

Comune di Faenza

Regione Emilia Romagna



Oggetto: INDAGINI PER PIANO PARTICOLAREGGIATO E STUDIO DI PROGETTAZIONE.

Località: via Manzuta / via Ravegnana – Faenza (RA)

Committente: Tampieri Financial Group Spa

Faenza aprile 2023

*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*



INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	UBICAZIONE DELL'AREA	3
3	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	4
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	5
5	INQUADRAMENTO IDROLOGICO E IDROGEOLOGICO	6
6	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE.....	7
7	SISMICITA' DELL'AREA	9
8	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO	11
9	RISPOSTA SISMICA LOCALE.....	13
10	MICROZONAZIONE SISMICA.....	15
11	LIQUEFAZIONE E INSTABILITA' STRUTTURALI.....	21
12	VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU) GEOTECNICO.....	22
13	CONSIDERAZIONI EDIFICATORIE.....	25
	CONCLUSIONI.....	26
14	ALLEGATI.....	28



1 PREMESSA

La Tampieri Financial Group Spa, proprietaria degli appezzamenti di terreno siti in via Manzuta, tra i civici 50 e 60, 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, per il Piano Particolareggiato e lo studio di progettazione per lo sviluppo di uno stabilimento di produzione di alghe.

Durante questo lavoro, nel mese aprile 2023, sono stati eseguiti dei sopralluoghi e rilievi dell'area d'interesse, quattro prove penetrometriche sino alla profondità massima di 15,00 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 corografia e una planimetria con particelle catastali e l'ubicazione 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, DGR 476/2021, DGR 564/2021, DGR 2193/2015, L.R. 19/2008 art.5, art. 32.5 POC, PRG96, RUE).

2 UBICAZIONE DELL'AREA

L'area di studio è situata a NE dell'abitato di Faenza (RA), in un'area agricola limitrofa un'area industriale. Resta confinato, in una fascia di media pianura alluvionale, delimitata dall'autostrada E45 / A14 Adriatica, dalla Provinciale Ravennana SP302, dalla strada Comunale "via Manzuta". Il fiume Lamone scorre a 2,5 km ca. ad S e E. È individuabile sulla planimetria catastale del Comune di Faenza alla scala 1:2000 foglio 87 mappali 29, 123, 127, 128, 129, 131, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 281, 283, 286, 287,



344, 346, foglio 65 mappali 87, 88, foglio 103 mappali 42, 350, 352, 353, 356, 357. 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 2,5 km. La quota altimetrica di quest'area alluvionale di media – bassa pianura, con pendenze inferiori a 0,5%, varia da 21,00 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_{8a}):

- AES_{8a} (Unità di Modena, *Attuale – IV-VI° sec. d.C.*) – presente negli affioramenti della bassa pianura, le alluvioni sono la porzione sommitale del Subsistema di Ravenna AES₈. Il limite superiore, che coincide con il piano topografico, è un suolo calcareo di colore bruno chiaro con profilo d'alterazione inferiore a 100 cm. Si possono distinguere in base alle caratteristiche geomorfologiche i sotto-ambiti litologici di interdosso (prevalenti argille e limi), dei dossi sub-attuali (prevalenza di limi e sabbie), dei paleodossi (prevalenza di limi e sabbie e suoli con fronte di alterazione di 100 cm).

Nel sito i sedimenti indagati, sui primi 15,00 m da p.c., sono eterogenei, con prevalenza di quelli coesivi e intervallati da banchi e strati misti coesivi / granulari. Le litologie comprendono argilla, argilla limosa, limo argilloso, limo sabbioso, sabbia limosa. Nelle prove Cptu1, Cptu2 e Cptu3 si ritrova il medesimo banco di limo sabbioso / sabbia limosa alla quota di -9,50 m ca. da p.c. Nella porzione superiore è presente un banco più ridotto, con spessore non uniforme e quota variabile tra -5,50 e -6,50 m da p.c. Inoltre è stato riscontrato un potente banco granulare, tra quota di -1,30 e -2,70 m da p.c., su Cptu2 e Cptu4.

La quota del tetto ghiaioso, non raggiunto dalle prove, dovrebbe attestarsi tra -20,00 e -22,00 m ca. da p.c. Queste alternanze sono di origine fluviale e alluvionale (*Olocene*). Le variazioni eterogenee forniscono anche consistenze eterogenee, che alternano valori medi (granulari) a valori medio-alti (coesivi).



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, costituito dalle sabbie ghiaiose, a profondità di -20,00 / -22,00 m 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 ($10^{-6} < K < 10^{-7}$ m/s), intervallati da livelli a permeabilità bassa ($10^{-7} < K < 10^{-8}$ m/s), probabilmente non comunicanti tra loro. Nel giorno delle prove, a causa delle gelate notturne, gli impianti di irrigazione erano stati aperti da 48 ore, in quasi tutti gli appezzamenti. Questo ha fornito una misura falsata del livello di falda superficiale. L'unico dato attendibile è quello della prova Cptu2, dove questa manovra non è stata eseguita. Dunque su Cptu1 la misura è stata di 0,58 m da p.c., su Cptu2 1,70 m da p.c., su Cptu3 0,60 m da p.c. e su Cptu4 0,60 m da p.c. 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. L'unico intervento, che possa avere un'interazione con una falda secondaria, è quello di scavo per la creazione di un'area di mitigazione del rischio idraulico (vasche di laminazione).

Le serre non avranno fondazioni, le vasche saranno appoggiate su un sottofondo addizionato a calce, mentre le strutture accessorie, come magazzino / deposito, serbatoi, locali pompe e filtraggi, le cabine servizi avranno delle fondazioni superficiali a platea (max 0,50 m).

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 quattro prove penetrometriche CPTU, con penetrometro statico, da 20 t, con punta Pagani: Cptu1 [15,20 m], Cptu2 [10,07 m], Cptu3 [15,58 m], Cptu4 [6,23 m].

Negli Allegati 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 F_r (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 N160 (colpi / 30 cm), modulo di Young E_s (Mpa), densità relativa (Relative density – %), angolo d'attrito di picco ϕ (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 / σ_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 ψ (State parameter – °), coefficiente di spinta a riposo K_0 (In-situ stress ratio - adimensionale), sensitività del terreno St (Soil sensitivity – adimensionale), angolo d'attrito effettivo ϕ' (Effective friction angle – °); secondo Robertson e autori vari.

Vengono riportate poi le sezioni geotecniche – litologiche descrittive, discretizzate con i valori tabellari mediati per strati della q_t , K_{sbt} , N160, E_s , densità relativa D_r , angolo d'attrito di picco ϕ , modulo edometrico M , G_0 , coesione S_u , rapporto S_u / σ_v' ,



OCR, peso di volume γ . Segue il calcolo delle capacità portanti (Terzaghi; Mesri, 1994): i modelli di calcolo simulano i cedimenti nel caso di fondazione superficiale.

Inoltre è stata eseguita l'analisi del rischio di liquefazione che 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 e orizzontali (Overall Vertical Settlements) (Overall Lateral Settlements).

L'esame dei grafici penetrometrici evidenzia una verticale a composizione mista coesiva e granulare, con sistema multi-falde. Questa situazione determinerà, in caso di evento sismico importante, cedimenti per liquefazione, differenti per intensità ma uniformi per potenziale, gravità e probabilità.

Dalle prove Cptu1 – Cptu2 – Cptu3, che rappresentano l'area di impianto, è stato ricavato il seguente modello geologico – geotecnico con relativi parametri di progetto:

PROFONDITÀ m DA P.C.	LITOLOGIA	γ kN/m ³	Su kPa	c' kPa	ϕ' [°]	Dr [%]	Es Mpa
0,00 – 9,70/9,80	1. Argilla, limo argilloso	16.2 ÷ 17.7	63 ÷ 123	5	/	/	21 ÷ 36
1.30 – 4,45	2A. Sabbia limosa / limo sabbioso	16.8	/	1	34	29	25
5,60/6,30 – 6,45/7,10	2B. Sabbia limosa / limo sabbioso	17.2 ÷ 18.0	/	1	33 ÷ 36	34 ÷ 38	33 ÷ 41
9,70/9,80 – 12,80/13,45	3. Sabbia limosa / limo sabbioso	16.8 ÷ 18.1	/	1	34	26 ÷ 36	33 ÷ 52
12,80/13,45 – 15,00	4. Argilla, limo argilloso	17.3	142	5	/	/	34 ÷ 36
> 21,00	5. Sabbia e sabbia ghiaiosa	18.8 ÷ 20.5	/	0	38 ÷ 43	47 ÷ 70	97 ÷ 100

Falda: -1,70 m da p.c.

P.c. fondo naturale orizzontale: quota 21,00 / 22,00 m ca. s.l.m.m.



La prova Cptu4 è stata fatta nell'area di attraversamento dei cavidotti in sotterraneo (TOC) che allacceranno l'area industriale a quella di impianto con i servizi.

7 SISMICITA' DELL'AREA

Dal punto di vista tettonico – strutturale, il sistema di faglie del margine avanzato e sepolto dell'arco appenninico, connesse all'orogenesi appenninica (strutture geologicamente “attive”), determinano la sismicità del territorio e rientrano nelle sorgenti sismogenetiche composite (DISS Working Group, 2015). Il sito è collocato nella fascia sismogenetica composta ITCS011 “Ascensione – Armaia”, con Magnitudo max (Mw) 6.0 e nella sorgente sismogenetica individuale ITIS100 “Bagnacavallo” con Magnitudo max (Mw) 5.8 (fig. 1).

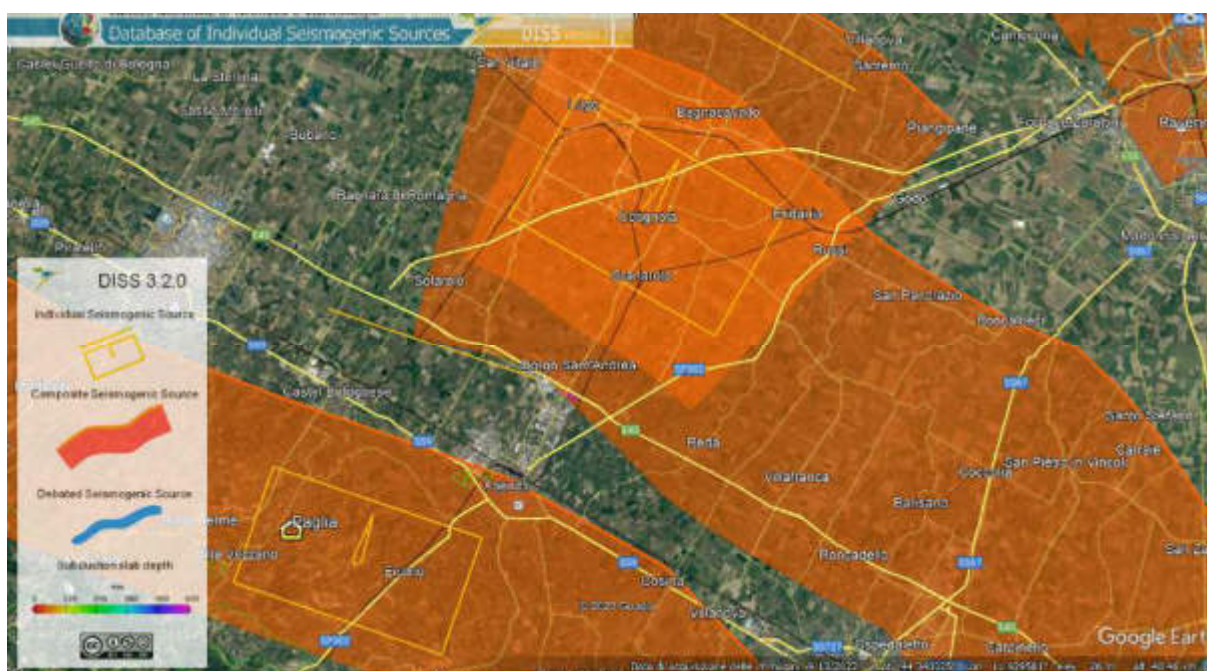


Fig. 1: Sorgenti sismogenetiche del database DISS 3.2.0

Sulla base degli indirizzi regionali per gli studi di microzonazione sismica e sulla pericolosità di base elaborata da INGV (O.P.C.M. 3519/2006) si può calcolare, per ogni Comune, gli accelerogrammi e lo spettro di risposta, riferito ad un periodo di ritorno di 475 anni e con smorzamento pari al 5%, nonché i valori di PGA (Peak Ground Acceleration) normalizzati e riferiti al suolo rigido.

Nel Comune di Faenza la PGA di riferimento su suolo rigido attribuita dalla Regione (Allegato A4 D.A.L. 112/2007) risulta 0,205g. Questo valore unico è calcolato mediando i dati di INGV alla scala nazionale (Gruppo di lavoro MPS04, 2004), sintetizzati nella Mappa di Pericolosità sismica nazionale MPS04 (fig. 2), che descrive



anch'essa la pericolosità sismica attraverso il parametro dell'accelerazione massima attesa su suolo rigido e pianeggiante, con una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, i cui valori però sono riferiti ad ogni punto di una griglia di calcolo costruita sul territorio nazionale con una densità di circa un punto ogni 5 km. Tale mappa è diventata riferimento ufficiale per il territorio nazionale con l'O.P.C.M. 3519/2006. L'area in esame appartiene alla zona sismogenetica 912, dove lo studio indica un valore di M_w max di 6,14.

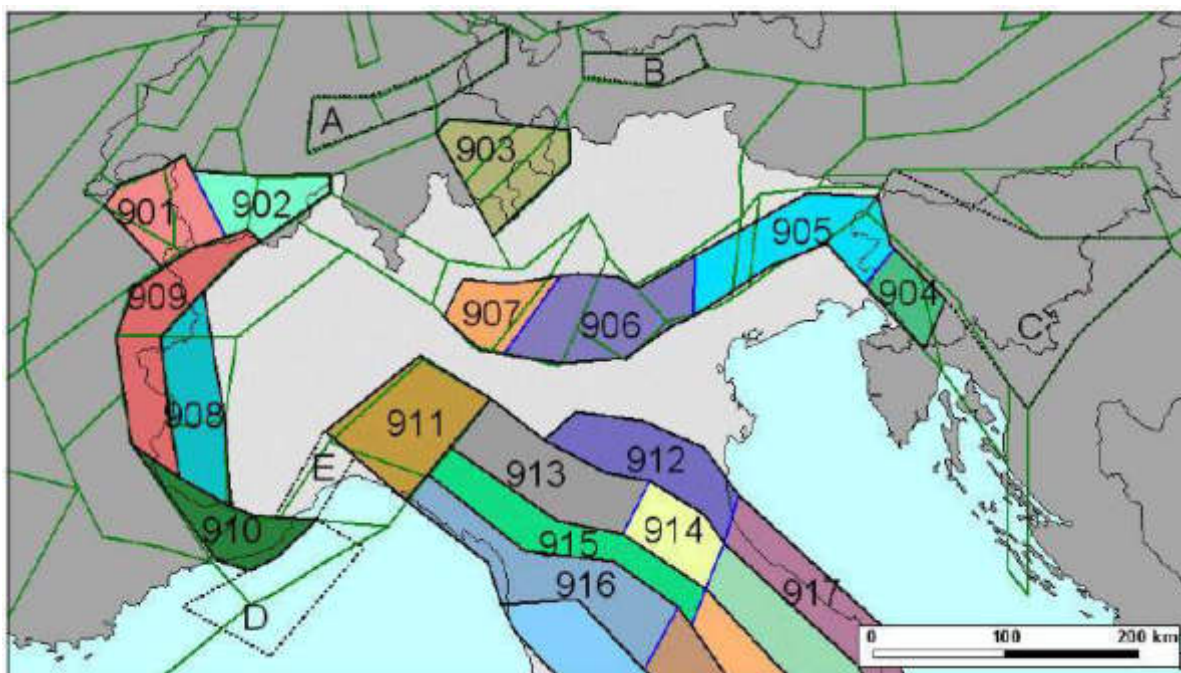


Fig. 2: Zonazione sismogenetica del territorio italiano ZS9

In materia di pericolosità sismica il Comune di Faenza dispone dello studio di microzonazione sismica – terzo livello di approfondimento [Sangiorgi S., Righini T., Milito A., 2015] (Delibera n. 1919/2013 Giunta RER, approvazione RER certificazione di conformità Prot. 253147 10/04/2018), che aggiorna i precedenti livelli di approfondimento (Marabini S., PSC 2009). In seguito al DGR 2193/2015 sono stati aggiornati gli indirizzi di studi di microzonazione sismica, come segue:

- definizione di un ulteriore parametro di amplificazione riferito all'intensità spettrale di Housner (per l'intervallo di periodo T compreso tra 0,5 s e 1,5 s);
- definizione dell'input sismico (ag al sito di riferimento) che ora è definito in base ai valori di pericolosità sismica elaborati dall'INGV per tutto il territorio nazionale sui punti di una griglia di passo pari a 0,05° (reticolo analogo a quello previsto per le NTC 2008);
- predisposizione di cartografie delle frequenze naturali (per gli studi "livello 1");

- stralcio degli approfondimenti di “livello 3” per la realizzazione di opere di rilevante interesse pubblico.

Il Comune di Faenza è stato classificato in zona sismica di seconda categoria. Tale classificazione (vedi fig. 3), secondo 4 classi a pericolosità sismica decrescente (zona 1: elevata sismicità, zona 2: media sismicità, ecc.) individua ciascuna zona secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo ag con probabilità di superamento del 10% in 50 anni. Per la zona 2 il valore di picco risulta pari a 0,25g.

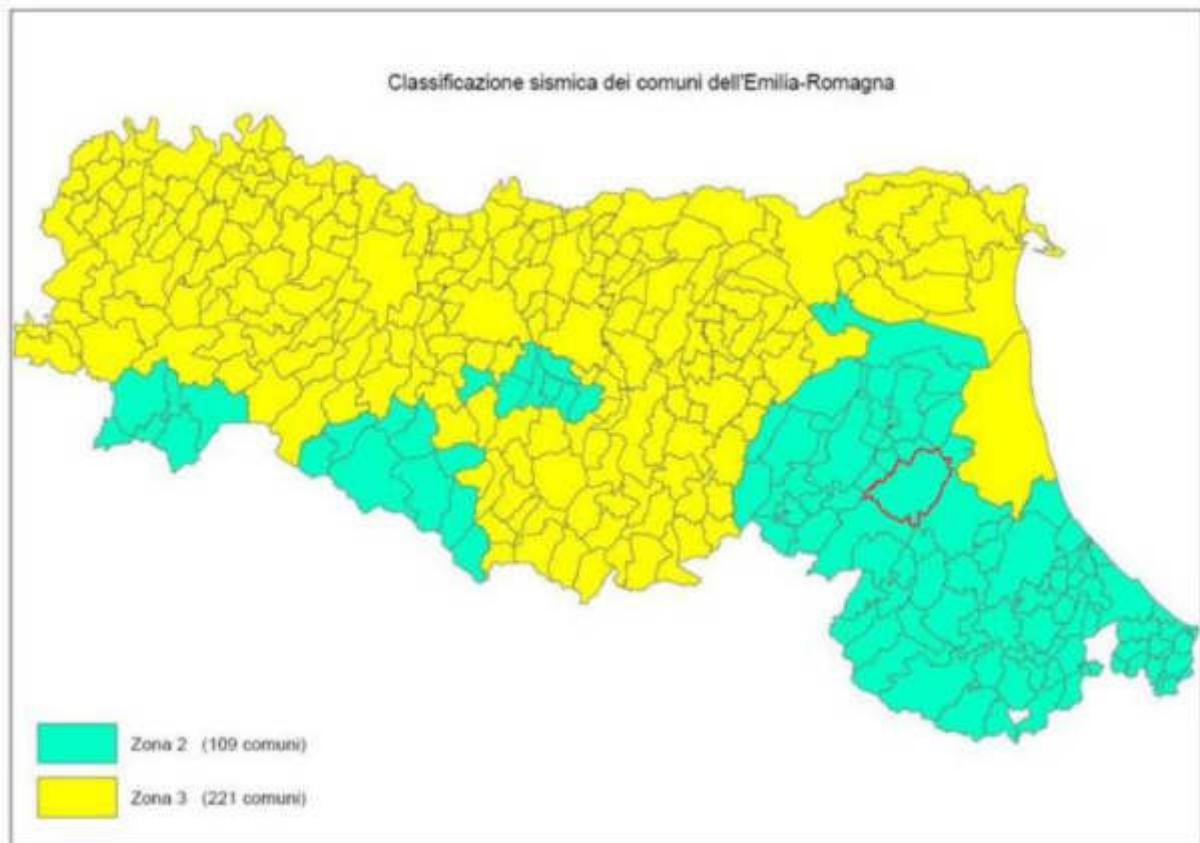


Fig 3: riclassificazione sismica dei Comuni dell'Emilia-Romagna (OPCM 3274/2003)

Il Comune di Faenza è soggetto ad una sismicità media rispetto alla realtà nazionale, con terremoti storici che hanno causato effetti di intensità (I_s) fino a 8 della scala MCS (Mercalli-Cancani-Seiberg) e magnitudo massima (M_w =Magnitudo Momento) pari a 5,88.

8 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO

Indagine sismica passiva HVSR

La campagna d'indagine geofisica è stata eseguita con metodologie a tomografia digitale, con lo scopo di ricostruire, per l'area in oggetto, il profilo della velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità (V_{s30}).



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, D.M. 17.01.2018).

Negli allegati 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. Nel post-processing, in correlazione con il modello geologico-geotecnico del sottosuolo si sono ricavate la V_s media nei primi 30 m di profondità.

Sono state eseguite quattro sessioni di misura. In tutte le analisi il sito presenta il picco fondamentale (18,44 – 23,97 Hz), molto superficiale. Il resto dell'amplificazione è molto bassa, dovuta alle ripetute alternanze tra terreni coesivi e depositi granulari. Infine il successivo picco fondamentale è molto profondo (0,85 – 1,07 Hz). Le curve fittate e i dati inseriti nel modello di calcolo si trovano negli allegati. Di seguito le V_s ricavate, mediante $V_s = 30 / \sum_i H_i / \sum_i V_i$ (D.M. 14.09.2005 e nel D.M. 14.01.2008, "Norme tecniche per le costruzioni"):

Indagine	V_s (0.0-30.0)	CATEGORIA DI SUOLO
Tr1	206 m/s	C
Tr2	217 m/s	C
Tr3	285 m/s	C
Tr4	182 m/s	C

Valori di V_{s30} pari a 206 / 217 / 285 / 182 m/s², 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.



Le quattro curve hanno un andamento pressoché simile, con un picco fondamentale, non molto elevato. Nelle strutture previste, con altezze variabili da 3,50 a 4,50 m, la frequenza tipica di risonanza teorica, nel primo modo vibrazionale, dovrebbe avere un range di $6,0 \div 9,0$ Hz. Nelle strutture con altezze variabili 12,00 m, la frequenza tipica di risonanza teorica, nel primo modo vibrazionale, dovrebbe essere di $5,0 \div 5,5$ Hz.

La bassa impedenza e lo sfasamento della frequenza tra il I° flessionale e la frequenza degli edifici non forniscono effetti di accoppiamento, con conseguente aumento degli effetti vibrazionali in caso di evento sismico per le strutture più basse.

9 RISPOSTA SISMICA LOCALE

Il Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008 (“Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”), aggiornato dal D.M. del 17/1/2018, definisce i criteri antisismici generali. Le azioni devono essere impiegate in fase progettuale per la sicurezza strutturale delle opere. L’azione sismica sulle costruzioni è valutata partendo da una “pericolosità sismica di base”, derivata da studi eseguiti a livello nazionale e definita sulla base di condizioni ideali in superficie di suolo rigido e topografia orizzontale.

Le Azioni di progetto, per un suolo rigido orizzontale, vengono ricavate in funzione di tre parametri:

- a_g = accelerazione orizzontale massima;
- F_o = fattore di amplificazione massimo dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* = periodo inizio tratto costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Tali parametri vengono inoltre definiti secondo termini probabilistici differenti, con periodi di ritorno TR di 30, 50, 475, 975 anni. Per tale motivo, ai fini progettuali, occorre fissare la vita di riferimento VR della costruzione e la probabilità di superamento associata a ciascuno degli stati limite considerati.

I valori dei parametri a_g , F_o e T_c^* per la definizione dell’Azione Sismica possono essere calcolati mediante l’utilizzo del programma di calcolo online GEOSTRU PS, in cui vengono generati accelerogrammi relativi alla pericolosità sismica del sito.

Introducendo le coordinate geografiche (latitudine 44.625 e longitudine 10.604) del sito di riferimento, si individua il reticolo d’appartenenza.



Si inseriscono successivamente i valori di vita della struttura e le caratteristiche sismiche del terreno, per ottenere gli spettri di risposta sismica locale, che si riassumono nelle tabelle seguenti.

Caratteristiche geografiche della località in esame	
LATITUDINE [°]	44.319255
LONGITUDINE [°]	11.904199
Altitudine [m s.l.m.]	23.00
g locale [m/s ²]	9.78521

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

PARAMETRI SISMICI						
	SL	PVR [%]	Tr [anni]	ag [m/s ²]	Fo [-]	Tc* [s]
SLO	OPERATIVITA'	81	45	0.078	2.404	0.268
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

CARATTERISTICHE SISMICHE - TOPOGRAFICHE	
Tipo	Stabilità dei pendii e fondazioni
Categoria suolo	C
Categoria Topografia	T1

FATTORI DI AMPLIFICAZIONE					
		SLO	SLD	SLV	SLC
Amplificazione Stratigrafica	SS	1.50	1.50	1.47	1.14
Coeff. Funz. Categoria	CC	1.66	1.63	1.59	1.57
Amplificazione topografica	ST	1.00	1.00	1.00	1.00

COEFFICIENTI SISMICI				
	SLO	SLD	SLV	SLC
Kh [-]	0.024	0.030	0.088	0.101
Kv [-]	0.012	0.015	0.044	0.051
Amax [m/s ²]	1.154	1.453	3.068	3.552
Beta [-]	0.200	0.200	0.280	0.280

Elaborando i dati forniti, il programma di calcolo ha valutato l'accelerazione massima attesa al sito mediante la relazione:



$$a_{\max} = S_s \times S_t \times a_g$$

con:

S_s = coefficiente che tiene conto dell'effetto dell'amplificazione stratigrafica;

S_t = coefficiente che tiene conto dell'effetto dell'amplificazione topografica;

a_g = accelerazione orizzontale massima sul suolo di categoria A.

Nel caso in esame potrà essere assunto:

VN	Classe d'Uso	Stato limite SLV e TR (Paragrafo 7.1 D.M. 17.01.2018)		
50 anni	II	475 anni		
Categoria topografica	Categoria sottosuolo	S_s	S_t	a_g
T1	C	1.47	1.0	0.160 g

Sulla base dei dati sopra riportati risulta pertanto che:

$$a_{\max} = S_s \times S_t \times a_g = 1.47 \times 1.0 \times 0.160 = 0.235 \text{ g.}$$

10 MICROZONAZIONE SISMICA

Secondo il DGR 2193/2015, aggiornato con il DGR 630/2019, il DGR 476/2021 aggiornato con il DGR 564/2021, integranti la Delibera Regionale 112/2007, della Regione Emilia Romagna, si forniscono i criteri per l'individuazione delle aree che potrebbero essere soggette ad effetti sismici locali (microzonazione sismica). La metodologia prevede due fasi di analisi, con diversi livelli di approfondimento.

Prima fase: di tipo qualitativo, identifica le parti di territorio suscettibili di effetti locali (amplificazione del segnale sismico, cedimenti, instabilità dei versanti, fenomeni di liquefazione, rotture del terreno, ecc.). Realizzata sulla base di rilievi, osservazioni e valutazioni di geologiche e geomorfologiche, a scala territoriale, associati a informazioni su effetti indotti dai terremoti passati.

Seconda fase: determinare la microzonazione sismica del territorio. In base agli scenari ricavati dalle analisi svolte in prima fase, si attuano due diversi livelli di approfondimento:

- Analisi Semplificata (secondo livello di approfondimento): con acquisizione di dati geologici e geomorfologici dettagliati, prove geofisiche in sito e prove geotecniche standard. Svolta nelle aree pianeggianti, sub-pianeggianti, zone di fondovalle



appenniniche con stratificazione orizzontale e suborizzontale, e su versanti stabili con acclività $\leq 15^\circ$ e deposito con spessore costante.

b) Analisi Approfondita (terzo livello di approfondimento), richiesta nei casi:

- Aree soggette a liquefazione e densificazione;
- Aree instabili e potenzialmente instabili;
- Aree con coperture a spessore fortemente variabile, es. aree pedemontane e di fondovalle a ridosso dei versanti;
- Aree con realizzazione di opere di rilevante interesse pubblico.

Nell'analisi di terzo livello è inclusa anche quella di secondo livello.

Secondo quanto riportato nella carta di sintesi delle aree suscettibili di effetti locali del Comune di Faenza (Tav. B.3.3.1.a) l'area in esame ricade tra quelle che necessitano di analisi semplificata di II livello.

Nell'analisi semplificata di secondo livello si valutano i fattori di amplificazione FA, in base alle velocità medie delle onde di taglio all'interno della copertura [VsH o Vs30].

I fattori stimati esprimono l'amplificazione del moto sismico al passaggio dal bedrock alla superficie.

I FA sono calcolati per un tempo di ritorno $TR=475$ anni, con smorzamento $\zeta=5\%$, e sono i seguenti:

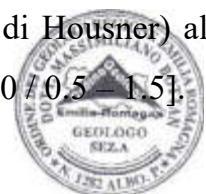
- accelerazione di picco orizzontale (PGA): espressa in m/s^2 o in multipli di g, è la massima accelerazione in superficie dovuta al terremoto, registrata con accelerometri o prevedibile. Secondo il PGA il territorio si suddivide in 4 zone:

ZONA	PGA
1	$0.25g < PGA \leq 0.35g$
2	$0.15g < PGA \leq 0.25g$
3	$0.05g < PGA \leq 0.15g$
4	$PGA \leq 0.05g$

- intensità spettrale SA: spettro di risposta in accelerazione alla superficie, riferita a 4 intervalli di periodo T [0.1-0.5 / 0.4-0.8 / 0.7-1.1 / 0.5-1.5].

	T1 [s]	T2 [s]
SA1	0.1	0.5
SA2	0.4	0.8
SA3	0.7	1.1
SA4*	0.5	1.5

- intensità spettrale SI: spettro di risposta in velocità (Intensità di Housner) alla superficie del sito, riferita a tre intervalli di periodo T [0.1 – 0.5 / 0.5 – 1.0 / 0.5 – 1.5].



	T1 [s]	T2 [s]
SI1	0.1	0.5
SI2	0.5	1.0
SI3*	0.5	1.5

*SA4 e SI3 solo per aree di pianura e costa.

Per l'analisi semplificata di secondo livello, si ricavano i fattori di amplificazione (FA), ovvero lo scuotimento sismico in rapporto alla categoria di suolo, si fa riferimento alle tabelle empiriche relative al settore geologico – geomorfologico d'appartenenza.

La scelta delle tabelle è fatta in funzione delle indagini geotecniche e sismiche, con cui si definisce lo spessore H del deposito di copertura e la velocità equivalente delle onde di taglio per lo spessore considerato (V_sH e V_{s30}) del deposito di copertura.

Dai dati delle indagini pregresse, da cartografia geologica e dai profili, il sito si trova in un ambiente di pianura. È presente una copertura di 20 m di terreno fine (limi, argille, sabbie), poco consolidato, poggiante su un orizzonte grossolano (sabbie, ghiaie, sabbie ghiaiose, ghiaie sabbiose); a profondità di 200 m si trova il substrato geologico pleistocenico di sabbie gialle (IMO). Le indagini sismiche hanno restituito una V_{s30} di $182 \div 285$ m/s.

Per la pianura e la costa vi sono diversi ambienti caratterizzati da differenti caratteristiche litostratigrafiche, con diversa profondità del substrato rigido. Per il sito la tabella di riferimento per la stima FA è quella di MARGINE di tipo B.

MARGINE di tipo B: settore di transizione tra la zona collinare (Appennino) e la pianura caratterizzato dallo spessore dei terreni superficiali fini o grossolani poco consolidati superiore a 30 m; la successione sottostante è costituita da alternanze di orizzonti grossolani e orizzonti fini.; le tabelle di riferimento è la seguente:

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

Fattore di Amplificazione PGA

V_{s30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SA1	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7	1,5
SA2	2,6	2,6	2,3	2,1	1,9	1,7
SA3	3,1	2,9	2,7	2,4	2,3	2,1
SA4	3,0	2,9	2,6	2,3	2,1	1,9

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

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

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



Dai valori ricavati con rilievi VHSR, il valore predominante di circa 200 m/s di V_{s30} , si ritiene opportuno adottare i seguenti fattori di amplificazione:

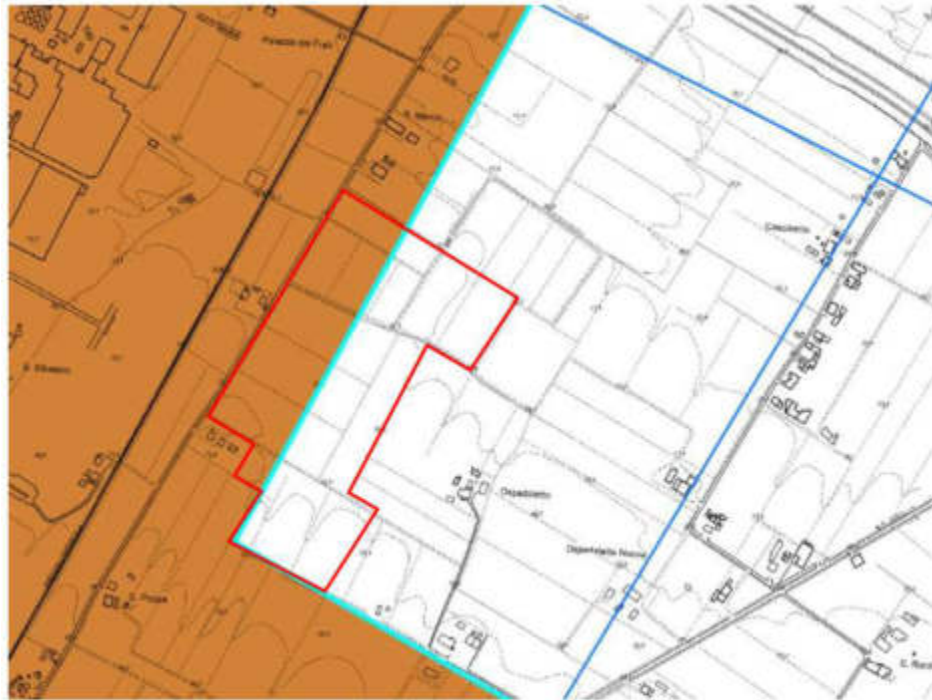
PGA F.A. = 1.6			
SA1 = 1.8	SA2 = 2.6	SA3 = 2.9	SA4 = 2.9
SI1 = 1.9	SI2 = 2.8		SI3 = 3.1

In riferimento alle ultime normative sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (DGR 476/2021 e DGR 564/21), L'Unione della Romagna Faentina ha realizzato lo studio di microzonazione sismica di terzo livello. Il Comune di Faenza ha così prodotto la seguente cartografia [scala 1:10.000]:

- A. Carta delle indagini
- B. Carta geologico-tecnica, per la Microzonazione sismica: elementi geologici e morfologici locali d'interesse per l'analisi della pericolosità sismica, in particolare quelli che possono modificare il moto sismico in superficie. Legenda: terreni di copertura, substrato geologico, forme di superficie e sepolte, zone di instabilità, elementi tettonico – strutturali, elementi geologici e idrogeologici. [Fig. B]
- C. Carta delle frequenze naturali dei terreni, da indagini speditive di sismica passiva (HVSr sulle vibrazioni ambientali): punti di misura, risultato della prova (valore del picco più significativo nell'intervallo 0.2÷20 Hz, corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale f_0 , e di altri picchi significativi o indicazione dell'assenza di picchi).
- D. Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica – MOPS. Legenda: zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, zone di attenzione per l'instabilità, forme di superficie e sepolte, punti di misura di rumore ambientale. [Fig. D]
- E. Carta delle velocità delle onde di taglio V_s : punti di misura con indicazione la metodologia di indagine e il valore di V_{SH} (in m/s).
- F. Carta della microzonazione sismica di Livello 3 (a). Legenda: zone suscettibili di amplificazioni locali [Fa (PGA)], zone di attenzione per instabilità. [Fig. F]
- G. Carta della microzonazione sismica di Livello 3 (b). Legenda: zone suscettibili di amplificazioni locali [Fa ($SI_{0.1-0.5s}$)], zone di attenzione per instabilità. [Fig. G]
- H. Carta della microzonazione sismica di Livello 3 (c). Legenda: zone suscettibili di amplificazioni locali [Fa ($SI_{0.5-1.0s}$)], zone di attenzione per instabilità. [Fig. H]

Di seguito gli estratti utili di queste Carte dalle zonizzazioni prodotte nell'ambito degli studi di microzonazione sismica (III livello di approfondimento).





Terreni di copertura



ML

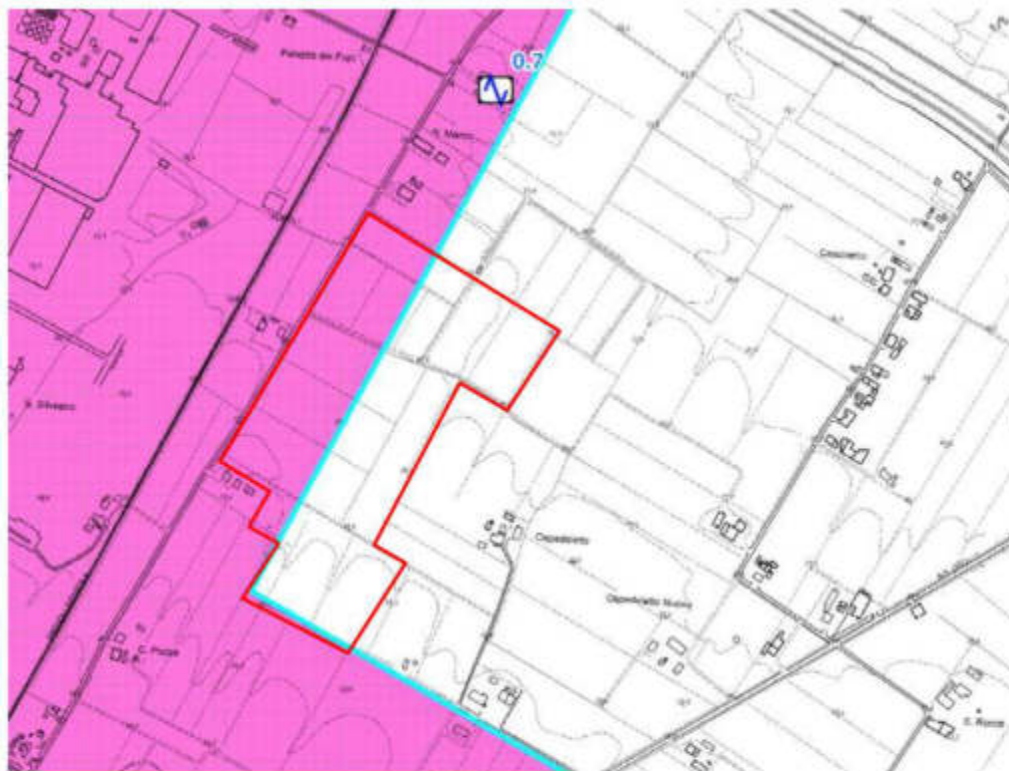
Tessiture prevalenti nei primi 6 metri: limi inorganici, sabbie fini limose o argillose e limi argillosi di bassa plasticità. Ambienti deposizionali di terrazzo fluviale (tf) o piana inondabile (pi).



CL

Tessiture prevalenti nei primi 6 metri: argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille limose e argille sabbiose. Ambienti deposizionali di terrazzo fluviale (tf) o piana inondabile (pi).

Fig. B: Estratto della Carta geologico-technica del Comune di Faenza (Studio di microzonazione sismica – terzo livello di approfondimento, Tav2d1)



Zone di attenzione per instabilità

2025

ZA.LQ1 – Zona di attenzione per liquefazione.
Zona 2025 – Media e bassa pianura con successioni di alluvioni prevalentemente fini (AESL, AESM), con locali intervalli di sabbie e/o sabbie ghiaiose sature nei primi 25 m. Substrato sismico alluvionale "non rigido" a profondità > 120 m (Pianura 2).

Fig. D: Estratto della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica del Comune di Faenza, MOPS (Studio di microzonazione sismica – terzo livello di approfondimento, Tav4d1_MS01)



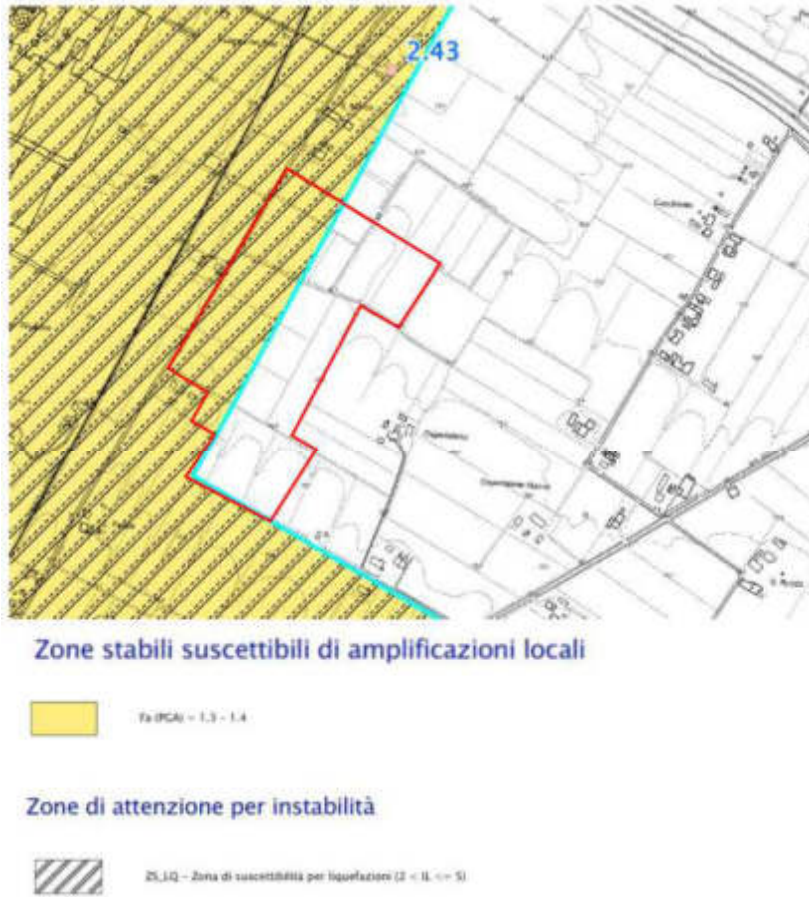


Fig. F: Estratto della Carta di microzonazione sismica di terzo livello Fa (PGA) del Comune di Faenza (Studio di microzonazione sismica – terzo livello di approfondimento, Tav6d1_MS03)

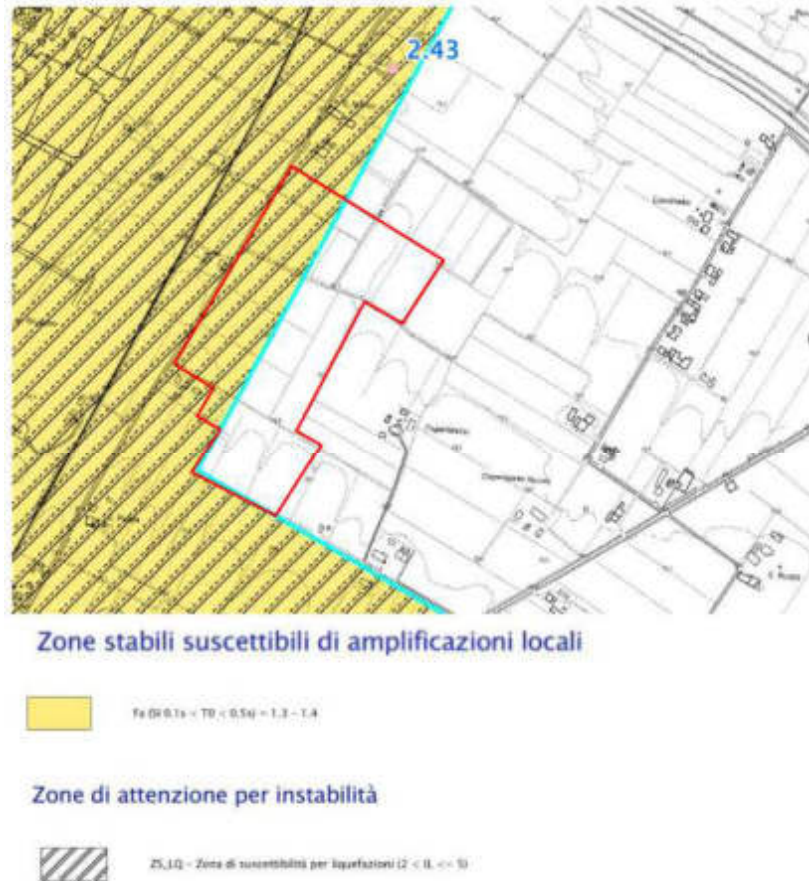


Fig. G: Estratto della Carta di microzonazione sismica di terzo livello Fa ($SI\ 0.1s < T_0 < 0.5s$) del Comune di Faenza (Studio di microzonazione sismica – terzo livello di approfondimento, Tav7d1_MS03).



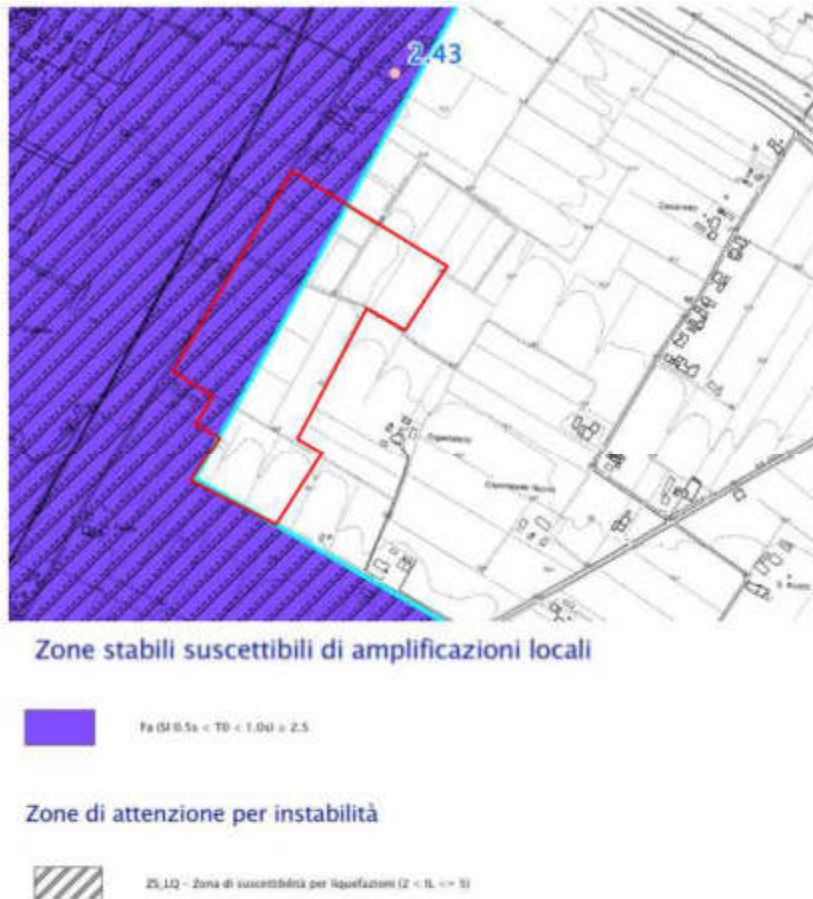


Fig. H: Estratto della Carta di microzonazione sismica di terzo livello Fa ($SI\ 0.5s < T_0 < 1.0s$) del Comune di Faenza (Studio di microzonazione sismica – terzo livello di approfondimento, Tav8d1_MS03).

11 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 dei livelli critici per la liquefazione, dovuti ad una componente granulare mista. Dall'analisi il potenziale di liquefazione (LPI) risulta a rischio basso. La gravità di liquefazione (LSN) risulta da minima a nulla, e la probabilità (PL) che si manifesti un evento di liquefazione risulta a bassa probabilità. I valori variano a seconda del punto indagato. I cedimenti totali dovuti alla liquefazione, su una profondità massima di 15,00 m, risultano da alti a nulli per i cedimenti verticali, nulli per quelli orizzontali (Boulangier et Idriss – 2014).

I valori sono riassunti nella tabella sottostante:



Punto	LPI	LSN	PL (%)	Cedim. Vert. (cm)	Cedim. Orizz.(cm)
CPTU1	2.64	8.98	7.47	8.69	0.00
CPTU2	1.35	4.02	5.74	3.25	0.00
CPTU3	0.04	1.15	4.38	1.47	0.00
CPTU4	0.05	0.52	4.39	0.32	0.00

L'area non evidenzia segni di dissesto in atto o di affioramenti idrici. La falda idrica risulta ad una profondità d'influenza nulla per le fondazioni 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.

12 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU) GEOTECNICO

Dopo la caratterizzazione e modellazione geologica e sismica del sito d'interesse, e la ricostruzione di un modello geotecnico, si considerano le scelte pre-progettuali, che determineranno il vincolo tra caratteristiche geotecniche del terreno e 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+R1), tenendo conto delle riduzioni dei coefficienti parziali della seguente Tabella 6.2.II.

PARAMETRO	Grandezza cui applicare il Coef. Parz.	Coef. Parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tang. ang. di resistenza al taglio	$\tan\phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,0	1,0

Tabella 6.2.II

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.

