

Studio di Geologia Applicata
DOTT. MORONI MAURIZIO

Via R. Bagnoli 1120, 47522 Pievesestina di Cesena (Fc)
Tel. 0547/313359 - Cell. 328/2637646 - email:moronigeo@libero.it



RELAZIONE GEOLOGICA PER IL RISANAMENTO DI UNA
AREA SITA TRA LE VIE CESARE ABBA ED ALESSANDRO
MANZONI IN LOCALITA' CESENATICO (Fc)

Committente: 2019 SERVIZI

Cesena, Febbraio 2019

1. INTRODUZIONE

Su incarico della Committenza, 2019 Servizi, e sotto la direzione dell'Arch. Simona Francolini, si è condotta un'indagine geologica per l'intervento di risanamento di una area sita in Cesenatico (Fc) tra le vie Cesare Abba ed Alessandro Manzoni.

Lo scopo dell'indagine è quello di realizzare la *caratterizzazione e modellazione geologica del sito per la ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici e geomorfologici e più in generale di pericolosità geologica del territorio allo scopo di costituire un elemento di riferimento per il Progettista al fine di inquadrare i problemi geotecnici e per definire il programma delle eventuali indagini geotecniche integrative* (cfr. 6.2 D.M. 14/01/08).

Si è quindi seguita la seguente Normativa di riferimento:

- Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni – D.M. 17/01/18
- Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/08. Circolare Ministero Infrastrutture e Trasporti del 02/02/09n° 617 CSLLPP.
- Pericolosità Sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale, allegato al voto n° 36 del 27/07/07
- Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione D.M. 11/03/88
- Istruzioni relative alle Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione D.M. 11/03/88
- AGI: raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche, Giugno 77
- AGI: raccomandazione sulle prove geotecniche di laboratorio, Maggio 90

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GEOMORFOLOGICO GENERALE

2.1 Inquadramento cartografico

Il fabbricato in esame è sito in località Cesenatico (Fc), tra le vie Cesare Abba ed Alessandro Manzoni e ricade nella seguente documentazione cartografica:

- Tavolette. 1:25000:
 - 241_SO
 - 256_NO
- Fogli C.T.R. 1:5000:
 - 241132
 - 256011
 - 256023
 - 256024

2.2 Modello Geologico - Geomorfologico

Il sito si trova tra le vie Cesare Abba ed Alessandro Manzoni, in un'area verde all'interno di una zona da tempo urbanizzata, che risulta pianeggiante, con una quota di circa 2,6 m s.l.m.

L'edificio si trova circa al culmine del dosso morfologico creato dalla paleoduna di spiaggia, vi è quindi una debole pendenza, sia verso Nord – Est che verso Sud Ovest.

L'area, essendo da tempo urbanizzata, è drenata dal sistema fognario urbano.

Il corso d'acqua più vicino è la vena Mazzarini, presente a circa 140 m a Nord – Ovest.

La carta geologica di Tavola III è redatta prendendo come base la carta geologica dell'appennino emiliano romagnolo alla scala 1:10000.

In zona è presente una unità geologica:

- AES8a Subsintema di Ravenna – Unità di Modena

Si riporta di seguito la denominazione del subsintema come da legenda della carta geologica regionale.

Tale unità è composta da ghiaie prevalenti e sabbie, ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua, talora organizzate in corpi a geometrie lenticolari, nastriformi, tabulari e cuneiformi. Depositi alluvionali intravallivi,

terrazzati, deltizi, litorali, di conoide e, localmente, di piana inondabile. Limite superiore coincidente con il piano topografico dato da un suolo calcareo di colore bruno olivastro e bruno grigiastro. Il profilo di alterazione è di esiguo spessore (meno di 100 cm). Può ricoprire resti archeologici di età romana del VI secolo d.C.. Limite inferiore inconforme, marcato da una superficie di erosione fluviale lateralmente correlata a un suolo da decarbonatato a parzialmente carbonatato contenente resti archeologici di età dal Neolitico al Romano. Lo spessore massimo dell'unità è generalmente di alcuni metri, talora plurimetrico ed è databile all' Olocene. Dal punto di vista strutturale, come evidenziato dallo schema tettonico dell'Emilia Romagna, si trova una serie di fronti di scorrimento dati da accavallamenti sepolti dai depositi alluvionali di pianura.



Nel caso specifico l'area in esame è sita su di un cordone sabbioso Olocenico di spiaggia e duna che ha il suo maggiore spessore verso mare e che tende gradualmente a scomparire andando verso la S.S. 16.

A monte della S.S. 16 è presente una zona con un potente spessore di argilla torbosa e torba, rappresentante i depositi di laguna a valle del cordone sabbioso litoraneo

Nella zona di monte, quindi più antica del banco di sabbia sono intercalate lenti di ghiaia, mentre in tutto il cordone sono presenti livelli argilloso sabbiosi.

L'area in studio si trova nella zona intermedia del cordone litoraneo con spessore di circa 8,0 m.

Non si ha quindi il massimo spessore di sabbia nel banco che lentamente tende a decrescere fino a scomparire al di là dell'attuale S.S. 16.

Al di sotto del banco sabbioso si trovano i depositi di ambiente marino dati da argille limose da molli a mediamente consistenti fino ad una profondità di circa 25,0 m.

A tale profondità si trova infatti mediamente uno strato di un paio di metri di spessore di argille da mediamente consistenti a compatte rappresentante il paleosuolo della fine del Pleistocene.

Al di sotto del paleosuolo si trovano argille ed argille limose con intercalazioni sabbiose fino a grande profondità.

Il sito, nello specifico era in passato interessato dal prolungamento della vena Mazzarini, ritombata e riempita con materiali di riporto vari, poggianti su uno spessore variabile di argilla molle rappresentante i depositi fini del canale. Al di sotto di essi, a circa 4,0 m di profondità, si trova la sabbia in posto.

In particolare, dall'indagine geognostica è emersa la seguente successione stratigrafica.

Per la CPTU 1, da piano campagna e fino a 2,78 m si trova sabbia limosa con macerie (terreno di riporto) seguito da 1,10 m argilla limosa molle con livelli di limo (terreno di riporto o depositi alluvionali di fondo canale) e da 1,97 m di sabbia limosa mediamente densa.

Da 5,85 m a 7,95 m si trovano livelli alternati di sabbia limosa, limo sabbioso ed argilla, seguiti fino a fine prova da argilla limosa e limo argilloso da molle a mediamente consistente.

Per la CPTU 2 dopo 3,73 m di sabbia limosa con livelli limoso sabbiosi e macerie (terreno di riporto), si trovano 0,24 m di argilla limosa molle (terreno di riporto o depositi alluvionali di fondo canale) e 2,21 m di sabbia limosa mediamente densa.

Da 6,18 m a 7,86 m si trovano livelli alternati di sabbia limosa, limo sabbioso ed argilla seguiti, fino a fine prova da argilla limosa e limo argilloso da molle a mediamente consistente.

Per la CPTU 3, dopo 3,03 m di sabbia limosa e limo sabbioso con un livello di argilla molle e macerie (terreno di riporto), si trovano 1,19 m di argilla limosa molle con livelli di limo (terreno di riporto o depositi alluvionali di fondo canale), seguiti da 1,95 m di sabbia limosa mediamente densa. Da 6,17 m a 7,75 m si trovano livelli alternati di sabbia limosa, limo sabbioso ed argilla seguiti fino a fine prova da argilla limosa e limo argilloso da molle a mediamente consistente.

2.3 Idrologia

Al termine dell'indagine geognostica si è misurato il livello della falda rilevandolo ad una profondità di 1,5 m - 1,8 m da piano campagna. Data la presenza di terreno permeabile e la vicinanza con la vena Mazzarini il livello della falda è influenzato oltre che dalla piovosità anche dalle escursioni di marea e, in minor misura anche dalle mareggiate. Si presume quindi che il livello della falda possa, in caso di alta marea attestarsi a profondità di circa 1,0 m, non escludendosi, in casi eccezionali, profondità anche minori in caso di somma di diversi eventi quali forti e prolungate piogge, alta marea e mareggiate.

3. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Data la natura del progetto ed in accordo con il Progettista, la campagna geognostica conta di 3 prove penetrometriche con piezocono spinte rispettivamente alle profondità di 15,4 m la CPTU 1 e 14,8 m le CPTU 2 e 3. Le quote sono riferite al piano campagna attuale.

La prova è stata eseguita con un penetrometro marca Pagani, modello TG 63 – 200 da 20 Tonnellate di spinta massima.

Nel corso della prova CPTU il passo di lettura è ogni centimetro ed oltre ad RP ed Rf si rileva la pressione dei pori U_2 , insieme ad altri parametri quali velocità di avanzamento ed inclinazione.

Al termine della prova si è inoltre misurato il livello della falda, rilevandolo a 1,5 - 1,8 m da piano campagna.

Al fine di caratterizzare il terreno dal punto di vista sismico, si è effettuata inoltre un'indagine geofisica mediante tecnica Re. Mi. ed H.V.S.R.

Le caratteristiche degli strumenti ed i risultati rilevati sono riportati nel paragrafo 6.2,

L'ubicazione delle prove penetrometriche è illustrata nella cartografia sottostante e nella tavola IV.

Si rimanda al Progettista Strutturale, tenuto conto della stratigrafia rilevata ed in funzione del tipo di fondazione e dei carichi previsti, la decisione di una eventuale integrazione di indagine.

.

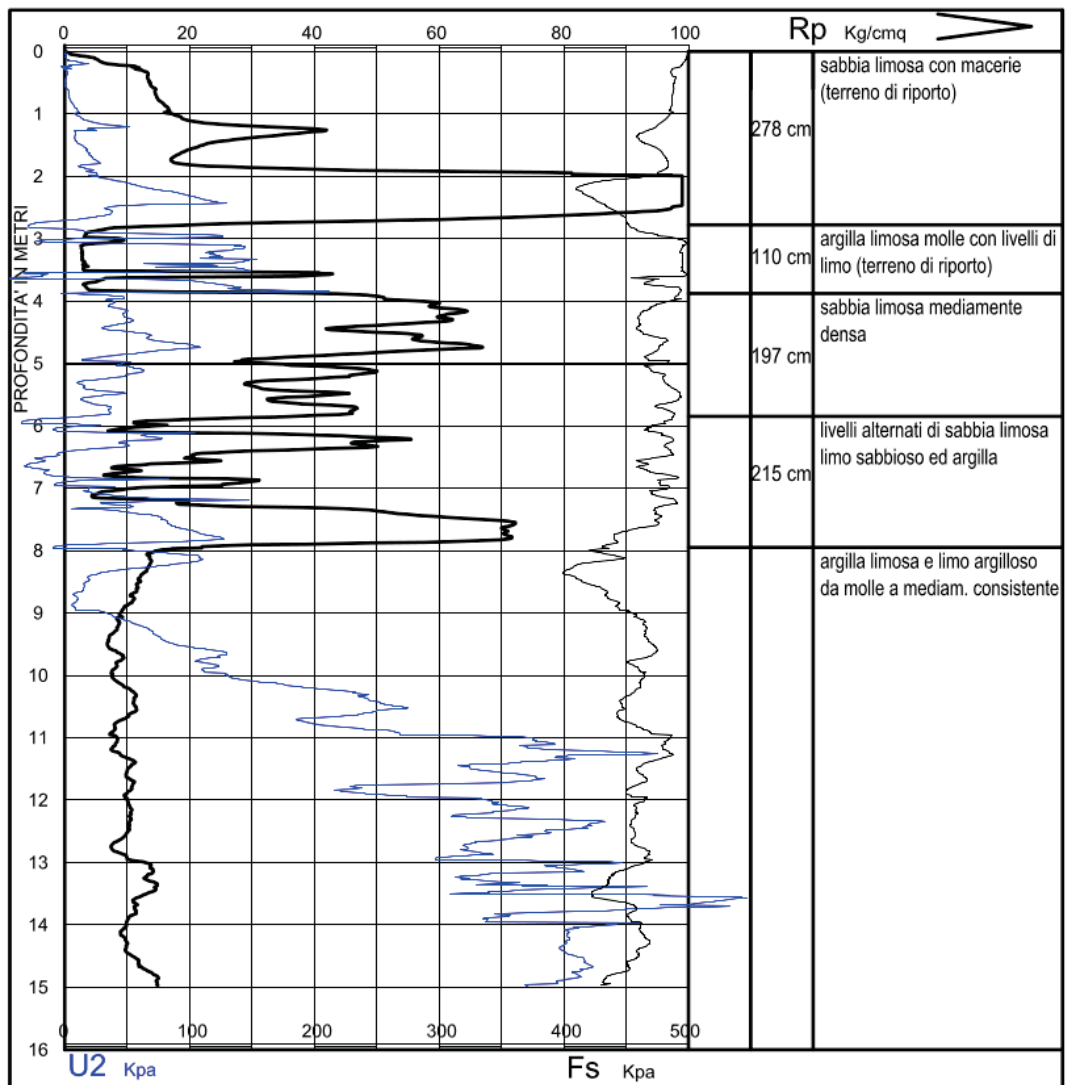


4. STRATIGRAFIA DEL TERRENO

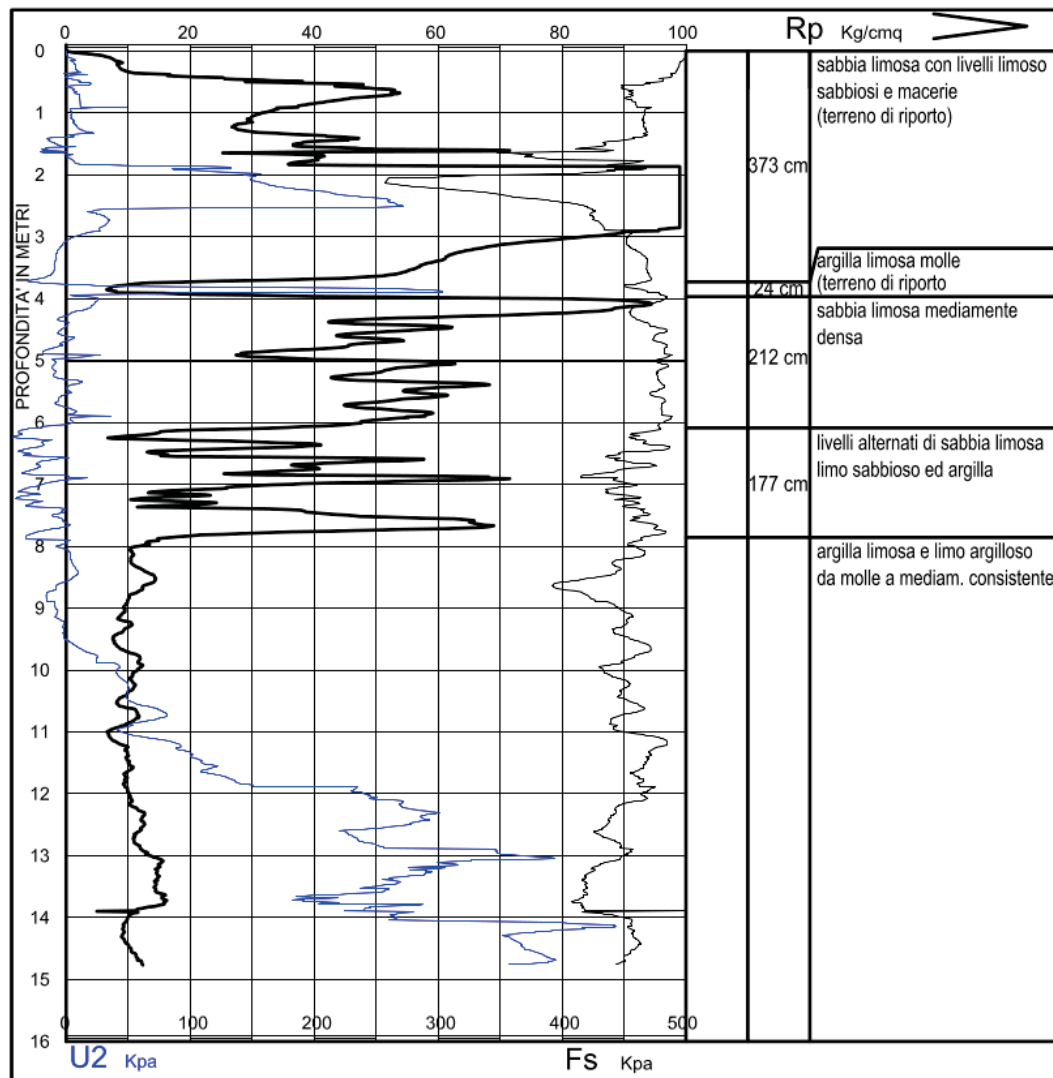
4.1 Stratigrafia

La stratigrafia è illustrata nel diagramma sottostante, nelle Sezioni Geologiche di Tavole VI, VII ed VIII nonché nei diagrammi delle prove stesse presenti nell'Allegato 1.

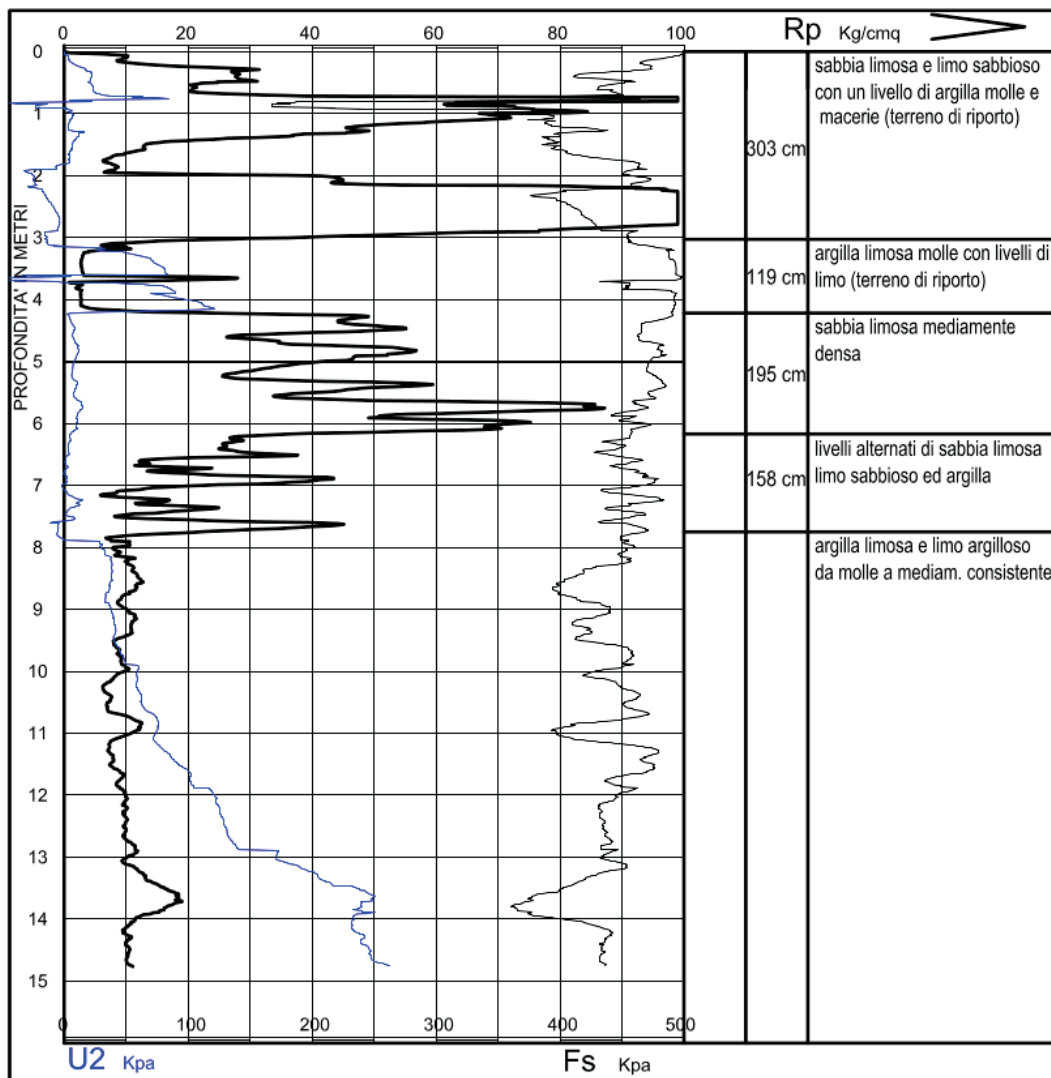
CPTU 1



CPTU 2



CPTU 3



4.2 Schematizzazione Geotecnica

Utilizzando la stratigrafia precedentemente illustrata e per gli strati discretizzati si è svolta un' analisi statistica sui valori di R_p ed R_f .

Si sono poi utilizzate le formule citate in Allegato 1 per ricavare alcuni valori dei parametri geotecnici.

Si sono poi utilizzate le formule citate in Allegato 1 per ricavare alcuni valori dei parametri geotecnici.

In particolare, per il modulo edometrico ricavato con le CPTU si è adottato la formula di *Buisman & Sanglerat*

$$E_{ed} = a \times Q_t$$

Con $a = 2,5$ per le sabbie

$a = 5,0$ per le argille

Tali valori vengono poi sottoposti ad analisi critica da parte dello scrivente in base alla conoscenza pregressa per cui possono essere considerati parametri geotecnici caratteristici (cfr. par. 6.2.2. NTC 2018)

CPTU 1

Strato	Prof. alla base dello strato (m)	Q_t (kg/cm ²)	g (t/m ³)	C_u (t/m ²)	E_{ed} (kg/cm ²)	F' (t/m ²)	c' (t/m ²)
1	2,79	42,6	1,80	-	90	29	0.0
2	3,88	8,3	1,80	3	40	20	0.3
3	5,85	48,2	1.85	-	120	33	0.0
4	7,95	34,2	1,85	-	96	29	0.0
5	15,40	11,8	1,85	7	59	25	0.7

CPTU 2

Strato	Prof. alla base dello strato (m)	Q_t (kg/cm ²)	g (t/m ³)	C_u (t/m ²)	E_{ed} (kg/cm ²)	F' (t/m ²)	c' (t/m ²)
1	3,73	77,3	1,80	-	124	29	0.0
2	3,97	13,7	1,80	5	55	20	0.5
3	6,09	55,8	1.85	-	139	33	0.0
4	7,86	34,6	1,85	-	93	29	0.0
5	14,80	11,7	1,85	7	58	25	0.7

CPTU 3

Strato	Prof. alla base dello strato (m)	Qt (kg/cm ²)	g (t/m ³)	Cu (t/m ²)	Eed (kg/cm ²)	F' (t/m ²)	c' (t/m ²)
1	3,03	52,5	1,80	-	99	28	0.0
2	4,22	6,3	1,80	3	30	20	0.3
3	6,17	49,1	1.85	-	122	33	0.0
4	7,75	23,3	1,85	-	69	29	0.0
5	14,80	10,8	1,85	6	54	25	0.6

5. ORIENTAMENTI GEOTECNICI

5.1 Introduzione

Il progetto prevede il risanamento di una area a verde pubblico. A tale scopo verranno realizzate strutture ricettive e ricreative.

In superficie e fino circa 4 m di profondità è presente terreno di riporto prevalentemente sabbioso con lenti o strati di argilla molle.

La frazione incoerente presenta buone caratteristiche geotecniche mentre la frazione fine ha resistenze meccaniche scadenti.

Si raccomanda quindi, nel calcolo delle resistenze del terreno, di tenere conto della distribuzione dei carichi con la profondità e di considerare in caso di fondazioni che trasmettano in profondità le tensioni la presenza di terreni con caratteristiche scadenti.

A titolo di primo orientamento si è quindi considerata una fondazione a platea rispettivamente delle dimensioni $B = 10,0$ m ed $L = 15,0$ m ed una trave di dimensioni $B = 1,0$ m ed $L = 15,0$ m attestata a 0.5 m di profondità da piano campagna attuale.

Per entrambe si dà il valore di R_d calcolato tenendo conto da una parte dello strato 1 e dall'altra dello strato 2 considerando una fondazione poggianti fittiziamente a 2,8 m da piano campagna.

Nel caso dello strato 1 la verifica è portata avanti in condizioni drenate essendo il terreno prevalentemente sabbioso, per lo strato 2 si è optato per le condizioni non drenate essendo prevalentemente argilloso.

Resta a carico del Progettista Strutturale la verifica delle reali distribuzioni dei carichi con la profondità e la conseguente scelta del parametro più confacente alla realtà

Si ricorda inoltre che gli orientamenti geotecnici che si andranno a sviluppare sono basati sul modello geologico e sulle caratteristiche generali dell'opera e non vogliono sostituirsi alle scelte tecniche dettate dal Progettista, in quanto unico soggetto preposto alla reale conoscenza delle reali condizioni statiche e dinamiche dell'opera e dei carichi applicati.

5.2 Verifica al carico limite ultimo (rottura)

La pressione ammissibile per la fondazione oggetto di studio, calcolata col metodo classico, risulta in base alla teoria più cautelativa data dalla relazione di *Brinch Hansen* pari a:

$$Q_{\text{rottura, platea strato 1}} = 5,90 \text{ kg/cm}^2$$

$$Q_{\text{rottura, platea strato 2}} = 2,39 \text{ kg/cm}^2$$

$Q_{\text{rottura. trave strato 1}} = 2,10 \text{ kg/cm}^2$

$Q_{\text{rottura. trave strato 2}} = 3,04 \text{ kg/cm}^2$

Si ricorda che il valore riportato è valido per il terreno d'appoggio non considerando le caratteristiche degli strati sottostanti.

Si consiglia di verificare il reale incremento di carico per gli strati sottostanti in funzione delle loro caratteristiche geotecniche.

5.3 Verifica agli SLE

Nel caso di una fondazione, la verifica agli stati limite di esercizio (SLE) comporta principalmente l'analisi dei cedimenti della fondazione sotto un carico d'esercizio.

Si è considerato un carico centrato su ogni verticale indagata per la trave e la platea di riferimento.

Cptu 1	
Tipo di fondazione e carico	Cedimenti (cm)
Platea ($s=0,5 \text{ kg/cm}^2$)	5.55
Plinto ($s=1,0 \text{ kg/cm}^2$)	3.03

Cpt 2	
Tipo di fondazione e carico	Cedimenti (cm)
Platea ($s=0,5 \text{ kg/cm}^2$)	4.72
Plinto ($s=1,0 \text{ kg/cm}^2$)	2.29

Cpt 3	
Tipo di fondazione e carico	Cedimenti (cm)
Platea ($s=0,5 \text{ kg/cm}^2$)	6,20
Plinto ($s=1,0 \text{ kg/cm}^2$)	1.63

I cedimenti avranno una dissipazione rapida vista la presenza di sabbia nei primi metri.

Tale calcolo è da considerarsi di primo orientamento per la natura empirica del calcolo e le schematizzazioni utilizzate.

5.4 Calcolo di R_d secondo NTC 18 (Verifica agli SLU)

Utilizzando l'Approccio 2 (A1+M1+R3) si avrà:

$$R_d \text{ (app. 2) platea strato 1} = 2,62 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_d \text{ (app. 2) platea strato 2} = 1,35 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_d \text{ (app. 2) trave strato 1} = 0,97 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_d \text{ (app. 2) trave strato 2} = 1,63 \text{ kg/cm}^2$$

Resta comunque a carico dell'Ingegnere Strutturale il calcolo di E_d e la validazione di quanto esposto.

5.5 Valutazione del coefficiente di sottofondo statico (modulo k di Winkler)

Il modulo di *Winkler* è un parametro che mette in relazione la pressione sul terreno e la relativa deformazione.

$$P = K \times S$$

Con:

P = pressione di contatto

K = modulo di *Winkler*

S = cedimento in un punto

L'assunzione fondamentale è il considerare il mezzo fisico (terreno) come un letto di molle elastiche fra loro indipendenti.

Tale parametro non è una caratteristica del terreno essendo definito anche dalla forma e dimensione della fondazione.

In linea generica si possono dare i seguenti valori di modulo di *Winkler*:

litologia	K min. (kg/cm ³)	K max. (kg/cm ³)
Sabbia sciolta	0,48	1,60
Sabbia mediamente densa	0,96	8,00
Sabbia densa	6,40	12,80
Sabbia argillosa e sabbia limosa mediamente densa	2,40	4,80
Ghiaia e sabbia compatta	10.0	30.0

Argilla con $Q_u < 2 \text{ kg/cm}^2$	1,20	2,40
Argilla con $2 \text{ kg/cm}^2 < Q_u < 4 \text{ kg/cm}^2$	2,20	4,80
Argilla con $Q_u > 4 \text{ kg/cm}^2$	> 4,80	

Nel caso specifico il *software* utilizzato nei calcoli geotecnici, considerando la pressione di contatto ed i relativi cedimenti, ha ottenuto il seguente risultato:

Costante di Winkler_{platea strato 1} = 2.36 Kq/cmc

Costante di Winkler_{platea strato 2} = 0.95 Kq/cmc

Costante di Winkler_{trave strato 1} = 0.84 Kq/cmc

Costante di Winkler_{trave strato 2} = 1.20 Kq/cmc

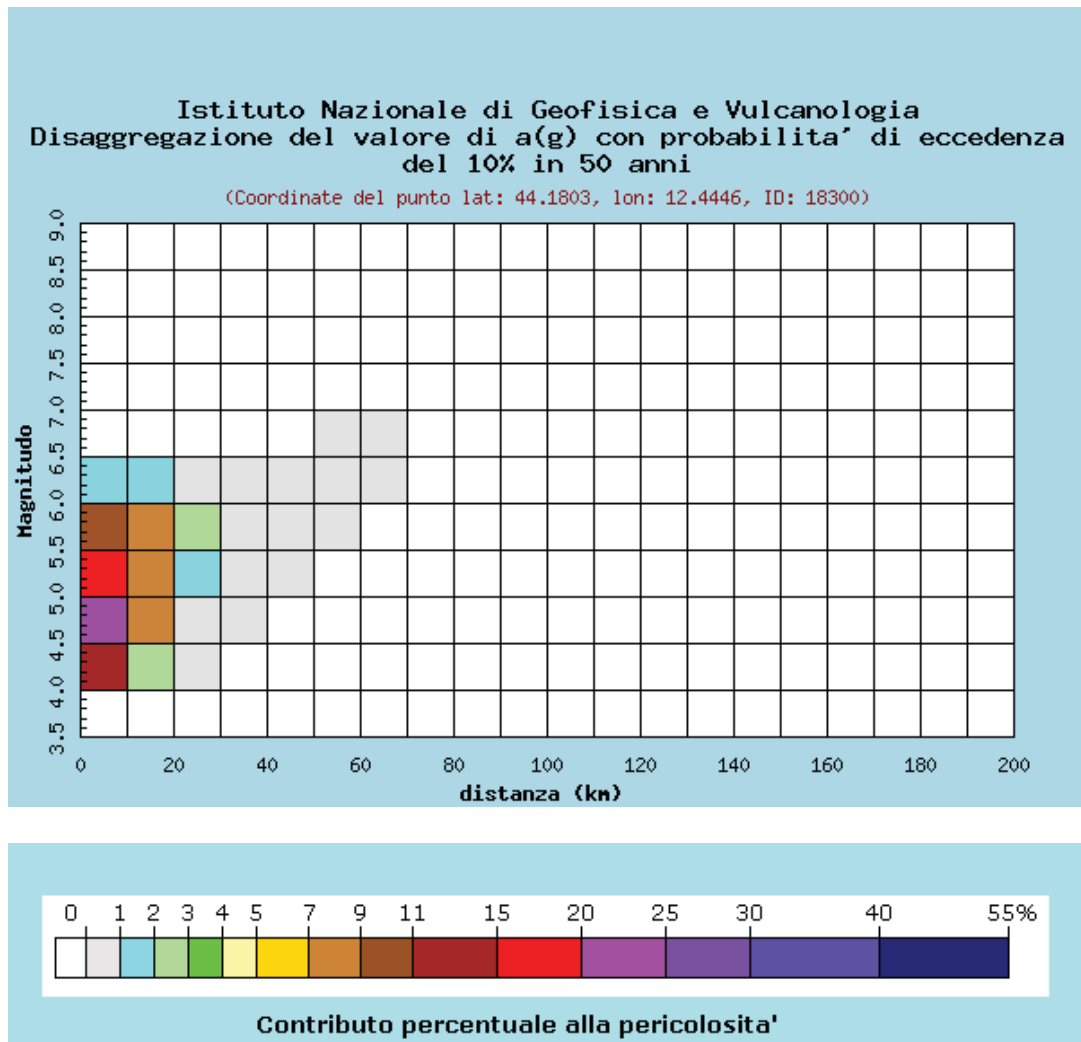
6. ASPETTI SISMICI

6.1 Classificazione sismica del territorio

Il comune di Cesenatico è classificato sismico di 2 categoria caratterizzato da un'accelerazione sismica orizzontale massima a_g pari a 0,25g.

Si è ricostruita la massima magnitudo attesa al sito in base al catalogo dei terremoti storici fornito nel sito internet dell' INGV.

Si riportano i diagrammi di disaggregazione dei dati sulle magnitudo dei più forti terremoti in funzione della distanza.



Si riporta inoltre la mappa delle sorgenti sismogenetiche e le faglie potenzialmente attive ricavata dal Database of Individual Seismogenic Sources (DISS) dell' Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.



Sulla base di questo database il comune di Cesenatico si trova all'interno della zona sismogenica ZS9, avente una Mw_{max} pari a 6,14. Pertanto a titolo cautelativo si utilizzerà una

$$\underline{Mw_{max} = 6,14}$$

6.2 Caratterizzazione sismica del sito

In questo capitolo si analizzerà la risposta sismica locale alla luce della nuova normativa sismica (NTC 18).

L'acronimo RE.MI. significa Refraction Microtremor e sfrutta lo stesso stendimento della M.A.S.W. utilizzando però i microtremori ambientali come fonte di eccitazione ed una finestra temporale più lunga.

Per il rilievo si è utilizzato un sismografo marca MICROMED modello SoilSpy Rosina a 24 canali (matricola SAA---0027/4-12) collegato ad un pc netbook.

Operativamente si è realizzata una stesa di 7 geofoni verticali da 4,5 Hz interspaziati 3,0 m.

I dati sono quindi acquisiti con frequenza di campionamento pari a 256 Hz per la Re.Mi tramite il software Rosina ed analizzati tramite Grilla.

Utilizzando la componente Z per le onde di Rayleigh si ottiene quindi una curva di dispersione dalla quale ricavare un profilo di Vs in condizioni di 1 D e strati pian paralleli.

La curva di dispersione è realizzata attraverso il software Grilla che analizza per ogni singola frequenza una velocità di prova compresa in un range (ad esempio 50 m/s – 350 m/s) ed ad un passo (per esempio 2 m/s) preimpostati dall'operatore.

Per la Re.Mi l'elaborazione del segnale è data da una trasformata bidimensionale Slowness – Frequency che analizza l'energia di propagazione del rumore in entrambe le direzioni della linea sismica rappresentando lo spettro di potenza su di un grafico p - f

La zona colorata in rosso è quella in cui, attraverso l'operazione di slant/stack si giunge a trovare la Vs che meglio fitta le varie serie temporali alle finestre di frequenza.

Si può arrivare ad assimilare la zona rossa con una spezzata passante per la Re.Mi nel limite inferiore.

La retta presenta pendenze variabili ed ad ogni cambio di pendenza si rilevano Vs e profondità che andranno poi a ricostruire i sismostrati.

La retta tende all'infinito quando per tutte le velocità di prova si ha lo stesso grado di correlazione, ovvero si hanno infinite soluzioni.

La massima lunghezza d'onda indagata è data quindi dalla relazione:

$$l_{\max} = V_{\max} / f_{\min}$$

con

l_{\max} = massima lunghezza d'onda indagata

V_{\max} = massima velocità prima che la retta tenda all'infinito

f_{\min} = frequenza corrispondente alla V_{\max}

infine, la massima profondità indagata equivale a:

$$Dh_{\max} = l_{\max} / 2,5$$

Nello specifico

$$\underline{Dh_{\max} \text{ remi} = 23,8 \text{ m}}$$

Per il rilievo H.V.S.R. si è adottato uno strumento marca Micromed, modello Tromino Engy che adotta una metodologia, anche chiamata tecnica di Nakamura (1989), che è stata introdotta da Nogoshi e Igarashi (1971) sulla base degli studi di Kanai e Tanaka del 1961.

Lo strumento è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, e permette la registrazione nel campo di frequenze 0-200 Hz. Dopo che il segnale dei tre velocimetri è stato acquisito, per un tempo t, e digitalizzato a 24 bit, viene trasmesso ad un software dedicato, denominato Grilla il quale, per ciascuna delle 3 componenti del moto, esegue le seguenti operazioni:

divisione del tracciato in finestre la cui lunghezza è immessa dall'operatore;
depurazione del segnale dal trend di ciascuna finestra;

“taper” con una finestra di Bartlett;
“pad” di ciascuna finestra con degli zero;
calcolo della trasformata di Fourier (FFT) per ciascuna finestra;
calcolo dello spettro di ampiezza per ciascuna finestra;
smoothing (lisciamento) dello spettro di ogni finestra secondo differenti funzioni la cui scelta viene definita dall'operatore;
calcolo del rapporto spettrale HVSR per ogni frequenza e per ogni finestra.

Questa tecnica si basa essenzialmente sul rapporto spettrale H/V di rumore ambientale (seismic noise) e permette di valutare gli effetti locali di sito. La tecnica proposta da Nakamura assume che i microtremori (il cosiddetto rumore di fondo registrabile in qualunque momento posizionando un sensore sismico sul terreno) consistano principalmente di un tipo di onde superficiali, le onde di Rayleigh, che si propagano in un singolo strato sovrastante su semispazio e che la presenza di questo strato sia la causa dell'amplificazione al sito.

L'applicazione, per la determinazione della V_s richiede la conoscenza della stratigrafia del sottosuolo, in particolare della profondità del primo riflettore. Infatti, la frequenza di risonanza è legata alla V_s dalla formula:

$$f_r = V_s / (4 h)$$

Per sfruttare la misura della frequenza di risonanza è necessario quindi la conoscenza della profondità del primo riflettore o la velocità del primo strato.

Questa tecnica presenta il vantaggio di poter essere adoperata pressoché ovunque, purché siano garantite l'assenza di forti vibrazioni indotte da attività umane nelle vicinanze del punto di misura.

Questa tecnologia è stata oggetto del progetto di ricerca SESAME (Site EffectS assessment using AMbient Excitations) ed a questo si rimanda per le linee guida della tecnica H/V spectral ratio. La sismica passiva a stazione singola fornisce inoltre informazioni sui terreni di indagine relativamente alle frequenze naturali e di risonanza.

Si sono inoltre analizzate congiuntamente le due tecniche in array insieme all'H.V.S.R. per permettere di superare i 30 m di profondità di indagine e rilevare quindi il parametro V_{s30} .

.

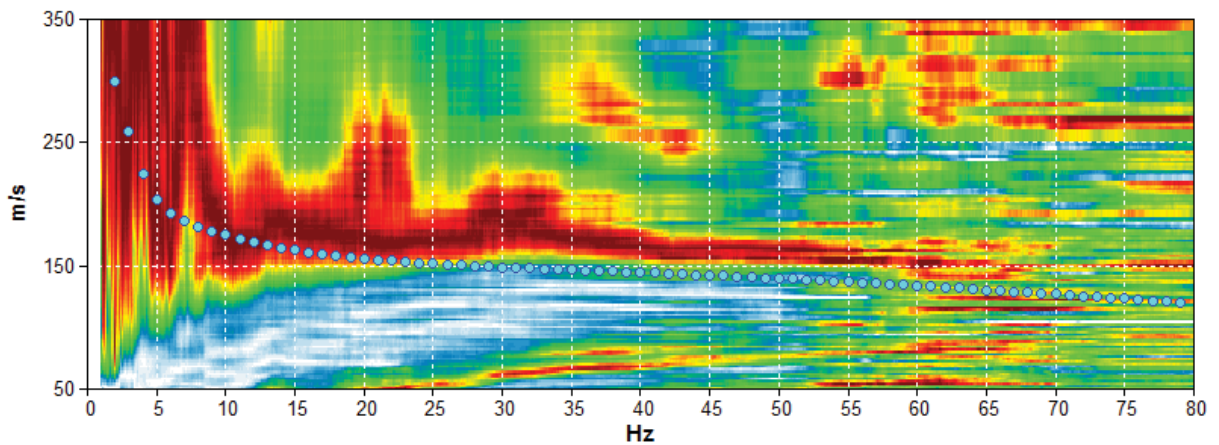
RILIEVO CONGIUNTO Re.Mi. + H.V.S.R.

Inizio registrazione: 21/12/18 14:22:57 Fine registrazione: 21/12/18 14:27:59
Durata registrazione: 0h05'02". Analisi effettuata sull'intera traccia.
Freq. campionamento: 256 Hz

Nomi canali: TR01 +TR01 ; TR02 +TR02 ; TR03 +TR03 ; TR04 +TR04 ; TR05
+TR05 ; TR06 +TR06 ; TR07 +TR07 ; TR08 +TR08 ; TR09 +TR09 ; TR10 +TR10

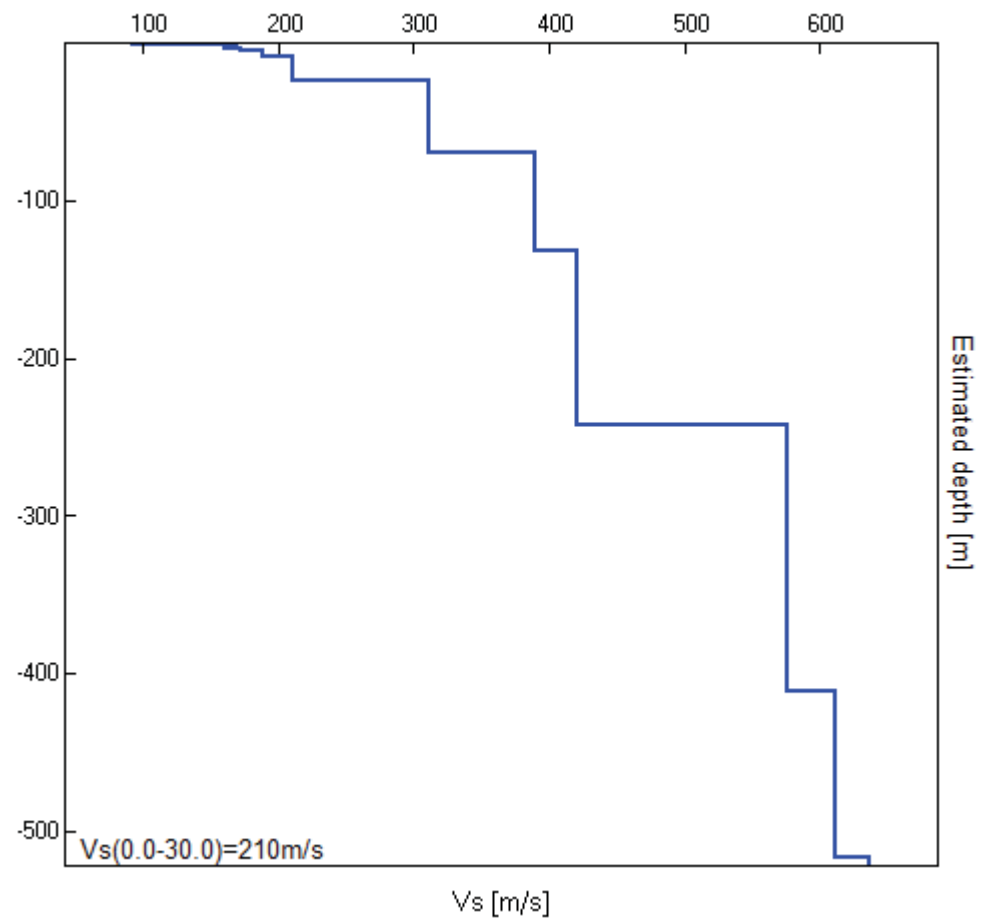
Array geometry (x): 0.0 3.0 6.0 9.0 12.0 15.0 18.0 21.0 24.0 27.0

MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.40	0.40	93	0.42
0.80	0.40	140	0.42
1.20	0.40	156	0.42
2.00	0.80	170	0.42
2.80	0.80	161	0.42
4.80	2.00	173	0.42
8.80	4.00	189	0.42
23.80	15.00	211	0.42
69.80	46.00	311	0.42
131.80	62.00	389	0.42
242.80	111.00	421	0.42
411.80	169.00	576	0.42
516.80	105.00	611	0.42
inf.	inf.	636	0.42

Vs(0.0-30.0)=210m/s



RILIEVO CONGIUNTO H.V.S.R. + Re.Mi.

Strumento: TEP-0111/01-10

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: n.a.

Inizio registrazione: 21/12/18 16:58:24 Fine registrazione: 21/12/18 17:18:25

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

Analisi effettuata sull'intera traccia.

Freq. campionamento: 128 Hz

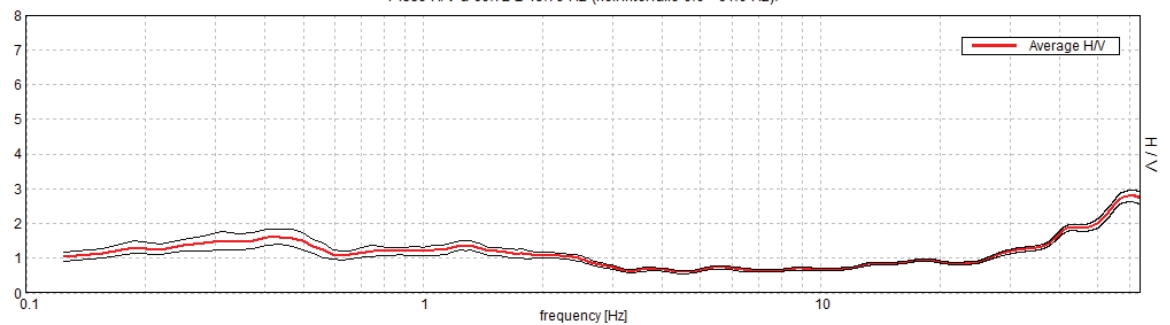
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

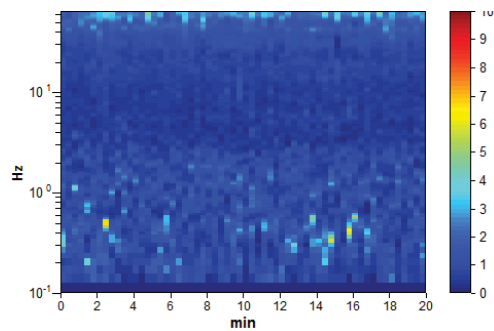
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

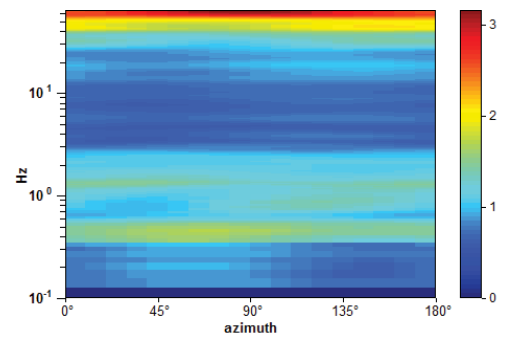
Picco H/V a 60.72 ± 15.79 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



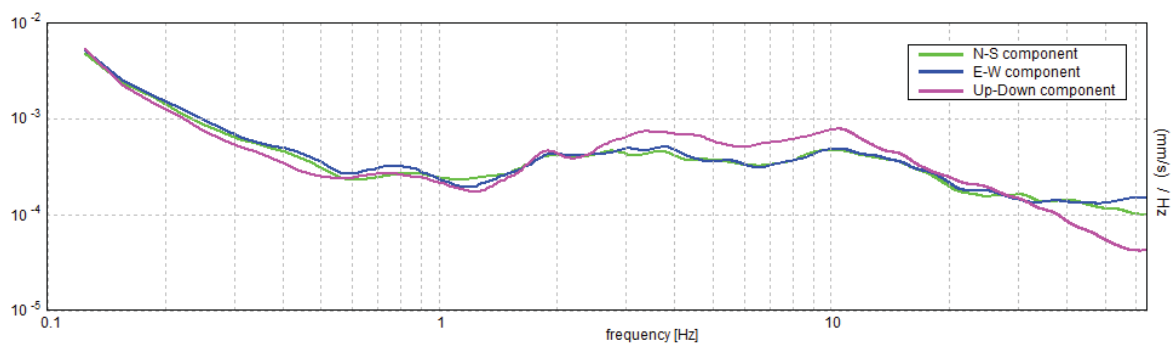
SERIE TEMPORALE H/V



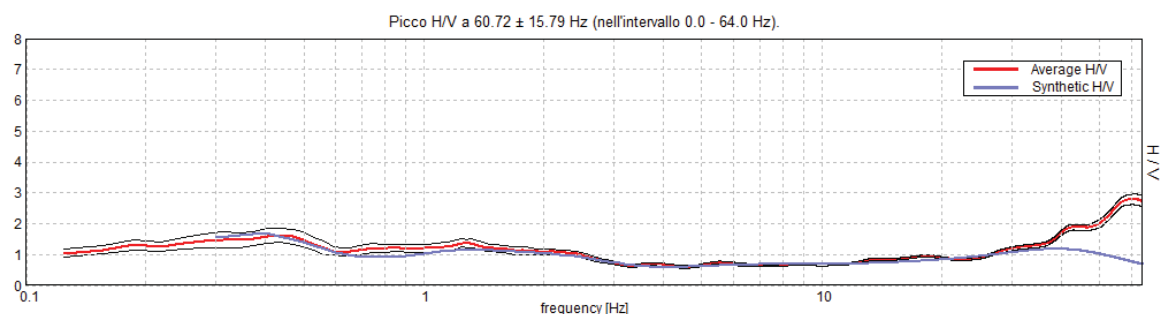
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

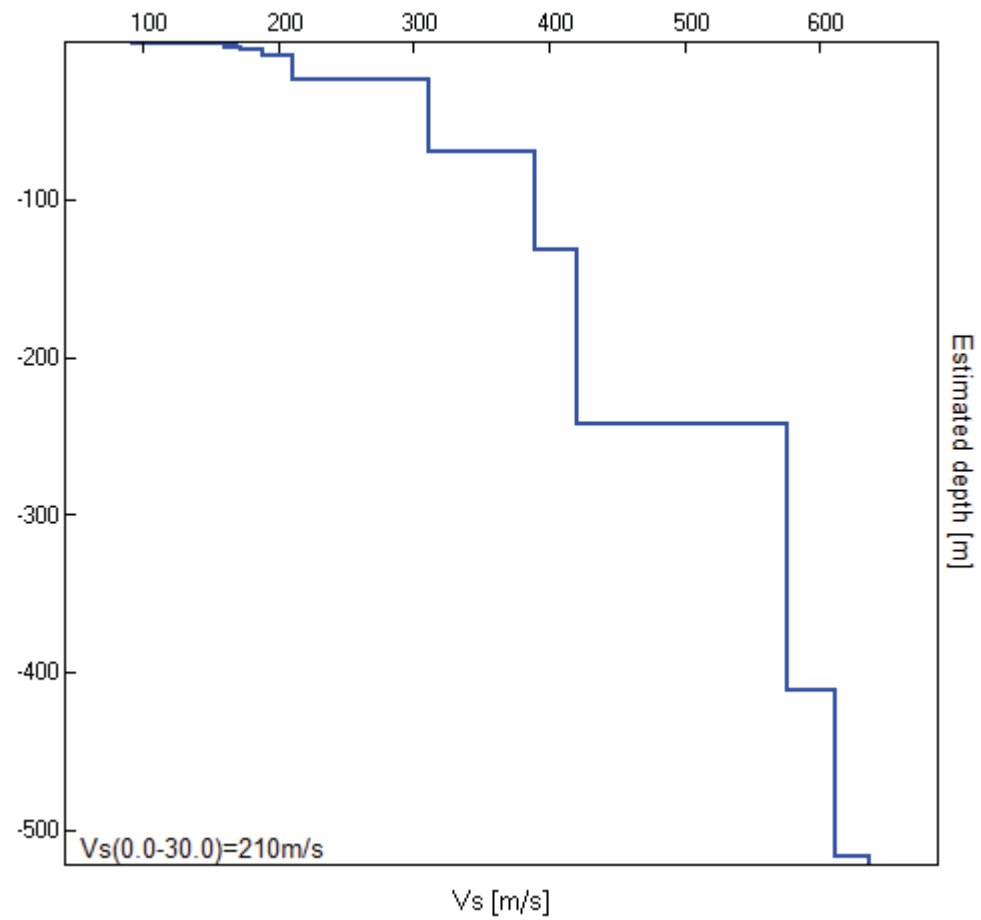


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.40	0.40	93	0.42
0.80	0.40	140	0.42
1.20	0.40	156	0.42
2.00	0.80	170	0.42
2.80	0.80	161	0.42
4.80	2.00	173	0.42
8.80	4.00	189	0.42
23.80	15.00	211	0.42
69.80	46.00	311	0.42
131.80	62.00	389	0.42
242.80	111.00	421	0.42
411.80	169.00	576	0.42
516.80	105.00	611	0.42
inf.	inf.	636	0.42

$V_s(0.0-30.0)=210\text{m/s}$



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente].

