



simone bassetti


CN = bassetti simone
C = IT

**Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico
avanzato denominato "Carpi_1" di potenza pari a 20,43
MWp nel Comune di Carpi (MO) ed opere connesse alla
RTN
Relazione Geologica**

Firmato digitalmente da

simone
bassettiCN = bassetti
simone
C = IT

27/11/2023	00	Emissione per autorizzazione	S.Bassetti	O. Retini	S.Bassetti
Data	Rev.	Descrizione Emissione	Preparato	Verificato	Approvato
Logo Committente e Denominazione Commerciale			ID Documento Committente		
			H16_FV_BCR_00044		
Logo Appaltatore e Denominazione Commerciale			ID Documento Appaltatore		
			-		

	ID Documento Committente H16_FV_BCR_00044	Pagina 2 / 50
		Numero Revisione
		00

Sommario

1	Introduzione	3
2	Normativa di riferimento	5
3	Inquadramento dell'area	7
3.1	Aspetti geologici e geomorfologici	7
3.2	Aspetti idrografici e idrogeologici	10
4	Sismicità.....	14
4.1	Elementi di tettonica in ottica sismogenetica	20
4.2	Analisi dello studio di “Microzonazione Sismica” comunale	24
5	Descrizione delle indagini geotecniche eseguite	33
6	Interpretazione delle indagini eseguite	37
7	Modello geologico ed orizzonti geotecnici	47
8	Caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni	48
9	Considerazioni conclusive e prescrizioni	49

TAVOLE

TAVOLA 1: COROGRAFIA DEL SITO IN ESAME SU BASE CTR (SCALA 1:10.000)

TAVOLA 2: COROGRAFIA DEL SITO IN ESAME SU ORTOFOTO (SCALA 1:10.000)

TAVOLA 3: CARTA GEOLITOLOGICA (SCALA 1:10.000)

TAVOLA 4: UBICAZIONE DEI PUNTI DI INDAGINE (SCALA 3:1.000)

ALLEGATI

ALLEGATO A1: TABULATI E GRAFICI DELLE PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

ALLEGATO A2: TABULATI E GRAFICI DELLE PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPTU

ALLEGATO B: DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

ALLEGATO C: VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

ALLEGATO C1: ELABORATI INDAGINI SISMICHE MASW

ALLEGATO C2: ELABORATI INDAGINI SISMICHE HVSr

ALLEGATO C3: ELABORATO VERIFICHE LIQUEFAZIONE E CEDIMENTI

ALLEGATO D: ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE DI TERZO LIVELLO

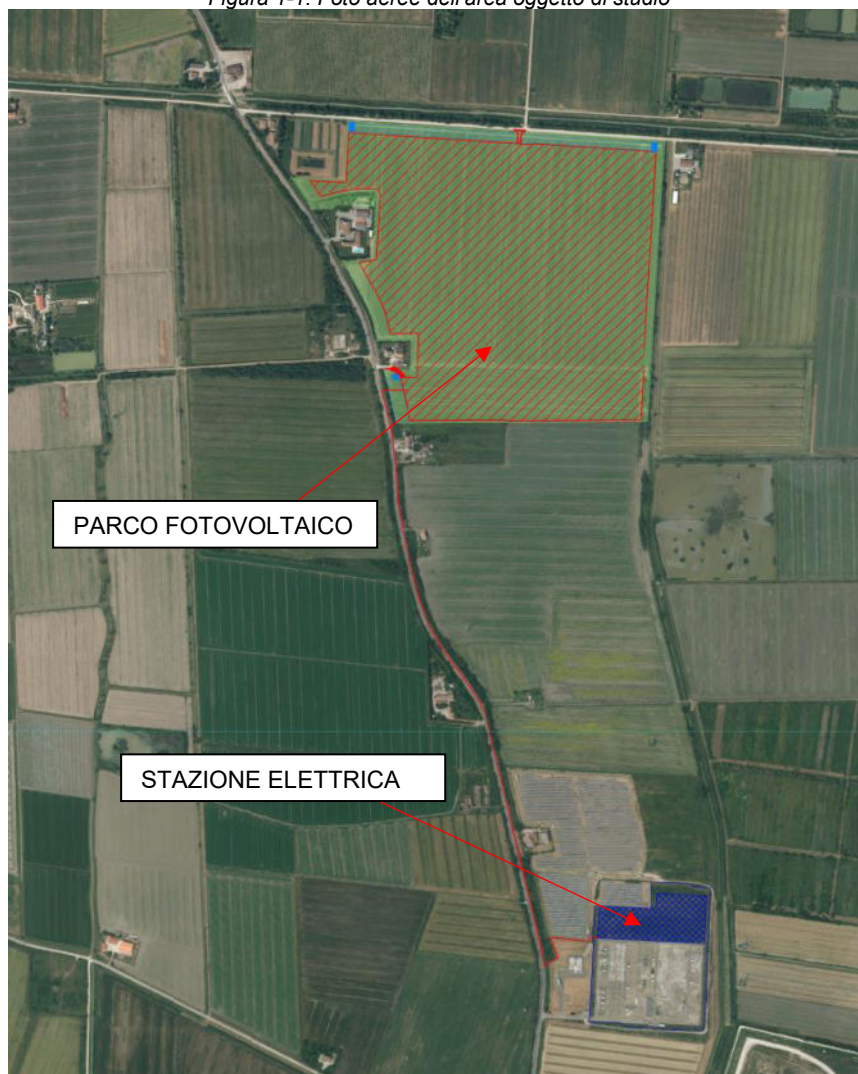
1 Introduzione


Lo Studio AB&C di Alessandro Avai e Simone Bassetti è stato incaricato di predisporre una relazione geologica ai sensi delle NTC2018 finalizzata alla costruzione di un nuovo parco fotovoltaico presso la Strada Statale Romana Nord SP143 nel Comune di Carpi (MO).

Il progetto prevede inoltre la realizzazione di un cavidotto per recapitare l'energia alla nuova stazione elettrica.

Nella seguente figura 1-1 è riportata la foto aerea tratta da Google Earth in cui è individuata l'area oggetto di indagine costituita dal nuovo parco fotovoltaico, dal cavidotto e dalla stazione elettrica. Si rimanda alla **Tavola 1 – Corografia generale del sito in esame** per maggiori dettagli sull'area oggetto di studio.

Figura 1-1: Foto aeree dell'area oggetto di studio




	ID Documento Committente H16_FV_BCR_00044	Pagina 4 / 50
		Numero Revisione
		00

Per la definizione dei caratteri geologici e per una valutazione delle caratteristiche geotecniche dei terreni sono state eseguite le seguenti attività:


- analisi di dati bibliografici e degli strumenti urbanistici (PGT Comunale, PAI);
- rilievo geomorfologico, geologico ed idrogeologico di dettaglio della zona interessata, osservazioni dirette in sito e ricostruzione dell'evoluzione storica del sito;
- esecuzione di n. 10 prove penetrometriche statiche CPT;
- esecuzione di n. 5 prove penetrometriche statiche con piezocono CPTU;
- esecuzione di n. 1 indagine sismica MASW per la definizione della categoria sismica del sottosuolo;
- esecuzione di n. 2 indagini sismiche HVSR.

La presente relazione è finalizzata alla costruzione del modello geologico che è imprescindibile per la redazione del successivo modello geotecnico facente parte della relazione d'opera geotecnica.

	ID Documento Committente H16_FV_BCR_00044	Pagina 5 / 50
		Numero Revisione
		00


2 Normativa di riferimento

- *D.M. 17 gennaio 2018* “Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni” in vigore dal 22 marzo 2018 e che sostituisce il D.M. 14.01.2018
- *D.M. 14.01.2008* “Testo Unico – Norme per le Costruzioni”
- *Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici* “Istruzioni per l’applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14.01.2008. Circolare 2 Febbraio 2009”
- *D.M.LL.PP 11/03/88* “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”
- *D.G.R. IX/2616 del 30/11/2011* “Aggiornamento dei ‘Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell’art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n. 12”, approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, n. 8/1566 e successivamente modificati con d.g.r. 28 maggio 2008, n. 8/7374”
- *Eurocodice 8* – Parte 1 (EN 1998-1) e Parte 5 (EN 1998-5)
- *Eurocodice 7.1* (1997) – Progettazione geotecnica – Parte I: Regole Generali – UNI
- *Eurocodice 7.2* (2002) – Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002) – UNI
- *Eurocodice 7.3* (2002) – Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita con prove in sito (2002) - UNI
- *Ordinanze PCM n. 3274 del 20 marzo 2003* “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”, All. 1-2-4
- *Ordinanza n. 3316 del 2 ottobre 2003*; “Modifiche ed integrazioni all’ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003”
- *OPCM 3 maggio 2005*, “Ulteriori modifiche ed integrazioni all’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 Marzo 2003, recante “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zone sismiche” (Ordinanza n. 3431) – (G.U. n. 107 del 10 maggio 2005 – Suppl. Ord. n. 85)
- *D.G.R. 21 maggio 2014, n. 65-7656* “Individuazione dell’ufficio tecnico regionale ai sensi del D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380 e ulteriori modifiche e integrazioni alle procedure attuative di gestione e controllo delle attività urbanistico-edilizie ai fini

	ID Documento Committente H16_FV_BCR_00044	Pagina 6 / 50
		Numero Revisione
		00

della prevenzione del rischio sismico approvate con D.G.R. 12 dicembre 2011, n. 4-3084.

- Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI)

	ID Documento Committente H16_FV_BCR_00044	Pagina 7 / 50
		Numero Revisione
		00

3 Inquadramento dell'area

Il territorio comunale di Carpi si trova all'interno del comparto nord-occidentale del territorio provinciale di Modena, in stretta adiacenza alla limitrofa Provincia di Reggio Emilia. Attraversando da nord verso sud il suo territorio comunale si osserva come il paesaggio tipico della bassa pianura padana, caratterizzata da una conformazione topografica spiccatamente pianeggiante, lascia spazio a superfici sub pianeggianti, degradanti prevalentemente in direzione sud ovest – nord est.

Il territorio comunale, presenta un'estensione complessiva pari a 131,5 km² e confina a nord con i comuni di Novi di Modena e Rolo, a ovest con Fabbrico, Rio Saliceto e Correggio, a sud con Campogalliano, Modena e Soliera, infine, ad est con Cavezzo e San Prospero.

Nello specifico, l'area in cui verrà realizzato il parco fotovoltaico è situata presso la Strada Statale Romana Nord SP143 nel comune di Carpi (MO), in un'area pianeggiante ubicata a circa 6 km a nord della città di Carpi (MO).

L'area oggetto del presente studio presenta una superficie pianeggiante ad una quota topografica pari a circa 18 metri s.l.m.

Dal punto di vista cartografico l'area oggetto d'indagine è ubicata sulla seguente cartografia tecnica:

- Carta Geologica d'Italia al Foglio n.° 74 "Reggio nell'Emilia" (scala 1:100.000).

3.1 Aspetti geologici e geomorfologici


Il sito oggetto di studio si colloca nel settore centro-orientale della Pianura Padana all'interno di un ampio bacino d'avanzfossa subsidente compreso tra la catena appenninica a sud e quella alpina a nord che, a partire dal Terziario, ha raccolto i sedimenti provenienti dallo smantellamento delle catene alpina e appenninica in sollevamento.

Il ritiro delle acque del bacino Padano è avvenuto da Ovest verso Est e dai margini delle catene verso l'asse della pianura e non è stato né progressivo né univoco, ma è senz'altro avvenuto con movimenti alterni che hanno determinato nel sottosuolo un'alternanza di depositi marini e/o di transizione e di episodi di deposizione continentale.

Il riempimento del bacino marino, fino alle condizioni di continentalità, avviene attraverso eventi tettonico-sedimentari separati nel tempo da periodi di forte subsidenza bacinale. Questo andamento ad impulsi successivi è testimoniato da numerose superfici di discontinuità stratigrafica che "marcano" le diverse fasi ed affiorano sul margine appenninico.

In particolare, il primo sottosuolo di quest'area di pianura è caratterizzato dalla presenza di depositi clastici riferibili ai termini più recenti dell'ultimo ciclo sedimentario instauratosi a partire dal Pleistocene, che porta al colmamento del Bacino Padano in un regime di subsidenza generalizzata.

Nel Pleistocene medio la prosecuzione del sollevamento tettonico comporta il definitivo instaurarsi della deposizione continentale e inizia a sedimentarsi il cosiddetto Supersistema Emiliano

	ID Documento Committente H16_FV_BCR_00044	Pagina 8 / 50
		Numero Revisione
		00

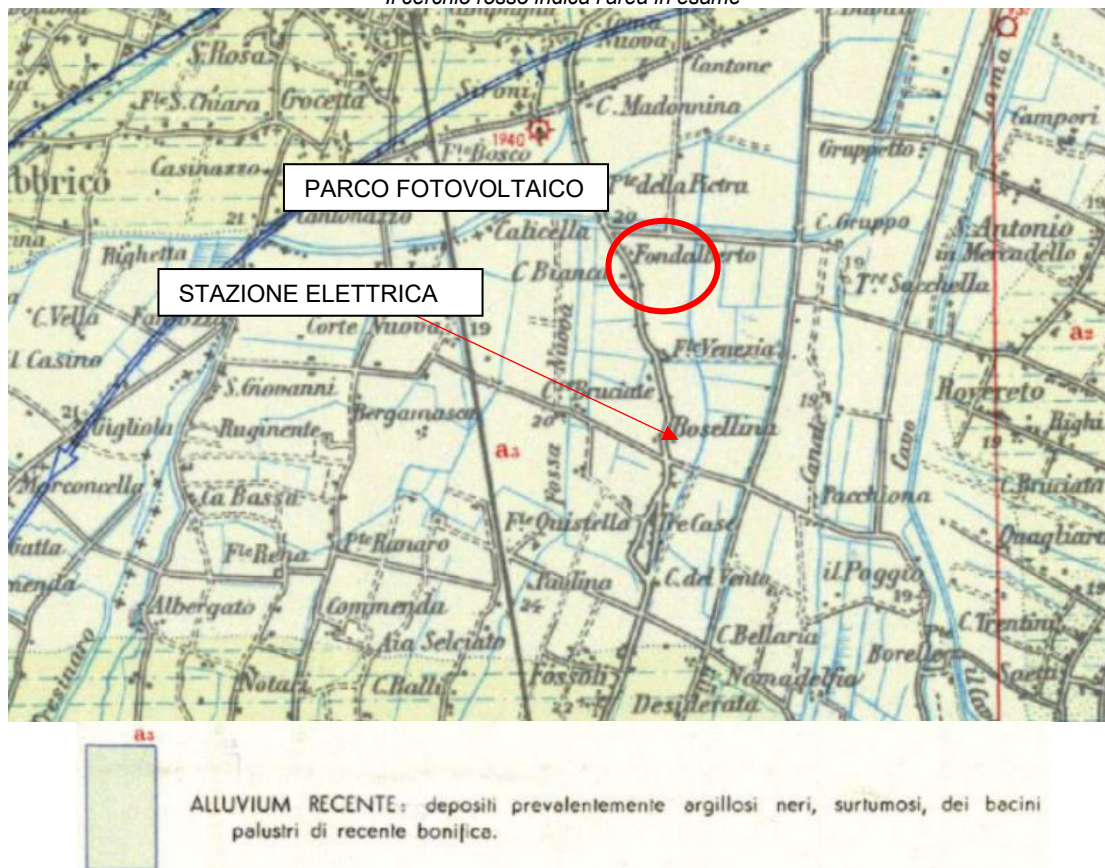
Romagnolo, con l'accumulo di sedimenti fluviali e fluvioglaciali, derivanti dal rapido smantellamento e modellamento delle catene montuose circostanti.

Il territorio indagato è inserito nel contesto geologico evolutivo della Pianura Padana; più dettagliatamente l'area è impostata su depositi prevalentemente *argillosi neri, surtumosi, dei bacini palustri di recente bonifica* del Foglio 74 "Reggio nell'Emilia" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1 : 100.000 (Figura 3-1). In particolare, l'area ricade all'interno della formazione *a3* definita come:

a3 = "Alluvium Recente: depositi prevalentemente argillosi neri, surtumosi, dei bacini palustri di recente bonifica".

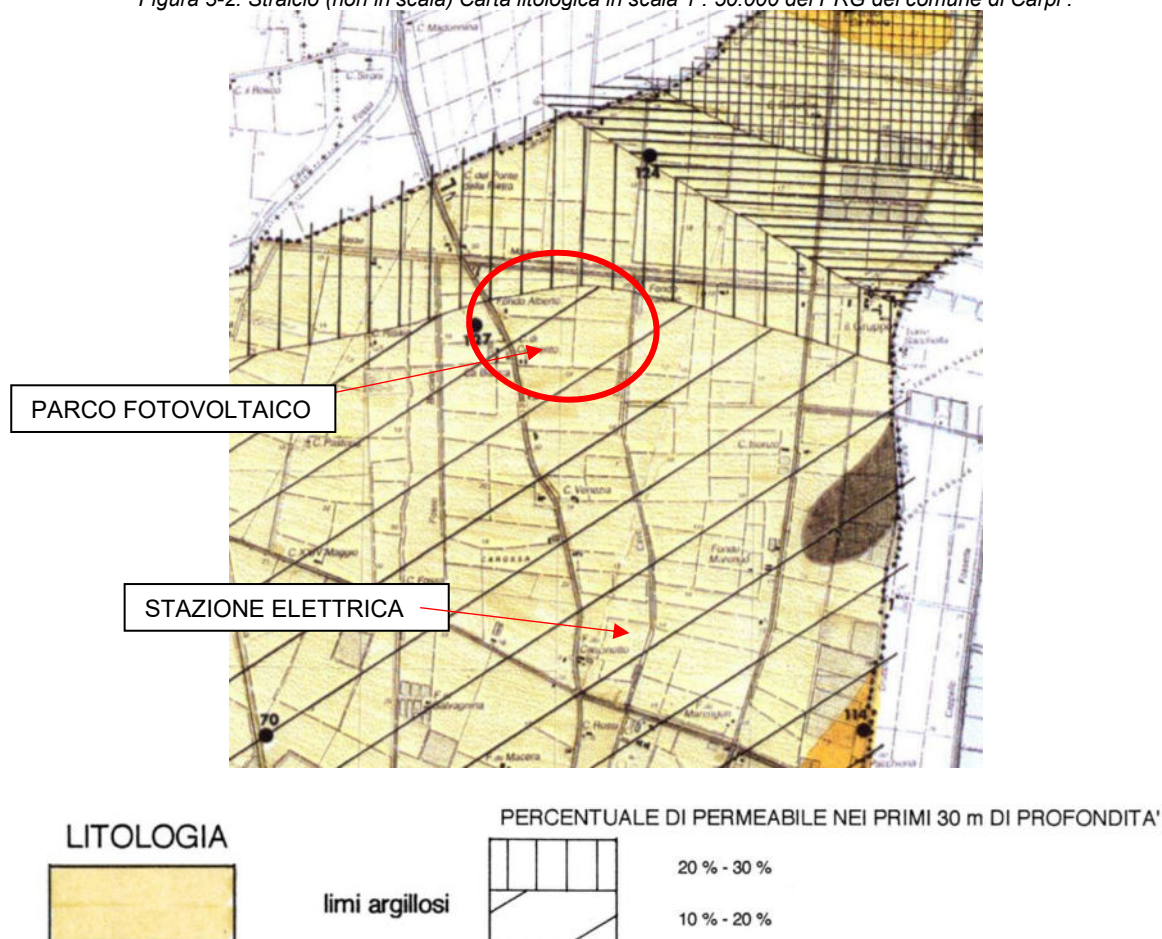
Figura 3-1: Stralcio (non in scala) Carta Geologica d'Italia alla scala 1 : 100.000 – Foglio 74 "Reggio nell'Emilia".

Il cerchio rosso indica l'area in esame



Secondo la carta litologica in scala 1:50.000 del PRG del comune di Carpi, visionabile in figura 3-2, l'area in esame (parco fotovoltaico, cavidotto e stazione elettrica) ricade all'interno di "*limi argillosi*".

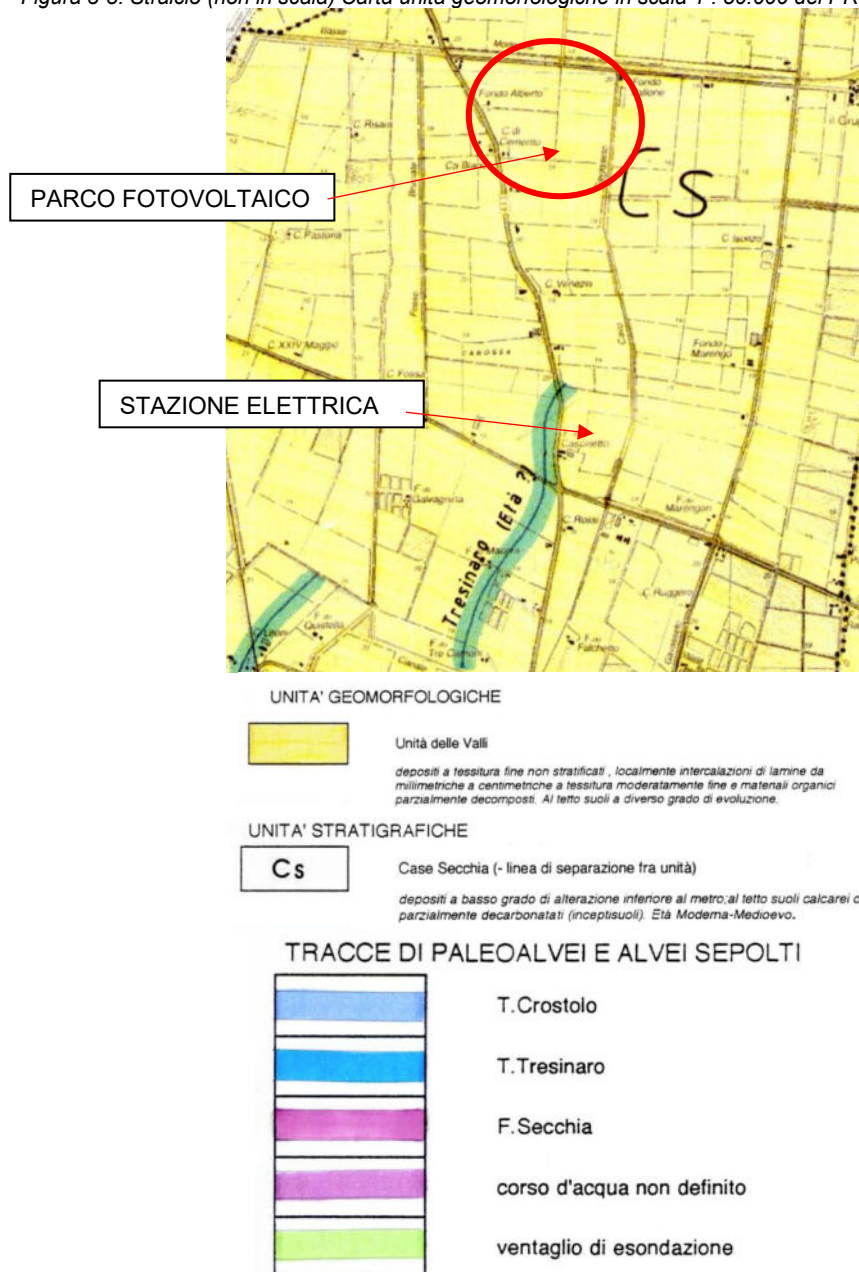
Figura 3-2: Stralcio (non in scala) Carta litologica in scala 1 : 50.000 del PRG del comune di Carpi .



Secondo la carta unità geomorfologiche in scala 1:50.000 del PRG del comune di Carpi, l'area in esame (parco fotovoltaico, cavidotto e stazione elettrica), visionabile in figura 3-3 ricade all'interno di "**Unità delle Valli**" composta da depositi a tessitura fine non stratificati, localmente intercalazioni di lamine da millimetriche a centimetriche a tessitura moderatamente fine e materiali organici parzialmente decomposti. Al tetto suoli a diverso grado di evoluzione.


L'unità stratigrafica appartenente all'area oggetto di studio ricade in "**Case Secchia**" composta da depositi a basso grado di alterazione inferiore al metro; al tetto suoli calcarei o parzialmente decarbonati (inceptisuoli). Età Moderna-Medioevo.

Figura 3-3: Stralcio (non in scala) Carta unità geomorfologiche in scala 1 : 50.000 del PRG del comune di Carpi.



3.2 Aspetti idrografici e idrogeologici

Il territorio comunale di Carpi dal punto di vista idraulico fa parte del Consorzio di Bonifica Parmigiana – Moglia – Secchia. Lo scolo delle acque superficiali è garantito da numerosi cavi e scoline facenti parte, soprattutto nella parte meridionale di tale territorio, della rete di scolo delle acque alte ed in parte di quella delle acque basse. A quest'ultimo gruppo appartengono canali che

	ID Documento Committente H16_FV_BCR_00044	Pagina 11 / 50
		Numero Revisione
		00

drenano le ampie zone depresse di bonifica presenti a nord della direttrice Budrione – Fossoli – S. Marino.

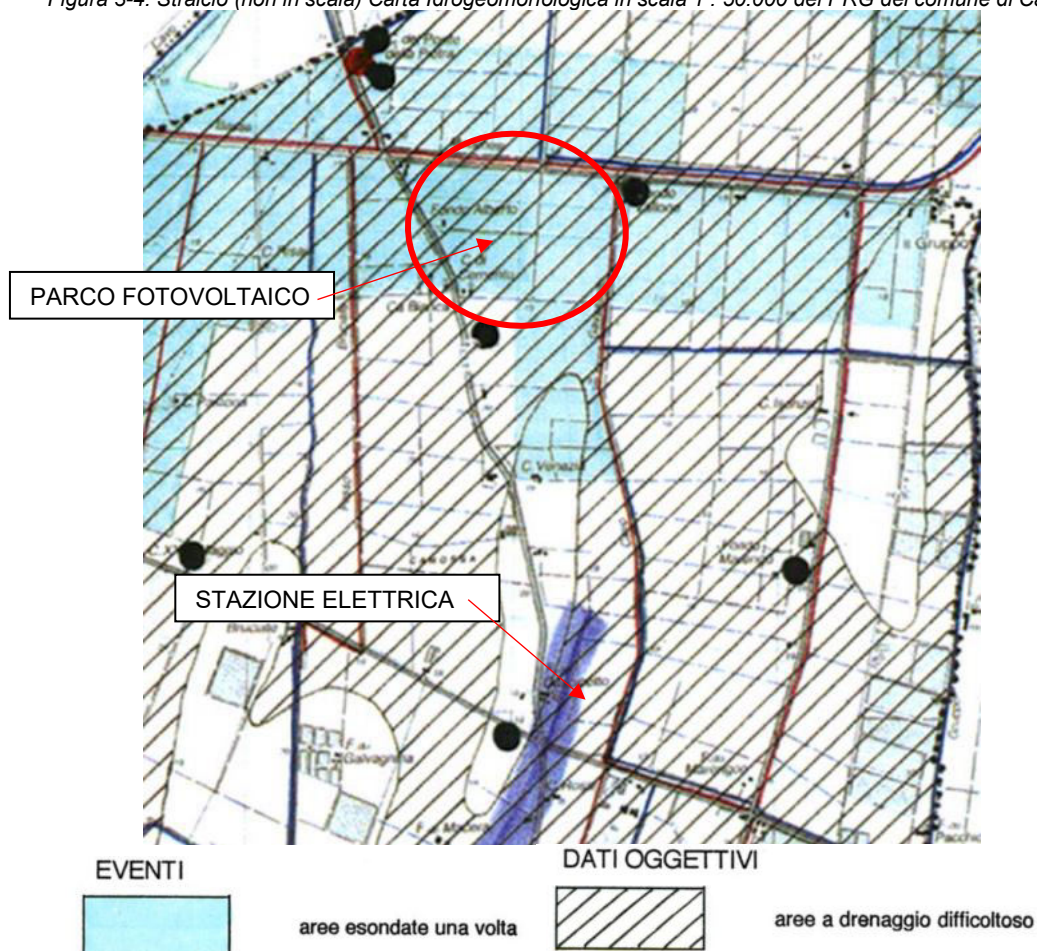
Il territorio comunale dal punto di vista idrogeologico appartiene al sistema acquifero della media pianura modenese; quest’ultimo è caratterizzato da una situazione stratigrafica prevalentemente limo-argillosa nella quale i livelli acquiferi sono costituiti da lenti sabbiose che, come spessore, non superano mai il 10% del totale.

L’alimentazione di tali livelli è da ritenersi remota essendo il loro collegamento con la superficie pressoché annullato dalla litologia superficiale impermeabile.

La piezometria degli orizzonti acquiferi più profondi distribuiti entro i primi 30-40 m di profondità, evidenziano la presenza di una grande depressione incentrata sul capoluogo corrisponde alla zona ove sono ubicati i pozzi soggetti a maggior prelievo di acque dal sottosuolo, presenti sua nella zona industriale che nel capoluogo medesimo. Tale depressione presente nella superficie piezometrica deve interpretarsi pertanto come un “cono di depressione” avente un raggio di alcuni chilometri determinato da un prelievo continuativo da parte dei pozzi che estraggono acqua dal sottosuolo. Questo prelievo condiziona anche la forma della superficie piezometrica nella parte Nord del territorio, modificando il generale senso di flusso che competerebbe alla zona. Una conseguenza di un così elevato abbattimento permanente della falda, in una situazione litostratigrafica di assoluta prevalenza di materiali limo-argillosi compressibili, può determinare, a lungo termine, fenomeni di subsidenza, i quali peraltro potrebbero essere già in atto.

Secondo la carta idrogeomorfologica in scala 1:50.000 del PRG del comune di Carpi, visionabile in figura 3-4, l’area del nuovo parco fotovoltaico ricade all’interno di “**aree esondate una volta**” mentre l’area della stazione elettrica non è segnalata come ggetto di esondazioni; entrambe vengono definite “**aree di drenaggio difficoltoso**”.

Figura 3-4: Stralcio (non in scala) Carta Idrogeomorfologica in scala 1 : 50.000 del PRG del comune di Carpi.



Secondo la Carta della profondità media dei livelli freatici in scala 1:50.000 del PRG del comune di Carpi, visionabile in figura 3-5, l'area in esame (parco fotovoltaico, cavidotto e stazione elettrica) riporta, come visibile in figura 3-4 una profondità della falda inferiore a 2 m.



	ID Documento Committente	Pagina 13 / 50
	H16_FV_BCR_00044	Numero Revisione
		00

Figura 3-5: Stralcio (non in scala) Carta della profondità media dei livelli freatici in scala 1 : 50.000 del PRG del comune di Carpi.



	ID Documento Committente H16_FV_BCR_00044	Pagina 14 / 50
		Numero Revisione
		00

4 Sismicità

Il Comune di Carpi è compreso nell'elenco dei comuni sismici classificati in **zona 3** dall'Allegato n. 1 all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 (s.m.i) del 20 Marzo 2003 (*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zona sismica*).

A seguito dell'entrata in vigore del DM 14.09.2005 (Norme tecniche per le costruzioni), ora sostituito dal DM 14.01.2008 (Norme tecniche per le costruzioni), la validità di tale ordinanza è cessata; come tuttavia indicato nella Del. di GR 1677/2005, la classificazione sismica dei comuni italiani riportata nella citata OPCM 3274/2003 resta comunque valida.

Nell'Aprile del 2006 è stata emanata l'Ordinanza PCM 3519/2006 dove sono indicati i Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone. A detta Ordinanza è allegata la Mappa di Pericolosità sismica di riferimento a scala nazionale (Figura 5.1) nella quale è possibile verificare che il territorio del Comune di Carpi ricade in 2 distinte aree per le quali sono indicati valori dell'accelerazione massima al suolo (a_{max}) compresi tra $0,150g \div 0,175g$ (parte centrale e sud) e $0,125g \div 0,150g$ (parte settentrionale), ascritta ad una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita ai suoli molto rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s; cat. A di cui al DM 14.01.2008).

Con la Deliberazione dell'Assemblea Legislativa n. 112/2007 la Regione Emilia-Romagna ha approvato la “*Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio*”, in merito a “*Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica*”; tra i vari documenti allegati alla citata deliberazione regionale vi è anche l'elenco dei valori di a_{max} (PGA) per ciascun Comune della Regione che per Carpi corrisponde a **0,154g**. Come si evince dalla comparazione con i dati precedentemente disponibili si tratta di un valore che rientra nel range della Zona 3, parte centrale e meridionale di Carpi ($0,15 \div 0,175$ Ag/g), ma inferiore al massimo indicato nella cartografia di cui all'Ordinanza PCM del 20 Marzo 2003 n. 2374 da usare come ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Figura 5-1).

L'indagine sismica di tipo MASW condotta nell'ottobre 2023 a cura dello scrivente e descritta nel dettaglio in Allegato C ha consentito di individuare per il sito in esame la **Categoria di Sottosuolo C con una V_{seq} pari a 316 m/sec.**


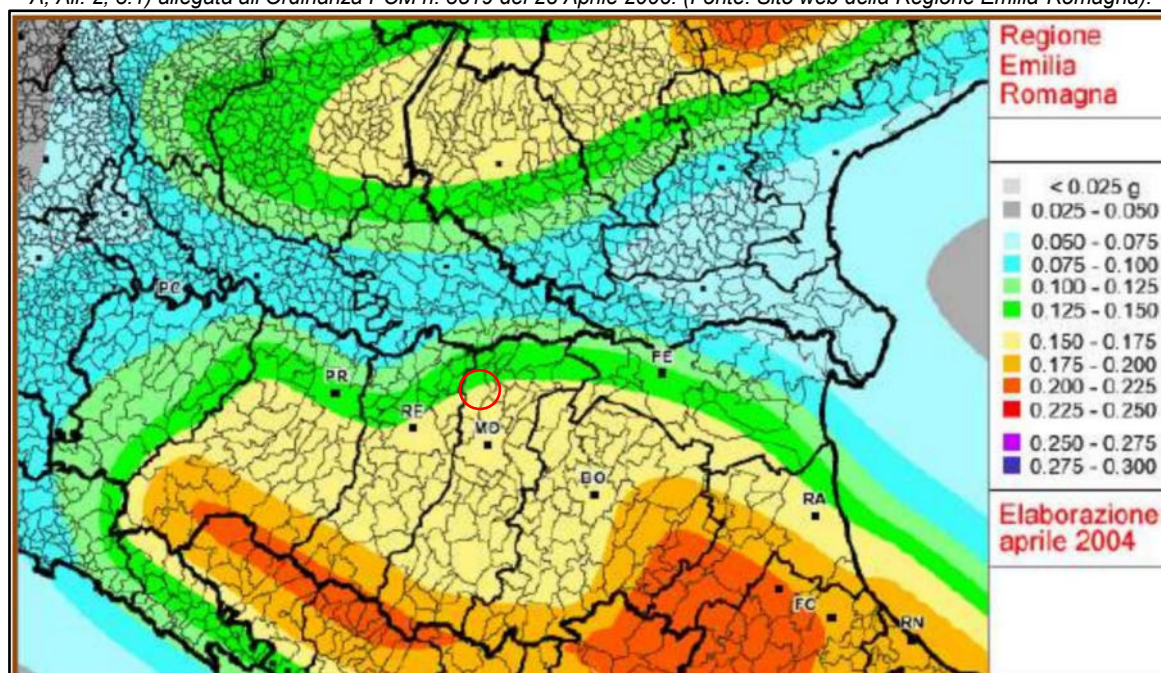
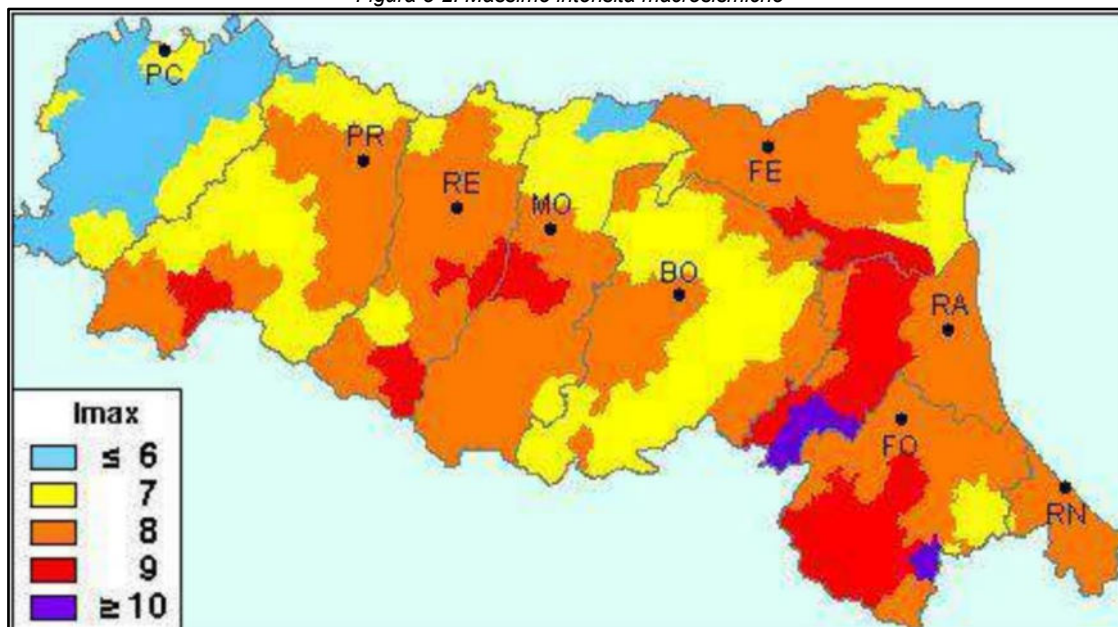
	ID Documento Committente H16_FV_BCR_00044	Pagina 15 / 50
		Numero Revisione
		00

Figura 5-1: Mappa di pericolosità sismica di riferimento (Ordinanza PCM del 20 Marzo 2003 n. 2374 All. 1) espressa in termini di accelerazione massima al suolo (a_{max}) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita ai suoli molto rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s; cat. A, All. 2, 3.1) allegata all'Ordinanza PCM n. 3519 del 28 Aprile 2006. (Fonte: Sito web della Regione Emilia-Romagna).



Per quanto riguarda la classificazione sismica del Comune di Carpi, in riferimento agli effetti macrosismici osservati (Scala Mercalli Cacciani Sieberg) si riporta la carta, per l'Emilia Romagna, delle massime intensità attese dove si può notare che per il Comune di Carpi l'intensità massima raggiunge il **7° grado**.

Figura 5-2: Massime intensità macrosismiche



Va segnalato in proposito la proposta avanzata da E. Mantovani et alii dove al territorio carpigiano viene attribuito l’VIII° della scala MCS (Figura 5-3).


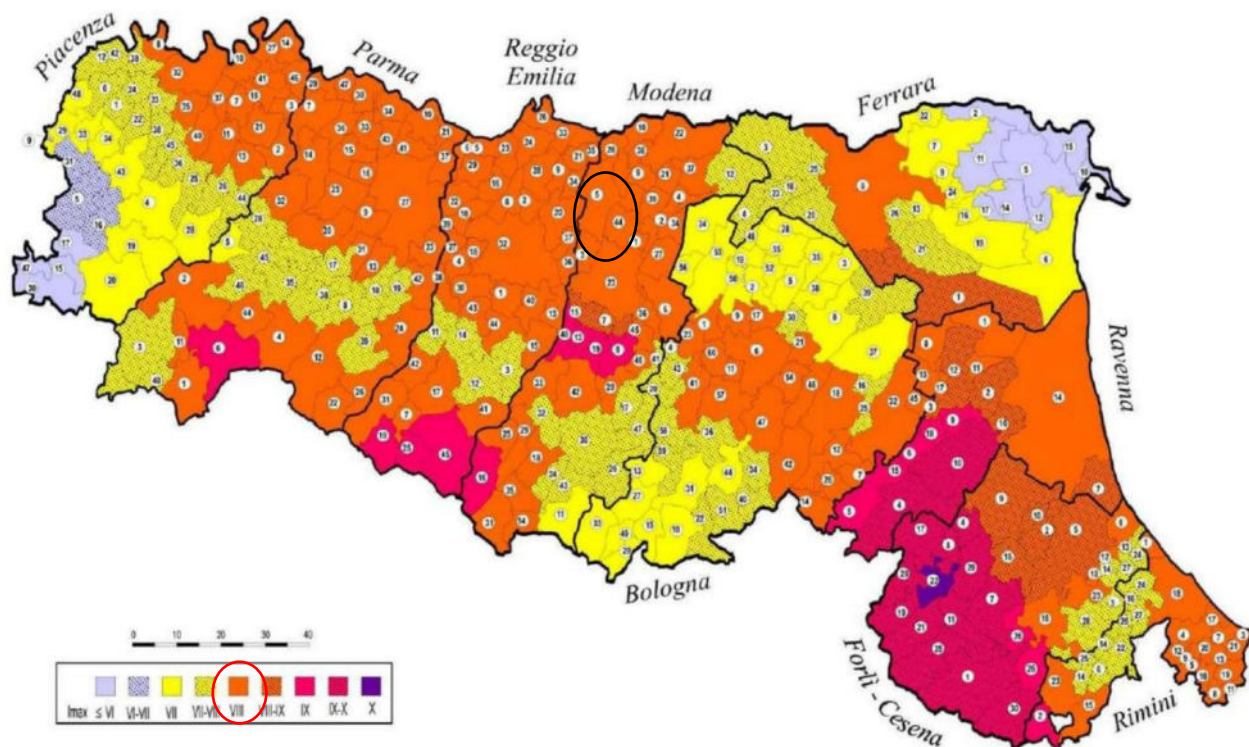
	ID Documento Committente	Pagina 17 / 50
		Numero Revisione
	H16_FV_BCR_00044	00

Figura 5-3: Proposta di riclassificazione macrosismica della Regione Emilia Romagna da parte di "Mantovani et alii". Il Comune di Carpi, evidenziato dal cerchio nero, ricade in aree con VIII grado della Scala Mercalli (cerchio rosso in legenda)



Il concetto di pericolosità, non solo ristretto al campo sismico, viene grossolanamente definito come la probabilità che un evento “pericoloso” di una certa magnitudo colpisca un dato territorio durante uno specifico intervallo di tempo. In coerenza con tale definizione, per definire la pericolosità sismica occorre:

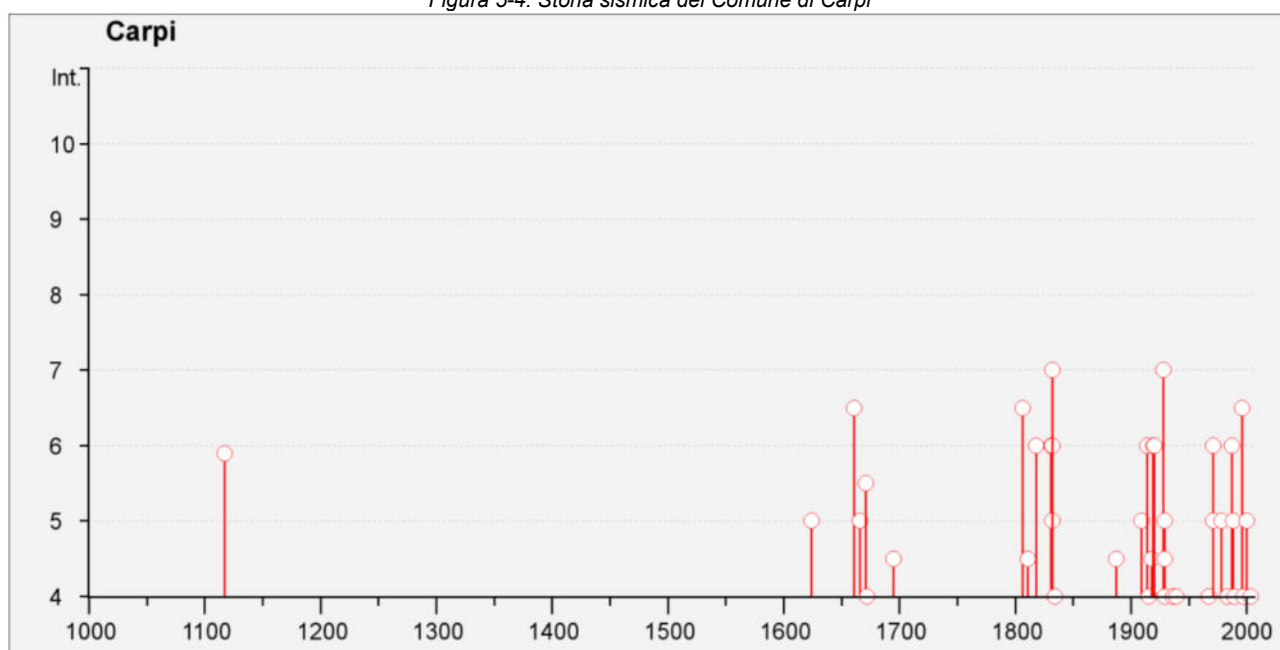
- fissare un valore di un determinato parametro sismico: magnitudo, scuotimento tellurico; accelerazione, ecc..;
- delimitare il territorio per il quale si vuole definire la pericolosità;
- fissare un tempo di ritorno dell'evento per il quale si vuole determinare la probabilità di accadimento.

Le numerose ricerche, e soprattutto le osservazioni compiute in occasione di eventi tellurici che nel passato, anche recente, hanno colpito varie regioni del mondo, hanno evidenziato che non sempre esiste una relazione diretta tra i dissesti o i danni causati dal terremoto e l'energia sprigionata dal medesimo. Si è inoltre osservato che a parità di distanza dall'epicentro in alcune aree si riscontravano danni maggiori rispetto ad altre. Si sono poi verificati casi paradossali, per i quali il terremoto ha causato i maggiori danni a centinaia di chilometri di distanza dall'epicentro mentre le zone vicine

sono state colpite con effetti meno marcati. Tale duplice natura della pericolosità sismica viene solitamente descritta considerandola come formata da due distinte componenti: la **pericolosità di base** e la **pericolosità locale**.


Relativamente alla pericolosità di base, al fine di inquadrare dal punto di vista della sismicità storica l'area in esame, si riporta di seguito il grafico che mostra l'intensità sismica degli eventi occorsi nel territorio di Carpi a partire dall'anno 1000.

Figura 5-4: Storia sismica del Comune di Carpi



Chiaramente occorre inoltre evidenziare che in data 20 maggio 2012, ore 04:03, nel distretto sismico denominato “Pianura Padana Emiliana”, è avvenuto un sisma di magnitudo (MI) pari a 5.9 della scala Richter. Tale sisma, localizzato dalla Rete Sismica Nazionale INGV, ha un epicentro posto a nord di Mirandola. La profondità ipocentrale è stimata a 6.3 Km dalla superficie. In seguito a questo evento si è instaurata una lunga sequenza sismica che ha interessato l'intera Dorsale Ferrarese, con frequenti eventi di magnitudo superiore a 4.0 gradi e ben 7 eventi in totale con magnitudo superiore a 5.0.

La pericolosità locale dipende invece da fattori geologici e morfologici locali, tanto che lo stesso evento sismico può essere risentito in maniera diversa in settori diversi del medesimo territorio, anche a parità di tipologia edilizia (così detto effetto a “macchie di leopardo”). La pericolosità locale si occupa pertanto di quegli aspetti che, in caso di terremoto, possono dare luogo localmente a instabilità e/o ad amplificazione dello scuotimento tellurico. Sulla base delle più recenti normative e indirizzi si

	ID Documento Committente H16_FV_BCR_00044	Pagina 19 / 50
		Numero Revisione
		00

assume come pericolosità sismica di base il terremoto con probabilità di accadimento pari a uno (certezza probabilistica) in un intervallo di tempo di 475 anni. Ciò corrisponde a una probabilità di accadimento del 10% su 50 anni.

Per descrivere la pericolosità del terremoto di riferimento si possono utilizzare varie grandezze quali ad esempio:

- il valore di accelerazione massima al suolo atteso PGA (peak ground acceleration) o a_{max} ;
- lo spettro di risposta elastico (che può essere definito in accelerazione, in velocità o in spostamento);
- l'Intensità di Housner;
- altri parametri.


Le grandezze elencate vengono solitamente utilizzate per esprimere il valore della pericolosità di base per l'intero territorio considerato (comunale o anche più grande); esse descrivono il "terremoto di riferimento" definito su base statistica, analizzando la serie storica degli eventi sismici avvenuti nell'area in studio o nella regione che la comprende. Gli stessi parametri possono essere utilizzati, attraverso vari procedimenti più o meno rigorosi, anche per valutare qualitativamente e quantitativamente gli effetti sismici di sito che possono variare all'interno del territorio considerato in relazione alle differenti caratteristiche morfologiche e litotecniche locali.

Il dato della pericolosità di base è di norma riferito a un contesto litologico e morfologico ideale, riassumibile in un "sito di riferimento" pianeggiante con substrato roccioso affiorante.

Tali condizioni non corrispondono quasi mai al contesto reale del sito o del territorio per il quale si vuole valutare la pericolosità sismica. Attraverso valutazioni quali-quantitative è possibile stimare localmente il potenziale di incremento del risentimento sismico utilizzando le stesse grandezze (PGA, Spettro di risposta elastico, Intensità di Housner o intensità spettrale SI) e quindi calcolare l'eventuale fattore di amplificazione, rapportando il risultato ottenuto con quello del sito di riferimento al quale viene attribuita la pericolosità di base.

Il fattore di amplificazione non è altro che il valore del rapporto tra la grandezza che esprime la pericolosità al sito (comprensiva quindi degli effetti locali) e il valore attribuito al sito di riferimento e cioè quello definito dalla pericolosità di base.

Nella progettazione e nella pianificazione territoriale la pericolosità di base (o pericolosità regionale), essendo un parametro che non può essere modificato, perché dipende solamente dalla sismicità naturale dell'area, può essere tenuta in considerazione al livello delle prescrizioni normative. Essa, infatti, è quasi sempre applicabile all'intero territorio comunale (o a una grande sua parte) senza distinzioni particolari all'interno di ampi settori territoriali. Si tratta di fatto di un dato da assumere tal quale nella progettazione. I risultati dell'analisi della pericolosità locale, proprio perché indirizzati a riconoscere quelle situazioni territoriali per le quali la pericolosità sismica si discosta dal valore

	ID Documento Committente H16_FV_BCR_00044	Pagina 20 / 50
		Numero Revisione
		00

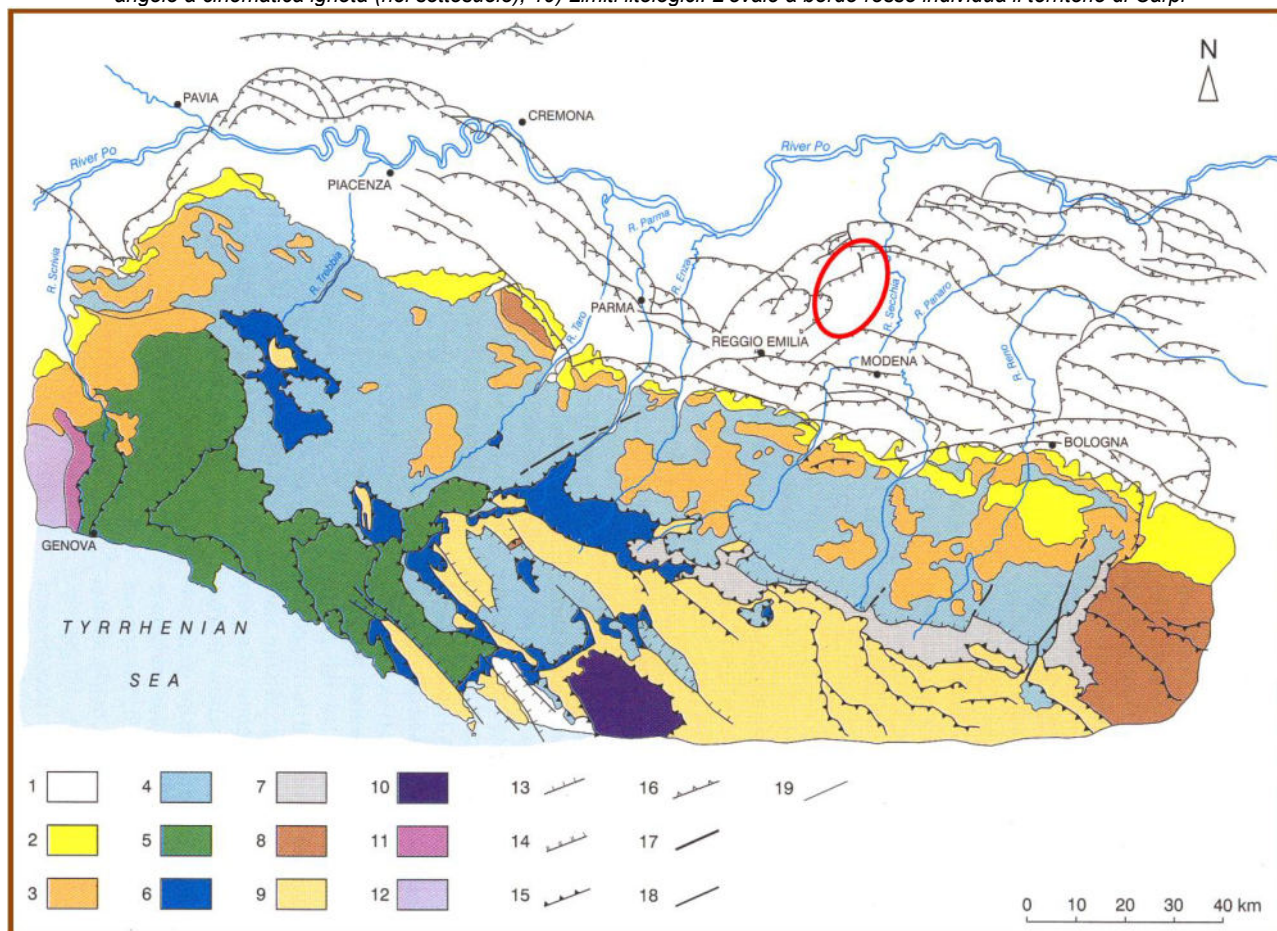
regionale, possono essere presi come riferimento per indirizzare non solo gli aspetti normativi e d'indirizzo per l'uso di un territorio, ma anche le scelte di localizzazione e di trasformazione urbanistica. La pericolosità locale dipende infatti dalle caratteristiche del sito e può variare fortemente a seconda del variare delle condizioni morfologiche e litologiche. Già a livello dell'intero territorio comunale è possibile riconoscere settori caratterizzati da pericolosità locale più alta rispetto ad altri meno pericolosi.

4.1 Elementi di tettonica in ottica sismogenetica

Il territorio del Comune di Carpi si colloca nella zona centrale del bacino subsidente padano nel quale l'attività tettonica ha controllato e controlla la sedimentazione per lo meno da alcuni milioni di anni (Pliocene-Pleistocene e attuale). Da un punto di vista strutturale il territorio carpigiano si colloca nella fascia (sinclinale) compresa tra la Dorsale Ferrarese, a nord e a ovest, e le cosiddette Pieghe Emiliane a sud (Figure 5.-5 e 5-6). Il condizionamento strutturale determinato da tali grandi elementi tettonici (e sismogenetici) ha avuto come conseguenza che l'entità degli spessori di sedimenti marini/continentali pliocenici e pleistocenici sono fortemente variabili, andando da valori minimi dell'ordine del centinaio di m (o localmente inferiori), in coincidenza delle culminazioni delle dorsali, a diverse migliaia di metri, in corrispondenza dei bassi strutturali (sinclinali).

Per quanto riguarda il territorio comunale, al confine nord con Novi di Modena, si riscontra la base dei sedimenti pliocenici marini a relativamente bassa profondità (circa 400-500 m dal p.c.), mentre nella parte sud del Comune tale orizzonte stratigrafico scende fino a raggiungere e anche a superare la profondità di 5000 metri.

Figura 5-5: Carta geologica schematica dell'Appennino Settentrionale (Estratto da Bettelli & De Nardo, 2001). LEGENDA: 1) depositi quaternari; 2) Depositi marini del Miocene Sup.-Pleistocene; 3) Successione epiligure; 4) Unità liguri esterne; 5) Unità liguri interne; 6) Unità subliguri; 7) Unità tettonica Sestola-Vidiciatico e Melange di Firenzuola; 8) Unità umbro-romagnole; 9) Unità toscane; 10) Unità metamorfiche toscane; 11) Zona Sestri-Voltaggio; 12) Gruppo di Voltri; 13) Faglie dirette; 14) Faglie dirette (nel sottosuolo); 15) Faglie inverse e sovrascorrimenti; 16) Faglie inverse (nel sottosuolo); 17) Faglie trascorrenti, di strappo o di trasferimento; 18) Faglie ad alto angolo a cinematica ignota (nel sottosuolo); 19) Limiti litologici. L'ovale a bordo rosso individua il territorio di Carpi




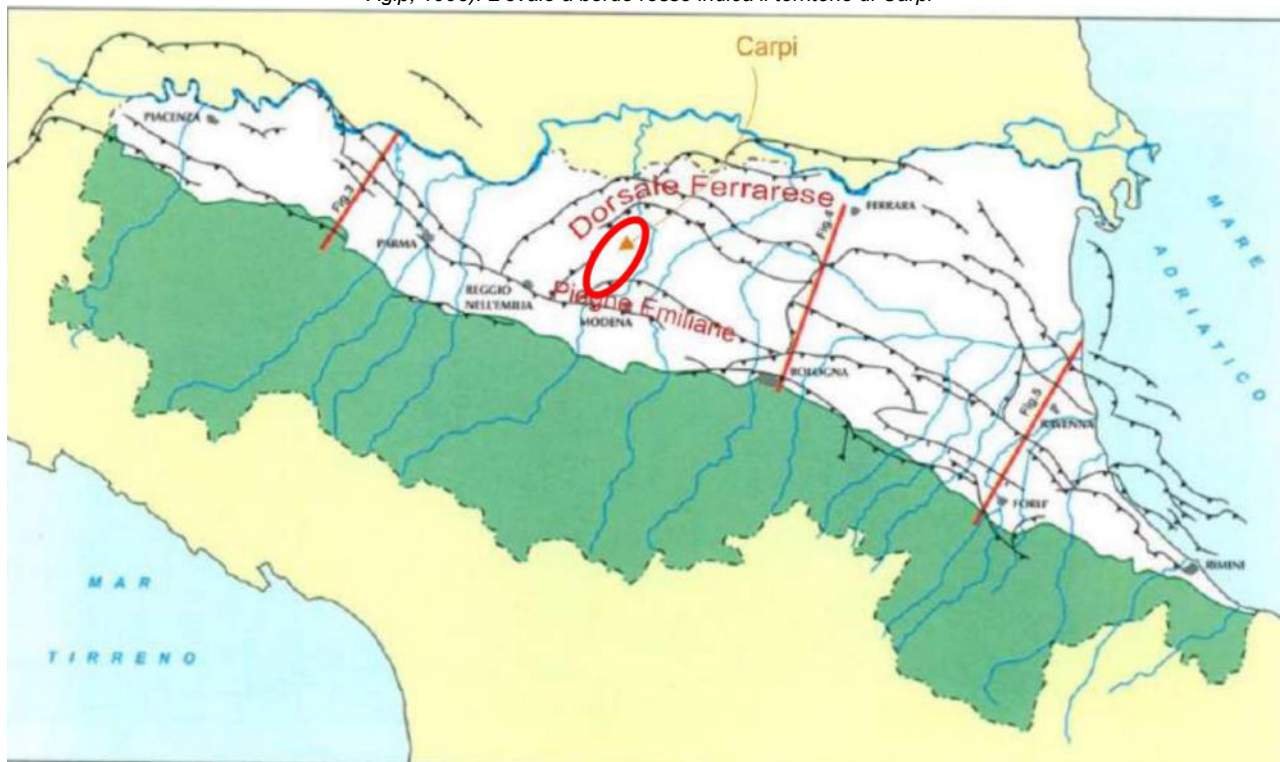
	ID Documento Committente	Pagina 22 / 50
	H16_FV_BCR_00044	Numero Revisione
		00

Figura 5-6: Principali strutture sepolte della Pianura Emiliano-Romagnola. (Estratto con modifiche da Regione Emilia-Romagna, Eni-Agip, 1998). L'ovale a bordo rosso indica il territorio di Carpi




L'evoluzione strutturale della catena appenninica (considerando sia la sua parte emersa che quella sepolta nel sottosuolo padano) continua anche ai giorni nostri, come mostrano con la loro attività sismica le strutture tettoniche che hanno controllato la sedimentazione nel bacino padano, talora dislocando pure le unità sedimentarie più recenti plio-pleistoceniche di ambiente marino (che affiorano nei pressi del margine pedecollinare) e i depositi continentali del Pleistocene che affiorano principalmente nelle valli o che formano il sottosuolo della pianura.

Tale attività sismogenetica si localizza in settori specifici della catena montuosa (Martelli, 2011):

- nell'alto Appennino, soprattutto in corrispondenza del crinale principale;
- nel basso Appennino, soprattutto nell'area pedemontana;
- in pianura, in corrispondenza delle strutture tettoniche sepolte (così dette Pieghe Emiliane e Pieghe Ferraresi) fino a nord del corso del fiume Po.

Dati geologici, morfologici e strutturali mostrano che il settore romagnolo dell'Appennino Settentrionale (a est della Linea del Sillaro) risulta più sollevato rispetto al settore emiliano (Martelli, 2011).

	ID Documento Committente H16_FV_BCR_00044	Pagina 23 / 50
		Numero Revisione
		00

Nel settore di alta montagna (presso il crinale principale) i dati sismologici suggeriscono meccanismi focali sia di tipo estensionale che di tipo compressivo, con i primi localizzati a profondità relativamente basse (entro 12-15 Km) rispetto i secondi (generalmente oltre i 20 km) (*Boccaletti et al., 2004 e 2010; Catalogo dei meccanismi dei terremoti mediterranei RCMT, <http://www.bo.ingv.it/RCMT/>*).

La zona pede-appenninica è caratterizzata da meccanismi focali prevalentemente di tipo compressivo (*Boccaletti et al., 2004; 2011*) che si concentrano in una fascia nella quale le evidenze geologiche di attività tettonica sono particolarmente significative (dislocazione di depositi continentali, modifiche del reticolo idrografico, scarpate strutturali; ecc.) (*Ghiselli e Martelli, 1997; Boccaletti et al., 2004; Boccaletti et al., 2011; Martelli, 2011*) e che è riconducibile a un sistema di strutture di accavallamento che nel complesso formano il così detto **Fronte di Accavallamento Pedemontano** (*Piedmont Thrust Front, Boccaletti et al., 1985*).

Per quanto riguarda i settori della pianura, dove le conoscenze geologiche profonde sono legate principalmente agli studi per la ricerca petrolifera (*Pieri & Groppi, 1981*) le strutture che mostrano maggiori dislocazioni recenti sono le **Pieghe Emiliane**, l'arco delle **Pieghe Ferraresi e le Pieghe Adriatiche** (*Martelli, 2011*), come confermato sia dalle recenti sequenze sismiche del 2012, che hanno interessato con i loro effetti anche il territorio di Carpi, che da altri eventi, anche forti e con magnitudo che ha raggiunto e/o superato il valore 5, avvenuti negli ultimi 30-40 anni.

La sequenza sismica del Maggio-Giugno 2012 viene interpretata come dovuta alla mobilitazione di due strutture di fronte di accavallamento tettonico grossomodo parallele l'una all'altra (Figura 19) oppure come la mobilitazione in punti diversi (e anche a profondità diverse) della superficie di scollamento basale nella quale sostanzialmente convergono tutti i fronti di accavallamento che nel loro complesso formano l'arco delle Pieghe Ferraresi (Figura 5-7). Al di là delle diverse interpretazioni, la sequenza sismica in parola è un chiaro indicatore dell'attività sismotettonica che caratterizza le strutture sepolte della pianura emiliano-romagnola, le quali hanno condizionato non solo la deposizione sedimentaria durante il Pliocene (la profondità della base dei depositi marini pliocenici presenta differenze di quota anche dell'ordine delle diverse migliaia di metri a seconda della posizione relativa (in corrispondenza di una cresta di culmine o di un bacino), ma probabilmente anche durante tutto il Pleistocene fino ai giorni nostri, con effetti diretti sull'andamento del reticolo idrografico superficiale (*Burrato et al., 2003*).


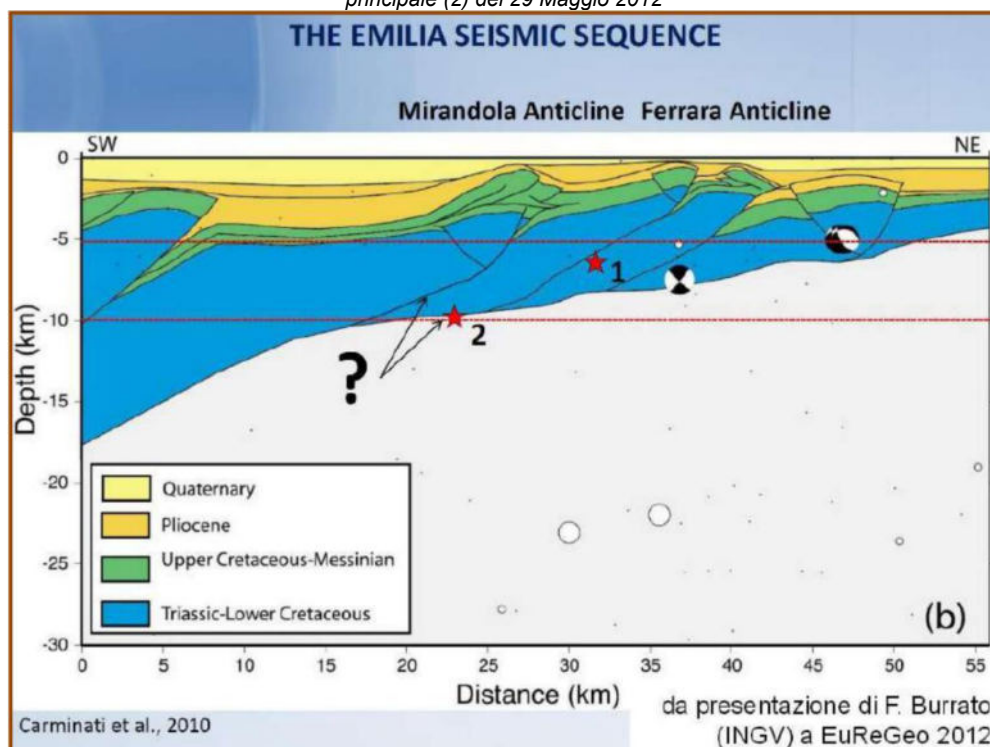
	ID Documento Committente H16_FV_BCR_00044	Pagina 24 / 50
		Numero Revisione
		00

Figura 5-7: Sezione geostrutturale attraverso la pianura emiliana orientale con ubicazione dell'epicentro della scossa principale (1) del 20 Maggio 2012 non sulla superficie di scollamento basale ma su un fronte di accavallamento e dei dubbi sull'ubicazione della scossa principale (2) del 29 Maggio 2012




4.2 Analisi dello studio di “Microzonazione Sismica” comunale

Nel presente studio è stata considerata dapprima la “*CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI DEI TERRENTI*” che riporta il valore della frequenza naturale ricavata per mezzo di misure di microtremore a stazione singola con indicazione anche dell’ampiezza del rapporto H/V in corrispondenza della frequenza naturale.

La stragrande maggioranza delle misure considerate nello studio comunale ha evidenziato una certa omogeneità dei valori della frequenza alla quale si presenta il picco principale nel grafico del rapporto H/V che di solito è dell’ordine di 0.7-1.2 Hz (coerente con i valori rilevati normalmente nella pianura emiliana).

Da notare tuttavia che tale picco si presenta molto marcato ed evidente (con valori di ampiezza superiori a 3) solo nell’estremo settore nord del territorio comunale (prossimo quindi all’area in esame), dove sarebbe correlato alla risalita del bedrock sismico propriamente detto, mentre nel resto del territorio risulta meno pronunciato (con valori di ampiezza spesso compresi tra 1.3/1.5 e 2. Un’analisi più attenta dei grafici HVSR (e dei grafici delle componenti spettrali, della direzionalità e stazionarietà temporale) sembrerebbe suggerire una sorta di dualità del valore di tale picco del grafico H/V, come se in realtà fosse formato dalla coalescenza di almeno due picchi distinti, uno all’incirca

	ID Documento Committente H16_FV_BCR_00044	Pagina 25 / 50
		Numero Revisione
		00

tra 1-1.2 Hz e un altro all'incirca tra 0.7 e 1 Hz. Da un'interpretazione comparata dei dati in chiave stratigrafica (coadiuvata anche dai risultati delle registrazioni passive in array, nonché dei dati stratigrafici) tali due picchi sembrerebbero correlabili con due superfici di natura stratigrafica poste la prima a circa 50 m dal p.c. e la seconda a circa 100 m dal p.c.

I dati di frequenza naturale di sito rivestono importanza non solo perché possono fornire informazioni grossolane di tipo stratigrafico (contrastati di impedenza) ma anche per finalità pratiche: è buona norma evitare che la frequenza naturale di sito coincida con una delle frequenze di risonanza degli edifici e/o dei manufatti realizzativi. In prima approssimazione la frequenza di risonanza di un edificio è legata al numero di piani secondo la formulazione seguente:

$$f = 10/N$$

essendo N il numero di piani.

Ne consegue che un edificio di un piano avrà una frequenza di risonanza circa a 10 Hz, uno di due piani a circa 5 Hz, uno a tre piani a circa 3.33 Hz, ecc. I valori di frequenza relativamente bassi riportati in carta suggeriscono pertanto per l'areale in esame che occorre prestare particolare attenzione nella progettazione di edifici con frequenza di risonanza bassa e quindi, in prima approssimazione, che presentano sviluppi in altezza o in estensione particolarmente pronunciati (palazzi, torri, silos, ponti, ecc.).

In Figura 5-8 si riporta uno stralcio della Carta delle frequenze naturali in cui si può osservare come all'interno dell'area di futura realizzazione del parco fotovoltaico sia stata eseguita un'indagine HVSR con stazione microtremore a stazione singola.

Di seguito si riportano i dati ottenuti:

$$FO = 0,84$$

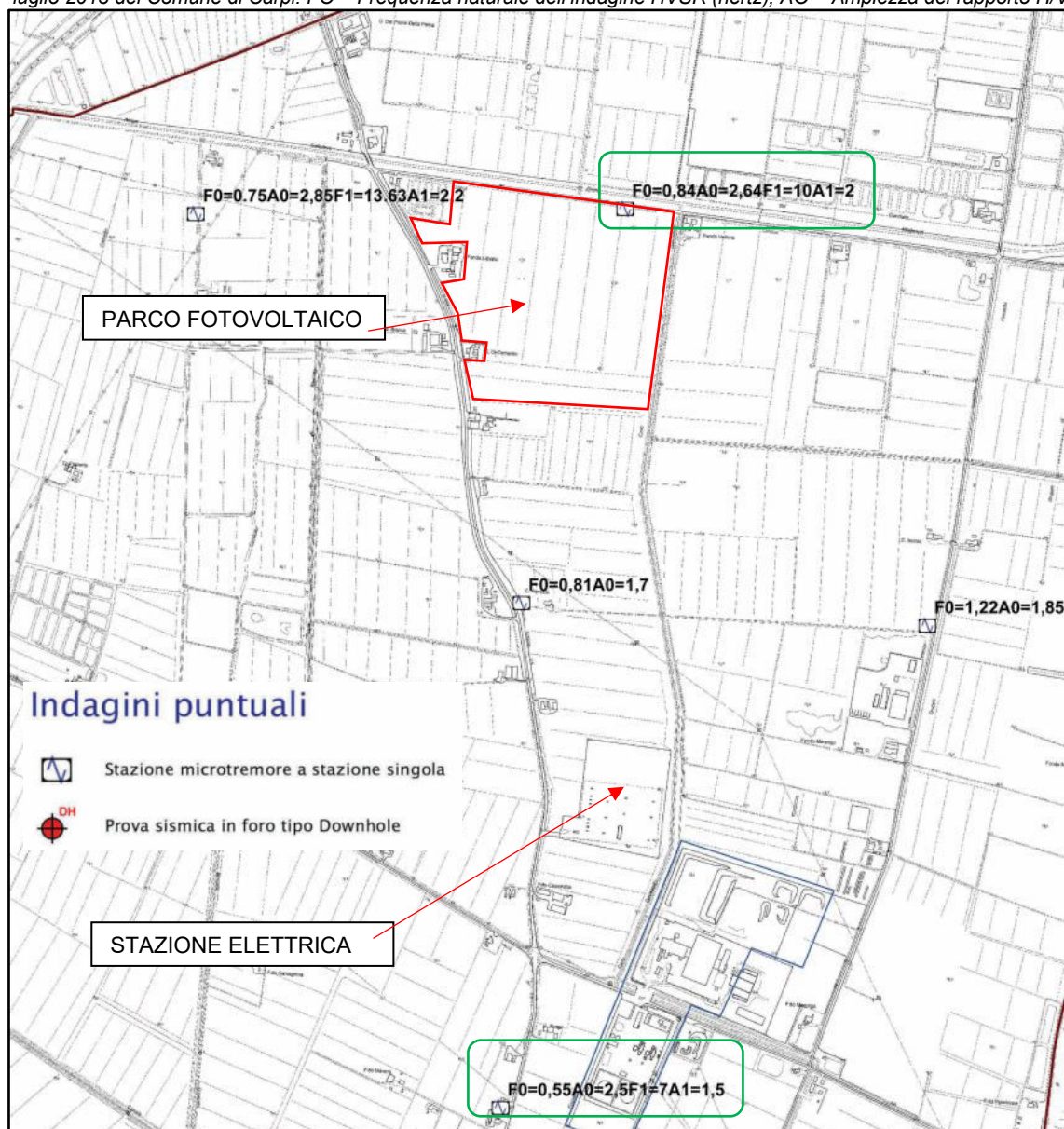
$$AO = 2,64$$

Nei pressi della stazione elettrica è stata eseguita un'altra indagine HVSR con stazione microtremore a stazione singola di cui si riportano i risultati:

$$FO = 0,55$$


$$AO = 2,50$$

Figura 5-8: Stralcio non in scala della “Carta delle frequenze naturali dei terreni” annessa allo studio di Microzonazione Sismica del luglio 2013 del Comune di Carpi. FO = Frequenza naturale dell’indagine HVSR (hertz); AO = Ampiezza del rapporto H/V



Per quanto riguarda la “*CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA*”, per la sua realizzazione all’interno dello studio di microzonazione sismica comunale, è stato considerato che dalle analisi speditive di primo livello:

- in tutto il territorio di Carpi si ritiene siano presenti nel sottosuolo terreni “soffici” (così come definiti nella DAL 112/2007: $C_u < 70$ KPa);

	ID Documento Committente H16_FV_BCR_00044	Pagina 27 / 50
		Numero Revisione
		00

- per gran parte del territorio comunale si è verificata la presenza nel sottosuolo di strati sabbiosi sottofalda,

si è preferito individuare le diverse zone utilizzando un soprassegno per evidenziare quegli areali nei quali l'analisi di primo livello ha segnalato la presenza di sabbie in spessore tale da ritenere necessaria un'analisi di terzo livello per gli aspetti della liquefazione. Nessun simbolismo è stato invece utilizzato per le zone instabili suscettibili di cedimenti dovuti alla presenza di terreni soffici ($C_u < 70\text{KPa}$) in quanto su tutto il territorio comunale sono presenti nel primo sottosuolo terreni coesivi con tali caratteristiche. Pertanto, anche per questioni di leggibilità della carta, si è preferito omettere l'introduzione di un ulteriore soprassegno che di fatto è inutile trattandosi di una caratteristica che interessa tutto il territorio di Carpi per la quale si renderebbero necessari approfondimenti di terzo livello.

In Figura 5-9 si riporta lo stralcio della “*CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA*” in cui si può osservare come l'area in esame (parco fotovoltaico, cavidotto e stazione elettrica) ricade in ZONA 2 caratterizzata da *Argille e Argille limose con radi strati sabbiosi sovrastate da un orizzonte superficiale limo-sabbioso* e si configura come una zona *suscettibile al fenomeno della liquefazione*.


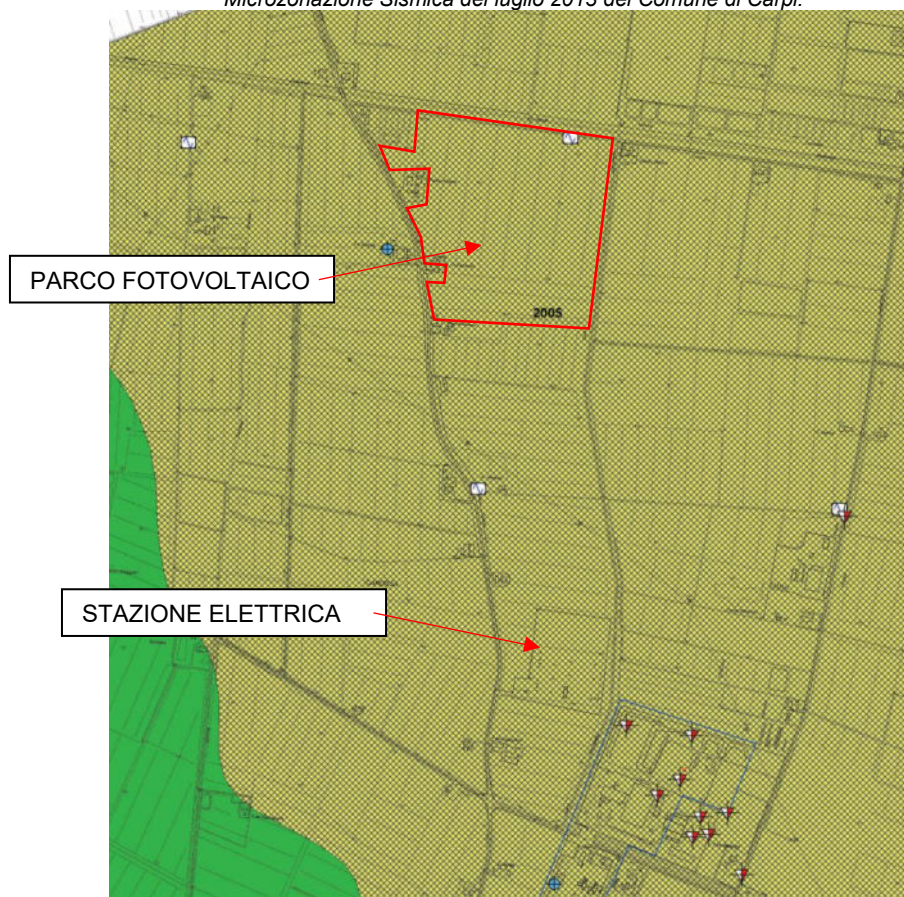
	ID Documento Committente	Pagina 28 / 50
	H16_FV_BCR_00044	Numero Revisione
		00

Figura 5-9: Stralcio non in scala della “CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA” annessa allo studio di Microzonazione Sismica del luglio 2013 del Comune di Carpi.




Legenda

Zone stabili suscettibili di amplificazione locali

2001	Zona 1–Alternanze di strati di argille e argille limose con strati di limi, limi sabbiosi e sabbie limose (sedimenti di provenienza appenninica)
2002	Zona 2– Argille e argille limose (con radi strati sabbiosi) sovrastate da un orizzonte superficiale limo-sabbioso
2003	Zona 3–Argille e limi prevalenti (con radi strati sabbiosi) fino ad almeno 25–40 m di profondità, sovrastanti depositi sabbiosi
2004	Zona 4–Peliti prevalenti (con radi strati sabbiosi) fino almeno 20–30 m di profondità
2005	Zona 5–Argille e limi fino 5–10 m di profondità. Sabbie prevalenti tra 5–20 m di profondità
2006	Zona 6–Alternanze tra strati metrici/plurimetrici sabbiosi e strati metrici/plurimetrici pelitici

Zone suscettibili di instabilità

	Liquefazioni
---	--------------

	ID Documento Committente H16_FV_BCR_00044	Pagina 29 / 50
		Numero Revisione
		00

All'interno dello studio di microzonazione comunale sono state poi realizzate le *CARTE DI MICROZONAZIONE SISMICA al SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO*. Esse rappresentano il risultato dell'analisi di microzonazione sismica di secondo livello e suddividono il territorio comunale in "zone" caratterizzate da uguale fattore di amplificazione. Le linee guida regionali (*DAL 112/2007*) prevedono che vengano realizzate tre cartografie di microzonazione sismica di secondo livello, facendo riferimento a fattori di amplificazione determinati, sulla base dei valori della velocità delle onde di taglio e di appositi abachi, in termini di PGA (Peak Ground Acceleration = accelerazione di picco al suolo) e di Intensità spettrale (o di Housner) tenendo conto di due intervalli di periodo (da 0.1 a 0.5 secondi e da 0.5 a 1 secondo). Per la valutazione dei fattori di amplificazione stratigrafica sono stati utilizzati gli abachi contenuti nella citata *DAL 112/2007*. Sono stati in particolare utilizzati gli abachi rispettivamente denominati PIANURA2 e PIANURA1, quest'ultimo solamente per un settore arealmente limitato al confine nord del territorio comunale. Tenuto conto che i valori di Vs30 sono poco variabili, ne consegue che anche i valori dei fattori di amplificazione sono piuttosto omogenei tanto che il territorio carpigiano viene diviso in due settori con valori dei fattori di amplificazione diversi che discendono più dall'applicazione di abachi diversi che non per reali differenze nei valori del Vs30. In termini di PGA il fattore di amplificazione è risultato pari a 1.7 per il settore estremo nord e 1.5 per la restante gran parte del territorio comunale; in termini di Intensità spettrale nell'intervallo 0.1-0.5 secondi sono stati determinati valori del fattore di amplificazione rispettivamente di 1.9 (settore nord) e 1.8 (resto del territorio comunale, mentre nell'intervallo 0.5-1.0 secondo i valori sono risultati rispettivamente di 2.6 (settore nord) e 2.5 (resto del territorio comunale).

L'area di futura realizzazione dell'impianto fotovoltaico ricade in zone suscettibili di amplificazioni locali con Fattore di Amplificazione pari a **1.9-2.0** nell'intervallo 0.1-0.5 secondi (Figura 5-10) e **maggiore di 2,5** nell'intervallo 0.5-1.0 secondi (Figura 5-11).

L'area della stazione elettrica ricade in zone suscettibili di amplificazioni locali con Fattore di Amplificazione pari a **1.7-1.8** nell'intervallo 0.1-0.5 secondi (Figura 5-10) e **maggiore di 2,5** nell'intervallo 0.5-1.0 secondi (Figura 5-11).


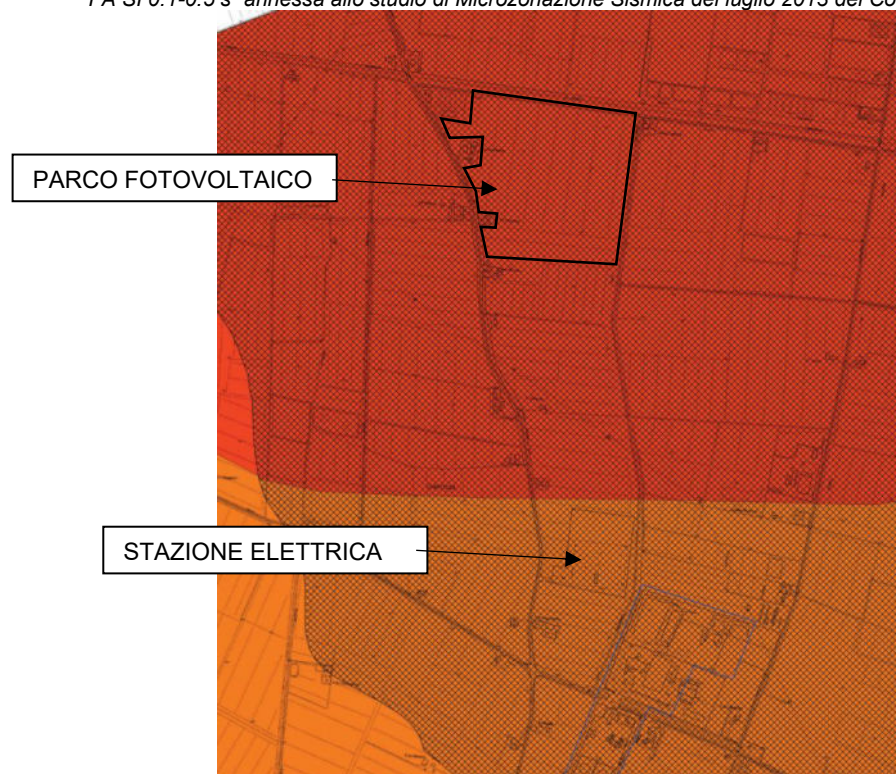
	ID Documento Committente H16_FV_BCR_00044	Pagina 30 / 50
		Numero Revisione
		00

Figura 5-10: Stralcio non in scala della “CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA al SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO – FA SI 0.1-0.5 s” annessa allo studio di Microzonazione Sismica del luglio 2013 del Comune di Carpi.



Legenda

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (FA SI 0.1 – 0.5 s)

1,7 – 1,8

1,9 – 2

Zone suscettibili di instabilità

Liquefazioni

Aree urbanizzate e urbanizzabili


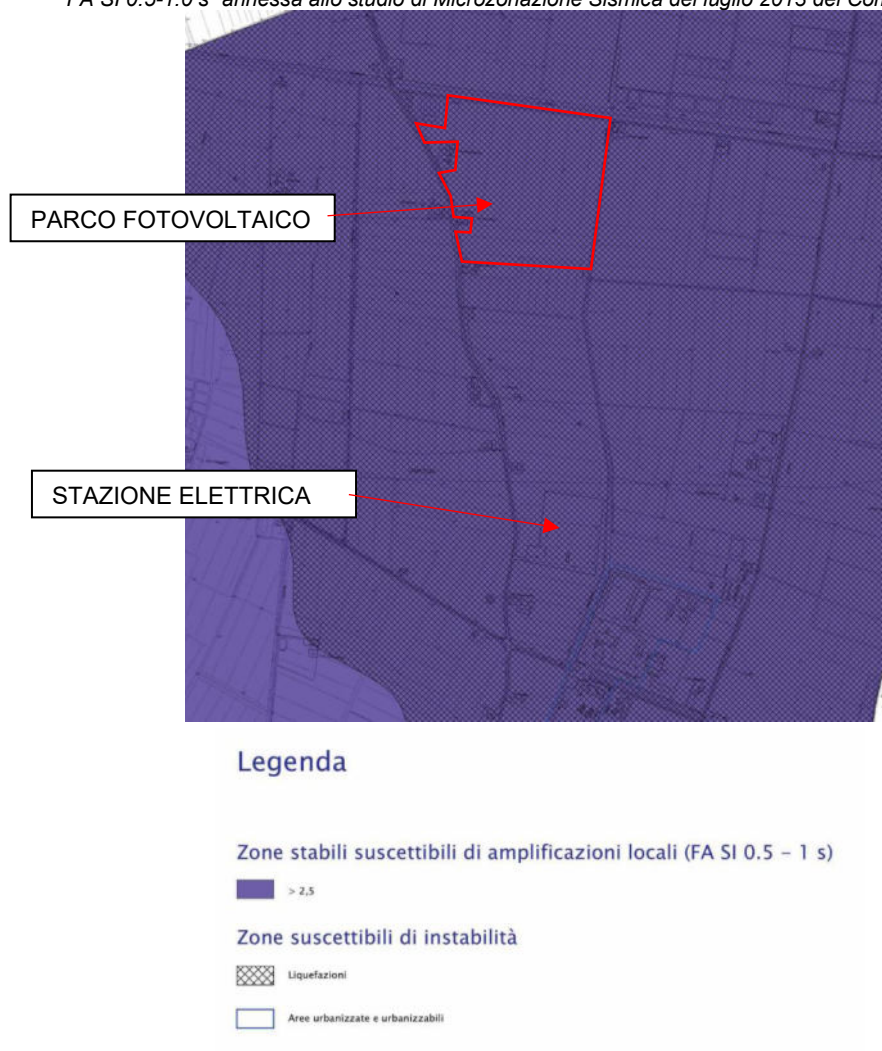

	ID Documento Committente H16_FV_BCR_00044	Pagina 31 / 50
		Numero Revisione
		00

Figura 5-11: Stralcio non in scala della “CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA al SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO – FA SI 0.5-1.0 s” annessa allo studio di Microzonazione Sismica del luglio 2013 del Comune di Carpi.



Infine, nella carta di terzo livello, le aree instabili suscettibili di liquefazione sono state distinte in base all’Indice del potenziale di liquefazione. L’analisi di terzo livello è stata eseguita soltanto all’interno delle aree edificate pertanto per la zona in esame del parco fotovoltaico in progetto non è stata eseguita l’analisi di terzo livello all’interno dello studio comunale.

Secondo quanto definito nello studio comunale, l’analisi di terzo livello per l’area in esame deve prevedere, oltre alla determinazione dell’Indice di Liquefazione, anche la valutazione dei cedimenti post-sismici nei terreni liquefacibili e la valutazione dei cedimenti post-sismici dovuti alla presenza di terreni soffici ($C_u < 70$ KPa).

	ID Documento Committente H16_FV_BCR_00044	Pagina 32 / 50
		Numero Revisione
		00


Si riportano pertanto in Allegato C la verifica alla liquefazione effettuata comprensiva di valutazione dei cedimenti nei terreni liquefacibili e nei terreni coesivi soffici ed in Allegato D l'analisi di risposta sismica locale.

Come descritto dettagliatamente nell'allegato C, la verifica a liquefazione ha fornito i seguenti risultati:

- le prove CPTU1 e CPTU2 (zona meridionale) presentano un Indice del Potenziale di Liquefazione BASSO e cedimenti post-sismici totali compresi tra 11 e 14 cm;
- le prove CPTU3, CPTU4 e CPTU5 (zona settentrionale) presentano un Indice del Potenziale di Liquefazione ALTO e cedimenti post-sismici totali compresi tra 20 e 26 cm;

Si raccomanda inoltre, nell'ambito della progettazione delle strutture, di utilizzare gli spettri ottenuti con lo studio di Risposta Sismica Locale riportato in Allegato D.

La verifica a liquefazione, la valutazione dei cedimenti post-sismici e l'analisi di risposta sismica locale sono stati eseguiti con il programma “*Cliq ver. 3.0 della Geologismiki Geotechnical Software*”.

	ID Documento Committente H16_FV_BCR_00044	Pagina 33 / 50
		Numero Revisione
		00

5 Descrizione delle indagini geotecniche eseguite


Sono state eseguite in data 5 e 6/10/2023 le seguenti prove penetrometriche statiche con penetrometro Pagani DPSH TG 63-200:

- CPT1 spinta fino alla profondità di 6,60 m da p.c.;
- CPT2 spinta fino alla profondità di 6,60 m da p.c.;
- CPT3 spinta fino alla profondità di 6,60 m da p.c.;
- CPT4 spinta fino alla profondità di 9,60 m da p.c.;
- CPT5 spinta fino alla profondità di 6,60 m da p.c.;
- CPT6 spinta fino alla profondità di 6,60 m da p.c.;
- CPT7 spinta fino alla profondità di 6,60 m da p.c.;
- CPT8 spinta fino alla profondità di 9,00 m da p.c.;
- CPT9 spinta fino alla profondità di 6,60 m da p.c.;
- CPT10 spinta fino alla profondità di 6,60 m da p.c.

Successivamente, in data 16/11/2023, sono state eseguite le seguenti prove penetrometriche statiche con piezocono con penetrometro Pagani DPSH TG 63-200:

- CPTU1 spinta fino alla profondità di 19,85 m da p.c.;
- CPTU2 spinta fino alla profondità di 19,86 m da p.c.;
- CPTU3 spinta fino alla profondità di 19,86 m da p.c.;
- CPTU4 spinta fino alla profondità di 19,89 m da p.c.;
- CPTU5 spinta fino alla profondità di 19,90 m da p.c.;

L'ubicazione esatta delle prove è riportata in Tavola 3 mentre in Allegato A1 e A2 sono riportati grafici e tabulati delle prove.

	ID Documento Committente H16_FV_BCR_00044	Pagina 34 / 50
		Numero Revisione
		00

Di seguito vengono sintetizzate le caratteristiche del penetrometro statico meccanico che è stato impiegato:

<i>Lecture</i>	:	<i>punta-laterale</i>
<i>Baricentro punta lungo altezza (cm)</i>	:	<i>100</i>
<i>Area punta (cm²)</i>	:	<i>10</i>
<i>Area interna punta cono (cm²)</i>	:	<i>8,5</i>
<i>Angolo apertura punta (°)</i>	:	<i>60</i>
<i>Diametro punta conica (mm)</i>	:	<i>35,7</i>
<i>Altezza manicotto laterale (cm)</i>	:	<i>13,3</i>
<i>Sistema di misura</i>	:	<i>elettrico</i>
<i>Passo (cm)</i>	:	<i>2</i>
<i>Peso manicotto ancoraggio (kg)</i>	:	<i>2,1</i>
<i>Superficie manicotto (cm²)</i>	:	<i>150</i>
<i>Costante di trasformazione</i>	:	<i>10</i>


La prova penetrometrica statica (CPT) consiste nello spingere nel terreno, ad una velocità costante di 2 cm/sec, una serie di aste cilindriche con un cono alla base (punta meccanica tipo Begemann) e misurarne continuamente o ad intervalli non superiori a 20 cm la resistenza alla penetrazione.

La resistenza viene misurata al momento in cui il manicotto e la punta conica vengono spinti in profondità mentre gli altri elementi del penetrometro rimangono fermi.

Da questa prova è possibile ricavare i seguenti dati:

- **Resistenza alla punta conica - q_c** (misurata in Kg/cm²) La resistenza al cono è letta direttamente sul display della cella di carico montata sul gruppo di spinta dell'attrezzatura: $q_c = R_p$
- **Attrito laterale o locale f_s** L'attrito unitario locale che si ottiene sottraendo al valore di R_1 (resistenza laterale letta sul display) il valore di R_p , diviso per la superficie laterale del manicotto (S_1): $f_s = (R_1 - R_p) / S_1$

La prova penetrometrica statica CPTU consiste nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta elettrica dotata di piezocono, di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante (2 cm/s), i cui dati vengono registrati ogni 2 cm di avanzamento. La penetrazione avviene attraverso un dispositivo di spinta che agisce su una batteria di aste (aste cave con il cavo di trasmissione dati all'interno) alla cui estremità inferiore è collegata la punta con piezocono. Il piezocono è una punta penetrometrica elettrica, dotata di un trasduttore di pressione per la misura della pressione interstiziale dei pori, cioè del carico idraulico istantaneo presente nell'intorno della punta. La pressione dell'acqua interstiziale del terreno viene trasmessa al trasduttore attraverso un

	ID Documento Committente H16_FV_BCR_00044	Pagina 35 / 50
		Numero Revisione
		00

filtro opportunamente saturato e disareato, che è posto tra la base dell'estremità conica della punta ed il manicotto di attrito. La possibilità di misurare la pressione interstiziale ha considerevolmente aumentato la capacità interpretativa della prova nei terreni saturi sottofalda. I trasduttori di forza per la misura della resistenza alla punta (Q_c) e dell'attrito laterale (F_s), sono realizzati con ponti estensimetrici studiati per ridurre gli effetti prodotti da eccentricità del carico.

Oltre all'elaborazione dei valori di resistenza del sottosuolo, vengono fornite utili informazioni per il riconoscimento di massima dei terreni attraversati (stratigrafia), in base al rapporto q_c/f_s fra la resistenza alla punta e la resistenza laterale del penetrometro, ovvero in base ai valori di q_c e del rapporto $FR=(f_s/q_c)\%$.

Per l'interpretazione della prova occorre utilizzare la resistenza di punta corretta q_t , che tiene conto della differenza tra l'area della punta, A_c , e l'area della parte del cono che agisce direttamente sulla cella di carico, A_n . Il valore di q_t è dato dall'equazione:

$$q_t = q_c + u2(1 - a)$$

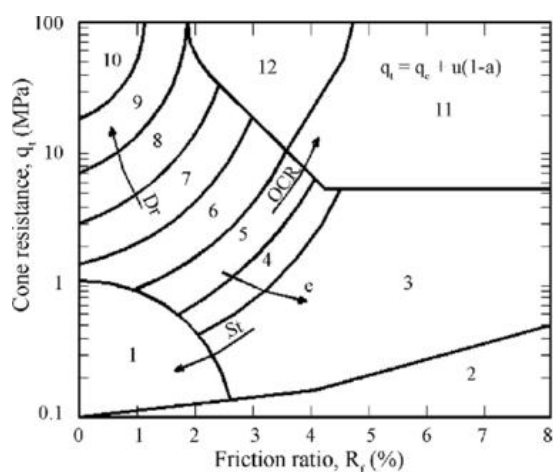
Il valore del rapporto delle aree, a , si determina sperimentalmente per ogni piezocono ed è in genere compreso tra 0,55 e 0,9.

Si definisce rapporto delle pressioni interstiziali il parametro:

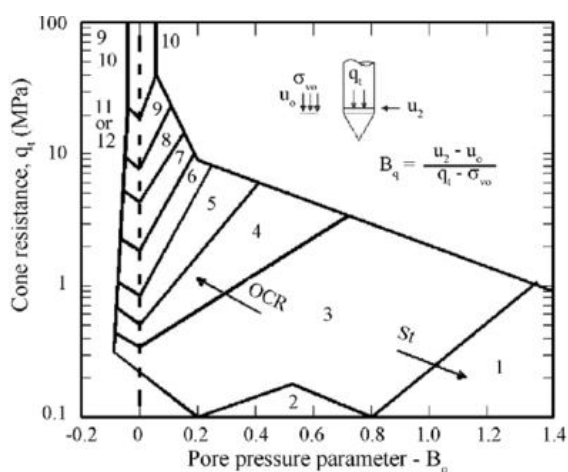
$$B_q = \Delta u \, q_t - \sigma_{v0}$$

in cui σ_{v0} rappresenta la tensione verticale totale presente in sito.

Per l'identificazione litologica ed il riconoscimento stratigrafico dai risultati di prove con piezocono è stato utilizzato il metodo di Robertson, del quale di seguito si riportano i grafici.




SBT	Soil behavior type
1	Sensitive fine grained
2	Organic material
3	Clay
4	Silty clay to clay
5	Clayey silt to silty clay
6	Sandy silt to clayey silt



SBT	Soil behavior type
7	Silty sand to sandy silt
8	Sand to silty sand
9	Sand
10	Gravelly sand to sand
11	Very stiff fine grained*
12	Sand to clayey sand*

* Overconsolidated or cemented

Il diagramma di Robertson contempla 12 tipologie di terreno (SBT) e può essere utilizzato in tempo reale per valutare la tipologia di terreno durante o subito dopo un test CPTU, in quanto richiede soltanto i rilevamenti CPTU di base.

	ID Documento Committente H16_FV_BCR_00044	Pagina 37 / 50
		Numero Revisione
		00

6 Interpretazione delle indagini eseguite

Le prove penetrometriche statiche CPT e CPTU eseguite hanno permesso di caratterizzare dal punto di vista litologico e stratigrafico i primi 20 metri di sottosuolo dell'area. È possibile affermare che su tutta l'area è presente un orizzonte di terreno coltivo avente spessore compreso tra 0,40 m e 0,80 m caratterizzato da limi sabbioso argillosi molto soffici; tale orizzonte non è idoneo per la posa delle fondazioni in quanto comunque rimaneggiato antropicamente e con scarse caratteristiche geotecniche.

Sotto a tale orizzonte superficiale il sottosuolo dell'area è caratterizzato prevalentemente da terreni di natura coesiva con grado di addensamento medio basso.

I primi 20 metri di sottosuolo sono contraddistinti da alternanze di livelli coesivi argillosi, argilloso limosi e limoso argillosi prevalenti e livelli poco spessi di sabbie più o meno limose con o senza ghiaia. Tali orizzonti risultano interdigitati fra loro con eteropie laterali e verticali.

Generalmente i terreni presenti presentano un basso grado di addensamento (valori di resistenza alla punta conica tendenzialmente minori di 40 Kg/cmq).

Per quanto riguarda i livelli coesivi sono prevalenti orizzonti argillosi e argilloso limosi talvolta sabbiosi da soffici a poco consistenti con subordinate argille consistenti.

I terreni incoerenti, nei primi 7-9 metri di sottosuolo, presentano generalmente spessori decimetrici e raramente sono superiori a 1 metro e risultano meno diffusi lungo tutte le colonne indagate; sono caratterizzati da sabbie, sabbie limose e talvolta sabbie con ghiaia da molto sciolte a sciolte. A partire da 7-9 metri fino ad arrivare a circa 12-14, gli orizzonti sabbiosi sono prevalenti con intercalazioni di argille e argille limose. In particolare i litotipi sabbiosi presentano spessori maggiori nella porzione settentrionale del sito come verificabile dalle stratigrafie interpretative delle prove CPTU (si veda in seguito all'interno di questo paragrafo).

Di seguito si riportano le interpretazioni stratigrafiche di ciascuna prova CPT eseguita ricordando che in Tavola 3 sono riportate le ubicazioni esatte delle prove. Nelle successive tabelle, per ogni prova CPT eseguita, si riporta un riassunto dell'interpretazione ottenuta mediante elaborazione con il software "Static Probing" della Geostru utilizzando il metodo di Searle (1979).

I colori all'interno delle tabelle corrispondono agli orizzonti individuati in paragrafo 7.

CPT 1	
0,00 - 0,60	Copertura agraria limo argilloso soffice
0,60 - 0,80	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente
0,80 - 1,00	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa
1,00 - 1,60	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente
1,60 - 2,20	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa
2,20 - 2,80	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente
2,80 - 3,00	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa
3,00 - 6,60	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente

CPT 2

0,00 - 0,80	Copertura agraria limo argillosa soffice
0,80 - 1,00	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa
1,00 - 1,60	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente
1,60 - 1,80	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa
1,80 - 2,20	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente
2,20 - 2,40	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa
2,40 - 2,80	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente
2,80 - 3,00	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa
3,00 - 4,80	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente
4,80 - 5,60	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa
5,60 - 6,20	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente
6,20 - 6,40	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa

CPT 3


0,20 - 0,60	Copertura agraria limo argillosa soffice
0,60 - 1,00	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa
1,00 - 2,40	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente
2,40 - 2,60	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa
2,60 - 3,20	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente
3,20 - 3,60	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa
3,60 - 3,80	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente
3,80 - 4,00	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa
4,00 - 4,40	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente
4,40 - 4,60	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa
4,60 - 4,80	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente
4,80 - 5,60	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa
5,60 - 6,00	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente
6,00 - 6,40	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa

CPT 4

0,00 - 0,60	Copertura agraria limo argillosa soffice
0,60 - 1,80	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente
1,80 - 2,00	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa
2,00 - 3,20	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente
3,20 - 3,80	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa
3,80 - 4,80	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente
4,80 - 5,00	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa
5,00 - 7,00	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente
7,00 - 7,20	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa
7,20 - 8,00	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente
8,00 - 8,60	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa
8,60 - 8,80	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente
8,80 - 9,20	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa
9,20 - 9,40	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente

CPT 5

0,00 - 0,80	Copertura agraria limo argillosa soffice
0,80 - 1,20	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente
1,20 - 1,60	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa
1,60 - 2,40	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente
2,40 - 2,60	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa
2,60 - 3,00	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente
3,00 - 3,20	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa
3,20 - 3,80	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente
3,80 - 4,20	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa
4,20 - 4,60	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente
4,60 - 5,20	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa

	ID Documento Committente H16_FV_BCR_00044	Pagina 39 / 50
		Numero Revisione
		00

5,20 - 5,40	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente
5,40 - 6,00	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa
6,00 - 6,40	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente


CPT 6	
0,00 - 0,60	Copertura agraria limo argillosa soffice
0,60 - 1,40	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa
1,40 - 2,20	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente
2,20 - 3,00	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa
3,00 - 3,40	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente
3,40 - 4,00	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa
4,00 - 6,00	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente
6,00 - 6,40	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa

CPT 7	
0,00 - 0,80	Copertura agraria limo argillosa soffice
0,80 - 2,80	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente
2,80 - 3,20	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa
3,20 - 3,60	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente
3,60 - 4,20	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa
4,20 - 6,00	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente
6,00 - 6,40	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa

CPT 8	
0,00 - 0,60	Copertura agraria limo argillosa soffice
0,60 - 1,00	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa
1,00 - 3,40	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente
3,40 - 3,60	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa
3,60 - 4,40	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente
4,40 - 5,00	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa
5,00 - 5,20	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente
5,20 - 5,80	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa
5,80 - 6,00	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente
6,00 - 6,40	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa
6,40 - 7,60	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente
7,60 - 7,80	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa
7,80 - 8,00	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente
8,00 - 8,20	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa
8,20 - 9,00	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente

CPT 9	
0,00 - 0,60	Copertura agraria limo argillosa soffice
0,60 - 0,80	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa
0,80 - 1,40	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente
1,40 - 1,60	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa
1,60 - 2,00	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente
2,00 - 2,60	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa
2,60 - 6,40	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente

CPT 10	
0,00 - 0,60	Copertura agraria limo argillosa soffice
0,60 - 0,80	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa
0,80 - 2,20	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente
2,20 - 2,40	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa

	ID Documento Committente H16_FV_BCR_00044	Pagina 40 / 50
		Numero Revisione
		00

2,40 - 3,00	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente
3,00 - 3,80	Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa
3,80 - 6,60	Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente

Di seguito si riportano le interpretazioni stratigrafiche di ciascuna prova CPTU eseguita (Tavola 3 per le ubicazioni esatte delle prove). Nelle successive tabelle, per ogni prova CPTU eseguita, si riporta l'interpretazione grafica ottenuta mediante elaborazione con il programma “*Cliq ver. 3.0 della Geologismiki Geotechnical Software*” utilizzando il metodo di Robertoson (2010).

