

COMUNE DI CARPI
PROVINCIA DI MODENA

NUOVA COSTRUZIONE DEL GATTILE CON RICHIESTA DI VARIANTE
URBANISTICA LOCALIZZATIVA DI OPERA D'INTERESSE PUBBLICO

RELAZIONE GEOLOGICA

Sulle indagini, caratterizzazione e modellazione geologica del sito
(NTC 2018; DGR RER 1373/2011);

RELAZIONE GEOTECNICA

Sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di
terreno
(NTC 2018; DGR RER 1373/2011);

RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA

Concernente la "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione
(NTC 2018; DGR RER 1373/2011)

Dott. C



CODICE

RIF. 892/24

DATA

Novembre 2024

N. REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO
0	19/11/2024	RELAZIONE GEOLOGICA GEOTECNICA E SISMICA			

GEO GROUP s.r.l.

UFFICI: via Per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo R. (MO)
SEDE LEGALE: via Padova, 160 - 41125 Modena (MO)
059/3967169 - p. Iva e C.F.02981500362
Email: info@geogroupmodena.it Pec:
geo.group@winpec.it
Sito: www.geogroupmodena.it



COMUNE DI CARPI

Provincia di Modena

CONTENUTI

RELAZIONE GEOLOGICA

Sulle indagini, caratterizzazione e modellazione geologica del sito
(NTC 2018; DGR RER 1373/2011);

RELAZIONE GEOTECNICA

Sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno
(NTC 2018; DGR RER 1373/2011);

RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA

Concernente la “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione
(NTC 2018; DGR RER 1373/2011)

OGGETTO

**"NUOVA COSTRUZIONE DEL GATTILE CON RICHIESTA DI VARIANTE
URBANISTICA LOCALIZZATIVA DI OPERA D'INTERESSE PUBBLICO"**

Rif. n. 892/2024



INDICE DEL CONTENUTO

1	PREMESSE.....	4
1.1	Riferimenti normativi.....	4
2	INQUADRAMENTO GENERALE.....	5
2.1	Inquadramento geografico.....	5
2.2	Elementi geologici e geomorfologici.....	6
2.3	Inquadramento sismico.....	7
3	INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	8
3.1	Indagini Geotecniche.....	8
3.1.1	Prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT.....	8
3.1.1	Prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono CPTE/U.....	9
3.2	Indagini Geofisiche.....	12
3.2.1	Indagine sismica passiva a stazione singola (analisi HVSR).....	12
3.2.2	Indagine sismica attiva con metodo MASW.....	12
4	STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA – DGR 476/21.....	13
4.1	Primo livello di approfondimento.....	13
4.2	Terzo livello di approfondimento – DGR.476/21.....	15
4.2.1	Stabilità nei confronti della liquefazione (§ A2.2. DGR 476/2021).....	21
4.2.2	Cedimenti post-sismici (§ A2.2. DGR 476/2021).....	24
5	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO – NTC18.....	26
5.1	Pericolosità sismica di base.....	26
5.2	Valutazione dell'azione sismica – NTC18 – Approccio semplificato.....	28
5.2.1	Stabilità nei confronti della liquefazione (§NTC18).....	29
6	MODELLAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA DEL SITO.....	32
6.1	Modello geotecnico del sottosuolo.....	32
6.2	Tipologia di fondazioni e calcolo della capacità portante.....	33
5.3.1	Verifica nei confronti degli SLU (6.4 NTC 2018).....	33
5.3.2	Verifica dei cedimenti.....	34
5.3.3	Modulo di sottofondo.....	35
7	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	36

TAVOLE

Tav. n. 1:	“Carta Topografica”	scala 1: 5.000;
Tav. n. 2:	“Ripresa Satellitare”	scala 1: 5.000;
Tav. n. 3:	“Ubicazione Indagini”	scala 1: 800.

ALLEGATI

- ALL. n. 1** Prove penetrometriche statiche CPT;
- ALL. n. 2** Prove penetrometriche statiche CPTu;
- ALL. n. 3** Indagini sismiche;
- ALL. n. 4** Verifica alla liquefazione – secondo la DGR 630/19;
- ALL. n. 5** Verifica alla liquefazione – secondo NTC18;
- ALL. n. 6** Verifiche geotecniche;

1 PREMESSE

Nel mese di novembre 2024, a seguito della richiesta di integrazione da parte della Provincia di Modena, è stata aggiornata la presente relazione geologica redatta nel 2020. Al fine di rispondere alla presente integrazione è stata eseguita un'ulteriore prova penetrometrica CPTU.

Il presente elaborato contiene la modellazione geologica, geotecnica e sismica derivante dalla sintesi dai risultati delle analisi e delle indagini eseguite nell'area di interesse a supporto della progettazione ingegneristica delle opere in progetto, in conformità alla normativa nazionale NTC 2018 e relative normative regionali DGR 630/19 e DGR 476/21. In particolare, il presente studio geologico, geotecnico e sismico è stato condotto a supporto del progetto di realizzazione di un nuovo gattile, sito in via I. Martinelli, nel Comune di Carpi (MO).

Il progetto si muove nell'ambito dell'Art. 53 della Legge 24/2017, (procedimento unico), si è pertanto suddivisa la relazione in due parti.

