

PROVINCIA DI MANTOVA COMUNE DI SUZZARA

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DELL'INTERVENTO DI RESTAURO, RIFUNZIONALIZZAZIONE E MIGLIORAMENTO SISMICO DEL TEATRO GUIDO UBICATO IN VIALE ZONTA

COMMITTENZA:



COMUNE DI SUZZARA

Piazza Castello, 1 – 46029 (MN)

RELAZIONE GEOTECNICA SULLE INDAGINI, CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE DEL VOLUME SIGNIFICATIVO DI TERRENO

ai sensi D.M. 17 Gennaio 2018 – Circolare 21 Gennaio 2019, n.° 7 C.S.LL.PP
- D.P.R. 5 Giugno 2001, n. 328

IL GEOLOGO

DANIELE DE TOGNI



IL GEOLOGO

FRANCESCO GABRIELLI



Titolo:	Data:
<i>Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno a supporto del progetto di realizzazione dell'intervento di restauro, rifunzionalizzazione e miglioramento sismico del Teatro Guido ubicato in Comune di Suzzara (MN)</i>	<i>Ottobre 2021</i>

INDICE

1. PREMESSA	2
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	2
3. DESCRIZIONE DEL PROGRAMMA DELLE INDAGINI	3
4. CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA E MODELLO GEOTECNICO.....	5
4.1 Interpretazione dei parametri geotecnici	5
4.2 Modellazione Geotecnica	7
5. VERIFICHE DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI	17
6. DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA.....	19
7. FONDAZIONI SUPERFICIALI – VERIFICHE GEOTECNICHE	21
7.1 Tipologia di fondazioni e parametri caratteristici di verifica	21
7.2 Verifica della capacità portante SLU – Condizioni statiche.....	22
7.3 Verifica della capacità portante SLV – Condizioni pseudostatiche	23
7.4 Verifiche agli stati limite di esercizio SLE.....	25
7.5 Determinazione dei moduli di reazione del terreno.....	26
8. STABILITA' DEL SITO ED INDICAZIONI OPERATIVE	27
9. CONCLUSIONI	28

STUDIO G.D.S. di De Togni D. e Gabrielli F. Via La Marchesa, 3 – 41037 MIRANDOLA (MO) Tel.: 335.577.1941 - 339.407.3066 E-mail: info@studiogds.com	COMUNE DI SUZZARA Piazza Castello n. 1 46029 - Suzzara (MN)	Pag. 1
---	--	--------

Titolo:	Data:
Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno a supporto del progetto di realizzazione dell'intervento di restauro, rifunzionalizzazione e miglioramento sismico del Teatro Guido ubicato in Comune di Suzzara (MN)	Ottobre 2021

1. PREMESSA

La presente relazione viene redatta in conformità al D.M. 17/01/2018 e relativa Circolare applicativa del 21 Gennaio 2019 n.° 7 del C.S.LL.PP., a supporto del progetto dei lavori di realizzazione dell'intervento di restauro, rifunzionalizzazione e miglioramento sismico del Teatro Guido ubicato in Comune di Suzzara (MN).

Il Teatro è ubicato nel centro capoluogo lungo Viale Zonta ed è attualmente inagibile.

Nello specifico, in ottemperanza a quanto contenuto nei paragrafi 6.2 “Articolazione del progetto” e 7.11.2 “Caratterizzazione geotecnica a fini sismici” delle NTC verranno approfonditi i seguenti aspetti:

1. descrizione del programma delle indagini e delle prove geotecniche eseguite;
2. caratterizzazione fisica e meccanica dei terreni di fondazione, definizione del modello geotecnico di sottosuolo e dei valori caratteristici dei parametri geotecnici;
3. definizione dell'azione sismica;
4. risultanze delle verifiche geotecniche sulla capacità portante e cedimenti del sistema terreno e struttura di fondazione sulla base delle indicazioni dello strutturista.

La relazione va in completamento a quelle specialistiche relative alla modellazione geologica e alla modellazione sismica a cui si rimanda per ogni approfondimento.

Le verifiche della sicurezza e delle prestazioni vengono eseguite utilizzando il metodo degli stati limite per le opere di fondazione, in ottemperanza a quanto contenuto nel paragrafo 6.4 “Opere di fondazione” del D.M. 17 Gennaio 2018.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La realizzazione del presente studio è stata eseguita in ottemperanza alle indicazioni fornite dalla normativa vigente con particolare riferimento alle seguenti norme:

DECRETO MINISTERIALE 17 GENNAIO 2018

Aggiornamento delle “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”.

Circolare del 21 Gennaio 2019, n.° 7 del C.S.LL.PP.

Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018

D.P.R. 5 Giugno 2001, n. 328

Articolo 41 – Attività professionali

STUDIO G.D.S. di De Togni D. e Gabrielli F. Via La Marchesa, 3 – 41037 MIRANDOLA (MO) Tel.: 335.577.1941 - 339.407.3066 E-mail: info@studiogds.com	COMUNE DI SUZZARA Piazza Castello n. 1 46029 - Suzzara (MN)	Pag. 2
---	--	--------

<i>Titolo:</i>	<i>Data:</i>
<i>Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno a supporto del progetto di realizzazione dell'intervento di restauro, rifunzionalizzazione e miglioramento sismico del Teatro Guido ubicato in Comune di Suzzara (MN)</i>	<i>Ottobre 2021</i>

“punto c) le indagini geognostiche e l'esplorazione del sottosuolo anche con metodi geofisici; le indagini e consulenze geologiche ai fini della relazione geologica per le opere di ingegneria civile mediante la costruzione del modello geologico-tecnico; la programmazione e progettazione degli interventi geologici e la direzione dei lavori relativi, finalizzati alla redazione della relazione geologica...;”

“punto e) le indagini e la relazione geotecnica...”.

3. DESCRIZIONE DEL PROGRAMMA DELLE INDAGINI

Al fine di definire lo schema litostratigrafico, geotecnico ed idrogeologico del primo sottosuolo e in ottemperanza al D.M. 17 Gennaio 2018, è stata eseguita una campagna di indagini geognostiche così articolata:

- **N. 02 prove penetrometriche di tipo statico con piezocono (CPTU1 e CPTU2)**, spinte sino alla profondità di 20,0m dal piano campagna esistente; all'interno del perforo è stato eseguito il rilievo della falda freatica, mediante l'utilizzo di freatimetro;
- **N. 01 prove penetrometriche di tipo statico con punta meccanica (CPT3)**, spinta sino alla profondità di 20,0m dal piano campagna esistente; all'interno del perforo è stato eseguito il rilievo della falda freatica, mediante l'utilizzo di freatimetro;

si ritiene che per i tipi di terreno indagati e per il tipo di intervento in progetto il numero di prove e la profondità siano sufficienti ai fini del concetto di “volume significativo”; all'interno del perforo è stato eseguito il rilievo della falda freatica, mediante l'utilizzo di freatimetro;

- per la definizione della pericolosità sismica di base del sito, ai sensi del § 3.2 N.T.C. e § C3.2 della Circolare, sono state eseguite due indagini basate sulla misura del rumore sismico (microtremore) del sottosuolo, mediante l'utilizzo di strumentazione tomografica portatile, finalizzata alla stima delle frequenze fondamentali di risonanza del sottosuolo e dell'amplificazione sismica del sito mediante il rapporto **HVSR** (vedi relazione sulla modellazione sismica);
- per la definizione della V_{S30} o V_{seq} è stata eseguita **un'indagine geofisica MASW**, basata sull'analisi della propagazione delle onde superficiali ed in particolare delle onde di Rayleigh;
- un'indagine di geofisica passiva mediante tecnica **REMI** che registra il segnale relativo a microtremori spontaneamente presenti nell'ambiente; ciò ha permesso di calibrare al meglio l'indagine Masw e le velocità V_s tra le profondità di circa 15/20m e 35/40m di terreno.

STUDIO G.D.S. di De Togni D. e Gabrielli F. Via La Marchesa, 3 – 41037 MIRANDOLA (MO) Tel.: 335.577.1941 - 339.407.3066 E-mail: info@studiogds.com	COMUNE DI SUZZARA Piazza Castello n. 1 46029 - Suzzara (MN)	Pag. 3
---	--	--------

Titolo:	Data:
Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno a supporto del progetto di realizzazione dell'intervento di restauro, rifunzionalizzazione e miglioramento sismico del Teatro Guido ubicato in Comune di Suzzara (MN)	Ottobre 2021



Figura 1: Ubicazione indagini

STUDIO G.D.S. di De Togni D. e Gabrielli F. Via La Marchesa, 3 – 41037 MIRANDOLA (MO) Tel.: 335.577.1941 - 339.407.3066 E-mail: info@studiogds.com	COMUNE DI SUZZARA Piazza Castello n. 1 46029 - Suzzara (MN)	Pag. 4
---	--	--------

Titolo:	Data:
Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno a supporto del progetto di realizzazione dell'intervento di restauro, rifunzionalizzazione e miglioramento sismico del Teatro Guido ubicato in Comune di Suzzara (MN)	Ottobre 2021

4. CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA E MODELLO GEOTECNICO

4.1 Interpretazione dei parametri geotecnici

I dati di resistenza alla punta e laterale delle prove CPTU e CPT consentono di ricavare tessiture e proprietà meccaniche del sottosuolo attraversato.

Con riferimento ai vari strati di terreno individuati, vengono prese in esame le principali caratteristiche geotecniche dei terreni desunte dai risultati delle prove condotte in sito. Sono riportate distintamente per le formazioni coesive e incoerenti le proprietà fisiche, meccaniche e deformative ricavate dalla rielaborazione delle prove geotecniche.

Formazioni Coesive

Caratteristiche Meccaniche - Resistenza al taglio non drenata

Per la determinazione delle caratteristiche meccaniche in particolare per la resistenza al taglio non drenata C_u , si è fatto riferimento ai risultati delle prove in situ CPTU.

La resistenza al taglio non drenata C_u può essere determinata a partire dalla resistenza di punta Q_c , rilevata dalle prove CPTU, mediante la relazione:

$$C_u = \frac{Q_c - \sigma_{v0}}{N}$$

essendo: Q_c resistenza di punta misurata nel corso delle prova penetrometrica;

σ_{v0} pressione verticale totale;

N fattore di capacità portante (pari a 15 per i terreni normalconsolidati).

Coesione drenata

Nella tabella seguente, il valore della coesione c' è stata calcolata sulla base della relazione di Sellontou et al. (1989):

$$c' = \alpha * \tan(\phi)$$

Tabella 5.6. Valori di α e ϕ' riportati da Senneker et al. (1989)

Terreno	α (kPa)	ϕ' (°)	N_m	B_q
Argilla soffice	5-10	19-24	1-3	0,8-1,0
Argilla media	10-20	19-29	3-5	0,6-0,8
Argilla compatta	20-50	27-31	5-8	0,3-0,6
Limo soffice	0-5	27-31	5-30	0-0,4
Limo medio	5-15	29-33		
Limo compatto	15-30	31-35	30-100	< 0,1
Sabbia sciolta	0	29-33		
Sabbia media	10-20	31-37		
Sabbia densa	20-50	35-42	100	< 0
Terreni OC	> 50	38-45		

STUDIO G.D.S. di De Togni D. e Gabrielli F. Via La Marchesa, 3 – 41037 MIRANDOLA (MO) Tel.: 335.577.1941 - 339.407.3066 E-mail: info@studiogds.com	COMUNE DI SUZZARA Piazza Castello n. 1 46029 - Suzzara (MN)	Pag. 5
---	--	--------

Titolo:	Data:
Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno a supporto del progetto di realizzazione dell'intervento di restauro, rifunzionalizzazione e miglioramento sismico del Teatro Guido ubicato in Comune di Suzzara (MN)	Ottobre 2021

Caratteristiche Deformative

I parametri di compressibilità e il grado di consolidazione OCR, sono stati ricavati dall'analisi dei risultati delle prove penetrometriche CPT, utilizzando le correlazioni empiriche di Ladd & Foot e di Mitchell, rispettivamente per la determinazione del grado di sovraconsolidazione (O.C.R.) e del modulo di elasticità confinato o drenato (Ed).

Grado di sovraconsolidazione

In assenza di specifiche prove di laboratorio atte a determinare il grado di consolidazione (O.C.R.) delle formazioni litostratigrafiche presenti nell'area, è stata utilizzata la correlazione empirica di Ladd & Fott, Ladd & Altri (1977), normalmente utilizzata in letteratura, espressa attraverso la seguente relazione:

$$\frac{C_u}{\sigma'_v} \cong \alpha \cdot OCR^{0.8}$$

adottando per Cu i valori ricavati dalle prove penetrometriche ed $\alpha = 0,23$ nel caso di terreni normalconsolidati.

Dall'esame del rapporto tra C_u / σ'_v , evidenzia la presenza in sito di formazioni coesive normal-consolidate.

Modulo edometrico

Il modulo di elasticità edometrico è stato calcolato con il metodo di Mitchell e Gardner (1975), sulla base dei risultati delle prove penetrometriche CPTU, attraverso la seguente relazione:

$$E_d = \alpha \cdot Q_c$$

dove α è un coefficiente variabile in funzione del tipo di terreno, secondo la Tabella seguente.

Terreno	Qc (Mpa)	
CL	> 0.7	5
	0.7 - 2	3.5
	> 2	1.7
ML	< 2	2
	> 2	4.5
MH-OH	\	4
OL-OH	\	4

Formazioni incoerenti

Caratteristiche Meccaniche – Angolo d'attrito

Per quanto riguarda le formazioni incoerenti, vista la ben nota difficoltà del recupero di campioni indisturbati, sono stati utilizzati i risultati delle prove geotecniche in sito (CPTU).

Per la determinazione dell'angolo d'attrito si è utilizzato il metodo di correlazione di Caquot:

STUDIO G.D.S. di De Togni D. e Gabrielli F. Via La Marchesa, 3 – 41037 MIRANDOLA (MO) Tel.: 335.577.1941 - 339.407.3066 E-mail: info@studiogds.com	COMUNE DI SUZZARA Piazza Castello n. 1 46029 - Suzzara (MN)	Pag. 6
---	--	--------

Titolo:	Data:
Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno a supporto del progetto di realizzazione dell'intervento di restauro, rifunzionalizzazione e miglioramento sismico del Teatro Guido ubicato in Comune di Suzzara (MN)	Ottobre 2021

$$\phi = 9.8 + 4.96 \cdot \ln(Q_c / \sigma_{vp})$$

Per confronto nel grafico seguente vengono riportati anche i valori calcolati con le correlazioni di De Beer e Durgunoglu-Mitchell.

Caratteristiche Deformative – Modulo di Elasticità

Con riferimento ai risultati delle prove penetrometriche statiche con punta elettrica CPTU, il modulo di elasticità o di Young (E) è stato determinato in accordo alla teoria di Schmertmann:

$$E = 2.5 Q_c \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

4.2 Modellazione Geotecnica

Dalla verticale di indagine si può semplificare il modello geologico in 4 Unità principali a tema tessiturale variabile, pelitico nei primi metri e successivamente granulare; la stratigrafia si può riassumere considerando terreni a tessitura prevalentemente pelitica sino ai circa 11,00m da p.c.; oltre tale profondità le Unità divengono francamente granulari sino a fondo foro. *Il passaggio tra unità pelitiche e granulari avviene in maniera sfumata e non netta per almeno un metro di spessore*; ciò è stato verificato in tutte e tre le verticali di indagine, che hanno dimostrato mediamente una buona omogeneità tra loro.

Si segnala che i depositi argilloso-limosi e sabbiosi della porzione più superficiale, essendo in stretta correlazione con l'escursione della falda freatica e/o della sua risalita per capillarità, possono risultare suscettibili di variazioni in volume conseguentemente a cambiamenti del tenore di umidità e alla soggiacenza della falda freatica stessa.

Nel dettaglio è possibile ricostruire la seguente successione stratigrafica del sottosuolo (**Modello Geologico**), escludendo i primi 150/180 cm circa costituiti da materiale rimaneggiato e/o di riporto:

Unità A – da 1,50/1,80 metri a 3,30/3,50metri da p.c.

Terreno a comportamento coesivo

Classificazione di Searle – Argille, argille limose e limi argillosi di bassa consistenza

Classificazione di Robertson (1990) - I_c (indice di comportamento) è compreso tra 2,80 e 3,10: tale deposito è classificabile come miscela di limo (da limo argilloso ad argilla limosa) ed Argille (da argilla limosa ad argilla).

Unità B – da 3,30/3,50metri a 10,70/11,00 metri da p.c.

Terreno a comportamento coesivo

Classificazione di Searle – Argilla ed Argilla limosa di bassa consistenza

Classificazione di Robertson (1990) - I_c (indice di comportamento) è compreso tra 3,00 e 3,60: tale deposito è classificabile come argilla (da argilla limosa ad argilla).

STUDIO G.D.S. di De Togni D. e Gabrielli F. Via La Marchesa, 3 – 41037 MIRANDOLA (MO) Tel.: 335.577.1941 - 339.407.3066 E-mail: info@studiogds.com	COMUNE DI SUZZARA Piazza Castello n. 1 46029 - Suzzara (MN)	Pag. 7
---	--	--------

Titolo:	Data:
<i>Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno a supporto del progetto di realizzazione dell'intervento di restauro, rifunzionalizzazione e miglioramento sismico del Teatro Guido ubicato in Comune di Suzzara (MN)</i>	<i>Ottobre 2021</i>

Unità C – da 10,70/11,00 metri a 13,30/13,60metri da p.c.

Terreni a comportamento granulare

Classificazione di Searle – Limi sabbiosi, sabbie limose e sabbie di medio addensamento

Classificazione di Robertson (1990) - I_c (indice di comportamento) è compreso tra 1,50 e 2,20: tale deposito è classificabile come Miscela di sabbie (da sabbia limosa a limo sabbioso) e sabbie (da sabbie pulite a sabbie limose).

Unità D – da 13,30/13,60metri a 20,00 metri da p.c.

Terreni a comportamento granulare

Classificazione di Searle – Sabbia di medio addensamento con locali intercalazioni di limi sabbiosi

Classificazione di Robertson (1990) - I_c (indice di comportamento) è compreso tra 1,5 e 2,00: tale deposito è classificabile come sabbia (da sabbia pulita a sabbia limosa).

Nota: verso fondo foro i valori di Q_c tendono a diminuire leggermente individuando una verosimile maggiore presenza di tessiture limose

Il modello geologico ha evidenziato altresì:

- la *falda freatica* rappresenta il primo elemento idrogeologico riscontrato in sito, il cui livello, al momento delle rilevazioni, si è attestato alla profondità di circa -2,00/2,20m dal piano di indagine. Dai rilievi eseguiti dallo scrivente nel corso di indagini geognostiche condotte nei dintorni dell'area indagata è lecito attendersi un'oscillazione del livello di falda tra 1,50/1,60m e 3,00 m dal piano campagna.
- il sito nel complesso è da ritenersi stabile nei confronti dei fenomeni di dinamica geomorfologica.

Nelle figure seguenti (presenti anche negli allegati) viene mostrata la successione lito-meccanica ottenuta dall'interpretazione delle singole prove penetrometriche con piezocono CPTU1 e CPTU2, in cui per ogni unità sono riportati i valori mediani dei parametri geotecnici di resistenza al taglio e di deformabilità, così come rielaborati dal programma Geologismiki.

STUDIO G.D.S. di De Togni D. e Gabrielli F. Via La Marchesa, 3 – 41037 MIRANDOLA (MO) Tel.: 335.577.1941 - 339.407.3066 E-mail: info@studiogds.com	COMUNE DI SUZZARA Piazza Castello n. 1 46029 - Suzzara (MN)	Pag. 8
---	--	--------

Titolo:	Data:
Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno a supporto del progetto di realizzazione dell'intervento di restauro, rifunzionalizzazione e miglioramento sismico del Teatro Guido ubicato in Comune di Suzzara (MN)	Ottobre 2021

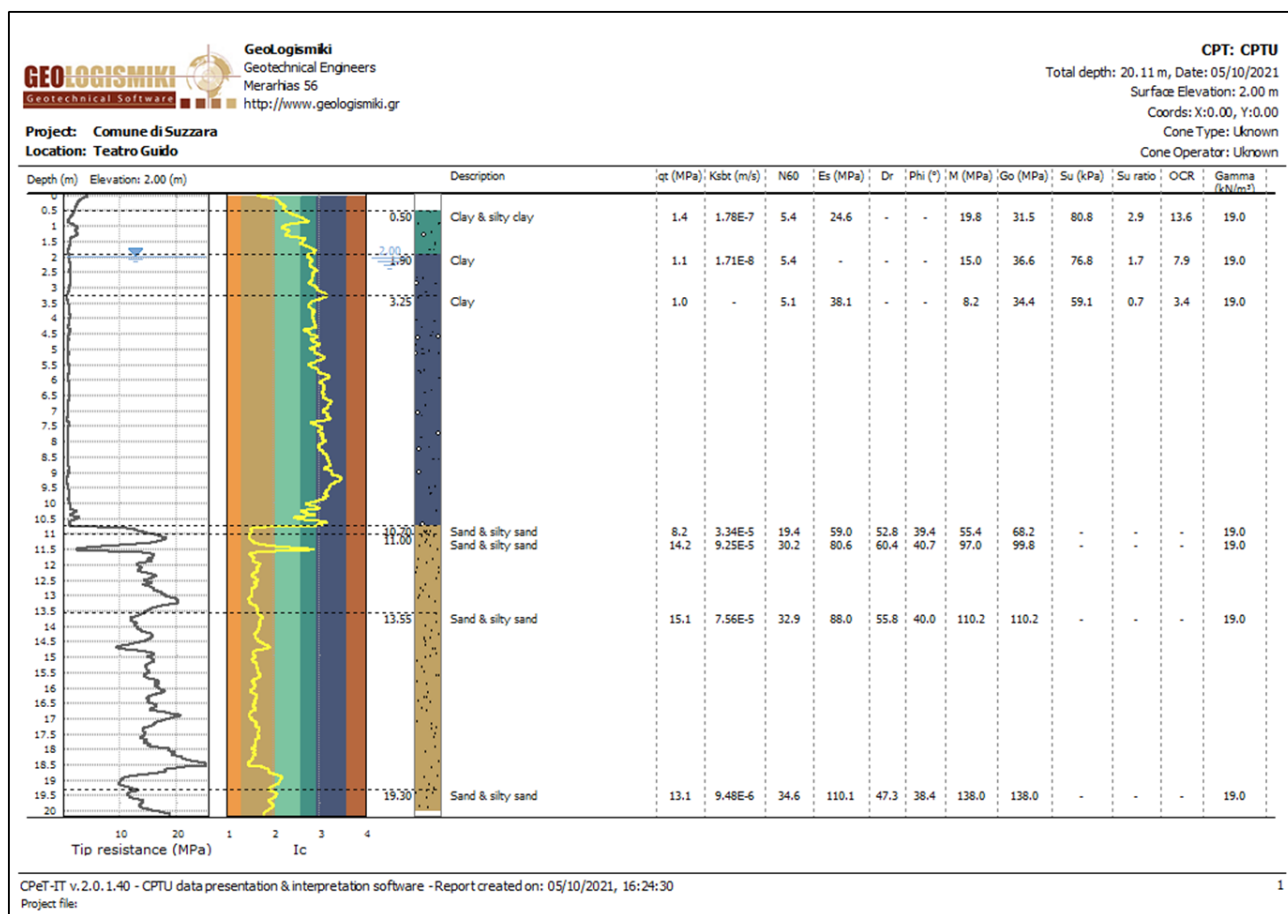


Figura 2: modello geotecnico e parametri geotecnici medi ricavati dal programma “Geologismiki” per la prova CPTU1

STUDIO G.D.S. di De Togni D. e Gabrielli F. Via La Marchesa, 3 – 41037 MIRANDOLA (MO) Tel.: 335.577.1941 - 339.407.3066 E-mail: info@studiogds.com	COMUNE DI SUZZARA Piazza Castello n. 1 46029 - Suzzara (MN)	Pag. 9
---	--	--------

Titolo:	Data:
Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno a supporto del progetto di realizzazione dell'intervento di restauro, rifunzionalizzazione e miglioramento sismico del Teatro Guido ubicato in Comune di Suzzara (MN)	Ottobre 2021

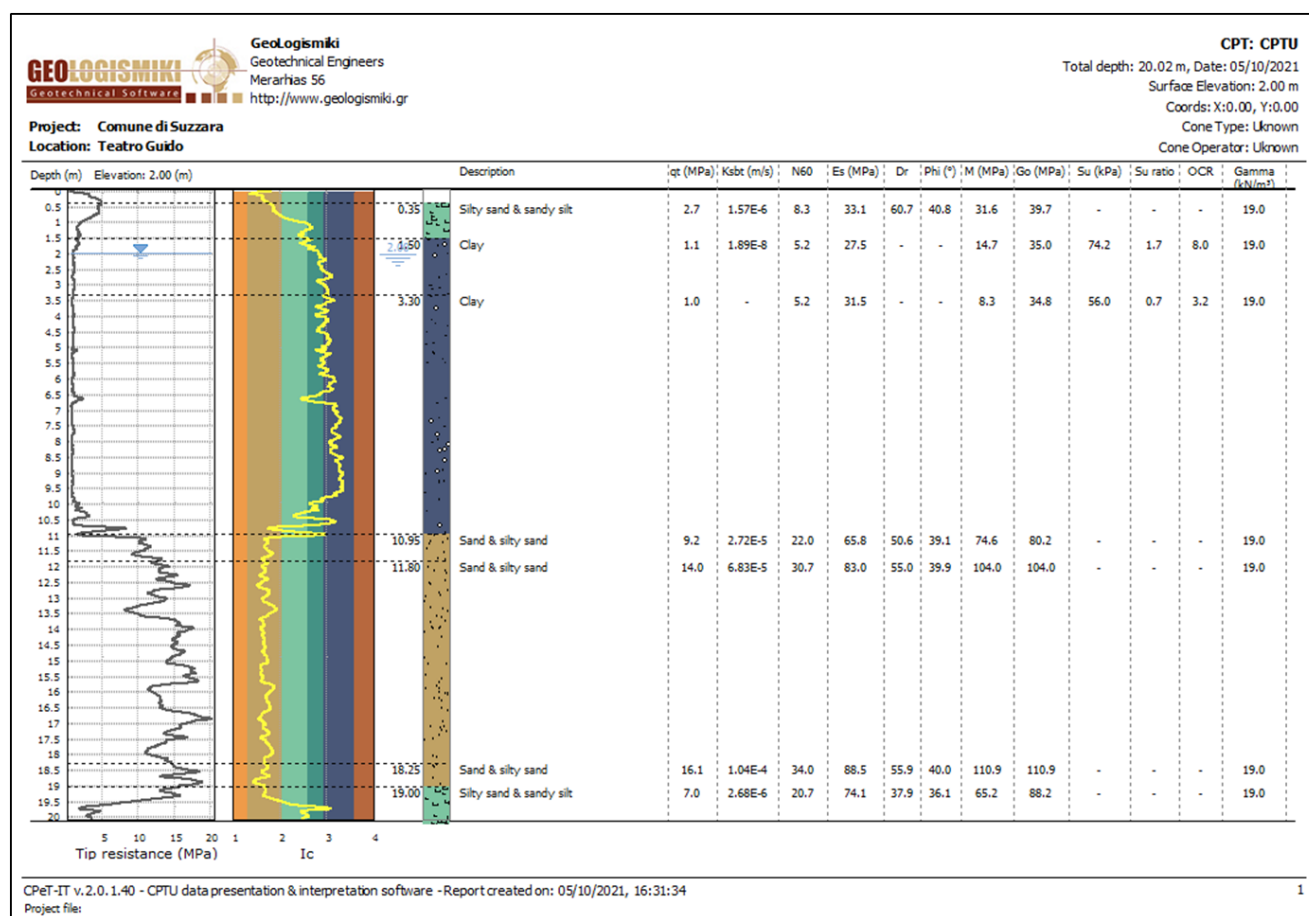


Figura 3: modello geotecnico e parametri geotecnici medi ricavati dal programma “Geologismiki” per la prova CPTU2

In base alle precedenti osservazioni, non si ravvisano significativi problemi geotecnici relativi alle caratteristiche delle fondazioni e alla loro interazione con il terreno, se non per ci che riguarda gli spessori significativi di terreno di riporto.

Nel caso di interventi sull'apparato fondale, rispetto alla Relazione Geologica si aggiunge che “al di sotto del piano delle fondazioni si dovrà posizionare uno strato di conglomerato magro, alquanto addensato e compattato, potente circa 0,20 metri. Sullo strato di conglomerato magro andranno poi basate le strutture di fondazione”.

