

# COMUNE DI RICCIONE

ACCORDO OPERATIVO ai sensi dell'Art. 4, L.R. n. 24 /2017

## PROGETTO URBANO DI RIQUALIFICAZIONE DEL VIALE TORINO, DEL SISTEMA AMBIENTALE E ARBOREO E DELL'OFFERTA TURISTICO-RICETTIVA DEI VILLAGGI ROMAGNA E RICCIONE.



**E**  
COMUNE DI RICCIONE  
C\_H274 - AOO Riccione Registro PG  
COPIA CONFORME ALL'ORIGINALE DIGITALE  
Protocollo 00934042021 del 18/11/2021  
Firma: GEORGIO FRASSINETI, Vittoria Roncarati, DANIELE VALLI

STATO DI PROGETTO

SCALA -

INTEGRAZIONI ALLA  
RELAZIONE GEOLOGICA E MICRO  
ZONAZIONE SISMICA

ELABORATO

3.2a

PROPRIETA':

**ROMAGNA CAMPING DUE SRL** Unipersonale  
**ROMAGNA CAMPING SRL**\_Unipersonale

Sede legale\_ Via Biondini 27, Forlì (FC)

tel: +39 0543 371100

PROGETTISTA:

Arch. **Vittoria Roncarati**

via Degli Ulivi, 39 - 17011 Albisola Superiore (SV) tel: +39 339.3098189

e-mail: roncarativittoria@libero.it | PEC: vittoria.roncarati@archiworldpec.it

PROGETTAZIONE  
SPECIALISTICA:

Geol. **Giorgio Frassinetti**

via Matteotti, 57 - 47016 Predappio (FC) tel: +39 388.6584442

e-mail: frassinetigiorgio@gmail.com | PEC: frassinetti@epap.sicurezza postale.it

DATA: Novembre 2021

## Sommario

|   |    |
|---|----|
| 1. Adeguamento della relazione geologica sulla base di quanto prodotto dal Comune in sede di microzonazione sismica, soprattutto per gli aspetti sulla liquefazione delle sabbie in caso di evento sismico..... | 2  |
| 2. Lo studio di Microzonazione sismica di 3° livello correlato alle aree oggetto di studio .....  | 2  |
| 3. Potenziale di liquefazione eseguito nello studio di Microzonazione sismica di 3° livello e correlato alle aree oggetto di studio.....  | 4  |
| 4. Considerazioni conclusive della Microzonazione sismica .....   | 6  |
| 5. Applicazione dei parametri della micro zonazione sismica di 3° livello ai risultati di Prove penetrometriche CPTu eseguite nell'area .....   | 7  |
| 6. Indagini penetrometriche CPTu.....   | 7  |
| 7. Caratteristiche litostratigrafiche del sito di indagine .....  | 8  |
| 8. Unità geologico-tecniche.....  | 13 |
| 9. Indagine sismica e categoria di sottosuolo .....   | 14 |
| 10. Classificazione sismica e pericolosità sismica secondo la normativa .....   | 15 |
| 11. Sismicità storica.....  | 16 |
| 12. Magnitudo di riferimento.....   | 17 |
| 13. Azione sismica di riferimento secondo la normativa.....   | 19 |
| 14. Valutazione dell'azione sismica.....  | 19 |
| 15. Rischio di liquefazione in condizioni sismiche .....  | 20 |
| 16. Conclusioni .....   | 21 |

### ALLEGATI:

Esiti delle prove penetrometriche CPTu eseguite nel 2021

Esiti dell'analisi della liquefazione

Esito delle indagini sismiche eseguite nel 2019

# 1. Adeguamento della relazione geologica sulla base di quanto prodotto dal Comune in sede di microzonazione sismica, soprattutto per gli aspetti sulla liquefazione delle sabbie in caso di evento sismico

Con la presente relazione si vuole affermare la presa d'atto e conseguente valutazione di quanto prodotto dal Comune di Riccione in sede di Microzonazione sismica, al fine di evitare fraintendimenti e difformità tra quanto prodotto in sede di pianificazione e quanto deve essere prodotto in sede di attuazione degli interventi, con particolare riferimento al tema della possibile liquefazione dei terreni in occasione di eventi sismici.

Quindi viene sottolineata la volontà dell'adeguamento della relazione geologica del Masterplan sulla base di quanto prodotto dal Comune in sede di microzonazione sismica, soprattutto per gli aspetti sulla liquefazione delle sabbie in caso di evento sismico.

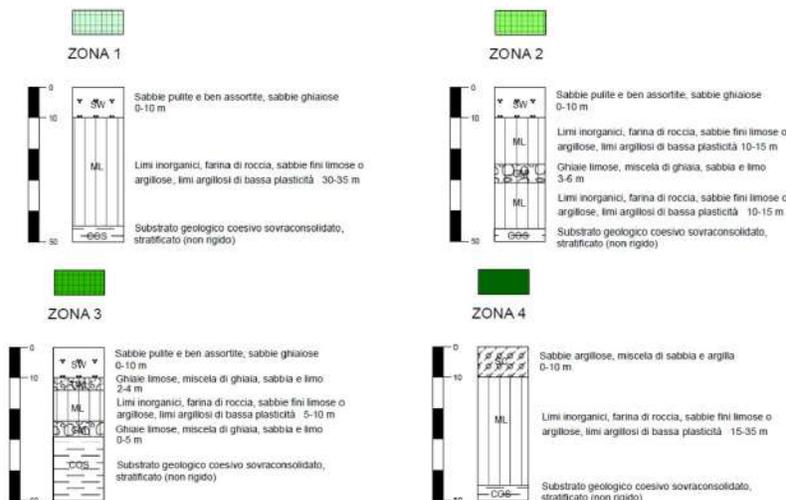
Si riportano i contenuti salienti della Microzonazione sismica di 3° livello del Comune di Riccione e l'applicazione dei parametri indicati nelle verifiche di liquefazione in prove penetrometriche CPTu eseguite nel mese di Ottobre 2021. Tali parametri saranno quelli applicati nelle verifiche delle fasi di attuazione successive

## 2. Lo studio di Microzonazione sismica di 3° livello correlato alle aree oggetto di studio

La Microzonazione sismica di III livello del Comune di Riccione identifica nell'area di studio la presenza di sabbie pulite e sabbie ghiaiose.

Le Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) presenti nell'area sono la Zona 2 e la Zona 3, suscettibili di liquefazione

In figura si riporta una sintesi grafica delle colonnine stratigrafiche attribuite alle diverse microzone, individuate nella Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS).



L'area in esame, secondo gli studi eseguiti per la Microzonazione sismica, presenta le seguenti caratteristiche ed i seguenti Fattori di Amplificazione.

In ossequio alle direttive approvate con DGR 2047/2018 e 630/2019, per l'area sono state calcolate le relative "PGA" al suolo libero (media dei 3 segnali che sono stati utilizzati per la RSL) ed i fattori di amplificazione e di intensità spettrale determinati sulla base di:

- $F_{PGA} = PGA/PGA0$  (ove  $PGA0=agbedrock$ )
- $FA = SA/SA0$ , ovvero rapporti spettrali in accelerazione fra i seguenti periodi  $T(s)$  di riferimento: SA1 per  $0,1s \leq T \leq 0,5s$ , SA2 per  $0,4s \leq T \leq 0,8s$ , SA3 per  $0,7s \leq T \leq 1,1s$ , SA4 per  $0,5s \leq T \leq 1,5s$ ;
- $FH = SI/SI0$ , ovvero rapporti spettrali in pseudovelocità fra i seguenti (Intensità di Housner) periodi  $T(s)$  di riferimento: SI1 per  $0,1s \leq T \leq 0,5s$ , SI2 per  $0,5s \leq T \leq 1,0s$ , SI3 per  $0,5s \leq T \leq 1,5s$ ;
- Parametro di scuotimento assoluto HSM ( $cm/s^2$ ) (Naso et al., 2019), calcolato per l'intervallo di periodi  $0,1s \leq T \leq 0,5s$  ed H0408, H0711, H0515, ovvero lo scuotimento in accelerazione ( $cm/s^2$ ) atteso al sito per gli intervalli di periodi  $0,4s \leq T \leq 0,8s$ ,  $0,7s \leq T \leq 1,1s$  e  $0,5s \leq T \leq 1,5s$ ;

I valori per l'area in esame sono risultati i seguenti

**VsH (0-30)=270 (m/s)**

**PGA=0.256**

**F<sub>PGA</sub>=1.394**

Fattori SA:

|            |     | Periodo(s) | Bedrock  | Soil     | FA    |
|------------|-----|------------|----------|----------|-------|
| INT SPETT. | SA1 | 0.1-0.5    | 0.159377 | 0.195058 | 1.224 |
| INT SPETT. | SA2 | 0.4-0.8    | 0.095763 | 0.207739 | 2.169 |
| INT SPETT. | SA3 | 0.7-1.1    | 0.054374 | 0.149805 | 2.755 |
| INT SPETT. | SA4 | 0.5-1.5    | 0.122829 | 0.316444 | 2.576 |

Fattori SI:

|            |     | Periodo(s) | Bedrock   | Soil      | FA    |
|------------|-----|------------|-----------|-----------|-------|
| INT SPETT. | SI1 | 0.1-0.5    | 6.792155  | 9.171127  | 1.350 |
| INT SPETT. | SI2 | 0.5-1.0    | 9.627480  | 26.967235 | 2.801 |
| INT SPETT. | SI3 | 0.5-1.5    | 16.115741 | 42.854315 | 2.659 |

ASl<sub>pu</sub>/ΔT= 405.146869

"SM= 495.849

"0408= 509.307

"0711= 367.272

"0515= 310.325

### **3. Potenziale di liquefazione eseguito nello studio di Microzonazione sismica di 3° livello e correlato alle aree oggetto di studio.**

Nello studio di liquefazione eseguita per la Microzonazione sismica del Comune di Riccione sono state impiegate procedure denominate 'metodi semplificati' che richiedono la valutazione, fino alla profondità critica da p.c., del coefficiente di sicurezza FS.

Lo studio indica la presenza di litotipi prevalentemente sabbiosi che costituiscono le Unità A e B, rientrano nei fuso granulometrici dei sedimenti incoerenti potenzialmente suscettibili al fenomeno della "liquefazione" come indicato in normativa DGR 630/2019, DM2018 (par. 7.11.3.4.2) e Linee Guida AGI 2005 (terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  e  $U_c > 3,5$ )

Lo spessore del corpo sedimentario sabbioso costiero (rappresentato in loco dalle Unità A e B), costituito da sabbie prevalenti e alternanze di livelli sabbiosi con sottili orizzonti limosi ed argillosi ma a comportamento generale prettamente incoerente, risulta variabile fra i valori di circa 5.5-8.0 mt ; tuttavia alla base del cuneo sabbioso, talora, sono presenti orizzonti metrici di sabbie limose alluvionali e/o ghiaietto di barra di foce, determinando un'ulteriore spessore locale di materiali incoerenti potenzialmente liquefacibili. Data l'estensione dell'area in studio, si sono adottate le azioni sismiche derivate dalla suddivisione in 4 microzone omogene in relazione agli assetti geologici e stratigrafici adottati per la modellazione di RSL.

L'area in esame si colloca nella microzona 4.

La stima del potenziale di liquefazione è stata effettuata in condizioni "free-field" con i "metodi semplificati" indicati in Allegato A3 della DGR 630/2019 , e a tal fine per ogni verticale si è utilizzato il picco di accelerazione massima in superficie  $a_{max}$  (PGA) desunto, per ciascuna zona di RSL, mediante analisi della risposta locale sotto l'azione sismica di riferimento.

Per l'area in esame è stato utilizzato il valore di  $PGA4 = 0.26$  ag/g

E' stato analizzata la potenziale liquefacibilità dei terreni attraverso metodi basati sullo stato tensionale in cui il fattore di sicurezza alla liquefazione viene definito tramite il rapporto tra resistenza ciclica CRR e azione sismica di progetto CSR (Cyclic Stress Ratio) per cui  $FS = CRR/CSR$ ; in particolare ci si può avvalere di metodologie di tipo storico – empirico fra cui quelle basate su prove CPT come raccomandato nelle Linee Guida AGI 2005 e ICMS 2008.

Per quanto riguarda la scelta del metodo si è adottata la formulazione di Robertson 2009 (R09).

La verifica di calcolo è stata effettuata come da normativa attraverso l'utilizzo del software CLiq vers. 2.3.1.15 della software house Geologismiki.

Il metodo R09 è basato su un proprio fattore caratteristico di scalatura della magnitudo (MSF) e propri coefficienti riduttivi ( $R_d - K_{\sigma} - K_{\omega}$ ) atti a determinare i valori di CRR (cyclic resistance ratio) e CSR (cyclic stress ratio) per ciascuno strato, necessari a definirne il rispettivo FS (fattore di sicurezza) rispetto ad una soglia limite di riferimento prefissata. Essendo uno studio di tipo areale ed in assenza di specifiche indicazioni progettuali il calcolo è stato effettuato assumendo condizioni di free-field ed un livello di falda ipotizzabile in condizioni di massimo innalzamento medio stagionale.

Dall'analisi congiunta degli accelerogrammi utilizzati per le analisi di RSL, oltre alla PGA media attesa a suolo libero è stato definito anche il profilo medio di CSR.

Il piano/quota di riferimento utilizzato per le verifiche è pari al piano campagna attuale (p.c.).

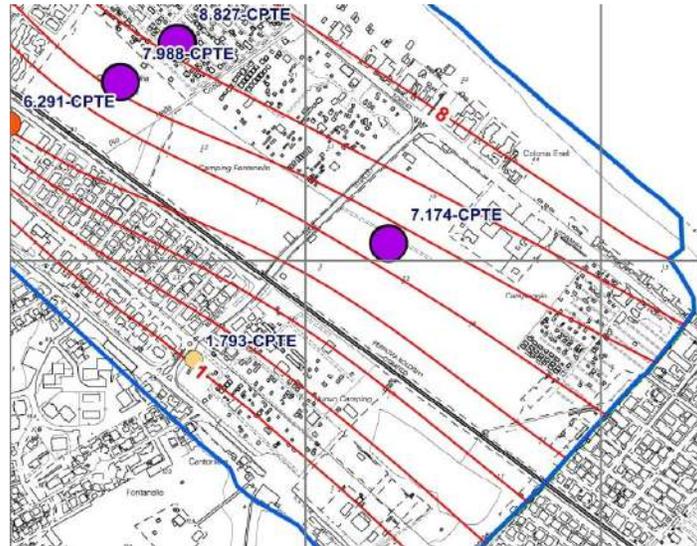
Come indicatore di rischio complessivo, oltre al valore di FS per ciascun singolo strato, viene stimato anche il potenziale di liquefazione "IPL" lungo la colonna stratigrafica fino alle profondità sondate secondo il metodo di Iwasaki et Al. 1982, come recentemente rivisto ed aggiornato da Sonmez (2003), integrando in modo pesato il potenziale di liquefazione di ciascuno strato su tutto il profilo stratigrafico indagato e per cui:

**IWASAKI 1982**

- IPL=0      Rischio liquefazione molto basso
- 0<IPL≤5      Rischio liquefazione basso
- 5<IPL≤15      Rischio liquefazione alto
- IPL>15      Rischio liquefazione molto alto

**SONMEZ 2003**

- IPL=0 Rischio liquefazione molto basso
- 0<IPL≤2 Rischio liquefazione basso
- 2<IPL≤5 Rischio liquefazione moderato
- 5<IPL≤15 Rischio liquefazione alto
- IPL>15 Rischio liquefazione molto alto



La cartografia delle linee di isopotenziale di liquefazione indica che i valori di IPL variano da 4 a 7 circa.

In funzione del FS calcolato sono stati determinati, altresì, le deformazioni massime ( $\Delta_{max}$  - LDI) ed i cedimenti attesi ( $\Delta_v$  -  $\Delta Si$ ) nei terreni sia in falda che fuori falda (Zhang, 2002, Priebe, 1998), siano essi incoerenti che coesivi (rispettivamente per deformazione volumetrica/riaddensamento e riconsolidazione; Robertson metodo "All Soil, 2009").

Nello studio di microzonazione viene altresì illustrata anche l'entità dei cedimenti post-sismici attesi  $\Delta S$ , cumulativa sia per terreni incoerenti che coesivi i quali, all'interno di ciascuna zona, presentano una modesta variabilità areale. A titolo di riferimento Ishihara e Yoshimine (1992), in relazione ai cedimenti stimati ed al grado di danneggiamento/effetti attesi al suolo, identificano tre ambiti di pericolosità per cui:

| Cedimento (cm)       | Grado di danneggiamento |
|----------------------|-------------------------|
| $\Delta S < 10$      | Assente - Lieve         |
| $10 < \Delta S < 30$ | Medio                   |
| $\Delta S > 30$      | Esteso - Severo         |

E' importante sottolineare che i valori di cedimento indicati per l'area sono variabili da 6 a 8, e quindi con un grado di danneggiamento Assente-Lieve.

I terreni presenti indicano una maggiore resistenza ciclica dei depositi costieri rispetto a quelli presenti a nord. Questo può essere imputabile anche alla frequente presenza di orizzonti ghiaiosi ad elevata resistenza ciclica e capacità di drenaggio in corrispondenza degli orizzonti basali del cuneo sabbioso marino.

#### 4. Considerazioni conclusive della Microzonazione sismica

Nella carta di Microzonazione di 3° livello del Comune di Riccione, ogni microzona è stata caratterizzata mediante 3 importanti fattori: il primo quantifica l'entità e le amplificazioni attese del moto sismico (Accelerazione massima al suolo PGA ed i Fattori di Amplificazione FPGA, FA, FH, HSM), il secondo (potenziale di liquefazione IPL) è un indicatore della suscettibilità dei terreni nei confronti di potenziali fenomeni di liquefazione nonché della severità delle potenziali manifestazioni superficiali attese, il terzo (espresso numericamente al fianco di ciascun punto di indagine) contempla i cedimenti post-simici attesi a seguito di un eventuale innesco della liquefazione.

L'innesco e sviluppo della liquefazione, quale fenomeno complesso dal punto di vista dei fattori predisponenti e scatenanti, risulterà comunque fortemente condizionato da specifiche condizioni sismogenetiche (distanza epi/ipocentrale, fenomeni di direttività, contenuto in frequenza del segnale, durata della fase forte, ecc.) o dalla presenza di stati tensionali preesistenti imputabili alla presenza di opere/strutture o situazioni morfologiche ed idrogeologiche particolari.

Considerata la continuità dei depositi sabbiosi, l'entità dei fenomeni e gli aspetti di non linearità ipotizzabili per il comportamento dinamico/ciclico dei terreni, all'occorrenza e/o in fase di progettazione esecutiva per opere strategiche (e/o di rilevanza) potrà essere opportuno condurre approfondimenti di studio tramite analisi con prove di laboratorio ciclico/dinamico ed eventualmente di risposta sismica di sito con metodi di calcolo non lineari ed in tensioni efficaci opportunamente calibrati; tali approfondimenti consentiranno di simulare con maggior precisione i fenomeni di amplificazione sismica, gli aspetti deformativi e le sovrappressioni interstiziali attesi in condizioni sismiche.

Tali informazioni potranno essere di ausilio sia per la progettazione urbanistica che per la pianificazione territoriale ai fini della mitigazione del rischio sismico nelle aree di interesse e per la pubblica incolumità.

## 5. Applicazione dei parametri della micro zonazione sismica di 3° livello ai risultati di Prove penetrometriche CPTu eseguite nell'area

Per la caratterizzazione litostratigrafia e geotecnica dei terreni di sottofondazione, sono state eseguite 4 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTu) spinte fino alla profondità di 9-9,5 dal piano campagna metri in quanto è subentrato il rifiuto all'avanzamento per la presenza di ghiaie. Si sono visionate anche le stratigrafie di sondaggi limitrofi e di prove eseguite in passato.

Per la classificazione sismica del terreno di sottofondazione sono stati utilizzati i dati ricavati da una indagine sismica di tipo SCPT (Cono sismico) eseguito in una campagna precedente del 2019. Dall'indagine è stato possibile ricavare i profili di Vs e Vp con la profondità, i moduli elastici dinamici del terreno e il parametro di Normativa Vs30. Al Cono sismico è stata affiancata un'indagine sismica MASW eseguita sempre nel 2019 all'interno dell'area d'indagine, che ha permesso stimare la frequenza di vibrazione fondamentale del terreno.

## 6. Indagini penetrometriche CPTu

In data data 27 Ottobre 2021 sono state eseguite 4 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTu) nell'area in oggetto al fine di analizzare le caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche dei terreni che saranno interessati dall'intervento in progetto. Le verticali penetrometriche, che hanno raggiunto la profondità di circa 9,5 metri, in quanto le ghiaie incontrate non hanno permesso l'ulteriore avanzamento, sono state eseguite utilizzando un piezocono G1-CPL2IN, con le seguenti caratteristiche tecniche:

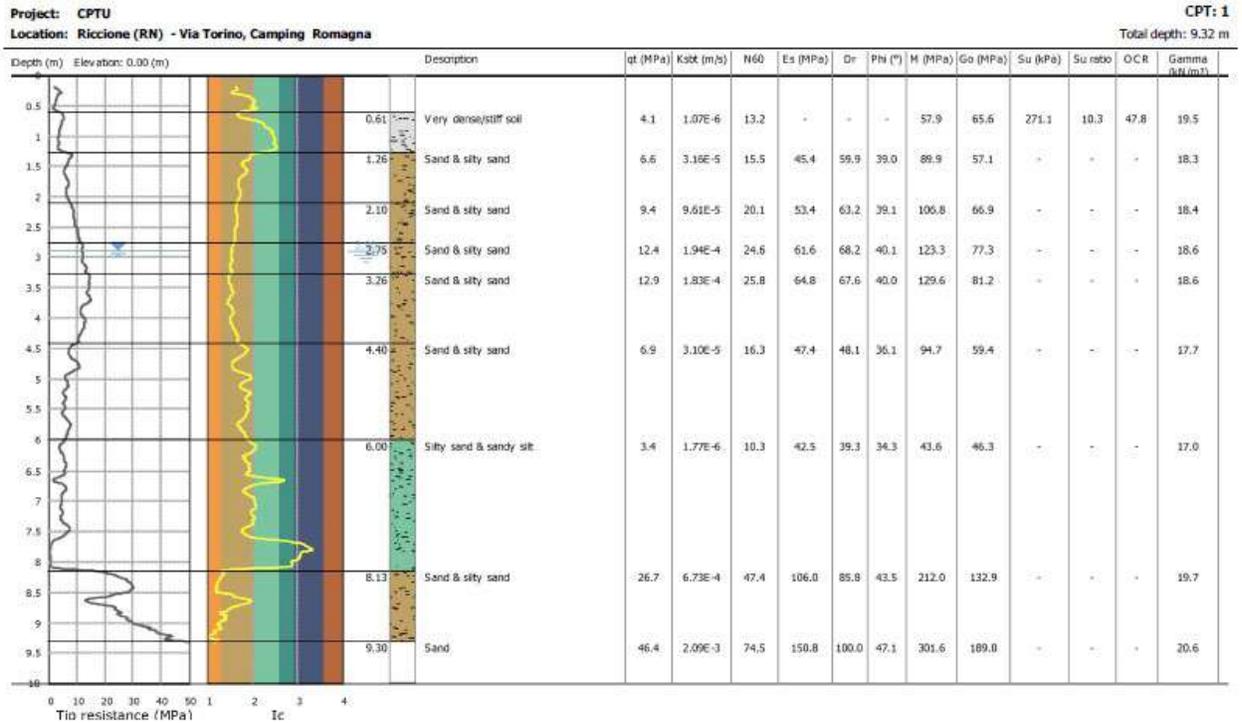
|                                    |                        |
|------------------------------------|------------------------|
| Area di punta                      | 10.00 cm <sup>2</sup>  |
| Diametro                           | 35.70 mm               |
| Area netta (AN)                    | 6.60 cm <sup>2</sup>   |
| Superficie manicotto               | 150.00 cm <sup>2</sup> |
| Lunghezza manicotto                | 133.70 mm              |
| Area superiore manicotto (F sup.)  | 2.22 cm <sup>2</sup>   |
| Area inferiore manicotto (F inf.)  | 3.31 cm <sup>2</sup>   |
| Lunghezza totale piezocono         | 600.00 mm              |
| Peso complessivo                   | 3.00 Kg                |
| Lunghezza raccordo punta - aste    | 250.00 mm              |
| Passo letture                      | 2 cm                   |
| Posizione filtro pressioni neutre: | u2                     |

La punta elettrica è strumentata con sensori elettrici e un sistema di trasmissione dei dati in superficie via cavo, che permette l'acquisizione e la registrazione dei dati quasi in continuo, ogni centimetro. I dati misurati durante la prova (avanzamento di 1 cm) sono la resistenza totale alla penetrazione  $Q_t$ , la resistenza alla penetrazione della punta  $Q_c$ , la resistenza laterale del manicotto  $F_s$  e la pressione interstiziale  $U$ ; è possibile inoltre monitorare, durante l'esecuzione della prova, alcuni parametri di controllo, quali l'inclinazione rispetto alla verticalità e la velocità di penetrazione del cono.

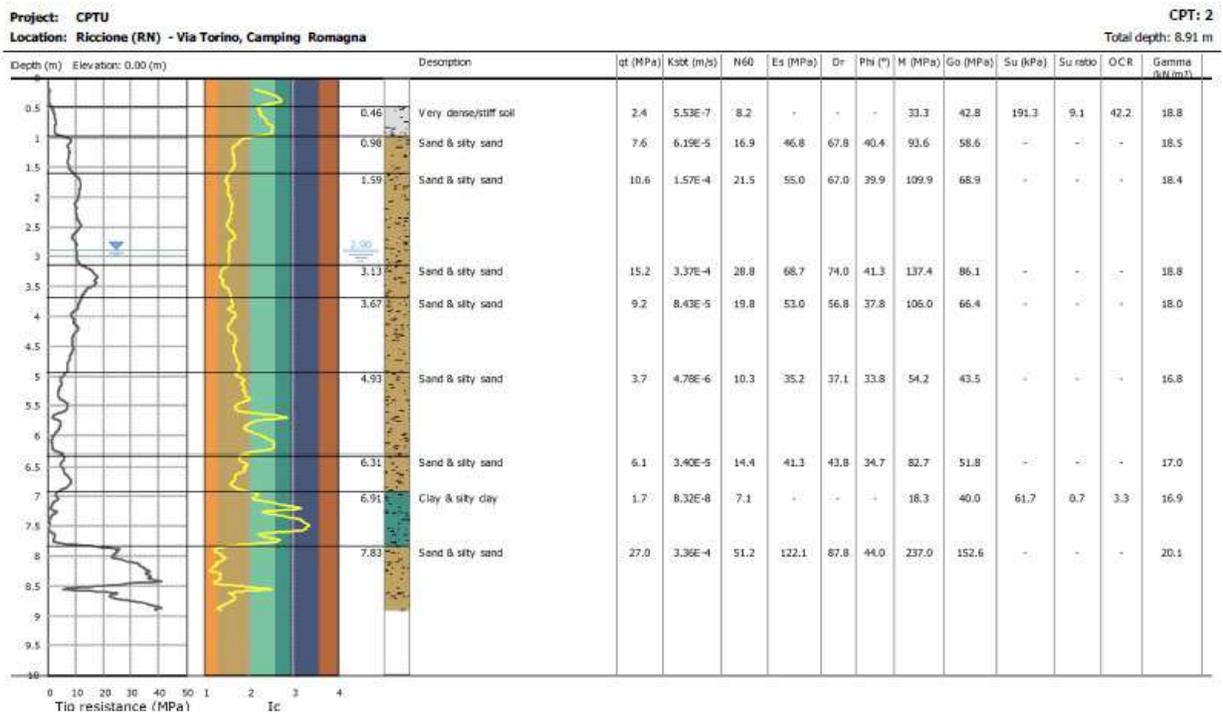
I dati acquisiti sono stati elaborati con software CPeT – IT v. 1.7.4.13 prodotto da GeoLogisMiki – Geotechnical Software. I report, in cui sono riportati su grafici i dati di resistenza e pressione interstiziale misurati e l'interpretazione litostratigrafica e geotecnica delle prove, sono riportati in allegato.

## **7. Caratteristiche litostratigrafiche del sito di indagine**

Dalle indagini geotecniche eseguite in sito e dalle stratigrafie di indagini pregresse, si evidenzia l'omogeneità stratigrafica sull'intera area in esame, caratterizzata da circa 7,5 m di sabbie, seguite da ghiaie sabbiose fino alla profondità di 11 metri e poi alternanze di argille e argille limose fino a 20 m. Lo spessore sabbioso più superficiale corrisponde ai sedimenti marini olocenici, accumulatisi a partire dal post-Tardoglaciale ad oggi. Ad essi seguono, in profondità, argille e argille limose di ambiente deposizionale continentale, legate all'ultimo periodo glaciale. A 21 metri è presente uno strato di ghiaia fine e media a sua volta seguito da argilla limosa fino a 34 m. Tale stratigrafia deriva dalle prove penetrometriche eseguite e dallo studio di sondaggi vicini.



Modello stratigrafico-geotecnico CPTu-1



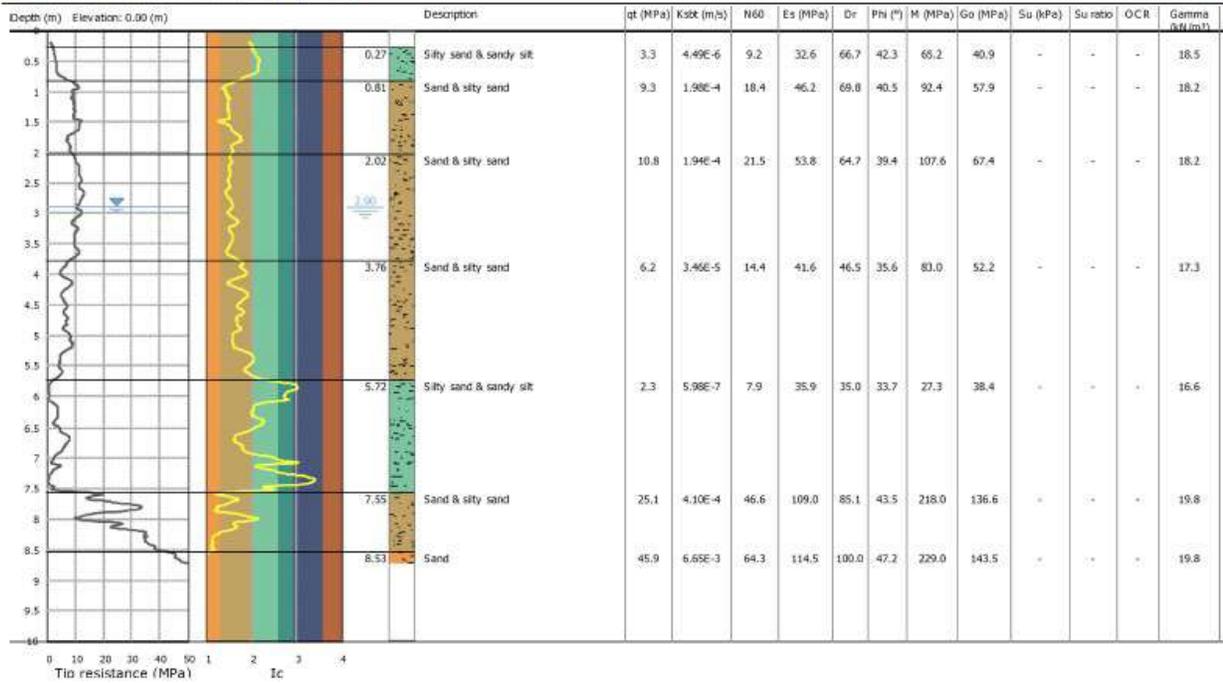
Modello stratigrafico-geotecnico CPTu-2

Project: CPTU

Location: Riccione (RN) - Via Torino, Camping Romagna

CPT: 3

Total depth: 8.72 m



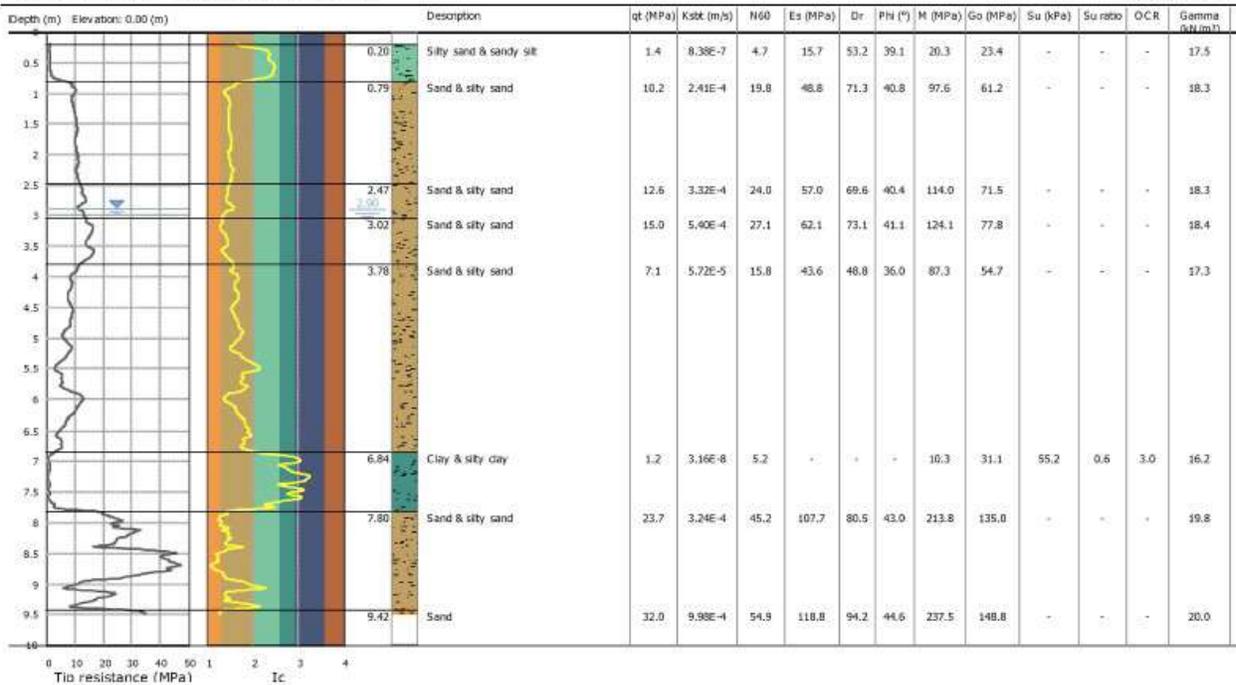
Modello stratigrafico-geotecnico CPTu-3

Project: CPTU

Location: Riccione (RN) - Via Torino, Camping Romagna

CPT: 4

Total depth: 9.49 m



Modello stratigrafico-geotecnico CPTu-4

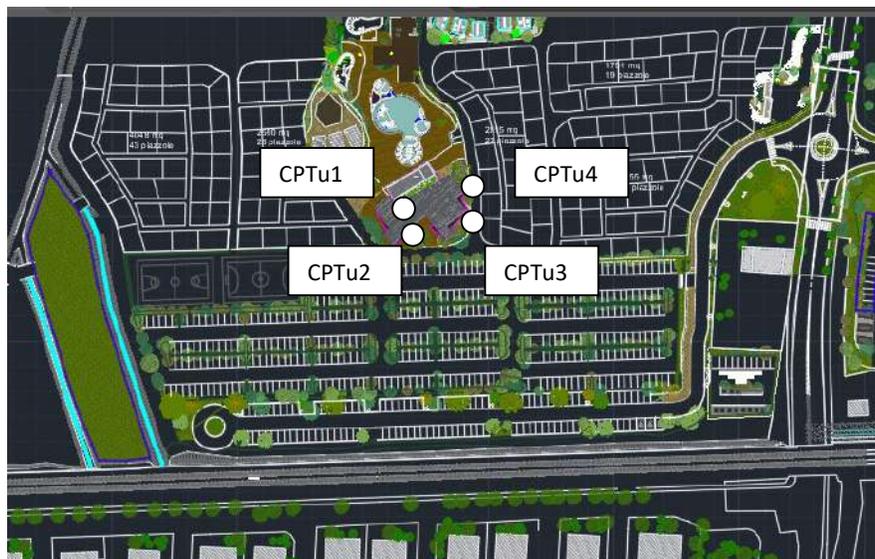
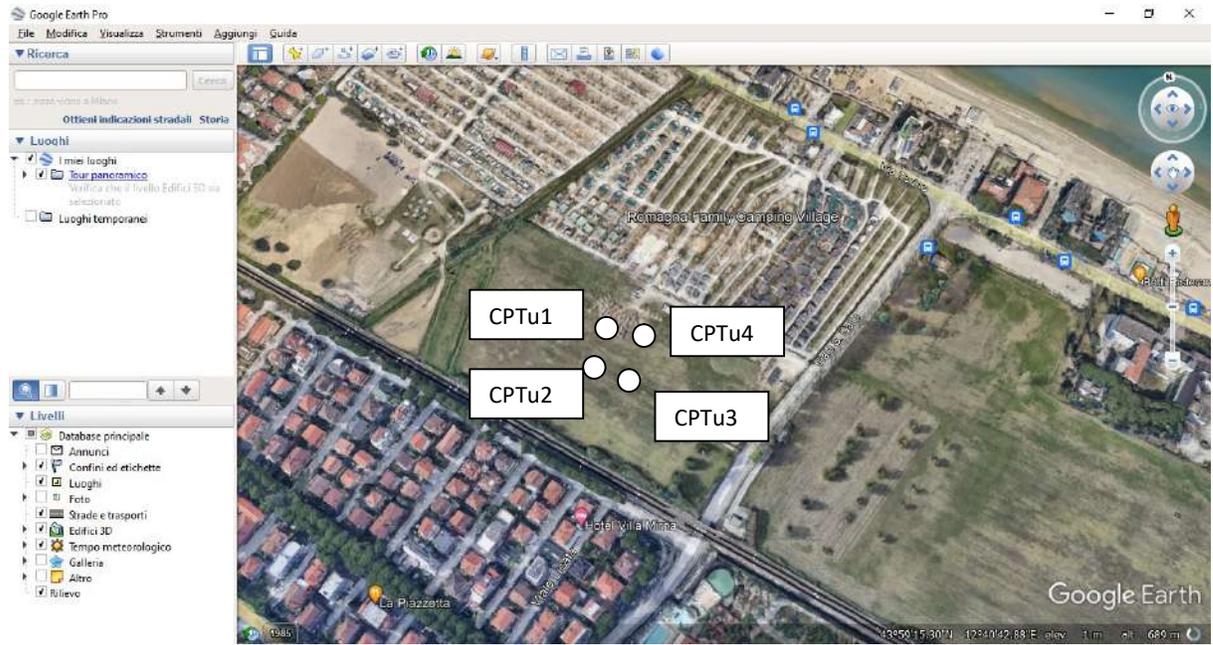
Anche dal punto di vista geomeccanico emerge una marcata uniformità su tutta l'area indagata.

Le sabbie mostrano alti valori di densità relativa nei primi 3 m (al di là del primo metro più superficiale), sempre al di sopra del 50%, che poi decadono verso valori mediocri da circa -3 m al letto dello spessore sabbioso. L'andamento del parametro di stato per le sabbie è chiaramente speculare al primo, con valori indicativi di forte addensamento tra -1 e -3 m che si avvicinano allo 0 (a luoghi superandolo) tra 4,5 e 7,5 m.

Tra -5,5 e -7,5 m, il grafico della coesione non drenata fa intuire la compresenza di livelli fini che si intervallano ai livelli sabbioso-limosi, con valori di resistenza meccanica da subito mediocri, ma che aumentano speditamente già a partire da 8-9 m, mantenendosi mediamente sopra i 100 kPa e raggiungendo a luoghi massimi di 200 e 300 kPa.

Il profilo continuo di permeabilità mostra chiaramente una buona permeabilità nello spessore sabbioso, con ordine di grandezza di  $1 \cdot 10^{-3}$  da -1 a -3 m, con un andamento molto irregolare tra -3 e -7,5 m (nello spessore ove frequenti sono le intercalazioni coi livelli argilloso-limosi), variabile da  $1 \cdot 10^{-3}$  a  $1 \cdot 10^{-9}$ , che si stabilizza su  $1 \cdot 10^{-8}$  nello spessore argilloso-limoso. Per maggiori dettagli sull'interpretazione delle prove penetrometriche statiche si rimanda all'Allegato.

La falda idrica durante le prove è stata intercettata alla profondità di 2,8 metri dal piano campagna.



Ubicazione delle prove geognostiche eseguite per questo studio

## 8. Unità geologico-tecniche

Si sono definiti i valori caratteristici dei parametri geotecnici. In particolare vista la condizione geologica del sito si sono assunti valori caratteristici prossimi ai valori minimi. La stratigrafia è stata quindi suddivisa in 5 Unità Geologico – tecniche.

| Unità | Profondità min e max da mt a mt | Descrizione  |
|-------|---------------------------------|--|
| 1     | Da 0.0 - A 1.0                  | <b>Livello superficiale</b><br>Terreno sabbioso di colore nocciola con riporto antropico per regolarizzazione morfologica. A tratti orizzonti decimetrici argillosi. Possiede caratteristiche geomeccaniche variabili ma comunque generalmente scarse; soggette talora alle diversità climatiche e alla interazione con processi superficiali (moto ondoso).   |
| 2     | Da 1.0 - A 6.5                  | <b>Sabbie Mediamente addensate-dense</b><br>Sabbie medie e medio-fini, generalmente ben classate. Localmente si possono talora notare sottili intercalazioni limo - argillose. Le strutture sedimentarie rivelano una situazione di media-elevata energia deposizionale in ambienti di mare basso o litorale dominati dal moto ondoso e/o da correnti lungo costa. Mediamente addensate e dotate di limitata compressibilità.          |
| 3     | Da 6.5 - A 8.0                  | <b>Alternanze</b><br>Alternanze di sabbia da medio-fine con sabbie limose o limo sabbiose di colore nocciola. Depositi litorali intercalati a tratti ad orizzonti prettamente alluvionali e/o di laguna, con intercalazioni da centimetriche a decimetriche franco limose e talora organiche. Caratteristiche geomeccaniche da scarse a sufficienti e modesta compressibilità.   |
| 4     | Da 8.0 - A 11.0                 | <b>Ghiaie e sabbie</b><br>Orizzonte da metrico a decametrico di depositi alluvionali costituiti da ghiaie, ghiaie sabbiose a granulometria da media a grossa arrotondate, in abbondante matrice limo-argillosa, talora presenza di lenti limo-argillose discontinue ed a varie altezze; molto compatte ed addensate, scarsamente compressibili e dotate di ottime caratteristiche geotecniche.   |
| 5     | Da 11.0 - A 20.0                | <b>Argille-limose mediamente compatte</b><br>Di origine alluvionale, mediamente consistenti, con caratteristiche geotecniche sufficienti-discrete e a contenuta compressibilità; <i>al tetto presenza di livello metrico sabbioso/ghiaioso</i> . Depositi attribuibili a sedimentazione in piana inondabile. Presenza di livelli decimetrici a maggiore contenuto sabbioso, di argille compressibili ed argille maggiormente compatte. |

### PARAMETRI GEOTECNICI

| PROF. (m)      | TERRENO TIPO     | $\gamma$<br>(Kg/m <sup>3</sup> ) | $\phi$<br>(°) | $c'$<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | $c_u$<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | $E_d$<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) |
|----------------|------------------|----------------------------------|---------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| DA 0 A 1       | TERRENO TIPO 1   | 1800                             | 30            | 0                             | 0                              | 50                             |
| DA 1 A 8,0     | TERRENO TIPO 2-3 | 1800                             | 38            | 0                             | 0                              | 70                             |
| DA 8,0 A 11,0  | TERRENO TIPO 4   | 1900                             | 40            | 0                             | 0                              | 100                            |
| DA 11,0 A 20,0 | TERRENO TIPO 5   | 1900                             | 18            | 0,1                           | 0.9                            | 100                            |

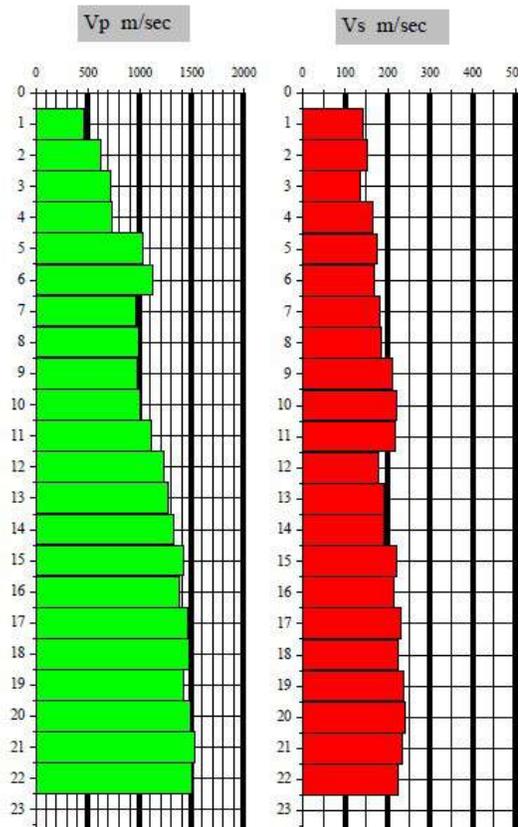
- $\gamma$  = peso di volume del terreno
- $c_u$  = coesione non drenata
- $\phi'$  = angolo d'attrito interno di picco
- $E_d$  = modulo di deformazione drenato

## 9. Indagine sismica e categoria di sottosuolo

Per la classificazione sismica del terreno sono stati utilizzati i risultati dell'indagine con cono sismico e MASW eseguite nel 2019.