Magazzino – Condizione non drenate:

Approccio 2 - Combinazione 1 (A1+M1+R3)			
Fondazione:	superficiale	Parametri del terreno	
Larghezza (B)	24.00 m	Coesione Su_k	63.0 kPa
Lunghezza (L)	38.00 m	Angolo di attrito ϕ'	0°
Profondità (D)	- 0.60 m	Peso di volume γ	1750 kN/m ³
Carico limite allo SLU		105.70 kPa [1.08 kg/cm ²]	



Serbatoi – Condizione non drenate:

Approccio 2 - Combinazione 1 (A1+M1+R3)			
Fondazione:	superficiale	Parametri del terreno	
Larghezza (B)	7.50 m	Coesione Su_k	83 kPa
Lunghezza (L)	17.20 m	Angolo di attrito ϕ'	0°
Profondità (D)	- 0.60 m	Peso di volume γ	1750 kN/m ³
Carico limite allo SLU		133.38 kPa [1.36 kg/cm ²]	

Serra elemento singolo – Condizione non drenate:

Approccio 2 - Combinazione 1 (A1+M1+R3)			
Fondazione:	superficiale	Parametri del terreno	
Larghezza (B)	12.30 m	Coesione Su_k	63 kPa
Lunghezza (L)	95.00 m	Angolo di attrito ϕ'	0°
Profondità (D)	- 0.60 m	Peso di volume γ	1750 kN/m ³
Carico limite allo SLU		96.88 kPa [0.99 kg/cm ²]	

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali seguendo l'Approccio 2 – Combinazione 1 (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 0,60 m dal piano campagna o di un terreno rinforzato a calce, per caratteristiche prevalentemente argillose. 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 -15,00 m da p.c., si rimanda al paragrafo 13 e agli Allegati.



13 CONSIDERAZIONI EDIFICATORIE

La verticale d'indagine risulta costituita da terreni eterogenei, prevalentemente coesivi con molte intercalazioni granulari, con consistenze variabili da medie (granulari) a medio-alte (coesivi).

Da progetto verranno edificate varie strutture. Le principali saranno serre contigue, cui ogni unità avrà un ingombro di 1216 mq, per un'altezza di 4,50 m.

Il magazzino / deposito avrà un ingombro di 912 mq con altezza di 3,50 m.

I serbatoi avranno un ingombro di 129 mq con altezza di 12 m.

Altra struttura presente sarà una vasca di laminazione scavata 2 m al di sotto del p.c. e con un argine di 1 m fuori terra, che occuperà un areale di 3600 mq ca.

Le fondazioni dei serbatoi e del magazzino arriveranno a -0,60 m da p.c., quelle delle serre saranno tal quale ma con rinforzo a calce o calce / cemento.

Nei test di simulazione del carico progettuale hanno prodotto cedimenti primari e secondari come segue in tabella:

Struttura	Cedim. Primari [cm]	Cedim. Secondari [cm]	Cedim. Totali [cm]
Magazzino	-0.02	0.00	-0.02
Serbatoi	0.75	0.16	0.91
Serre (unità)	-0.29	0.23	-0.07
Vasche	0.18	0.00	0.18

Per tutte le tipologie di strutture i cedimenti saranno praticamente nulli irrilevanti.

Dal punto di vista geotecnico, data la natura dei terreni, e la distribuzione del carico strutturale, si ritiene che le scelte delle fondazioni siano adeguate.

Dal punto di vista sismico, c'è una bassa probabilità di liquefazione, nel caso di evento sismico importante, leggermente maggiore a N, che porterebbe una conseguente riduzione stratigrafica variabile da 8,7 a 0,3 cm. Sia il potenziale che la gravità di liquefazione risultano lievemente differenti, entrambi bassi.

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



CONCLUSIONI

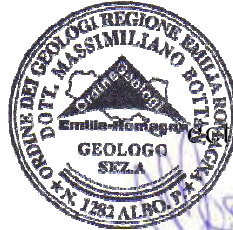
Dalle indagini eseguite si può stabilire quanto segue:

1. Verticale d'indagine: terreni eterogenei, prevalentemente coesivi con molte intercalazioni granulari. Consistenze: variabili da medie (granulari) a medio-alte (coesivi).
2. Falda principale: molto profonda, con sovrapposizione di alcune falde secondarie. Livello di prima falda: -1,70 m da p. c. Permeabilità: media ($10^{-6} < K < 10^{-7}$ m/s).
3. Progetto preliminare strutturale: serre contigue, ogni unità avrà un ingombro di 1216 mq, e un'altezza di 4,50 m; il magazzino / deposito avrà un ingombro di 912 mq e altezza di 3,50 m; due serbatoi con ingombro totale di 129 mq e altezza di 12 m ciascuno; vasca di laminazione scavata 2 m al di sotto del p.c. e con un argine di 1 m fuori terra, che occuperà un areale di 3600 mq ca. Fondazioni: a platea (-0,60 m da p.c.) per magazzino e serbatoi, terreno rinforzato a calce per serre e vasca di laminazione.
4. Capacità portante superficiale del terreno: adeguata ($0,99 \div 1,36$ kg/cm², a seconda della zona). Cedimenti: praticamente nulli ($-0,1 \div 0,9$ cm). Fondazioni adeguate.
5. V_{s30}: $182 \div 285$ m/s. Classificazione terreno di fondazione: C, $15 < N_{SPT} < 15$, $70 < C_u < 250$ kPa.
6. Picco fondamentale curva media H/V: $18,44 \div 23,97$ Hz, molto superficiale. Frequenza delle strutture: $6,0 \div 9,0$ Hz e $5,0 \div 5,5$ Hz; esclusi effetti di accoppiamento, con aumento degli effetti vibrazionali in caso di evento sismico.
7. Potenziale di liquefazione: basso ($0,04 \div 2,64$); Gravità di liquefazione: da minima a nulla ($0,52 \div 8,98$); Probabilità di liquefazione: bassa ($4,38 \div 7,47$ %); eventuali Cedimenti verticali stimati: $0,3 \div 8,7$ cm in caso di evento sismico importante.
8. Microzonazione sismica: MARGINE di tipo B, PGA 1,6; SA1 1,8; SA2 2,6; SA3 2,9; SA4 2,9; SI1 1,9; SI2 2,8; SI3 3,1.



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 aprile 2023



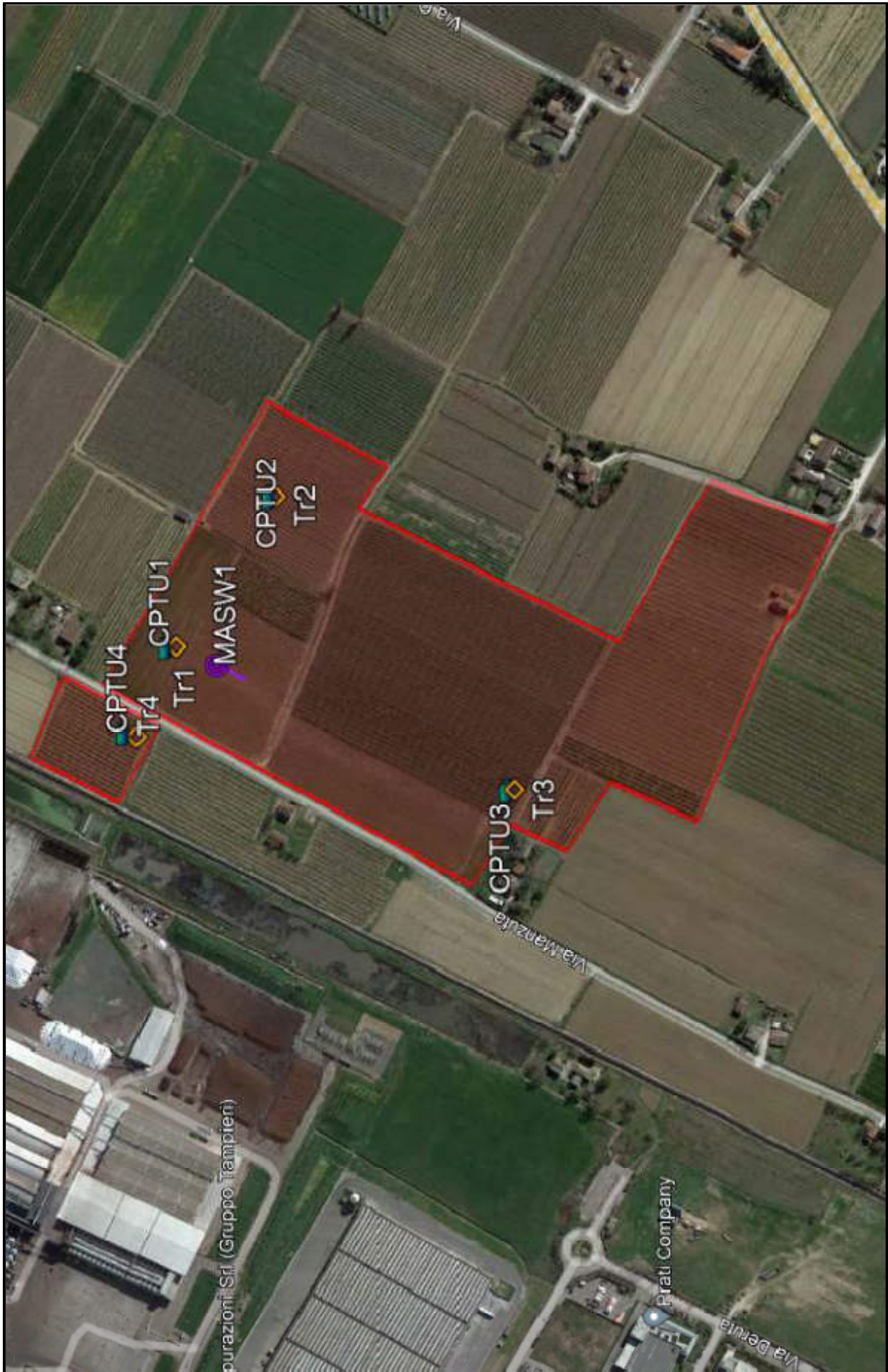
geol. Massimiliano Bottan



14 ALLEGATI

- ✓ Corografia dell'area con area d'intervento e ubicazione delle prove
- ✓ Planimetria con particelle catastali e ubicazione delle prove
- ✓ Diagrammi delle prove penetrometriche statiche Cptu1, Cptu2, Cptu3, Cptu4, 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 Tr1, Tr2, Tr3, Tr4: 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).





Corografia dell'area con i punti di indagine.

PLANIMETRIA GENERALE
 con particelle catastali, punti di indagine
 geotecnica e sismica

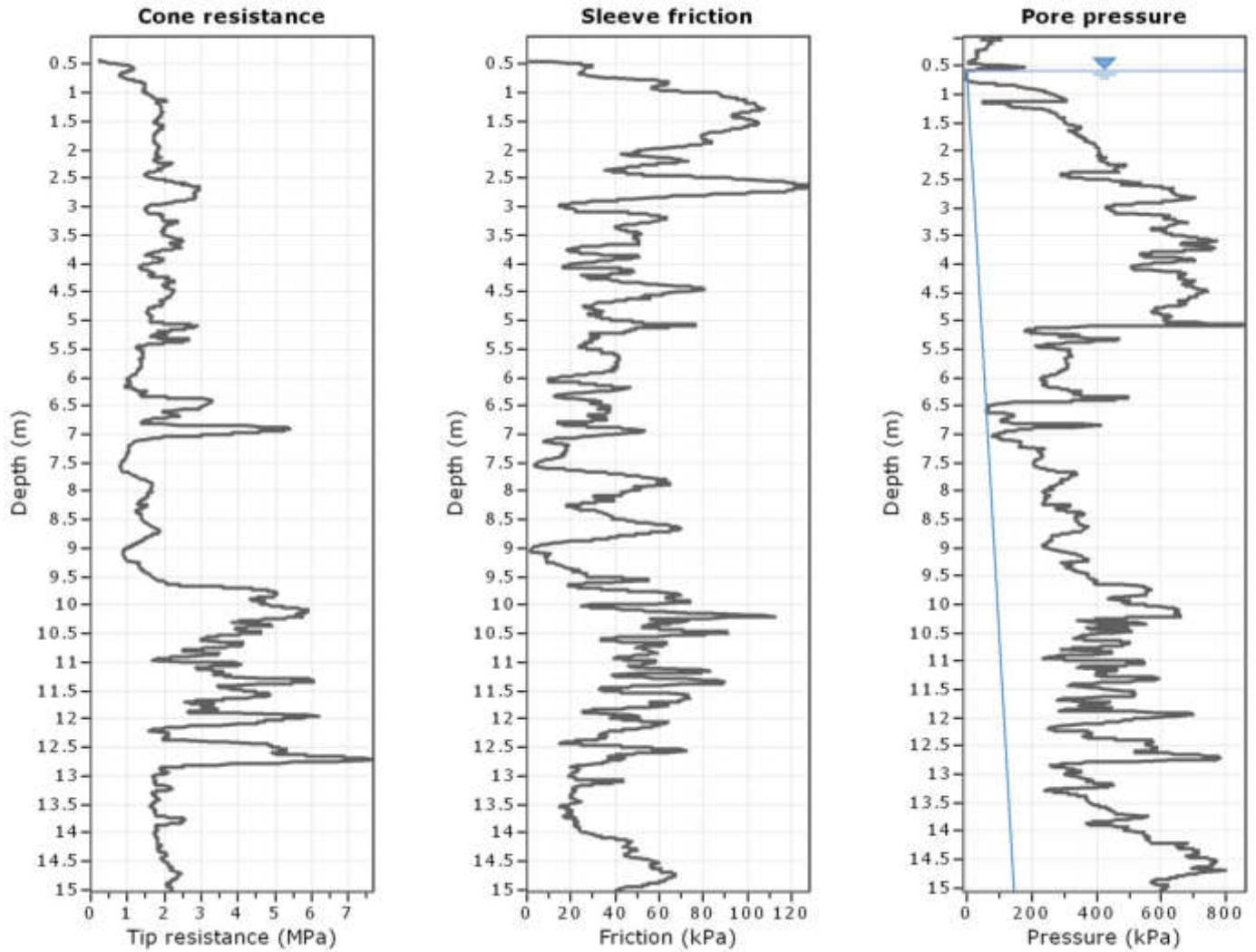


○	Prove CPTU
◇	Prove HVSR
—	Prove MASW

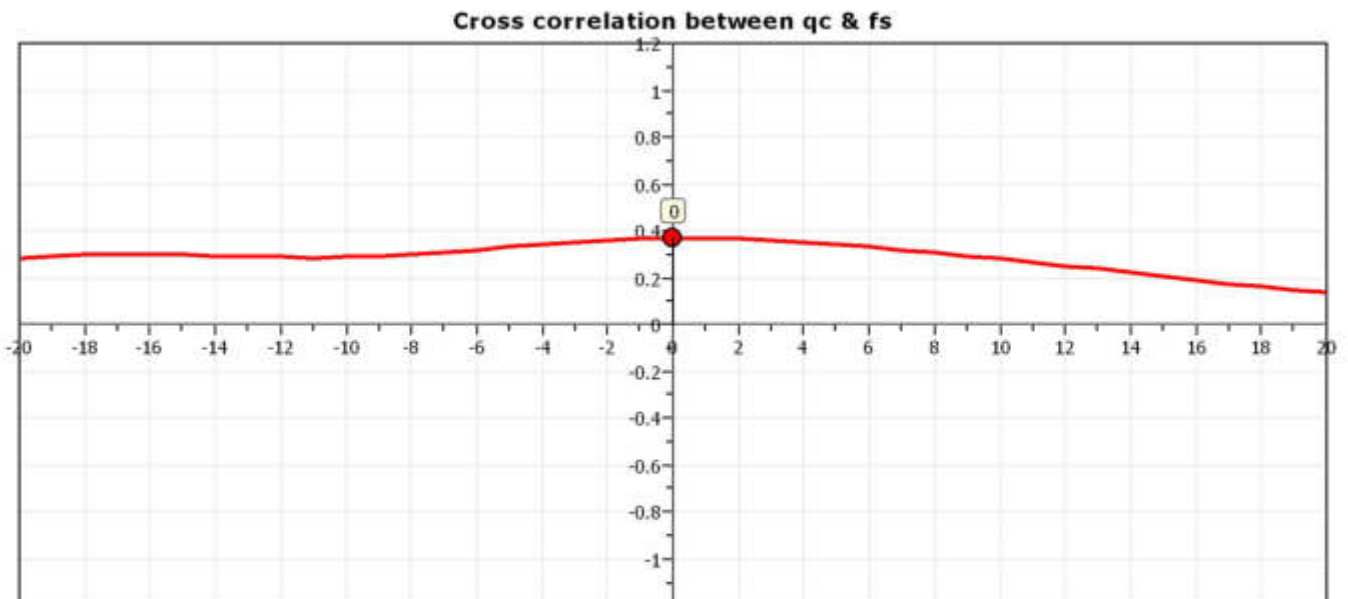




Project: Tampieri Serre
Location: via Manzuta, Faenza (RA)

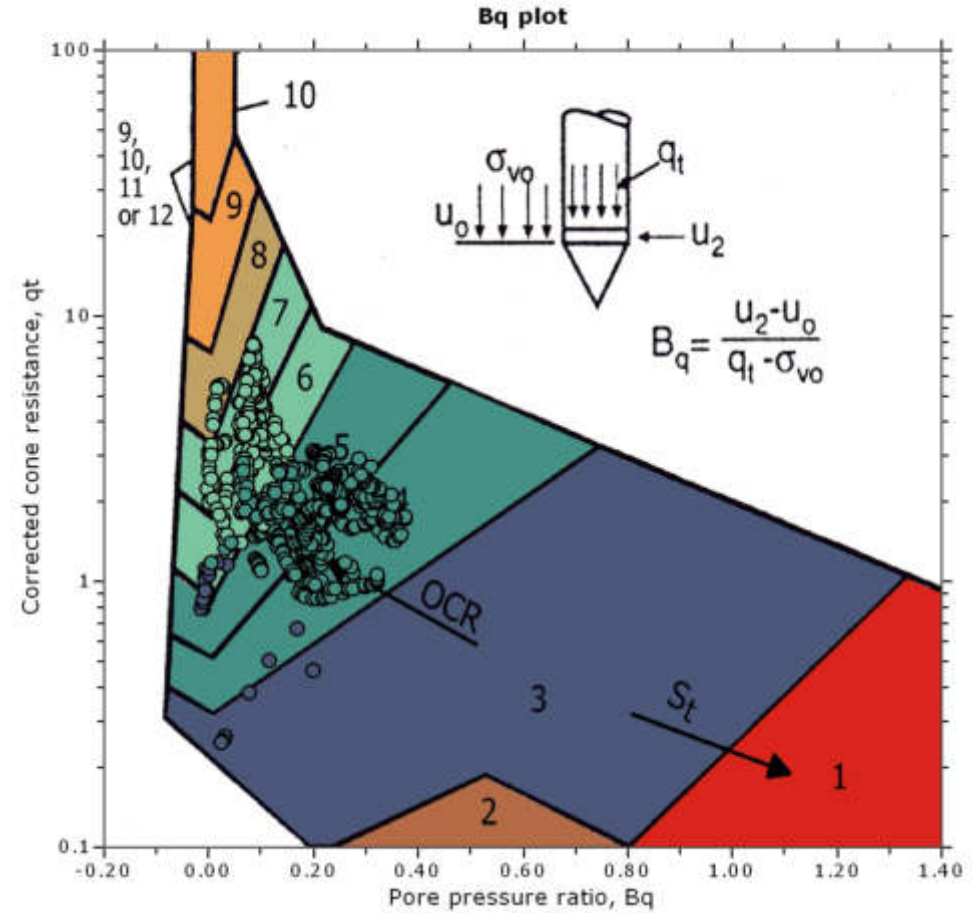
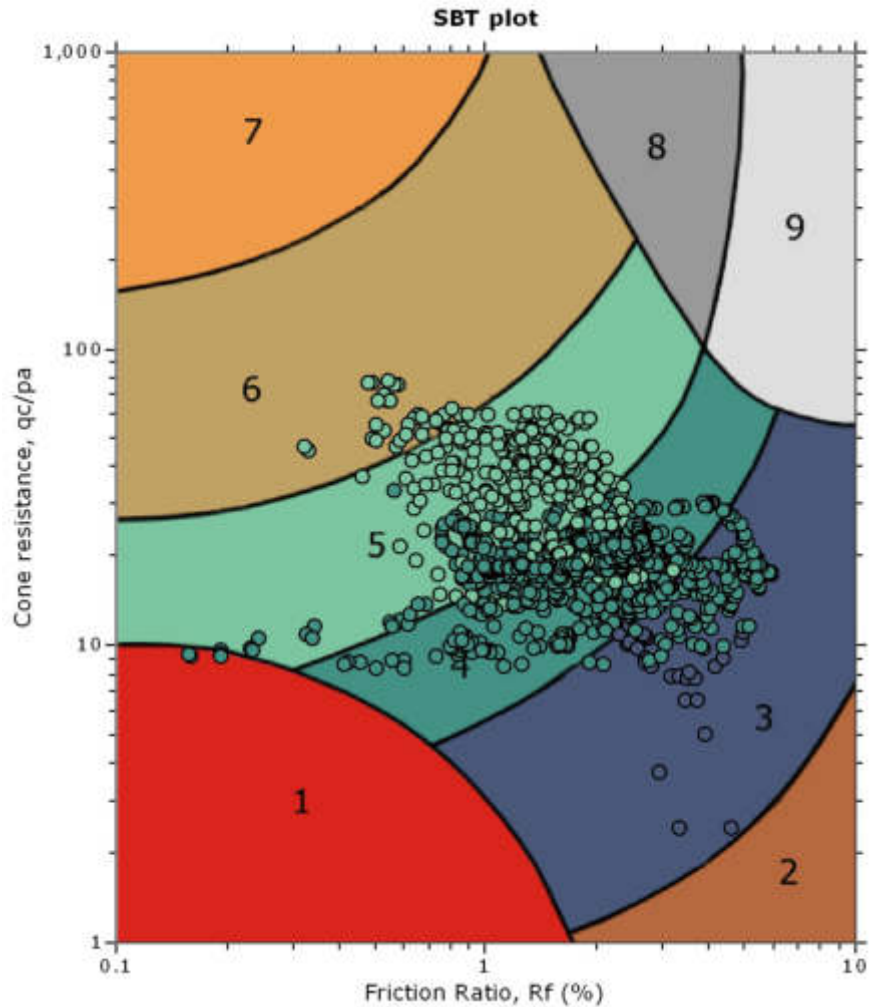


The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw q_c and f_s values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).





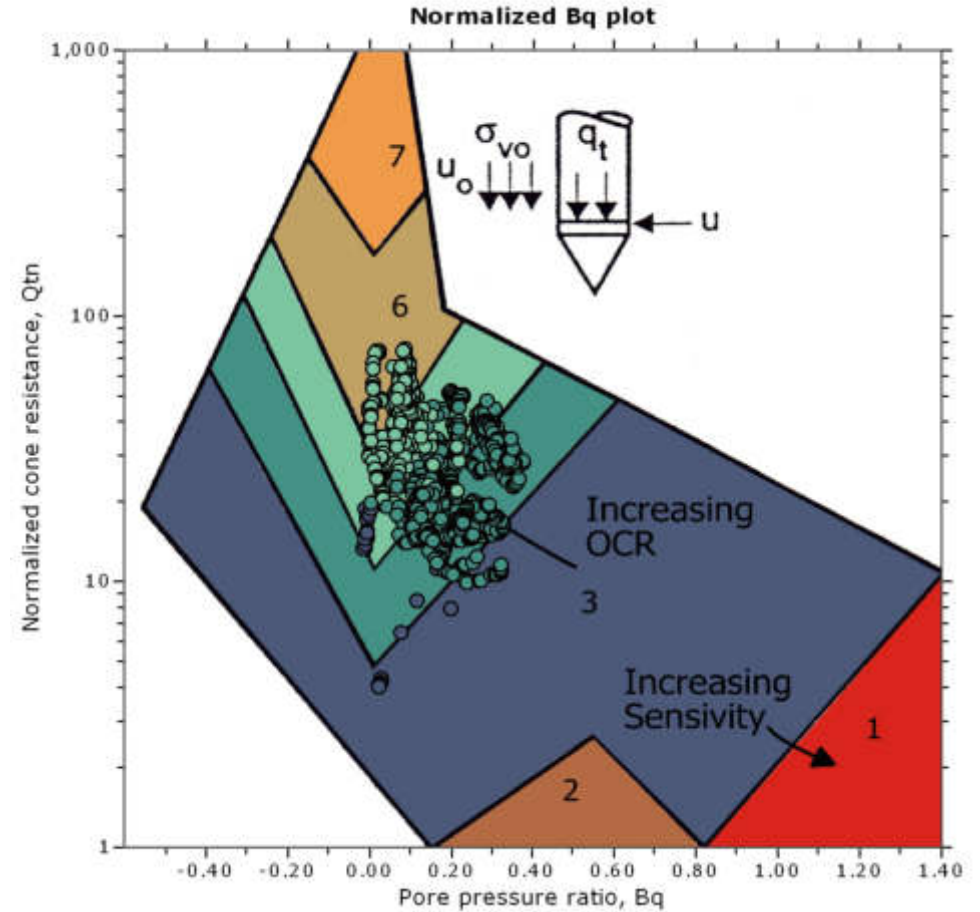
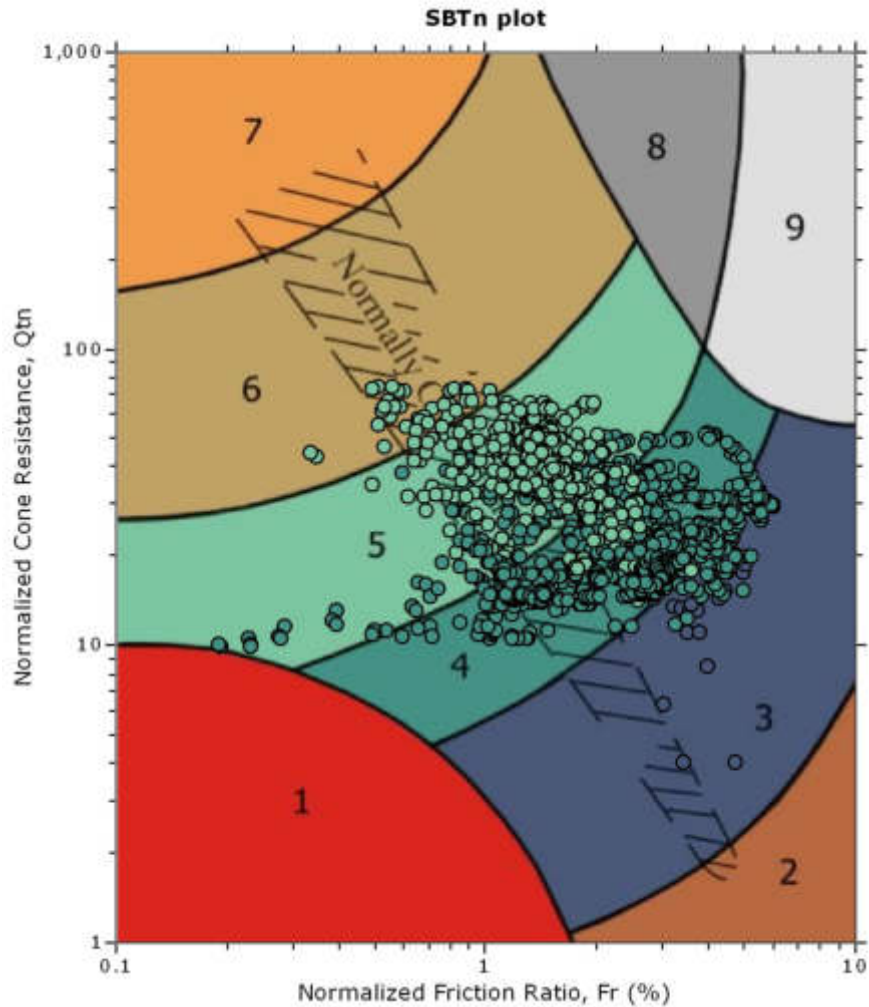
SBT - Bq plots



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



SBT - Bq plots (normalized)

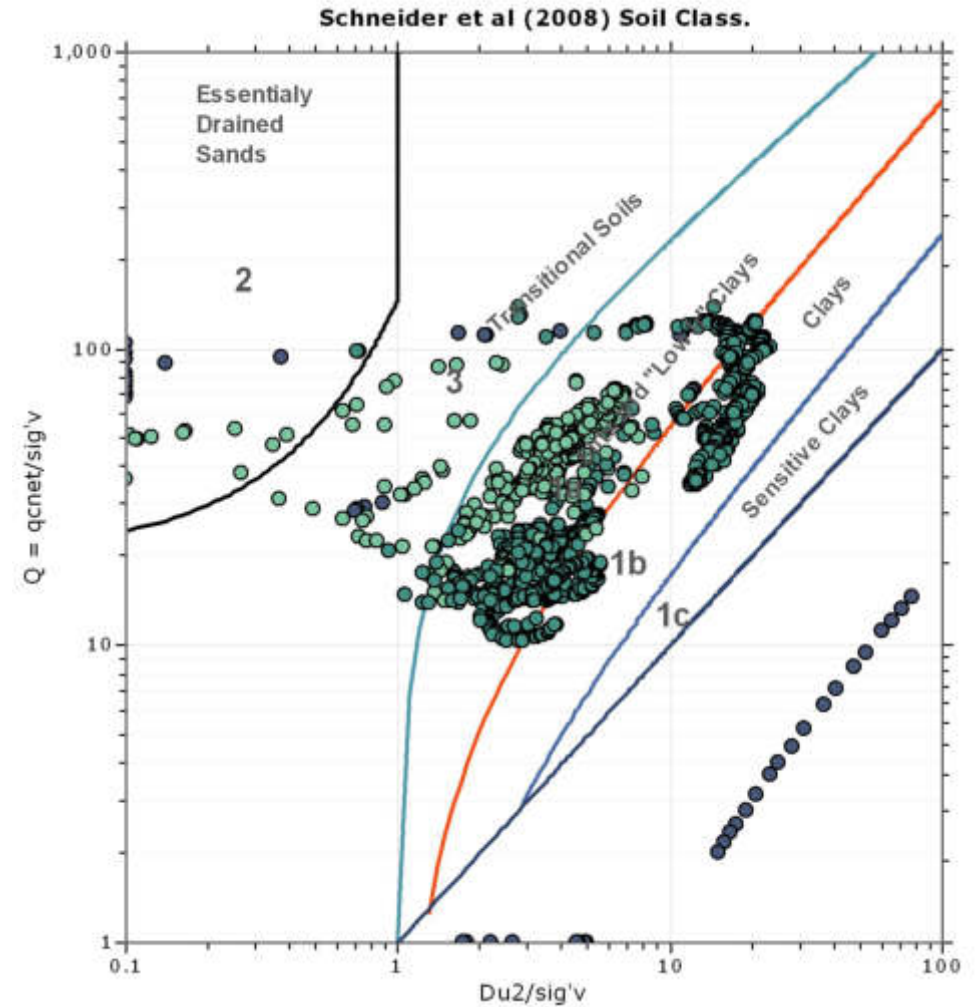
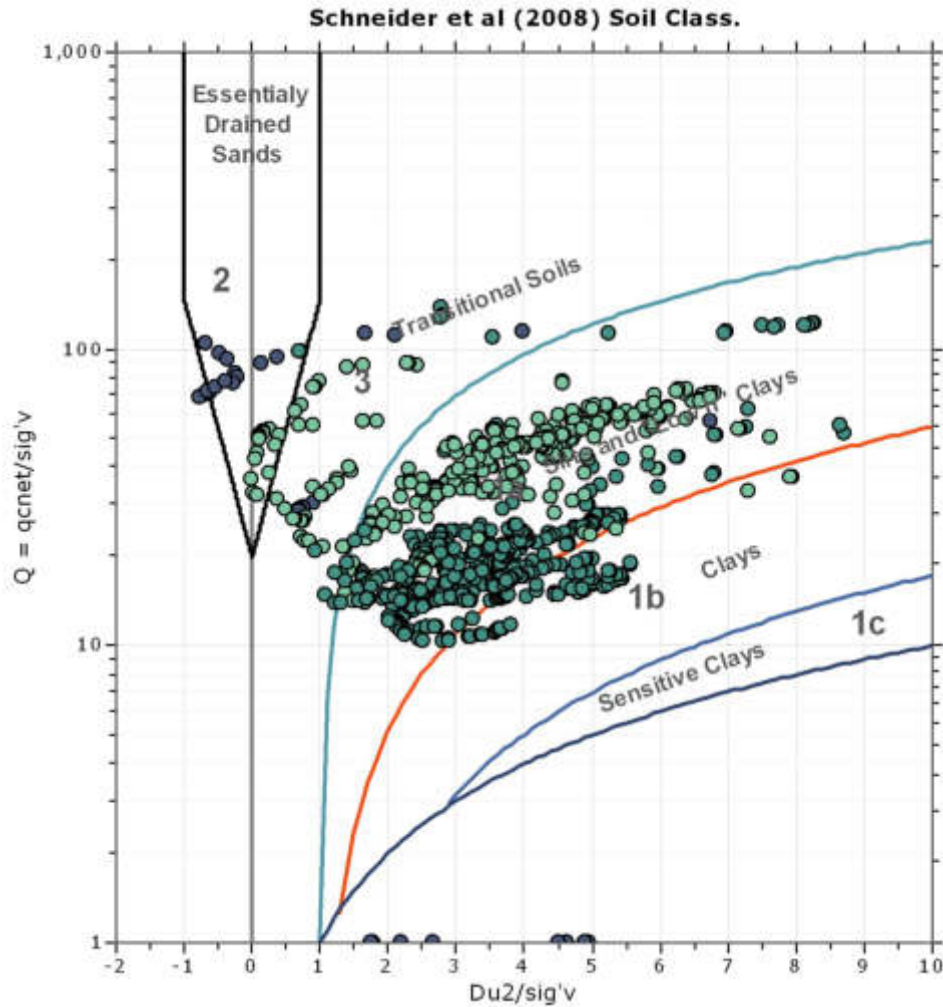


SBTn legend

- | | | |
|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ■ 1. Sensitive fine grained ■ 2. Organic material ■ 3. Clay to silty clay | <ul style="list-style-type: none"> ■ 4. Clayey silt to silty clay ■ 5. Silty sand to sandy silt ■ 6. Clean sand to silty sand | <ul style="list-style-type: none"> ■ 7. Gravely sand to sand ■ 8. Very stiff sand to clayey sand ■ 9. Very stiff fine grained |
|---|---|---|



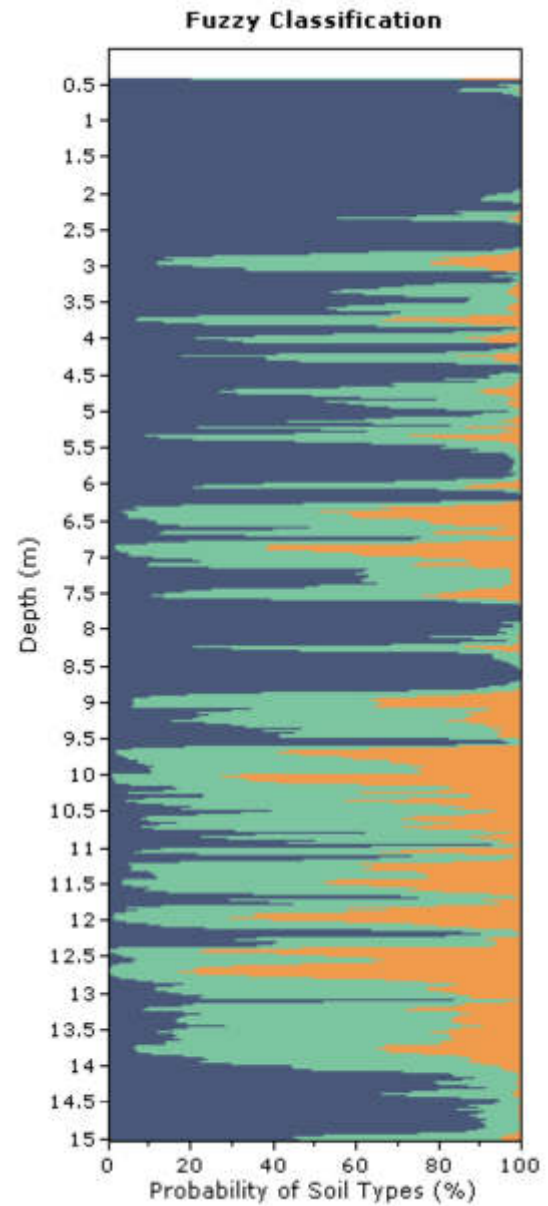
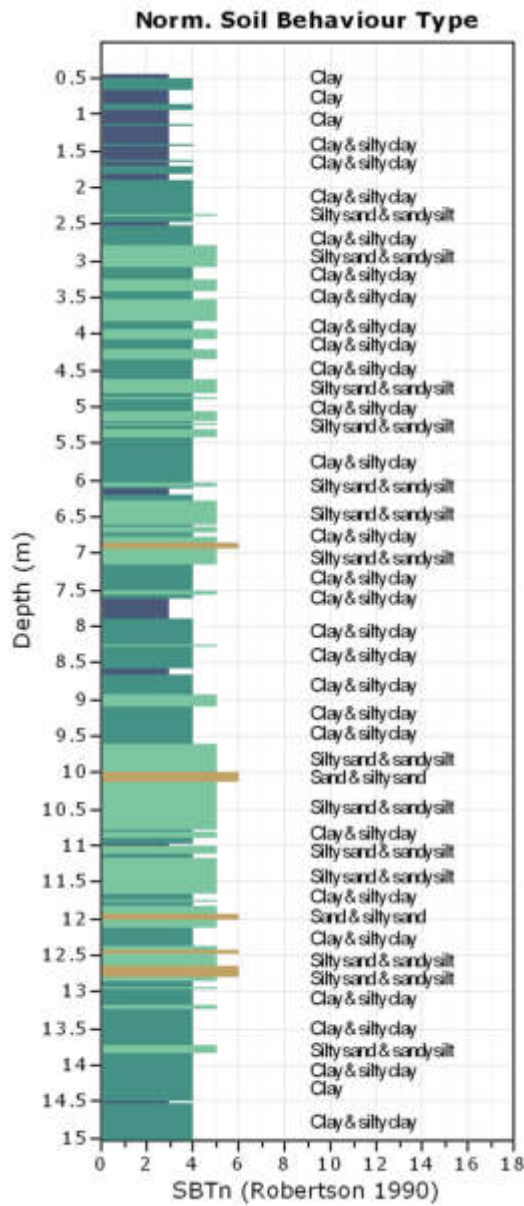
Bq plots (Schneider)

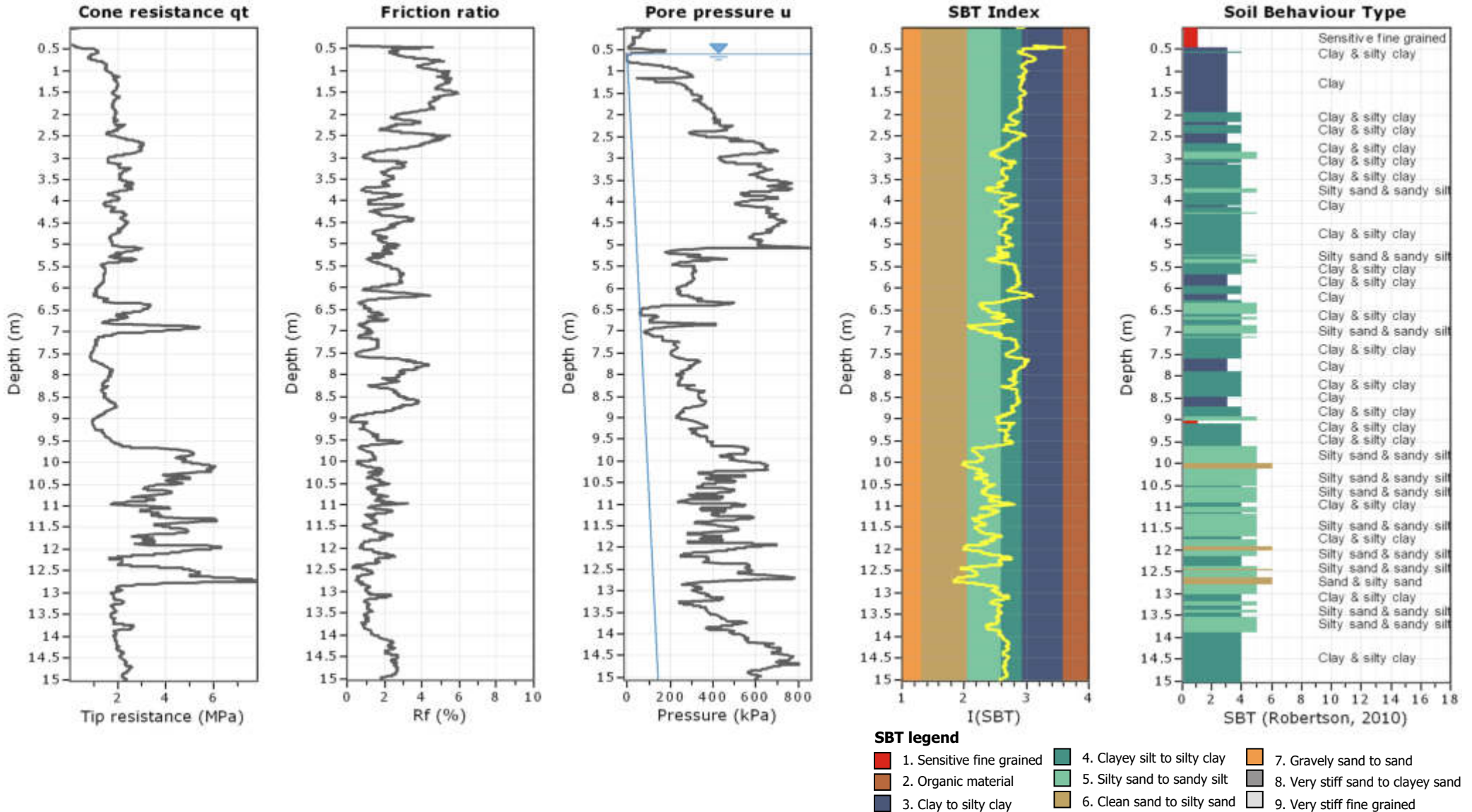




Project: Tampieri Serre

Location: via Manzuta, Faenza (RA)

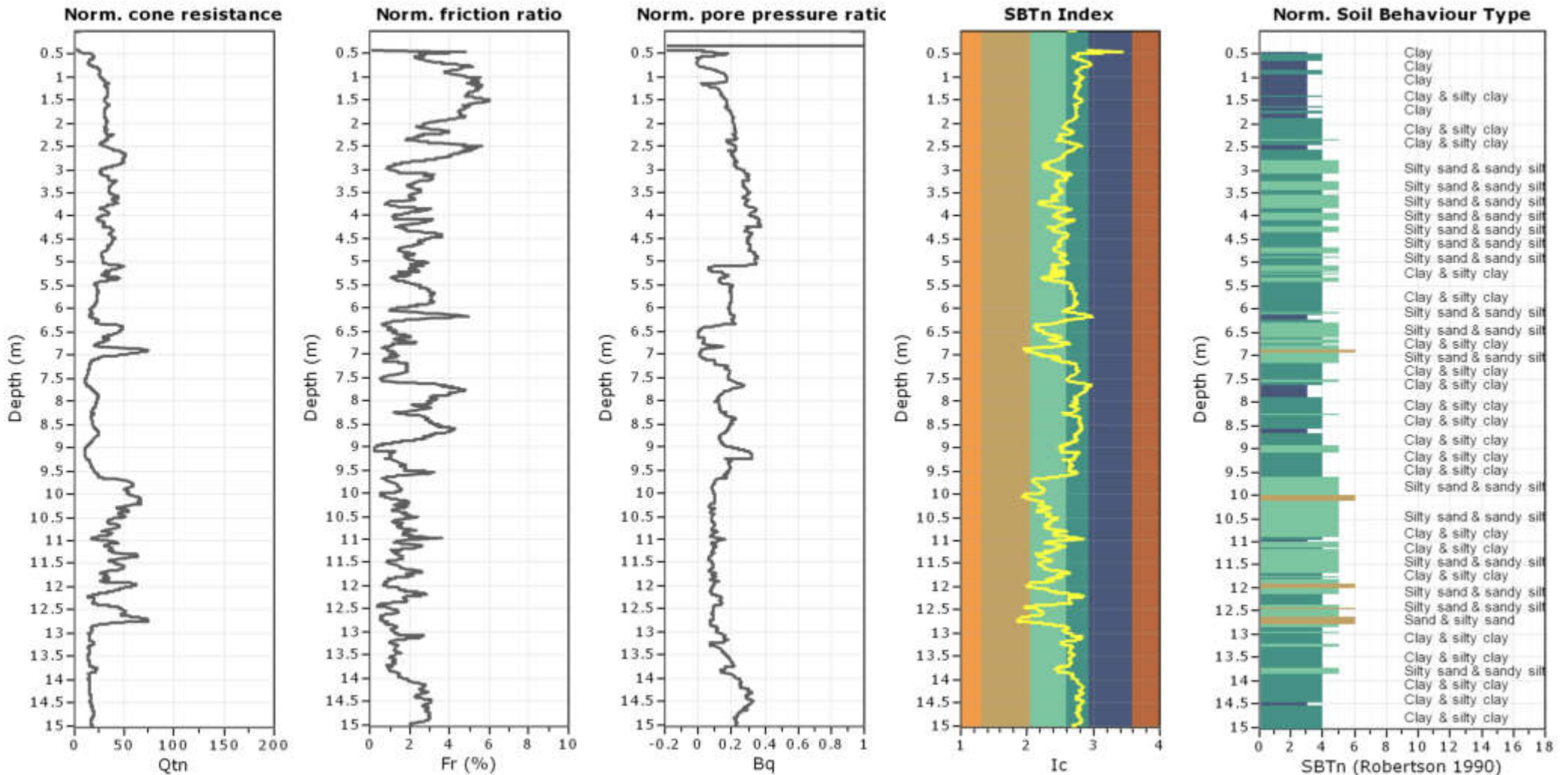






Project: Tampieri Serre

Location: via Manzuta, Faenza (RA)



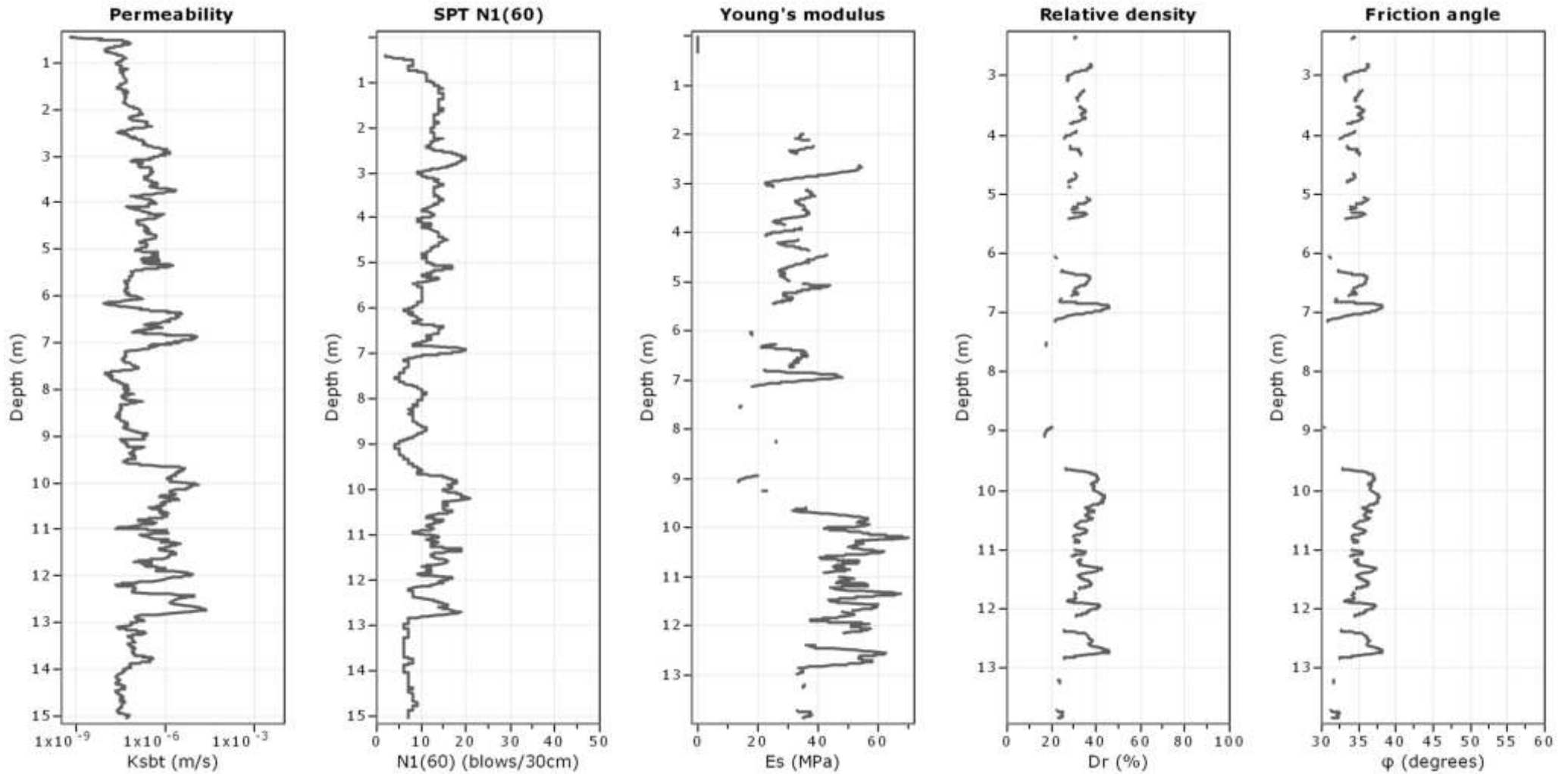
SBTn legend

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



Project: Tampieri Serre

Location: via Manzuta, Faenza (RA)