Di seguito, si riportano i **valori caratteristici** dei parametri geotecnici, ai sensi del D.M. 17 Gennaio 2018, evidenziando che, per la stima degli stessi, sono state utilizzate le seguenti metodologie:

Parametro c_u (coesione non drenata)

Parametro E (modulo di Young)

Parametro M_0 (modulo edometrico)

STUDIO G.D.S. di De Togni D. e Gabrielli F. Via La Marchesa, 3 – 41037 MIRANDOLA (MO) Tel.: 335.577.1941 - 339.407.3066 E-mail: info@studiogds.com	COMUNE DI SUZZARA Piazza Castello n. 1 46029 - Suzzara (MN)	Pag. 10
---	--	---------

Titolo:	Data:
Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno a supporto del progetto di realizzazione dell'intervento di restauro, rifunzionalizzazione e miglioramento sismico del Teatro Guido ubicato in Comune di Suzzara (MN)	Ottobre 2021

è stata utilizzata la metodologia di Cox, con intervallo di confidenza della media della distribuzione log-normale:

$$L_{1-\alpha}(\bar{Y}, S^2) = \bar{Y} + \frac{S^2}{2} \pm z_{1-\alpha/2} * \sqrt{\frac{S^2}{n} + \frac{S^4}{2(n-1)}}$$

dove:

\bar{Y} è il valore medio del dataset con distribuzione log-normale;
 z è la distribuzione normale standardizzata;
 t è il valore della distribuzione di Student ad n-1 gradi di libertà;
 S è la deviazione standard del campione;
 n il numero di dati.

Parametro ϕ (angolo di attrito)

$$x_k = \bar{x} \pm t_{n-1}^{0.95} \left(\frac{s}{\sqrt{n-1}} \right)$$

dove:

x_k è il valore caratteristico desiderato;
 \bar{x} con barra il valore medio (ignoto) della popolazione, ipotizzato essere uguale al valore medio del campione;
 t è il valore della distribuzione di student ad n-1 gradi di libertà con probabilità $u = 95\%$ (ossia, $1-\alpha = 0.95$ o alternativamente, $\alpha = 0.05$);
 s è la deviazione standard del campione;
 n il numero di dati.

Parametro γ (densità naturale)

Il valore caratteristico è stato definito tramite la statistica della varianza nota per un solo dato:

$$x_k = \bar{x} \pm z_{0.05} \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) \approx \bar{x} \pm 1.645 \cdot \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right)$$

dove:

x_k è il valore caratteristico desiderato;
 \bar{x} con barra il valore medio della popolazione, ipotizzato essere uguale al valore medio del campione;
 z è la distribuzione normale standardizzata;
 σ è la deviazione standard della popolazione;
 n è la numerosità del campione.

STUDIO G.D.S. di De Togni D. e Gabrielli F. Via La Marchesa, 3 – 41037 MIRANDOLA (MO) Tel.: 335.577.1941 - 339.407.3066 E-mail: info@studiogds.com	COMUNE DI SUZZARA Piazza Castello n. 1 46029 - Suzzara (MN)	Pag. 11
---	--	---------

Titolo:	Data:
Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno a supporto del progetto di realizzazione dell'intervento di restauro, rifunzionalizzazione e miglioramento sismico del Teatro Guido ubicato in Comune di Suzzara (MN)	Ottobre 2021

Il modello geotecnico individuato è sintetizzato nelle seguenti tabelle, in cui vengono riportati i valori medi ed i valori caratteristici delle Unità individuate; In generale i modelli geologico e geotecnico ricostruiti dalle prove penetrometriche eseguite, fanno riferimento ad unità caratterizzate da tessitura e parametri geotecnici mediamente omogenei; i valori riportati nella tabella relativa a ciascuna Unità, infatti fanno riferimento a valori medi e caratteristici per l'intero spessore e gli stessi potrebbero, quindi, differenziarsi sia in eccesso che in difetto, prendendo in considerazioni spessori più limitati e/o livelli intermedi all'interno della stessa Unità.

Unità A – da 1,50/1,80 metri a 3,30/3,50metri da p.c.

Terreno a comportamento coesivo

Argille, argille limose e limi argillosi di bassa consistenza

Parametri geotecnici	Simbolo	Unità	Valore medio	Valore caratteristico
Resistenza alla punta	Rp	kg/cm ²	11	8
Rapporto qc/fs	Qc/fs	/	17	14
Peso di volume naturale	γ	kN/m ³	18,5	18,5
Coesione non drenata	c _u	kPa	65	52
Angolo di attrito*	Φ	°		25
Coesione**	C	kPa		5
Grado di sovraconsolidazione	OCR	%	8	6
Modulo confinato di deformazione	M _o	kg/cm ²	145	105
Modulo di Poisson	μ	-	0,45	/

*relazione di Senneset et al (1989)

** relazione di Sellountou et al (1989)

***valore medio di letteratura (Jamolkowski et al., 1994; Lo Presti, 1995; Mayne e Poulos, 1999)

Unità B – da 3,30/3,50metri a 10,70/11,00 metri da p.c.

Terreno a comportamento coesivo

Argilla ed Argilla limosa di bassa consistenza

Parametri geotecnici	Simbolo	Unità	Valore medio	Valore caratteristico
Resistenza alla punta	Rp	kg/cm ²	13	10
Rapporto qc/fs	Qc/fs	/	17	12
Peso di volume naturale	γ	kN/m ³	18,5	18,5

STUDIO G.D.S. di De Togni D. e Gabrielli F. Via La Marchesa, 3 – 41037 MIRANDOLA (MO) Tel.: 335.577.1941 - 339.407.3066 E-mail: info@studiogds.com	COMUNE DI SUZZARA Piazza Castello n. 1 46029 - Suzzara (MN)	Pag. 12
---	--	---------

Titolo:	Data:
Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno a supporto del progetto di realizzazione dell'intervento di restauro, rifunzionalizzazione e miglioramento sismico del Teatro Guido ubicato in Comune di Suzzara (MN)	Ottobre 2021

Coesione non drenata	c_u	kPa	54	43
Angolo di attrito*	Φ	°		24
Coesione**	C	kPa		5
Grado di sovraconsolidazione	OCR	%	3,2	2,00
Modulo confinato di deformazione	M_o	kg/cm ²	80	65
Modulo di Poisson***	μ	-	0,45	/

*relazione di Senneset et al (1989)

** relazione di Sellountou et al (1989)

***valore medio di letteratura (Jamolkowski et al., 1994; Lo Presti, 1995; Mayne e Poulos, 1999)

Unità C – da 10,70/11,00 metri a 13,30/13,60metri da p.c.

Terreno a comportamento granulare

Limi sabbiosi, sabbie limose e sabbie di medio addensamento

Parametri geotecnici	Simbolo	Unità	Valore medio	Valore caratteristico
Resistenza alla punta	Rp	kg/cm ²	120	105
Rapporto qc/fs	Qc/fs	/	62	54
Peso di volume naturale	γ	kN/m ³	19,5	19,5
Grado di addensamento	Dr	%	58	55
Angolo di attrito	Φ	°	35	31
Modulo di Young	Es	kg/cm ²	550	450
Modulo confinato di deformazione	M_o	kg/cm ²	830	750
Modulo di Poisson***	μ	-	0,35	/

***valore medio di letteratura (Jamolkowski et al., 1994; Lo Presti, 1995; Mayne e Poulos, 1999)

Unità D – da 13,30/13,60metri a 20,00 metri da p.c.

Terreno a comportamento granulare

Sabbia di medio addensamento con locali intercalazioni di limi sabbiosi

Parametri geotecnici	Simbolo	Unità	Valore medio	Valore caratteristico
Resistenza alla punta	Rp	kg/cm ²	139	136
Rapporto qc/fs	Qc/fs	/	74	70
Peso di volume naturale	γ	kN/m ³	19,5	19,5

STUDIO G.D.S. di De Togni D. e Gabrielli F. Via La Marchesa, 3 – 41037 MIRANDOLA (MO) Tel.: 335.577.1941 - 339.407.3066 E-mail: info@studiogds.com	COMUNE DI SUZZARA Piazza Castello n. 1 46029 - Suzzara (MN)	Pag. 13
---	--	---------

Titolo:	Data:
Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno a supporto del progetto di realizzazione dell'intervento di restauro, rifunzionalizzazione e miglioramento sismico del Teatro Guido ubicato in Comune di Suzzara (MN)	Ottobre 2021

Densità Relativa	Dr	%	56	54
Angolo di attrito	Φ	°	36	33
Modulo di Elasticità	Es	kg/cm ²	600	500
Modulo confinato di deformazione	M _o	kg/cm ²	950	800
Modulo di Poisson***	μ	-	0,30	/

***valore medio di letteratura (Jamolkoswki et al., 1994; Lo Presti, 1995; Mayne e Poulos, 1999)

I valori caratteristici sono rappresentativi di una situazione di compensazione delle zone deboli e forti del terreno, poiché è prevista una struttura di fondazione rigida (punto 6.2.2. Circolare: “Valori caratteristici dei parametri geomeccanici”). Tali valori non possono essere estesi a priori a fondazioni non rigide, a meno che lo spessore di influenza della fondazione non sia grande in relazione alla scala di fluttuazione dei parametri geomeccanici, come evidenziato nello stesso punto C6.2.2 della Circolare.

Il citato punto C6.2.2 recita: *“Nelle valutazioni che il progettista deve svolgere per pervenire ad una scelta corretta dei valori caratteristici, appare giustificato il riferimento a valori prossimi ai valori medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno, con possibile compensazione delle eterogeneità o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di rigidità sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti. Al contrario, valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici appaiono più giustificati nel caso in cui siano coinvolti modesti volumi di terreno, con concentrazione delle deformazioni fino alla formazione di superfici di rottura nelle porzioni di terreno meno resistenti del volume significativo, o nel caso in cui la struttura a contatto con il terreno non sia in grado di trasferire forze dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti a causa della sua insufficiente rigidità.”*

La scelta di valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei terreni; basti pensare, ad esempio, all'effetto delle discontinuità sul valore operativo della resistenza non drenata.

Una migliore approssimazione nella valutazione dei valori caratteristici può essere ottenuta operando le opportune medie dei valori dei parametri geotecnici nell'ambito di piccoli volumi di terreno, quando questi assumano importanza per lo stato limite considerato”.

STUDIO G.D.S. di De Togni D. e Gabrielli F. Via La Marchesa, 3 – 41037 MIRANDOLA (MO) Tel.: 335.577.1941 - 339.407.3066 E-mail: info@studiogds.com	COMUNE DI SUZZARA Piazza Castello n. 1 46029 - Suzzara (MN)	Pag. 14
---	--	---------

Titolo:	Data:
Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno a supporto del progetto di realizzazione dell'intervento di restauro, rifunzionalizzazione e miglioramento sismico del Teatro Guido ubicato in Comune di Suzzara (MN)	Ottobre 2021

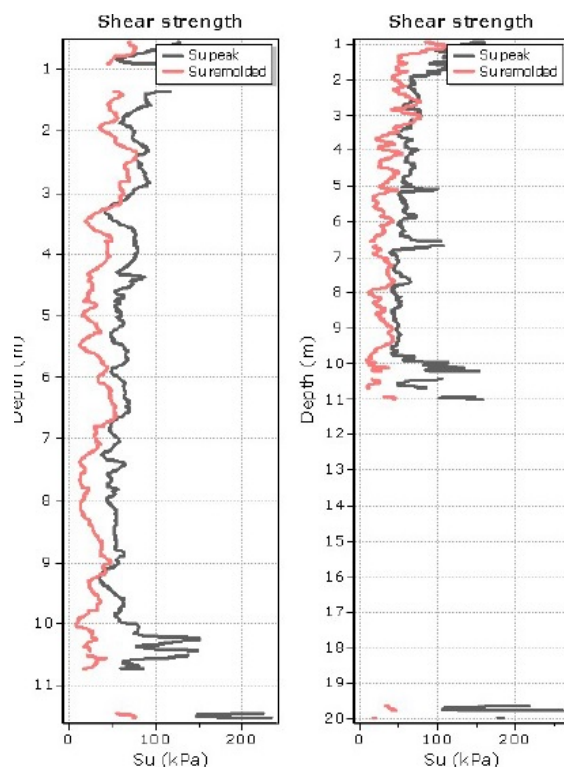


Figura 4: Variazione della coesione non drenata (kPa) lungo le verticali di indagini (CPTU 1 a sx e CPTU2 a dx) – report in scale differenti

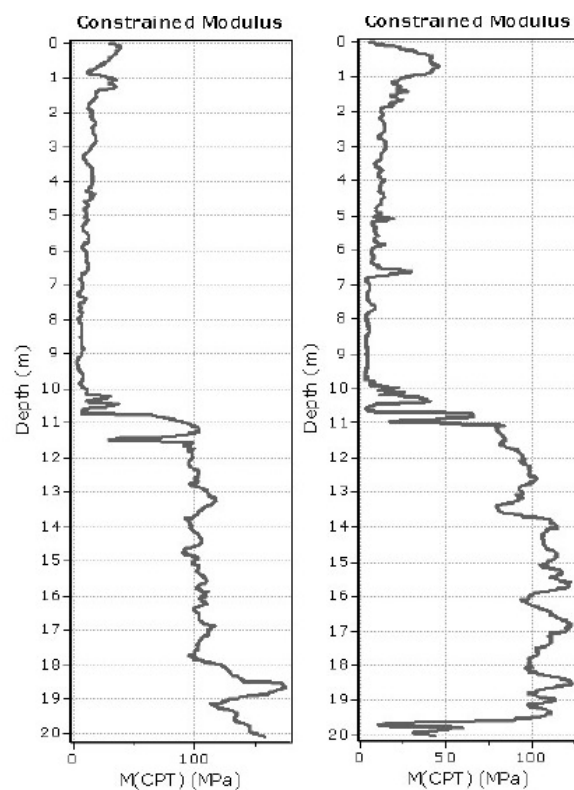


Figura 5: Variazione del Modulo edometrico (Mpa) lungo le verticali di indagini (CPTU 1 a sx e CPTU2 a dx)

STUDIO G.D.S. di De Togni D. e Gabrielli F. Via La Marchesa, 3 – 41037 MIRANDOLA (MO) Tel.: 335.577.1941 - 339.407.3066 E-mail: info@studiogds.com	COMUNE DI SUZZARA Piazza Castello n. 1 46029 - Suzzara (MN)	Pag. 15
---	--	---------

Titolo:	Data:
Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno a supporto del progetto di realizzazione dell'intervento di restauro, rifunzionalizzazione e miglioramento sismico del Teatro Guido ubicato in Comune di Suzzara (MN)	Ottobre 2021

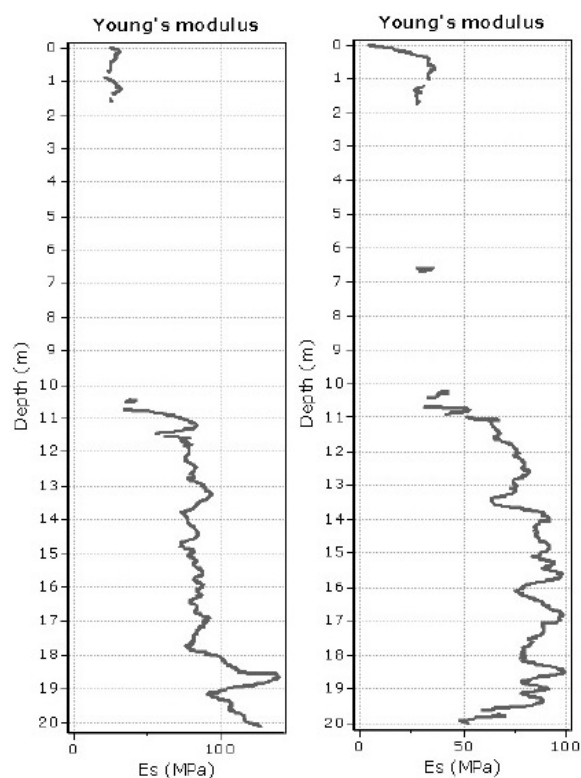


Figura 6: Variazione del Modulo elastico (Mpa) lungo le verticali di indagini (CPTU 1 a sx e CPTU2 a dx)

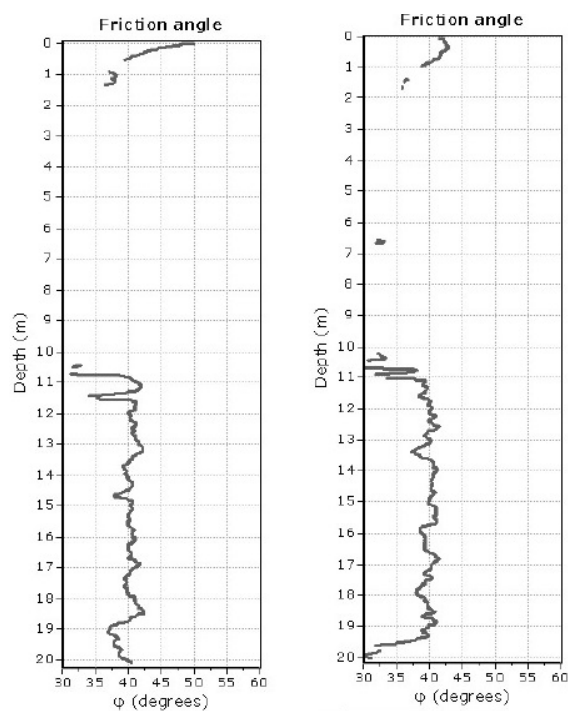


Figura 7: Variazione dell'angolo di attrito interno (°) lungo le verticali di indagini (CPTU 1 a sx e CPTU2 a dx)

STUDIO G.D.S. di De Togni D. e Gabrielli F. Via La Marchesa, 3 – 41037 MIRANDOLA (MO) Tel.: 335.577.1941 - 339.407.3066 E-mail: info@studiogds.com	COMUNE DI SUZZARA Piazza Castello n. 1 46029 - Suzzara (MN)	Pag. 16
---	--	---------

Titolo:	Data:
Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno a supporto del progetto di realizzazione dell'intervento di restauro, rifunzionalizzazione e miglioramento sismico del Teatro Guido ubicato in Comune di Suzzara (MN)	Ottobre 2021

5. VERIFICHE DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI

Le verifiche di sicurezza sono state svolte utilizzando i metodi basati sul concetto di coefficiente di sicurezza parziale introdotto in Europa dagli Eurocodici ma previsto ora anche dalla Norma nazionale (Decreto Ministeriale del 17 Gennaio 2018). In base a tale metodo, ogni singola causa di incertezza, sulle sollecitazioni, sui materiali, sugli schemi di calcolo viene pesata con un apposito coefficiente, detto appunto di sicurezza parziale, che è proporzionato alla influenza ed al grado di incertezza di norma attribuibili al parametro considerato.

Le verifiche di sicurezza sono state svolte facendo riferimento:

- agli Stati Limite Ultimi (SLU) e agli Stati Limite di Esercizio (SLE) per quanto riguarda le condizioni statiche;
- agli Stati Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) e agli Stati Limite di Danno (SLD) per quanto riguarda le condizioni pseudostatiche.

Verifiche nei confronti degli stati limite ultimi (SLU e SLV)

Per ogni stato limite ultimo è stato verificato il rispetto della condizione:

$$Ed \leq Rd$$

dove:

Ed è il valore della azione (o dell'effetto dell'azione) di progetto e **Rd** è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico. Gli effetti delle azioni di progetto possono essere calcolati applicando il coefficiente di sicurezza parziale, o direttamente sulle azioni o sull'effetto finale:

$$Ed = E(\gamma_F F_k, X_k/\gamma_M, a_d)$$

$$Ed = \gamma_E E(F_k, X_k/\gamma_M, a_d)$$

Il Decreto Ministeriale del 2018 fornisce un solo gruppo di valori numerici, valido sia per γ_F che per γ_E .

Le resistenze R_d , possono essere calcolate in modi distinti che si differenziano per come agisce il coefficiente di sicurezza parziale: sulle azioni, sull'effetto delle azioni o su entrambe.

L'entità delle azioni influenza infatti anche i valori delle resistenze geotecniche:

$$R_d = R(\gamma_F F_k, X_k/\gamma_M, a_d)/\gamma_R$$

Il Decreto Ministeriale 17.01.2018 propone per alcune opere geotecniche approcci alternativi (Approccio 1 e Approccio 2), per altre un solo approccio; fornisce inoltre per ciascuna combinazione prevista i coefficienti parziali definiti per le azioni (A1-A2), per i parametri geotecnici (M1-M2) e per le resistenze (R1-R2-R3).

Nel presente progetto relativo alle opere di fondazione si è utilizzato:

– Approccio 2: (A1+M1+R3)

sia per i carichi verticali che per quelli orizzontali i fattori parziali di sicurezza assumono i valori indicati nelle seguenti tabelle.

STUDIO G.D.S. di De Togni D. e Gabrielli F. Via La Marchesa, 3 – 41037 MIRANDOLA (MO) Tel.: 335.577.1941 - 339.407.3066 E-mail: info@studiogds.com	COMUNE DI SUZZARA Piazza Castello n. 1 46029 - Suzzara (MN)	Pag. 17
---	--	---------

Titolo:	Data:
Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno a supporto del progetto di realizzazione dell'intervento di restauro, rifunzionalizzazione e miglioramento sismico del Teatro Guido ubicato in Comune di Suzzara (MN)	Ottobre 2021

CARICHI	EFFETTO	COEFFICIENTI PARZIALI	EQU	A1	A2
Carichi Permanenti G1	Sfavorevoli	γ_{G1}	1,1	1,3	1,0
	Favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
Carichi Permanenti G2	Sfavorevoli	γ_{G2}	1,5	1,5	1,3
	Favorevoli	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
Azioni Variabili	Sfavorevoli	γ_{Qi}	1,5	1,5	1,3
	Favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0

TABELLA 1 – COEFFICIENTI PARZIALI SULLE AZIONI O PER L'EFFETTO DELLE AZIONI γ_F (O γ_E) (TAB. 6.2.I.D.M. 17.01.2018)

PARAMETRO	GRANDEZZA A CUI SI APPLICA IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTI PARZIALI	M1	M2
Tangente della resistenza al taglio	$\tan \varphi'$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_u	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,0	1,0

TABELLA 2 – COEFFICIENTI PARZIALI SUI PARAMETRI CARATTERISTICI DEL TERRENO: γ_M (TAB. 6.2.II D.M. 17.01.2018)

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE R3
Capacità portante	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$

TABELLA 3 – COEFFICIENTI PARZIALI SULLE RESISTENZE AGLI STATI ULTIMI DI FONDAZIONI SUPERFICIALI: γ_R

(TAB. 6.4.I.D.M. 17.01.2018)

Nell'ambito delle verifiche in condizioni sismiche si ricorda che le azioni vengono combinate senza amplificare i carichi permanenti.

Verifiche delle prestazioni (SLE e SLD)

STUDIO G.D.S. di De Togni D. e Gabrielli F. Via La Marchesa, 3 – 41037 MIRANDOLA (MO) Tel.: 335.577.1941 - 339.407.3066 E-mail: info@studiogds.com	COMUNE DI SUZZARA Piazza Castello n. 1 46029 - Suzzara (MN)	Pag. 18
---	--	---------

Titolo:	Data:
Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno a supporto del progetto di realizzazione dell'intervento di restauro, rifunzionalizzazione e miglioramento sismico del Teatro Guido ubicato in Comune di Suzzara (MN)	Ottobre 2021

In relazione alla struttura in elevazione è stato verificato che il valore di progetto dell'effetto delle azioni E_d risultasse minore del valore di progetto limite dell'effetto delle azioni C_d , esplicitando pertanto le prestazioni attese per l'opera stessa e confrontandole con le prescrizioni relative agli spostamenti compatibili.

Per ciascun stato limite di esercizio in condizioni statiche e per lo stato limite di danno in condizioni sismiche deve infatti essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq C_d$$

dove E_d è il valore di progetto dell'effetto delle azioni e C_d è il prescritto valore limite dell'effetto delle azioni.

Quest'ultimo deve essere stabilito in funzione del comportamento della struttura in elevazione.

6. DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Sulla base delle disposizioni previste dalle Norme Tecniche per le Costruzioni si definiscono per l'opera in progetto i seguenti parametri sismici, calcolati sulla base della finalità d'uso a cui l'opera è destinata (per alcuni riferimenti vedi relazione sulla modellazione sismica).

Coordinate Geografiche della località in esame (ED50)°	
Longitudine:	10,747588
Latitudine:	44,992940
VITA DELLA STRUTTURA	
Vita Nominale dell'opera:	$V_N = 50$ anni
Classe d'uso:	III
Coefficiente d'uso:	$C_u = 1.50$
Periodo di riferimento per le azioni sismiche strutturali:	$V_R = V_N \times C_u = 75$ anni
CARATTERISTICHE SISMICHE DEL SITO (vedi relazione sulla modellazione sismica)	
Topografia:	T1
Coefficiente topografico:	$S_T = 1.0$
Categoria di suolo:	C
Coefficiente stratigrafico allo SLV:	$S_S = 1,93$ (da analisi di III° livello)
Coefficiente stratigrafico allo SLD:	$S_S = 2,00$ (da analisi di III° livello)

Nei confronti dell'azione sismica si considerano i seguenti Stati Limite (*paragrafo 3.2.1*):

quale Stato Limite di Esercizio:

STUDIO G.D.S. di De Togni D. e Gabrielli F. Via La Marchesa, 3 – 41037 MIRANDOLA (MO) Tel.: 335.577.1941 - 339.407.3066 E-mail: info@studiogds.com	COMUNE DI SUZZARA Piazza Castello n. 1 46029 - Suzzara (MN)	Pag. 19
---	--	---------

Titolo:	Data:
Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno a supporto del progetto di realizzazione dell'intervento di restauro, rifunzionalizzazione e miglioramento sismico del Teatro Guido ubicato in Comune di Suzzara (MN)	Ottobre 2021

Stato Limite di Danno (SLD): *a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.*

La Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R = 75$ anni è pari a $P_{VR} = 63\%$, di conseguenza il periodo di ritorno dell'azione da considerare per lo SLD è pari a:

$$T_R = - [V_R / \ln(1-P_{VR})] = 75 \text{ anni}$$

Amplificazione stratigrafica allo SLD

Tenuto conto dell'accelerazione al suolo di riferimento pari a 0,046g (derivato dalle coordinate del luogo di studio), del coefficiente di amplificazione stratigrafico (2,00 da analisi di III° Livello) e del coefficiente topografico (1,0), **l'accelerazione alla sommità del deposito** (o accelerazione massima orizzontale al suolo) **allo SLD** risulta:

$$a_{MAX(g)} = 0,046 * 2,00 * 1,00 = 0,092g$$

quale stato limite ultimo:

Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV): *a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.*

La Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R = 75$ anni è pari a $P_{VR} = 10\%$, di conseguenza il periodo di ritorno dell'azione da considerare per lo SLV è pari a:

$$T_R = - [V_R / \ln(1-P_{VR})] = 712 \text{ anni}$$

Amplificazione stratigrafica allo SLV

Tenuto conto dell'accelerazione al suolo di riferimento pari a 0,107g (derivato dalle coordinate del luogo di studio), del coefficiente di amplificazione stratigrafico (1,93 da analisi di III° Livello) e del coefficiente topografico (1,0), **l'accelerazione alla sommità del deposito** (o accelerazione massima orizzontale al suolo) **allo SLV** risulta:

$$a_{MAX(g)} = 0,107 * 1,93 * 1,00 = 0,207g$$

Volendo ricorrere infine ad analisi semplificata per via pseudostatica, l'azione sismica è schematizzabile come un insieme di forze statiche orizzontali e verticali rappresentative delle forze inerziali prodotte dal

STUDIO G.D.S. di De Togni D. e Gabrielli F. Via La Marchesa, 3 – 41037 MIRANDOLA (MO) Tel.: 335.577.1941 - 339.407.3066 E-mail: info@studiogds.com	COMUNE DI SUZZARA Piazza Castello n. 1 46029 - Suzzara (MN)	Pag. 20
---	--	---------

Titolo:	Data:
Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno a supporto del progetto di realizzazione dell'intervento di restauro, rifunzionalizzazione e miglioramento sismico del Teatro Guido ubicato in Comune di Suzzara (MN)	Ottobre 2021

passaggio delle onde sismiche nel terreno, date dal prodotto delle forze di gravità per un coefficiente di accelerazione sismica orizzontale k_h e verticale k_v espressi dalle seguenti relazioni:

$$k_h = \beta * S_s * S_T * (a_g/g)$$

$$k_v = 0.5 * k_h$$

Introducendo i valori numerici sopra specificati ed applicando i coefficienti β come da tabella 7.11.I del D.M. 17/01/2018, si ottengono i seguenti valori dei coefficienti di accelerazione sismica orizzontale e verticale, da considerare per la progettazione strutturale della fondazione:

SLD	$k_h = 0.019$	$k_v = \pm 0.009$
SLV	$k_h = 0.050$	$k_v = \pm 0.025$

7. FONDAZIONI SUPERFICIALI – VERIFICHE GEOTECNICHE

7.1 Tipologia di fondazioni e parametri caratteristici di verifica

Le problematiche geotecniche di maggior rilievo sono sostanzialmente legate alla valutazione della capacità portante del terreno di fondazione e al calcolo dei cedimenti, che debbono essere contenuti e ammissibili dalla struttura in progetto. La capacità portante è intesa come la resistenza limite di un terreno, la quale è funzione della natura del sottosuolo e delle caratteristiche geometriche della fondazione; tale resistenza è il valore limite della pressione trasmessa dalla fondazione oltre il quale si verifica la completa rottura del terreno.

Di seguito si andranno a sviluppare i calcoli, finalizzati ad una valutazione del grado di affidabilità che i terreni potranno offrire nel caso di intervento edificatorio.