L'indagine ha consentito di determinare, per ogni metro, la velocità delle onde di taglio "S" e delle onde di compressione "P", permettendo di derivare i principali parametri elastici dinamici del terreno e di calcolare il parametro di Normativa Vs30, risultato pari a 192 m/s, che inserisce il terreno di fondazione all'interno della classe C (NTC18)- Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

Come si può notare dai profili di Vp e Vs con la profondità, appare chiaramente il passaggio, a circa 11 m di profondità, tra le sabbie e le argille, quest'ultime caratterizzate da profili di velocità pressoché lineari con la profondità.



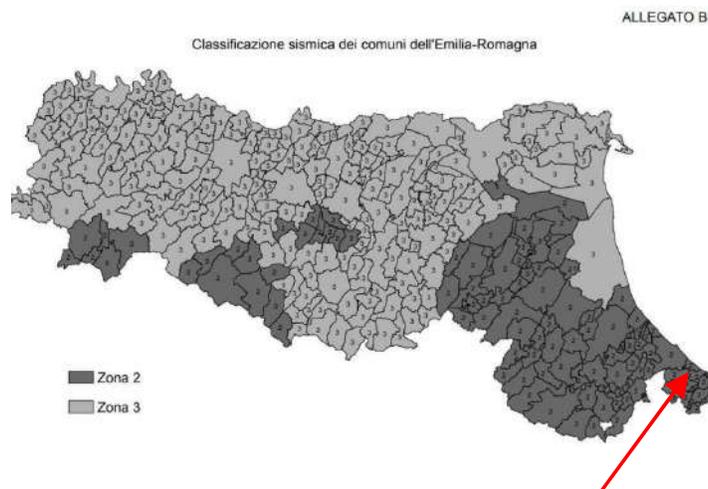
Dall'analisi dell'indagine MASW si può affermare che per i terreni indagati il valore di  $V_{seq}$  è pari a 214 nella MASW n.1 e 243 nella MASW n.2 e corrispondono a terreni di tipo C secondo la classificazione sismica dei suoli a seguito dell'entrata in vigore del DM del 17 gennaio 2018.

I rapporti delle indagini eseguite sono allegati alla relazione.

## 10. Classificazione sismica e pericolosità sismica secondo la normativa

Come stabilito dall'allegato A della D.G.R. n.1164/2018, il Comune di Riccione risulta classificato in zona "2", come riportato in Figura.

Classificazione sismica dei Comuni dell'Emilia-Romagna (Allegato "B" alla D.G.R. n.1164/2018)



Rispetto alla classificazione sismica del comune di Riccione ed in base alla mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (O.P.C.M. 28/04/2006 n.3519), il range di accelerazione massima del suolo, con probabile eccedenza del 10% in 50 anni, nell'area in studio è compresa tra 0.15 e 0.25 g .

Valori di accelerazione massima del suolo  $a_g$  con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferito a suoli rigidi caratterizzati da  $V_{s,30} > 800$  m/s

| Zona | Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni ( $a_g/g$ ) | Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche, $a_g/g$ ) |
|------|---|---|
| 1    | >0.25   | 0.35  |
| 2    | 0.15 ÷ 0.25   | 0.25  |
| 3    | 0.05 ÷ 0.15   | 0.15  |
| 4    | <0.05   | 0.05  |

In Tabella vengono forniti, per il Comune di Riccione e per periodi di ritorno TR di 30 anni, 50 anni, 72 anni, 101 anni, 140 anni, 201 anni, 475 anni, 975 anni, 2475 anni, i valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_C^*$  da utilizzare per definire l'azione sismica nei diversi stati limite considerati.

Nel dettaglio:

Coordinate: 43.987878, 12.678798

$a_g$  = accelerazione orizzontale massima al sito su suolo tipo A;

$F_0$  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$T_C^*$  = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Valori dei parametri di  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_C^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento

| $T_R$<br>[anni] | $a_g$<br>[g] | $F_0$<br>[-] | $T_C^*$<br>[s] |
|-----------------|--------------|--------------|----------------|
| 30              | 0,049        | 2,430        | 0,274          |
| 50              | 0,064        | 2,542        | 0,277          |
| 72              | 0,076        | 2,544        | 0,281          |
| 101             | 0,094        | 2,439        | 0,284          |
| 140             | 0,109        | 2,476        | 0,285          |
| 201             | 0,128        | 2,485        | 0,287          |
| 475             | 0,184        | 2,485        | 0,296          |
| 975             | 0,238        | 2,524        | 0,310          |
| 2475            | 0,336        | 2,480        | 0,322          |

Valori dei parametri di  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_C^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento

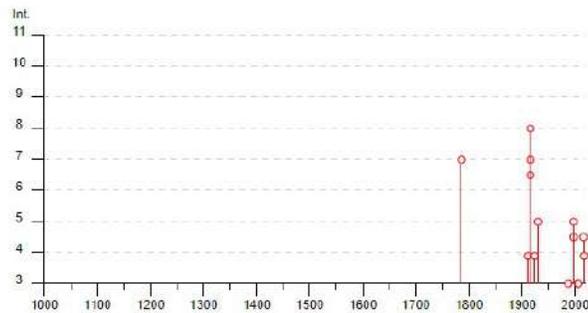
## 11. Sismicità storica

Al fine di inquadrare dal punto di vista della sismicità storica l'area in esame, si riporta di seguito un riepilogo delle osservazioni macrosismiche di terremoti al di sopra della soglia del danno che hanno interessato storicamente il Comune di Riccione.

## Riccione



PlaceID IT\_41965  
Coordinate (lat, lon) 44.001, 12.659  
Comune (ISTAT 2015) Riccione  
Provincia Rimini  
Regione Emilia-Romagna  
Numero di eventi riportati 23

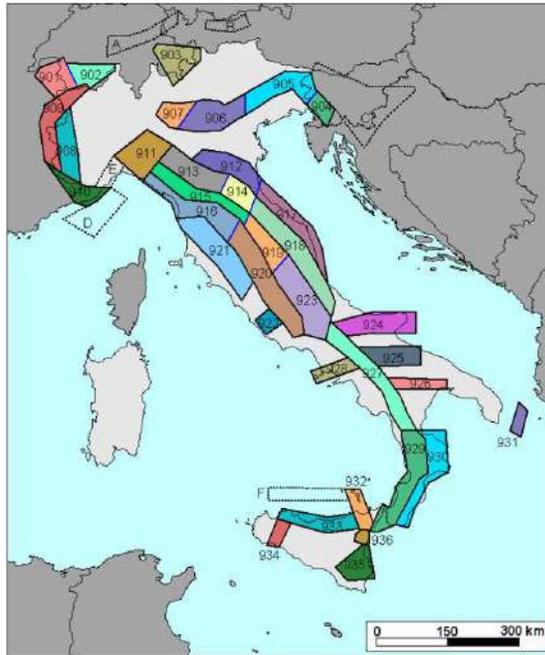


## 12. Magnitudo di riferimento

Sulla base delle originali elaborazioni relative alla definizione delle sorgenti sismogenetiche (DISS2.0-2001) è stato elaborato un modello sintetico che descrive la localizzazione delle sorgenti di futuri terremoti, la magnitudo massima che questi potranno raggiungere ed i rate di sismicità attesa zona per zona. Questo modello, che si pone come base per la redazione della carta di pericolosità sismica è rappresentato dalla mappa delle zone sismogenetiche ZS9 (Meletti & Valensise, 2004).

In base alla zonazione sismogenetica ZS9 del territorio nazionale, la sismicità in Italia può essere distribuita in 36 zone, a ciascuna delle quali è associata una legge di ricorrenza della magnitudo, espressa in termini di magnitudo momento  $M_w$ .

Il territorio in oggetto ricade all'interno della zona sismogenetica 917 "Rimini-Ancona", caratterizzata da  $M_w=6.14$ , vedi figure seguenti.



Zone sismogenetiche per la mappa di pericolosità sismica di base di riferimento

Valori di  $M_{wmax}$  per le zone sismogenetiche di ZS9

| Nome ZS  | Numero ZS   | $M_{wmax}$ |
|--|---|------------|
| Colli Albani, Etna   | 922, 936  | 5.45       |
| Ischia-Vesuvio   | 928   | 5.91       |
| Altre zone   | 901, 902, 903, 904, 907, 908, 909, 911, 912, 913, 914, 916, 917, 920, 921, 926, 932, 933, 934 | 6.14       |
| Medio-Marchigiana/Abruzzese, Appennino Umbro, Nizza Sanremo                  | 918, 919, 910   | 6.37       |
| Friuli-Veneto Orientale, Garda-Veronese, Garfagnana-Mugello, Calabria Jonica | 905, 906, 915, 930  | 6.60       |
| Molise-Gargano, Ofanto, Canale d'Otranto                                     | 924, 925, 931   | 6.83       |
| Appennino Abruzzese, Sannio - Irpinia-Basilicata                             | 923, 927  | 7.06       |
| Calabria tirrenica, Iblei  | 929, 935  | 7.29       |

### 13. Azione sismica di riferimento secondo la normativa

Le azioni sismiche di progetto, sulla base delle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR, nel periodo di riferimento VR. In alternativa è ammesso l’uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica locale dell’area della costruzione. Ai fini della presente normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento PVR nel periodo di riferimento VR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

$a_g$ : accelerazione orizzontale massima al sito;

FO: valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

TC\*: valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

### 14. Valutazione dell’azione sismica

Prendendo in considerazione l’area in oggetto di studio, nel seguito si riportano i parametri dell’azione sismica di riferimento in relazione allo Stato limite di Salvaguardia della vita (SLV).

|                            |         |
|----------------------------|---------|
| Vita nominale, VN          | 50 anni |
| Classe d’uso               | II      |
| Coefficiente d’uso, Cu     | 1.0     |
| Periodo di riferimento, VR | 50 anni |

Stato limite di salvaguardia della vita (SLV)

**Parametri indipendenti**

| STATO LIMITE | SLV     |
|--------------|---------|
| $a_g$        | 0,184 g |
| $F_o$        | 2,485   |
| $T_C^*$      | 0,296 s |
| $S_S$        | 1,426   |
| $C_C$        | 1,570   |
| $S_T$        | 1,000   |
| $q$          | 1,000   |

**Parametri dipendenti**

|        |         |
|--------|---------|
| $S$    | 1,426   |
| $\eta$ | 1,000   |
| $T_B$  | 0,155 s |
| $T_C$  | 0,464 s |
| $T_D$  | 2,335 s |

## 15. Rischio di liquefazione in condizioni sismiche

Il termine liquefazione si riferisce alla perdita di resistenza al taglio, di un mezzo granulare sotto falda determinata da un aumento della pressione dell'acqua all'interno dei pori. Tale incremento può essere riconducibile a varie cause fra le quali si ricorda lo scuotimento del terreno durante un forte terremoto. Un terreno in condizioni di liquefazione è privo di resistenza al taglio e si comporta come un fluido viscoso.

Al termine del sisma, con la dissipazione delle sovrappressioni interstiziali e con il riassetto dei grani in una struttura più addensata possono originarsi estesi fenomeni di subsidenza che causano importanti cedimenti (assoluti e/o differenziali) con effetti che possono essere disastrosi sulle eventuali sovrastrutture presenti.

Perché in un dato sito possano avvenire fenomeni di liquefazione è necessario che coesistano particolari condizioni geologiche e idrogeologiche (i.e. presenza di terreni granulari, fini, puliti e sotto falda) e sismiche (eventi di intensità  $I \geq VIII$  MCS; picco di accelerazione  $a_{max} > 0,10g$ , durata maggiore di 15-20 s).

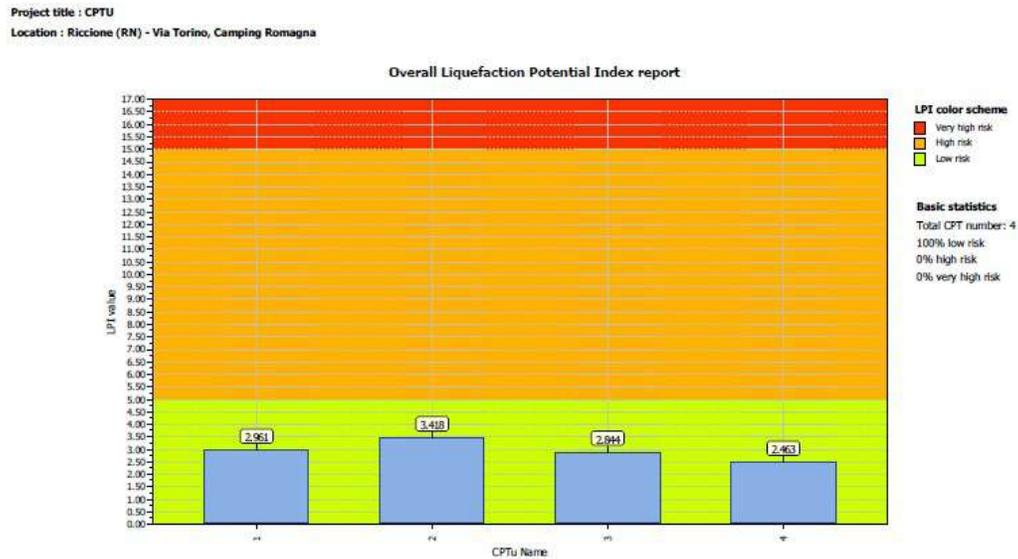
Nell'area si è applicato un valore di Magnitudo pari a 6,14.

Per il sito in esame, con terreni di tipo C, l'accelerazione al suolo considerata è stata di 0,262 m/sec<sup>2</sup>. Tale valore è in accordo con quanto indicato dalla micro zonazione sismica.

La profondità della falda è stata assunta pari a 2,8 m. dal p.c.

E' stato utilizzato il metodo di Robertson 2009 (Robertson, P.K., 2009. Performance based earthquake design using the CPT. Proceedings, IS-Tokio 2009, June 2009, Tokio, Japan, pp. 3-20).

Le analisi che si riportano sono quelle che derivano dalle prove CPTu.



I valori dell'indice di liquefazione si collocano tutti al di sotto del valore 5, indicando che il Rischio di liquefazione nell'area è Basso.

| LPI                  | Pericolosità di liquefazione |
|----------------------|------------------------------|
| 0                    | Nulla                        |
| $0 \leq LPI \leq 5$  | Bassa                        |
| $5 \leq LPI \leq 15$ | Alta                         |
| $LPI > 15$           | Molto alta                   |

## 16. Conclusioni

Si sono applicate le indicazioni della Microzonazione sismica di 3° livello del Comune di Riccione. Si sono riportati i valori dei parametri sismici derivanti dagli studi di micro zonazione e quelli di normativa.

Le analisi e le indagini svolte indicano che interventi edilizi nell'area sono sicuramente fattibili e che non esistono impedimenti assoluti di natura geologica alla loro attuazione.

Esiste una forte omogeneità geologica e geomeccanica.

Dal punto di vista sismico le condizioni geologiche sono tali da individuare come rischio basso la possibilità dei fenomeni di liquefazione ciclica e il terreno di fondazione può essere classificato come di tipo C e con amplificazione topografica di 1.

Particolare attenzione andrà posta alla progettazione e realizzazione delle eventuali opere di scavo le quali, dovranno essere condotte con la dovuta cautela, avendo cura di limitare al massimo gli effetti dello scavo e dell'abbassamento della falda nell'intorno; ciò potrà essere ottenuto sia tramite l'adozione di idonee modalità di scavo che tramite opere di contenimento e/o l'uso congiunto di eventuali interventi di miglioramento del terreno.

La scelta delle tipologie fondazionali e dei piani di posa delle fondazioni, nonché degli approcci metodologici corretti per gli sbancamenti, le opere di drenaggio e di contenimento, saranno progettati tenendo conto di quanto soprariportato ed in base sia alle problematiche di dettaglio che si presenteranno nel sito di intervento, nonché alle caratteristiche tecniche dell'opera da realizzare.

Predappio, 10 Novembre 2021

Dott. Giorgio Frassinetti

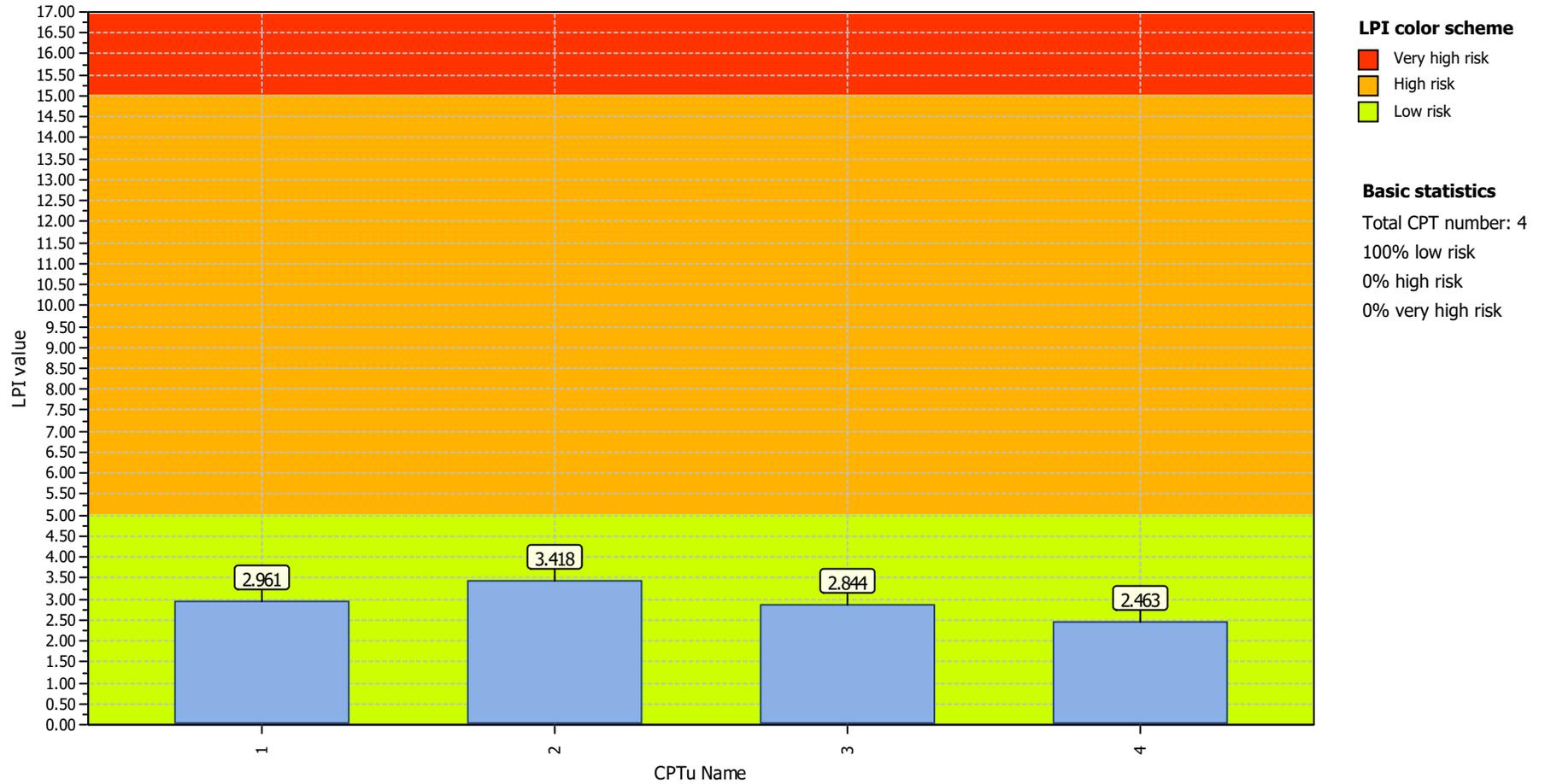


ALLEGATI  
ELABORATI DELLE PROVE GEOGNOSTICHE E SIMICHE

Project title : CPTU

Location : Riccione (RN) - Via Torino, Camping Romagna

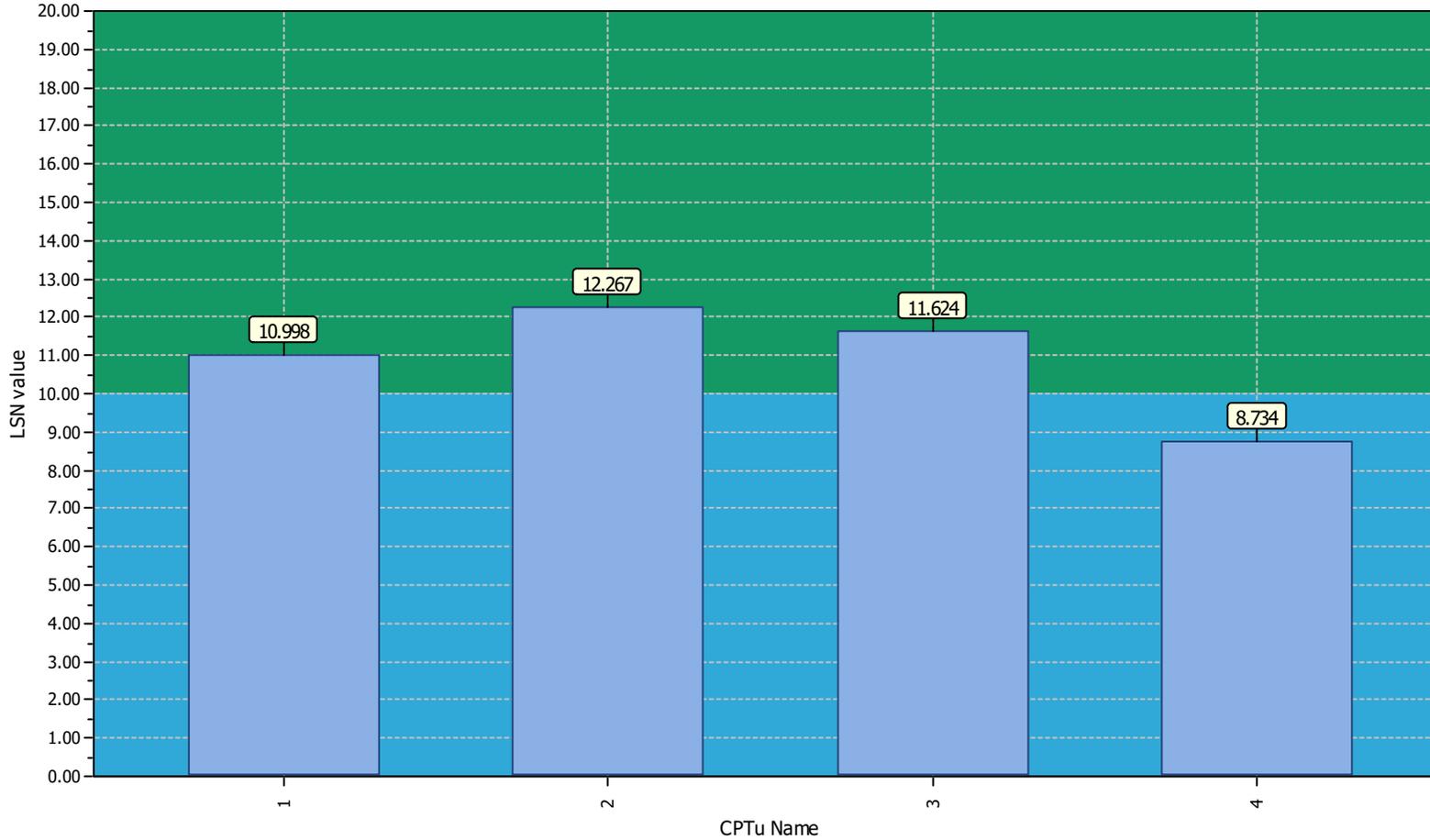
### Overall Liquefaction Potential Index report



**Project title : CPTU**

**Location : Riccione (RN) - Via Torino, Camping Romagna**

**Overall Liquefaction Severity Number report**



**LSN color scheme**

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

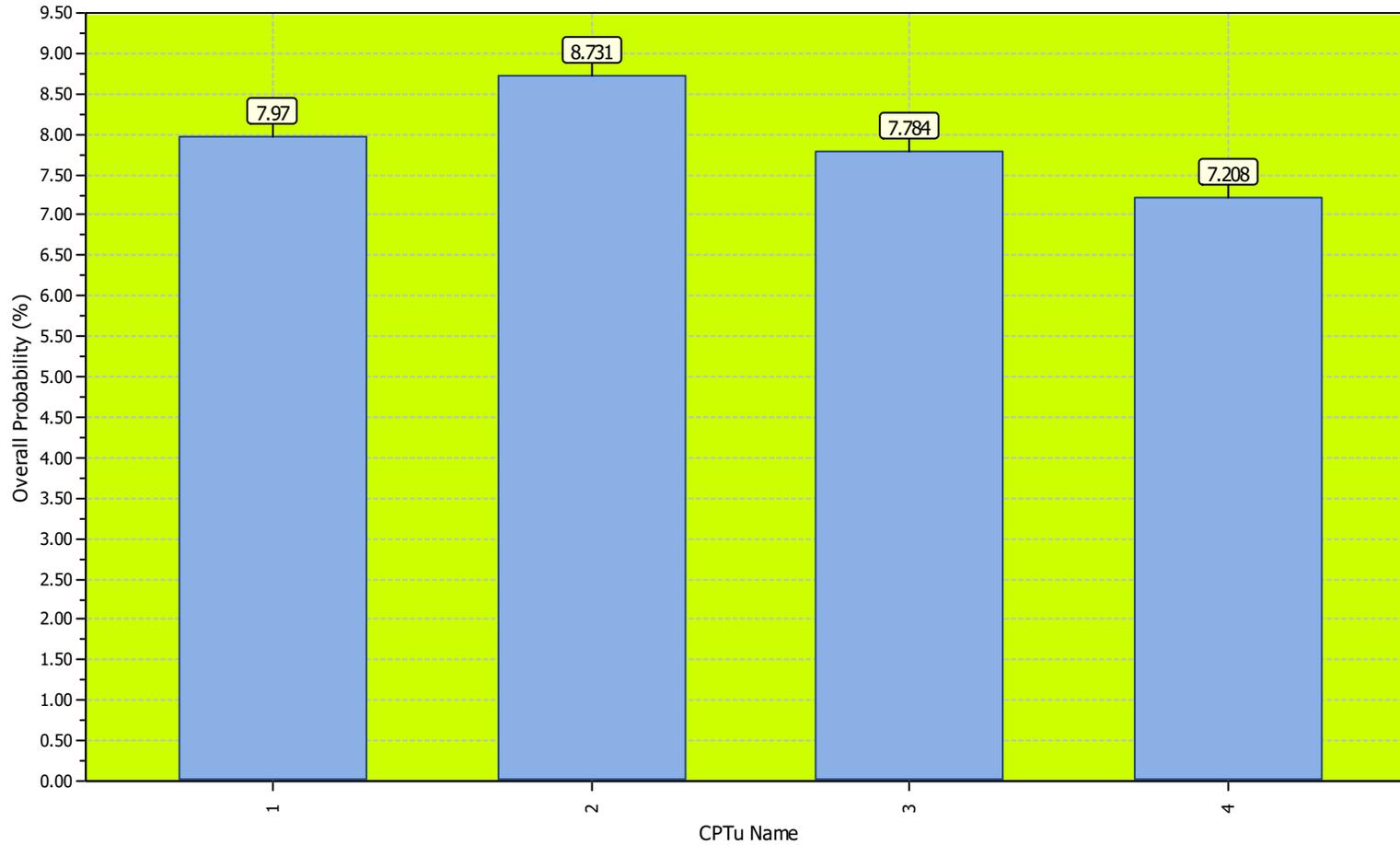
**Basic statistics**

- Total CPT number: 4
- 25% little liquefaction
- 75% minor liquefaction
- 0% moderate liquefaction
- 0% moderate to major liquefaction
- 0% major liquefaction
- 0% severe liquefaction

Project title : CPTU

Location : Riccione (RN) - Via Torino, Camping Romagna

### Overall Probability for Liquefaction report



**Probability color scheme**

- Very High Probability
- High Probability
- Low Probability

**Basic statistics**

Total CPT number: 4  
 100% low probability  
 0% high probability  
 0% very high probability

**LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT**

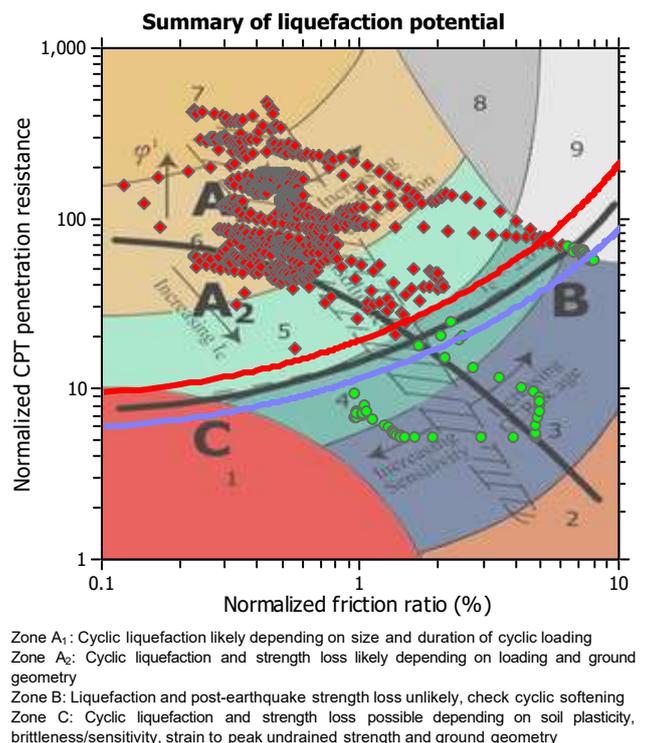
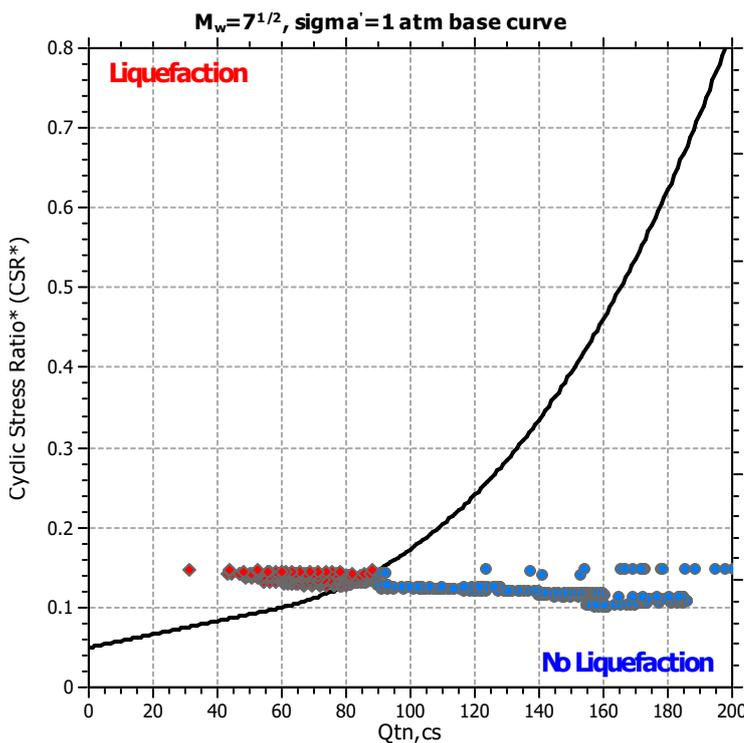
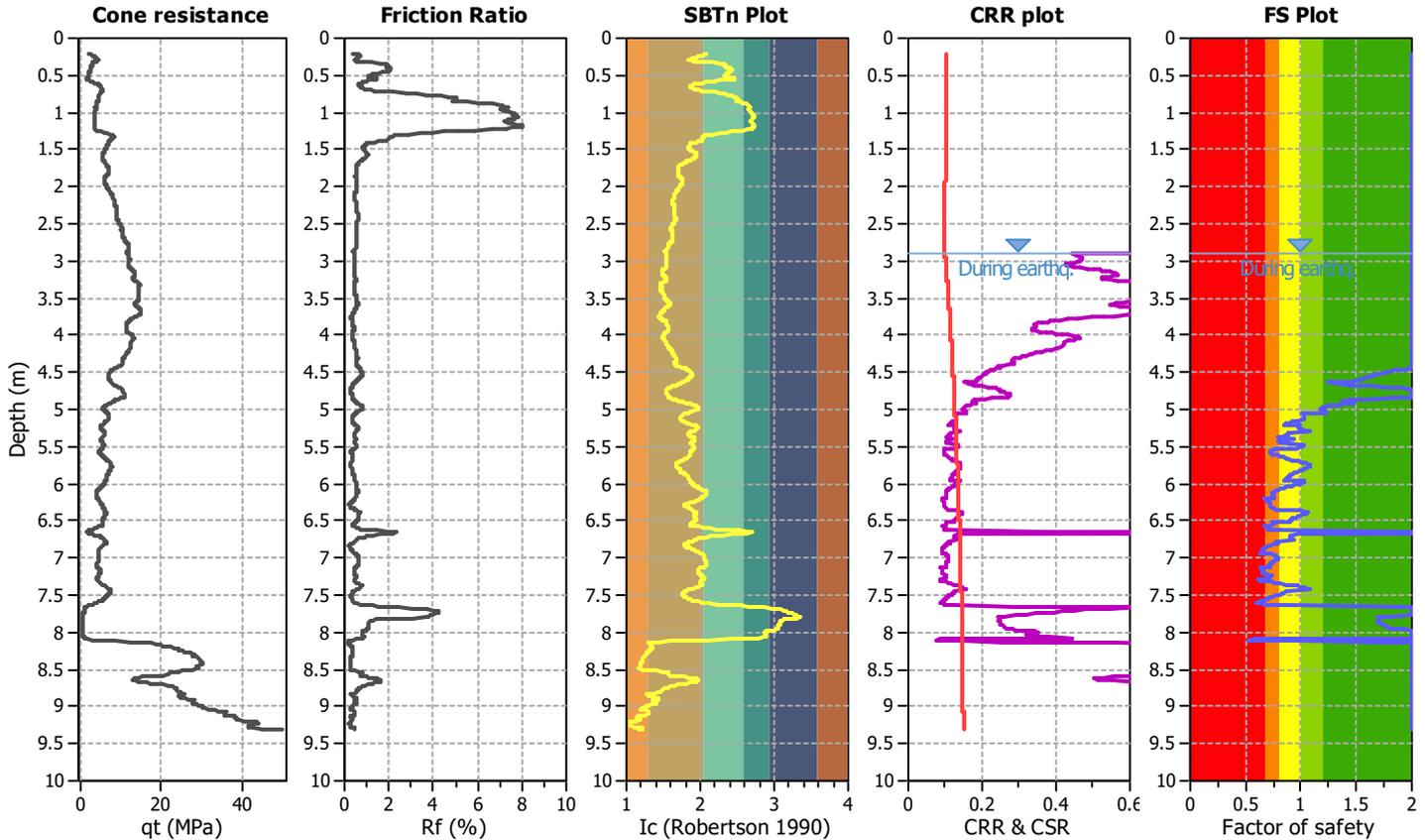
**Project title : CPTU**

**Location : Riccione (RN) - Via Torino, Camping Romagna**

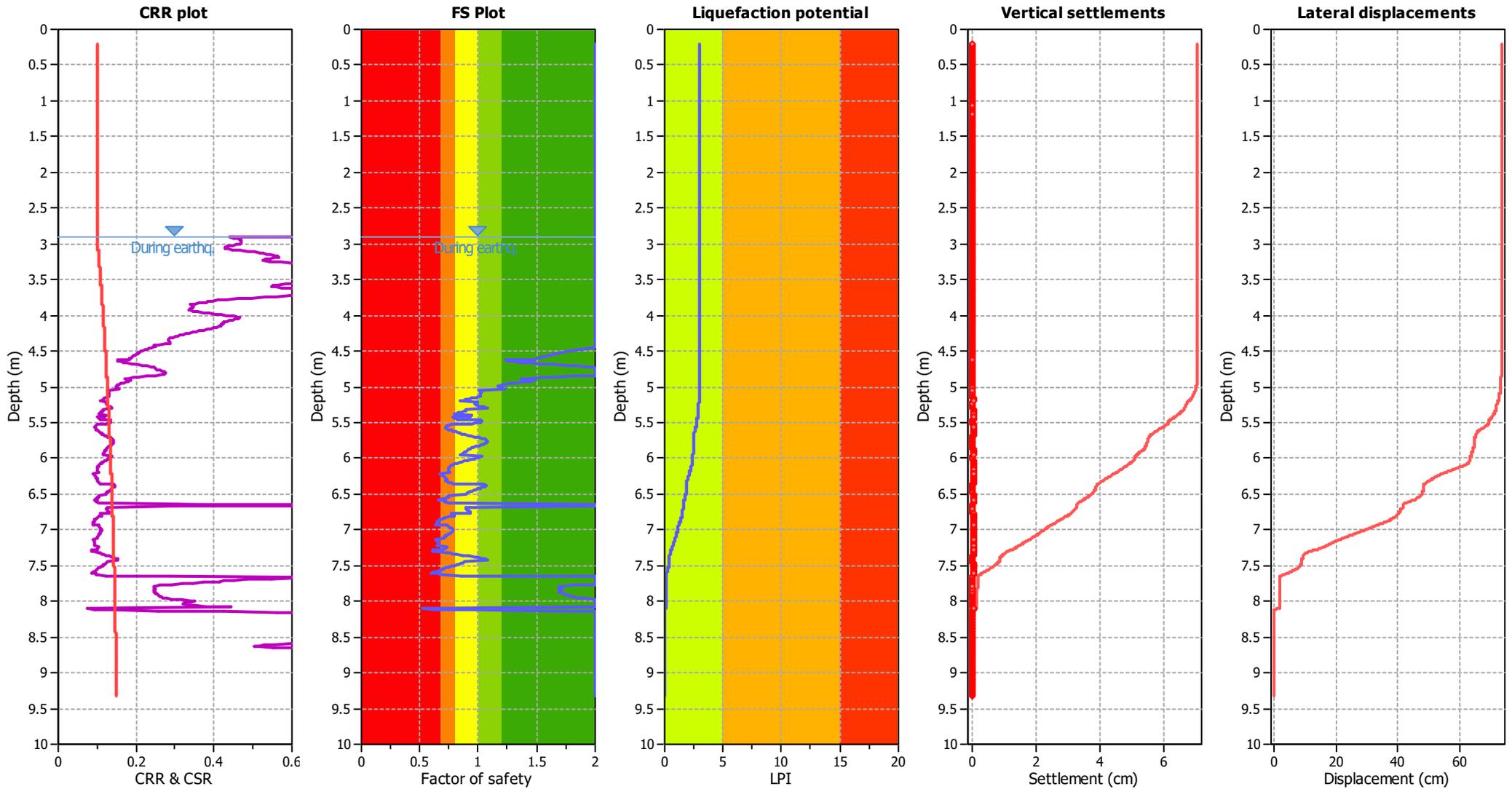
**CPT file : 1**

**Input parameters and analysis data**

|                              |                   |                           |              |                         |     |                      |              |
|------------------------------|-------------------|---------------------------|--------------|-------------------------|-----|----------------------|--------------|
| Analysis method:             | Robertson (2009)  | G.W.T. (in-situ):         | 2.90 m       | Use fill:               | No  | Clay like behavior   |              |
| Fines correction method:     | Robertson (2009)  | G.W.T. (earthq.):         | 2.90 m       | Fill height:            | N/A | applied:             | All soils    |
| Points to test:              | Based on Ic value | Average results interval: | 3            | Fill weight:            | N/A | Limit depth applied: | No           |
| Earthquake magnitude $M_w$ : | 6.14              | Ic cut-off value:         | 2.60         | Trans. detect. applied: | No  | Limit depth:         | N/A          |
| Peak ground acceleration:    | 0.26              | Unit weight calculation:  | Based on SBT | $K_o$ applied:          | Yes | MSF method:          | Method based |



