Newmark



## DATI GEOMETRICI DELLA FONDAZIONE

Tipologia della fondazione:plinto  
Geometria della fondazione:  
Larghezza della base (m):3.50  
Lunghezza della fondazione (m):3.50  
Eccentricità della base - lato corto (m):0.00  
Eccentricità della base - lato lungo (m):0.00  
Profondità di posa - lato destro (m):1.50  
Profondità di posa - lato sinistro (m):1.50  
Profondità dello scavo - lato destro (m):0.00  
Profondità dello scavo - lato sinistro (m):0.00  
Larghezza dello scavo - lato destro (m):0.00  
Larghezza dello scavo - lato sinistro (m):0.00  
Inclinazione del pendio - lato a valle (°):0  
Inclinazione del pendio - lato a monte (°):0  
Inclinazione della base - lato corto (°):0  
Inclinazione della base - lato lungo (°):0  
Inclinazione del carico - lato corto (°):0  
Inclinazione del carico - lato lungo (°):0  
Fondazione di tipo:elastica  
Densità del calcestruzzo (kg/mc):2500.00

## FALDA

Profilo della falda

N	X (m)	Y(m)
1	-6.00	-2.30
2	8.00	-2.30

## STRATIGRAFIA

Profilo strato n. 1

N	X (m)	Y(m)
1	-7.55	0.00
2	0.00	0.00
3	0.00	0.00
4	0.00	0.00
5	0.00	-1.50
6	3.50	-1.50
7	3.50	0.00
8	3.50	0.00
9	3.50	0.00
10	11.05	0.00

Strato n. 1 - Descrizione: Argilla o argilla limosa mediamente consistente.  
Densità relativa Dr(%): 0  
Angolo d'attrito Phi(°):0.00  
Gamma sopra falda (kg/mc):1800.00

Gamma saturo (kg/mc):2100.00  
 Coesione (kg/cm<sup>2</sup>):0.50  
 Mod.deformazione (kg/cm<sup>2</sup>):45.00  
 Indice vuoti:0.00  
 O.C.R.:2.00  
 Indice compr.princ.:0.00  
 Indice compr.sec.:0.00  
 Indice ricompr.:0.00  
 Coef.consolidazione(cm<sup>2</sup>/s):0.00  
 Coef.di Poisson:0.40  
 R.Q.D.(%):0.00  
 Nspt medio:0  
 Rp(kg/cm<sup>2</sup>):0.00

#### Profilo strato n. 2

N	X (m)	Y(m)
1	-6.00	-8.00
2	9.50	-8.00

Strato n. 2 - Descrizione: Argilla o argilla limosa poco consistente.

Densità relativa Dr(%): 0  
 Angolo d'attrito Phi(°):0.00  
 Gamma sopra falda (kg/mc):1750.00  
 Gamma saturo (kg/mc):2050.00  
 Coesione (kg/cm<sup>2</sup>):0.30  
 Mod.deformazione (kg/cm<sup>2</sup>):25.00  
 Indice vuoti:0.00  
 O.C.R.:1.00  
 Indice compr.princ.:0.00  
 Indice compr.sec.:0.00  
 Indice ricompr.:0.00  
 Coef.consolidazione(cm<sup>2</sup>/s):0.00  
 Coef.di Poisson:0.50  
 R.Q.D.(%):0.00  
 Nspt medio:0  
 Rp(kg/cm<sup>2</sup>):0.00

#### Profilo strato n. 3

N	X (m)	Y(m)
1	-6.00	-10.00
2	9.50	-10.00

Strato n. 3 - Descrizione: Argilla o argilla limosa a medio elevata consistenza.

Densità relativa Dr(%): 0  
 Angolo d'attrito Phi(°):0.00  
 Gamma sopra falda (kg/mc):2100.00  
 Gamma saturo (kg/mc):2300.00  
 Coesione (kg/cm<sup>2</sup>):0.90  
 Mod.deformazione (kg/cm<sup>2</sup>):80.00

Indice vuoti:0.00  
O.C.R.:3.00  
Indice compr.princ.:0.00  
Indice compr.sec.:0.00  
Indice ricompr.:0.00  
Coef.consolidazione(cm<sup>2</sup>/s):0.00  
Coef.di Poisson:0.30  
R.Q.D.(%):0.00  
Nspt medio:0  
Rp(kg/cmq):0.00

#### Profilo strato n. 4

N	X (m)	Y(m)
1	-6.00	-14.80
2	9.50	-14.80

Strato n. 4 - Descrizione: Argilla o argilla limosa poco consistente.

Densità relativa Dr(%): 0  
Angolo d'attrito Phi(°):0.00  
Gamma sopra falda (kg/mc):1750.00  
Gamma saturo (kg/mc):2050.00  
Coesione (kg/cmq):0.35  
Mod.deformazione (kg/cmq):30.00  
Indice vuoti:0.00  
O.C.R.:1.00  
Indice compr.princ.:0.00  
Indice compr.sec.:0.00  
Indice ricompr.:0.00  
Coef.consolidazione(cm<sup>2</sup>/s):0.00  
Coef.di Poisson:0.50  
R.Q.D.(%):0.00  
Nspt medio:0  
Rp(kg/cmq):0.00

#### Profilo strato n. 5

N	X (m)	Y(m)
1	-6.00	-18.00
2	9.50	-18.00

Strato n. 5 - Descrizione: Sabbia o sabbia limosa mediamente addensata

Densità relativa Dr(%): 35  
Angolo d'attrito Phi(°):36.00  
Gamma sopra falda (kg/mc):1900.00  
Gamma saturo (kg/mc):2200.00  
Coesione (kg/cmq):0.00  
Mod.deformazione (kg/cmq):760.00  
Indice vuoti:0.00  
O.C.R.:1.00  
Indice compr.princ.:0.00



Indice compr.sec.:0.00  
Indice ricompr.:0.00  
Coef.consolidazione(cm<sup>2</sup>/s):0.00  
Coef.di Poisson:0.30  
R.Q.D.(%):0.00  
Nspt medio:0  
Rp(kg/cmq):0.00

#### PORTANZA DELLA FONDAZIONE

Profondità di calcolo:1.75  
Criterio di calcolo:Terzaghi  
Portanza limite della fondazione (kg/cmq):3.91  
Coefficiente di sicurezza:2.30  
Portanza ammissibile della fondazione (kg/cmq):1.70  
Fattore di portanza Nq:1.00  
Fattore di portanza Ng:0.00  
Fattore di portanza Nc:5.71  
Fattore di forma Sq:1.00  
Fattore di forma Sg:0.80  
Fattore di forma Sc:1.30  
Fattore di approfondimento Dq:1.00  
Fattore di approfondimento Dg:1.00  
Fattore di approfondimento Dc:1.00  
Fattore di inclinazione dei carichi Iq:1.00  
Fattore di inclinazione dei carichi Ig:1.00  
Fattore di inclinazione dei carichi Ic:1.00  
Fattore di inclinazione della base Bq:1.00  
Fattore di inclinazione della base Bg:1.00  
Fattore di inclinazione della base Bc:1.00  
Fattore di pendio Gq:1.00  
Fattore di pendio Gg:1.00  
Fattore di pendio Gc:1.00  
Peso di volume medio sopra il piano di posa (kg/mc):1301.25

#### CEDIMENTI DELLA FONDAZIONE CPT n. 1

Carico applicato sulla fondazione (kg/cmq) :1.00  
Metodo di calcolo strati incoerenti:  
Cedimento immediato (cm):0.00  
Cedimento secondario (cm):0.00  
Cedimento massimo della fondazione (cm):0.00  
Cedimento minimo della fondazione (cm):0.00  
Cedimento totale degli strati incoerenti (cm):0.00  
Metodo di calcolo strati coesivi:Steinbrenner  
Cedimento di consolidazione (cm):0.00  
Cedimento secondario (cm):0.00  
Cedimento totale degli strati coesivi (cm):2.36  
Cedimento totale del terreno di fondazione (cm):2.36

## COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE

Calcolo del coefficiente di sottofondazione - K di Winkler.

Criterio di calcolo :Bowles

Carico applicato sulla fondazione(kg/cm<sup>2</sup>):1.00

Cedimento di riferimento(cm):2.36

Coefficiente di sottofondazione (kg/cm<sup>2</sup>):1.29

## CEDIMENTI DELLA FONDAZIONE

Carico applicato sulla fondazione (kg/cm<sup>2</sup>) :1.00  
Metodo di calcolo strati incoerenti:  
Cedimento immediato (cm):0.00  
Cedimento secondario (cm):0.00  
Cedimento massimo della fondazione (cm):0.00  
Cedimento minimo della fondazione (cm):0.00  
Cedimento totale degli strati incoerenti (cm):0.00  
Metodo di calcolo strati coesivi:Steinbrenner  
Cedimento di consolidazione (cm):0.00  
Cedimento secondario (cm):0.00  
Cedimento totale degli strati coesivi (cm):1.72  
Cedimento totale del terreno di fondazione (cm):1.72



## GEO GROUP Srl

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41123 Modena  
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)  
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-59.60.176 p.IVA e C.F. 02981500362  
e-mail: [info@geogroupmodena.it](mailto:info@geogroupmodena.it) web: [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it)



### **ALLEGATO N. 3**

### **Indagine sismica MASW**



## GEO GROUP s.r.l.

Sede legale: Via C. Costa, 182 - 41123 MODENA

Sede operativa: vi Per Modena, 15 – 41051 Castelnuevo Rangone (MO)

Tel. 059/3967169 Fax. 059/5332019

E-mail: [geo.group@libero.it](mailto:geo.group@libero.it)

P.IVA e C.F. 02981500362

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

# ANALISI SISMICA DI SITO SECONDO METODOLOGIA MASW

**Cantiere:** Massa Lombarda (RA)

**Data:** 01/07/2019

**Lavoro:** Studio terreno di fondazione

**Operatori:** Dott. Francesco Bonacini, Dott. Cristiano Casarini

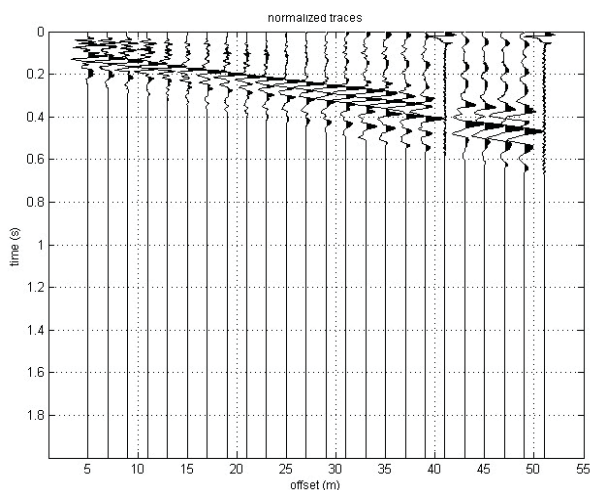
**Elaborazione:** Dott.ssa Sonia Gilioli

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

**MASW**  
**RIF. 406/19**



UBICAZIONE DELLO STENDIMENTO SISMICO IMPIEGATO





## GEO GROUP s.r.l.

Sede legale: Via C. Costa, 182 - 41123 MODENA

Sede operativa: vi Per Modena, 15 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)

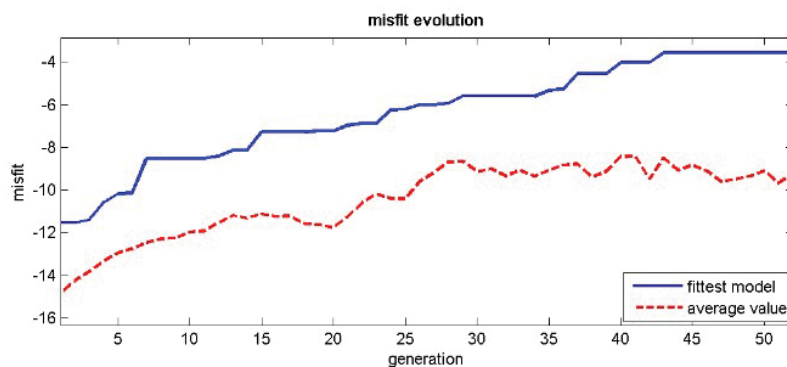
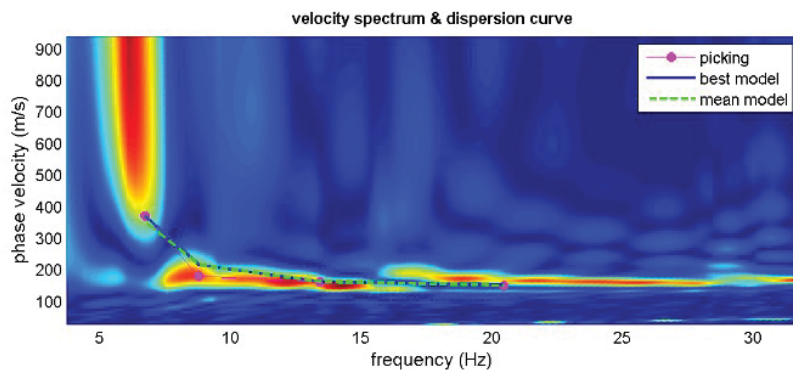
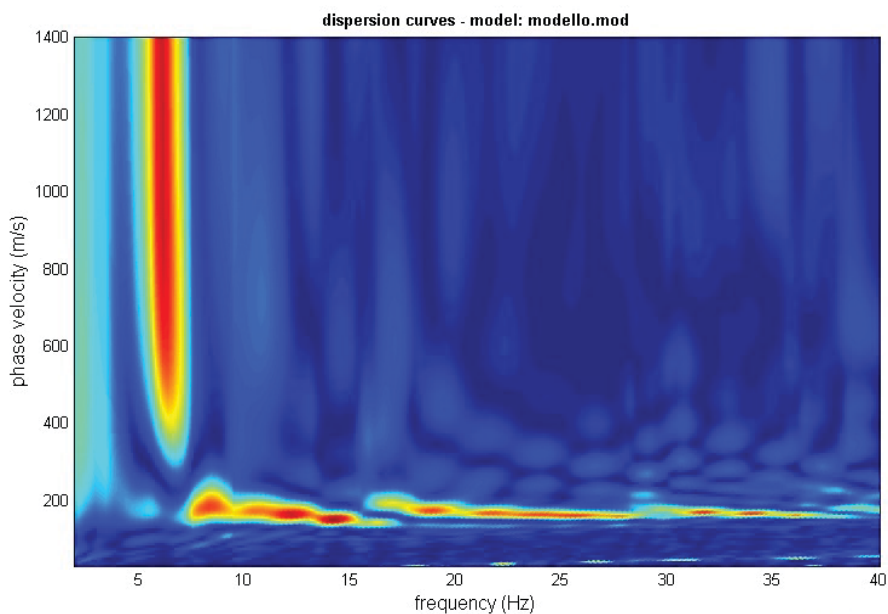
Tel. 059/3967169 Fax. 059/5332019