Sulla base dei dati forniti dal progettista strutturale sono state ipotizzate nei calcoli delle fondazioni superficiali definite come:

- Fondazione nastriforme continua con larghezza variabile rispettivamente pari a 0,60m, 0,80m e 1,00m a profondità di 2,00m da p.c.

La profondità del cuneo di rottura al di sotto del piano di posa della fondazione, dipende dall'angolo di attrito interno e della larghezza della fondazione, come peraltro rilevabile dalla relazione di Meyerhof (1953):

$$H = 0,5 \cdot B \cdot \tan (45^\circ + \varphi/2)$$

dove: H = profondità cui si spinge il cuneo di rottura solidale con la fondazione;

B = larghezza della fondazione;

STUDIO G.D.S. di De Togni D. e Gabrielli F. Via La Marchesa, 3 – 41037 MIRANDOLA (MO) Tel.: 335.577.1941 - 339.407.3066 E-mail: info@studiogds.com	COMUNE DI SUZZARA Piazza Castello n. 1 46029 - Suzzara (MN)	Pag. 21
---	--	---------

Titolo:	Data:
Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno a supporto del progetto di realizzazione dell'intervento di restauro, rifunzionalizzazione e miglioramento sismico del Teatro Guido ubicato in Comune di Suzzara (MN)	Ottobre 2021

φ° = angolo di attrito interno.

Considerando i parametri relativi all'Unità A e alla fondazione più larga pari ad 1,00m, si giunge ai seguenti risultati; in condizioni non drenate ($\phi=0$), H assume il valore di circa **0,50m** (dal piano fondale); in condizioni drenate ($\phi=24^\circ$), H assume il valore di circa **0,75m** (dal piano fondale).

I terreni coinvolti dall'eventuale rottura sono quindi ascrivibili all'Unità A.

Si evidenziano quindi nella seguente tabella i valori caratteristici ottenuti ed impiegati nell'elaborazione dei calcoli, sulla base della geometria della fondazione adottata e delle sue interazioni coi terreni, ottenuti facendo riferimento ai parametri delle Unità che saranno coinvolte dal carico fondale.

Fondazione Nastriforme	Peso di volume γ	Angolo di attrito interno φ° (phi°)	Coesione drenata c'	Coesione non drenata c_u
Valore caratteristico Xk	18,5kN/mq	25°	5kPa	50 kPa

7.2 Verifica della capacità portante SLU – Condizioni statiche

Il calcolo della portanza del terreno di fondazione è stato effettuato in funzione del tipo di rottura possibile correlato direttamente dalla compressibilità dello stesso; nel caso particolare, per la presenza di terreni a comportamento prevalentemente coesivo e nella condizione non drenata, si prevede una situazione di *rottura generale del terreno*.

La verifica a capacità portante è eseguita utilizzando la formula generale di Brinch-Hansen (1970), che può essere impiegata per qualunque tipo di terreno e per profondità di posa fino a $D = 4 \cdot B$.

La relazione proposta da Brinch-Hansen, comprensiva di fattori correttivi di forma, di approfondimento, per carichi inclinati, per fondazione su pendio e per fondazioni con base ruotata, è la seguente:

$$q_{lim} = c_u \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q_0 \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q + 0,5 \cdot B \cdot \gamma \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma \cdot g_\gamma$$

essendo: c_u = coesione non drenata;

$q_0 = \gamma \cdot D_f$ = peso del terreno asportato per lo scavo di fondazione;

B = larghezza della fondazione;

N_c, N_q, N_γ = coefficienti di capacità portante;

γ = peso di volume del terreno;

φ° = angolo di attrito interno.

STUDIO G.D.S. di De Togni D. e Gabrielli F. Via La Marchesa, 3 – 41037 MIRANDOLA (MO) Tel.: 335.577.1941 - 339.407.3066 E-mail: info@studiogds.com	COMUNE DI SUZZARA Piazza Castello n. 1 46029 - Suzzara (MN)	Pag. 22
---	--	---------

Titolo:	Data:
Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno a supporto del progetto di realizzazione dell'intervento di restauro, rifunzionalizzazione e miglioramento sismico del Teatro Guido ubicato in Comune di Suzzara (MN)	Ottobre 2021

La verifica alla capacità portante è stata eseguita sia in condizioni non drenate (a breve termine) che in quelle drenate (a lungo termine).

La falda freatica è posizionata esternamente alla zona di influenza del cuneo di rottura, per cui nelle verifiche sono stati considerati attivi gli effetti riduttivi della stessa sulla capacità portante.

I fattori correttivi utilizzati sono presentati nella seguente tabella:

- s = fattori di forma, pari a:
 - $s_f = (1 - 0.4 B/L)$
 - $s_q = 1 + (\tan \phi' B/L)$
 - $s_c = s_q$ per $\phi' > 25^\circ$
 - $s_c = (s_q N_q - 1) / (N_q - 1)$ per $\phi' < 25^\circ$
 - $s_c^\circ = 0.2 B/L$
 - essendo L il lato maggiore della fondazione.
- d = fattori di profondità, pari a:
 - $d_f = 1$
 - $d_q = 1 + 2 \tan \phi' (1 - \tan \phi')^2 D/B$
 - $d_q = 1 + 2 \tan \phi' (1 - \tan \phi')^2 \arctg D/B$
 - $d_c = (d_q s_q N_q - 1) / (N_q - 1)$
 - $d_c^\circ = 0.4 D/B$ per $D/B < 1$
 - $d_c^\circ = 0.4 \arctg D/B$ per $D/B > 1$
- b = fattori di inclinazione della base della fondazione, pari a:
 - $b_r = e^{-2.7 \alpha \tan \phi'}$
- g = fattori inclinazione del piano di campagna, pari a:
 - $g_f = g_q = (1 - 0.5 \tan \beta)^5$
 - $g_c = g_q$
 - $g_c^\circ = \beta^\circ / 147^\circ$
 - essendo β l'angolo di inclinazione del piano
- i = fattori di inclinazione del carico, pari a:
 - $i_c = i_q$
 - $i_c^\circ = 0.5 - 0.5 [1 - H / (B L c_u)]^{0.5}$

La falda freatica è posizionata internamente alla zona di influenza del cuneo di rottura, per cui nelle verifiche sono stati considerati attivi gli effetti riduttivi della stessa sulla capacità portante.

Le verifiche geotecniche sulla capacità portante sono state eseguite mediante la relazione di Brinch-Hansen; in tali condizioni, le risultanze sono le seguenti:

APPROCCIO 2 (A1 + M1 + R3) - SLU CONDIZIONI STATICHE

TIPOLOGIA FONDAZIONE	B (m)	D _f (m)	q _{lim} statico (kPa) - condizioni non drenate	R _d statico (kPa) - condizioni non drenate	q _{lim} statico (kPa) - condizioni drenate	R _d statico (kPa) - condizioni drenate
NASTRIFORME 1	0,6	2.00	423.0	183.9	746	324.3
NASTRIFORME 2	0,8	2.00	415.0	180.4	748	325.2
NASTRIFORME 3	1.0	2.00	407.0	177.0	751	326.5

Le verifiche evidenziano che la condizione più cautelativa è quella a breve termine; si proseguiranno quindi i calcoli pseudostatici valutando esclusivamente questa condizione.

7.3 Verifica della capacità portante SLV – Condizioni pseudostatiche

STUDIO G.D.S. di De Togni D. e Gabrielli F. Via La Marchesa, 3 – 41037 MIRANDOLA (MO) Tel.: 335.577.1941 - 339.407.3066 E-mail: info@studiogds.com	COMUNE DI SUZZARA Piazza Castello n. 1 46029 - Suzzara (MN)	Pag. 23
---	--	---------

Titolo:	Data:
Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno a supporto del progetto di realizzazione dell'intervento di restauro, rifunzionalizzazione e miglioramento sismico del Teatro Guido ubicato in Comune di Suzzara (MN)	Ottobre 2021

La verifica alla capacità portante in condizioni dinamiche allo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV) è stato condotto secondo quanto disposto nel cap. 7.11.5. del D.M. 17 Gennaio 2018.

Per le fondazioni superficiali l'azione del sisma si traduce in accelerazioni nel sottosuolo (effetto cinematico) e nella fondazione, per l'azione delle forze d'inerzia generate nella strutture in elevazione (effetto inerziale).

La verifica in combinazione sismica costituisce sicuramente una condizione penalizzante rispetto alla combinazione statica. La verifica è stata svolta con un foglio di calcolo che rispetta i suggerimenti delle NTC e della Circolare, utilizzando la classica formula di Brinch-Hansen, sviluppata secondo i suggerimenti di Bowles e con aggiunta del coefficiente z_i che tiene conto degli effetti inerziali indotti dal sisma (Paolucci & Pecker, 1997). Pertanto, considerando che la condizione peggiorativa è quella a breve termine, la formula si riduce alla seguente sulla base dei fattori correttivi e della sola presenza di terreni coesivi:

$$q_{lim} = c_u \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c \cdot z_c + q_0 \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q \cdot z_q$$

dove: $z_q = z_\gamma = (1 - k_h / \tan \phi)^{0.35}$

$$z_c = 1 - 0.32 k_h$$

Per effettuare le verifiche agli stati limite in condizioni pseudostatiche, si devono determinare i valori dei coefficienti sismici orizzontale e verticale K_h e K_v , definiti secondo le relazioni (vedi cap. 6):

$$- k_h = \beta_s \cdot A_{max}/g$$

$$- k_v = 0.5 \cdot k_h$$

dove: β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

I risultati delle verifiche sono mostrati nel prospetto seguente.

APPROCCIO 2 (A1 + M1 + R3) - SLV – CONDIZIONI PSEUDOSTATICHE

TIPOLOGIA FONDAZIONE	B (m)	D _f (m)	q _{lim} pseudostatico (kPa) - condizioni non drenate	R _d pseudostatico (kPa) - condizioni non drenate
NASTRIFORME 1	0,6	2.00	380.0	165.2
NASTRIFORME 2	0,8	2.00	370.0	160.9
NASTRIFORME 3	1.0	2.00	360.0	156.5

STUDIO G.D.S. di De Togni D. e Gabrielli F. Via La Marchesa, 3 – 41037 MIRANDOLA (MO) Tel.: 335.577.1941 - 339.407.3066 E-mail: info@studiogds.com	COMUNE DI SUZZARA Piazza Castello n. 1 46029 - Suzzara (MN)	Pag. 24
---	--	---------

Titolo:	Data:
Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno a supporto del progetto di realizzazione dell'intervento di restauro, rifunzionalizzazione e miglioramento sismico del Teatro Guido ubicato in Comune di Suzzara (MN)	Ottobre 2021

7.4 Verifiche agli stati limite di esercizio SLE

Il fattore limitante nel caso dello SLE è rappresentato, nella situazione di opera di fondazione, dal cedimento massimo compatibile con la funzionalità dell'opera.

La verifica agli stati limite di servizio (SLE) è stata condotta attraverso la determinazione dei cedimenti delle fondazioni soggette a condizioni di carico di progetto pari alle resistenze di progetto.

In caso di cedimenti superiori ad una soglia limite assunta pari a 3cm, il carico di progetto viene opportunamente ridotto ad un valore di esercizio inferiore. In relazione alle condizioni sopra impostate è stato valutato il valore di resistenza allo stato limite di esercizio (SLE).

La determinazione dei carichi verificati sulla base dei cedimenti indotti dalla struttura in previsione allo SLE, è stata eseguita sulla base della *teoria dell'elasticità di Boussinesq*, che considera il terreno di fondazione come uno spazio semiinfinito elastico-lineare, omogeneo ed isotropo, ed area di carico flessibile poggianti sul limite superiore del semispazio.

La valutazione dei cedimenti attesi, di tipo monodimensionale prodotti da tensioni indotte da carichi applicati in condizioni di espansione laterale impedita, ha previsto la stima dei contributi dovuti a fenomeni immediati e alla consolidazione. Una volta calcolate le tensioni verticali indotte alle varie profondità dalla presenza del sovraccarico, usando la teoria dell'elasticità in condizioni piane, la valutazione dei cedimenti è stata effettuata con appositi fogli di calcolo.

In merito ai parametri di deformabilità, si è fatto riferimento ai risultati delle prove penetrometriche statiche eseguite, alla luce dei metodi interpretativi indicati nella relazione sulle indagini geognostiche.

I calcoli di previsione dei cedimenti sono stati eseguiti per le stesse impronte fondali utilizzate nelle verifiche sulla capacità portante dei terreni di fondazione.

Nella verifica si sono utilizzati carichi ipotetici; pertanto, i valori ottenuti sono da considerarsi indicativi, non utilizzabili nella progettazione definitiva.

La stima del cedimento teorico assoluto è stato calcolato sulla base del modello geologico del sottosuolo, considerando i terreni caratterizzati da componente coesiva prevalente; il tutto è stato quindi verificato tramite la relazione suggerita da Terzaghi-Buisman per la stima dei cedimenti a tempi infiniti in terreni coesivi la cui espressione risulta la seguente:

$$\Delta H = H_0 \cdot \Delta q \cdot M_v$$

di cui:

ΔH = cedimento i-esimo;

H_0 = intervallo stratigrafico considerato;

Δq = incremento di carico all'i-esima profondità;

STUDIO G.D.S. di De Togni D. e Gabrielli F. Via La Marchesa, 3 – 41037 MIRANDOLA (MO) Tel.: 335.577.1941 - 339.407.3066 E-mail: info@studiogds.com	COMUNE DI SUZZARA Piazza Castello n. 1 46029 - Suzzara (MN)	Pag. 25
---	--	---------

Titolo:	Data:
Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno a supporto del progetto di realizzazione dell'intervento di restauro, rifunzionalizzazione e miglioramento sismico del Teatro Guido ubicato in Comune di Suzzara (MN)	Ottobre 2021

M_v = Coefficiente di compressibilità volumetrica.

TIPOLOGIA FONDAZIONE	B (m)	PROF. (m)	CEDIMENTO (cm)	PRESSIONE AMMISSIBILE NETTA (kPa)
NASTRIFORME 1	0,60	2,00	2,90	105
NASTRIFORME 2	0,80	2,00	2,98	90
NASTRIFORME 3	1,00	2,00	2,97	75

Cedimenti assoluti di tale entità, in terreni soggetti a carichi equivalenti a quelli utilizzati e per aree di impronta delle fondazioni analoghe a quelle considerate, sono da ritenersi accettabili per litotipi con proprietà geomeccaniche simili a quelle riscontrate nel sottosuolo dell'area studiata.

Pertanto, **al fine di contenere i cedimenti attesi entro il valore preso a riferimento, le massime pressioni agenti sul terreno di fondazione devono essere inferiori a quelle indicati nella tabella sopra riportata.**

Si ricorda che il carico di progetto allo S.L.E. non dovrà provocare un cedimento superiore a quello limite stimato dal progettista e, come indicato nelle "Norme tecniche per il progetto sismico di opere di fondazione e di sostegno dei terreni", sarà necessario realizzare una fondazione di rigidità tale da trasmettere al terreno nel modo più uniforme possibile le azioni localizzate ricevute dalla sovrastruttura ed assorbire le eventuali tensioni dovute a possibili cedimenti differenziali. I calcoli precedentemente esposti hanno comunque valore indicativo ed andranno verificati dal Tecnico Progettista sulla base della distribuzione geometrica delle fondazioni e dei reali carichi trasmessi dalla struttura.

7.5 Determinazione dei moduli di reazione del terreno

Il coefficiente o modulo di reazione del terreno viene definito come quel legame che vi è tra la pressione esercitata su un terreno ed il suo cedimento. Si può calcolare secondo questa espressione:

$$p(x,y)=k*w(x,y)$$

dove:

- $k[N/m^3]$ è la costante di sottofondo (o modulo di Winkler),
- $w(x,y)[m]$ è lo spostamento verticale di un punto generico di coordinate (x,y) che giace sul terreno
- $p(x,y)[N/m^2]$ è la pressione agente sulla superficie del terreno

I calcoli sono stati elaborati col metodo di Vesic (1961) e riferiti alle Unità in contatto con le fondazioni; I valori ottenuti per la fondazione considerata sono di seguito indicati (per il calcolo del Modulo di Winkler orizzontale sia in condizioni statiche che dinamiche è stata impiegata la Relazione suggerita da Bowles

STUDIO G.D.S. di De Togni D. e Gabrielli F. Via La Marchesa, 3 – 41037 MIRANDOLA (MO) Tel.: 335.577.1941 - 339.407.3066 E-mail: info@studiogds.com	COMUNE DI SUZZARA Piazza Castello n. 1 46029 - Suzzara (MN)	Pag. 26
---	--	---------

Titolo:	Data:
Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno a supporto del progetto di realizzazione dell'intervento di restauro, rifunzionalizzazione e miglioramento sismico del Teatro Guido ubicato in Comune di Suzzara (MN)	Ottobre 2021

(1991) $K_{w,h} = 2 K_{w,v}$; per il calcolo del Modulo di Winkler in condizioni dinamiche è stata impiegata la formula $K_{w,dinamico} = 0,70 K_{w,statico}$):

Tipologia fondazione	B (m)	L (m)	D (m)	K Winkler statico orizzontale (kg/cmc)	K Winkler statico verticale (kg/cmc)	K Winkler dinamico orizzontale (kg/cmc)	K Winkler dinamico verticale (kg/cmc)
Nastriforme 1	0,60	inf	2,00	1,40 - 1,60	2,80-3,20	1,00-1,15	2,00-2,30
Nastriforme 2	0,80	inf	2,00	1,20 - 1,30	2,40-2,60	0,85-0,95	1,70-1,90
Nastriforme 3	1,00	inf	2,00	1,00 - 1,10	2,00 - 2,20	0,70-0,80	1,40-1,60

8. STABILITA' DEL SITO ED INDICAZIONI OPERATIVE

In base alle risultanze della relazione geologica allegata al progetto, all'osservazione delle caratteristiche morfologiche e litostratigrafiche, nonché in relazione al fatto che la struttura sorge su un contesto morfologicamente pianeggiante, il sito oggetto di intervento è da ritenersi stabile.

Nei confronti della liquefazione, per quanto esposto nella Relazione sulla modellazione sismica, il sito è da ritenere non a rischio.

Per quanto attiene ai potenziali fenomeni di instabilità dei fronti di scavo, si fa osservare che la loro stabilità sarà direttamente correlata al grado di umidità dei terreni. Si ritiene infatti un mantenimento della stabilità per scavi in verticale, solo ed esclusivamente in assenza di condizioni umide.

L'eventualità di trovare livelli anche sottili nel primissimo sottosuolo saturi e/o umidi, potrà determinare una maggiore tendenza all'instabilità durante le fasi di scavo.

Va comunque segnalata la presenza di terreni di riporto di spessori significativi a cui dovrà essere posta particolare attenzione in caso di scavi superficiali; per i quali si sconsiglia la possibilità di eseguire eventuali scavi in verticale, ma secondo angoli di scarpa in linea con le caratteristiche dei terreni e sempre in condizioni asciutte.

Per ciò che riguarda i terreni naturali (esclusi quindi i terreni di riporto che possono garantire resistenze inferiori), la possibilità di mantenere degli scavi verticali, è da limitare comunque alle condizioni completamente asciutte e sino ad altezza complessive di 1,00m-1,20m.

Si pone in evidenza che è comunque sempre necessario il rispetto delle seguenti norme di sicurezza:

- D.Lgs 81/2008, art. 118: Nei lavori di splateamento o sbancamento eseguiti senza l'impiego di escavatori meccanici, le pareti dei fronti di attacco devono avere un'inclinazione o un tracciato tali, in relazione alla natura del terreno, da impedire franamenti.

STUDIO G.D.S. di De Togni D. e Gabrielli F. Via La Marchesa, 3 – 41037 MIRANDOLA (MO) Tel.: 335.577.1941 - 339.407.3066 E-mail: info@studiogds.com	COMUNE DI SUZZARA Piazza Castello n. 1 46029 - Suzzara (MN)	Pag. 27
---	--	---------

<i>Titolo:</i>	<i>Data:</i>
<i>Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno a supporto del progetto di realizzazione dell'intervento di restauro, rifunzionalizzazione e miglioramento sismico del Teatro Guido ubicato in Comune di Suzzara (MN)</i>	<i>Ottobre 2021</i>

Quando la parete ha un fronte di attacco che supera l'altezza di metri 1,50, è vietato il sistema manuale per scalzamento alla base. Quando per particolare natura del terreno o per cause piogge, di infiltrazione, di gelo e disgelo, o per altri motivi, siano da temere frane o scoscendimenti, si deve provvedere all'armatura o al consolidamento del terreno.

- D.Lgs 81/2008, art. 118: Nello scavo di pozzi e di trincee profondi più di 1,50 metri, quando la consistenza del terreno non dia sufficienti garanzie di stabilità, anche in relazione alla pendenza delle pareti, si deve provvedere, man mano che procede lo scavo, all'applicazione delle necessarie armature di sostegno.
- D.Lgs 81/2008, art. 120: E' vietato costituire depositi di materiali presso il ciglio degli scavi. Qualora tali depositi siano necessari per le condizioni del lavoro, si deve provvedere alle necessarie puntellature.
- D.M. 17.01.2018 "Norme Tecniche sulle costruzioni", 6.8.6. (fronti di scavo): Per scavi trincea a fronte verticale di altezza superiore ai 2 metri (lo scrivente segnala max 1,2 m per i terreni in posto), nei quali sia prevista la permanenza di operai e per scavi che ricadano in prossimità di manufatti esistenti, deve essere prevista un'armatura di sostegno delle pareti di scavo (salvo prescrizioni differenti contenute nella presente relazione).

Si indicano pertanto le seguenti procedure minime operative per l'esecuzione delle opere in progetto oltre a quanto già richiesto dalle norme di sicurezza generali:

- eventuali fronti di scavo dovranno essere realizzati secondo angoli compatibili con le caratteristiche dei depositi e l'altezza complessiva dello scavo stesso, tenendo conto di un sufficiente margine di sicurezza;
- l'apertura degli scavi dovrà essere relativamente breve per evitare fenomeni di detensionamento piuttosto intensi, con peggioramento delle caratteristiche geotecniche;
- le acque superficiali di ruscellamento dovranno essere regimate con opportune canalizzazioni e sistemi di drenaggio;
- si ritiene opportuno, in fase di esecuzione dei lavori, effettuare un'accorta ispezione visiva del terreno di fondazione, insieme al geologo, per accertare la presenza di disomogeneità litologiche particolarmente evidenti non riscontrate nelle indagini o situazioni litologiche di potenziale pericolo per la realizzazione degli scavi.

9. CONCLUSIONI

La presente relazione geotecnica sulle indagini è stata redatta a supporto del progetto dei lavori di realizzazione dell'intervento di restauro, rifunzionalizzazione e miglioramento sismico del Teatro Guido ubicato in Comune di Suzzara (MN).

STUDIO G.D.S. di De Togni D. e Gabrielli F. Via La Marchesa, 3 – 41037 MIRANDOLA (MO) Tel.: 335.577.1941 - 339.407.3066 E-mail: info@studiogds.com	COMUNE DI SUZZARA Piazza Castello n. 1 46029 - Suzzara (MN)	Pag. 28
---	--	---------

Titolo:	Data:
Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno a supporto del progetto di realizzazione dell'intervento di restauro, rifunzionalizzazione e miglioramento sismico del Teatro Guido ubicato in Comune di Suzzara (MN)	Ottobre 2021

Il Teatro è ubicato nel centro capoluogo lungo Viale Zonta ed è attualmente inagibile.

Per la caratterizzazione litostratigrafia e geotecnica dei terreni di fondazione e l'analisi del potenziale di liquefazione sono state eseguite tra prove penetrometriche due di tipo statico con piezocono ed una di tipo statico con punta meccanica, estese alla profondità di 20m da p.i

La modellazione geotecnica per le Unità riconosciute lungo la verticale di indagine è riportata al Capitolo 4.

Sulla base delle indicazioni fornite dal progettista, si è preso in considerazione un sistema fondale superficiale costituito da:

- una fondazione nastriforme con larghezza rispettivamente pari a 0,60m, 0,80m e 1,00m a profondità di 2,00m.

Le verifiche geotecniche sono state condotte mediante l'applicazione dell'Approccio 2 (A1+M1+R3), come da normativa vigente (statiche e pseudostatiche), ed eseguite sia in condizioni non drenate che drenate, in funzione della tipologia del terreno di fondazione emerso (vedi Modello Geologico nella relazione geologica, riportato nel Capitolo 4 nella presente relazione); la condizione non drenata è risultata quella più cautelativa. Dalle valutazioni numeriche è emerso che tale dimensionamento permette di garantire una resistenza di progetto **Rd** in condizioni statiche (SLU) e pseudostatiche come riportato nei paragrafi 7.2 e 7.3 della presente relazione e riassunti nella tabella seguente:

TIPOLOGIA FONDAZIONE	B (m)	D _f (m)	Rd statico (kPa) - condizioni non drenate	Rd pseudostatico (kPa) - condizioni non drenate
NASTRIFORME 1	0,6	2.00	183.9	165.2
NASTRIFORME 2	0,8	2.00	180.4	160.9
NASTRIFORME 3	1.0	2.00	177.0	156.5

Non disponendo dei carichi indotti dal peso della struttura e dalla relativa fondazione, a titolo orientativo, per la stima dei valori del cedimento assoluto, si sono assunte come pressioni di esercizio nette quelle che determinano, sulle basi della tipologia e dimensionamento delle strutture di fondazione, i valori di cedimento massimo inferiori al valore soglia di riferimento ritenuto compatibile per quelle strutture.

I valori sono riportati e riassunti nel Paragrafo 7.4.

Ogni condizione operativa o strutturale che differirà dalle suddette valutazioni dovrà essere opportunamente verificata.

Si suggerisce, nel caso di realizzazione di scavi, la presenza del geologo in cantiere per verificare l'eventuale presenza di difformità stratigrafiche o situazioni di criticità in contrasto con quanto rilevato nelle presenti indagini.

Si segnala che la presenza di livelli granulari e/o livelli coesivi saturi nel primissimo sottosuolo, implica la

STUDIO G.D.S. di De Togni D. e Gabrielli F. Via La Marchesa, 3 – 41037 MIRANDOLA (MO) Tel.: 335.577.1941 - 339.407.3066 E-mail: info@studiogds.com	COMUNE DI SUZZARA Piazza Castello n. 1 46029 - Suzzara (MN)	Pag. 29
---	--	---------

Titolo:	Data:
Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno a supporto del progetto di realizzazione dell'intervento di restauro, rifunzionalizzazione e miglioramento sismico del Teatro Guido ubicato in Comune di Suzzara (MN)	Ottobre 2021

necessità di provvedere all'esecuzione degli scavi in verticale o ad alta inclinazione, solo con condizioni completamente asciutte; nella realizzazione degli scavi si raccomanda quindi di seguire le indicazioni riportate nel capitolo 8 per ciò che riguarda le norme di sicurezza generali. Si segnala che, come prescritto nelle *Norme tecniche per il progetto sismico di opere di fondazione e di sostegno dei terreni*: "...la rigidezza della fondazione deve essere tale da trasmettere al terreno nel modo più uniforme possibile le azioni localizzate ricevute dalla sovrastruttura".

