

COMUNE DI CODIGORO

REALIZZAZIONE IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA SU TERRENO AGRICOLO DI POTENZA DI PICCO PARI A 69,10 MWp E POTENZA NOMINALE PARI A 60 MW UBICATO IN LOCALITA' CORTE SERRAGLIONA NEL COMUNE DI CODIGORO

Progetto Elettrico

Per. Ind. Massimo Ghesini
Ing. Francesco Piergiovanni



Progetto Linea Elettrica

Geom. Stelio Poli
Ing. Chiara Baldi
Geom. Valentina Cristofori

polienergie.surl

Ambiente

Ing. Roberta Mazzolani
Ing. David Negrini

Studio Associato Ne.Ma
Ingegneria Ambiente Sicurezza

Via Confine 24/a - 48015 Cervia (RA)
PIVA 02653670394

Geologia e Acustica

Dott.ssa Giulia Bastia
Dott. Maurizio Castellari
Dott.ssa Marta Cristiani

**CASTELLARI
AMBIENTE**



Progetto Strutturale

Ing. Gianluca Ruggi



Progetto Architettonico

Arch. Antonio Gasparri
Arch. Andrea Ricci Bitti

Collaboratori

Arch. Isabella Cevolani
Arch. Martina Cortesi
Arch. Agnese Di Tirro
Arch. Beatrice Mari
Arch. Francesco Ricci Bitti
Arch. Valeria Tedaldi
Arch. Cecilia Venieri
Dott. Cristian Griguoli



COMMITTENTE: LS SOLAR SRL

p.IVA 02700970391

Legale rappresentante: **Cristiano Vitali**

C.F. VTLCS67R26H199U

PROGETTISTA: Geologo Maurizio Castellari

C.F. CSTM760R01E289N



N. ELABORATO

E 3

ELABORATO

**RELAZIONE GEOLOGICA E DI
CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA**

SCALA

-

RIFERIMENTO PRATICA

IMPIANTO FV LEONA SUD

DATA

29/07/2022

REVISIONE

General contractor

PROTESA
A COMPANY OF SACMI

Protesa spa

Via Ugo la Malfa n.24 Imola 40026 (BO)

telefono 0542 644069 mail info@protesa.net sito www.protesa.net

Proprietà riservata. È vietata la riproduzione totale e parziale e/o la comunicazione a terzi del presente elaborato e calcolo ad esso relativo che non siano espressamente autorizzate.

In mancanza di rispetto gli interessati si riservano il diritto di procedere a termini di legge.

file CARTIGLIO REV.01.dwg

Sommario

1	Premessa	4
2	Normative e riferimenti tecnici.....	5
3	Vincolistica.....	6
3.1	Piano Di Gestione Del Rischio Alluvioni	6
4	Inquadramento geologico generale	7
4.1	Inquadramento Geologico e Geomorfologico di Dettaglio	11
5	Indagini geognostiche.....	13
5.1	Interpretazione stratigrafica.....	13
5.2	Rilievo acqua nel sottosuolo.....	16
6	Sismicità dell'area	20
6.1	Caratterizzazione sismica del terreno attraverso prove HVSR.....	22
6.2	Verifica a liquefazione.....	25
7	Conclusioni	28

1 Premessa

Su incarico della committenza viene redatta la presente relazione allo scopo di fornire i parametri geologici e sismici necessari per il progetto di un nuovo impianto fotovoltaico e della creazione di cabine elettriche a servizio del suddetto impianto.

L'area oggetto di studio si trova in comune di Codigoro (FE), tra Codigoro e Jolanda di Savoia.

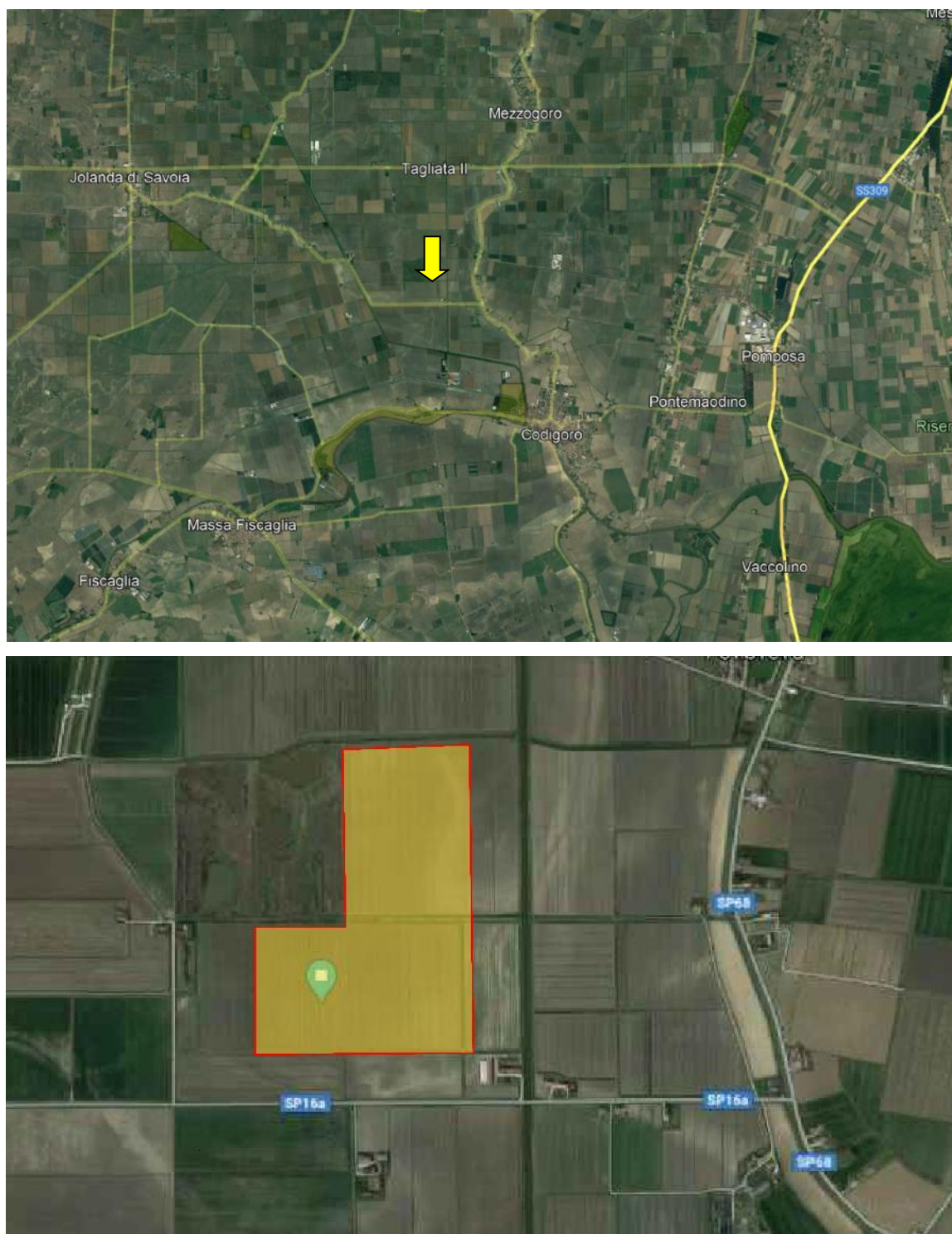


Figura 1. – Inquadramento territoriale

2 Normative e riferimenti tecnici

Relativamente alla parte geologica, si fa riferimento alle seguenti normative:

- D.M. 17.01.2018 *“Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”*;
- Circ. Ministero Infrastrutture e Trasporti 2 febbraio 2009, n. 617 *“Istruzioni per l’applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008”*;
- Consiglio Superiore dei lavori pubblici – Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007;
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei ministri 20/03/2003 n.3274 – *“Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”*.
- DGR n. 1878/2011 del 19.12.2011 *“Approvazione dell’atto di indirizzo recante la modulistica unificata Regionale relativa ai procedimenti in materia sismica”*;
- DGR n. 1373/2011 del 26.09.2011 della Regione Emilia-Romagna.

3 Vincolistica

3.1 Piano Di Gestione Del Rischio Alluvioni

La mappa della pericolosità all'interno del PGRA dell'Autorità di Bacino del fiume Po, carta del reticolo secondario di pianura, indica che l'area oggetto di studio è caratterizzata da una pericolosità media, ovvero P2 – M (Alluvioni poco frequenti: tempo di ritorno tra 100 e 200 anni - media probabilità). La carta del reticolo naturale principale e secondario indica l'area come P1, scarsa probabilità di alluvioni.






-  P3 – H (Alluvioni frequenti: tempo di ritorno tra 20 e 50 anni - elevata probabilità)
-  P2 – M (Alluvioni poco frequenti: tempo di ritorno tra 100 e 200 anni - media probabilità)
-  P1 – L (Scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi)

Figura 2. – PGRA, tavola pericolosità

La mappa rischio derivata dalla mappa della pericolosità indica la presenza nell'area di studio di un rischio moderato o nullo (R1 - giallo).



Figura 3. – PGRA, tavola rischio

4 Inquadramento geologico generale

L'area in oggetto si trova all'interno del foglio 187 "Codigoro" della Carta Geologica d'Italia.

Il Foglio 187 Codigoro si sviluppa nella fascia costiera della Pianura Padana, subito a sud dell'attuale Delta del Po, al limite nord-orientale della Regione Emilia-Romagna.

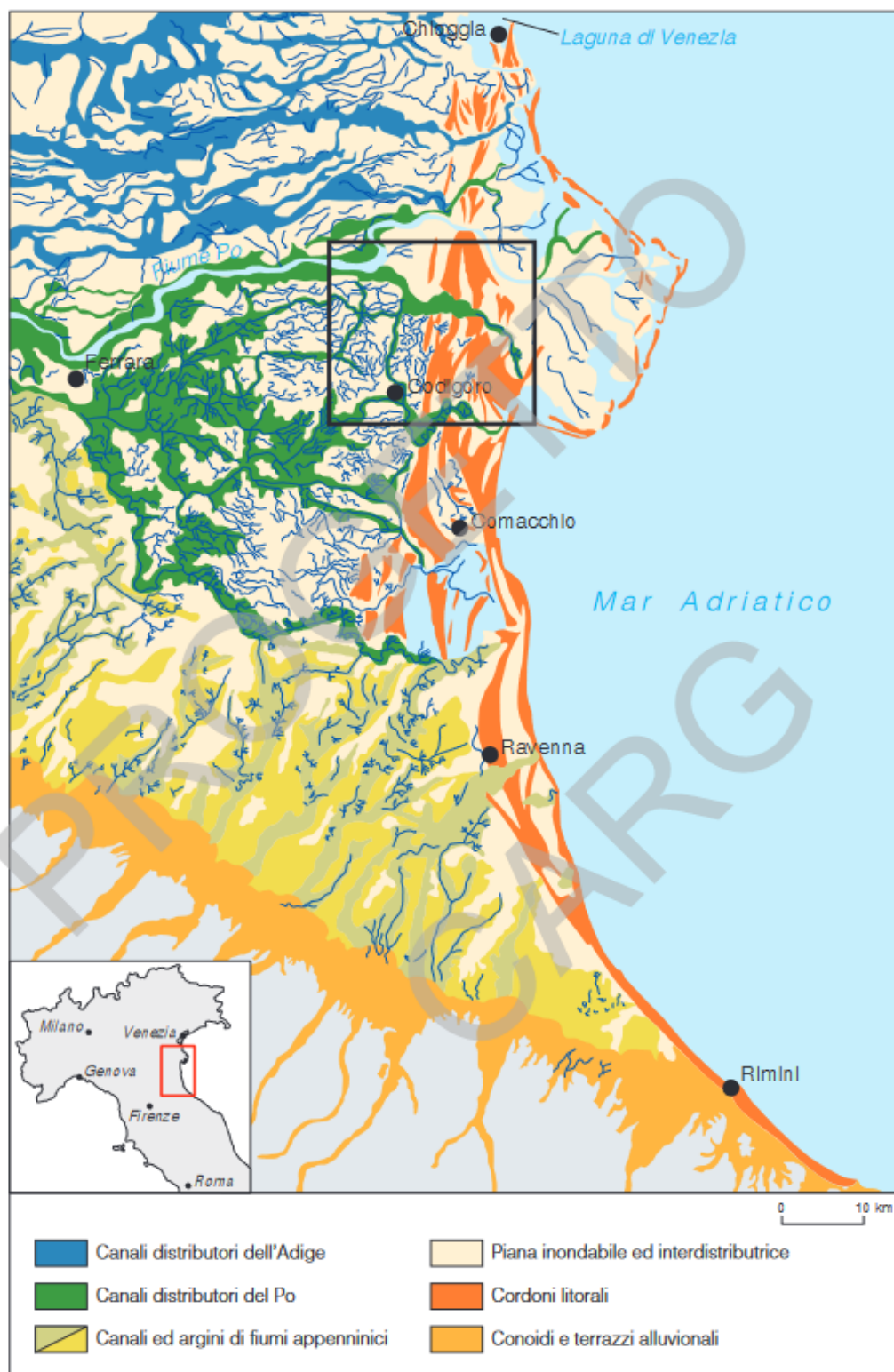


Figura 4. - Contesto regionale dei sistemi deposizionali analizzati, il rettangolo indica l'area cartografata.

Il bordo settentrionale del Foglio coincide con il 45° Parallelo; circa due terzi dell'area cartografata appartengono alla Provincia di Ferrara, il rimanente a quella di Rovigo. L'area è solcata a nord dal Po, che vi si apre in rami deltizi attivi, ed a sud dal Volano, alveo medievale del Po, oggi scollegato dal reticolo idrografico padano ed utilizzato come canale navigabile e di scolo. In tutta la regione, si osserva una forte relazione fra la distribuzione dei corpi deposizionali olocenici e l'andamento del microrilievo, reticolo viario ed insediamento storico. La regione cartografata è quasi interamente formata da aree interfluviali depresse, bonificate durante gli ultimi due secoli ed oggi in gran parte al di sotto del livello del mare, ad eccezione d'alcuni corpi allungati di paleoalveo e di più estesi cordoni costieri. Gran parte dell'area può essere perciò mantenuta asciutta solo per mezzo di grandi impianti di sollevamento delle acque, in particolare l'Impianto Idrovoro di Codigoro.

Nell'area cartografata, affiorano esclusivamente sedimenti terrigeni d'ambiente deltizio, accumulati durante la parte recente dell'Olocene.

Questa area appartiene alla porzione centro-settentrionale del sistema di lobi deltizi del Po, cresciuti in posizioni e tempi diversi, durante lo stazionamento alto del livello marino eustatico. Durante gli ultimi 5000 anni, le bocche del delta sono migrate lateralmente da Ravenna a Chioggia, per quasi 90 km, progredendo verso mare anche per oltre 35 km.

I sedimenti deltizi del Po sono limitati a nord dai depositi dell'Adige ed a sud da quelli dei fiumi appenninici. Nell'area cartografata, affiorano esclusivamente sedimenti del Po, accumulati a partire da circa 3500 anni fa.

Questa area può essere suddivisa in tre porzioni principali:

- Ad ovest (dove è ubicata la zona oggetto di studio), affiorano essenzialmente depositi fini di piana interdistributrice, attraversati da un fitto intreccio di depositi di paleoalveo.
- La porzione centrale del Foglio è formata da ampie estensioni di sabbie costiere, solcate da moltissimi cordoni arcuati, appartenenti a diverse generazioni di lobi deltizi, talvolta separati da campi di dune eoliche.
- La parte più orientale, ricca di sedimenti costieri fini, è formata dai depositi dell'attuale apparato deltizio del Po, cresciuto durante gli ultimi quattro secoli. L'area marina marginale della Sacca i Goro e le aree golenali degli attuali canali distributori del Po sono ancora soggette ad un'attiva evoluzione geomorfologico-deposizionale.

SCHEMA DEGLI AMBIENTI DEPOSIZIONALI

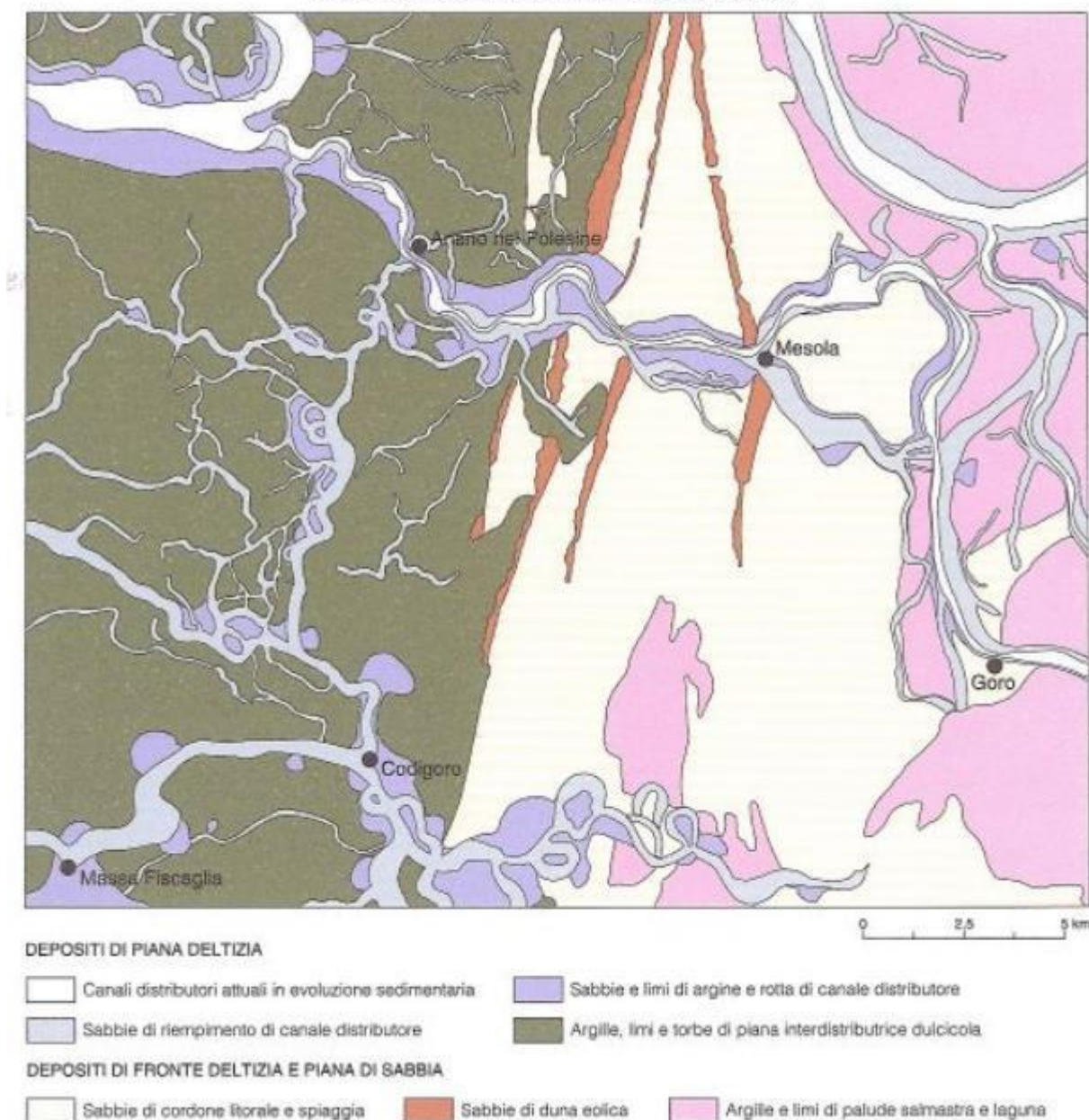


Figura 5. - Schema degli ambienti deposizionali

I primi 40 m di sottosuolo registrano le fluttuazioni eustatiche e climatiche tardoquaternarie. La parte inferiore della successione indagata è formata da un grande corpo continuo di sabbie di pianura alluvionale fredda, formatosi durante l'ultima glaciazione (Wuermiana). Seguono i sedimenti del ciclo trasgressivo-regressivo olocenico (Versiliano).

Sotto la successione tardo-quaternaria appena descritta, si è riconosciuta un'alternanza ciclica di sedimenti continentali e marino-costieri, legata alle fluttuazioni glacio-eustatiche quaternarie.

L'area indagata è posta al contatto fra la zona monoclinale veneta ed il sistema di pieghe e sovrascorrimenti dell'Appennino sepolto, con orientazione NO-SE. Questo assetto strutturale è illustrato da lavori a scala regionale, che ne dimostrano la continuazione al di sotto del contiguo Mare

Adriatico. Questo assetto strutturale compressivo ha certamente influenzato l'andamento della subsidenza, anche durante le fasi tardoquaternarie, ma non sembra avere direttamente controllato le geometrie deposizionali dei lobi deltizi analizzati.

La subsidenza attuale, indotta dalla deformazione tettonica di questa porzione dell'avanfossa, dal riequilibrio isostatico postglaciale a scala europea, dalla compattazione della colonna sedimentaria e dall'alterazione antropica, può raggiungere e superare i 2-3 m al secolo.

Subsintema di Ravenna (AES8) ed unità di Modena (AES8a)

Questo subsintema forma la parte sommitale del sistema Emiliano-Romagnolo Superiore.

Esso comprende gran parte dei sedimenti che costituiscono la pianura emiliano-romagnola e le sottostanti prime decine di metri di sottosuolo. Il tetto coincide con la superficie topografica attuale. Tutti i depositi affioranti nel Foglio 187 sono attribuiti a questo subsintema.

Il subsintema di Ravenna rappresenta perciò l'unità meglio caratterizzata fra tutti i depositi quaternari della pianura. Nei settori intravallivi ed allo sbocco delle valli appenniniche, il subsintema corrisponde a vari ordini di terrazzo, costituiti da ghiaie di canale fluviale ricoperte da depositi di tracimazione argilloso-sabbiosi, variamente pedogenizzati. Questi depositi passano, nella pianura alluvionale, ad argille, limi ed alternanze limoso-sabbiose da tracimazione fluviale (piana inondabile, argine, rotta, ecc.), alternate a sabbie di riempimento di canale. Nell'area costiera, il subsintema forma un'ampia piana di sabbia, solcata da cordoni litorali, intercalati dai corpi dei fiumi appenninici e, a partire dalla latitudine di Ravenna, dei canali distributori del Delta del Po.

Nelle aree depresse fra un cordone e l'altro, possono essere presenti sottili depositi argillosi di palude costiera salmastra.

Sedimenti fini sono ben sviluppati nelle aree interdistributrici del Delta del Po, depositi sia in ambienti dulcicoli, sia salmastri, anche di formazione relativamente recente (es. Valli di Comacchio).

Nelle aree meridionali, il tetto del subsintema, che coincide con la superficie topografica, presenta suoli con diverso grado d'alterazione pedogenetica.

Suoli maturi sono, al contrario, praticamente assenti nell'area del Delta del Po, sia per la natura permeabile e relativamente stabile delle sabbie litorali, sia per la bonifica e la messa a coltura recente di molte aree, precedentemente sommerse.

All'interno del Foglio Codigoro, lo spessore di questa unità è compreso fra 0 e 25 m circa.

AES8a è riferita all'epoca post-romana, i dati storici ed archeologici e datazioni al 14 C indicano che l'unità si è deposita a partire dal V-VI secolo d C. L'unità appartiene quindi alla parte più recente dell'Olocene, da circa 1.500 anni all'Attuale.

4.1 Inquadramento Geologico e Geomorfologico di Dettaglio

Dove è ubicata la zona oggetto di studio affiorano essenzialmente depositi fini di piana interdistributrice, attraversati da un fitto intreccio di depositi di paleoalveo.

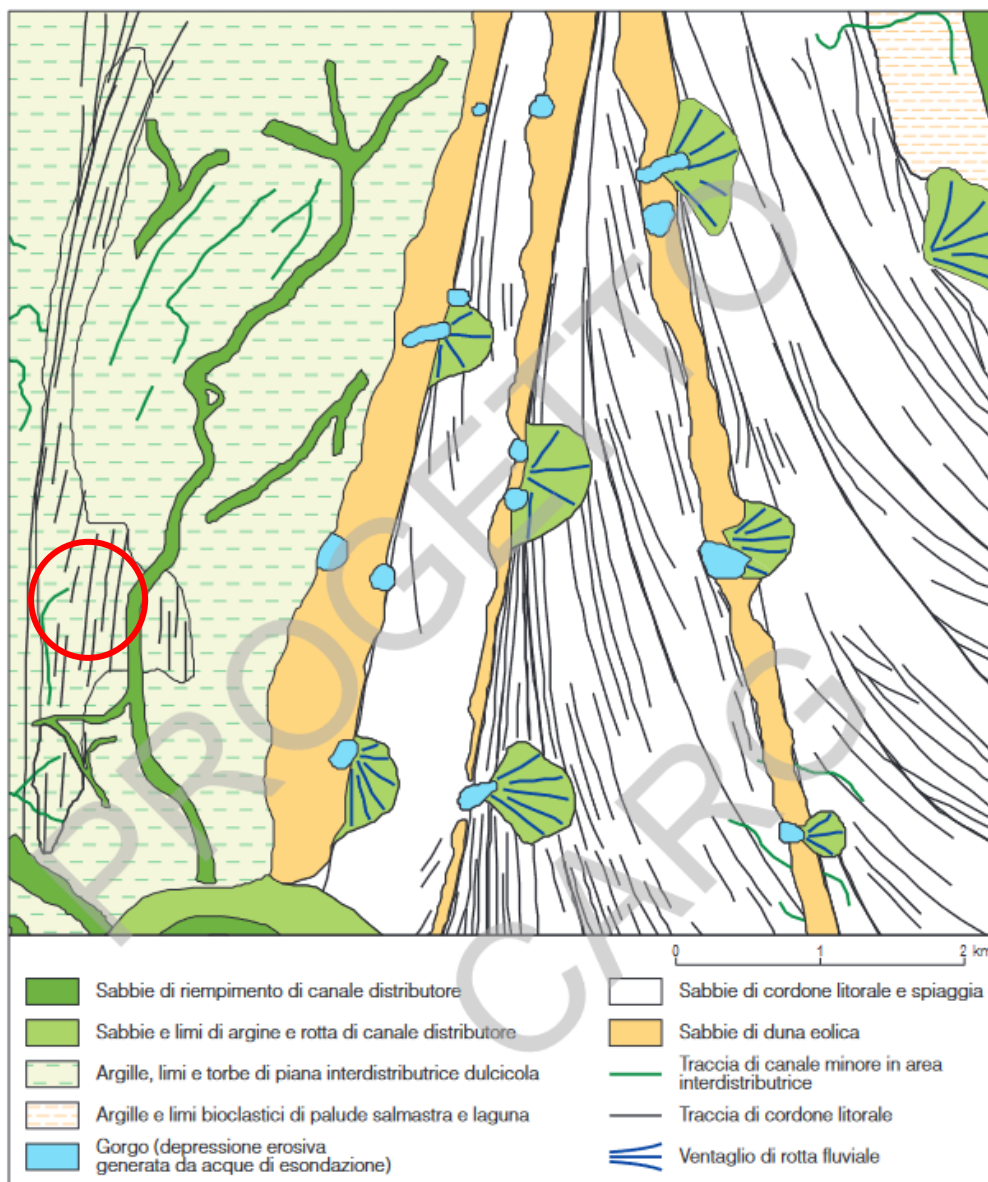


Figura 6.- Estratto della carta geologica tratto dalla parte centrale dell'area cartografata.

I terreni dell'area in oggetto sono costituiti da argille, argille limose e subordinati limi, spesso arricchite in sostanza organica, di colore scuro, passanti ad argille torbose e torbe.

Le argille contengono frequentemente tracce d'apparati radicali o sono intensamente bioturbate da organismi limivori. La stratificazione è da media a spessa, frequentemente poco evidente.

I valori di permeabilità sono in genere assai bassi e si accompagnano a tempi di dissipazione particolarmente lunghi.

Di seguito si riporta uno stralcio della cartografia geologica.

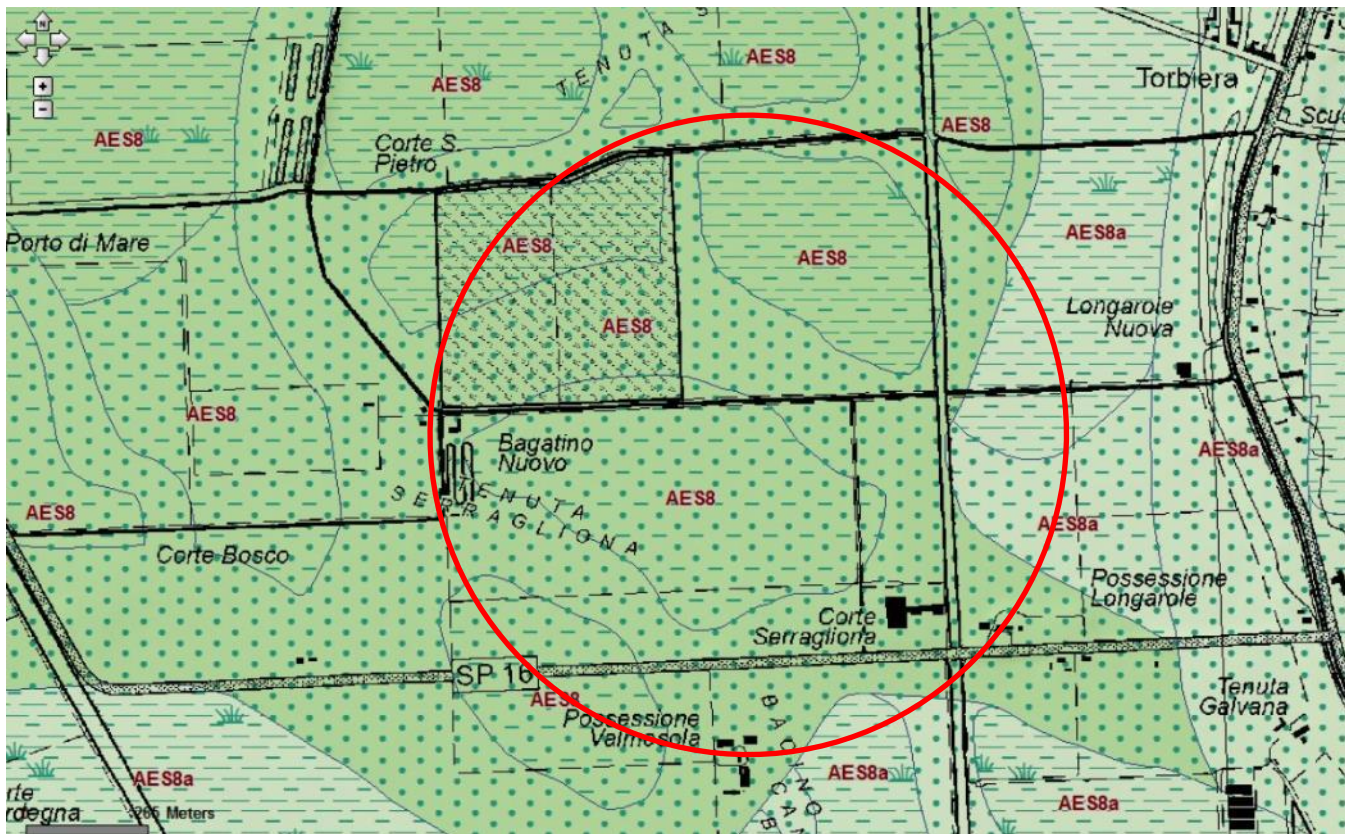


Fig. 7. Carta geologica dell'area

5 Indagini geognostiche

Nelle date 24/05/2022 e 25/05/2022 è stata eseguita una campagna d'indagini consistente nell'esecuzione di:

- **n°10 prove penetrometriche statiche elettriche con piezocono (CPTU)** spinte fino alla profondità di -20.00 m dal piano campagna attuale. Le prove hanno avuto come obiettivo la caratterizzazione geotecnica dei terreni e sono servite come supporto per l'interpretazione geofisica;
- **n°2 indagini geofisiche HVSR** eseguite utilizzando un tromografo digitale Tromino-Micromed che avvalendosi del metodo di Nakamura sul rapporto spettrale H/V fornisce una valutazione diretta della Vs30 in base all'individuazione delle discontinuità sismiche e della profondità della formazione rocciosa.

5.1 Interpretazione stratigrafica

Le prove hanno identificato la presenza di terreni argillosi fino alla profondità di 10/15 m, seguiti da argille limose e limi argillosi, che, nelle prove effettuate nella zona ovest sono continue fino a 20 m, mentre nelle prove effettuate nella zona est sono intervallati da pacchi sabbiosi di spessore compreso tra 1 e 3 m.

Di seguito viene descritto il modello geologico riscontrato dalle singole prove:

CPT 1				
Profondità strato [m]	Descrizione	Peso unità di volume [kN/m ³]	Angolo di attrito [°]	Coazione non drenata [kN/m ²]
0,0 – 10,5	Argilla a bassissima consistenza	18,0	-	22,2
10,5– 15,5	Limi argillosi e argille limose a consistenza bassa	18,0	-	36,2
15,5– 18,5	Sabbie e sabbie limose ad addensamento medio alto	18,5	30	-
18,5 – 20,0	Limi argillosi e limi sabbiosi a consistenza media	18,0	-	89,1

CPT 2				
Profondità strato [m]	Descrizione	Peso unità di volume [kN/m ³]	Angolo di attrito [°]	Coesione non drenata [kN/m ²]
0,0 – 15,0	Argilla a bassissima consistenza	18,0	-	22,3
15,0– 19,3	Limi argillosi e argille limose a consistenza bassa	18,0	-	47,1
19,3– 20,0	Sabbie e sabbie limose ad addensamento medio alto	18,5	30	-

CPT 3				
Profondità strato [m]	Descrizione	Peso unità di volume [kN/m ³]	Angolo di attrito [°]	Coesione non drenata [kN/m ²]
0,0 – 14,0	Argilla a bassissima consistenza	18,0	-	22,9
14,0– 19,5	Limi argillosi e argille limose a consistenza molto bassa	18,0	-	35,1
19,5– 20,0	Limi sabbiosi e sabbie limose ad addensamento medio alto	18,0	30	-

CPT 4				
Profondità strato [m]	Descrizione	Peso unità di volume [kN/m ³]	Angolo di attrito [°]	Coesione non drenata [kN/m ²]
0,0 – 12,0	Argilla a bassissima consistenza	18,0	-	18,5
12,0 – 15,3	Limi argillosi e argille limose a consistenza molto bassa	18,0	-	38,0
15,3– 17,3	Limi argilloso sabbiosi a addensamento medio	18,0	28	-
17,3 – 19,8	Limi argillosi a consistenza bassa	18,0	-	45,5
19,8 – 20,0	Sabbie ad addensamento medio alto	18,5	30	-

CPT 5				
Profondità strato [m]	Descrizione	Peso unità di volume [kN/m ³]	Angolo di attrito [°]	Coesione non drenata [kN/m ²]
0,0 – 10,0	Argilla a bassissima consistenza	18,0	-	17,2
10,0– 20,0	Limi argillosi e argille limose a consistenza bassa	18,0	-	36,6

CPT 6				
Profondità strato [m]	Descrizione	Peso unità di volume [kN/m ³]	Angolo di attrito [°]	Coesione non drenata [kN/m ²]
0,0 – 9,6	Argilla a bassissima consistenza	18,0	-	26,6
9,6 – 19,0	Limi argillosi e argille limose a consistenza bassa	18,0	-	36,9
19,0 – 20,0	Sabbie e sabbie limose ad addensamento medio alto	18,5	30	-

CPT 7				
Profondità strato [m]	Descrizione	Peso unità di volume [kN/m ³]	Angolo di attrito [°]	Coesione non drenata [kN/m ²]
0,0 – 2,0	Argilla a bassa consistenza	18,0	-	40,2
2,0 – 14,2	Argilla a bassissima consistenza	18,0	-	20,0
14,2 – 17,0	Limi argillosi e limi argilloso sabbiosi a consistenza bassa	18,0	-	57,1
17,0 – 18,5	Sabbie ad addensamento medio alto	18,0	30	
18,5 – 20,0	Limi argillosi a consistenza alta	18,5	-	123,3

CPT 8				
Profondità strato [m]	Descrizione	Peso unità di volume [kN/m ³]	Angolo di attrito [°]	Coesione non drenata [kN/m ²]
0,0 – 12,5	Argilla a bassissima consistenza	18,0	-	24,5
12,5 – 15,6	Sabbie e sabbie limose	18,0	30	-
15,6 – 19,3	Limi argillosi a consistenza medio bassa	18,0	-	53,0
19,3 – 20,0	Sabbie ad addensamento medio alto	18,0	30	

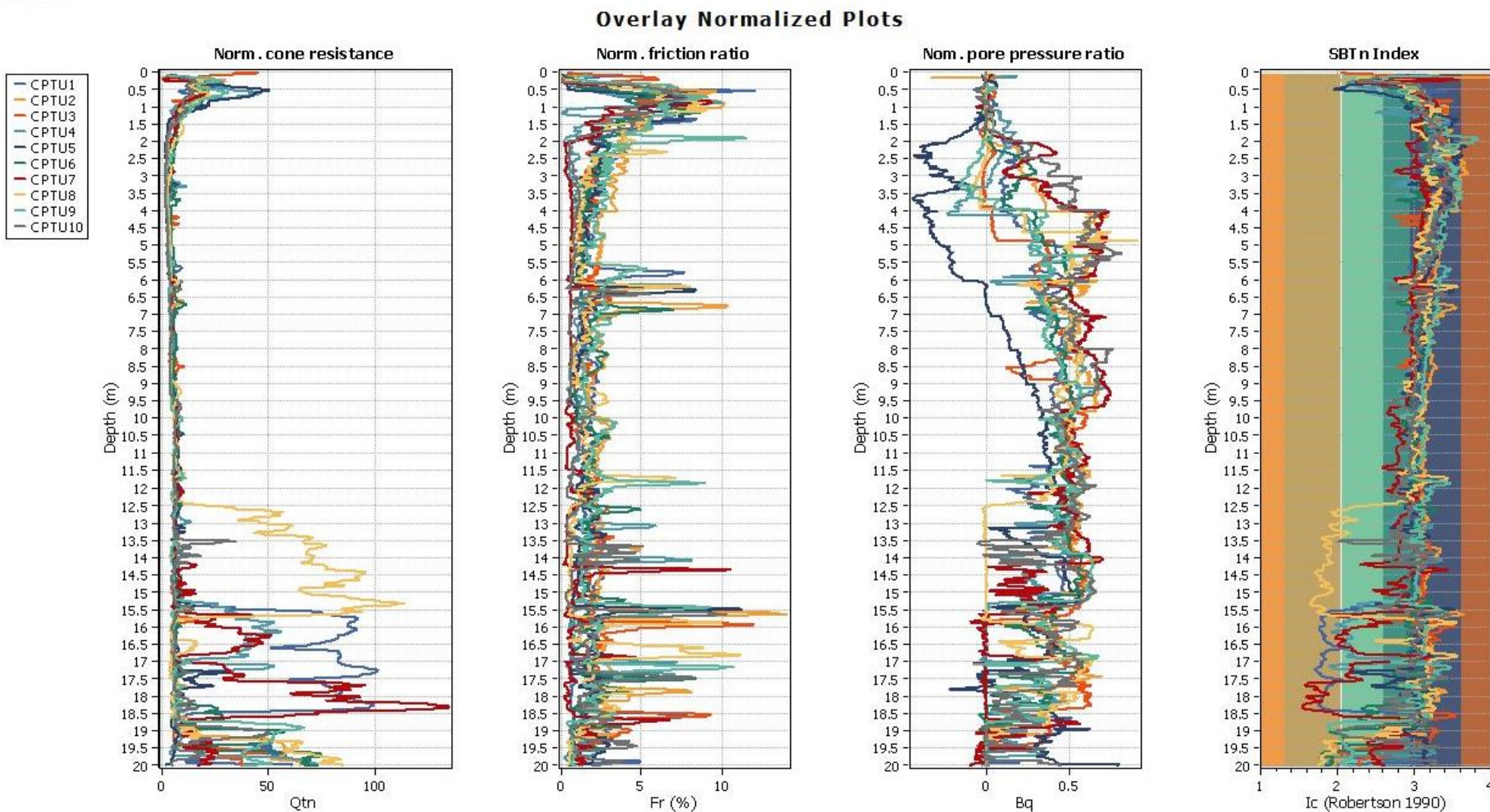
CPT 9				
Profondità strato [m]	Descrizione	Peso unità di volume [kN/m ³]	Angolo di attrito [°]	Coesione non drenata [kN/m ²]
0,0 – 13,0	Argilla a bassissima consistenza	18,0	-	23,2
13,0– 18,7	Limi argillosi e argille limose a consistenza molto bassa	18,0	-	39,0
18,7– 20,0	Sabbie ad addensamento medio alto	18,0	30	-

CPT 10				
Profondità strato [m]	Descrizione	Peso unità di volume [kN/m ³]	Angolo di attrito [°]	Coesione non drenata [kN/m ²]
0,0 – 15,5	Argilla a bassissima consistenza	18,0	-	21,3
15,5– 20,0	Limi argillosi e argille limose a consistenza bassa	18,0	-	46,9

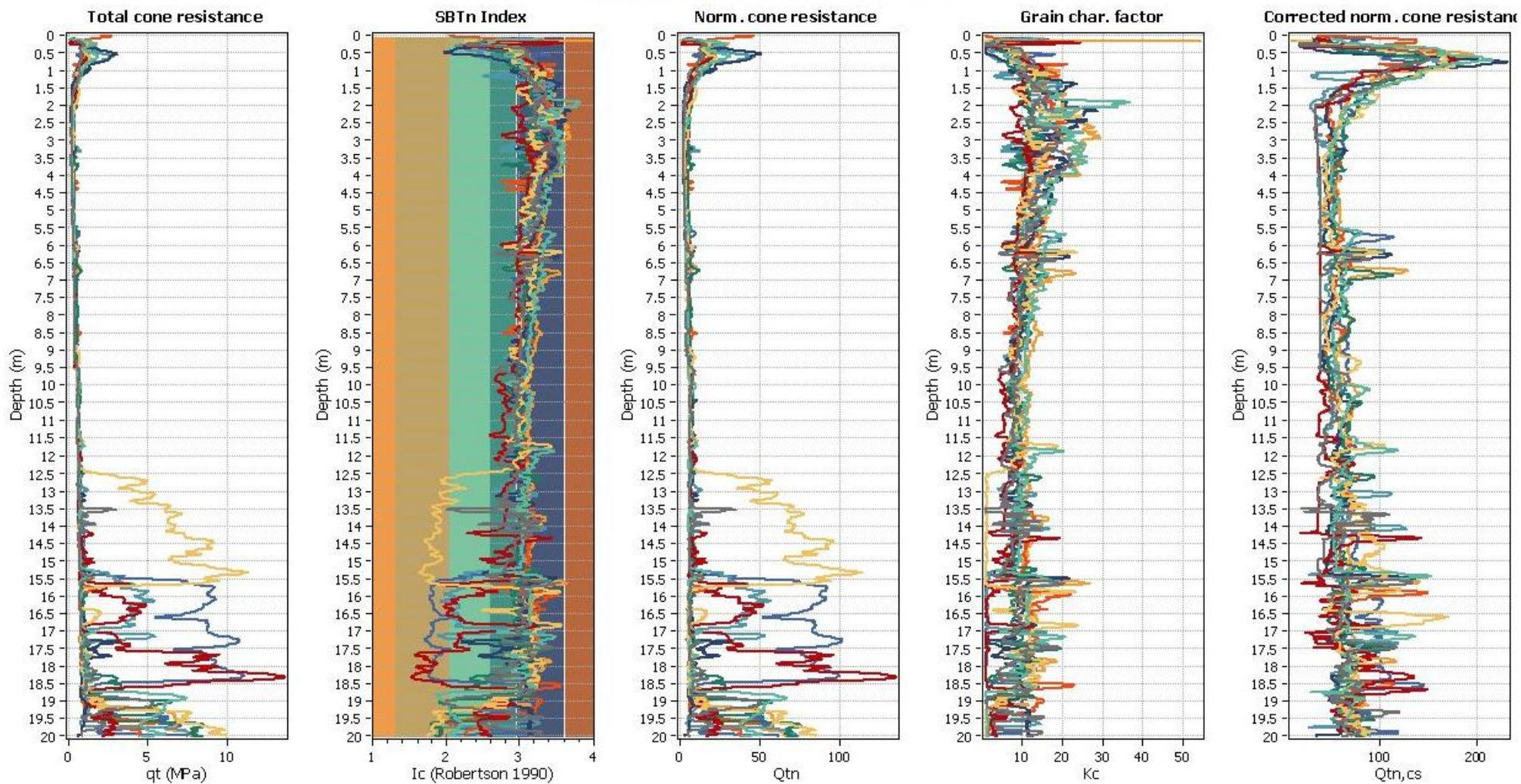
5.2 Rilievo acqua nel sottosuolo

Al momento delle prove è stata rilevata la presenza di falda freatica fra le profondità di 0,6 e 2,0 m dal p.c., tale livello misurato può subire oscillazioni verticali al variare delle stagioni e in seguito a precipitazioni prolungate e/o intense.

Si riportano di seguito i grafici sovrapposti delle prove effettuate, per un migliore confronto, e, a seguire, l'ubicazione delle prove.



Overlay Intermediate Results



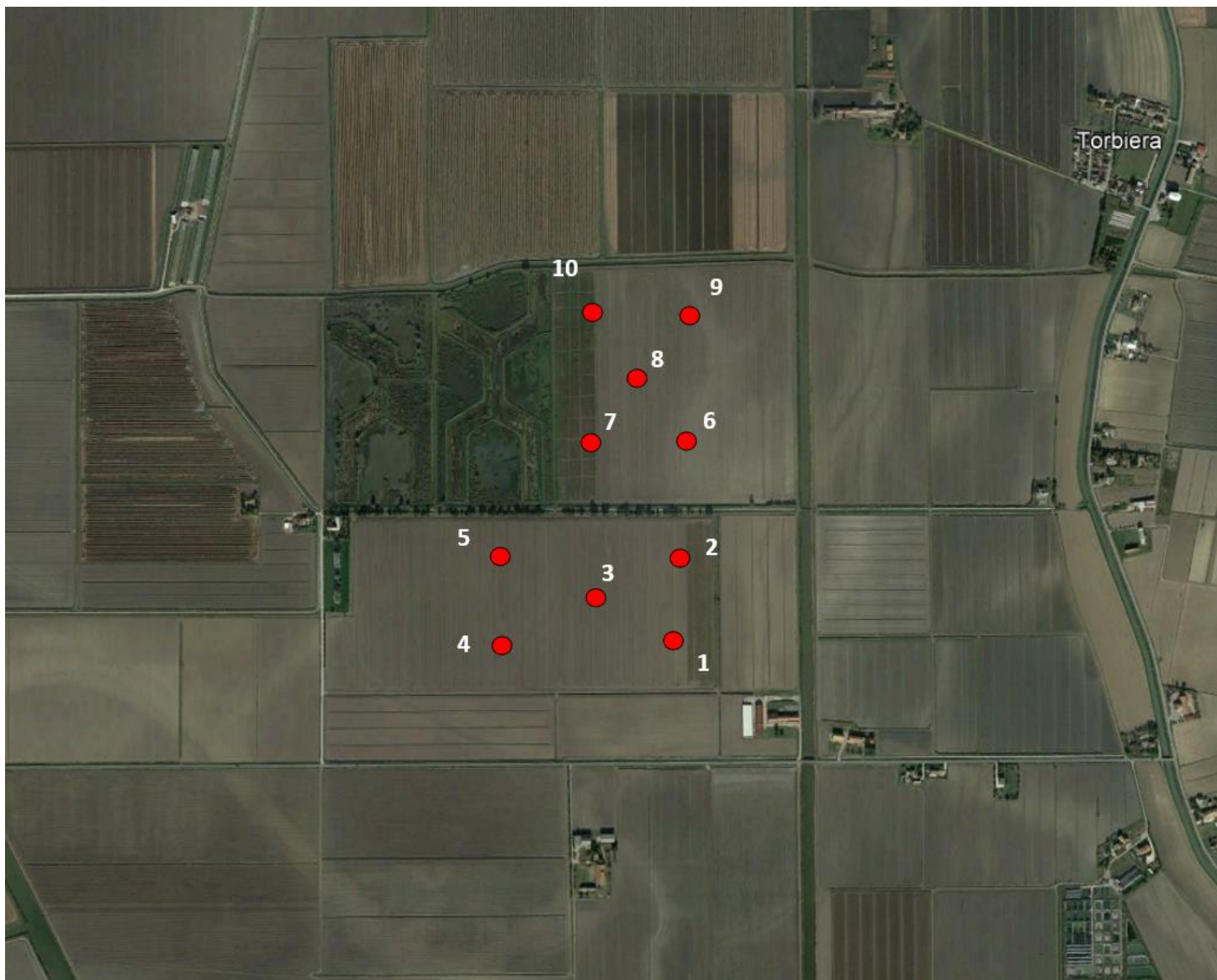


Fig. 8. Ubicazione prove CPTU

6 Sismicità dell'area

In base alla normativa riguardante la situazione sismica del territorio, con riferimento al D.M. Min. LLPP 16 gennaio 1996 "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche", il Comune di Codigoro, ricadeva in una zona classificata in classe III.

Nel mese di marzo 2003 è stata redatta una bozza al fine di definire un sistema normativo per la progettazione antisismica e acquisire dei criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. In riferimento a tale bozza il Comune di Codigoro ricade in classe 3, indicativa di zona a media pericolosità sismica.

Con l'entrata in vigore, il 24/10/2005, dell'OPCM n. 3274/2003 e successive modifiche, in materia di classificazione sismica del territorio nazionale e del D.M. 14/09/2005 recante "Norme tecniche per le costruzioni", il Comune di Codigoro è stato classificato in classe di sismicità 3 (zona a media sismicità).

Estratto dal D.M. 17/01/2018 recante "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni":

3.2 AZIONE SISMICA

3.2.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Categorie di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, VS. I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità VS per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2.

I valori di VS sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, VS,eq (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

hi spessore dell'*i*-esimo strato;

- *VS*, i velocità delle onde di taglio nell'*i*-esimo strato;
- *N* numero di strati;
- *H* profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da *VS* non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità *H* del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio *VS,eq* è definita dal parametro *VS,30*, ottenuto ponendo *H=30* m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Deposit</i> i di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Deposit</i> i di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al § 3.2.3 delle presenti norme.

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.III):

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

Secondo la classificazione del suolo, sulla base della nuova normativa sismica per gli edifici (D.M. 17/01/2018 recante "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni") in base ai dati ottenuti dalle indagini geognostiche in sito si classifica il terreno di fondazione del fabbricato come appartenente alla categoria **D- Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 m/s e 180 m/s.**

6.1 Caratterizzazione sismica del terreno attraverso prove HVSR

Ai fini della caratterizzazione sismica del sottosuolo, l'indagine geofisica con apparecchio tromografico digitale **TROMINO**, avvalendosi del metodo di Nakamura sul rapporto spettrale H/V fornisce una valutazione diretta della V_{s30} in base all'individuazione delle discontinuità sismiche e della profondità della formazione rocciosa.

Inoltre, questa tecnica dei rapporti spettrali o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) con apparecchio tromografico **TROMINO** permette anche di misurare la frequenza caratteristica di risonanza del sito, parametro che è utilizzabile in termini di risposta sismica locale (RSL) per progettare edifici non con la stessa frequenza di risonanza del terreno, in modo da evitare l'effetto di doppia risonanza pericoloso per la stabilità degli edifici.

La V_{s30} viene calcolata o meglio stimata mediante un codice di calcolo apposito attraverso il software **GRILLA**, è necessario conoscere la profondità di un riflettore stratigrafico (prova penetrometrica o sondaggio) e riconoscibile dalla curva H/V.

La tecnica HVSR si basa in parte sulla sismica tradizionale dei microtrempi, cioè di oscillazioni molto piccole rispetto al sisma; il metodo di acquisizione dei dati è quindi detto passivo in quanto il rumore

non è generato come ad esempio dalle esplosioni della sismica attiva.

I dati sono stati acquisiti con una frequenza base di 128 Hz e convertiti in file ASCII mediante il software Grilla, e il rumore sismico è stato registrato nelle sue tre componenti per un intervallo di tempo di 20 o 30 minuti, suddiviso in intervalli della durata di 8 sec.

Successivamente si è operato alla costruzione di un modello teorico HVSR e, tramite un algoritmo, all'adattamento della curva sperimentale e quella teorica. Le acquisizioni rispettano le indicazioni del processo SESAME.

Nel presente studio, che sfrutta la teoria di Nakamura che relaziona lo spettro di risposta del substrato roccioso (rapporto spettrale H/V = 1) con quello misurato in superficie, la frequenza di risonanza del terreno è regolata dalla formula:

$$f = V_s / 4H$$

dove f è la frequenza e H lo spessore dello strato sismico.

Le misure HVSR sono state eseguite all'interno di 2 aree all'interno delle quali sono state eseguite rispettivamente n. 5 prove penetrometriche statiche a punta elettrica e piezocono (CPTU), eseguite dagli stessi scriventi. Lo schema delle misure è stato il seguente:

SITO 1 → HVSR1 → CPTU1-2-3-4-5

SITO 2 → HVSR2 → CPTU6-7-8-9-10

SITO 1: $V_{s,eq}=V_{s30}$ [m/s] da quota p.c. su cui è stata eseguita l'indagine geofisica: **140 m/s**

SITO 2: $V_{s,eq}=V_{s30}$ [m/s] da quota p.c. su cui è stata eseguita l'indagine geofisica: **139 m/s**

Le curve HVSR sperimentali sono del tutto confrontabili tra loro a testimonianza di una sostanziale omogeneità del sottosuolo in termini di frequenze naturali di risonanza (stesse ampiezze di picco e stesse frequenze coinvolte) e rigidità del terreno. In generale le curve HVSR indicano la presenza nel sito di un'amplificazione locale del moto del suolo alle basse frequenze per risonanza stratigrafica a basso e medio-basso contrasto di rigidità. Tale amplificazione si manifesta nel range 1-2 Hz circa.

La normativa applicata nel presente lavoro è il DM 17 gennaio 2018.

ELEMENTI di MICROZONAZIONE SISMICA

L'area di intervento è morfologicamente classificabile come Pianura 2.

Si considerano i coefficienti di amplificazione sismica relativi alla fascia di velocità relativa a 150 m/s.

Tabella per il calcolo dei coefficienti di amplificazione sismica

(DGR n.630 del 29/04/2019 aggiornamento DGR n.476 del 12/04/2021)

F.A. P.G.A.: accelerazione di picco orizzontale a periodo $T=0$ alla superficie del sito.