Nella prima parte viene eseguito uno studio di microzonazione sismica secondo la DGR 630/2019 e successiva DGR 476/2021 e nella seconda parte, a supporto del progetto esecutivo, la caratterizzazione sismica del sito avviene secondo le NTC18.

1.1 Riferimenti normativi

Il presente studio è stato condotto secondo la seguente Normativa Tecnica e documentazione di riferimento:

- **OPCM 3274/2003** - Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica;
- **D.M. 17.01.2018** - Norme Tecniche per le Costruzioni 2018;
- **Circolare 21 gennaio 2019 n. 7/C.S.LL.PP.** - Circolare esplicativa delle NTC 2018;
- **D.G.R. 476/2021**– Aggiornamento dell'”Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017)” di cui alla deliberazione della Giunta regionale 29 aprile 2019 n. 630.

2 INQUADRAMENTO GENERALE

2.1 Inquadramento geografico

L'area in esame è collocata in ambiente di pianura, all'interno del territorio comunale della città di Carpi (Provincia di Modena) (Fig.2.1). Le coordinate specifiche dell'area sono le seguenti:

SITO IN ESAME	
COORDINATE GEOGRAFICHE	
LATITUDINE	LONGITUDINE
44.816606	10.900969

Tali coordinate sono state stimate grossomodo al centro del sedime di intervento, e successivamente utilizzate per il calcolo dei parametri dell'azione sismica di base in relazione al reticolo sismico da INGV.



Fig.2.1 - Ubicazione del sito in studio

Per un completo inquadramento geografico dell'area si rimanda alla cartografia allegata alla presente relazione, in particolare alla "Carta topografica" alla scala 1: 5.000 (tav. n. 1) e alla "Ripresa satellitare" alla scala 1: 5.000 (tav. n. 2).

2.3 Inquadramento sismico

A supporto dell'analisi sismica e della valutazione della stabilità del sito, successivamente descritta nei paragrafi seguenti, per quel che concerne i fenomeni co-sismici è stata preliminarmente consultata la cartografia relativa allo studio di Microzonazione sismica del Comune di Carpi al terzo livello di approfondimento. L'area in studio non risulta essere cartografata, **pertanto è preferibile eseguire uno studio al terzo livello di approfondimento.**