### Liquefaction analysis overall plots



**Input parameters and analysis data**

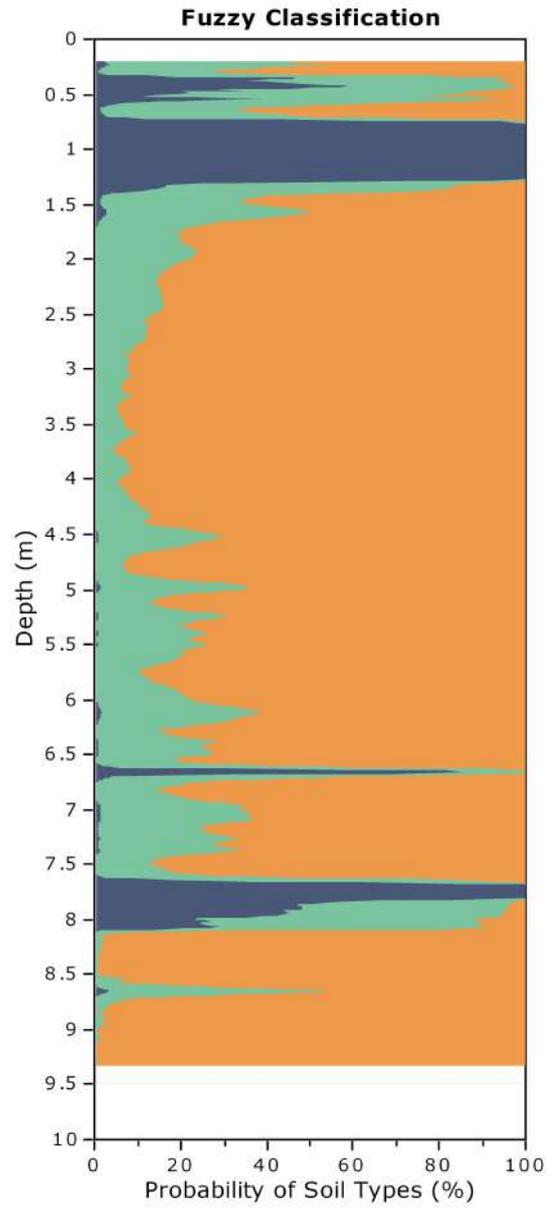
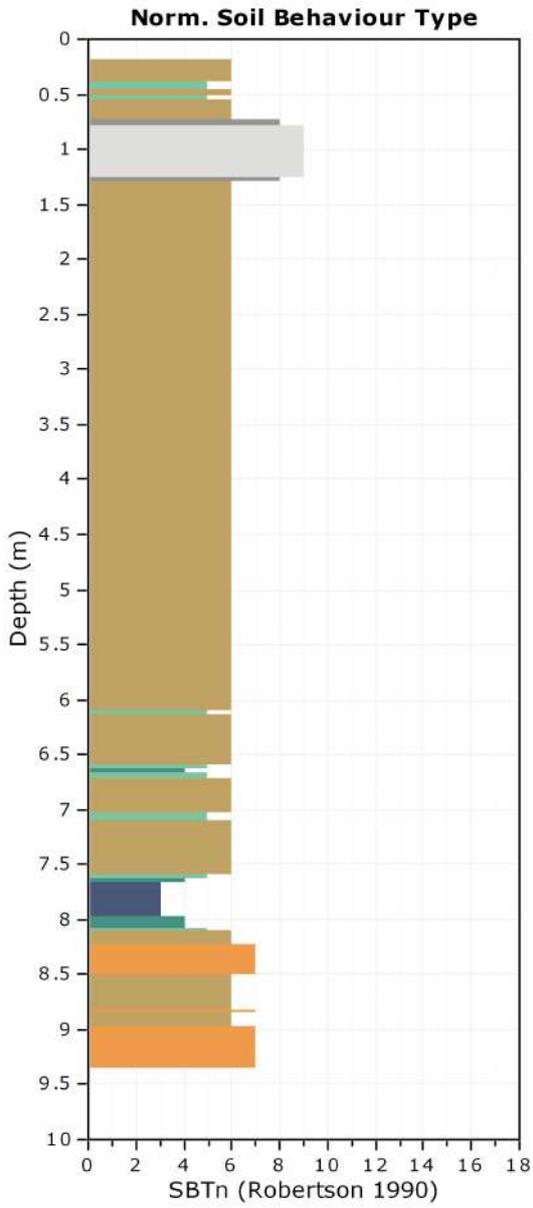
|                                |                   |                                 |              |                             |           |
|--------------------------------|-------------------|---------------------------------|--------------|-----------------------------|-----------|
| Analysis method:               | Robertson (2009)  | Depth to water table (earthq.): | 2.90 m       | Fill weight:                | N/A       |
| Fines correction method:       | Robertson (2009)  | Average results interval:       | 3            | Transition detect. applied: | No        |
| Points to test:                | Based on Ic value | Ic cut-off value:               | 2.60         | $K_0$ applied:              | Yes       |
| Earthquake magnitude $M_w$ :   | 6.14              | Unit weight calculation:        | Based on SBT | Clay like behavior applied: | All soils |
| Peak ground acceleration:      | 0.26              | Use fill:                       | No           | Limit depth applied:        | No        |
| Depth to water table (insitu): | 2.90 m            | Fill height:                    | N/A          | 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

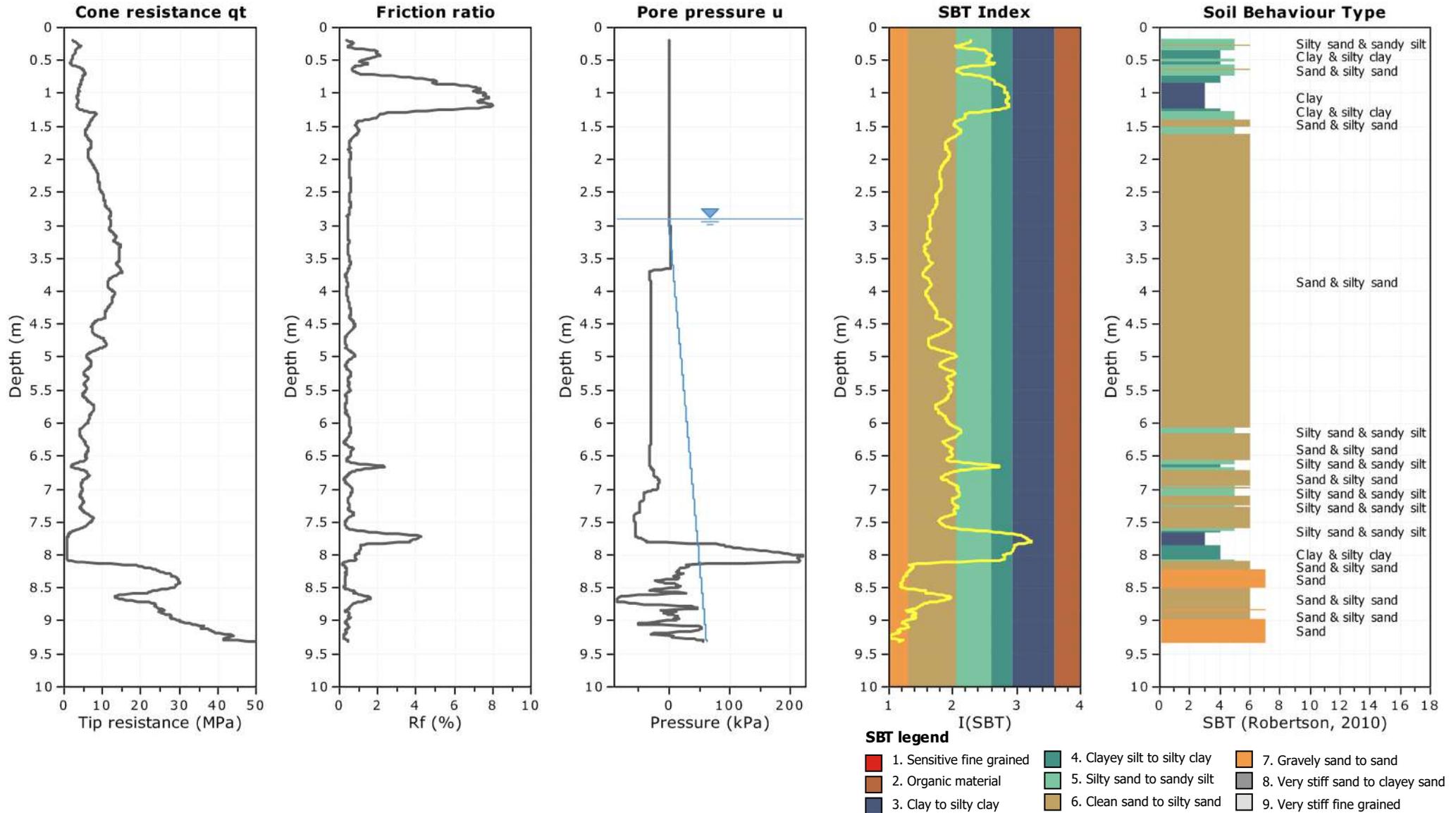


Project: CPTU

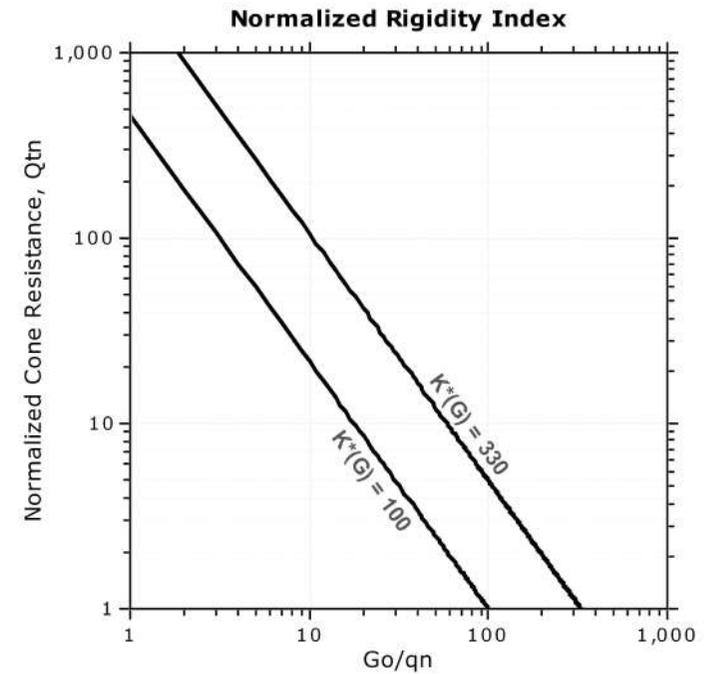
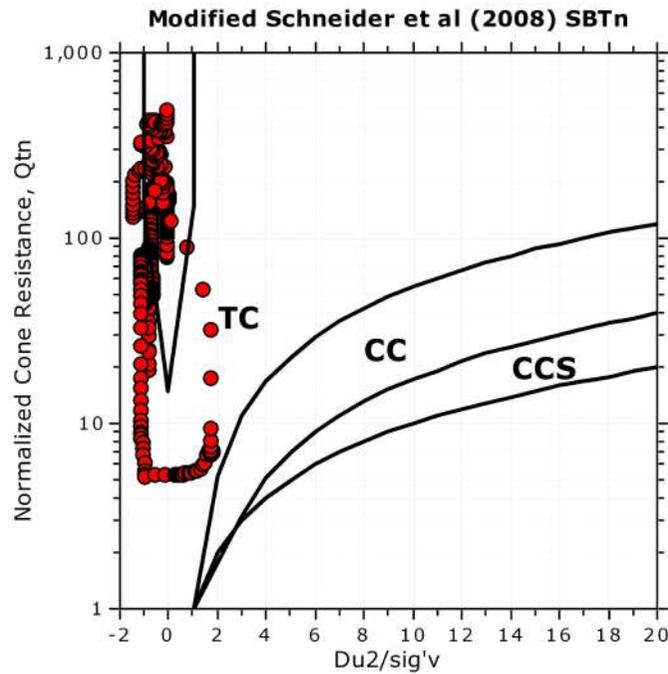
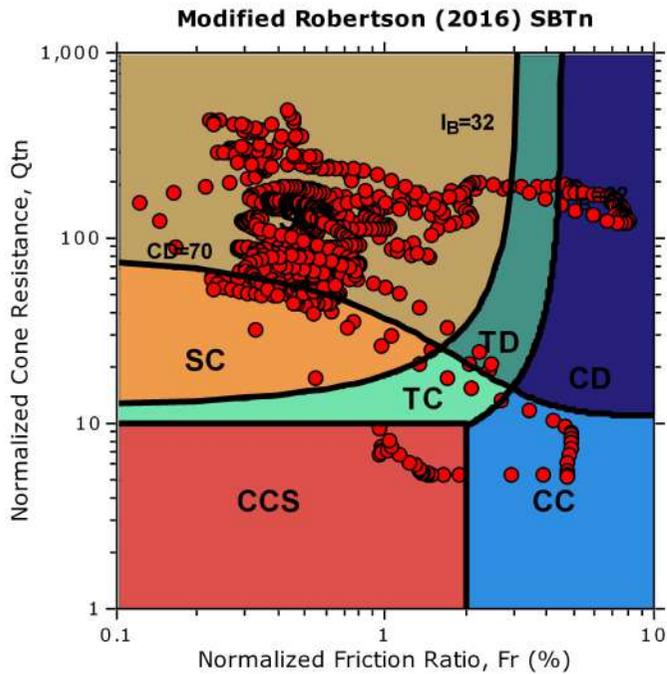
Location: Riccione (RN) - Via Torino, Camping Romagna

CPT: 1

Total depth: 9.32 m



**Updated SBTn plots**



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

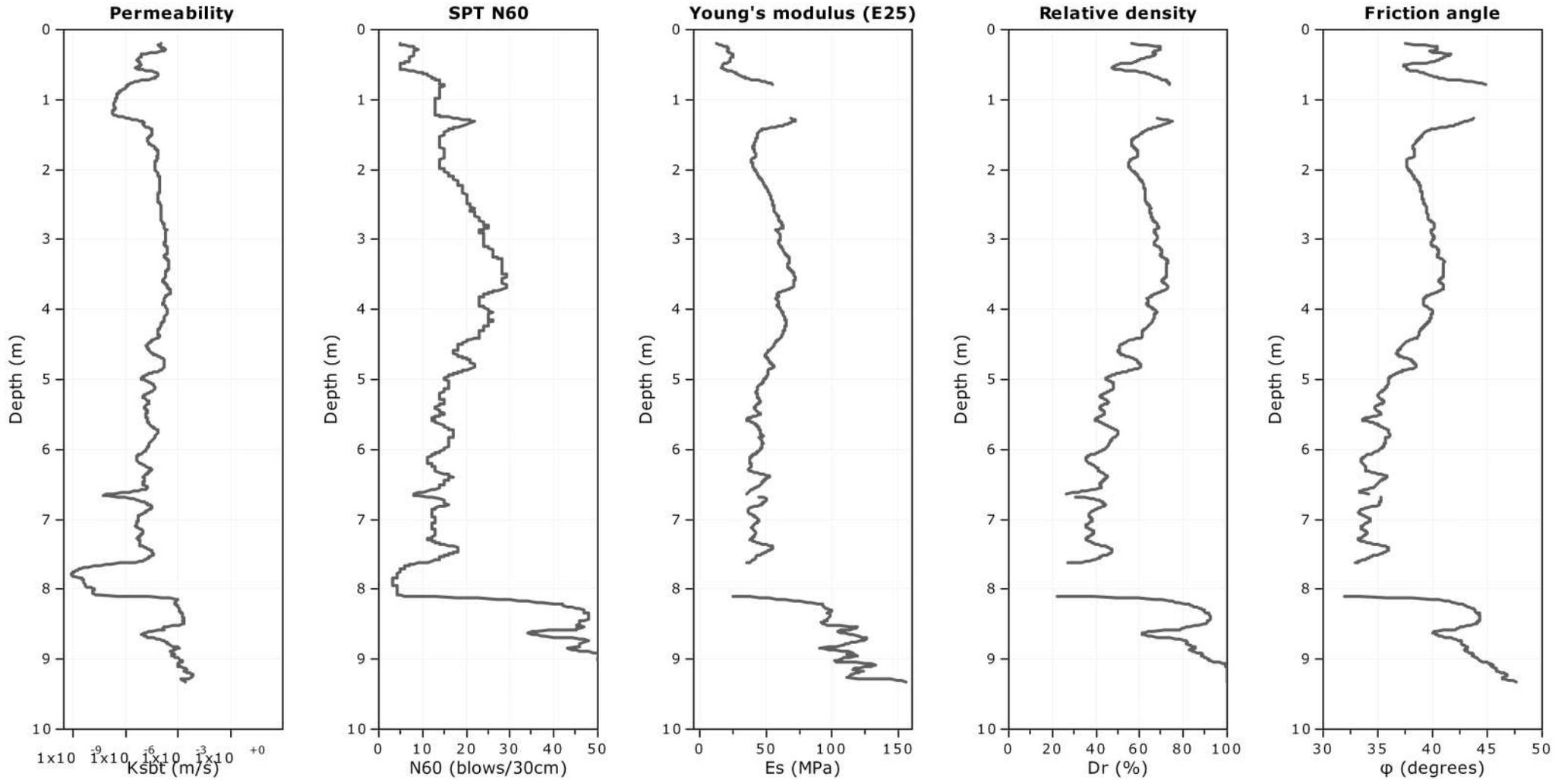
$K^*(G) > 330$ : Soils with significant microstructure (e.g. age/cementation)

Project: CPTU

Location: Riccione (RN) - Via Torino, Camping Romagna

CPT: 1

Total depth: 9.32 m



**Calculation parameters**

Permeability: Based on  $SBT_n$

SPT  $N_{60}$ : Based on  $I_c$  and  $q_t$

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

Relative density constant,  $C_{Dr}$ : 350.0

Phi: Based on Kulhawy & Mayne (1990)

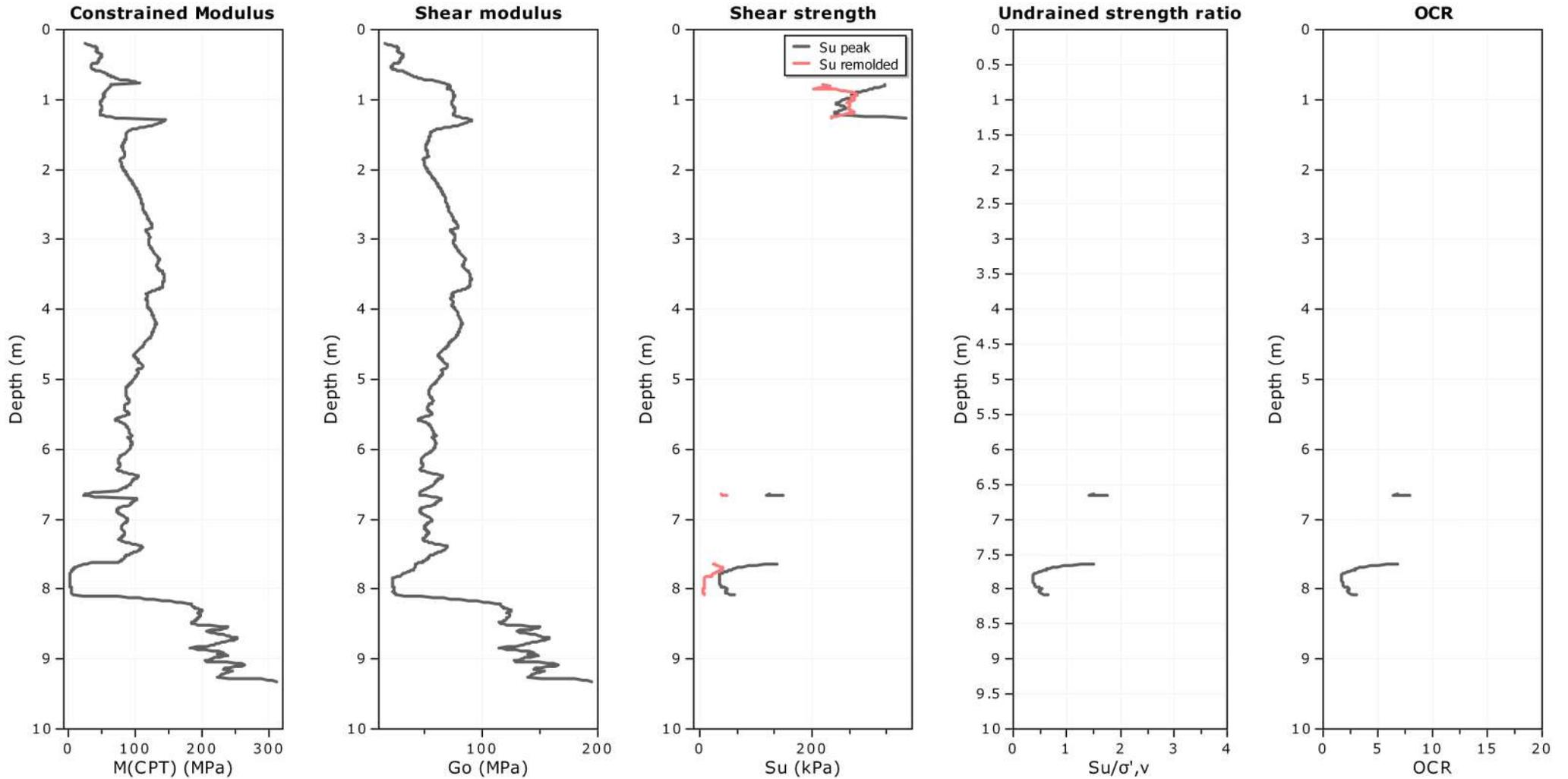
● — User defined estimation data

Project: CPTU

Location: Riccione (RN) - Via Torino, Camping Romagna

CPT: 1

Total depth: 9.32 m



**Calculation parameters**

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

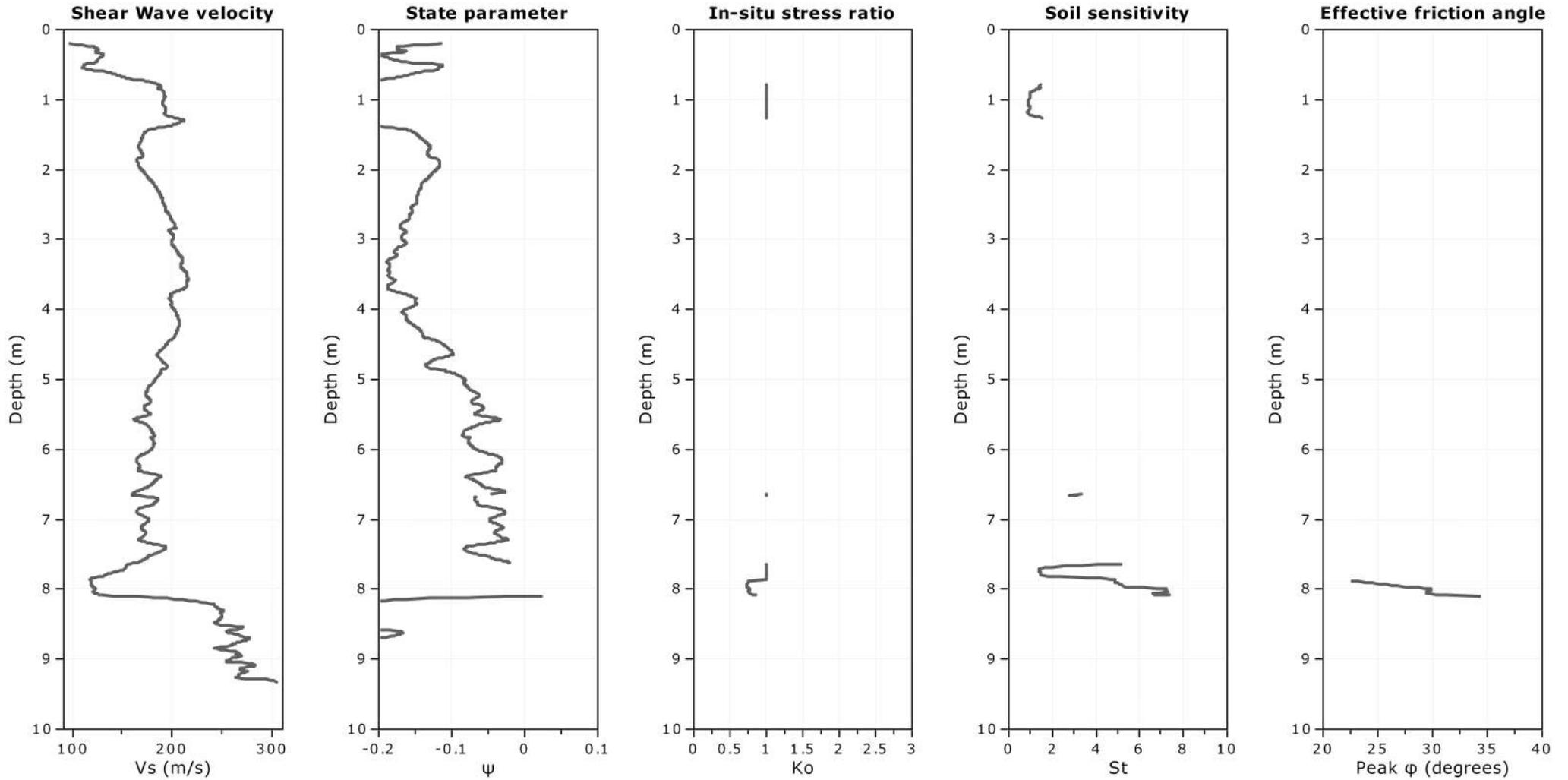
Go: Based on variable alpha using  $I_c$  (Robertson, 2009)

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

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

● User defined estimation data

● Flat Dilatometer Test data



**Calculation parameters**

Soil Sensitivity factor,  $N_s$ : 7.00

—●— User defined estimation data

**LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT**

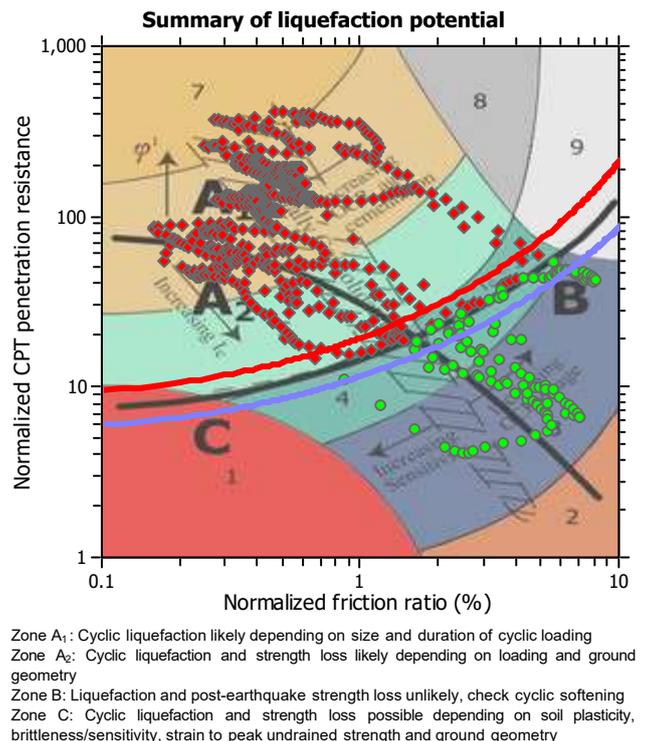
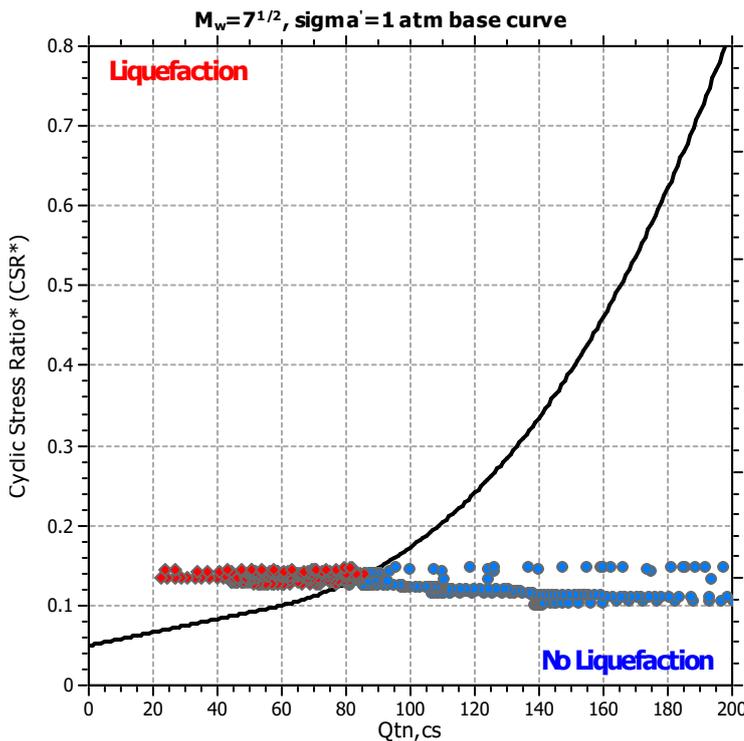
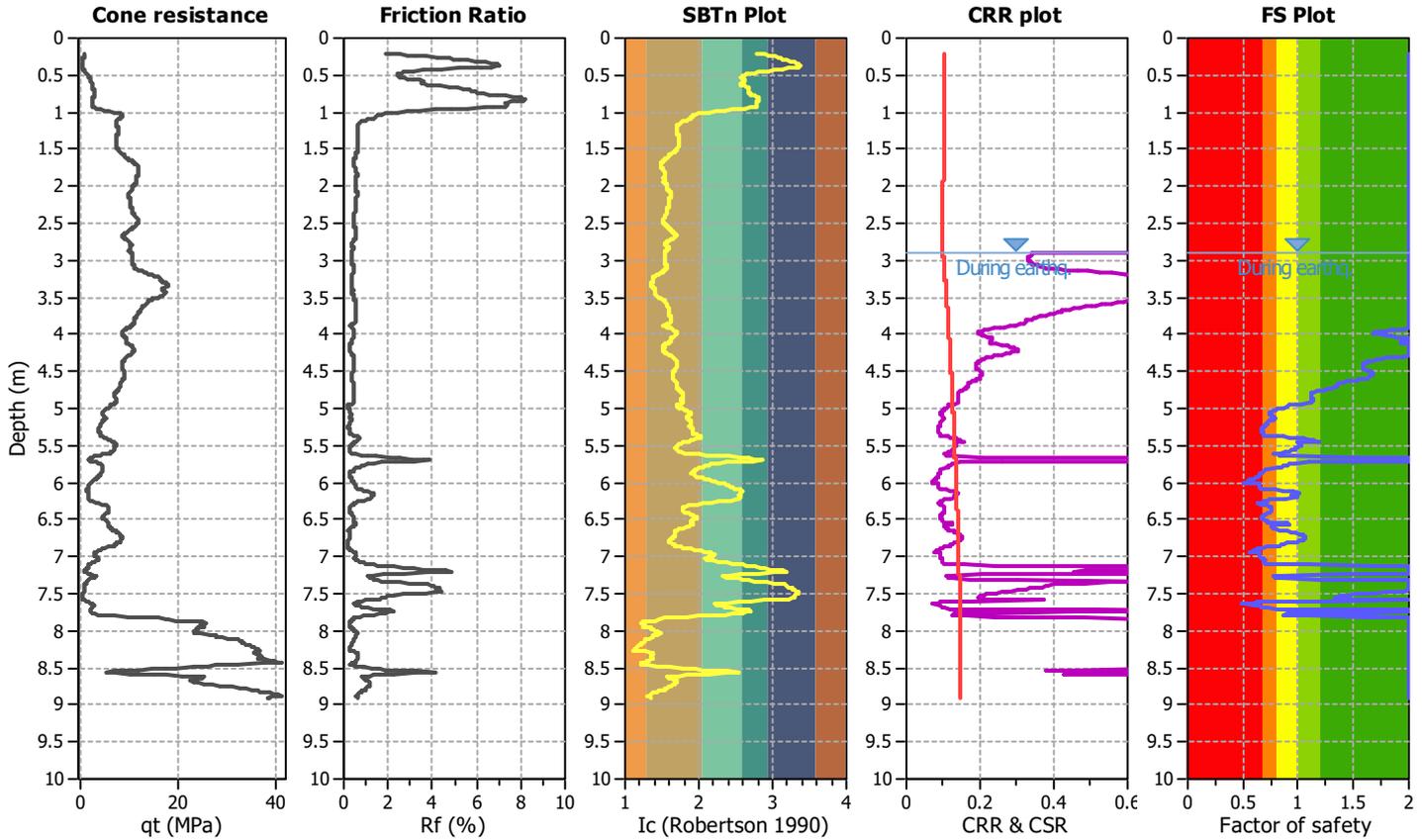
**Project title : CPTU**

**Location : Riccione (RN) - Via Torino, Camping Romagna**

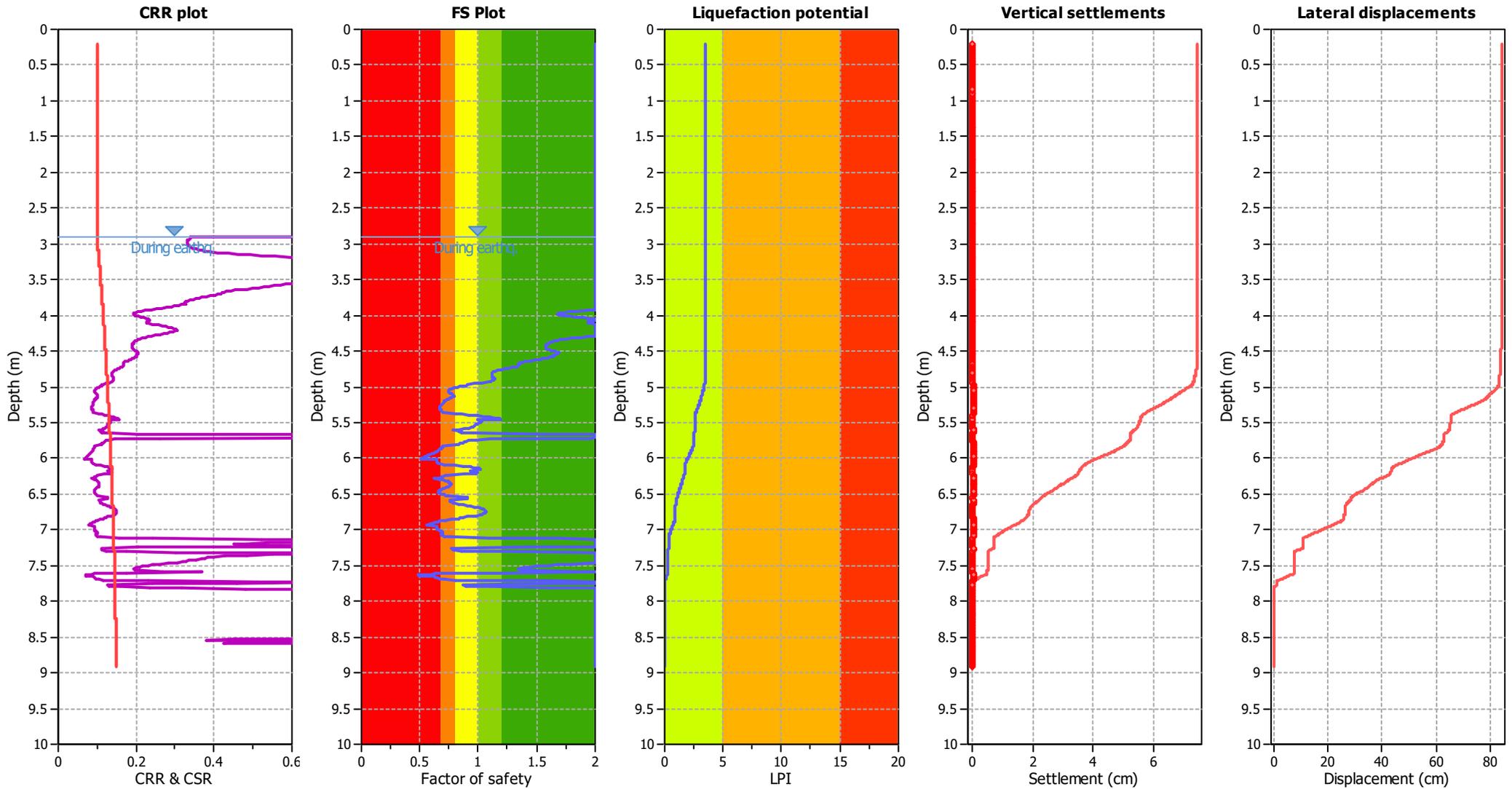
**CPT file : 2**

**Input parameters and analysis data**

|                              |                   |                           |              |                         |     |                      |              |
|------------------------------|-------------------|---------------------------|--------------|-------------------------|-----|----------------------|--------------|
| Analysis method:             | Robertson (2009)  | G.W.T. (in-situ):         | 2.90 m       | Use fill:               | No  | Clay like behavior   |              |
| Fines correction method:     | Robertson (2009)  | G.W.T. (earthq.):         | 2.90 m       | Fill height:            | N/A | applied:             | All soils    |
| Points to test:              | Based on Ic value | Average results interval: | 3            | Fill weight:            | N/A | Limit depth applied: | No           |
| Earthquake magnitude $M_w$ : | 6.14              | Ic cut-off value:         | 2.60         | Trans. detect. applied: | No  | Limit depth:         | N/A          |
| Peak ground acceleration:    | 0.26              | Unit weight calculation:  | Based on SBT | $K_o$ applied:          | Yes | MSF method:          | Method based |



### Liquefaction analysis overall plots



**Input parameters and analysis data**

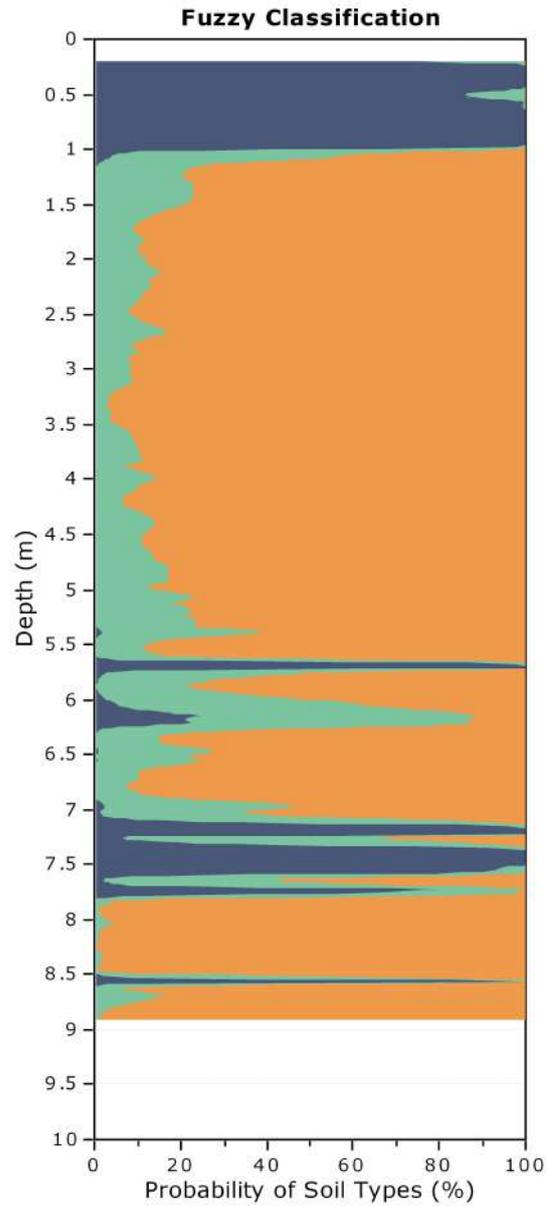
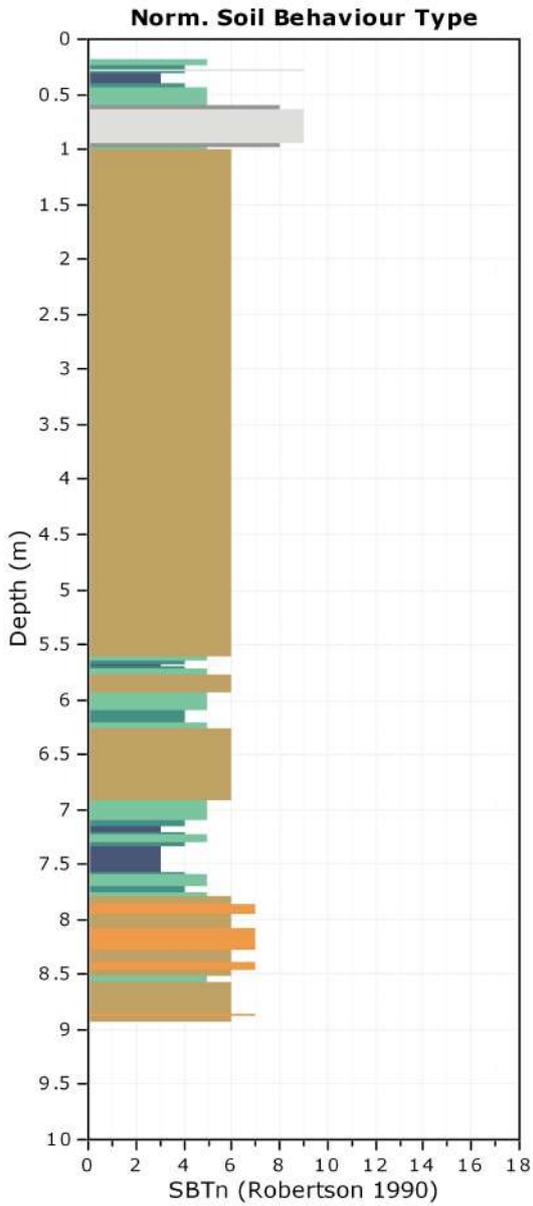
|                                |                   |                                 |              |                             |           |
|--------------------------------|-------------------|---------------------------------|--------------|-----------------------------|-----------|
| Analysis method:               | Robertson (2009)  | Depth to water table (earthq.): | 2.90 m       | Fill weight:                | N/A       |
| Fines correction method:       | Robertson (2009)  | Average results interval:       | 3            | Transition detect. applied: | No        |
| Points to test:                | Based on Ic value | Ic cut-off value:               | 2.60         | $K_0$ applied:              | Yes       |
| Earthquake magnitude $M_w$ :   | 6.14              | Unit weight calculation:        | Based on SBT | Clay like behavior applied: | All soils |
| Peak ground acceleration:      | 0.26              | Use fill:                       | No           | Limit depth applied:        | No        |
| Depth to water table (insitu): | 2.90 m            | Fill height:                    | N/A          | 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