Picco H/V a 60.72 ± 15.79 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$60.72 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$72862.5 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 1078	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	37.281 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$2.79 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.26006 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$15.79073 < 3.03594$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1702 < 1.58$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

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

In base al modello proposto si è quindi calcolato un valore di V_{s30} pari a:

$V_{s30} = 210$ m/sec.

Vi è un picco principale a 0,45 Hz.

Sarà cura del Progettista Strutturale il calcolo della frequenza di risonanza dell'edificio e la verifica di un eventuale effetto di doppia risonanza.

Essendo il bedrock sismico ($V_s > 800$ m/s) a grande profondità, con un valore di V_{s30} pari a 210 m/sec il terreno, è classificabile come:

Terreno di categoria C.

Come precedentemente esposto il lotto in esame è sito in pianura, vi si può quindi attribuire una **classe topografica T 1**.

6.3 Parametri sismici

Si riportano di seguito i calcoli dei parametri sismici secondo la normativa nazionale elaborati con un software fornito da Geostru.

Sito in esame.

latitudine: 44,196291
longitudine: 12,407259
Classe: 2
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 18299	Lat: 44,1796	Lon: 12,3749	Distanza: 3176,972
Sito 2	ID: 18300	Lat: 44,1803	Lon: 12,4446	Distanza: 3472,189
Sito 3	ID: 18078	Lat: 44,2303	Lon: 12,4437	Distanza: 4766,128
Sito 4	ID: 18077	Lat: 44,2296	Lon: 12,3740	Distanza: 4557,336

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 50anni
Coefficiente c_u : 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 30 [anni]
ag: 0,050 g
Fo: 2,442
Tc*: 0,269 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 50 [anni]

Studio di Geologia Applicata
DOTT. MORONI MAURIZIO
Via R. Bagnoli 1120, 47522 Pievesestina di Cesena (Fc)
Tel. 0547/313359 – Cell. 328/2637646 email: moronigeo@libero.it

ag:	0,064 g
Fo:	2,468
Tc*:	0,280 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento:	10	%
Tr:	475	[anni]
ag:	0,180 g	
Fo:	2,523	
Tc*:	0,292	[s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento:	5	%
Tr:	975	[anni]
ag:	0,235 g	
Fo:	2,527	
Tc*:	0,304	[s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:

Ss:	1,500
Cc:	1,620
St:	1,000
Kh:	0,015
Kv:	0,008
Amax:	0,736
Beta:	0,200

SLD:

Ss:	1,500
Cc:	1,600
St:	1,000
Kh:	0,019
Kv:	0,010
Amax:	0,949
Beta:	0,200

SLV:

Ss:	1,430
Cc:	1,580
St:	1,000
Kh:	0,062
Kv:	0,031
Amax:	2,518
Beta:	0,240

SLC:

Ss:	1,340
Cc:	1,560
St:	1,000
Kh:	0,088
Kv:	0,044
Amax:	3,086
Beta:	0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 44.195354

longitudine: 12.406296

6.4 Risposta Sismica Locale

Utilizzando i parametri sopra riportati si è fatta una verifica a liquefazione preliminare dove si è riscontrato un rischio di liquefazione elevato.

A tale scopo per verificare la reale propensione alla liquefazione dei terreni presenti e per calcolare il cedimento post sisma si è svolta una analisi di risposta sismica locale per ricavare la reale accelerazione al suolo da inserire come *input* nella verifica a liquefazione.

La Risposta Sismica Locale è stata sviluppata con riferimento alle specifiche di cui al § 7.11.3 del D.M. 17/01/2018, la tipologia e la classe d'uso della struttura in progetto sono state assunte pari a quelle evidenziate nel approccio semplificato.

Nel sito in esame è stata condotta la valutazione degli effetti sismici di sito di III livello secondo lo schema seguente:

- definizione del modello geotecnico del sottosuolo attraverso indagini dirette e indirette (geofisiche);
- selezione di un moto di input (terremoto “caratteristico”) al bedrock;
- calcolo del moto del suolo atteso al sito (spettro di accelerazione) e dello spettro di risposta dell'oscillatore armonico tipo a un grado di libertà.

Per il calcolo degli spettri di accelerazione (orizzontale) attesi al sito è stato usato il codice di calcolo Shake 91 utilizzando il programma Strata, applicandolo al modello di sottosuolo discretizzato ed utilizzando come moto di input sette terremoti tipo per ogni stato limite forniti dal software Rexel 3.5. sviluppato da Iunio Iervolino, Carmine Galasso ed Eugenio Chioccarelli del Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura dell'Università degli Studi di Napoli Federico II.

È stato discretizzato il seguente modello sismostratigrafico:

N. strato	Prof. (m)	Curva di degrado	γ (t/m^3)	V_s (m/s)
1	4,8	1	1.85	155
2	8,8	1	1.85	189
3	23,8	2	1.85	211
4	69,8	3	1.90	311
5	131,8	4	2.00	389
6	242,8	5	2.00	421
7	411,8	6	2.10	576
8	516,8	6	2.10	611

9	inf	bedrock	636
---	-----	---------	-----

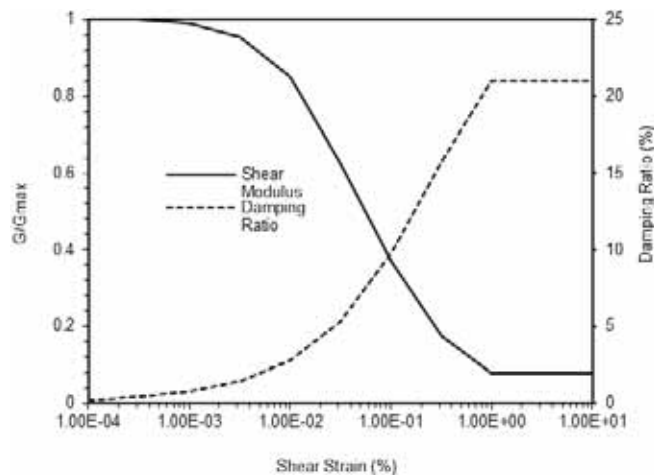
Al terreno, così schematizzato secondo il punto di vista geotecnico e geofisico in strati piano paralleli sovrapposti ad un semispazio uniforme, sono state applicate delle curve di degrado presenti in bibliografia.

I terreni infatti dal punto di vista dinamico hanno un comportamento descritto da una relazione sforzo/deformazioni di tipo isterico in un modello lineare equivalente secondo una coppia di parametri modulo di taglio/smorzamento in funzione dello stato tensionale o della litologia del terreno stesso.

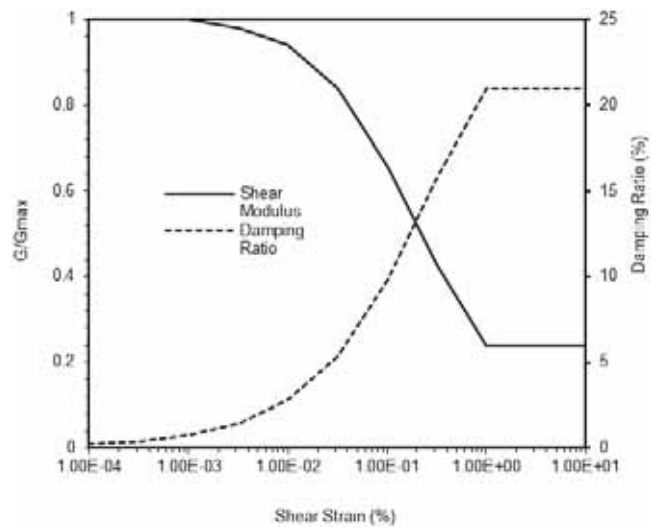
Le curve di degrado dei primi metri tengono conto come variabile primaria della litologia essendo stati i primi 15 metri indagati approfonditamente dalla campagna geognostica. Viceversa, per gli strati più profondi si è preferito utilizzare curve di degrado che tenessero maggiormente conto della profondità e quindi dello stato tensionale degli strati stessi per ovviare ad una conoscenza litologica meno precisa.

Si riportano di seguito i grafici delle curve di degrado utilizzate nella schematizzazione.

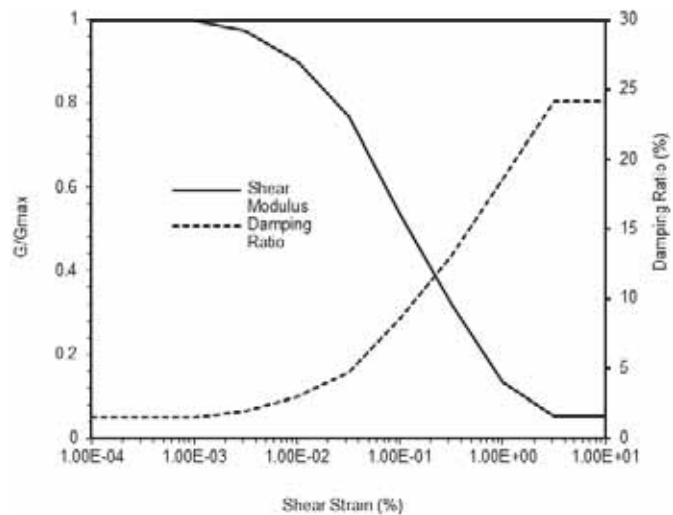
Curva di degrado 1 - Idriss (1990) Sand



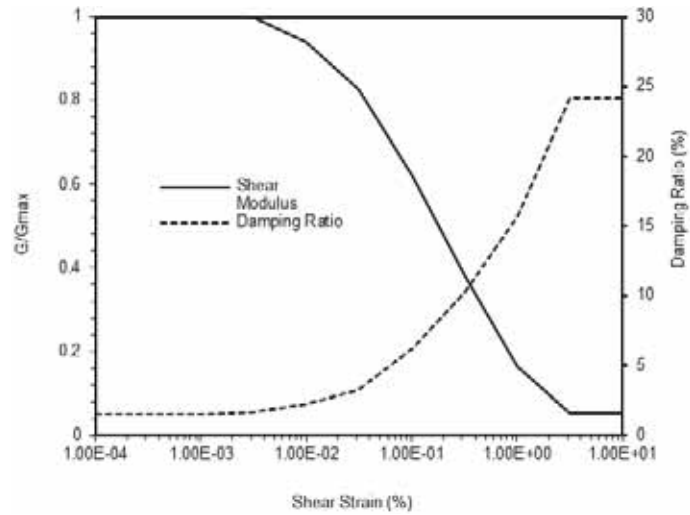
Curva di degrado 2 - Idriss (1990) Clay



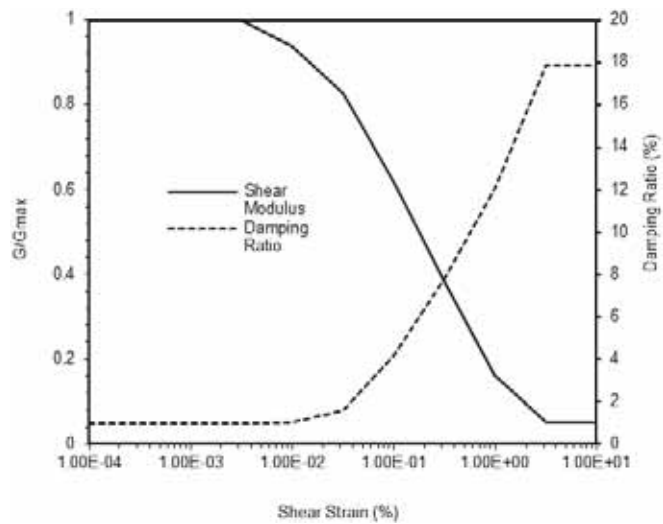
Curva di degrado 3 - Geo Matrix (1990) 50-150 ft



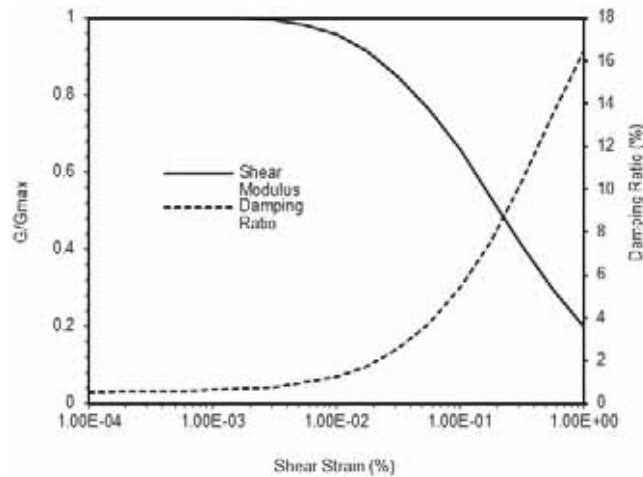
Curva di degrado 4 – Geo Matrix (1990) 150-300 ft



Curva di degrado 5 - Geo Matrix (1990) >150 - >300 ft

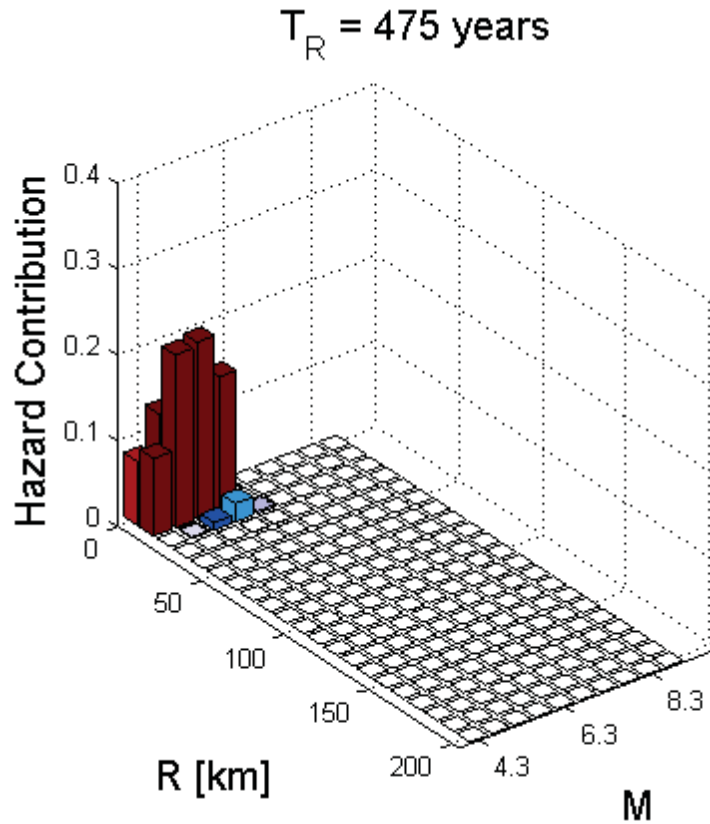


Curva di degrado 6 - EPRI (1993) 500 -1000 ft



Nella risposta sismica locale risulta fondamentale il moto di input proveniente dal substrato sismico (considerando come substrato sismico quello strato sotto al quale non avviene amplificazione) definito da una settupla di accelerogrammi reali ricavati da ESD (European Strong motion Database) attraverso il succitato software Roxel, che ricerca gli accelerogrammi all'interno di database filtrandoli attraverso i parametri impostati dall'operatore e relativi alla posizione del sito, alla classe sismica del punto di partenza del sisma (generalmente una classe A), alla categoria topografica ed alla strategia progettuale considerata, nello specifico, una vita nominale di 50 anni ed una classe d'uso 2.

Attraverso il seguente grafico di disaggregazione sono state definite la magnitudo e la distanza epicentrale di riferimento, nello specifico un range di M compreso tra 5 e 6,5 ed un raggio epicentrale tra 0 km e 15 km.



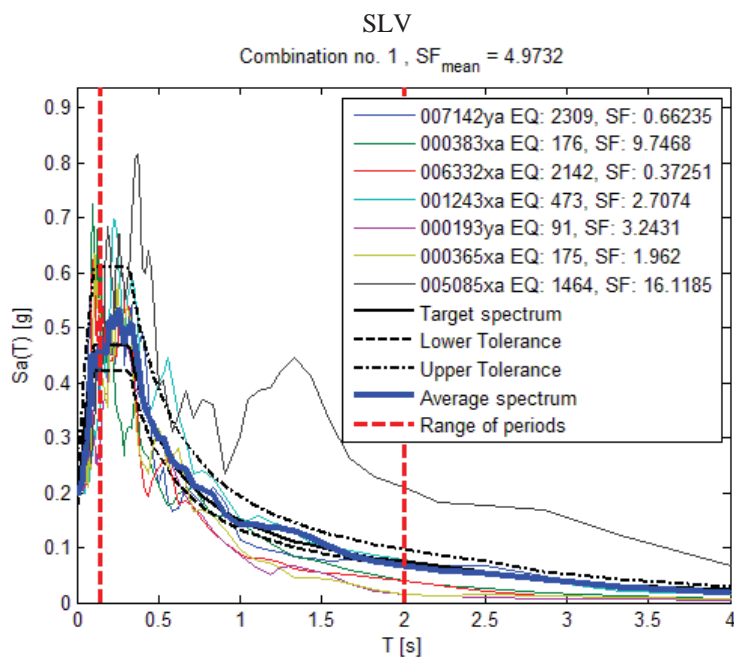
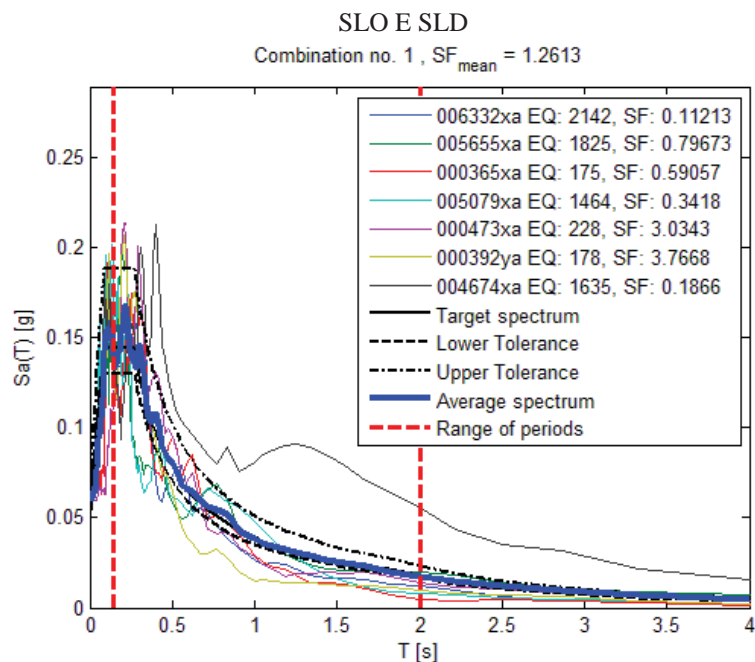
È stata quindi ricercata una settupla di accelerogrammi per ogni stato limite selezionando i seguenti sismi.

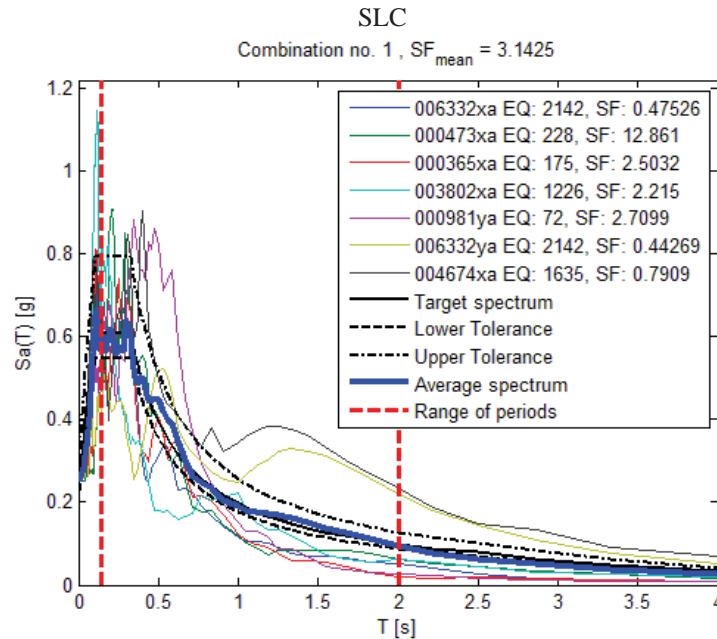
SLO - SLD							
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake name	data	Mw	Epicentral Distance	Ec8 site class
6332	2142	ST2483	South iceland (aftershock)	21/06/00	6.4	6	A
5655	1825	ST2950	NE of Banja Luka	13/08/81	5.7	10	A
365	175	ST140	Lazio - Abruzzo	07/05/84	5.9	5	A
5079	1464	ST2552	Mt Hengill Area	04/06/98	5.4	6	A
473	228	ST40	Vrancea	31/05/90	6.3	7	A
392	178	ST155	Lazio Abruzzo (aftershock)	11/05/84	4.7	10	A
4674	1635	ST2486	South Iceland	17/06/00	6.5	5	A

SLV							
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake name	data	Mw	Epicentral Distance	Ec8 site class
7142	2309	ST539	Bingol	01/05/03	6.3	14	A
383	176	ST153	Lazio Abruzzo (aftershock)	11/05/84	5.5	14	A
6332	2142	ST2483	South Iceland (aftershock)	21/06/00	6.4	6	A
1243	473	ST575	Izmit (aftershock)	13/09/99	5.8	15	A
193	91	ST64	Montenegro	09/04/79	5.4	15	A
365	175	ST140	Lazio Abruzzo	07/05/84	5.9	5	A
5085	1464	ST2479	Mt. Hengill Area	04/06/98	5.4	15	A

SLC							
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake name	data	Mw	Epicentral Distance	Ec8 site class
6332	2142	ST2483	South Iceland (aftershock)	21/06/00	6.4	6	A
473	228	ST40	Vrancea	31/05/90	6.3	7	A
365	175	ST140	Lazio Abruzzo	07/05/84	5.9	5	A
3802	1226	ST2368	SE of Tirana	09/01/88	5.9	7	A
981	72	ST1043	Friuli (aftershock)	16/09/77	5.4	11	A
6332	2142	ST2483	South Iceland (aftershock)	21/06/00	6.4	6	A
4674	1635	ST2486	South Iceland	17/06/00	6.5	5	A

Questi accelerogrammi presentano valori della media spettro compatibile allo spettro target considerato.

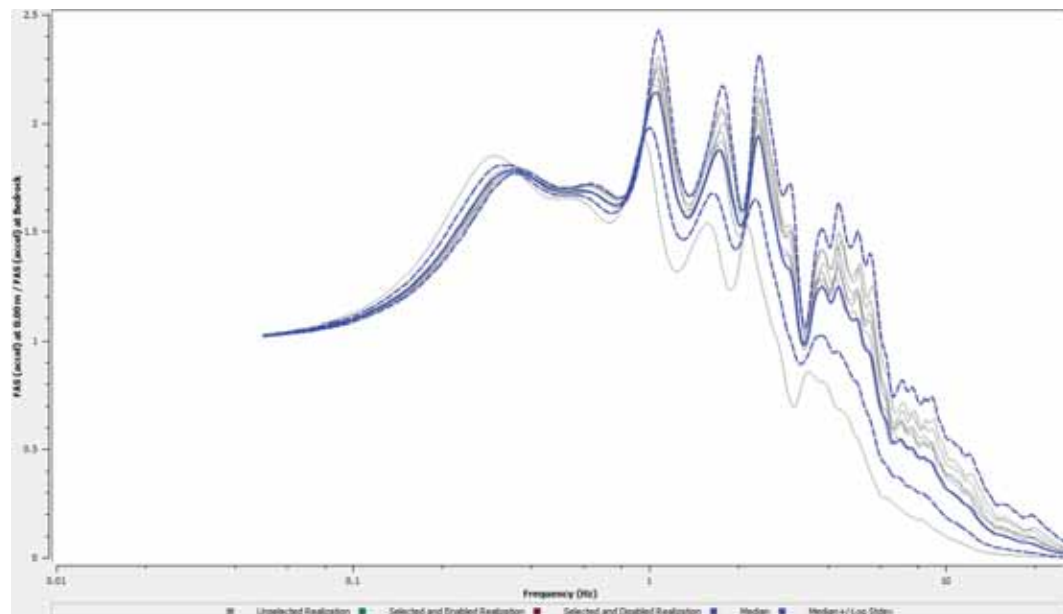


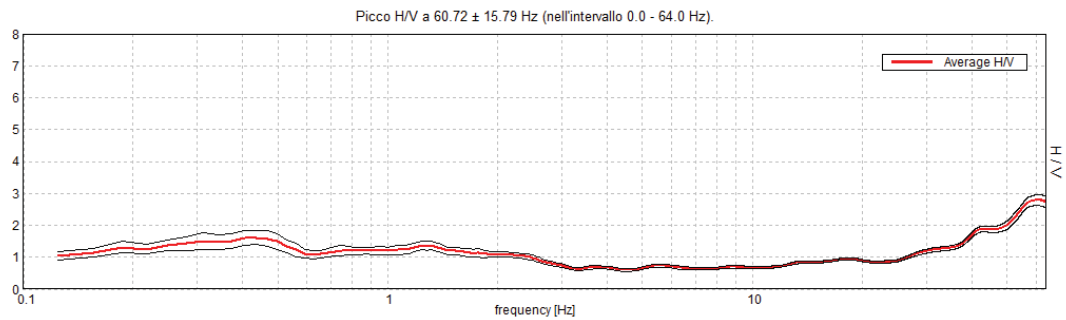


Gli spettri sono poi stati opportunamente scalati secondo le accelerazioni al bedrock dei relativi stati limite.

Con i parametri di input ed attraverso il software Strata è stata quindi svolta l'analisi di Risposta Sismica Locale per il sito considerato.

Si riporta il grafico tra lo spettro atteso al bedrock e quello atteso in superficie, in funzione della frequenza (funzione di trasferimento).





Come si può notare i due grafici presentano un andamento simile in particolare nel segmento 0.1 Hz – 10 Hz, al netto di alcuni piccoli picchi nella RSL dovuti a transienti.

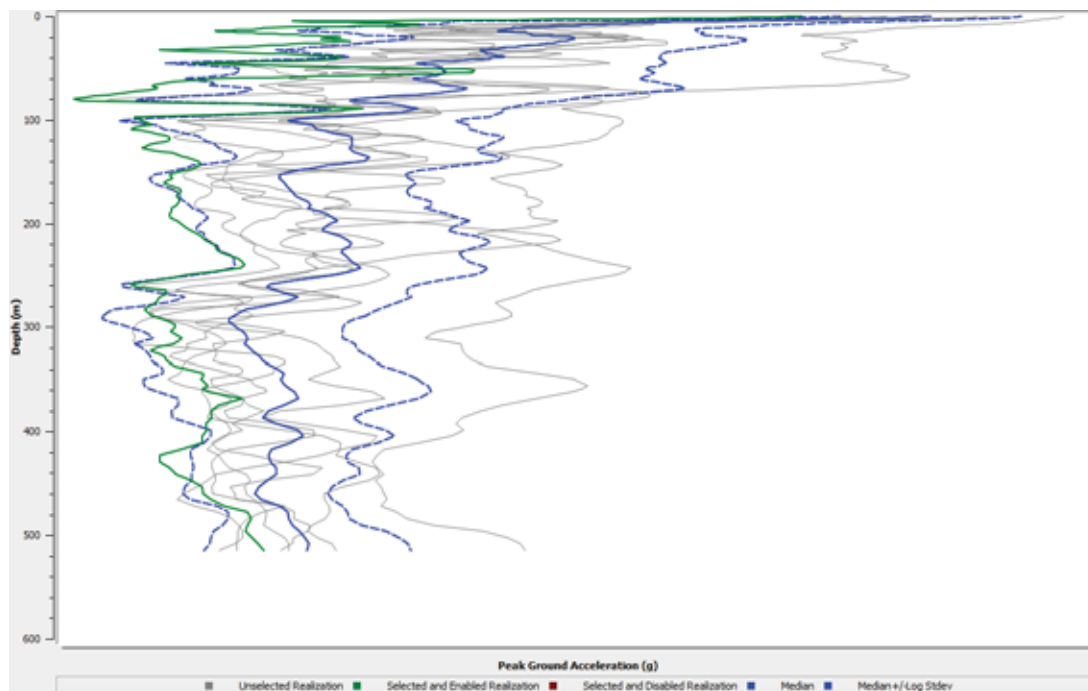
Questo confronto convalida la corretta elaborazione della Risposta Sismica Locale.

È stata considerata una quota di riferimento pari a piano campagna attuale.

Si riportano quindi, per ogni stato limite, il grafico accelerazione al suolo vs profondità insieme alla tabella dei valori di PGA per ogni input sismico con relativa media e lo spettro elastico del moto atteso sia calcolato che normalizzato.

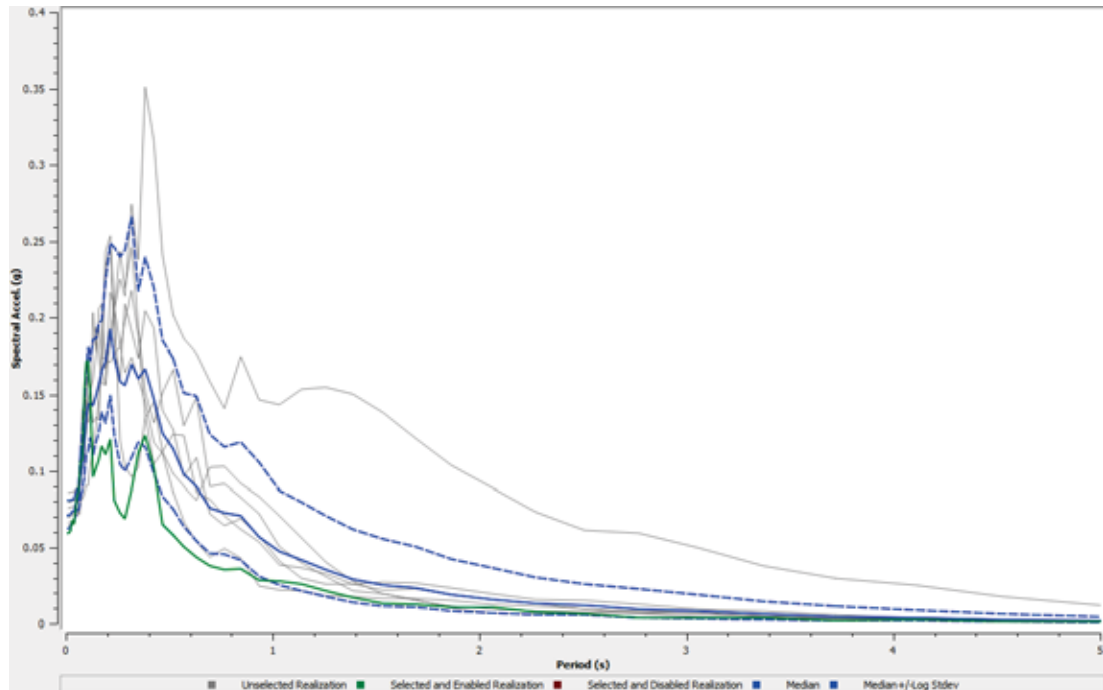
Stato Limite Operatività (SLO)

Pga

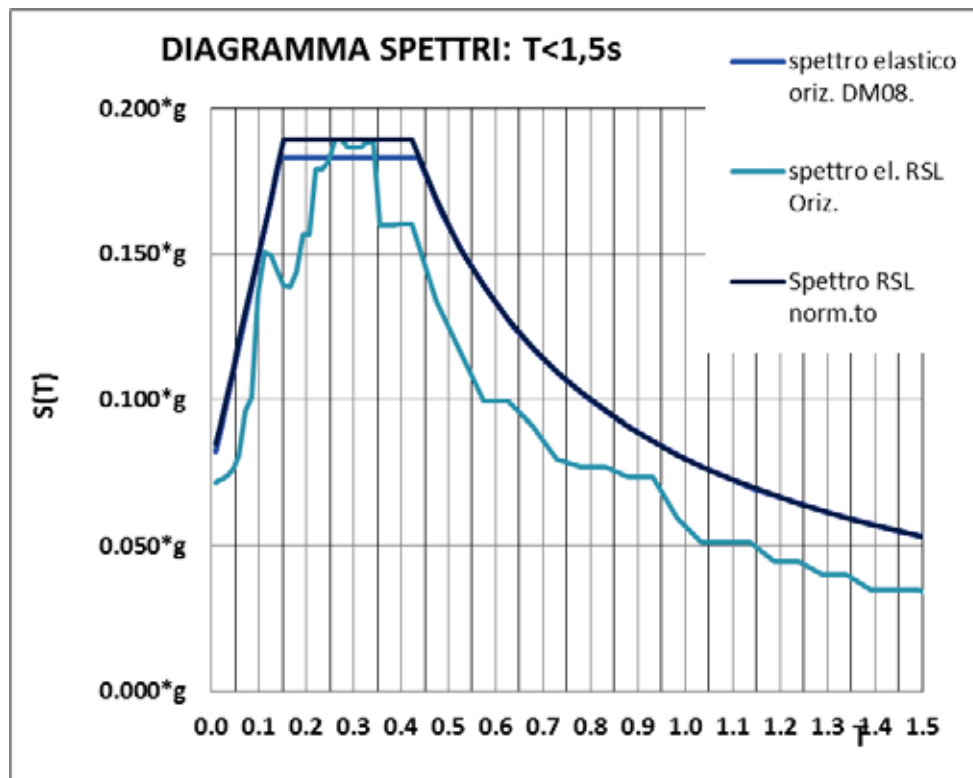


000365	000392	000473	0004674	005079	005655	0006332	mediana
0.0640	0.0694	0.07577	0.0859	0.0791	0.0587	0.0664	<u>0.0708</u>

Spettri elastici da RSL



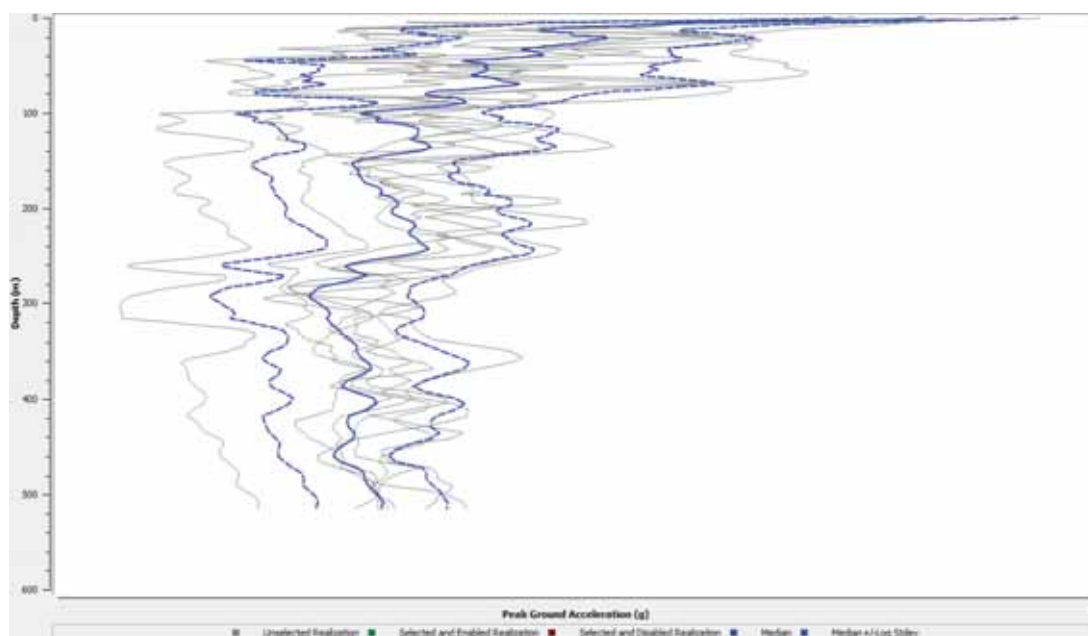
Spettro elastico medio da RSL normalizzato



SLO _{RSL}	
ag	0,0708
F ₀	2,443
T _B	0,153
T _C	0,422
T _D	1,800
S	1,550

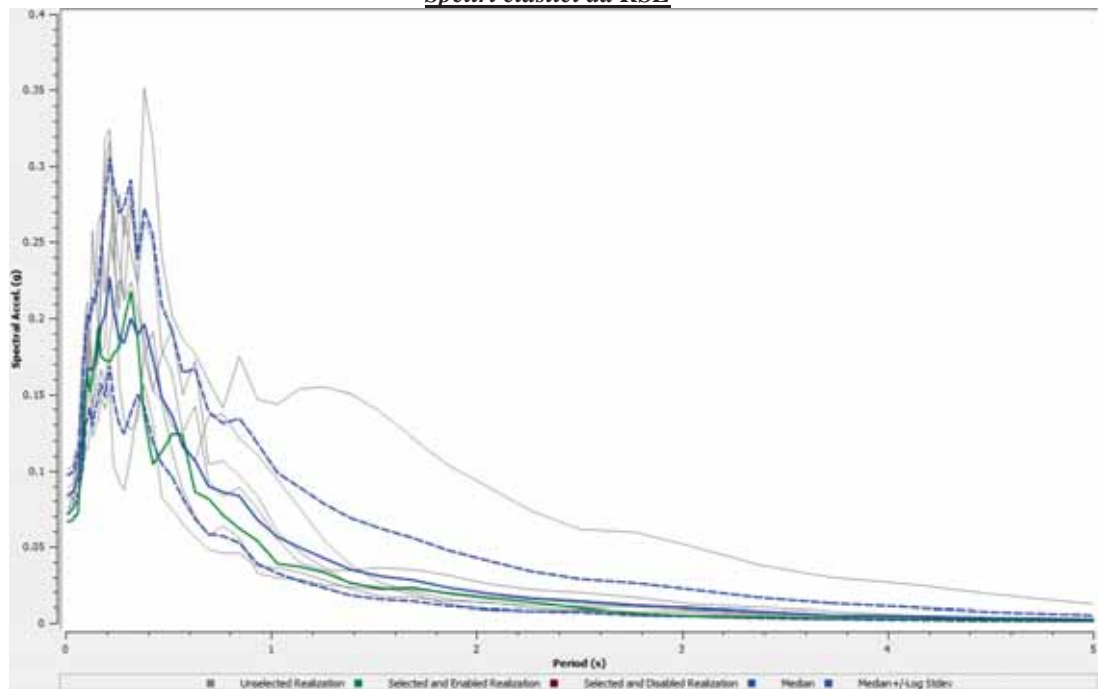
Stato Limite Danno (SLD)

Pga

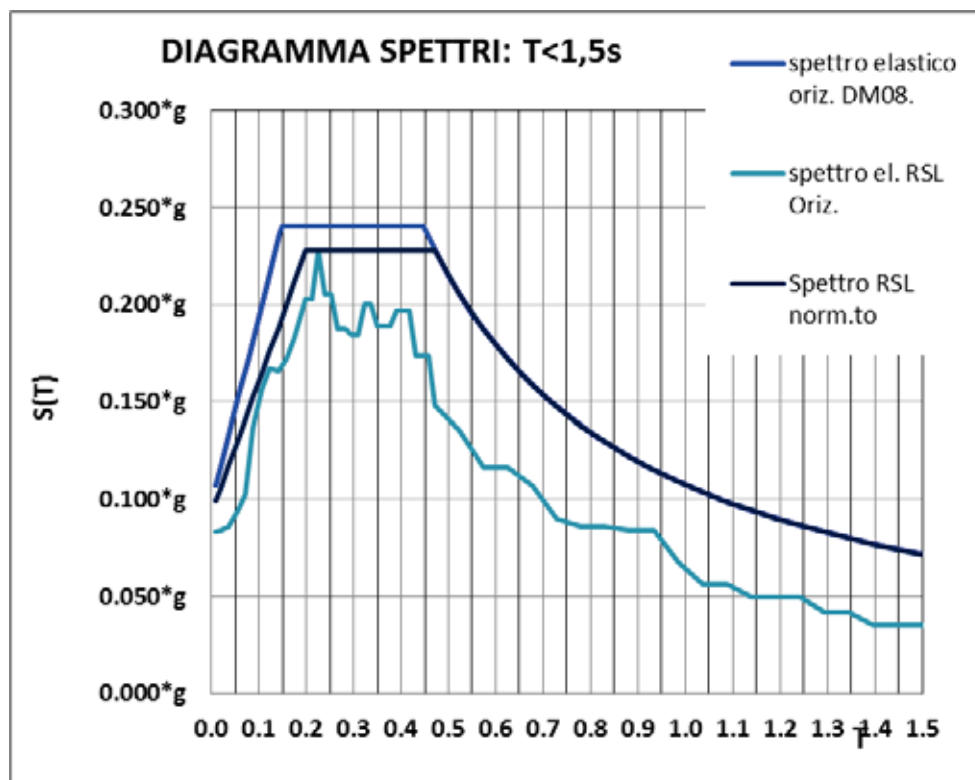


000365	000392	000473	0004674	005079	005655	0006332	mediana
0.0742	0.0885	0.0972	0.0859	0.1008	0.0748	0.0664	<u>0.0831</u>

Spettri elastici da RSL



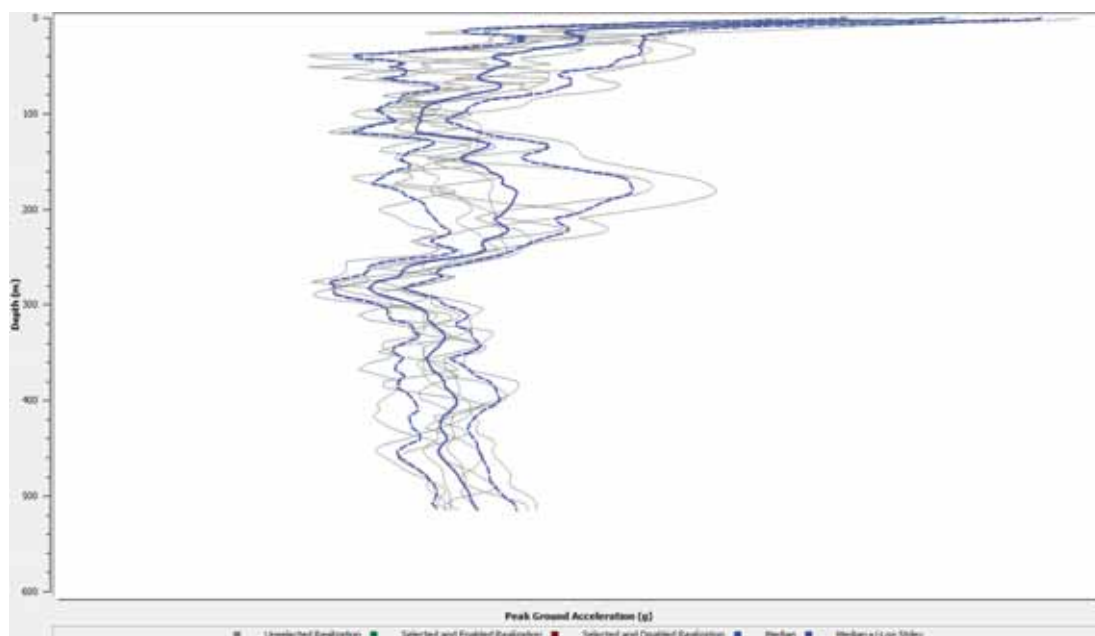
Spettro elastico medio da RSL normalizzato



SLD _{RSL}	
ag	0,0831
F ₀	2,468
T _B	0,199
T _C	0,472
T _D	1,860
S	1,419

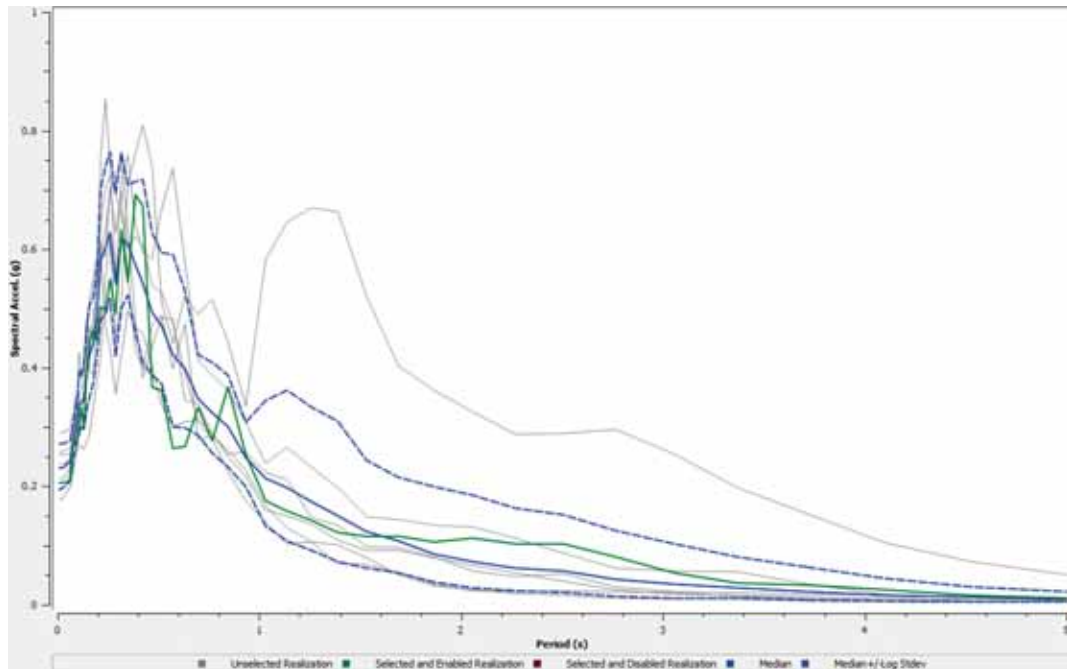
Stato Limite Vita (SLV)

Pga

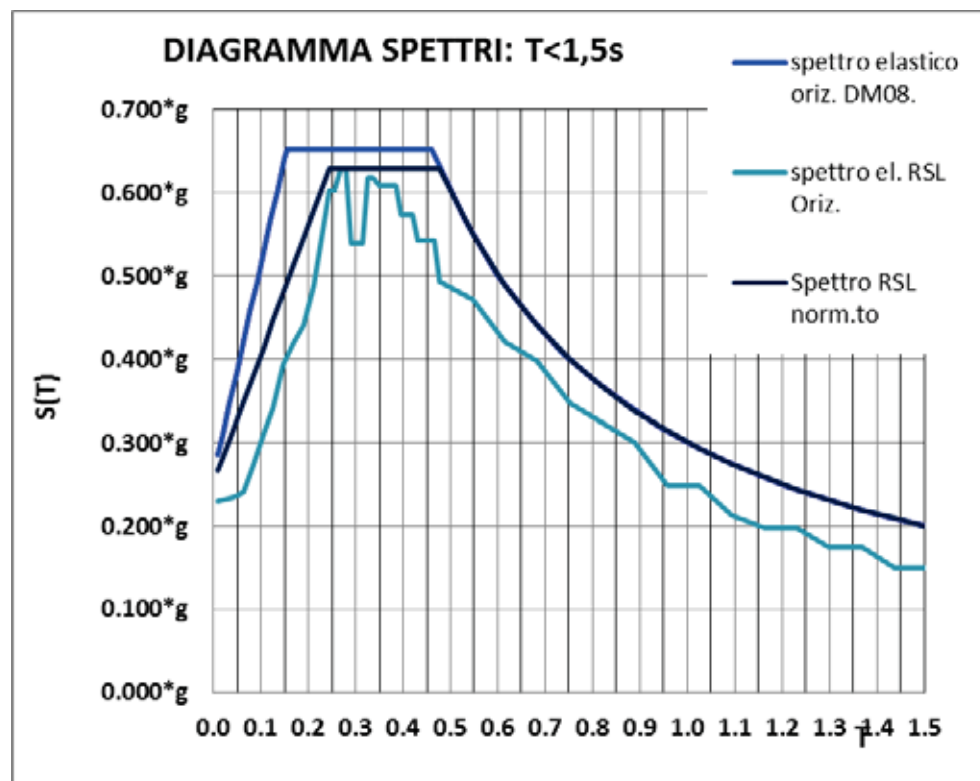


000193	000365	000383	001243	005085	006332	007142	mediana
0.2893	0.1759	0.2105	0.2572	0.2522	0.2359	0.2048	<u>0.2295</u>

Spettri elastici da RSL



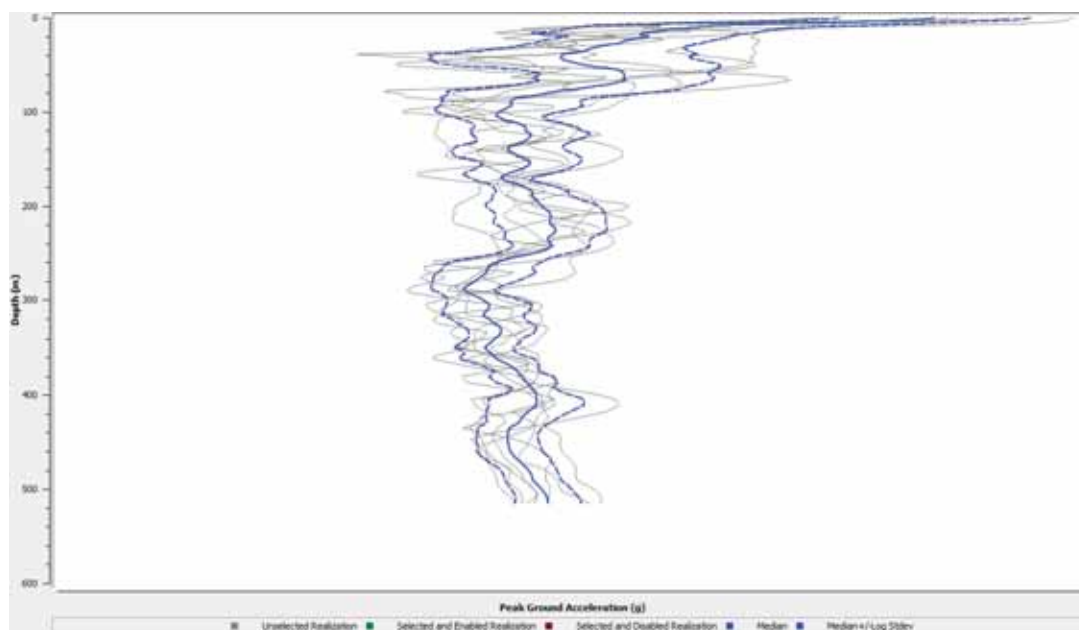
Spettro elastico medio da RSL normalizzato



