

*Comune di Faenza*

*Regione Emilia Romagna*



*Oggetto: INDAGINE PER LA PROGETTAZIONE DI DUE SERBATOI A  
USO DEPOSITO DI TIPO SILOS.*

*Località: via Granarolo 177/3 – Faenza (RA)*

*Committente: Tampieri Financial Group Spa*

*Faenza Luglio 2020*

---

*Studio Associato di Ingegneria Geotecnica  
dott. geol. Massimiliano Bottan  
Piazza San Rocco n°5  
Faenza – RA  
Tel 0546.25397 - fax 0546.667353  
E-mail: [m.bottan@tema.it](mailto:m.bottan@tema.it)*



**INDICE**

<b>1</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>UBICAZIONE DELL'AREA .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO .....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>INQUADRAMENTO IDROLOGICO E IDROGEOLOGICO .....</b>	<b>6</b>
<b>6</b>	<b>CARATTERISTICHE GEOTECNICHE.....</b>	<b>7</b>
<b>7</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO .....</b>	<b>9</b>
<b>8</b>	<b>LIQUEFAZIONE E INSTABILITA' STRUTTURALI.....</b>	<b>13</b>
<b>9</b>	<b>VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU) GEOTECNICO.....</b>	<b>13</b>
<b>10</b>	<b>CONSIDERAZIONI EDIFICATORIE.....</b>	<b>16</b>
	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>18</b>
<b>11</b>	<b>ALLEGATI.....</b>	<b>20</b>





## 1 PREMESSA

La Tampieri Financial Group Spa, proprietaria dell'appezzamento di terreno sito in via Granarolo 177/3, nel Comune di Faenza (RA), ha dato incarico allo scrivente di effettuare un'indagine geologica e idrogeologica per identificare le caratteristiche morfologiche, idrologiche, litologiche, geotecniche e sismiche, ai fini della progettazione ed esecuzione di due serbatoi di deposito di tipo silos.

Durante questo lavoro, nel mese luglio 2020, sono stati eseguiti dei sopralluoghi e rilievi dell'area d'interesse, due prove penetrometriche sino alla profondità di 20,00 m ca. da piano campagna, atti a stabilire la natura e la portata dei terreni di fondazione. Inoltre è stata eseguita una campagna d'indagine geofisica, con stazione sismica a metodologia passiva HVRS.

Negli *allegati* è riportata una planimetria con l'ubicazione dell'area d'interventi e le ubicazioni delle prove.

Di seguito vengono riportati gli elementi geologici, idrogeologici, geomorfologici, ricavati direttamente e indirettamente sul terreno, le caratteristiche geotecniche e sismiche, secondo le normative vigenti (Norme Tecniche per le Costruzioni – O.P.C.M. 3274 e s.m.i.; D.M. 14.09.2005; D.M. 14.01.2008, Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni della Circolare n°617 del 02.02.2009 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici; Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni D.M. 17.01.2018).

## 2 UBICAZIONE DELL'AREA

L'appezzamento di terreno è situato a NE dell'abitato di Faenza (RA), all'interno di un'area industriale. Resta confinato, in una fascia di media pianura alluvionale, delimitata dall'autostrada E45 / A14 Adriatica da NW a SE, dalla Provinciale Naviglio SP8 da SW a NE, dalla Provinciale Ravennana SP302 da SW a NNE. Il fiume Lamone scorre a 3,0 km ca. ad ESE. È individuabile sulla planimetria catastale del Comune di Faenza alla scala 1:2000 foglio 86 mappale 211. L'area è stata compresa nel PRG del Comune di Faenza a scala 1:1000, nel P.T.C.P. di Ravenna (a varie scale).



### 3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

La pianura ravennate si apre a ventaglio dalle colline appenniniche, in direzione NE, verso la bassa Pianura Padana, le Valli di Comacchio e la riviera adriatica romagnola. Viene attraversata dai fiumi Reno (*Valli di Comacchio*), Santerno (*Reno*), Senio (*Reno*), Lamone (*Marina Romea*), Marzeno (*Lamone*), Montone – Ronco – Fiumi Uniti (*Lido di Dante*), Bevano (*Pineta di L. Classe*), Savio (*L. Classe – L. Savio*) e dal C.E.R. (Canale Emiliano Romagnolo) (*Uso*). Questi fiumi, attraversano i versanti appenninici, con carattere torrentizio, ed entrano in pianura, diminuendo notevolmente l'energia di trasporto, per confluire in modo diretto o indiretto nel Mare Adriatico.

Durante le varie glaciazioni e interglaciazioni pleistoceniche il livello del bacino Adriatico cambiò continuamente, e conseguentemente anche la linea di costa. L'ultima ingressione marina, 5.500 anni fa, interessò l'entroterra ravennate, lambendo il margine appenninico. Poi il livello eustatico rimase stazionario, mentre l'apporto dei sedimenti della rete idrografica, che passa il versante appenninico tosco – romagnolo, determinò la migrazione della linea di costa nella posizione attuale.

La rete idrografica è quindi il fattore principale, sia a monte che a valle dell'antica linea di costa, per il rimodellamento. Nelle rotte dei corsi d'acqua si creava un accrescimento trasversale della pianura, rispetto la direzione principale dell'asta, con una deposizione granulometrica trasversale positiva: ghiaie e sabbie prevalenti nei pressi dell'asta e argille lontano.

L'intervento antropico nei secoli determinò la fine di queste esondazioni, con la bonifica delle bassure, la regimentazione forzata, la canalizzazione o l'escavazione, determinando una sostanziale staticità o deficit nell'apporto sedimentario.

Il sito in esame si trova all'inizio di un'ampia piana alluvionale che si estende verso NE e verso la costa, intersecata da diversi alvei attuali e paleoalvei abbandonati. L'alveo attuale del fiume Lamone dista da qui circa 3,2 km e quello del fiume Senio a 3,8 Km. La quota altimetrica di quest'area alluvionale di media – bassa pianura, con pendenze inferiori a 0,5%, varia da 20,00 a 23,00 m s.l.m.



Essendo una piana inondabile, le forme, che si sono sviluppate durante l'evoluzione glaciale, post-glaciale ed olocenica, presentano strutture accavallate ed interdigitate con andamento tabulare o nastriforme.

#### 4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Dal punto di vista stratigrafico e deposizionale l'area è rappresentata in superficie dalla successione post-evaporitica del Supersistema Emiliano – Romagnolo Superiore (AES), potente alcune centinaia di metri. Questa si suddivide in subsistemi, limitati in affioramento da scarpate di terrazzo fluviale e paleosuoli, e in profondità da bruschi contatti tra depositi alluvionali fini e depositi grossolani (AES<sub>8</sub>):

- AES<sub>8</sub> (Subsistema di Ravenna, *Età del Bronzo – Pleistocene sup.*), il letto dell'unità è in contatto netto con il Subsistema di Villa Verrucchio (AES<sub>7</sub>) ed il tetto è composto da suoli non calcarei di colore bruno, poco evoluti, parzialmente decarbonatati. Le alluvioni della porzione più antica sono costituite da ghiaie da molto grossolane a fini con matrice sabbiosa, sabbie e limi stratificati con copertura eterogenea di argille, argille limose, limi sabbiosi e sabbie limose. In questa zona le ghiaie sono presenti tra -19,00 e -21,00 m da p.c.

Nel sito i sedimenti indagati, sui primi 21,00 m da p.c., sono molto eterogenei e costituiti da banchi e strati, variabili sia in spessore che granulometria. Le litologie comprendono argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo sabbioso, sabbia limosa e sabbia ghiaiosa, con una prevalenza per sedimenti granulari nel complesso. I due punti di indagine, distanti tra loro circa 13 m, sono molto disomogenei: più coesivo Cptu-S01, più granulare Cptu-S02, dove però è presente un grosso banco di argille sensitive. Anche la quota del tetto ghiaioso è differente: il primo a -19,00 m ca. da p.c., il secondo a -20,70 m ca. da p.c. Queste alternanze sono di origine fluviale e alluvionale (Pleistocene superiore ed Olocene). Le variazioni eterogenee forniscono anche consistenze eterogenee, che



alternano valori medi a valori medio-alti, tranne che per le argille sensitive che hanno valori da molto bassi a nulli.

## 5 INQUADRAMENTO IDROLOGICO E IDROGEOLOGICO

Il sistema idrologico principale è quello del fiume Lamone, che scorre su una piana alluvionale recente, sostenuto da sedimenti Pleistocenici. Quello idrogeologico principale è costituito dalle sabbie ghiaiose, a profondità di -19,00 / -20,70 m p.c., in continuità verticale con sabbie limose, dove presenti, sino alla quota di -18,00 m ca. da p.c. È un acquifero confinato, molto ampio e costante, con ricarica per alimentazione collinare e pedocollinare. Nella porzione superiore, sino al p.c., si collocano una serie di livelli e strati, a composizione mista granulare – coesiva e permeabilità media ( $10^{-4} < K < 10^{-7}$  m/s), intervallati da livelli a permeabilità bassa ( $10^{-7} < K < 10^{-9}$  m/s), probabilmente non comunicanti tra loro. Nel momento delle prove il livello di falda su Cptu-S01 non è stato rilevato per chiusura del foro, ma si stima a circa -7,74 m da p.c., mentre su Cptu-S02 è stato rilevato a -2,22 m da p.c. Questo conferma la disomogeneità anche dal punto di vista idrogeologico. Il drenaggio delle falde avviene con direzione di flusso verso nord – est.

Per quanto riguarda la compatibilità al vincolo idrogeologico, gli interventi in progetto preliminare non prevedono opere di scavo e sterro tali da apportare modifiche dell'attuale condizione di equilibrio idro-geomorfologico. È prevista una fondazione con palificazione profonda circa 20,00 m da p.c., che potrebbe al più collegare alcune falde lenticolari superficiali.

La modifica strutturale non influirà né modificherà il normale deflusso idrogeologico delle acque in falde né pertanto modificherà in alcun modo il sistema idrogeologico profondo.

Il sito interessato soggiace su un'area di ricarica della falda con modalità indiretta su un sistema compartimentato, con il quale l'opera non avrà alcuna interazione idrogeologica, ed il PSC vigente non prevede alcun vincolo idrogeologico. Inoltre questa parte del territorio comunale di Faenza non è un'area potenziale di allagamento, secondo i Piani di Bacino Vigenti.



Essendo di fatto esclusi rischi idrogeologici e geomorfologici derivanti dalle opere in progetto, si fornisce il nulla osta relativo alla compatibilità al vincolo idrogeologico.

La struttura verrà costruita su una porzione di territorio urbanizzato dove i livelli di subsidenza risultano bassi, tra -5 e -9 mm/anno, quindi abbastanza stabile.

## 6 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

Sull'area sono state effettuate due prove penetrometriche CPTU, con penetrometro statico, da 20 t, con punta Pagani, fermate a 20,00 m da p.c.

In *allegato [3-23]* vengono riportati i diagrammi con la resistenza alla punta  $q_c$  (Cone resistance – Mpa), l'attrito laterale  $f_s$  (Sleeve friction – kPa), pressione interstiziale  $U_2$  (Pore pressure – kPa), correlazione del ritardo (Cross correlation  $q_c - f_s$ ), diagrammi di identificazione di Robertson (SBT –  $B_q$  e SBTn –  $B_q$  normalizzati), diagramma  $B_q$  di Schneider, identificazione litologica in base ai valori di  $I_c$  (Robertson 1990) (Norm. Soil Behaviour Type), caratterizzazione stratigrafica su base statistica (approccio Fuzzy set theory), resistenza alla punta corretta  $q_t$  (Cone resistance  $q_t$  – Mpa), rapporto d'attrito  $R_f$  (Friction ratio – %), resistenza alla punta normalizzata  $Q_{t1N}$  (Norm. Cone resistance – adimensionale), rapporto d'attrito normalizzato  $Fr$  (Norm. Friction ratio – %), indice del comportamento  $I_c$  del terreno SBT (SBT Index), rapporto pressione nei pori  $B_q$  (Norm. pore pressure ratio – adimensionale), indice del comportamento  $I_c$  del terreno SBT normalizzato (SBTn Index), permeabilità  $K_{sbt}$  (m/s), SPT equivalenti normalizzati SPT  $N_{160}$  (colpi / 30 cm), modulo di Young  $E_s$  (Mpa), densità relativa (Relative density – %), angolo d'attrito di picco  $\phi$  (Friction angle – °), modulo confinato  $M$  [edometrico] (Constrained modulus – Mpa), modulo di taglio iniziale  $G_0$  (Shear modulus – Mpa), coesione di taglio non drenata  $S_u$  (Shear strength – kPa), rapporto  $S_u / \sigma_v'$  (Undrained strength ratio), grado di preconsolidamento OCR, velocità delle onde di taglio  $V_s$  sino alla profondità indagata (Shear wave velocity – m/s), angolo di dilatanza  $\psi$  (State



parameter – °), coefficiente di spinta a riposo  $K_0$  (In-situ stress ratio – adimensionale), sensitività del terreno  $S_t$  (Soil sensitivity – adimensionale), angolo d'attrito effettivo  $\phi'$  (Effective friction angle – °); secondo Robertson e autori vari.

In *allegato [24-29]* vengono riportate anche le sezioni geotecniche – litologiche descrittive, discretizzate con i valori tabellari mediati per strati della  $q_t$ ,  $K_{sbt}$ ,  $N_{160}$ ,  $E_s$ , densità relativa  $D_r$ , angolo d'attrito di picco  $\phi$ , modulo edometrico  $M$ ,  $G_0$ , coesione  $S_u$ , rapporto  $S_u / \sigma_v'$ , OCR, peso di volume  $\gamma$ . Negli *allegati [30-37]* si presenta il calcolo delle capacità portanti (*Terzaghi; Mesri, 1994*): i modelli di calcolo, per entrambe le prove, simulano i cedimenti nel caso di fondazione superficiale, con cedimenti rilevanti, e nel caso di fondazioni profonde, con cedimenti praticamente nulli.

Inoltre è stata eseguita l'analisi del rischio di liquefazione che negli *allegati [38-45]* riporta i dati penetrometrici di partenza ( $q_t - R_f - SBT_n$ ) da cui si sono ricavati il rapporto tra la capacità di resistenza alla liquefazione CRR e la resistenza ciclica alla liquefazione CSR, il fattore di sicurezza (FS), il diagramma di liquefazione, l'indice del potenziale di liquefazione (LPI) ed i cedimenti, verticale e laterale (Vertical settlements, Lateral displacements), nel caso di eventi sismico (*Boulanger et Idriss – 2014*). Seguono i diagrammi della potenzialità di liquefazione (Overall Liquefaction Potential Index), della gravità dell'evento liquefazione (Overall Liquefaction Severity Number), la probabilità dell'evento (Overall Probability for Liquefaction) e i cedimenti massimi verticali (Overall Vertical Settlements).

L'esame dei grafici penetrometrici evidenzia una verticale a composizione mista granulare / coesiva su Cptu-S01, con falda a partire da quasi -8,00 m, e a composizione prevalentemente granulare con argille sensitive su Cptu-S02, con falda a -2,00 m. Questa situazione eterogenea determinerà, in caso di evento sismico importante, cedimenti differenziali per liquefazione, molto gravi su Cptu-S02.

Dalle prove è stato ricavato il seguente modello geologico – geotecnico con relativi parametri di progetto:





PROFONDITÀ m DA P.C.	LITOLOGIA	$\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	Su kPa	c' kPa	$\phi'$ [°]	Dr [%]	Es MPa
0,00 – 9,30/9,60	1. Limo sabbioso, sabbia limosa, argilla e argilla limosa	15.1 ÷ 17.7	57 ÷ 130	2 ÷ 10	33 ÷ 39	28 ÷ 38	17 ÷ 49
4,60 – 9,60	1A. Argilla sensitiva	17.1 ÷ 18.9	0	1	/	/	16 ÷ 44
9,30/9,60 – 10,00/12,20	2. Sabbia e sabbia limosa	16.4 ÷ 17.8	/	0	36 ÷ 40	37 ÷ 54	40 ÷ 60
10,00/12,20 – 13,90	3. Argilla, argilla limosa e limo sabbioso	16.4 ÷ 17.9	73 ÷ 161	2 ÷ 3	34	29	35 ÷ 64
13,90 – 18,70/20,00	4. Argilla e argilla limosa, sabbia limosa e limo sabbioso	15.4 ÷ 18.5	82 ÷ 153	2	30 ÷ 36	19 ÷ 36	22 ÷ 78
> 18,70/20,00	5. Sabbia e sabbia ghiaiosa	18.8 ÷ 20.5	/	0	38 ÷ 43	47 ÷ 70	97 ÷ 100

Falda: -2,22 m / -7,74 m da p.c.

P.c. fondo naturale orizzontale: quota 22.40 m ca. s.l.m.m.

P.c. manto asfaltato: 23,00 m ca. s.l.m.m.

## 7 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO

La campagna d'indagine geofisica è stata eseguita con metodologie a tromografia digitale, con lo scopo di ricostruire, per l'area in oggetto, il profilo della velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità (Vs30).

Il modello sismico monodimensionale costituisce, infatti, l'aspetto principale sia nella stima degli effetti sismici di sito che nella definizione dell'azione sismica di progetto, in quanto consente di conoscere l'incidenza delle locali condizioni stratigrafiche nella modifica della pericolosità sismica di base (amplificazioni di natura litologica). Ciò permette una corretta progettazione strutturale in relazione alle condizioni sito specifiche, garantendo un adeguato livello di protezione antisismica delle costruzioni (O.P.C.M. 3274 e s.m.i.; D.M. 14.09.2005; D.M. 14.01.2008).

Negli *allegati [46-51]* vengono riportati i grafici delle acquisizioni, delle elaborazioni ed il report del programma che dà un significato qualitativo all'elaborazione.

L'indagine tromografica digitale è stata effettuata con TROMINO® che ottimizza la misura del microtremore sismico nell'intervallo di frequenze compreso



fra 0.1 e 200 Hz. Il microtremore sismico, che per il sottosuolo ha frequenze proprie tra 0.8 e 20 Hz, agisce come sorgente di eccitazione per la risonanza del suolo e delle strutture, e viene misurato in superficie.

Lo strumento è costituito da un sensore, che è stato infisso nel terreno attraverso 3 piedini calibrati e secondo opportuni accorgimenti. Questo dispone di tre canali analogici connessi a tre velocimetri elettrodinamici ad alta risoluzione disposti secondo tre direzioni ortogonali, più un canale per il segnale GPS. Le frequenze di moto del terreno amplificate sono state convertite in forma digitale, organizzate e salvate su una memoria digitale. Da questa il segnale è stato trasferito ad un PC dove, mediante un codice di calcolo appositamente sviluppato, sono state archiviate, analizzate e revisionate.

Ripulito dal rumore di fondo antropico, il segnale è stato convertito ed analizzato, per ricavare le onde Vs per strati, introducendo i dati stratigrafici empirici, sino oltre 100 m di profondità. Da questo modello del sottosuolo si sono ricavate la Vs media nei primi 30 m di profondità.

Sono state eseguite due sessioni di misura. Il sito presenta il picco fondamentale (0,81 – 0,88 Hz), molto profondo. Il resto dell'amplificazione è molto bassa, dovuta alle ripetute alternanze tra terreni coesivi e depositi granulari. La successione stratigrafica di dettaglio ha permesso di fittare le curve sintetiche e determinare le Vs.

Prima curva:

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.60	0.60	140	0.38
2.60	2.00	255	0.38
17.60	15.00	230	0.40
92.60	75.00	370	0.40
inf.	inf.	570	0.42

da cui per il calcolo delle Vs30 si fa riferimento alla seguente espressione, riportata nel D.M. 14.09.2005 e nel D.M. 14.01.2008 ("Norme tecniche per le costruzioni"):

$$V_s = 30 / \sum_i H_i / \sum_i V_i$$





dove  $H_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio dello strato  $i$ -esimo, per un totale di  $N$  strati presenti nei 30 m inferiori alle fondazioni:

$$V_s (1.5-31.5) = 280 \text{ m/s} \quad [\text{CAT.C}]$$

Seconda curva:

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.50	0.50	142	0.38
2.50	2.00	245	0.38
17.50	15.00	220	0.40
97.50	80.00	355	0.40
inf.	inf.	555	0.45

da cui per il calcolo delle  $V_{s30}$  si fa riferimento alla seguente espressione, riportata nel D.M. 14.09.2005 e nel D.M. 14.01.2008 (“Norme tecniche per le costruzioni”):

$$V_s = 30 / \sum_i H_i / \sum_i V_i$$

dove  $H_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio dello strato  $i$ -esimo, per un totale di  $N$  strati presenti nei 30 m inferiori alle fondazioni:

$$V_s (1.5-31.5) = 269 \text{ m/s} \quad [\text{CAT.C}]$$

Valori di  $V_{s30}$  pari a 269 / 280 m/s, classificano il terreno di fondazione come C, vedi tabella delle categorie dei suoli di fondazione (D.M. 14.09.2005; D.M. 14.01.2008) negli *allegati [52]*.

Le due curve hanno un andamento pressoché identico, con un picco fondamentale, non molto elevato, che nella curva media H/V ha un valore di circa 0,81 e 0,88 Hz. Nella struttura prevista, con altezza di 17,60 m, la frequenza tipica di risonanza teorica, nel primo modo vibrazionale, dovrebbe avere un range di 1,3 ÷ 1,5 Hz. Data la bassa amplitudine e lo sfasamento della frequenza, non dovrebbero esserci effetti di accoppiamento con conseguente aumento degli effetti vibrazionali in caso di evento sismico.

Di seguito si riportano i parametri sismici locali del sito:



Dati	Provincia Località via Committente	Ravenna Faenza Granarolo 177/3 Tampieri Financial Group Spa
------	---	--

Localizzazione	Latitudine N Longitudine E Altitudine g locale	44.319255 11.904199 m s.l.m. m/s <sup>2</sup>	23.00 9.78521
Livello falda Cptu-S01	m	7.74	da p.c.
Livello falda Cptu-S02	m	2.22	da p.c.
Categoria topografica	T	T1	
categoria suolo	Vs30	C	269-280 m/s <sup>2</sup>
Fattori amplificazione	Stratigrafica Ss	1.36	
	Topografico St	1.00	

Magnitudo max storica	M	5.88	
accelerazione SLV	ag	0.230	
Accelerazione max SLV	Amax	3.068	
Accelerazione gravità max	ag max	0.314	0.313

Di seguito vengono riportati i dati sismici ottenuti in relazione alle caratteristiche dell'opera considerate.

Coordinate geografiche della località in esame	
LATITUDINE [°]	LONGITUDINE [°]
44.319255	11.904199

VITA DELLA STRUTTURA			
Vita nominale	VN	50	[anni]
Classe d'uso	CU	1,5	
Vita di riferimento	VR	75	[anni]

CARATTERISTICHE SISMICHE TERRENO		
Topografia		T1
Coeff. topografico	ST	1,0
Categoria suolo		C

PARAMETRI SISMICI					
	SL	PVR [%]	Tr [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	Fo [-]
SLO	OPERATIVITA'	81	45	0.078	2.404



SLD	DANNO	63	75	0.099	2.395	0.278
SLV	VITA	10	712	0.230	2.450	0.310
SLC	COLLASSO	5	1462	0.285	2.509	0.322

## COEFFICIENTI SISMICI

	SL	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s <sup>2</sup> ]	Beta [-]
SLO	OPERATIVITA'	1.500	1.620	1.000	0.024	0.012	1.154	0.200
SLD	DANNO	1.500	1.600	1.000	0.030	0.015	1.453	0.200
SLV	VITA	1.360	1.540	1.000	0.088	0.044	3.068	0.280
SLC	COLLASSO	1.270	1.530	1.000	0.101	0.051	3.552	0.280

## 8 LIQUEFAZIONE E INSTABILITA' STRUTTURALI

L'analisi della liquefazione ha portato al calcolo della capacità di resistenza alla liquefazione CRR, la resistenza ciclica alla liquefazione CSR, il fattore di sicurezza FS, l'indice del potenziale di liquefazione LPI del sito e il numero di gravità di liquefazione LNS.

Lungo la verticale sono presenti molti livelli critici per la liquefazione, dovuti ad una componente granulare mista. Il potenziale di liquefazione dall'analisi varia da un rischio basso a molto alto, a seconda del punto di analisi, tra 1,63 (Cptu-S01) e 34,95 (Cptu-S02). La gravità di liquefazione risulta da minima a gravemente danneggiante, tra 7,67 (Cptu-S01) e 116,51 (Cptu-S02). Anche la probabilità che si manifesti un evento di liquefazione risulta variabile, da 6,09 % (Cptu-S01) al 98,93 % (Cptu-S02) (probabilità molto alta).

Il calcolo dei cedimenti totali dovuti alla liquefazione su -20,00 m risulta elevato, per i cedimenti verticali si potrebbero avere tra 6,93 e 53,60 cm (*Boulanger et Idriss – 2014*), con certa probabilità che siano differenziali.

L'area non evidenzia segni di dissesto in atto o di affioramenti idrici. La falda idrica risulta ad una profondità d'influenza nulla per il solettone di progetto. Per quanto riguarda gli effetti sismici dovuti a cause morfologico – stratigrafico – strutturali, non sussistono la presenza di faglie nelle vicinanze né altre discontinuità.

## 9 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU) GEOTECNICO

Dopo la caratterizzazione e modellazione geologica del sito d'interesse, secondo gli aspetti geomorfologici, litologici, stratigrafici, strutturali,



idrogeologici e di pericolosità geologica del territorio, ottenuta in seguito allo studio bibliografico e alle indagini geotecniche e sismiche eseguite in campo, si è proceduto alla ricostruzione di un modello geotecnico.

Su questo modello convergeranno le scelte progettuali per l'opera, congruentemente con le sue caratteristiche strutturali.

Le opere e le varie tipologie strutturali dovranno possedere requisiti di sicurezza nei confronti dello stato SLU di tipo geotecnico in relazione al carico limite dell'insieme fondazione – terreno. Per eseguire le verifiche di sicurezza vengono presi in considerazione tutti i meccanismi di stato limite ultimo (SLU) delle fondazioni, a breve e lungo termine, che determinano meccanismi di collasso in seguito alla mobilitazione della resistenza del terreno e al superamento della resistenza degli elementi strutturali che compongono la fondazione.

La condizione fondamentale per la verifica agli stati limite ultimi, con il metodo dei coefficienti parziali, è:

$$Ed \leq Rd$$

con  $Ed$  = valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione

e  $Rd$  = valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico (terreno)

Le verifiche che vengono effettuate agli SLU di tipo geotecnico (GEO) sono sulla stabilità globale, sul collasso per carico limite del sistema struttura – terreno e sul collasso per scorrimento sul piano di posa. Poi vengono verificati gli SLU di tipo strutturale (STR) alla resistenza negli elementi strutturali.

La verifica di stabilità globale viene effettuata secondo l'Approccio 2 – Combinazione 1 (A1+M1+R3), tenendo conto delle riduzioni dei coefficienti parziali della Tabella 6.2.II.

*Tabella 6.2.II*

PARAMETRO	Grandezza cui applicare il Coef. Parz.	Coef. Parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
<i>Tang. ang. di resistenza al taglio</i>	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
<i>Coesione efficace</i>	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
<i>Resistenza non drenata</i>	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,25



Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0
---------------------------	----------	-----------------	-----	-----

Parametri di progetto ricavati dai parametri medi caratteristici parametrizzati	
$\text{tg } \phi'_d = \text{tg } \phi'_k / 1,0$	$c'_d = c'_k / 1,0$
$Su_d = Su_k / 1,0$	$\gamma_d = \gamma_k / 1,0$

Quindi si è proceduto alla verifica dello SLU di tipo geotecnico utilizzando la relazione di Terzaghi generalizzato, secondo il D.M. 14/01/2008 a lungo termine sia in condizioni non drenate, ponendo l'angolo di attrito interno del terreno  $\phi' = 0^\circ$ , con la resistenza al taglio totale del terreno determinata dalla coesione non drenata, sia in condizione drenate con angolo d'attrito interno e coesione non drenata nulla, in entrambi i casi ridotti nei calcoli dal coefficiente parziale, come indicato nella normativa.

Condizione non drenate:

Approccio 2 - Combinazione 1 (A1+M1+R3)			
Fondazione:	superficiale	Parametri del terreno	
Larghezza (B)	14.13 m	Coesione $Su_k$	130.0 kPa
Lunghezza (L)	29.88 m	Angolo di attrito $\phi'$	$0^\circ$
Profondità (D)	- 1.80 m	Peso di volume $\gamma$	1760 kN/m <sup>3</sup>
Carico limite allo SLU		211.91 kPa [2.16 kg/cm <sup>2</sup> ]	

Condizione drenate:

Approccio 2 - Combinazione 1 (A1+M1+R3)			
Fondazione:	superficiale	Parametri del terreno	
Larghezza (B)	14.13 m	Coesione $Su_k$	0.0 kPa
Lunghezza (L)	29.88 m	Angolo di attrito $\phi'$	$33^\circ$
Profondità (D)	- 1.80 m	Peso di volume $\gamma$	1760 kN/m <sup>3</sup>
Carico limite allo SLU		271.94 kPa [2.77 kg/cm <sup>2</sup> ]	

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali seguendo almeno uno dei due approcci:

Approccio 1:

- Combinazione 1: (A1+M1+R1)



-Combinazione 2: (A2+M2+R2)

Approccio 2:

-Combinazione : (A1+M1+R3).

I coefficienti parziali si ricavano dalle Tabelle 6.2.I, 6.2.II, 6.4.I, 6.8.I

I calcoli sopra espressi rappresentano la portanza superficiale per il posizionamento della platea superficiali, alla quota di 1,80 m dal piano campagna, sia per caratteristiche prevalentemente argillose che granulari. Sarà compito del *Progettista* verificare la sicurezza nei confronti dello stato limite ultimo, per cui la resistenza di progetto  $R_d$  calcolata sopra con entrambi gli approcci dovrà risultare maggiore del valore di progetto dell'effetto delle azioni, valutato in base ai valori di progetto nelle varie combinazioni di carico.

Per i cedimenti totali lungo la verticale sino -20,00 m da p.c. bisogna però fare riferimento al presente paragrafo 6 e agli *Allegati 30-37*.

## 10 CONSIDERAZIONI EDIFICATORIE

La verticale d'indagine risulta costituita da terreni eterogenei, sia granulari che coesivi, anche sensitivi, con consistenze molto variabili, da plastica a solido – plastica, ma anche fluida e molto sciolta. Il livello più critico è presente su Cptu-S02 tra -4,60 e -9,60 m da p.c., con consistenza fluida. Gli strati e i banchi non trovano una sostanziale corrispondenza orizzontale nei due punti di indagine, se non a -9,30/9,60 e -13,90 m da p.c. Anche la sabbia ghiaiosa in profondità si trova a quota differenti (-18,70 e -20,00 m da p.c.).

La struttura che verrà edificata avrà un ingombro areale di 400 mq ca., con un'altezza massima di 17,60 m. Nei test di simulazione del carico progettuale si è considerato un caso con la sola fondazione superficiale con solettone che ha prodotto cedimenti primari di 4,24 e 3,45 cm, con cedimenti secondari su 36 mesi di 1,06 e 0,27 cm. Il livello più critico, costituito da argille sensitive, è stato sottostimato nella simulazione del carico per assenza di dati numeri, ma è stimabile in un aumento di ulteriori 3,00 / 4,00 cm, per la sola posizione Cptu-S02.



Il secondo caso di test dei cedimenti è stato considerato con una fondazione con solettone e palificazione profonde sino alla quota della sabbia ghiaiosa. In questo caso i cedimenti sono risultati praticamente nulli.

Con la seconda ipotesi di fondazioni profonde si annullano anche gli effetti dei cedimenti eventuali in caso di liquefazione.

Il solettone della struttura, alla quota di -1,80 m da p.c., poggerà in parte su argilla / argilla limosa solido – plastica, in parte su limo sabbioso / sabbia limosa con consistenza da sciolta a media. I pali infissi dovranno raggiungere almeno la quota di -20,50 m da p.c.

Dal punto di vista geotecnico, data la natura dei terreni, e la distribuzione del carico strutturale, si ritiene che la scelta dovrebbe convergere su fondazioni profonde con pali che lavorino di punta e che raggiungano la sabbia ghiaiosa almeno a -20,50 m da p.c.