Calculation parameters

Permeability: Based on SBT_n

SPT N₆₀: Based on I_c and q_t

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

Relative density constant, C_{Dr}: 350.0

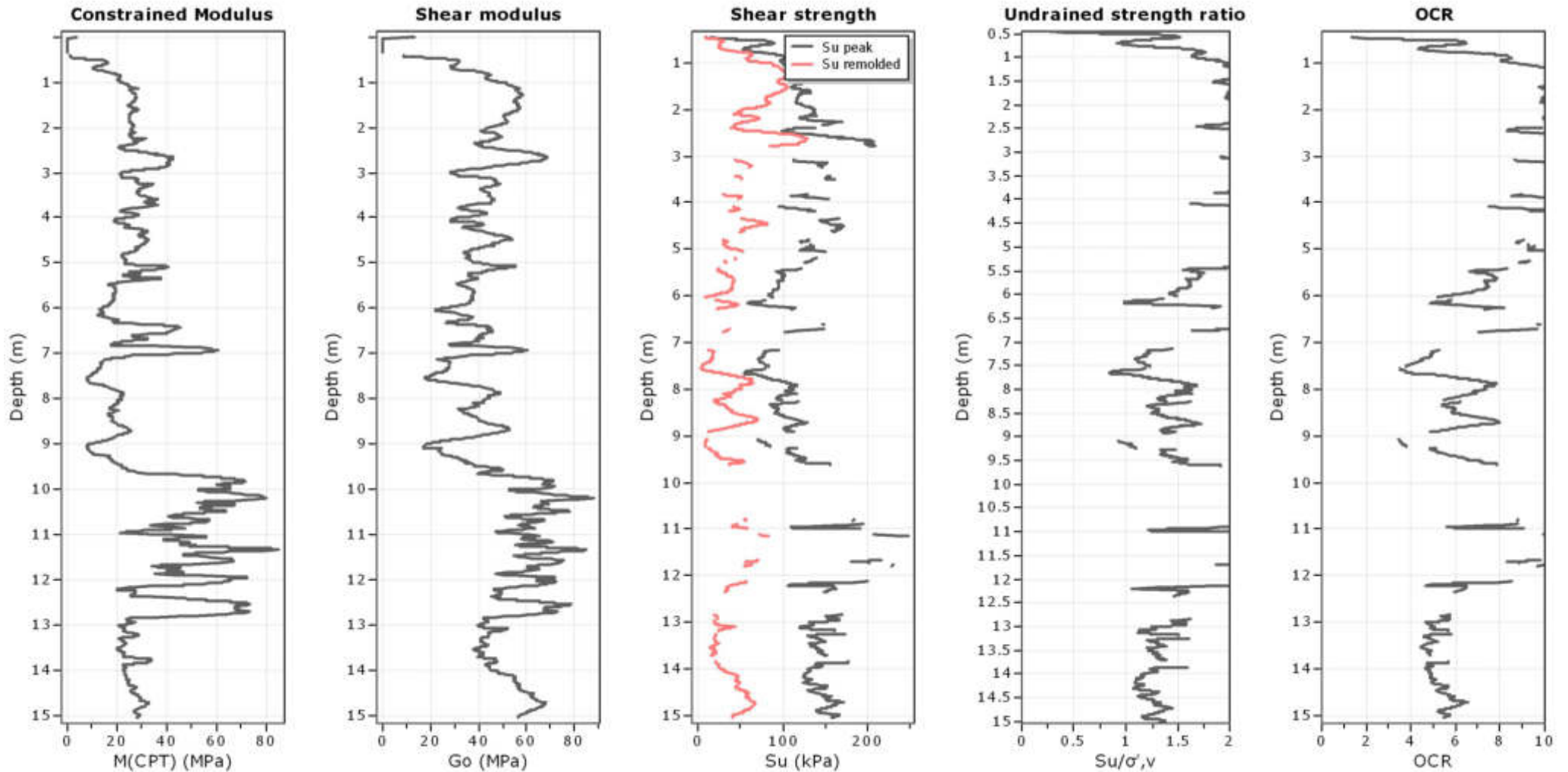
Phi: Based on Kulhawy & Mayne (1990)

● — User defined estimation data



Project: Tampieri Serre

Location: via Manzuta, Faenza (RA)



Calculation parameters

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

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

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

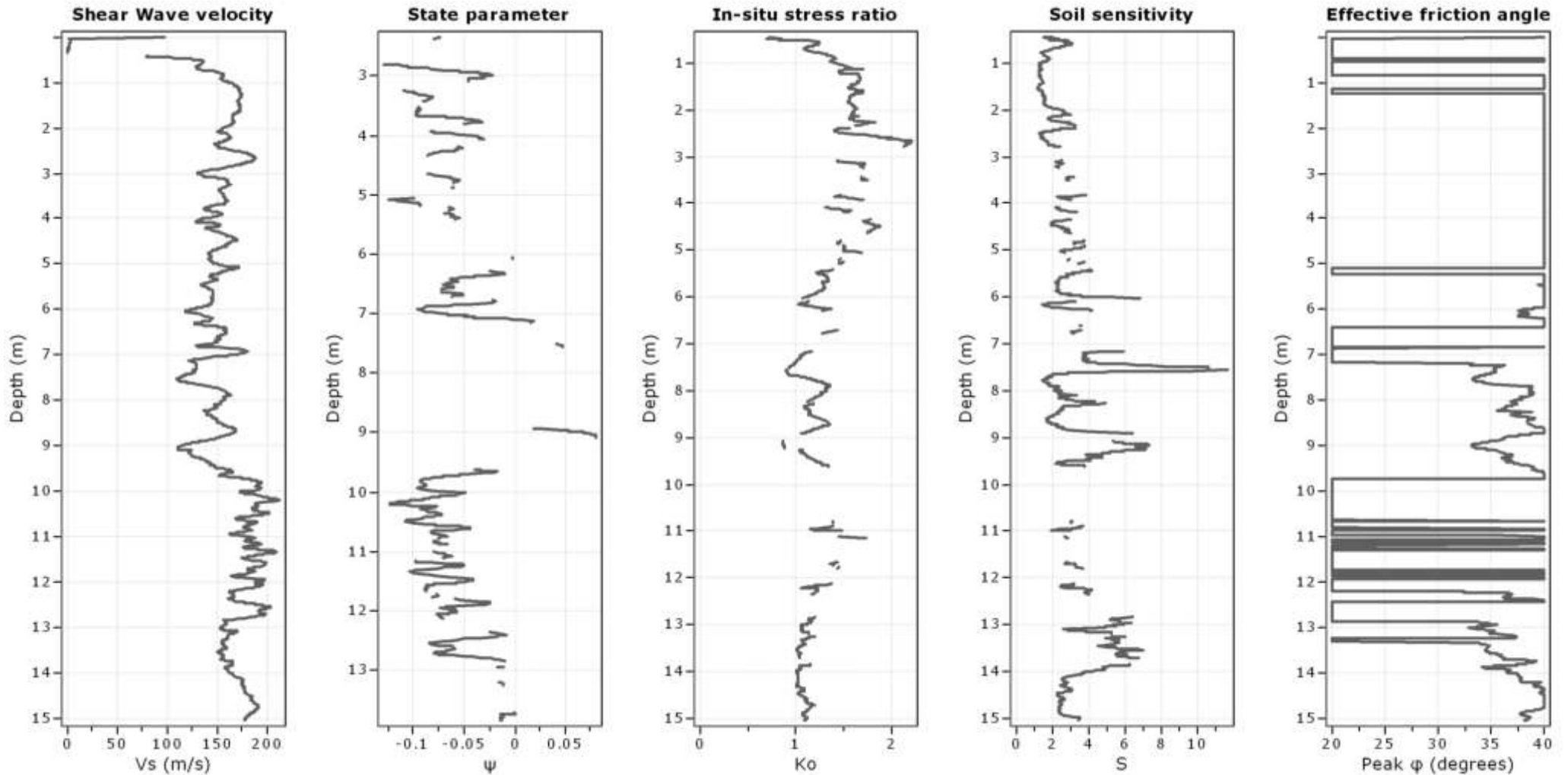
OCR factor for clays, N_{kt} : 0.33

● User defined estimation data



Project: Tampieri Serre

Location: via Manzuta, Faenza (RA)



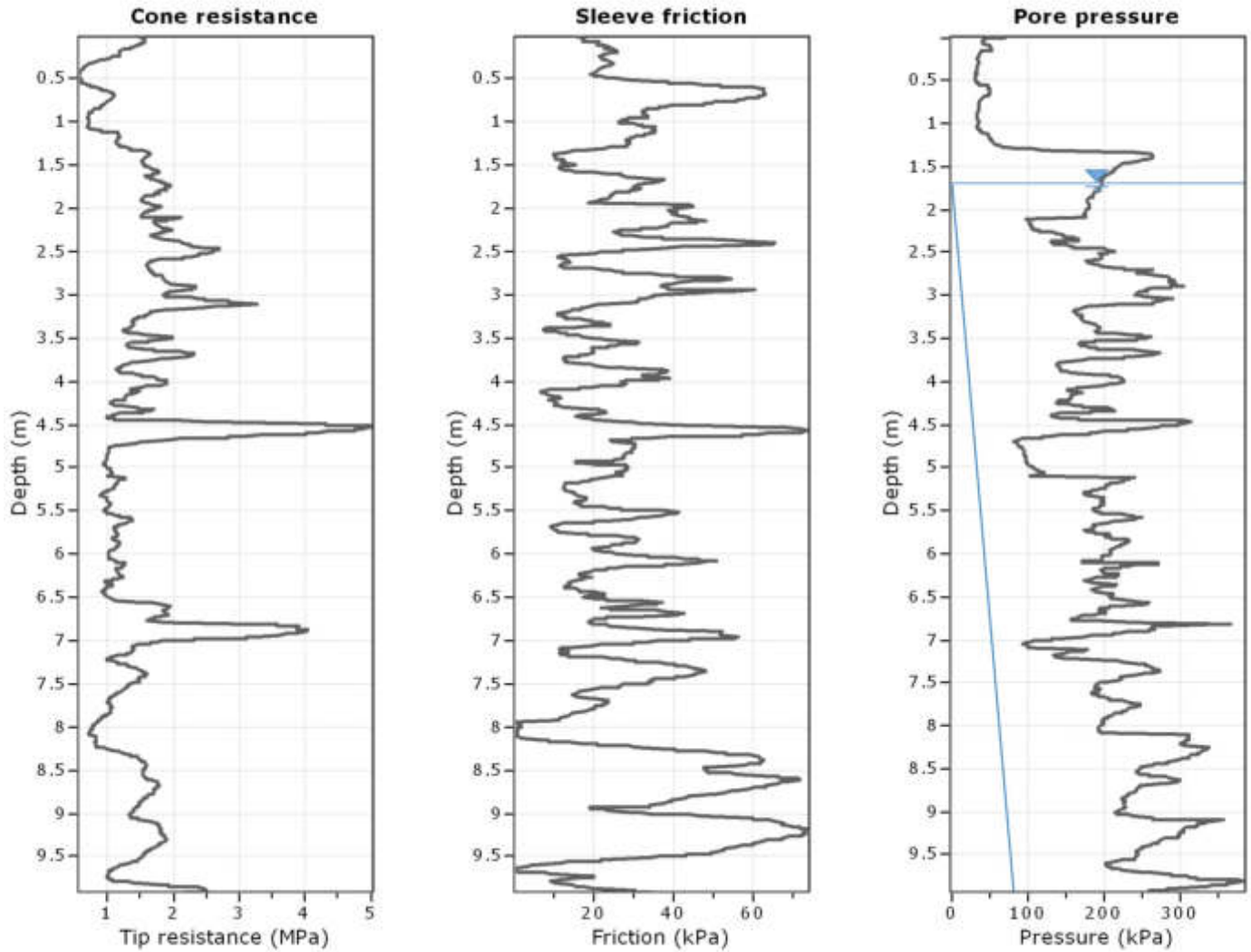
Calculation parameters

Soil Sensitivity factor, N_s : 7.00

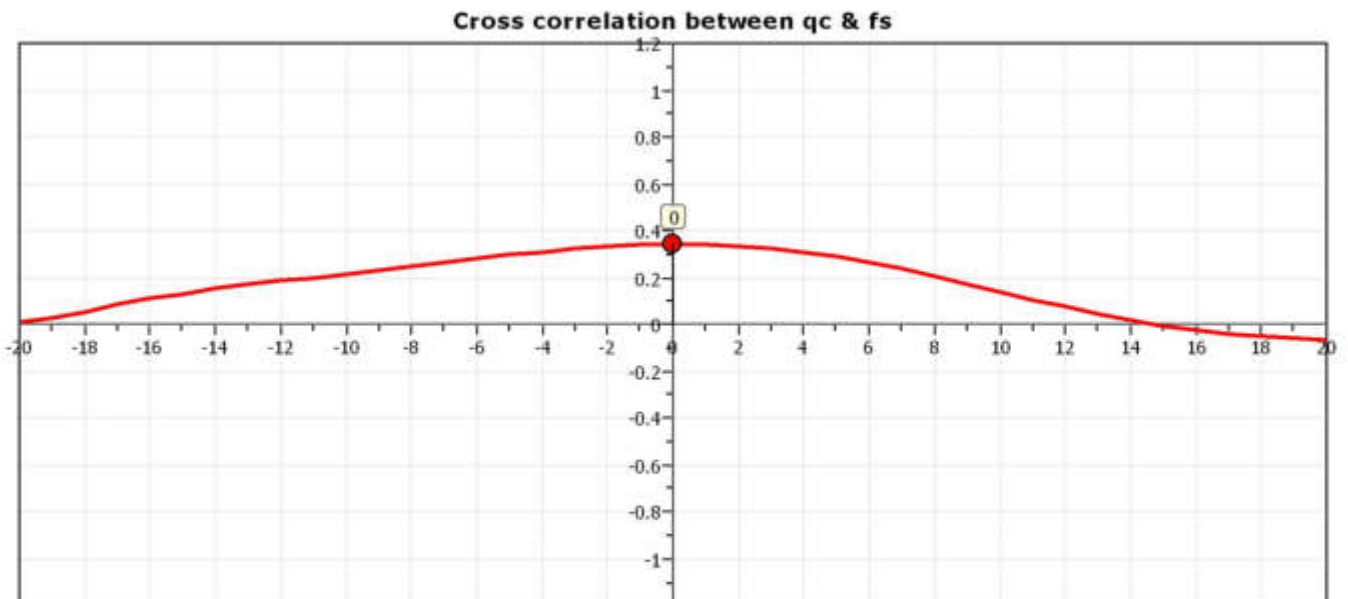
● User defined estimation data



Project: Tampieri Serre
Location: via Manzuta, Faenza (RA)

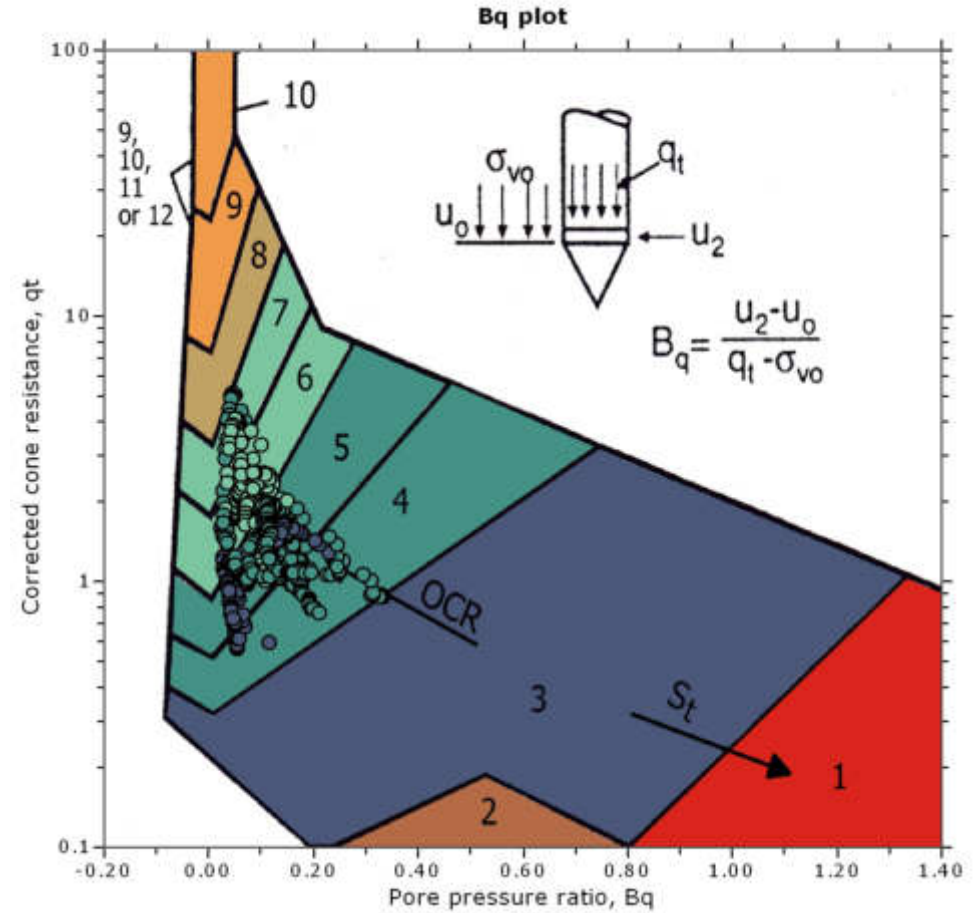
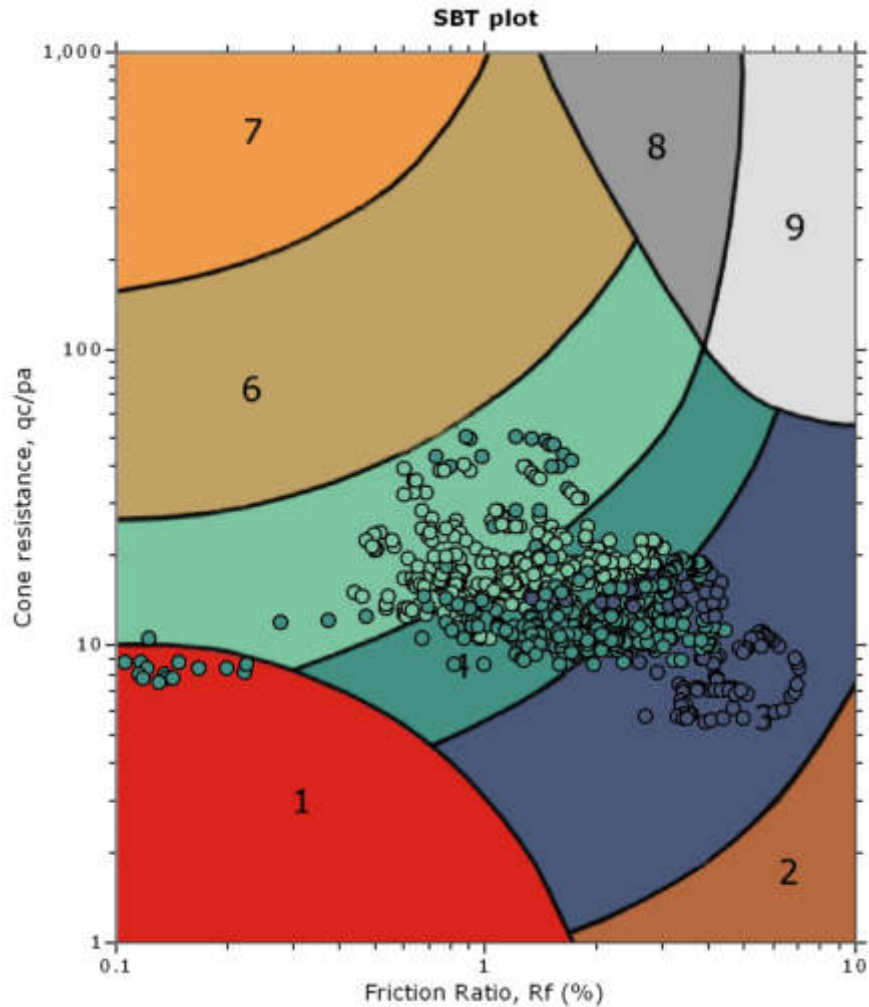


The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw q_c and f_s values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).





SBT - Bq plots

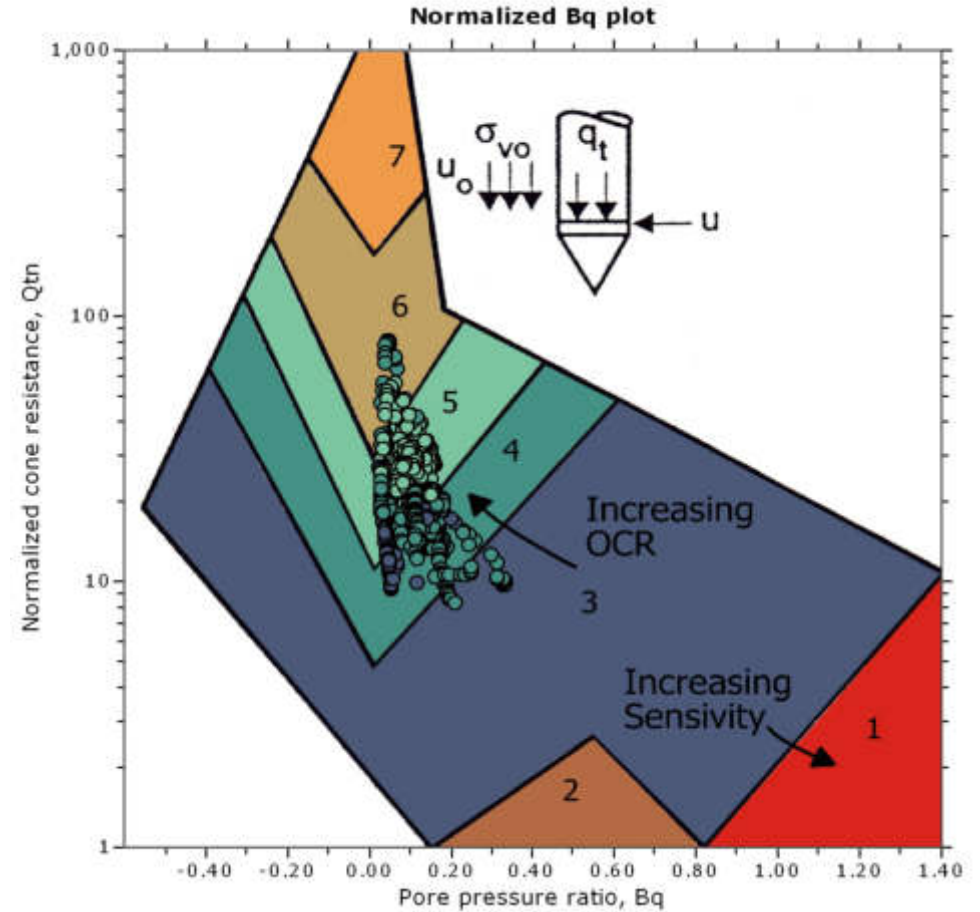
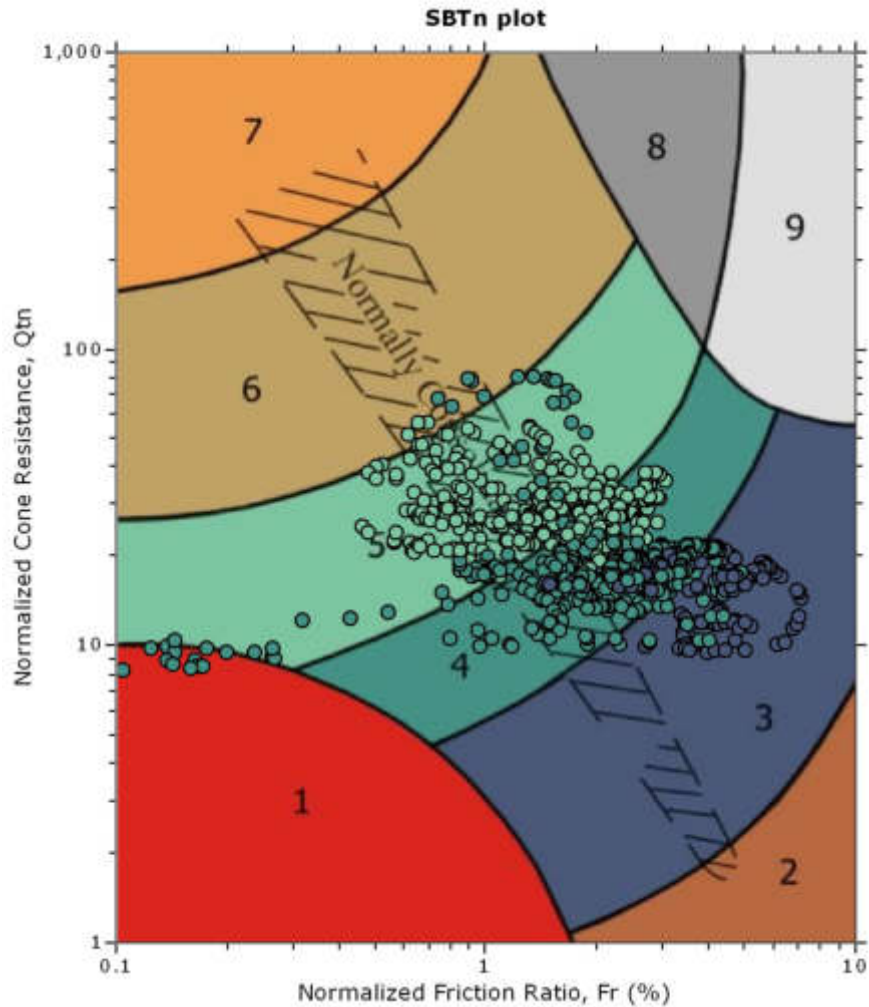


SBT legend

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



SBT - Bq plots (normalized)



SBTn legend

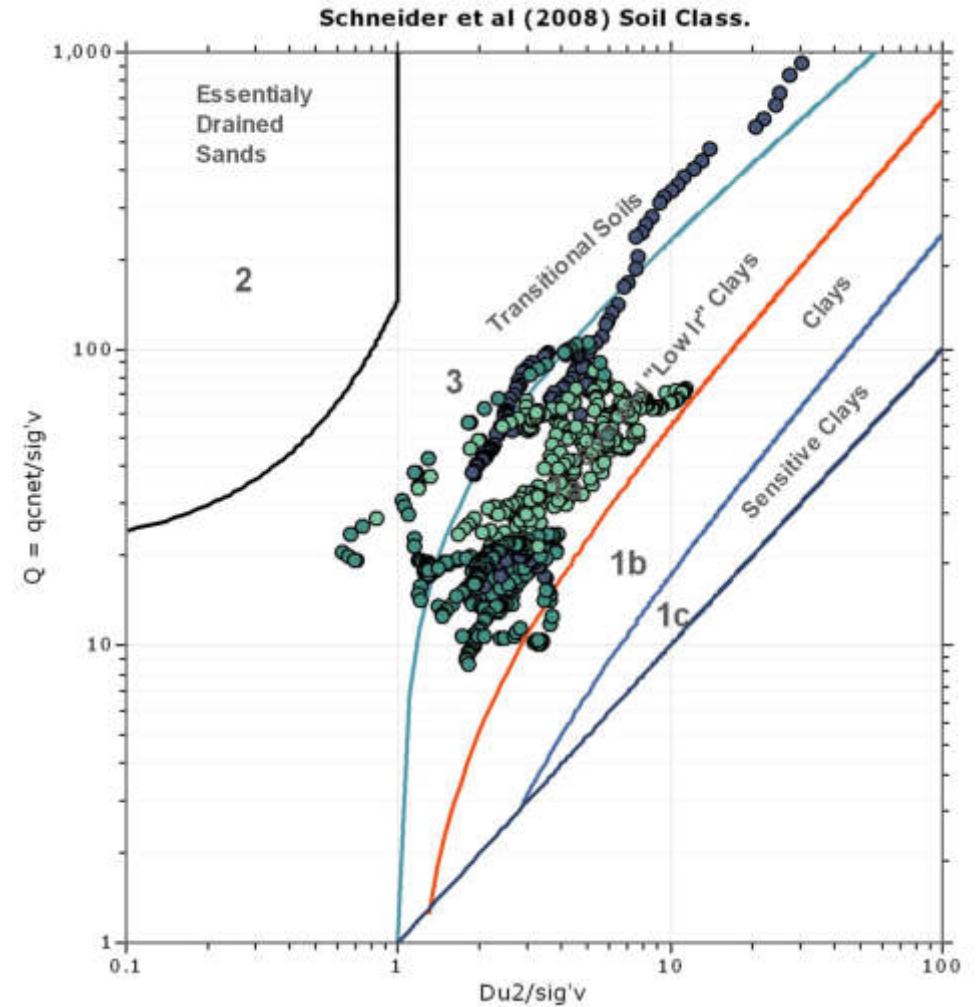
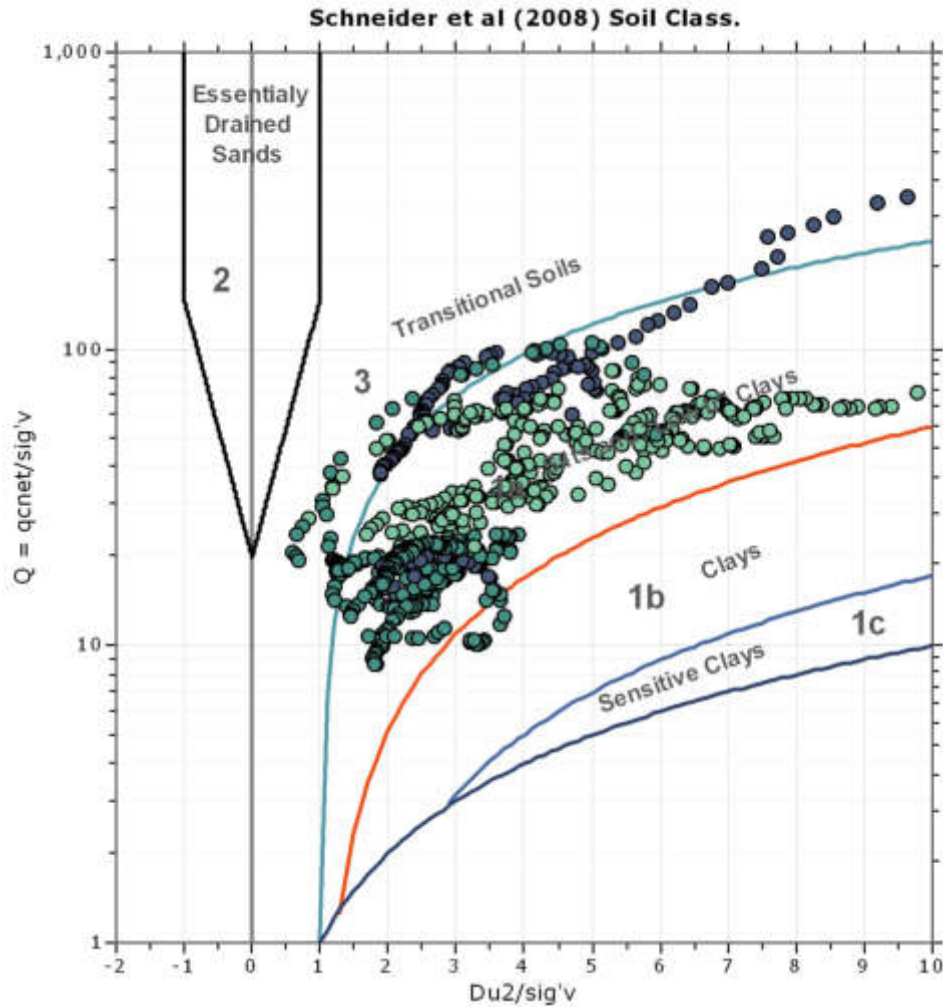
- | | | |
|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ■ 1. Sensitive fine grained ■ 2. Organic material ■ 3. Clay to silty clay | <ul style="list-style-type: none"> ■ 4. Clayey silt to silty clay ■ 5. Silty sand to sandy silt ■ 6. Clean sand to silty sand | <ul style="list-style-type: none"> ■ 7. Gravely sand to sand ■ 8. Very stiff sand to clayey sand ■ 9. Very stiff fine grained |
|---|---|---|



Project: Tampieri Serre

Location: via Manzuta, Faenza (RA)

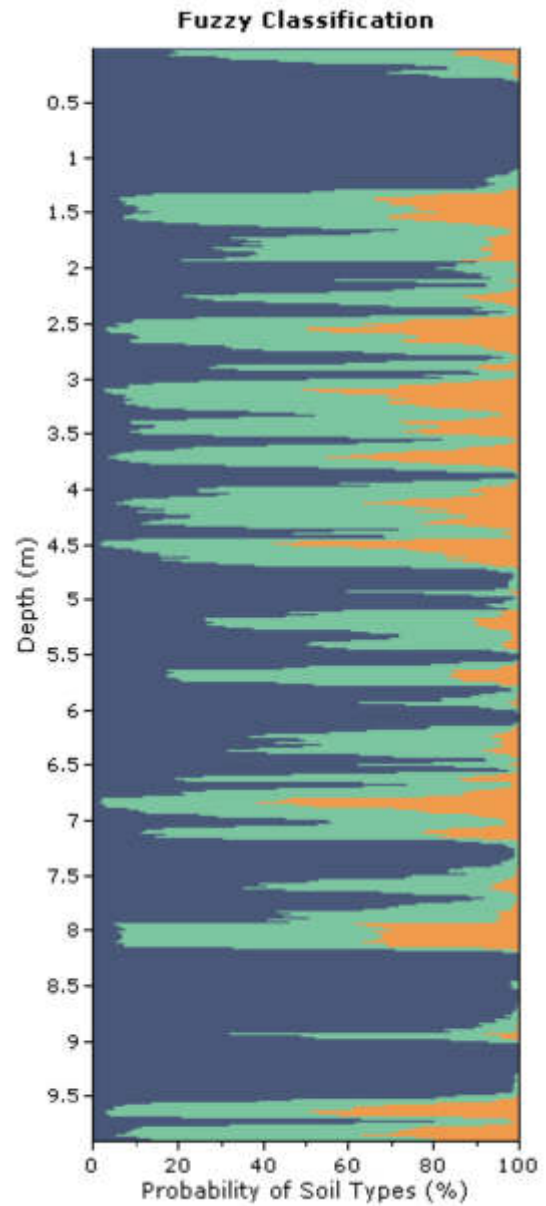
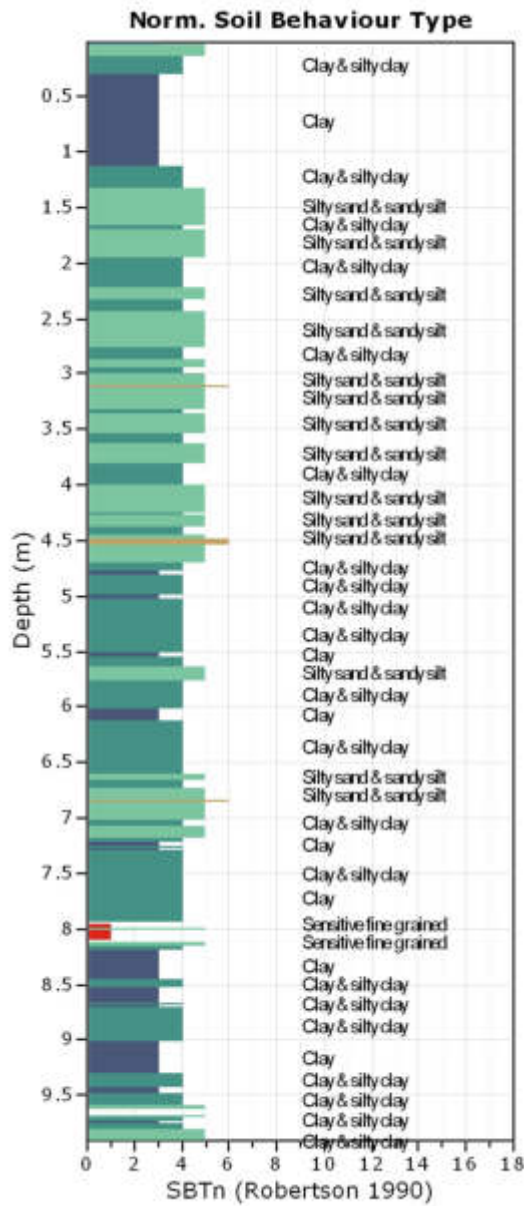
Bq plots (Schneider)





Project: Tampieri Serre

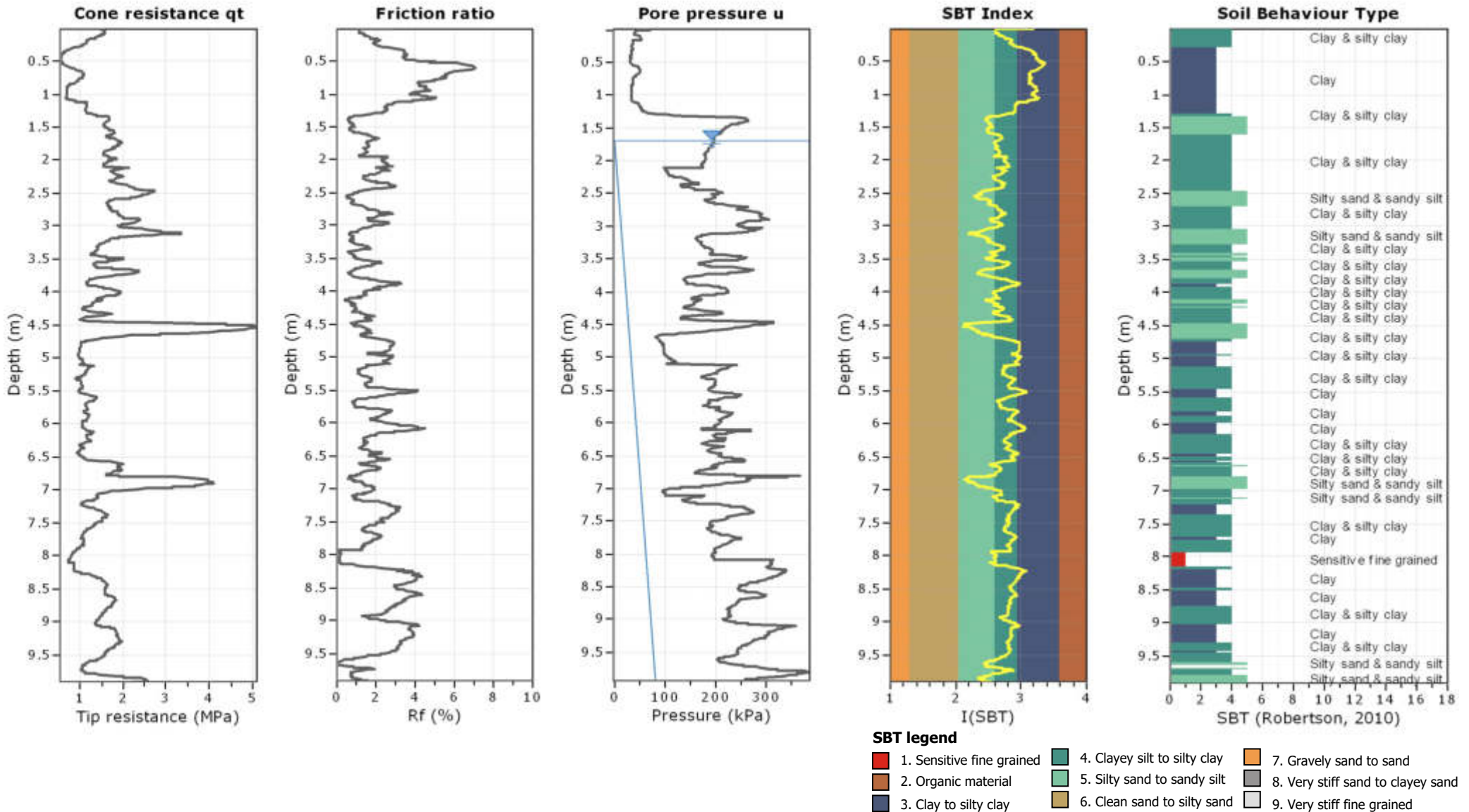
Location: via Manzuta, Faenza (RA)





Project: Tampieri Serre

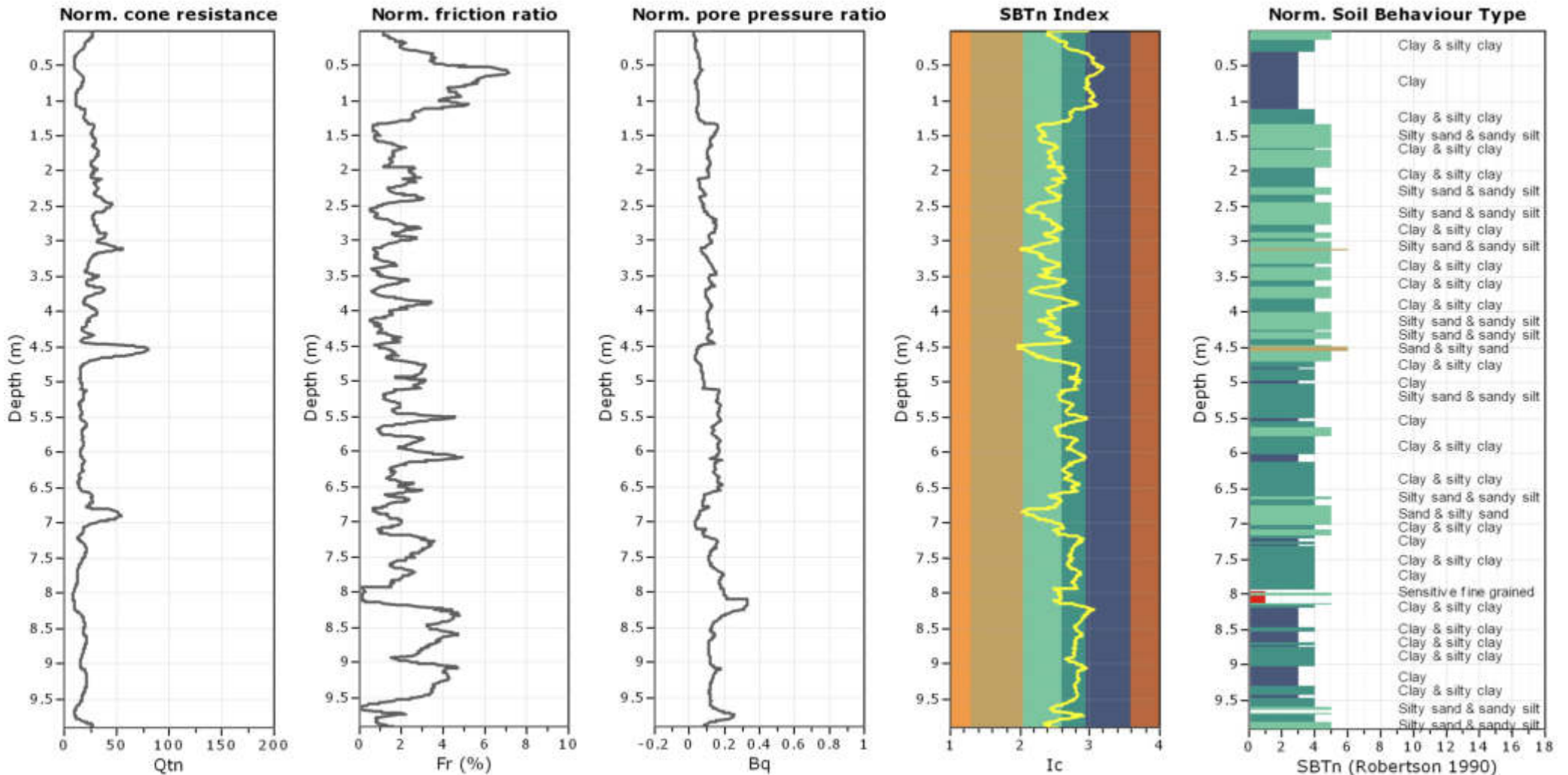
Location: via Manzuta, Faenza (RA)





Project: Tampieri Serre

Location: via Manzuta, Faenza (RA)



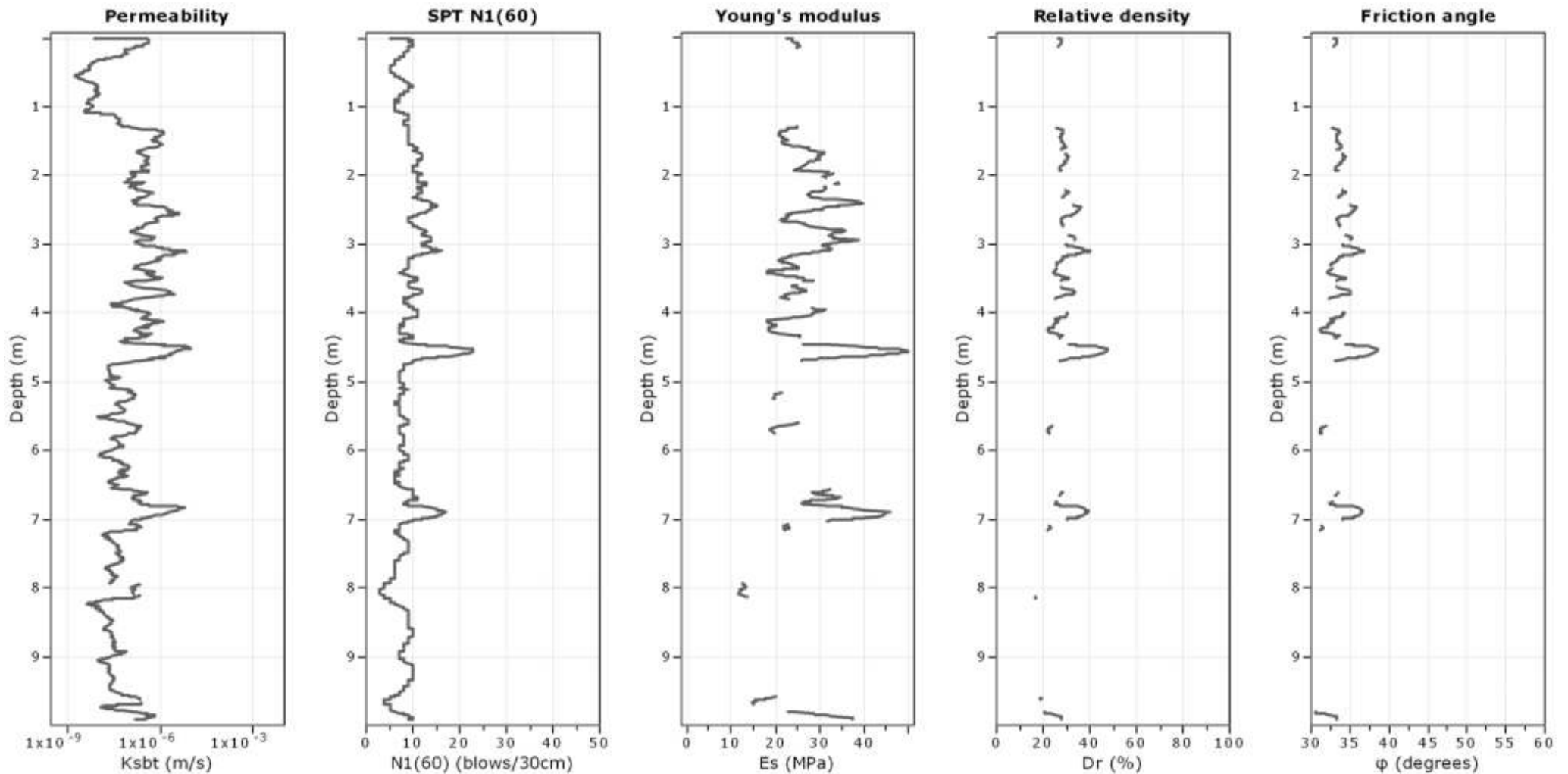
SBTn legend

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



Project: Tampieri Serre

Location: via Manzuta, Faenza (RA)



Calculation parameters

Permeability: Based on SBT_n

SPT N₆₀: Based on I_c and q_t

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

Relative density constant, C_{Dr}: 350.0

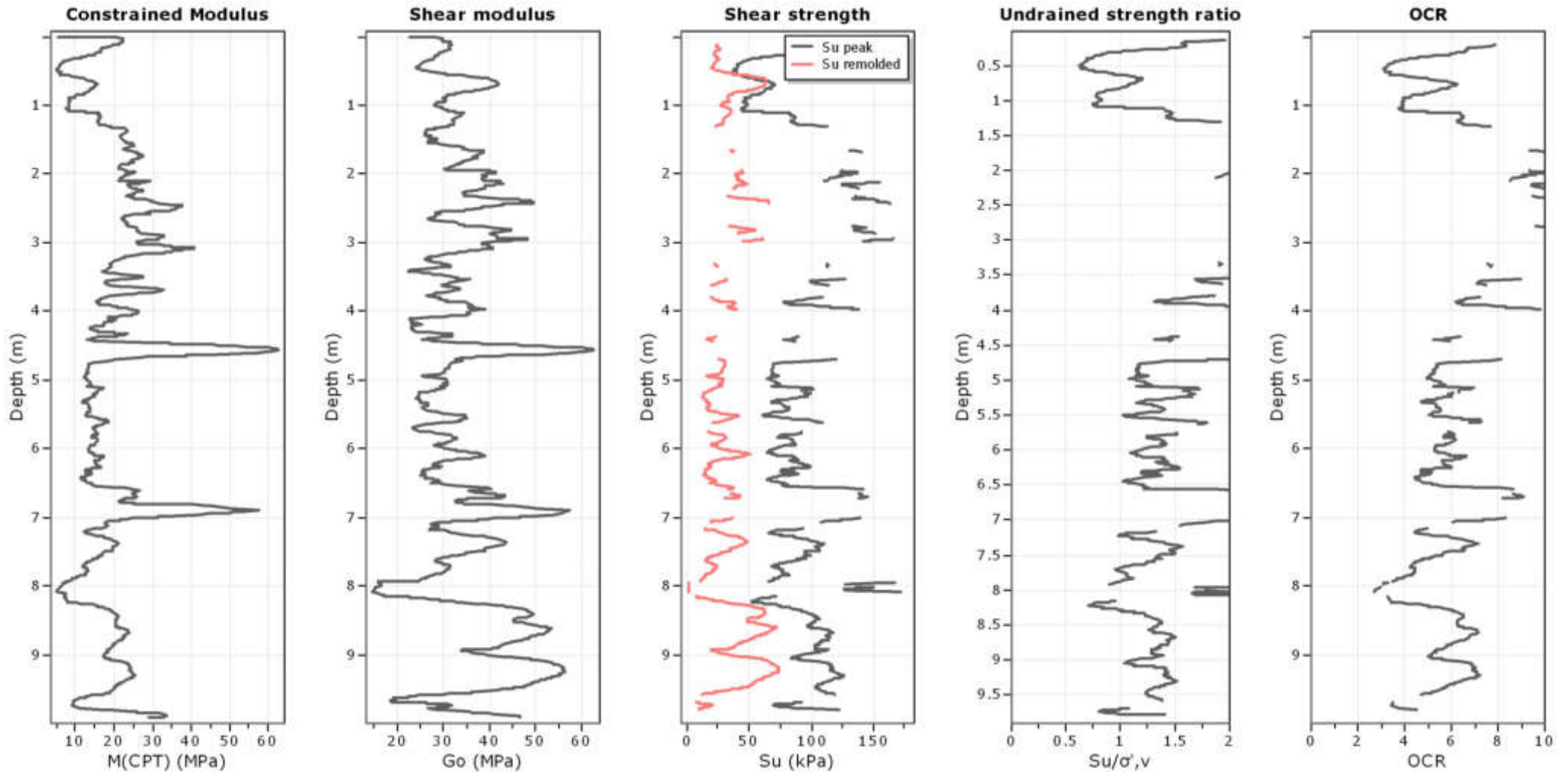
Phi: Based on Kulhawy & Mayne (1990)