E-mail: [geo.group@libero.it](mailto:geo.group@libero.it)

P.IVA e C.F. 02981500362

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

## SPETTRO RELATIVO ALLE VELOCITÀ DI FASE REGISTRATE NEL DOMINIO DELLE FREQUENZE







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

## GEO GROUP s.r.l.

Sede legale: Via C. Costa, 182 - 41123 MODENA

Sede operativa: vi Per Modena, 15 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)

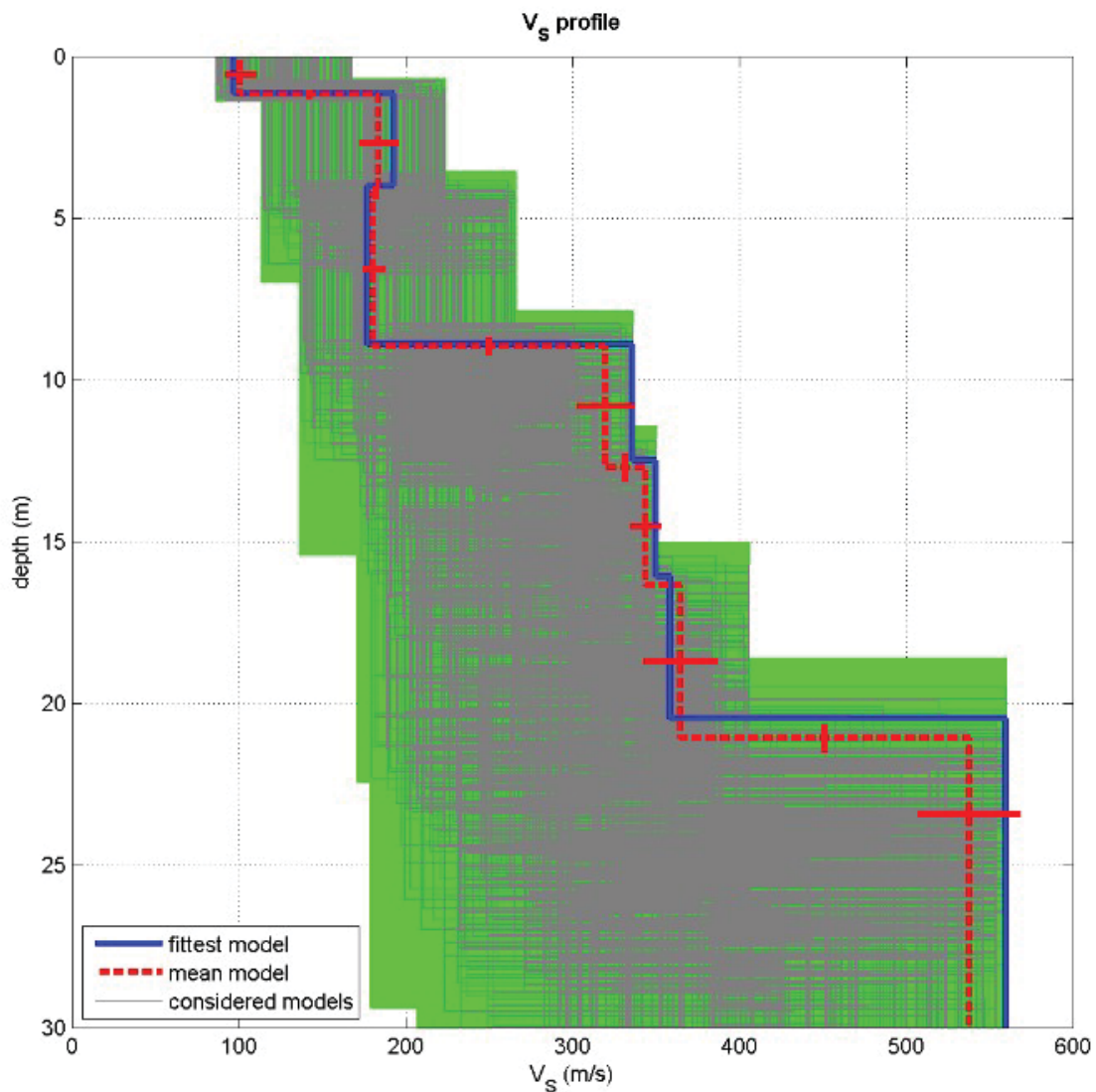
Tel. 059/3967169 Fax. 059/5332019

E-mail: [geo.group@libero.it](mailto:geo.group@libero.it)

P.IVA e C.F. 02981500362

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

## MODELLO $V_{s30}$ DERIVATO DALL'INDAGINE MASW ESEGUITA



dataset: 398.dat

dispersion curve: PICK.cdp

$V_{s30}$  (best model): 287 m/s

$V_{s30}$  (mean model): 282 m/s

half-space

**BEST MODEL**  
 **$V_{s30} = 287$  m/s**



## GEO GROUP Srl

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41123 Modena  
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)  
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-59.60.176 p.IVA e C.F. 02981500362  
e-mail: [info@geogroupmodena.it](mailto:info@geogroupmodena.it) web: [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it)



### **ALLEGATO N. 4**

### **Indagine sismica RE.MI**



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

Sede legale: Via C. Costa, 182 - 41123 MODENA  
Sede operativa: vi Per Modena, 15 – 41051 Castelnuevo Rangone (MO)  
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)

## **ANALISI SISMICA DI SITO SECONDO METODOLOGIA Re.Mi.**

**Cantiere:** Massa Lombarda (RA)

**Data:** 01/07/2019

**Lavoro:** Studio terreno di fondazione

**Operatori:** Dott. Francesco Bonacini, Dott. Cristiano Casarini

**Elaborazione:** Dott.ssa Sonia Gilioli

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

**RIF. Re.Mi.  
406/18**



**UBICAZIONE DELLO STENDIMENTO SISMICO IMPIEGATO**



## GEO GROUP s.r.l.

Sede legale: Via C. Costa, 182 - 41123 MODENA

Sede operativa: vi Per Modena, 15 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)

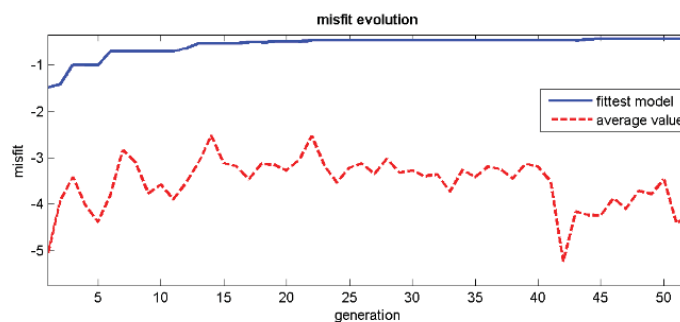
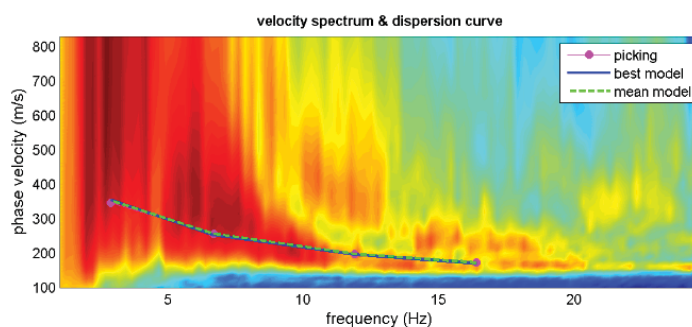
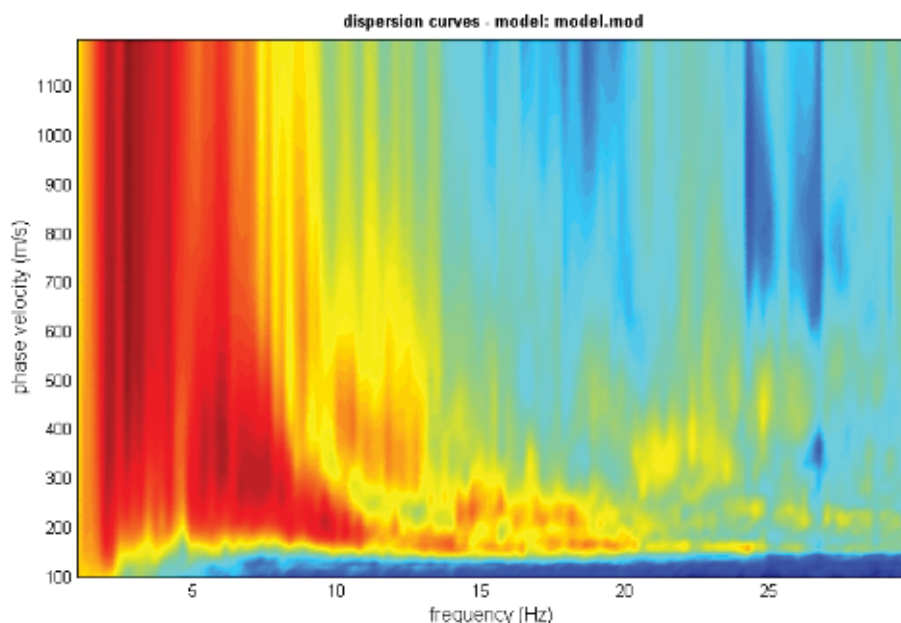
Tel. 059/3967169 Fax. 059/5960176

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

P.IVA e C.F. 02981500362

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

## SPETTRO RELATIVO ALLE VELOCITÀ DI FASE REGISTRATE NEL DOMINIO DELLE FREQUENZE





### GEO GROUP s.r.l.

Sede legale: Via C. Costa, 182 - 41123 MODENA

Sede operativa: via Per Modena, 15 – 41051 Castelnuevo Rangone (MO)

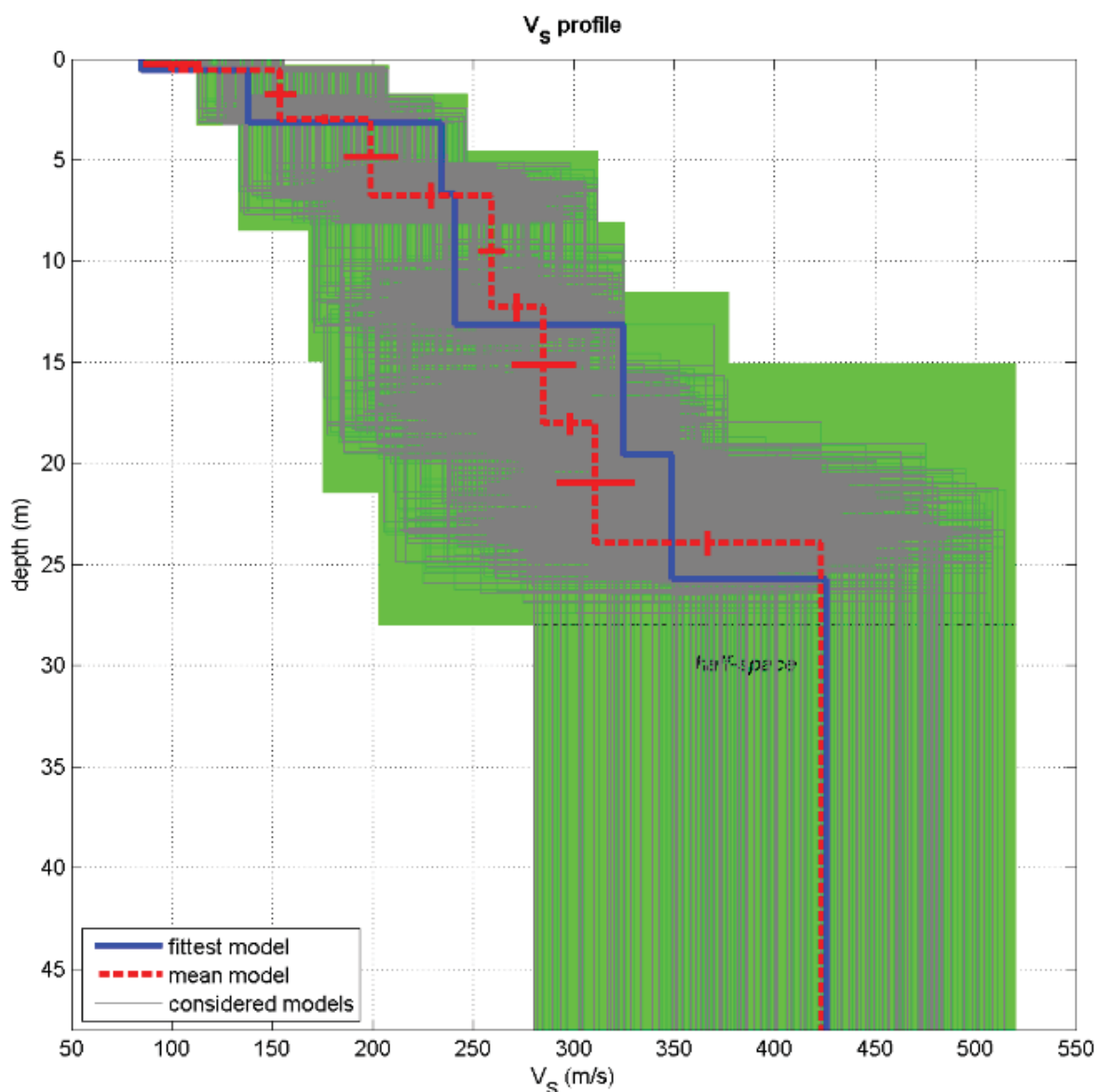
Tel. 059/3967169 Fax. 059/5332019

E-mail: [geo.group@libero.it](mailto:geo.group@libero.it)