Dal punto di vista sismico, c'è una elevata probabilità di liquefazione, nel caso di evento sismico importante, che porterebbe una conseguente riduzione stratigrafica differenziale da 7 a 53 cm. Sia il potenziale che la gravità di liquefazione risultano molto differenti, da bassi a molto elevati.

Visto le caratteristiche geotecniche e idrogeologiche del sito d'intervento, si forniscono le seguenti PRESCRIZIONI:

- a) LA UNICA SOLUZIONE PER LE FONDAZIONI CHE SI DOVREBBE PRENDERE IN CONSIDERAZIONE SONO QUELLE PROFONDE, SIA PER PROBLEMATICHE GEOTECNICHE CHE SISMICHE, DI TIPO DIFFERENZIALE.
- b) NON SUPERARE LA QUOTA PRE-PROGETTUALE DI 180 CM DA P.C. PER LA POSA DEL SOLETTONE PER NON INCONTRARE UNA FALDA SUPERFICIALE IN PARTE DELLO SCAVO. OLTRE A GENERARE UN AGGRAVIO NELLA LAVORAZIONE, UN APPROFONDIMENTO PUÒ MODIFICARE GEOTECNICAMENTE LA QUALITÀ DELLA ZONA DOVE LA FALDA NON È PRESENTE.



## CONCLUSIONI

Dalle indagini eseguite si può stabilire quanto segue:

1. la verticale d'indagine è rappresentata da litologie differenti, con spessori differenti, spesso non correlabili o non presenti in entrambe le parti. Nella prova Cptu-S02 è stato attraversato un grosso banco di 5 m di argille sensitive. Le consistenze risultano anch'esse molto variabili, da basse a medio – alte.
2. sull'area è presente una falda principale molto profonda, cui si sovrappongono molte piccole falde secondarie. Il livello di prima falda rilevata risulta a -7,74 m su Cptu-S01 e a -2,22 m su Cptu-S02 da piano campagna. Le permeabilità hanno valori medi ( $10^{-4} < K < 10^{-7}$  m/s).
3. il progetto preliminare della struttura principale avrà un ingombro areale di 400 mq ca., con un'altezza di 17,60 m ca. e una fondazione con solettone sostenuto da palificazione profonda almeno sino -20,50 m da p.c., per ovviare a problemi di cedimenti differenziali sia geotecnici che di liquefazione molto rilevanti.
4. la capacità portante superficiale del terreno è adeguata per il solettone (2,16 – 2,77 kg/cm<sup>2</sup>, a seconda della zona). I cedimenti calcolati senza la palificazione profonda risultano di 5,3 – 3,7 cm (sottostimati). Progettando fondazioni profonde i cedimenti risultano nulli.
5. il calcolo delle V<sub>s30</sub> hanno dato valori di 269 e 280 m/s, classificano il terreno di fondazione come C,  $15 < N_{SPT} < 15$ ,  $70 < C_u < 250$  kPa.
6. il picco fondamentale nella curva media H/V ha un valore di 0,81 / 0,88 Hz, molto profondo. Per strutture in acciaio con altezza di 17,6 m ca., la frequenza tipica di risonanza nel primo modo vibrazionale ha un range di 1,3 ÷ 1,5 Hz. Questo esclude effetti di accoppiamento, con conseguente aumento degli effetti vibrazionali in caso di evento sismico.

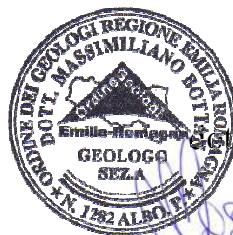




7. il potenziale di liquefazione risulta da basso a molto alto rischio (1,6 – 34,9), la gravità di liquefazione da minima a gravemente danneggiante (7,7 – 116,5), la probabilità da bassa ad molto alta (6,1 – 98,9 %), con eventuali cedimenti verticali stimati tra 6,9 e 53,6 cm in caso di evento sismico importante. I cedimenti provocherebbero un collasso della struttura con danni a quelle adiacenti.
8. Si ribadisce che l'unica soluzione edificatoria per le fondazioni è quella di pali profondi, che lavorino di punta e che vadano ad intestare alla quota di -20,50 m sulla sabbia ghiaiosa. L'alternativa potrebbe solo essere di eseguire delle iniezioni di consolidamento dei livelli più scadenti, compreso l'intero grosso banco di argille sensitive.

*Se si verificassero localmente, anche in fase di posa delle fondazioni, delle situazioni litologiche e/o di addensamento discordanti da quelle descritte nella presente relazione, occorrerà avvertire lo scrivente che, dopo le valutazioni del caso, deciderà gli opportuni interventi.*

Faenza luglio 2020



geol. Massimiliano Bottan



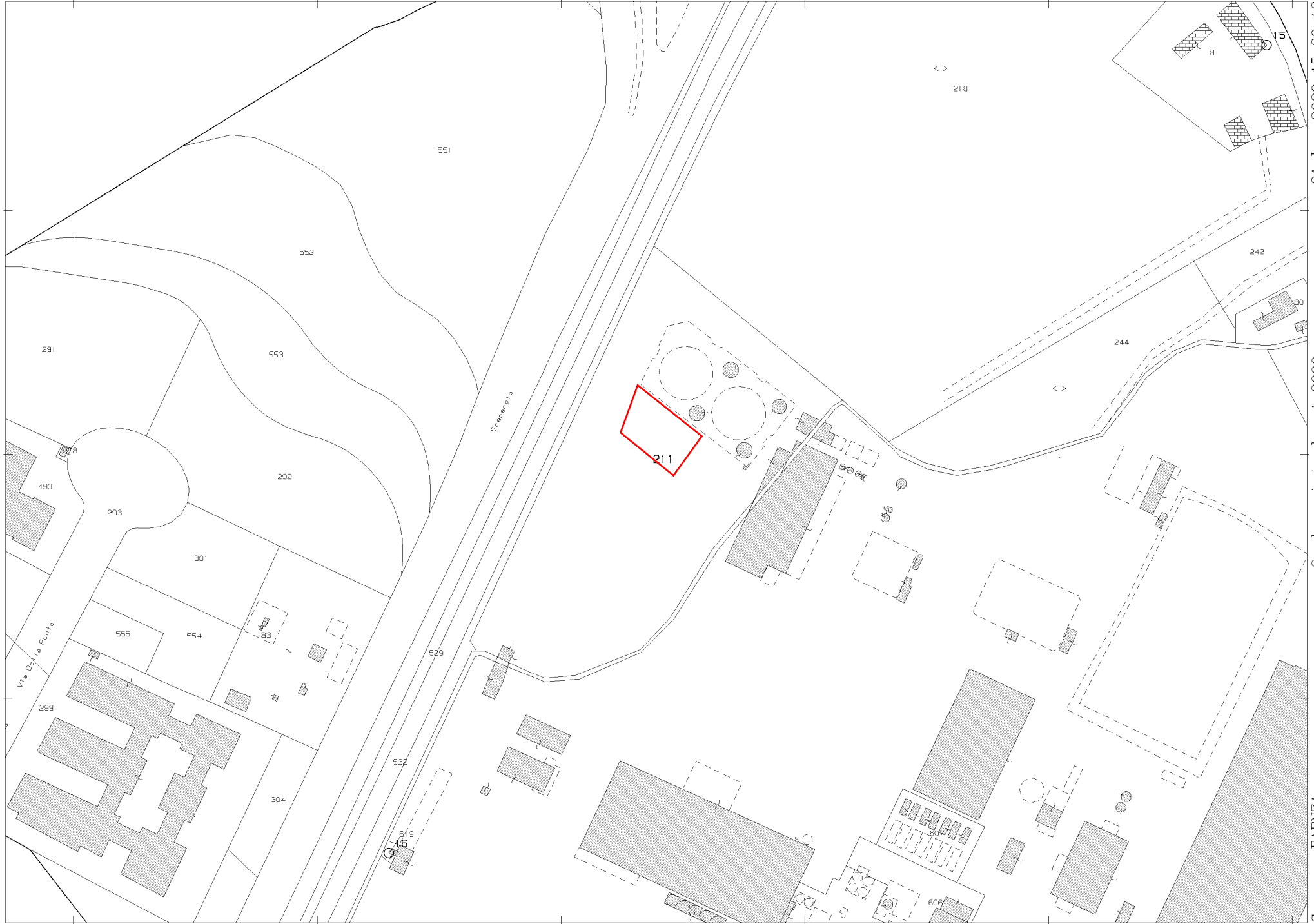
## 11 ALLEGATI

- ✓ Corografia dell'area con area d'intervento e ubicazione delle prove
- ✓ Planimetria catastale (scala 1:2.000)
- ✓ Diagrammi delle prove penetrometriche statiche CPTU, parametri geotecnici calcolati, diagrammi litologici.
- ✓ Sezioni litologiche e parametri caratteristici discretizzati.
- ✓ Diagrammi dei cedimenti primari e secondari (*Terzaghi; Mesri, 1994*).
- ✓ Report dell'analisi della suscettibilità e del rischio di liquefazione, dei cedimenti verticali e laterali (*Boulanger et Idriss, 2014*).
- ✓ Potenziale di liquefazione, gravità della liquefazione, probabilità di liquefazione, cedimenti verticali.
- ✓ Prove tromografiche: dati strumentali, spettri di amplificazione, spettro H/V, time history elaborata, singole componenti dello spettro, curva sintetica e sperimentale, modello del sottosuolo e calcolo Vs30. Report in accordo con le linee guida SESAME 2005.
- ✓ Categorie di suolo di fondazione (D.M. 14.09.2005; D.M.14.01.2008).



## ALLEGATI





E=11800

1 Particella: 211

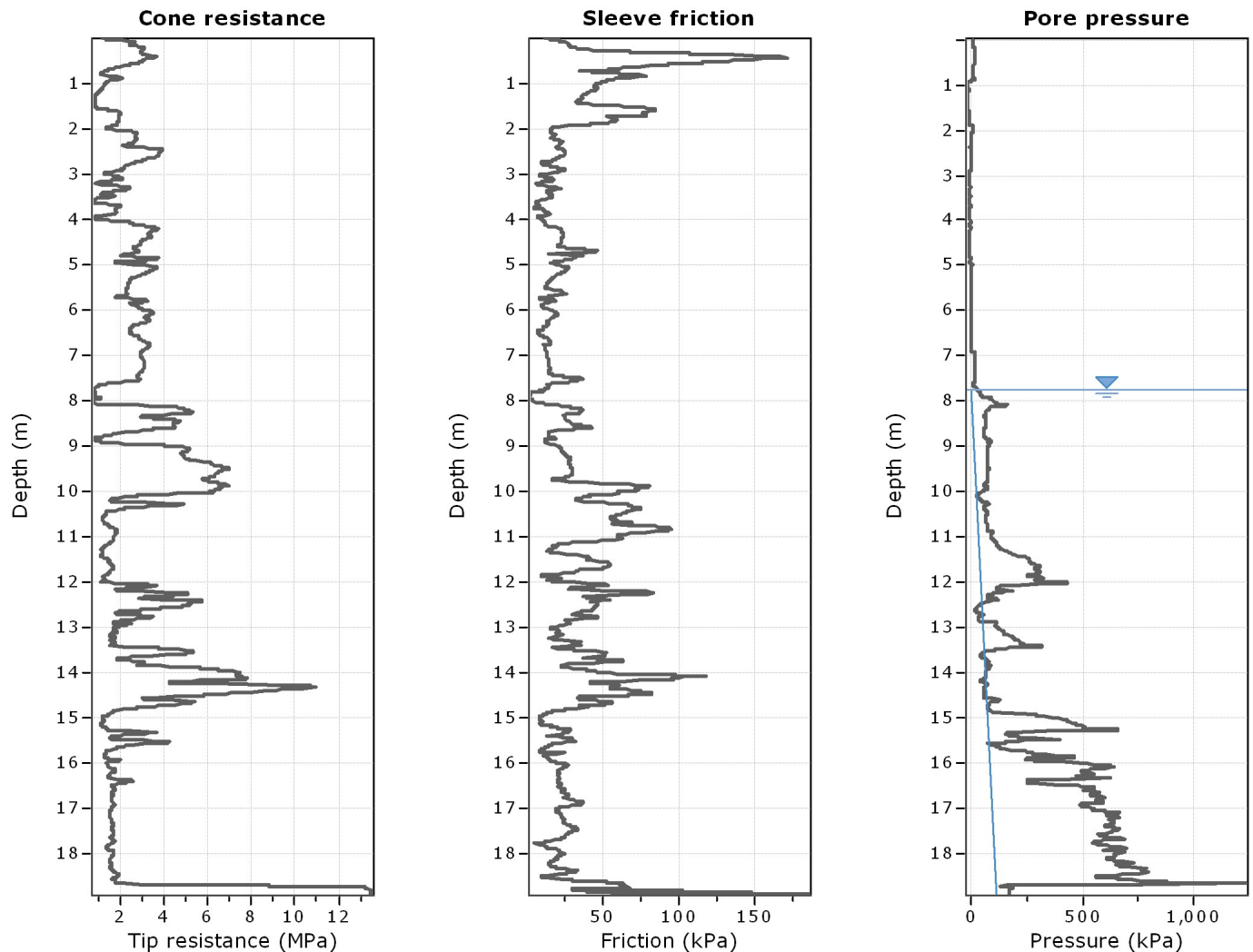
Comune: FAENZA  
Foglio: 86  
Scala originale: 1:2000  
Dimensione cornice: 534.000 x 378.000 metri

21-Lug-2020 15:30:13  
Prot. n. T240264/2020

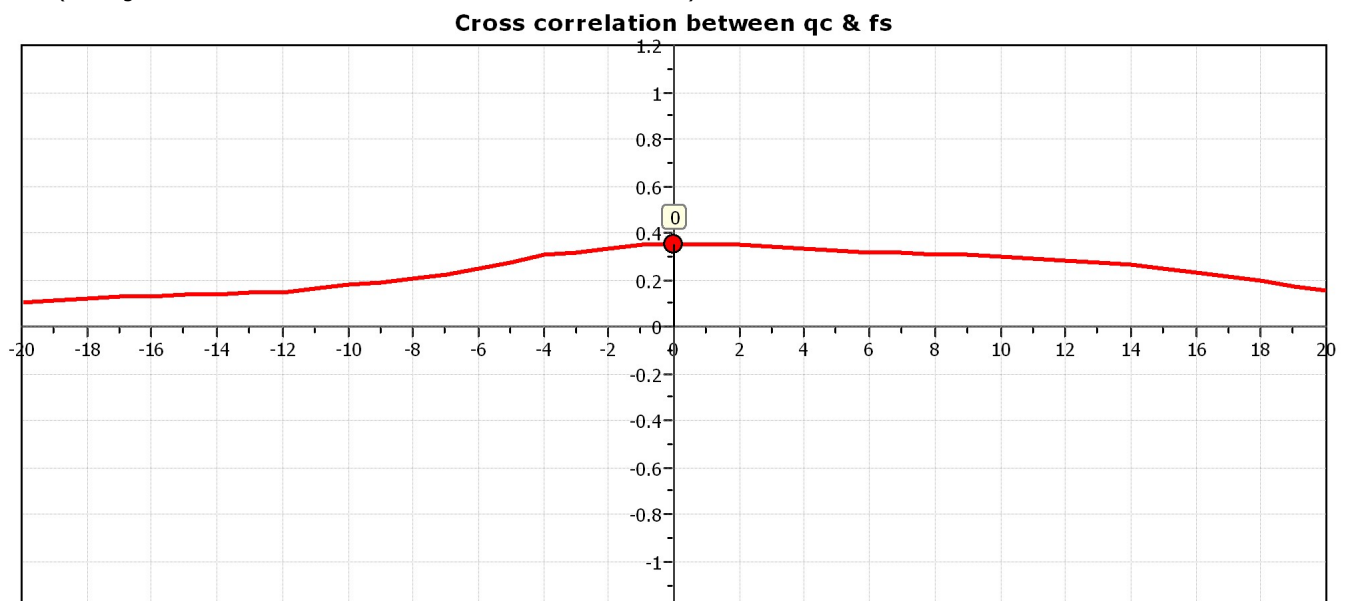


**Project:** Indagini per studio di progettazione di un deposito tipo silos doppio

**Location:** Tampieri Spa - via Granarolo 177/3, Faenza (RA)



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







Studio Associato di Ingegneria Geotecnica

Piazza S. Rocco 5, 48018, Faenza (RA)

dott. geol. Massimiliano Bottan

<http://www.tema.it>

CPT: Cptu-S01

Total depth: 18.90 m, Date: 23/07/2020

Surface Elevation: 23.00 m

Coords: lat 44.319255° lon 11.904199°

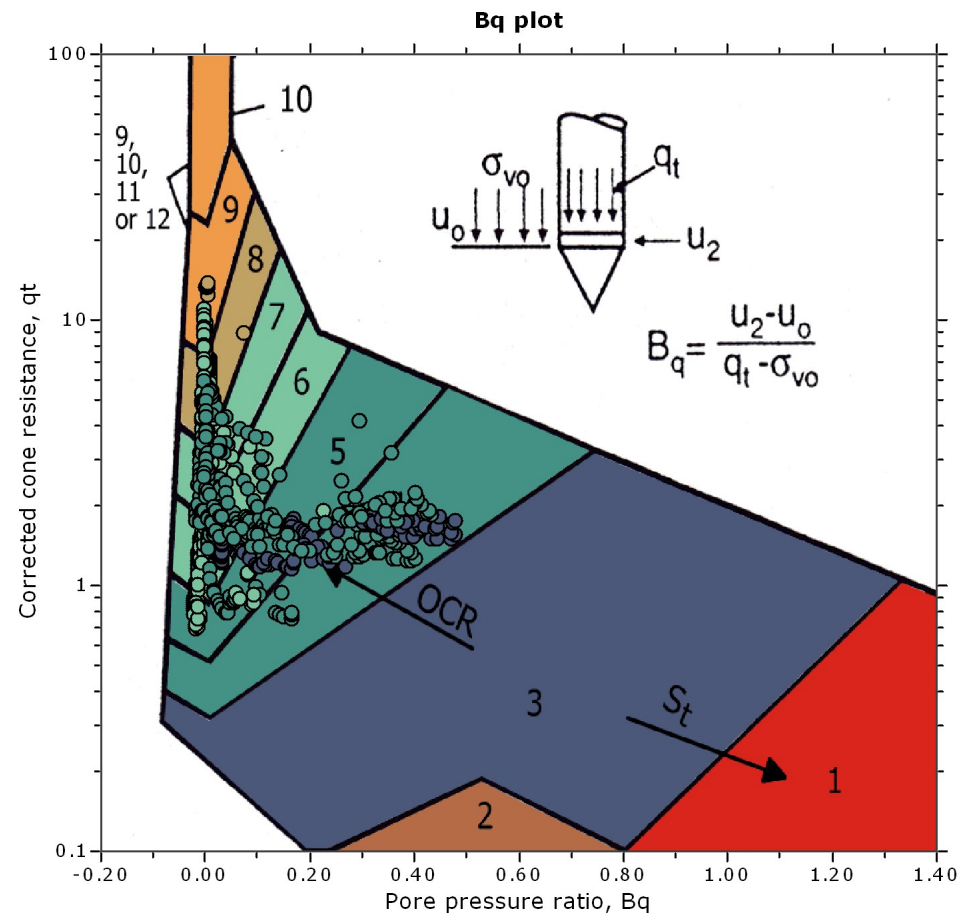
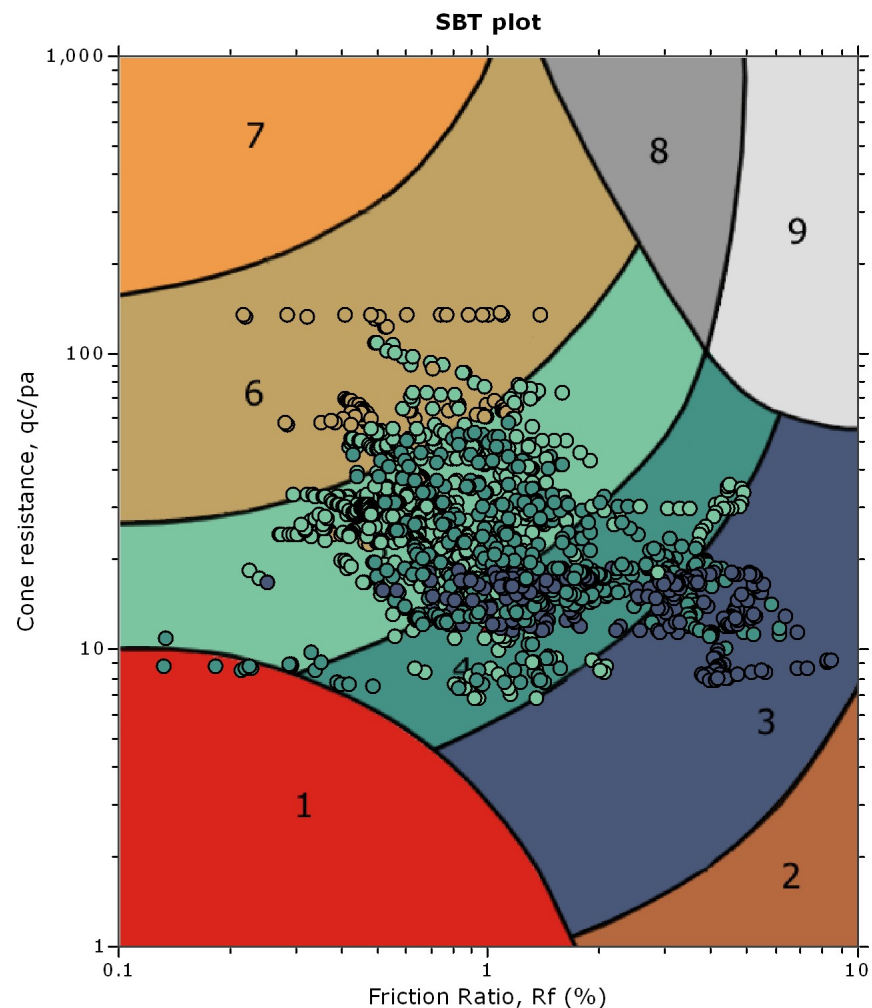
Cone Type: Pagani Cpt Probe

Cone Operator: dott. geol. Massimiliano Bottan

Project: Indagini per studio di progettazione di un deposito tipo silos doppio

Location: Tampieri Spa - via Granarolo 177/3, Faenza (RA)

## SBT - Bq plots



### SBT legend

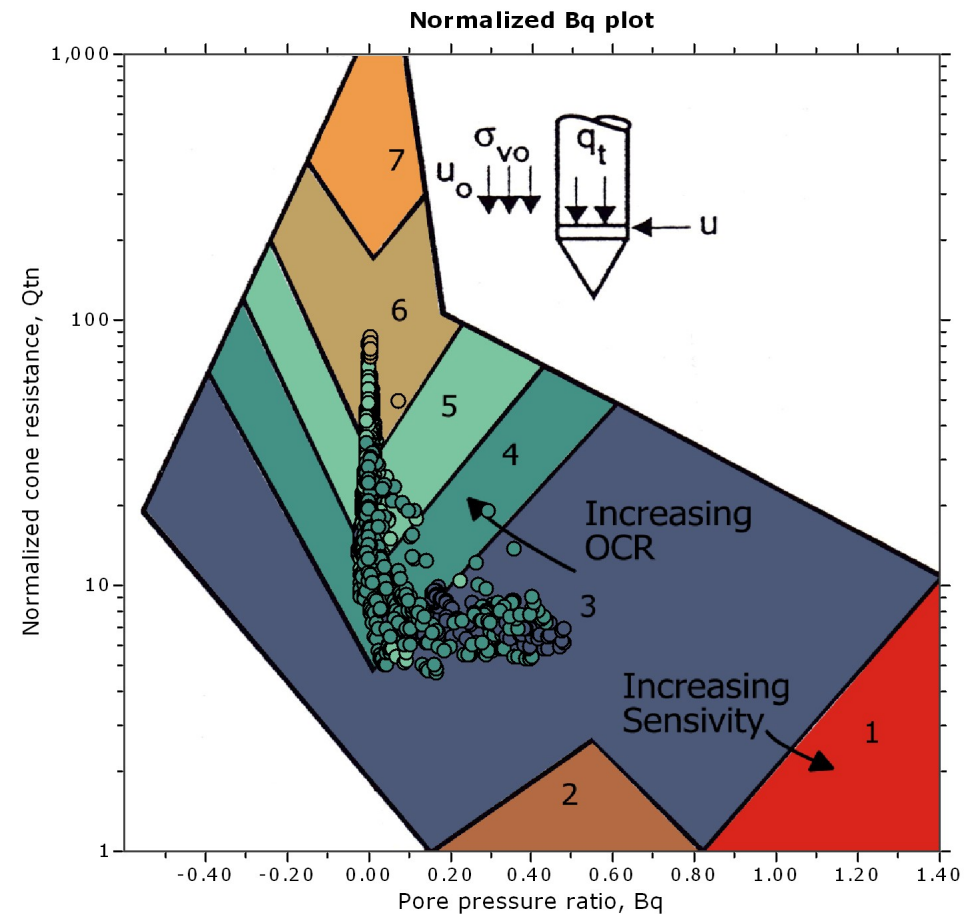
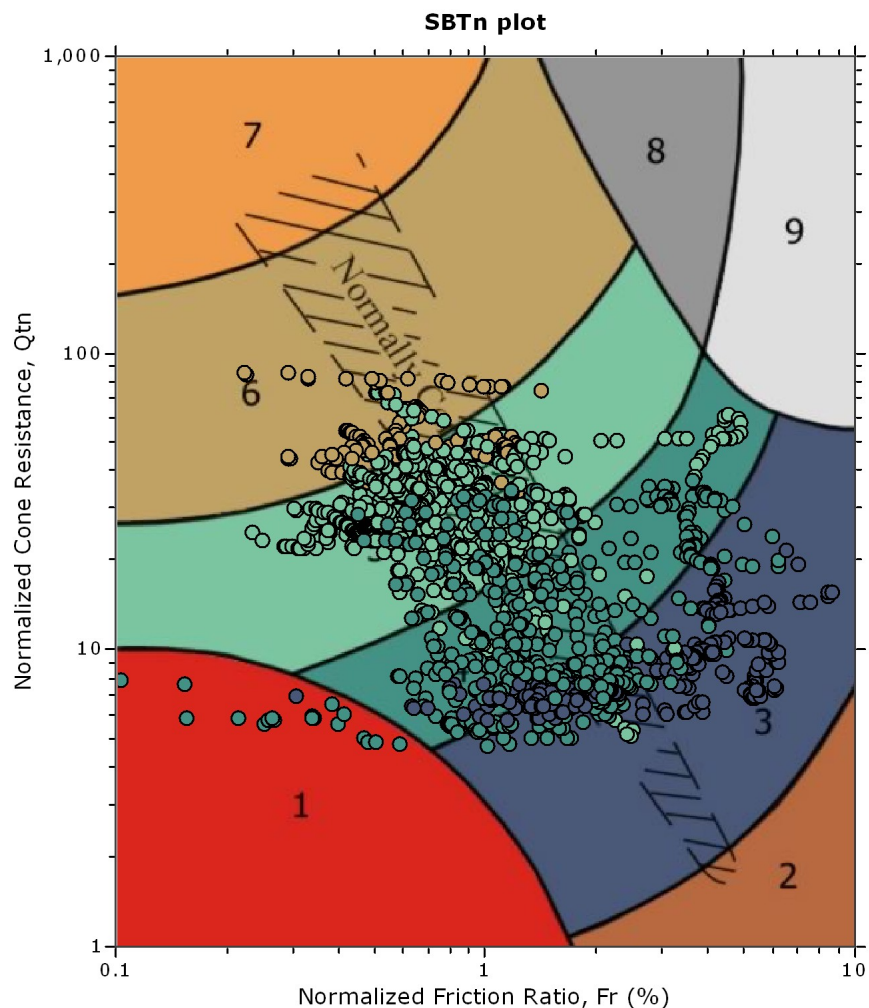
- |                           |                              |                                   |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty clay | 7. Gravely sand to sand           |
| 2. Organic 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        |



Project: Indagini per studio di progettazione di un deposito tipo silos doppio

Location: Tampieri Spa - via Granarolo 177/3, Faenza (RA)

### 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        |



Studio Associato di Ingegneria Geotecnica

Piazza S. Rocco 5, 48018, Faenza (RA)

dott. geol. Massimiliano Bottan

<http://www.tema.it>

CPT: Cptu-S01

Total depth: 18.90 m, Date: 23/07/2020

Surface Elevation: 23.00 m

Coords: lat 44.319255° lon 11.904199°

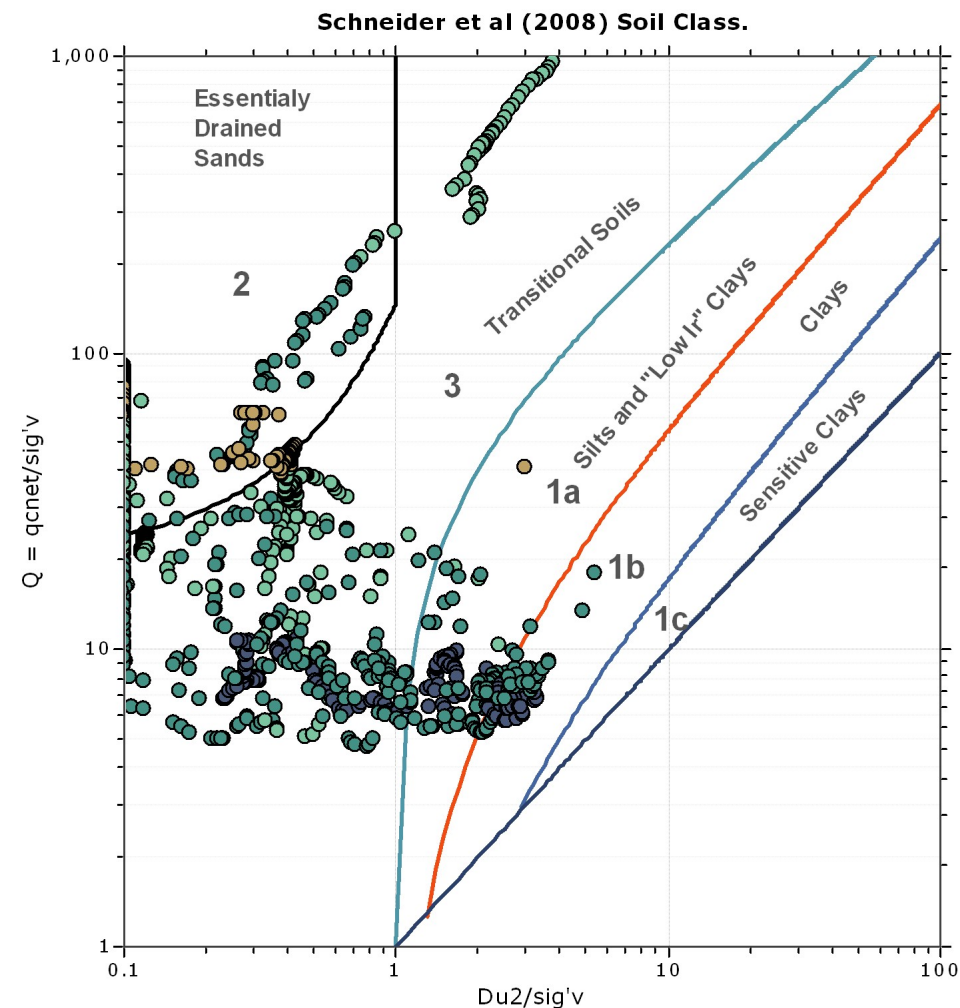
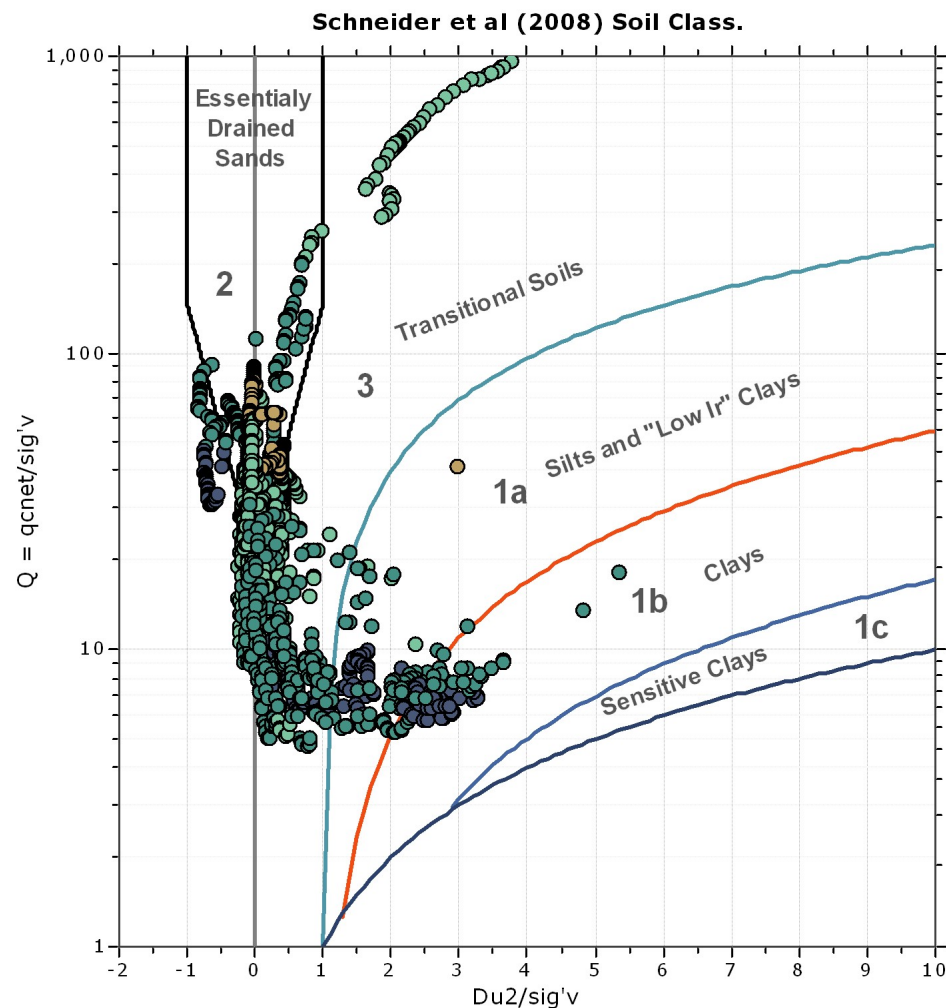
Cone Type: Pagani Cpt Probe

