



COMUNE DI SALA BOLOGNESE

Servizio Lavori Pubblici - Patrimonio - Manutenzioni



CITTA' METROPOLITANA DI BOLOGNA

Servizio Progettazione Costruzioni e Manutenzione Strade

ACCORDO DI PROGRAMMA DELL'8/4/2009 IN ATTUAZIONE DELL'ACCORDO TERRITORIALE
DELLE AREE PRODUTTIVE SOVRA COMUNALI (APEA)
IN VARIANTE ALLA PIANIFICAZIONE URBANISTICA COMUNALE AI SENSI DELL'ART. 34 DEL D.LGS. N.
267/2000 E DEGLI ARTT. 18 E 40 DELLA L.R. N. 20/2000 (AMBITO DI TAVERNELLE)

RAZIONALIZZAZIONE DELL'INTERSEZIONE A RASO
TRA LA S.P. 3 'TRASVERSALE DI PIANURA' E LA VIA ANTONIO GRAMSCI
NEL COMUNE DI SALA BOLOGNESE
ATTRAVERSO LA REALIZZAZIONE DI UNA ROTATORIA
E DI UN SOTTOPASSO CICLOPEDONALE

PROGETTO DEFINITIVO

Soggetto attuatore:



P3 SALA BOLOGNESE s.r.l.
Piazza Pio XI, 1 - 20123 Milano

Comune di Sala Bolognese:

DIRETTORE AREA TECNICA
Arch. Maria Grazia Murru

REFERENTE TECNICO E RESPONSABILE DEL SERVIZIO LL.PP.
P.E. Gianni Nannetti

Città Metropolitana di Bologna:

DIRIGENTE DEL SERVIZIO VIABILITÀ
Ing. Pietro Luminasi

REFERENTE TECNICO
Ing. Barbara Lucchetti

Progettazione:



Via Castiglione, 81 - 40124 Bologna

Consulenza specialistica:



AIRIS SRL
via del Porto, 1 40122 - Bologna
tel. 051-266075 fax 051-266401
info@airis.it www.airis.it

DIRETTORE TECNICO
Ing. Francesco MAZZA

Dott. Geol. Valeriano FRANCHI

Titolo elaborato:

Elaborati Specialistici

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA

N. elab.:

ES.01

Rev.	Data	Note	Redatto	Verificato	Approvato
A	20/02/2019	EMISSIONE	BOLIS	RANGONI	RANGONI
File 17-L31.PD.ES.01.A0A_Relazione Geologica, Geotecnica E Sismica.pdf			Scala plottaggio 10 u.d. = 1 mm		Scala -

COMUNE DI SALA BOLOGNESE

CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA

RAZIONALIZZAZIONE DELL'INTERSEZIONE A RASO TRA LA S.P.3 'TRASVERSALE DI PIANURA' E LA VIA ANTONIO GRAMSCI NEL COMUNE DI SALA BOLOGNESE ATTRAVERSO LA REALIZZAZIONE DI UNA ROTATORIA E DI UN SOTTOPASSO CICLOPEDONALE

PROGETTO DEFINITIVO

<i>Società e professionisti incaricati</i>		<i>Timbro e Firma del tecnico</i>
 INGEGNERIA PER L'AMBIENTE AIRIS S.r.l. Ingegneria per l'Ambiente Del Porto, 1 - 40122 Bologna Tel 051/266075 - Fax 266401 e-mail: info@airis.it	Ing. Francesco MAZZA <i>Direttore Tecnico</i> Arch. Camilla ALESSI <i>Responsabile di commessa</i> Dott. Geol. Valeriano FRANCHI	 

Relazione geologica, geotecnica e sismica	N. Elaborato ES.01
	Scala: Varie

C					
B					
A	2019-02-19	Emissione	VF	CA	FM
Revisione	Data	Descrizione	Sigla	Sigla	Sigla
			Redazione	Controllo-emissione	autorizzazione

Nome file: Vari	Codice commessa: 18061SAPC	Data: Febbraio 2019
-----------------	----------------------------	---------------------

PROVINCIA DI BOLOGNA

COMUNE DI SALA BOLOGNESE

ANALISI

DI RISPOSTA SISMICA LOCALE 1-D

PER LA REALIZZAZIONE

DI UNA ROTATORIA SULLA SP3

RELAZIONE GEOLOGICA

E SISMICA

A cura di:
DOTT. GEOL. Valeriano Franchi
V.le Caduti in Guerra 1, 41121 Modena
TEL. 059-226540
e-mail: valerianofranchi@tin.it

FEBBRAIO 2019

Dott. Geol. Valeriano Franchi
V.le Caduti in Guerra, 1 – 41121 Modena
Tel: 059-226540
e-mail: valerianofranchi@tin.it

Modena, 20/02/2019

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

INDICE CONTENUTI

Premessa.....	2
1. Inquadramento geografico-fisico	3
2. Inquadramento geologico, geomorfologico ed idrogeologico	5
3. Indagini geognostiche e modello geologico-geotecnico.....	11
4. Indagine sismica	14
5. Definizione dell'amplificazione sismica da analisi di risposta sismica locale ...	16
6. Sintesi dell'analisi dei dati raccolti e conclusioni	25

ALLEGATI

PREMESSA

Nella presente relazione vengono descritti i risultati di una analisi di risposta sismica locale mono-dimensionale effettuata per il progetto di realizzazione di una rotatoria lungo la SP3, presso Sala Bolognese, con annessa pista ciclabile e sottopasso stradale a servizio della stessa. L'area è ubicata all'incrocio tra Via Gramsci e la SP3 (Trasversale di Pianura), attualmente governato da segnaletica semaforica. L'intervento è volto ad eliminare l'incrocio semaforico sostituendolo con una rotatoria che si svilupperà principalmente nel settore nord-occidentale, attualmente area agricola.

Lo studio è stato condotto nel rispetto delle normative vigenti in materia, DM 11.03.1988, con riferimento specifico agli aspetti sismici come da DM 17.01.2018.

Per l'adempimento delle specifiche normative, è stato effettuato un sopralluogo sull'area in data 22/06/2018 al fine di verificarne l'idoneità geologica e geomorfologica.

Per la caratterizzazione litostratigrafia e geotecnica dei terreni di sottofondazione, in data 29/06/2018, sono state eseguite 3 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTu), spinte fino alla profondità di 20 m, in corrispondenza del terreno naturale su cui verrà realizzata la rotatoria.

Per la classificazione sismica del terreno di sottofondazione sono stati utilizzati i risultati di un'indagine a sismica passiva (HVSr) effettuata anch'essa in corrispondenza della stessa area naturale: la prova ha consentito di interpretare gli spessori dei sismostrati e le relative velocità delle onde di taglio, permettendo di calcolare il parametro di normativa V_{s30} , funzionale alla definizione della categoria di suolo di fondazione, come previsto dalle NTC18, nonché la frequenza di vibrazione naturale del sito.

La relazione si articola nel seguente modo:

- Inquadramento geografico - fisico
- Caratterizzazione stratigrafica e sismica dell'area
- Definizione dell'amplificazione sismica da analisi di risposta sismica locale
- Sintesi dell'analisi dei dati raccolti e conclusioni

ALLEGATI

1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO-FISICO

L'area esaminata, sulla quale verrà realizzata la rotatoria, è ubicata nel settore centro-settentrionale dell'abitato di Sala Bolognese (BO), all'incrocio tra Via Gramsci e la SP3 (Trasversale di Pianura). Dal punto di vista topografico si trova in corrispondenza di un'ampia area pianeggiante, di passaggio tra la bassa e la media pianura, sub-orizzontale, con una debolissima pendenza verso NNE, e con quote che, in corrispondenza dell'area, sono prossime a 22 m s.l.m.

L'area si pone all'interfaccia tra il bacino idrografico dello Scolo Fossadone (ad ovest) ed il bacino idrografico del Canale Collettore Acque Basse Bagnetto (ad est), entrambi parte del bacino di primo ordine del Fiume Reno. Lo Scolo Fossadone scorre lungo Via Gramsci, sul lato occidentale, ed interseca la SP3 proprio in corrispondenza dell'area in cui si prevede la realizzazione della nuova rotatoria.

Il clima è caratterizzato, nel periodo 1991-2015, da precipitazioni totali annue, in media, di 654 mm e temperature medie annue di 14,1°C¹, pari, rispettivamente, ad una variazione di +10 mm e +1,1°C rispetto al periodo 1961-1990.

Nella cartografia regionale, l'area è compresa nella Tavola alla scala 1:25.000 nr. 202SE denominata "San Giovanni in Persiceto" (Figura 1), nella Sezione alla scala 1:10.000 nr. 202160 denominata "Padulle" e nell'Elemento alla scala 1:5.000 nr. 202163 denominato "Sala" (Figura 2).

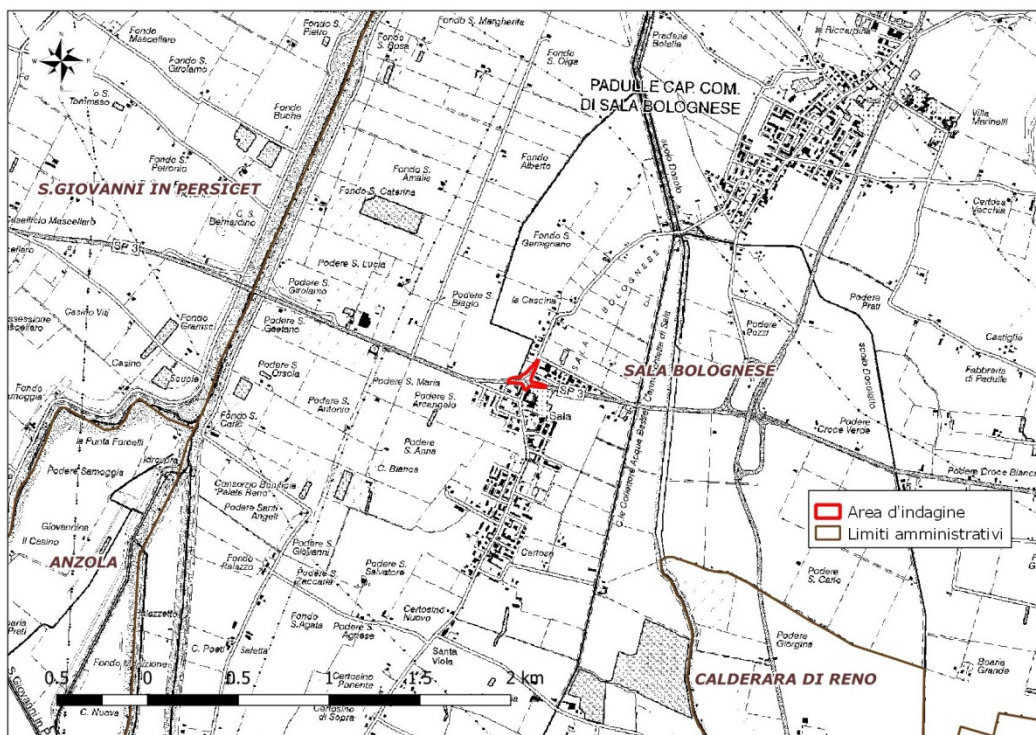


Figura 1 - Inquadramento geografico su C.T.R. con dettaglio topografico a scala 1:25.000 – Tavola nr. 202SE denominata "San Giovanni in Persiceto".

¹ Atlante Idroclimatico dell'Emilia-Romagna - <https://goo.gl/qseb7X>

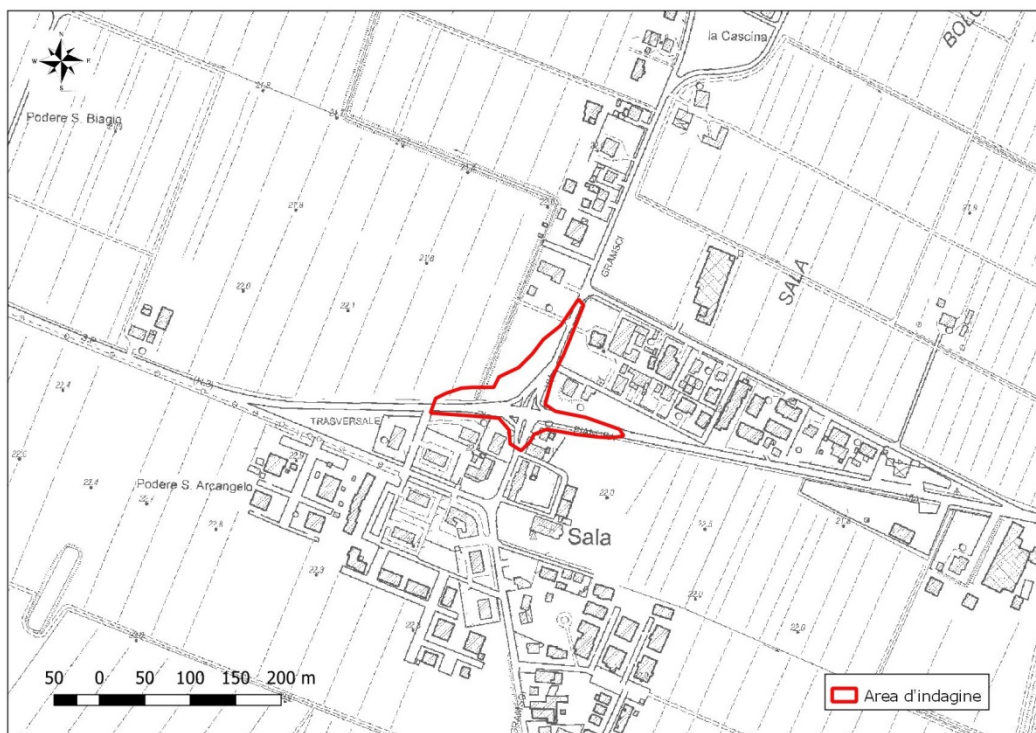


Figura 2 - Ubicazione dell'area d'indagine su C.T.R. con dettaglio topografico a scala 1:5.000 – scala di visualizzazione: 1:5.000; Elemento nr. 202163 denominato “Sala”.

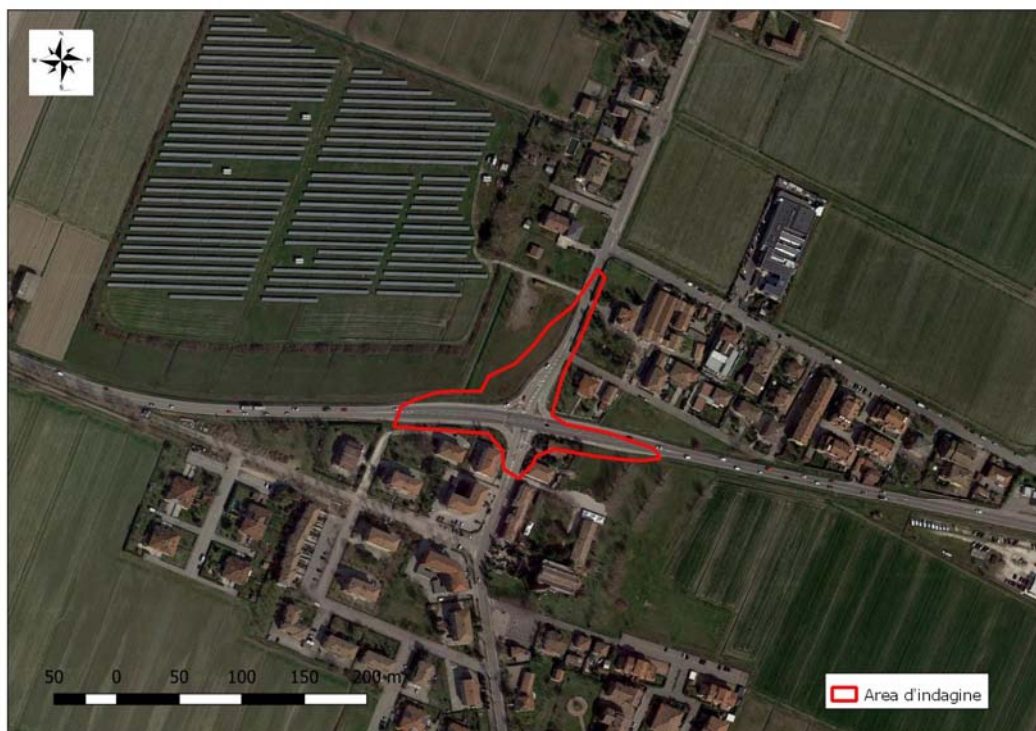


Figura 3 - Ubicazione dell'area d'indagine su ortofoto satellitare (fonte: Google Satellite, versione WMS, visione: 19/09/2018).

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

Per la caratterizzazione geologica, litologica e stratigrafica del sito in esame si è fatto riferimento ai dati presenti nella "Carta Geologica della Regione Emilia Romagna" ed ai dati del QC del PSC di Terre d'Acqua.

L'evoluzione geologica dell'area in studio va necessariamente inquadrata in un contesto regionale: essa ricade nella parte centro-meridionale della Pianura Padana; la formazione della pianura bolognese, nella quale è situato il territorio in esame, è legata all'evoluzione tettonico-sedimentaria del Bacino Padano, che costituisce, dal punto di vista geologico, un grande bacino subsidente plio-quadernario di tipo sedimentario, che comincia a delinearsi sin dall'inizio del triassico (225 milioni di anni fa) e viene interessato da subsidenza differenziata sia nel tempo che nello spazio, in diversi periodi (Mesozoico, ma soprattutto Pliocene e Quaternario), con movimenti verticali controllati dai caratteri strutturali presenti in profondità.

Il colmamento del bacino, nel suo comparto meridionale, si è realizzato principalmente in seguito all'attività sedimentaria dei corsi d'acqua appenninici: procedendo dal basso verso l'alto si rinvencono dapprima sedimenti di origine marina, successivamente sedimenti transizionali (lagunari e costieri) ed infine depositi di origine francamente continentale, che costituiscono le alluvioni quaternarie.

Osservando la distribuzione dei depositi quaternari, sulla base delle loro differenti caratteristiche sedimentologiche, morfologiche e tessiturali è possibile suddividere la pianura bolognese in tre fasce (alta, media e bassa), procedendo da sud verso nord.

Dal punto di vista geologico, l'area in esame ricade nella media pianura bolognese, in un settore deposizionalmente influenzato dalle alluvioni del Fiume Reno e del Torrente Samoggia.

Come si evidenzia dalla carta geologica dell'Emilia Romagna (Figura 4), l'area è caratterizzata, in superficie, dalla presenza di sedimenti di piana alluvionale di natura limo-sabbiosa e limo-argillosa, ascrivibili al Subsintema di Ravenna – unità di Modena (AES8a).

Il Subsintema affiora estesamente occupando tutta la superficie della pianura, sin allo sbocco delle valli appenniniche nell'alta pianura, sotto forma di rari sedimenti ghiaiosi, affioranti limitatamente agli sbocchi vallivi dei corsi d'acqua principali, e, più estesamente, sedimenti sabbiosi, limosi e argillosi di canale, argine, rotta fluviale e piana inondabile. Nel sottosuolo bolognese della pianura, AES8 presenta uno spessore massimo di 28.0 m, con limite inferiore erosivo sui depositi alluvionali e marini sottostanti.

In particolare, Figura 4, nella sua porzione inferiore, mostra come in corrispondenza dell'area in cui è prevista la realizzazione della rotatoria, possa trovarsi il passaggio, in superficie, da limi sabbiosi, ad ovest, a limi argillosi, ad est.

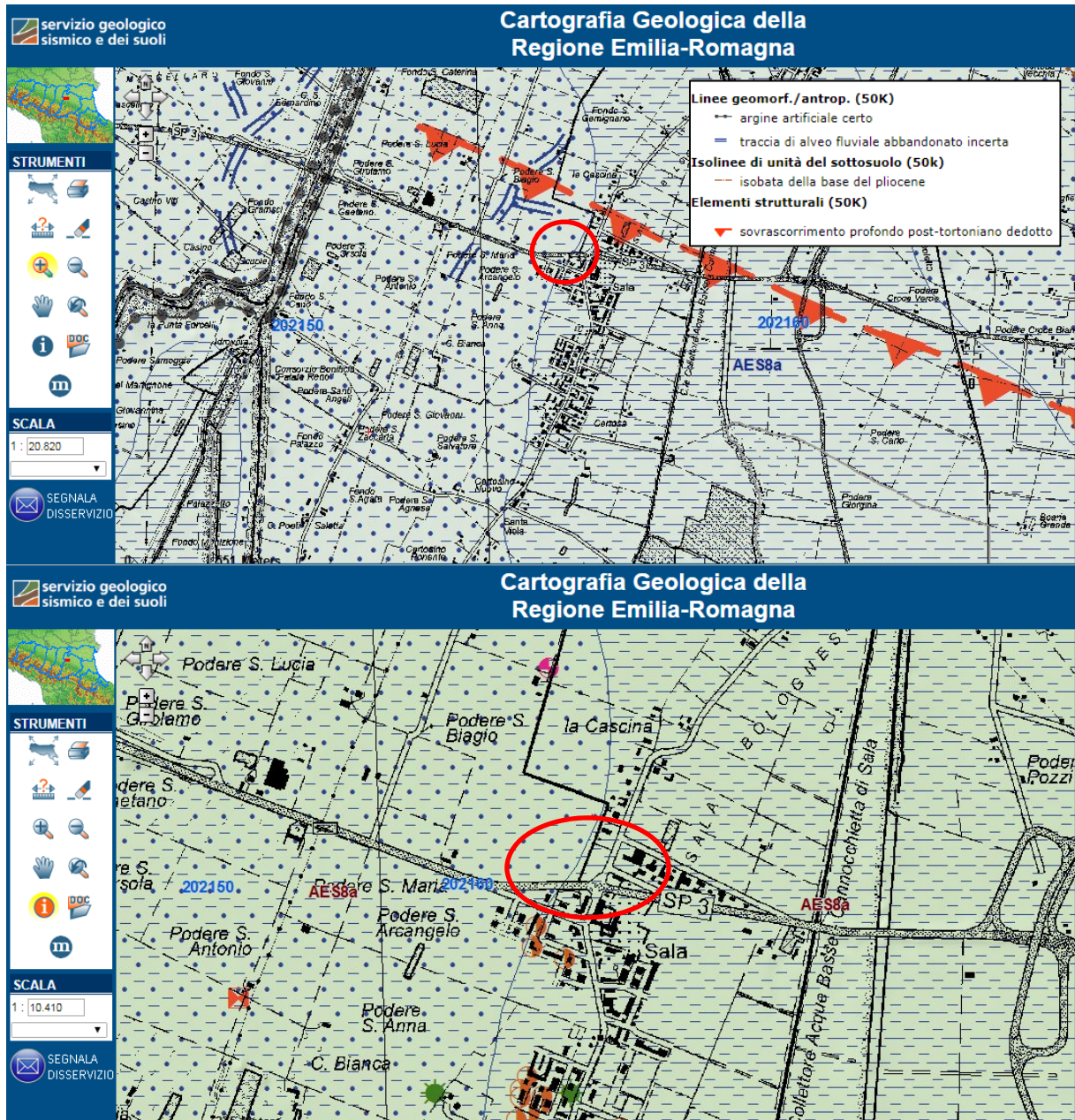


Figura 4 – Sopra: estratto dalla “Carta Geologica della Regione Emilia-Romagna”, a cura del Servizio geologico, sismico e dei suoli - in scala 1:50.000; sotto: estratto dalla “Carta geologica della Regione Emilia-Romagna”, a cura del Servizio geologico, sismico e dei suoli - in scala 1:10.000 (Fonte sito RER) – Legenda: puntinato con linee = limo sabbioso; linee = limo argilloso; AES8a = Sintema emiliano-romagnolo superiore - Subsintema di Ravenna - unità di Modena; cerchio ed ellisse rossi: area d'indagine.

Anche il confronto con la cartografia di PSC di Terre d'Acqua, elaborato in forma associata, di fatto conferma tale quadro litologico superficiale; la consultazione della Tavola QC.6/t1b “Litologia di superficie” (Figura 5), che definisce le litologie locali caratteristiche dei primi metri di profondità da p.d.c., indica, nell'area d'indagine, la presenza di terreni classificati come “prevalentemente limosi” (nel settore centro-occidentale dell'area d'indagine) e “prevalentemente argillosi” (nel settore centro-orientale dell'area d'indagine).

Dalla stessa tavola di PSC si può anche notare la presenza, al contorno, di terreni prevalentemente limosi, che confermano, almeno in superficie, la chiara predominanza di terreni fini.

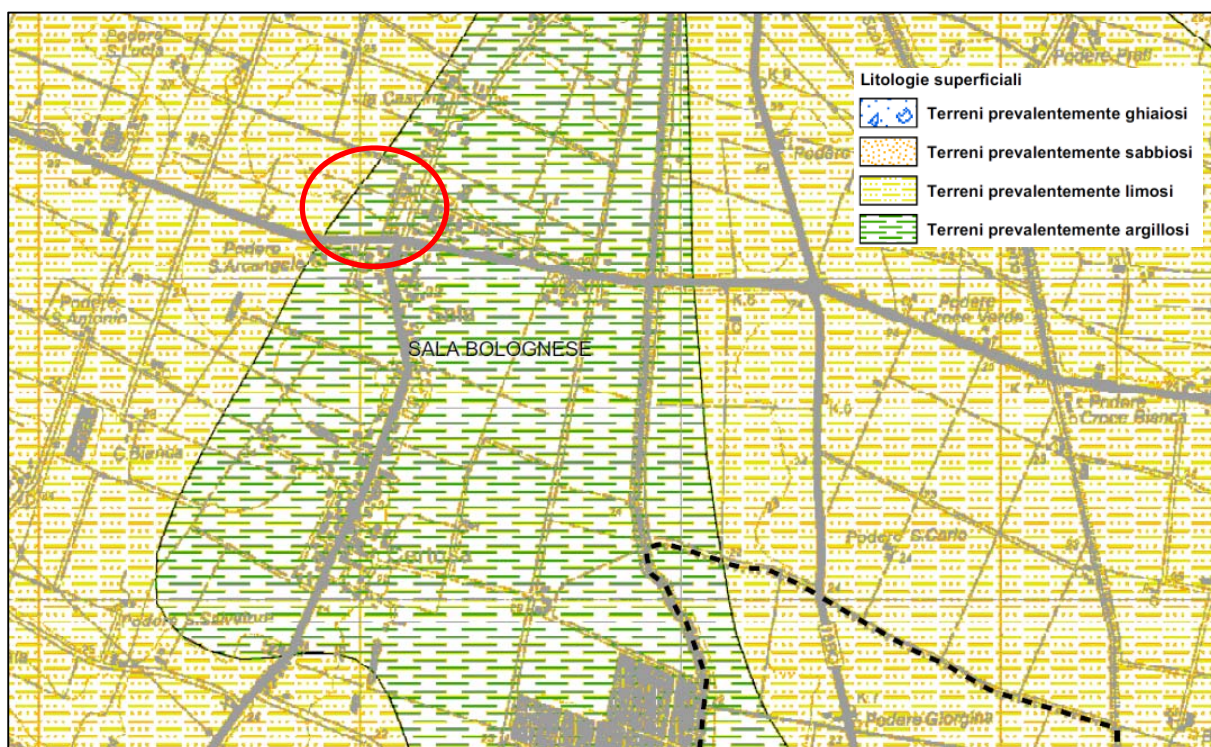


Figura 5 – Estratto Tav. QC.6/t1b "Litologia di superficie" – QC del PSC di Terre d'Acqua (Cerchio rosso: area d'indagine)

Si tratta di sedimenti continentali di origine fluviale, caratterizzati dalla tipica struttura a lenti incrociate, formati da strati di terreni a granulometria fine o finissima (limi e argille), di spessore variabile da decimetrico a metrico, nelle porzioni distali, eventualmente intercalati, in profondità, a strati di terreni più grossolani (limi sabbiosi e sabbie), di ambito prossimale.

Da un punto di vista geomorfologico (Figura 6), l'area d'indagine risulta prossima ad un alveo relitto, testimone del passaggio di un corso d'acqua, con allineamento in direzione SSO-NNE. La zona di sviluppo di granulometrie grossolane coincide, solitamente, con i tracciati degli antichi paleoalvei fluviali, mentre i terreni più fini si rinvencono nelle aree interne ai bacini interfluviali. L'analisi delle isoipse porta ad inquadrare l'area di studio all'interno di una "valle" di pianura, delimitata ad ovest e ad est, rispettivamente, dal dosso del Torrente Samoggia e dal dosso del Fiume Reno e da conoidi di rotta ad essi relativi, rendendo quindi plausibile la predominanza di sedimenti fini quali limi ed argille.

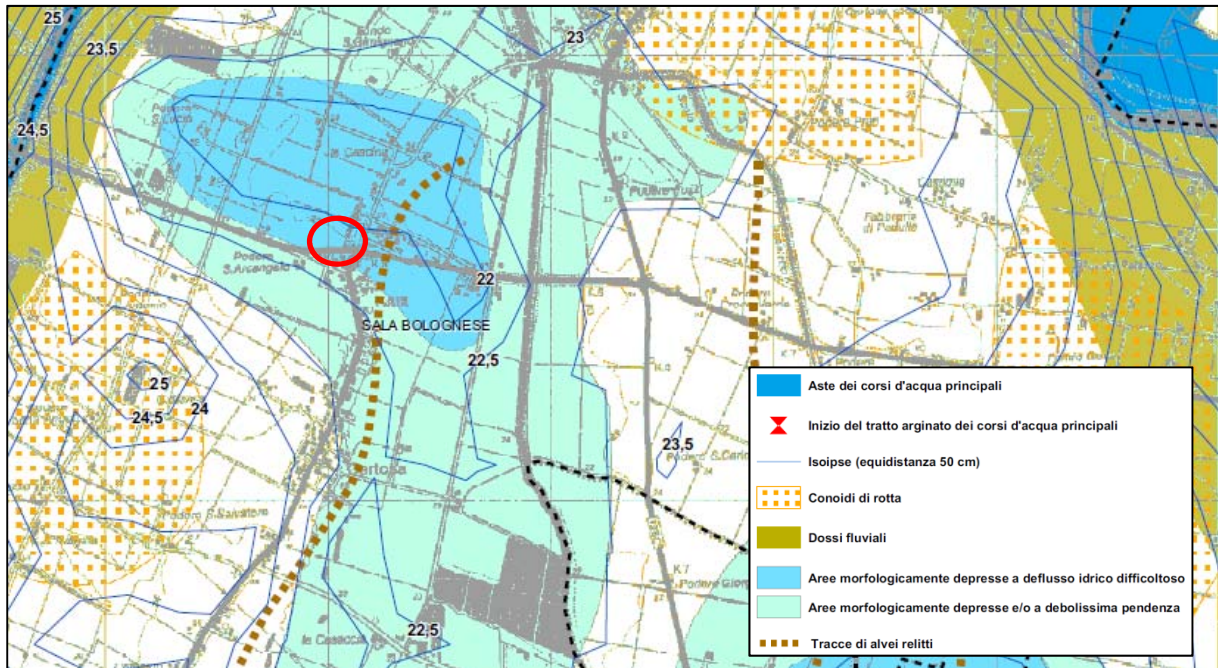


Figura 6 – Estratto Tav. QC.6/t2b "Geomorfologia" – QC del PSC di Terre d'Acqua (Cerchio rosso: area d'indagine).

Per la definizione della stratigrafia dell'area di studio oltre i primi metri superficiali è stata utilizzata la descrizione stratigrafica relativa al pozzo per acqua (codice RER: 202160P608) realizzato circa 600 m a sud della nuova rotatoria (Figura 7).

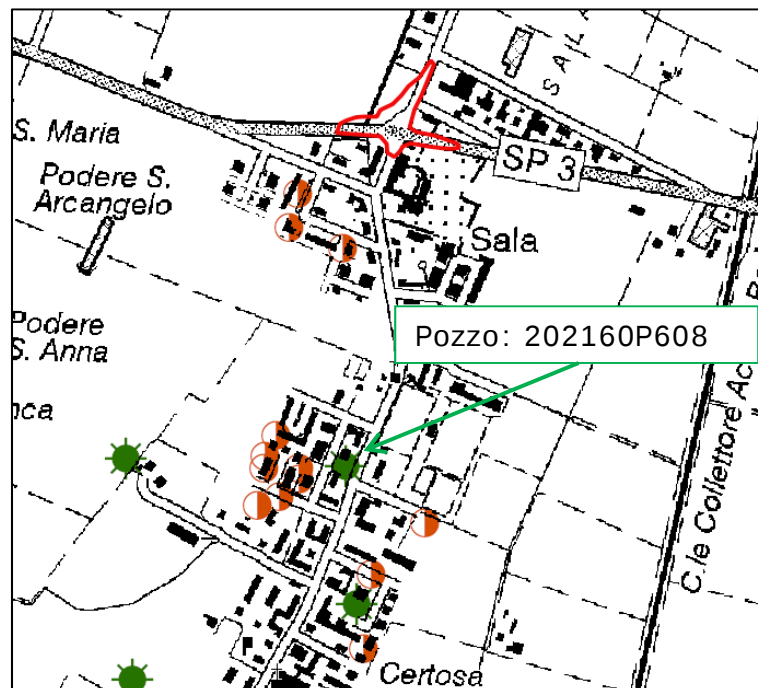


Figura 7 – Ubicazione del pozzo per acqua presente nel database geognostico della Regione Emilia-Romagna, da cui è stata tratta la stratigrafia (Allegato 1) fino a 32,5 m dal piano campagna.