P.IVA e C.F. 02981500362

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

## MODELLO $V_{s30}$ DERIVATO DALL'INDAGINE REMI ESEGUITA



dataset: spettr.mat

dispersion curve: pick.cdp

$V_{s30}$  (best model): 261 m/s

$V_{s30}$  (mean model): 261 m/s

BEST MODEL  
 $V_{s30} = 261$  m/s





## GEO GROUP Srl

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41123 Modena  
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)  
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-59.60.176 p.IVA e C.F. 02981500362  
e-mail: [info@geogroupmodena.it](mailto:info@geogroupmodena.it) web: [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it)



### **ALLEGATO N. 5**

### **Indagine sismica HVSR**



## MASSA LOMBARDA, HVSR1

Instrument: TE3-0303/01-17

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: 51

Start recording: 01/07/19 13:05:13 End recording: 01/07/19 13:25:13

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analysis performed on the entire trace.

Sampling rate: 128 Hz

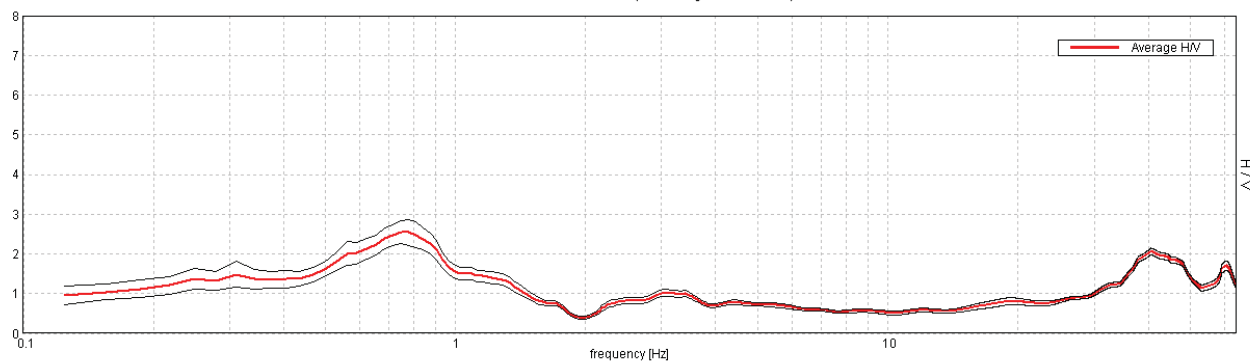
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

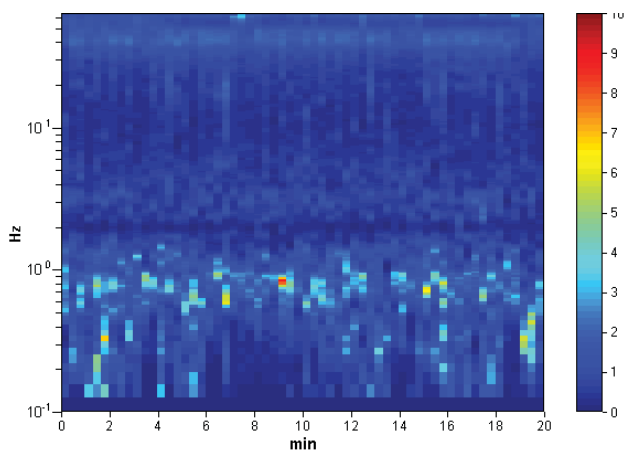
Smoothing: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

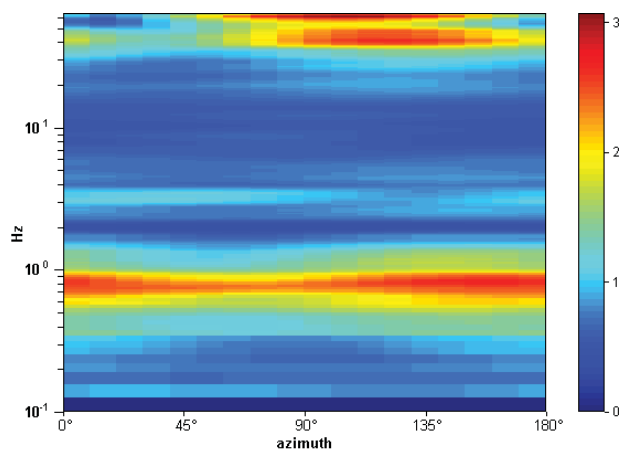
Max. H/V at  $0.75 \pm 0.04$  Hz. (In the range 0.0 - 40.0 Hz).



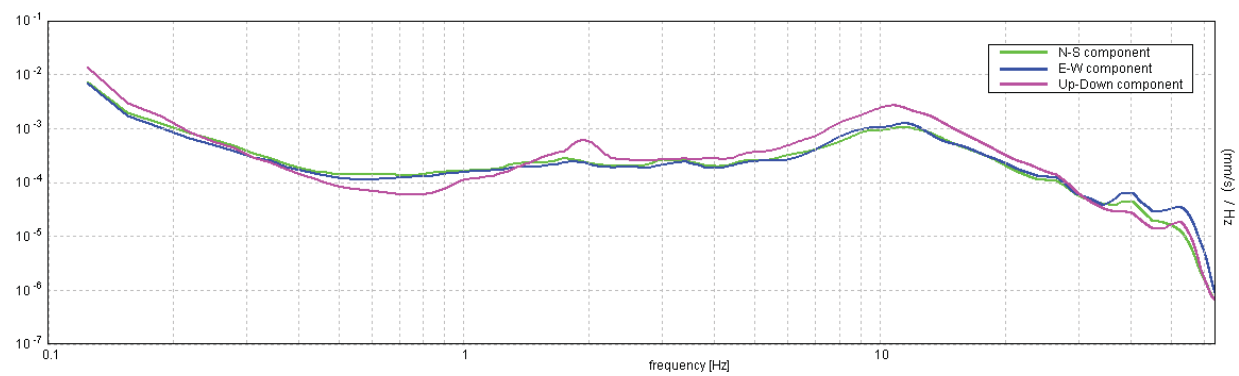
### H/V TIME HISTORY



### 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  $0.75 \pm 0.04$  Hz (in the range 0.0 - 40.0 Hz).**

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

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.75 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$900.0 > 200$	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 37 times	OK	

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

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.219 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.344 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.54 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.05187  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.03891 < 0.1125$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.291 < 2.0$	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
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

**Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$**

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

## MASSA LOMBARDA, HVSR 2

Instrument: TE3-0303/01-17

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: 51

Start recording: 01/07/19 11:38:21 End recording: 01/07/19 11:58:21

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analysis performed on the entire trace.

Sampling rate: 128 Hz

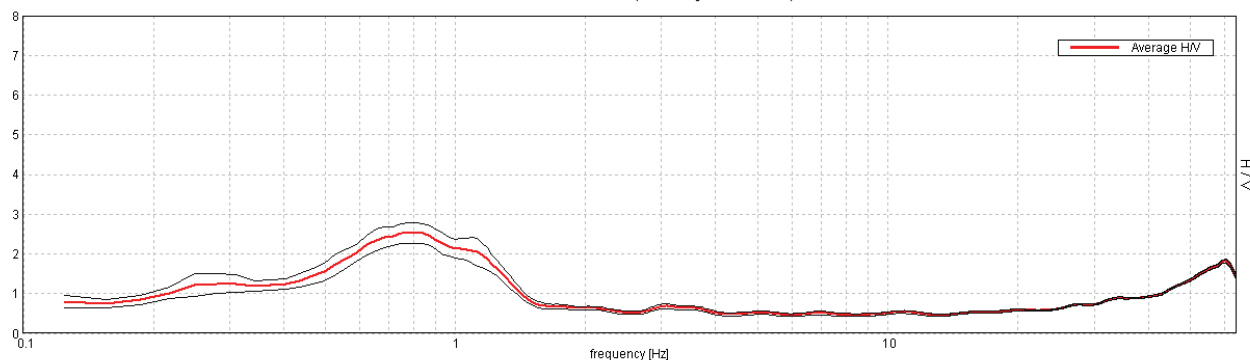
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

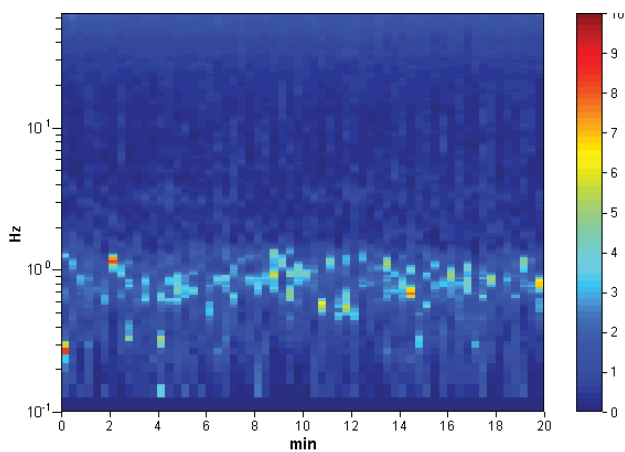
Smoothing: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

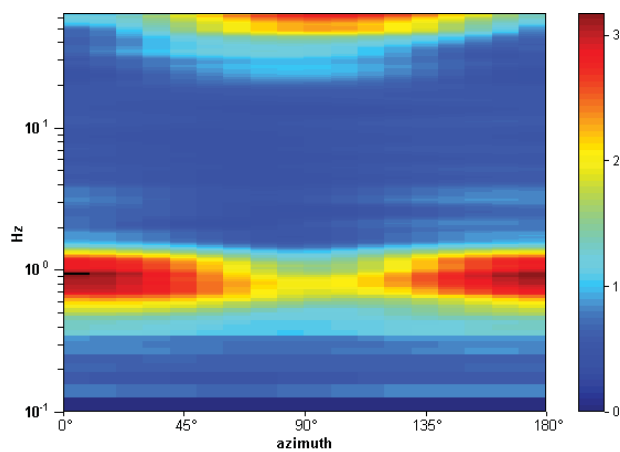
Max. H/V at  $0.81 \pm 0.22$  Hz. (In the range 0.0 - 40.0 Hz).