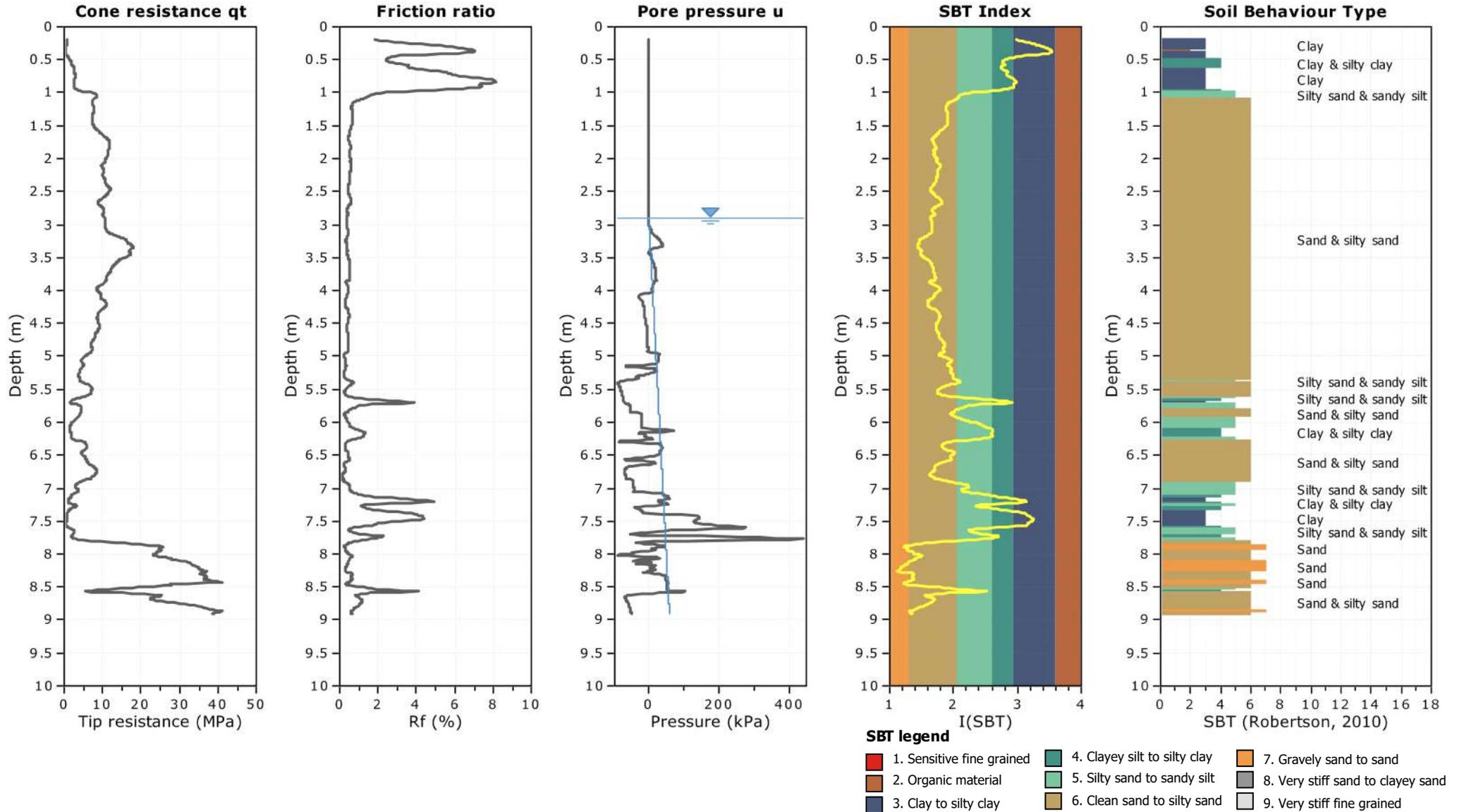


Project: CPTU

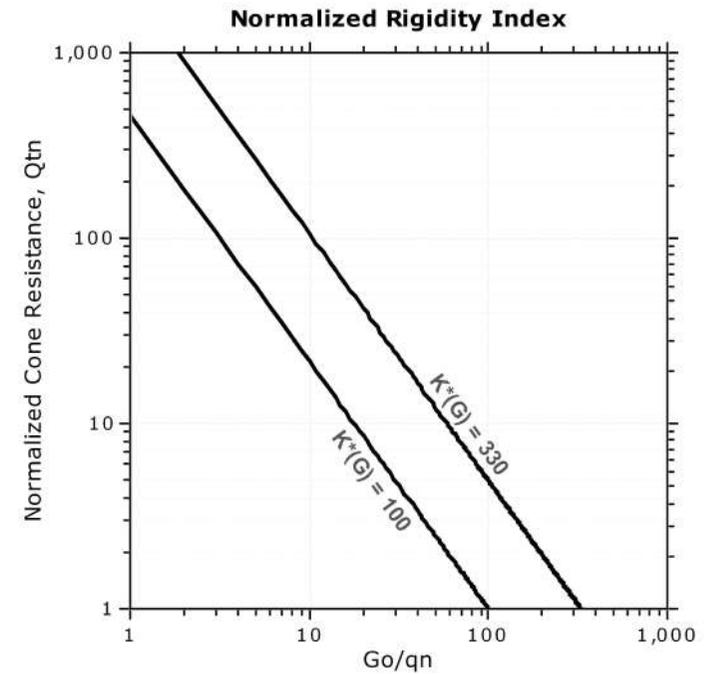
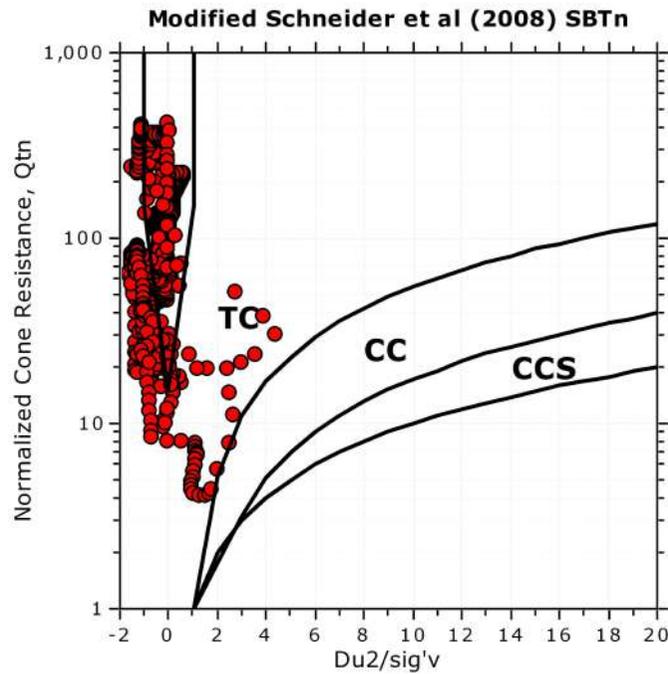
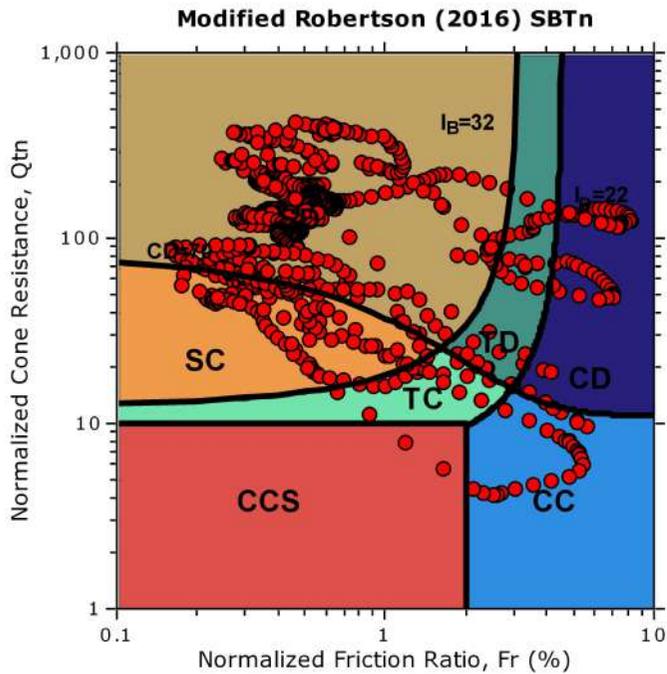
Location: Riccione (RN) - Via Torino, Camping Romagna

CPT: 2

Total depth: 8.91 m



**Updated SBTn plots**



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

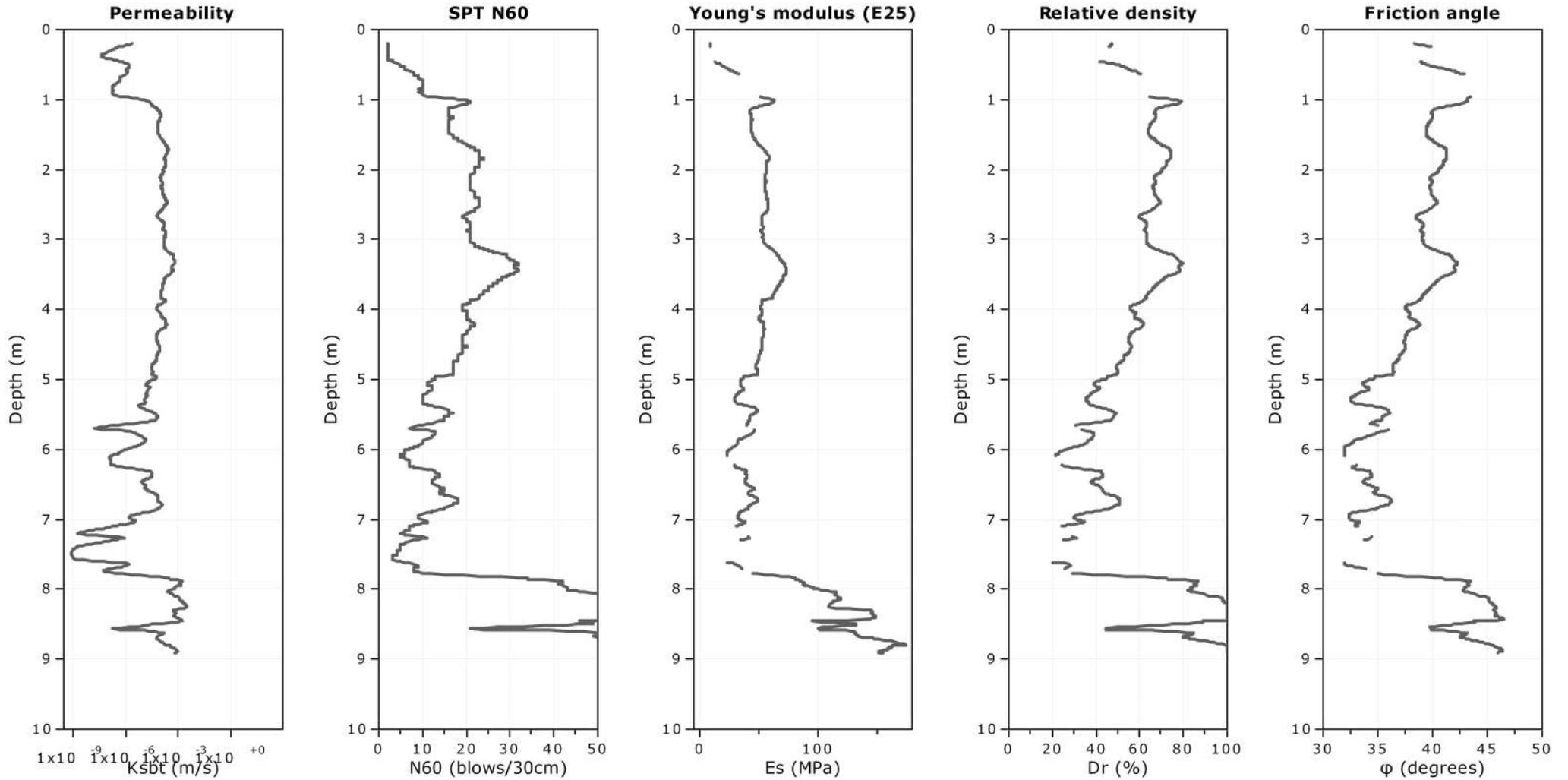
$K^*(G) > 330$ : Soils with significant microstructure (e.g. age/cementation)

Project: CPTU

Location: Riccione (RN) - Via Torino, Camping Romagna

CPT: 2

Total depth: 8.91 m



**Calculation parameters**

Permeability: Based on SBT<sub>n</sub>

SPT N<sub>60</sub>: Based on I<sub>c</sub> and q<sub>t</sub>

Young's modulus: Based on variable alpha using I<sub>c</sub> (Robertson, 2009)

Relative density constant, C<sub>Dr</sub>: 350.0

Phi: Based on Kulhawy & Mayne (1990)

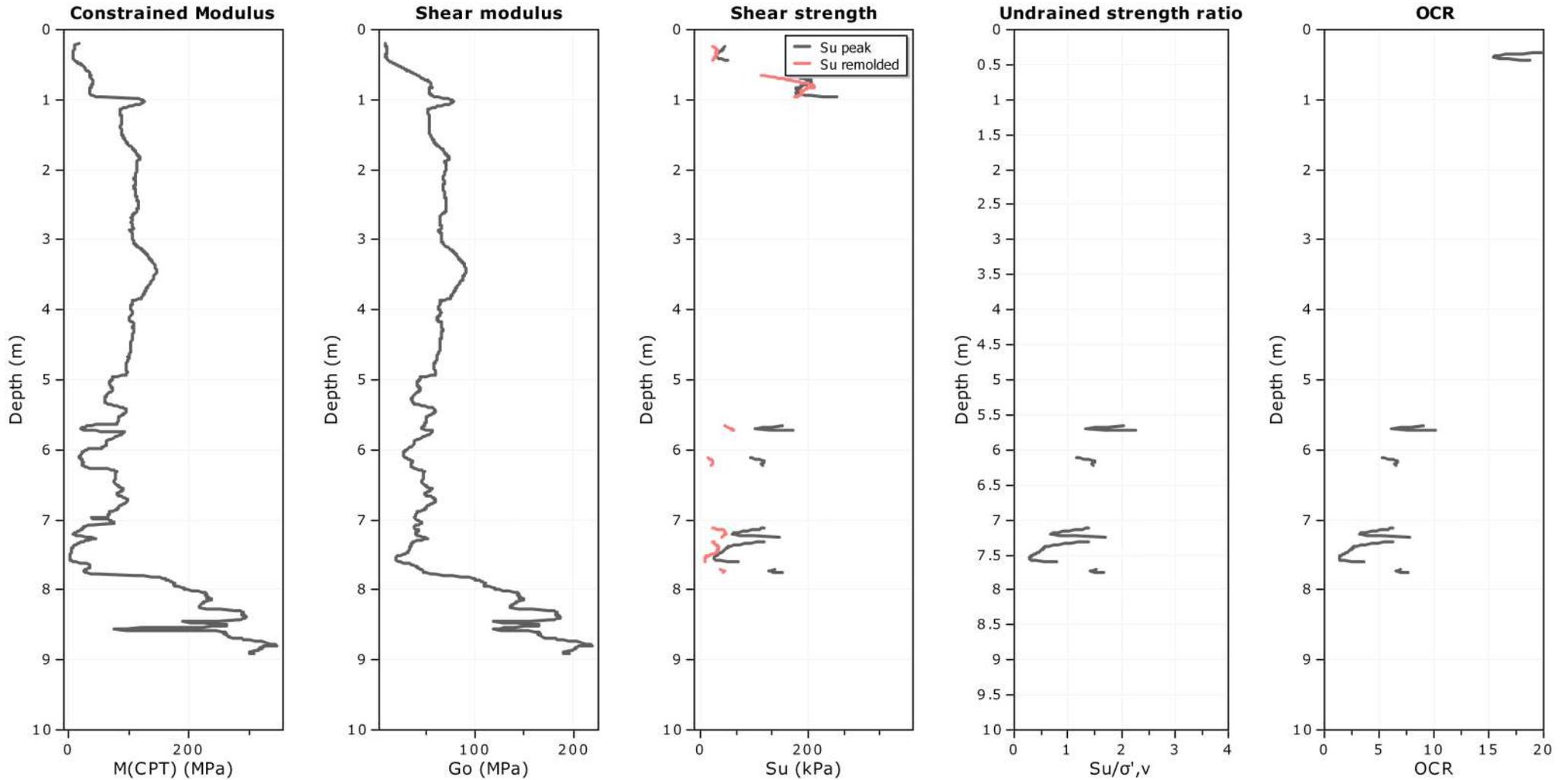
● — User defined estimation data

Project: CPTU

Location: Riccione (RN) - Via Torino, Camping Romagna

CPT: 2

Total depth: 8.91 m



**Calculation parameters**

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

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

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

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

● User defined estimation data

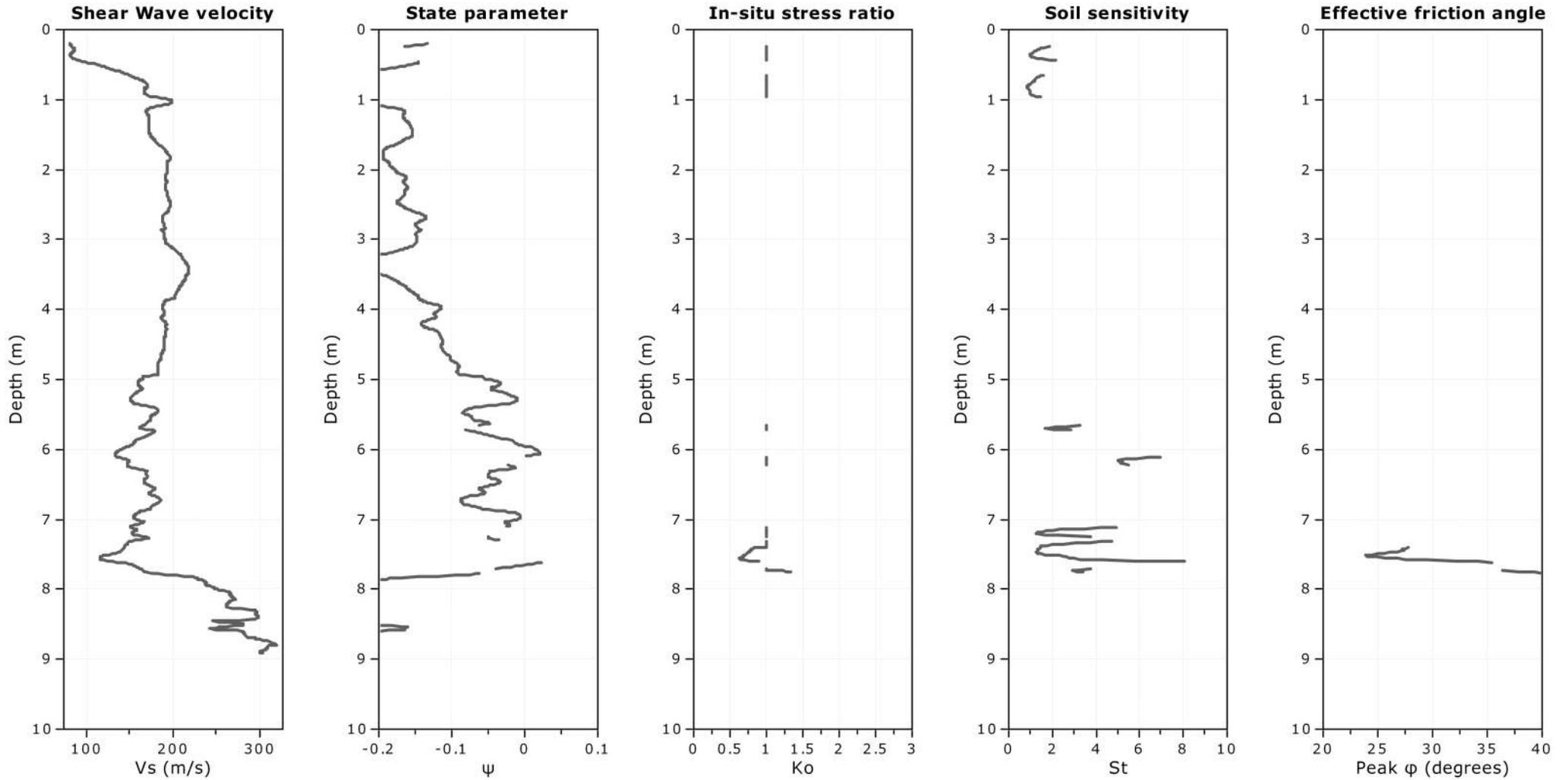
● Flat Dilatometer Test data

Project: CPTU

Location: Riccione (RN) - Via Torino, Camping Romagna

CPT: 2

Total depth: 8.91 m



**Calculation parameters**

Soil Sensitivity factor,  $N_s$ : 7.00

—●— User defined estimation data

**LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT**

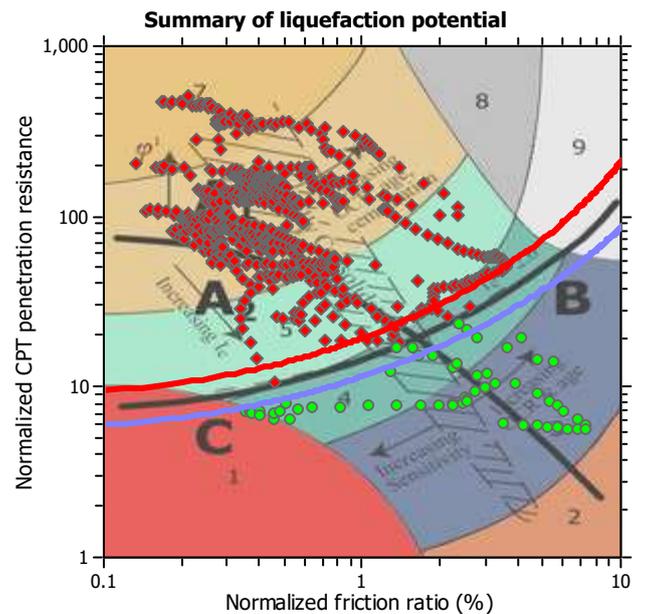
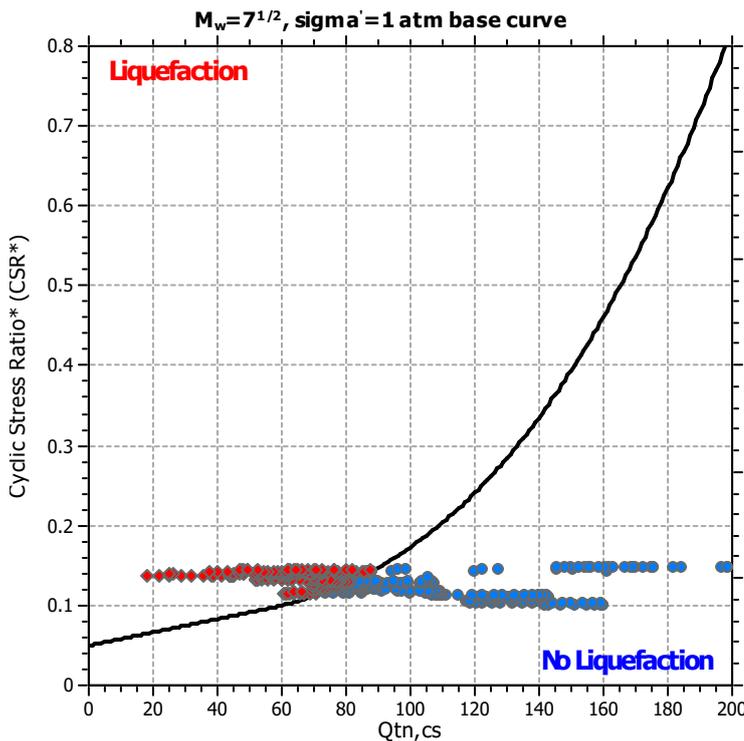
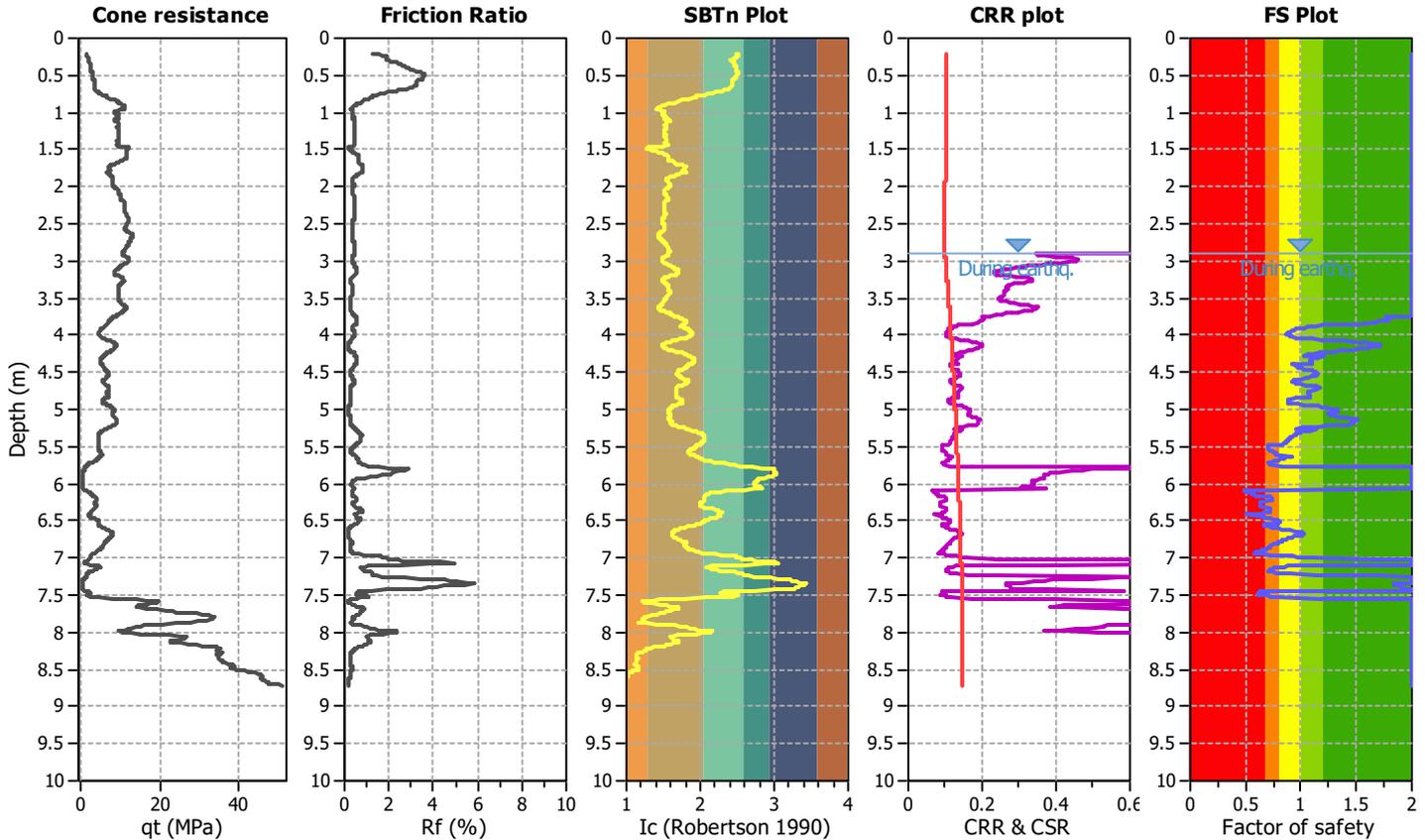
**Project title : CPTU**

**Location : Riccione (RN) - Via Torino, Camping Romagna**

**CPT file : 3**

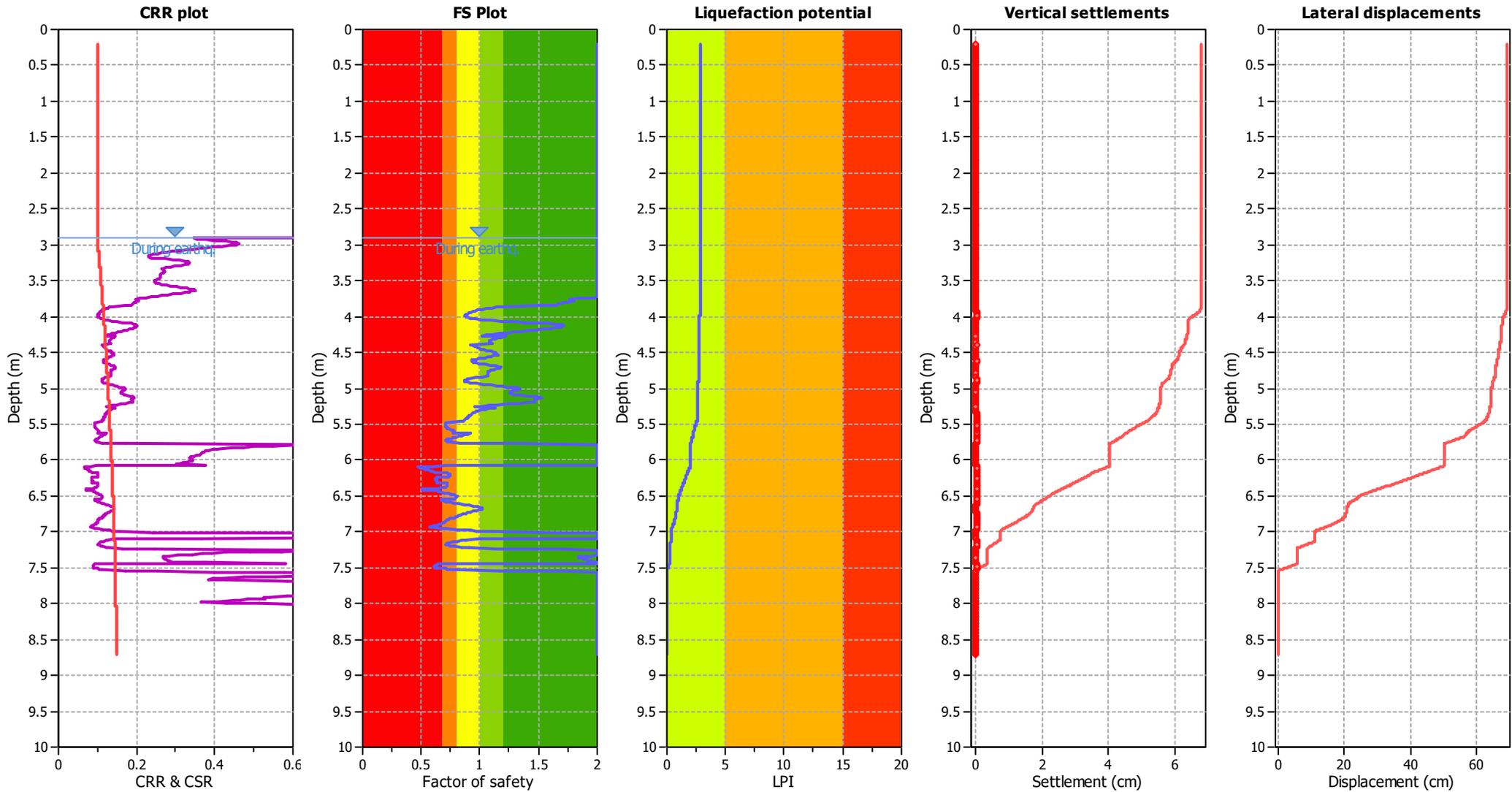
**Input parameters and analysis data**

|                              |                   |                           |              |                         |     |                      |              |
|------------------------------|-------------------|---------------------------|--------------|-------------------------|-----|----------------------|--------------|
| Analysis method:             | Robertson (2009)  | G.W.T. (in-situ):         | 2.90 m       | Use fill:               | No  | Clay like behavior   |              |
| Fines correction method:     | Robertson (2009)  | G.W.T. (earthq.):         | 2.90 m       | Fill height:            | N/A | applied:             | All soils    |
| Points to test:              | Based on Ic value | Average results interval: | 3            | Fill weight:            | N/A | Limit depth applied: | No           |
| Earthquake magnitude $M_w$ : | 6.14              | Ic cut-off value:         | 2.60         | Trans. detect. applied: | No  | Limit depth:         | N/A          |
| Peak ground acceleration:    | 0.26              | Unit weight calculation:  | Based on SBT | $K_o$ applied:          | Yes | MSF method:          | Method based |



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

### Liquefaction analysis overall plots



**Input parameters and analysis data**

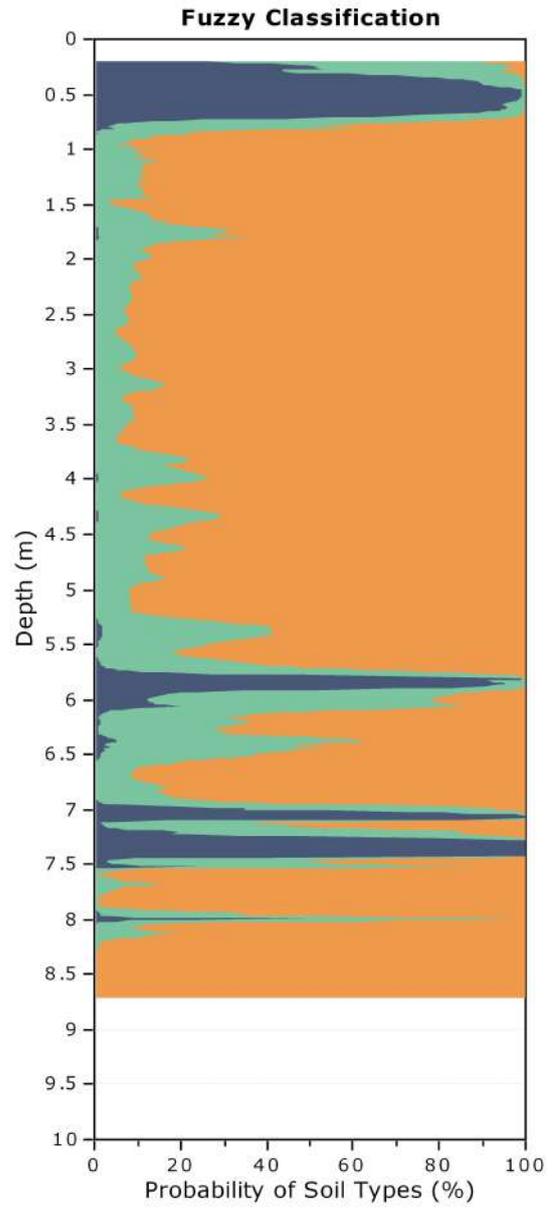
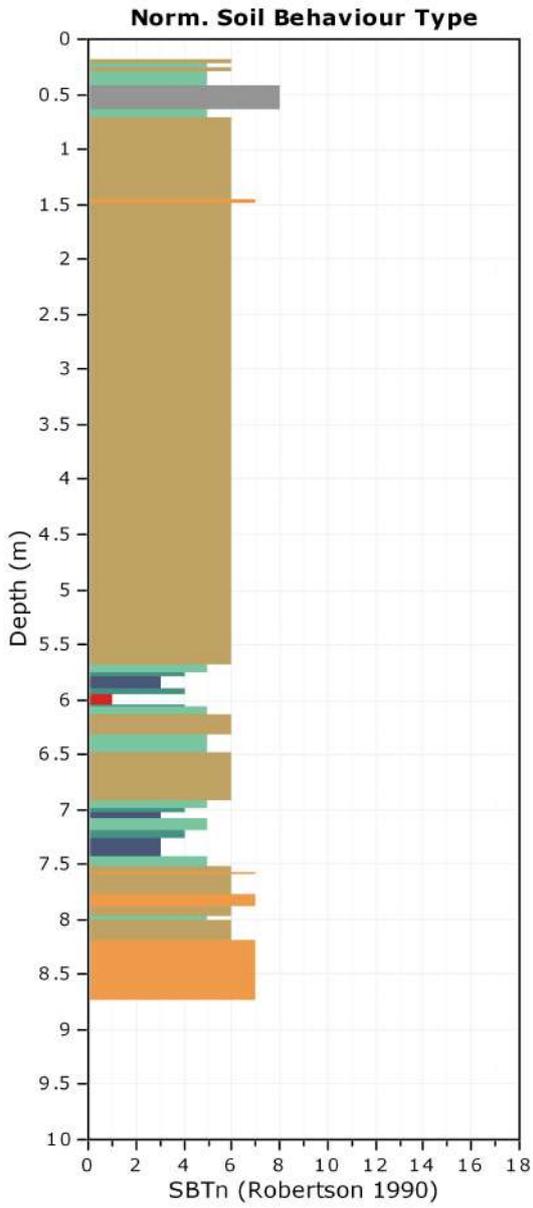
|                                |                   |                                 |              |                             |           |
|--------------------------------|-------------------|---------------------------------|--------------|-----------------------------|-----------|
| Analysis method:               | Robertson (2009)  | Depth to water table (earthq.): | 2.90 m       | Fill weight:                | N/A       |
| Fines correction method:       | Robertson (2009)  | Average results interval:       | 3            | Transition detect. applied: | No        |
| Points to test:                | Based on Ic value | Ic cut-off value:               | 2.60         | $K_0$ applied:              | Yes       |
| Earthquake magnitude $M_w$ :   | 6.14              | Unit weight calculation:        | Based on SBT | Clay like behavior applied: | All soils |
| Peak ground acceleration:      | 0.26              | Use fill:                       | No           | Limit depth applied:        | No        |
| Depth to water table (insitu): | 2.90 m            | Fill height:                    | N/A          | 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

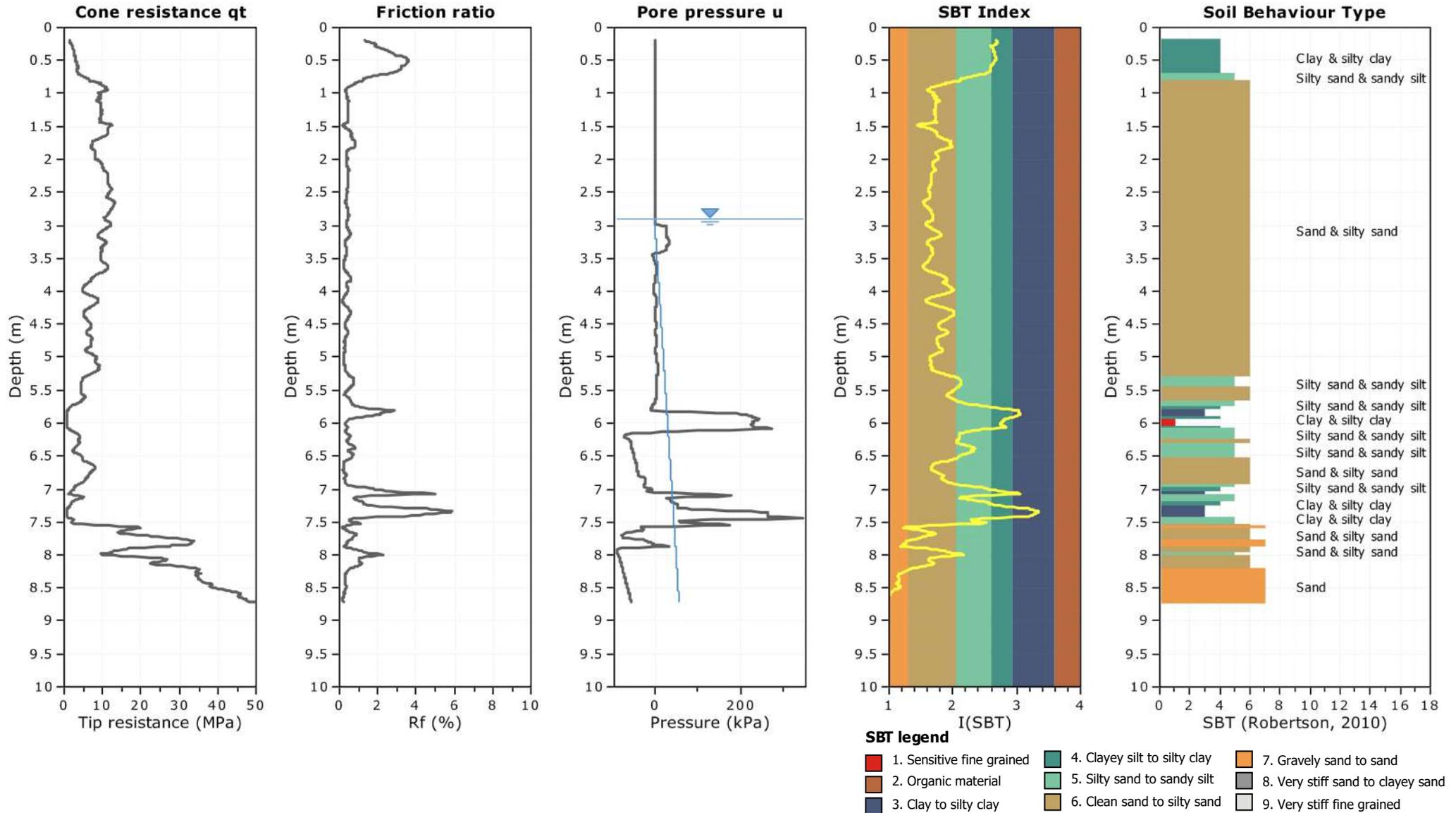


Project: CPTU

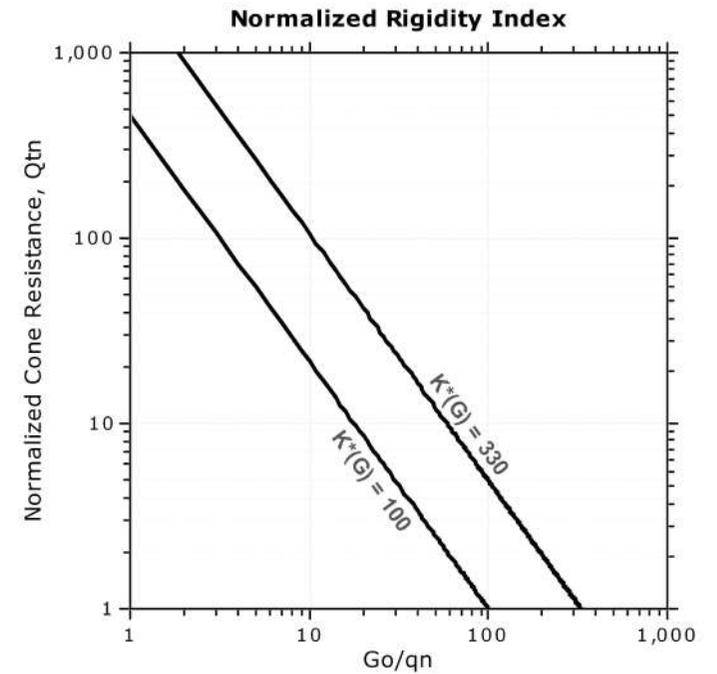
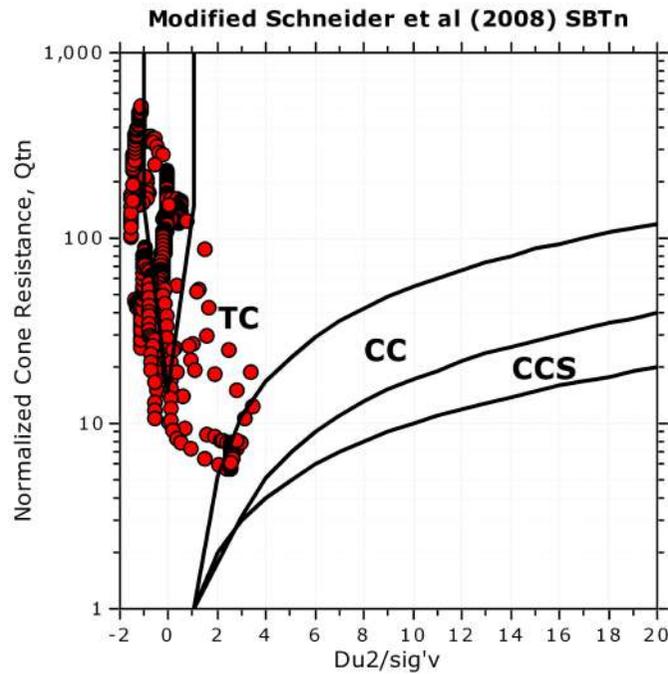
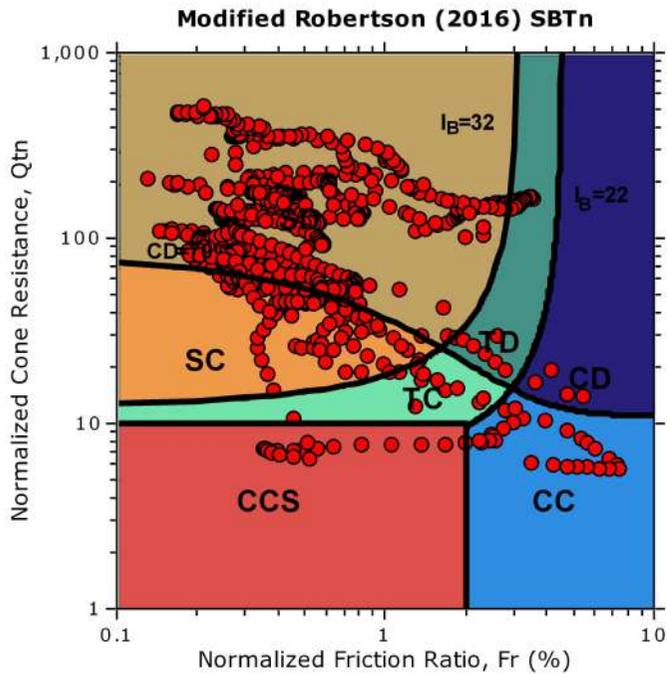
Location: Riccione (RN) - Via Torino, Camping Romagna