Questa vede la presenza di 3 m d'argilla a partire dal piano campagna, seguita da sabbia e limo fino a 8 m. Da qui a 28 m è presente nuovamente argilla, seguita, fino a 32,5 m, da sabbia e ghiaia.

Dal punto di vista dell'idrografia superficiale, l'area si posiziona all'interfaccia tra il bacino idrografico dello Scolo Fossadone (ad ovest) ed il bacino idrografico del Canale Collettore Acque Basse Bagnetto (ad est), entrambi parte del bacino di primo ordine del Fiume Reno. Lo Scolo Fossadone scorre lungo Via Gramsci, sul lato occidentale, ed interseca la SP3 proprio in corrispondenza dell'area in cui si prevede la realizzazione della nuova rotatoria (Figura 8).

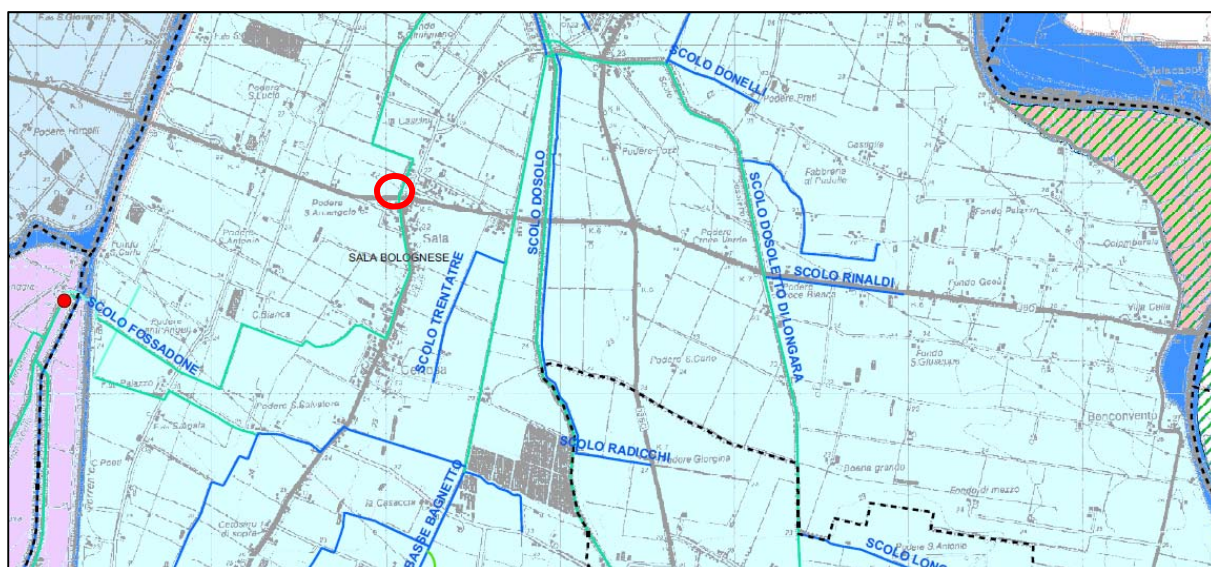


Figura 8 – Estratto Tav. QC.6/t4b "Idrografia" – QC del PSC Associazione Terre d'Acqua.

Inoltre, l'area di studio interseca elementi di criticità naturale così come definiti ed identificati nel QC del PSC di Terre d'Acqua (Figura 9), ovvero un'area morfologicamente depressa, a deflusso idrico difficoltoso, una zona interessata da elevati tassi di subsidenza nel periodo 1983-1999 ed un areale in cui sono presenti criticità idrauliche, in base a segnalazioni del Consorzio di Bonifica Reno Palata.

Per quanto riguarda l'idrogeologia, dall'analisi della carta della piezometria e della Soggiacenza del QC del PSC dell'Associazione Terre d'Acqua, le cui misure sono relative al 2007, si rilevano valori della superficie freatica relativa alla falda di circa 21 m s.l.m. con soggiacenza di circa 1 m dal p.d.c. con direzione di deflusso principale orientata verso NNE (Figura 10).

In corrispondenza delle 3 prove penetrometriche (CPTu) eseguite in corrispondenza dell'area di progetto per questo studio, la superficie della falda freatica è stata misurata alla profondità di circa **1.5 m** dal p.c.

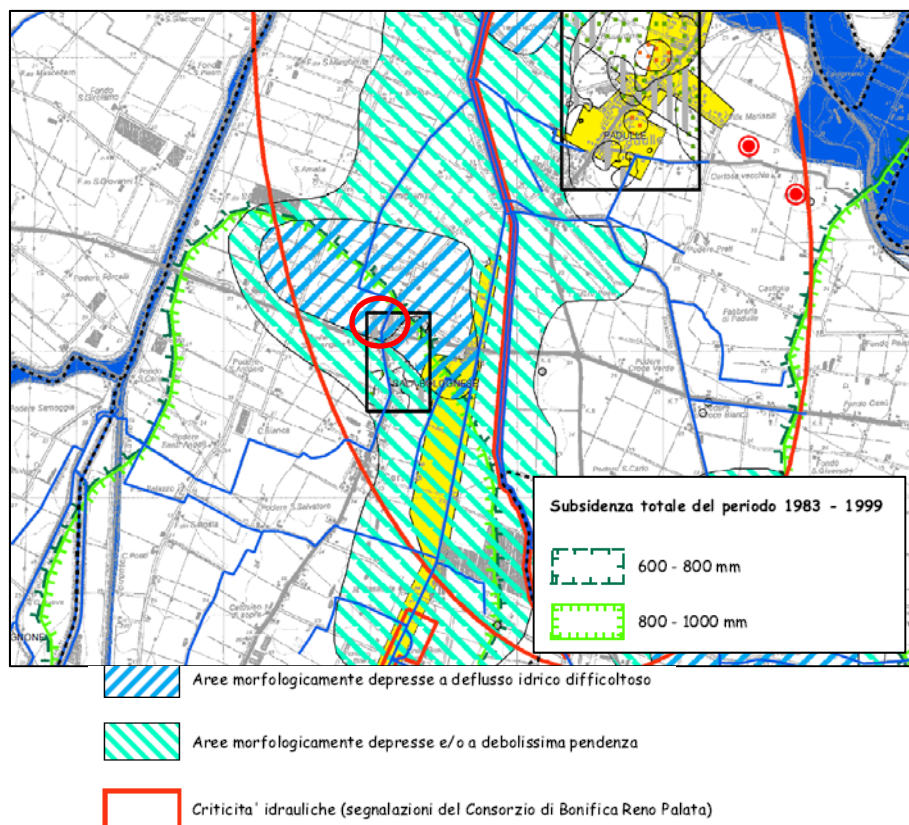


Figura 9 – Stralcio della tavola QC.6/T2 “Emergenze, criticità – limiti e condizioni alle trasformazioni” del PSC di Terre d'Acqua. Il cerchio rosso identifica l'area d'indagine.

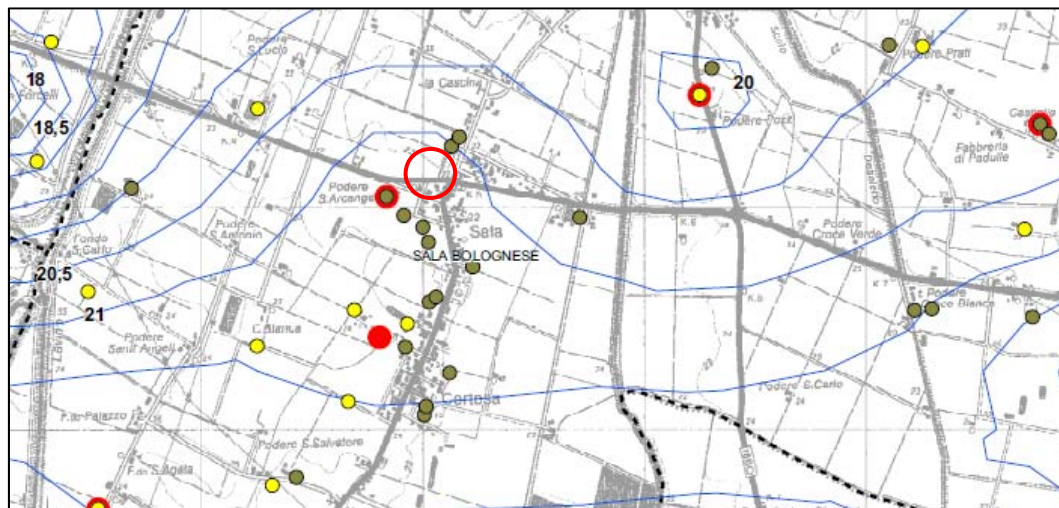


Figura 10 – Estratto tav. QC.6/t8b “Piezometria della falda acquifera superficiale” - QC del PSC dell'Associazione Terre d'Acqua

3. INDAGINI GEOGNOSTICHE E MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO

In data 29/06/2018 è stata eseguita un'indagine geognostica nell'area in oggetto al fine di analizzare le caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche dei terreni che saranno interessati dall'intervento in progetto.

L'indagine è stata condotta mediante l'esecuzione di 3 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTu). Le ubicazioni delle prove eseguite sono mostrate nella planimetria riportata in Figura 11, mentre i diagrammi penetrometrici, insieme ai tabulati di campagna, sono riportati in Allegato 2, unitamente ai profili dei principali parametri geotecnici stimati. Nella stessa figura viene identificata anche l'ubicazione dell'indagine sismica HVSR.

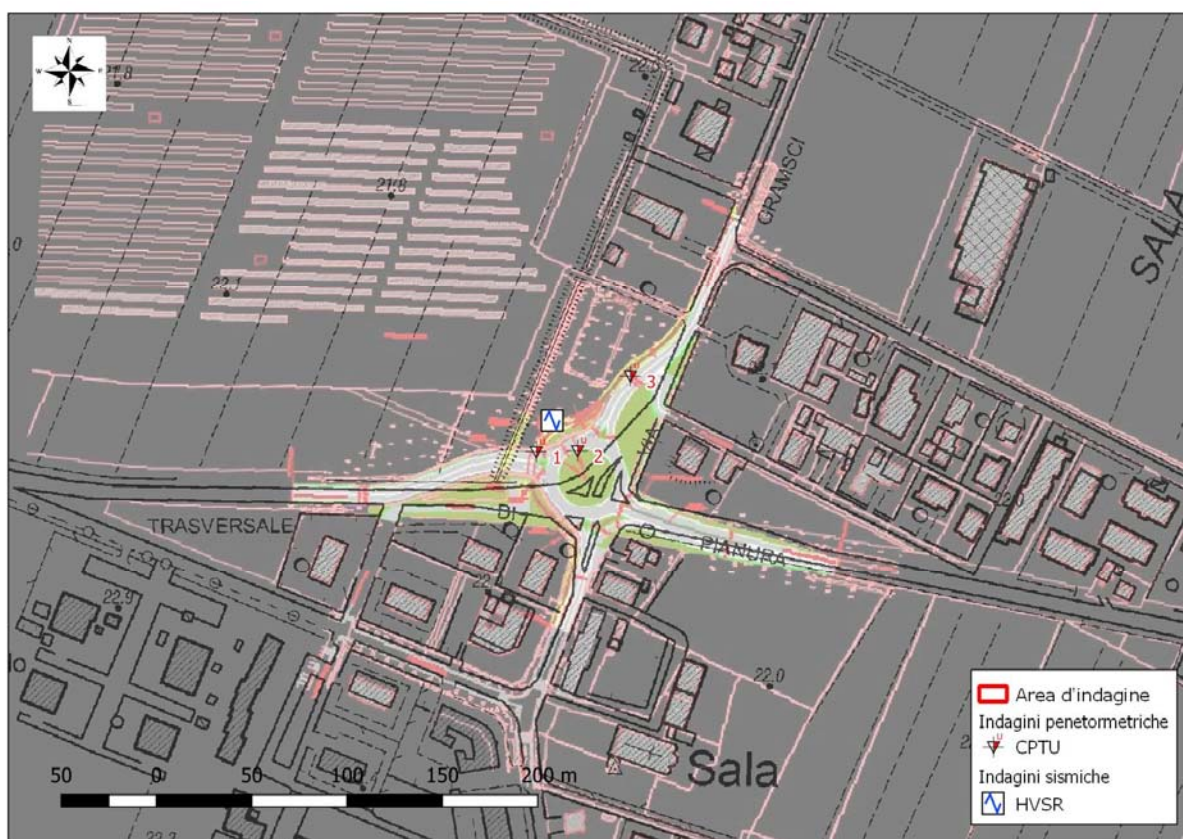


Figura 11 – Ubicazione delle indagini penetrometriche CPTu e dell'indagine sismica eseguite per il progetto di realizzazione della rotatoria.

Le prove penetrometriche di nuova esecuzione, che ha raggiunto la profondità di 20 m dal piano di campagna, sono state eseguite utilizzando un penetrometro statico Gouda 100kN, con le seguenti caratteristiche tecniche:

Rif. Norme	ASTM D3441-86
Diametro Punta conica meccanica	35,7
Angolo di apertura punta	60
Area punta	10
Superficie manicotto	150
Passo letture (cm)	20
Costante di trasformazione Ct	20

Le caratteristiche del piezocono (G1-CPL2IN) sono riportate a seguire:

Area di punta	10.00 cm ²
Diametro	35.70 mm
Area netta (AN)	6.60 cm ²
Superficie manicotto	150.00 cm ²
Lunghezza manicotto	133.70 mm
Area superiore manicotto (F sup.)	2.22 cm ²
Area inferiore manicotto (F inf.)	3.31 cm ²
Lunghezza totale piezocono	600.00 mm
Peso complessivo	3.00 Kg
Lunghezza raccordo punta – aste	250.00 mm
Passo letture	2 cm

Come si può vedere dalle tabelle da 1 a 3, l'indice di comportamento litologico di Robertson (2009) mostra una sequenza pressoché continua di argille e argille limose e solo nella CPTu3 viene evidenziato un sottile livello dia sabbie limose/limo sabbioso tra 12,5 e 13 m. La CPTu2 è l'unica a presentare una sequenza ininterrotta di argille.

In generale, dal punto di vista della resistenza geomeccanica, i valori di coesione non drenata risultano mediamente sufficienti, variabili da 68 a 144 kPa, laddove le argille sono frammiste a limi, mentre decadono a mediocri nelle argille "pure", variando da 45 a 112 kPa. E' comunque evidente un progressivo incremento della resistenza geomeccanica con la profondità.

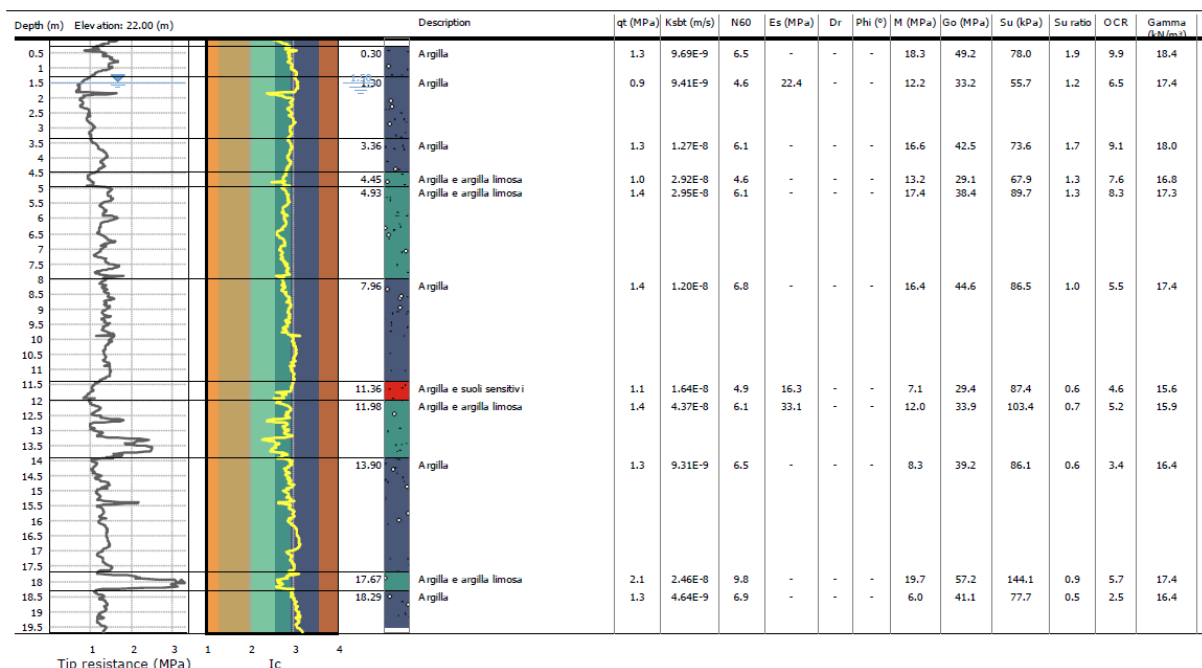


Tabella 1 – Caratterizzazione stratigrafico-geotecnica dello spessore di terreno indagato dalla CPTu1.

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA - ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE 1-D
PER LA REALIZZAZIONE DI UNA ROTATORIA SULLA SP 3 A SALA BOLOGNESE (BO)

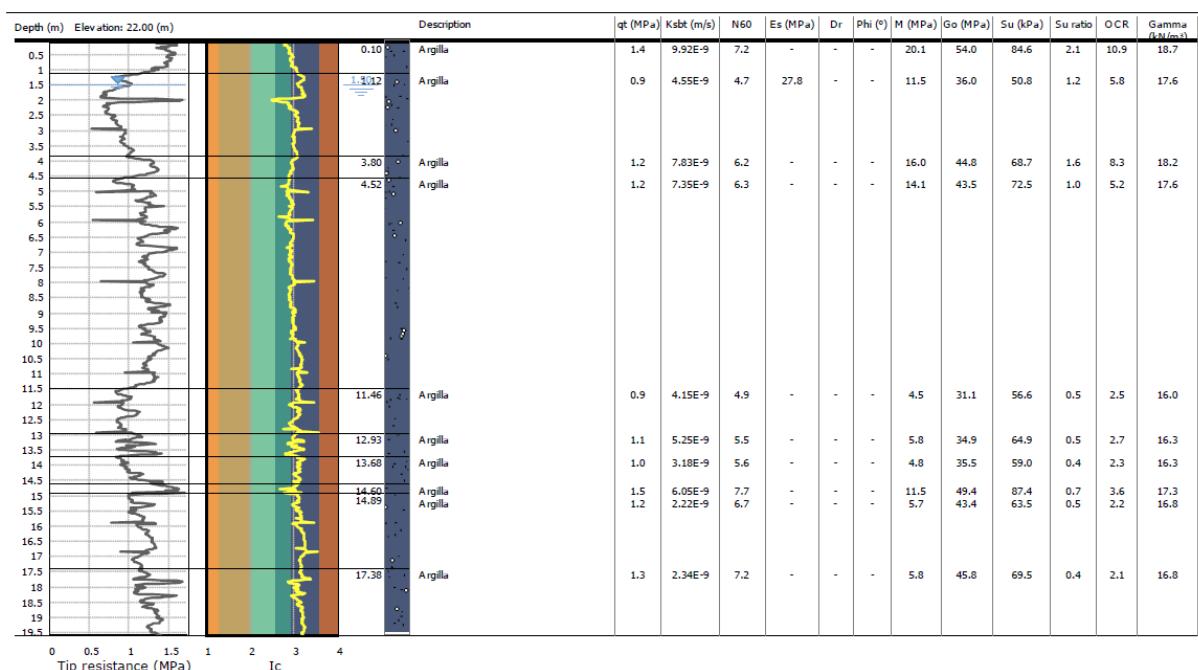


Tabella 2 - Caratterizzazione stratigrafico-geotecnica dello spessore di terreno indagato dalla CPTu2.

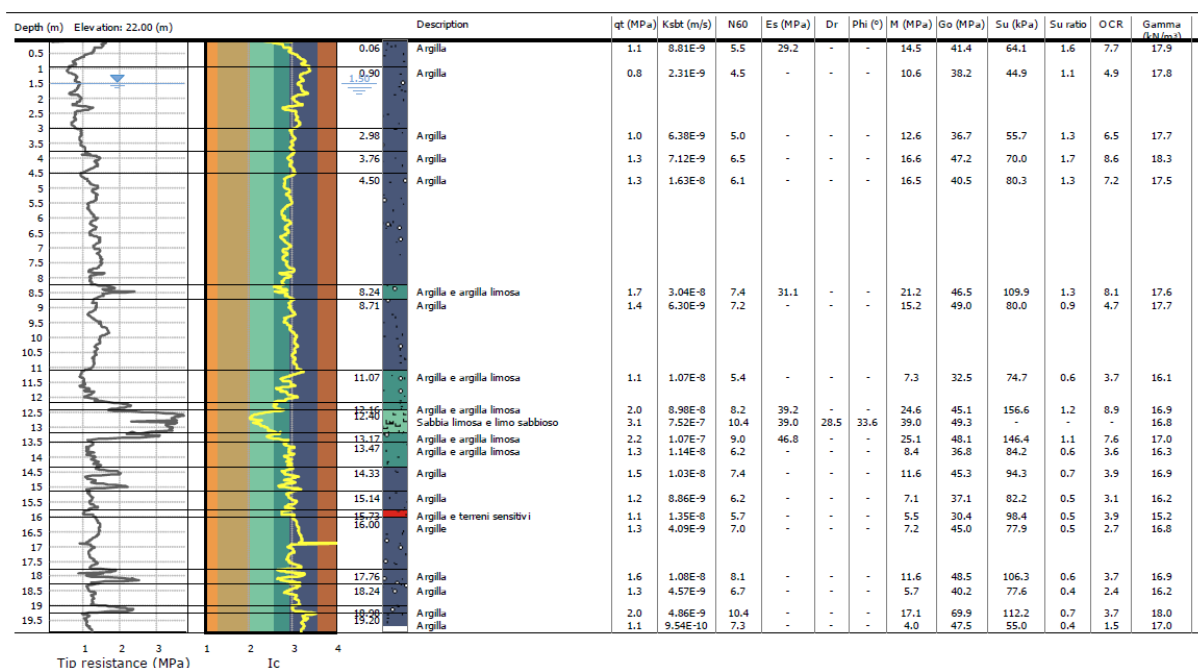


Tabella 3 - Caratterizzazione stratigrafico-geotecnica dello spessore di terreno indagato dalla CPTu3.

L'elaborato del QC-PSC di Terre d'Acqua "Resistenza meccanica dei terreni" (Figura 12) conferma la presenza di terreni con mediocri caratteristiche di resistenza geomeccanica nei primi 4 m dal p.d.c., ma non ritiene probabile il decadimento delle resistenze con la profondità, come confermato dalle indagini eseguite per questo studio.

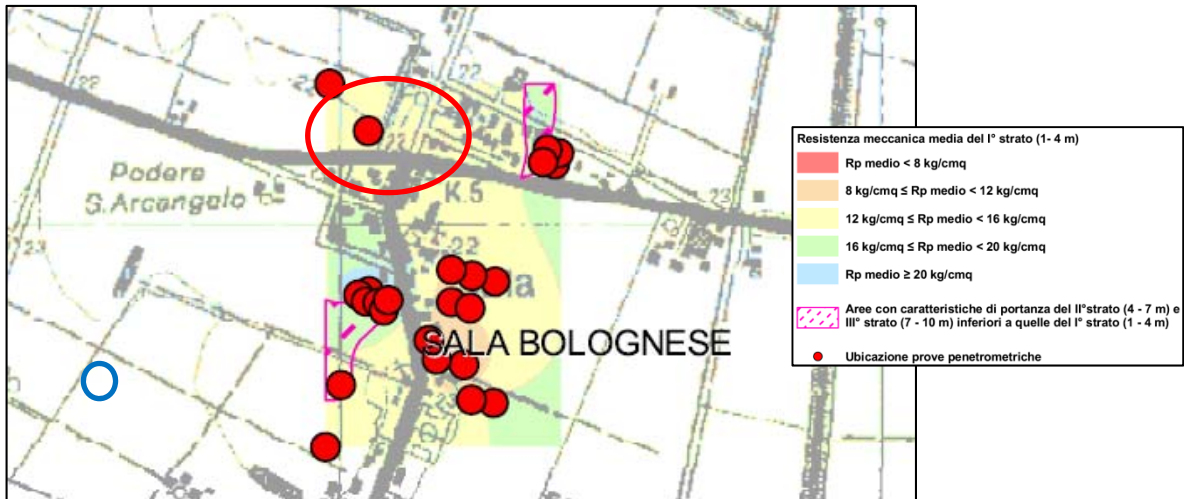


Figura 12 - Stralcio della Tav. QC.6/t6b "Resistenza meccanica dei terreni" del QC del PSC di Terre d'Acqua. Cerchio rosso: area d'indagine.

4. INDAGINE SISMICA

Per la classificazione sismica dei terreni, sono stati utilizzati i dati ricavati da una indagine a sismica passiva (HVSr) (Allegato 3), eseguita per questo studio in data 29/06/2018 nel terreno naturale su cui verrà realizzata la rotatoria (Figura 11). L'indagine ha permesso di individuare la frequenza di vibrazione fondamentale del terreno, corrispondente al picco del rapporto H/V di Figura 13, risultata pari a circa **1 Hz**, ancorché l'ampiezza (pari a 2,25) di tale rapporto sia sotto la soglia di significatività di 3 ed abbia i massimi valori di deviazione standard.

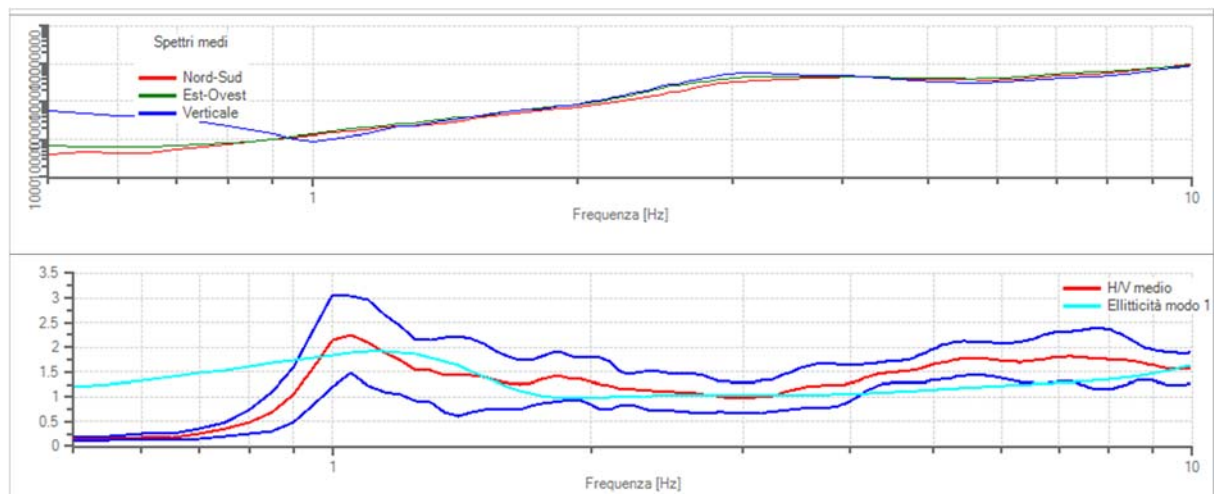
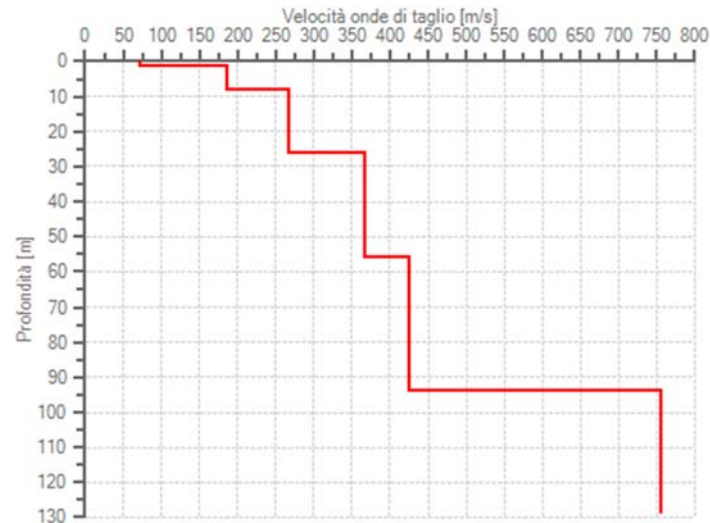


Figura 13 - Spettri medi nelle tre direzioni (sopra) e Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia (sotto) ottenuti dalla misurazione a sismica passiva HVSr eseguita all'interno dell'area di studio.

L'indagine ha inoltre permesso di interpretare il profilo di velocità delle onde S con la profondità (Figura 14), da cui ricavare il parametro di Normativa V_{s30} , risultato pari a **222 m/s**, che, grazie anche all'aumento progressivo della rigidità del terreno con la profondità, permette di inserire il terreno stesso all'interno della classe **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*.



Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN / m ³]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m / s]
1	0	1.5	17	0.45	72
2	1.5	6.5	18	0.4	185
3	8	18.3	19	0.4	266
4	26.3	29.7	19	0.35	367
5	56	38	18	0.35	424
6	94	35	18	0.3	755

Figura 14 - Profilo di Vs con la profondità, interpretato dai dati dell'indagine sismica HVSR.

Se confrontati con le cartografie della microzonazione sismica di III livello del Comune di Sala Bolognese (Figura 15), si vede come i valori di Vs e di frequenza di vibrazione (222 m/s e 1 Hz) ricavati per questo studio siano, rispettivamente, inferiore e leggermente superiore rispetto a quelli identificati dalla microzonazione stessa.



Figura 15 - Sinistra: carta delle frequenze naturali dei terreni; destra: carta delle Vs. Fonte: Microzonazione sismica di III livello del Comune di Sala Bolognese. Le ellissi rosse identificano l'area di studio.

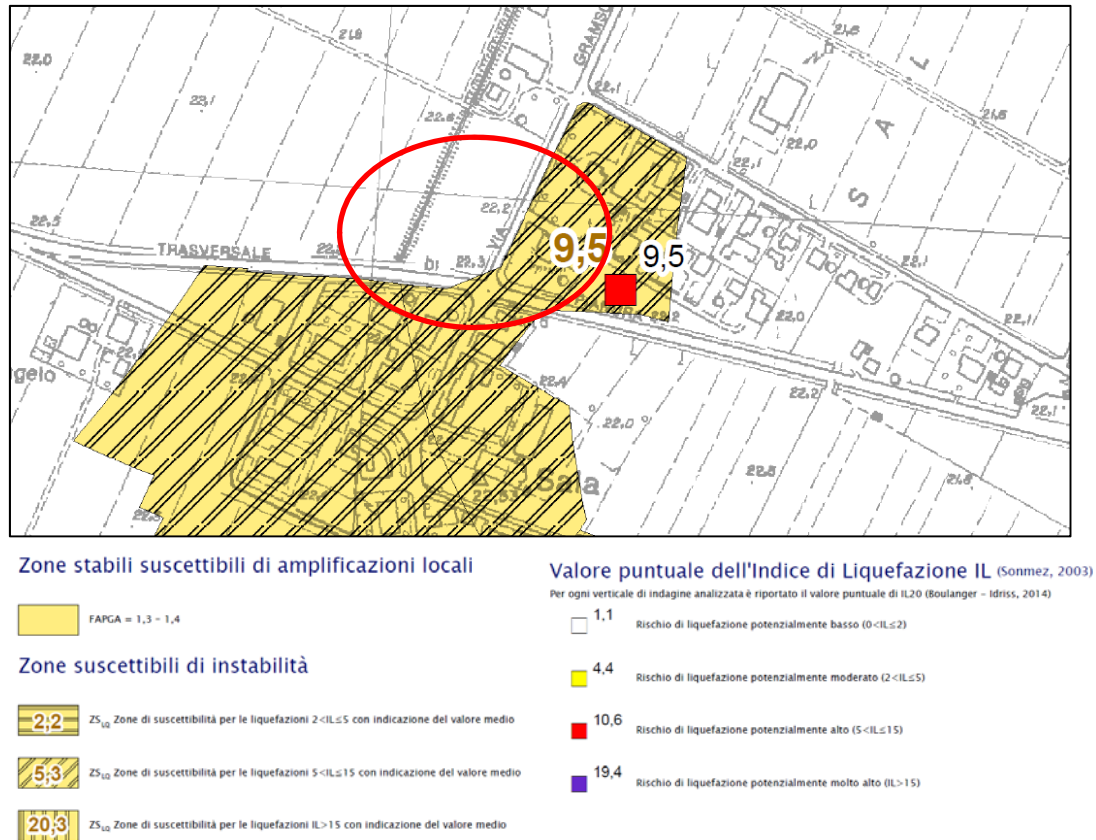


Figura 16 – Stralcio della Carta di Microzonazione Sismica di III Livello del Comune di Sala Bolognese – Tav. 6 FAPGA. L'ellisse rossa identifica l'area di studio.