GEOLOGO
DANIELE DE TOGNI



GEOLOGO
FRANCESCO GABRIELLI



STUDIO G.D.S. di De Togni D. e Gabrielli F. Via La Marchesa, 3 – 41037 MIRANDOLA (MO) Tel.: 335.577.1941 - 339.407.3066 E-mail: info@studiogds.com	COMUNE DI SUZZARA Piazza Castello n. 1 46029 - Suzzara (MN)	Pag. 30
---	--	---------

Titolo:	Data:
<i>Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno a supporto del progetto di realizzazione dell'intervento di restauro, rifunzionalizzazione e miglioramento sismico del Teatro Guido ubicato in Comune di Suzzara (MN)</i>	<i>Ottobre 2021</i>

APPENDICE DOCUMENTALE

RISULTATI E CERTIFICATI DELLE INDAGINI GEOFISICHE

Interpretazione parametri geotecnici da Prove CPTU1 e CPTU2

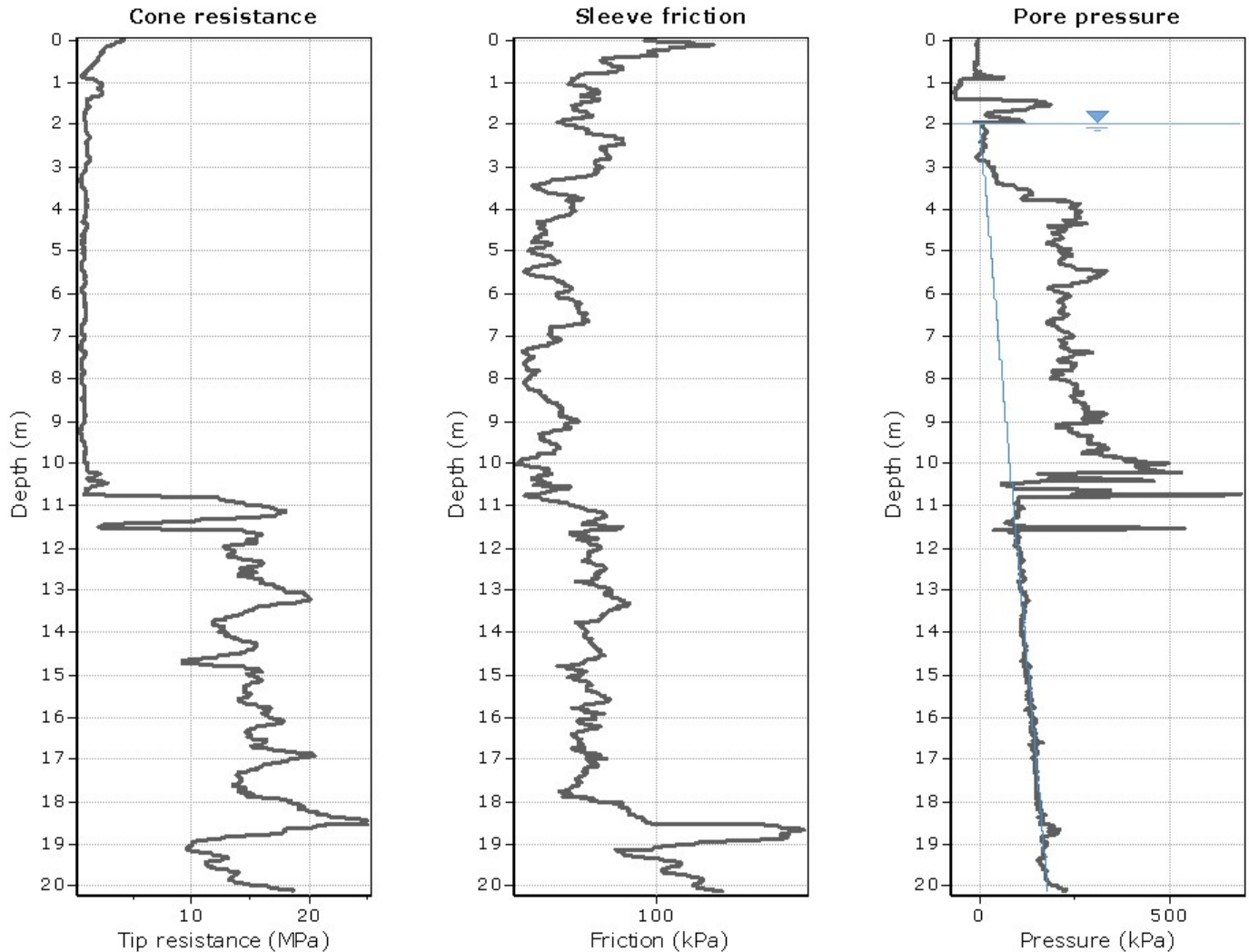
Interpretazione parametri geotecnici da Prova CPT3

STUDIO G.D.S. di De Togni D. e Gabrielli F. Via La Marchesa, 3 – 41037 MIRANDOLA (MO) Tel.: 335.577.1941 - 339.407.3066 E-mail: info@studiogds.com	COMUNE DI SUZZARA Piazza Castello n. 1 46029 - Suzzara (MN)	Pag. 31
---	--	---------

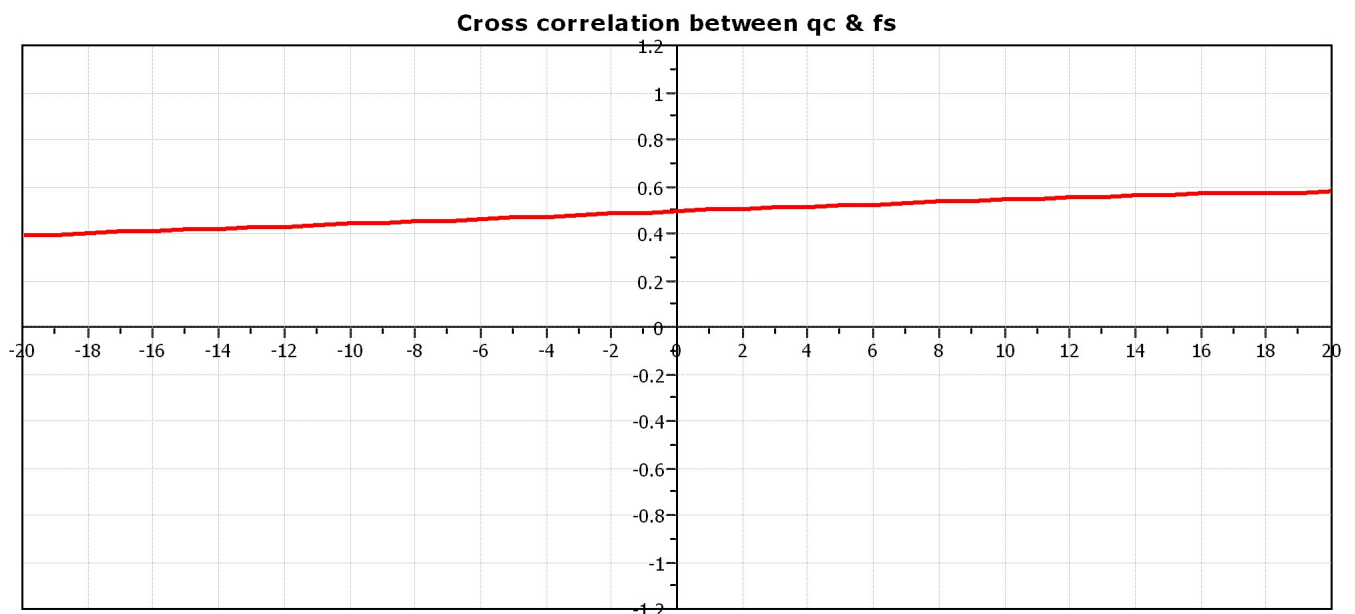
Titolo:	Data:
<i>Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno a supporto del progetto di realizzazione dell'intervento di restauro, rifunzionalizzazione e miglioramento sismico del Teatro Guido ubicato in Comune di Suzzara (MN)</i>	<i>Ottobre 2021</i>

STUDIO G.D.S. di De Togni D. e Gabrielli F. Via La Marchesa, 3 – 41037 MIRANDOLA (MO) Tel.: 335.577.1941 - 339.407.3066 E-mail: info@studiogds.com	COMUNE DI SUZZARA Piazza Castello n. 1 46029 - Suzzara (MN)	Pag. 32
---	--	---------

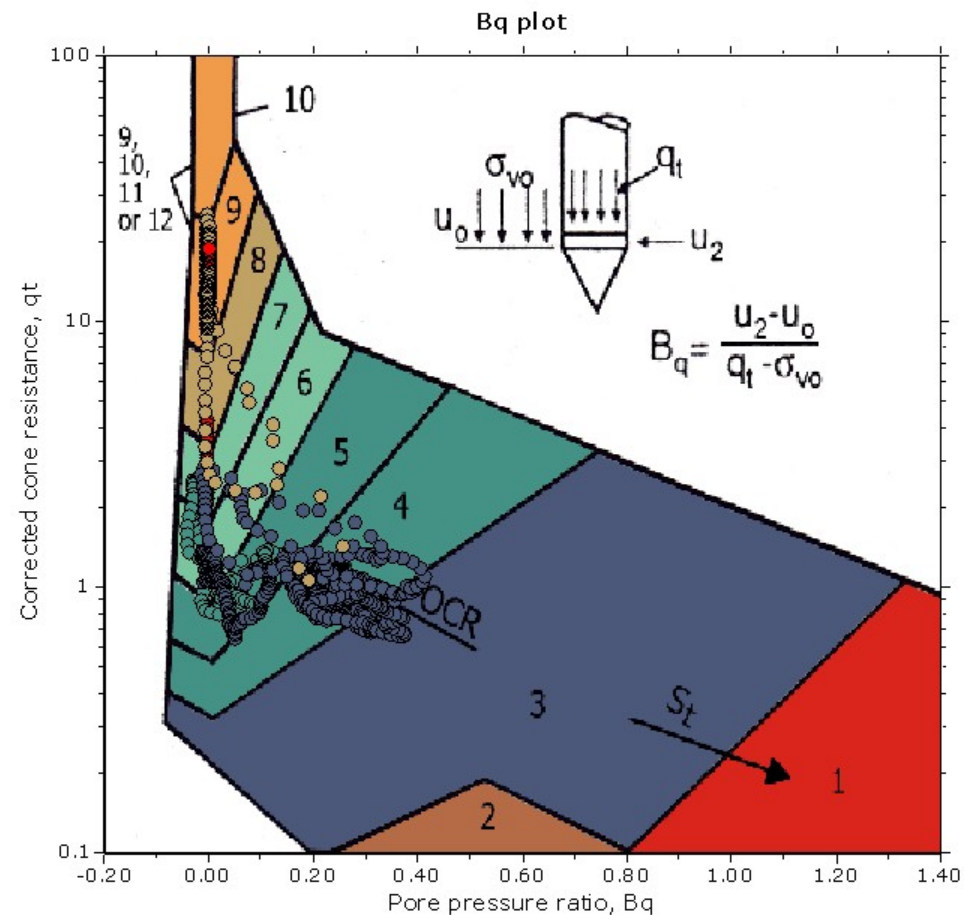
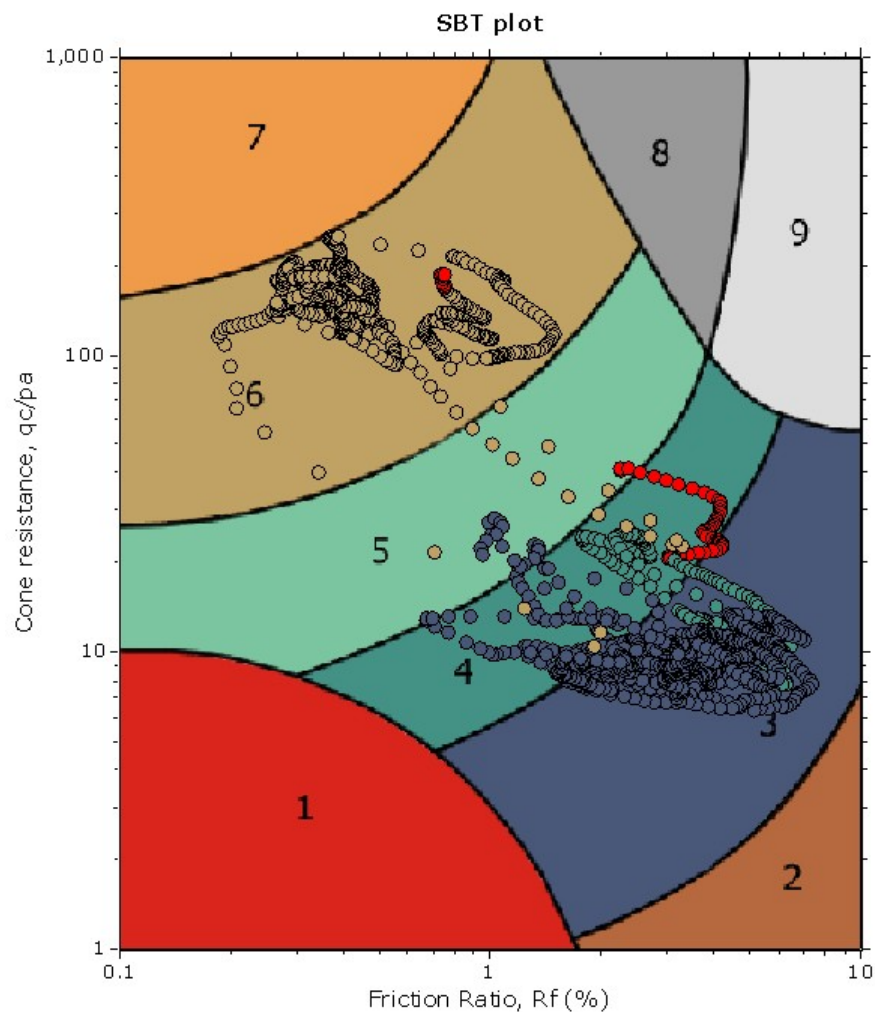
CPTU1



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).



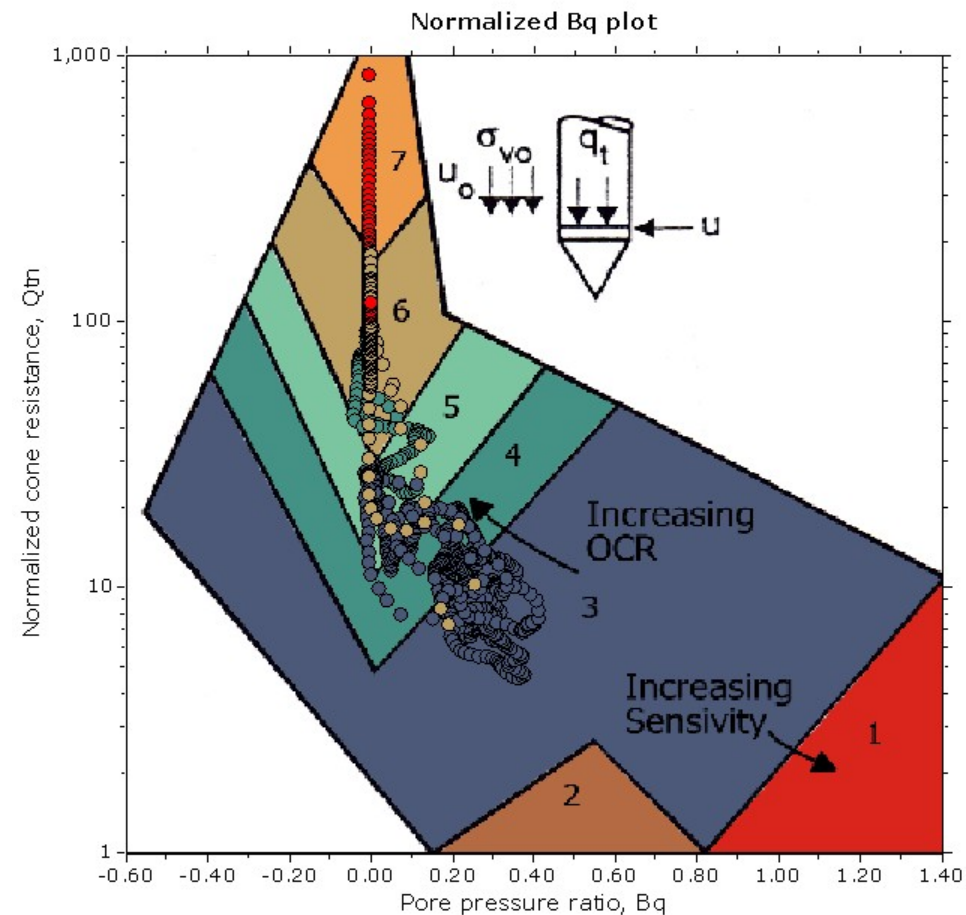
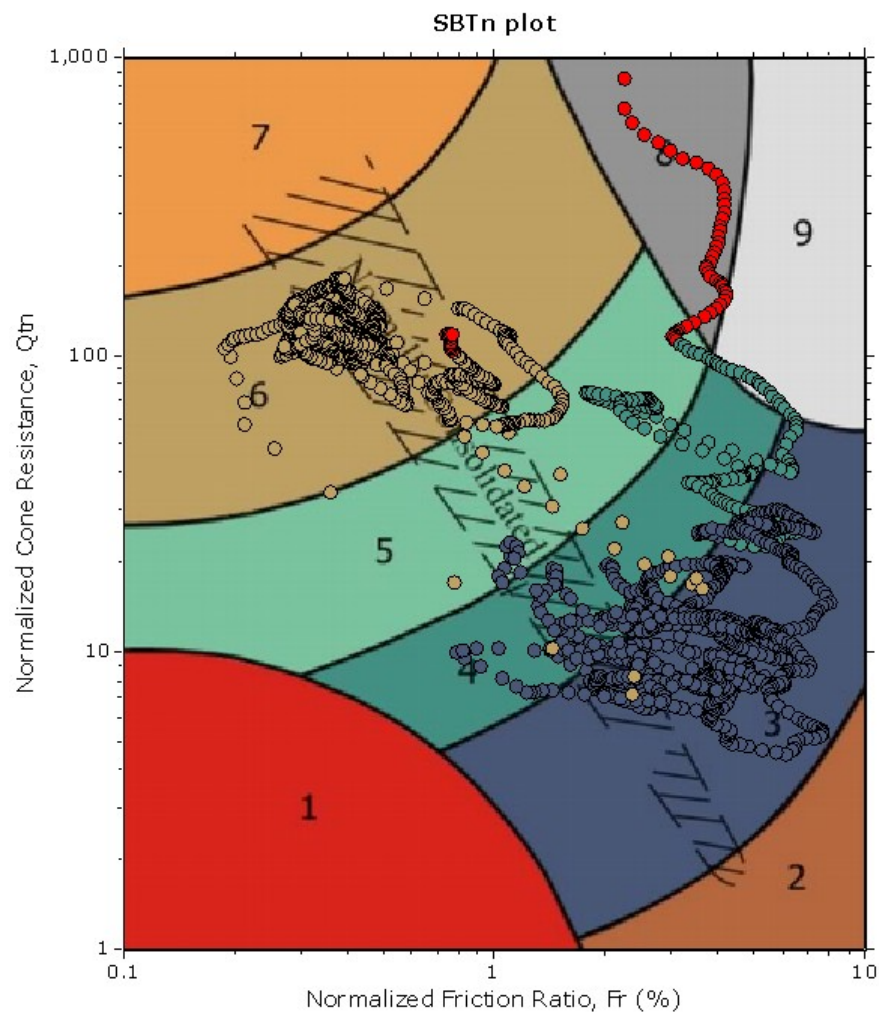
SBT - Bq plots



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 |

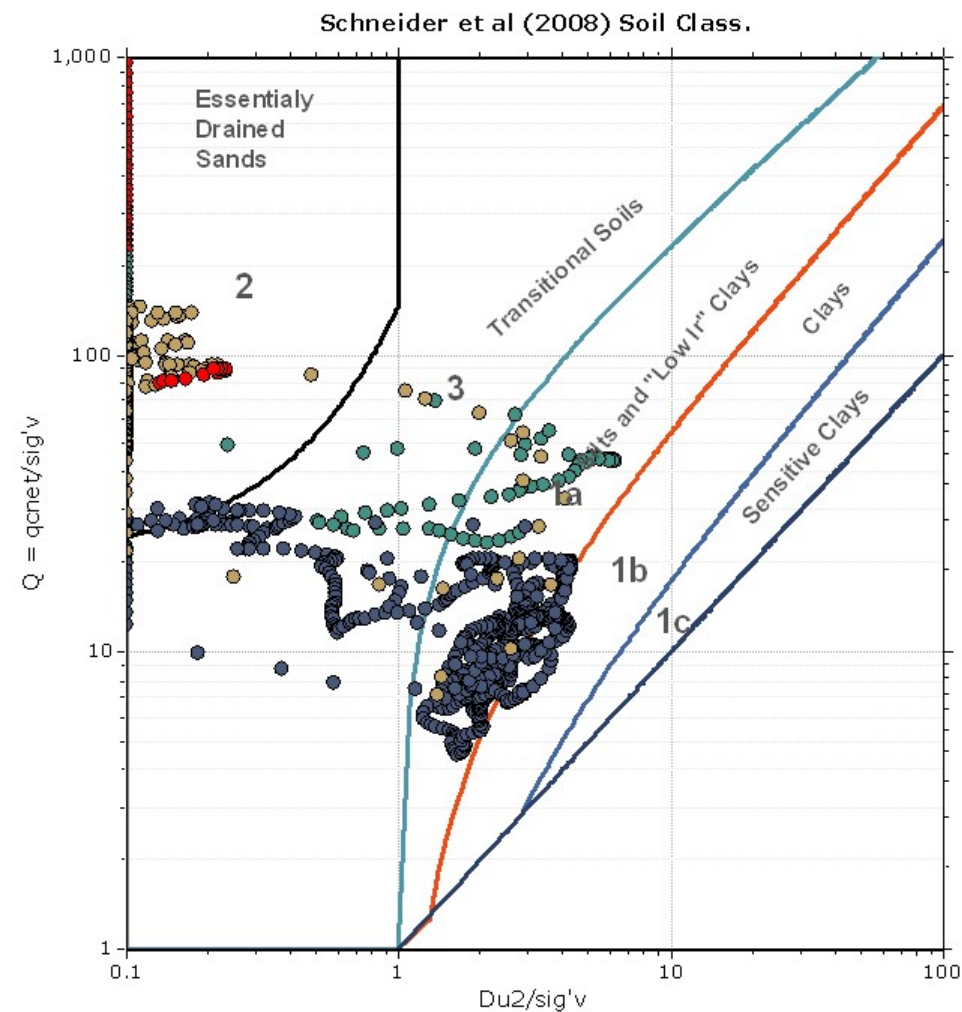
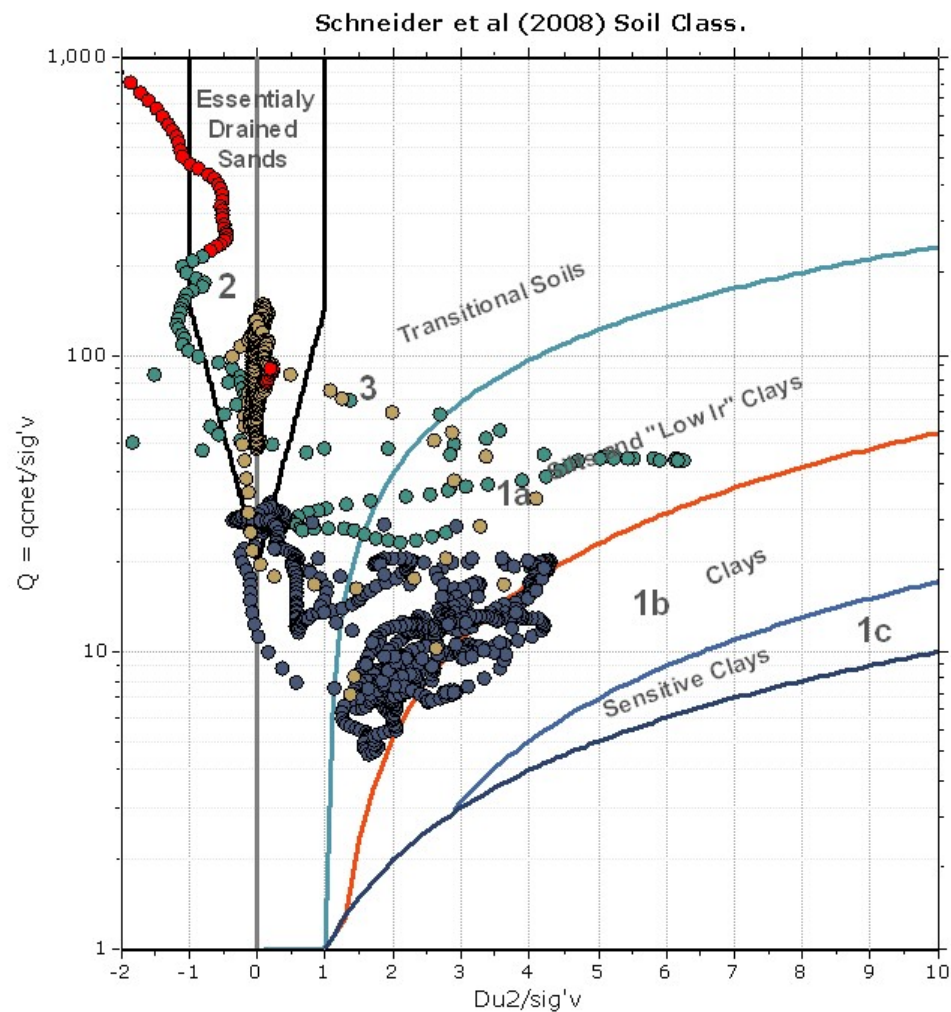
SBT - Bq plots (normalized)

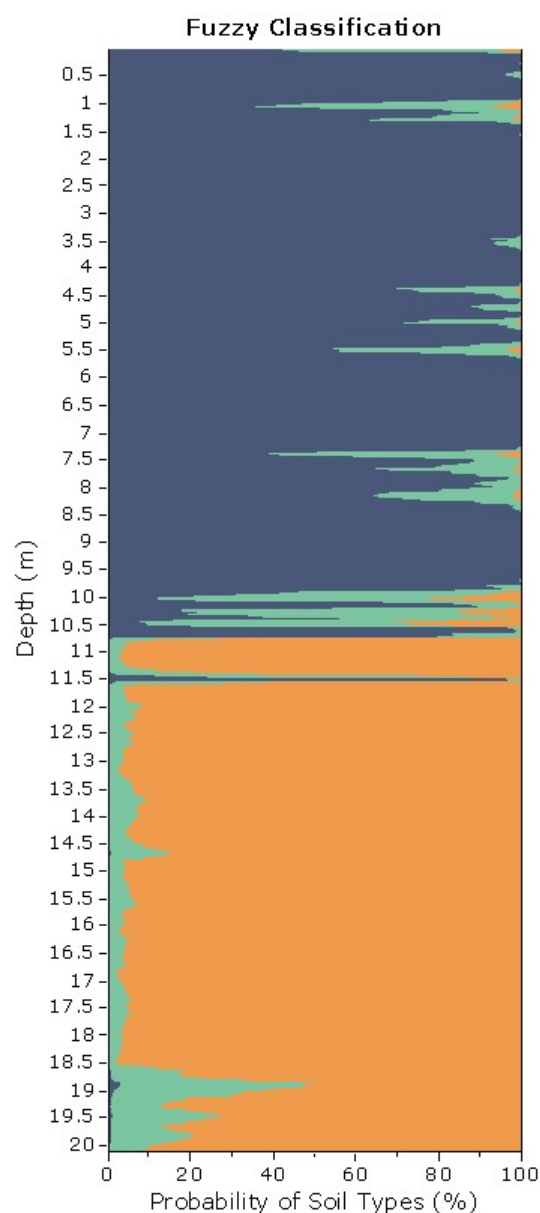
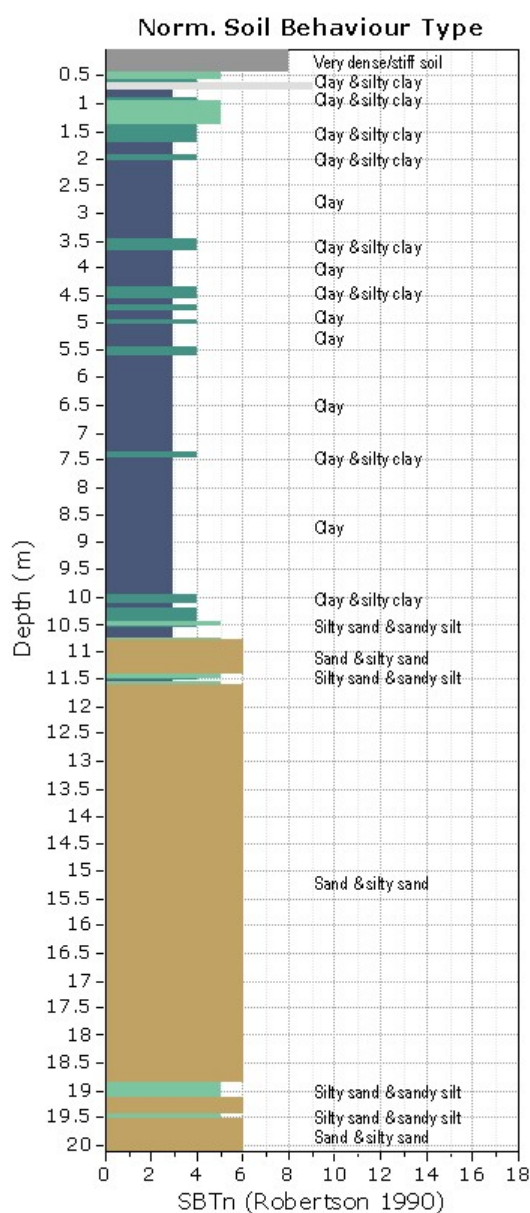


SBTn legend

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

Bq plots (Schneider)