● — User defined estimation data



Project: Tampieri Serre

Location: via Manzuta, Faenza (RA)



Calculation parameters

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

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

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

OCR factor for clays, N_{kt} : 0.33

● User defined estimation data



Studio Associato di Ingegneria Geotecno

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

dott. geol. Massimiliano Bottan

http://www.tema.it

CPT: CPTU2 - VASCHE

Total depth: 9.91 m, Date: 06/04/2023

Surface Elevation: 21.00 m

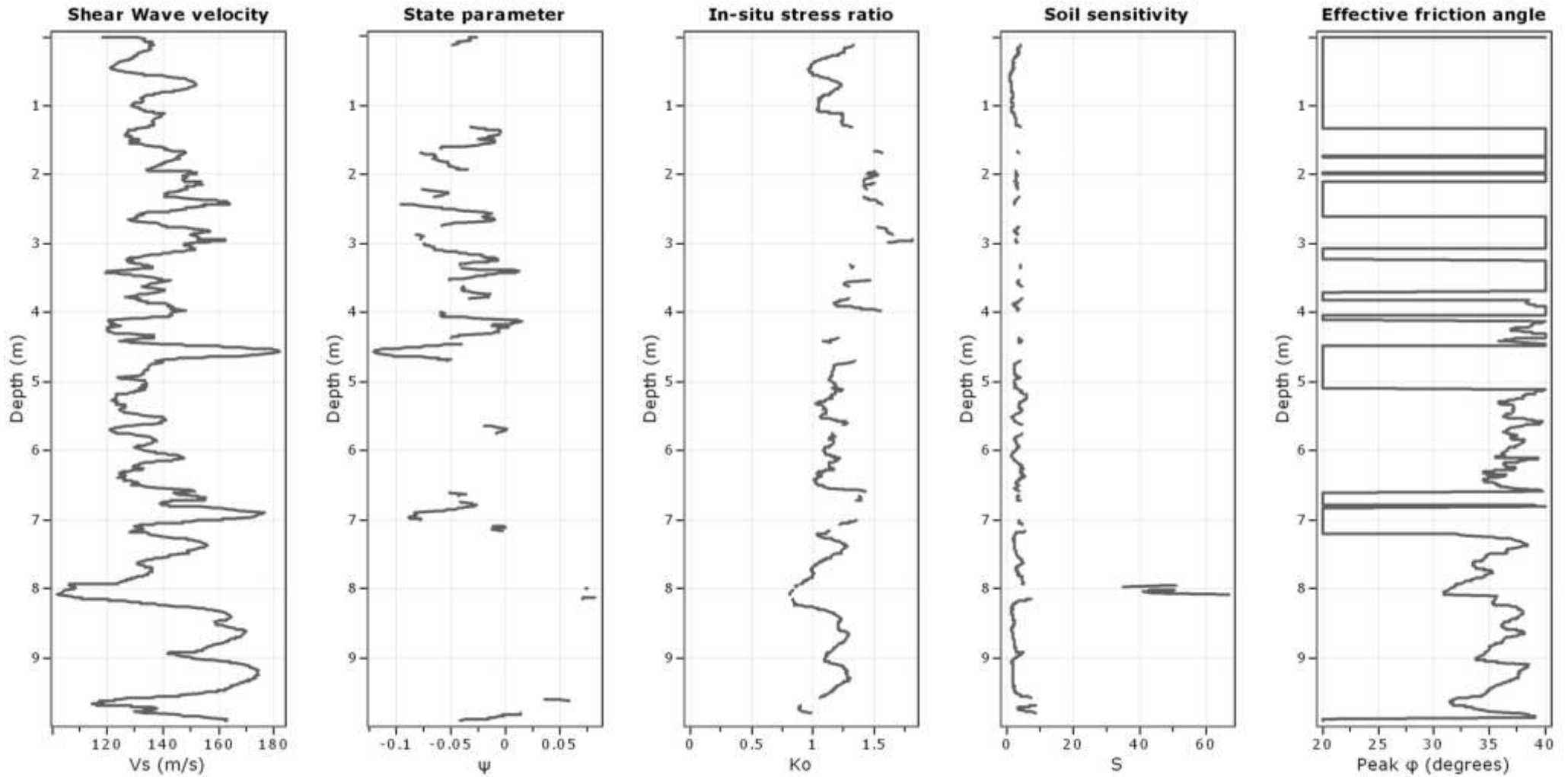
Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type: Pagani CPT probe

Cone Operator: dott. geol. Massimiliano Bottan

Project: Tampieri Serre

Location: via Manzuta, Faenza (RA)



Calculation parameters

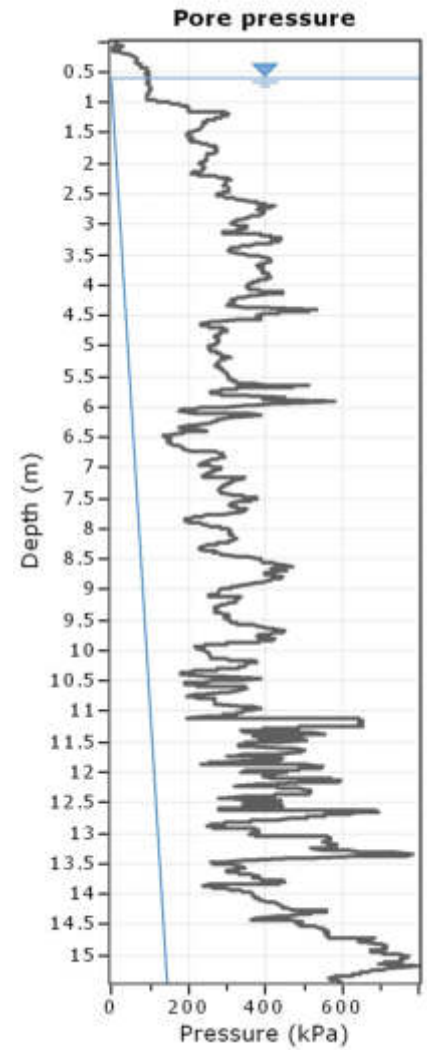
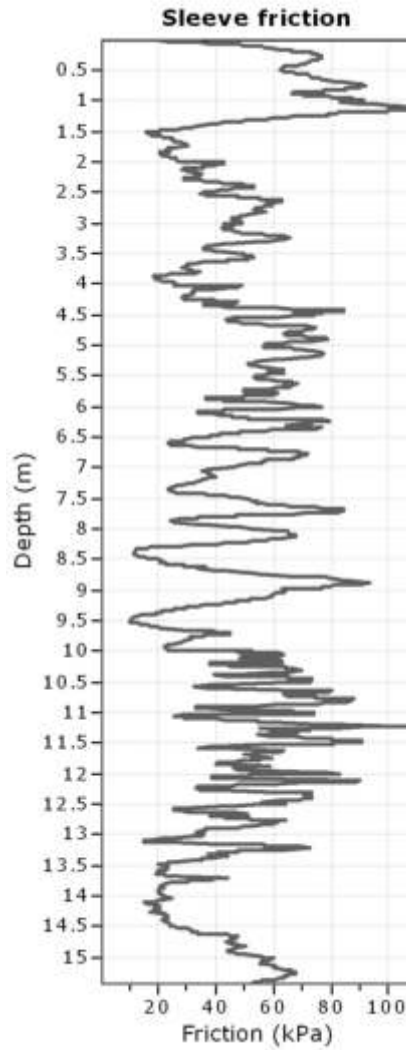
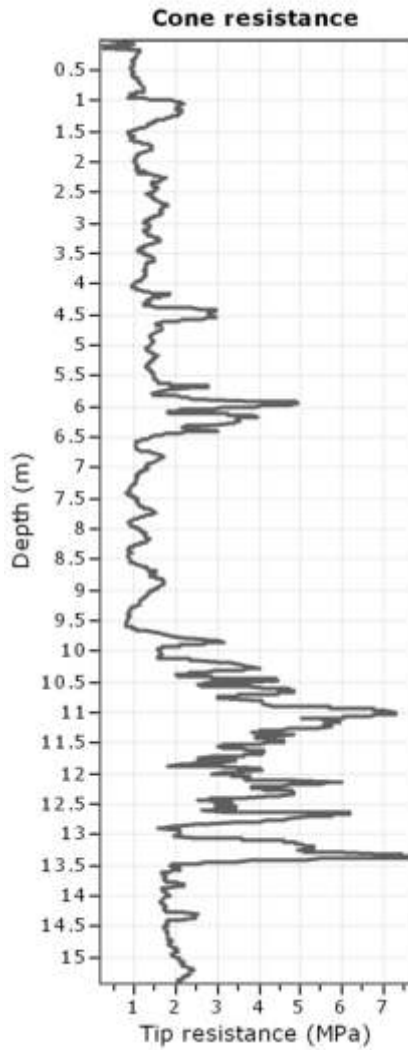
Soil Sensitivity factor, N_s : 7.00

● User defined estimation data



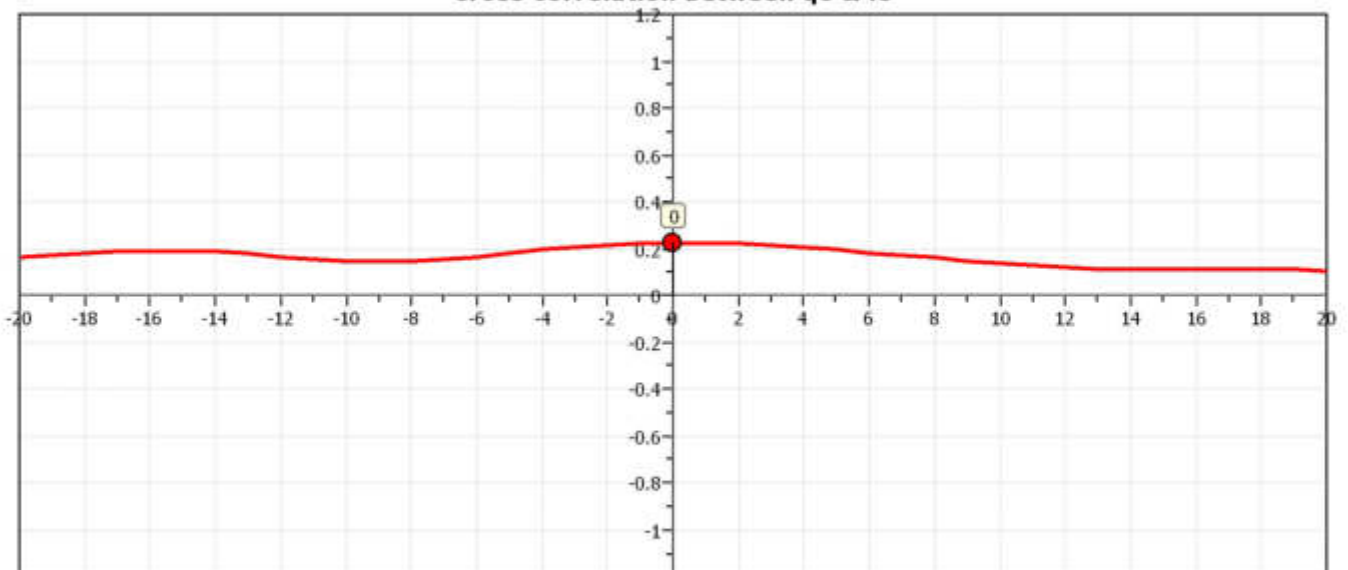
Project: Tampieri Serre

Location: via Manzuta, Faenza (RA)



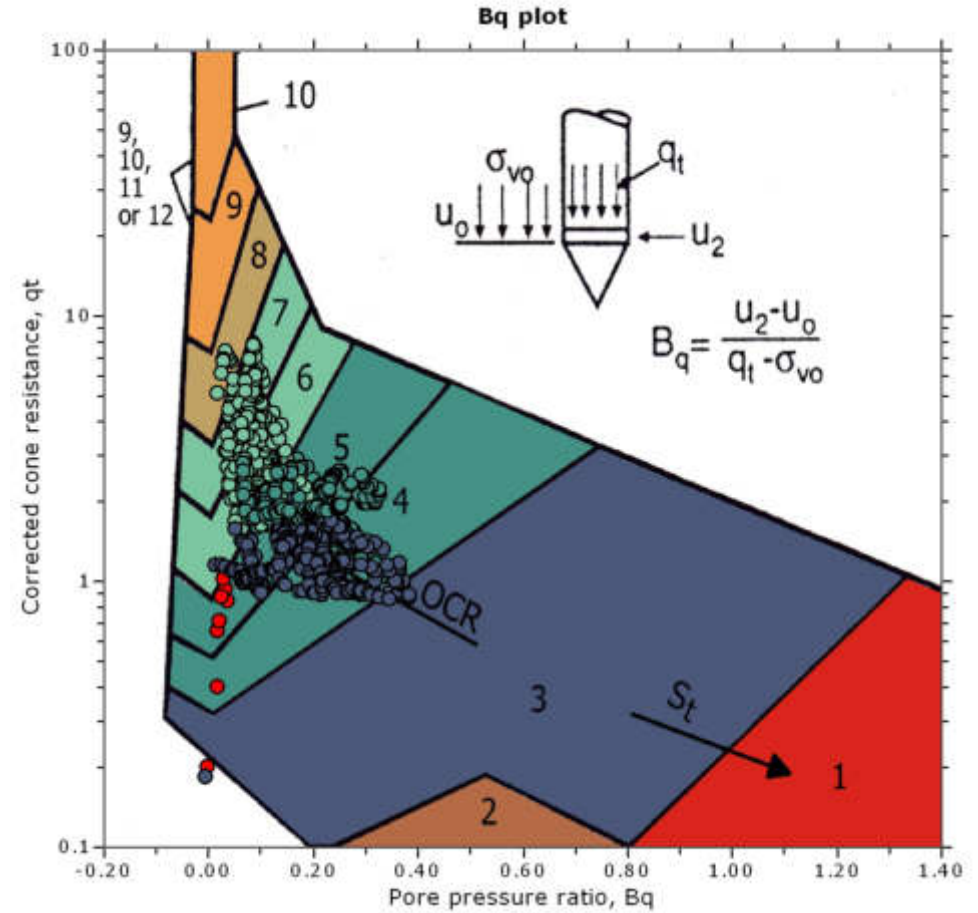
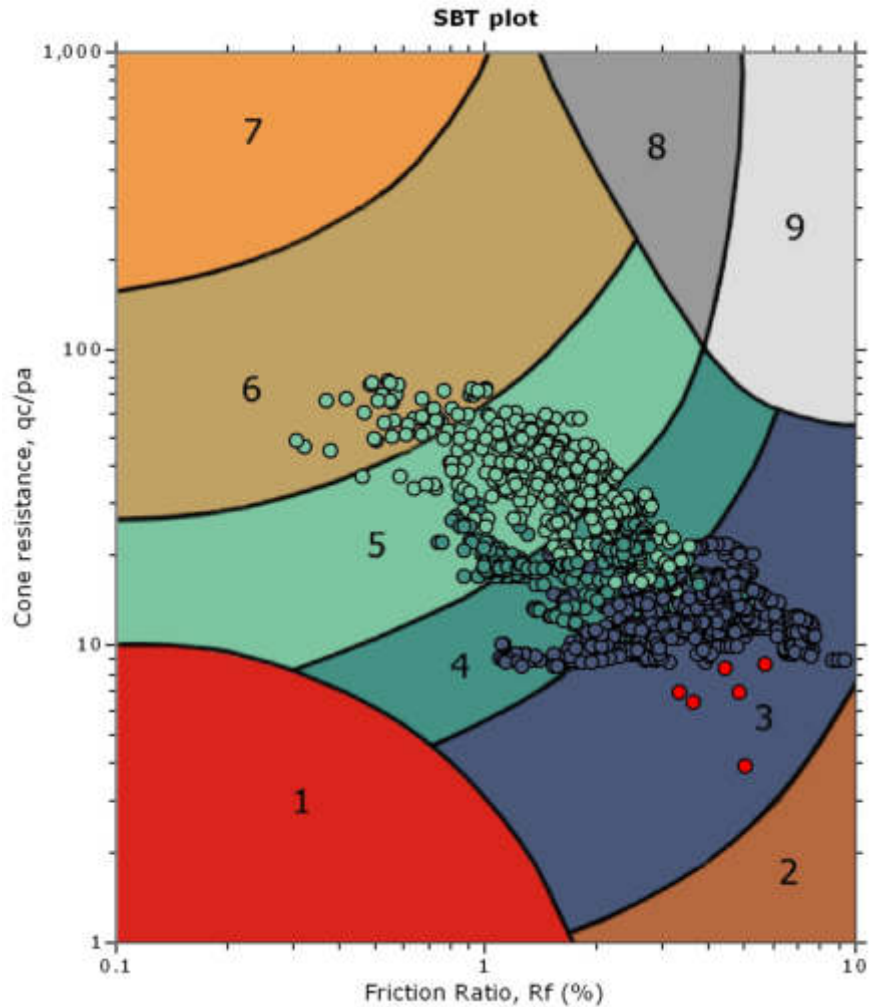
The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw q_c and f_s values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).

Cross correlation between q_c & f_s





SBT - Bq plots

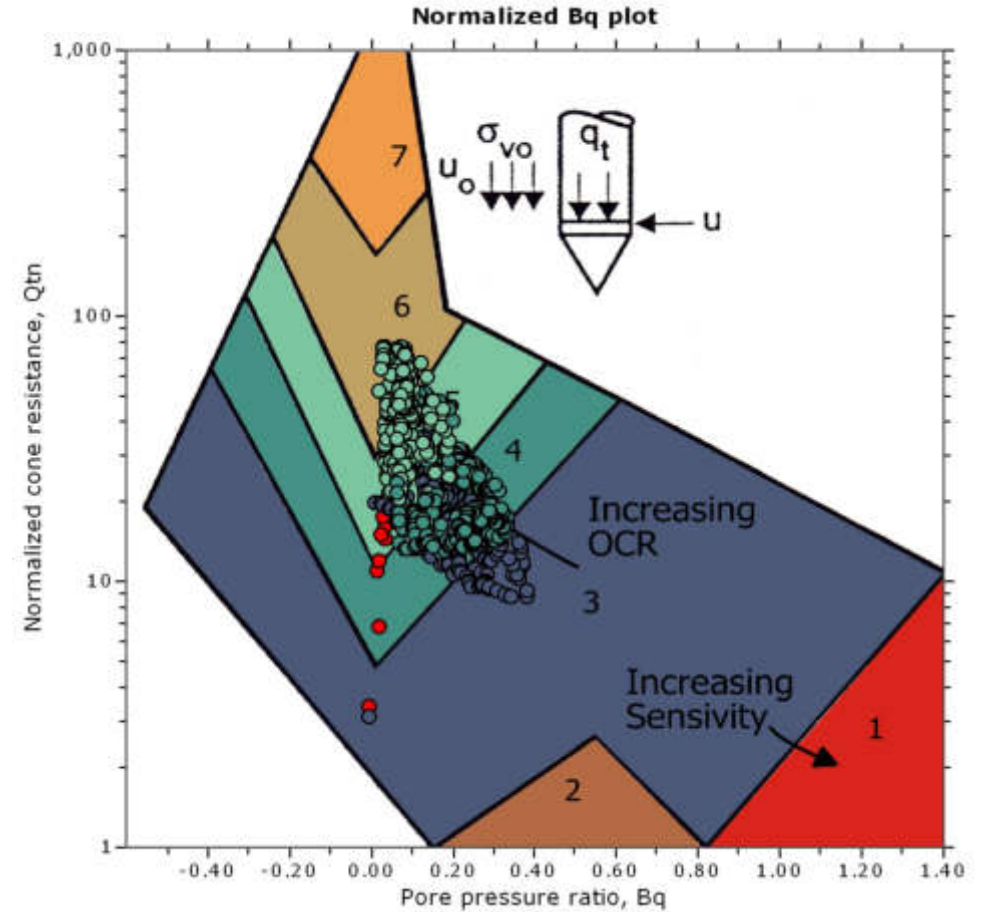
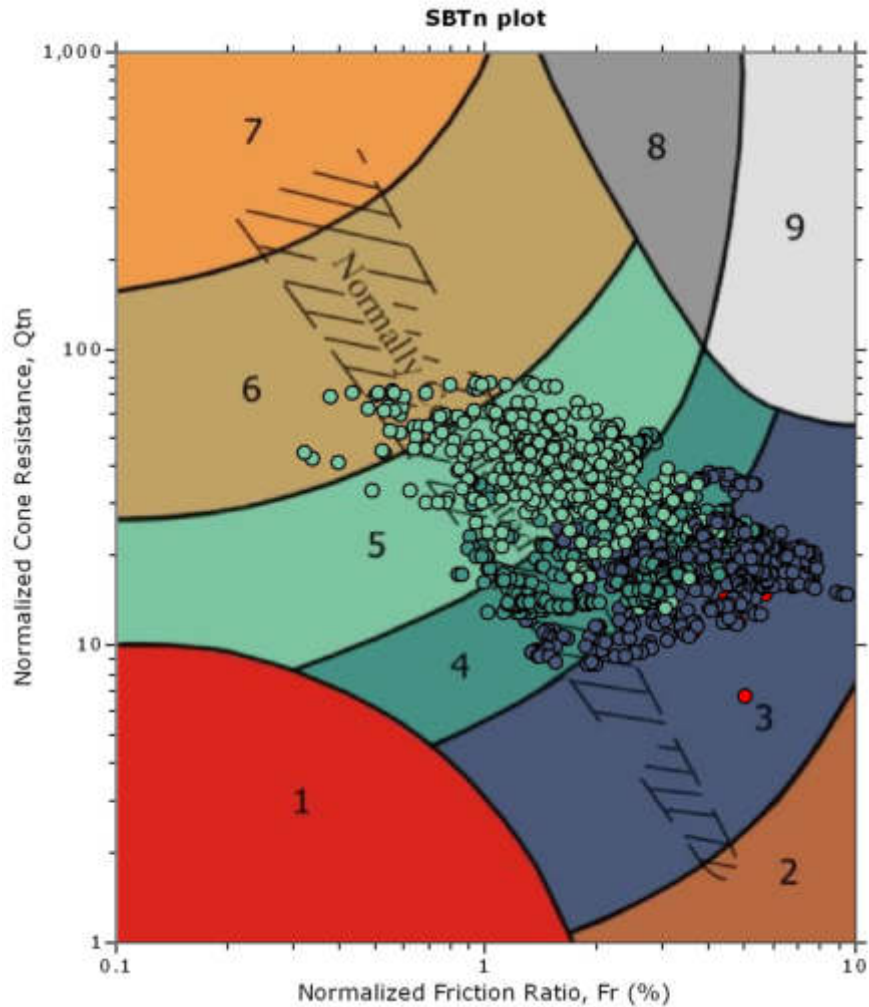


SBT legend

- | | | |
|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ■ 1. Sensitive fine grained ■ 2. Organic material ■ 3. Clay to silty clay | <ul style="list-style-type: none"> ■ 4. Clayey silt to silty clay ■ 5. Silty sand to sandy silt ■ 6. Clean sand to silty sand | <ul style="list-style-type: none"> ■ 7. Gravely sand to sand ■ 8. Very stiff sand to clayey sand ■ 9. Very stiff fine grained |
|---|---|---|



SBT - Bq plots (normalized)



SBTn legend

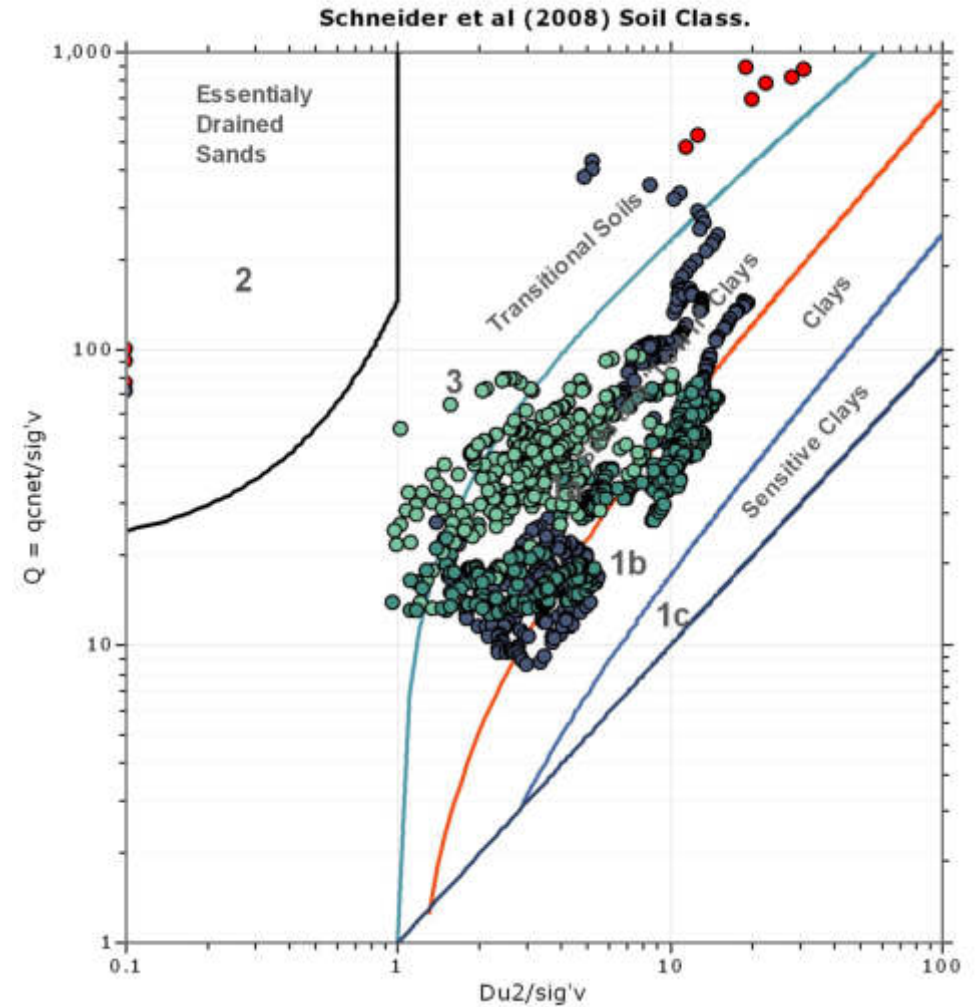
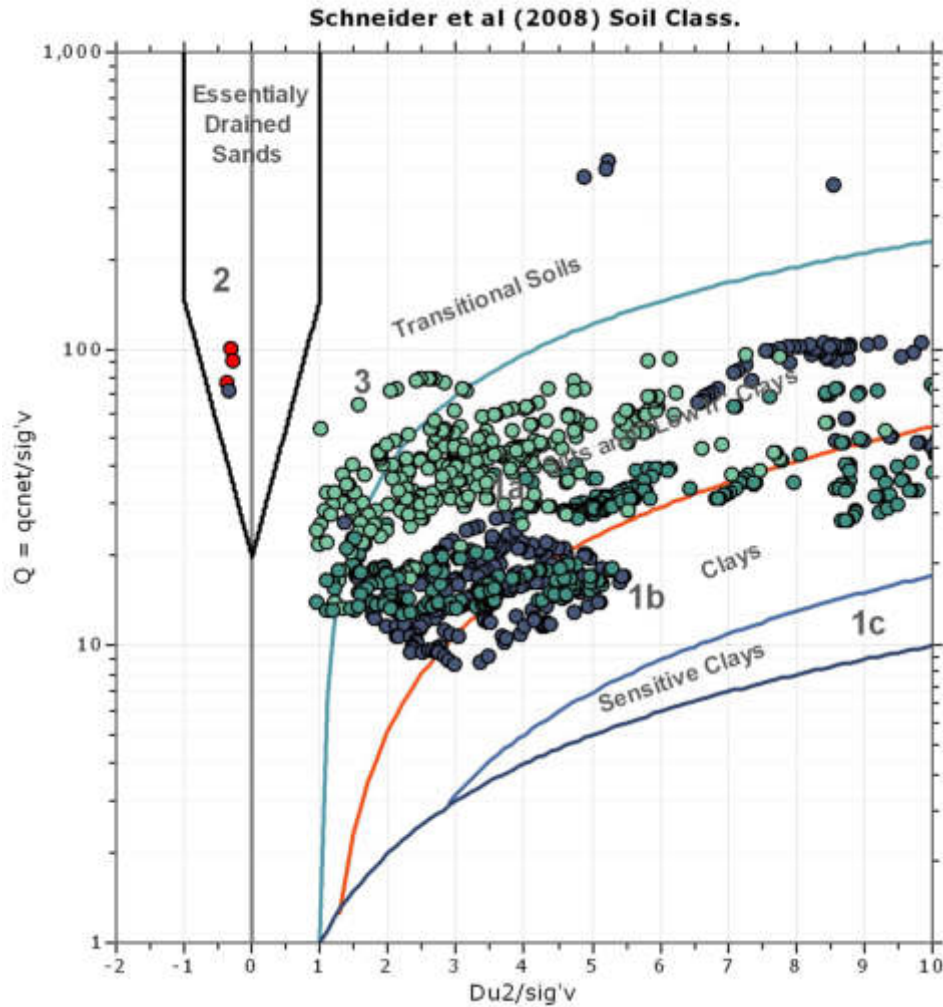
- | | | |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty clay | 7. Gravely sand to sand |
| 2. Organic material | 5. Silty sand to sandy silt | 8. Very stiff sand to clayey sand |
| 3. Clay to silty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



Project: Tampieri Serre

Location: via Manzuta, Faenza (RA)

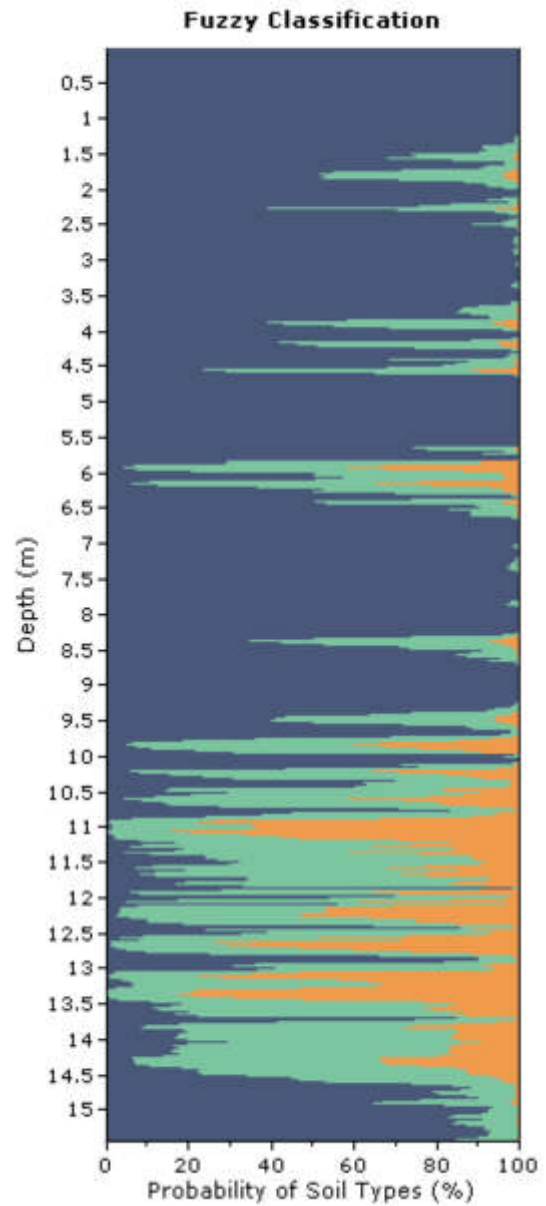
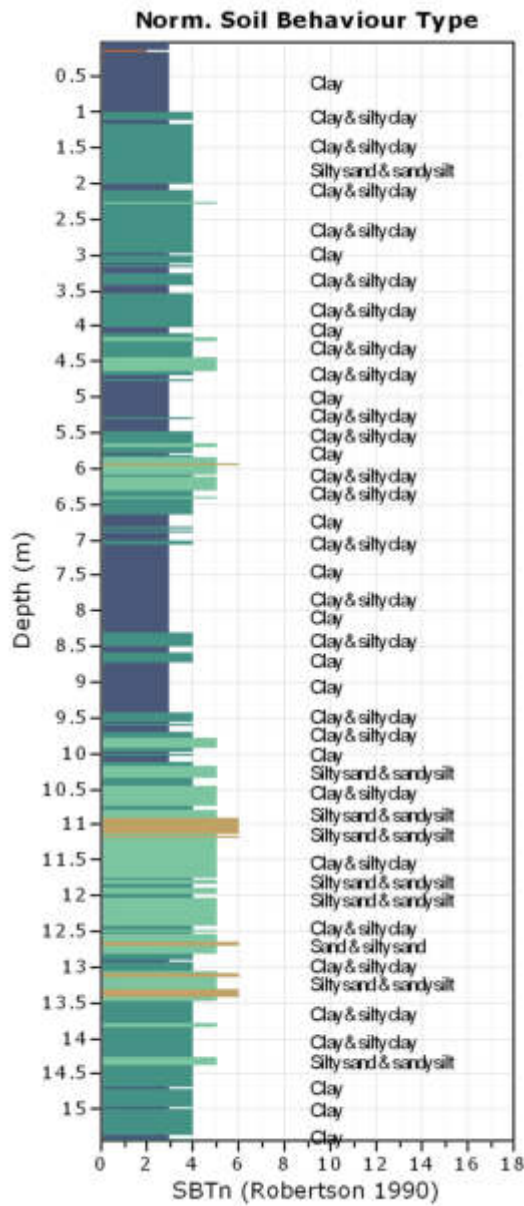
Bq plots (Schneider)

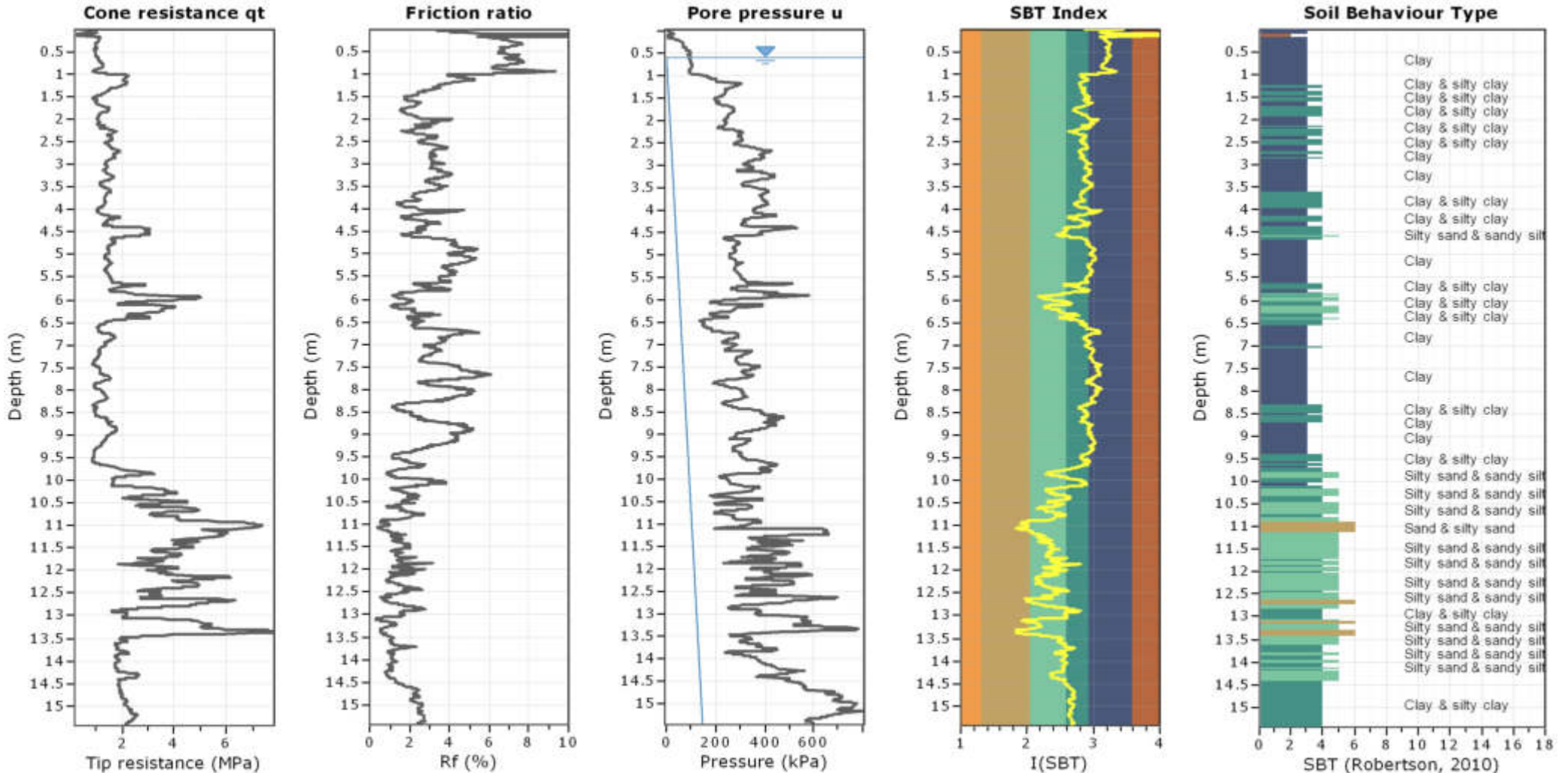




Project: Tampieri Serre

Location: via Manzuta, Faenza (RA)

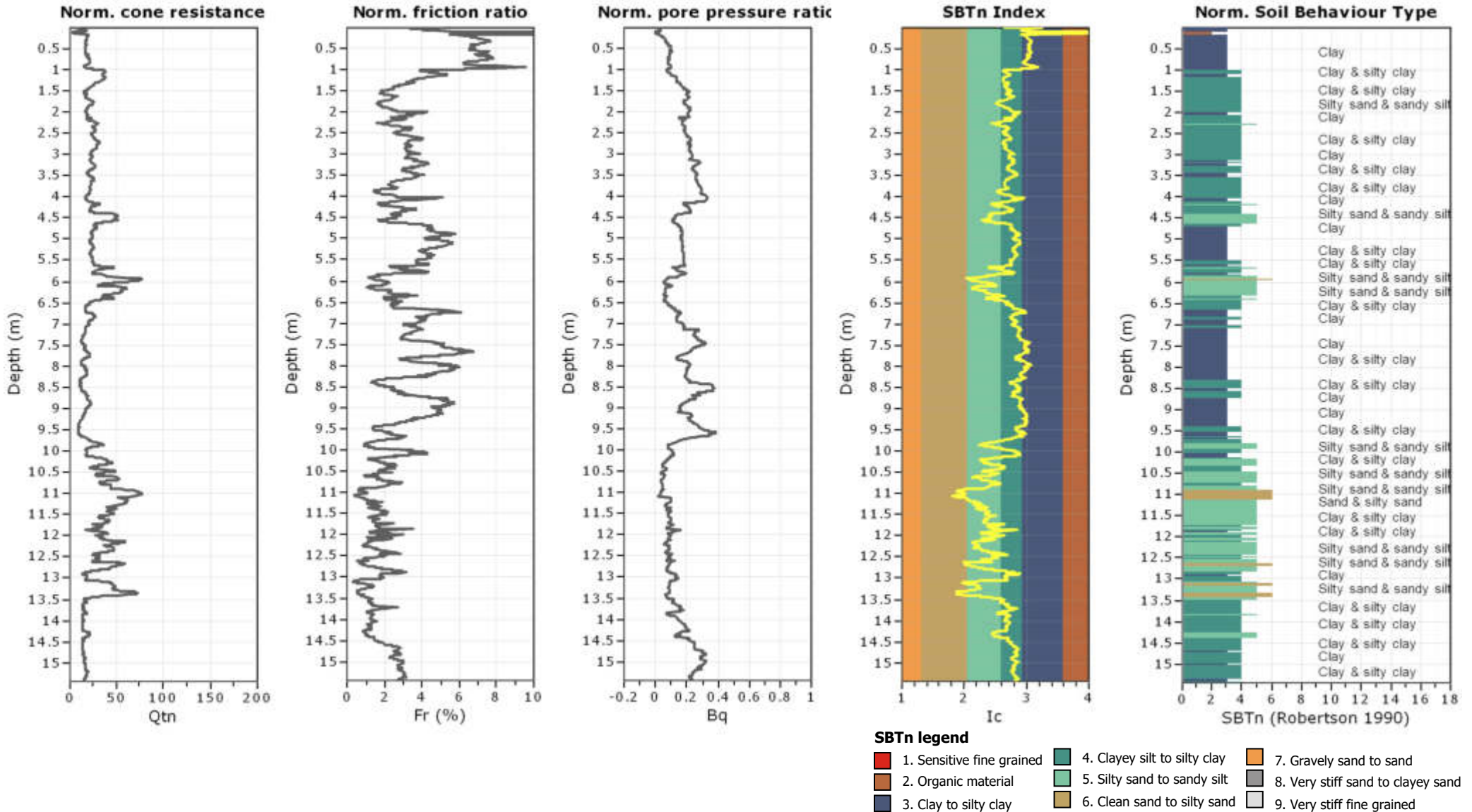




- SBT legend**
- | | | |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty clay | 7. Gravely sand to sand |
| 2. Organic material | 5. Silty sand to sandy silt | 8. Very stiff sand to clayey sand |
|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



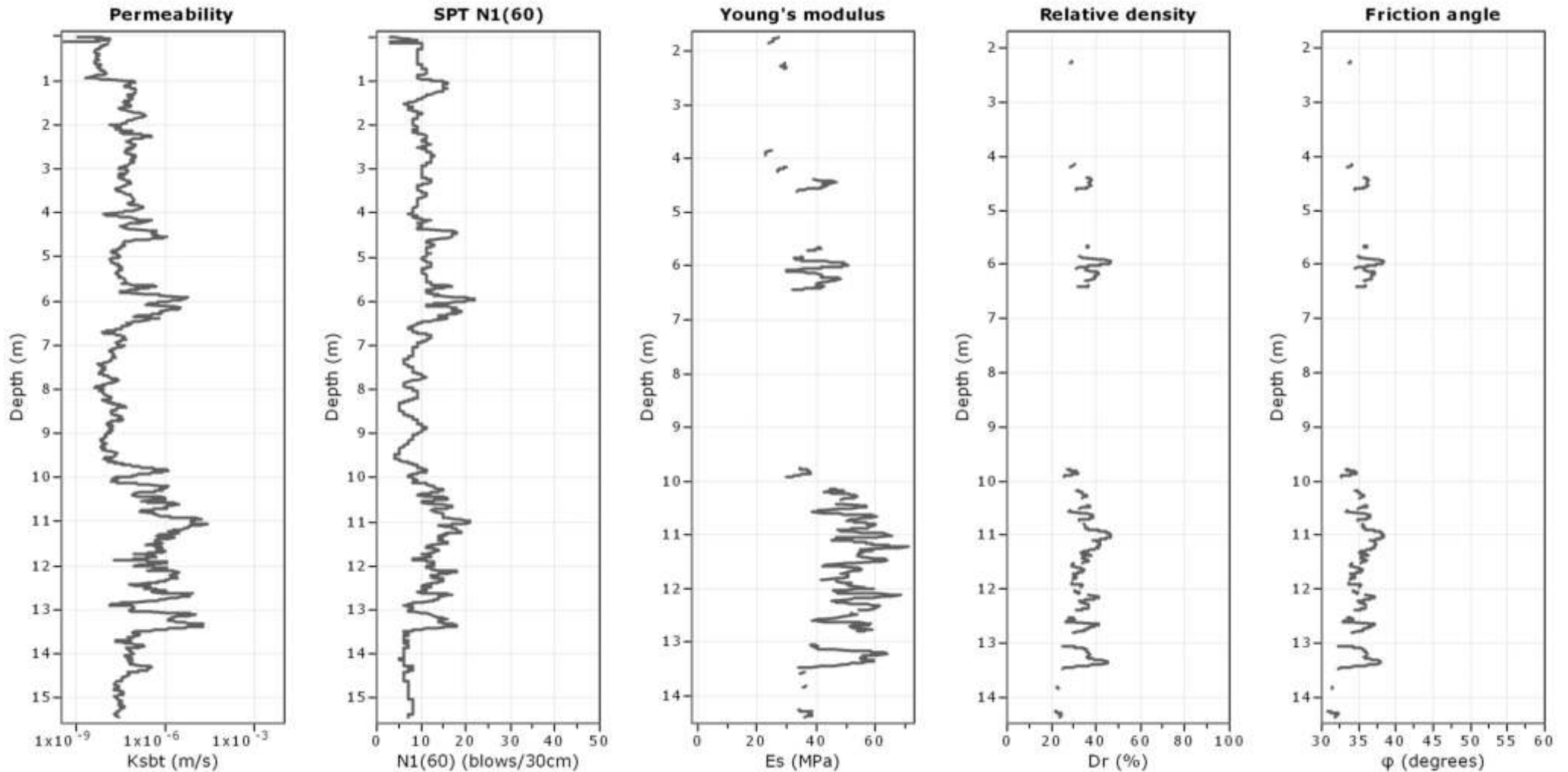
Project: Tampieri Serre
Location: via Manzuta, Faenza (RA)





Project: Tampieri Serre

Location: via Manzuta, Faenza (RA)



Calculation parameters

Permeability: Based on SBT_n

SPT N₆₀: Based on I_c and q_t

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

Relative density constant, C_{Dr}: 350.0

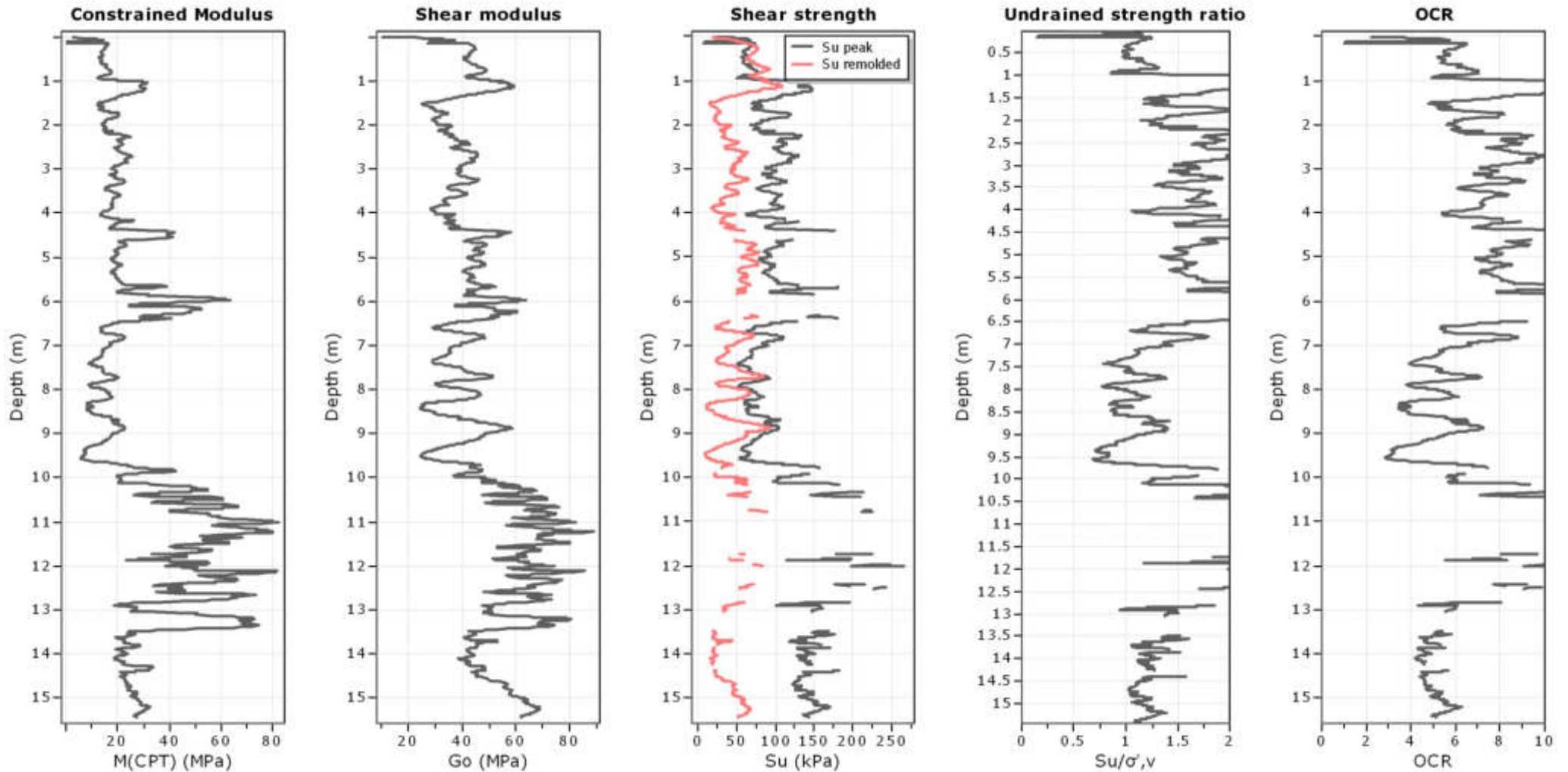
Phi: Based on Kulhawy & Mayne (1990)

● — User defined estimation data



Project: Tampieri Serre

Location: via Manzuta, Faenza (RA)