F.A. S.I.: Intensità spettrale di risposta in velocità relativo a tre intervalli.

F.A. S.A.: Intensità spettrale di risposta in accelerazione relativo a quattro intervalli.

PIANURA 2: settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c. e dal tetto del substrato rigido a circa 150 m da p.c.;

V_{s30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
PGA	1,7	1,7	1,7	1,6	1,5	1,5

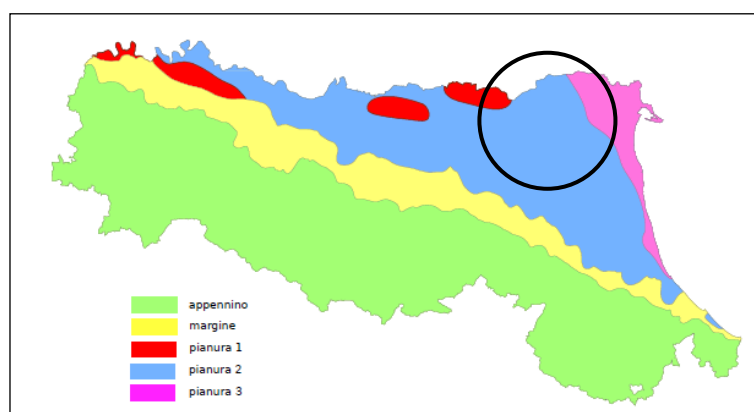
Fattore di Amplificazione PGA

V_{s30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SA1	1,8	1,8	1,8	1,7	1,6	1,5
SA2	2,7	2,7	2,4	2,1	1,9	1,8
SA3	3,3	3,2	2,8	2,5	2,3	2,1
SA4	3,3	3,1	2,7	2,4	2,1	1,9

Fattori di Amplificazione SA1 ($0,1s \leq T \leq 0,5s$), SA2 ($0,4s \leq T \leq 0,8s$), SA3 ($0,7s \leq T \leq 1,1s$), SA4 ($0,5s \leq T \leq 1,5s$)

V_{s30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SI1	2,0	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6
SI2	3,1	3,0	2,7	2,4	2,1	2,0
SI3	3,6	3,3	2,9	2,5	2,2	2,0

Fattori di Amplificazione SI1 ($0,1s \leq T \leq 0,5s$), SI2 ($0,5s \leq T \leq 1,0s$), SI3 ($0,5s \leq T \leq 1,5s$)

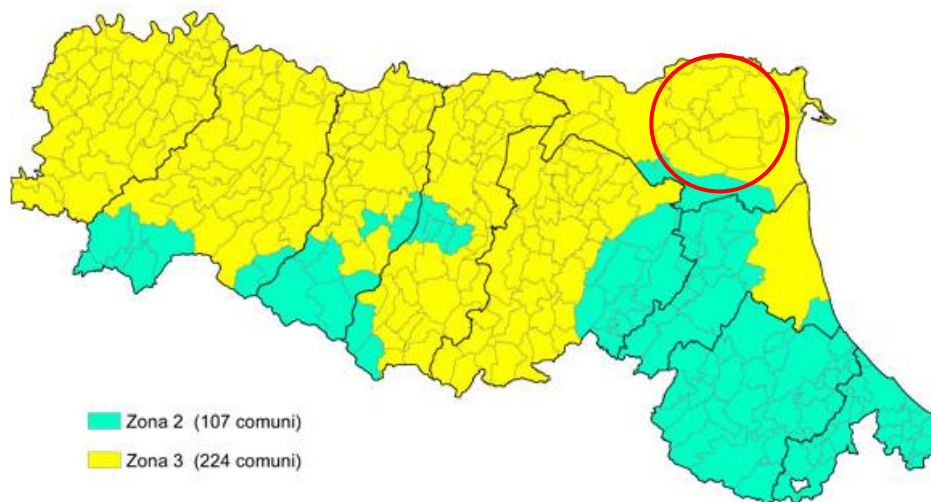


Localizzazione indicativa degli ambienti geomorfologici e litostratigrafici

Castellari Ambiente s.r.l. s.t.p. - Via Emilia 67, 40026 Imola (BO)

C.F. - P.IVA 03987351206 - Tel 334 2075125 mail: info@castellariambiente.it

Classificazione sismica dei comuni dell'Emilia-Romagna



Nuova classificazione sismica NTC 2018 – Comune di Ferrara

6.2 Verifica a liquefazione

La liquefazione delle sabbie è un processo che può avvenire durante un evento sismico: essa nasce dall'incremento della pressione dell'acqua interstiziale (u) durante sollecitazioni di tipo ciclico. Se tale aumento è tale da eguagliare la pressione litostatica totale, si ha l'annullamento della resistenza al taglio.

I valori inseriti per i calcoli sono: A_{max}/g : 0,13, Magnitudo: 6,8

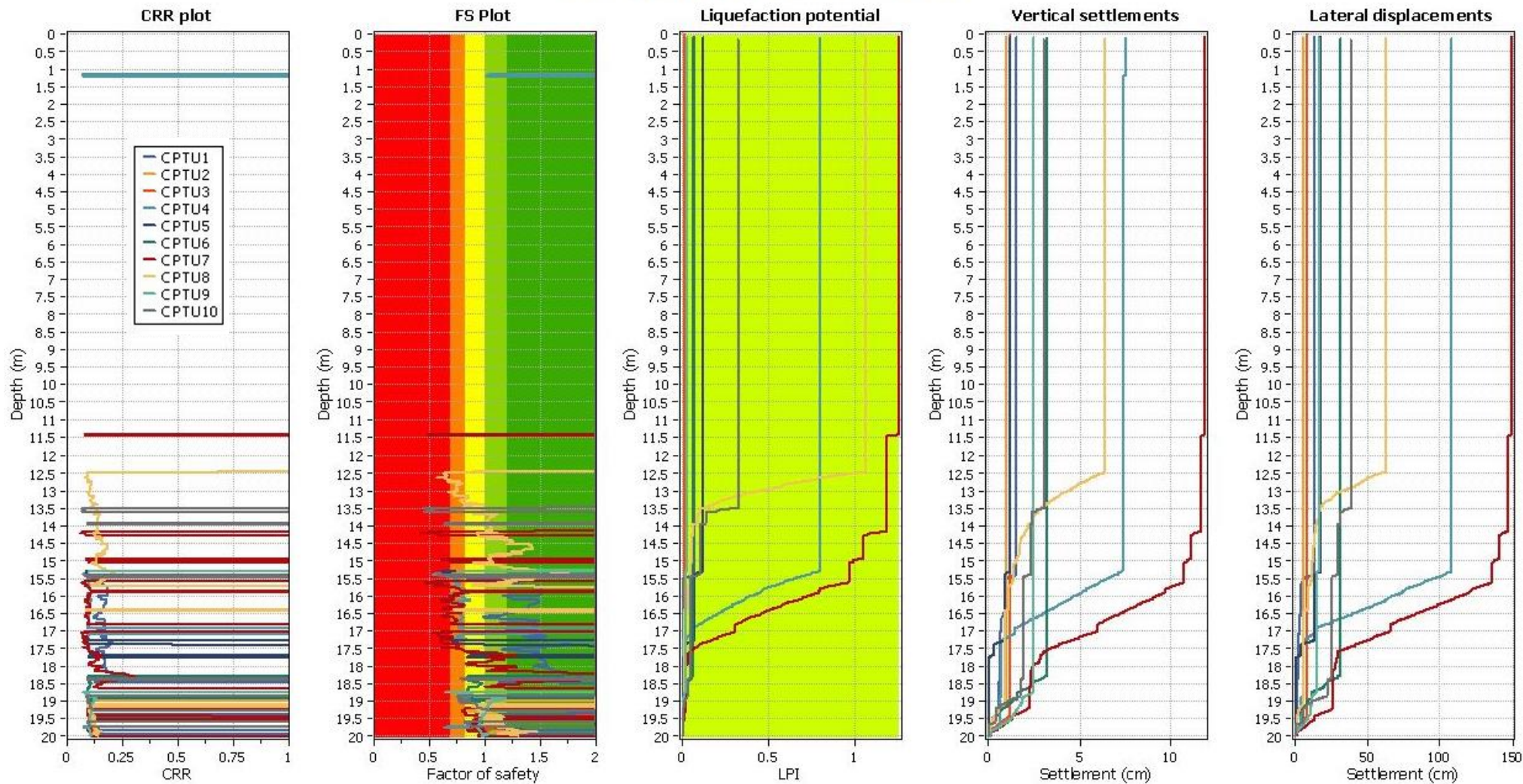
Le verifiche a liquefazione hanno identificato per tutte le prove un rischio di liquefazione da nullo a basso, con un potenziale di liquefazione che supera il valore di 1 solo per le prove CPTU7 e CPTU8.

L'indice di liquefazione è:

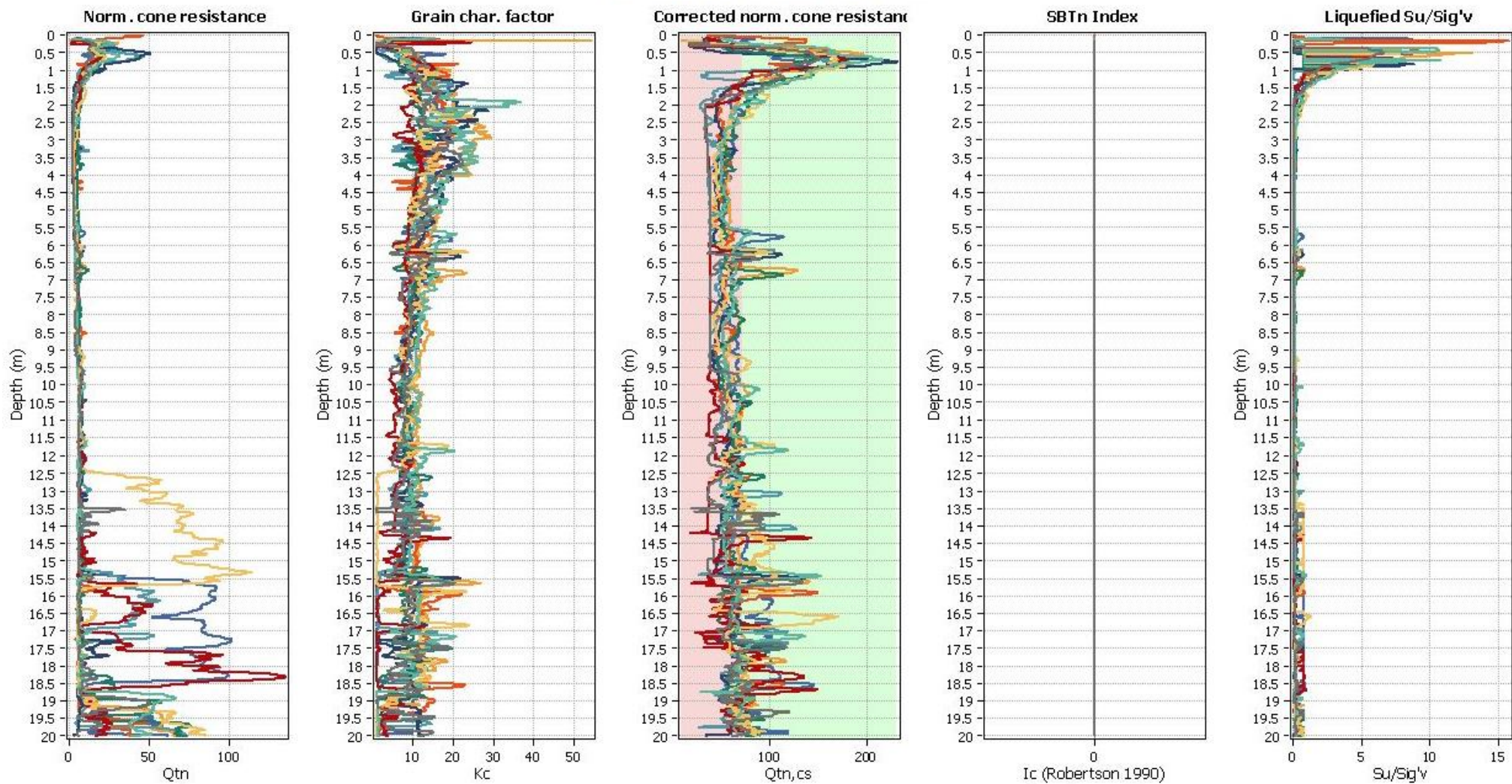
- CPT1: LPI basso
- CPT2: LPI nullo
- CPT3: LPI nullo
- CPT4: LPI basso
- CPT5: LPI nullo
- CPT6: LPI nullo
- CPT7: LPI basso
- CPT8: LPI basso
- CPT9: LPI nullo
- CPT10: LPI basso

Di seguito si riportano i grafici di verifica a liquefazione sovrapposti, in allegato sono riportati i grafici dei calcoli.

Overlay Cyclic Liquefaction Plots



Overlay Strength Loss Plots



7 Conclusioni

Sulla base dei risultati ottenuti si può stabilire quanto segue:

- Le prove hanno identificato la presenza di terreni argillosi fino alla profondità di 10/15 m, seguiti da argille limose e limi argillosi, che, nelle prove effettuate nella zona ovest sono continue fino a 20 m, mentre nelle prove effettuate nella zona est sono intervallati da pacchi sabbiosi di spessore compreso tra 1 e 3 m.
- Al momento delle prove è stata rilevata la presenza di falda freatica fra le profondità di 0,6 e 2,0 m dal p.c., tale livello misurato può subire oscillazioni verticali al variare delle stagioni e in seguito a precipitazioni prolungate e/o intense.
- Secondo la classificazione del suolo, sulla base della nuova normativa sismica per gli edifici (D.M. 17/01/2018 recante "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni") in base ai dati ottenuti dalle indagini in sito si classifica il terreno di fondazione del fabbricato come appartenente alla **D- Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 m/s e 180 m/s.**
- Le verifiche a liquefazione hanno identificato per tutte le prove un rischio di liquefazione da nullo a basso.

Imola 21 giugno '22

Il geologo

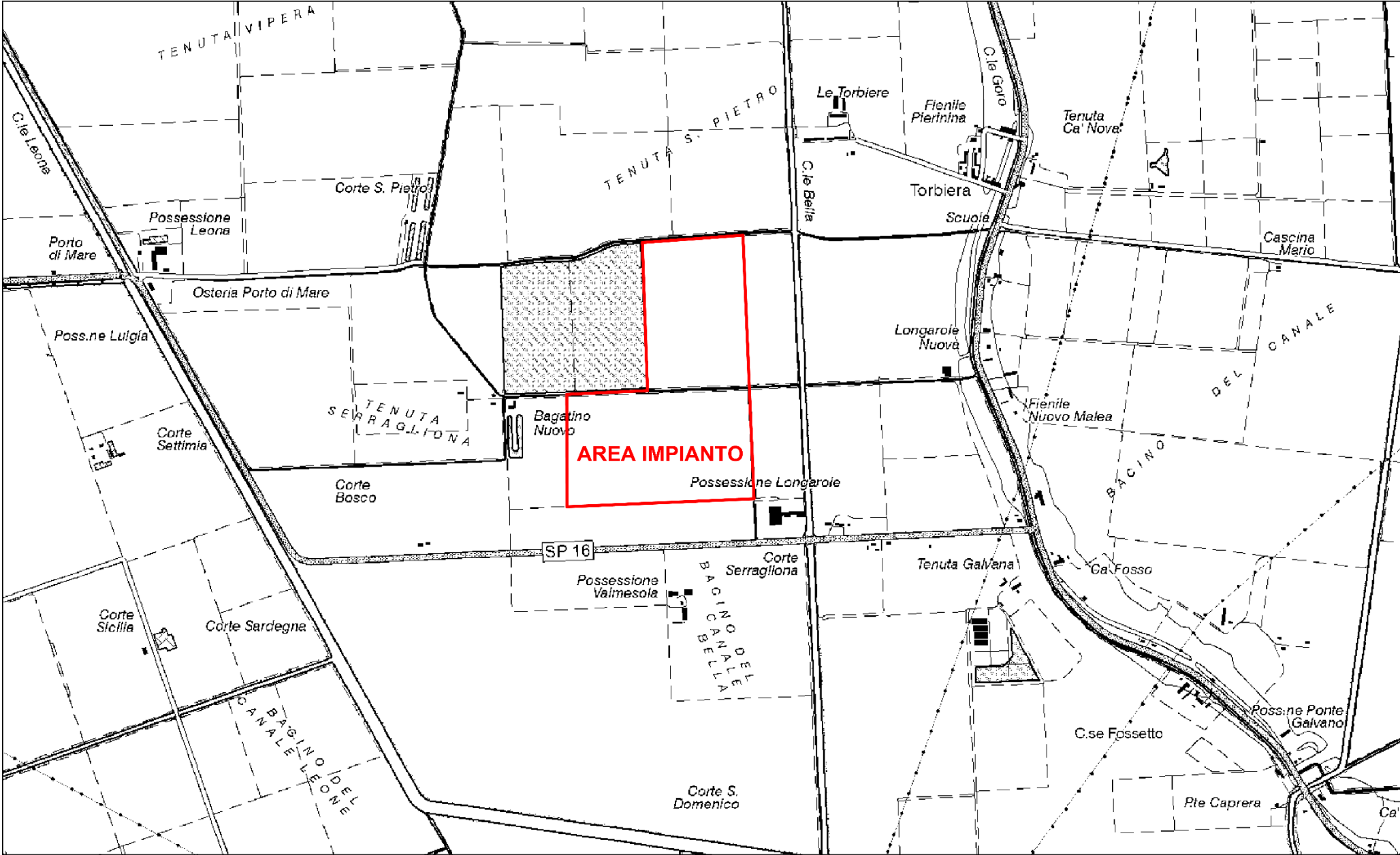
Dott. Maurizio Castellari



Allegato 1

Ubicazione intervento

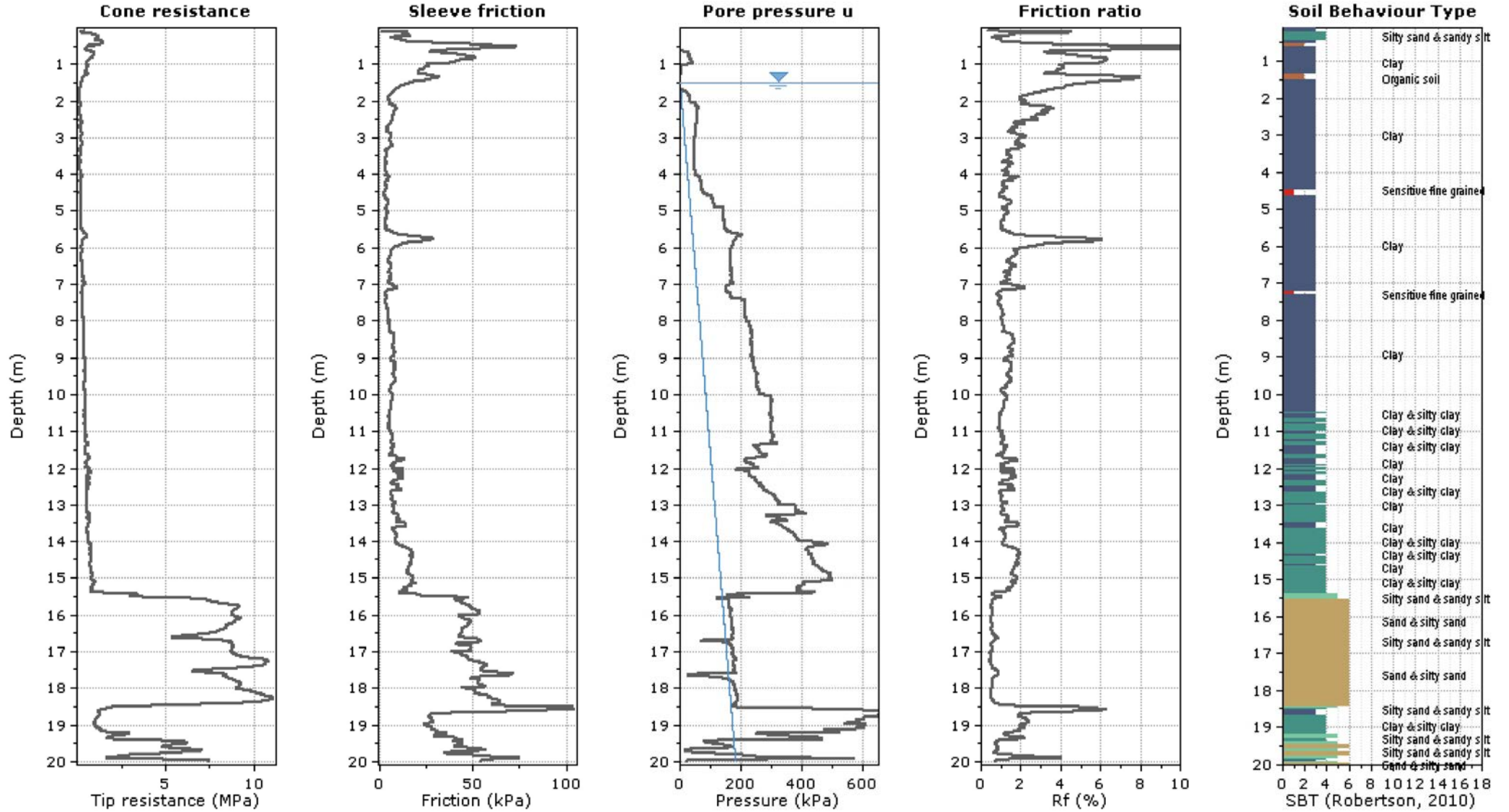
MAPPA 1:25.000

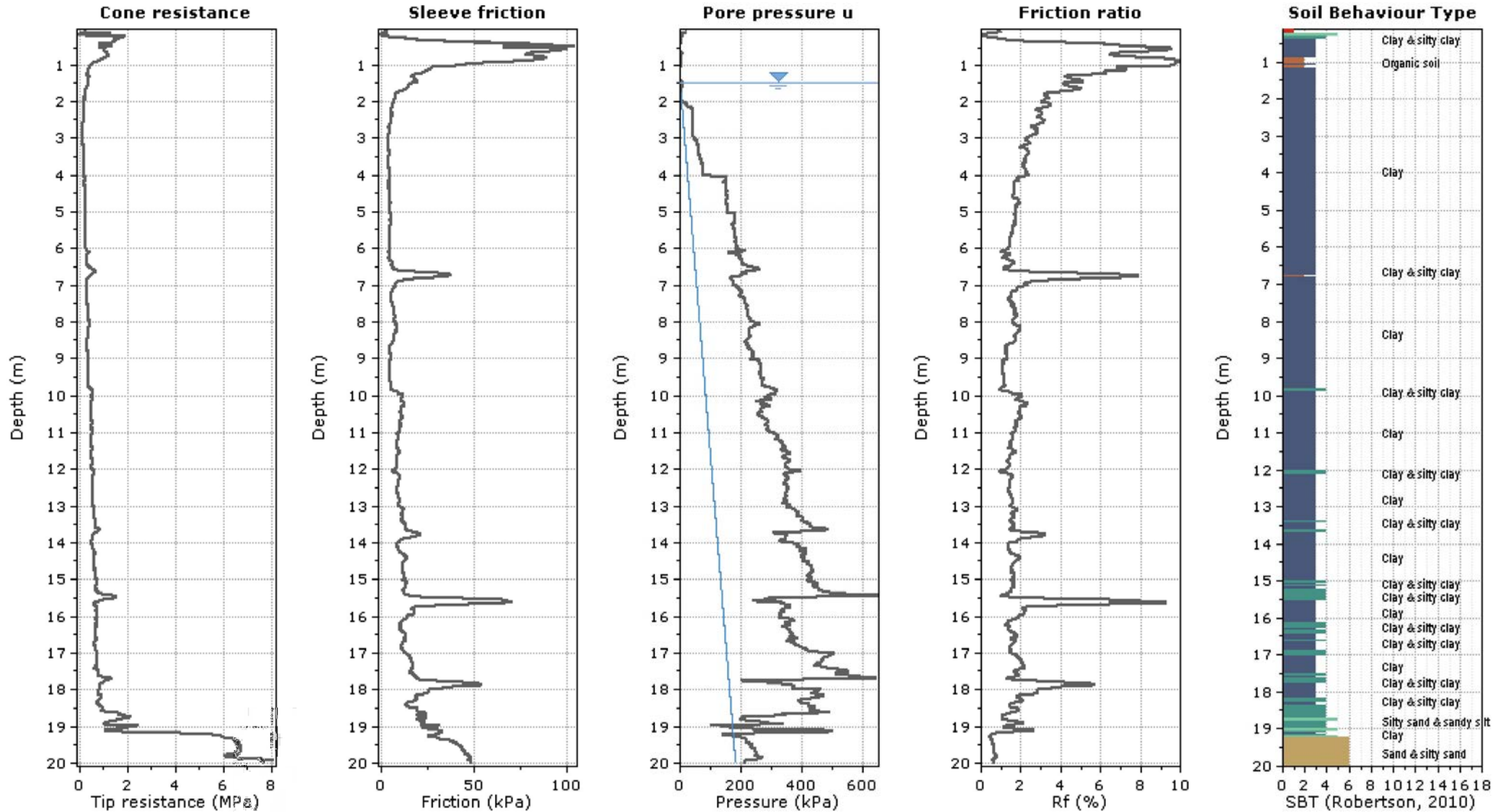


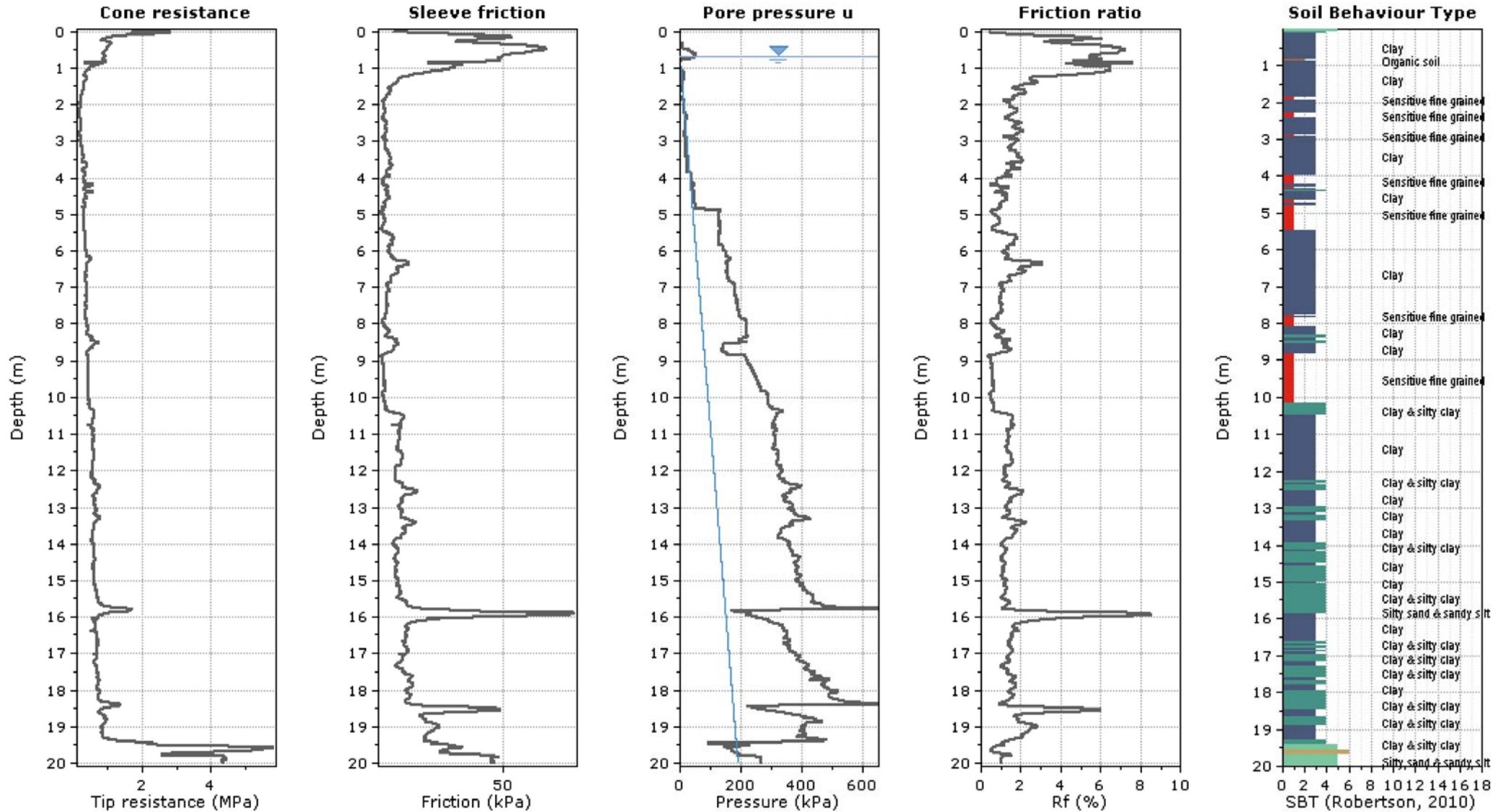
SCALA 1:25.000

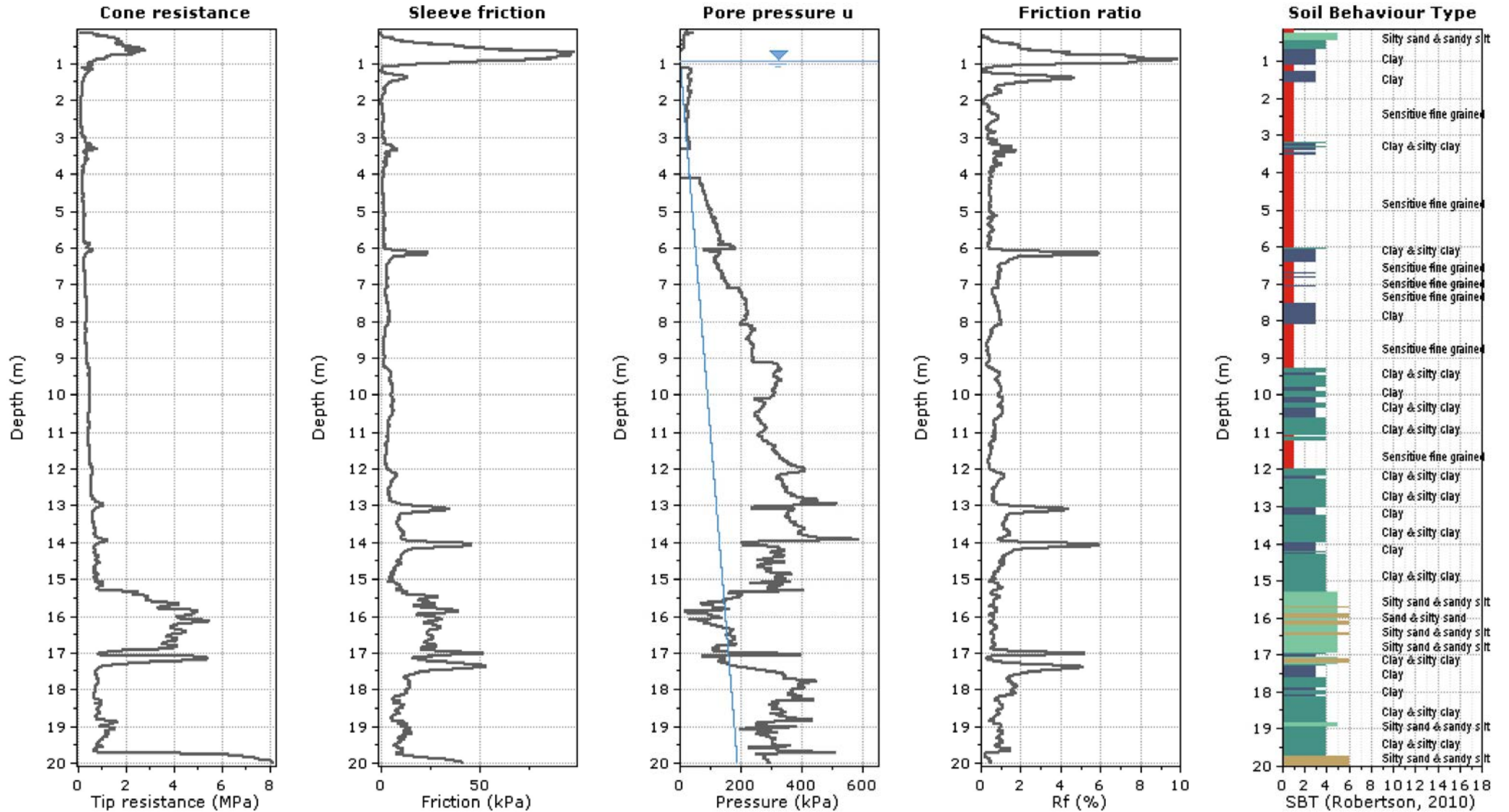
Allegato 2

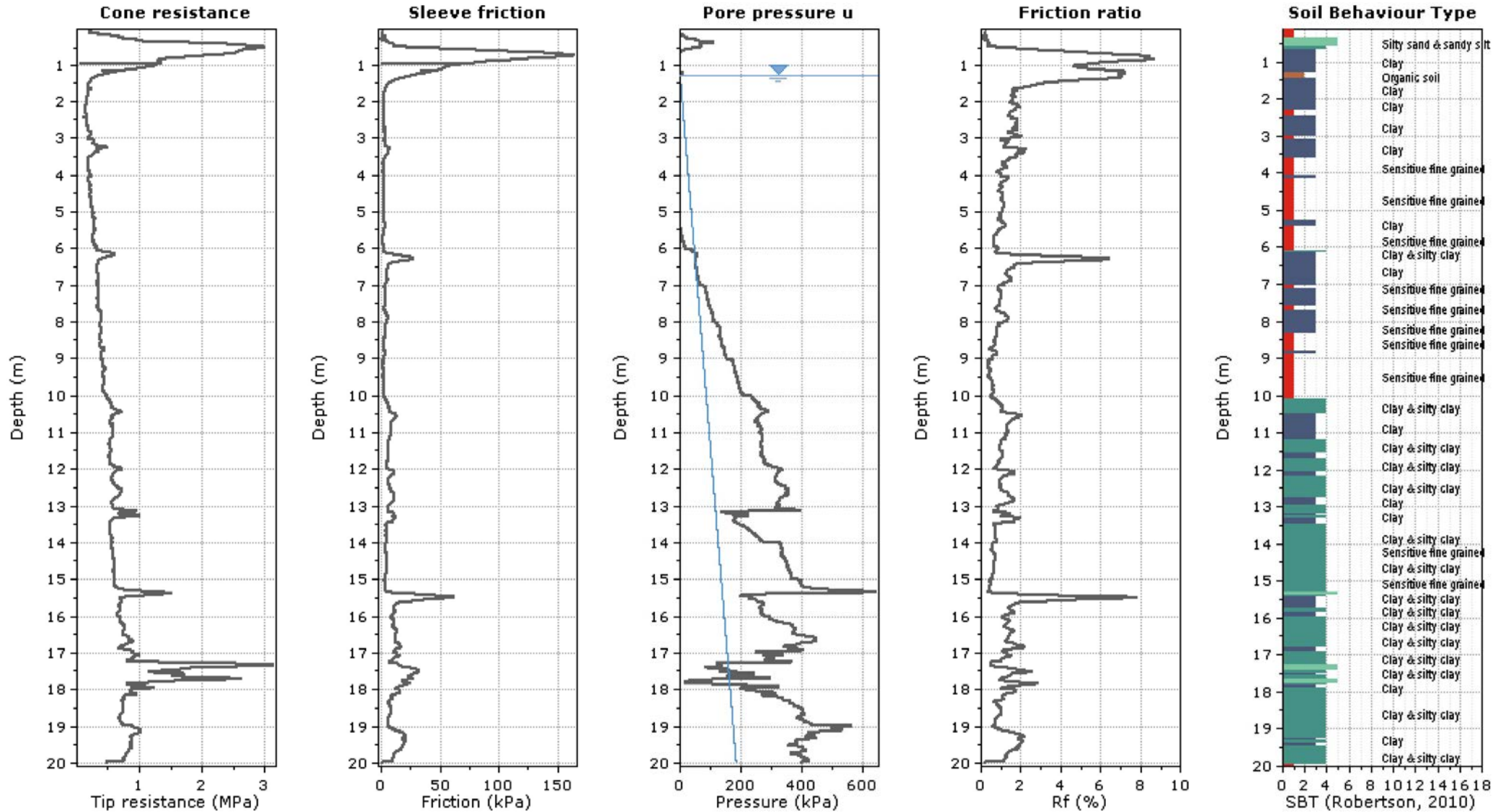
Grafici prove penetrometriche e verifica a liquefazione

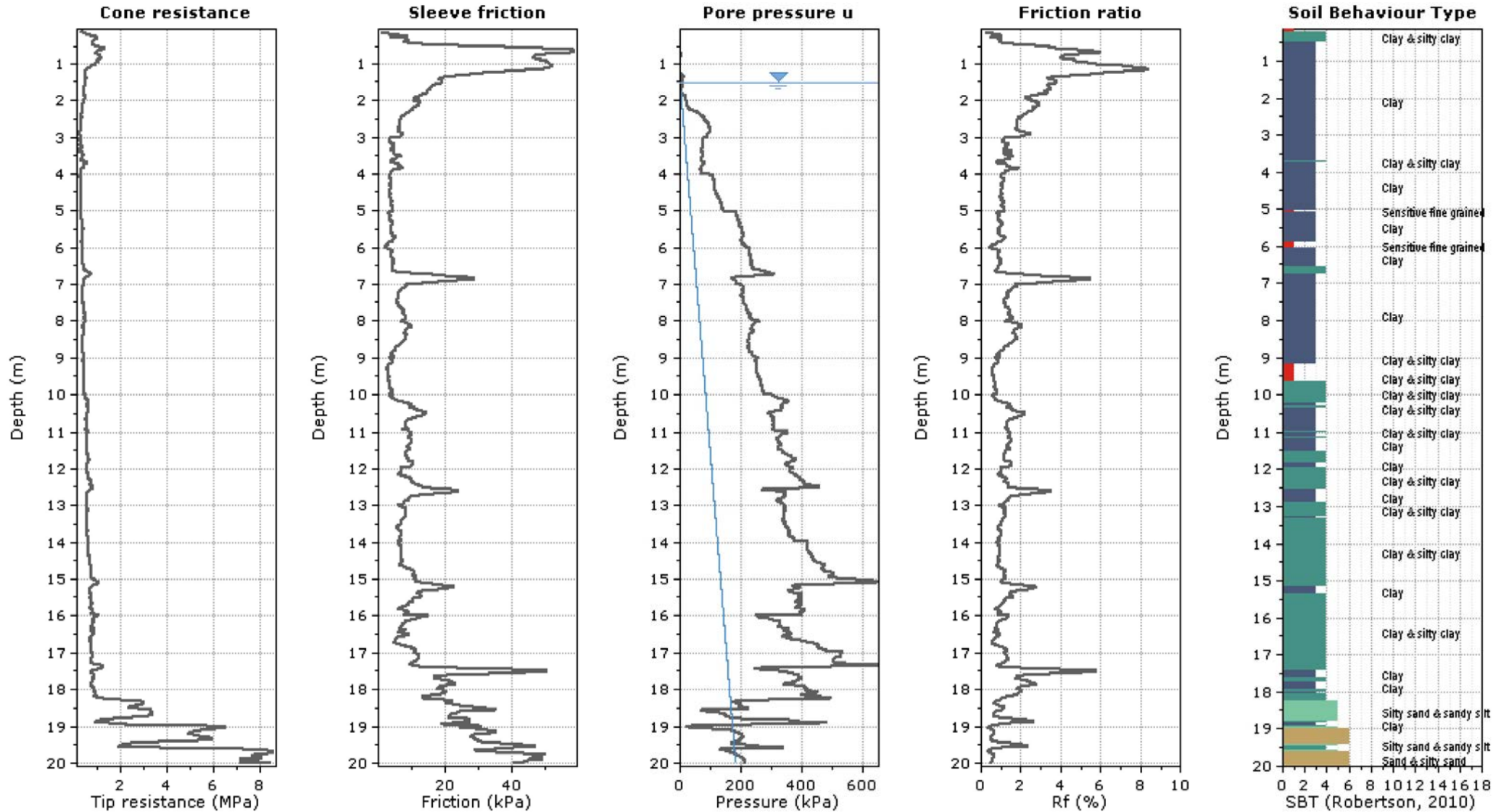


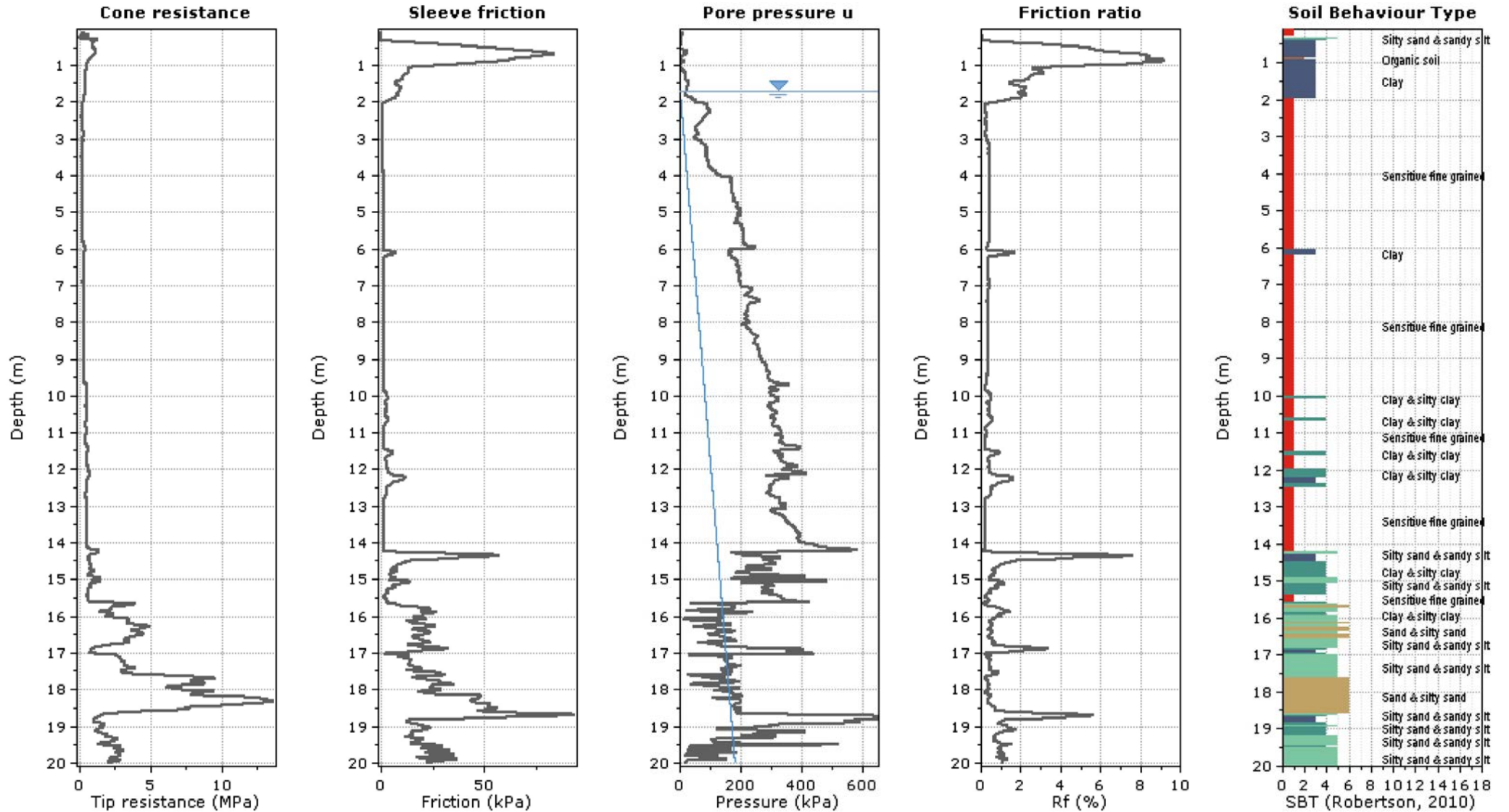


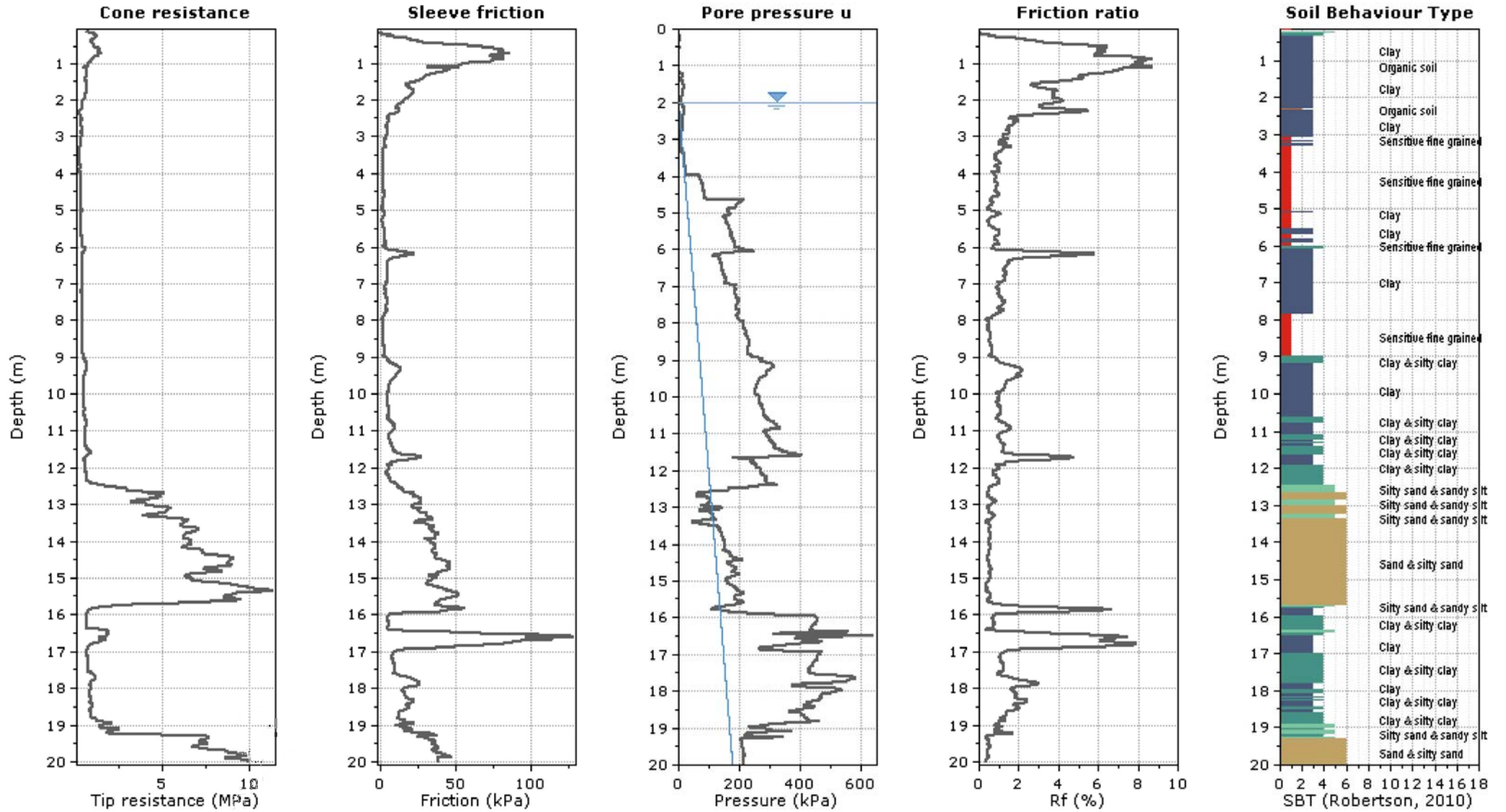


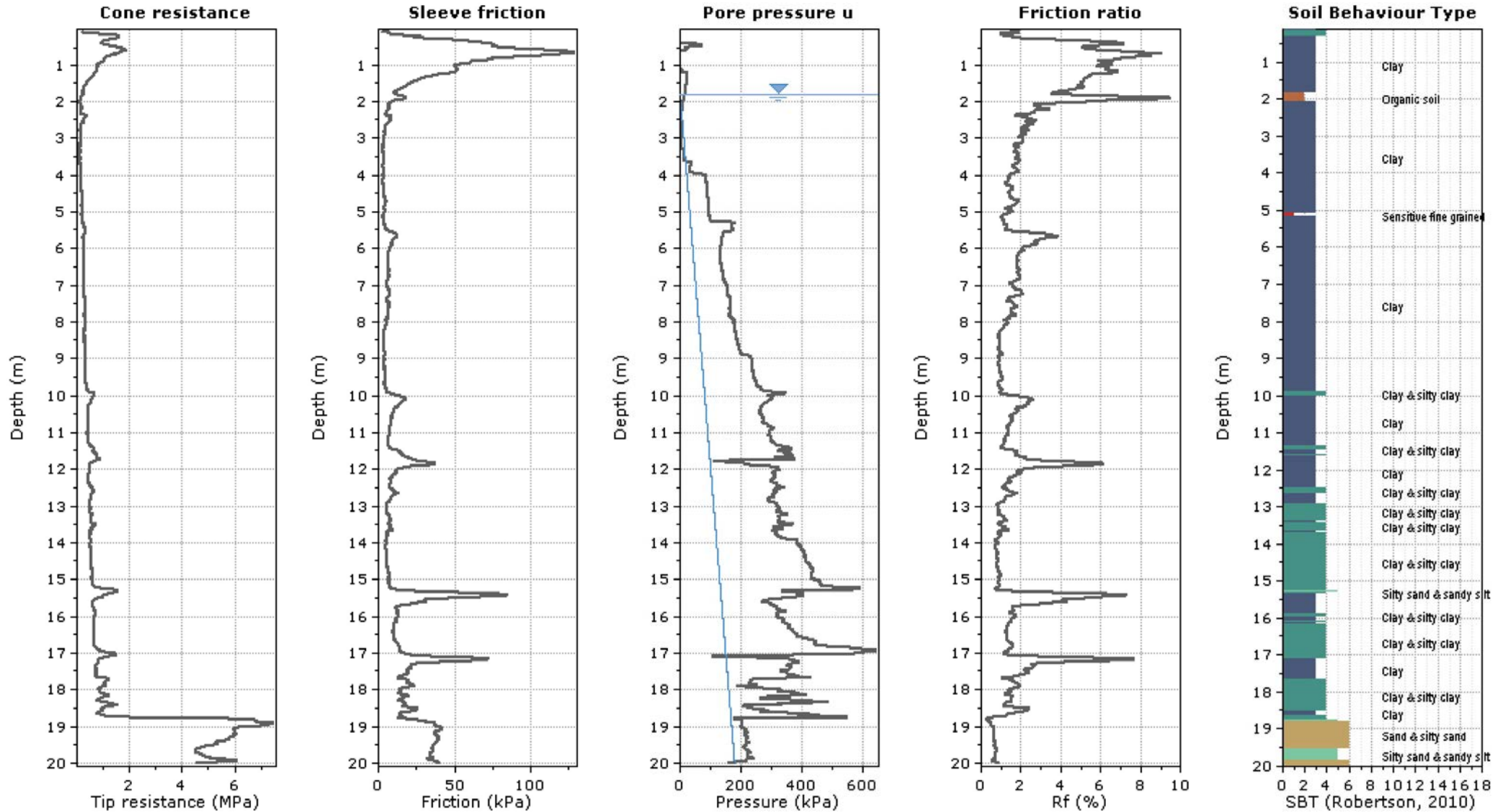


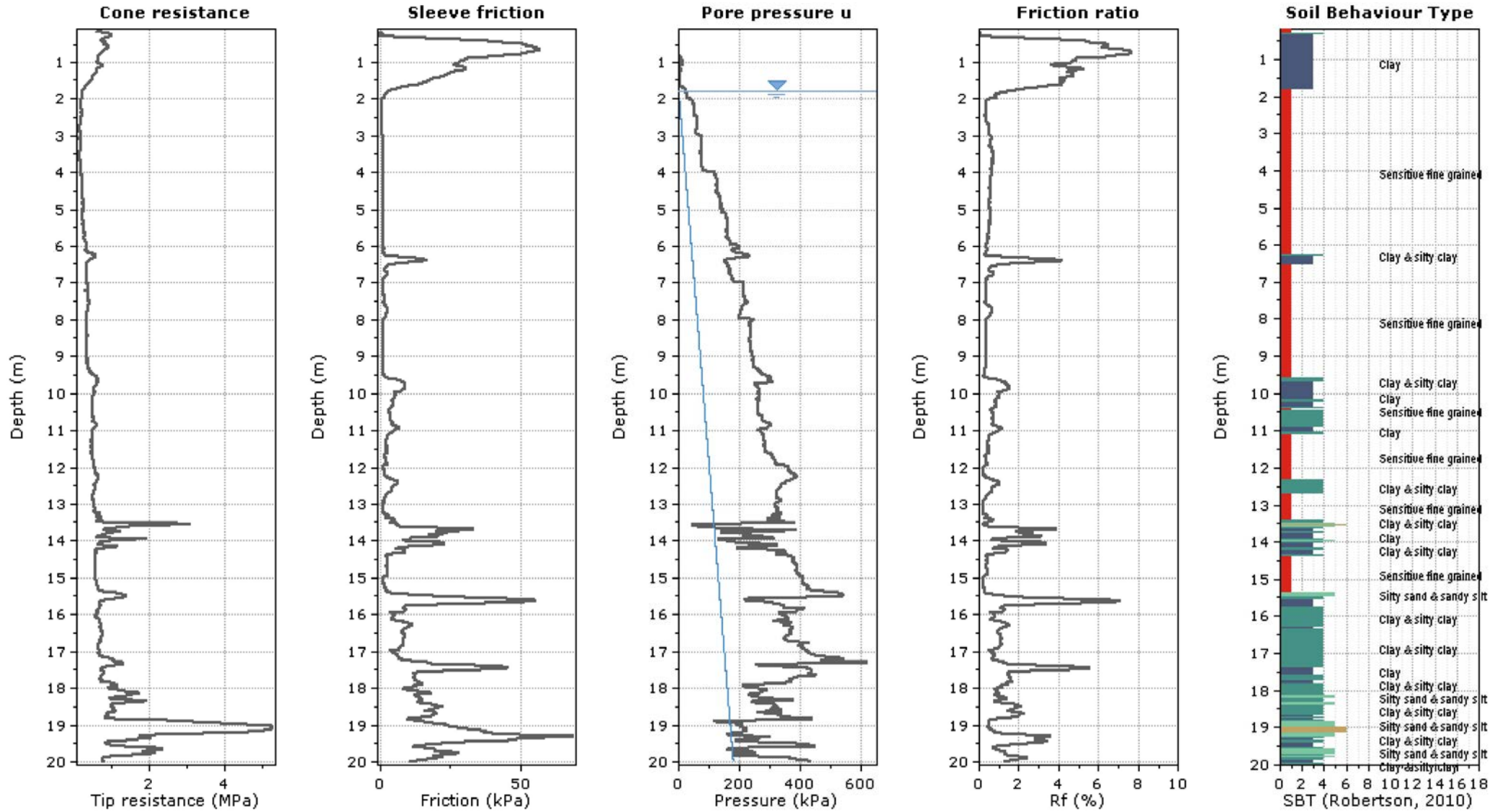












LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

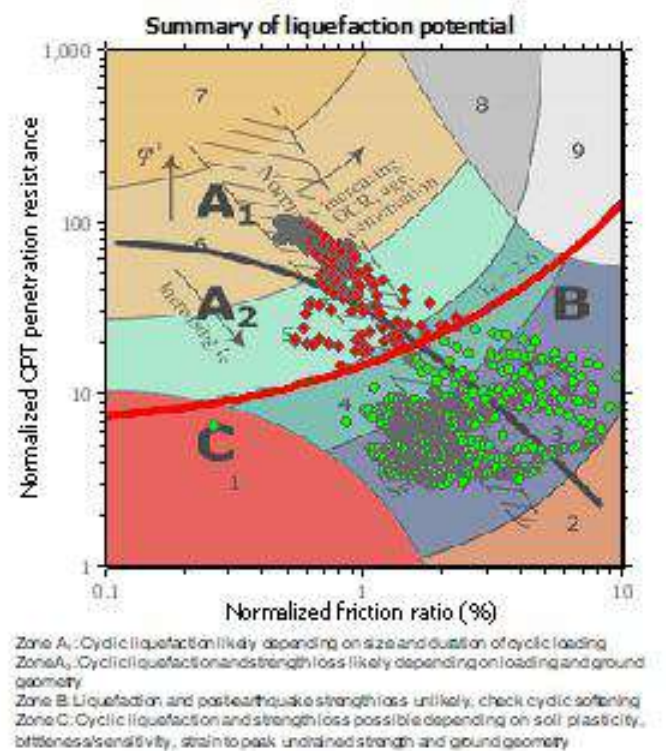
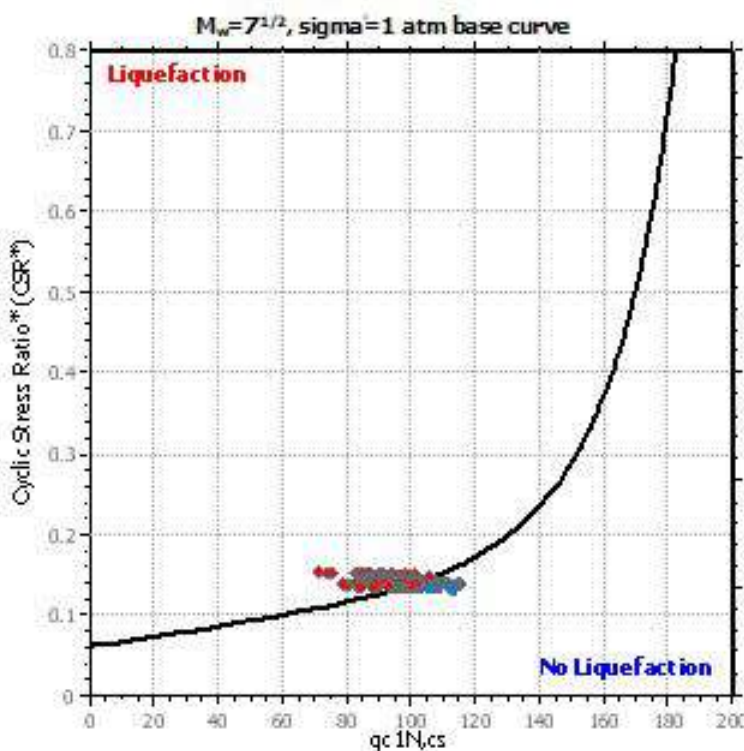
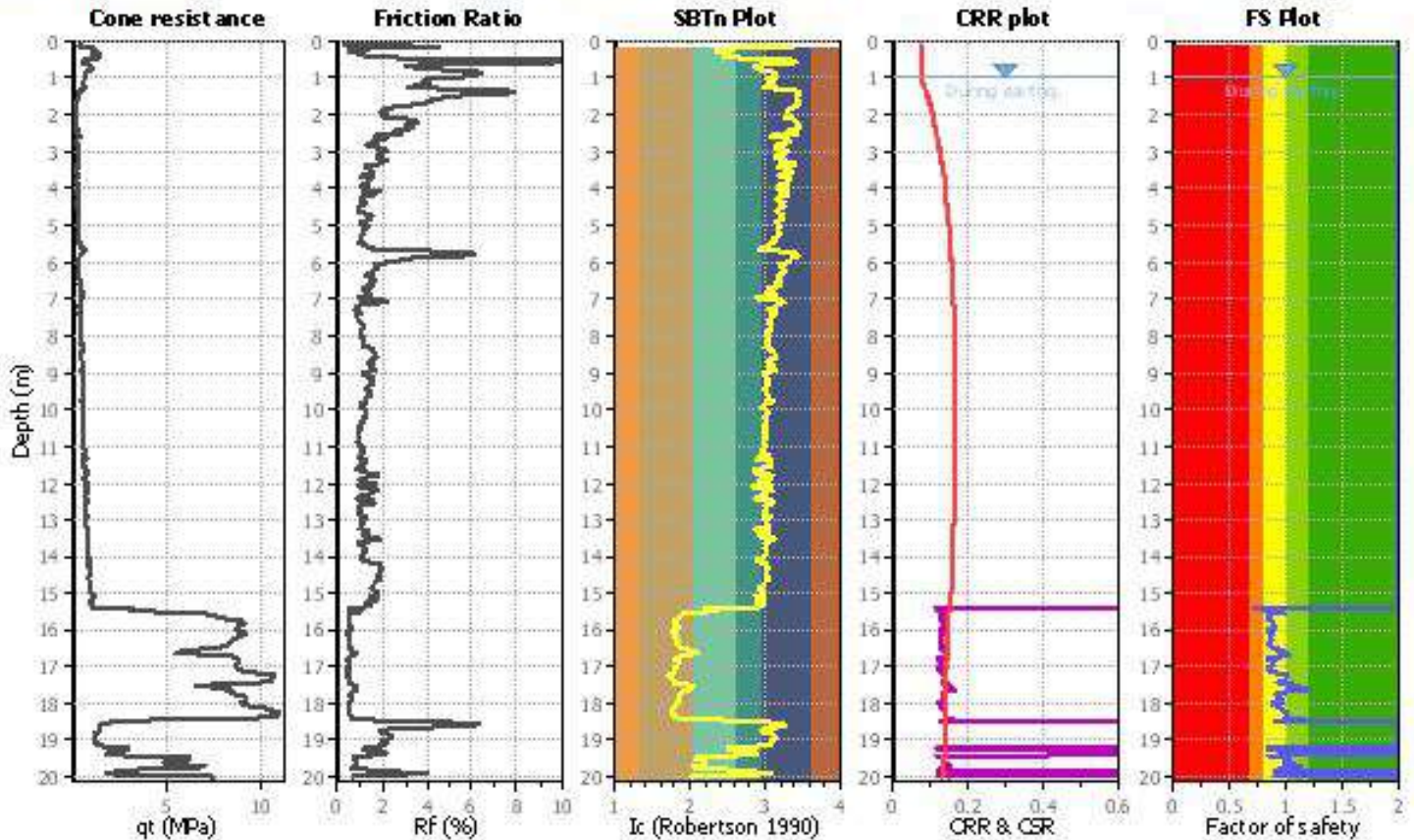
Project title :