Project: Comune di Suzzara

Location: Teatro Guido

CPT: CPTU

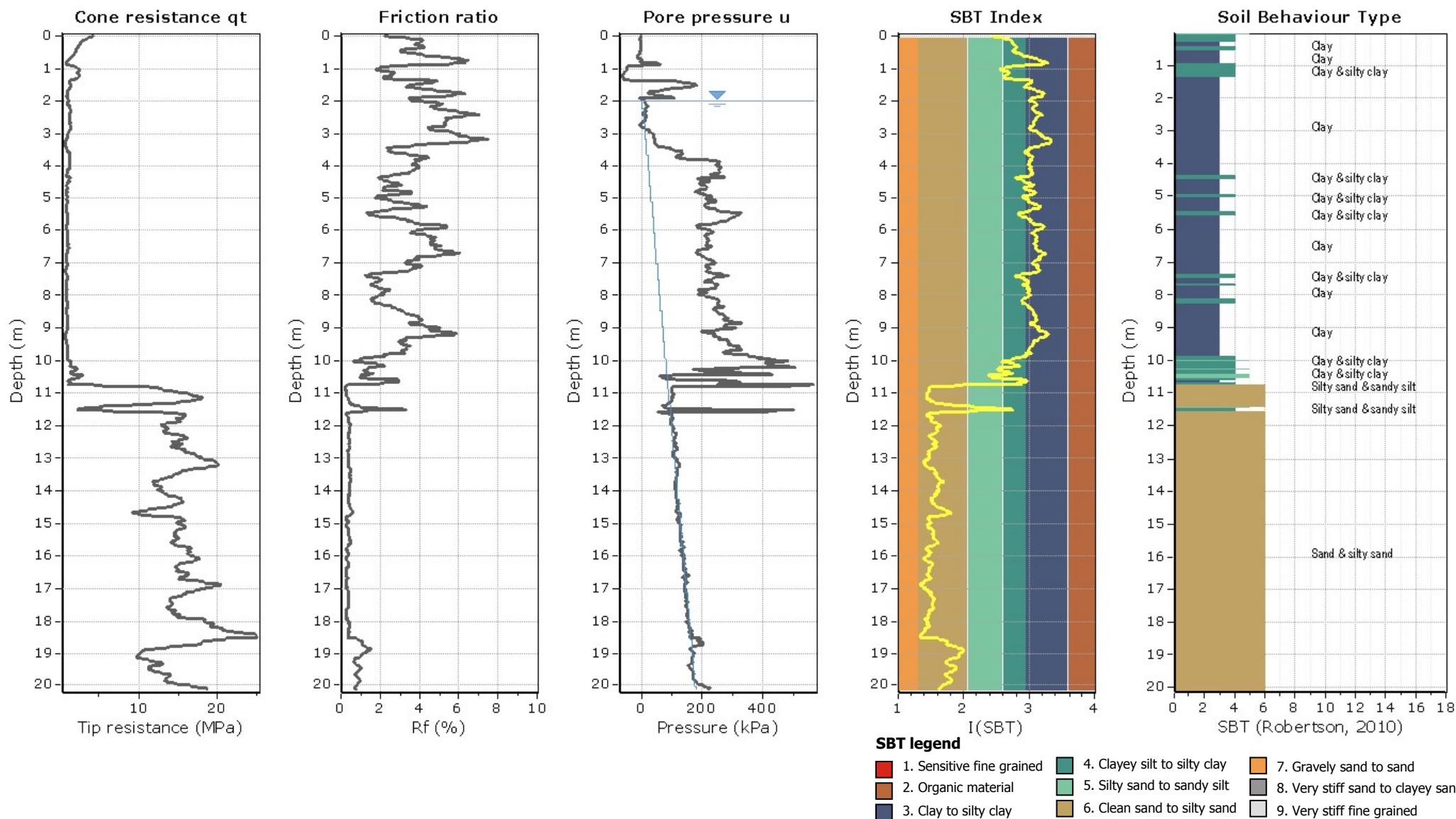
Total depth: 20.11 m, Date: 05/10/2021

Surface Elevation: 2.00 m

Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type: Unknown

Cone Operator: Unknown



Project: Comune di Suzzara

Location: Teatro Guido

CPT: CPTU

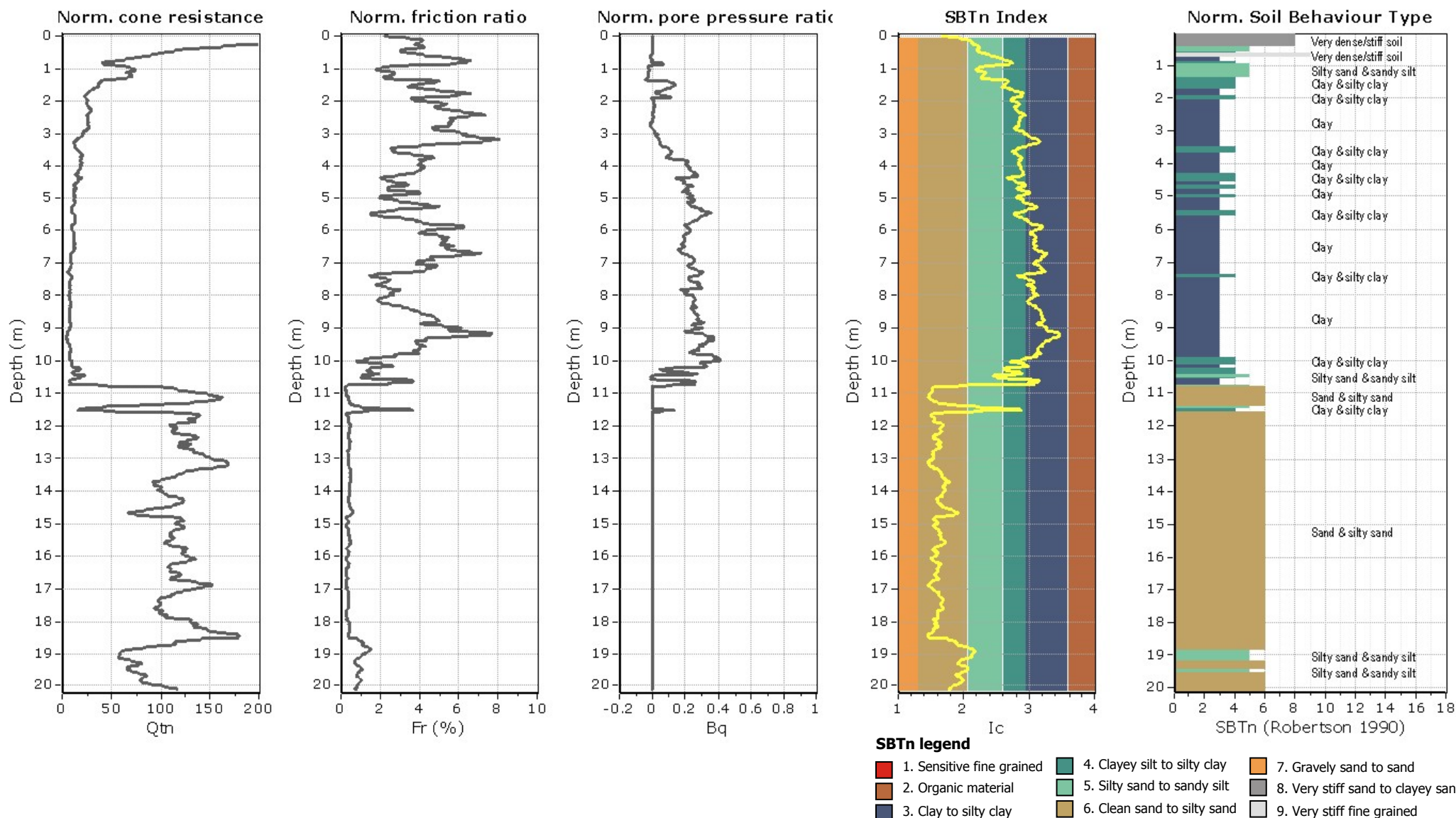
Total depth: 20.11 m, Date: 05/10/2021

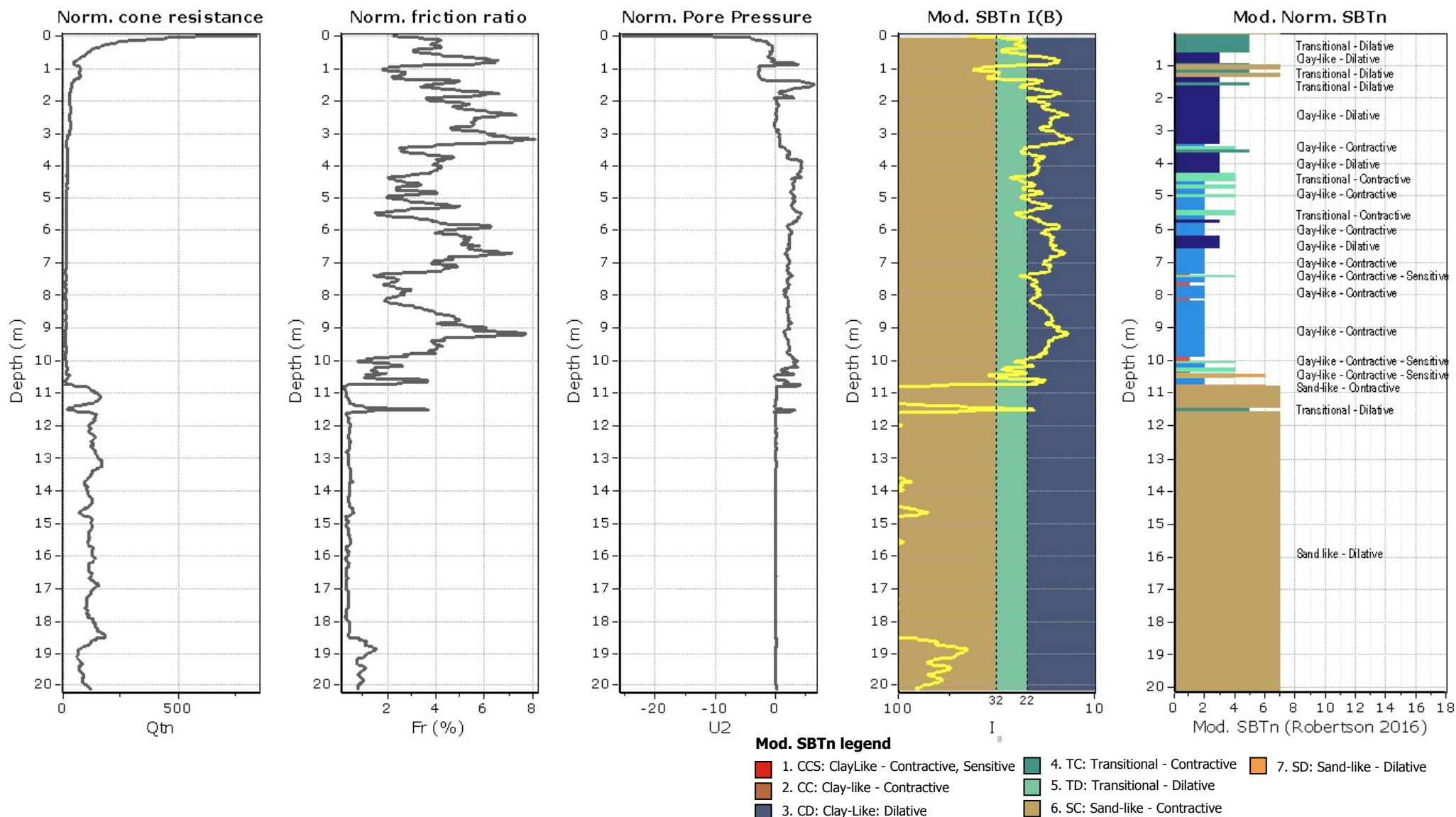
Surface Elevation: 2.00 m

Coords: X:0.00, Y:0.00

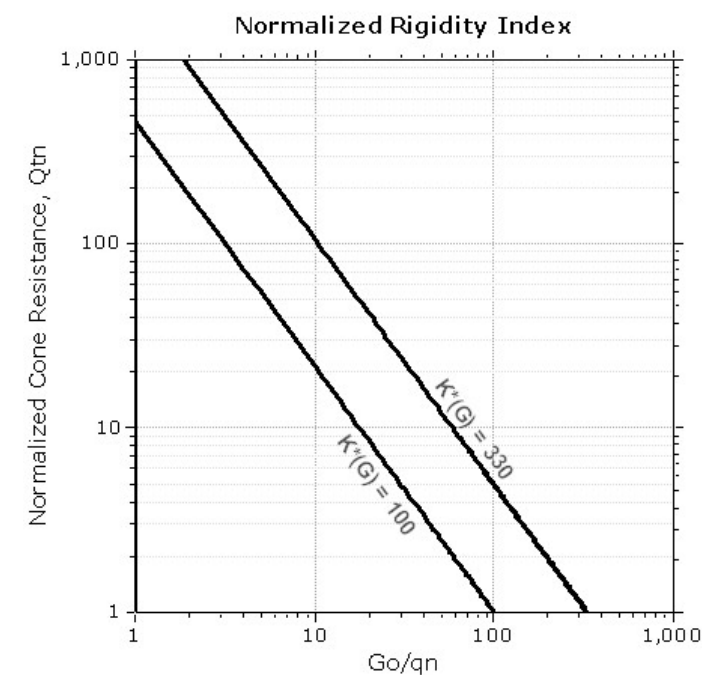
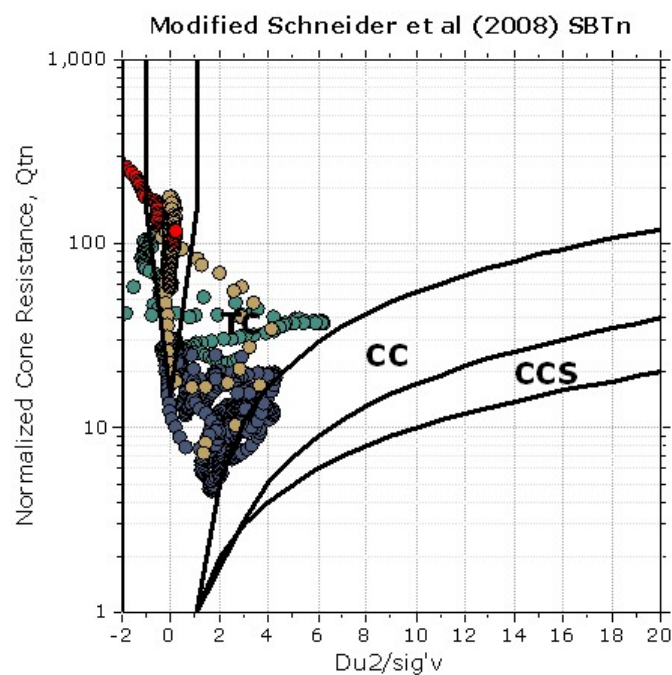
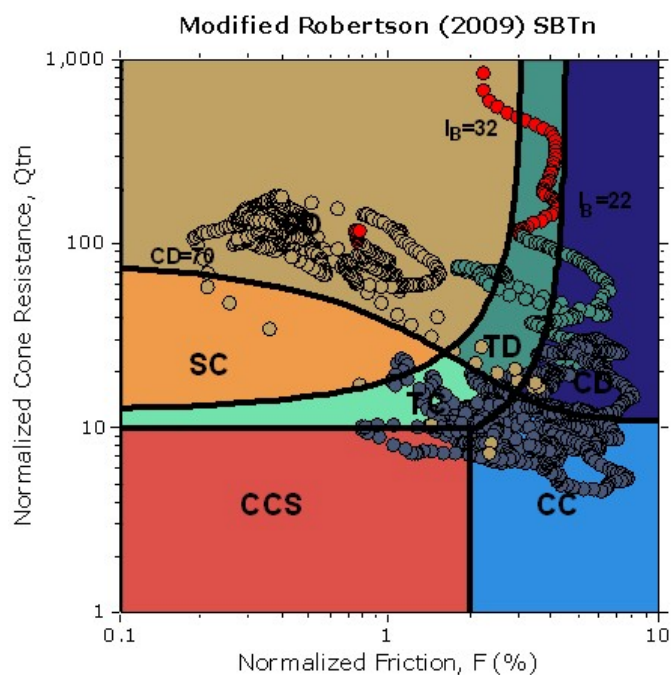
Cone Type: Unknown

Cone Operator: Unknown





Updated SBTn plots

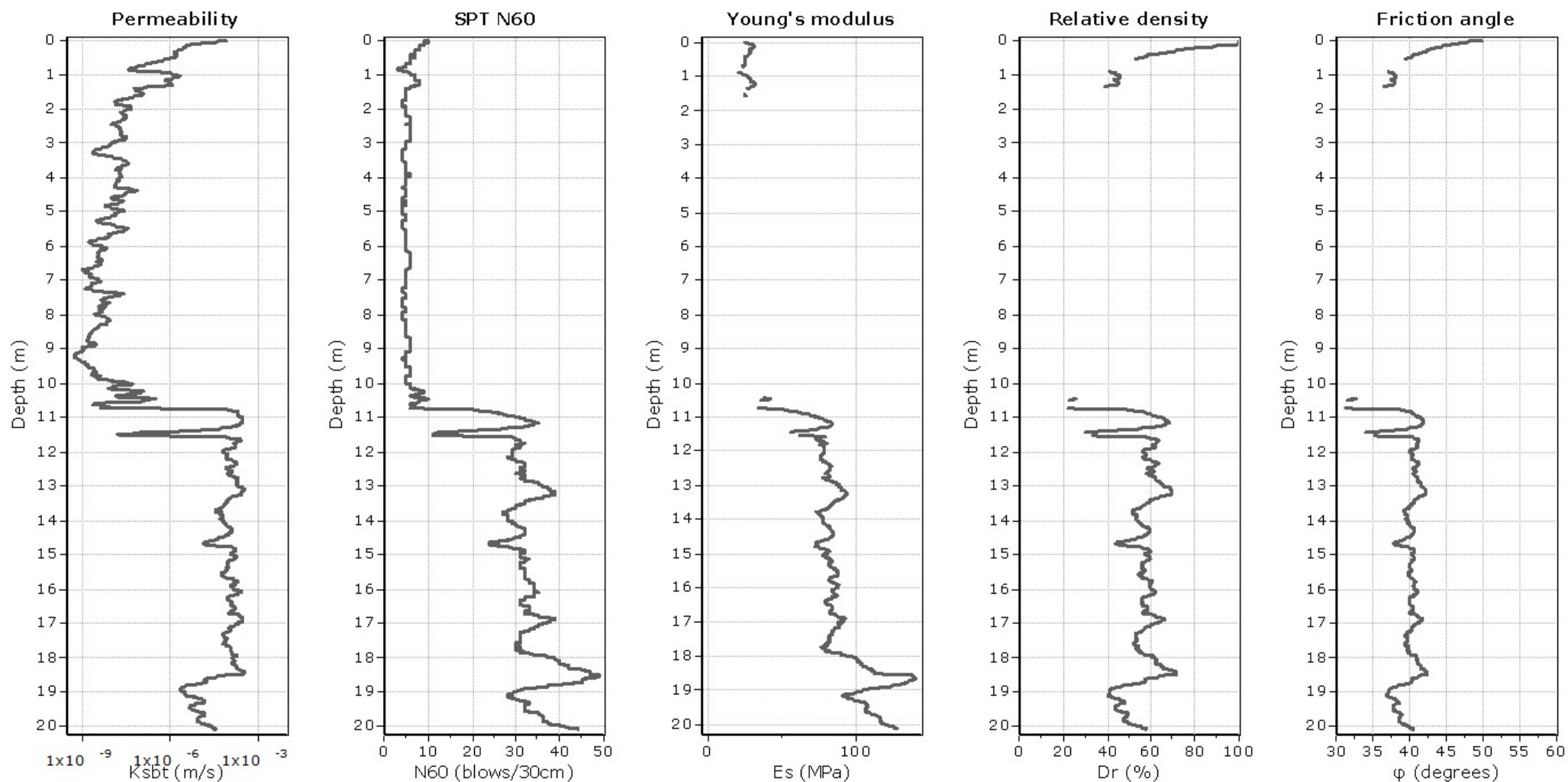


CCS: Clay-like - Contractive - Sensitive
CC: Clay-like - Contractive
CD: Clay-like - Dilative
TC: Transitional - Contractive
TD: Transitional - Dilative
SC: Sand-like - Contractive
SD: Sand-like - Dilative

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

Project: Comune di Suzzara

Location: Teatro Guido



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

Project: Comune di Suzzara

Location: Teatro Guido

CPT: CPTU

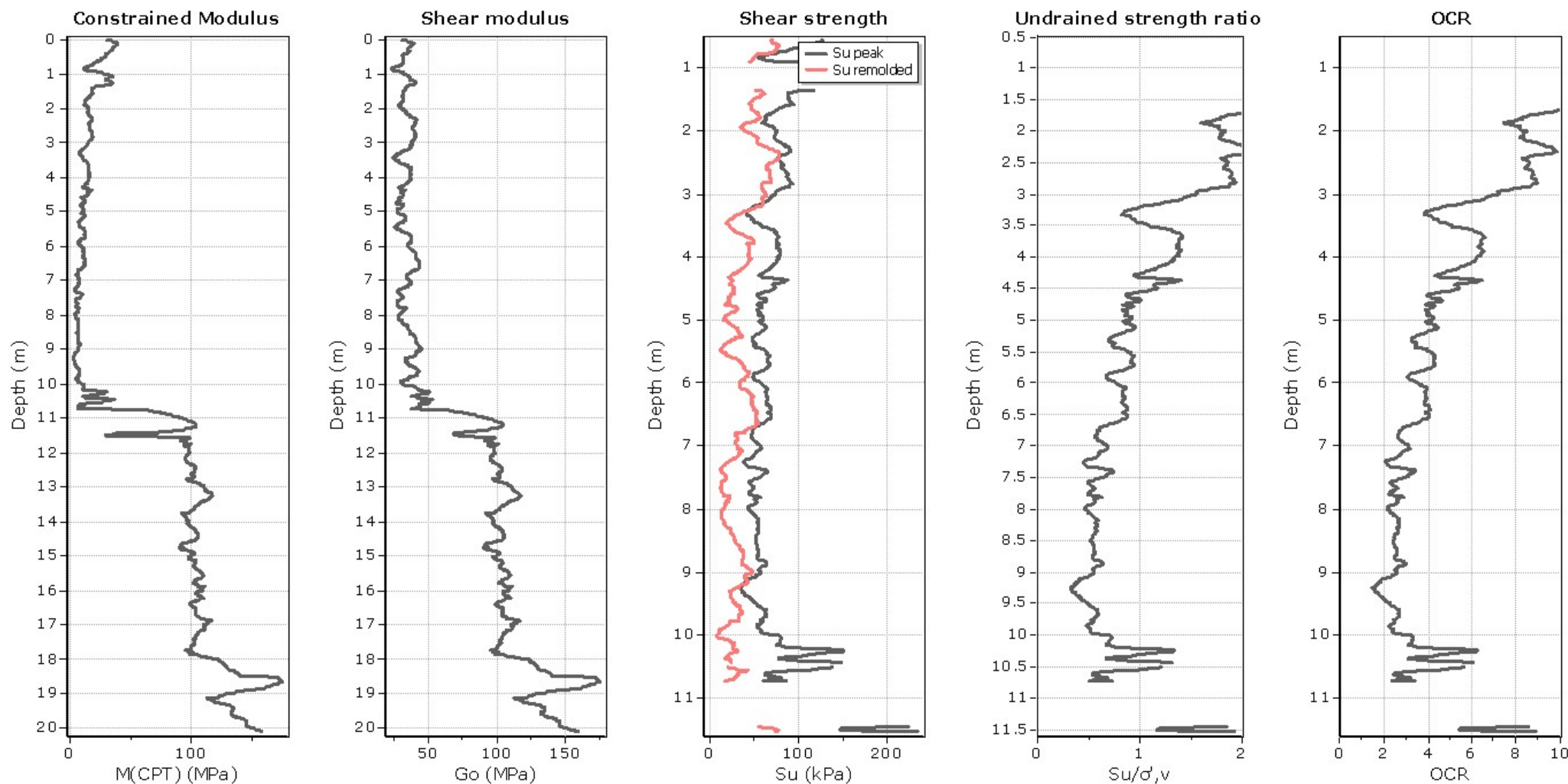
Total depth: 20.11 m, Date: 05/10/2021

Surface Elevation: 2.00 m

Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type: Unknown

Cone Operator: Unknown



Calculation parameters

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

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

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

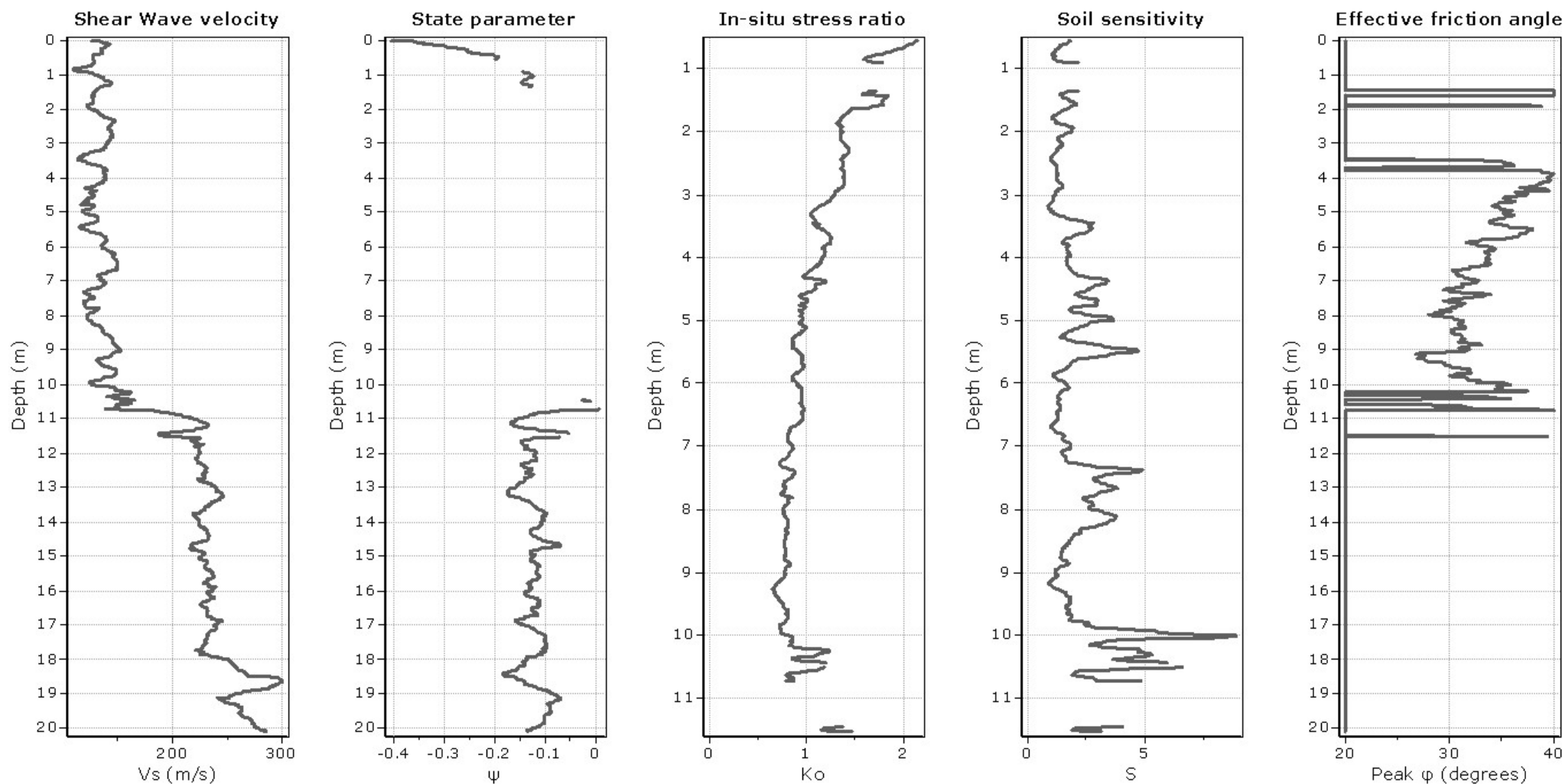
OCR factor for clays, N_{kt} : 0.33

—●— User defined estimation data

—●— Flat Dilatometer Test data

Project: Comune di Suzzara

Location: Teatro Guido



Calculation parameters

Soil Sensitivity factor, N_s : 7.00

—●— User defined estimation data



GeoLogismiki

Geotechnical Engineers

Merarhias 56

<http://www.geologismiki.gr>

Project: Comune di Suzzara

Location: Teatro Guido

CPT: CPTU

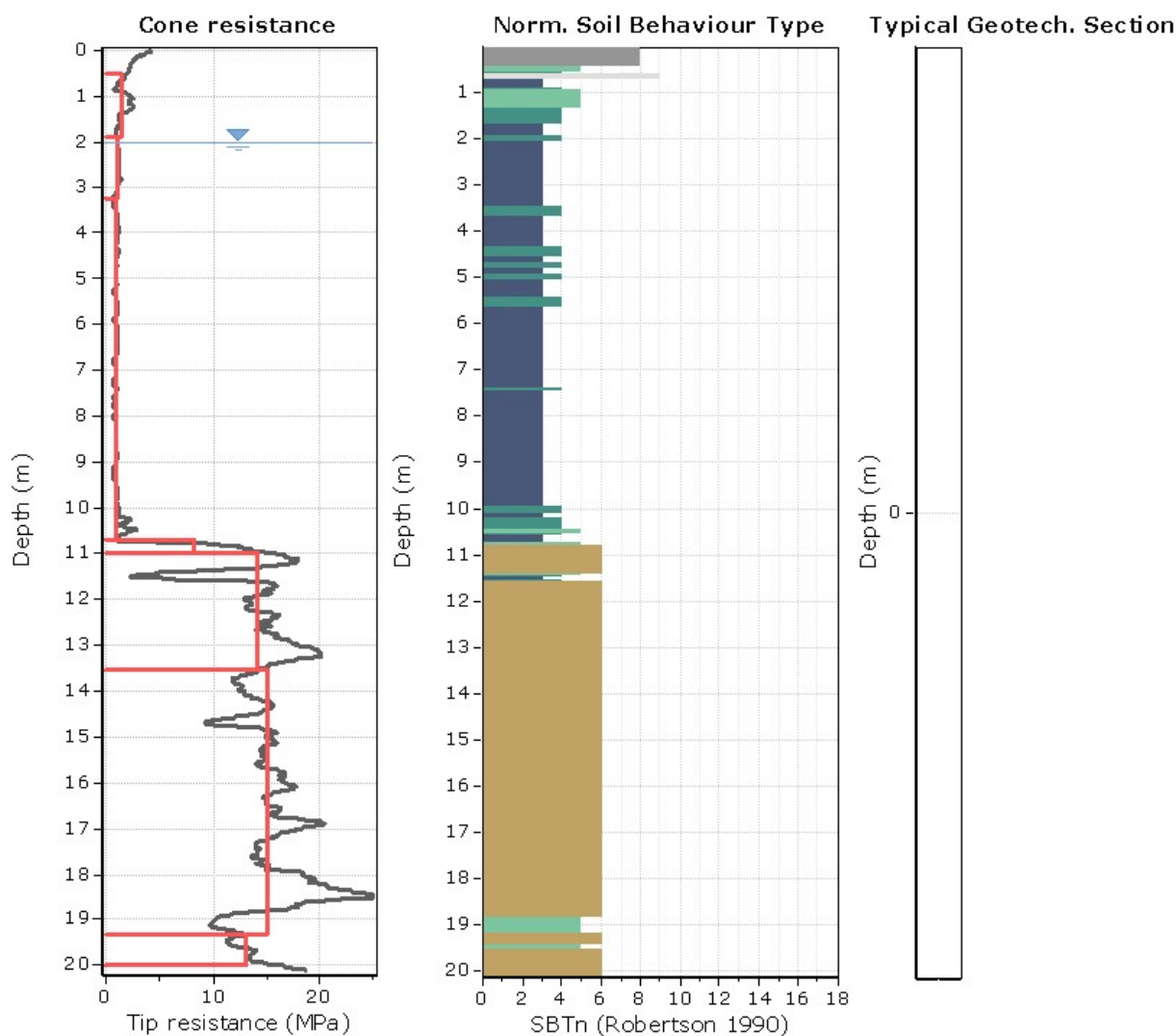
Total depth: 20.11 m, Date: 05/10/2021

Surface Elevation: 2.00 m

Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type: Unknown

Cone Operator: Unknown



Tabular results

::: Layer No: 1 :::