Come si può vedere da Figura 16, la microzonazione sismica di III livello ha identificato i settori a sud della SP3 e ad est di Via Gramsci come suscettibili di instabilità per liquefazione in caso di sisma, calcolando, in corrispondenza di una verticale CPTu ad est di via Gramsci, un valore dell'Indice di Potenziale Liquefazione pari a 9,5, che determina un livello di rischio liquefazione “alto”.

Tuttavia, la presenza di una stratigrafia che, nei primi 20 m dal piano campagna, è costituita quasi esclusivamente da terreni fini (argille e limi argillosi), fa ritenere molto bassa la probabilità che si possano innescare fenomeni di liquefazione in occasione di eventi sismici d'intensità pari alla sismicità di base dell'area.

5. DEFINIZIONE DELL'AMPLIFICAZIONE SISMICA DA ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

Considerando l'importanza dell'opera, quale importante arteria di comunicazione viaria, e la presenza di un sottopasso ciclabile, si è ritenuto necessario procedere con la valutazione del coefficiente di amplificazione litostratigrafico attraverso un'analisi di risposta sismica locale monodimensionale, lineare equivalente, nel

dominio delle frequenze, utilizzando il codice di calcolo "STRATA"², includendo l'effetto delle possibili incertezze sui dati di base e valutando:

- lo spettro di risposta elastico (al 5% di smorzamento),
- i parametri dello spettro semplificato previsto dalla normativa che meglio si adatti allo spettro di risposta ottenuto dall'analisi numerica.

Un importante vantaggio legato a questo codice di calcolo è la possibilità che esso offre di gestire le significative incertezze presenti nei dati di modellazione (moto di riferimento, profilo di Vs, curve di smorzamento e riduzione del modulo di taglio) permettendo di fornire stime adeguatamente conservative degli spettri di scuotimento attesi.

Il moto di riferimento prescelto è costituito dalle componenti orizzontali di tre accelerogrammi forniti dalla Regione Emilia-Romagna per l'intera regione³. Ad essi sono state aggiunte le componenti orizzontali di altri 4 accelerogrammi ottenuti attraverso la procedura di selezione di accelerogrammi naturali spettro-compatibili effettuata tramite il codice di calcolo REXEL (v. 3.5), tenendo conto dei risultati dell'analisi di disaggregazione della pericolosità di base effettuata. Dall'analisi di disaggregazione della pericolosità sismica di base, eseguibile dal sito web dell'INGV⁴, utilizzando una probabilità di eccedenza consona al periodo di riferimento V_R di 50 ed al livello prestazionale di progetto, ovvero pari al 10% in 50 anni, è possibile selezionare un range di magnitudo che va da 4 a 6 ed un range di distanze che va da 0 a 20 km. La selezione operata dal software "REXEL" (Figura 17) mostra 7 accelerogrammi naturali il cui spettro di risposta medio risulta compatibile con lo spettro di risposta di riferimento.

2 Kottke, A.R. & Rathje, E.M. (2008) – Technical Manual for Strata. PEER Report 2008, Pacific Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, Berkeley, 81 p.

³ http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/archivio_pdf/sismica/Allegato_4.zip/ - DGR 2193/2015

⁴ <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>

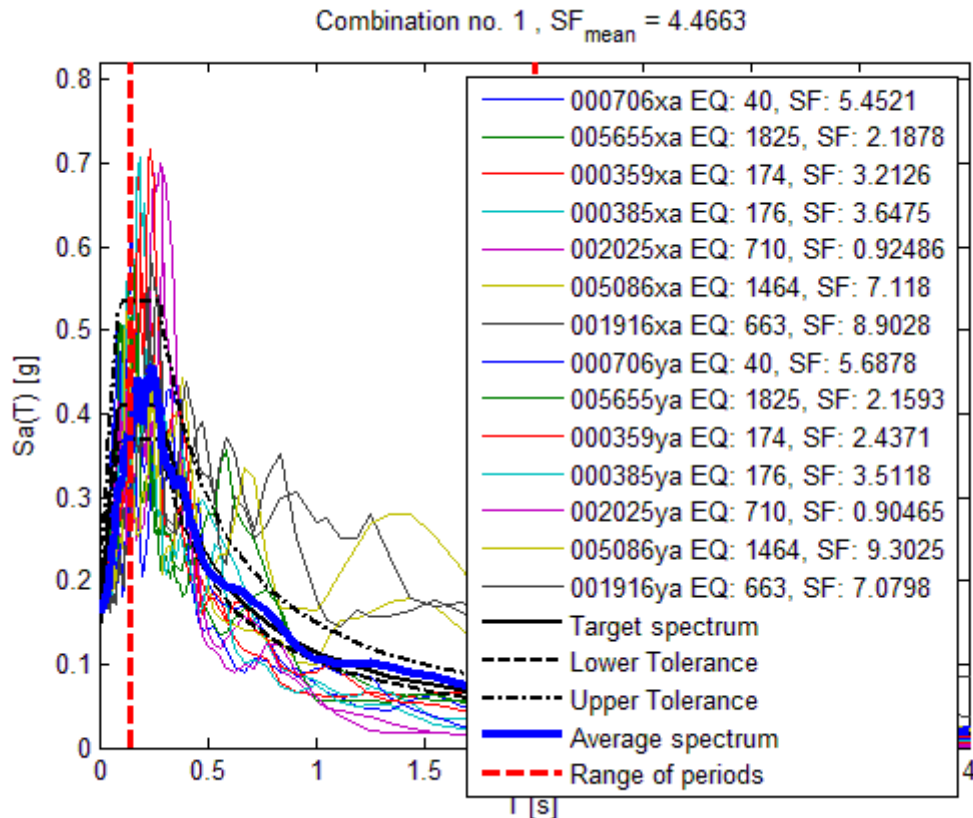


Figura 17 - La combinazione di 7 accelerogrammi naturali (nelle 2 componenti orizzontali del moto sismico) individuata tramite software "REXEL", la cui media risulta compatibile con lo spettro di risposta di riferimento.

I 4 accelerogrammi naturali con minore fattore di scala (relativi ad eventi sismici diversi) ed i 3 accelerogrammi regionali sono stati scalati al valore di PGA di riferimento del grigliato INGV, compatibile con la pericolosità sismica locale di base relativa all'SLV, per un suolo di tipo A ed un coefficiente di amplificazione topografico T1: **0,163g**.

Il profilo stratigrafico è stato inserito, fino a -20 m, in base alla stratigrafia interpretata dai sondaggi penetrometrici CPTu realizzati per questo studio. Oltre tale profondità, fino a -550 m (profondità ipotizzata del bedrock sismico dall'analisi di microzonazione sismica di III livello effettuata per Sala Bolognese), la stratigrafia è stata assunta uguale a quella ricavata dallo stesso studio di microzonazione sismica di III livello, ritenuto applicabile all'intero territorio comunale. Dallo stesso studio sono stati utilizzati anche i valori di Vs per ogni strato da -20 a -550 m.

Per quanto riguarda le curve di smorzamento e di riduzione del modulo di taglio, sono state utilizzate curve fornite dallo stesso programma di calcolo per le sabbie e le argille più profonde di 20 m, mentre per quanto riguarda i terreni più superficiali, caratterizzati da miscele di limi, argille e sabbie, sono state utilizzate le curve di decadimento ricavate da analisi di laboratorio dinamico in terreni simili in aree prossime a quella di studio (San Carlo, Crevalcore e Poggio Renatico). Sono state effettuate 100 simulazioni per ciascun accelerogramma,

consentendo variazioni nel profilo di velocità. La distribuzione degli spettri di risposta in superficie è riportata in Figura 18.

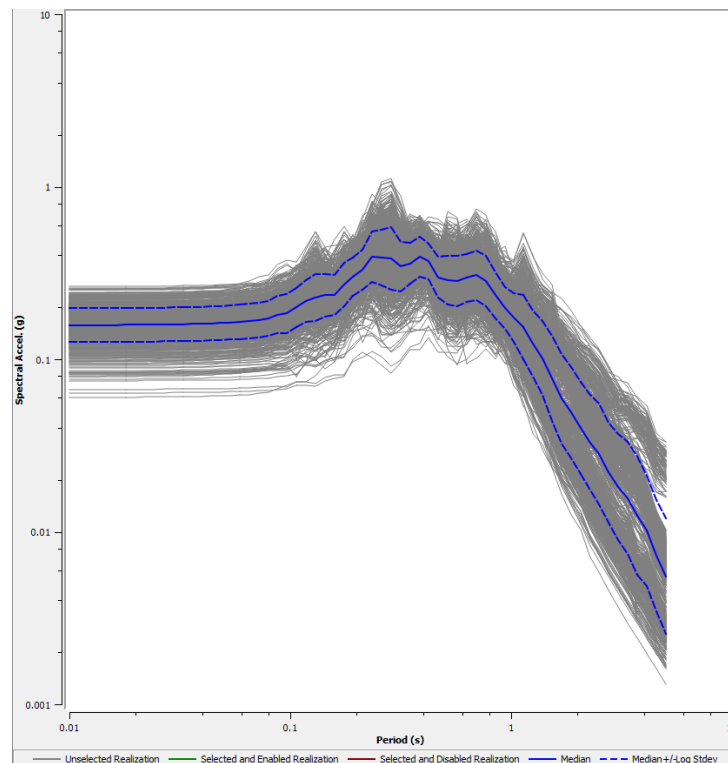


Figura 18 - Popolazione degli spettri di risposta visco-elastici (5% di smorzamento) alla superficie di campagna per il sito. La linea blu continua indica la mediana (50° percentile) della distribuzione mentre i due andamenti tratteggiati corrispondono rispettivamente al 16° e 84° percentile della distribuzione.

Allo scopo di ottenere una stima conservativa dello spettro di risposta, si è deciso di adottare lo spettro di risposta corrispondente all'84° percentile della popolazione di spettri restituita dall'analisi. Lo stesso percentile viene utilizzato da Tinto et al. (2015) per il calcolo dei fattori di amplificazione nei vari ambiti presenti in Emilia-Romagna. I risultati sono sintetizzati nella **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** Per confronto è riportato lo spettro di normativa per l'area di studio, sottosuolo di tipo C, SLV, $V_n = 50$ e $c_u = 11$.

Come si vede, lo spettro di risposta in superficie (NON normalizzato, **84° percentile della popolazione**) ottenuto dalla presente analisi eccede quello di normativa solo per la parte compresa tra 0,63s e 0,84s). Per tutti gli altri periodi, lo spettro di sito NON normalizzato si mostra più basso, in termini di accelerazione spettrale, rispetto a quello di Normativa per suolo C. I valori dello spettro non normalizzato sono riportati in Allegato 4, insieme a quelli dello spettro normalizzato (84° percentile). La PGA dello spettro NON normalizzato risulta pari a **0,19g**; quella dello spettro normalizzato è pari a **0,25g**.

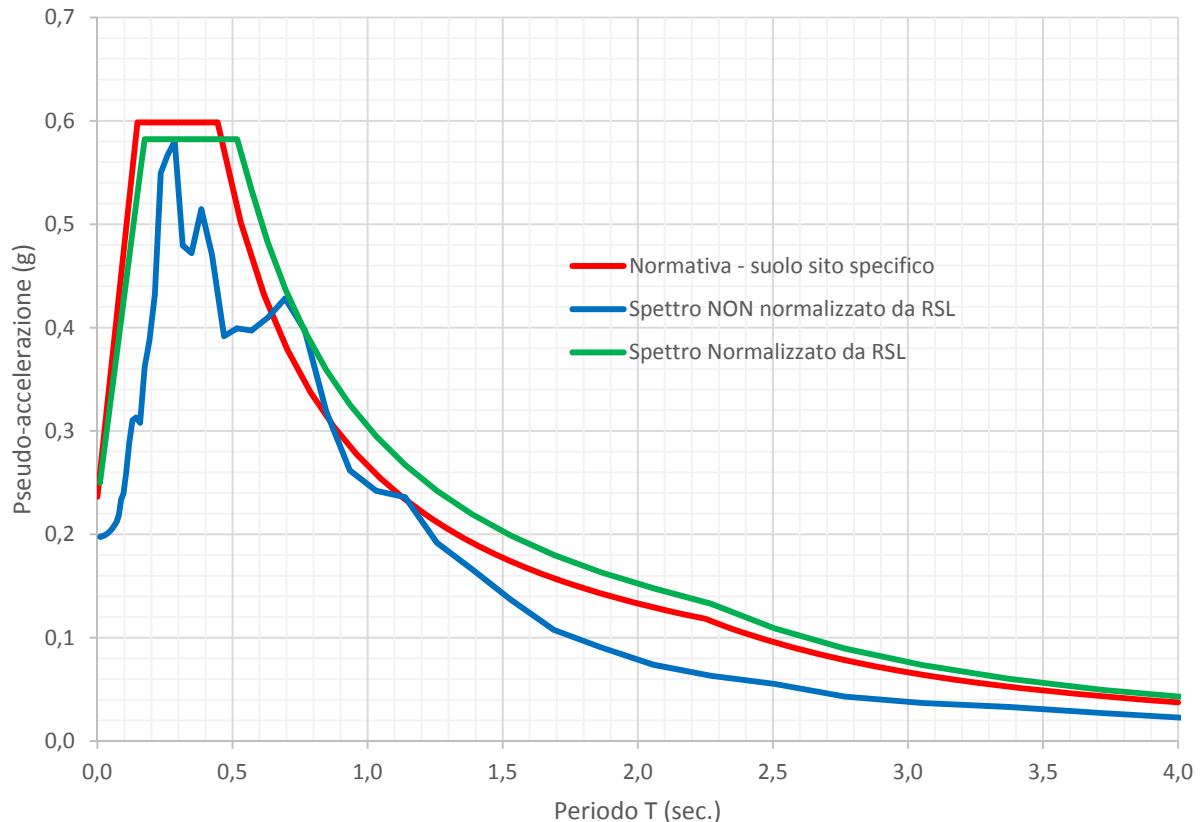


Figura 19 - Curva blu: spettro di risposta visco-elastico (5% di smorzamento, 84° percentile della popolazione) relativo al sito in esame, alla **superficie topografica attuale** (in verde: normalizzato). In rosso: spettro di risposta secondo Normativa per suolo C, SLV, $V_n=50$ e $C_u=II$.

Lo spettro normalizzato, per definizione, ha una forma “rigida”, non adattabile allo spettro di risposta effettivamente ottenuto dalla modellazione in tutte le sue parti: per inseguire i massimi dello spettro di risposta si debbono, infatti, “falsare” i valori in PGA e, come si vede, lo spettro normalizzato da RSL mostra un valore di PGA superiore rispetto a quello dello spettro di Normativa (Figura 19), nonostante il *plateau* sia più basso.

Di seguito, i parametri fondamentali per la costruzione dello spettro normalizzato da RSL:

A_g (g) - Suolo A	0.163
F_0	2.533
T_b	0.174
T_c	0.523
T_d	2.252
T^*_c	0.278
S	1.41
C_c	1.88
η	1

Infine, l'analisi di risposta sismica locale effettuata per questo studio ha permesso di ricostruire il profilo di PGA con la profondità, visibile in

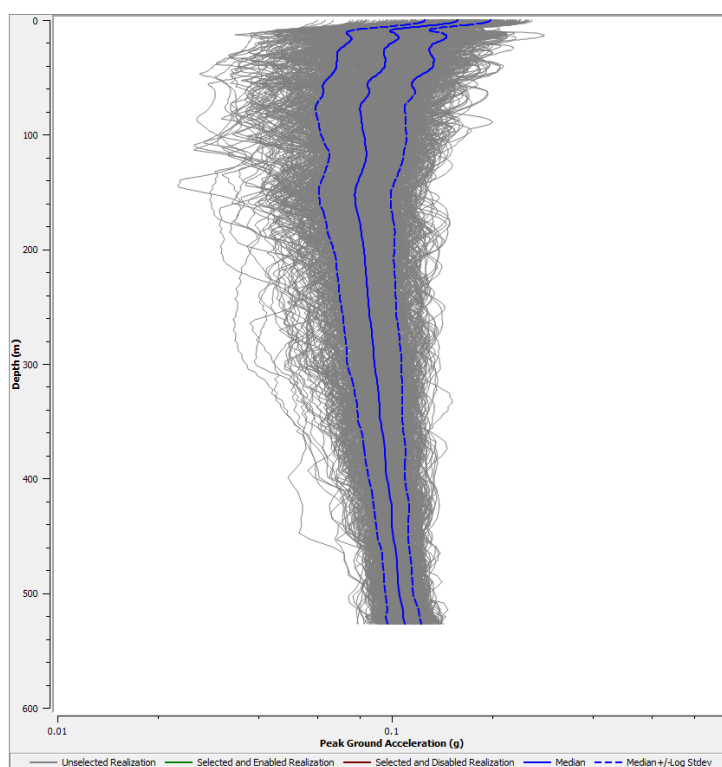


Figura 20 – Profilo della PGA con la profondità da RSL. La linea blu continua indica la mediana (50° percentile) della distribuzione mentre i due andamenti tratteggiati corrispondono rispettivamente al 16° e 84° percentile della distribuzione.

A seguire si forniscono il profilo di PGS in forma grafica e le relative coordinate numeriche fino alla profondità di 30 m.

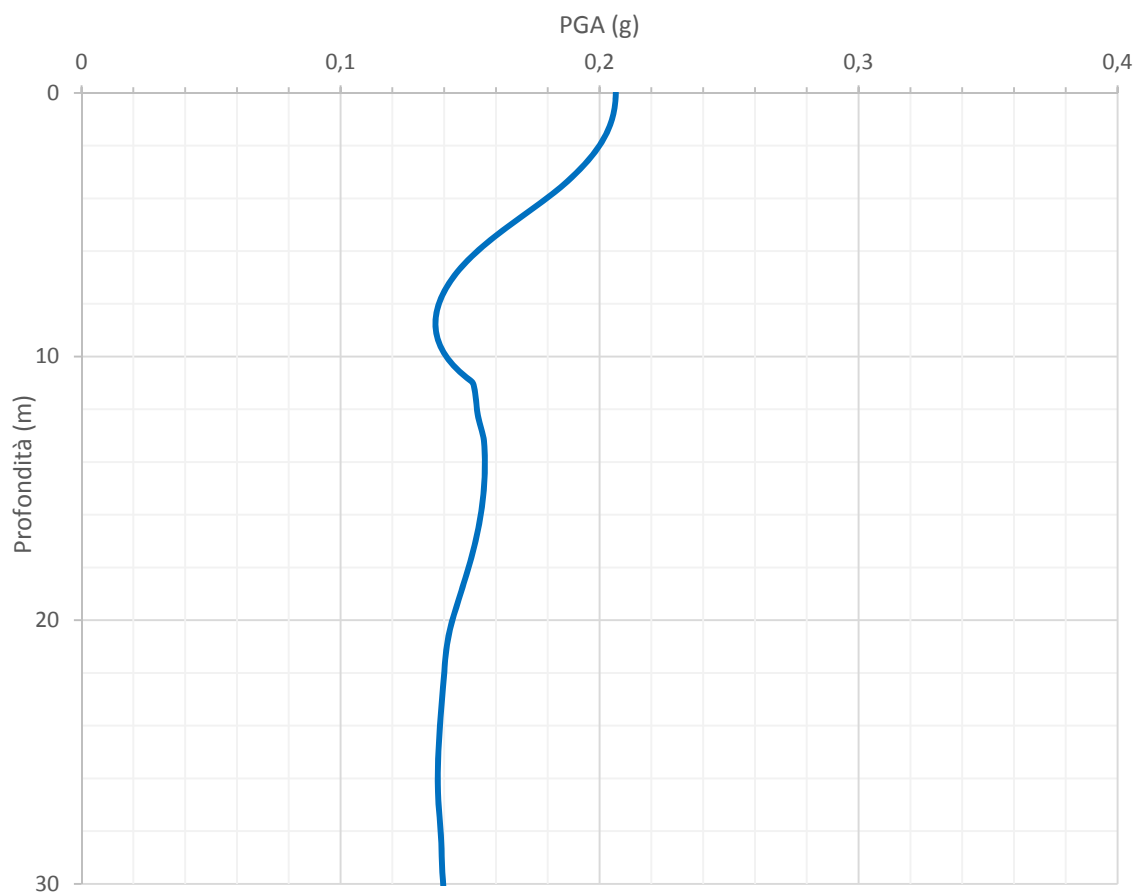


Figura 21 - Profilo della PGA con la profondità (da piano campagna fino a -30 m) da RSL. La linea blu continua indica la linea dell'84° percentile della distribuzione.

Profondità (m)	PGA (g) 84° perc.le
0	0.197180074
0.3048	0.197045074
0.6096	0.196641412
0.9144	0.195972222
1.2192	0.195041341
1.524	0.193853966
1.8288	0.192299063
2.1336	0.190290945
2.4384	0.188005737
2.7432	0.185468038
3.048	0.182684613
3.3528	0.179512605
3.6576	0.176108354
3.9624	0.172269125
4.2672	0.168343586
4.572	0.164378901

4.8768	0.160297395
5.1816	0.156263262
5.4864	0.152480248
5.7912	0.148728659
6.096	0.145354693
6.4008	0.142297578
6.7056	0.139471467
7.0104	0.13703959
7.3152	0.134967822
7.62	0.13310658
7.9248	0.131619677
8.2296	0.13050599
8.5344	0.129847716
8.8392	0.12961269
9.144	0.129851824
9.4488	0.130451581
9.7536	0.131485935
10.0584	0.133150719
10.3632	0.135327291
10.668	0.137989119
10.9728	0.141299436
11.2776	0.142097935
11.5824	0.142487347
11.8872	0.14274535
12.192	0.143092909
12.4968	0.14373146
12.8016	0.144515183
13.1064	0.145202303
13.4112	0.14547239
13.716	0.145647805
14.0208	0.145721477
14.3256	0.145748411
14.6304	0.145637809
14.9352	0.145481882
15.24	0.145297596
15.5448	0.145052051
15.8496	0.144712668
16.1544	0.144298501
16.4592	0.143809235
16.764	0.143259016
17.0688	0.142639244
17.3736	0.141960523
17.6784	0.14120526

17.9832	0.14039371
18.288	0.139563055
18.5928	0.138741949
18.8976	0.137924546
19.2024	0.137068838
19.5072	0.136194597
19.812	0.135347085
20.1168	0.134516971
20.7264	0.133256325
21.336	0.132427876
21.9456	0.131922493
22.5552	0.131421982
23.1648	0.130892622
23.7744	0.130412649
24.384	0.129958012
24.9936	0.12958096
25.6032	0.129348232
26.2128	0.129268246
26.8224	0.129361634
27.432	0.12969548
28.0416	0.130131154
28.6512	0.130279421
29.2608	0.130463294
29.8704	0.130784589
30.48	0.131178856

6. SINTESI DELL'ANALISI DEI DATI RACCOLTI E CONCLUSIONI

Dallo studio eseguito emerge come l'area si collochi in una zona a debolissima inclinazione topografica, che permette uno sviluppo urbanistico senza particolari problemi, con presenza di una sequenza piuttosto uniforme di terreni fini, argillosi e argilloso-limosi, lungo tutti i 20 m esplorati.

Dal punto di vista geotecnico, i valori di coesione non drenata risultano mediamente sufficienti, variabili da 68 a 144 kPa, laddove le argille sono frammiste a limi, mentre decadono a mediocri nelle argille "pure", variando da 45 a 112 kPa. E' evidente un progressivo incremento della resistenza geomeccanica con la profondità.

La soggiacenza dell'acquifero principale, sulla scorta dei dati piezometrici elaborati per il QC del PSC di Terre d'Acqua, dovrebbe attestarsi a circa 1 m dal p.d.c.; in occasione dell'esecuzione delle prove penetrometriche, il livello di falda è stato rilevato a circa -1,5 m dal p.d.c.

Per la caratterizzazione sismica del terreno sono stati utilizzati i dati ricavati da un'indagine a sismica passiva (HVSR) realizzata per questo studio in data 29/06/2018 in corrispondenza dell'area d'indagine. L'indagine ha permesso di individuare la frequenza di vibrazione fondamentale del terreno, pari a circa **1 Hz**. L'indagine ha inoltre permesso di interpretare il profilo di velocità delle onde S con la profondità, da cui è stato ricavato il parametro di Normativa V_{s30} , risultato pari a **222 m/s**, che, grazie anche all'aumento progressivo della rigidità del terreno con la profondità, permette di inserire il terreno stesso all'interno della classe **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*.

La particolare stratigrafia dell'area, costituita quasi esclusivamente da terreni fini (argille e limi argillosi), fa ritenere molto bassa la probabilità che si possano innescare fenomeni di liquefazione in occasione di eventi sismici.

Lo studio di microzonazione sismica di III livello del Comune di Sala Bolognese ha identificato alcune superfici risonanti a diverse profondità, tra cui la prima a circa 170 m (riferibile a frequenze fondamentali tra 0,55 e 0,75 Hz), probabilmente coincidente con la base dell'AES₆; ed una a circa 500 m di profondità (riferibile alla frequenza fondamentale di 0,25 Hz), probabilmente coincidente con il tetto del Quaternario marino, a cui viene fatto corrispondere il tetto del bedrock sismico.

L'analisi di risposta sismica locale ha pertanto assunto dalla microzonazione di III livello la stessa profondità del bedrock sismico e lo stesso profilo di V_s , discretizzando soltanto i primi 20 m superficiali in base ai risultati delle 3 CPTu eseguite per questo studio.

L'analisi di risposta sismica locale effettuata mostra come soltanto tra 0,63 e 0,84s il terreno amplifichi la sollecitazione sismica maggiormente rispetto a quanto mostrato dallo spettro di Normativa per suolo C; per tutti gli altri periodi, lo spettro di sito NON normalizzato si mostra più basso, in termini di accelerazione spettrale, rispetto a quello di Normativa per suolo C. La PGA dello spettro NON normalizzato risulta pari a **0,19g**; quella dello spettro normalizzato è pari a **0,25g**.

Modena, 20/02/2019

Il Tecnico incaricato

Dott. Geol. Valeriano Franchi

Allegato 1

Indagini geognostiche Archivio dati geognostici della Regione Emilia-Romagna (pozzo per acqua)

16

202 160

Regione Emilia-Romagna

POZZO AD USO DOMESTICO

P608

scheda di denuncia



COMPENSORIO

17

COMUNE

550

NUMERO PROGRESSIVO

114

-Ditta titolare del pozzo: BERNARDINI LODOVICO

residente a SALA BOLOGNESE in Via GRAMSCI, 56

-Pozzo in Frazione: SALA, Località, Mapp. N° / Fg.

-Data perforazione: 1972/14/5; -Ditta perforatrice: PARADISI GUSTAVO

Parte riservata alla Ditta

-Caratteristiche del pozzo:

avanpozzo (si o no): NO

Ø dei tubi: mm. 100

profondità mt. 32,50

Usi cui è destinata l'acqua

-familiare ☐-abbeveraggio bestiame ☐-inaffiamento orto ☒-inaffiamento giardino ☒

-Portata: lt./sec. 1

-Consumo giornaliero: mo. 2
ql.

La Ditta sottoscritta afferma, sotto la propria responsabilità, che la presente dichiarazione è completa e veritiera:

data: 26-9-77

firma: Lodovico Bernardini

Parte riservata all'Ufficio Tecnico Com.le

Localizzazione del pozzo

Longit. 359 Latit. 115 Ha. 16

Quota piano campagna: m.s.l.m.

STRATIGRAFIA DEL TERRENO

Natura dei terreni e indicazione delle falde acquifere attraversate (fenestrate)

-da mt. 0 a mt. 3

ARGILLA

-da mt. 3 a mt. 8

SABBIA e LIMO

-da mt. 8 a mt. 28

ARGILLA SENI SCURA

-da mt. 28 a mt. 32,50

SABBIA e GHIAIA

-da mt. a mt.

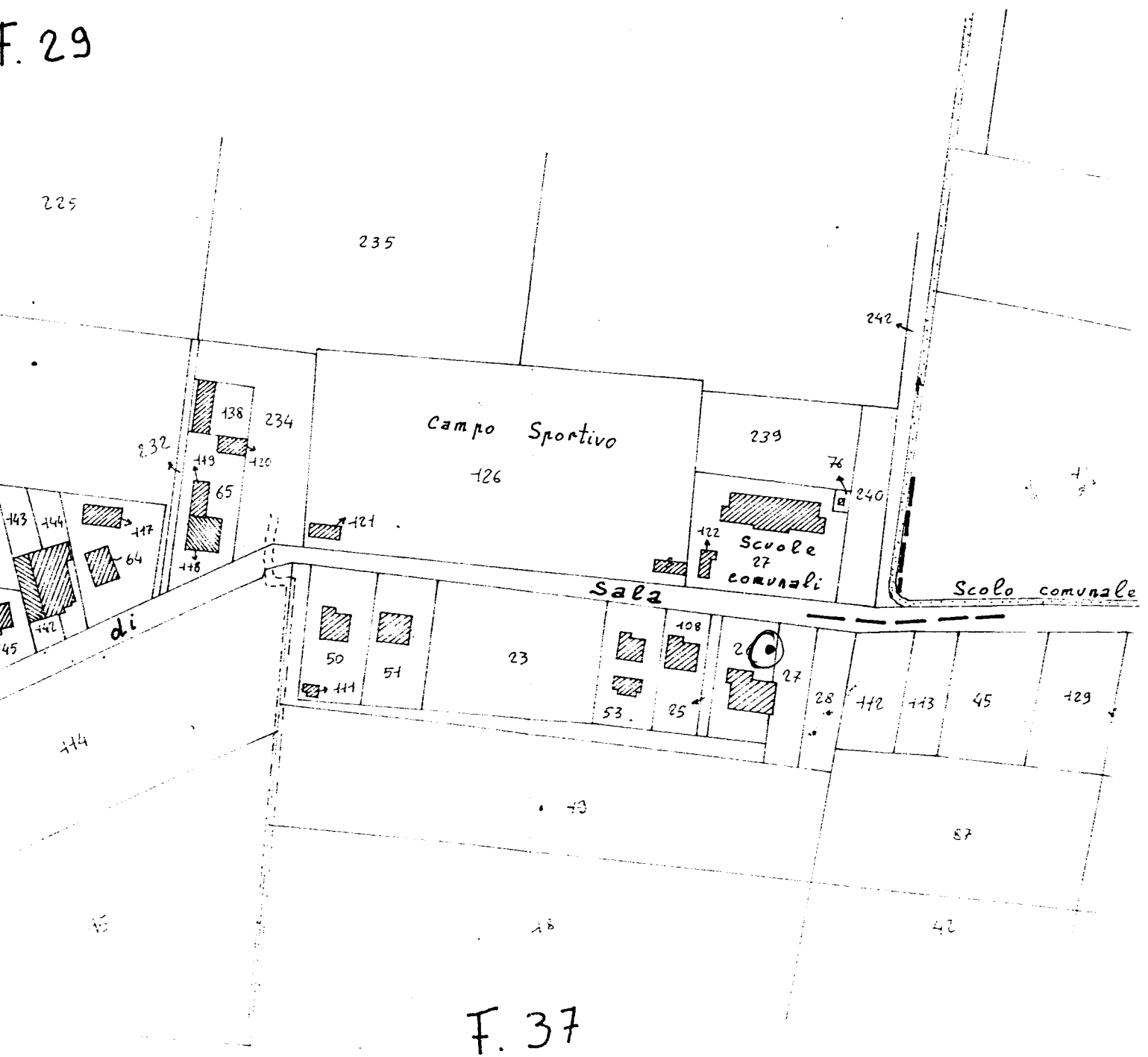
-da mt. a mt.