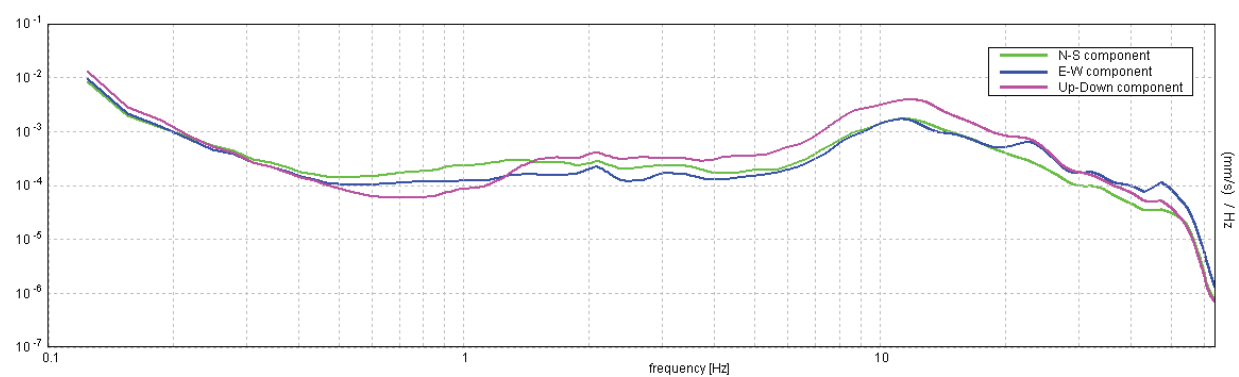
### H/V TIME HISTORY



### 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  $0.81 \pm 0.22$  Hz (in the range 0.0 - 40.0 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 $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.375 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.52 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.26822  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.21793 < 0.12188$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2681 < 2.0$	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
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

**Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$**

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





# GEO GROUP Srl

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41123 Modena  
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)  
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-59.60.176 p.IVA e C.F. 02981500362  
e-mail: [info@geogroupmodena.it](mailto:info@geogroupmodena.it) web: [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it)



## **ALLEGATO N. 6**

### **Verifica alla liquefazione**

## LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

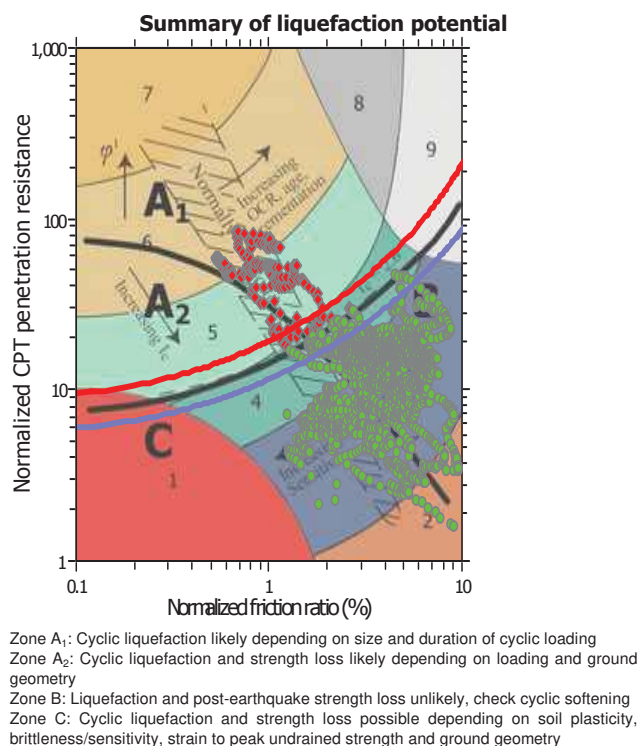
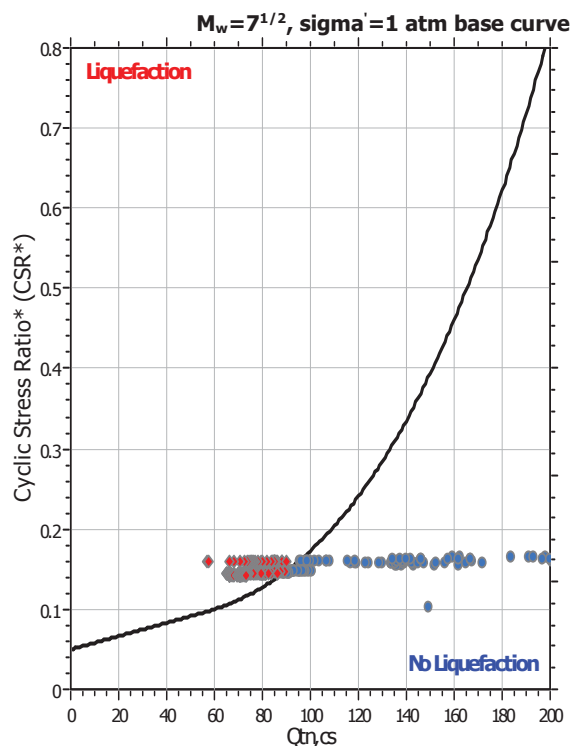
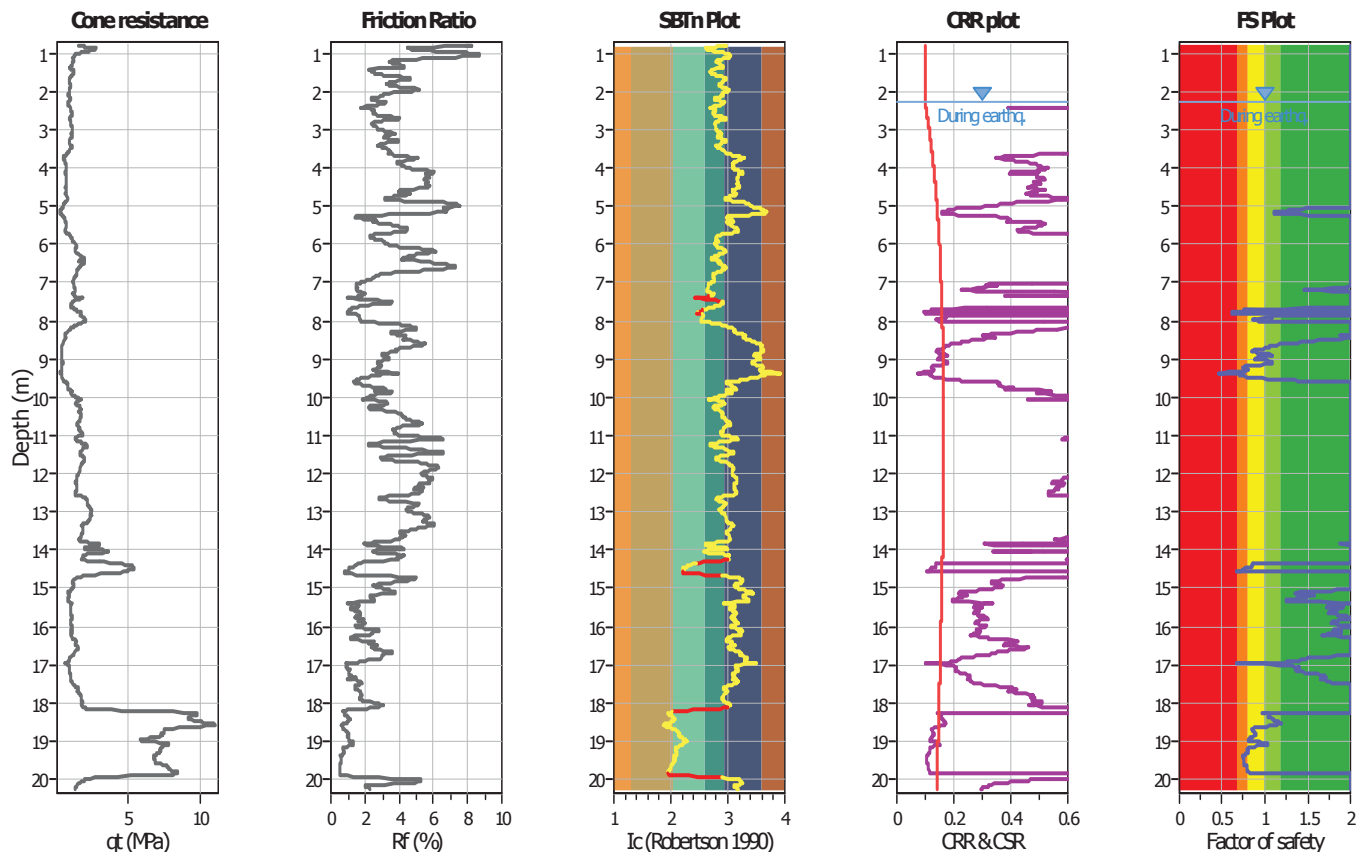
**Project title :**

**Location :**

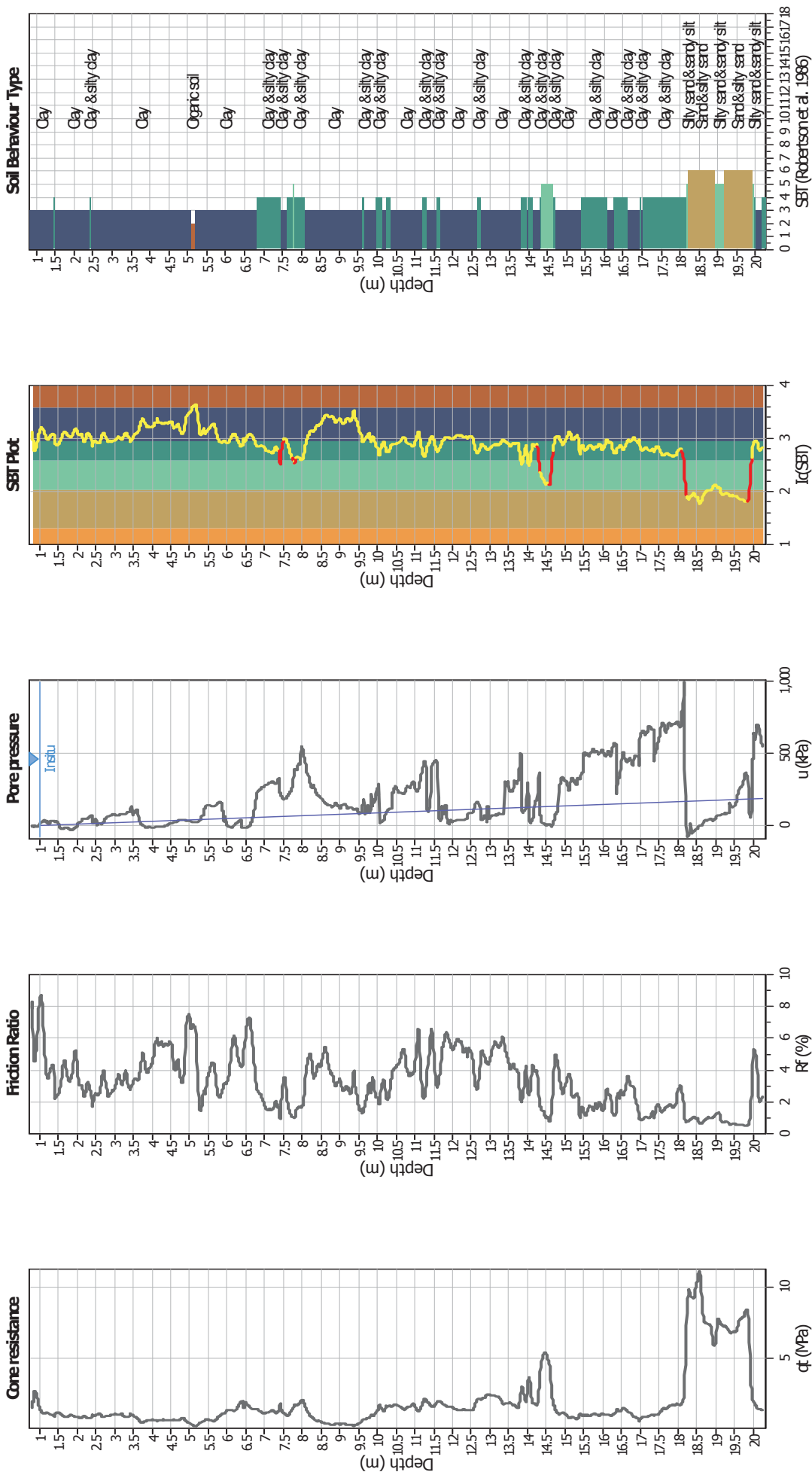
**CPT file : CPTU1**

### Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	G.W.T. (in-situ):	1.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	Robertson (2009)	G.W.T. (earthq.):	2.30 m	Fill height:	N/A	applied:	All soils
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	No
Earthquake magnitude $M_w$ :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.26	Unit weight calculation:	Based on SBT	$K_0$ applied:	Yes	MSF method:	Method based