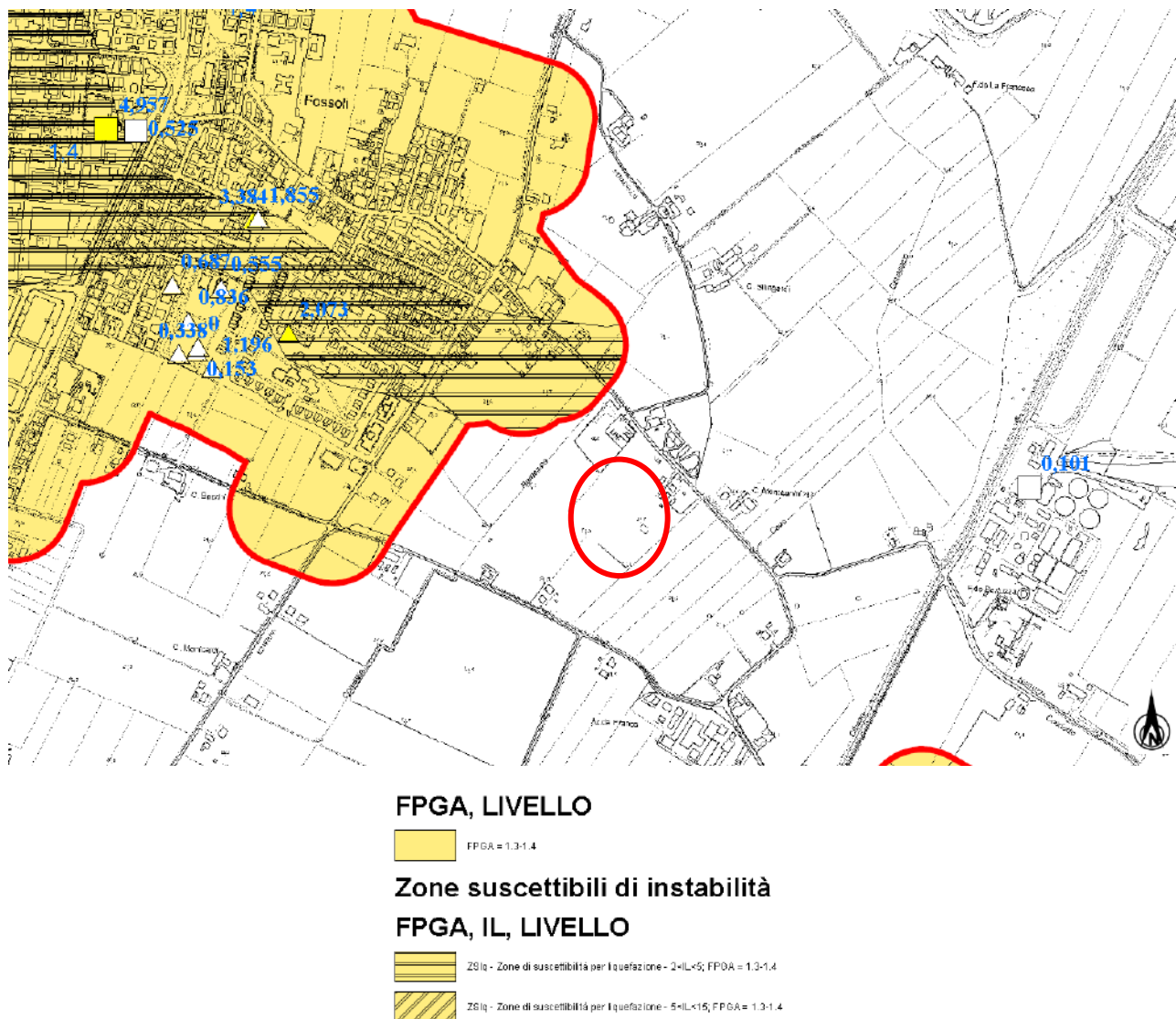


Fig.2.3 – Estratto della “Carta di microzonazione sismica – Livello 3 - FPGA” – Microzonazione Sismica del Comune di Carpi.

3 INDAGINI GEOGNOSTICHE

3.1 Indagini Geotecniche

In relazione alla litologia presente nell'area e in base alla tipologia di intervento in progetto, sono state eseguite le seguenti indagini geognostiche:

- **n. 2 prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT;**
- **n.1 prova penetrometrica statica con punta elettrica e piezocono CPTU**

I risultati delle suddette indagini sono riportati negli allegati n. 1 e 2.

3.1.1 Prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT

Nell'Allegato n. 1 sono riportati i grafici e le tabelle riguardanti le prove eseguite, corredate dall'elaborazione geotecnica e litostratigrafica. Le prove sono state eseguite con un penetrometro Pagani dotato di punta Begemann. Le caratteristiche tecniche dello strumento impiegato sono le seguenti:

Spinta	S	100 kN
Punta conica meccanica		
Diametro	Φ	35.7 mm
Area punta	A	10 cm ²
Angolo di apertura	α	60°
Manicotto laterale di attrito		
Diametro	Φ	35.7 mm
Altezza	h	133 mm
Area	A	150 cm ²
Velocità di avanzamento costante	V	2 cm/sec
Intervallo di misura		20 cm

Le prove sono state elaborate mediante un software che restituisce l'interpretazione litologica dei terreni indagati effettuata sulla base del rapporto qc/fs (Begemann, 1965; A.G.I. 1977) e la stima dei parametri geotecnici in condizioni non drenate tramite correlazioni.

Correlazioni utilizzate per la stima dei parametri geotecnici

Coesione non drenata (terreni coesivi) C_u

RACCOMANDAZIONI AGI 1977 – RICCI ET AL. 1974 – MARSLAND ET AL. 1974/1979

Modulo di deformazione non drenato E_u

DUNCAN-BUCHIGANI 1976

Modulo edometrico M_o

SANGLERAT 1972 – MITCHELL/GARDNER 1975 – RICCI ET AL. 1974 – HOLDEN 1973)

Peso unità di volume γ_{sat} (saturo sotto falda) – γ (umido sopra falda)

IN BASE ALLA NATURA LITOLOGICA TERZAGHI-PECK 1967 – BOWELS 1982

Velocità delle onde di taglio V_s

YOSHIDA MOTONORI 1988

3.1.1 Prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono CPTE/U

La prova è stata eseguita con un penetrometro Gouda dotato di punta elettrica e piezocono CPTE/U. Le caratteristiche tecniche dello strumento impiegato sono le seguenti:

Caratteristiche del Piezocono			
Canali di misura:		Dimensioni:	
Resistenza di punta (qc):	10; 50; 100 MPa	Angolo di apertura cono:	60°
Attrito laterale (fs):	0,5 MPa	Diametro:	36 mm
Pressione nei pori (U):	2,5 MPa	Sezione di spinta:	10 cm ²
Inclinazione:	0 - 40°	Superficie laterale:	150 cm ²
		Peso:	2,1 kg
		Lunghezza:	413 mm

La prova è stata elaborata mediante il 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 ed illustrata l'interpretazione litostratigrafica e geotecnica della prova, sono riportati in **Allegato n.2**. La caratterizzazione litostratigrafica del terreno è stata effettuata in funzione delle carte proposte da Robertson, in cui il tipo di comportamento del terreno è definito da tre parametri: qt, resistenza alla punta corretta, Rf, Bq, nella prima carta (1986) e con i parametri normalizzati nella seconda (1990).