Cone Operator: dott. geol. Massimiliano Bottan

Project: Indagini per studio di progettazione di un deposito tipo silos doppio

Location: Tampieri Spa - via Granarolo 177/3, Faenza (RA)

## Bq plots (Schneider)

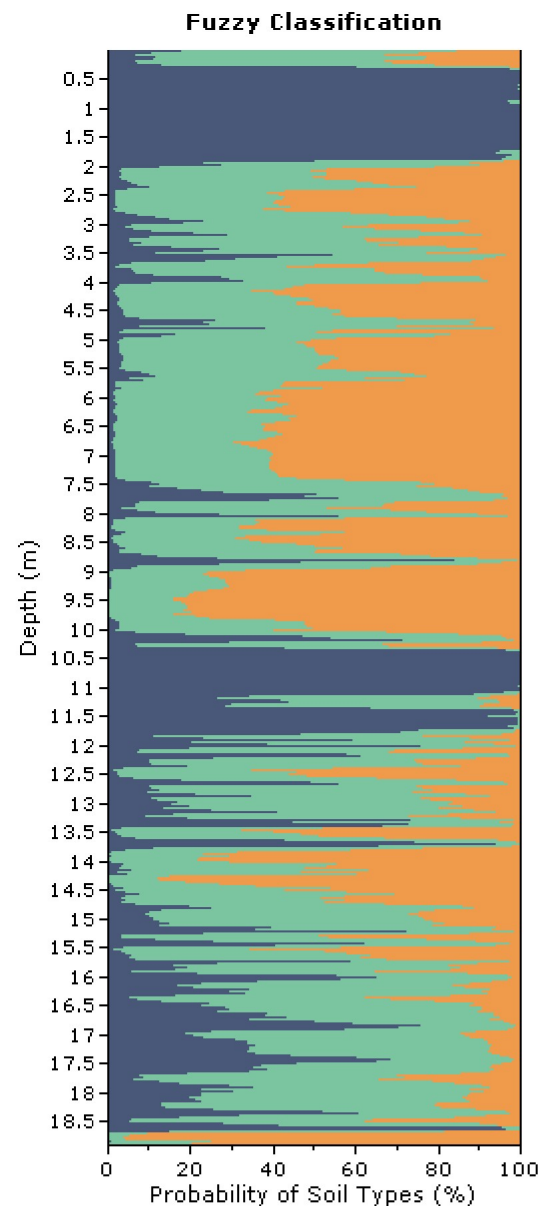
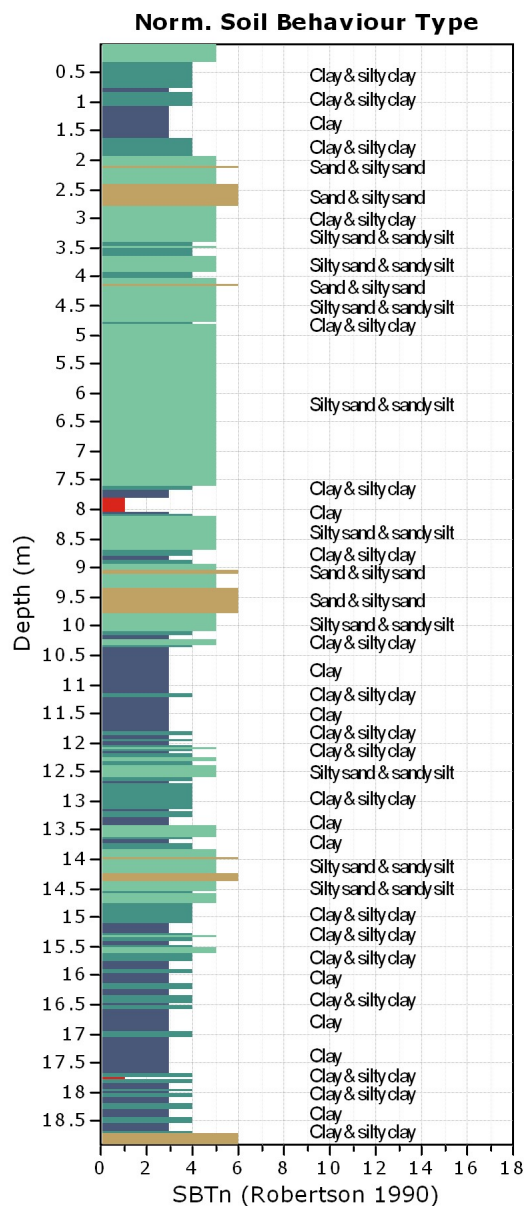






Project: Indagini per Sudio di progettazione di un deposito tipo silos doppio

Location: Tampieri Spa - via Granarolo 177/3, Faenza (RA)



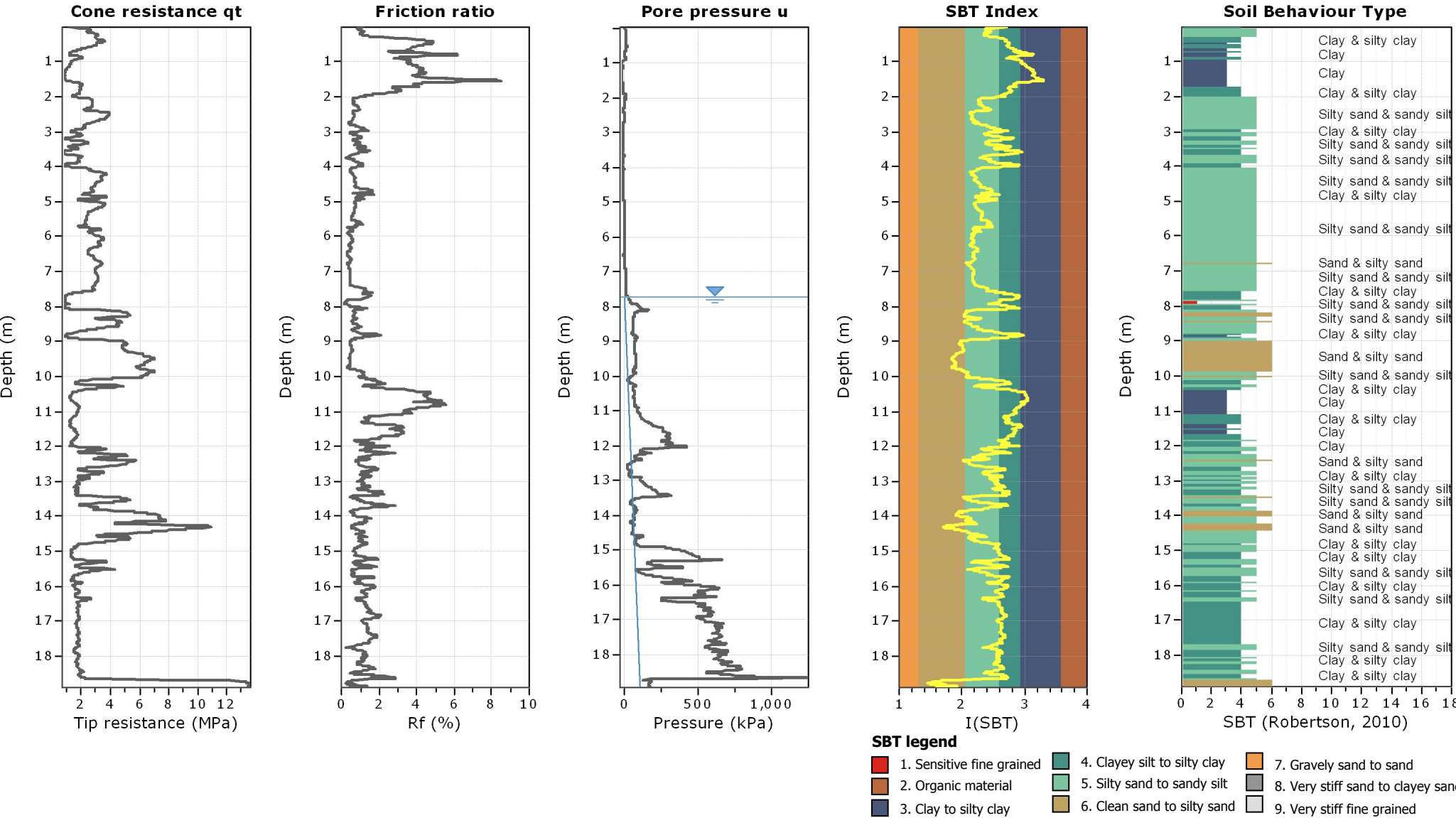


**Studio Associato di Ingegneria Geotecnica**  
Piazza S. Rocco 5, 48018, Faenza (RA)  
dott. geol. Massimiliano Bottan  
<http://www.tema.it>

**Project:** Indagini per Sudio di progettazione di un deposito tipo silos doppio  
**Location:** Tampieri Spa - via Granarolo 177/3, Faenza (RA)

**CPT: Cptu-S01**

Total depth: 18.90 m, Date: 23/07/2020  
Surface Elevation: 23.00 m  
Coords: lat 44.319255° lon 11.904199°  
Cone Type: Pagani Cpt Probe  
Cone Operator: dott. geol. Massimiliano Bottan



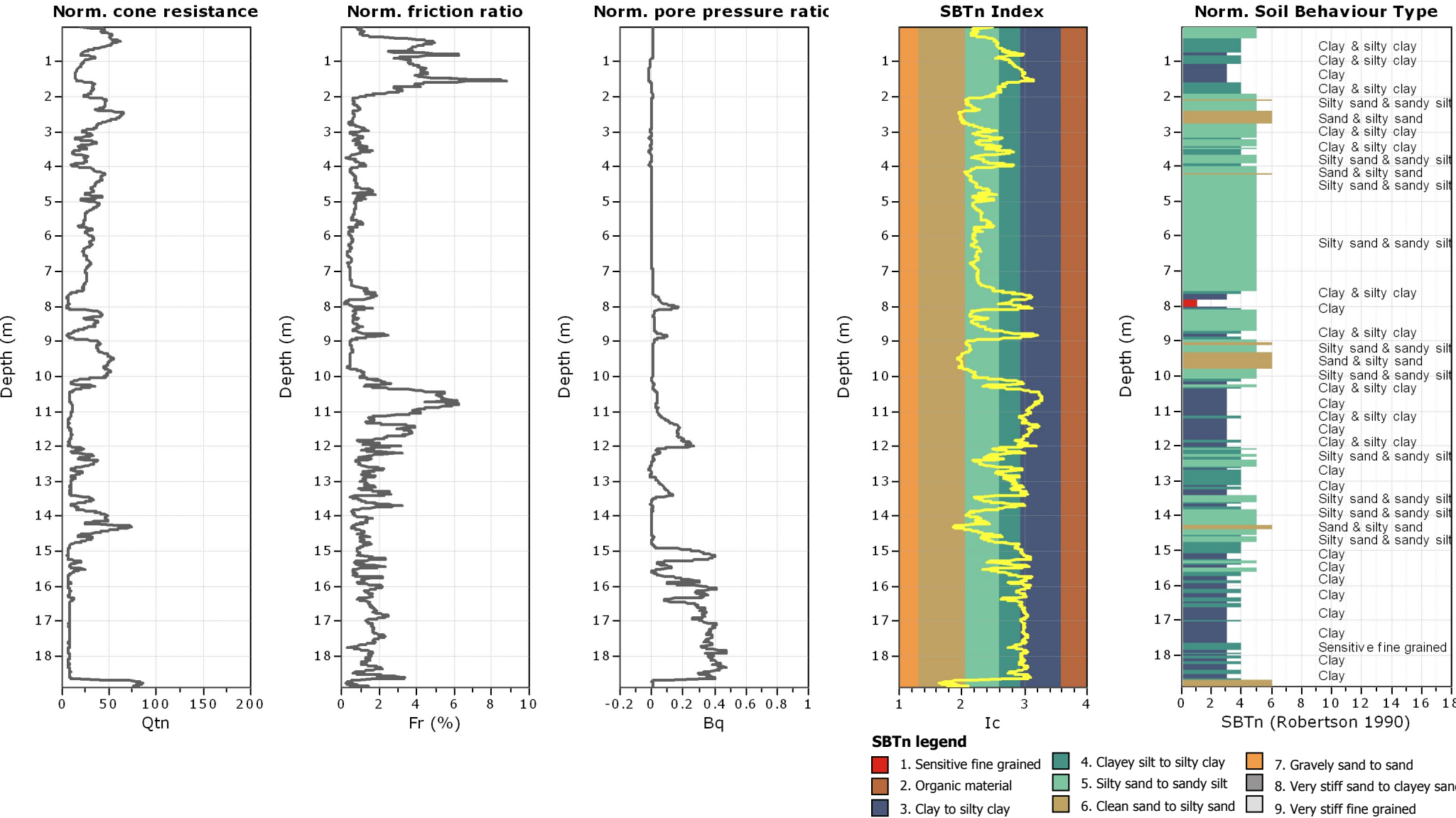


**Studio Associato di Ingegneria Geotecnica**  
Piazza S. Rocco 5, 48018, Faenza (RA)  
dott. geol. Massimiliano Bottan  
<http://www.tema.it>

**Project:** Indagini per Sudio di progettazione di un deposito tipo silos doppio  
**Location:** Tampieri Spa - via Granarolo 177/3, Faenza (RA)

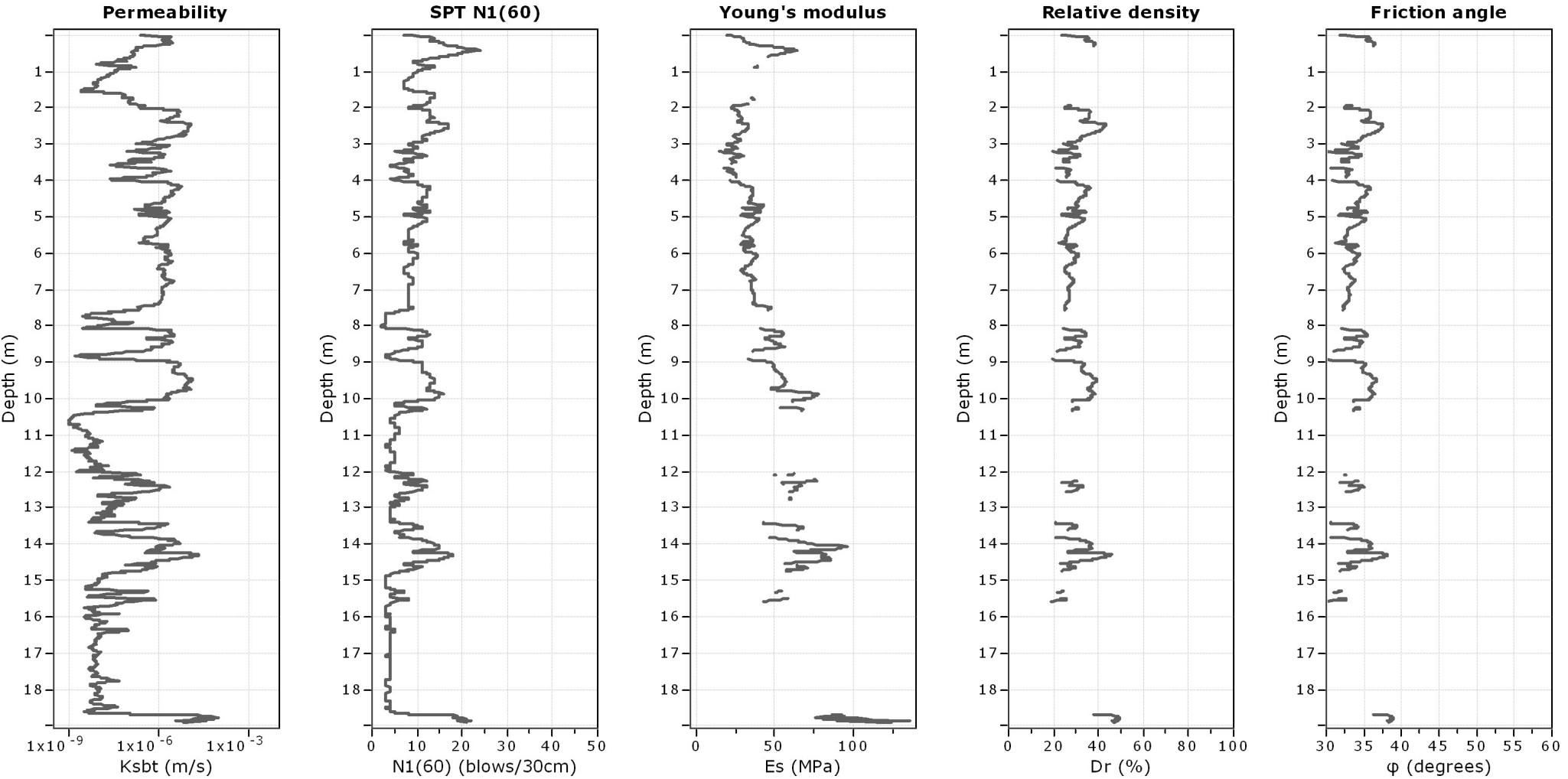
**CPT: Cptu-S01**

Total depth: 18.90 m, Date: 23/07/2020  
Surface Elevation: 23.00 m  
Coords: lat 44.319255° lon 11.904199°  
Cone Type: Pagani Cpt Probe  
Cone Operator: dott. geol. Massimiliano Bottan





**Project:** Indagini per Sudio di progettazione di un deposito tipo silos doppio  
**Location:** Tampieri Spa - via Granarolo 177/3, Faenza (RA)



**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 desnisty constant,  $C_{Dr}$ : 350.0  
Phi: Based on Kulhawy & Mayne (1990)  
● — User defined estimation data





**Studio Associato di Ingegneria Geotecno**

Piazza S. Rocco 5, 48018, Faenza (RA)

dott. geol. Massimiliano Bottan

<http://www.tema.it>

**Project:** Indagini per studio di progettazione di un deposito tipo silos doppio

**Location:** Tampieri Spa - via Granarolo 177/3, Faenza (RA)

**CPT: Cptu-S01**

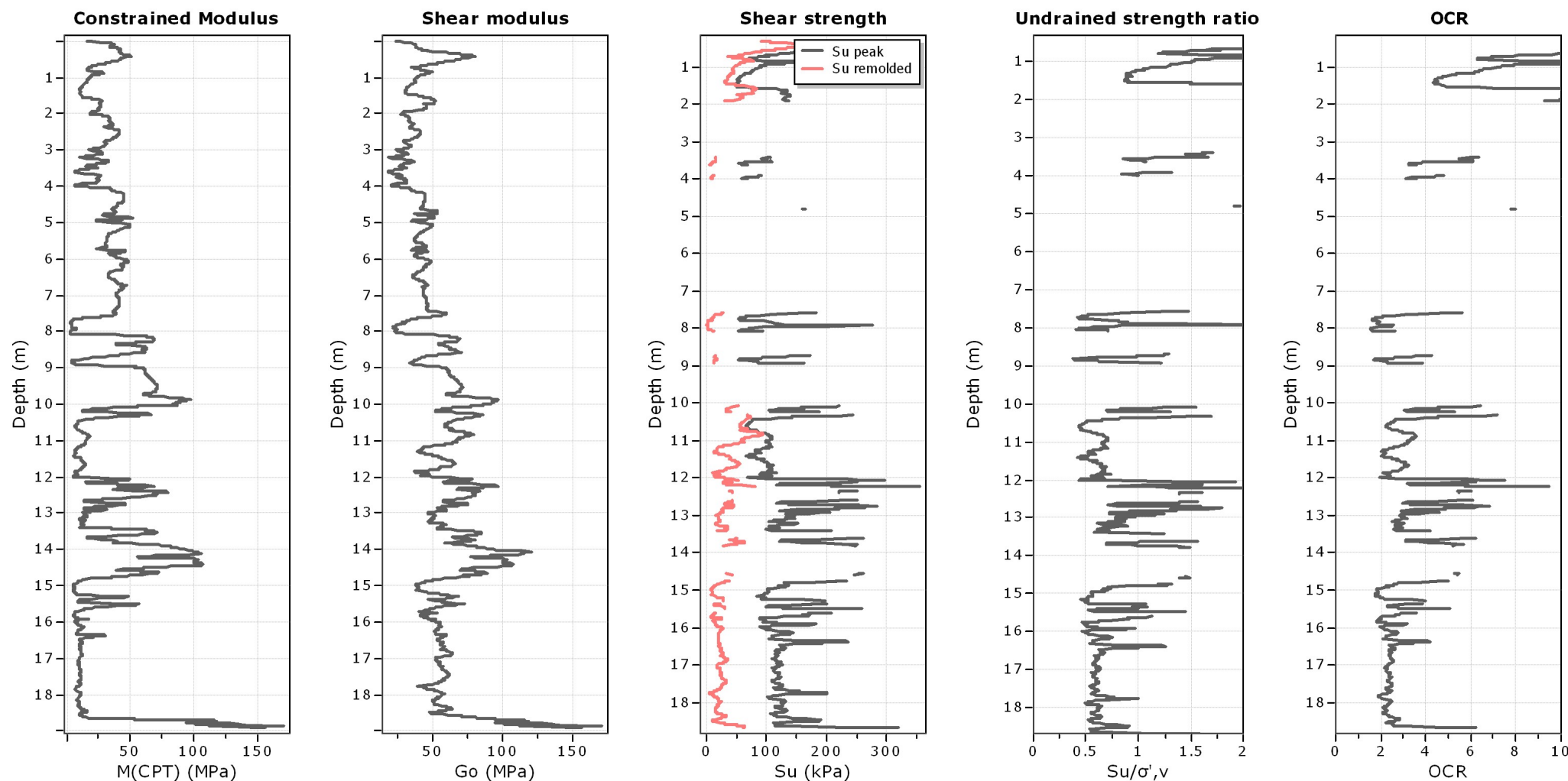
Total depth: 18.90 m, Date: 23/07/2020

Surface Elevation: 23.00 m

Coords: lat 44.319255° lon 11.904199°

Cone Type: Pagani Cpt Probe

Cone Operator: dott. geol. Massimiliano Bottan



**Calculation parameters**

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

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

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

OCR factor for clays,  $N_{kt}$ : 0.33

● User defined estimation data



**Studio Associato di Ingegneria Geotecnica**

Piazza S. Rocco 5, 48018, Faenza (RA)

dott. geol. Massimiliano Bottan

<http://www.tema.it>

**CPT: Cptu-S01**

Total depth: 18.90 m, Date: 23/07/2020

Surface Elevation: 23.00 m

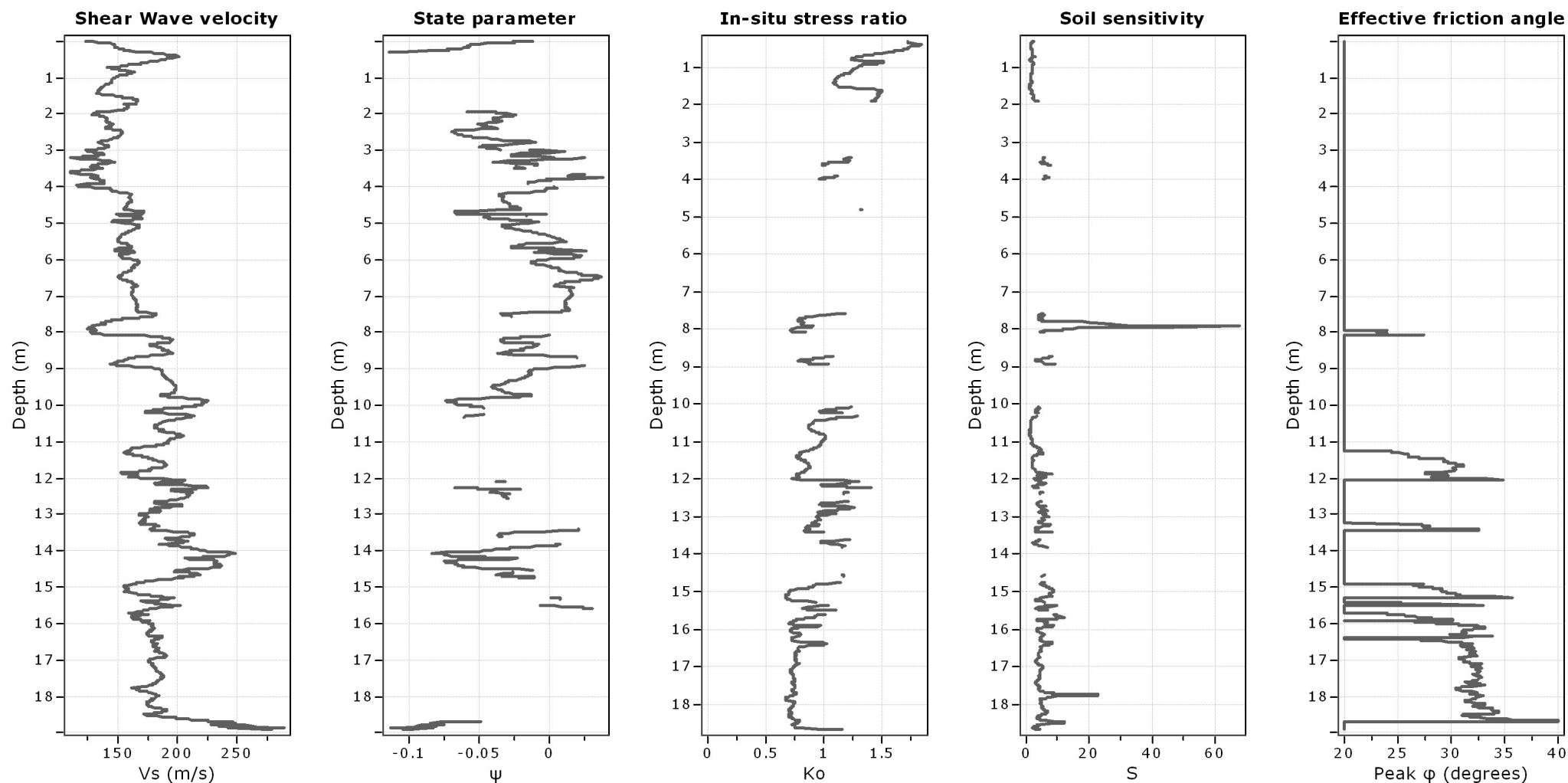
Coords: lat 44.319255° lon 11.904199°

Cone Type: Pagani Cpt Probe

Cone Operator: dott. geol. Massimiliano Bottan

**Project:** Indagini per studio di progettazione di un deposito tipo silos doppio

**Location:** Tampieri Spa - via Granarolo 177/3, Faenza (RA)



**Calculation parameters**

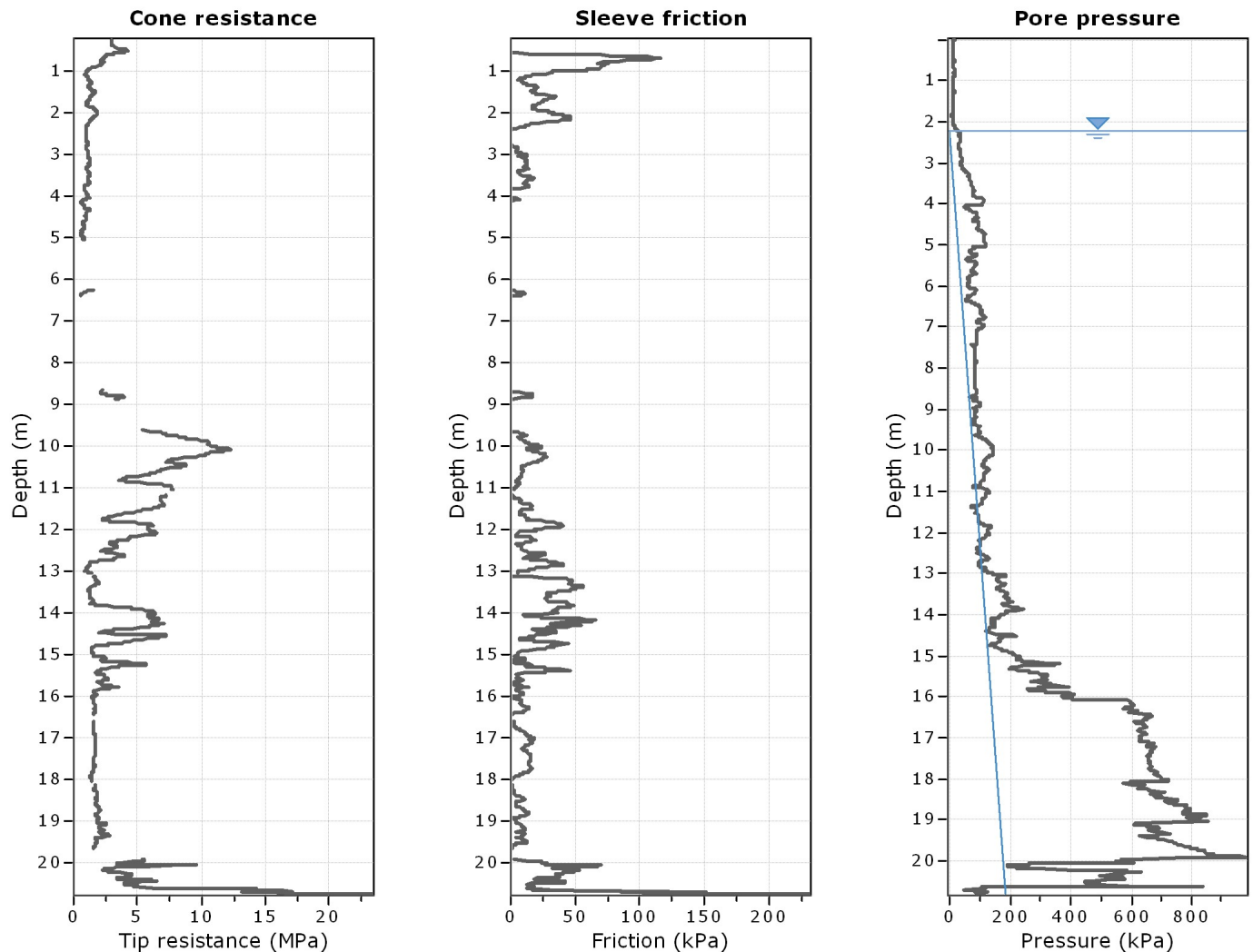
Soil Sensitivity factor,  $N_s$ : 7.00

—●— User defined estimation data

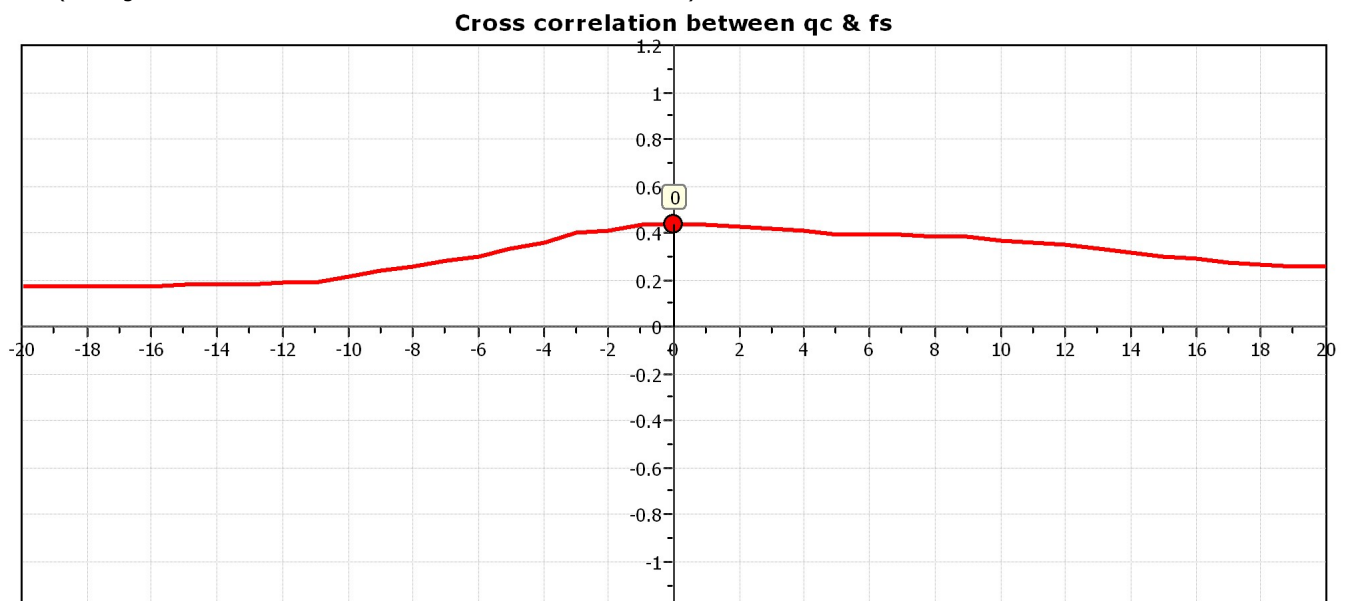


**Project:** Indagini per studio di progettazione di un deposito tipo silos doppio

**Location:** Tampieri Spa - via Granarolo 177/3, Faenza (RA)



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





Studio Associato di Ingegneria Geotecnica

Piazza S. Rocco 5, 48018, Faenza (RA)