Nelle successive figure si tenga presente quanto segue:

- “3. *Clay to silty clay*” (Da argilla a argilla limosa) e “4. *Clayey Silt to silty clay*” (da limo argilloso ad argilla limosa) corrispondono a “*Argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo argilloso sabbioso da soffice a poco consistente, raramente consistente*”
- “5. *Silty sand to sandy silt*” (da sabbia limosa a limo sabbioso) e “6. *Clean sand to silty sand*” (da sabbia pulita a sabbia limosa) corrispondono a “*Sabbia, sabbia limosa, talvolta ghiaiosa*”

CPT: CPTu01

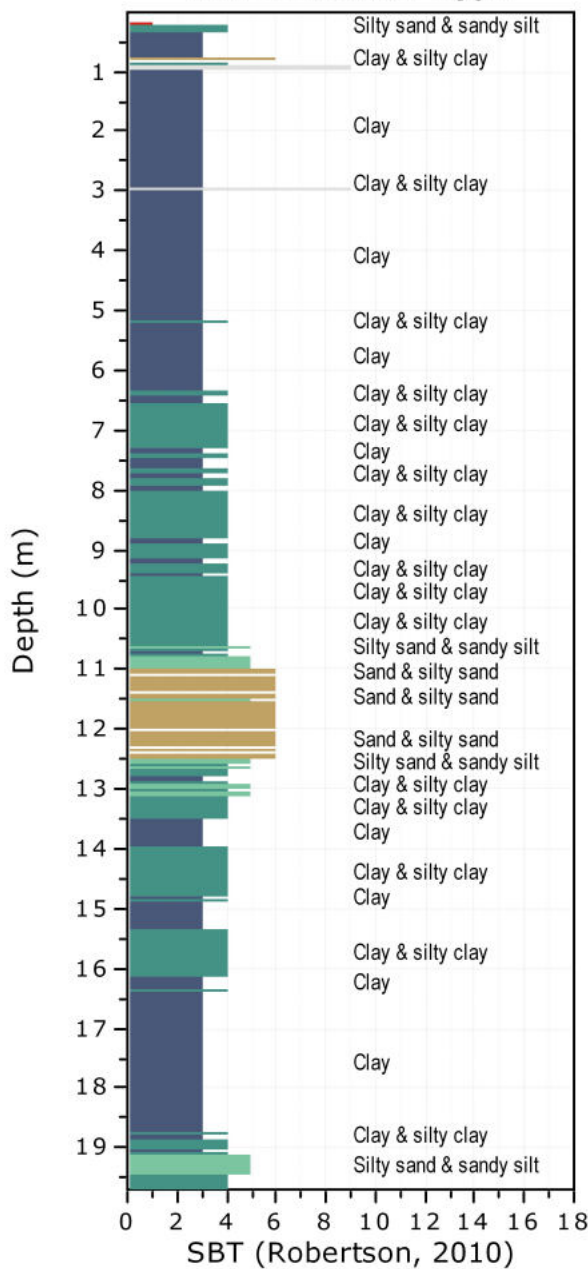
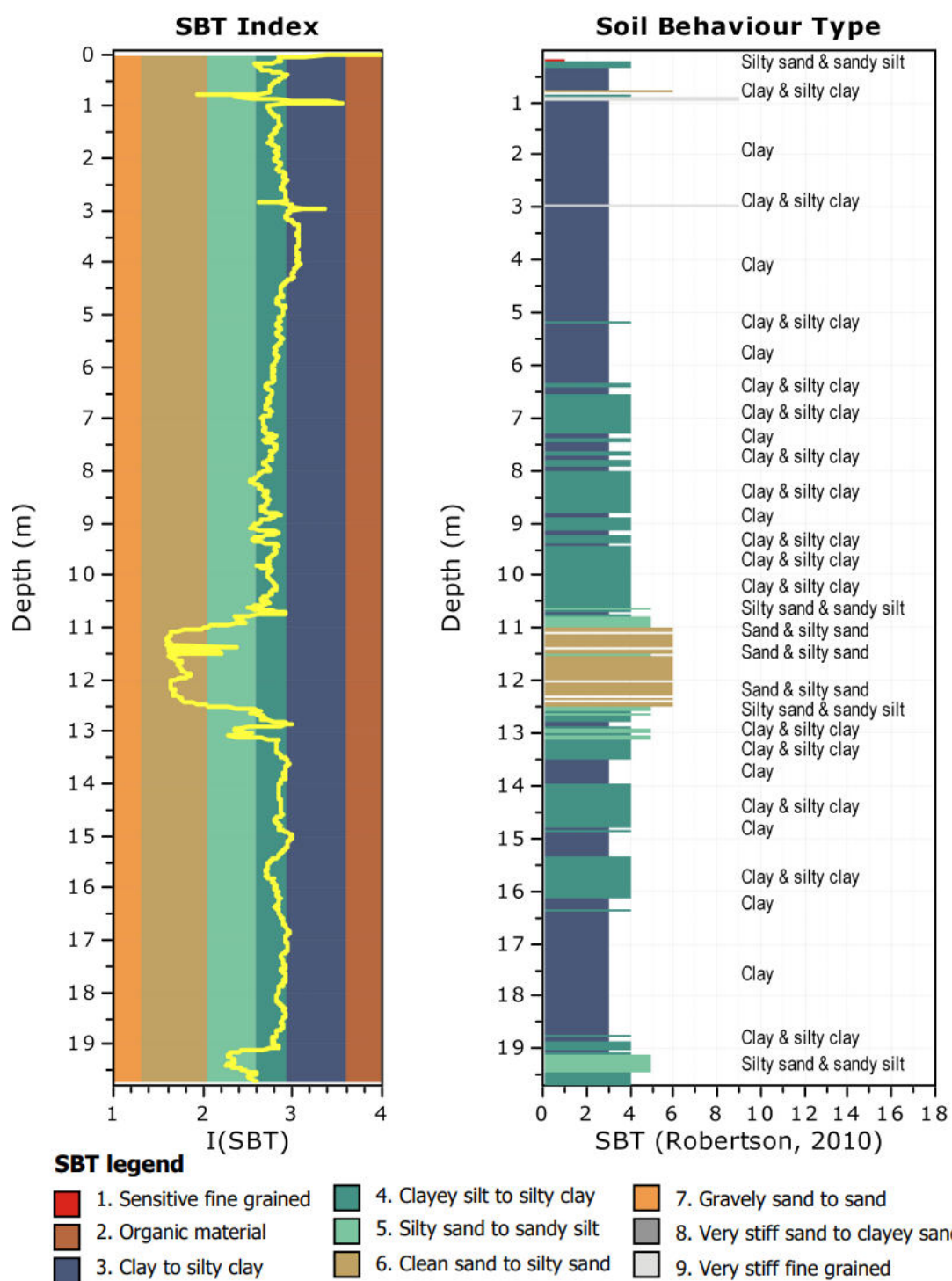
Total depth: 19.70 m, Date: 16/11/2023

Surface Elevation: 0.00 m

Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type:

Cone Operator:



CPT: CPTu02

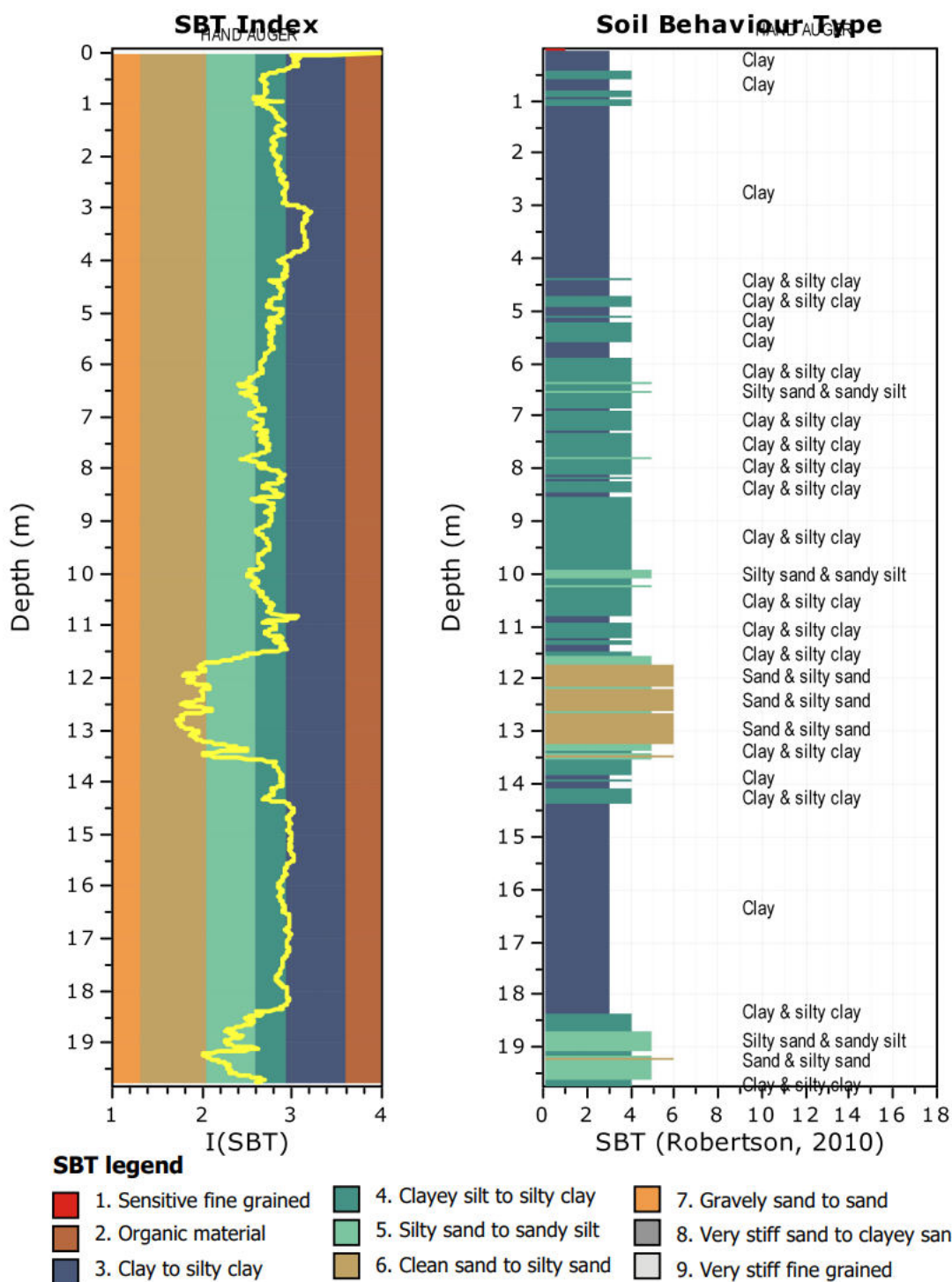
Total depth: 19.75 m, Date: 16/11/2023

Surface Elevation: 0.00 m

Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type:

Cone Operator:



CPT: CPTu03

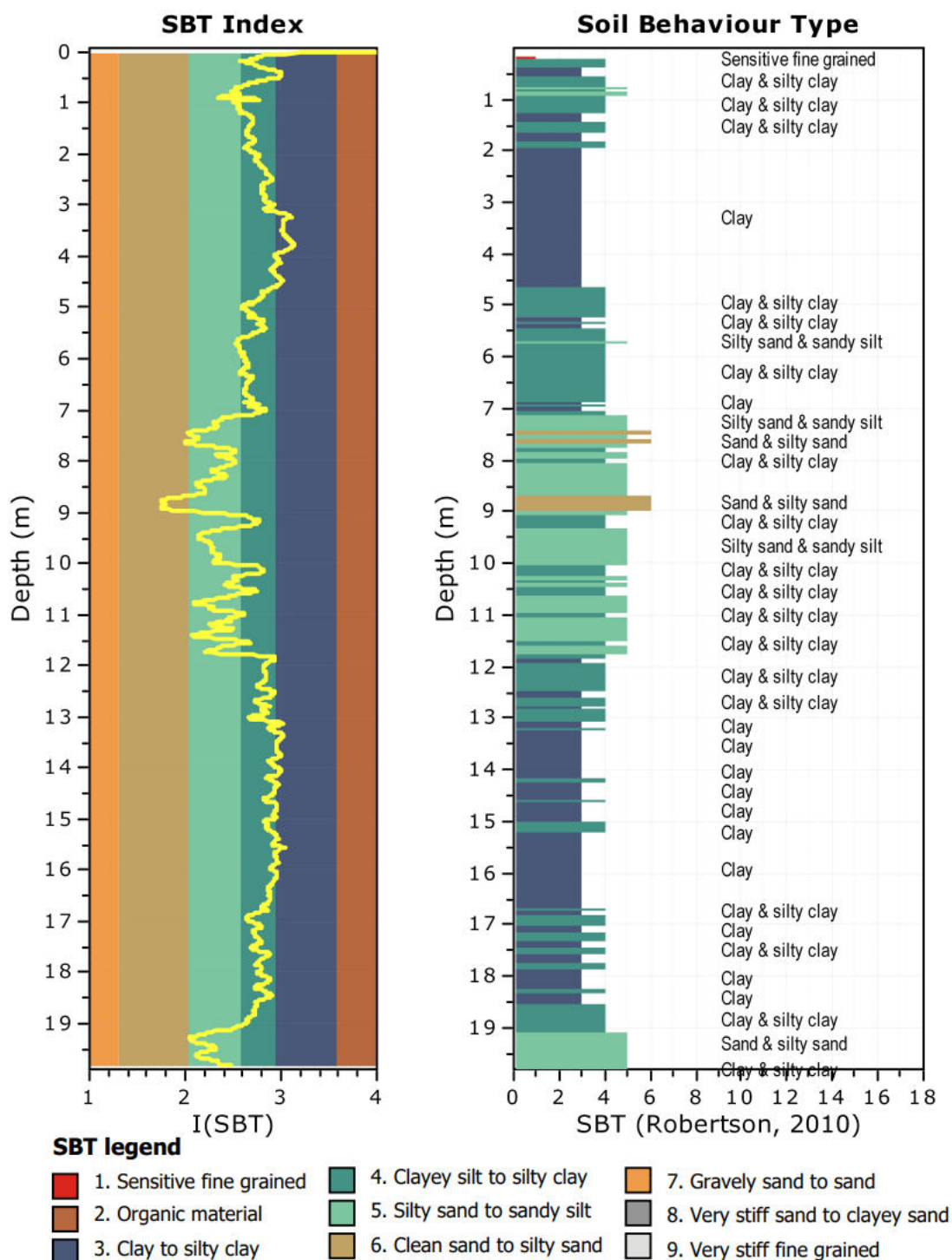
Total depth: 19.81 m, Date: 16/11/2023

Surface Elevation: 0.00 m

Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type:

Cone Operator:



CPT: CPTu04

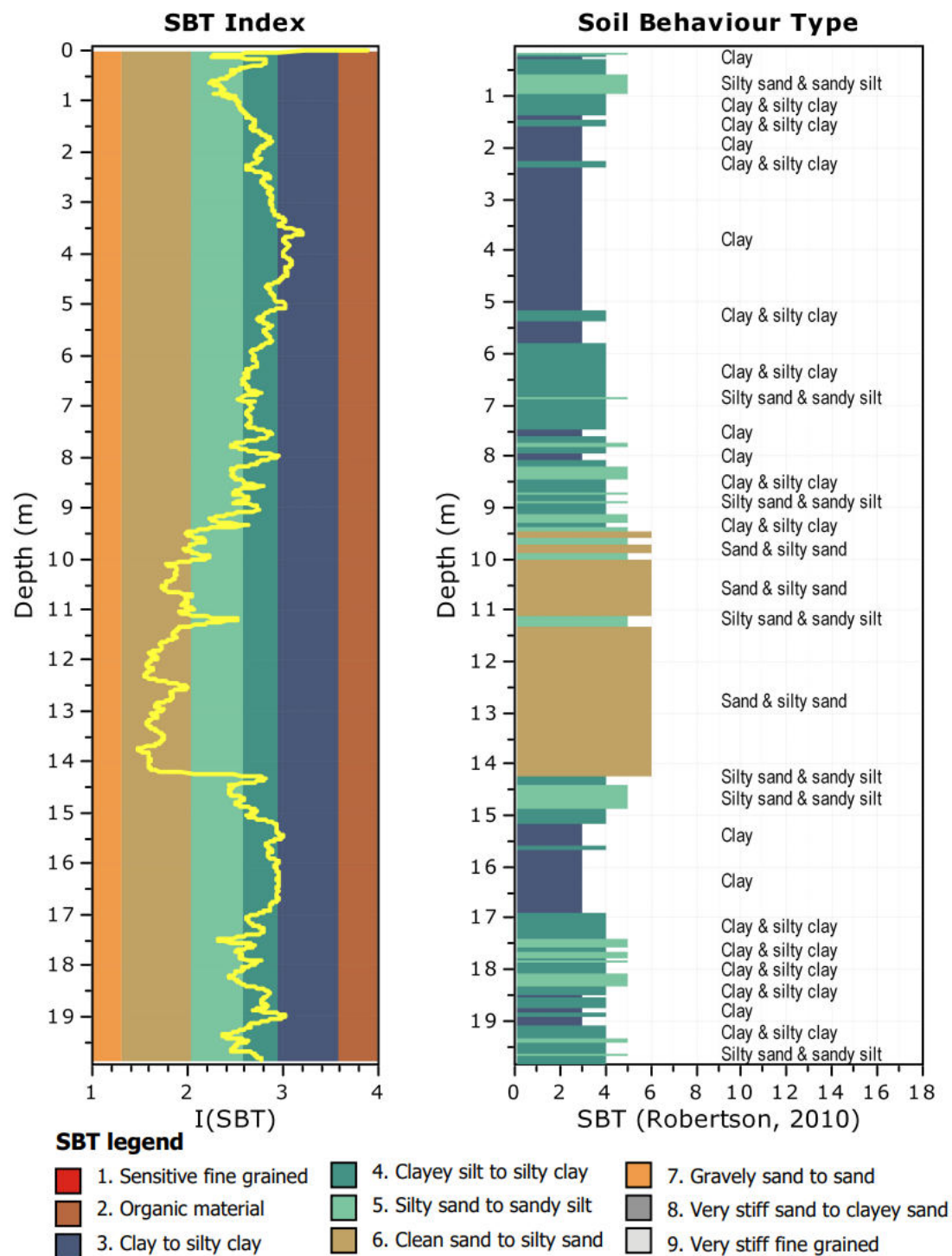
Total depth: 19.86 m, Date: 16/11/2023

Surface Elevation: 0.00 m

Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type:

Cone Operator:



CPT: CPTu05

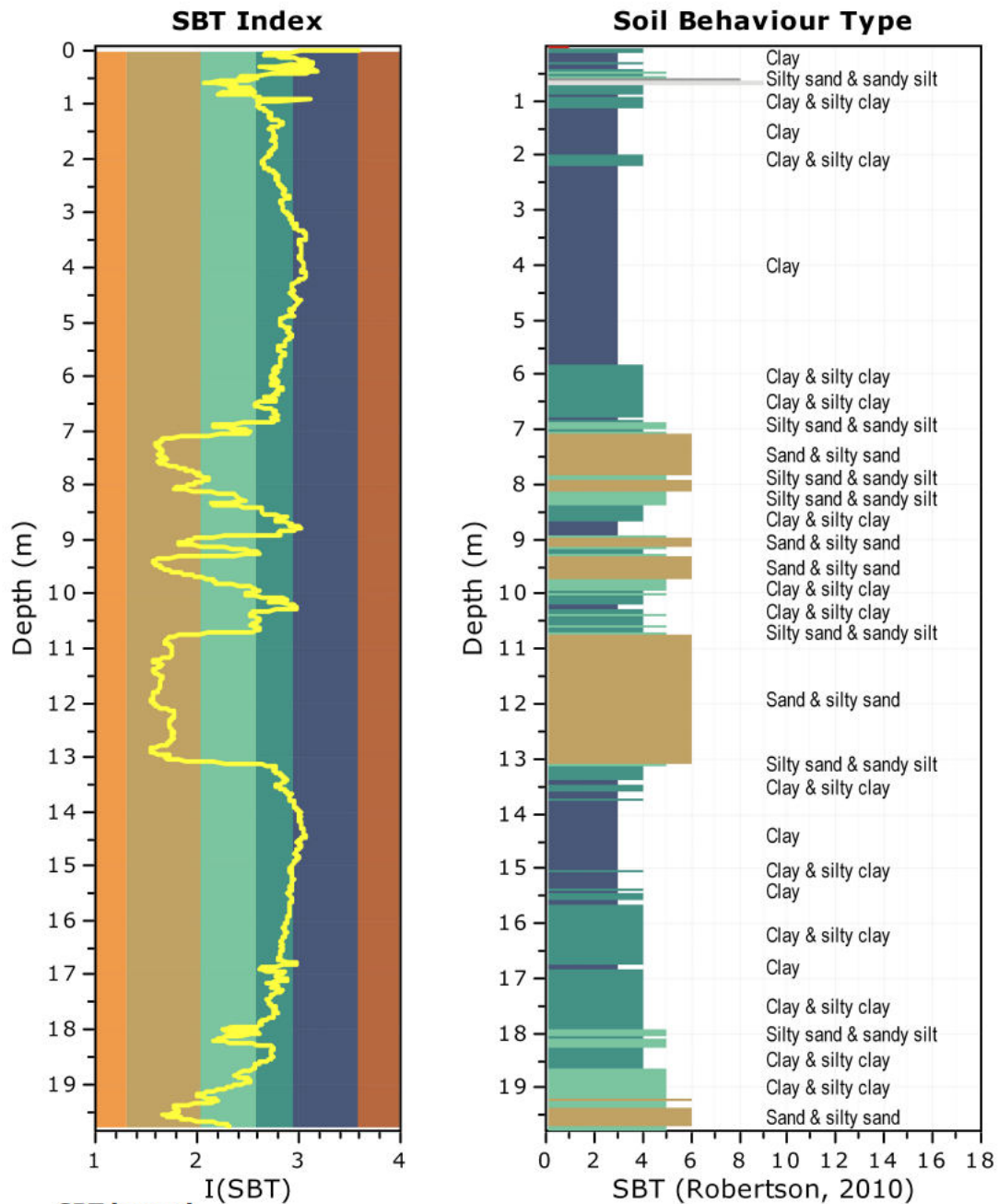
Total depth: 19.78 m, Date: 16/11/2023

Surface Elevation: 0.00 m

Coords: X:0.00, Y:0.00


Cone Type:

Cone Operator:



SBT legend


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

	ID Documento Committente H16_FV_BCR_00044	Pagina 46 / 50
		Numero Revisione
		00

Osservando le tabelle risulta piuttosto evidente come i litotipi prevalenti siano l'*argilla e l'argilla limosa* aventi caratteristiche geotecniche medio-basse; dall'osservazione delle tabelle si comprende anche come i livelli sabbiosi che rinvencono all'interno dei terreni coesivi prevalenti non abbiano una distribuzione areale ben definita sia orizzontalmente che verticalmente.

Nei primi 7 metri di sottosuolo gli orizzonti sabbiosi appaiono molto poco potenti (max 1,00 – 1,20 metri di spessore); alle profondità comprese tra 7,00 e 14,00 metri da piano campagna rinvencono orizzonti sabbiosi con spessori maggiori compresi tra 2,00 e 6,00 metri.

Nel paragrafo 7 vengono descritti nel dettaglio i vari orizzonti individuati mediante l'interpretazione delle prove statiche.

	ID Documento Committente H16_FV_BCR_00044	Pagina 47 / 50
		Numero Revisione
		00

7 Modello geologico ed orizzonti geotecnici


Il modello geologico è stato elaborato mediante le osservazioni di campo e l'analisi dei dati delle 15 prove penetrometriche eseguite.

È stato quindi possibile definire il modello geologico del sottosuolo all'interno dei primi 20 metri di profondità da piano campagna.

Nella seguente Tabella 7.1 si riportano le unità geo-litologiche individuate e distinte per natura granulometrica e grado di addensamento. Nella definizione degli orizzonti geo-litologici si è tenuto conto della distribuzione percentuale fra terreni prevalentemente coesivi e terreni prevalentemente sabbiosi. In particolare, l'orizzonte B1 prevalentemente coesivo è costituito in parte anche da orizzonti sabbiosi poco potenti (vedi interpretazione prove CPT riportate sopra) mentre l'orizzonte B2 prevalentemente incoerente è costituito in parte anche da orizzonti coesivi poco potenti (vedi interpretazione prove CPTU riportate sopra). Gli orizzonti B1 e B2 non compaiono sempre alle stesse profondità all'interno dell'area indagata: nella porzione settentrionale (prove CPTU3, CPTU4 e CPTU5) l'orizzonte B2 appare più continuo e potente ed a profondità comprese fra 7 e 15 metri da piano campagna (CPTU3 fra 7 e 12 m, CPTU4 fra 9,50 e 14,50 m, CPTU5 fra 7 e 13 m) mentre nella porzione meridionale (prove CPTU1 e CPTU2) esso risulta meno continuo e meno potente ed a profondità comprese fra 10,50 e 13,50 metri da piano campagna (CPTU1 fra 10,50 e 13 m, CPTU2 fra 11,50 e 13,50 m)

Tabella 7-1: Unità Geolitologiche Individuate

ORIZZONTE	Profondità (m)	Qc (kg/cmq)	DESCRIZIONE GEOLITOLOGICA
A	Da 0,00 a 0,40/0,80	$Q_c < 12$	<i>COPERTURA AGRARIA costituita da limi sabbiosi soffici <u>NON IDONEO PER POSA FONDAZIONI</u></i>
B1	Da 0,40/0,80 a 7,00/11,50	$3 < Q_c < 42$	<i>ARGILLA, ARGILLA LIMOSA, LIMO ARGILLOSO, LIMO ARGILLOSO SABBIOSO da soffice a poco consistente, raramente consistente</i>
B2	Da 7,00/11,50 a 12,00/15,00	$6 < Q_c < 56$	<i>SABBIA, SABBIA LIMOSA, TALVOLTA GHIAIOSA da molto sciolte a sciolte</i>
B1	Da 12,00/15,00 a 20,00	$3 < Q_c < 42$	<i>ARGILLA, ARGILLA LIMOSA, LIMO ARGILLOSO, LIMO ARGILLOSO SABBIOSO da soffice a poco consistente, raramente consistente</i>

	ID Documento Committente H16_FV_BCR_00044	Pagina 48 / 50
		Numero Revisione
		00

8 Caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni

Per valore caratteristico di un parametro geotecnico deve intendersi una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro per ogni stato limite considerato. I valori caratteristici delle proprietà fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni devono essere dedotti dall'interpretazione dei risultati di specifiche prove di laboratorio su campioni rappresentativi di terreno e di prove e misure in sito.

Teoricamente il valore caratteristico di un parametro dovrebbe rappresentare la soglia al di sotto della quale si colloca non più del 5% dei valori desumibili da una serie teoricamente illimitata di prove eseguite nell'ambito del volume significativo.

Nella seguente tabella vengono riportati i **valori caratteristici** dei PARAMETRI GEOTECNICI relativi agli ORIZZONTI individuati e dedotti dai dati delle prove penetrometriche.

L'orizzonte A, non essendo idoneo alla posa delle fondazioni, è stato escluso.


Si ritiene opportuno sottolineare come i valori forniti di seguito siano stati ottenuti utilizzando:

- i soli dati disponibili ovvero quelli descritti;
- correlazioni e formule presenti in letteratura;
- letture, osservazioni e deduzioni di campo.

Tabella 8-1: valori caratteristici dei parametri geotecnici per i diversi orizzonti individuati

ORIZZONTE	Peso di volume naturale γ' (t/mc)	Angolo d'attrito ϕ' (gradi)	Coesione non drenata C_u (kPa)
B1	1,65	20	30
B2	1,70	30	0

Occorre segnalare che, trattandosi prevalentemente di terreni coesivi saturi (falda a circa 2,00 metri da piano campagna), si deve far riferimento a verifiche a breve termine (in condizioni non drenate) nelle quali il comportamento a rottura di un terreno viene descritto in termini di tensioni totali e si utilizza la **coesione non drenata C_u** .

	ID Documento Committente H16_FV_BCR_00044	Pagina 49 / 50
		Numero Revisione
		00

9 Considerazioni conclusive e prescrizioni

Lo studio condotto ha permesso di elaborare il modello geologico preliminare dell'area nel Comune di Carpi (MO). I primi 20 metri del sottosuolo dell'area di futura realizzazione del parco fotovoltaico sono caratterizzati dalla presenza di terreni da soffici a poco addensati (con $C_u < 70\text{KPa}$) di natura coesiva confermando quanto riportato sul PUG comunale ove si evidenzia come su tutto il territorio comunale siano presenti questo tipo di terreni.

L'indagine ha inoltre evidenziato la presenza, all'interno dei terreni coesivi, di orizzonti sabbiosi generalmente di ridotto spessore (minore di 1,00 metro); soltanto alle profondità comprese tra 7,00 e 14,00 metri da piano campagna rinvengono orizzonti sabbiosi con spessori compresi tra 2,00 e 6,00 metri.

Sulla base di quanto contenuto nello studio di Microzonazione Sismica annesso al PUG comunale, per l'area in esame ***si è reso necessario eseguire l'analisi di terzo livello con determinazione dell'Indice di Liquefazione e con la valutazione dei cedimenti post-sismici nei terreni liquefacibili e di quelli dovuti alla presenza di terreni soffici ($C_u < 70\text{ KPa}$).***

Come descritto dettagliatamente nell'allegato C, la verifica a liquefazione ha fornito i seguenti risultati:


- le prove CPTU1 e CPTU2 (zona meridionale) presentano un Indice del Potenziale di Liquefazione BASSO e cedimenti post-sismici totali compresi tra 11 e 14 cm;
- le prove CPTU3, CPTU4 e CPTU5 (zona settentrionale) presentano un Indice del Potenziale di Liquefazione ALTO e cedimenti post-sismici totali compresi tra 20 e 26 cm;

Si raccomanda inoltre, nell'ambito della progettazione delle strutture, di utilizzare gli spettri ottenuti con lo studio di Risposta Sismica Locale riportato in Allegato D.

Secondo la cartografia comunale esaminata nell'area in esame si ha una profondità della falda inferiore a 2 m, pertanto, i terreni coesivi presenti sono da considerarsi saturi anche in funzione del potenziale oscillamento verso l'alto della falda.

Durante la progettazione delle fondazioni (che verranno intestate nell'orizzonte B1 costituito da terreni coesivi soffici o poco consistenti) si raccomanda di valutare con cura i cedimenti differenziali. Tali cedimenti andranno considerati con particolare attenzione poiché sono quelli in grado di provocare danni alle strutture portanti. La causa dei cedimenti differenziali è riconducibile a diversi fattori:

1. differente distribuzione dei carichi unitari da zona a zona;
2. locale infiltrazione di acqua superficiale (pluviali o scarichi idrici non efficienti, eventi meteorici intensi) che provoca l'alterazione dello stato di compattezza del terreno di fondazione;
3. non uniformità nel tipo di fondazione;

	ID Documento Committente H16_FV_BCR_00044	Pagina 50 / 50
		Numero Revisione
		00

4. eterogeneità dei terreni.

Si raccomanda di prevedere in fase progettuale un'idonea impermeabilizzazione dei manufatti interrati per evitare possibili future interazioni con eventuale acqua e/o umidità dei terreni.

Si raccomanda inoltre di adottare una scrupolosa raccolta e regimazione delle acque di scolo superficiali, eliminando l'infiltrazione idrica entro il terreno d'imposta delle fondazioni.

Novembre 2023



IL TECNICO:

Dott. Geol. Simone Bassetti

RELAZIONE GEOLOGICA

*Progetto per la realizzazione di un impianto
agrivoltaico di potenza pari a 20,43 MWp
nel Comune di Carpi (MO)*

TAVOLA 1

CARTA COROGRAFICA DEL SITO IN ESAME
SU BASE CTR (SCALA 1 : 10.000)

RELAZIONE GEOLOGICA

*Progetto per la realizzazione di un impianto
agrivoltaico di potenza pari a 20,43 MWp
nel Comune di Carpi (MO)*

TAVOLA 2

CARTA COROGRAFICA DEL SITO IN ESAME
SU FOTO AEREA (SCALA 1 : 10.000)

RELAZIONE GEOLOGICA

*Progetto per la realizzazione di un impianto
agrivoltaico di potenza pari a 20,43 MWp
nel Comune di Carpi (MO)*

TAVOLA 3



CARTA GEOLITOLOGICA (SCALA 1 : 10.000)



LEGENDA	
	Area nella disponibilità di Iren
INTERVENTI IN PROGETTO	
	Area impianto agrivoltaiico
	Viabilità di accesso all'impianto agrivoltaiico
	Vasche di laminazione

OPERE DI CONNESSIONE ELETTRICA	
	Cavo interrato AT 36 kv di collegamento tra l'impianto agrivoltaiico e la stazione elettrica "Carpi Fossoli"
	Ampliamento stazione elettrica RTN 380/132 KV "Carpi Fossoli"
	Stazione elettrica RTN 380/132 KV "Carpi Fossoli", confine esistente

LEGENDA GEOLITOGICA	
	Area oggetto di studio
	Limi Argillosi - Con percentuale di permeabilità nei primi 30 m di profondità: 10% - 20%
	Limi Argillosi - Con percentuale di permeabilità nei primi 30 m di profondità: 20% - 30%

22/11/2023	0	EMISSIONE PER AUTORIZZAZIONE				S. BASSETTI	O. RETINI	S. BASSETTI	
DATA		REV	DESCRIZIONE EMISSIONE			INCARICARIO	VERIFICATO	APPROVATO	
			ID Documento Committente			IMPIANTO:			
H16_FV_BCR_00044			ID Documento Appaltatore			Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltatico avanzato denominato "Carpi_1" di potenza pari a 20,43 MW nel Comune di Carpi (MO) ed opere connesse alla RTN			
 <small>Tecnica di Autonomia Urbana Consiglio di Ricerca 14 - 20124 Milano Via Sallustiana 10 Energia-Efficienza-Innovazione</small>			-			TITOLO: Carta Geoitologica			
FOGLIO		SEQUE	DI	FORMATO					
1	-	1	A3	DIS. N.	-				
NOME FILE: H16_FV_BCR_00044_carta geoitologica					scala: 1:10.000				

Questo documento è proprietà di IREN Green Generation S.r.l. e di tutte le sue società controllate. Se ne vieta la diffusione e l'utilizzo per scopi diversi da quelli per i quali è stato inviato.

RELAZIONE GEOLOGICA

*Progetto per la realizzazione di un impianto
agrivoltaico di potenza pari a 20,43 MWp
nel Comune di Carpi (MO)*

TAVOLA 4
UBICAZIONE DEI PUNTI DI INDAGINE
(SCALA 1 : 3.000)

RELAZIONE GEOLOGICA

*Progetto per la realizzazione di un impianto
agrivoltaico di potenza pari a 20,43 MWp
nel Comune di Carpi (MO)*

ALLEGATO A1
TABULATI E GRAFICI PROVE
PENETROMETRICHE STATICHE CPT

PROVA PENETROMETRICA STATICA 01
CPT1
LETTURE DI CAMPAGNA

COMMITTENTE: Studio ABC

QUOTA INIZIO: P.c.

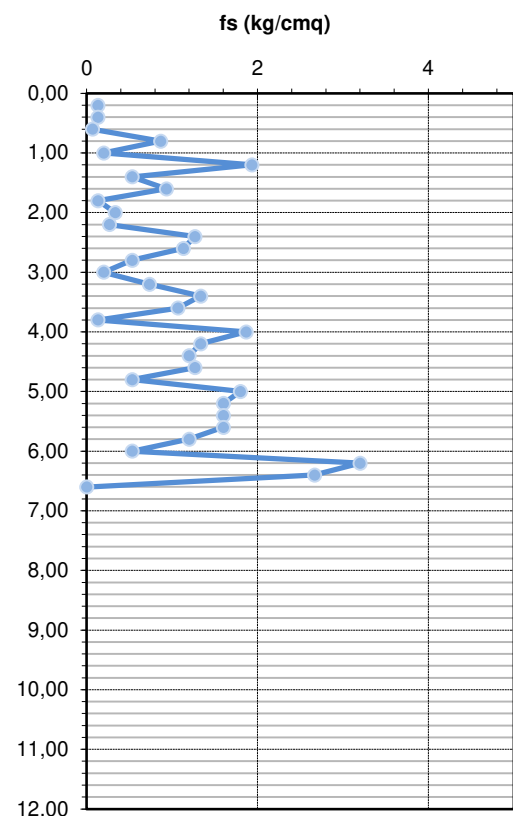
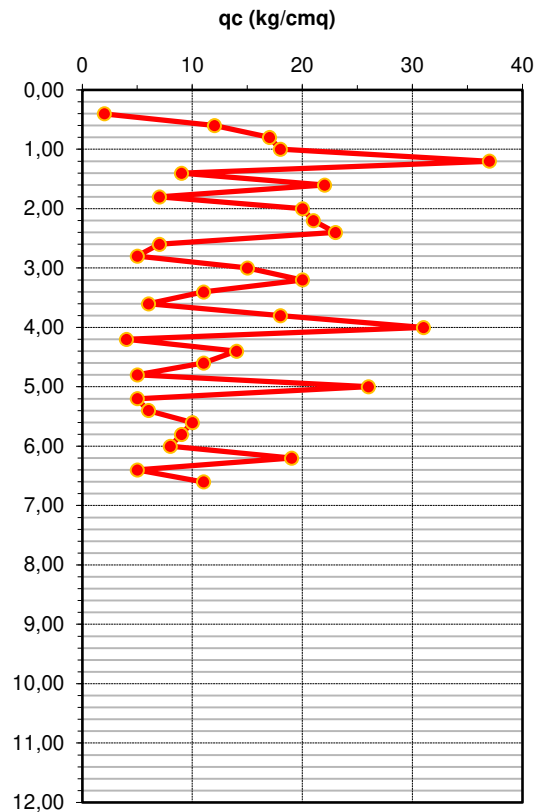
LOCALITA': Carpi (MO)

LAVORO: Nuovo campo agrivoltaico

DATA: 06/10/2023

NOTE:

Prof	Rp	RI+Rp	Prof	Rp	RI+Rp
m	kg/cm ²	kg/cm ²	m	kg/cm ²	kg/cm ²
0,20	/	/	10,20		
0,40	2	4	10,40		
0,60	12	14	10,60		
0,80	17	18	10,80		
1,00	18	31	11,00		
1,20	37	40	11,20		
1,40	9	38	11,40		
1,60	22	30	11,60		
1,80	7	21	11,80		
2,00	20	22	12,00		
2,20	21	26	12,20		
2,40	23	27	12,40		
2,60	7	26	12,60		
2,80	5	22	12,80		
3,00	15	23	13,00		
3,20	20	23	13,20		
3,40	11	22	13,40		
3,60	6	26	13,60		
3,80	18	34	13,80		
4,00	31	33	14,00		
4,20	4	32	14,20		
4,40	14	34	14,40		
4,60	11	29	14,60		
4,80	5	24	14,80		
5,00	26	34	15,00		
5,20	5	32	15,20		
5,40	6	30	15,40		
5,60	10	34	15,60		
5,80	9	33	15,80		
6,00	8	26	16,00		
6,20	19	27	16,20		
6,40	5	53	16,40		
6,60	11	51	16,60		
6,80			16,80		
7,00			17,00		
7,20			17,20		
7,40			17,40		
7,60			17,60		
7,80			17,80		
8,00			18,00		
8,20			18,20		
8,40			18,40		
8,60			18,60		
8,80			18,80		
9,00			19,00		
9,20			19,20		
9,40			19,40		
9,60			19,60		
9,80			19,80		
10,00			20,00		



PROVA PENETROMETRICA STATICA 02
CPT2
LETTURE DI CAMPAGNA

COMMITTENTE: Studio ABC

QUOTA INIZIO: P.c.

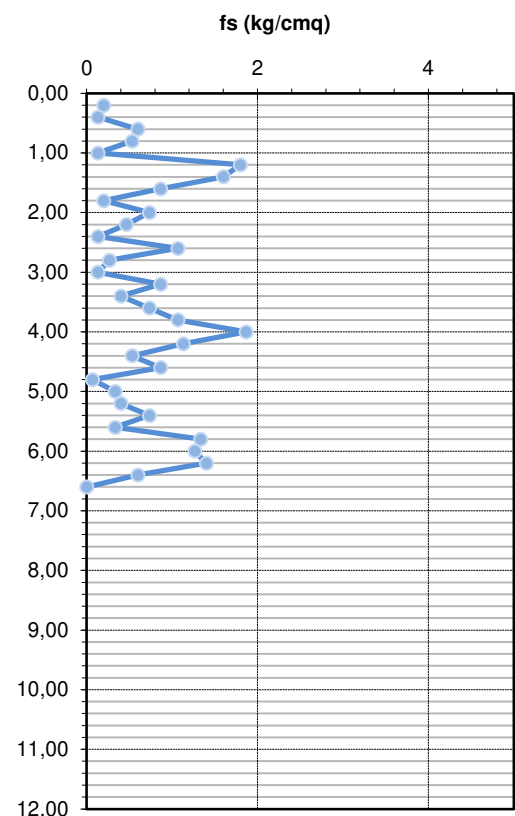
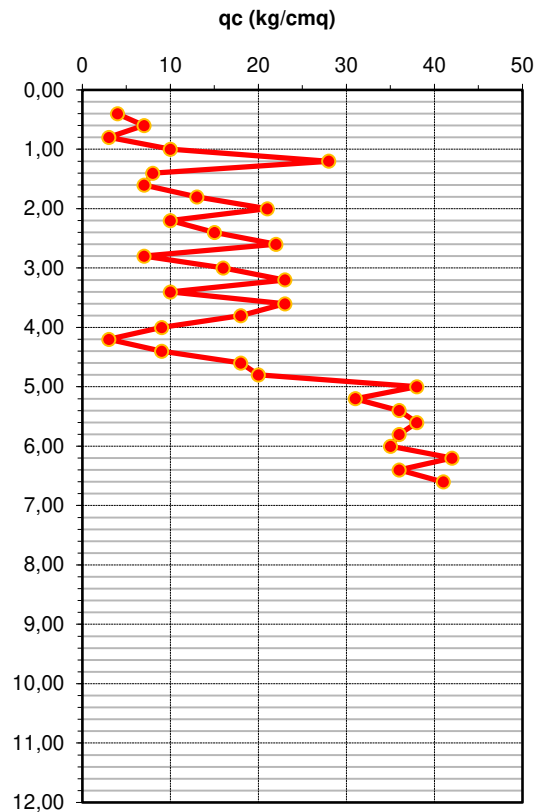
LOCALITA': Carpi (AL)

LAVORO: Nuovo campo agrivoltaico

DATA: 06/10/2023

NOTE:

Prof	Rp	RI+Rp	Prof	Rp	RI+Rp
m	kg/cm ²	kg/cm ²	m	kg/cm ²	kg/cm ²
0,20	/	/	10,20		
0,40	4	7	10,40		
0,60	7	9	10,60		
0,80	3	12	10,80		
1,00	10	18	11,00		
1,20	28	30	11,20		
1,40	8	35	11,40		
1,60	7	31	11,60		
1,80	13	26	11,80		
2,00	21	24	12,00		
2,20	10	21	12,20		
2,40	15	22	12,40		
2,60	22	24	12,60		
2,80	7	23	12,80		
3,00	16	20	13,00		
3,20	23	25	13,20		
3,40	10	23	13,40		
3,60	23	29	13,60		
3,80	18	29	13,80		
4,00	9	25	14,00		
4,20	3	31	14,20		
4,40	9	26	14,40		
4,60	18	26	14,60		
4,80	20	33	14,80		
5,00	38	39	15,00		
5,20	31	36	15,20		
5,40	36	42	15,40		
5,60	38	49	15,60		
5,80	36	41	15,80		
6,00	35	55	16,00		
6,20	42	61	16,20		
6,40	36	57	16,40		
6,60	41	50	16,60		
6,80			16,80		
7,00			17,00		
7,20			17,20		
7,40			17,40		
7,60			17,60		
7,80			17,80		
8,00			18,00		
8,20			18,20		
8,40			18,40		
8,60			18,60		
8,80			18,80		
9,00			19,00		
9,20			19,20		
9,40			19,40		
9,60			19,60		
9,80			19,80		
10,00			20,00		



PROVA PENETROMETRICA STATICA 03
CPT3
LETTURE DI CAMPAGNA

COMMITTENTE: Studio ABC

QUOTA INIZIO: P.c.

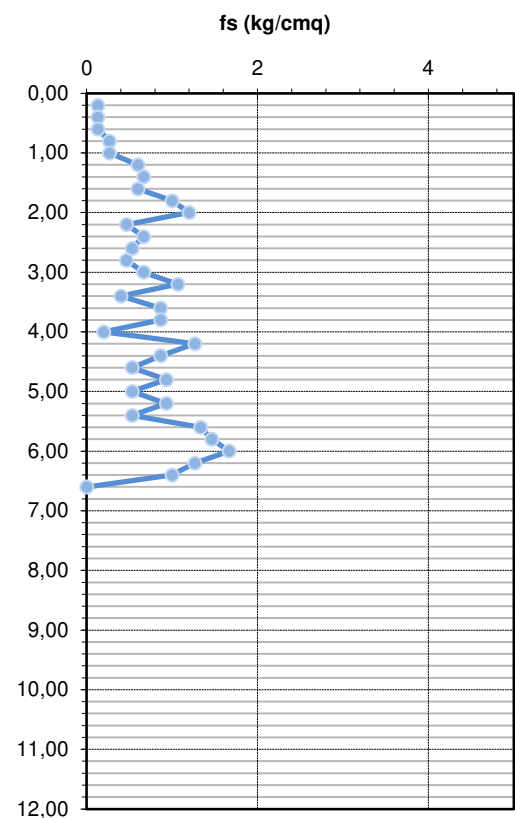
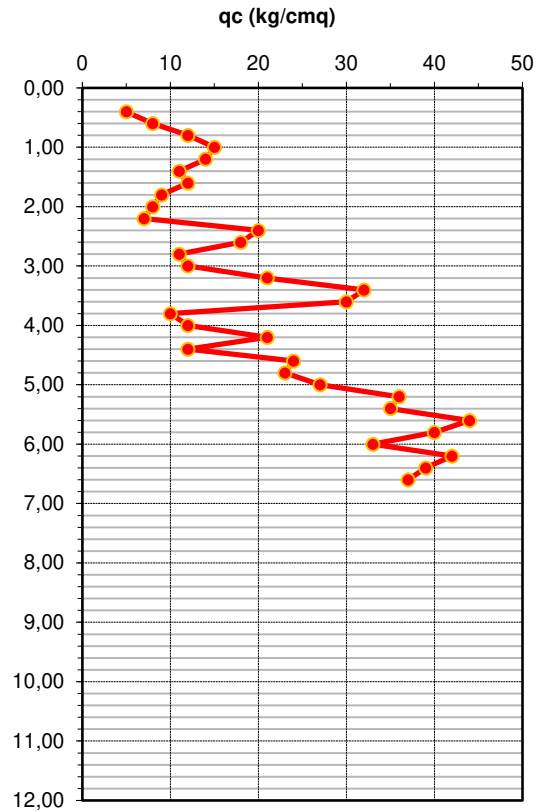
LOCALITA': Carpi (AL)

LAVORO: Nuovo campo agrivoltaico

DATA: 05/10/2023

NOTE:

Prof	Rp	RI+Rp	Prof	Rp	RI+Rp
m	kg/cm ²	kg/cm ²	m	kg/cm ²	kg/cm ²
0,20	/	/	10,20		
0,40	5	7	10,40		
0,60	8	10	10,60		
0,80	12	14	10,80		
1,00	15	19	11,00		
1,20	14	18	11,20		
1,40	11	20	11,40		
1,60	12	22	11,60		
1,80	9	18	11,80		
2,00	8	23	12,00		
2,20	7	25	12,20		
2,40	20	27	12,40		
2,60	18	28	12,60		
2,80	11	19	12,80		
3,00	12	19	13,00		
3,20	21	31	13,20		
3,40	32	48	13,40		
3,60	30	36	13,60		
3,80	10	23	13,80		
4,00	12	25	14,00		
4,20	21	24	14,20		
4,40	12	31	14,40		
4,60	24	37	14,60		
4,80	23	31	14,80		
5,00	27	41	15,00		
5,20	36	44	15,20		
5,40	35	49	15,40		
5,60	44	52	15,60		
5,80	40	60	15,80		
6,00	33	55	16,00		
6,20	42	67	16,20		
6,40	39	58	16,40		
6,60	37	52	16,60		
6,80			16,80		
7,00			17,00		
7,20			17,20		
7,40			17,40		
7,60			17,60		
7,80			17,80		
8,00			18,00		
8,20			18,20		
8,40			18,40		
8,60			18,60		
8,80			18,80		
9,00			19,00		
9,20			19,20		
9,40			19,40		
9,60			19,60		
9,80			19,80		
10,00			20,00		



PROVA PENETROMETRICA STATICA 04
CPT4
LETTURE DI CAMPAGNA

COMMITTENTE: Studio ABC

QUOTA INIZIO: P.c.

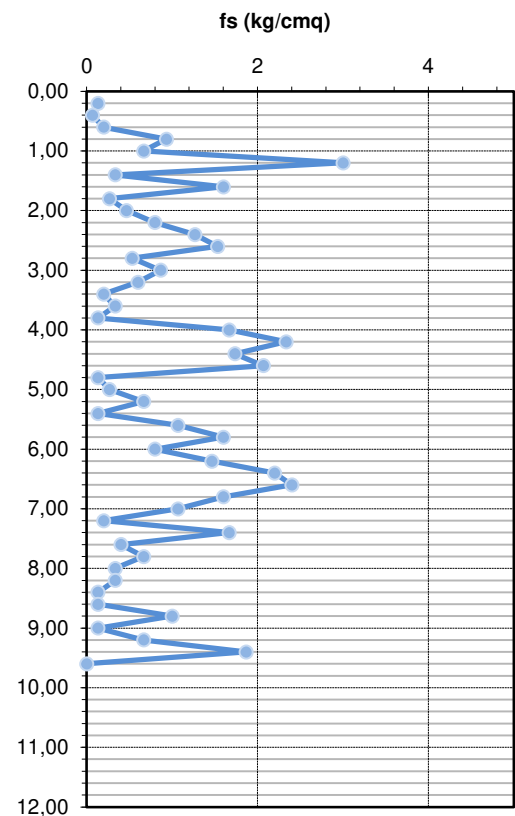
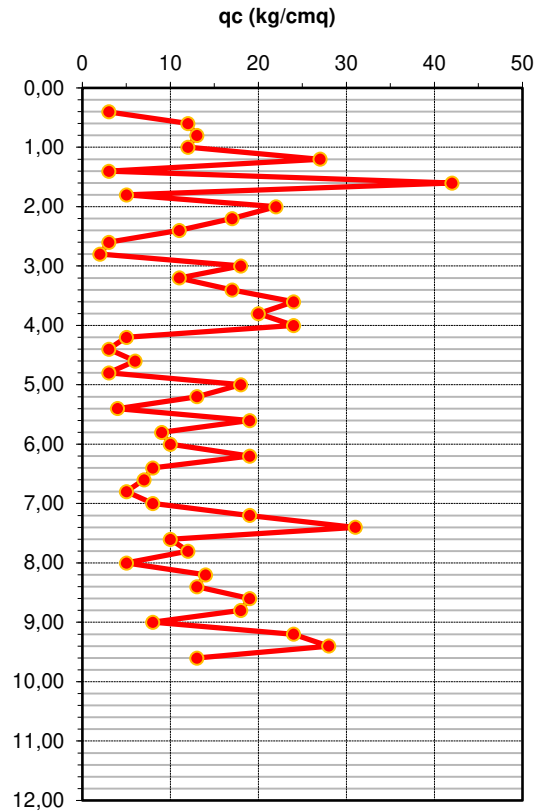
LOCALITA': Carpi (AL)

LAVORO: Nuovo campo agrivoltaico

DATA: 06/10/2023

NOTE:

Prof	Rp	Rl+Rp	Prof	Rp	Rl+Rp
m	kg/cm ²	kg/cm ²	m	kg/cm ²	kg/cm ²
0,20	/	/	10,20		
0,40	3	5	10,40		
0,60	12	13	10,60		
0,80	13	16	10,80		
1,00	12	26	11,00		
1,20	27	37	11,20		
1,40	3	48	11,40		
1,60	42	47	11,60		
1,80	5	29	11,80		
2,00	22	26	12,00		
2,20	17	24	12,20		
2,40	11	23	12,40		
2,60	3	22	12,60		
2,80	2	25	12,80		
3,00	18	26	13,00		
3,20	11	24	13,20		
3,40	17	26	13,40		
3,60	24	27	13,60		
3,80	20	25	13,80		
4,00	24	26	14,00		
4,20	5	30	14,20		
4,40	3	38	14,40		
4,60	6	32	14,60		
4,80	3	34	14,80		
5,00	18	20	15,00		
5,20	13	17	15,20		
5,40	4	14	15,40		
5,60	19	21	15,60		
5,80	9	25	15,80		
6,00	10	34	16,00		
6,20	19	31	16,20		
6,40	8	30	16,40		
6,60	7	40	16,60		
6,80	5	41	16,80		
7,00	8	32	17,00		
7,20	19	35	17,20		
7,40	31	34	17,40		
7,60	10	35	17,60		
7,80	12	18	17,80		
8,00	5	15	18,00		
8,20	14	19	18,20		
8,40	13	18	18,40		
8,60	19	21	18,60		
8,80	18	20	18,80		
9,00	8	23	19,00		
9,20	24	26	19,20		
9,40	28	38	19,40		
9,60	13	41	19,60		
9,80			19,80		
10,00			20,00		



PROVA PENETROMETRICA STATICA 05
CPT5
LETTURE DI CAMPAGNA

COMMITTENTE: Studio ABC

QUOTA INIZIO: P.c.

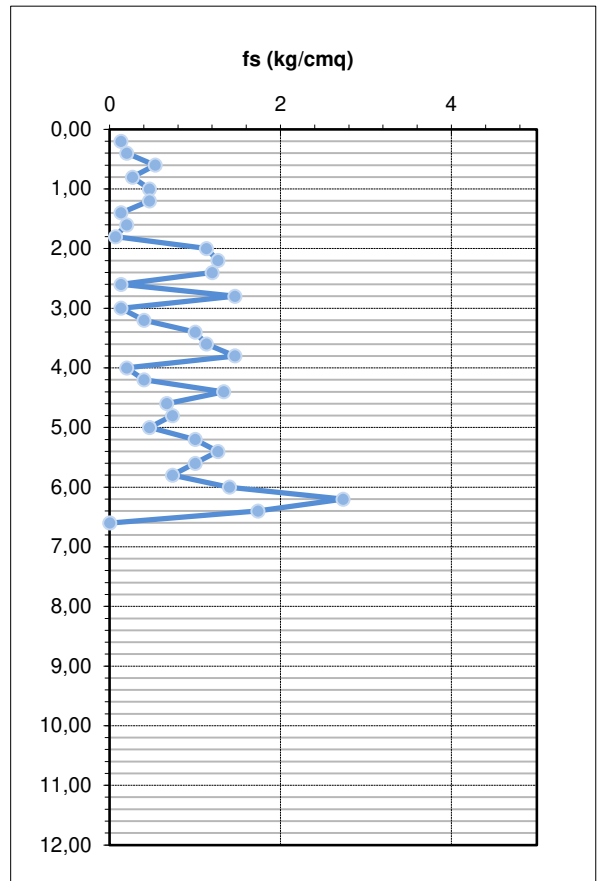
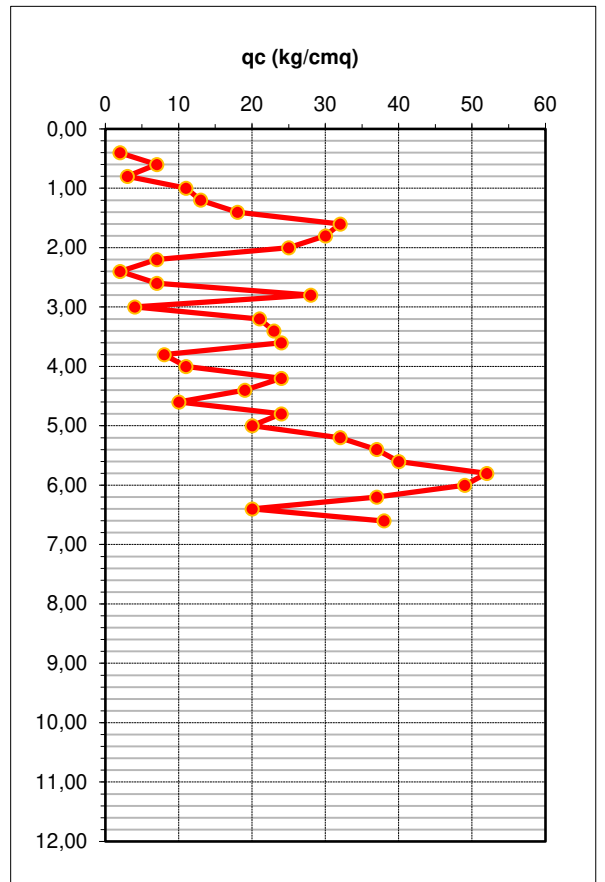
LOCALITA': Carpi (AL)

LAVORO: Nuovo campo agrivoltaico

DATA: 05/10/2023

NOTE:

Prof	Rp	RI+Rp	Prof	Rp	RI+Rp
m	kg/cm ²	kg/cm ²	m	kg/cm ²	kg/cm ²
0,20	/	/	10,20		
0,40	2	4	10,40		
0,60	7	10	10,60		
0,80	3	11	10,80		
1,00	11	15	11,00		
1,20	13	20	11,20		
1,40	18	25	11,40		
1,60	32	34	11,60		
1,80	30	33	11,80		
2,00	25	26	12,00		
2,20	7	24	12,20		
2,40	2	21	12,40		
2,60	7	25	12,60		
2,80	28	30	12,80		
3,00	4	26	13,00		
3,20	21	23	13,20		
3,40	23	29	13,40		
3,60	24	39	13,60		
3,80	8	25	13,80		
4,00	11	33	14,00		
4,20	24	27	14,20		
4,40	19	25	14,40		
4,60	10	30	14,60		
4,80	24	34	14,80		
5,00	20	31	15,00		
5,20	32	39	15,20		
5,40	37	52	15,40		
5,60	40	59	15,60		
5,80	52	67	15,80		
6,00	49	60	16,00		
6,20	37	58	16,20		
6,40	20	61	16,40		
6,60	38	64	16,60		
6,80			16,80		
7,00			17,00		
7,20			17,20		
7,40			17,40		
7,60			17,60		
7,80			17,80		
8,00			18,00		
8,20			18,20		
8,40			18,40		
8,60			18,60		
8,80			18,80		
9,00			19,00		
9,20			19,20		
9,40			19,40		
9,60			19,60		
9,80			19,80		
10,00			20,00		



PROVA PENETROMETRICA STATICA 06
CPT6
LETTURE DI CAMPAGNA

COMMITTENTE: Studio ABC

QUOTA INIZIO: P.c.

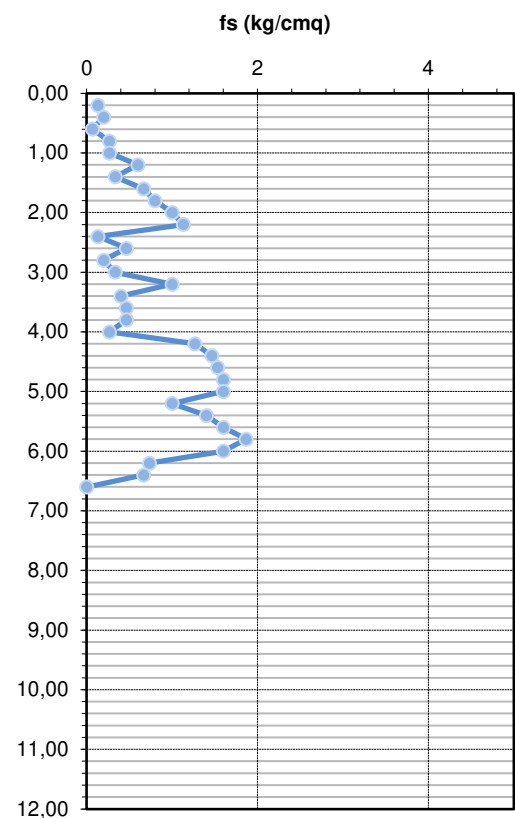
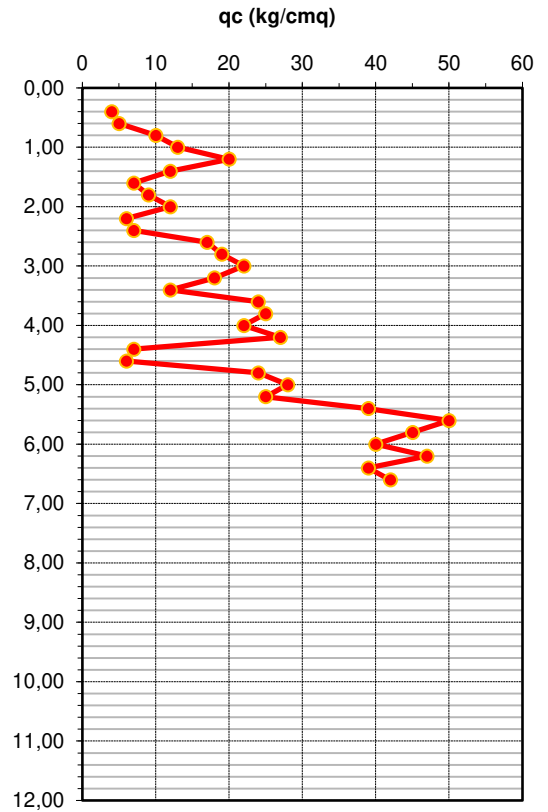
LOCALITA': Carpi (AL)

LAVORO: Nuovo campo agrivoltaico

DATA: 06/10/2023

NOTE:

Prof	Rp	RI+Rp	Prof	Rp	RI+Rp
m	kg/cm ²	kg/cm ²	m	kg/cm ²	kg/cm ²
0,20	/	/	10,20		
0,40	4	6	10,40		
0,60	5	8	10,60		
0,80	10	11	10,80		
1,00	13	17	11,00		
1,20	20	24	11,20		
1,40	12	21	11,40		
1,60	7	12	11,60		
1,80	9	19	11,80		
2,00	12	24	12,00		
2,20	6	21	12,20		
2,40	7	24	12,40		
2,60	17	19	12,60		
2,80	19	26	12,80		
3,00	22	25	13,00		
3,20	18	23	13,20		
3,40	12	27	13,40		
3,60	24	30	13,60		
3,80	25	32	13,80		
4,00	22	29	14,00		
4,20	27	31	14,20		
4,40	7	26	14,40		
4,60	6	28	14,60		
4,80	24	47	14,80		
5,00	28	52	15,00		
5,20	25	49	15,20		
5,40	39	54	15,40		
5,60	50	71	15,60		
5,80	45	69	15,80		
6,00	40	68	16,00		
6,20	47	71	16,20		
6,40	39	50	16,40		
6,60	42	52	16,60		
6,80			16,80		
7,00			17,00		
7,20			17,20		
7,40			17,40		
7,60			17,60		
7,80			17,80		
8,00			18,00		
8,20			18,20		
8,40			18,40		
8,60			18,60		
8,80			18,80		
9,00			19,00		
9,20			19,20		
9,40			19,40		
9,60			19,60		
9,80			19,80		
10,00			20,00		



PROVA PENETROMETRICA STATICA 07
CPT7
LETTURE DI CAMPAGNA

COMMITTENTE: Studio ABC

QUOTA INIZIO: P.c.

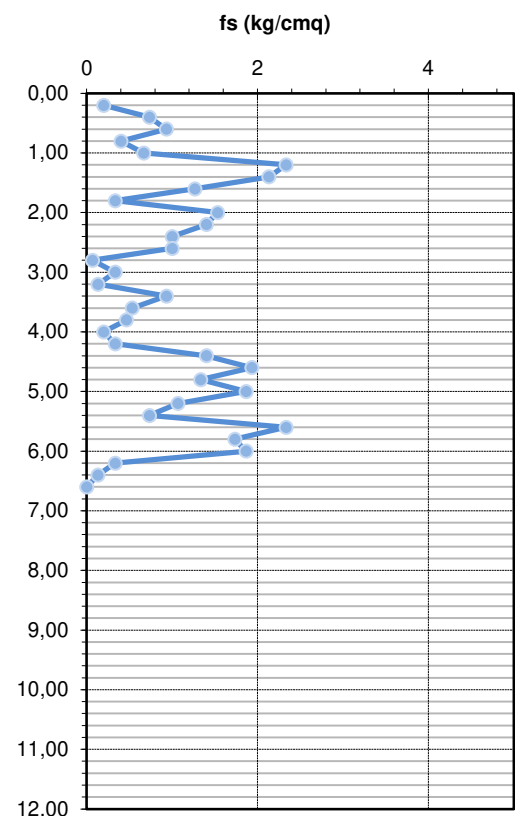
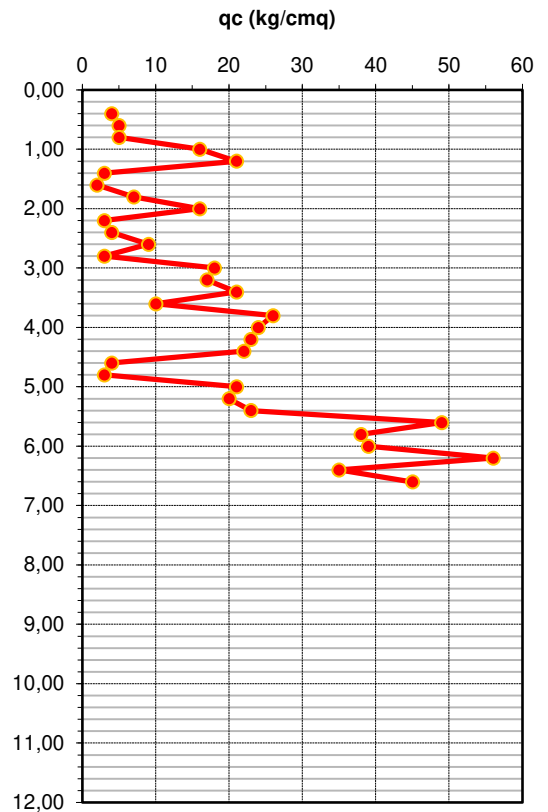
LOCALITA': Carpi (AL)

LAVORO: Nuovo campo agrivoltaico

DATA: 06/10/2023

NOTE:

Prof	Rp	RI+Rp	Prof	Rp	RI+Rp
m	kg/cm ²	kg/cm ²	m	kg/cm ²	kg/cm ²
0,20	/	/	10,20		
0,40	4	7	10,40		
0,60	5	16	10,60		
0,80	5	19	10,80		
1,00	16	22	11,00		
1,20	21	31	11,20		
1,40	3	38	11,40		
1,60	2	34	11,60		
1,80	7	26	11,80		
2,00	16	21	12,00		
2,20	3	26	12,20		
2,40	4	25	12,40		
2,60	9	24	12,60		
2,80	3	18	12,80		
3,00	18	19	13,00		
3,20	17	22	13,20		
3,40	21	23	13,40		
3,60	10	24	13,60		
3,80	26	34	13,80		
4,00	24	31	14,00		
4,20	23	26	14,20		
4,40	22	27	14,40		
4,60	4	25	14,60		
4,80	3	32	14,80		
5,00	21	41	15,00		
5,20	20	48	15,20		
5,40	23	39	15,40		
5,60	49	60	15,60		
5,80	38	73	15,80		
6,00	39	65	16,00		
6,20	56	84	16,20		
6,40	35	40	16,40		
6,60	45	47	16,60		
6,80			16,80		
7,00			17,00		
7,20			17,20		
7,40			17,40		
7,60			17,60		
7,80			17,80		
8,00			18,00		
8,20			18,20		
8,40			18,40		
8,60			18,60		
8,80			18,80		
9,00			19,00		
9,20			19,20		
9,40			19,40		
9,60			19,60		
9,80			19,80		
10,00			20,00		



PROVA PENETROMETRICA STATICA 08
CPT8
LETTURE DI CAMPAGNA

COMMITTENTE: Studio ABC

QUOTA INIZIO: P.c.

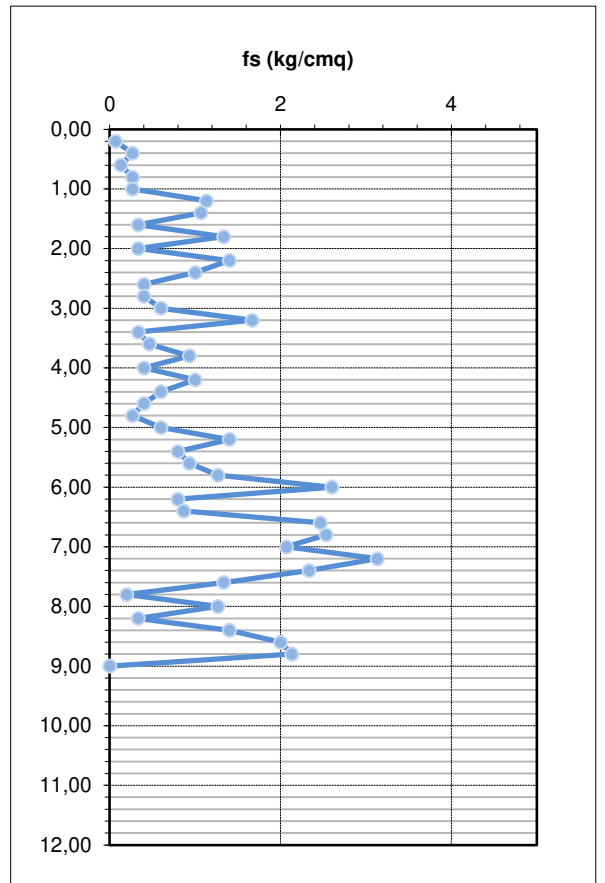
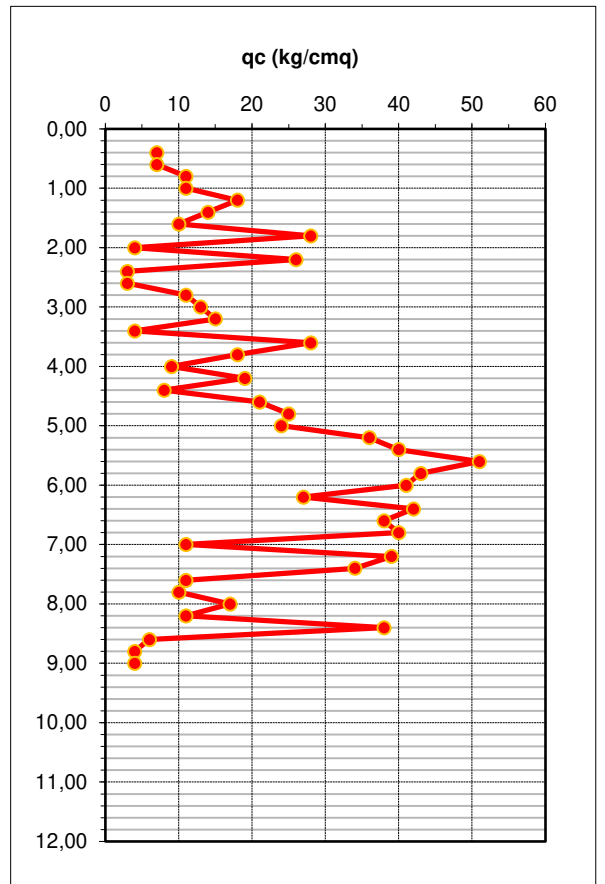
LOCALITA': Carpi (AL)

LAVORO: Nuovo campo agrivoltaico

DATA: 05/10/2023

NOTE:

Prof	Rp	Rl+Rp	Prof	Rp	Rl+Rp
m	kg/cmq	kg/cmq	m	kg/cmq	kg/cmq
0,20	/	/	10,20		
0,40	7	8	10,40		
0,60	7	11	10,60		
0,80	11	13	10,80		
1,00	11	15	11,00		
1,20	18	22	11,20		
1,40	14	31	11,40		
1,60	10	26	11,60		
1,80	28	33	11,80		
2,00	4	24	12,00		
2,20	26	31	12,20		
2,40	3	24	12,40		
2,60	3	18	12,60		
2,80	11	17	12,80		
3,00	13	19	13,00		
3,20	15	24	13,20		
3,40	4	29	13,40		
3,60	28	33	13,60		
3,80	18	25	13,80		
4,00	9	23	14,00		
4,20	19	25	14,20		
4,40	8	23	14,40		
4,60	21	30	14,60		
4,80	25	31	14,80		
5,00	24	28	15,00		
5,20	36	45	15,20		
5,40	40	61	15,40		
5,60	51	63	15,60		
5,80	43	57	15,80		
6,00	41	60	16,00		
6,20	27	66	16,20		
6,40	42	54	16,40		
6,60	38	51	16,60		
6,80	40	77	16,80		
7,00	11	49	17,00		
7,20	39	70	17,20		
7,40	34	81	17,40		
7,60	11	46	17,60		
7,80	10	30	17,80		
8,00	17	20	18,00		
8,20	11	30	18,20		
8,40	38	43	18,40		
8,60	6	27	18,60		
8,80	4	34	18,80		
9,00	4	36	19,00		
9,20			19,20		
9,40			19,40		
9,60			19,60		
9,80			19,80		
10,00			20,00		



PROVA PENETROMETRICA STATICA 09
CPT9
LETTURE DI CAMPAGNA

COMMITTENTE: Studio ABC

QUOTA INIZIO: P.c.

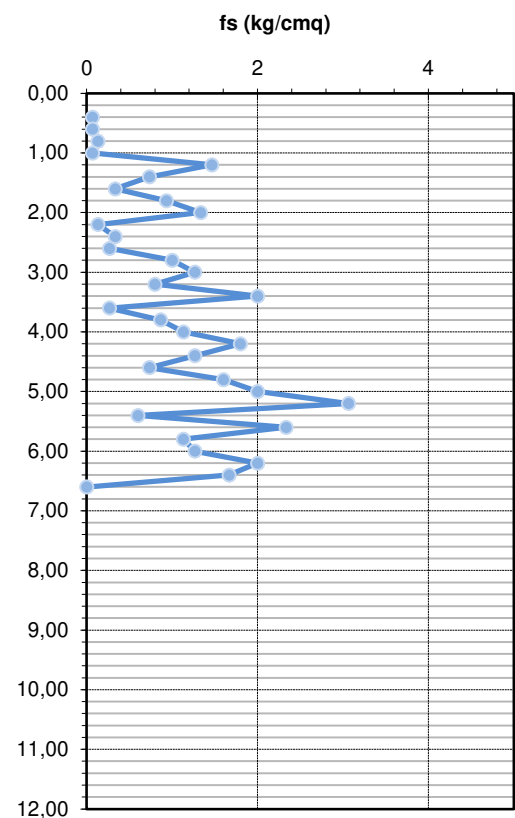
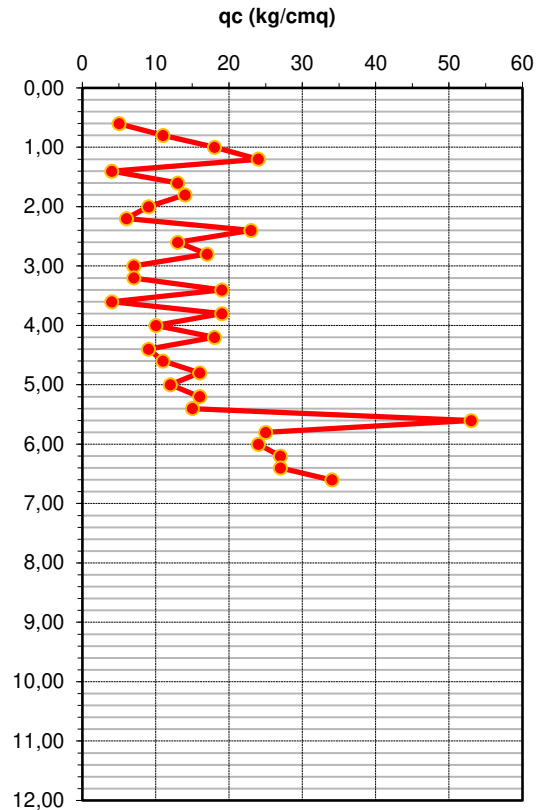
LOCALITA': Carpi (AL)

LAVORO: Nuovo campo agrivoltaico

DATA: 05/10/2023

NOTE:

Prof	Rp	RI+Rp	Prof	Rp	RI+Rp
m	kg/cm ²	kg/cm ²	m	kg/cm ²	kg/cm ²
0,20	/	/	10,20		
0,40	/	/	10,40		
0,60	5	6	10,60		
0,80	11	12	10,80		
1,00	18	20	11,00		
1,20	24	25	11,20		
1,40	4	26	11,40		
1,60	13	24	11,60		
1,80	14	19	11,80		
2,00	9	23	12,00		
2,20	6	26	12,20		
2,40	23	25	12,40		
2,60	13	18	12,60		
2,80	17	21	12,80		
3,00	7	22	13,00		
3,20	7	26	13,20		
3,40	19	31	13,40		
3,60	4	34	13,60		
3,80	19	23	13,80		
4,00	10	23	14,00		
4,20	18	35	14,20		
4,40	9	36	14,40		
4,60	11	30	14,60		
4,80	16	27	14,80		
5,00	12	36	15,00		
5,20	16	46	15,20		
5,40	15	61	15,40		
5,60	53	62	15,60		
5,80	25	60	15,80		
6,00	24	41	16,00		
6,20	27	46	16,20		
6,40	27	57	16,40		
6,60	34	59	16,60		
6,80			16,80		
7,00			17,00		
7,20			17,20		
7,40			17,40		
7,60			17,60		
7,80			17,80		
8,00			18,00		
8,20			18,20		
8,40			18,40		
8,60			18,60		
8,80			18,80		
9,00			19,00		
9,20			19,20		
9,40			19,40		
9,60			19,60		
9,80			19,80		
10,00			20,00		



PROVA PENETROMETRICA STATICA 10
CPT10
LETTURE DI CAMPAGNA

COMMITTENTE: Studio ABC

QUOTA INIZIO: P.c.

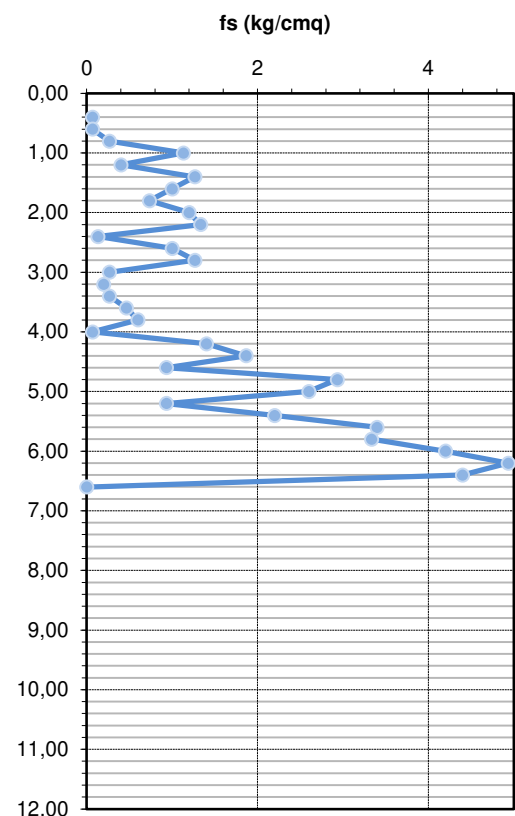
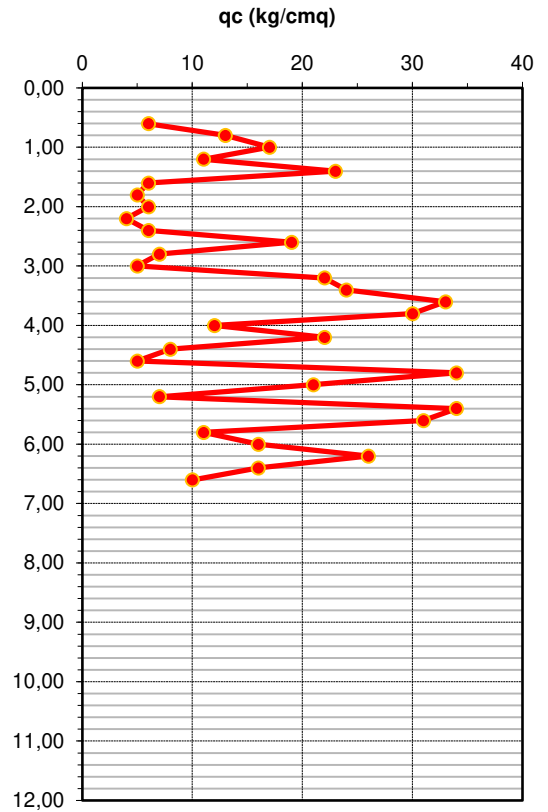
LOCALITA': Carpi (AL)

LAVORO: Nuovo campo agrivoltaico

DATA: 05/10/2023

NOTE:

Prof	Rp	Rl+Rp	Prof	Rp	Rl+Rp
m	kg/cmq	kg/cmq	m	kg/cmq	kg/cmq
0,20	/	/	10,20		
0,40	/	/	10,40		
0,60	6	7	10,60		
0,80	13	14	10,80		
1,00	17	21	11,00		
1,20	11	28	11,20		
1,40	23	29	11,40		
1,60	6	25	11,60		
1,80	5	20	11,80		
2,00	6	17	12,00		
2,20	4	22	12,20		
2,40	6	26	12,40		
2,60	19	21	12,60		
2,80	7	22	12,80		
3,00	5	24	13,00		
3,20	22	26	13,20		
3,40	24	27	13,40		
3,60	33	37	13,60		
3,80	30	37	13,80		
4,00	12	21	14,00		
4,20	22	23	14,20		
4,40	8	29	14,40		
4,60	5	33	14,60		
4,80	34	48	14,80		
5,00	21	65	15,00		
5,20	7	46	15,20		
5,40	34	48	15,40		
5,60	31	64	15,60		
5,80	11	62	15,80		
6,00	16	66	16,00		
6,20	26	89	16,20		
6,40	16	90	16,40		
6,60	10	76	16,60		
6,80			16,80		
7,00			17,00		
7,20			17,20		
7,40			17,40		
7,60			17,60		
7,80			17,80		
8,00			18,00		
8,20			18,20		
8,40			18,40		
8,60			18,60		
8,80			18,80		
9,00			19,00		
9,20			19,20		
9,40			19,40		
9,60			19,60		
9,80			19,80		
10,00			20,00		



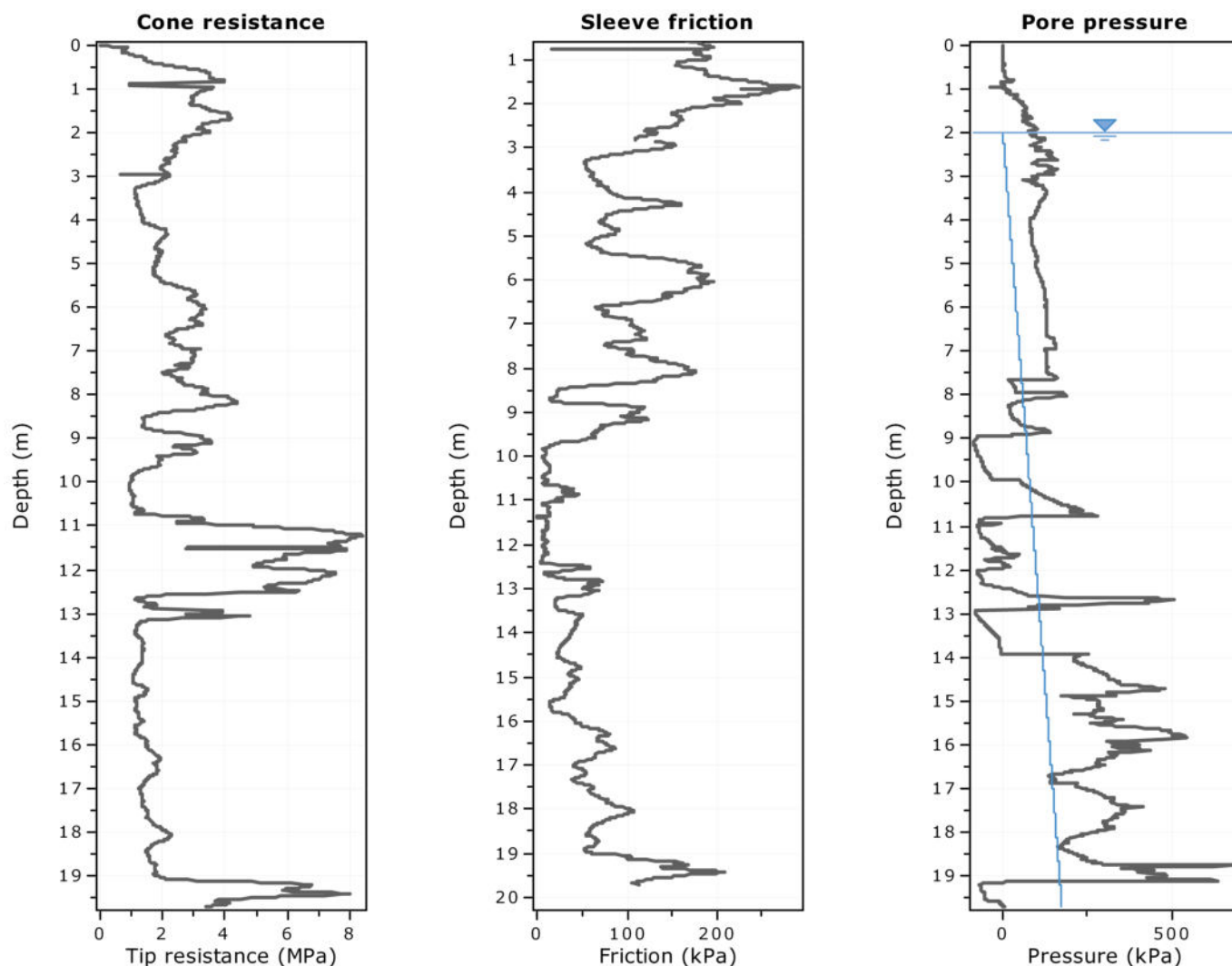
RELAZIONE GEOLOGICA

*Progetto per la realizzazione di un impianto
agrivoltaico di potenza pari a 20,43 MWp
nel Comune di Carpi (MO)*

ALLEGATO A2
TABULATI E GRAFICI PROVE
PENETROMETRICHE STATICHE CPTU

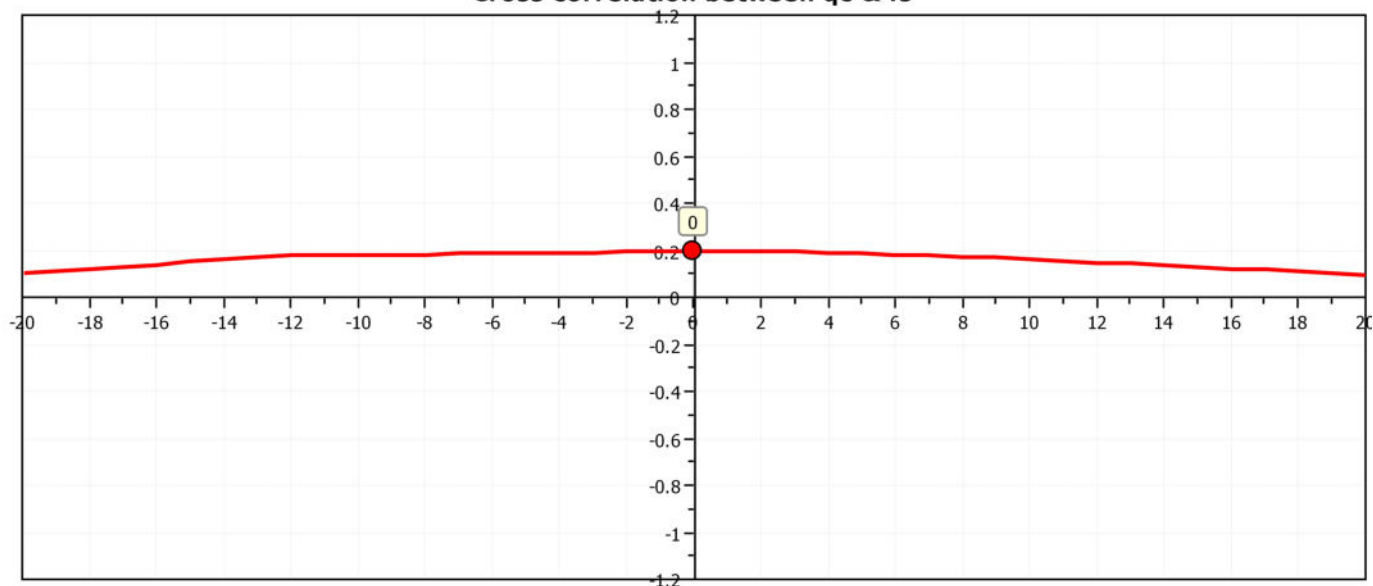
Project:

Location:



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

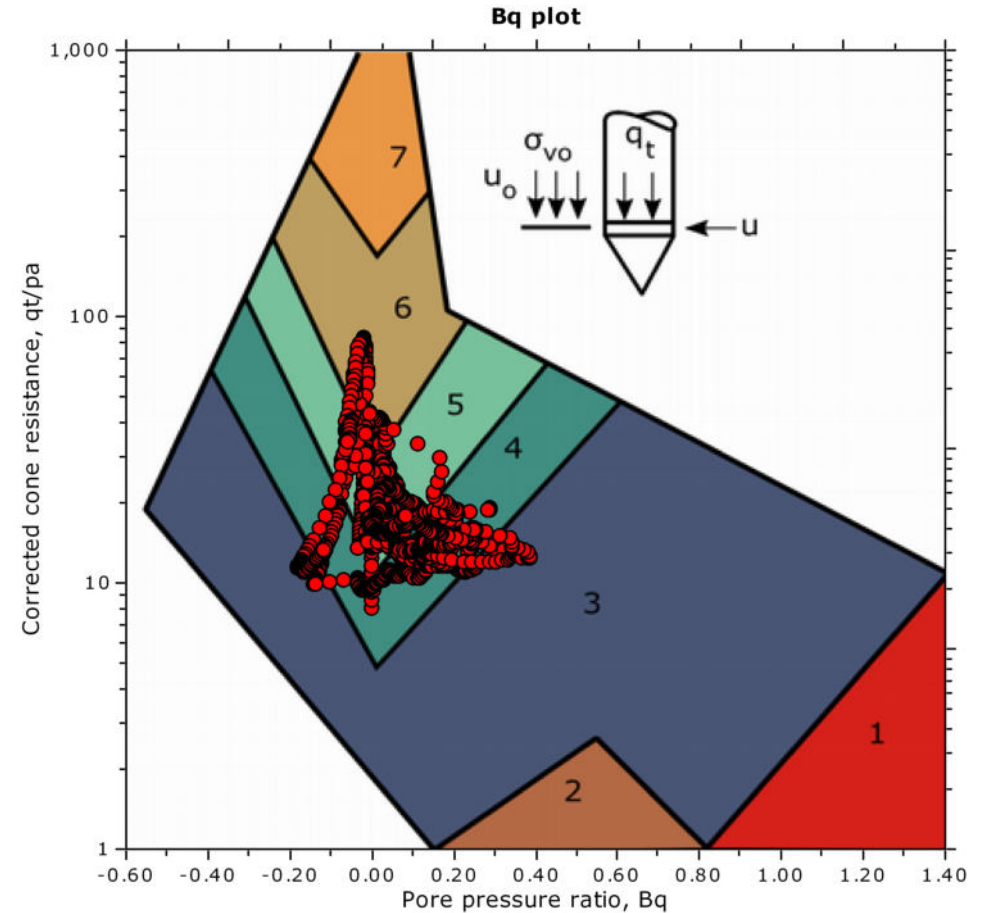
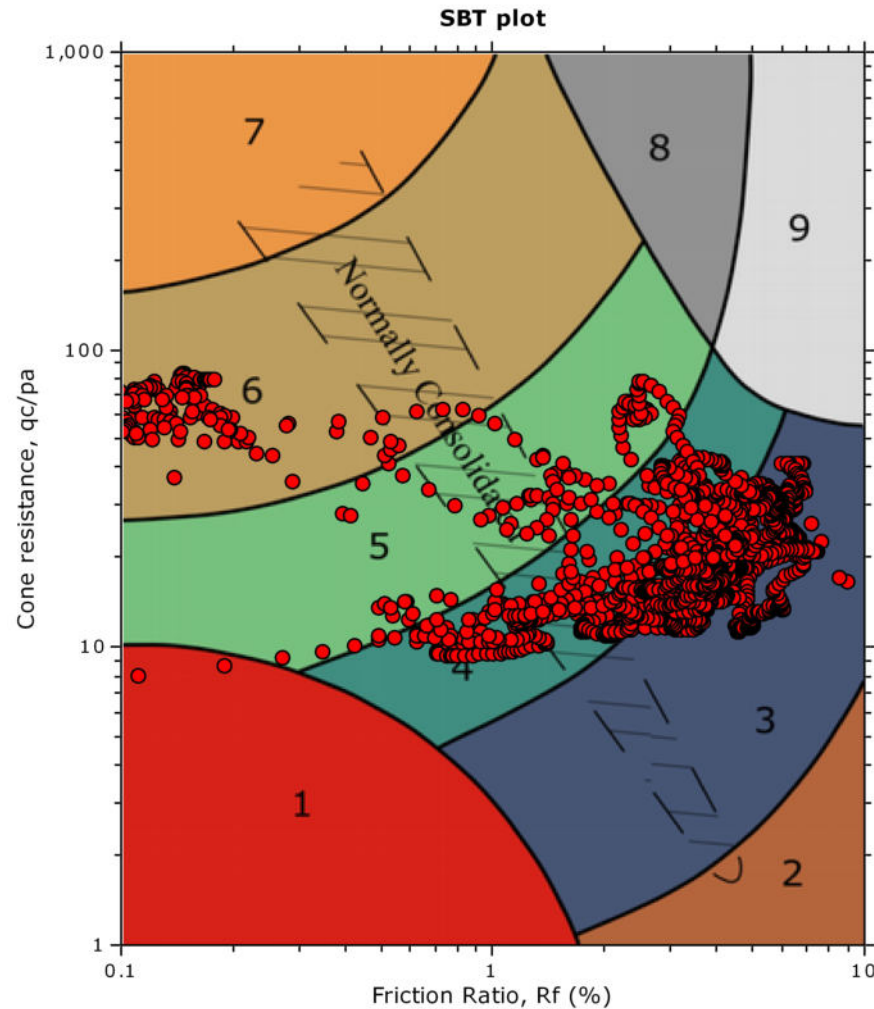
Cross correlation between qc & fs



Project:

Location:

SBT - Bq plots



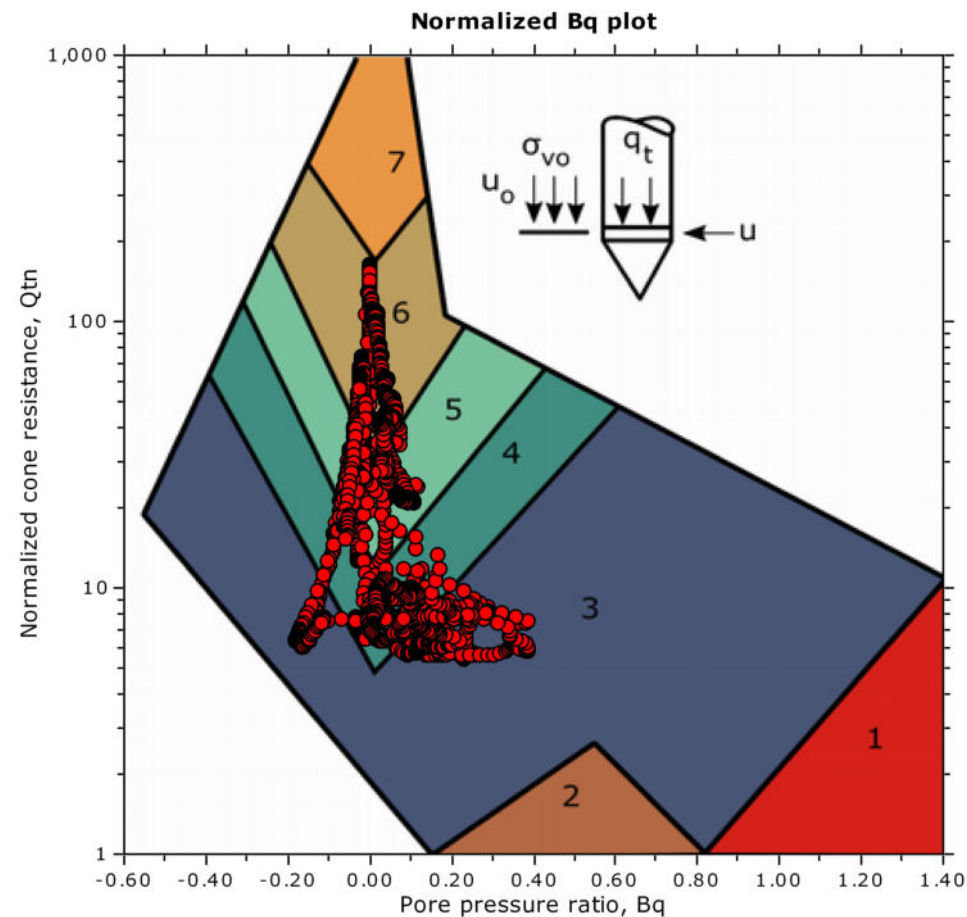
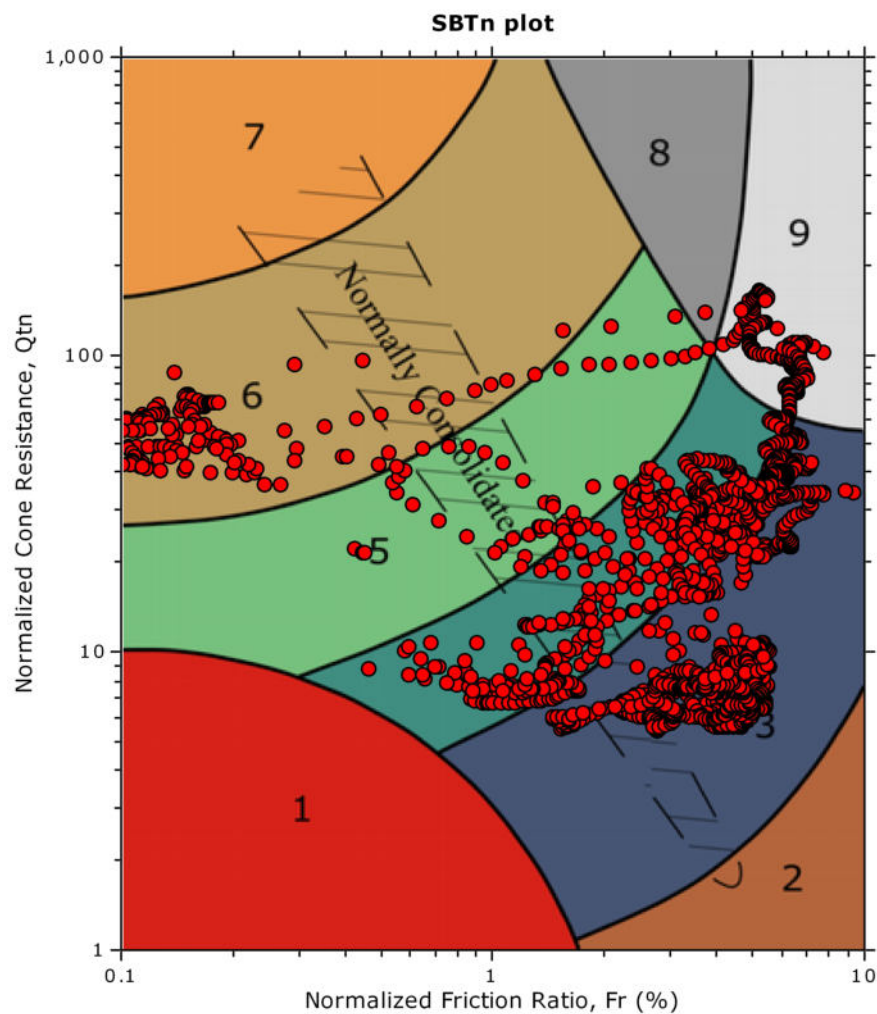
SBT legend

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

Project:

Location:

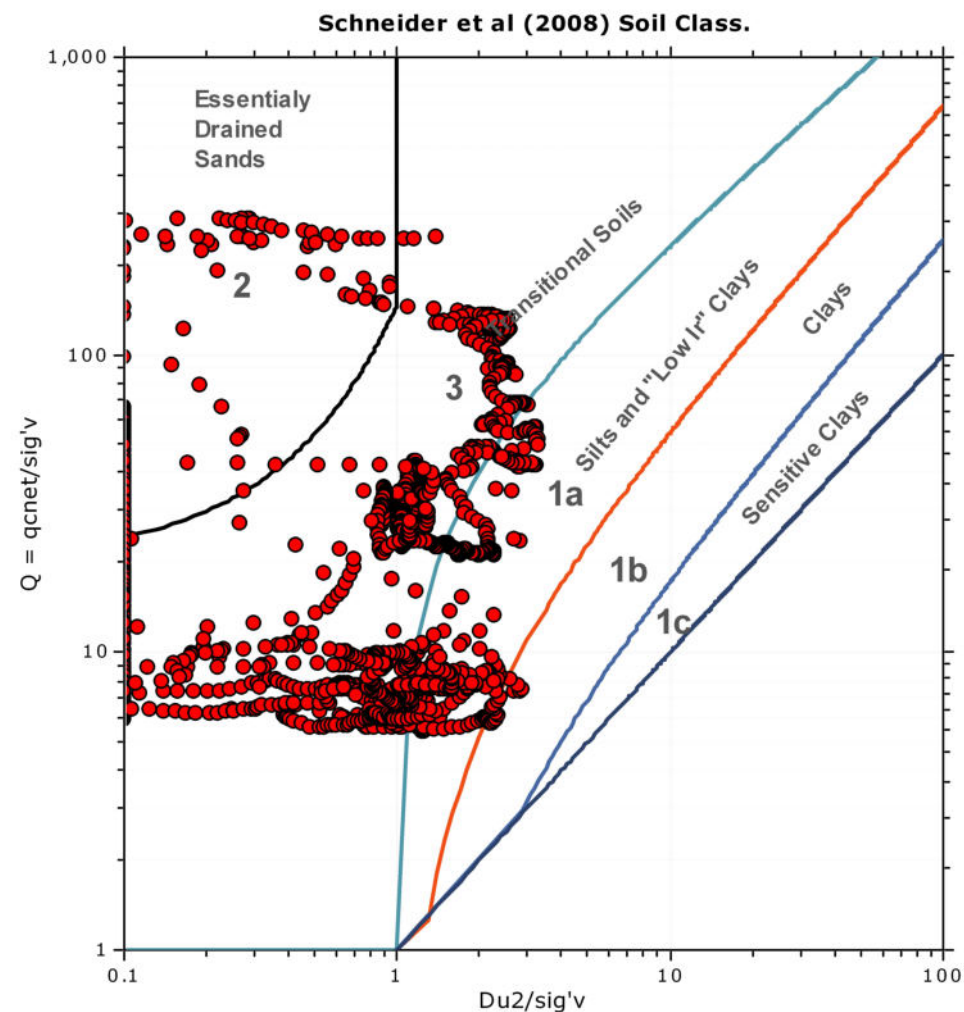
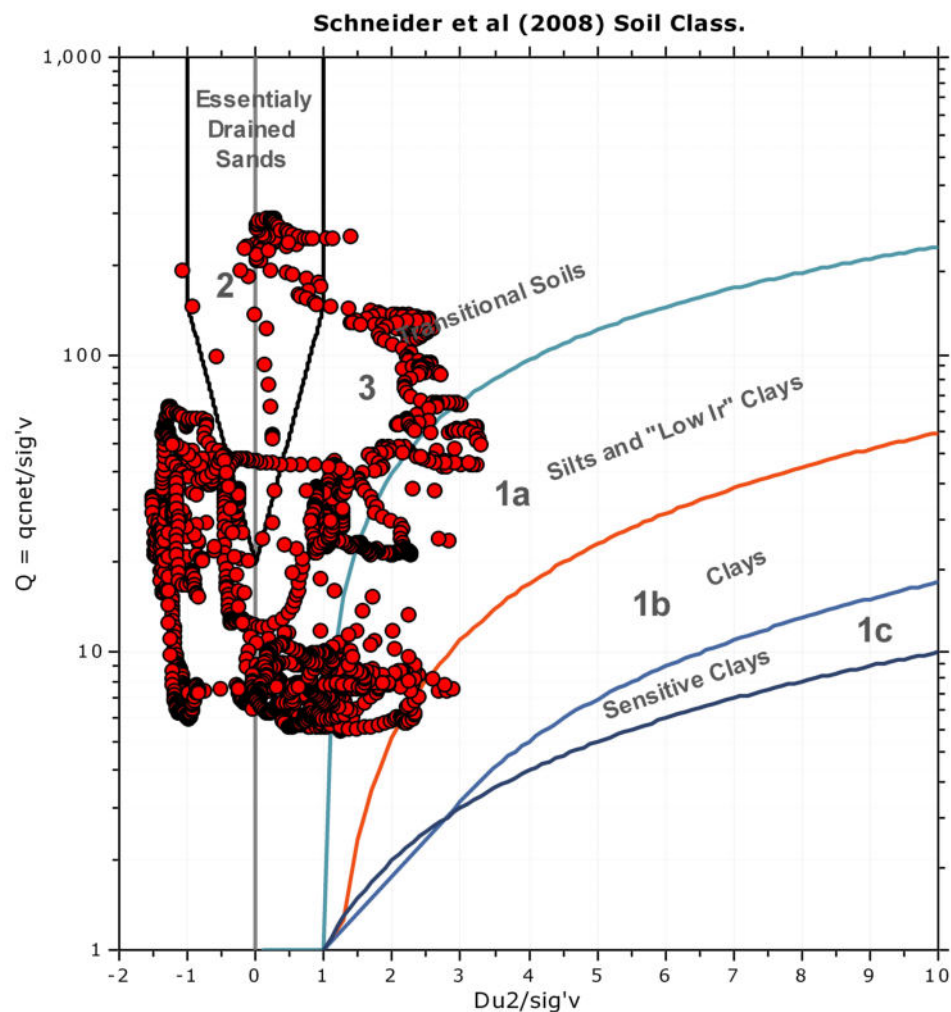
SBT - Bq plots (normalized)



SBTn legend

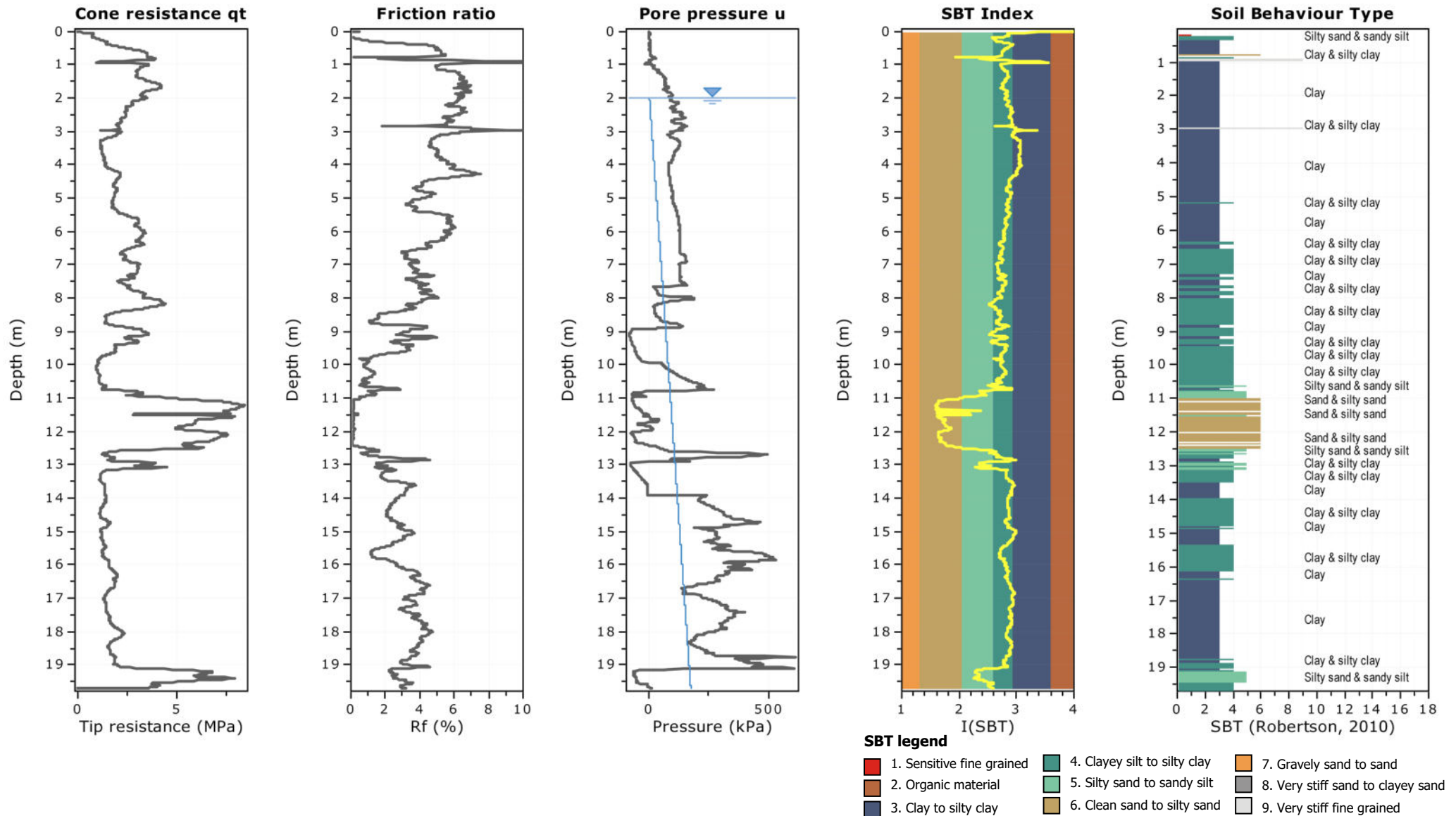
- | | | |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty clay | 7. Gravelly sand to sand |
| 2. Organic material | 5. Silty sand to sandy silt | 8. Very stiff sand to clayey sand |
| 3. Clay to silty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

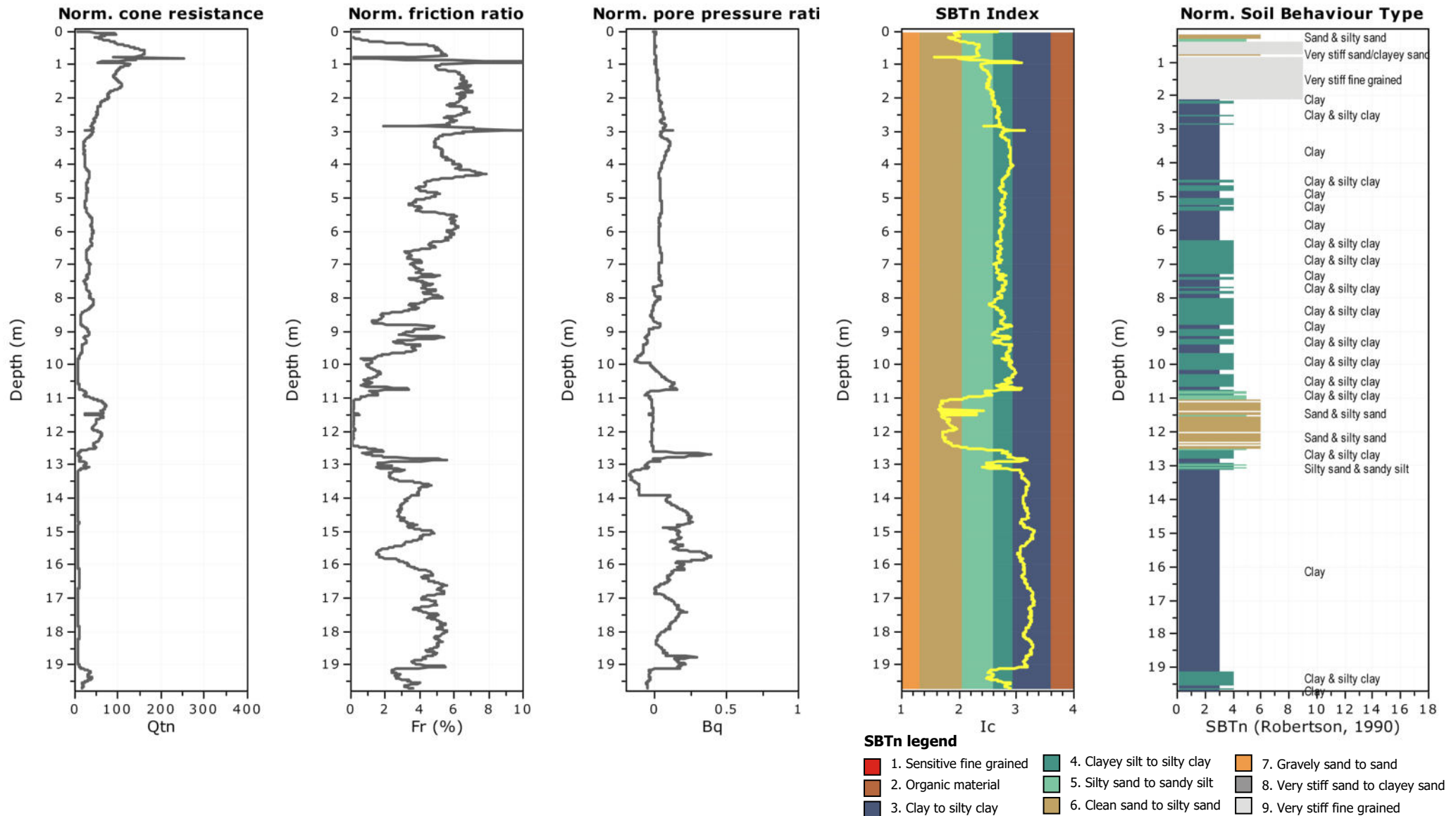
Bq plots (Schneider)



Project:

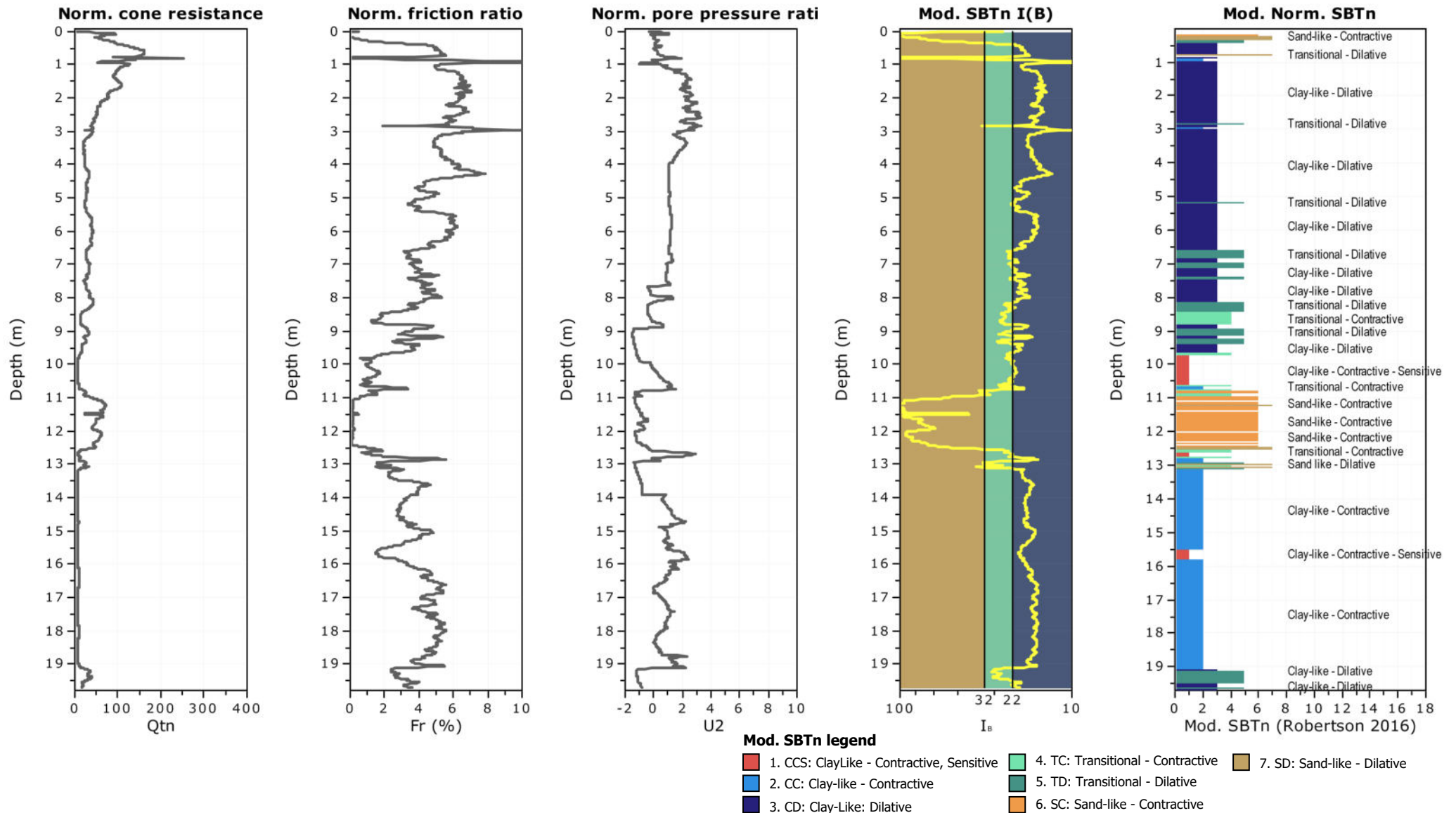
Location:



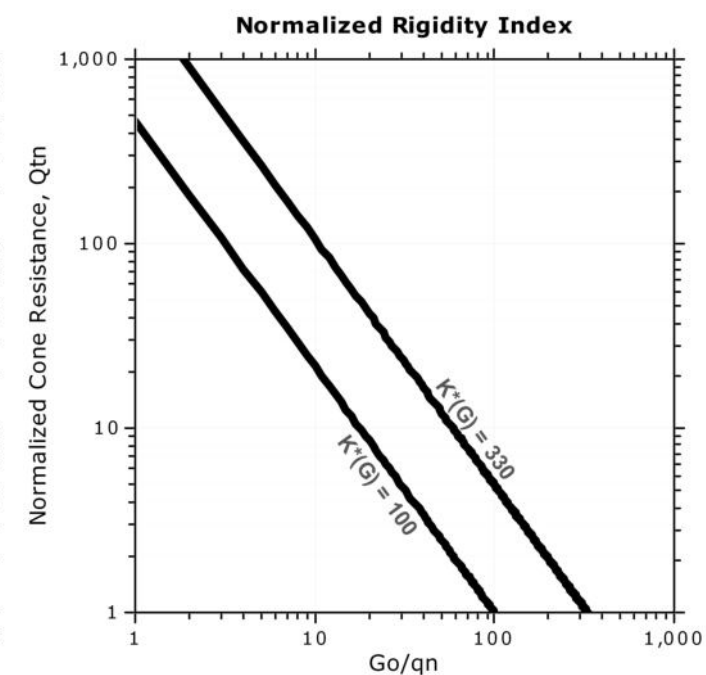
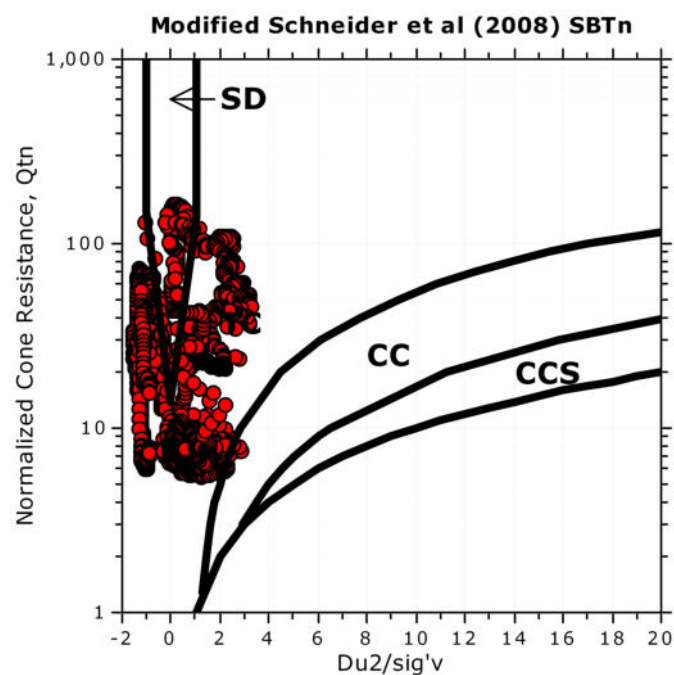
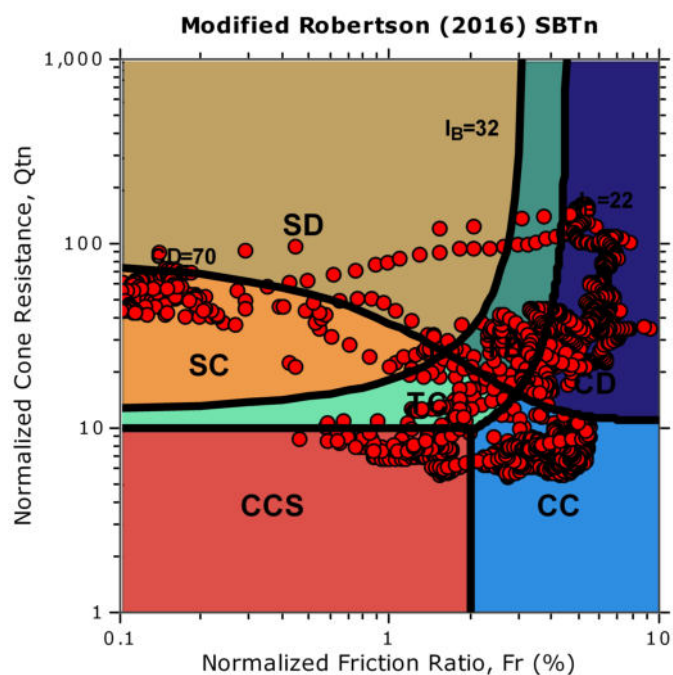


Project:

Location:



Updated SBTn plots



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

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

Andrea Basso geologo

via Lung'Orba Mazzini 95/18

15076 Ovada (AL)

Tel. 0143 86310 - Email: info@asgeologia.it

Project:

Location:

CPT: CPTu01

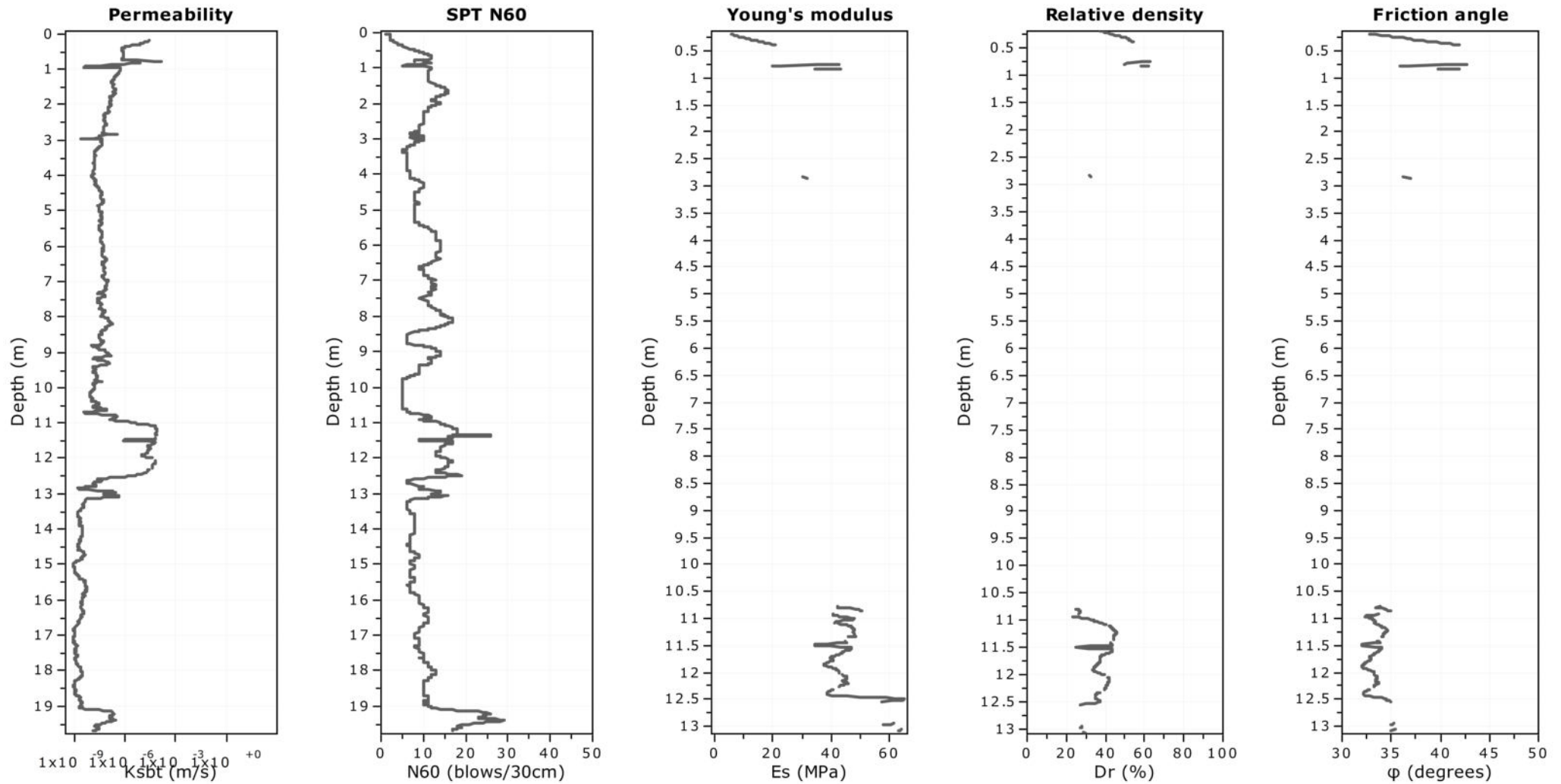
Total depth: 19.70 m, Date: 16/11/2023

Surface Elevation: 0.00 m

Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type:

Cone Operator:



Calculation parameters

Permeability: Based on SBT_n

SPT N_{60} : Based on I_c and q_t

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

Relative density constant, C_{Dr} : 350.0

Phi: Based on Kulhawy & Mayne (1990)

Andrea Basso geologo

via Lung'Orba Mazzini 95/18

15076 Ovada (AL)

Tel. 0143 86310 - Email: info@asgeologia.it

Project:

Location:

CPT: CPTu01

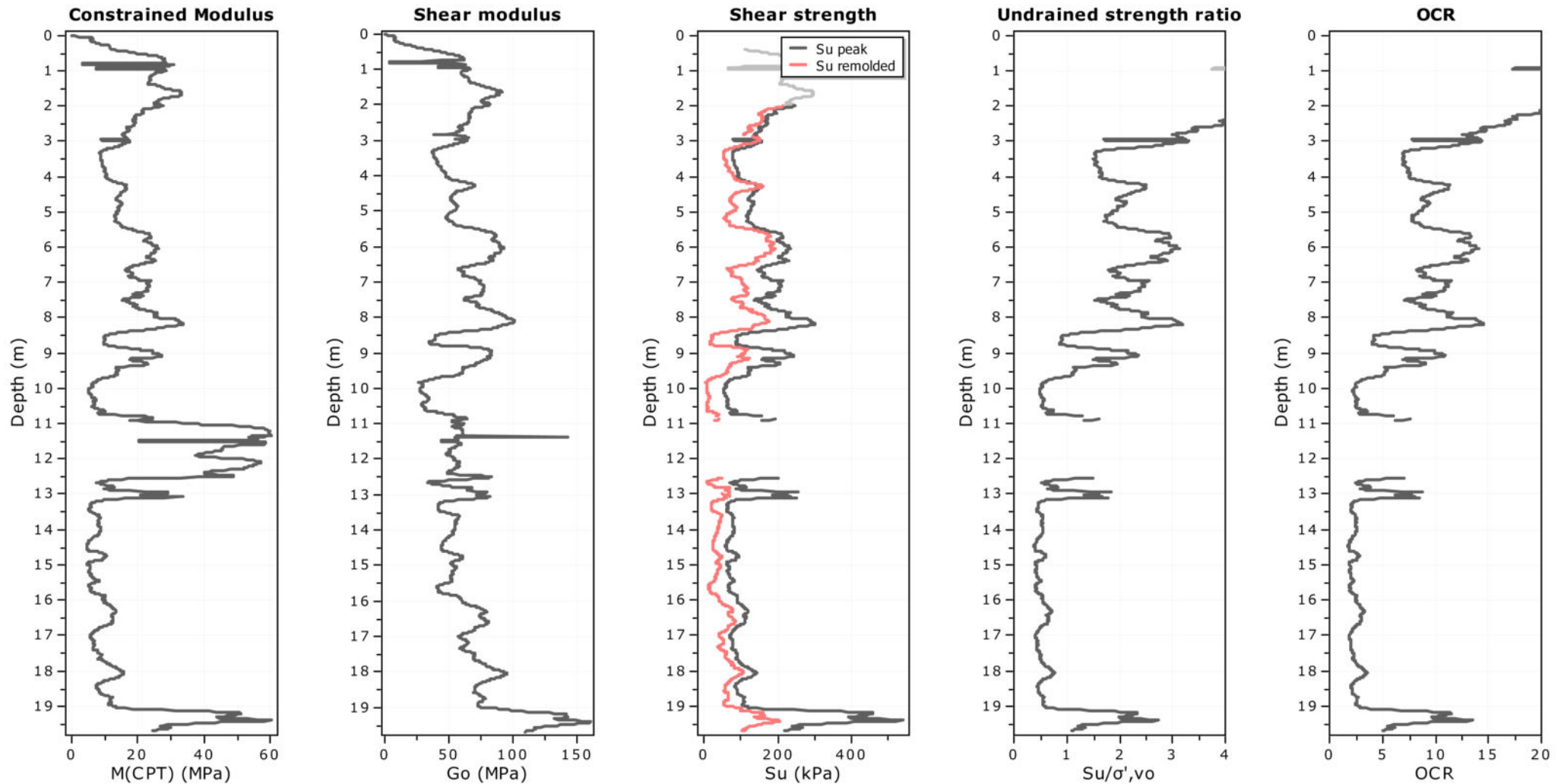
Total depth: 19.70 m, Date: 16/11/2023

Surface Elevation: 0.00 m

Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type:

Cone Operator:



Calculation parameters

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

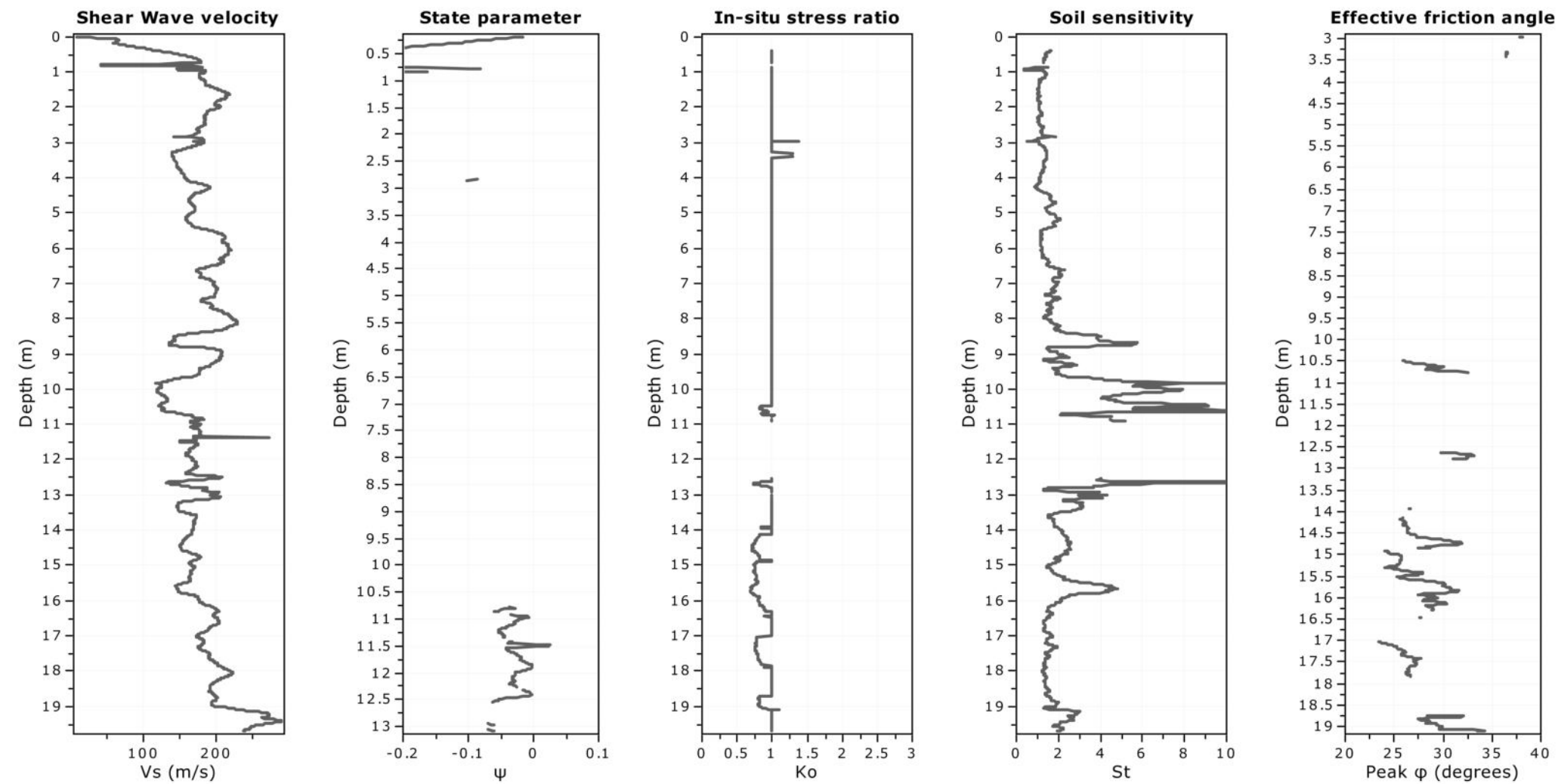
Go: Based on variable alpha using I_c (Robertson, 2009)

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

OCR factor for clays, N_{kt} : 0.33

—●— Flat Dilatometer Test data

Project:
Location:



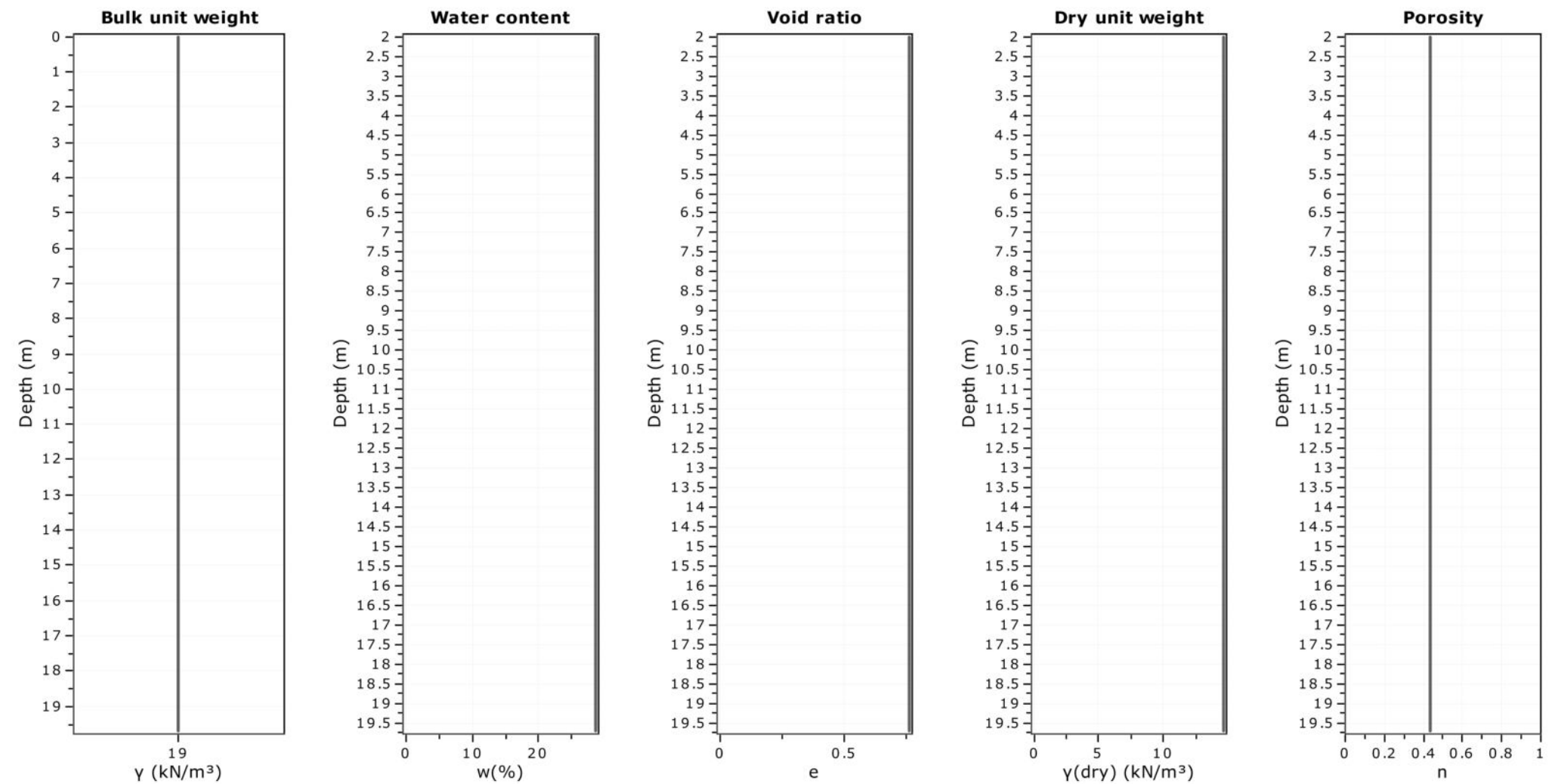
Calculation parameters
 Soil Sensitivity factor, N_s : 7.00

Andrea Basso geologo
via Lung'Orba Mazzini 95/18
15076 Ovada (AL)
Tel. 0143 86310 - Email: info@asgeologia.it

Project:
Location:

CPT: CPTu01

Total depth: 19.70 m, Date: 16/11/2023
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type:
Cone Operator:



Andrea Basso geologo

via Lung'Orba Mazzini 95/18

15076 Ovada (AL)

Tel. 0143 86310 - Email: info@asgeologia.it

Project:

Location:

CPT: CPTu01

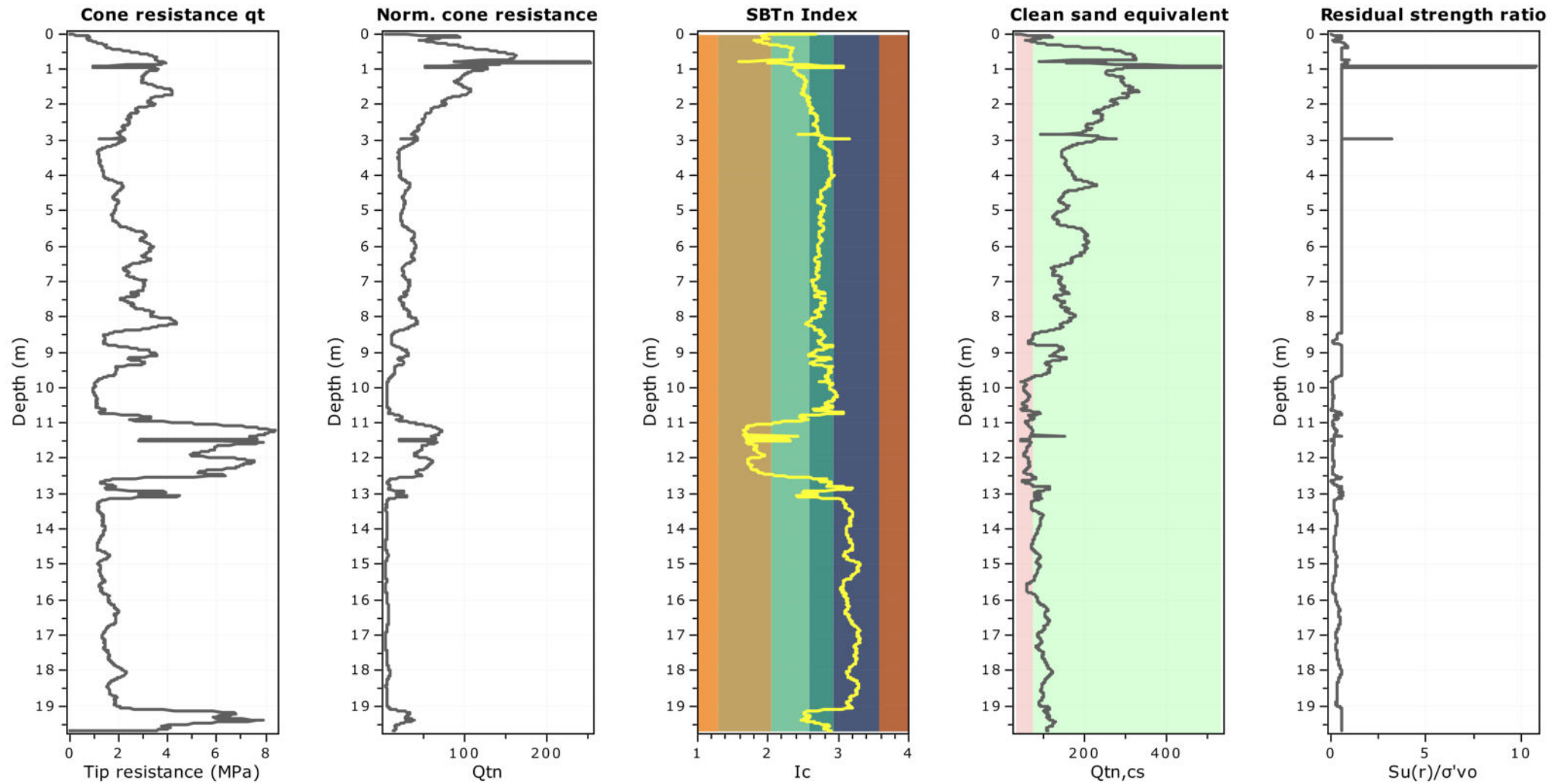
Total depth: 19.70 m, Date: 16/11/2023

Surface Elevation: 0.00 m

Coords: X:0.00, Y:0.00

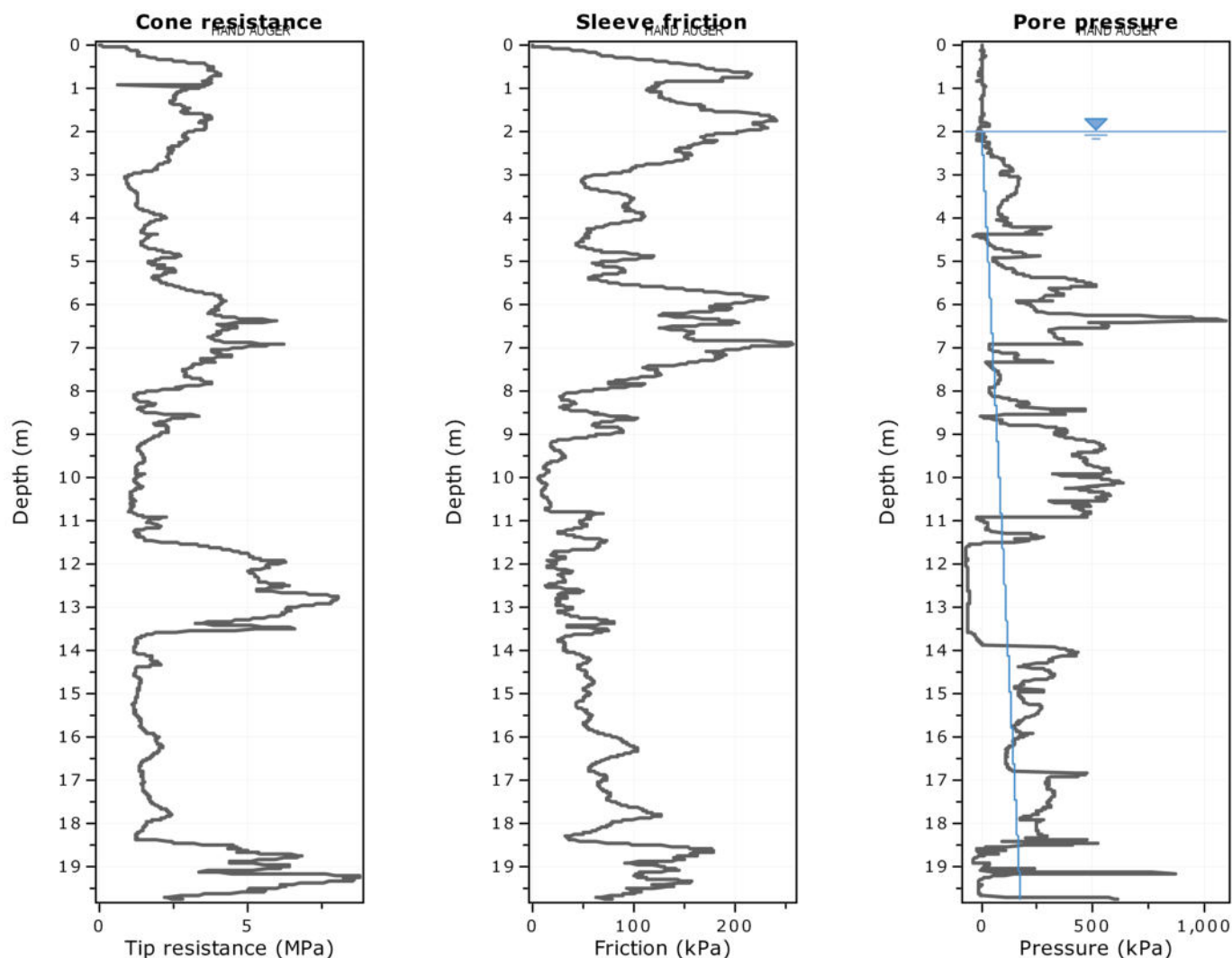
Cone Type:

Cone Operator:

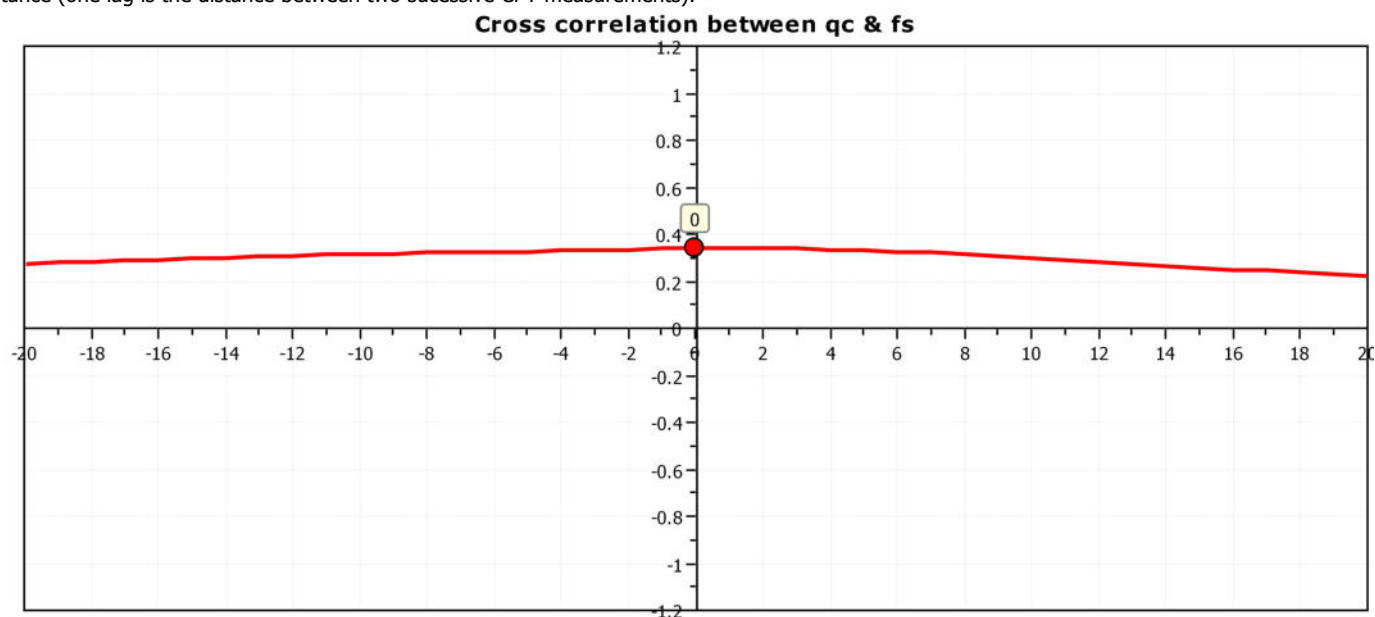


Project:

Location:



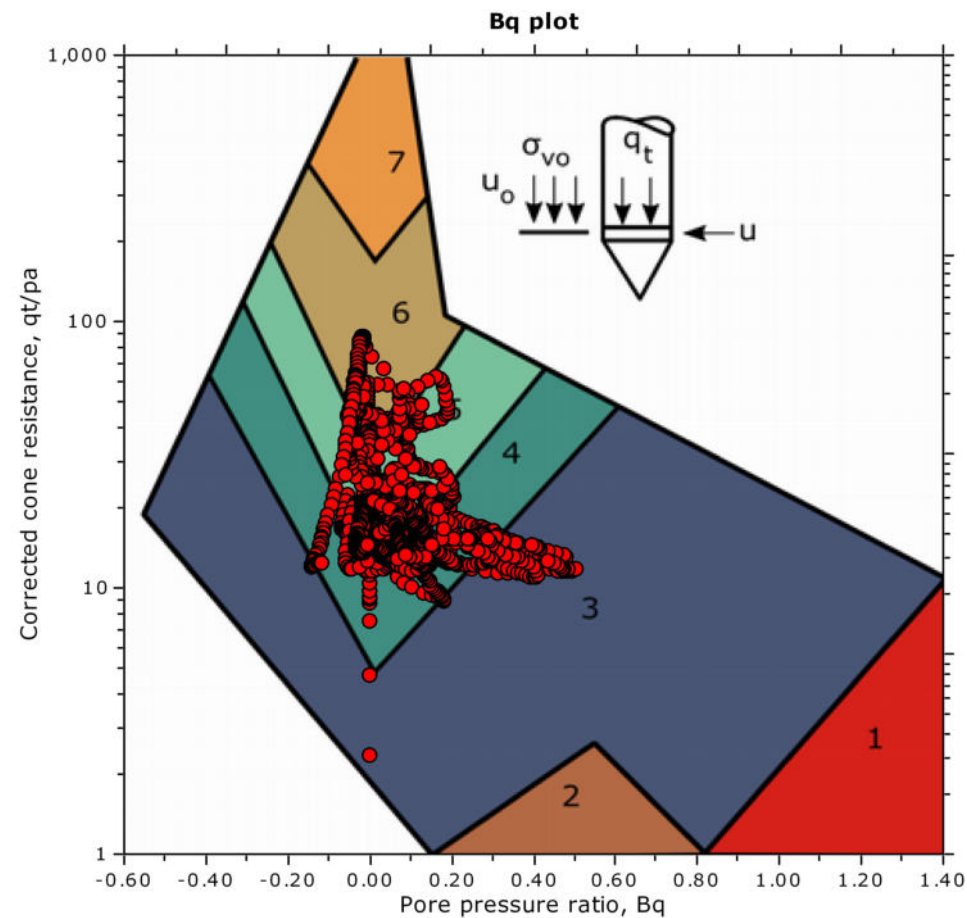
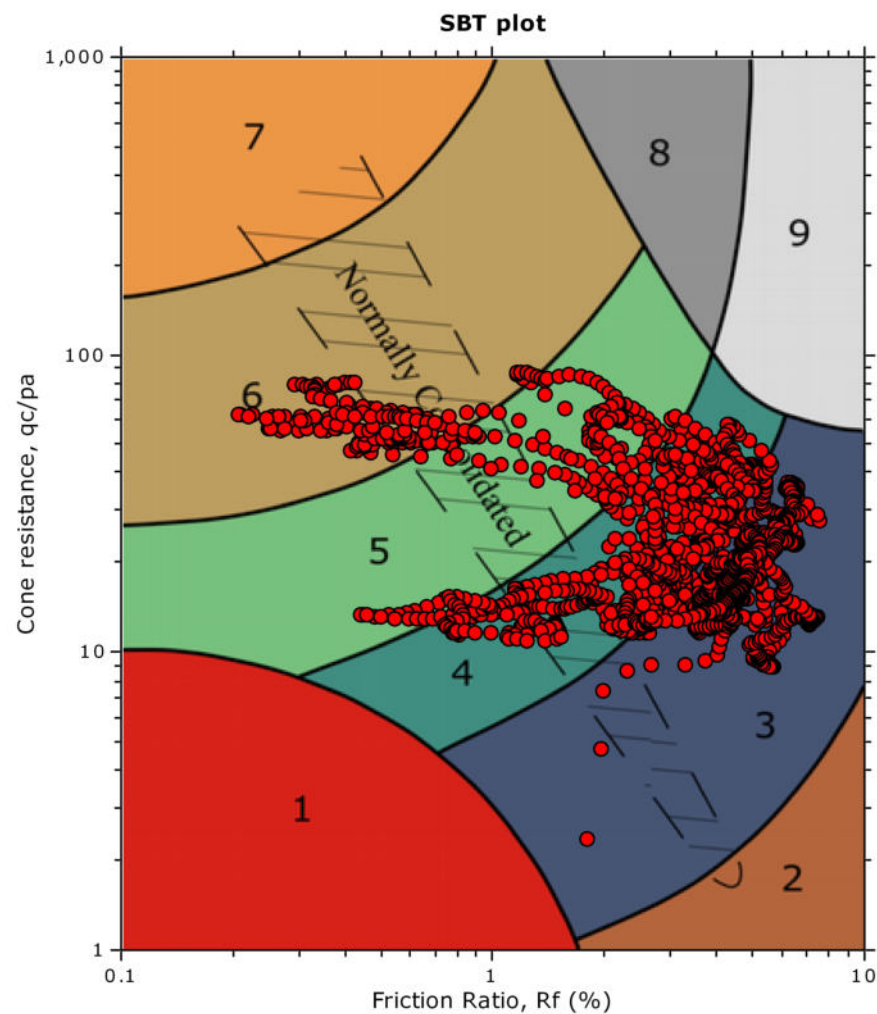
The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw qc and fs values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).



Project:

Location:

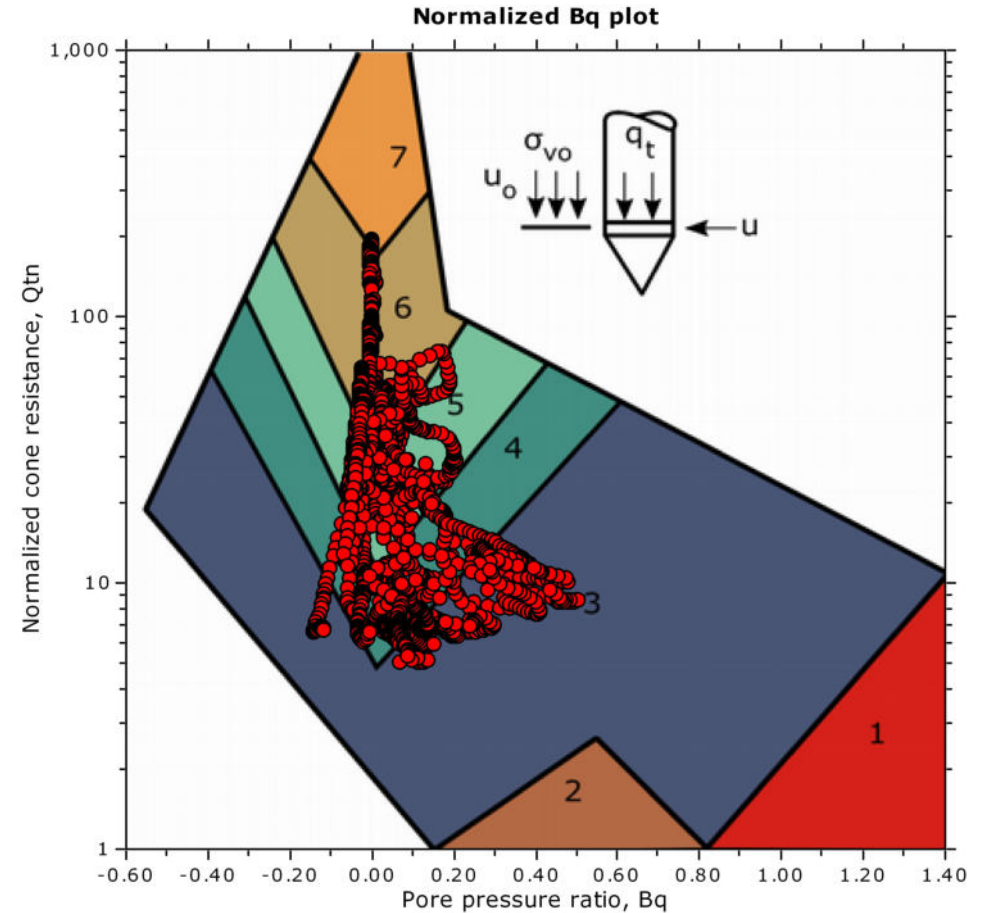
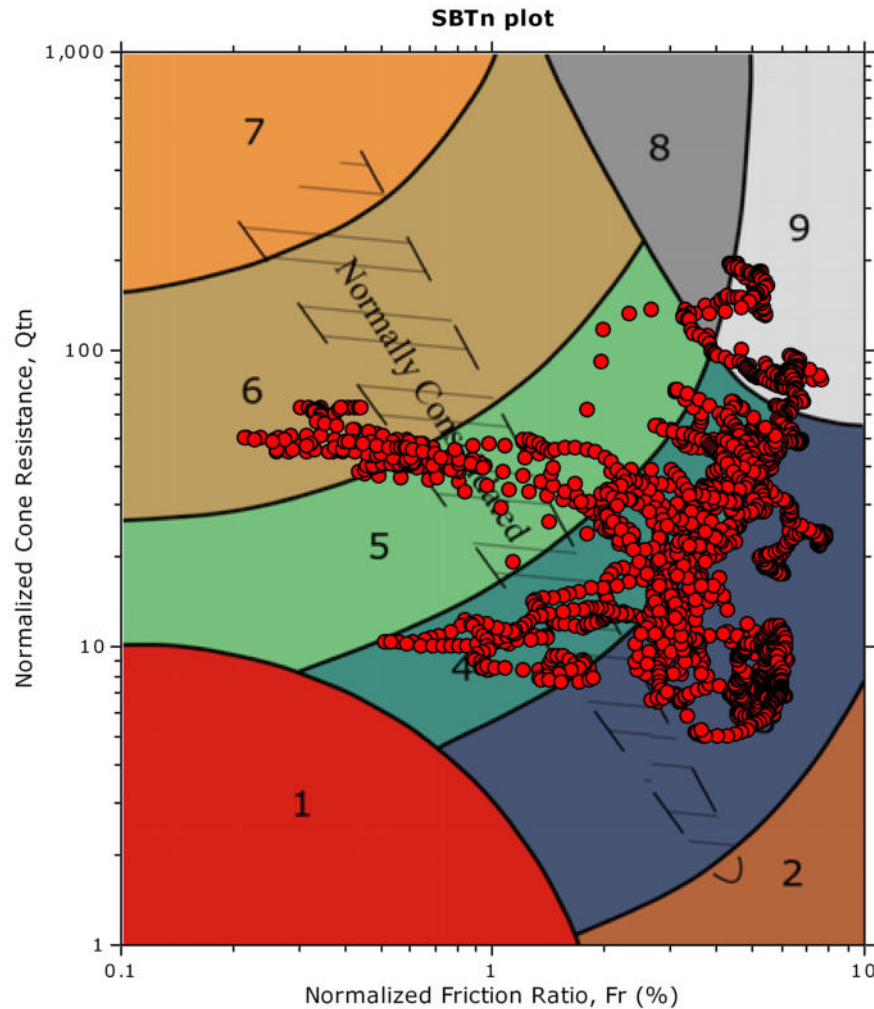
SBT - Bq plots



SBT legend

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

SBT - Bq plots (normalized)



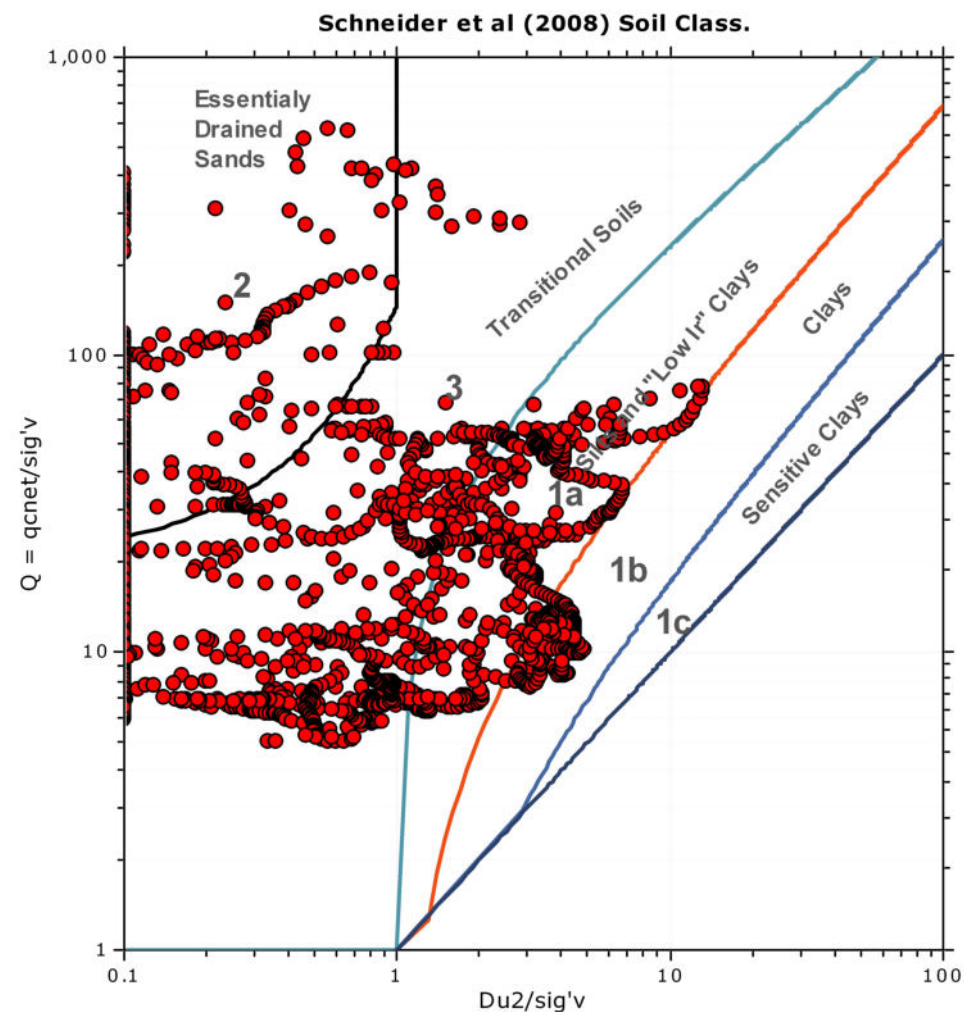
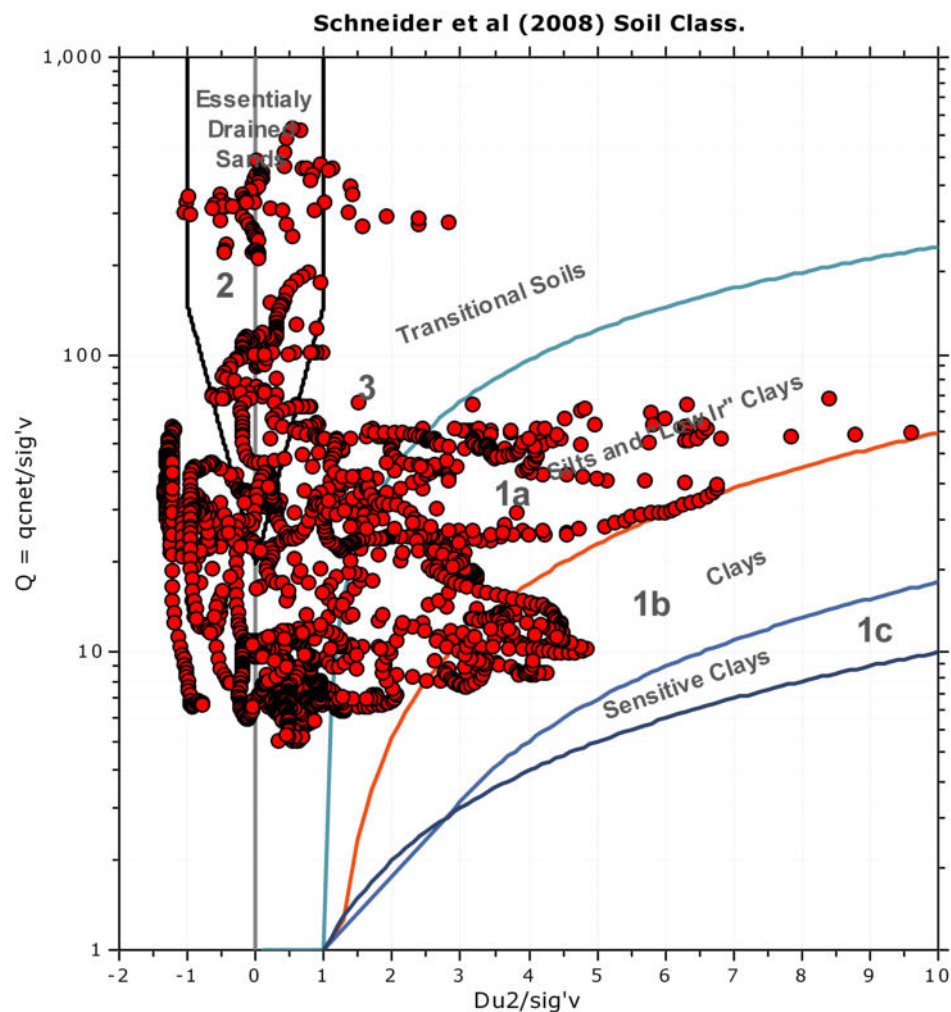
SBTn legend

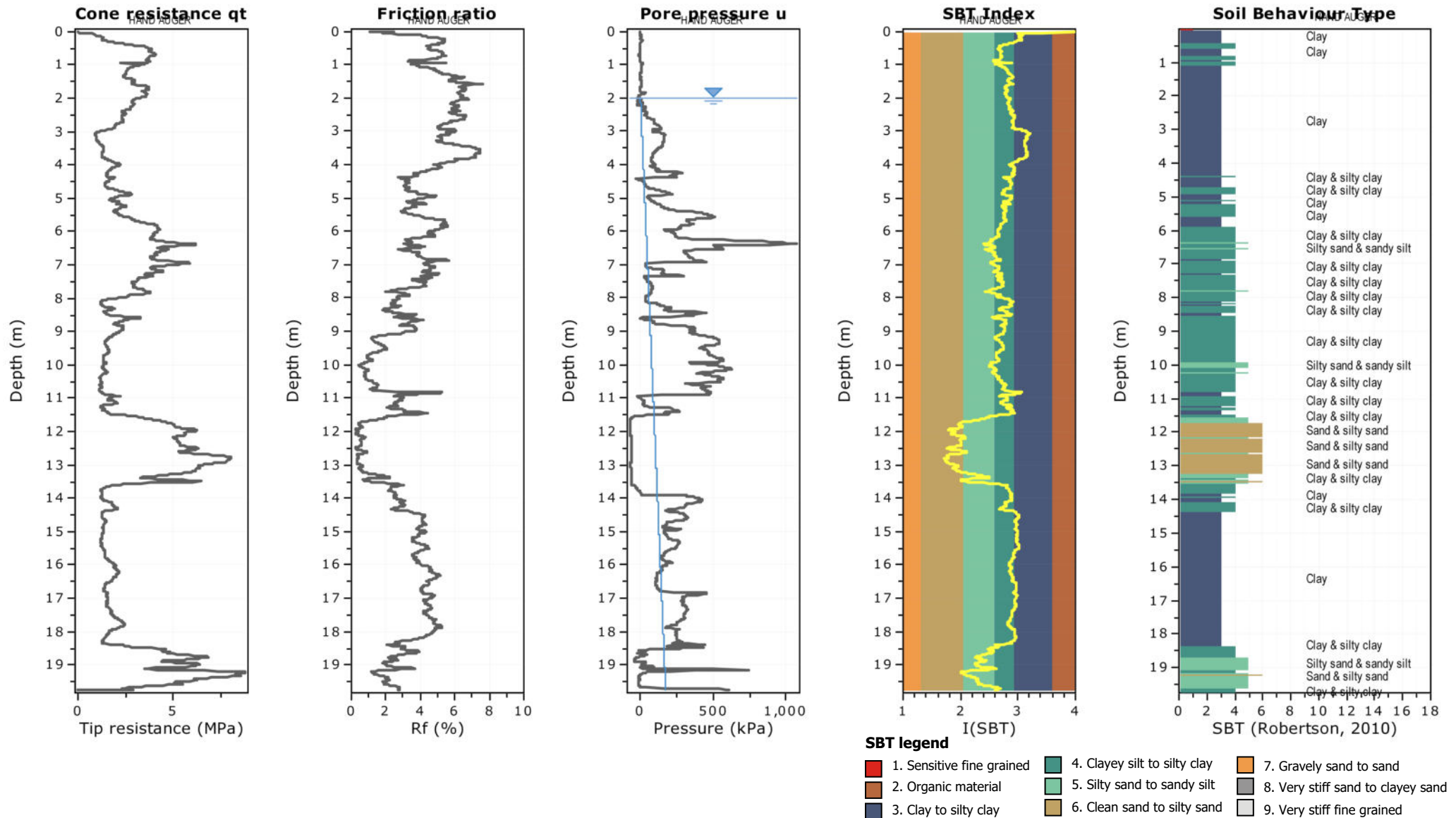
- | | | |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty clay | 7. Gravely sand to sand |
| 2. Organic material | 5. Silty sand to sandy silt | 8. Very stiff sand to clayey sand |
| 3. Clay to silty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

Project:

Location:

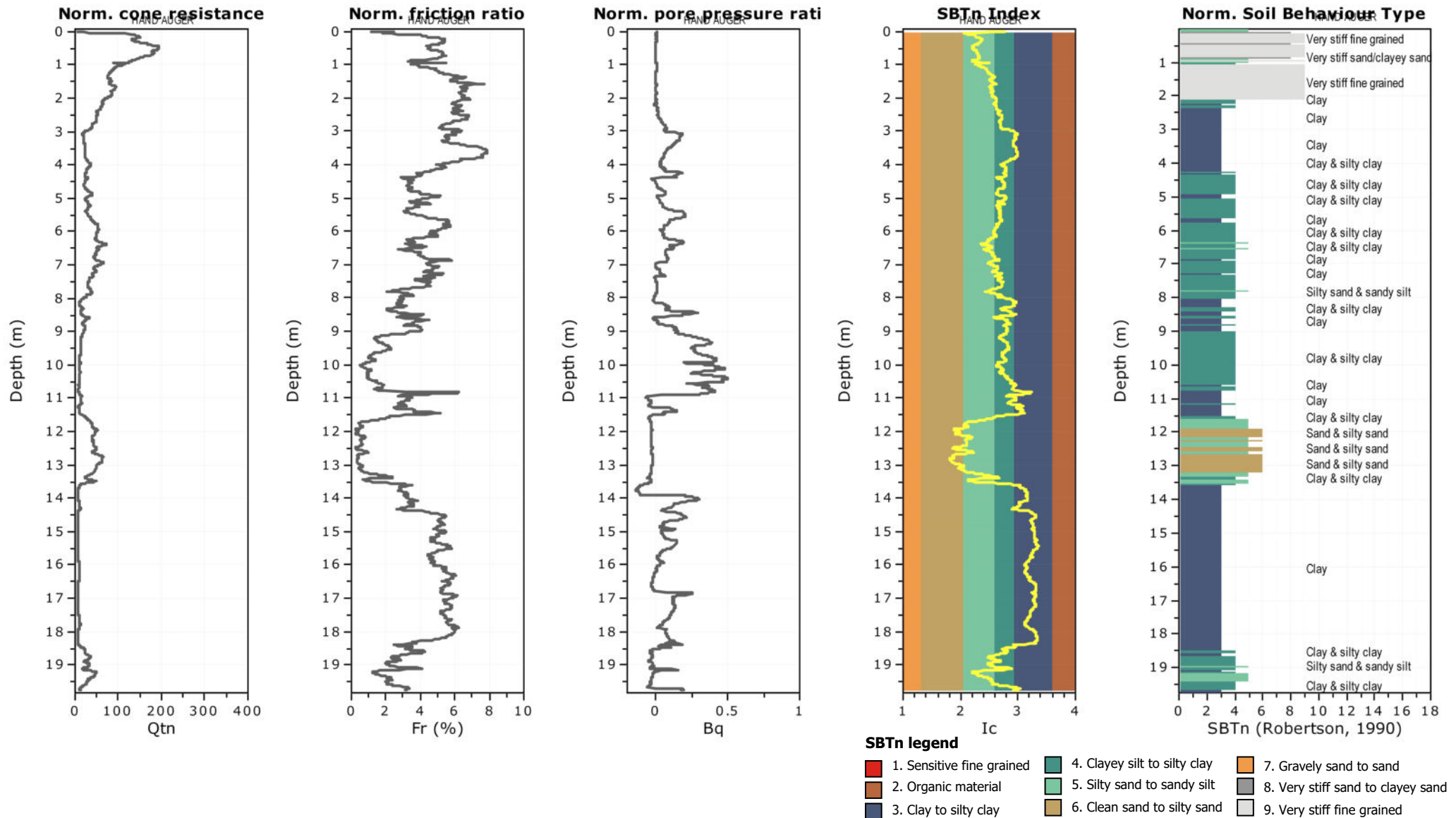
Bq plots (Schneider)





Project:

Location:



Andrea Basso geologo

via Lung'Orba Mazzini 95/18

15076 Ovada (AL)

Tel. 0143 86310 - Email: info@asgeologia.it

Project:

Location:

CPT: CPTu02

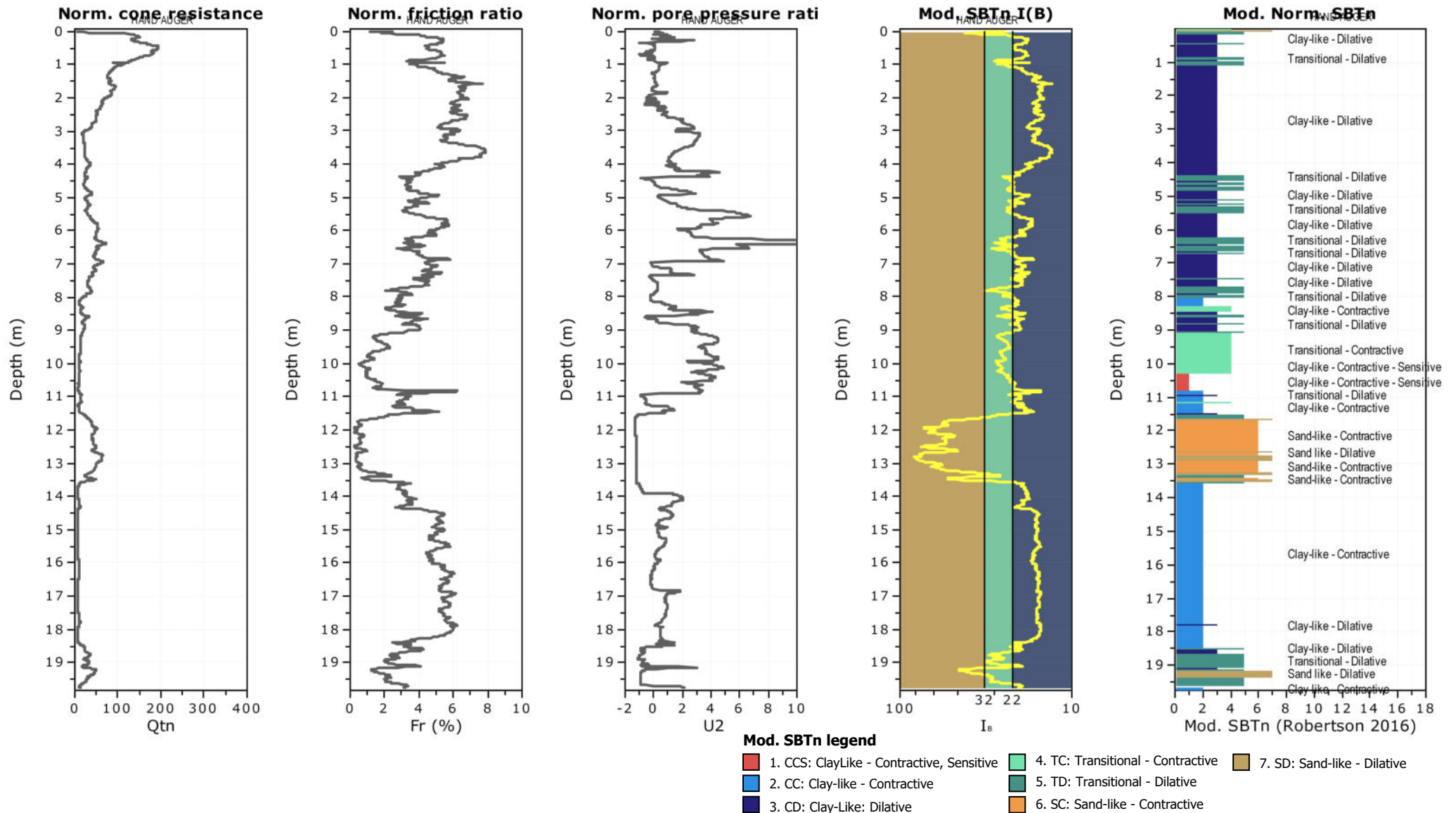
Total depth: 19.75 m, Date: 16/11/2023

Surface Elevation: 0.00 m

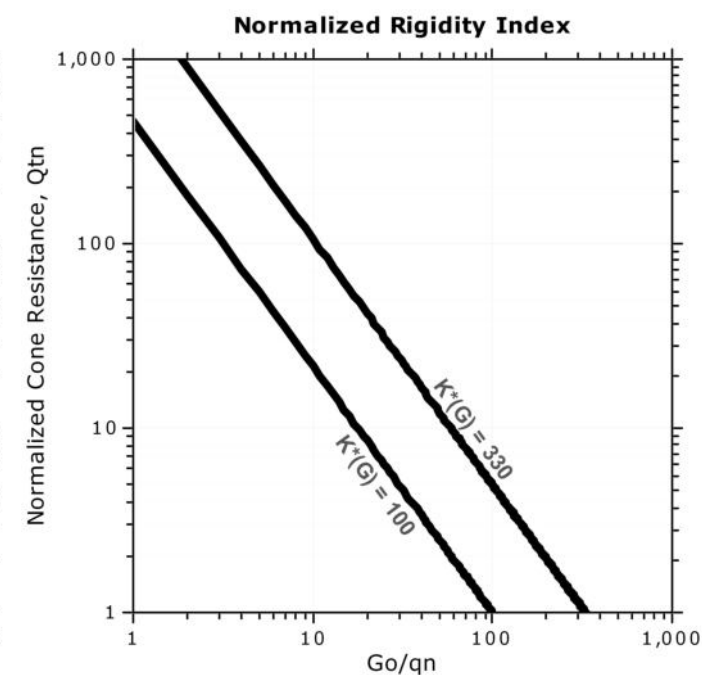
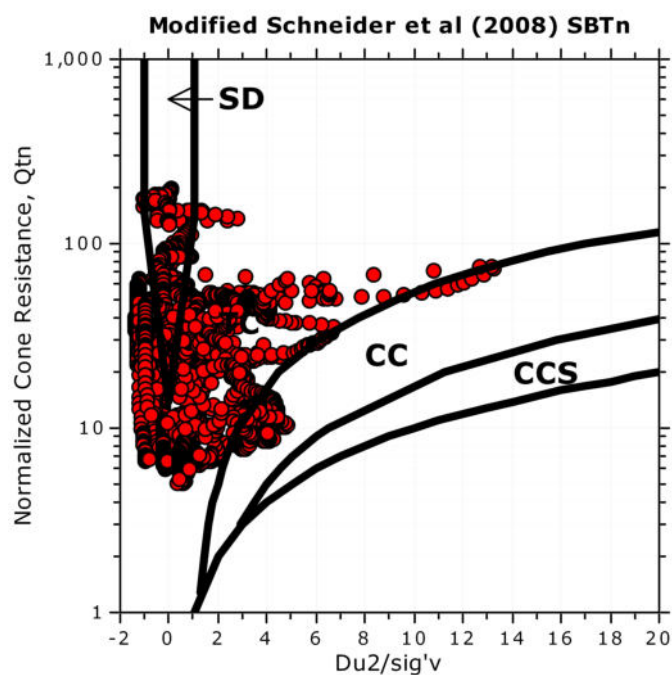
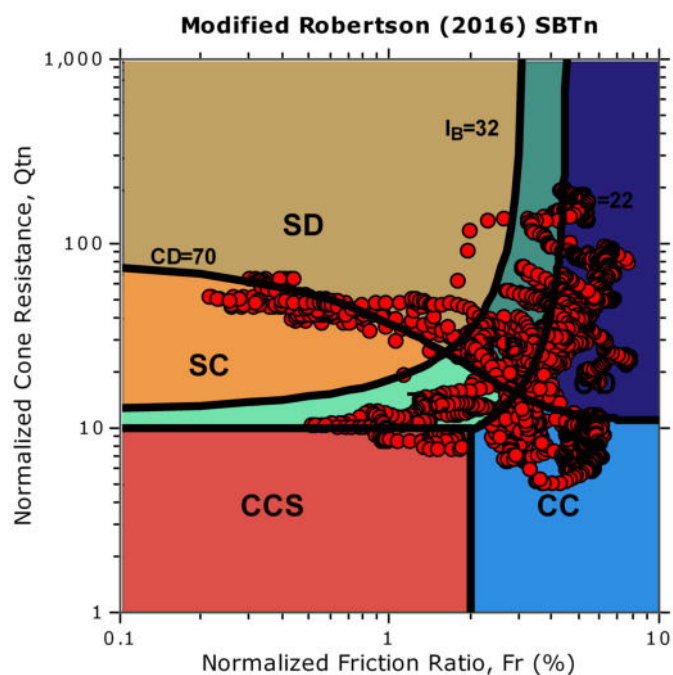
Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type:

Cone Operator:



Updated SBTn plots



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

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

Andrea Basso geologo

via Lung'Orba Mazzini 95/18

15076 Ovada (AL)

Tel. 0143 86310 - Email: info@asgeologia.it

Project:

Location:

CPT: CPTu02

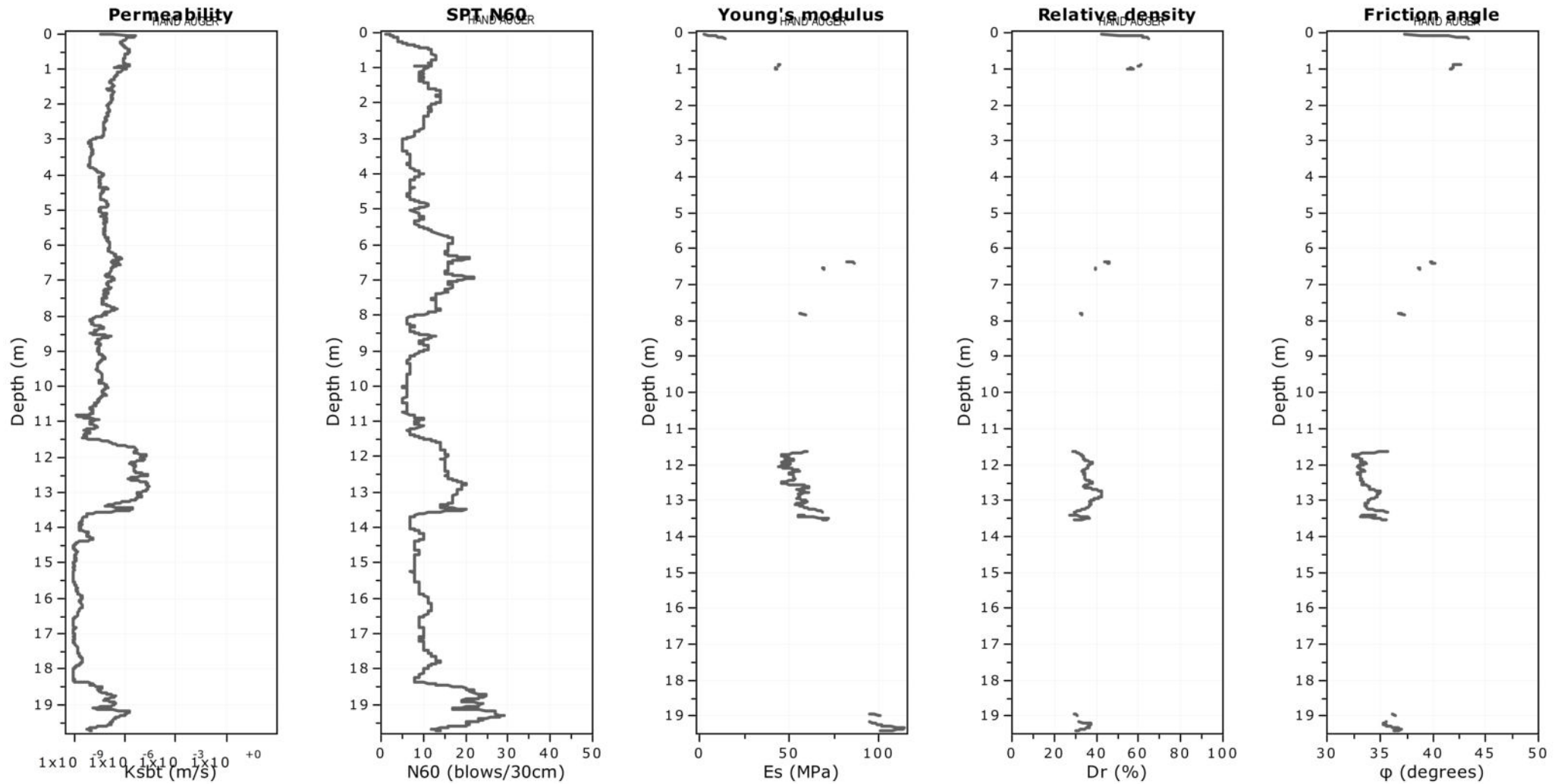
Total depth: 19.75 m, Date: 16/11/2023

Surface Elevation: 0.00 m

Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type:

Cone Operator:



Calculation parameters

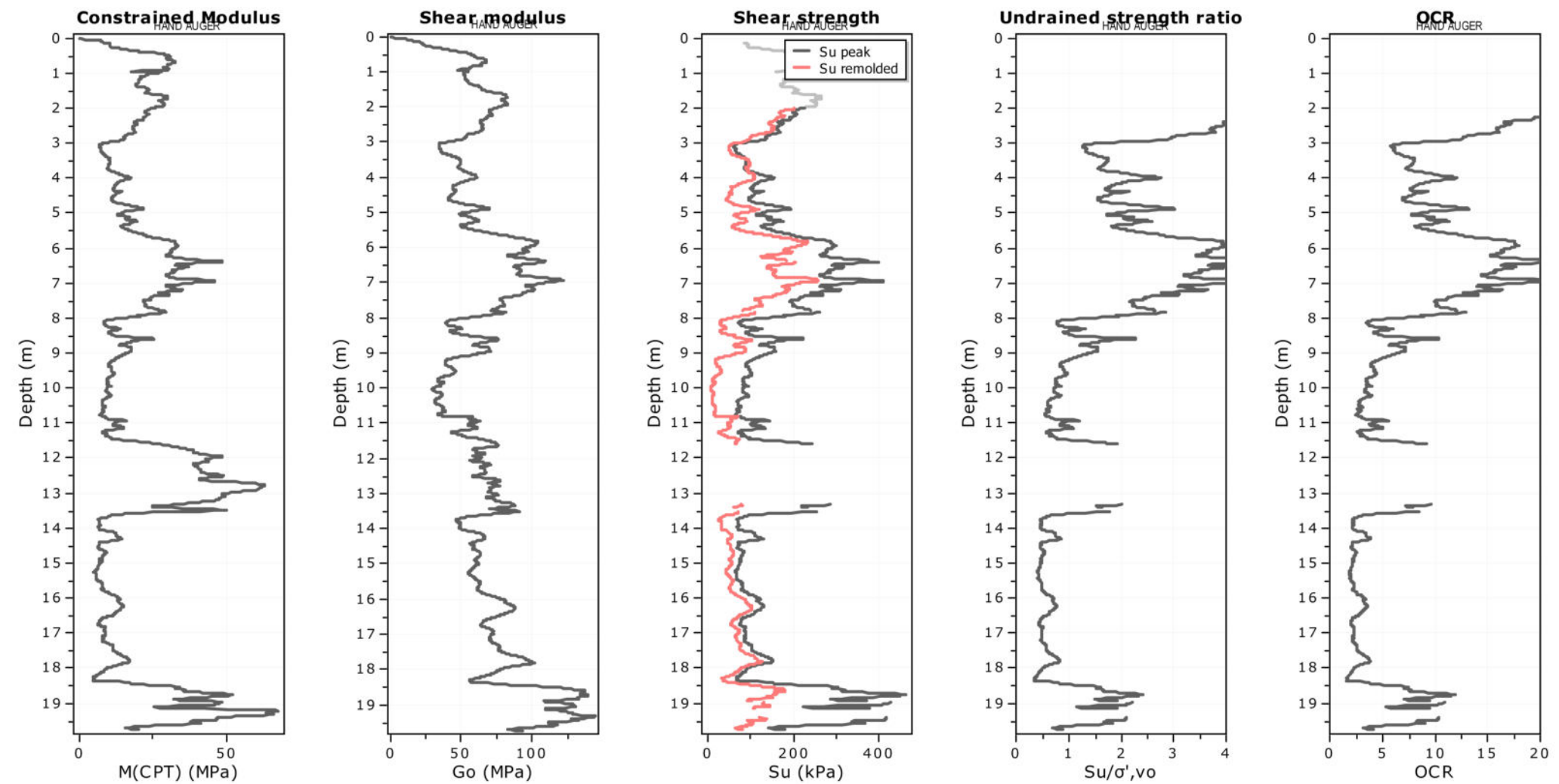
Permeability: Based on SBT_n

SPT N_{60} : Based on I_c and q_t

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

Relative density constant, C_{Dr} : 350.0

Phi: Based on Kulhawy & Mayne (1990)



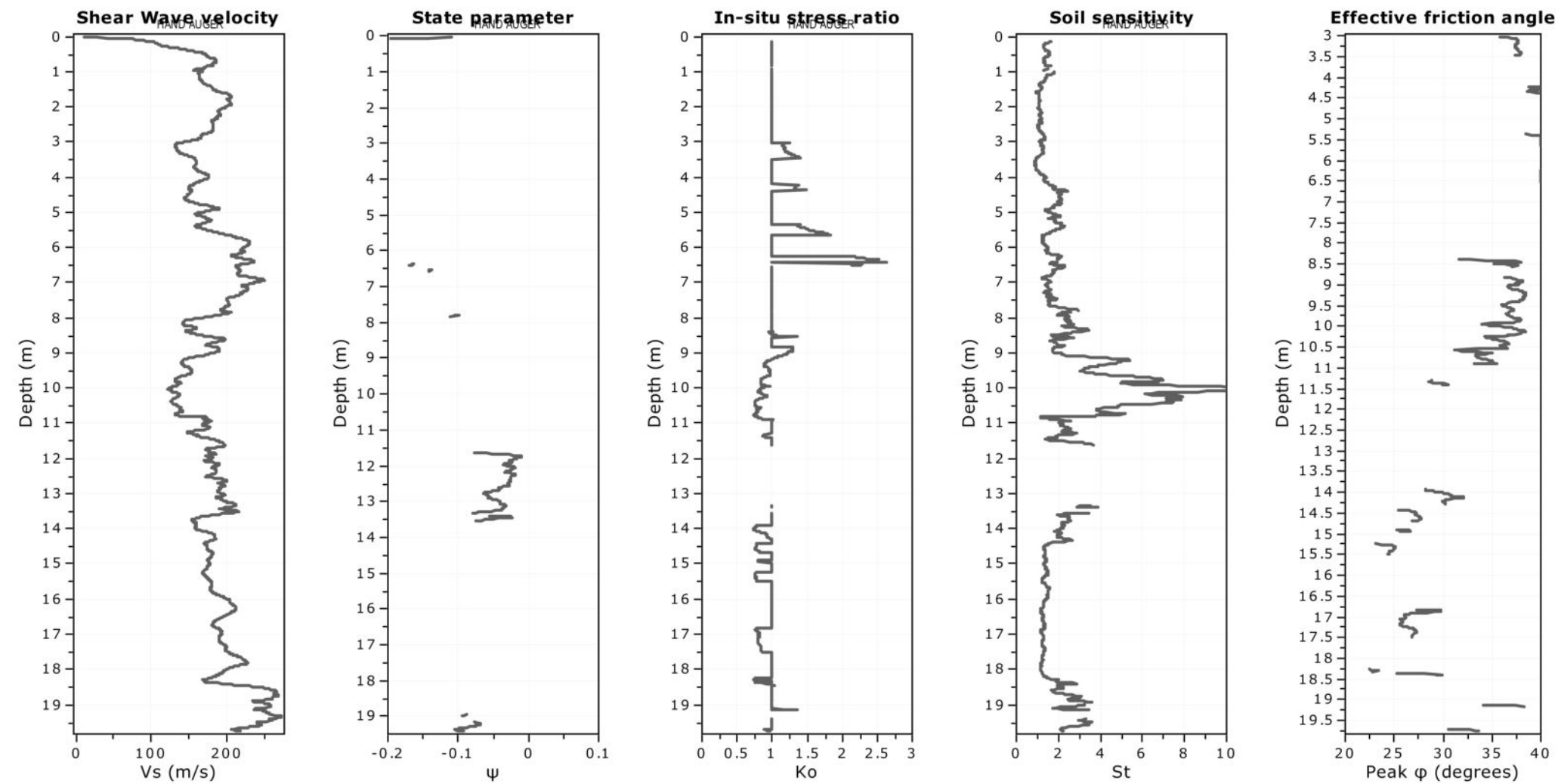
Calculation parameters
 Constrained modulus: Based on variable alpha using I_c and Q_{tn} (Robertson, 2009)
 Go: Based on variable alpha using I_c (Robertson, 2009)
 Undrained shear strength cone factor for clays, N_{kt} : 14
 OCR factor for clays, N_{kt} : 0.33
 —●— Flat Dilatometer Test data

Andrea Basso geologo
via Lung'Orba Mazzini 95/18
15076 Ovada (AL)
Tel. 0143 86310 - Email: info@asgeologia.it

Project:
Location:

CPT: CPTu02

Total depth: 19.75 m, Date: 16/11/2023
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type:
Cone Operator:



Calculation parameters
Soil Sensitivity factor, N_s : 7.00

Andrea Basso geologo

via Lung'Orba Mazzini 95/18

15076 Ovada (AL)

Tel. 0143 86310 - Email: info@asgeologia.it

CPT: CPTu02

Total depth: 19.75 m, Date: 16/11/2023

Surface Elevation: 0.00 m

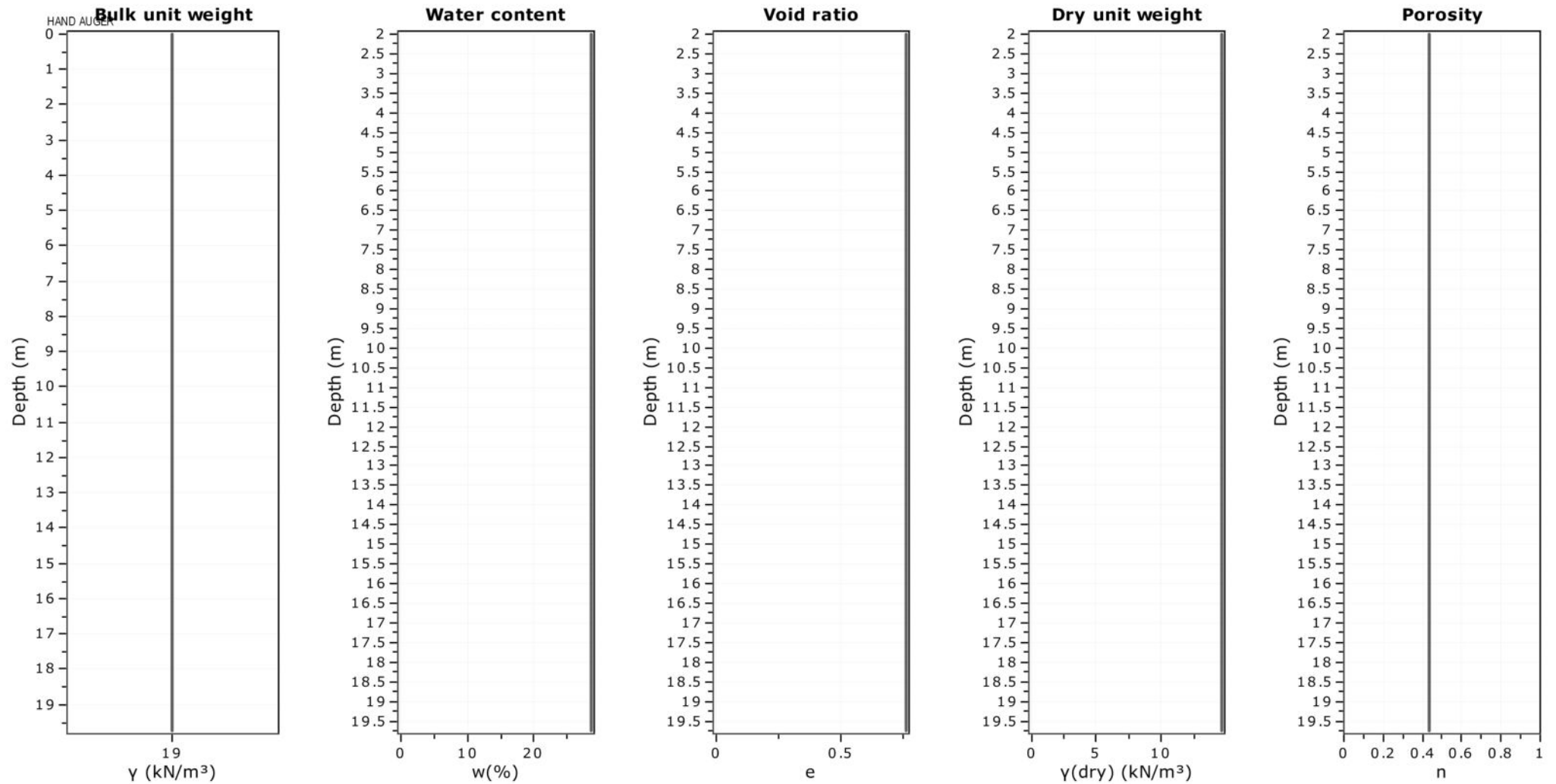
Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type:

Cone Operator:

Project:

Location:



Andrea Basso geologo

via Lung'Orba Mazzini 95/18

15076 Ovada (AL)

Tel. 0143 86310 - Email: info@asgeologia.it

Project:

Location:

CPT: CPTu02

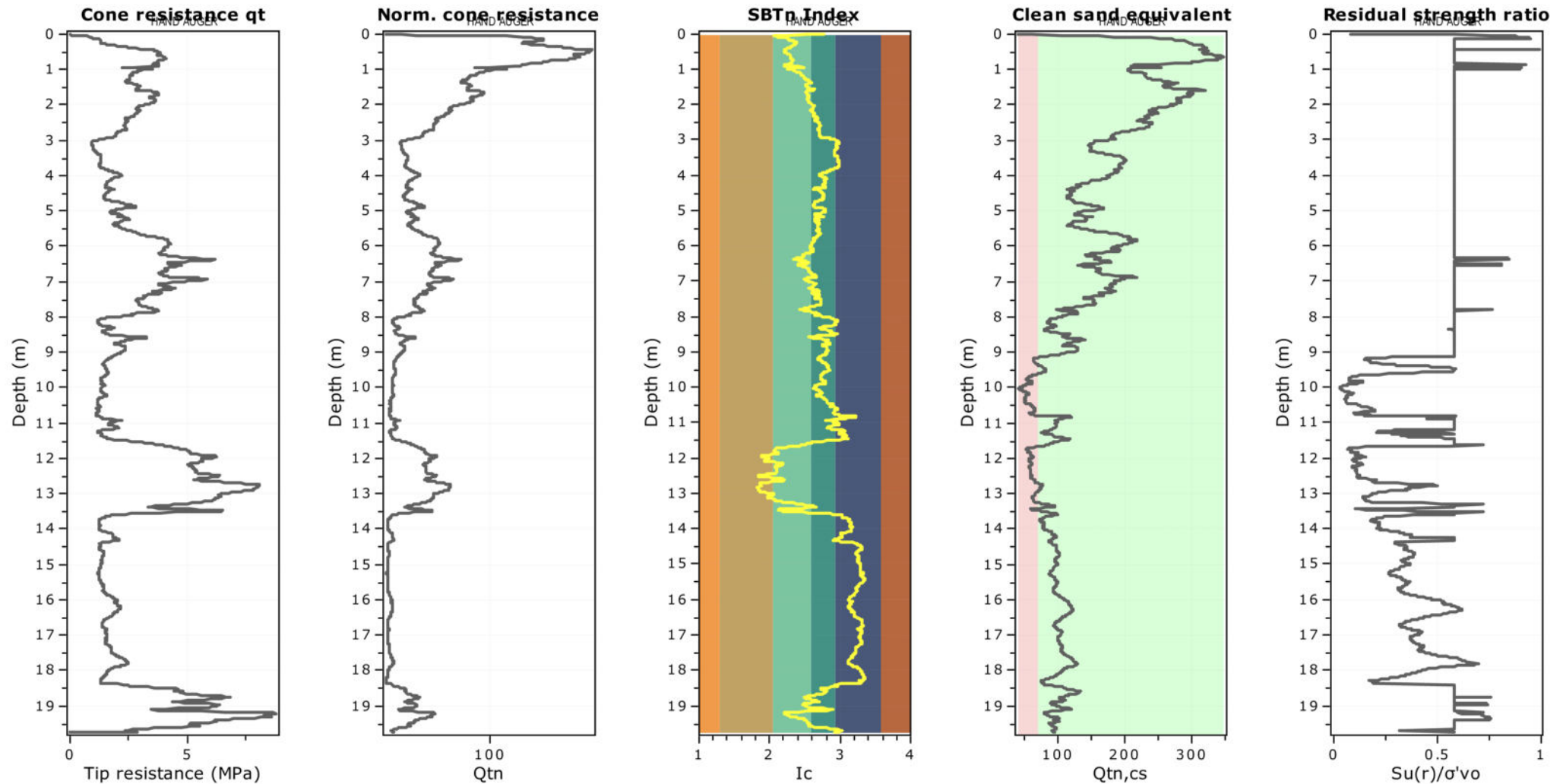
Total depth: 19.75 m, Date: 16/11/2023

Surface Elevation: 0.00 m

Coords: X:0.00, Y:0.00

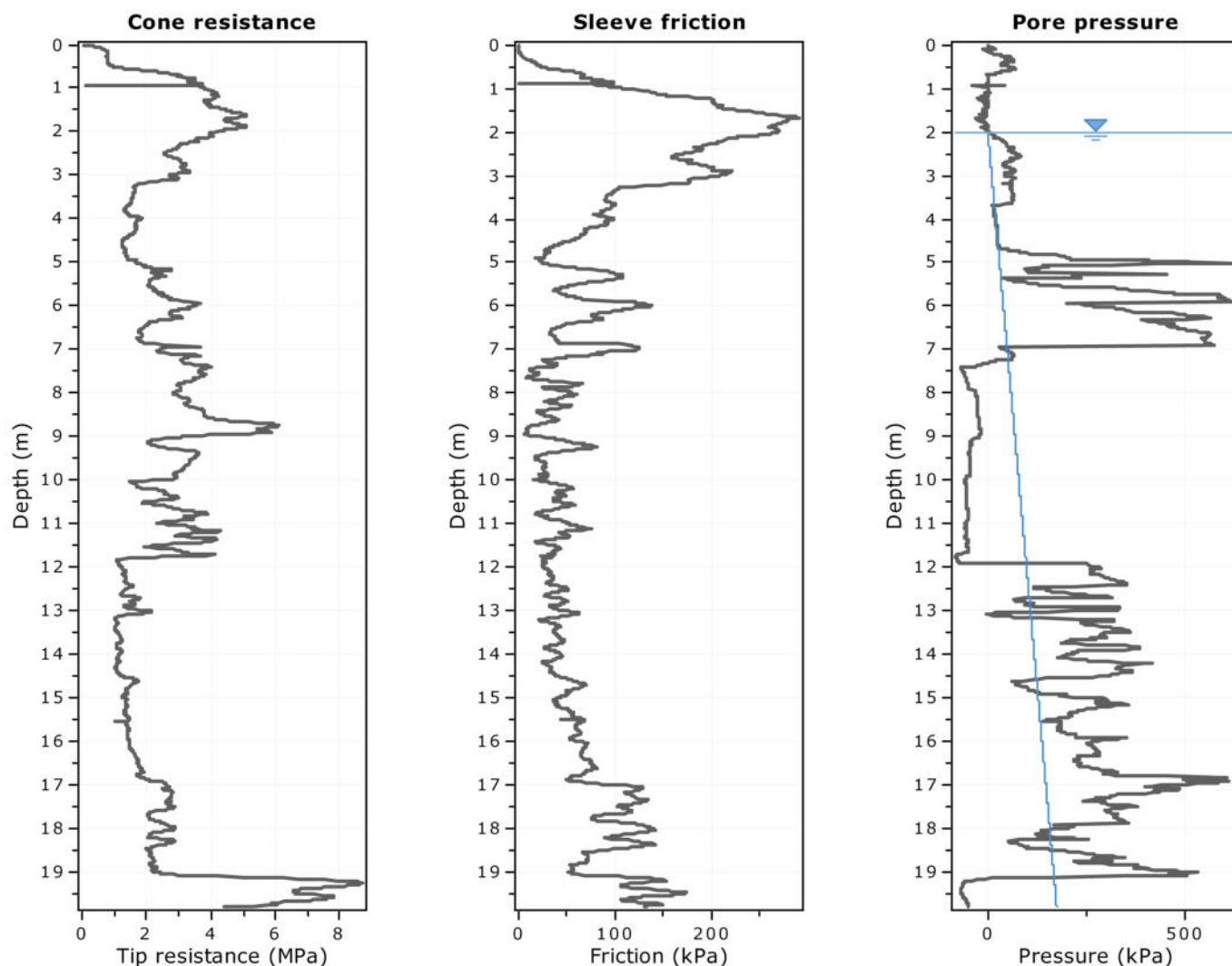
Cone Type:

Cone Operator:



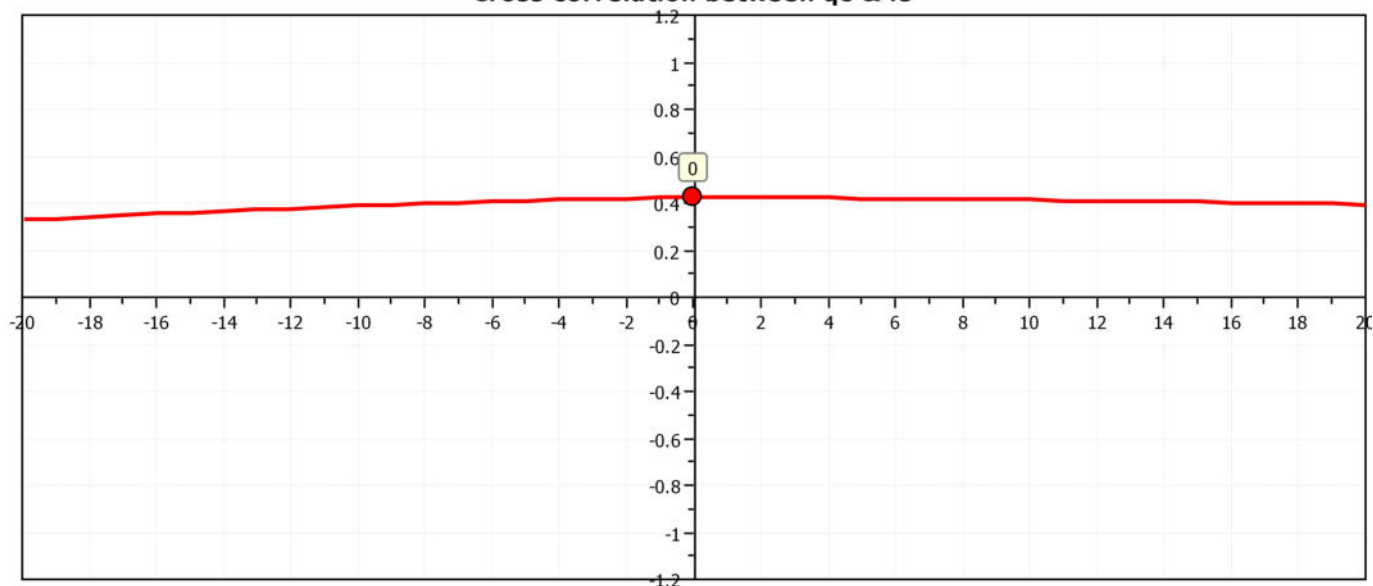
Project:

Location:

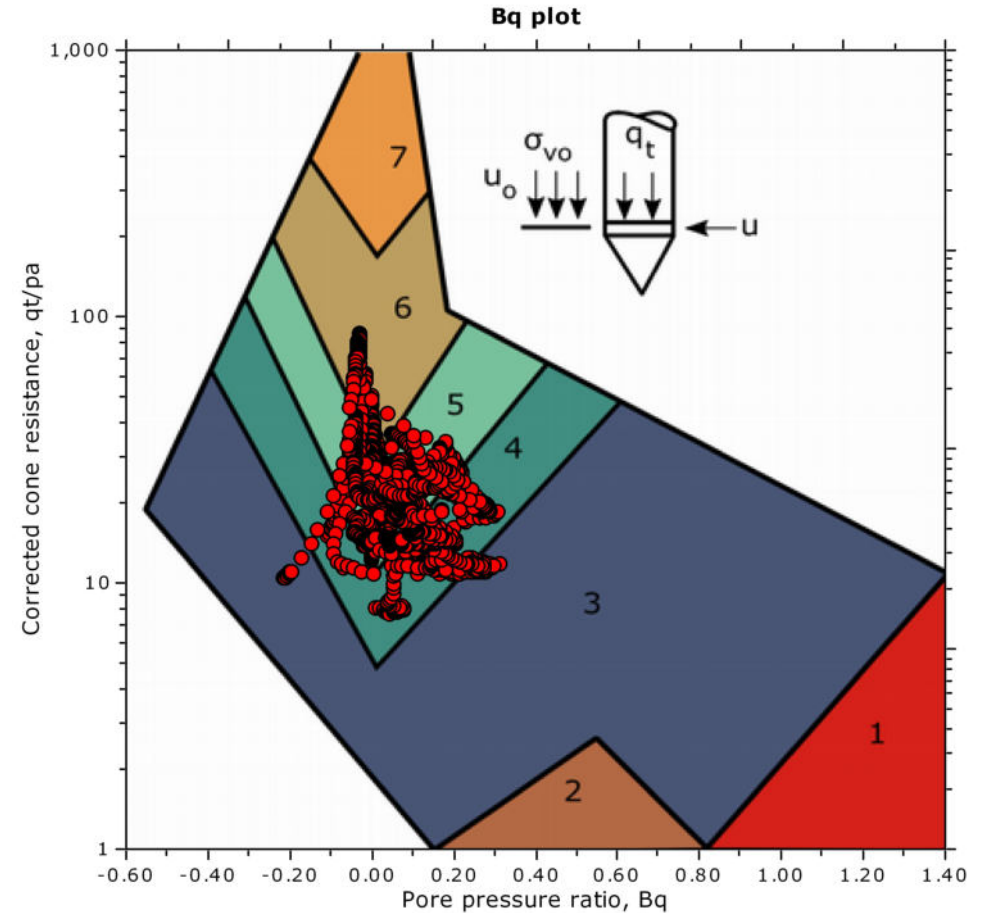
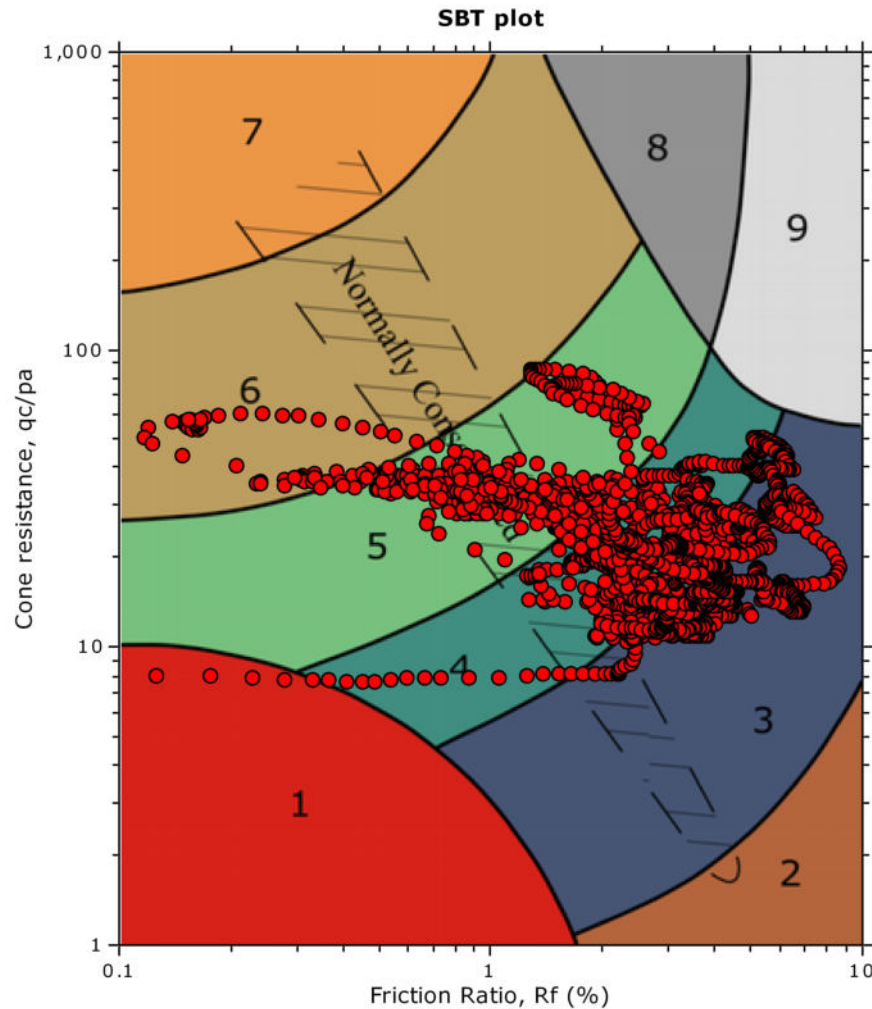


The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw qc and fs values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).