Calculation parameters

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

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

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

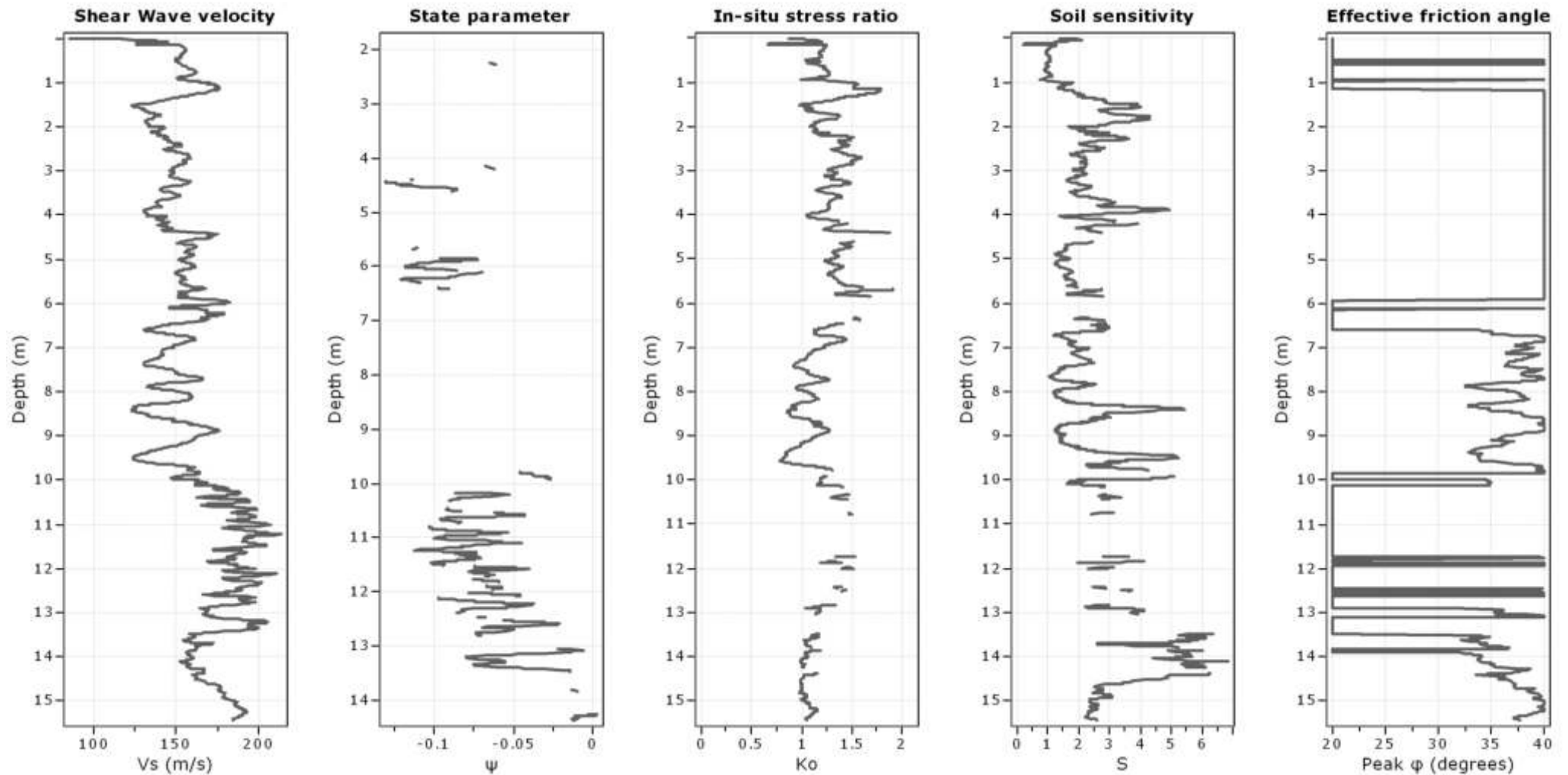
OCR factor for clays, N_{kc} : 0.33

● User defined estimation data



Project: Tampieri Serre

Location: via Manzuta, Faenza (RA)



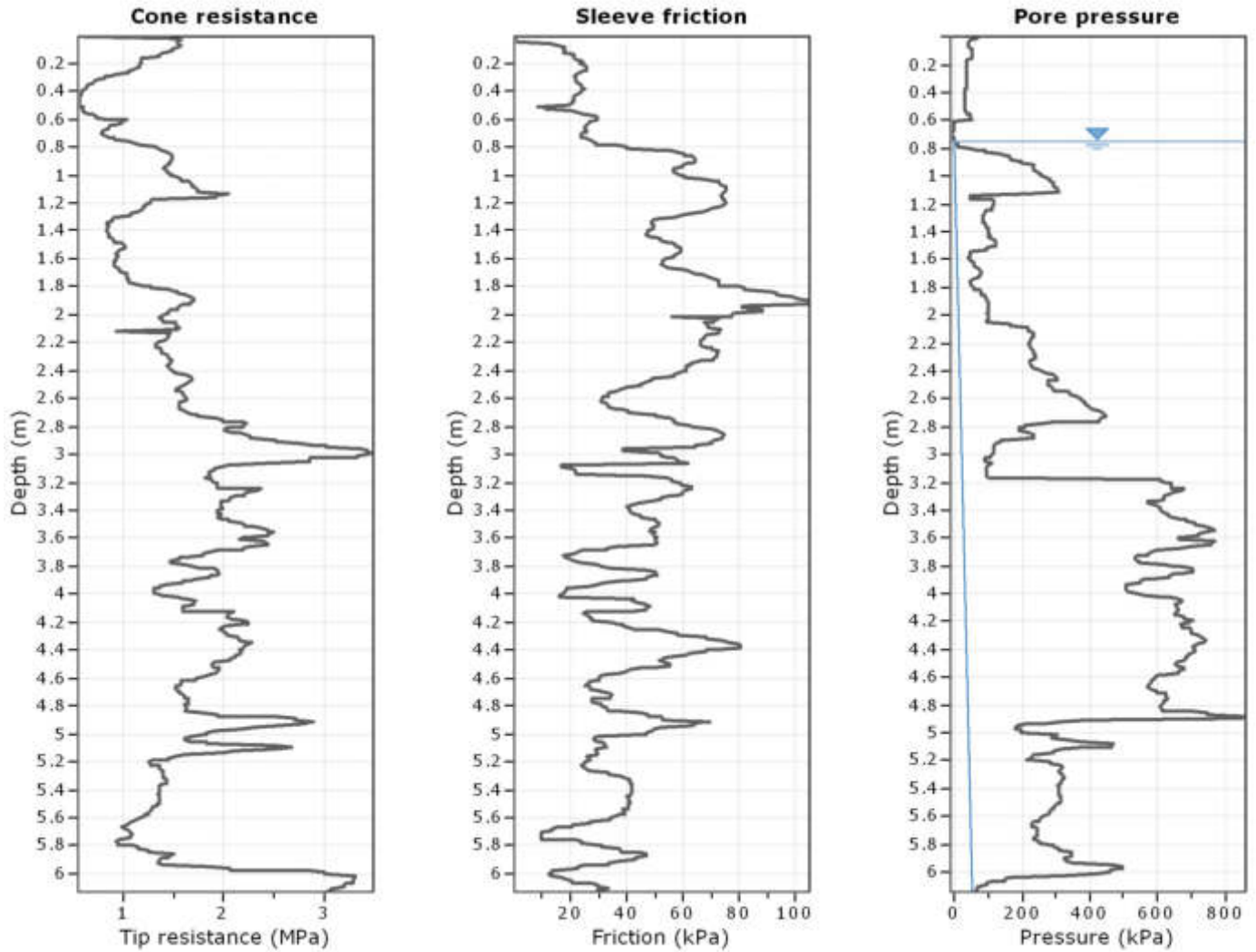
Calculation parameters

Soil Sensitivity factor, N_s : 7.00

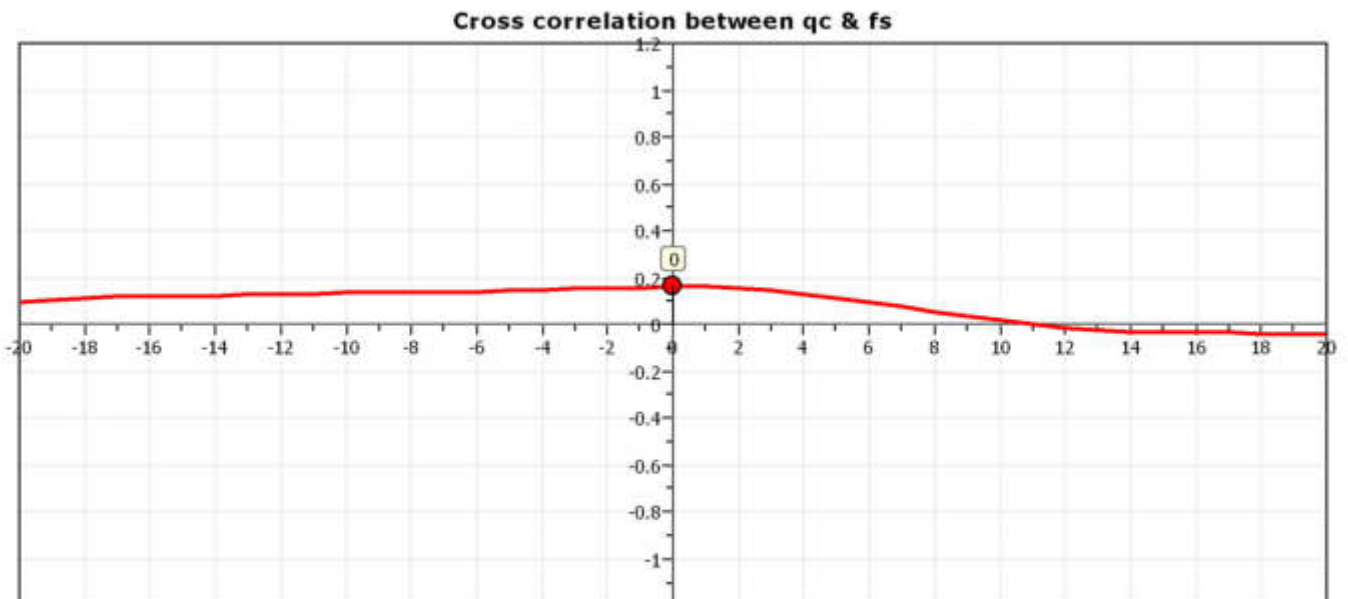
● User defined estimation data



Project: Tampieri Serre
Location: via Manzuta, Faenza (RA)

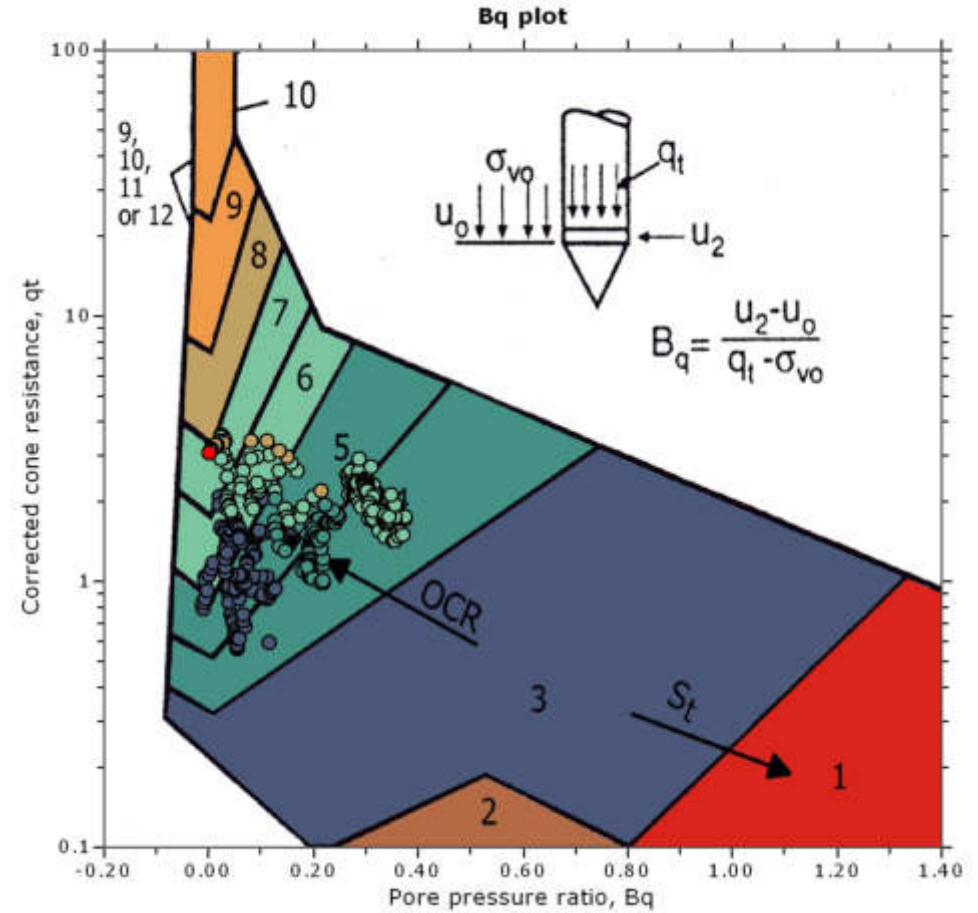
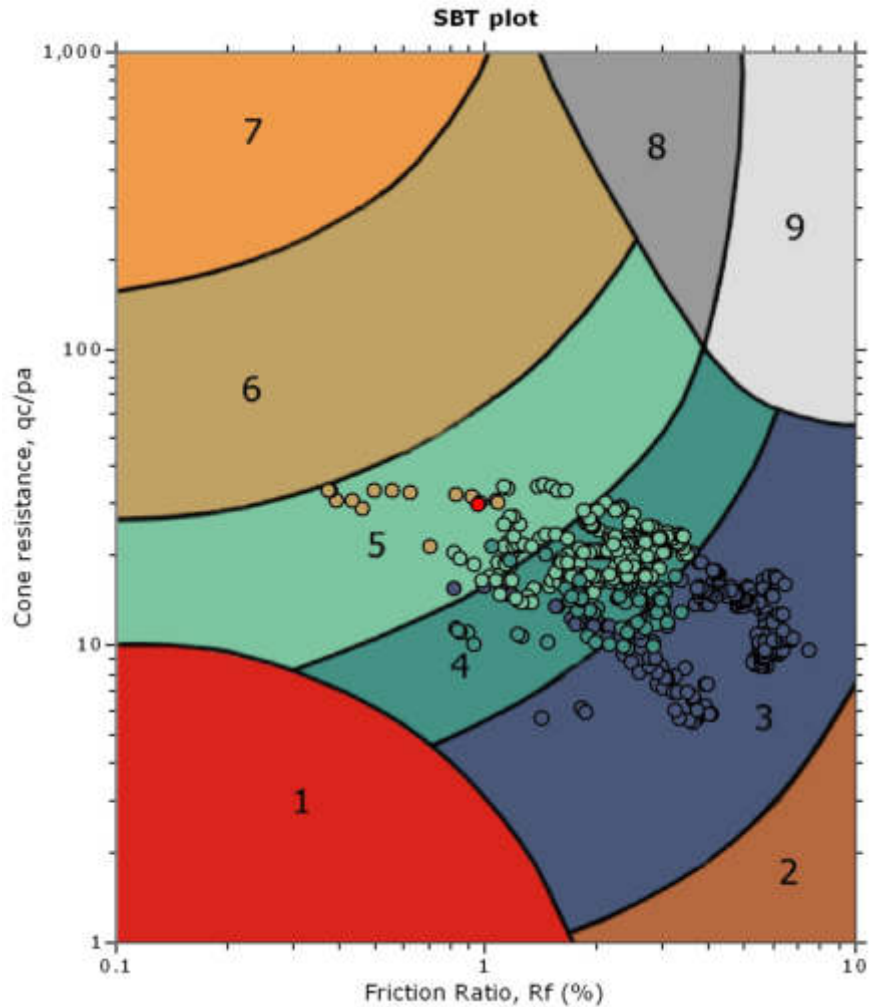


The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw q_c and f_s values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).





SBT - Bq plots

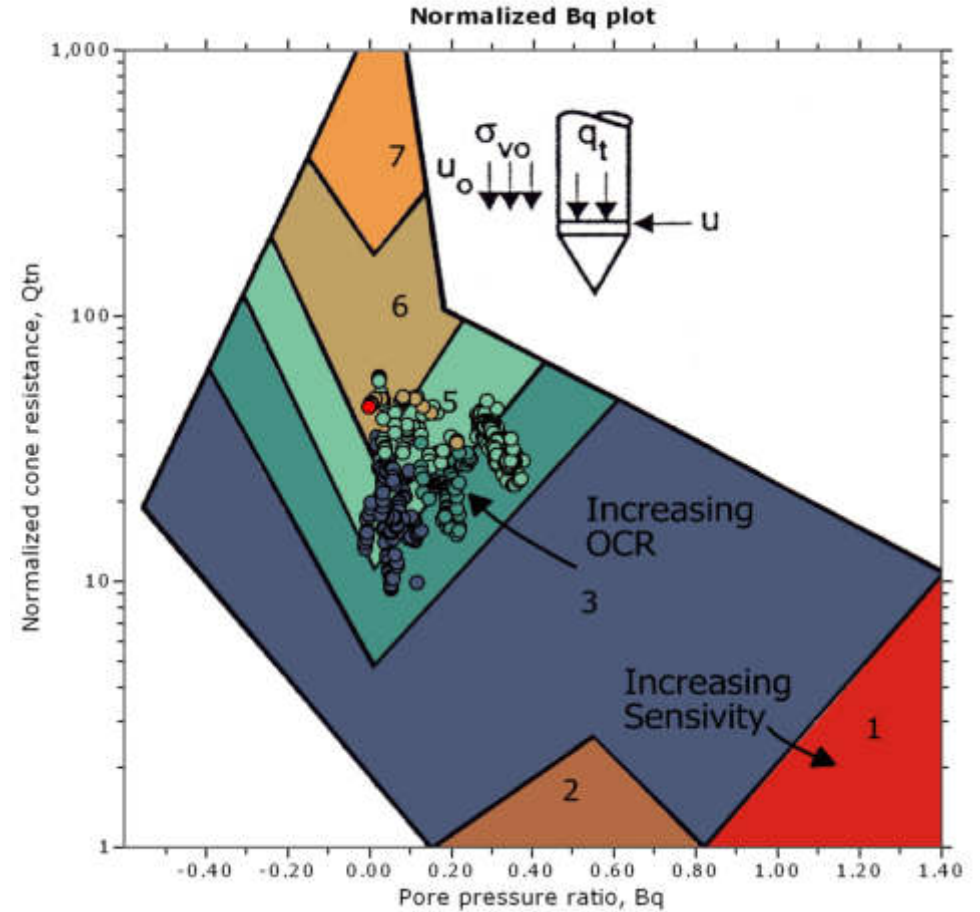
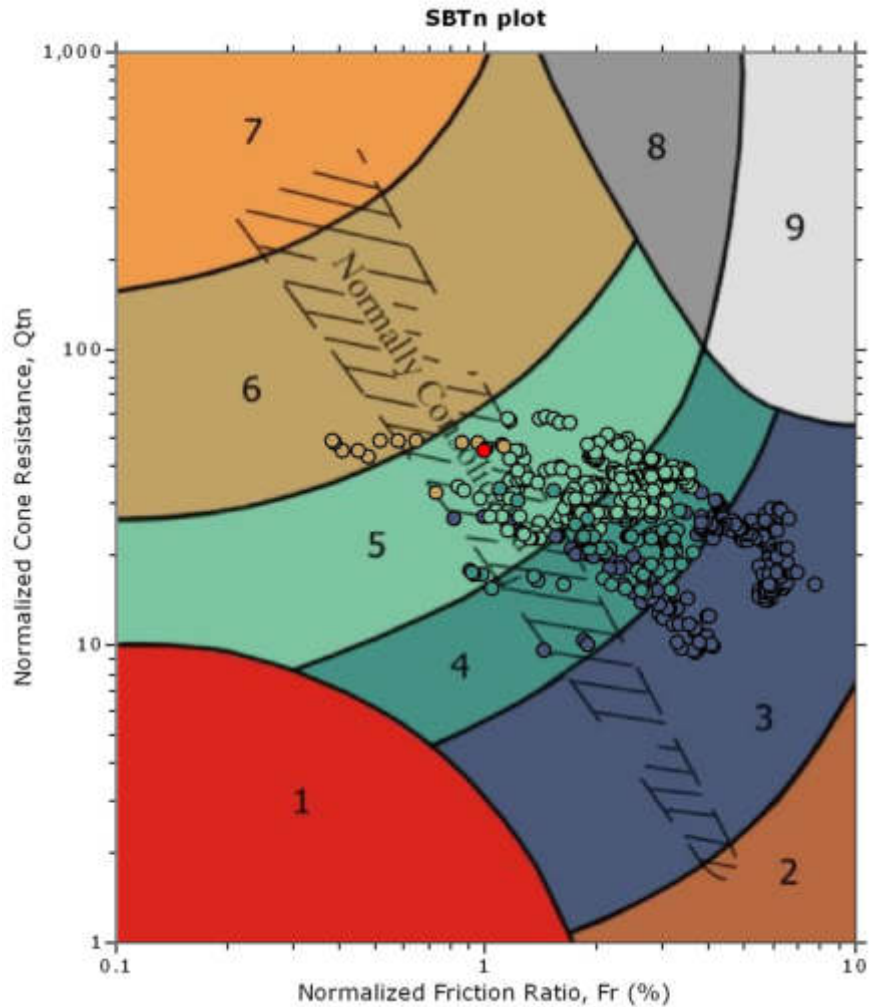


SBT legend

- | | | |
|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ■ 1. Sensitive fine grained ■ 2. Organic material ■ 3. Clay to silty clay | <ul style="list-style-type: none"> ■ 4. Clayey silt to silty clay ■ 5. Silty sand to sandy silt ■ 6. Clean sand to silty sand | <ul style="list-style-type: none"> ■ 7. Gravely sand to sand ■ 8. Very stiff sand to clayey sand ■ 9. Very stiff fine grained |
|---|---|---|



SBT - Bq plots (normalized)



SBTn legend

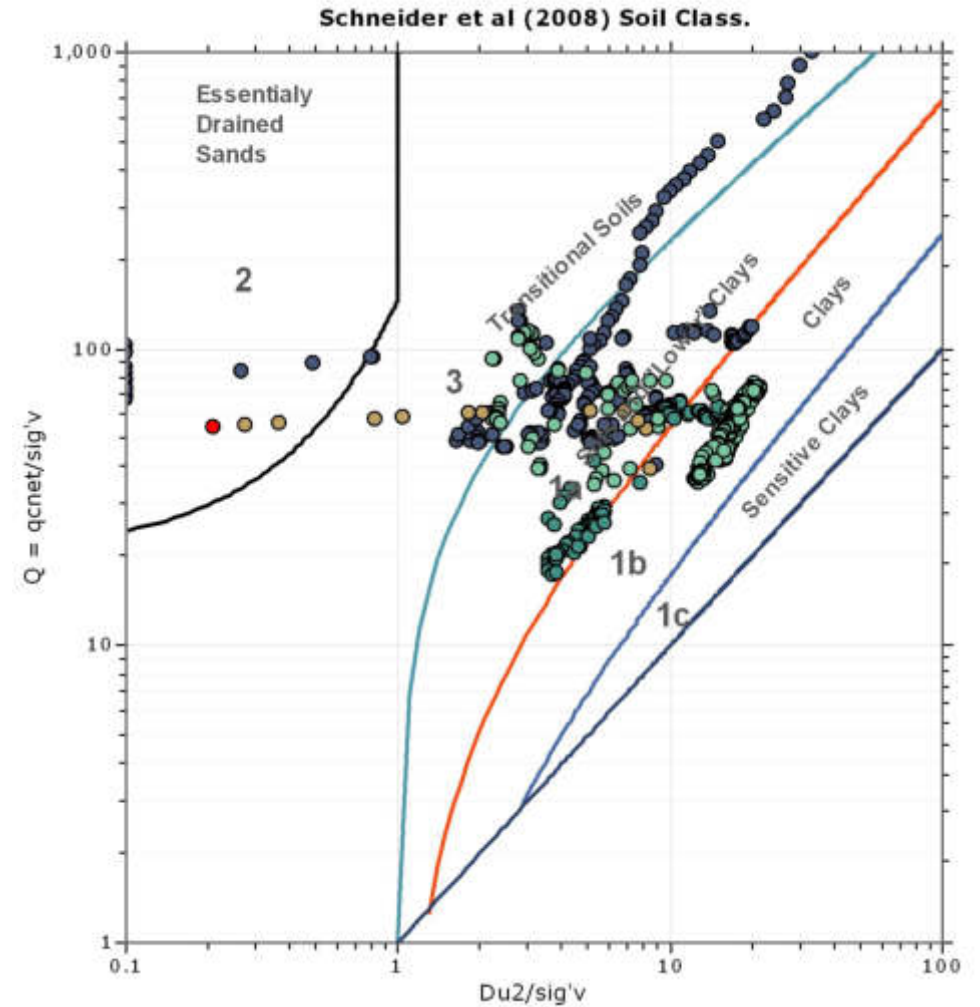
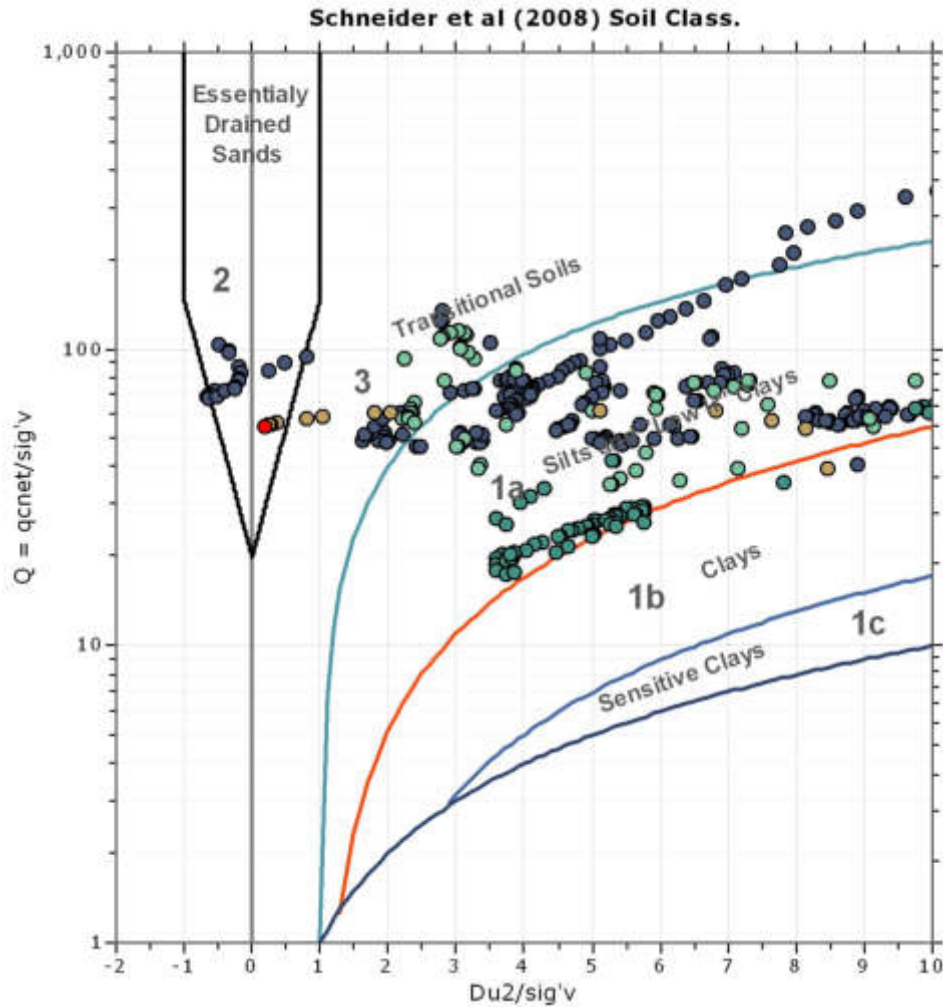
- | | | |
|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ■ 1. Sensitive fine grained ■ 2. Organic material ■ 3. Clay to silty clay | <ul style="list-style-type: none"> ■ 4. Clayey silt to silty clay ■ 5. Silty sand to sandy silt ■ 6. Clean sand to silty sand | <ul style="list-style-type: none"> ■ 7. Gravely sand to sand ■ 8. Very stiff sand to clayey sand ■ 9. Very stiff fine grained |
|---|---|---|



Project: Tampieri Serre

Location: via Manzuta, Faenza (RA)

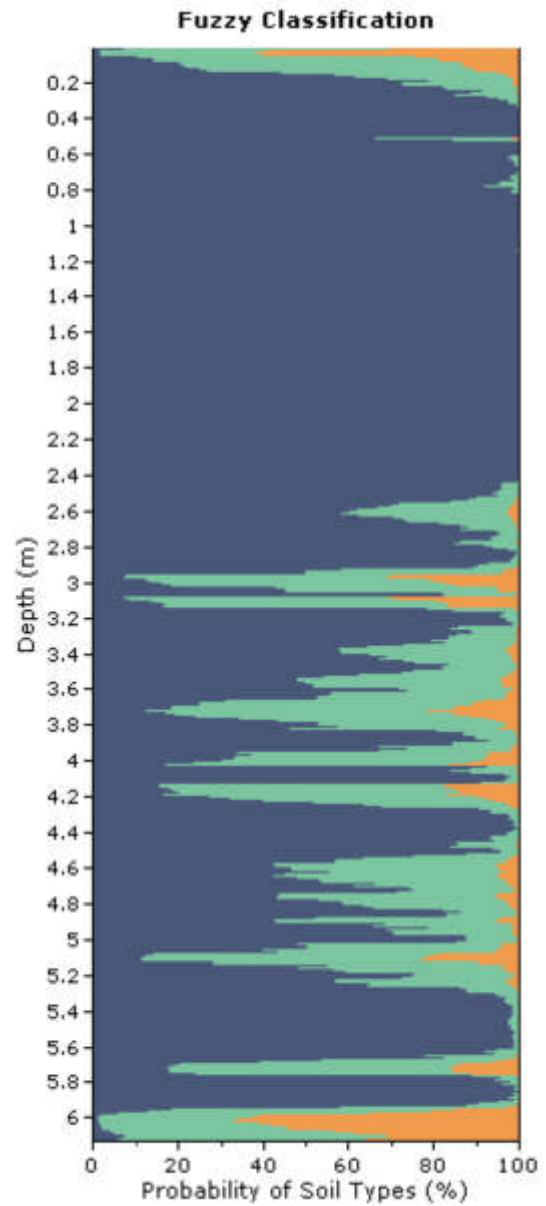
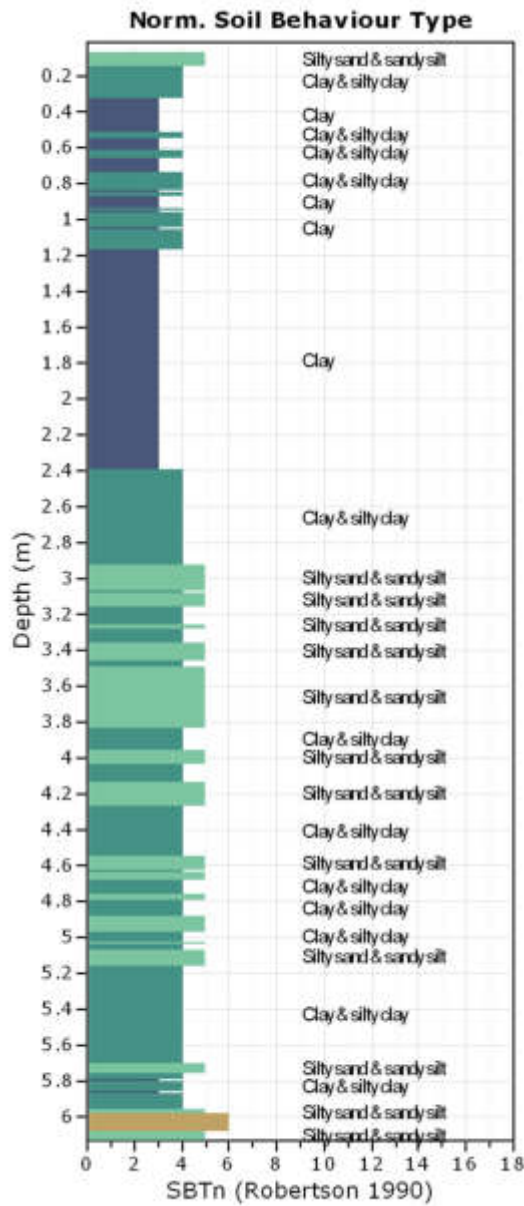
Bq plots (Schneider)





Project: Tampieri Serre

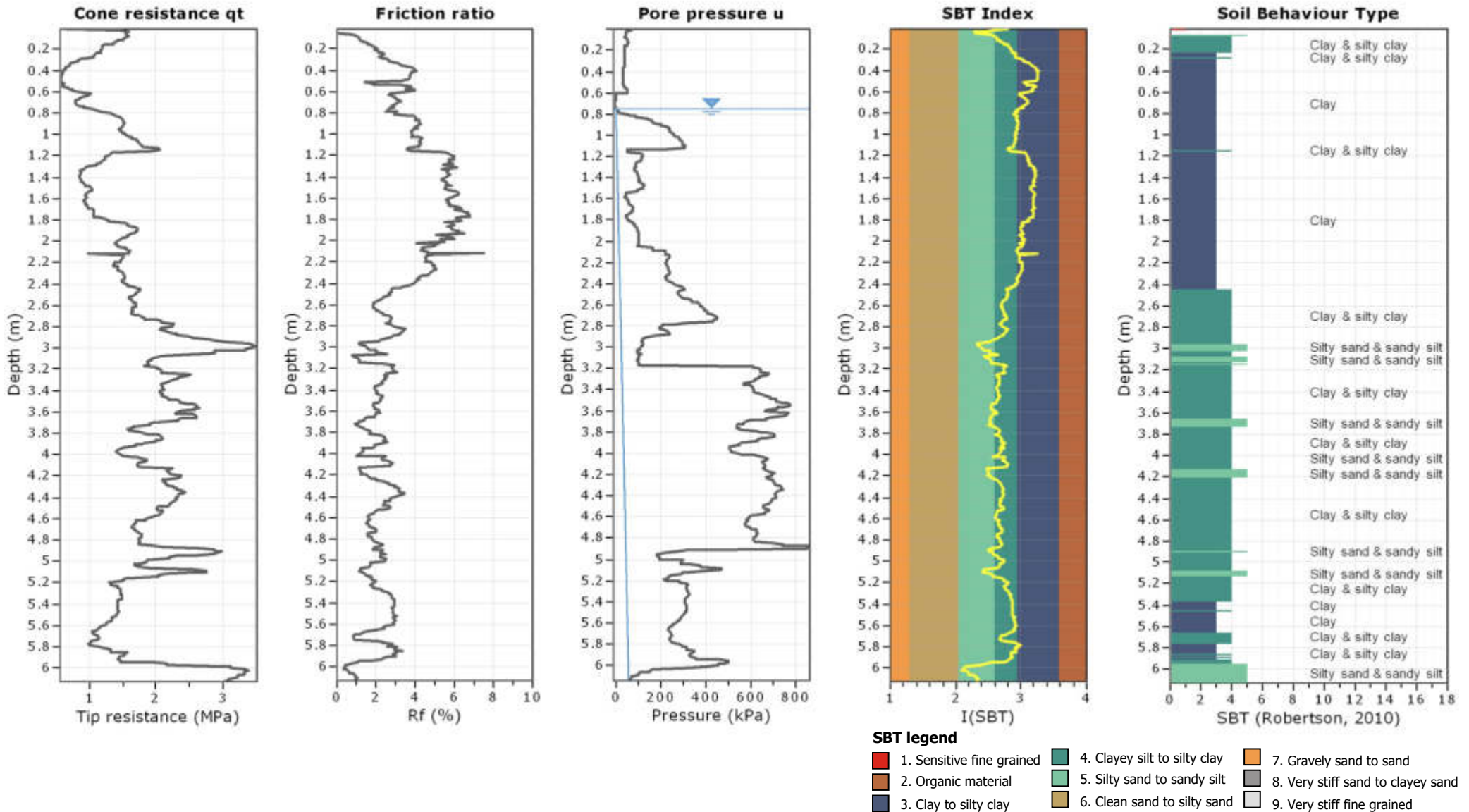
Location: via Manzuta, Faenza (RA)





Project: Tampieri Serre

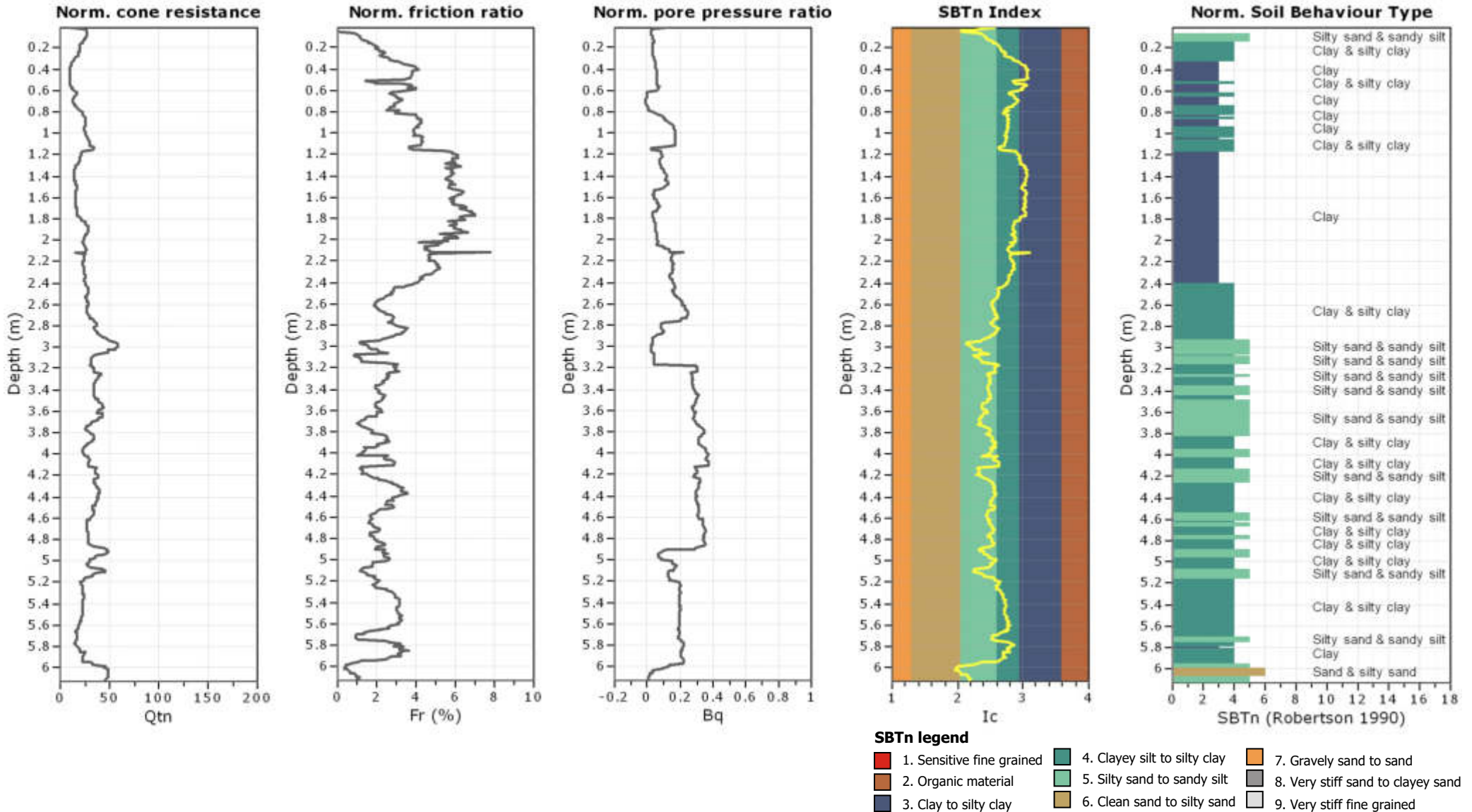
Location: via Manzuta, Faenza (RA)





Project: Tampieri Serre

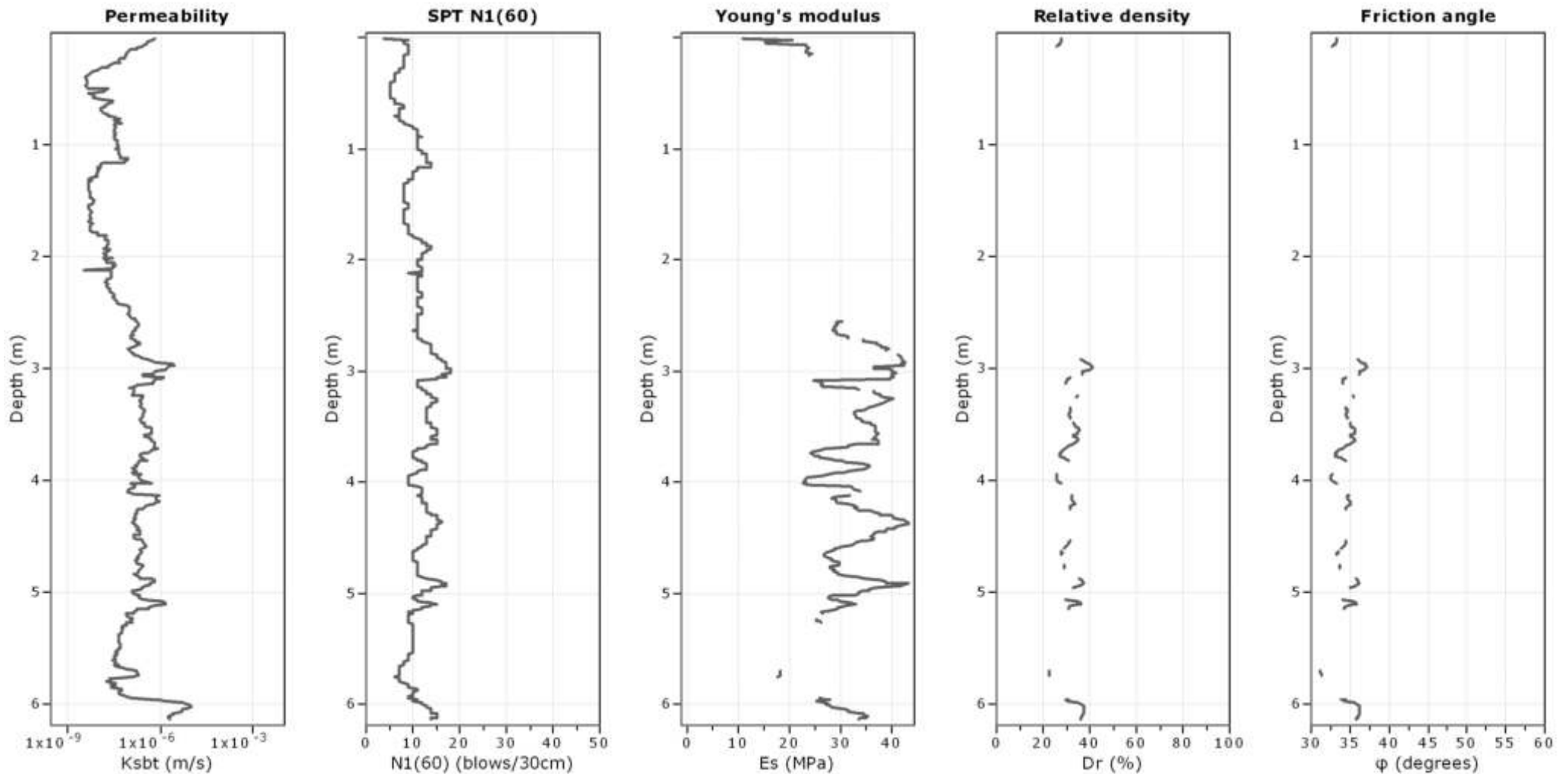
Location: via Manzuta, Faenza (RA)





Project: Tampieri Serre

Location: via Manzuta, Faenza (RA)



Calculation parameters

Permeability: Based on SBT_n

SPT N₆₀: Based on I_c and q_t

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

Relative density constant, C_{Dr}: 350.0

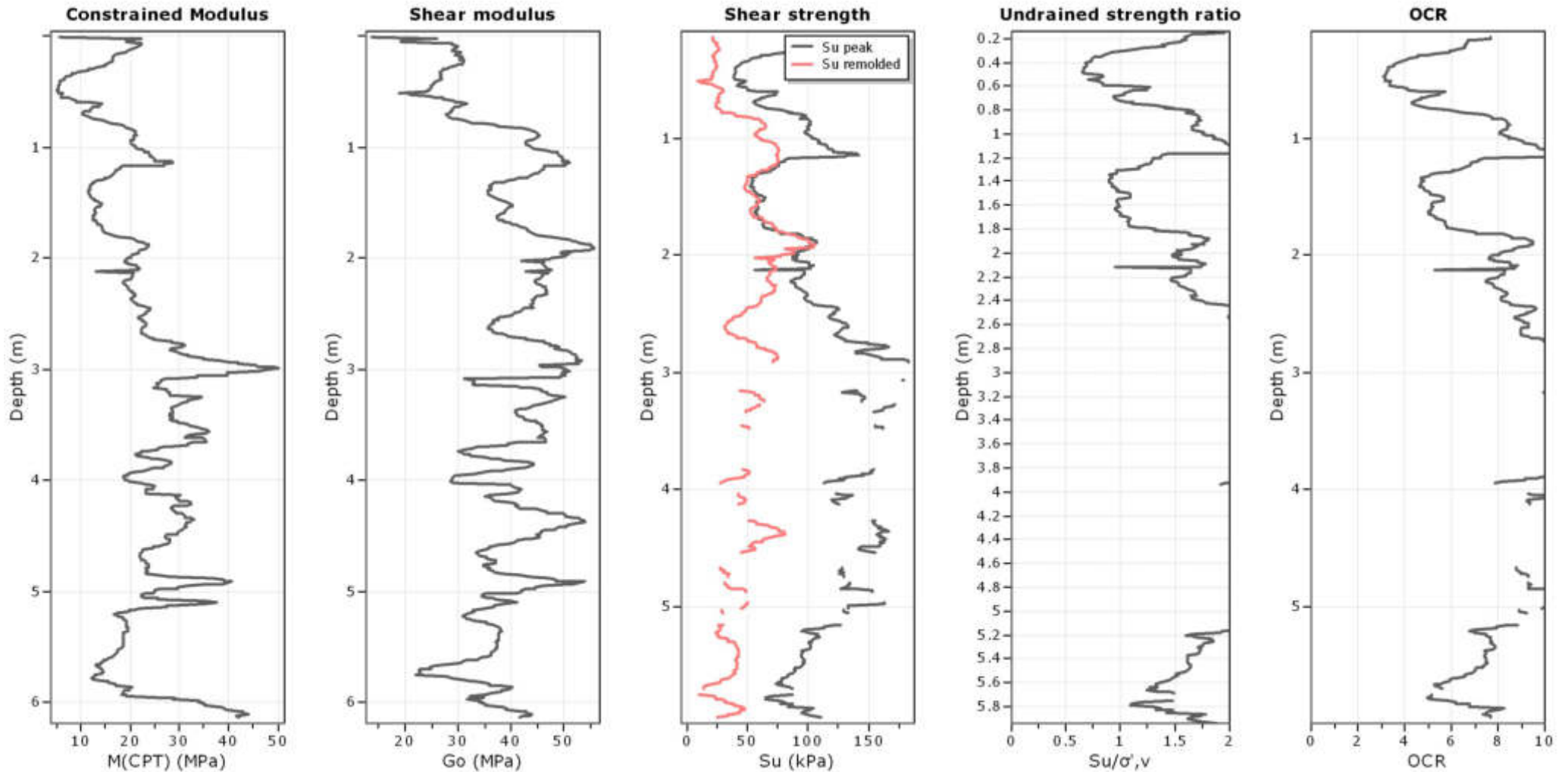
Phi: Based on Kulhawy & Mayne (1990)

● — User defined estimation data



Project: Tampieri Serre

Location: via Manzuta, Faenza (RA)



Calculation parameters

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

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

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

OCR factor for clays, N_{kt} : 0.33

● User defined estimation data



Studio Associato di Ingegneria Geotecno

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

dott. geol. Massimiliano Bottan

<http://www.tema.it>

CPT: CPTU4 - CAVI TOC

Total depth: 6.13 m, Date: 06/04/2023

Surface Elevation: 23.00 m

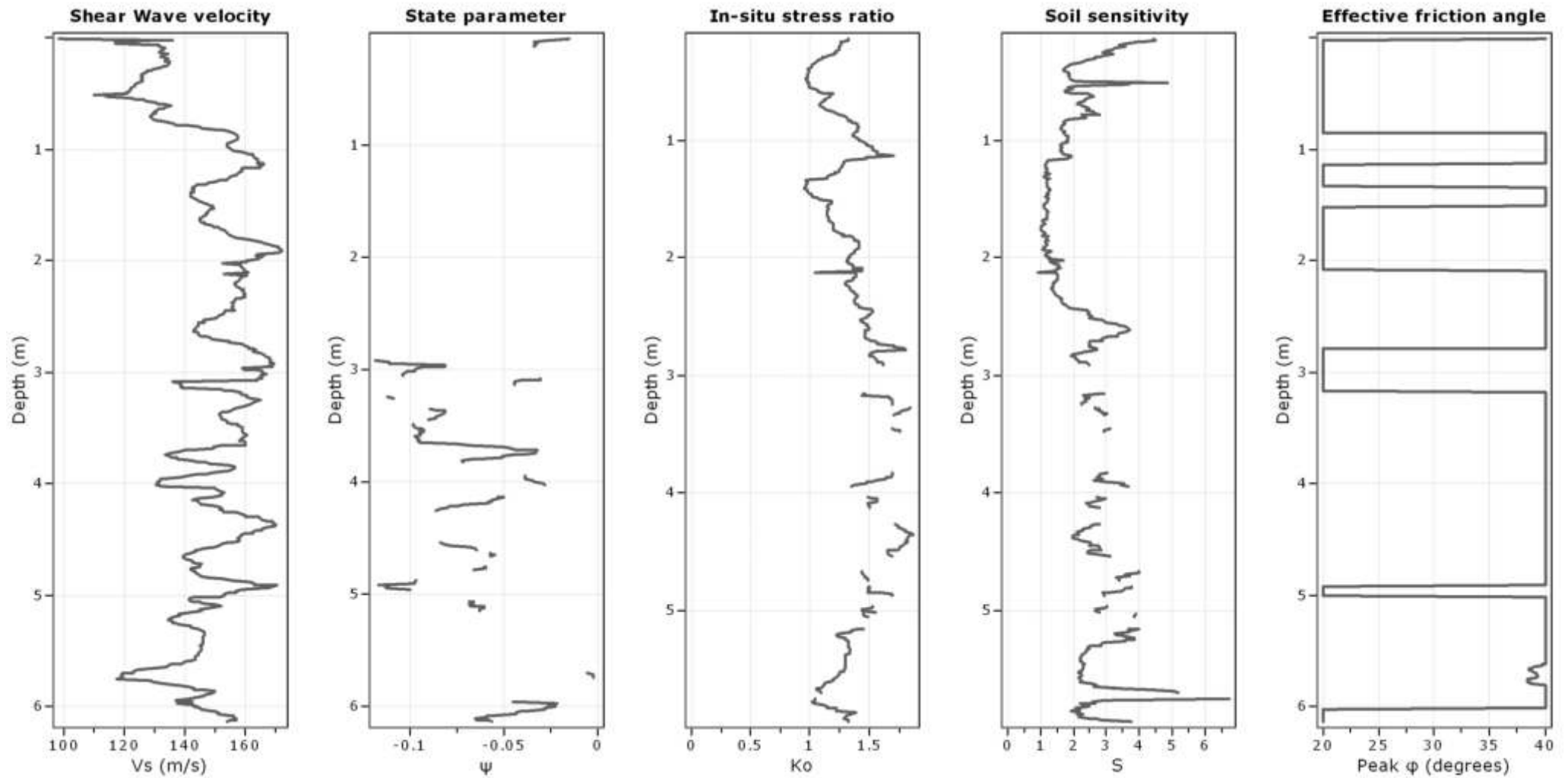
Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type: Pagani CPT probe