Location :

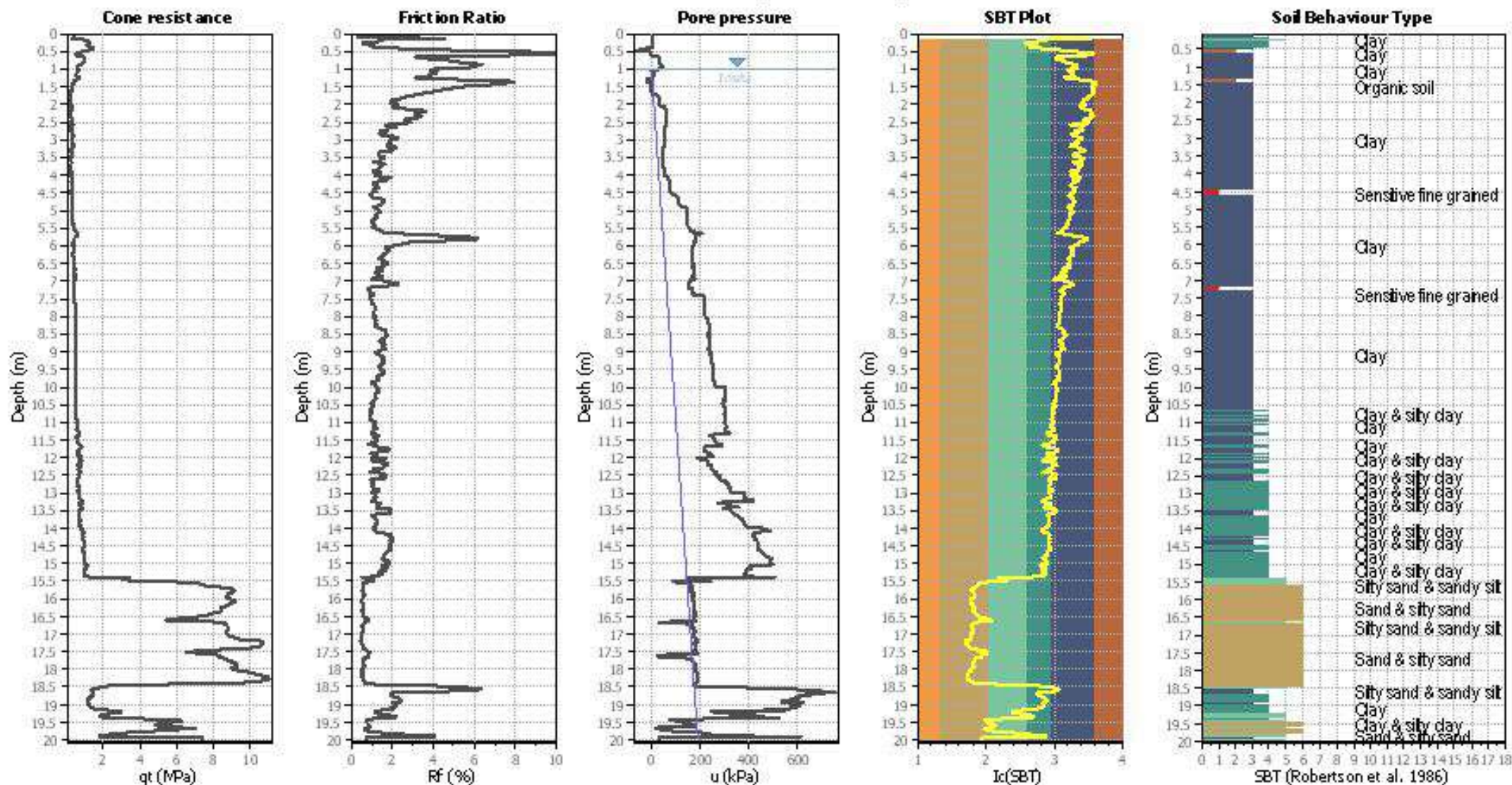
CPT file: CPTU1

Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	1.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth:	N/A
Earthquake magnitude M_w :	6.80	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.13	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_u applied:	Yes	MSF method:	Method



CPT basic interpretation plots



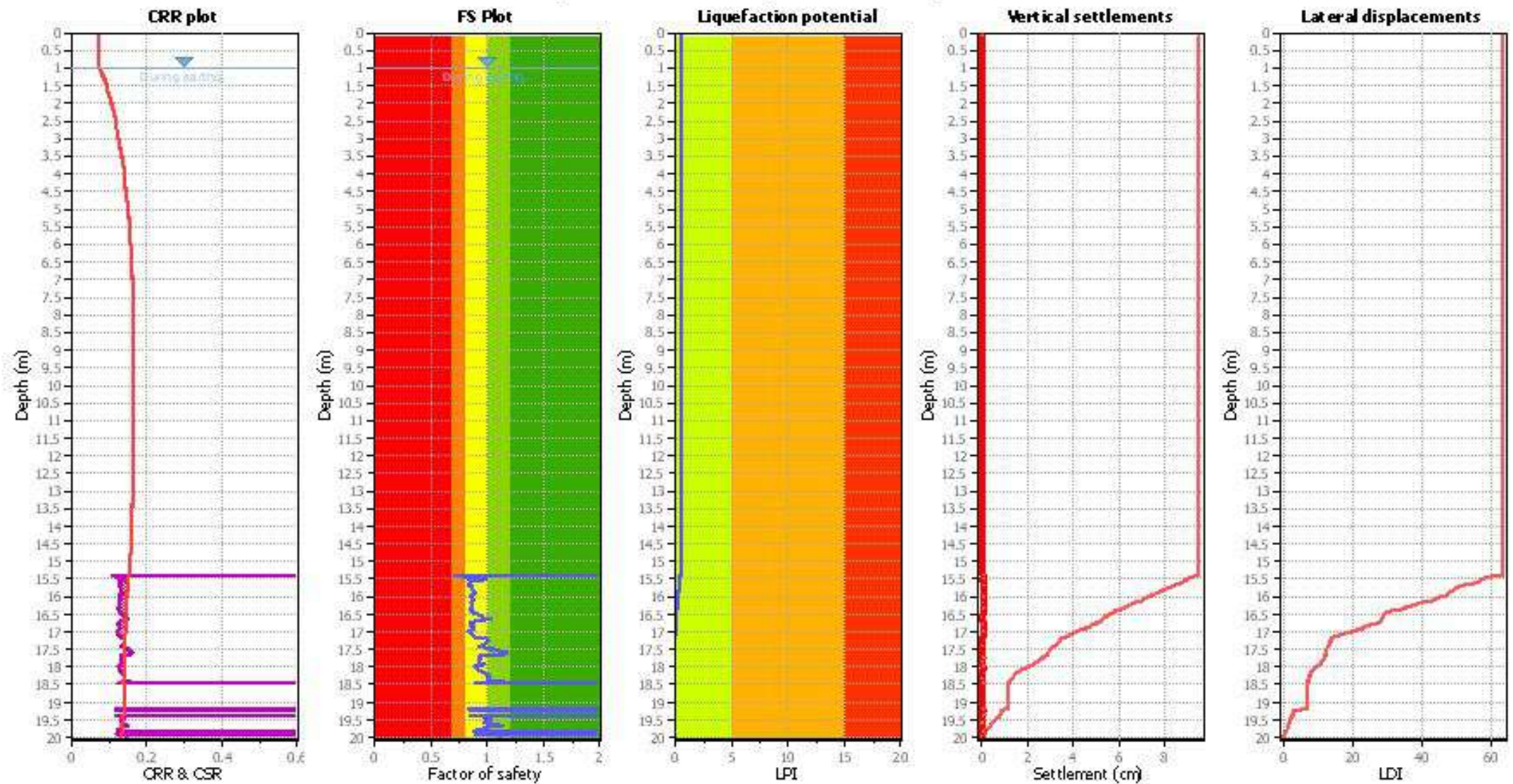
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (ethq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on I_c value	I_c cut-off value:	2.60	K_p applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.80	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.13	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBT legend

1. Sensitive fine grained	4. Clayey silt to silty	7. Gently 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

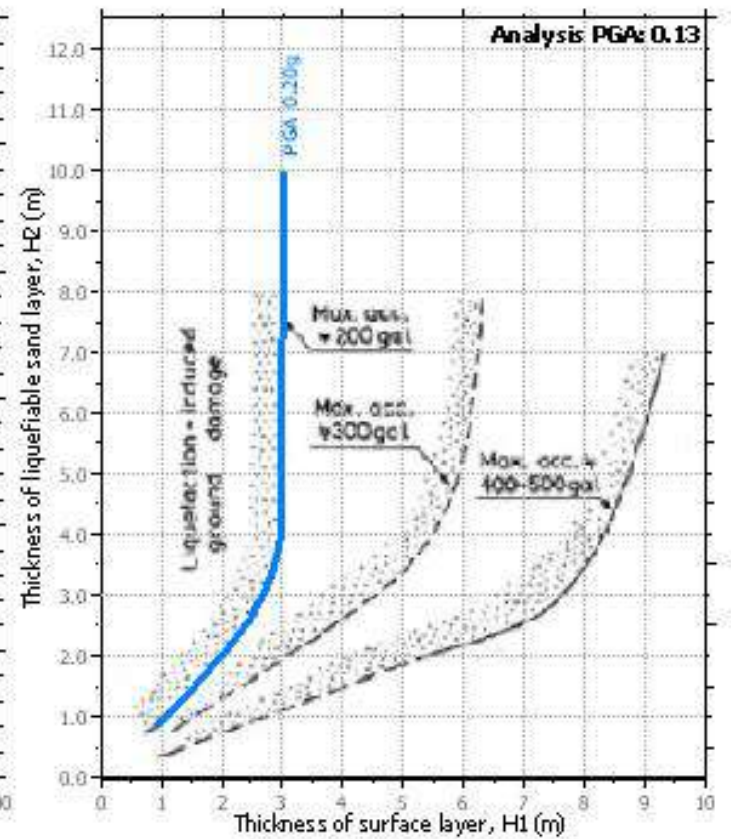
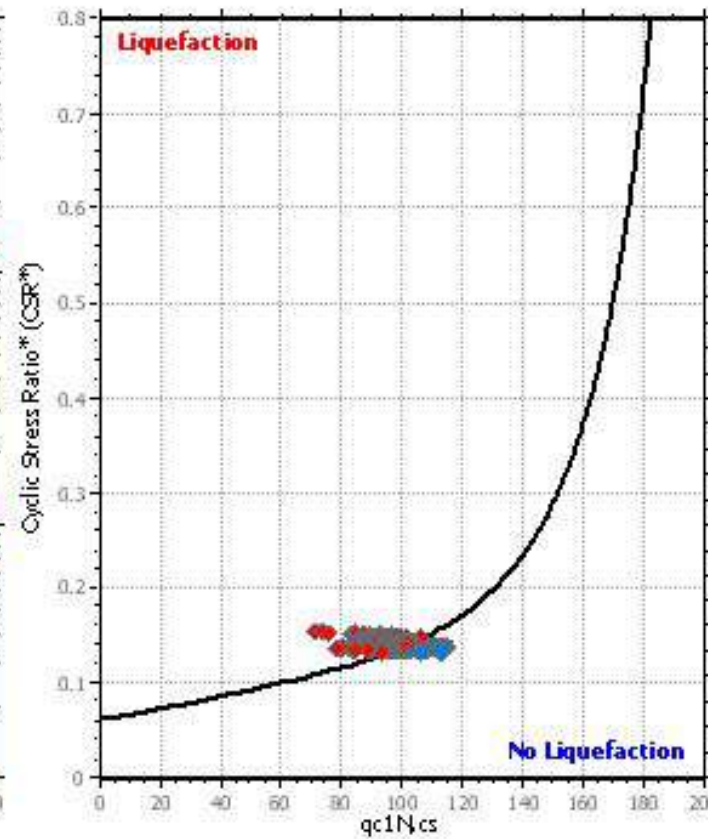
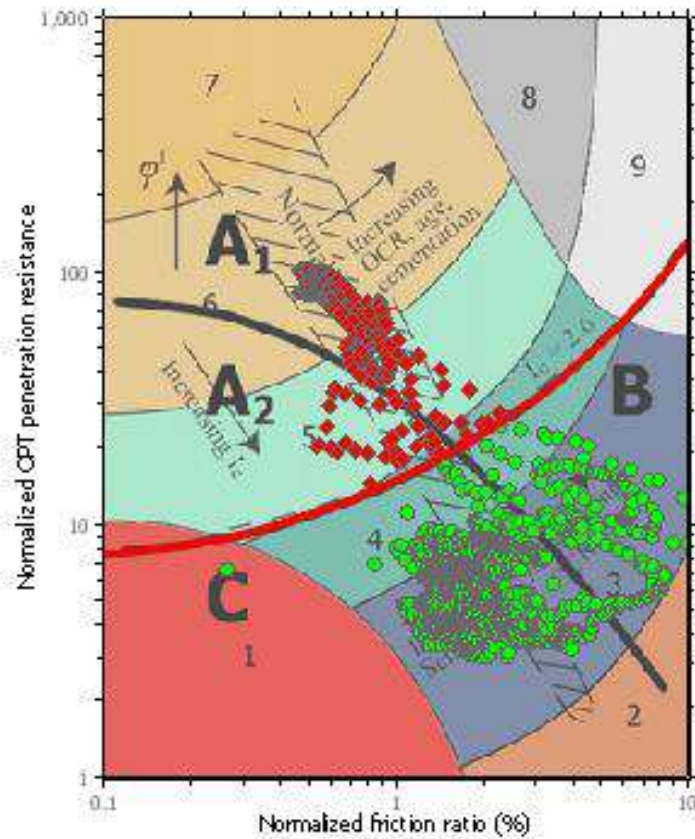
Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (esthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A	F.S. color scheme	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No		
Points to test:	Based on I _c value	I _c cut-off value:	2.60	K ₀ applied:	Yes		
Earthquake magnitude M _w :	6.80	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only		
Peak ground acceleration:	0.13	Use fill:	No	Limit depth applied:	No		
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A		

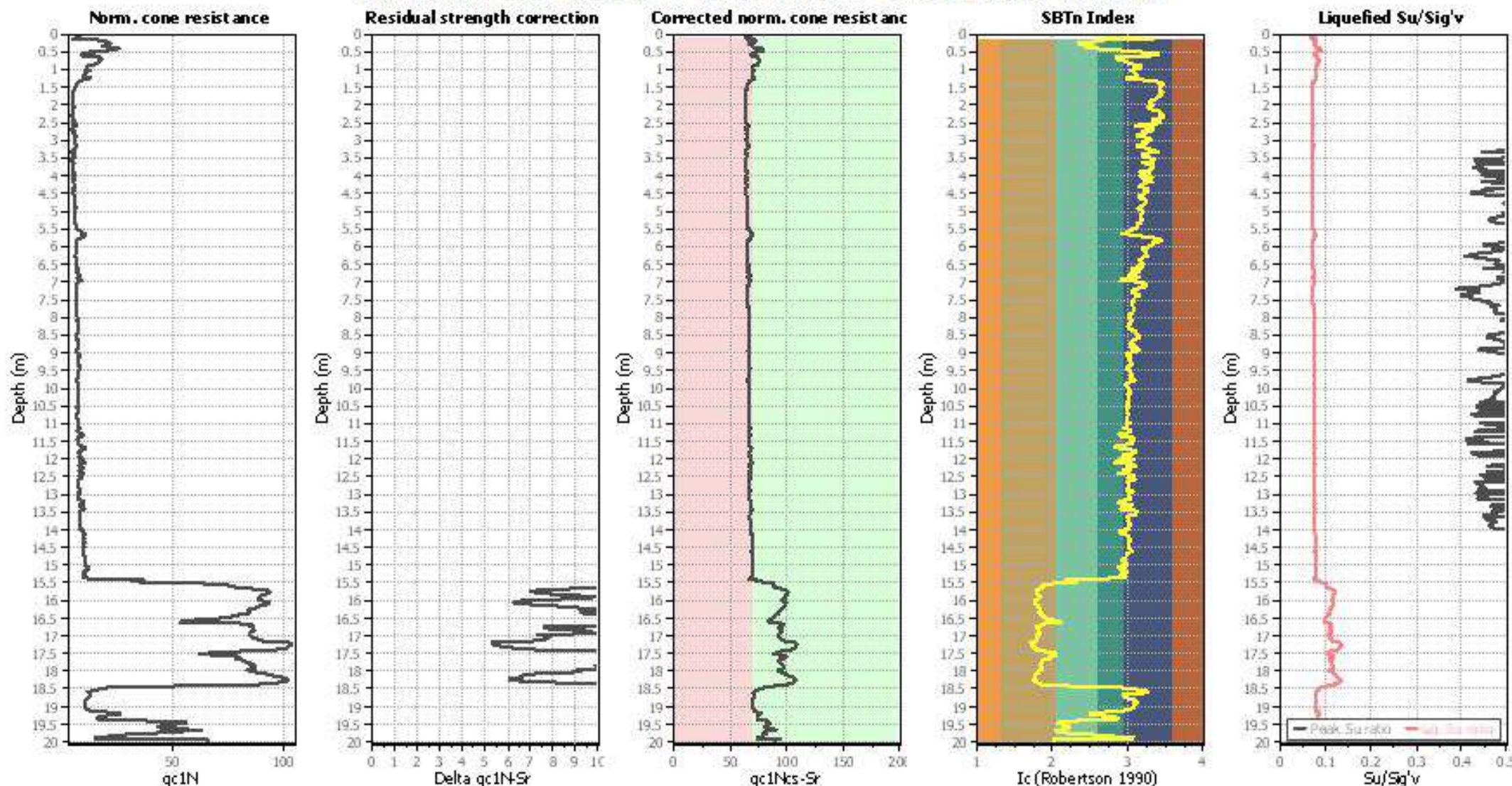
Liquefaction analysis summary plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (esthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K ₀ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.80	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.13	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (instu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

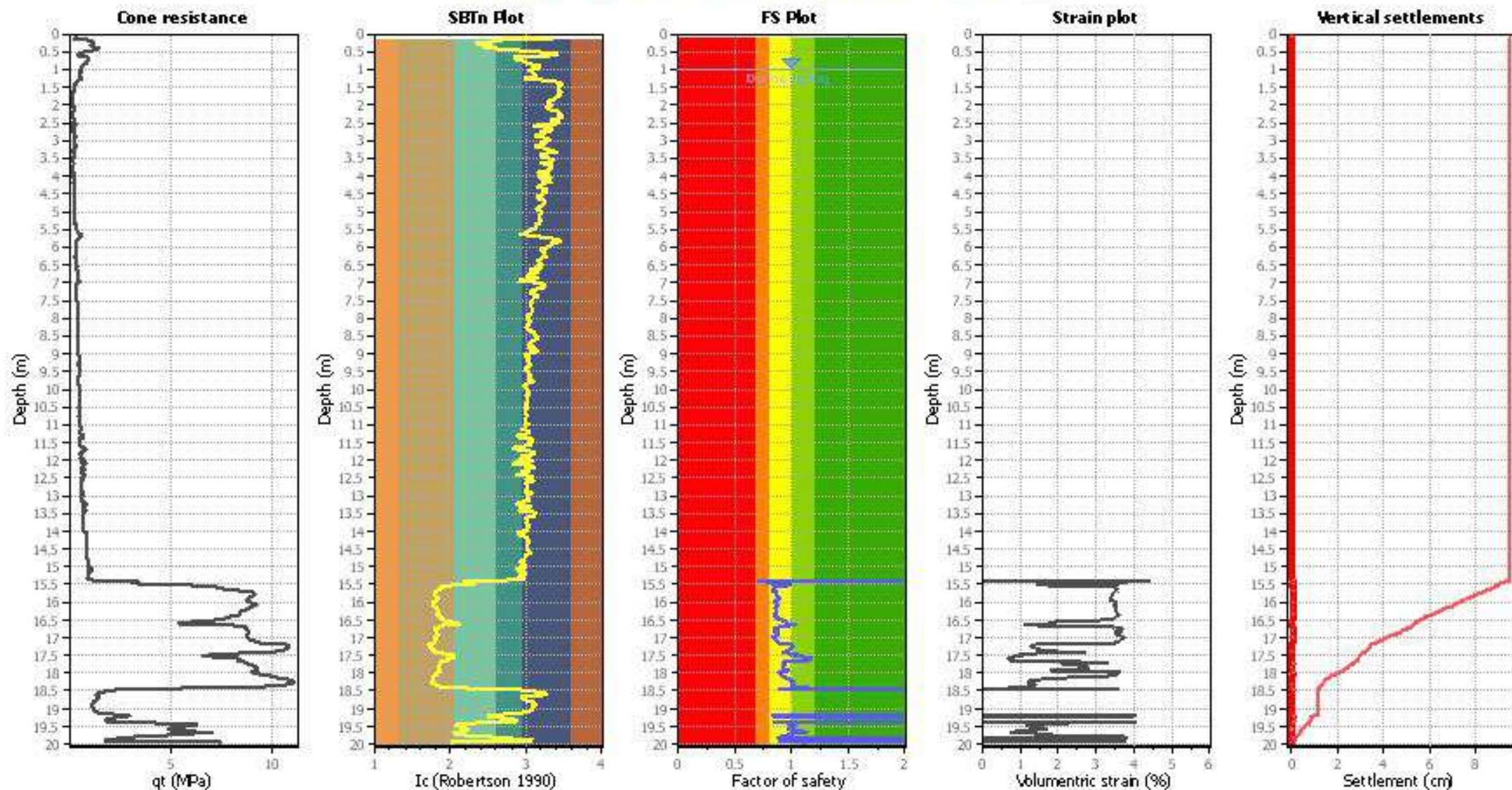
Check for strength loss plots (Idriss & Boulanger (2008))



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (ethq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _s applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.00	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.13	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (in situ):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

Estimation of post-earthquake settlements



Abbreviations

- q_t : Total cone resistance (cone resistance q_c corrected for pore water effects)
- I_c : Soil Behaviour Type Index
- FS: Calculated Factor of Safety against liquefaction
- Volumetric strain: Post-liquefaction volumetric strain

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

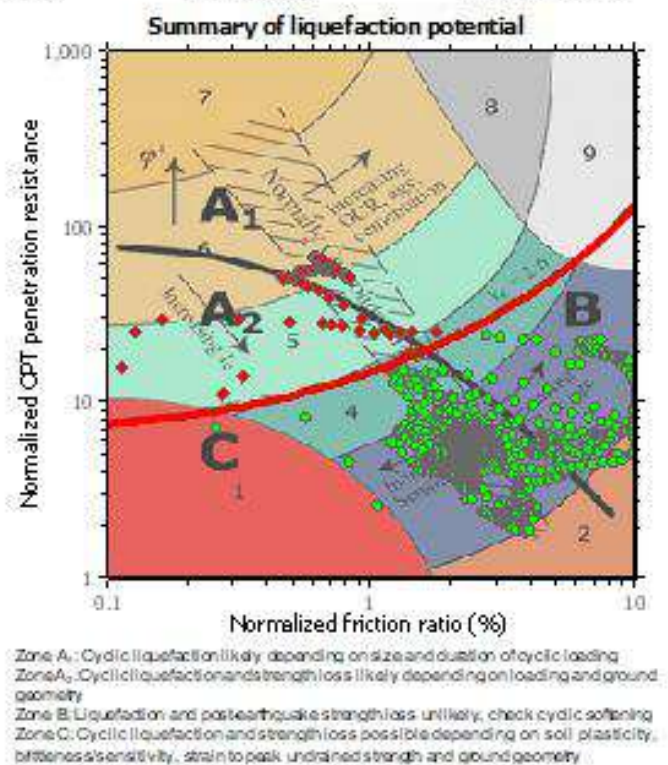
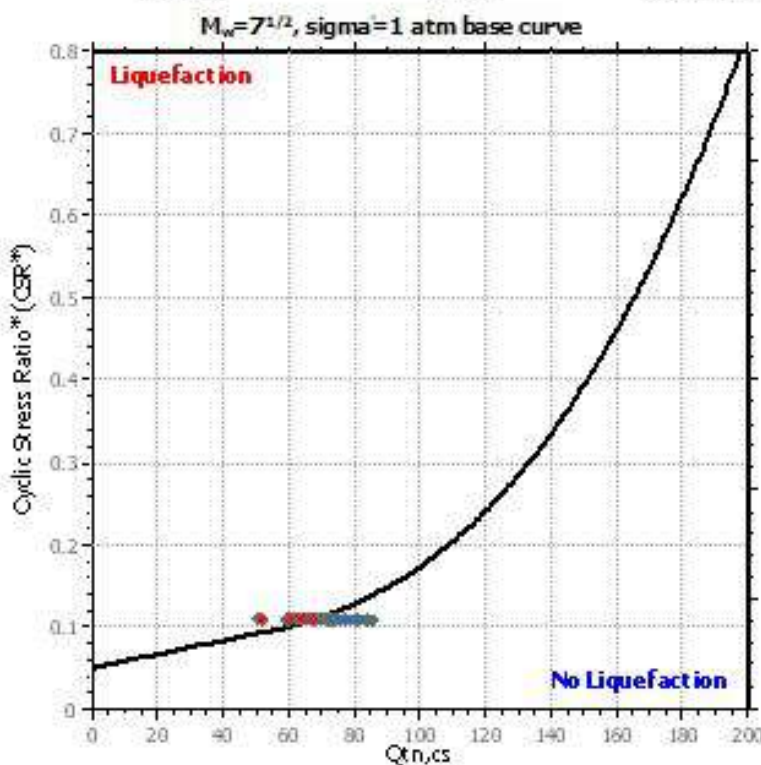
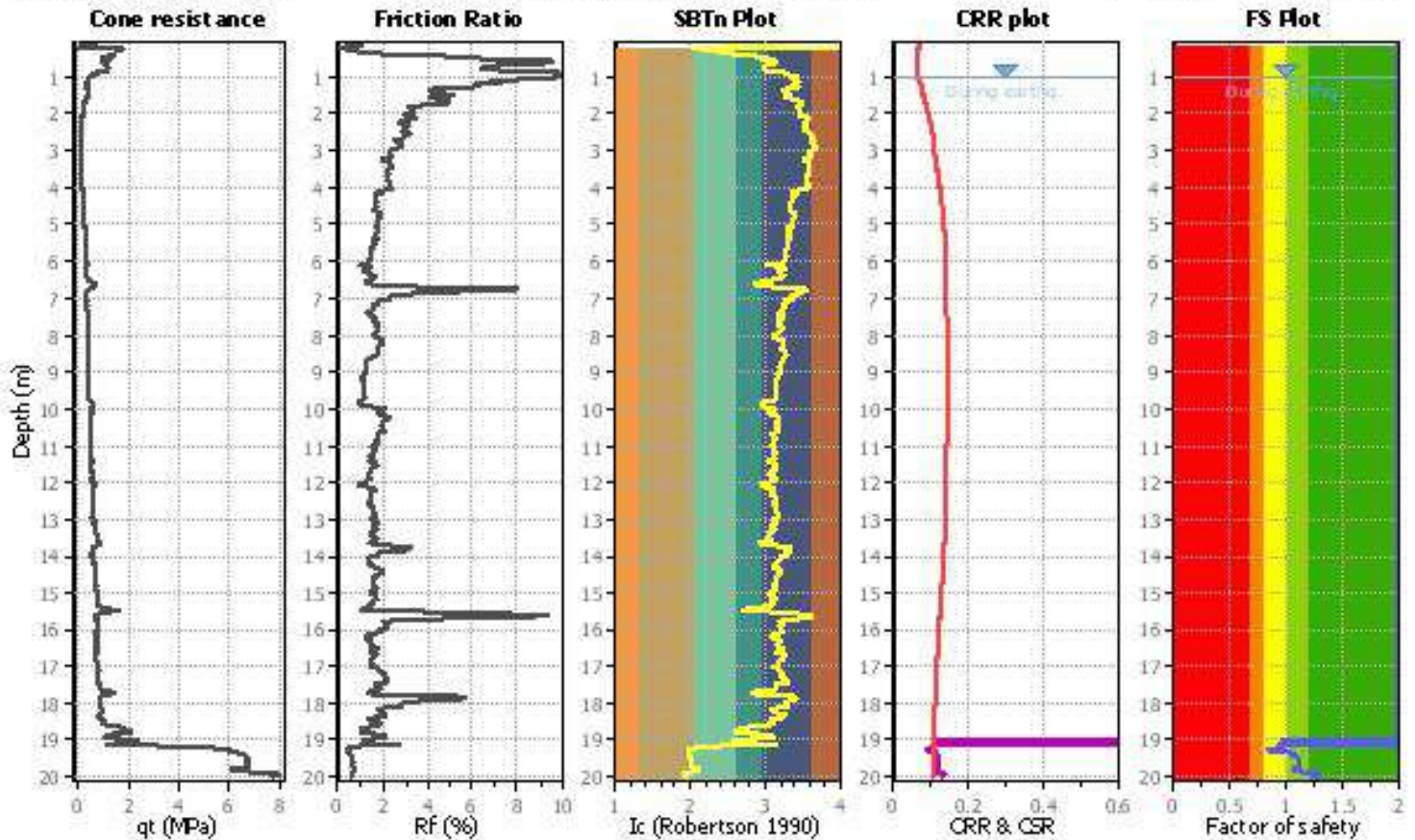
Project title :

Location :

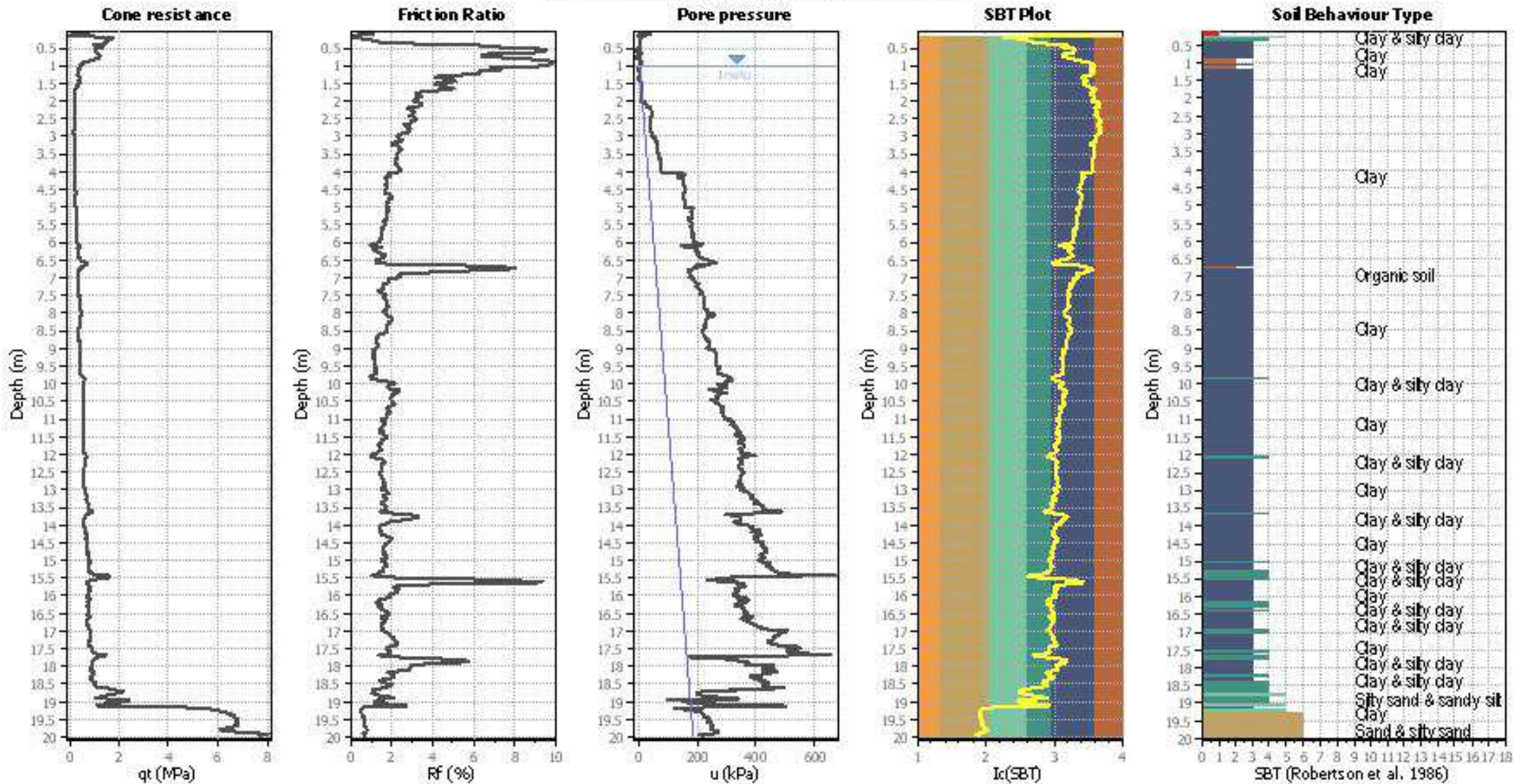
CPT file: CPTU2

Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	1.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth:	N/A
Earthquake magnitude M_w :	6.80	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	MSF method:	Method based
Peak ground acceleration:	0.13	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_s applied:	Yes		



CPT basic interpretation plots



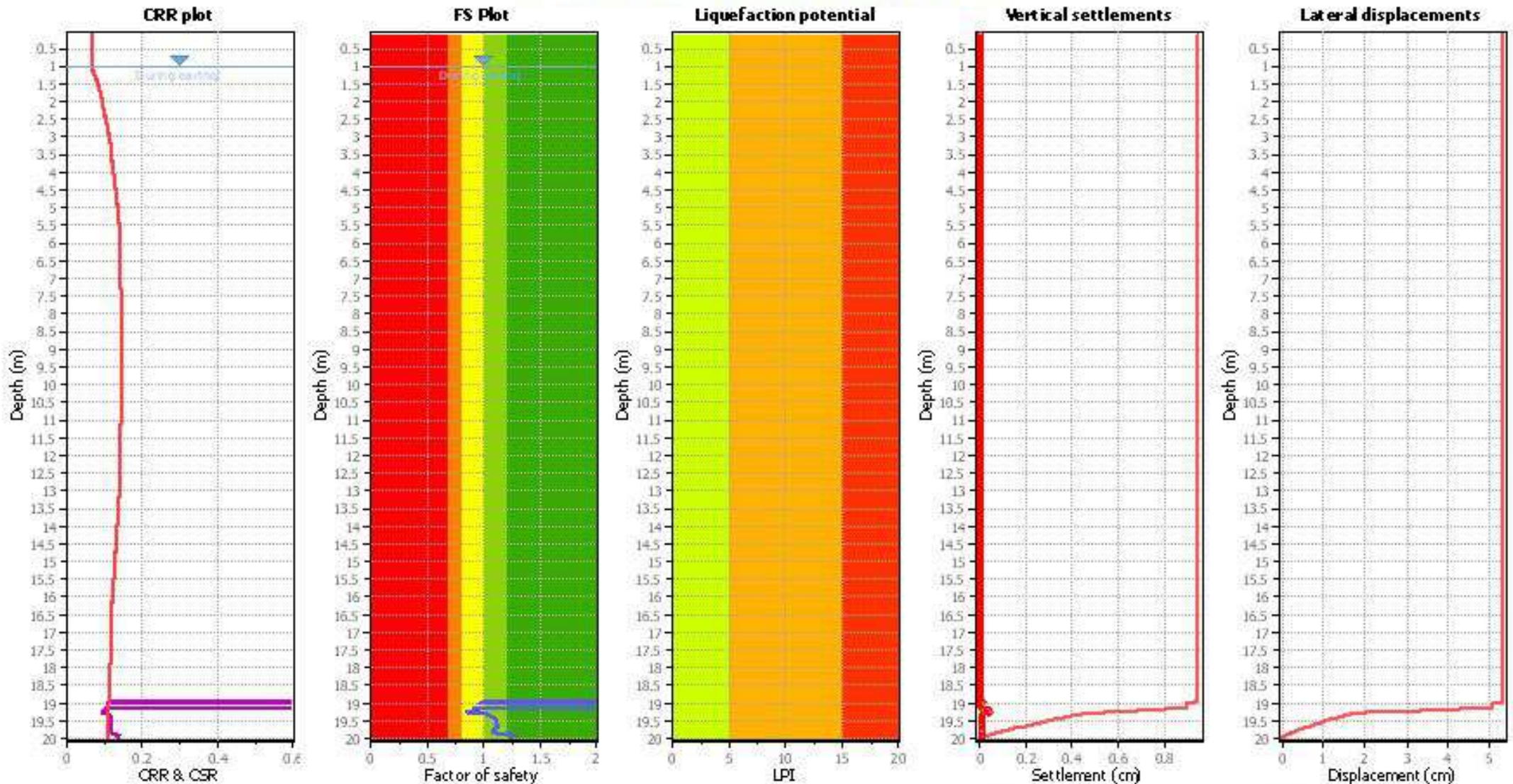
Input parameters and analysis data

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
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K ₀ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.80	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.13	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBT legend

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

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (earth):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on I _c value	I _c cut-off value:	2.60	K _u applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.80	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.13	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

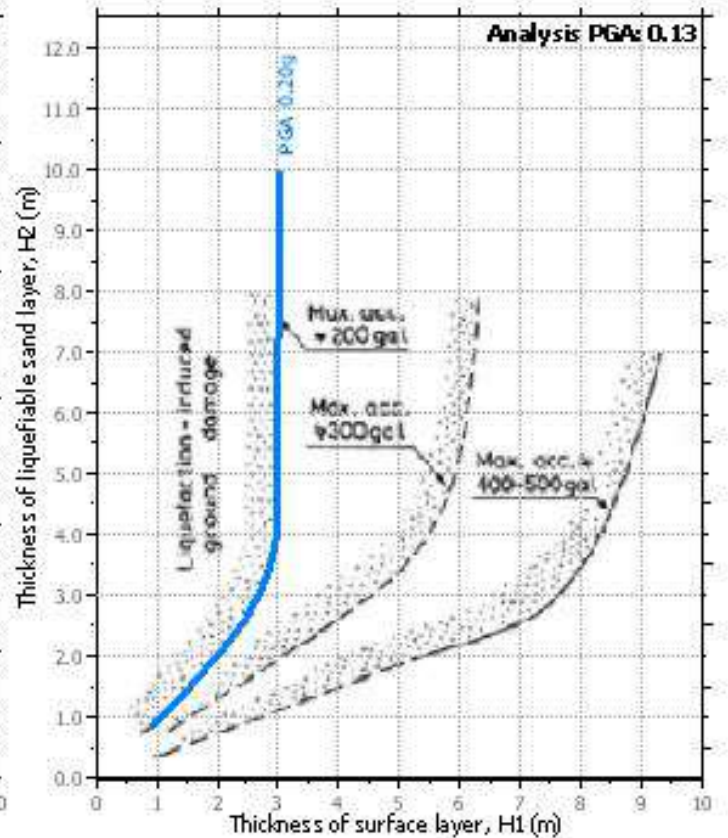
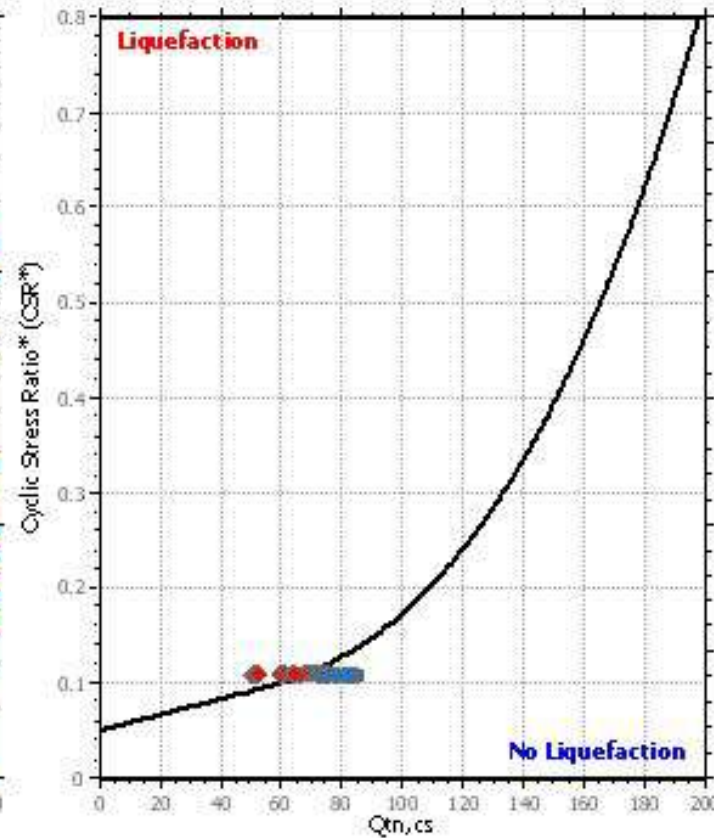
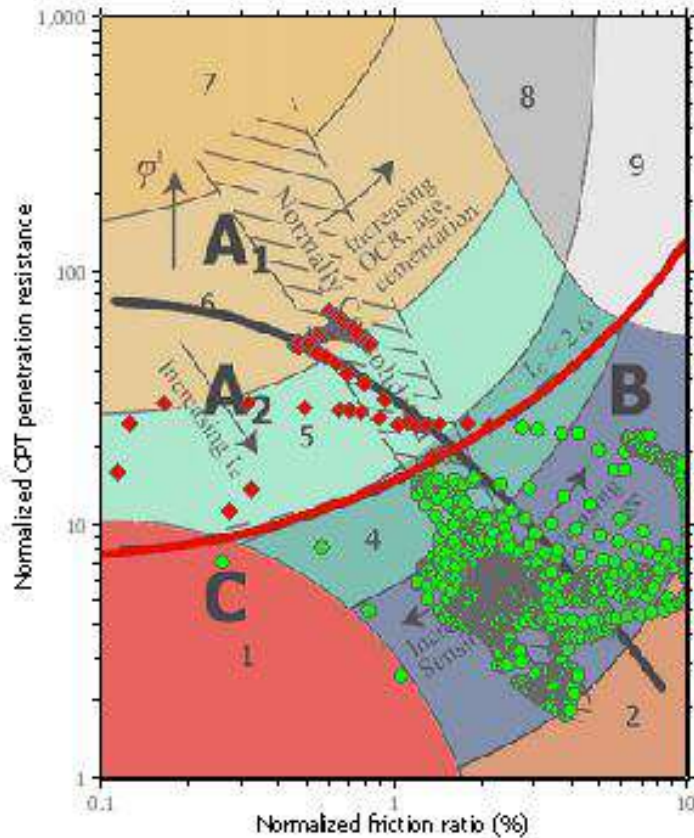
F.S. color scheme

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

LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

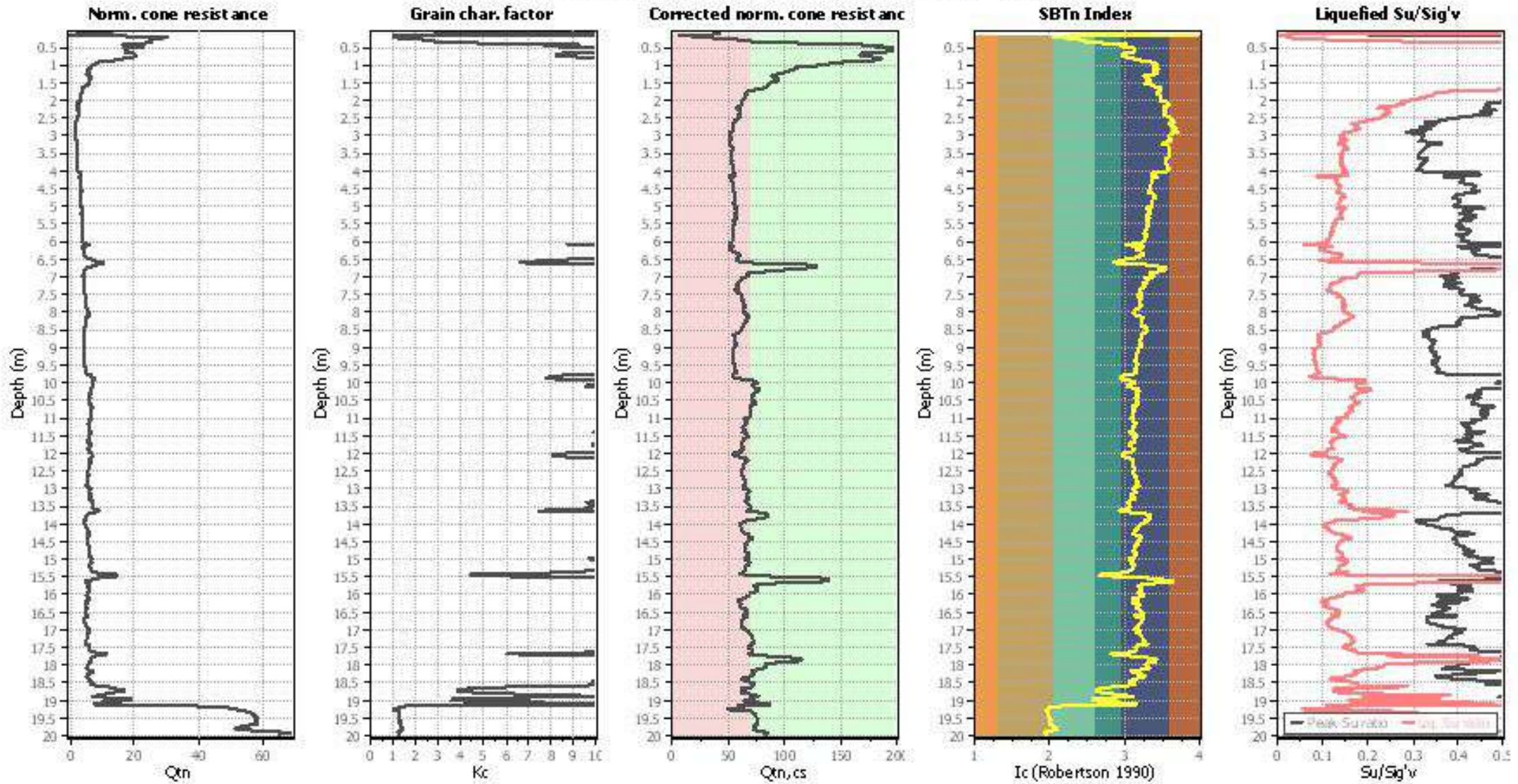
Liquefaction analysis summary plots



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:	No
Points to test:	Based on I_c value	I_c cut-off value:	2.60	K_0 applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.80	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.13	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (instu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