dott. geol. Massimiliano Bottan

http://www.tema.it

CPT: Cptu-S02

Total depth: 20.79 m, Date: 23/07/2020

Surface Elevation: 23.00 m

Coords: lat 44.319186° lon 11.904334°

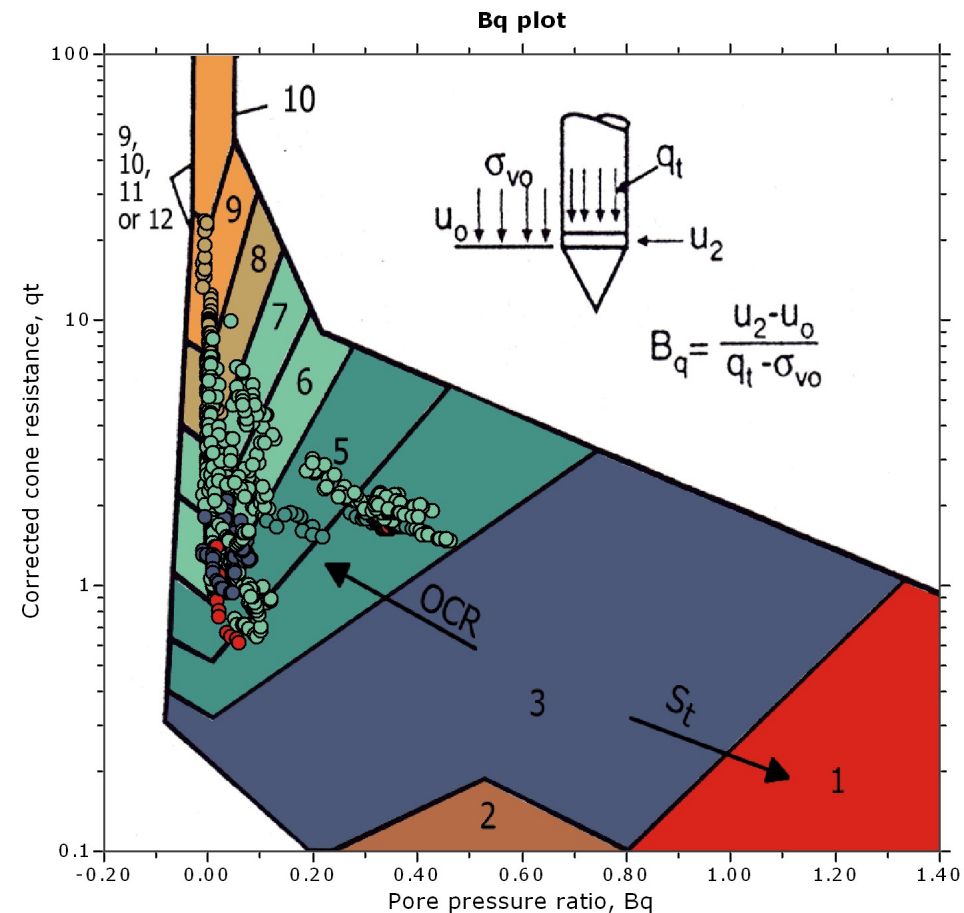
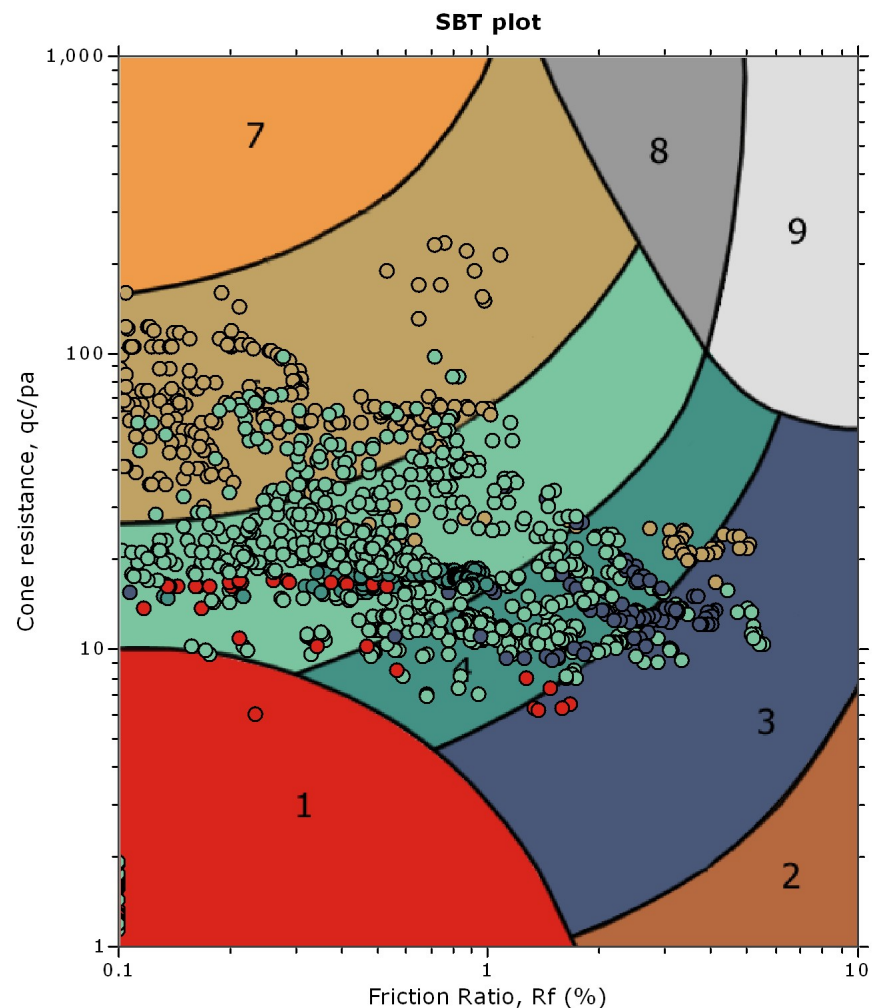
Cone Type: Pagani Cpt Probe

Cone Operator: dott. geol. Massimiliano Bottan

Project: Indagini per studio di progettazione di un deposito tipo silos doppio

Location: Tampieri Spa - via Granarolo 177/3, Faenza (RA)

## 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        |

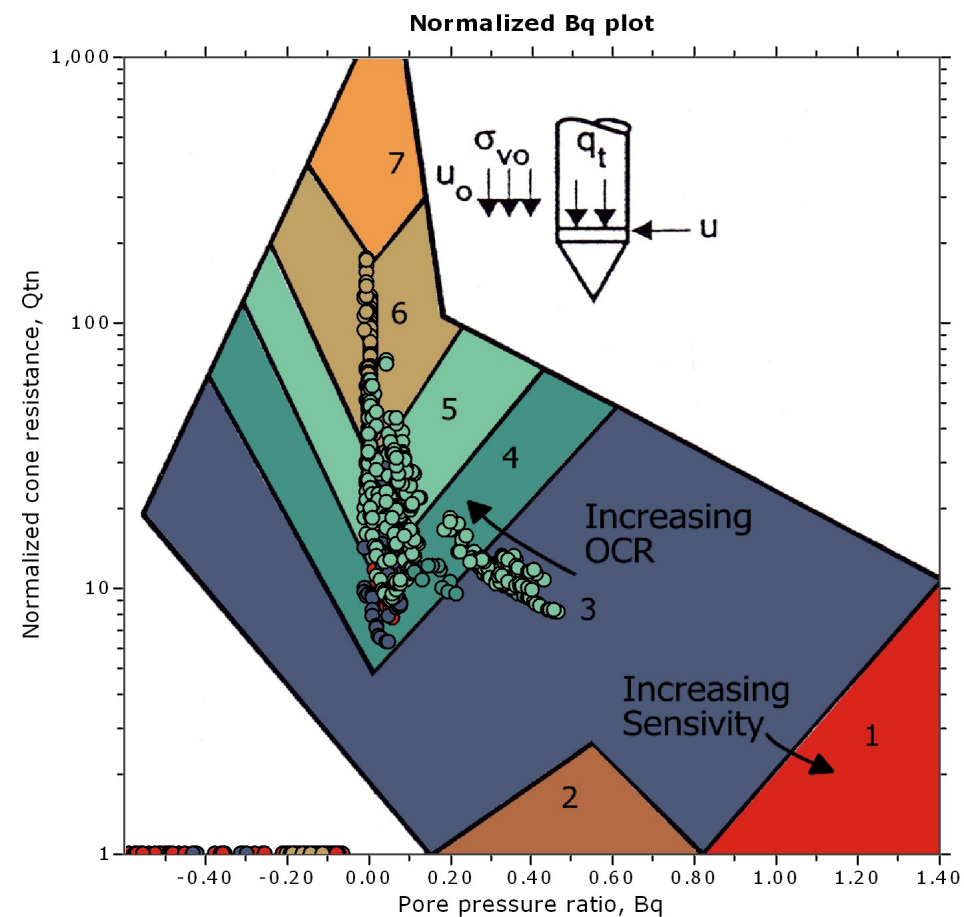
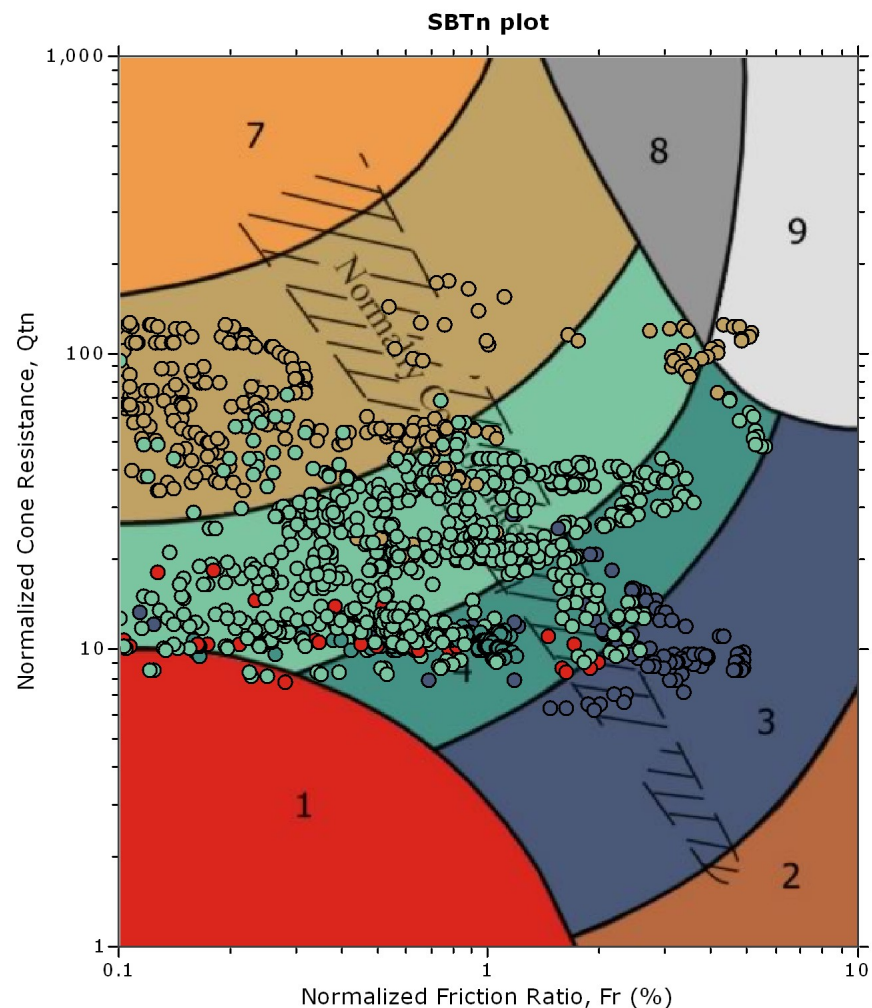




Project: Indagini per studio di progettazione di un deposito tipo silos doppio

Location: Tampieri Spa - via Granarolo 177/3, Faenza (RA)

### 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        |



Studio Associato di Ingegneria Geotecnica

Piazza S. Rocco 5, 48018, Faenza (RA)

dott. geol. Massimiliano Bottan

<http://www.tema.it>

**Project:** Indagini per studio di progettazione di un deposito tipo silos doppio

**Location:** Tampieri Spa - via Granarolo 177/3, Faenza (RA)

**CPT: Cptu-S02**

Total depth: 20.79 m, Date: 23/07/2020

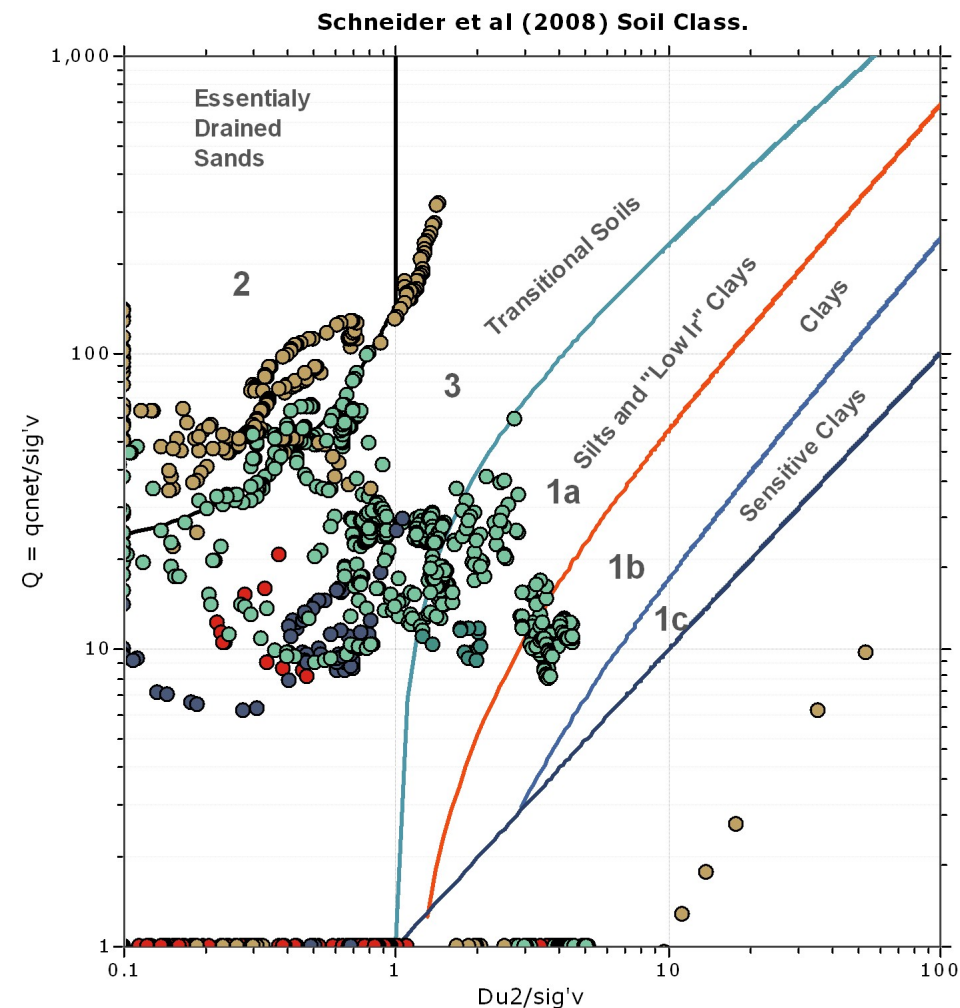
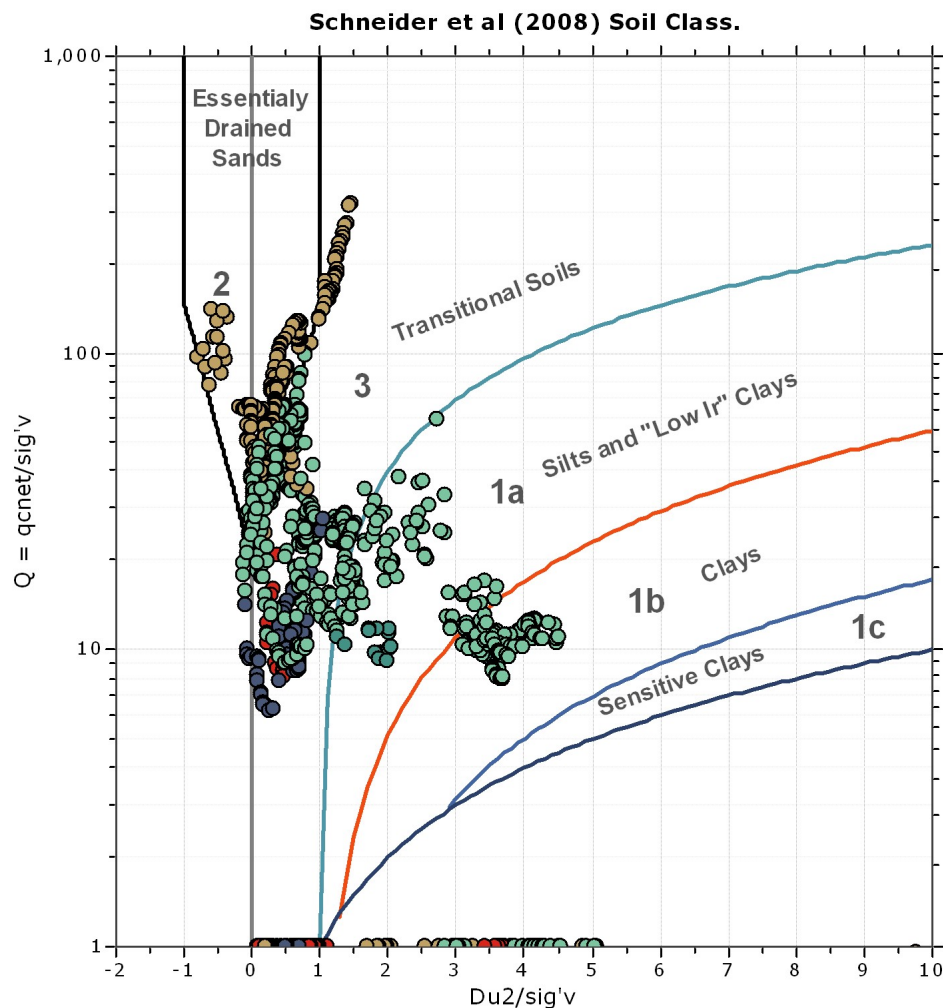
Surface Elevation: 23.00 m

Coords: lat 44.319186° lon 11.904334°

Cone Type: Pagani Cpt Probe

Cone Operator: dott. geol. Massimiliano Bottan

## Bq plots (Schneider)

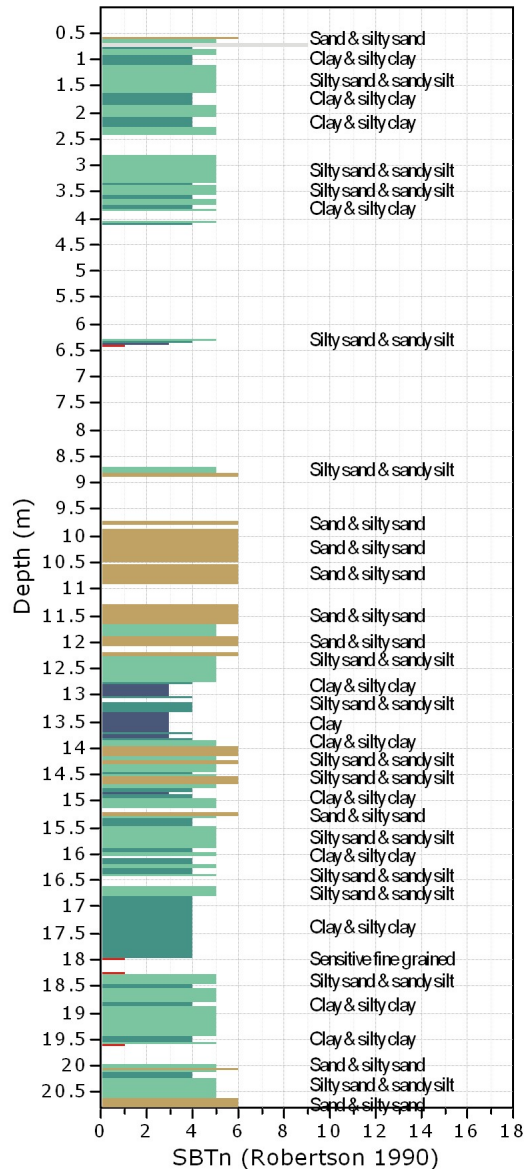




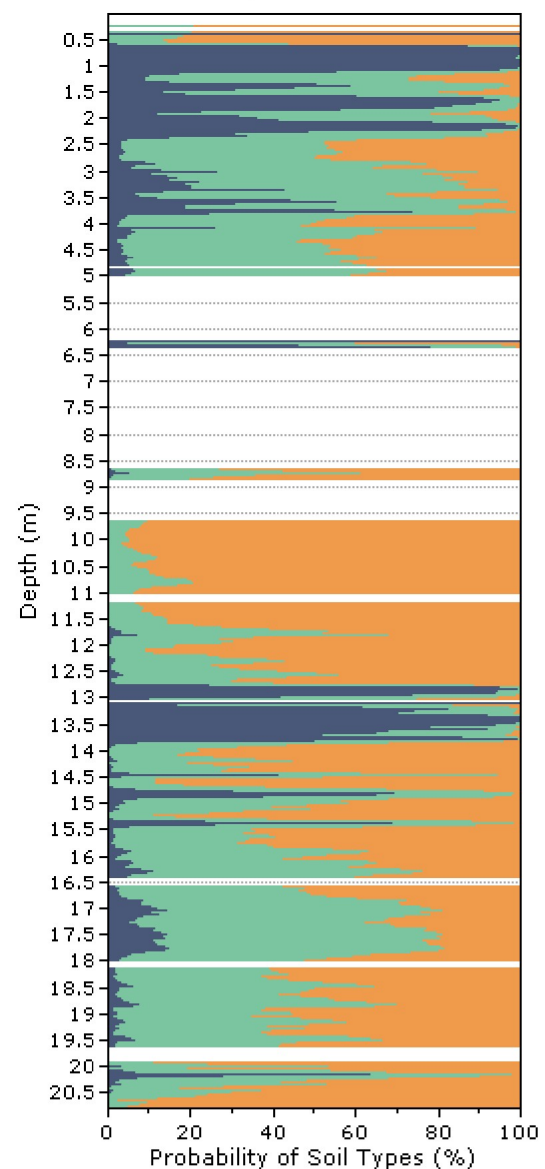
Project: Indagini per Sudio di progettazione di un deposito tipo silos doppio

Location: Tampieri Spa - via Granarolo 177/3, Faenza (RA)

### Norm. Soil Behaviour Type



### Fuzzy Classification





# Studio Associato di Ingegneria Geotecnica

Piazza S. Rocco 5, 48018, Faenza (RA)

dott. geol. Massimiliano Bottan

http://www.tema.it

## CPT: Cptu-S02

Total depth: 20.79 m, Date: 23/07/2020

Surface Elevation: 23.00 m

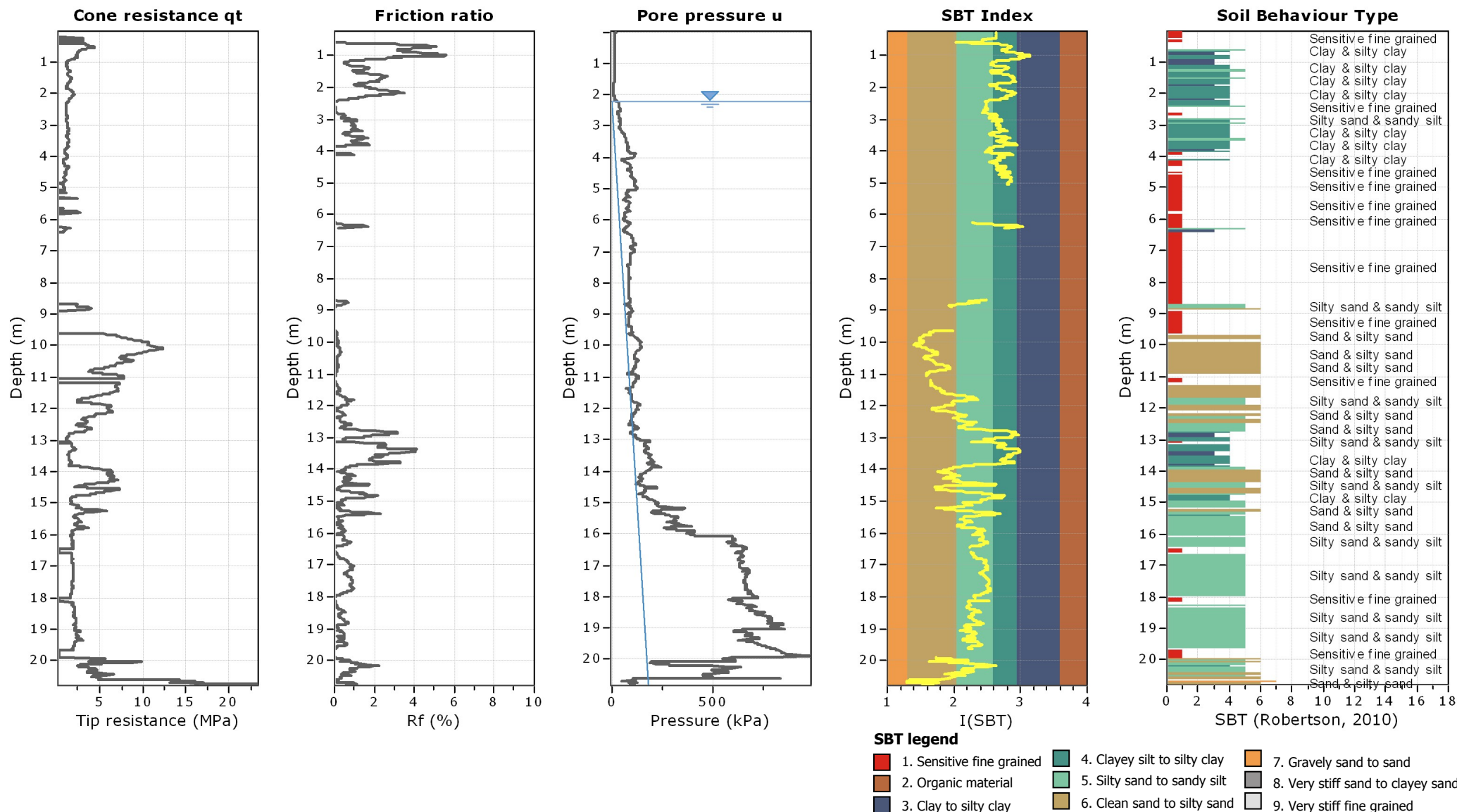
Coords: lat 44.319186° lon 11.904334°

Cone Type: Pagani Cpt Probe

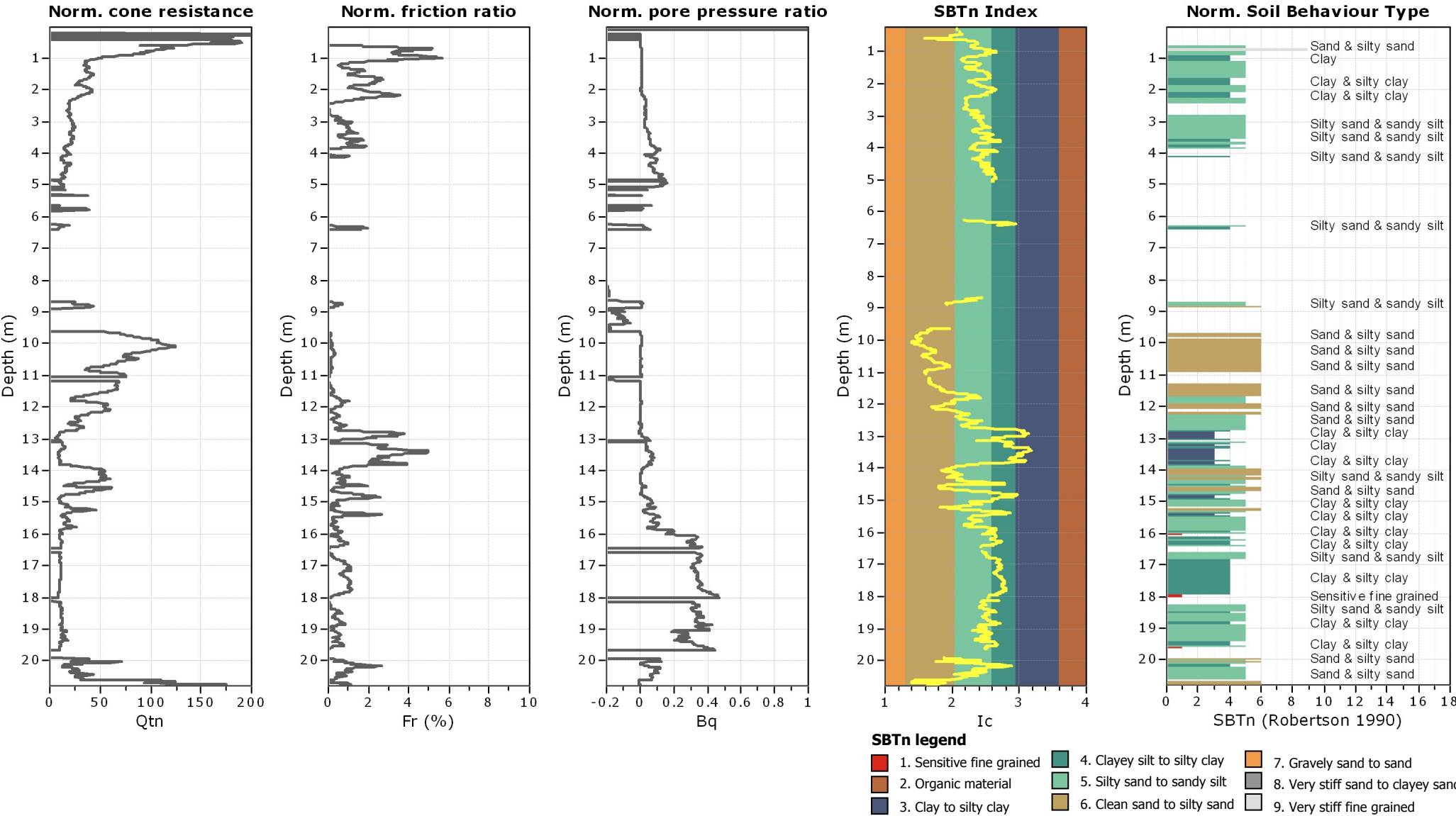
Cone Operator: dott. geol. Massimiliano Bottan