Livello statico : mt. 12

Il Tecnico Comunale

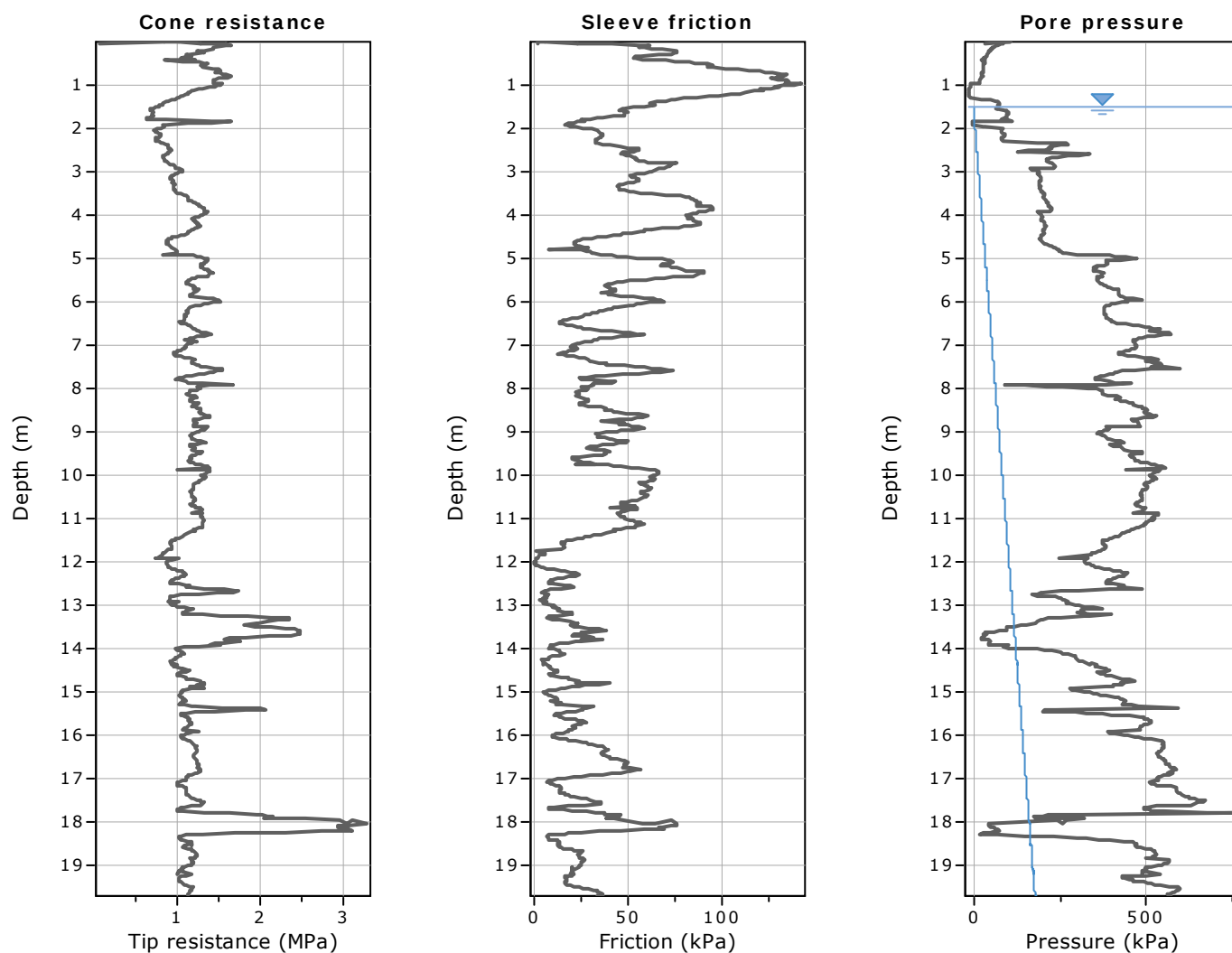
N.B. : Qualora la Ditta sia in possesso di referti di analisi dell'acqua del pozzo, rilasciati da Laboratori o Gabinetti è invitata ad allegarne copia.

F. 29

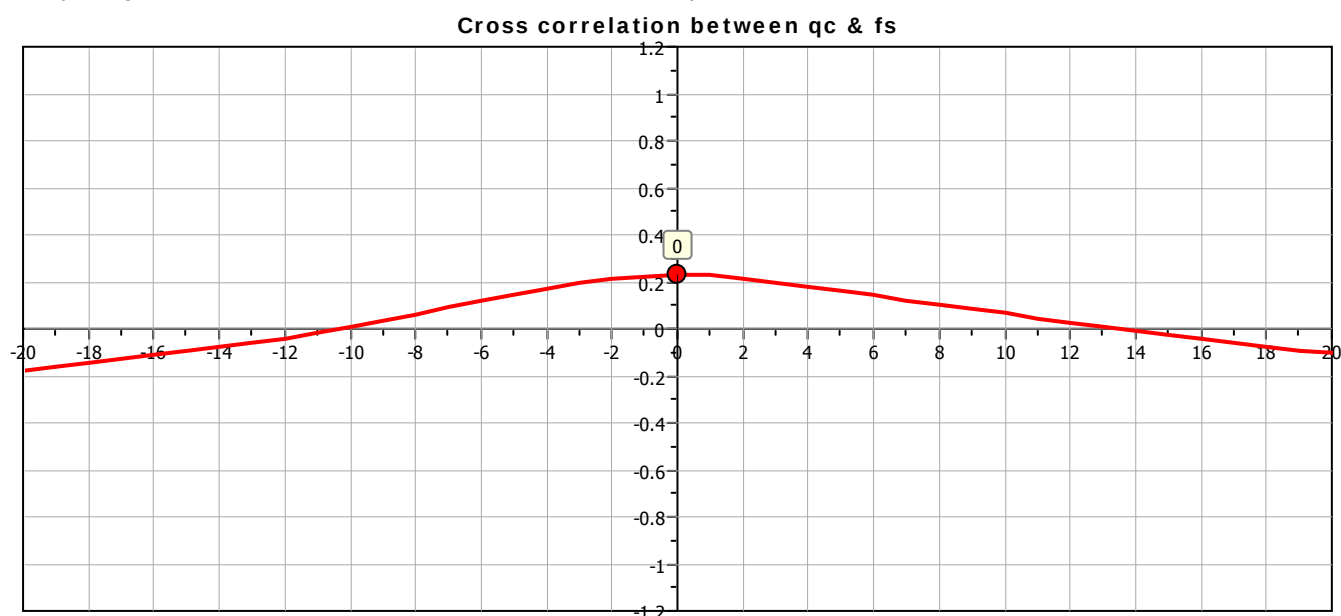


Allegato 2

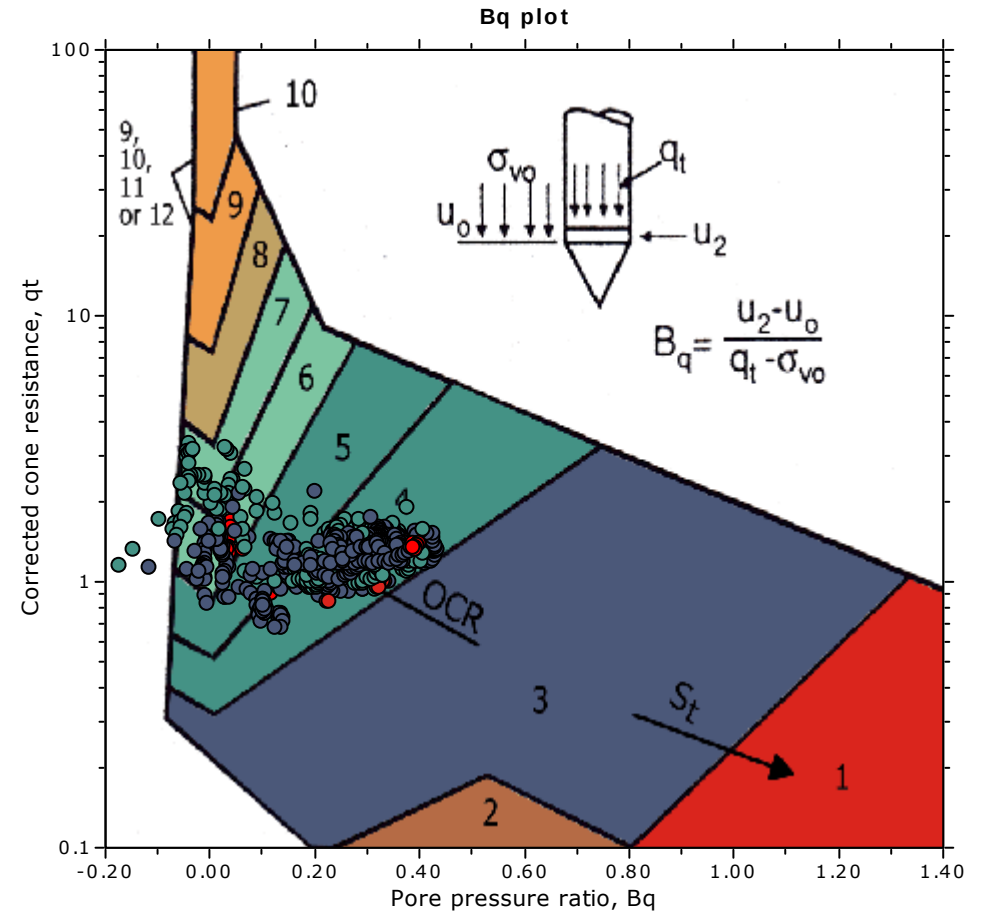
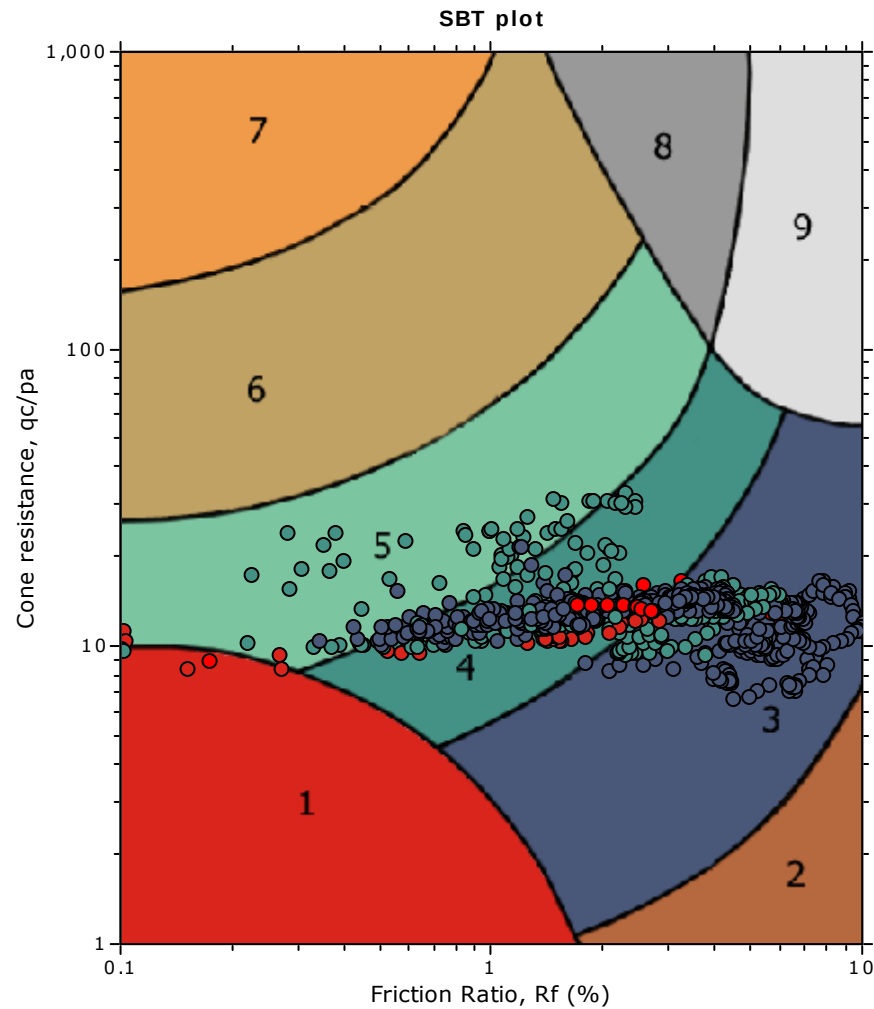
Indagini geognostiche eseguite per questo studio (3 CPTu)



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

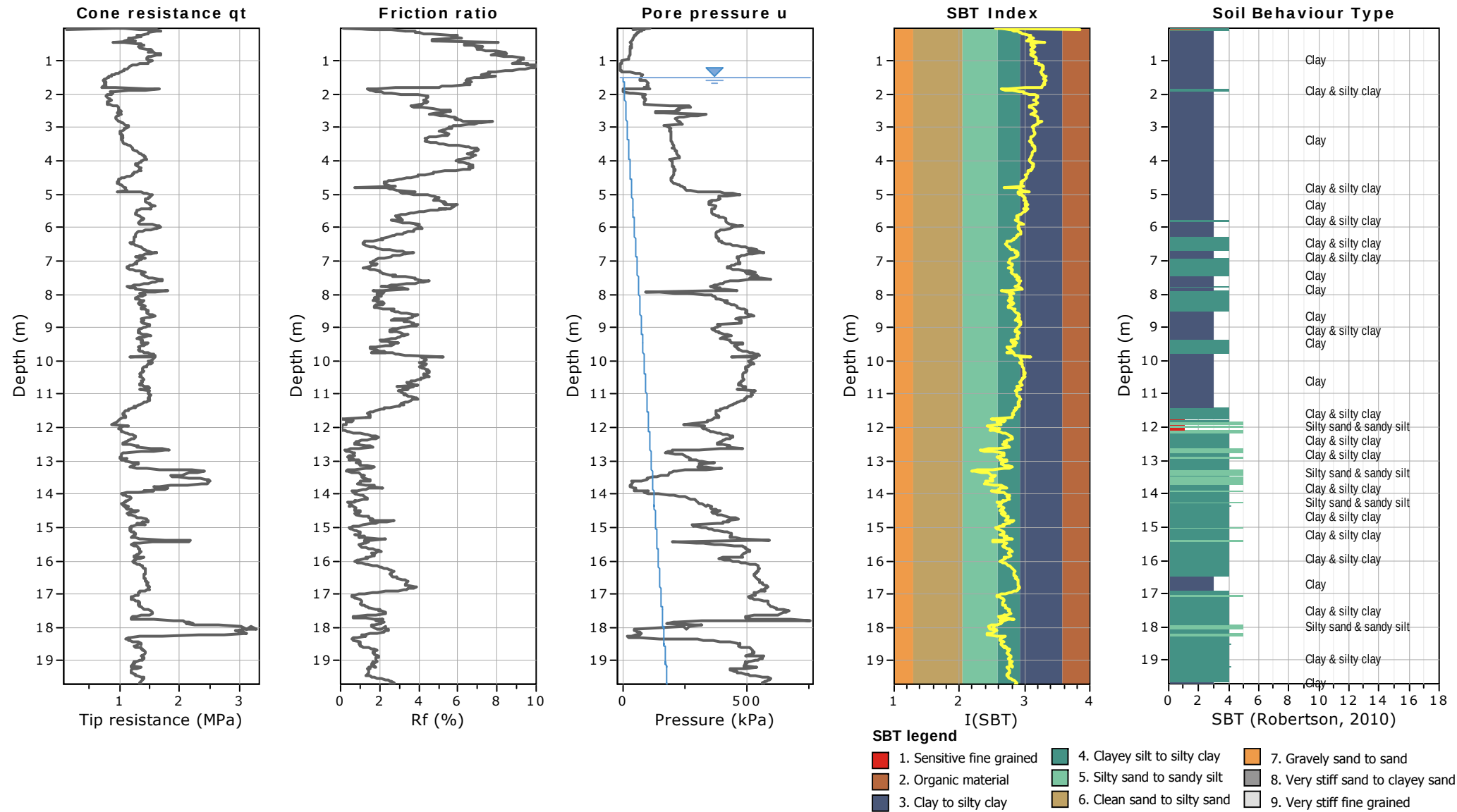


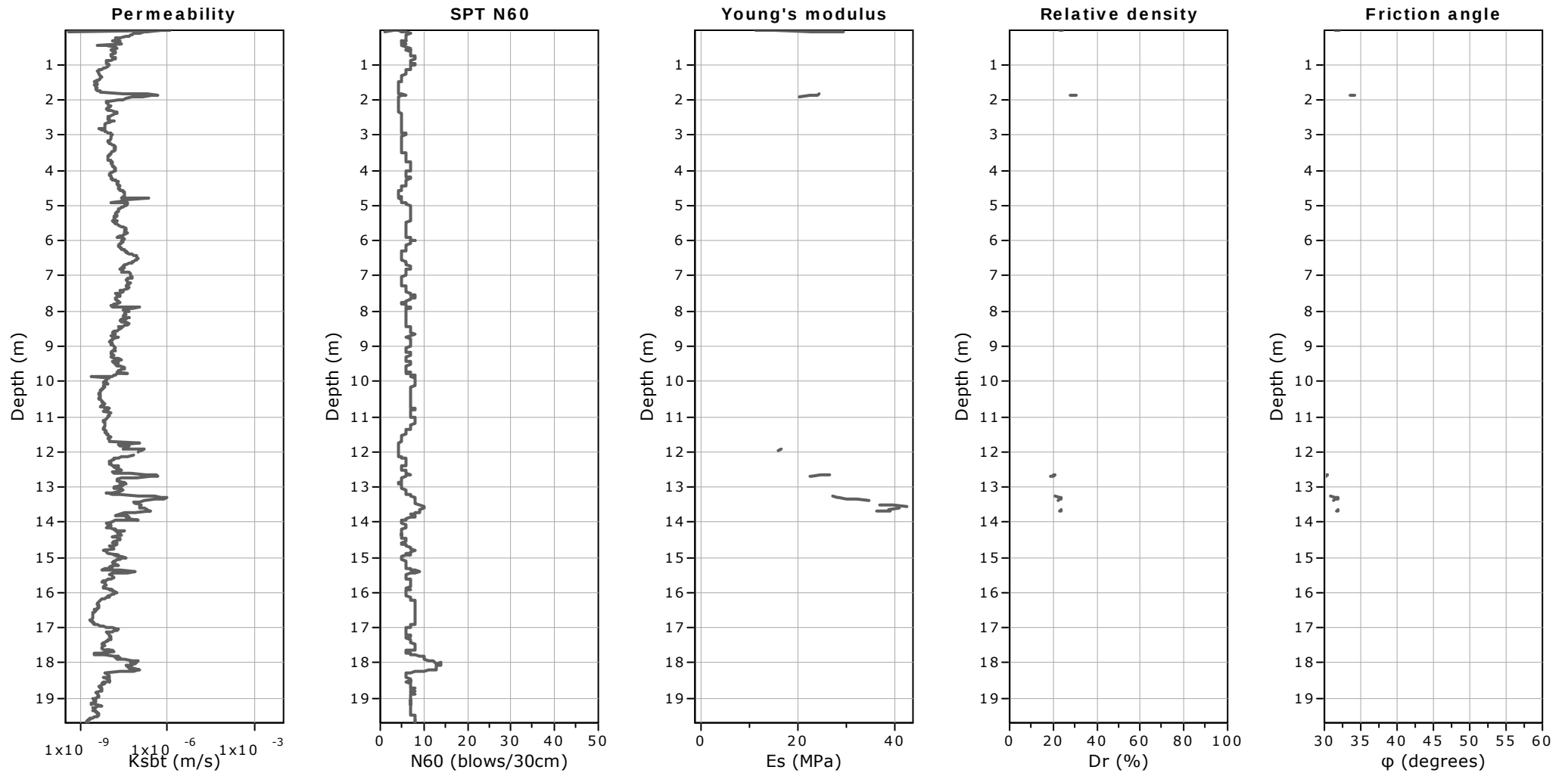
SBT - Bq plots



SBT legend

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





Calculation parameters

Permeability: Based on SBT_n

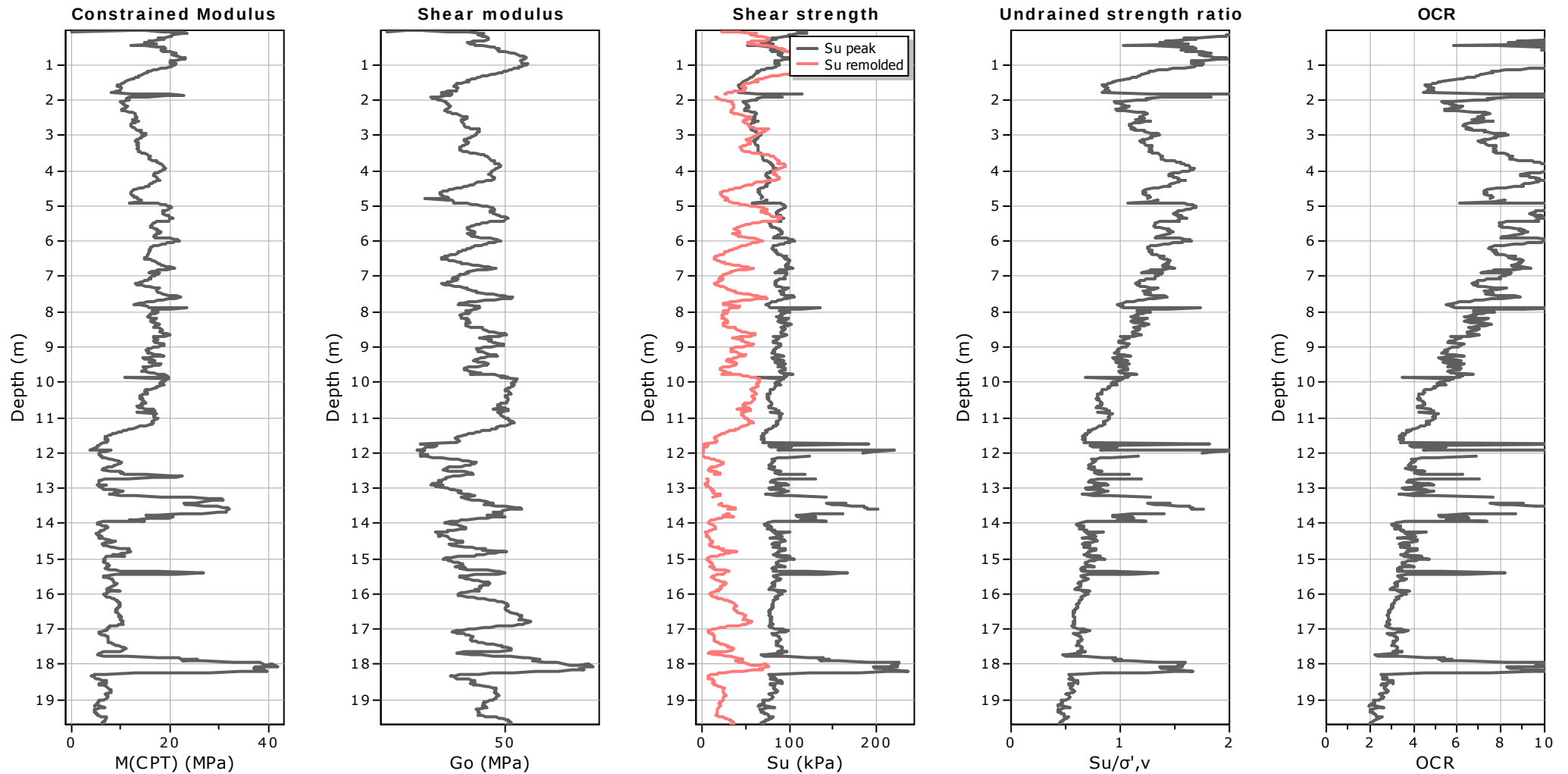
SPT N₆₀: Based on I_c and q_t

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

Relative density constant, C_{Dr}: 350.0

Phi: Based on Kulhawy & Mayne (1990)

● — User defined estimation data



Calculation parameters

Constrained modulus: Based on variable α using I_c and Q_m (Robertson, 2009)

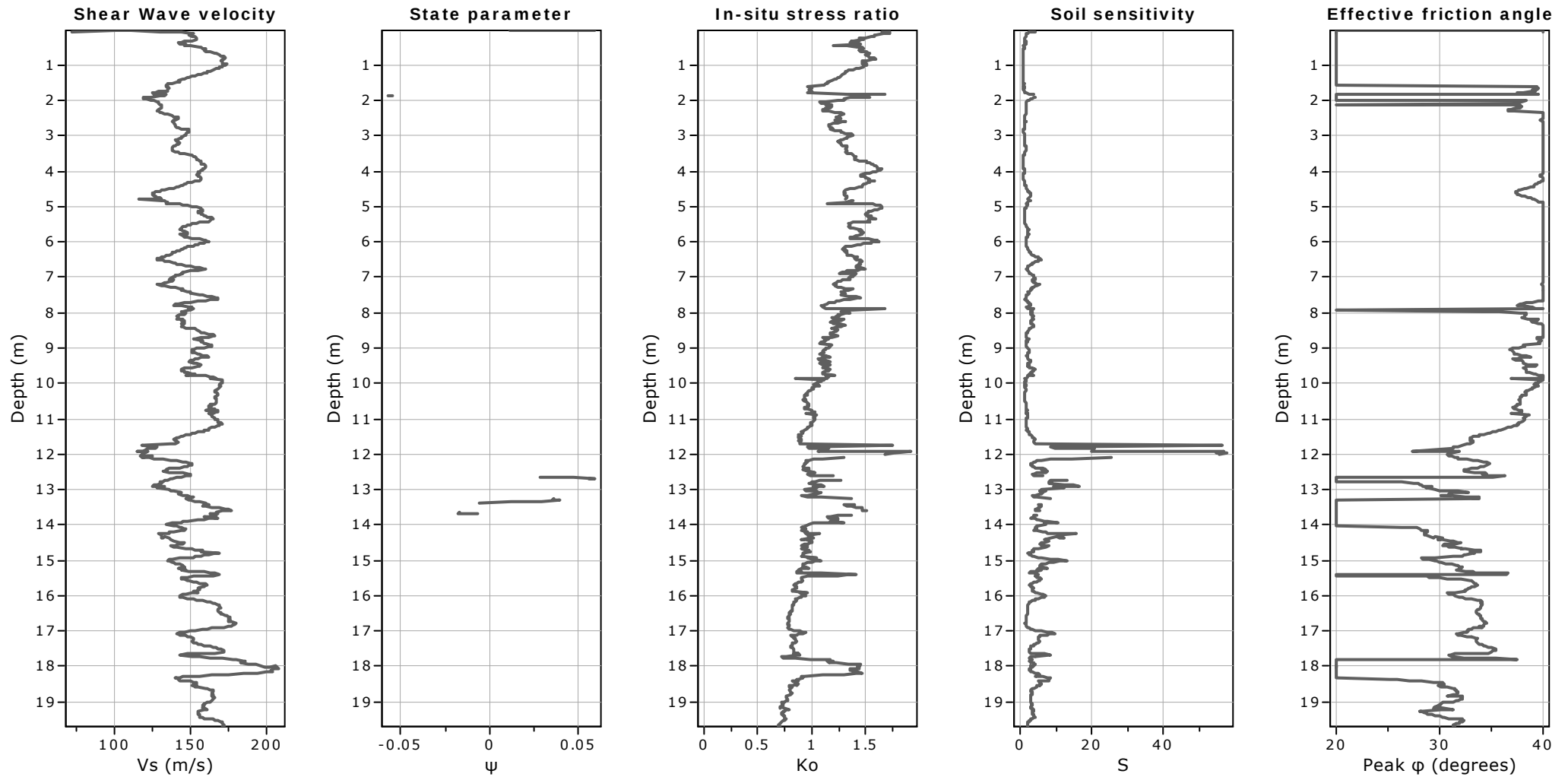
Go: Based on variable α using I_c (Robertson, 2009)

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

OCR factor for clays, N_{kt} : Auto

● User defined estimation data

● Flat Dilatometer Test data



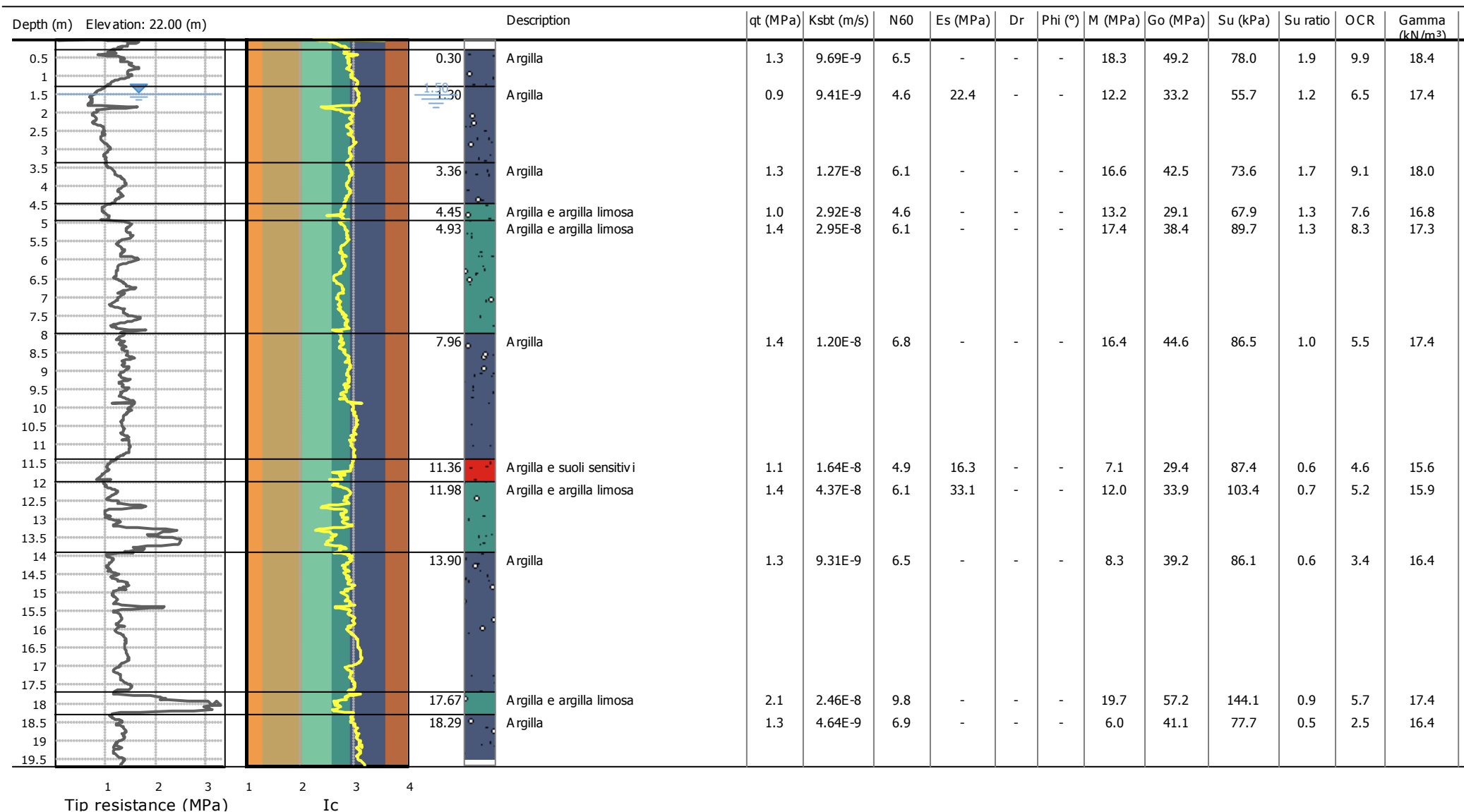
Calculation parameters

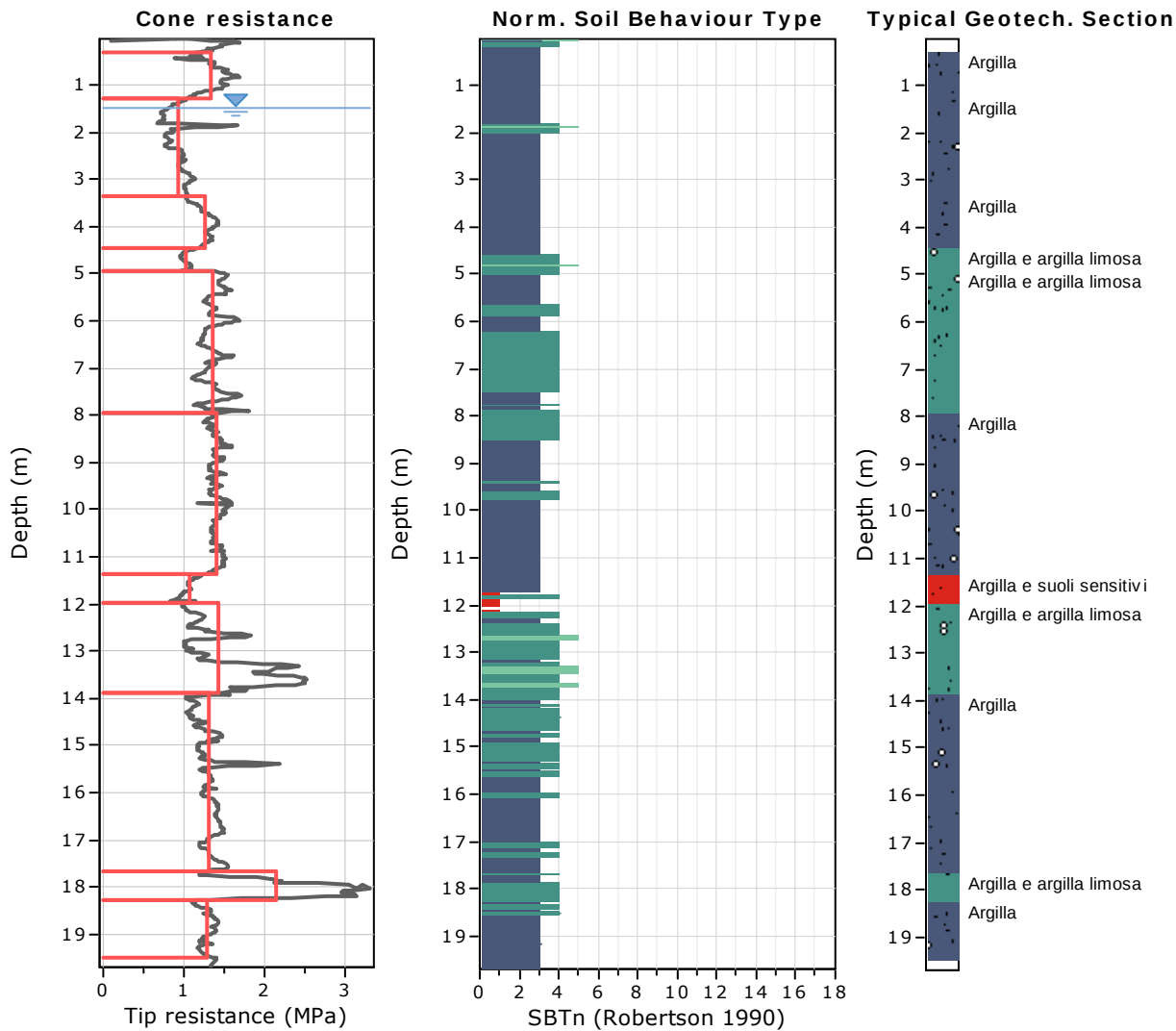
Soil Sensitivity factor, N_s : 7.10

—●— User defined estimation data

Project: Rotatoria
Location: Sala Bolognese

CPT: CPTu 1
Total depth: 19.70 m





Tabular results

::: Layer No: 1 :::