Cone Operator: dott. geol. Massimiliano Bottan

Project: Tampieri Serre

Location: via Manzuta, 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 (kN/m³) ::

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

where g_w = water unit weight

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

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

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

:: 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, ψ ::

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

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

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

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

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

If $I_c > 2.20$
 $\alpha = 14$ for $Q_{tn} > 14$
 $\alpha = Q_{tn}$ 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 and 9 or $I_c > I_{c_cutoff}$)

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

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

:: Overconsolidation Ratio, OCR ::

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

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

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

:: In situ Stress Ratio, K_0 ::

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

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

:: Soil Sensitivity, S_t ::

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

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

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

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

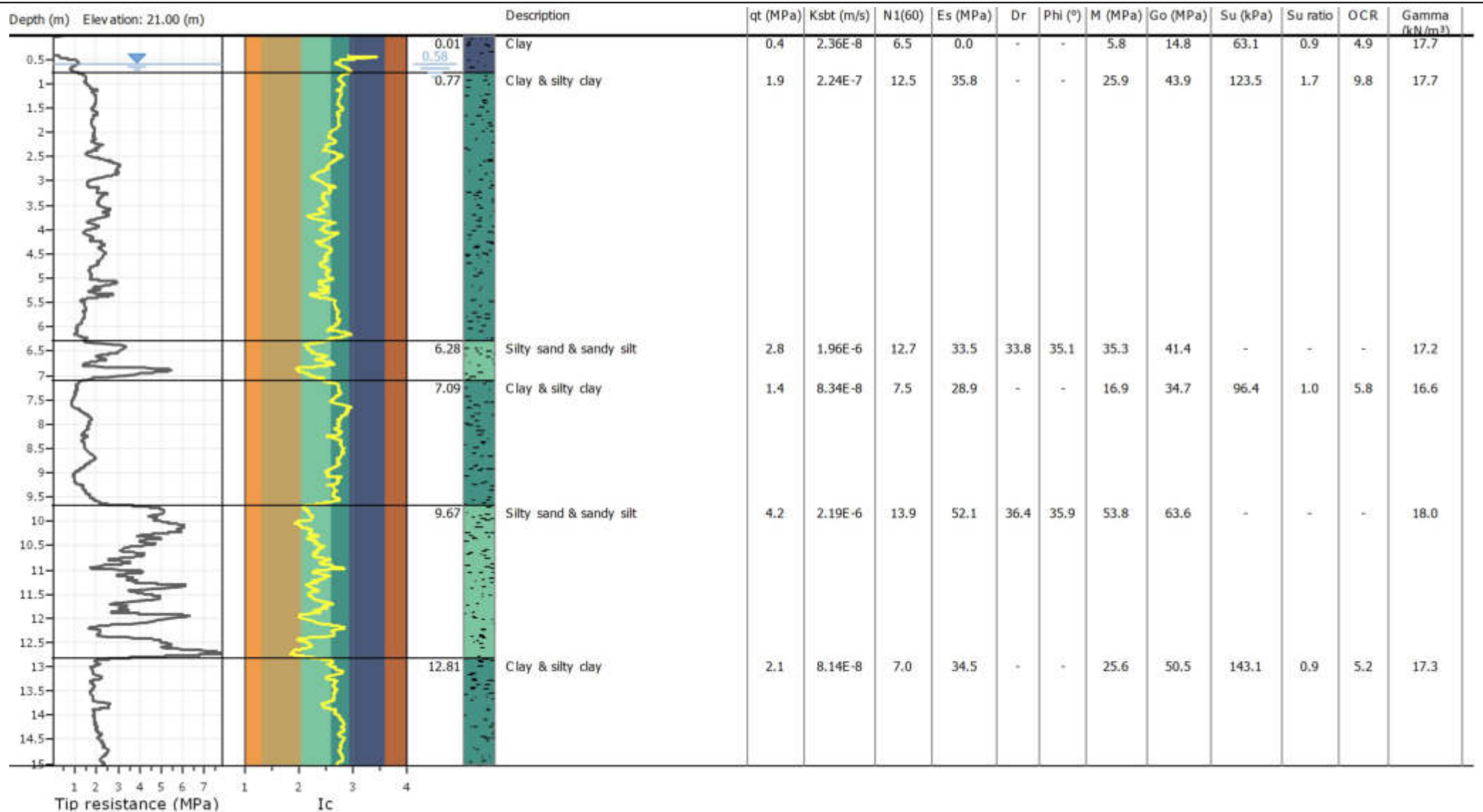
(applicable for $0.10 < B_q < 1.00$)

References

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



Project: Tampieri Serre
Location: via Manzuta, Faenza (RA)





Studio Associato di Ingegneria Geotecno

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

dott. geol. Massimiliano Bottan

<http://www.tema.it>

CPT: CPTU1 - SERBATOI

Total depth: 15.04 m, Date: 06/04/2023

Surface Elevation: 21.00 m

Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type: Pagani CPT probe

Cone Operator: dott. geol. Massimiliano Bottan

Project: Tampieri Serre

Location: via Manzuta, Faenza (RA)

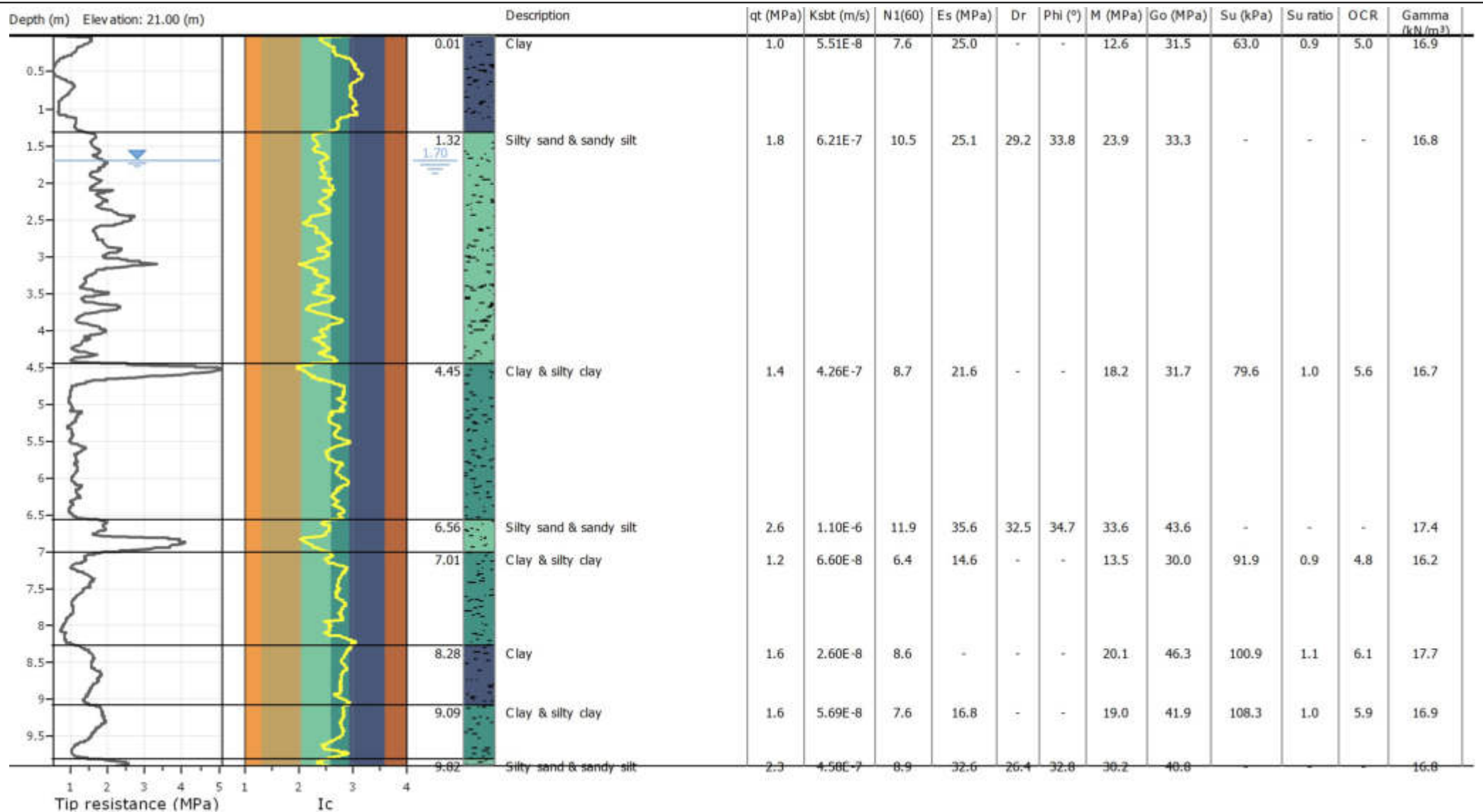
Summary table of mean values

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT _{N60} (blows/30cm)	E _s (MPa)	D _r	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G ₀ (MPa)	Undrained strength, S _u (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m ³)
0.01	0.76	2.36E-08	6.5	0.0	0.0	0.0	5.8	14.8	63.1	0.9	4.9	17.7
0.77		(±1.90E-08)	(±2.1)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±6.5)	(±14.7)	(±19.7)	(±0.3)	(±1.4)	(±1.6)
0.77	5.51	2.24E-07	12.5	35.8	0.0	0.0	25.9	43.9	123.5	1.7	9.8	17.7
6.28		(±3.08E-07)	(±2.5)	(±7.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±6.3)	(±9.3)	(±28.6)	(±0.4)	(±2.4)	(±0.7)
6.28	0.81	1.96E-06	12.7	33.5	33.8	35.1	35.3	41.4	0.0	0.0	0.0	17.2
7.09		(±2.55E-06)	(±3.5)	(±7.3)	(±6.2)	(±1.8)	(±12.6)	(±8.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.6)
7.09	2.58	8.34E-08	7.5	28.9	0.0	0.0	16.9	34.7	96.4	1.0	5.8	16.6
9.67		(±1.93E-07)	(±1.9)	(±6.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±5.6)	(±9.8)	(±18.9)	(±0.2)	(±1.3)	(±1.1)
9.67	3.14	2.19E-06	13.9	52.1	36.4	35.9	53.8	63.6	0.0	0.0	0.0	18.0
12.81		(±3.31E-06)	(±3.1)	(±6.9)	(±4.3)	(±1.1)	(±14.7)	(±9.3)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.5)
12.81	2.23	8.14E-08	7.0	34.5	0.0	0.0	25.6	50.5	143.1	0.9	5.2	17.3
15.04		(±1.13E-07)	(±0.9)	(±0.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±3.7)	(±8.9)	(±12.8)	(±0.1)	(±0.5)	(±0.6)

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



Project: Tampieri Serre
Location: via Manzuta, Faenza (RA)



**Studio Associato di Ingegneria Geotecno**

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

dott. geol. Massimiliano Bottan

<http://www.tema.it>**CPT: CPTU2 - VASCHE**

Total depth: 9.91 m, Date: 06/04/2023

Surface Elevation: 21.00 m

Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type: Pagani CPT probe

Cone Operator: dott. geol. Massimiliano Bottan

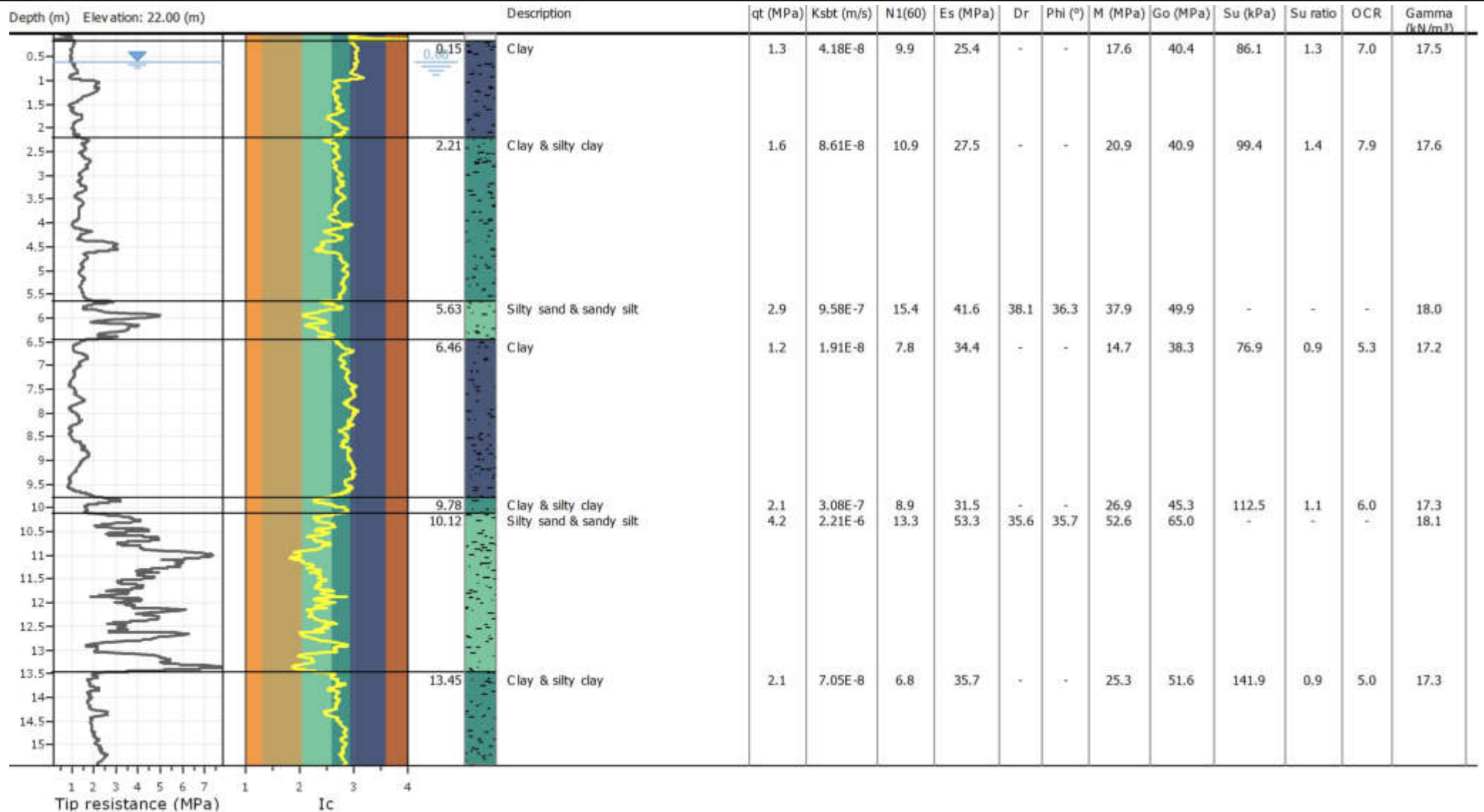
Project: Tampieri Serre**Location: via Manzuta, Faenza (RA)****Summary table of mean values**

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT _{N60} (blows/30cm)	E _s (MPa)	D _r	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G ₀ (MPa)	Undrained strength, S _u (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m ³)
0.01	1.31	5.51E-08	7.6	25.0	0.0	0.0	12.6	31.5	63.0	0.9	5.0	16.9
1.32		(±1.02E-07)	(±1.5)	(±0.3)	(±0.0)	(±0.0)	(±4.8)	(±4.5)	(±20.9)	(±0.2)	(±1.3)	(±0.4)
1.32	3.13	6.21E-07	10.5	25.1	29.2	33.8	23.9	33.3	0.0	0.0	0.0	16.8
4.45		(±8.41E-07)	(±1.9)	(±4.2)	(±3.3)	(±1.1)	(±5.3)	(±6.2)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.6)
4.45	2.11	4.26E-07	8.7	21.6	0.0	0.0	18.2	31.7	79.6	1.0	5.6	16.7
6.56		(±1.40E-06)	(±3.7)	(±2.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±11.4)	(±8.1)	(±11.8)	(±0.1)	(±0.7)	(±0.6)
6.56	0.45	1.10E-06	11.9	35.6	32.5	34.7	33.6	43.6	0.0	0.0	0.0	17.4
7.01		(±1.53E-06)	(±2.8)	(±7.1)	(±5.4)	(±1.6)	(±11.9)	(±7.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.5)
7.01	1.27	6.60E-08	6.4	14.6	0.0	0.0	13.5	30.0	91.9	0.9	4.8	16.2
8.28		(±5.94E-08)	(±1.8)	(±6.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±5.0)	(±8.2)	(±27.2)	(±0.2)	(±1.4)	(±1.2)
8.28	0.81	2.60E-08	8.6	0.0	0.0	0.0	20.1	46.3	100.9	1.1	6.1	17.7
9.09		(±1.30E-08)	(±0.9)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±2.0)	(±4.7)	(±10.4)	(±0.1)	(±0.6)	(±0.4)
9.09	0.73	5.69E-08	7.6	16.8	0.0	0.0	19.0	41.9	108.3	1.0	5.9	16.9
9.82		(±6.62E-08)	(±2.2)	(±3.3)	(±0.0)	(±0.0)	(±5.6)	(±13.1)	(±14.1)	(±0.2)	(±1.3)	(±1.4)
9.82	0.09	4.58E-07	8.9	32.6	26.4	32.8	30.2	40.8	0.0	0.0	0.0	16.8
9.91		(±1.63E-07)	(±1.1)	(±3.8)	(±1.7)	(±0.6)	(±4.0)	(±4.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.4)

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



Project: Tampieri Serre
Location: via Manzuta, Faenza (RA)





Studio Associato di Ingegneria Geotecno

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

dott. geol. Massimiliano Bottan

<http://www.tema.it>

CPT: CPTU3 - MAGAZZINO

Total depth: 15.44 m, Date: 06/04/2023

Surface Elevation: 22.00 m

Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type: Pagani CPT probe

Cone Operator: dott. geol. Massimiliano Bottan

Project: Tampieri Serre

Location: via Manzuta, Faenza (RA)

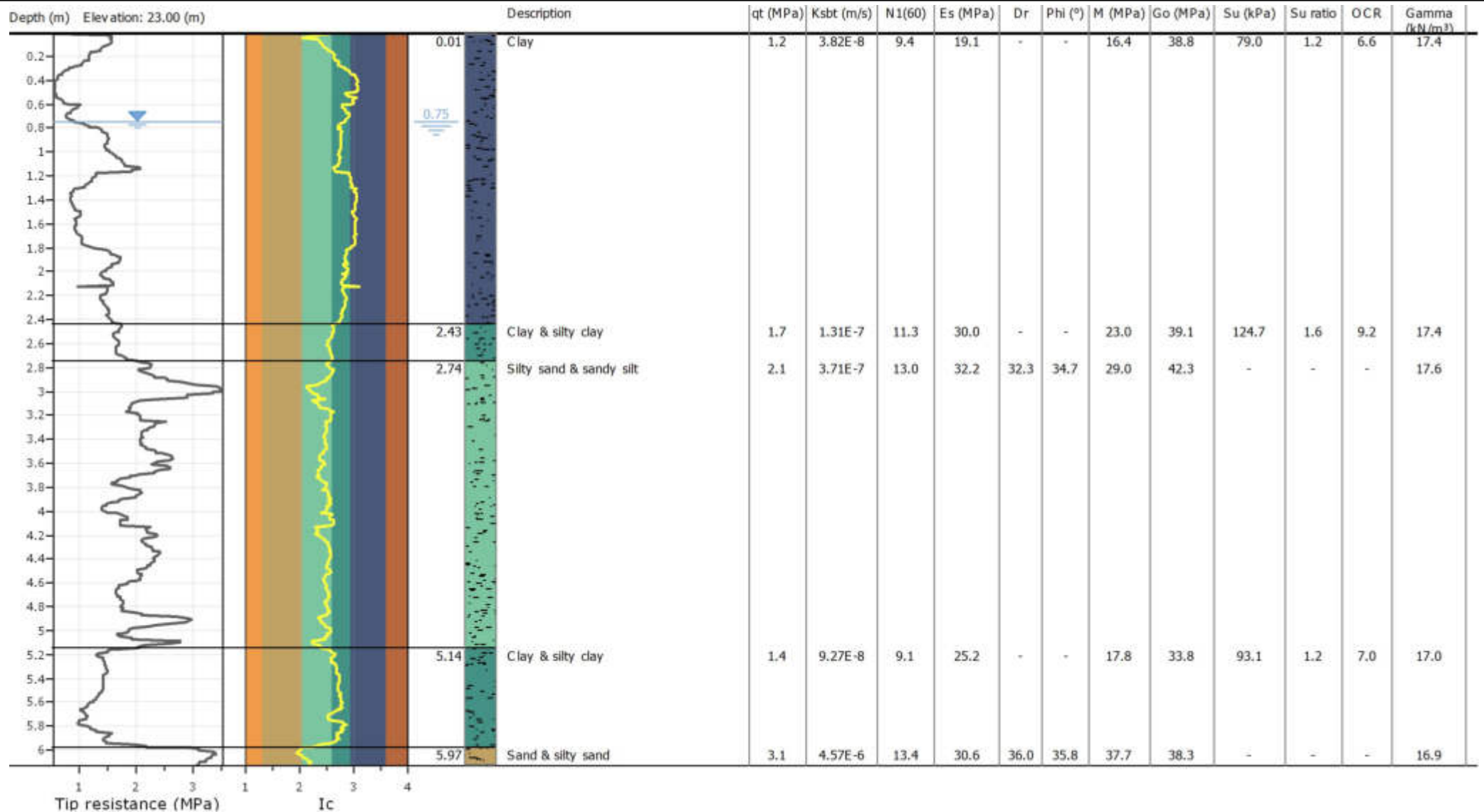
Summary table of mean values

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT _{N60} (blows/30cm)	E _s (MPa)	D _r	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G ₀ (MPa)	Undrained strength, S _u (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m ³)
0.15	2.06	4.18E-08	9.9	25.4	0.0	0.0	17.6	40.4	86.1	1.3	7.0	17.5
2.21		(±4.18E-08)	(±2.4)	(±1.1)	(±0.0)	(±0.0)	(±5.4)	(±8.9)	(±27.9)	(±0.4)	(±2.2)	(±0.7)
2.21	3.42	8.61E-08	10.9	27.5	0.0	0.0	20.9	40.9	99.4	1.4	7.9	17.6
5.63		(±1.28E-07)	(±1.9)	(±5.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±5.3)	(±5.7)	(±15.1)	(±0.2)	(±1.1)	(±0.4)
5.63	0.83	9.58E-07	15.4	41.6	38.1	36.3	37.9	49.9	0.0	0.0	0.0	18.0
6.46		(±1.24E-06)	(±3.2)	(±5.4)	(±4.5)	(±1.1)	(±12.4)	(±6.9)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.3)
6.46	3.32	1.91E-08	7.8	34.4	0.0	0.0	14.7	38.3	76.9	0.9	5.3	17.2
9.78		(±1.83E-08)	(±1.9)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±4.6)	(±8.4)	(±17.7)	(±0.2)	(±1.4)	(±0.7)
9.78	0.34	3.08E-07	8.9	31.5	0.0	0.0	26.9	45.3	112.5	1.1	6.0	17.3
10.12		(±3.97E-07)	(±1.3)	(±2.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±8.0)	(±4.8)	(±16.6)	(±0.1)	(±0.4)	(±0.4)
10.12	3.33	2.21E-06	13.3	53.3	35.6	35.7	52.6	65.0	0.0	0.0	0.0	18.1
13.45		(±3.97E-06)	(±3.0)	(±6.9)	(±4.6)	(±1.2)	(±14.8)	(±9.1)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.4)
13.45	1.99	7.05E-08	6.8	35.7	0.0	0.0	25.3	51.6	141.9	0.9	5.0	17.3
15.44		(±1.01E-07)	(±0.8)	(±0.9)	(±0.0)	(±0.0)	(±4.0)	(±9.1)	(±13.3)	(±0.1)	(±0.5)	(±0.6)

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



Project: Tampieri Serre
Location: via Manzuta, Faenza (RA)



**Studio Associato di Ingegneria Geotecno**

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

dott. geol. Massimiliano Bottan

<http://www.tema.it>**CPT: CPTU4 - CAVI TOC**

Total depth: 6.13 m, Date: 06/04/2023

Surface Elevation: 23.00 m

Coords: X:0.00, Y:0.00

Cone Type: Pagani CPT probe

Cone Operator: dott. geol. Massimiliano Bottan

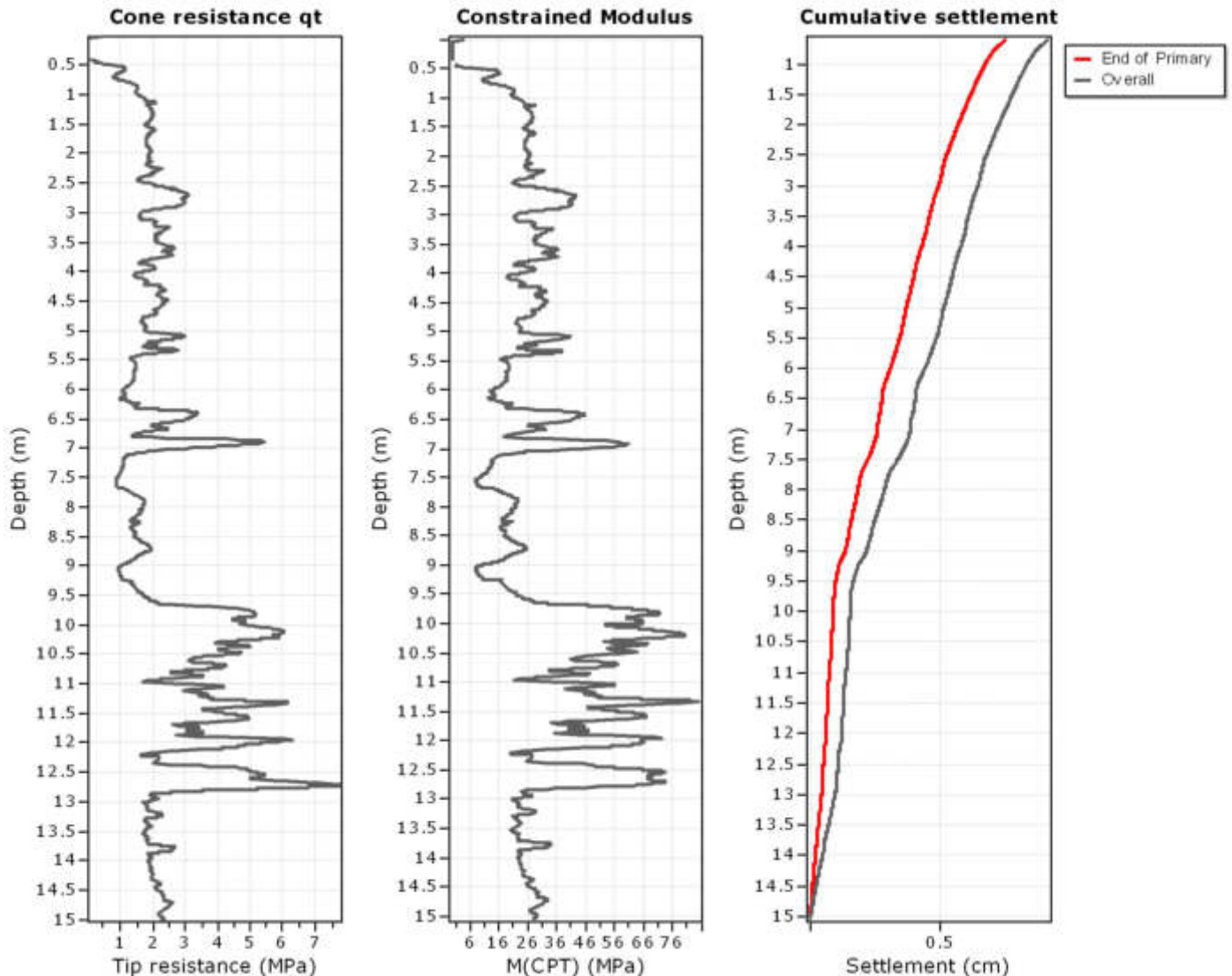
Project: Tampieri Serre**Location: via Manzuta, Faenza (RA)****Summary table of mean values**

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT _{N60} (blows/30cm)	E _s (MPa)	D _r	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G ₀ (MPa)	Undrained strength, S _u (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m ³)
0.01	2.42	3.82E-08	9.4	19.1	0.0	0.0	16.4	38.8	79.0	1.2	6.6	17.4
2.43		(±8.17E-08)	(±2.4)	(±5.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±5.3)	(±9.0)	(±23.4)	(±0.3)	(±2.0)	(±0.9)
2.43	0.31	1.31E-07	11.3	30.0	0.0	0.0	23.0	39.1	124.7	1.6	9.2	17.4
2.74		(±3.92E-08)	(±0.5)	(±1.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.8)	(±2.8)	(±5.1)	(±0.1)	(±0.3)	(±0.2)
2.74	2.40	3.71E-07	13.0	32.2	32.3	34.7	29.0	42.3	0.0	0.0	0.0	17.6
5.14		(±3.83E-07)	(±2.1)	(±5.6)	(±3.7)	(±1.1)	(±5.8)	(±6.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.5)
5.14	0.83	9.27E-08	9.1	25.2	0.0	0.0	17.8	33.8	93.1	1.2	7.0	17.0
5.97		(±1.18E-07)	(±1.3)	(±2.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±3.1)	(±4.7)	(±12.5)	(±0.2)	(±0.9)	(±0.5)
5.97	0.16	4.57E-06	13.4	30.6	36.0	35.8	37.7	38.3	0.0	0.0	0.0	16.9
6.13		(±2.87E-06)	(±1.5)	(±3.2)	(±2.1)	(±0.6)	(±4.7)	(±4.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.4)

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



Settlements calculation according to theory of elasticity*



Caclulation properties

Footing type: Rectangular

Footing width: 7.50 (m)

L/B: 2.3

Footing pressure: 41.00 (kPa)

Embedment depth: 0.60 (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: 24 months

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

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

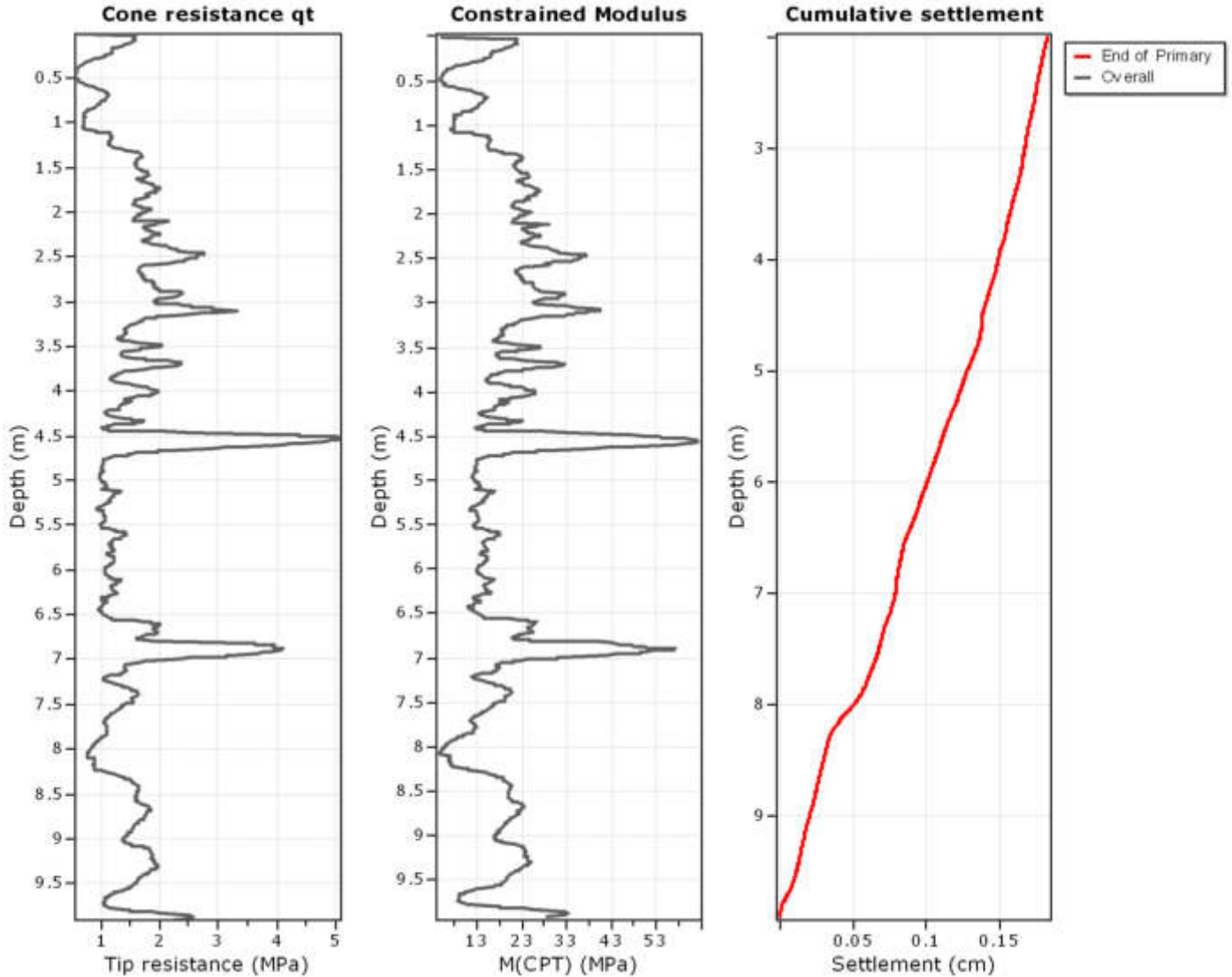
* Secondary (creep) settlements calculation is performed according to the following formula:

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



Project: Tampieri Serre
Location: via Manzuta, Faenza (RA)

Settlements calculation according to theory of elasticity*



Caclulation properties

Footing type: Rectangular
 Footing width: 40.00 (m)
 L/B: 2.9
 Footing pressure: 4.00 (kPa)
 Embedment depth: 2.00 (m)
 Footing is rigid: No
 Remove excavation load: No
 Apply 20% rule: No
 Calculate secondary settlements: No
 Time period for primary consolidation: N/A
 Time period for second. settlements: N/A

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

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

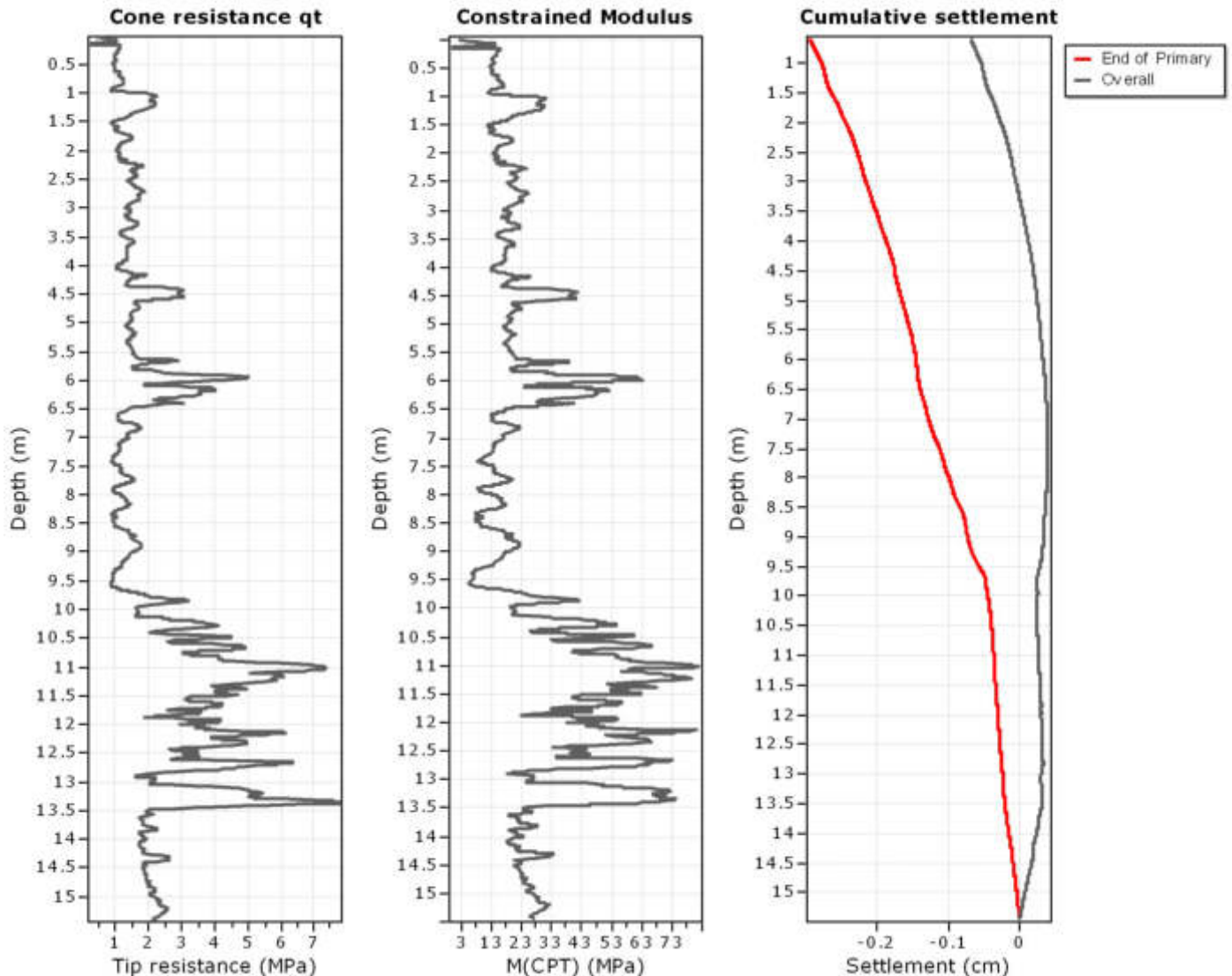
* Secondary (creep) settlements calculation is performed according to the following formula:

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



Project: Tampieri Serre
Location: via Manzuta, Faenza (RA)

Settlements calculation according to theory of elasticity*



Caclulation properties

Footing type: Rectangular
 Footing width: 12.80 (m)
 L/B: 7.4
 Footing pressure: 5.00 (kPa)
 Embedment depth: 0.60 (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: 24 months

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

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

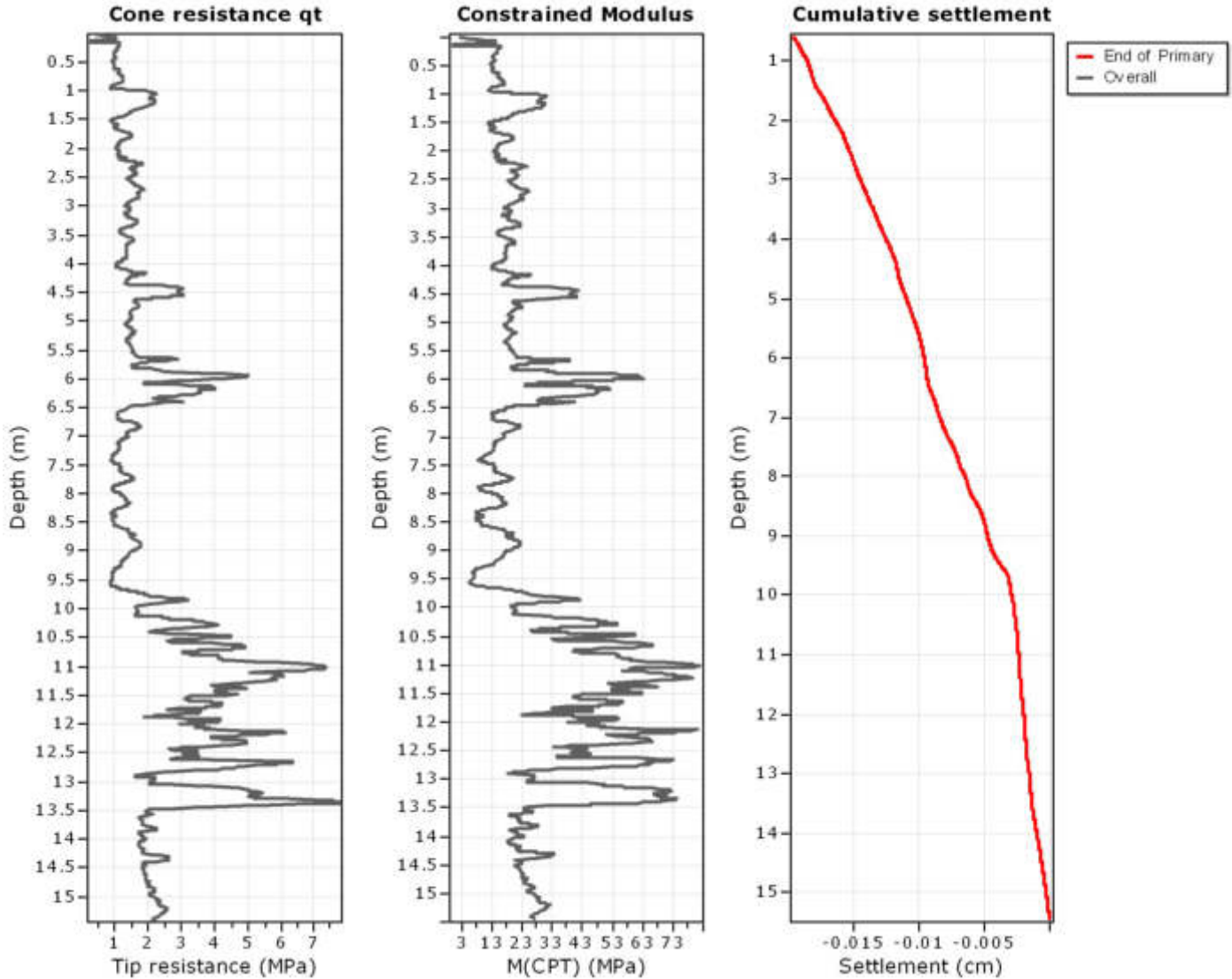
* Secondary (creep) settlements calculation is performed according to the following formula:

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



Project: Tampieri Serre
Location: via Manzuta, Faenza (RA)

Settlements calculation according to theory of elasticity*



Caclulation properties

Footing type: Rectangular
 Footing width: 24.00 (m)
 L/B: 1.6
 Footing pressure: 11.00 (kPa)
 Embedment depth: 0.60 (m)
 Footing is rigid: Yes
 Remove excavation load: Yes
 Apply 20% rule: No
 Calculate secondary settlements: No
 Time period for primary consolidation: N/A
 Time period for second. settlements: N/A

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

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

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

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



LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

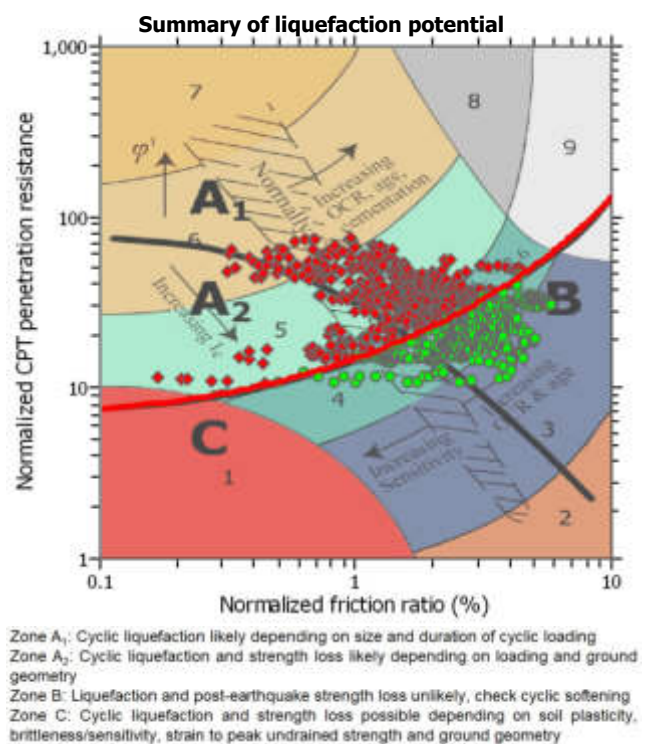
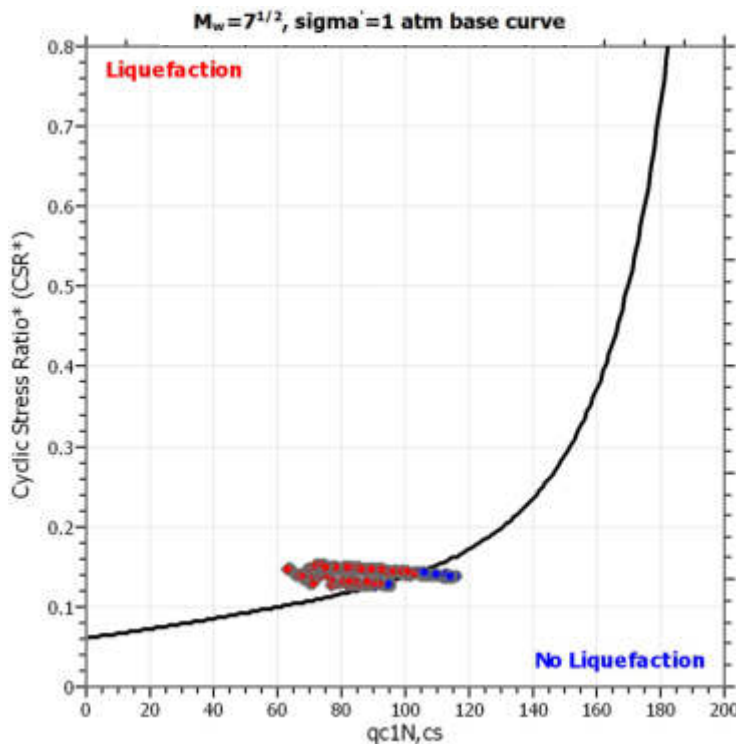
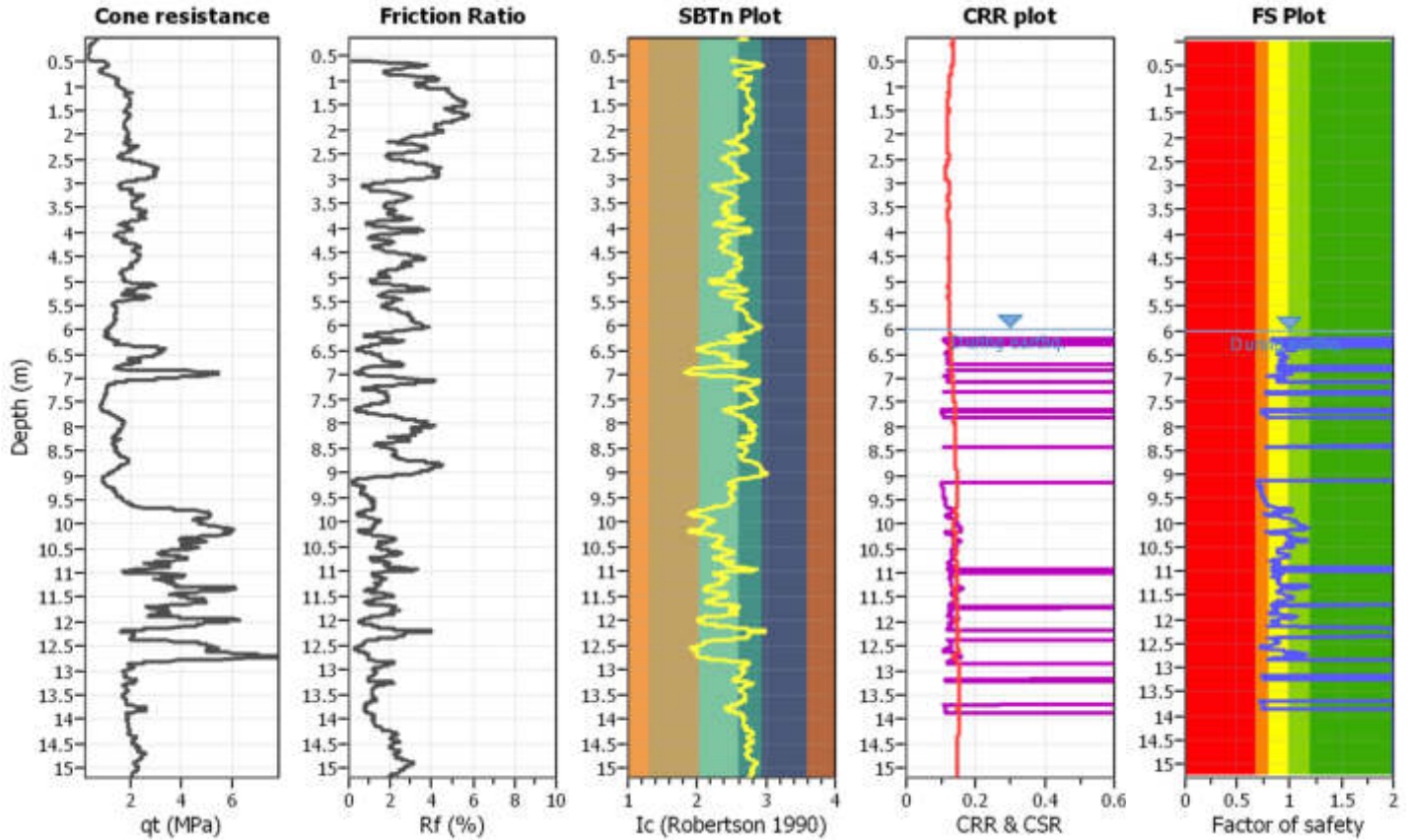
Project title : Tampieri Serre