Project: Indagini per Sudio di progettazione di un deposito tipo silos doppio

Location: Tampieri Spa - via Granarolo 177/3, Faenza (RA)

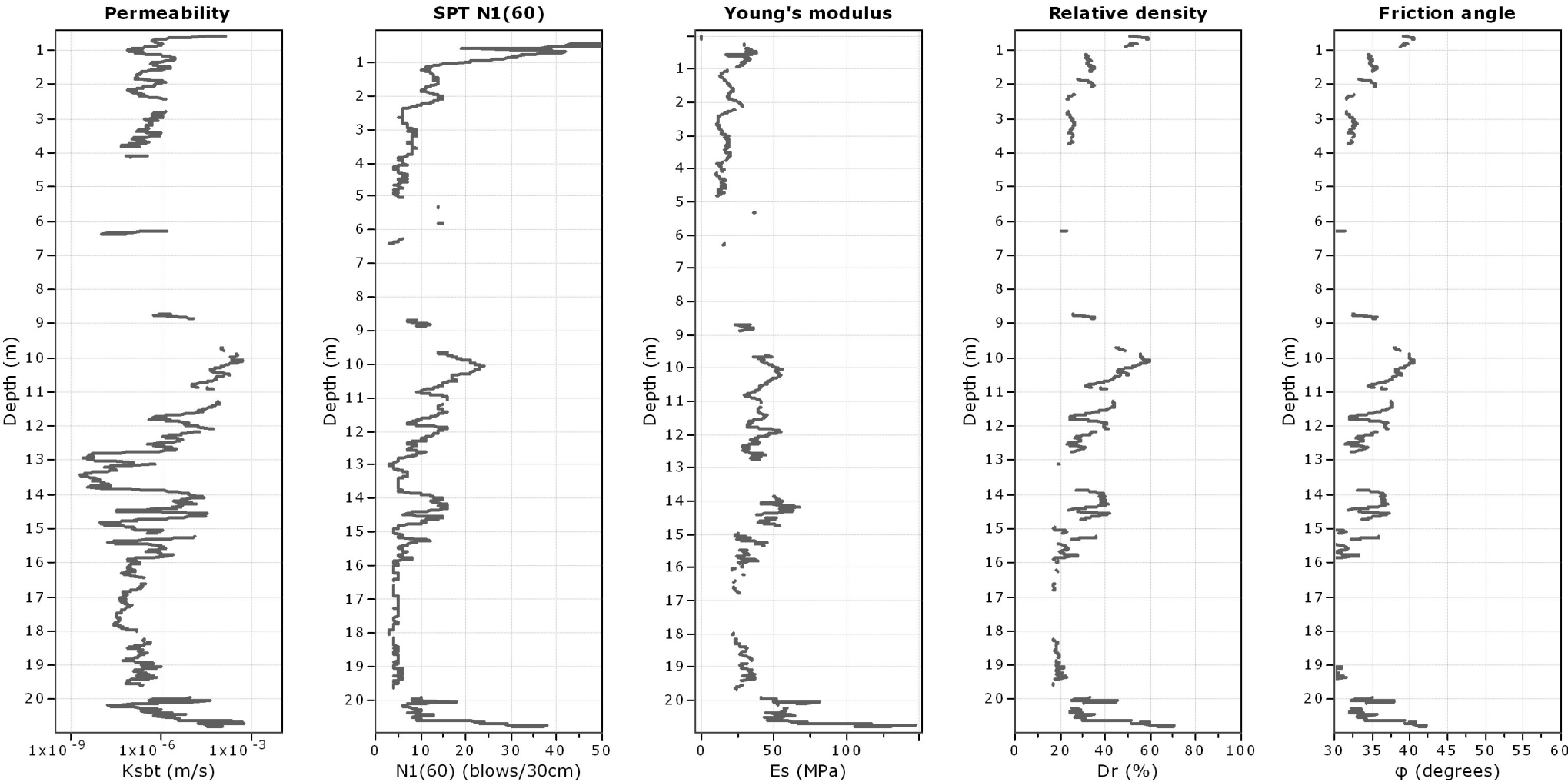








**Project:** Indagini per Sudio di progettazione di un deposito tipo silos doppio  
**Location:** Tampieri Spa - via Granarolo 177/3, Faenza (RA)



**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 desnisty constant,  $C_{Dr}$ : 350.0  
Phi: Based on Kulhawy & Mayne (1990)  
● — User defined estimation data



Studio Associato di Ingegneria Geotecnica

Piazza S. Rocco 5, 48018, Faenza (RA)

dott. geol. Massimiliano Bottan

<http://www.tema.it>

CPT: Cptu-S02

Total depth: 20.79 m, Date: 23/07/2020

Surface Elevation: 23.00 m

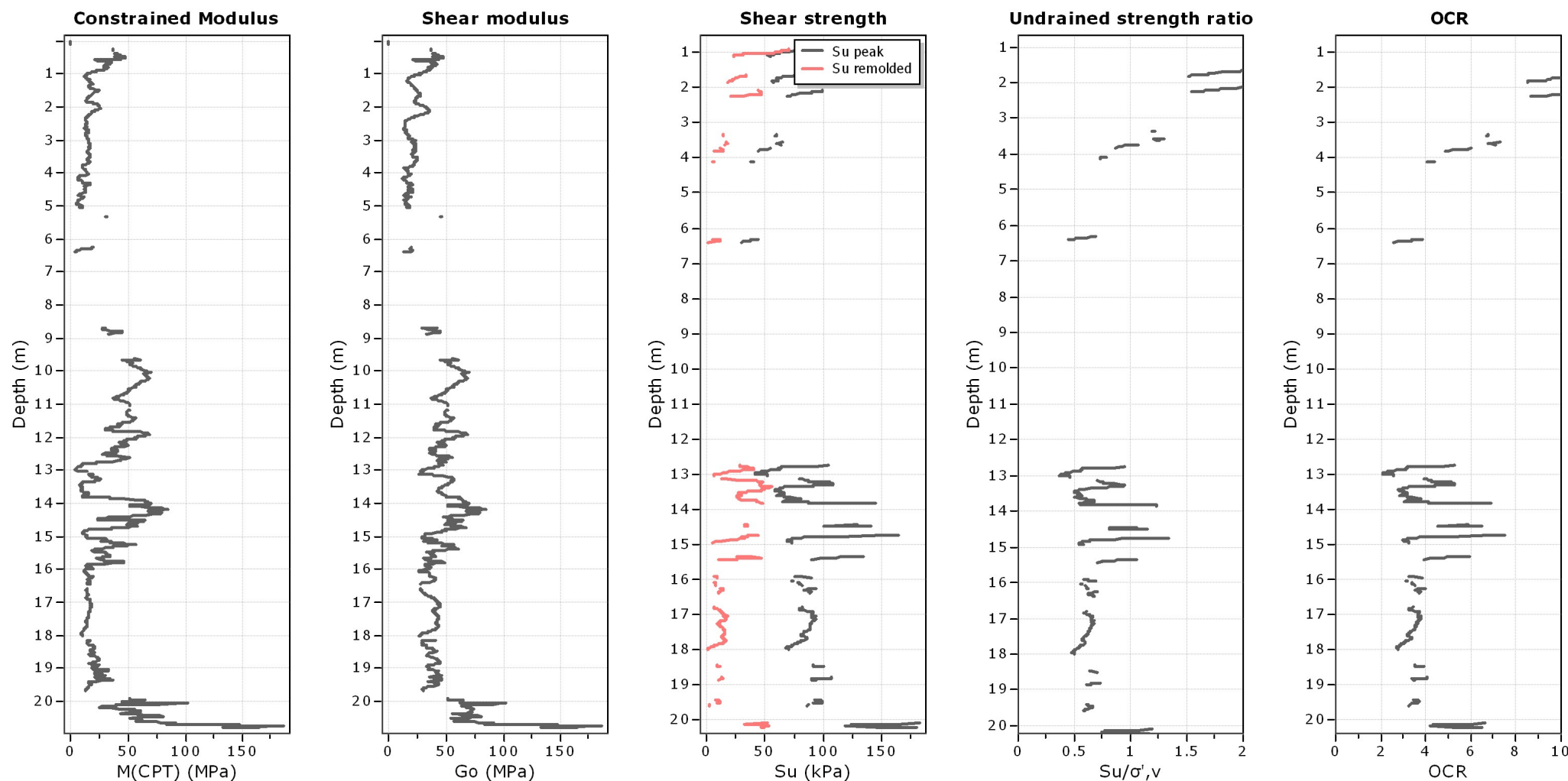
Coords: lat 44.319186° lon 11.904334°

Cone Type: Pagani Cpt Probe

Cone Operator: dott. geol. Massimiliano Bottan

Project: Indagini per studio di progettazione di un deposito tipo silos doppio

Location: Tampieri Spa - via Granarolo 177/3, Faenza (RA)



#### Calculation parameters

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

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

Undrained shear strength cone factor for clays,  $N_{kt}$ : 17

OCR factor for clays,  $N_{kt}$ : 0.33

● User defined estimation data





**Studio Associato di Ingegneria Geotecnica**

Piazza S. Rocco 5, 48018, Faenza (RA)

dott. geol. Massimiliano Bottan

<http://www.tema.it>

**CPT: Cptu-S02**

Total depth: 20.79 m, Date: 23/07/2020

Surface Elevation: 23.00 m

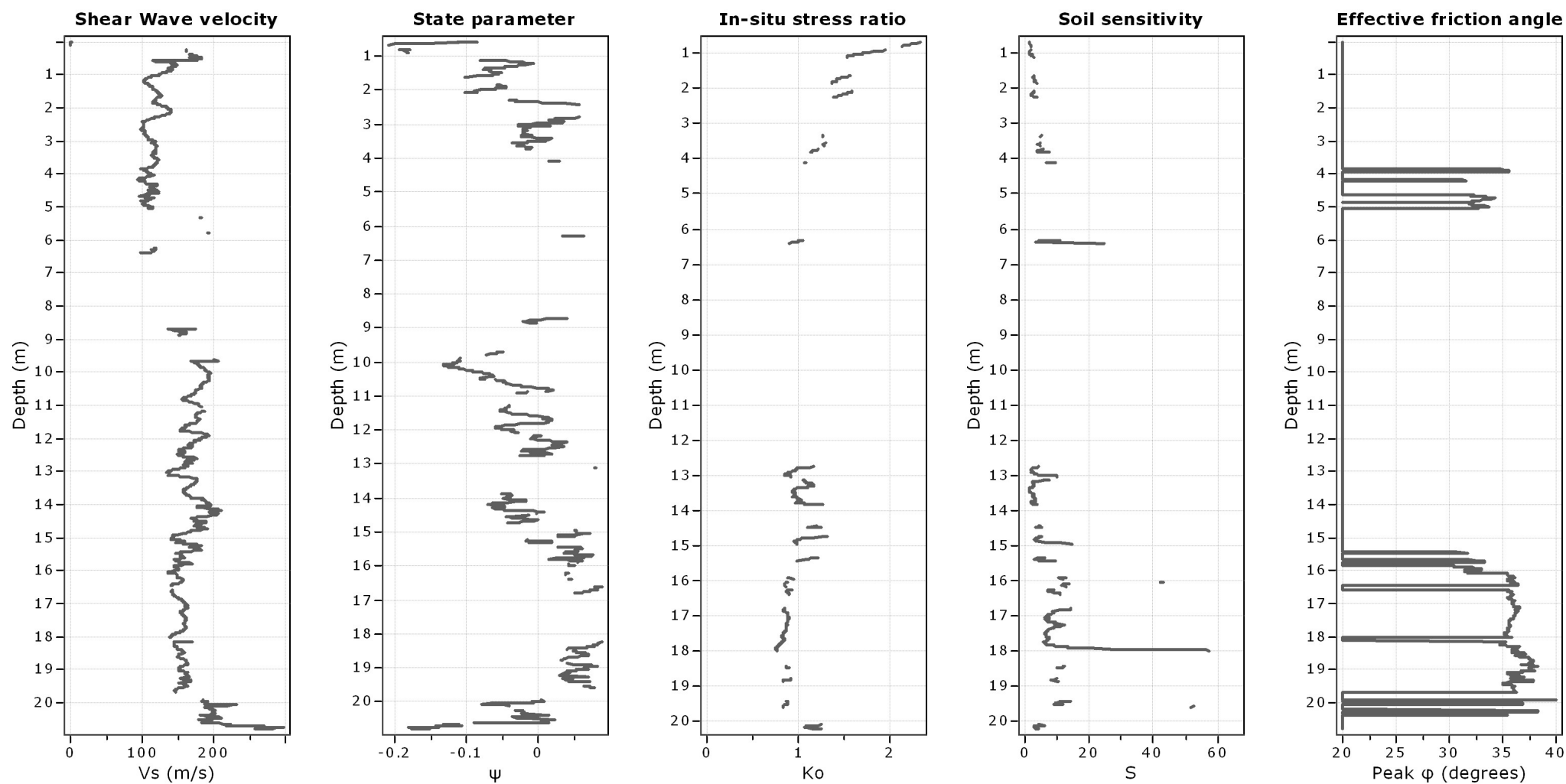
Coords: lat 44.319186° lon 11.904334°

Cone Type: Pagani Cpt Probe

Cone Operator: dott. geol. Massimiliano Bottan

**Project:** Indagini per studio di progettazione di un deposito tipo silos doppio

**Location:** Tampieri Spa - via Granarolo 177/3, Faenza (RA)



**Calculation parameters**

Soil Sensitivity factor,  $N_s$ : 7.00

—●— User defined estimation data

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, $g$ ( $\text{kN/m}^3$ ) ::

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

where  $g_w$  = water unit weight

### :: Permeability, $k$ ( $\text{m/s}$ ) ::

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

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

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

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

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

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

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

(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, $\psi$ ::

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

### :: Peak drained friction angle, $\phi$ ( $^\circ$ ) ::

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

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

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

If  $I_c > 2.20$

$$\alpha = 14 \text{ for } Q_{tn} > 14$$

$$\alpha = Q_{tn} \text{ for } Q_{tn} \leq 14$$

$$M_{CPT} = \alpha \cdot (q_t - \sigma_v)$$

If  $I_c \leq 2.20$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### :: Overconsolidation Ratio, OCR ::

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

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

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

### :: In situ Stress Ratio, $K_o$ ::

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

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

### :: Soil Sensitivity, $S_t$ ::

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

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

### :: Effective Stress Friction Angle, $\phi'$ ( $^\circ$ ) ::

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

(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., 5<sup>th</sup> Edition, November 2012
- Robertson, P.K., Interpretation of Cone Penetration Tests - a unified approach., Can. Geotech. J. 46(11): 1337–1355 (2009)

**Studio Associato di Ingegneria Geotecnica**

Piazza S. Rocco 5, 48018, Faenza (RA)

dott. geol. Massimiliano Bottan

<http://www.tema.it>**CPT: Cptu-S01**

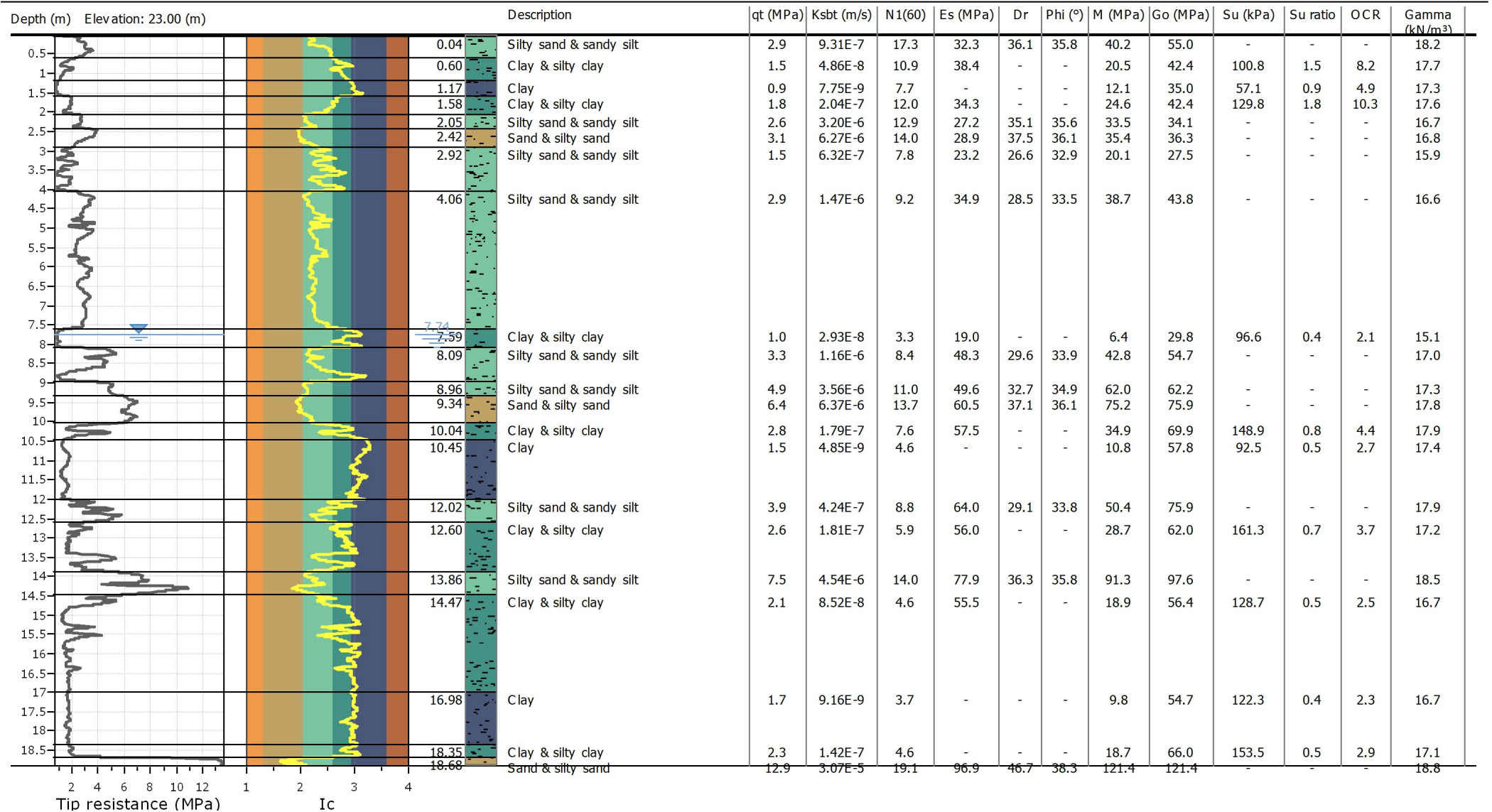
Total depth: 18.90 m, Date: 23/07/2020

Surface Elevation: 23.00 m

Coords: lat 44.319255° lon 11.904199°

Cone Type: Pagani Cpt Probe

Cone Operator: dott. geol. Massimiliano Bottan

**Project: Indagini per Sudio di progettazione di un deposito tipo silos doppio****Location: Tampieri Spa - via Granarolo 177/3, Faenza (RA)**

**Studio Associato di Ingegneria Geotecnica**

Piazza S. Rocco 5, 48018, Faenza (RA)

dott. geol. Massimiliano Bottan

<http://www.tema.it>**CPT: Cptu-S01**

Total depth: 18.90 m, Date: 23/07/2020

Surface Elevation: 23.00 m

Coords: lat 44.319255° lon 11.904199°

Cone Type: Pagani Cpt Probe

Cone Operator: dott. geol. Massimiliano Bottan

**Project: Indagini per Sudio di progettazione di un deposito tipo silos doppio****Location: Tampieri Spa - via Granarolo 177/3, Faenza (RA)****Summary table of mean values**

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT <sub>N60</sub> (blows/30cm)	E <sub>s</sub> (MPa)	D <sub>r</sub>	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G <sub>0</sub> (MPa)	Undrained strength, S <sub>u</sub> (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
0.04	0.56	9.31E-07	17.3	32.3	36.1	35.8	40.2	55.0	0.0	0.0	0.0	18.2
0.60		(±9.13E-07)	(±3.5)	(±4.5)	(±2.2)	(±0.6)	(±5.3)	(±15.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.9)
0.60	0.57	4.86E-08	10.9	38.4	0.0	0.0	20.5	42.4	100.8	1.5	8.2	17.7
1.17		(±3.67E-08)	(±2.0)	(±0.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±5.0)	(±5.2)	(±26.2)	(±0.4)	(±2.0)	(±0.3)
1.17	0.41	7.75E-09	7.7	0.0	0.0	0.0	12.1	35.0	57.1	0.9	4.9	17.3
1.58		(±2.93E-09)	(±1.1)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.9)	(±5.0)	(±7.7)	(±0.1)	(±0.7)	(±0.4)
1.58	0.47	2.04E-07	12.0	34.3	0.0	0.0	24.6	42.4	129.8	1.8	10.3	17.6
2.05		(±2.93E-07)	(±1.9)	(±2.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±3.0)	(±8.6)	(±11.6)	(±0.1)	(±0.7)	(±0.7)
2.05	0.37	3.20E-06	12.9	27.2	35.1	35.6	33.5	34.1	0.0	0.0	0.0	16.7
2.42		(±1.28E-06)	(±0.7)	(±1.1)	(±1.6)	(±0.4)	(±2.1)	(±1.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.2)
2.42	0.50	6.27E-06	14.0	28.9	37.5	36.1	35.4	36.3	0.0	0.0	0.0	16.8
2.92		(±3.30E-06)	(±2.3)	(±3.3)	(±4.4)	(±1.1)	(±5.0)	(±4.2)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.4)
2.92	1.14	6.32E-07	7.8	23.2	26.6	32.9	20.1	27.5	0.0	0.0	0.0	15.9
4.06		(±6.08E-07)	(±1.9)	(±3.2)	(±2.9)	(±1.1)	(±7.5)	(±4.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.5)
4.06	3.53	1.47E-06	9.2	34.9	28.5	33.5	38.7	43.8	0.0	0.0	0.0	16.6
7.59		(±9.11E-07)	(±1.7)	(±3.8)	(±3.0)	(±1.0)	(±5.8)	(±4.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.5)
7.59	0.50	2.93E-08	3.3	19.0	0.0	0.0	6.4	29.8	96.6	0.4	2.1	15.1
8.09		(±5.65E-08)	(±1.0)	(±19.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±5.9)	(±7.1)	(±44.8)	(±0.1)	(±0.6)	(±1.0)
8.09	0.87	1.16E-06	8.4	48.3	29.6	33.9	42.8	54.7	0.0	0.0	0.0	17.0
8.96		(±1.08E-06)	(±3.1)	(±6.0)	(±4.0)	(±1.4)	(±22.6)	(±11.9)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.6)
8.96	0.38	3.56E-06	11.0	49.6	32.7	34.9	62.0	62.2	0.0	0.0	0.0	17.3
9.34		(±9.68E-07)	(±0.7)	(±2.5)	(±1.5)	(±0.4)	(±3.8)	(±3.2)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.2)

**Studio Associato di Ingegneria Geotecnica**

Piazza S. Rocco 5, 48018, Faenza (RA)

dott. geol. Massimiliano Bottan

<http://www.tema.it>**CPT: Cptu-S01**

Total depth: 18.90 m, Date: 23/07/2020

Surface Elevation: 23.00 m

Coords: lat 44.319255° lon 11.904199°

Cone Type: Pagani Cpt Probe

Cone Operator: dott. geol. Massimiliano Bottan

**Project: Indagini per Sudio di progettazione di un deposito tipo silos doppio****Location: Tampieri Spa - via Granarolo 177/3, Faenza (RA)****Summary table of mean values**

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT <sub>N60</sub> (blows/30cm)	E <sub>s</sub> (MPa)	D <sub>r</sub>	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G <sub>o</sub> (MPa)	Undrained strength, S <sub>u</sub> (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
9.34	0.70	6.37E-06	13.7	60.5	37.1	36.1	75.2	75.9	0.0	0.0	0.0	17.8
10.04		(±3.35E-06)	(±1.0)	(±8.7)	(±1.1)	(±0.3)	(±10.0)	(±10.9)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.5)
10.04	0.41	1.79E-07	7.6	57.5	0.0	0.0	34.9	69.9	148.9	0.8	4.4	17.9
10.45		(±3.36E-07)	(±2.5)	(±57.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±19.7)	(±10.8)	(±50.0)	(±0.2)	(±1.3)	(±0.4)
10.45	1.57	4.85E-09	4.6	0.0	0.0	0.0	10.8	57.8	92.5	0.5	2.7	17.4
12.02		(±3.52E-09)	(±0.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±3.6)	(±10.8)	(±14.9)	(±0.1)	(±0.5)	(±0.7)
12.02	0.58	4.24E-07	8.8	64.0	29.1	33.8	50.4	75.9	0.0	0.0	0.0	17.9
12.60		(±4.83E-07)	(±2.2)	(±5.1)	(±2.5)	(±0.8)	(±17.5)	(±9.9)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.4)
12.60	1.26	1.81E-07	5.9	56.0	0.0	0.0	28.7	62.0	161.3	0.7	3.7	17.2
13.86		(±3.55E-07)	(±2.0)	(±4.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±18.1)	(±10.9)	(±50.0)	(±0.2)	(±1.2)	(±0.5)
13.86	0.61	4.54E-06	14.0	77.9	36.3	35.8	91.3	97.6	0.0	0.0	0.0	18.5
14.47		(±5.38E-06)	(±2.5)	(±10.6)	(±5.0)	(±1.3)	(±14.5)	(±13.3)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.5)
14.47	2.51	8.52E-08	4.6	55.5	0.0	0.0	18.9	56.4	128.7	0.5	2.5	16.7
16.98		(±1.81E-07)	(±2.0)	(±55.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±18.0)	(±11.8)	(±36.8)	(±0.1)	(±0.7)	(±0.6)
16.98	1.37	9.16E-09	3.7	0.0	0.0	0.0	9.8	54.7	122.3	0.4	2.3	16.7
18.35		(±5.70E-09)	(±0.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.2)	(±4.6)	(±14.0)	(±0.0)	(±0.1)	(±0.4)
18.35	0.33	1.42E-07	4.6	0.0	0.0	0.0	18.7	66.0	153.5	0.5	2.9	17.1
18.68		(±7.16E-07)	(±2.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±19.1)	(±14.8)	(±51.2)	(±0.2)	(±1.0)	(±0.8)
18.68	0.22	3.07E-05	19.1	96.9	46.7	38.3	121.4	121.4	0.0	0.0	0.0	18.8
18.90		(±2.93E-05)	(±2.1)	(±17.4)	(±3.2)	(±0.7)	(±21.8)	(±21.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.6)

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



**Studio Associato di Ingegneria Geotecnica**

Piazza S. Rocco 5, 48018, Faenza (RA)

dott. geol. Massimiliano Bottan

<http://www.tema.it>**CPT: Cptu-S02**

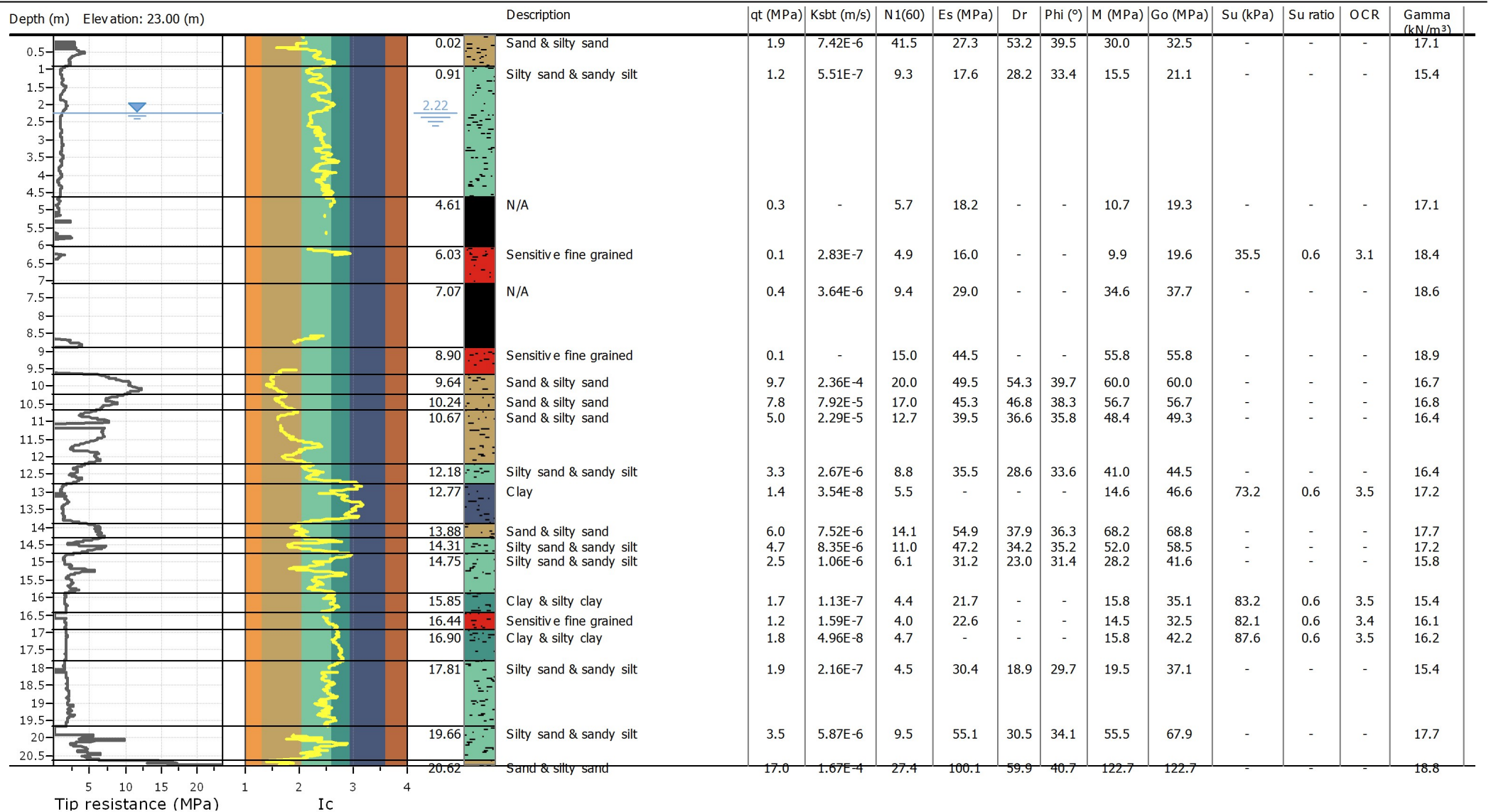
Total depth: 20.79 m, Date: 23/07/2020

Surface Elevation: 23.00 m

Coords: lat 44.319186° lon 11.904334°

Cone Type: Pagani Cpt Probe

Cone Operator: dott. geol. Massimiliano Bottan

**Project: Indagini per Sudio di progettazione di un deposito tipo silos doppio****Location: Tampieri Spa - via Granarolo 177/3, Faenza (RA)**