Code: 1 **Start depth:** 0.30 (m), **End depth:** 1.30 (m)

Description: Argilla

Basic results

Total cone resistance: 1.32 ± 0.19 MPa

Sleeve friction: 102.77 ± 26.79 kPa

SBT_n: 3

SBT_n description: Clay

Estimation results

Permeability: $9.69E-09 \pm 5.43E-09$ m/s

N60: 6.51 ± 0.90 blows

Es: 0.00 ± 0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ± 0.00

ϕ (degrees): 0.00 ± 0.00 °

Unit weight: 18.42 ± 0.37 kN/m³

Constrained Mod.: 18.29 ± 2.71 MPa

Go: 49.25 ± 6.42 MPa

Su: 77.97 ± 11.25 kPa

Su ratio: 1.87 ± 0.28

O.C.R.: 9.86 ± 1.77

::: Layer No: 2 :::**Code: 2** **Start depth: 1.30 (m), End depth: 3.36 (m)****Description:** Argilla**Basic results**

Total cone resistance: 0.92 ±0.16 MPa

Sleeve friction: 45.73 ±15.22 kPa

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

Permeability: 9.41E-09 ±5.85E-08 m/s

N60: 4.61 ±0.56 blows

Es: 22.38 ±2.91 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.35 ±0.42 kN/m³

Constrained Mod.: 12.24 ±2.17 MPa

Go: 33.22 ±4.41 MPa

Su: 55.74 ±9.96 kPa

Su ratio: 1.24 ±0.18

O.C.R.: 6.48 ±1.51

::: Layer No: 3 :::**Code: 3** **Start depth: 3.36 (m), End depth: 4.45 (m)****Description:** Argilla**Basic results**

Total cone resistance: 1.25 ±0.12 MPa

Sleeve friction: 74.17 ±15.90 kPa

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

Permeability: 1.27E-08 ±3.35E-09 m/s

N60: 6.09 ±0.64 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 18.03 ±0.30 kN/m³

Constrained Mod.: 16.56 ±1.59 MPa

Go: 42.46 ±4.33 MPa

Su: 73.60 ±5.98 kPa

Su ratio: 1.69 ±0.16

O.C.R.: 9.15 ±0.93

::: Layer No: 4 :::**Code: 4** **Start depth: 4.45 (m), End depth: 4.93 (m)****Description:** Argilla e argilla limosa**Basic results**

Total cone resistance: 1.03 ±0.07 MPa

Sleeve friction: 27.19 ±8.90 kPa

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

Permeability: 2.92E-08 ±3.86E-08 m/s

N60: 4.61 ±0.57 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.80 ±0.43 kN/m³

Constrained Mod.: 13.20 ±1.01 MPa

Go: 29.11 ±3.23 MPa

Su: 67.86 ±4.27 kPa

Su ratio: 1.26 ±0.11

O.C.R.: 7.61 ±0.58

::: Layer No: 5 :::**Code: 5** **Start depth: 4.93 (m), End depth: 7.96 (m)****Description:** Argilla e argilla limosa**Basic results**

Total cone resistance: 1.36 ±0.15 MPa

Sleeve friction: 38.86 ±20.27 kPa

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

Permeability: 2.95E-08 ±1.94E-08 m/s

N60: 6.13 ±0.80 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.32 ±0.59 kN/m³

Constrained Mod.: 17.42 ±2.13 MPa

Go: 38.42 ±6.34 MPa

Su: 89.67 ±8.72 kPa

Su ratio: 1.35 ±0.24

O.C.R.: 8.28 ±1.22

::: Layer No: 6 :::**Code: 6** **Start depth: 7.96 (m), End depth: 11.36 (m)****Description:** Argilla**Basic results**

Total cone resistance: 1.40 ±0.08 MPa

Sleeve friction: 42.40 ±13.21 kPa

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

Permeability: 1.20E-08 ±1.13E-08 m/s

N60: 6.83 ±0.68 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.43 ±0.39 kN/m³

Constrained Mod.: 16.40 ±1.74 MPa

Go: 44.61 ±5.87 MPa

Su: 86.46 ±6.78 kPa

Su ratio: 0.99 ±0.10

O.C.R.: 5.48 ±0.97

::: Layer No: 7 :::**Code: 7** **Start depth: 11.36 (m), End depth: 11.98 (m)****Description:** Argilla e suoli sensitivi**Basic results**

Total cone resistance: 1.06 ±0.10 MPa

Sleeve friction: 8.79 ±12.44 kPa

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

Permeability: 1.64E-08 ±4.52E-08 m/s

N60: 4.89 ±0.88 blows

Es: 16.32 ±0.45 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 15.64 ±1.24 kN/m³

Constrained Mod.: 7.08 ±1.85 MPa

Go: 29.36 ±7.95 MPa

Su: 87.41 ±47.76 kPa

Su ratio: 0.59 ±0.08

O.C.R.: 4.57 ±3.42

::: Layer No: 8 :::**Code: 8** **Start depth: 11.98 (m), End depth: 13.90 (m)****Description:** Argilla e argilla limosa**Basic results**

Total cone resistance: 1.42 ±0.51 MPa

Sleeve friction: 10.53 ±10.17 kPa

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

Permeability: 4.37E-08 ±1.66E-07 m/s

N60: 6.15 ±1.66 blows

Es: 33.13 ±11.48 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 15.93 ±0.98 kN/m³

Constrained Mod.: 12.00 ±9.48 MPa

Go: 33.94 ±9.08 MPa

Su: 103.42 ±37.45 kPa

Su ratio: 0.71 ±0.26

O.C.R.: 5.21 ±2.45

::: Layer No: 9 :::**Code: 9** **Start depth: 13.90 (m), End depth: 17.67 (m)****Description:** Argilla**Basic results**

Total cone resistance: 1.30 ±0.16 MPa

Sleeve friction: 17.49 ±13.59 kPa

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

Permeability: 9.31E-09 ±1.18E-08 m/s

N60: 6.53 ±1.05 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.38 ±0.76 kN/m³

Constrained Mod.: 8.26 ±2.82 MPa

Go: 39.20 ±8.57 MPa

Su: 86.10 ±12.49 kPa

Su ratio: 0.57 ±0.09

O.C.R.: 3.41 ±0.78

:: Layer No: 10 ::**Code: 10** **Start depth: 17.67 (m), End depth: 18.29 (m)****Description:** Argilla e argilla limosa**Basic results**

Total cone resistance: 2.13 ±0.79 MPa

Sleeve friction: 34.79 ±23.06 kPa

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

Permeability: 2.46E-08 ±3.29E-08 m/s

N60: 9.76 ±2.78 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.36 ±0.93 kN/m³

Constrained Mod.: 19.67 ±14.74 MPa

Go: 57.22 ±16.19 MPa

Su: 144.14 ±58.51 kPa

Su ratio: 0.90 ±0.40

O.C.R.: 5.71 ±2.99

:: Layer No: 11 ::**Code: 11** **Start depth: 18.29 (m), End depth: 19.49 (m)****Description:** Argilla**Basic results**

Total cone resistance: 1.28 ±0.09 MPa

Sleeve friction: 17.39 ±5.92 kPa

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

Permeability: 4.64E-09 ±2.32E-09 m/s

N60: 6.87 ±0.45 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.37 ±0.46 kN/m³

Constrained Mod.: 6.05 ±1.21 MPa

Go: 41.10 ±4.70 MPa

Su: 77.72 ±6.91 kPa

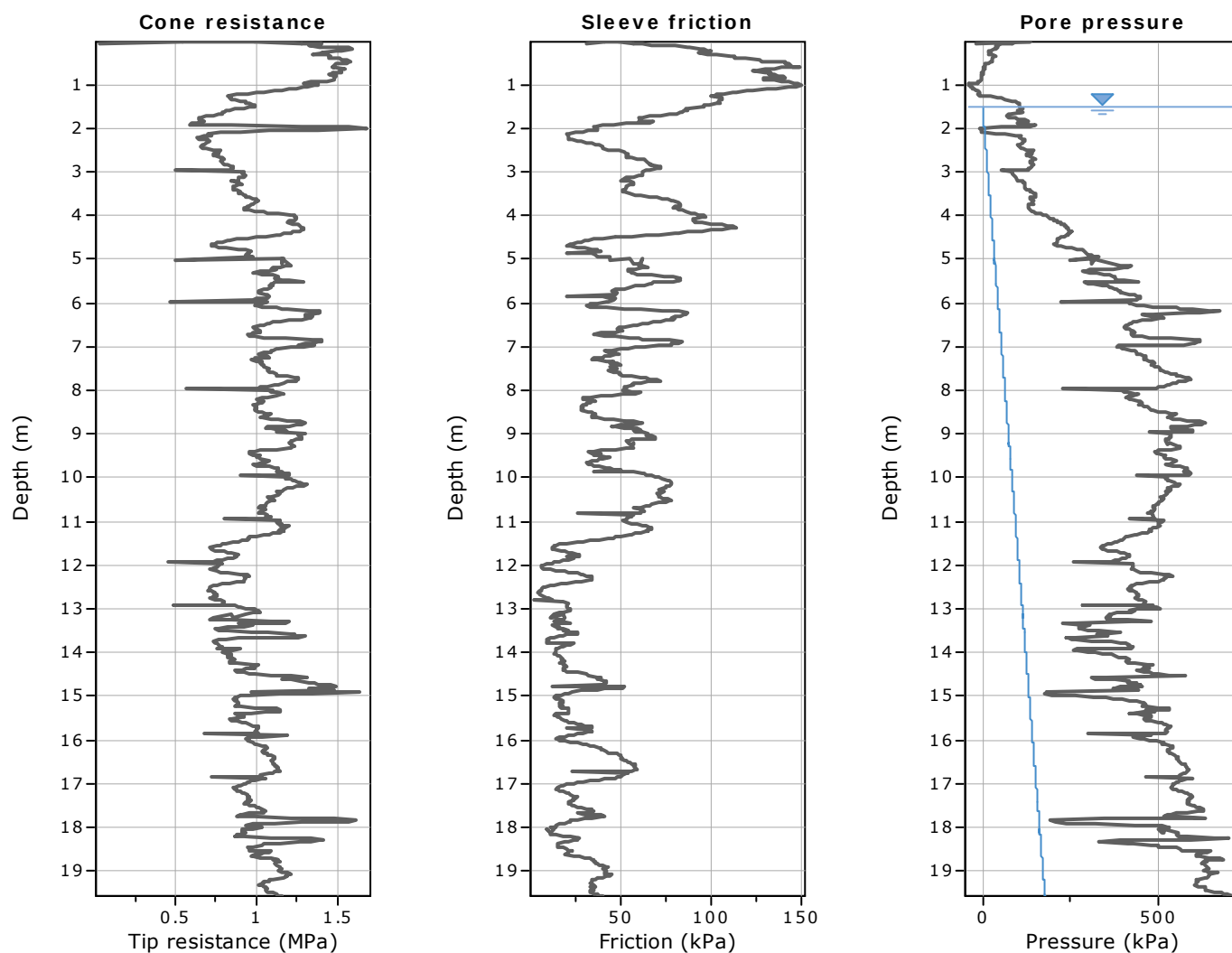
Su ratio: 0.45 ±0.05

O.C.R.: 2.47 ±0.31

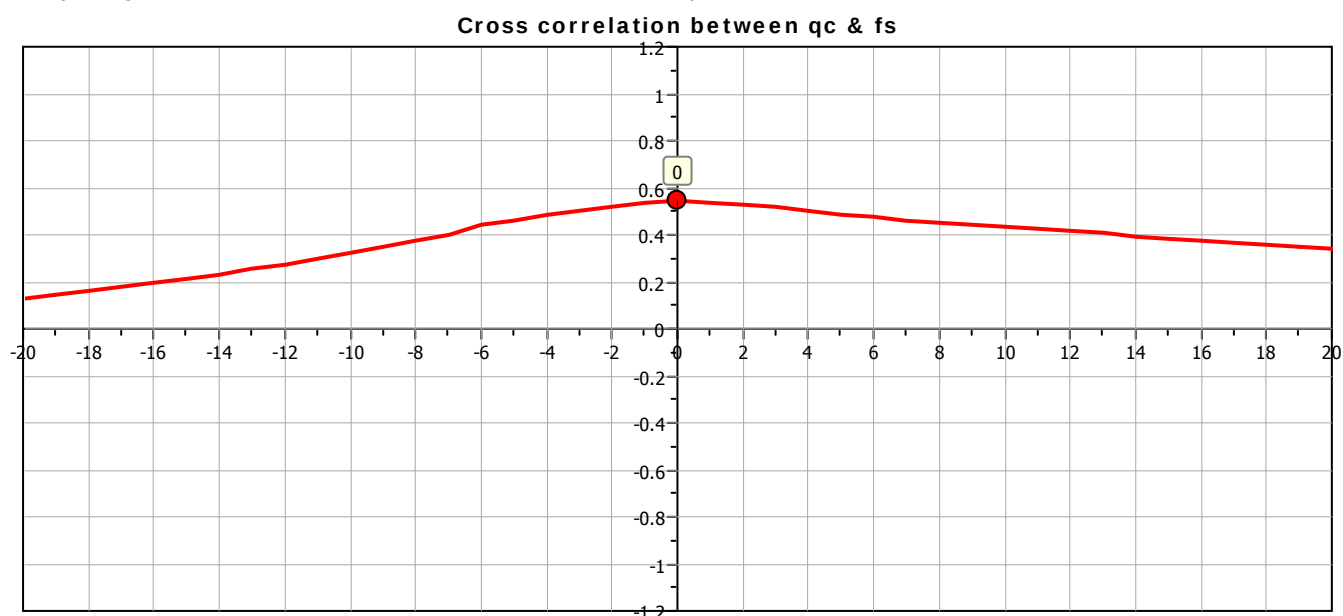
Summary table of mean values

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT _{N60} (blows/30cm)	E _s (MPa)	D _r	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G ₀ (MPa)	Undrained strength, S _u (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m ³)
0.30	1.00	9.69E-09	6.5	0.0	0.0	0.0	18.3	49.2	78.0	1.9	9.9	18.4
1.30		(±5.43E-09)	(±0.9)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±2.7)	(±6.4)	(±11.3)	(±0.3)	(±1.8)	(±0.4)
1.30	2.06	9.41E-09	4.6	22.4	0.0	0.0	12.2	33.2	55.7	1.2	6.5	17.4
3.36		(±5.85E-08)	(±0.6)	(±2.9)	(±0.0)	(±0.0)	(±2.2)	(±4.4)	(±10.0)	(±0.2)	(±1.5)	(±0.4)
3.36	1.09	1.27E-08	6.1	0.0	0.0	0.0	16.6	42.5	73.6	1.7	9.1	18.0
4.45		(±3.35E-09)	(±0.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.6)	(±4.3)	(±6.0)	(±0.2)	(±0.9)	(±0.3)
4.45	0.48	2.92E-08	4.6	0.0	0.0	0.0	13.2	29.1	67.9	1.3	7.6	16.8
4.93		(±3.86E-08)	(±0.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.0)	(±3.2)	(±4.3)	(±0.1)	(±0.6)	(±0.4)
4.93	3.03	2.95E-08	6.1	0.0	0.0	0.0	17.4	38.4	89.7	1.3	8.3	17.3
7.96		(±1.94E-08)	(±0.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±2.1)	(±6.3)	(±8.7)	(±0.2)	(±1.2)	(±0.6)
7.96	3.40	1.20E-08	6.8	0.0	0.0	0.0	16.4	44.6	86.5	1.0	5.5	17.4
11.36		(±1.13E-08)	(±0.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.7)	(±5.9)	(±6.8)	(±0.1)	(±1.0)	(±0.4)
11.36	0.62	1.64E-08	4.9	16.3	0.0	0.0	7.1	29.4	87.4	0.6	4.6	15.6
11.98		(±4.52E-08)	(±0.9)	(±0.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.9)	(±8.0)	(±47.8)	(±0.1)	(±3.4)	(±1.2)
11.98	1.92	4.37E-08	6.1	33.1	0.0	0.0	12.0	33.9	103.4	0.7	5.2	15.9
13.90		(±1.66E-07)	(±1.7)	(±11.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±9.5)	(±9.1)	(±37.4)	(±0.3)	(±2.4)	(±1.0)
13.90	3.77	9.31E-09	6.5	0.0	0.0	0.0	8.3	39.2	86.1	0.6	3.4	16.4
17.67		(±1.18E-08)	(±1.1)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±2.8)	(±8.6)	(±12.5)	(±0.1)	(±0.8)	(±0.8)
17.67	0.62	2.46E-08	9.8	0.0	0.0	0.0	19.7	57.2	144.1	0.9	5.7	17.4
18.29		(±3.29E-08)	(±2.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±14.7)	(±16.2)	(±58.5)	(±0.4)	(±3.0)	(±0.9)
18.29	1.20	4.64E-09	6.9	0.0	0.0	0.0	6.0	41.1	77.7	0.5	2.5	16.4
19.49		(±2.32E-09)	(±0.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.2)	(±4.7)	(±6.9)	(±0.0)	(±0.3)	(±0.5)

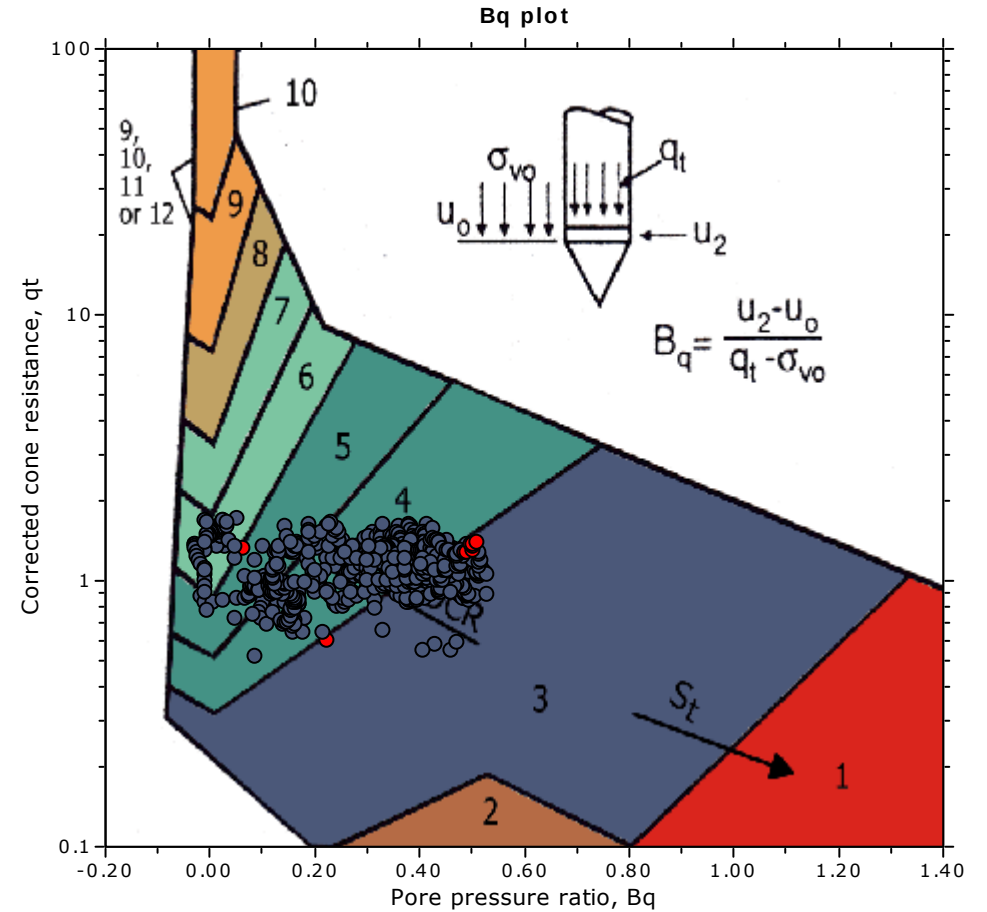
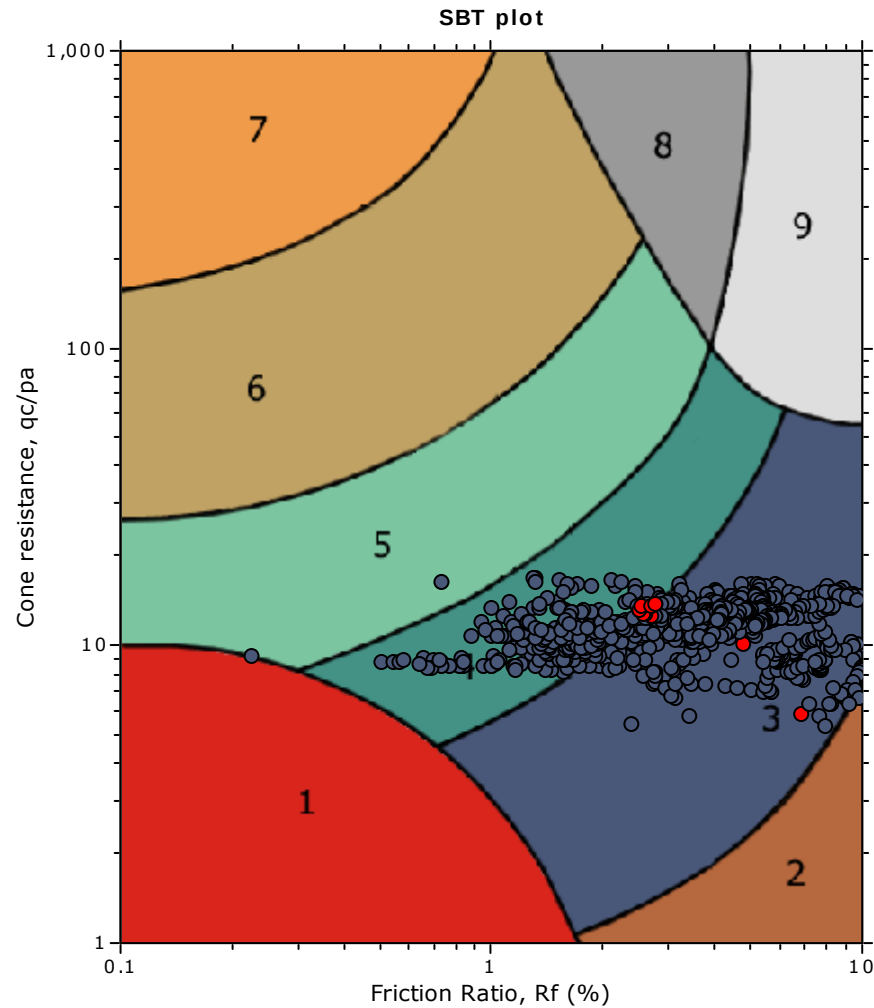
Depth values presented in this table are measured from free ground surface



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

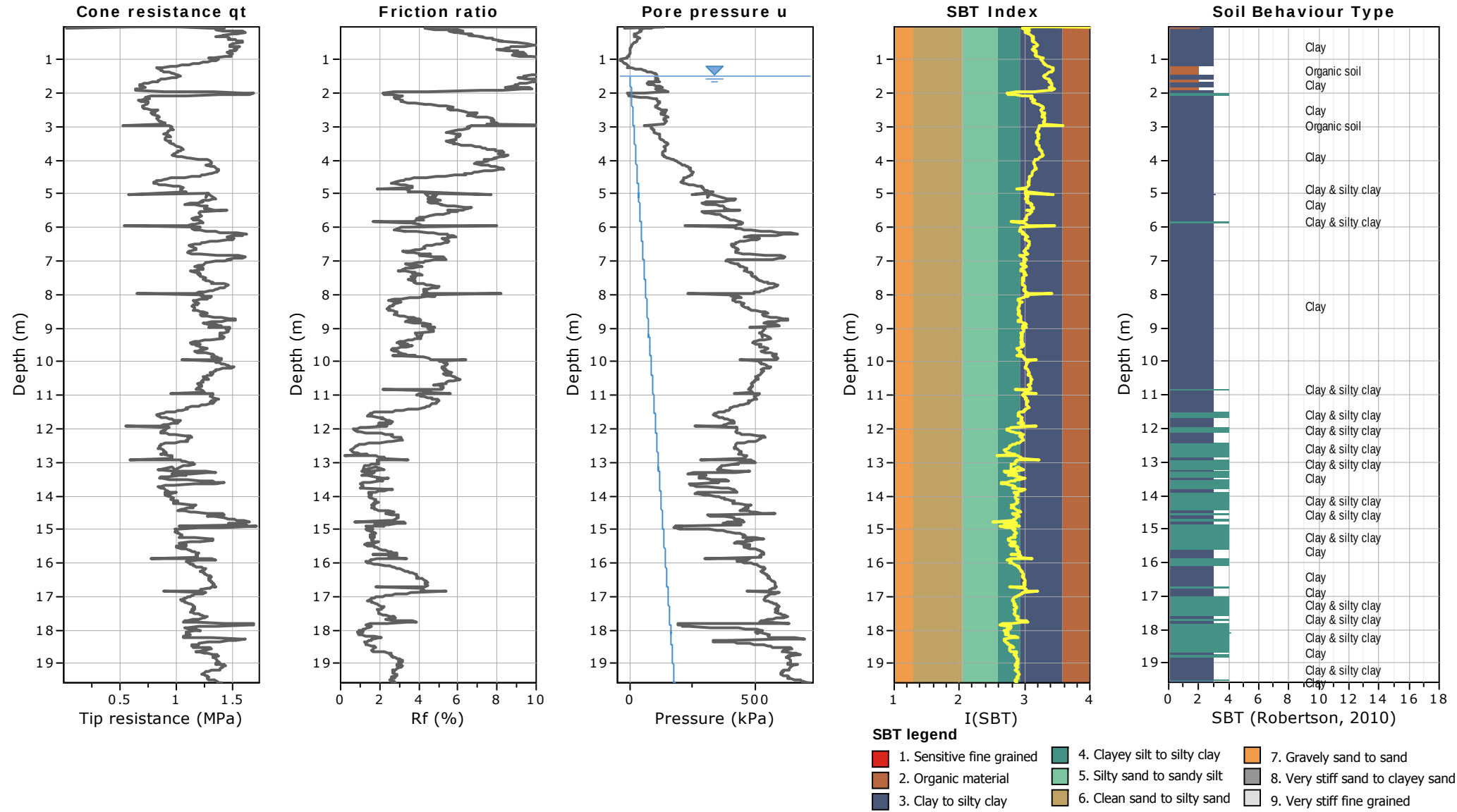


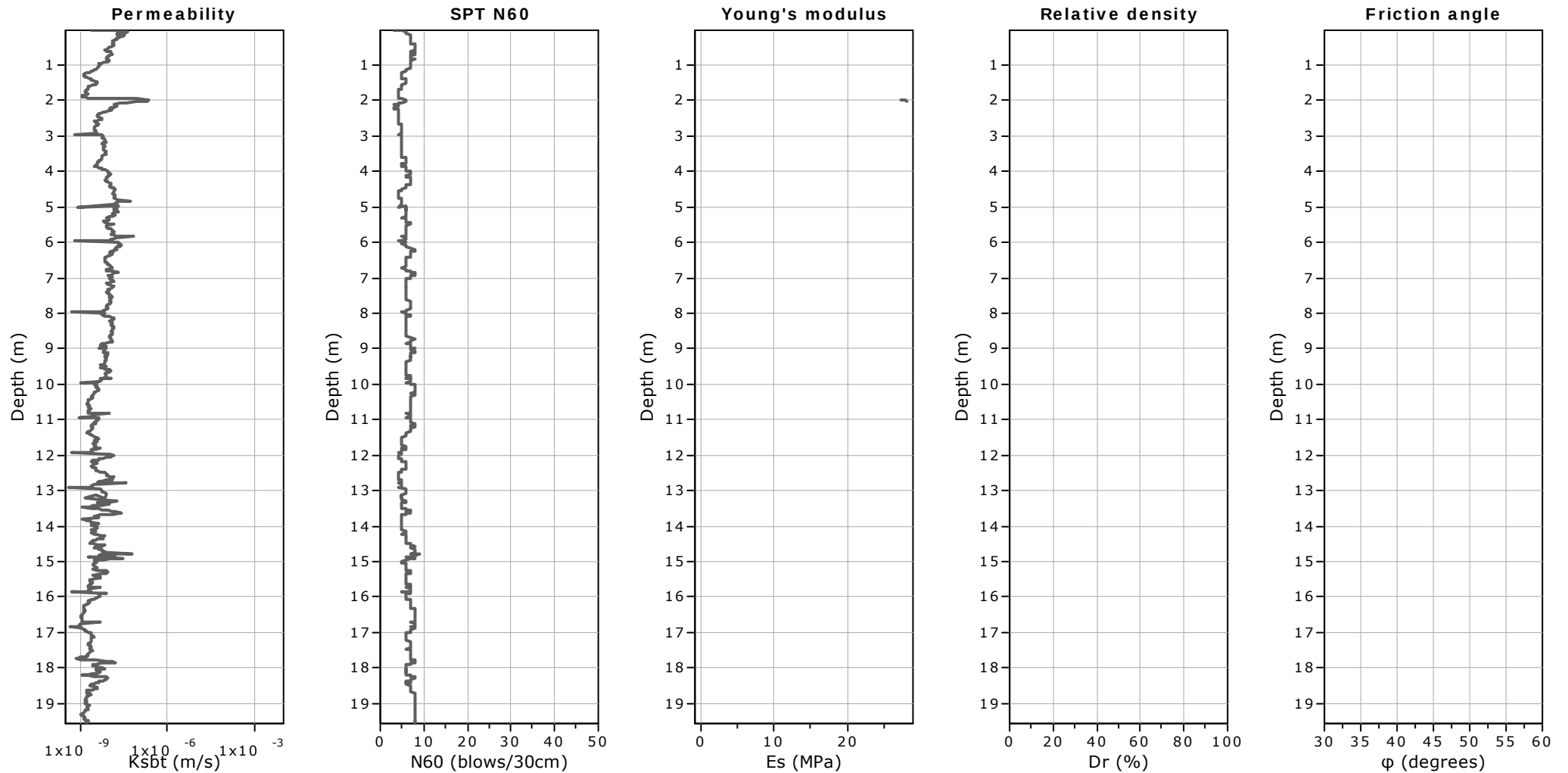
SBT - Bq plots



SBT 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 |





Calculation parameters

Permeability: Based on SBT_n

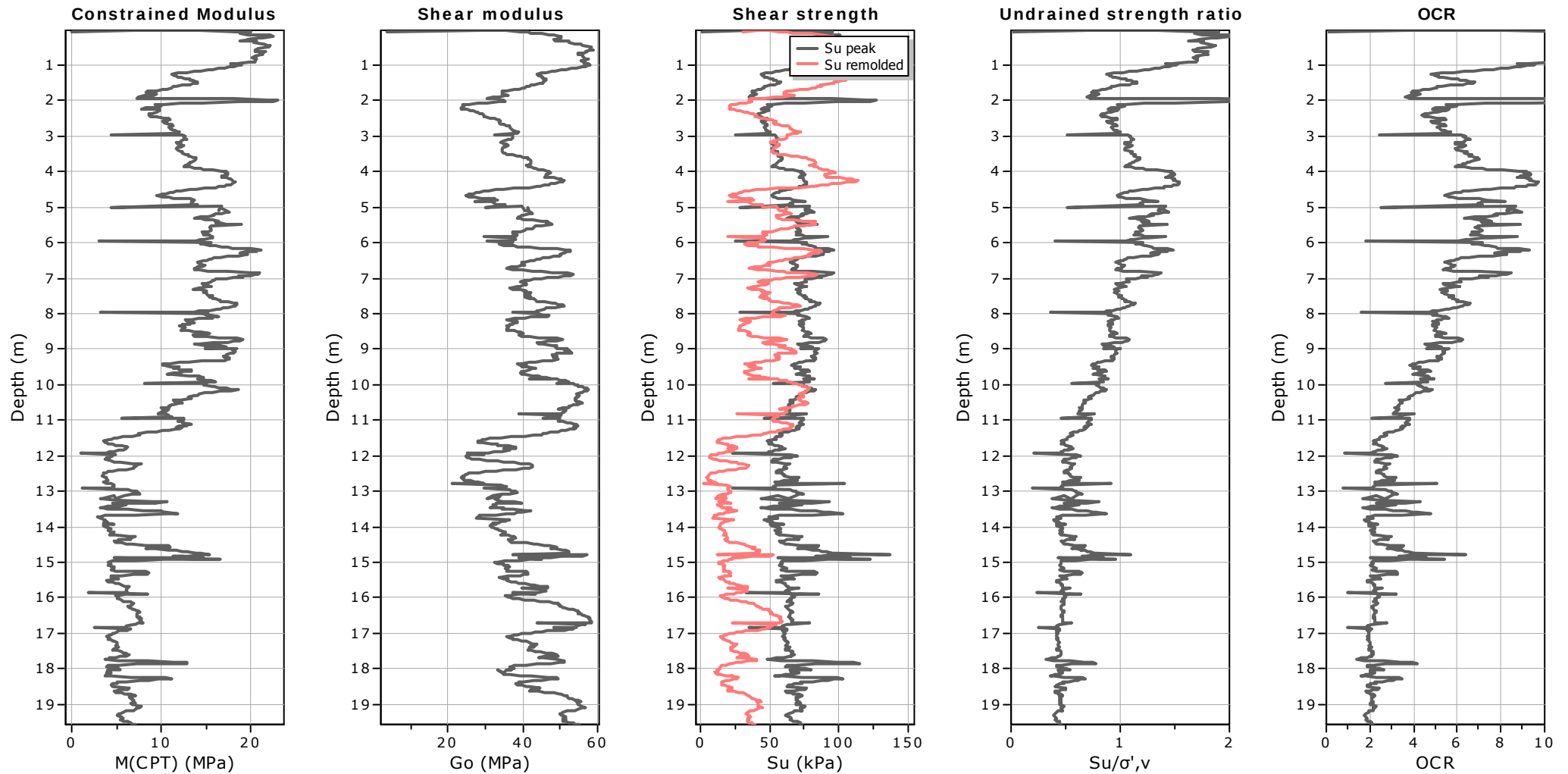
SPT N_{60} : Based on I_c and q_t

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

Relative density constant, C_{Dr} : 350.0

Phi: Based on Kulhawy & Mayne (1990)