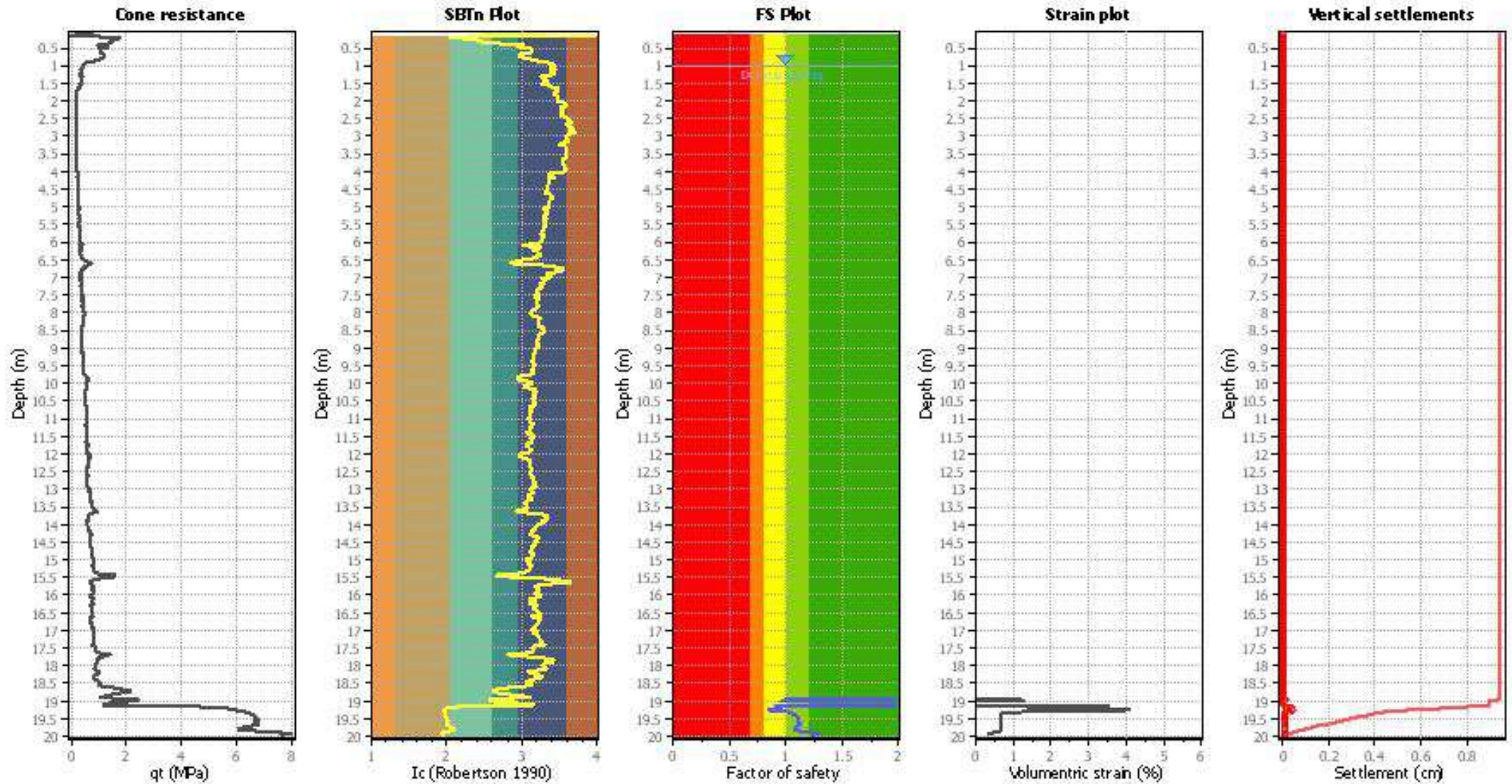
Check for strength loss plots (Robertson (2010))



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:	No
Points to test:	Based on I_c value	I_c cut-off value:	2.60	K_s applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.80	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.13	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

Estimation of post-earthquake settlements



Abbreviations

- qt: Total cone resistance (cone resistance q_c corrected for pore water effects)
- Ic: Soil Behaviour Type Index
- FS: Calculated Factor of Safety against liquefaction
- Volumetric strain: Post-liquefaction volumetric strain

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

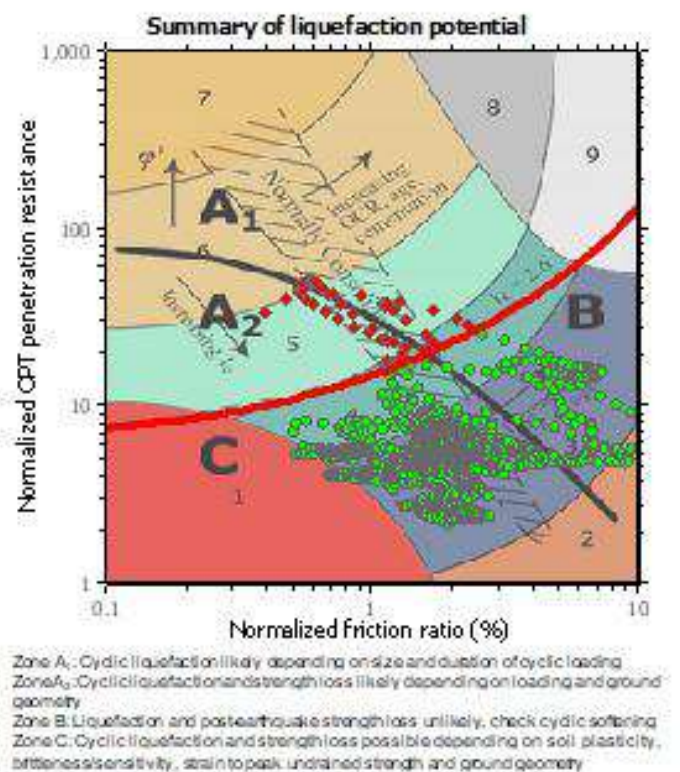
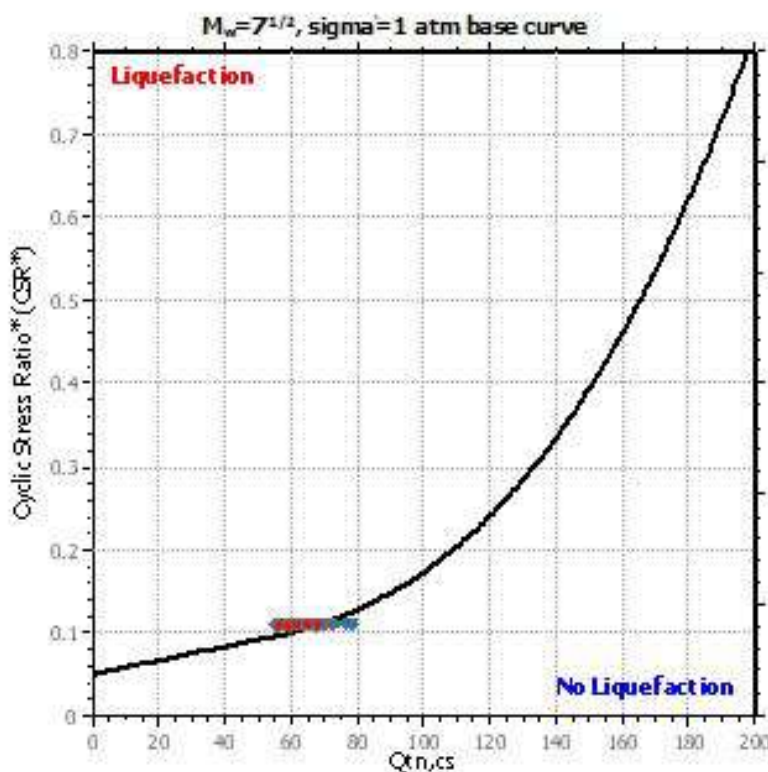
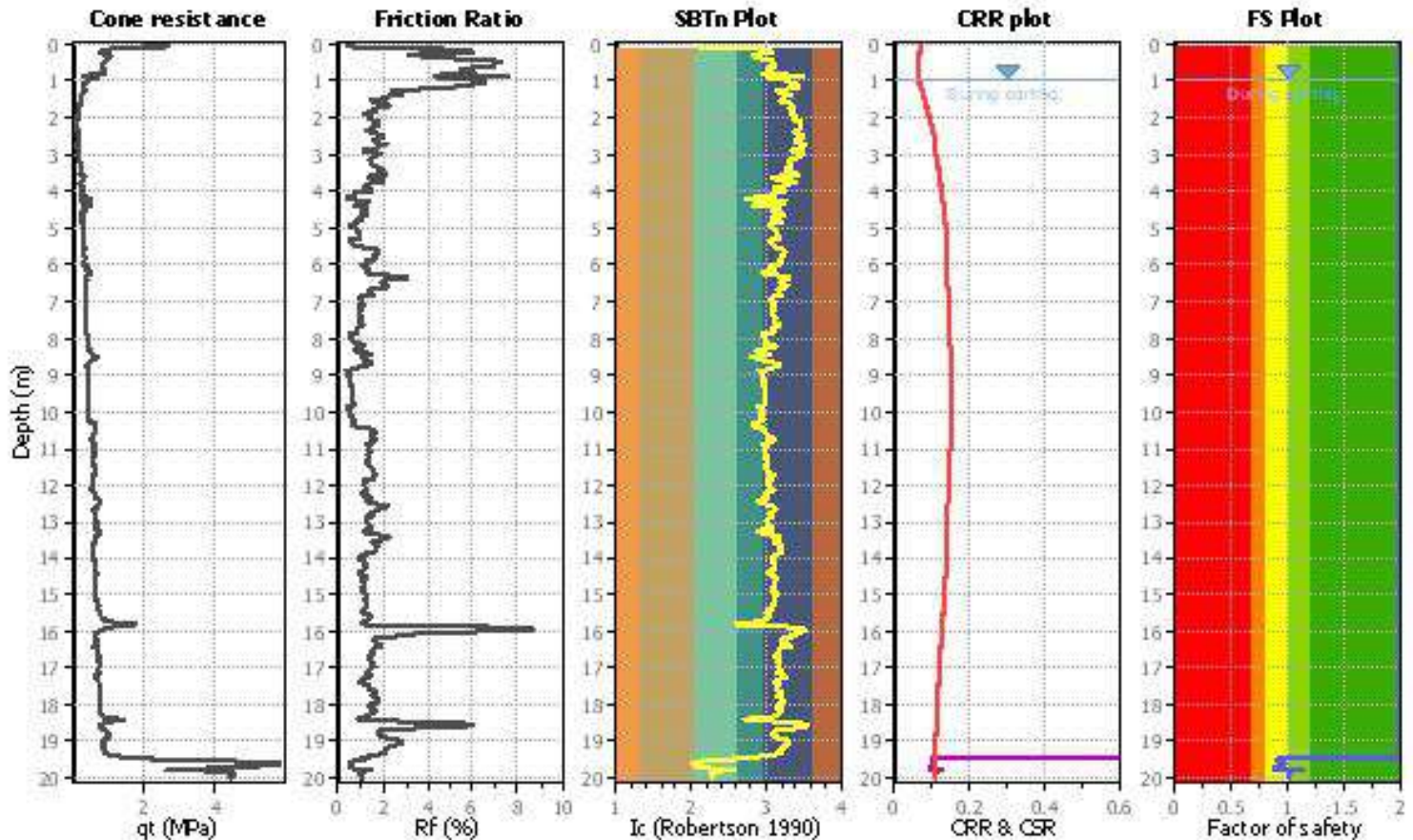
Project title :

Location :

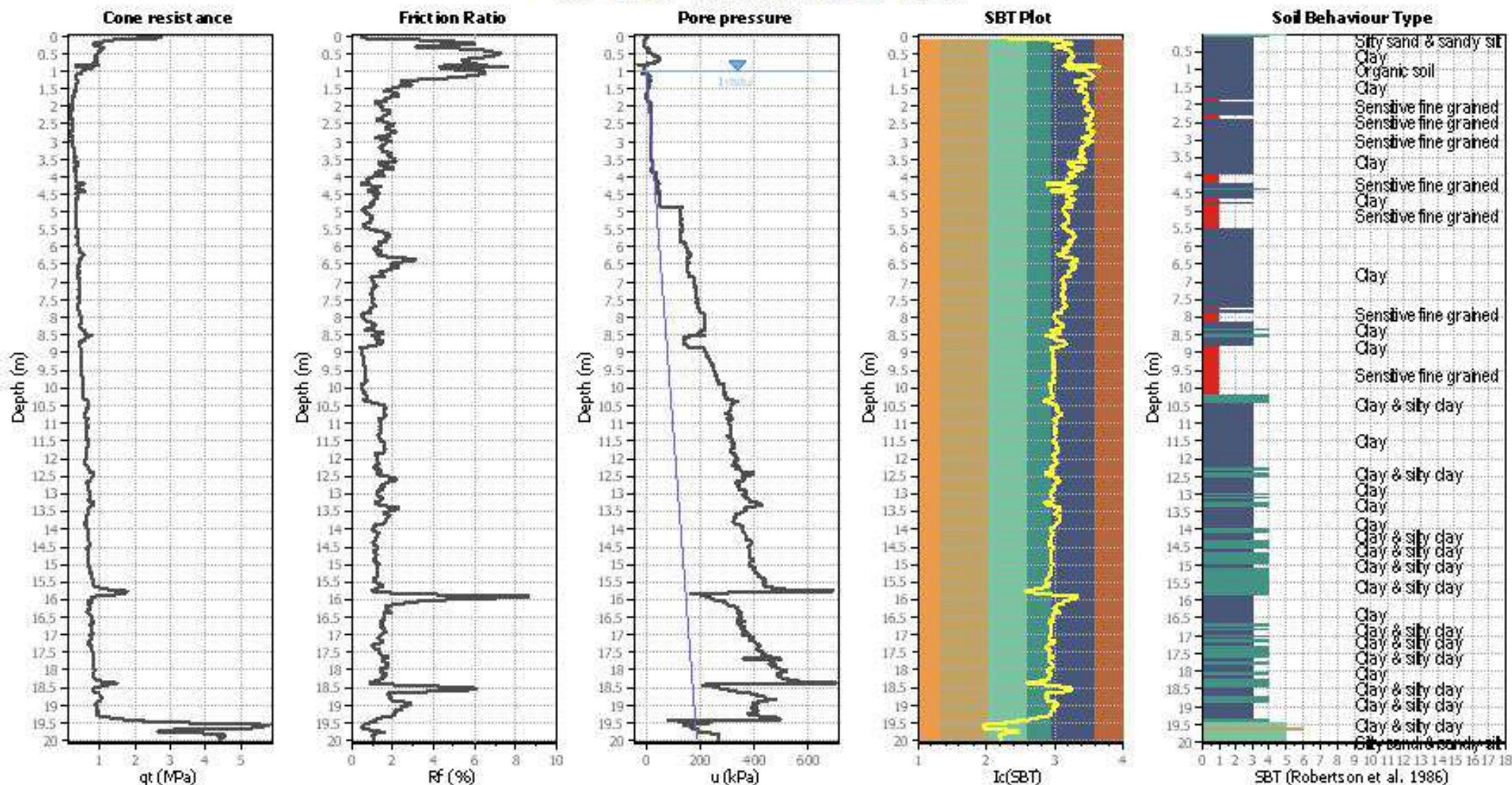
CPT file: OPTUB

Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	1.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth:	N/A
Earthquake magnitude M_w :	6.80	Ic cut-off value:	2.60	Trans. defect. applied:	No	MSF method:	Method based
Peak ground acceleration:	0.13	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_0 applied:	Yes		



CPT basic interpretation plots



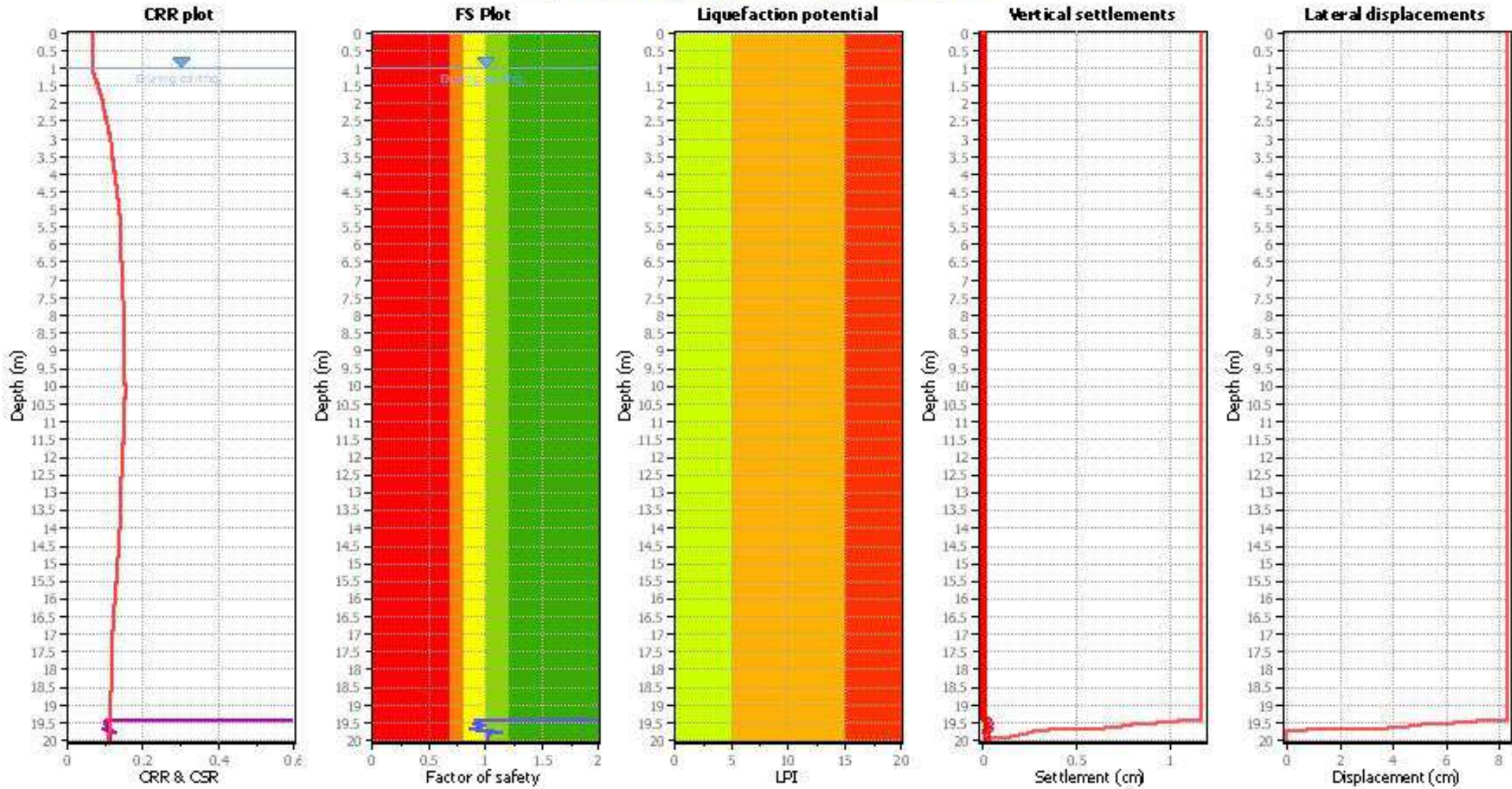
Input parameters and analysis data

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:	No
Points to test:	Based on I_c value	I_c cut-off value:	2.60	K_s applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.80	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.13	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBT legend

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

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (ertliq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on I _c value	I _c cut-off value:	2.60	K ₀ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.80	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.13	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (irsitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

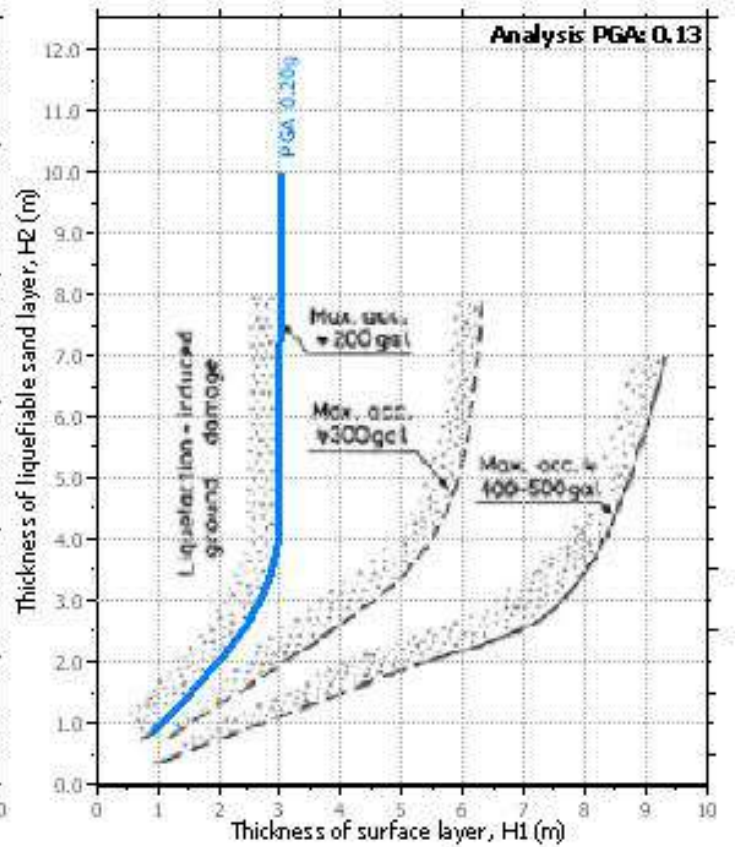
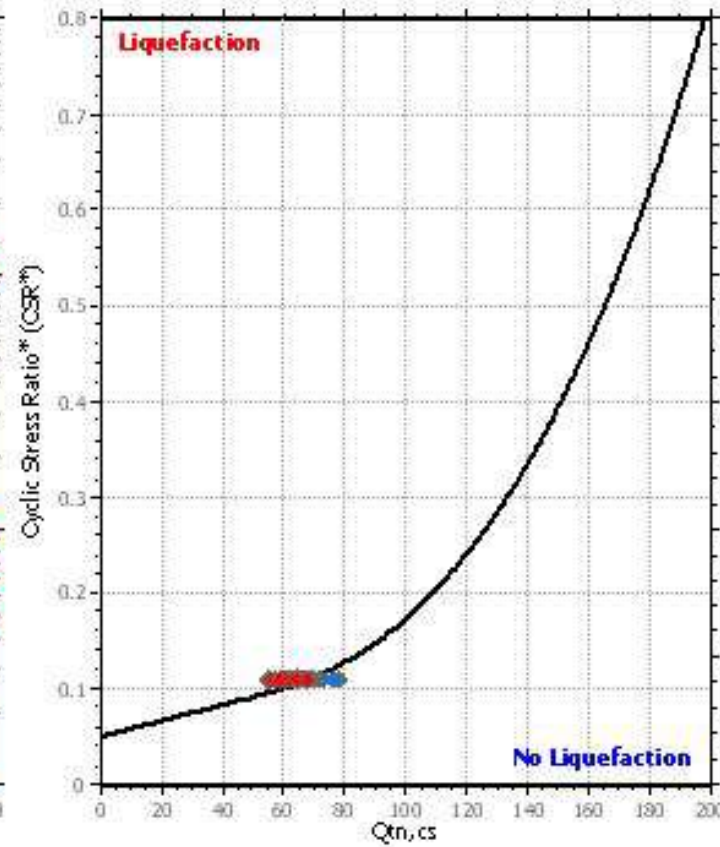
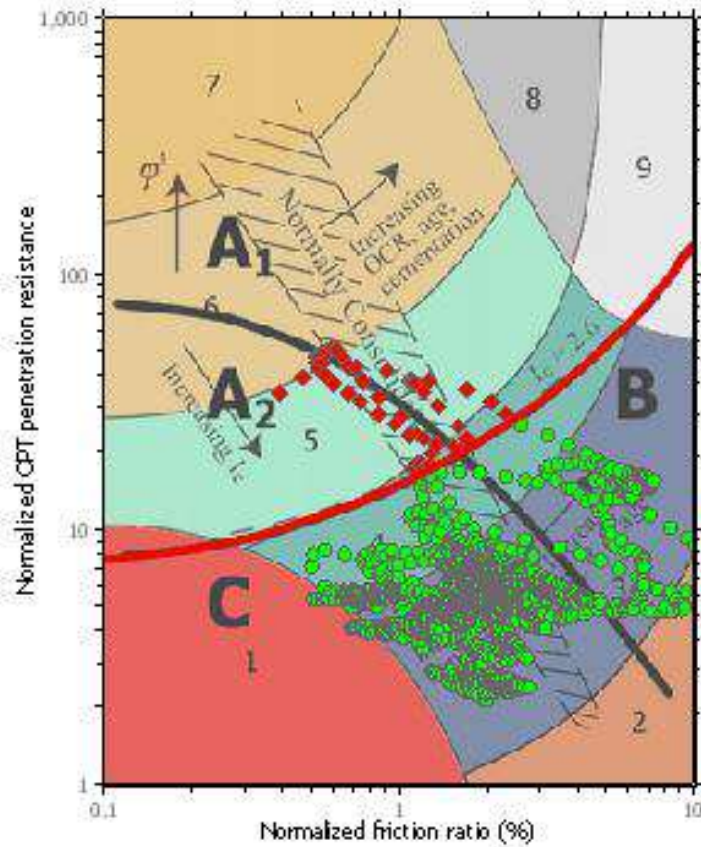
F.S. color scheme

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

LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

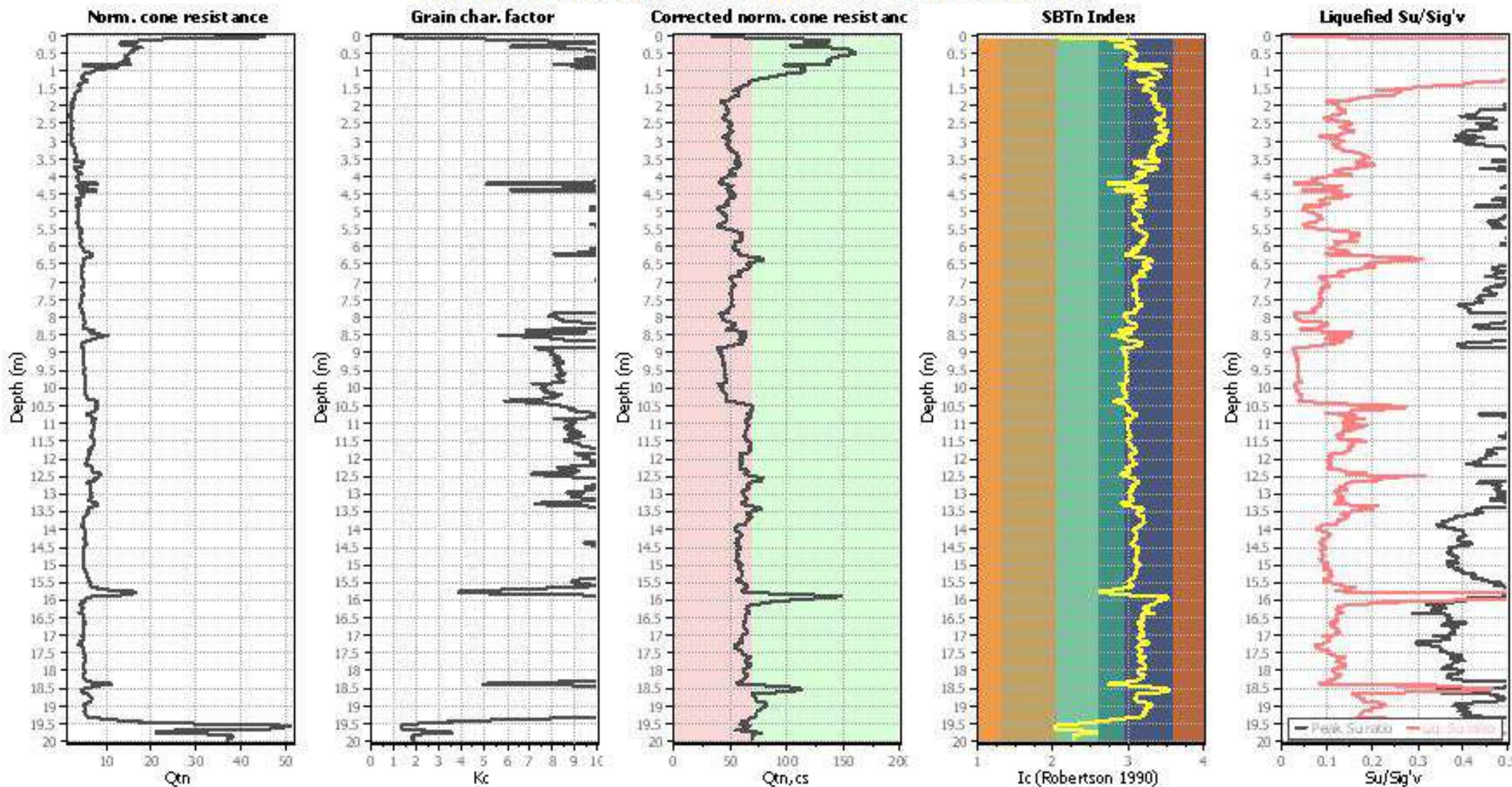
Liquefaction analysis summary plots



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:	No
Points to test:	Based on I_c value	I_c cut-off value:	2.60	K_{cs} applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.80	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.13	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (instab):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

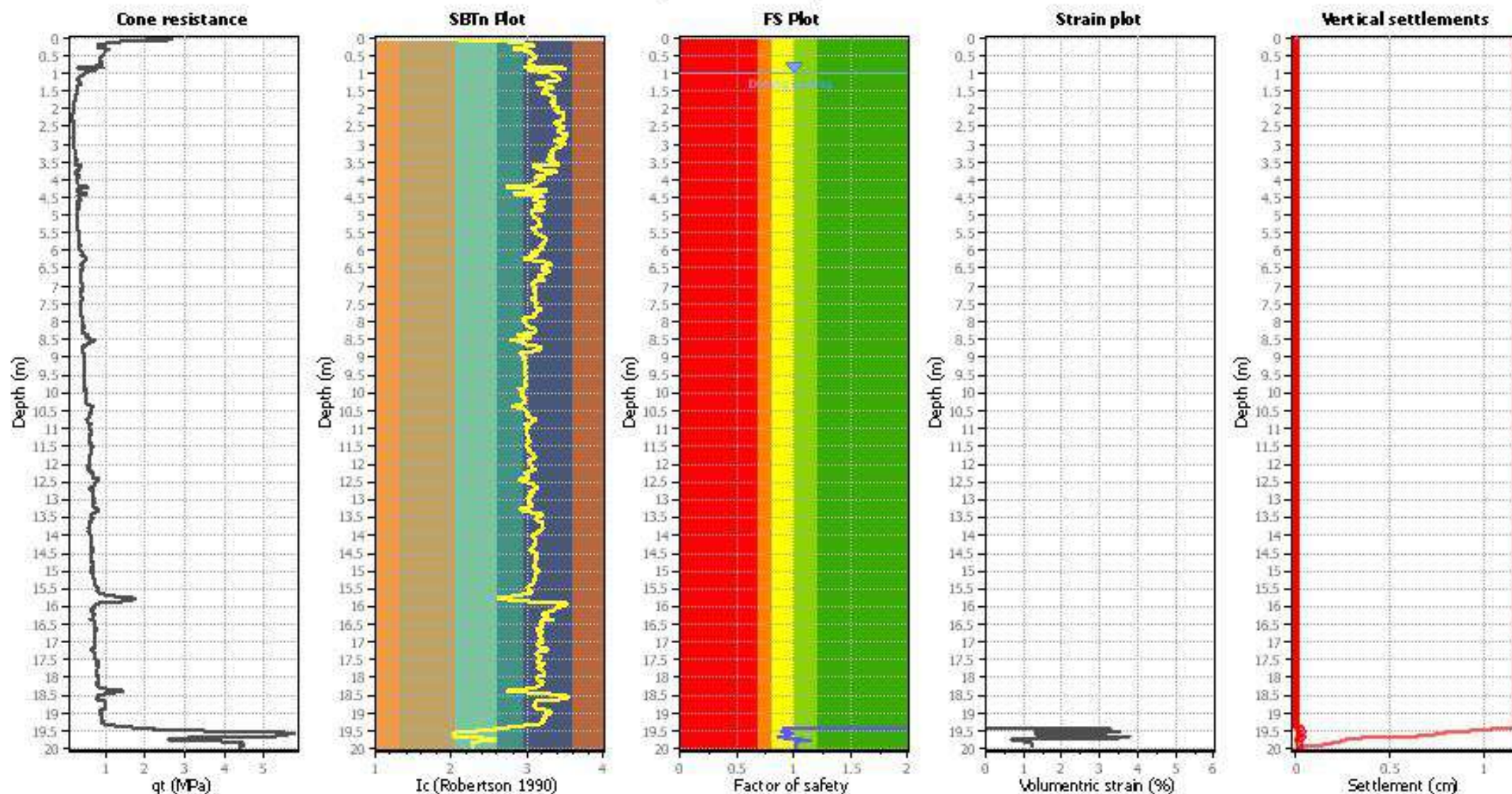
Check for strength loss plots (Robertson (2010))



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (earth):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on I_c value	I_c cut-off value:	2.60	K_s applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.80	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.13	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (in situ):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

Estimation of post-earthquake settlements



Abbreviations

- q_t : Total cone resistance (cone resistance q_c corrected for pore water effects)
- I_c : Soil Behaviour Type Index
- FS_i : Calculated Factor of Safety against liquefaction
- Volumetric strain: Post-liquefaction volumetric strain

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

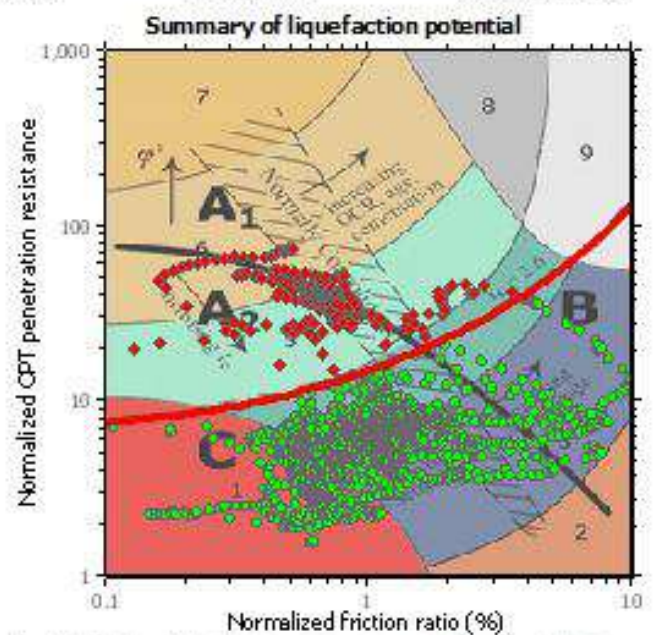
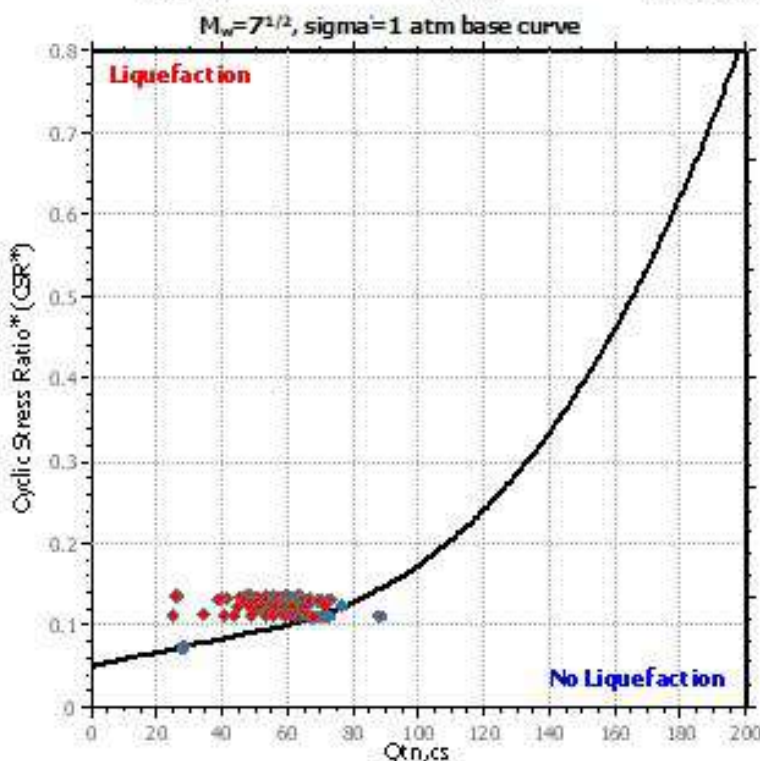
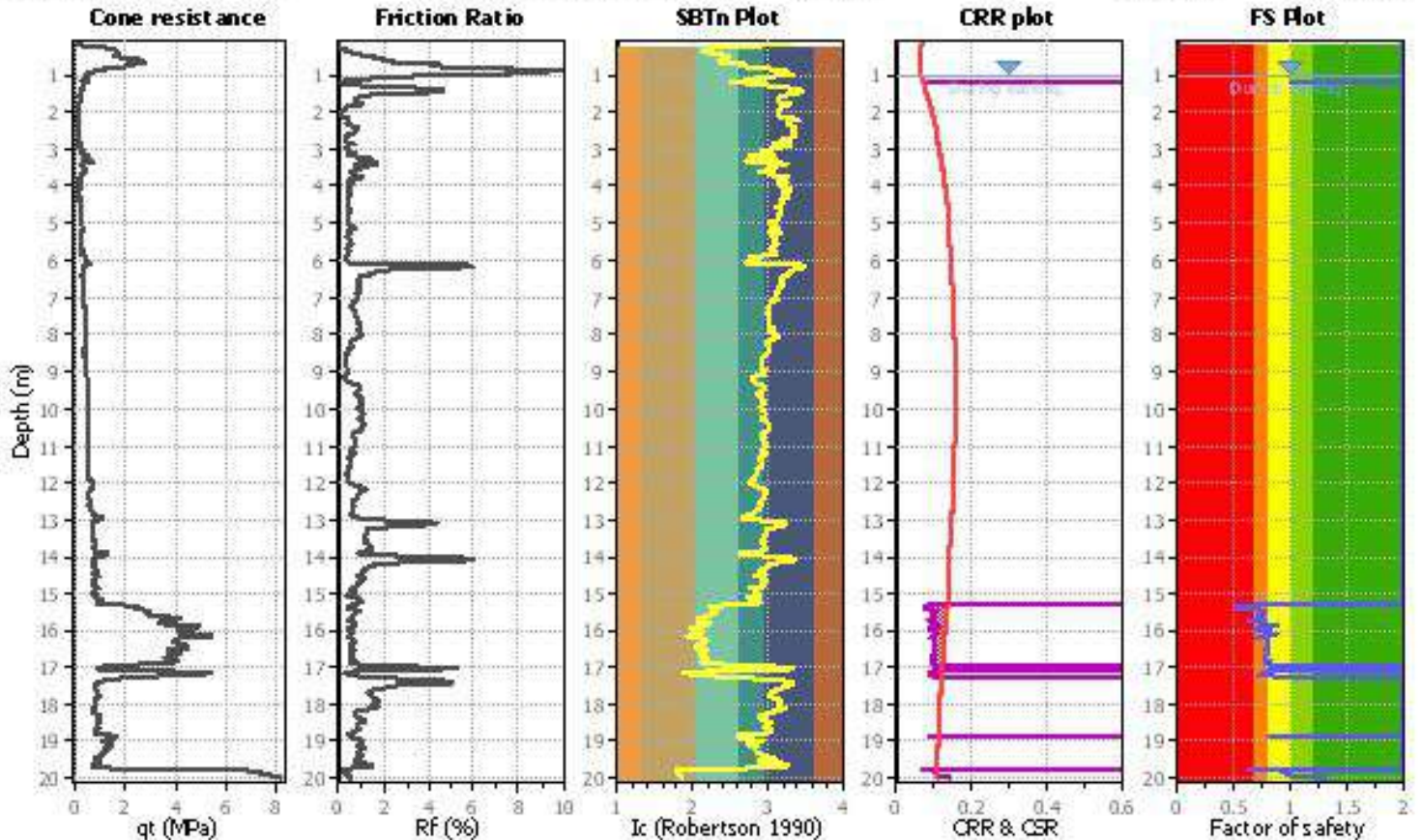
Project title :

Location :

CPT file: CPTU4

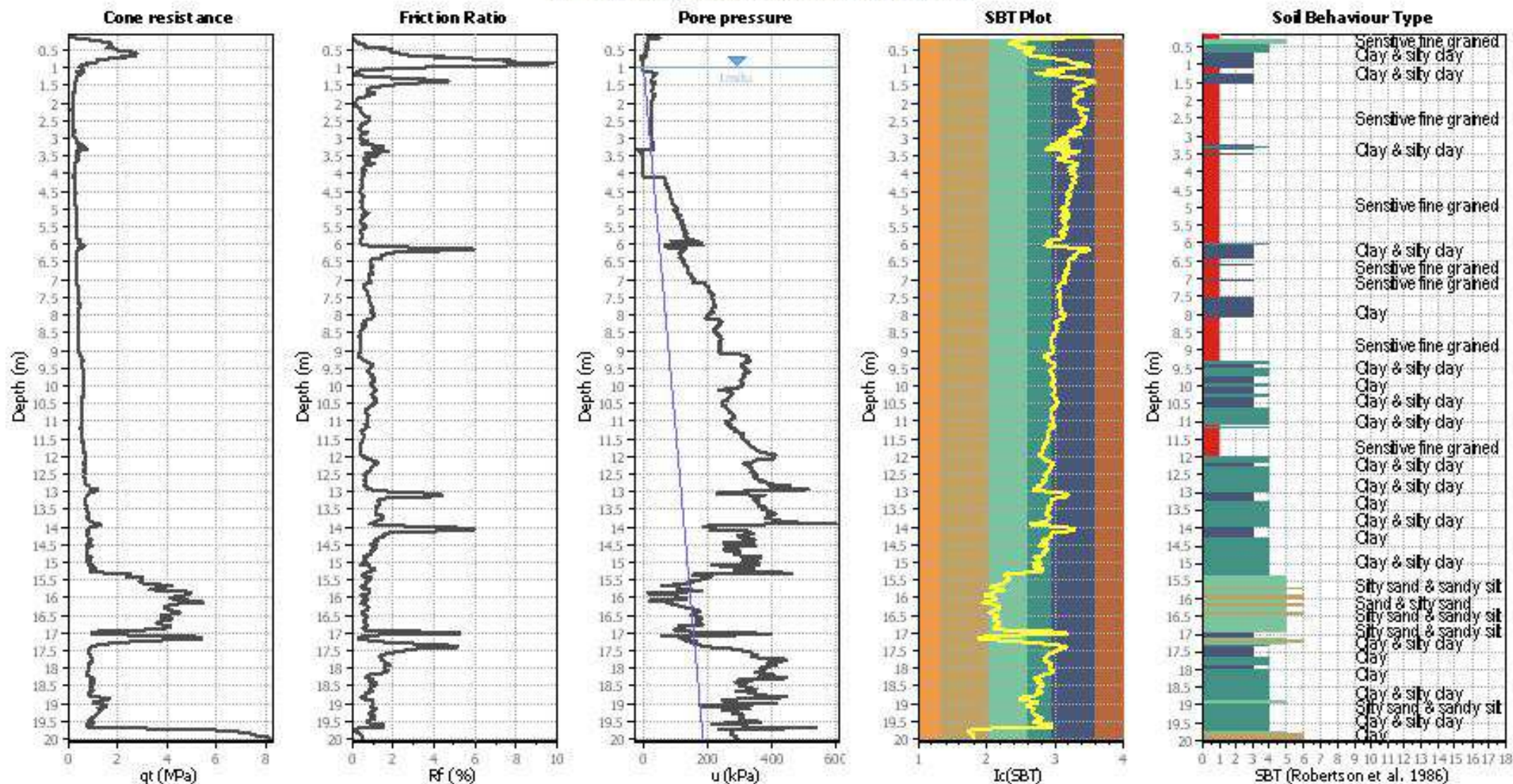
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	1.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth:	N/A
Earthquake magnitude M_w :	6.80	Ic cut-off value:	2.60	Trans. defect. applied:	No	MSF method:	Method based
Peak ground acceleration:	0.13	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_{α} applied:	Yes		



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

CPT basic interpretation plots



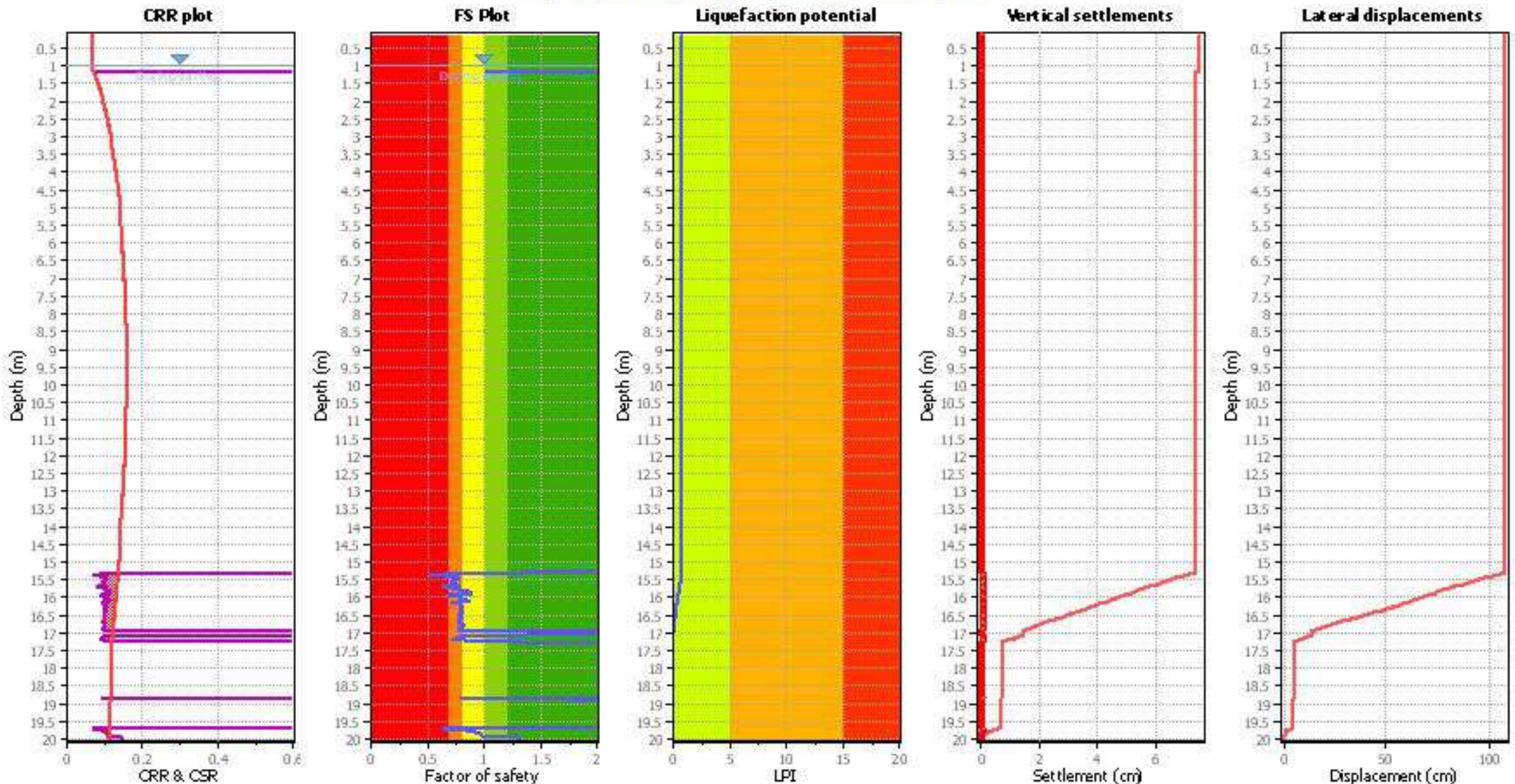
Input parameters and analysis data

Analysis method:	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:	No
Points to test:	Based on I_c value	I_c cut-off value:	2.60	K_0 applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.80	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.13	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBT legend

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

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method: NCEER (1998)
 Fines correction method: NCEER (1998)
 Points to test: Based on Ic value
 Earthquake magnitude M_w : 6.80
 Peak ground acceleration: 0.13
 Depth to water table (insitu): 1.00 m

Depth to water table (earthq.): 1.00 m
 Average results interval: 3
 Ic 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: No
 K_0 applied: Yes
 Clay like behavior applied: Sands only
 Limit depth applied: No
 Limit depth: N/A

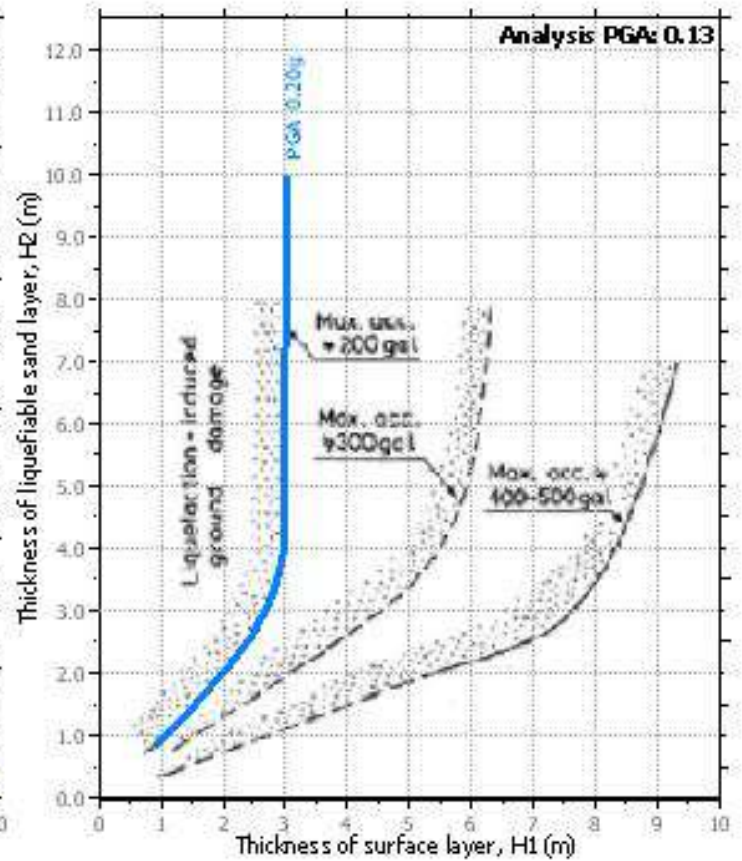
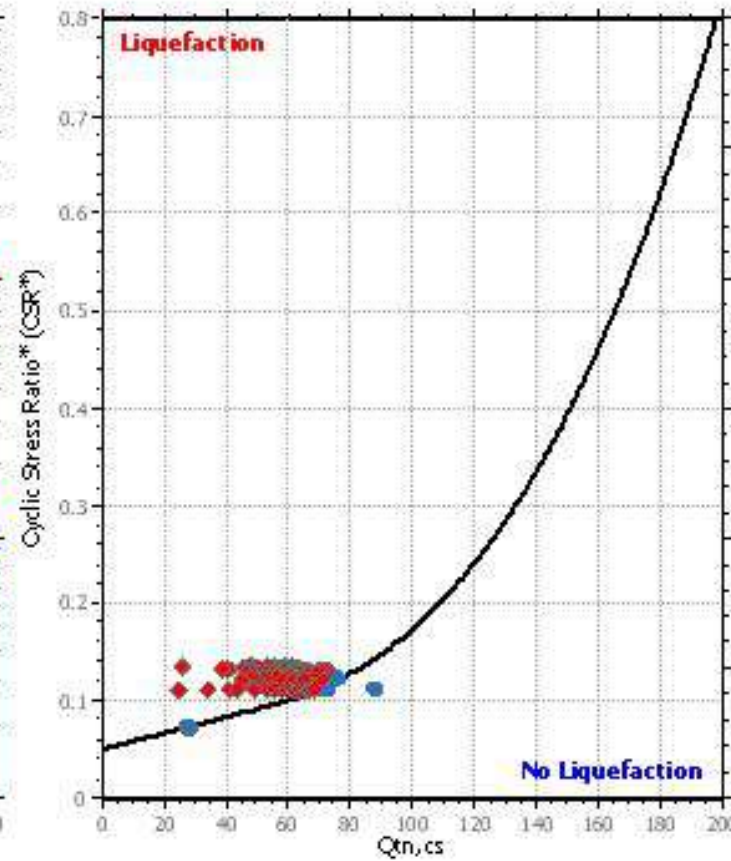
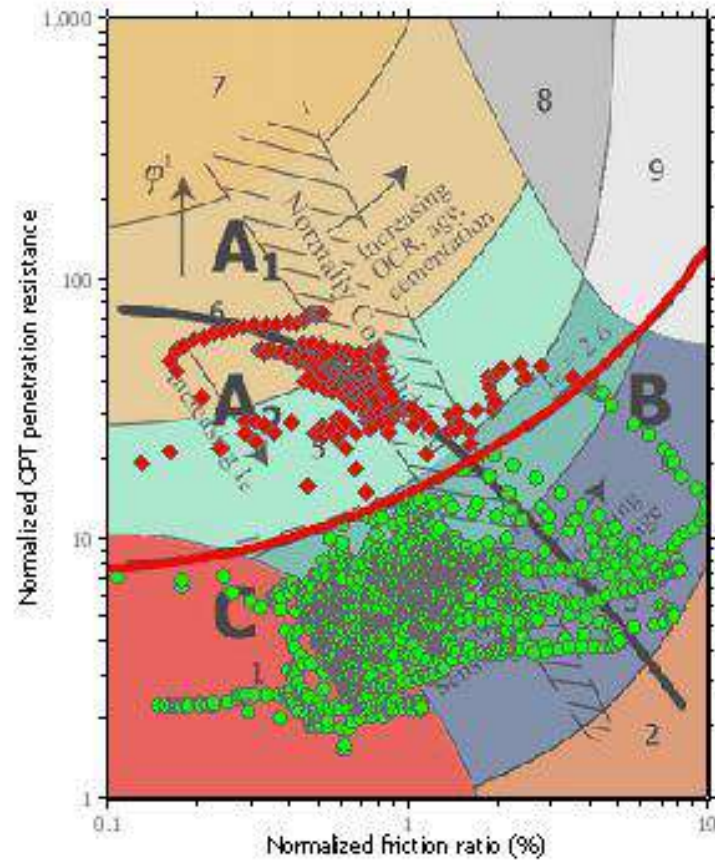
F.S. color scheme