CPT basic interpretation plots



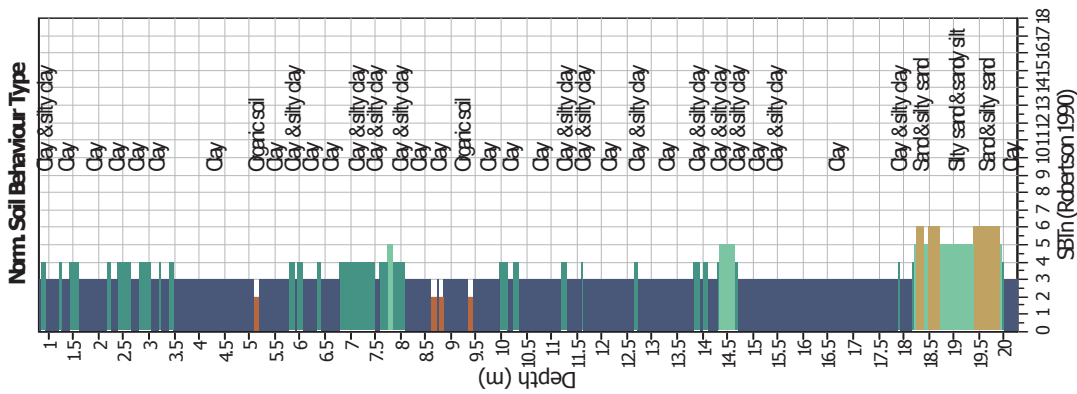
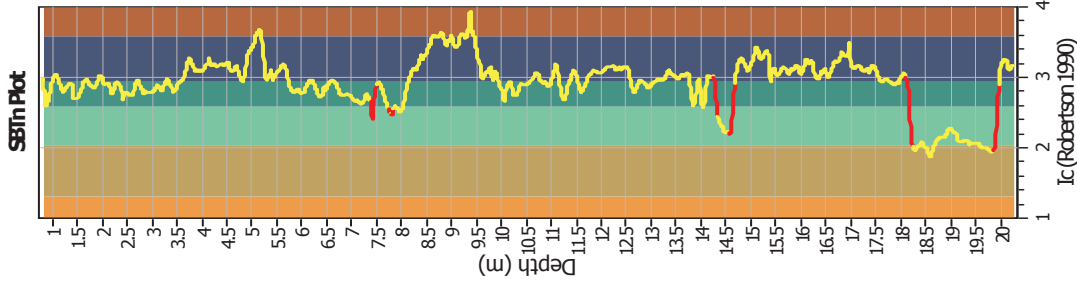
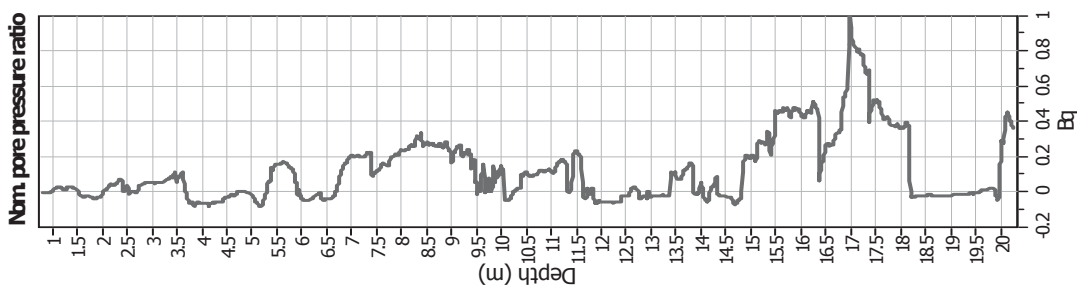
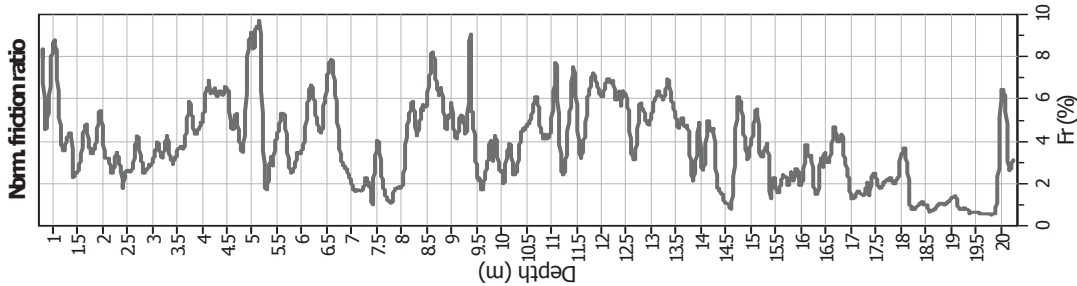
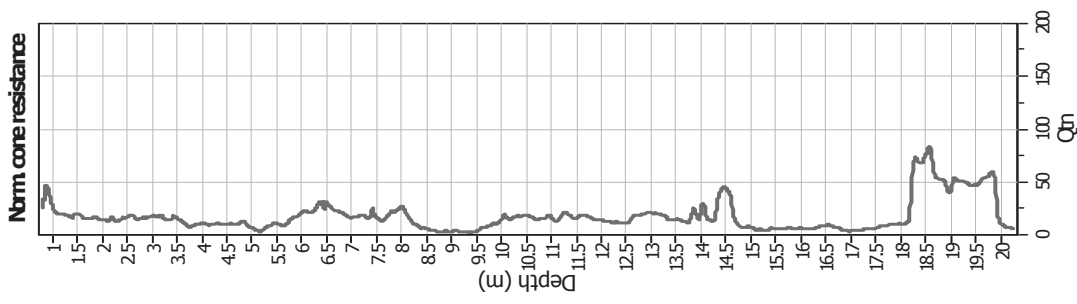
Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	Depth to water table (erthq.):	2.30 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on $I_c$ value	$I_c$ cut-off value:	2.60	$K_{\alpha}$ applied:	Yes
Earthquake magnitude $M_w$ :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	All soils
Peak ground acceleration:	0.26	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 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)



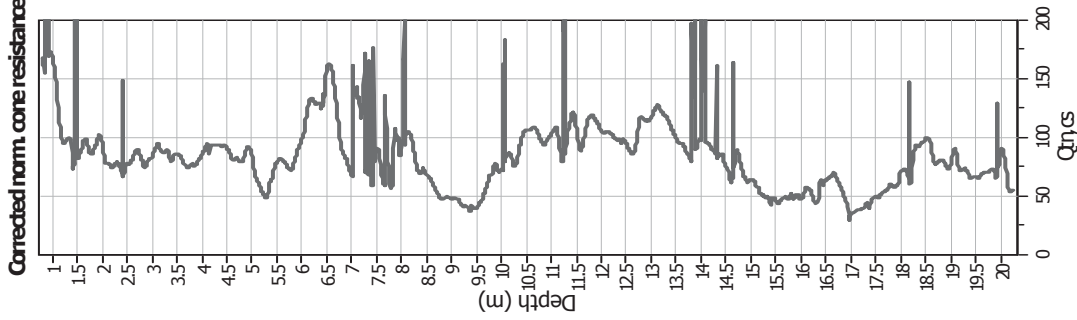
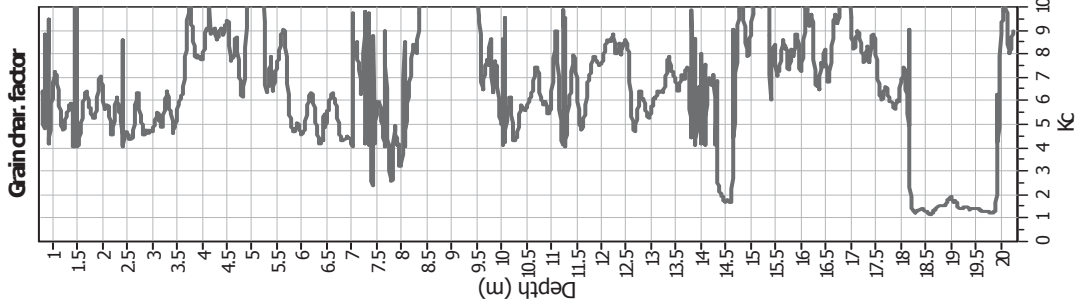
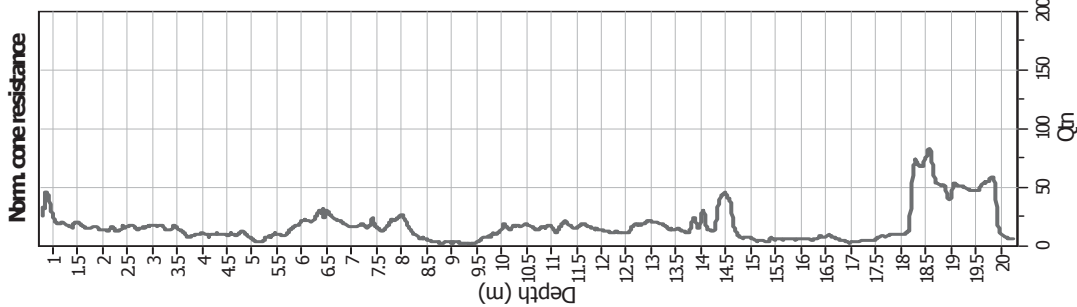
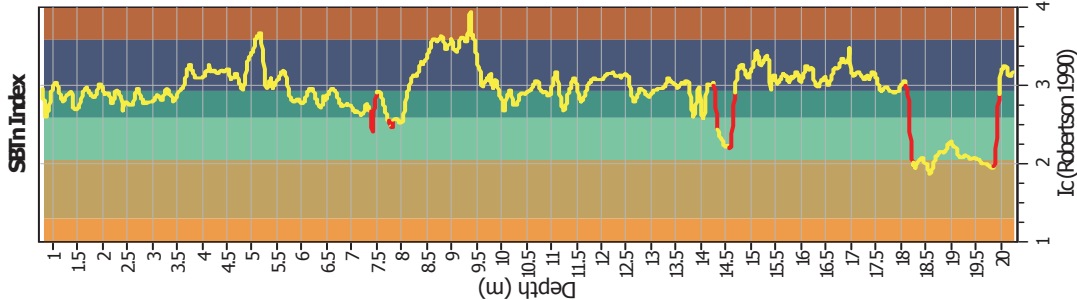
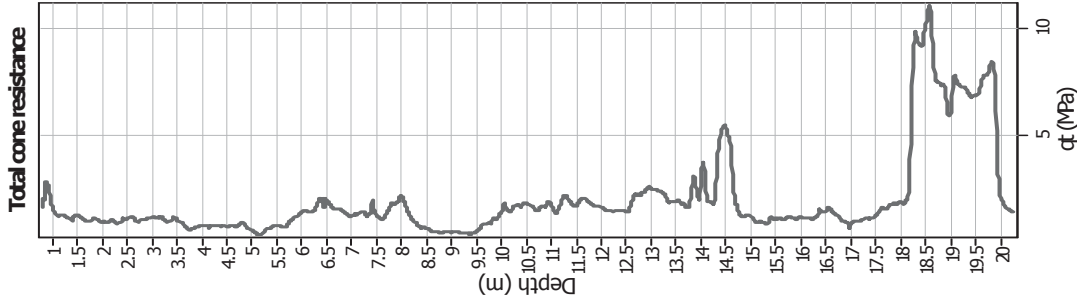
Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	Depth to water table (erthq.):	2.30 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K <sub>r</sub> applied:	Yes
Earthquake magnitude M <sub>w</sub> :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	All soils
Peak ground acceleration:	0.26	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 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

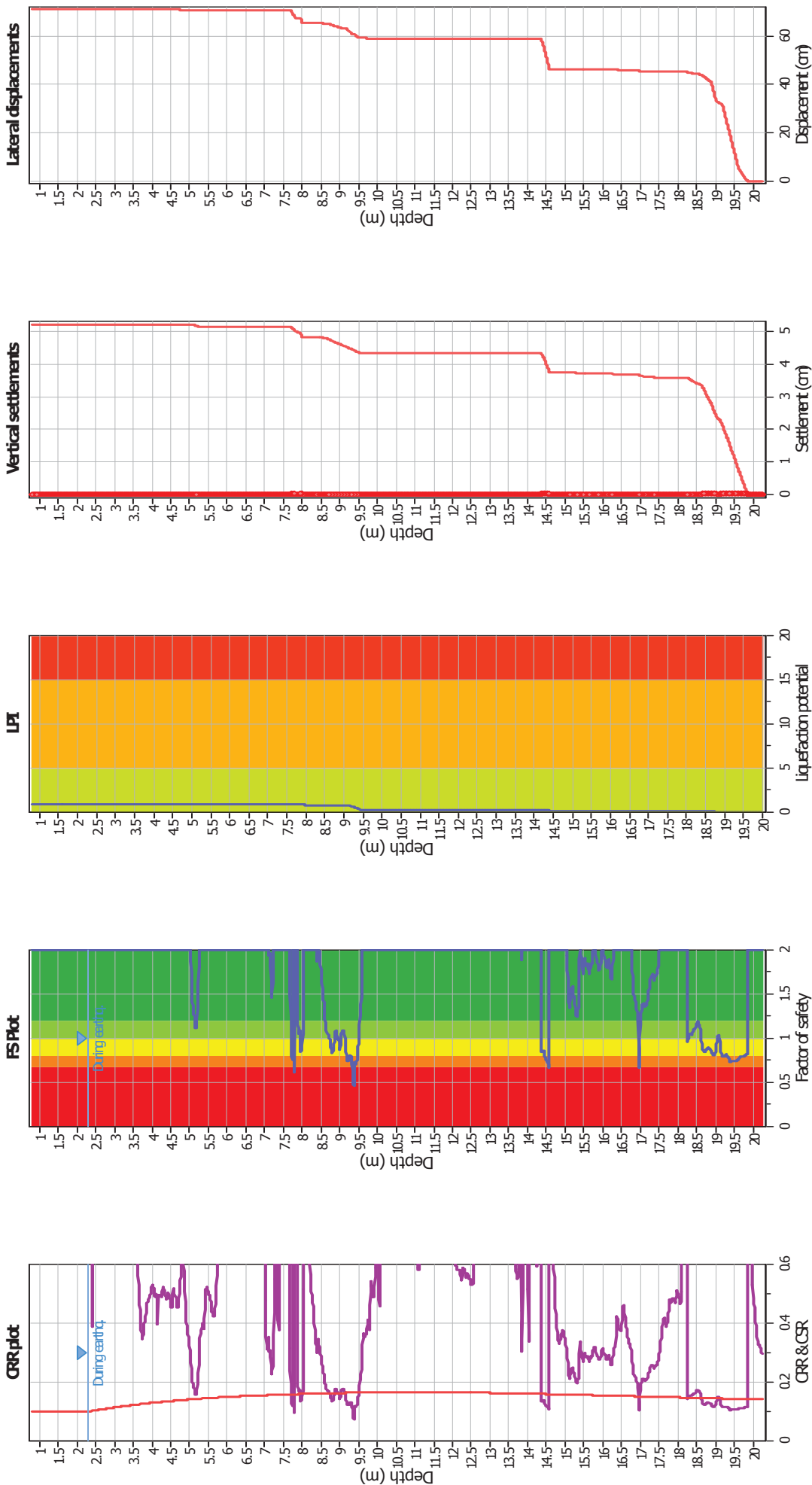
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	Depth to water table (erthq.):	2.30 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K <sub>cs</sub> applied:	Yes
Earthquake magnitude M <sub>w</sub> :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	All soils
Peak ground acceleration:	0.26	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	Depth to water table (earthq.):	2.30 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	Robertson (2009)	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:	All soils
Peak ground acceleration:	0.26	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