**Studio Associato di Ingegneria Geotecnica**

Piazza S. Rocco 5, 48018, Faenza (RA)

dott. geol. Massimiliano Bottan

<http://www.tema.it>**CPT: Cptu-S02**

Total depth: 20.79 m, Date: 23/07/2020

Surface Elevation: 23.00 m

Coords: lat 44.319186° lon 11.904334°

Cone Type: Pagani Cpt Probe

Cone Operator: dott. geol. Massimiliano Bottan

**Project: Indagini per Sudio di progettazione di un deposito tipo silos doppio****Location: Tampieri Spa - via Granarolo 177/3, Faenza (RA)****Summary table of mean values**

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT <sub>N60</sub> (blows/30cm)	E <sub>s</sub> (MPa)	D <sub>r</sub>	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G <sub>0</sub> (MPa)	Undrained strength, S <sub>u</sub> (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
0.02	0.89	7.42E-06	41.5	27.3	53.2	39.5	30.0	32.5	0.0	0.0	0.0	17.1
0.91		(±2.49E-05)	(±10.9)	(±4.1)	(±3.4)	(±0.6)	(±14.1)	(±14.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±2.3)
0.91	3.70	5.51E-07	9.3	17.6	28.2	33.4	15.5	21.1	0.0	0.0	0.0	15.4
4.61		(±5.71E-07)	(±4.0)	(±3.3)	(±4.2)	(±1.4)	(±3.7)	(±5.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.3)
4.61	1.42	0.00E+00	5.7	18.2	0.0	0.0	10.7	19.3	0.0	0.0	0.0	17.1
6.03		(±0.00E+00)	(±2.9)	(±10.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±7.5)	(±9.9)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±2.5)
6.03	1.04	2.83E-07	4.9	16.0	0.0	0.0	9.9	19.6	35.5	0.6	3.1	18.4
7.07		(±4.70E-07)	(±0.8)	(±16.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±5.6)	(±2.0)	(±5.3)	(±0.1)	(±0.4)	(±1.5)
7.07	1.83	3.64E-06	9.4	29.0	0.0	0.0	34.6	37.7	0.0	0.0	0.0	18.6
8.90		(±3.43E-06)	(±1.8)	(±3.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±6.6)	(±5.2)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.1)
8.90	0.74	0.00E+00	15.0	44.5	0.0	0.0	55.8	55.8	0.0	0.0	0.0	18.9
9.64		(±0.00E+00)	(±15.0)	(±44.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±55.8)	(±55.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.6)
9.64	0.60	2.36E-04	20.0	49.5	54.3	39.7	60.0	60.0	0.0	0.0	0.0	16.7
10.24		(±1.20E-04)	(±2.8)	(±4.8)	(±4.3)	(±0.8)	(±6.9)	(±6.9)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.8)
10.24	0.43	7.92E-05	17.0	45.3	46.8	38.3	56.7	56.7	0.0	0.0	0.0	16.8
10.67		(±3.78E-05)	(±1.9)	(±4.6)	(±3.1)	(±0.6)	(±5.7)	(±5.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.5)
10.67	1.51	2.29E-05	12.7	39.5	36.6	35.8	48.4	49.3	0.0	0.0	0.0	16.4
12.18		(±2.20E-05)	(±2.6)	(±7.0)	(±5.8)	(±1.6)	(±8.8)	(±7.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.1)
12.18	0.59	2.67E-06	8.8	35.5	28.6	33.6	41.0	44.5	0.0	0.0	0.0	16.4
12.77		(±2.72E-06)	(±1.3)	(±4.3)	(±3.0)	(±1.0)	(±6.8)	(±5.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.5)
12.77	1.11	3.54E-08	5.5	0.0	0.0	0.0	14.6	46.6	73.2	0.6	3.5	17.2
13.88		(±9.45E-08)	(±1.3)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±8.5)	(±8.5)	(±20.6)	(±0.2)	(±1.0)	(±0.8)



**Studio Associato di Ingegneria Geotecnica**

Piazza S. Rocco 5, 48018, Faenza (RA)

dott. geol. Massimiliano Bottan

<http://www.tema.it>**CPT: Cptu-S02**

Total depth: 20.79 m, Date: 23/07/2020

Surface Elevation: 23.00 m

Coords: lat 44.319186° lon 11.904334°

Cone Type: Pagani Cpt Probe

Cone Operator: dott. geol. Massimiliano Bottan

**Project: Indagini per Sudio di progettazione di un deposito tipo silos doppio****Location: Tampieri Spa - via Granarolo 177/3, Faenza (RA)****Summary table of mean values**

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT <sub>N60</sub> (blows/30cm)	E <sub>s</sub> (MPa)	D <sub>r</sub>	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G <sub>0</sub> (MPa)	Undrained strength, S <sub>u</sub> (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
13.88	0.43	7.52E-06	14.1	54.9	37.9	36.3	68.2	68.8	0.0	0.0	0.0	17.7
14.31		(±5.68E-06)	(±1.6)	(±6.6)	(±2.6)	(±0.7)	(±9.1)	(±8.3)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.5)
14.31	0.44	8.35E-06	11.0	47.2	34.2	35.2	52.0	58.5	0.0	0.0	0.0	17.2
14.75		(±1.07E-05)	(±2.8)	(±6.5)	(±5.0)	(±1.5)	(±13.7)	(±7.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.6)
14.75	1.10	1.06E-06	6.1	31.2	23.0	31.4	28.2	41.6	0.0	0.0	0.0	15.8
15.85		(±2.40E-06)	(±1.8)	(±5.5)	(±4.3)	(±1.7)	(±11.3)	(±8.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.1)
15.85	0.59	1.13E-07	4.4	21.7	0.0	0.0	15.8	35.1	83.2	0.6	3.5	15.4
16.44		(±7.02E-08)	(±0.5)	(±0.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±2.6)	(±4.0)	(±5.3)	(±0.0)	(±0.2)	(±0.7)
16.44	0.46	1.59E-07	4.0	22.6	0.0	0.0	14.5	32.5	82.1	0.6	3.4	16.1
16.90		(±7.61E-08)	(±0.2)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.7)	(±3.8)	(±1.9)	(±0.0)	(±0.1)	(±2.1)
16.90	0.91	4.96E-08	4.7	0.0	0.0	0.0	15.8	42.2	87.6	0.6	3.5	16.2
17.81		(±1.74E-08)	(±0.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.6)	(±1.7)	(±3.8)	(±0.0)	(±0.2)	(±0.2)
17.81	1.85	2.16E-07	4.5	30.4	18.9	29.7	19.5	37.1	0.0	0.0	0.0	15.4
19.66		(±1.57E-07)	(±0.7)	(±3.5)	(±1.3)	(±0.6)	(±6.0)	(±5.2)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.2)
19.66	0.96	5.87E-06	9.5	55.1	30.5	34.1	55.5	67.9	0.0	0.0	0.0	17.7
20.62		(±2.69E-05)	(±2.8)	(±8.9)	(±5.5)	(±1.5)	(±16.6)	(±11.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.1)
20.62	0.17	1.67E-04	27.4	100.1	59.9	40.7	122.7	122.7	0.0	0.0	0.0	18.8
20.79		(±1.87E-04)	(±6.0)	(±29.9)	(±5.4)	(±0.9)	(±38.1)	(±38.1)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.3)

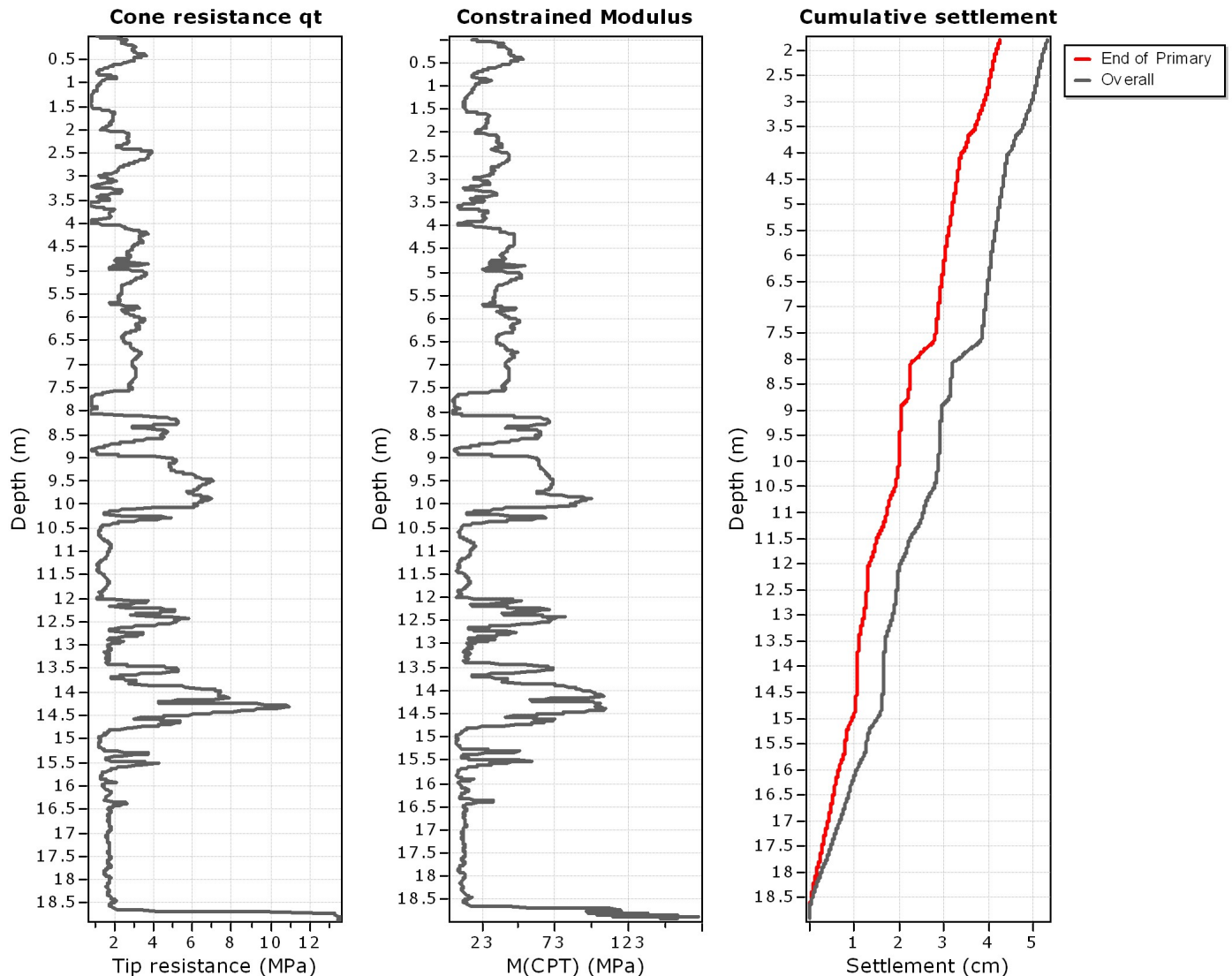
Depth values presented in this table are measured from free ground surface



Project: Indagini per Sudio di progettazione di un deposito tipo silos doppio

Location: Tampieri Spa - via Granarolo 177/3, Faenza (RA)

Settlements calculation according to theory of elasticity\*



Caclulation properties

Footing type: Rectangular

Footing width: 14.13 (m)

L/B: 2.1

Footing pressure: 122.00 (kPa)

Embedment depth: 1.80 (m)

Footing is rigid: Yes

Remove excavation load: Yes

Apply 20% rule: No

Calculate secondary settlements: Yes

Time period for primary consolidation: 6 months

Time period for second. settlements: 36 months

\* Primary settlements calculation is performed according to the following formula:

$$S = \sum \frac{\Delta \sigma_v}{M_{CPT}} \Delta z$$

\* Secondary (creep) settlements calculation is performed according to the following formula:

$$S = C_a \cdot \Delta z \cdot \log(t)$$

**:: Tabular results ::**

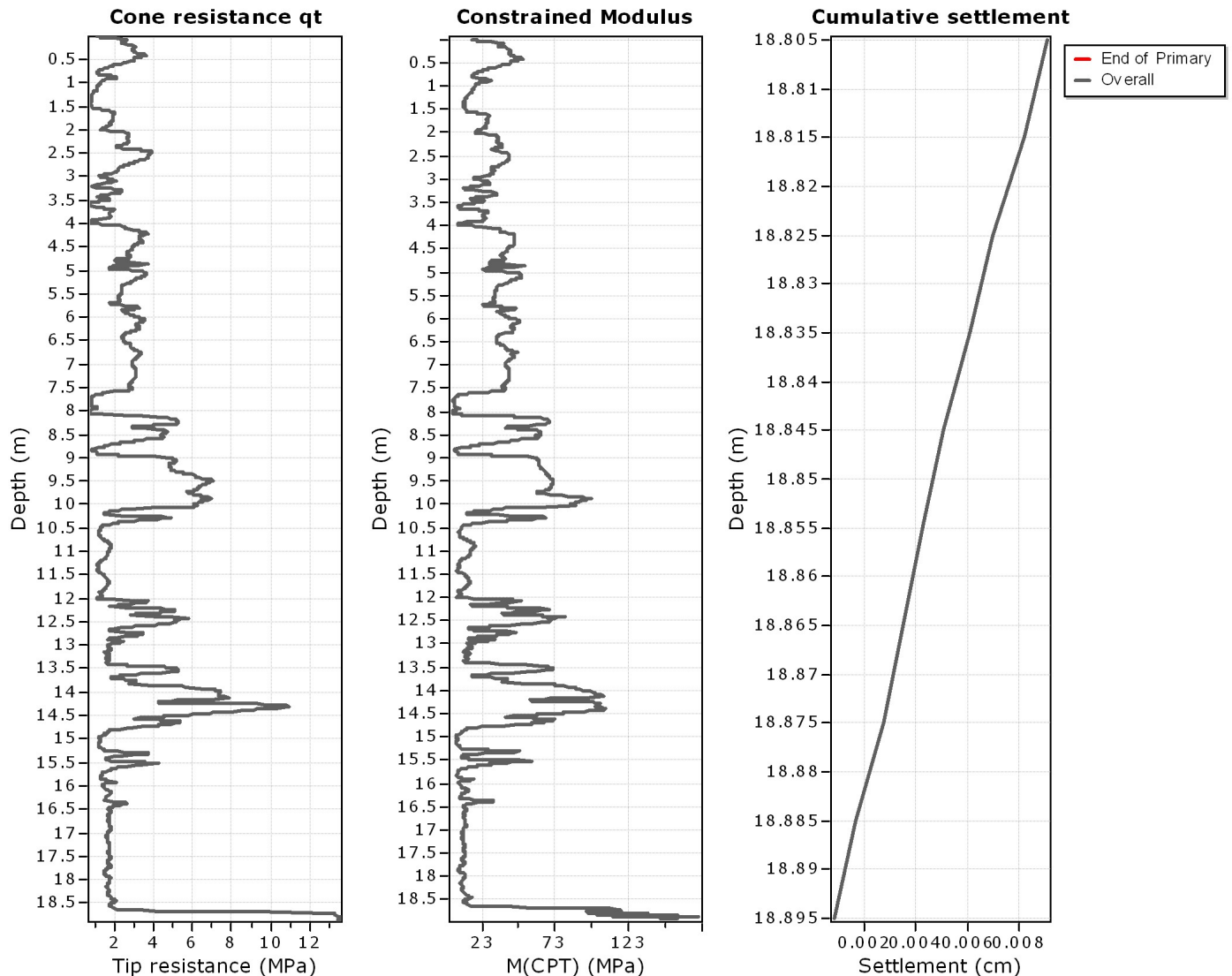
Point No	Start depth (m)	End depth (m)	Thickness (m)	Relative depth (m)	Delta P (kPa)	$M_{(CPT)}$ (MPa)	Iz	Settlement (cm)	Second. settlement (cm)	Overall settlement (cm)
----------	--------------------	------------------	------------------	--------------------------	------------------	----------------------	----	--------------------	-------------------------------	-------------------------------

**Total primary settlement: 4.24****Total secondary settlement: 1.06****Total calculated settlement: 5.30****Abbreviations**

Start depth:	Start depth of soil layer (penetration depth measured from ground free surface)
End depth:	End depth of soil layer (penetration depth measured from ground free surface)
Thickness:	Thickness of soil layer
Relative depth:	Depth of calculation relative to footing
Iz:	Stress influence factor
Delta P:	Footing imposed stress:
Eff. stress:	Effective stress
$M_{(CPT)}$ :	Constrained modulus from CPT
Settlement:	Primary settlement
Second. settlement:	Secondary settlements due to creep



Settlements calculation according to theory of elasticity\*



Caclulation properties

Footing type: Rectangular

Footing width: 14.13 (m)

L/B: 2.1

Footing pressure: 122.00 (kPa)

Embedment depth: 18.80 (m)

Footing is rigid: Yes

Remove excavation load: No

Apply 20% rule: No

Calculate secondary settlements: Yes

Time period for primary consolidation: 6 months

Time period for second. settlements: 36 months

\* Primary settlements calculation is performed according to the following formula:

$$S = \sum \frac{\Delta \sigma_v}{M_{CPT}} \Delta z$$

\* Secondary (creep) settlements calculation is performed according to the following formula:

$$S = C_a \cdot \Delta z \cdot \log(t)$$

:: Tabular results ::

Point No	Start depth (m)	End depth (m)	Thickness (m)	Relative depth (m)	Delta P (kPa)	M <sub>(CPT)</sub> (MPa)	Iz	Settlement (cm)	Second. settlement (cm)	Overall settlement (cm)
1	18.80	18.81	0.01	0.00	122.00	135.99	1.00	0.001	0.000	0.001
2	18.81	18.82	0.01	0.01	122.00	101.38	1.00	0.001	0.000	0.001
3	18.82	18.83	0.01	0.02	122.00	137.32	1.00	0.001	0.000	0.001
4	18.83	18.84	0.01	0.04	122.00	116.96	1.00	0.001	0.000	0.001
5	18.84	18.85	0.01	0.04	122.00	155.77	1.00	0.001	0.000	0.001
6	18.85	18.86	0.01	0.05	122.00	150.46	1.00	0.001	0.000	0.001
7	18.86	18.87	0.01	0.07	122.00	170.50	1.00	0.001	0.000	0.001
8	18.87	18.88	0.01	0.07	122.00	111.67	1.00	0.001	0.000	0.001
9	18.88	18.89	0.01	0.08	122.00	148.70	1.00	0.001	0.000	0.001
10	18.89	18.90	0.01	0.09	122.00	144.30	1.00	0.001	0.000	0.001

Total primary settlement: 0.01  
Total secondary settlement: 0.00  
Total calculated settlement: 0.01

Abbreviations

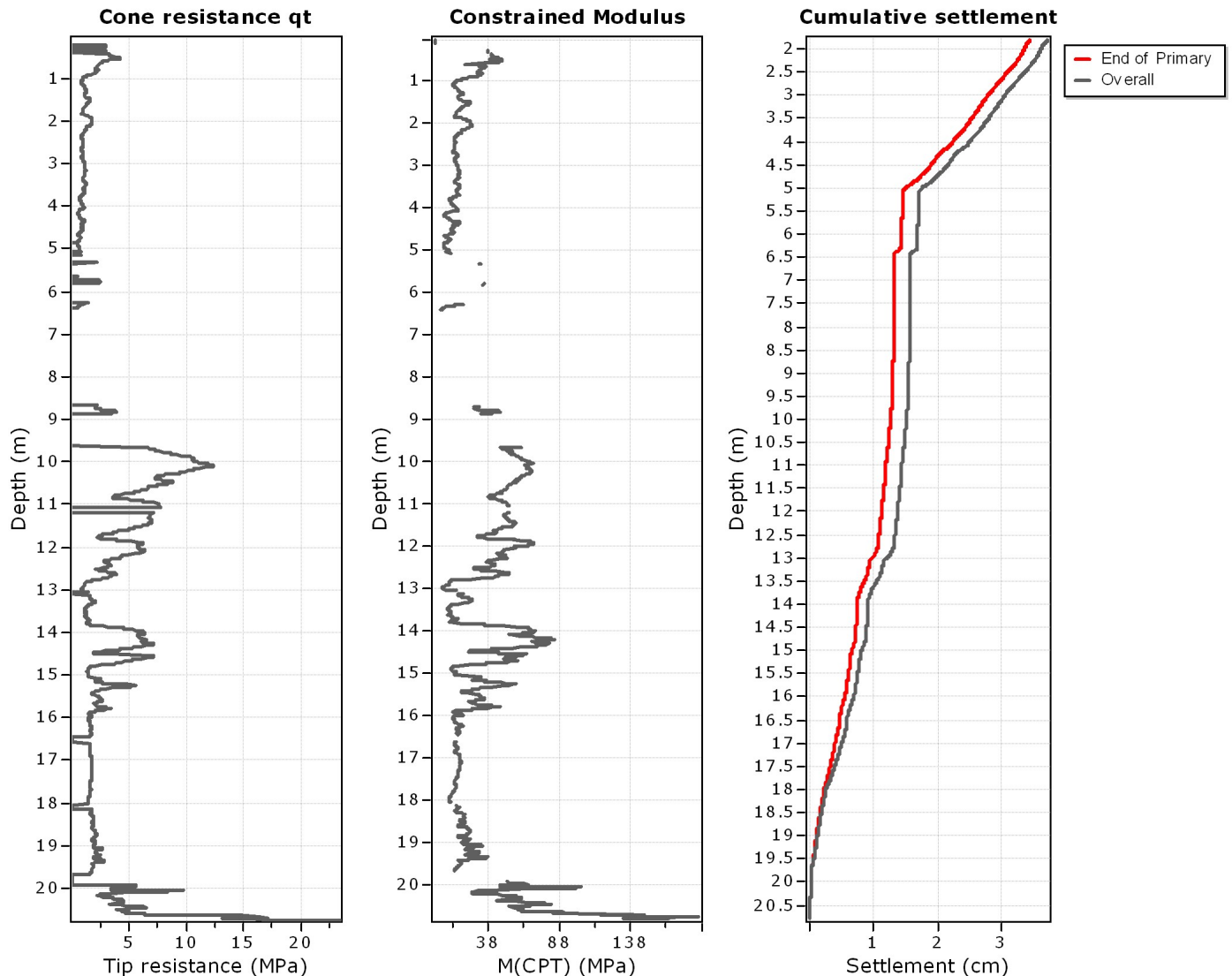
- Start depth:
- Start depth of soil layer (penetration depth measured from ground free surface)
- End depth:
- End depth of soil layer (penetration depth measured from ground free surface)
- Thickness:
- Thickness of soil layer
- Relative depth:
- Depth of calculation relative to footing
- Iz:
- Stress influence factor
- Delta P:
- Footing imposed stress:
- Eff. stress:
- Effective stress
- M<sub>(CPT)</sub>:
- Constrained modulus from CPT
- Settlement:
- Primary settlement
- Second. settlement:
- Secondary settlements due to creep



Project: Indagini per Sudio di progettazione di un deposito tipo silos doppio

Location: Tampieri Spa - via Granarolo 177/3, Faenza (RA)

Settlements calculation according to theory of elasticity\*



Caclulation properties

Footing type: Rectangular

Footing width: 14.13 (m)

L/B: 2.1

Footing pressure: 122.00 (kPa)

Embedment depth: 1.80 (m)

Footing is rigid: Yes

Remove excavation load: Yes

Apply 20% rule: No

Calculate secondary settlements: Yes

Time period for primary consolidation: 6 months

Time period for second. settlements: 36 months

\* Primary settlements calculation is performed according to the following formula:

$$S = \sum \frac{\Delta \sigma_v}{M_{CPT}} \Delta z$$

\* Secondary (creep) settlements calculation is performed according to the following formula:

$$S = C_a \cdot \Delta z \cdot \log(t)$$



**:: Tabular results ::**

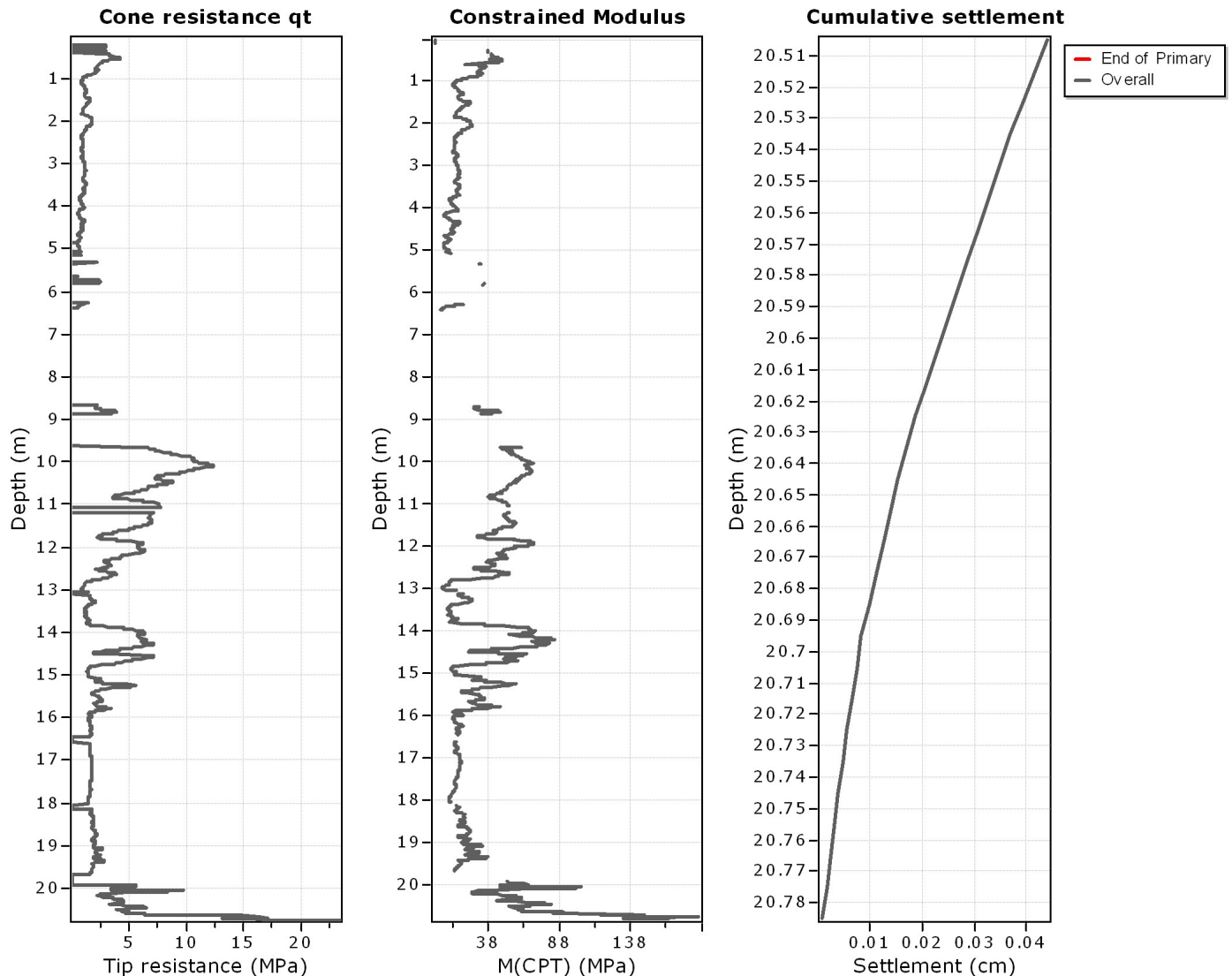
Point No	Start depth (m)	End depth (m)	Thickness (m)	Relative depth (m)	Delta P (kPa)	M <sub>(CPT)</sub> (MPa)	Iz	Settlement (cm)	Second. settlement (cm)	Overall settlement (cm)
1891	20.70	20.71	0.01	18.91	20.99	145.22	0.24	0.000	0.000	0.000
1892	20.71	20.72	0.01	18.91	20.98	116.21	0.24	0.000	0.000	0.000
1893	20.72	20.73	0.01	18.93	20.97	147.23	0.24	0.000	0.000	0.000
1894	20.73	20.74	0.01	18.93	20.96	133.77	0.24	0.000	0.000	0.000
1895	20.74	20.75	0.01	18.95	20.95	172.83	0.24	0.000	0.000	0.000
1896	20.75	20.76	0.01	18.95	20.93	169.98	0.24	0.000	0.000	0.000
1897	20.76	20.77	0.01	18.96	20.92	185.03	0.24	0.000	0.000	0.000
1898	20.77	20.78	0.01	18.98	20.91	132.43	0.24	0.000	0.000	0.000
1899	20.78	20.79	0.01	18.98	20.90	162.43	0.24	0.000	0.000	0.000

**Total primary settlement: 3.45****Total secondary settlement: 0.27****Total calculated settlement: 3.72****Abbreviations**

Start depth:	Start depth of soil layer (penetration depth measured from ground free surface)
End depth:	End depth of soil layer (penetration depth measured from ground free surface)
Thickness:	Thickness of soil layer
Relative depth:	Depth of calculation relative to footing
Iz:	Stress influence factor
Delta P:	Footing imposed stress:
Eff. stress:	Effective stress
M <sub>(CPT)</sub> :	Constrained modulus from CPT
Settlement:	Primary settlement
Second. settlement:	Secondary settlements due to creep



**Settlements calculation according to theory of elasticity\***



**Caclulation properties**

Footing type: Rectangular

Footing width: 14.13 (m)

L/B: 2.1

Footing pressure: 122.00 (kPa)

Embedment depth: 20.50 (m)

Footing is rigid: Yes

Remove excavation load: No

Apply 20% rule: No

Calculate secondary settlements: Yes

Time period for primary consolidation: 6 months

Time period for second. settlements: 36 months

\* Primary settlements calculation is performed according to the following formula:

$$S = \sum \frac{\Delta \sigma_v}{M_{CPT}} \Delta z$$

\* Secondary (creep) settlements calculation is performed according to the following formula:

$$S = C_a \cdot \Delta z \cdot \log(t)$$

**:: Tabular results ::**

Point No	Start depth (m)	End depth (m)	Thickness (m)	Relative depth (m)	Delta P (kPa)	M <sub>(CPT)</sub> (MPa)	Iz	Settlement (cm)	Second. settlement (cm)	Overall settlement (cm)
1	20.50	20.51	0.01	0.01	122.00	51.25	1.00	0.002	0.000	0.002
2	20.51	20.52	0.01	0.02	122.00	51.25	1.00	0.002	0.000	0.002
3	20.52	20.53	0.01	0.02	122.00	54.89	1.00	0.002	0.000	0.002
4	20.53	20.54	0.01	0.04	122.00	56.38	1.00	0.002	0.000	0.002
5	20.54	20.55	0.01	0.05	122.00	58.08	1.00	0.002	0.000	0.002
6	20.55	20.56	0.01	0.05	122.00	59.87	1.00	0.002	0.000	0.002
7	20.56	20.57	0.01	0.06	122.00	62.06	1.00	0.002	0.000	0.002
8	20.57	20.58	0.01	0.07	122.00	61.67	1.00	0.002	0.000	0.002
9	20.58	20.59	0.01	0.09	122.00	58.16	1.00	0.002	0.000	0.002
10	20.59	20.60	0.01	0.09	122.00	57.39	1.00	0.002	0.000	0.002
11	20.60	20.61	0.01	0.10	121.99	61.95	1.00	0.002	0.000	0.002
12	20.61	20.62	0.01	0.12	121.99	60.61	1.00	0.002	0.000	0.002
13	20.62	20.63	0.01	0.13	121.99	73.77	1.00	0.002	0.000	0.002
14	20.63	20.64	0.01	0.13	121.99	78.21	1.00	0.002	0.000	0.002
15	20.64	20.65	0.01	0.14	121.99	88.72	1.00	0.001	0.000	0.001
16	20.65	20.66	0.01	0.16	121.98	91.13	1.00	0.001	0.000	0.001
17	20.66	20.67	0.01	0.16	121.98	82.89	1.00	0.001	0.000	0.001
18	20.67	20.68	0.01	0.18	121.98	82.90	1.00	0.001	0.000	0.001
19	20.68	20.69	0.01	0.19	121.97	83.02	1.00	0.001	0.000	0.001
20	20.69	20.70	0.01	0.20	121.97	140.76	1.00	0.001	0.000	0.001
21	20.70	20.71	0.01	0.20	121.96	145.22	1.00	0.001	0.000	0.001
22	20.71	20.72	0.01	0.21	121.96	116.21	1.00	0.001	0.000	0.001
23	20.72	20.73	0.01	0.23	121.95	147.23	1.00	0.001	0.000	0.001
24	20.73	20.74	0.01	0.23	121.94	133.77	1.00	0.001	0.000	0.001
25	20.74	20.75	0.01	0.24	121.93	172.83	1.00	0.001	0.000	0.001
26	20.75	20.76	0.01	0.26	121.93	169.98	1.00	0.001	0.000	0.001
27	20.76	20.77	0.01	0.27	121.92	185.03	1.00	0.001	0.000	0.001
28	20.77	20.78	0.01	0.27	121.91	132.43	1.00	0.001	0.000	0.001
29	20.78	20.79	0.01	0.28	121.90	162.43	1.00	0.001	0.000	0.001