- 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

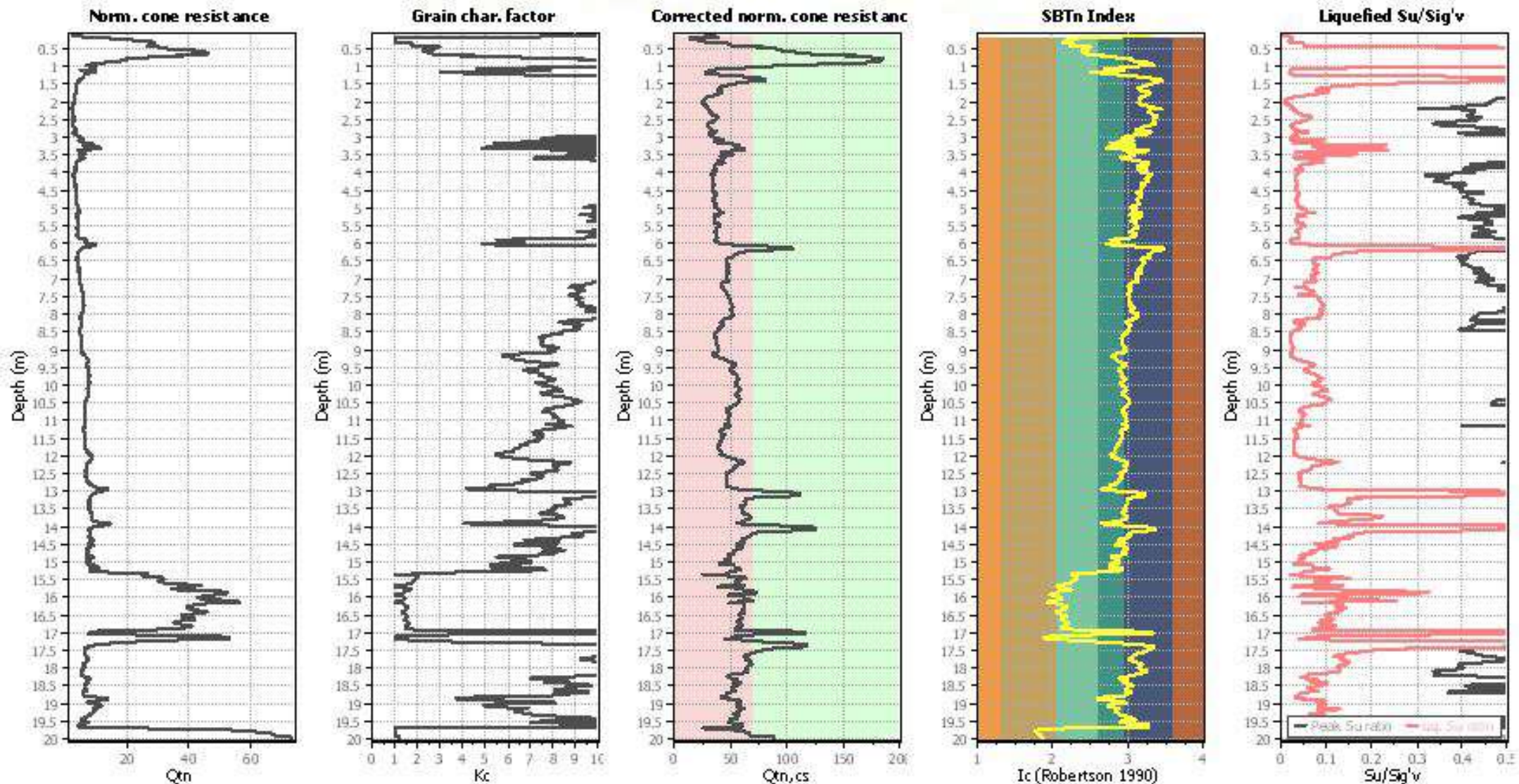
Liquefaction analysis summary plots



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:	No
Points to test:	Based on I_c value	I_c out-off value:	2.60	K_{sp} applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.80	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.13	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

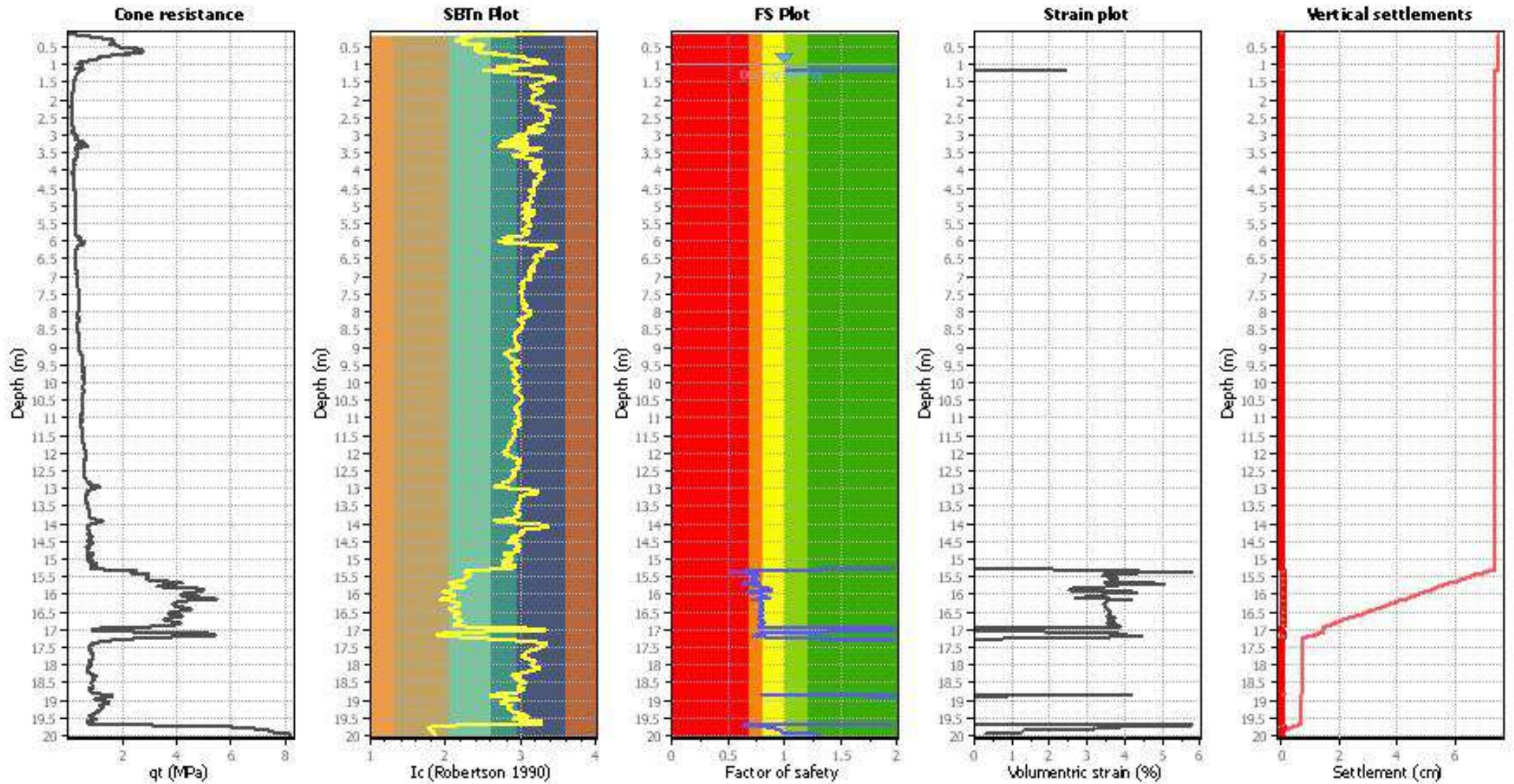
Check for strength loss plots (Robertson (2010))



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:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K ₀ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.80	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.13	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

Estimation of post-earthquake settlements



Abbreviations

- q_t: Total cone resistance (cone resistance q_c corrected for pore water effects)
- I_c: Soil Behaviour Type Index
- FS: Calculated Factor of Safety against liquefaction
- Volumetric strain: Post-liquefaction volumetric strain

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

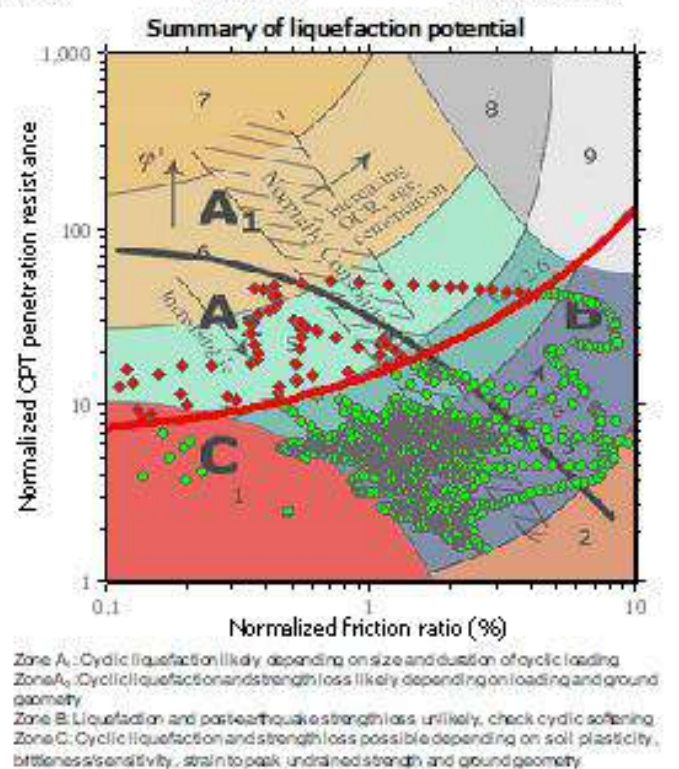
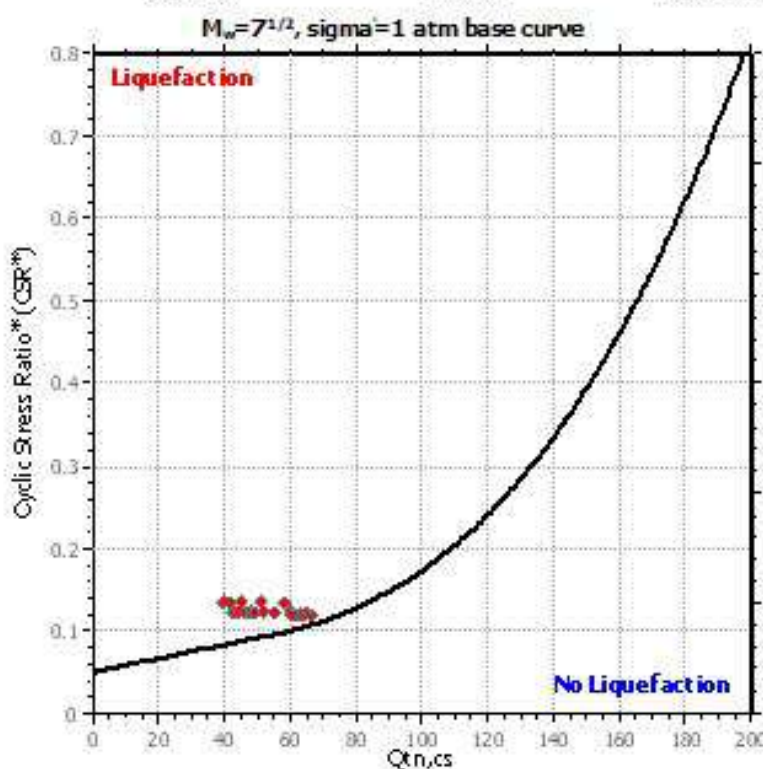
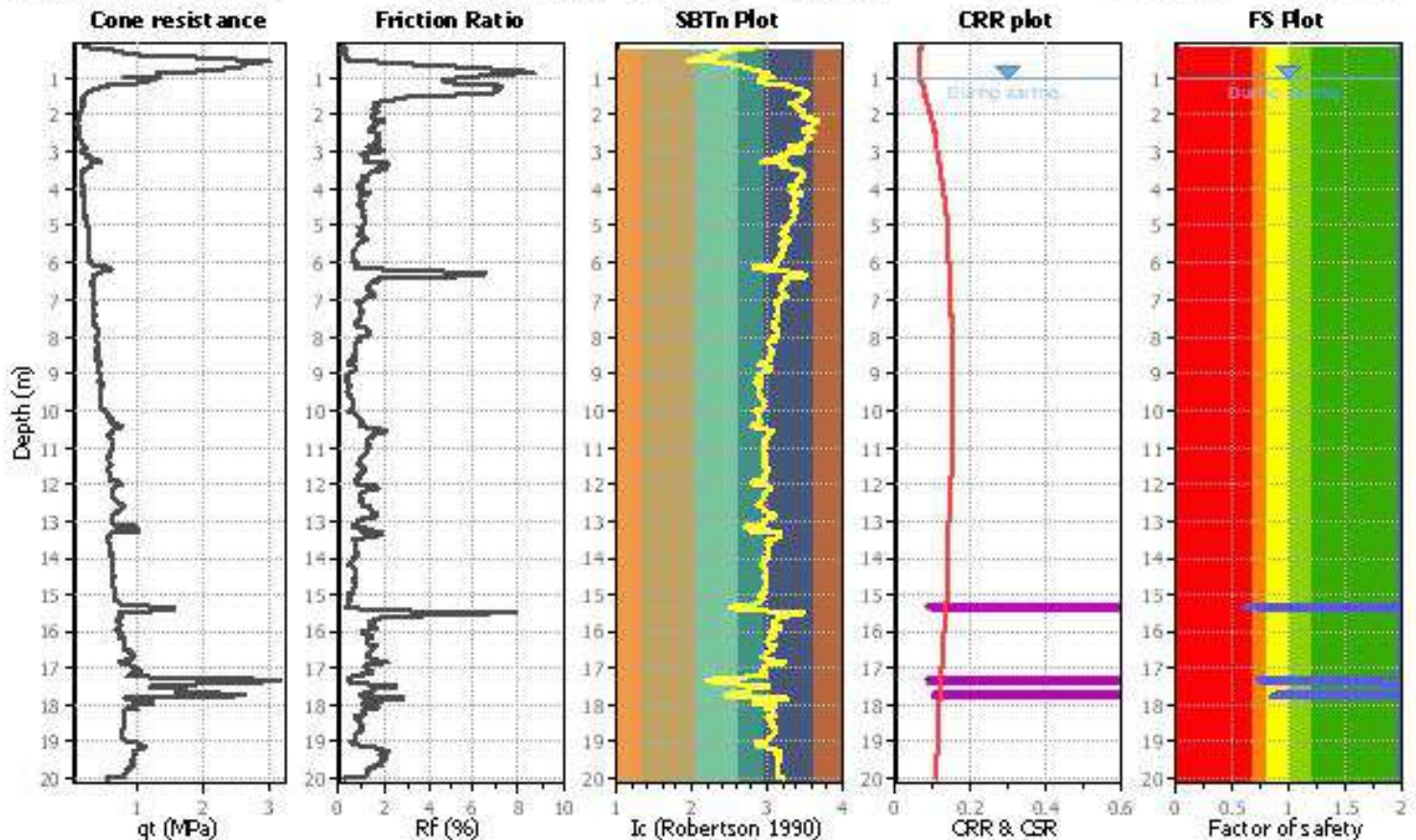
Project title:

Location:

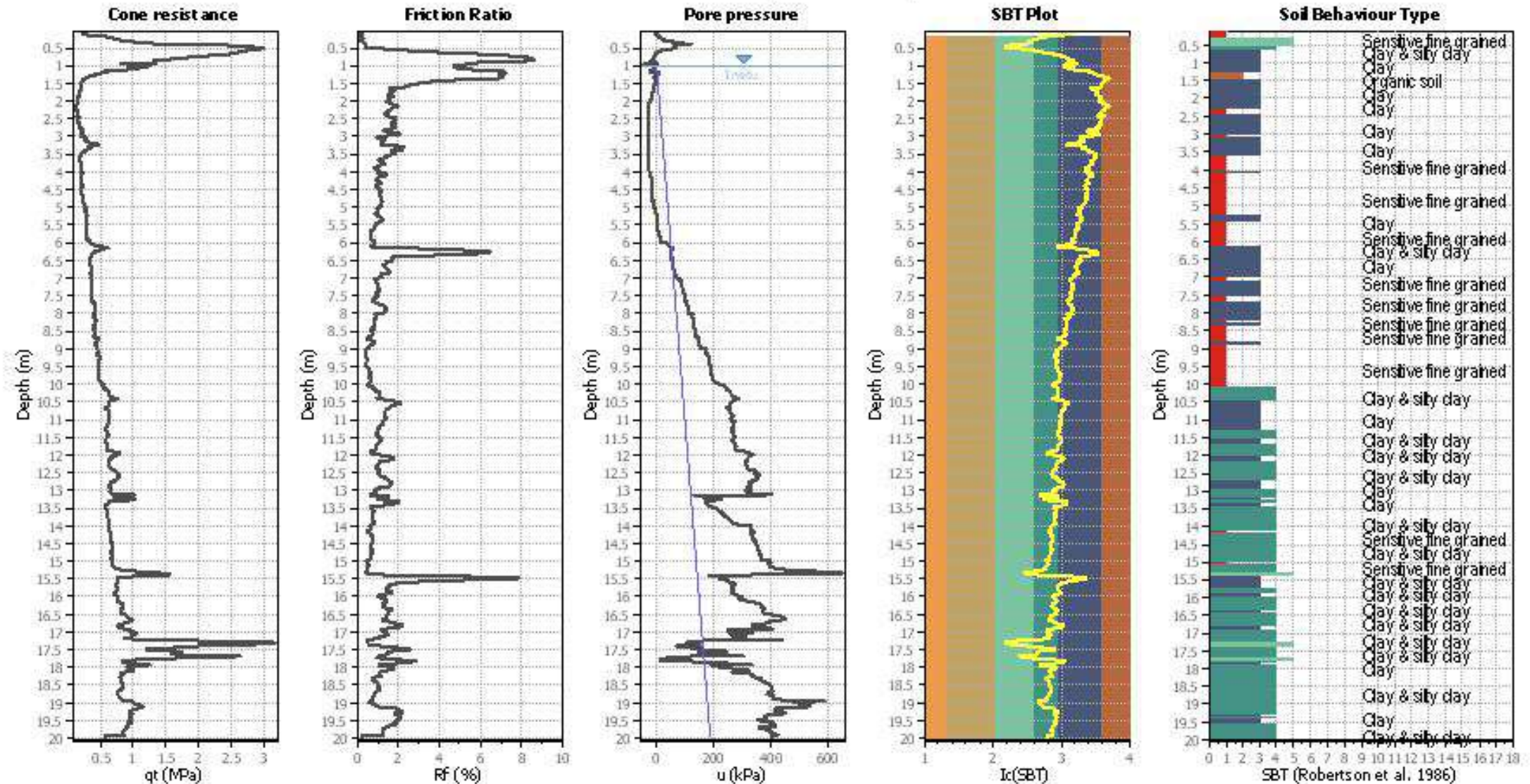
CPT file: CPTU5

Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	1.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth:	N/A
Earthquake magnitude M_w :	6.80	Ic cut-off value:	2.60	Trans. defect. applied:	No	MSF method:	Method based
Peak ground acceleration:	0.13	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_s applied:	Yes		



CPT basic interpretation plots



Input parameters and analysis data

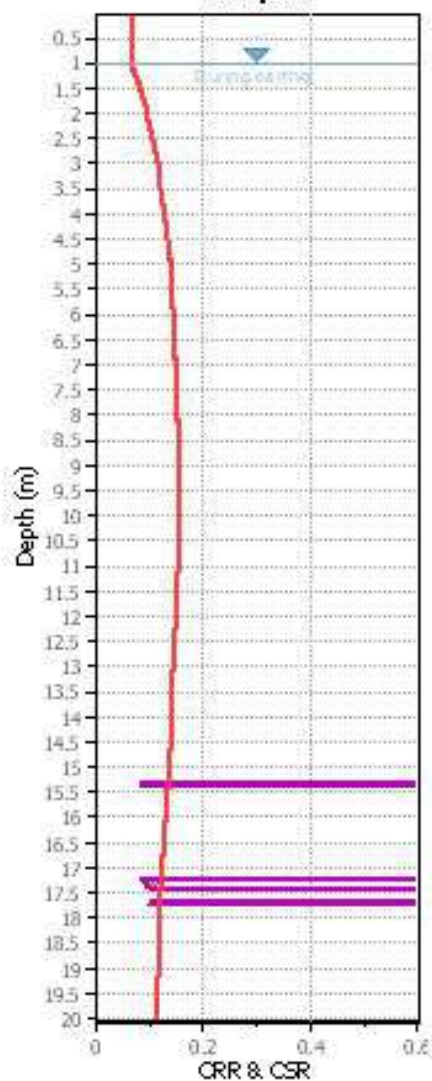
Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (earthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on I_c value	I_c cut-off value:	2.60	K_p applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.80	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.13	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBT legend

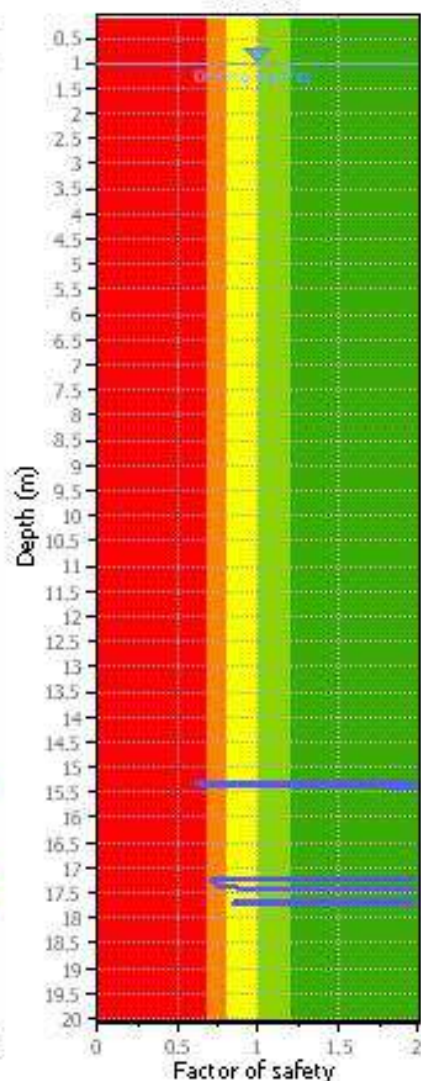
1. Sensitive fine grained	4. Clayey silt to silt	7. Gravely sand to sand
2. Organic material	5. Silty sand to sandy silt	8. Very stiff sand to
3. Clay to silty clay	6. Clean sand to silty sand	9. Very stiff fine grained

Liquefaction analysis overall plots

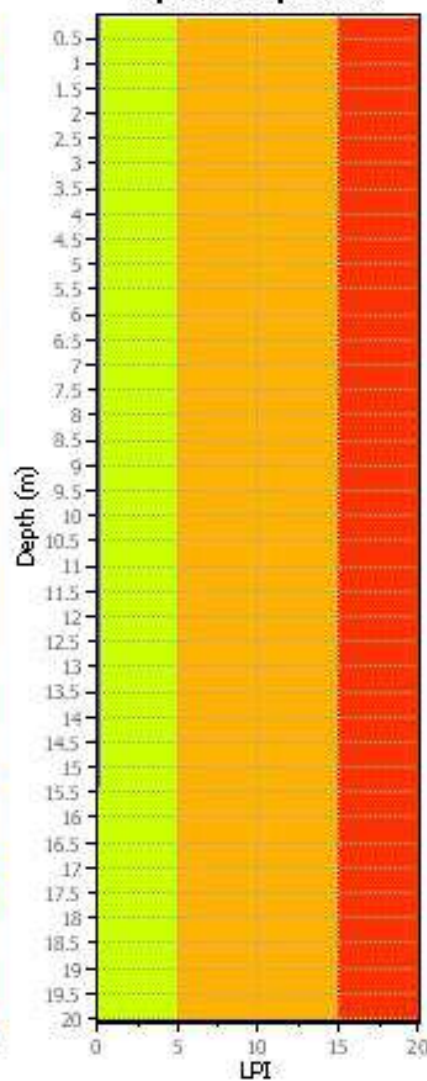
CRR plot



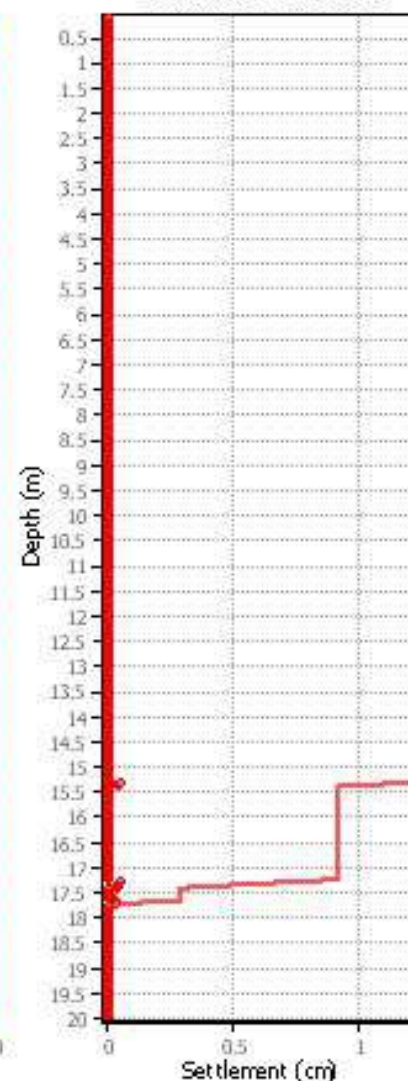
FS Plot



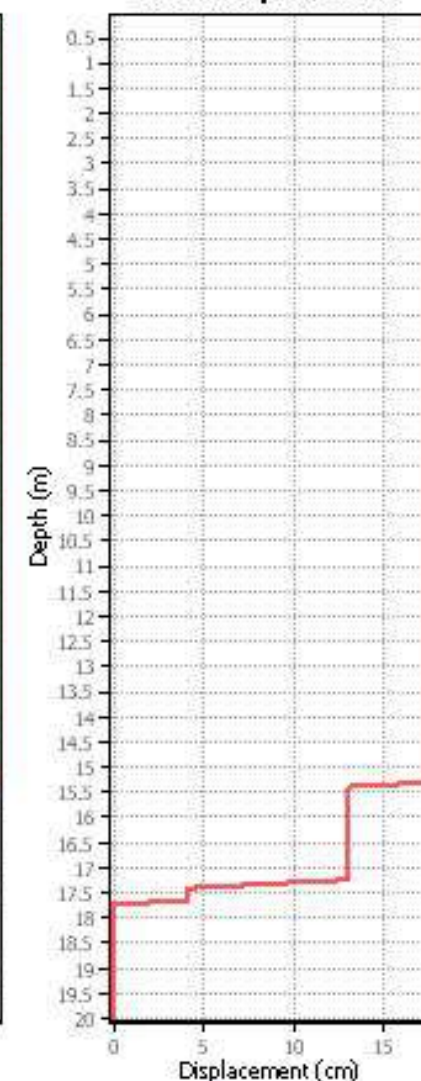
Liquefaction potential



Vertical settlements



Lateral displacements



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:	No
Points to test:	Based on I _c value	I _c cut-off value:	2.60	K ₀ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.80	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.13	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

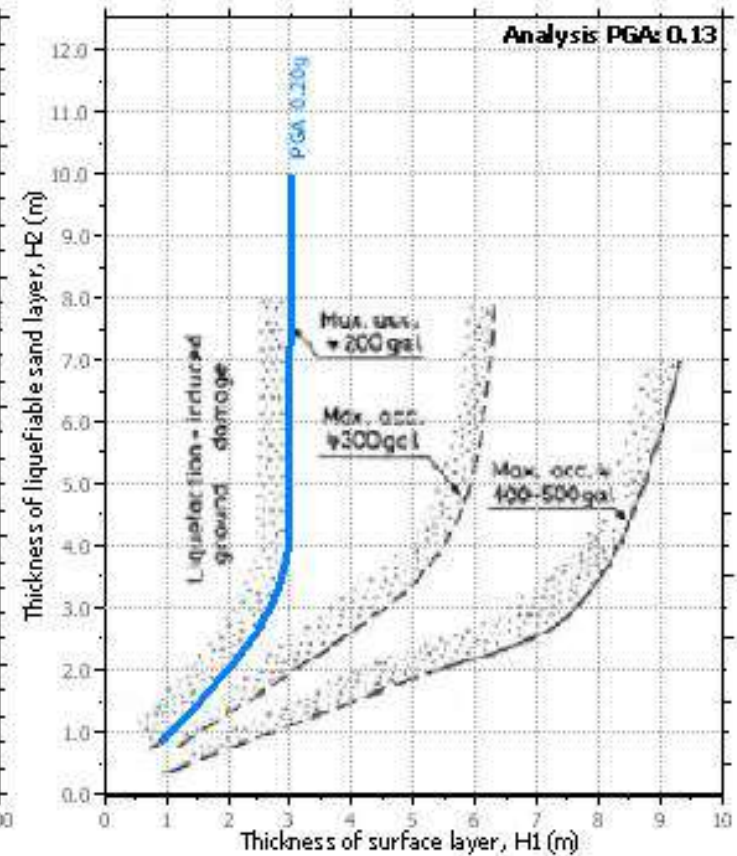
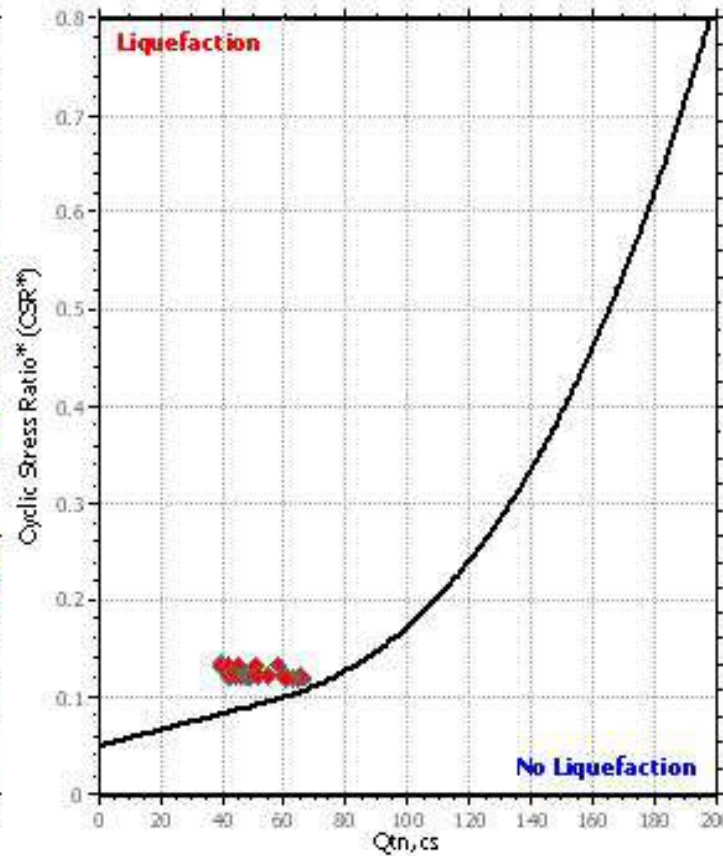
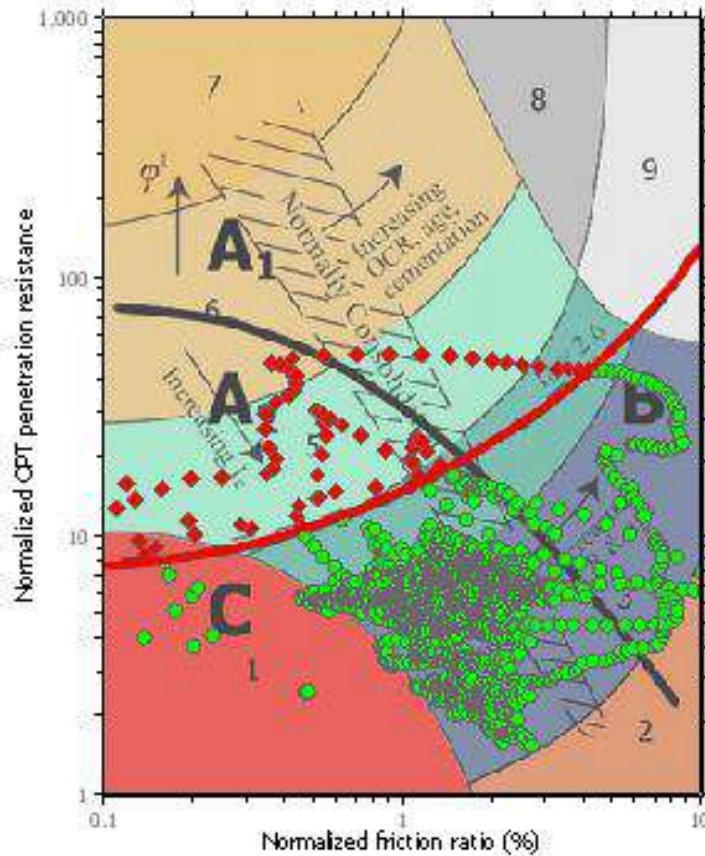
F.S. color scheme

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

LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

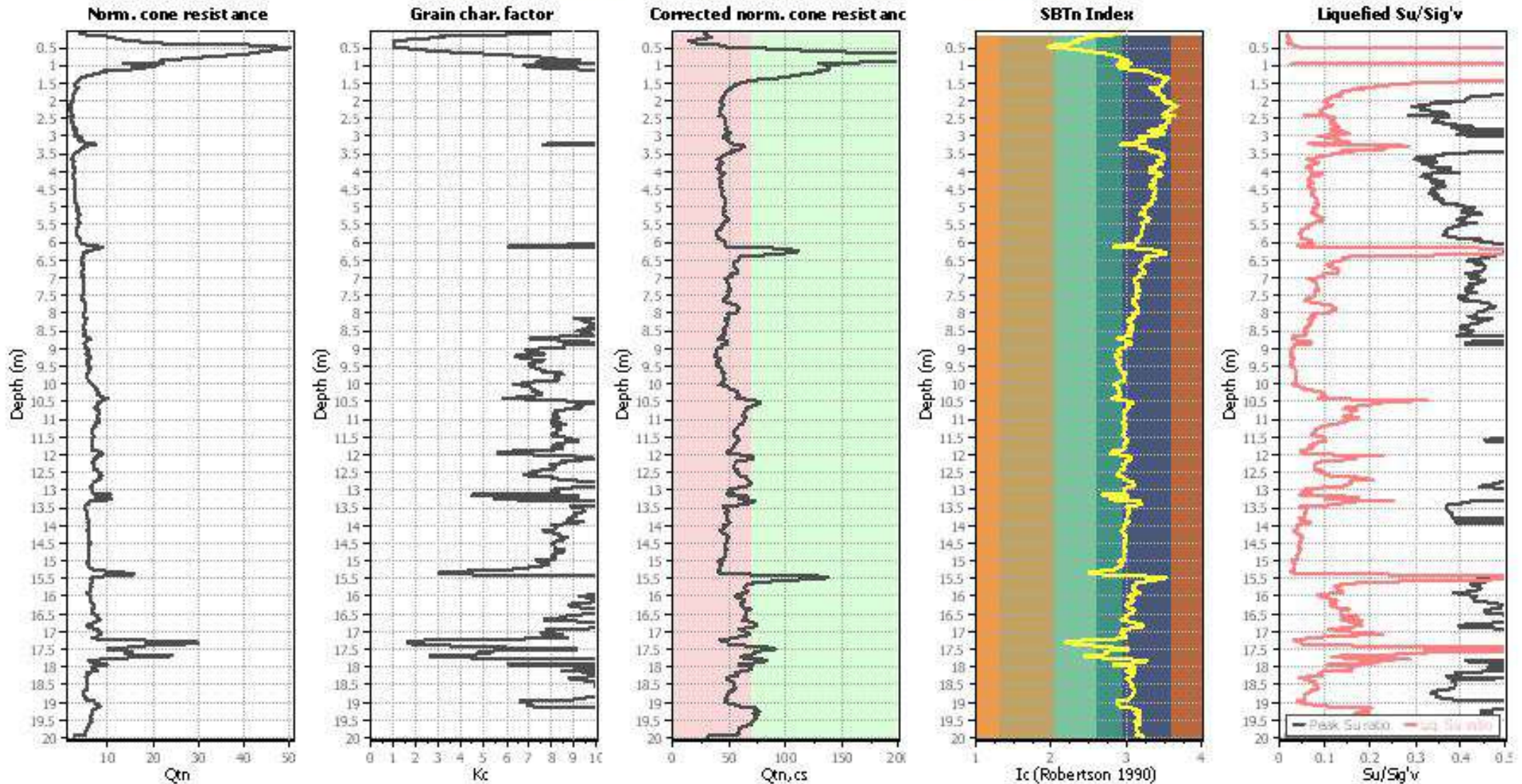
Liquefaction analysis summary plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (earth.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on I _c value	I _c cut-off value:	2.60	K ₀ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.80	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.13	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

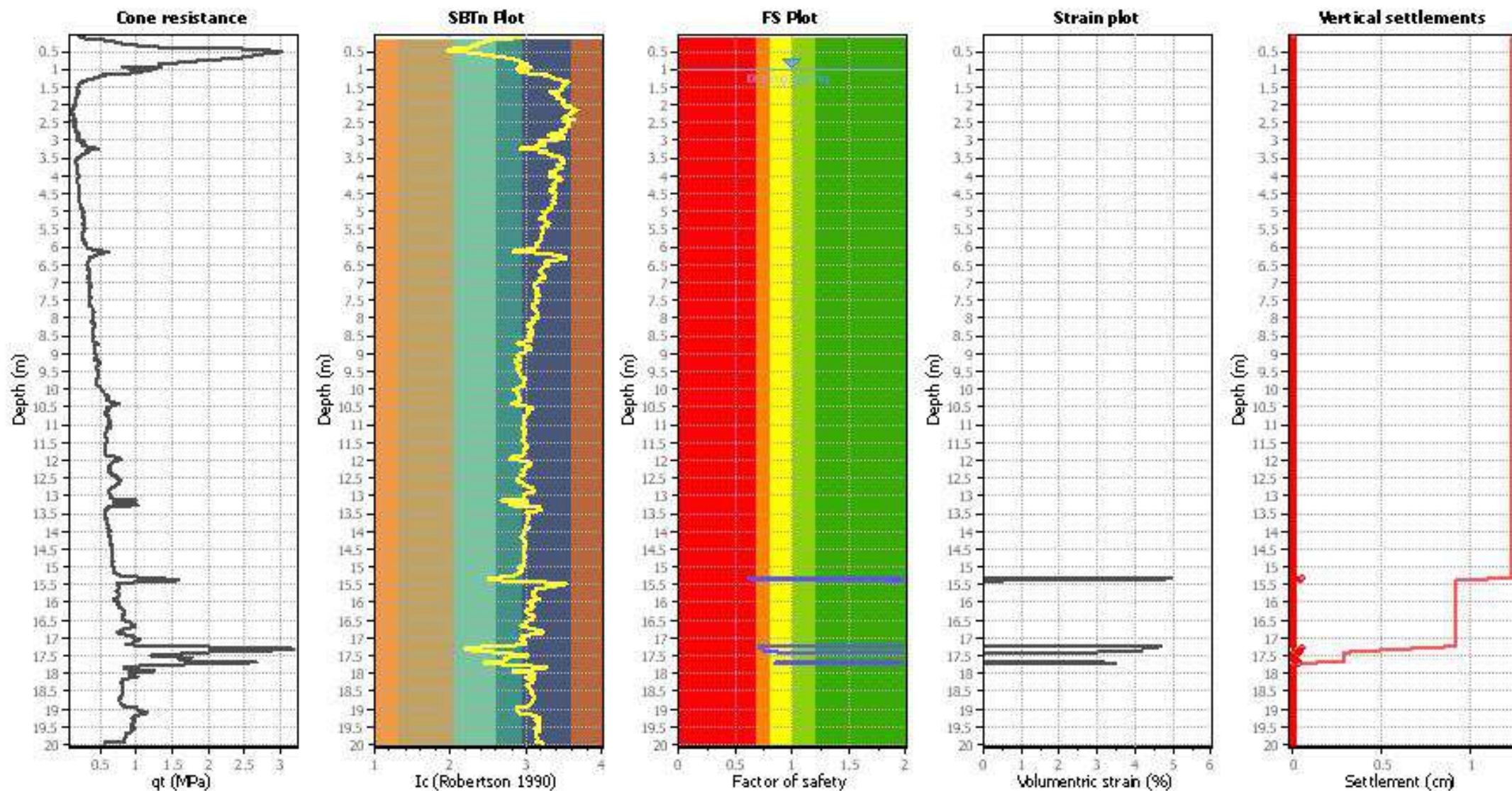
Check for strength loss plots (Robertson (2010))



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:	No
Points to test:	Based on I_c value	I_c cut-off value:	2.60	K_c applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.80	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.13	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

Estimation of post-earthquake settlements



Abbreviations

- q_t: Total cone resistance (cone resistance q_c corrected for pore water effects)
- I_c: Soil Behaviour Type Index
- FS: Calculated Factor of Safety against liquefaction
- Volumetric strain: Post-liquefaction volumetric strain

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

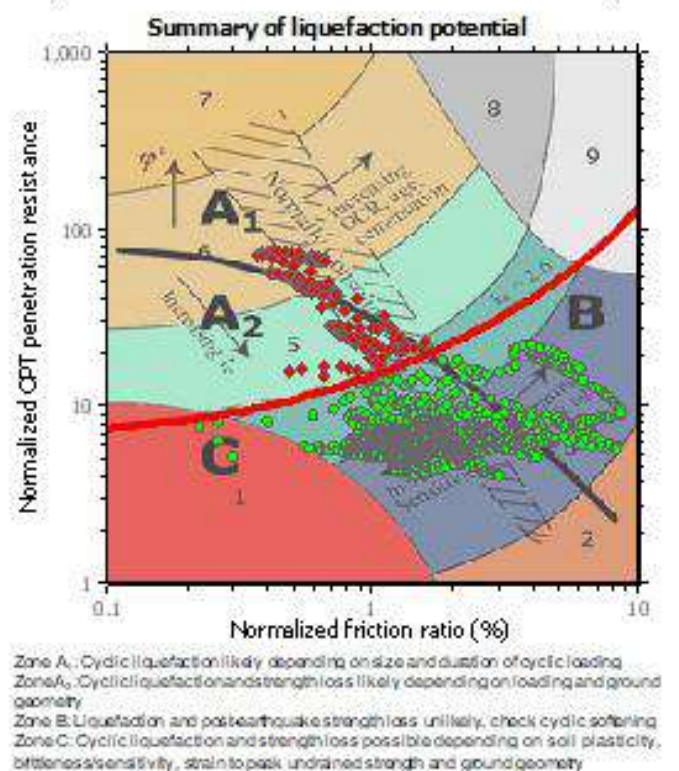
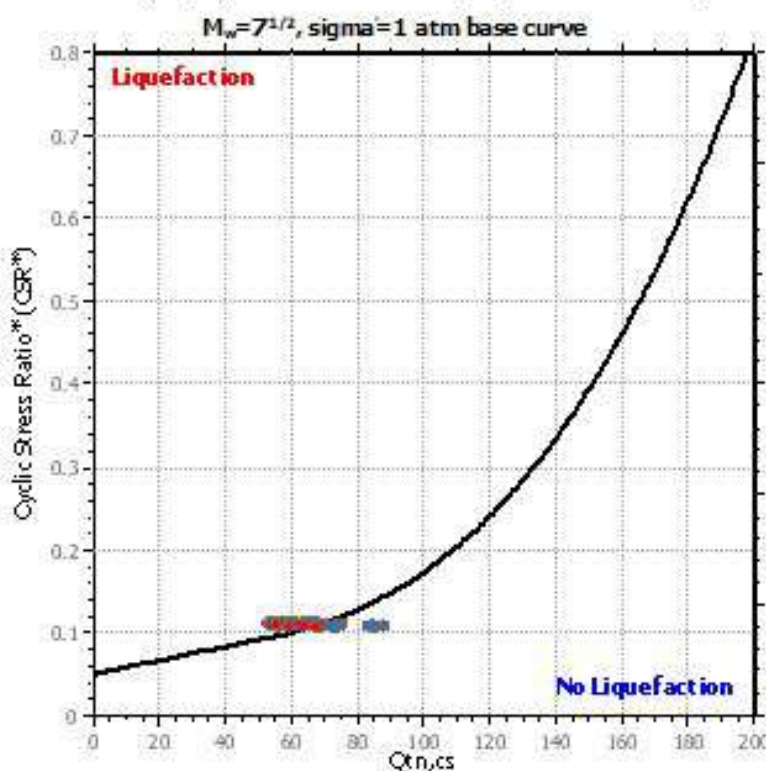
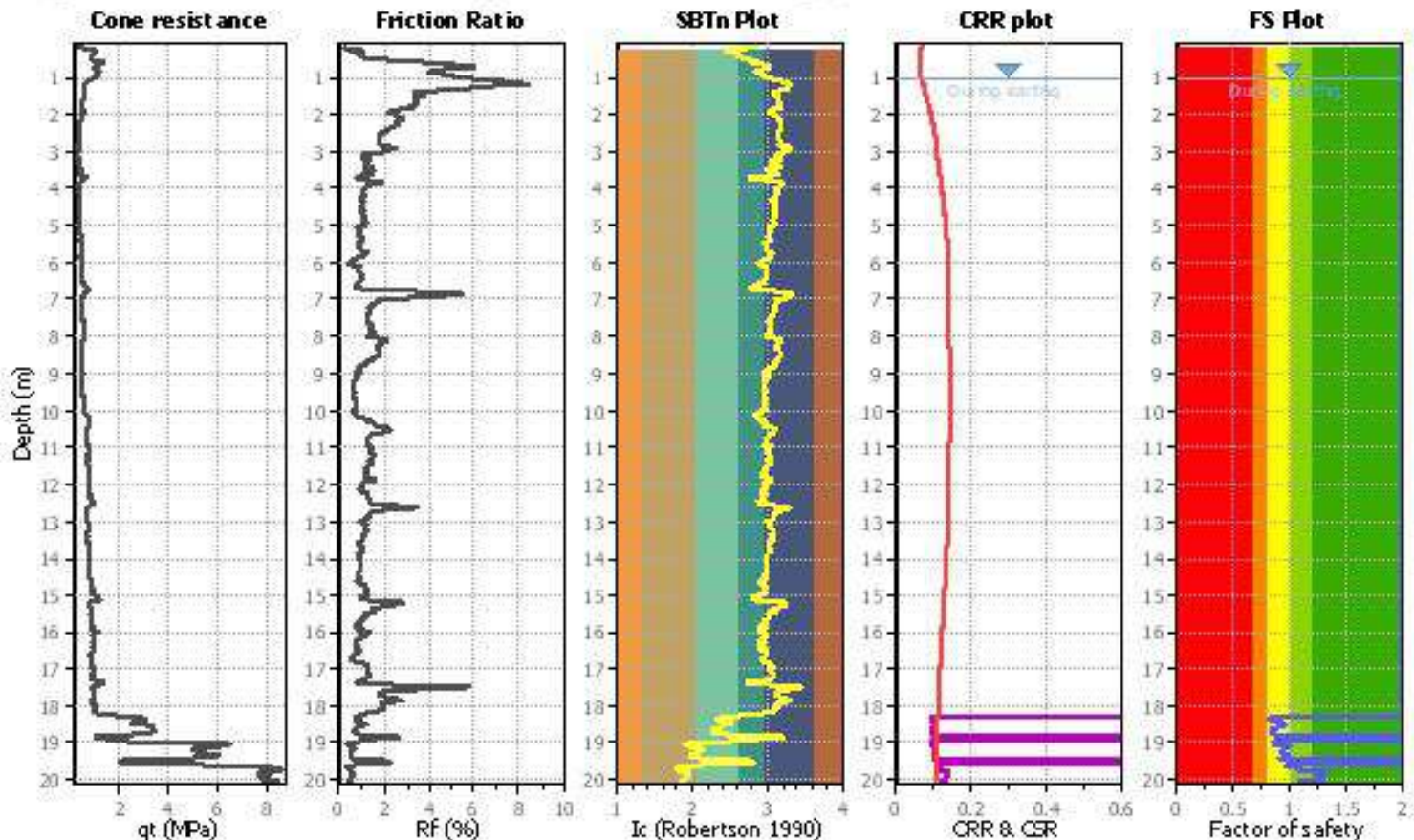
Project title :

Location :

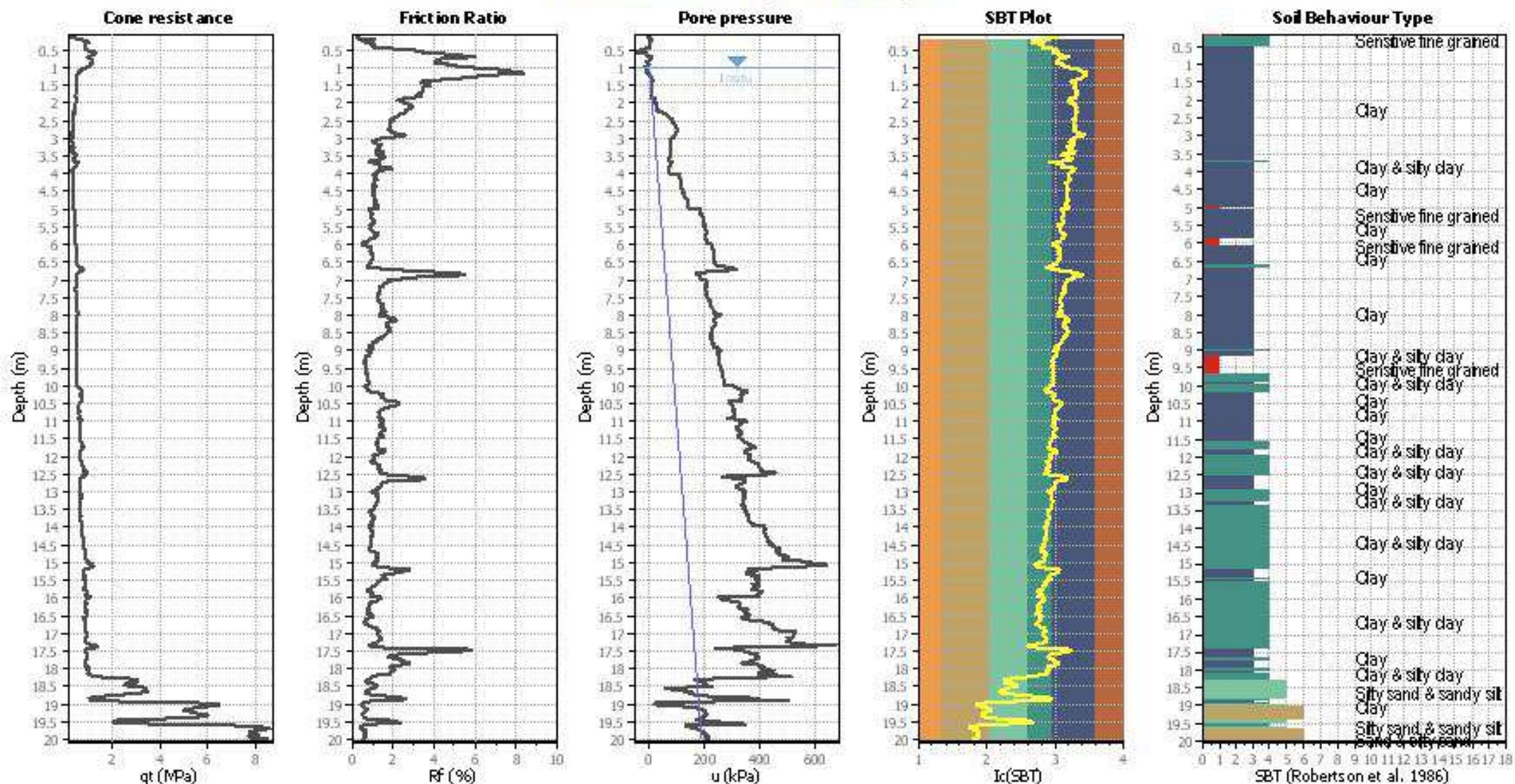
CPT file: CPTU6

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 :	6.90	Ic cut-off value:	2.60	Trans. defect. applied:	No	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.13	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_u applied:	Yes	MSF method:	Method based