● User defined estimation data



Calculation parameters

Constrained modulus: Based on variable α using I_c and Q_m (Robertson, 2009)

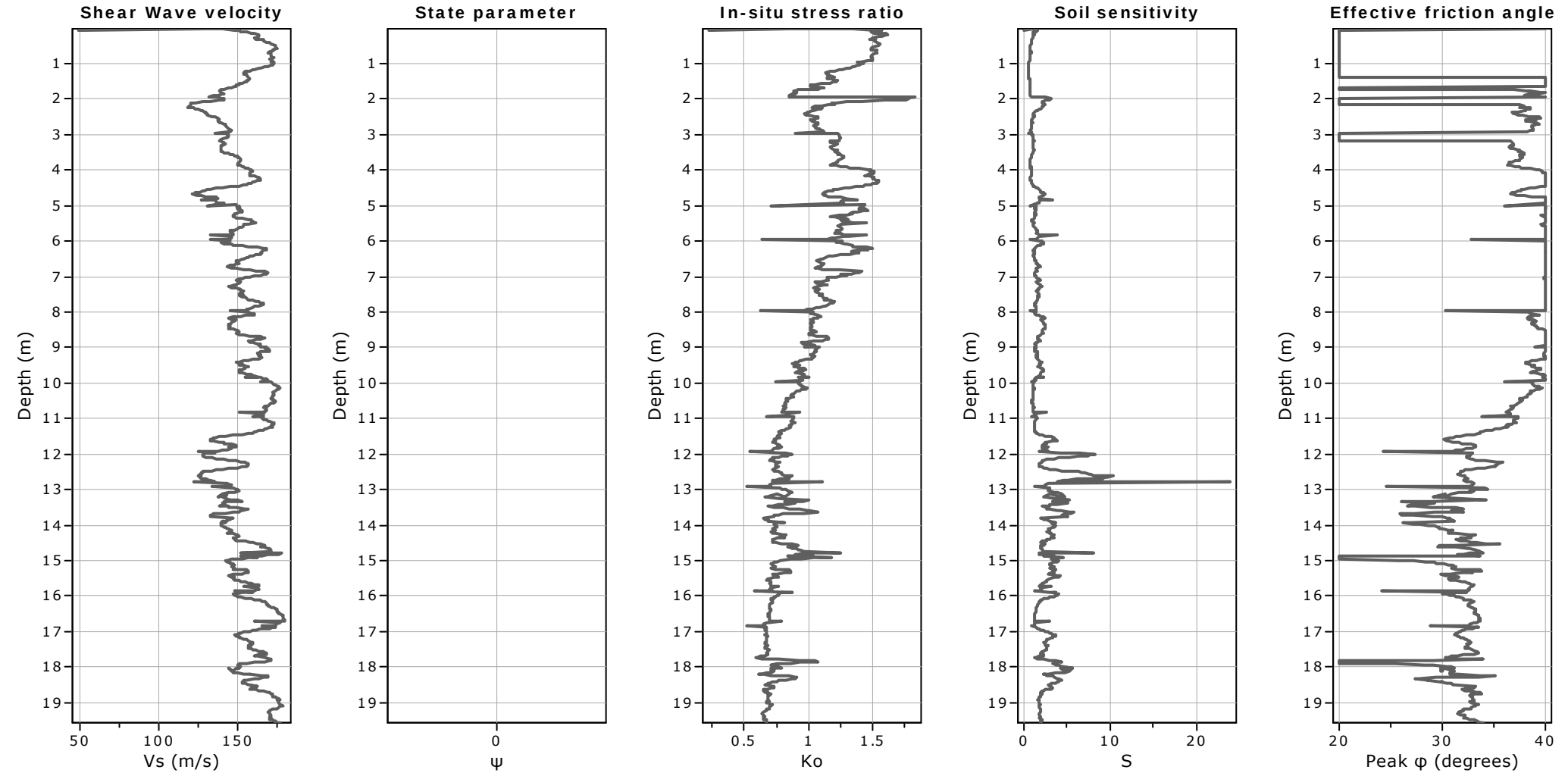
G_o : Based on variable α using I_c (Robertson, 2009)

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

OCR factor for clays, N_{kt} : Auto

● User defined estimation data

● Flat Dilatometer Test data



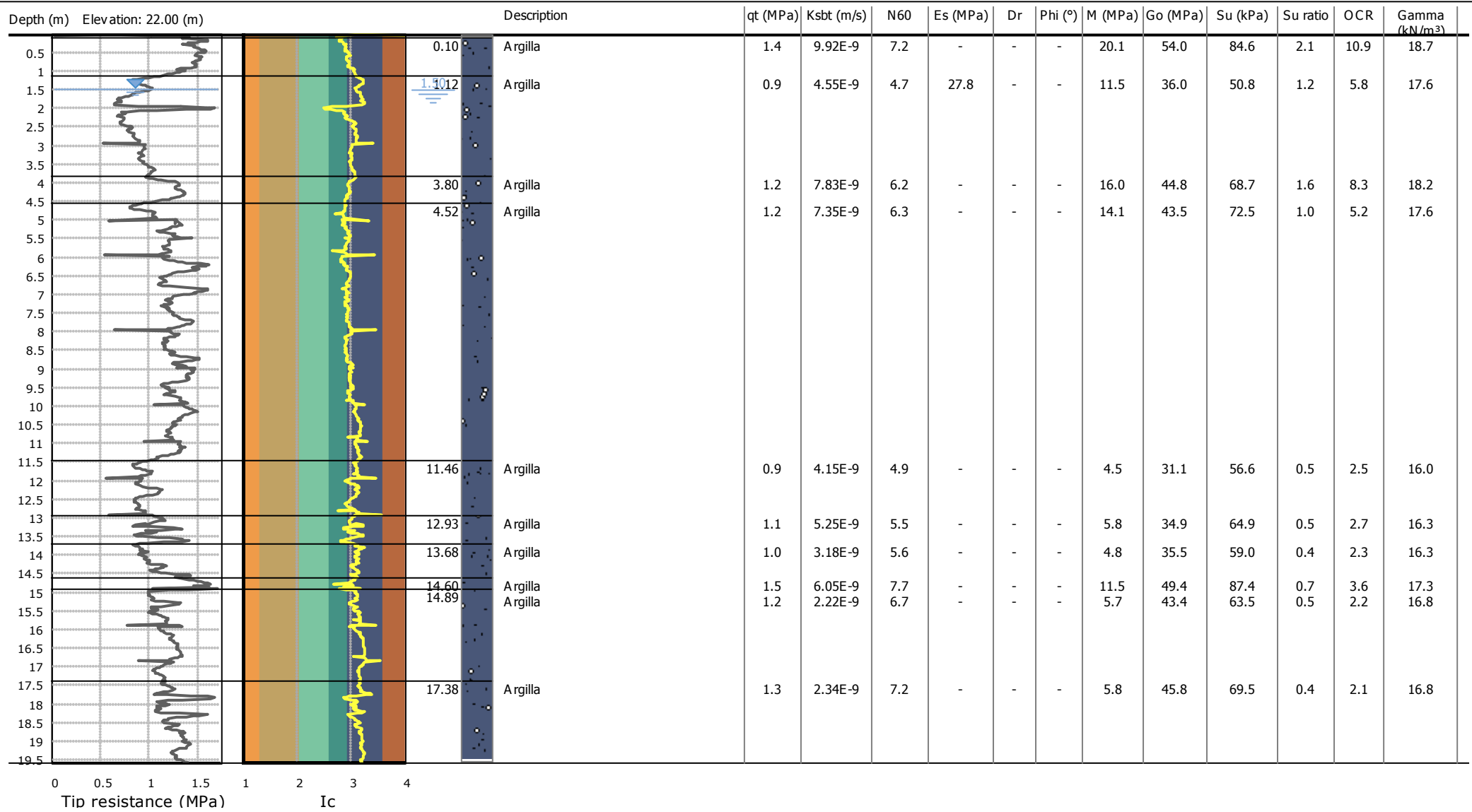
Calculation parameters

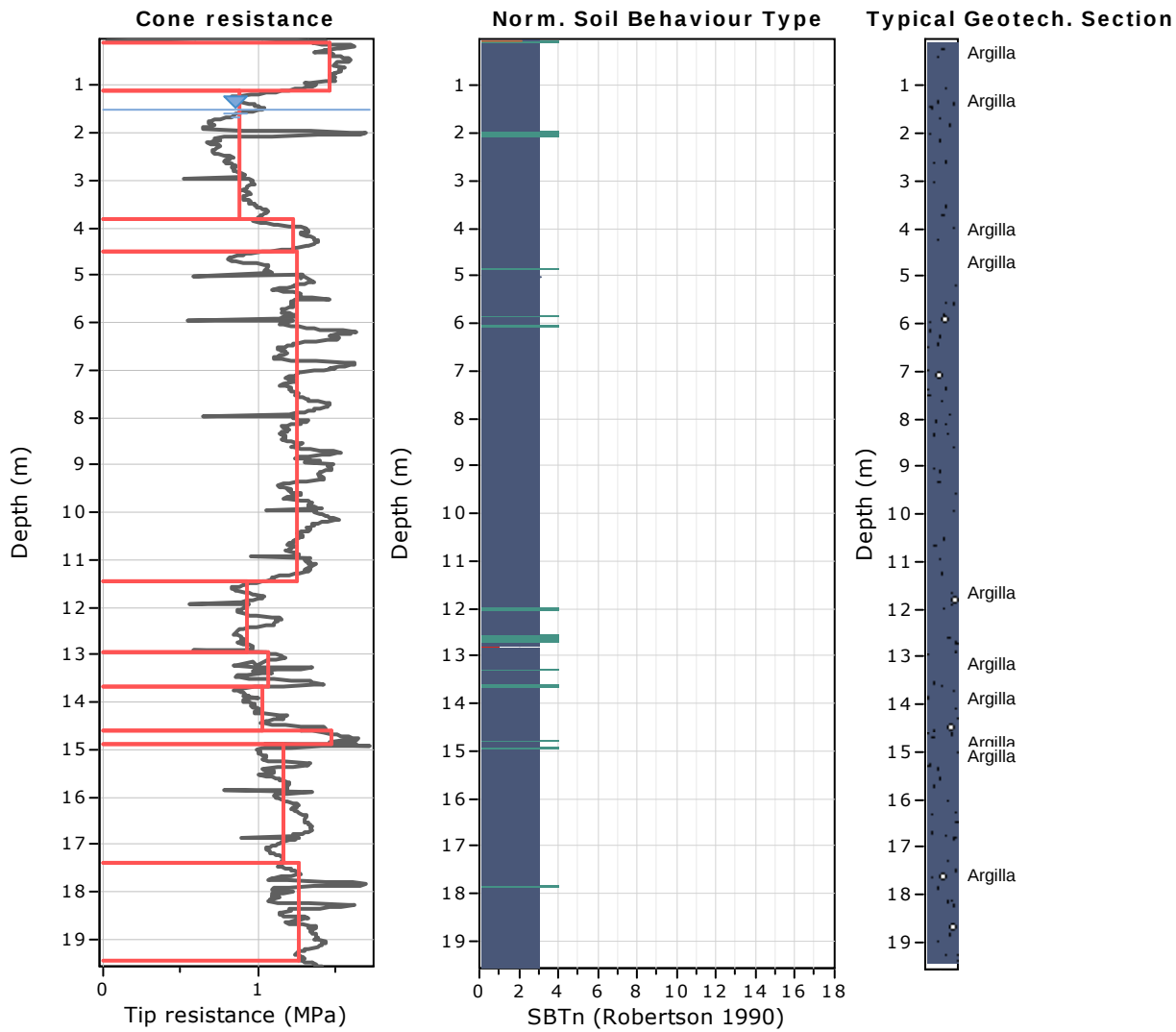
Soil Sensitivity factor, N_s : 7.10
—●— User defined estimation data

Dott. Geol. Valeriano Franchi
V.le Caduti in Guerra, 1
41121 Modena
valerianofranchi@tin.it

Project: Rotatoria
Location: Sala Bolognese

CPT: CPTu 2
Total depth: 19.57 m





Tabular results

::: Layer No: 1 :::

Code: 1 **Start depth:** 0.10 (m), **End depth:** 1.12 (m)

Description: Argilla

Basic results

Total cone resistance: 1.45 ± 0.10 MPa

Sleeve friction: 122.93 ± 21.06 kPa

SBT_n: 3

SBT_n description: Clay

Estimation results

Permeability: $9.92\text{E-}09 \pm 7.05\text{E-}09$ m/s

N₆₀: 7.21 ± 0.55 blows

Es: 0.00 ± 0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ± 0.00

ϕ (degrees): 0.00 ± 0.00 °

Unit weight: 18.67 ± 0.21 kN/m³

Constrained Mod.: 20.14 ± 1.50 MPa

Go: 53.98 ± 3.82 MPa

Su: 84.55 ± 8.26 kPa

Su ratio: 2.05 ± 0.15

O.C.R.: 10.91 ± 1.32

::: Layer No: 2 :::**Code: 2** **Start depth: 1.12 (m), End depth: 3.80 (m)****Description:** Argilla**Basic results**

Total cone resistance: 0.88 ±0.17 MPa

Sleeve friction: 58.62 ±24.90 kPa

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

Permeability: 4.55E-09 ±3.19E-08 m/s

N60: 4.75 ±0.76 blows

Es: 27.76 ±0.42 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.62 ±0.51 kN/m³

Constrained Mod.: 11.48 ±2.61 MPa

Go: 36.00 ±6.09 MPa

Su: 50.79 ±14.08 kPa

Su ratio: 1.19 ±0.25

O.C.R.: 5.77 ±2.19

::: Layer No: 3 :::**Code: 3** **Start depth: 3.80 (m), End depth: 4.52 (m)****Description:** Argilla**Basic results**

Total cone resistance: 1.22 ±0.13 MPa

Sleeve friction: 86.50 ±16.57 kPa

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

Permeability: 7.83E-09 ±3.15E-09 m/s

N60: 6.20 ±0.72 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 18.19 ±0.28 kN/m³

Constrained Mod.: 16.00 ±1.87 MPa

Go: 44.77 ±4.20 MPa

Su: 68.67 ±7.98 kPa

Su ratio: 1.62 ±0.20

O.C.R.: 8.35 ±1.21

::: Layer No: 4 :::**Code: 4** **Start depth: 4.52 (m), End depth: 11.46 (m)****Description:** Argilla**Basic results**

Total cone resistance: 1.24 ±0.16 MPa

Sleeve friction: 50.94 ±15.82 kPa

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

Permeability: 7.35E-09 ±6.47E-09 m/s

N60: 6.35 ±0.88 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.59 ±0.40 kN/m³

Constrained Mod.: 14.10 ±2.99 MPa

Go: 43.53 ±7.14 MPa

Su: 72.46 ±9.40 kPa

Su ratio: 1.02 ±0.24

O.C.R.: 5.24 ±1.56

::: Layer No: 5 :::**Code: 5** **Start depth: 11.46 (m), End depth: 12.93 (m)****Description:** Argilla**Basic results**

Total cone resistance: 0.92 ±0.10 MPa

Sleeve friction: 14.02 ±9.23 kPa

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

Permeability: 4.15E-09 ±4.98E-09 m/s

N60: 4.92 ±0.70 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 15.99 ±0.74 kN/m³

Constrained Mod.: 4.52 ±1.31 MPa

Go: 31.12 ±5.82 MPa

Su: 56.57 ±9.62 kPa

Su ratio: 0.46 ±0.07

O.C.R.: 2.47 ±0.50

:: Layer No: 6 ::**Code: 6** **Start depth: 12.93 (m), End depth: 13.68 (m)****Description:** Argilla**Basic results**

Total cone resistance: 1.06 ±0.18 MPa

Sleeve friction: 17.17 ±3.94 kPa

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

Permeability: 5.25E-09 ±6.20E-09 m/s

N60: 5.55 ±0.68 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.28 ±0.28 kN/m³

Constrained Mod.: 5.82 ±2.56 MPa

Go: 34.90 ±3.13 MPa

Su: 64.93 ±17.11 kPa

Su ratio: 0.50 ±0.11

O.C.R.: 2.71 ±0.88

:: Layer No: 7 ::**Code: 7** **Start depth: 13.68 (m), End depth: 14.60 (m)****Description:** Argilla**Basic results**

Total cone resistance: 1.02 ±0.14 MPa

Sleeve friction: 17.85 ±7.55 kPa

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

Permeability: 3.18E-09 ±1.32E-09 m/s

N60: 5.60 ±0.76 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.31 ±0.46 kN/m³

Constrained Mod.: 4.84 ±1.89 MPa

Go: 35.45 ±5.38 MPa

Su: 58.97 ±8.94 kPa

Su ratio: 0.45 ±0.07

O.C.R.: 2.28 ±0.41

:: Layer No: 8 ::**Code: 8** **Start depth: 14.60 (m), End depth: 14.89 (m)****Description:** Argilla**Basic results**

Total cone resistance: 1.46 ±0.16 MPa

Sleeve friction: 36.17 ±9.92 kPa

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

Permeability: 6.05E-09 ±1.45E-08 m/s

N60: 7.72 ±0.68 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.26 ±0.41 kN/m³

Constrained Mod.: 11.50 ±2.81 MPa

Go: 49.45 ±5.16 MPa

Su: 87.35 ±17.75 kPa

Su ratio: 0.68 ±0.09

O.C.R.: 3.57 ±0.94

:: Layer No: 9 ::**Code: 9** **Start depth: 14.89 (m), End depth: 17.38 (m)****Description:** Argilla**Basic results**

Total cone resistance: 1.16 ±0.12 MPa

Sleeve friction: 26.83 ±14.90 kPa

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

Permeability: 2.22E-09 ±2.92E-09 m/s

N60: 6.72 ±0.84 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.83 ±0.57 kN/m³

Constrained Mod.: 5.69 ±1.71 MPa

Go: 43.41 ±7.70 MPa

Su: 63.55 ±8.88 kPa

Su ratio: 0.46 ±0.07

O.C.R.: 2.19 ±0.45

.: Layer No: 10 .:

Code: 10 **Start depth:** 17.38 (m), **End depth:** 19.44 (m)**Description:** Argilla**Basic results**

Total cone resistance: 1.26 ±0.14 MPa

Sleeve friction: 25.75 ±10.05 kPa

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

Permeability: 2.34E-09 ±2.62E-09 m/s

N60: 7.19 ±0.77 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.81 ±0.48 kN/m³

Constrained Mod.: 5.81 ±1.84 MPa

Go: 45.84 ±6.27 MPa

Su: 69.46 ±11.46 kPa

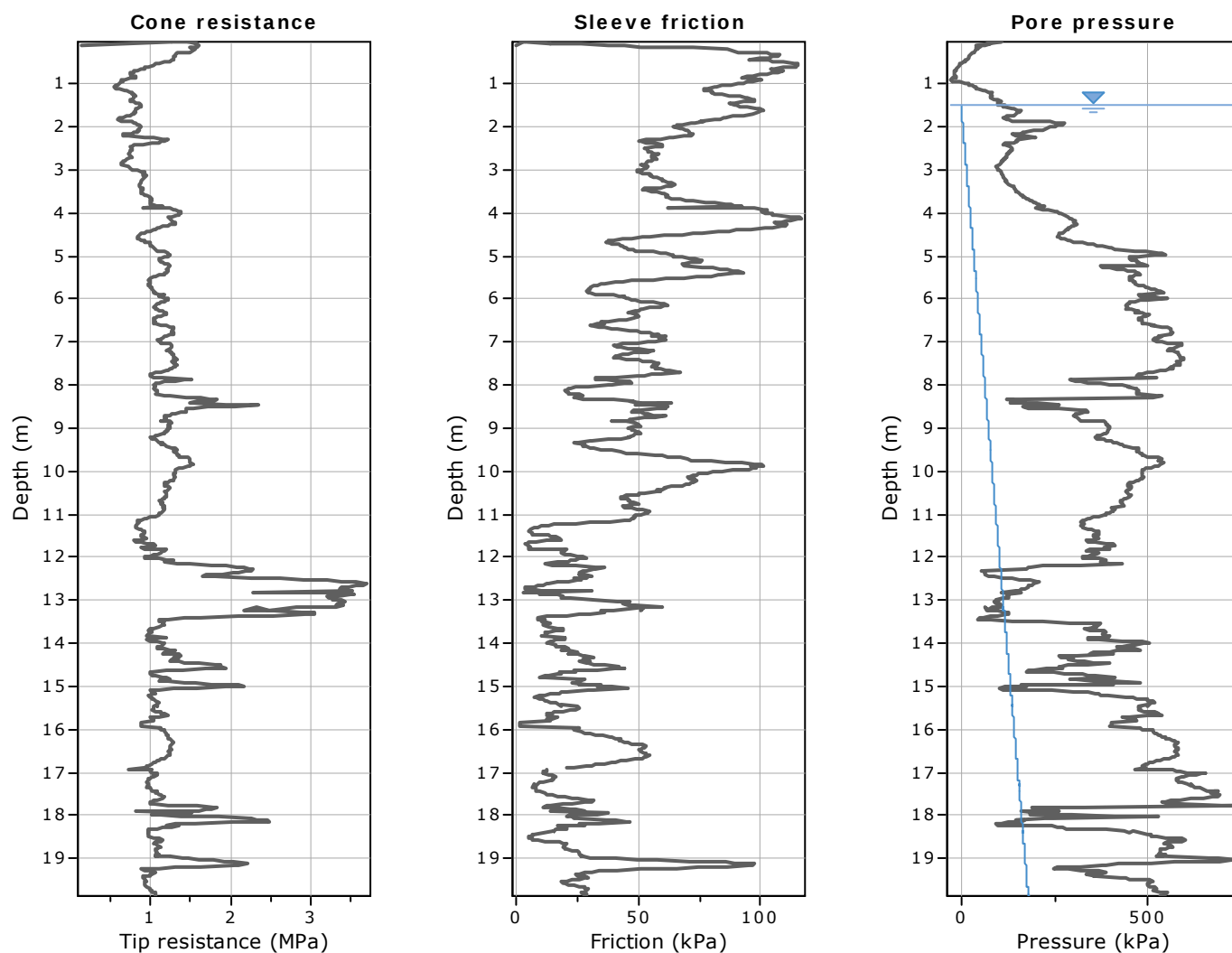
Su ratio: 0.44 ±0.06

O.C.R.: 2.13 ±0.47

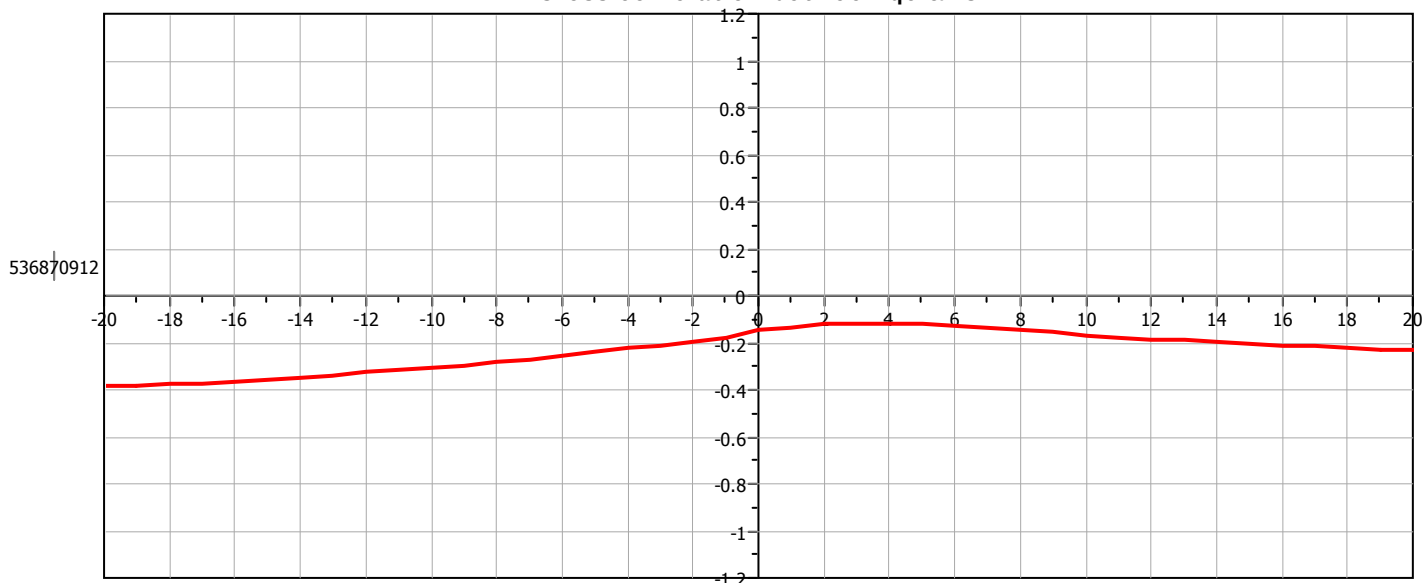
Summary table of mean values

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT _{N60} (blows/30cm)	E _s (MPa)	D _r	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G ₀ (MPa)	Undrained strength, S _u (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m ³)
0.10	1.02	9.92E-09	7.2	0.0	0.0	0.0	20.1	54.0	84.6	2.1	10.9	18.7
1.12		(±7.05E-09)	(±0.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.5)	(±3.8)	(±8.3)	(±0.2)	(±1.3)	(±0.2)
1.12	2.68	4.55E-09	4.7	27.8	0.0	0.0	11.5	36.0	50.8	1.2	5.8	17.6
3.80		(±3.19E-08)	(±0.8)	(±0.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±2.6)	(±6.1)	(±14.1)	(±0.2)	(±2.2)	(±0.5)
3.80	0.72	7.83E-09	6.2	0.0	0.0	0.0	16.0	44.8	68.7	1.6	8.3	18.2
4.52		(±3.15E-09)	(±0.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.9)	(±4.2)	(±8.0)	(±0.2)	(±1.2)	(±0.3)
4.52	6.94	7.35E-09	6.3	0.0	0.0	0.0	14.1	43.5	72.5	1.0	5.2	17.6
11.46		(±6.47E-09)	(±0.9)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±3.0)	(±7.1)	(±9.4)	(±0.2)	(±1.6)	(±0.4)
11.46	1.47	4.15E-09	4.9	0.0	0.0	0.0	4.5	31.1	56.6	0.5	2.5	16.0
12.93		(±4.98E-09)	(±0.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.3)	(±5.8)	(±9.6)	(±0.1)	(±0.5)	(±0.7)
12.93	0.75	5.25E-09	5.5	0.0	0.0	0.0	5.8	34.9	64.9	0.5	2.7	16.3
13.68		(±6.20E-09)	(±0.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±2.6)	(±3.1)	(±17.1)	(±0.1)	(±0.9)	(±0.3)
13.68	0.92	3.18E-09	5.6	0.0	0.0	0.0	4.8	35.5	59.0	0.4	2.3	16.3
14.60		(±1.32E-09)	(±0.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.9)	(±5.4)	(±8.9)	(±0.1)	(±0.4)	(±0.5)
14.60	0.29	6.05E-09	7.7	0.0	0.0	0.0	11.5	49.4	87.4	0.7	3.6	17.3
14.89		(±1.45E-08)	(±0.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±2.8)	(±5.2)	(±17.8)	(±0.1)	(±0.9)	(±0.4)
14.89	2.49	2.22E-09	6.7	0.0	0.0	0.0	5.7	43.4	63.5	0.5	2.2	16.8
17.38		(±2.92E-09)	(±0.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.7)	(±7.7)	(±8.9)	(±0.1)	(±0.5)	(±0.6)
17.38	2.06	2.34E-09	7.2	0.0	0.0	0.0	5.8	45.8	69.5	0.4	2.1	16.8
19.44		(±2.62E-09)	(±0.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.8)	(±6.3)	(±11.5)	(±0.1)	(±0.5)	(±0.5)