Correlazioni utilizzate per la stima dei parametri geotecnici

<p>:: Unit Weight, g (kN/m³) ::</p> $g = g_w \cdot \left(0.27 \cdot \log(R_f) + 0.36 \cdot \log\left(\frac{q_t}{p_s}\right) + 1.236 \right)$ <p>where g_w = water unit weight</p> <p>:: Permeability, k (m/s) ::</p> <p>$I_c < 3.27$ and $I_c > 1.00$ then $k = 10^{0.952 - 3.04 \cdot I_c}$</p> <p>$I_c \leq 4.00$ and $I_c > 3.27$ then $k = 10^{-4.52 - 1.37 \cdot I_c}$</p> <p>:: N_{60} (blows per 30 cm) ::</p> $N_{60} = \left(\frac{q_c}{P_a} \right) \cdot \frac{1}{10^{1.1268 - 0.2817 \cdot I_c}}$ $N_{160} = Q_{tn} \cdot \frac{1}{10^{1.1268 - 0.2817 \cdot I_c}}$ <p>:: Young's Modulus, E_s (MPa) ::</p> $(q_t - \sigma_v) \cdot 0.015 \cdot 10^{0.55 \cdot I_c - 1.68}$ <p>(applicable only to $I_c < I_{c, \text{crit}}$)</p> <p>:: Relative Density, D_r (%) ::</p> $100 \cdot \sqrt{\frac{Q_{tn}}{k_{DR}}} \quad (\text{applicable only to SBTs: 5, 6, 7 and 8 or } I_c < I_{c, \text{crit}})$ <p>:: State Parameter, ψ ::</p> $\psi = 0.56 - 0.33 \cdot \log(Q_{tn, \text{ca}})$ <p>:: Peak drained friction angle, ϕ (°) ::</p> $\phi = 17.60 + 11 \cdot \log(Q_{tn})$ <p>(applicable only to SBTs: 5, 6, 7 and 8)</p> <p>:: 1-D constrained modulus, M (MPa) ::</p> <p>If $I_c > 2.20$</p> $\alpha = 14 \text{ for } Q_{tn} > 14$ $\alpha = Q_{tn} \text{ for } Q_{tn} \leq 14$ $M_{CPT} = \alpha \cdot (q_t - \sigma_v)$ <p>If $I_c \leq 2.20$</p> $M_{CPT} = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 \cdot I_c - 1.68}$	<p>:: Small strain shear Modulus, G_0 (MPa) ::</p> $G_0 = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 \cdot I_c - 1.68}$ <p>:: Shear Wave Velocity, V_s (m/s) ::</p> $V_s = \left(\frac{G_0}{\rho} \right)^{0.50}$ <p>:: Undrained peak shear strength, S_u (kPa) ::</p> $N_{lt} = 10.50 + 7 \cdot \log(F_r) \text{ or user defined}$ $S_u = \frac{(q_t - \sigma_v)}{N_{lt}}$ <p>(applicable only to SBTs: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c, \text{crit}}$)</p> <p>:: Remolded undrained shear strength, $S_u(\text{rem})$ (kPa) ::</p> $S_{u(\text{rem})} = f_s \quad (\text{applicable only to SBTs: 1, 2, 3, 4 and 9 or } I_c > I_{c, \text{crit}})$ <p>:: Overconsolidation Ratio, OCR ::</p> $k_{OCR} = \left[\frac{Q_{tn}^{0.20}}{0.25 \cdot (10.50 + 7 \cdot \log(F_r))} \right]^{1.25} \text{ or user defined}$ $OCR = k_{OCR} \cdot Q_{tn}$ <p>(applicable only to SBTs: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c, \text{crit}}$)</p> <p>:: In situ Stress Ratio, K_0 ::</p> $K_0 = 0.1 \cdot \left(\frac{q_t - \sigma_v}{\sigma_{vo}} \right)$ <p>(applicable only to SBTs: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c, \text{crit}}$)</p> <p>:: Soil Sensitivity, S_t ::</p> $S_t = \frac{N_{lt}}{F_r}$ <p>(applicable only to SBTs: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c, \text{crit}}$)</p> <p>:: Effective Stress Friction Angle, ϕ' (°) ::</p> $\phi' = 29.5 \cdot B_q^{0.123} \cdot (0.256 + 0.336 \cdot B_q + \log Q_t)$ <p>(applicable for $0.10 < B_q < 1.00$)</p>
--	--

Tab.3.1 - Correlazioni utilizzate per la stima dei parametri geotecnici.

Di seguito si riporta la stratigrafia della prova penetrometrica CPTU (Fig. 3.1).



GEOLOGISMIK
 WE DO THE NUMBERS, YOU DO THE JOB!

Geo Group srl
 Geologia e Ambiente
 Modena, Via Padova 165
<https://geogroupmodena.it/>

CPT: CPTU

Total depth: 20.20 m, Date: 08/11/2024
 Surface Elevation: 0.00 m, Est. GWL: 2.10 m
 coords: X:0.00, Y:0.00
 Cone Type:

Project: ELABORAZIONE PROVE PENETROMETRICA
 Location: FOSSOLI - VIA I. MARTINELLI

Cone Operator:

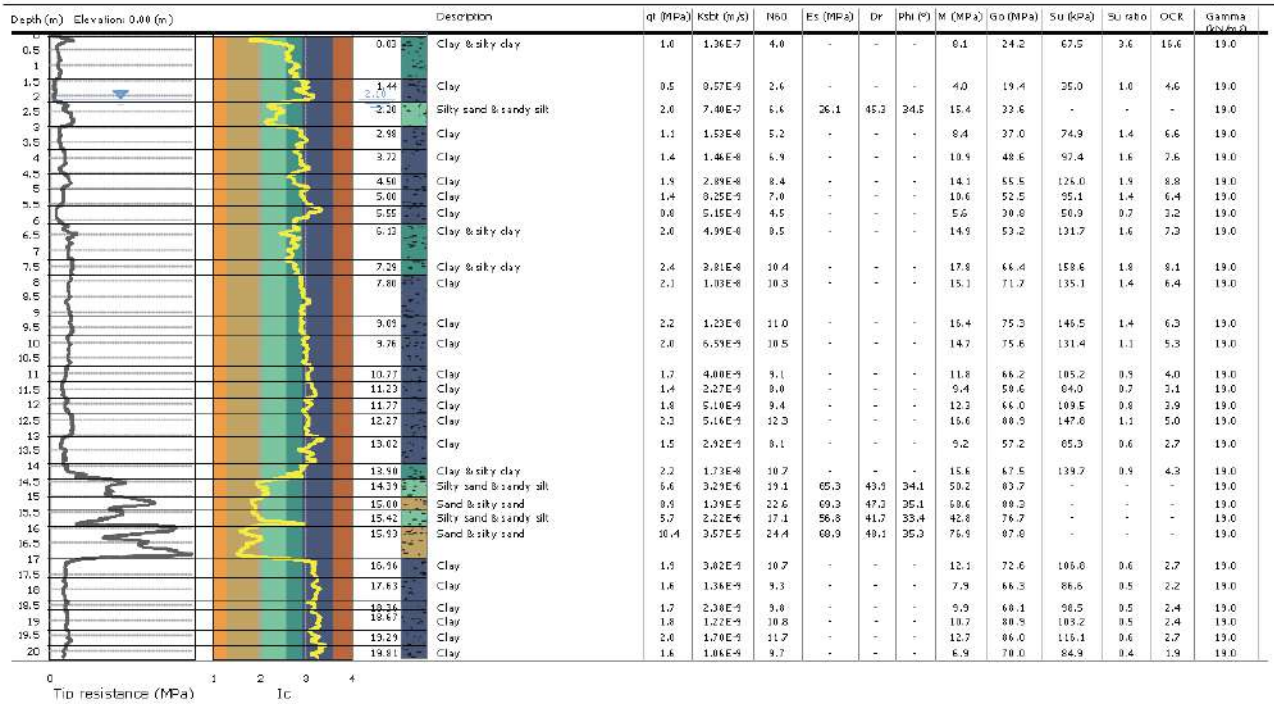


Fig. 3.1 – Stratigrafia prova penetrometrica CPTU

3.2 Indagini Geofisiche

Per la caratterizzazione sismica dell'area di studio, sono state eseguite le seguenti indagini geofisiche:

- **n. 1 indagine sismica passiva HVSR;**
- **n. 1 indagine sismica attiva MASW.**

I risultati delle indagini sismiche sopra citate sono riportati integralmente nell'**allegato n. 3**.

3.2.1 Indagine sismica passiva a stazione singola (*analisi HVSR*)

La misura sismica passiva a stazione singola è stata eseguita mediante un tomografo digitale dotato di tre canali velocimetrici, modello Tromino® prodotto da Moho srl (Marghera (VE), Italia). Per l'acquisizione è stata adottata una frequenza di campionamento di 128 Hz per una durata totale di 20 minuti.

Lo scopo dell'indagine è la misura della frequenza di risonanza del terreno, la quale è legata alla velocità delle onde di taglio Vs nel terreno dalla formula:

$$f = \frac{V_s}{4h}$$

dove *h* è lo spessore dello strato.

3.2.2 Indagine sismica attiva con metodo MASW

Per misurare le velocità delle onde di taglio si possono eseguire prospezioni sismiche mediante stendimenti superficiali, utilizzando geofoni verticali da 4,5 Hz ed acquisendo attivamente i segnali delle onde rifratte alla superficie mediante una sorgente artificialmente provocata. Questa tecnica, nota con la sigla **MASW** (Multichannel Analysis of Surface Waves), permette di ricostruire il profilo verticale delle Vs con procedimenti di modellazione diretta delle velocità di fase delle onde, rifratte alla superficie. Partendo dal sismogramma registrato mediante sorgente energizzante in asse con lo stendimento, viene eseguita un'analisi spettrale che ha consentito di elaborare un'immagine della distribuzione del segnale di velocità sismica in funzione delle diverse frequenze che lo compongono. Da tale elaborazione, tramite una fase di "picking" del segnale ad elevata intensità è stata ottenuta la "**curva di dispersione**", dalla cui inversione è stato calcolato il **modello sismo-stratigrafico** espresso in termini di velocità delle onde di taglio (Vs). I dati sono stati registrati mediante un sismografo *Geode Geometrics 24* bit con filtri disinseriti, velocità di campionamento (sample rate) di 0.25 millisecondi e lunghezza delle acquisizioni di 2 secondi. Si effettuano battute poste ad offset diversi (10 m e 15 m di distanza dal primo geofono) mediante grave da 8,0 kg di massa. Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh, $V(\text{fase})/\text{freq.}$, può essere convertito nel profilo Vs/profondità. Tale metodo non è univoco e quindi il modello che ne scaturisce è un modello teorico; per questo motivo è preferibile operare in presenza di dati di taratura (come nel caso specifico) onde ricavare il modello reale.