CPT basic interpretation plots



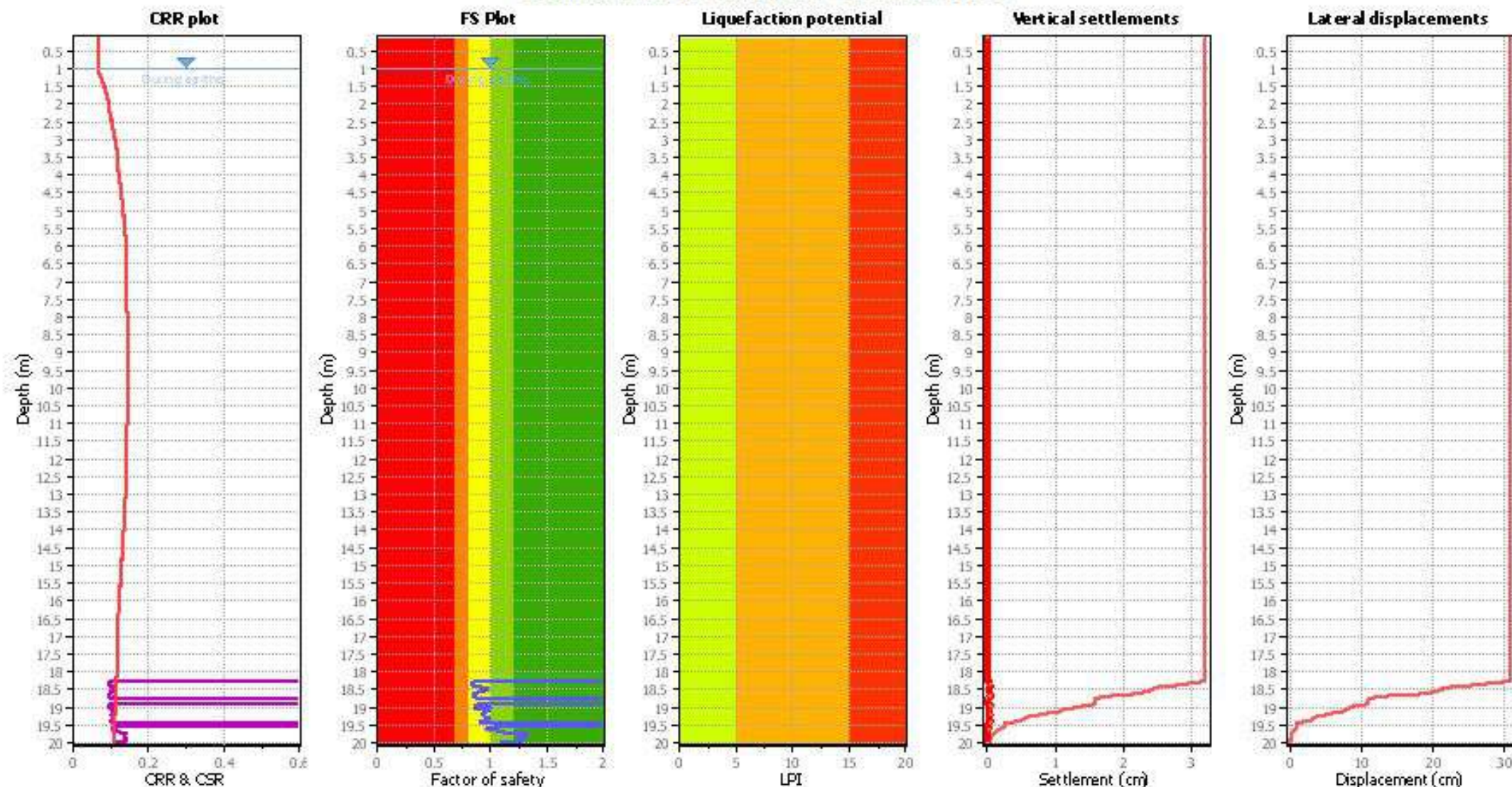
Input parameters and analysis data

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:	No
Points to test:	Based on I_c value	I_c cut-off value:	2.60	K_0 applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.80	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.13	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBT legend

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

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:	No
Points to test:	Based on I _c value	I _c cut-off value:	2.60	K ₀ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.80	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.13	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

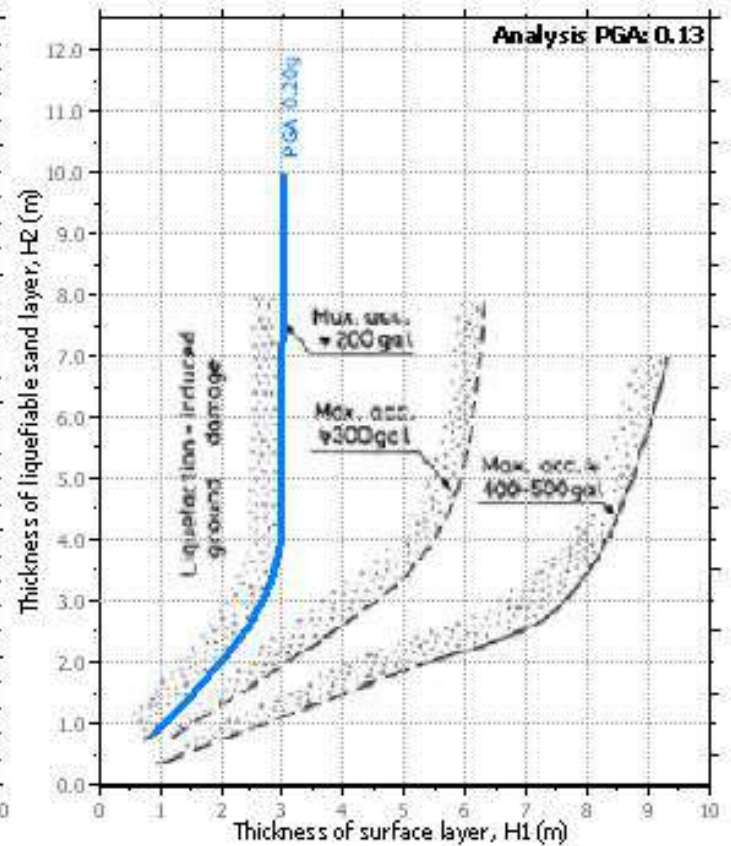
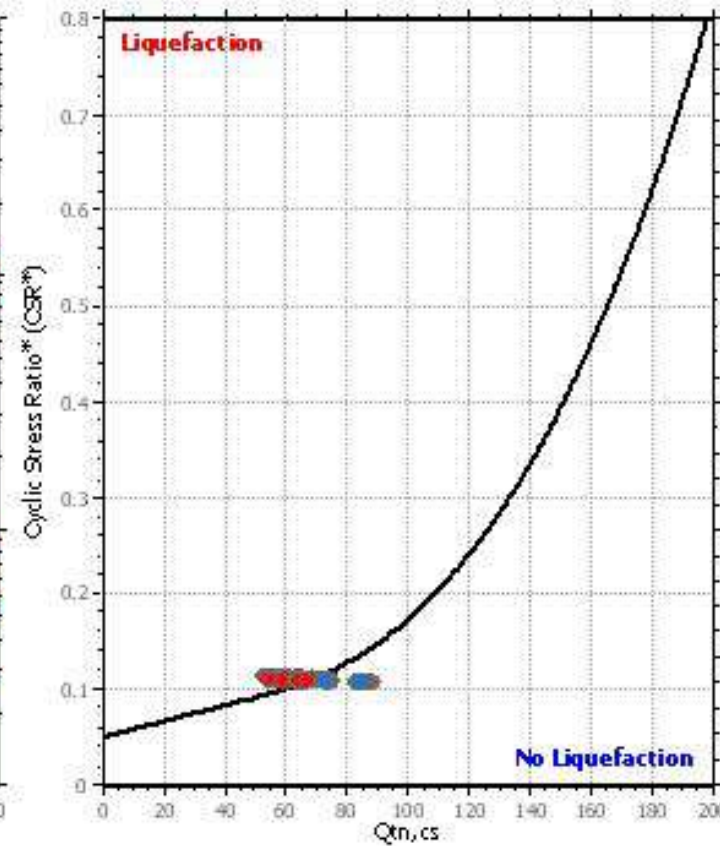
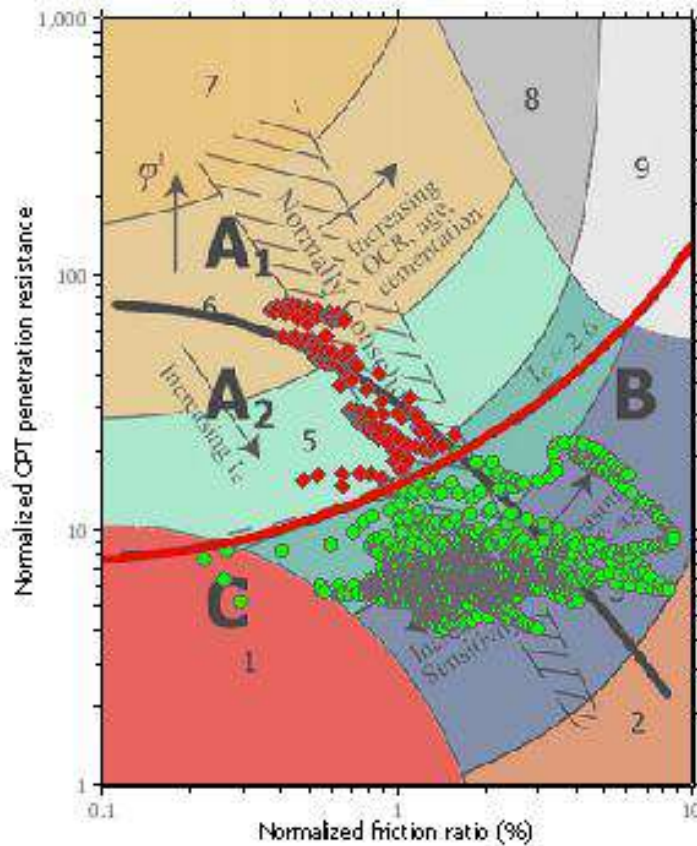
F.S. color scheme

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

LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

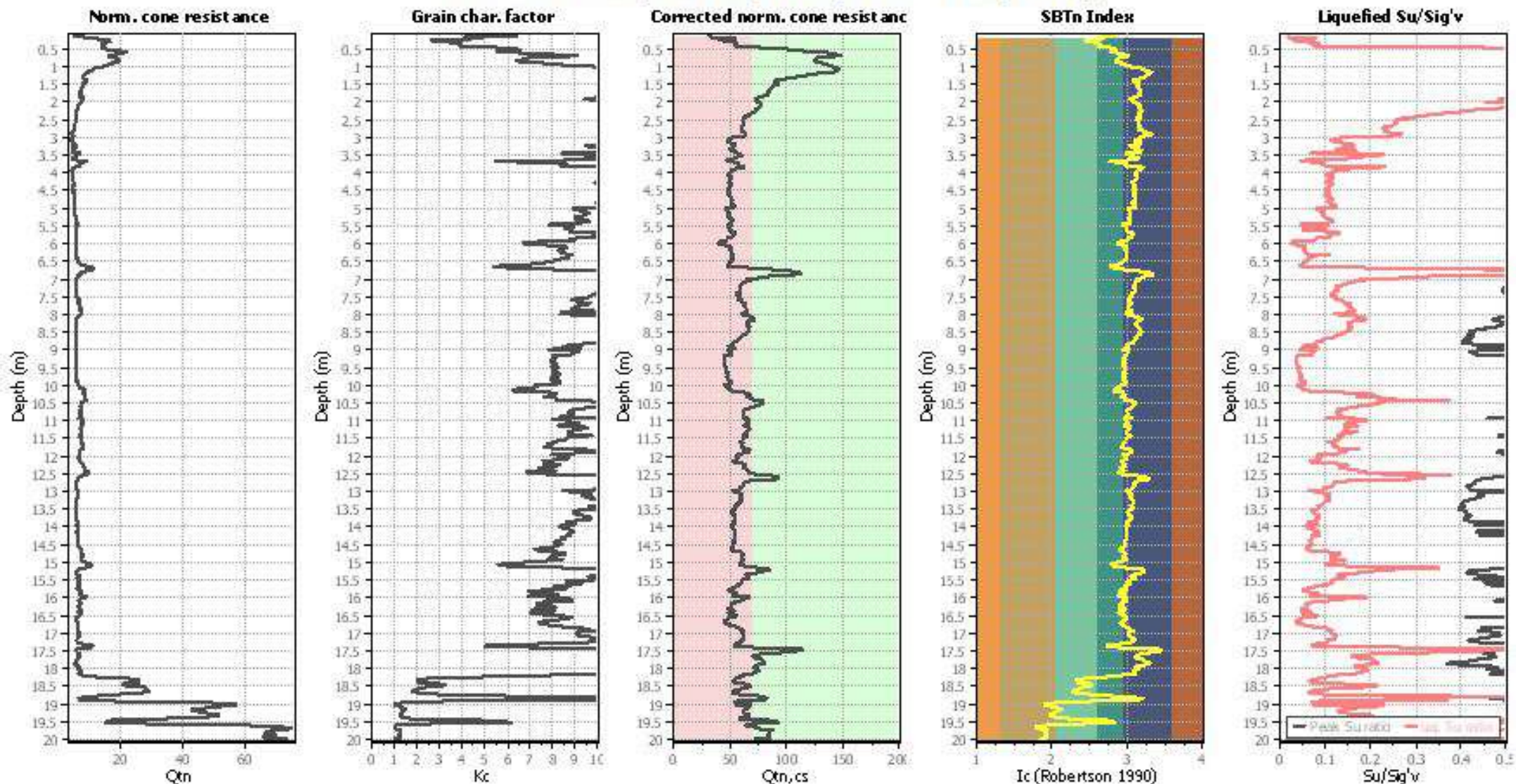
Liquefaction analysis summary plots



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:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _u applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.80	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.13	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

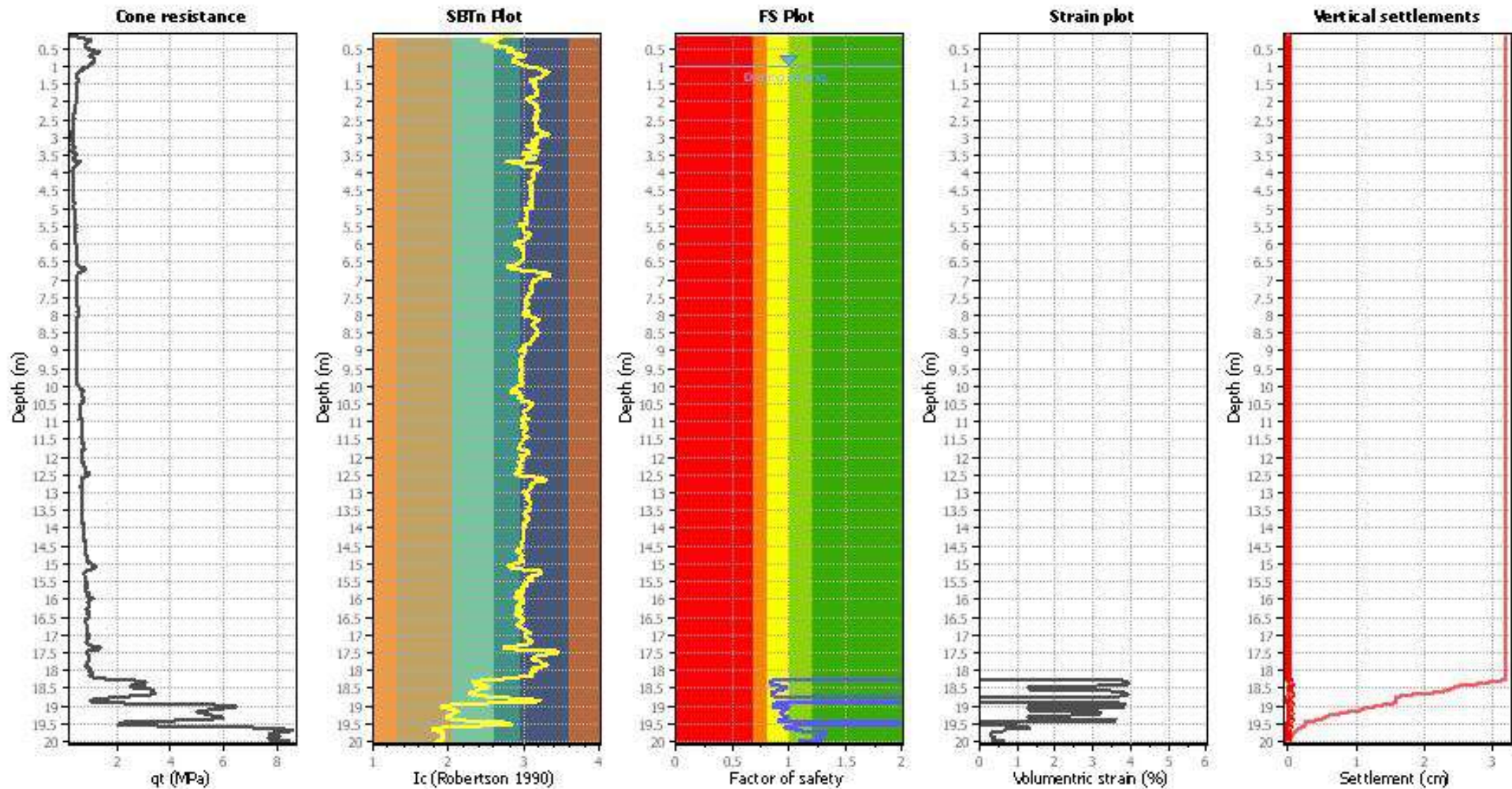
Check for strength loss plots (Robertson (2010))



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:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _c applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.80	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.13	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (instu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

Estimation of post-earthquake settlements



Abbreviations

- qt: Total cone resistance (cone resistance q_c corrected for pore water effects)
- Ic: Soil Behaviour Type Index
- FS: Calculated Factor of Safety against liquefaction
- Volumetric strain: Post-liquefaction volumetric strain

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

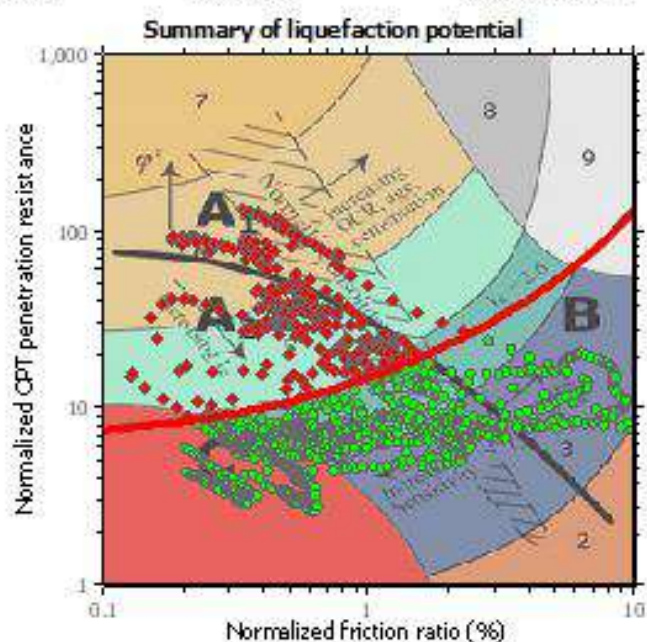
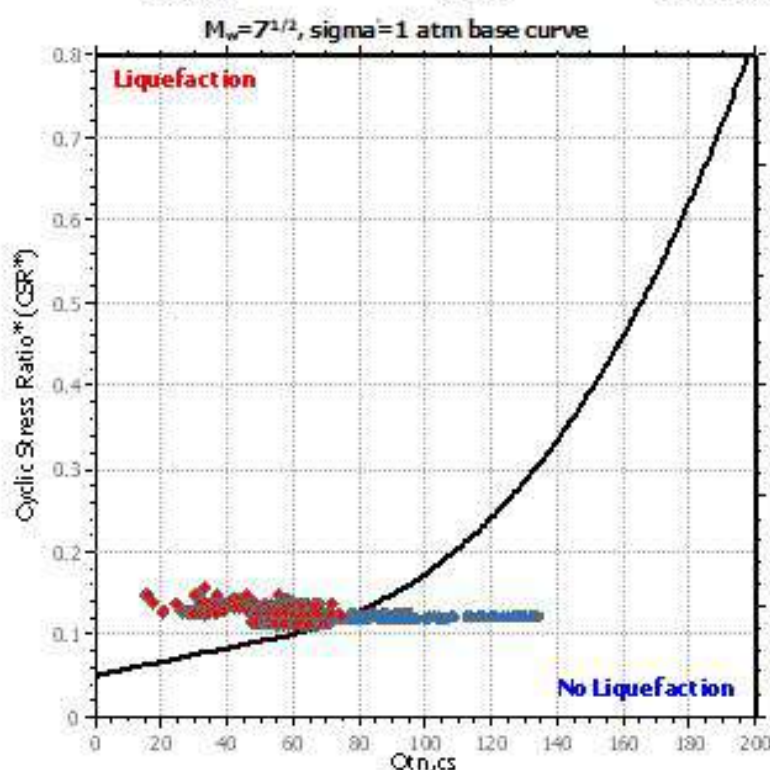
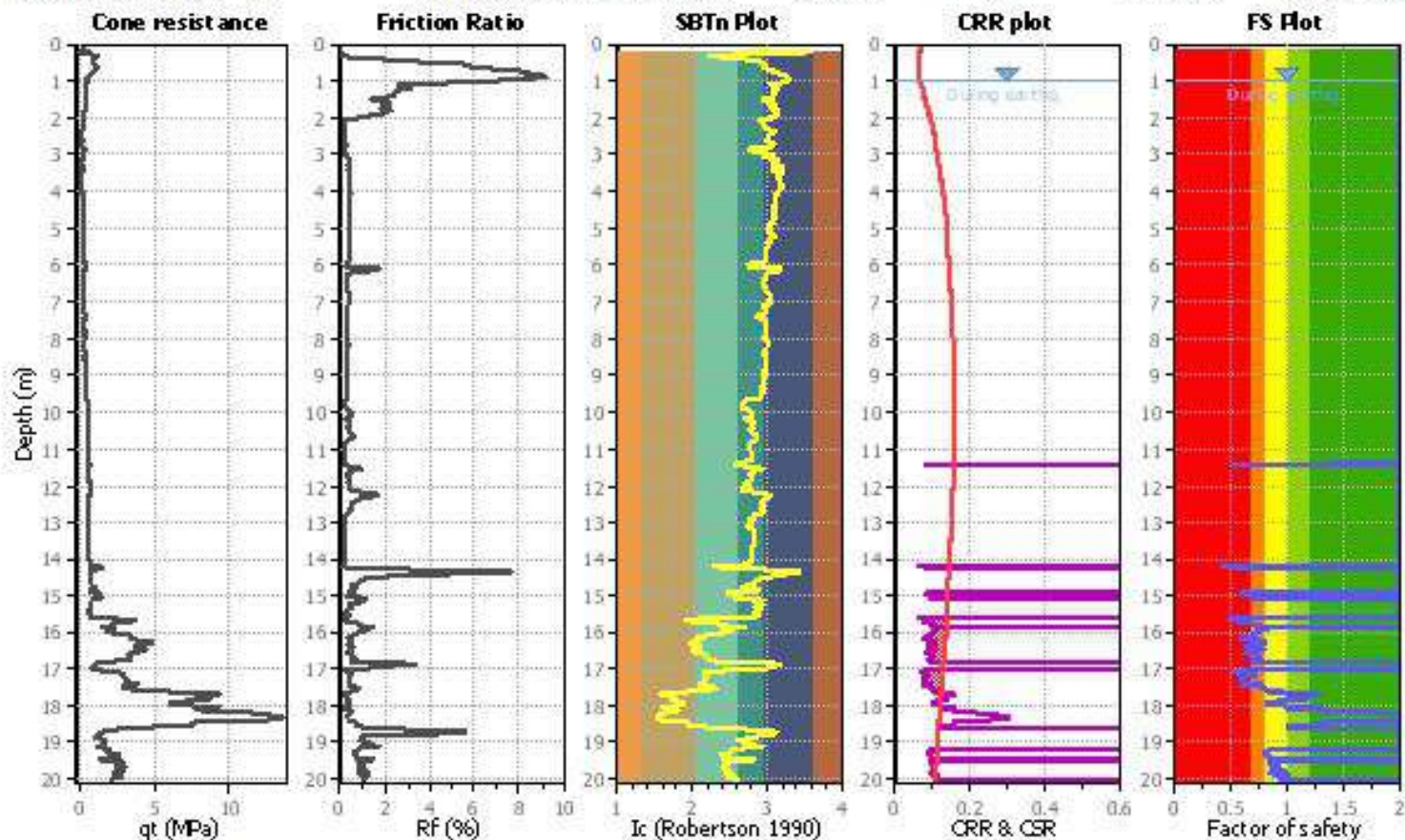
Project title :

Location :

CPT file: CPTU7

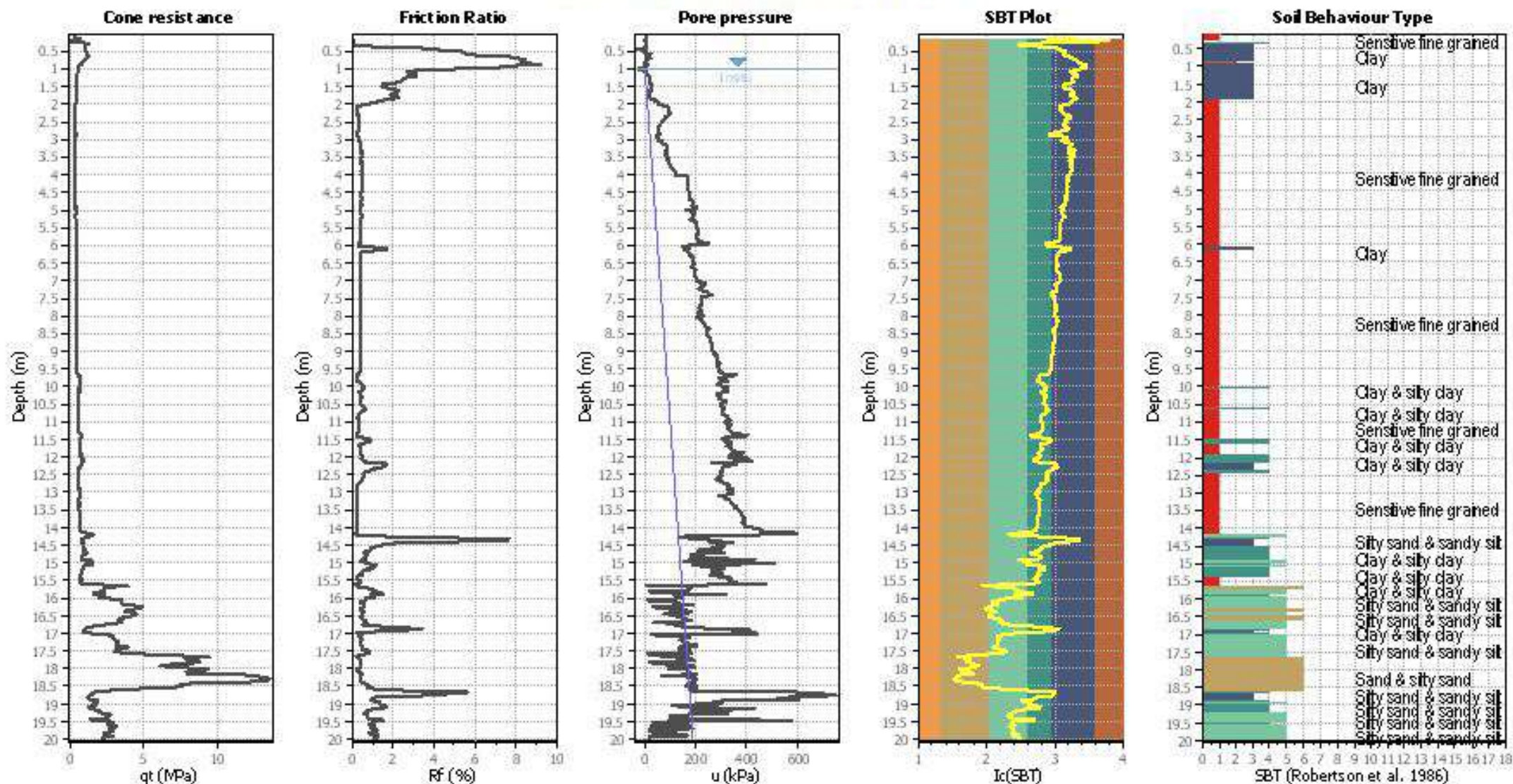
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	1.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Finer correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earth):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth:	N/A
Earthquake magnitude M_w :	6.80	Ic cut-off value:	2.60	Trans. defect. applied:	No	MSF method:	Method based
Peak ground acceleration:	0.13	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_s applied:	Yes		



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

CPT basic interpretation plots



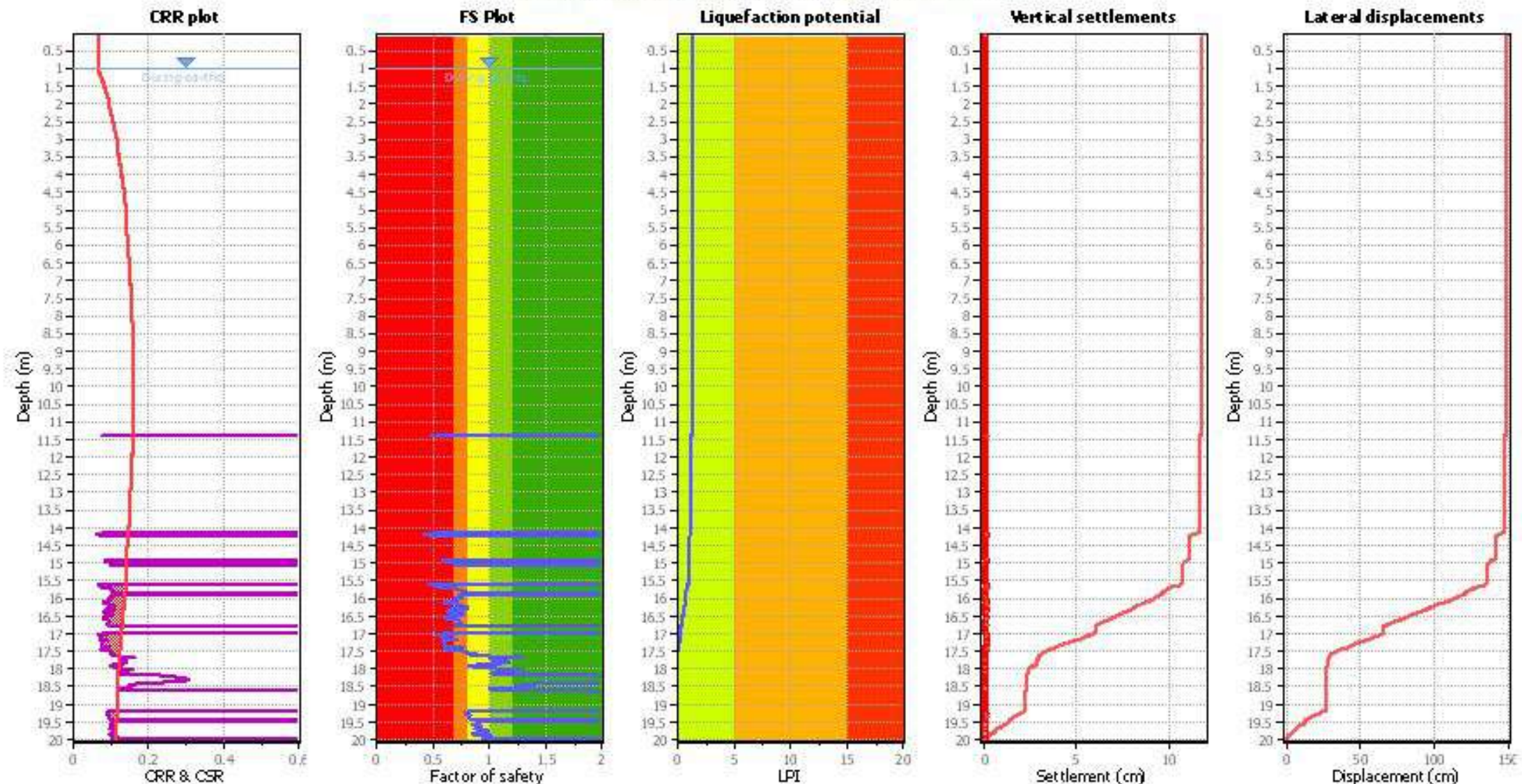
Input parameters and analysis data

Analysis method:	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:	No
Points to test:	Based on I_c value	I_c cut-off value:	2.60	K_{α} applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.80	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.13	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBT legend

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

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:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K ₀ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.80	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.13	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (inst):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

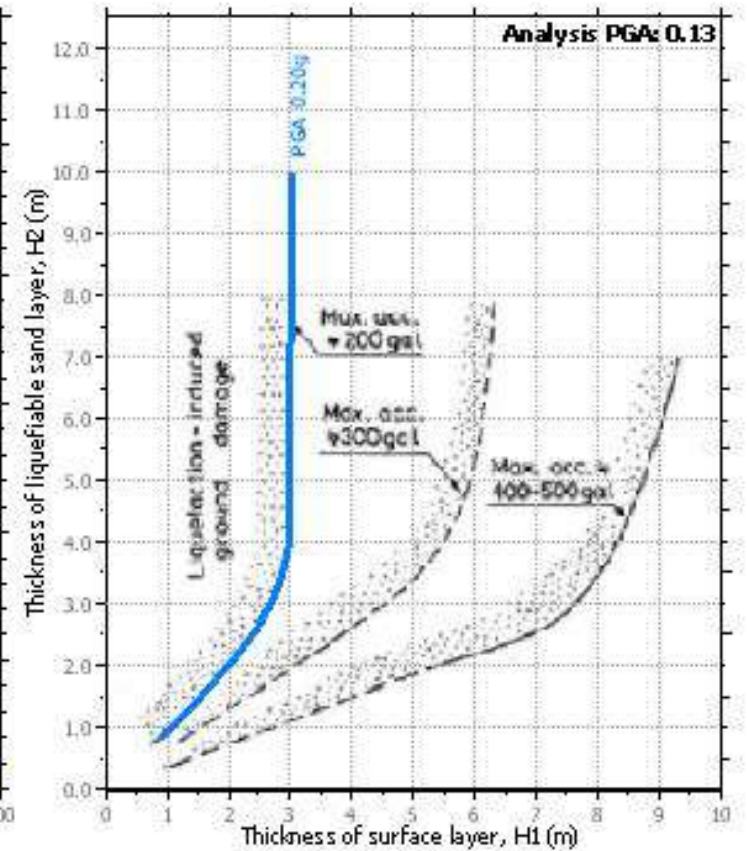
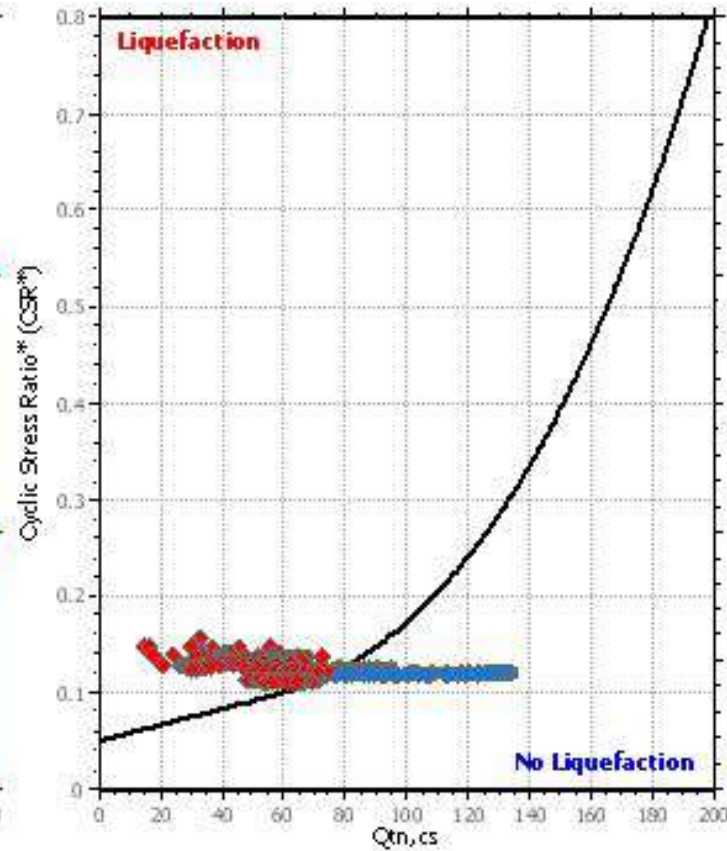
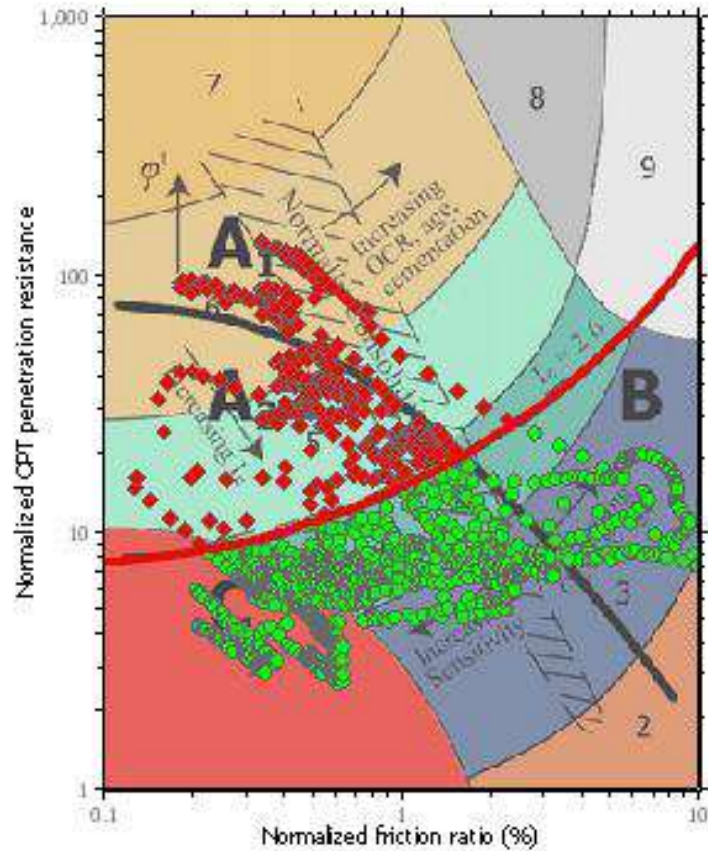
F.S. color scheme

- 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

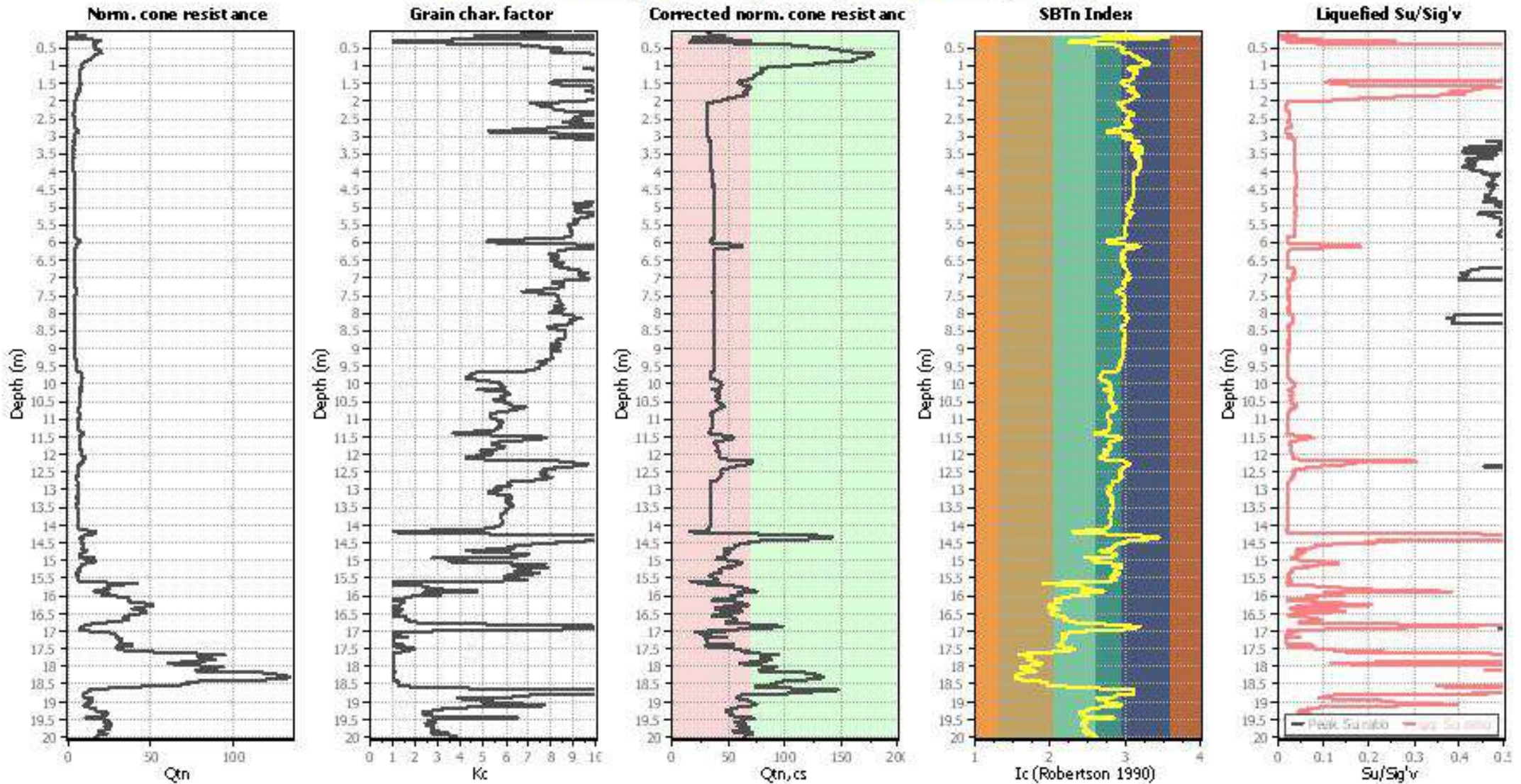
Liquefaction analysis summary plots



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:	No
Points to test:	Based on I_c value	I_c cut-off value:	2.60	K_s applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.80	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.13	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (reslu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

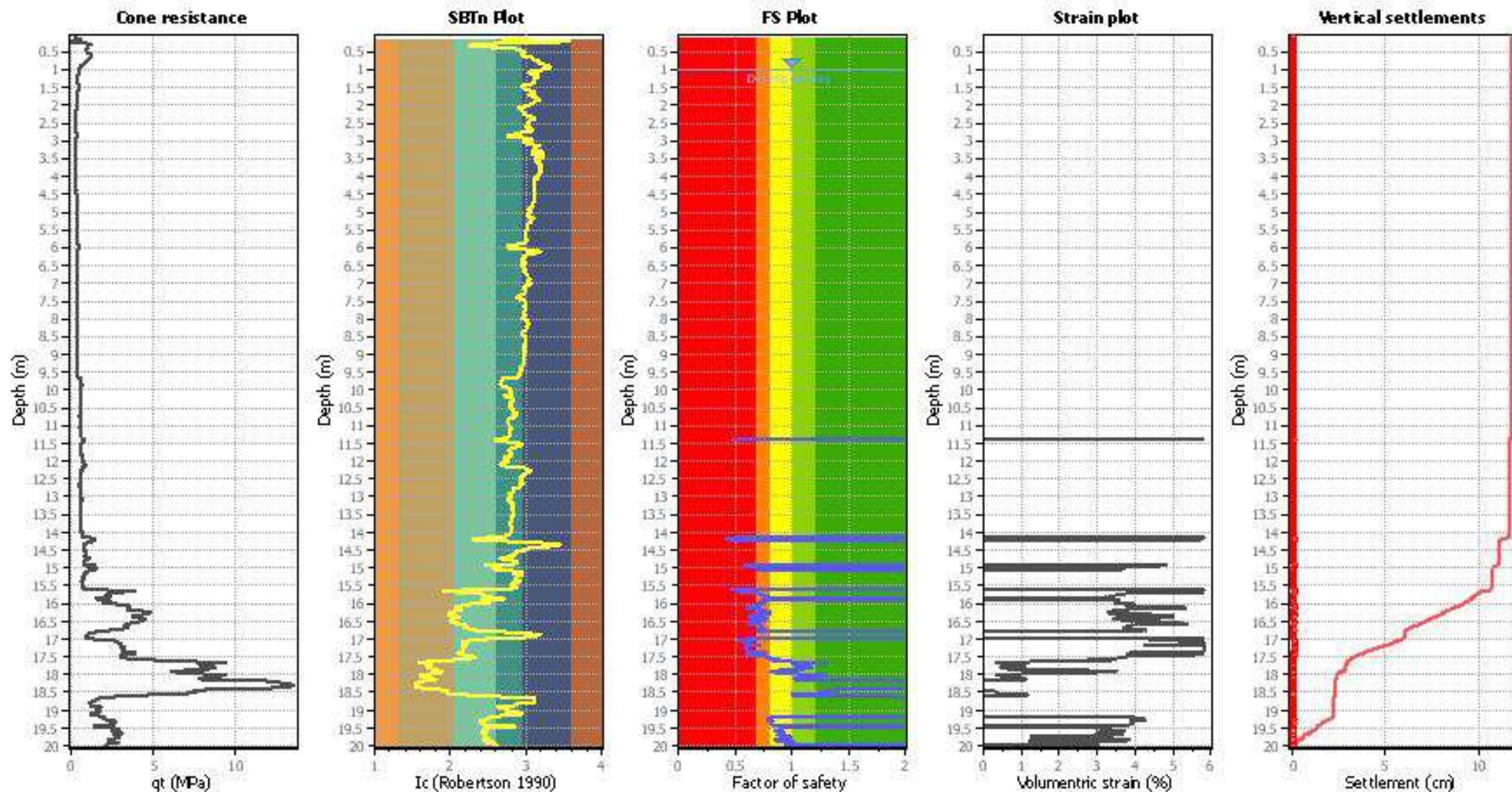
Check for strength loss plots (Robertson (2010))



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:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _c applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.80	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.13	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

Estimation of post-earthquake settlements



Abbreviations

- q_t: Total cone resistance (cone resistance q_c corrected for pore water effects)
- I_c: Soil Behaviour Type Index
- FS_i: Calculated Factor of Safety against liquefaction
- Volumetric strain: Post-liquefaction volumetric strain

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

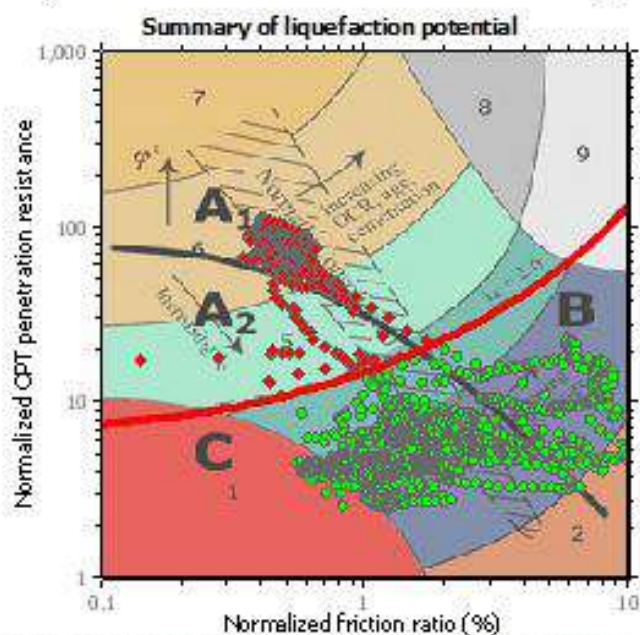
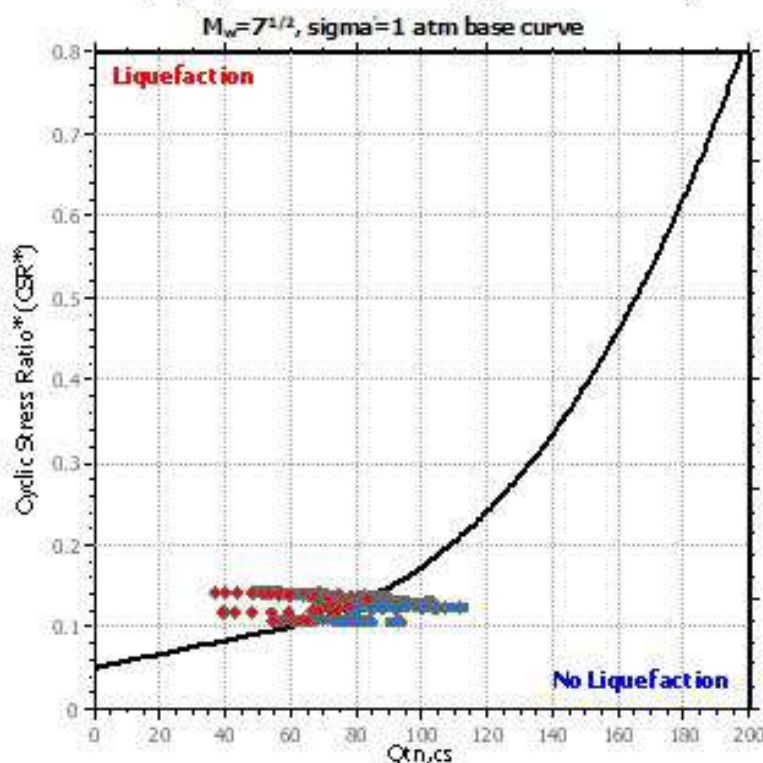
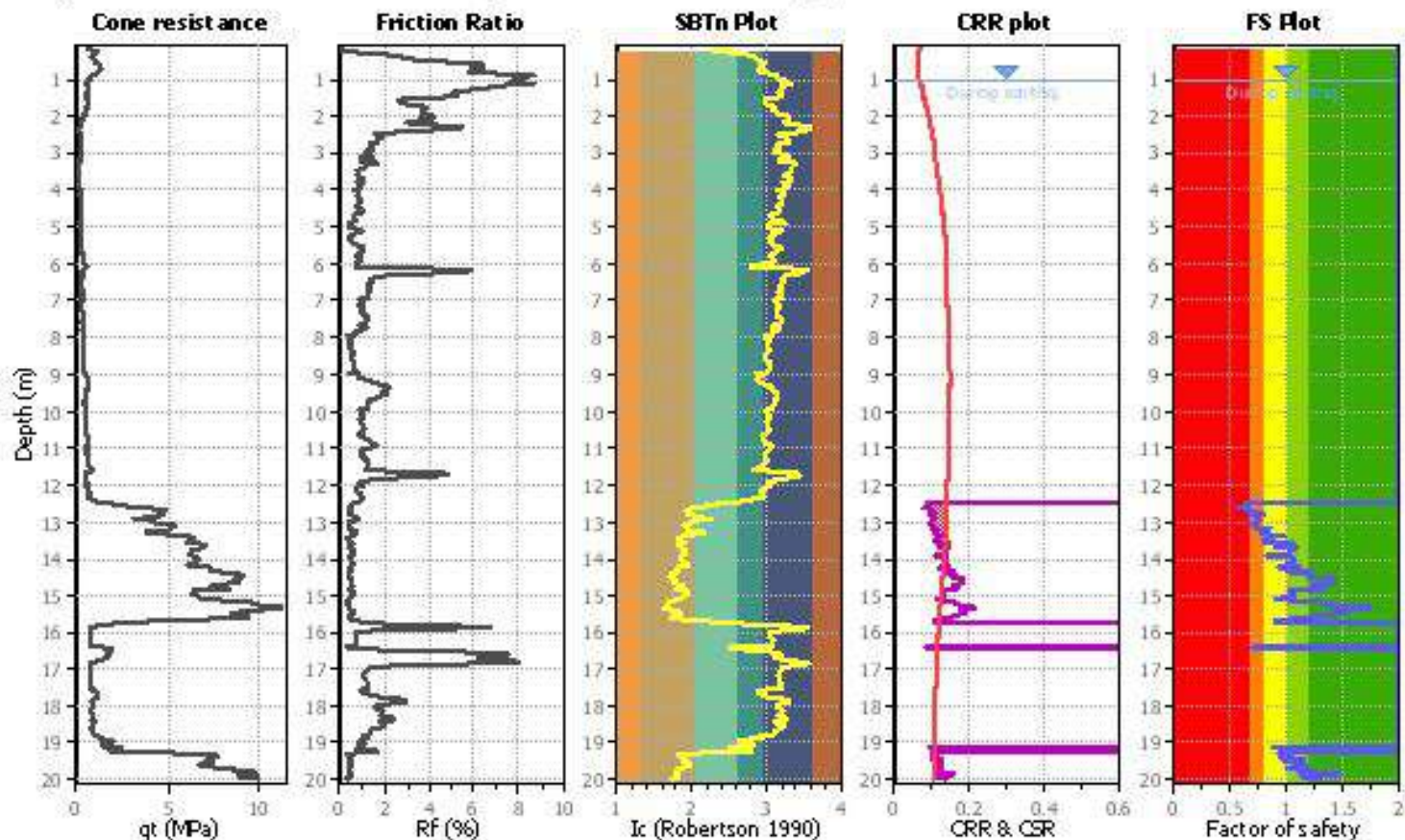
Project title:

Location:

CPT file: CPT08

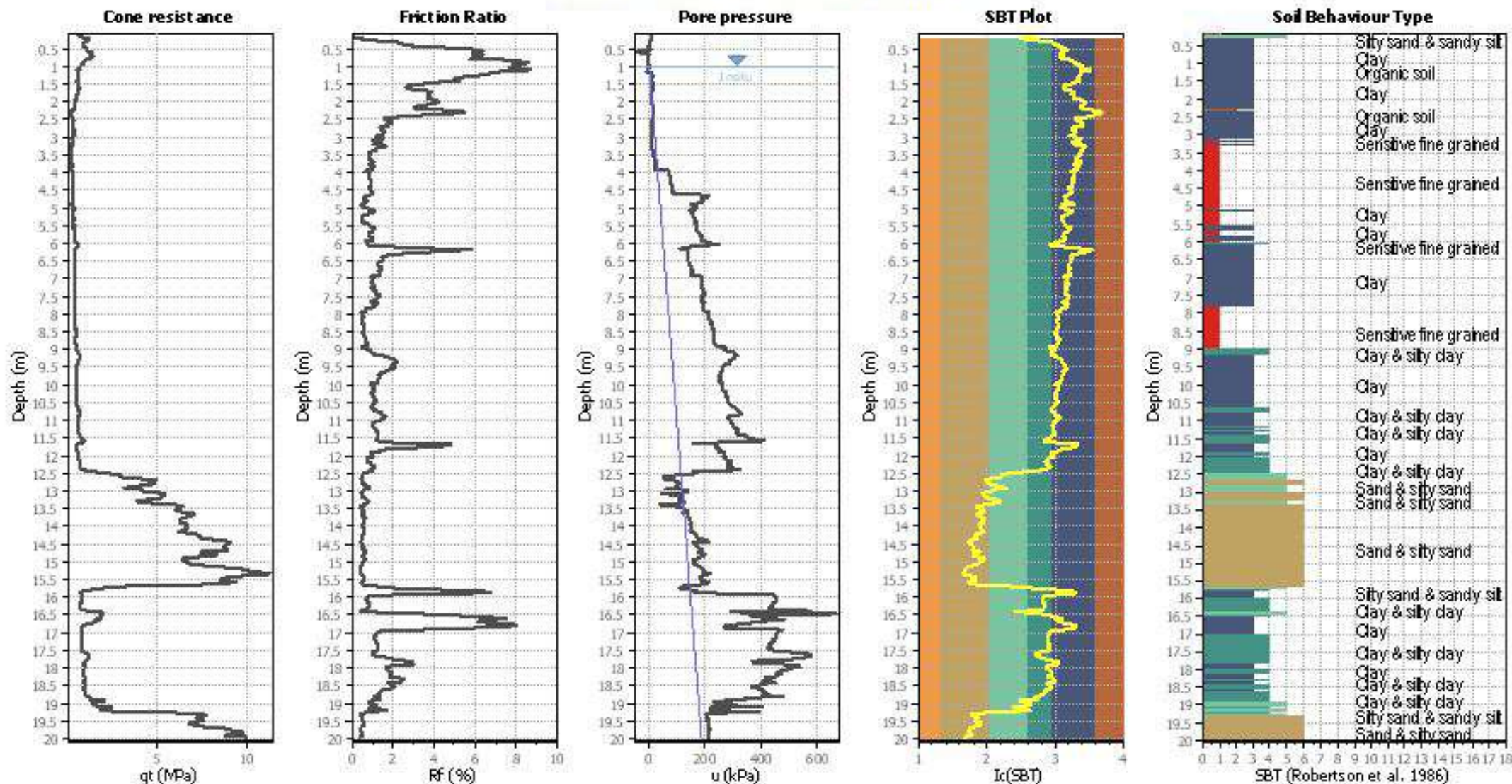
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	1.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth:	N/A
Earthquake magnitude M_w :	6.80	Ic cut-off value:	2.60	Trans. defect. applied:	No	MSF method:	Method based
Peak ground acceleration:	0.13	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_s applied:	Yes		