F.S. color scheme

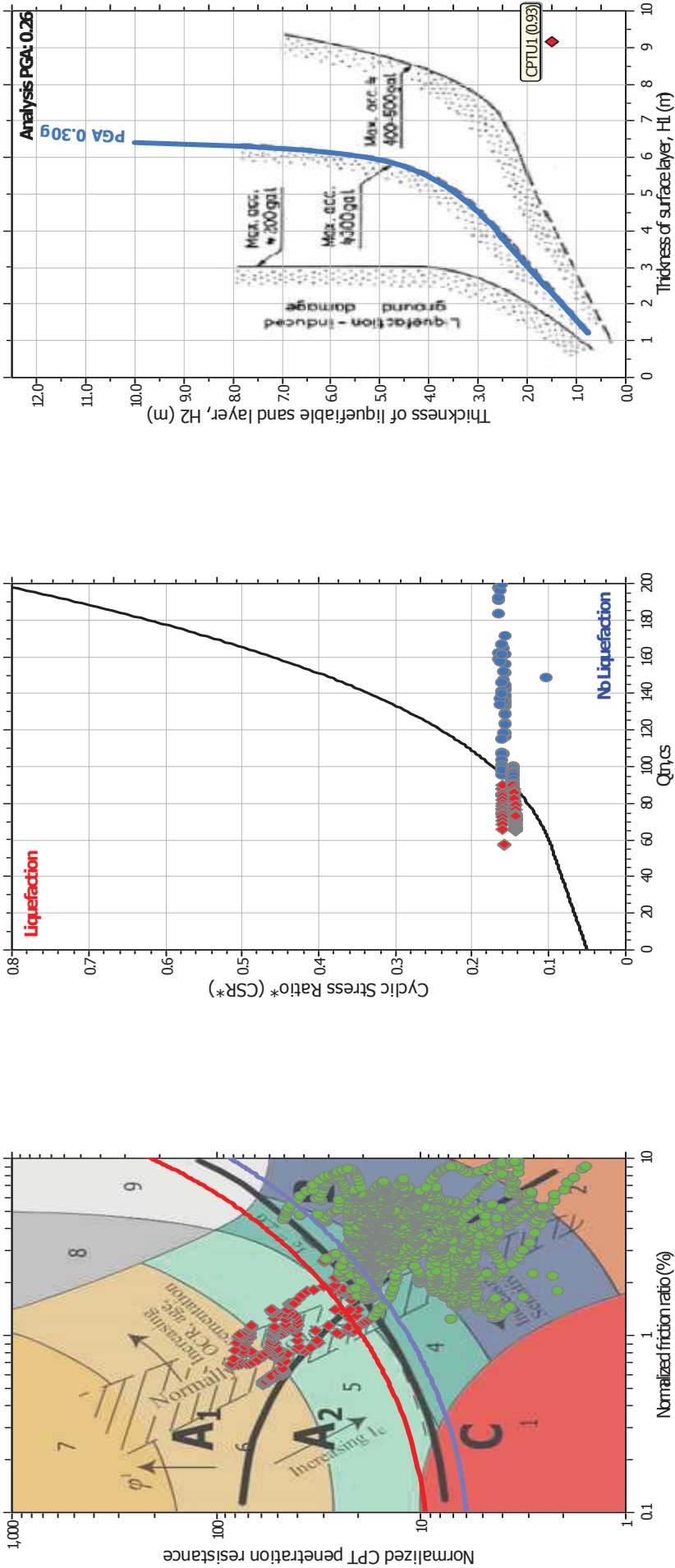
Almost certain it will liquefy	Very likely to liquefy	Liquefaction and no liq. are equally likely	Unlike to liquefy	Almost certain it will not liquefy
Red	Orange	Yellow	Green	Dark Green

LPI color scheme

Very high risk	High risk	Low risk
Red	Orange	Green



Liquefaction analysis summary plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	Depth to water table (erthq.):	2.30 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K <sub>r</sub> applied:	Yes
Earthquake magnitude M <sub>w</sub> :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	All soils
Peak ground acceleration:	0.26	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

## LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

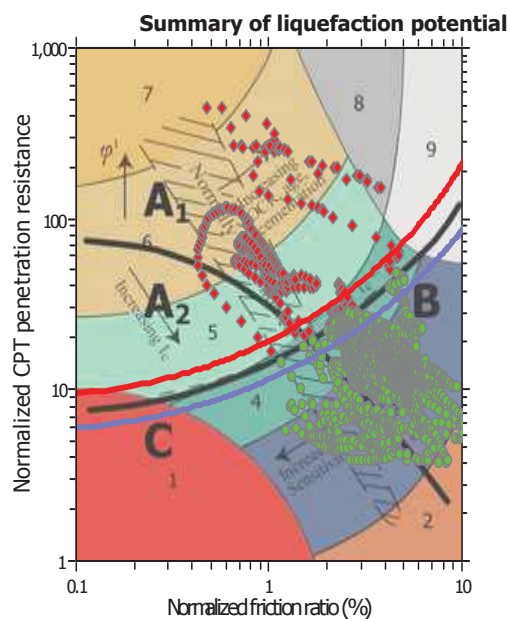
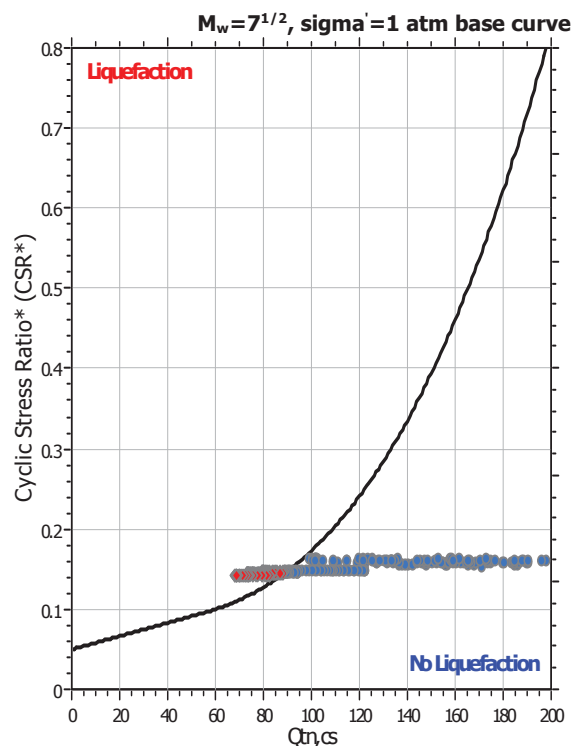
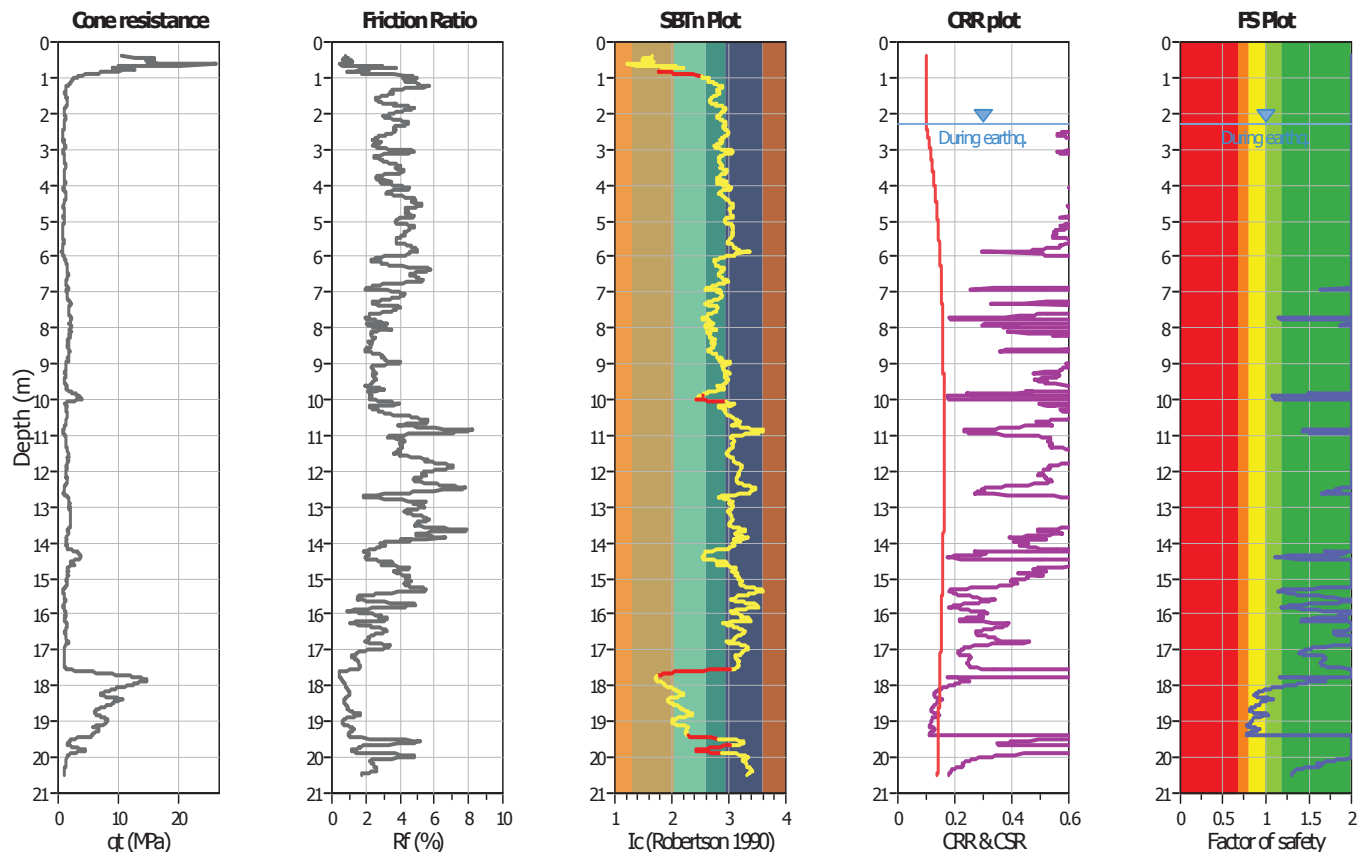
**Project title :**

**Location :**

**CPT file : CPTU2**

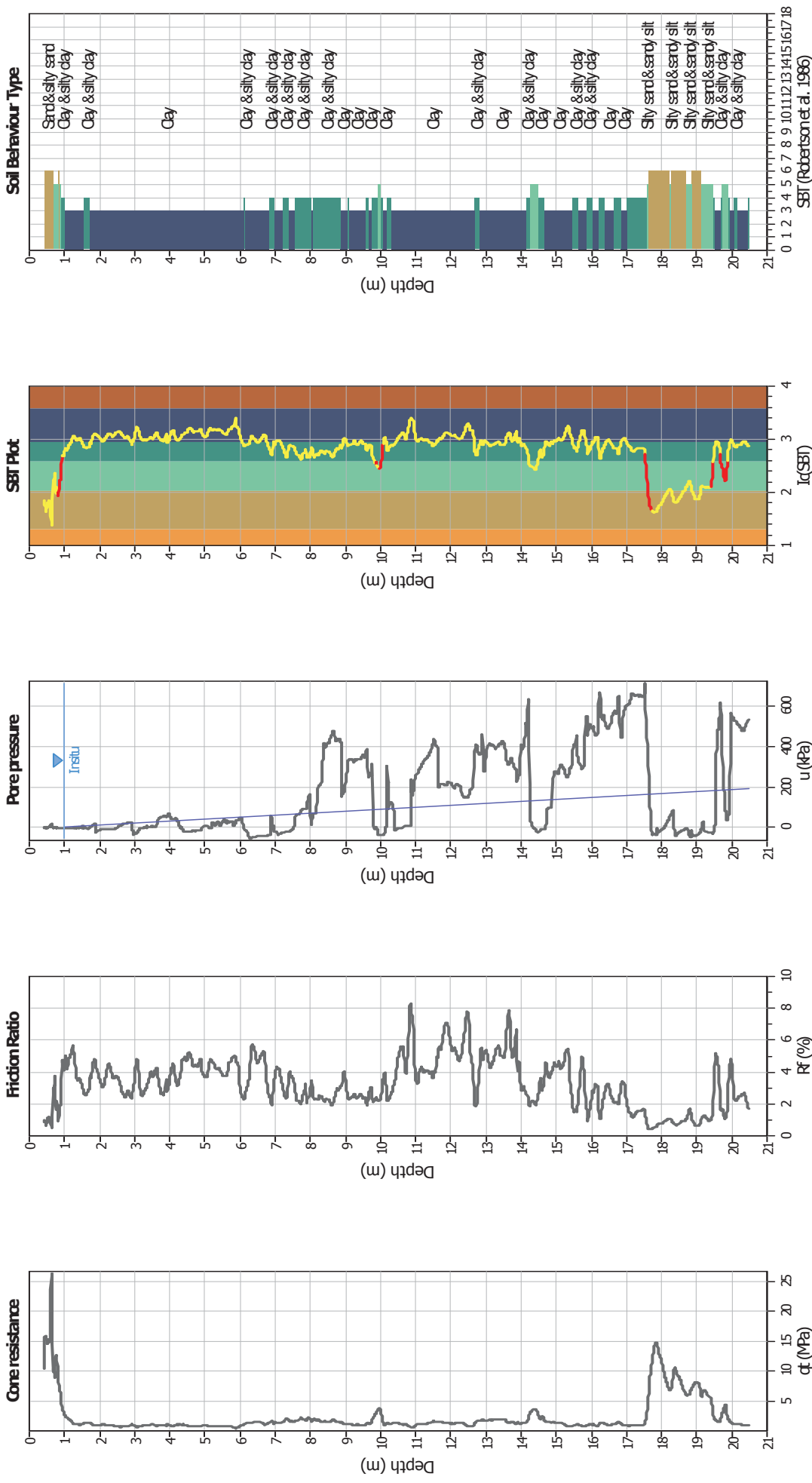
### Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	G.W.T. (in-situ):	1.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	Robertson (2009)	G.W.T. (earthq.):	2.30 m	Fill height:	N/A	applied:	All soils
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	No
Earthquake magnitude $M_w$ :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.26	Unit weight calculation:	Based on SBT	$K_g$ applied:	Yes	MSF method:	Method based