SLV _{RSL}	
ag	0,2295
F ₀	2,510
T _B	0,244
T _C	0,478
T _D	2,328
S	1,377

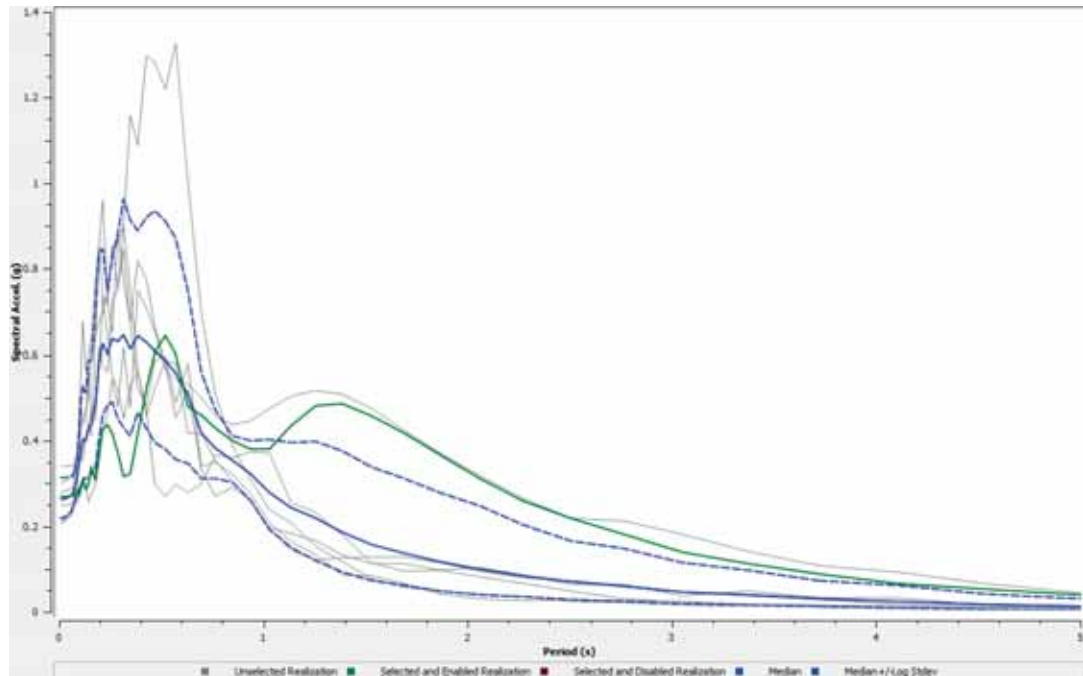
8.2.5.4. Stato Limite Collasso (SLC)

Pga

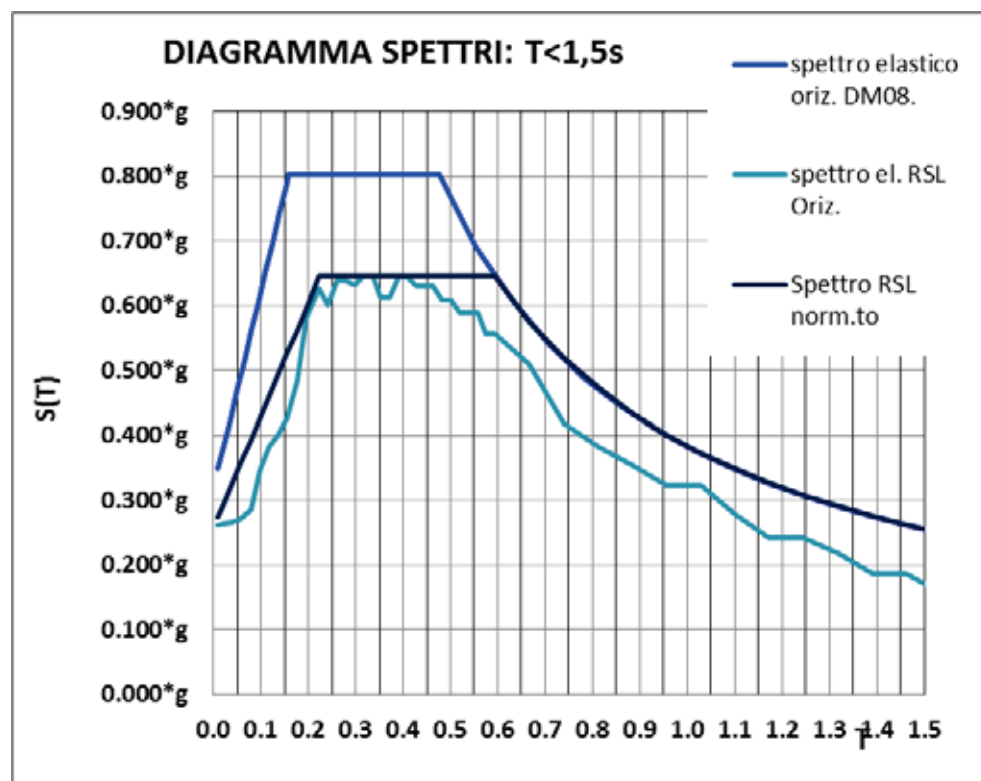


000365	000473	000981	003802	004674	006332	006332	mediana
0.2075	0.3025	0.3396	0.2121	0.2492	0.2792	0.2688	<u>0.2619</u>

Spettri elastici da RSL



Spettro elastico medio da RSL normalizzato



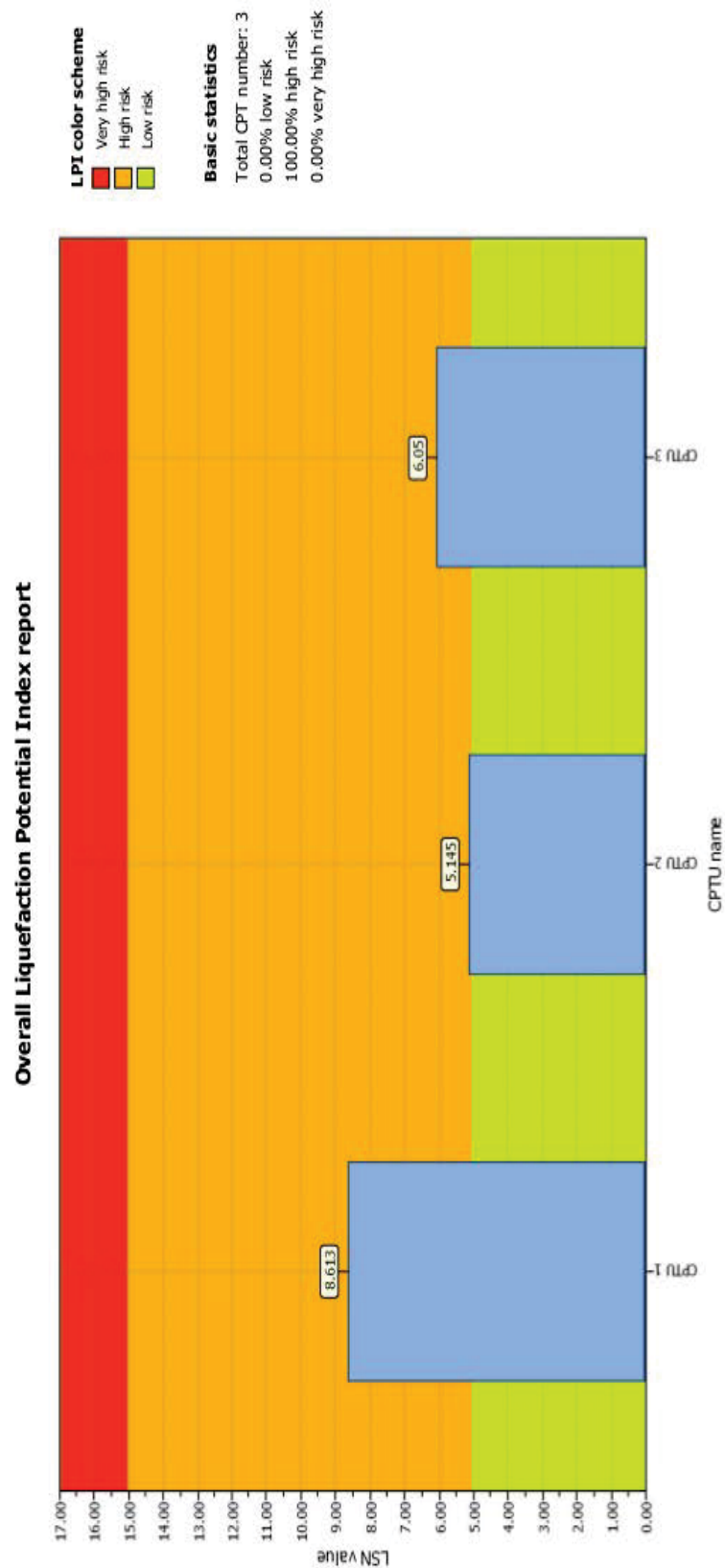
SLC _{RSL}	
ag	0,2619
F ₀	2,525
T _B	0,224
T _C	0,594
T _D	2,548
S	1,079

6.5 Stima del pericolo di liquefazione

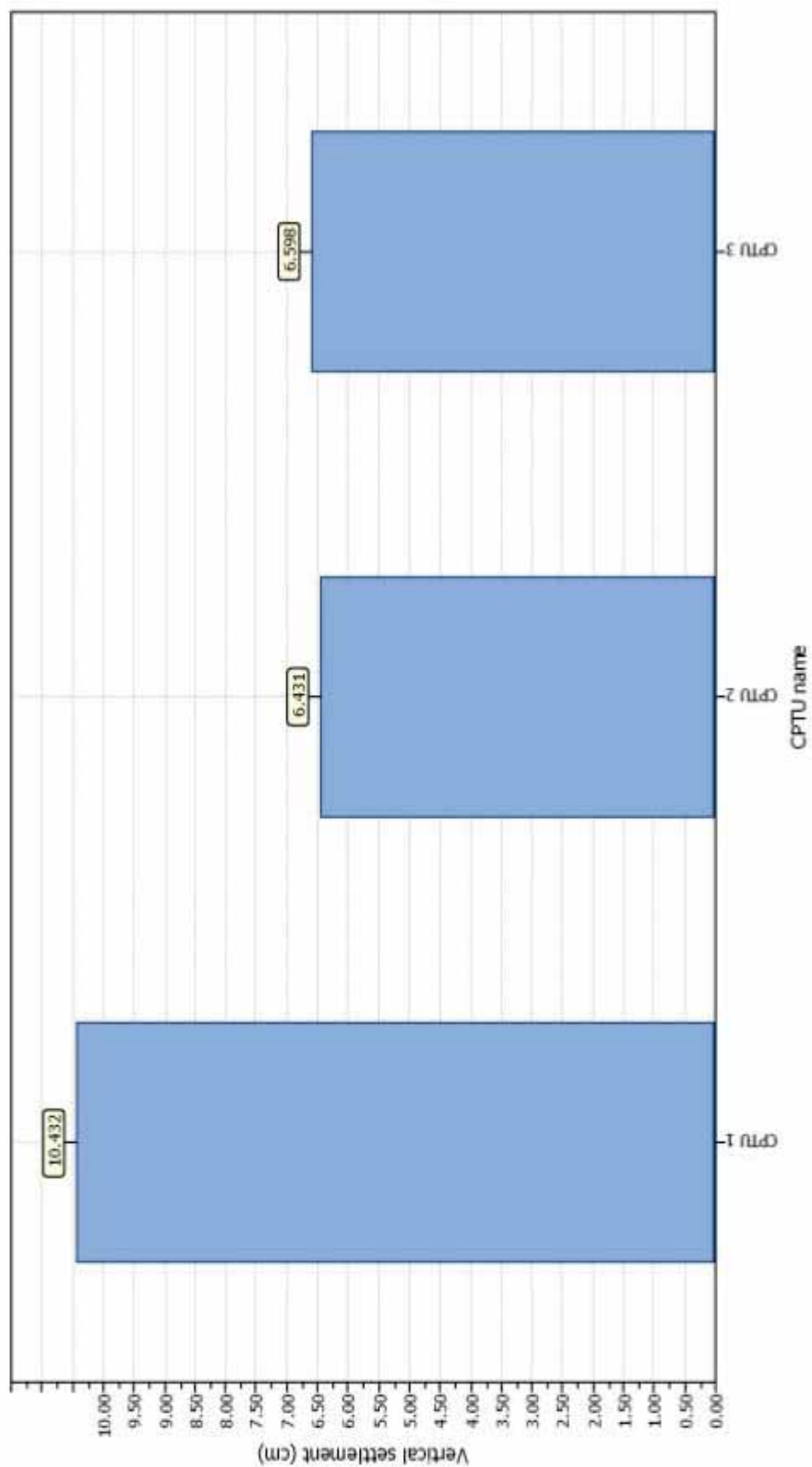
Per la verifica alla liquefazione si è utilizzato il metodo di *Robertson & Wride* e l'accelerazione stimata dalla risposta sismica locale.

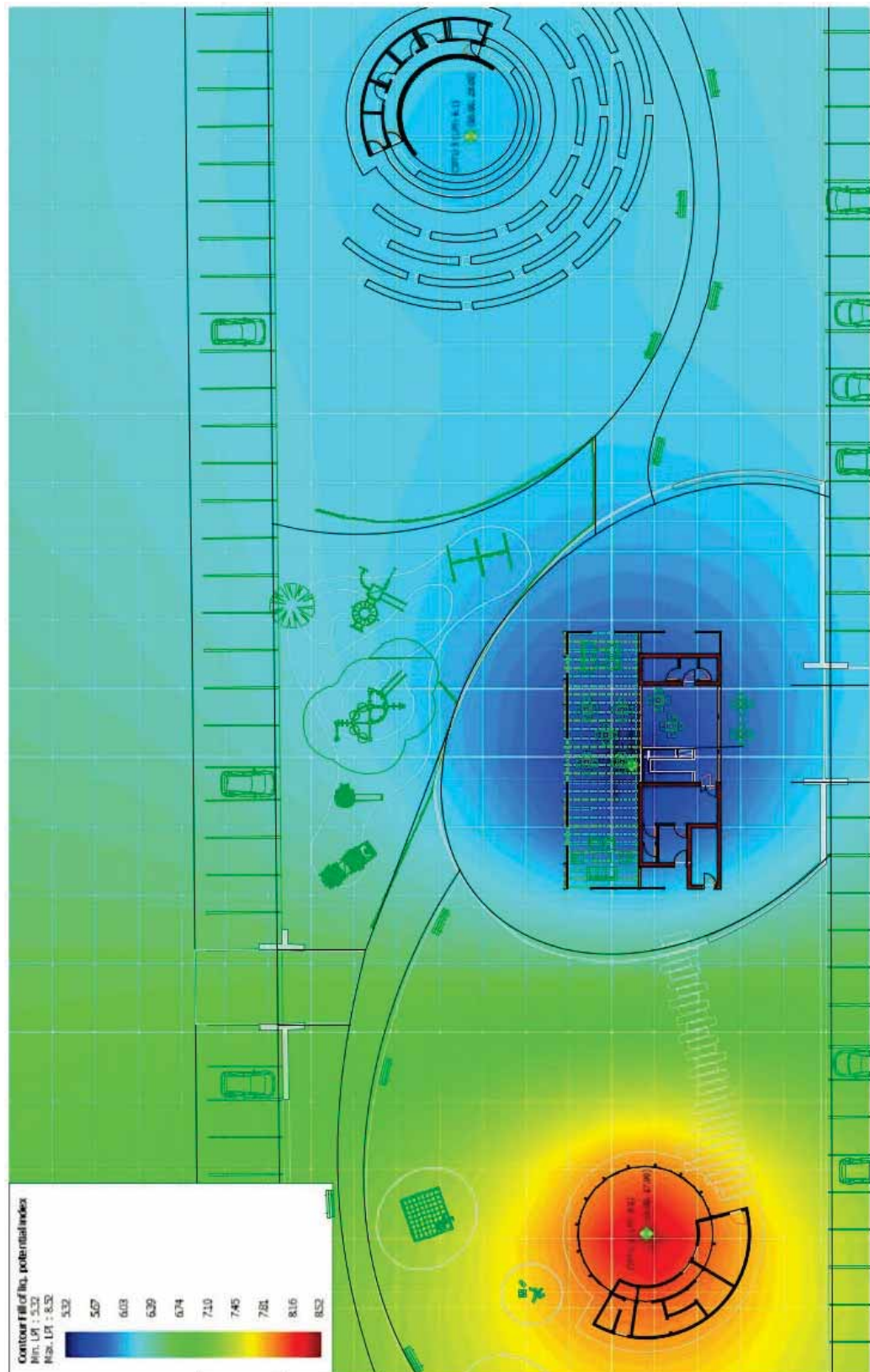
In questa sede si riportano i grafici di sintesi dei calcoli, rimandando all'allegato 2 tutti i grafici di calcolo e le formule utilizzate.

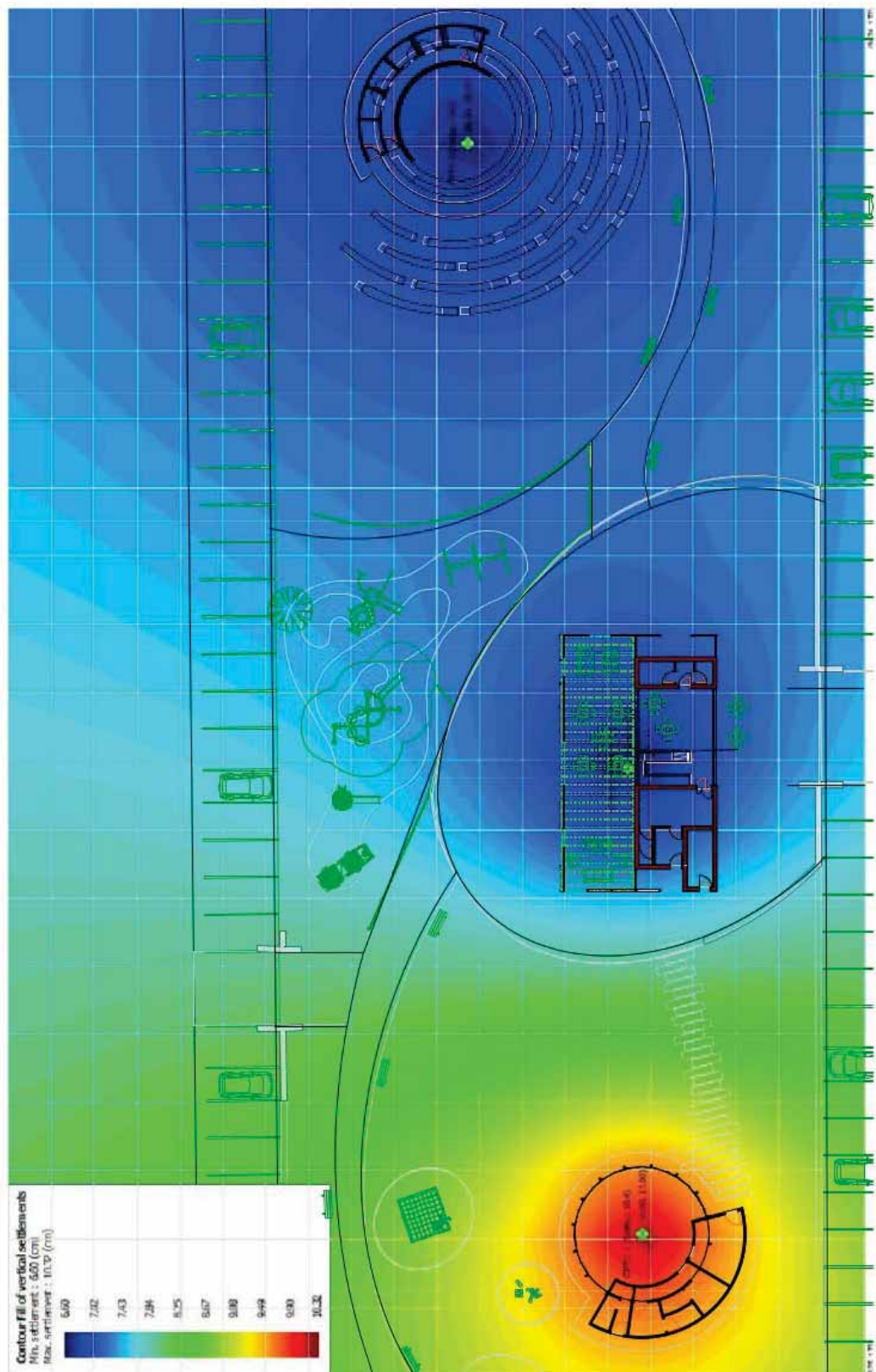
.



Overall vertical settlements report







I valori di LPI variano da un minimo di 5,14 ad un massimo di 8,61 con una media pari a 6,6 denotando un rischio di liquefazione alto

I cedimenti attesi variano da un minimo di 6,4 cm ad un massimo di 10,4 cm, come si può notare dalla pianta di pagina 49 all'interno di ogni singola struttura si prospettano cedimenti relativamente omogenei.

Si ritiene quindi di poter classificare il sito in esame come ad alto rischio di liquefazione.

Data l'omogeneità dei cedimenti le strutture non dovrebbero in linea generale subire lesioni tali da comprometterne la stabilità nei confronti della salvaguardia della vita.

Si rimanda comunque al Progettista Strutturale la valutazione finale di tale condizione in quanto unica entità deputata a tale valutazione.

7 CONSIDERAZIONI FINALI

In seguito all'elaborazione ed integrazione di quanto fin'ora illustrato si ritiene di poter esprimere un parere favorevole dal punto di vista Geologico - Geotecnico in merito al progetto previsto.

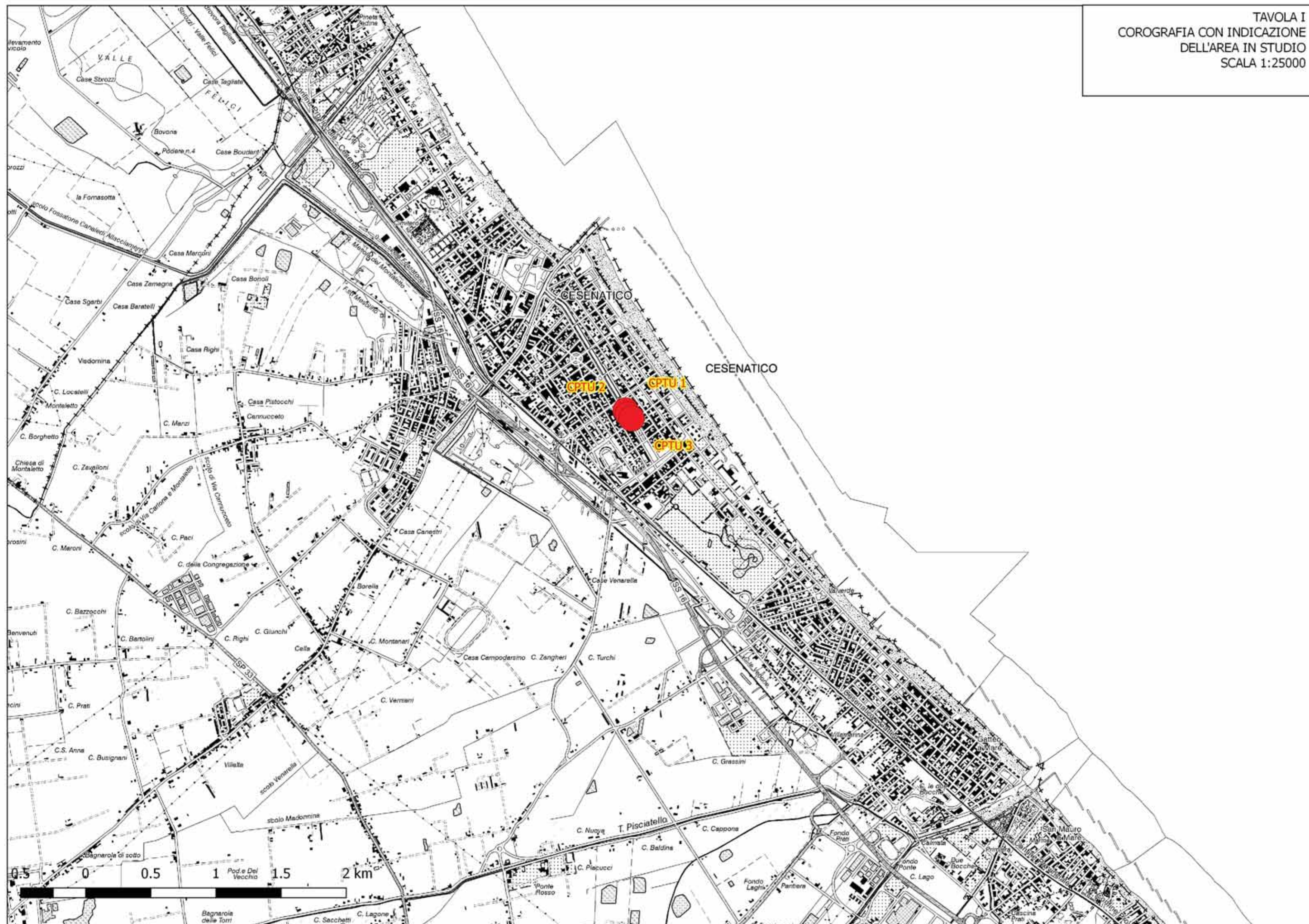




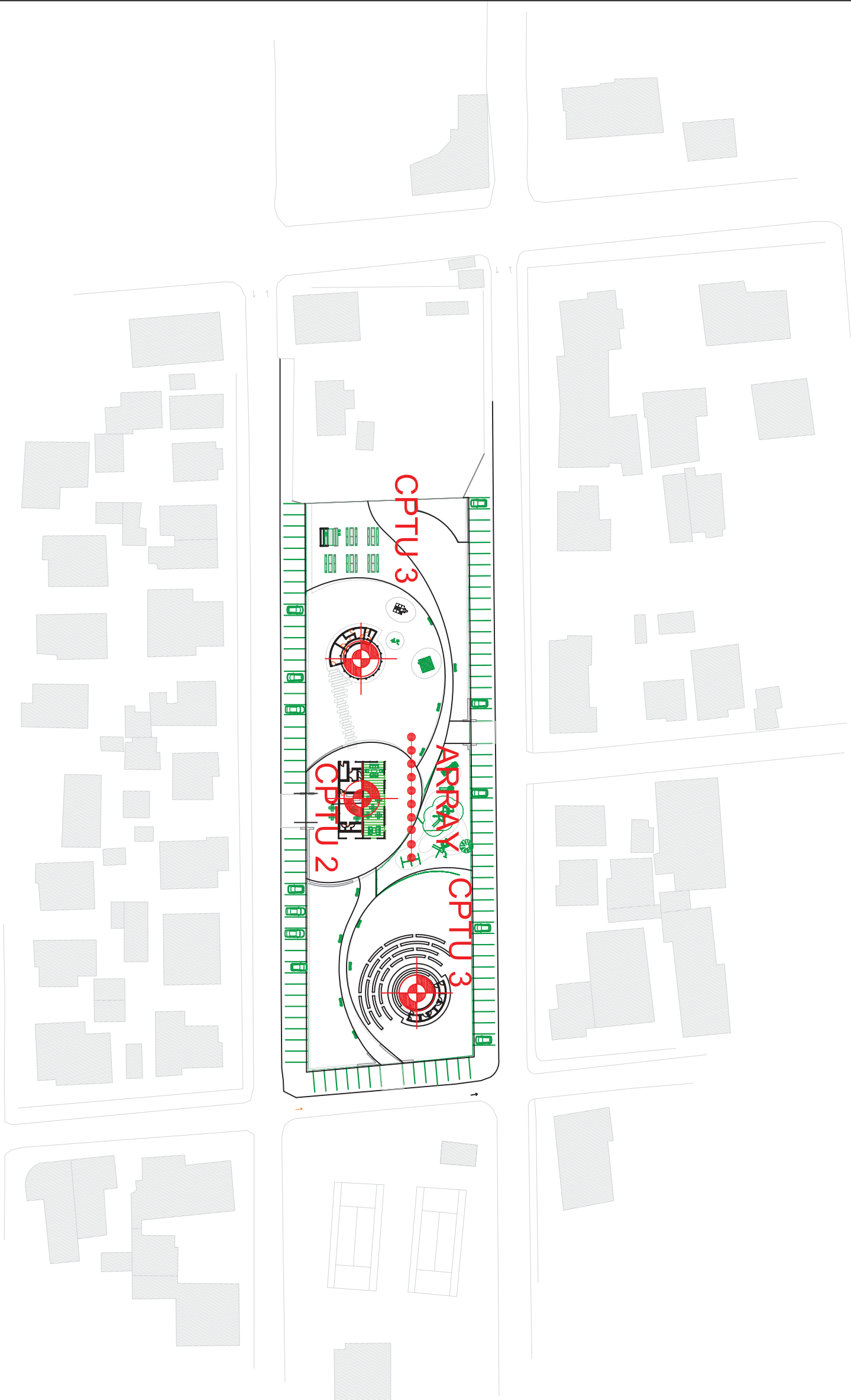




TAVOLA V

Ubicazione indagini

Scala 1:200



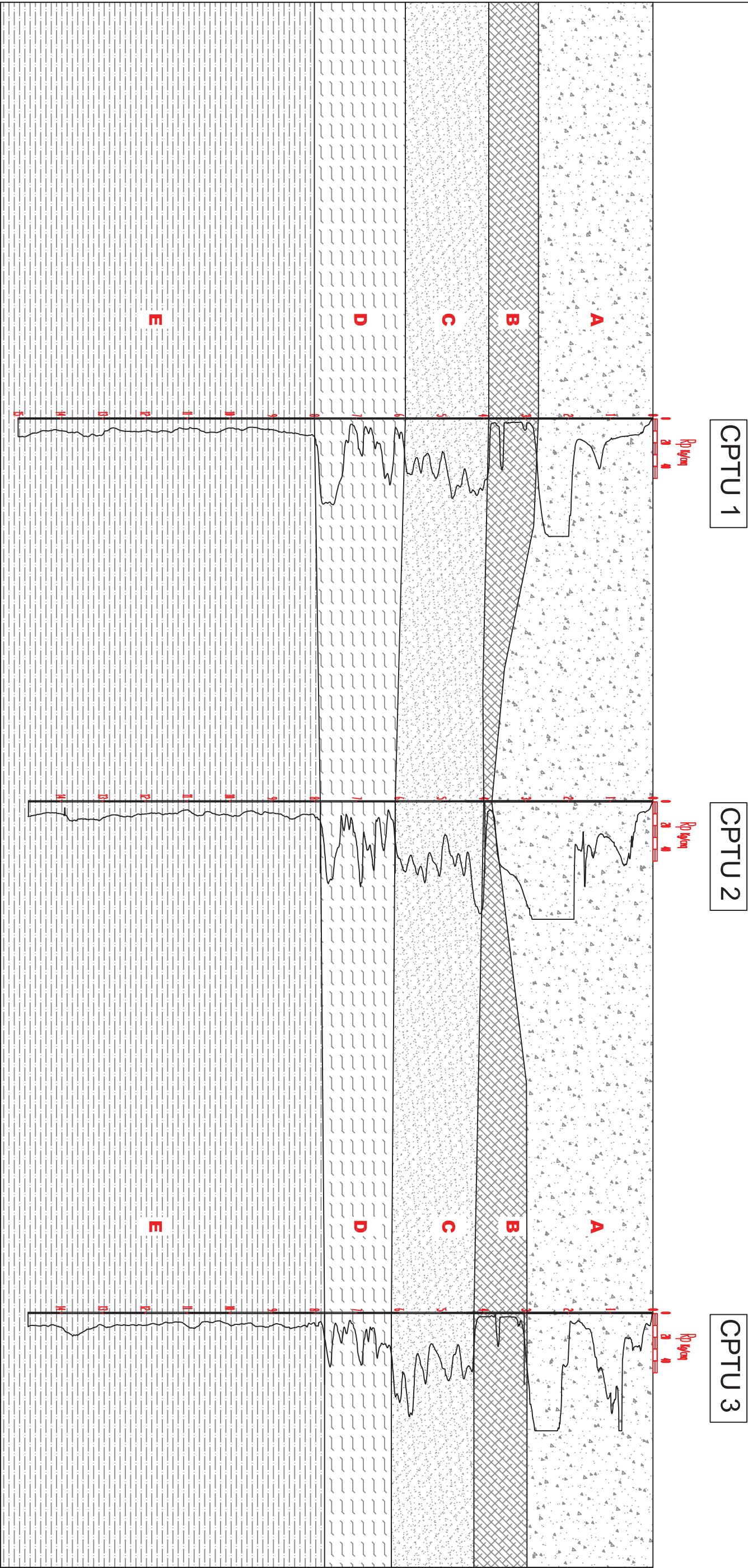
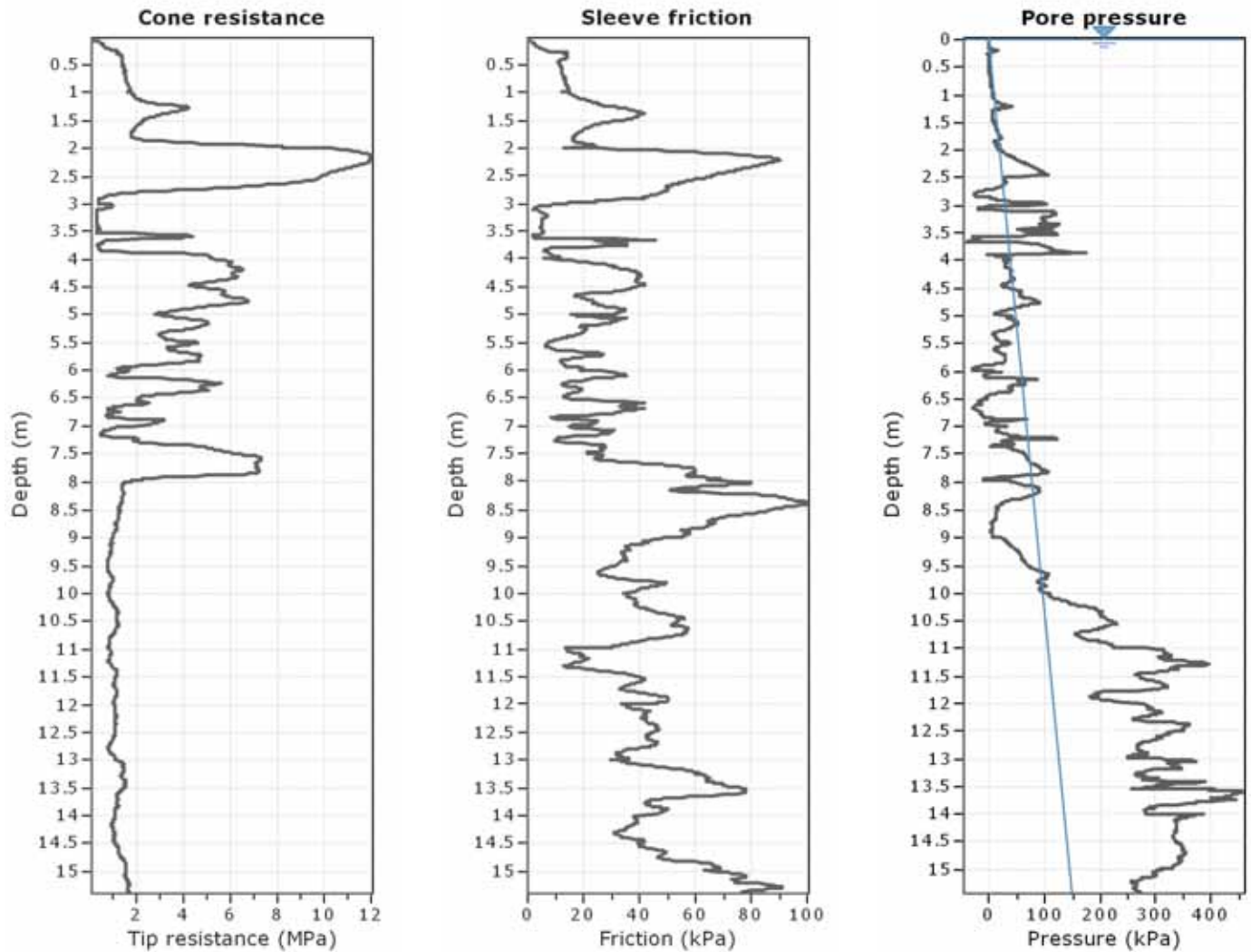


TAVOLA VI

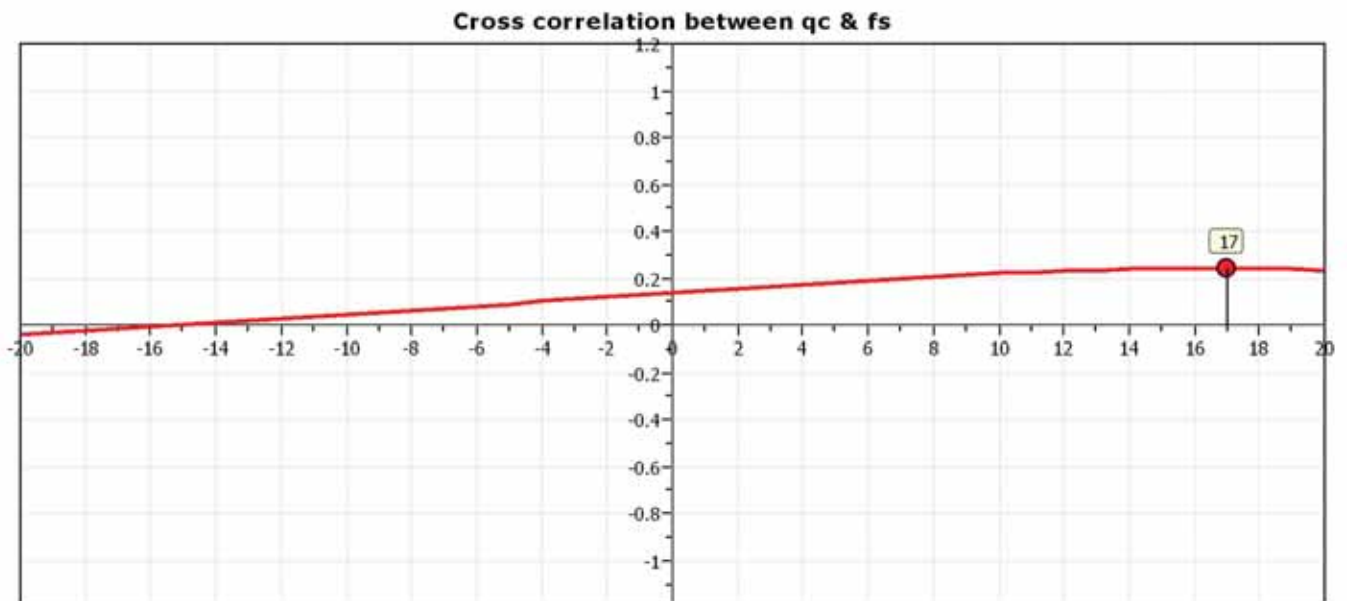
Sezione Geologica
Scala Orizzontale 1:350
Scala Verticale 1:100

Project:

Location:

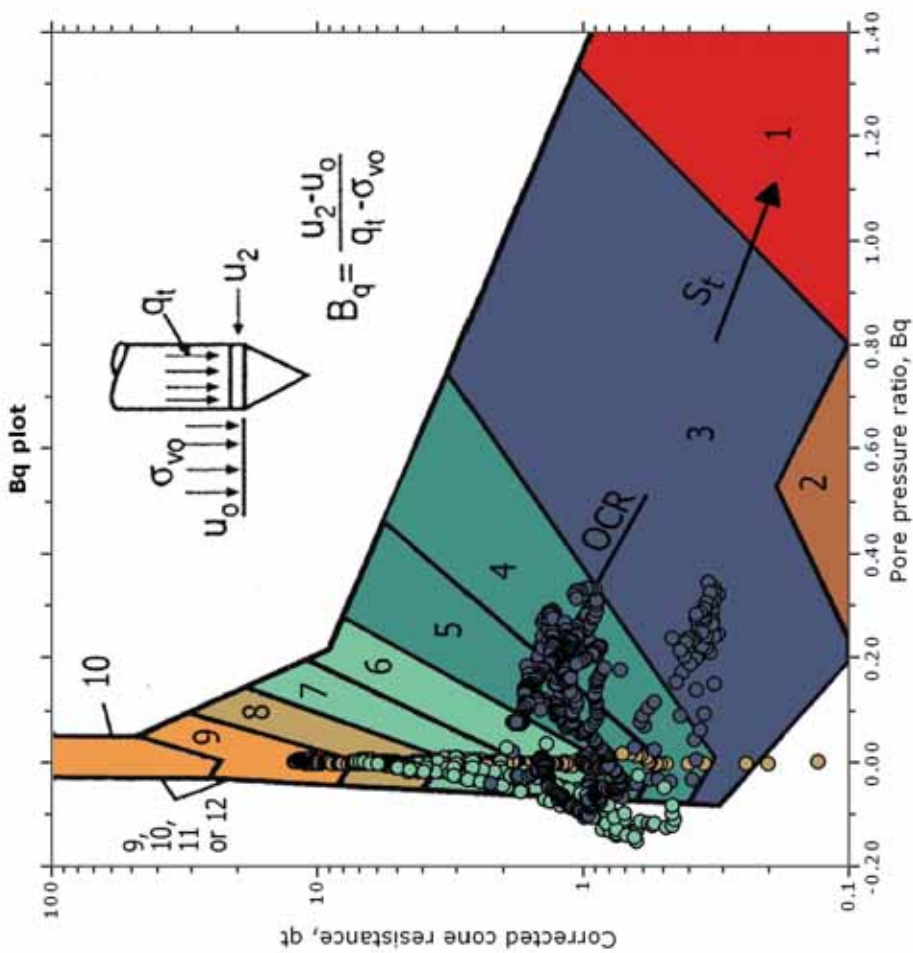
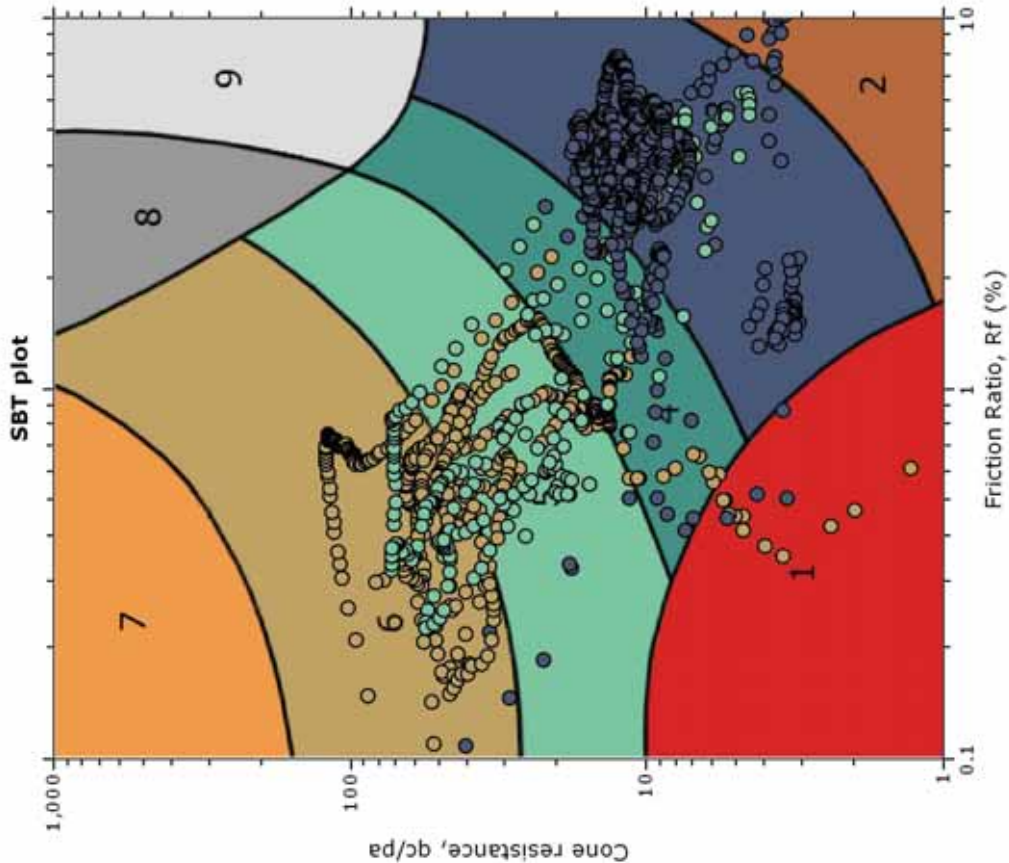


The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw qc and fs values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).



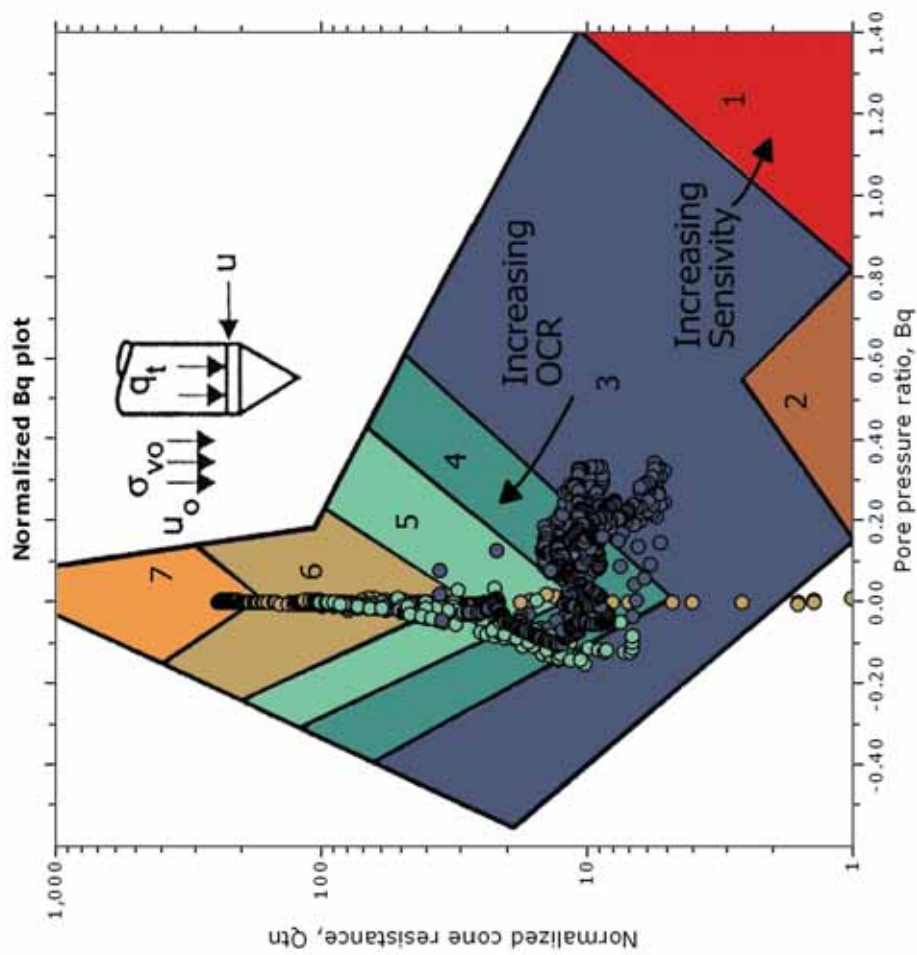
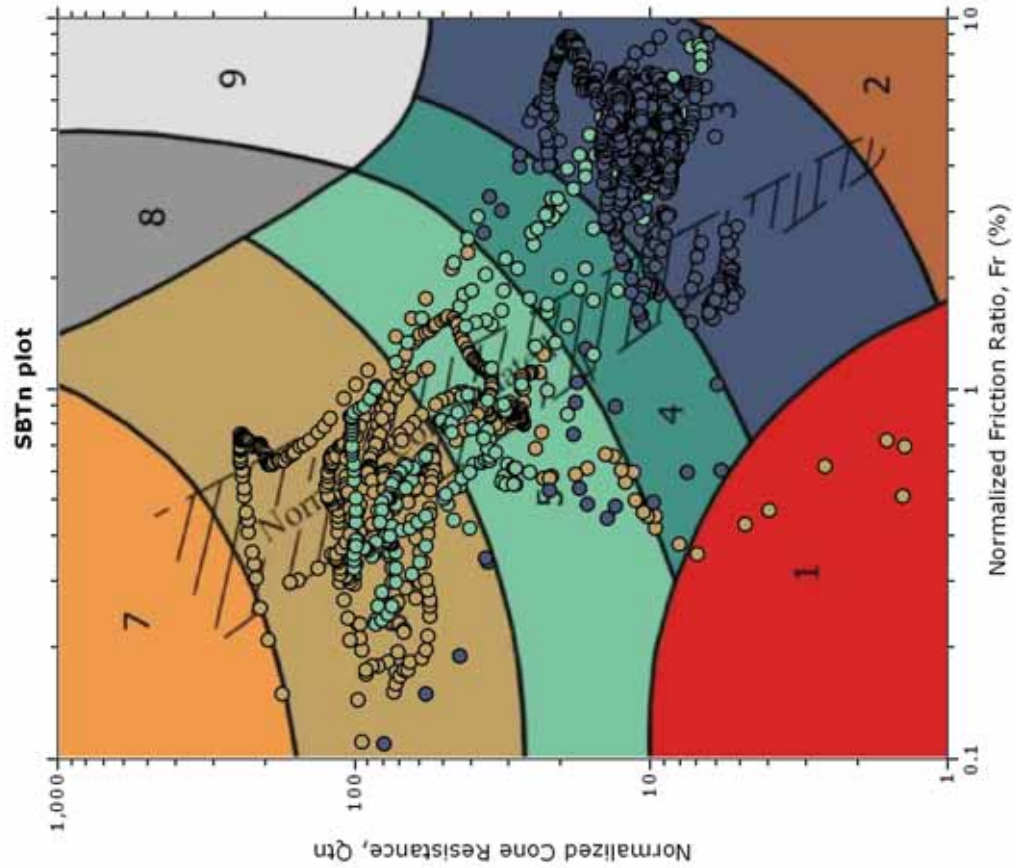
Project:
Location:

SBT - Bq plots



Project:
Location:

SBT - Bq plots (normalized)