Cross correlation between qc & fs



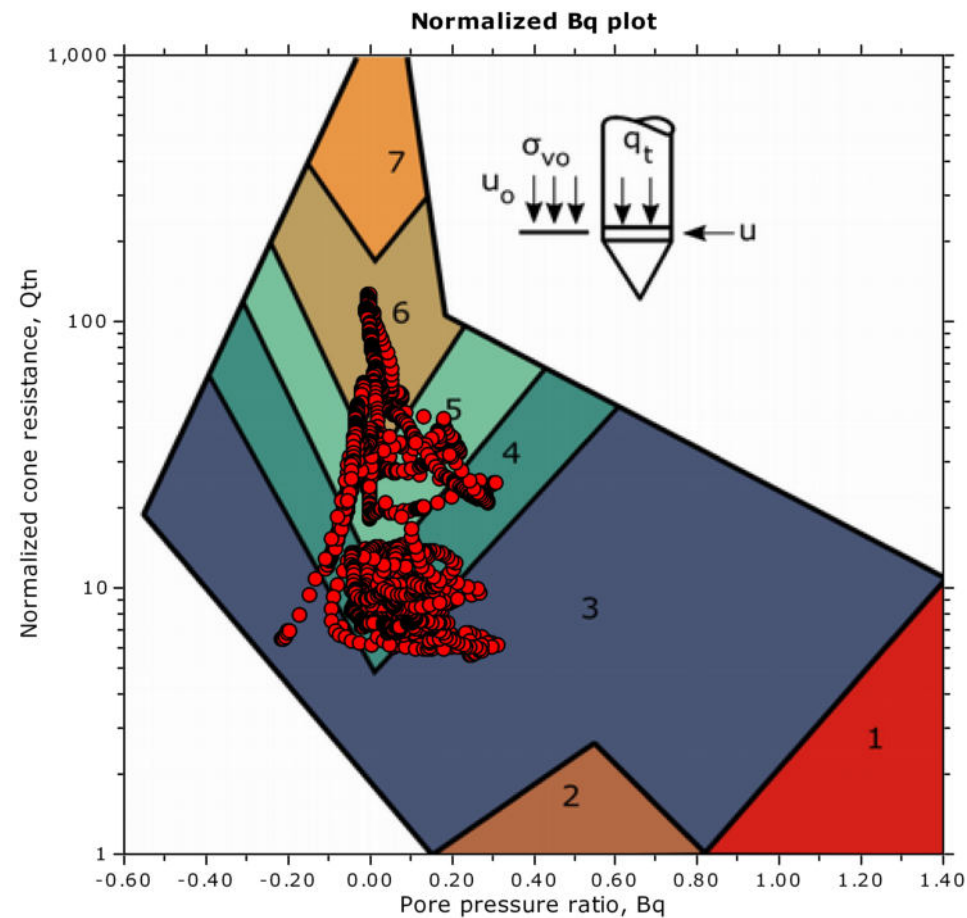
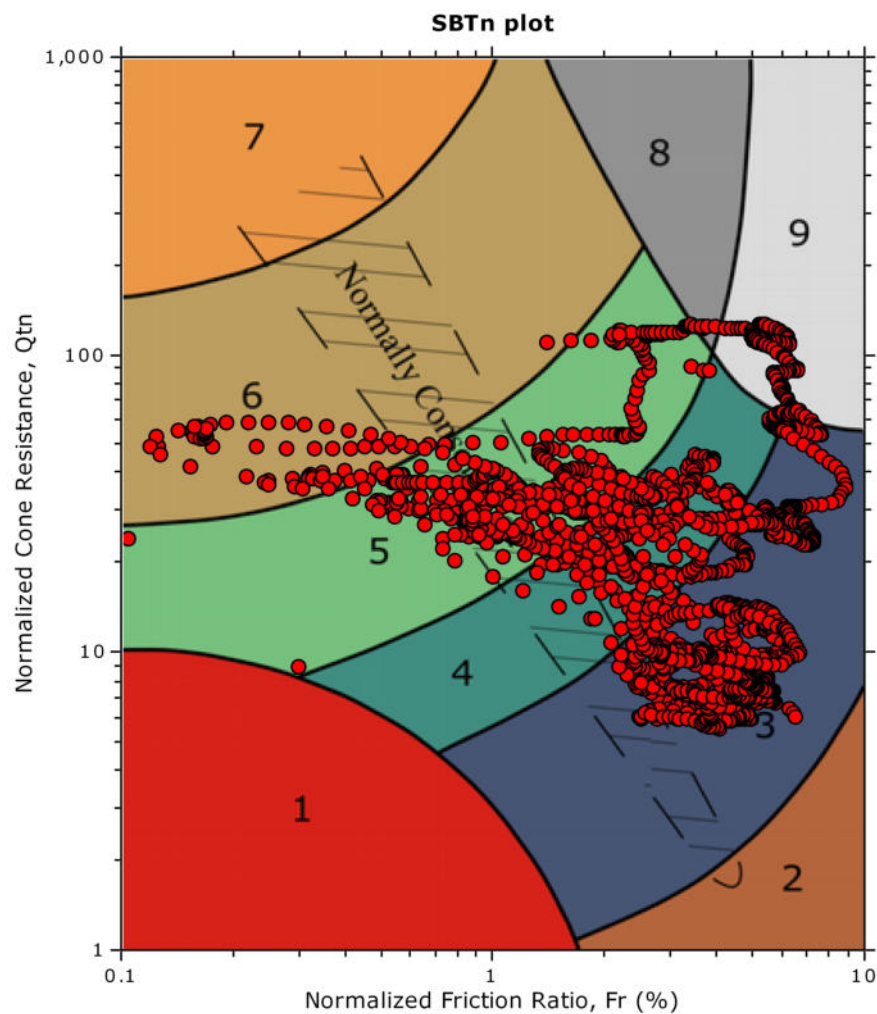
SBT - Bq plots



SBT legend

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

SBT - Bq plots (normalized)



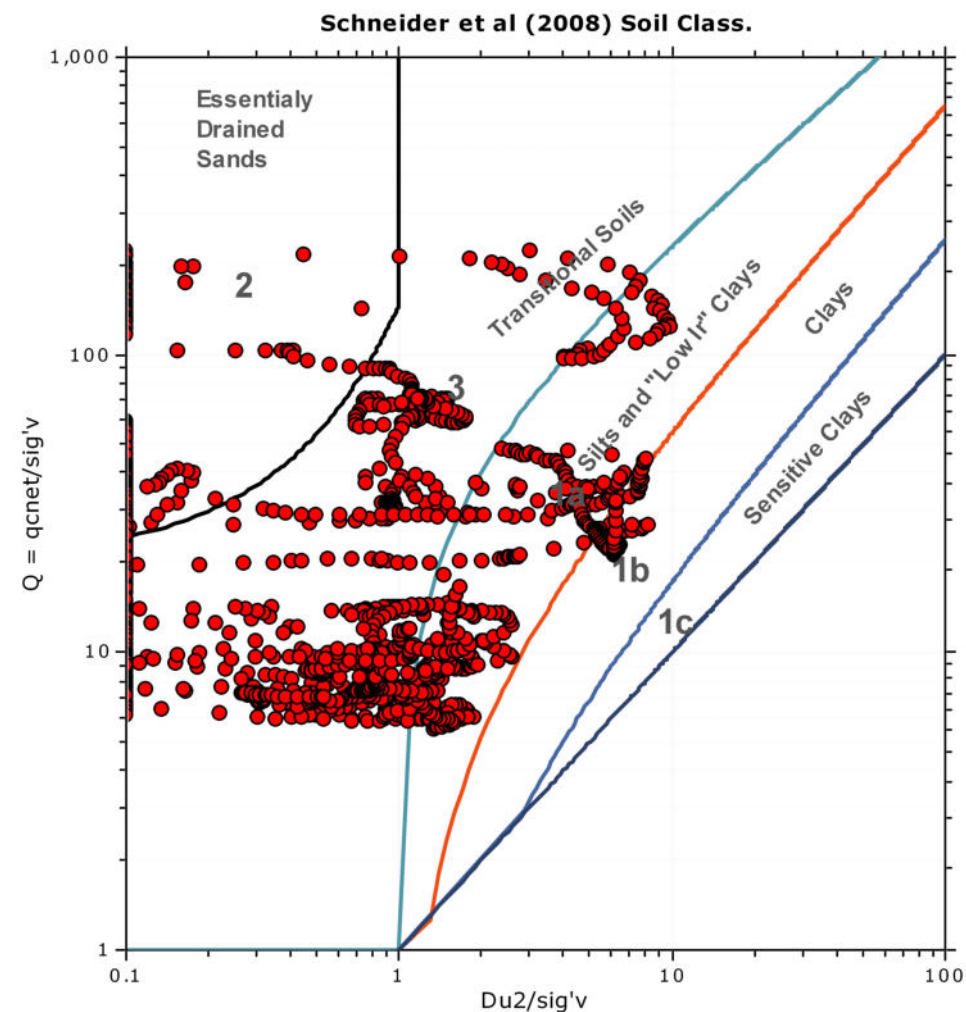
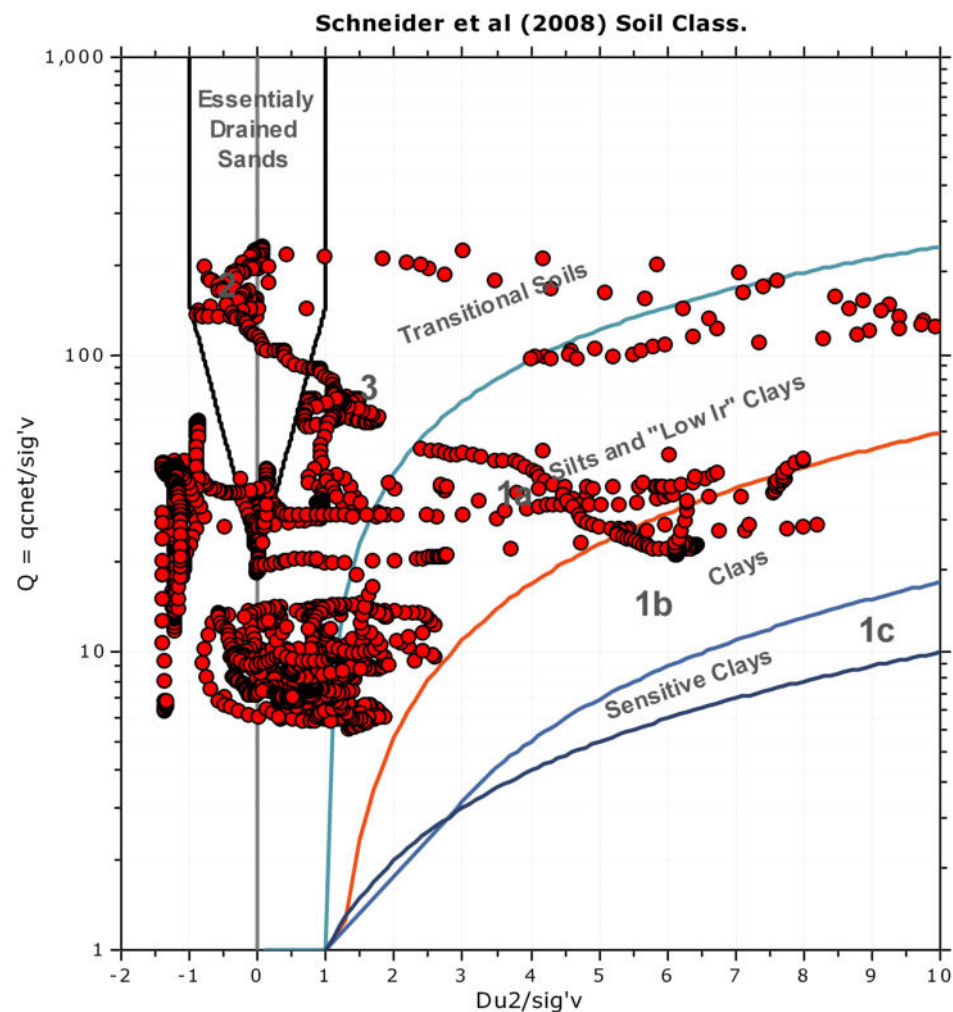
SBTn legend

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

Project:

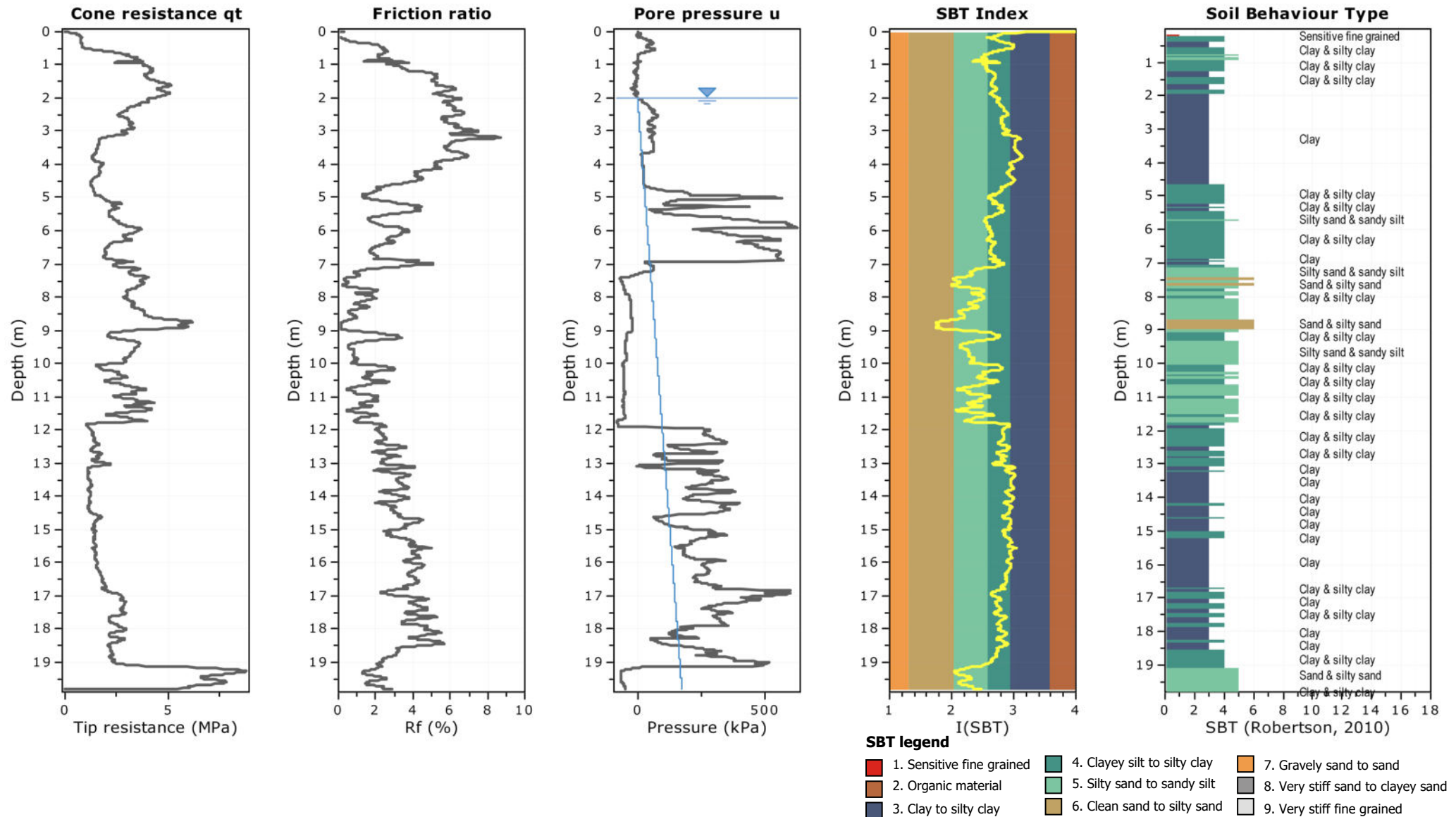
Location:

Bq plots (Schneider)



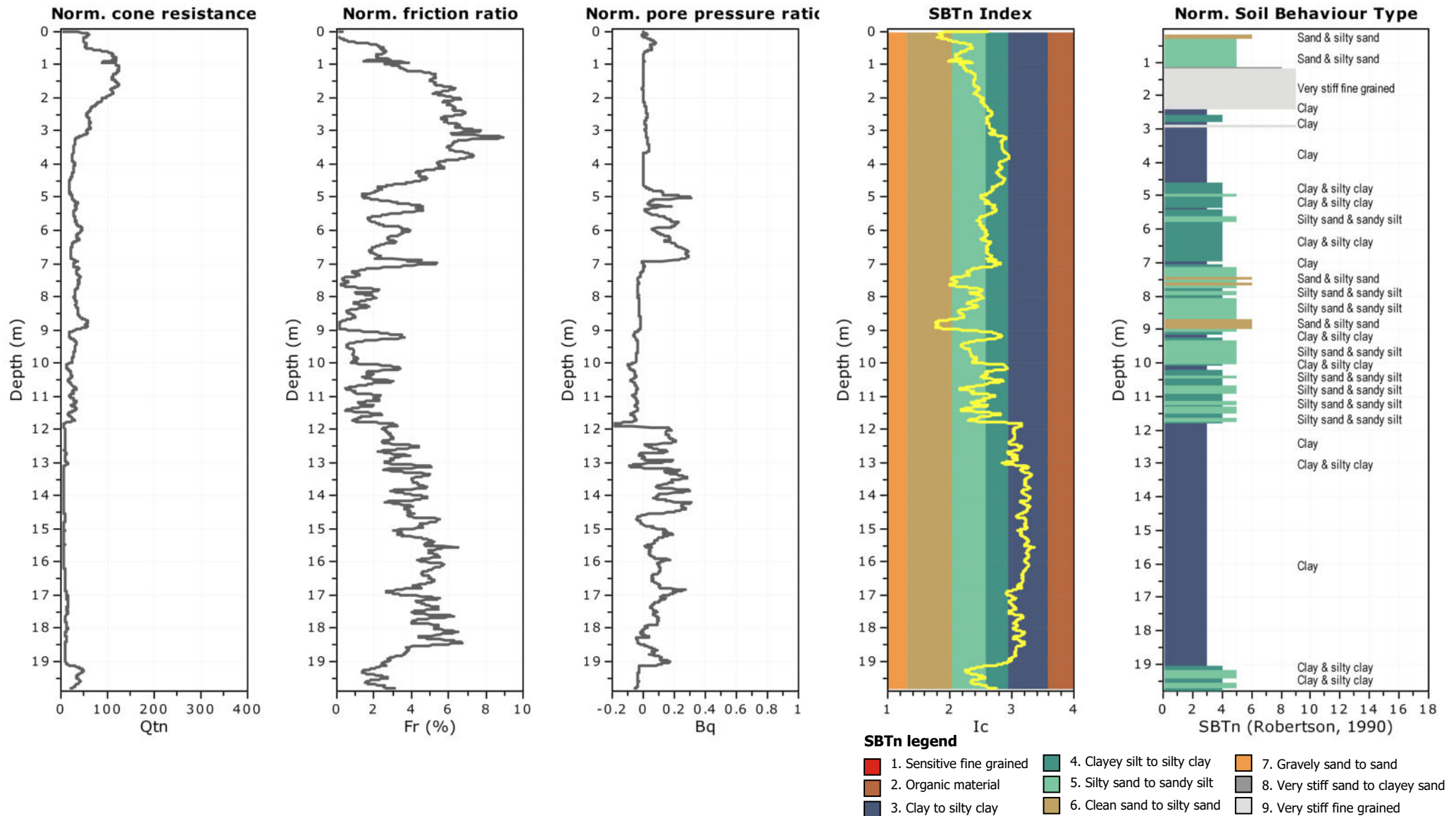
Project:

Location:



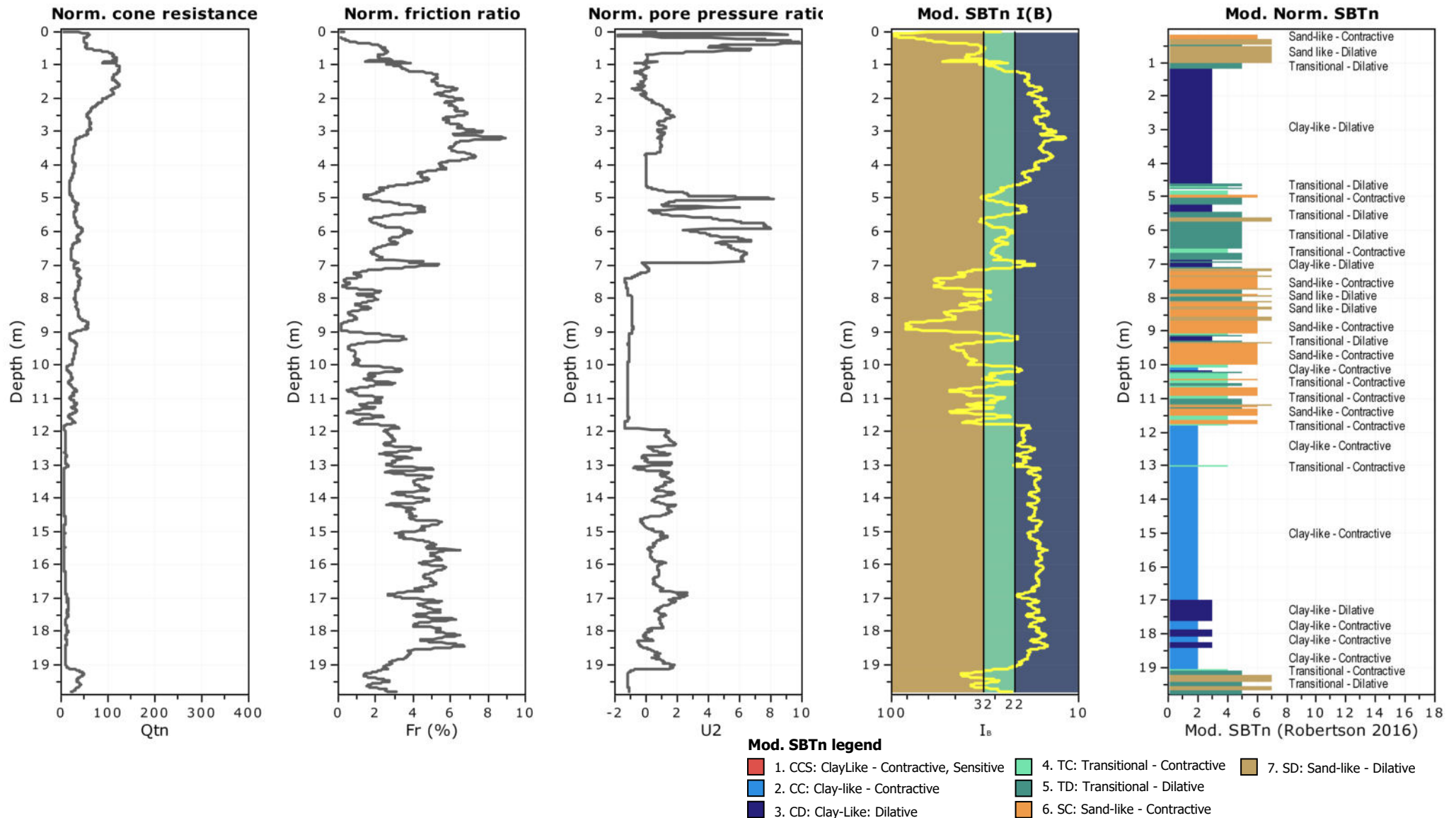
Project:

Location:

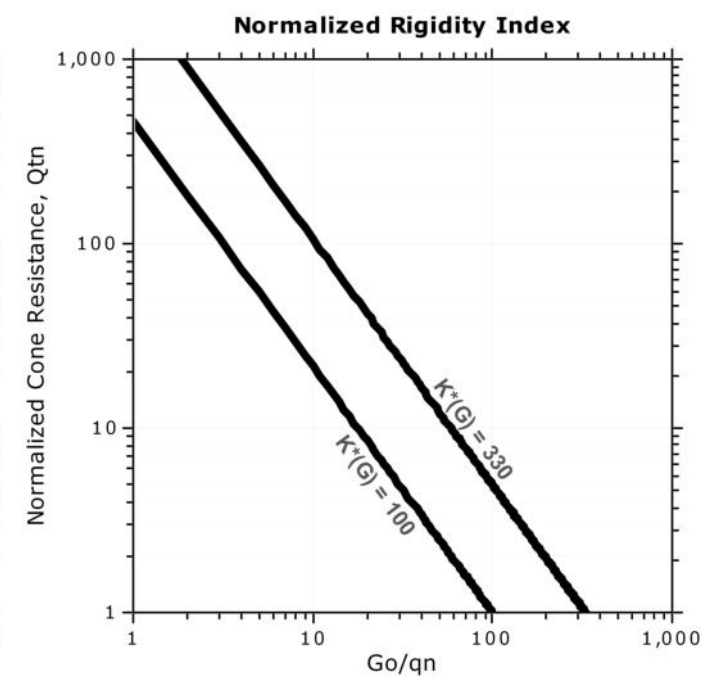
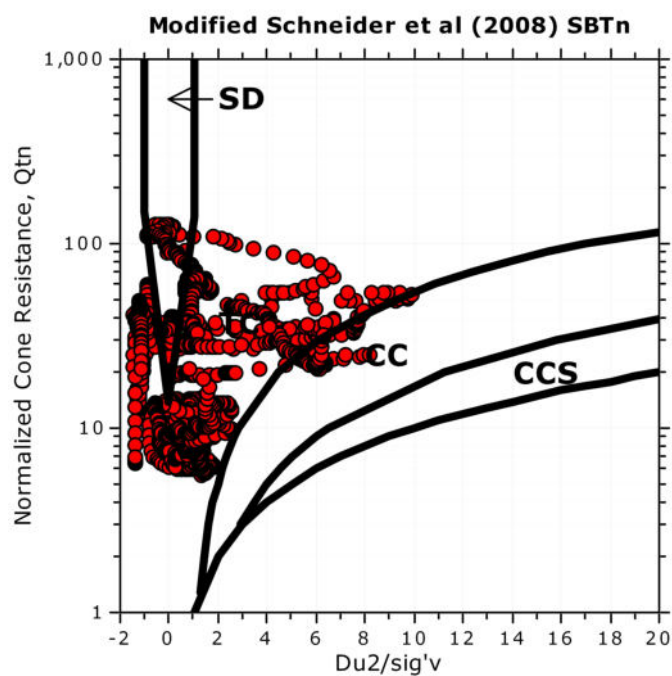
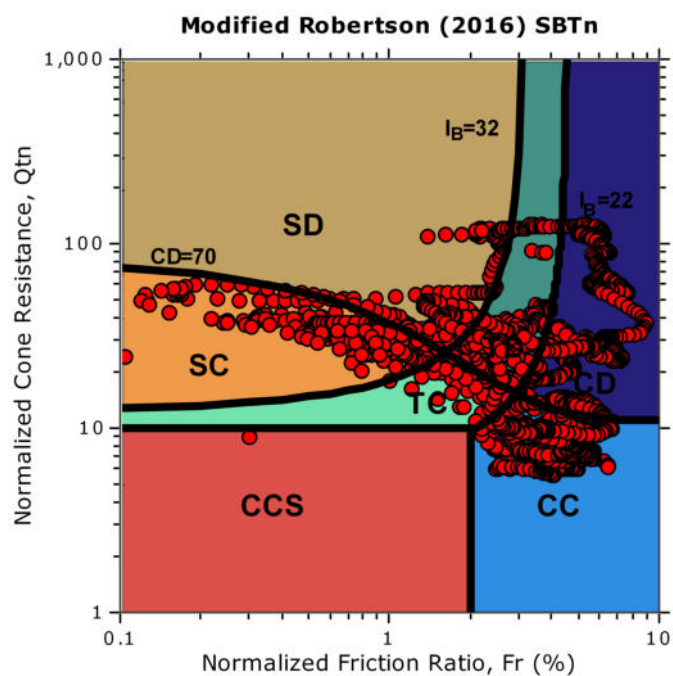


Project:

Location:



Updated SBTn plots



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

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

Andrea Basso geologo

via Lung'Orba Mazzini 95/18

15076 Ovada (AL)

Tel. 0143 86310 - Email: info@asgeologia.it

CPT: CPTu03

Total depth: 19.81 m, Date: 16/11/2023

Surface Elevation: 0.00 m

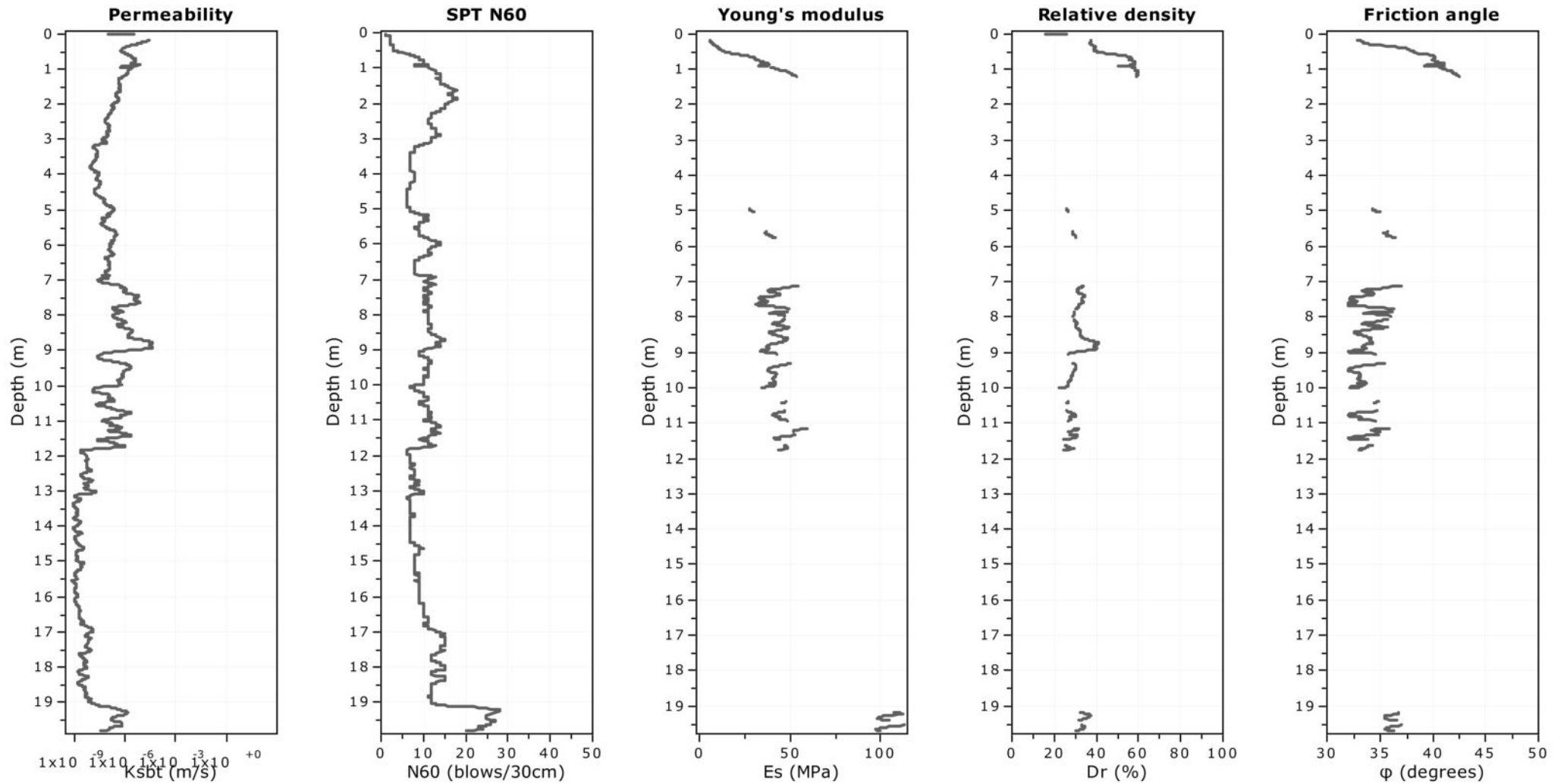
Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type:

Cone Operator:

Project:

Location:



Calculation parameters

Permeability: Based on SBT_n

SPT N₆₀: Based on I_c and q_t

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

Relative density constant, C_{Dr}: 350.0

Phi: Based on Kulhawy & Mayne (1990)

Andrea Basso geologo

via Lung'Orba Mazzini 95/18

15076 Ovada (AL)

Tel. 0143 86310 - Email: info@asgeologia.it

Project:

Location:

CPT: CPTu03

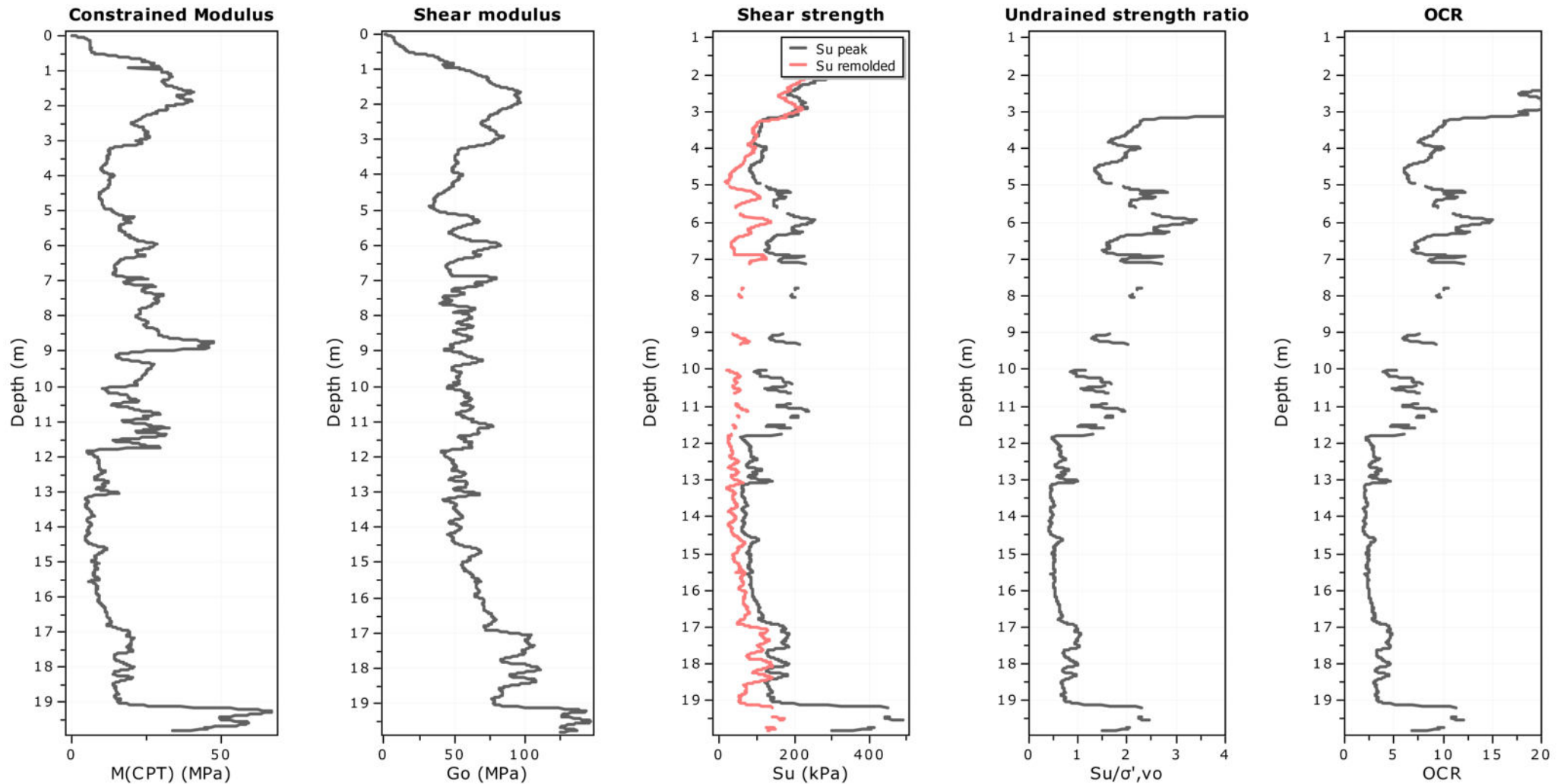
Total depth: 19.81 m, Date: 16/11/2023

Surface Elevation: 0.00 m

Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type:

Cone Operator:



Calculation parameters

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

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

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

OCR factor for clays, N_{kt} : 0.33

—●— Flat Dilatometer Test data

Andrea Basso geologo

via Lung'Orba Mazzini 95/18

15076 Ovada (AL)

Tel. 0143 86310 - Email: info@asgeologia.it

Project:

Location:

CPT: CPTu03

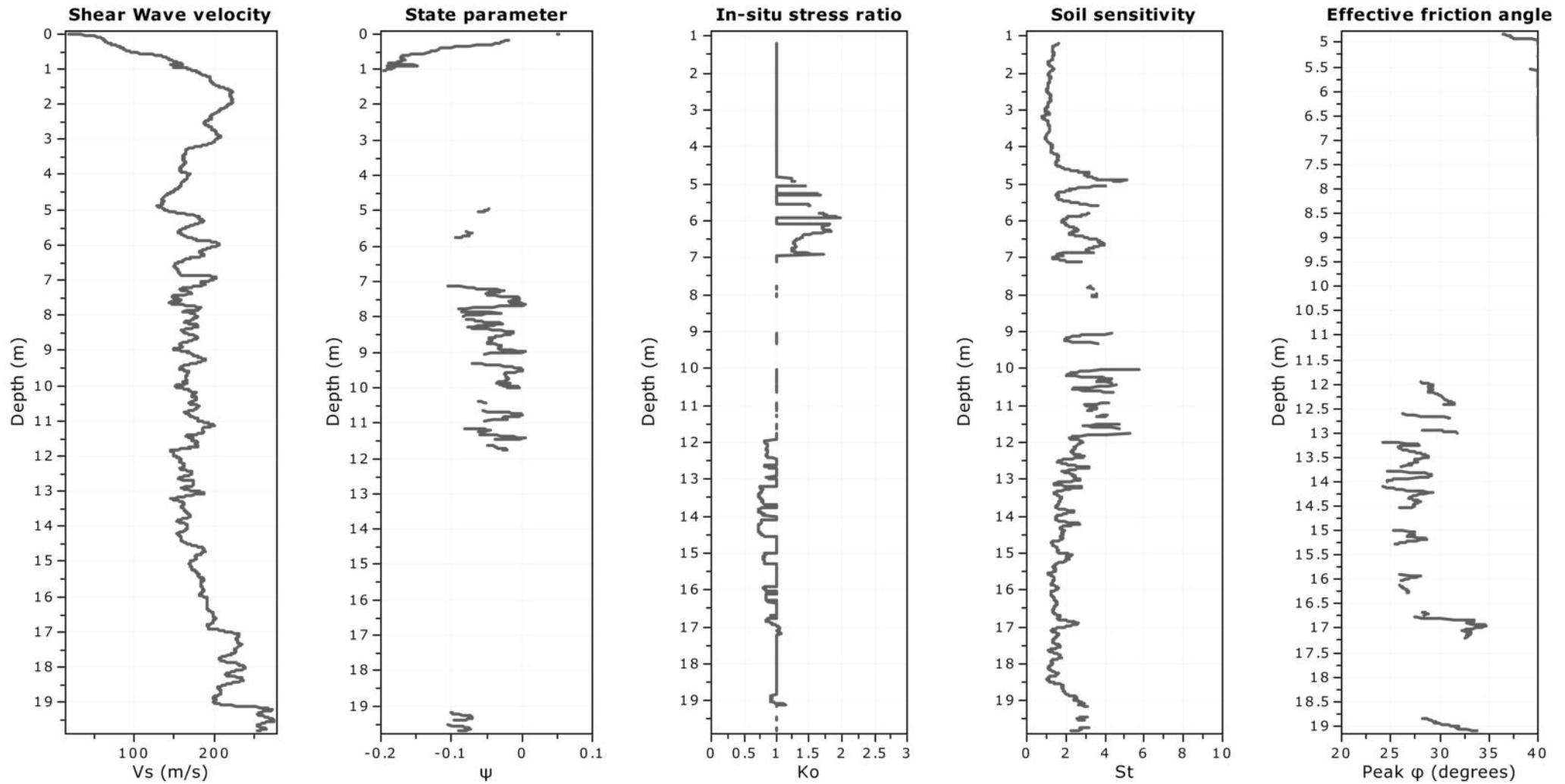
Total depth: 19.81 m, Date: 16/11/2023

Surface Elevation: 0.00 m

Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type:

Cone Operator:

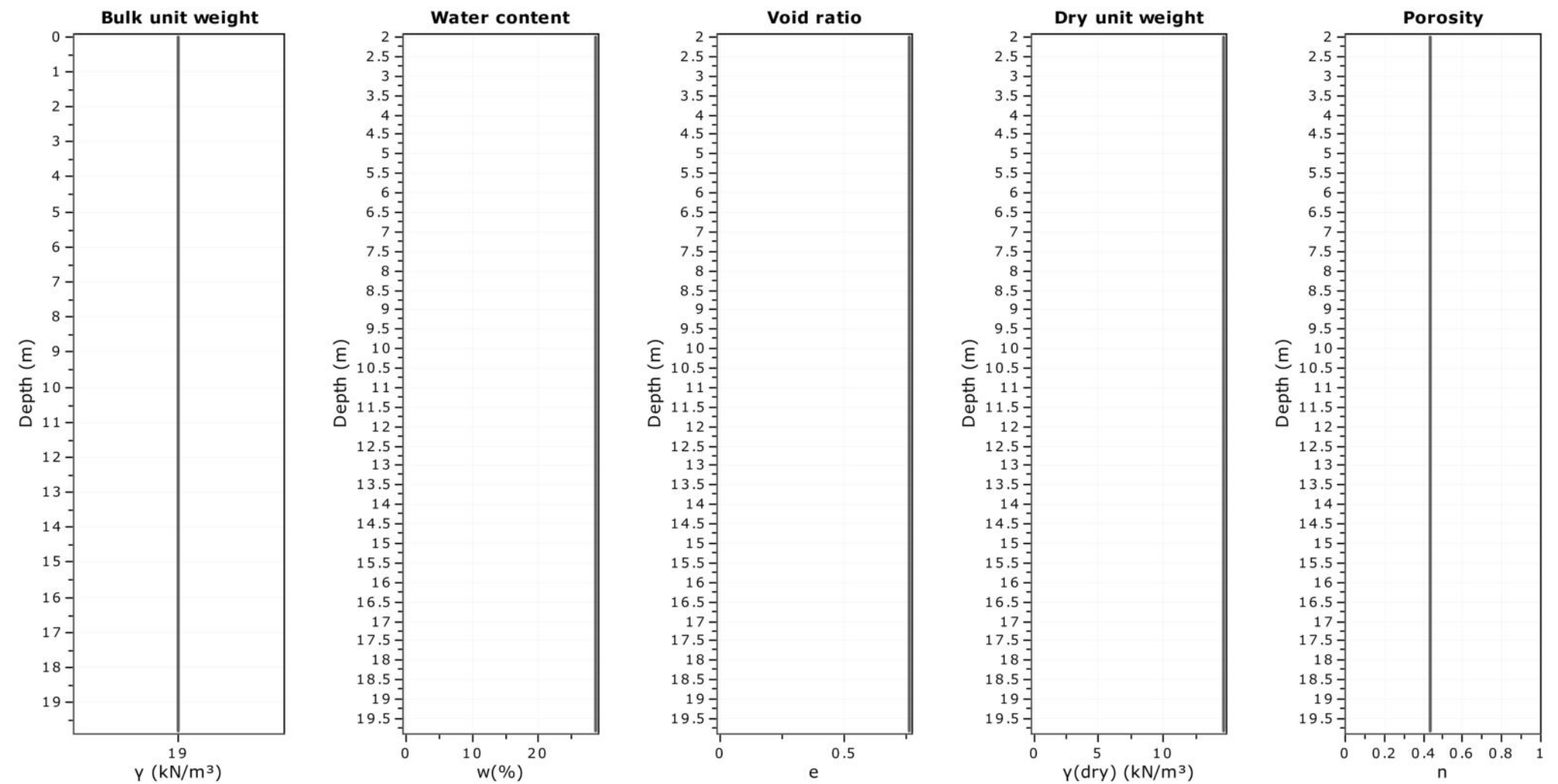


Calculation parameters

Soil Sensitivity factor, N_s : 7.00

Project:
Location:

Total depth: 19.81 m, Date: 16/11/2023
 Surface Elevation: 0.00 m
 Coords: X:0.00, Y:0.00
 Cone Type:
 Cone Operator:



Andrea Basso geologo

via Lung'Orba Mazzini 95/18

15076 Ovada (AL)

Tel. 0143 86310 - Email: info@asgeologia.it

Project:

Location:

CPT: CPTu03

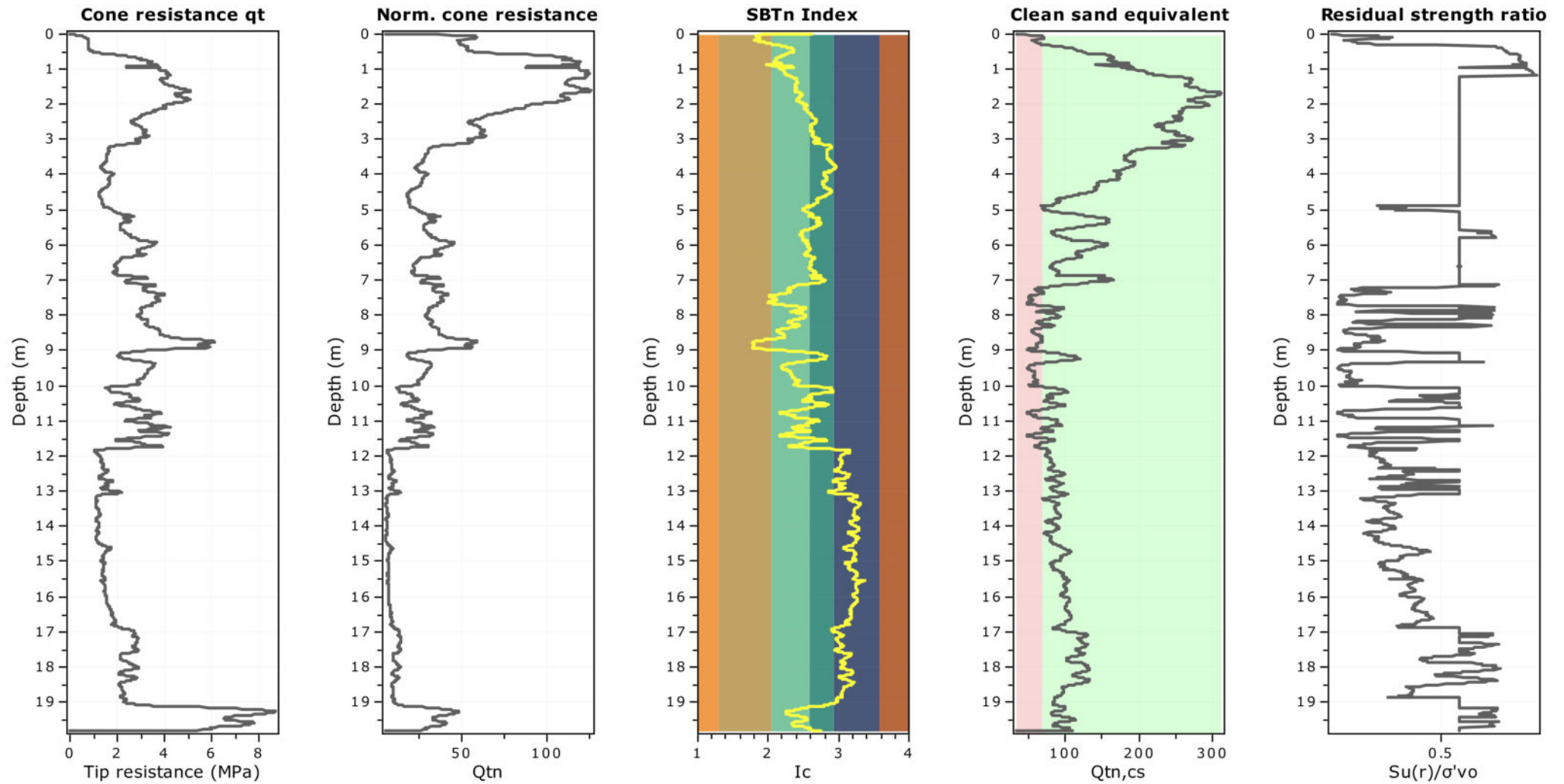
Total depth: 19.81 m, Date: 16/11/2023

Surface Elevation: 0.00 m

Coords: X:0.00, Y:0.00

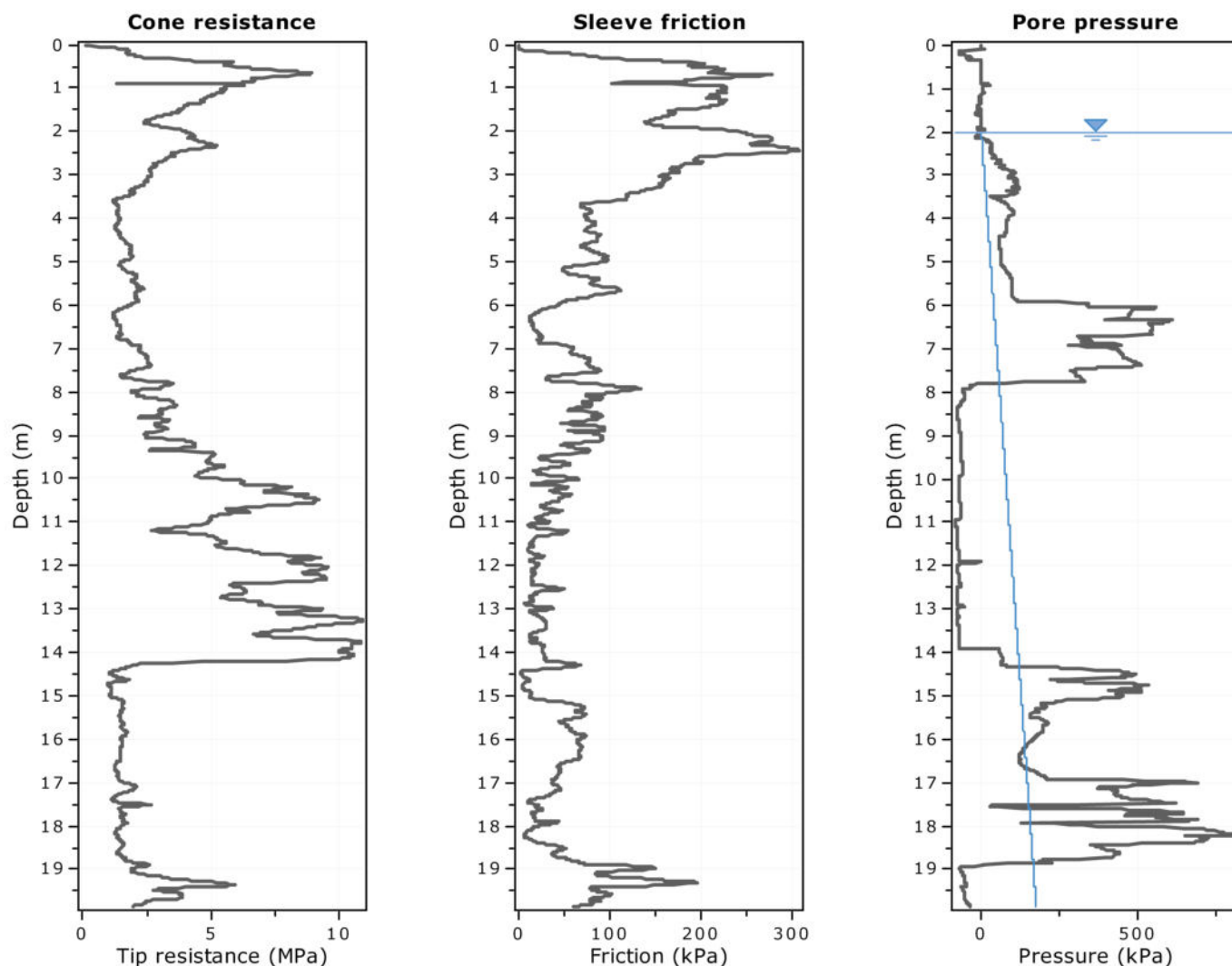
Cone Type:

Cone Operator:



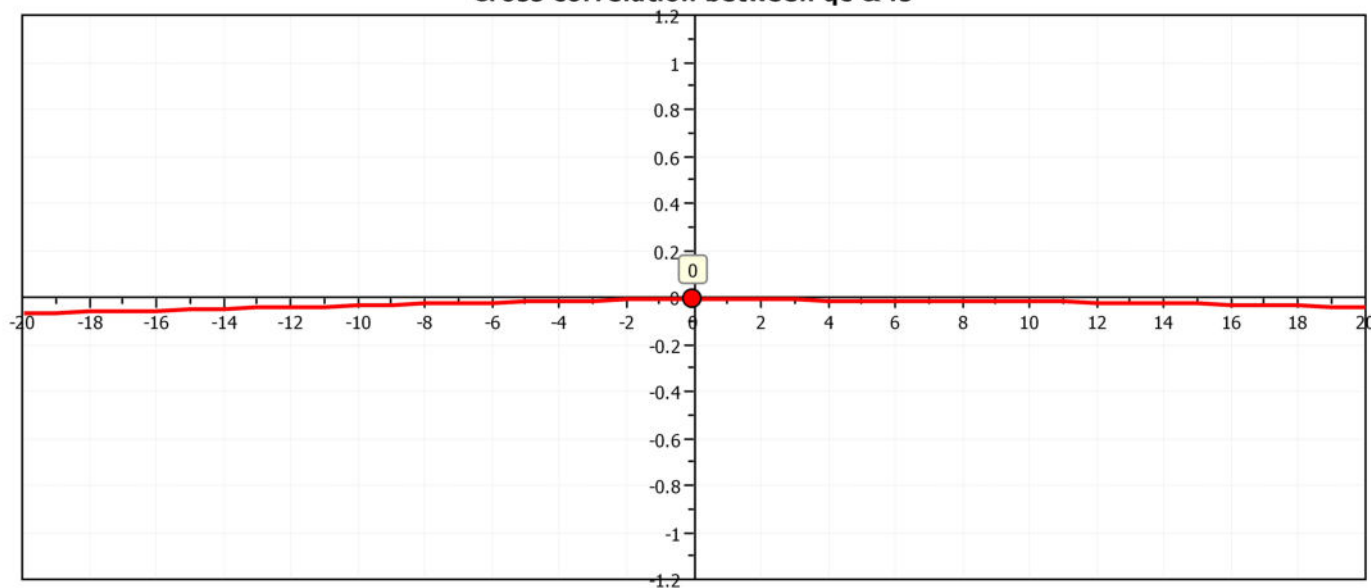
Project:

Location:



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

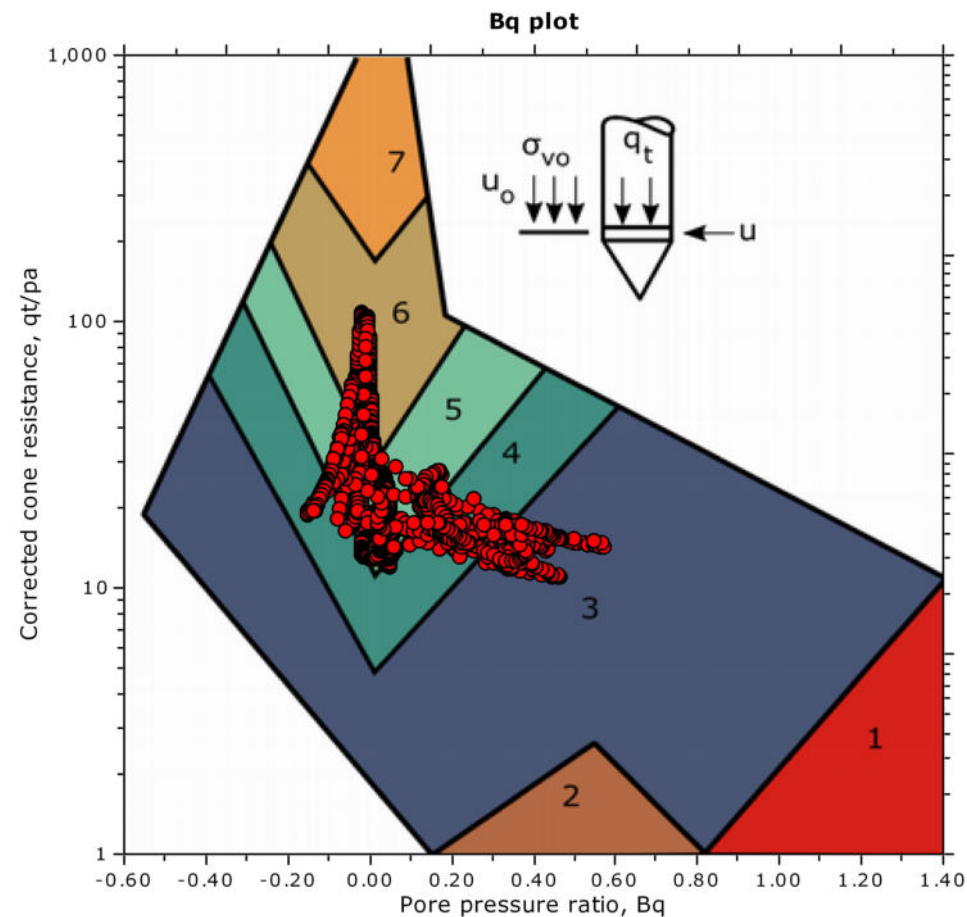
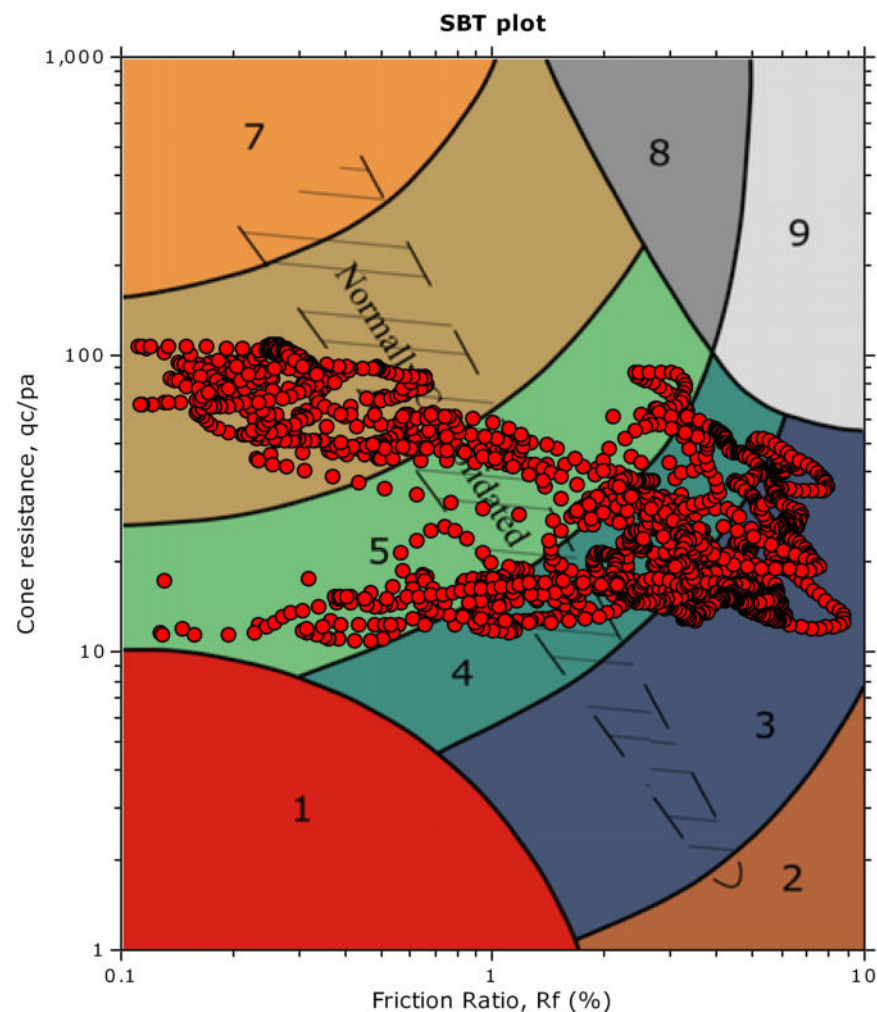
Cross correlation between q_c & f_s



Project:

Location:

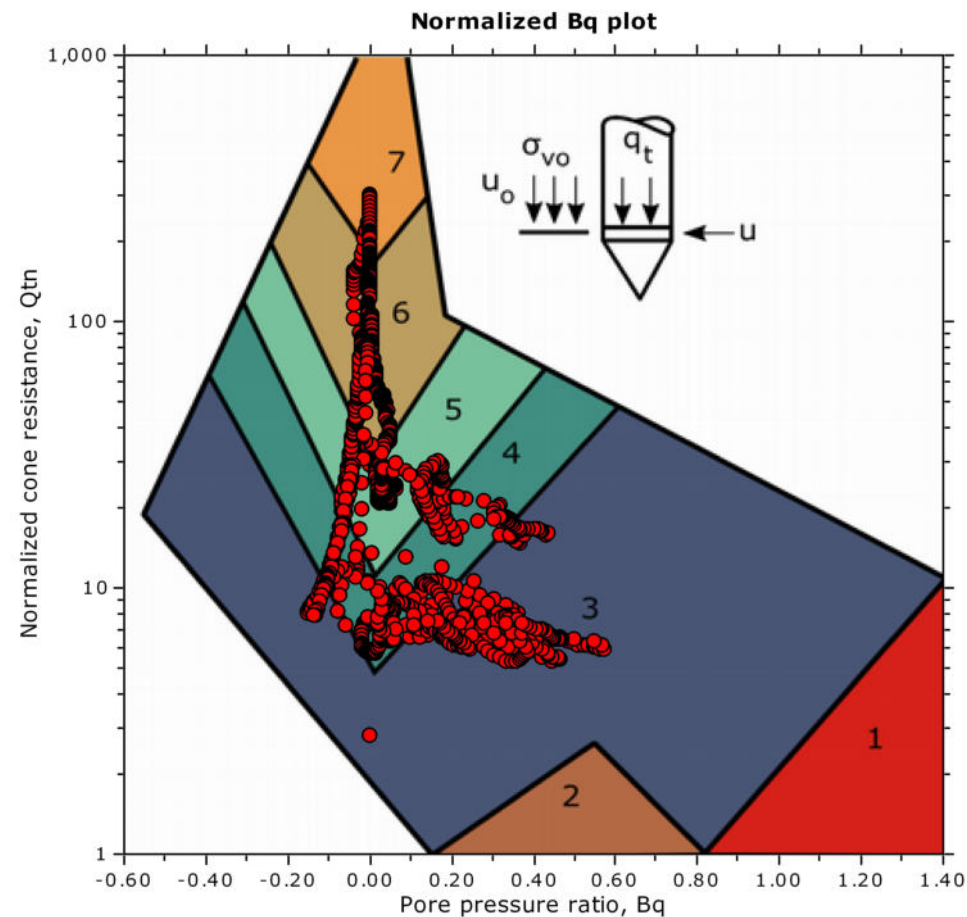
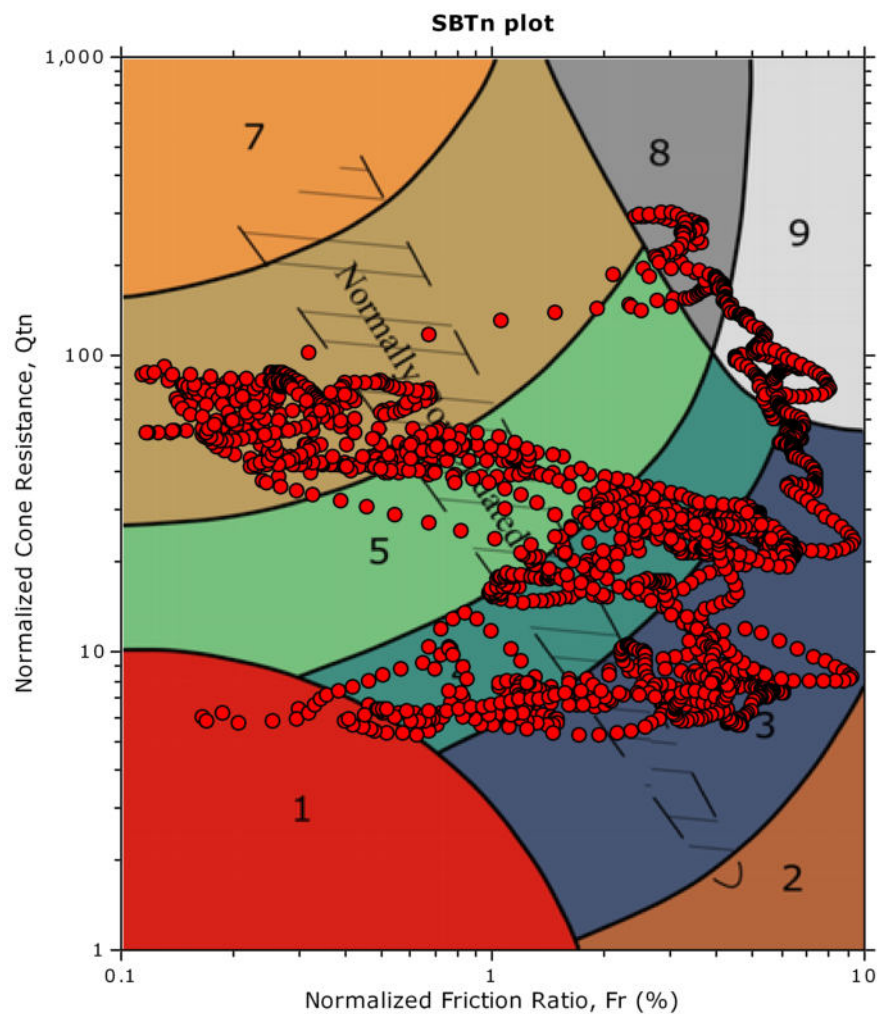
SBT - Bq plots



SBT legend

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

SBT - Bq plots (normalized)



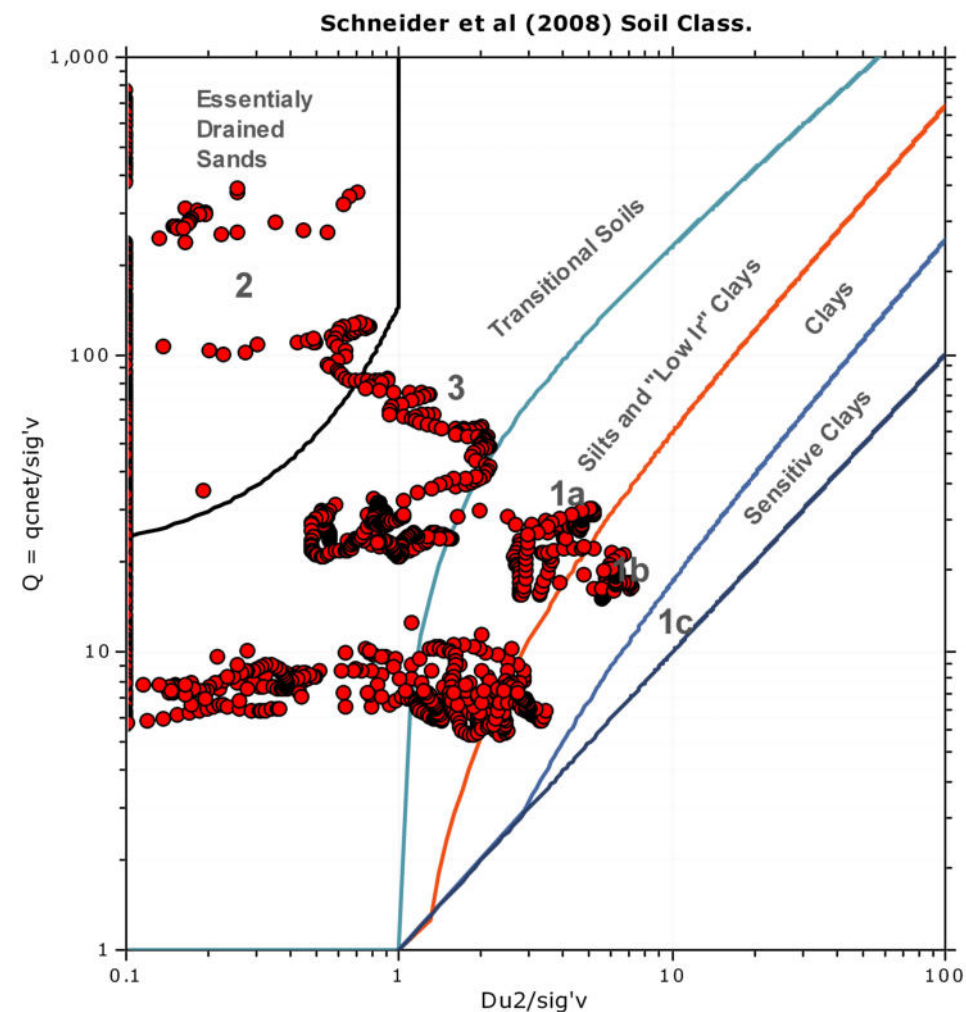
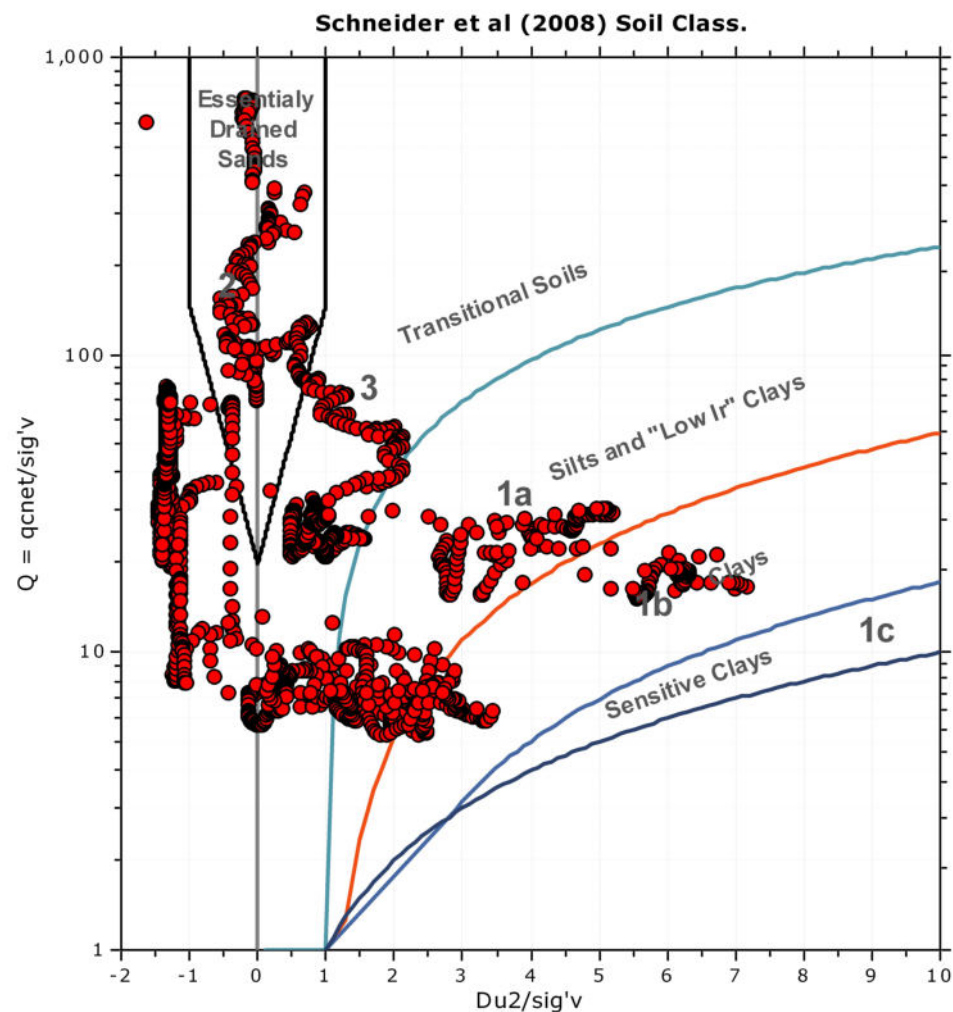
SBTn legend

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

Project:

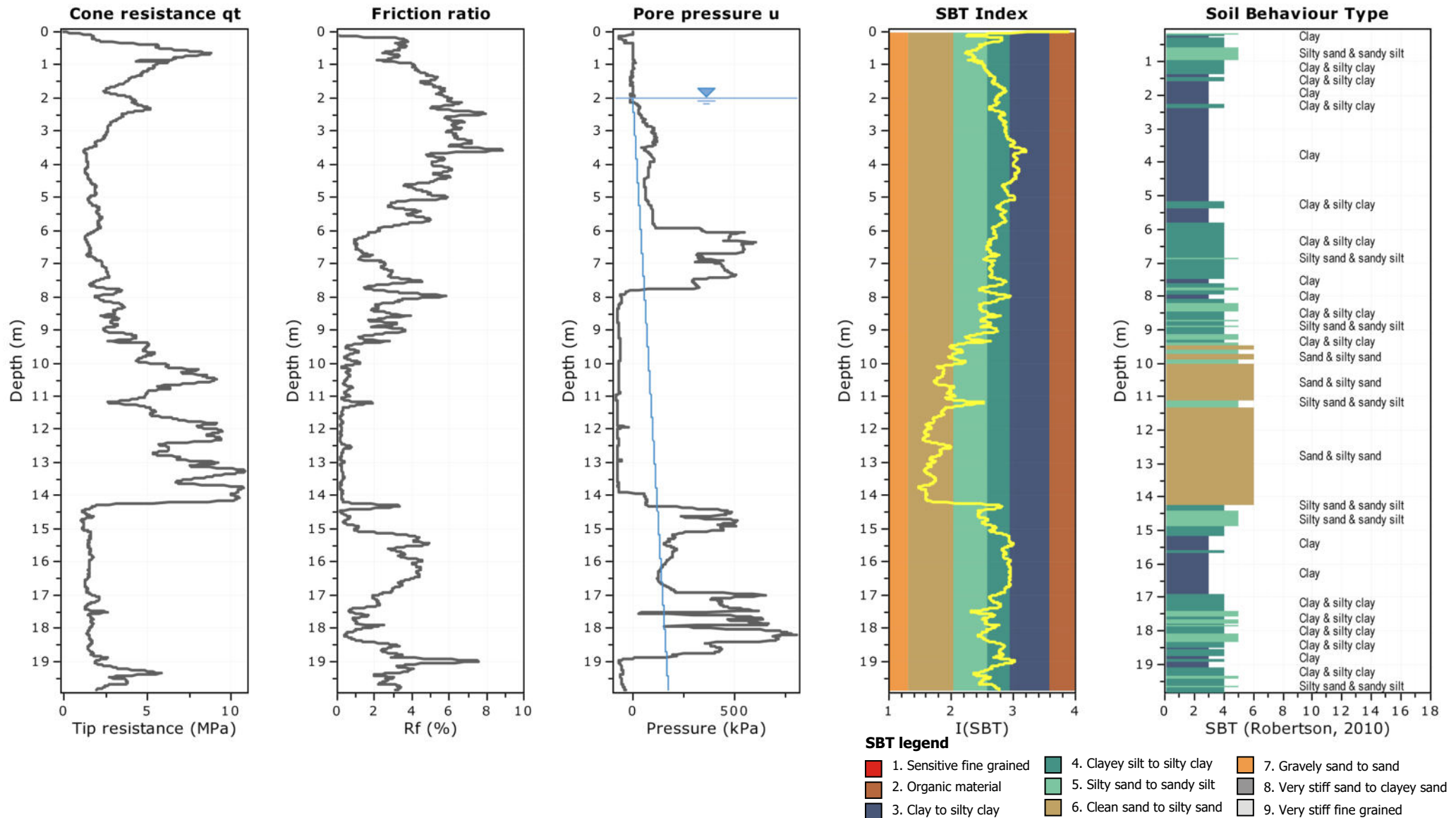
Location:

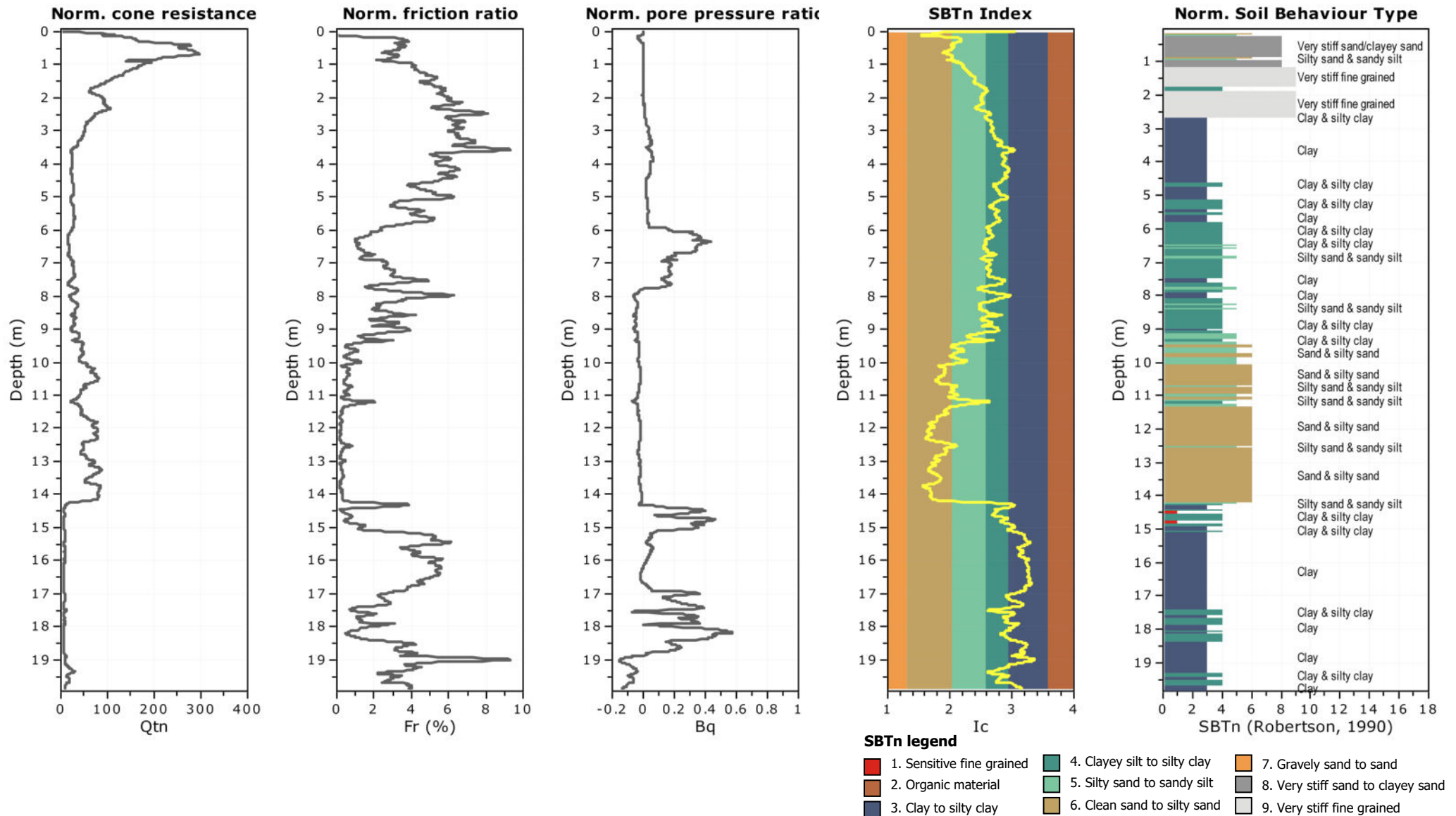
Bq plots (Schneider)

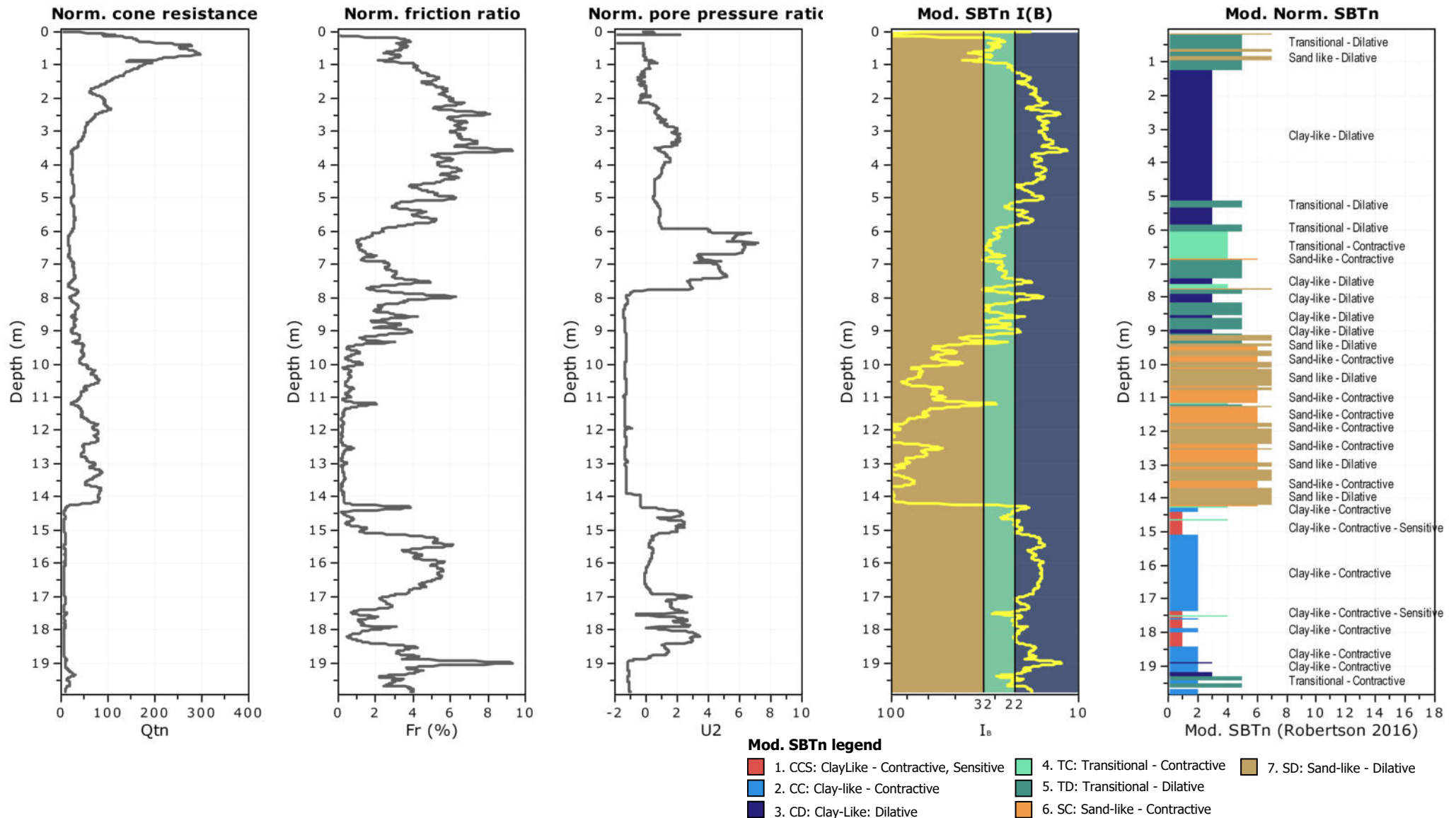


Project:

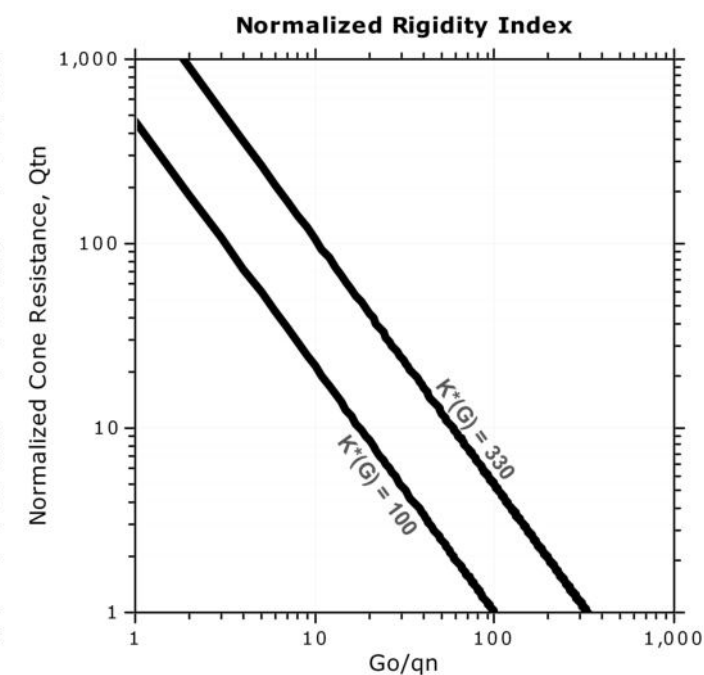
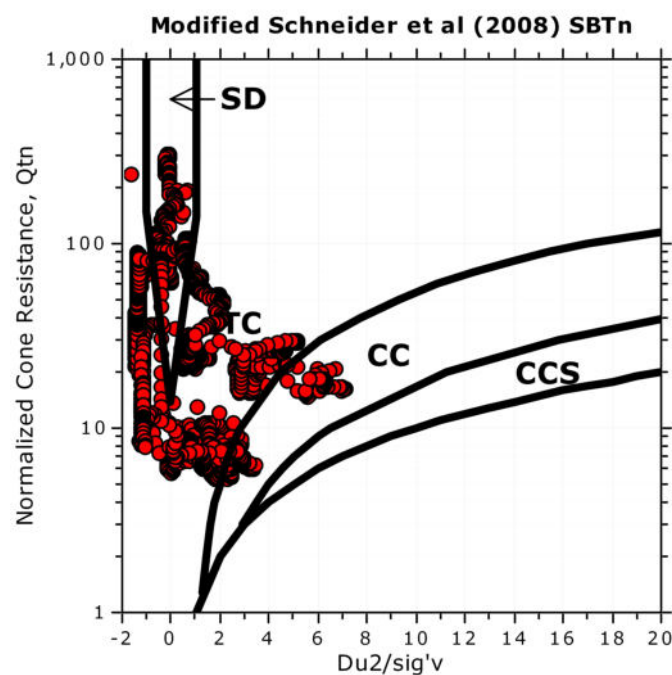
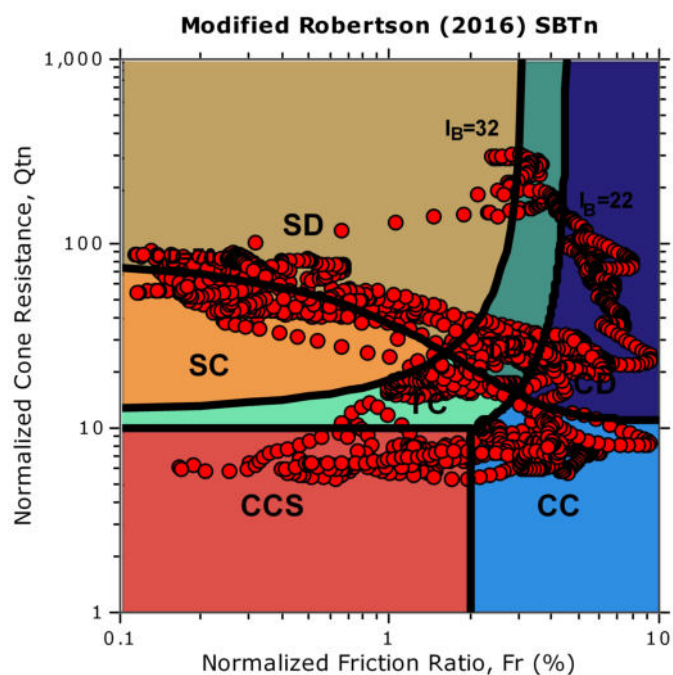
Location:







Updated SBTn plots



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

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

Andrea Basso geologo

via Lung'Orba Mazzini 95/18

15076 Ovada (AL)

Tel. 0143 86310 - Email: info@asgeologia.it

CPT: CPTu04

Total depth: 19.86 m, Date: 16/11/2023

Surface Elevation: 0.00 m

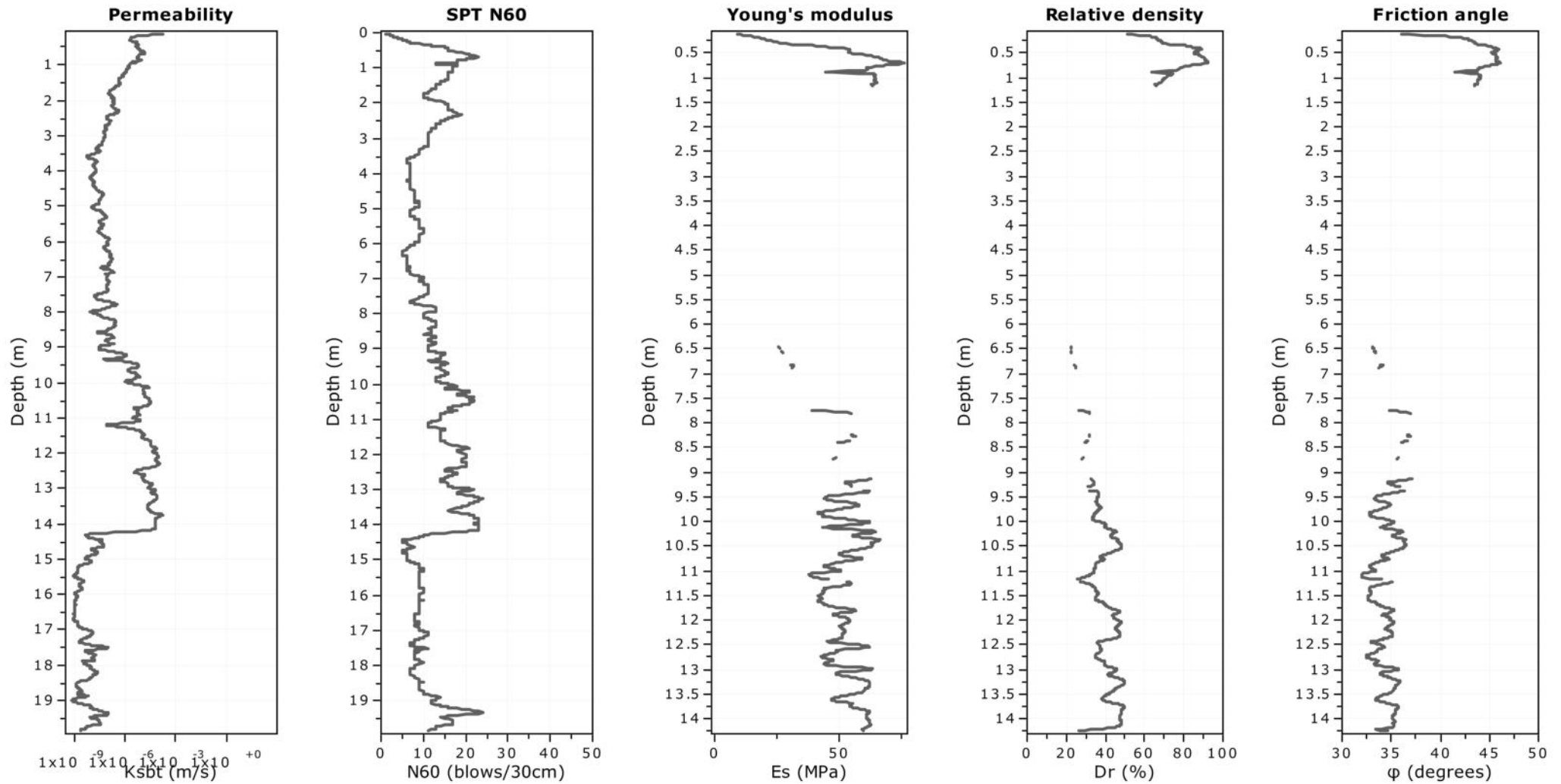
Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type:

Cone Operator:

Project:

Location:



Calculation parameters

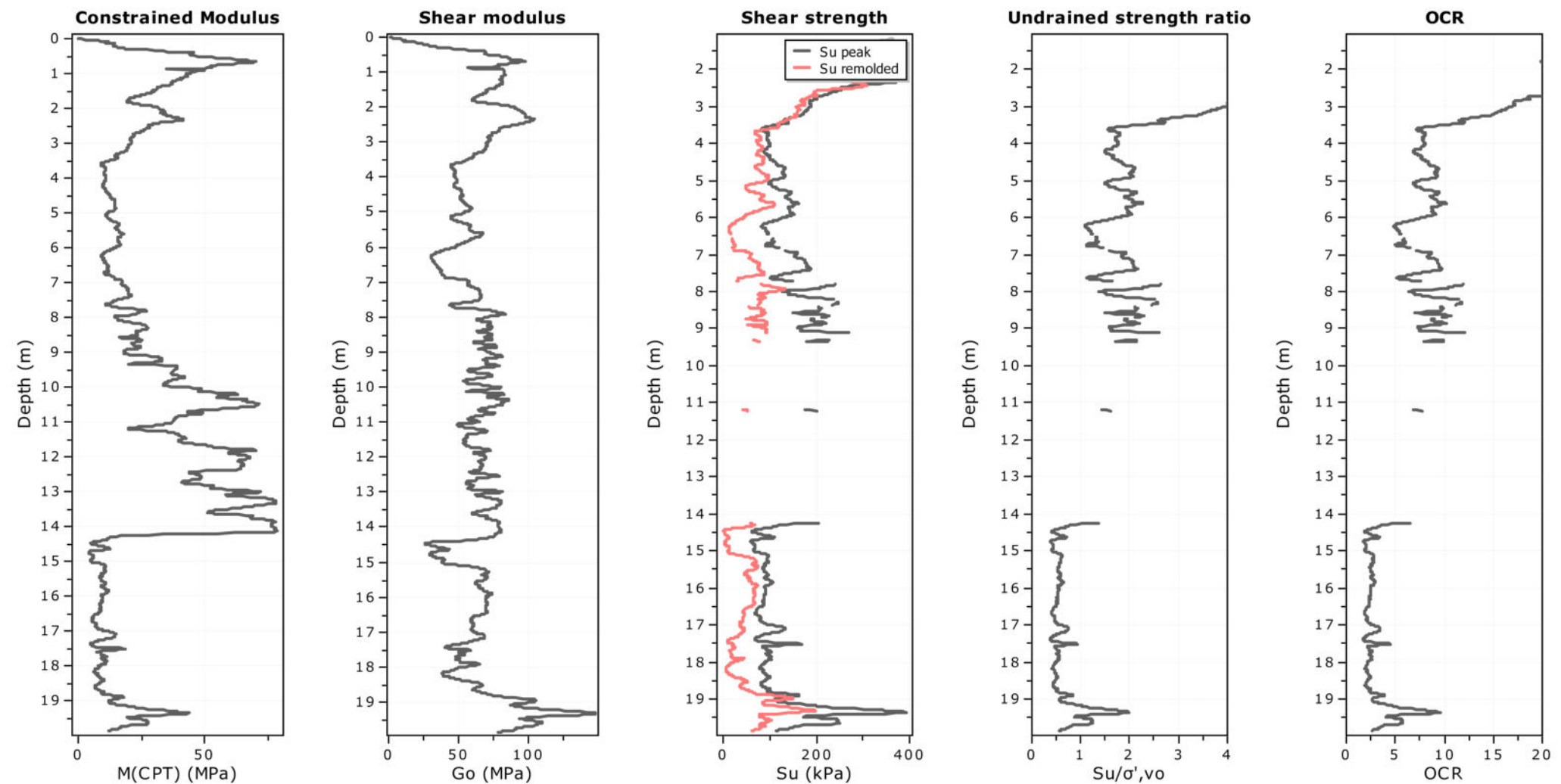
Permeability: Based on SBT_n

SPT N_{60} : Based on I_c and q_t

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

Relative density constant, C_{Dr} : 350.0

Phi: Based on Kulhawy & Mayne (1990)



Calculation parameters
 Constrained modulus: Based on variable alpha using I_c and Q_{tn} (Robertson, 2009)
 Go: Based on variable alpha using I_c (Robertson, 2009)
 Undrained shear strength cone factor for clays, N_{kt} : 14
 OCR factor for clays, N_{kt} : 0.33
 —●— Flat Dilatometer Test data

Andrea Basso geologo

via Lung'Orba Mazzini 95/18

15076 Ovada (AL)

Tel. 0143 86310 - Email: info@asgeologia.it

Project:

Location:

CPT: CPTu04

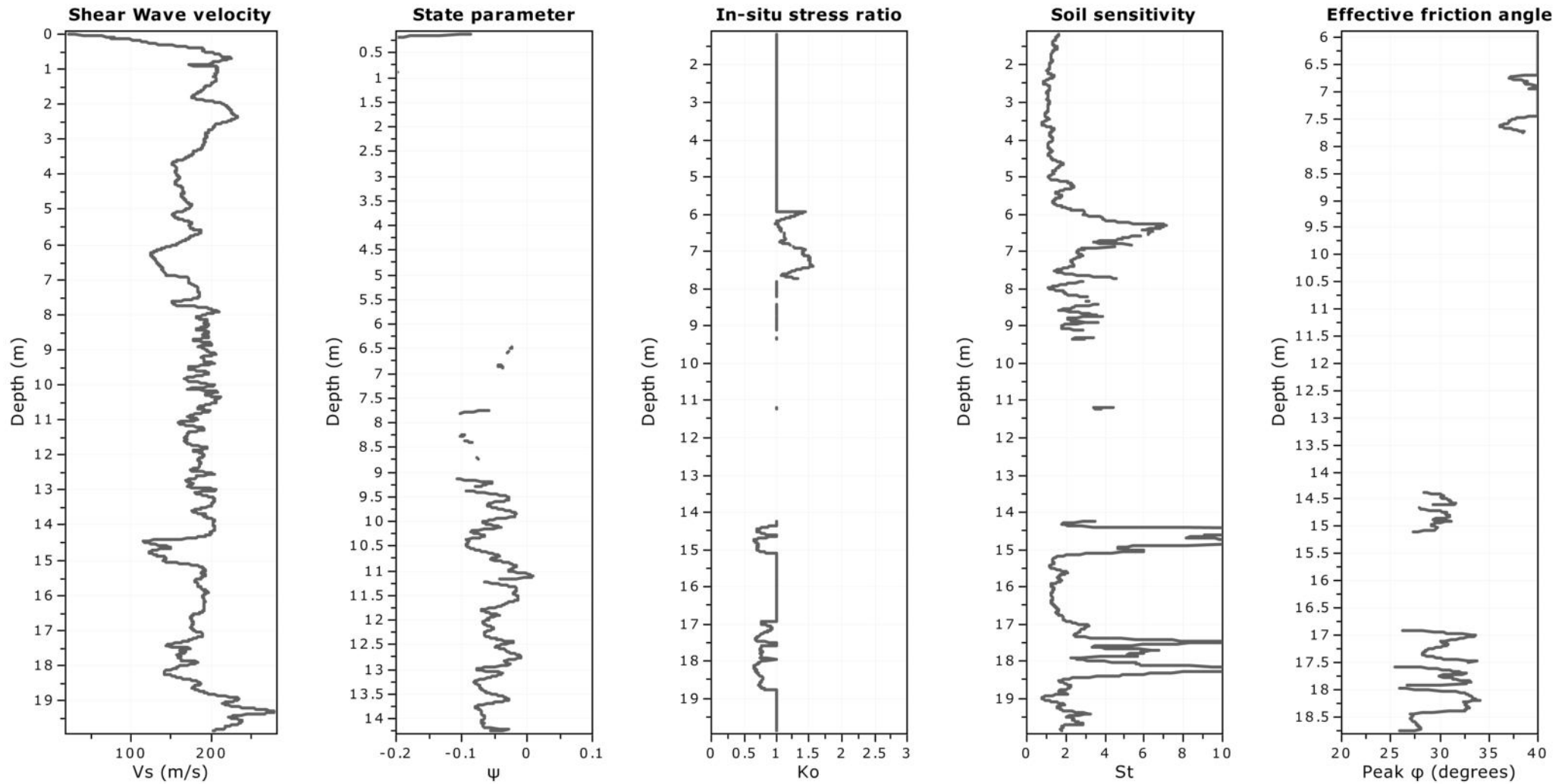
Total depth: 19.86 m, Date: 16/11/2023

Surface Elevation: 0.00 m

Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type:

Cone Operator:



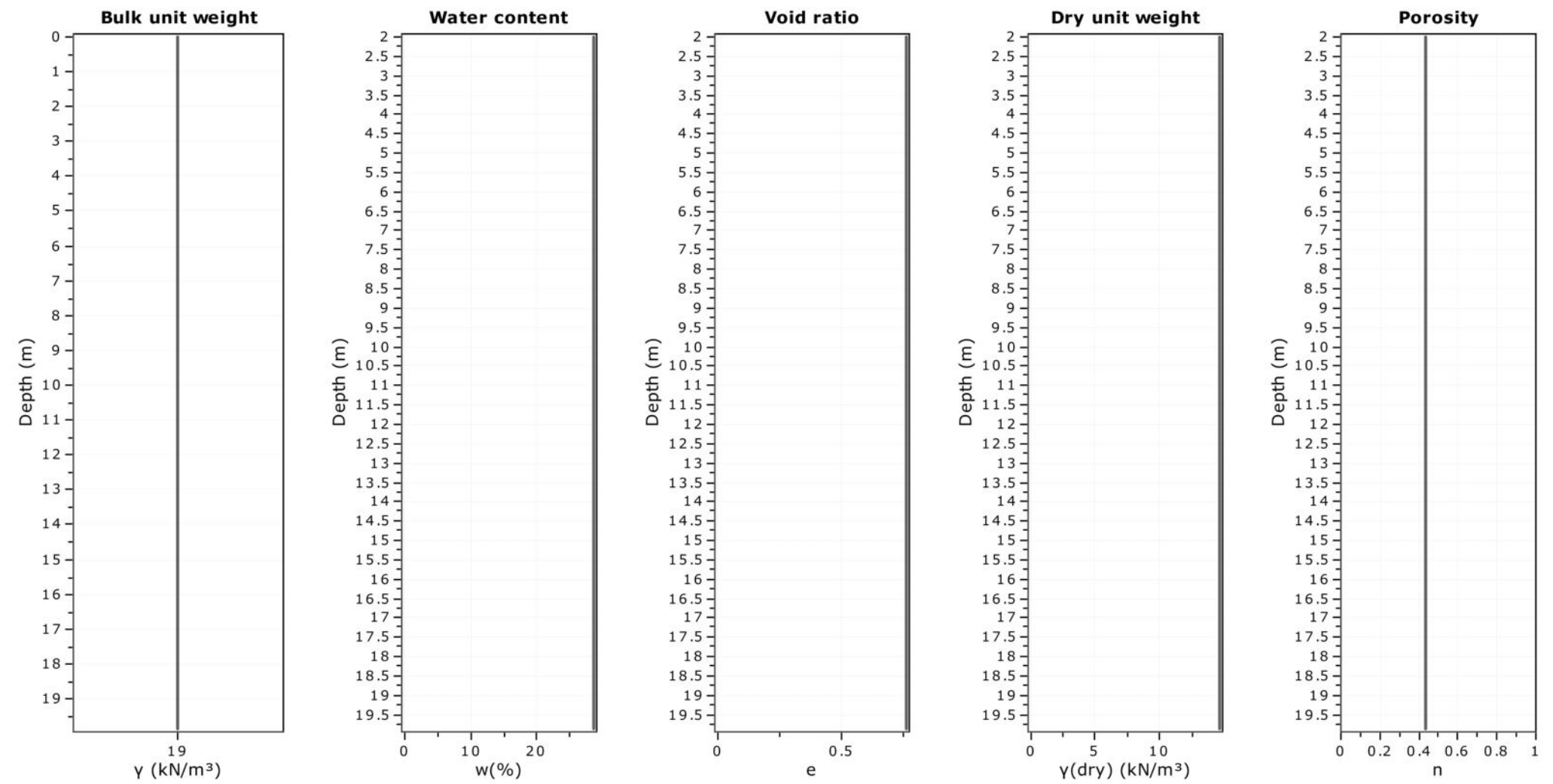
Calculation parameters

Soil Sensitivity factor, N_s : 7.00

Andrea Basso geologo
via Lung'Orba Mazzini 95/18
15076 Ovada (AL)
Tel. 0143 86310 - Email: info@asgeologia.it

Project:
Location:

CPT: CPTu04
Total depth: 19.86 m, Date: 16/11/2023
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type:
Cone Operator:



Andrea Basso geologo

via Lung'Orba Mazzini 95/18

15076 Ovada (AL)

Tel. 0143 86310 - Email: info@asgeologia.it

Project:

Location:

CPT: CPTu04

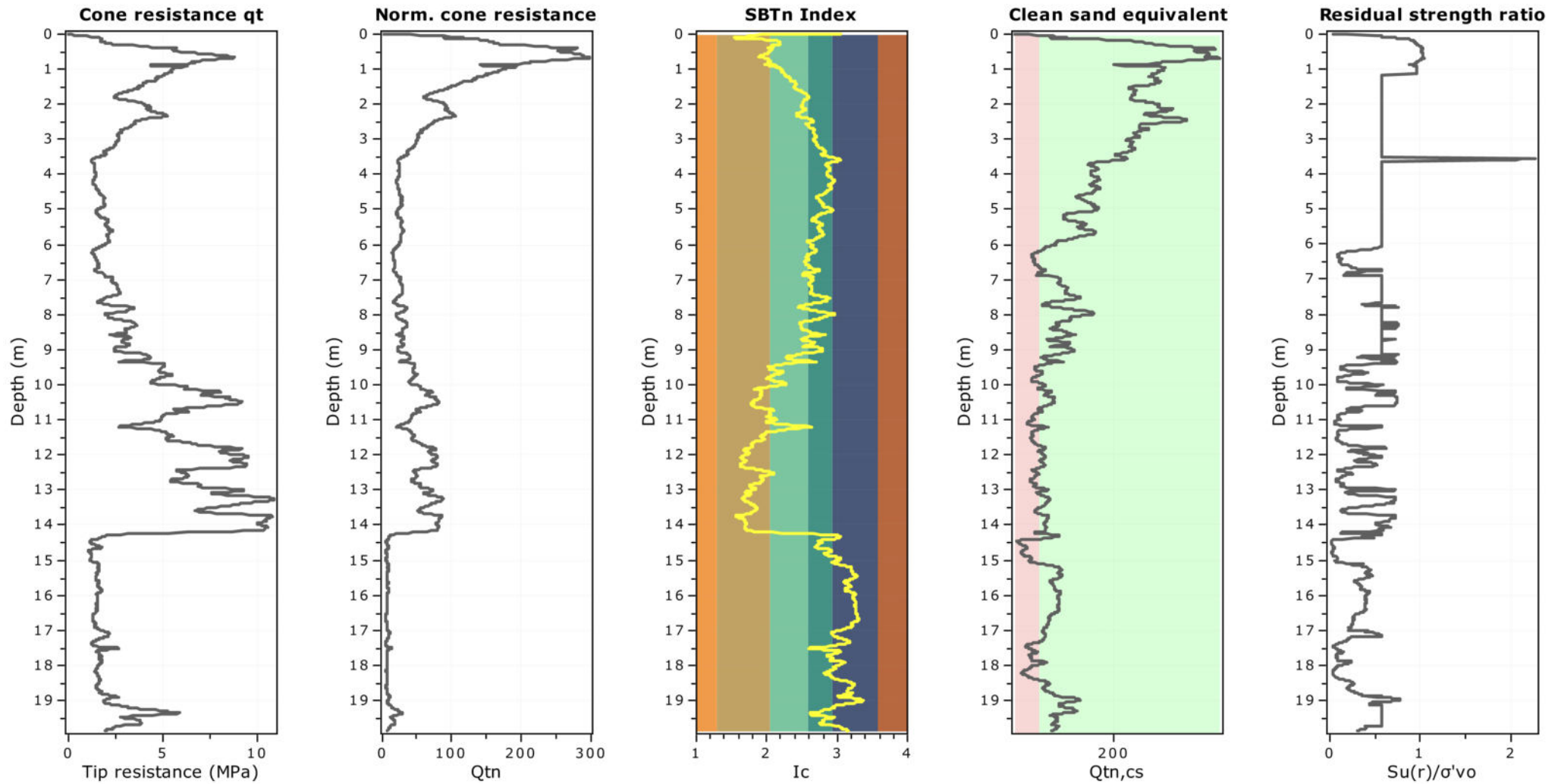
Total depth: 19.86 m, Date: 16/11/2023

Surface Elevation: 0.00 m

Coords: X:0.00, Y:0.00

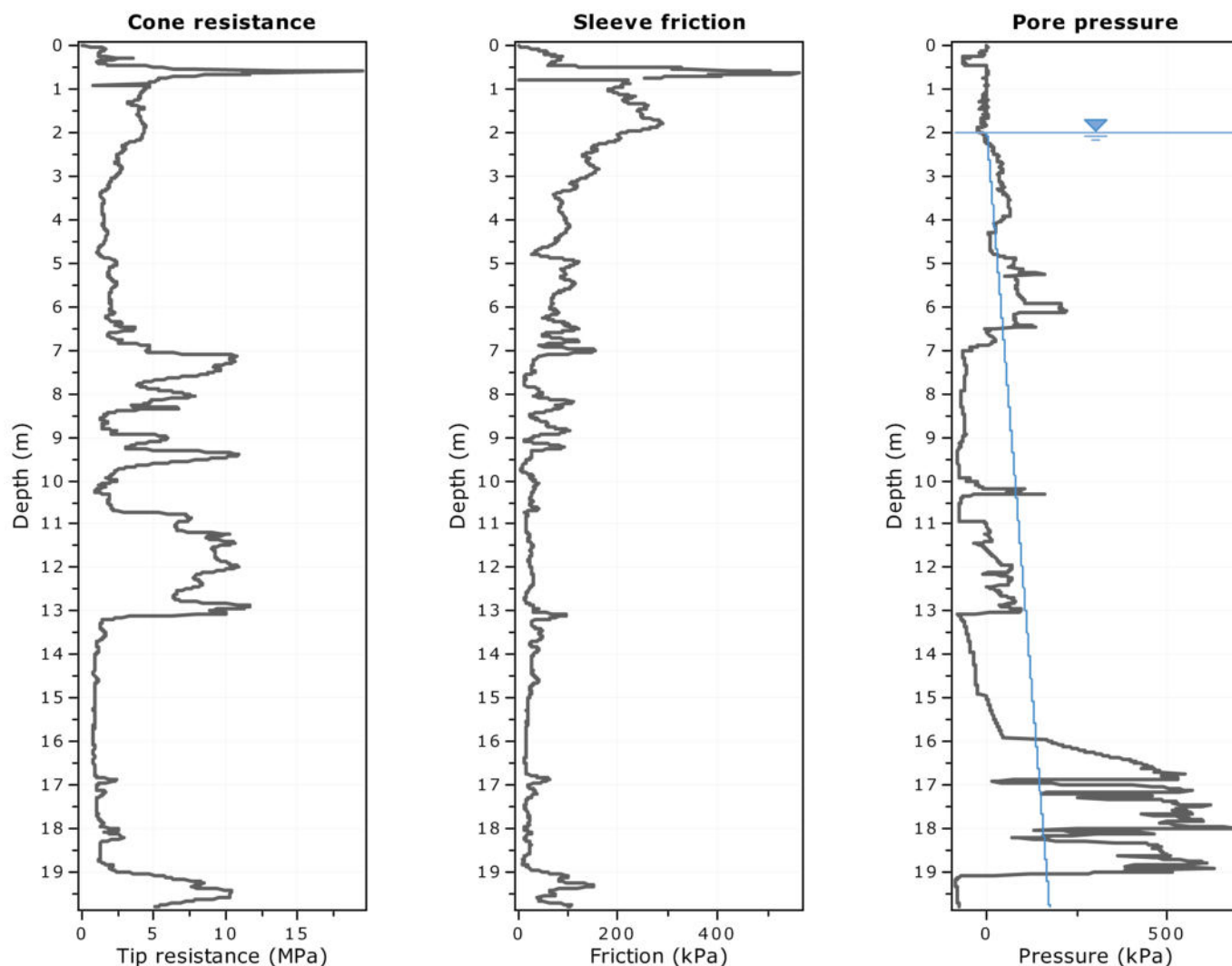
Cone Type:

Cone Operator:



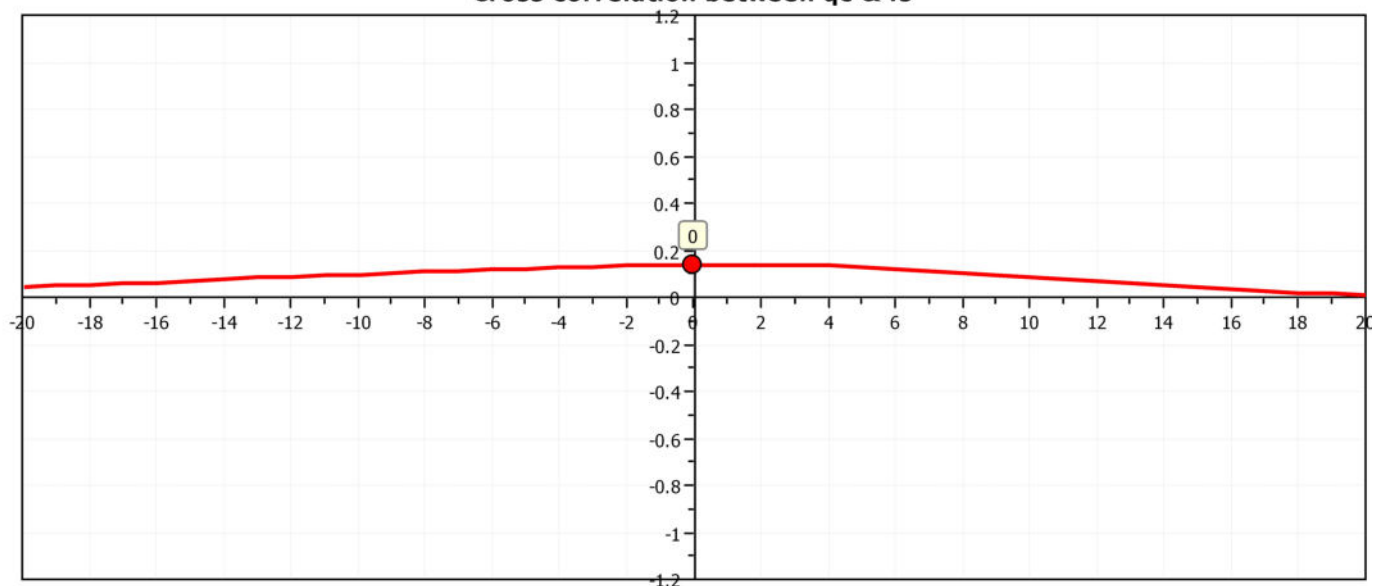
Project:

Location:

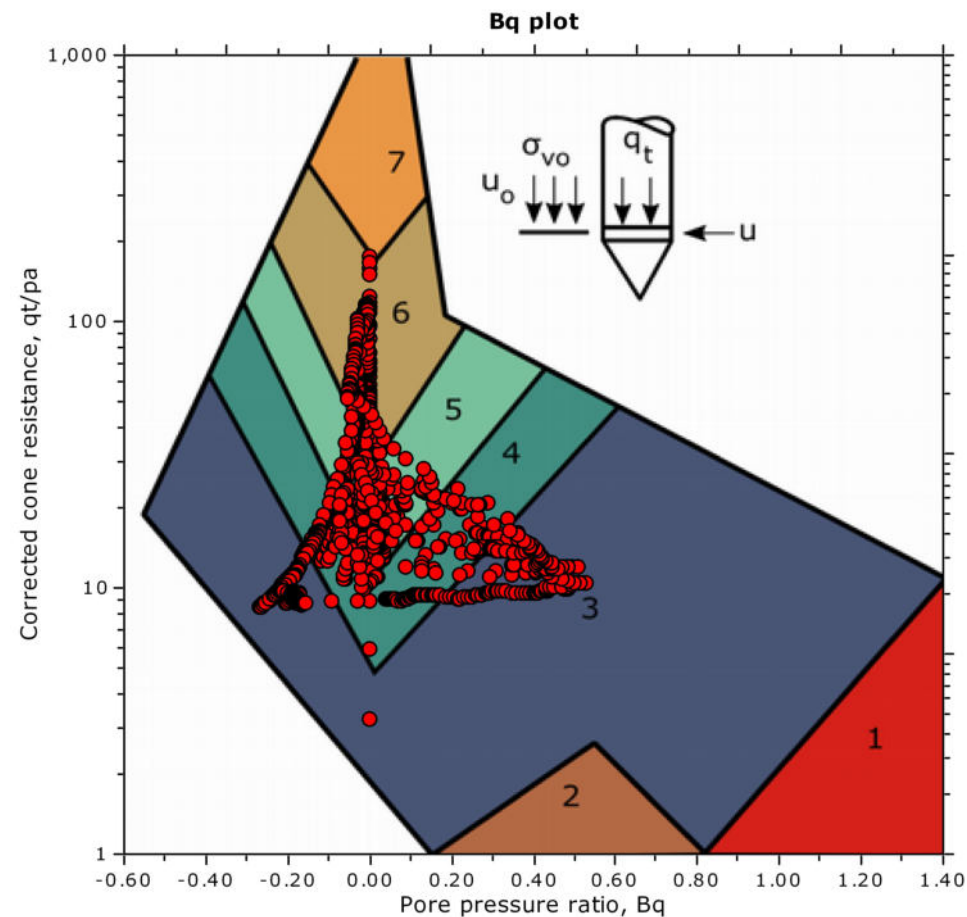
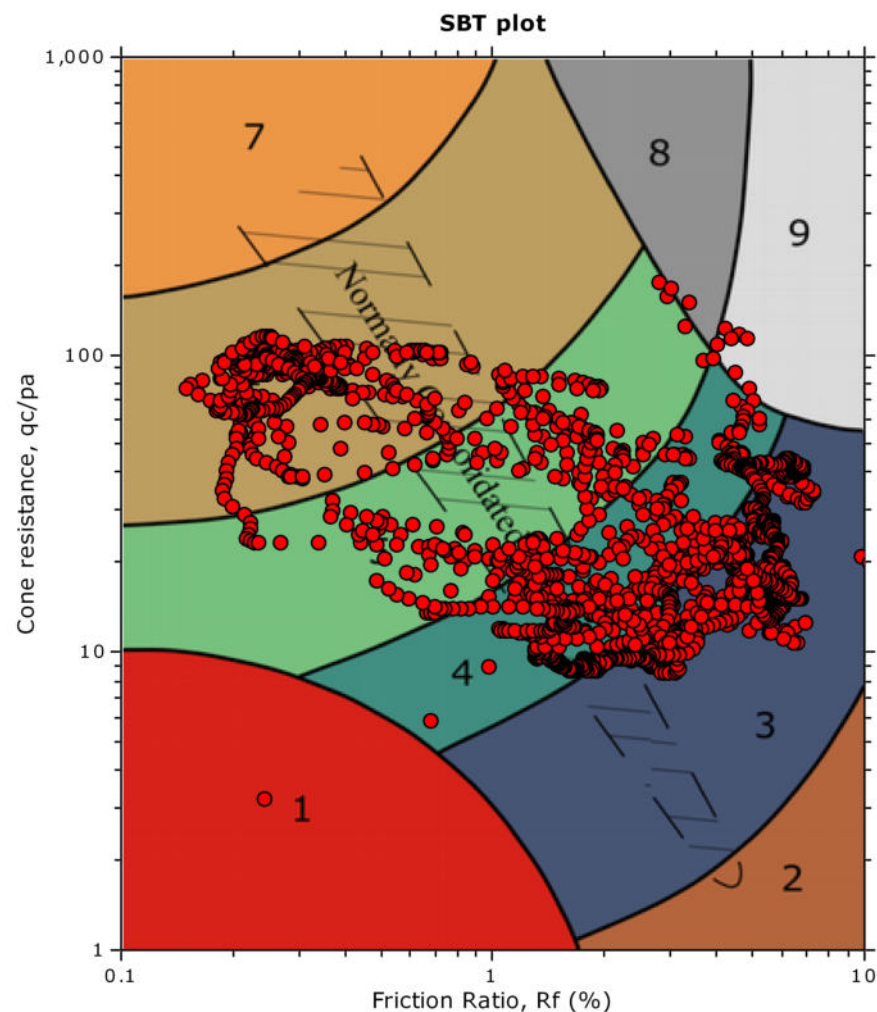


The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw qc and fs values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).