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



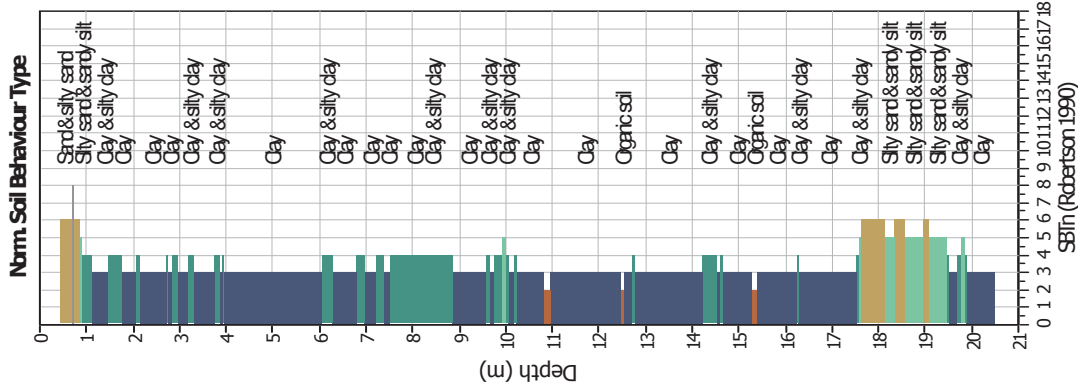
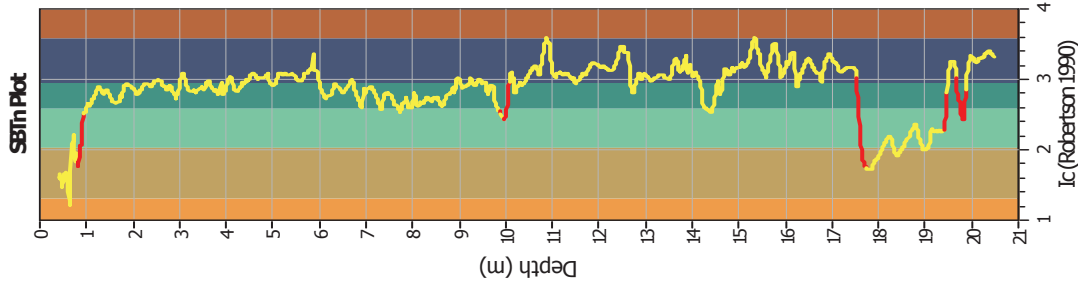
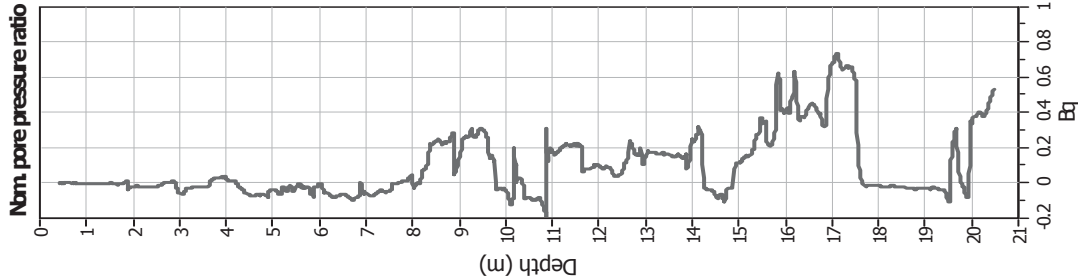
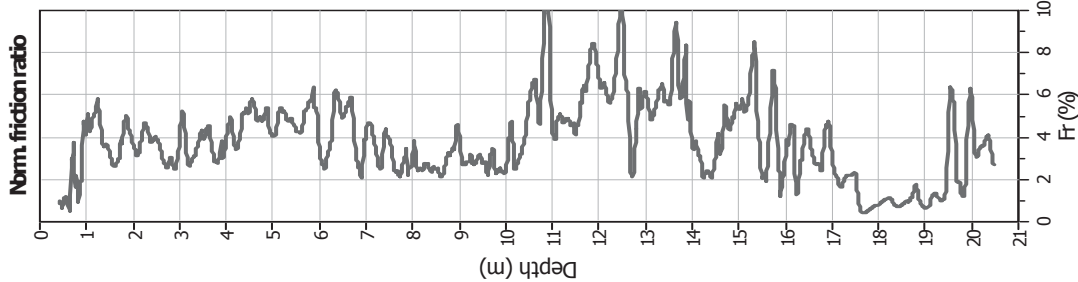
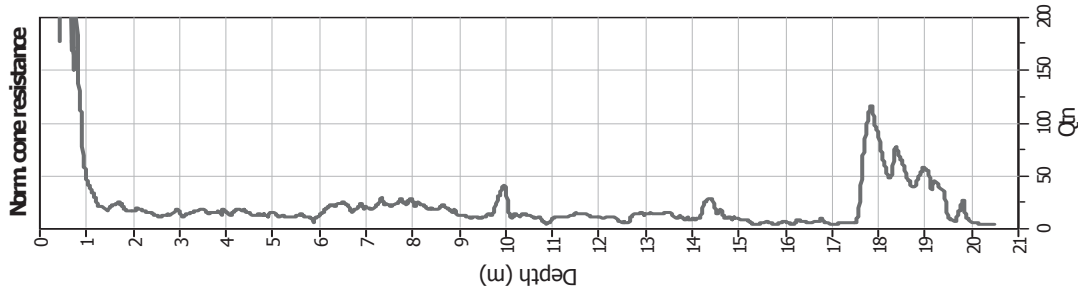
Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	Depth to water table (erthq.):	2.30 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K <sub>r</sub> applied:	Yes
Earthquake magnitude M <sub>w</sub> :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	All soils
Peak ground acceleration:	0.26	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 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)



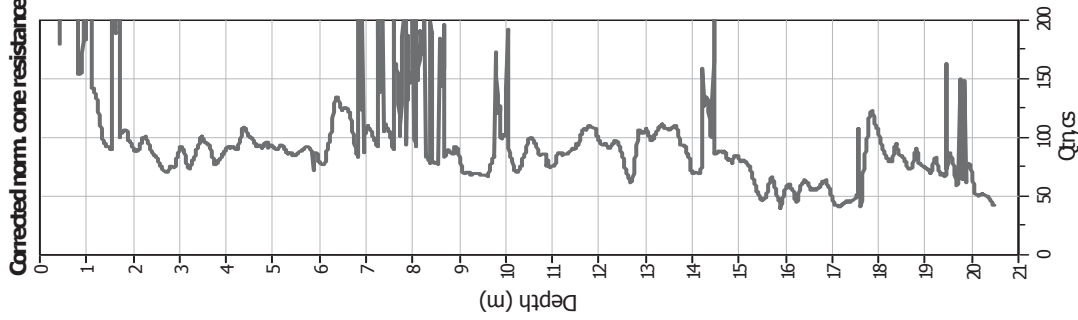
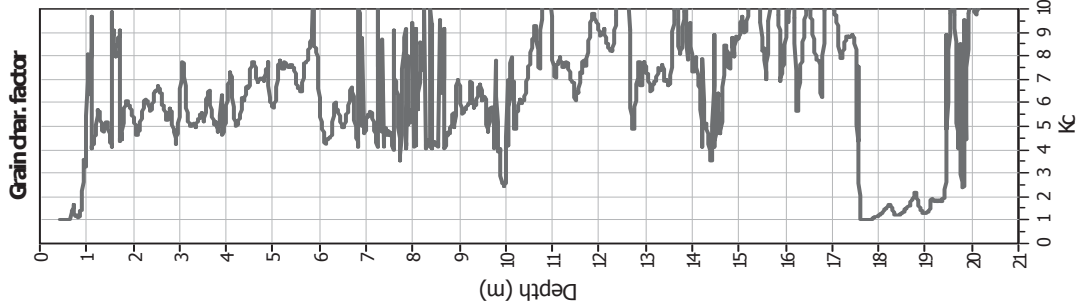
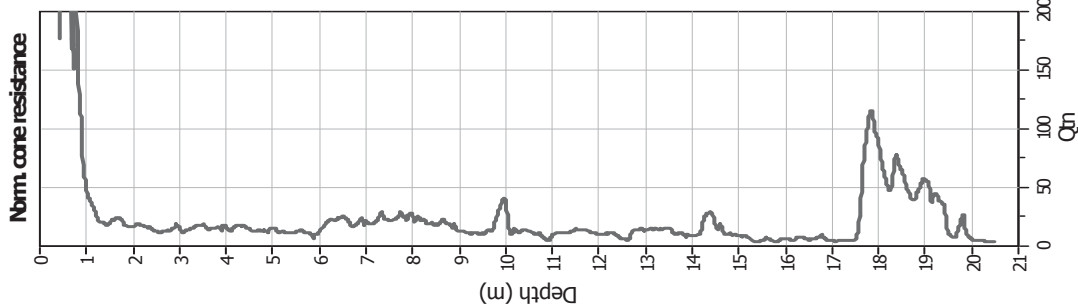
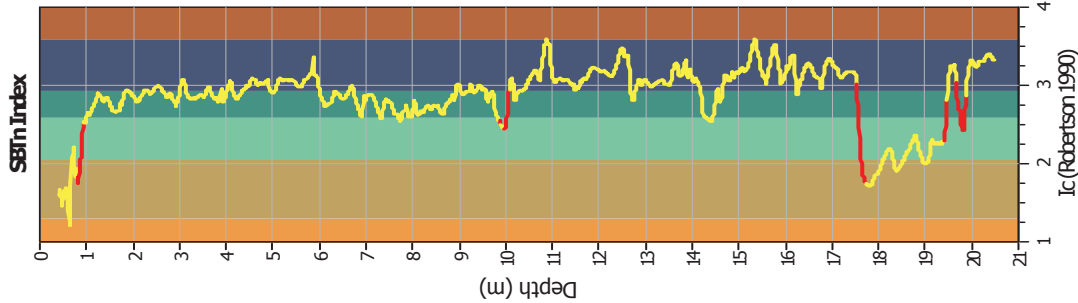
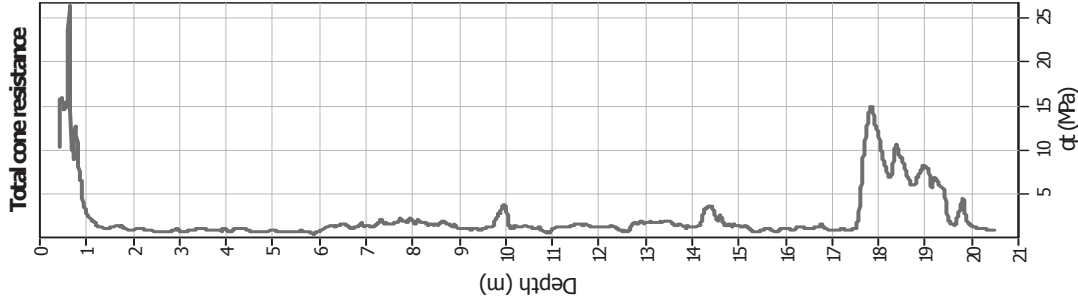
Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	Depth to water table (erthq.):	2.30 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K <sub>r</sub> applied:	Yes
Earthquake magnitude M <sub>w</sub> :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	All soils
Peak ground acceleration:	0.26	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 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