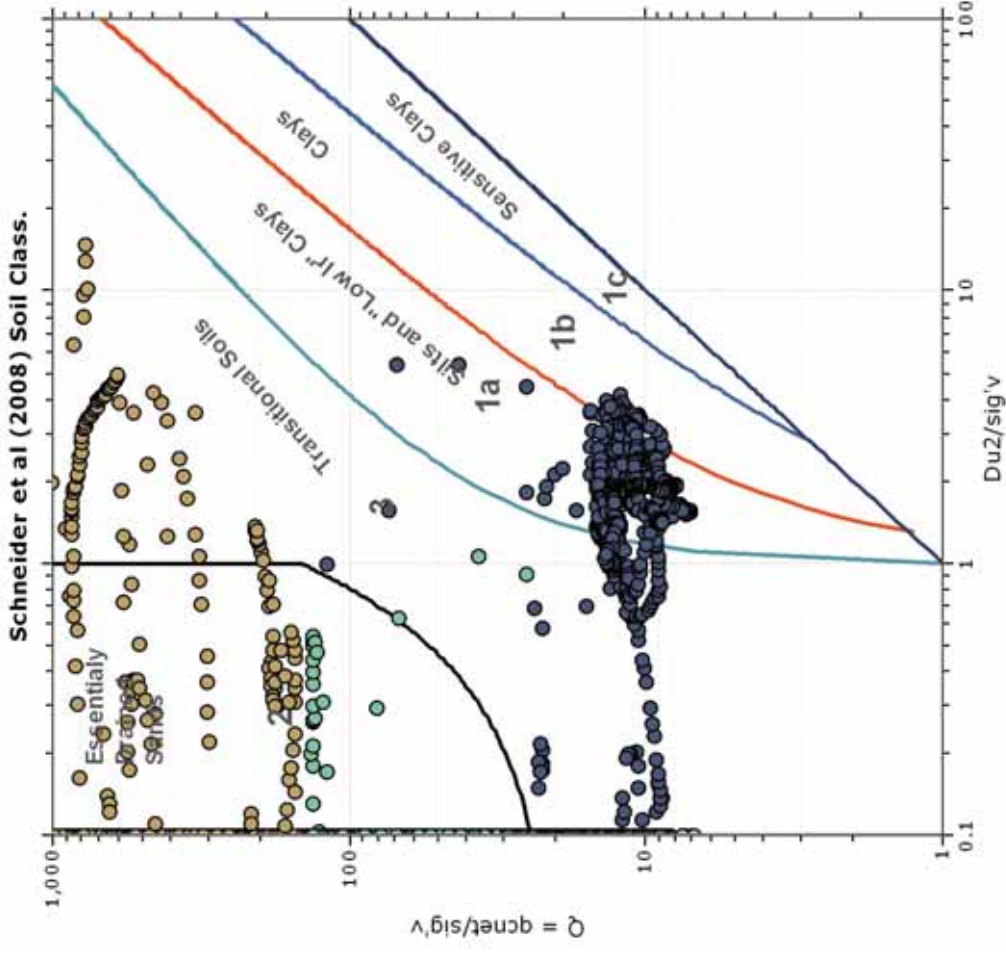
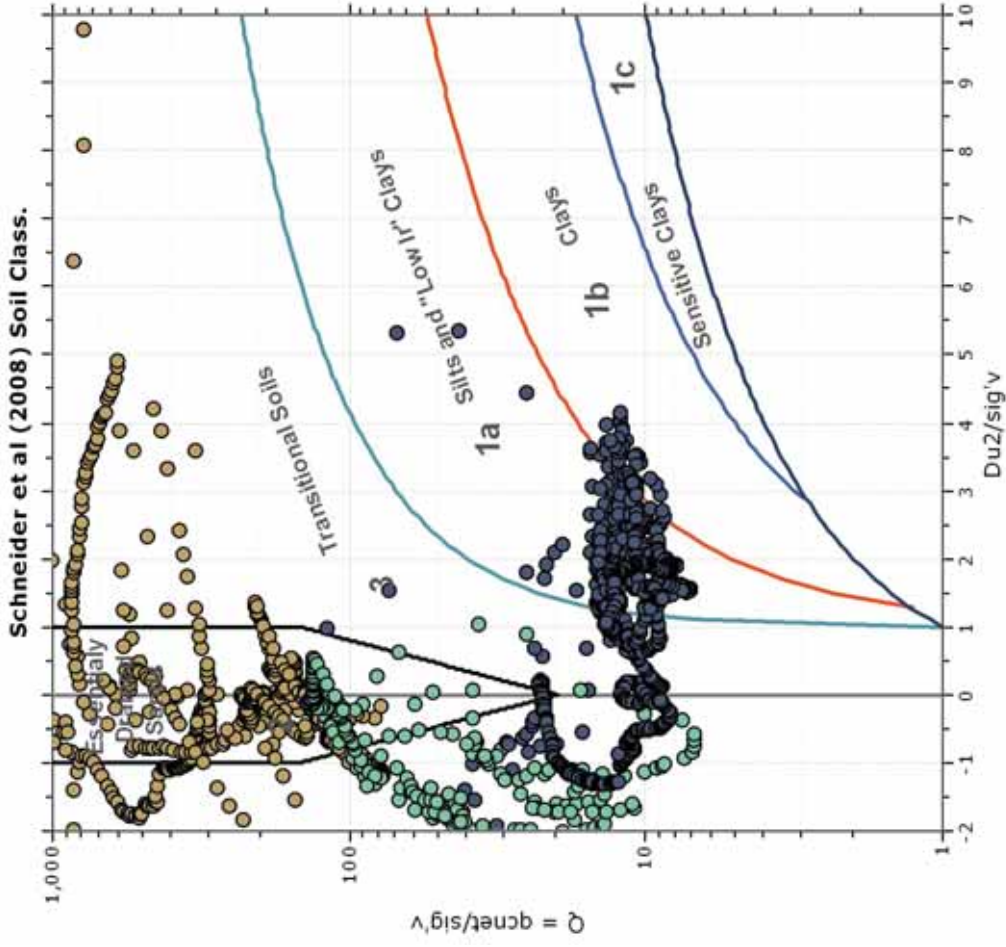
SBTn legend

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

Project:

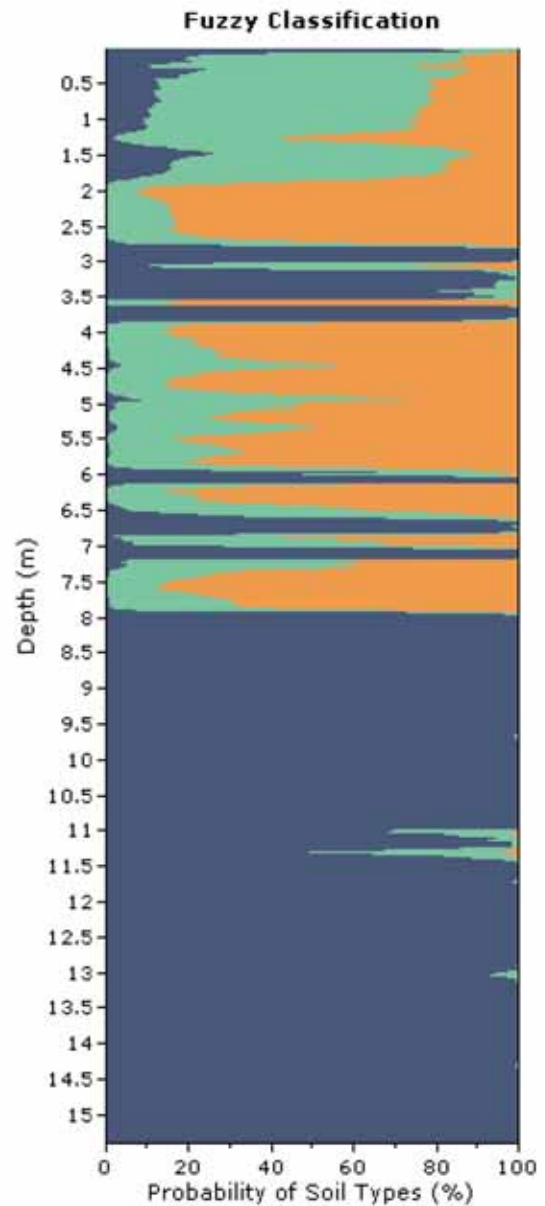
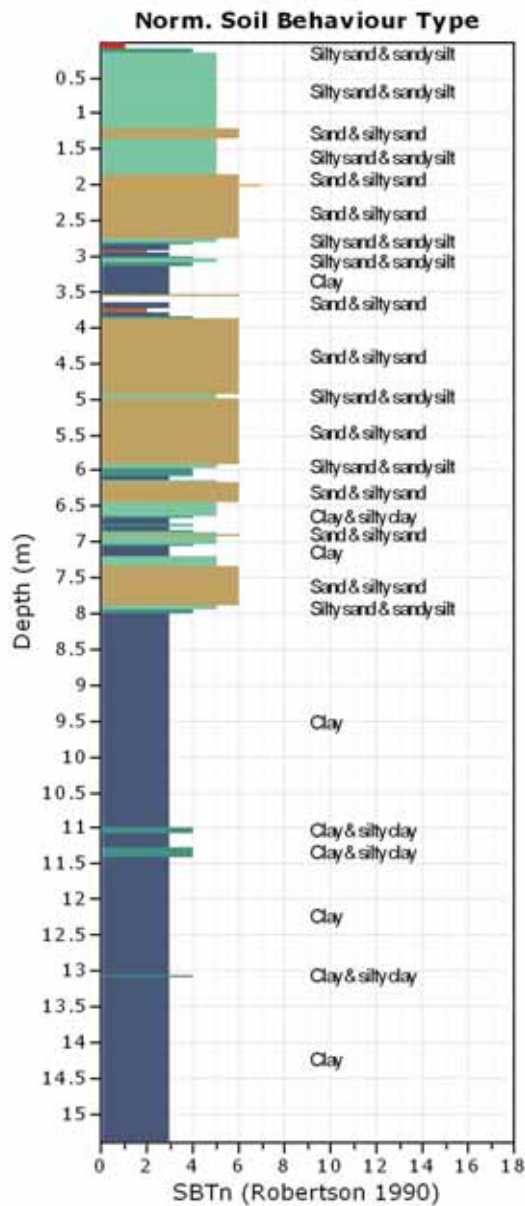
Location:

Bq plots (Schneider)



Project:

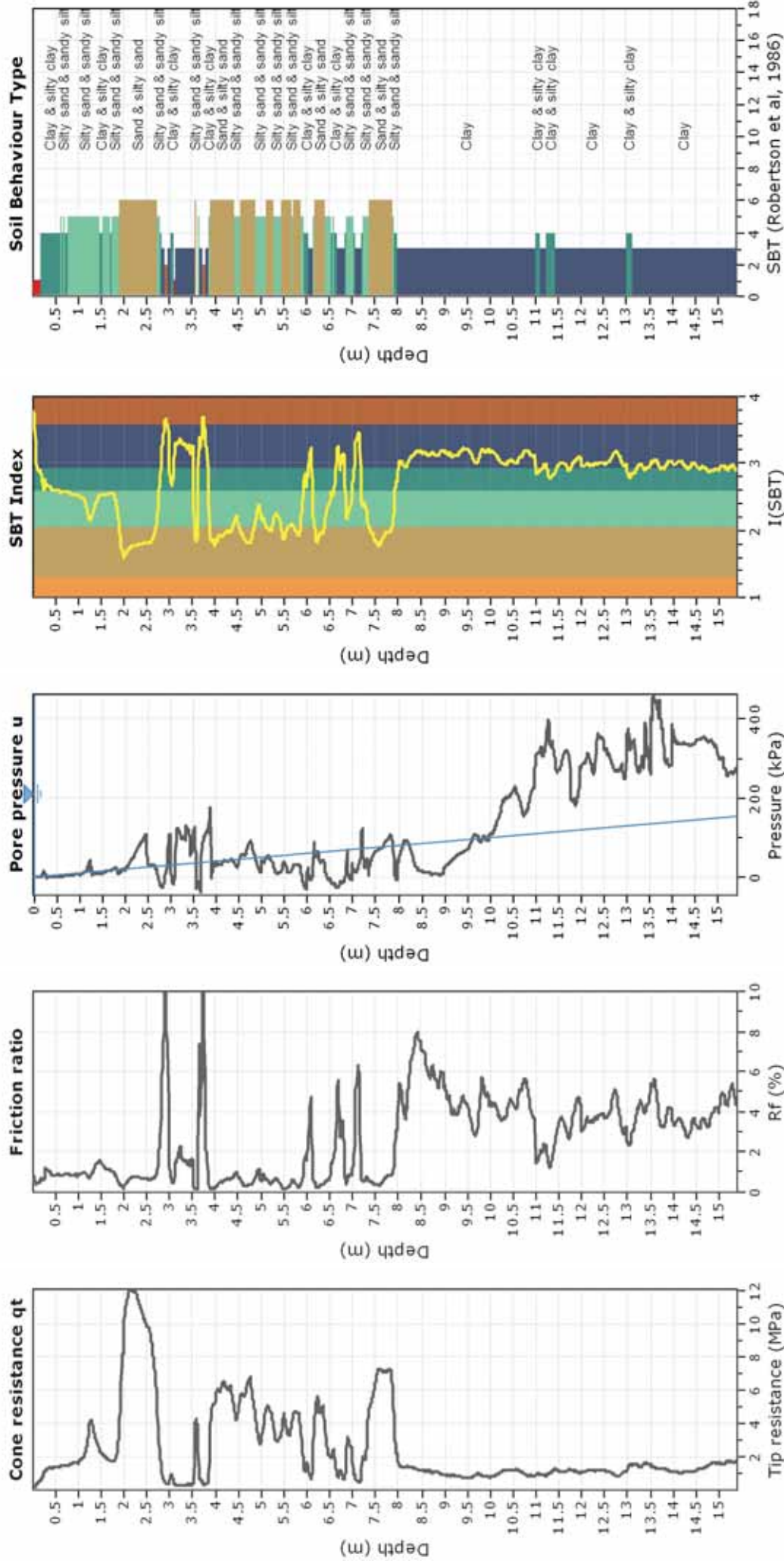
Location:



Total depth: 15.40 m, Date: 24/12/2018
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Unknown
Cone Operator: Unknown

Project:

Location:



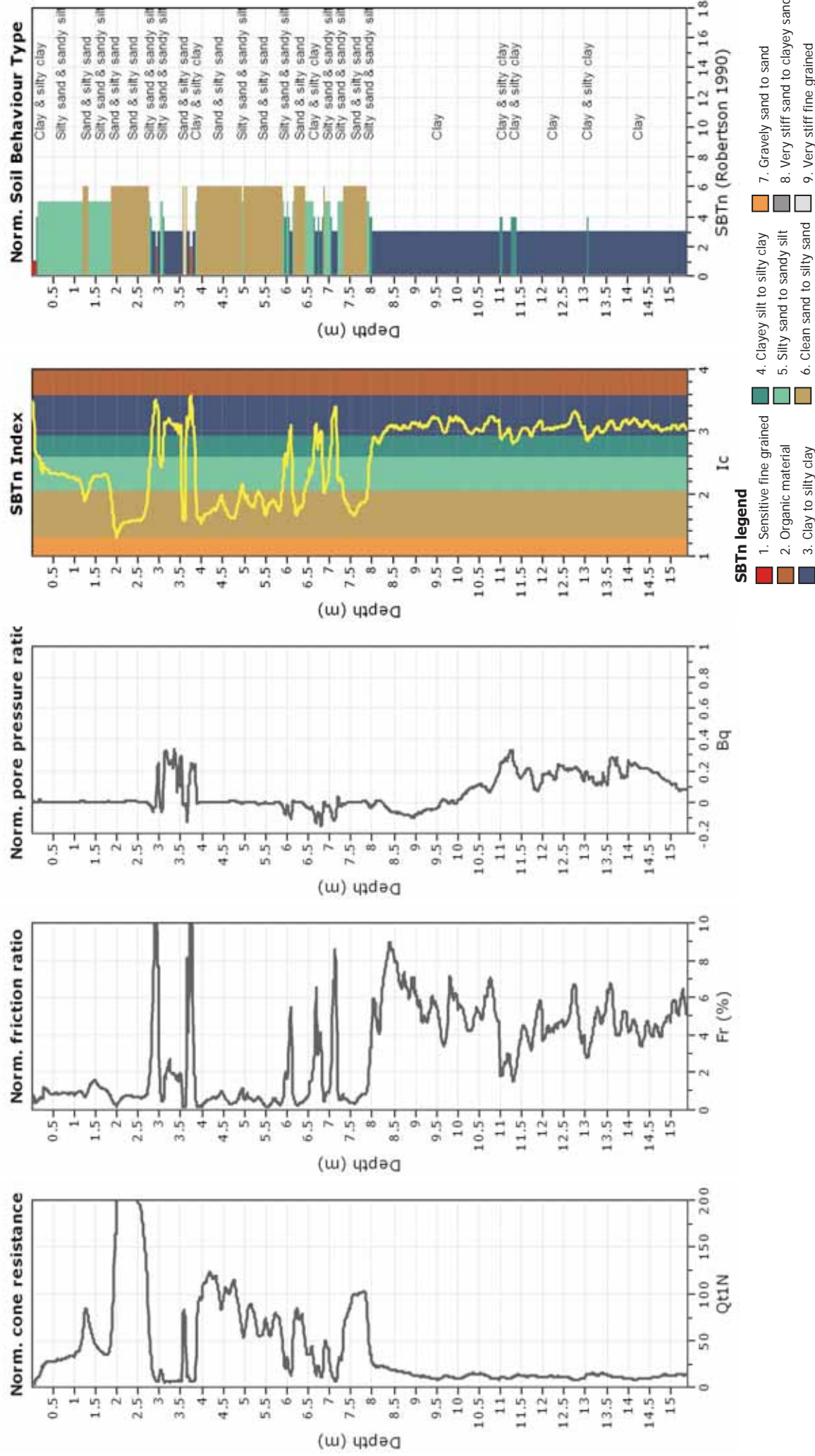
SBT legend

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

Total depth: 15.40 m, Date: 24/12/2018
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Unknown
Cone Operator: Unknown

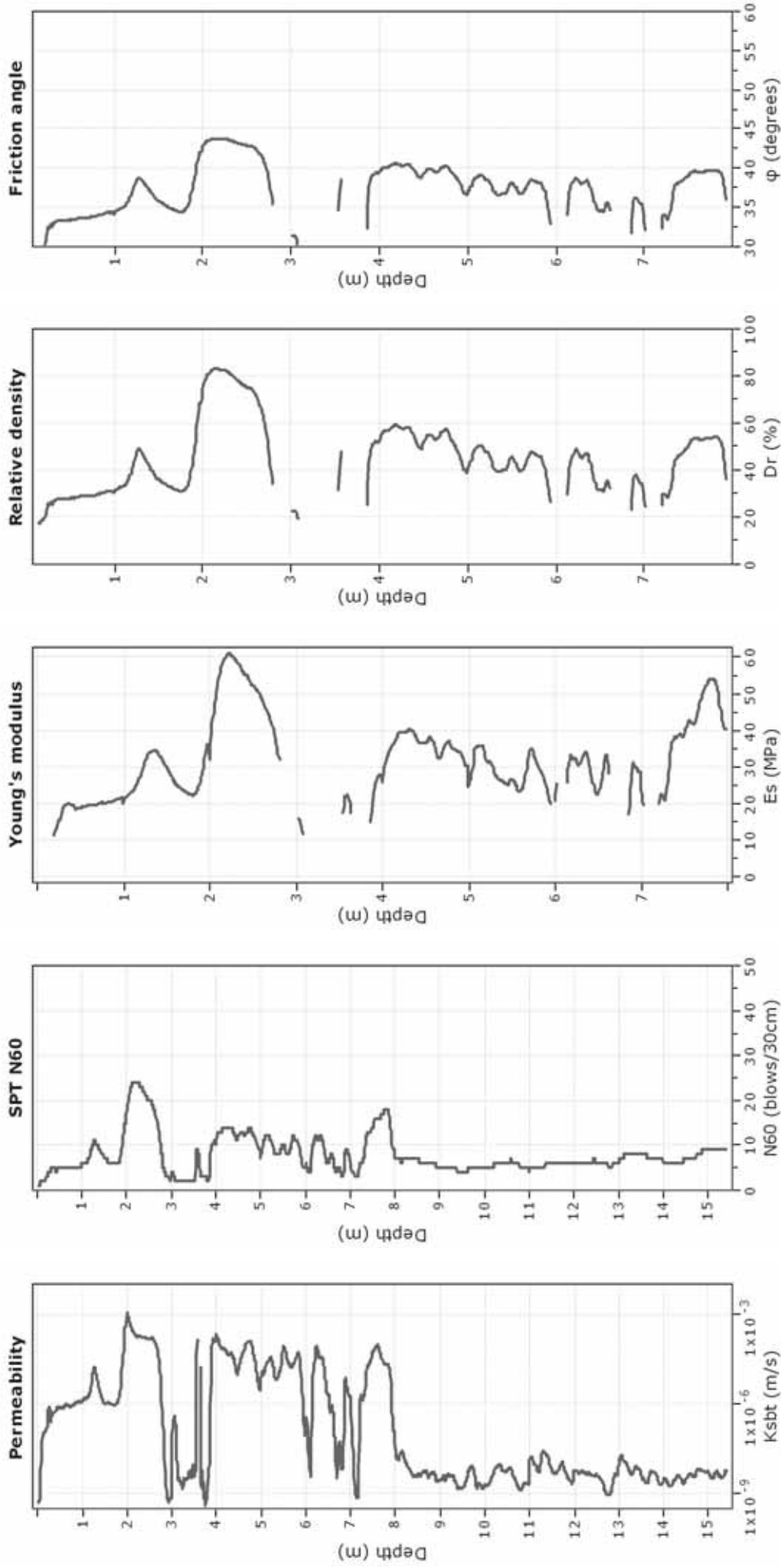
Project:

Location:



Project:

Location:



Calculation parameters

Permeability: Based on SBT_n

SPT N₆₀: Based on I_c and q_t

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

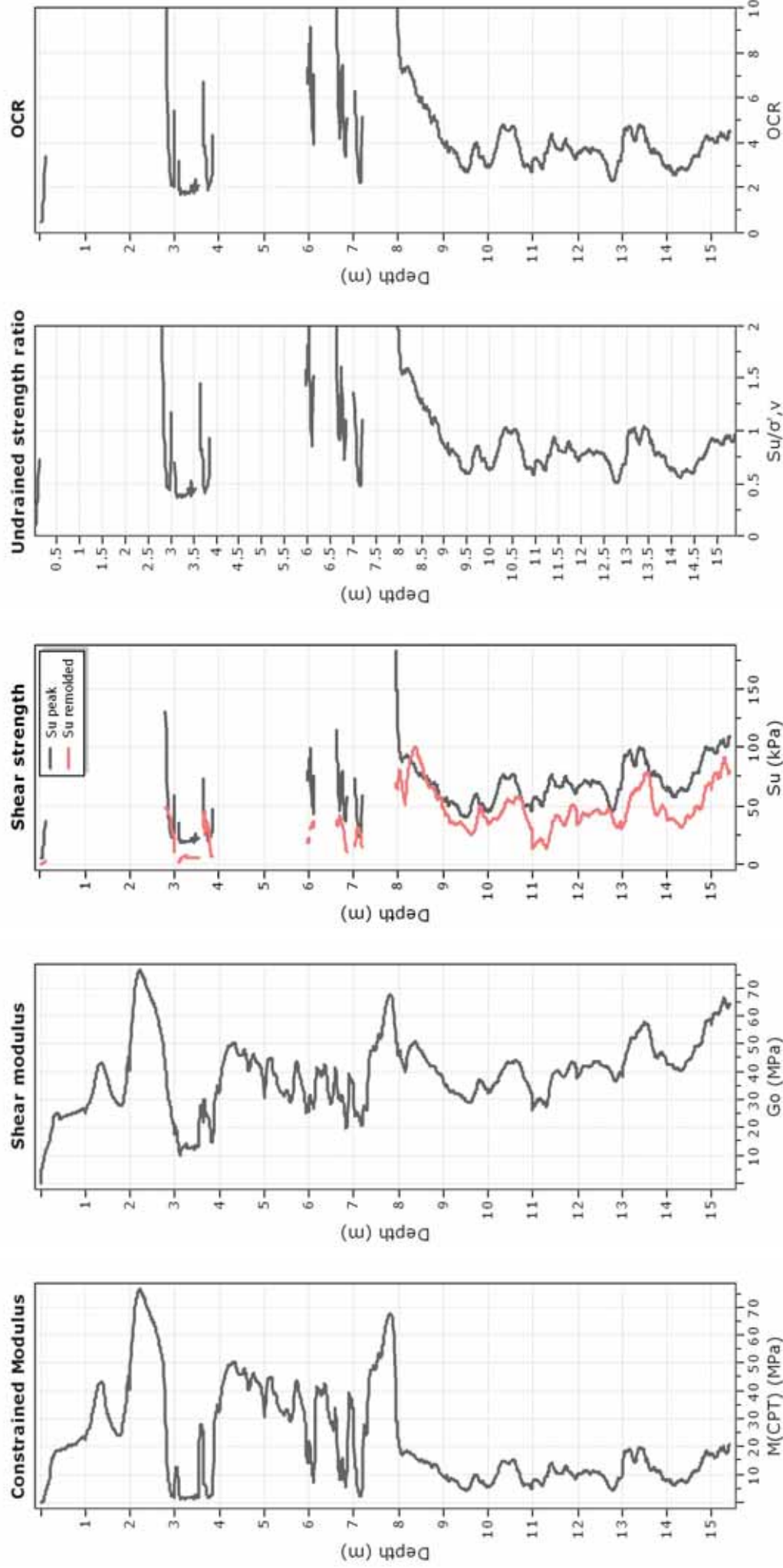
Relative density constant, C_{Dr}: 350.0

Phi: Based on Kulhawy & Mayne (1990)

—●— User defined estimation data

Project:

Location:



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)

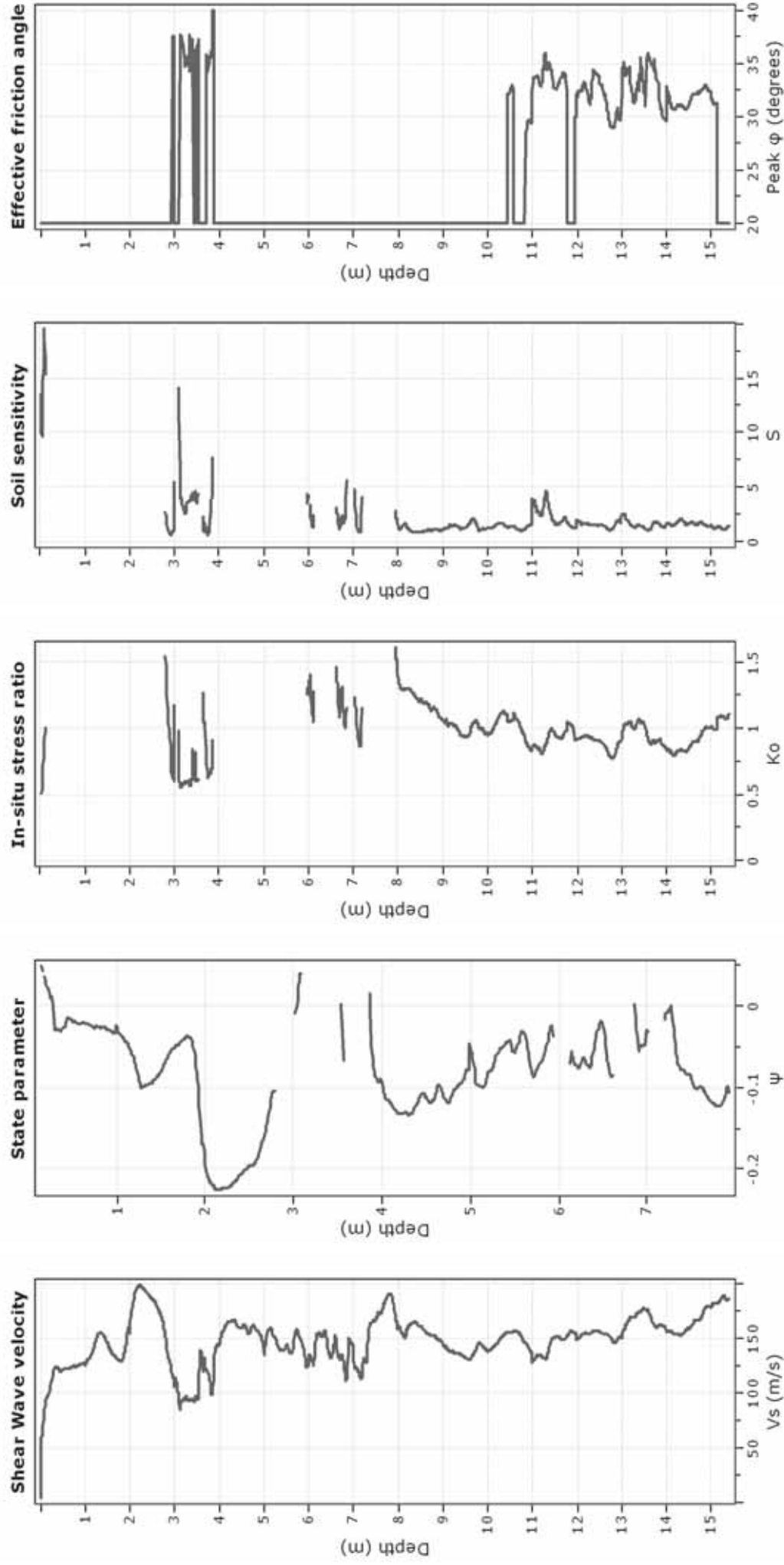
Undrained shear strength cone factor for clays, $N_{k,c}$: 14

OCR factor for clays, $N_{k,c}$: 0.33

—●— User defined estimation data

Project:

Location:



Calculation parameters

Soil Sensitivity factor, N_s : 7.00

—●— User defined estimation data

GeoLogismiki

Geotechnical Engineers

Merarhias 56

<http://www.geologismiki.gr>



Project:

Location:

CPT: CPT-01

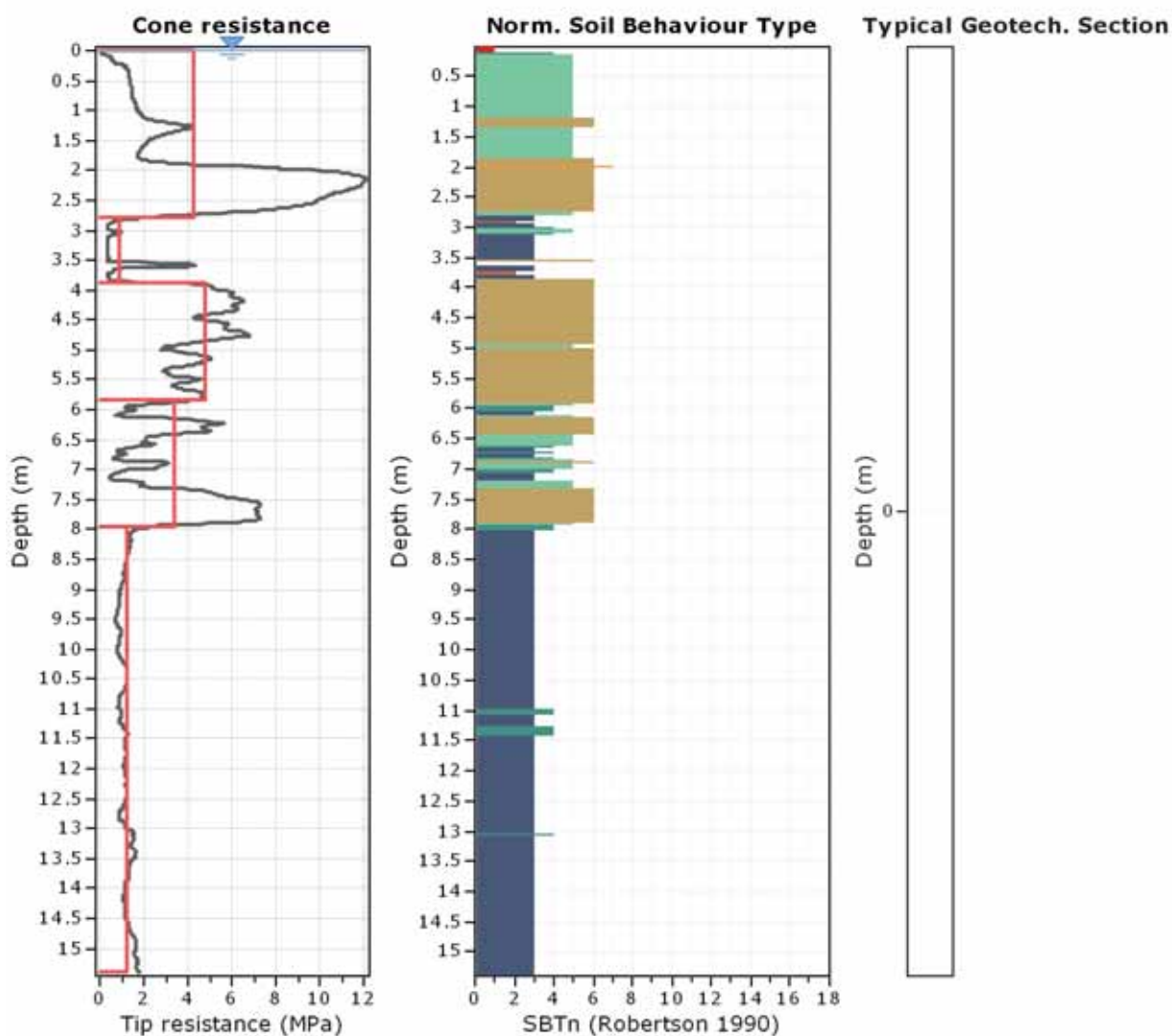
Total depth: 15.40 m, Date: 24/12/2018

Surface Elevation: 0.00 m

Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type: Unknown

Cone Operator: Unknown



Tabular results

::: Layer No: 1 :::

Code: 1 **Start depth:** 0.00 (m), **End depth:** 2.79 (m)

Description: sabbia limosa con macerie (terreno di riporto)

Basic results

Total cone resistance: 4.26 ± 3.94 MPa

Sleeve friction: 31.50 ± 25.08 kPa

SBT_n: 6

SBT_n description: Sand & silty sand

Estimation results

Permeability: $6.87E-05 \pm 1.48E-04$ m/s

N₆₀: 10.13 ± 7.00 blows

Es: 31.95 ± 14.23 MPa

Dr (%): 45.95 ± 20.83

ø (degrees): 37.24 ± 4.11 °

Unit weight: 16.97 ± 1.37 kN/m³

Constrained Mod.: 35.78 ± 20.73 MPa

Go: 38.36 ± 18.76 MPa

Su: 0.00 ± 0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ± 0.00

O.C.R.: 0.00 ± 0.00

::: Layer No: 2 :::**Code: 2** **Start depth: 2.79 (m), End depth: 3.88 (m)****Description:** argilla limosa molle con livelli di limo (terreno di riporto)**Basic results**

Total cone resistance: 0.83 ±1.00 MPa

Sleeve friction: 15.36 ±15.18 kPa

SBT_n: 3

SBTn description: Clay

Estimation results

Permeability: 2.34E-06 ±1.39E-05 m/s

N60: 3.25 ±1.90 blows

Es: 22.85 ±3.98 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

̑ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 15.37 ±1.12 kN/m³

Constrained Mod.: 6.89 ±8.27 MPa

Go: 19.47 ±7.29 MPa

Su: 29.43 ±18.98 kPa

Su ratio: 0.59 ±0.38

O.C.R.: 2.72 ±1.75

::: Layer No: 3 :::**Code: 3** **Start depth: 3.88 (m), End depth: 5.85 (m)****Description:** sabbia limosa mediamente densa**Basic results**

Total cone resistance: 4.82 ±1.11 MPa

Sleeve friction: 23.95 ±10.71 kPa

SBT_n: 6

SBTn description: Sand & silty sand

Estimation results

Permeability: 4.76E-05 ±4.10E-05 m/s

N60: 11.21 ±1.98 blows

Es: 32.30 ±4.92 MPa

Dr (%): 49.37 ±6.20

̑ (degrees): 38.76 ±1.22 °

Unit weight: 17.09 ±0.65 kN/m³

Constrained Mod.: 40.49 ±6.16 MPa

Go: 40.49 ±6.16 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

::: Layer No: 4 :::**Code: 4** **Start depth: 5.85 (m), End depth: 7.95 (m)****Description:** livelli alternati di sabbia limosa, limo sabbioso ed argilla**Basic results**

Total cone resistance: 3.42 ±2.32 MPa

Sleeve friction: 27.30 ±14.19 kPa

SBT_n: 5

SBTn description: Silty sand & sandy silt

Estimation results

Permeability: 1.60E-05 ±2.29E-05 m/s

N60: 9.20 ±4.63 blows

Es: 34.38 ±10.00 MPa

Dr (%): 42.23 ±8.97

̑ (degrees): 37.12 ±2.15 °

Unit weight: 17.01 ±0.70 kN/m³

Constrained Mod.: 33.15 ±18.34 MPa

Go: 38.70 ±13.06 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

::: Layer No: 5 :::**Code: 5** **Start depth: 7.95 (m), End depth: 15.40 (m)****Description:** argilla limosa e limo argilloso da molle a mediamente consistente**Basic results**

Total cone resistance: 1.18 ±0.26 MPa

Sleeve friction: 48.92 ±18.13 kPa

SBT_n: 3

SBTn description: Clay

Estimation results

Permeability: 6.00E-09 ±1.03E-08 m/s

N60: 6.28 ±1.23 blows

Es: 40.40 ±0.42 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

̑ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.44 ±0.50 kN/m³

Constrained Mod.: 11.49 ±4.45 MPa

Go: 42.64 ±8.46 MPa

Su: 70.33 ±17.53 kPa

Su ratio: 0.86 ±0.27

O.C.R.: 3.98 ±1.24

Project:
Location:

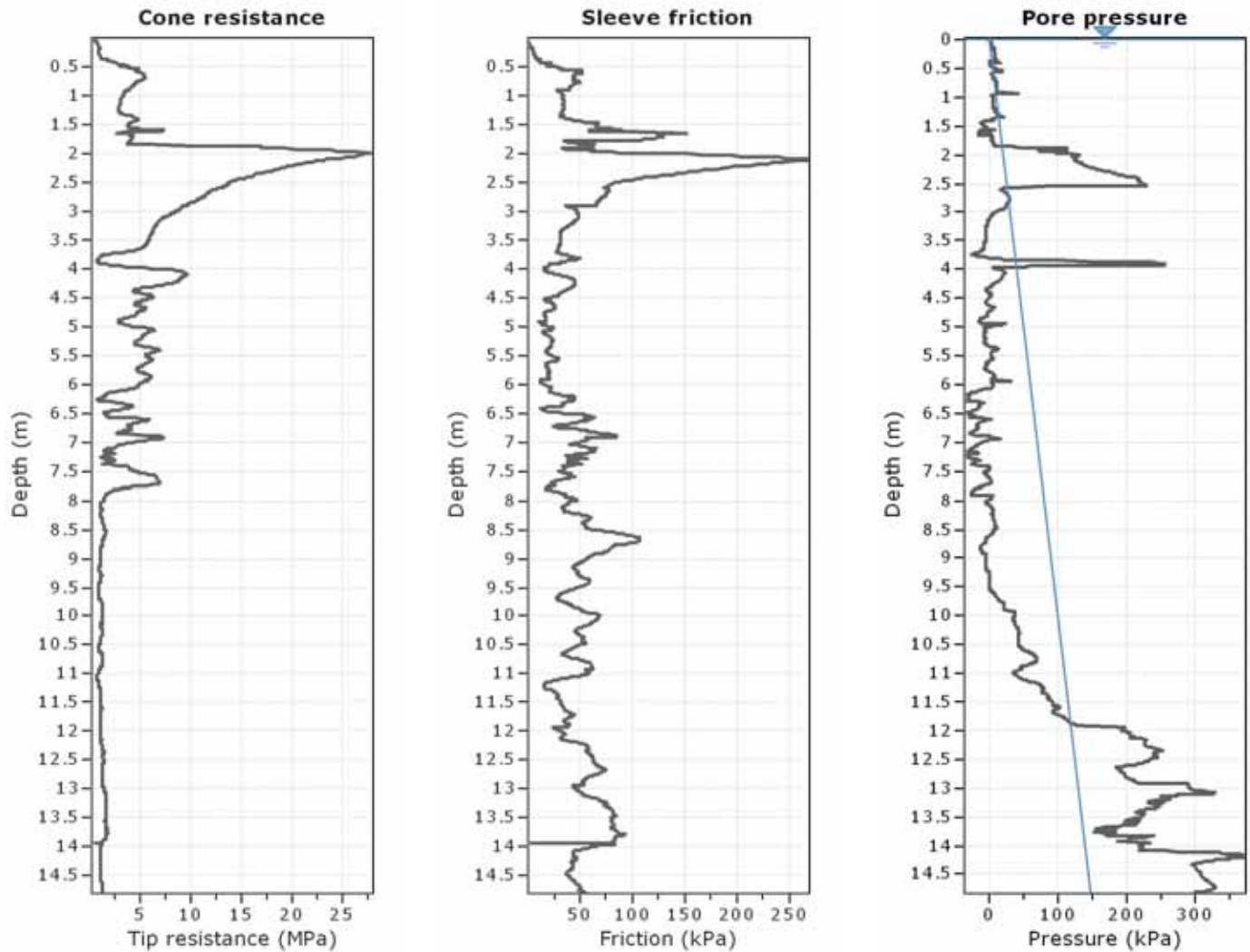
Summary table of mean values

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT _{N60} (blows/30cm)	E _s (MPa)	D _r	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G ₀ (MPa)	Undrained strength, S _u (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m ³)
0.00	2.79	6.87E-05 (±1.48E-04)	10.1 (±7.0)	32.0 (±14.2)	46.0 (±20.8)	37.2 (±4.1)	35.8 (±20.7)	38.4 (±18.8)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	17.0 (±1.4)
2.79	1.09	2.34E-06 (±1.39E-05)	3.3 (±1.9)	22.8 (±4.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	6.9 (±8.3)	19.5 (±7.3)	29.4 (±19.0)	0.6 (±0.4)	2.7 (±1.8)	15.4 (±1.1)
3.88	1.97	4.76E-05 (±4.10E-05)	11.2 (±2.0)	32.3 (±4.9)	49.4 (±6.2)	38.8 (±1.2)	40.5 (±6.2)	40.5 (±6.2)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	17.1 (±0.7)
5.85	2.10	1.60E-05 (±2.29E-05)	9.2 (±4.6)	34.4 (±10.0)	42.2 (±9.0)	37.1 (±2.1)	33.2 (±18.3)	38.7 (±13.1)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	17.0 (±0.7)
7.95	7.45	6.00E-09 (±1.03E-08)	6.3 (±1.2)	40.4 (±0.4)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	11.5 (±4.4)	42.6 (±8.5)	70.3 (±17.5)	0.9 (±0.3)	4.0 (±1.2)	17.4 (±0.5)

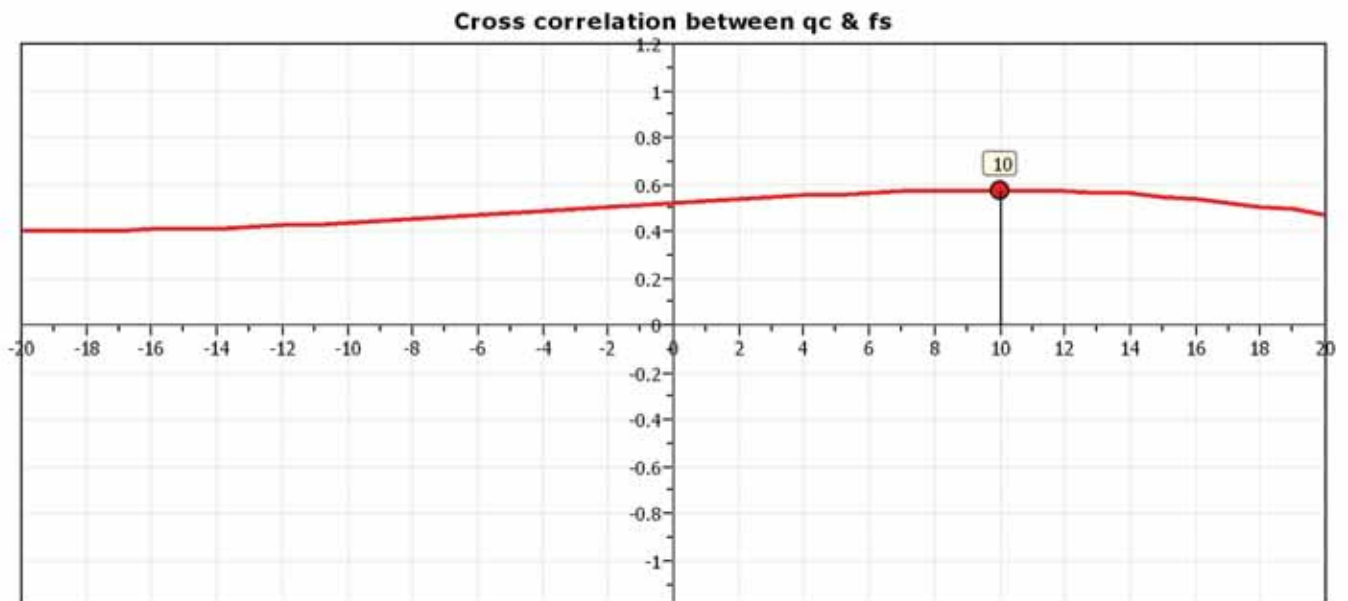
Depth values presented in this table are measured from free ground surface

Project:

Location:

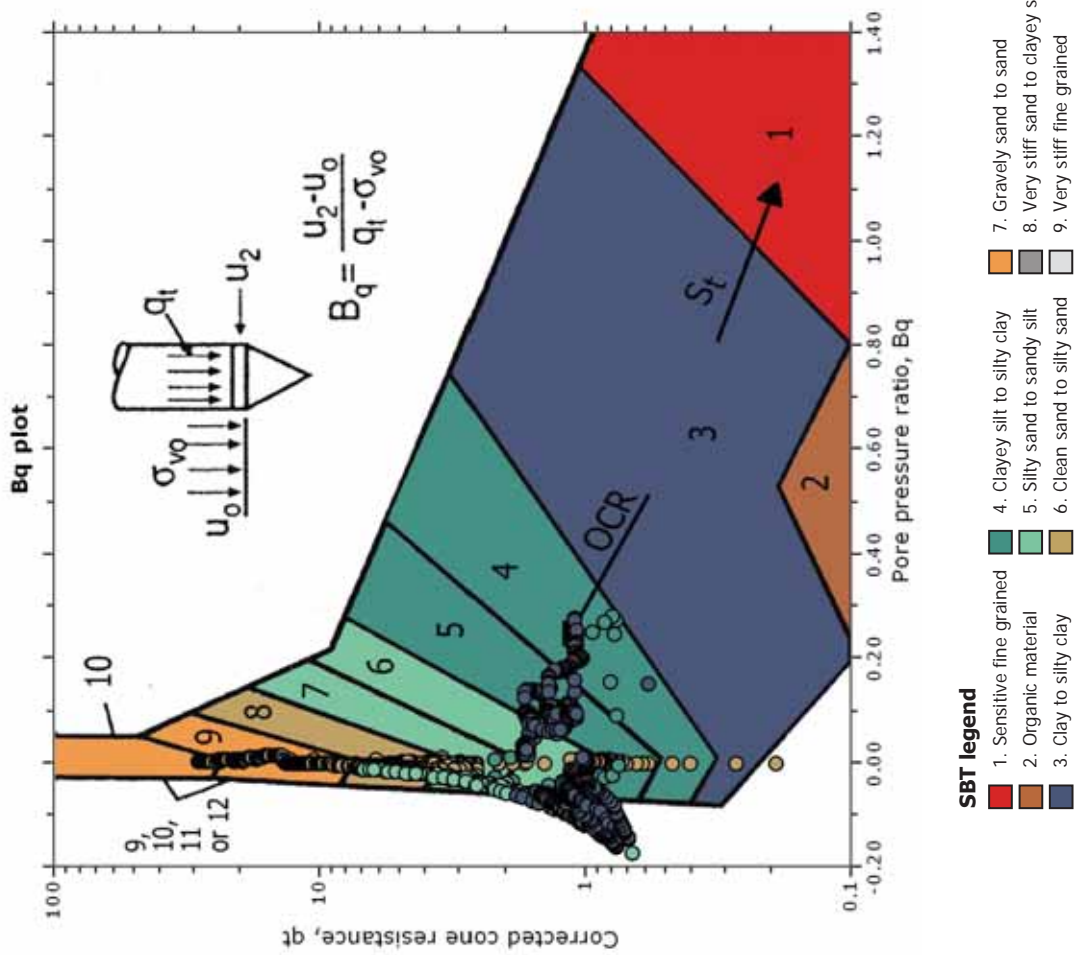
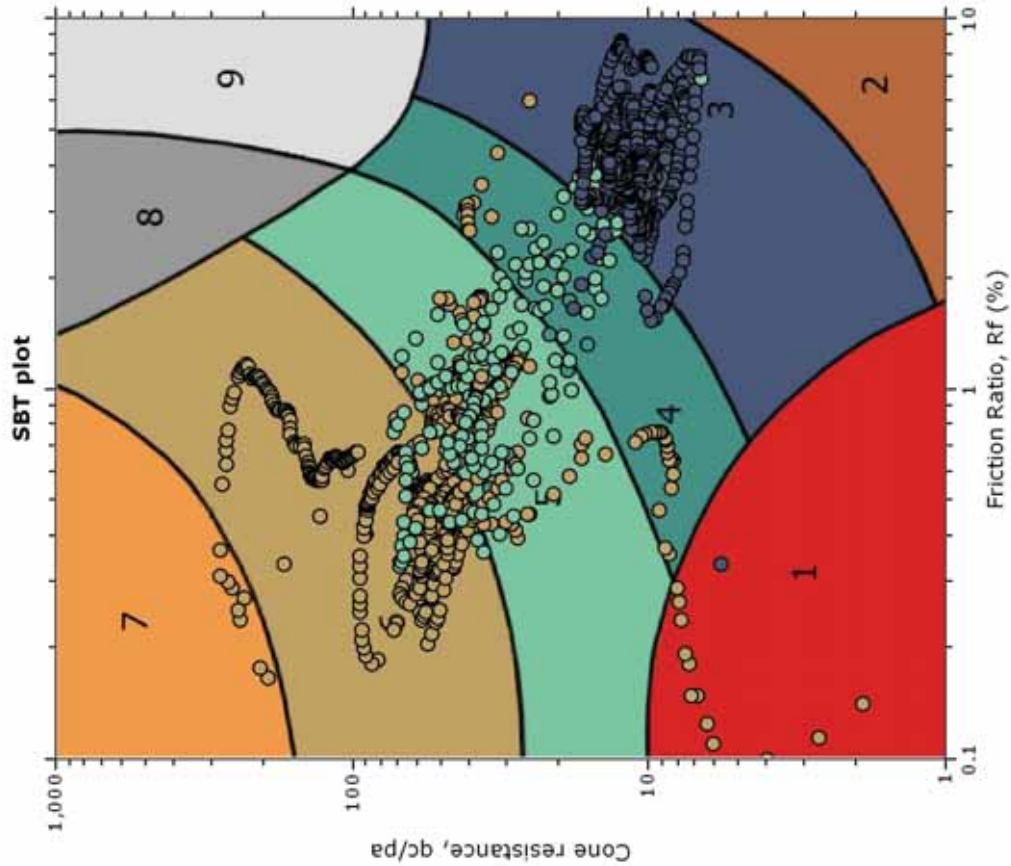


The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw qc and fs values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).