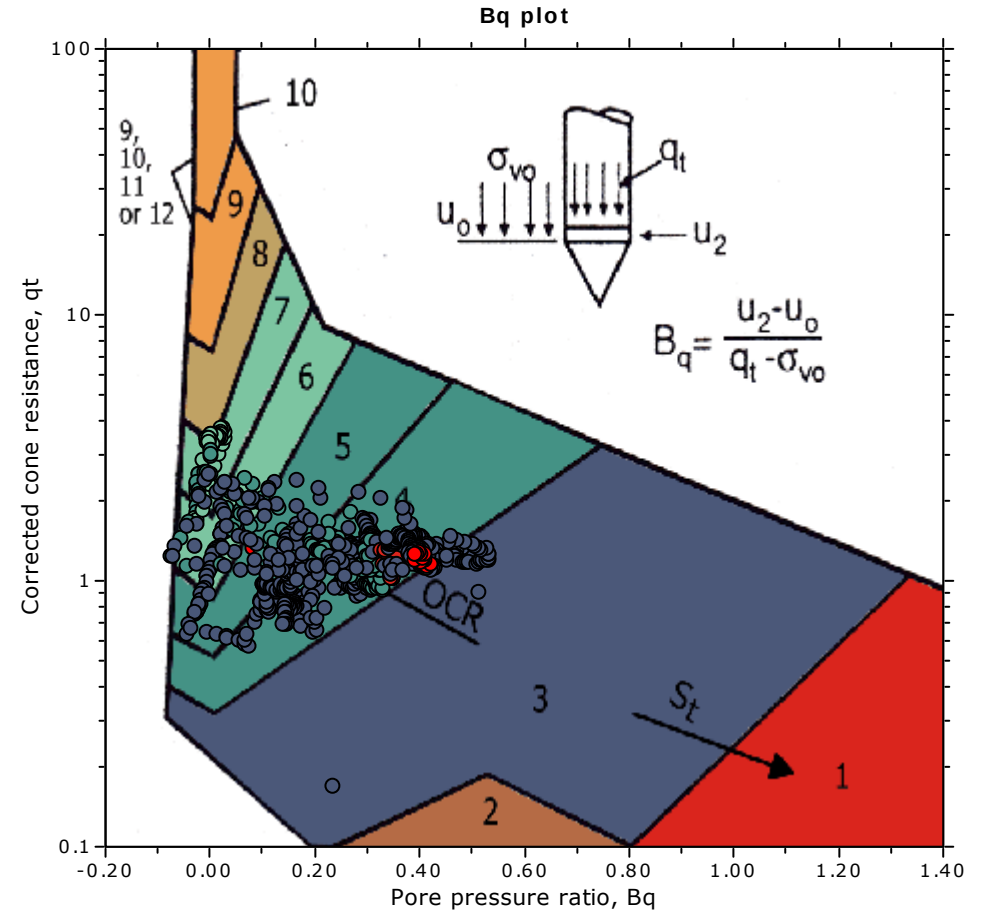
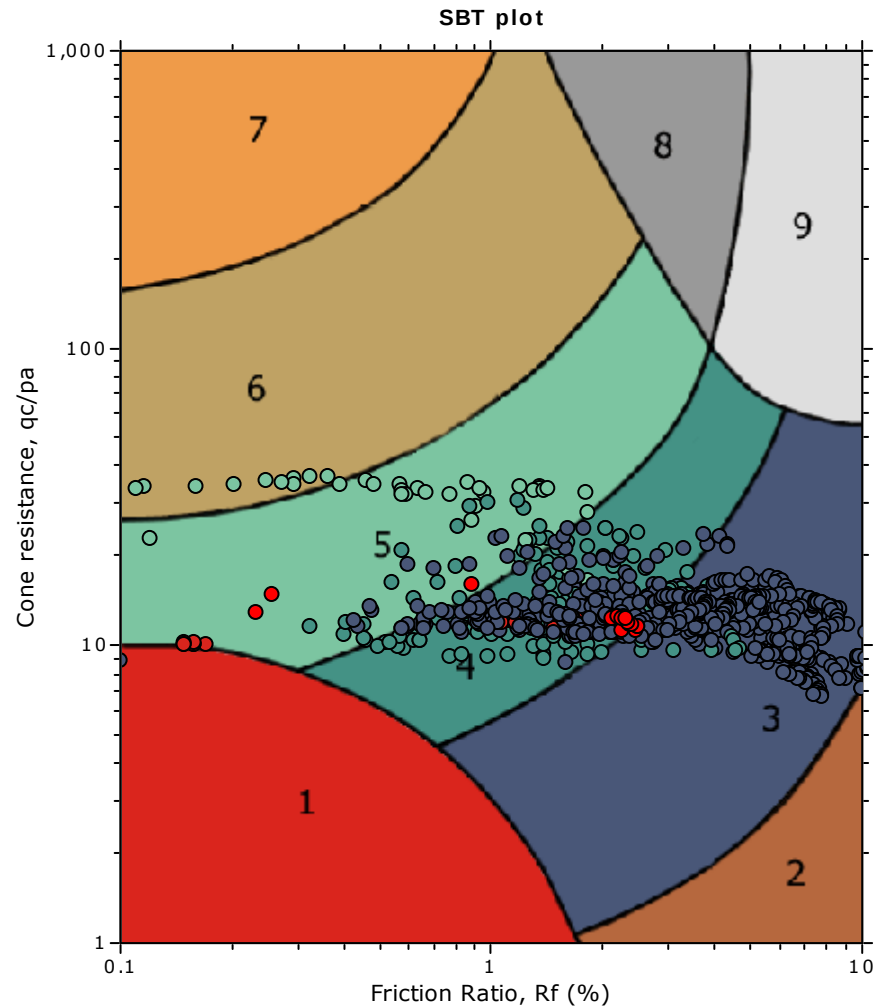
Depth values presented in this table are measured from free ground surface



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

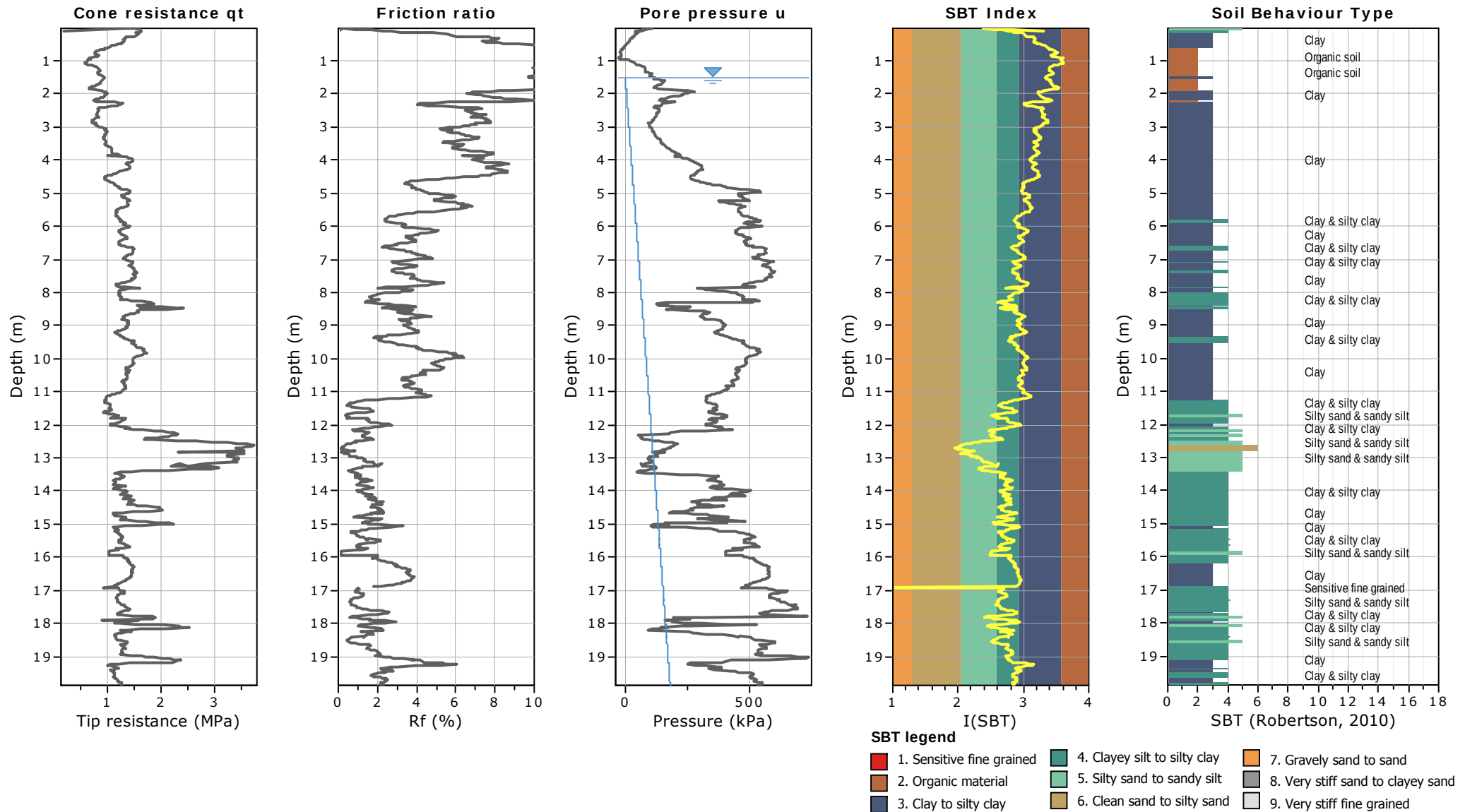
Cross correlation between q_c & f_s 

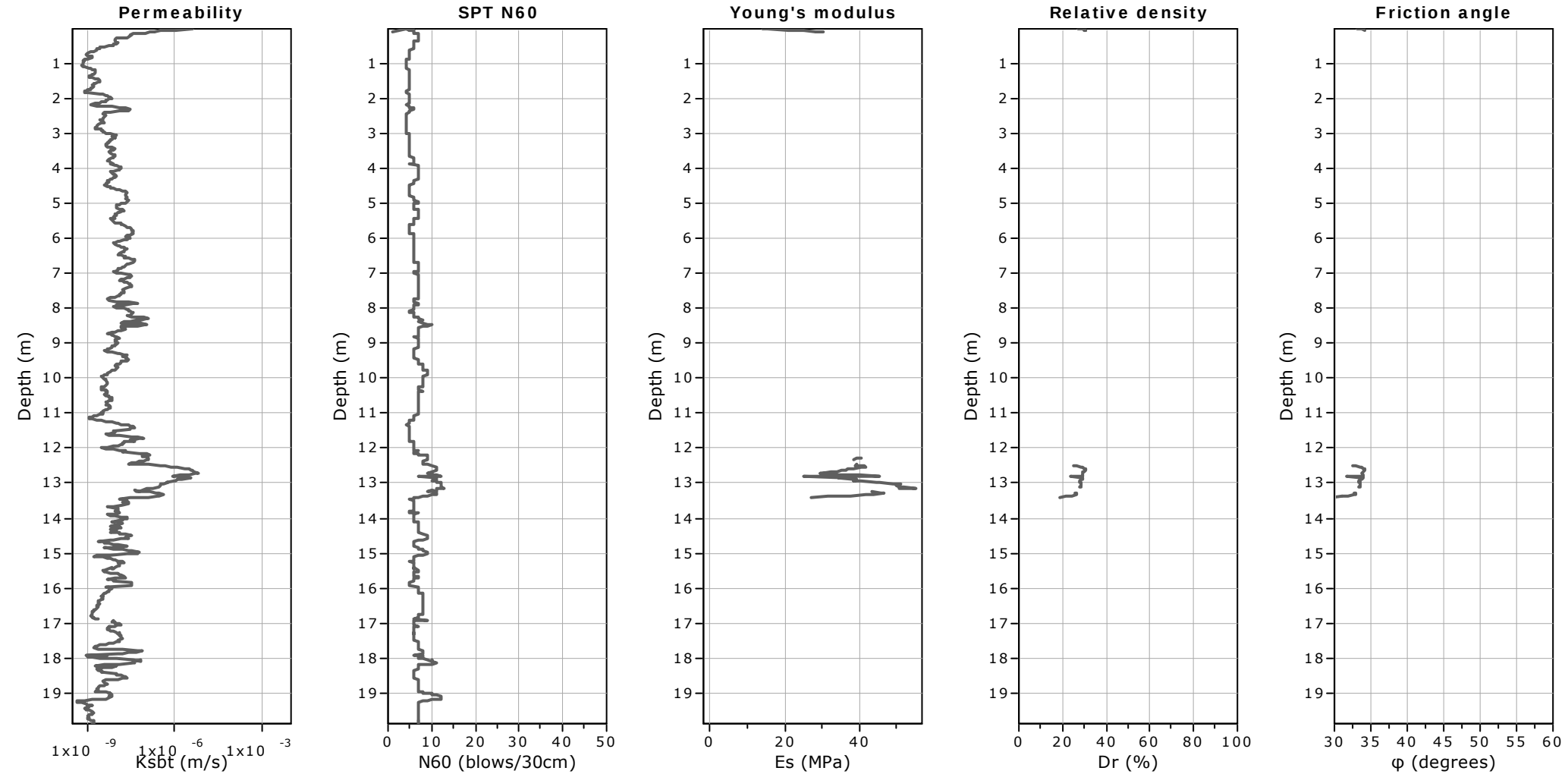
SBT - Bq plots



SBT legend

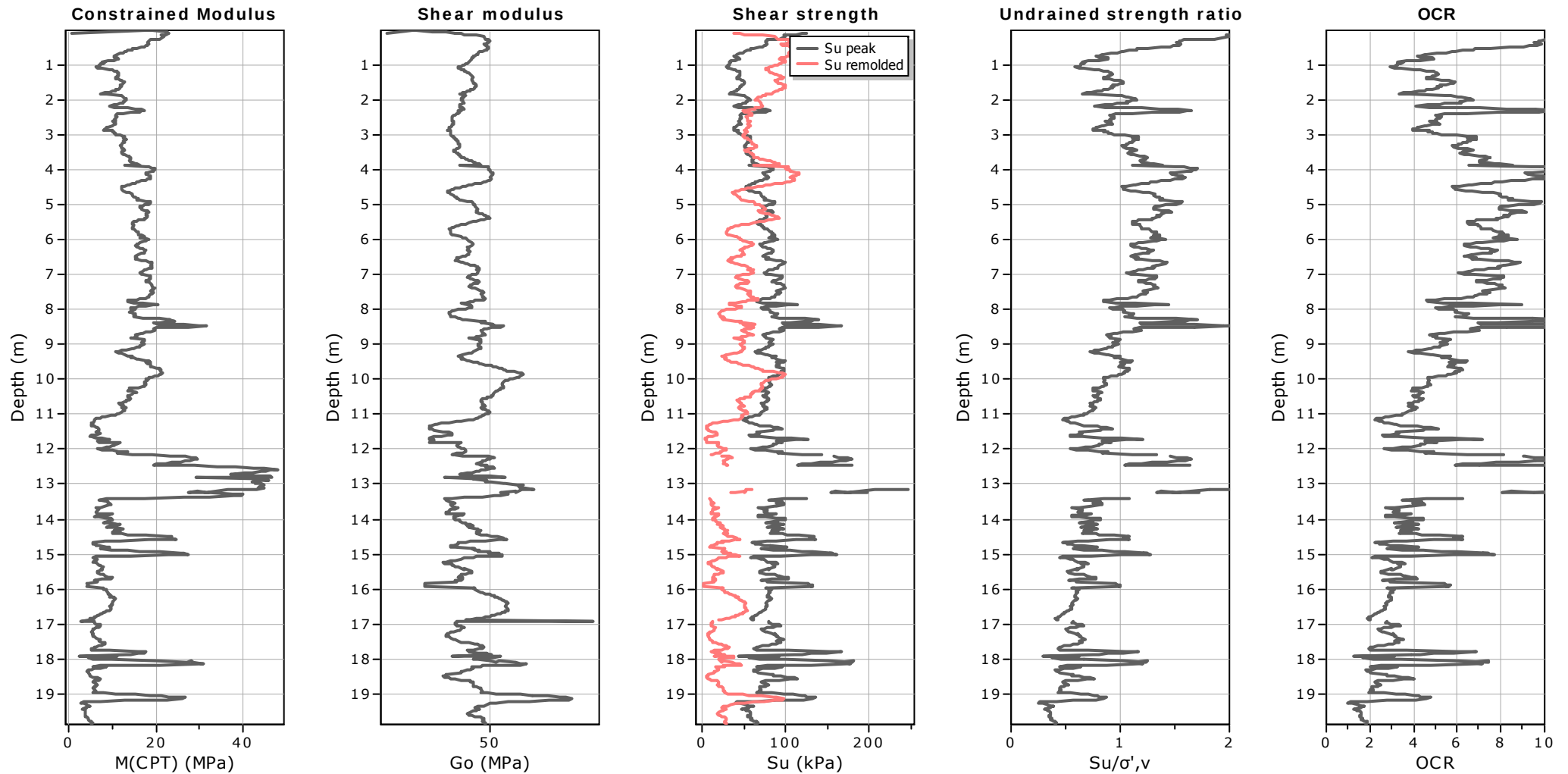
- | | | |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty clay | 7. Gravely sand to sand |
| 2. Organic material | 5. Silty sand to sandy silt | 8. Very stiff sand to clayey sand |
| 3. Clay to silty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





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)
User defined estimation data



Calculation parameters

Constrained modulus: Based on variable α using I_c and Q_m (Robertson, 2009)

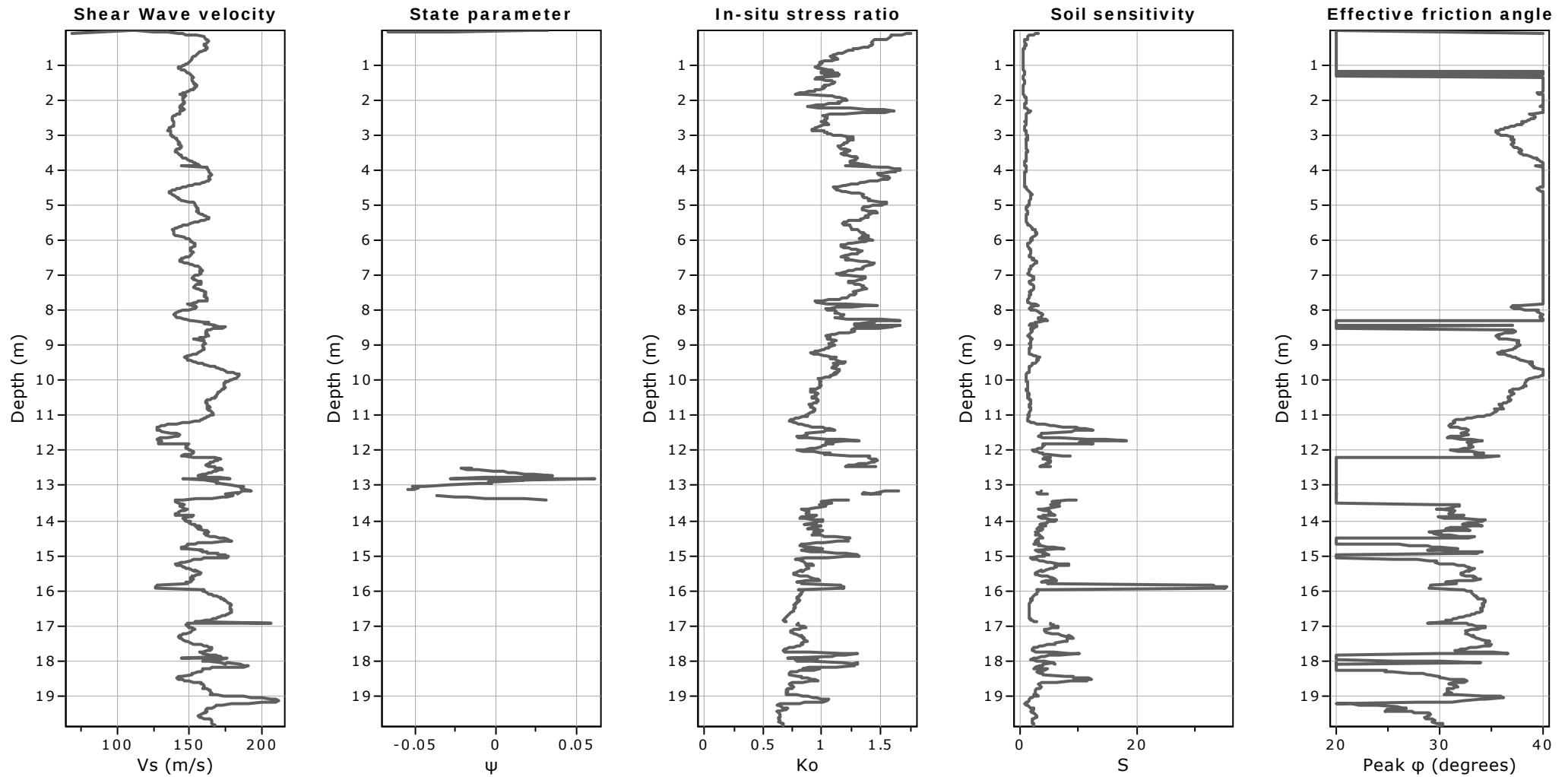
G_o : Based on variable α using I_c (Robertson, 2009)

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

OCR factor for clays, N_{kt} : Auto

● User defined estimation data

● Flat Dilatometer Test data



Calculation parameters

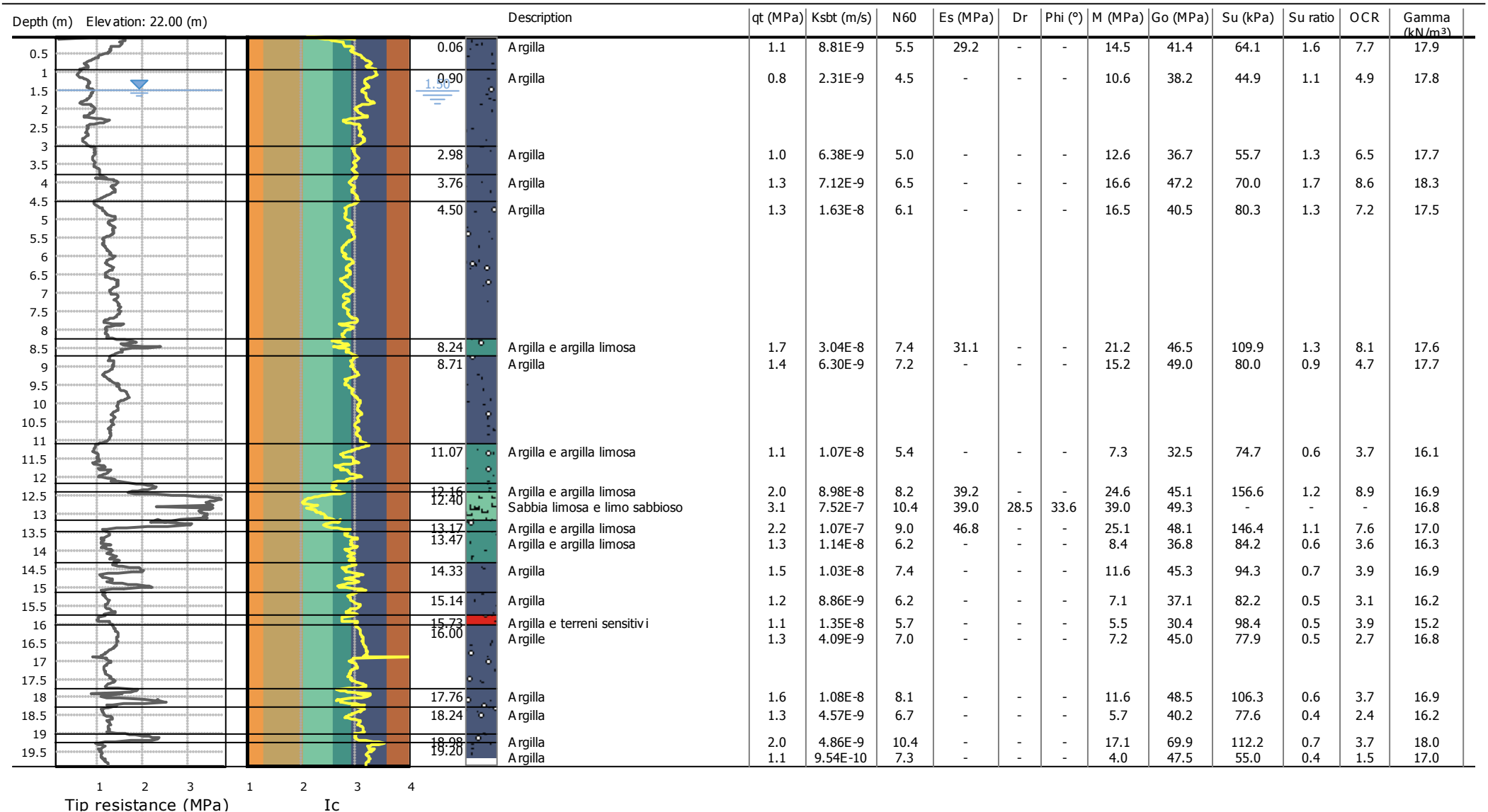
Soil Sensitivity factor, N_s : 7.10

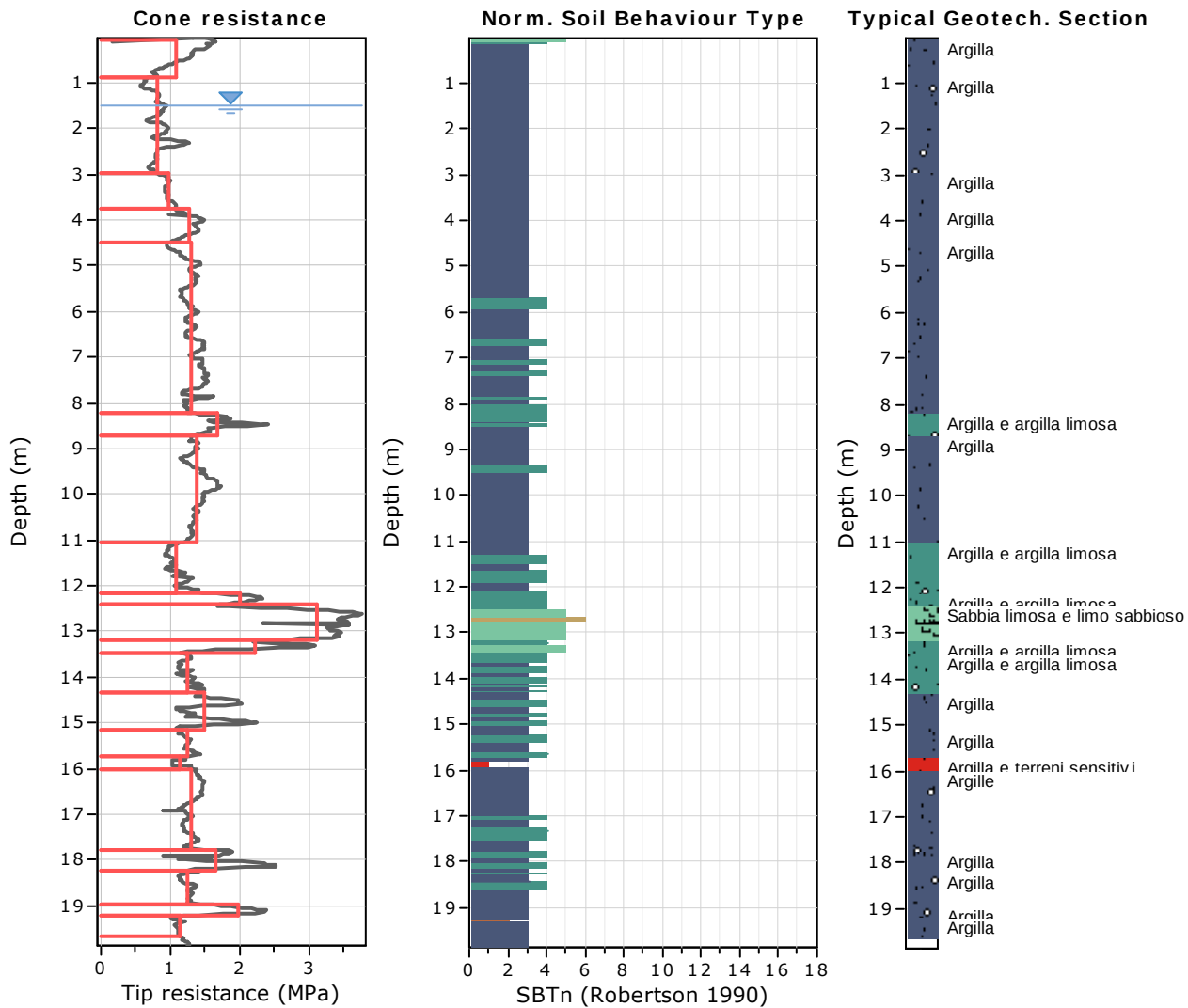
—●— User defined estimation data

Dott. Geol. Valeriano Franchi
V.le Caduti in Guerra, 1
41121 Modena
valerianofranchi@tin.it

Project: Rotatoria
Location: Sala Bolognese

CPT: CPTu 3
Total depth: 19.87 m





Tabular results

::: Layer No: 1 :::

Code: 1 **Start depth:** 0.06 (m), **End depth:** 0.90 (m)

Description: Argilla

Basic results

Total cone resistance: 1.09 ± 0.35 MPa

Sleeve friction: 64.43 ± 40.14 kPa

SBT_n: 3

SBT_n description: Clay

Estimation results

Permeability: $8.81E-09 \pm 7.58E-07$ m/s

N₆₀: 5.49 ± 1.15 blows

E_s: 29.23 ± 1.22 MPa

Dr (%): 0.00 ± 0.00

φ (degrees): 0.00 ± 0.00 °

Unit weight: 17.93 ± 1.07 kN/m³

Constrained Mod.: 14.55 ± 5.08 MPa

G_o: 41.43 ± 9.43 MPa

S_u: 64.09 ± 24.64 kPa

Su ratio: 1.56 ± 0.44

O.C.R.: 7.72 ± 3.86

::: Layer No: 2 :::**Code: 2** **Start depth: 0.90 (m), End depth: 2.98 (m)****Description:** Argilla**Basic results**

Total cone resistance: 0.81 ±0.14 MPa

Sleeve friction: 72.14 ±16.93 kPa

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

Permeability: 2.31E-09 ±5.52E-09 m/s

N60: 4.53 ±0.55 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.83 ±0.26 kN/m³

Constrained Mod.: 10.55 ±2.24 MPa

Go: 38.20 ±3.43 MPa

Su: 44.89 ±10.33 kPa

Su ratio: 1.11 ±0.20

O.C.R.: 4.94 ±1.48

::: Layer No: 3 :::**Code: 3** **Start depth: 2.98 (m), End depth: 3.76 (m)****Description:** Argilla**Basic results**

Total cone resistance: 0.96 ±0.06 MPa

Sleeve friction: 59.38 ±7.25 kPa

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

Permeability: 6.38E-09 ±1.62E-09 m/s

N60: 5.04 ±0.39 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.67 ±0.15 kN/m³

Constrained Mod.: 12.64 ±0.85 MPa

Go: 36.70 ±2.00 MPa

Su: 55.65 ±3.87 kPa

Su ratio: 1.29 ±0.09

O.C.R.: 6.47 ±0.56

::: Layer No: 4 :::**Code: 4** **Start depth: 3.76 (m), End depth: 4.50 (m)****Description:** Argilla**Basic results**

Total cone resistance: 1.26 ±0.16 MPa

Sleeve friction: 97.49 ±13.97 kPa

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

Permeability: 7.12E-09 ±2.79E-09 m/s

N60: 6.47 ±0.65 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 18.34 ±0.22 kN/m³

Constrained Mod.: 16.58 ±2.23 MPa

Go: 47.18 ±3.93 MPa

Su: 70.03 ±9.64 kPa

Su ratio: 1.69 ±0.23

O.C.R.: 8.59 ±1.51

::: Layer No: 5 :::**Code: 5** **Start depth: 4.50 (m), End depth: 8.24 (m)****Description:** Argilla**Basic results**

Total cone resistance: 1.29 ±0.14 MPa

Sleeve friction: 47.73 ±15.55 kPa

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

Permeability: 1.63E-08 ±9.82E-09 m/s

N60: 6.15 ±0.70 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.53 ±0.38 kN/m³

Constrained Mod.: 16.48 ±1.87 MPa

Go: 40.52 ±4.62 MPa

Su: 80.28 ±10.58 kPa

Su ratio: 1.28 ±0.17

O.C.R.: 7.24 ±1.07

::: Layer No: 6 :::**Code: 6** **Start depth: 8.24 (m), End depth: 8.71 (m)****Description:** Argilla e argilla limosa**Basic results**

Total cone resistance: 1.67 ±0.29 MPa

Sleeve friction: 45.60 ±12.91 kPa

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

Permeability: 3.04E-08 ±3.91E-08 m/s

N60: 7.41 ±0.93 blows

Es: 31.06 ±31.06 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.58 ±0.38 kN/m³

Constrained Mod.: 21.24 ±4.04 MPa

Go: 46.50 ±5.37 MPa

Su: 109.87 ±25.33 kPa

Su ratio: 1.31 ±0.24

O.C.R.: 8.08 ±2.34

::: Layer No: 7 :::**Code: 7** **Start depth: 8.71 (m), End depth: 11.07 (m)****Description:** Argilla**Basic results**

Total cone resistance: 1.38 ±0.13 MPa

Sleeve friction: 53.66 ±17.79 kPa

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

Permeability: 6.30E-09 ±5.17E-09 m/s

N60: 7.17 ±0.77 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.69 ±0.38 kN/m³

Constrained Mod.: 15.23 ±3.04 MPa

Go: 48.96 ±6.43 MPa

Su: 79.96 ±8.74 kPa

Su ratio: 0.93 ±0.12

O.C.R.: 4.70 ±0.81

::: Layer No: 8 :::**Code: 8** **Start depth: 11.07 (m), End depth: 12.16 (m)****Description:** Argilla e argilla limosa**Basic results**

Total cone resistance: 1.08 ±0.14 MPa

Sleeve friction: 14.15 ±12.95 kPa

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

Permeability: 1.07E-08 ±2.10E-08 m/s

N60: 5.39 ±0.60 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.07 ±0.84 kN/m³

Constrained Mod.: 7.30 ±2.30 MPa

Go: 32.49 ±6.65 MPa

Su: 74.73 ±19.44 kPa

Su ratio: 0.59 ±0.08

O.C.R.: 3.67 ±1.19

::: Layer No: 9 :::**Code: 9** **Start depth: 12.16 (m), End depth: 12.40 (m)****Description:** Argilla e argilla limosa**Basic results**

Total cone resistance: 2.01 ±0.26 MPa

Sleeve friction: 24.31 ±7.71 kPa

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

Permeability: 8.98E-08 ±2.74E-08 m/s

N60: 8.16 ±0.98 blows

Es: 39.17 ±0.99 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.93 ±0.46 kN/m³