4 STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA – DGR 476/21

4.1 Primo livello di approfondimento

La presente fase di analisi, in accordo con le linee guida della Protezione Civile Italiana e le normative regionali DGR2193/15, DGR 630/19 e successiva DGR 476/21 della Regione Emilia-Romagna, costituisce lo studio preliminare nel quale vengono definite le caratteristiche geologiche, idrogeologiche e sismiche del sito sulla scorta delle indagini eseguite e dei dati bibliografici precedentemente illustrati. Lo studio di primo livello di approfondimento risulta propedeutico alla seconda fase di analisi, in questo caso eseguita secondo il III livello di approfondimento essendo l'area non cartografata dal punto di vista sismico. Attraverso l'interpretazione stratigrafica delle indagini eseguite si è reso possibile definire l'assetto stratigrafico medio del primo sottosuolo.

Sulla scorta della velocità derivata dall'elaborazione congiunta delle indagini sismiche HVSR e MASW e in riferimento a quanto illustrato nel paragrafo 3.2.2 delle NTC 2018 è possibile definire come le indagini riconducano il terreno a una categoria di **sottosuolo C**. Facendo riferimento al profilo S delle indagini sismiche è stato ottenuto un valore di V_{s30} pari a 251 m/s. **Dall'analisi della curva HVSR è emersa una frequenza fondamentale di sito pari a 0.56 Hz.**

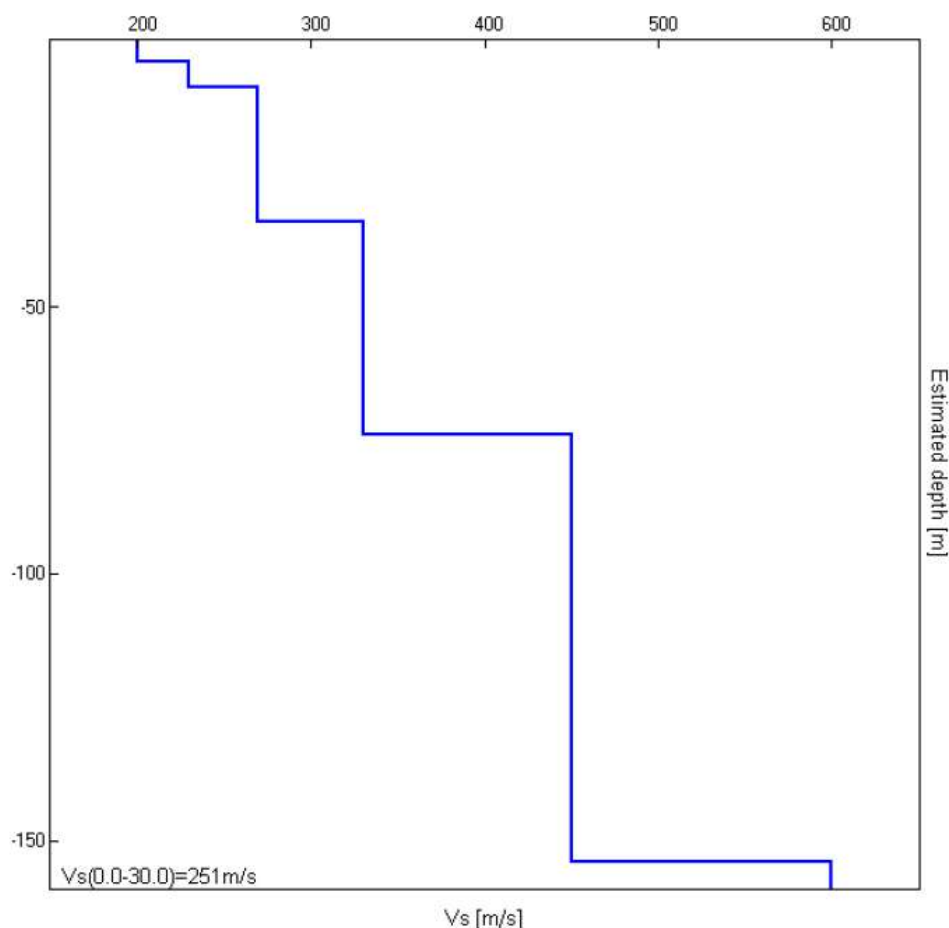


Fig.4.2 – Sintesi del modello di velocità ottenuto dall'elaborazione congiunta dell'indagine sismica HVSR e MASW.

Il modello di velocità ricavato è il seguente:

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
4.00	4.00	200	0.45
9.00	5.00	230	0.45
34.00	25.00	270	0.43
74.00	40.00	330	0.43
154.00	80.00	450	0.43
inf.	inf.	600	0.43

Tab.4.2 – Modello geofisico ottenuto dall'elaborazione congiunta dell'indagine sismica HVSR e MASW.