Project:
Location:

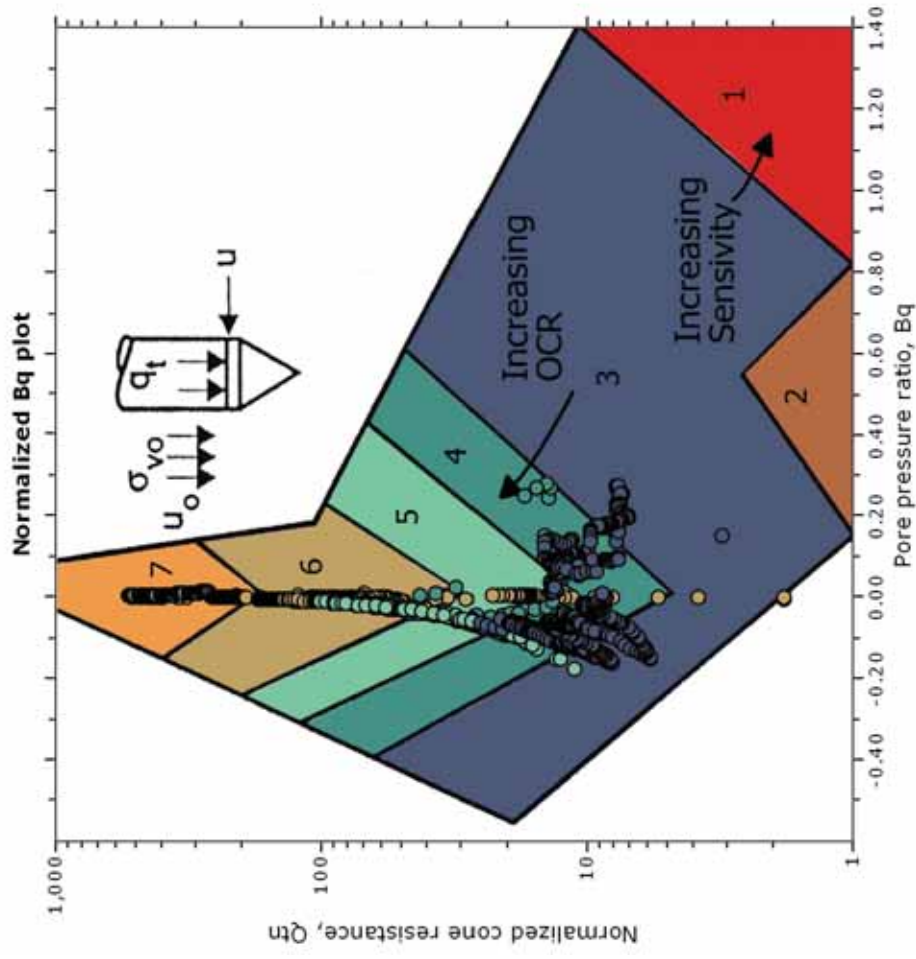
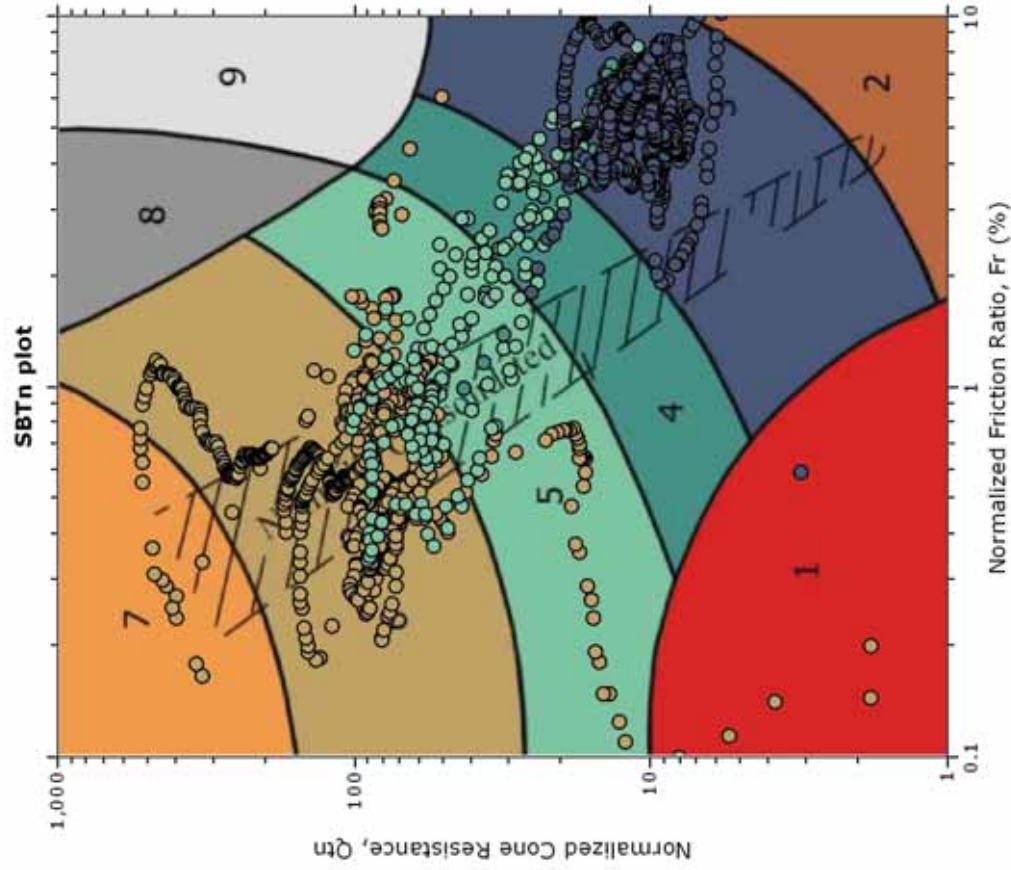
SBT - Bq plots



Project:

Location:

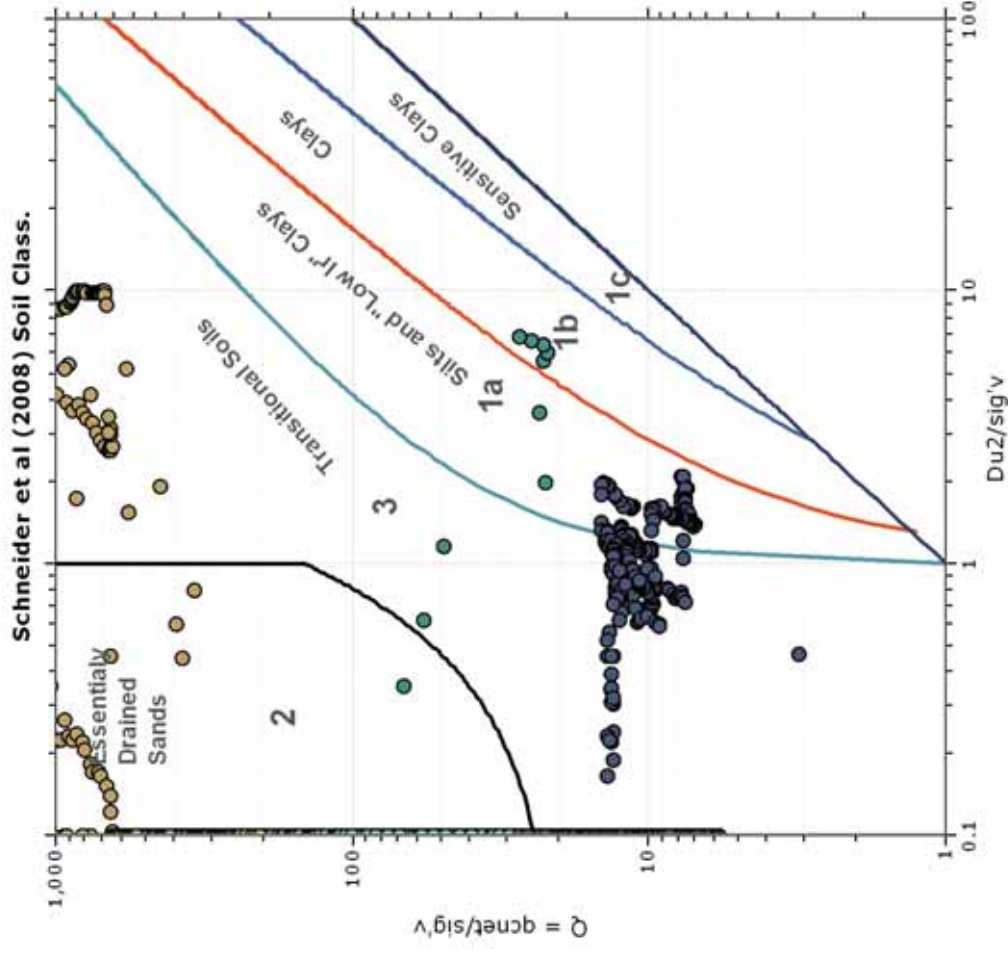
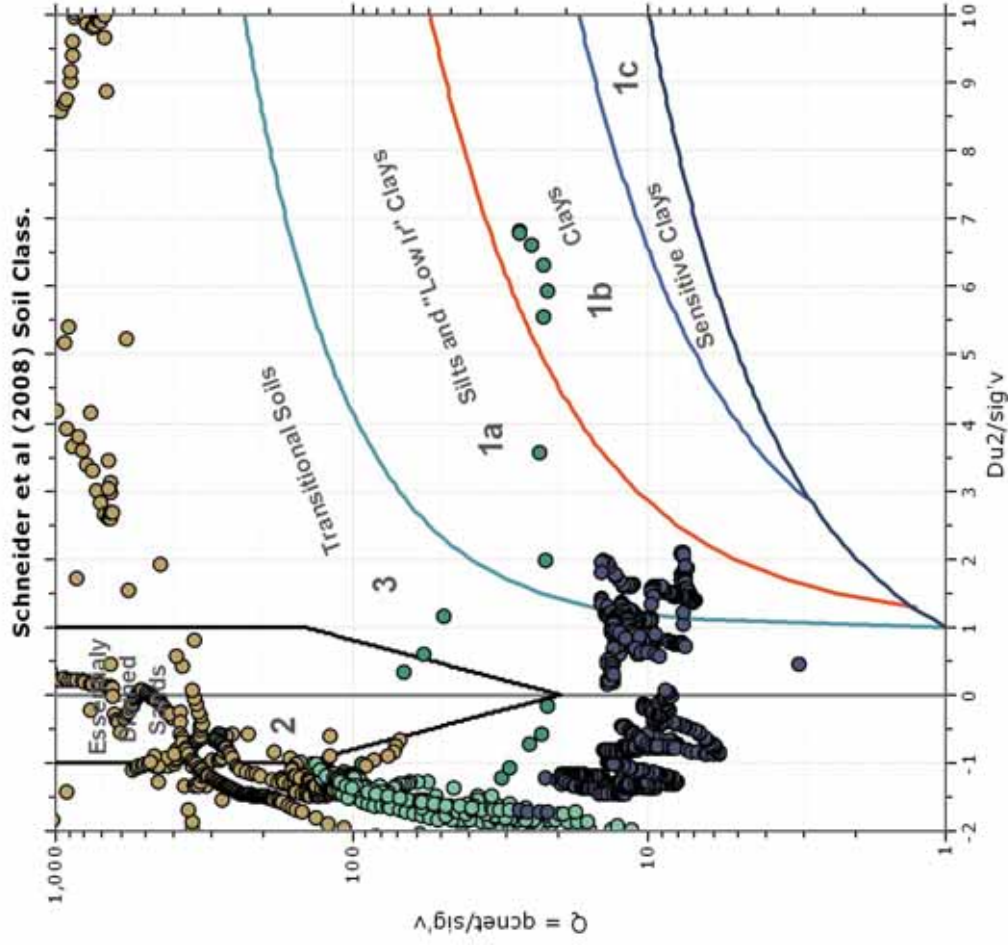
SBT - Bq plots (normalized)



Project:

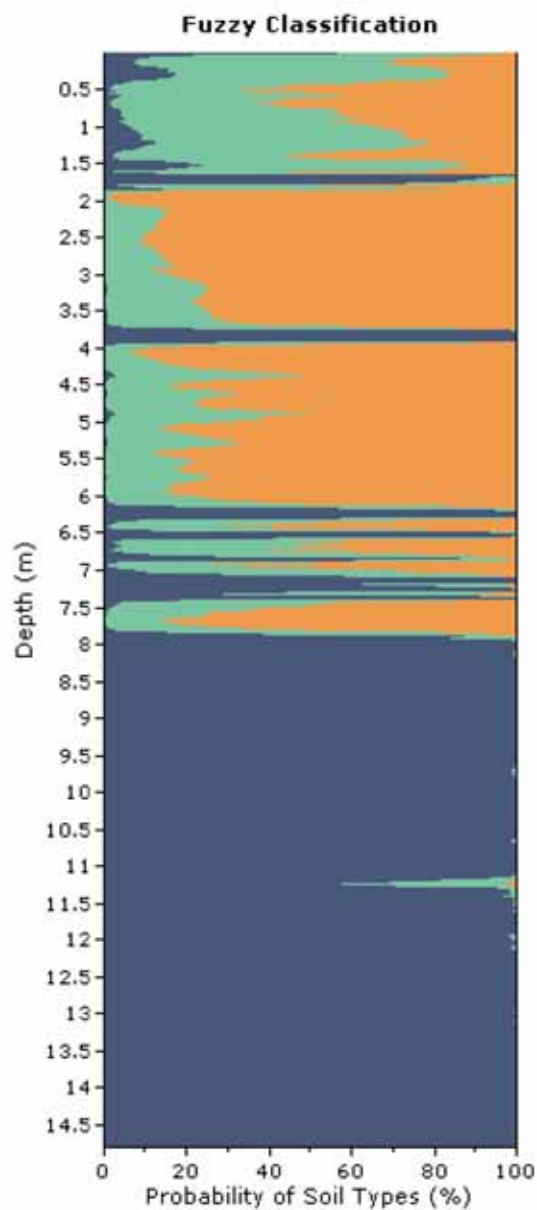
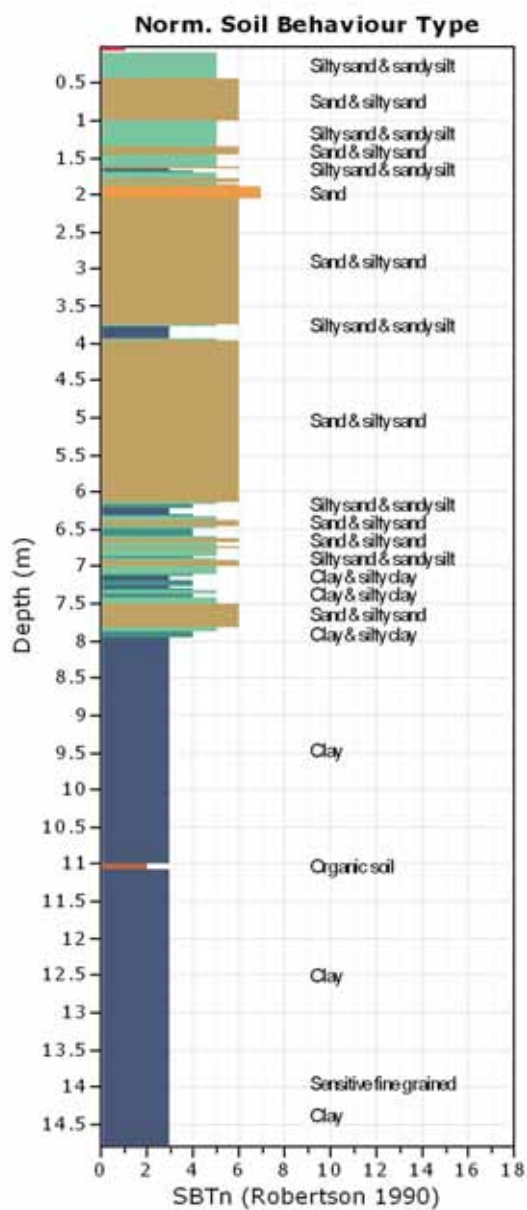
Location:

Bq plots (Schneider)



Project:

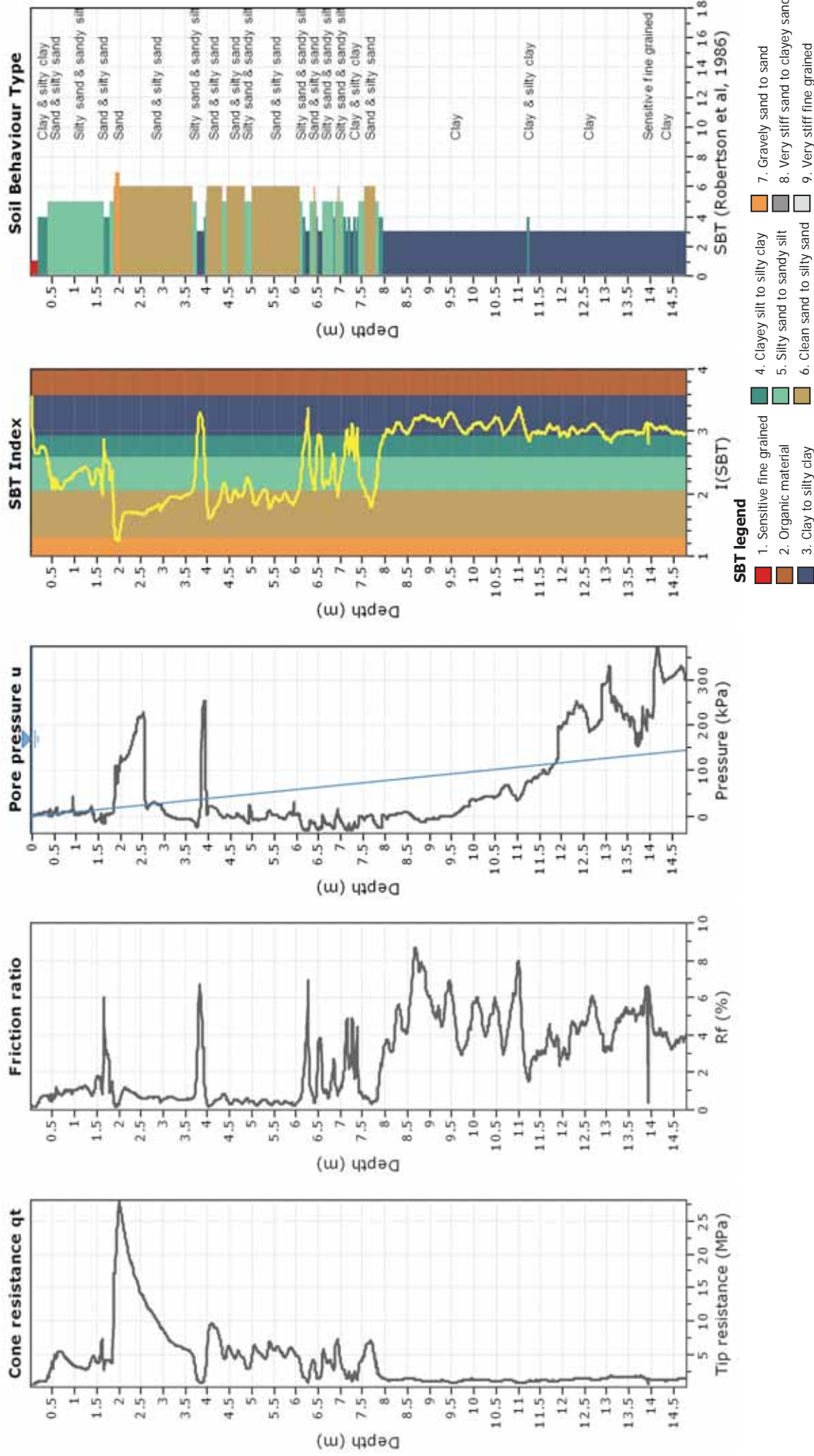
Location:



Total depth: 14.80 m, Date: 24/12/2018
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Unknown
Cone Operator: Unknown

Project:

Location:



Total depth: 14.80 m, Date: 24/12/2018

Surface Elevation: 0.00 m

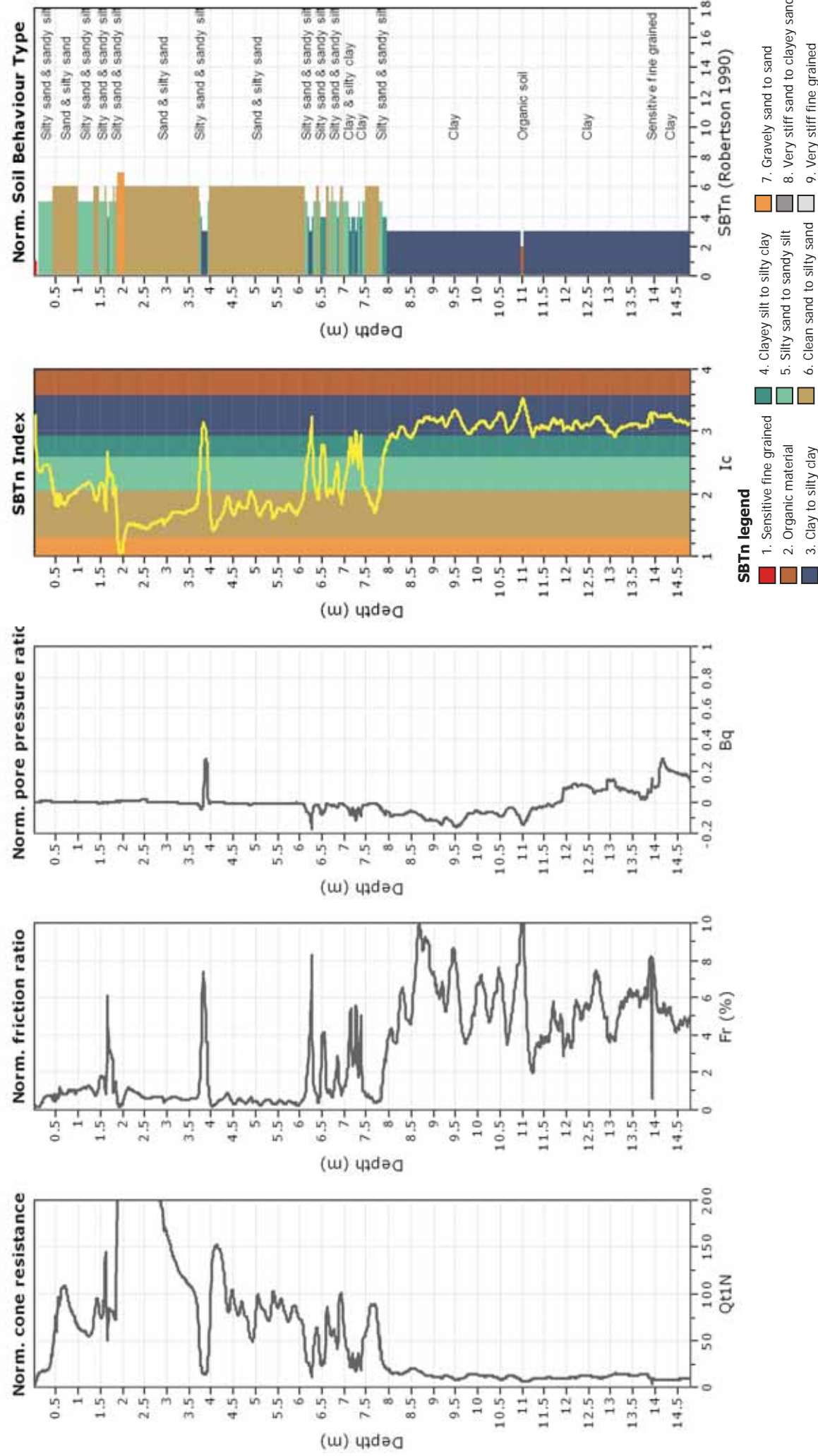
Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type: Unknown

Cone Operator: Unknown

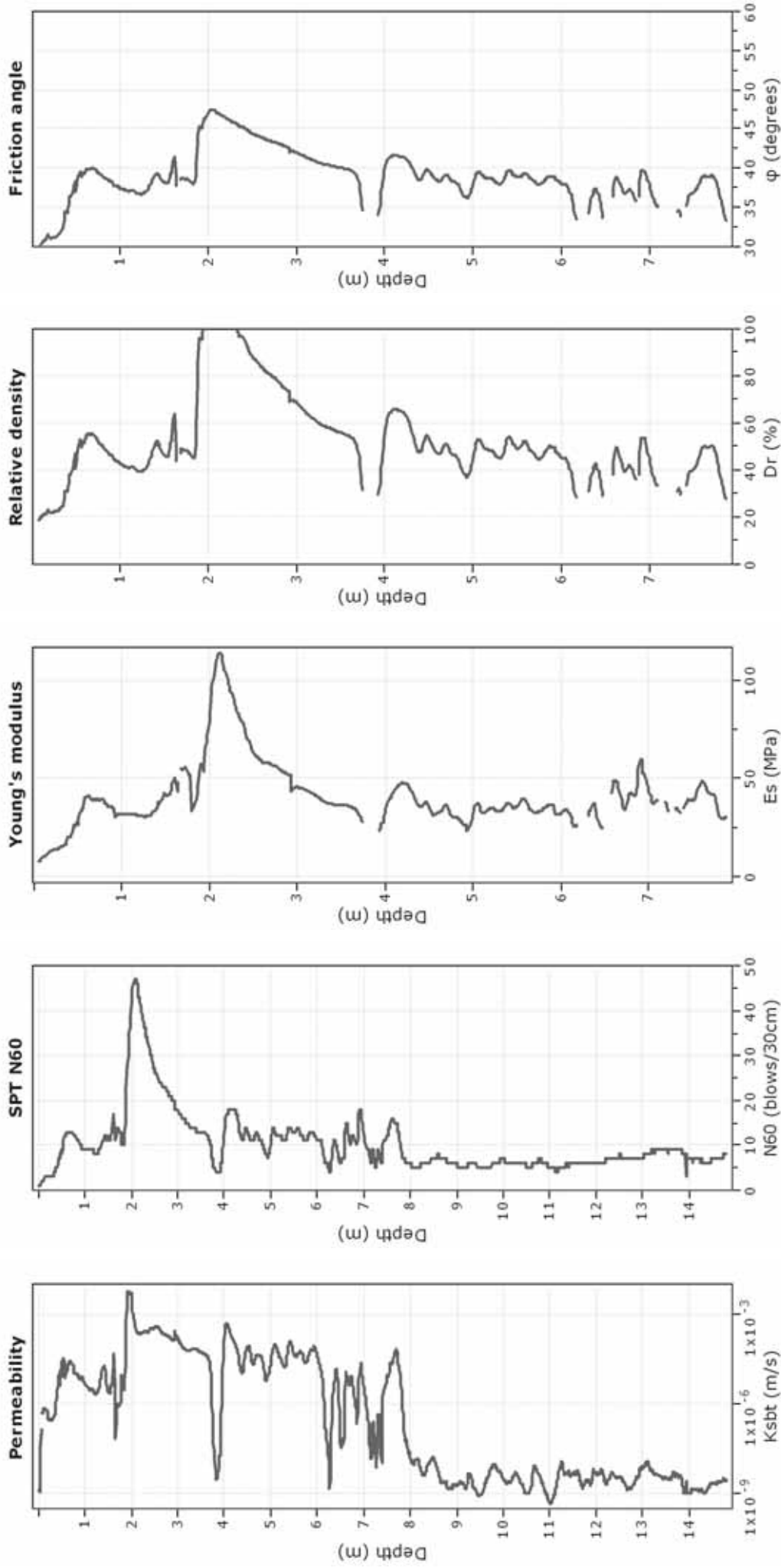
Project:

Location:



Project:

Location:

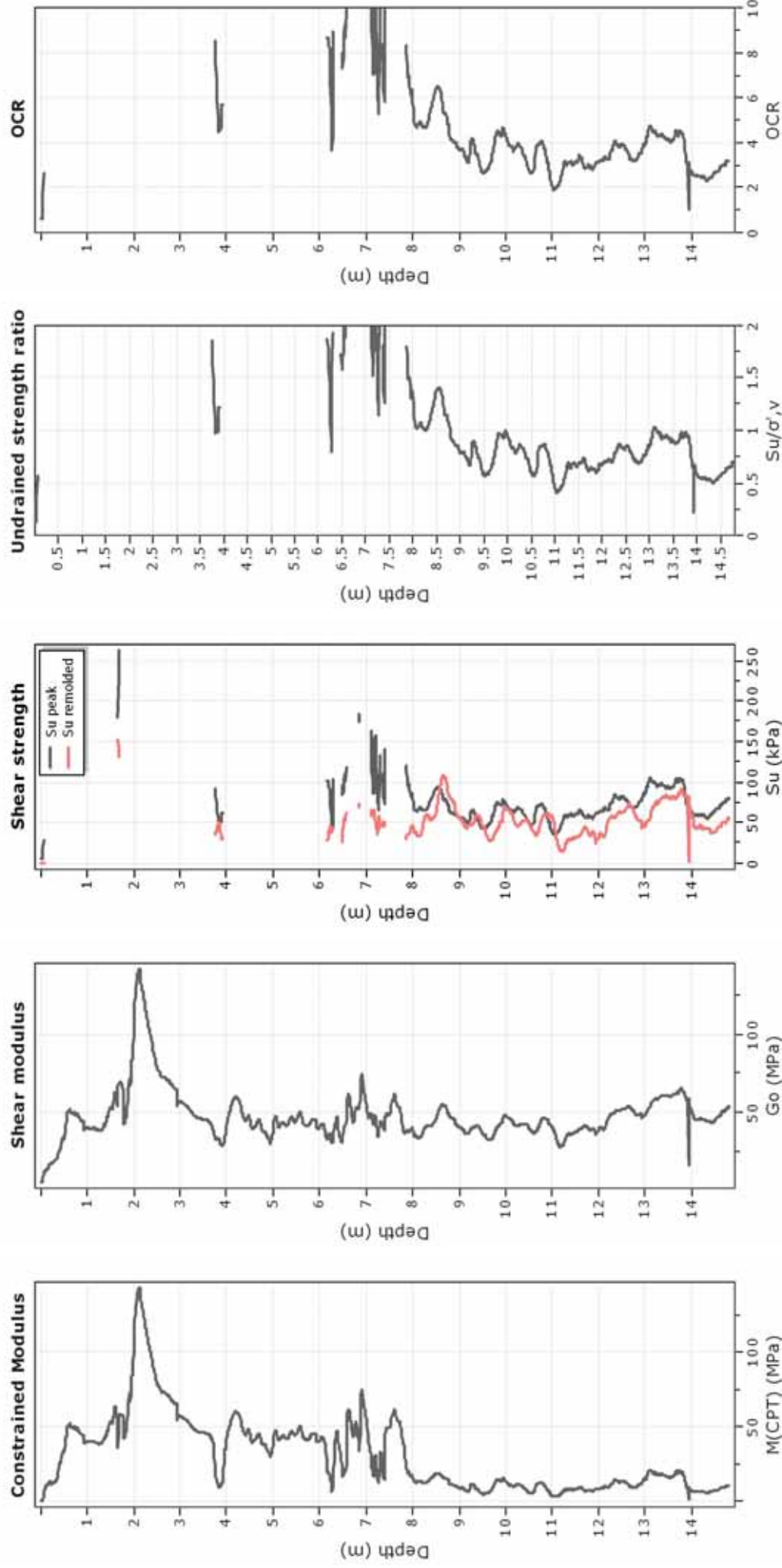


Calculation parameters

Permeability: Based on SBT_n
SPT N₆₀: Based on I_c and q_t
Young's modulus: Based on variable alpha using I_c (Robertson, 2009)
Relative density constant, C_{Dr}: 350.0
Phi: Based on Kulhawy & Mayne (1990)
User defined estimation data

Project:

Location:



Calculation parameters

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

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

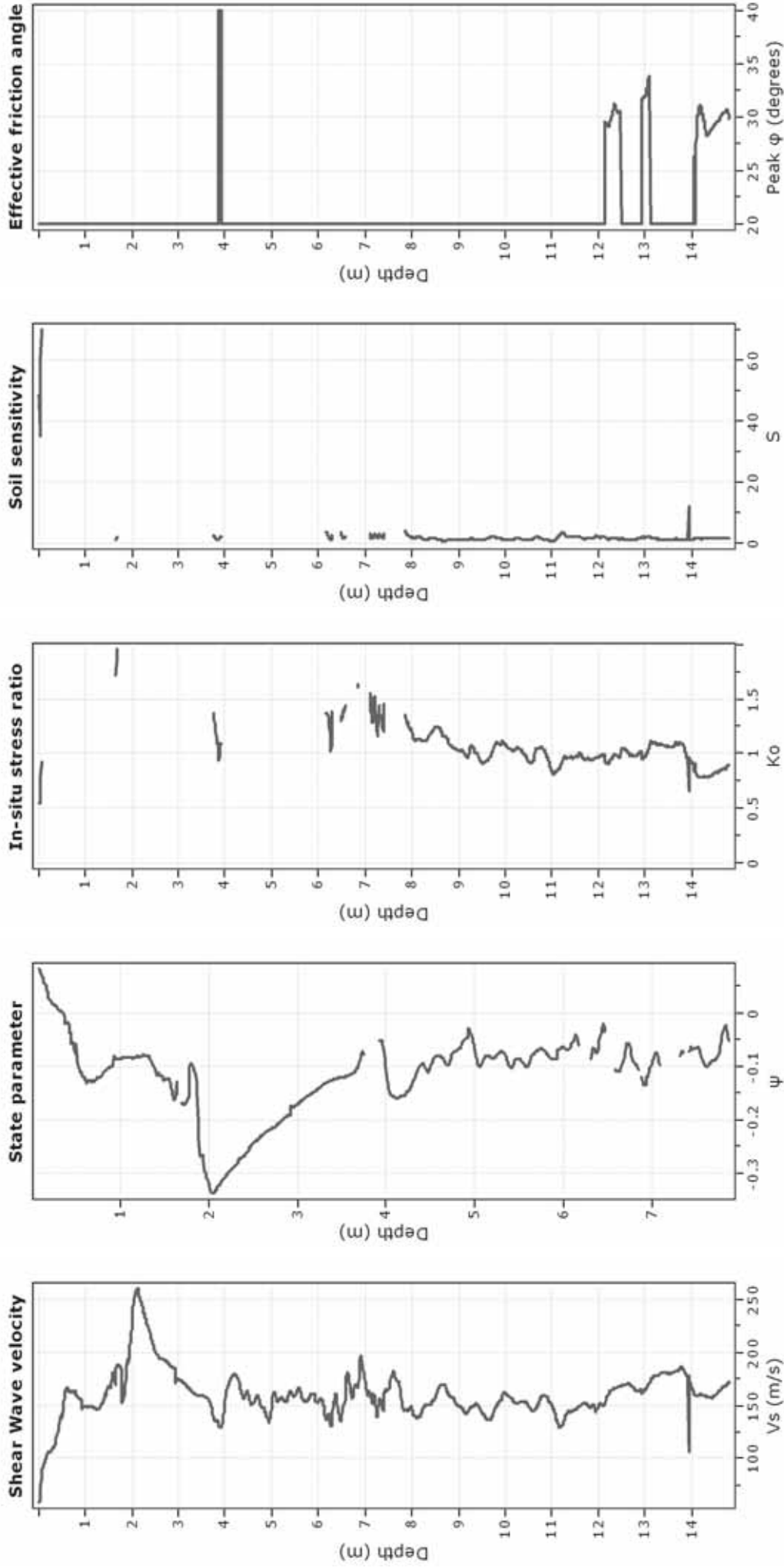
Undrained shear strength cone factor for clays, $N_{k,c}$: 14

OCR factor for clays, $N_{k,c}$: 0.33

● User defined estimation data

Project:

Location:



Calculation parameters

Soil Sensitivity factor, N_s : 7.00

—●— User defined estimation data

GeoLogismiki

Geotechnical Engineers

Merarhias 56

<http://www.geologismiki.gr>



Project:

Location:

CPT: CPT-02

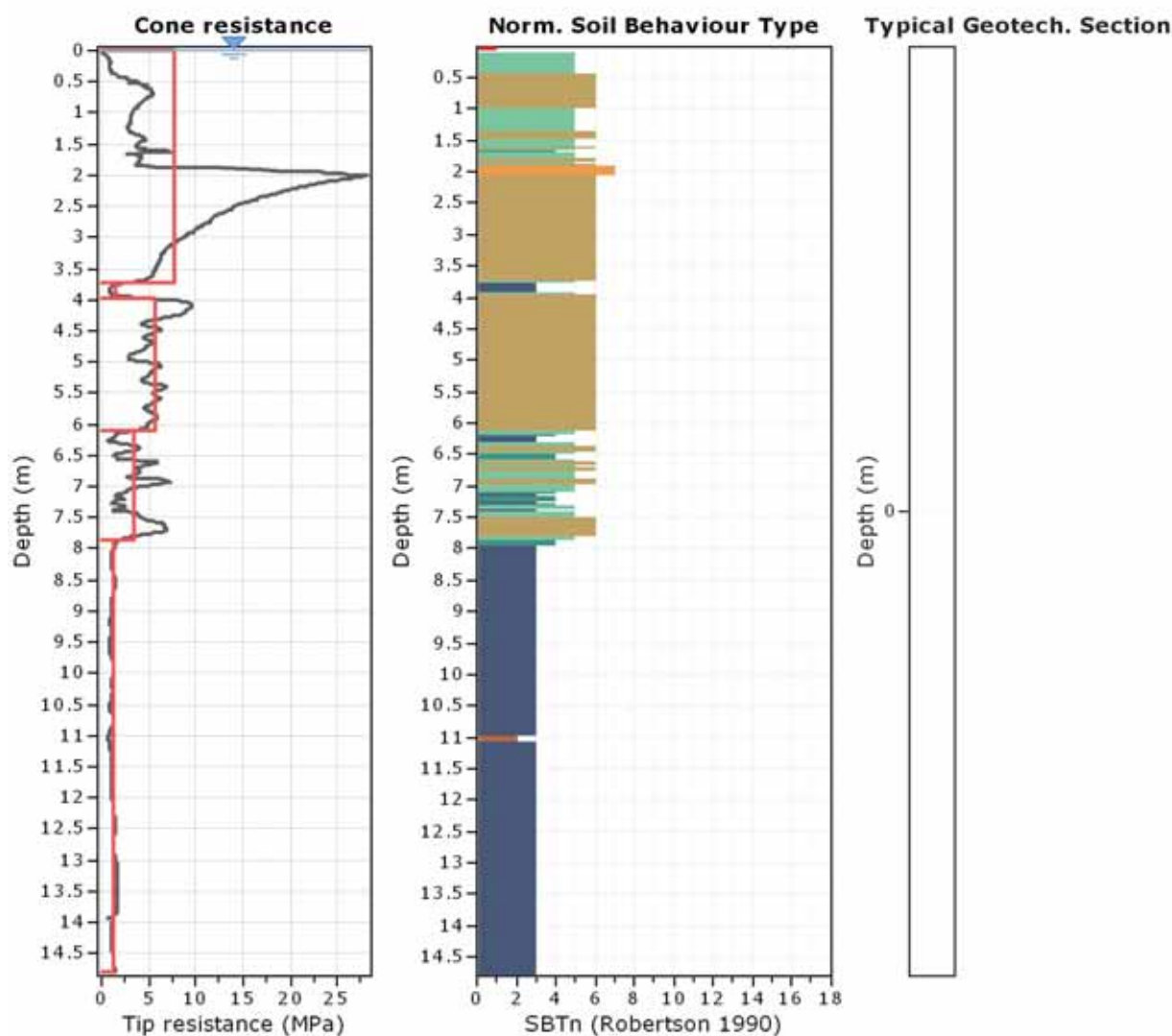
Total depth: 14.80 m, Date: 24/12/2018

Surface Elevation: 0.00 m

Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type: Unknown

Cone Operator: Unknown



Tabular results

::: Layer No: 1 :::

Code: 1 **Start depth:** 0.00 (m), **End depth:** 3.73 (m)

Description: sabbia limosa con livelli limoso sabbiosi e macerie (terreno di riporto)

Basic results

Total cone resistance: 7.73 ± 6.57 MPa

Sleeve friction: 62.05 ± 55.97 kPa

SBT_n: 6

SBT_n description: Sand & silty sand

Estimation results

Permeability: $2.28E-04 \pm 7.68E-04$ m/s

N₆₀: 16.35 ± 10.90 blows

Es: 45.74 ± 22.32 MPa

Dr (%): 60.17 ± 22.67

ö (degrees): 40.10 ± 4.07 °

Unit weight: 17.92 ± 1.50 kN/m³

Constrained Mod.: 55.34 ± 29.19 MPa

Go: 56.34 ± 28.51 MPa

Su: 0.00 ± 0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ± 0.00

O.C.R.: 0.00 ± 0.00

::: Layer No: 2 :::**Code: 2** **Start depth: 3.73 (m), End depth: 3.97 (m)****Description:** argilla limosa molle (terreno di riporto)**Basic results**

Total cone resistance: 1.37 ±0.78 MPa

Sleeve friction: 35.10 ±9.79 kPa

SBT_n: 4SBT_n description: Clay & silty clay**Estimation results**

Permeability: 1.14E-06 ±3.18E-06 m/s

N60: 5.28 ±1.57 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

̑ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.11 ±0.22 kN/m³

Constrained Mod.: 17.42 ±9.06 MPa

Go: 31.73 ±2.19 MPa

Su: 60.30 ±12.69 kPa

Su ratio: 1.21 ±0.25

O.C.R.: 5.57 ±1.17

::: Layer No: 3 :::**Code: 3** **Start depth: 3.97 (m), End depth: 6.09 (m)****Description:** sabbia limosa mediamente densa**Basic results**

Total cone resistance: 5.58 ±1.52 MPa

Sleeve friction: 23.15 ±8.44 kPa

SBT_n: 6SBT_n description: Sand & silty sand**Estimation results**

Permeability: 6.69E-05 ±8.35E-05 m/s

N60: 12.55 ±2.41 blows

Es: 35.17 ±4.85 MPa

Dr (%): 50.18 ±6.50

̑ (degrees): 38.92 ±1.19 °

Unit weight: 17.18 ±0.43 kN/m³

Constrained Mod.: 44.08 ±6.08 MPa

Go: 44.08 ±6.08 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

::: Layer No: 4 :::**Code: 4** **Start depth: 6.09 (m), End depth: 7.86 (m)****Description:** livelli alternati di sabbia limosa, limo sabbioso ed argilla limosa**Basic results**

Total cone resistance: 3.46 ±1.80 MPa

Sleeve friction: 41.42 ±15.92 kPa

SBT_n: 5SBT_n description: Silty sand & sandy silt**Estimation results**

Permeability: 6.83E-06 ±1.18E-05 m/s

N60: 10.16 ±3.52 blows

Es: 39.35 ±7.65 MPa

Dr (%): 41.17 ±6.71

̑ (degrees): 36.97 ±1.60 °

Unit weight: 17.60 ±0.51 kN/m³

Constrained Mod.: 38.99 ±16.18 MPa

Go: 46.38 ±9.81 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

::: Layer No: 5 :::**Code: 5** **Start depth: 7.86 (m), End depth: 14.80 (m)****Description:** argilla limosa e limo argilloso da molle a mediamente consistente**Basic results**

Total cone resistance: 1.17 ±0.23 MPa

Sleeve friction: 52.93 ±18.24 kPa

SBT_n: 3SBT_n description: Clay**Estimation results**

Permeability: 5.07E-09 ±1.39E-08 m/s

N60: 6.46 ±1.15 blows

Es: 30.08 ±0.24 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

̑ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.53 ±0.48 kN/m³

Constrained Mod.: 10.85 ±4.32 MPa

Go: 44.64 ±8.26 MPa

Su: 68.98 ±15.83 kPa

Su ratio: 0.80 ±0.22

O.C.R.: 3.70 ±1.00

Project:
Location:

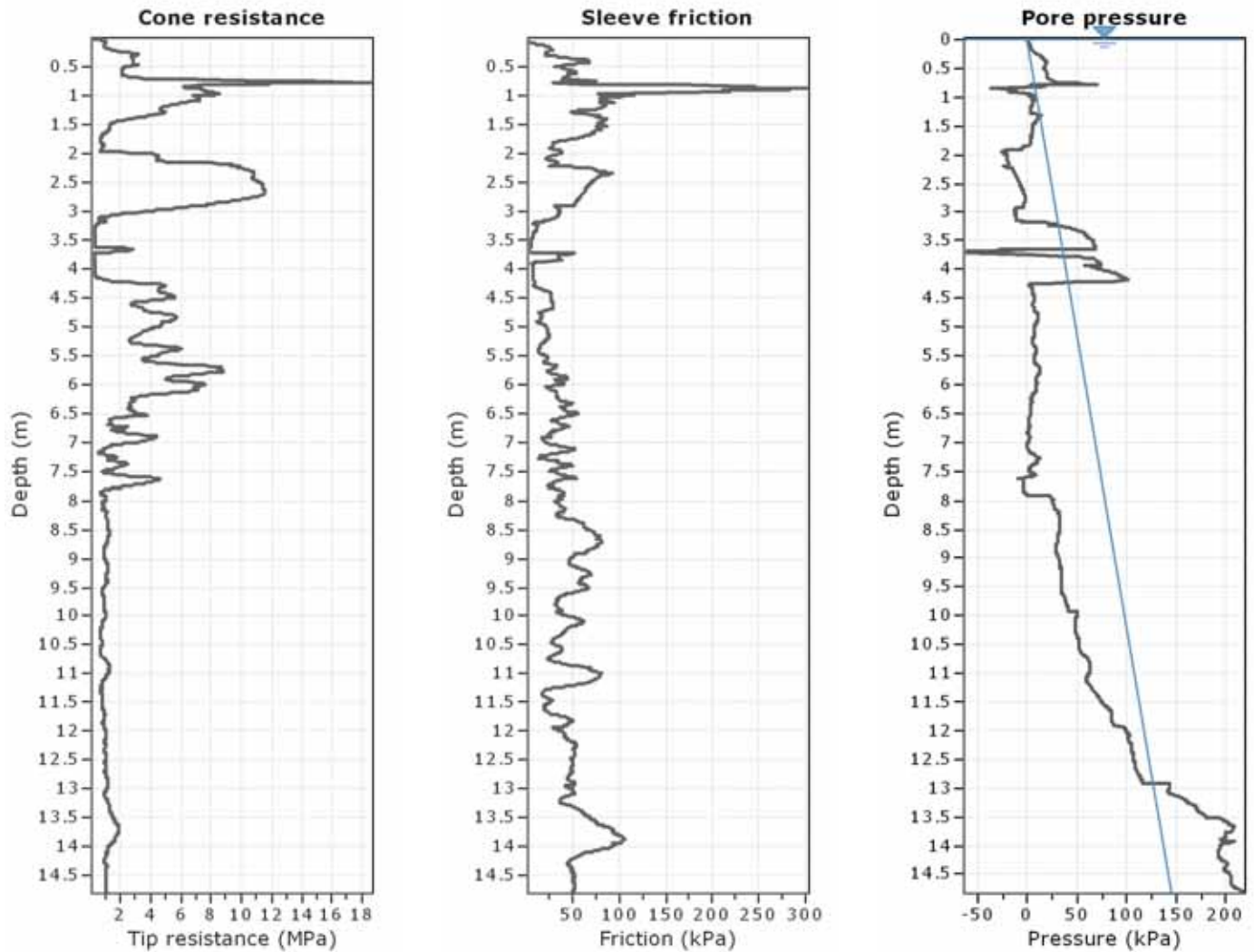
Summary table of mean values

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT _{N60} (blows/30cm)	E _s (MPa)	D _r	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G ₀ (MPa)	Undrained strength, S _u (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m ³)
0.00	3.73	2.28E-04 (±7.68E-04)	16.4 (±10.9)	45.7 (±22.3)	60.2 (±22.7)	40.1 (±4.1)	55.3 (±29.2)	56.3 (±28.5)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	17.9 (±1.5)
3.73	0.24	1.14E-06 (±3.18E-06)	5.3 (±1.6)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	17.4 (±9.1)	31.7 (±2.2)	60.3 (±12.7)	1.2 (±0.3)	5.6 (±1.2)	17.1 (±0.2)
3.97	2.12	6.69E-05 (±8.35E-05)	12.6 (±2.4)	35.2 (±4.9)	50.2 (±6.5)	38.9 (±1.2)	44.1 (±6.1)	44.1 (±6.1)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	17.2 (±0.4)
6.09	1.77	6.83E-06 (±1.18E-05)	10.2 (±3.5)	39.3 (±7.6)	41.2 (±6.7)	37.0 (±1.6)	39.0 (±16.2)	46.4 (±9.8)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	17.6 (±0.5)
7.86	6.94	5.07E-09 (±1.39E-08)	6.5 (±1.2)	30.1 (±0.2)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	10.9 (±4.3)	44.6 (±8.3)	69.0 (±15.8)	0.8 (±0.2)	3.7 (±1.0)	17.5 (±0.5)

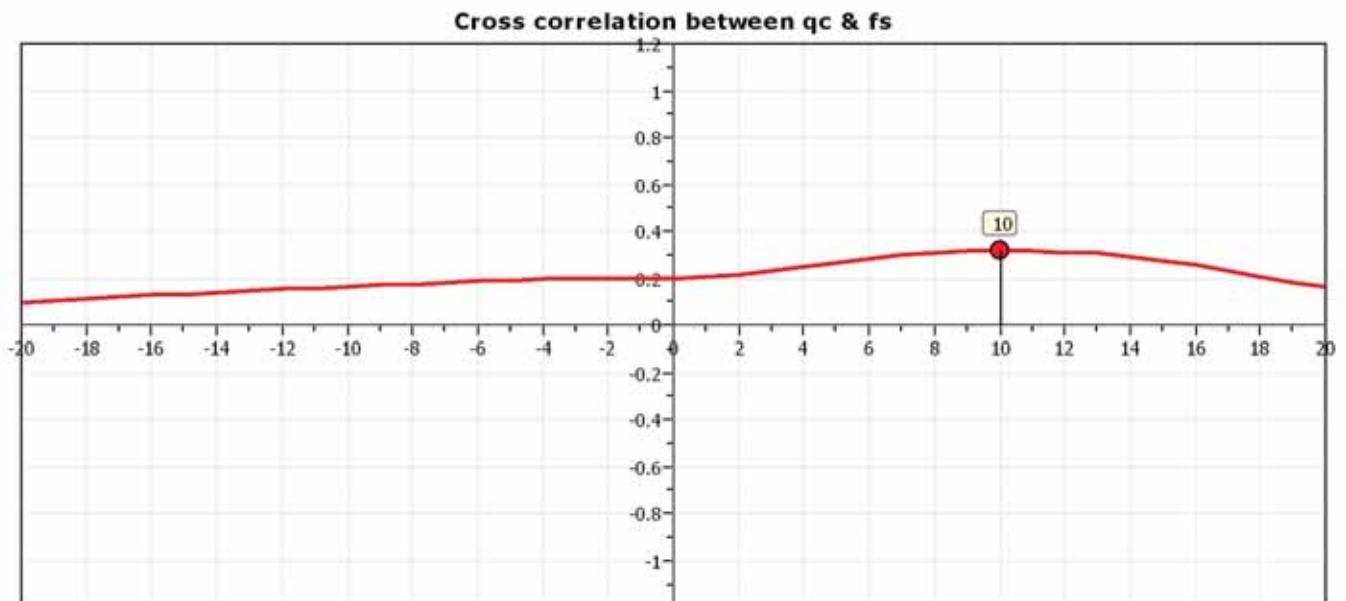
Depth values presented in this table are measured from free ground surface

Project:

Location:



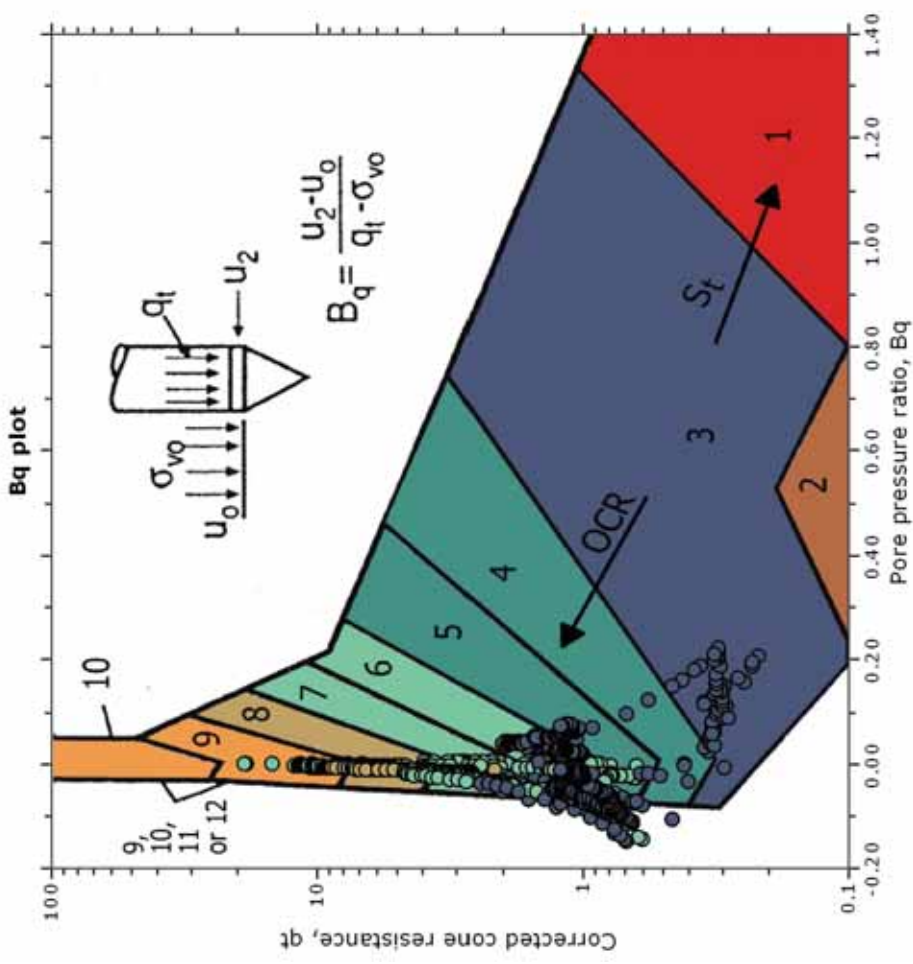
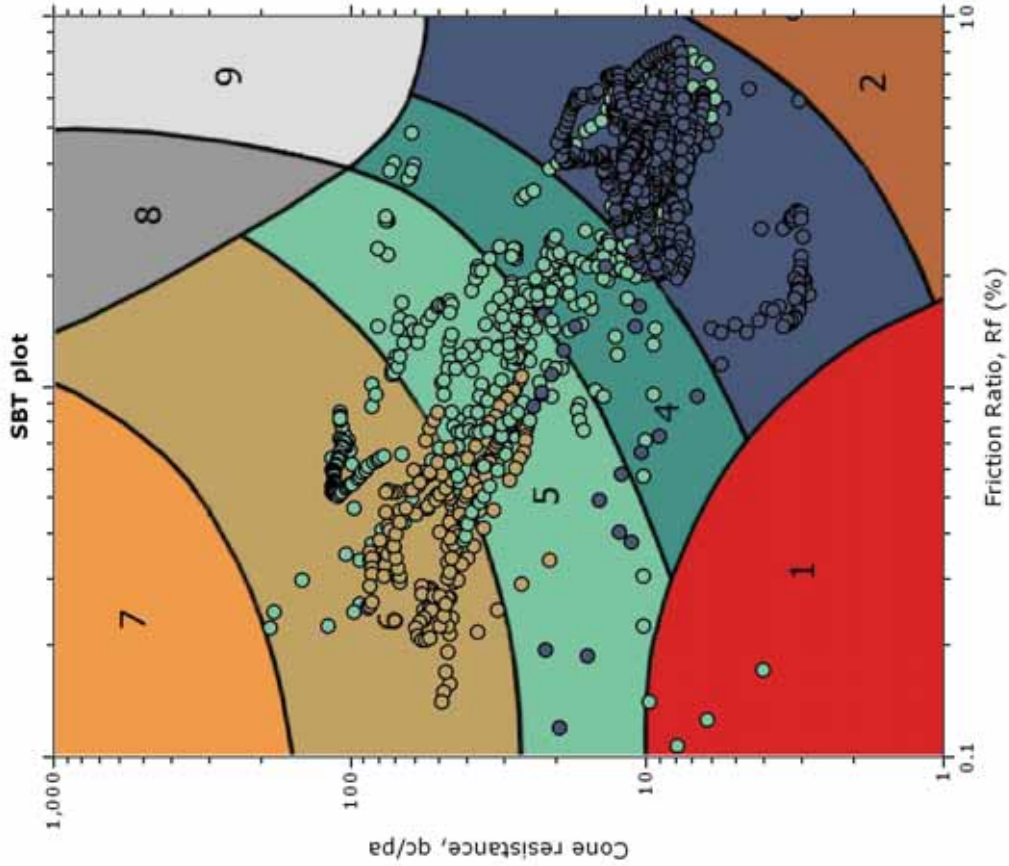
The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw qc and fs values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).