**Total primary settlement: 0.04****Total secondary settlement: 0.00****Total calculated settlement: 0.04****Abbreviations**

Start depth:	Start depth of soil layer (penetration depth measured from ground free surface)
End depth:	End depth of soil layer (penetration depth measured from ground free surface)
Thickness:	Thickness of soil layer
Relative depth:	Depth of calculation relative to footing
Iz:	Stress influence factor
Delta P:	Footing imposed stress:
Eff. stress:	Effective stress
M <sub>(CPT)</sub> :	Constrained modulus from CPT
Settlement:	Primary settlement
Second. settlement:	Secondary settlements due to creep



## LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

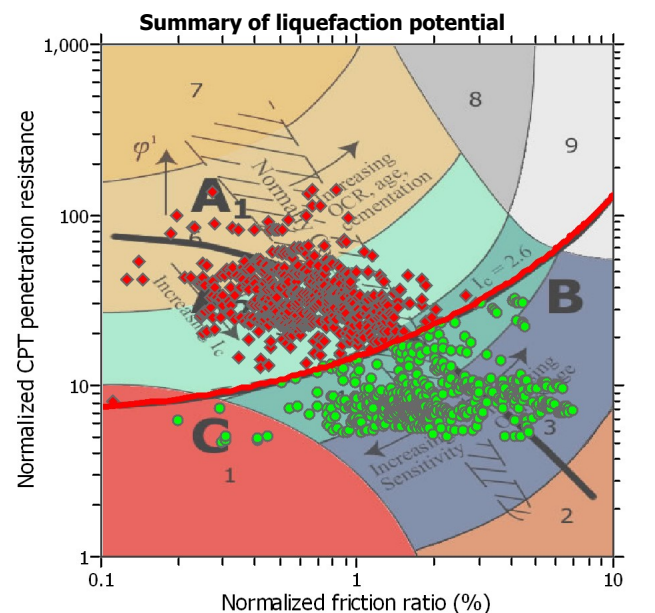
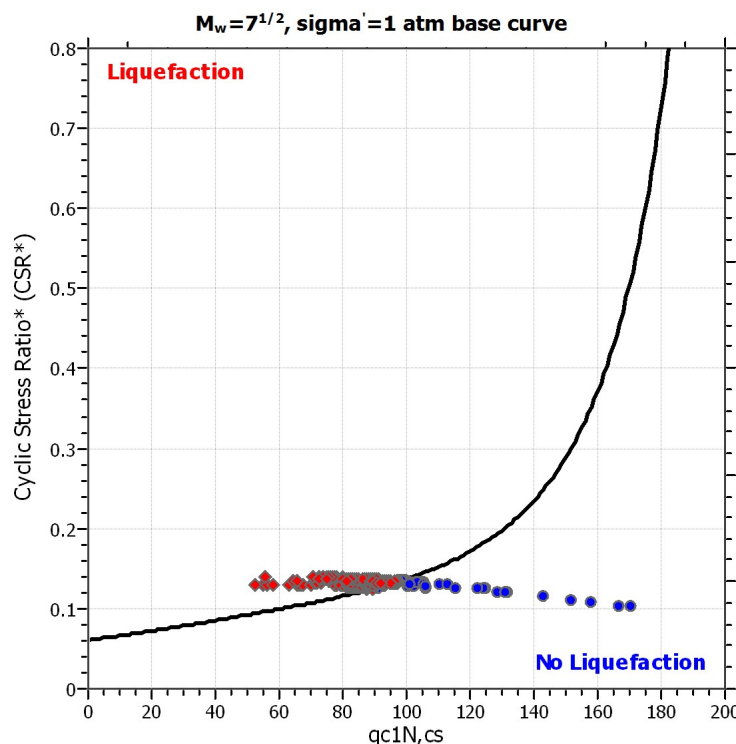
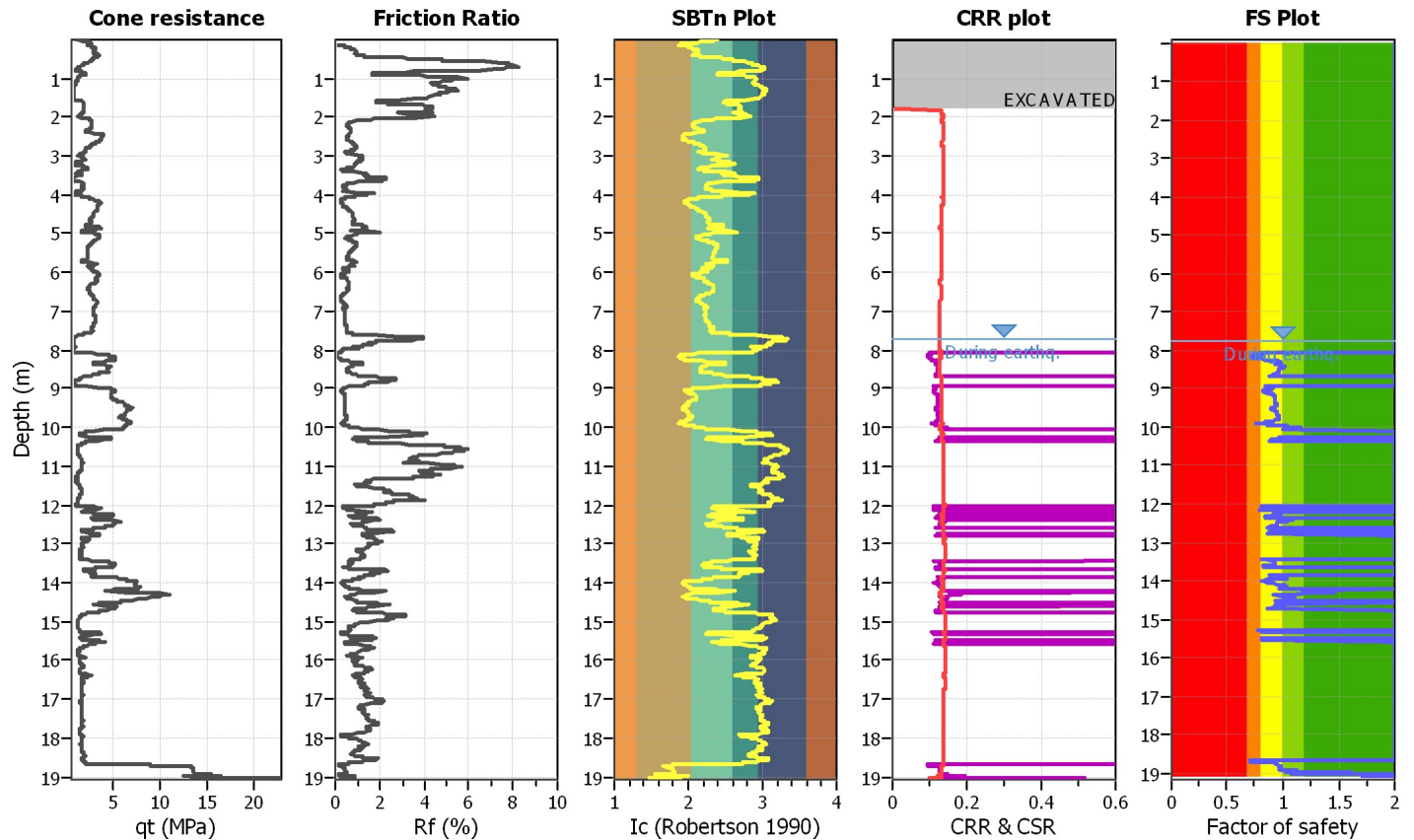
Project title : Indagini per Studio di progettazione di un

CPT file : Cptu-S01

Location : Tampieri Spa - via Granarolo 177/3, Faenza (RA)

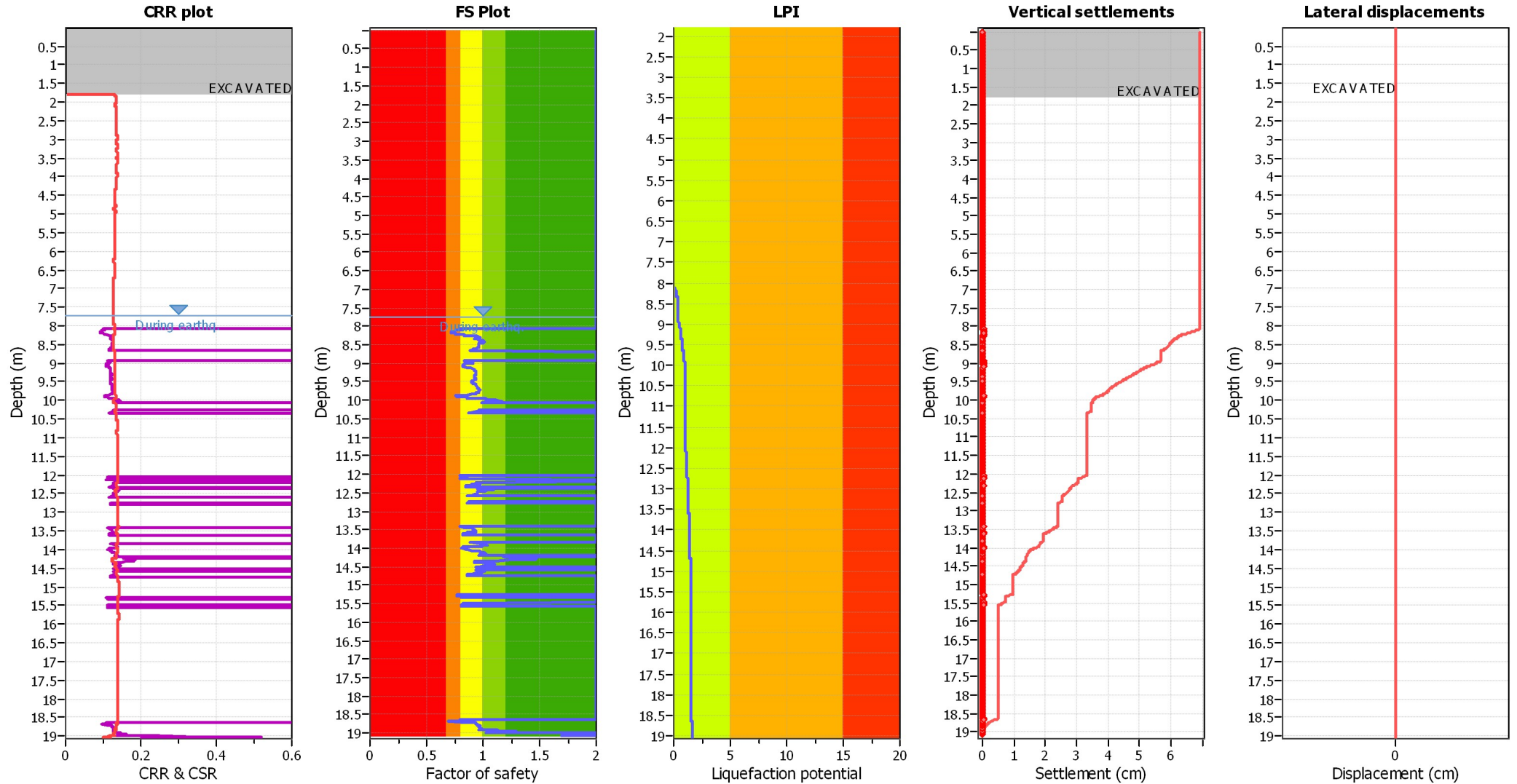
### Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	7.74 m	Excavation:	Yes	Clay like behavior	
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	7.74 m	Excavation depth:	1.80 m	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	1	Footing load:	122.00 kPa	Limit depth applied:	Yes
Earthquake magnitude $M_w$ :	5.88	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	20.00 m
Peak ground acceleration:	0.23	Unit weight calculation:	Based on SBT	$K_\sigma$ applied:	Yes	MSF method:	Method based



Zone A<sub>1</sub>: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading  
Zone A<sub>2</sub>: Cyclic liquefaction and strength loss likely depending on loading and ground geometry  
Zone B: Liquefaction and post-earthquake strength loss unlikely, check cyclic softening  
Zone C: Cyclic liquefaction and strength loss possible depending on soil plasticity, brittleness/sensitivity, strain to peak undrained strength and ground geometry

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	7.74 m	Footing load:	122.00 kPa
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	$K_G$ applied:	Yes
Earthquake magnitude $M_w$ :	5.88	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Excavation:	Yes	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	7.74 m	Excavation depth:	1.80 m	Limit depth:	20.00 m

F.S. color scheme

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

LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk





## LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

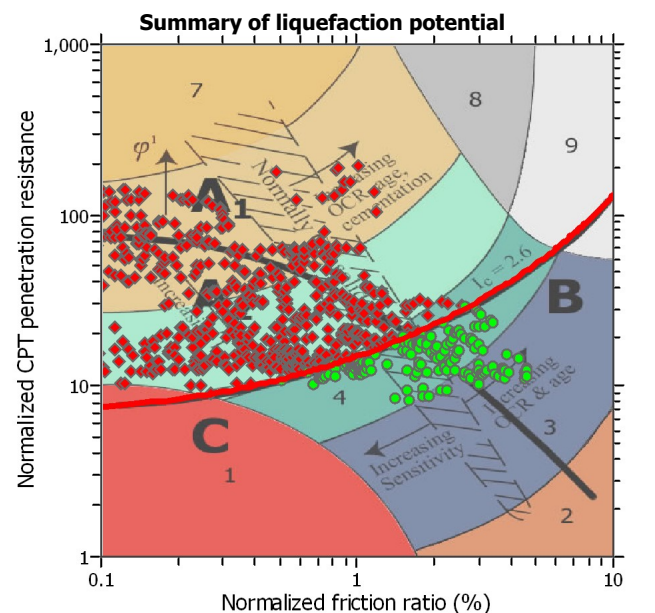
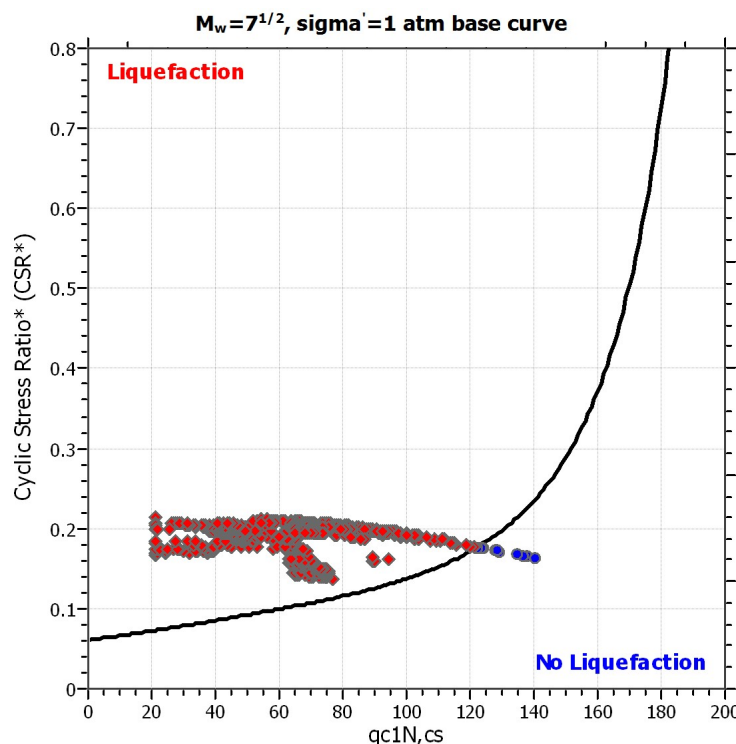
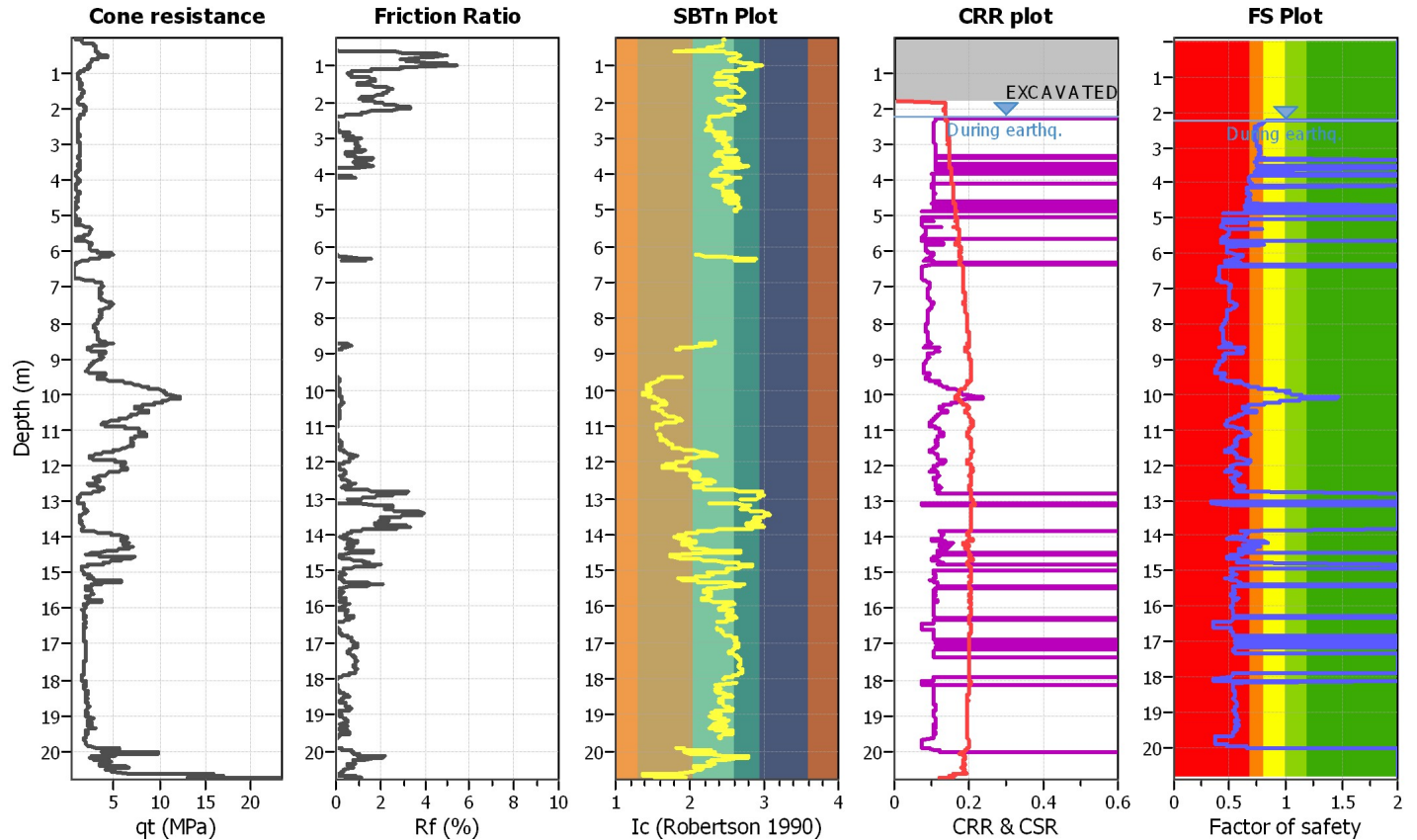
Project title : Indagini per Sudio di progettazione di un

Location : Tampieri Spa - via Granarolo 177/3, Faenza (RA)

CPT file : Cptu-S02

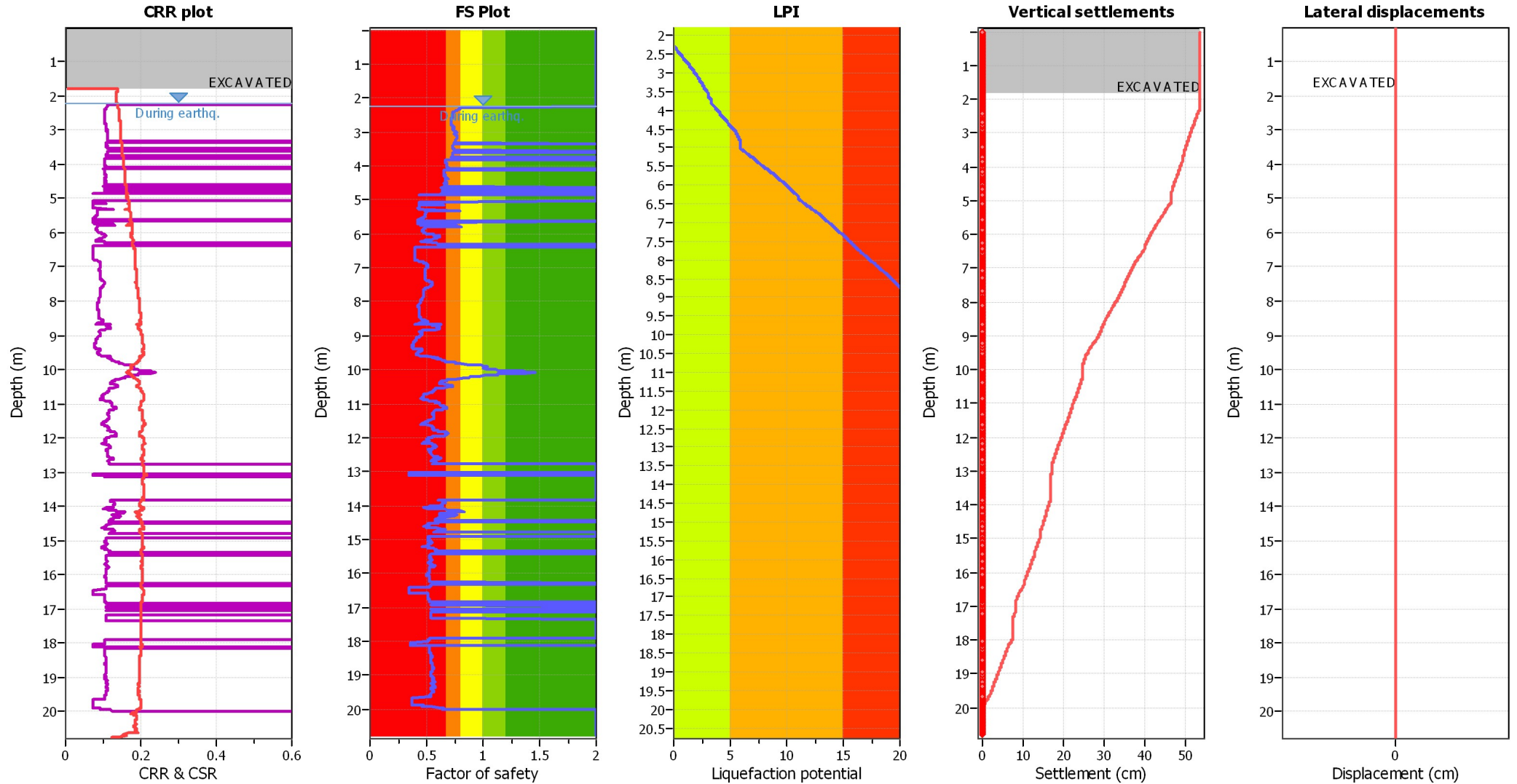
### Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	2.22 m	Excavation:	Yes	Clay like behavior	
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	2.22 m	Excavation depth:	1.80 m	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	1	Footing load:	122.00 kPa	Limit depth applied:	Yes
Earthquake magnitude $M_w$ :	5.88	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	20.00 m
Peak ground acceleration:	0.23	Unit weight calculation:	Based on SBT	$K_\sigma$ applied:	Yes	MSF method:	Method based



Zone A<sub>1</sub>: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading  
Zone A<sub>2</sub>: Cyclic liquefaction and strength loss likely depending on loading and ground geometry  
Zone B: Liquefaction and post-earthquake strength loss unlikely, check cyclic softening  
Zone C: Cyclic liquefaction and strength loss possible depending on soil plasticity, brittleness/sensitivity, strain to peak undrained strength and ground geometry

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method: B&I (2014)  
Fines correction method: B&I (2014)  
Points to test: Based on Ic value  
Earthquake magnitude  $M_w$ : 5.88  
Peak ground acceleration: 0.23  
Depth to water table (insitu): 2.22 m

Depth to GWT (erthq.): 2.22 m  
Average results interval: 1  
Ic cut-off value: 2.60  
Unit weight calculation: Based on SBT  
Excavation: Yes  
Excavation depth: 1.80 m

Footing load: 122.00 kPa  
Transition detect. applied: No  
 $K_g$  applied: Yes  
Clay like behavior applied: Sands only  
Limit depth applied: Yes  
Limit depth: 20.00 m

F.S. color scheme

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

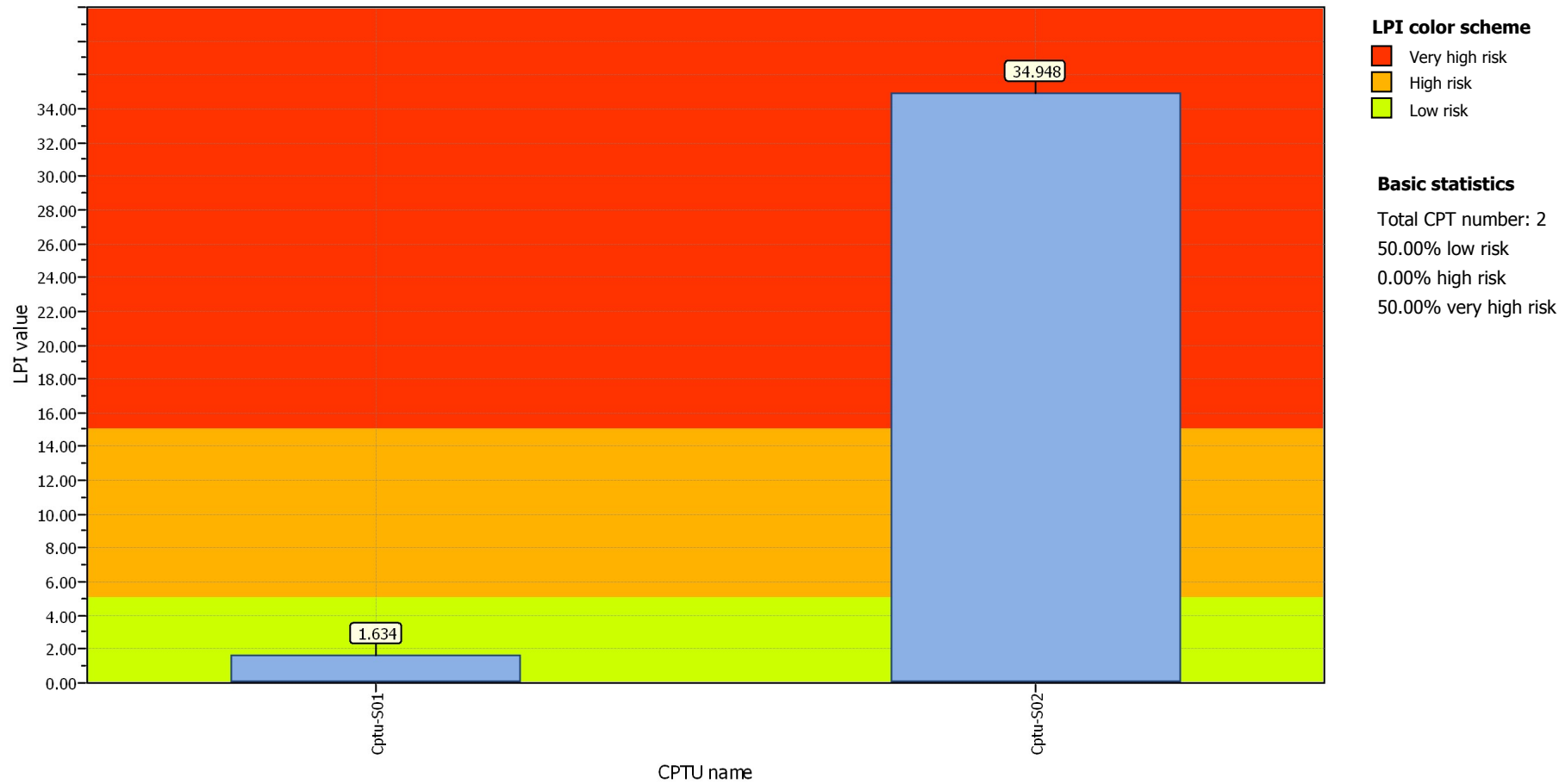
LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk



**Project title :** Indagini per Sudio di progettazione di un deposito tipo silos doppio  
**Location :** Tampieri Spa - via Granarolo 177/3, Faenza (RA)

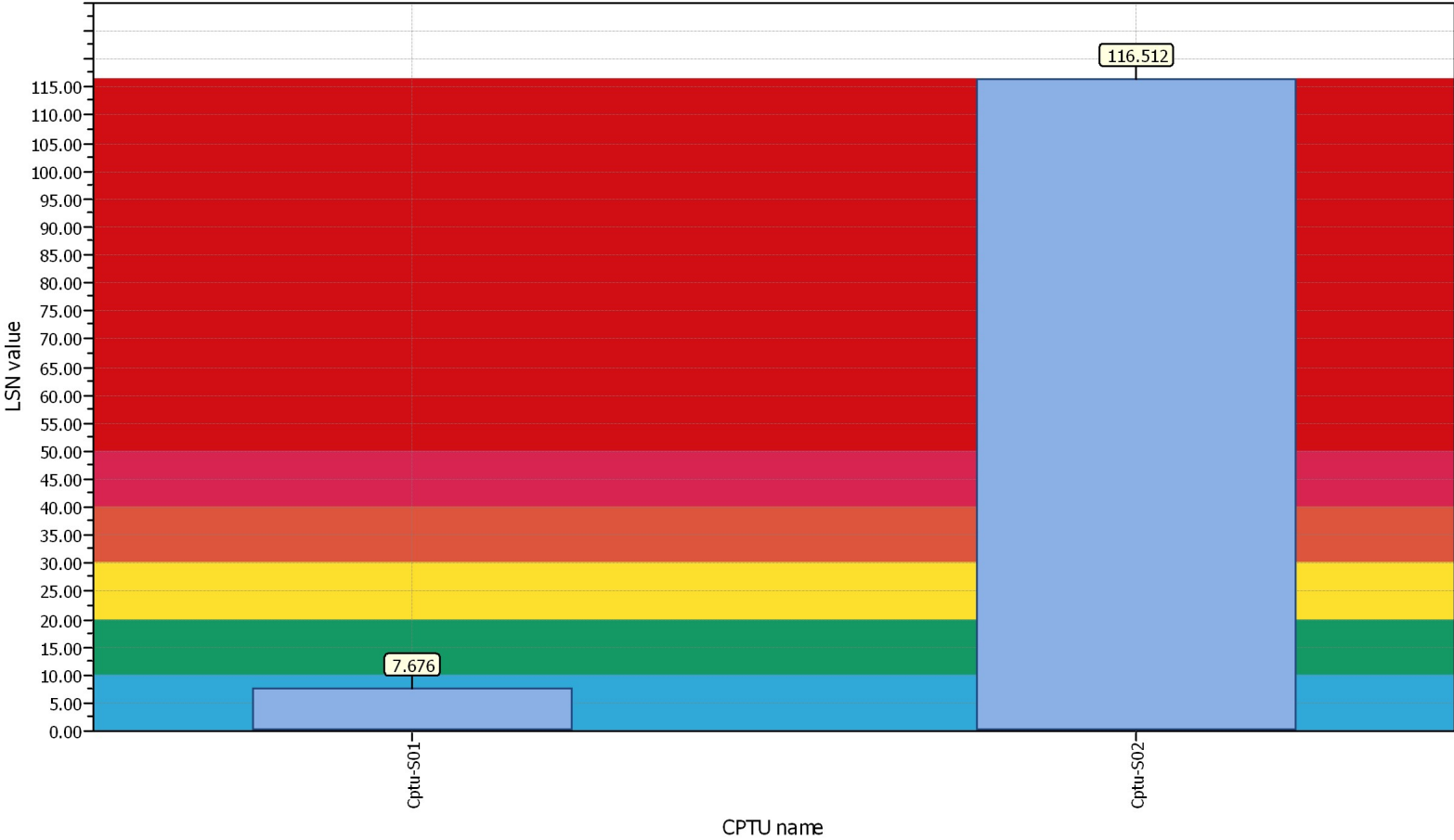
**Overall Liquefaction Potential Index report**