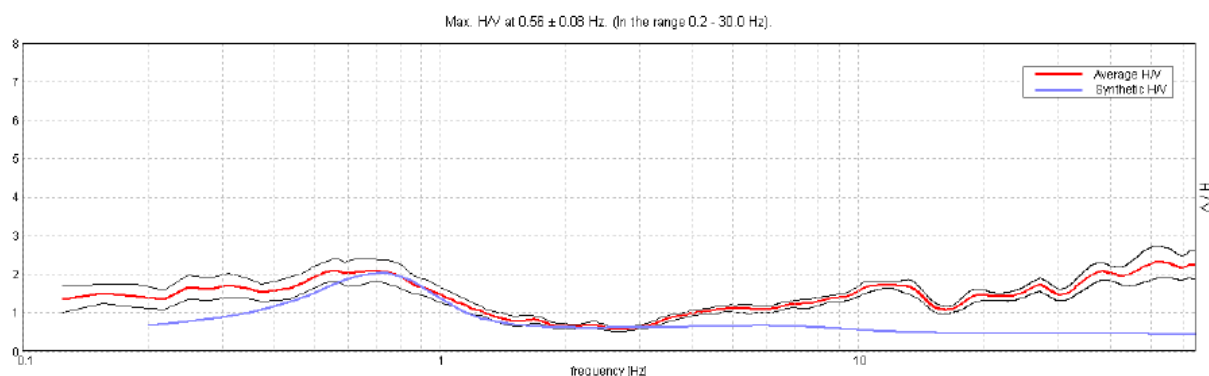


Fig.4.3 - Curva HVSR che identifica un picco a 0.56Hz.

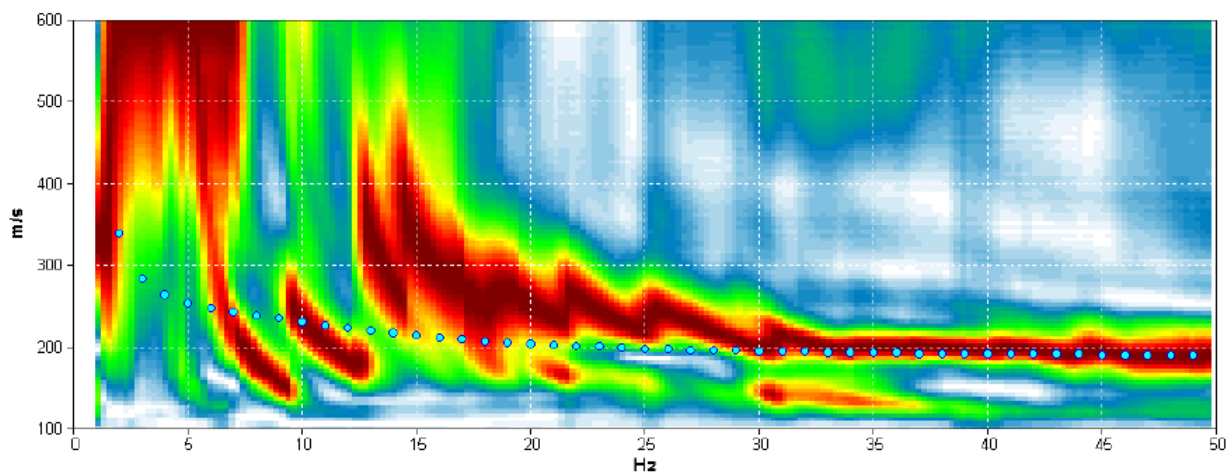


Fig.4.4 - Curva dispersione MASW.

4.2 Terzo livello di approfondimento – DGR.476/21

Per ottemperare ai riferimenti normativi citati l'analisi è stata svolta secondo quanto indicato nella DGR 476/21, attraverso analisi numerica monodimensionale in campo lineare equivalente. Per fare ciò è stato utilizzato come strumento di lavoro il software di calcolo STRATA (University of Texas - Austin).

Ai fini della restituzione degli spettri di accelerazione, relativi allo stato limite SLV, è stata svolta la verifica dell'amplificazione del sito mediante l'utilizzo di un modello simulato in campo lineare equivalente.

Utilizzando un modello lineare equivalente è possibile ottenere una soluzione di un modello non lineare, attraverso analisi lineari complete nelle quali al termine di ogni interazione vengono aggiornati i parametri di **rigidezza** e **smorzamento** che sono dipendenti dallo stato di deformazione del terreno. Attraverso un'iterazione di calcoli si raggiunge una convergenza prefissata a monte della fase di computazione.

Il software STRATA è in grado di valutare la risposta sismica di un deposito di terreno, considerando un profilo monodimensionale in cui si propagano linearmente le onde sismiche, in funzione dei parametri dinamici attribuiti al terreno. Il terreno viene schematizzato come un sistema di N strati orizzontali omogenei, isotropi e visco-elastici, sovrastanti un semispazio uniforme, attraversati da un treno di onde di taglio che incidono verticalmente le superfici. Ogni strato è descritto per mezzo dello spessore H , del modulo di taglio massimo G_{max} o dalla corrispondente velocità massima V_{max} , dal valore dello smorzamento D , dal peso dell'unità di volume γ e dalle curve di decadimento del modulo di rigidezza a taglio normalizzato ($G / G_0 - \gamma$) e le corrispondenti curve dello smorzamento ($D - \gamma$) con la deformazione di taglio γ . Il modello lineare visco-elastico fa riferimento al modello reologico di Kelvin-Voigt, costituito da una molla e uno smorzatore viscoso in parallelo. Tale modello è descritto quindi dalla rigidezza (G) e dallo smorzamento (D). L'onda monodimensionale viene descritta dall'equazione in cui lo spostamento provocato (u) è funzione della profondità (z) e del tempo (t):

$$u(z, t) = A \exp [i (\omega t + k^* z)] + B \exp [i (\omega t - k^* z)]$$

Nell'equazione appena presentata A e B rappresentano le corrispettive amplificazioni del tetto e della base dello strato considerato. Il fattore k^* risulta dipendente dal modulo di taglio (G), dal grado di smorzamento (D) e dalla densità del terreno (ρ). Le relazioni sono le seguenti:

$$k^* = \frac{\omega}{v_s^*}$$
$$v_s^* = \sqrt{\frac{G^*}{\rho}} \qquad G^* = G \left(1 - 2D^2 + i2D \sqrt{1 - D^2} \right) \approx G(1 + i2D)$$

Dove G^* e v_s^* rappresentano il modulo di taglio e la velocità di taglio.