Project:

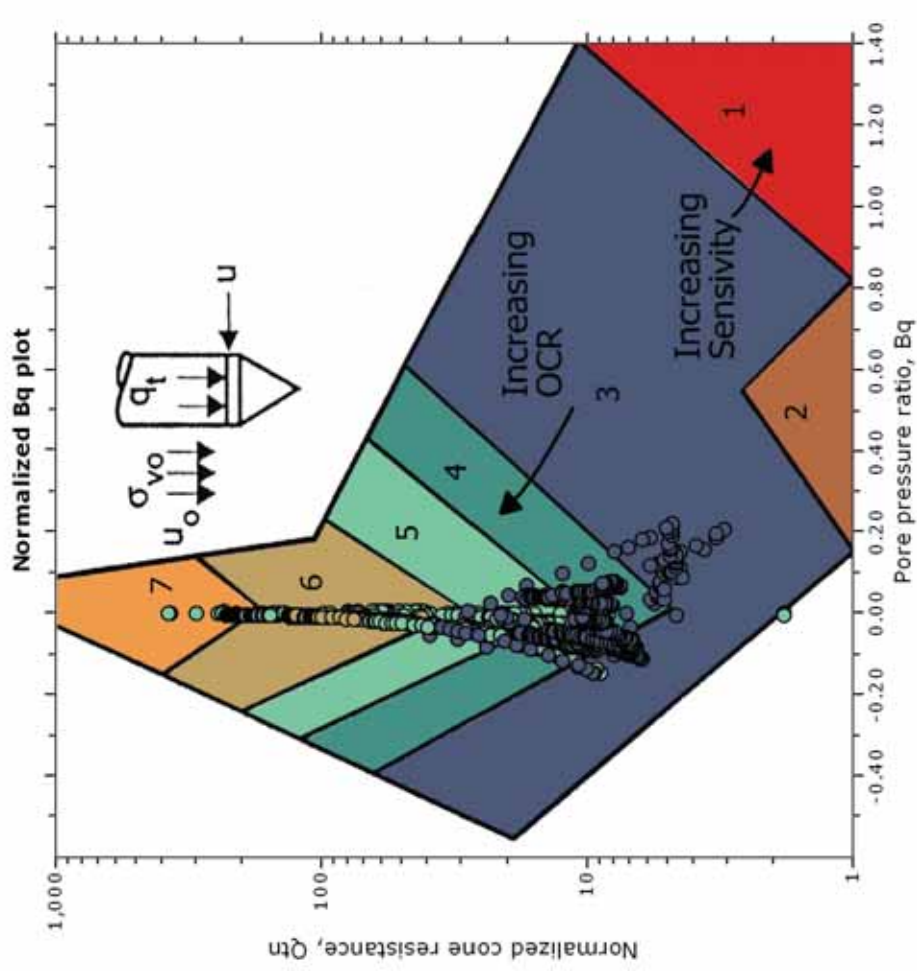
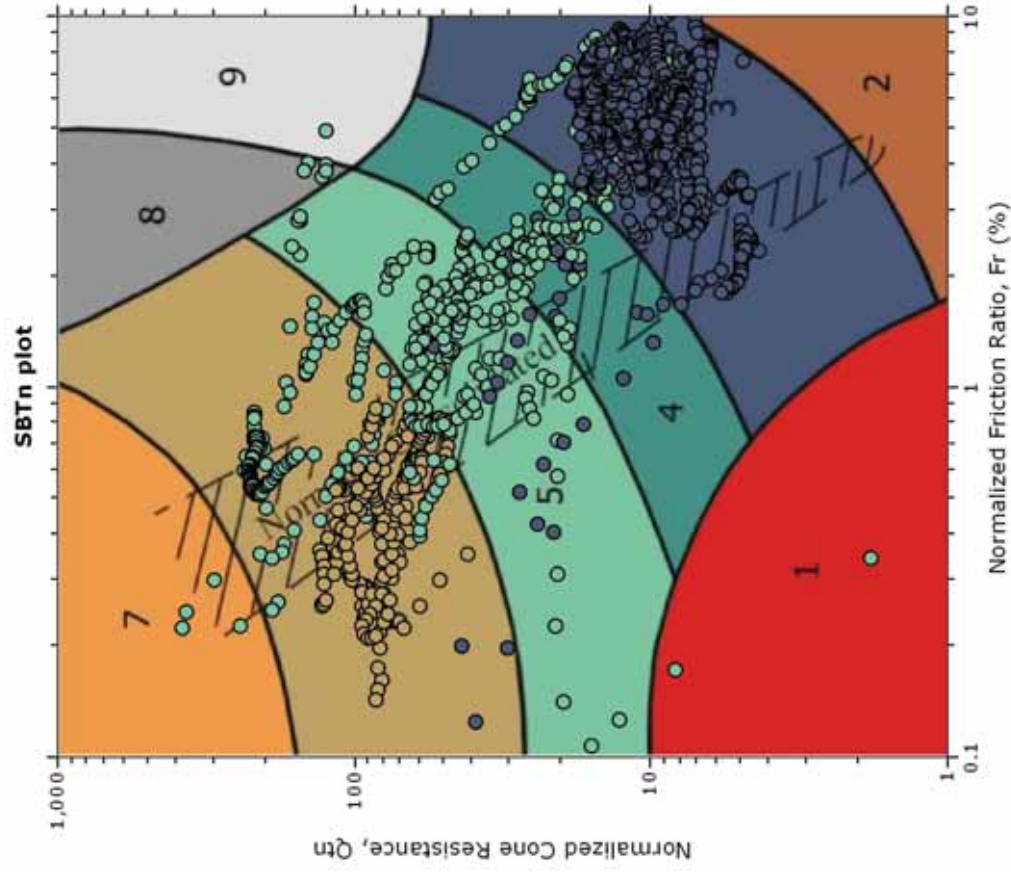
Location:

SBT - Bq plots



Project:
Location:

SBT - Bq plots (normalized)



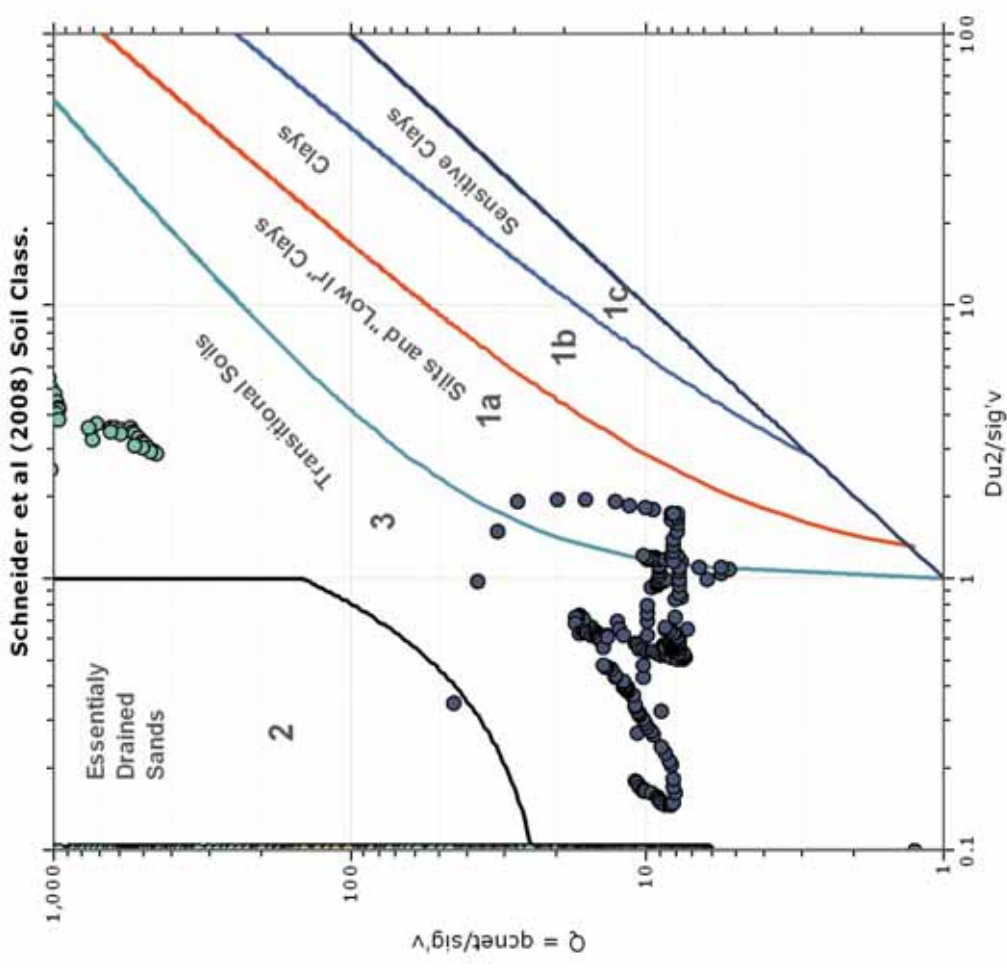
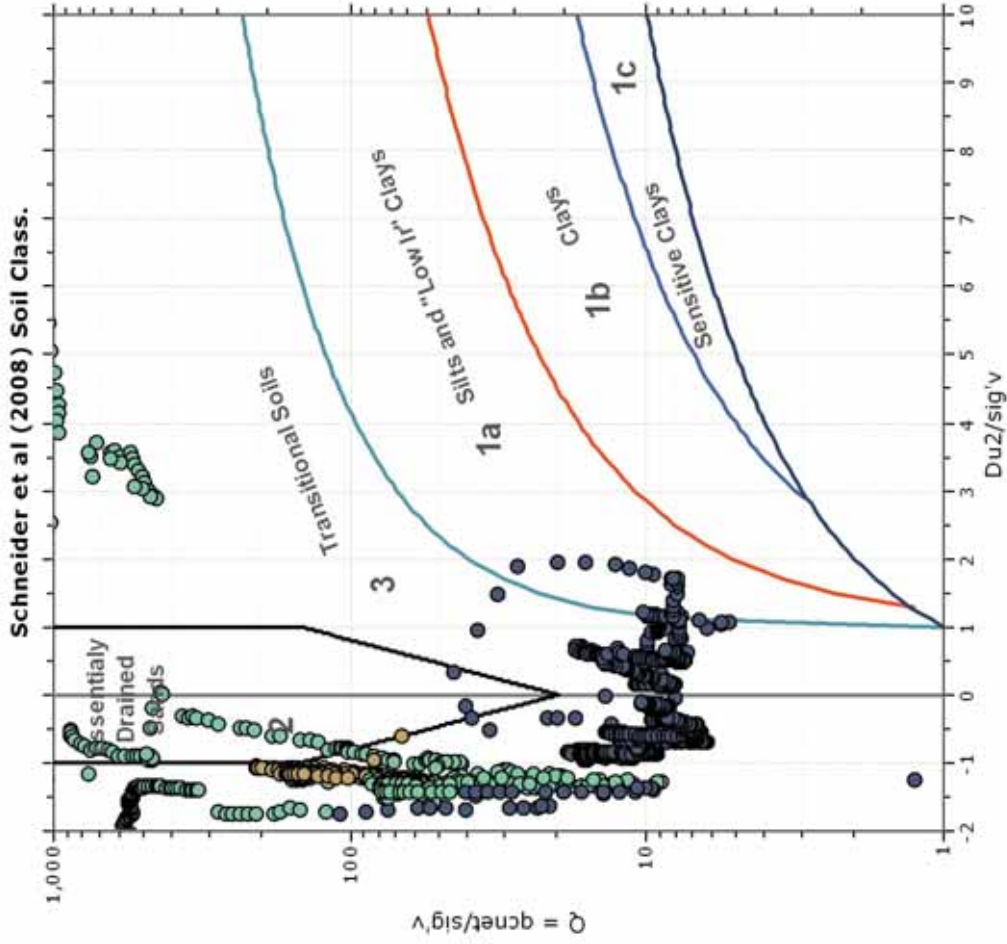
SBTn legend

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

Project:

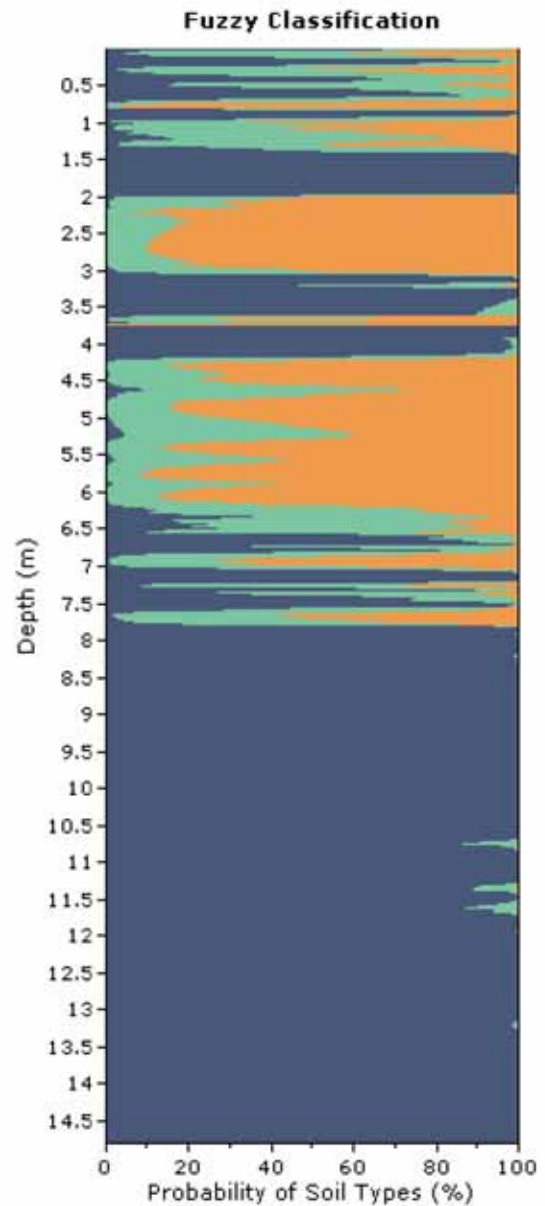
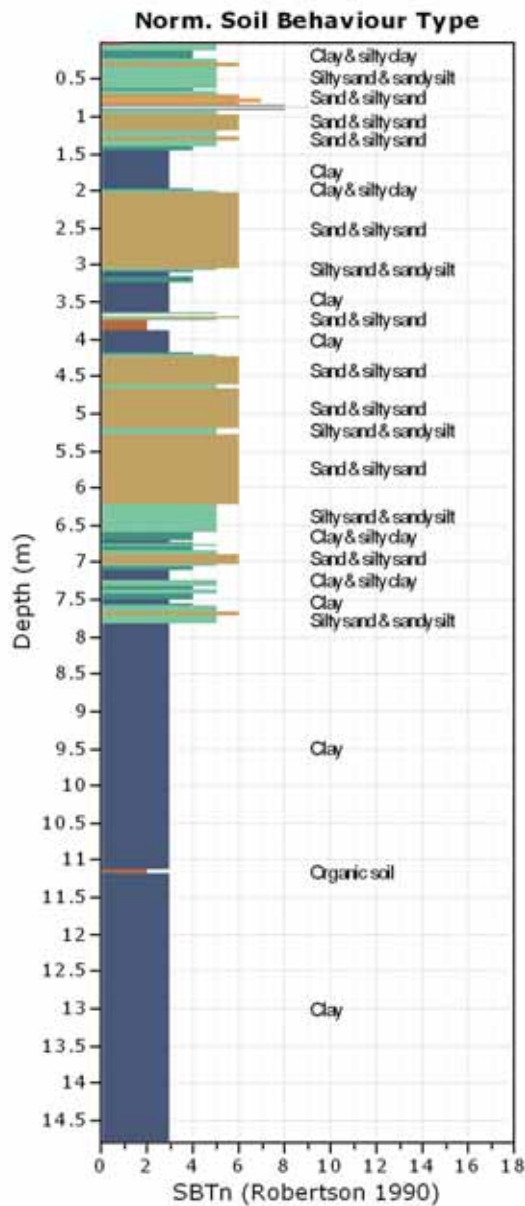
Location:

Bq plots (Schneider)



Project:

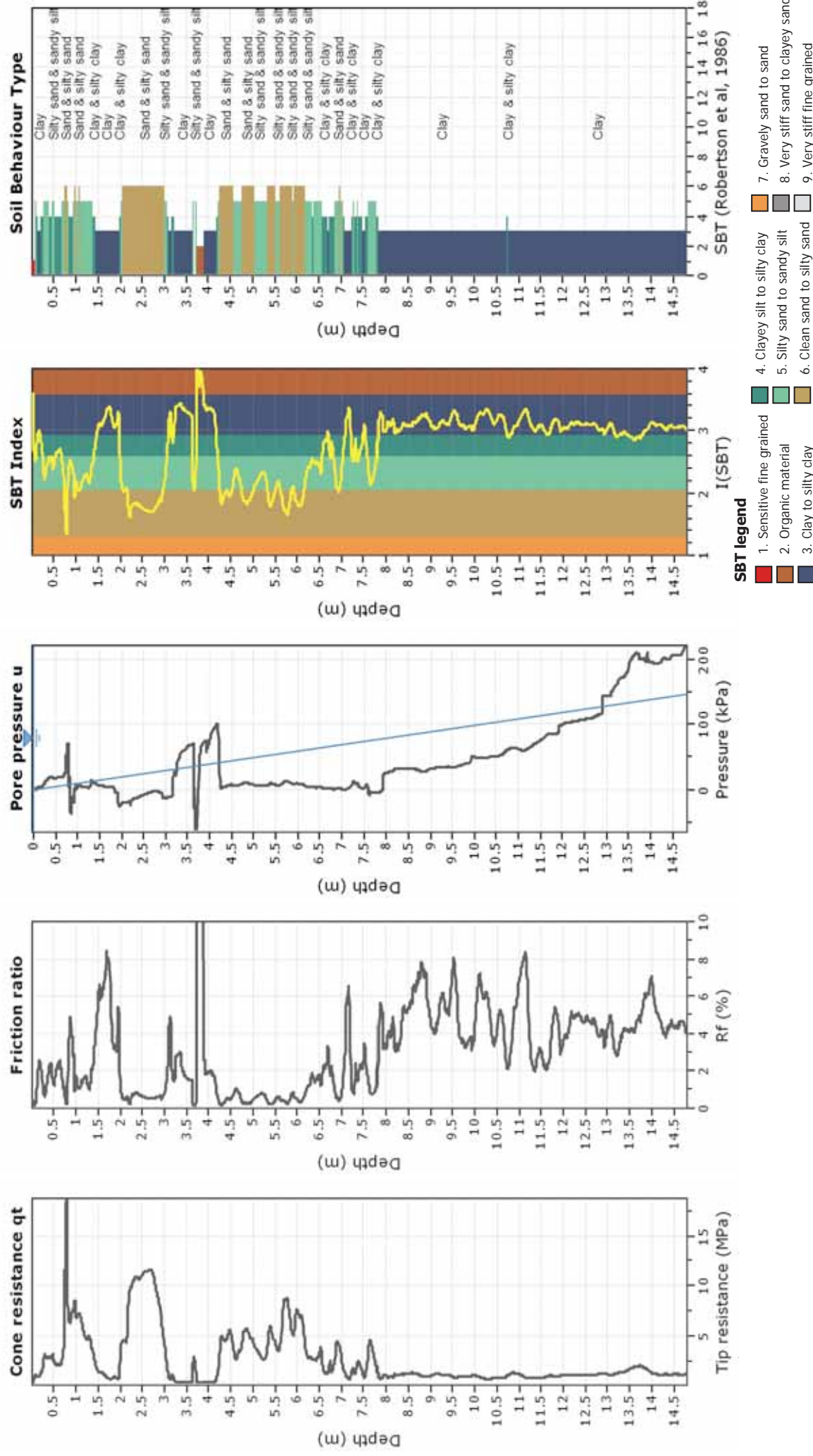
Location:



Total depth: 14.80 m, Date: 24/12/2018
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Unknown
Cone Operator: Unknown

Project:

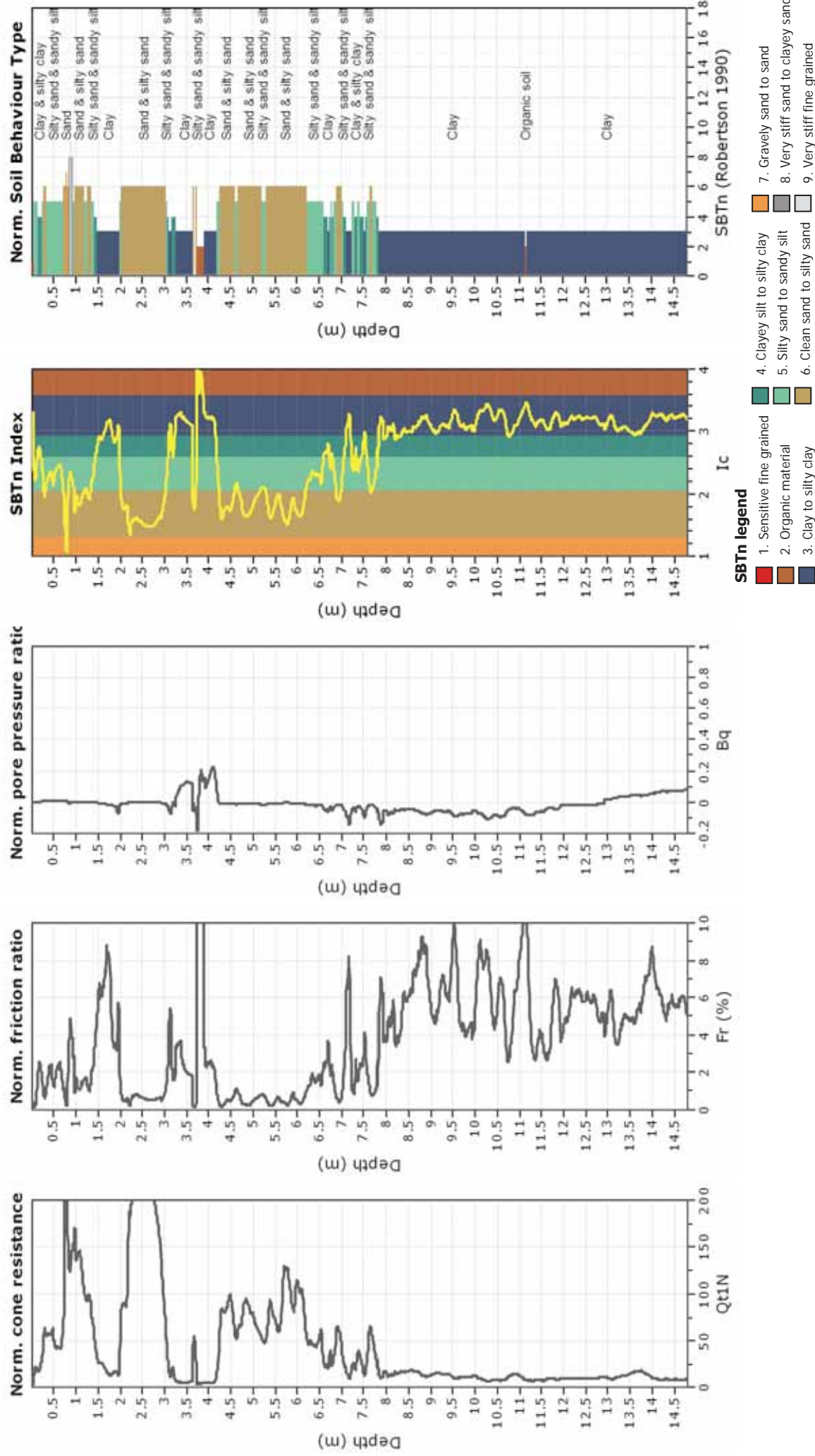
Location:



Total depth: 14.80 m, Date: 24/12/2018
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Unknown
Cone Operator: Unknown

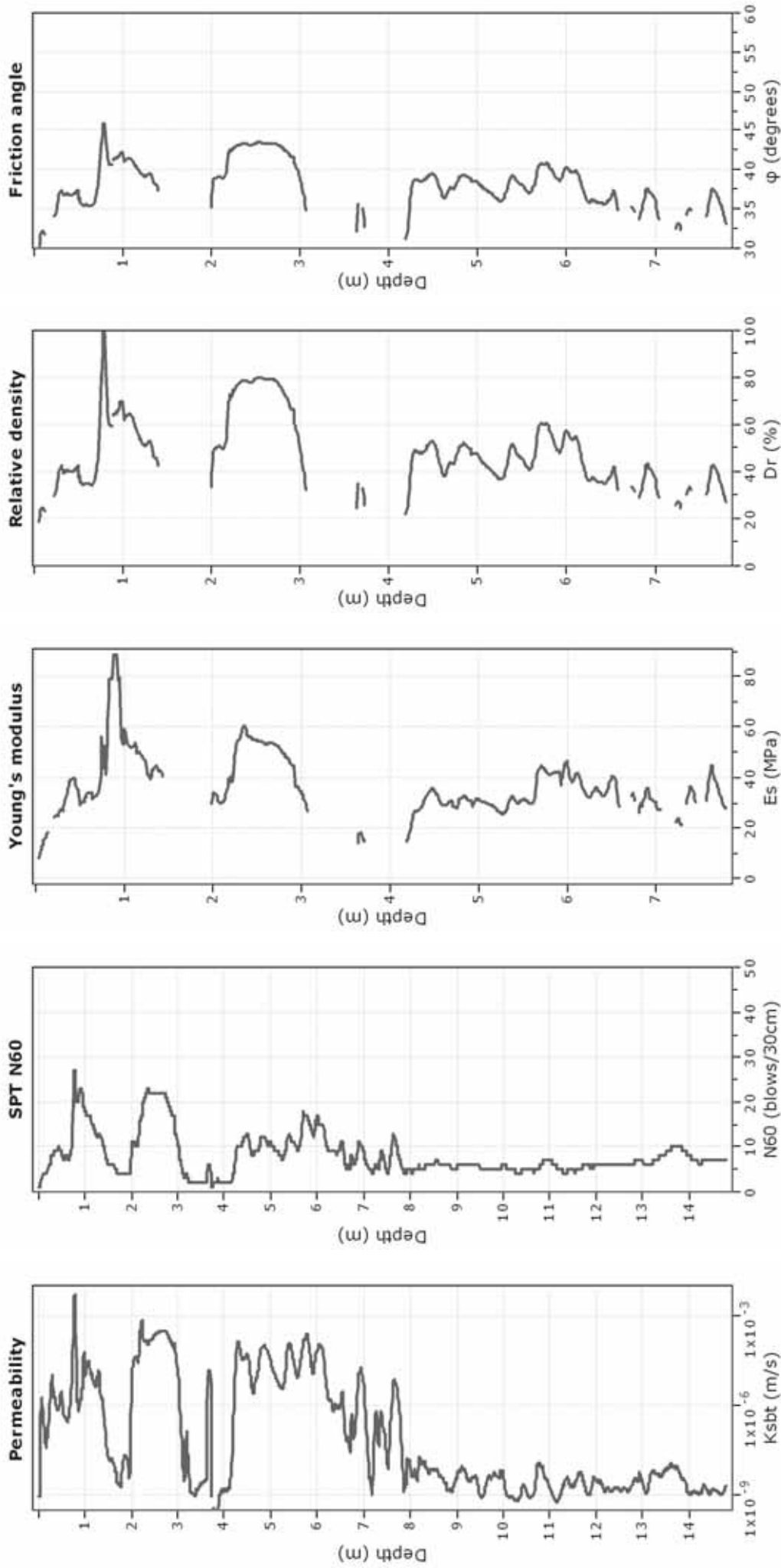
Project:

Location:



Project:

Location:

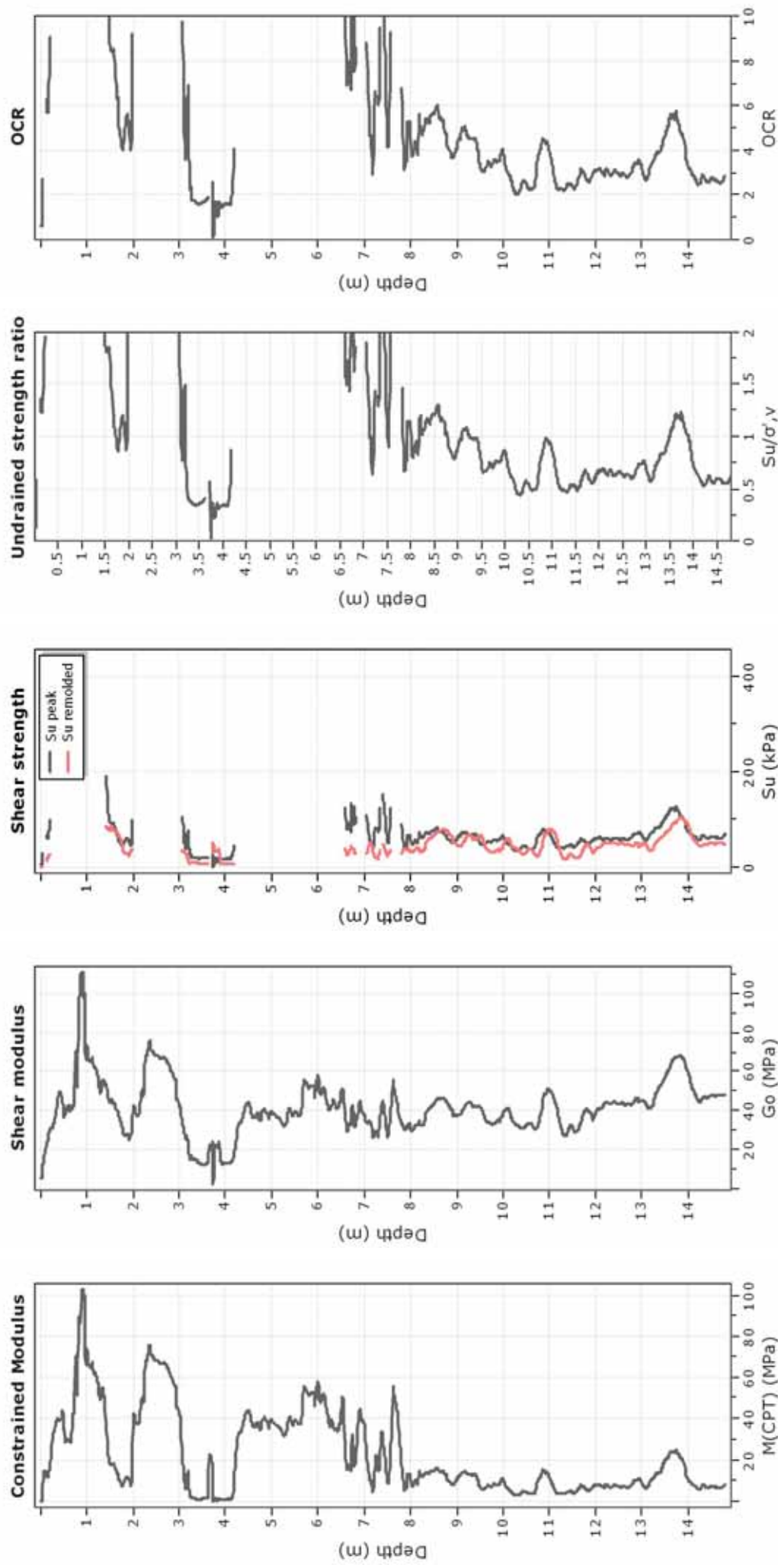


Calculation parameters

Permeability: Based on SBT_n
SPT N60: Based on I_c and q_c
Young's modulus: Based on variable alpha using I_c (Robertson, 2009)
Relative density constant, C_{Dr} : 350.0
Phi: Based on Kulhawy & Mayne (1990)
—●— User defined estimation data

Project:

Location:



Calculation parameters

Constrained modulus: Based on variable $\alpha/\rho\eta\alpha$ using I_c and Q_{m1} (Robertson, 2009)

G_0 : Based on variable $\alpha/\rho\eta\alpha$ using I_c (Robertson, 2009)

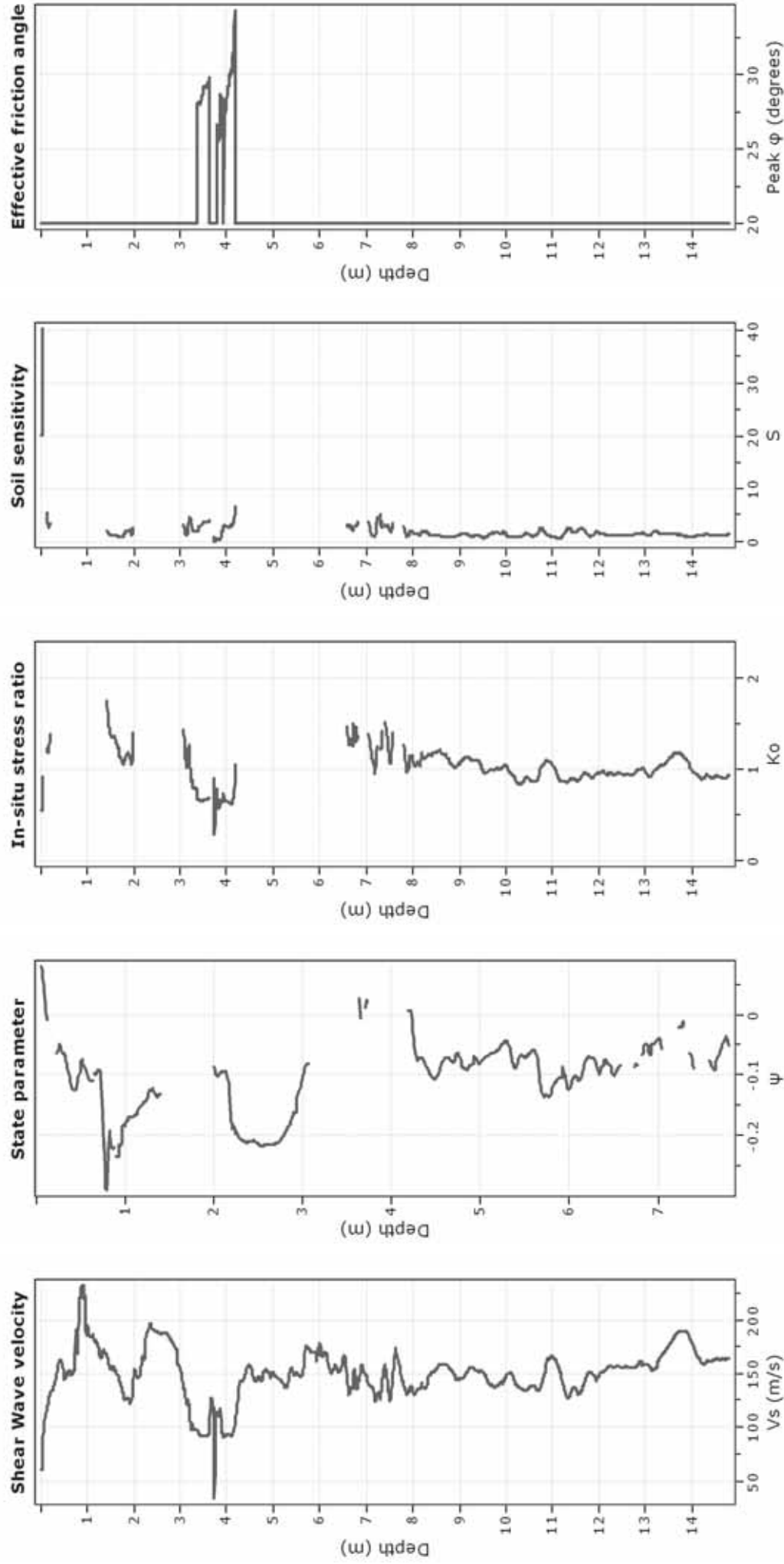
Undrained shear strength cone factor for clays, $N_{k,c}$: 14

OCR factor for clays, $N_{k,c}$: 0.33

—●— User defined estimation data

Project:

Location:



Calculation parameters

Soil Sensitivity factor, N_s : 7.00

—●— User defined estimation data

GeoLogismiki

Geotechnical Engineers

Merarhias 56

<http://www.geologismiki.gr>



Project:

Location:

CPT: CPT-03

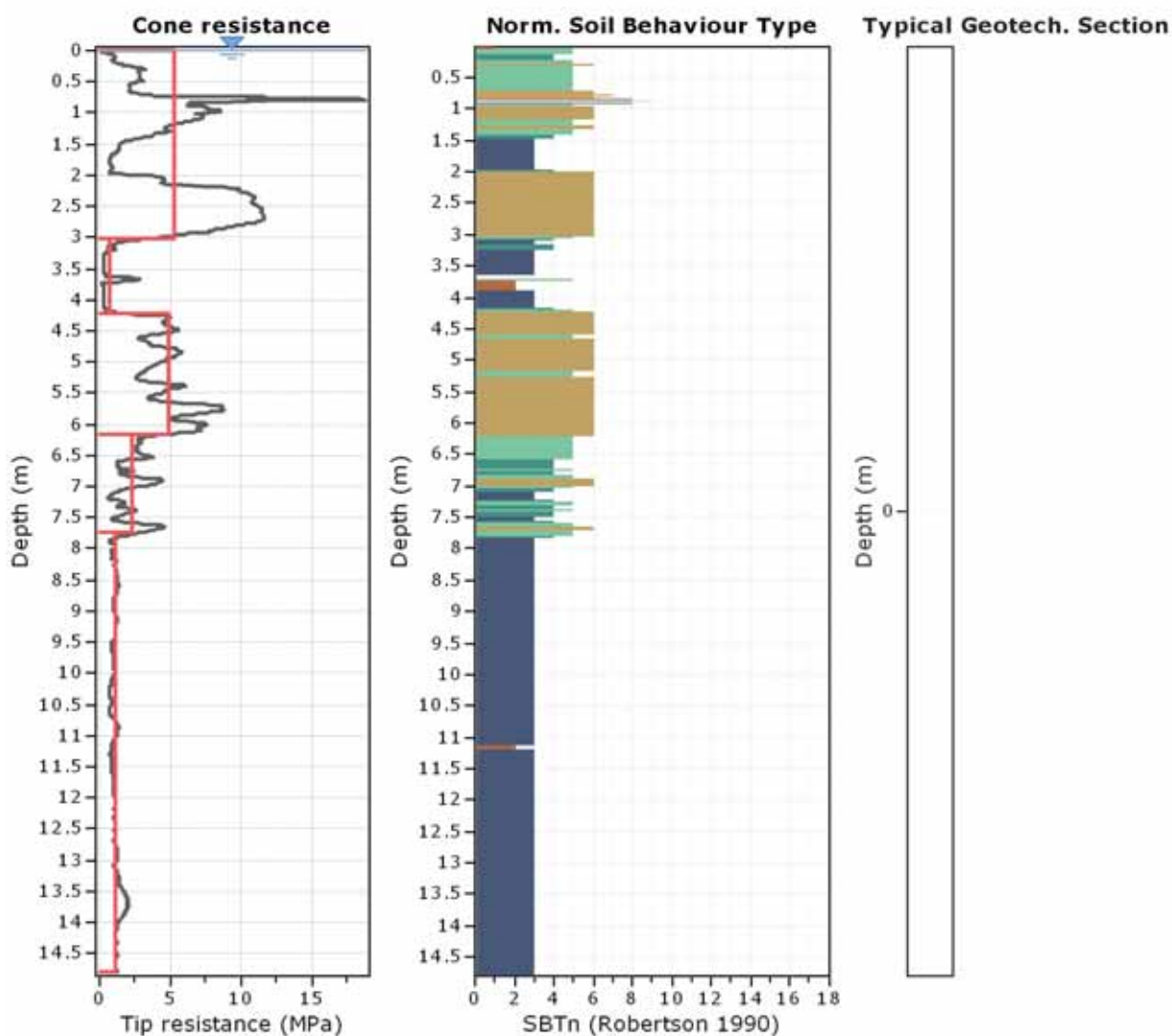
Total depth: 14.80 m, Date: 24/12/2018

Surface Elevation: 0.00 m

Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type: Unknown

Cone Operator: Unknown



Tabular results

::: Layer No: 1 :::

Code: 1 **Start depth:** 0.00 (m), **End depth:** 3.03 (m)

Description: sabbia limosa e limo sabbioso con un livello di argilla molle e tracce di macerie

Basic results

Total cone resistance: 5.25 ± 3.95 MPa

Sleeve friction: 61.71 ± 47.24 kPa

SBT_n: 5

SBT_n description: Silty sand & sandy silt

Estimation results

Permeability: $1.06E-04 \pm 4.15E-04$ m/s

N₆₀: 12.62 ± 6.85 blows

Es: 44.63 ± 14.35 MPa

Dr (%): 58.38 ± 17.38

ö (degrees): 39.96 ± 3.17 °

Unit weight: 17.94 ± 1.13 kN/m³

Constrained Mod.: 44.58 ± 23.90 MPa

Go: 50.81 ± 19.30 MPa

Su: 0.00 ± 0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ± 0.00

O.C.R.: 0.00 ± 0.00

::: Layer No: 2 :::**Code: 2** **Start depth: 3.03 (m), End depth: 4.22 (m)****Description:** argilla limosa molle con livelli di limo**Basic results**

Total cone resistance: 0.63 ±0.64 MPa

Sleeve friction: 13.46 ±12.31 kPa

SBT_n: 3SBT_n description: Clay**Estimation results**

Permeability: 3.96E-07 ±1.93E-06 m/s

N60: 2.80 ±1.50 blows

Es: 19.28 ±3.73 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

̑ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 15.27 ±0.98 kN/m³

Constrained Mod.: 5.70 ±8.24 MPa

Go: 17.44 ±6.65 MPa

Su: 25.13 ±18.59 kPa

Su ratio: 0.50 ±0.37

O.C.R.: 2.32 ±1.72

::: Layer No: 3 :::**Code: 3** **Start depth: 4.22 (m), End depth: 6.17 (m)****Description:** sabbia limosa mediamente densa**Basic results**

Total cone resistance: 4.91 ±1.61 MPa

Sleeve friction: 21.88 ±8.01 kPa

SBT_n: 6SBT_n description: Sand & silty sand**Estimation results**

Permeability: 5.04E-05 ±4.92E-05 m/s

N60: 11.40 ±2.76 blows

Es: 32.77 ±5.89 MPa

Dr (%): 47.70 ±6.18

̑ (degrees): 38.43 ±1.26 °

Unit weight: 17.04 ±0.51 kN/m³

Constrained Mod.: 41.06 ±7.40 MPa

Go: 41.07 ±7.38 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

::: Layer No: 4 :::**Code: 4** **Start depth: 6.17 (m), End depth: 7.75 (m)****Description:** livelli alternati di sabbia limosa, limo sabbioso ed argilla limosa**Basic results**

Total cone resistance: 2.33 ±1.08 MPa

Sleeve friction: 33.72 ±10.18 kPa

SBT_n: 5SBT_n description: Silty sand & sandy silt**Estimation results**

Permeability: 1.89E-06 ±3.37E-06 m/s

N60: 7.77 ±2.30 blows

Es: 33.51 ±4.66 MPa

Dr (%): 36.36 ±4.50

̑ (degrees): 35.84 ±1.24 °

Unit weight: 17.25 ±0.44 kN/m³

Constrained Mod.: 29.04 ±12.71 MPa

Go: 38.31 ±6.97 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

::: Layer No: 5 :::**Code: 5** **Start depth: 7.75 (m), End depth: 14.80 (m)****Description:** argilla limosa da molle a mediamente consistente**Basic results**

Total cone resistance: 1.08 ±0.28 MPa

Sleeve friction: 49.90 ±18.54 kPa

SBT_n: 3SBT_n description: Clay**Estimation results**

Permeability: 1.03E-08 ±8.57E-08 m/s

N60: 6.08 ±1.29 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

̑ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.43 ±0.50 kN/m³

Constrained Mod.: 9.75 ±5.03 MPa

Go: 41.92 ±8.93 MPa

Su: 62.90 ±17.65 kPa

Su ratio: 0.77 ±0.22

O.C.R.: 3.54 ±1.02

Project:
Location:

Summary table of mean values

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT _{N60} (blows/30cm)	E _s (MPa)	D _r	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G ₀ (MPa)	Undrained strength, S _u (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m ³)
0.00	3.03	1.06E-04 (±4.15E-04)	12.6 (±6.9)	44.6 (±14.3)	58.4 (±17.4)	40.0 (±3.2)	44.6 (±23.9)	50.8 (±19.3)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	17.9 (±1.1)
3.03	1.19	3.96E-07 (±1.93E-06)	2.8 (±1.5)	19.3 (±3.7)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	5.7 (±8.2)	17.4 (±6.6)	25.1 (±18.6)	0.5 (±0.4)	2.3 (±1.7)	15.3 (±1.0)
4.22	1.95	5.04E-05 (±4.92E-05)	11.4 (±2.8)	32.8 (±5.9)	47.7 (±6.2)	38.4 (±1.3)	41.1 (±7.4)	41.1 (±7.4)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	17.0 (±0.5)
6.17	1.58	1.89E-06 (±3.37E-06)	7.8 (±2.3)	33.5 (±4.7)	36.4 (±4.5)	35.8 (±1.2)	29.0 (±12.7)	38.3 (±7.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	17.3 (±0.4)
7.75	7.05	1.03E-08 (±8.57E-08)	6.1 (±1.3)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	9.8 (±5.0)	41.9 (±8.9)	62.9 (±17.7)	0.8 (±0.2)	3.5 (±1.0)	17.4 (±0.5)

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

Presented below is a list of formulas used for the estimation of various soil properties. The formulas are presented in SI unit system and assume that all components are expressed in the same units.