CPT: 3

Total depth: 8.72 m



**Updated SBTn plots**



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

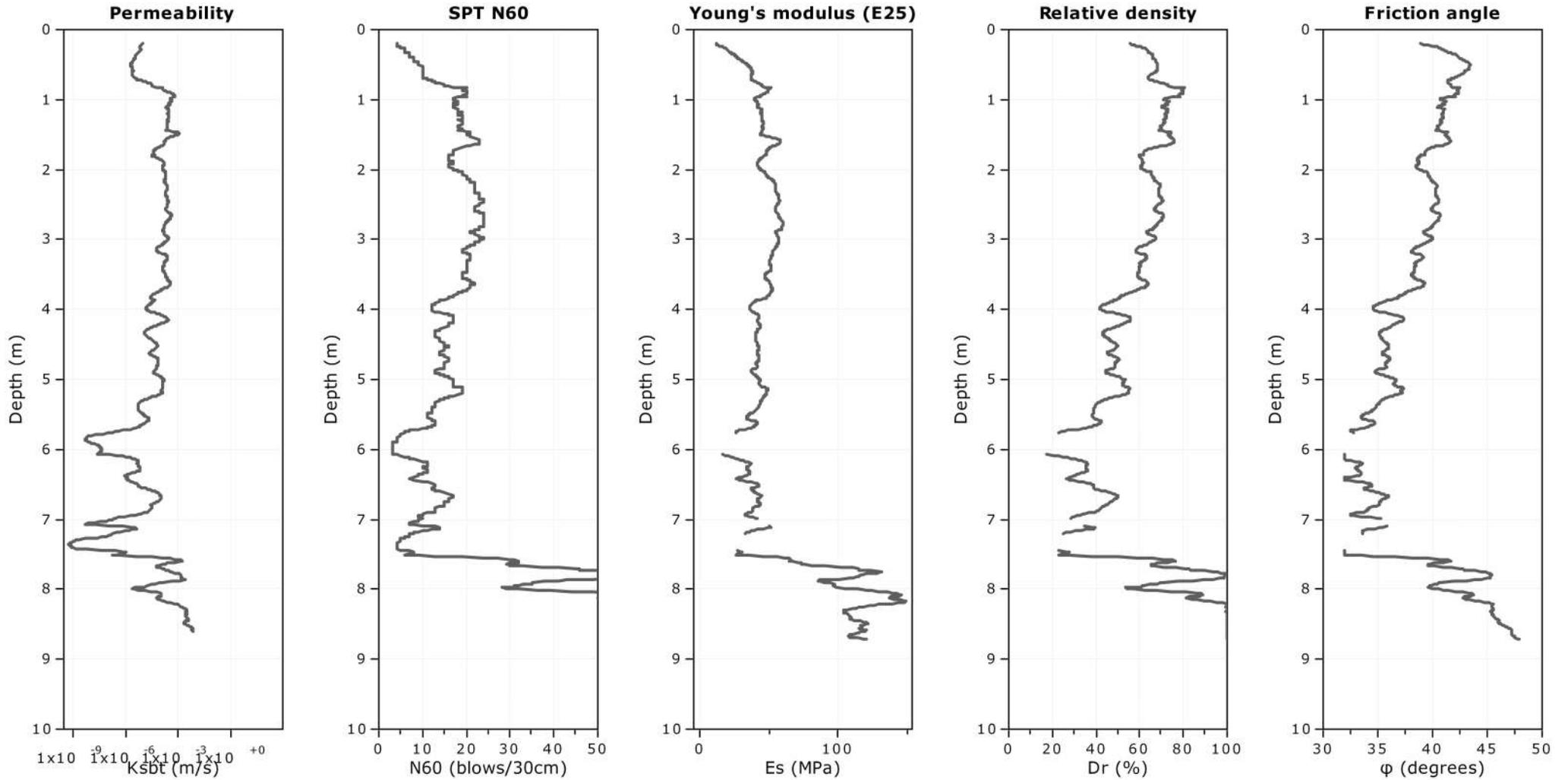
$K^*(G) > 330$ : Soils with significant microstructure (e.g. age/cementation)

Project: CPTU

Location: Riccione (RN) - Via Torino, Camping Romagna

CPT: 3

Total depth: 8.72 m



**Calculation parameters**

Permeability: Based on SBT<sub>n</sub>

SPT N<sub>60</sub>: Based on I<sub>c</sub> and q<sub>t</sub>

Young's modulus: Based on variable alpha using I<sub>c</sub> (Robertson, 2009)

Relative density constant, C<sub>Dr</sub>: 350.0

Phi: Based on Kulhawy & Mayne (1990)

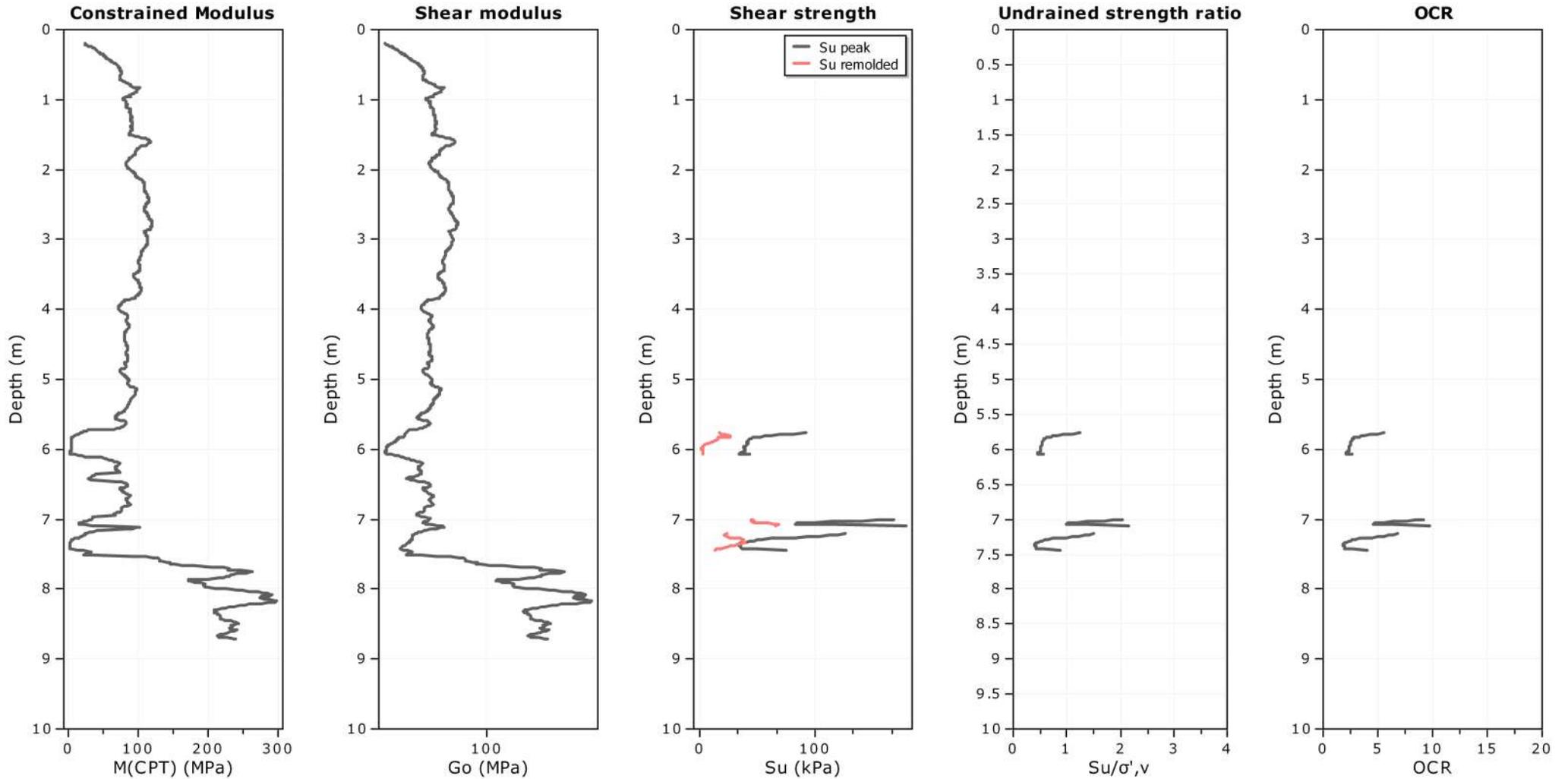
● — User defined estimation data

Project: CPTU

Location: Riccione (RN) - Via Torino, Camping Romagna

CPT: 3

Total depth: 8.72 m



**Calculation parameters**

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

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

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

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

● User defined estimation data

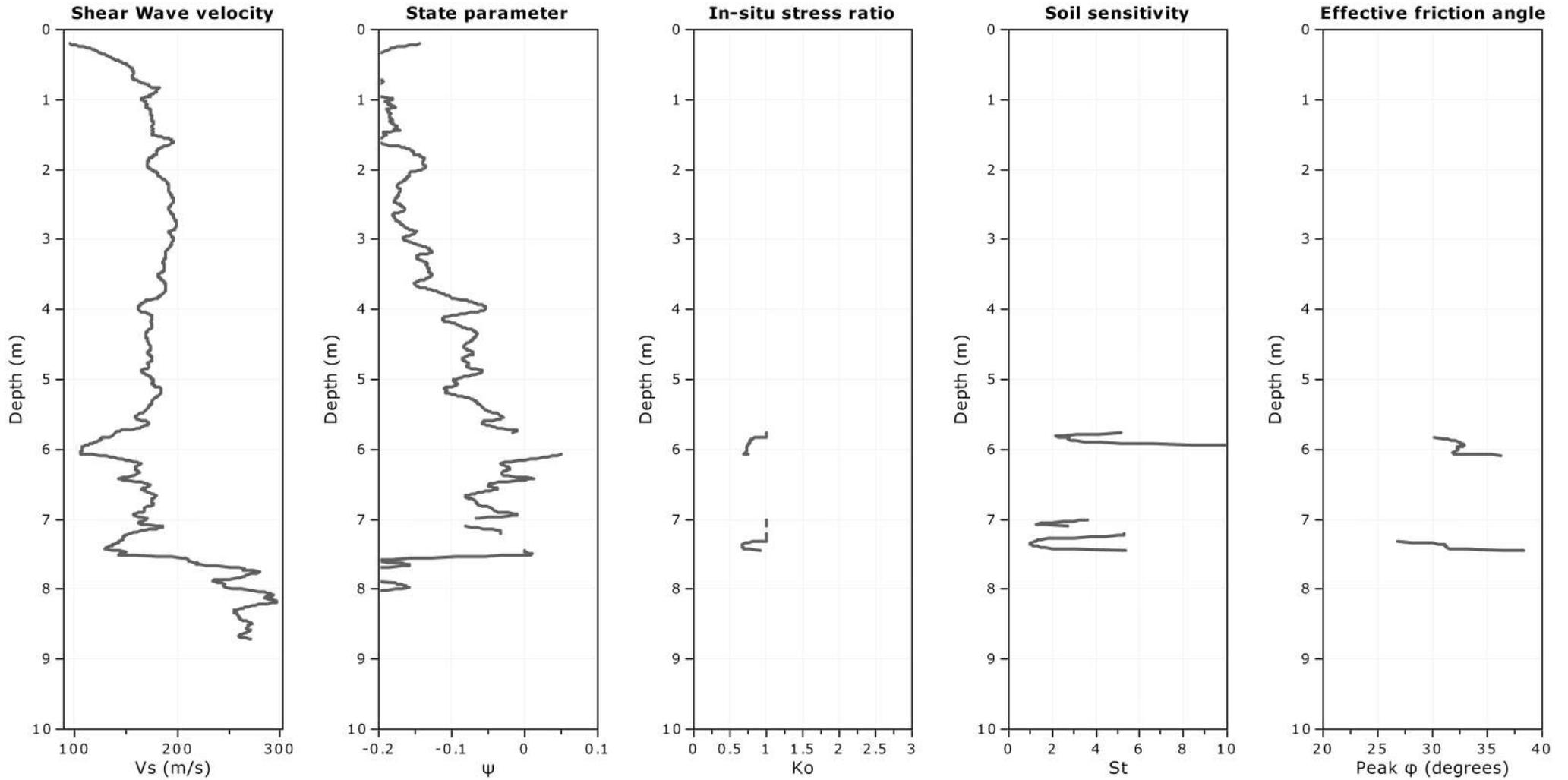
● Flat Dilatometer Test data

Project: CPTU

Location: Riccione (RN) - Via Torino, Camping Romagna

CPT: 3

Total depth: 8.72 m



**Calculation parameters**

Soil Sensitivity factor,  $N_s$ : 7.00

—●— User defined estimation data

**LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT**

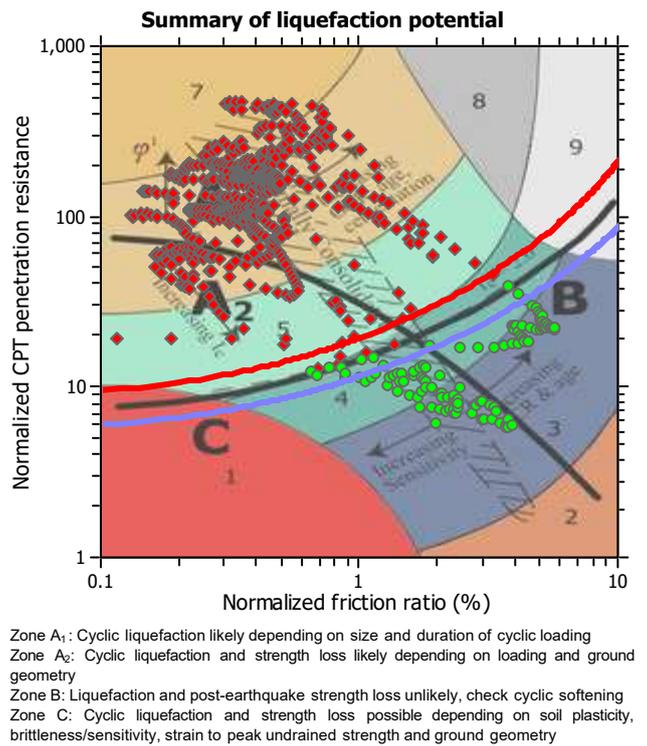
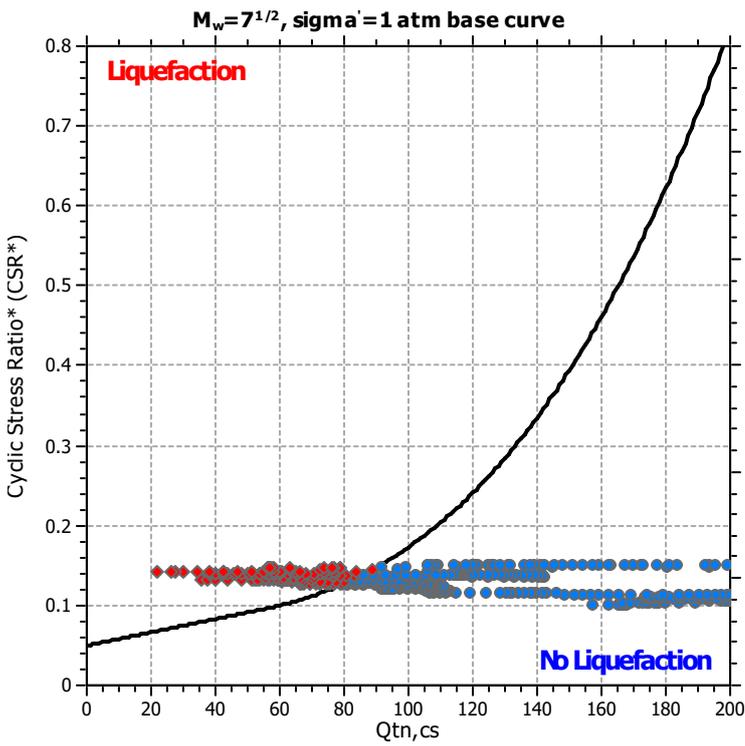
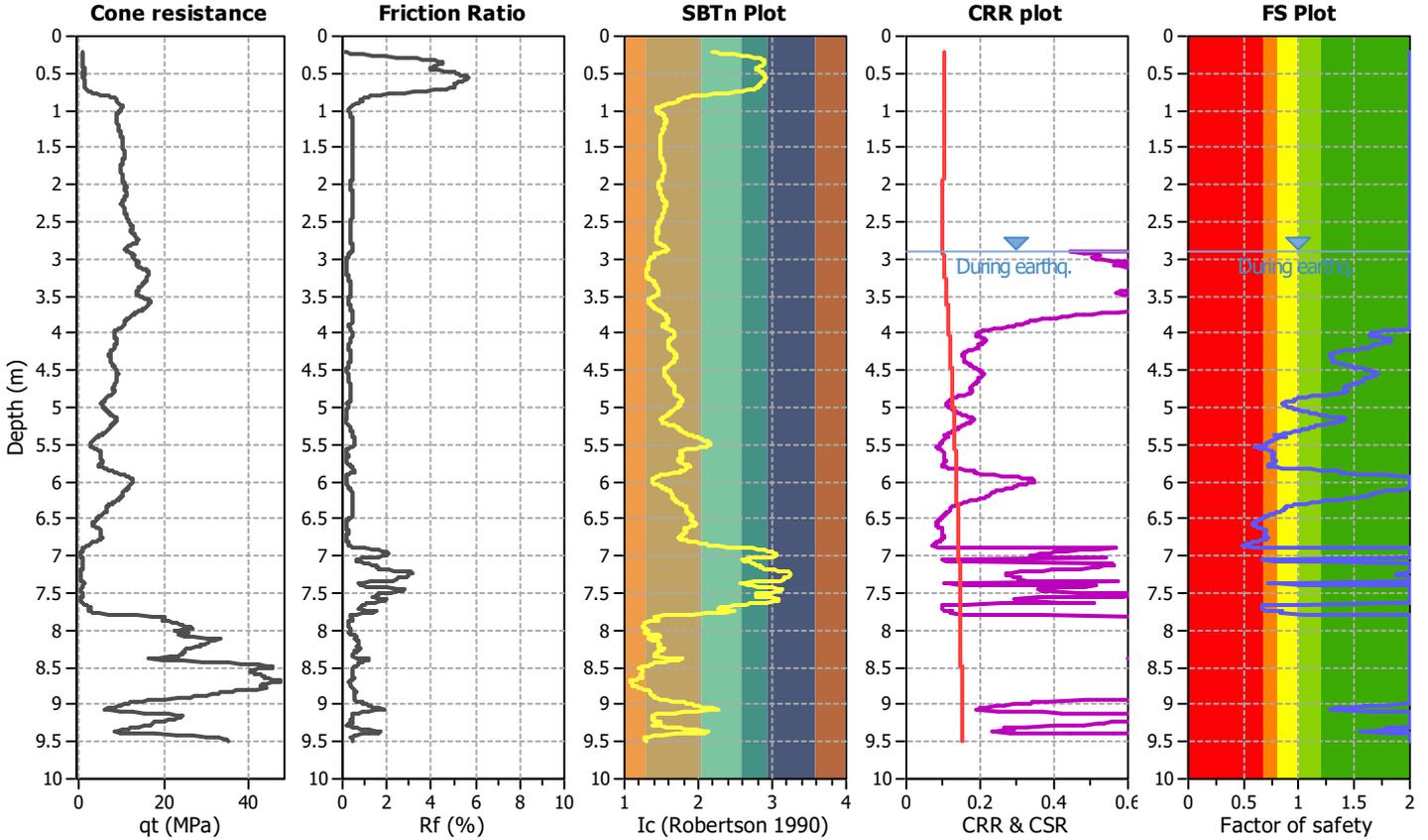
**Project title : CPTU**

**Location : Riccione (RN) - Via Torino, Camping Romagna**

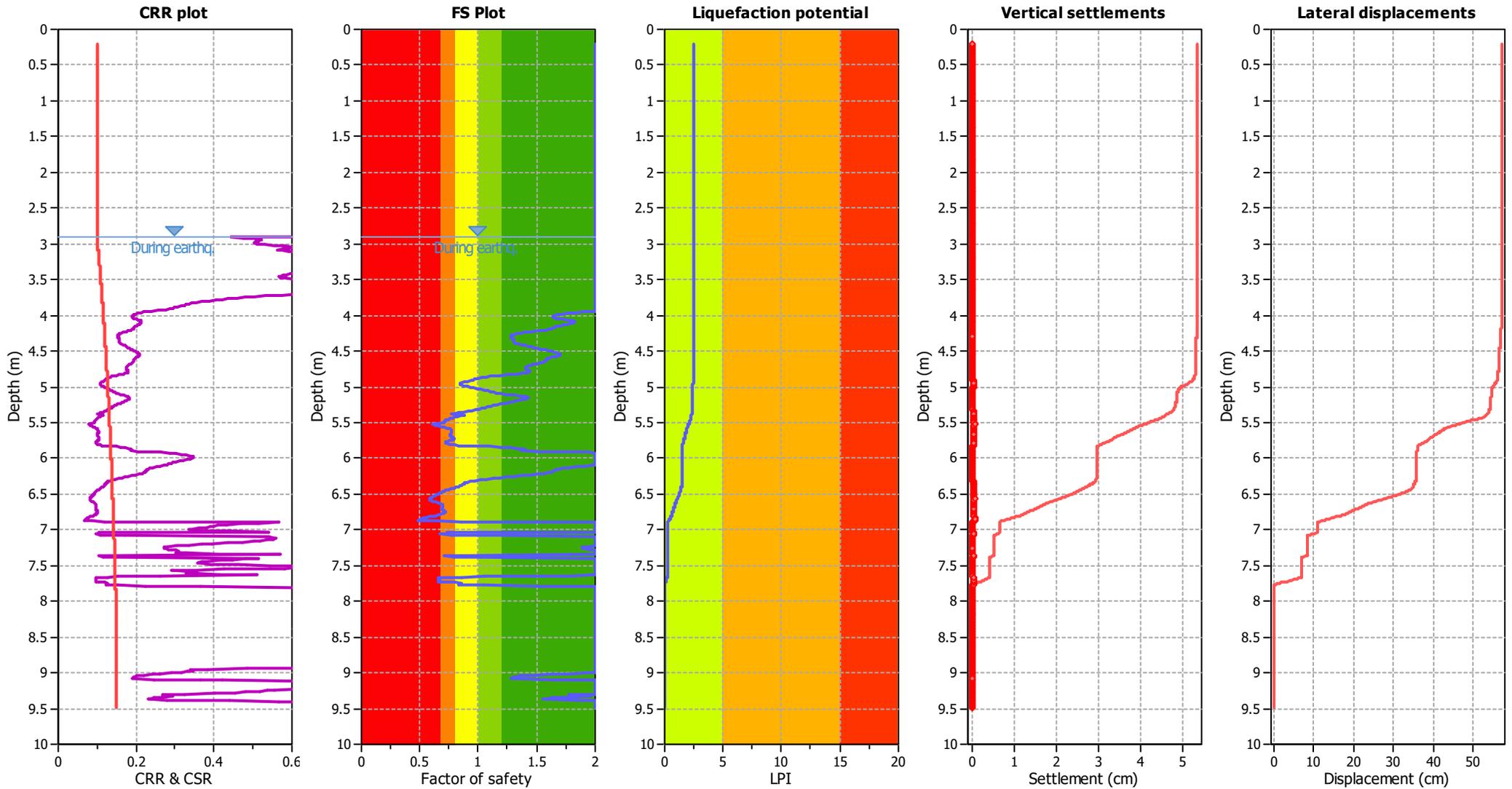
**CPT file : 4**

**Input parameters and analysis data**

|                              |                   |                           |              |                         |     |                      |              |
|------------------------------|-------------------|---------------------------|--------------|-------------------------|-----|----------------------|--------------|
| Analysis method:             | Robertson (2009)  | G.W.T. (in-situ):         | 2.90 m       | Use fill:               | No  | Clay like behavior   |              |
| Fines correction method:     | Robertson (2009)  | G.W.T. (earthq.):         | 2.90 m       | Fill height:            | N/A | applied:             | All soils    |
| Points to test:              | Based on Ic value | Average results interval: | 3            | Fill weight:            | N/A | Limit depth applied: | No           |
| Earthquake magnitude $M_w$ : | 6.14              | Ic cut-off value:         | 2.60         | Trans. detect. applied: | No  | Limit depth:         | N/A          |
| Peak ground acceleration:    | 0.26              | Unit weight calculation:  | Based on SBT | $K_o$ applied:          | Yes | MSF method:          | Method based |



### Liquefaction analysis overall plots



**Input parameters and analysis data**

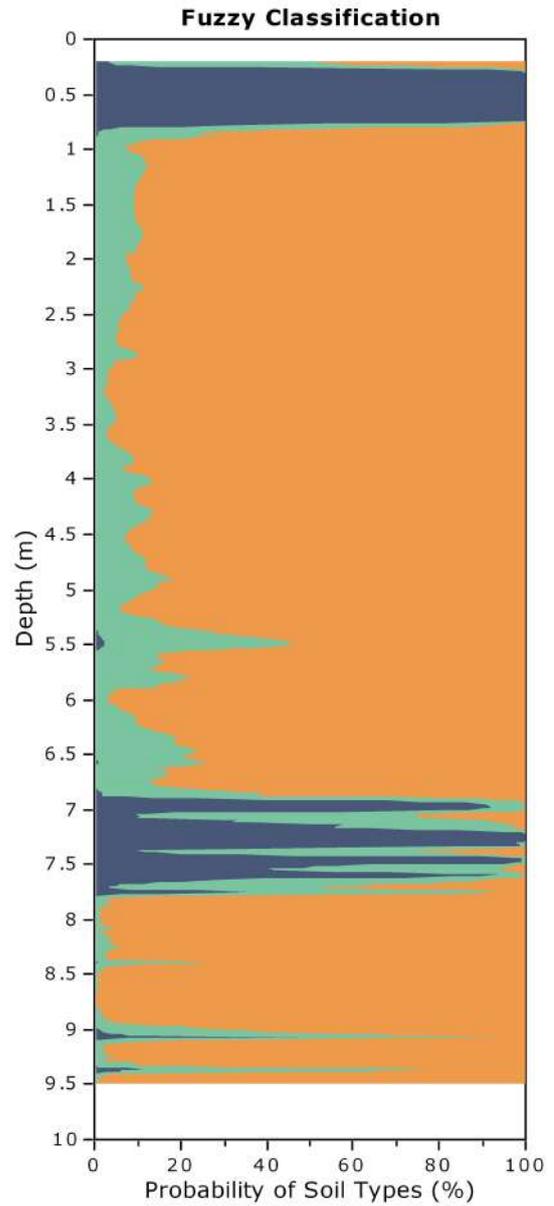
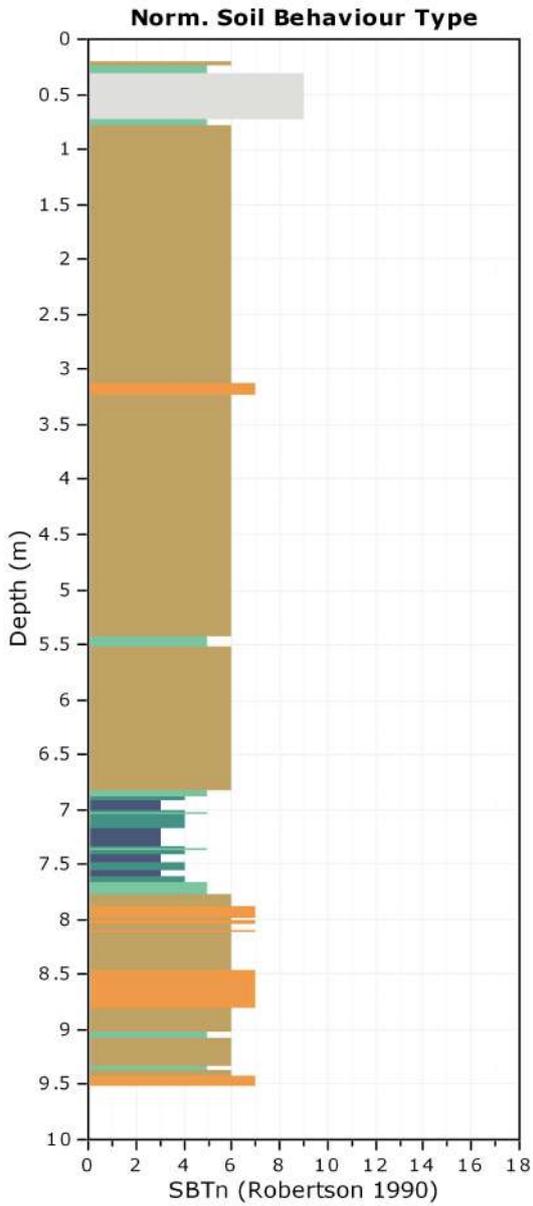
|                                |                   |                                 |              |                             |           |
|--------------------------------|-------------------|---------------------------------|--------------|-----------------------------|-----------|
| Analysis method:               | Robertson (2009)  | Depth to water table (earthq.): | 2.90 m       | Fill weight:                | N/A       |
| Fines correction method:       | Robertson (2009)  | Average results interval:       | 3            | Transition detect. applied: | No        |
| Points to test:                | Based on Ic value | Ic cut-off value:               | 2.60         | $K_0$ applied:              | Yes       |
| Earthquake magnitude $M_w$ :   | 6.14              | Unit weight calculation:        | Based on SBT | Clay like behavior applied: | All soils |
| Peak ground acceleration:      | 0.26              | Use fill:                       | No           | Limit depth applied:        | No        |
| Depth to water table (insitu): | 2.90 m            | Fill height:                    | N/A          | 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

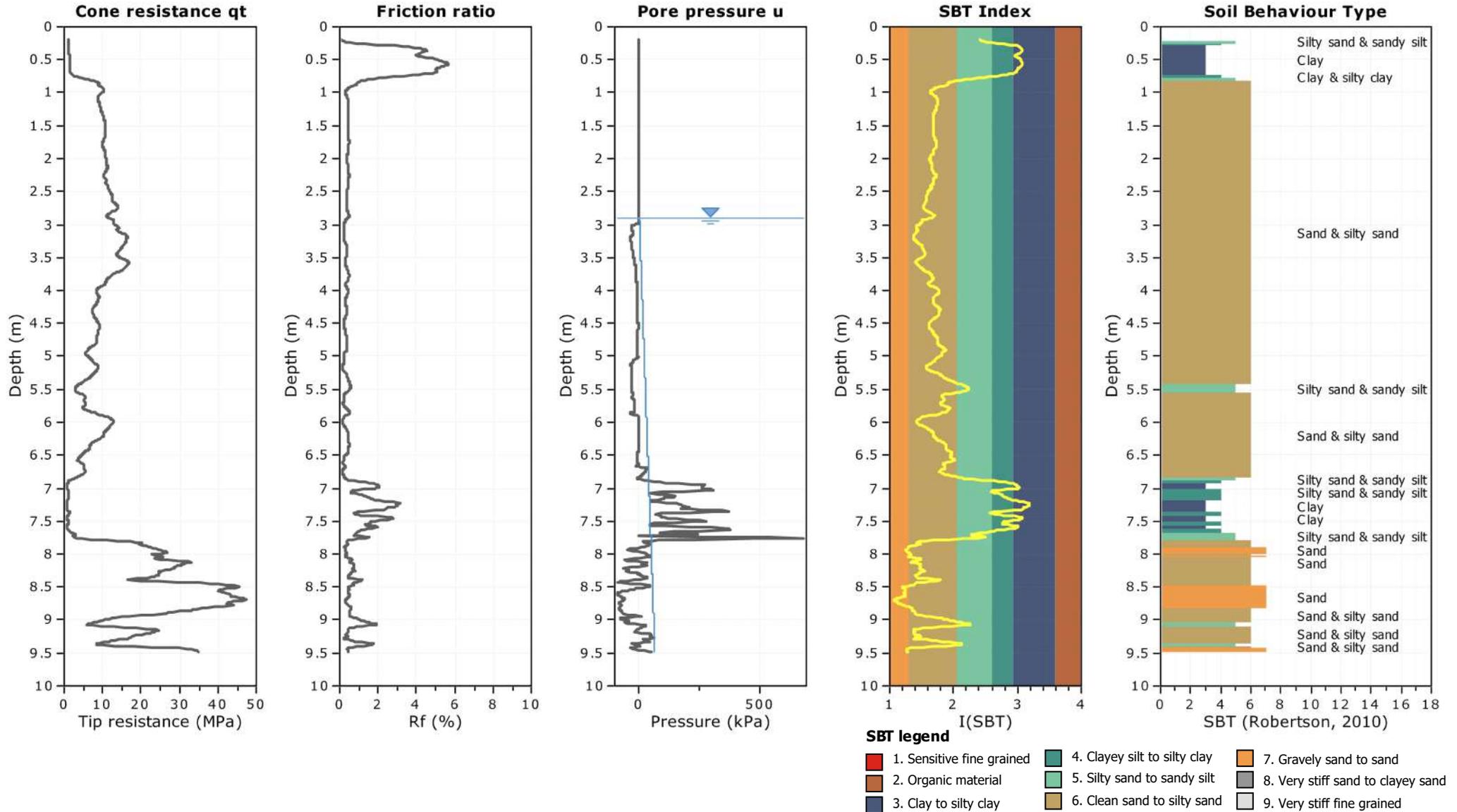


Project: CPTU

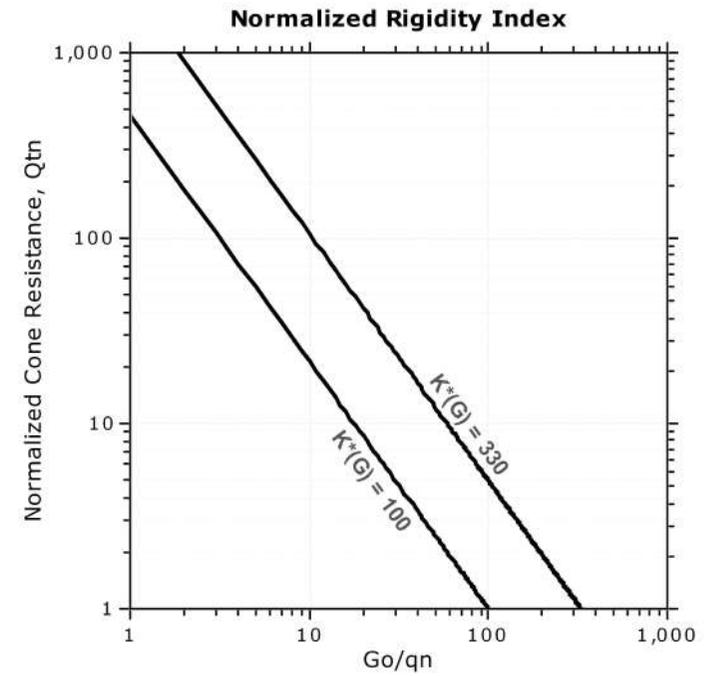
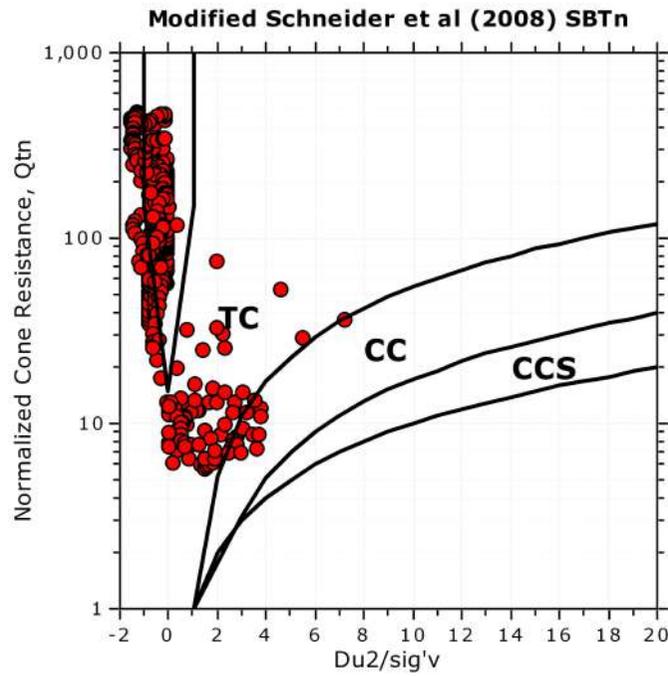
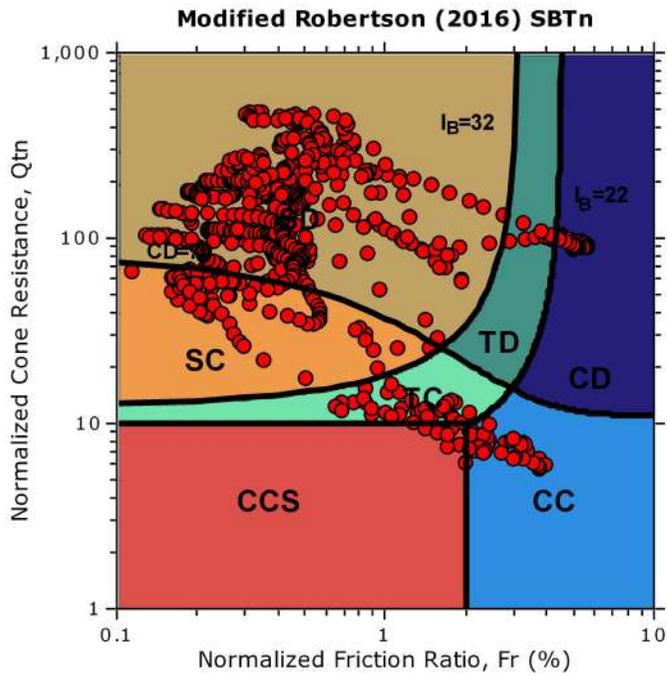
Location: Riccione (RN) - Via Torino, Camping Romagna

CPT: 4

Total depth: 9.49 m



**Updated SBTn plots**



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

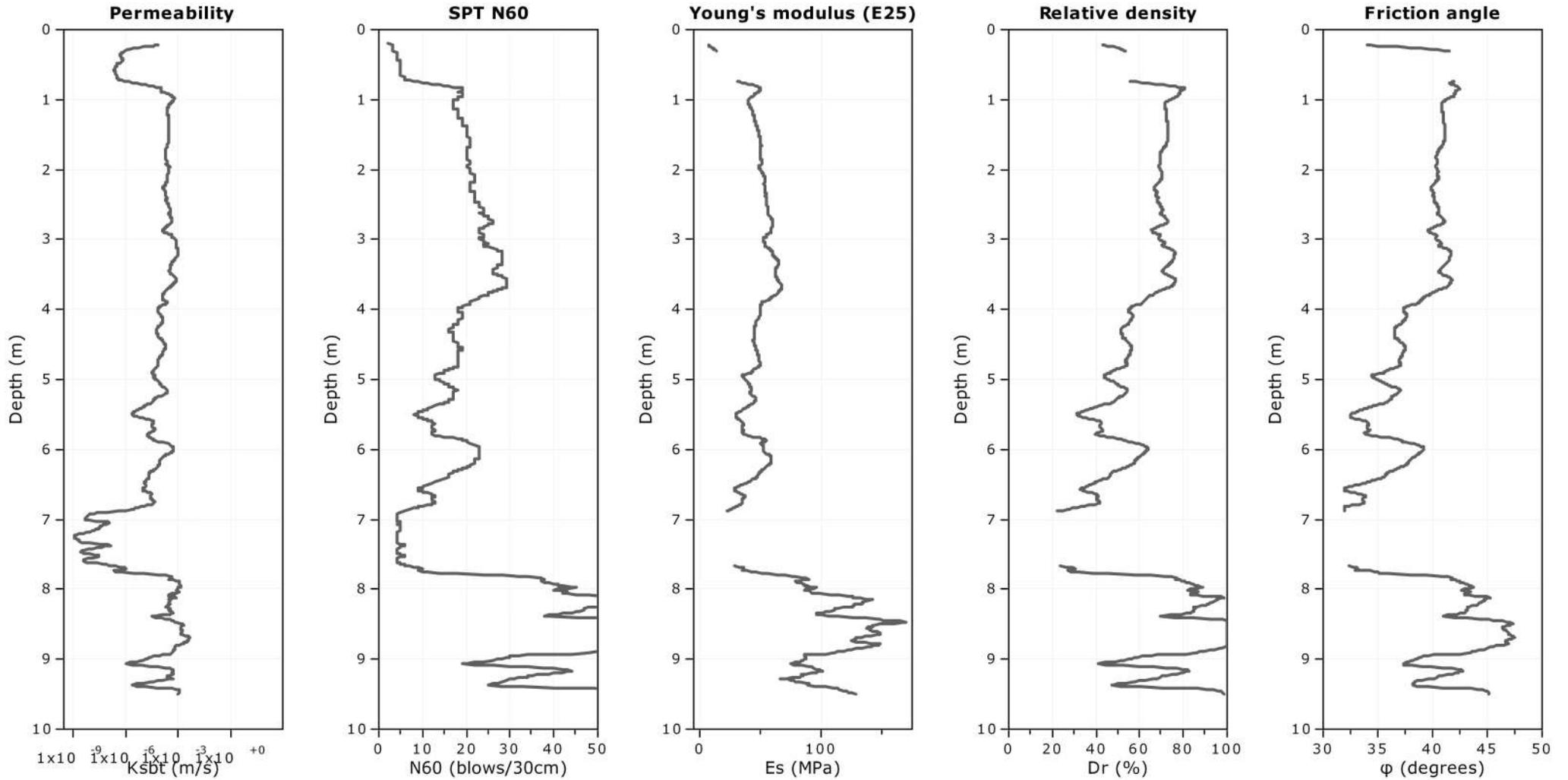
$K^*(G) > 330$ : Soils with significant microstructure (e.g. age/cementation)

Project: CPTU

Location: Riccione (RN) - Via Torino, Camping Romagna

CPT: 4

Total depth: 9.49 m



**Calculation parameters**

Permeability: Based on SBT<sub>n</sub>

SPT N<sub>60</sub>: Based on I<sub>c</sub> and q<sub>t</sub>

Young's modulus: Based on variable alpha using I<sub>c</sub> (Robertson, 2009)

Relative density constant, C<sub>Dr</sub>: 350.0

Phi: Based on Kulhawy & Mayne (1990)