Code: 1 **Start depth:** 0.50 (m), **End depth:** 1.90 (m)

Description: Clay & silty clay

Basic results

Total cone resistance: 1.44 ± 0.55 MPa

Sleeve friction: 54.56 ± 10.12 kPa

SBT_n: 4

SBT_n description: Clay & silty clay

Estimation results

Permeability: $1.78E-07 \pm 6.23E-07$ m/s

N₆₀: 5.41 ± 1.29 blows

Es: 24.62 ± 1.62 MPa

Dr (%): 0.00 ± 0.00

ϕ (degrees): 0.00 ± 0.00 °

Unit weight: 19.00 ± 0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 19.84 ± 7.84 MPa

Go: 31.52 ± 3.90 MPa

Su: 80.82 ± 18.84 kPa

Su ratio: 2.94 ± 1.46

O.C.R.: 13.60 ± 6.75

::: Layer No: 2 :::**Code: 2** **Start depth:** 1.90 (m), **End depth:** 3.25 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.13 ±0.15 MPa

Sleeve friction: 59.78 ±10.67 kPa

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

Permeability: 1.71E-08 ±1.11E-08 m/s

N60: 5.39 ±0.65 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 15.03 ±2.23 MPa

Go: 36.58 ±3.51 MPa

Su: 76.81 ±11.16 kPa

Su ratio: 1.72 ±0.28

O.C.R.: 7.94 ±1.29

::: Layer No: 3 :::**Code: 3** **Start depth:** 3.25 (m), **End depth:** 10.70 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 0.97 ±0.28 MPa

Sleeve friction: 27.76 ±11.40 kPa

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

Permeability: 0.00E+00 ±3.22E-08 m/s

N60: 5.06 ±1.01 blows

Es: 38.10 ±2.35 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 8.23 ±5.14 MPa

Go: 34.40 ±5.87 MPa

Su: 59.07 ±16.06 kPa

Su ratio: 0.73 ±0.27

O.C.R.: 3.36 ±1.26

::: Layer No: 4 :::**Code: 4** **Start depth:** 10.70 (m), **End depth:** 11.00 (m)**Description:** Sand & silty sand**Basic results**

Total cone resistance: 8.24 ±5.41 MPa

Sleeve friction: 26.32 ±10.69 kPa

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

Permeability: 3.34E-05 ±1.60E-04 m/s

N60: 19.42 ±8.44 blows

Es: 59.05 ±10.88 MPa

Dr (%): 52.78 ±10.47

φ (degrees): 39.41 ±2.34 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 55.44 ±28.71 MPa

Go: 68.21 ±17.80 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

::: Layer No: 5 :::**Code: 5** **Start depth:** 11.00 (m), **End depth:** 13.55 (m)**Description:** Sand & silty sand**Basic results**

Total cone resistance: 14.15 ±3.70 MPa

Sleeve friction: 61.22 ±8.72 kPa

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

Permeability: 9.25E-05 ±1.07E-04 m/s

N60: 30.23 ±5.49 blows

Es: 80.60 ±6.54 MPa

Dr (%): 60.37 ±6.41

φ (degrees): 40.75 ±1.18 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 96.99 ±15.21 MPa

Go: 99.76 ±9.84 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

::: Layer No: 6 :::**Code:** 6 **Start depth:** 13.55 (m), **End depth:** 19.30 (m)**Description:** Sand & silty sand**Basic results**

Total cone resistance: 15.12 ±3.06 MPa

Sleeve friction: 62.90 ±35.22 kPa

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

Permeability: 7.56E-05 ±8.21E-05 m/s

N60: 32.89 ±5.05 blows

Es: 87.96 ±15.03 MPa

Dr (%): 55.83 ±6.04

φ (degrees): 40.00 ±1.07 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 110.25 ±18.83 MPa

Go: 110.25 ±18.83 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

::: Layer No: 7 :::**Code:** 7 **Start depth:** 19.30 (m), **End depth:** 20.00 (m)**Description:** Sand & silty sand**Basic results**

Total cone resistance: 13.10 ±1.26 MPa

Sleeve friction: 114.42 ±11.05 kPa

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

Permeability: 9.48E-06 ±4.27E-06 m/s

N60: 34.56 ±2.26 blows

Es: 110.08 ±5.10 MPa

Dr (%): 47.30 ±2.52

φ (degrees): 38.43 ±0.51 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 137.96 ±6.39 MPa

Go: 137.96 ±6.39 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

Project: Comune di Suzzara

Location: Teatro Guido

CPT: CPTU

Total depth: 20.11 m, Date: 05/10/2021

Surface Elevation: 2.00 m

Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type: Unknown

Cone Operator: Unknown

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)
0.50	1.40	1.78E-07	5.4	24.6	0.0	0.0	19.8	31.5	80.8	2.9	13.6	19.0
1.90		(±6.23E-07)	(±1.3)	(±1.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±7.8)	(±3.9)	(±18.8)	(±1.5)	(±6.7)	(±0.0)
1.90	1.35	1.71E-08	5.4	0.0	0.0	0.0	15.0	36.6	76.8	1.7	7.9	19.0
3.25		(±1.11E-08)	(±0.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±2.2)	(±3.5)	(±11.2)	(±0.3)	(±1.3)	(±0.0)
3.25	7.45	0.00E+00	5.1	38.1	0.0	0.0	8.2	34.4	59.1	0.7	3.4	19.0
10.70		(±3.22E-08)	(±1.0)	(±2.3)	(±0.0)	(±0.0)	(±5.1)	(±5.9)	(±16.1)	(±0.3)	(±1.3)	(±0.0)
10.70	0.30	3.34E-05	19.4	59.0	52.8	39.4	55.4	68.2	0.0	0.0	0.0	19.0
11.00		(±1.60E-04)	(±8.4)	(±10.9)	(±10.5)	(±2.3)	(±28.7)	(±17.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)
11.00	2.55	9.25E-05	30.2	80.6	60.4	40.7	97.0	99.8	0.0	0.0	0.0	19.0
13.55		(±1.07E-04)	(±5.5)	(±6.5)	(±6.4)	(±1.2)	(±15.2)	(±9.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)
13.55	5.75	7.56E-05	32.9	88.0	55.8	40.0	110.2	110.2	0.0	0.0	0.0	19.0
19.30		(±8.21E-05)	(±5.1)	(±15.0)	(±6.0)	(±1.1)	(±18.8)	(±18.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)
19.30	0.70	9.48E-06	34.6	110.1	47.3	38.4	138.0	138.0	0.0	0.0	0.0	19.0
20.00		(±4.27E-06)	(±2.3)	(±5.1)	(±2.5)	(±0.5)	(±6.4)	(±6.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)

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

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

:: Unit Weight, g (kN/m³) ::

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

where g_w = water unit weight

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

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

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

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

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

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

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

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

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

:: Relative Density, D_r (%) ::

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

:: State Parameter, ψ ::

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

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

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

(applicable only to SBT_n: 5, 6, 7 and 8)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

:: Remolded undrained shear strength, $S_u(rem)$ (kPa) ::

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

:: Overconsolidation Ratio, OCR ::

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

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

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

:: In situ Stress Ratio, K_0 ::

$$K_0 = (1 - \sin \phi') \cdot OCR^{\sin \phi'}$$

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

:: Soil Sensitivity, S_t ::

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

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

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

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

(applicable for $0.10 < B_q < 1.00$)

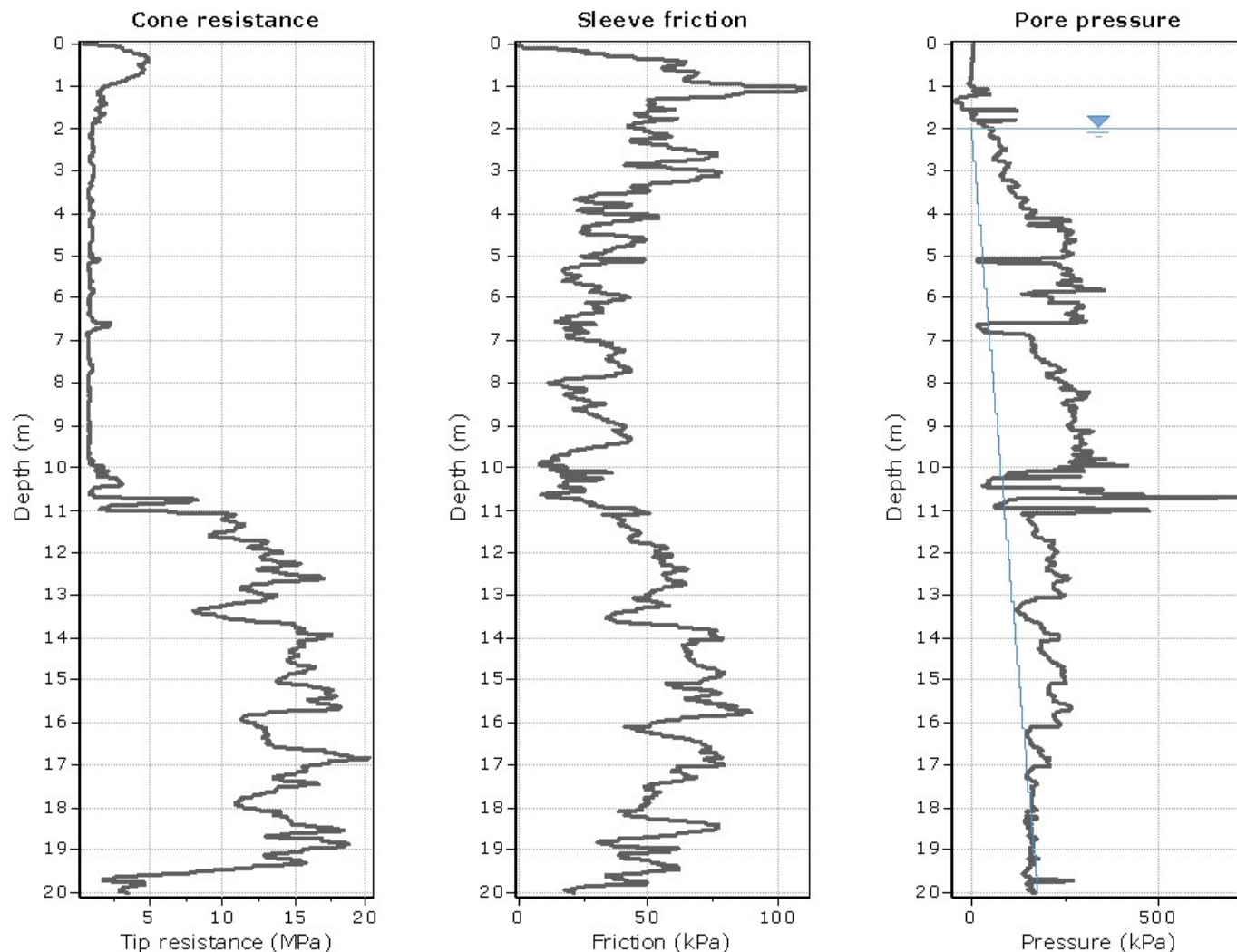
References

- Robertson, P.K., Cabal K.L., Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering, Gregg Drilling & Testing, Inc., 5th Edition, November 2012
- Robertson, P.K., Interpretation of Cone Penetration Tests - a unified approach., Can. Geotech. J. 46(11): 1337–1355 (2009)

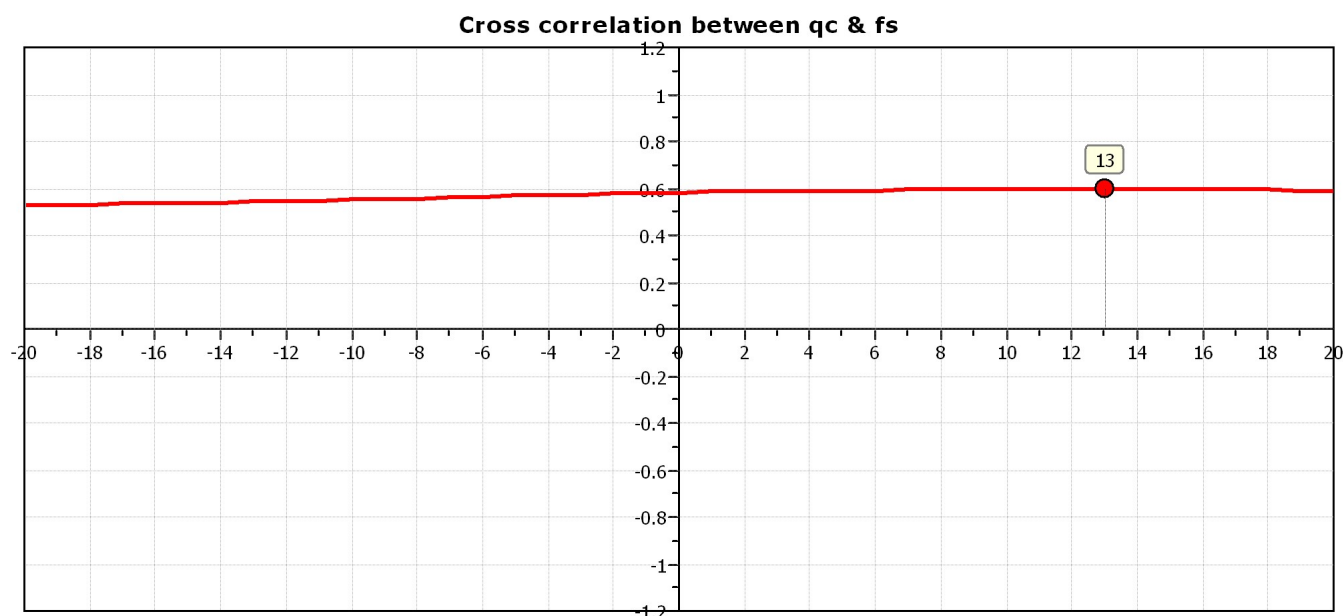
CPTU2

Project: Comune di Suzzara

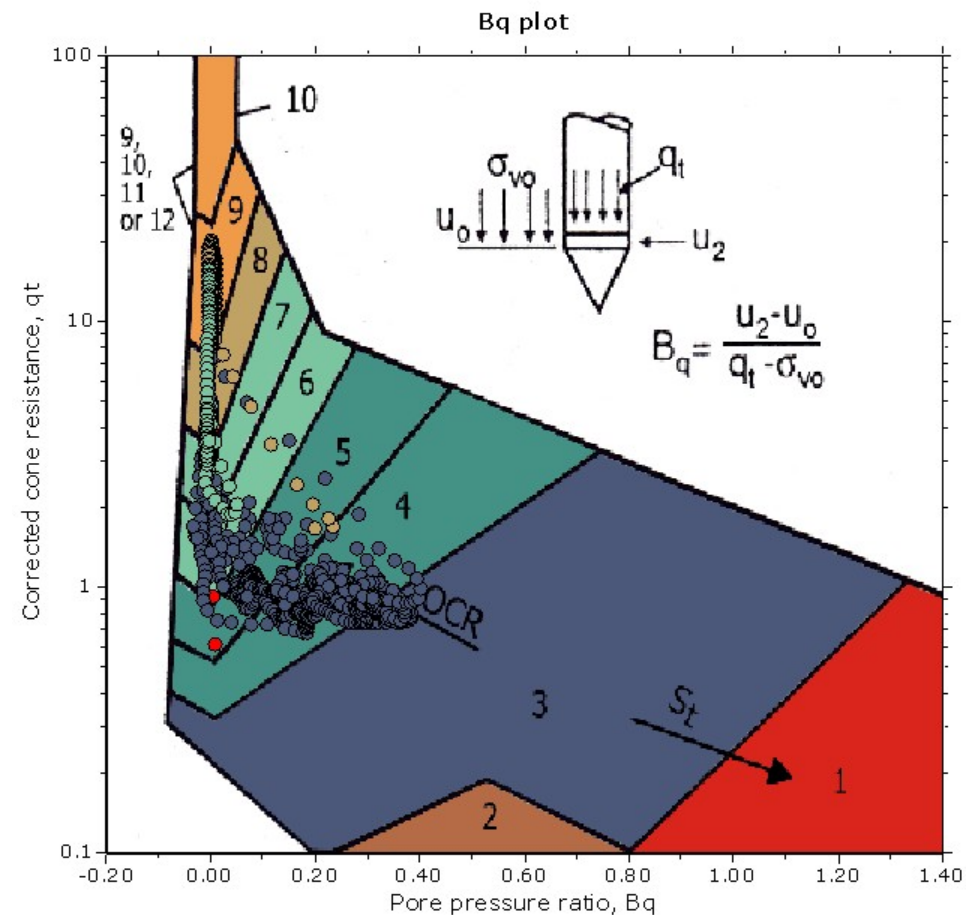
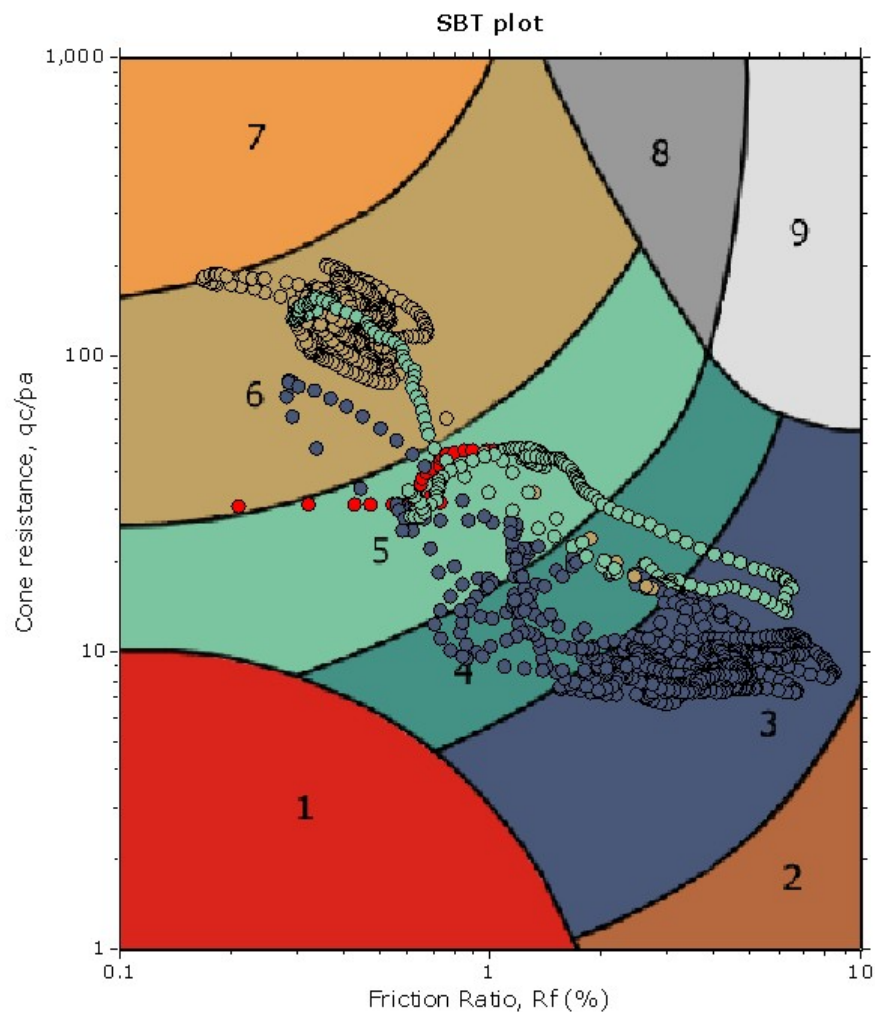
Location: Teatro Guido



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).



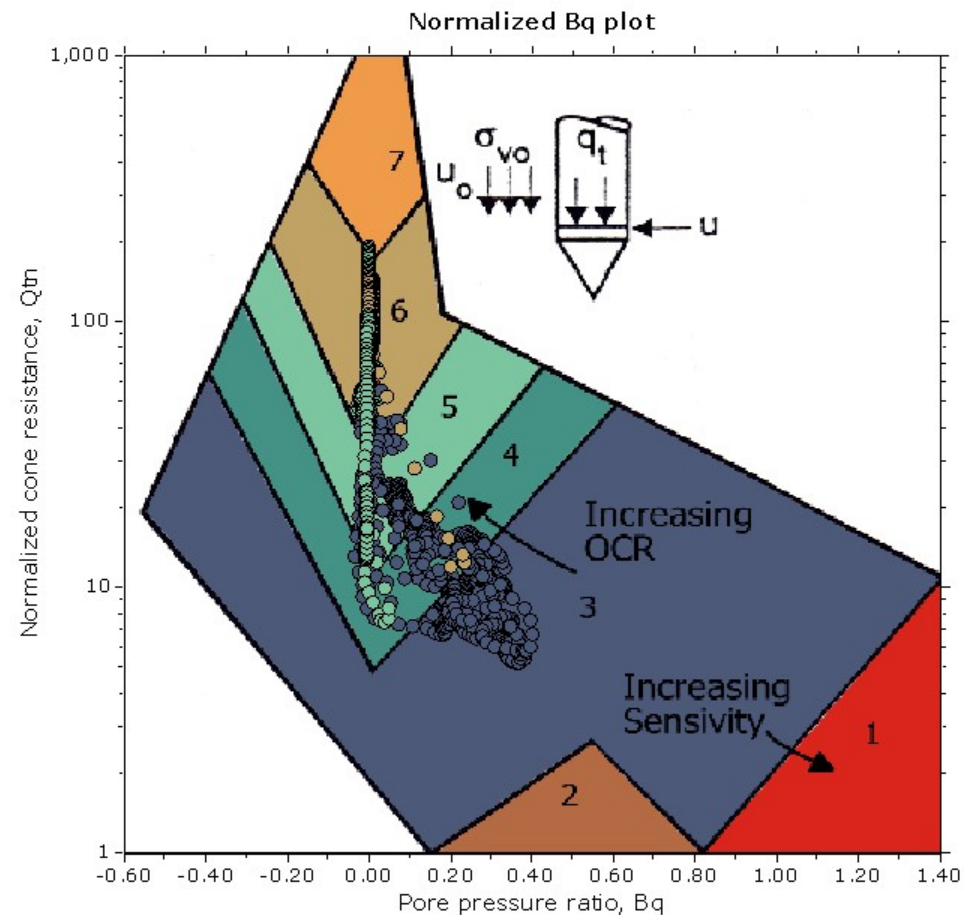
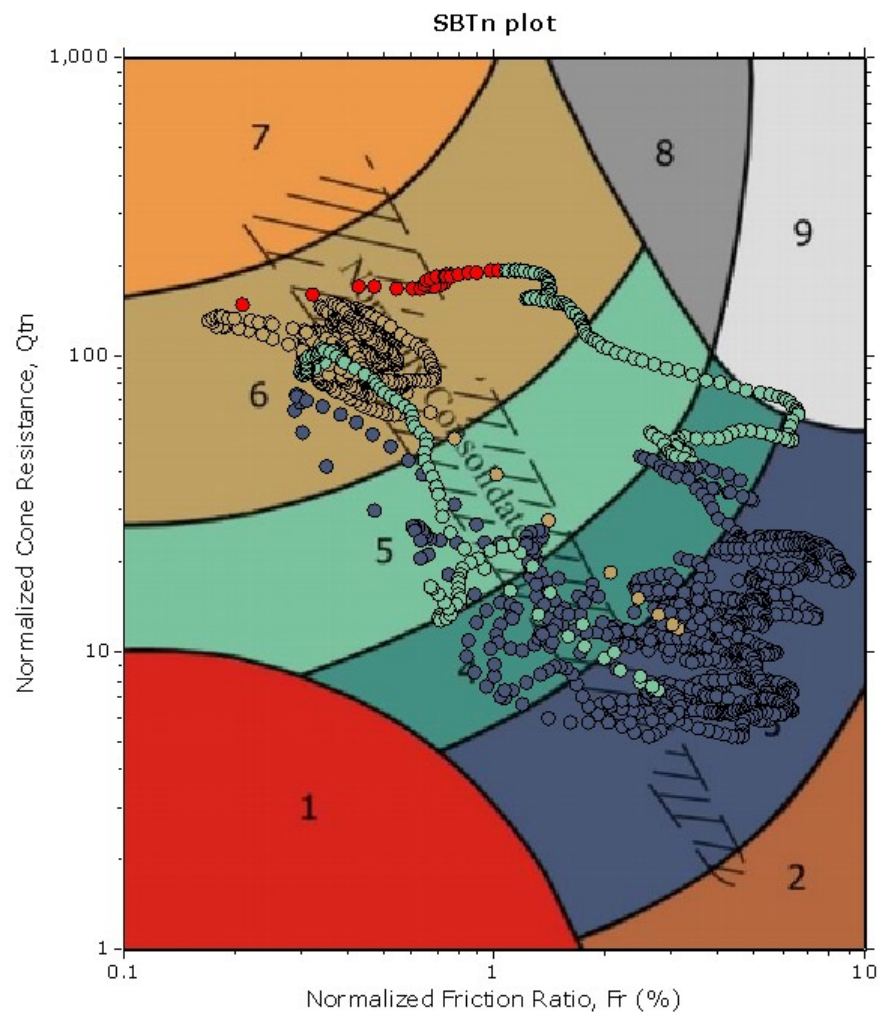
SBT - Bq plots