:: Unit Weight, g (kN/m³) ::

$$g = g_w \cdot \left(0.27 \cdot \log(R_f) + 0.36 \cdot \log\left(\frac{q_t}{p_a}\right) + 1.236 \right)$$

where g_w = water unit weight

:: Permeability, k (m/s) ::

$$I_c < 3.27 \text{ and } I_c > 1.00 \text{ then } k = 10^{0.952 - 3.04 I_c}$$

$$I_c \leq 4.00 \text{ and } I_c > 3.27 \text{ then } k = 10^{-4.52 - 1.37 I_c}$$

:: N_{SPT} (blows per 30 cm) ::

$$N_{60} = \left(\frac{q_c}{p_a} \right) \cdot \frac{1}{10^{1.1268 - 0.2817 I_c}}$$

$$N_{1(60)} = Q_{tn} \cdot \frac{1}{10^{1.1268 - 0.2817 I_c}}$$

:: Young's Modulus, E_s (MPa) ::

$$(q_t - \sigma_v) \cdot 0.015 \cdot 10^{0.55 I_c + 1.68}$$

(applicable only to $I_c < I_{c_cutoff}$)

:: Relative Density, Dr (%) ::

$$100 \cdot \sqrt{\frac{Q_{tn}}{k_{DR}}} \quad (\text{applicable only to } SBT_n: 5, 6, 7 \text{ and } 8 \text{ or } I_c < I_{c_cutoff})$$

:: State Parameter, ψ ::

$$\psi = 0.56 - 0.33 \cdot \log(Q_{tn,cs})$$

:: Peak drained friction angle, ϕ (°) ::

$$\phi = 17.60 + 11 \cdot \log(Q_{tn})$$

(applicable only to $SBT_n: 5, 6, 7 \text{ and } 8$)

:: 1-D constrained modulus, M (MPa) ::

If $I_c > 2.20$
 $\alpha = 14$ for $Q_{tn} > 14$
 $\alpha = Q_{tn}$ for $Q_{tn} \leq 14$
 $M_{CPT} = \alpha \cdot (q_t - \sigma_v)$

If $I_c \leq 2.20$
 $M_{CPT} = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 I_c + 1.68}$

:: Small strain shear Modulus, G_0 (MPa) ::

$$G_0 = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 I_c + 1.68}$$

:: Shear Wave Velocity, V_s (m/s) ::

$$V_s = \left(\frac{G_0}{\rho} \right)^{0.50}$$

:: Undrained peak shear strength, S_u (kPa) ::

$$N_{kt} = 10.50 + 7 \cdot \log(F_r) \text{ or user defined}$$

$$S_u = \frac{(q_t - \sigma_v)}{N_{kt}}$$

(applicable only to $SBT_n: 1, 2, 3, 4 \text{ and } 9$ or $I_c > I_{c_cutoff}$)

:: Remolded undrained shear strength, $S_{u(rem)}$ (kPa) ::

$$S_{u(rem)} = f_s \quad (\text{applicable only to } SBT_n: 1, 2, 3, 4 \text{ and } 9 \text{ or } I_c > I_{c_cutoff})$$

:: Overconsolidation Ratio, OCR ::

$$k_{OCR} = \left[\frac{Q_{tn}^{0.20}}{0.25 \cdot (10.50 + 7 \cdot \log(F_r))} \right]^{-1.25} \text{ or user defined}$$

$$OCR = k_{OCR} \cdot Q_{tn}$$

(applicable only to $SBT_n: 1, 2, 3, 4 \text{ and } 9$ or $I_c > I_{c_cutoff}$)

:: In situ Stress Ratio, K_0 ::

$$K_0 = 0.1 \cdot \left(\frac{q_t - \sigma_v}{\sigma'_{vo}} \right)$$

(applicable only to $SBT_n: 1, 2, 3, 4 \text{ and } 9$ or $I_c > I_{c_cutoff}$)

:: Soil Sensitivity, S_t ::

$$S_t = \frac{N_s}{F_r}$$

(applicable only to $SBT_n: 1, 2, 3, 4 \text{ and } 9$ or $I_c > I_{c_cutoff}$)

:: Effective Stress Friction Angle, ϕ' (°) ::

$$\phi' = 29.5^\circ \cdot B_q^{0.121} \cdot (0.256 + 0.336 \cdot B_q + \log Q_t)$$

(applicable for $0.10 < B_q < 1.00$)

References

- Robertson, P.K., Cabal K.L., Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering, Gregg Drilling & Testing, Inc., 4th Edition, July 2010
- Robertson, P.K., Interpretation of Cone Penetration Tests - a unified approach., Can. Geotech. J. 46(11): 1337–1355 (2009)

TABLE OF CONTENTS

CPTU 1 results	
Summary data report	1
CPTU 2 results	
Summary data report	7
CPTU 3 results	
Summary data report	13

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

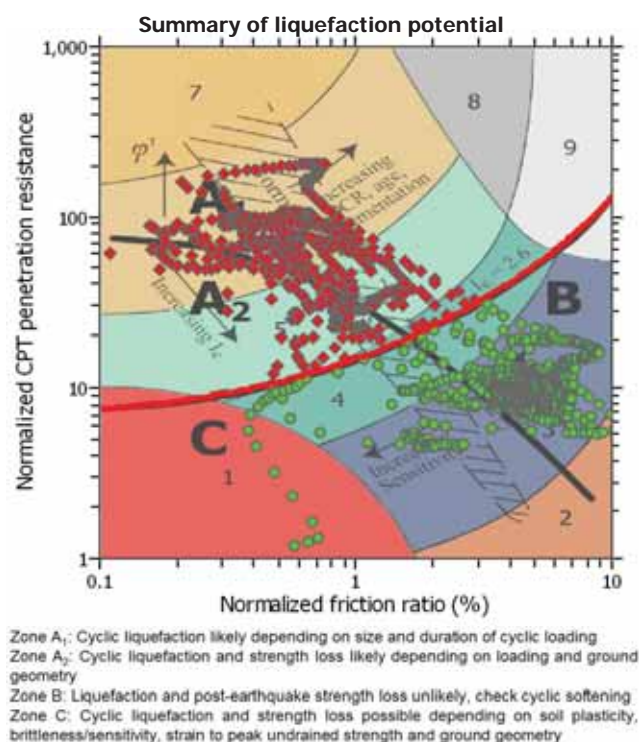
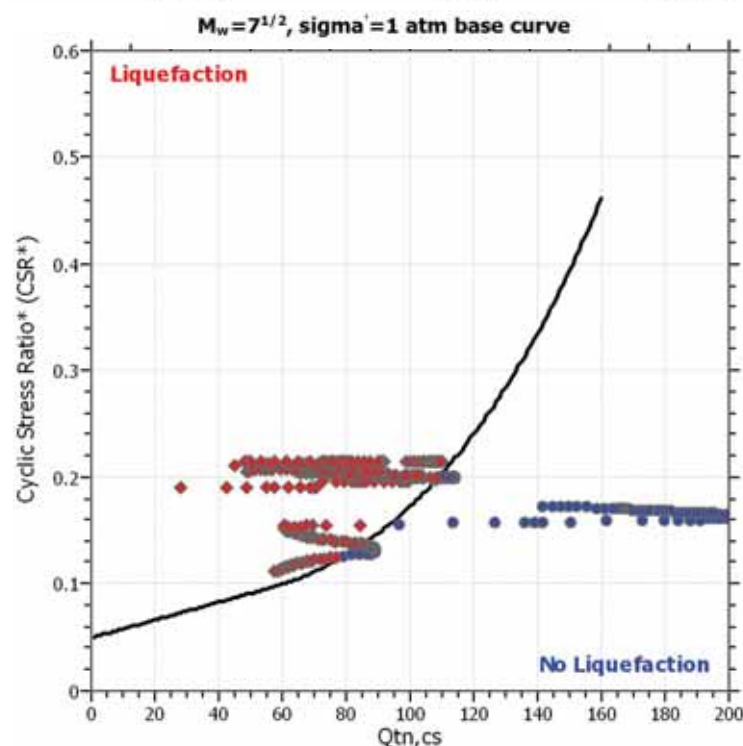
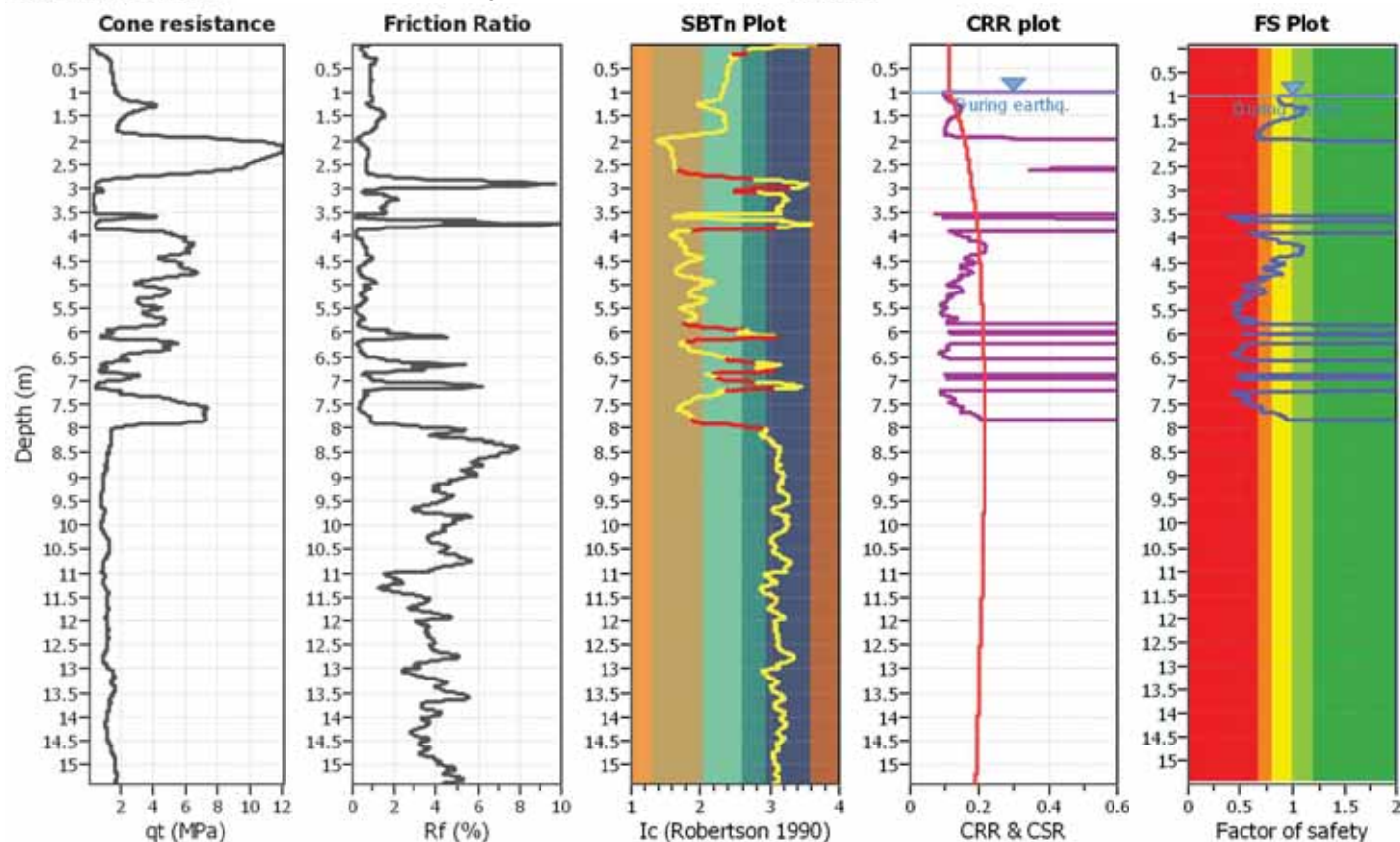
Project title :

Location :

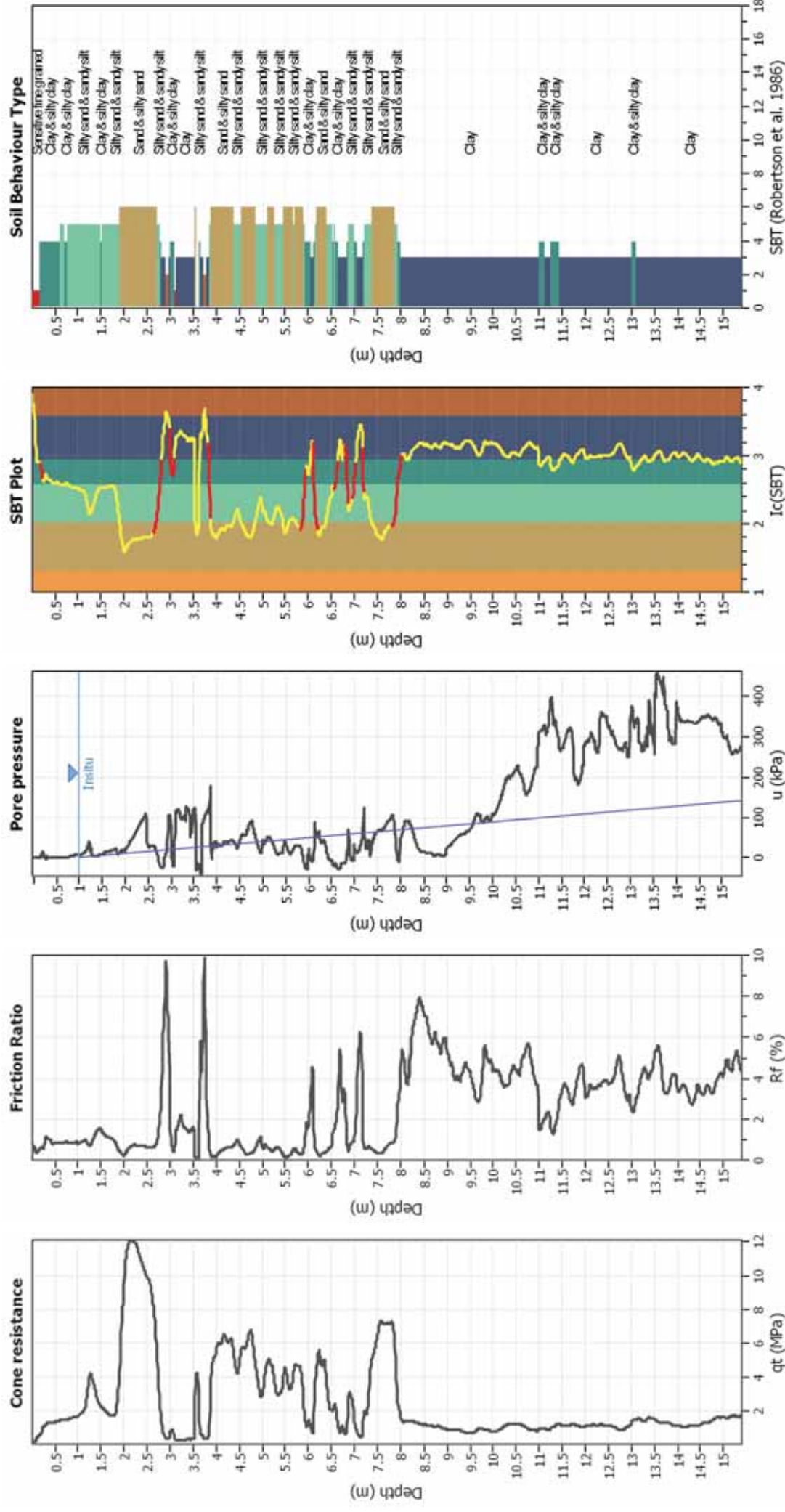
CPT file : CPTU 1

Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	1.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	1.00 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	No
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.23	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_0 applied:	Yes	MSF method:	Method based



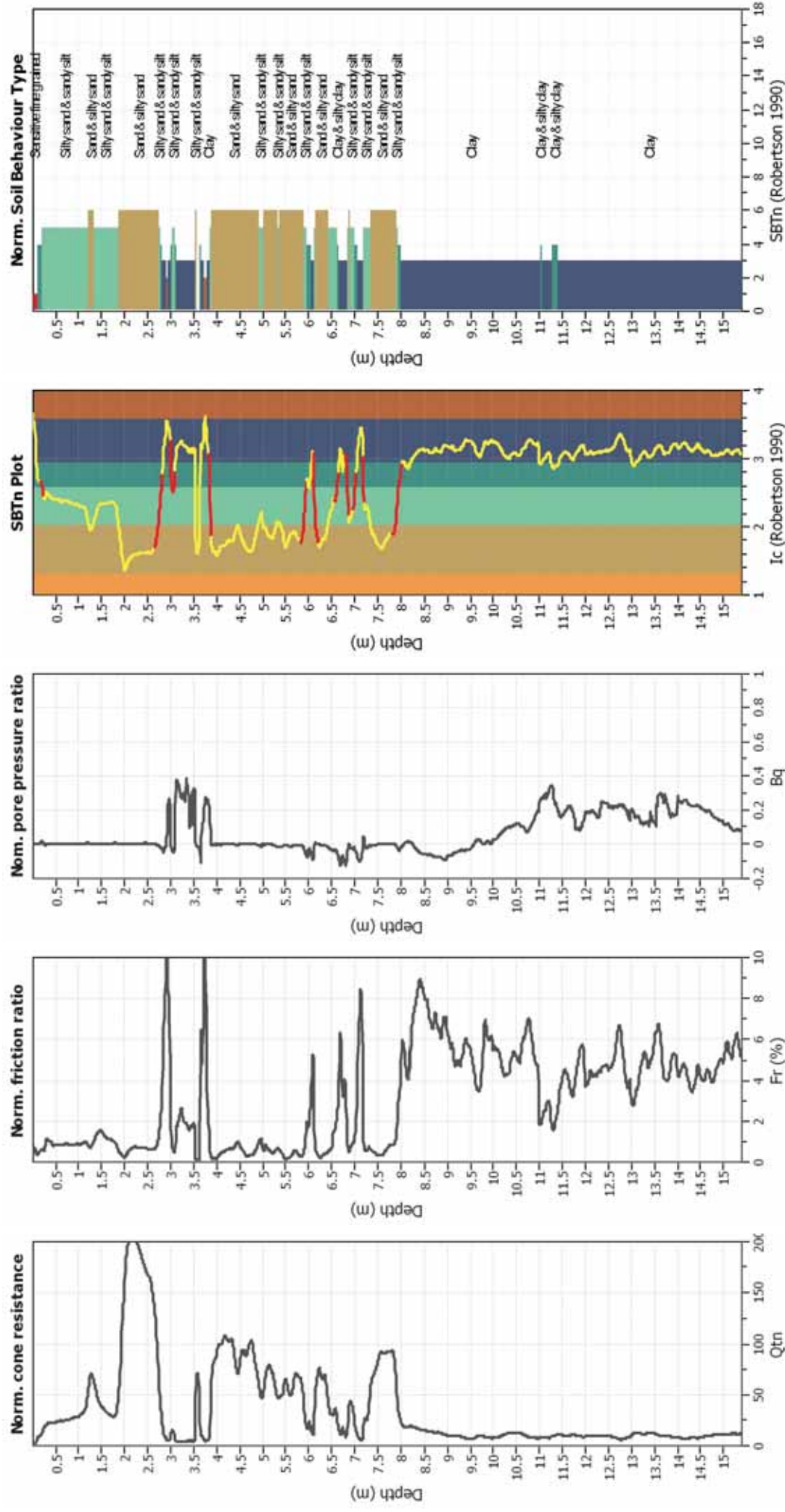
CPT basic interpretation plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (earthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on I_c value	I_c cut-off value:	2.60	K_u applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (instu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

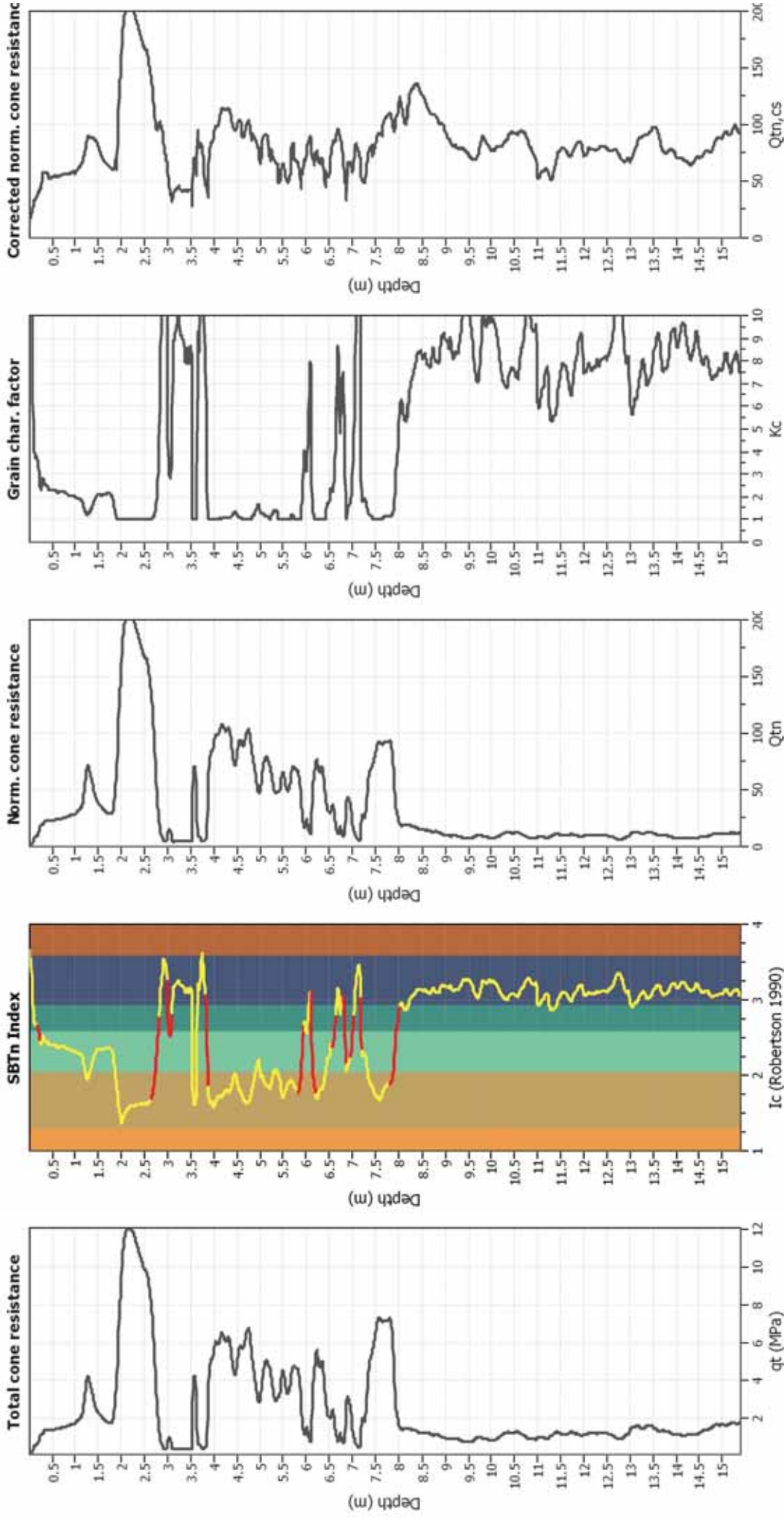
CPT basic interpretation plots (normalized)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (earthq.):	Fill weight:
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval: 3	Transition detect. applied:
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value: 2.60	K _a applied:
Earthquake magnitude M _w :	6-14	Unit weight calculation: Based on SBT	Clay like behavior applied:
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill: No	Limit depth applied:
Depth to water table (instu):	1.00 m	Fill height: N/A	Limit depth:
			Sands only
			No
			N/A

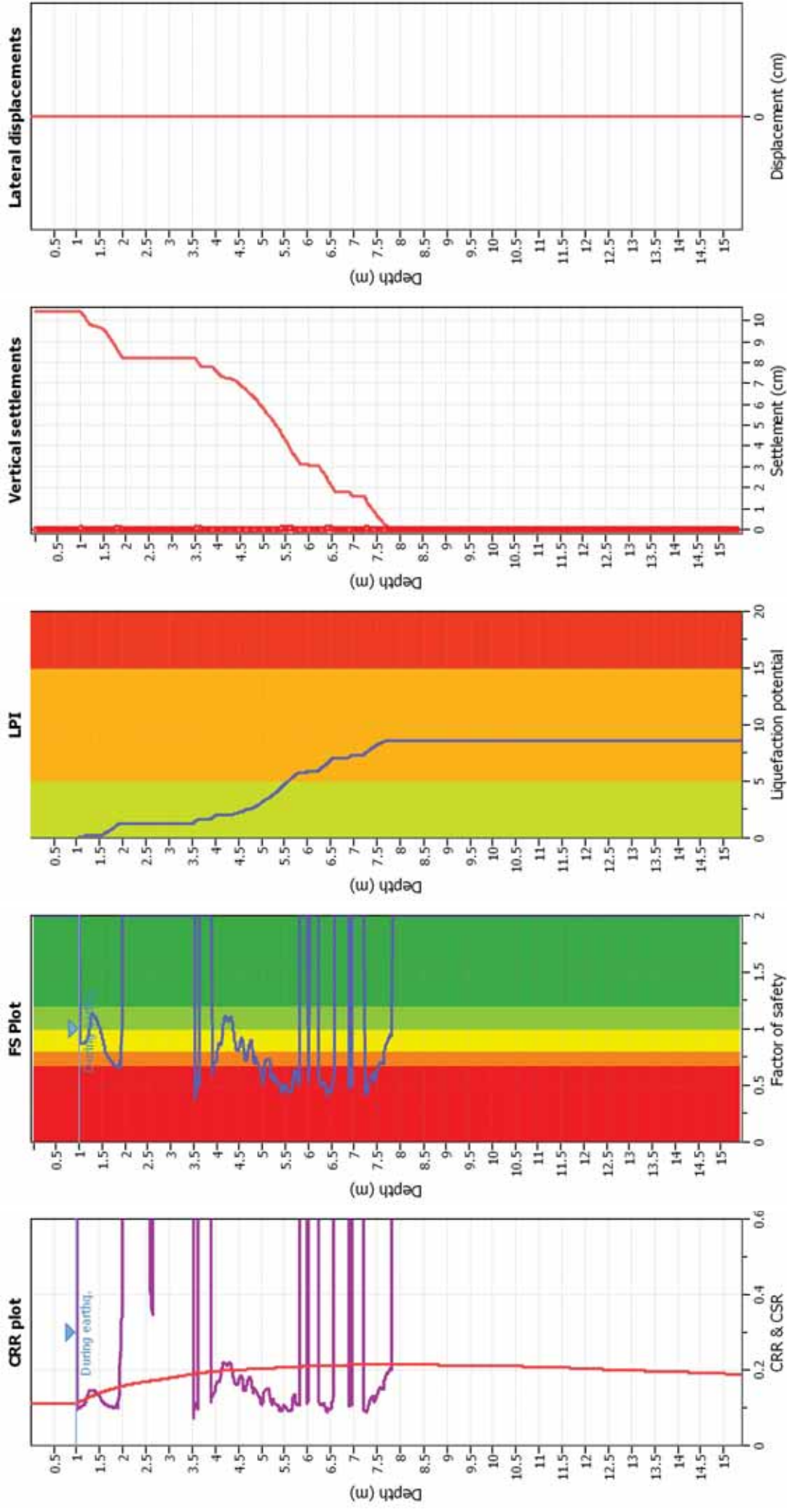
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _q applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (instu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (earthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _s applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (instau):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

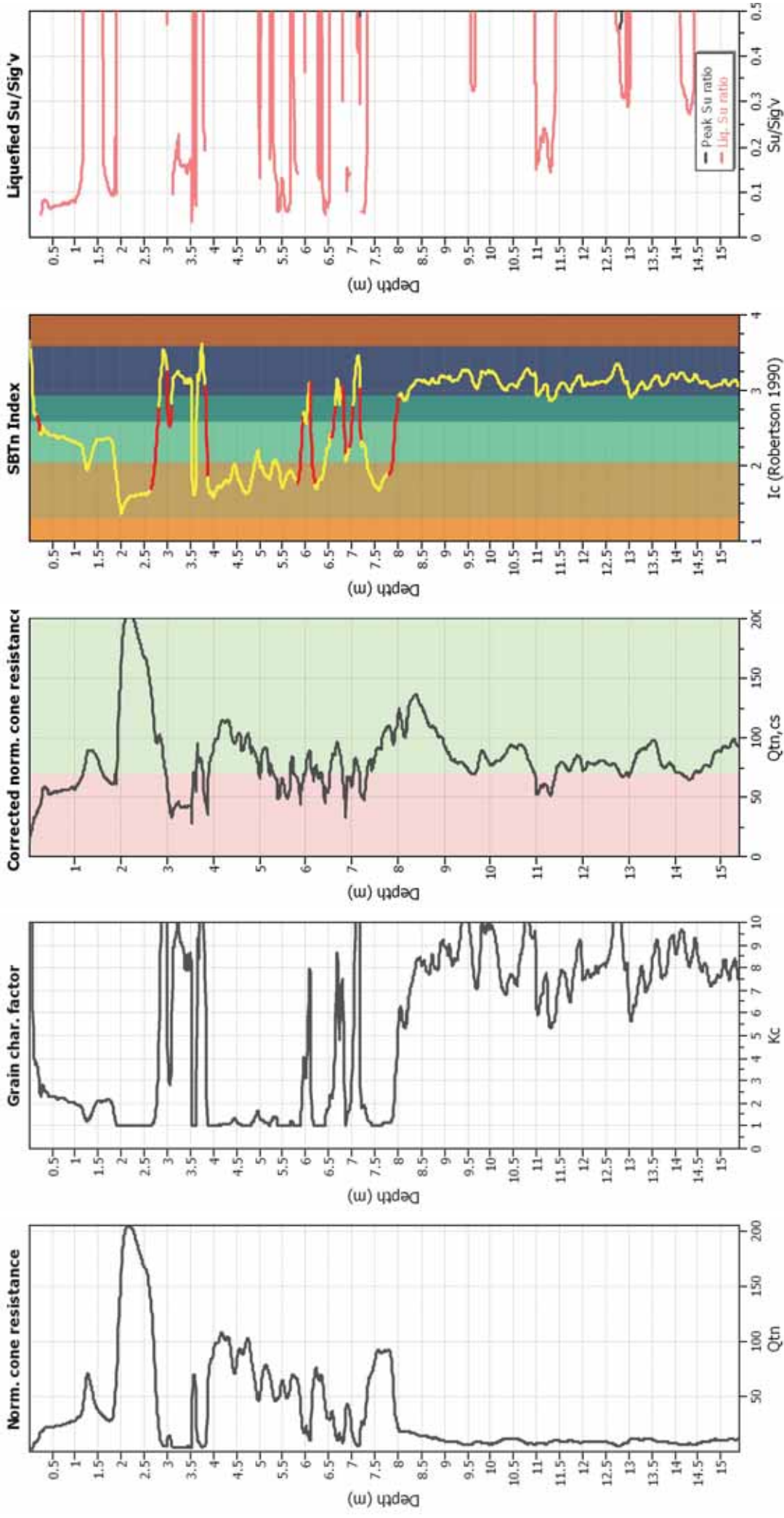
F.S. color scheme

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

Check for strength loss plots (Robertson (2010))



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K ₀ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	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

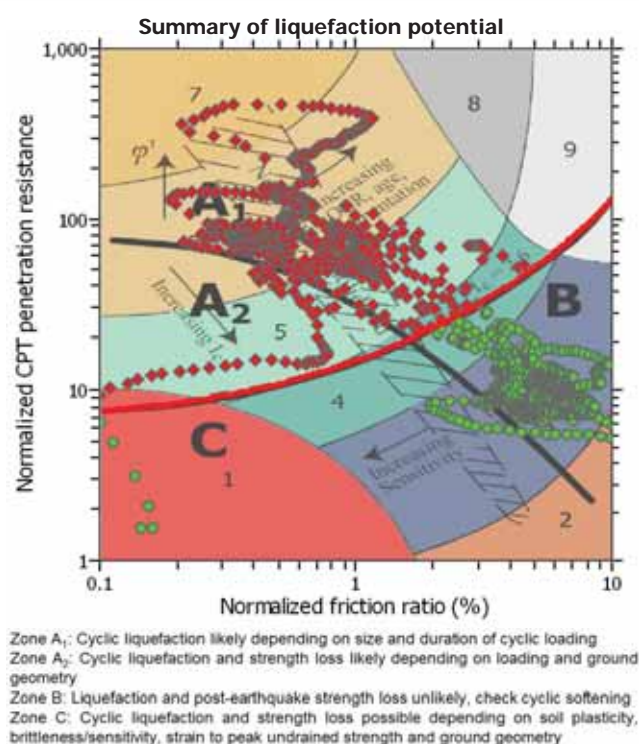
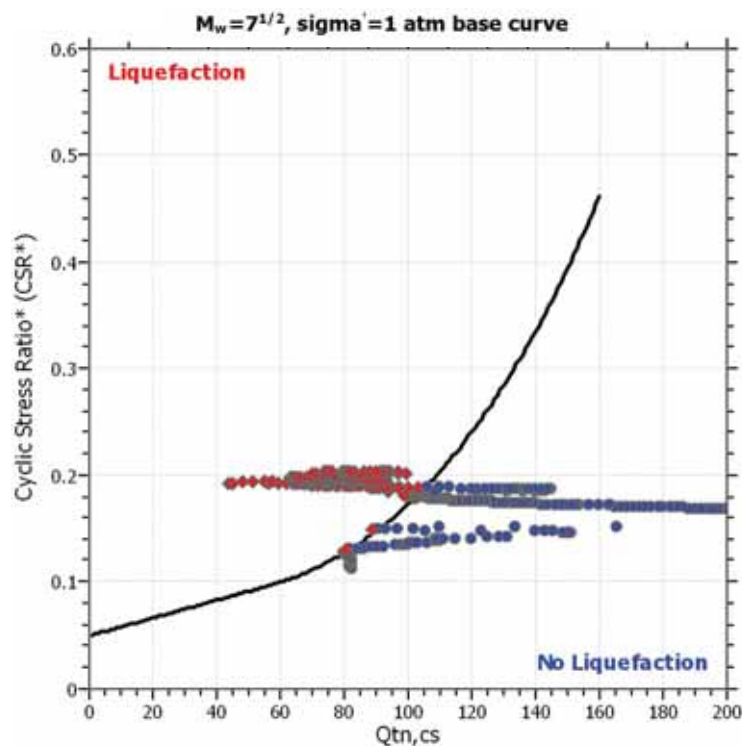
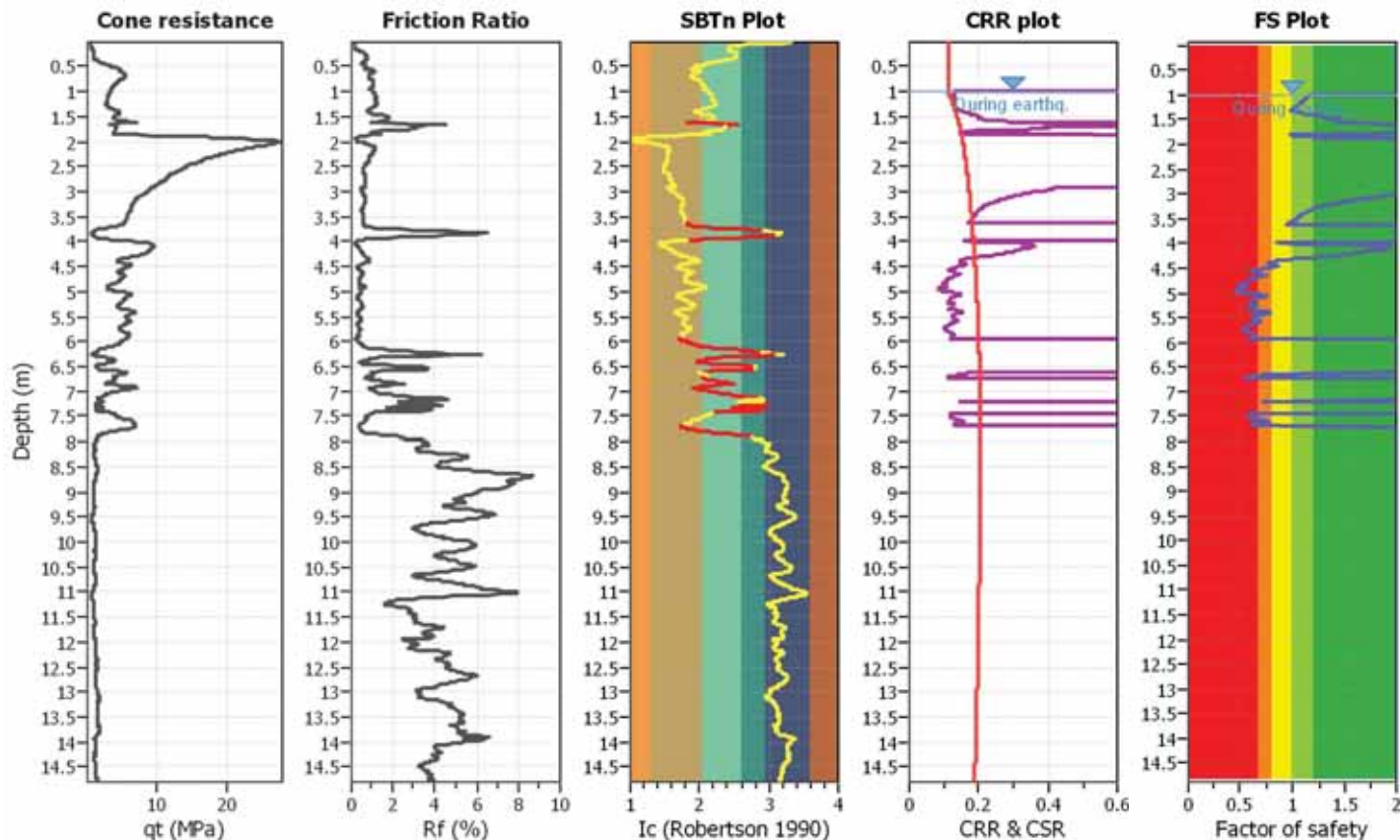
Project title :

Location :

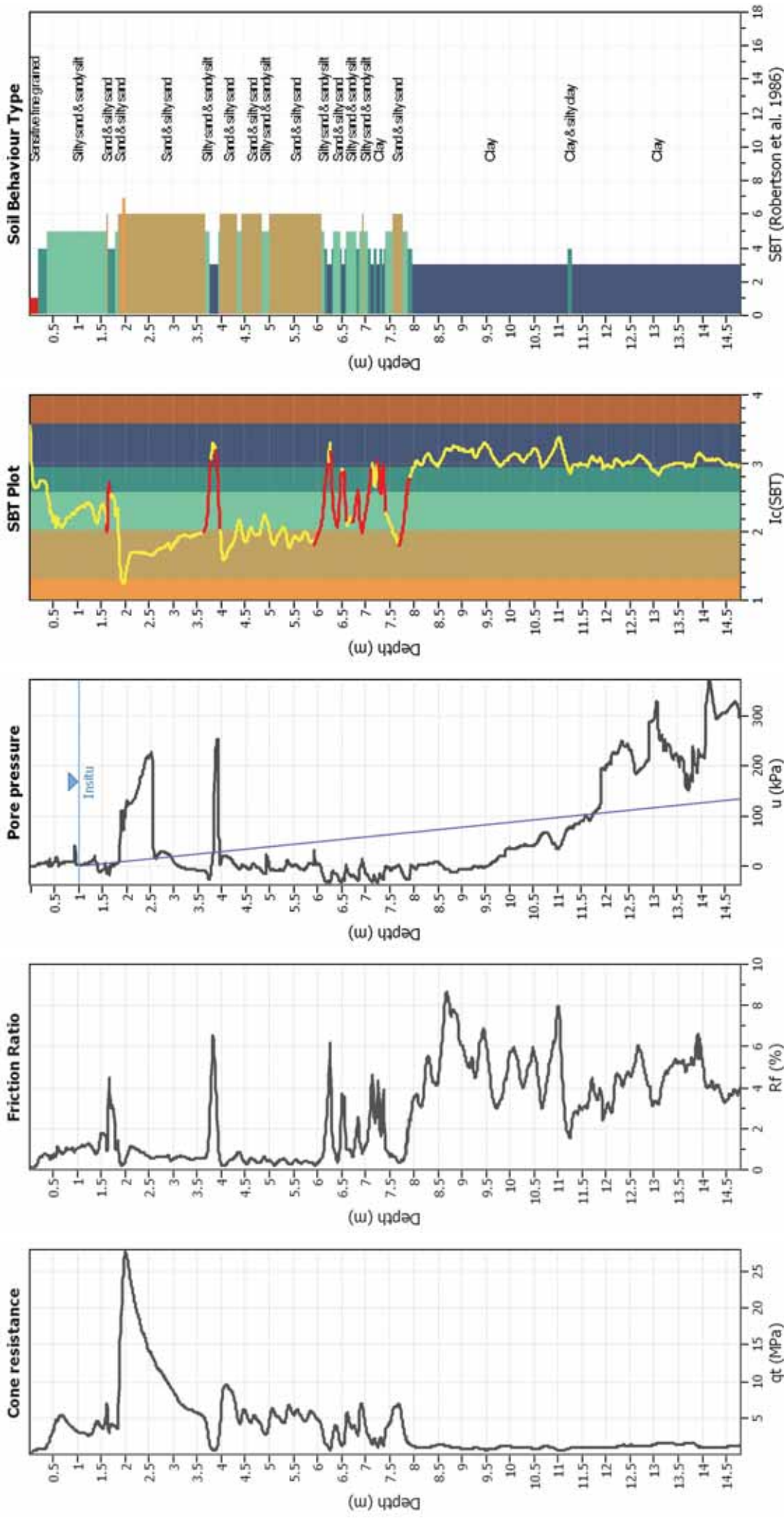
CPT file : CPTU 2

Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	1.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	1.00 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	No
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.23	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_0 applied:	Yes	MSF method:	Method based



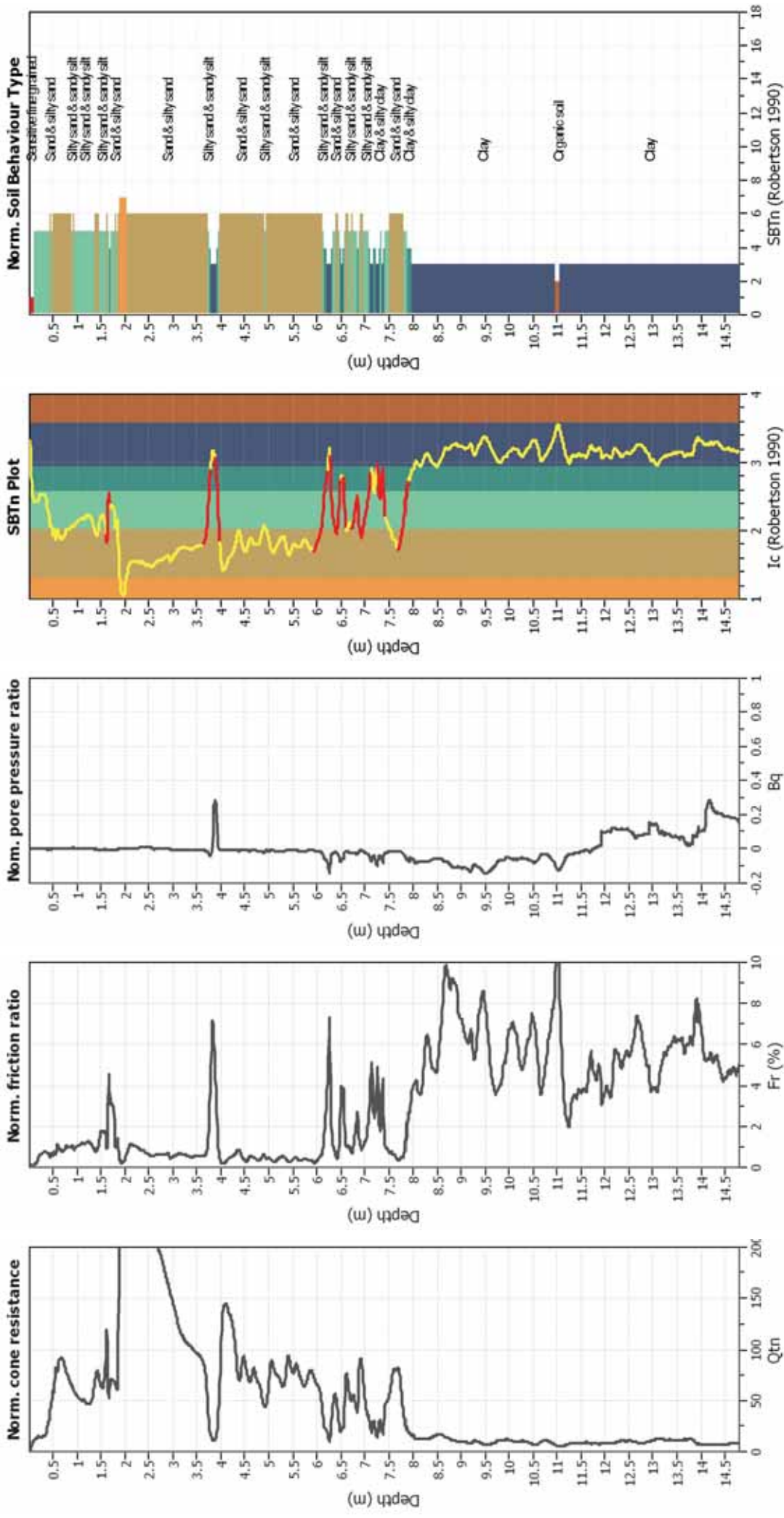
CPT basic interpretation plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on I_c value	I_c cut-off value:	2.60	K_p applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

CPT basic interpretation plots (normalized)



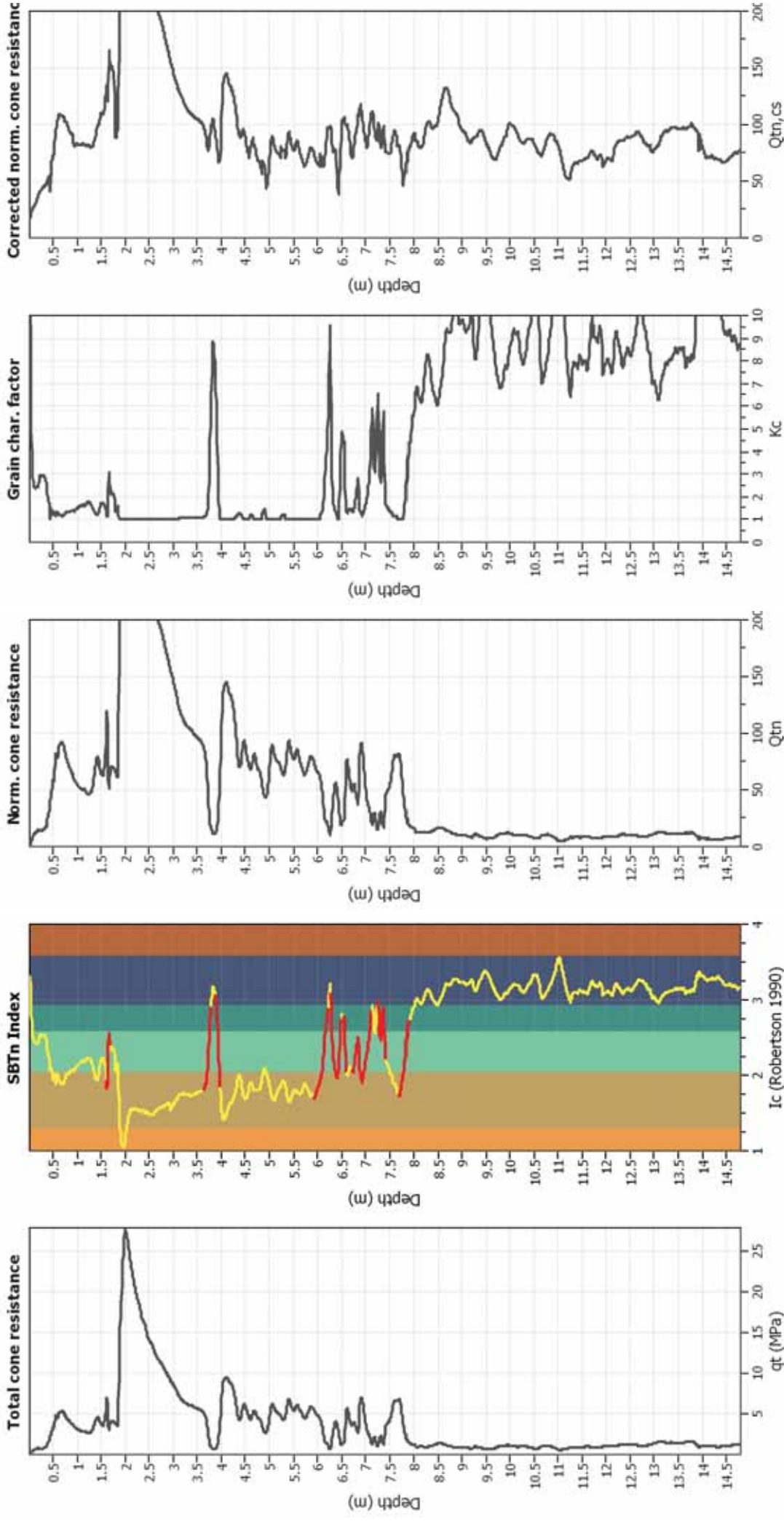
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _p applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (instau):	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

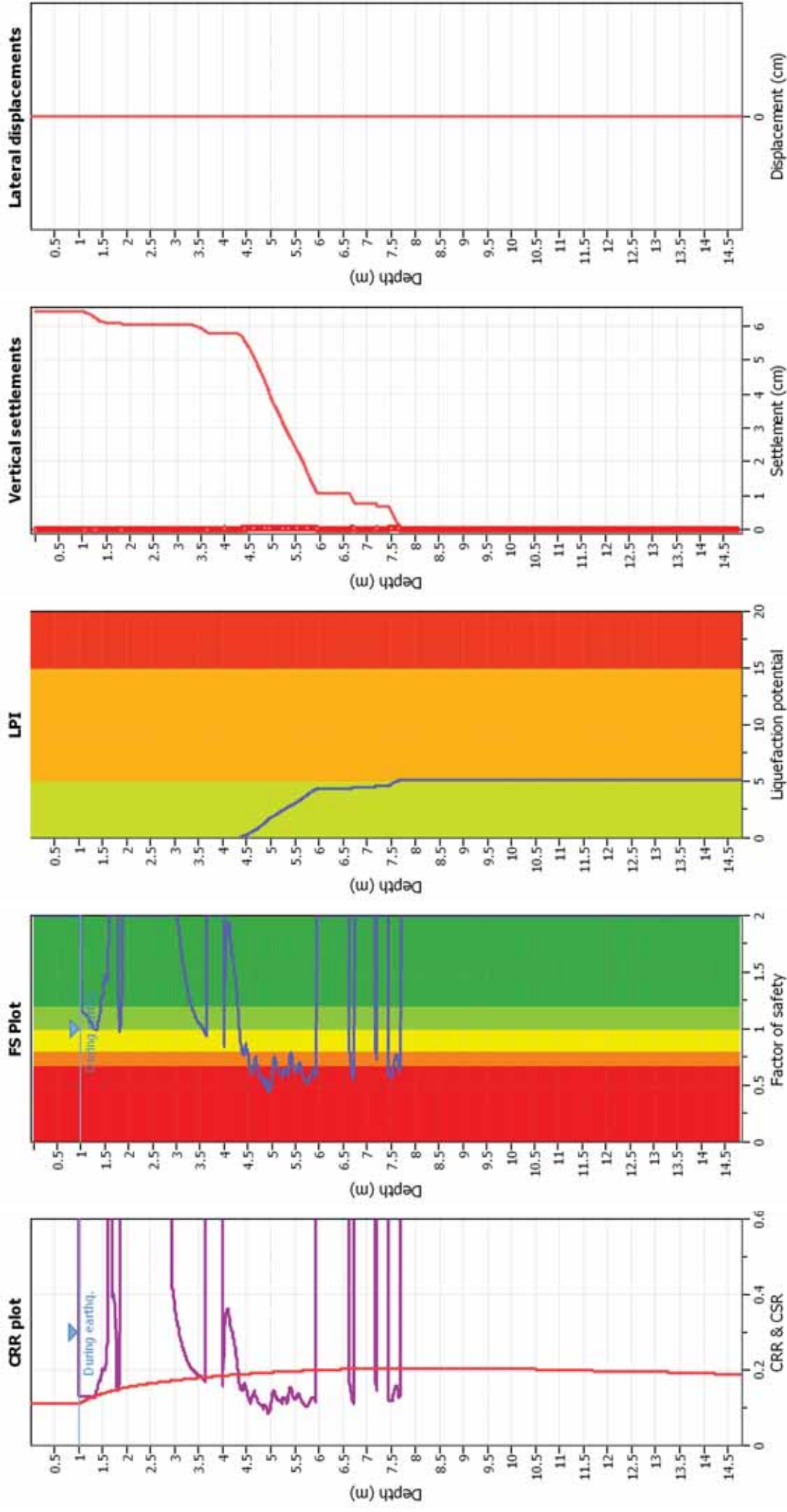
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _q applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (instu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method: NCEER (1998)
Fines correction method: NCEER (1998)
Points to test: Based on I_c value
Earthquake magnitude M_w : 6.14
Peak ground acceleration: 0.23
Depth to water table (instau): 1.00 m

Depth to water table (earthq.): 1.00 m
Average results interval: 3
 I_c cut-off value: 2.60
Unit weight calculation: Based on SBT
Use fill: No
Fill height: N/A

Fill weight: N/A
Transition detect. applied: Yes
 K_p applied: Yes
Clay like behavior applied: Sands only
Limit depth applied: No
Limit depth: N/A

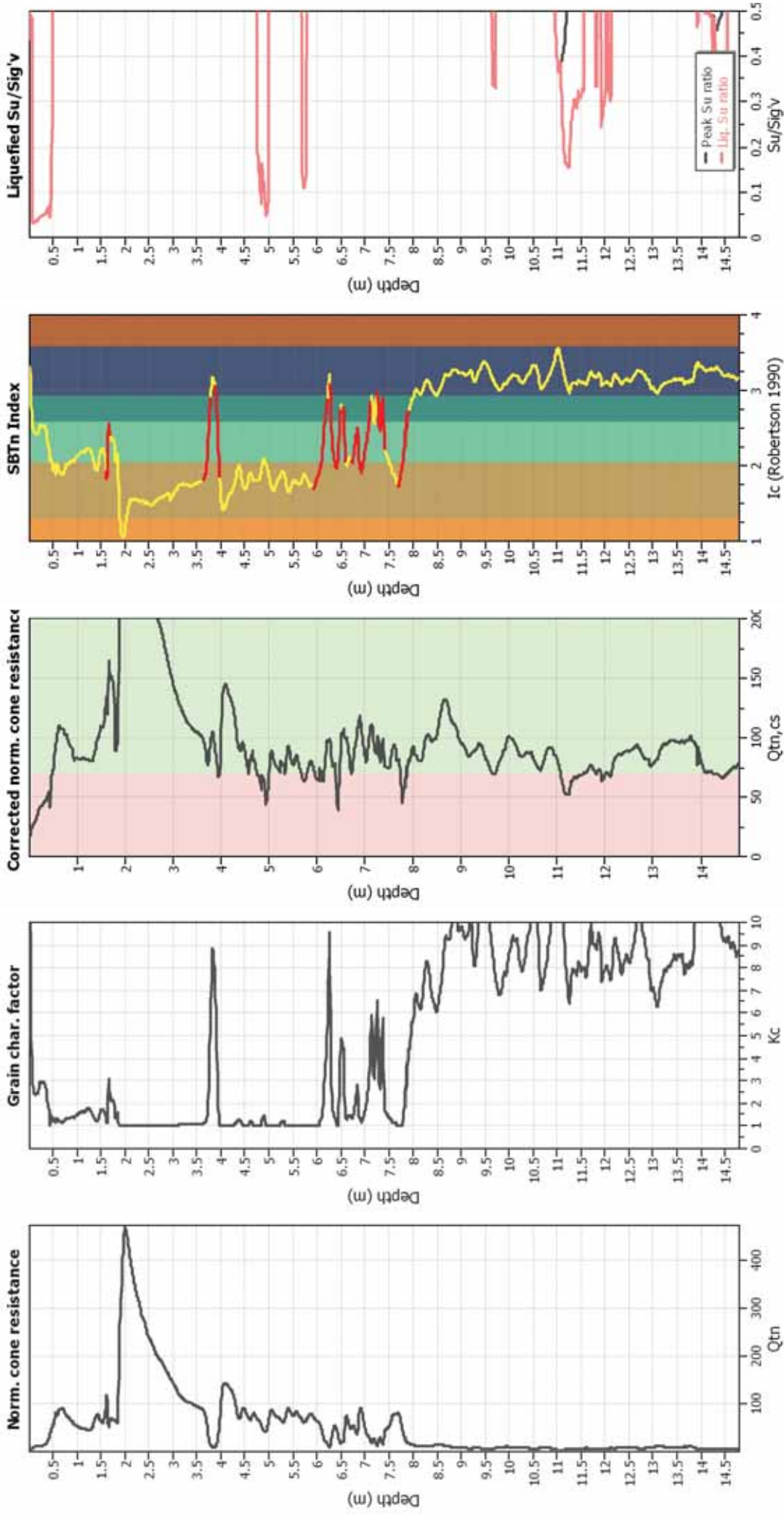
F.S. color scheme

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

LPI color scheme

Very high risk
High risk
Low risk

Check for strength loss plots (Robertson (2010))