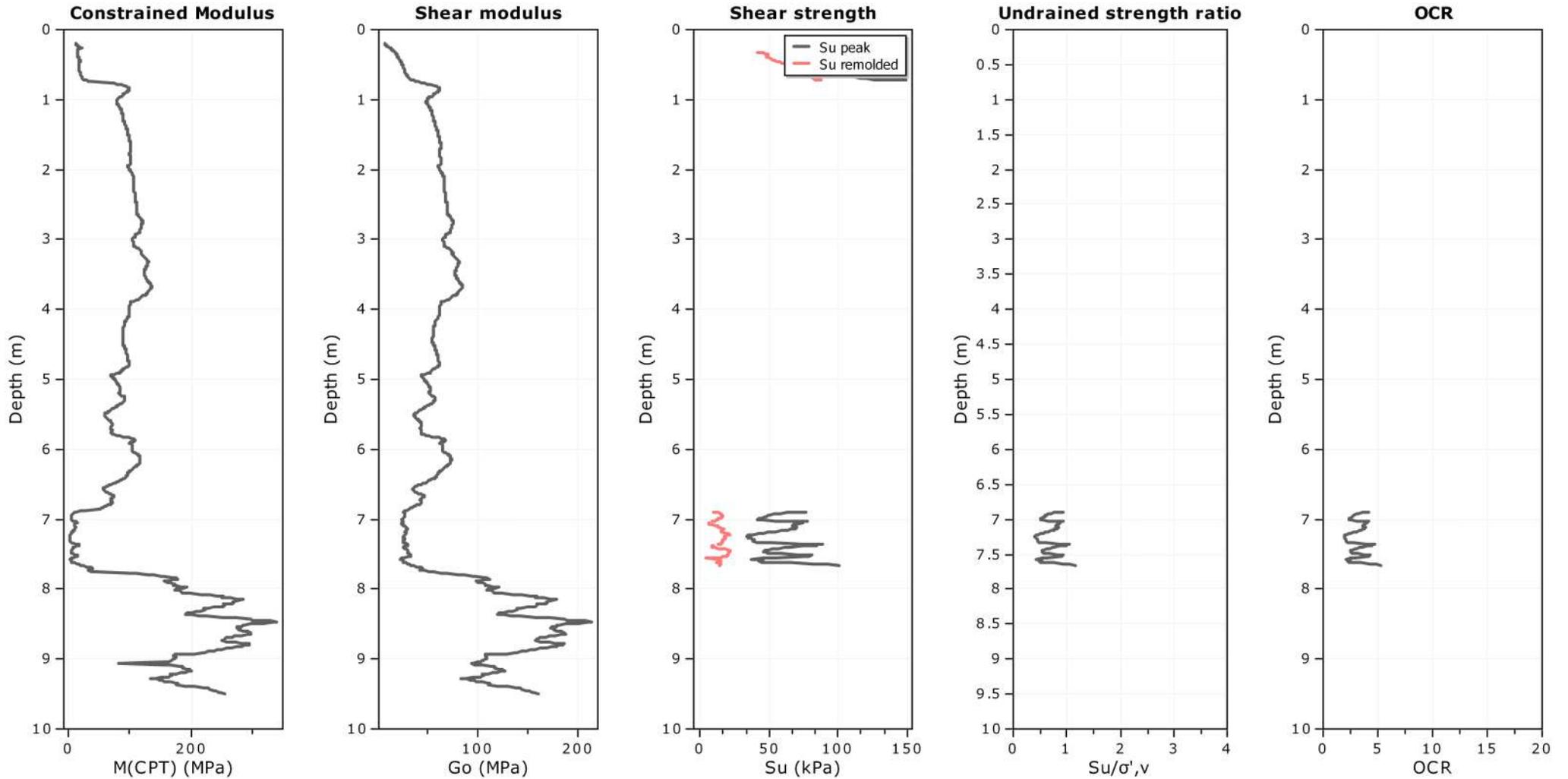
● — User defined estimation data

Project: CPTU

Location: Riccione (RN) - Via Torino, Camping Romagna

CPT: 4

Total depth: 9.49 m



**Calculation parameters**

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

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

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

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

● User defined estimation data

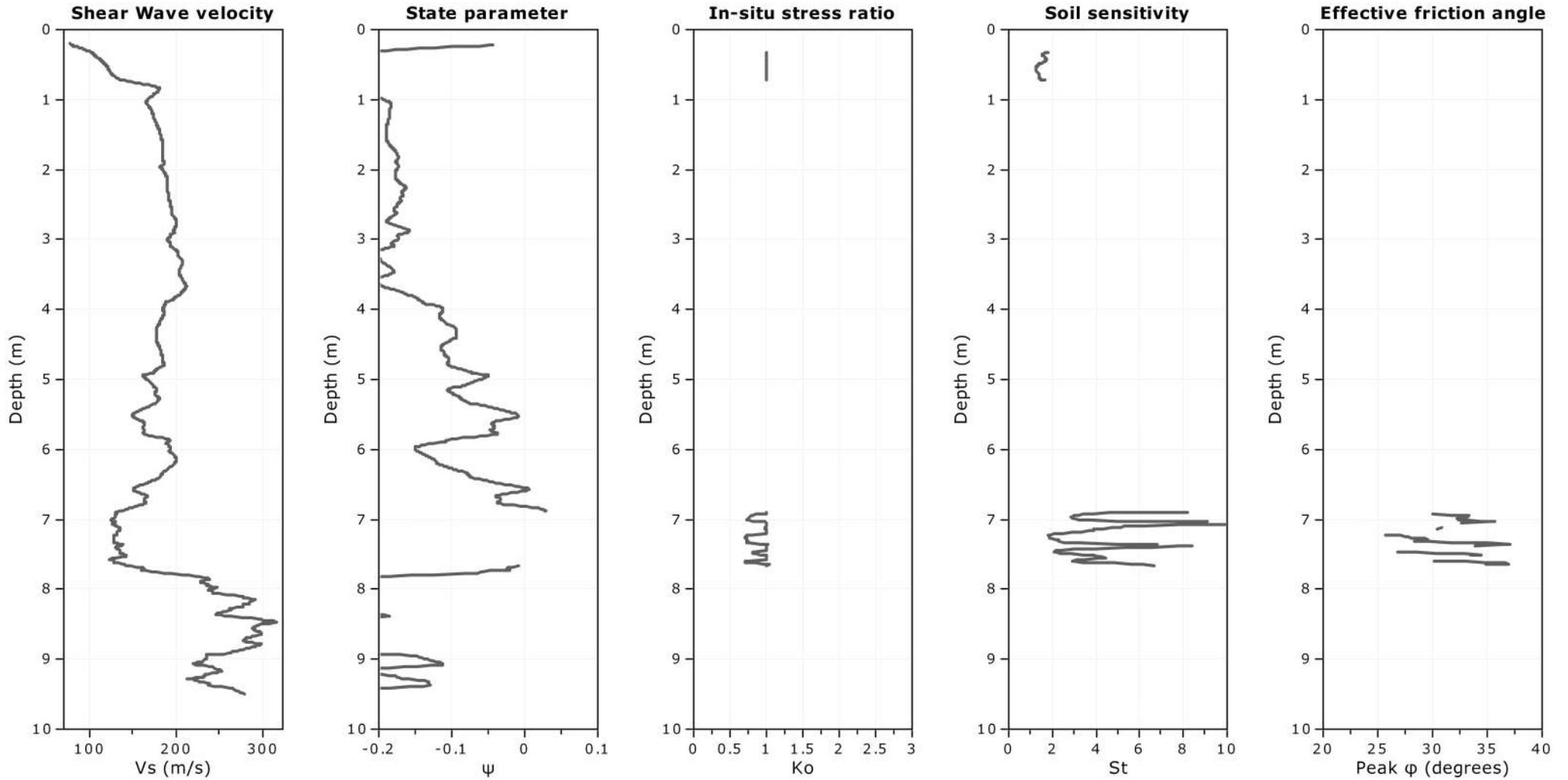
● Flat Dilatometer Test data

Project: CPTU

Location: Riccione (RN) - Via Torino, Camping Romagna

CPT: 4

Total depth: 9.49 m



**Calculation parameters**

Soil Sensitivity factor,  $N_s$ : 7.00

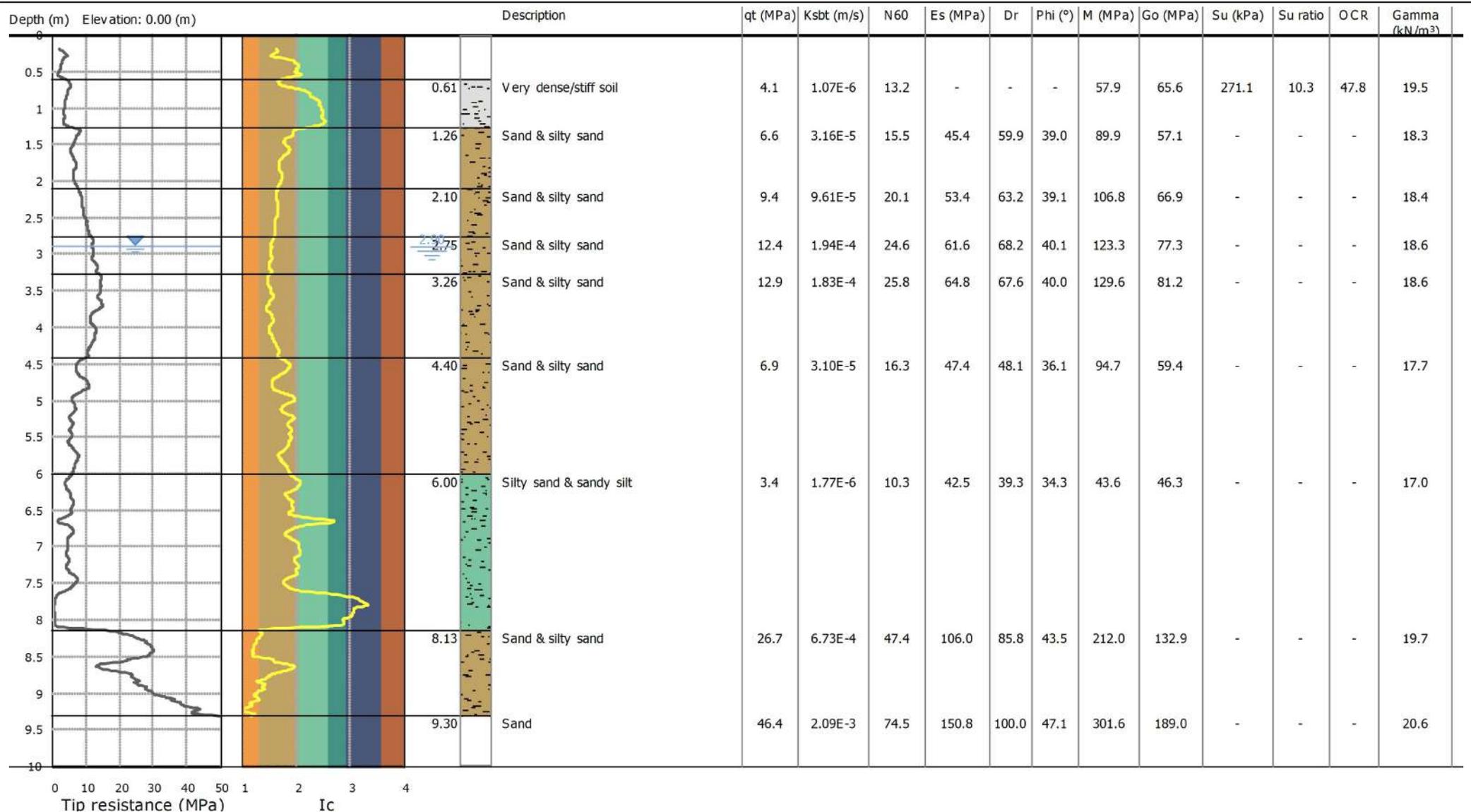
—●— User defined estimation data

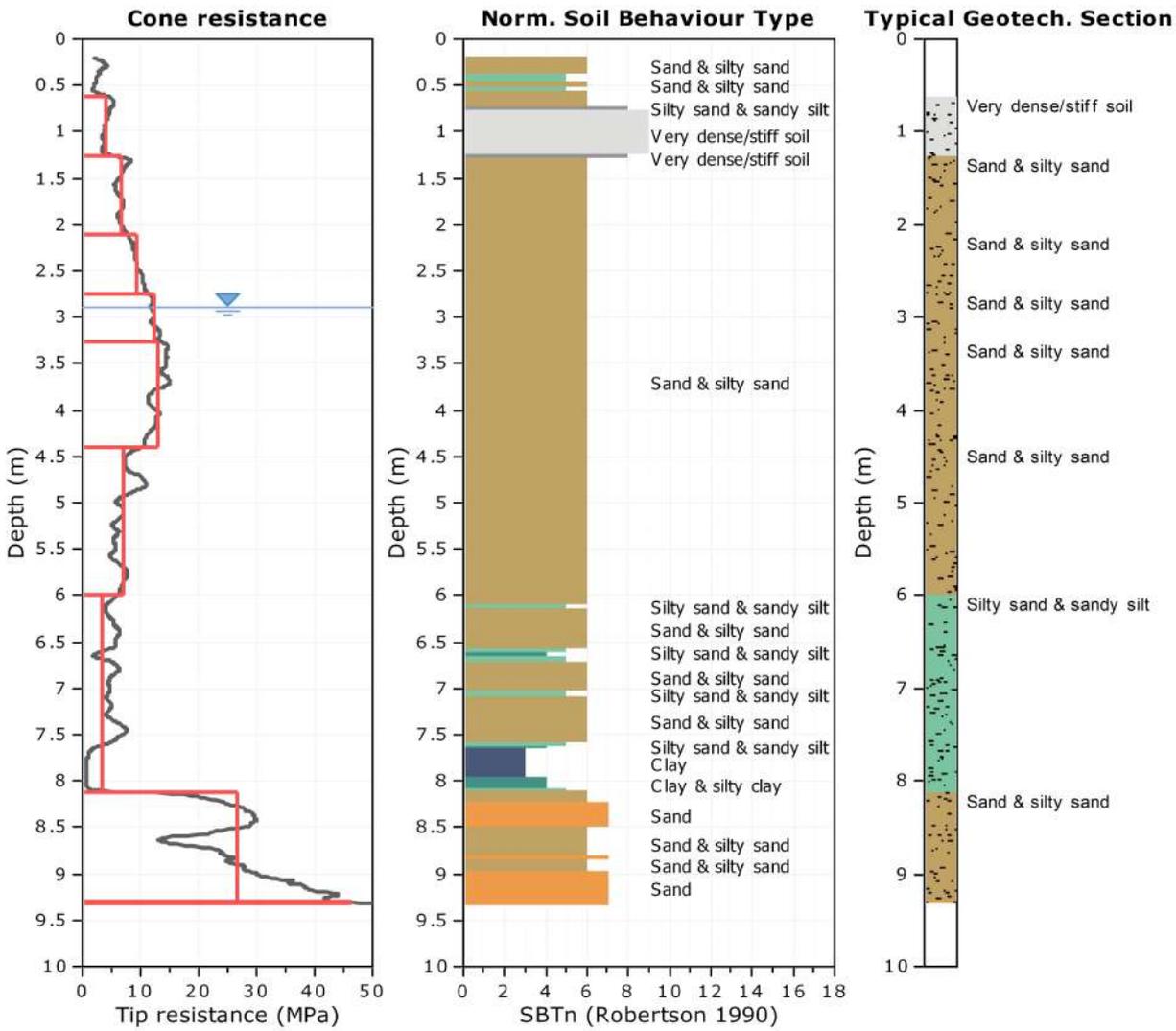
**Project: CPTU**

**Location: Riccione (RN) - Via Torino, Camping Romagna**

**CPT: 1**

Total depth: 9.32 m





**Tabular results**

|   |  |                                    |
|---|--|------------------------------------|
| <b>::: Layer No: 1 :::</b>  |  |                                    |
| <b>Code:</b> Layer_1 <b>Start depth:</b> 0.61 (m), <b>End depth:</b> 1.26 (m) |  |                                    |
| <b>Description:</b> Very dense/stiff soil                                     |  |                                    |
| <b>Basic results</b>  | <b>Estimation results</b>                  |                                    |
| Total cone resistance: 4.10 ±0.66 MPa   | Permeability: 1.07E-06 ±2.39E-05 m/s       | Constrained Mod.: 57.86 ±14.13 MPa |
| Sleeve friction: 178.00 ±91.65 kPa  | N <sub>60</sub> : 13.22 ±1.28 blows        | Go: 65.62 ±13.58 MPa               |
| Ic: 2.26 ±0.29  | Es: 0.00 ±0.00 MPa                         | Su: 271.11 ±30.57 kPa              |
| SBT <sub>n</sub> : 9  | Dr (%): 0.00 ±0.00                         | Su ratio: 10.35 ±1.51              |
| SBTn description: Very dense/stiff soil                                       | φ (degrees): 0.00 ±0.00 °                  | O.C.R.: 47.80 ±6.99                |
|   | Unit weight: 19.49 ±0.77 kN/m <sup>3</sup> |                                    |

**::: Layer No: 2 :::****Code:** Layer\_2    **Start depth:** 1.26 (m), **End depth:** 2.10 (m)**Description:** Sand & silty sand**Basic results**

Total cone resistance: 6.58 ±0.71 MPa

Sleeve friction: 53.97 ±55.00 kPa

Ic: 1.79 ±0.12

SBT<sub>n</sub>: 6

SBTn description: Sand &amp; silty sand

**Estimation results**

Permeability: 3.16E-05 ±2.46E-05 m/s

N<sub>60</sub>: 15.47 ±2.14 blows

Es: 45.37 ±9.56 MPa

Dr (%): 59.89 ±5.54

φ (degrees): 39.02 ±1.69 °

Unit weight: 18.30 ±0.68 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 89.92 ±18.50 MPa

Go: 57.11 ±12.22 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

**::: Layer No: 3 :::****Code:** Layer\_3    **Start depth:** 2.10 (m), **End depth:** 2.75 (m)**Description:** Sand & silty sand**Basic results**

Total cone resistance: 9.43 ±0.95 MPa

Sleeve friction: 51.24 ±6.81 kPa

Ic: 1.63 ±0.02

SBT<sub>n</sub>: 6

SBTn description: Sand &amp; silty sand

**Estimation results**

Permeability: 9.61E-05 ±1.41E-05 m/s

N<sub>60</sub>: 20.07 ±1.84 blows

Es: 53.40 ±4.43 MPa

Dr (%): 63.19 ±1.85

φ (degrees): 39.12 ±0.40 °

Unit weight: 18.38 ±0.19 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 106.80 ±8.86 MPa

Go: 66.93 ±5.55 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

**::: Layer No: 4 :::****Code:** Layer\_4    **Start depth:** 2.75 (m), **End depth:** 3.26 (m)**Description:** Sand & silty sand**Basic results**

Total cone resistance: 12.36 ±0.62 MPa

Sleeve friction: 55.82 ±5.28 kPa

Ic: 1.53 ±0.02

SBT<sub>n</sub>: 6

SBTn description: Sand &amp; silty sand

**Estimation results**

Permeability: 1.94E-04 ±3.39E-05 m/s

N<sub>60</sub>: 24.56 ±1.02 blows

Es: 61.64 ±2.22 MPa

Dr (%): 68.19 ±1.24

φ (degrees): 40.15 ±0.25 °

Unit weight: 18.58 ±0.11 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 123.29 ±4.44 MPa

Go: 77.26 ±2.78 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

**::: Layer No: 5 :::****Code:** Layer\_5    **Start depth:** 3.26 (m), **End depth:** 4.40 (m)**Description:** Sand & silty sand**Basic results**

Total cone resistance: 12.88 ±1.40 MPa

Sleeve friction: 58.29 ±10.45 kPa

Ic: 1.54 ±0.06

SBT<sub>n</sub>: 6

SBTn description: Sand &amp; silty sand

**Estimation results**

Permeability: 1.83E-04 ±8.01E-05 m/s

N<sub>60</sub>: 25.77 ±2.16 blows

Es: 64.81 ±4.27 MPa

Dr (%): 67.59 ±4.04

φ (degrees): 40.03 ±0.81 °

Unit weight: 18.64 ±0.22 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 129.63 ±8.55 MPa

Go: 81.23 ±5.36 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

**::: Layer No: 6 :::****Code:** Layer\_6 **Start depth:** 4.40 (m), **End depth:** 6.00 (m)**Description:** Sand & silty sand**Basic results**

Total cone resistance: 6.88 ±1.60 MPa

Sleeve friction: 30.98 ±11.06 kPa

Ic: 1.79 ±0.11

SBT<sub>n</sub>: 6

SBTn description: Sand &amp; silty sand

**Estimation results**

Permeability: 3.10E-05 ±4.71E-05 m/s

N<sub>60</sub>: 16.30 ±2.56 blows

Es: 47.37 ±5.41 MPa

Dr (%): 48.10 ±5.49

φ (degrees): 36.07 ±1.19 °

Unit weight: 17.68 ±0.40 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 94.75 ±10.82 MPa

Go: 59.38 ±6.78 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

**::: Layer No: 7 :::****Code:** Layer\_7 **Start depth:** 6.00 (m), **End depth:** 8.13 (m)**Description:** Silty sand & sandy silt**Basic results**

Total cone resistance: 3.35 ±2.26 MPa

Sleeve friction: 21.36 ±11.28 kPa

Ic: 2.16 ±0.47

SBT<sub>n</sub>: 5

SBTn description: Silty sand &amp; sandy silt

**Estimation results**

Permeability: 1.77E-06 ±3.14E-05 m/s

N<sub>60</sub>: 10.31 ±4.41 blows

Es: 42.50 ±5.28 MPa

Dr (%): 39.31 ±4.56

φ (degrees): 34.30 ±0.91 °

Unit weight: 16.98 ±0.82 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 43.61 ±41.59 MPa

Go: 46.25 ±12.49 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

**::: Layer No: 8 :::****Code:** Layer\_8 **Start depth:** 8.13 (m), **End depth:** 9.30 (m)**Description:** Sand & silty sand**Basic results**

Total cone resistance: 26.66 ±7.94 MPa

Sleeve friction: 111.61 ±49.76 kPa

Ic: 1.34 ±0.22

SBT<sub>n</sub>: 6

SBTn description: Sand &amp; silty sand

**Estimation results**

Permeability: 6.73E-04 ±1.69E-03 m/s

N<sub>60</sub>: 47.37 ±8.98 blows

Es: 106.02 ±15.64 MPa

Dr (%): 85.84 ±10.72

φ (degrees): 43.53 ±1.81 °

Unit weight: 19.68 ±0.53 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 212.05 ±31.27 MPa

Go: 132.88 ±19.60 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

**::: Layer No: 9 :::****Code:** Layer\_9 **Start depth:** 9.30 (m), **End depth:** 9.32 (m)**Description:** Sand**Basic results**

Total cone resistance: 46.42 ±1.77 MPa

Sleeve friction: 204.52 ±3.90 kPa

Ic: 1.19 ±0.02

SBT<sub>n</sub>: 7

SBTn description: Sand

**Estimation results**

Permeability: 2.09E-03 ±2.68E-04 m/s

N<sub>60</sub>: 74.48 ±2.12 blows

Es: 150.78 ±2.28 MPa

Dr (%): 100.00 ±0.00

φ (degrees): 47.14 ±0.26 °

Unit weight: 20.60 ±0.03 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 301.55 ±4.56 MPa

Go: 188.97 ±2.86 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

Project: CPTU

Location: Riccione (RN) - Via Torino, Camping Romagna

CPT: 1

Total depth: 9.32 m, Date: 30/10/2021

**Summary table of mean values**

| From depth<br>To depth<br>(m) | Thickness<br>(m) | Permeability<br>(m/s) | SPT <sub>N60</sub><br>(blows/30cm) | E <sub>s</sub><br>(MPa) | D <sub>r</sub><br>(%) | Friction<br>angle | Constrained<br>modulus, M<br>(MPa) | Shear<br>modulus, G <sub>o</sub><br>(MPa) | Undrained<br>strength, S <sub>u</sub><br>(kPa) | Undrained<br>strength<br>ratio | OCR    | Unit weight<br>(kN/m <sup>3</sup> ) |
|-------------------------------|------------------|-----------------------|------------------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------|------------------------------------|---|--|--------------------------------|--------|-------------------------------------|
| 0.61                          | 0.65             | 1.07E-06              | 13.2                               | 0.0                     | 0.0                   | 0.0               | 57.9                               | 65.6                                      | 271.1  | 10.3                           | 47.8   | 19.5                                |
| 1.26                          |                  | (±2.39E-05)           | (±1.3)                             | (±0.0)                  | (±0.0)                | (±0.0)            | (±14.1)                            | (±13.6)                                   | (±30.6)  | (±1.5)                         | (±7.0) | (±0.8)                              |
| 1.26                          | 0.84             | 3.16E-05              | 15.5                               | 45.4                    | 59.9                  | 39.0              | 89.9                               | 57.1                                      | 0.0  | 0.0                            | 0.0    | 18.3                                |
| 2.10                          |                  | (±2.46E-05)           | (±2.1)                             | (±9.6)                  | (±5.5)                | (±1.7)            | (±18.5)                            | (±12.2)                                   | (±0.0)   | (±0.0)                         | (±0.0) | (±0.7)                              |
| 2.10                          | 0.65             | 9.61E-05              | 20.1                               | 53.4                    | 63.2                  | 39.1              | 106.8                              | 66.9                                      | 0.0  | 0.0                            | 0.0    | 18.4                                |
| 2.75                          |                  | (±1.41E-05)           | (±1.8)                             | (±4.4)                  | (±1.8)                | (±0.4)            | (±8.9)                             | (±5.6)                                    | (±0.0)   | (±0.0)                         | (±0.0) | (±0.2)                              |
| 2.75                          | 0.51             | 1.94E-04              | 24.6                               | 61.6                    | 68.2                  | 40.1              | 123.3                              | 77.3                                      | 0.0  | 0.0                            | 0.0    | 18.6                                |
| 3.26                          |                  | (±3.39E-05)           | (±1.0)                             | (±2.2)                  | (±1.2)                | (±0.2)            | (±4.4)                             | (±2.8)                                    | (±0.0)   | (±0.0)                         | (±0.0) | (±0.1)                              |
| 3.26                          | 1.14             | 1.83E-04              | 25.8                               | 64.8                    | 67.6                  | 40.0              | 129.6                              | 81.2                                      | 0.0  | 0.0                            | 0.0    | 18.6                                |
| 4.40                          |                  | (±8.01E-05)           | (±2.2)                             | (±4.3)                  | (±4.0)                | (±0.8)            | (±8.5)                             | (±5.4)                                    | (±0.0)   | (±0.0)                         | (±0.0) | (±0.2)                              |
| 4.40                          | 1.60             | 3.10E-05              | 16.3                               | 47.4                    | 48.1                  | 36.1              | 94.7                               | 59.4                                      | 0.0  | 0.0                            | 0.0    | 17.7                                |
| 6.00                          |                  | (±4.71E-05)           | (±2.6)                             | (±5.4)                  | (±5.5)                | (±1.2)            | (±10.8)                            | (±6.8)                                    | (±0.0)   | (±0.0)                         | (±0.0) | (±0.4)                              |
| 6.00                          | 2.13             | 1.77E-06              | 10.3                               | 42.5                    | 39.3                  | 34.3              | 43.6                               | 46.3                                      | 0.0  | 0.0                            | 0.0    | 17.0                                |
| 8.13                          |                  | (±3.14E-05)           | (±4.4)                             | (±5.3)                  | (±4.6)                | (±0.9)            | (±41.6)                            | (±12.5)                                   | (±0.0)   | (±0.0)                         | (±0.0) | (±0.8)                              |
| 8.13                          | 1.17             | 6.73E-04              | 47.4                               | 106.0                   | 85.8                  | 43.5              | 212.0                              | 132.9                                     | 0.0  | 0.0                            | 0.0    | 19.7                                |
| 9.30                          |                  | (±1.69E-03)           | (±9.0)                             | (±15.6)                 | (±10.7)               | (±1.8)            | (±31.3)                            | (±19.6)                                   | (±0.0)   | (±0.0)                         | (±0.0) | (±0.5)                              |
| 9.30                          | 0.02             | 2.09E-03              | 74.5                               | 150.8                   | 100.0                 | 47.1              | 301.6                              | 189.0                                     | 0.0  | 0.0                            | 0.0    | 20.6                                |
| 9.32                          |                  | (±2.68E-04)           | (±2.1)                             | (±2.3)                  | (±0.0)                | (±0.3)            | (±4.6)                             | (±2.9)                                    | (±0.0)   | (±0.0)                         | (±0.0) | (±0.0)                              |

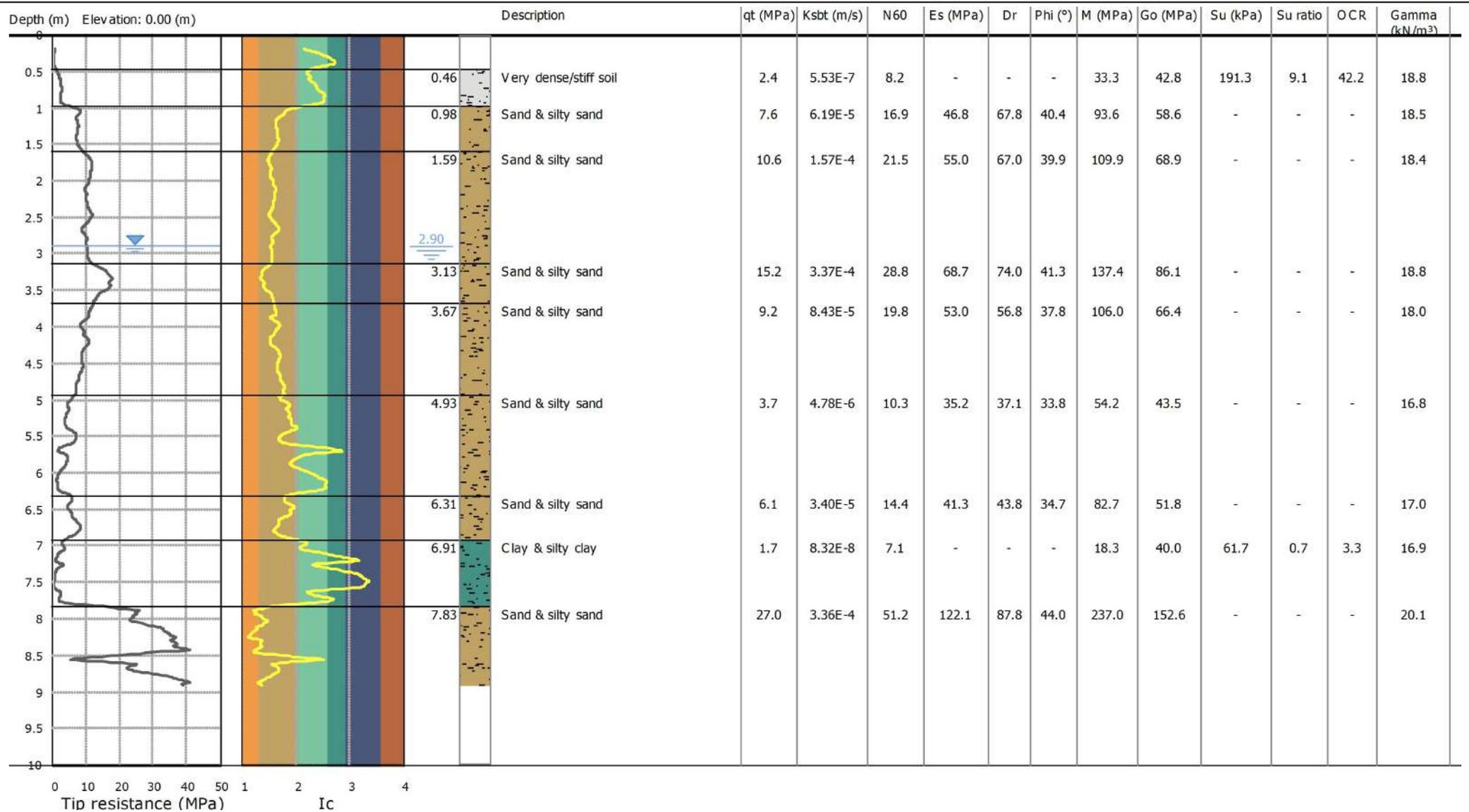
Depth values presented in this table are measured from free ground surface

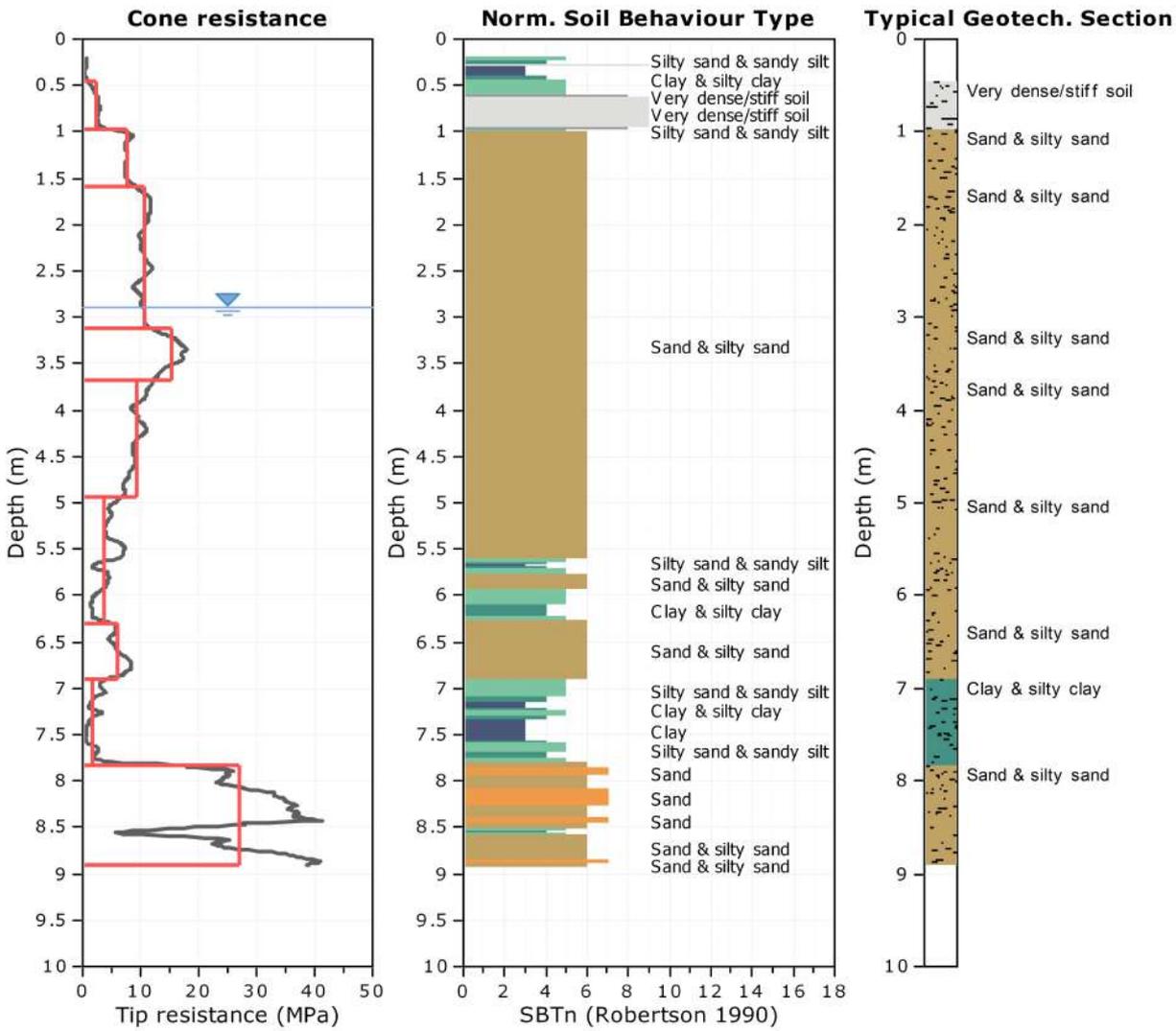
**Project: CPTU**

**Location: Riccione (RN) - Via Torino, Camping Romagna**

**CPT: 2**

Total depth: 8.91 m





**Tabular results**

|   |  |                                    |
|---|--|------------------------------------|
| <b>::: Layer No: 1 :::</b>  |  |                                    |
| <b>Code:</b> Layer_1 <b>Start depth:</b> 0.46 (m), <b>End depth:</b> 0.98 (m) |  |                                    |
| <b>Description:</b> Very dense/stiff soil                                     |  |                                    |
| <b>Basic results</b>  | <b>Estimation results</b>                  |                                    |
| Total cone resistance: 2.37 ±0.68 MPa   | Permeability: 5.53E-07 ±5.97E-07 m/s       | Constrained Mod.: 33.30 ±13.27 MPa |
| Sleeve friction: 114.86 ±66.08 kPa  | N <sub>60</sub> : 8.19 ±2.43 blows         | Go: 42.76 ±14.26 MPa               |
| Ic: 2.37 ±0.12  | Es: 0.00 ±0.00 MPa                         | Su: 191.30 ±16.28 kPa              |
| SBT <sub>n</sub> : 9  | Dr (%): 0.00 ±0.00                         | Su ratio: 9.13 ±0.70               |
| SBTn description: Very dense/stiff soil                                       | φ (degrees): 0.00 ±0.00 °                  | O.C.R.: 42.20 ±3.23                |
|   | Unit weight: 18.78 ±0.84 kN/m <sup>3</sup> |                                    |

**::: Layer No: 2 :::****Code:** Layer\_2 **Start depth:** 0.98 (m), **End depth:** 1.59 (m)**Description:** Sand & silty sand**Basic results**

Total cone resistance: 7.61 ±0.62 MPa

Sleeve friction: 60.52 ±38.40 kPa

Ic: 1.69 ±0.11

SBT<sub>n</sub>: 6

SBTn description: Sand &amp; silty sand

**Estimation results**

Permeability: 6.19E-05 ±3.49E-05 m/s

N<sub>60</sub>: 16.86 ±1.44 blows

Es: 46.78 ±6.24 MPa

Dr (%): 67.83 ±4.34

φ (degrees): 40.35 ±1.26 °

Unit weight: 18.49 ±0.48 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 93.55 ±12.48 MPa

Go: 58.63 ±7.82 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

**::: Layer No: 3 :::****Code:** Layer\_3 **Start depth:** 1.59 (m), **End depth:** 3.13 (m)**Description:** Sand & silty sand**Basic results**

Total cone resistance: 10.60 ±0.79 MPa

Sleeve friction: 51.25 ±7.98 kPa

Ic: 1.56 ±0.04

SBT<sub>n</sub>: 6

SBTn description: Sand &amp; silty sand

**Estimation results**

Permeability: 1.57E-04 ±4.64E-05 m/s

N<sub>60</sub>: 21.54 ±1.19 blows

Es: 54.97 ±2.43 MPa

Dr (%): 67.01 ±3.98

φ (degrees): 39.91 ±0.80 °

Unit weight: 18.42 ±0.19 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 109.95 ±4.86 MPa

Go: 68.90 ±3.05 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

**::: Layer No: 4 :::****Code:** Layer\_4 **Start depth:** 3.13 (m), **End depth:** 3.67 (m)**Description:** Sand & silty sand**Basic results**

Total cone resistance: 15.20 ±1.92 MPa

Sleeve friction: 63.14 ±7.43 kPa

Ic: 1.45 ±0.08

SBT<sub>n</sub>: 6

SBTn description: Sand &amp; silty sand

**Estimation results**

Permeability: 3.37E-04 ±1.97E-04 m/s

N<sub>60</sub>: 28.83 ±2.40 blows

Es: 68.68 ±3.49 MPa

Dr (%): 73.97 ±4.22

φ (degrees): 41.26 ±0.79 °

Unit weight: 18.80 ±0.14 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 137.35 ±6.98 MPa

Go: 86.07 ±4.38 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

**::: Layer No: 5 :::****Code:** Layer\_5 **Start depth:** 3.67 (m), **End depth:** 4.93 (m)**Description:** Sand & silty sand**Basic results**

Total cone resistance: 9.18 ±1.40 MPa

Sleeve friction: 38.65 ±9.38 kPa

Ic: 1.65 ±0.07

SBT<sub>n</sub>: 6

SBTn description: Sand &amp; silty sand

**Estimation results**

Permeability: 8.43E-05 ±5.17E-05 m/s

N<sub>60</sub>: 19.80 ±2.20 blows

Es: 53.02 ±4.56 MPa

Dr (%): 56.79 ±4.62

φ (degrees): 37.78 ±0.94 °

Unit weight: 18.04 ±0.27 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 106.04 ±9.12 MPa

Go: 66.45 ±5.71 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

**::: Layer No: 6 :::****Code:** Layer\_6 **Start depth:** 4.93 (m), **End depth:** 6.31 (m)**Description:** Sand & silty sand**Basic results**

Total cone resistance: 3.66 ±1.75 MPa

Sleeve friction: 17.40 ±12.93 kPa

Ic: 2.04 ±0.30

SBT<sub>n</sub>: 6

SBTn description: Sand &amp; silty sand

**Estimation results**

Permeability: 4.78E-06 ±2.15E-05 m/s

N<sub>60</sub>: 10.32 ±3.11 blows

Es: 35.16 ±6.94 MPa

Dr (%): 37.12 ±7.17

φ (degrees): 33.81 ±1.29 °

Unit weight: 16.78 ±0.65 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 54.16 ±25.34 MPa

Go: 43.51 ±8.62 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

**::: Layer No: 7 :::****Code:** Layer\_7 **Start depth:** 6.31 (m), **End depth:** 6.91 (m)**Description:** Sand & silty sand**Basic results**

Total cone resistance: 6.14 ±1.29 MPa

Sleeve friction: 17.42 ±5.53 kPa

Ic: 1.78 ±0.12

SBT<sub>n</sub>: 6

SBTn description: Sand &amp; silty sand

**Estimation results**

Permeability: 3.40E-05 ±3.74E-05 m/s

N<sub>60</sub>: 14.38 ±1.99 blows

Es: 41.35 ±3.84 MPa

Dr (%): 43.83 ±4.31

φ (degrees): 34.72 ±0.90 °

Unit weight: 16.97 ±0.36 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 82.69 ±7.67 MPa

Go: 51.82 ±4.81 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

**::: Layer No: 8 :::****Code:** Layer\_8 **Start depth:** 6.91 (m), **End depth:** 7.83 (m)**Description:** Clay & silty clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.74 ±2.39 MPa

Sleeve friction: 24.31 ±15.72 kPa

Ic: 2.60 ±0.47

SBT<sub>n</sub>: 4

SBTn description: Clay &amp; silty clay

**Estimation results**

Permeability: 8.32E-08 ±2.14E-05 m/s

N<sub>60</sub>: 7.11 ±4.69 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.87 ±0.78 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 18.31 ±36.28 MPa

Go: 39.98 ±13.73 MPa

Su: 61.69 ±39.12 kPa

Su ratio: 0.70 ±0.44

O.C.R.: 3.25 ±2.02

**::: Layer No: 9 :::****Code:** Layer\_9 **Start depth:** 7.83 (m), **End depth:** 8.91 (m)**Description:** Sand & silty sand**Basic results**

Total cone resistance: 27.00 ±8.59 MPa

Sleeve friction: 165.32 ±82.59 kPa

Ic: 1.43 ±0.27

SBT<sub>n</sub>: 6

SBTn description: Sand &amp; silty sand

**Estimation results**

Permeability: 3.36E-04 ±9.21E-04 m/s

N<sub>60</sub>: 51.18 ±12.06 blows

Es: 122.08 ±25.19 MPa

Dr (%): 87.77 ±12.86

φ (degrees): 43.99 ±1.79 °

Unit weight: 20.13 ±0.58 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 237.00 ±57.89 MPa

Go: 152.65 ±31.62 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

**Summary table of mean values**

| From depth<br>To depth<br>(m) | Thickness<br>(m) | Permeability<br>(m/s) | SPT <sub>N60</sub><br>(blows/30cm) | E <sub>s</sub><br>(MPa) | D <sub>r</sub><br>(%) | Friction<br>angle | Constrained<br>modulus, M<br>(MPa) | Shear<br>modulus, G <sub>0</sub><br>(MPa) | Undrained<br>strength, S <sub>u</sub><br>(kPa) | Undrained<br>strength<br>ratio | OCR    | Unit weight<br>(kN/m <sup>3</sup> ) |
|-------------------------------|------------------|-----------------------|------------------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------|------------------------------------|---|--|--------------------------------|--------|-------------------------------------|
| 0.46                          | 0.52             | 5.53E-07              | 8.2                                | 0.0                     | 0.0                   | 0.0               | 33.3                               | 42.8                                      | 191.3  | 9.1                            | 42.2   | 18.8                                |
| 0.98                          |                  | (±5.97E-07)           | (±2.4)                             | (±0.0)                  | (±0.0)                | (±0.0)            | (±13.3)                            | (±14.3)                                   | (±16.3)  | (±0.7)                         | (±3.2) | (±0.8)                              |
| 0.98                          | 0.61             | 6.19E-05              | 16.9                               | 46.8                    | 67.8                  | 40.4              | 93.6                               | 58.6                                      | 0.0  | 0.0                            | 0.0    | 18.5                                |
| 1.59                          |                  | (±3.49E-05)           | (±1.4)                             | (±6.2)                  | (±4.3)                | (±1.3)            | (±12.5)                            | (±7.8)                                    | (±0.0)   | (±0.0)                         | (±0.0) | (±0.5)                              |
| 1.59                          | 1.54             | 1.57E-04              | 21.5                               | 55.0                    | 67.0                  | 39.9              | 109.9                              | 68.9                                      | 0.0  | 0.0                            | 0.0    | 18.4                                |
| 3.13                          |                  | (±4.64E-05)           | (±1.2)                             | (±2.4)                  | (±4.0)                | (±0.8)            | (±4.9)                             | (±3.0)                                    | (±0.0)   | (±0.0)                         | (±0.0) | (±0.2)                              |
| 3.13                          | 0.54             | 3.37E-04              | 28.8                               | 68.7                    | 74.0                  | 41.3              | 137.4                              | 86.1                                      | 0.0  | 0.0                            | 0.0    | 18.8                                |
| 3.67                          |                  | (±1.97E-04)           | (±2.4)                             | (±3.5)                  | (±4.2)                | (±0.8)            | (±7.0)                             | (±4.4)                                    | (±0.0)   | (±0.0)                         | (±0.0) | (±0.1)                              |
| 3.67                          | 1.26             | 8.43E-05              | 19.8                               | 53.0                    | 56.8                  | 37.8              | 106.0                              | 66.4                                      | 0.0  | 0.0                            | 0.0    | 18.0                                |
| 4.93                          |                  | (±5.17E-05)           | (±2.2)                             | (±4.6)                  | (±4.6)                | (±0.9)            | (±9.1)                             | (±5.7)                                    | (±0.0)   | (±0.0)                         | (±0.0) | (±0.3)                              |
| 4.93                          | 1.38             | 4.78E-06              | 10.3                               | 35.2                    | 37.1                  | 33.8              | 54.2                               | 43.5                                      | 0.0  | 0.0                            | 0.0    | 16.8                                |
| 6.31                          |                  | (±2.15E-05)           | (±3.1)                             | (±6.9)                  | (±7.2)                | (±1.3)            | (±25.3)                            | (±8.6)                                    | (±0.0)   | (±0.0)                         | (±0.0) | (±0.7)                              |
| 6.31                          | 0.60             | 3.40E-05              | 14.4                               | 41.3                    | 43.8                  | 34.7              | 82.7                               | 51.8                                      | 0.0  | 0.0                            | 0.0    | 17.0                                |
| 6.91                          |                  | (±3.74E-05)           | (±2.0)                             | (±3.8)                  | (±4.3)                | (±0.9)            | (±7.7)                             | (±4.8)                                    | (±0.0)   | (±0.0)                         | (±0.0) | (±0.4)                              |
| 6.91                          | 0.92             | 8.32E-08              | 7.1                                | 0.0                     | 0.0                   | 0.0               | 18.3                               | 40.0                                      | 61.7   | 0.7                            | 3.3    | 16.9                                |
| 7.83                          |                  | (±2.14E-05)           | (±4.7)                             | (±0.0)                  | (±0.0)                | (±0.0)            | (±36.3)                            | (±13.7)                                   | (±39.1)  | (±0.4)                         | (±2.0) | (±0.8)                              |
| 7.83                          | 1.08             | 3.36E-04              | 51.2                               | 122.1                   | 87.8                  | 44.0              | 237.0                              | 152.6                                     | 0.0  | 0.0                            | 0.0    | 20.1                                |
| 8.91                          |                  | (±9.21E-04)           | (±12.1)                            | (±25.2)                 | (±12.9)               | (±1.8)            | (±57.9)                            | (±31.6)                                   | (±0.0)   | (±0.0)                         | (±0.0) | (±0.6)                              |