**Project title :** Indagini per Sudio di progettazione di un deposito tipo silos doppio  
**Location :** Tampieri Spa - via Granarolo 177/3, Faenza (RA)

**Overall Liquefaction Severity Number report**



**LSN color scheme**

- Severe damage
- Major expression of liquefaction
- Moderate to severe exp. of liquefaction
- Moderate expression of liquefaction
- Minor expression of liquefaction
- Little to no expression of liquefaction

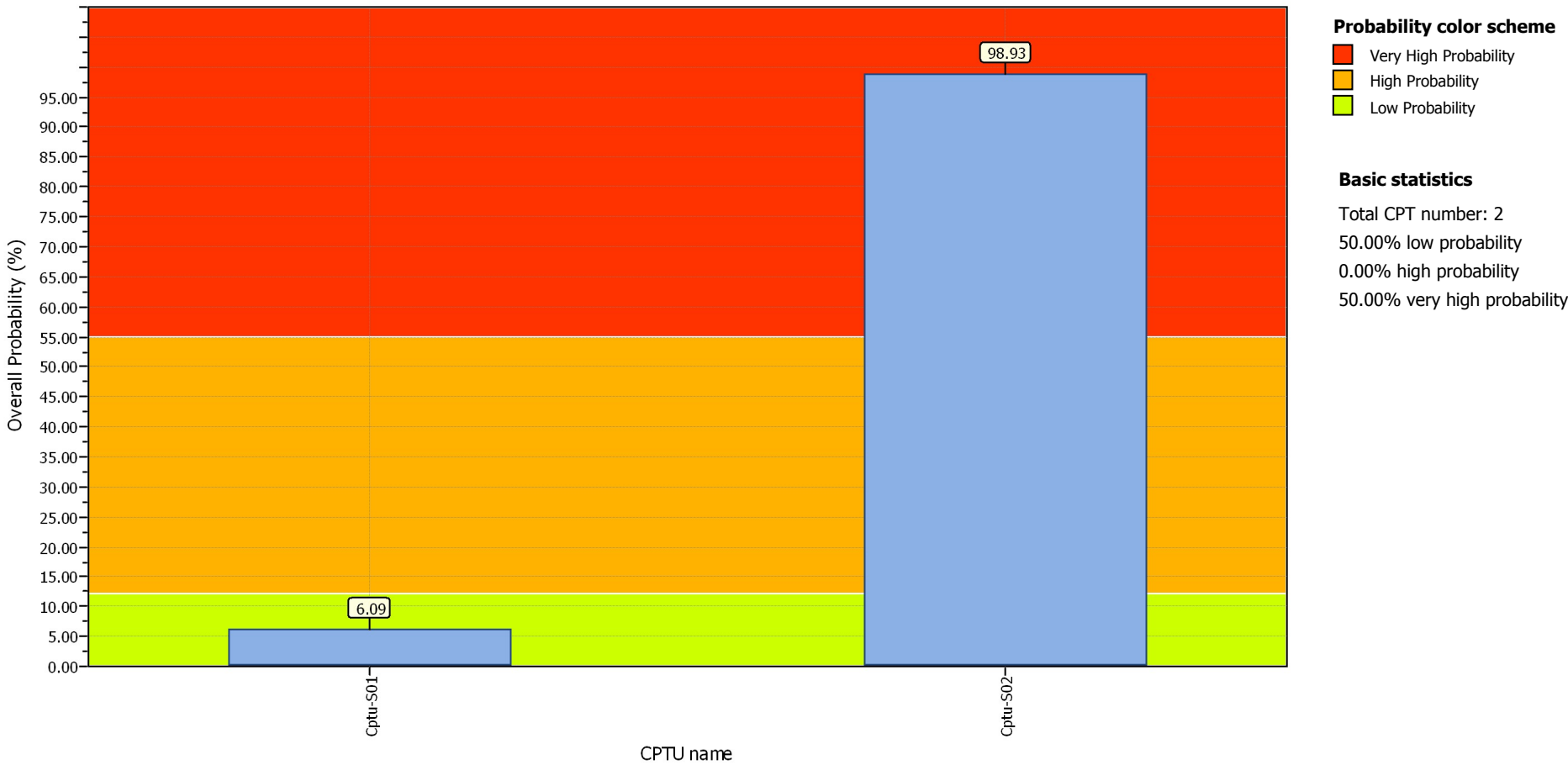
**Basic statistics**

Total CPT number: 2  
50.00% little liquefaction  
0.00% minnor liquefaction  
0.00% moderate liquefaction  
0.00% moderate to major liquefaction  
0.00% major liquefaction  
50.00% severe liquefaction



**Project title :** Indagini per Sudio di progettazione di un deposito tipo silos doppio  
**Location :** Tampieri Spa - via Granarolo 177/3, Faenza (RA)

**Overall Probability for Liquefaction report**

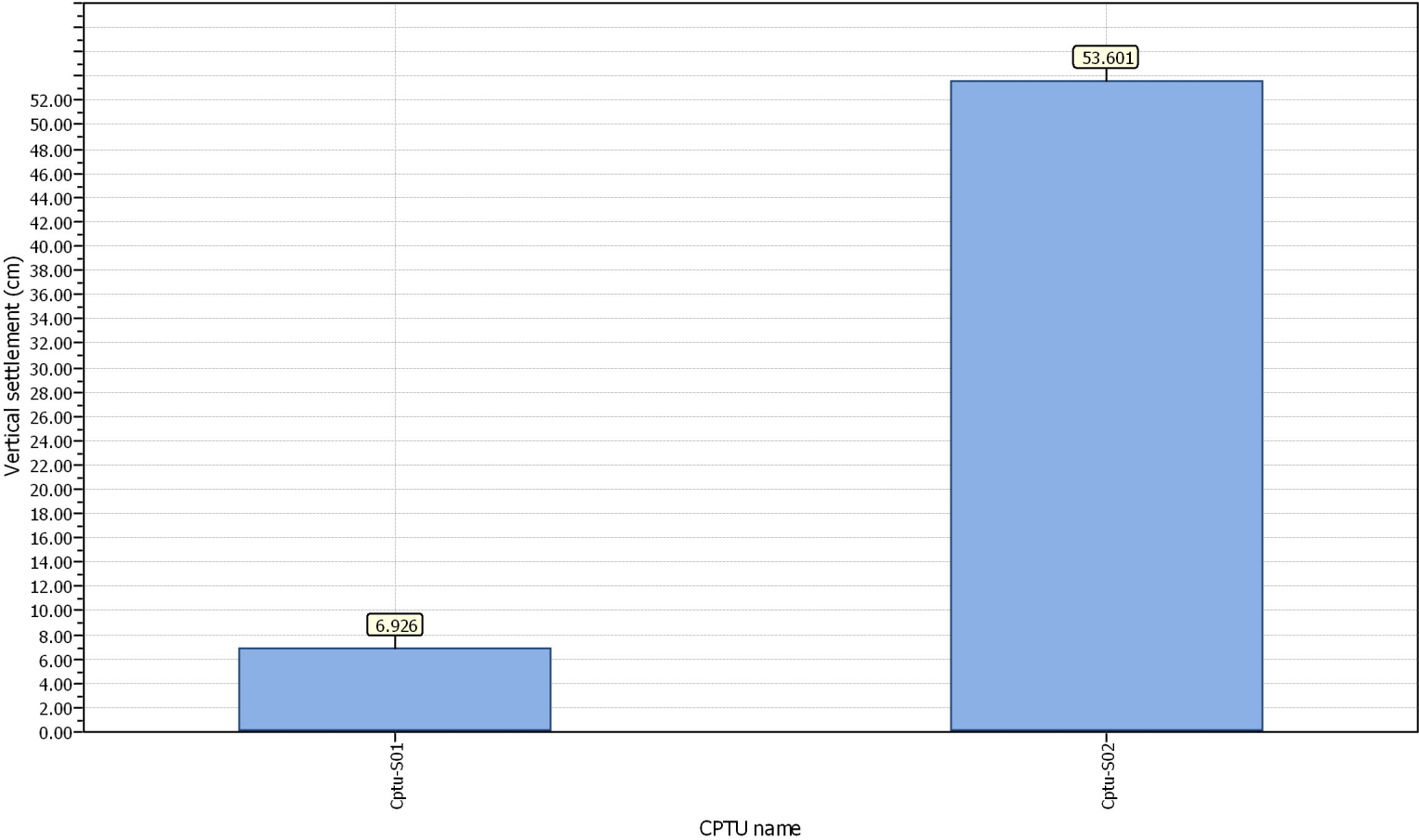






**Project title : Indagini per Sudio di progettazione di un deposito tipo silos doppio**  
**Location : Tampieri Spa - via Granarolo 177/3, Faenza (RA)**

**Overall vertical settlements report**



## TAMPIERI\_20\_SILOS, TR-S01

Instrument: TEP-0083/01-10

Start recording: 22/07/20 13:38:42 End recording: 22/07/20 13:58:43

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Trace length: 0h20'00".

Analyzed 65% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

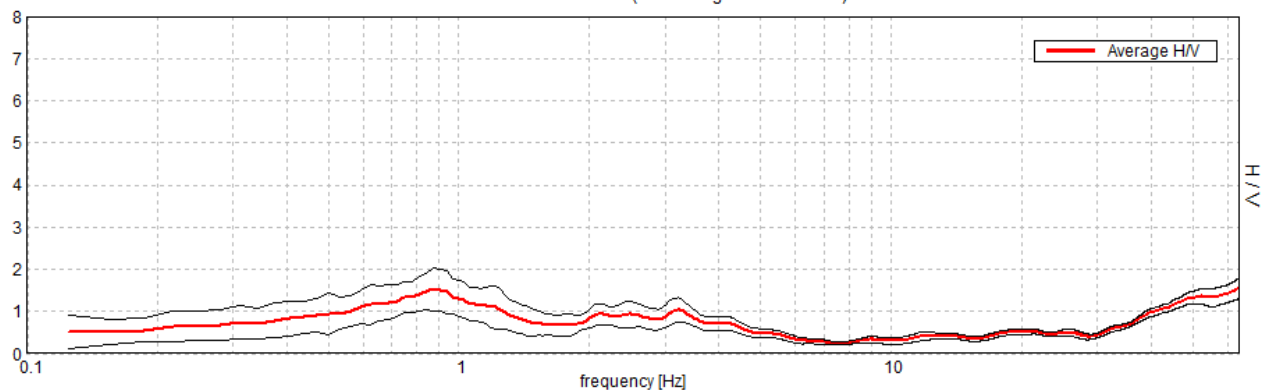
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

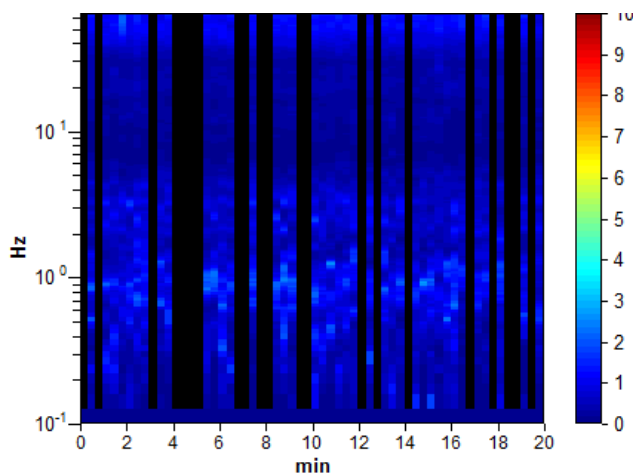
Smoothing: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

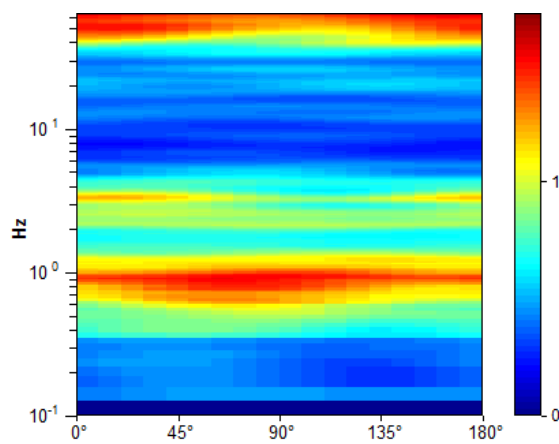
Max. H/V at  $0.88 \pm 0.0$  Hz (in the range 0.0 - 50.0 Hz).



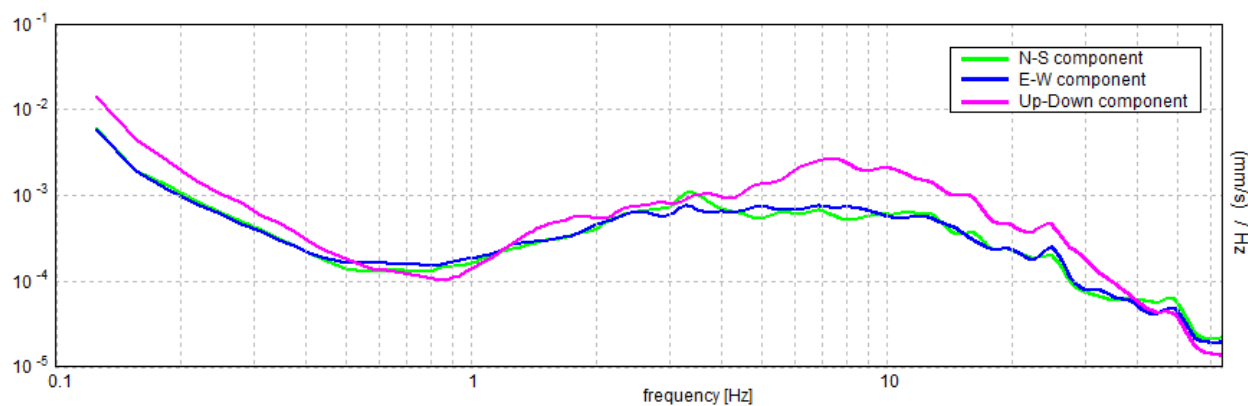
### H/V TIME HISTORY



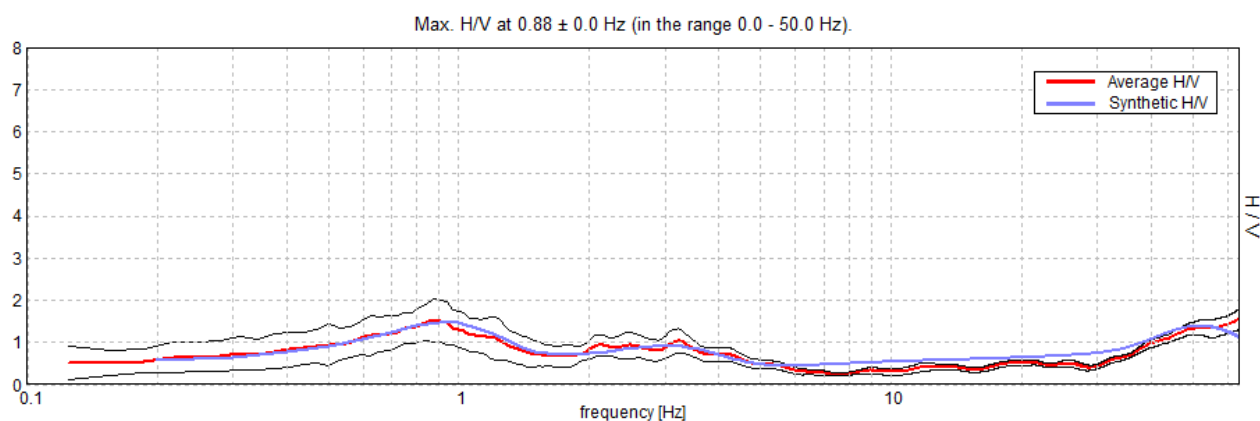
### DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA

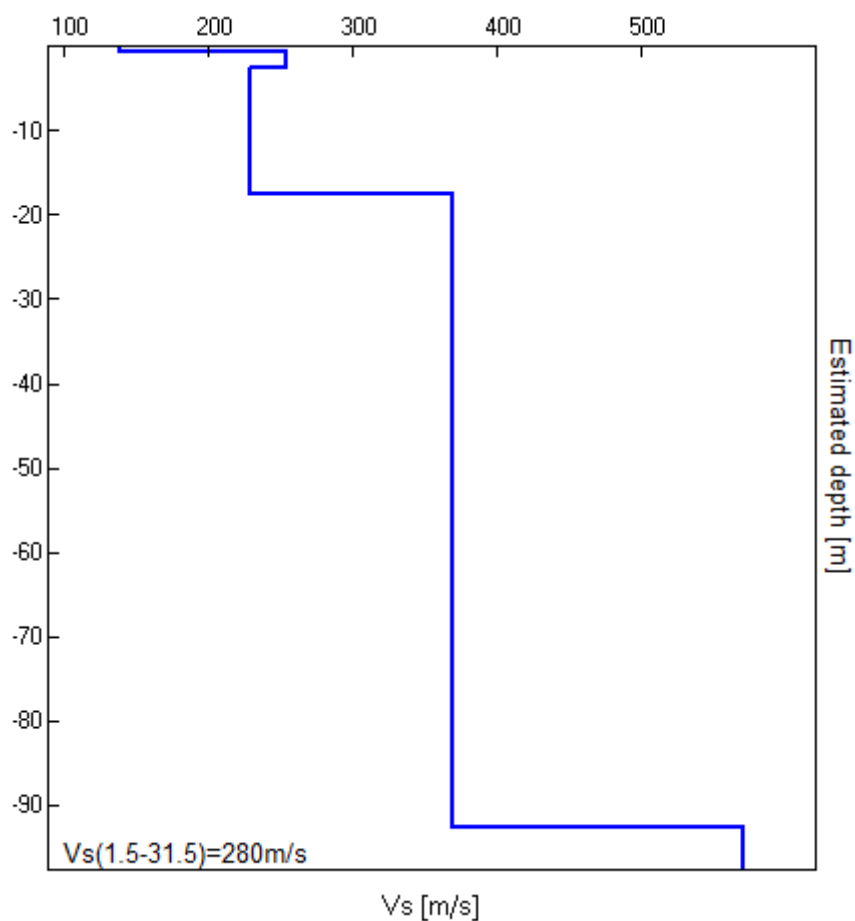


# EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.60	0.60	140	0.38
2.60	2.00	255	0.38
17.60	15.00	230	0.40
92.60	75.00	370	0.40
inf.	inf.	570	0.42

$V_s(1.5-31.5)=280\text{m/s}$



[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.**]

**Max. H/V at  $0.88 \pm 0.0$  Hz (in the range 0.0 - 50.0 Hz).**

**Criteria for a reliable H/V curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.88 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$682.5 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 43 times	<b>OK</b>	

**Criteria for a clear H/V peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.344 Hz	<b>OK</b>	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.469 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$1.52 > 2$		<b>NO</b>
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00092  < 0.05$	<b>OK</b>	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.0008 < 0.13125$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2471 < 2.0$	<b>OK</b>	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

**Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$**

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

## TAMPIERI\_20\_SILOS, TR-S02

Instrument: TEP-0083/01-10

Start recording: 22/07/20 13:06:29 End recording: 22/07/20 13:26:30

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Trace length: 0h20'00".

Analyzed 60% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

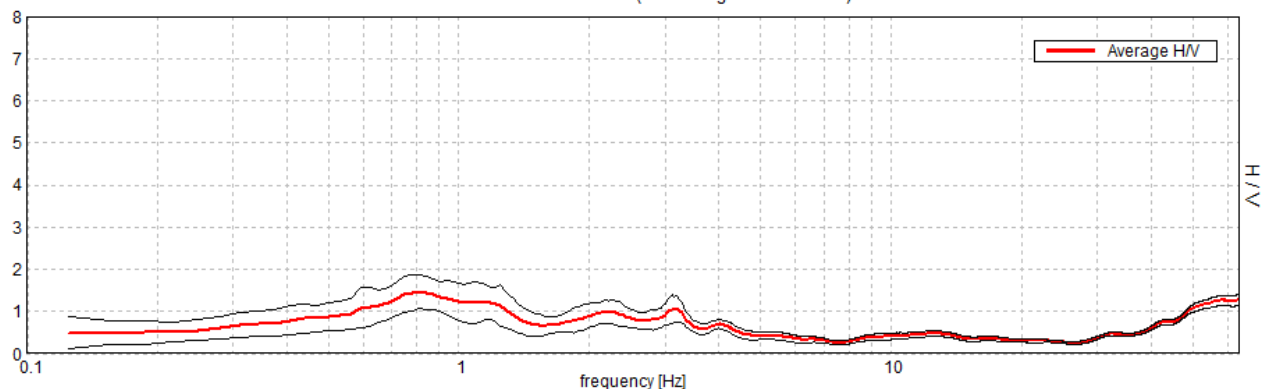
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

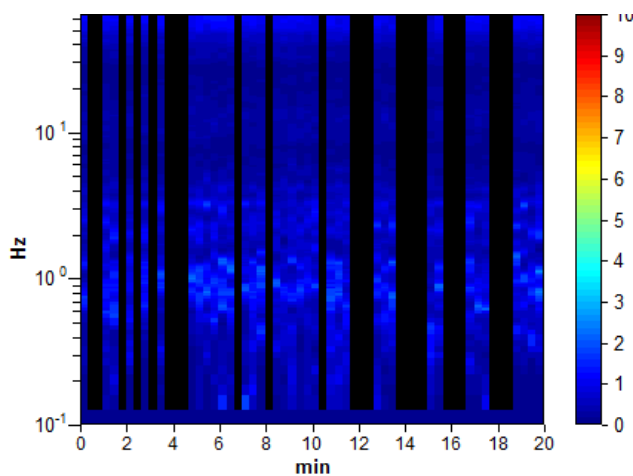
Smoothing: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

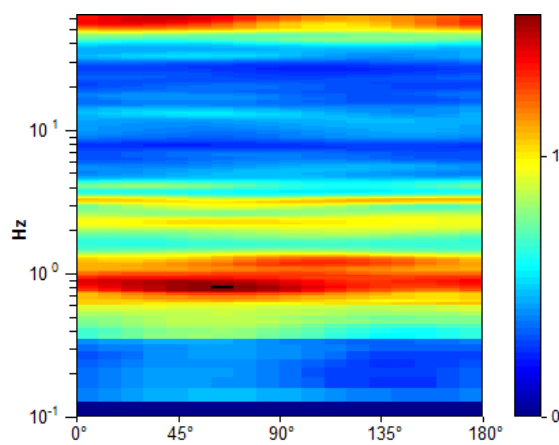
Max. H/V at  $0.81 \pm 0.03$  Hz (in the range 0.0 - 50.0 Hz).



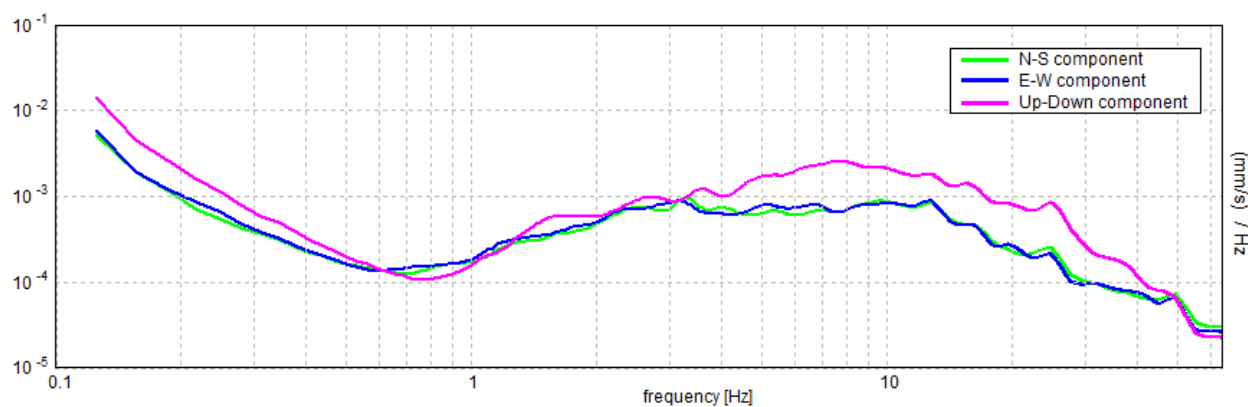
### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V

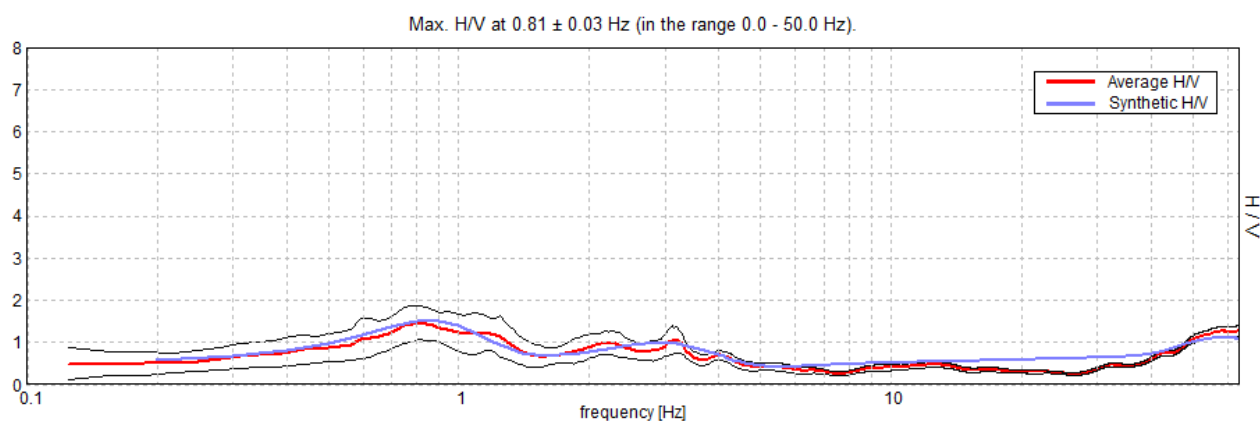


### SINGLE COMPONENT SPECTRA



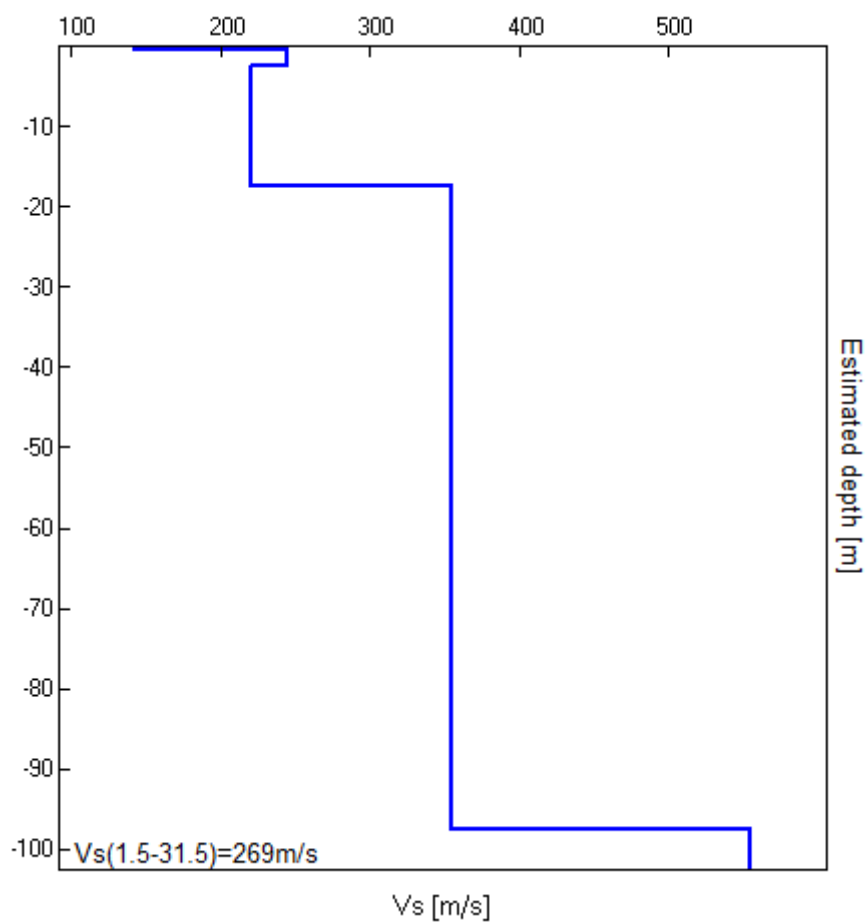


# EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.50	0.50	142	0.38
2.50	2.00	245	0.38
17.50	15.00	220	0.40
97.50	80.00	355	0.40
inf.	inf.	555	0.45

$V_s(1.5-31.5)=269\text{m/s}$



[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.**]

**Max. H/V at  $0.81 \pm 0.03$  Hz (in the range 0.0 - 50.0 Hz).**

**Criteria for a reliable H/V curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.81 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$585.0 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 40 times	<b>OK</b>	

**Criteria for a clear H/V peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.375 Hz	<b>OK</b>	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.469 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$1.46 > 2$		<b>NO</b>
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01577  < 0.05$	<b>OK</b>	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.01282 < 0.12188$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1919 < 2.0$	<b>OK</b>	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

**Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$**

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

## Allegato

### CATEGORIE DI SUOLO DI FONDAZIONE

Categoria	Descrizione del profilo stratigrafico	Parametri		
		Vs30 (m/s)	NSPT	Cu (kPa)
A	<u>Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi</u> , caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m	> 800	-	-
B	<u>Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti</u> , con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	360-800	>50	>250
C	<u>Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza</u> , con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri	180-360	15-50	70-250
D	<u>Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti</u>	<180	<15	<70
E	<u>Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali</u> , con valori di Vs30 simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con Vs30 > 800m/s			
S1	<u>Depositi di terreni che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fine</u> (limi e argille) di bassa consistenza oppure almeno 3 m di torba o argille altamente organiche (CH)	<100		10-20
S2	<u>Depositi di terreni suscettibili di liquefazione</u> , di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria si sottosuolo <u>non classificabile nei tipi precedenti</u>			

**Tabella:** categorie di suolo di fondazione (D.M. 14.09.2005; D.M. 14.01.2008).

Relativamente alla pratica SUAP n.576/2021 prot. 30513 del 15/04/2021, per l'intervento di installazione di nuovi serbatoi di stoccaggio oli vegetali in ampliamento all'esistente parco serbatoi Z1 - PdC ai sensi dell'Art. 53 l.r. 24/2017, in Via Granarolo 102, propriet Tampieri Financial Group SpA, trasmettiamo in allegato la relazione geologica.

Cordiali saluti

Geom. Nerio Moroni

Studio Tecnico Associato  
MORONI PROGETTO & D.L.  
Via Cantinelli 30  
48018 Faenza (RA)  
tel. 0546.668528

Le informazioni, i dati e le notizie contenute nella presente comunicazione e i relativi allegati sono di natura privata e come tali possono essere riservate e sono, comunque, destinate esclusivamente ai destinatari indicati in epigrafe. La diffusione, distribuzione e/o la copiatura del documento trasmesso da parte di qualsiasi soggetto diverso dal destinatario proibita, sia ai sensi dell'art. 616 c.p., sia ai sensi del D.Lgs. n. 196/2003.

Se avete ricevuto questo messaggio per errore, vi preghiamo di distruggerlo e di darcene immediata comunicazione anche inviando un messaggio di ritorno all'indirizzo e-mail del mittente.