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K ₀ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	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

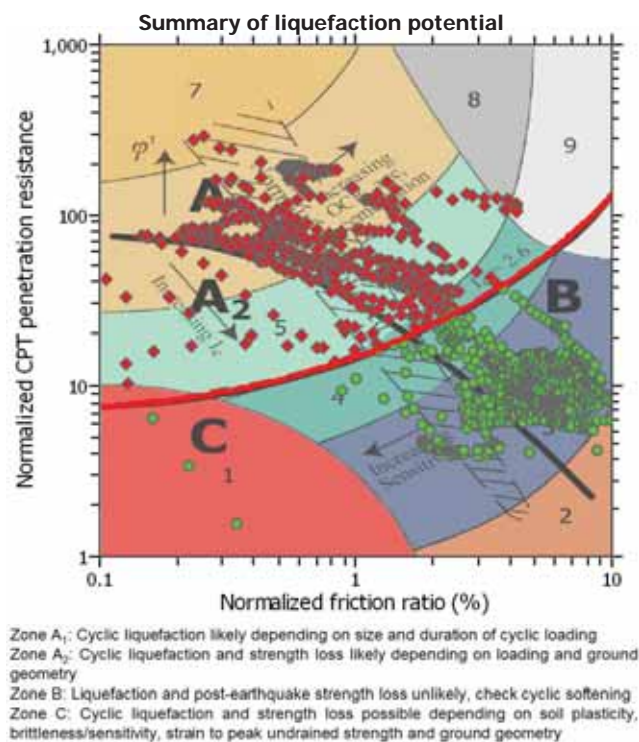
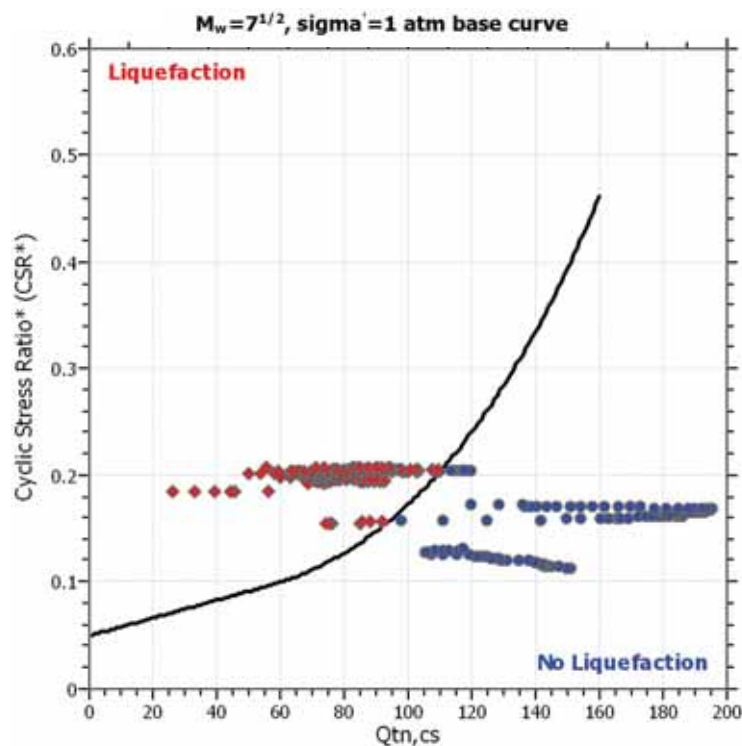
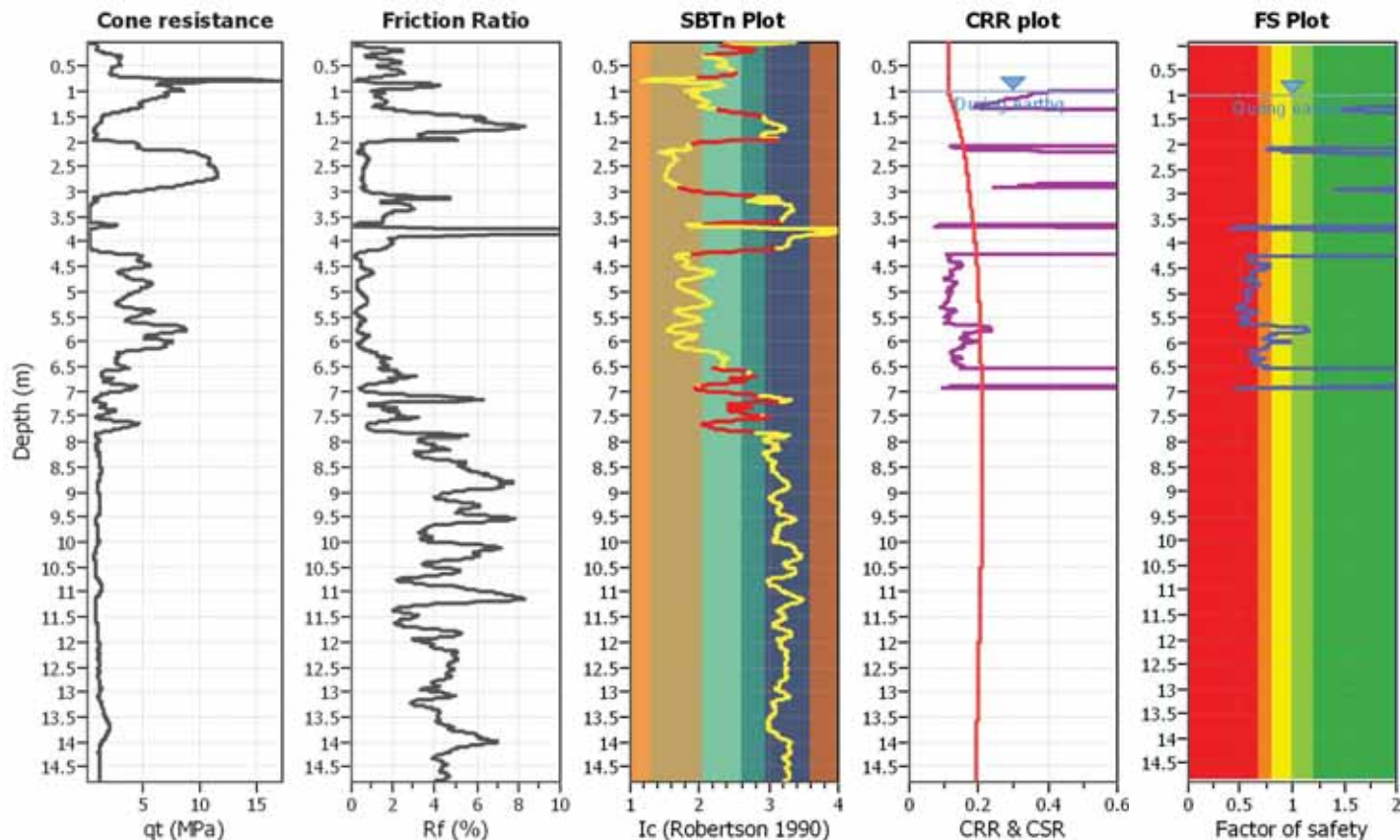
Project title :

Location :

CPT file : CPTU 3

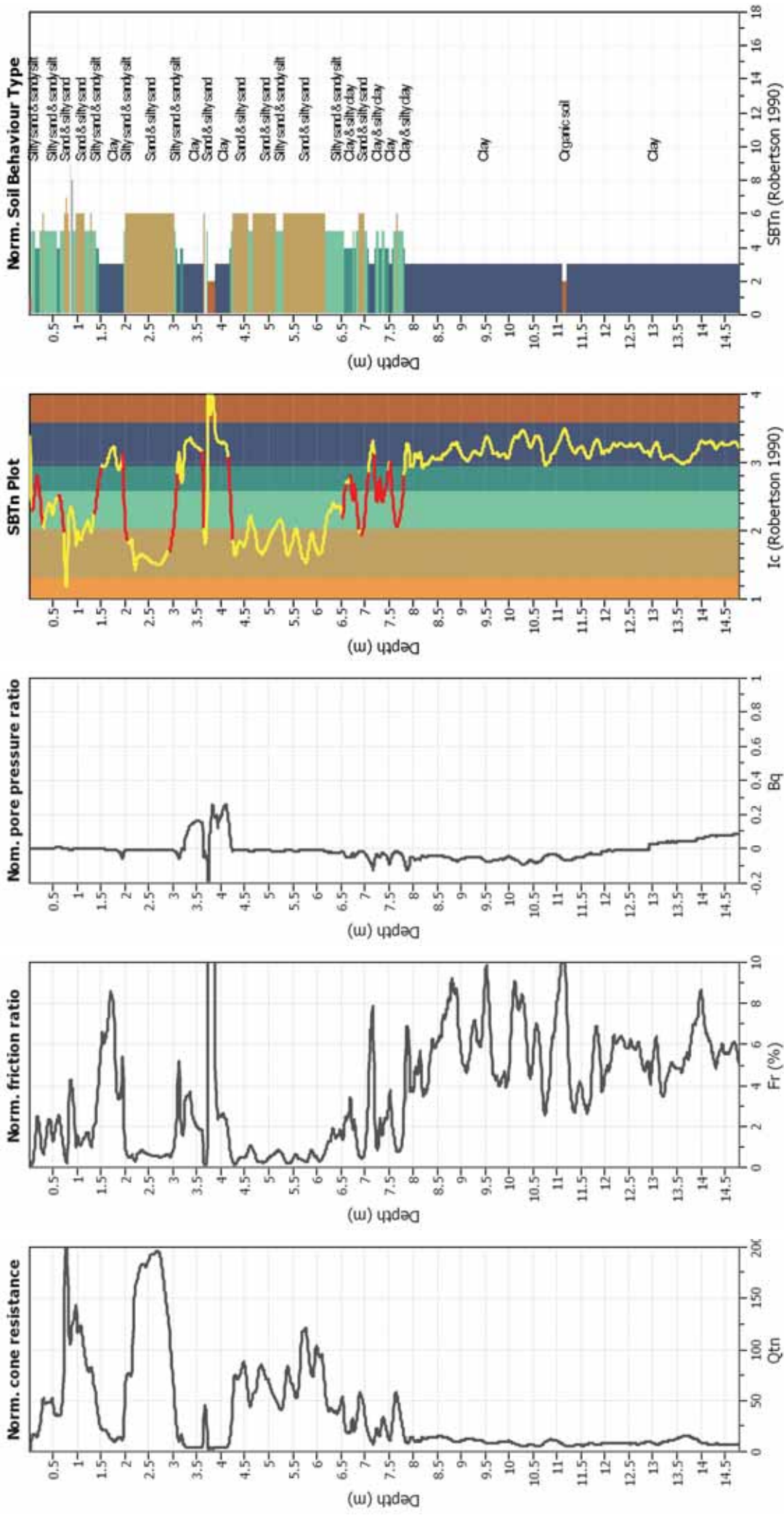
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	1.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	1.00 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	No
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.23	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_0 applied:	Yes	MSF method:	Method based





CPT basic interpretation plots (normalized)



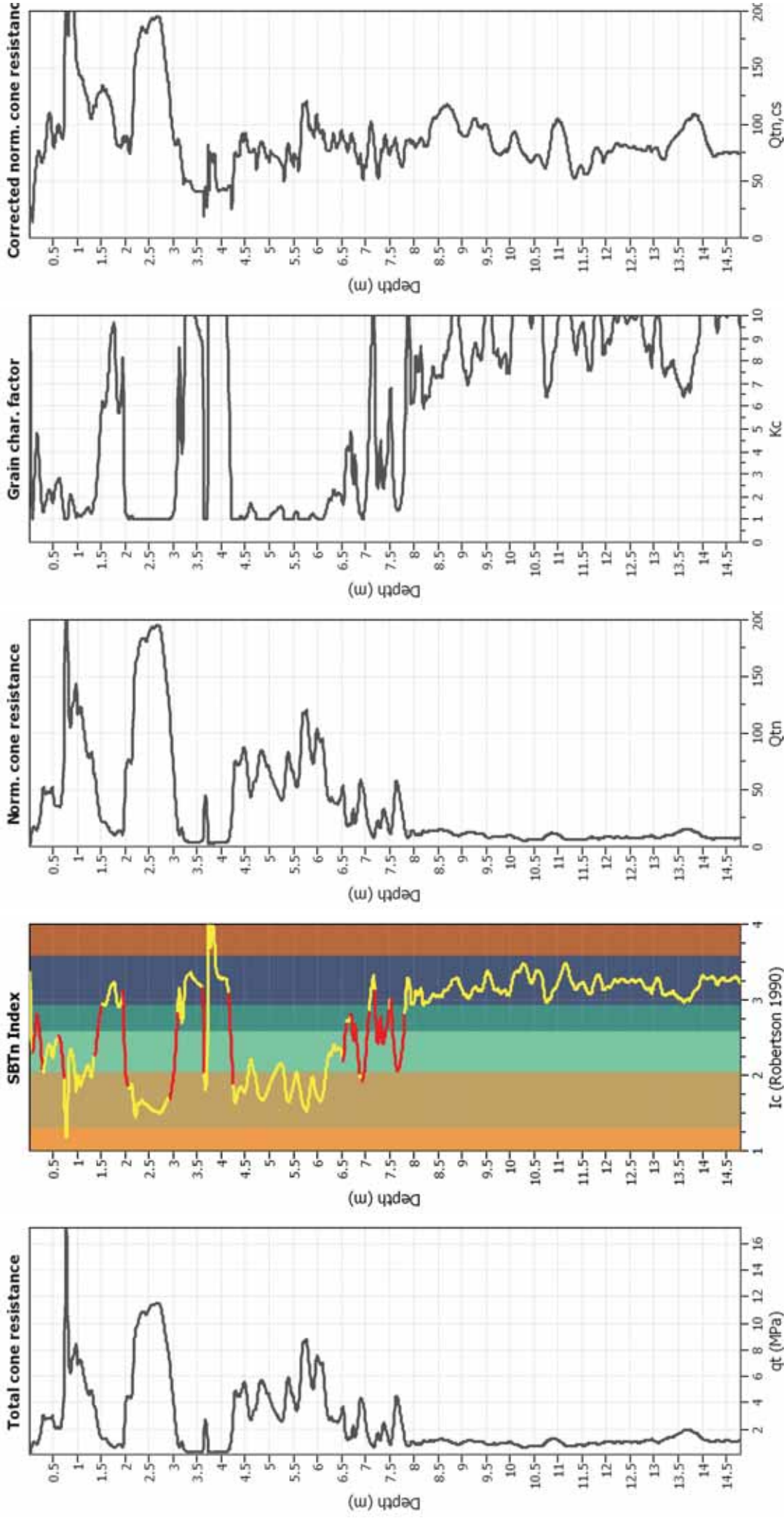
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _p applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (instau):	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

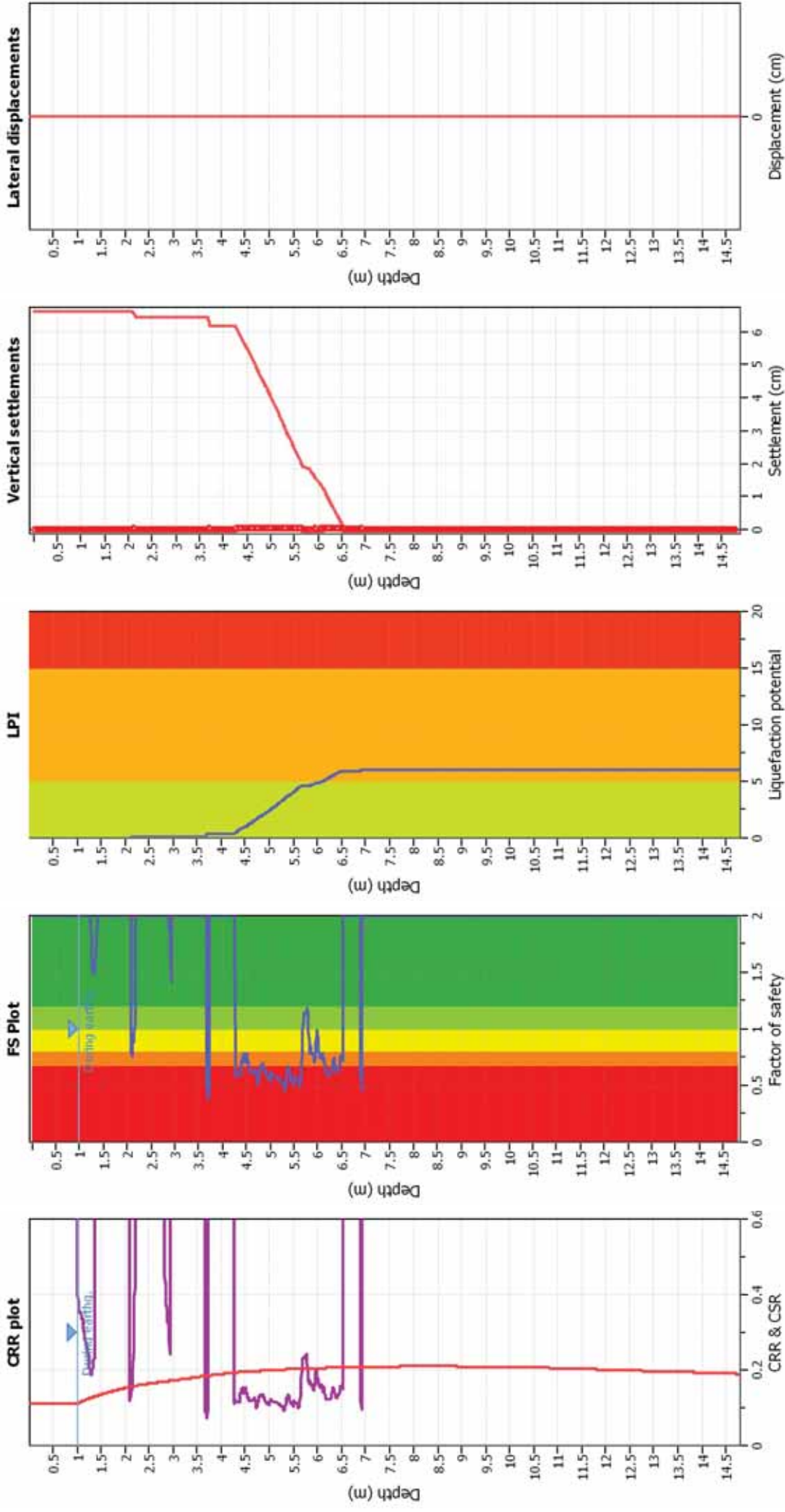
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _q applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (instu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K ₀ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (instu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

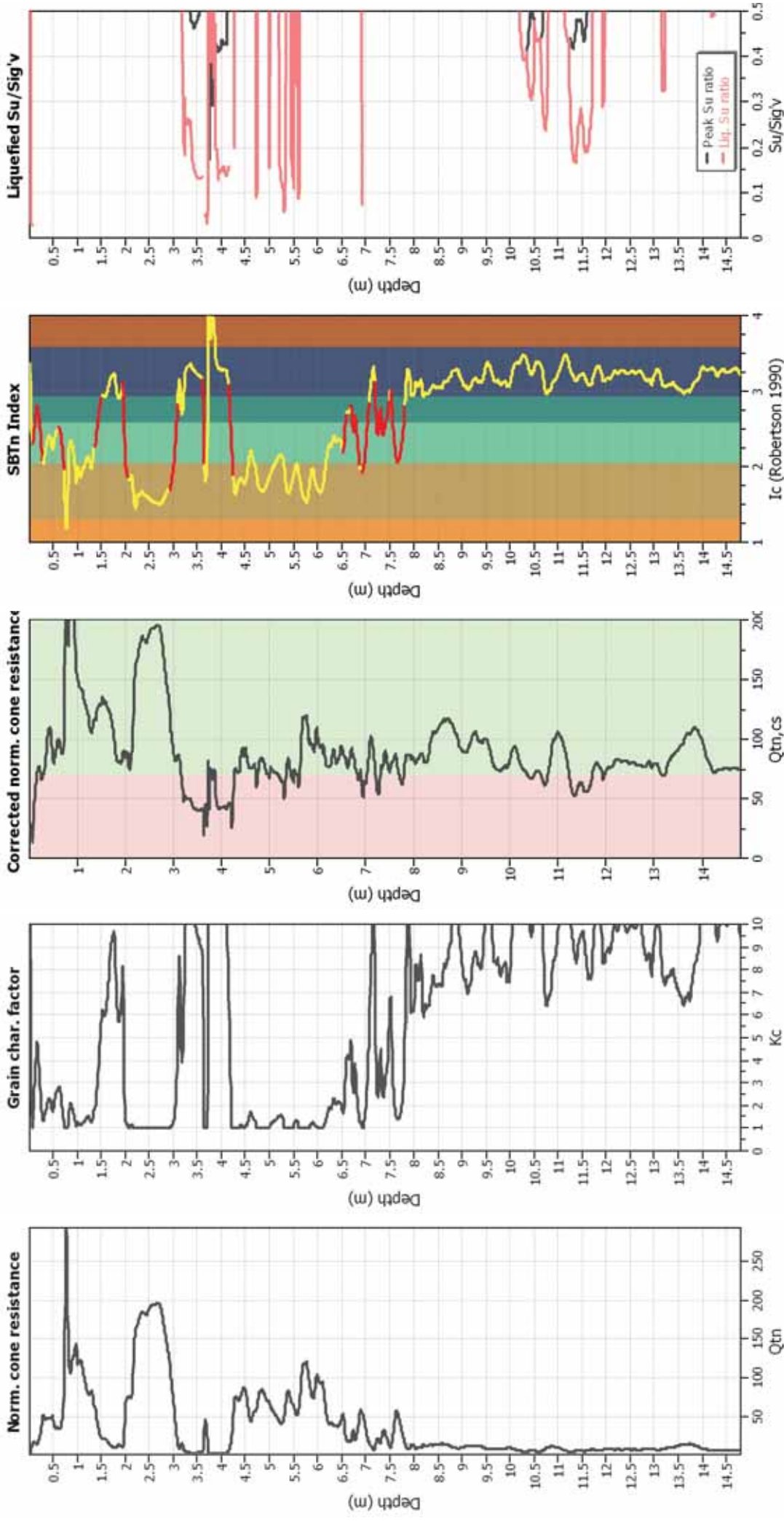
F.S. color scheme

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

LPI color scheme

Very high risk
High risk
Low risk

Check for strength loss plots (Robertson (2010))

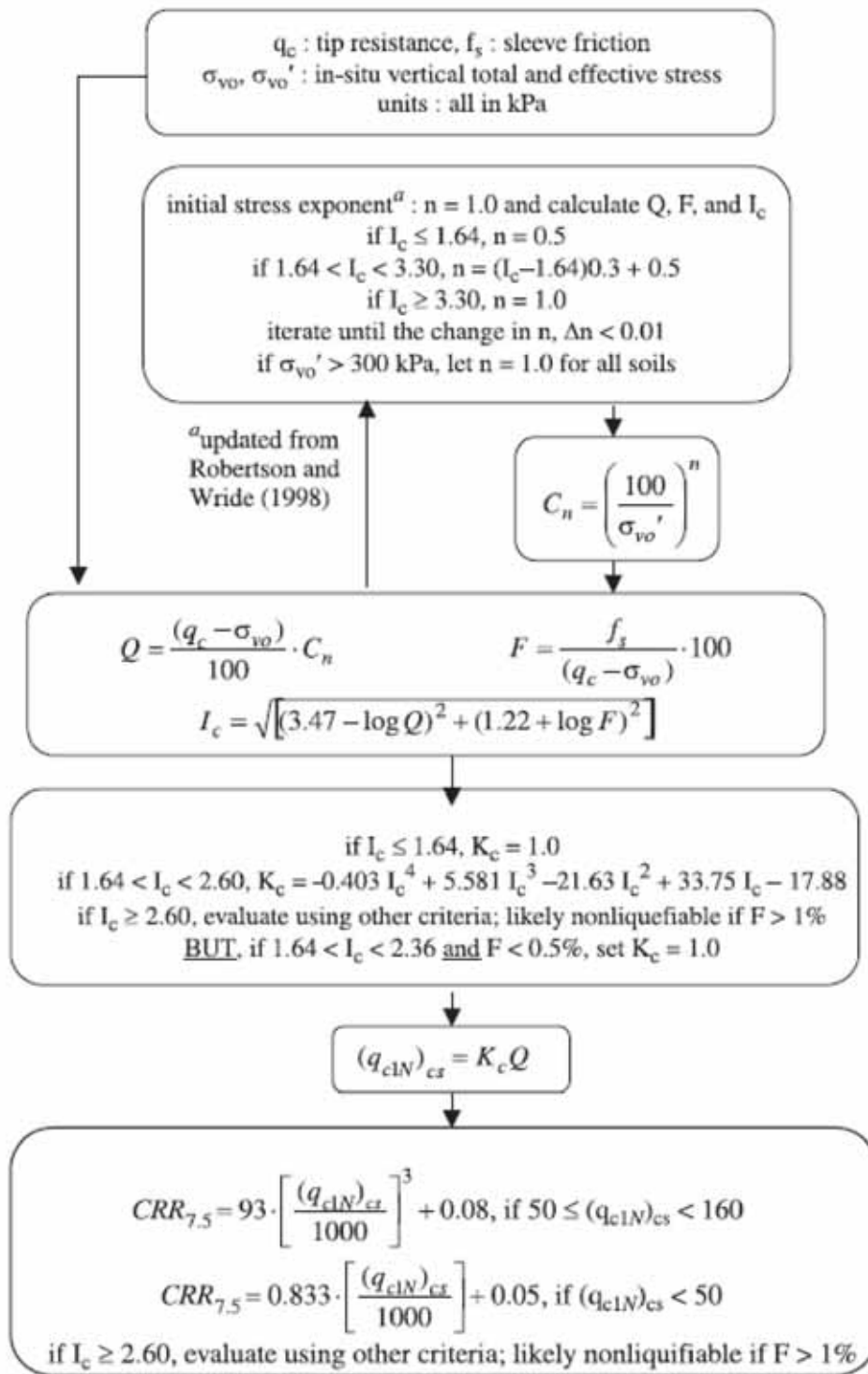


Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K ₀ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

Procedure for the evaluation of soil liquefaction resistance, NCEER (1998)

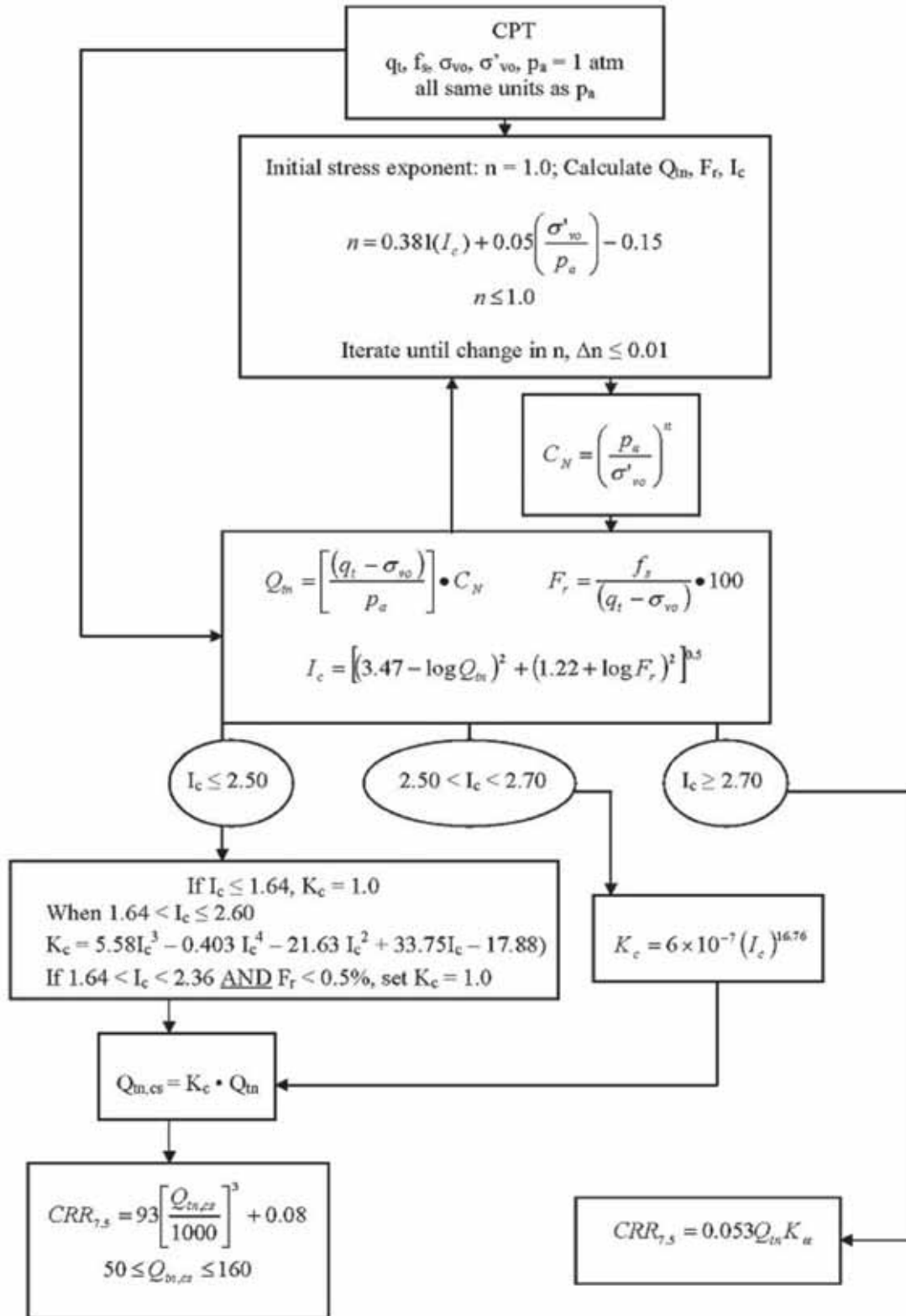
Calculation of soil resistance against liquefaction is performed according to the Robertson & Wride (1998) procedure. The procedure used in the software, slightly differs from the one originally published in NCEER-97-0022 (Proceedings of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils). The revised procedure is presented below in the form of a flowchart¹:



¹ "Estimating liquefaction-induced ground settlements from CPT for level ground", G. Zhang, P.K. Robertson, and R.W.I. Brachman

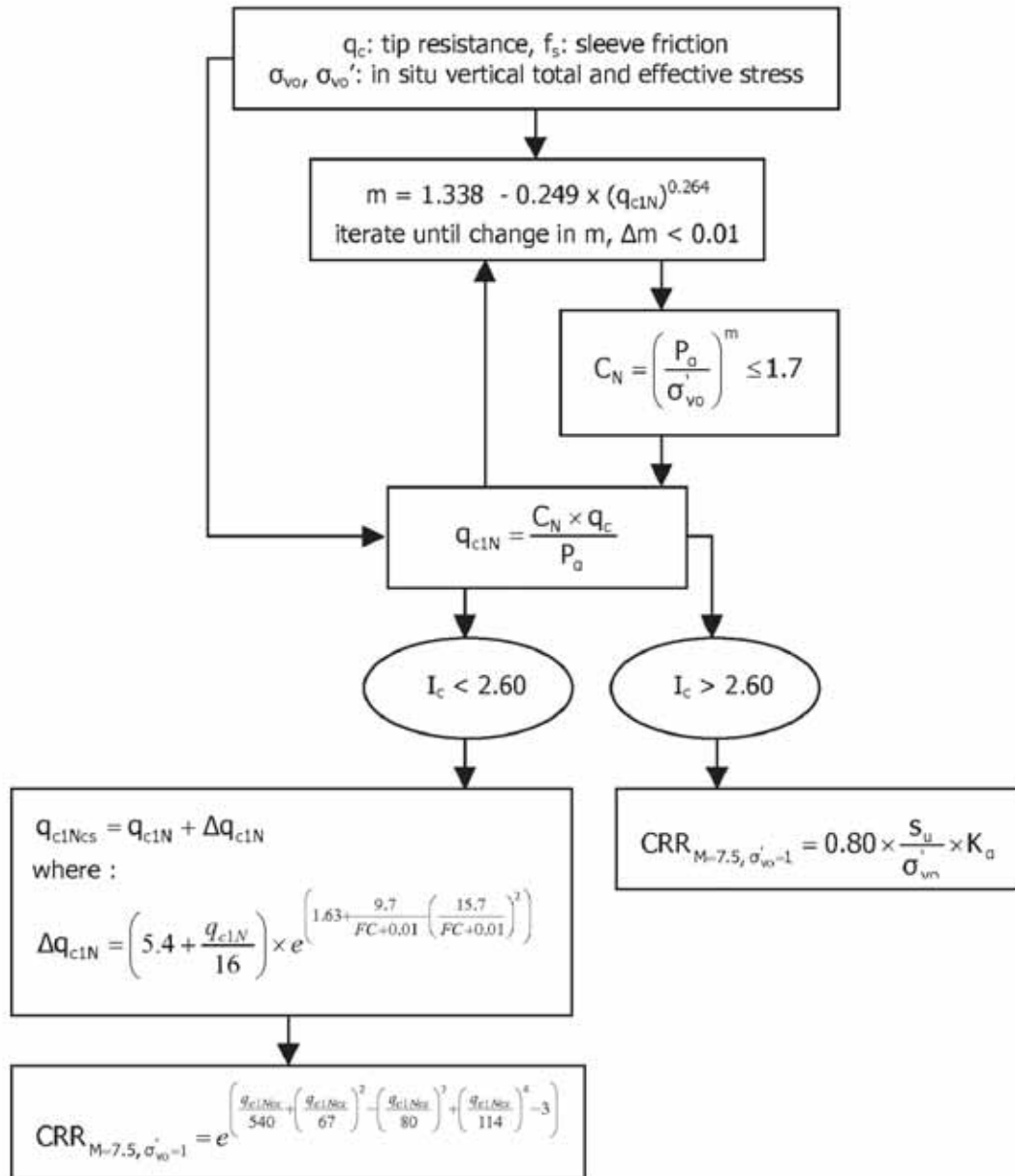
Procedure for the evaluation of soil liquefaction resistance (all soils), Robertson (2010)

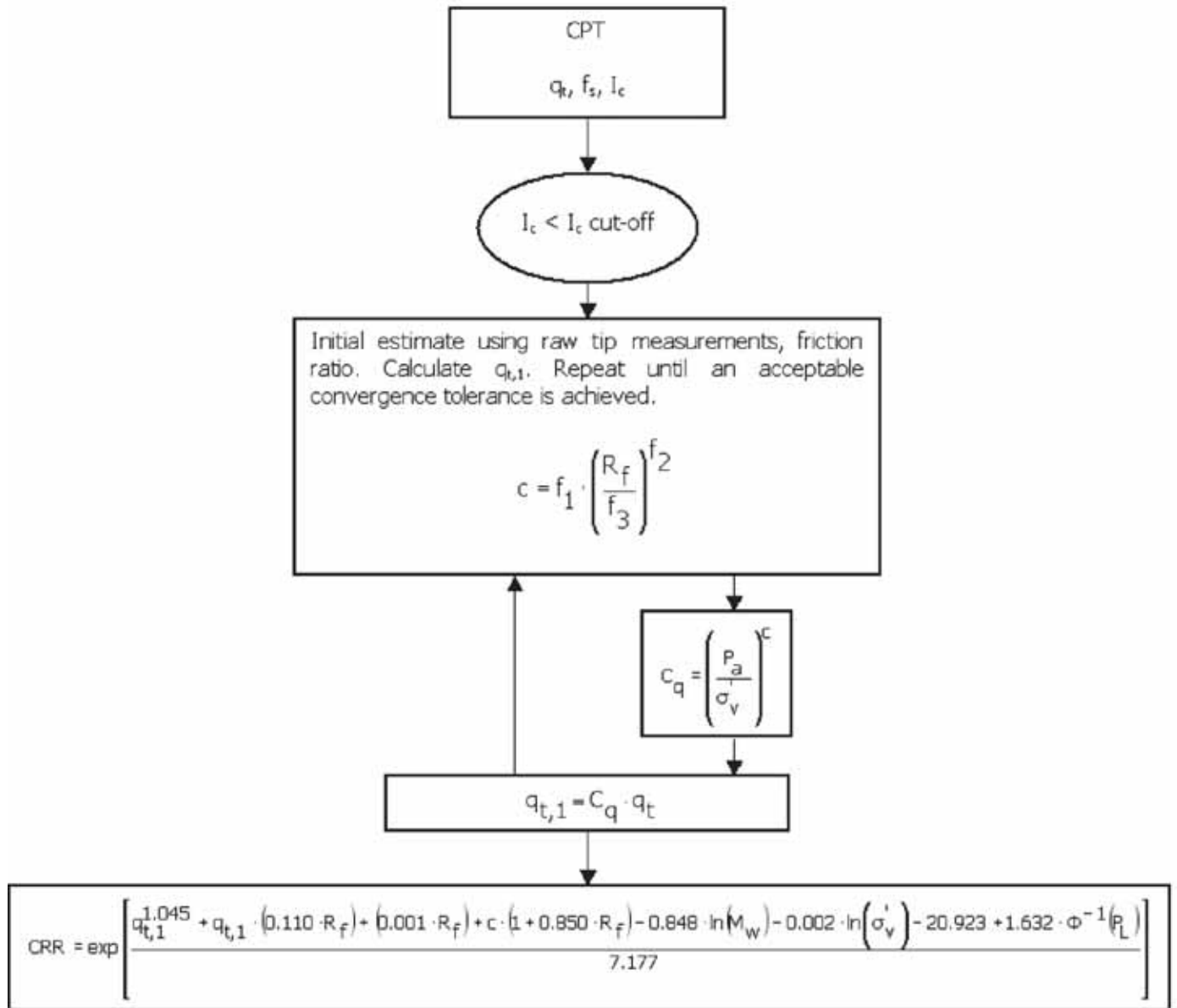
Calculation of soil resistance against liquefaction is performed according to the Robertson & Wride (1998) procedure. This procedure used in the software, slightly differs from the one originally published in NCEER-97-0022 (Proceedings of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils). The revised procedure is presented below in the form of a flowchart¹:



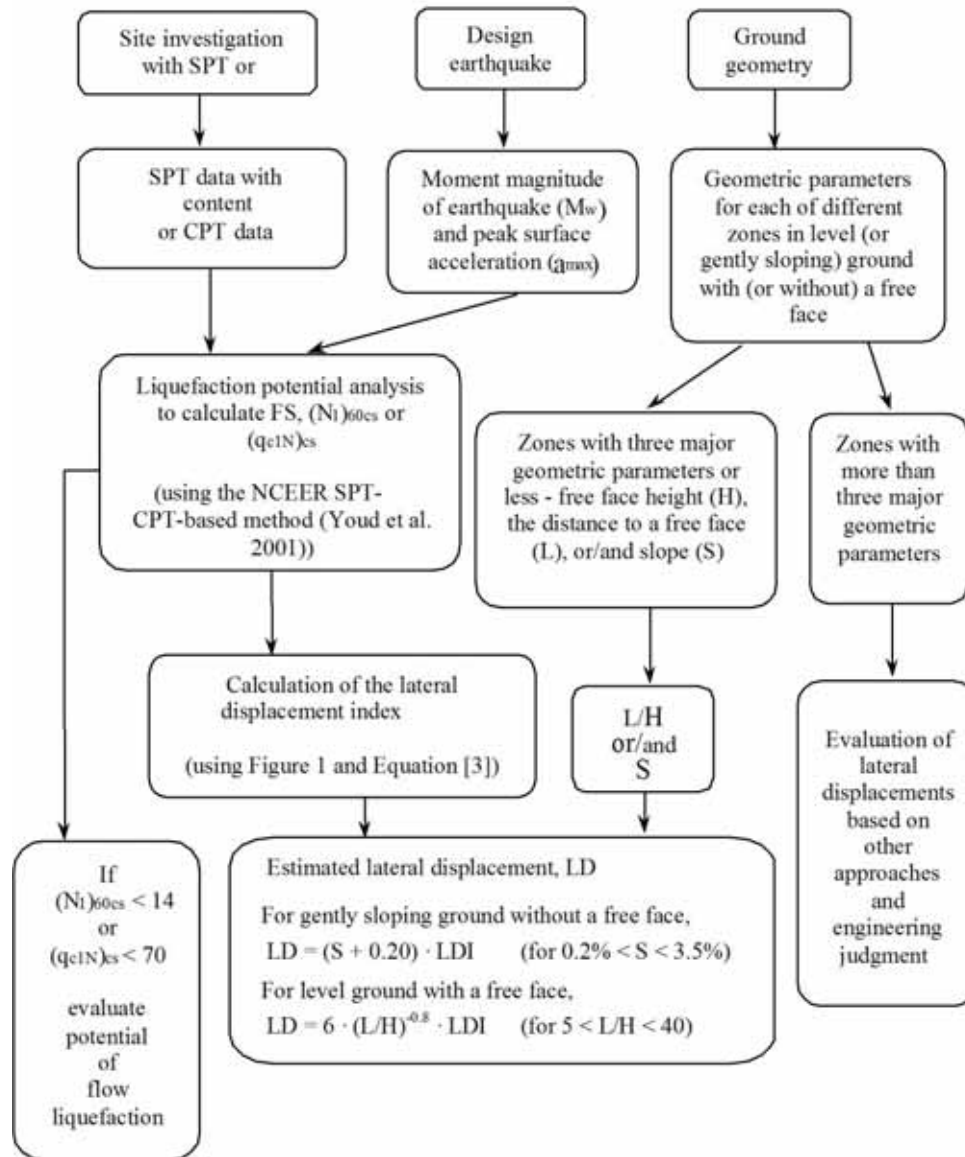
¹ P.K. Robertson, 2009. "Performance based earthquake design using the CPT", Keynote Lecture, International Conference on Performance-based Design in Earthquake Geotechnical Engineering – from case history to practice, IS-Tokyo, June 2009

Procedure for the evaluation of soil liquefaction resistance, Idriss & Boulanger (2008)

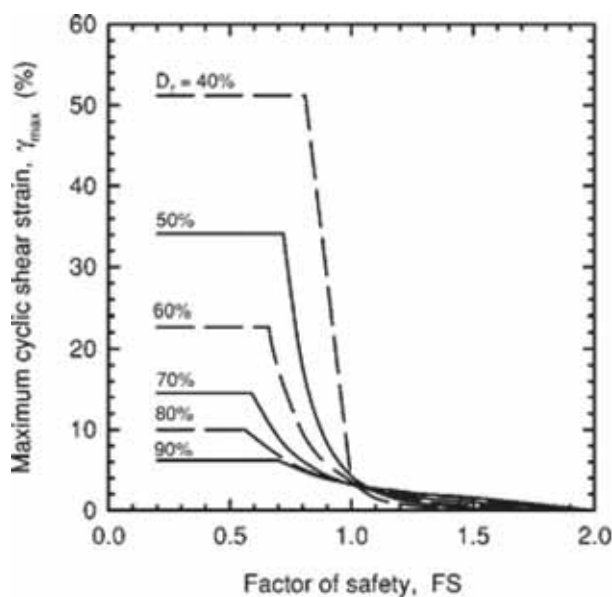




Procedure for the evaluation of liquefaction-induced lateral spreading displacements



¹ Flow chart illustrating major steps in estimating liquefaction-induced lateral spreading displacements using the proposed approach



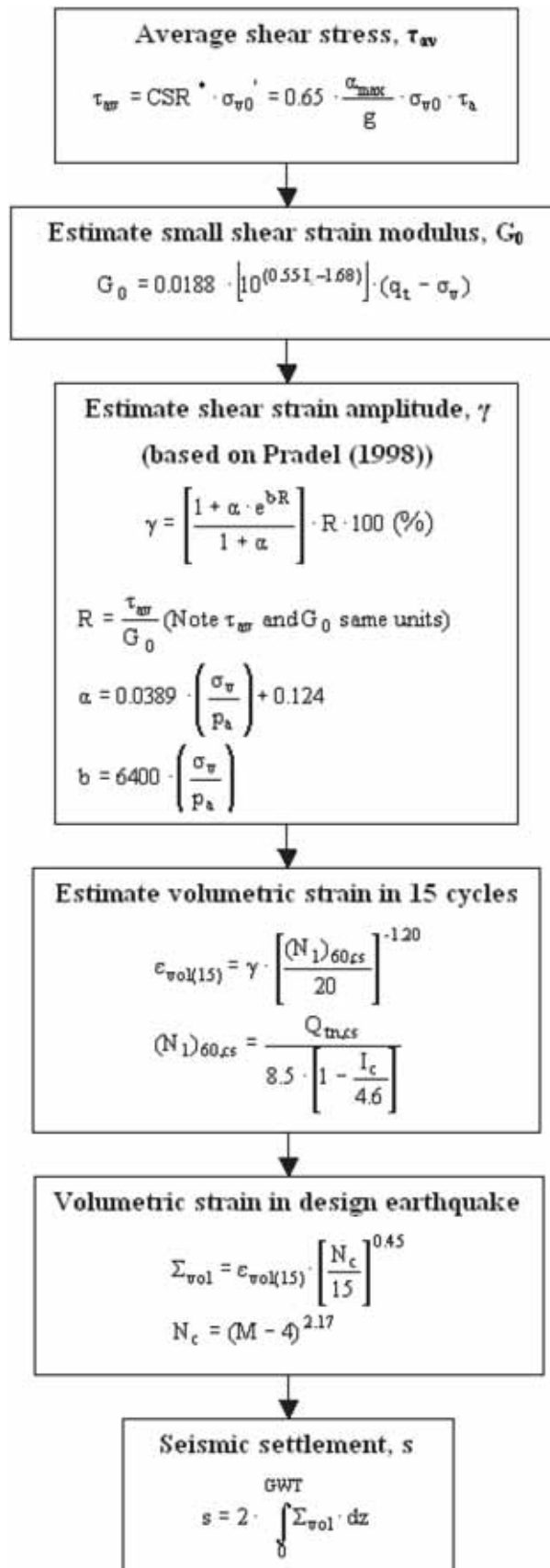
¹ Figure 1

$$LDI = \int_0^{Z_{max}} \gamma_{max} dz$$

¹ Equation [3]

¹ "Estimating liquefaction-induced ground settlements from CPT for level ground", G. Zhang, P.K. Robertson, and R.W.I. Brachman

Procedure for the estimation of seismic induced settlements in dry sands



Robertson, P.K. and Lisheng, S., 2010, "Estimation of seismic compression in dry soils using the CPT" FIFTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON RECENT ADVANCES IN GEOTECHNICAL EARTHQUAKE ENGINEERING AND SOIL DYNAMICS, Symposium in honor of professor I. M. Idriss, San Diego, CA

Liquefaction Potential Index (LPI) calculation procedure

Calculation of the Liquefaction Potential Index (LPI) is used to interpret the liquefaction assessment calculations in terms of severity over depth. The calculation procedure is based on the methodology developed by Iwasaki (1982) and is adopted by AFPS.

To estimate the severity of liquefaction extent at a given site, LPI is calculated based on the following equation:

$$LPI = \int_0^{20} (10 - 0.5z) \times F_L \times dz$$

where:

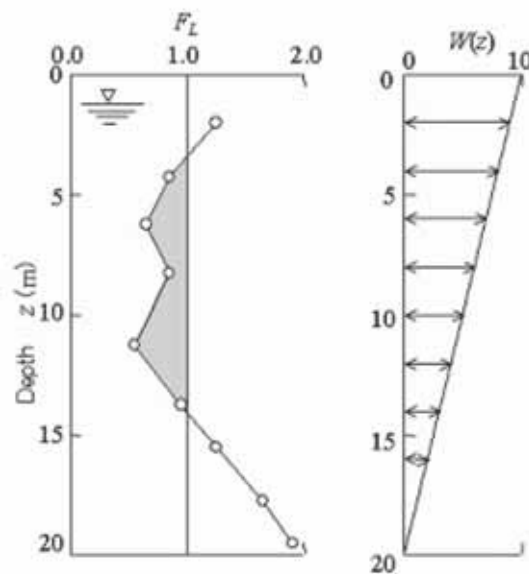
$F_L = 1 - F.S.$ when F.S. less than 1

$F_L = 0$ when F.S. greater than 1

z depth of measurement in meters

Values of LPI range between zero (0) when no test point is characterized as liquefiable and 100 when all points are characterized as susceptible to liquefaction. Iwasaki proposed four (4) discrete categories based on the numeric value of LPI:

- $LPI = 0$: Liquefaction risk is very low
- $0 < LPI \leq 5$: Liquefaction risk is low
- $5 < LPI \leq 15$: Liquefaction risk is high
- $LPI > 15$: Liquefaction risk is very high



Graphical presentation of the LPI calculation procedure

References

- Lunne, T., Robertson, P.K., and Powell, J.J.M 1997. Cone penetration testing in geotechnical practice, E & FN Spon Routledge, 352 p, ISBN 0-7514-0393-8.
- Boulanger, R.W. and Idriss, I. M., 2007. Evaluation of Cyclic Softening in Silts and Clays. ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering June, Vol. 133, No. 6 pp 641-652
- Robertson, P.K. and Cabal, K.L., 2007, Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering. Available at no cost at <http://www.geologismiki.gr/>
- Robertson, P.K. 1990. Soil classification using the cone penetration test. Canadian Geotechnical Journal, 27 (1), 151-8.
- Robertson, P.K. and Wride, C.E., 1998. Cyclic Liquefaction and its Evaluation based on the CPT Canadian Geotechnical Journal, 1998, Vol. 35, August.
- Youd, T.L., Idriss, I.M., Andrus, R.D., Arango, I., Castro, G., Christian, J.T., Dobry, R., Finn, W.D.L., Harder, L.F., Hynes, M.E., Ishihara, K., Koester, J., Liao, S., Marcuson III, W.F., Martin, G.R., Mitchell, J.K., Moriwaki, Y., Power, M.S., Robertson, P.K., Seed, R., and Stokoe, K.H., Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils, ASCE, Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering, Vol. 127, October, pp 817-833
- Zhang, G., Robertson, P.K., Brachman, R., 2002, Estimating Liquefaction Induced Ground Settlements from the CPT, Canadian Geotechnical Journal, 39: pp 1168-1180
- Zhang, G., Robertson, P.K., Brachman, R., 2004, Estimating Liquefaction Induced Lateral Displacements using the SPT and CPT, ASCE, Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering, Vol. 130, No. 8, 861-871
- Pradel, D., 1998, Procedure to Evaluate Earthquake-Induced Settlements in Dry Sandy Soils, ASCE, Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering, Vol. 124, No. 4, 364-368
- Iwasaki, T., 1986, Soil liquefaction studies in Japan: state-of-the-art, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 5, No. 1, 2-70
- P.K. Robertson, 2009, Interpretation of Cone Penetration Tests - a unified approach., Canadian Geotechnical Journal, Vol. 46, No. 11, pp 1337-1355
- P.K. Robertson, 2009. "Performance based earthquake design using the CPT", Keynote Lecture, International Conference on Performance-based Design in Earthquake Geotechnical Engineering - from case history to practice, IS-Tokyo, June 2009
- Robertson, P.K. and Lisheng, S., 2010, "Estimation of seismic compression in dry soils using the CPT" FIFTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON RECENT ADVANCES IN GEOTECHNICAL EARTHQUAKE ENGINEERING AND SOIL DYNAMICS, *Symposium in honor of professor I. M. Idriss*, SAN diego, CA
- R. E. S. Moss, R. B. Seed, R. E. Kayen, J. P. Stewart, A. Der Kiureghian, K. O. Cetin, CPT-Based Probabilistic and Deterministic Assessment of In Situ Seismic Soil Liquefaction Potential, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 132, No. 8, August 1, 2006
- I. M. Idriss and R. W. Boulanger, Soil liquefaction during earthquakes, Earthquake Engineering Research Institute MNO-12