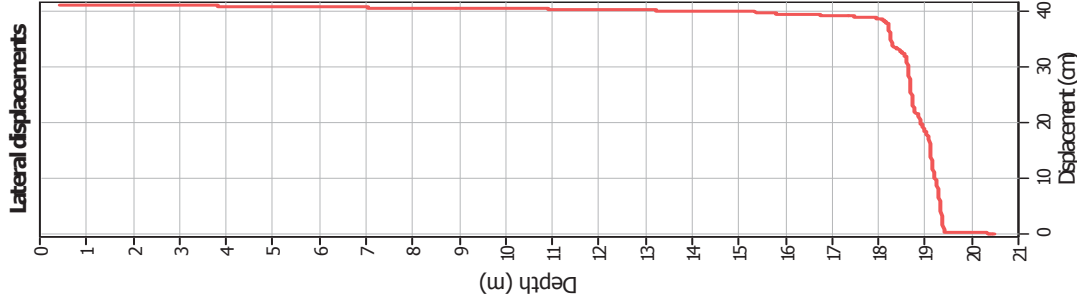
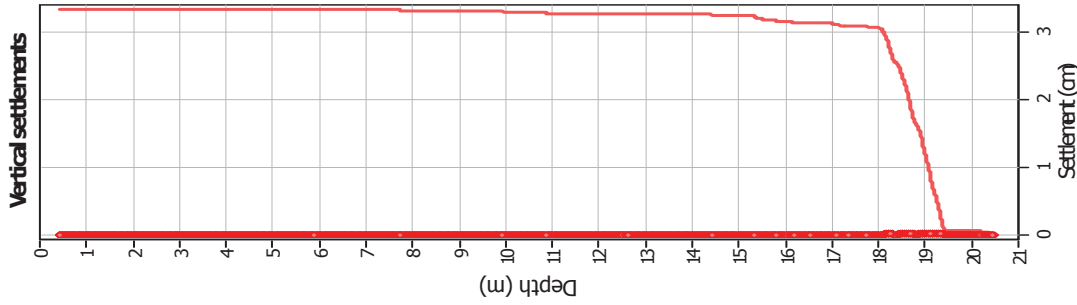
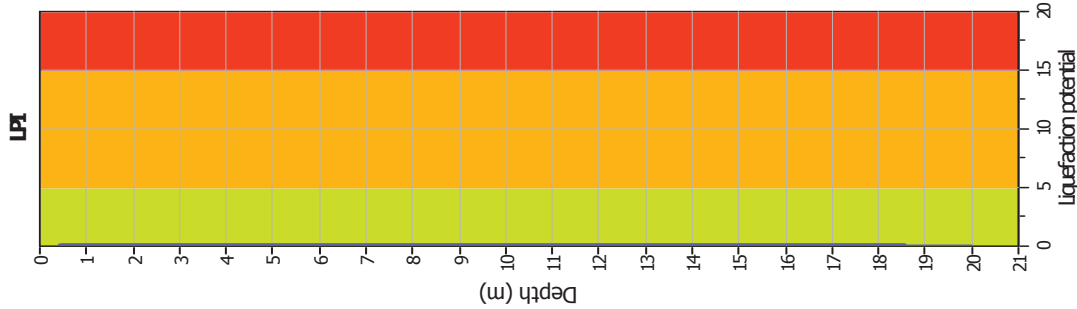
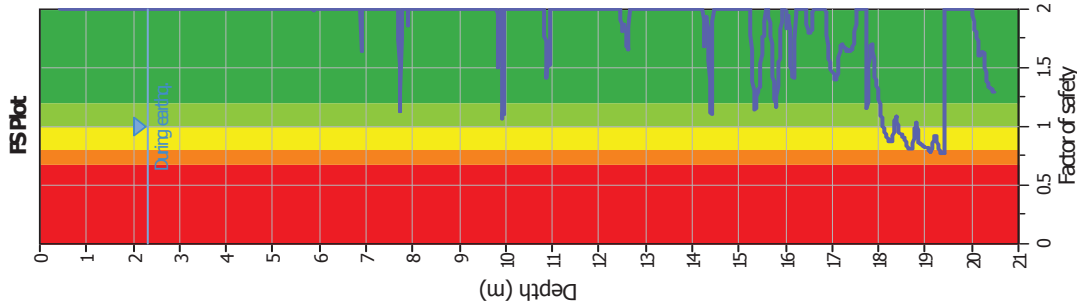
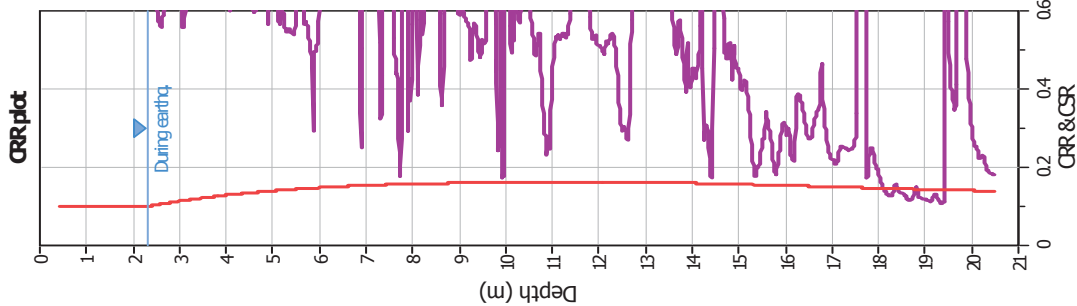
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	Depth to water table (erthq.):	2.30 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K <sub>cs</sub> applied:	Yes
Earthquake magnitude M <sub>w</sub> :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	All soils
Peak ground acceleration:	0.26	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	Depth to water table (earthq.):	2.30 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	Robertson (2009)	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:	All soils
Peak ground acceleration:	0.26	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

F.S. color scheme

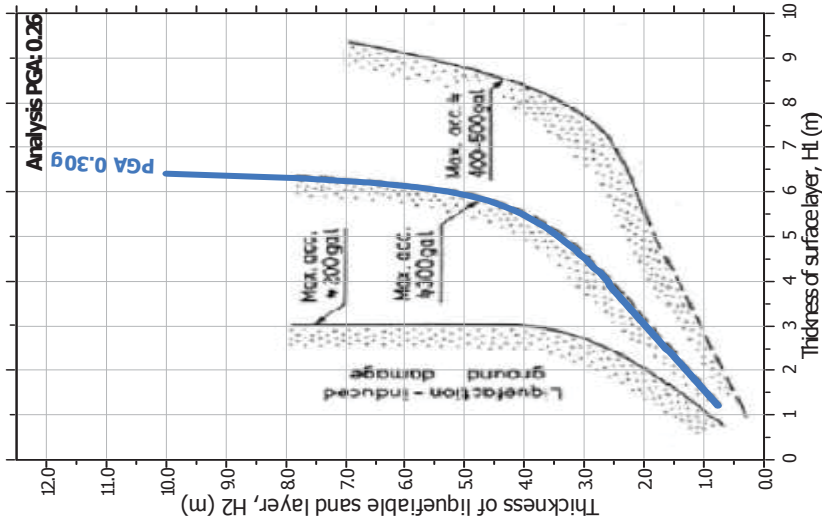
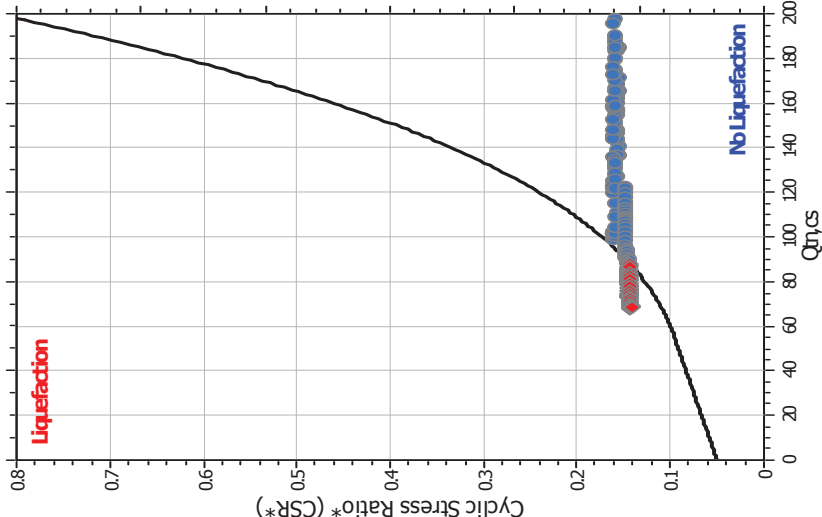
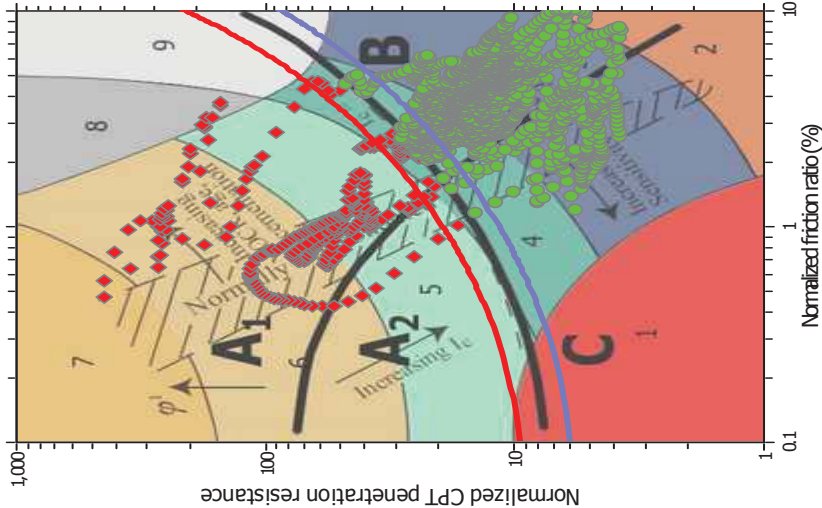
Almost certain it will liquefy	Very likely to liquefy	Liquefaction and no liq. are equally likely	Unlike to liquefy	Almost certain it will not liquefy
Very high risk	High risk	Low risk		

LPI color scheme

Very high risk	High risk	Low risk



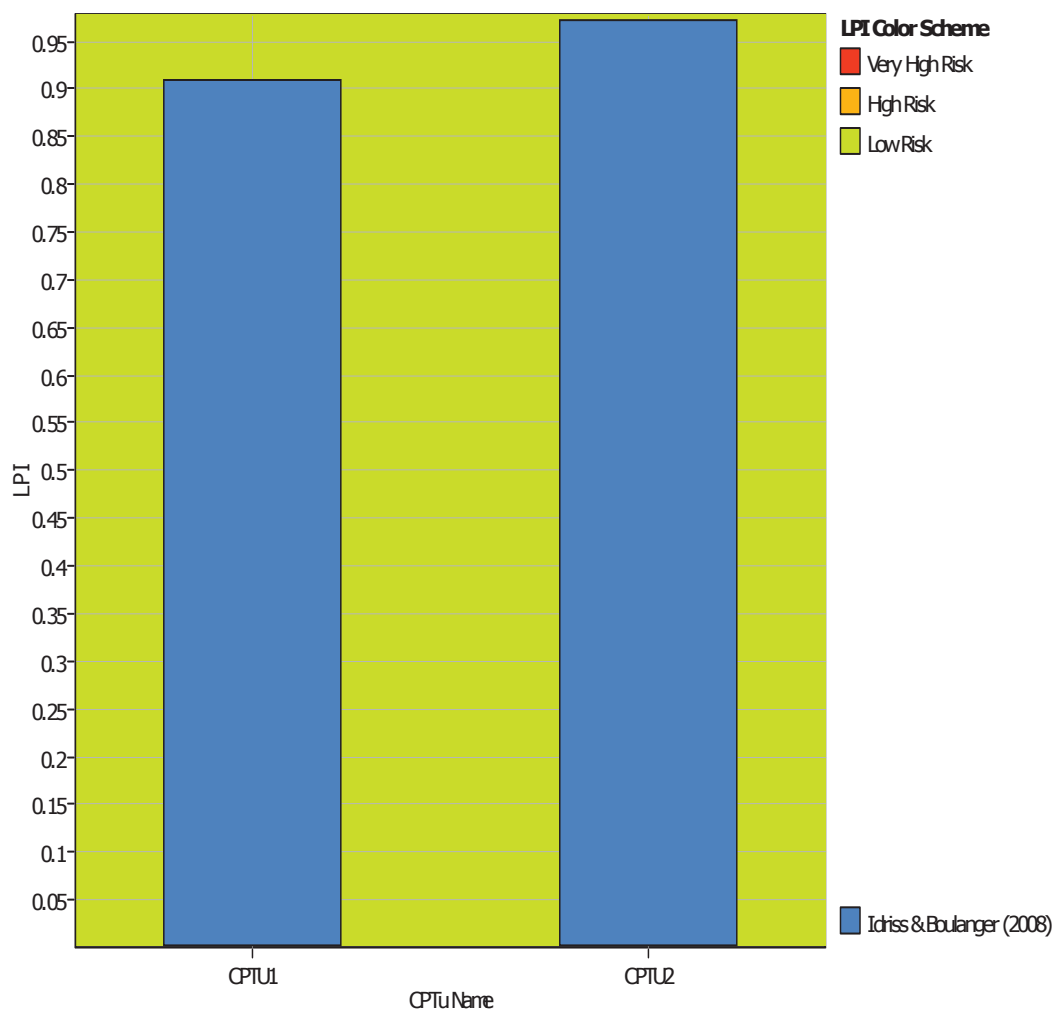
Liquefaction analysis summary plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	Depth to water table (erthq.):	2.30 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on $I_c$ value	$I_c$ cut-off value:	2.60	$K_r$ applied:	Yes
Earthquake magnitude $M_w$ :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	All soils
Peak ground acceleration:	0.26	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

## Overall Parametric Assessment Method



### :: CPT main liquefaction parameters details ::

CPT Name	Earthquake Mag.	Earthquake Accel.	GWT in situ (m)	GWT earthq. (m)
CPTU1	6.14	0.26	1.00	2.30
CPTU2	6.14	0.26	1.00	2.30