Cross correlation between qc & fs



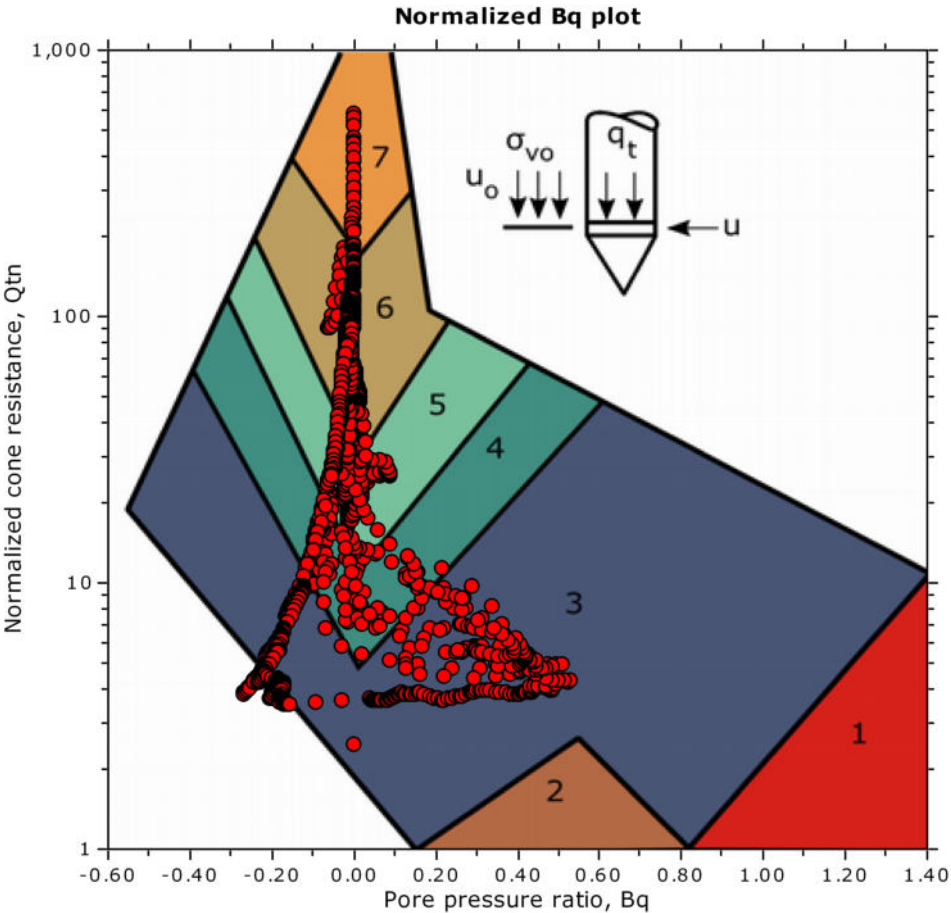
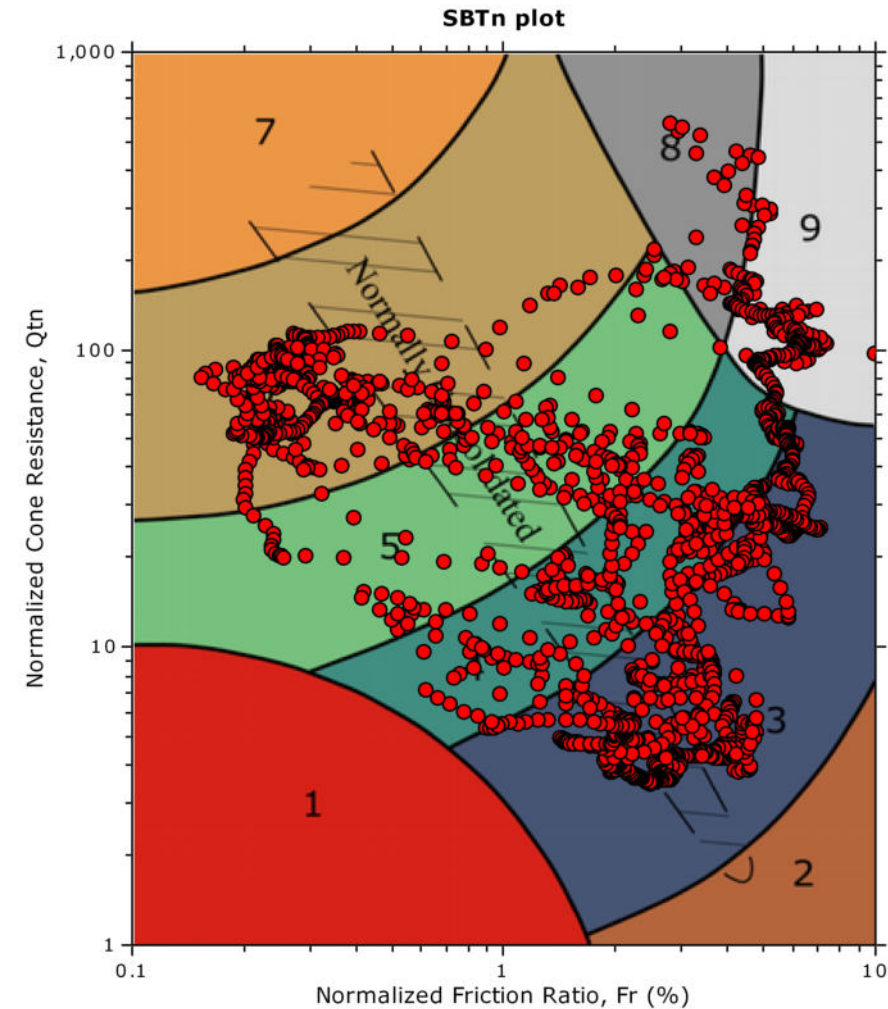
SBT - Bq plots



SBT legend

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

SBT - Bq plots (normalized)



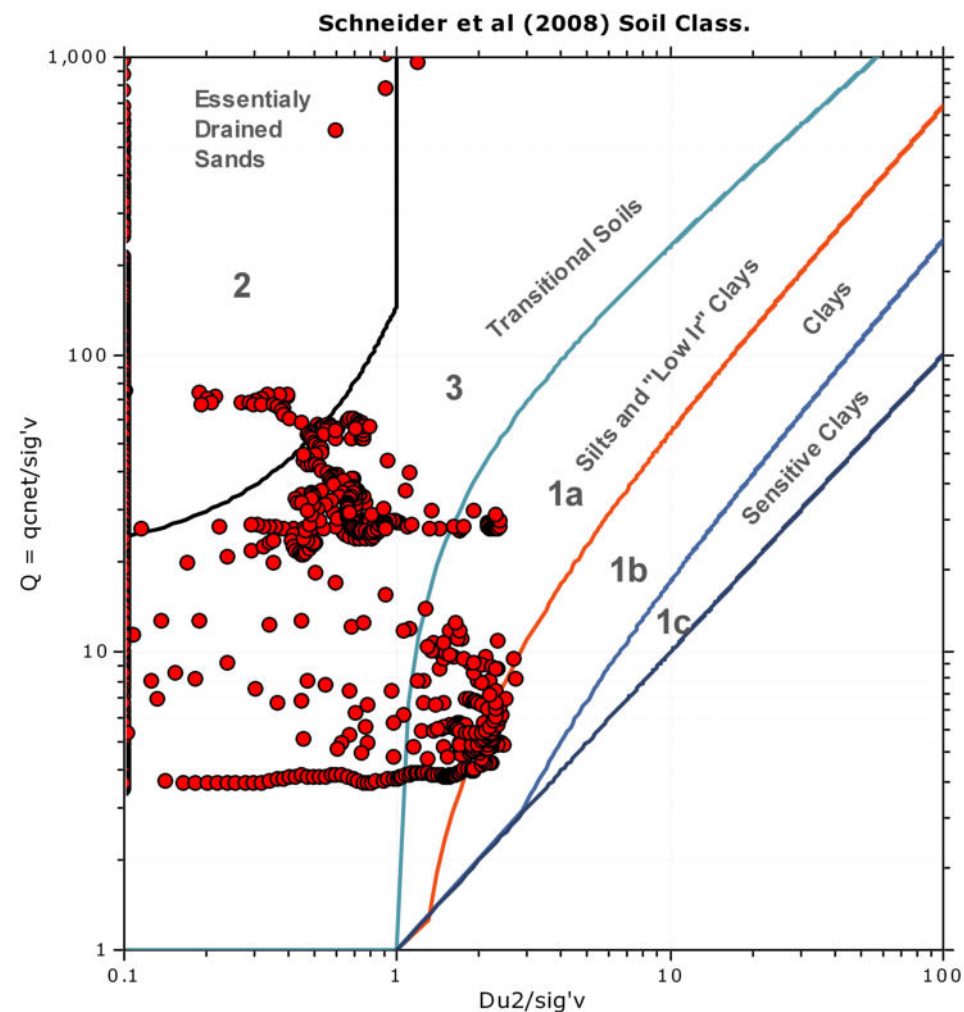
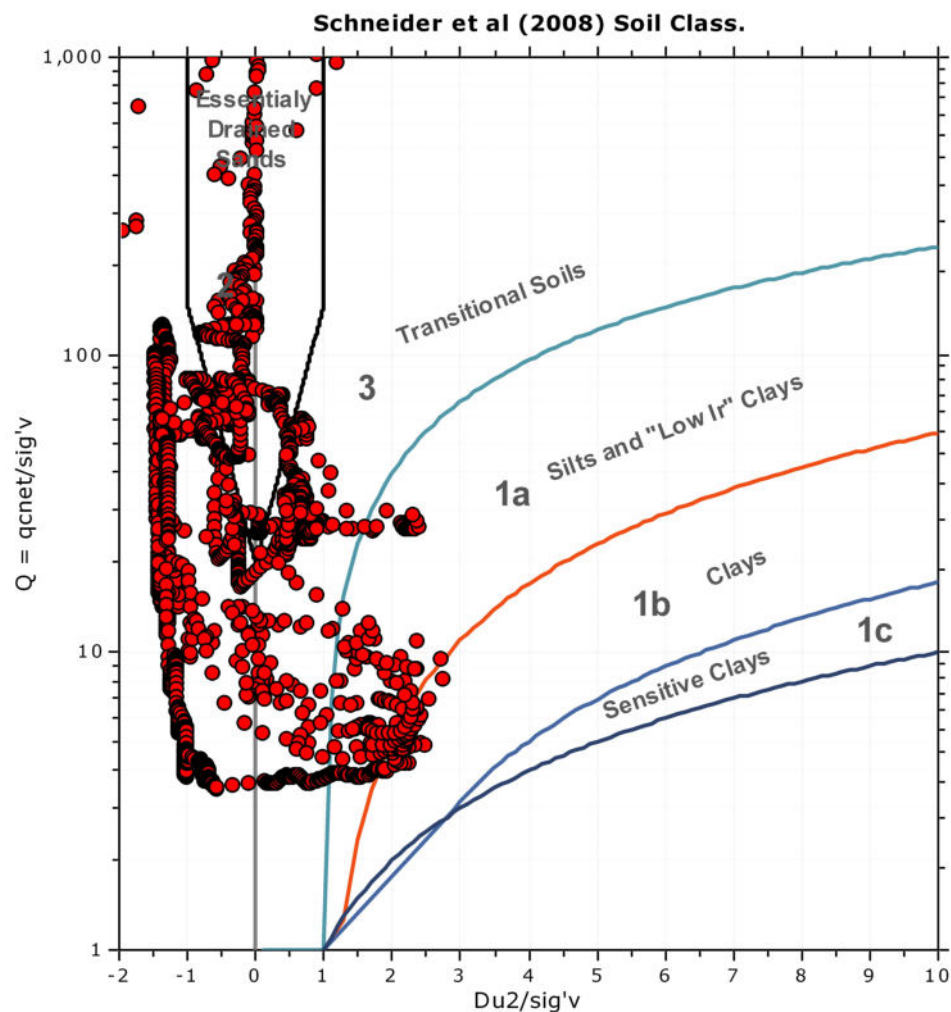
SBTn legend

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

Project:

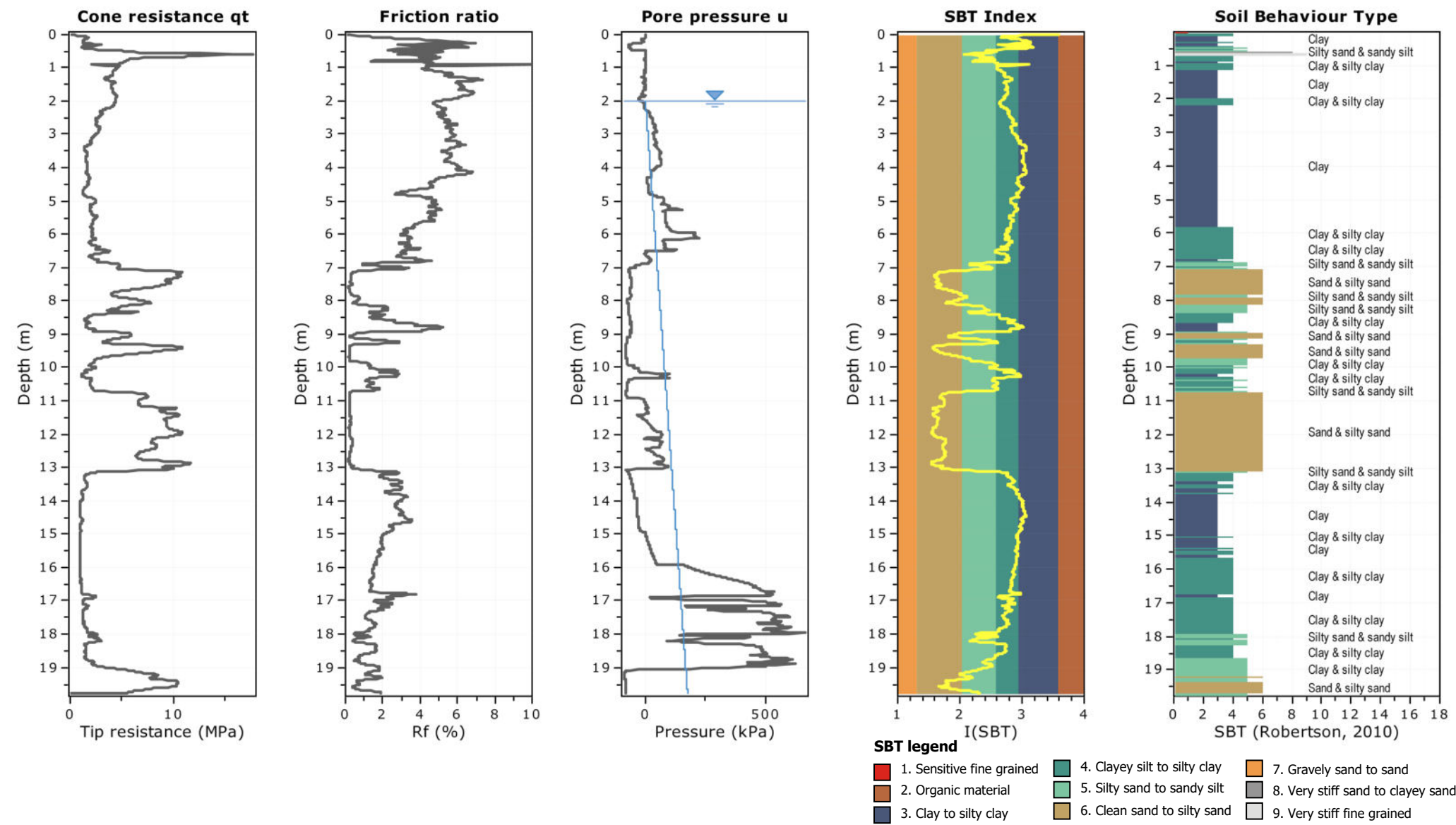
Location:

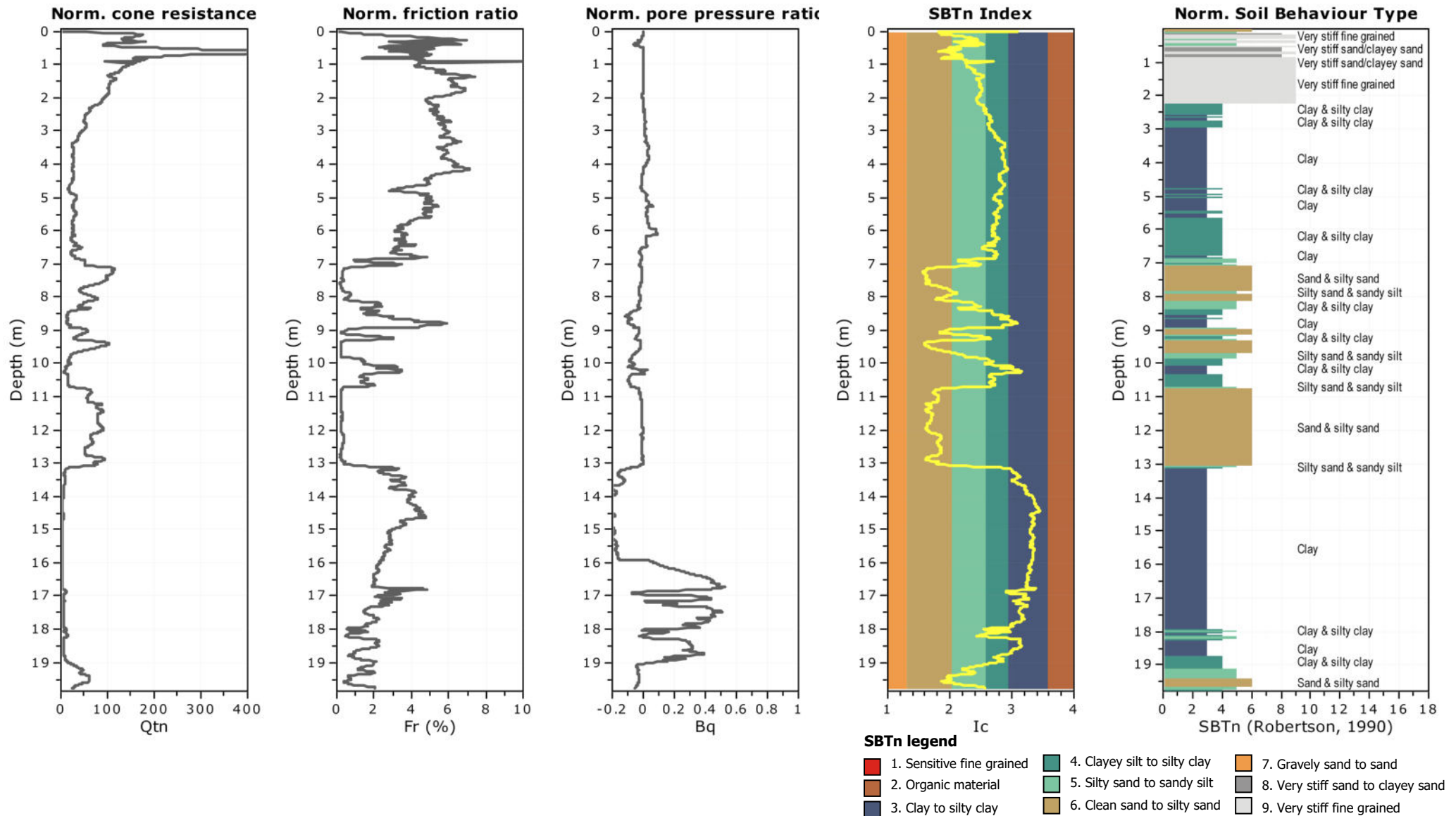
Bq plots (Schneider)

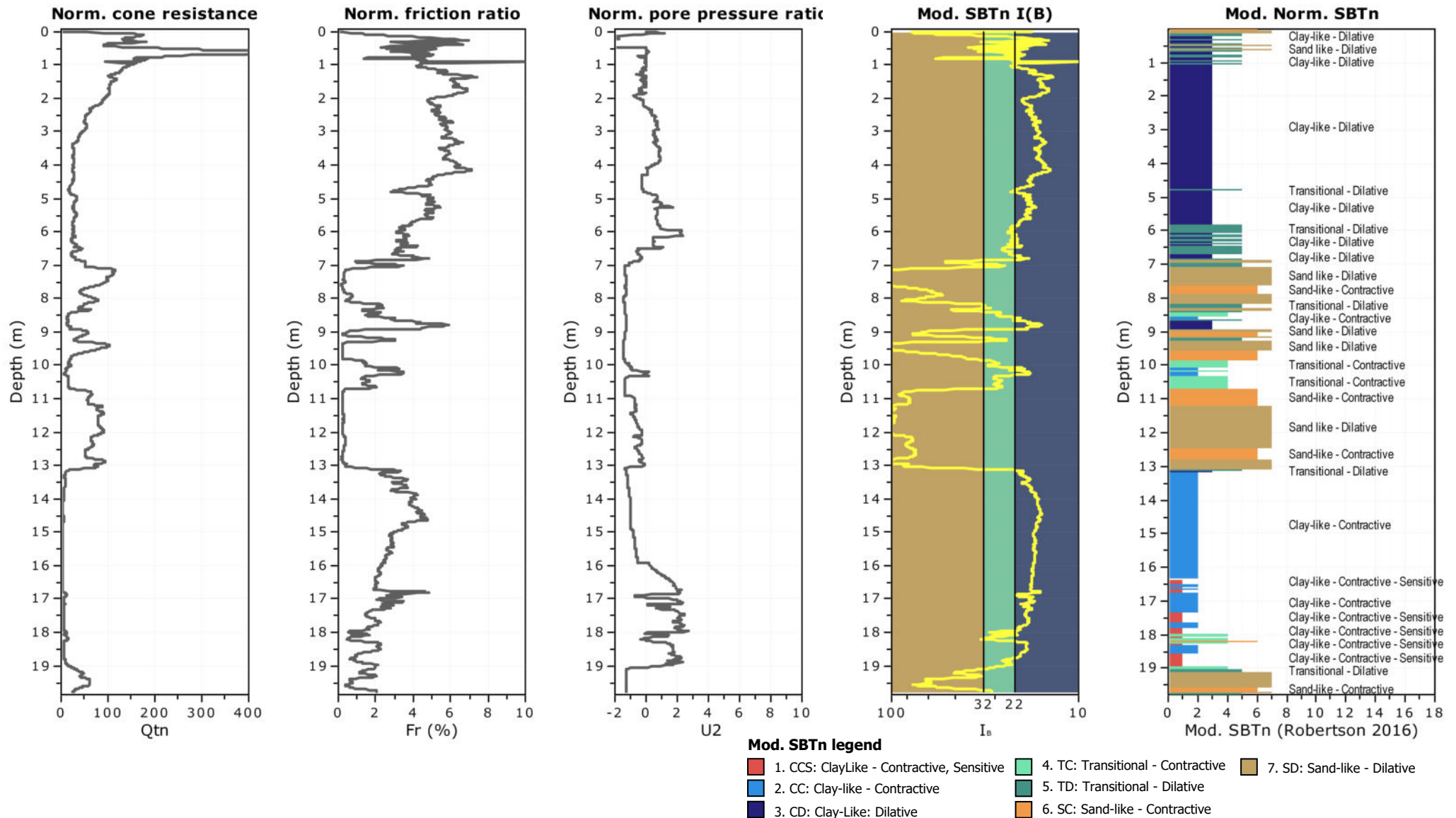


Project:
Location:

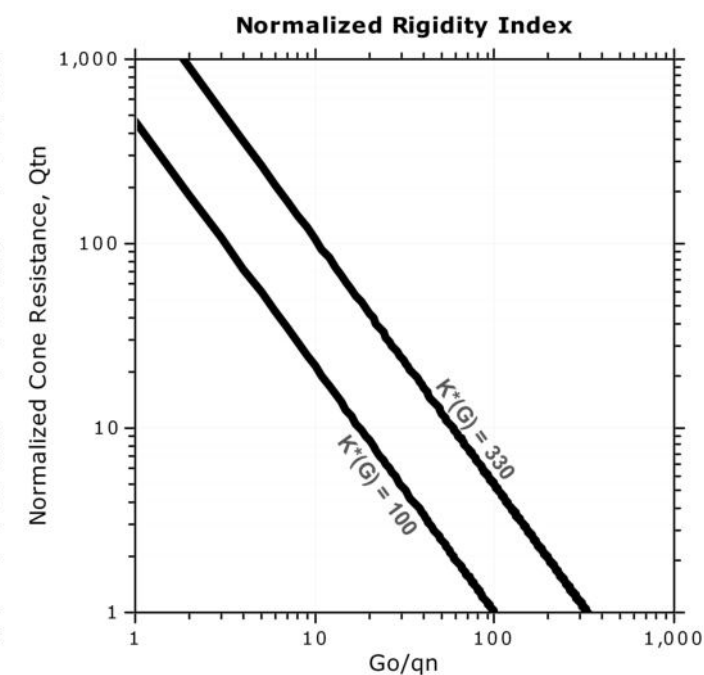
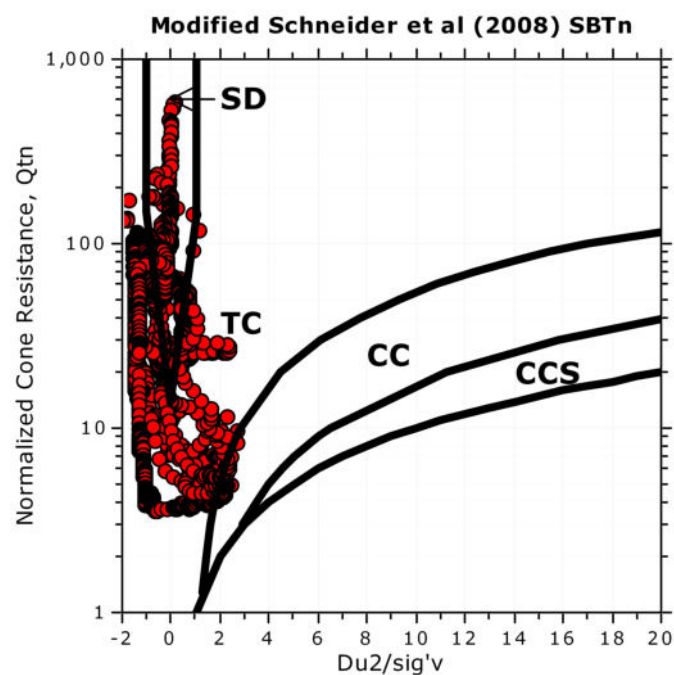
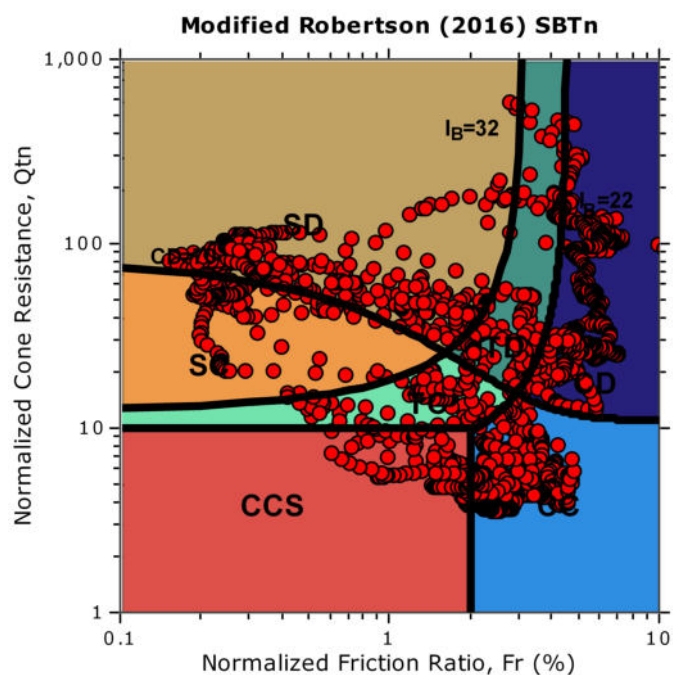
Total depth: 19.78 m, Date: 16/11/2023
 Surface Elevation: 0.00 m
 Coords: X:0.00, Y:0.00
 Cone Type:
 Cone Operator:







Updated SBTn plots



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

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

Andrea Basso geologo

via Lung'Orba Mazzini 95/18

15076 Ovada (AL)

Tel. 0143 86310 - Email: info@asgeologia.it

CPT: CPTu05

Total depth: 19.78 m, Date: 16/11/2023

Surface Elevation: 0.00 m

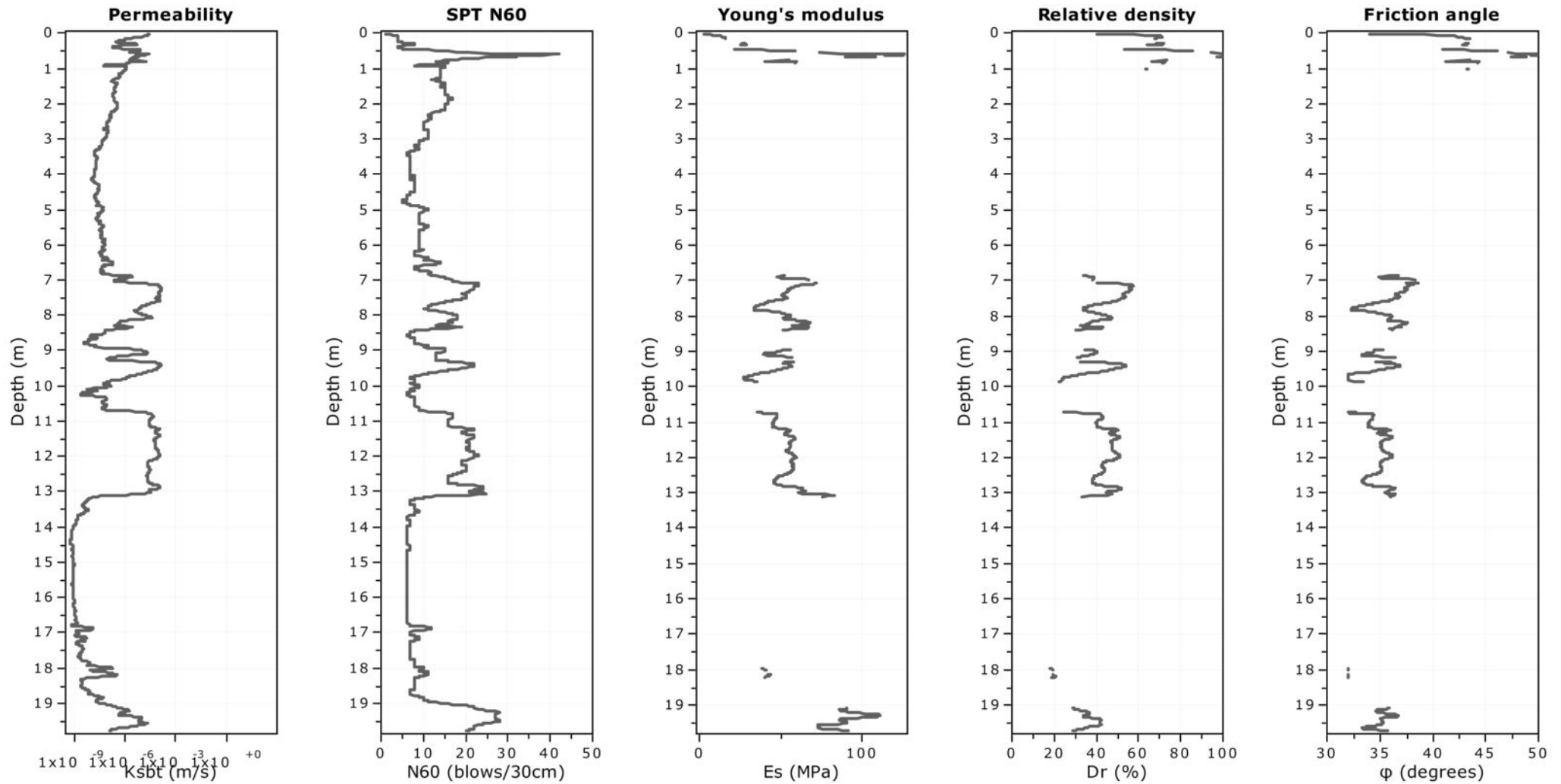
Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type:

Cone Operator:

Project:

Location:



Calculation parameters

Permeability: Based on SBT_n

SPT N_{60} : Based on I_c and q_t

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

Relative density constant, C_{Dr} : 350.0

Phi: Based on Kulhawy & Mayne (1990)

Andrea Basso geologo

via Lung'Orba Mazzini 95/18

15076 Ovada (AL)

Tel. 0143 86310 - Email: info@asgeologia.it

Project:

Location:

CPT: CPTu05

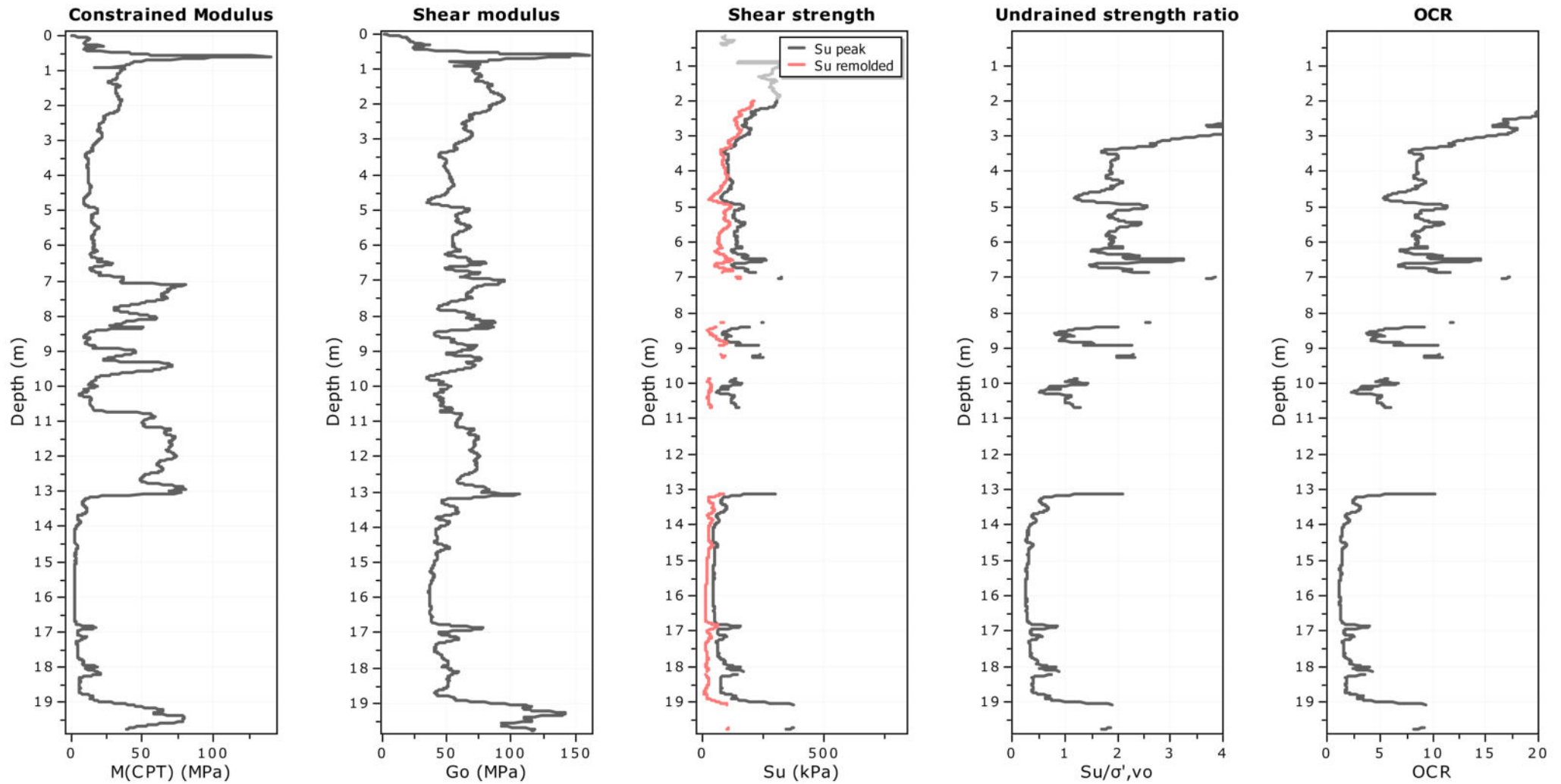
Total depth: 19.78 m, Date: 16/11/2023

Surface Elevation: 0.00 m

Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type:

Cone Operator:



Calculation parameters

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

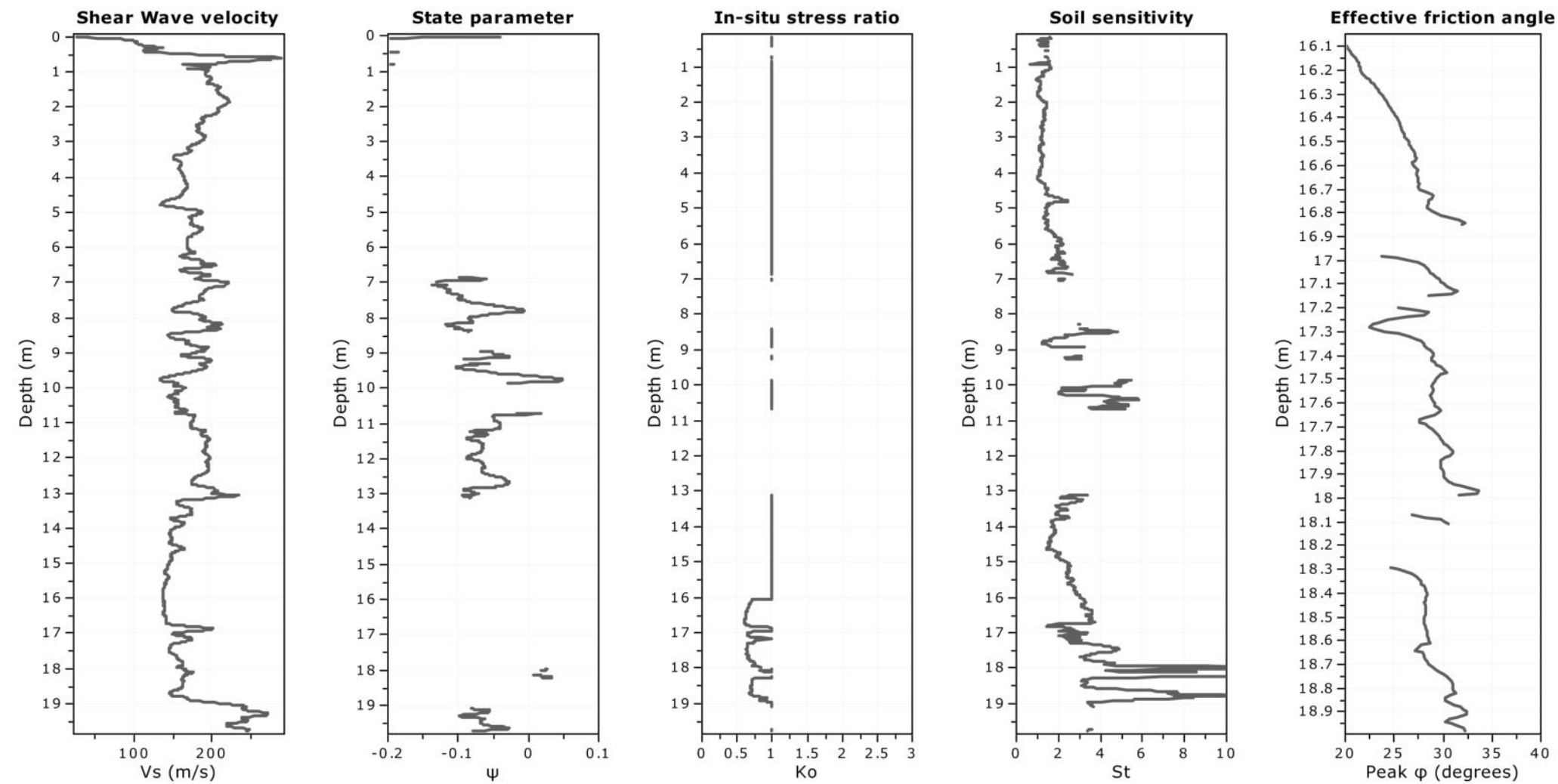
Go: Based on variable alpha using I_c (Robertson, 2009)

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

OCR factor for clays, N_{kt} : 0.33

—●— Flat Dilatometer Test data

Project:
Location:



Calculation parameters
 Soil Sensitivity factor, N_s : 7.00

Andrea Basso geologo

via Lung'Orba Mazzini 95/18

15076 Ovada (AL)

Tel. 0143 86310 - Email: info@asgeologia.it

Project:

Location:

CPT: CPTu05

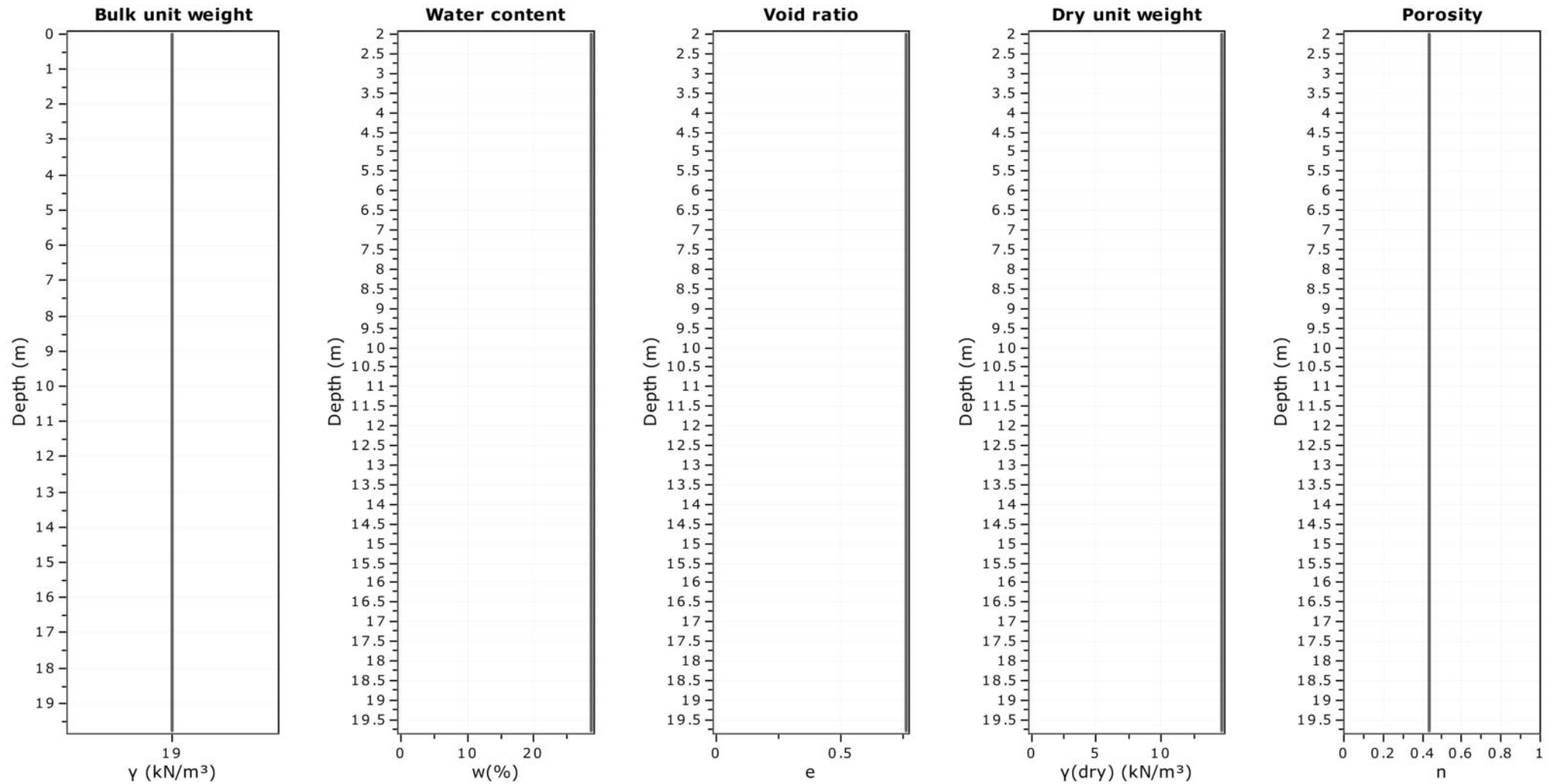
Total depth: 19.78 m, Date: 16/11/2023

Surface Elevation: 0.00 m

Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type:

Cone Operator:



Andrea Basso geologo

via Lung'Orba Mazzini 95/18

15076 Ovada (AL)

Tel. 0143 86310 - Email: info@asgeologia.it

Project:

Location:

CPT: CPTu05

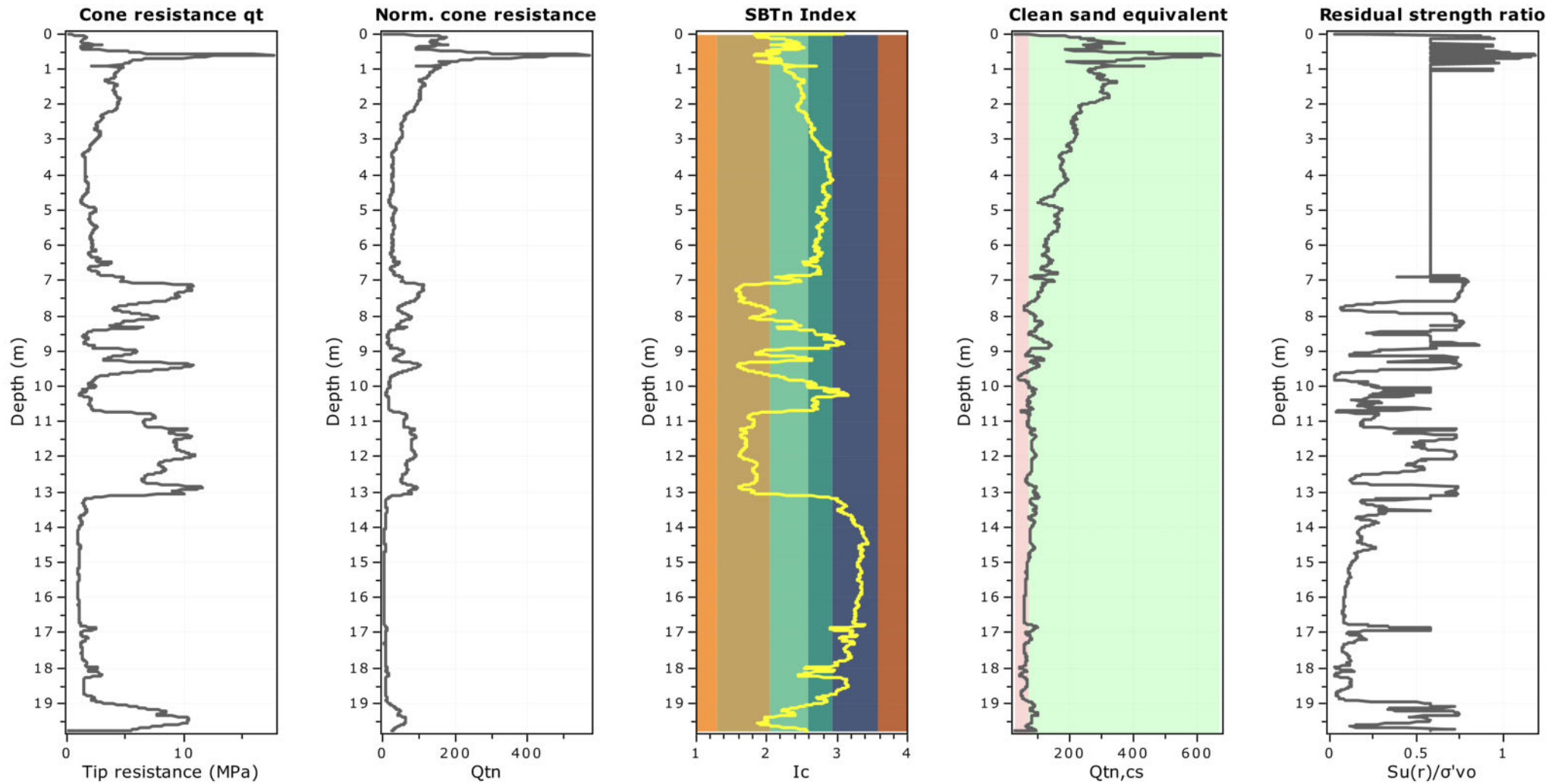
Total depth: 19.78 m, Date: 16/11/2023

Surface Elevation: 0.00 m

Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type:

Cone Operator:



RELAZIONE GEOLOGICA

*Progetto per la realizzazione di un impianto
agrivoltaico di potenza pari a 20,43 MWp
nel Comune di Carpi (MO)*

ALLEGATO B DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto del sopralluogo

Cliente:

TAUW

Ubicazione dei siti:

Comune di Carpi (MO)- Strada Statale Romana Nord SP143

Foto N.

1

Data:

06/10/23

Direzione:

Descrizione:

CPT1



Foto N.

2

Data:

06/10/23

Direzione:

Descrizione:

CPT2



Foto del sopralluogo

Cliente:

TAUW

Ubicazione dei siti:

Comune di Carpi (MO)- Strada Statale Romana Nord SP143

Foto N.

3

Data:

05/10/23

Direzione:

Descrizione:

CPT3



Foto N.

4

Data:

06/10/23

Direzione:

Descrizione:

CPT4



Foto del sopralluogo

Cliente:

TAUW

Ubicazione dei siti:

Comune di Carpi (MO)- Strada Statale Romana Nord SP143

Foto N.

5

Data:

05/10/23

Direzione:

Descrizione:

CPT5



Foto N.

6

Data:

06/10/23

Direzione:

Descrizione:

CPT6



Foto del sopralluogo

Cliente:

TAUW

Ubicazione dei siti:

Comune di Carpi (MO)- Strada Statale Romana Nord SP143

Foto N.

7

Data:

06/10/23

Direzione:

Descrizione:

CPT7



Foto N.

8

Data:

05/10/23

Direzione:

Descrizione:

CPT8



Foto del sopralluogo

Cliente:

TAUW

Ubicazione dei siti:

Comune di Carpi (MO)- Strada Statale Romana Nord SP143

Foto N.

9

Data:

05/10/23

Direzione:

Descrizione:

CPT9



Foto N.

10

Data:

05/10/23

Direzione:

Descrizione:

CPT10



Foto del sopralluogo

Cliente:

TAUW

Ubicazione dei siti:

Comune di Carpi (MO)- Strada Statale Romana Nord SP143

Foto N.

11

Data:

06/10/23

Direzione:

Descrizione:

MASW1



Foto N.

12

Data:

06/10/23

Direzione:

Descrizione:

MASW1



RELAZIONE GEOLOGICA

*Progetto per la realizzazione di un impianto
agrivoltaico di potenza pari a 20,43 MWp
nel Comune di Carpi (MO)*

ALLEGATO C VERIFICA A LIQUEFAZIONE

SOMMARIO

1.	INTRODUZIONE	2
2.	INDAGINE SISMICA MASW (MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES)	3
3.	INDAGINI SISMICHE HVSR (HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO).....	4
4.	CARATTERIZZAZIONE SISMICA LOCALE.....	6
5.	VERIFICA A LIQUEFAZIONE E STIMA DEI CEDIMENTI POST SIMICI	9
6.	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	18

ALLEGATI

ALLEGATO C1: ELABORATI INDAGINI SISMICHE MASW

ALLEGATO C2: ELABORATI INDAGINI SISMICHE HVSR

ALLEGATO C3: ELABORATO VERIFICHE LIQUEFAZIONE E CEDIMENTI

1. Introduzione

Il presente elaborato geologico-sismico viene fornito secondo quanto disposto dalla Provincia di Carpi in merito alla riduzione del rischio sismico, in accordo con quanto definito dalla D.G.R. n.630 del 29/04/2019 (aggiornata dalla D.G.R. n.564 del 12/04/2021) per la progettazione di XXX presso un lotto sito lungo la SP413, nel territorio comunale di Carpi.

In merito a quanto esposto sono state eseguite le seguenti indagini:

- N. 5 prove penetrometriche statiche con piezocono CPTu;
- N. 2 indagini sismiche di tipo HVSr;
- N. 1 indagine MASW;
- Acquisizione del materiale tecnico professionale e bibliografico relativo all'area oggetto di studio;
- Digitalizzazione dei dati acquisiti e loro elaborazione, mediante appositi programmi.

Il presente studio è stato redatto in conformità a quanto previsto dalla normativa vigente di seguito elencata: "Norme Tecniche per le Costruzioni" D.M. 17 gennaio 2018 ai sensi delle leggi n.1086 del 05/11/1971, e n.64 del 02/02/1974; Circolare n. 7 del 21/01/2019; Aggiornamento e adeguamento dell'elenco delle zone sismiche O.P.C.M. 3274/2003 e O.P.C.M. 3519/2006, D.G.R. n. 1146 del 23/07/2018 e D.G.R. n. 146 del 06/02/2023 (Aggiornamento della classificazione sismica dei Comuni dell'Emilia-Romagna).

Dall'interpretazione delle indagini sismiche di tipo MASW eseguite nell'ottobre 2023 è risultato che il sito di interesse ricade in **classe C** in quanto la V_{seq} relativa ai primi 30 metri di profondità è di 316 m/s.

2. Indagine sismica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)

La metodologia geofisica indiretta può essere un importante approccio al fine di correlare le informazioni puntuali ricavate da prove dirette con i valori di velocità delle onde sismiche consentendo una buona caratterizzazione stratigrafica dei terreni presenti nell'area di intervento. Sono stati pertanto eseguiti tre profili sismici con metodologia MASW per la determinazione della velocità V_{seq} necessaria alla classificazione sismica del sito.

Nello specifico è stato utilizzato uno stendimento a 24 canali, con interdistanza geofonica pari a 2,0 m.

Le misure sperimentali sono state elaborate per mezzo dello specifico programma di interpretazione che elabora un modello monodimensionale di velocità nel sottosuolo che soddisfa i valori misurati; di seguito un riassunto dei risultati ottenuti:

$V_{SEQ} = 316 \text{ m/sec}$

Stratigrafia sismica

- Da 0 fino a 1 metro circa, sono stati rilevati valori V_s di circa 170 m/s;
- Tra 1 e 3 metri circa, sono stati rilevati valori V_s di circa 180 m/s;
- Tra 3 e 5 metri circa, sono stati rilevati valori V_s di circa 170 m/s;
- Tra 5 e 8 metri circa, sono stati rilevati valori V_s di circa 300 m/s;
- Tra 8 e 11 metri circa, sono stati rilevati valori V_s di circa 350 m/s;
- Oltre 11 metri circa, sono stati rilevati valori V_s di circa 400 m/s.

Dall'interpretazione delle indagini sismiche di tipo MASW è stato quindi possibile calcolare il V_{SEQ} relativo ai primi 30 m di profondità, necessario per la classificazione sismica ai sensi della normativa NTC2018 (tabella 3.2.II), ricadente in **classe C** in quanto $V_{SEQ} = 316 \text{ m/s}$.

I risultati completi dell'indagine MASW eseguita sono riportati in Allegato C1.

3. Indagini sismiche HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)

La prova HVSR utilizza la tecnica dell'analisi dei microtremori ambientali, acquisendo il rumore sismico ambientale attraverso un tomografo digitale. Tale tecnica, in sintesi, mette in relazione le variazioni del rapporto alle varie frequenze tra la componente orizzontale e verticale dei microtremori ambientali registrati, con le variazioni litostratigrafiche del sottosuolo al di sotto del punto di misura.

La tecnica HVSR permette in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Successivamente, come ulteriore sviluppo, la stima del parametro normativo V_{seq} attraverso un processo di inversione del problema iniziale. Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate.

Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione. Tale registrazione deve essere effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti.

Si esegue un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce. Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.

Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a tapering e/o lisciamento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee.

Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea.

Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing.

Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.

Le prove sono state eseguite all'interno dell'area interessata dal progetto; l'interpretazione dei dati delle misurazioni è risultata ben raffrontabile con le altre indagini eseguite precedentemente e con i dati bibliografici a disposizione, confermando il contesto stratigrafico.

Come si può osservare dal grafico della prova HVSR1 è osservabile un picco della curva di frequenza H/V uno intorno a 20 Hz, il primo (21Hz) mentre nella prova HVSR2 è osservabile un picco della curva di frequenza H/V uno intorno a 17 Hz

In entrambe le prove non sono presenti ulteriori picchi a frequenze più basse escludendo, pertanto, anche ad elevate profondità la presenza di variazione di impedenza sismica, ad indicare la sostanziale uniformità della sequenza stratigrafica in profondità. Tali risultati sono in accordo con i dati ottenuti dalle prove eseguite in sito e con le informazioni stratigrafiche disponibili per l'area.

Dal punto di vista stratigrafico le prove realizzate evidenziano la presenza in superficie di circa 2-3 m di materiali a bassa velocità ($V_s \approx 150-170$ m/s) riconducibili a materiali fini moderatamente consistenti (coltre superficiale), a cui seguono circa 6-8 metri di materiali a media velocità ($V_s \approx 370-380$ m/s) riconducibili a materiali fini consistenti (depositi alluvionali). A partire invece da circa 10 metri di profondità si riscontra la presenza di materiali a medio-elevata velocità ($V_s > 650$ m/s) riconducibili a materiali medio-grossolani a grado crescente di addensamento.

I risultati completi delle indagini HVSR eseguite sono riportati in Allegato C2.

4. Caratterizzazione Sismica Locale

Il territorio comunale di Carpi, sul quale l'area in oggetto si colloca, è classificato come zona a grado 3, ai sensi dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, *"Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"*, aggiornata con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519/2006, è stata classificata in zona 3 anche ai sensi della Delibera della Giunta Regionale dell'Emilia Romagna n.1164 del 23 luglio 2018, aggiornata con la Delibera della Giunta Regionale dell'Emilia Romagna n.164 del 06 febbraio 2023.

L'Italia è suddivisa in zone sismiche con 4 classi di pericolosità (dove PGA indica il picco di accelerazione gravitazionale):

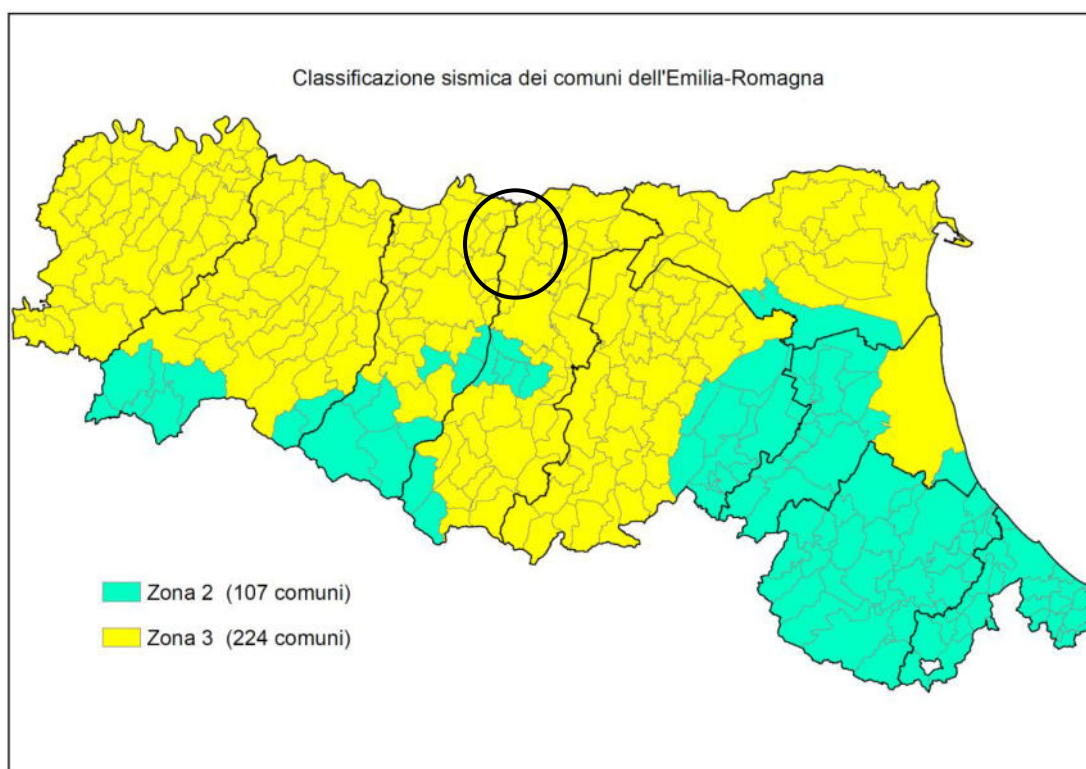
zona **1** (alta): PGA 0,25g. È la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti;

zona **2** (media): $0,15 \text{ PGA} < 0,25\text{g}$. Zona in cui possono verificarsi terremoti abbastanza forti;

zona **3** (bassa): $0,05 \text{ PGA} < 0,15\text{g}$. Zona in cui possono verificarsi scuotimenti modesti;

zona **4** (molto bassa) $\text{PGA} < 0,05\text{g}$. Zona meno pericolosa, con possibilità di danni sismici bassi.

Di seguito si riporta la mappa derivante dalla classificazione vigente sulla quale viene evidenziato il comune di Carpi.



Parametri per la determinazione dell'azione sismica

Per il calcolo dell'azione sismica, gli elementi necessari sono i seguenti:

- categoria di suolo di fondazione;
- condizioni topografiche;
- Classe d'uso opera e Vita nominale opera;
- Parametri sismici di sito (T_r , a_g , F_o , T_c^*).

Determinazione della categoria di suolo di fondazione

La normativa prevede una classificazione del sito in funzione sia della velocità delle onde S nella copertura che dello spessore della medesima. Sono quindi state identificate 5 classi, A, B, C, D ed E ad ognuna delle quali è associato uno spettro di risposta elastico.

Per la caratterizzazione fisica e geotecnica, si considera la velocità media delle onde di taglio al di sopra del bedrock sismico (V_{seq}); dai dati delle prove MASW eseguite risulta che il sito di interesse ricade in **Categoria di suolo C** in quanto $V_{seq}=316$ m/s.

estratto da tabella 3.2.II - NTC 18

Categoria	Descrizione
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> 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.

Determinazione delle condizioni topografiche

estratto da tabella 3.2. III - NTC 18

Categoria	Descrizione
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

Determinazione delle caratteristiche dell'opera

Al fine di poter effettuare le verifiche di sicurezza è necessario definire anche la vita nominale dell'opera e, in presenza di azioni sismiche, la classe d'uso con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, di seguito si riportano i valori considerati.

estratto da tabella 2.4.I - NTC 18

TIPI DI COSTRUZIONE		Valori minimi di V_N (in anni)
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni d'emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Determinazione dei parametri sismici di sito

I parametri sismici di sito sono stati calcolati, inserendo le coordinate geografiche medie del sito, la classe d'uso della costruzione, la vita nominale della costruzione per mezzo di un apposito software che utilizza come base di dati il reticolo di riferimento nazionale.

Di seguito si riporta l'elenco dei parametri calcolati per i diversi stati limite.

periodo di riferimento della costruzione

T_r : periodo di ritorno evento sismico

a_g : accelerazione di riferimento del terreno

F_o : fattore di amplificazione spettrale massima

T_c^* : periodo di inizio del tratto dello spettro a velocità costante

In allegato si riportano i dati completi riferiti al sito.

Al fine di valutare la sismicità locale

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	30	0,039	2,574	0,246
SLD	50	0,049	2,526	0,266
SLV	475	0,144	2,578	0,269
SLC	975	0,195	2,531	0,275

5. Verifica a liquefazione e stima dei cedimenti post sismici

Generalità sul fenomeno

Secondo la definizione data nell'Eurocodice 8 e dall'OPCM 3274/2003: *“la liquefazione denota una diminuzione di resistenza a taglio e/o di rigidità causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico, tale da generare deformazioni permanenti significative o persino l'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno.”*

Nel contesto considerato, il problema principale che si pone in fase di progettazione è la suscettibilità alla liquefazione dei livelli sabbiosi sotto falda, anche se il terreno di fondazione comprende anche strati estesi di argilla e limi, solo localmente contenenti una frazione medio-fine sabbiosa.

Il quadro dei metodi oggi disponibili è quanto mai vario e va da criteri basati su soli dati geologici qualitativi (età del deposito, origine, stratigrafia, profondità della falda, ecc.) a metodi di analisi dinamica molto sofisticati, basati sulla valutazione della pressione effettiva della risposta sismica locale e su complesse prove di laboratorio. Questi metodi si basano sul confronto fra le sollecitazioni di taglio che producono liquefazione e quelle indotte dal terremoto, ovvero fra gli stati tensionali che producono liquefazione o livelli di deformazione critici e gli stati tensionali indotti dalle onde sismiche nella loro propagazione. A tal fine richiedono la determinazione di parametri relativi sia all'evento sismico sia ai terreni di fondazione, valutati questi ultimi o con prove di laboratorio o con prove in situ; la loro applicazione richiede quindi: la valutazione della resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclici in condizioni non drenate, mediante correlazioni basate su prove in situ e/o di laboratorio; calcolo delle sollecitazioni di taglio indotte dall'evento sismico di riferimento. La valutazione quantitativa del rischio liquefazione viene quindi fatta dal confronto fra le tensioni indotte nel terreno dall'evento sismico e la capacità di resistenza alle azioni dinamiche del terreno.

Valutazione del rischio di liquefazione del sito

SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE: CARATTERI GENERALI

Il pericolo liquefazione deve essere accertato in base alla possibilità di **concomitanza di:**

- **fattori scatenanti:** caratteristiche dei terremoti attesi, sismicità della zona;
- **fattori predisponenti:** suscettibilità dei terreni, presenza di banchi di terreni incoerenti poco addensati e presenza di falda.

Le normative che regolano la materia sono:

- O.P.C.M. 3274/2003;
- O.P.C.M. 3519/2006;
- D.M. 17/01/2018 (NTC18).

Inoltre, ai fini della valutazione quantitativa del fenomeno i riferimenti sono:

- Linee Guida AGI (2005);
- D.G.R. n° 630 del 29/04/2019;
- D.G.R. n° 564 del 12/04/2021;
- Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica - Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento della Protezione Civile (2008).

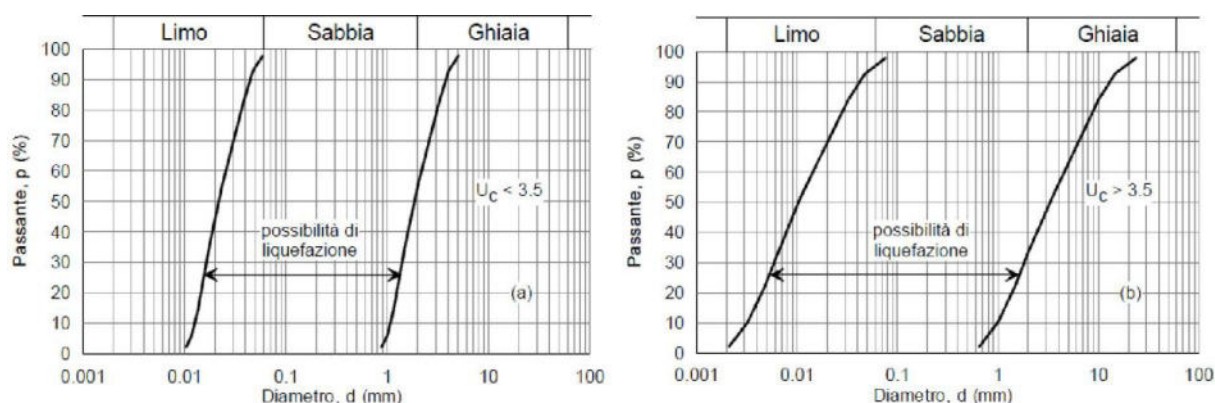
Quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbia sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limo-argillosa, deve essere verificata la suscettibilità alla liquefazione in ottemperanza a:

- Art. 2.3 dell'Allegato 4 dell'O.P.C.M. 3274/03;
- Punto 7.11.3.4. del D.M. 17/01/2018 (NTC18).

Le NTC richiedono di verificare che il sito sul quale è ubicato il nuovo manufatto risulti stabile nei confronti della liquefazione. Si definisce liquefazione, la riduzione di resistenza e/o rigidità causata durante il sisma, dall'aumento delle pressioni interstiziali in terreni saturi non coesivi, tale da provocare deformazioni permanenti significative o persino da indurre nel terreno una condizione di sforzi efficaci quasi nulli. Ciò può avvenire e nei depositi di sabbie fini sciolte quando, sotto l'azione dei carichi applicati o di forze idrodinamiche, la pressione dell'acqua dei pori aumenta progressivamente fino ad eguagliare la pressione totale di confinamento, cioè fino a quando gli sforzi efficaci si riducono a zero.

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.



Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione - Figura 7.11.1(a) e Figura 7.11.1(b)

Quando nessuna delle precedenti condizioni è soddisfatta, la suscettibilità alla liquefazione deve essere verificata come minimo mediante i metodi generalmente accattati dall'ingegneria geotecnica, basati su correlazioni di campagna tra misure in sito e valori critici dello sforzo ciclico di taglio che hanno causato liquefazione durante terremoti passati.

La valutazione quantitativa della suscettibilità alla liquefazione può essere eseguita mediante "metodi semplificati" attraverso la stima di un coefficiente di sicurezza:

I risultati delle prove CPTu indicano la presenza superficiale di terreni prevalentemente a comportamento coesivo con elevata percentuale di frazione fine, in particolar modo argilla, i suddetti terreni non ricadono all'interno dei fusi granulometrici sopra riportati, tuttavia al di sotto di questi livelli argillosi è stata rilevata la presenza di livelli sabbioso-limosi, pertanto si rende necessaria la verifica a liquefazione secondo i metodi indicati nella DGR 630/2019 (aggiornata dalla D.G.R. 564/2021).

VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE DEL SITO

La valutazione del rischio di liquefazione del sito è stata eseguita sulla base dei dati desunti dalle prove penetrometriche eseguite.

Per poter eseguire la valutazione del rischio occorre definire:

- il sisma atteso per il sito (ossia occorre individuare una magnitudo di riferimento)
- l'accelerazione massima attesa sul sito in esame (per calcolarla si è fatto riferimento al quanto riportato dalle mappe di pericolosità sismica dell'INGV)

In particolare, la formula utilizzata è la seguente:

$$a_{\max} = S \cdot a_g$$

dove S è un coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (SS) e dell'amplificazione topografica (ST).

Nel caso in esame risulta:

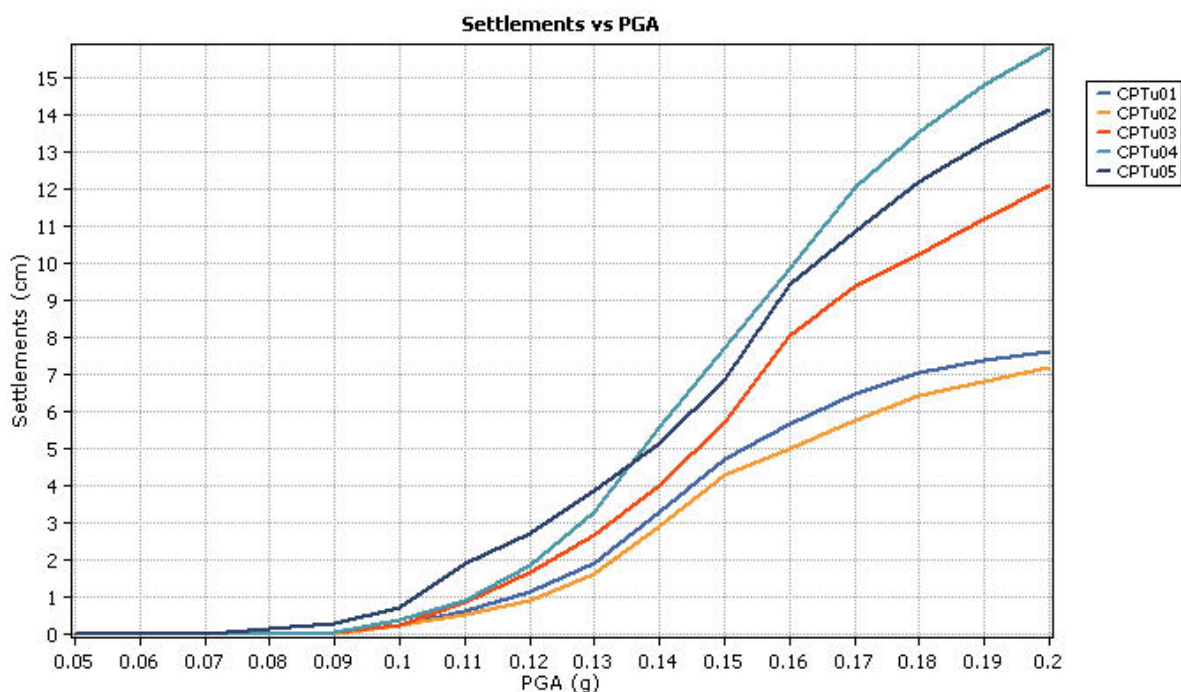
$$a_{\max} = (1,48 \cdot 1) \cdot 0,143 = 0,212g = 2,08 \text{ m/s}^2$$

I dati acquisiti con le prove CPTu stati elaborati con il programma Cliq ver. 3.0 della Geologismiki Geotechnical Software. Tale programma utilizza correlazioni empiriche per valutare i parametri geotecnici alla base dei fenomeni di liquefazione e restituisce il calcolo dell'indice di potenziale liquefazione e dei cedimenti post terremoto.

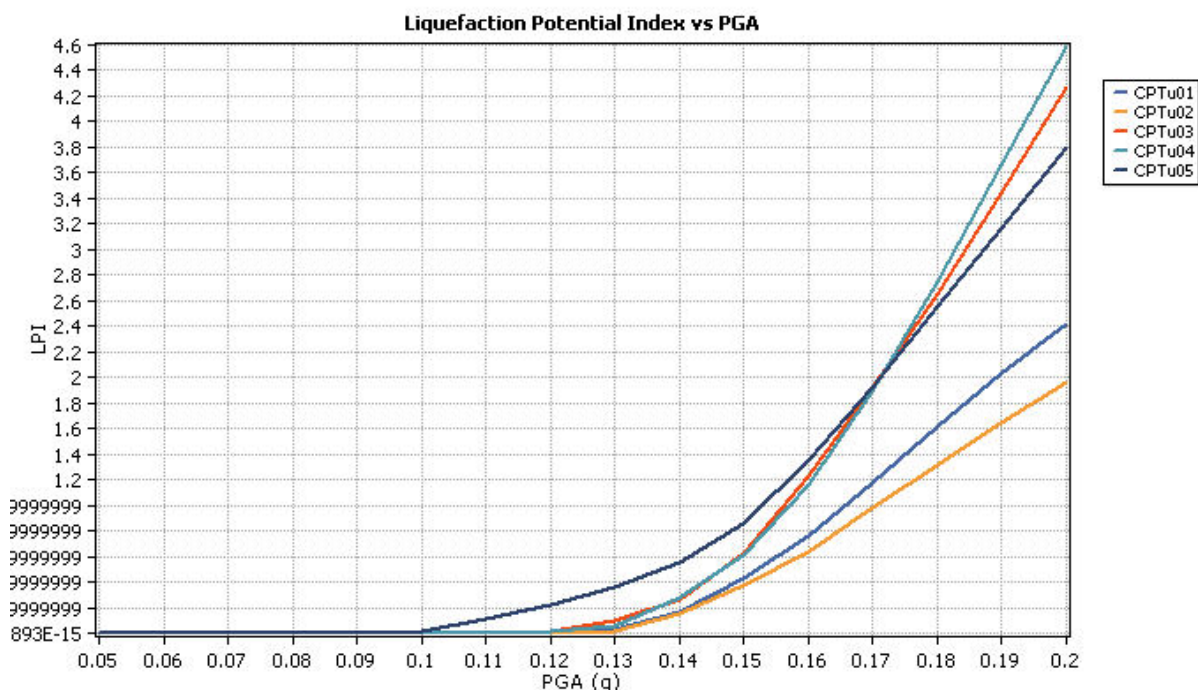
Come indicato nella Delibera della Giunta Regionale - Regione Emilia-Romagna n°630 del 2019 (aggiornata dalla D.G.R. 564/2021) alcune metodologie semplificate consentono di stimare gli effetti della liquefazione. In particolare, per i calcoli si è fatto riferimento al metodo di Boulanger e Idriss (2014) che fornisce una valutazione degli effetti della liquefazione basandosi su prove CPTe/CPTu.

In allegato si riportano i risultati completi delle elaborazioni, di seguito si riportano una sintesi degli stessi.

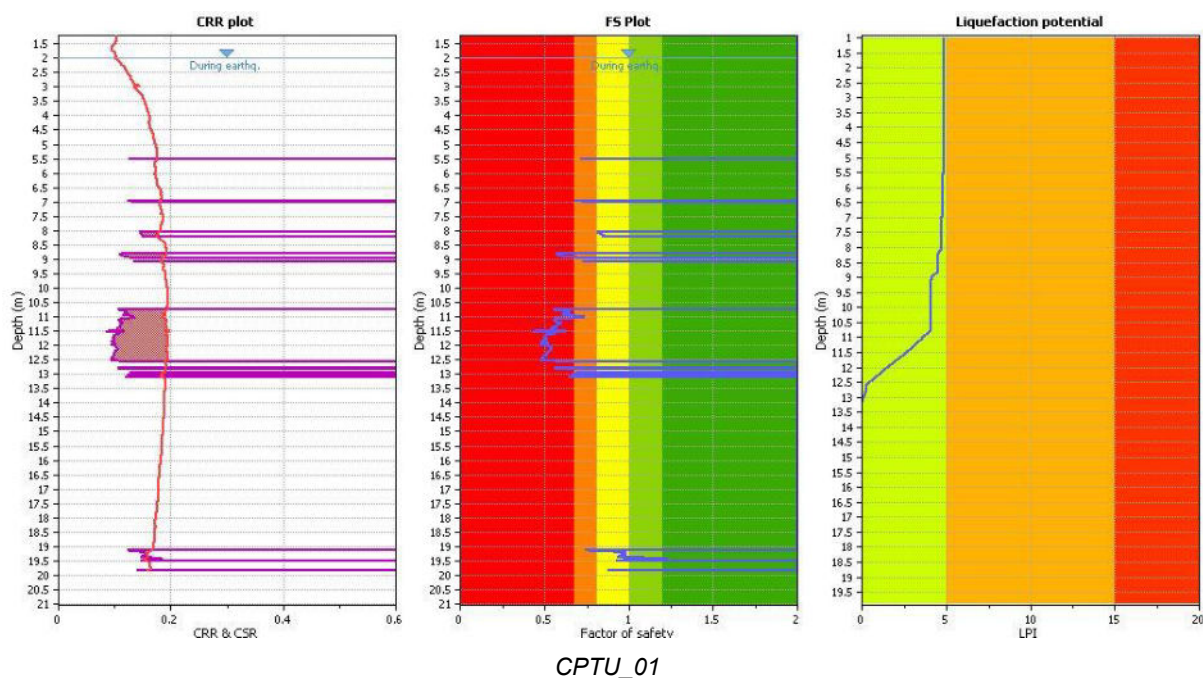
Di seguito si riporta il grafico Cedimenti - Picco di Accelerazione al Suolo (PGA) in cui si nota che i cedimenti riscontrati dall'analisi delle prove CPTu sono compresi tra 6 e 15 cm per valori di PGA di 0,20 g.

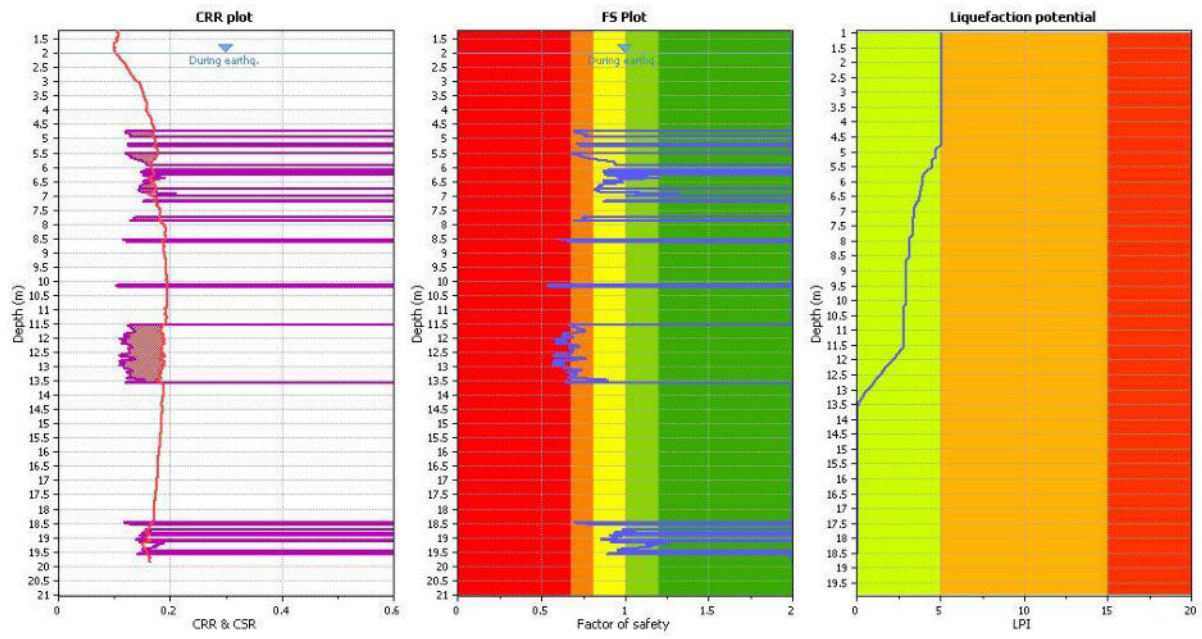


In base al grafico Indice del Potenziale di Liquefazione (LPI) - Picco di Accelerazione al Suolo (PGA), sotto riportato, l'Indice del Potenziale di Liquefazione è compreso tra 1,8 e 4,5.

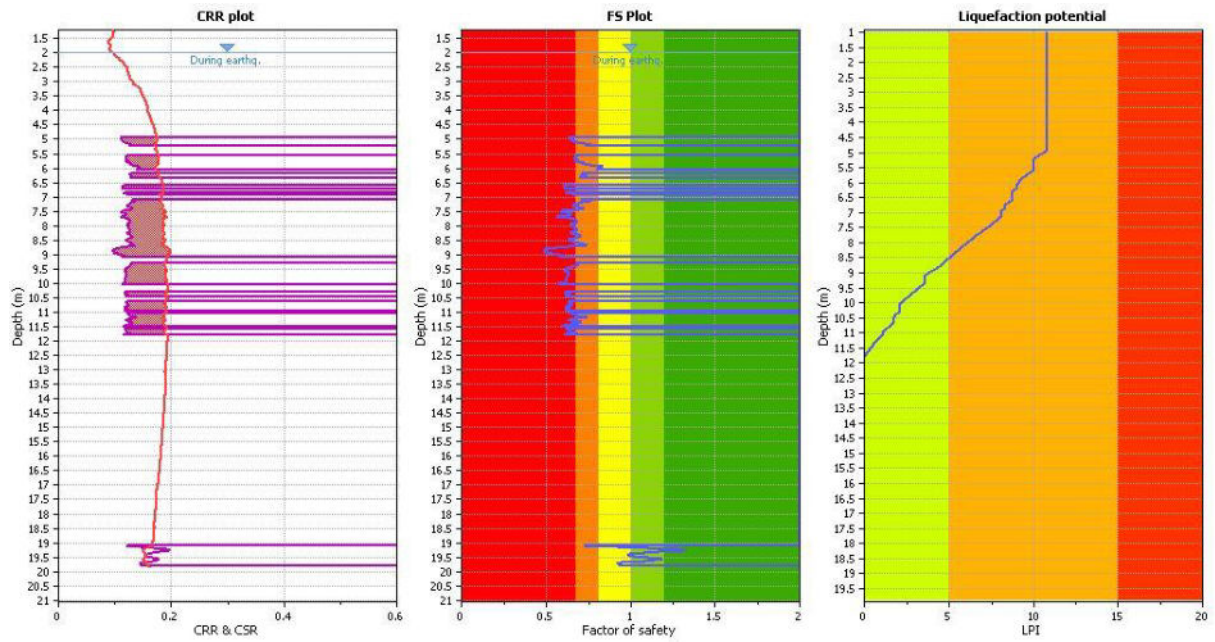


Di seguito si riportano i diagrammi ottenuti analizzando le CPTU eseguite (utilizzando il metodo di Boulanger & Idriss, 2014), in particolare si riporta il diagramma del CRR e del CSR, dove si evidenziano strati in cui il fattore di resistenza alla liquefazione è inferiore a 1,00. Nella medesima figura si riporta il valore dell'indice del potenziale di liquefazione IPL calcolato tenendo conto dei terreni attraversati durante l'esecuzione di ciascuna prova.

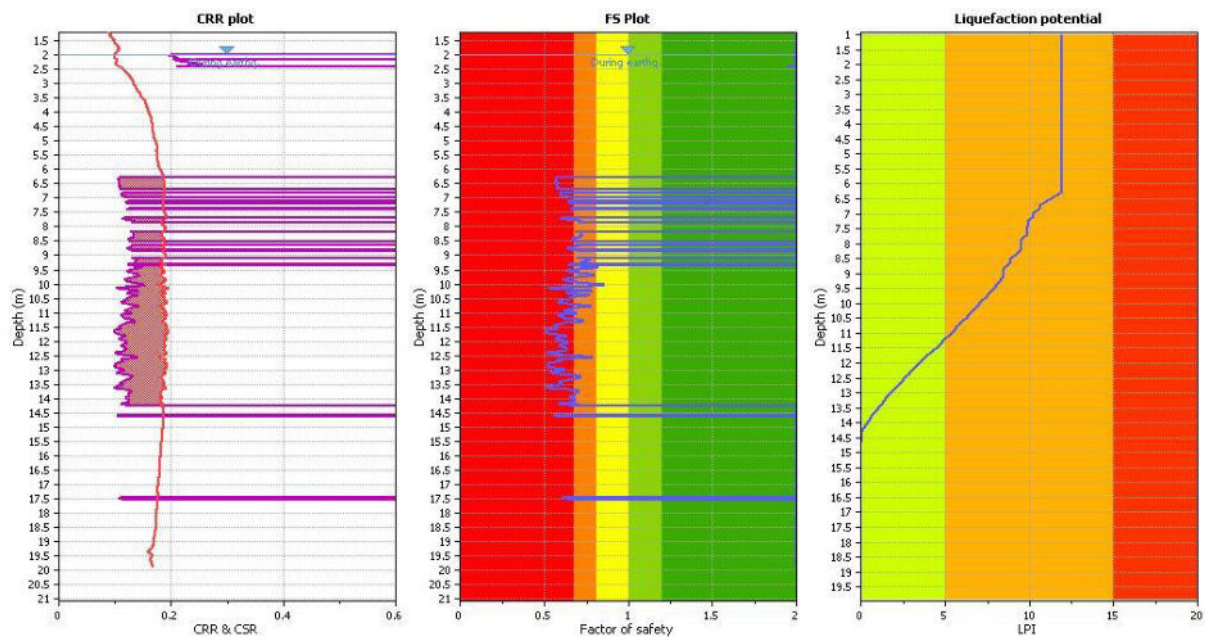




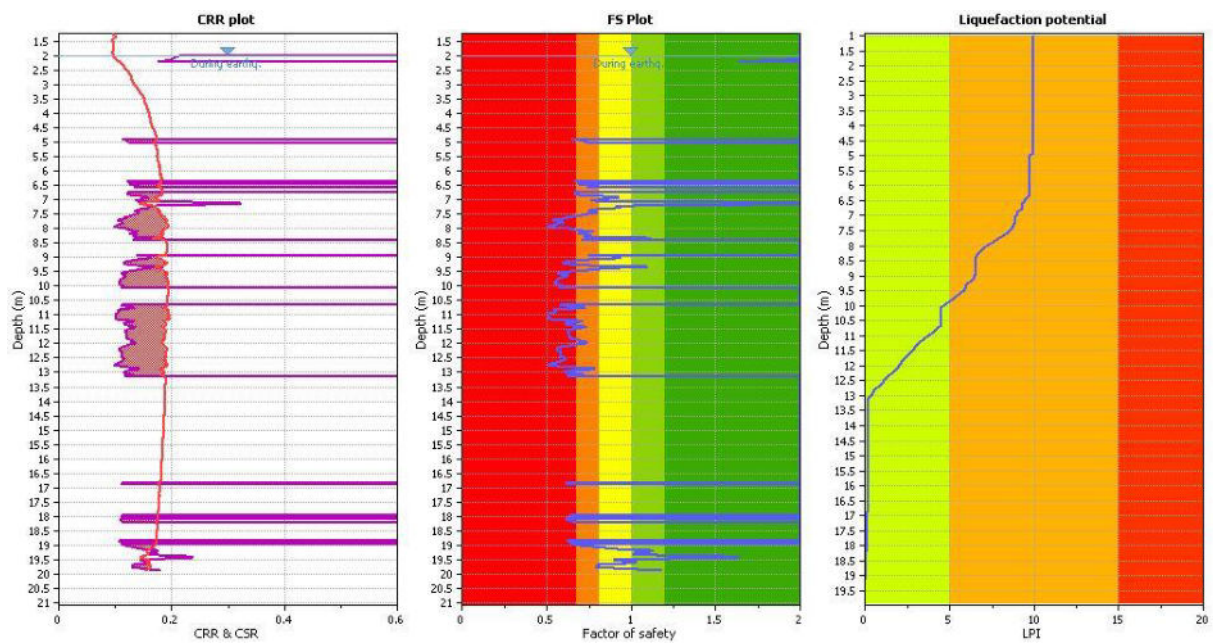
CPTU_02



CPTU_03

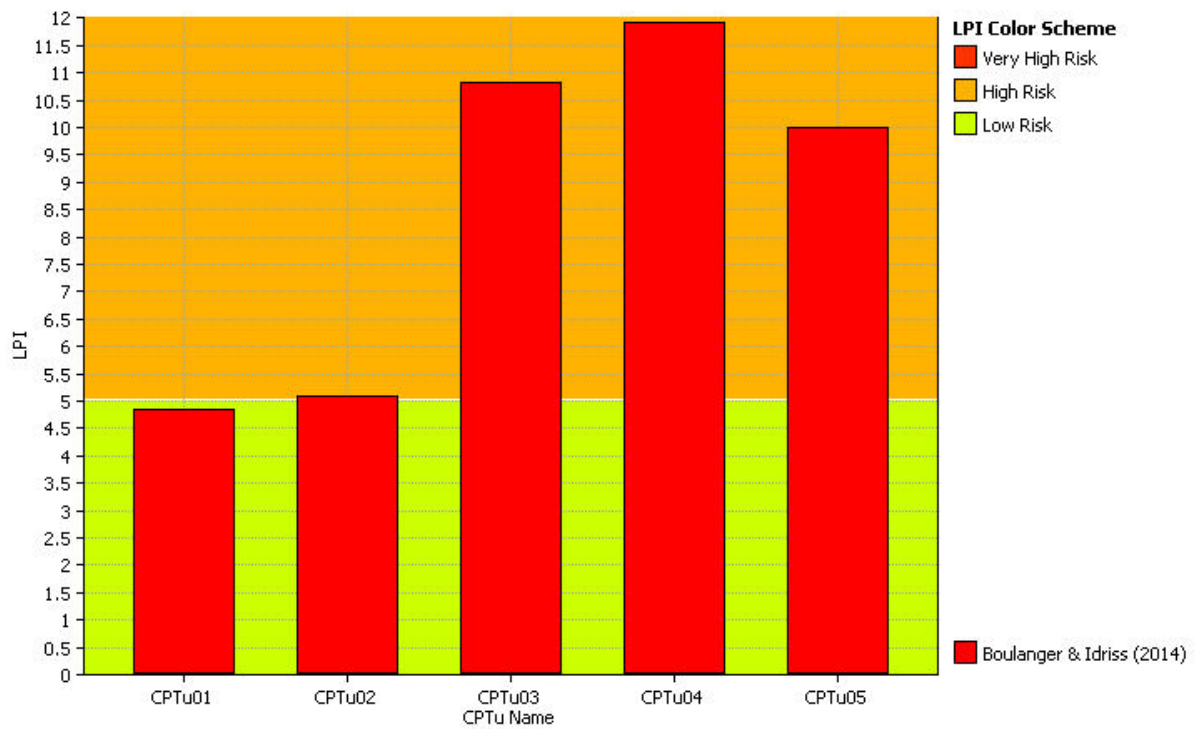


CPTU_04

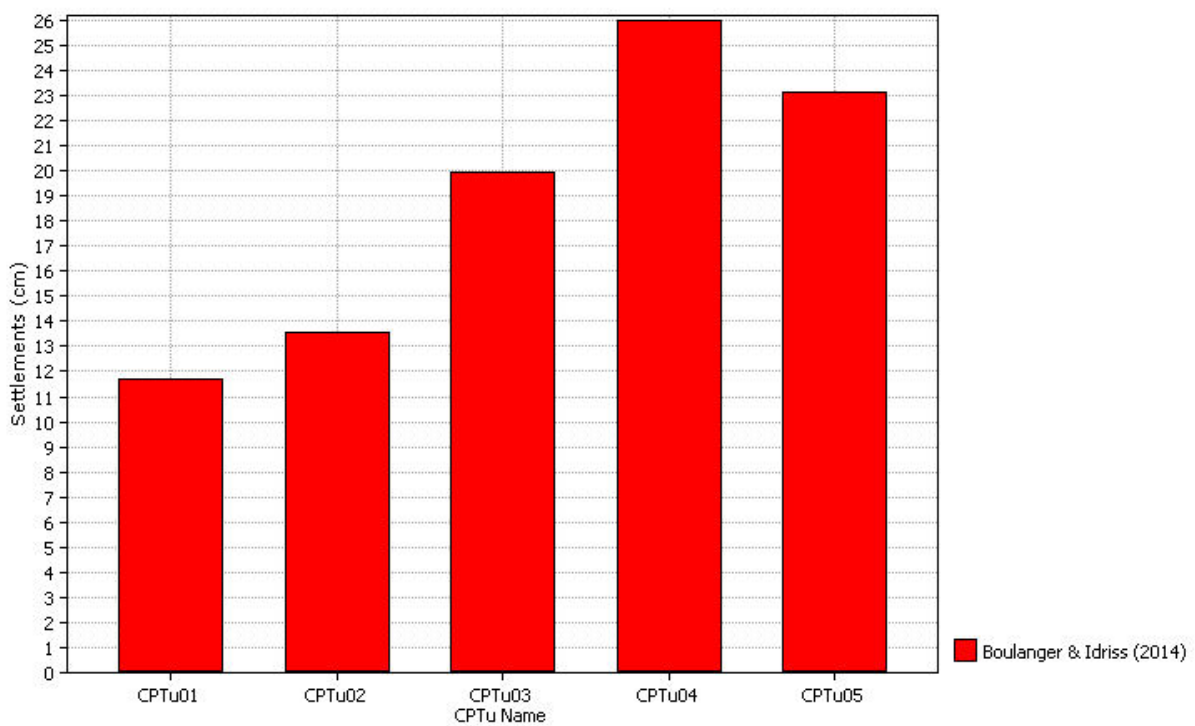


CPTU_05

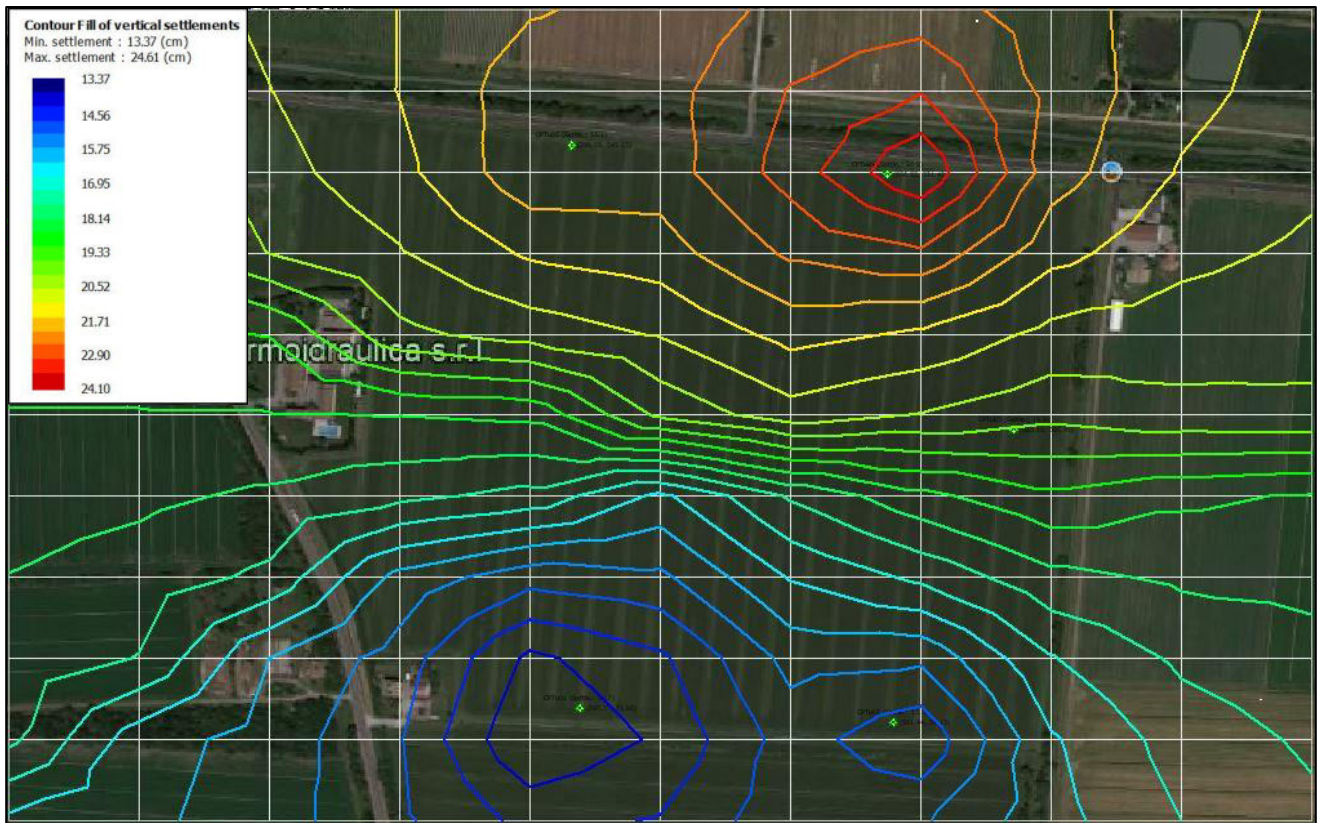
Nel grafico seguente si può notare che in base al metodo semplificato Boulanger & Idriss (2014) le prove CPTu presentano un indice del potenziale di liquefazione (LPI) basso nelle prove CPTu1 e CPTu2 (LPI di 4,5-5,0) e alto nelle prove CPTu3, CPTu4 e CPTu5 (LPI tra 9,0 e 10).



Inoltre, è possibile notare dal grafico sotto riportato che i cedimenti sono compresi tra 11 e 26 cm.



Infine, di seguito si riporta una carta con la posizione delle prove CPTu e i cedimenti totali (terreni liquefacibili e terreni coesivi soffici) stimati durante l'elaborazione dei dati.



6. Considerazioni conclusive

In base alle considerazioni geologiche-sismiche precedentemente fatte si possono trarre le seguenti conclusioni:

L'intervento in progetto è ubicato nel territorio comunale di Carpi al di fuori del nucleo principale in direzione nord, lungo la SP413 in zona pianeggiante.

Le indagini eseguite (n.5 prove penetrometriche statiche con piezocono CPTu, n.10 prove penetrometriche statiche CPT, n.1 indagine sismica di tipo MASW, n.2 indagini sismiche passive a stazione singola HVSR) hanno consentito di evidenziare l'assetto stratigrafico e le caratteristiche sismiche dei terreni indagati;

- Il primo sottosuolo dell'area in oggetto è costituito in prevalenza da materiali fini rappresentati da argille e limi talvolta sabbiosi poco consistenti, a cui seguono materiali medio-grossolani rappresentati da sabbie in matrice limoso-argillosa mediamente addensate;
- Il territorio comunale di Carpi, sul quale l'area in oggetto si colloca, è stato classificato come zona a grado 3 (pericolosità bassa - $0,05 \text{ PGA} < 0,15g$, zona in cui possono verificarsi scuotimenti modesti). Dai dati delle prove MASW eseguite risulta che il sito di interesse ricade in **categoria di suolo C** in quanto $V_{seq}=316 \text{ m/s}$;
- I risultati delle prove CPTu indicano la presenza superficiale di terreni prevalentemente a comportamento coesivo con elevata percentuale di frazione fine, in particolar modo argilla limosa e limi argillosi, i suddetti terreni non ricadono all'interno dei fusi granulometrici sopra riportati, tuttavia al di sotto di questi livelli argillosi è stata rilevata la presenza di livelli sabbiosi, pertanto si è resa necessaria la verifica a liquefazione, i cui risultati indicano che i terreni dell'area oggetto di studio presentano un rischio di liquefazione basso nella zona meridionale e alto in quella settentrionale;
- I dati derivanti dalle prove HVSR eseguite permettono di escludere la presenza anche ad elevate profondità di variazioni di impedenza sismica, ad indicare la sostanziale uniformità della sequenza stratigrafica in profondità. Tali risultati sono in accordo con i dati ottenuti dalle altre prove eseguite in sito e con le informazioni stratigrafiche bibliografiche disponibili per l'area.