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 |

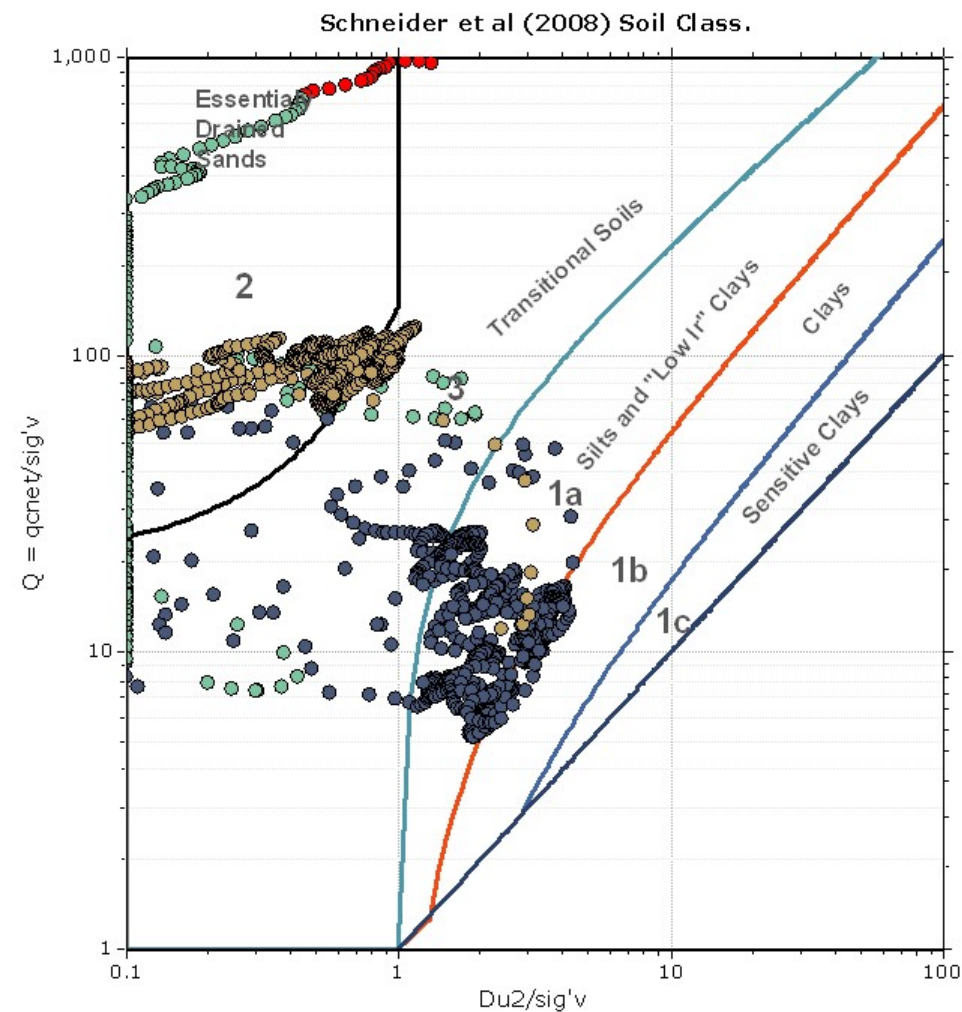
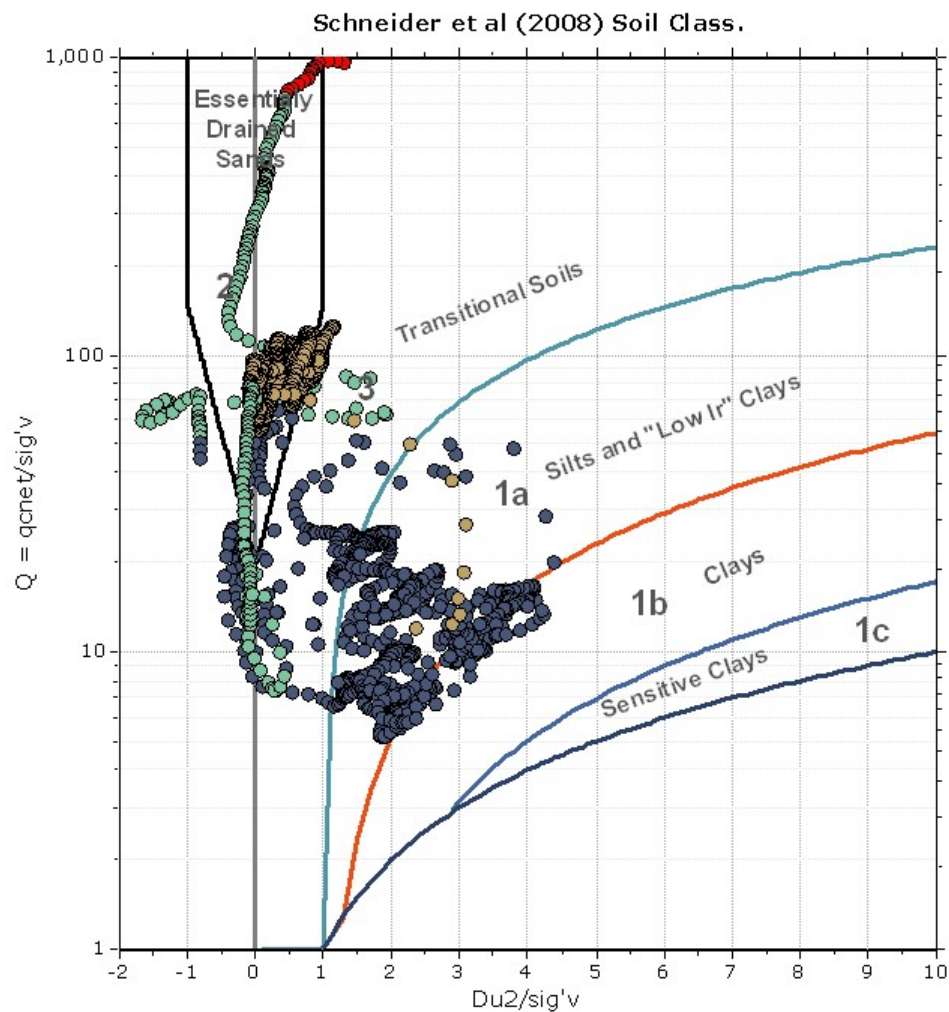
SBT - Bq plots (normalized)

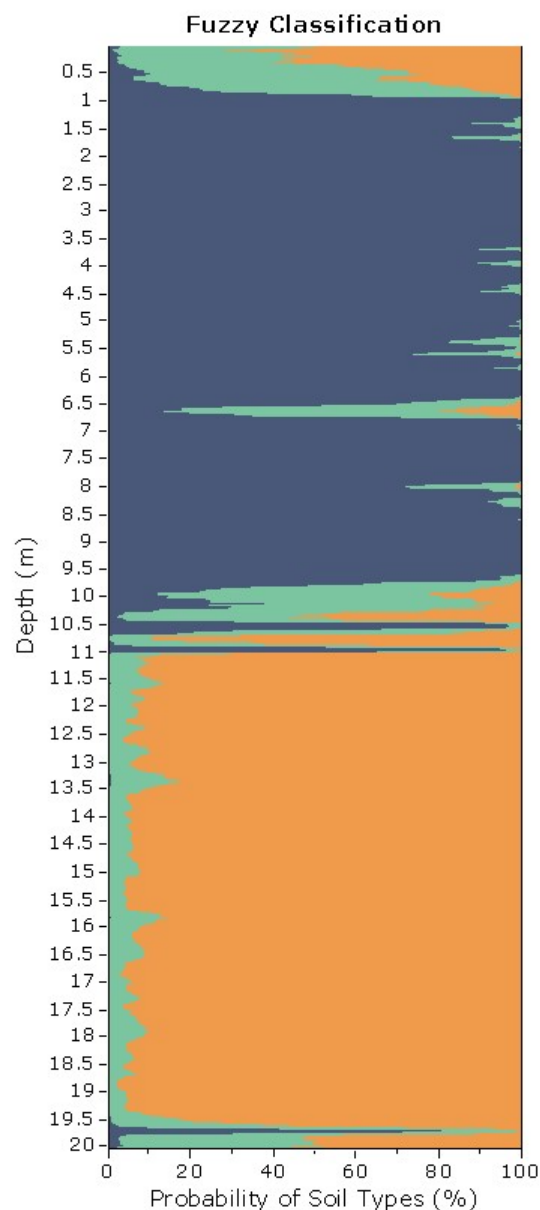
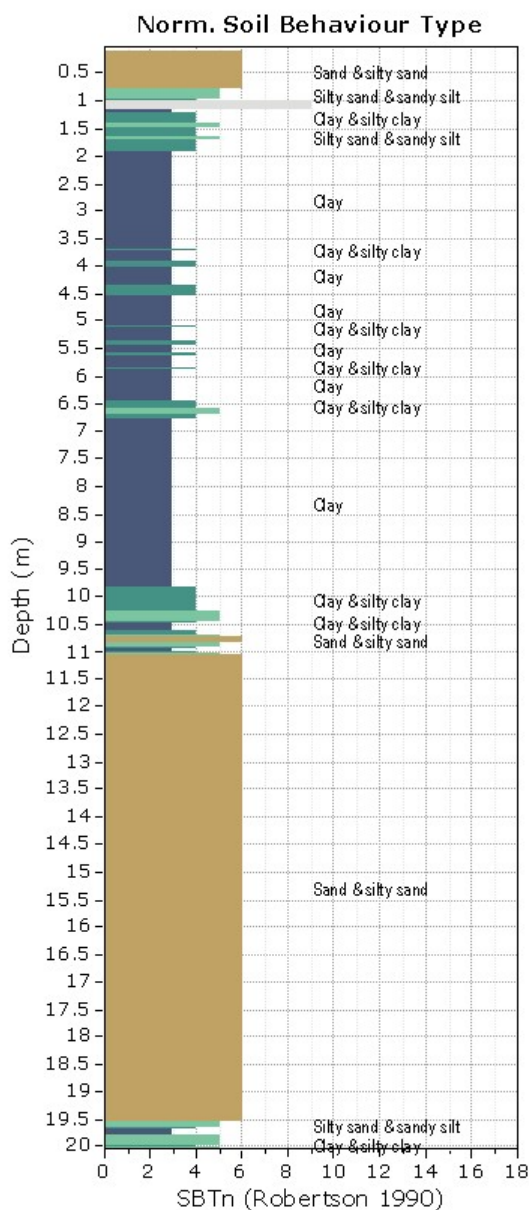


SBTn legend

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

Bq plots (Schneider)





Project: Comune di Suzzara

Location: Teatro Guido

CPT: CPTU

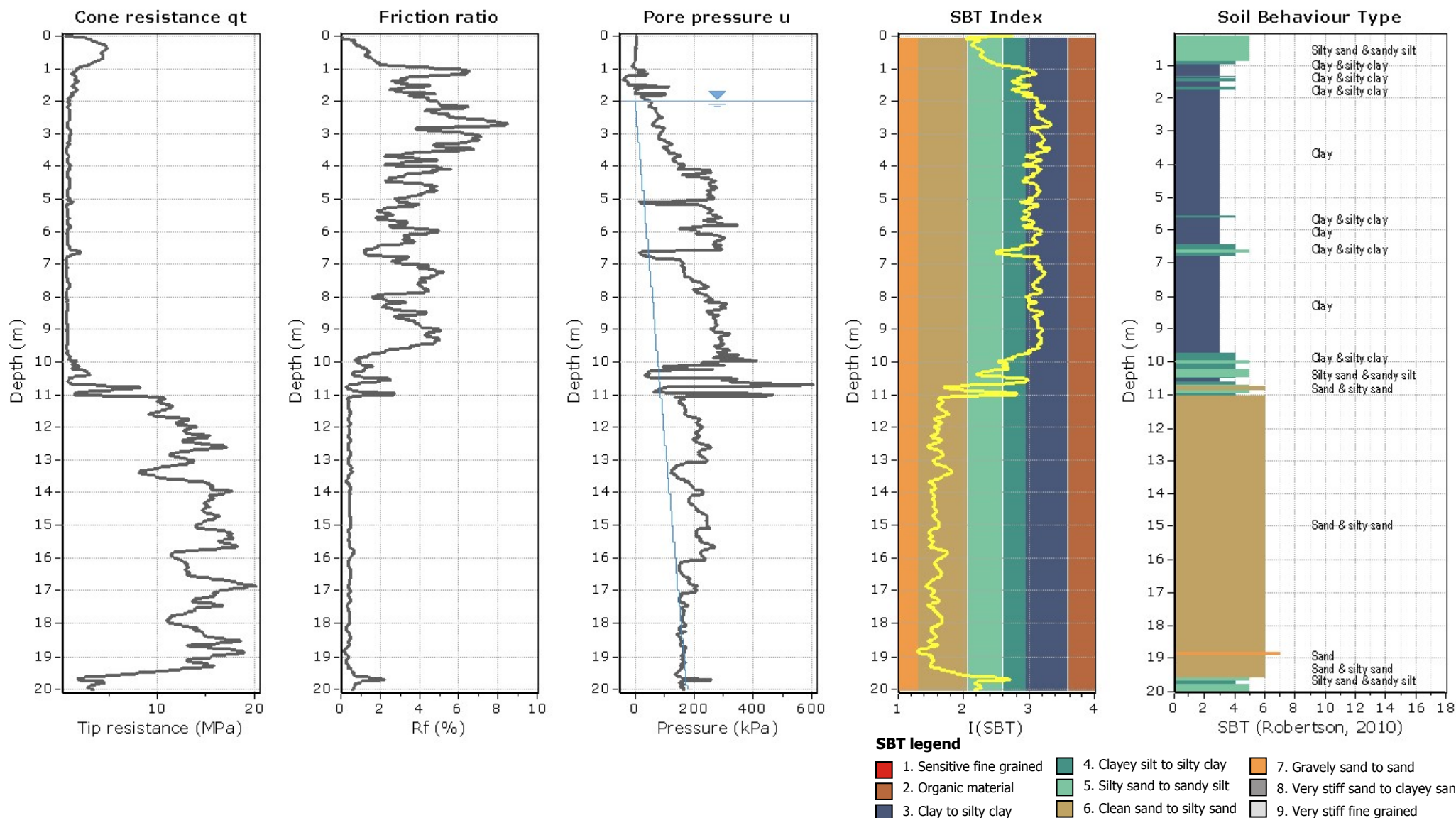
Total depth: 20.02 m, Date: 05/10/2021

Surface Elevation: 2.00 m

Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type: Unknown

Cone Operator: Unknown



Project: Comune di Suzzara

Location: Teatro Guido

CPT: CPTU

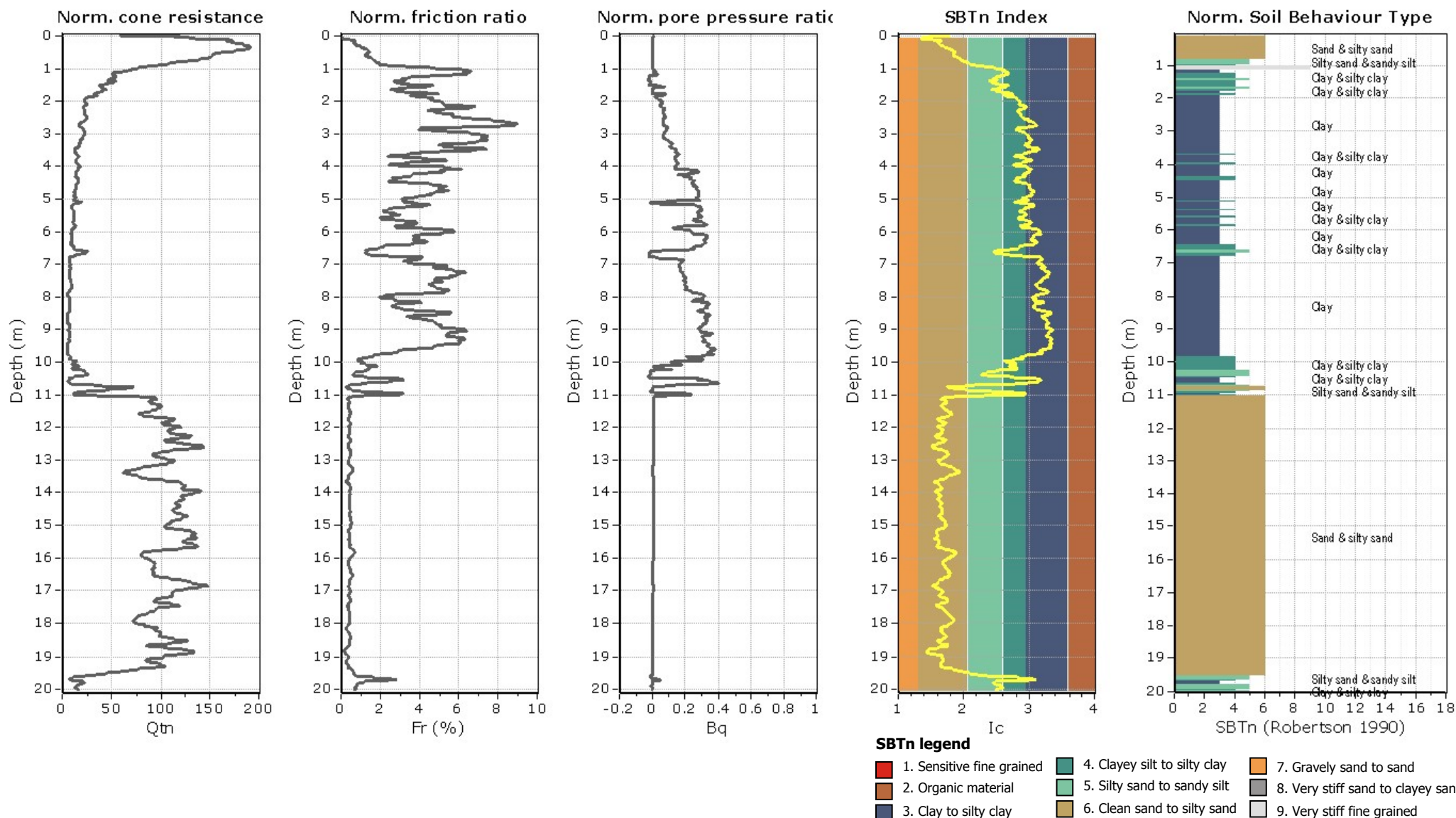
Total depth: 20.02 m, Date: 05/10/2021

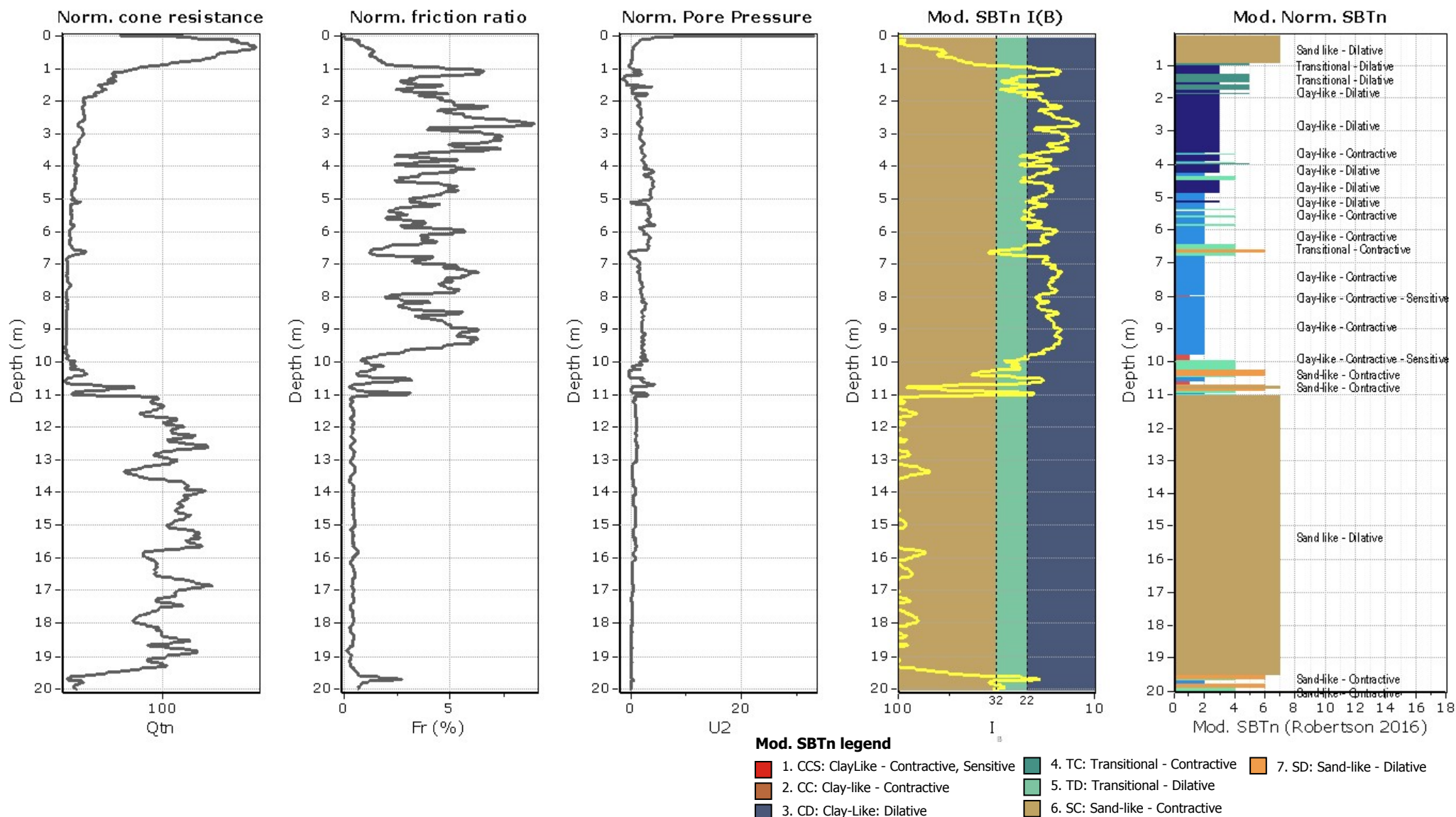
Surface Elevation: 2.00 m

Coords: X:0.00, Y:0.00

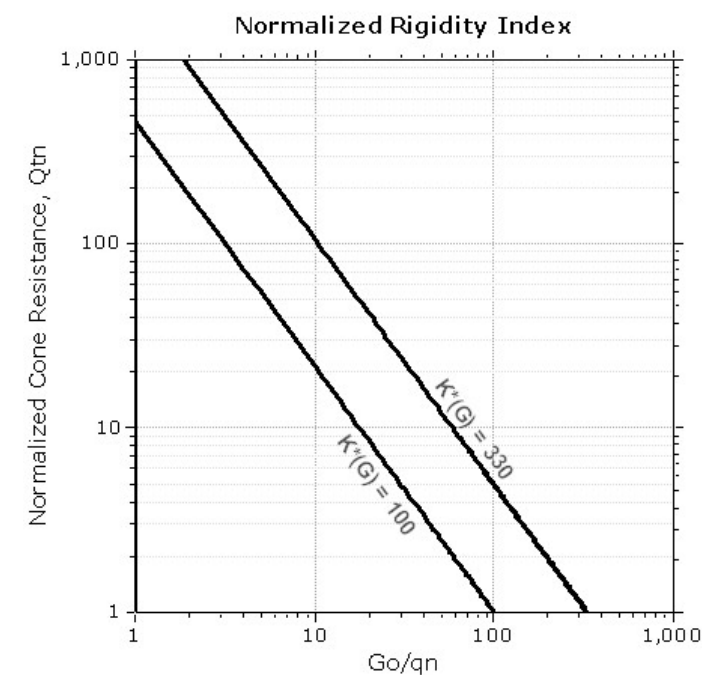
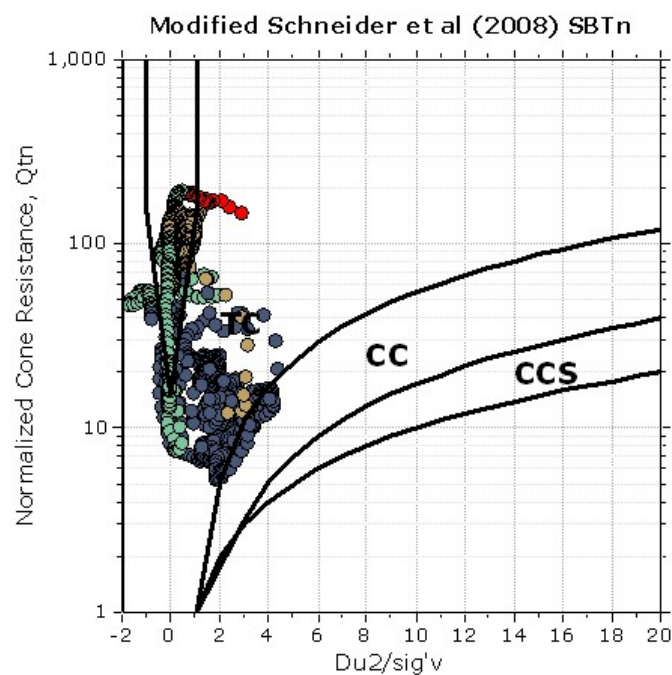
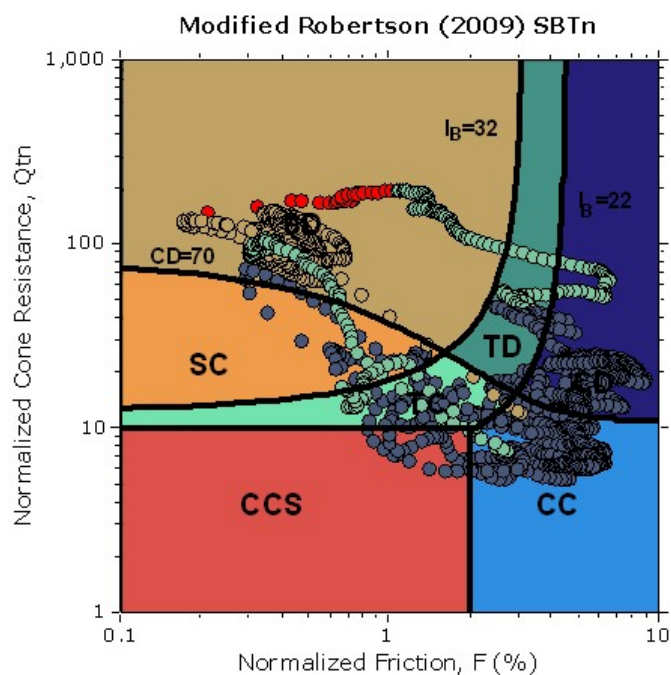
Cone Type: Unknown

Cone Operator: Unknown





Updated SBTn plots

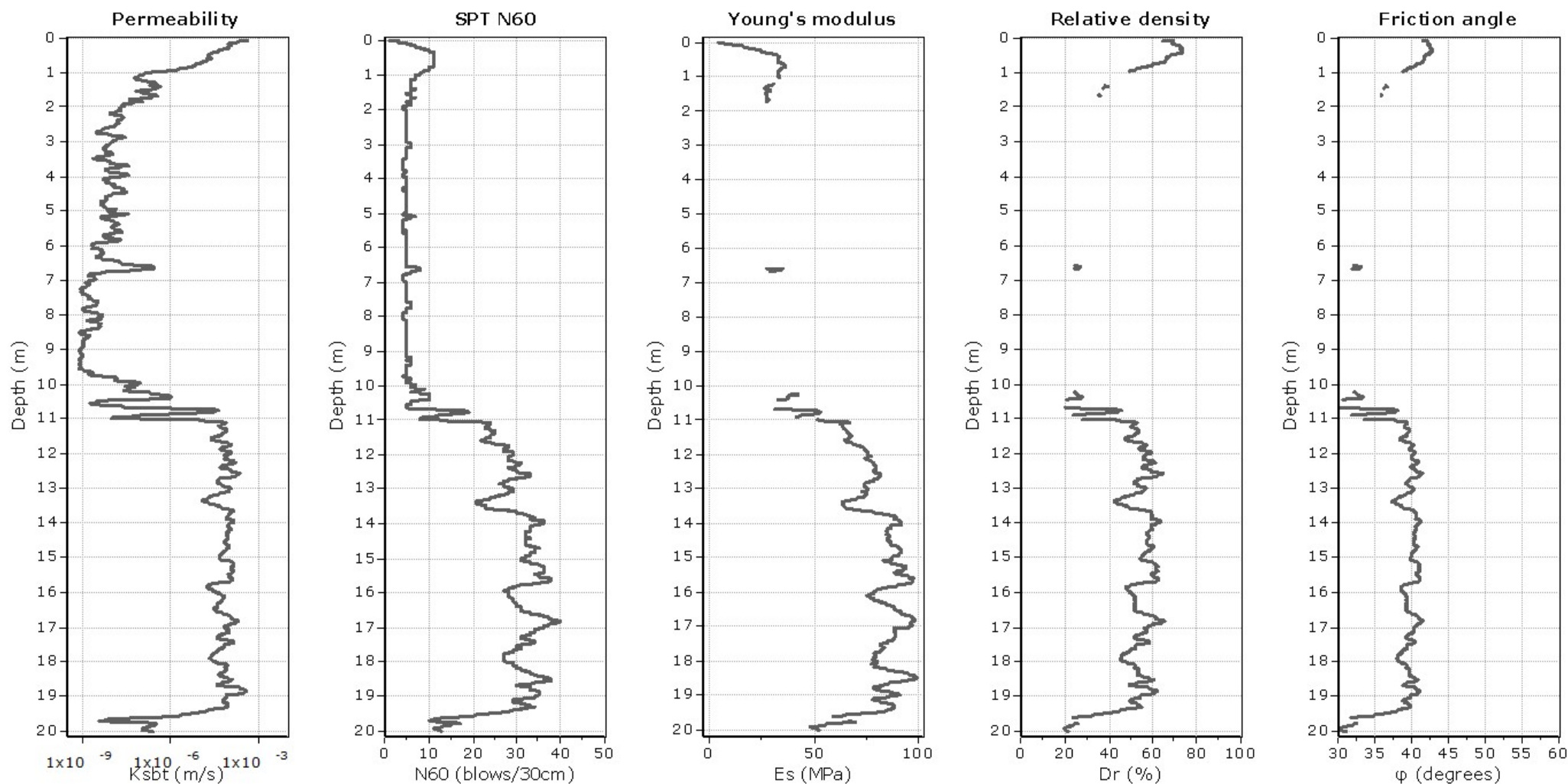


CCS: Clay-like - Contractive - Sensitive
CC: Clay-like - Contractive
CD: Clay-like - Dilative
TC: Transitional - Contractive
TD: Transitional - Dilative
SC: Sand-like - Contractive
SD: Sand-like - Dilative