Location : vai Manzuta, Faenza (RA)

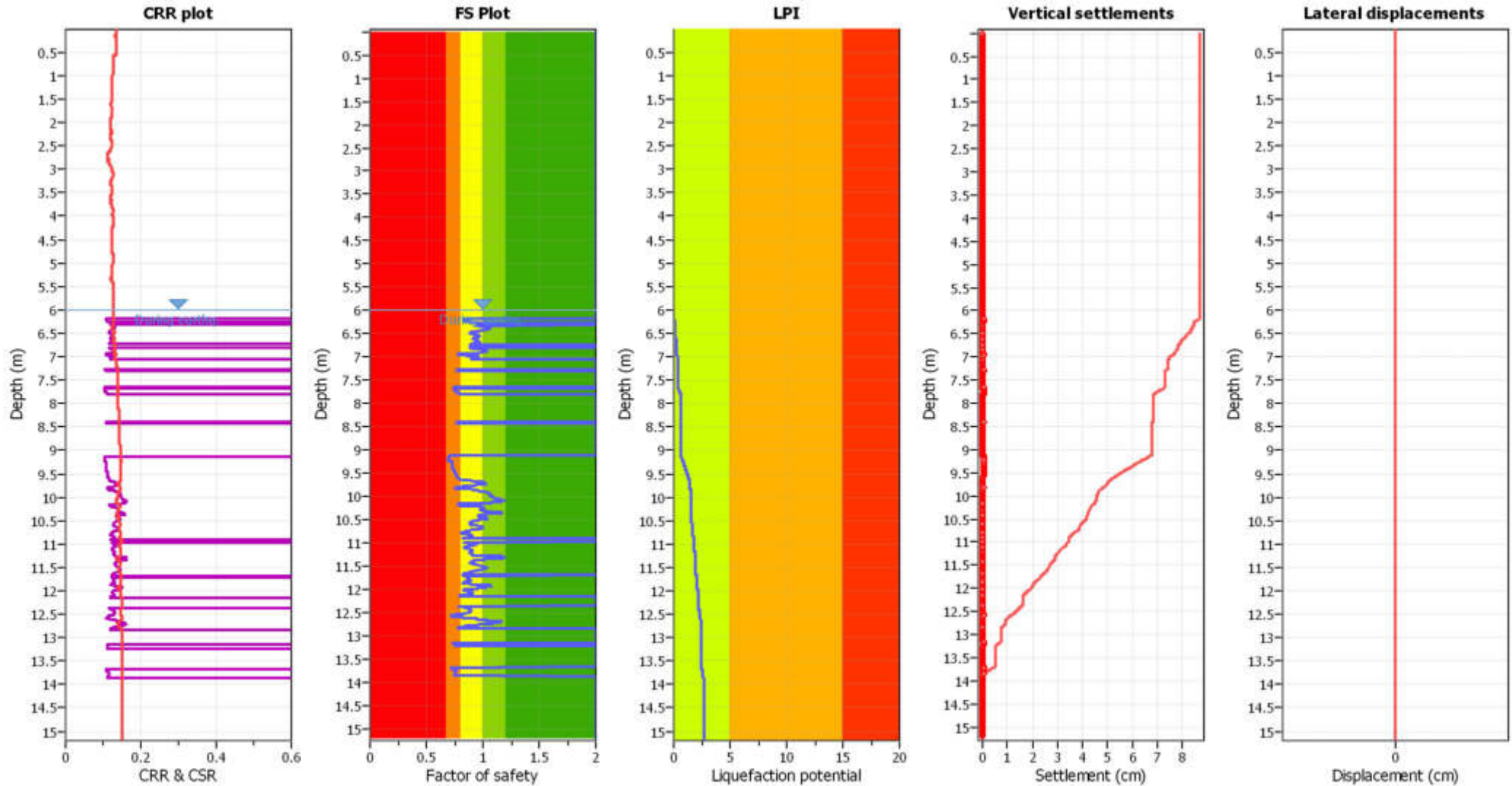
CPT file : CPTU1 - SERBATOI

Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	0.58 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	6.00 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	1	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	No
Earthquake magnitude M_w :	5.88	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.24	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_σ applied:	Yes	MSF method:	Method based



Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	6.00 m
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	1
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60
Earthquake magnitude M_w :	5.88	Unit weight calculation:	Based on SBT
Peak ground acceleration:	0.24	Use fill:	No
Depth to water table (insitu):	0.58 m	Fill height:	N/A

Fill weight:	N/A
Transition detect. applied:	No
K_w applied:	Yes
Clay like behavior applied:	Sands only
Limit depth applied:	No
Limit depth:	N/A

F.S. color scheme

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

LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk



LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

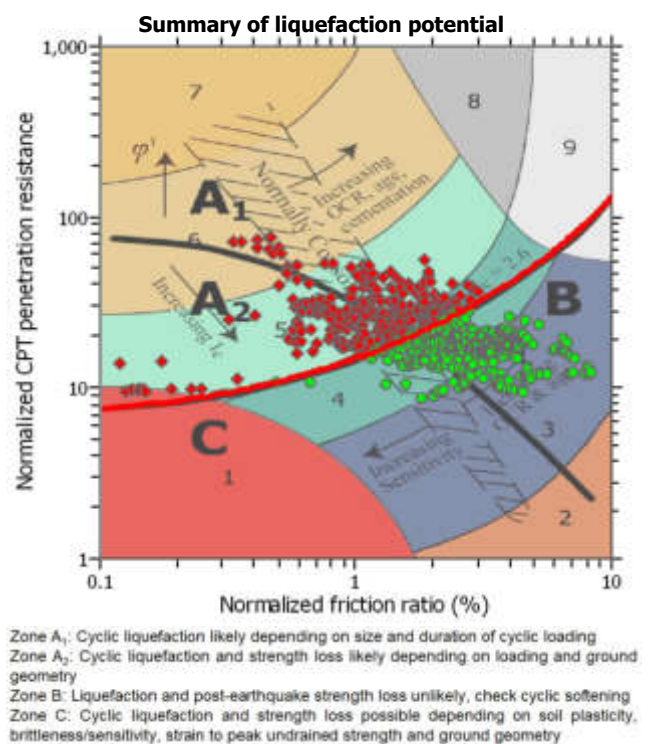
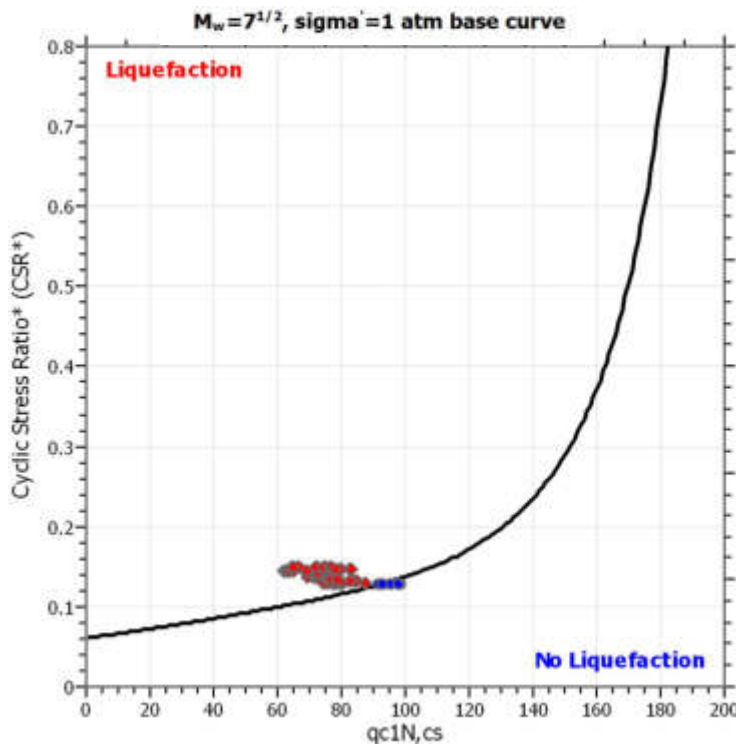
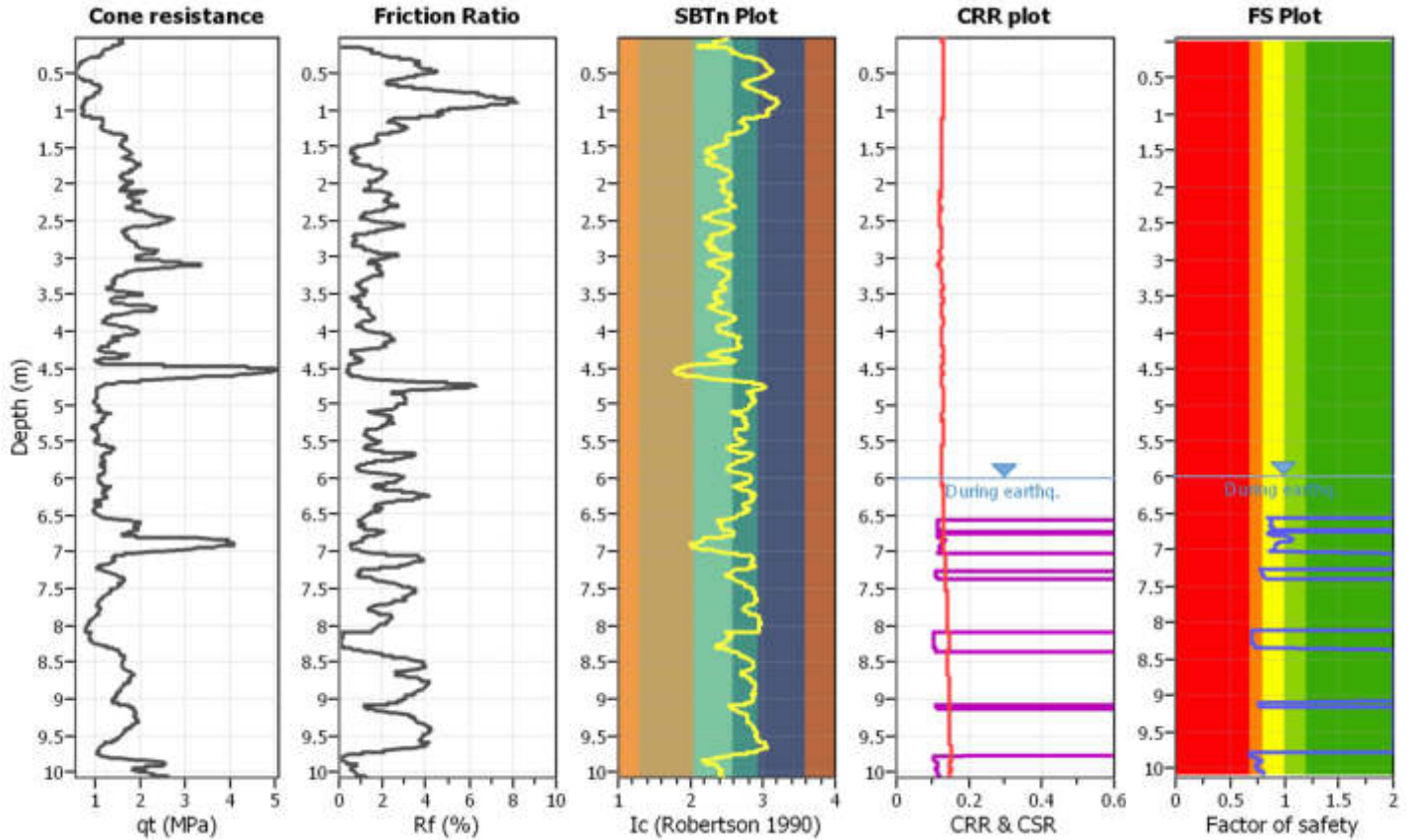
Project title : Tampieri Serre

Location : vai Manzuta, Faenza (RA)

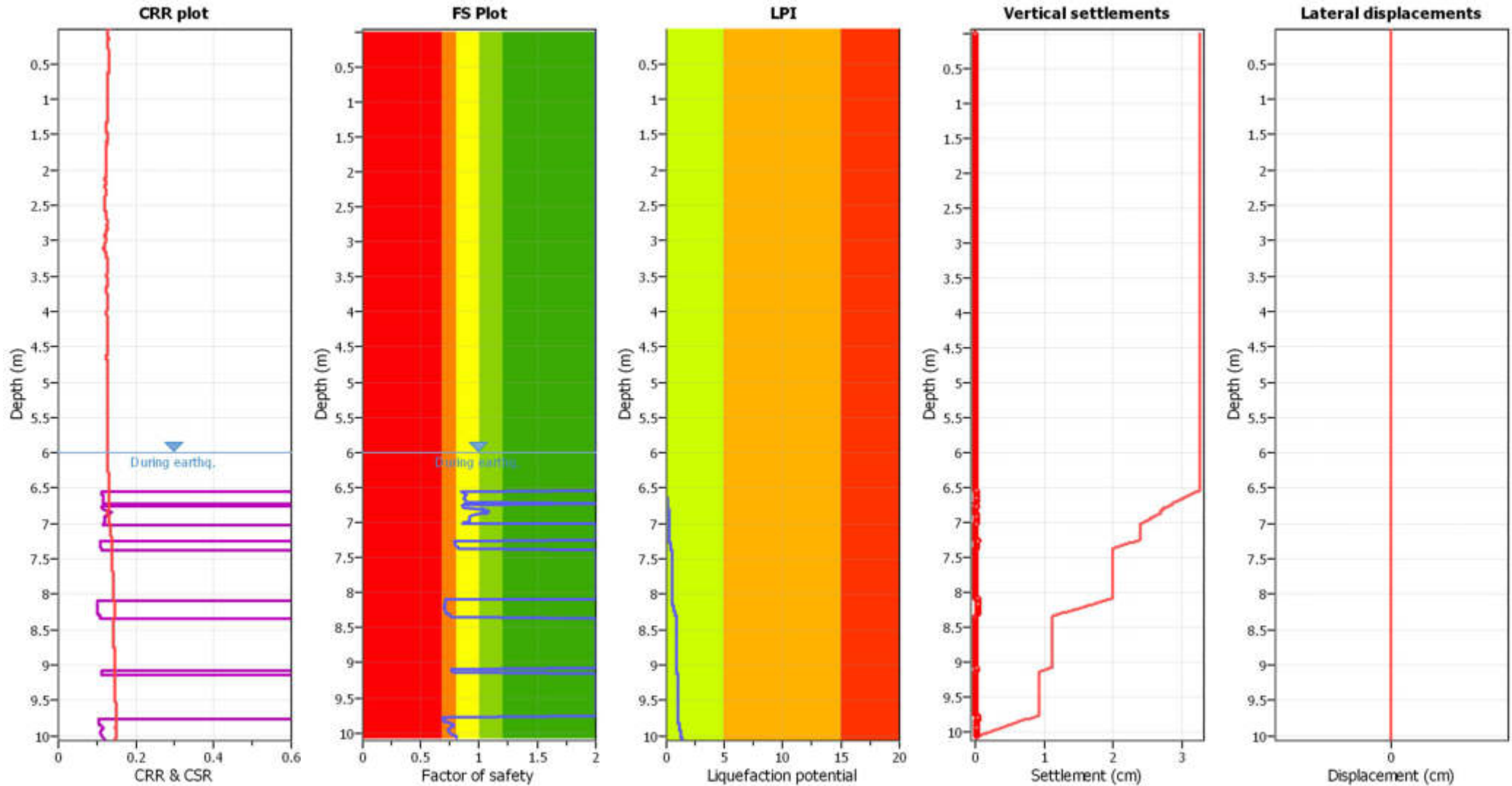
CPT file : CPTU2 - VASCHE

Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	1.70 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	6.00 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	1	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	No
Earthquake magnitude M_w :	5.88	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.24	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_0 applied:	Yes	MSF method:	Method based



Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	6.00 m
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	1
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60
Earthquake magnitude M_w :	5.88	Unit weight calculation:	Based on SBT
Peak ground acceleration:	0.24	Use fill:	No
Depth to water table (insitu):	1.70 m	Fill height:	N/A

Fill weight:	N/A
Transition detect. applied:	No
K_w applied:	Yes
Clay like behavior applied:	Sands only
Limit depth applied:	No
Limit depth:	N/A

F.S. color scheme

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

LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk



LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

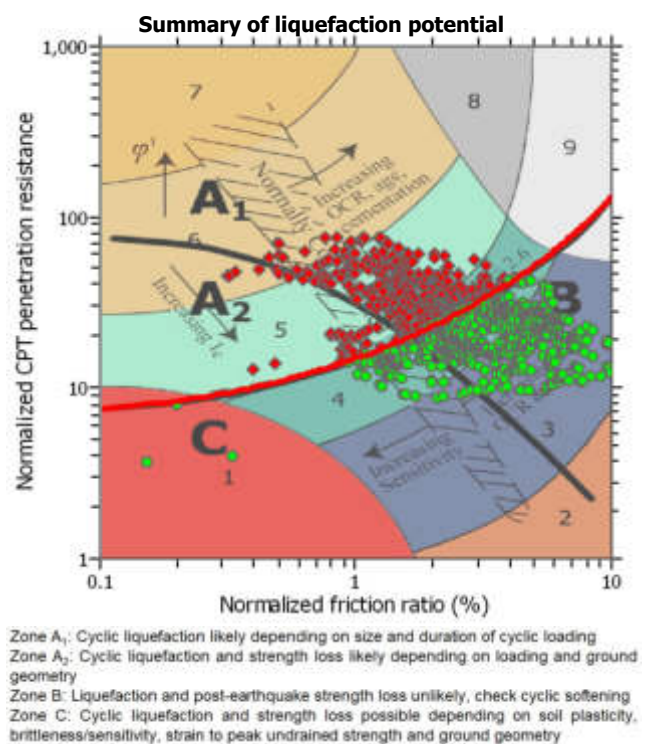
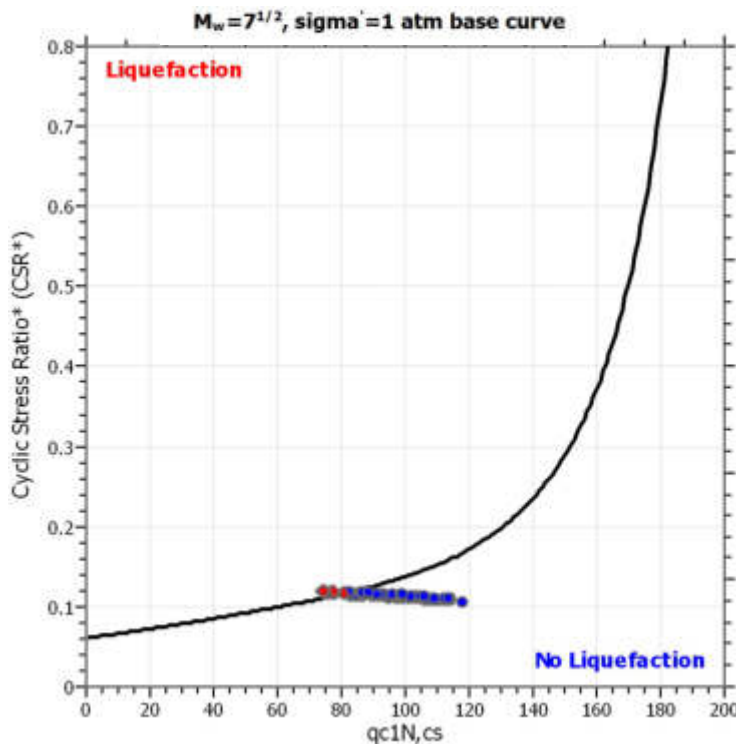
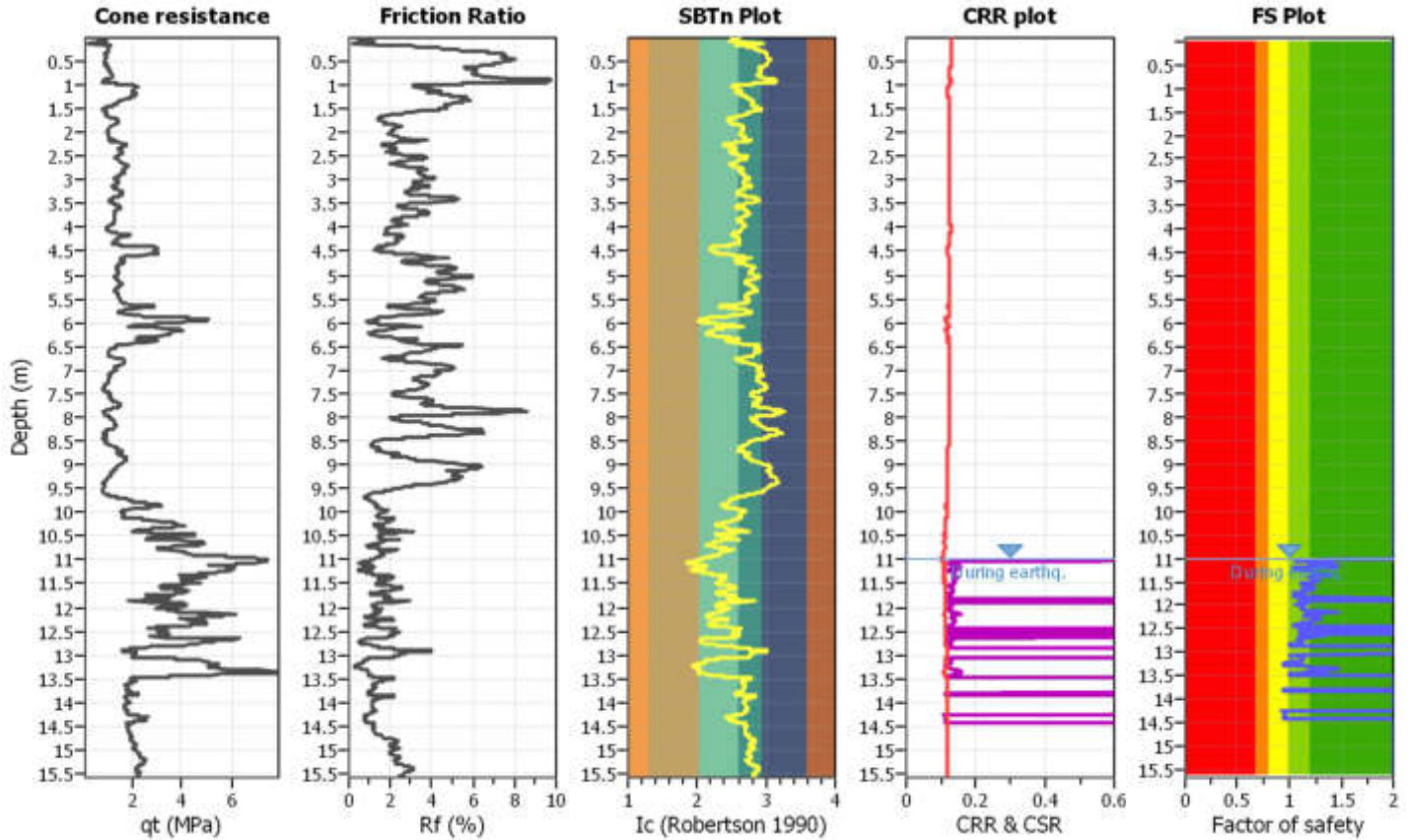
Project title : Tampieri Serre

Location : vai Manzuta, Faenza (RA)

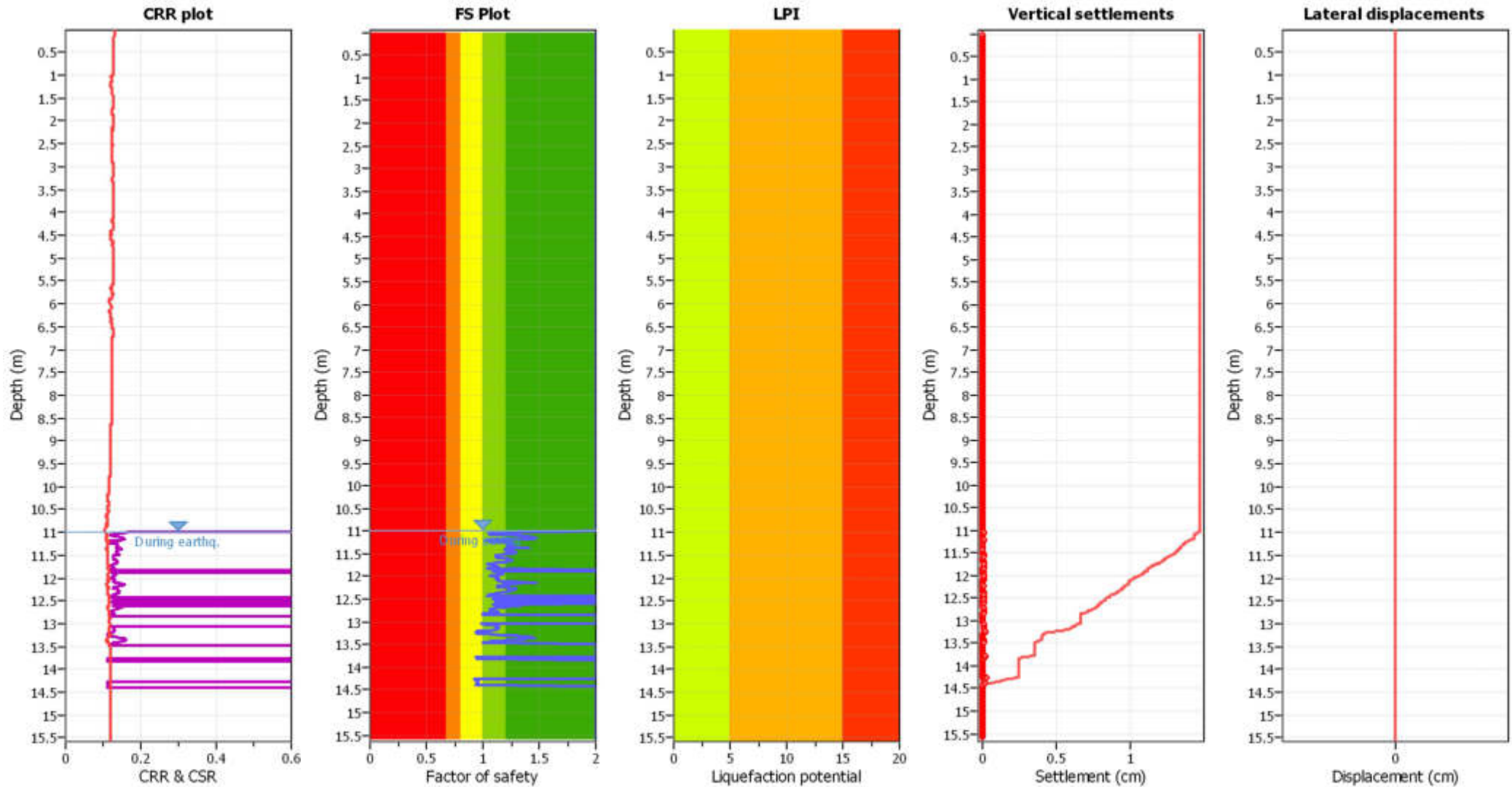
CPT file : CPTU3 - MAGAZZINO

Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	0.60 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	11.00 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	1	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	No
Earthquake magnitude M_w :	5.88	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.24	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_σ applied:	Yes	MSF method:	Method based



Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	11.00 m
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	1
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60
Earthquake magnitude M_w :	5.88	Unit weight calculation:	Based on SBT
Peak ground acceleration:	0.24	Use fill:	No
Depth to water table (insitu):	0.60 m	Fill height:	N/A

Fill weight:	N/A
Transition detect. applied:	No
K_w applied:	Yes
Clay like behavior applied:	Sands only
Limit depth applied:	No
Limit depth:	N/A

F.S. color scheme

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

LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk



LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

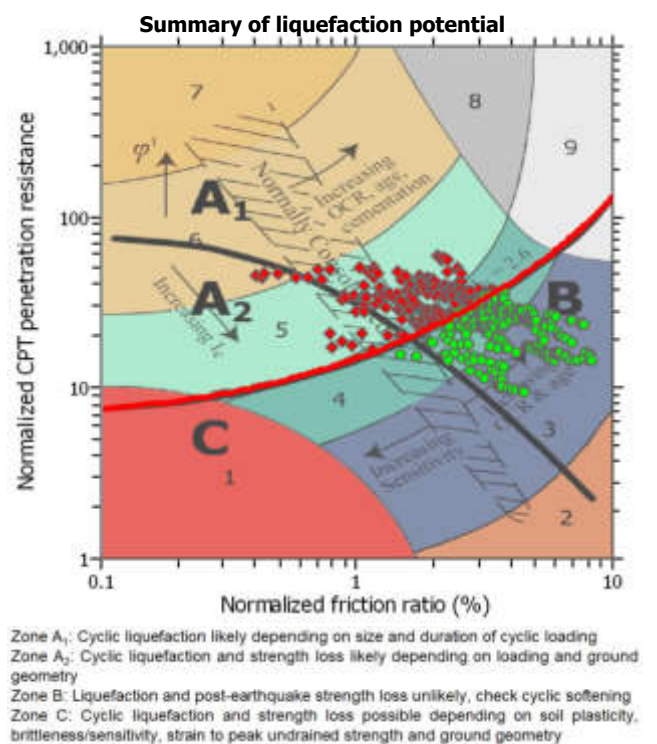
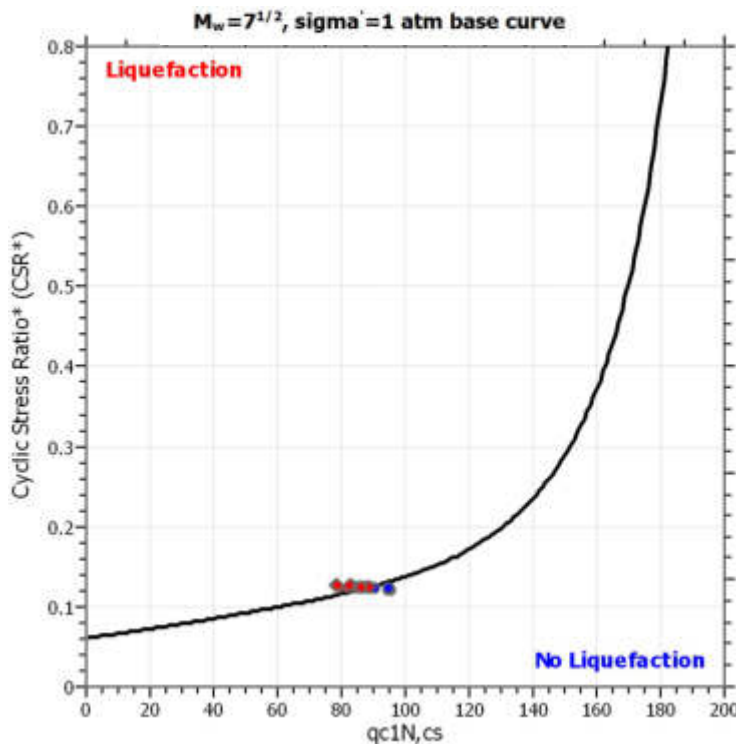
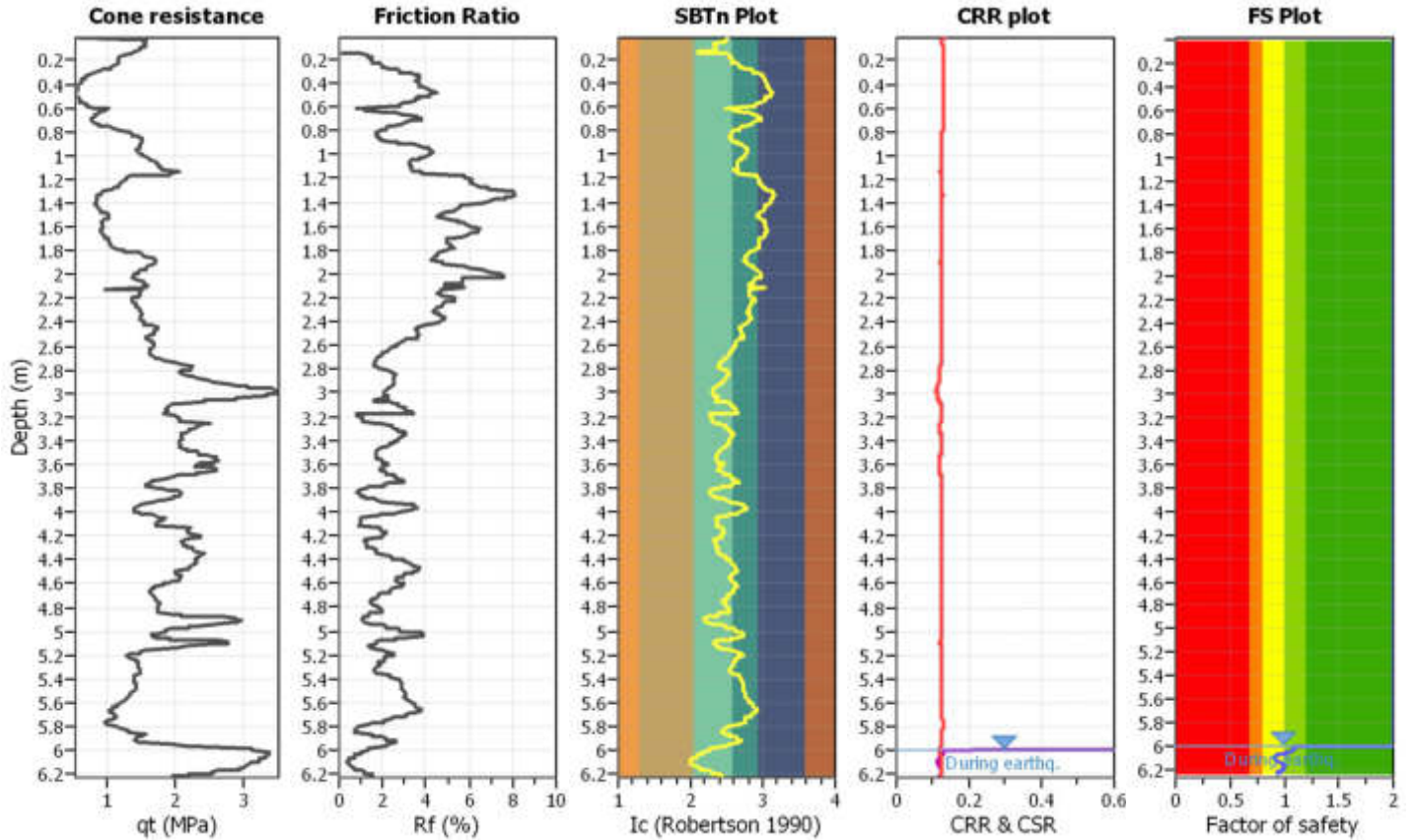
Project title : Tampieri Serre

Location : vai Manzuta, Faenza (RA)

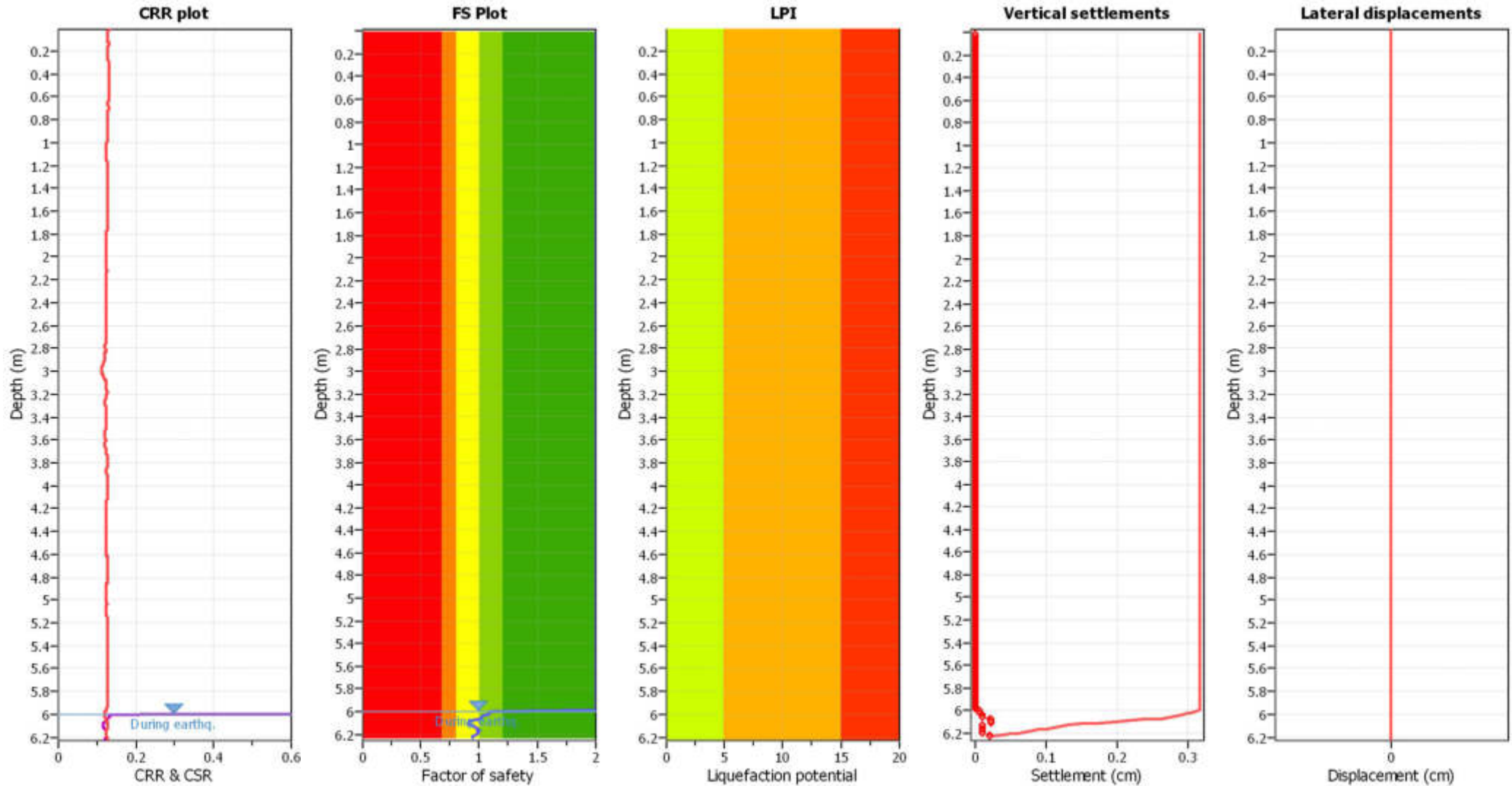
CPT file : CPTU4 - CAVI TOC

Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	0.75 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	6.00 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	1	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	No
Earthquake magnitude M_w :	5.88	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.24	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_0 applied:	Yes	MSF method:	Method based



Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	6.00 m
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	1
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60
Earthquake magnitude M_w :	5.88	Unit weight calculation:	Based on SBT
Peak ground acceleration:	0.24	Use fill:	No
Depth to water table (insitu):	0.75 m	Fill height:	N/A

Fill weight:	N/A
Transition detect. applied:	No
K_p applied:	Yes
Clay like behavior applied:	Sands only
Limit depth applied:	No
Limit depth:	N/A

F.S. color scheme

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

LPI color scheme

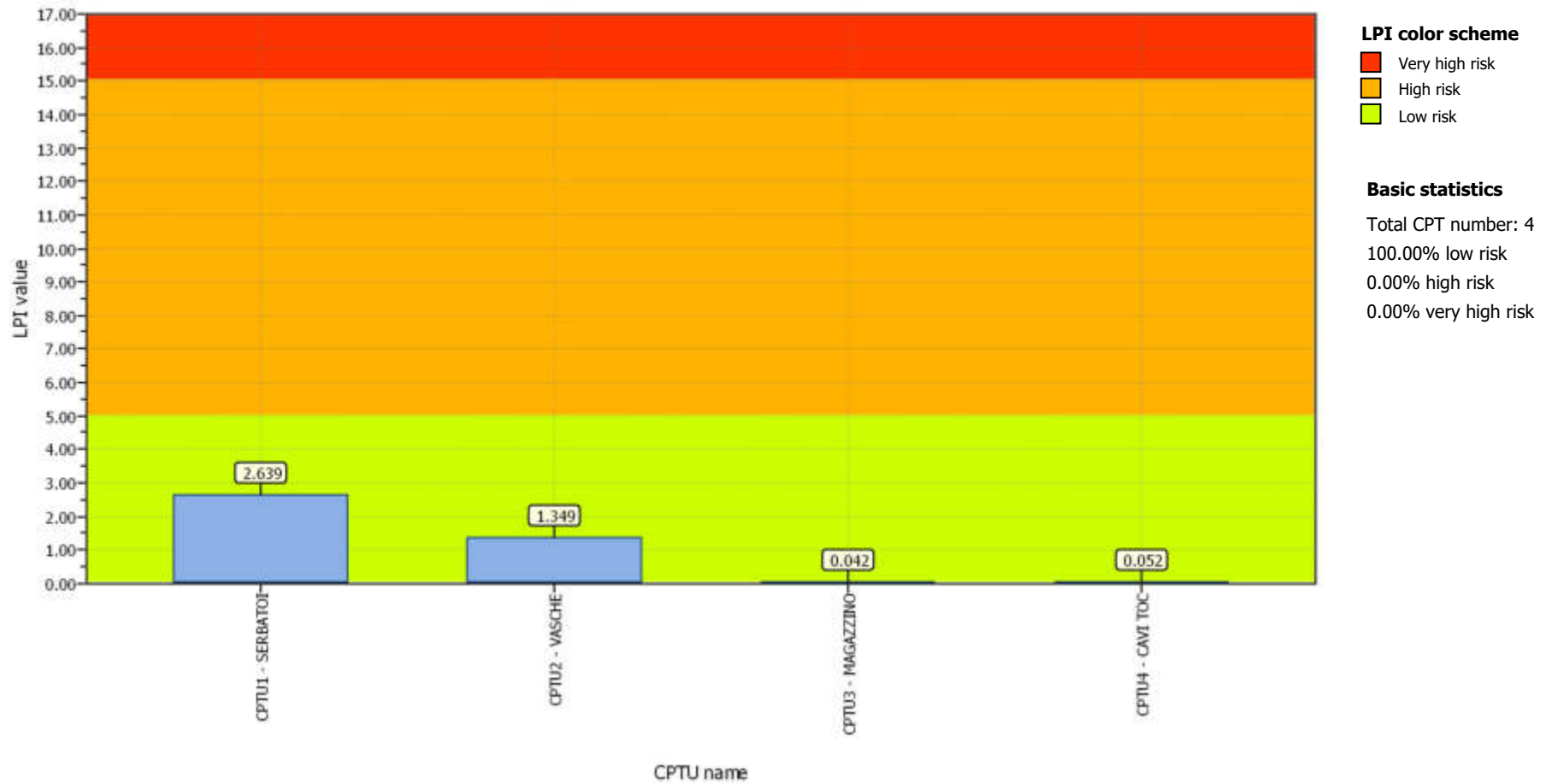
- Very high risk
- High risk
- Low risk



Project title : Tampieri Serre

Location : vai Manzuta, Faenza (RA)

Overall Liquefaction Potential Index report

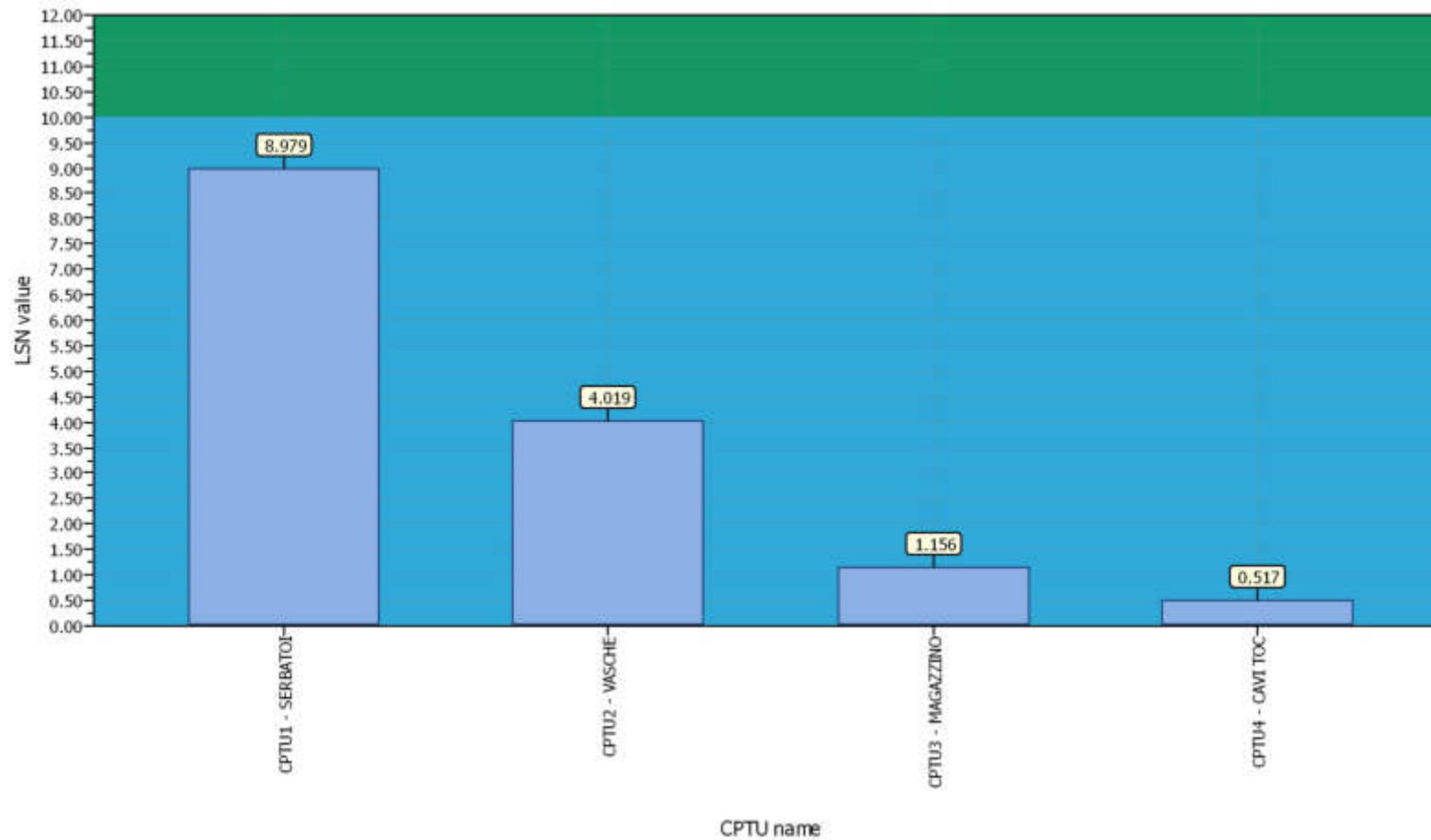




Project title : Tampieri Serre

Location : vai Manzuta, Faenza (RA)

Overall Liquefaction Severity Number report

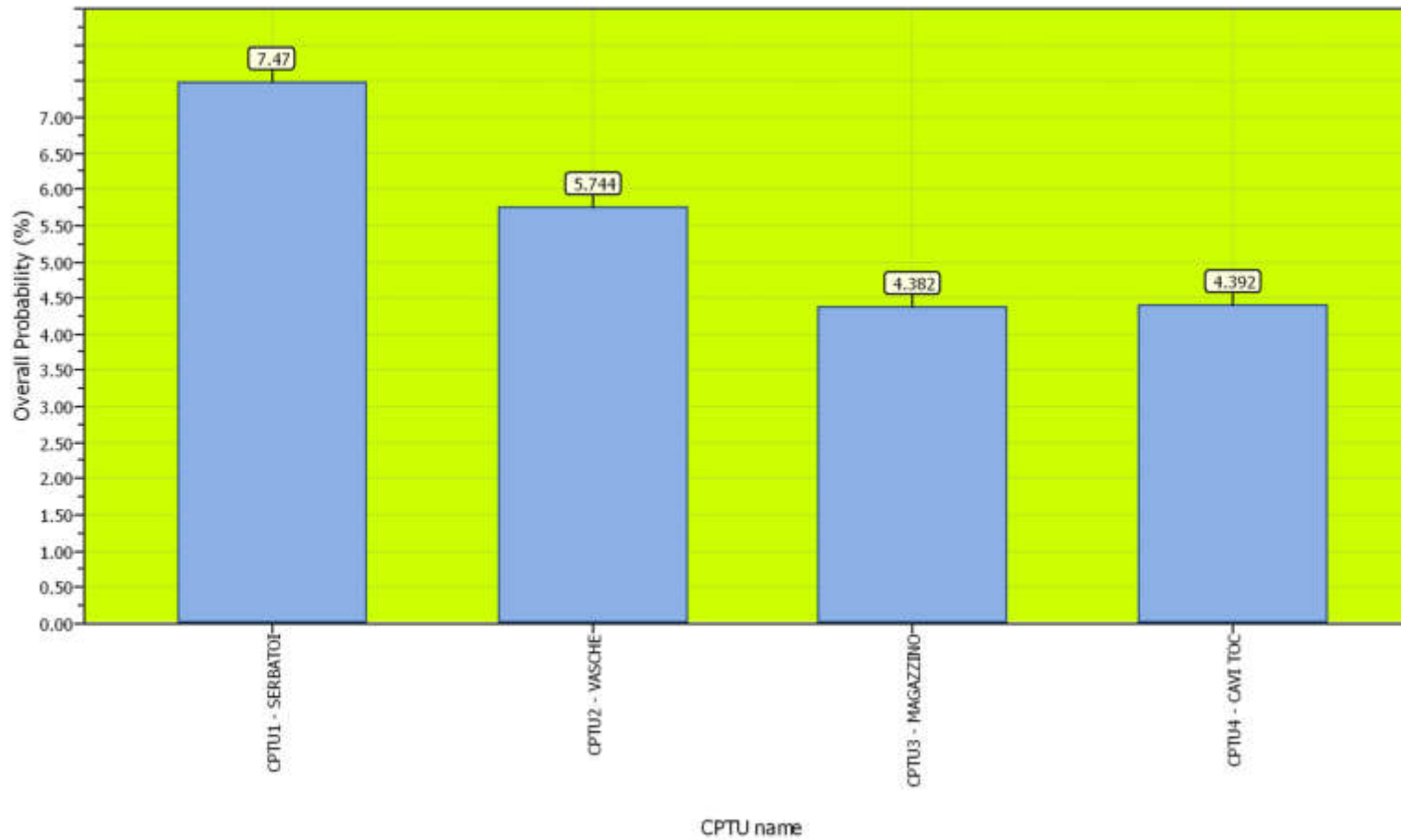




Project title : Tampieri Serre

Location : vai Manzuta, Faenza (RA)