RELAZIONE GEOLOGICA

*Progetto per la realizzazione di un impianto
agrivoltaico di potenza pari a 20,43 MWp
nel Comune di Carpi (MO)*

ALLEGATO C1
ELABORATI INDAGINI SISMICHE MASW

Risultati delle analisi MASW

1 - Dati sperimentali

Numero di ricevitori 24
Distanza tra i sensori: 2m
Numero di campioni temporali 2000
Passo temporale di acquisizione.....1ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi..... 24
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a1999ms
I ricevitori non sono invertiti (l'ultimo ricevitore è l'ultimo per l'analisi)

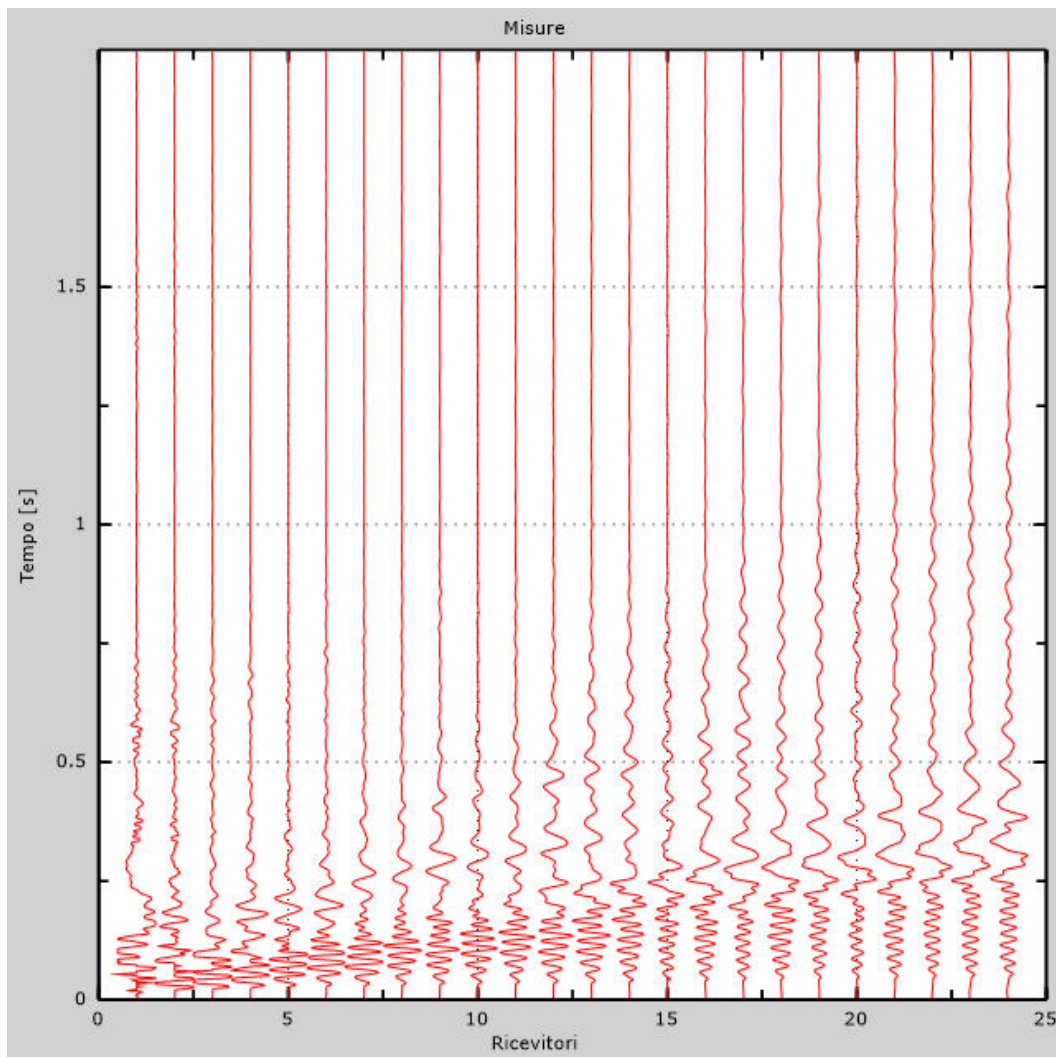


Figura 1: Tracce sperimentali

2 - Risultati delle analisi

Frequenza finale 70Hz

Frequenza iniziale 2Hz

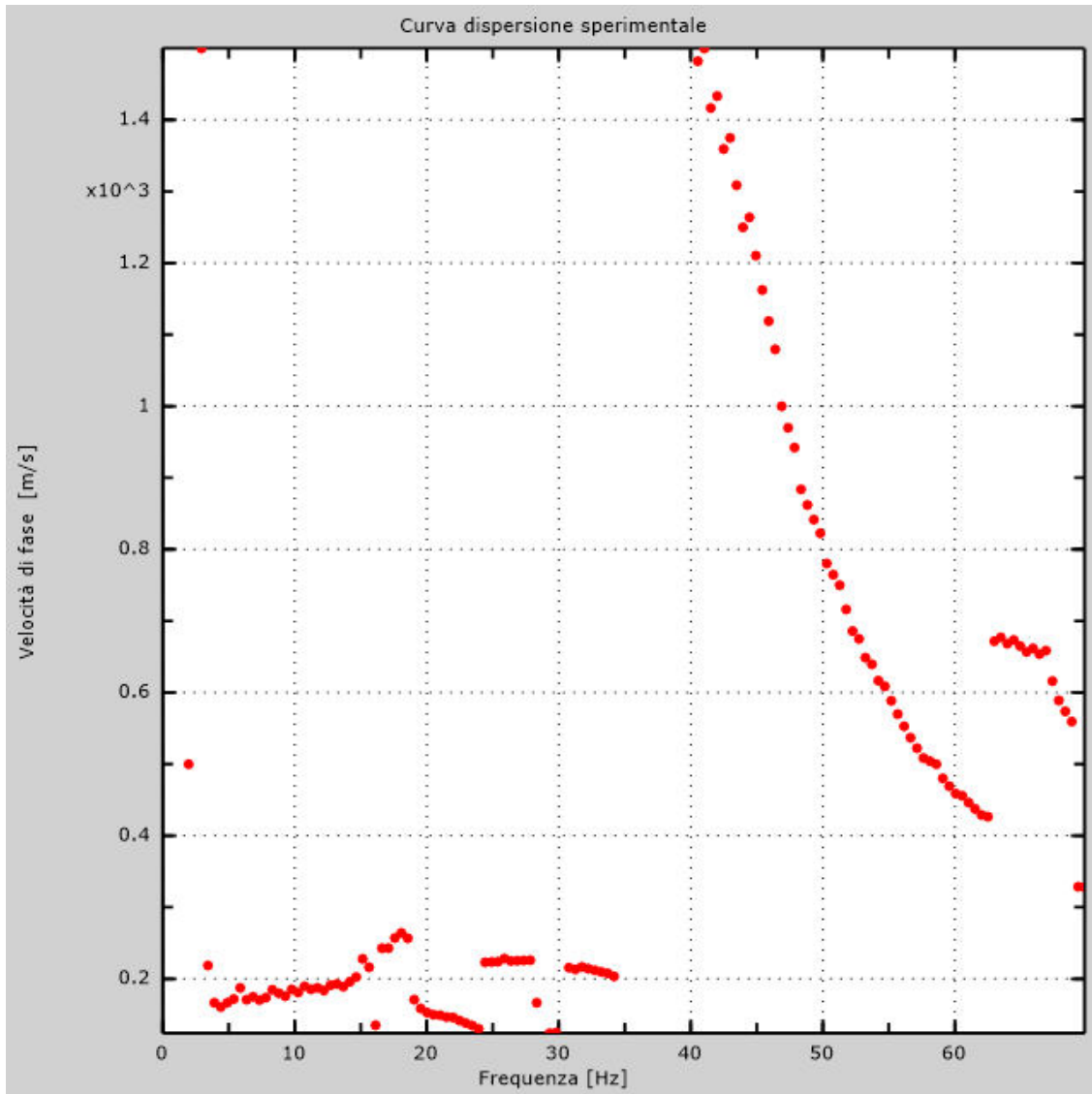


Figura 2: Curva dispersione sperimentale

3 - Risultati delle analisi (tecnica passiva)

Numero di ricevitori 24
Numero di campioni temporali 3.26787e-312
Passo temporale di acquisizione.....2ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi..... 24
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a59998ms
I ricevitori non sono invertiti (l'ultimo ricevitore è l'ultimo per l'analisi)

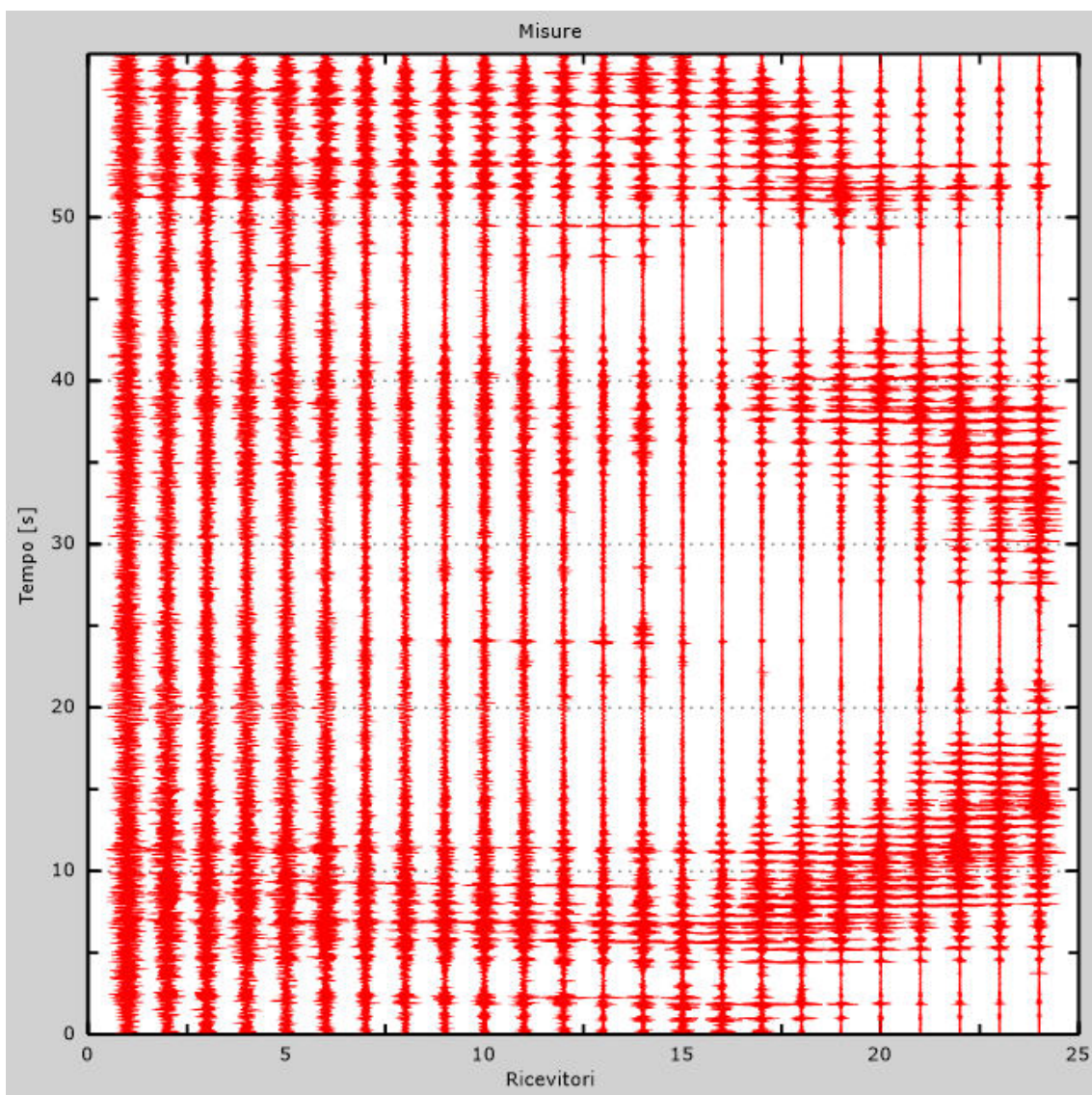


Figura 3: Tracce sperimentali

4 - Curva di dispersione

Tabella 1: Curva di dispersione

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
11.0875	333.979	266.21	401.747
12.6884	198.442	153.908	242.975
15.1076	165.526	120.992	210.059
15.6412	233.294	194.569	272.019
19.27	169.398	122.928	215.868
23.8593	126.801	90.0122	163.589
24.7487	217.804	177.143	258.465
29.4447	120.992	86.1397	155.844
32.5398	210.059	177.143	242.975

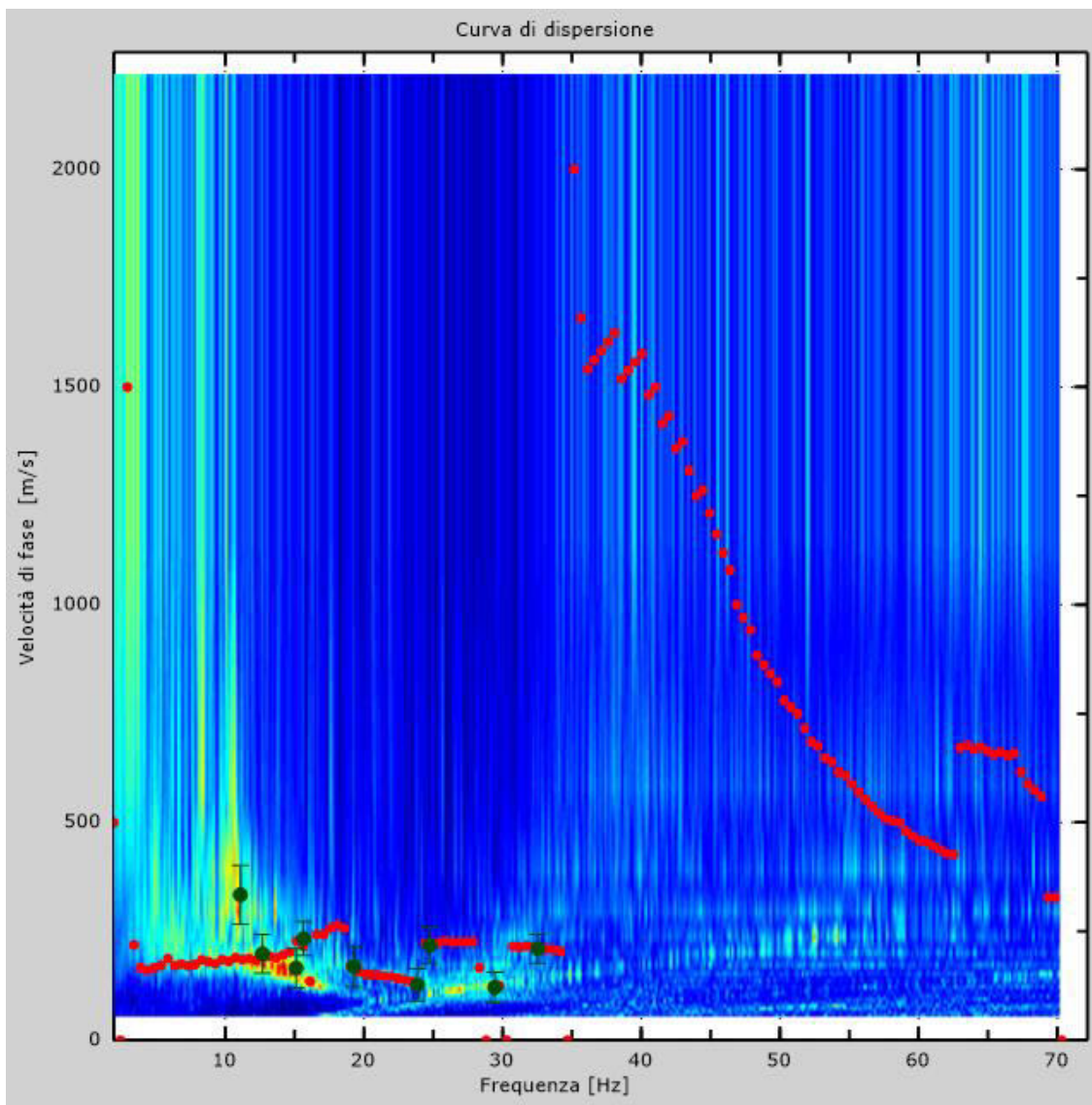


Figura 4: Curva di dispersione

5 - Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio)	6
Spaziatura ricevitori	2m
Numero ricevitori	24
Numero modi	2

Strato 1

h [m]	1
z [m]	-1
Densità [kg/m ³]	1800
Poisson	0.35
Vs [m/s]	170
Vp [m/s]	354

Strato 2

h [m]	2
z [m]	-3
Densità [kg/m ³]	1800
Poisson	0.33
Vs [m/s]	180
Vp [m/s]	357

Strato 3

h [m]	2
z [m]	-5
Densità [kg/m ³]	1900
Poisson	0.33
Vs [m/s]	170
Vp [m/s]	337

Strato 4

h [m]	3
z [m]	-8
Densità [kg/m ³]	1900
Poisson	0.33
Vs [m/s]	300
Vp [m/s]	596

Strato 5

h [m].....	3
z [m].....	-11
Densità [kg/m ³]	1900
Poisson	0.33
Vs [m/s].....	350
Vp [m/s].....	695

Strato 6

h [m].....	0
z [m].....	-∞
Densità [kg/m ³]	2000
Poisson	0.3
Vs [m/s].....	400
Vp [m/s].....	748

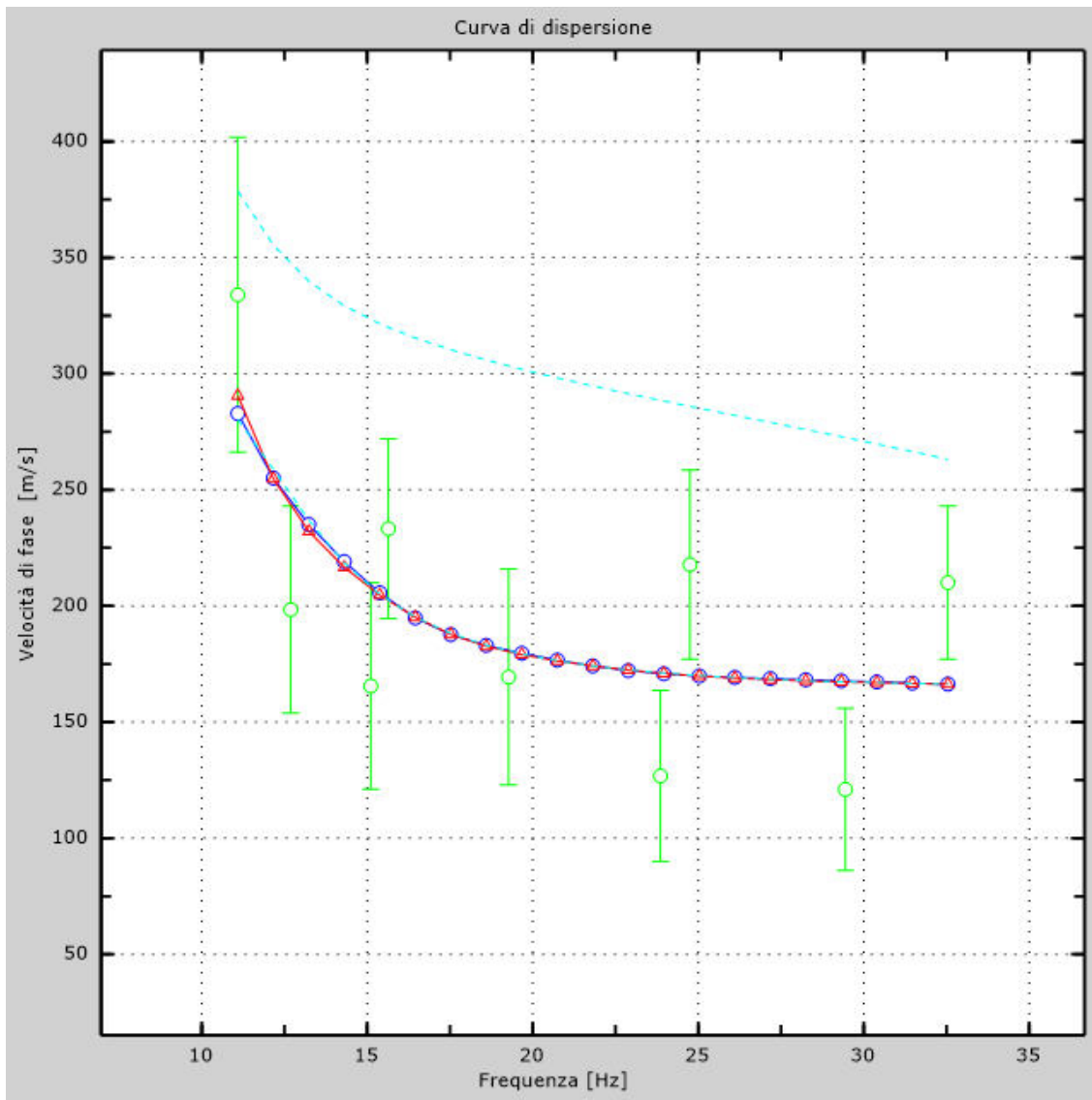


Figura 5: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente(blu), curva numerica (rosso)

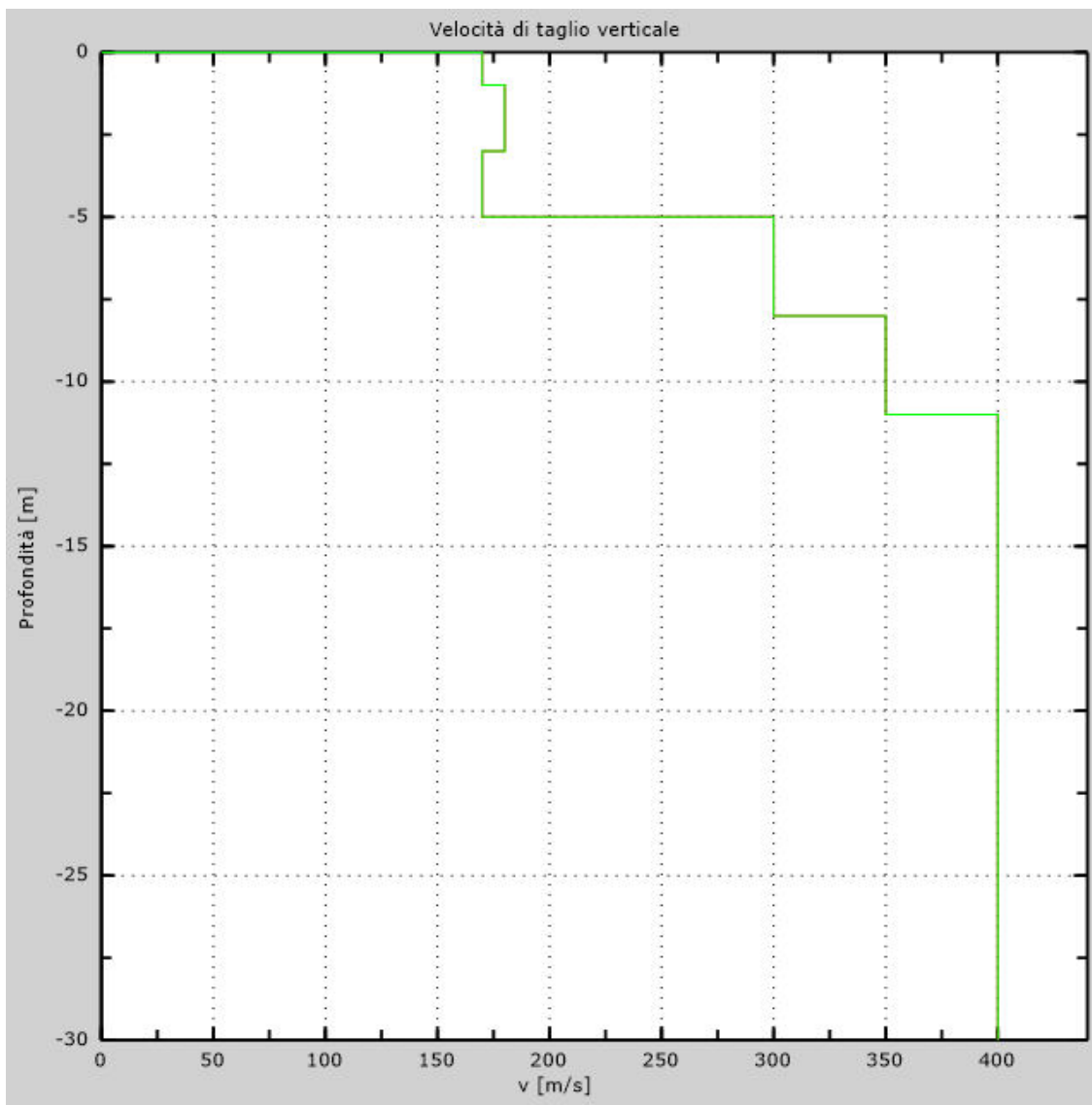


Figura 6: Velocità

6 - Risultati finali

Piano di riferimento $z=0$ [m]	0
V_{seq} [m/s].....	316
La normativa applicata è il DM 17 gennaio 2018	
Tipo di suolo	C

Appendice

Tipo di suolo

Tipo C: *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

RELAZIONE GEOLOGICA

*Progetto per la realizzazione di un impianto
agrivoltaico di potenza pari a 20,43 MWp
nel Comune di Carpi (MO)*

ALLEGATO C2
ELABORATI INDAGINI SISMICHE HVSR

Indagine geofisica tramite tecnica HVSR

Cenni sulla teoria della tecnica HVSR

La tecnica HVSR permette in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Successivamente, come ulteriore sviluppo, la stima del parametro normativo V_{seq} attraverso un processo di inversione del problema iniziale. Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate.

Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione. Tale registrazione deve essere effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti.

Si esegue un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce.

Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.

Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a tapering e/o liscciamento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee.

Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea.

Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing.

Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.

L'ulteriore ipotesi che questo rapporto spettrale possa ritenersi una buona approssimazione dell'ellitticità del modo fondamentale della propagazione delle onde di Rayleigh, permette di confrontare questi due al fine di ottenere una stima del profilo stratigrafico. Tale procedura, detta di inversione, consente di definire il profilo

sostanzialmente in termini di spessore e velocità delle onde di taglio. Avendo quindi una stima del profilo della velocità delle onde di taglio, è possibile valutarne il parametro normativo V_{seq} .

HVSR 1

Dati generali

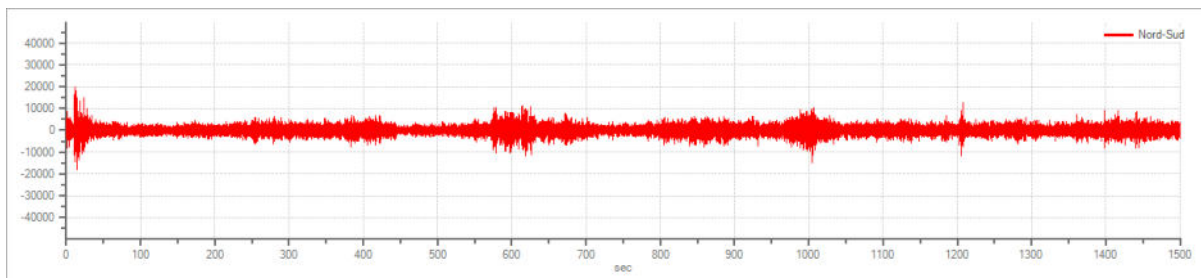
Nome progetto:
Committente:
Cantiere:
Località:
Operatore:
Responsabile:
Data: 20/11/2023 00:00:00
Zona:
Latitudine:
Longitudine:

Tracce in input

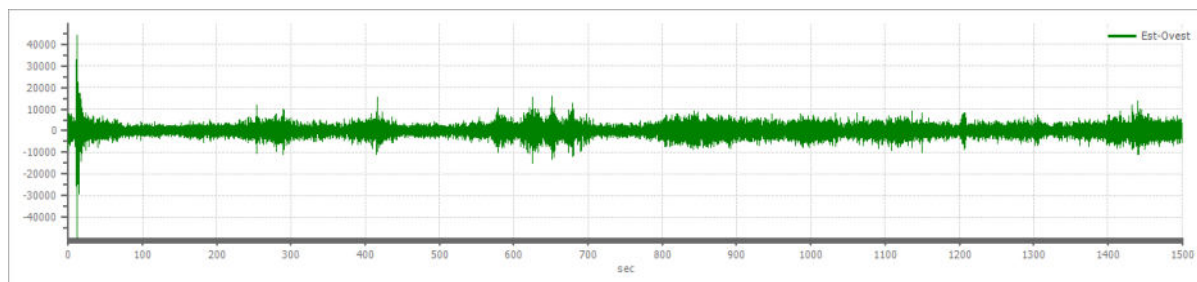
Dati riepilogativi:

Numero tracce: 3
Durata registrazione: 1500 s
Frequenza di campionamento: 300.00 Hz
Numero campioni: 450000
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

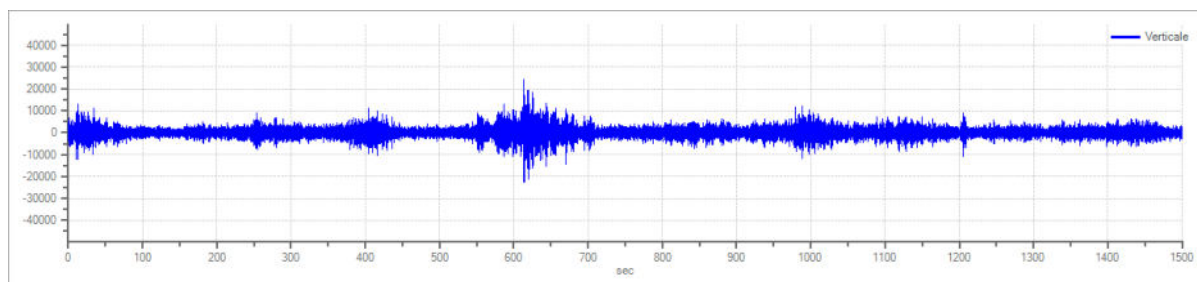
Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

Finestre selezionate

Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 69

Numero finestre incluse nel calcolo: 69

Dimensione temporale finestre: 20.000 s

Tipo di lisciamento: Triangolare proporzionale

Percentuale di lisciamento: 10.00 %

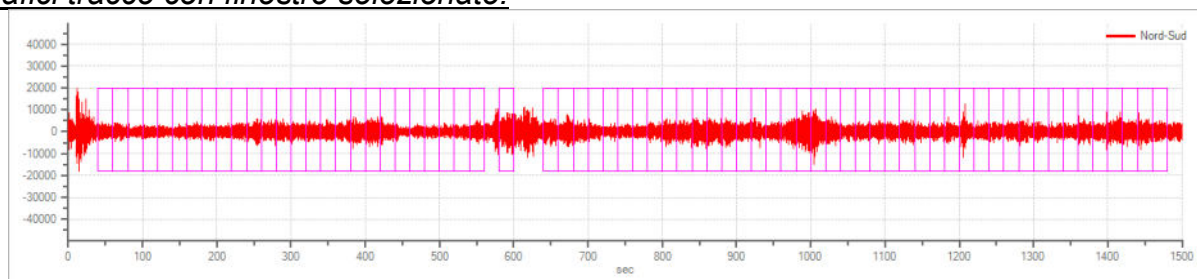
Tabella finestre:

Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	40	60	Inclusa
2	60	80	Inclusa
3	80	100	Inclusa
4	100	120	Inclusa
5	120	140	Inclusa
6	140	160	Inclusa
7	160	180	Inclusa
8	180	200	Inclusa
9	200	220	Inclusa
10	220	240	Inclusa
11	240	260	Inclusa
12	260	280	Inclusa
13	280	300	Inclusa
14	300	320	Inclusa
15	320	340	Inclusa
16	340	360	Inclusa
17	360	380	Inclusa

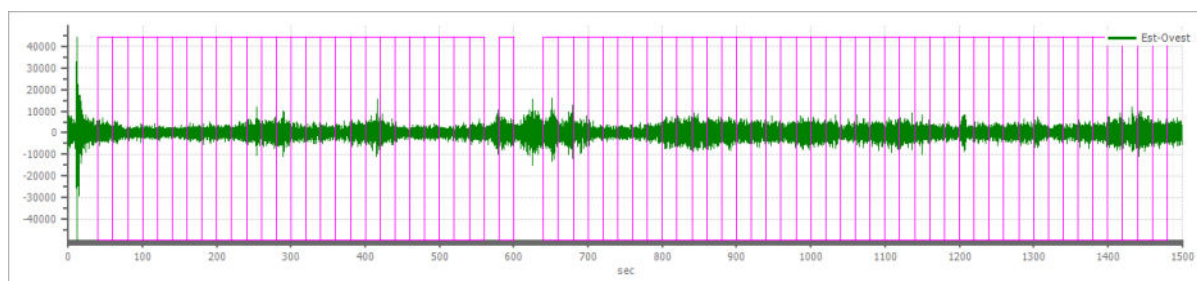
18	380	400	Inclusa
19	400	420	Inclusa
20	420	440	Inclusa
21	440	460	Inclusa
22	460	480	Inclusa
23	480	500	Inclusa
24	500	520	Inclusa
25	520	540	Inclusa
26	540	560	Inclusa
27	580	600	Inclusa
28	640	660	Inclusa
29	660	680	Inclusa
30	680	700	Inclusa
31	700	720	Inclusa
32	720	740	Inclusa
33	740	760	Inclusa
34	760	780	Inclusa
35	780	800	Inclusa
36	800	820	Inclusa
37	820	840	Inclusa
38	840	860	Inclusa
39	860	880	Inclusa
40	880	900	Inclusa
41	900	920	Inclusa
42	920	940	Inclusa
43	940	960	Inclusa
44	960	980	Inclusa
45	980	1000	Inclusa
46	1000	1020	Inclusa
47	1020	1040	Inclusa
48	1040	1060	Inclusa
49	1060	1080	Inclusa
50	1080	1100	Inclusa
51	1100	1120	Inclusa
52	1120	1140	Inclusa
53	1140	1160	Inclusa
54	1160	1180	Inclusa
55	1180	1200	Inclusa
56	1200	1220	Inclusa
57	1220	1240	Inclusa
58	1240	1260	Inclusa
59	1260	1280	Inclusa
60	1280	1300	Inclusa
61	1300	1320	Inclusa
62	1320	1340	Inclusa
63	1340	1360	Inclusa
64	1360	1380	Inclusa
65	1380	1400	Inclusa
66	1400	1420	Inclusa
67	1420	1440	Inclusa

68	1440	1460	Inclusa
69	1460	1480	Inclusa

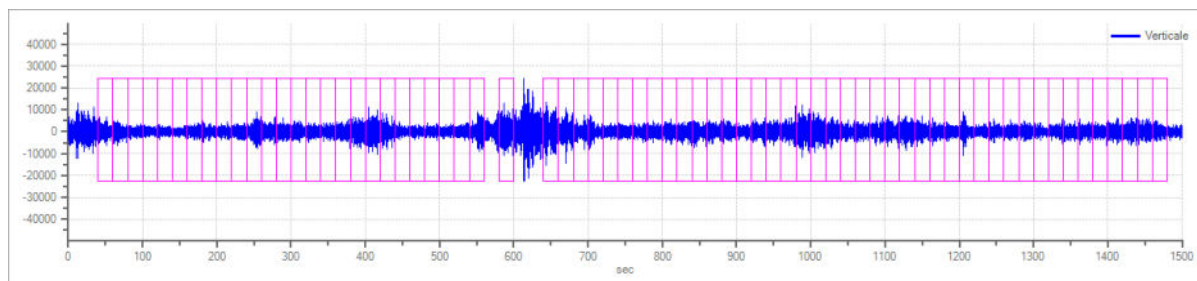
Grafici tracce con finestre selezionate:



Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

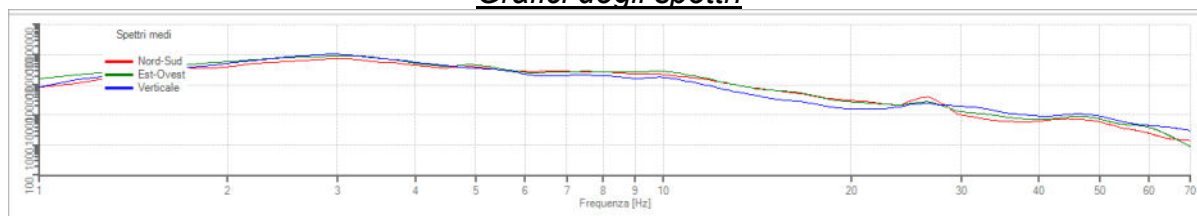


Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

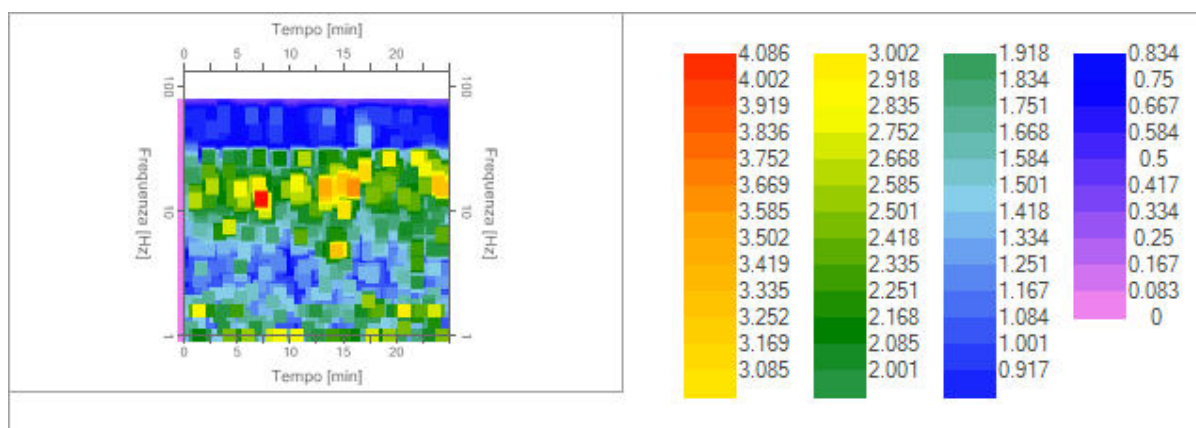


Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

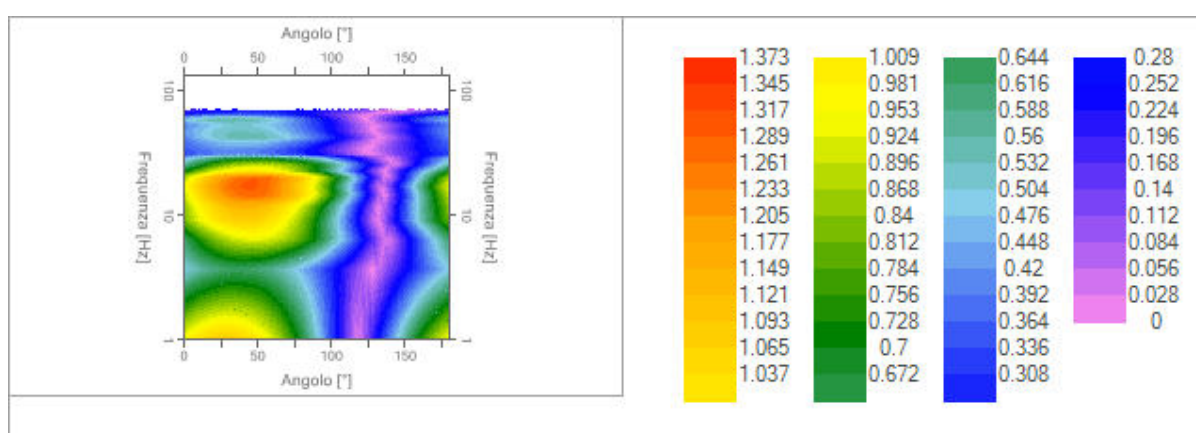
Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

Rapporto spettrale H/V

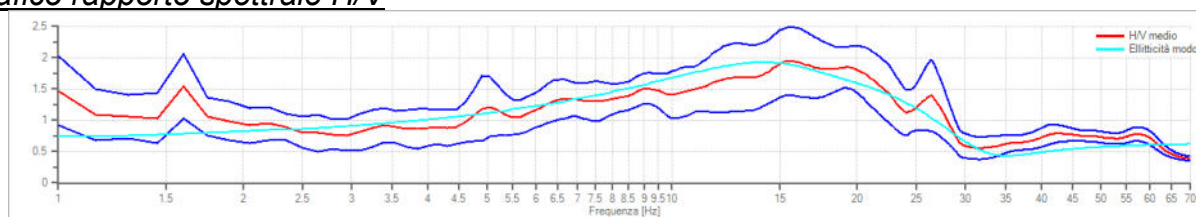
Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 70.00 Hz
 Frequenza minima: 1.00 Hz
 Passo frequenza: 0.15 Hz
 Tipo lisciamento: Triangolare proporzionale
 Percentuale di lisciamento: 10.00 %
 Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 15.55 Hz ± 0.28 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Non superato
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Non superato
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Non superato
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Non superato
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

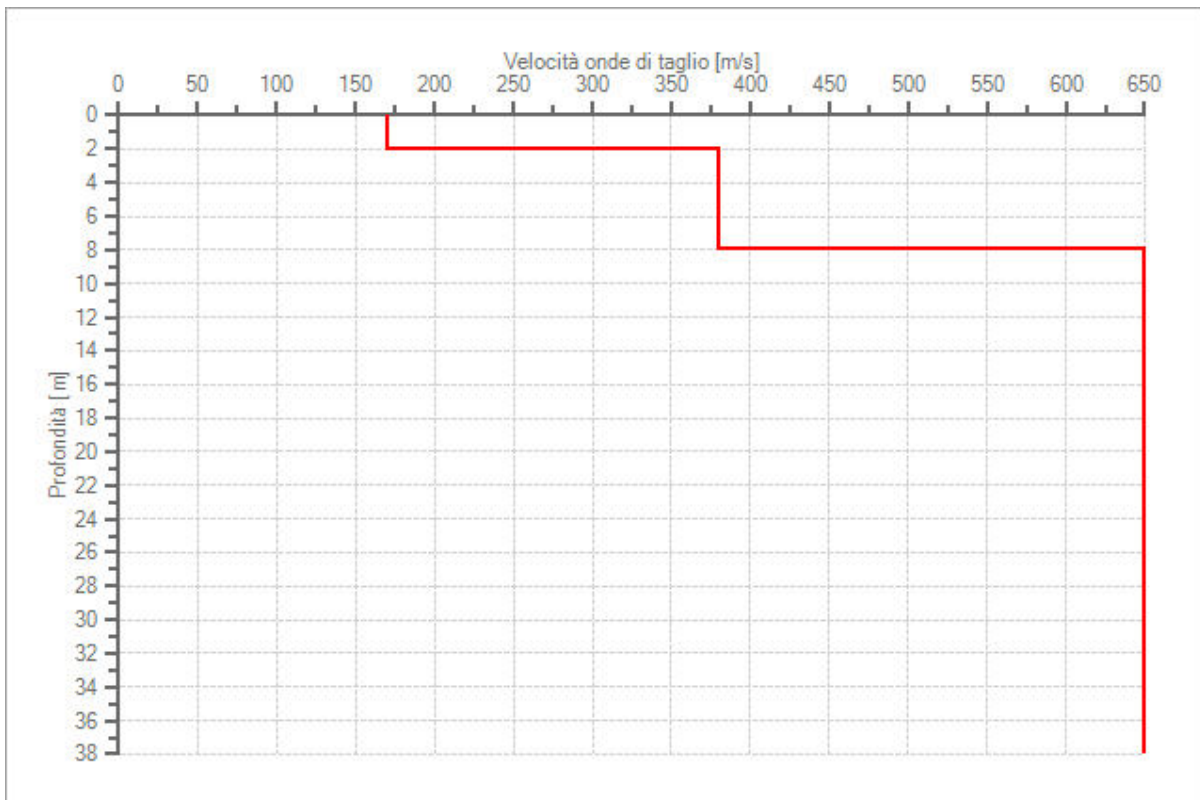
Modello stratigrafico

Dati riepilogativi:

Numero strati: 3
 Frequenza del picco dell'ellitticità: 14.05 Hz
 Valore di disadattamento: 0.23
 Valore Vseq: 488.60 m/s

Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m ³]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	2	18	0.35	170
2	2	6	19	0.33	380
3	8	30	20	0.3	650



Profilo delle velocità delle onde di taglio.

HVSR 2

Dati generali

Nome progetto:

Committente:

Cantiere:

Località:

Operatore:

Responsabile:

Data: 20/11/2023 00:00:00

Zona:

Latitudine:

Longitudine:

Tracce in input

Dati riepilogativi:

Numero tracce: 3

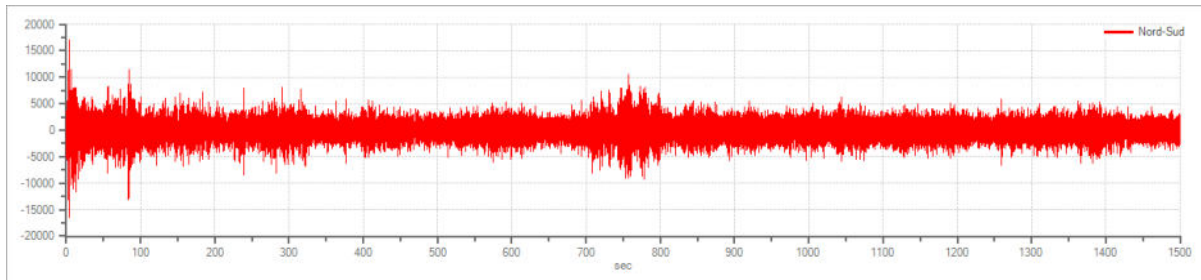
Durata registrazione: 1500 s

Frequenza di campionamento: 300.00 Hz

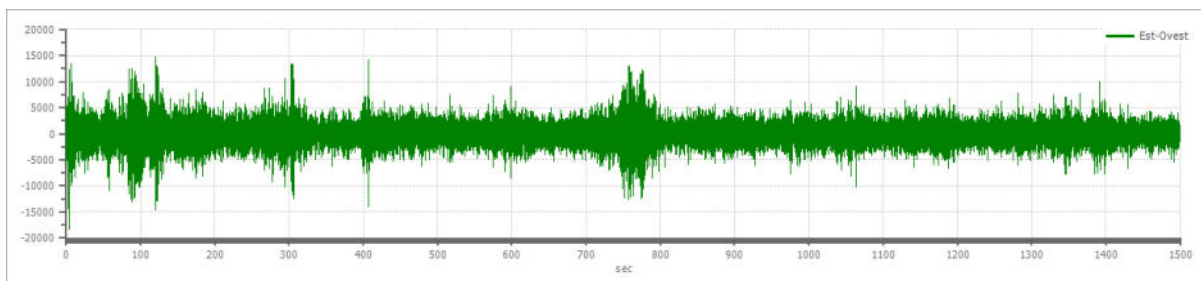
Numero campioni: 450000

Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

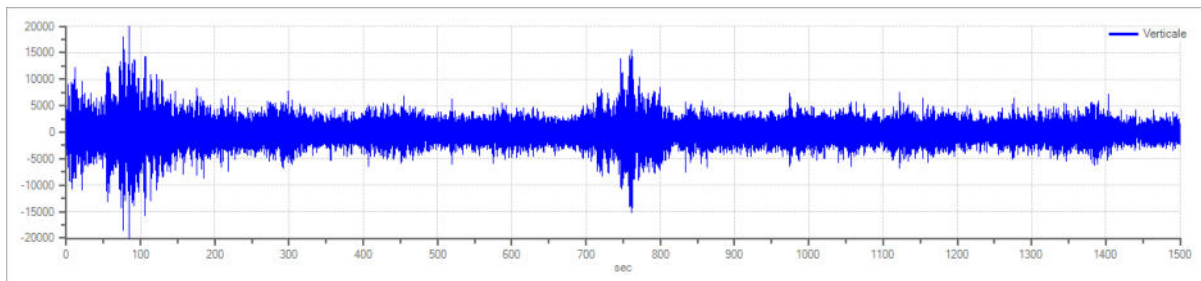
Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

Finestre selezionate

Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 67

Numero finestre incluse nel calcolo: 67

Dimensione temporale finestre: 20.000 s

Tipo di lisciamento: Triangolare proporzionale

Percentuale di lisciamento: 10.00 %

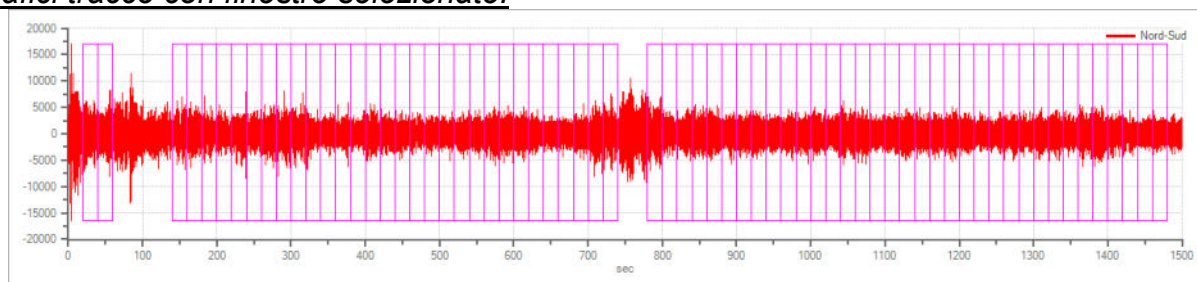
Tabella finestre:

Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	20	40	Inclusa
2	40	60	Inclusa

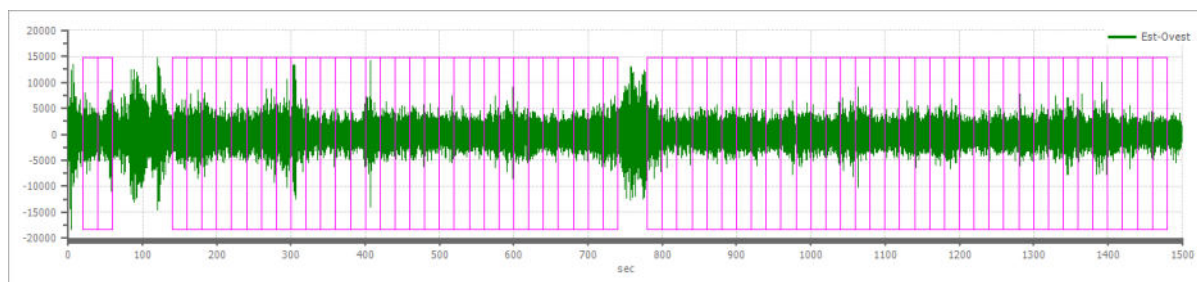
3	140	160	Inclusa
4	160	180	Inclusa
5	180	200	Inclusa
6	200	220	Inclusa
7	220	240	Inclusa
8	240	260	Inclusa
9	260	280	Inclusa
10	280	300	Inclusa
11	300	320	Inclusa
12	320	340	Inclusa
13	340	360	Inclusa
14	360	380	Inclusa
15	380	400	Inclusa
16	400	420	Inclusa
17	420	440	Inclusa
18	440	460	Inclusa
19	460	480	Inclusa
20	480	500	Inclusa
21	500	520	Inclusa
22	520	540	Inclusa
23	540	560	Inclusa
24	560	580	Inclusa
25	580	600	Inclusa
26	600	620	Inclusa
27	620	640	Inclusa
28	640	660	Inclusa
29	660	680	Inclusa
30	680	700	Inclusa
31	700	720	Inclusa
32	720	740	Inclusa
33	780	800	Inclusa
34	800	820	Inclusa
35	820	840	Inclusa
36	840	860	Inclusa
37	860	880	Inclusa
38	880	900	Inclusa
39	900	920	Inclusa
40	920	940	Inclusa
41	940	960	Inclusa
42	960	980	Inclusa
43	980	1000	Inclusa
44	1000	1020	Inclusa
45	1020	1040	Inclusa
46	1040	1060	Inclusa
47	1060	1080	Inclusa
48	1080	1100	Inclusa
49	1100	1120	Inclusa
50	1120	1140	Inclusa
51	1140	1160	Inclusa
52	1160	1180	Inclusa

53	1180	1200	Inclusa
54	1200	1220	Inclusa
55	1220	1240	Inclusa
56	1240	1260	Inclusa
57	1260	1280	Inclusa
58	1280	1300	Inclusa
59	1300	1320	Inclusa
60	1320	1340	Inclusa
61	1340	1360	Inclusa
62	1360	1380	Inclusa
63	1380	1400	Inclusa
64	1400	1420	Inclusa
65	1420	1440	Inclusa
66	1440	1460	Inclusa
67	1460	1480	Inclusa

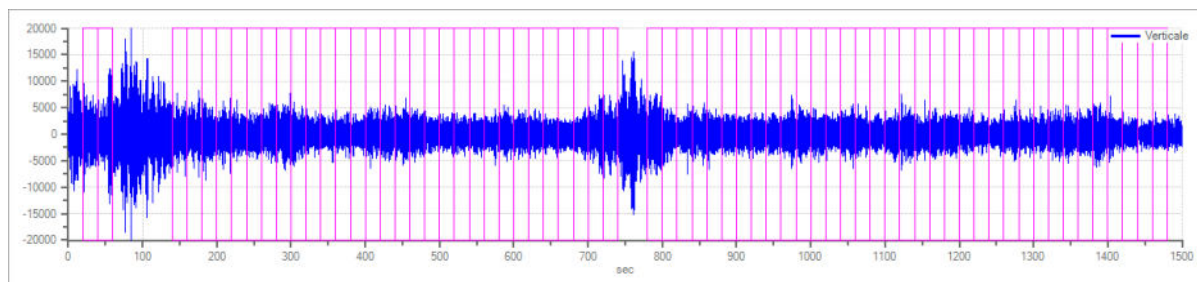
Grafici tracce con finestre selezionate:



Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

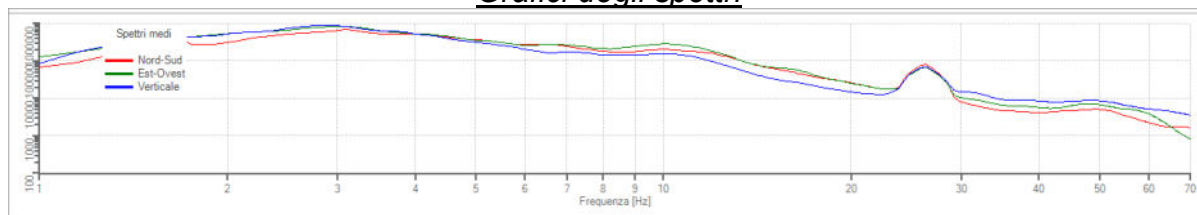


Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

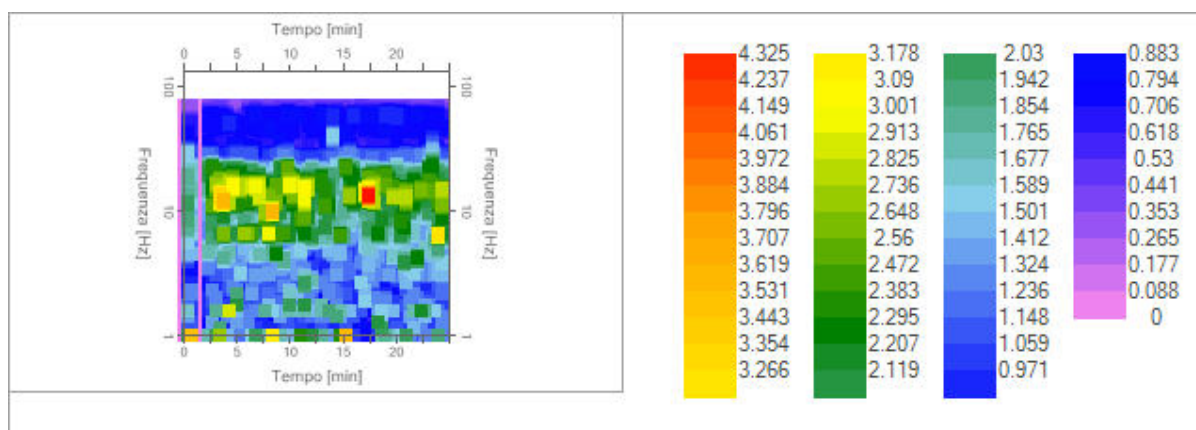


Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

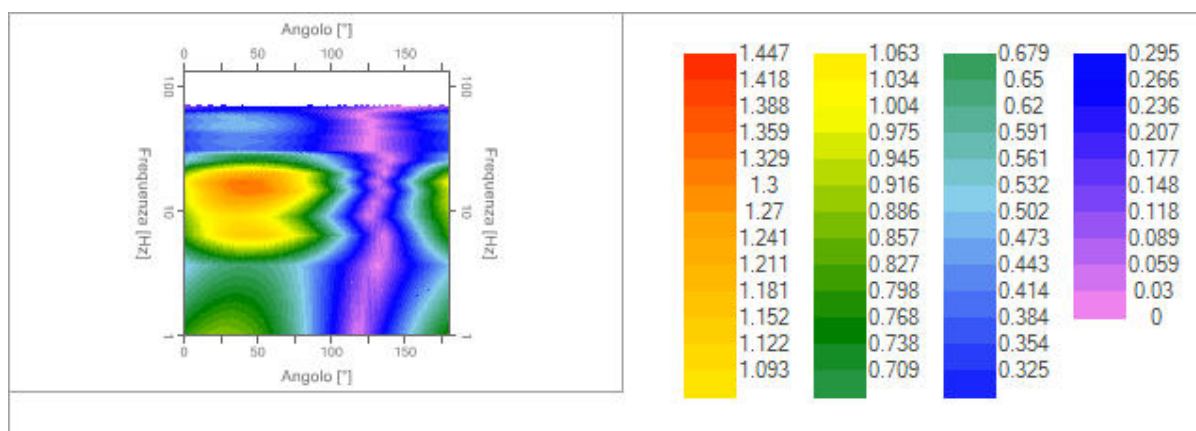
Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

Rapporto spettrale H/V

Dati riepilogativi:

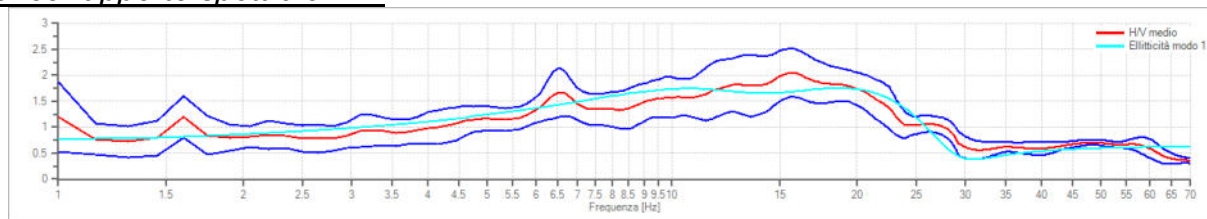
Frequenza massima: 70.00 Hz
 Frequenza minima: 1.00 Hz
 Passo frequenza: 0.15 Hz
 Tipo lisciamento: Triangolare proporzionale
 Percentuale di lisciamento: 10.00 %
 Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V:15.70

Hz ± 0.23 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

Verifica

$$f_0 > 10/l_w$$

$$n_c(f_0) > 200$$

$$\sigma_A(f) < 2 \text{ per } 0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0 \text{ se } f_0 > 0.5 \text{ Hz}$$

$$\sigma_A(f) < 3 \text{ per } 0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0 \text{ se } f_0 < 0.5 \text{ Hz}$$

$$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$$

$$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$$

$$A_0 > 2$$

$$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$$

$$\sigma_f < \varepsilon(f)$$

$$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$$

Esito

Ok

Ok

Ok

Non superato

Ok

Ok

Ok

Ok

Ok

Modello stratigrafico

Dati riepilogativi:

Numero strati: 3

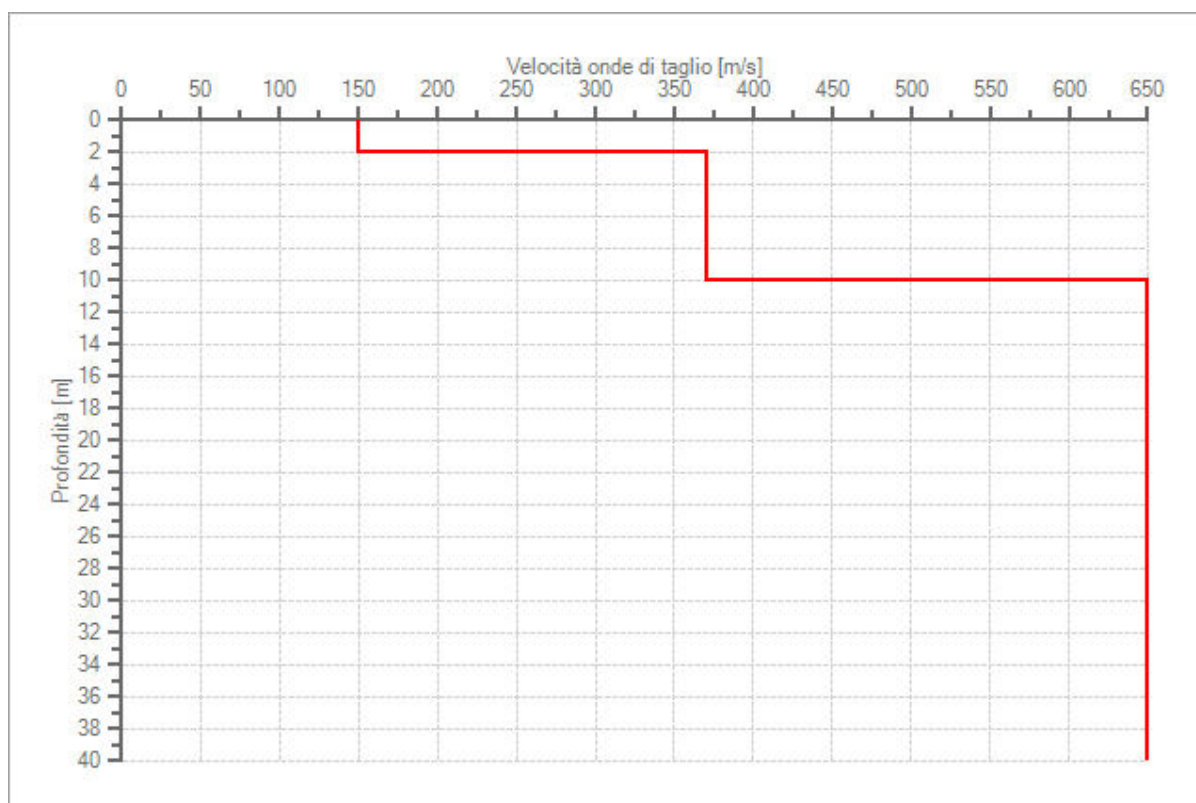
Frequenza del picco dell'ellitticità: 18.70 Hz

Valore di disadattamento: 0.35

Valore Vseq: 456.45 m/s

Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m ³]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	2	18	0.35	150
2	2	8	19	0.33	370
3	10	30	20	0.3	650



Profilo delle velocità delle onde di taglio.

RELAZIONE GEOLOGICA

*Progetto per la realizzazione di un impianto
agrivoltaico di potenza pari a 20,43 MWp
nel Comune di Carpi (MO)*

ALLEGATO C3
ELABORATO VERIFICHE
LIQUEFAZIONE E CEDIMENTI

TABLE OF CONTENTS

CPTu01 results	
Summary data report	1
Vertical settlements summary report	8
Lateral displacements summary report	9
CPTu02 results	
Summary data report	12
Vertical settlements summary report	19
Lateral displacements summary report	20
CPTu03 results	
Summary data report	23
Vertical settlements summary report	30
Lateral displacements summary report	31
CPTu04 results	
Summary data report	34
Vertical settlements summary report	41
Lateral displacements summary report	42
CPTu05 results	
Summary data report	45
Vertical settlements summary report	52
Lateral displacements summary report	53

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

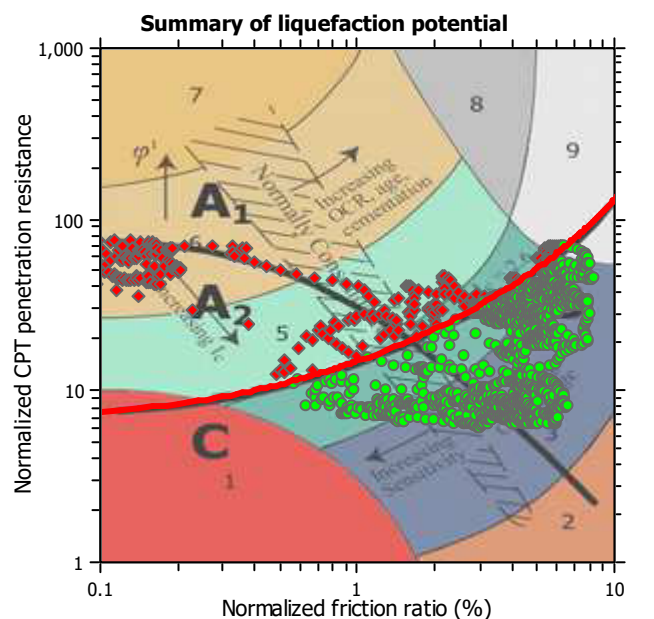
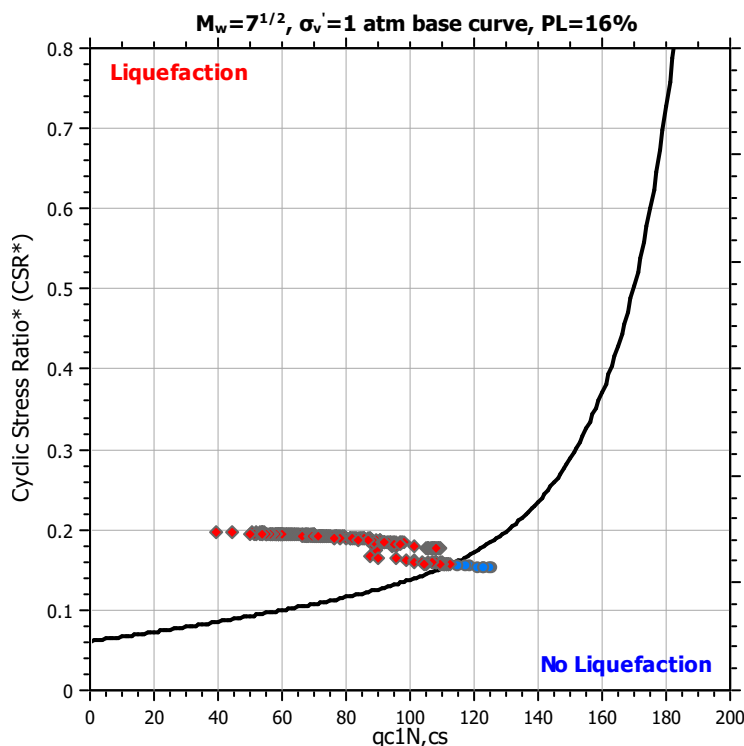
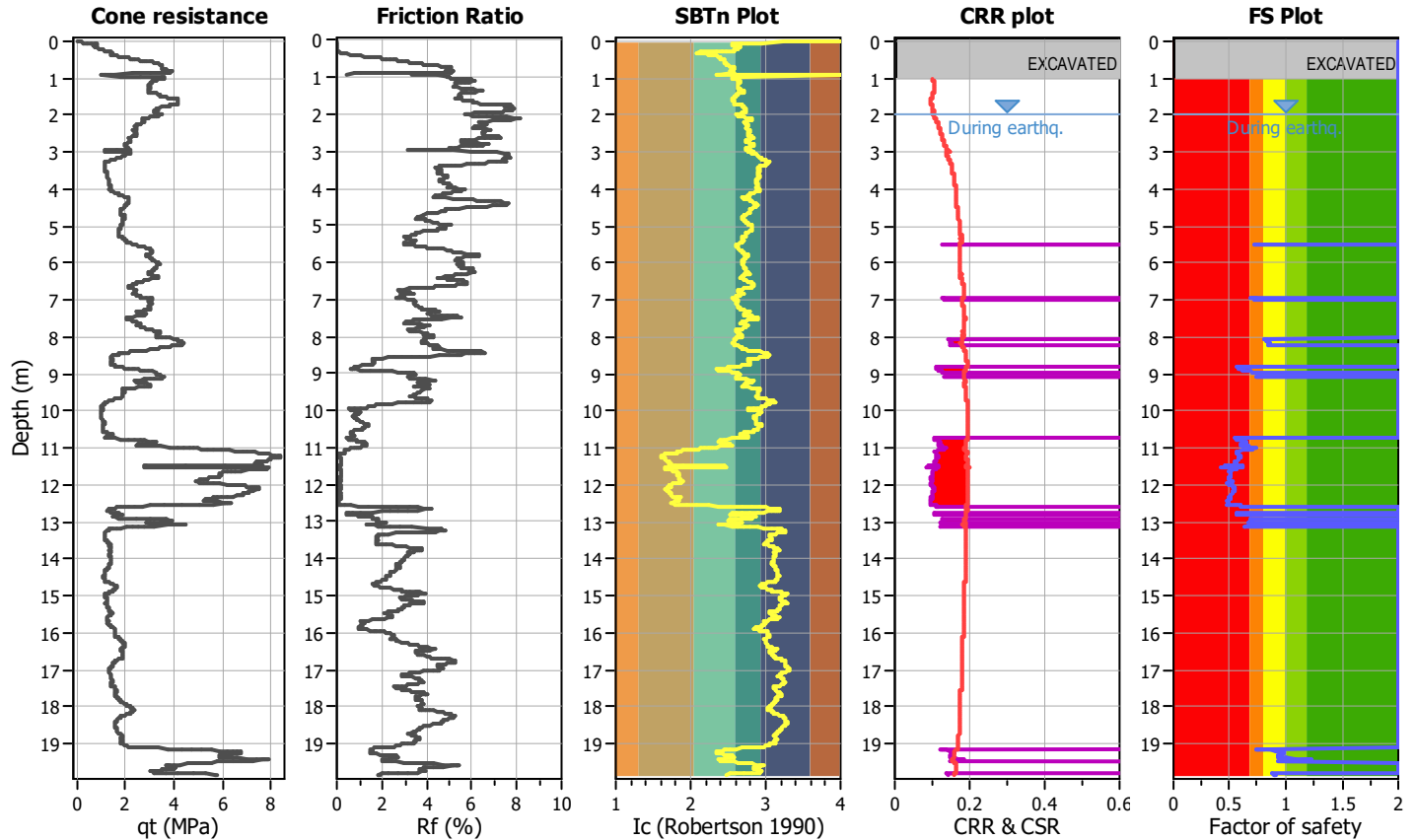
Project title :

Location :

CPT file : CPTu01

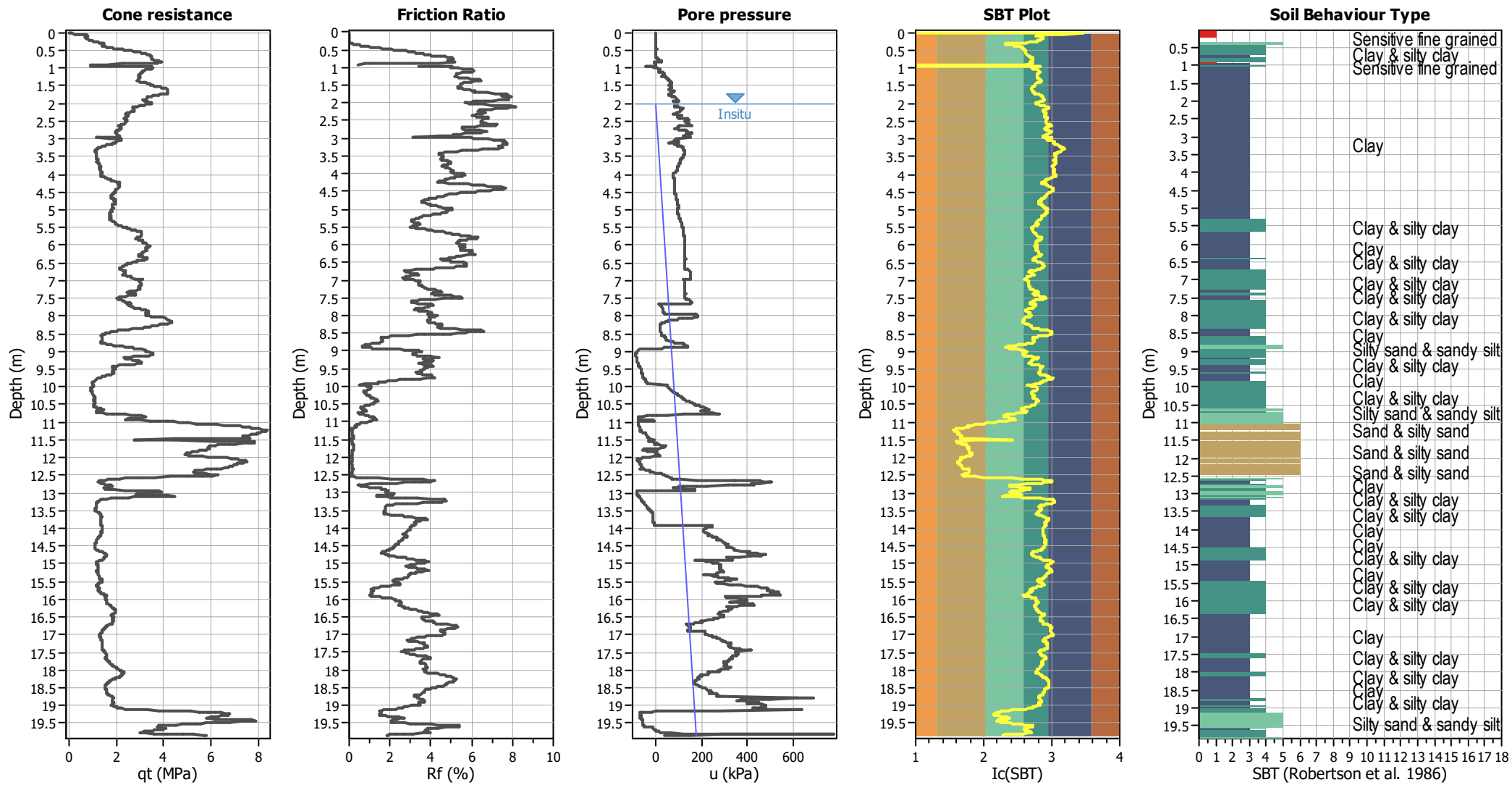
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	2.00 m	Excavation:	Yes	Clay like behavior	
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	2.00 m	Excavation depth:	1.00 m	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Footing load:	9.80 kPa	Limit depth applied:	No
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.21	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_g applied:	Yes	MSF method:	Method based



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

CPT basic interpretation plots

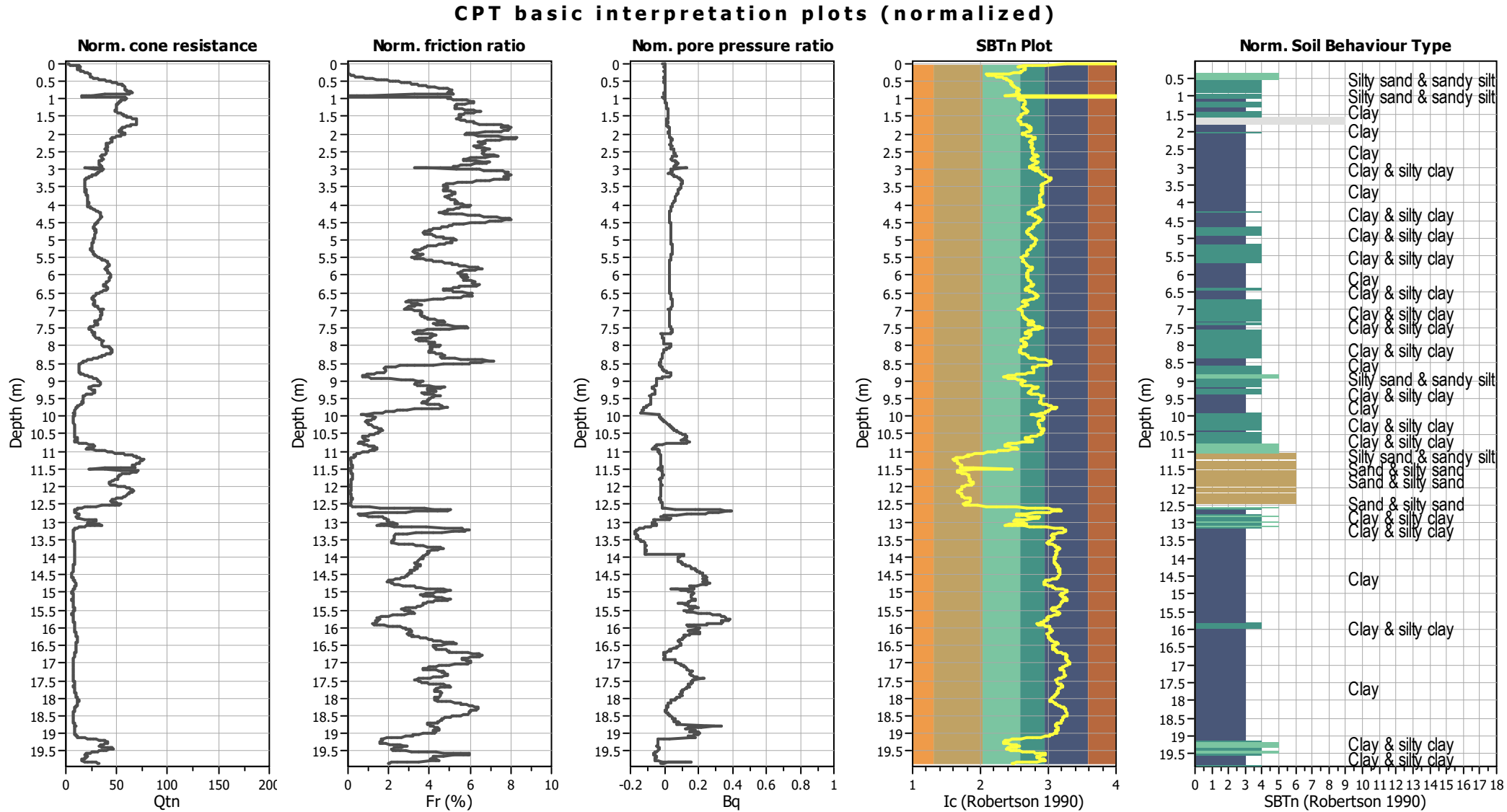


Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.00 m	Footing load:	9.80 kPa
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 :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.21	Excavation:	Yes	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.00 m	Excavation depth:	1.00 m	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

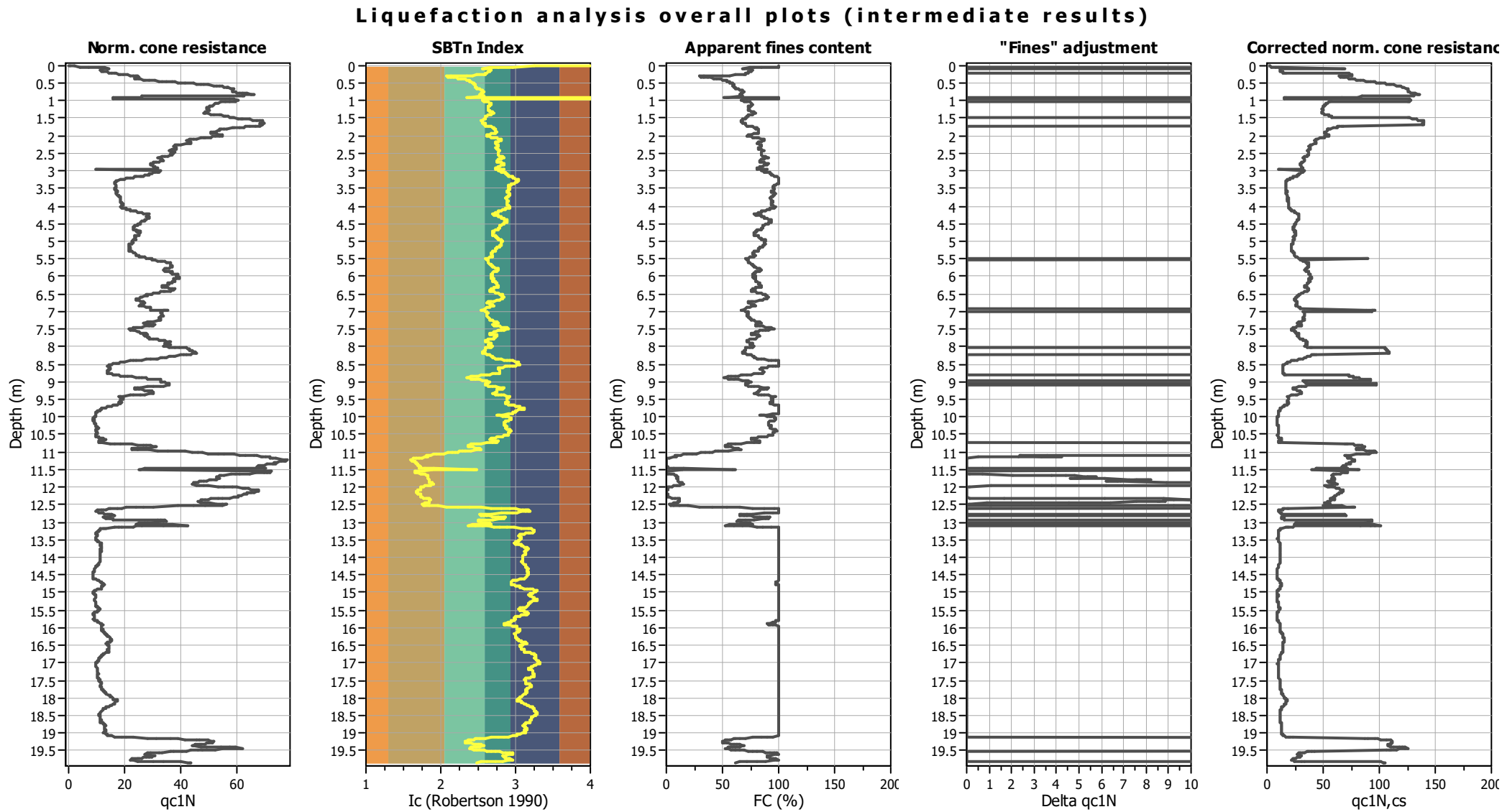


Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.00 m	Footing load:	9.80 kPa
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 :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.21	Excavation:	Yes	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.00 m	Excavation depth:	1.00 m	Limit depth:	N/A

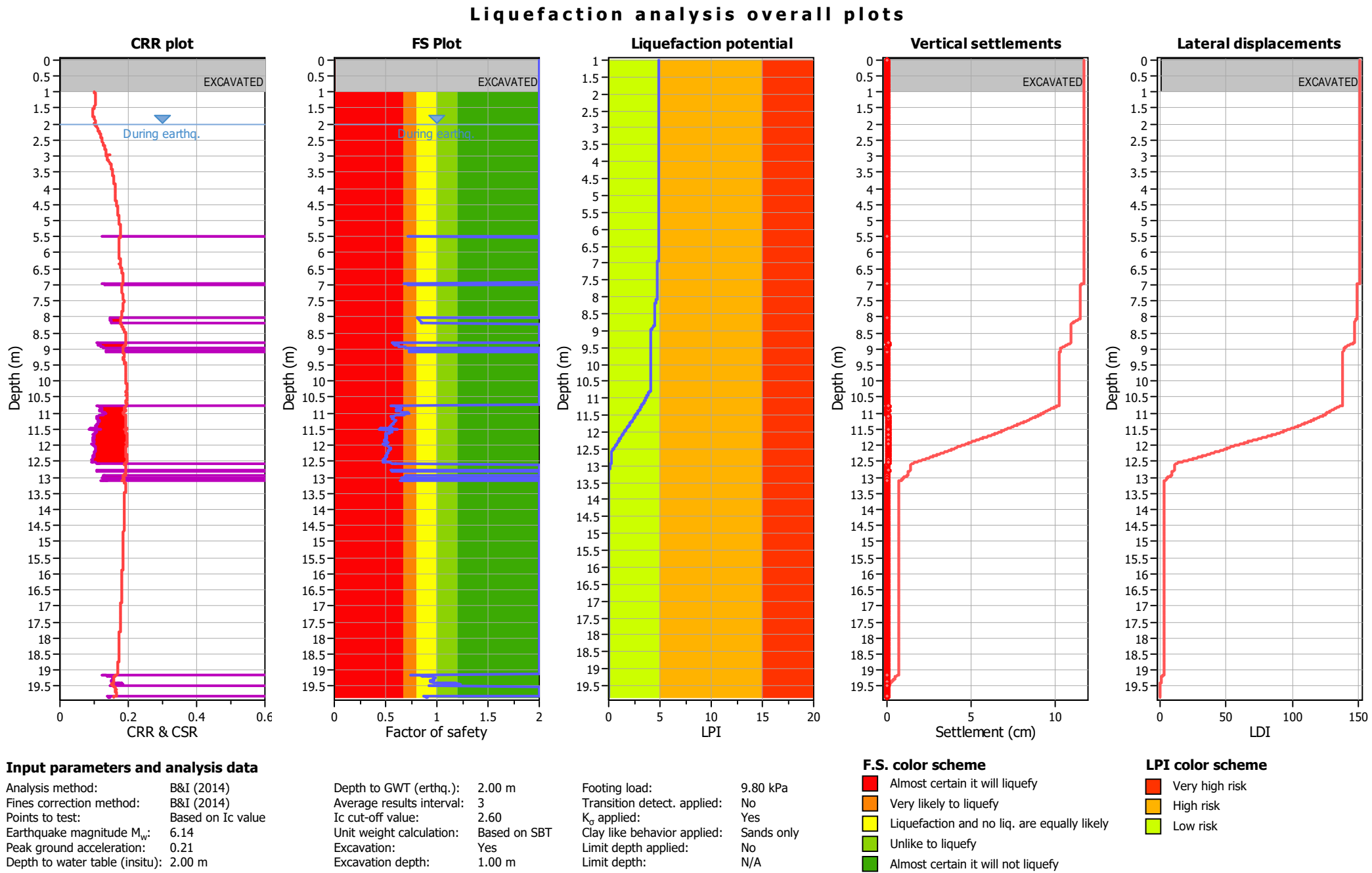
SBTn legend

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

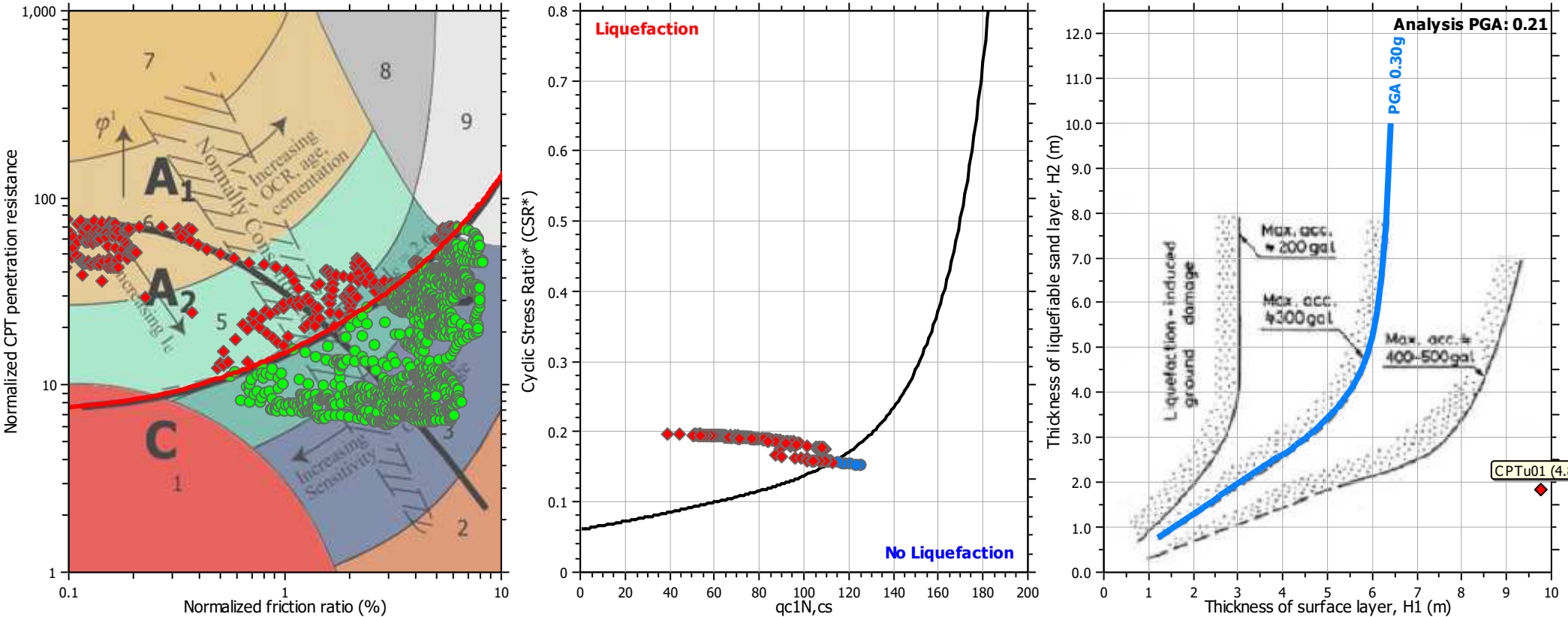


Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.00 m	Footing load:	9.80 kPa
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _q applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.21	Excavation:	Yes	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.00 m	Excavation depth:	1.00 m	Limit depth:	N/A

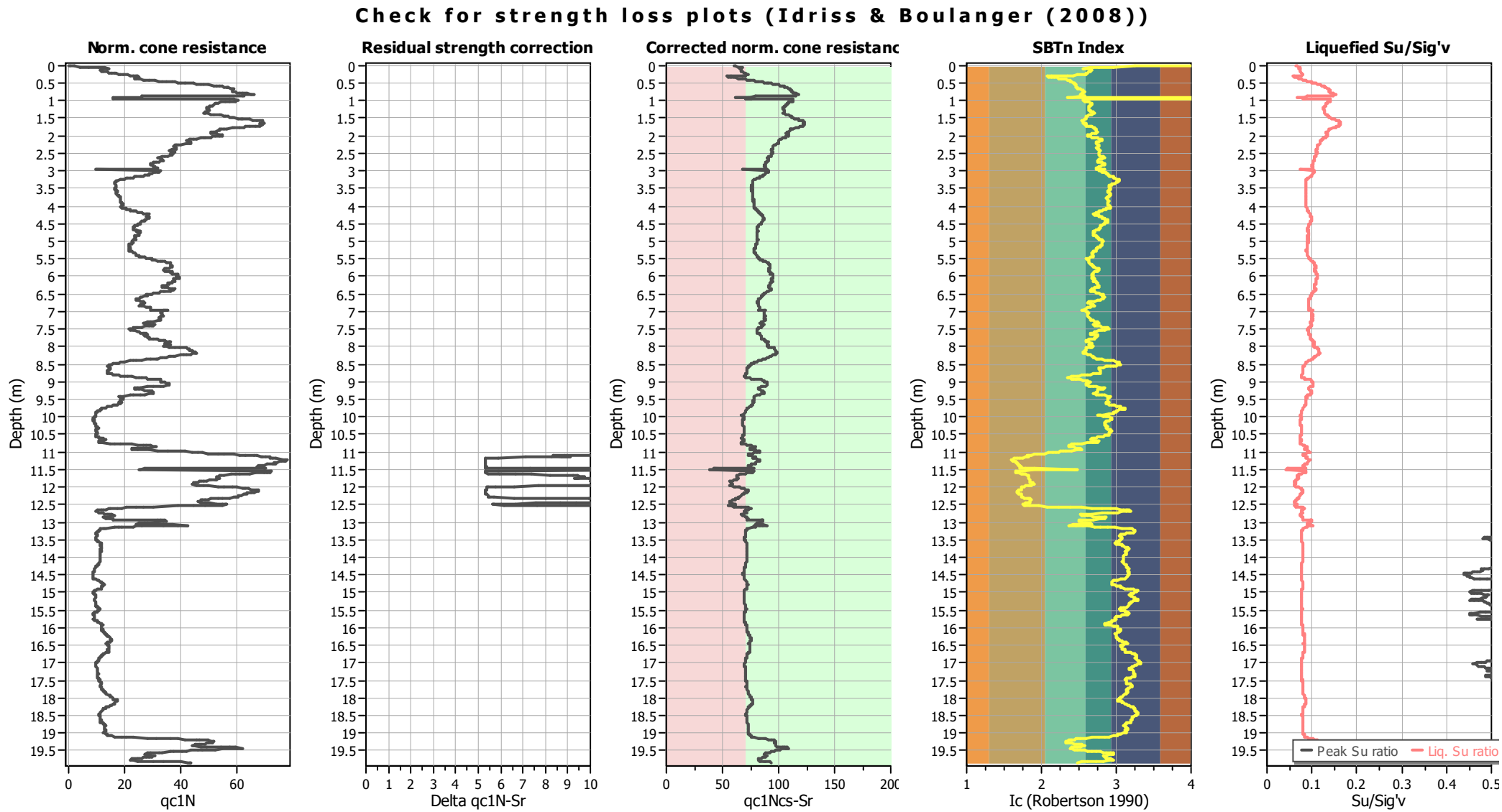


Liquefaction analysis summary plots



Input parameters and analysis data

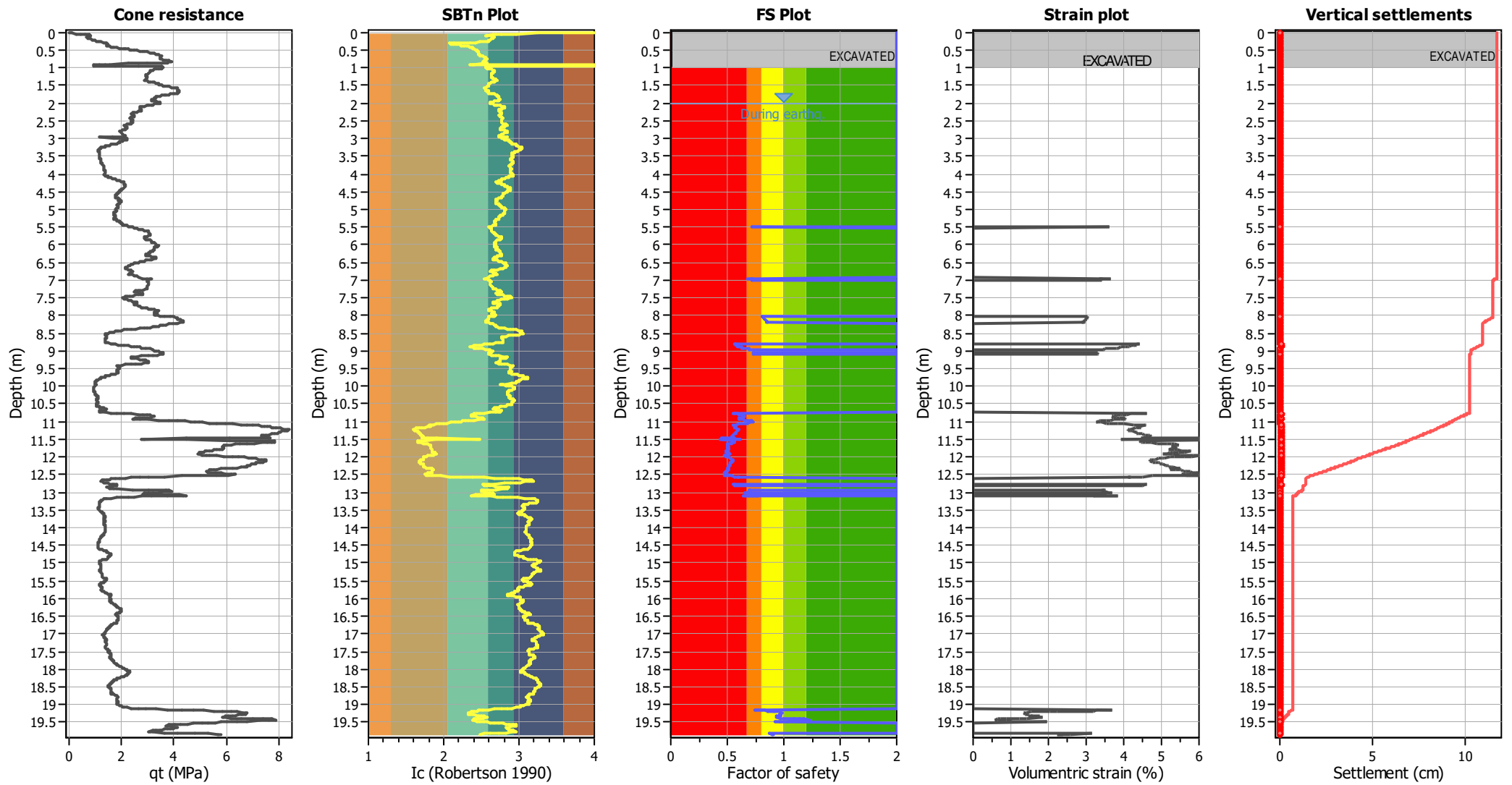
Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.00 m	Footing load:	9.80 kPa
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K ₀ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.21	Excavation:	Yes	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.00 m	Excavation depth:	1.00 m	Limit depth:	N/A



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.00 m	Footing load:	9.80 kPa
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 _g applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.21	Excavation:	Yes	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.00 m	Excavation depth:	1.00 m	Limit depth:	N/A

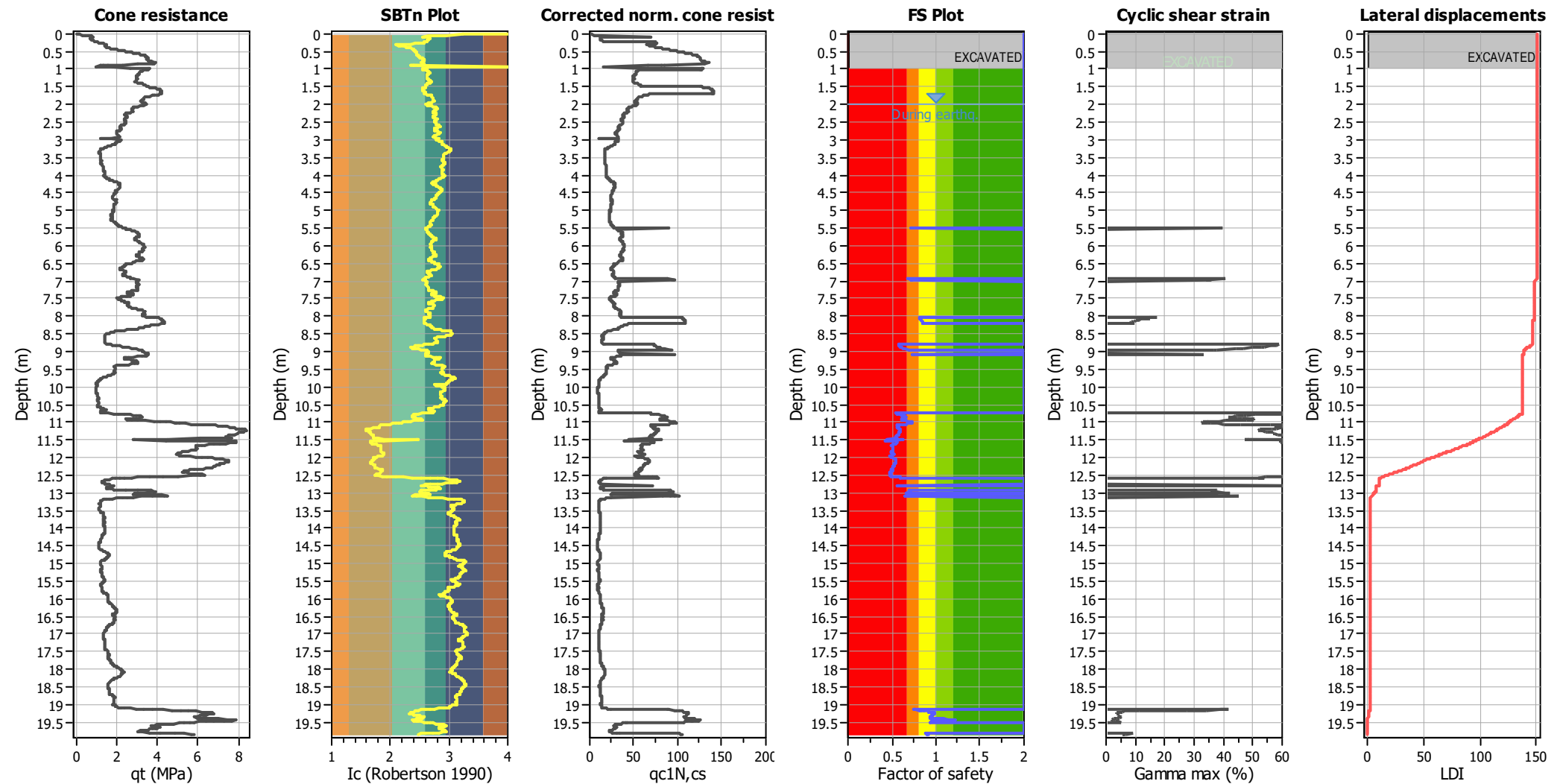
Estimation of post-earthquake settlements



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

Estimation of post-earthquake lateral Displacements



Abbreviations

q_t : Total cone resistance (cone resistance q_c corrected for pore water effects)

I_c : Soil Behaviour Type Index

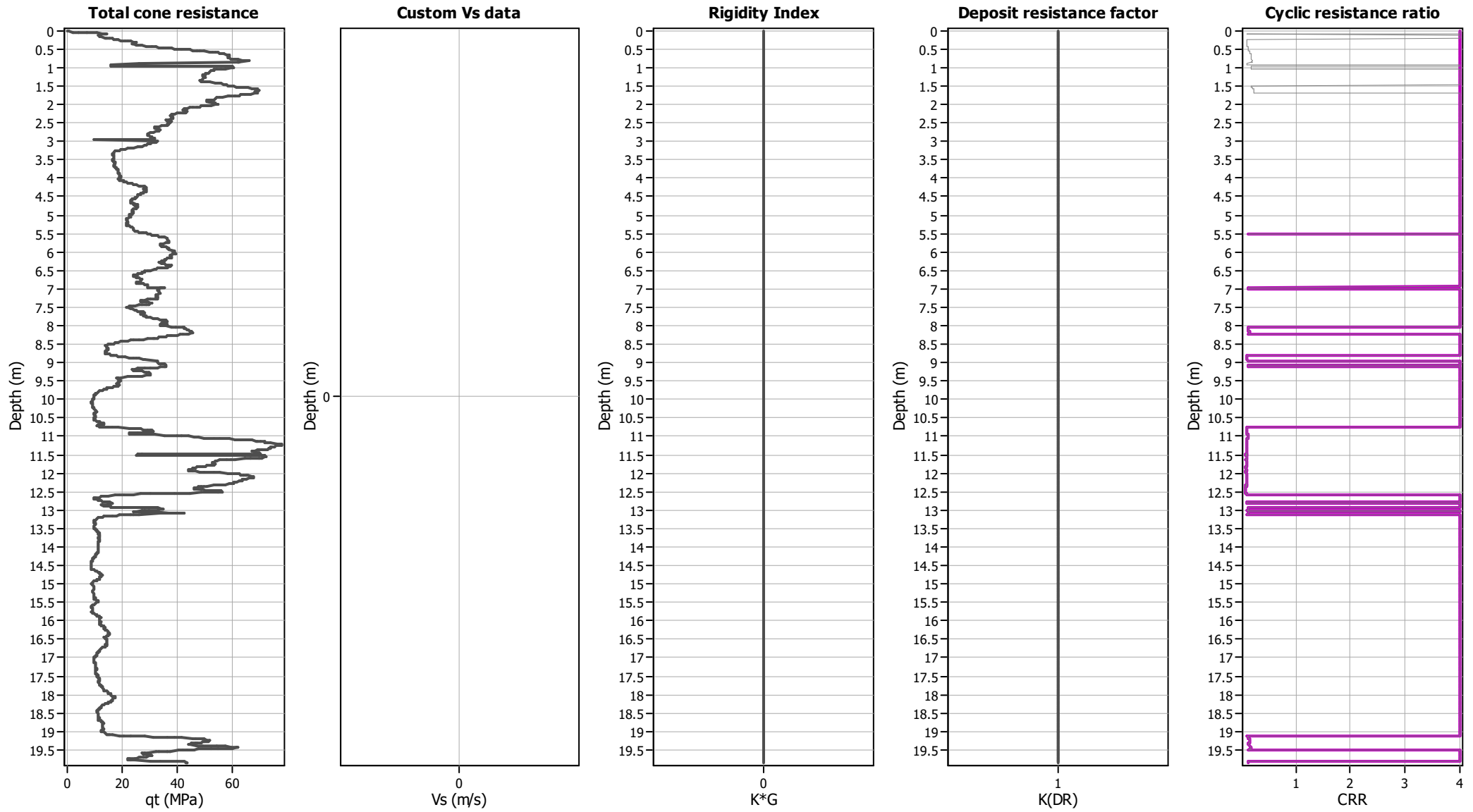
$q_{c1N,cs}$: Equivalent clean sand normalized CPT total cone resistance

F.S.: Factor of safety

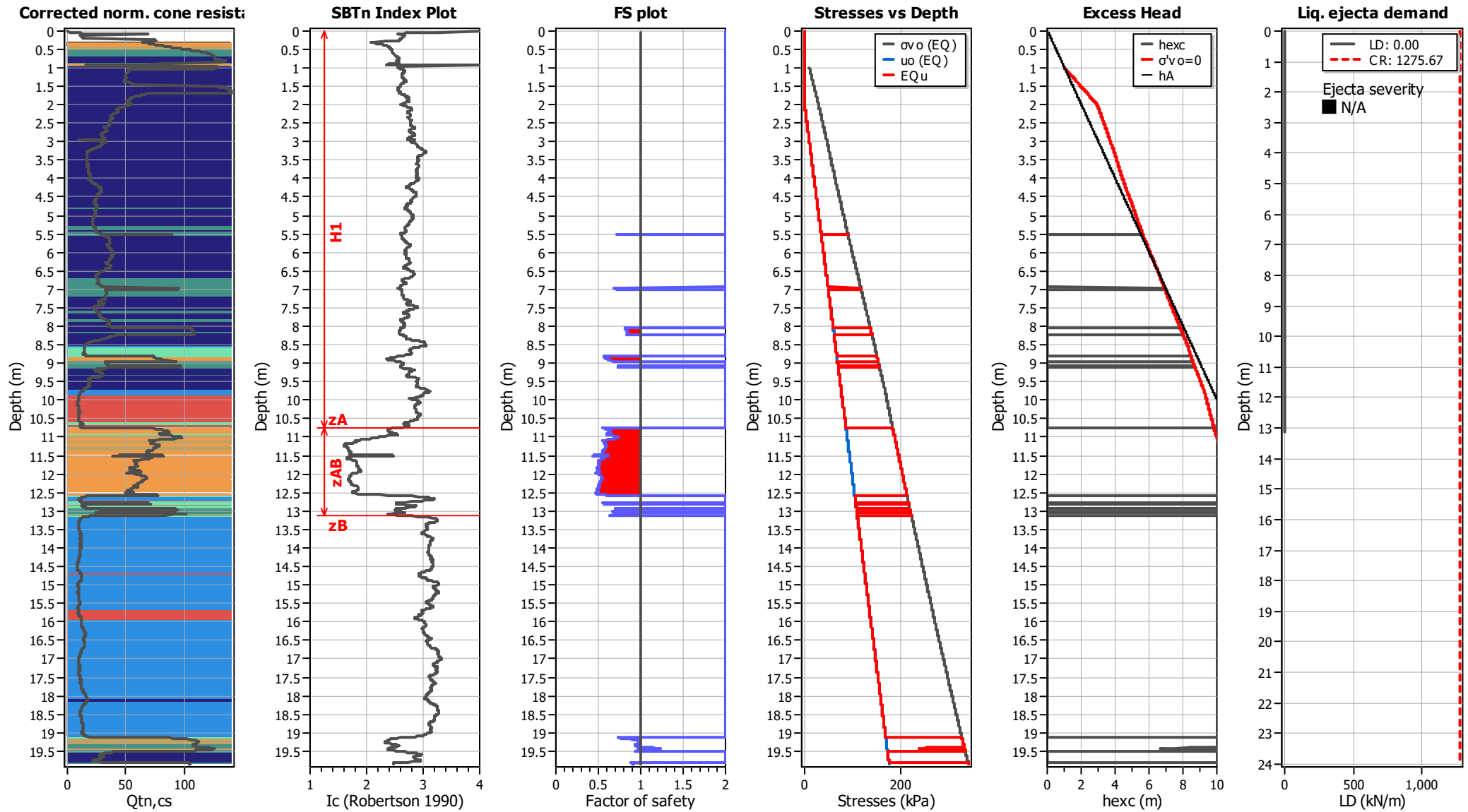
γ_{max} : Maximum cyclic shear strain

LDI: Lateral displacement index

Aging Calculation Estimation



Ejecta Severity Estimation



LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

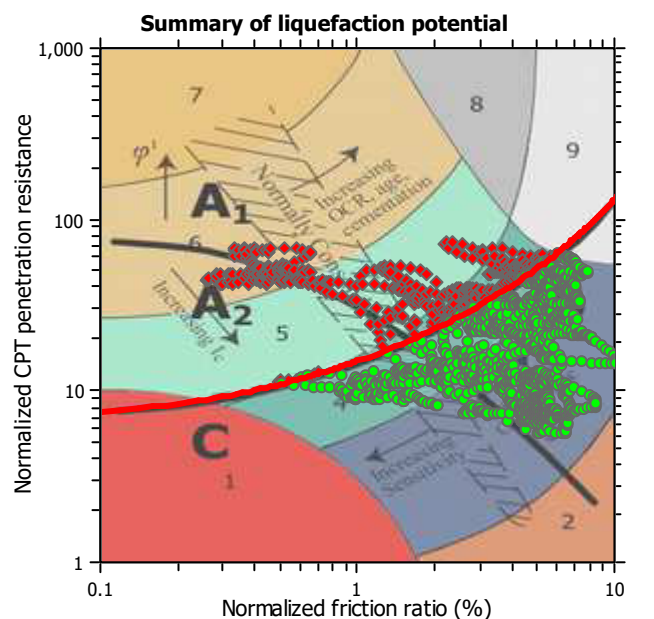
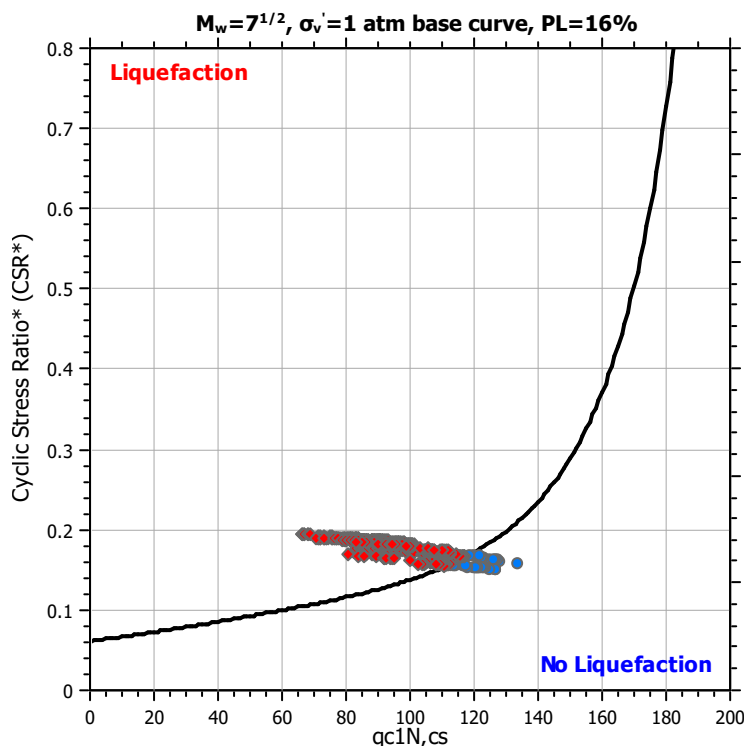
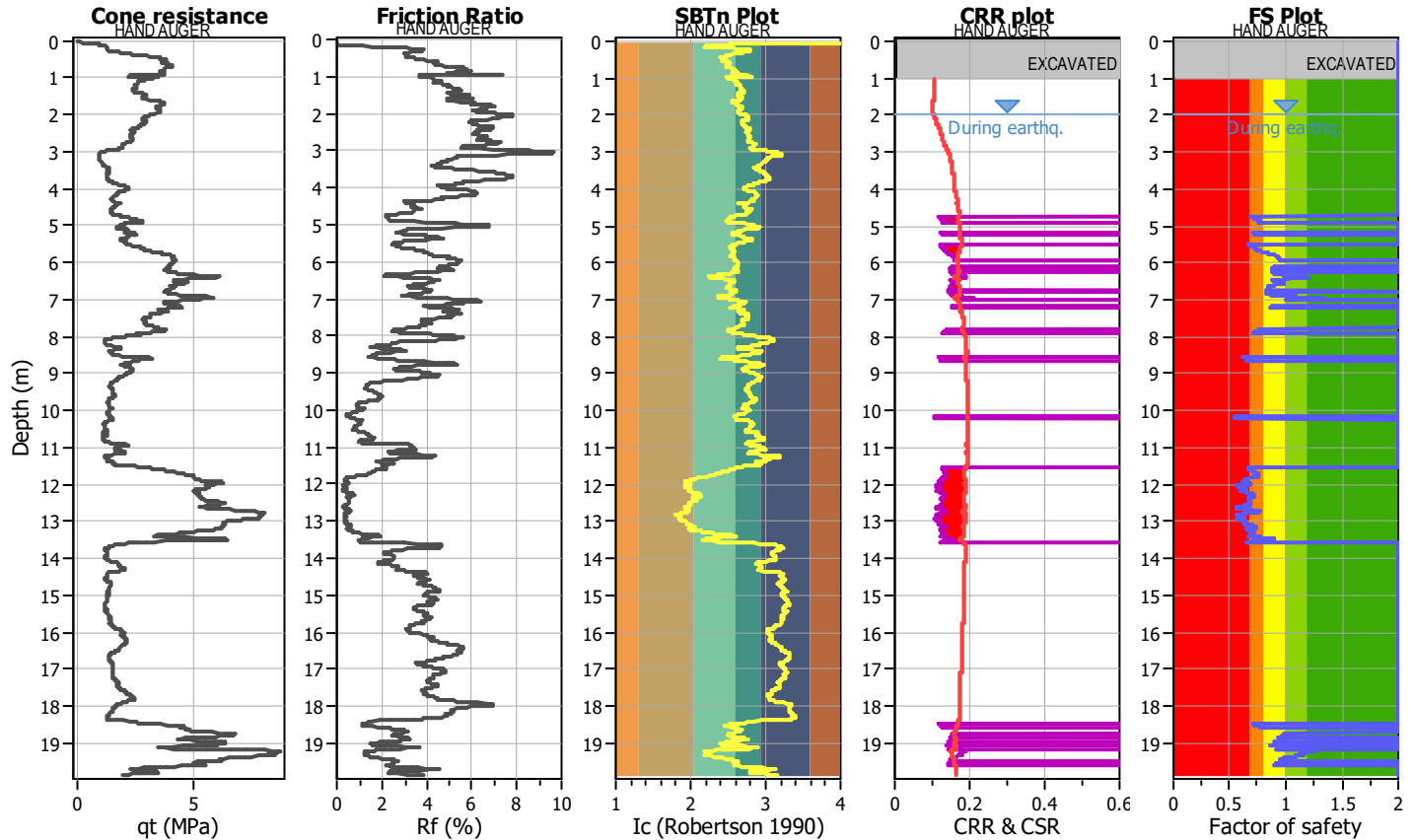
Project title :

Location :

CPT file : CPTu02

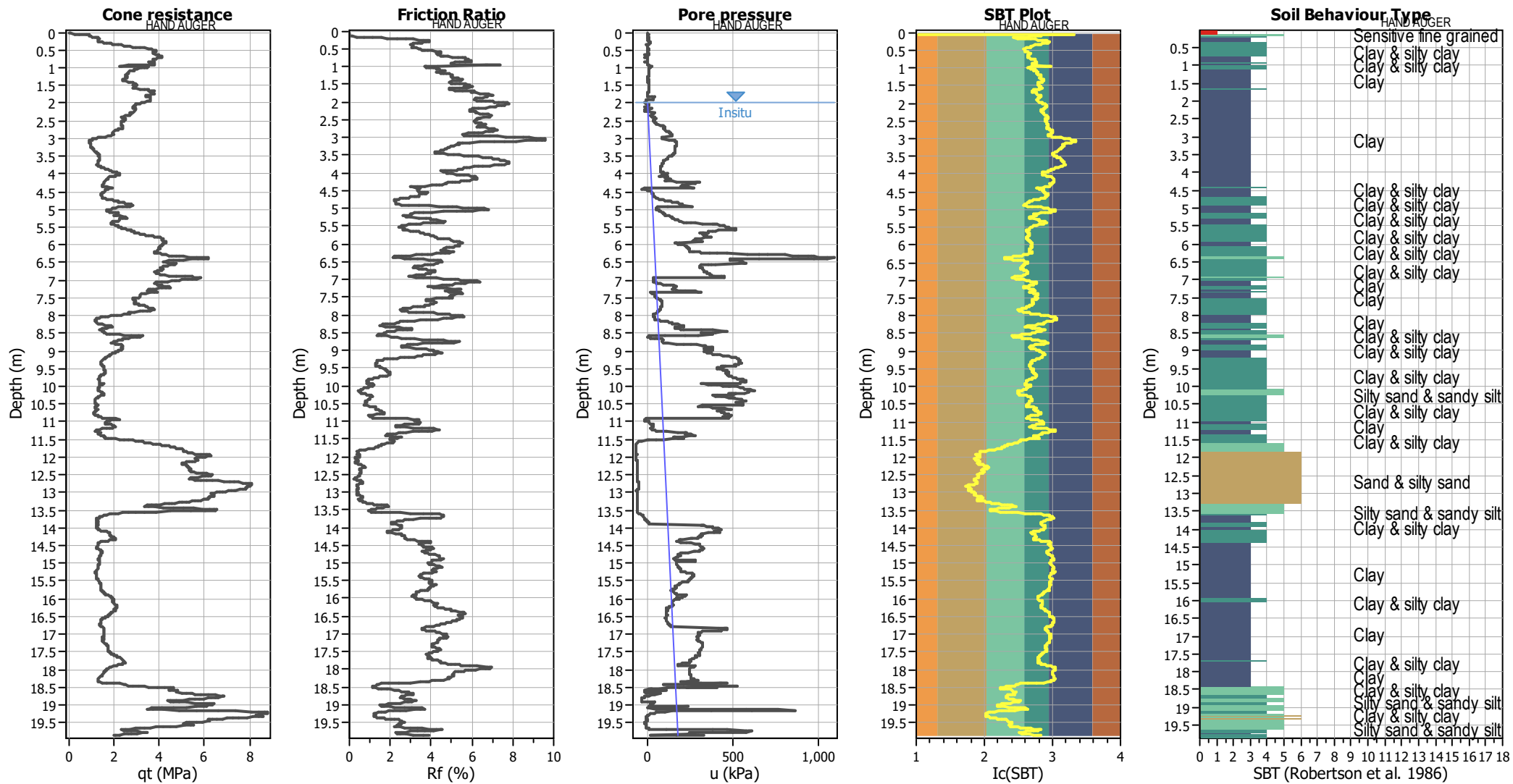
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	2.00 m	Excavation:	Yes	Clay like behavior	
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	2.00 m	Excavation depth:	1.00 m	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Footing load:	9.80 kPa	Limit depth applied:	No
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.21	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_g applied:	Yes	MSF method:	Method based



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

CPT basic interpretation plots



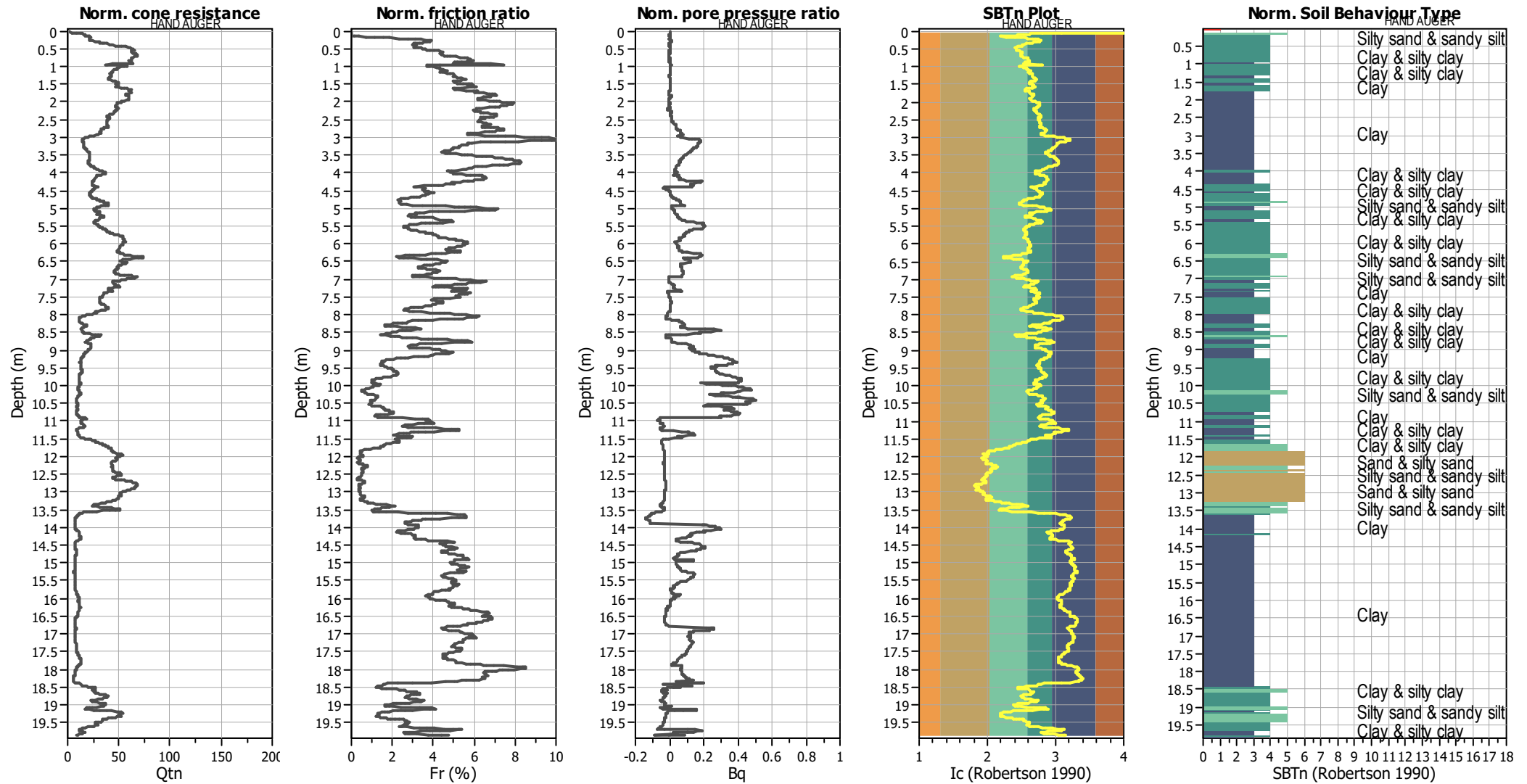
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.00 m	Footing load:	9.80 kPa
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _q applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.21	Excavation:	Yes	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.00 m	Excavation depth:	1.00 m	Limit depth:	N/A