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

Project: Comune di Suzzara

Location: Teatro Guido



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

Project: Comune di Suzzara

Location: Teatro Guido

CPT: CPTU

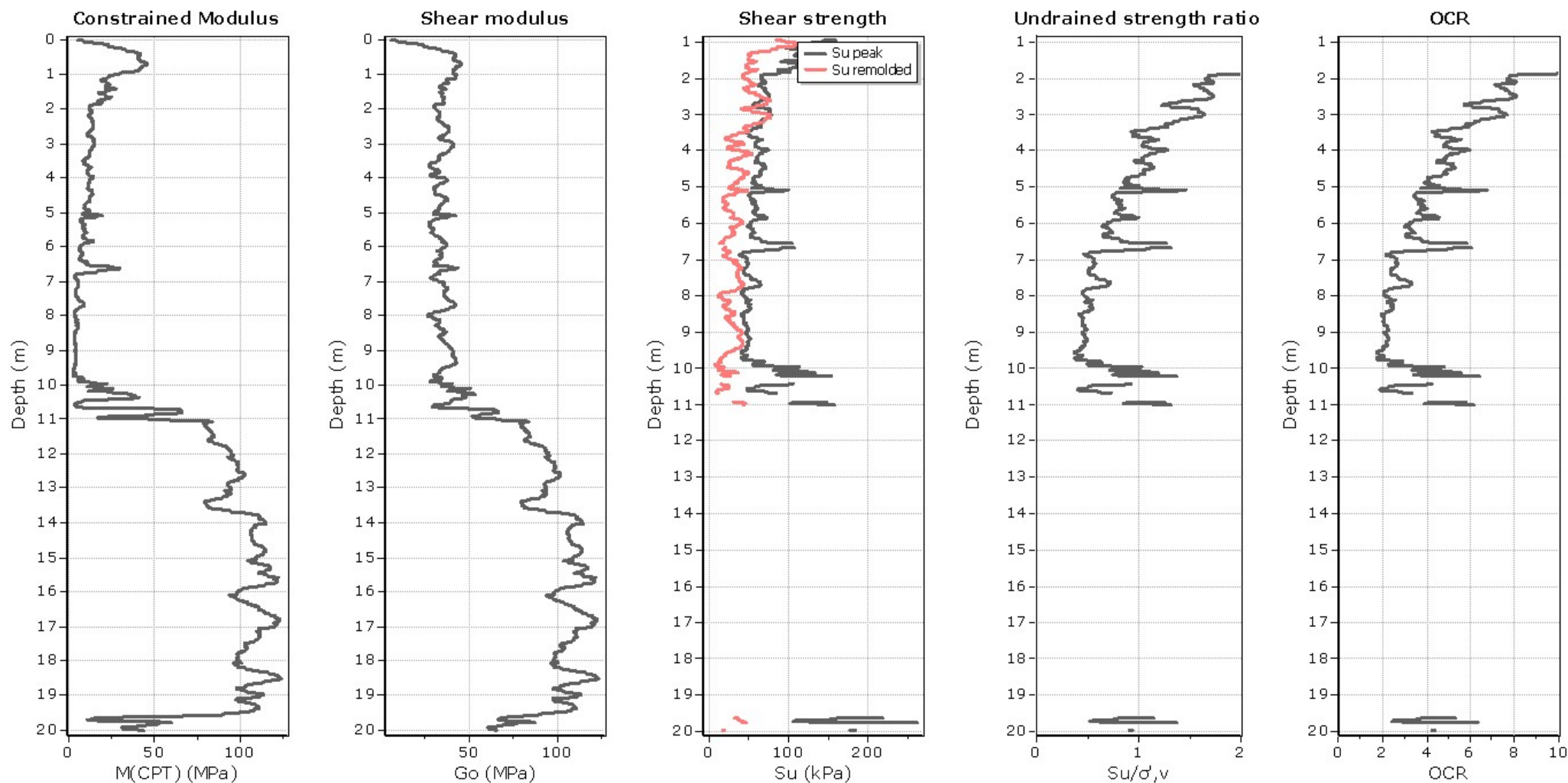
Total depth: 20.02 m, Date: 05/10/2021

Surface Elevation: 2.00 m

Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type: Unknown

Cone Operator: Unknown



Calculation parameters

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

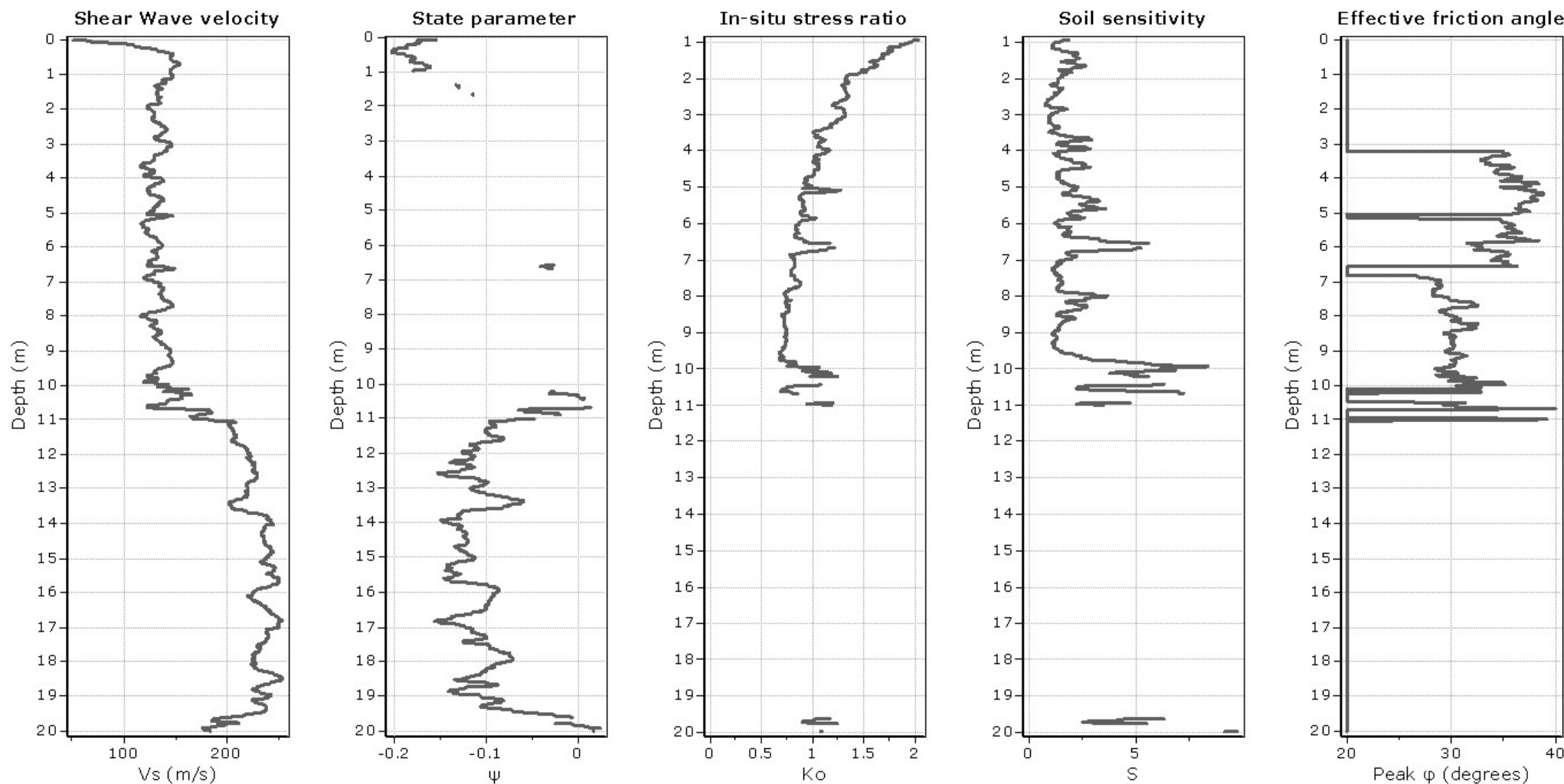
G_0 : Based on variable α using I_c (Robertson, 2009)

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

OCR factor for clays, N_{kt} : 0.33

—●— User defined estimation data

—●— Flat Dilatometer Test data



Calculation parameters

Soil Sensitivity factor, N_s : 7.00

—●— User defined estimation data



GeoLogismiki

Geotechnical Engineers

Merarhias 56

<http://www.geologismiki.gr>

Project: Comune di Suzzara

Location: Teatro Guido

CPT: CPTU

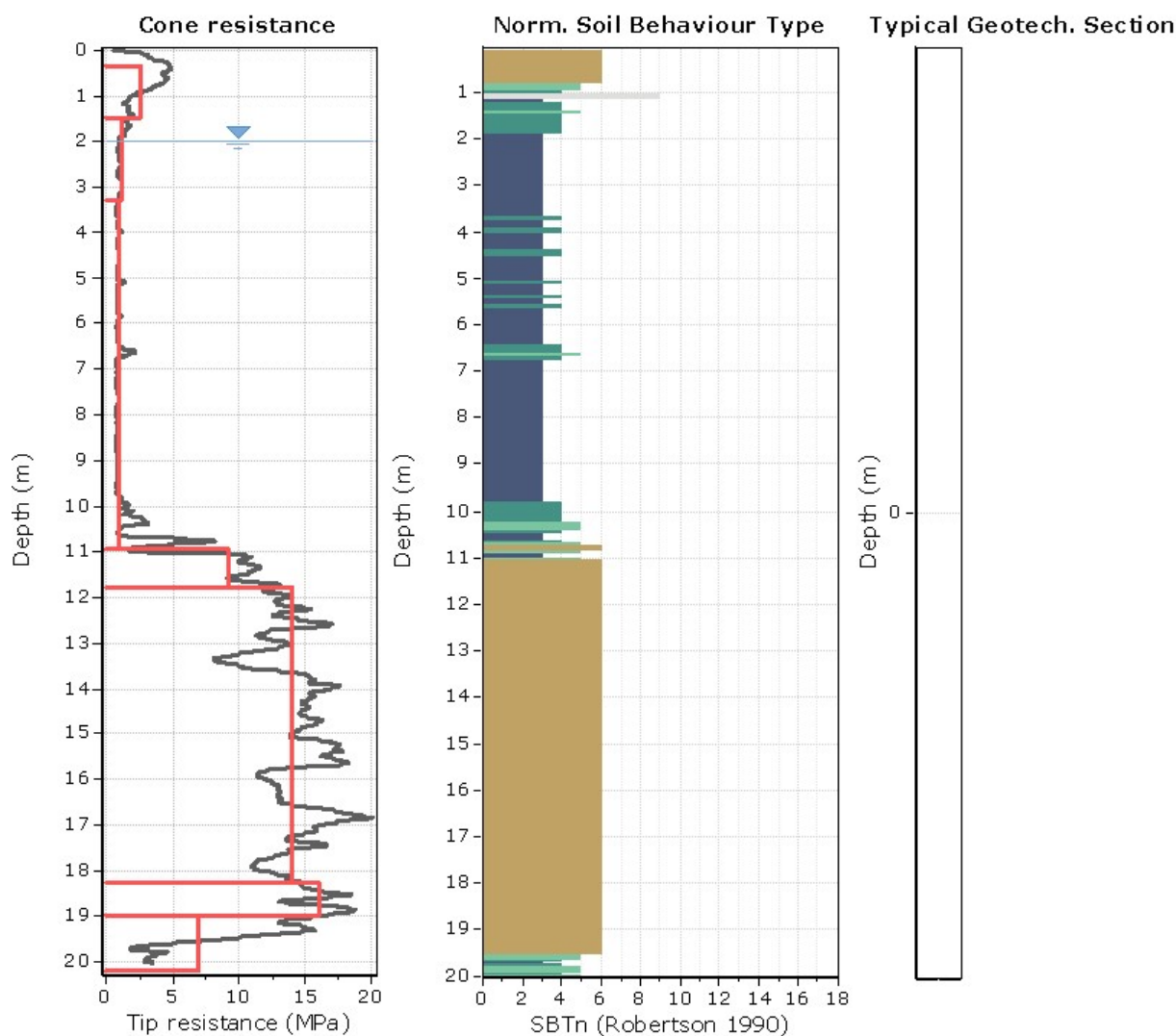
Total depth: 20.02 m, Date: 05/10/2021

Surface Elevation: 2.00 m

Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type: Unknown

Cone Operator: Unknown



Tabular results

::: Layer No: 1 :::

Code: 1 **Start depth:** 0.35 (m), **End depth:** 1.50 (m)

Description: Silty sand & sandy silt

Basic results

Total cone resistance: 2.67 ± 1.34 MPa

Sleeve friction: 67.54 ± 17.64 kPa

SBT_n: 5

SBT_n description: Silty sand & sandy silt

Estimation results

Permeability: $1.57E-06 \pm 1.44E-05$ m/s

N₆₀: 8.25 ± 2.17 blows

Es: 33.08 ± 1.94 MPa

Dr (%): 60.66 ± 9.94

ϕ (degrees): 40.77 ± 1.72 °

Unit weight: 19.00 ± 0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 31.61 ± 9.61 MPa

Go: 39.73 ± 3.41 MPa

Su: 0.00 ± 0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ± 0.00

O.C.R.: 0.00 ± 0.00

::: Layer No: 2 :::**Code: 2** **Start depth:** 1.50 (m), **End depth:** 3.30 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.10 ±0.22 MPa

Sleeve friction: 56.64 ±11.05 kPa

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

Permeability: 1.89E-08 ±6.97E-08 m/s

N60: 5.18 ±0.55 blows

Es: 27.52 ±0.31 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 14.67 ±3.16 MPa

Go: 35.00 ±3.06 MPa

Su: 74.18 ±14.79 kPa

Su ratio: 1.73 ±0.49

O.C.R.: 8.01 ±2.27

::: Layer No: 3 :::**Code: 3** **Start depth:** 3.30 (m), **End depth:** 10.95 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.01 ±0.94 MPa

Sleeve friction: 27.48 ±10.17 kPa

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

Permeability: 0.00E+00 ±3.73E-06 m/s

N60: 5.23 ±2.04 blows

Es: 31.53 ±6.42 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 8.34 ±10.72 MPa

Go: 34.80 ±6.60 MPa

Su: 56.02 ±15.55 kPa

Su ratio: 0.69 ±0.26

O.C.R.: 3.19 ±1.20

::: Layer No: 4 :::**Code: 4** **Start depth:** 10.95 (m), **End depth:** 11.80 (m)**Description:** Sand & silty sand**Basic results**

Total cone resistance: 9.21 ±2.82 MPa

Sleeve friction: 42.78 ±3.71 kPa

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

Permeability: 2.72E-05 ±4.09E-05 m/s

N60: 22.02 ±4.60 blows

Es: 65.79 ±3.21 MPa

Dr (%): 50.63 ±4.54

φ (degrees): 39.07 ±0.99 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 74.58 ±16.88 MPa

Go: 80.19 ±8.02 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

::: Layer No: 5 :::**Code: 5** **Start depth:** 11.80 (m), **End depth:** 18.25 (m)**Description:** Sand & silty sand**Basic results**

Total cone resistance: 14.00 ±2.27 MPa

Sleeve friction: 60.07 ±11.98 kPa

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

Permeability: 6.83E-05 ±4.29E-05 m/s

N60: 30.74 ±3.72 blows

Es: 83.01 ±7.85 MPa

Dr (%): 55.02 ±5.01

φ (degrees): 39.87 ±0.89 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 104.04 ±9.84 MPa

Go: 104.04 ±9.84 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

::: Layer No: 6 :::**Code:** 6 **Start depth:** 18.25 (m), **End depth:** 19.00 (m)**Description:** Sand & silty sand**Basic results**

Total cone resistance: 16.13 ±1.67 MPa

Sleeve friction: 54.57 ±15.32 kPa

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

Permeability: 1.04E-04 ±1.19E-04 m/s

N60: 34.03 ±2.09 blows

Es: 88.51 ±6.49 MPa

Dr (%): 55.95 ±3.50

φ (degrees): 40.03 ±0.60 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 110.93 ±8.13 MPa

Go: 110.93 ±8.13 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

::: Layer No: 7 :::**Code:** 7 **Start depth:** 19.00 (m), **End depth:** 20.20 (m)**Description:** Silty sand & sandy silt**Basic results**

Total cone resistance: 6.97 ±5.47 MPa

Sleeve friction: 40.73 ±12.62 kPa

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

Permeability: 2.68E-06 ±4.52E-05 m/s

N60: 20.70 ±8.88 blows

Es: 74.09 ±13.19 MPa

Dr (%): 37.89 ±13.21

φ (degrees): 36.13 ±3.54 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 65.19 ±36.13 MPa

Go: 88.22 ±17.95 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

Project: Comune di Suzzara

Location: Teatro Guido

CPT: CPTU

Total depth: 20.02 m, Date: 05/10/2021

Surface Elevation: 2.00 m

Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type: Unknown

Cone Operator: Unknown

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)
0.35	1.15	1.57E-06	8.3	33.1	60.7	40.8	31.6	39.7	0.0	0.0	0.0	19.0
1.50		(±1.44E-05)	(±2.2)	(±1.9)	(±9.9)	(±1.7)	(±9.6)	(±3.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)
1.50	1.80	1.89E-08	5.2	27.5	0.0	0.0	14.7	35.0	74.2	1.7	8.0	19.0
3.30		(±6.97E-08)	(±0.5)	(±0.3)	(±0.0)	(±0.0)	(±3.2)	(±3.1)	(±14.8)	(±0.5)	(±2.3)	(±0.0)
3.30	7.65	0.00E+00	5.2	31.5	0.0	0.0	8.3	34.8	56.0	0.7	3.2	19.0
10.95		(±3.73E-06)	(±2.0)	(±6.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±10.7)	(±6.6)	(±15.5)	(±0.3)	(±1.2)	(±0.0)
10.95	0.85	2.72E-05	22.0	65.8	50.6	39.1	74.6	80.2	0.0	0.0	0.0	19.0
11.80		(±4.09E-05)	(±4.6)	(±3.2)	(±4.5)	(±1.0)	(±16.9)	(±8.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)
11.80	6.45	6.83E-05	30.7	83.0	55.0	39.9	104.0	104.0	0.0	0.0	0.0	19.0
18.25		(±4.29E-05)	(±3.7)	(±7.8)	(±5.0)	(±0.9)	(±9.8)	(±9.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)
18.25	0.75	1.04E-04	34.0	88.5	55.9	40.0	110.9	110.9	0.0	0.0	0.0	19.0
19.00		(±1.19E-04)	(±2.1)	(±6.5)	(±3.5)	(±0.6)	(±8.1)	(±8.1)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)
19.00	1.20	2.68E-06	20.7	74.1	37.9	36.1	65.2	88.2	0.0	0.0	0.0	19.0
20.20		(±4.52E-05)	(±8.9)	(±13.2)	(±13.2)	(±3.5)	(±36.1)	(±18.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)

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

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

:: Unit Weight, g (kN/m³) ::

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

where g_w = water unit weight

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

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

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

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

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

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

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

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

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

:: Relative Density, Dr (%) ::

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

:: State Parameter, ψ ::

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

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

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

(applicable only to SBT_n: 5, 6, 7 and 8)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

:: Remolded undrained shear strength, $S_u(rem)$ (kPa) ::

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

:: Overconsolidation Ratio, OCR ::

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

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

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

:: In situ Stress Ratio, K_0 ::

$$K_0 = (1 - \sin \phi') \cdot OCR^{\sin \phi'}$$

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

:: Soil Sensitivity, S_t ::

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

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

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

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

(applicable for $0.10 < B_q < 1.00$)

References

- Robertson, P.K., Cabal K.L., Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering, Gregg Drilling & Testing, Inc., 5th Edition, November 2012
- Robertson, P.K., Interpretation of Cone Penetration Tests - a unified approach., Can. Geotech. J. 46(11): 1337–1355 (2009)

CPT3

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA														CPT		3	
PARAMETRI GEOTECNICI														Riferimento		115-2021	

Committente	COMUNE DI SUZZARA	U.M.:	kg/cm²	Data esec.	13/09/2021
Cantiere	RISTRUTTURAZIONE TEATRO COMUNALE	Pagina	1		
Località	SUZZARA	Elaborato		Falda	-2.20

							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE											
H	qc	qc/fs	zone	γ'	σ'vo	Vs	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	Sc	Ca	Ko	DB	DM	Me	E'50	E'25	Mo	FL1	FL2
m	U.M.			t/m³	U.M.	m/s	U.M.	%	U.M.	U.M.	U.M.	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	U.M.	U.M.	U.M.		
0.20	--	--	3	1.85	0.04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.40	33.00	100.00	3	1.85	0.07	207	--	--	--	--	--	97	43	40	38	35	43	29	55.0	82.5	99.0	--	--
0.60	36.00	15.86	4	1.85	0.11	214	1.20	99.9	204.0	306.0	108.0	91	42	38	36	33	42	30	60.0	90.0	108.0	--	--
0.80	44.00	22.80	4	1.85	0.15	230	1.47	99.9	249.3	374.0	132.0	90	42	38	35	33	42	31	73.3	110.0	132.0	--	--
1.00	31.00	25.83	4	1.85	0.19	202	1.03	53.9	175.7	263.5	93.0	73	40	35	32	30	39	29	51.7	77.5	93.0	--	--
1.20	38.00	33.63	3	1.85	0.22	218	--	--	--	--	--	75	40	35	33	30	39	30	63.3	95.0	114.0	--	--
1.40	20.00	21.51	4	1.85	0.26	171	0.80	25.7	136.0	204.0	60.0	50	37	31	28	27	36	27	33.3	50.0	60.0	--	--
1.60	19.00	19.00	2	1.85	0.30	168	0.78	20.9	131.8	197.8	58.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.80	16.00	30.19	4	1.85	0.33	157	0.70	15.8	118.3	177.4	51.8	36	36	29	26	24	33	27	26.7	40.0	48.0	--	--
2.00	8.00	10.96	2	1.85	0.37	121	0.40	6.9	93.2	139.8	35.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.20	9.00	19.15	2	1.85	0.41	127	0.45	7.1	101.5	152.3	37.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.40	19.00	23.75	2	1.85	0.44	168	0.78	12.6	131.8	197.8	58.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.60	11.00	18.33	2	1.85	0.48	137	0.54	7.2	119.5	179.2	42.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.80	11.00	18.33	2	1.85	0.52	137	0.54	6.6	133.1	199.6	42.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.00	7.00	11.67	1	1.85	0.56	115	0.35	3.5	29.9	44.8	10.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.20	9.00	13.43	2	1.85	0.59	127	0.45	4.5	165.2	247.8	37.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.40	10.00	14.93	2	1.85	0.63	132	0.50	4.7	174.8	262.3	40.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.60	10.00	10.75	2	1.85	0.67	132	0.50	4.4	185.9	278.9	40.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.80	10.00	18.87	2	1.85	0.70	132	0.50	4.1	196.3	294.4	40.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.00	8.00	13.33	2	1.85	0.74	121	0.40	2.9	200.2	300.3	35.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.20	9.00	15.00	2	1.85	0.78	127	0.45	3.2	215.6	323.4	37.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.40	11.00	20.75	2	1.85	0.81	137	0.54	3.7	229.6	344.4	42.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.60	16.00	26.67	2	1.85	0.85	157	0.70	4.9	235.6	353.5	51.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.80	8.00	15.09	2	1.85	0.89	121	0.40	2.3	216.7	325.1	35.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.00	11.00	20.75	2	1.85	0.93	137	0.54	3.2	256.8	385.2	42.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.20	8.00	15.09	2	1.85	0.96	121	0.40	2.1	221.9	332.8	35.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.40	7.00	14.89	1	1.85	1.00	115	0.35	1.7	43.4	65.2	10.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.60	8.00	15.09	2	1.85	1.04	121	0.40	1.9	225.9	338.8	35.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.80	8.00	17.02	2	1.85	1.07	121	0.40	1.8	227.5	341.2	35.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.00	9.00	16.98	2	1.85	1.11	127	0.45	2.0	251.3	376.9	37.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.20	9.00	15.00	2	1.85	1.15	127	0.45	1.9	253.2	379.8	37.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.40	7.00	17.50	2	1.85	1.18	115	0.35	1.4	205.9	308.9	32.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.60	10.00	16.67	2	1.85	1.22	132	0.50	2.1	278.5	417.7	40.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.80	9.00	15.00	2	1.85	1.26	127	0.45	1.7	257.9	386.9	37.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.00	10.00	16.67	2	1.85	1.30	132	0.50	1.9	282.3	423.5	40.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.20	9.00	16.98	2	1.85	1.33	127	0.45	1.6	260.3	390.5	37.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.40	9.00	12.33	2	1.85	1.37	127	0.45	1.6	261.3	392.0	37.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.60	8.00	20.00	2	1.85	1.41	121	0.40	1.3	236.3	354.4	35.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.80	10.00	18.87	2	1.85	1.44	132	0.50	1.7	288.1	432.1	40.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.00	9.00	19.15	2	1.85	1.48	127	0.45	1.4	263.9	395.9	37.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.20	9.00	16.98	2	1.85	1.52	127	0.45	1.4	264.7	397.0	37.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.40	10.00	25.00	2	1.85	1.55	132	0.50	1.5	291.2	436.9	40.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.60	14.00	23.33	2	1.85	1.59	150	0.64	2.0	356.5	534.7	48.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.80	12.00	22.64	2	1.85	1.63	141	0.57	1.7	328.6	492.8	44.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.00	8.00	13.33	2	1.85	1.67	121	0.40	1.1	239.4	359.1	35.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.20	10.00	16.67	2	1.85	1.70	132	0.50	1.4	294.4	441.6	40.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.40	10.00	16.67	2	1.85	1.74	132	0.50	1.3	295.0	442.5	40.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.60	10.00	18.87	2	1.85	1.78	132	0.50	1.3	295.6	443.4	40.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.80	8.00	20.00	2	1.85	1.81	121	0.40	0.9	240.0	360.0	35.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.00	18.00	30.00	4	1.85	1.85	164	0.75	2.0	418.8	628.1	56.2	--	31	21	18	17	25	27	30.0	45.0	54.0	--	--
10.20	17.00	23.29	2	1.85	1.89	161	0.72	1.9	409.1	613.6	54.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.40	15.00	10.71	2	1.85	1.92	154	0.67	1.7	384.1	576.2	49.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.60	30.00	25.00	4	1.85	1.96	199	1.00	2.7	515.7	773.6	90.0	14	33	23	20	19	26	29	50.0	75.0	90.0	--	--
10.80	18.00	12.24	2	1.85	2.00	164	0.75	1.8	426.0	639.0	56.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11.00	96.00	42.29	3	1.85	2.04	309	--	--	--	--	--	53	38	29	26	24	33	34	160.0	240.0	288.0	--	--
11.20	112.00	120.43	3	1.85	2.07	328	--	--	--	--	--	58	38	30	27	25	34	34	186.7	280.0	336.0	--	--
11.40	117.00	48.75	3	1.85	2.11	333	--	--	--	--	--	59	38	30	27	25	34	35	195.0	292.5	351.0	--	--
11.60	120.00	57.97	3	1.85	2.15	336	--	--	--	--	--	60	38	30	27	25	34	35	200.0	300.0	360.0	--	--
11.80	139.00	139.00	3	1.85	2.18	355	--	--	--	--	--	64	39	30	27	26	34	36	231.7	347.5	417.0	--	--
12.00	115.00	43.07	3	1.85	2.22	331	--	--	--	--	--	57	38	29	26	25	33	35	191.7	287.5	345.0	--	--
12.20	163.00	53.09	3	1.85	2.26	377	--	--	--	--	--	69	40	31	28	26	35	36	271.7	407.5	489.0	--	--
12.40	157.00	53.58	3	1.85	2.29	372	--	--	--	--	--	67	39	31	28	26	35	36	261.7	392.5	471.0	--	--
12.60	163.00	84.46	3	1.85	2.33	377	--	--	--	--	--	68	39	31	28	26	35	36	271.7	407.5	489.0	--	--
12.80	188.00	68.86	3	1.85	2.37	398	--	--	--	--	--	73	40	31	29	27	36	37	313.3	470.0	564.0	--	--
13.00	166.00	30.74	3	1.85	2.41	380	--	--	--	--	--	68	39	31	28	26	35	37	276.7	415.0	498.0	--	--
13.20	117.00	30.79	3	1.85	2.44	333	--	--	--	--	--	56	38	29	26	24	33	35	195.0	292.5	351.0	--	--
13.40	120.00	51.50	3	1.85	2.48	336	--	--	--	--	--	56	38	29	26	24	33	35	200.0	300.0	360.0	--	--
13.60	187.00	50.13	3	1.85	2.52	397	--	--	--	--	--	71	40	31	28	26	35	37	311.7	467.5	561.0	--	--
13.80	180.00	29.36	4	1.85	2.55	392	6.00	18.3	1020.0	1530.0	540.0	69</											