Overall Probability for Liquefaction report



Probability color scheme

- Very High Probability
- High Probability
- Low Probability

Basic statistics

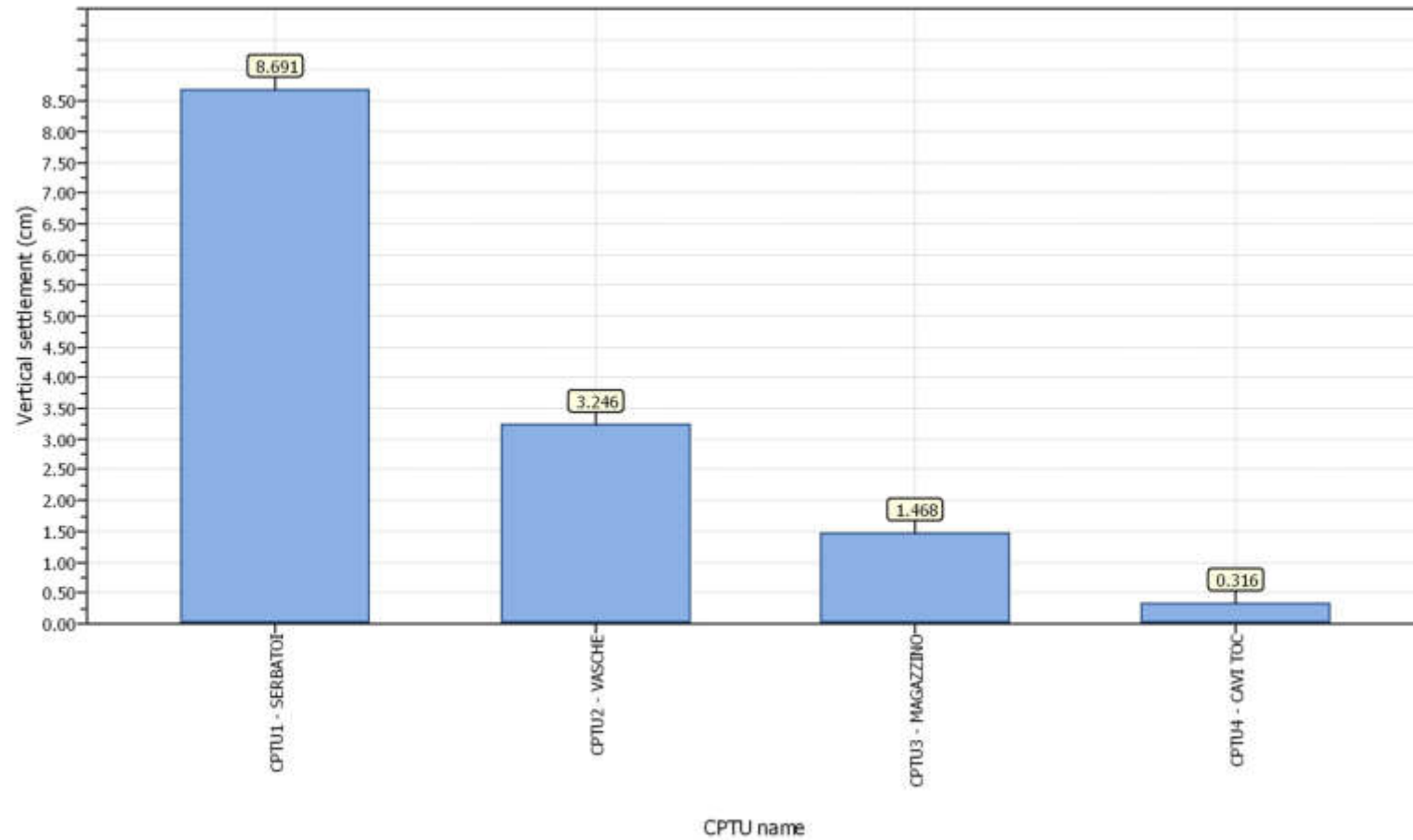
Total CPT number: 4
100.00% low probability
0.00% high probability
0.00% very high probability



Project title : Tampieri Serre

Location : vai Manzuta, Faenza (RA)

Overall vertical settlements report

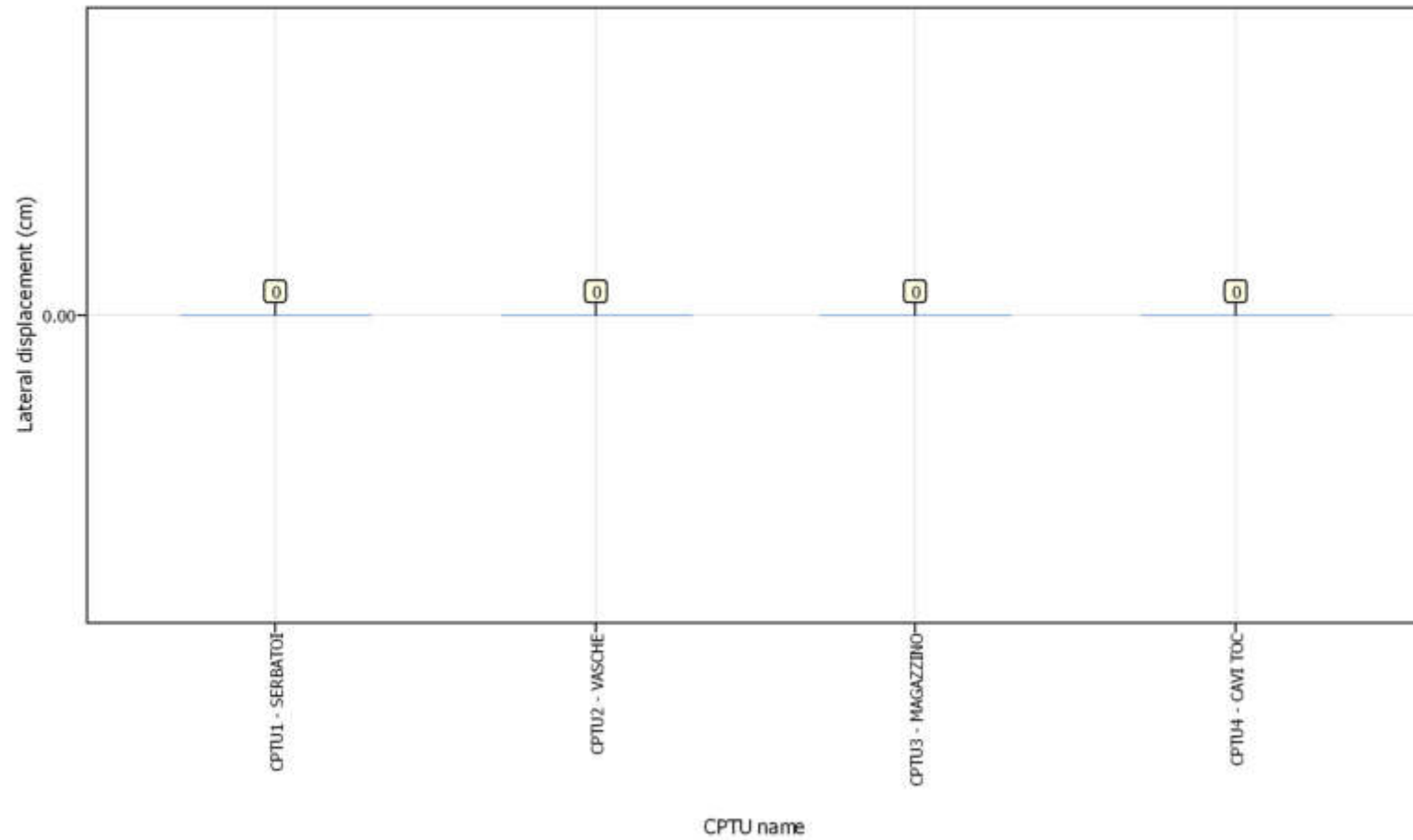




Project title : Tampieri Serre

Location : vai Manzuta, Faenza (RA)

Overall lateral displacements report



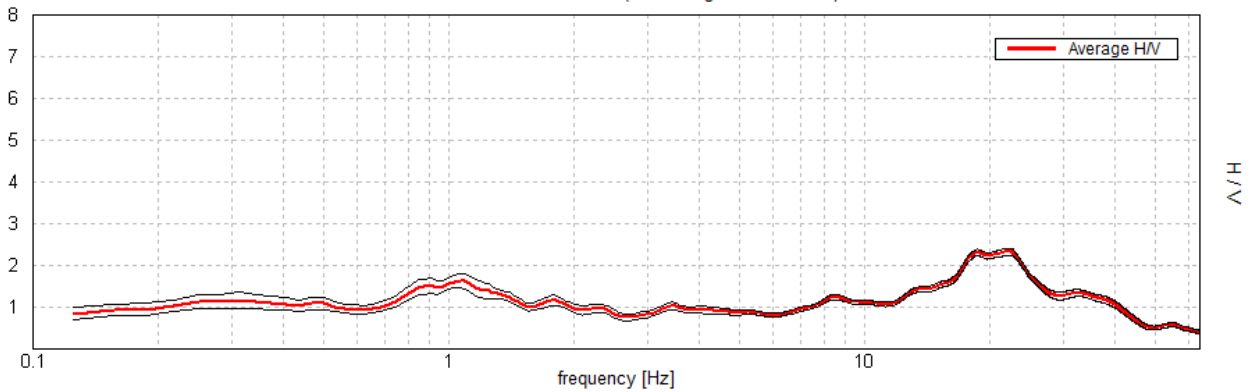
TAMPIERI_SERRE, TAMP SERRE TR1

Instrument: TEP-0083/01-10
 Data format: 16 bit Full scale [mV]: 51
 Start recording: 06/04/2003 11:24:04 End recording: 06/04/2003 11:44:05
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

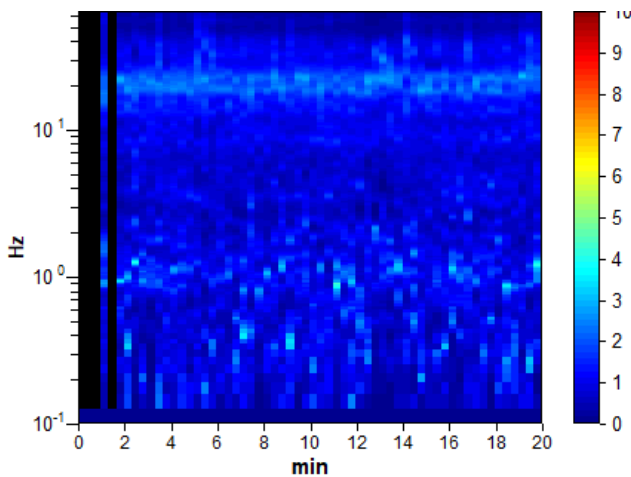
Trace length: 0h20'00". Analyzed 93% trace (manual window selection)
 Sampling rate: 128 Hz Window size: 20 s
 Smoothing type: Triangular window Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

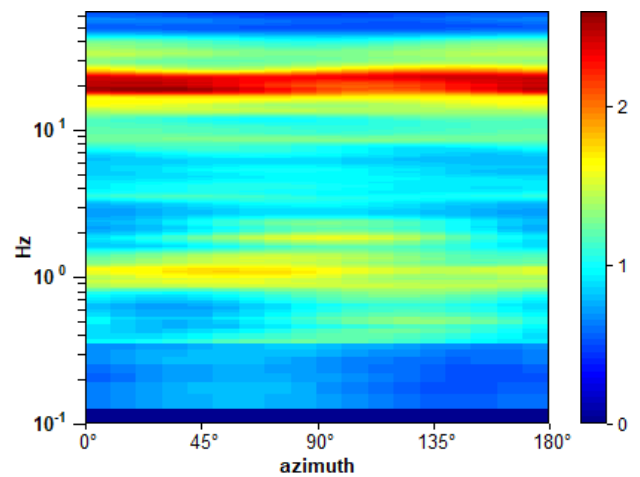
Max. H/V at 22.03 ± 6.29 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



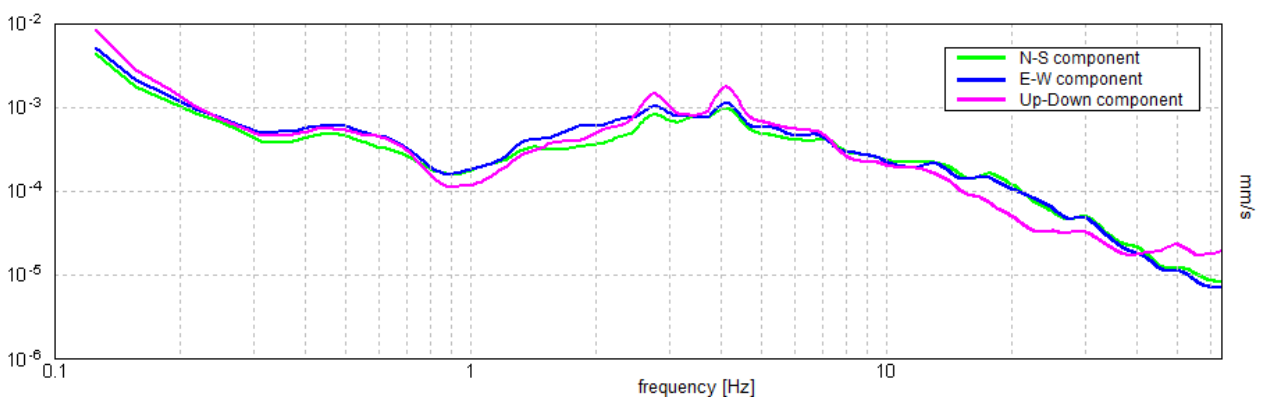
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V

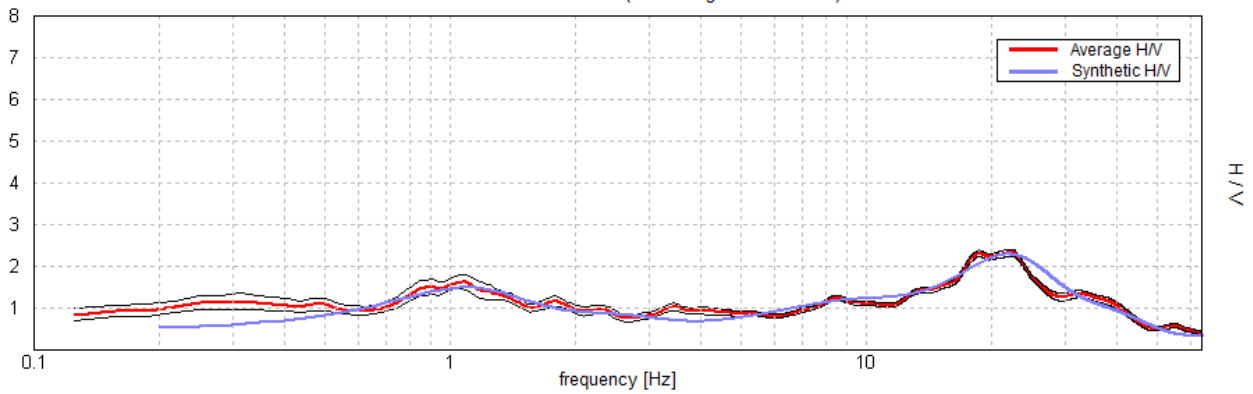


SINGLE COMPONENT SPECTRA



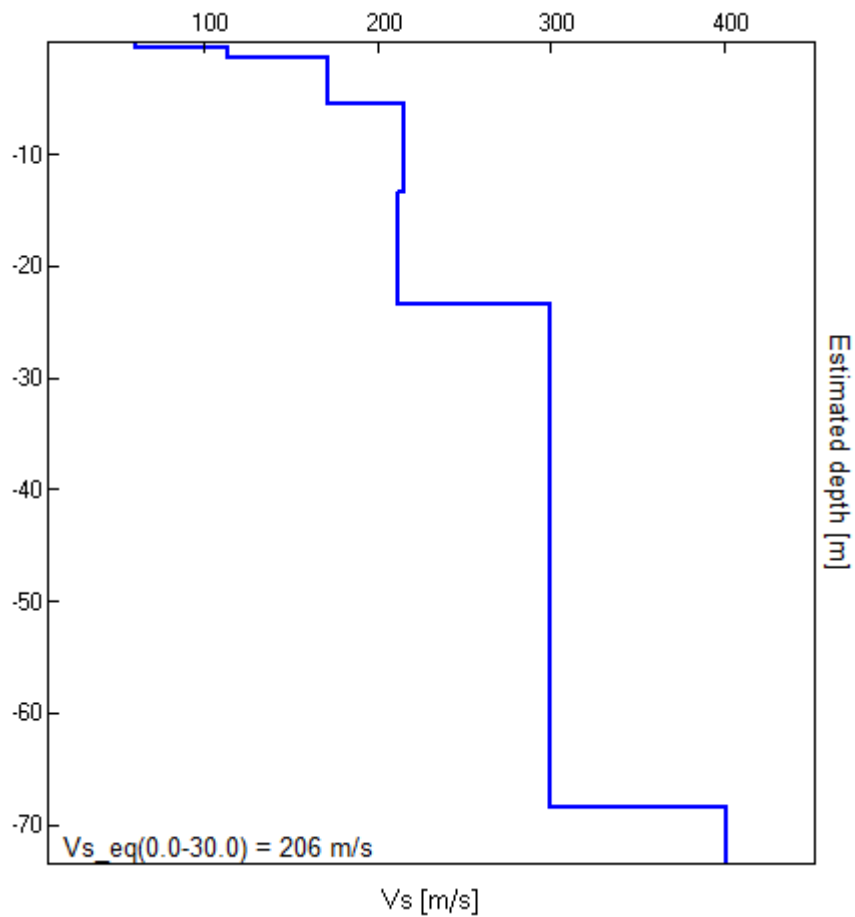
EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 22.03 ± 6.29 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.42	0.42	60	0.40
1.42	1.00	114	0.42
5.42	4.00	171	0.42
13.42	8.00	215	0.45
23.42	10.00	212	0.45
68.42	45.00	300	0.45
inf.	inf.	402	0.45

Vs_eq(0.0-30.0) = 206 m/s [CAT. C]



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

Max. H/V at 22.03 ± 6.29 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	22.03 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	24675.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ 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 1059 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	12.031 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	38.188 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.34 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.28534 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	6.28644 < 1.10156		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.0836 < 1.58	OK	

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
σ_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 σ_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

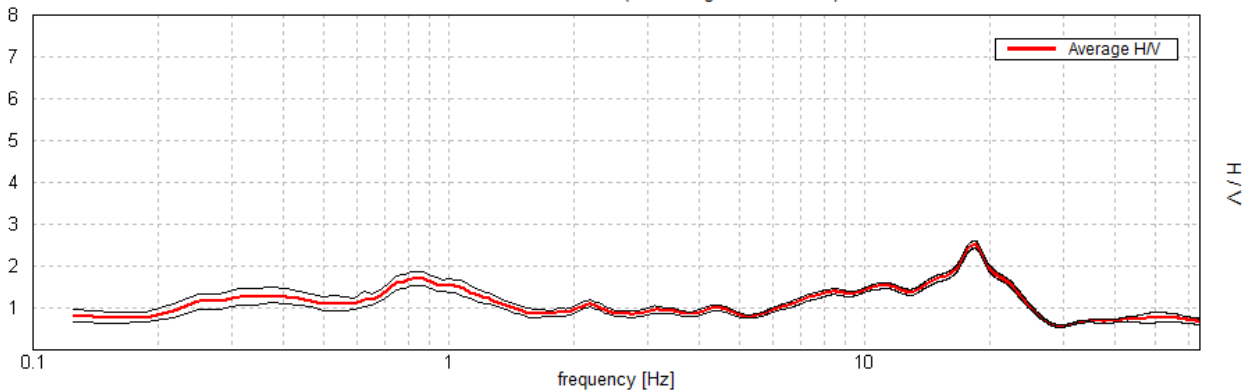
TAMPIERI_SERRE, TAMP SERRE TR2

Instrument: TEP-0083/01-10
 Data format: 16 bit Full scale [mV]: 51
 Start recording: 06/04/2003 15:12:50 End recording: 06/04/2003 15:32:51
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

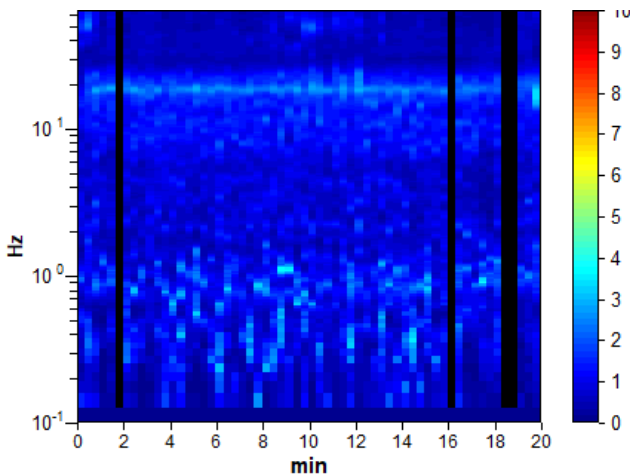
Trace length: 0h20'00". Analyzed 93% trace (manual window selection)
 Sampling rate: 128 Hz Window size: 20 s
 Smoothing type: Triangular window Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

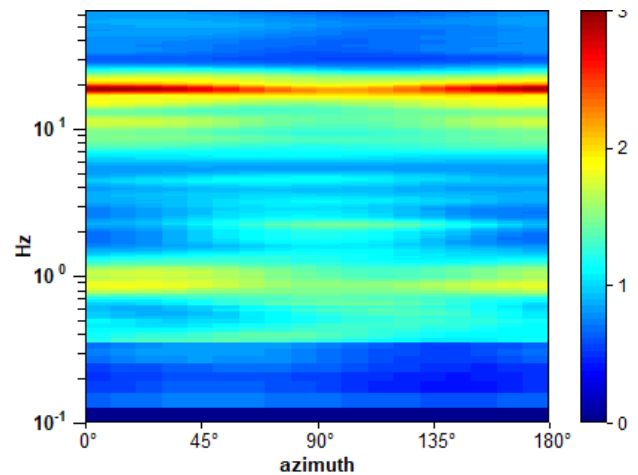
Max. H/V at 18.44 ± 4.79 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



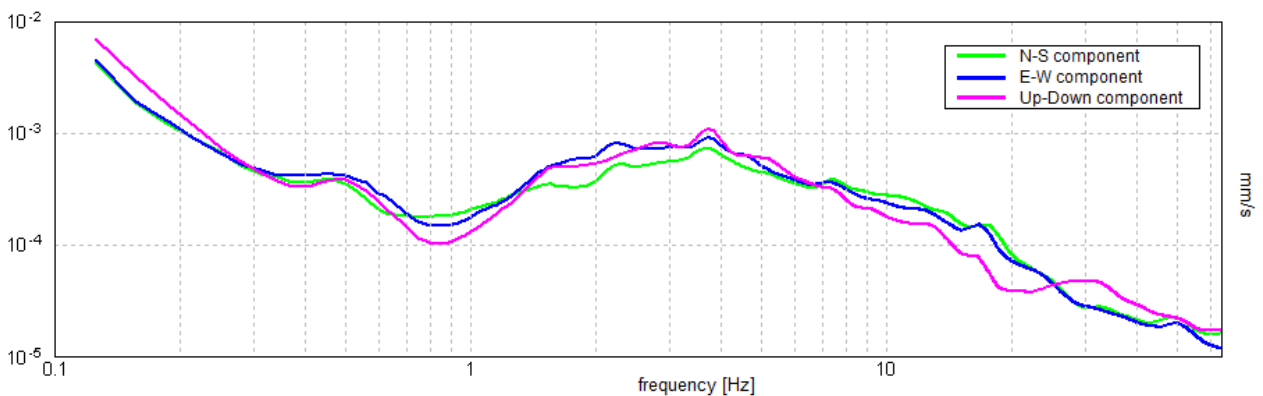
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V

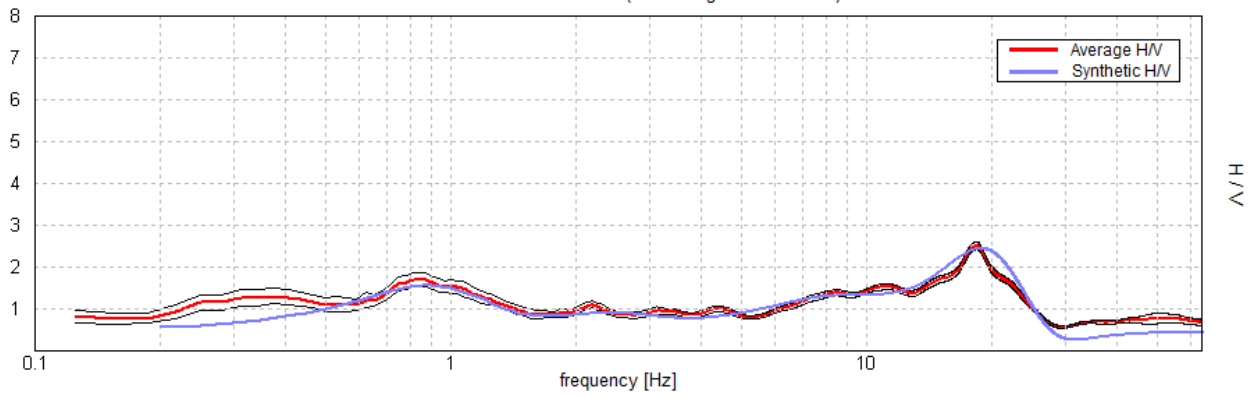


SINGLE COMPONENT SPECTRA



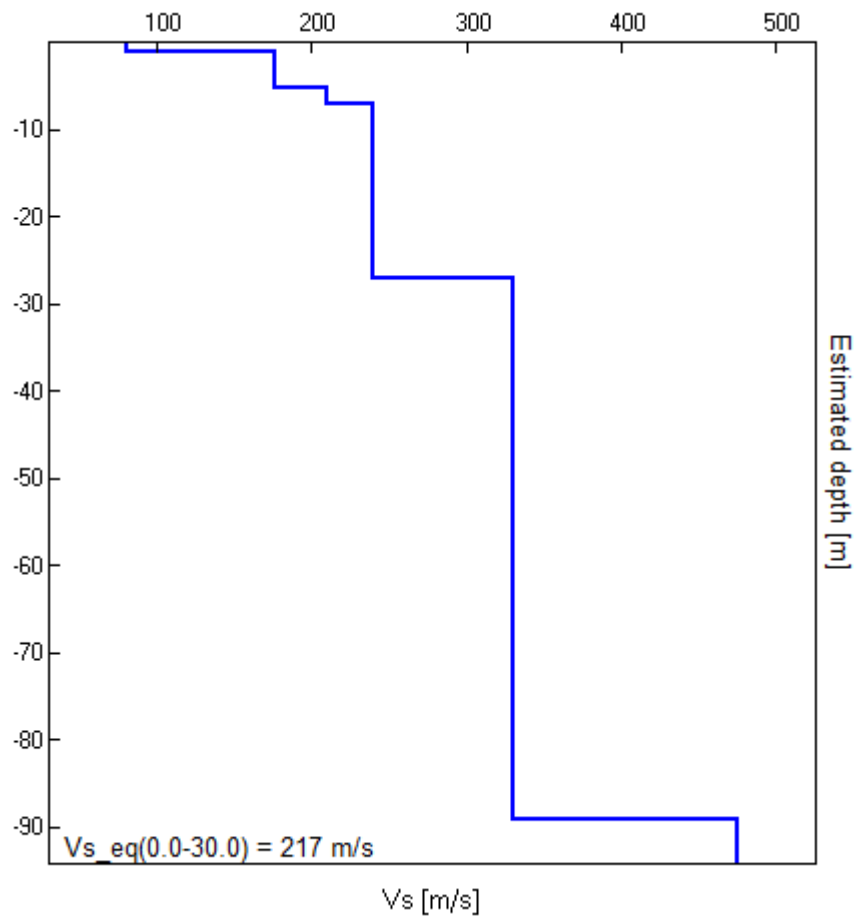
EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 18.44 ± 4.79 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.10	1.10	81	0.42
5.10	4.00	176	0.42
7.10	2.00	210	0.42
27.10	20.00	240	0.42
89.10	62.00	330	0.45
inf.	inf.	475	0.45

Vs_eq(0.0-30.0) = 217 m/s [CAT. C]



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

Max. H/V at 18.44 ± 4.79 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	18.44 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	20650.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ 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 886 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	7.281 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	23.844 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.53 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.25967 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	4.78766 < 0.92188		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.0895 < 1.58	OK	

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
σ_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 σ_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

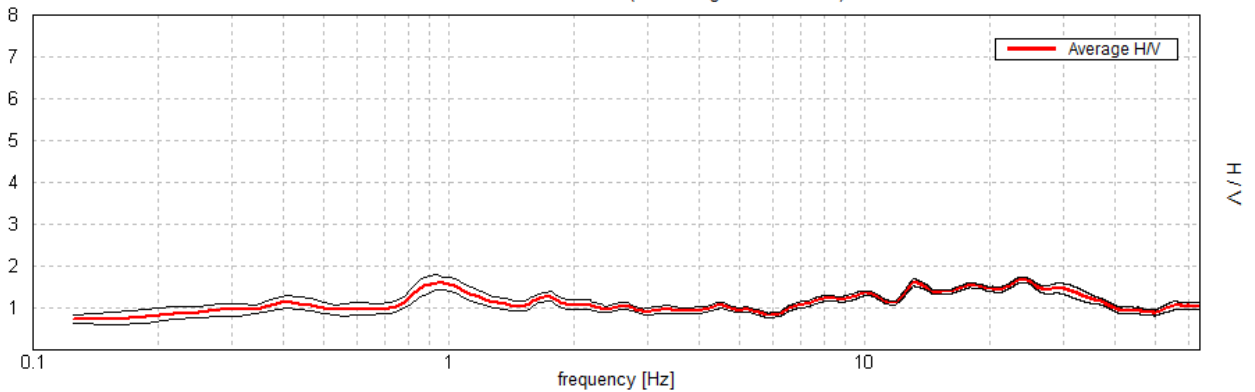
TAMPIERI_SERRE, TAMP SERRE TR3

Instrument: TEP-0083/01-10
 Data format: 16 bit Full scale [mV]: 51
 Start recording: 06/04/2003 13:18:15 End recording: 06/04/2003 13:38:16
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

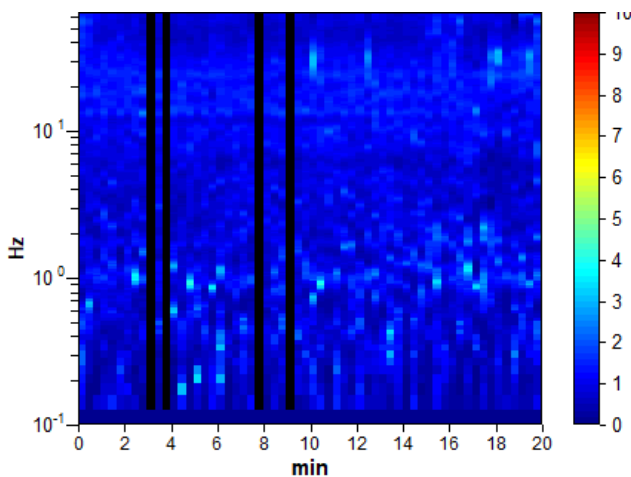
Trace length: 0h20'00". Analyzed 93% trace (manual window selection)
 Sampling rate: 128 Hz Window size: 20 s
 Smoothing type: Triangular window Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

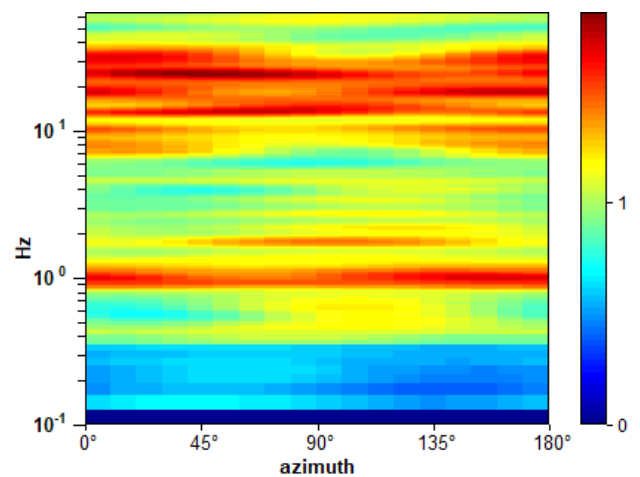
Max. H/V at 23.97 ± 10.47 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



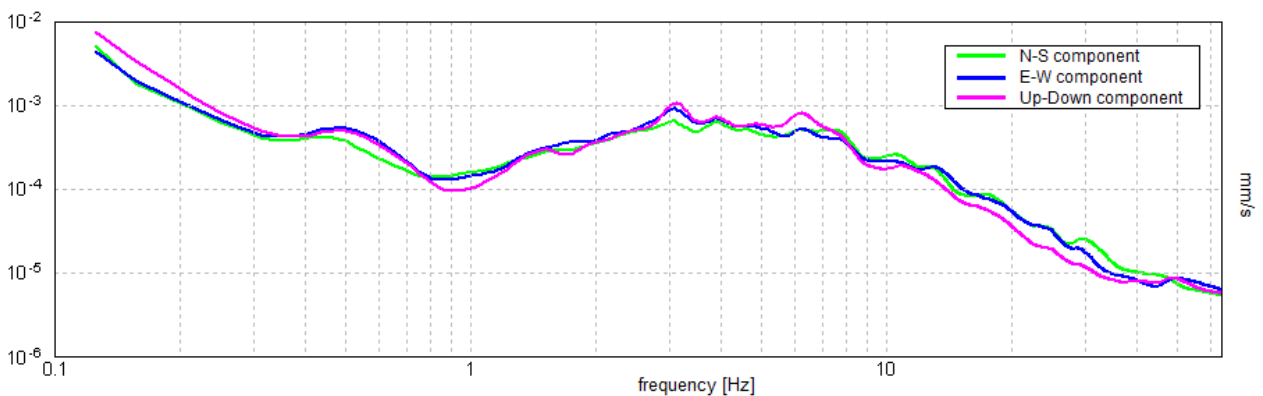
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V

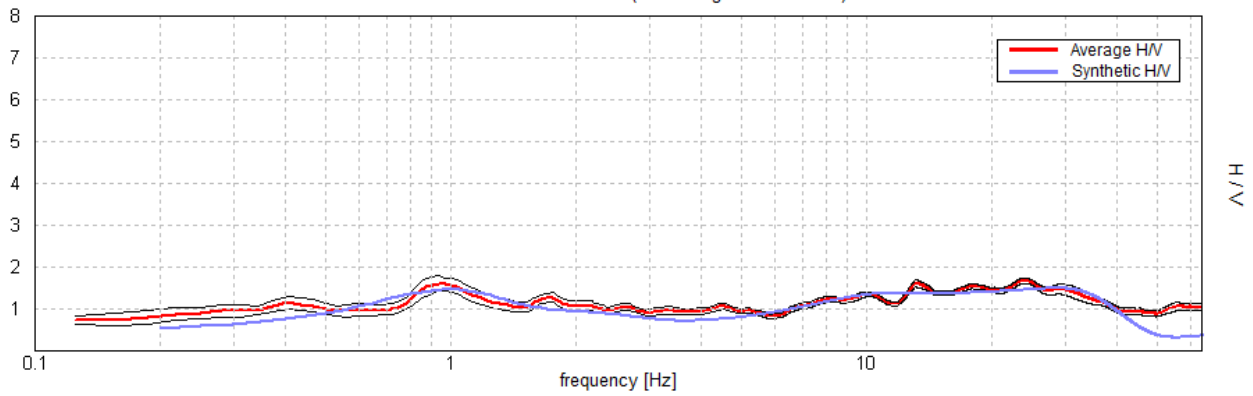


SINGLE COMPONENT SPECTRA



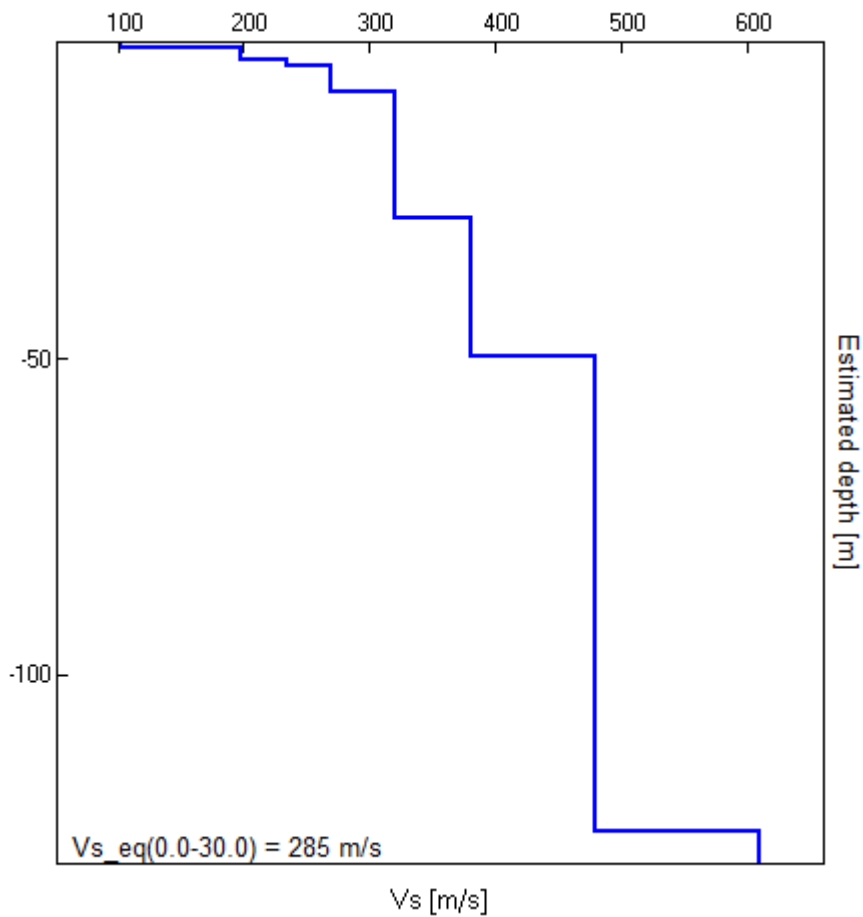
EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 23.97 ± 10.47 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.80	0.80	102	0.42
2.80	2.00	198	0.42
3.80	1.00	235	0.42
7.80	4.00	270	0.42
27.80	20.00	320	0.45
49.80	22.00	380	0.45
124.80	75.00	480	0.45
inf.	inf.	610	0.45

$Vs_{eq}(0.0-30.0) = 285$ m/s [CAT. C]



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

Max. H/V at 23.97 ± 10.47 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$23.97 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$26845.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ 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 1151 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$1.69 > 2$		NO
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.4369 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$10.47204 < 1.19844$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.0643 < 1.58$	OK	

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
σ_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 σ_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

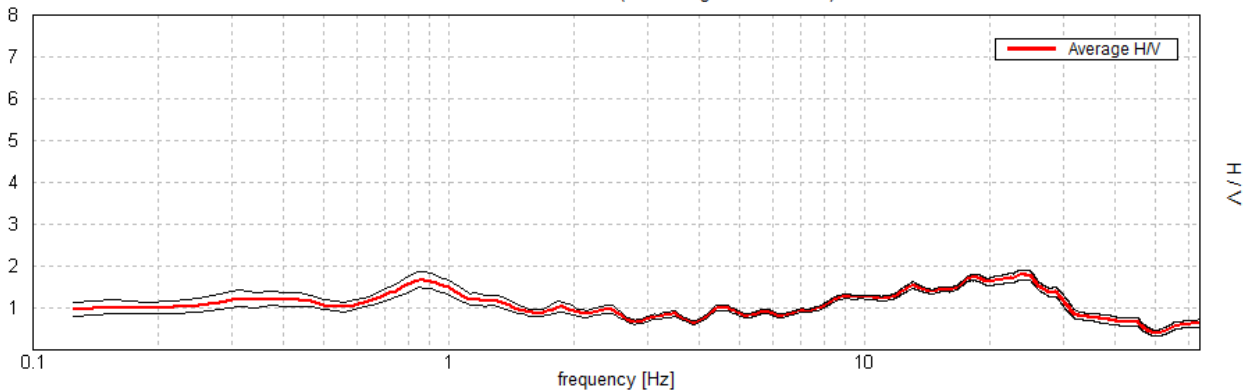
TAMPIERI_SERRE, TAMP SERRE TR4

Instrument: TEP-0083/01-10
 Data format: 16 bit Full scale [mV]: 51
 Start recording: 06/04/2003 16:54:29 End recording: 06/04/2003 17:14:30
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

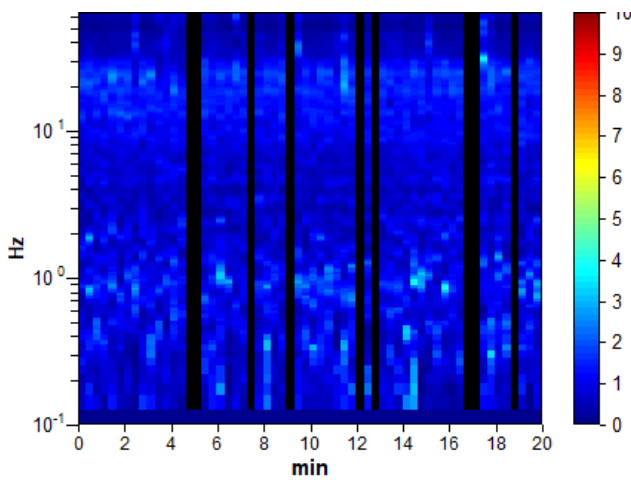
Trace length: 0h20'00". Analyzed 85% trace (manual window selection)
 Sampling rate: 128 Hz Window size: 20 s
 Smoothing type: Triangular window Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

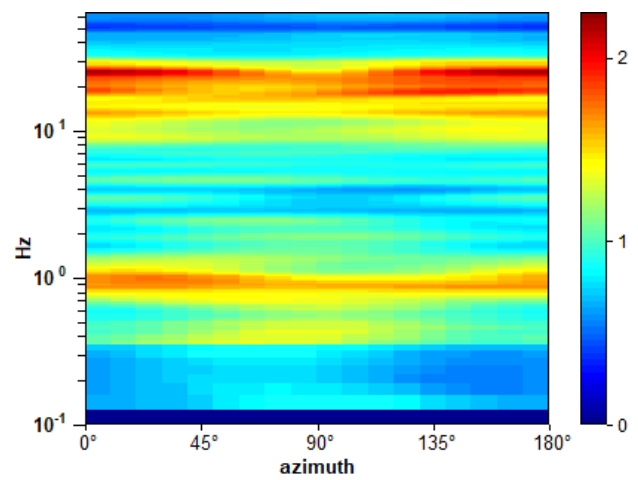
Max. H/V at 23.63 ± 5.6 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



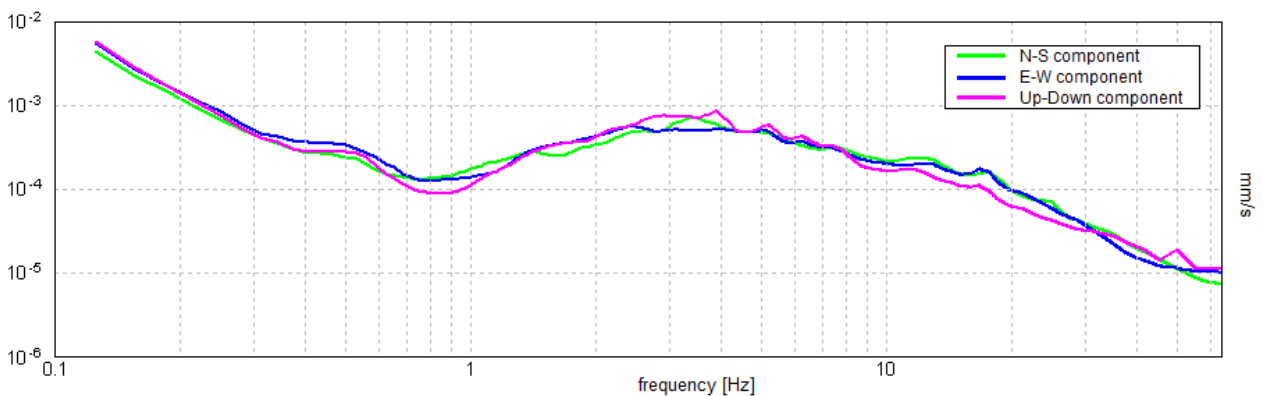
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V

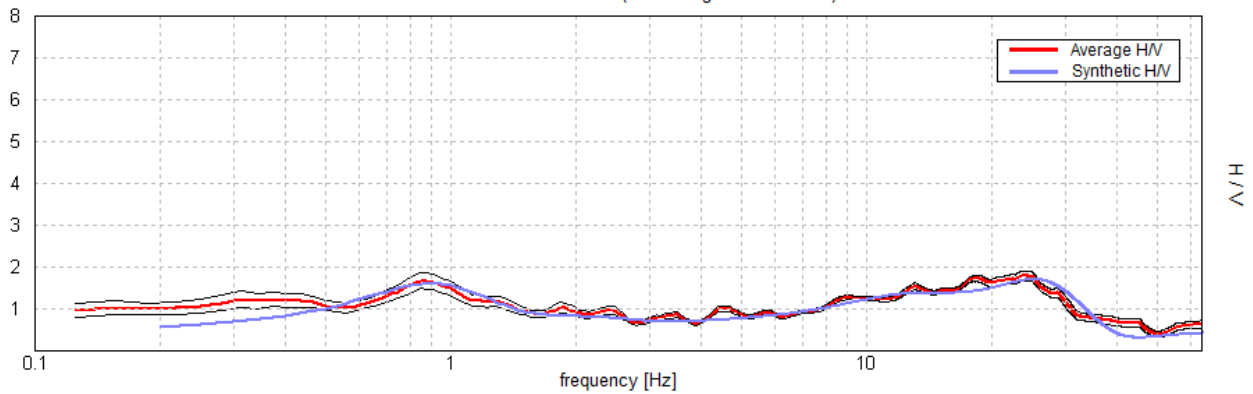


SINGLE COMPONENT SPECTRA



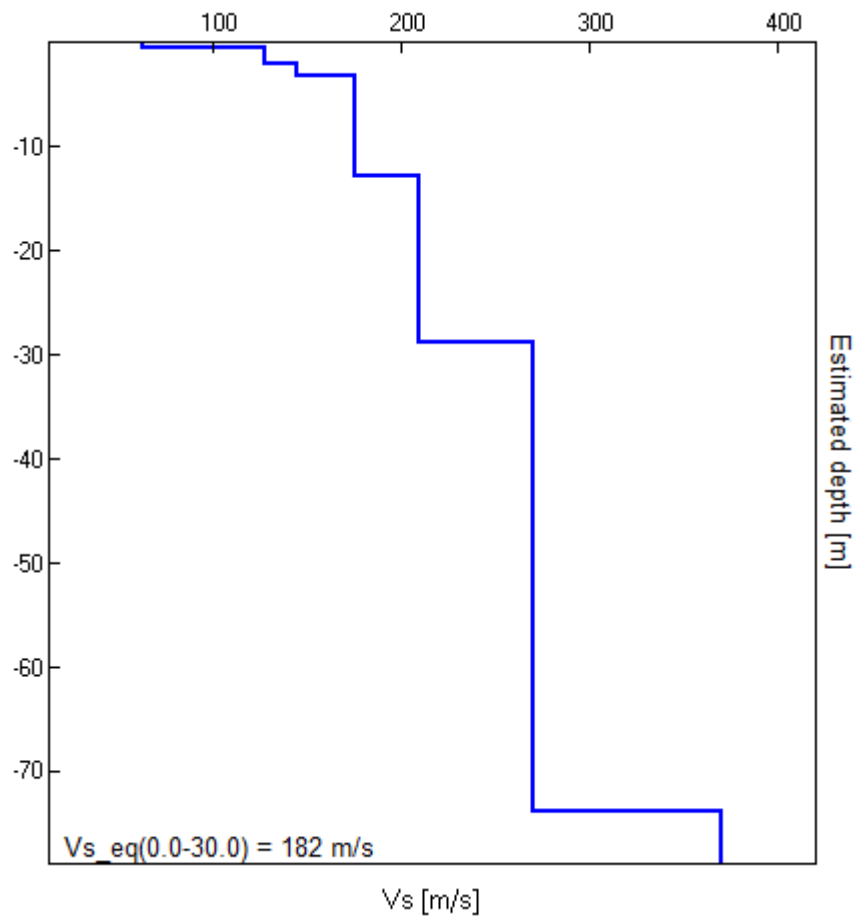
EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 23.63 ± 5.6 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.60	0.60	63	0.40
2.10	1.50	128	0.42
3.30	1.20	145	0.42
12.80	9.50	175	0.42
28.80	16.00	210	0.45
73.80	45.00	270	0.45
inf.	inf.	370	0.45

Vs_eq(0.0-30.0) = 182 m/s [CAT. C]



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

Max. H/V at 23.63 ± 5.6 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	23.63 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	24097.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ 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 1135 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	6.75 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	31.656 Hz	OK	
$A_0 > 2$	1.81 > 2		NO
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.23719 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	5.60364 < 1.18125		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1156 < 1.58	OK	

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
σ_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 σ_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 (limi e argille) di bassa consistenza oppure almeno 3 m di torba o argille altamente organiche (CH)</u>	<100		10-20
S2	<u>Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria si sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti</u>			

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