SBT legend

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

CPT basic interpretation plots (normalized)

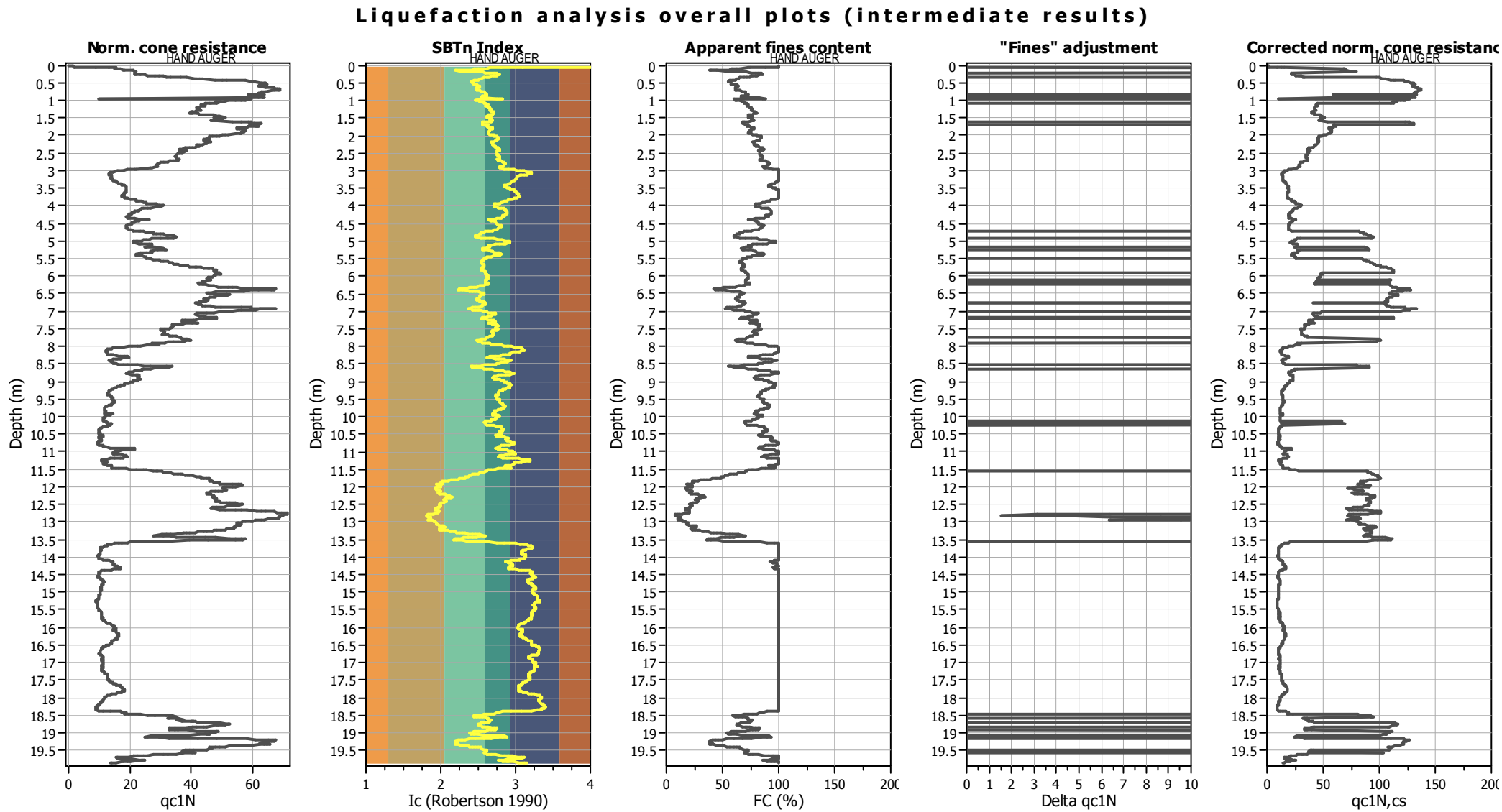


Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.00 m	Footing load:	9.80 kPa
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 _g applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.21	Excavation:	Yes	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.00 m	Excavation depth:	1.00 m	Limit depth:	N/A

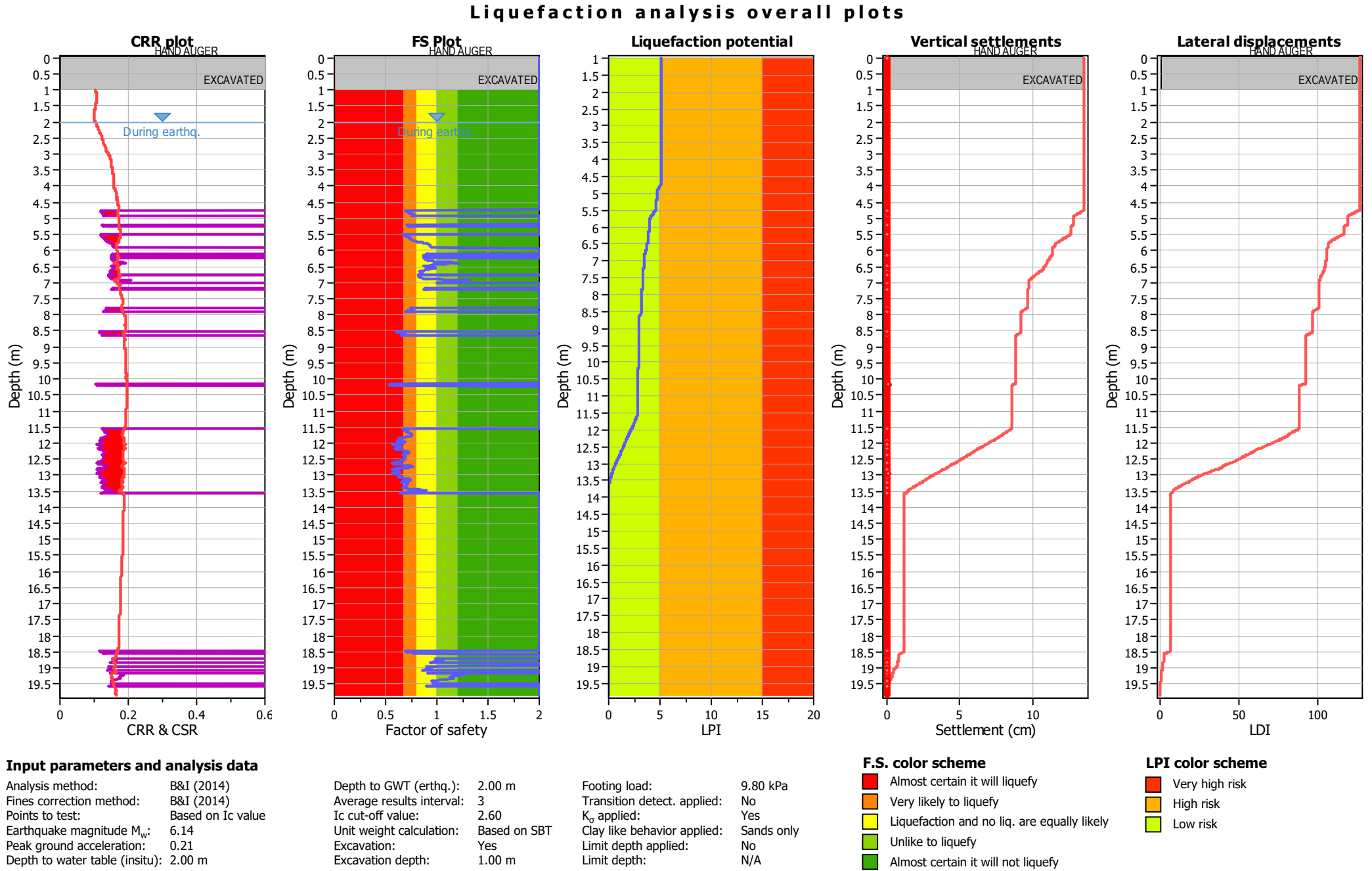
SBTn legend

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

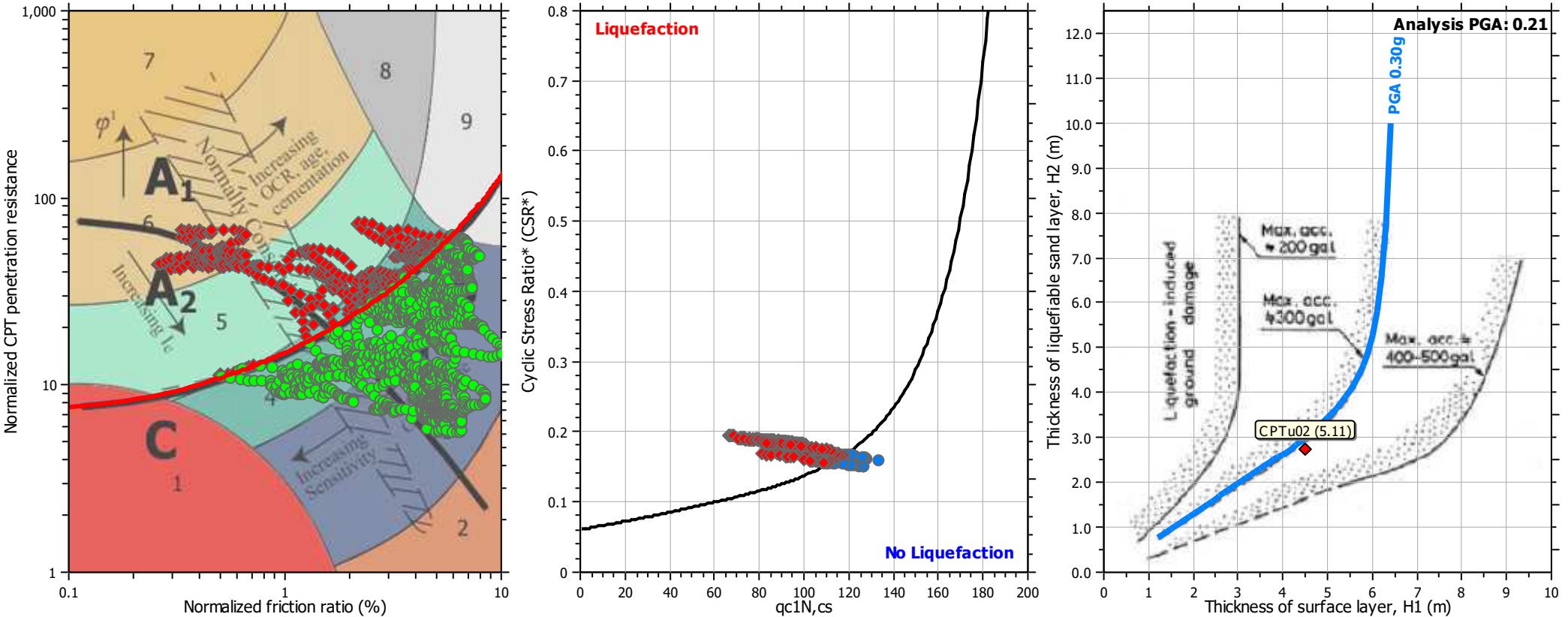


Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.00 m	Footing load:	9.80 kPa
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _q applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.21	Excavation:	Yes	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.00 m	Excavation depth:	1.00 m	Limit depth:	N/A



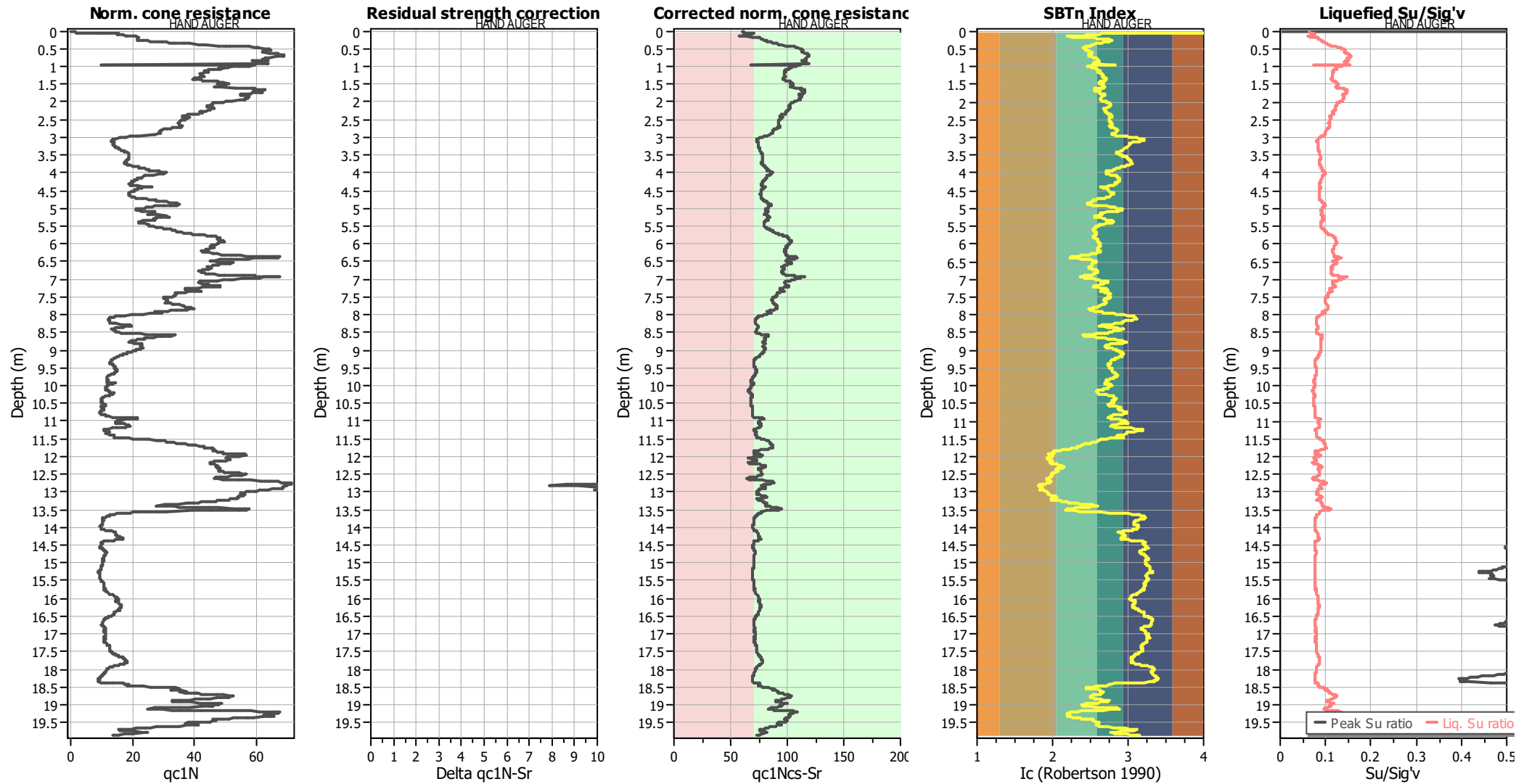
Liquefaction analysis summary plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.00 m	Footing load:	9.80 kPa
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on I_c value	I_c cut-off value:	2.60	K_σ applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.21	Excavation:	Yes	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.00 m	Excavation depth:	1.00 m	Limit depth:	N/A

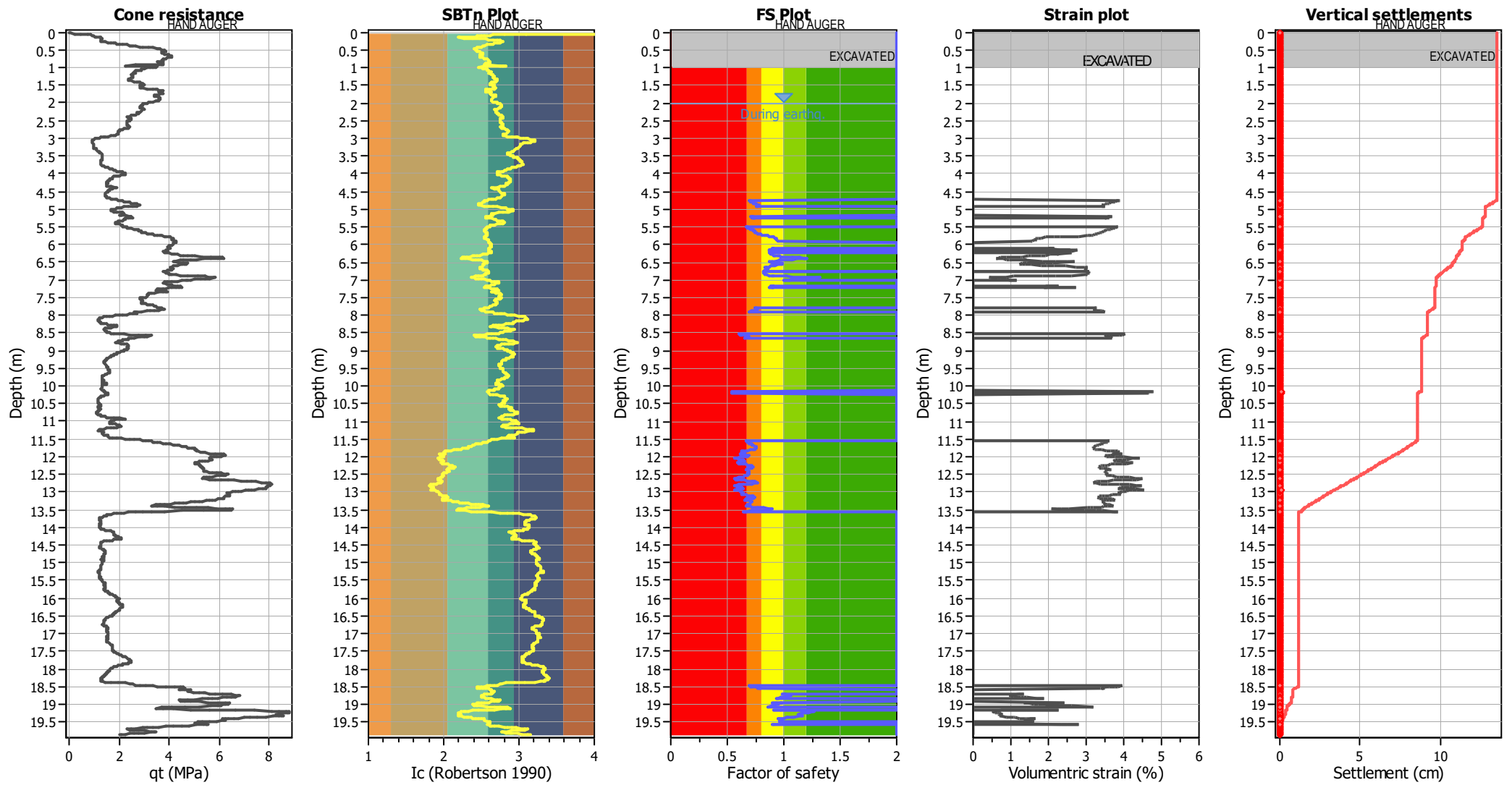
Check for strength loss plots (Idriss & Boulanger (2008))



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.00 m	Footing load:	9.80 kPa
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 _g applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.21	Excavation:	Yes	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.00 m	Excavation depth:	1.00 m	Limit depth:	N/A

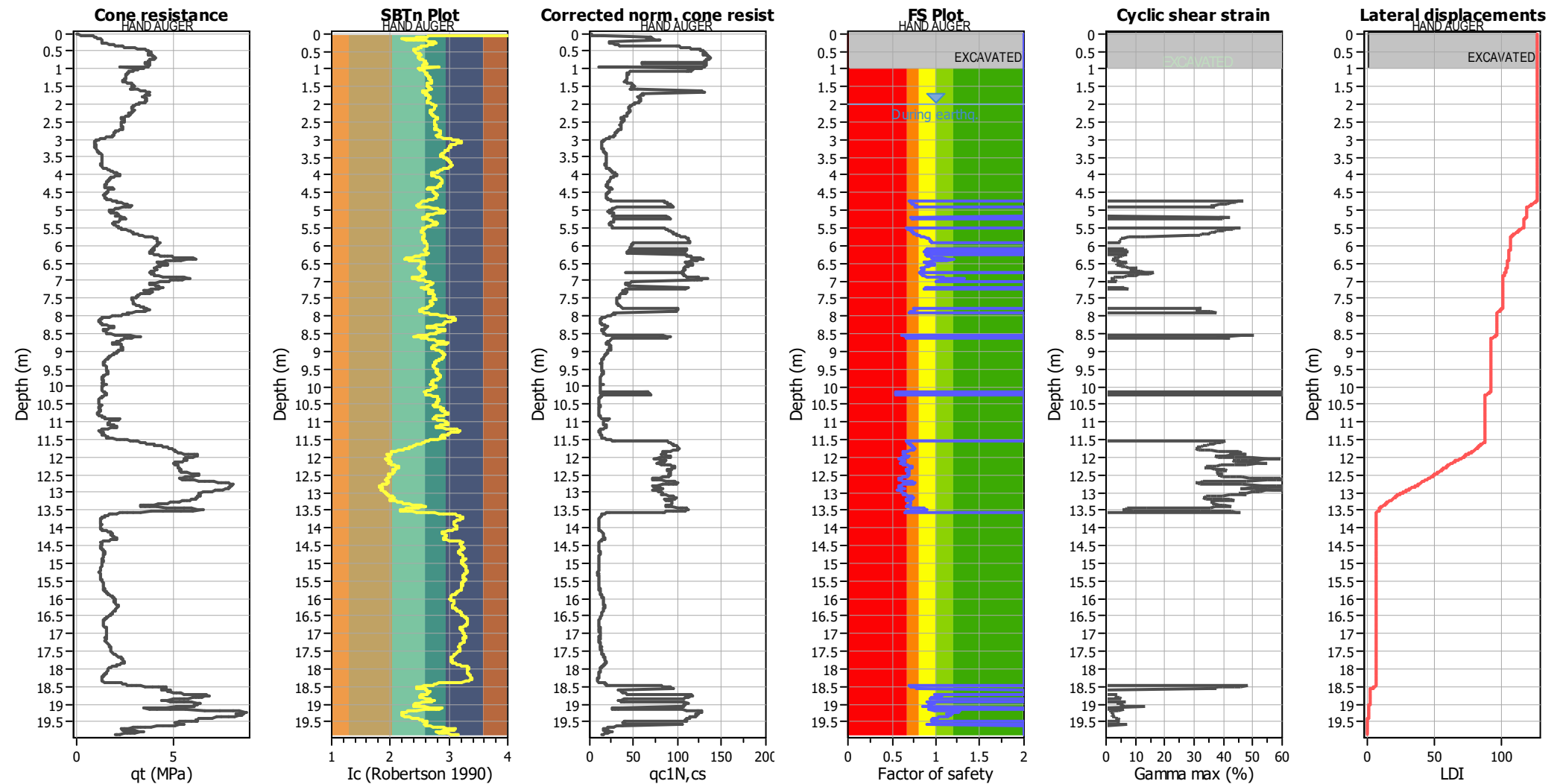
Estimation of post-earthquake settlements



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

Estimation of post-earthquake lateral Displacements



Abbreviations

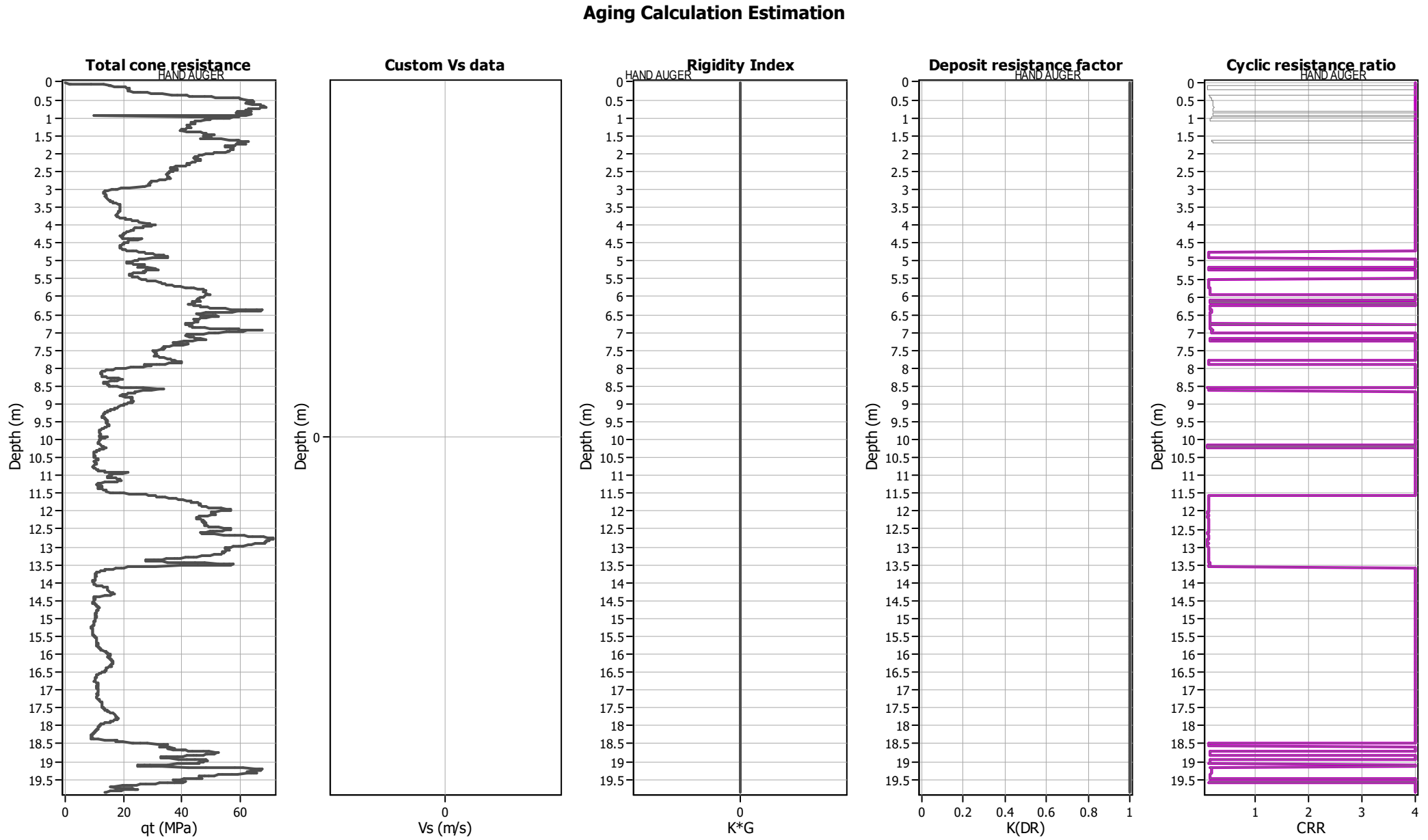
- q_t : Total cone resistance (cone resistance q_c corrected for pore water effects)

I_c : Soil Behaviour Type Index

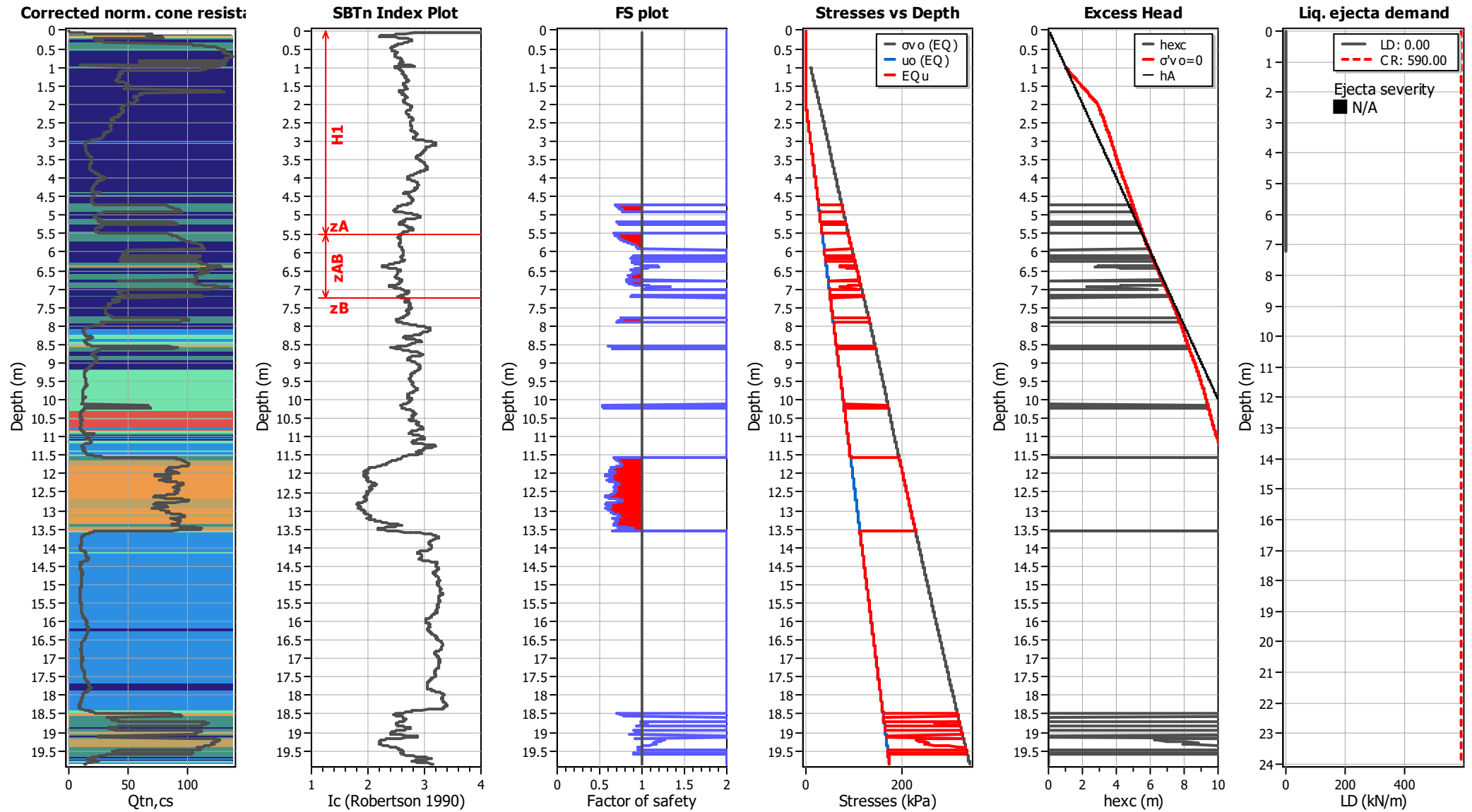
$q_{c1N,cs}$: Equivalent clean sand normalized CPT total cone resistance
- F.S.: Factor of safety

γ_{max} : Maximum cyclic shear strain

LDI: Lateral displacement index



Ejecta Severity Estimation



LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

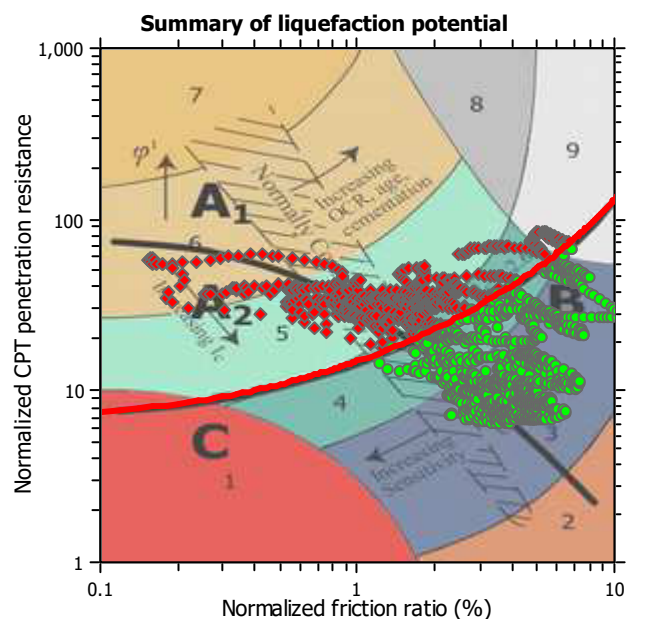
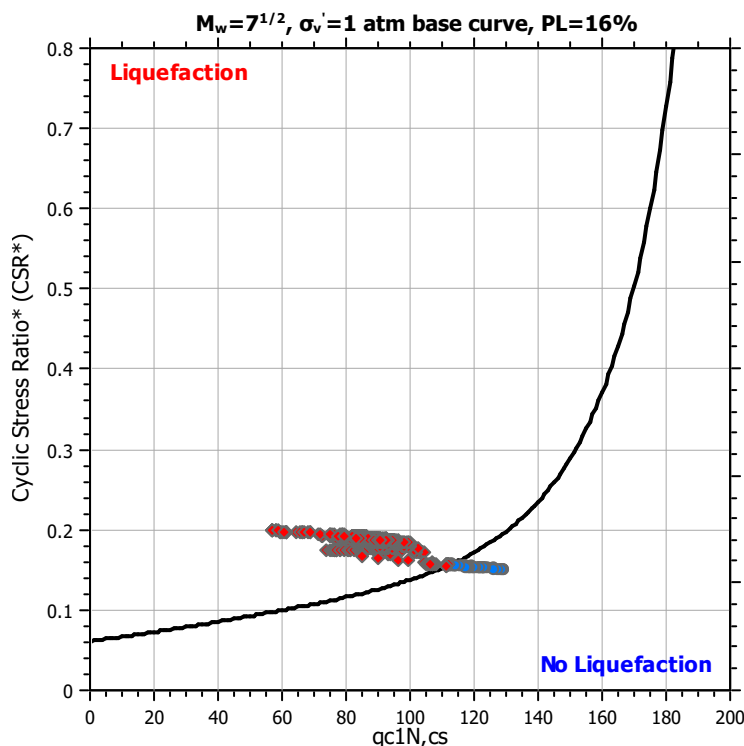
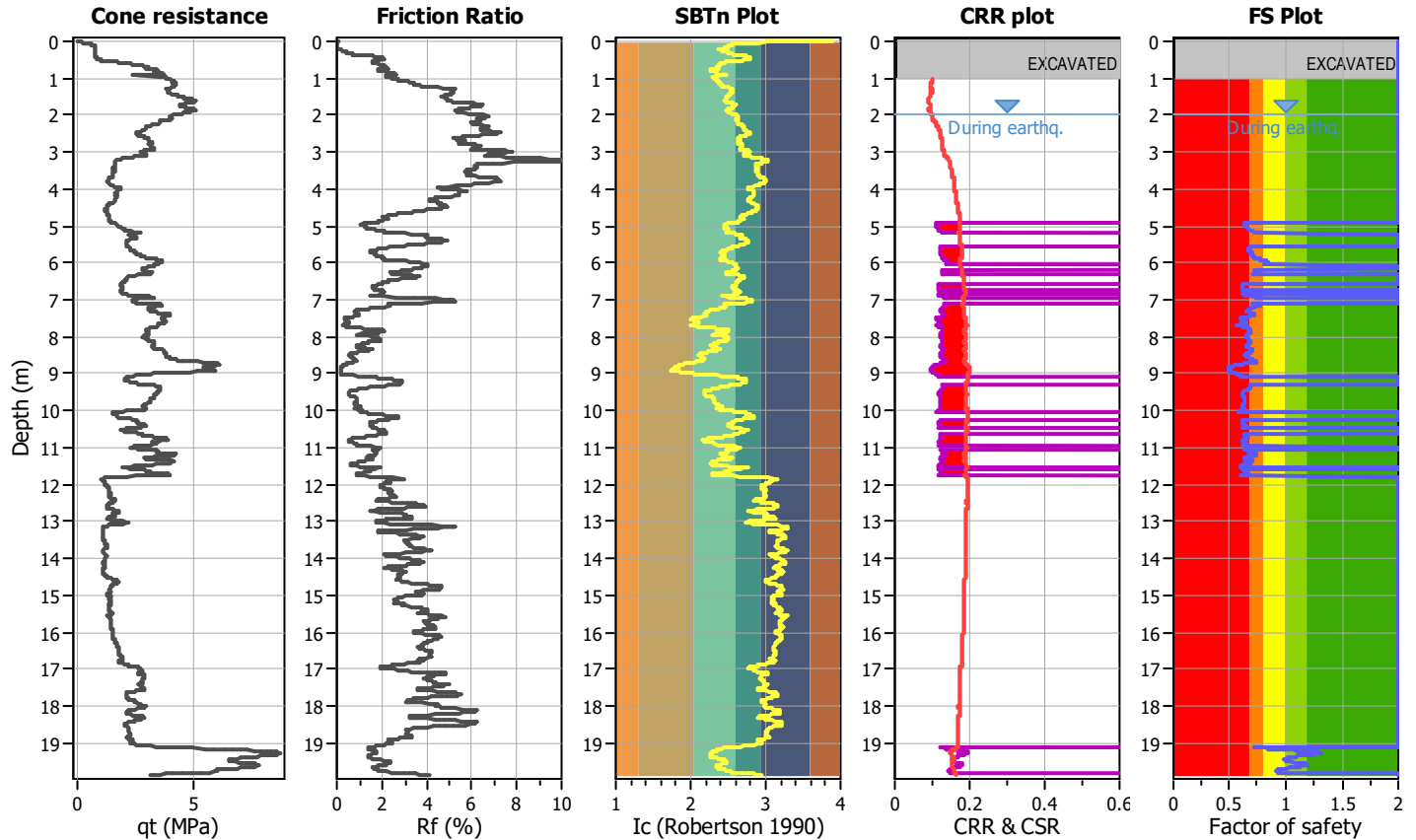
Project title :

Location :

CPT file : CPTu03

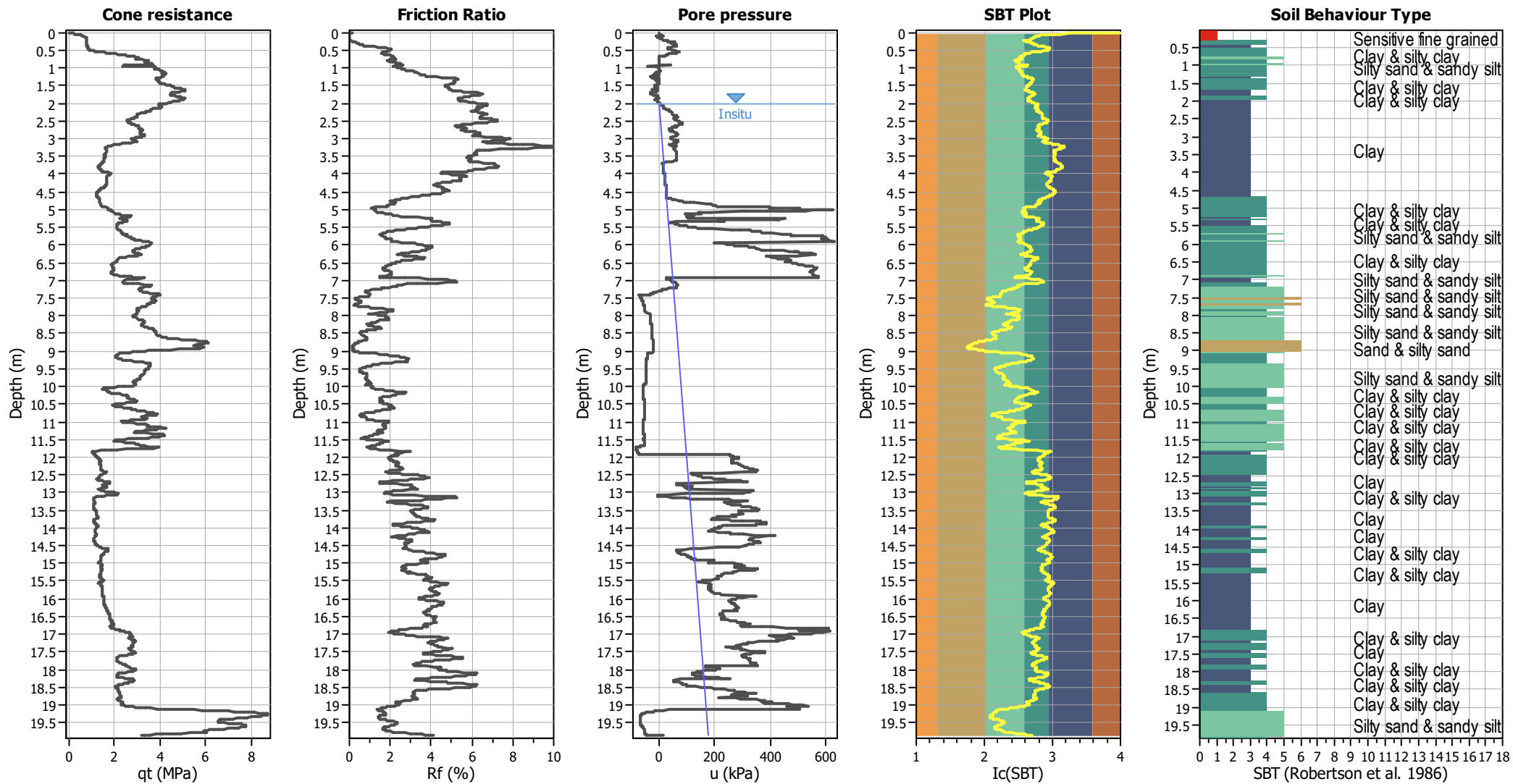
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	2.00 m	Excavation:	Yes	Clay like behavior	
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	2.00 m	Excavation depth:	1.00 m	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Footing load:	9.80 kPa	Limit depth applied:	No
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.21	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_g applied:	Yes	MSF method:	Method based



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

CPT basic interpretation plots

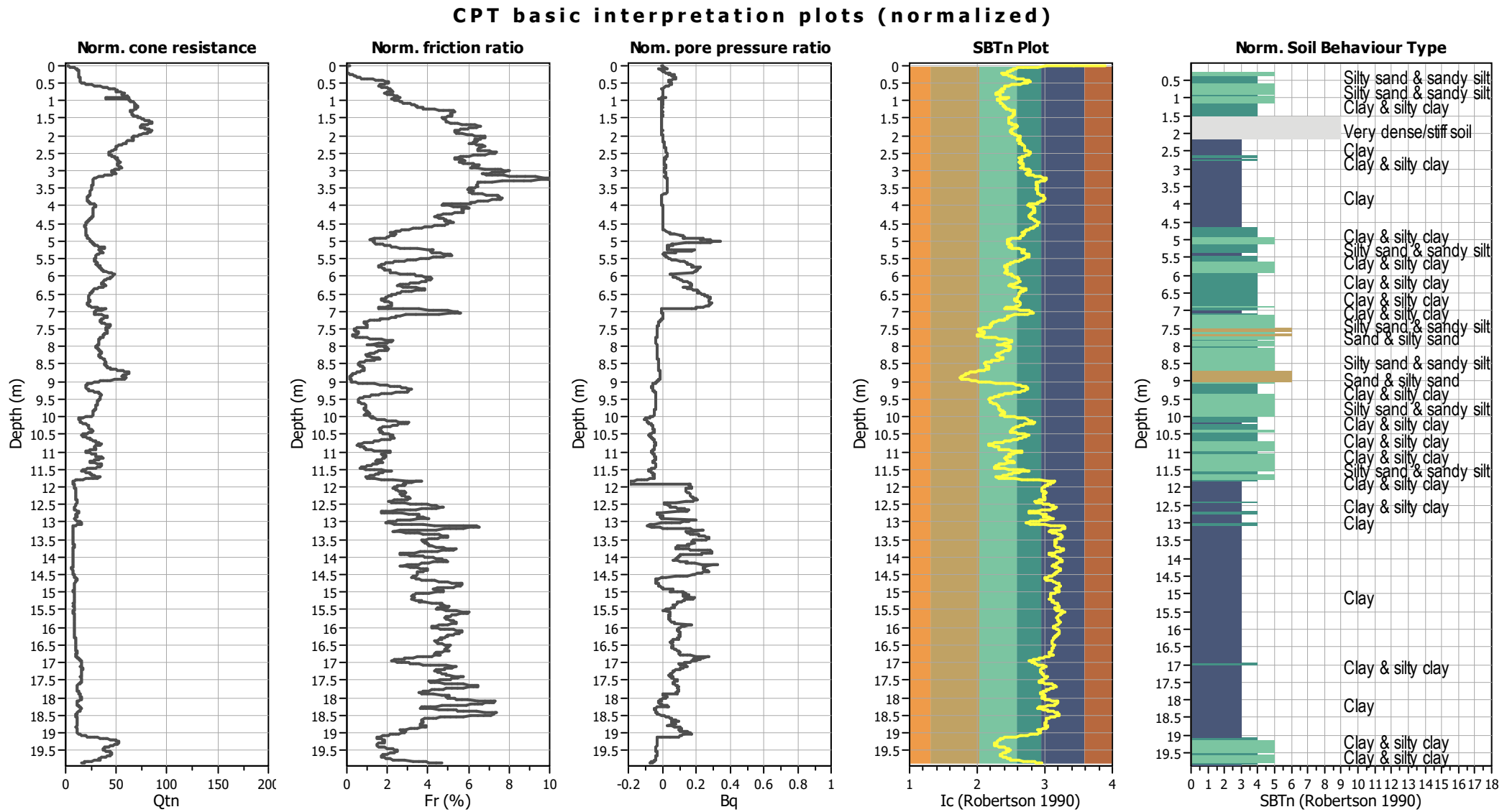


Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.00 m	Footing load:	9.80 kPa
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 :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.21	Excavation:	Yes	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.00 m	Excavation depth:	1.00 m	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

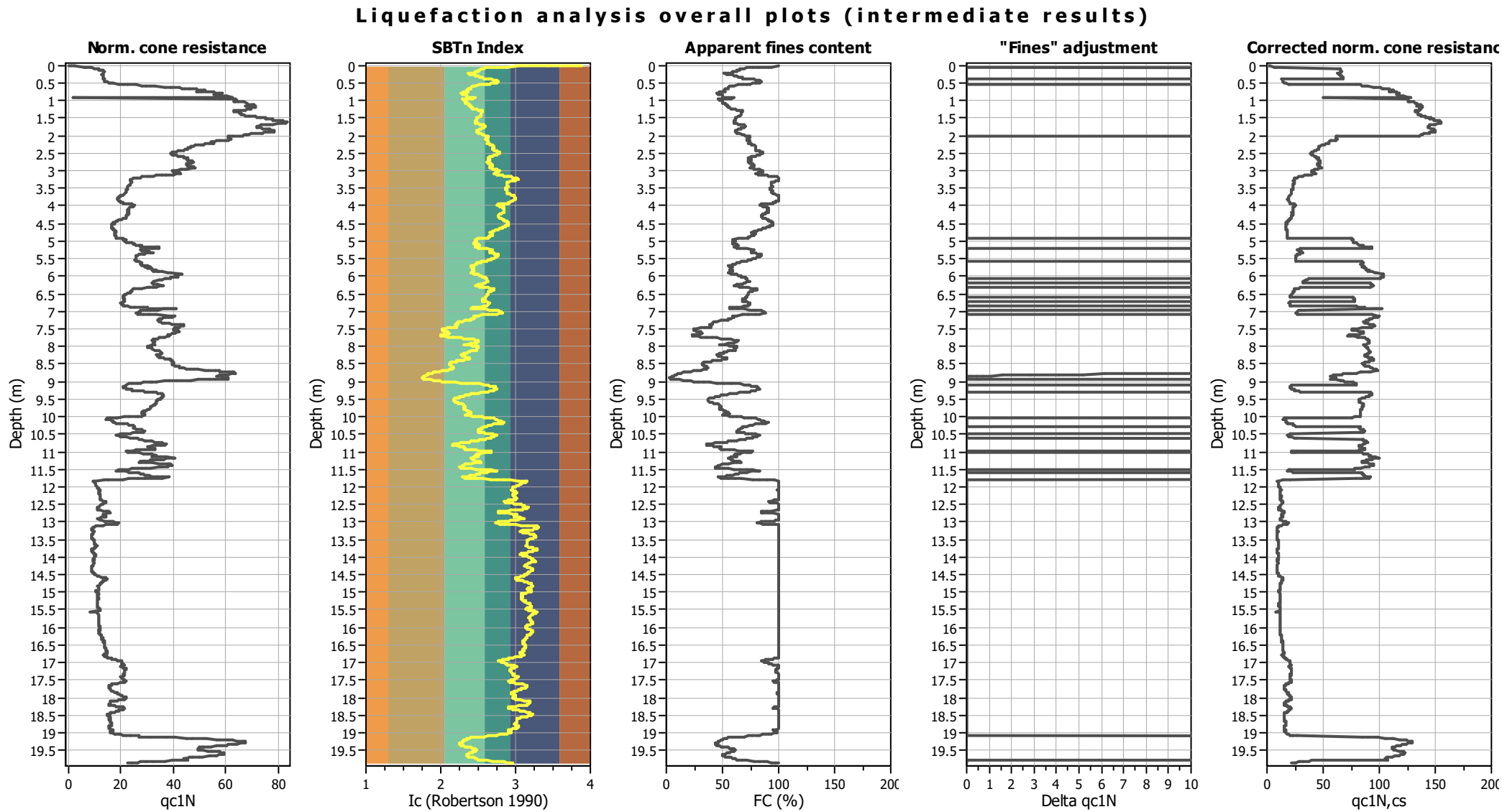


Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.00 m	Footing load:	9.80 kPa
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 :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.21	Excavation:	Yes	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.00 m	Excavation depth:	1.00 m	Limit depth:	N/A

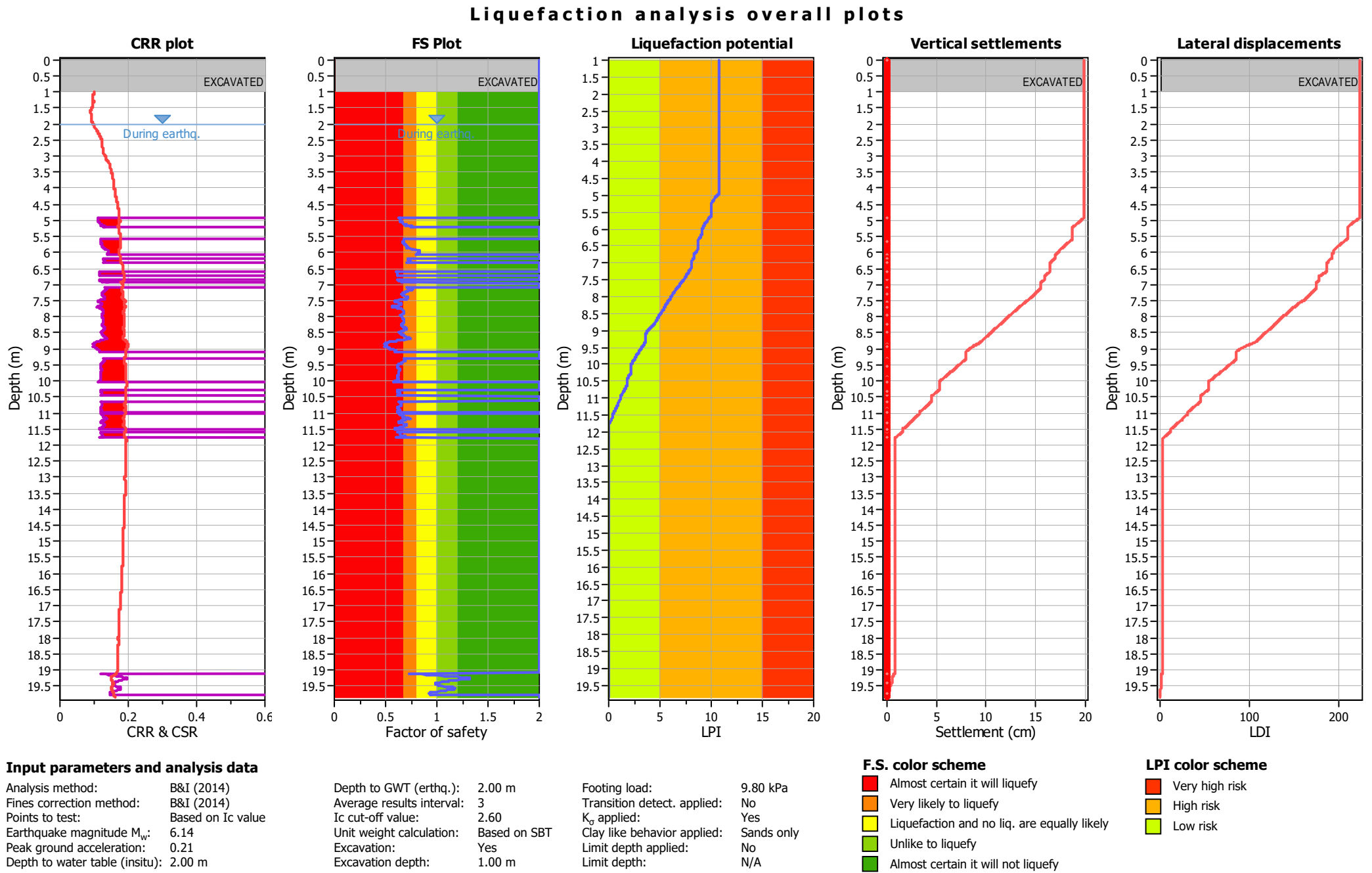
SBTn legend

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

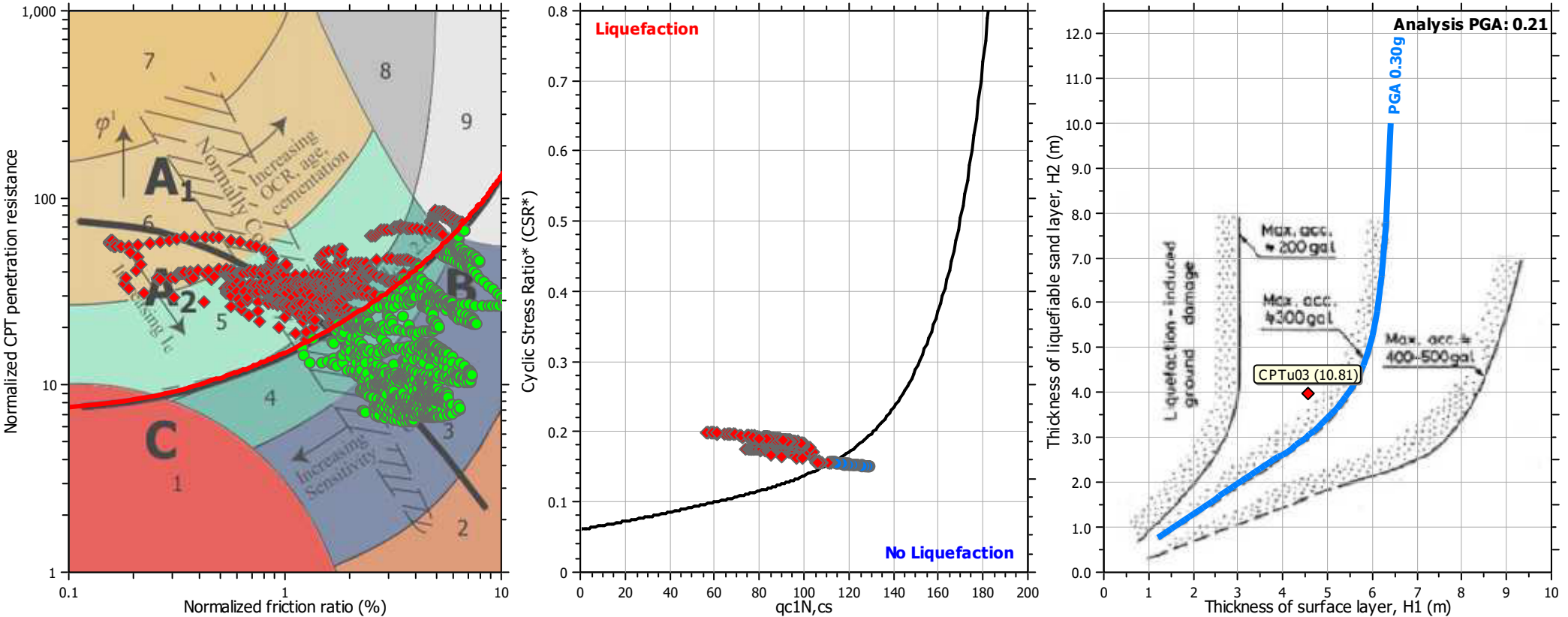


Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.00 m	Footing load:	9.80 kPa
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _q applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.21	Excavation:	Yes	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.00 m	Excavation depth:	1.00 m	Limit depth:	N/A

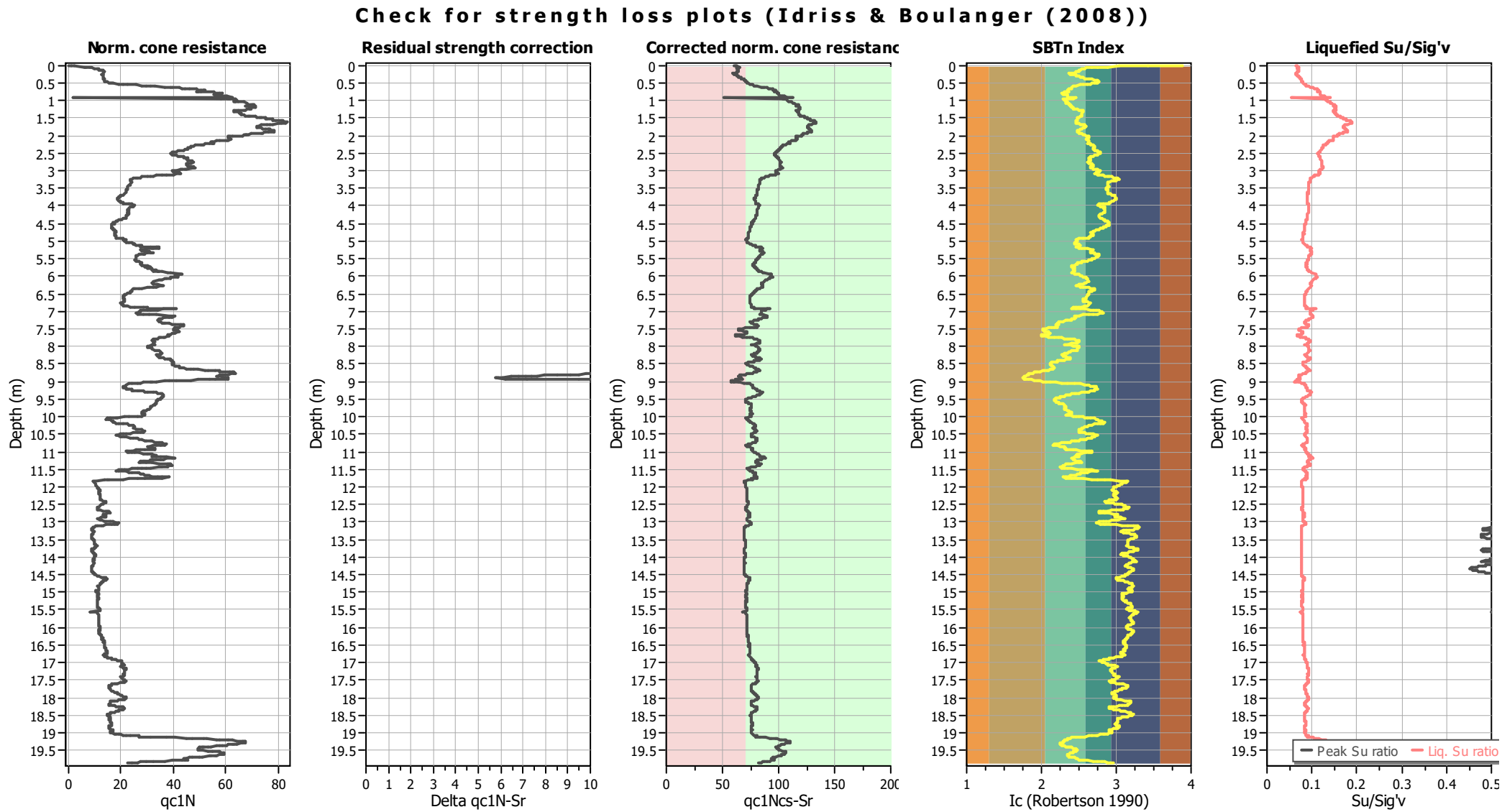


Liquefaction analysis summary plots



Input parameters and analysis data

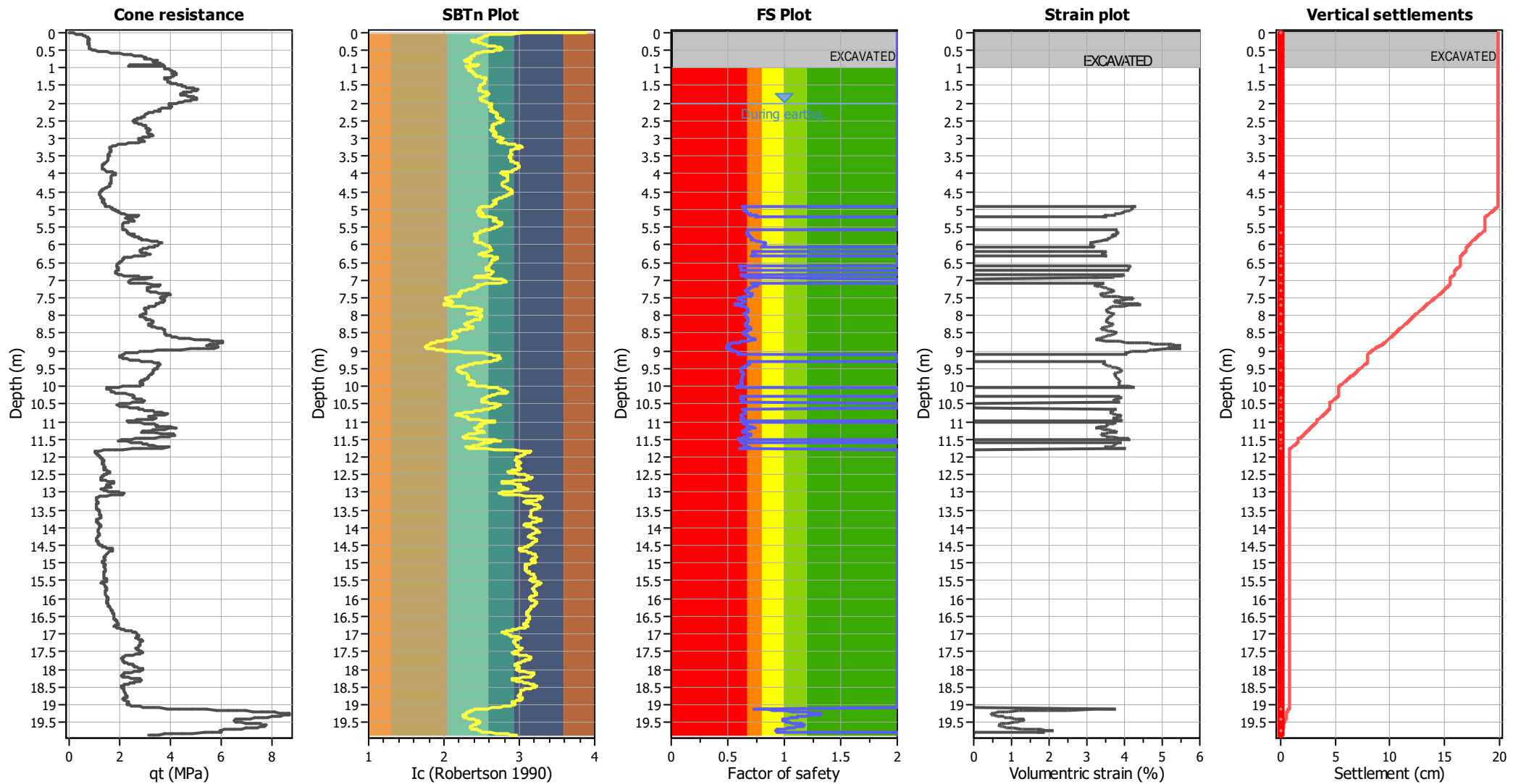
Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.00 m	Footing load:	9.80 kPa
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K_0 applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.21	Excavation:	Yes	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.00 m	Excavation depth:	1.00 m	Limit depth:	N/A



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.00 m	Footing load:	9.80 kPa
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 _g applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.21	Excavation:	Yes	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.00 m	Excavation depth:	1.00 m	Limit depth:	N/A

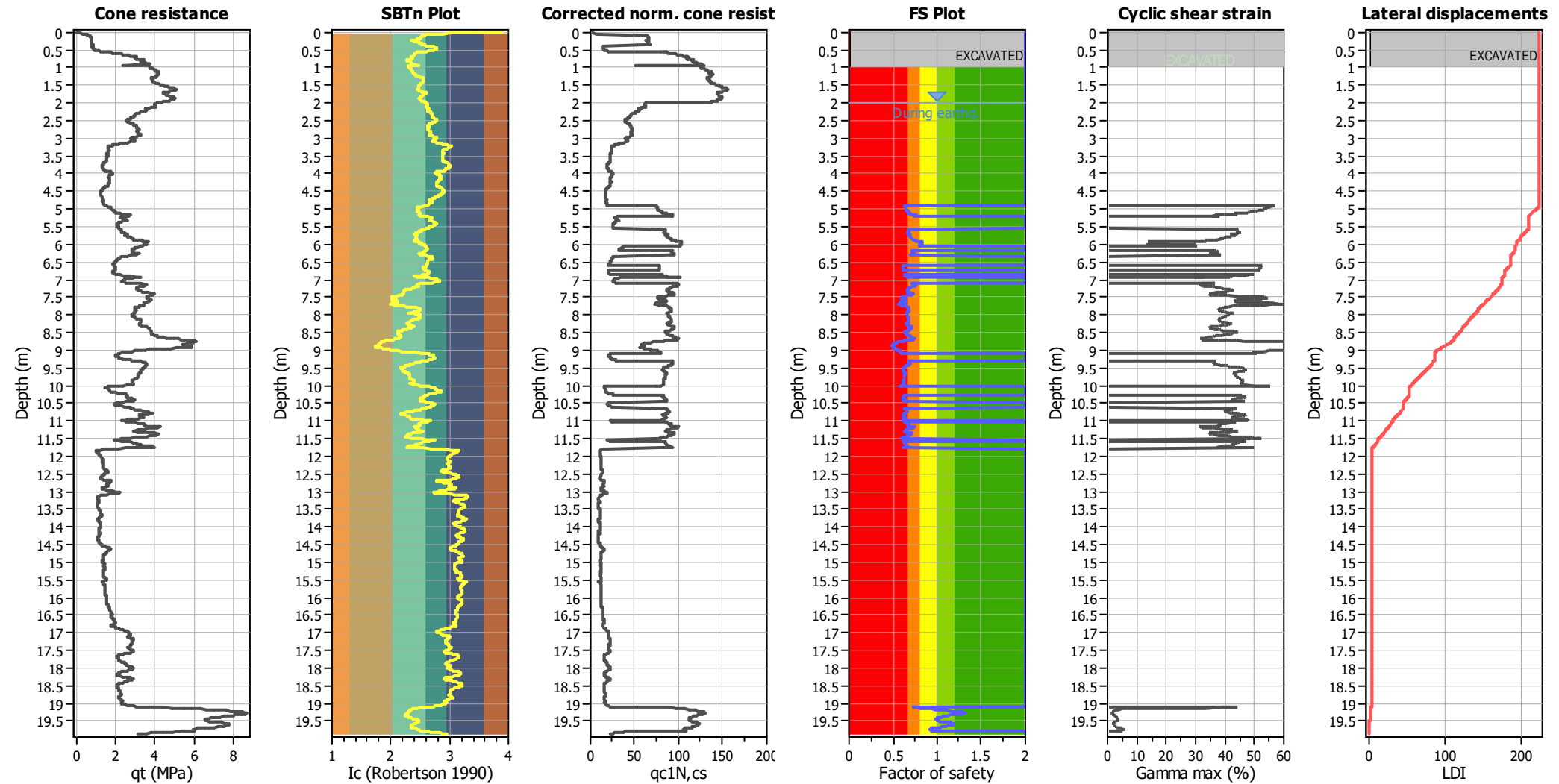
Estimation of post-earthquake settlements



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

Estimation of post-earthquake lateral Displacements



Abbreviations

- q_t : Total cone resistance (cone resistance q_c corrected for pore water effects)

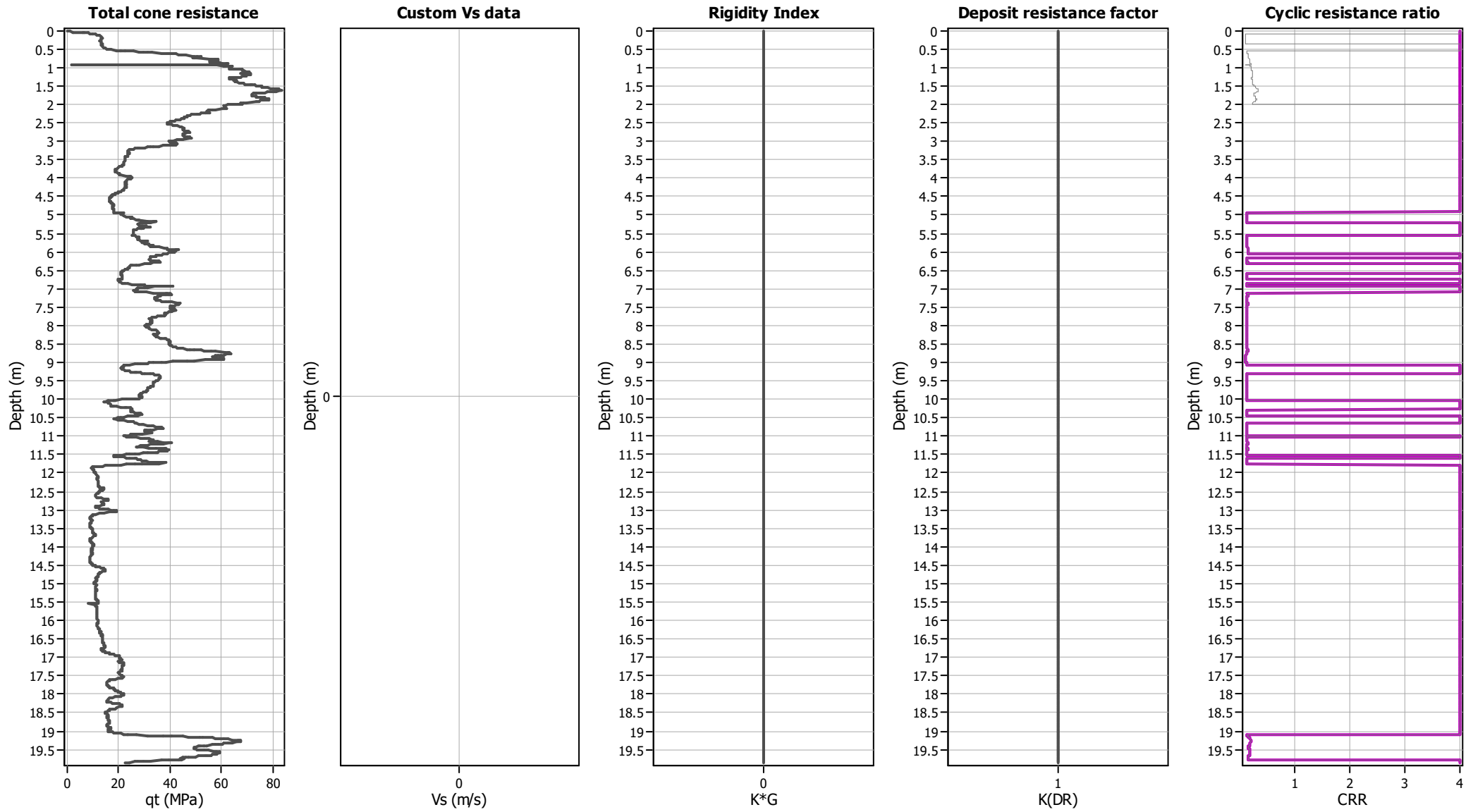
I_c : Soil Behaviour Type Index

$q_{c1N,cs}$: Equivalent clean sand normalized CPT total cone resistance
- F.S.: Factor of safety

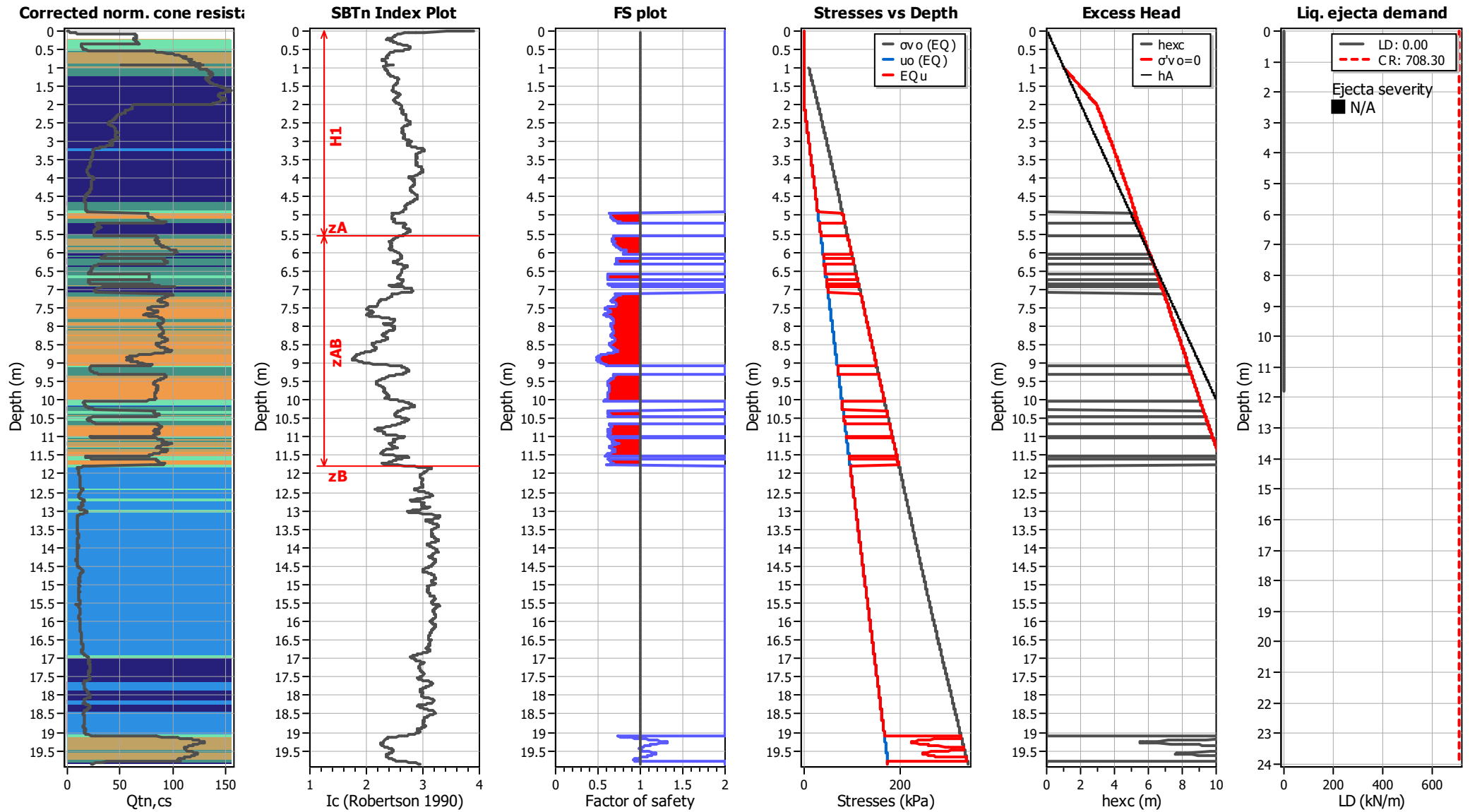
γ_{max} : Maximum cyclic shear strain

LDI: Lateral displacement index

Aging Calculation Estimation



Ejecta Severity Estimation



LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

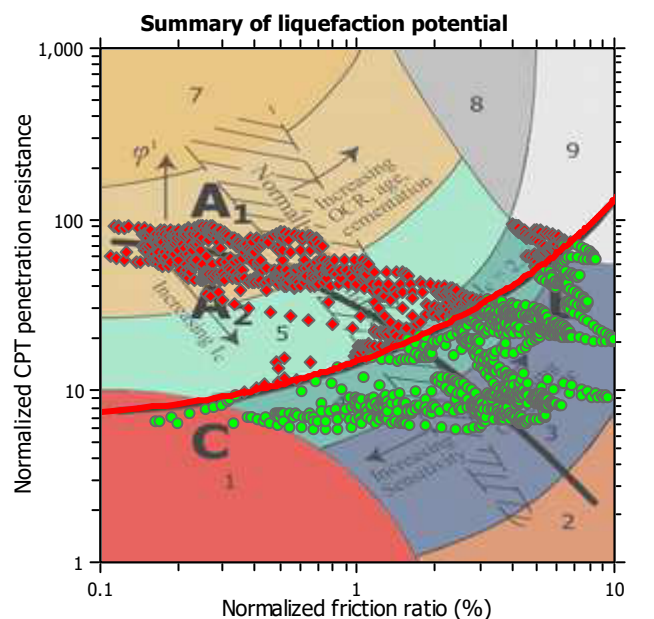
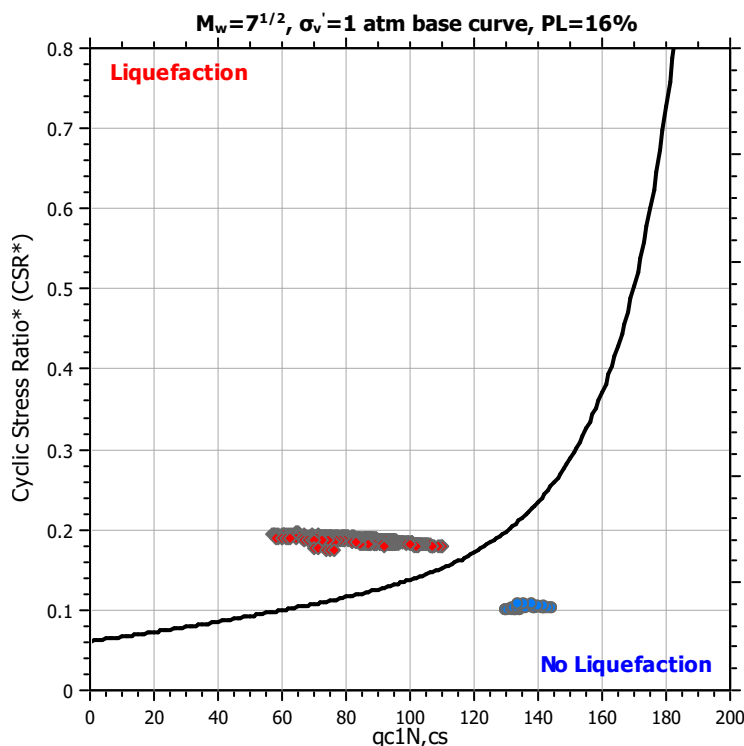
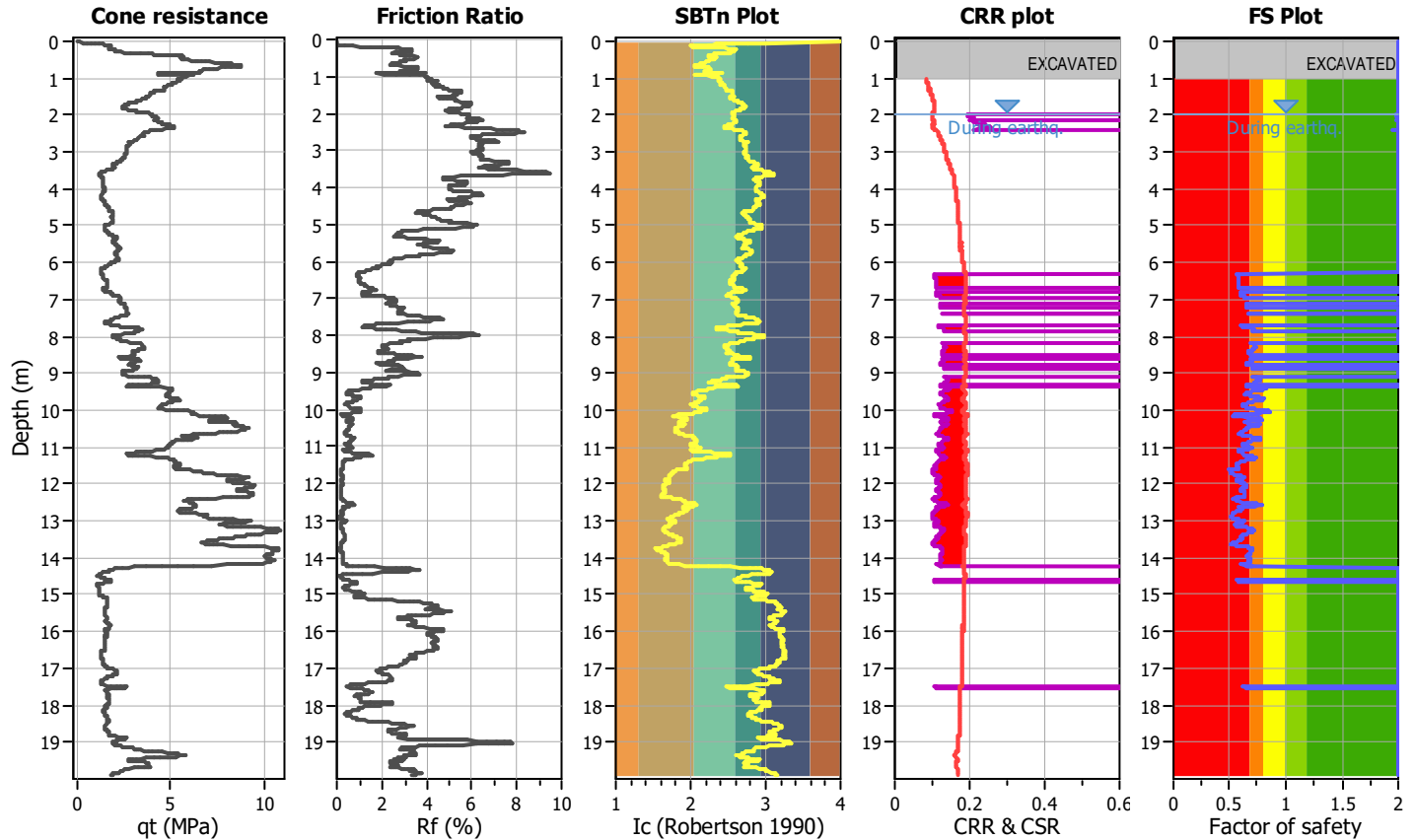
Project title :

Location :

CPT file : CPTu04

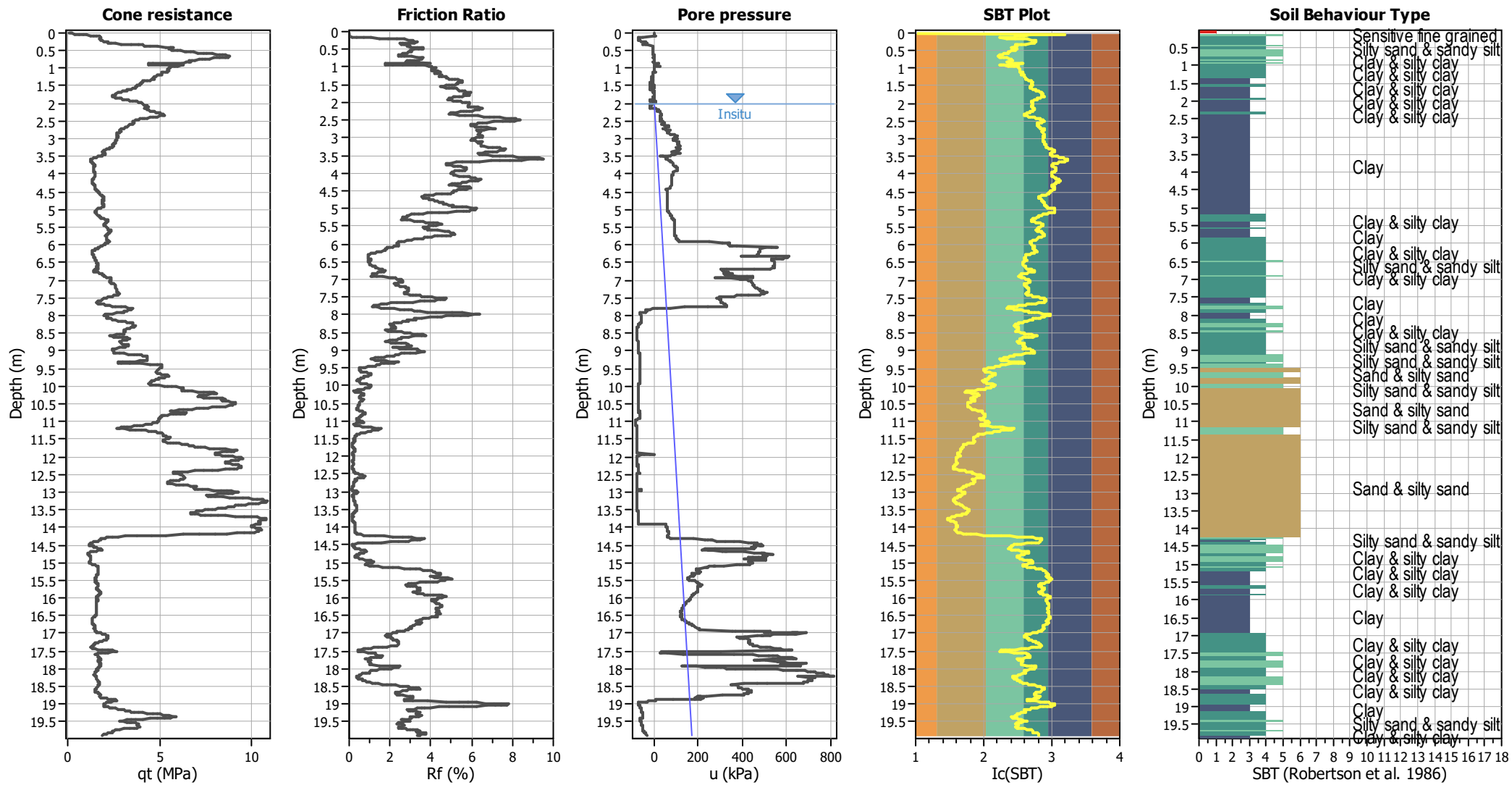
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	2.00 m	Excavation:	Yes	Clay like behavior	
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	2.00 m	Excavation depth:	1.00 m	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Footing load:	9.80 kPa	Limit depth applied:	No
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.21	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_σ applied:	Yes	MSF method:	Method based



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

CPT basic interpretation plots



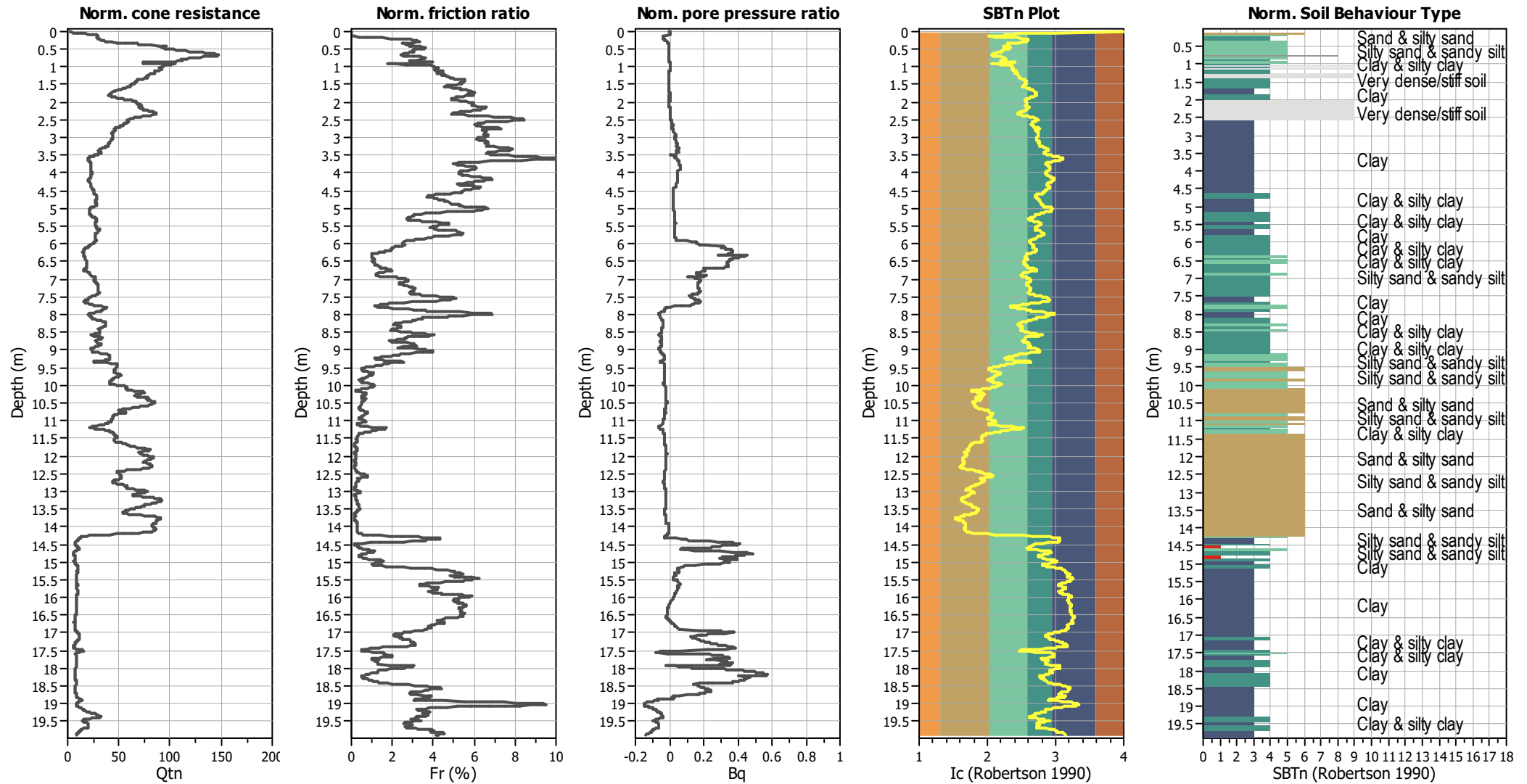
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.00 m	Footing load:	9.80 kPa
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 :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.21	Excavation:	Yes	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.00 m	Excavation depth:	1.00 m	Limit depth:	N/A

SBT legend

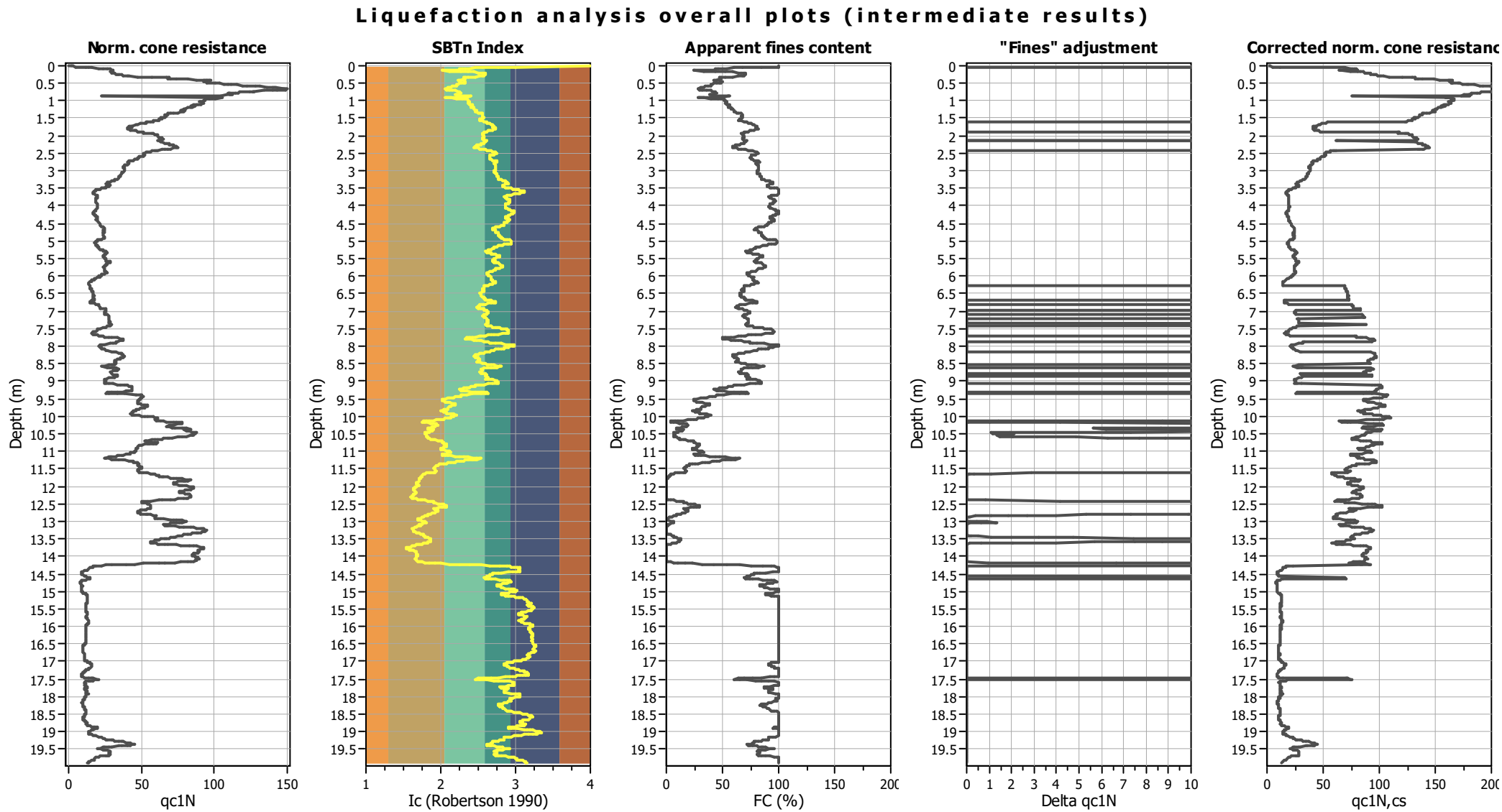
1. Sensitive fine grained	4. Clayey silt to silty	7. Gravely sand to sand
2. Organic material	5. Silty sand to sandy silt	8. Very stiff sand to
3. Clay to silty clay	6. Clean sand to silty sand	9. Very stiff fine grained

CPT basic interpretation plots (normalized)



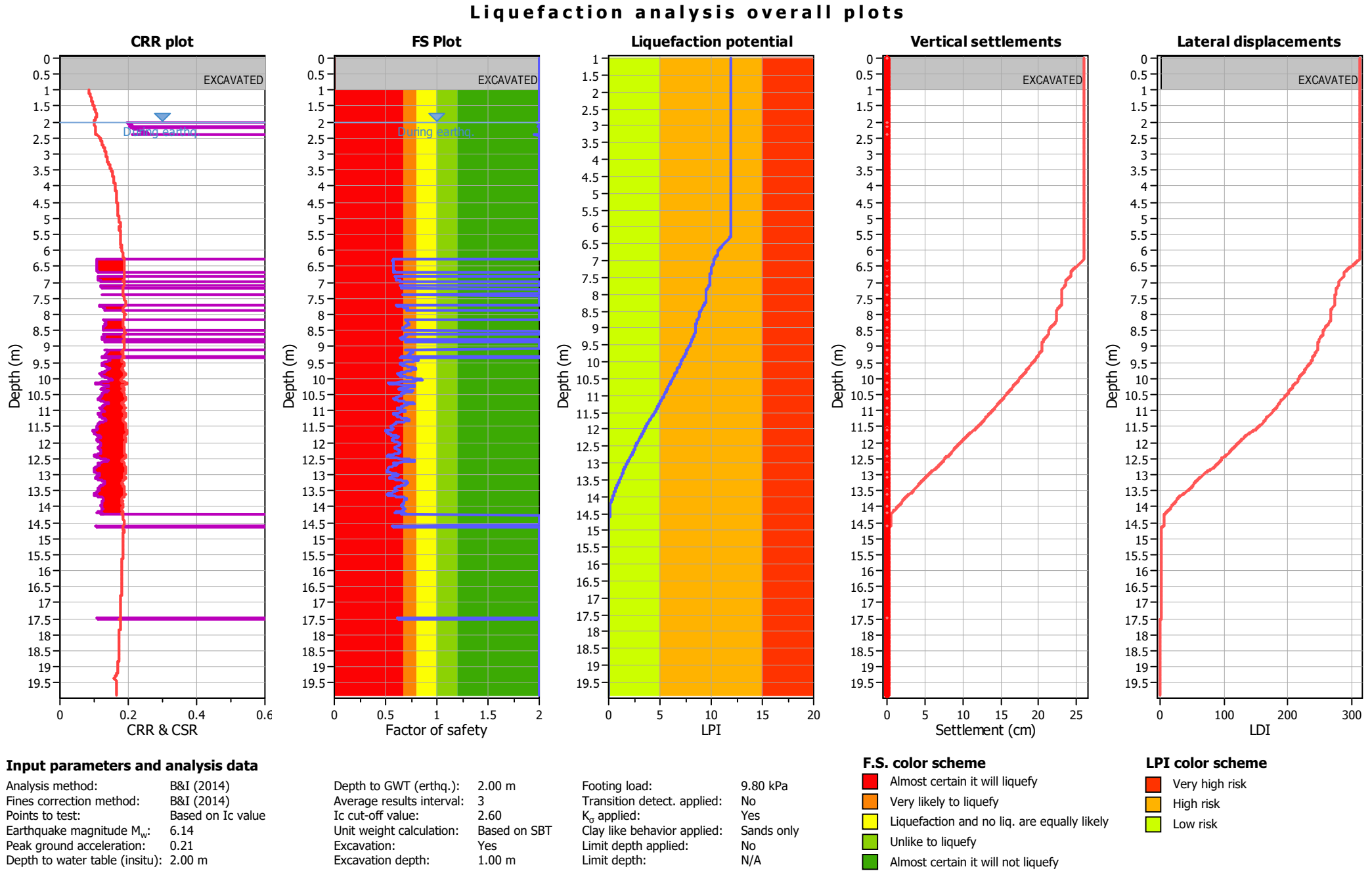
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.00 m	Footing load:	9.80 kPa
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 :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.21	Excavation:	Yes	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.00 m	Excavation depth:	1.00 m	Limit depth:	N/A

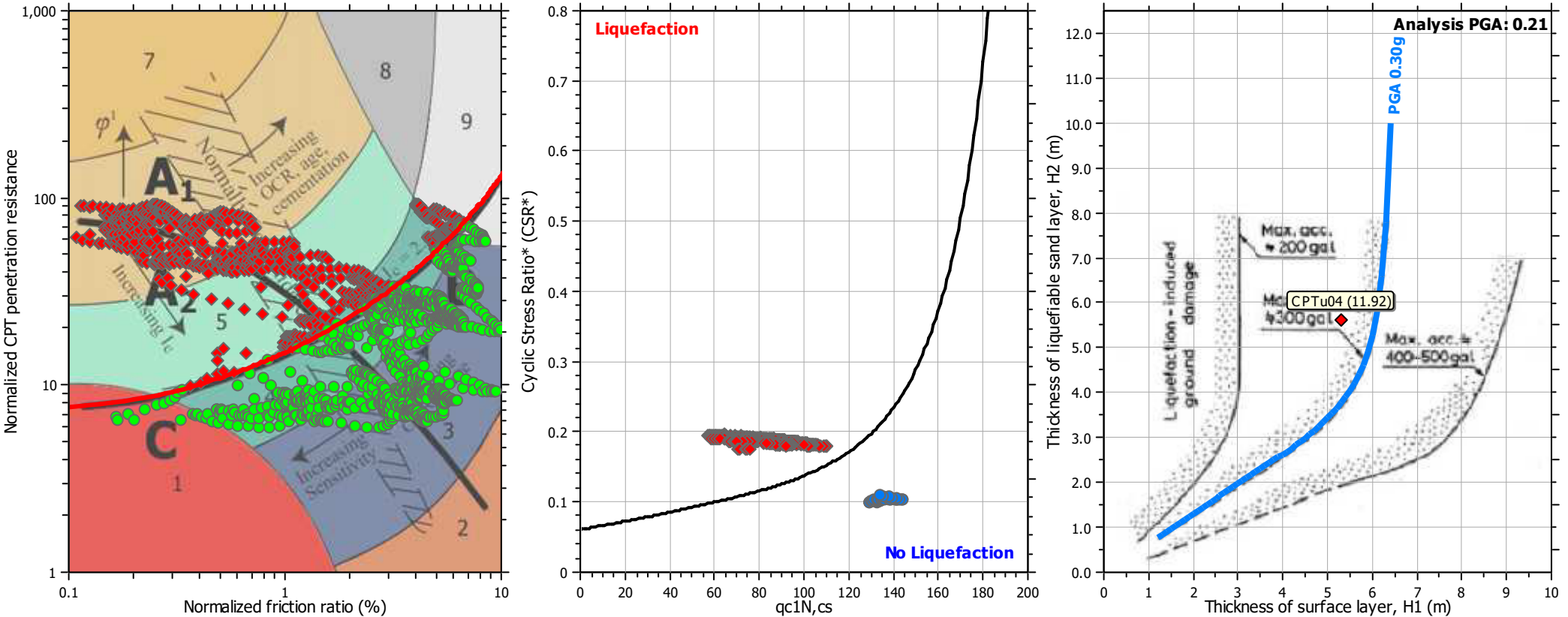


Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.00 m	Footing load:	9.80 kPa
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 _g applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.21	Excavation:	Yes	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.00 m	Excavation depth:	1.00 m	Limit depth:	N/A

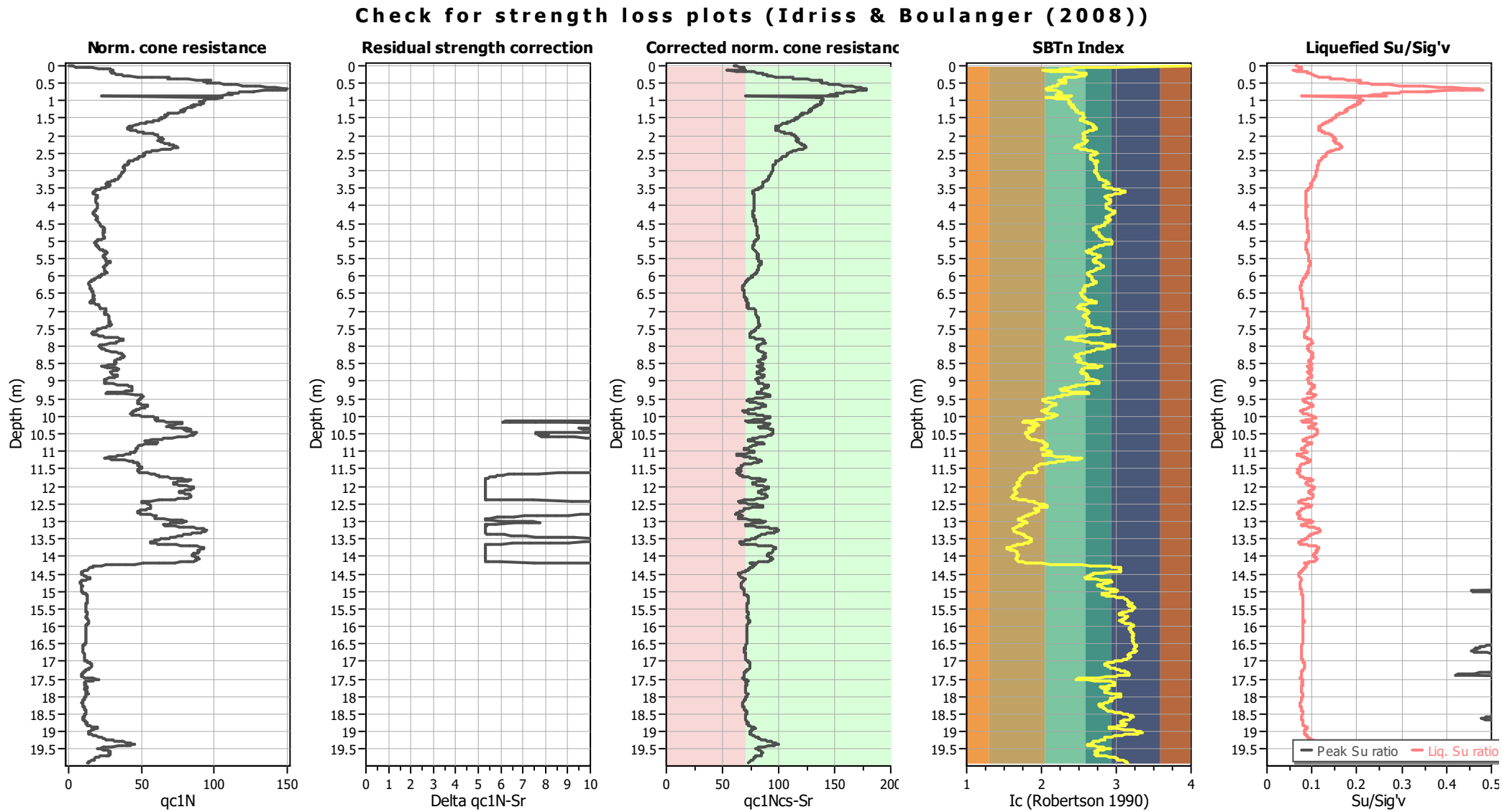


Liquefaction analysis summary plots



Input parameters and analysis data

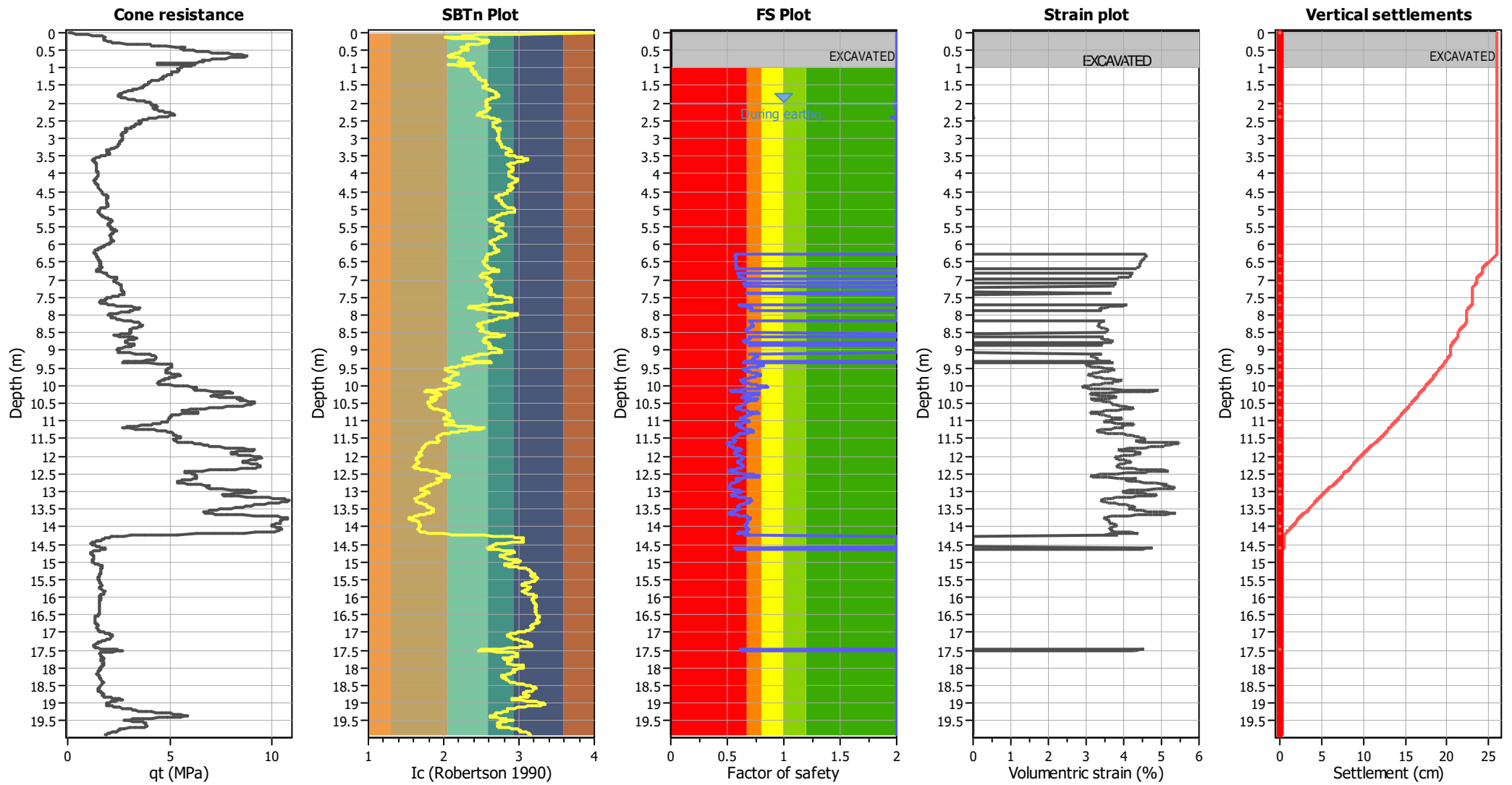
Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.00 m	Footing load:	9.80 kPa
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on I_c value	I_c cut-off value:	2.60	K_σ applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.21	Excavation:	Yes	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.00 m	Excavation depth:	1.00 m	Limit depth:	N/A



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.00 m	Footing load:	9.80 kPa
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 _g applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.21	Excavation:	Yes	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.00 m	Excavation depth:	1.00 m	Limit depth:	N/A