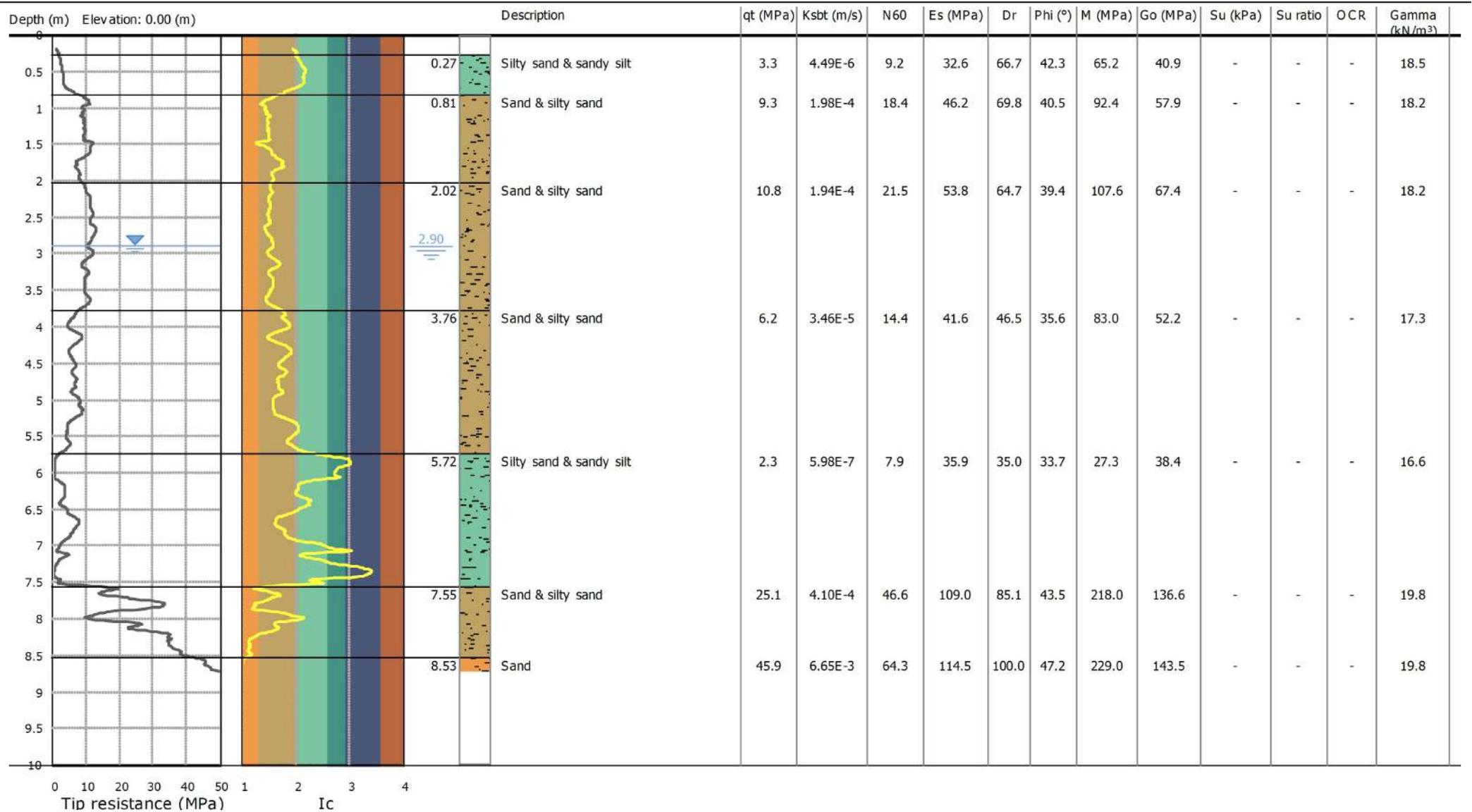
Depth values presented in this table are measured from free ground surface

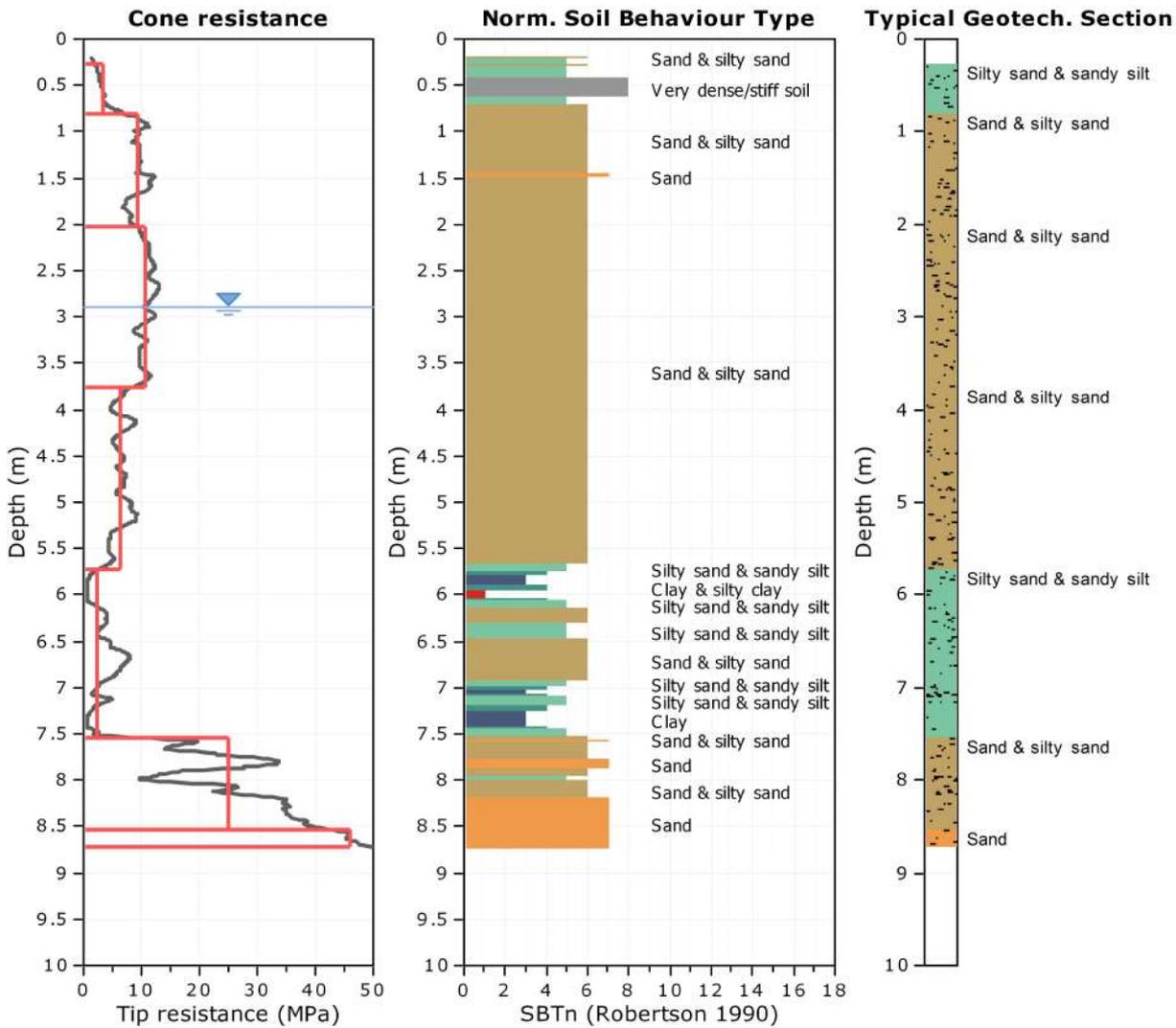
**Project: CPTU**

**Location: Riccione (RN) - Via Torino, Camping Romagna**

**CPT: 3**

Total depth: 8.72 m





**Tabular results**

|   |  |                                    |
|---|--|------------------------------------|
| <b>::: Layer No: 1 :::</b>  |  |                                    |
| <b>Code:</b> Layer_1 <b>Start depth:</b> 0.27 (m), <b>End depth:</b> 0.81 (m) |  |                                    |
| <b>Description:</b> Silty sand & sandy silt                                   |  |                                    |
| <b>Basic results</b>  |  |                                    |
| Total cone resistance: 3.30 ±1.19 MPa   | <b>Estimation results</b>                  | Constrained Mod.: 65.20 ±14.62 MPa |
| Sleeve friction: 84.51 ±23.43 kPa   | Permeability: 4.49E-06 ±9.28E-06 m/s       | Go: 40.86 ±9.16 MPa                |
| Ic: 2.07 ±0.12  | N <sub>60</sub> : 9.24 ±2.50 blows         | Su: 0.00 ±0.00 kPa                 |
| SBT <sub>n</sub> : 5  | Es: 32.60 ±7.31 MPa                        | Su ratio: 0.00 ±0.00               |
| SBTn description: Silty sand & sandy silt                                     | Dr (%): 66.71 ±2.46                        | O.C.R.: 0.00 ±0.00                 |
|   | φ (degrees): 42.29 ±0.81 °                 |                                    |
|   | Unit weight: 18.55 ±0.41 kN/m <sup>3</sup> |                                    |

**::: Layer No: 2 :::****Code:** Layer\_2 **Start depth:** 0.81 (m), **End depth:** 2.02 (m)**Description:** Sand & silty sand**Basic results**

Total cone resistance: 9.28 ±1.35 MPa

Sleeve friction: 43.39 ±14.77 kPa

Ic: 1.53 ±0.11

SBT<sub>n</sub>: 6

SBTn description: Sand &amp; silty sand

**Estimation results**

Permeability: 1.98E-04 ±2.29E-04 m/s

N<sub>60</sub>: 18.44 ±1.87 blows

Es: 46.18 ±4.43 MPa

Dr (%): 69.82 ±5.92

φ (degrees): 40.52 ±1.12 °

Unit weight: 18.18 ±0.35 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 92.36 ±8.86 MPa

Go: 57.88 ±5.55 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

**::: Layer No: 3 :::****Code:** Layer\_3 **Start depth:** 2.02 (m), **End depth:** 3.76 (m)**Description:** Sand & silty sand**Basic results**

Total cone resistance: 10.79 ±1.12 MPa

Sleeve friction: 41.12 ±8.59 kPa

Ic: 1.53 ±0.06

SBT<sub>n</sub>: 6

SBTn description: Sand &amp; silty sand

**Estimation results**

Permeability: 1.94E-04 ±7.78E-05 m/s

N<sub>60</sub>: 21.47 ±1.67 blows

Es: 53.78 ±3.49 MPa

Dr (%): 64.71 ±4.03

φ (degrees): 39.43 ±0.84 °

Unit weight: 18.18 ±0.27 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 107.55 ±6.98 MPa

Go: 67.40 ±4.37 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

**::: Layer No: 4 :::****Code:** Layer\_4 **Start depth:** 3.76 (m), **End depth:** 5.72 (m)**Description:** Sand & silty sand**Basic results**

Total cone resistance: 6.17 ±1.48 MPa

Sleeve friction: 22.47 ±6.99 kPa

Ic: 1.77 ±0.15

SBT<sub>n</sub>: 6

SBTn description: Sand &amp; silty sand

**Estimation results**

Permeability: 3.46E-05 ±6.10E-05 m/s

N<sub>60</sub>: 14.39 ±2.19 blows

Es: 41.62 ±3.68 MPa

Dr (%): 46.49 ±5.41

φ (degrees): 35.60 ±1.02 °

Unit weight: 17.27 ±0.32 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 82.99 ±8.00 MPa

Go: 52.16 ±4.61 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

**::: Layer No: 5 :::****Code:** Layer\_5 **Start depth:** 5.72 (m), **End depth:** 7.55 (m)**Description:** Silty sand & sandy silt**Basic results**

Total cone resistance: 2.31 ±2.38 MPa

Sleeve friction: 16.72 ±13.76 kPa

Ic: 2.31 ±0.49

SBT<sub>n</sub>: 5

SBTn description: Silty sand &amp; sandy silt

**Estimation results**

Permeability: 5.98E-07 ±2.96E-05 m/s

N<sub>60</sub>: 7.92 ±4.40 blows

Es: 35.92 ±7.21 MPa

Dr (%): 34.97 ±8.16

φ (degrees): 33.72 ±1.26 °

Unit weight: 16.56 ±1.00 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 27.33 ±37.03 MPa

Go: 38.41 ±12.45 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

**::: Layer No: 6 :::****Code:** Layer\_6    **Start depth:** 7.55 (m), **End depth:** 8.53 (m)**Description:** Sand & silty sand**Basic results**

Total cone resistance: 25.05 ±9.36 MPa

Sleeve friction: 129.93 ±74.00 kPa

Ic: 1.40 ±0.28

SBT<sub>n</sub>: 6

SBTn description: Sand &amp; silty sand

**Estimation results**

Permeability: 4.10E-04 ±1.57E-03 m/s

N<sub>60</sub>: 46.59 ±11.33 blows

Es: 108.98 ±21.96 MPa

Dr (%): 85.09 ±14.66

φ (degrees): 43.45 ±2.28 °

Unit weight: 19.83 ±0.66 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 217.95 ±43.92 MPa

Go: 136.58 ±27.52 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

**::: Layer No: 7 :::****Code:** Layer\_7    **Start depth:** 8.53 (m), **End depth:** 8.72 (m)**Description:** Sand**Basic results**

Total cone resistance: 45.89 ±1.74 MPa

Sleeve friction: 99.56 ±15.18 kPa

Ic: 0.99 ±0.05

SBT<sub>n</sub>: 7

SBTn description: Sand

**Estimation results**

Permeability: 6.65E-03 ±1.02E-03 m/s

N<sub>60</sub>: 64.30 ±1.42 blows

Es: 114.52 ±4.29 MPa

Dr (%): 100.00 ±0.00

φ (degrees): 47.24 ±0.25 °

Unit weight: 19.75 ±0.15 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 229.04 ±8.58 MPa

Go: 143.53 ±5.38 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

**Summary table of mean values**

| From depth<br>To depth<br>(m) | Thickness<br>(m) | Permeability<br>(m/s) | SPT <sub>N60</sub><br>(blows/30cm) | E <sub>s</sub><br>(MPa) | D <sub>r</sub><br>(%) | Friction<br>angle | Constrained<br>modulus, M<br>(MPa) | Shear<br>modulus, G <sub>o</sub><br>(MPa) | Undrained<br>strength, S <sub>u</sub><br>(kPa) | Undrained<br>strength<br>ratio | OCR    | Unit weight<br>(kN/m <sup>3</sup> ) |
|-------------------------------|------------------|-----------------------|------------------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------|------------------------------------|---|--|--------------------------------|--------|-------------------------------------|
| 0.27                          | 0.54             | 4.49E-06              | 9.2                                | 32.6                    | 66.7                  | 42.3              | 65.2                               | 40.9                                      | 0.0  | 0.0                            | 0.0    | 18.5                                |
| 0.81                          |                  | (±9.28E-06)           | (±2.5)                             | (±7.3)                  | (±2.5)                | (±0.8)            | (±14.6)                            | (±9.2)                                    | (±0.0)   | (±0.0)                         | (±0.0) | (±0.4)                              |
| 0.81                          | 1.21             | 1.98E-04              | 18.4                               | 46.2                    | 69.8                  | 40.5              | 92.4                               | 57.9                                      | 0.0  | 0.0                            | 0.0    | 18.2                                |
| 2.02                          |                  | (±2.29E-04)           | (±1.9)                             | (±4.4)                  | (±5.9)                | (±1.1)            | (±8.9)                             | (±5.6)                                    | (±0.0)   | (±0.0)                         | (±0.0) | (±0.4)                              |
| 2.02                          | 1.74             | 1.94E-04              | 21.5                               | 53.8                    | 64.7                  | 39.4              | 107.6                              | 67.4                                      | 0.0  | 0.0                            | 0.0    | 18.2                                |
| 3.76                          |                  | (±7.78E-05)           | (±1.7)                             | (±3.5)                  | (±4.0)                | (±0.8)            | (±7.0)                             | (±4.4)                                    | (±0.0)   | (±0.0)                         | (±0.0) | (±0.3)                              |
| 3.76                          | 1.96             | 3.46E-05              | 14.4                               | 41.6                    | 46.5                  | 35.6              | 83.0                               | 52.2                                      | 0.0  | 0.0                            | 0.0    | 17.3                                |
| 5.72                          |                  | (±6.10E-05)           | (±2.2)                             | (±3.7)                  | (±5.4)                | (±1.0)            | (±8.0)                             | (±4.6)                                    | (±0.0)   | (±0.0)                         | (±0.0) | (±0.3)                              |
| 5.72                          | 1.83             | 5.98E-07              | 7.9                                | 35.9                    | 35.0                  | 33.7              | 27.3                               | 38.4                                      | 0.0  | 0.0                            | 0.0    | 16.6                                |
| 7.55                          |                  | (±2.96E-05)           | (±4.4)                             | (±7.2)                  | (±8.2)                | (±1.3)            | (±37.0)                            | (±12.4)                                   | (±0.0)   | (±0.0)                         | (±0.0) | (±1.0)                              |
| 7.55                          | 0.98             | 4.10E-04              | 46.6                               | 109.0                   | 85.1                  | 43.5              | 218.0                              | 136.6                                     | 0.0  | 0.0                            | 0.0    | 19.8                                |
| 8.53                          |                  | (±1.57E-03)           | (±11.3)                            | (±22.0)                 | (±14.7)               | (±2.3)            | (±43.9)                            | (±27.5)                                   | (±0.0)   | (±0.0)                         | (±0.0) | (±0.7)                              |
| 8.53                          | 0.19             | 6.65E-03              | 64.3                               | 114.5                   | 100.0                 | 47.2              | 229.0                              | 143.5                                     | 0.0  | 0.0                            | 0.0    | 19.8                                |
| 8.72                          |                  | (±1.02E-03)           | (±1.4)                             | (±4.3)                  | (±0.0)                | (±0.2)            | (±8.6)                             | (±5.4)                                    | (±0.0)   | (±0.0)                         | (±0.0) | (±0.2)                              |

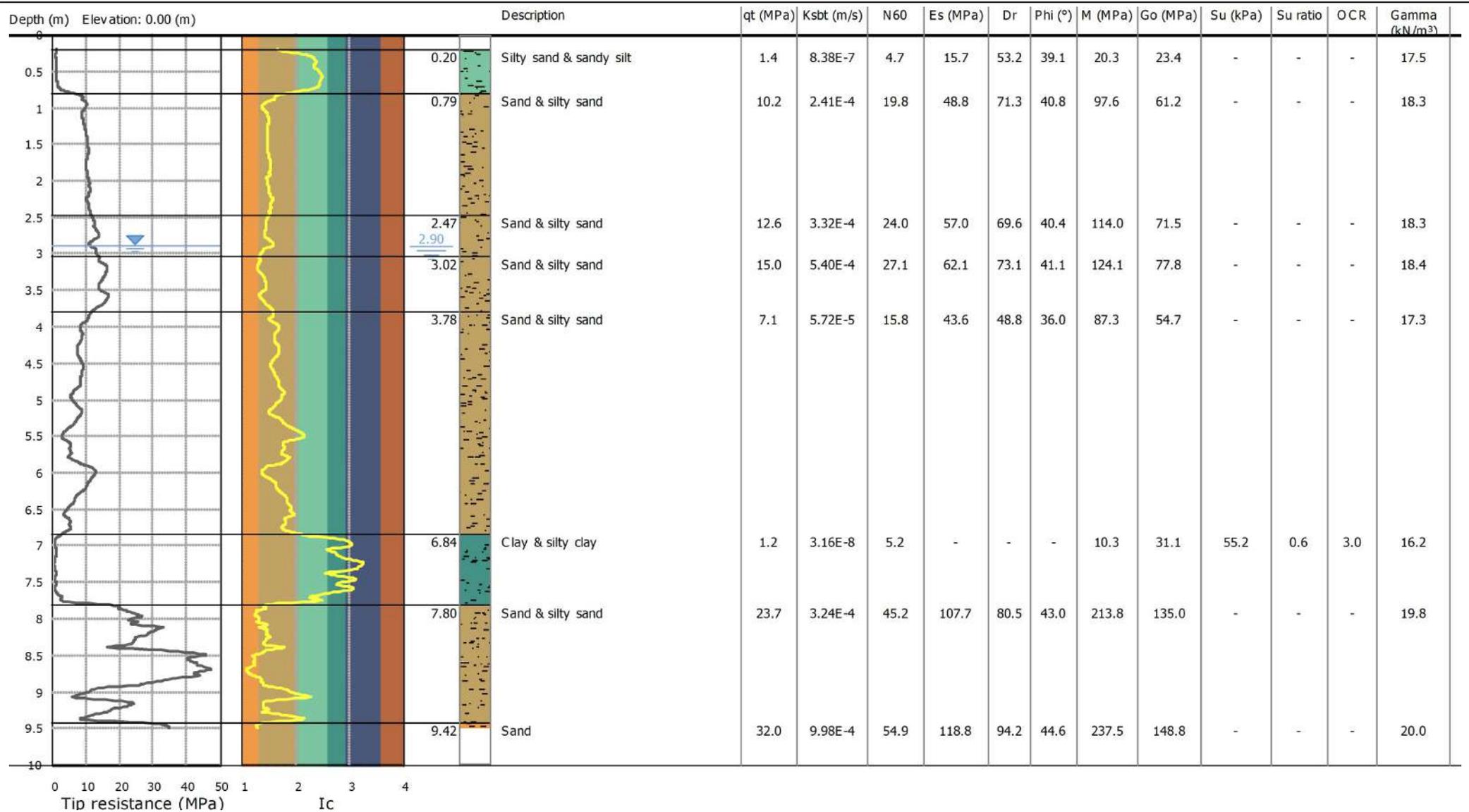
Depth values presented in this table are measured from free ground surface

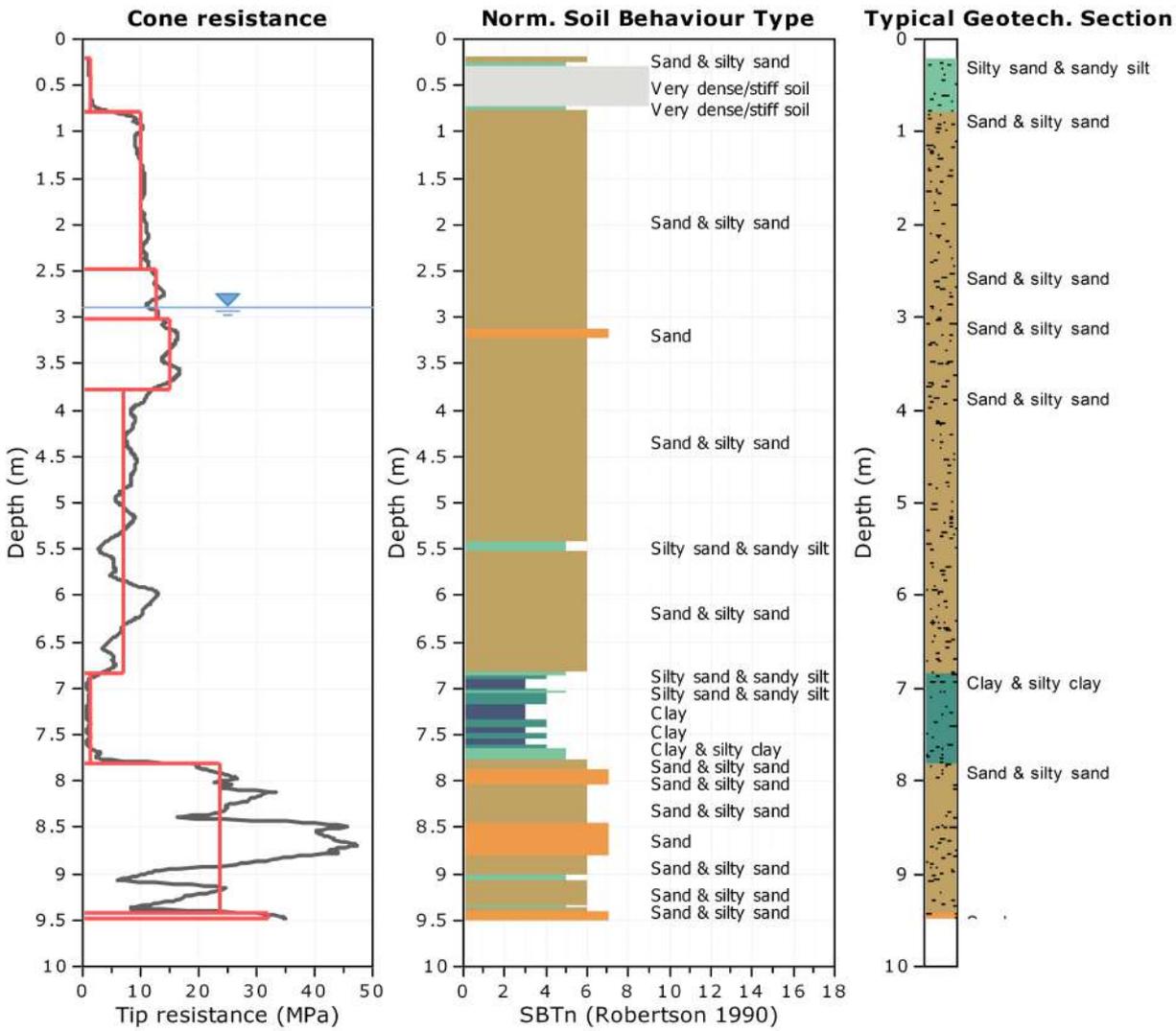
**Project: CPTU**

**Location: Riccione (RN) - Via Torino, Camping Romagna**

**CPT: 4**

Total depth: 9.49 m





**Tabular results**

| ::: Layer No: 1 :::                         |  |                                    |
|---|--|------------------------------------|
| <b>Code:</b> Layer_1                        | <b>Start depth:</b> 0.20 (m), <b>End depth:</b> 0.79 (m) |                                    |
| <b>Description:</b> Silty sand & sandy silt |  |                                    |
| <b>Basic results</b>                        |  |                                    |
| Total cone resistance:                      | 1.42 ±0.83 MPa   |                                    |
| Sleeve friction:                            | 43.95 ±29.65 kPa   |                                    |
| Ic:   | 2.29 ±0.22   |                                    |
| SBT <sub>n</sub> :                          | 5  |                                    |
| SBTn description:                           | Silty sand & sandy silt                                  |                                    |
| <b>Estimation results</b>                   |  |                                    |
| Permeability:                               | 8.38E-07 ±1.30E-05 m/s                                   | Constrained Mod.: 20.33 ±15.80 MPa |
| N <sub>60</sub> :                           | 4.74 ±2.26 blows   | Go: 23.42 ±10.07 MPa               |
| Es:   | 15.70 ±13.98 MPa   | Su: 0.00 ±0.00 kPa                 |
| Dr (%):                                     | 53.16 ±8.17  | Su ratio: 0.00 ±0.00               |
| φ (degrees):                                | 39.08 ±2.93 °  | O.C.R.: 0.00 ±0.00                 |
| Unit weight:                                | 17.50 ±1.18 kN/m <sup>3</sup>                            |                                    |

**::: Layer No: 2 :::****Code:** Layer\_2 **Start depth:** 0.79 (m), **End depth:** 2.47 (m)**Description:** Sand & silty sand**Basic results**

Total cone resistance: 10.15 ±0.91 MPa

Sleeve friction: 45.68 ±11.32 kPa

Ic: 1.50 ±0.07

SBT<sub>n</sub>: 6

SBTn description: Sand &amp; silty sand

**Estimation results**

Permeability: 2.41E-04 ±9.91E-05 m/s

N<sub>60</sub>: 19.83 ±1.66 blows

Es: 48.79 ±4.17 MPa

Dr (%): 71.34 ±3.05

φ (degrees): 40.79 ±0.60 °

Unit weight: 18.27 ±0.22 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 97.58 ±8.34 MPa

Go: 61.15 ±5.23 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

**::: Layer No: 3 :::****Code:** Layer\_3 **Start depth:** 2.47 (m), **End depth:** 3.02 (m)**Description:** Sand & silty sand**Basic results**

Total cone resistance: 12.58 ±0.81 MPa

Sleeve friction: 43.48 ±7.76 kPa

Ic: 1.46 ±0.06

SBT<sub>n</sub>: 6

SBTn description: Sand &amp; silty sand

**Estimation results**

Permeability: 3.32E-04 ±1.47E-04 m/s

N<sub>60</sub>: 23.98 ±0.97 blows

Es: 57.01 ±2.37 MPa

Dr (%): 69.58 ±1.93

φ (degrees): 40.43 ±0.38 °

Unit weight: 18.30 ±0.21 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 114.02 ±4.73 MPa

Go: 71.45 ±2.97 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

**::: Layer No: 4 :::****Code:** Layer\_4 **Start depth:** 3.02 (m), **End depth:** 3.78 (m)**Description:** Sand & silty sand**Basic results**

Total cone resistance: 14.97 ±1.19 MPa

Sleeve friction: 44.43 ±10.98 kPa

Ic: 1.39 ±0.08

SBT<sub>n</sub>: 6

SBTn description: Sand &amp; silty sand

**Estimation results**

Permeability: 5.40E-04 ±2.83E-04 m/s

N<sub>60</sub>: 27.07 ±1.54 blows

Es: 62.07 ±4.18 MPa

Dr (%): 73.14 ±2.59

φ (degrees): 41.11 ±0.49 °

Unit weight: 18.39 ±0.30 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 124.14 ±8.37 MPa

Go: 77.80 ±5.24 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

**::: Layer No: 5 :::****Code:** Layer\_5 **Start depth:** 3.78 (m), **End depth:** 6.84 (m)**Description:** Sand & silty sand**Basic results**

Total cone resistance: 7.08 ±2.44 MPa

Sleeve friction: 21.23 ±11.28 kPa

Ic: 1.70 ±0.16

SBT<sub>n</sub>: 6

SBTn description: Sand &amp; silty sand

**Estimation results**

Permeability: 5.72E-05 ±1.13E-04 m/s

N<sub>60</sub>: 15.80 ±4.01 blows

Es: 43.63 ±8.08 MPa

Dr (%): 48.81 ±8.56

φ (degrees): 35.97 ±1.94 °

Unit weight: 17.26 ±0.68 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 87.25 ±16.16 MPa

Go: 54.68 ±10.13 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

**::: Layer No: 6 :::****Code:** Layer\_6 **Start depth:** 6.84 (m), **End depth:** 7.80 (m)**Description:** Clay & silty clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.17 ±1.90 MPa

Sleeve friction: 15.43 ±9.55 kPa

Ic: 2.76 ±0.35

SBT<sub>n</sub>: 4

SBTn description: Clay &amp; silty clay

**Estimation results**

Permeability: 3.16E-08 ±2.06E-05 m/s

N<sub>60</sub>: 5.24 ±3.77 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.21 ±0.63 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 10.32 ±25.66 MPa

Go: 31.12 ±11.01 MPa

Su: 55.22 ±16.05 kPa

Su ratio: 0.65 ±0.18

O.C.R.: 3.00 ±0.84

**::: Layer No: 7 :::****Code:** Layer\_7 **Start depth:** 7.80 (m), **End depth:** 9.42 (m)**Description:** Sand & silty sand**Basic results**

Total cone resistance: 23.75 ±11.41 MPa

Sleeve friction: 128.35 ±61.85 kPa

Ic: 1.44 ±0.26

SBT<sub>n</sub>: 6

SBTn description: Sand &amp; silty sand

**Estimation results**

Permeability: 3.24E-04 ±1.10E-03 m/s

N<sub>60</sub>: 45.17 ±15.48 blows

Es: 107.68 ±25.90 MPa

Dr (%): 80.52 ±16.28

φ (degrees): 42.95 ±2.86 °

Unit weight: 19.79 ±0.63 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 213.78 ±53.56 MPa

Go: 134.96 ±32.47 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

**::: Layer No: 8 :::****Code:** Layer\_8 **Start depth:** 9.42 (m), **End depth:** 9.49 (m)**Description:** Sand**Basic results**

Total cone resistance: 32.04 ±2.87 MPa

Sleeve friction: 138.54 ±14.85 kPa

Ic: 1.30 ±0.05

SBT<sub>n</sub>: 7

SBTn description: Sand

**Estimation results**

Permeability: 9.98E-04 ±2.99E-04 m/s

N<sub>60</sub>: 54.90 ±3.56 blows

Es: 118.76 ±4.22 MPa

Dr (%): 94.20 ±4.31

φ (degrees): 44.59 ±0.64 °

Unit weight: 19.99 ±0.09 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 237.51 ±8.44 MPa

Go: 148.84 ±5.29 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

**Summary table of mean values**

| From depth<br>To depth<br>(m) | Thickness<br>(m) | Permeability<br>(m/s) | SPT <sub>N60</sub><br>(blows/30cm) | E <sub>s</sub><br>(MPa) | D <sub>r</sub><br>(%) | Friction<br>angle | Constrained<br>modulus, M<br>(MPa) | Shear<br>modulus, G <sub>0</sub><br>(MPa) | Undrained<br>strength, S <sub>u</sub><br>(kPa) | Undrained<br>strength<br>ratio | OCR    | Unit weight<br>(kN/m <sup>3</sup> ) |
|-------------------------------|------------------|-----------------------|------------------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------|------------------------------------|---|--|--------------------------------|--------|-------------------------------------|
| 0.20                          | 0.59             | 8.38E-07              | 4.7                                | 15.7                    | 53.2                  | 39.1              | 20.3                               | 23.4                                      | 0.0  | 0.0                            | 0.0    | 17.5                                |
| 0.79                          |                  | (±1.30E-05)           | (±2.3)                             | (±14.0)                 | (±8.2)                | (±2.9)            | (±15.8)                            | (±10.1)                                   | (±0.0)   | (±0.0)                         | (±0.0) | (±1.2)                              |
| 0.79                          | 1.68             | 2.41E-04              | 19.8                               | 48.8                    | 71.3                  | 40.8              | 97.6                               | 61.2                                      | 0.0  | 0.0                            | 0.0    | 18.3                                |
| 2.47                          |                  | (±9.91E-05)           | (±1.7)                             | (±4.2)                  | (±3.0)                | (±0.6)            | (±8.3)                             | (±5.2)                                    | (±0.0)   | (±0.0)                         | (±0.0) | (±0.2)                              |
| 2.47                          | 0.55             | 3.32E-04              | 24.0                               | 57.0                    | 69.6                  | 40.4              | 114.0                              | 71.5                                      | 0.0  | 0.0                            | 0.0    | 18.3                                |
| 3.02                          |                  | (±1.47E-04)           | (±1.0)                             | (±2.4)                  | (±1.9)                | (±0.4)            | (±4.7)                             | (±3.0)                                    | (±0.0)   | (±0.0)                         | (±0.0) | (±0.2)                              |
| 3.02                          | 0.76             | 5.40E-04              | 27.1                               | 62.1                    | 73.1                  | 41.1              | 124.1                              | 77.8                                      | 0.0  | 0.0                            | 0.0    | 18.4                                |
| 3.78                          |                  | (±2.83E-04)           | (±1.5)                             | (±4.2)                  | (±2.6)                | (±0.5)            | (±8.4)                             | (±5.2)                                    | (±0.0)   | (±0.0)                         | (±0.0) | (±0.3)                              |
| 3.78                          | 3.06             | 5.72E-05              | 15.8                               | 43.6                    | 48.8                  | 36.0              | 87.3                               | 54.7                                      | 0.0  | 0.0                            | 0.0    | 17.3                                |
| 6.84                          |                  | (±1.13E-04)           | (±4.0)                             | (±8.1)                  | (±8.6)                | (±1.9)            | (±16.2)                            | (±10.1)                                   | (±0.0)   | (±0.0)                         | (±0.0) | (±0.7)                              |
| 6.84                          | 0.96             | 3.16E-08              | 5.2                                | 0.0                     | 0.0                   | 0.0               | 10.3                               | 31.1                                      | 55.2   | 0.6                            | 3.0    | 16.2                                |
| 7.80                          |                  | (±2.06E-05)           | (±3.8)                             | (±0.0)                  | (±0.0)                | (±0.0)            | (±25.7)                            | (±11.0)                                   | (±16.1)  | (±0.2)                         | (±0.8) | (±0.6)                              |
| 7.80                          | 1.62             | 3.24E-04              | 45.2                               | 107.7                   | 80.5                  | 43.0              | 213.8                              | 135.0                                     | 0.0  | 0.0                            | 0.0    | 19.8                                |
| 9.42                          |                  | (±1.10E-03)           | (±15.5)                            | (±25.9)                 | (±16.3)               | (±2.9)            | (±53.6)                            | (±32.5)                                   | (±0.0)   | (±0.0)                         | (±0.0) | (±0.6)                              |
| 9.42                          | 0.07             | 9.98E-04              | 54.9                               | 118.8                   | 94.2                  | 44.6              | 237.5                              | 148.8                                     | 0.0  | 0.0                            | 0.0    | 20.0                                |
| 9.49                          |                  | (±2.99E-04)           | (±3.6)                             | (±4.2)                  | (±4.3)                | (±0.6)            | (±8.4)                             | (±5.3)                                    | (±0.0)   | (±0.0)                         | (±0.0) | (±0.1)                              |

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



**Lab.Geo**

**di Scaparrotti dott. Roberto**

Via Coletti 82/b - 47921 Rimini

Cell. 320 0555670

mail: [scaparrotti.roberto@libero.it](mailto:scaparrotti.roberto@libero.it)

p.i.039 913 304 02 c.f.: SCP RRT 60A 08H 294W

**Oggetto: Indagine Geofisica M.A.S.W. (Multichannel analysis of surface )**

**Località: Riccione (RN), Camping Village**

**Data: Giugno 2019**

# 1 INDICAZIONI GENERALI

In data 12 giugno 2019 è stata eseguita un'indagine geofisiche per la caratterizzazione dei terreni a Riccione (RN), Camping Village. (fig.1)



Fig.1

Per lo studio del sito in esame con finalità di classificazione sismica si sono applicate le procedure di indagine più adeguate per la progettazione in oggetto.

Allo scopo di valutare gli elementi sopra indicati, si sono realizzati in questa fase geognostica n° 2 array sismico composto da 24 ricevitori da 4.5 Hz spazati 2.5 metri per un totale di 57,50 metri mediante il quale è stato effettuato una misura di sismica attiva (MASW). (fig.2)

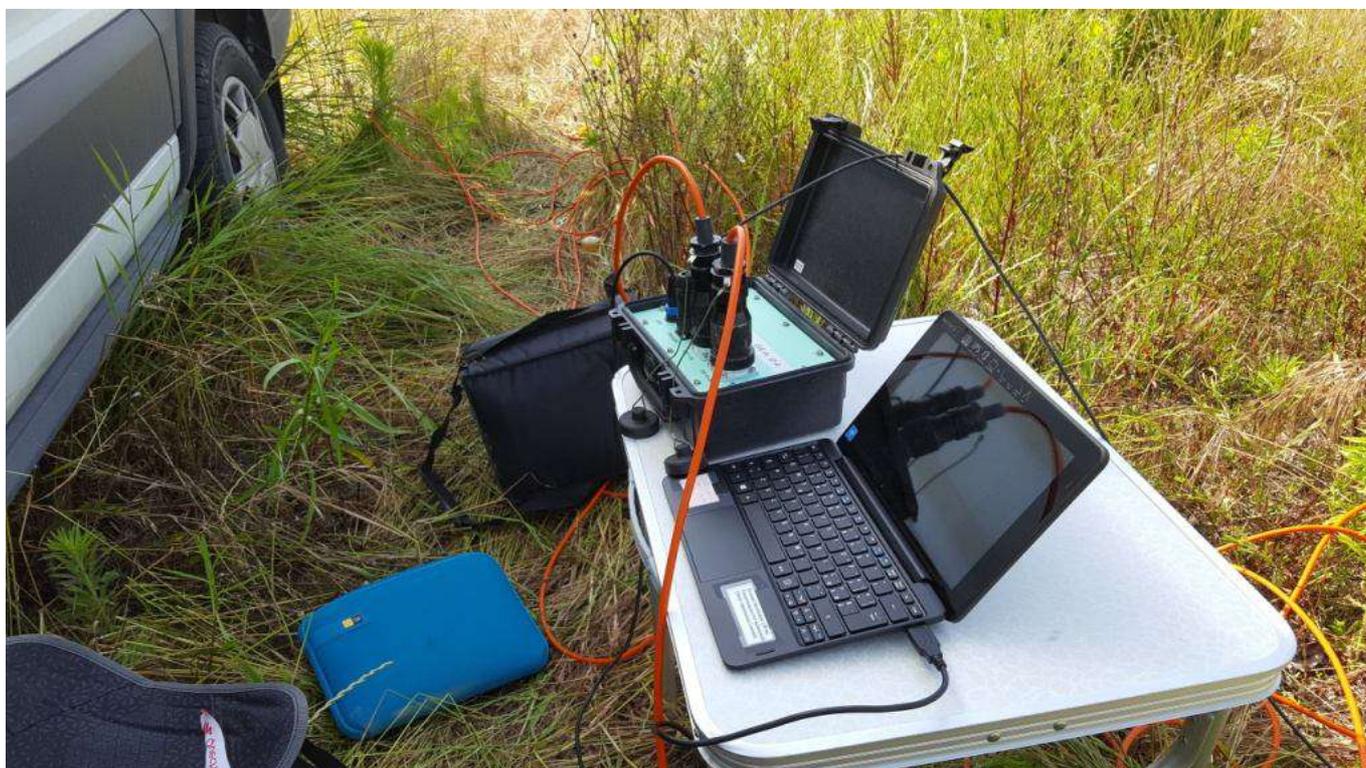


Fig2

## AZIONE SISMICA

### Categorie di suolo di fondazione

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$ .

I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità  $V_s$  per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2. I valori di  $V_s$  sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1,H} \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

dove  $h_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (in mt.) e la velocità delle onde di taglio ( per deformazioni di taglio  $\gamma < 10^{-6}$  ) dello strato i-esimo, per un totale di N strati presenti.