Constrained Mod.: 24.63 ±4.32 MPa

Go: 45.12 ±5.71 MPa

Su: 156.62 ±18.59 kPa

Su ratio: 1.18 ±0.17

O.C.R.: 8.90 ±1.32

:: Layer No: 10 ::**Code: 10** **Start depth: 12.40 (m), End depth: 13.17 (m)****Description:** Sabbia limosa e limo sabbioso**Basic results**

Total cone resistance: 3.11 ±0.59 MPa

Sleeve friction: 19.42 ±15.73 kPa

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

Permeability: 7.52E-07 ±2.07E-06 m/s

N60: 10.36 ±1.40 blows

Es: 39.01 ±6.92 MPa

Dr (%): 28.54 ±1.42

φ (degrees): 33.60 ±0.50 °

Unit weight: 16.83 ±0.87 kN/m³

Constrained Mod.: 39.01 ±7.83 MPa

Go: 49.32 ±8.81 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

:: Layer No: 11 ::**Code: 11** **Start depth: 13.17 (m), End depth: 13.47 (m)****Description:** Argilla e argilla limosa**Basic results**

Total cone resistance: 2.22 ±0.65 MPa

Sleeve friction: 24.86 ±17.47 kPa

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

Permeability: 1.07E-07 ±1.46E-07 m/s

N60: 8.96 ±1.99 blows

Es: 46.81 ±5.10 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.99 ±0.89 kN/m³

Constrained Mod.: 25.07 ±11.41 MPa

Go: 48.15 ±11.85 MPa

Su: 146.42 ±44.03 kPa

Su ratio: 1.07 ±0.41

O.C.R.: 7.57 ±2.93

:: Layer No: 12 ::**Code: 12** **Start depth: 13.47 (m), End depth: 14.33 (m)****Description:** Argilla e argilla limosa**Basic results**

Total cone resistance: 1.25 ±0.11 MPa

Sleeve friction: 16.40 ±5.40 kPa

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

Permeability: 1.14E-08 ±5.81E-09 m/s

N60: 6.18 ±0.55 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.29 ±0.37 kN/m³

Constrained Mod.: 8.38 ±1.80 MPa

Go: 36.85 ±3.95 MPa

Su: 84.18 ±9.83 kPa

Su ratio: 0.59 ±0.06

O.C.R.: 3.60 ±0.52

:: Layer No: 13 ::**Code: 13** **Start depth: 14.33 (m), End depth: 15.14 (m)****Description:** Argilla**Basic results**

Total cone resistance: 1.48 ±0.35 MPa

Sleeve friction: 26.83 ±9.47 kPa

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

Permeability: 1.03E-08 ±1.48E-08 m/s

N60: 7.37 ±1.16 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.92 ±0.49 kN/m³

Constrained Mod.: 11.60 ±7.50 MPa

Go: 45.31 ±6.94 MPa

Su: 94.34 ±29.66 kPa

Su ratio: 0.69 ±0.20

O.C.R.: 3.92 ±1.61

::: Layer No: 14 :::**Code: 15** **Start depth: 15.14 (m), End depth: 15.73 (m)****Description:** Argilla**Basic results**

Total cone resistance: 1.24 ±0.07 MPa

Sleeve friction: 14.95 ±5.27 kPa

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

Permeability: 8.86E-09 ±5.05E-09 m/s

N60: 6.15 ±0.46 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.18 ±0.39 kN/m³

Constrained Mod.: 7.14 ±1.04 MPa

Go: 37.10 ±3.41 MPa

Su: 82.25 ±9.80 kPa

Su ratio: 0.53 ±0.04

O.C.R.: 3.15 ±0.46

::: Layer No: 15 :::**Code: 16** **Start depth: 15.73 (m), End depth: 16.00 (m)****Description:** Argilla e terreni sensitivi**Basic results**

Total cone resistance: 1.13 ±0.12 MPa

Sleeve friction: 5.83 ±10.85 kPa

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

Permeability: 1.35E-08 ±1.49E-08 m/s

N60: 5.68 ±0.80 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 15.16 ±1.40 kN/m³

Constrained Mod.: 5.48 ±1.50 MPa

Go: 30.37 ±9.09 MPa

Su: 98.38 ±27.29 kPa

Su ratio: 0.46 ±0.06

O.C.R.: 3.86 ±1.37

::: Layer No: 16 :::**Code: 17** **Start depth: 16.00 (m), End depth: 17.76 (m)****Description:** Argille**Basic results**

Total cone resistance: 1.30 ±0.12 MPa

Sleeve friction: NAN ±NAN kPa

SBT_n: 1SBT_n description: Sensitive fine grained**Estimation results**

Permeability: 4.09E-09 ±4.31E-09 m/s

N60: 6.99 ±0.85 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.81 ±0.93 kN/m³

Constrained Mod.: 7.19 ±1.87 MPa

Go: 45.00 ±10.06 MPa

Su: 77.87 ±9.68 kPa

Su ratio: 0.51 ±0.07

O.C.R.: 2.69 ±0.41

::: Layer No: 17 :::**Code: 18** **Start depth: 17.76 (m), End depth: 18.24 (m)****Description:** Argilla**Basic results**

Total cone resistance: 1.64 ±0.47 MPa

Sleeve friction: 24.65 ±10.13 kPa

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

Permeability: 1.08E-08 ±2.69E-08 m/s

N60: 8.09 ±1.36 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.86 ±0.49 kN/m³

Constrained Mod.: 11.58 ±9.31 MPa

Go: 48.55 ±7.82 MPa

Su: 106.31 ±45.41 kPa

Su ratio: 0.63 ±0.23

O.C.R.: 3.74 ±2.10

:: Layer No: 18 ::**Code: 19** **Start depth: 18.24 (m), End depth: 18.98 (m)****Description:** Argilla**Basic results**

Total cone resistance: 1.25 ±0.08 MPa

Sleeve friction: 15.71 ±7.13 kPa

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

Permeability: 4.57E-09 ±5.77E-09 m/s

N60: 6.66 ±0.53 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.24 ±0.59 kN/m³

Constrained Mod.: 5.67 ±1.03 MPa

Go: 40.19 ±5.14 MPa

Su: 77.63 ±13.66 kPa

Su ratio: 0.44 ±0.04

O.C.R.: 2.43 ±0.56

:: Layer No: 19 ::**Code: 20** **Start depth: 18.98 (m), End depth: 19.20 (m)****Description:** Argilla**Basic results**

Total cone resistance: 1.97 ±0.31 MPa

Sleeve friction: 63.36 ±27.37 kPa

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

Permeability: 4.86E-09 ±1.62E-09 m/s

N60: 10.39 ±1.57 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 18.02 ±0.59 kN/m³

Constrained Mod.: 17.15 ±6.43 MPa

Go: 69.86 ±12.69 MPa

Su: 112.15 ±17.23 kPa

Su ratio: 0.75 ±0.14

O.C.R.: 3.74 ±0.71

:: Layer No: 20 ::**Code: 21** **Start depth: 19.20 (m), End depth: 19.65 (m)****Description:** Argilla**Basic results**

Total cone resistance: 1.14 ±0.15 MPa

Sleeve friction: 30.88 ±19.56 kPa

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

Permeability: 9.54E-10 ±3.44E-10 m/s

N60: 7.26 ±0.75 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.98 ±0.55 kN/m³

Constrained Mod.: 4.03 ±2.02 MPa

Go: 47.53 ±8.75 MPa

Su: 54.95 ±9.27 kPa

Su ratio: 0.36 ±0.07

O.C.R.: 1.50 ±0.33

Summary table of mean values

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT _{N60} (blows/30cm)	E _s (MPa)	D _r	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G ₀ (MPa)	Undrained strength, S _u (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m ³)
0.06	0.84	8.81E-09	5.5	29.2	0.0	0.0	14.5	41.4	64.1	1.6	7.7	17.9
0.90		(±7.58E-07)	(±1.2)	(±1.2)	(±0.0)	(±0.0)	(±5.1)	(±9.4)	(±24.6)	(±0.4)	(±3.9)	(±1.1)
0.90	2.08	2.31E-09	4.5	0.0	0.0	0.0	10.6	38.2	44.9	1.1	4.9	17.8
2.98		(±5.52E-09)	(±0.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±2.2)	(±3.4)	(±10.3)	(±0.2)	(±1.5)	(±0.3)
2.98	0.78	6.38E-09	5.0	0.0	0.0	0.0	12.6	36.7	55.7	1.3	6.5	17.7
3.76		(±1.62E-09)	(±0.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.9)	(±2.0)	(±3.9)	(±0.1)	(±0.6)	(±0.2)
3.76	0.74	7.12E-09	6.5	0.0	0.0	0.0	16.6	47.2	70.0	1.7	8.6	18.3
4.50		(±2.79E-09)	(±0.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±2.2)	(±3.9)	(±9.6)	(±0.2)	(±1.5)	(±0.2)
4.50	3.74	1.63E-08	6.1	0.0	0.0	0.0	16.5	40.5	80.3	1.3	7.2	17.5
8.24		(±9.82E-09)	(±0.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.9)	(±4.6)	(±10.6)	(±0.2)	(±1.1)	(±0.4)
8.24	0.47	3.04E-08	7.4	31.1	0.0	0.0	21.2	46.5	109.9	1.3	8.1	17.6
8.71		(±3.91E-08)	(±0.9)	(±31.1)	(±0.0)	(±0.0)	(±4.0)	(±5.4)	(±25.3)	(±0.2)	(±2.3)	(±0.4)
8.71	2.36	6.30E-09	7.2	0.0	0.0	0.0	15.2	49.0	80.0	0.9	4.7	17.7
11.07		(±5.17E-09)	(±0.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±3.0)	(±6.4)	(±8.7)	(±0.1)	(±0.8)	(±0.4)
11.07	1.09	1.07E-08	5.4	0.0	0.0	0.0	7.3	32.5	74.7	0.6	3.7	16.1
12.16		(±2.10E-08)	(±0.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±2.3)	(±6.6)	(±19.4)	(±0.1)	(±1.2)	(±0.8)
12.16	0.24	8.98E-08	8.2	39.2	0.0	0.0	24.6	45.1	156.6	1.2	8.9	16.9
12.40		(±2.74E-08)	(±1.0)	(±1.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±4.3)	(±5.7)	(±18.6)	(±0.2)	(±1.3)	(±0.5)
12.40	0.77	7.52E-07	10.4	39.0	28.5	33.6	39.0	49.3	0.0	0.0	0.0	16.8
13.17		(±2.07E-06)	(±1.4)	(±6.9)	(±1.4)	(±0.5)	(±7.8)	(±8.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.9)
13.17	0.30	1.07E-07	9.0	46.8	0.0	0.0	25.1	48.1	146.4	1.1	7.6	17.0
13.47		(±1.46E-07)	(±2.0)	(±5.1)	(±0.0)	(±0.0)	(±11.4)	(±11.9)	(±44.0)	(±0.4)	(±2.9)	(±0.9)

Summary table of mean values

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT _{N60} (blows/30cm)	E _s (MPa)	D _r	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G ₀ (MPa)	Undrained strength, S _u (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m ³)
13.47	0.86	1.14E-08	6.2	0.0	0.0	0.0	8.4	36.8	84.2	0.6	3.6	16.3
14.33		(±5.81E-09)	(±0.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.8)	(±3.9)	(±9.8)	(±0.1)	(±0.5)	(±0.4)
14.33	0.81	1.03E-08	7.4	0.0	0.0	0.0	11.6	45.3	94.3	0.7	3.9	16.9
15.14		(±1.48E-08)	(±1.2)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±7.5)	(±6.9)	(±29.7)	(±0.2)	(±1.6)	(±0.5)
15.14	0.59	8.86E-09	6.2	0.0	0.0	0.0	7.1	37.1	82.2	0.5	3.1	16.2
15.73		(±5.05E-09)	(±0.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.0)	(±3.4)	(±9.8)	(±0.0)	(±0.5)	(±0.4)
15.73	0.27	1.35E-08	5.7	0.0	0.0	0.0	5.5	30.4	98.4	0.5	3.9	15.2
16.00		(±1.49E-08)	(±0.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.5)	(±9.1)	(±27.3)	(±0.1)	(±1.4)	(±1.4)
16.00	1.76	4.09E-09	7.0	0.0	0.0	0.0	7.2	45.0	77.9	0.5	2.7	16.8
17.76		(±4.31E-09)	(±0.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.9)	(±10.1)	(±9.7)	(±0.1)	(±0.4)	(±0.9)
17.76	0.48	1.08E-08	8.1	0.0	0.0	0.0	11.6	48.5	106.3	0.6	3.7	16.9
18.24		(±2.69E-08)	(±1.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±9.3)	(±7.8)	(±45.4)	(±0.2)	(±2.1)	(±0.5)
18.24	0.74	4.57E-09	6.7	0.0	0.0	0.0	5.7	40.2	77.6	0.4	2.4	16.2
18.98		(±5.77E-09)	(±0.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.0)	(±5.1)	(±13.7)	(±0.0)	(±0.6)	(±0.6)
18.98	0.22	4.86E-09	10.4	0.0	0.0	0.0	17.1	69.9	112.2	0.7	3.7	18.0
19.20		(±1.62E-09)	(±1.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±6.4)	(±12.7)	(±17.2)	(±0.1)	(±0.7)	(±0.6)
19.20	0.45	9.54E-10	7.3	0.0	0.0	0.0	4.0	47.5	55.0	0.4	1.5	17.0
19.65		(±3.44E-10)	(±0.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±2.0)	(±8.8)	(±9.3)	(±0.1)	(±0.3)	(±0.5)

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

Allegato 3

Indagini geofisiche eseguite per questo studio (1 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 Vs30 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.

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

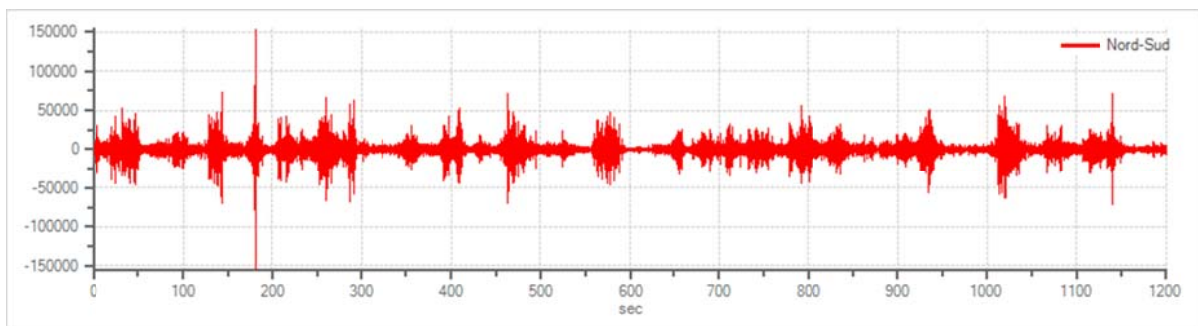
onde di taglio. Avendo quindi una stima del profilo della velocità delle onde di taglio, è possibile valutarne il parametro normativo Vs30.

Tracce in input

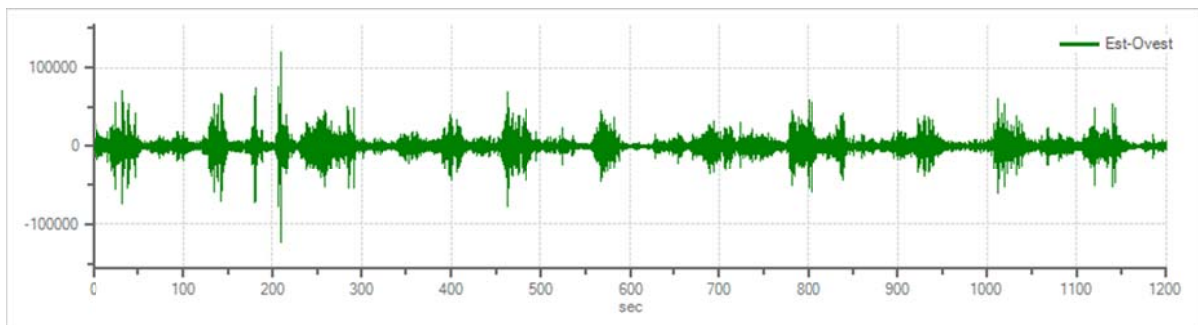
Dati riepilogativi:

Numero tracce:	3
Durata registrazione:	1200 s
Frequenza di campionamento:	200.00 Hz
Numero campioni:	240000
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

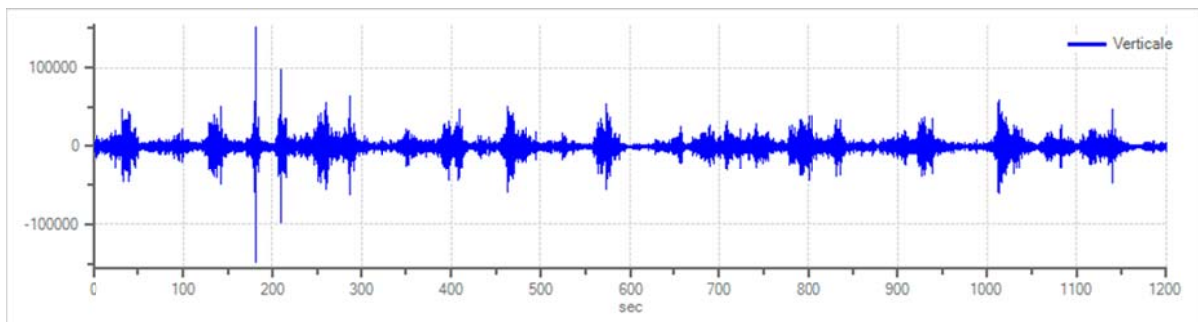
Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



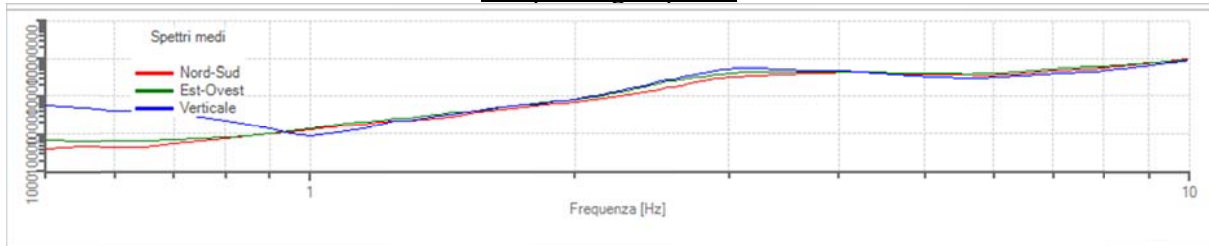
Traccia in direzione Verticale

Finestre selezionate

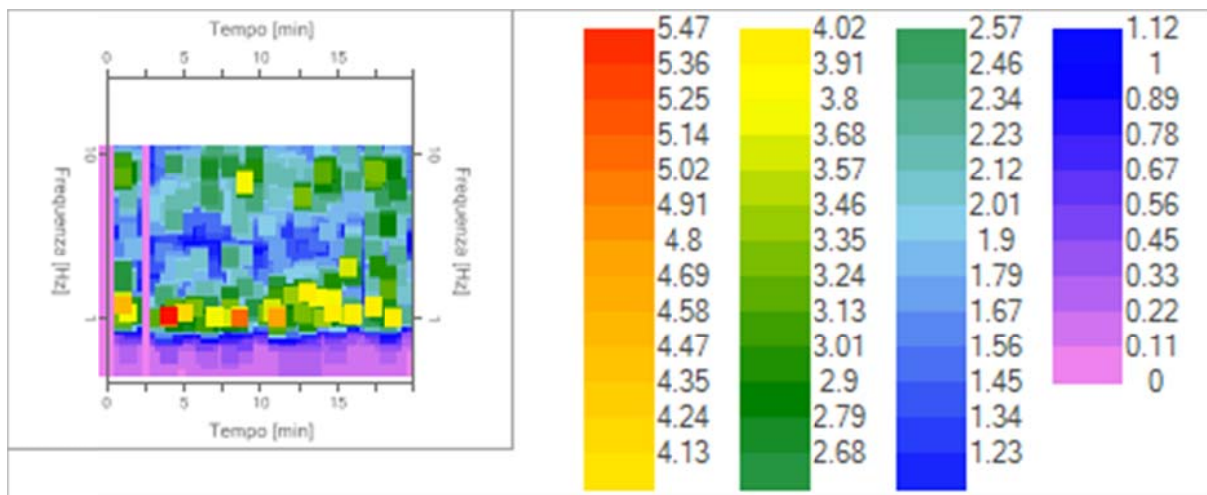
Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 45
Numero finestre incluse nel calcolo: 42
Dimensione temporale finestre: 20.000 s
Tipo di lisciamo: Konno & Ohmachi
Percentuale di lisciamo: 10.00 %
Coefficiente di banda: 40.00

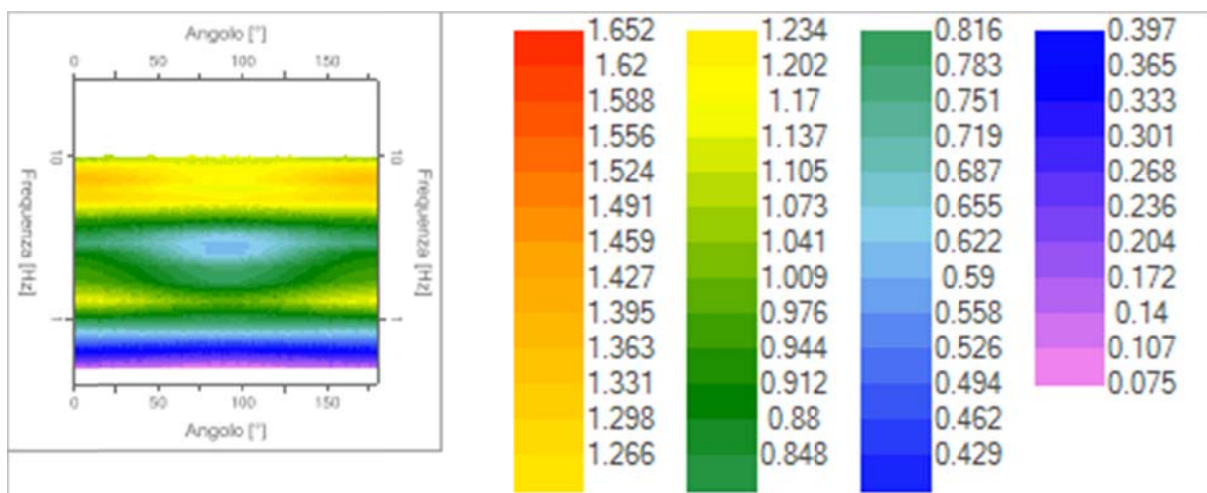
Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

Rapporto spettrale H/V

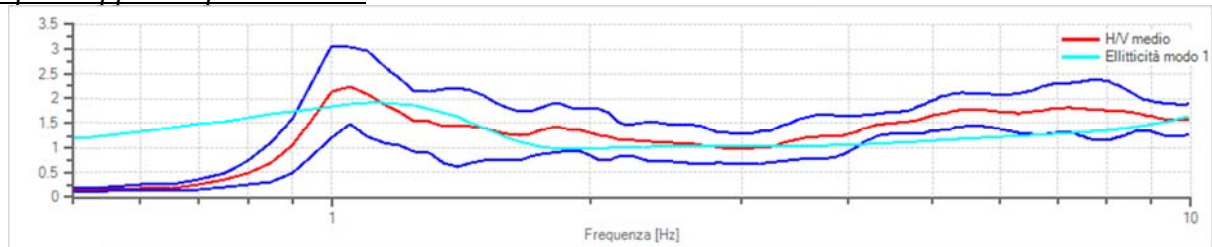
Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 10.00 Hz
Frequenza minima: 0.50 Hz
Passo frequenze: 0.05 Hz
Tipo lisciamento: Konno & Ohmachi
Percentuale di lisciamento: 10.00 %
Tipo di somma direzionale: Media geometrica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 1.05 Hz ± 0.35 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
$A_0 > 2$	Ok
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

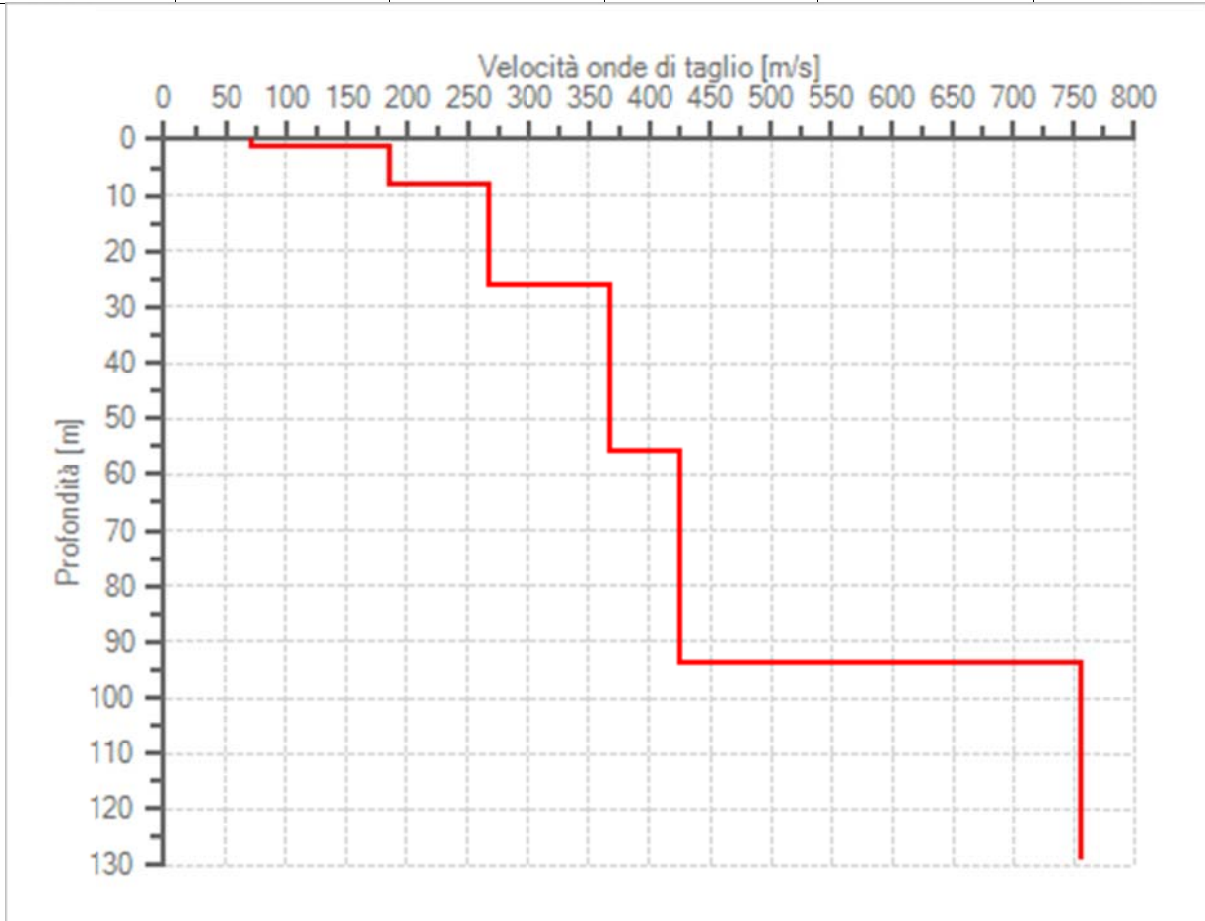
Modello stratigrafico

Dati riepilogativi:

Numero strati: 6
Frequenza del picco dell'ellitticità: 1.15 Hz
Valore di disadattamento: 1.59
Valore Vs30: 222.47 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	1.5	17	0.45	72
2	1.5	6.5	18	0.4	185
3	8	18.3	19	0.4	266
4	26.3	29.7	19	0.35	367
5	56	38	18	0.35	424
6	94	35	18	0.3	755



Profilo delle velocità delle onde di taglio.

Allegato 4

Analisi Risposta Sismica Locale: spettro di risposta in superficie NON normalizzato (da RSL) 84° percentile della popolazione (all'attuale piano campagna)

Ts	Sa g	Log σ	Sa+s=84%
0.01	0.157822	0.224986	0.197642
0.011037	0.157861	0.224999	0.197693
0.012181	0.157909	0.225018	0.197757
0.013444	0.157966	0.225039	0.197832
0.014838	0.158036	0.225064	0.197924
0.016376	0.158121	0.225094	0.198038
0.018074	0.158226	0.225133	0.198176
0.019947	0.158352	0.225181	0.198344
0.022015	0.158508	0.22524	0.198551
0.024298	0.158702	0.225316	0.198809
0.026817	0.158932	0.225426	0.19912
0.029597	0.159221	0.225551	0.199505
0.032666	0.15958	0.225727	0.199991
0.036052	0.160037	0.22597	0.200613
0.03979	0.160576	0.226244	0.201343
0.043915	0.161318	0.226895	0.202406
0.048468	0.162215	0.227444	0.203643
0.053493	0.163255	0.22773	0.205007
0.059038	0.164674	0.228933	0.207038
0.065159	0.166432	0.23033	0.209541
0.071914	0.168427	0.231872	0.212379
0.07937	0.173088	0.234336	0.218795
0.087599	0.18154	0.252387	0.233659
0.09668	0.184676	0.259924	0.239494
0.106704	0.200019	0.262042	0.25994
0.117766	0.217577	0.283223	0.288813
0.129975	0.226859	0.313006	0.310236
0.14345	0.234973	0.287111	0.313118
0.158322	0.236152	0.265324	0.307908
0.174736	0.271599	0.286201	0.361596
0.192852	0.30083	0.25313	0.387484
0.212846	0.331071	0.266368	0.43212
0.234912	0.393718	0.333432	0.549532

0.259266	0.389585	0.374138	0.566354
0.286146	0.382638	0.416266	0.580189
0.315811	0.344202	0.331717	0.479596
0.348553	0.359693	0.271825	0.472045
0.384689	0.392436	0.270804	0.51449
0.424571	0.370812	0.23754	0.470236
0.468588	0.29872	0.271251	0.391802
0.517168	0.287218	0.329366	0.399257
0.570785	0.284081	0.335214	0.397214
0.629961	0.29693	0.321061	0.409344
0.695271	0.306611	0.334302	0.428324
0.767353	0.283781	0.337392	0.397659
0.846907	0.234963	0.306018	0.319081
0.934709	0.198113	0.278743	0.261799
1.031614	0.174295	0.328663	0.242115
1.138566	0.153173	0.432014	0.235941
1.256605	0.123383	0.441324	0.191832
1.386883	0.10167	0.491462	0.1662
1.530666	0.077276	0.570496	0.136712
1.689356	0.059166	0.59755	0.107544
1.864499	0.049029	0.613471	0.090548
2.057799	0.039943	0.613781	0.073791
2.271139	0.033404	0.636931	0.063157
2.506597	0.028186	0.674302	0.05532
2.766465	0.02206	0.669298	0.04308
3.053276	0.018172	0.70625	0.036823
3.369821	0.015715	0.742745	0.033029
3.719184	0.012389	0.784767	0.027156
4.104766	0.010124	0.738072	0.021178
4.530323	0.007265	0.743063	0.015273
5	0.005529	0.769748	0.011938

**Spettro di risposta in superficie
Normalizzato (da RSL)
84° percentile della popolazione
(all'attuale piano campagna)**

Ts	Spettro
0.01	0.250054
0.011037	0.252151
0.012181	0.254465
0.013444	0.257019
0.014838	0.259838
0.016376	0.262949
0.018074	0.266382
0.019947	0.270172
0.022015	0.274354
0.024298	0.27897
0.026817	0.284064
0.029597	0.289687
0.032666	0.295893
0.036052	0.302742
0.03979	0.310301
0.043915	0.318644
0.048468	0.327851
0.053493	0.338013
0.059038	0.349229
0.065159	0.361608
0.071914	0.37527
0.07937	0.390348
0.087599	0.40699
0.09668	0.425357
0.106704	0.445628
0.117766	0.468
0.129975	0.492692
0.14345	0.519944
0.158322	0.550021
0.174736	0.582159
0.192852	0.582159
0.212846	0.582159
0.234912	0.582159
0.259266	0.582159
0.286146	0.582159
0.315811	0.582159
0.348553	0.582159

0.384689	0.582159
0.424571	0.582159
0.468588	0.582159
0.517168	0.582159
0.570785	0.533055
0.629961	0.482982
0.695271	0.437613
0.767353	0.396506
0.846907	0.35926
0.934709	0.325513
1.031614	0.294936
1.138566	0.267231
1.256605	0.242128
1.386883	0.219384
1.530666	0.198776
1.689356	0.180104
1.864499	0.163186
2.057799	0.147857
2.271139	0.132839
2.506597	0.109055
2.766465	0.089529
3.053276	0.073499
3.369821	0.060339
3.719184	0.049536
4.104766	0.040666
4.530323	0.033385
5	0.027408