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

CPT basic interpretation plots



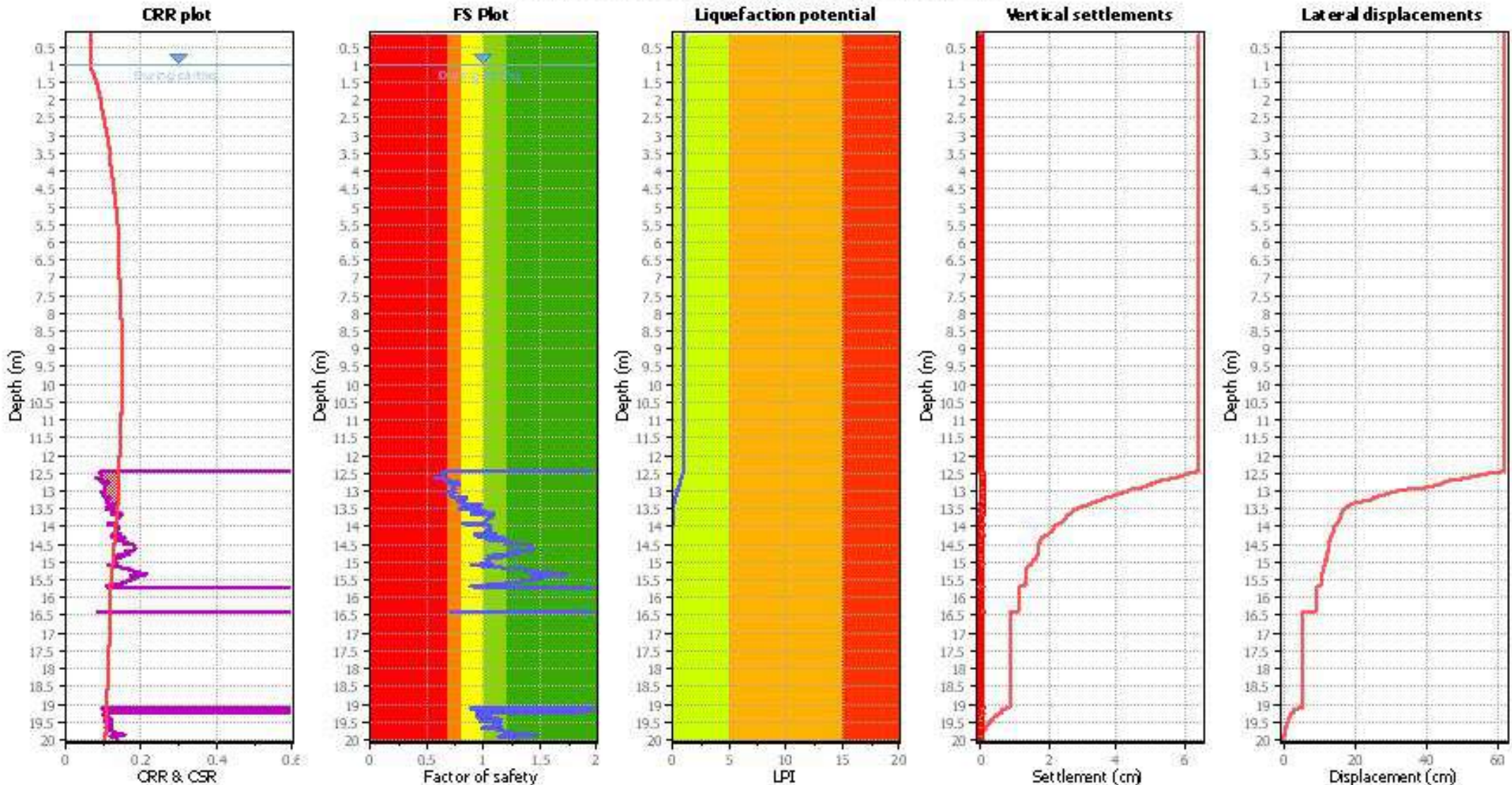
Input parameters and analysis data

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:	No
Points to test:	Based on I_c value	I_c cut-off value:	2.60	K_f applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.80	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.13	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBT legend

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

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method: NCEER (1998)
 Fines correction method: NCEER (1998)
 Points to test: Based on Ic value
 Earthquake magnitude M_w : 6.80
 Peak ground acceleration: 0.13
 Depth to water table (insitu): 1.00 m

Depth to water table (earthq.): 1.00 m
 Average results interval: 3
 Ic 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: No
 K_s applied: Yes
 Clay like behavior applied: Sands only
 Limit depth applied: No
 Limit depth: N/A

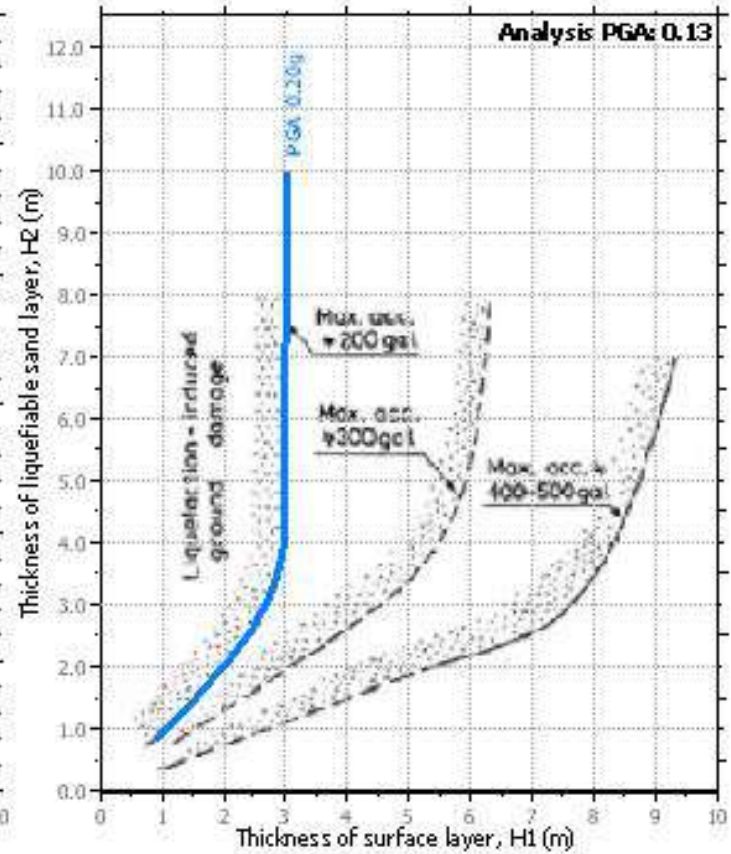
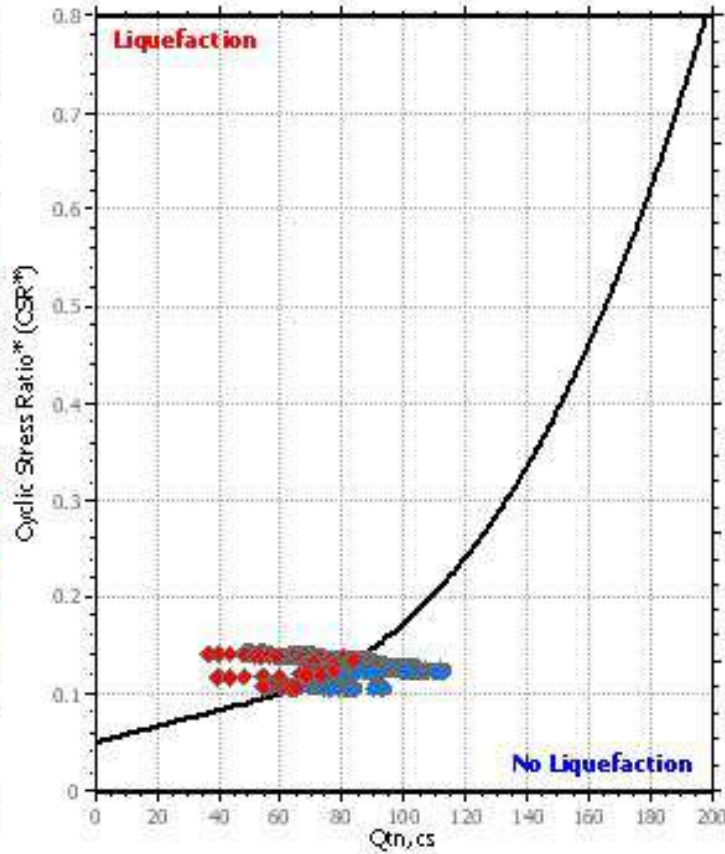
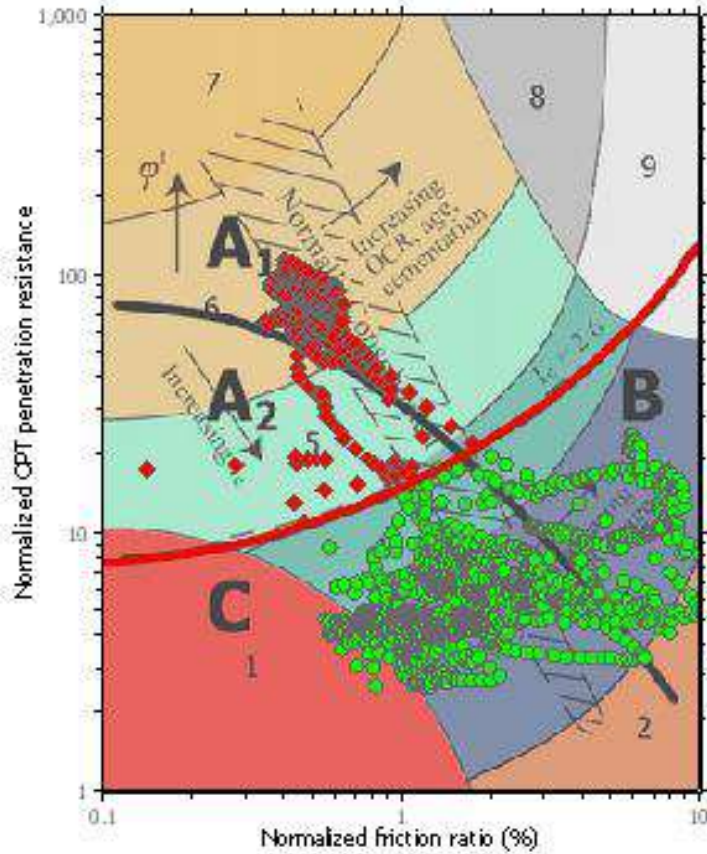
F.S. color scheme

- 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

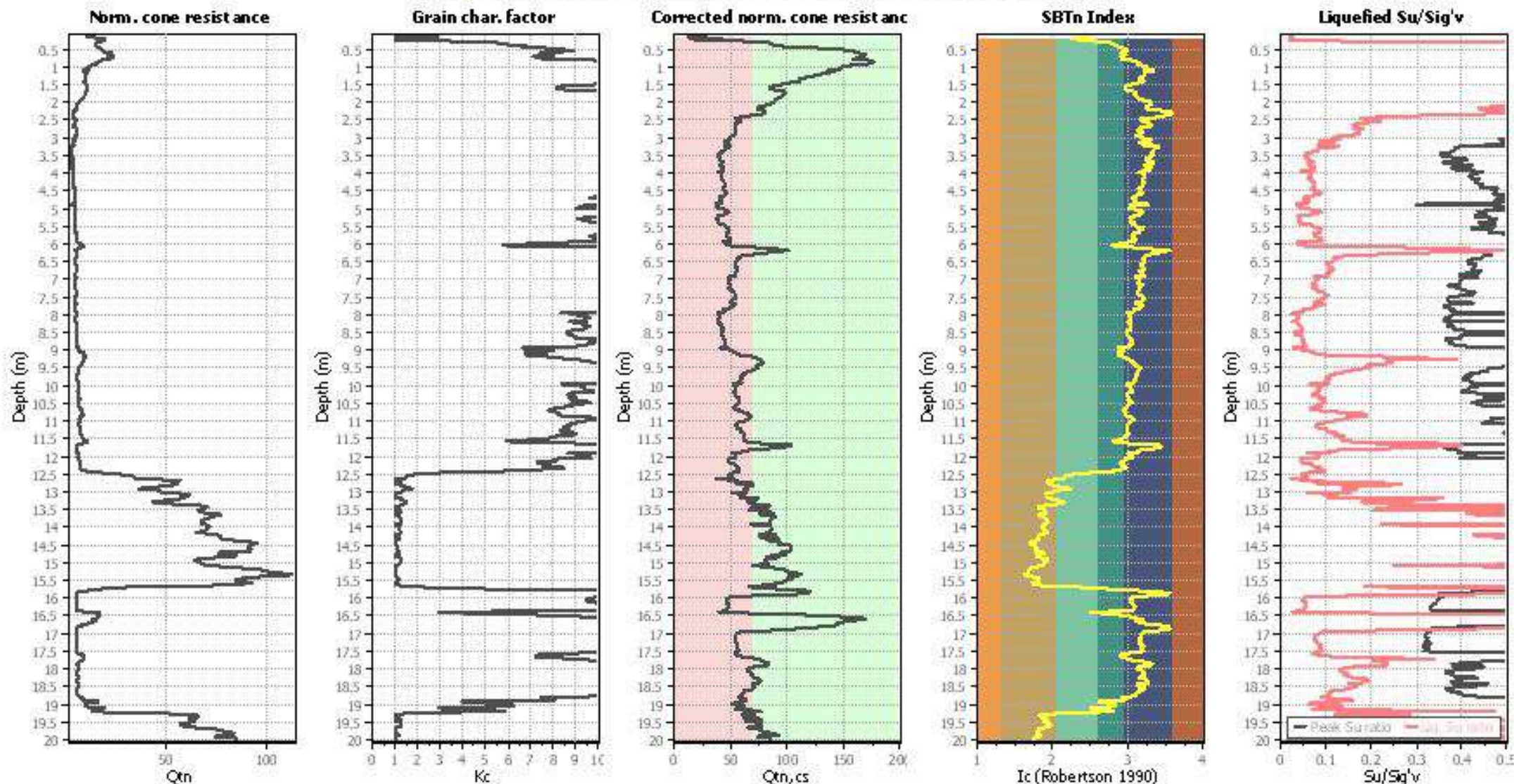
Liquefaction analysis summary plots



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:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K ₀ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.80	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.13	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

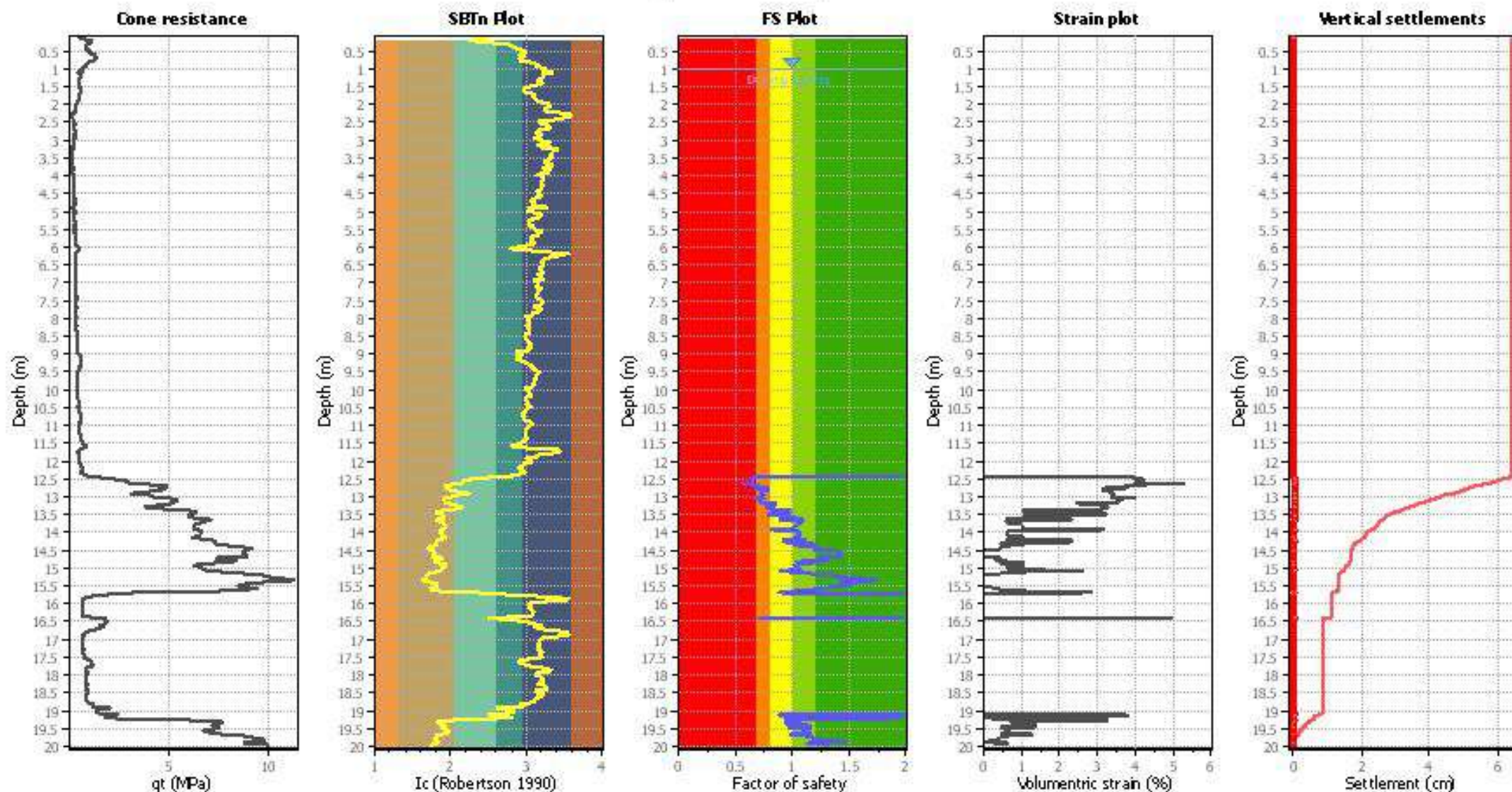
Check for strength loss plots (Robertson (2010))



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:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic out-off value:	2.60	K _v applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.80	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.13	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

Estimation of post-earthquake settlements



Abbreviations

- q_t: Total cone resistance (cone resistance q_c corrected for pore water effects)
- I_c: Soil Behaviour Type Index
- FS: Calculated Factor of Safety against liquefaction
- Volumetric strain: Post-liquefaction volumetric strain

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

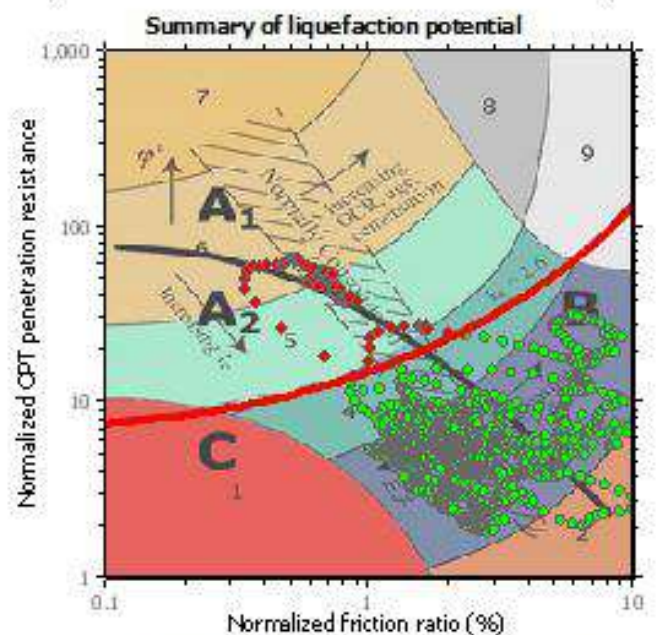
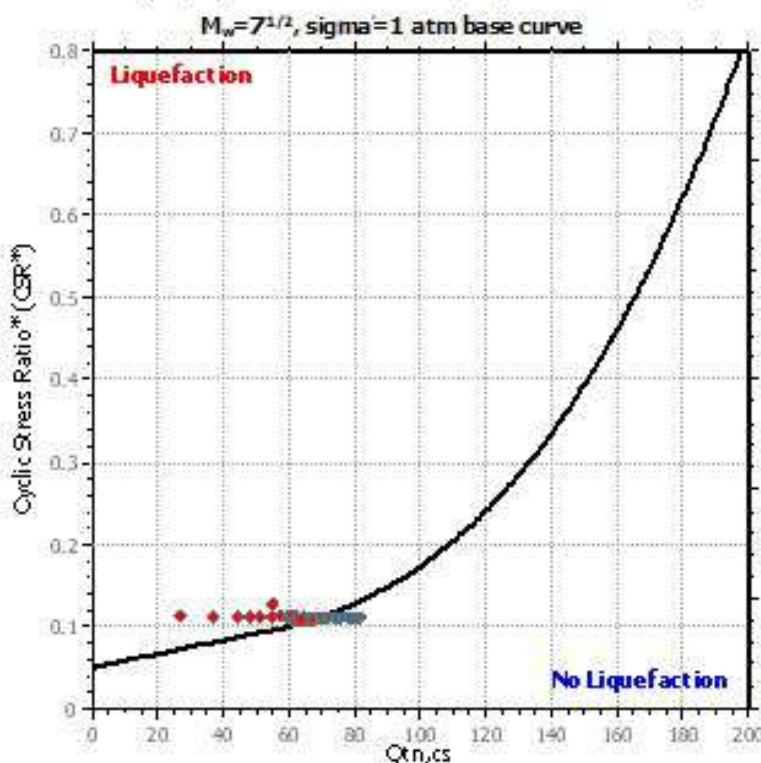
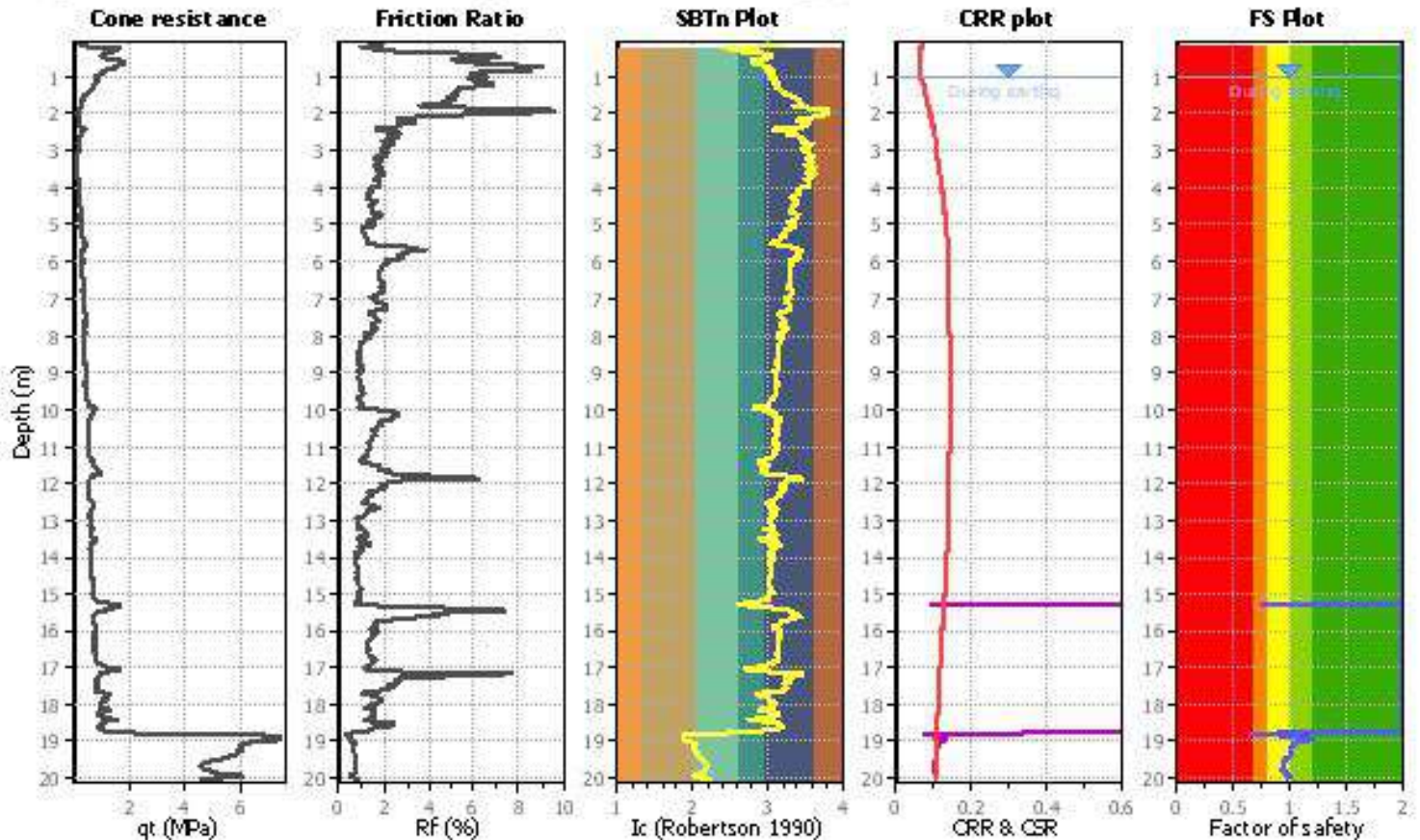
Project title :

Location :

CPT file: CPTU9

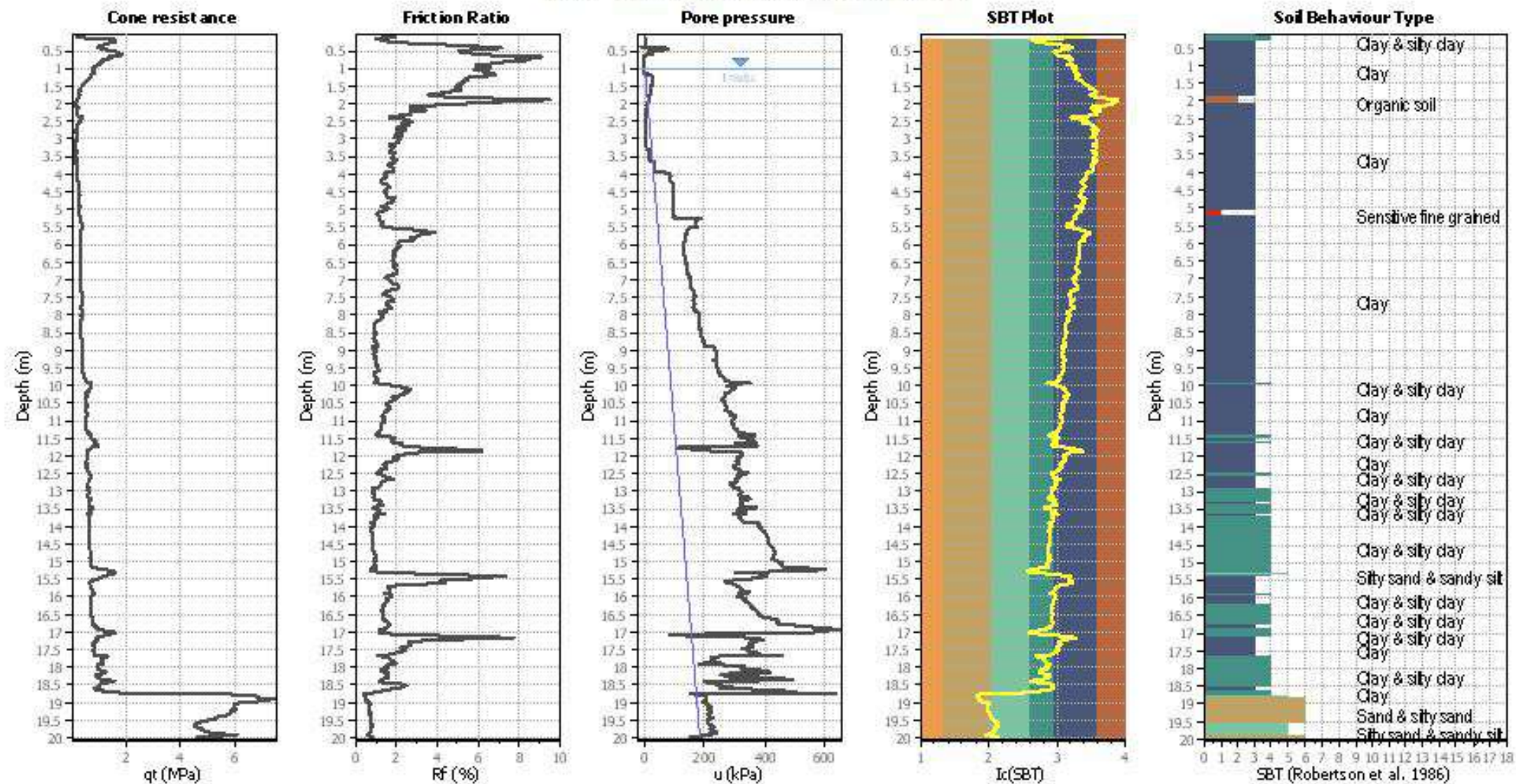
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	1.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth:	N/A
Earthquake magnitude M_w :	6.80	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	MSF method:	Method based
Peak ground acceleration:	0.13	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_0 applied:	Yes		



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

CPT basic interpretation plots



Input parameters and analysis data

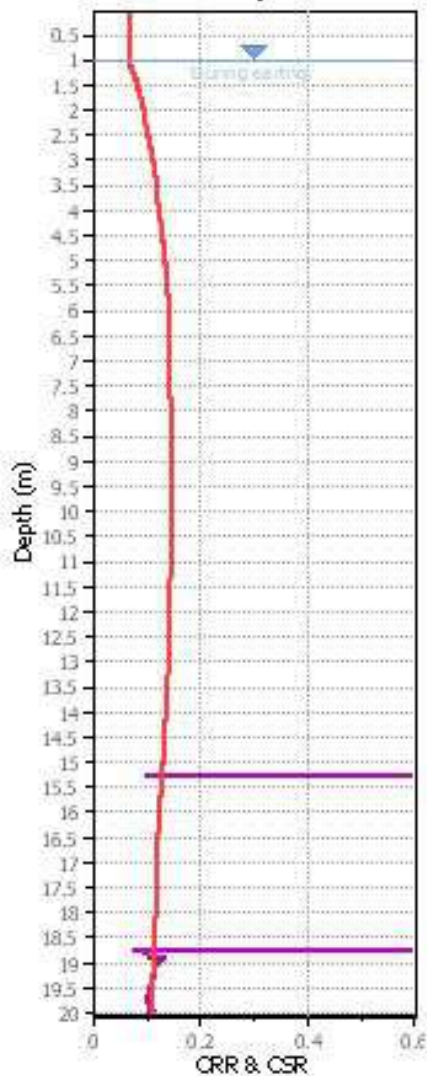
Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (ortho.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K ₀ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.80	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.13	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBT legend

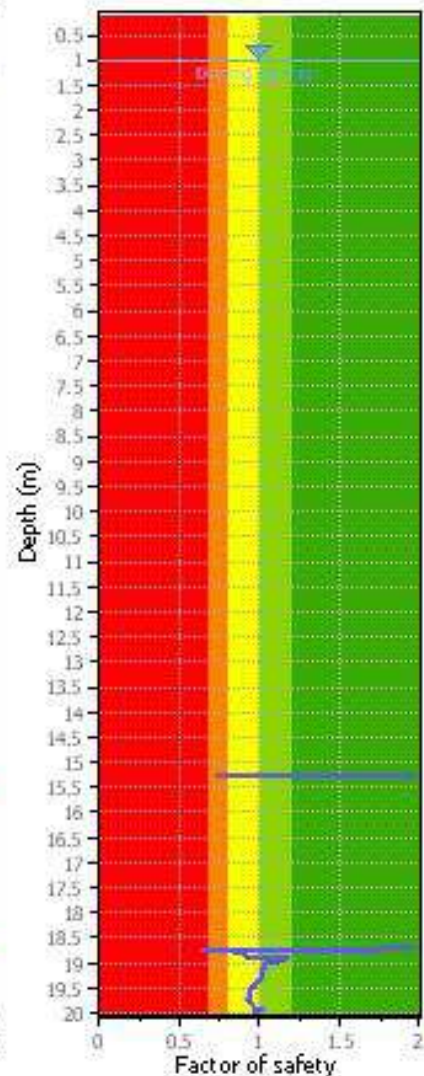
1. Sensitive fine grained	4. Clayey silt to silty	7. Gravely sand to sand
2. Organic material	5. Silty sand to sandy silt	8. Very stiff sand to
3. Clay to silty clay	6. Clean sand to silty sand	9. Very stiff fine grained

Liquefaction analysis overall plots

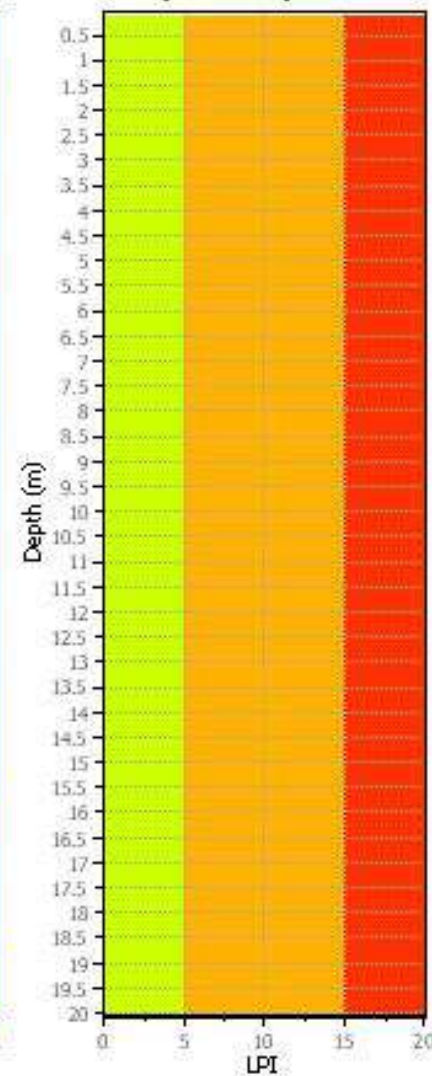
CRR plot



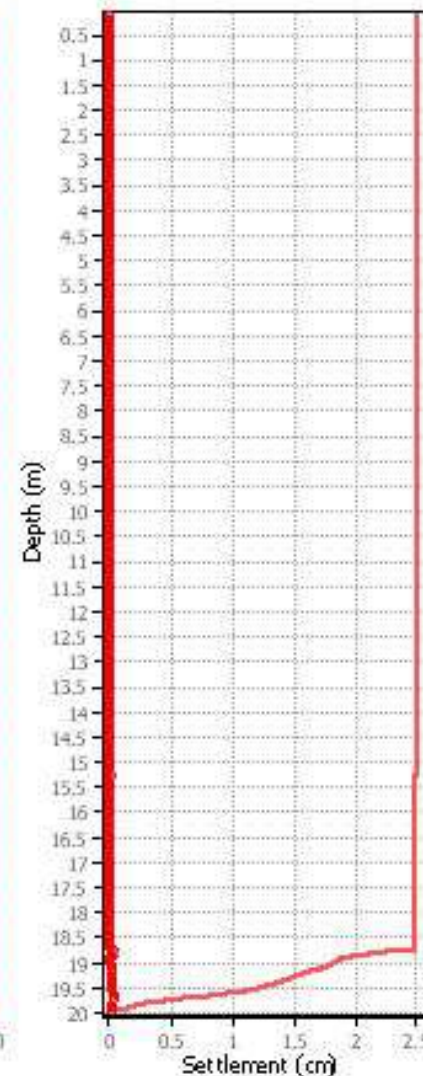
FS Plot



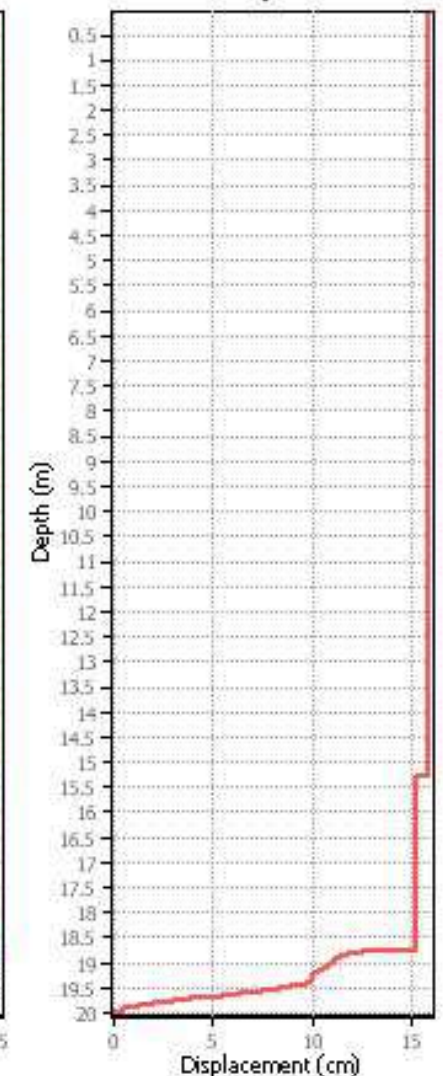
Liquefaction potential



Vertical settlements



Lateral displacements



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (ertlq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on I _c value	I _c cut-off value:	2.60	K ₀ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.80	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.13	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

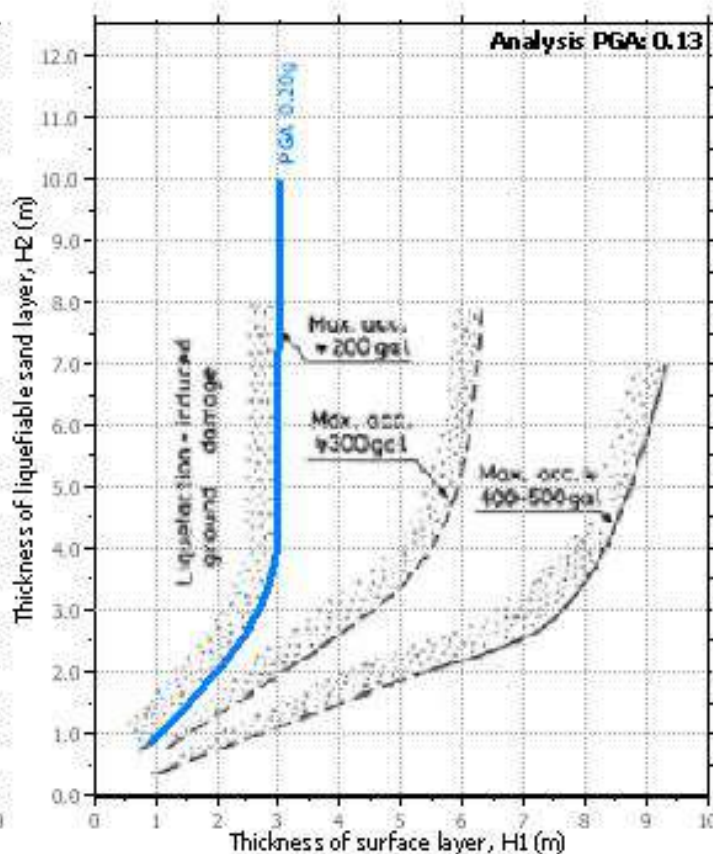
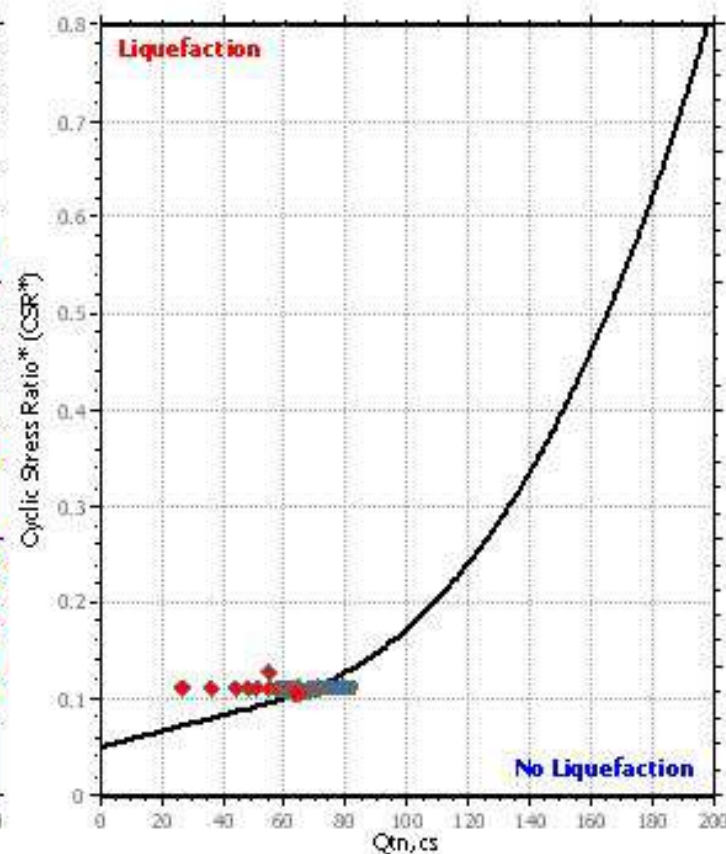
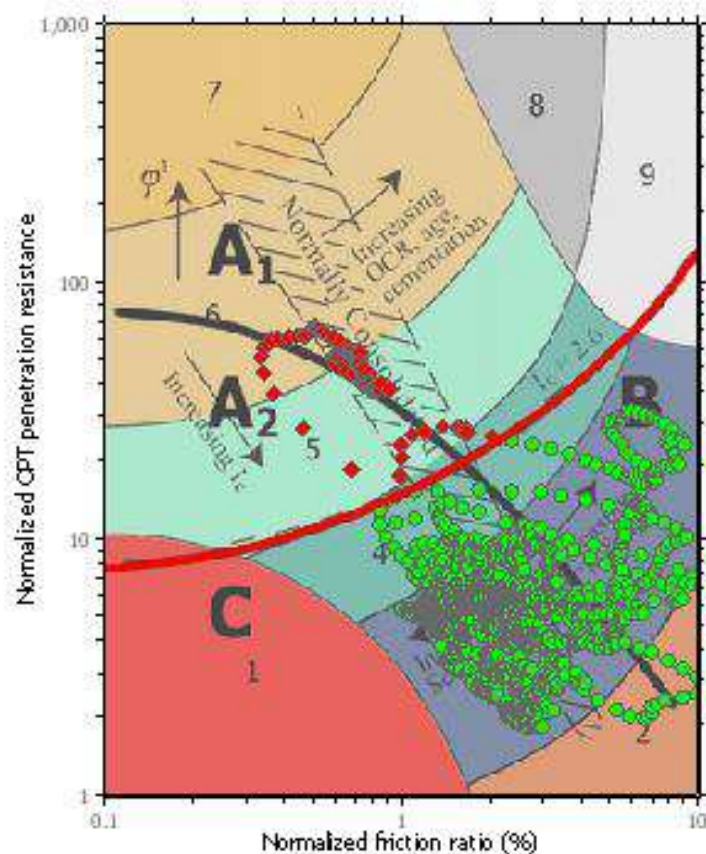
F.S. color scheme

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

LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

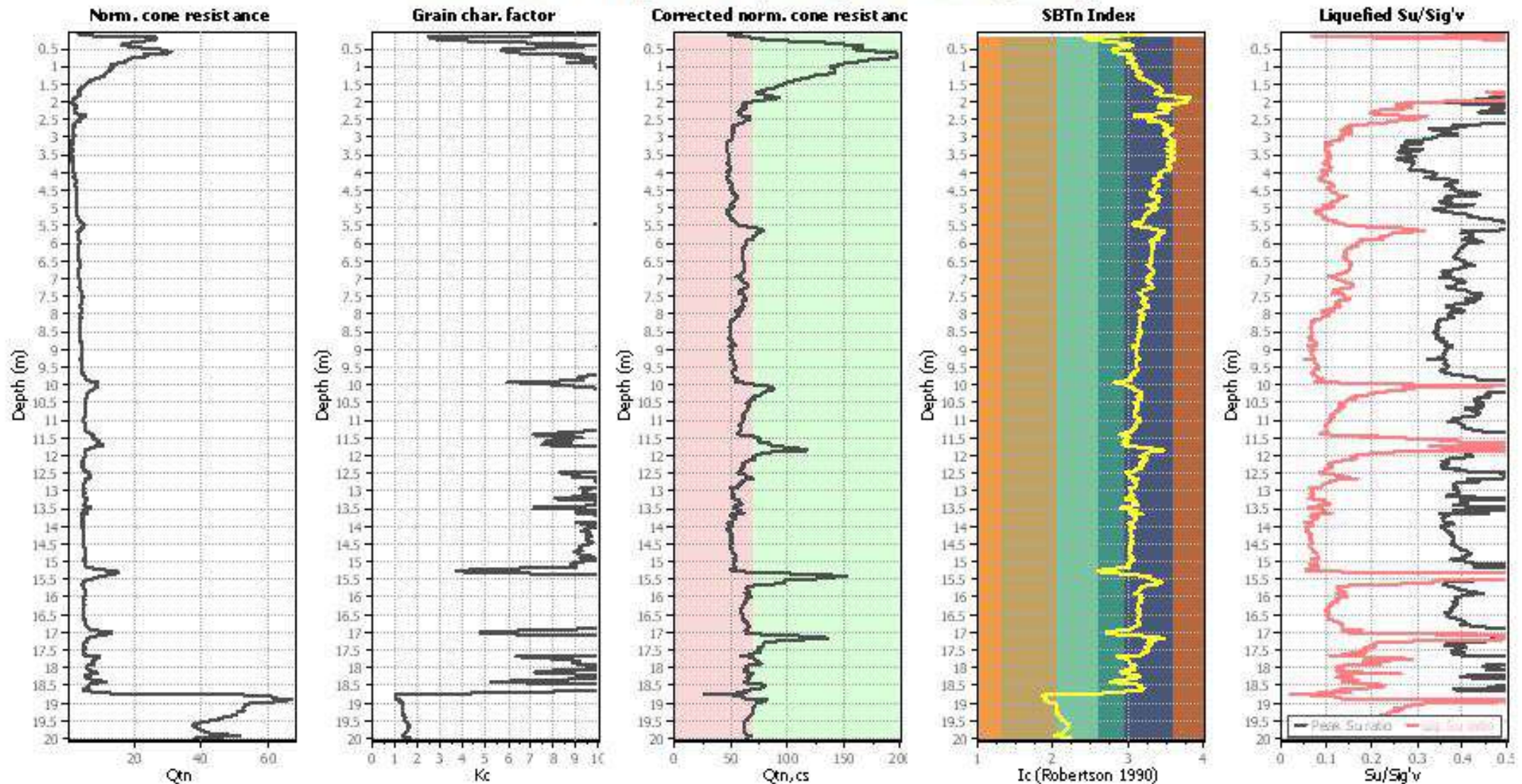
Liquefaction analysis summary plots



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:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _s applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.80	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.13	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

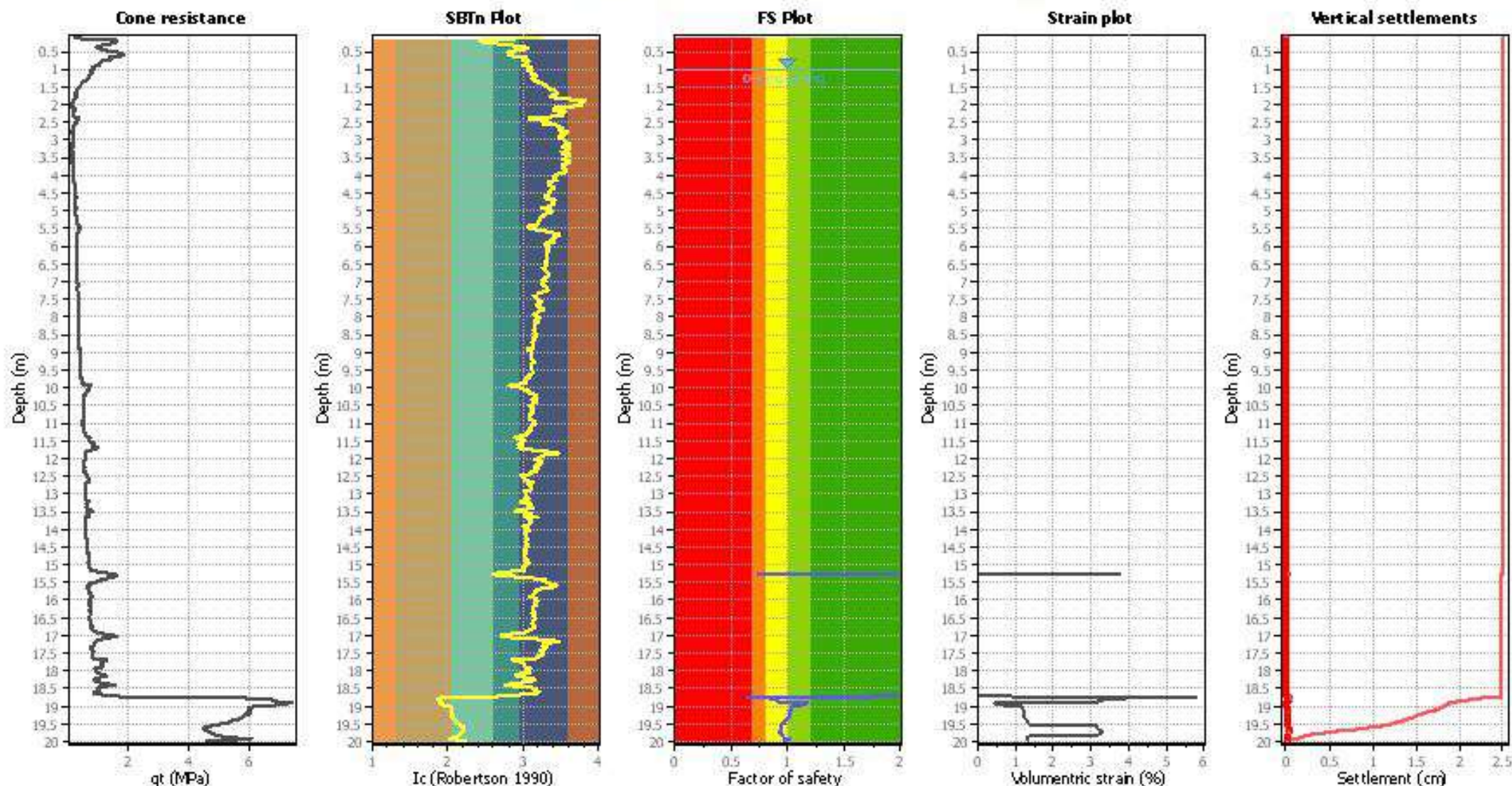
Check for strength loss plots (Robertson (2010))



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (earthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Finer correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _s applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.80	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.13	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

Estimation of post-earthquake settlements



Abbreviations

- q_t : Total cone resistance (cone resistance q_c corrected for pore water effects)
- I_c : Soil Behaviour Type Index
- FS: Calculated Factor of Safety against liquefaction
- Volumetric strain: Post-liquefaction volumetric strain