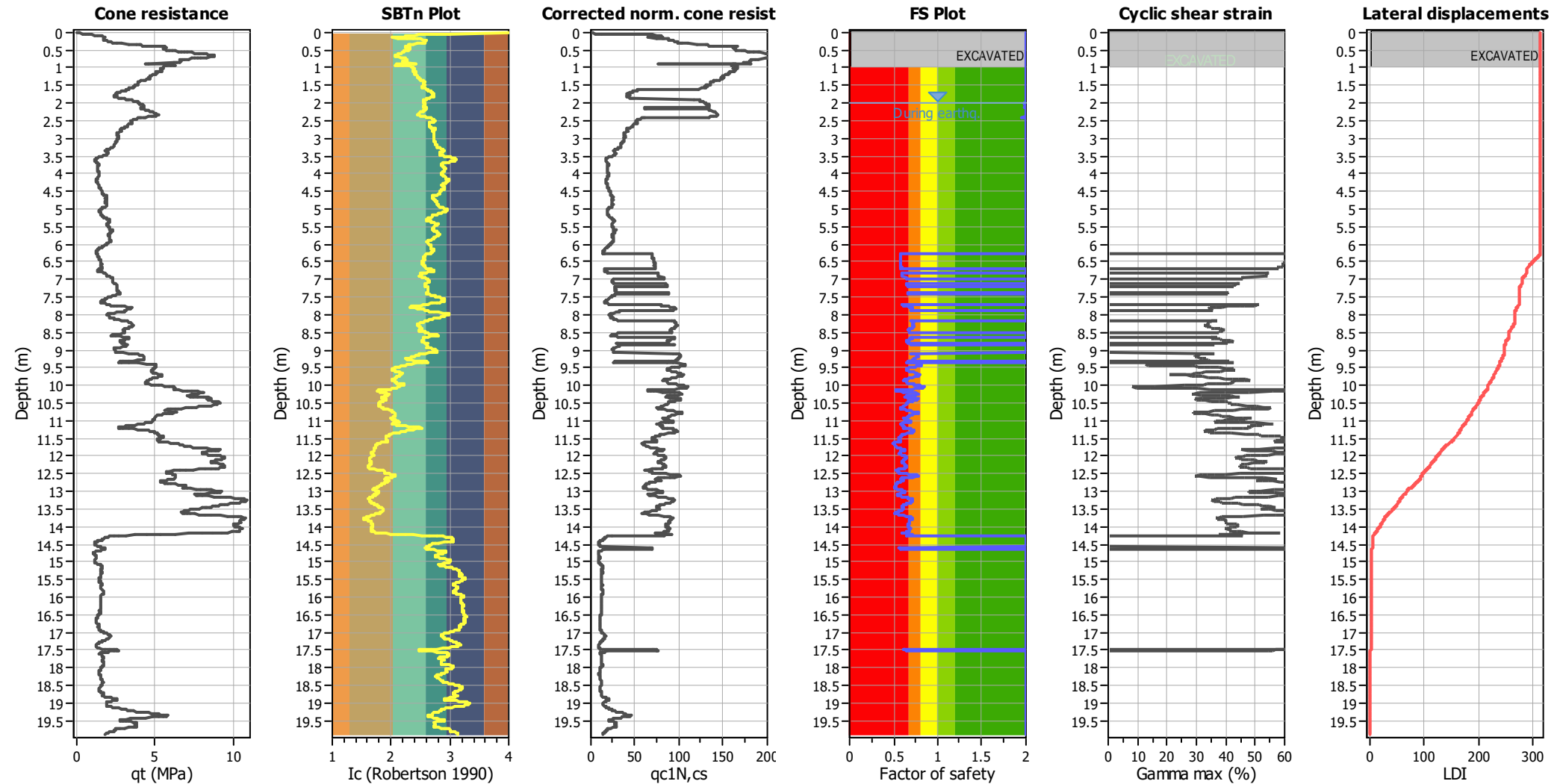
Estimation of post-earthquake settlements



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

Estimation of post-earthquake lateral Displacements



Abbreviations

- q_t : Total cone resistance (cone resistance q_c corrected for pore water effects)

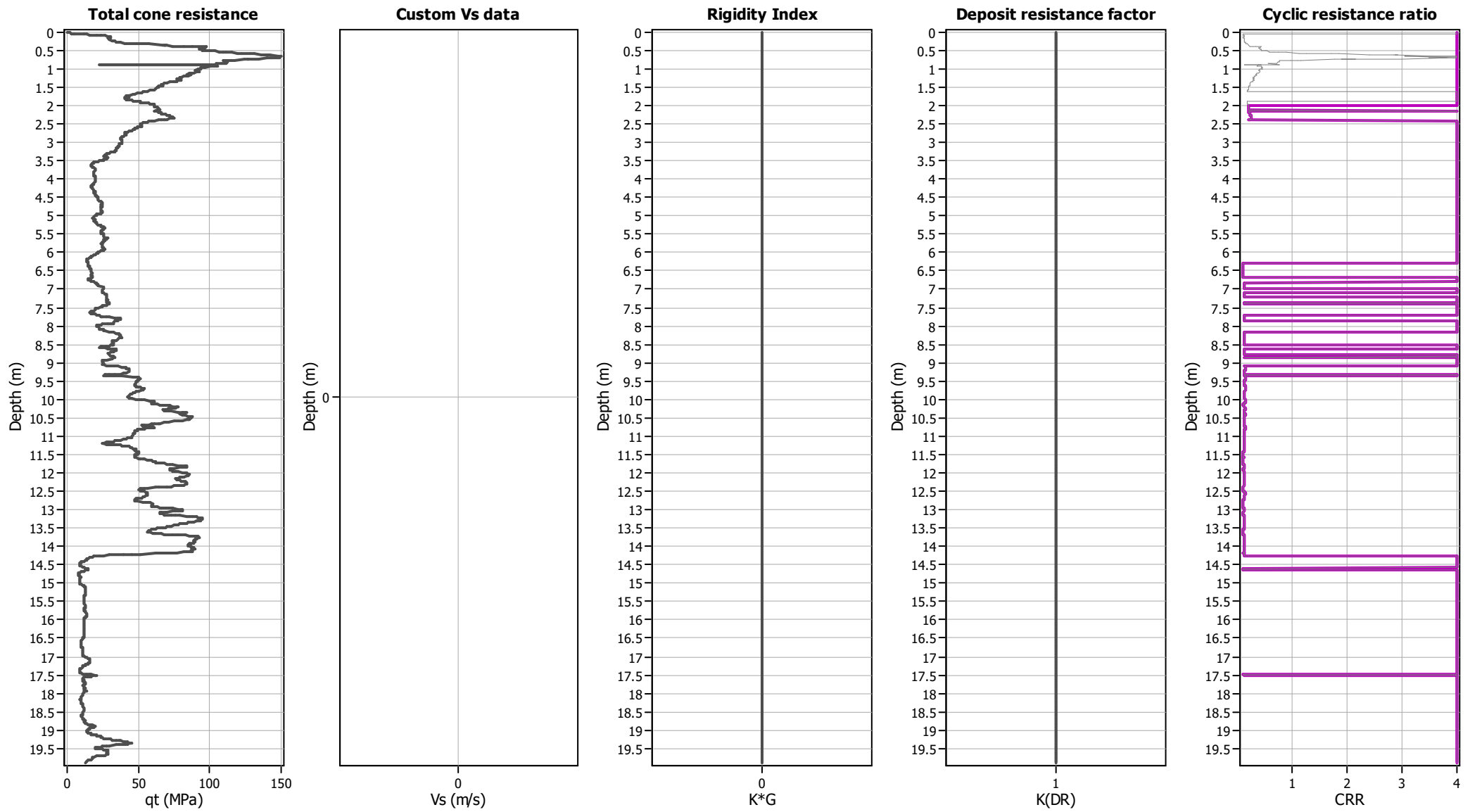
I_c : Soil Behaviour Type Index

$q_{c1N,cs}$: Equivalent clean sand normalized CPT total cone resistance
- F.S.: Factor of safety

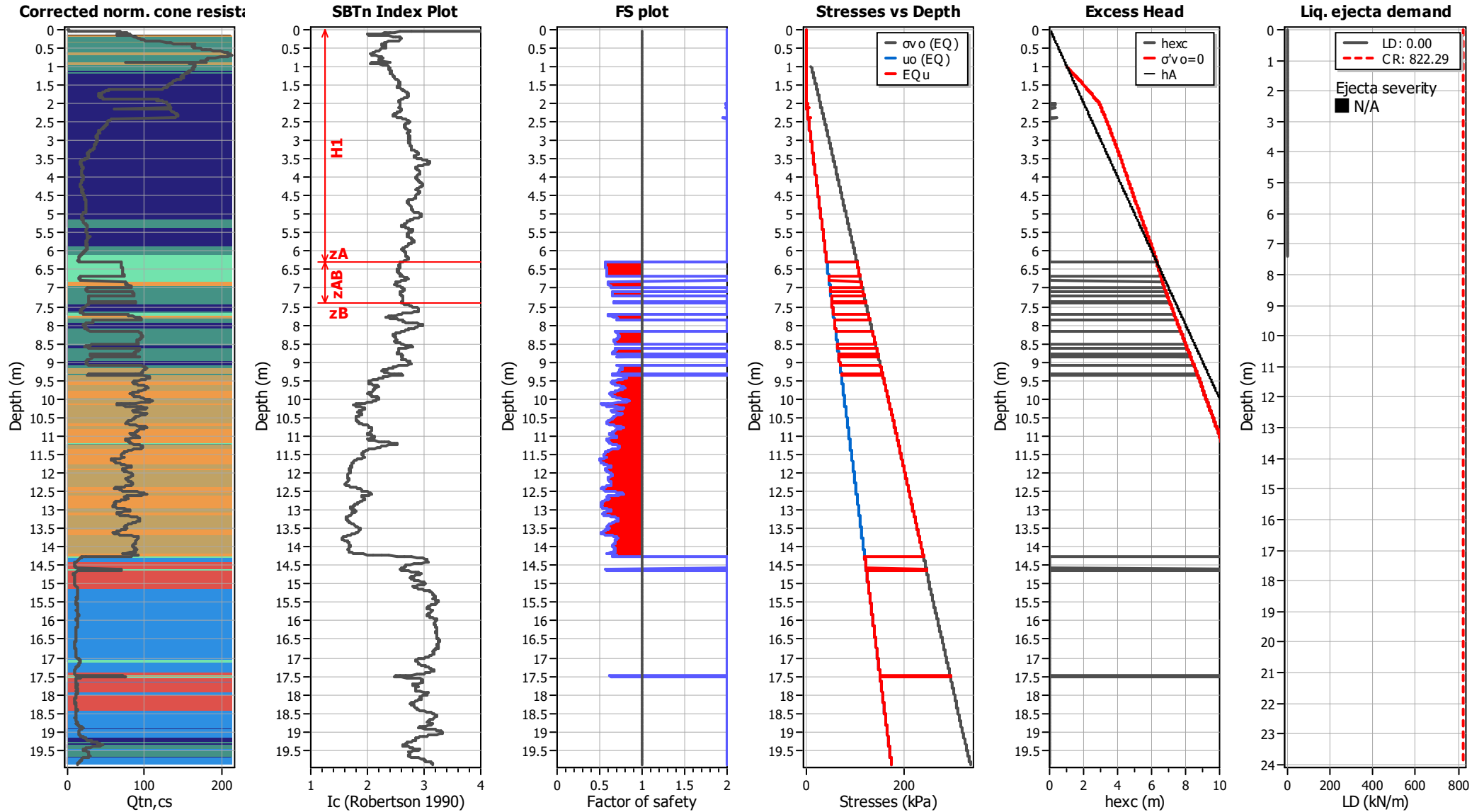
γ_{max} : Maximum cyclic shear strain

LDI: Lateral displacement index

Aging Calculation Estimation



Ejecta Severity Estimation



LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

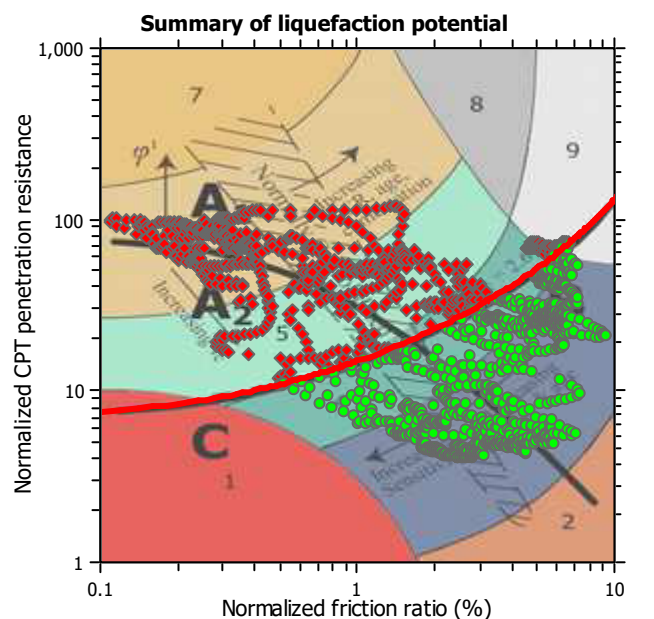
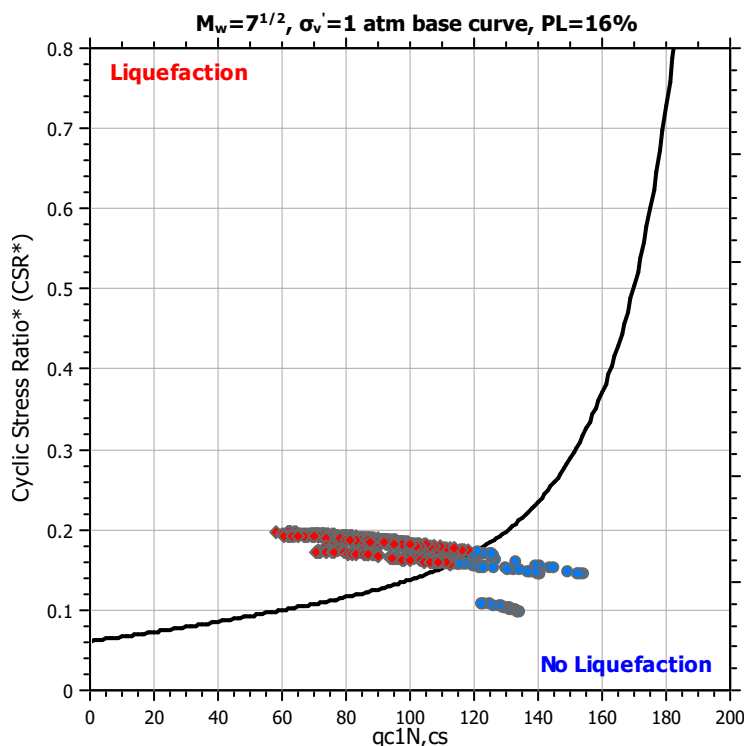
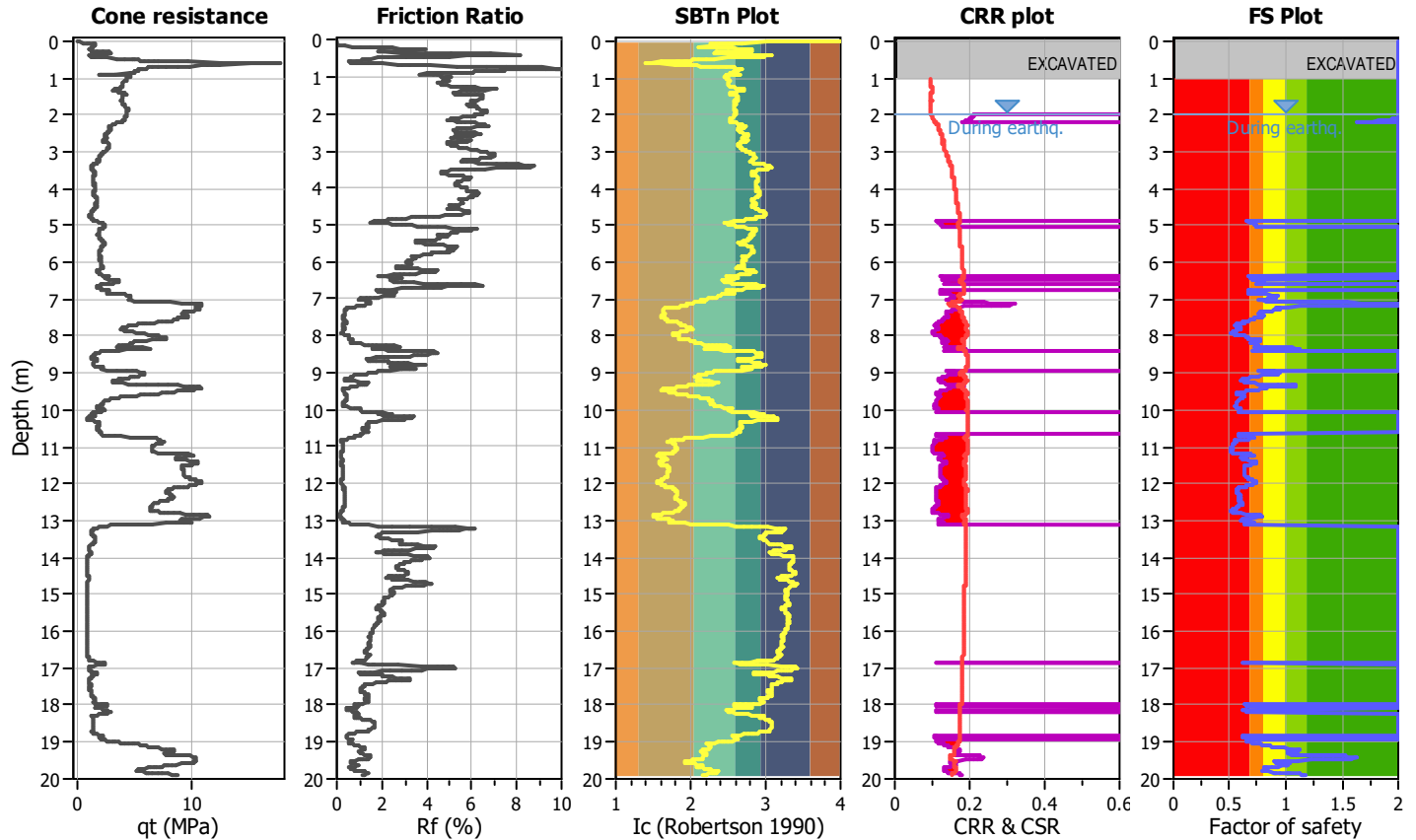
Project title :

Location :

CPT file : CPTu05

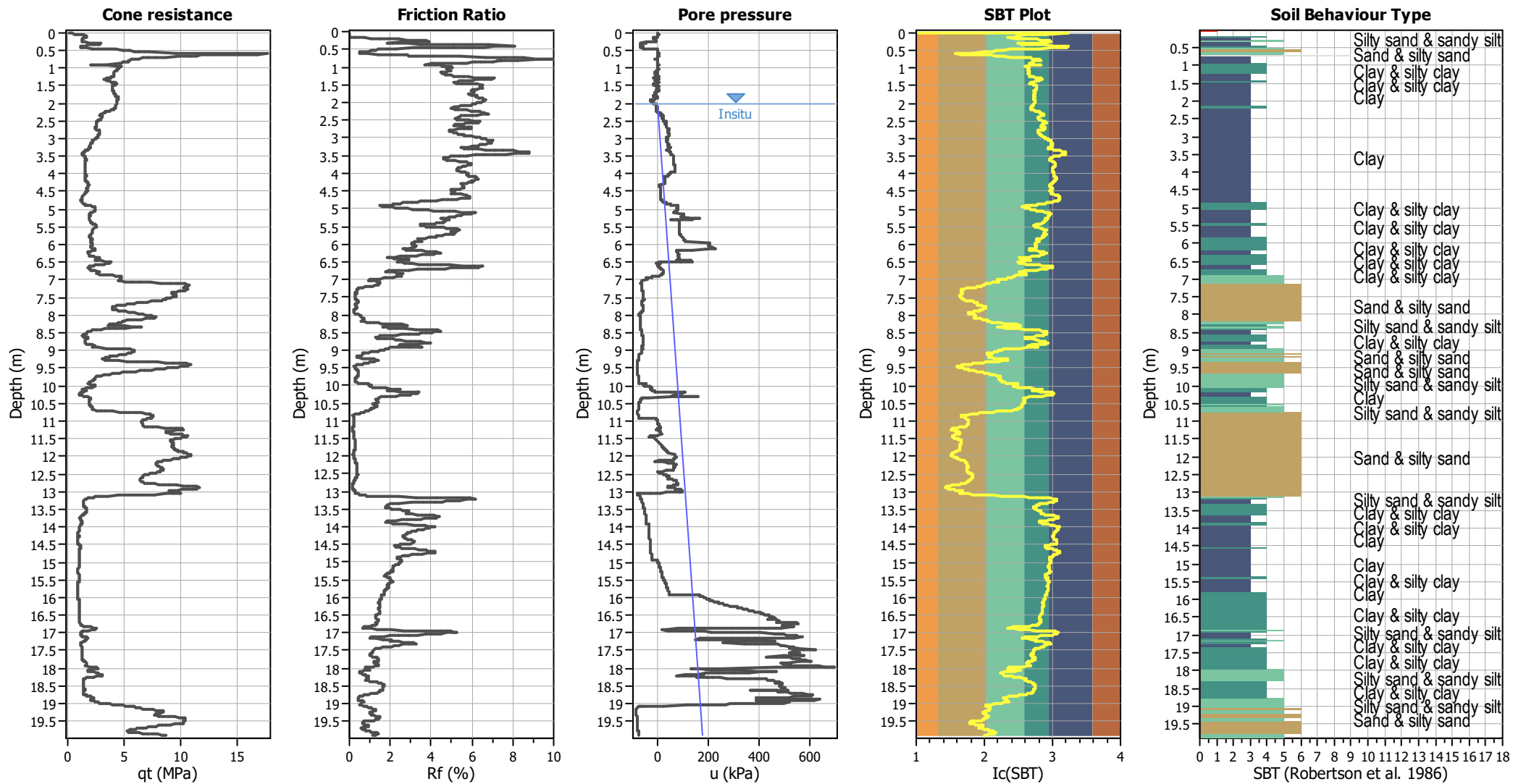
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	2.00 m	Excavation:	Yes	Clay like behavior	
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	2.00 m	Excavation depth:	1.00 m	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Footing load:	9.80 kPa	Limit depth applied:	No
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.21	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_σ applied:	Yes	MSF method:	Method based



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

CPT basic interpretation plots

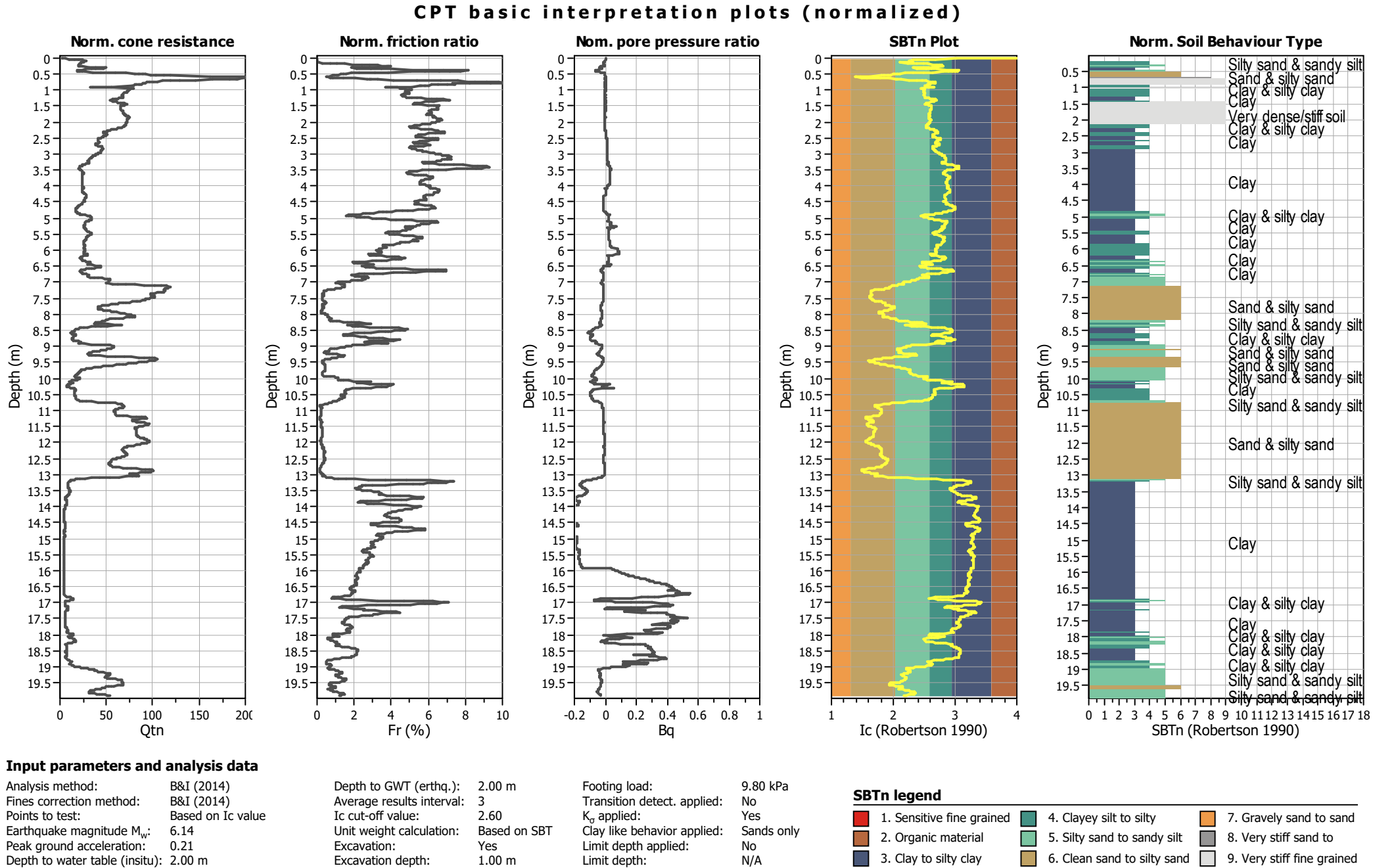


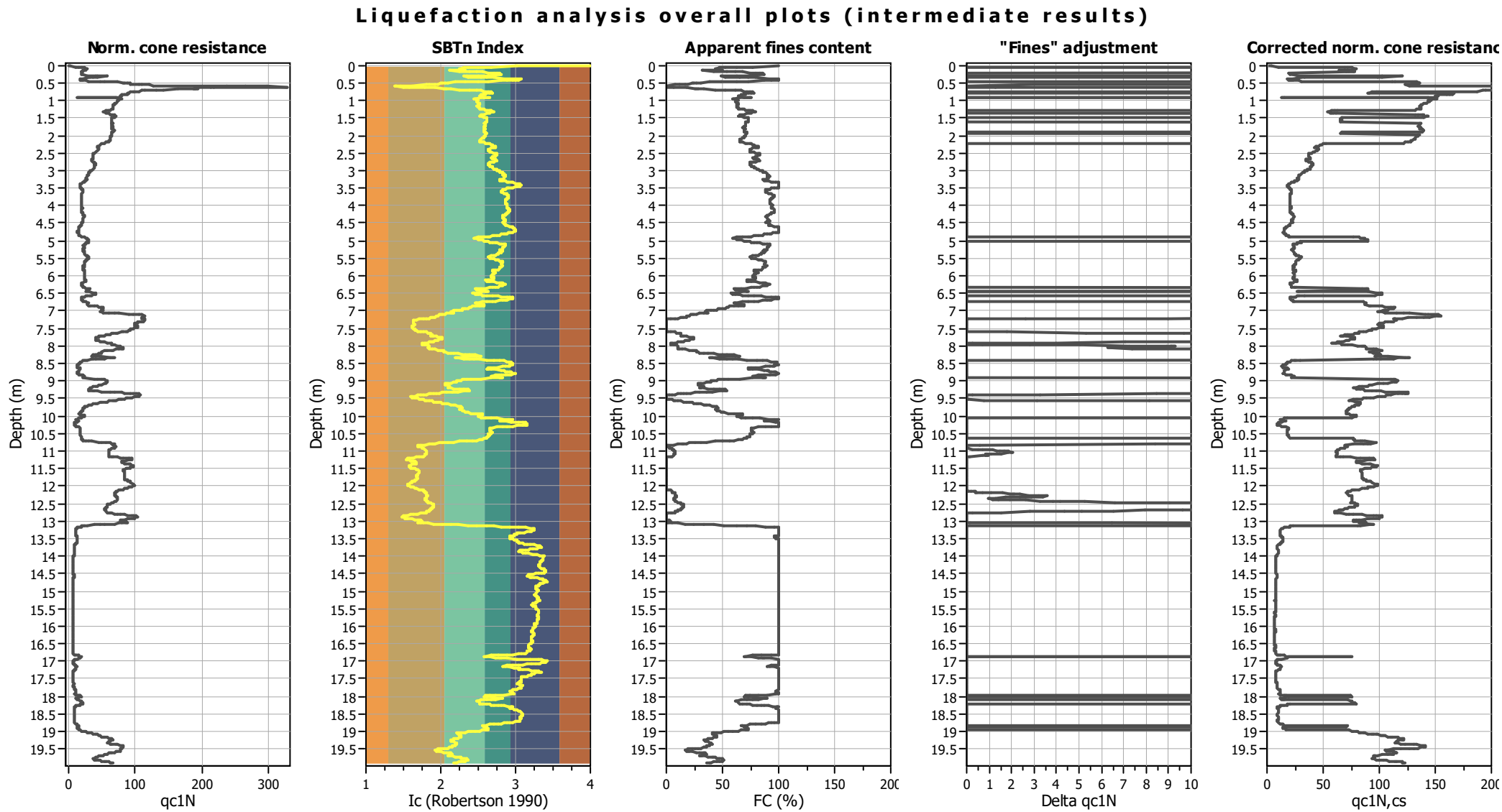
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.00 m	Footing load:	9.80 kPa
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 :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.21	Excavation:	Yes	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.00 m	Excavation depth:	1.00 m	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

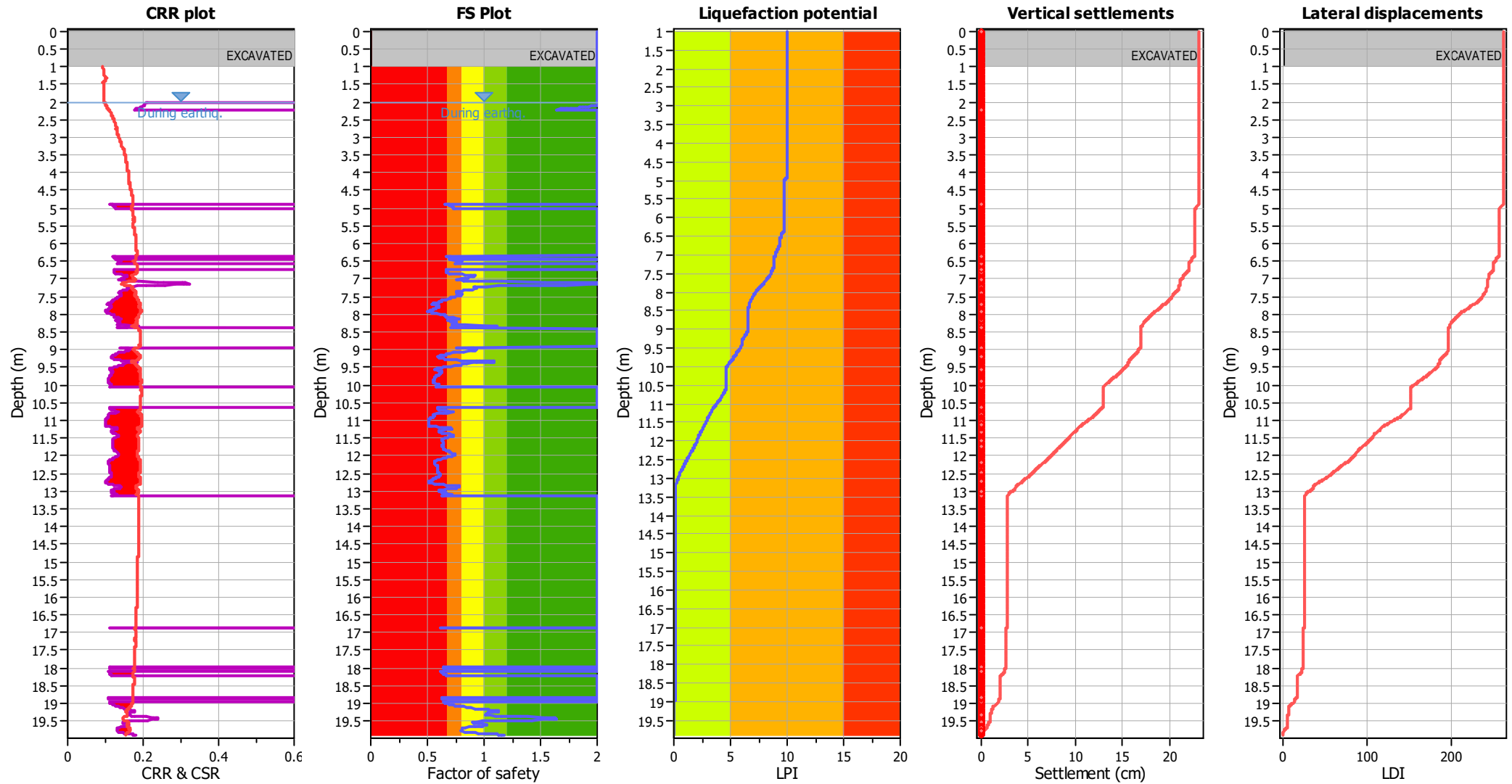




Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.00 m	Footing load:	9.80 kPa
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _q applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.21	Excavation:	Yes	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.00 m	Excavation depth:	1.00 m	Limit depth:	N/A

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (earthq.):	2.00 m	Footing load:	9.80 kPa
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_g applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.21	Excavation:	Yes	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.00 m	Excavation depth:	1.00 m	Limit depth:	N/A

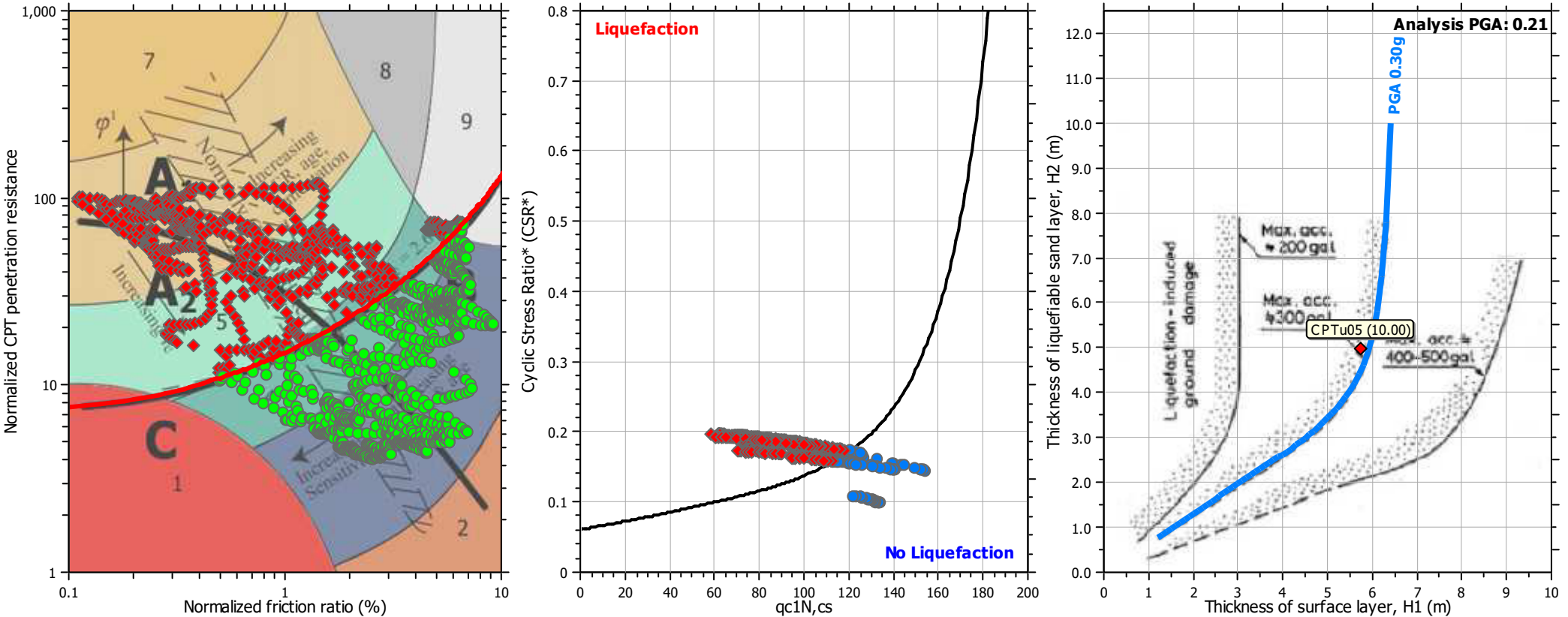
F.S. color scheme

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

LPI color scheme

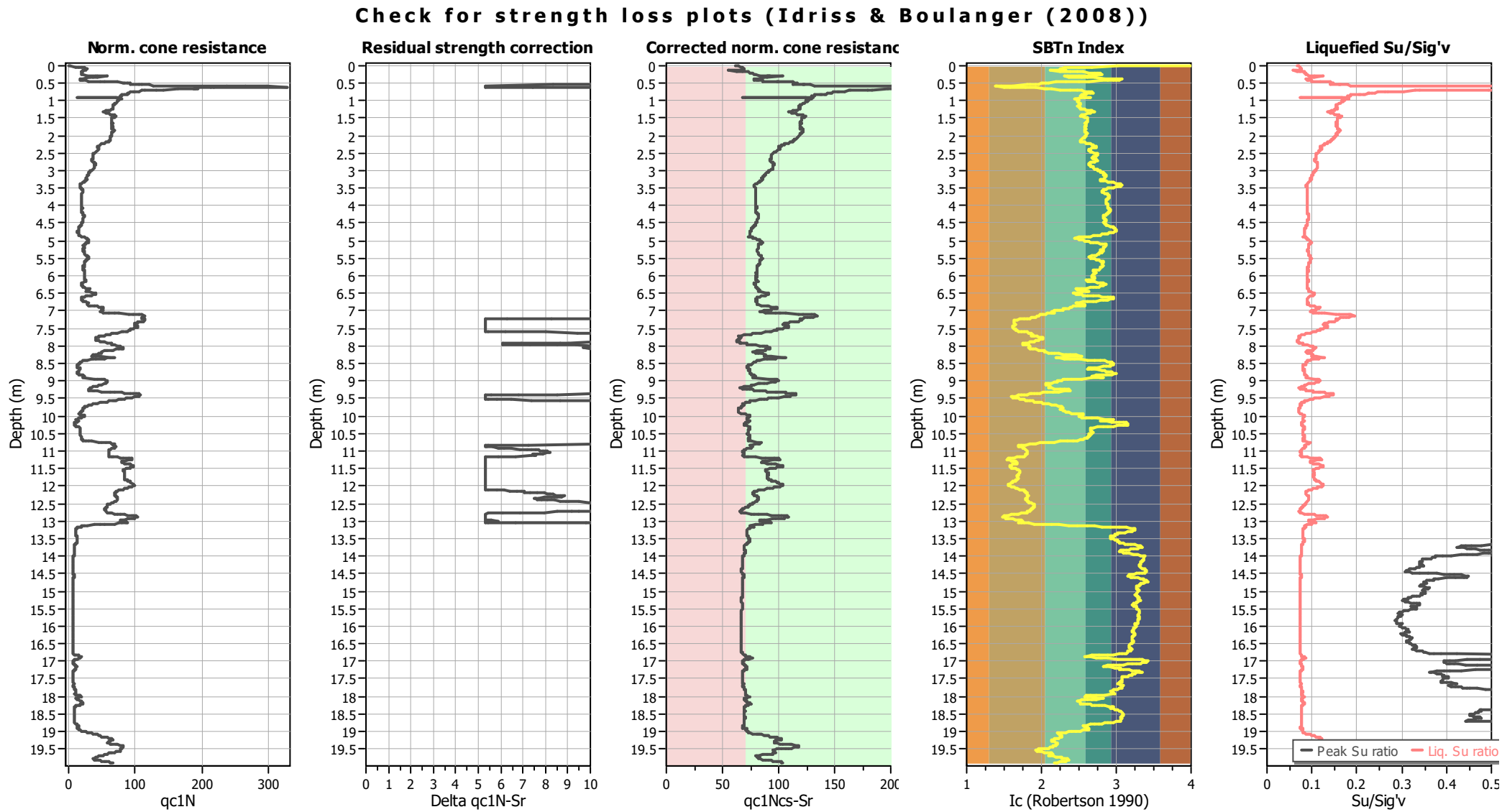
Red	Very high risk
Orange	High risk
Yellow	Low risk

Liquefaction analysis summary plots



Input parameters and analysis data

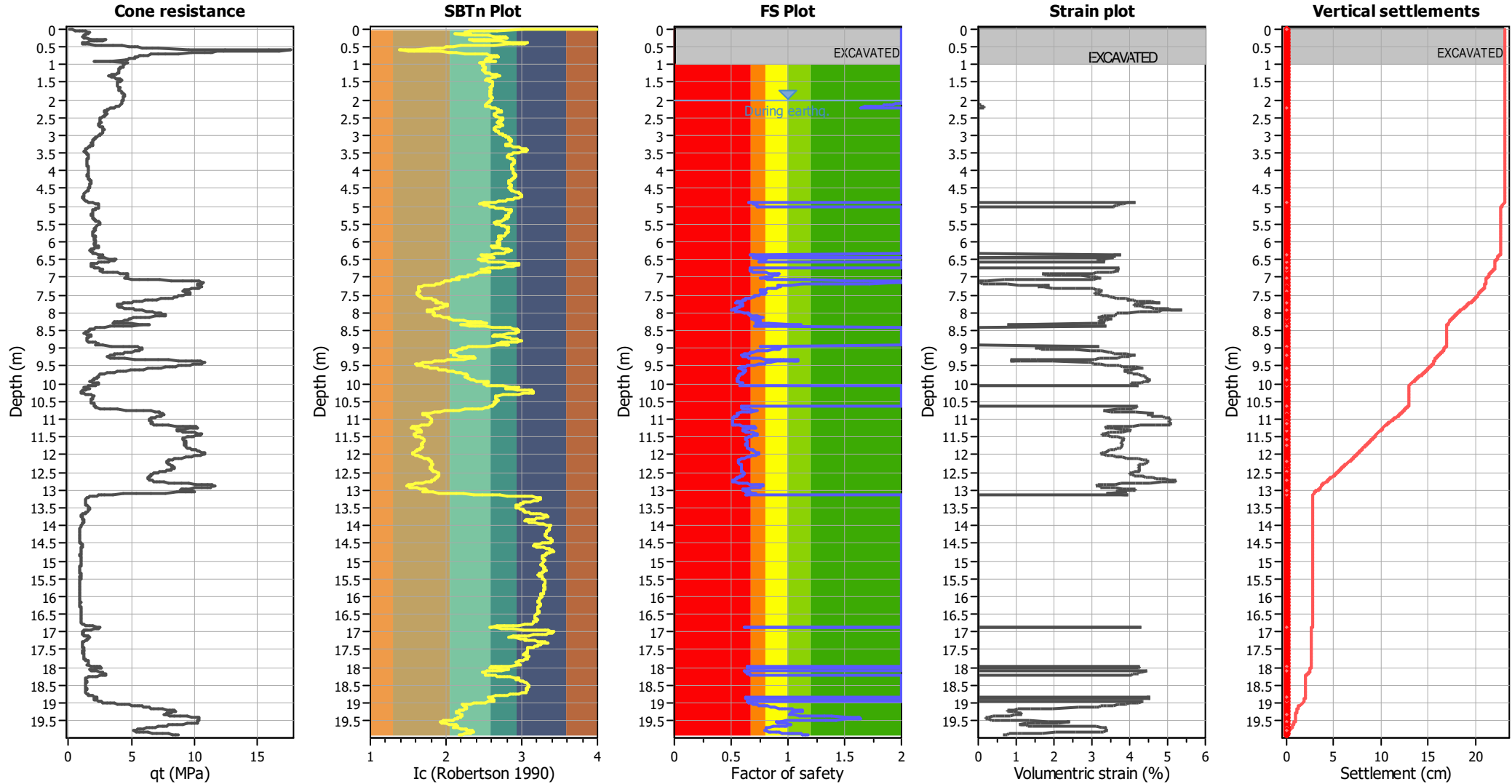
Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.00 m	Footing load:	9.80 kPa
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on I_c value	I_c cut-off value:	2.60	K_g applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.21	Excavation:	Yes	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.00 m	Excavation depth:	1.00 m	Limit depth:	N/A



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.00 m	Footing load:	9.80 kPa
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 _g applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.21	Excavation:	Yes	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.00 m	Excavation depth:	1.00 m	Limit depth:	N/A

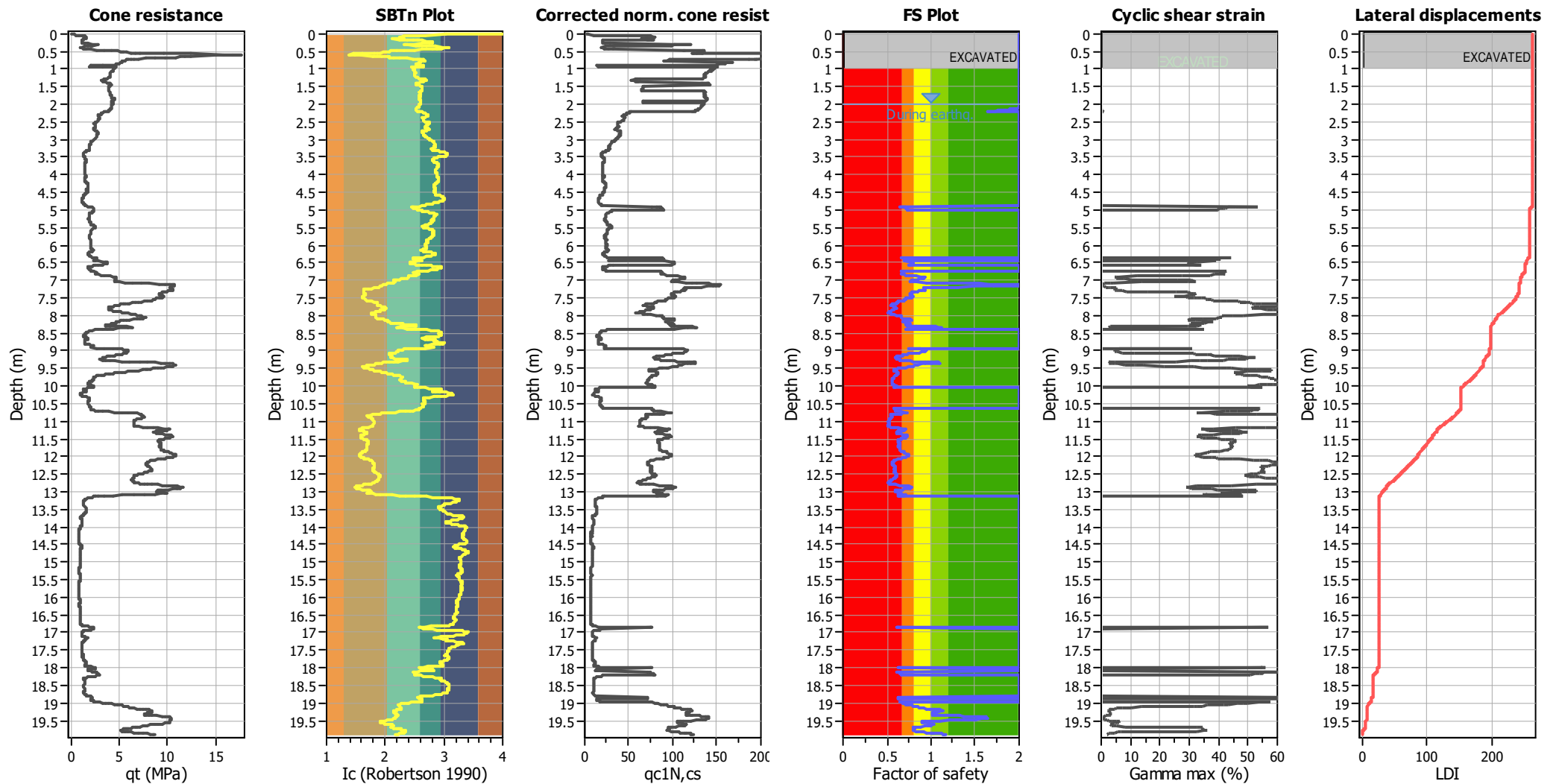
Estimation of post-earthquake settlements



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

Estimation of post-earthquake lateral Displacements



Abbreviations

q_t : Total cone resistance (cone resistance q_c corrected for pore water effects)

I_c : Soil Behaviour Type Index

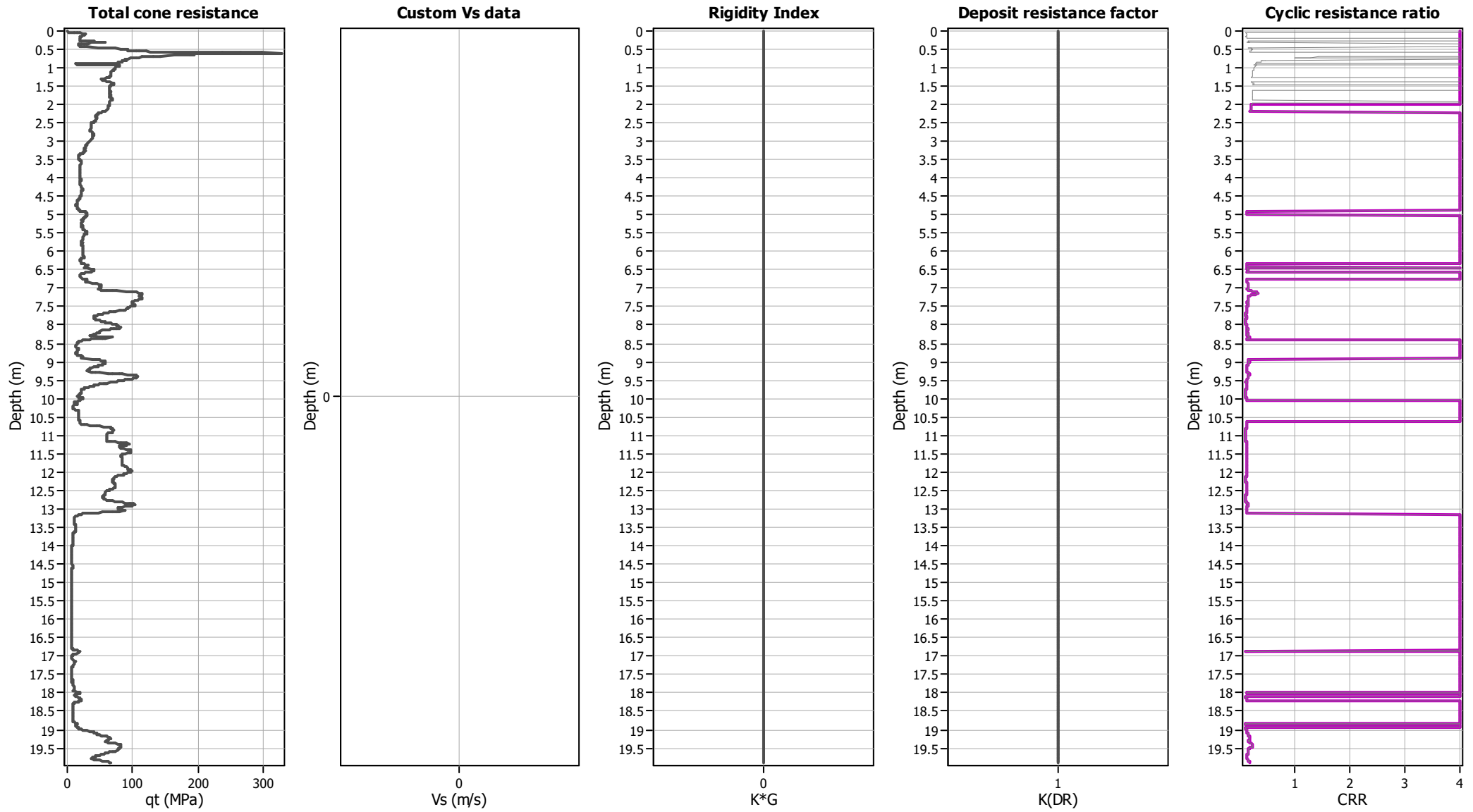
$q_{c1N,cs}$: Equivalent clean sand normalized CPT total cone resistance

F.S.: Factor of safety

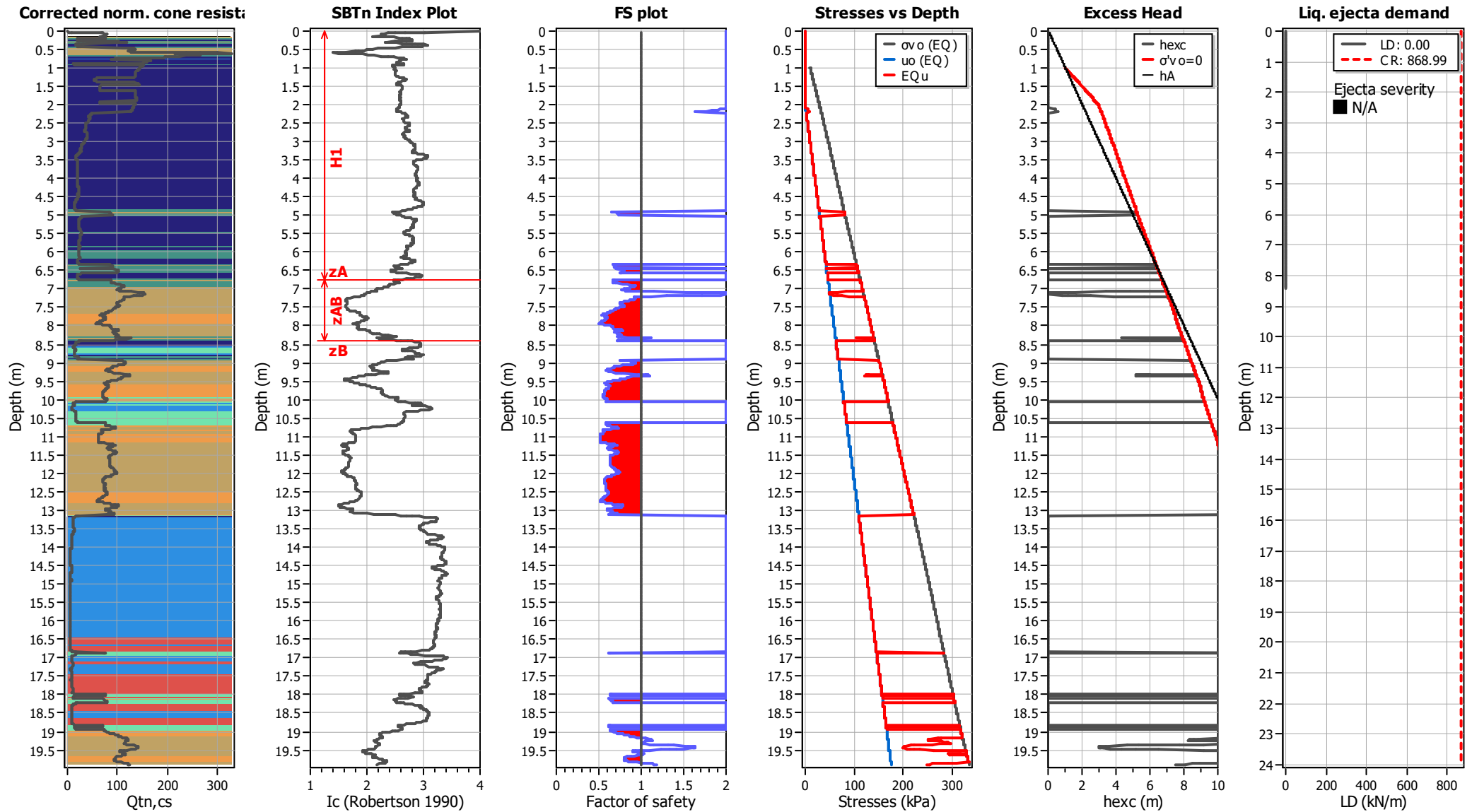
γ_{max} : Maximum cyclic shear strain

LDI: Lateral displacement index

Aging Calculation Estimation

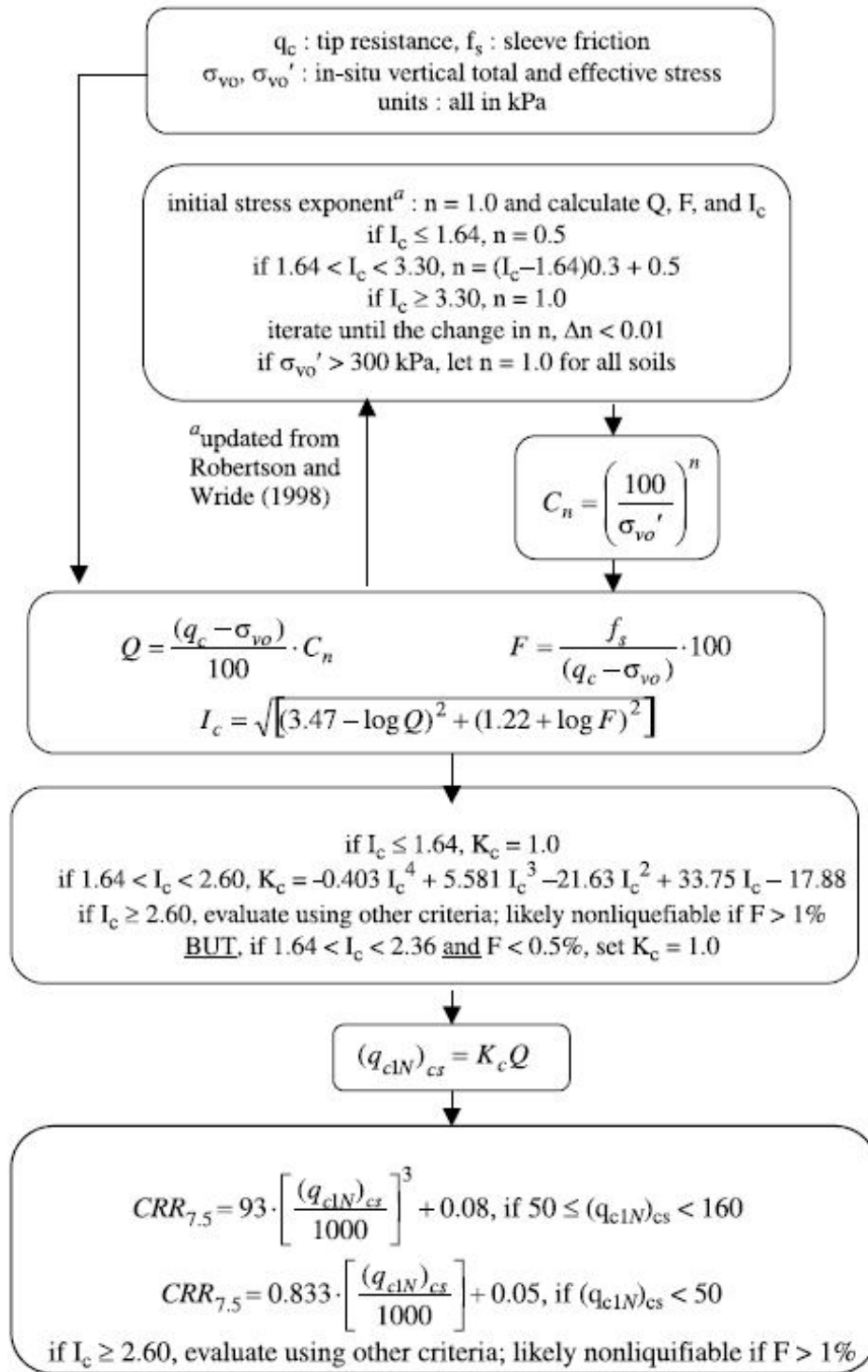


Ejecta Severity Estimation



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

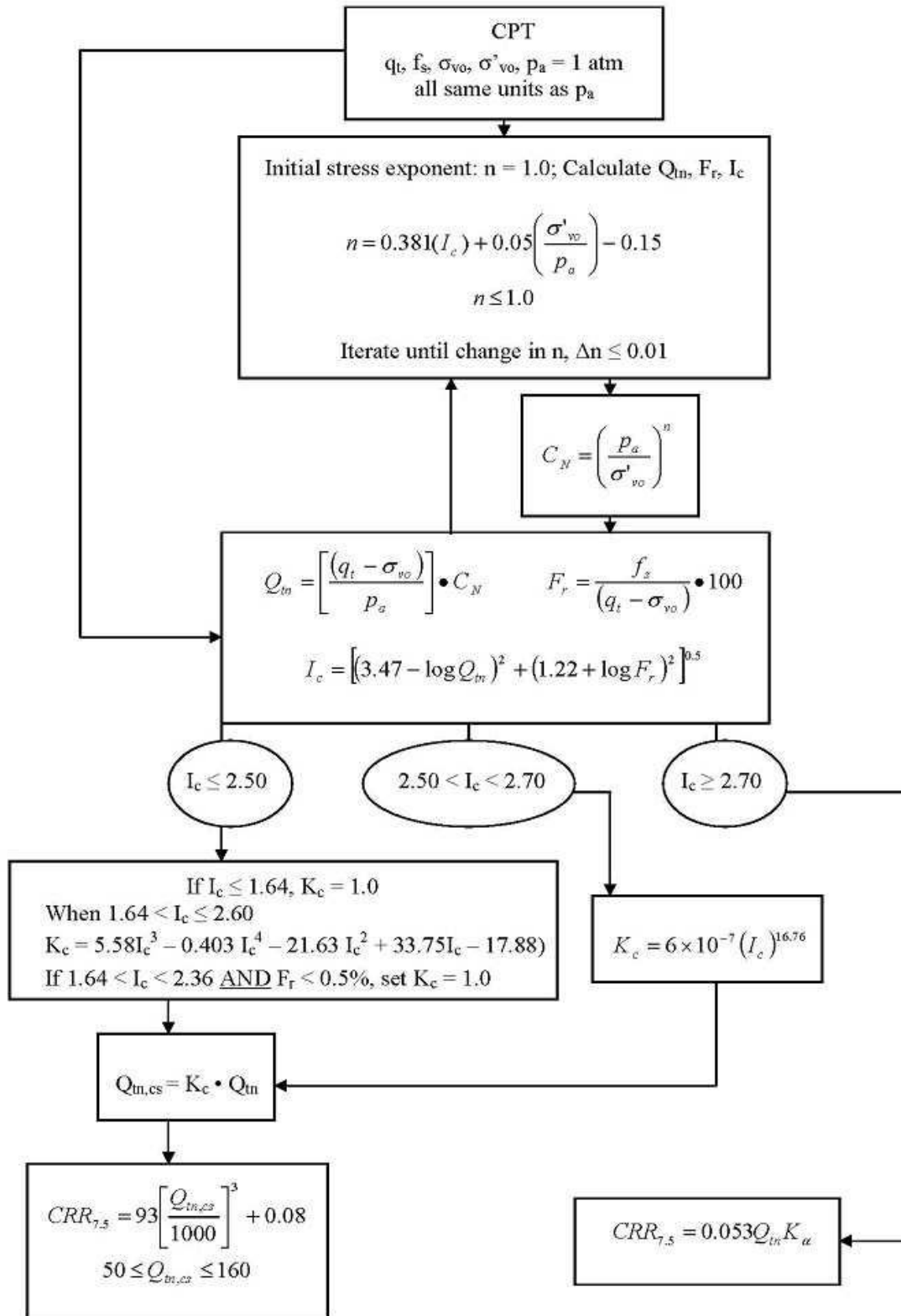
Calculation of soil resistance against liquefaction is performed according to the Robertson & Wride (1998) procedure. The procedure used in the software, slightly differs from the one originally published in NCEER-97-0022 (Proceedings of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of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



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

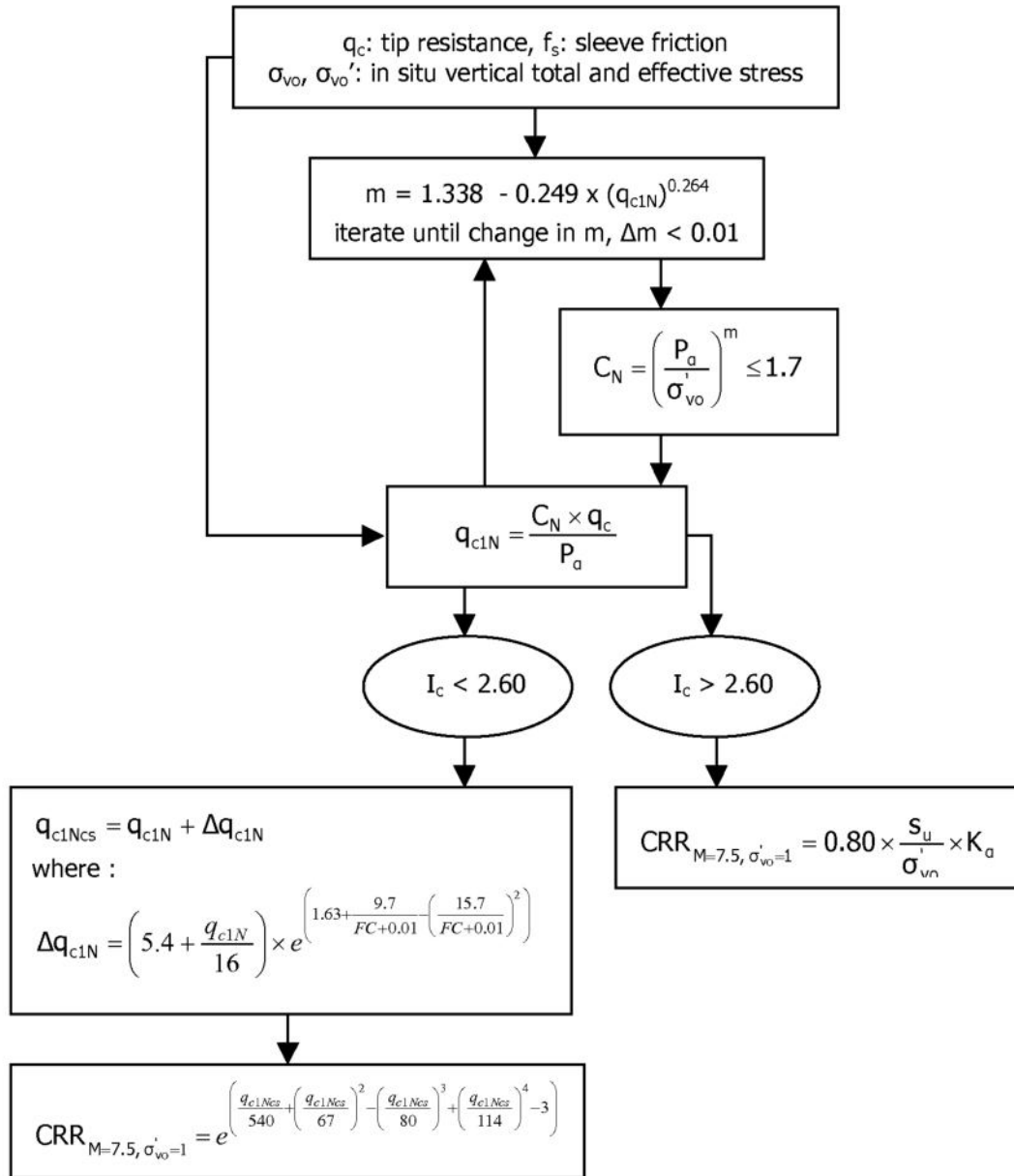
Procedure for the evaluation of soil liquefaction resistance (all soils), Robertson (2010)

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

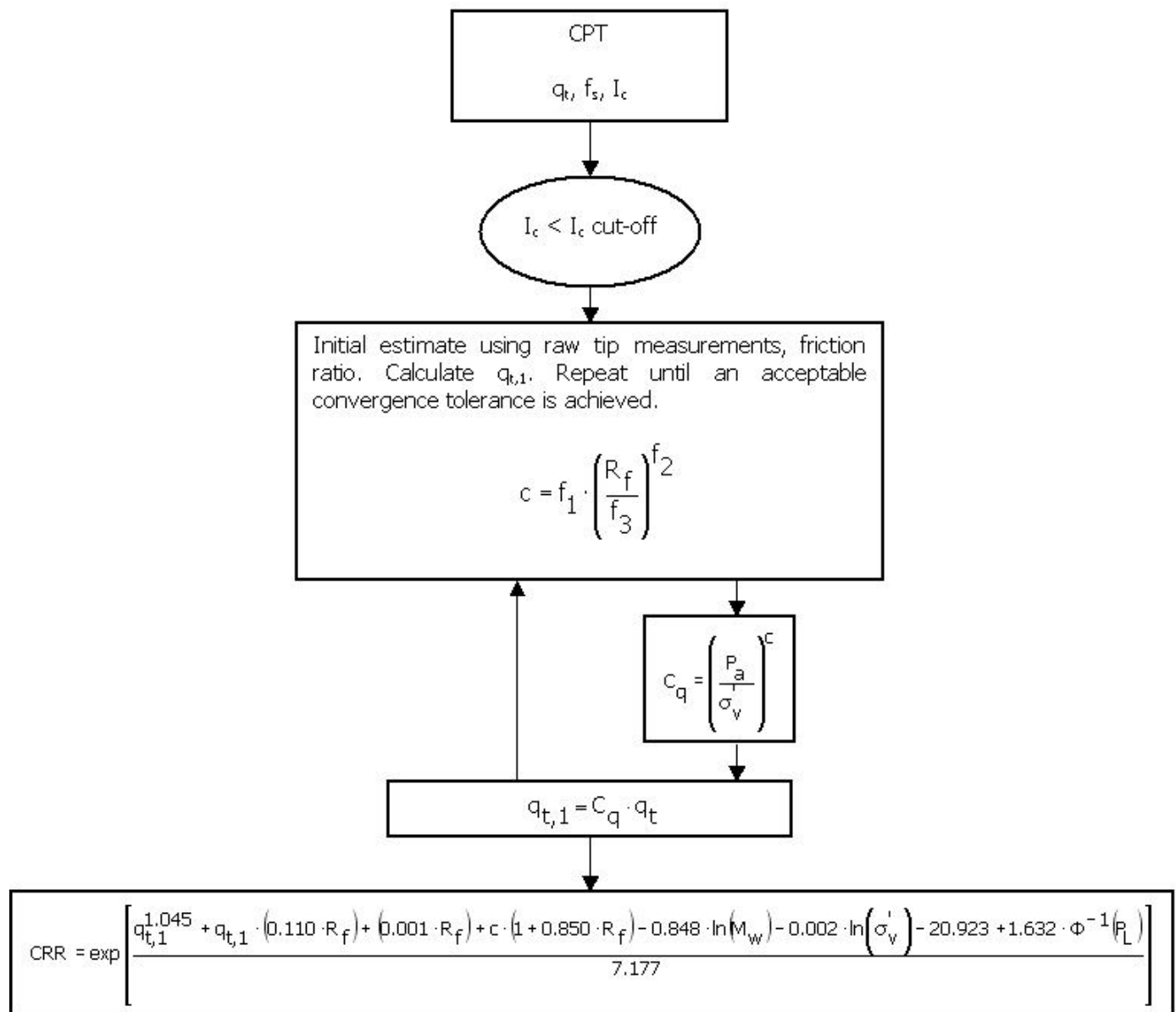


¹ P.K. Robertson, 2009. "Performance based earthquake design using the CPT", Keynote Lecture, International Conference on Performance-based Design in Earthquake Geotechnical Engineering – from case history to practice, IS-Tokyo, June 2009

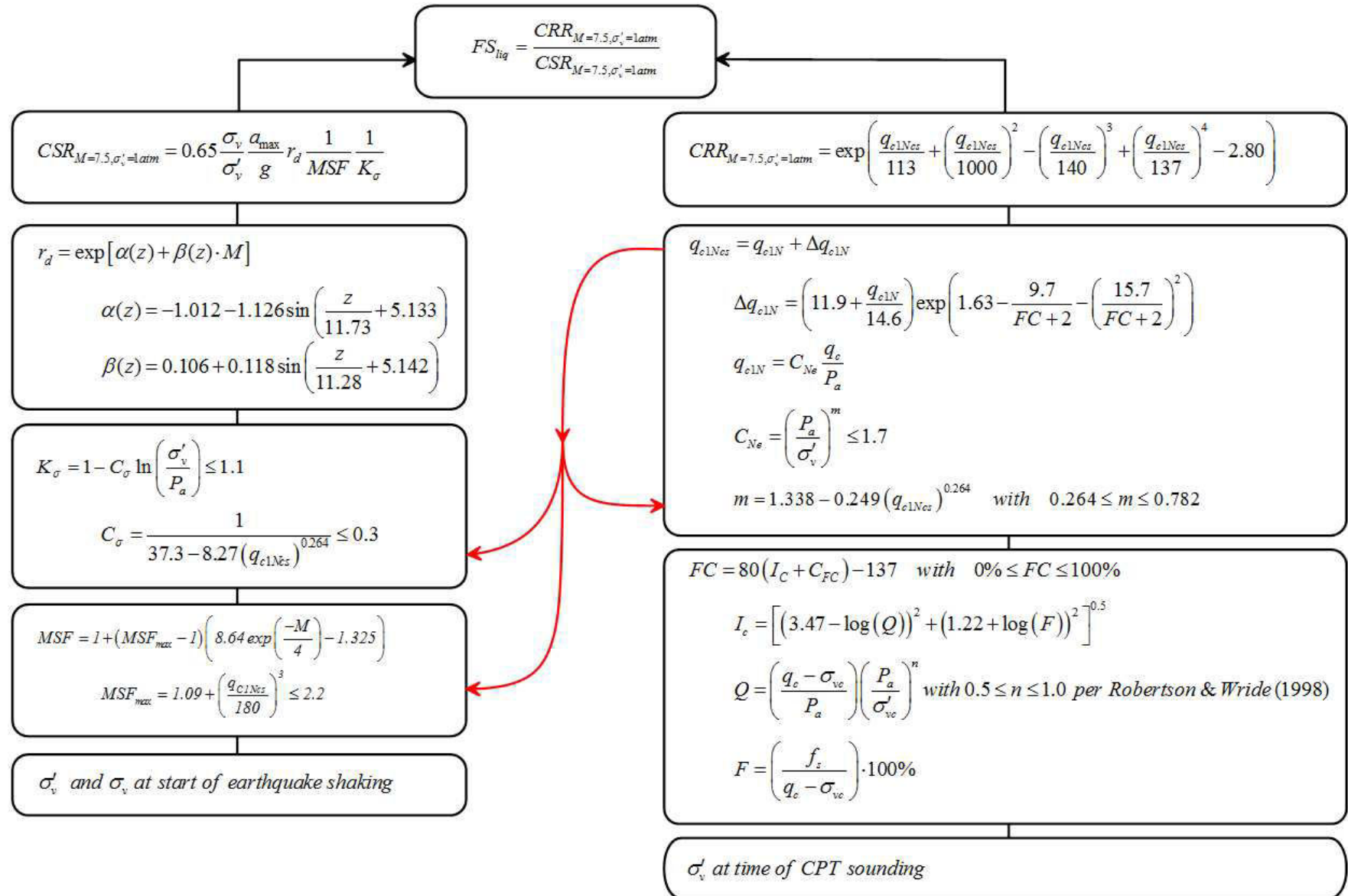
Procedure for the evaluation of soil liquefaction resistance, Idriss & Boulanger (2008)



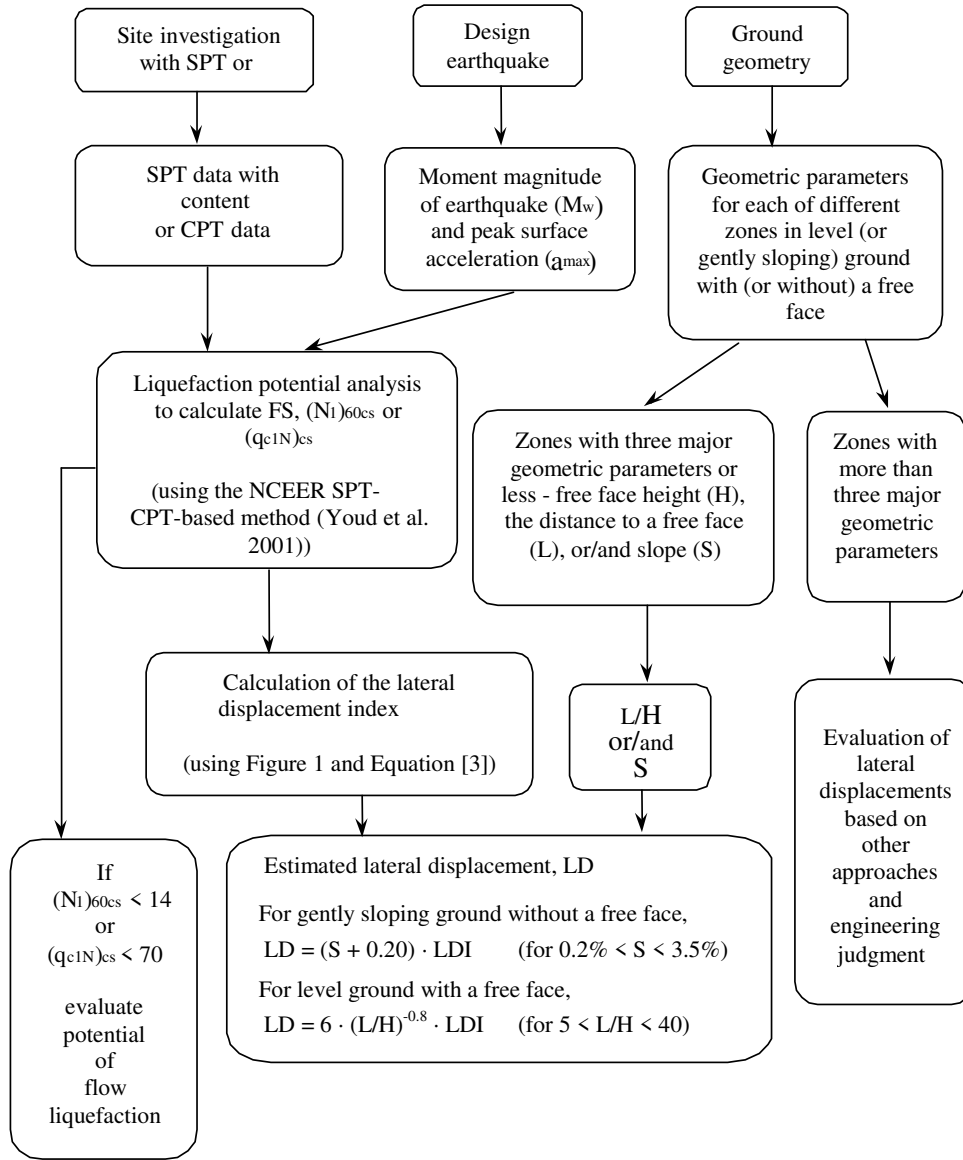
Procedure for the evaluation of soil liquefaction resistance (sandy soils), Moss et al. (2006)



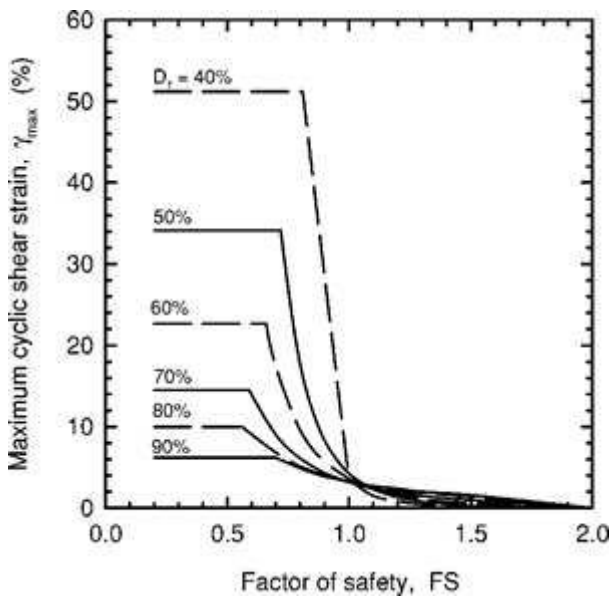
Procedure for the evaluation of soil liquefaction resistance, Boulanger & Idriss(2014)



Procedure for the evaluation of liquefaction-induced lateral spreading displacements



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



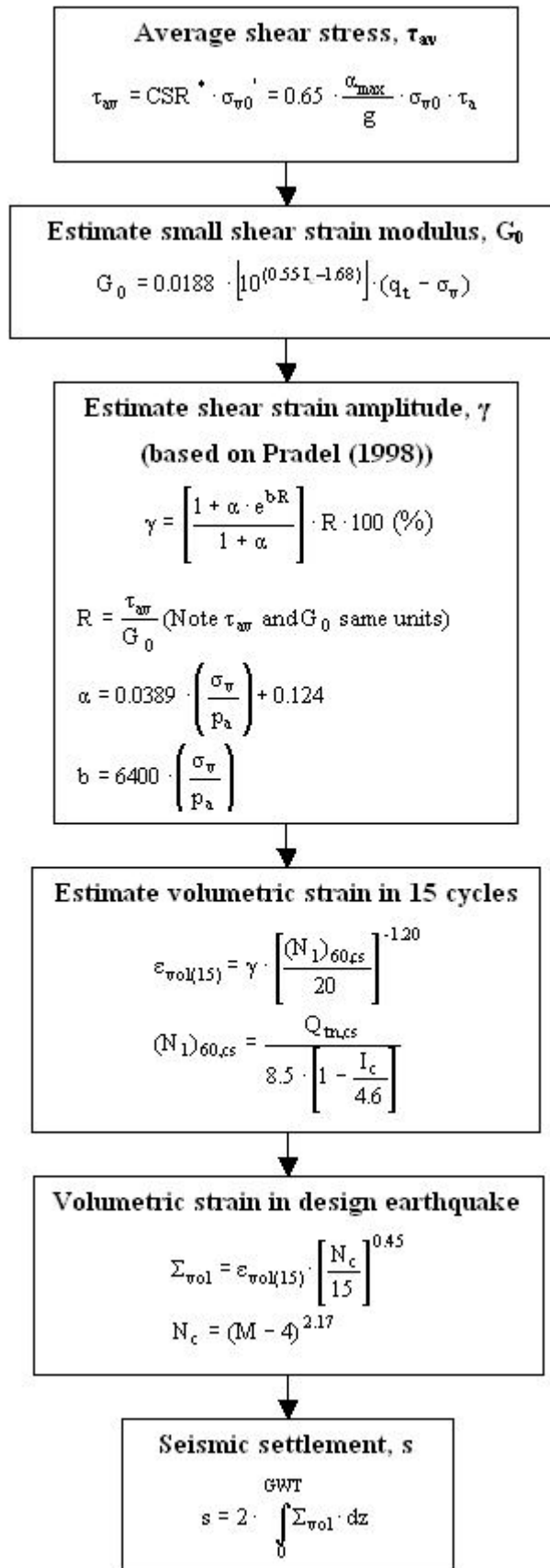
¹ Figure 1

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

¹ Equation [3]

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

Procedure for the estimation of seismic induced settlements in dry sands



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

Liquefaction Potential Index (LPI) calculation procedure

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

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

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

where:

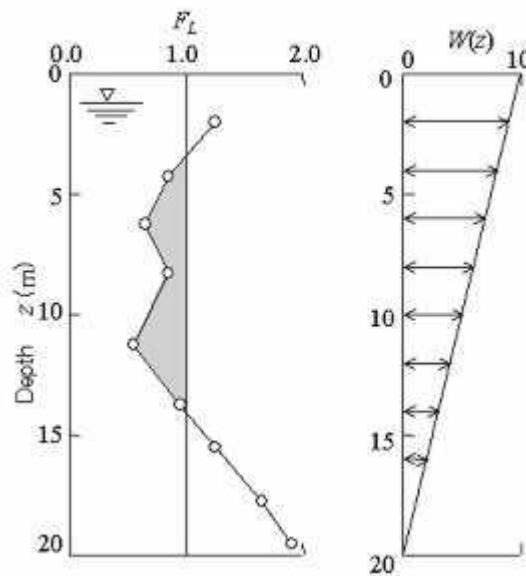
$F_L = 1 - F.S.$ when F.S. less than 1

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

z depth of measurement in meters

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

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



Graphical presentation of the LPI calculation procedure

Shear-Induced Building Settlement (Ds) calculation procedure

The shear-induced building settlement (Ds) due to liquefaction below the building can be estimated using the relationship developed by Bray and Macedo (2017):

$$\begin{aligned} \ln(D_s) = & c_1 + c_2 * LBS + 0.58 * \ln\left(\tanh\left(\frac{HL}{6}\right)\right) + \\ & 4.59 * \ln(Q) - 0.42 * \ln(Q)^2 - 0.02 * B + \\ & 0.84 * \ln(CAVdp) + 0.41 * \ln(Sa1) + \varepsilon \end{aligned}$$

where Ds is in the units of mm, c1= -8.35 and c2= 0.072 for LBS ≤ 16, and c1= -7.48 and c2= 0.014 otherwise. Q is the building contact pressure in units of kPa, HL is the cumulative thickness of the liquefiable layers in the units of m, B is the building width in the units of m, CAVdp is a standardized version of the cumulative absolute velocity in the units of g-s, Sa1 is 5%-damped pseudo-acceleration response spectral value at a period of 1 s in the units of g, and ε is a normal random variable with zero mean and 0.50 standard deviation in Ln units. The liquefaction-induced building settlement index (LBS) is:

$$LBS = \sum W * \frac{\varepsilon_{shear}}{z} dz$$

where z (m) is the depth measured from the ground surface > 0, W is a foundation-weighting factor wherein W = 0.0 for z less than Df, which is the embedment depth of the foundation, and W = 1.0 otherwise. The shear strain parameter (ε_{shear}) is the liquefaction-induced free-field shear strain (in %) estimated using Zhang et al. (2004). It is calculated based on the estimated Dr of the liquefied soil layer and the calculated safety factor against liquefaction triggering (FSL).

References

- Lunne, T., Robertson, P.K., and Powell, J.J.M 1997. Cone penetration testing in geotechnical practice, E & FN Spon Routledge, 352 p, ISBN 0-7514-0393-8.
- Boulanger, R.W. and Idriss, I. M., 2007. Evaluation of Cyclic Softening in Silts and Clays. ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering June, Vol. 133, No. 6 pp 641-652
- Boulanger, R.W. and Idriss, I. M., 2014. CPT AND SPT BASED LIQUEFACTION TRIGGERING PROCEDURES. DEPARTMENT OF CIVIL & ENVIRONMENTAL ENGINEERING COLLEGE OF ENGINEERING UNIVERSITY OF CALIFORNIA AT DAVIS
- Robertson, P.K. and Cabal, K.L., 2007, Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering. Available at no cost at <http://www.geologismiki.gr/>
- Robertson, P.K. 1990. Soil classification using the cone penetration test. Canadian Geotechnical Journal, 27 (1), 151-8.
- Robertson, P.K. and Wride, C.E., 1998. Cyclic Liquefaction and its Evaluation based on the CPT Canadian Geotechnical Journal, 1998, Vol. 35, August.
- Youd, T.L., Idriss, I.M., Andrus, R.D., Arango, I., Castro, G., Christian, J.T., Dobry, R., Finn, W.D.L., Harder, L.F., Hynes, M.E., Ishihara, K., Koester, J., Liao, S., Marcuson III, W.F., Martin, G.R., Mitchell, J.K., Moriwaki, Y., Power, M.S., Robertson, P.K., Seed, R., and Stokoe, K.H., Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils, ASCE, Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering, Vol. 127, October, pp 817-833
- Zhang, G., Robertson. P.K., Brachman, R., 2002, Estimating Liquefaction Induced Ground Settlements from the CPT, Canadian Geotechnical Journal, 39: pp 1168-1180
- Zhang, G., Robertson. P.K., Brachman, R., 2004, Estimating Liquefaction Induced Lateral Displacements using the SPT and CPT, ASCE, Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering, Vol. 130, No. 8, 861-871
- Pradel, D., 1998, Procedure to Evaluate Earthquake-Induced Settlements in Dry Sandy Soils, ASCE, Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering, Vol. 124, No. 4, 364-368
- Iwasaki, T., 1986, Soil liquefaction studies in Japan: state-of-the-art, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 5, No. 1, 2-70
- Papathanassiou G., 2008, LPI-based approach for calibrating the severity of liquefaction-induced failures and for assessing the probability of liquefaction surface evidence, Eng. Geol. 96:94–104
- P.K. Robertson, 2009, Interpretation of Cone Penetration Tests - a unified approach., Canadian Geotechnical Journal, Vol. 46, No. 11, pp 1337-1355
- P.K. Robertson, 2009. "Performance based earthquake design using the CPT", Keynote Lecture, International Conference on Performance-based Design in Earthquake Geotechnical Engineering - from case history to practice, IS-Tokyo, June 2009
- Robertson, P.K. and Lisheng, S., 2010, "Estimation of seismic compression in dry soils using the CPT" FIFTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON RECENT ADVANCES IN GEOTECHNICAL EARTHQUAKE ENGINEERING AND SOIL DYNAMICS, *Symposium in honor of professor I. M. Idriss*, SAN diego, CA
- R. E. S. Moss, R. B. Seed, R. E. Kayen, J. P. Stewart, A. Der Kiureghian, K. O. Cetin, CPT-Based Probabilistic and Deterministic Assessment of In Situ Seismic Soil Liquefaction Potential, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 132, No. 8, August 1, 2006
- I. M. Idriss and R. W. Boulanger, 2008. Soil liquefaction during earthquakes, Earthquake Engineering Research Institute MNO-12
- Jonathan D. Bray & Jorge Macedo, Department of Civil & Environmental Engineering, Univ. of California, Berkeley, CA, USA, Simplified procedure for estimating liquefaction-induced building settlement, *Proceedings of the 19th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Seoul 201*

RELAZIONE GEOLOGICA

*Progetto per la realizzazione di un impianto
agrivoltaico di potenza pari a 20,43 MWp
nel Comune di Carpi (MO)*

ALLEGATO D
ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

Sommario

1.	Introduzione	2
2.	Definizione del modello di sottosuolo	3
3.	Calcolo del moto atteso in superficie.....	4
4.	Spettro di risposta finale	5
5.	Spettro normalizzato	8

ALLEGATI

ALLEGATO C1: ELABORATI INDAGINI SISMICHE MASW

ALLEGATO C2: ELABORATI INDAGINI SISMICHE HVSR

1. Introduzione

Nel presente lavoro è stata condotta la valutazione degli effetti sismici di sito (Risposta Sismica Locale) dell'area sita nel territorio comunale di Carpi, a circa 8,5 km di distanza in direzione Nord dal concentrico abitato, lungo la Strada Statale Romana Nord in direzione di Novi di Modena (MO).

L'analisi è stata eseguita mediante approccio numerico non semplificato come previsto dalle NTC 2018 utilizzando il **codice di calcolo STRATA** (Equivalent-linear Earthquake site Response Analyses; STRATA è distribuito con licenza GNU disponibile al sito <http://www.gnu.org/licenses/>).

L'analisi di risposta sismica locale del sito in questione è stata condotta secondo il seguente schema:

- **Definizione del modello geologico e geotecnico del sottosuolo** attraverso indagini sia dirette che indirette (geofisiche), sulla base delle conoscenze geologiche dello scrivente;
- **Serie di accelerogrammi di input** (terremoti target di riferimento, componente orizzontale) rappresentativi del moto sismico atteso nel sito in esame, forniti dal database Seism-Home Eucentre;
- Calcolo del moto atteso al sito: **spettro di risposta finale in accelerazione** (spettro di risposta dell'oscillatore armonico tipo a un grado di libertà SDOF).

La stesura della seguente relazione è stata eseguita in ottemperanza alle disposizioni contenute nelle normative di riferimento elencate di seguito: Decreto Ministeriale 17.01.2018 Testo Unitario - Norme Tecniche per le Costruzioni.

2. Definizione del modello di sottosuolo

Nel sito in esame sono state eseguite numerose prove in sito sulla base delle quali è stato stimato il seguente modello sismico del sottosuolo in termini di spessore strati, litologia prevalente nello strato, velocità onde S del singolo strato, sono state inoltre eseguite delle misure HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) e misure MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) congiunte che sono riportate in allegato al fine di verificare la presenza di contrasti di impedenza sismica in profondità.

Per quanto riguarda lo strato rigido si considera l'orizzonte calcolato tramite interpolazione delle velocità soprastanti, ubicato alla profondità di circa 40 metri da p.c. con velocità V_s di circa 800 m/s. La copertura soprastante questo livello è rappresentata da miscele di argilla, limo e sabbie (depositi alluvionali).

Modello di sottosuolo utilizzato per l'analisi:

Coordinate Sito (ED50): 44.8643 N; 10.8970 E

MOODELLO DI SOTTOSUOLO UTILIZZATO PER L'ANALISI		
<i>PROFONDITA' (m p.c.)</i>	<i>ORIZZONTE</i>	<i>V_s (m/s)</i>
00,00 m - 02,00 m	STRATO 1	150,00
02,00 m - 10,00 m	STRATO 2	380,00
10,00 m - 40,00 m	STRATO 2	650,00
Oltre 40,00 m	BEDROCK	800,00

Tabella 1 – Modello di sottosuolo proposto per il sito in studio

3. Calcolo del moto atteso in superficie

Come accennato in premessa per il calcolo delle accelerazioni e dello scuotimento attesi in superficie sono stati selezionati una serie di accelerogrammi di input spettro compatibili in media con lo spettro del terremoto target (spettro di riferimento definito su suolo rigido orizzontale di categoria C – NTC 2018 per il sito di interesse).

Lo spettro del terremoto target è stato definito utilizzando i seguenti parametri di ingresso (da Documento Excel SPETTRI-NTC ver 1.0.3):

- Coordinate sito (ED50): **44.8643 N; 10.8970 E**
- Vita nominale (V_n) struttura: **50 anni**
- Classe uso: **IV**
- Coefficiente d'uso (C_u): **2.0**
- Periodo di riferimento per l'azione sismica ($V_r = V_n * C_u$): **100 anni**
- Stato limite considerato: **Stato Limite Ultimo di Salvaguardia della Vita (SLV)**
- Probabilità di superamento nel periodo di riferimento (P_{vr}): **10% in 50 anni**
- Periodo di ritorno (T_r): **949 anni**

I segnali di input sono stati ricavati mediante il database online Seism-Home Eucentre il quale permette di ottenere l'input sismico del sito per un periodo di ritorno di 949 anni. L'input sismico è definito in termini di un gruppo di sette accelerogrammi reali, registrati su roccia, spettro-compatibili in media agli spettri di normativa definiti nelle NTC18.

Le registrazioni accelerometriche sono state selezionate con il massimo rigore da parte di operatori esperti, evitando in particolare di inserire più di una registrazione proveniente dallo stesso evento o dalla stessa stazione. Tramite una procedura ottimizzata (Corigliano et al, 2012) è stato selezionato l'insieme migliore di accelerogrammi spettro-compatibili registrati su suolo di categoria C e disponibili nelle principali banche dati accelerometriche mondiali accreditate.

4. Spettro di risposta finale

A partire dagli accelerogrammi di input e dal modello di sottosuolo utilizzato, sono stati ottenuti gli spettri di risposta in accelerazione attesi al sito (spettri di risposta dell'oscillatore armonico tipo a un solo grado di libertà SDOF).

Il calcolo è stato eseguito mediante il software **STRATA**.

La figura sottostante riporta l'involuppo degli spettri di risposta in accelerazione di output ottenuti (in blu continuo la media degli spettri, mentre in blu tratteggiato la media \pm deviazione standard):

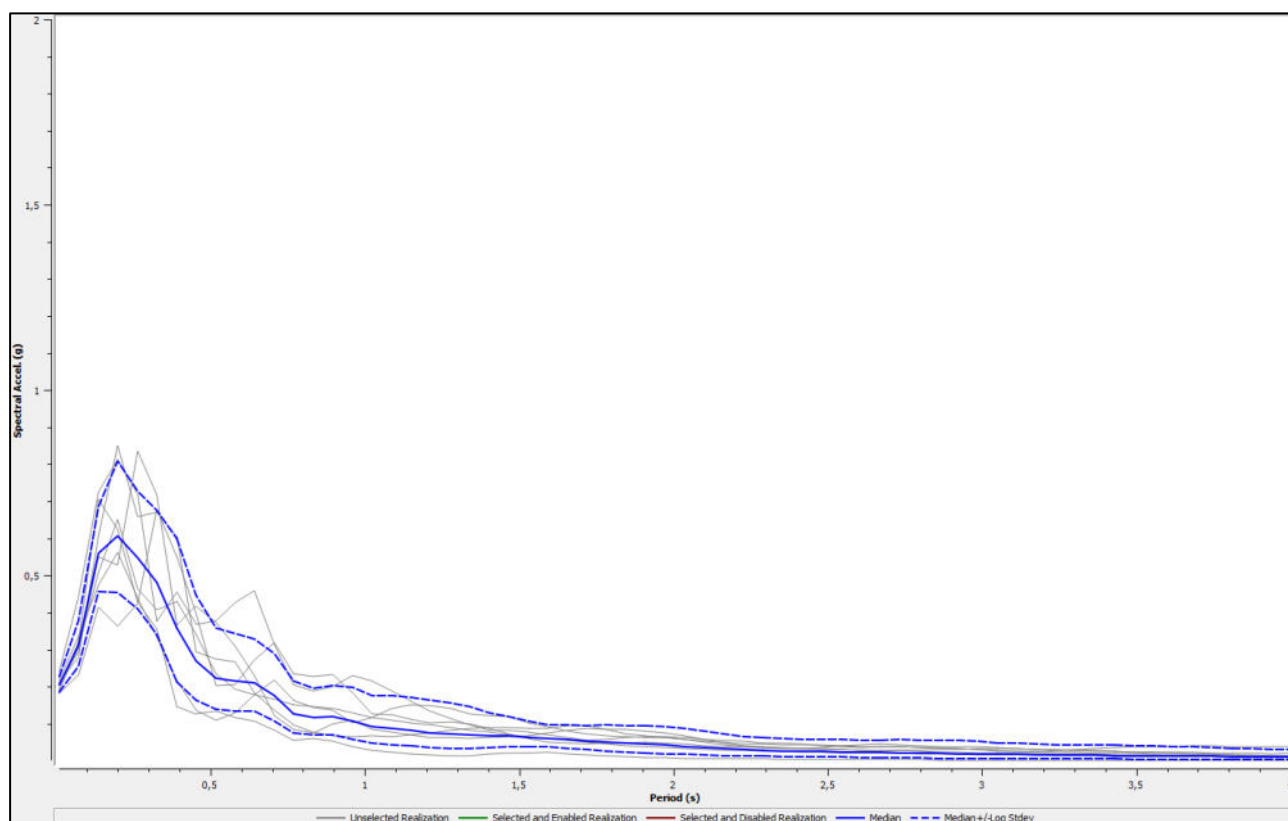


Figura 4-1 – spettri di risposta in accelerazione attesi al sito

La figura a pagina seguente riporta lo spettro di risposta finale calcolato e scelto dallo scrivente come rappresentativo del sito investigato (spettro in colore rosso linea continua: spettro medio in accelerazione; con linea tratteggiata spettro medio in accelerazione \pm deviazione standard).

Lo spettro sopra descritto è stato messo a confronto con lo spettro di risposta elastico che si otterrebbe dall'applicazione dell'approccio semplificato basato sul parametro V_{seq} (NTC 2018) per lo Stato Limite ultimo SLV ($T_R = 949$ anni e P_{VR} del 10% in 50 anni).

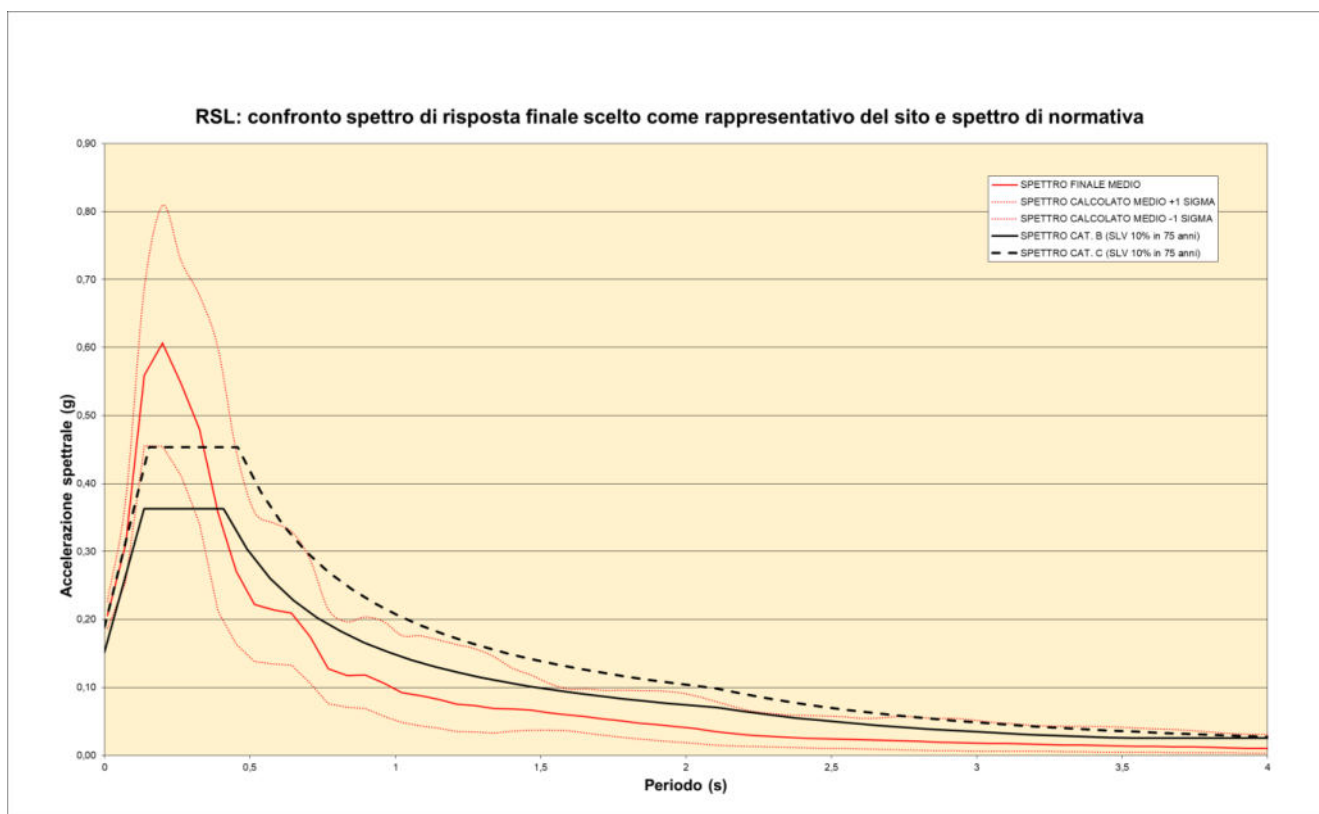


Figura 4-2 – Spettro di risposta finale scelto come rappresentativo del sito in esame (curva rossa), spettro medio in accelerazione \pm deviazione standard (curva rossa tratteggiata) e confronto con spettri di normativa (curva nera).

Il valore di PGA dello spettro finale scelto come rappresentativo del sito è risultato:

PGA (Pick Ground Acceleration) = 0.243 g (accelerazione a $t = 0$ dello spettro medio calcolato – linea continua rossa)

Di seguito vengono forniti i valori numerici dello spettro finale selezionato come rappresentativo del sito in esame.

T (s)	Ag (g)	T (s)	Ag (g)	T (s)	Ag (g)
0,01	0,187	1,40	0,036	2,80	0,008
0,07	0,255	1,47	0,037	2,86	0,007
0,14	0,455	1,53	0,037	2,92	0,007
0,20	0,455	1,59	0,037	2,99	0,006
0,26	0,411	1,66	0,033	3,05	0,006
0,33	0,341	1,72	0,029	3,11	0,006
0,39	0,212	1,78	0,026	3,18	0,006
0,45	0,164	1,85	0,023	3,24	0,006
0,52	0,138	1,91	0,021	3,30	0,006
0,58	0,135	1,97	0,019	3,37	0,005
0,64	0,133	2,04	0,017	3,43	0,005
0,71	0,106	2,10	0,015	3,49	0,005
0,77	0,076	2,16	0,014	3,56	0,004
0,83	0,071	2,23	0,013	3,62	0,004
0,90	0,069	2,29	0,013	3,68	0,004
0,96	0,058	2,35	0,012	3,75	0,004
1,02	0,048	2,42	0,011	3,81	0,004
1,09	0,044	2,48	0,010	3,87	0,004
1,15	0,040	2,54	0,010	3,94	0,004
1,21	0,035	2,61	0,010	4,00	0,004
1,28	0,034	2,67	0,009		
1,34	0,033	2,73	0,008		

Tabella 2 – Valori numerici dello spettro di risposta medio finale

5. Spettro normalizzato

Lo spettro finale calcolato è stato normalizzato mediante procedura di Albarello.

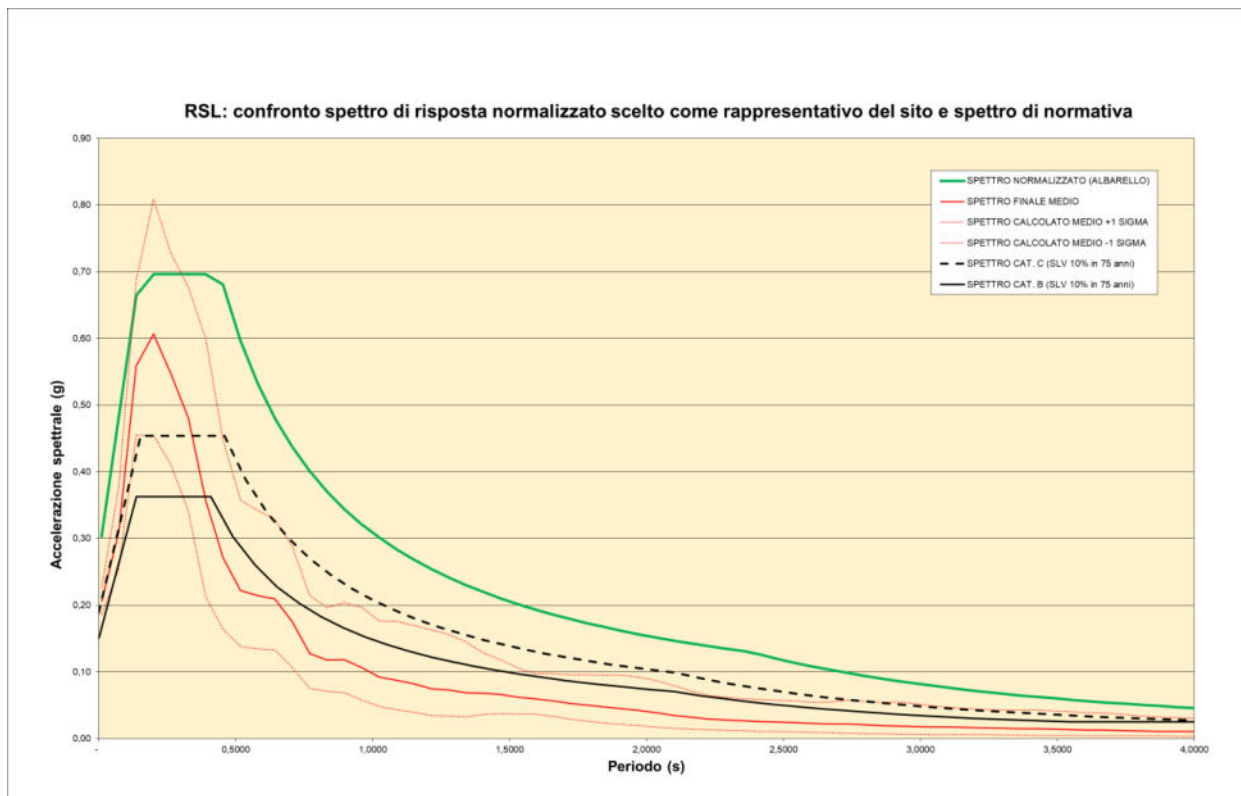


Figura 5-1 – Spettro di risposta finale normalizzato

Parametri sismici indipendenti del sito investigato:

- Accelerazione massima orizzontale di base = 0.195 g
- F_0 (amplificazione spettrale massima) = 2.533
- $T^*_C = 0.277$ s

I parametri derivati che definiscono lo spettro normalizzato sono i seguenti:

- A_{max} dello spettro normalizzato = 0.30 g
- S (coeff. di amplificazione) = 1.41
- Smorzamento convenzionale (5%) = 1
- T_B (inizio tratto spettro ad accelerazione costante) = 0.148 s
- T_C (inizio tratto spettro a velocità costante) = 0.443 s
- T_D (inizio tratto spettro a spostamento costante) = 2.380 s
- k_h (coeff. Sismico orizzontale) = 0,007
- k_v (coeff. Sismico verticale) = 0,004

Di seguito vengono forniti i valori numerici dello spettro finale normalizzato

T (s)	Ag (g)	T (s)	Ag (g)	T (s)	Ag (g)
0,01		1,40	0,220	2,80	0,094
0,07		1,47	0,210	2,86	0,090
0,14		1,53	0,202	2,92	0,086
0,20		1,59	0,194	2,99	0,082
0,26		1,66	0,186	3,05	0,079
0,33		1,72	0,179	3,11	0,076
0,39		1,78	0,173	3,18	0,073
0,45		1,85	0,167	3,24	0,070
0,52		1,91	0,162	3,30	0,067
0,58		1,97	0,156	3,37	0,065
0,64		2,04	0,152	3,43	0,062
0,71		2,10	0,147	3,49	0,060
0,77		2,16	0,143	3,56	0,058
0,83		2,23	0,139	3,62	0,056
0,90		2,29	0,135	3,68	0,054
0,96		2,35	0,131	3,75	0,052
1,02		2,42	0,126	3,81	0,051
1,09		2,48	0,119	3,87	0,049
1,15		2,54	0,114	3,94	0,047
1,21		2,61	0,108	4,00	0,046
1,28		2,67	0,103		
1,34		2,73	0,098		

Tabella 3 – Valori numerici dello spettro di risposta normalizzato finale

Calcolo coefficienti sismici k_h e k_v :

Per il calcolo si utilizzano le seguenti formule

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{\max}}{g}$$

$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h$$

Dove:

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{\max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g = accelerazione di gravità.

Di seguito vengono riportati i coefficienti calcolati per i vari Stati Limite per accelerazione massima attesa al sito ($0,25 \text{ m/s}^2$):

	k_h	k_v
SLO	0,006	0,003
SLD	0,006	0,003
SLV	0,007	0,004
SLC	0,009	0,004