Ai fini della definizione della azione sismica di progetto si definiscono le seguenti categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione (le profondità si riferiscono al piano di posa delle fondazioni):

**A** - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

**B** - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

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

**D** - Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.

**E** - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

## 2 MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES (M.A.S.W.)

L'analisi della propagazione delle onde superficiali entro il sottosuolo con la metodologia M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) per la determinazione della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) è stata effettuata mediante l'utilizzo di uno stendimento sismico di superficie composti da 24 geofoni da 4.5 Hz interdistanti 2.5 m per una lunghezza complessiva di 57.50 m; l'elaborazione, mediante software d'inversione, della prova sismica ha fornito un log di  $V_s$  posizionato al centro della sezione il quale permette di individuare eventuali variazioni verticali dei valori cinematici corrispondenti a variazioni delle caratteristiche meccaniche dei terreni indagati.

### 2.1 Metodologia di indagine per onde superficiali

#### 2.1.1 Descrizione del metodo

Considerando un semispazio elastico, omogeneo ed isotropo, si dimostra che la velocità di propagazione delle onde di Rayleigh è indipendente dalla frequenza e che il moto indotto dalla propagazione si smorza rapidamente con la profondità, sino ad estinguersi ad una profondità circa pari ad una lunghezza d'onda [RICHART *et al.*, 1970].

Ciò vuol dire che la profondità raggiunta dipende dalla lunghezza d'onda, e che, a diverse lunghezze d'onda corrisponde la stessa velocità di fase ( $V_R$ ).

In un mezzo verticalmente eterogeneo, costituito cioè da strati aventi proprietà meccaniche diverse, il comportamento delle onde superficiali è differente.

In particolare, la propagazione presenta un comportamento dispersivo (a frequenze diverse corrispondono diverse velocità di fase).

Ciò vuol dire che lunghezze d'onda diverse interessano strati diversi ai quali sono associati proprietà meccaniche differenziate: ogni lunghezza d'onda si propaga ad una velocità di fase che dipende dalle caratteristiche dello strato interessato dalla propagazione.

Quindi, nel caso di mezzo eterogeneo, le onde superficiali non hanno una singola velocità, ma una velocità di fase che è funzione della frequenza: tale fenomeno, dipendente dalla distribuzione spaziale delle proprietà sismiche del sottosuolo è noto come dispersione geometrica e la relazione che lega la frequenza alla velocità di fase prende il nome di curva di dispersione.

Alle alte frequenze, la velocità di fase coincide con la velocità delle onde di Rayleigh dello strato più superficiale, mentre, alle basse frequenze, l'effetto degli strati più profondi diventa importante, e la velocità di fase tende asintoticamente alla velocità dello strato più profondo come se questo fosse esteso infinitamente in profondità.

La curva di dispersione gioca un ruolo centrale nell'utilizzo delle onde di Rayleigh ai fini della caratterizzazione dei terreni; infatti, è funzione delle caratteristiche di rigidità del mezzo e, posto di

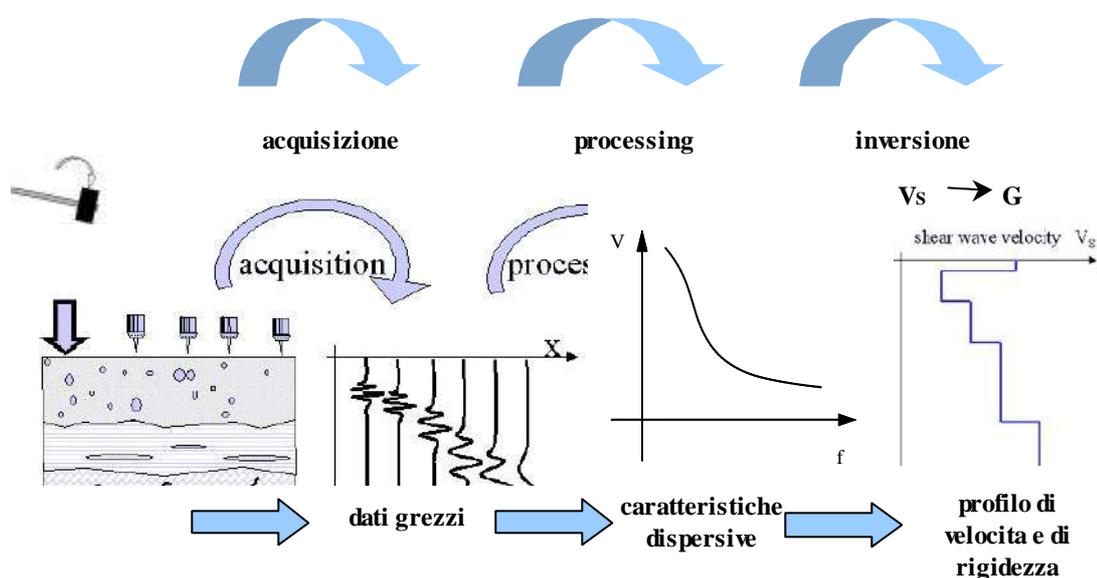
riuscire a misurarla sperimentalmente, può essere utilizzata (come si vedrà più avanti) per un processo inverso avente come obiettivo la stima delle caratteristiche di rigidezza stesse.

La propagazione delle onde di Rayleigh in un mezzo verticalmente eterogeneo, è un fenomeno multi-modale: data una determinata stratigrafia, in corrispondenza di una certa frequenza, possono esistere diverse lunghezze d'onda.

Di conseguenza, ad una determinata frequenza possono corrispondere diverse velocità di fase, ad ognuna delle quali corrisponde un modo di propagazione, e differenti modi di vibrazione possono esibirsi simultaneamente.

Il processo di caratterizzazione basato sul metodo delle onde superficiali, schematizzato nella figura qui di seguito presentata, può essere suddiviso in tre fasi:

- 1) Acquisizione;
- 2) Processing;
- 3) Inversione.



Fasi del metodo delle onde superficiali (SWM).

I dati acquisiti, vengono sottoposti ad una fase di *processing* che consente di stimare la curva di dispersione caratteristica del sito in oggetto ovvero, la velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza.

Esistono diverse tecniche di *processing* per estrarre dai sismogrammi le caratteristiche dispersive del sito.

La metodologia più diffusa è l'analisi spettrale in dominio  $fk$  (frequenza-numero d'onda) [STROBBIA, 2003].

La curva di dispersione ottenuta, viene successivamente utilizzata per un processo di inversione che fornisce come risultato finale il profilo verticale della velocità delle onde di taglio nel terreno e quindi una stima della rigidezza in funzione della profondità.

Quindi, le informazioni riguardanti la curva di dispersione sperimentale (associata a un mezzo le cui caratteristiche sono incognite) vengono sfruttate per affrontare il problema inverso della caratterizzazione: se le caratteristiche dispersive del sito possono essere valutate sperimentalmente, allora è possibile valutare le corrispondenti proprietà del terreno [STROBBIA, 2002].

La risoluzione del problema inverso, deve essere preceduta da una parametrizzazione del sottosuolo, che viene di norma schematizzato come un mezzo visco-elastico a strati piano-paralleli, omogenei ed isotropi, nel quale l'eterogeneità è rappresentata dalla differenziazione delle caratteristiche meccaniche degli strati.

Come già sottolineato in precedenza, l'utilizzo di un modello monodimensionale è un'ipotesi che deve essere in linea di massima soddisfatta dal deposito di terreno per garantire la validità del risultato finale.

Il processo di inversione è iterativo: a partire da un profilo di primo tentativo, costruito sulla base di metodi semplificati, ed eventualmente dalle informazioni note a priori riguardo la stratigrafia, il problema diretto viene risolto diverse volte variando i parametri che definiscono il modello.

Il processo termina quando viene individuato quel set di parametri di modello che minimizza la differenza fra il set di dati sperimentali (curva di dispersione misurata) e il set di dati calcolati (curva di dispersione simulata).

Usualmente, algoritmi di minimizzazione ai minimi quadrati vengono utilizzati per automatizzare la procedura.

### **2.1.2 Modalità di acquisizione**

Le sezione realizzata è costituita da uno stendimento sismico di superficie composti da 24 geofoni da 4.5 Hz interdistanti 2.5 m per una lunghezza complessiva di 57.50 m.

Il sismografo utilizzato è un dispositivo modulare da 24 canali Pasi Gea24; l'intervallo di campionamento è stato selezionato a 0.5 millisecc e il tempo di registrazione è stato fissato in 2 secondi.

Il sistema di energizzazione utilizzato è stato un grosso martello strumentato lasciato cadere con forza al suolo. Sono state effettuate due serie di energizzazioni esterne allo stendimento sia dal lato del ricevitore 1 sia dal lato del ricevitore 18.

L'esecuzione di più registrazioni separate invece della tradizionale procedura di *stacking* dei dati in acquisizione consente, senza un sensibile incremento dei tempi di acquisizione, di effettuare una serie di controlli statistici sulla qualità dei dati. In particolare è possibile stimare l'incertezza sui punti della curva di dispersione e verificare che l'ipotesi di monodimensionalità sia rispettata dal sito.

## **2.2 Elaborazione dati e stima della curva di dispersione**

La fase di processing è quella che segue l'acquisizione dei dati grezzi e permette di stimare, a partire dai sismogrammi acquisiti, le caratteristiche dispersive del sito, ovvero la velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza del segnale sismico (curva di dispersione sperimentale).

Il software utilizzato per l'elaborazione dei dati è stato Easy Masw

I dati vengono trasformati in dominio  $fk$  (frequenza-numero d'onda) tramite una doppia trasformata di Fourier e la curva di dispersione è ricavata con un algoritmo di ricerca dei massimi spettrali (ai quali è associata per l'appunto la propagazione delle onde di Rayleigh).

Un confronto tra varie curve di dispersione può denotare differenze tra le stesse che possono essere imputate a varie cause quali eventuali variazioni di quota dei geofoni o, in secondo luogo, a variazioni laterali, lungo lo stendimento, delle caratteristiche meccaniche del sottosuolo.

Analizzando poi le curve di dispersione si possono altresì notare la presenza di diversi modi di vibrazione; l'energia cioè tende a propagarsi maggiormente sul modo fondamentale verso basse frequenze oppure secondo modi più elevati di vibrazione.

Lo spettro  $fk$  può poi mettere in evidenza un intervallo di frequenze significativamente ampio; a seconda dei casi, è possibile una concentrazione di energia verso varie frequenze o, dall'altro lato, una propagazione di energia che presenta un livello simile.

Dall'analisi della curva di dispersione ottenuta, si può poi risalire alla determinazione delle caratteristiche dei terreni investigati. Mediante l'interpolazione di un certo numero di curve che si avvicinano sempre più a quella ottenuta.

Il software calcola poi il miglior modello di velocità delle onde di taglio nella zona indagata vincolando ogni singolo modello alle due curve descritte precedentemente.

Come accennato in precedenza, l'inversione è l'ultima delle tre fasi che caratterizzano il metodo delle onde superficiali e consente di ottenere, a partire da un profilo di primo tentativo e da una curva di dispersione sperimentale ricavata in sito, un modello stratigrafico finale.

### **3 CONCLUSIONI**

Per la caratterizzazione sismica dei suoli in cui si dovranno realizzare le nuove infrastrutture si sono eseguite, in questa fase, indagini geofisiche per determinare il profilo di velocità delle onde di taglio.

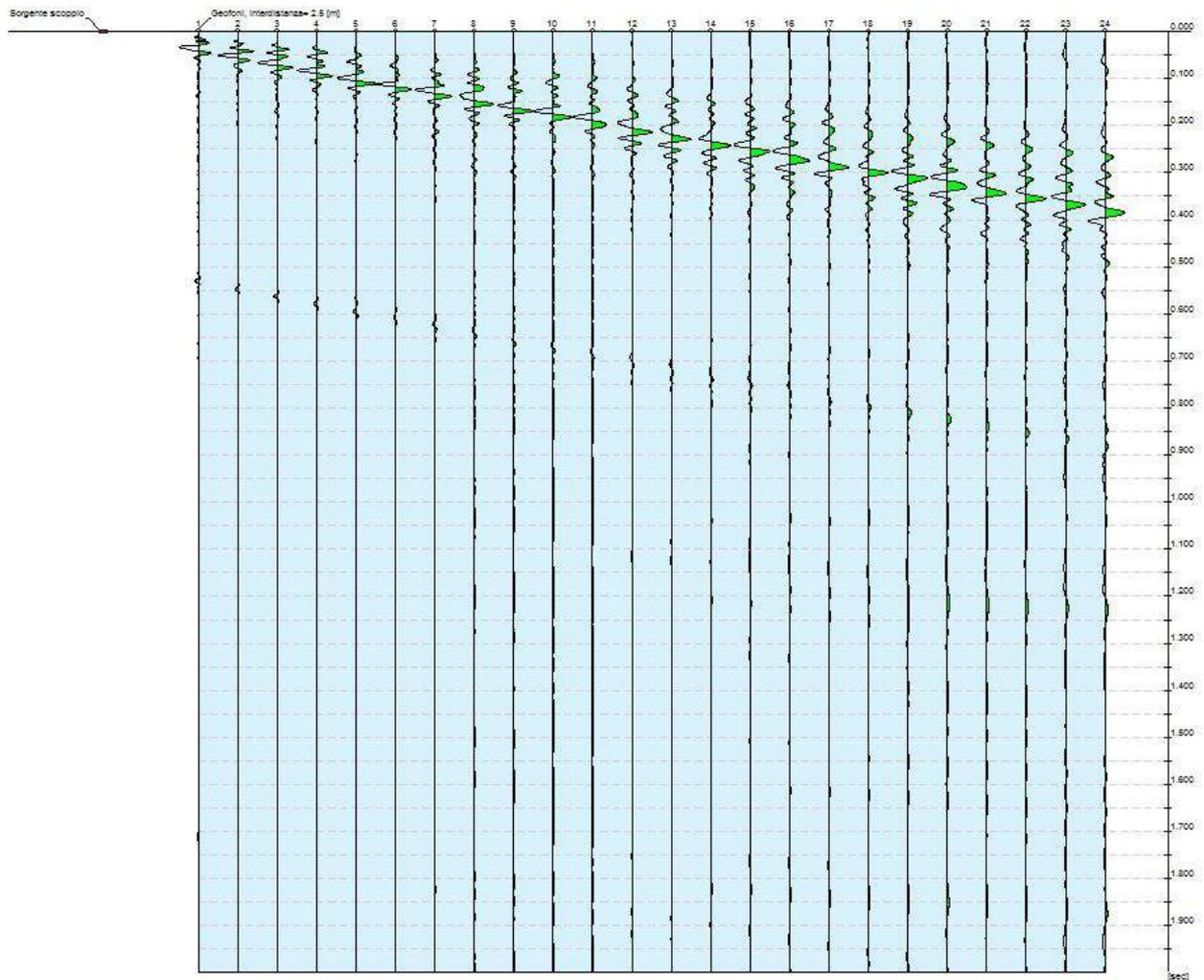
Le indagini geofisiche hanno consentito di determinare le frequenze di sito e la velocità delle onde di taglio per circa 30 metri dal piano campagna.

La caratterizzazione dei materiali in oggetto può quindi soddisfare i requisiti relativi alla entrata in vigore del nuovo decreto ministeriale.

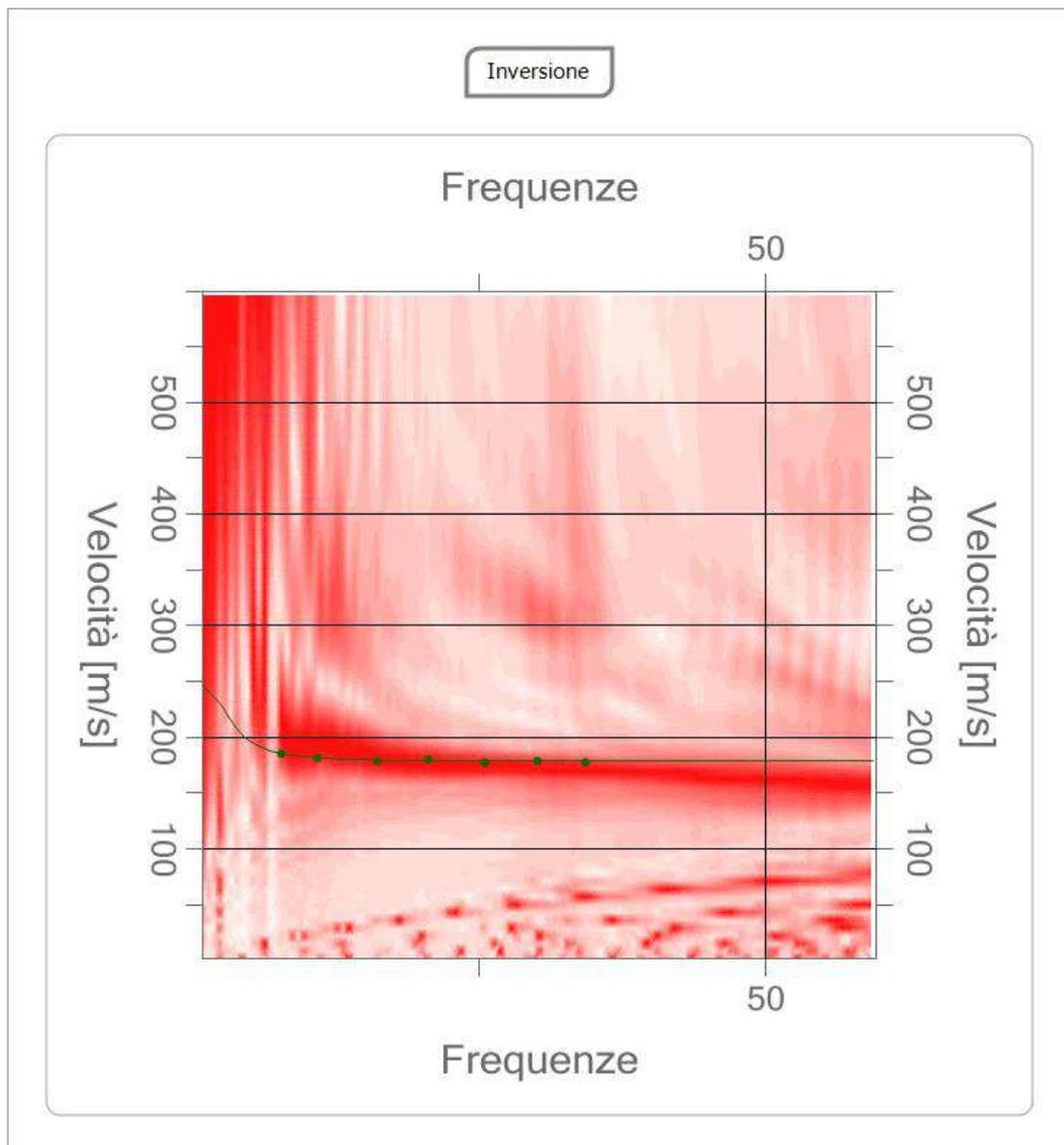
Dall'analisi dell'indagine MASW si può affermare che per i terreni indagati il valore di  $V_{s_{eq}}$  è pari a 214 nella MASW n.1 e 243 nella MASW n.2 e corrispondono a terreni di tipo C secondo la classificazione sismica dei suoli a seguito dell'entrata in vigore del DM del 17 gennaio 2018

# Riccione (RN) – Camping Village - Traccia n.1

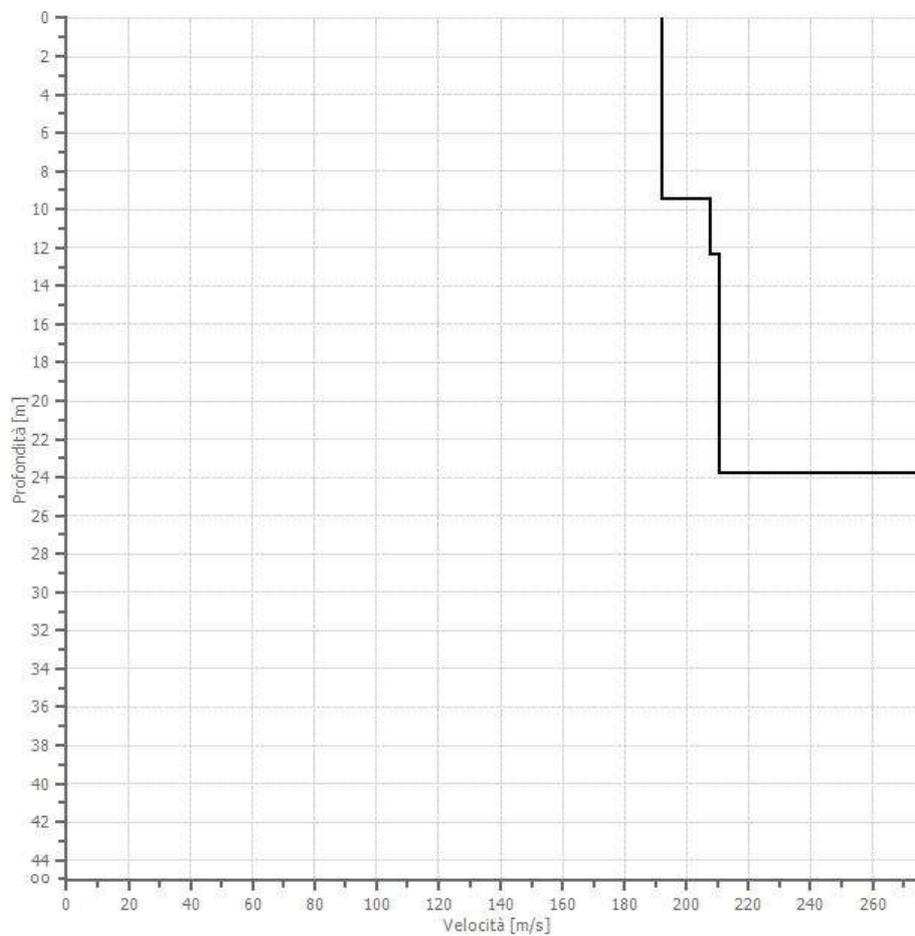
|                                    |        |
|------------------------------------|--------|
| N. tracce                          | 24     |
| Durata acquisizione<br>[msec]      | 2000.0 |
| Interdistanza geofoni [m]          | 2.5    |
| Periodo di<br>campionamento [msec] | 0.50   |



## Picking della curva di dispersione



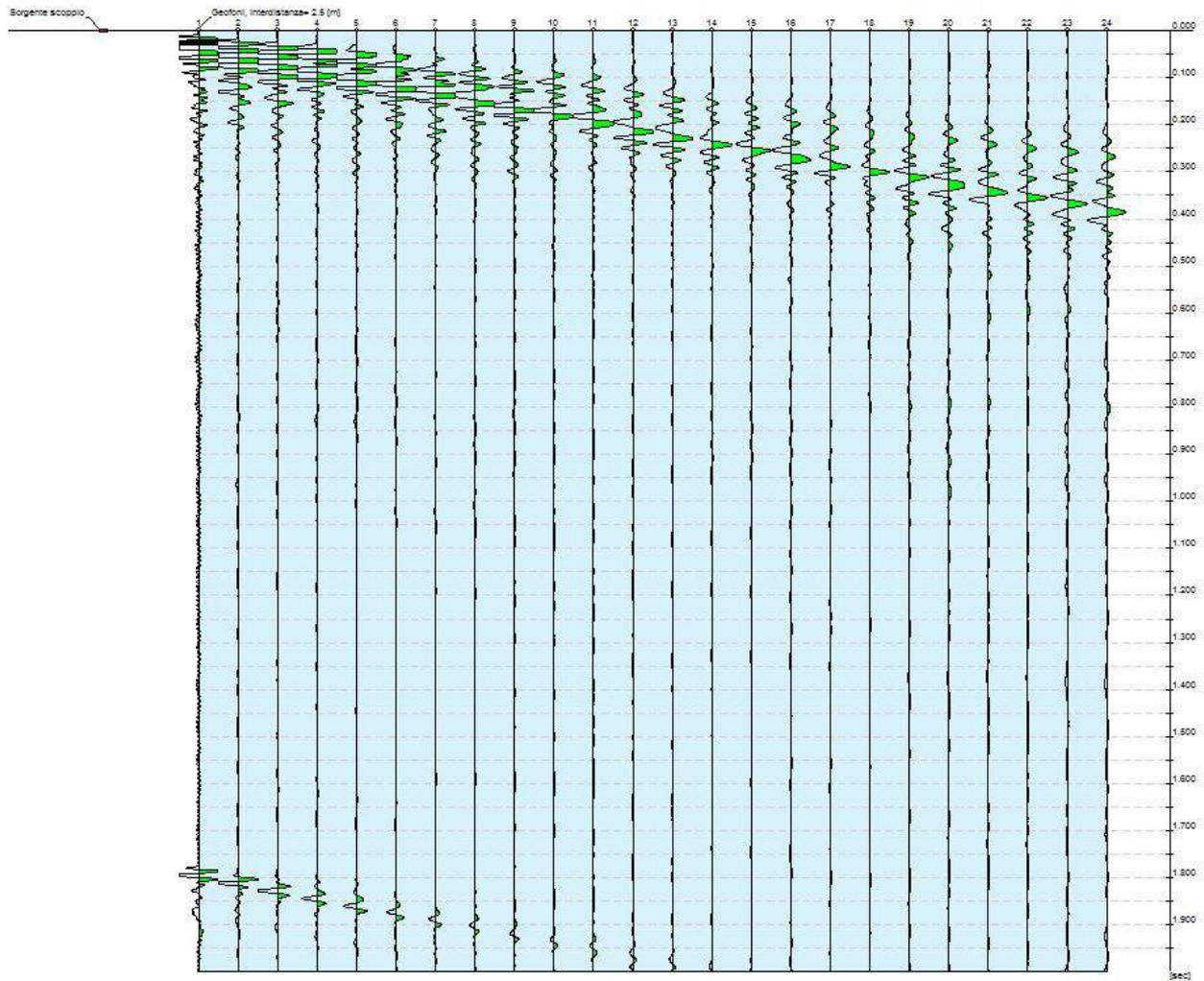
Profilo di velocità



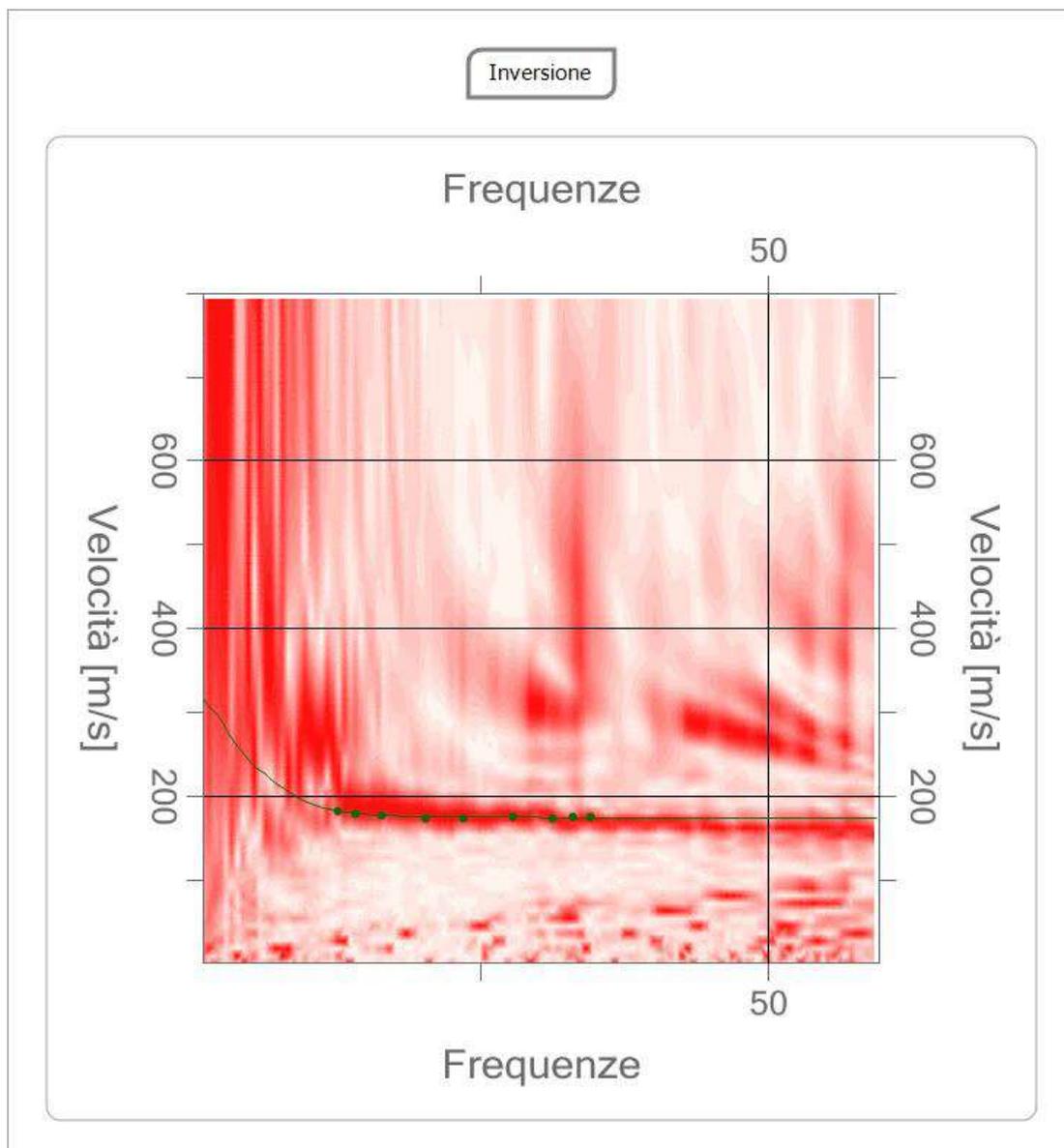
| Profondità                |       | Vs     |
|---------------------------|-------|--------|
| da mt.                    | a mt. | m/sec. |
| 0,00                      | 9.49  | 191.9  |
| 9.49                      | 12.36 | 207.7  |
| 12.36                     | 23.08 | 210.3  |
| 23.08                     | 30.00 | 276.0  |
| V <sub>seq</sub> (m/sec.) |       | 214    |
| Categoria del suolo       |       | C      |

## Riccione (RN) – Camping Village - Traccia n.2

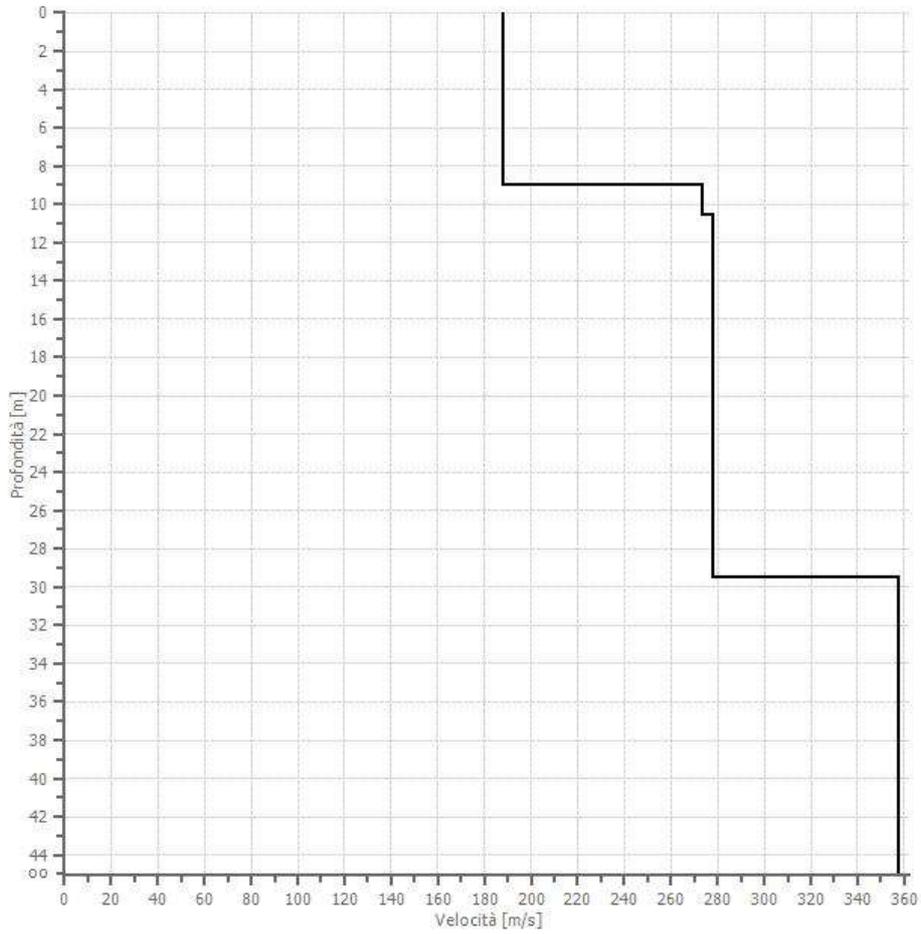
|                                    |        |
|------------------------------------|--------|
| N. tracce                          | 24     |
| Durata acquisizione<br>[msec]      | 2000.0 |
| Interdistanza geofoni [m]          | 2.5    |
| Periodo di<br>campionamento [msec] | 0.50   |



## Picking della curva di dispersione



Profilo di velocità



| Profondità                |       | Vs     |
|---------------------------|-------|--------|
| da mt.                    | a mt. | m/sec. |
| 0,00                      | 9.03  | 146.4  |
| 9.03                      | 10.57 | 171,1  |
| 10,57                     | 29.54 | 277.9  |
| 29.54                     | 30.00 | 357    |
| V <sub>seq</sub> (m/sec.) |       | 243    |
| Categoria del suolo       |       | C      |

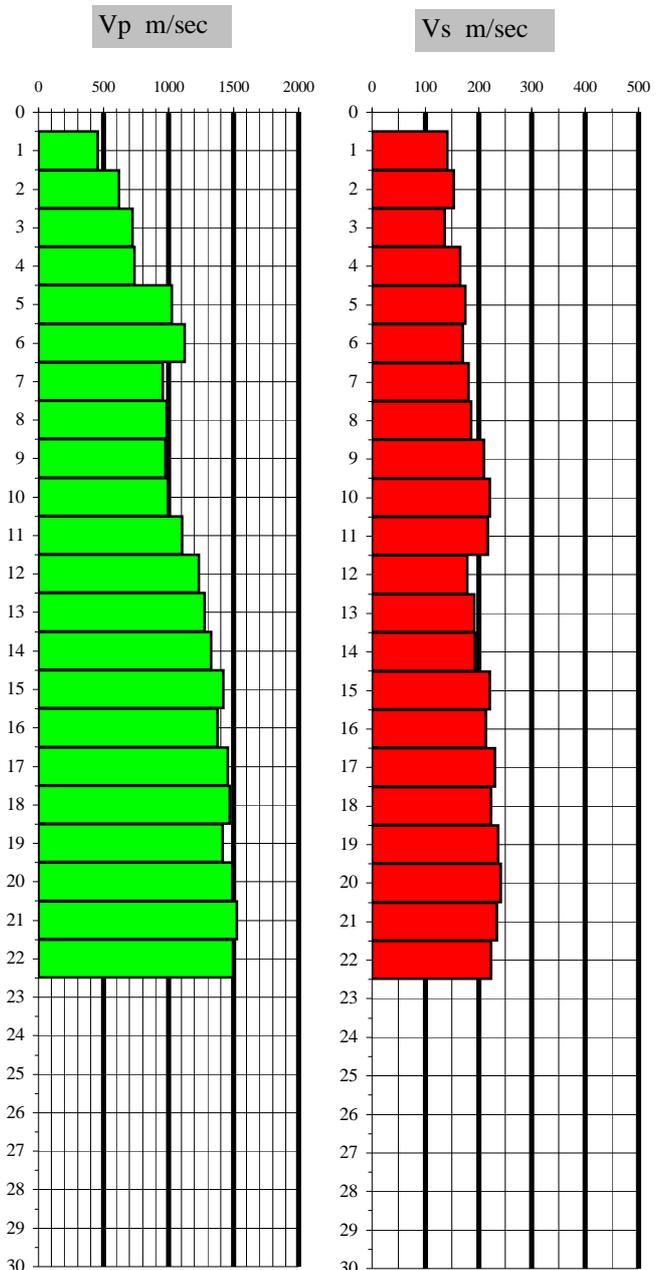
**Cono Sismico**

**CPTU 2**

**Località: Riccione (RN) - Camping Village**

**Data: 14 giugno 2019**

| prof. | Vp    | Vs    | v    | γ                | E <sub>din</sub>   | G <sub>din</sub>   | K <sub>din</sub>   |
|-------|-------|-------|------|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| mt.   | m/sec | m/sec |      | t/m <sup>3</sup> | Kg/cm <sup>3</sup> | Kg/cm <sup>3</sup> | Kg/cm <sup>3</sup> |
| 1     | 272   | 140   | 0.32 | 1.48             | 781                | 296                | 722                |
| 2     | 421   | 134   | 0.44 | 1.61             | 850                | 295                | 2515               |
| 3     | 621   | 137   | 0.47 | 1.73             | 978                | 331                | 6369               |
| 4     | 721   | 155   | 0.48 | 1.78             | 1288               | 437                | 8863               |
| 5     | 895   | 168   | 0.48 | 1.86             | 1583               | 534                | 14452              |
| 6     | 1245  | 171   | 0.49 | 1.98             | 1757               | 589                | 30458              |
| 7     | 1345  | 173   | 0.49 | 2.00             | 1826               | 612                | 36187              |
| 8     | 1375  | 167   | 0.49 | 2.01             | 1710               | 573                | 38072              |
| 9     | 1354  | 151   | 0.49 | 2.01             | 1395               | 467                | 36926              |
| 10    | 1423  | 147   | 0.49 | 2.03             | 1336               | 447                | 41270              |
| 11    | 1456  | 143   | 0.50 | 2.04             | 1270               | 425                | 43456              |
| 12    | 1412  | 149   | 0.49 | 2.02             | 1370               | 458                | 40550              |
| 13    | 1465  | 142   | 0.50 | 2.04             | 1254               | 419                | 44061              |
| 14    | 1426  | 141   | 0.50 | 2.03             | 1230               | 411                | 41511              |
| 15    | 1421  | 149   | 0.49 | 2.03             | 1372               | 459                | 41126              |
| 16    | 1459  | 154   | 0.49 | 2.04             | 1472               | 493                | 43564              |
| 17    | 1365  | 156   | 0.49 | 2.01             | 1491               | 499                | 37554              |
| 18    | 1423  | 159   | 0.49 | 2.03             | 1561               | 523                | 41169              |
| 19    | 1312  | 162   | 0.49 | 2.00             | 1595               | 534                | 34332              |
| 20    | 1375  | 172   | 0.49 | 2.01             | 1813               | 608                | 38025              |
| 21    | 1423  | 221   | 0.49 | 2.03             | 3004               | 1010               | 40520              |
| 22    | 1342  | 219   | 0.49 | 2.00             | 2915               | 981                | 35516              |
| 23    | 1312  | 221   | 0.49 | 2.00             | 2954               | 994                | 33719              |
| 24    | 1304  | 244   | 0.48 | 1.99             | 3588               | 1211               | 32964              |
| 25    | 1465  | 242   | 0.49 | 2.04             | 3618               | 1218               | 42997              |
| 26    | 1442  | 231   | 0.49 | 2.03             | 3289               | 1106               | 41625              |
| 27    | 1410  | 232   | 0.49 | 2.02             | 3302               | 1111               | 39552              |
| 28    | 1468  | 244   | 0.49 | 2.04             | 3680               | 1238               | 43169              |
| 29    | 1432  | 241   | 0.49 | 2.03             | 3572               | 1202               | 40845              |
| 30    | 1398  | 246   | 0.48 | 2.02             | 3701               | 1247               | 38610              |

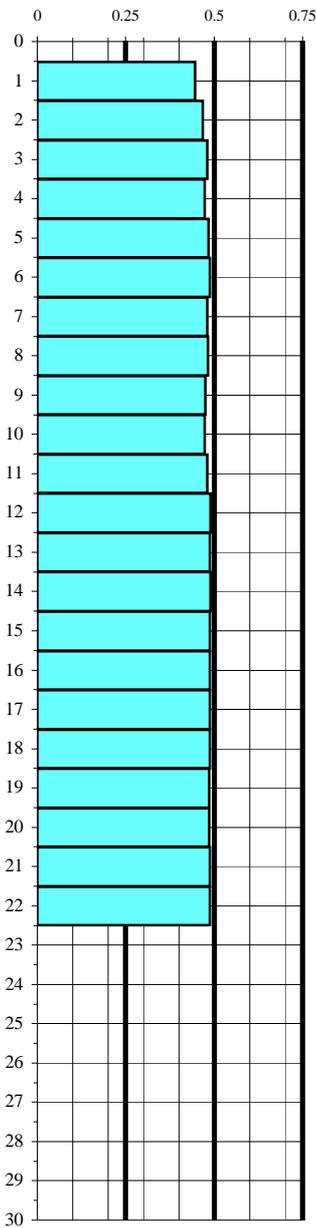


**V<sub>Seq</sub> = 192**

**Categoria Suolo = C**

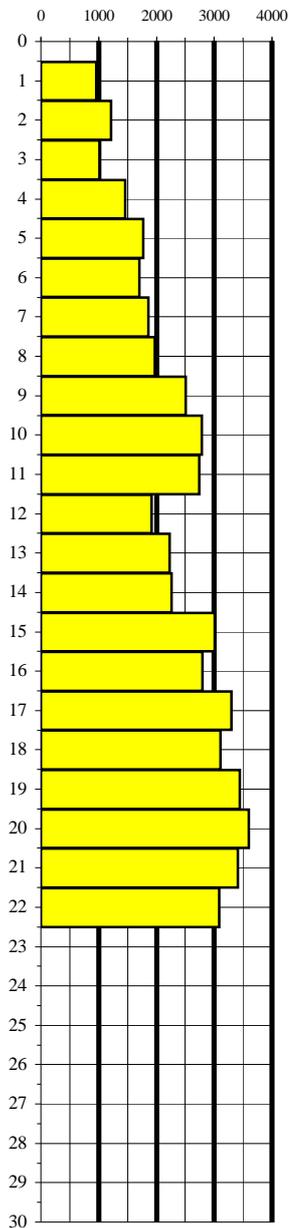
Coefficiente di Poisson

$\nu$



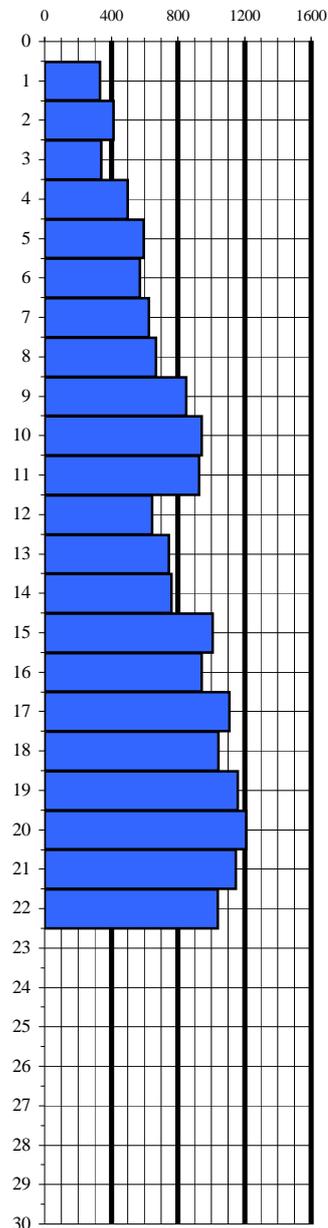
Modulo di Elasticità

$E_{din}$   
Kg/cm<sup>3</sup>



Modulo di Taglio

$G_{din}$   
Kg/cm<sup>3</sup>



Modulo di Compressibilità

$K_{din}$   
Kg/cm<sup>3</sup>