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

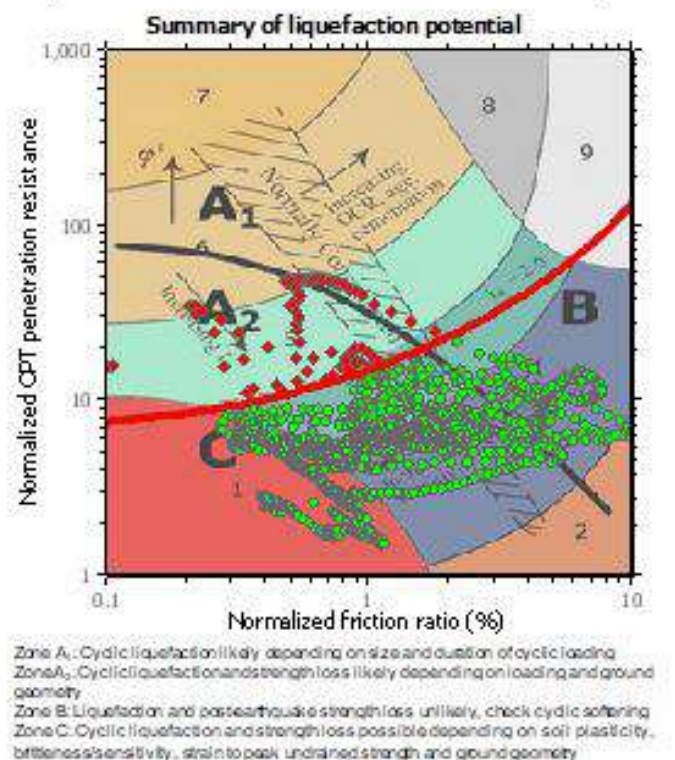
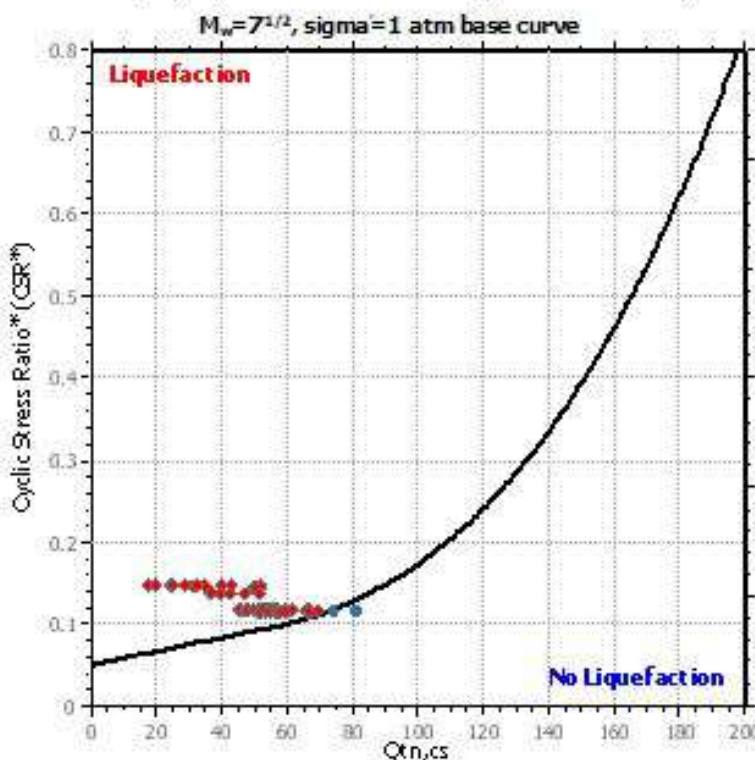
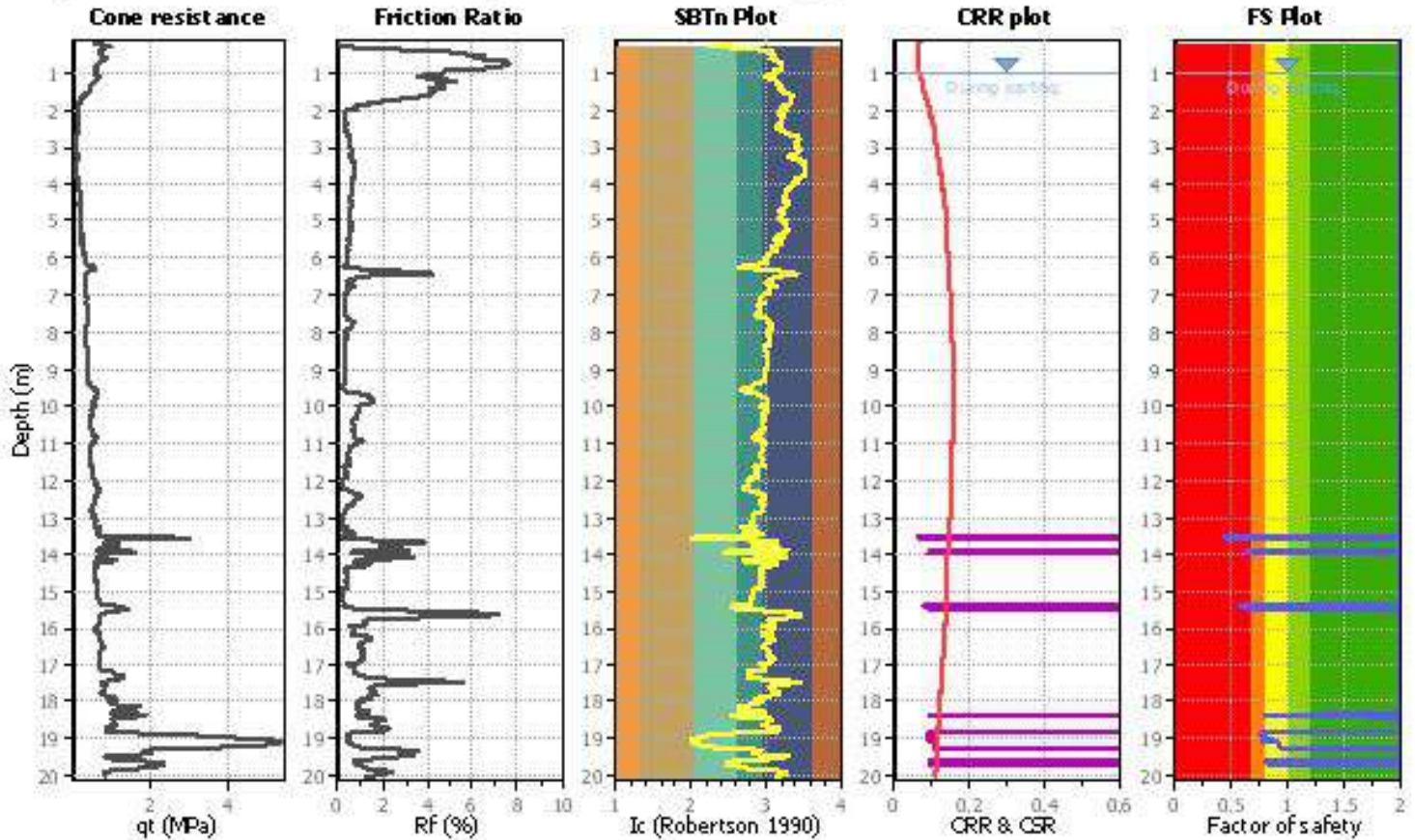
Project title:

Location:

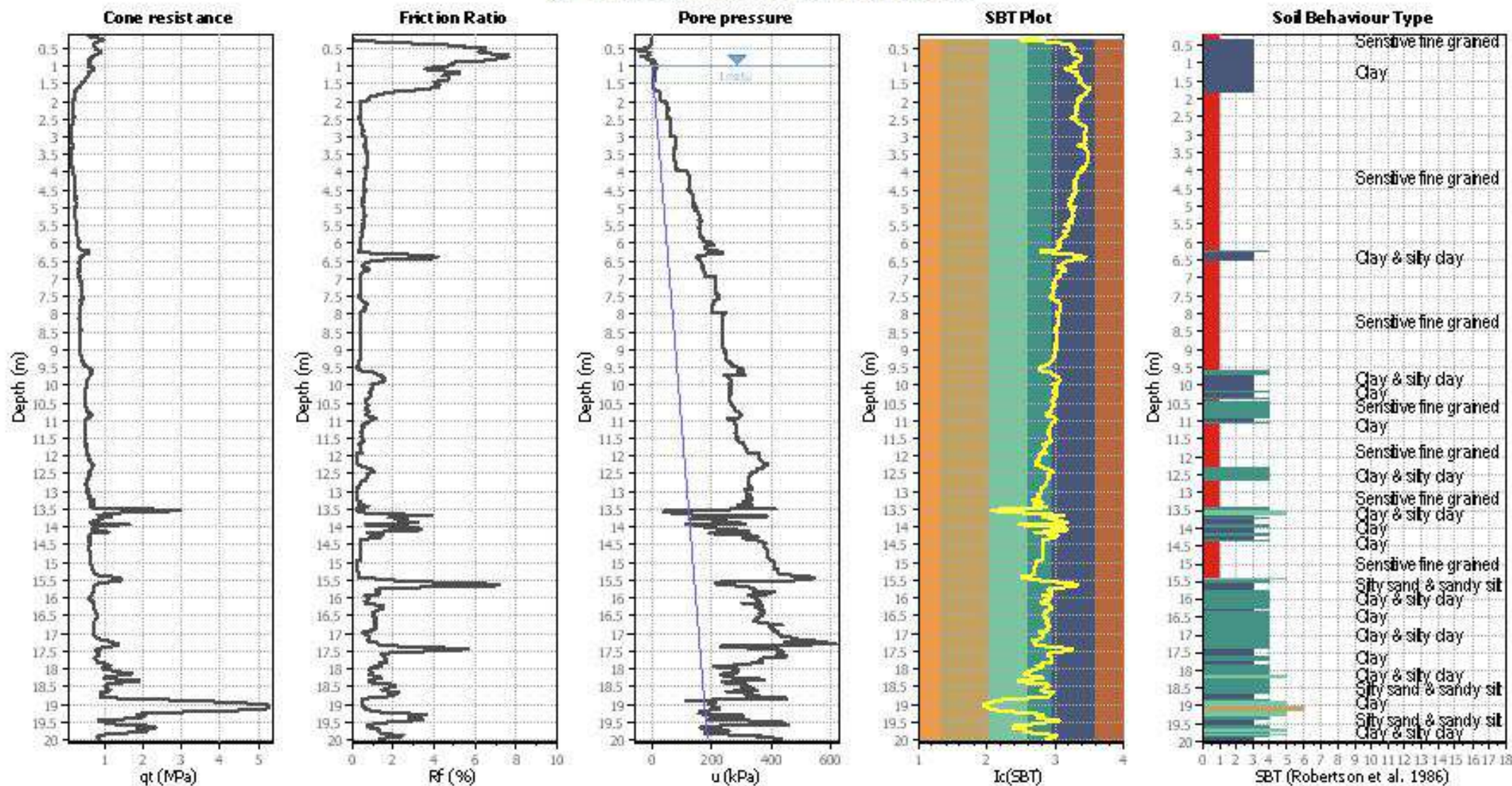
CPT file: CPTU10

Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	1.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth:	N/A
Earthquake magnitude M_w :	6.80	Ic cut-off value:	2.60	Trans. defect. applied:	No	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.13	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_0 applied:	Yes	MSF method:	Method based



CPT basic interpretation plots



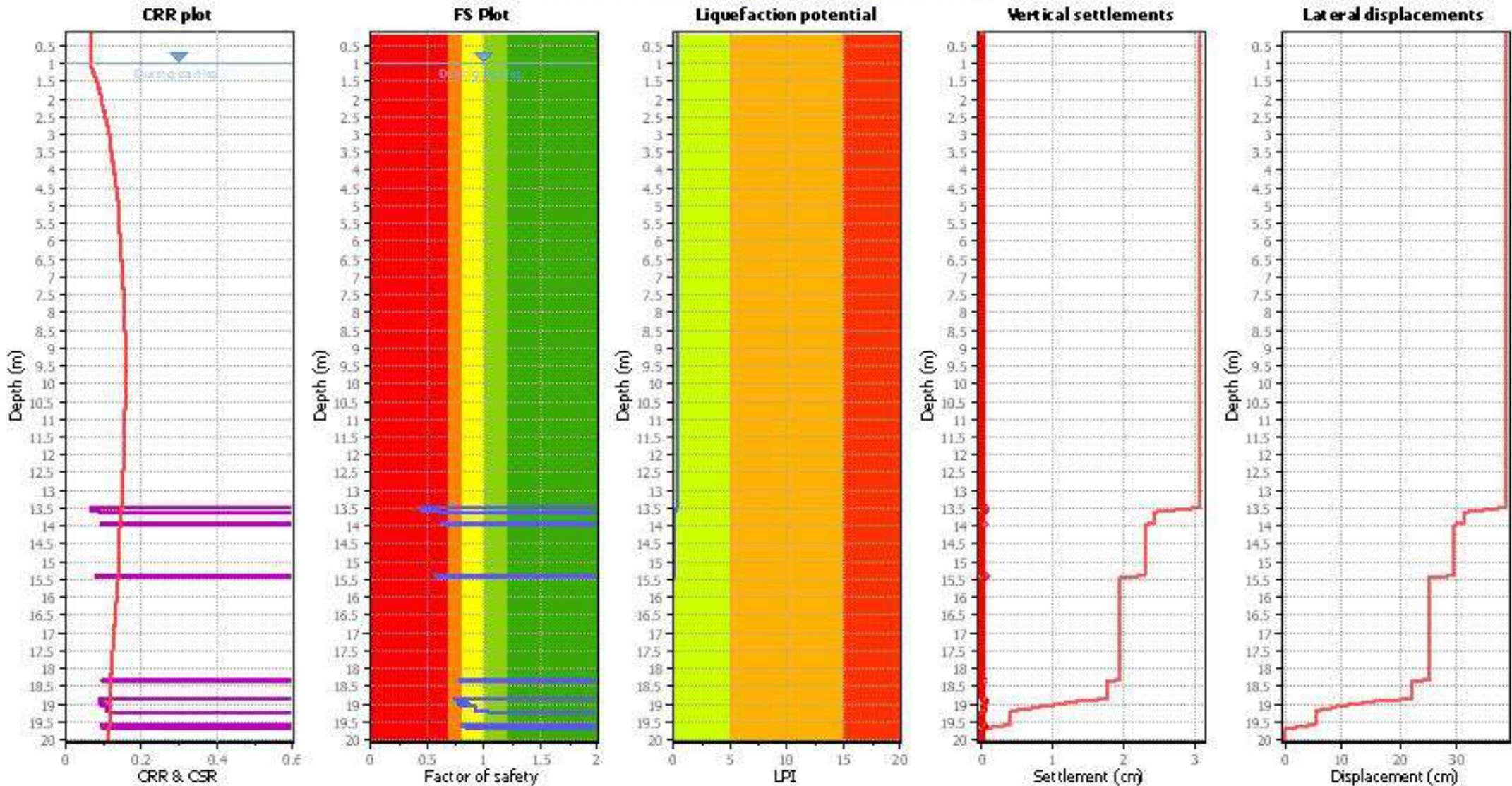
Input parameters and analysis data

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:	No
Points to test:	Based on I_c value	I_c cut-off value:	2.60	K_s applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.80	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.13	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (reslu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBT legend

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

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:	No
Points to test:	Based on I _c value	I _c cut-off value:	2.60	K ₀ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.80	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.13	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

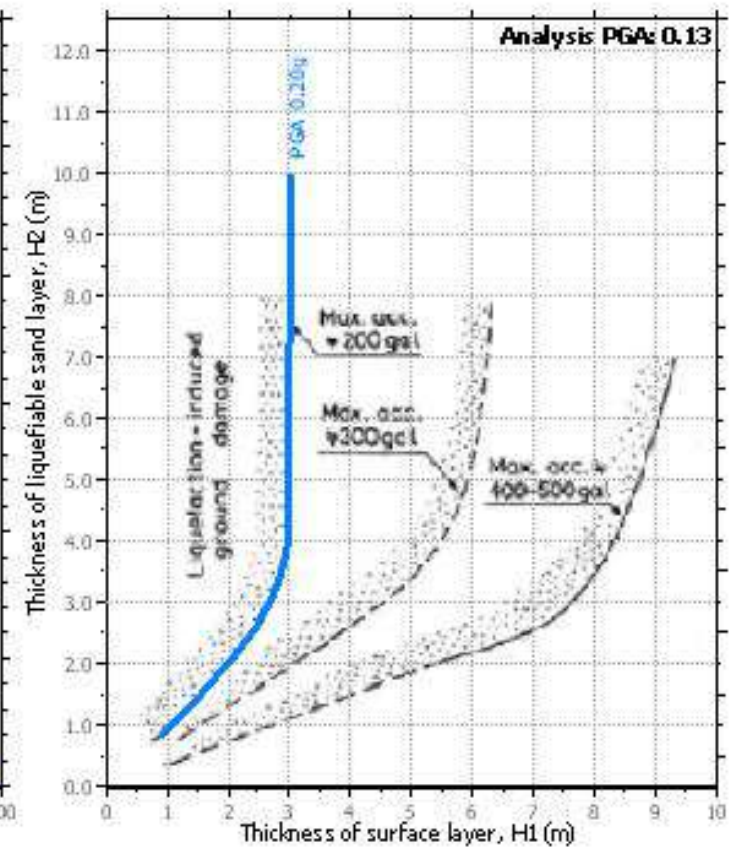
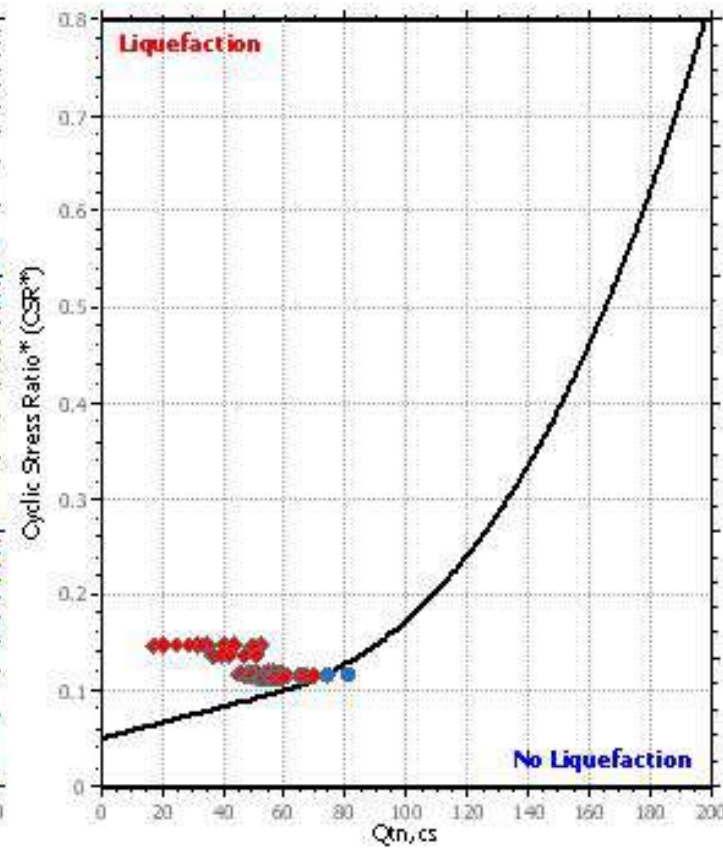
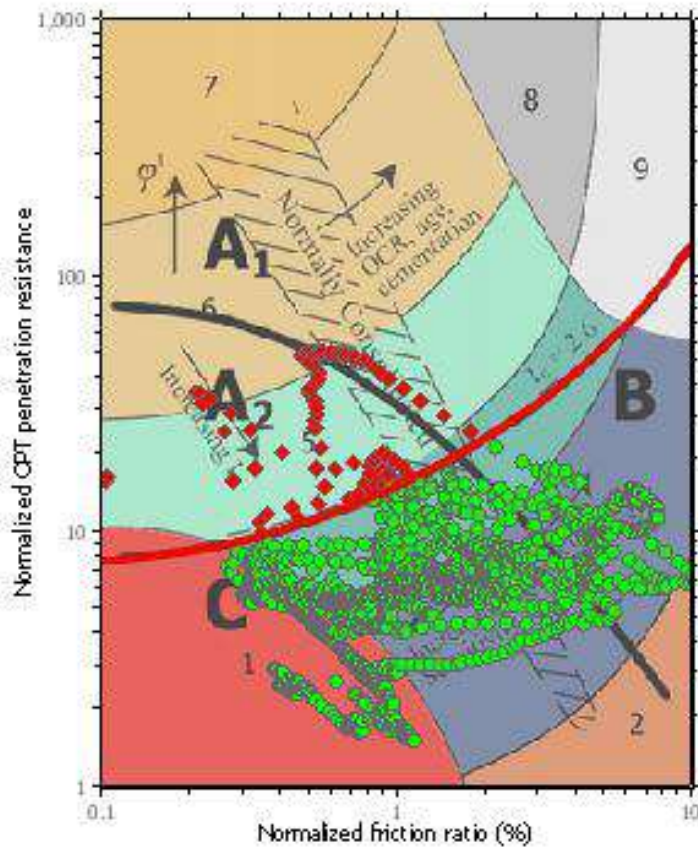
F.S. color scheme

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

LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

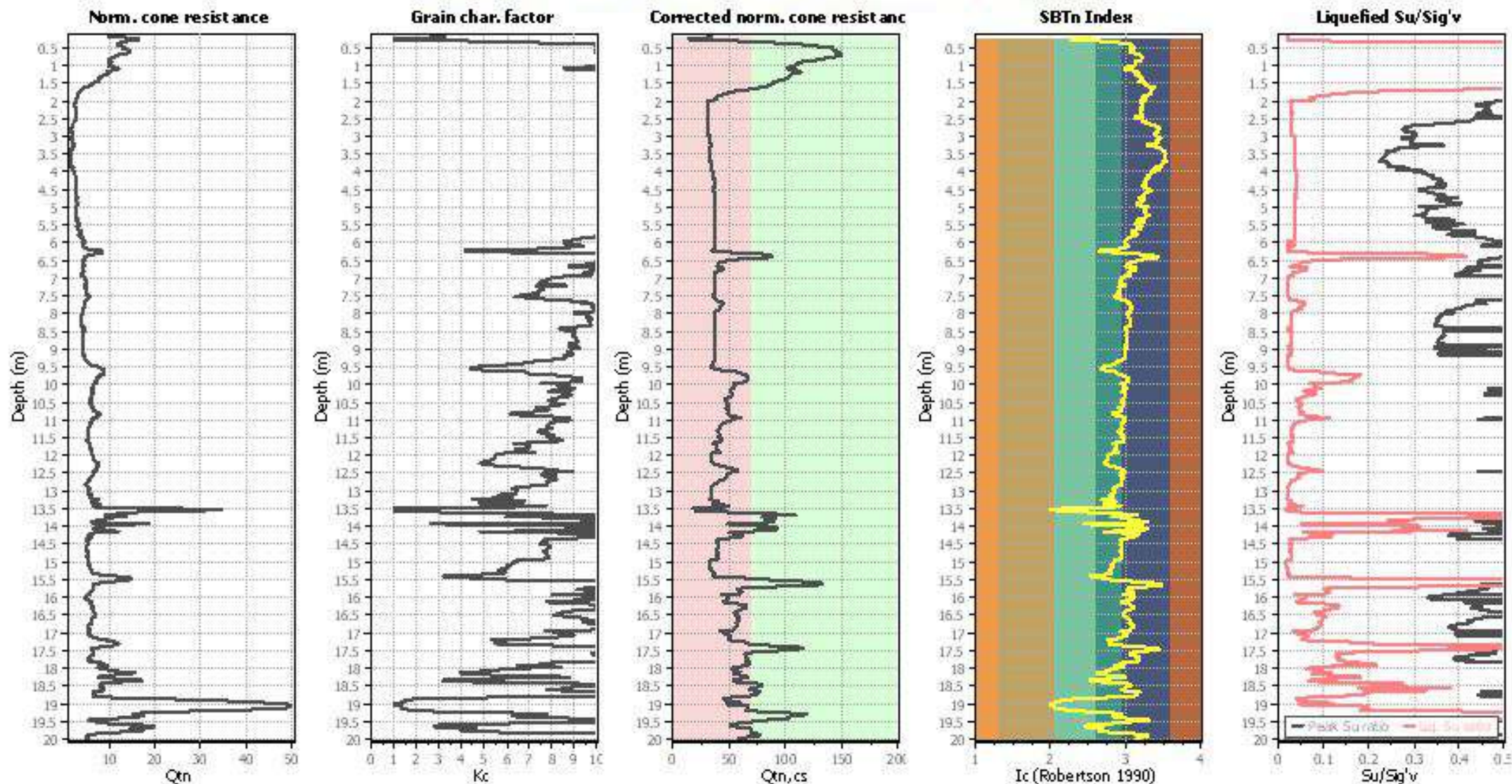
Liquefaction analysis summary plots



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:	No
Points to test:	Based on I_c value	I_c cut-off value:	2.60	K_{σ} applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.80	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.13	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

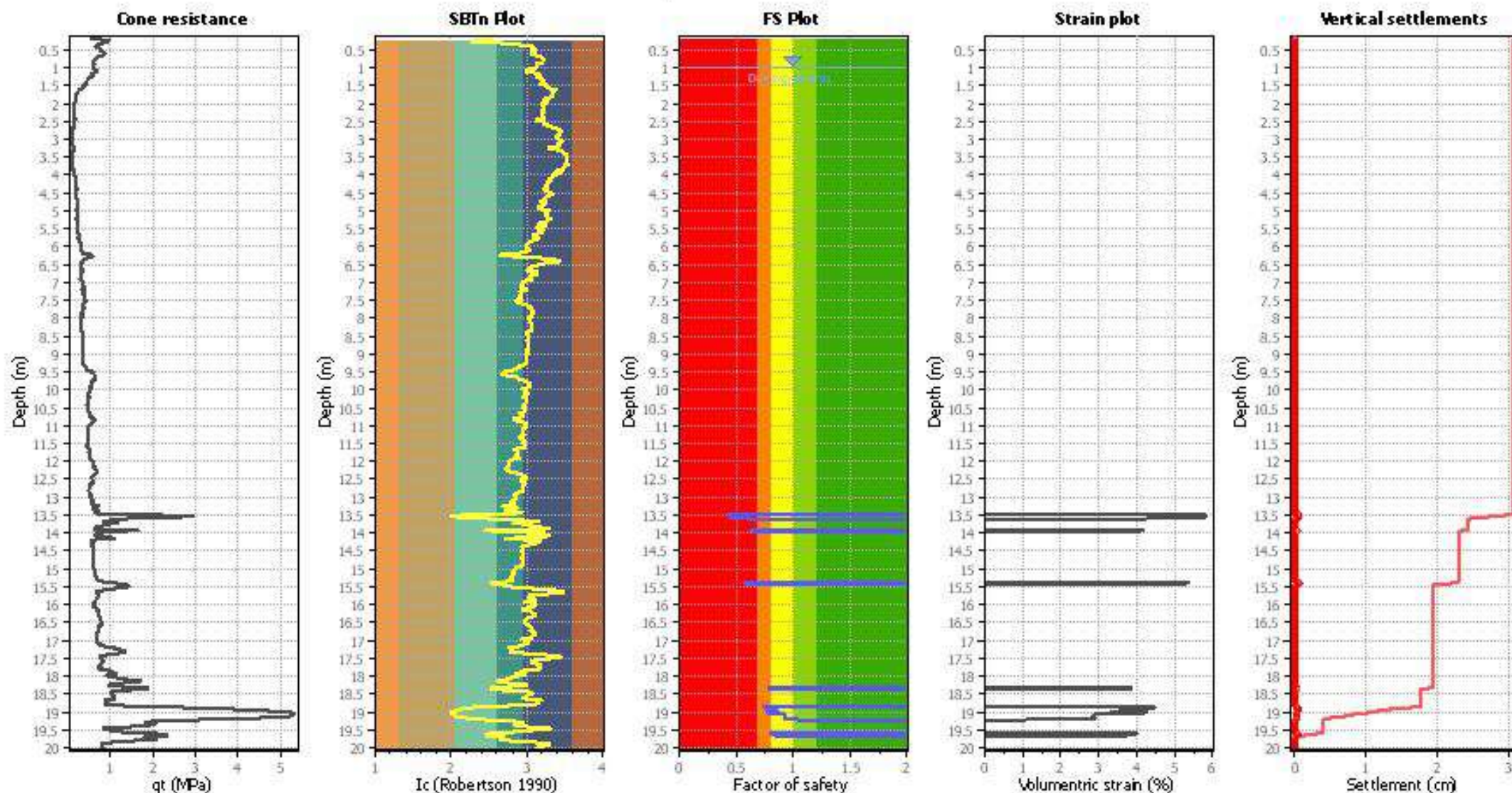
Check for strength loss plots (Robertson (2010))



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (earthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Finer correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on I_c value	I_c cut-off value:	2.60	K_{cs} applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.80	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.13	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (inst):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

Estimation of post-earthquake settlements



Abbreviations

- q_t: Total cone resistance (cone resistance q_c corrected for pore water effects)
- I_c: Soil Behaviour Type Index
- FS: Calculated Factor of Safety against liquefaction
- Volumetric strain: Post-liquefaction volumetric strain

Allegato 3

Report prove HVSR

COMUNE DI CODIGORO

REGIONE EMILIA-ROMAGNA

PROVINCIA DI FERRARA

Determinazione della categoria di suolo di fondazione eseguita sulla base della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio S ($V_{s,eq}$) dei terreni costituenti l'area di via Strada Provinciale 16 A.



GEOTE SRL

Via della Tecnica 57/A4

40068 San Lazzaro di Savena (BO)

Tel 0516255377 – Cell 349 7846581

Fax 0514998378

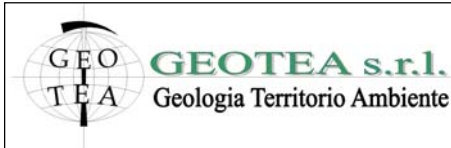
E-mail geotea.srl@database.it

Committente: CASTELLARINI AMBINETE S.R.L. S.T.P

Dott. Geol. Stefano Maggi

Data indagine 24-25/05/2022

Commessa 22.328



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica HVSR (microtremore sismico) per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita presso via Strada Provinciale 16 a, Comune di Codigoro (FE).

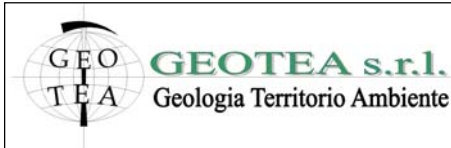
SOMMARIO.....	
2	IDENTIFICAZIONE DEL DOCUMENTO 3
3	PREMESSE 4
4	DESCRIZIONE DELLE INDAGINI 5
4.1	Misura a stazione singola H/V: procedura e strumentazione utilizzata 5
5	sito indagine 1 6
6	MODELLO DI SOTTOSUOLO PROPOSTO PER IL SITO 1 8
7	sito indagine 2 9
8	MODELLO DI SOTTOSUOLO PROPOSTO PER IL SITO 2 11
9	CONCLUSIONI 12



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica HVSr (microtremore sismico) per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita presso via Strada Provinciale 16 a, Comune di Codigoro (FE).

2 IDENTIFICAZIONE DEL DOCUMENTO

- Il presente documento viene identificato con il numero 22.328 rev. n° 0;
- Le indagini e il lavoro svolto sono stati coordinati dal Dott. Geol. Michele Dall'Olmo;
- Il presente documento è stato redatto dal Dott. Geol. Stefano Maggi in data 31/05/2022;
- Il documento si compone di n° 12 fogli



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica HVSr (microtremore sismico) per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita presso via Strada Provinciale 16 a, Comune di Codigoro (FE).

3 PREMESSE

Presso l'area di via Strada Provinciale 16/A, nel comune di Codigoro (FE), in data 24-25/05/2022 è stata effettuata un'indagine geofisica mediante misura a stazione singola con tecnica *HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)* al fine di ottenere la classificazione del tipo di suolo presente nel sito, sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio S ($V_{s,eq}$), in ottemperanza a quanto riportato nel decreto del Ministero delle Infrastrutture, 17 gennaio 2018.

La presente indagine geofisica è consistita in:

- N. 2 misure a stazione singola con tecnica HVSr

La misura a stazione singola è stata eseguita con tromografo digitale modello Tromino® Engy.

Le misure HVSr sono state eseguite all'interno di 2 aree all'interno delle quali sono state eseguite rispettivamente n. 5 prove penetrometriche statiche a punta elettrica e piezocono (CPTU), eseguite dagli stessi scriventi. Lo schema delle misure è stato il seguente:

SITO 1 → HVSr1 → CPTU1-2-3-4-5

SITO 2 → HVSr2 → CPTU6-7-8-9-10

Il software utilizzato per l'elaborazione dei dati è "GRILLA"© Release 2010 ver. 6.0 beta (All rights reserved).

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica HVSR (microtremore sismico) per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita presso via Strada Provinciale 16 a, Comune di Codigoro (FE).

4 DESCRIZIONE DELLE INDAGINI

4.1 Misura a stazione singola H/V: procedura e strumentazione utilizzata

Il metodo *HVSR* (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) proposto da Nogoshi e Igarashi (1970) e successivamente modificato da Nakamura (1989), si basa sull'analisi del rapporto spettrale tra le componenti orizzontale (H) e verticale (V) del rumore sismico registrato in un sito. Il rumore sismico è presente ovunque ed è generato sia da fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) che dall'attività antropica. Il rumore sismico è indicato spesso come microtremore poiché è caratterizzato da oscillazioni molto deboli (dell'ordine dei $\mu\text{m/s}$). I microtremori sono in parte costituiti da onde di volume, P o S, ma soprattutto da onde superficiali, la cui velocità è comunque prossima a quella delle onde S (Mulargia et al., 2007). La tecnica di misura del rumore sismico richiede tempi di registrazione pari a 14-30 minuti e necessita di sensori tridirezionali da sismologia con messa in bolla, digitalizzatore 24 bit con elevata dinamica, elevato guadagno ed elevata frequenza di campionamento nativo, con minimizzazione del rumore elettro/meccanico.

L'acquisizione è stata eseguita utilizzando un tromografo digitale, "TROMINO ENGY" (*Micromed S.p.A.*) dotato di 3 canali velocimetrici (N-S, E-W, Up-Down) ad alto guadagno per l'acquisizione del microtremore sismico ambientale (fino a $\sim 1.5 \text{ mm/s}$); il sistema opera nell'intervallo di frequenze 0.1–1024 Hz. L'elaborazione dei dati di rumore sismico acquisiti è avvenuta mediante software *Grilla*.

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica HVSr (microtremore sismico) per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita presso via Strada Provinciale 16 a, Comune di Codigoro (FE).

5 SITO INDAGINE 1

Prova HVSr1

Strumento: TROMINO MODELLO ENG Y

Data registrazione: 24/05/2022

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

Freq. campionamento: 512Hz

Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

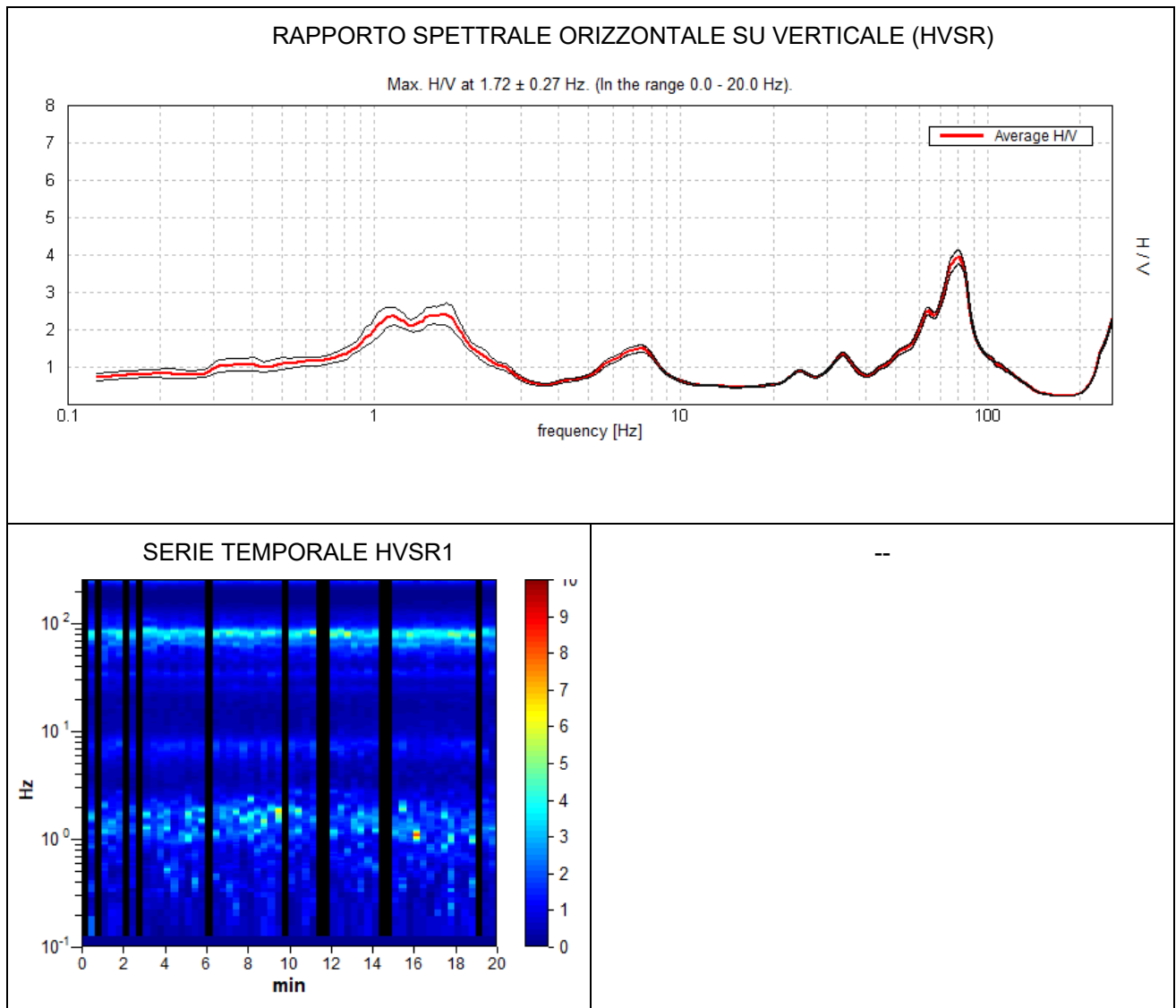


Figura 1 - Curva H/V (HVSr) registrata nel sito in esame e serie temporale considerata nell'analisi.

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica HVSr (microtremore sismico) per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita presso via Strada Provinciale 16 a, Comune di Codigoro (FE).

SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI HVSr1

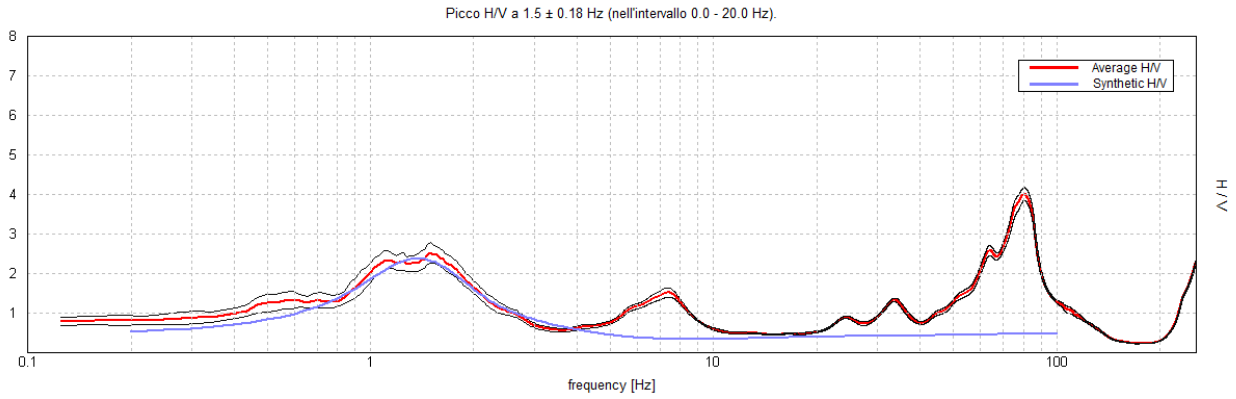


Figura 2 - spettri delle 3 componenti del moto in velocità registrate nel sito

H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

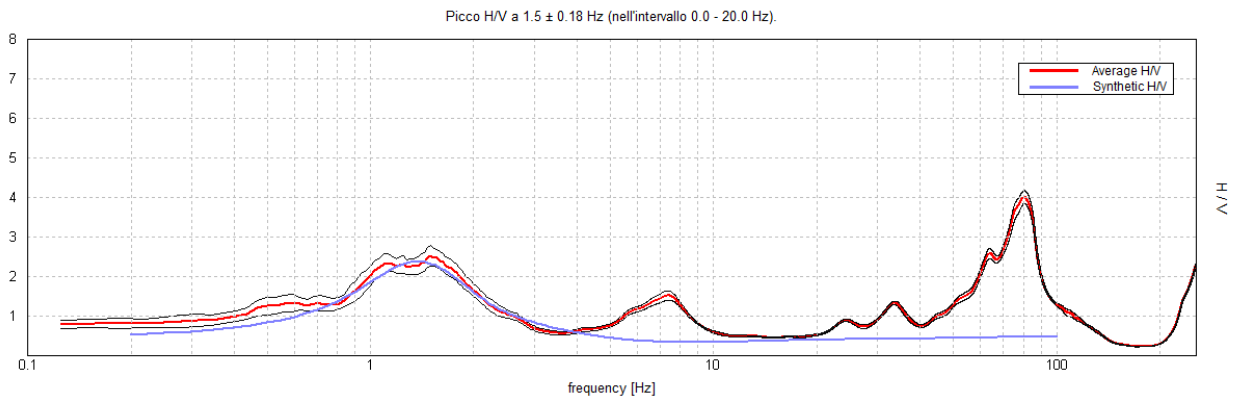


Figura 3 - Confronto tra curva HVSr1 sperimentale registrata nel sito e curva teorica (blu) relativa al modello di sottosuolo proposto per il sito.

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica HVSR (microtremore sismico) per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita presso via Strada Provinciale 16 a, Comune di Codigoro (FE).

6 MODELLO DI SOTTOSUOLO PROPOSTO PER IL SITO 1

Sulla base dei risultati ottenuti e dell'interpretazione dei dati acquisiti il modello di sottosuolo proposto per il sito in studio, in termini di profilo verticale di Vs, è il seguente:

Profondità base strato (m)	Spessore (m)	Vs (m/s)
1.00	1.00	100
3.00	2.00	80
6.00	3.00	100
10.00	4.00	120
20.00	10.00	150
40.00	20.00	200
inf.	inf.	250

Tabella 1 – Modello di sottosuolo proposto per il sito

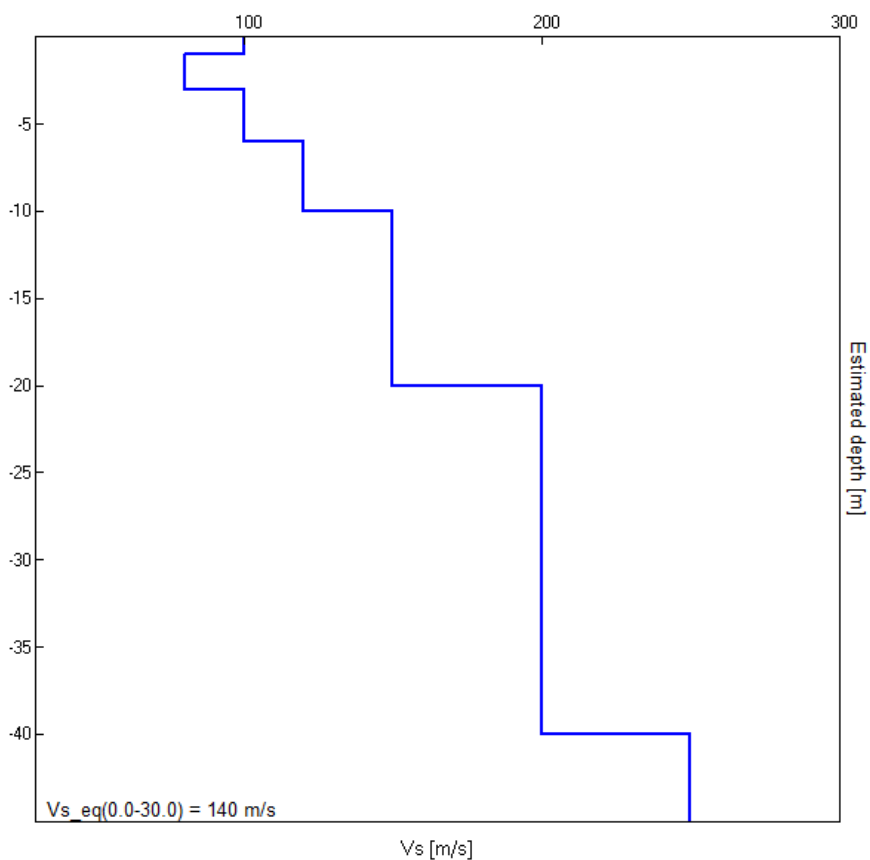


Figura 4 - Modello di velocità delle onde di taglio S

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica HVSr (microtremore sismico) per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita presso via Strada Provinciale 16 a, Comune di Codigoro (FE).

7 SITO INDAGINE 2

Prova HVSr2

Strumento: TROMINO MODELLO ENGY

Data registrazione: 25/05/2022

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

Freq. campionamento: 512Hz

Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

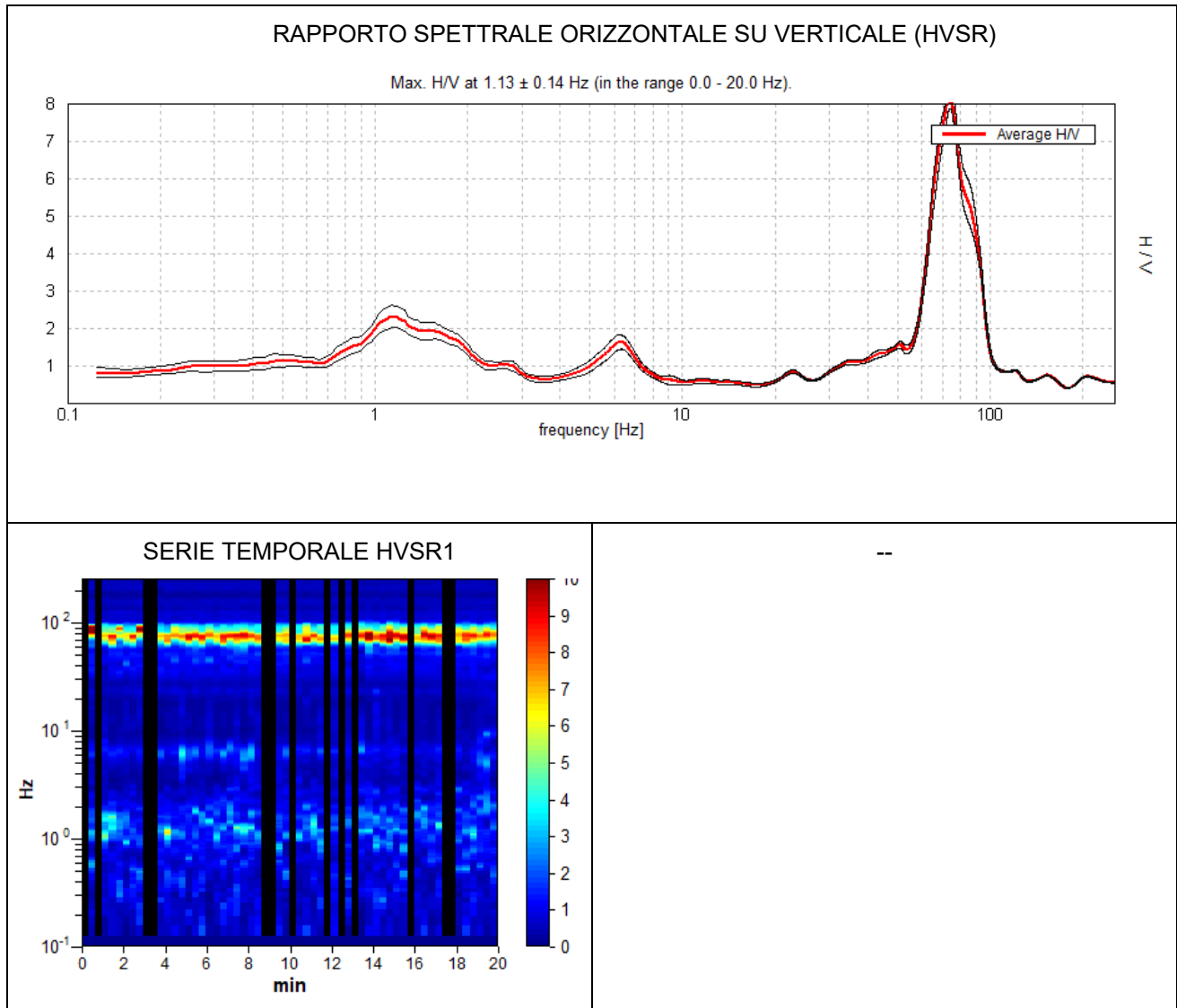


Figura 5 - Curva H/V (HVSr) registrata nel sito in esame e serie temporale considerata nell'analisi.

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica HVSr (microtremore sismico) per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita presso via Strada Provinciale 16 a, Comune di Codigoro (FE).

SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI HVSr1

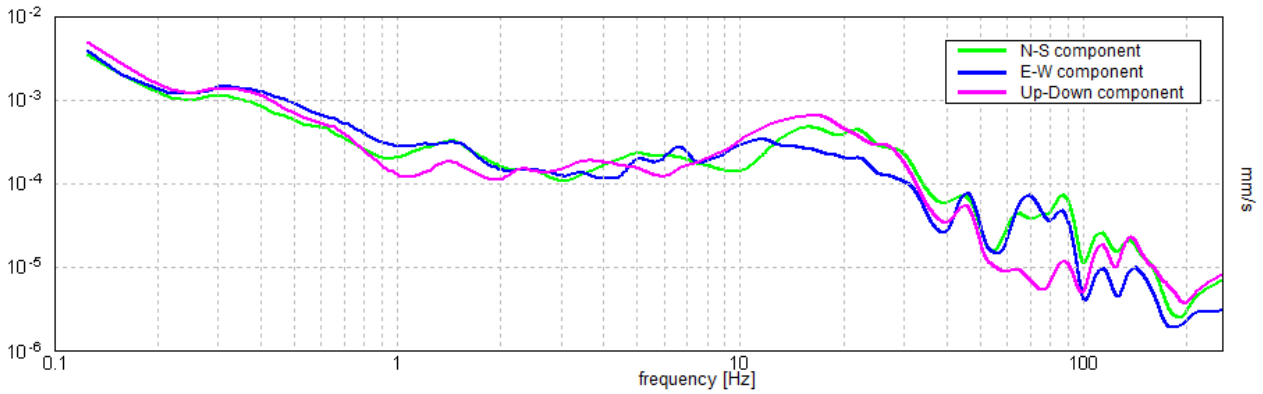


Figura 6 - Spettri delle 3 componenti del moto in velocità registrate nel sito

H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

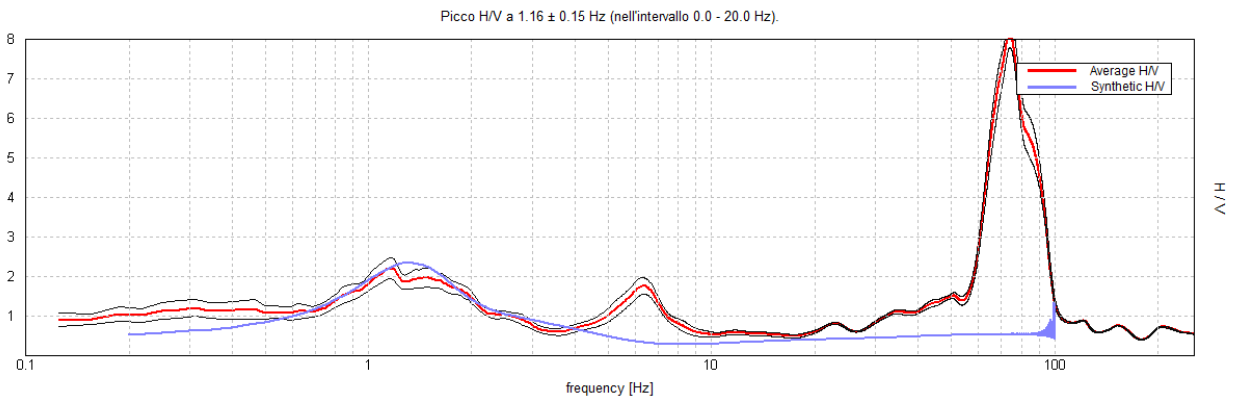


Figura 7 - Confronto tra curva HVSr1 sperimentale registrata nel sito e curva teorica (blu) relativa al modello di sottosuolo proposto per il sito.

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica HVSR (microtremore sismico) per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita presso via Strada Provinciale 16 a, Comune di Codigoro (FE).

8 MODELLO DI SOTTOSUOLO PROPOSTO PER IL SITO 2

Sulla base dei risultati ottenuti e dell'interpretazione dei dati acquisiti il modello di sottosuolo proposto per il sito in studio, in termini di profilo verticale di Vs, è il seguente:

Profondità base strato (m)	Spessore (m)	Vs (m/s)
1.00	1.00	105
3.00	2.00	70
6.00	3.00	105
10.00	4.00	125
20.00	10.00	150
40.00	20.00	200
inf.	inf.	260

Tabella 2 – Modello di sottosuolo proposto per il sito

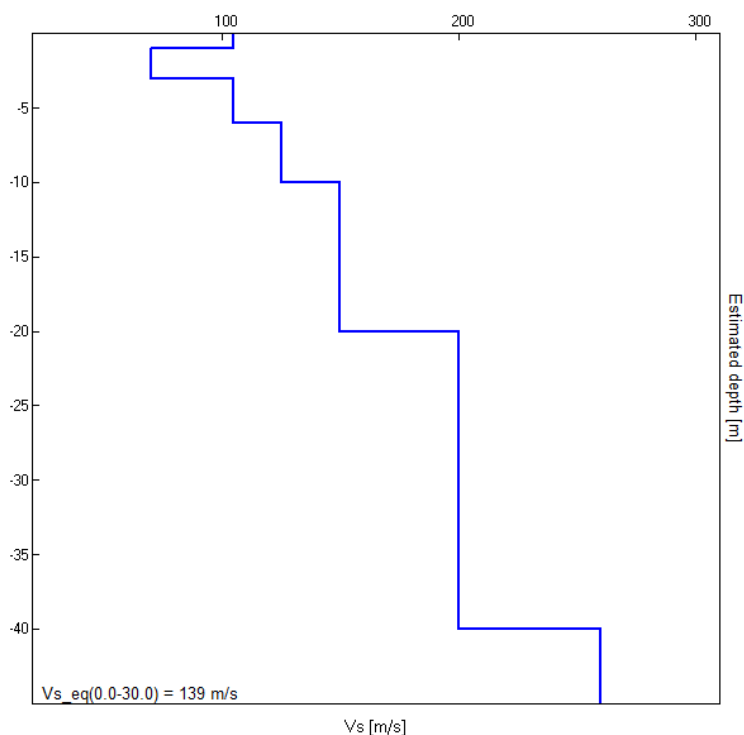


Figura 8 - Modello di velocità delle onde di taglio S

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica HVSR (microtremore sismico) per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita presso via Strada Provinciale 16 a, Comune di Codigoro (FE).

9 CONCLUSIONI

SITO 1:

Vs,eq=Vs30 [m/s] da quota piano campagna su cui è stata eseguita l'indagine geofisica.....140

SITO 2:

Vs,eq=Vs30 [m/s] da quota piano campagna su cui è stata eseguita l'indagine geofisica.....139

Le curve HVSR sperimentali sono del tutto confrontabili tra loro a testimonianza di una sostanziale omogeneità del sottosuolo in termini di frequenze naturali di risonanza (stesse ampiezze di picco e stesse frequenze coinvolte) e rigidità del terreno. In generale le curve HVSR indicano la presenza nel sito di un'amplificazione locale del moto del suolo alle basse frequenze per risonanza stratigrafica a basso e medio-basso contrasto di rigidità. Tale amplificazione si manifesta nel range 1-2 Hz circa.

La normativa applicata nel presente lavoro è il DM 17 gennaio 2018.

San Lazzaro di Savena, 31/05/2022