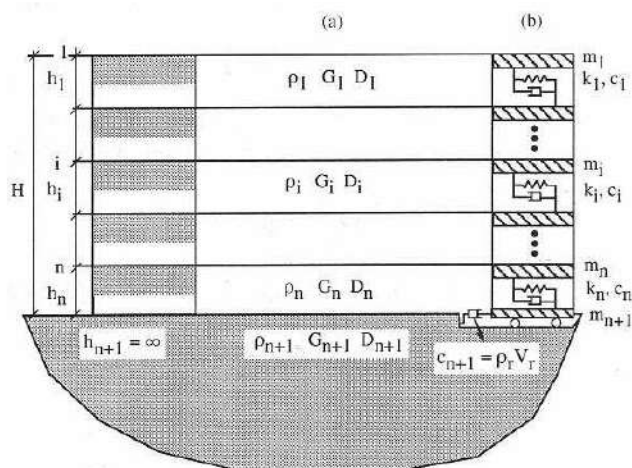


Fig.4.2 - Modello a strati continui adottato per la simulazione con il codice di calcolo STRATA.

MODELLO SIMULATO

Il modello simulato deriva dai dati ottenuti dalle prove geofisiche che compongono la campagna geognostica eseguita in sito. Tale profilo approssima il comportamento del sottosuolo, dal punto di vista sismico, in corrispondenza dell'area studiata. Il profilo considerato deriva dall'interpolazione dei dati provenienti dalle indagini geofisiche eseguite e i dati, di natura bibliografica, disponibili per il sito di riferimento.

Il profilo sismico del sottosuolo utilizzato per la modellazione della RSL deriva dall'elaborazione congiunta dell'indagine HVSR e MASW eseguite in sito, integrate con dati di bibliografia. Si illustra successivamente il modello utilizzato:

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
4.00	4.00	200	0.45
9.00	5.00	230	0.45
34.00	25.00	270	0.43
74.00	40.00	330	0.43
154.00	80.00	450	0.43
inf.	inf.	600	0.43

Tab.4.2 – Modello ottenuto dall'elaborazione congiunta delle indagini sismiche HVSR e MASW.

Per descrivere il comportamento dinamico dei terreni costituenti il modello sono state considerate curve di decadimento dei moduli di rigidezza e smorzamento, al variare della deformazione percentuale $\gamma(\%)$. Si riporta successivamente la curva di decadimento considerata per l'esecuzione del calcolo di risposta sismica locale:

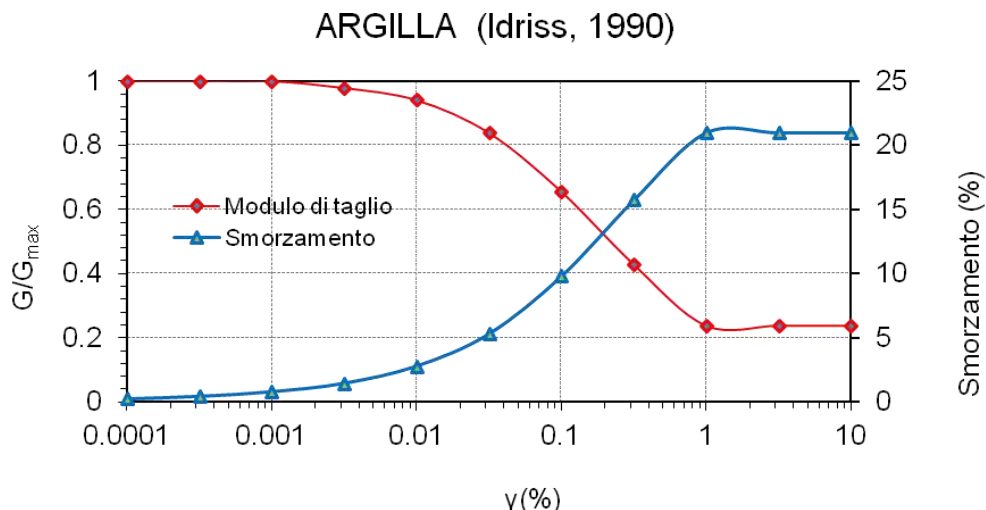


Fig.4.3 - Curva di decadimento dei moduli G/G_{max} e smorzamento D , utilizzati per descrivere il comportamento dei materiali coesivi che compongono il sottosuolo in oggetto.

In accordo con quanto esposto nella D.G.R. 476/21, l'analisi RSL in oggetto è stata svolta adottando come input sismico 7 accelerogrammi, corrispondenti allo stato limite SLV. I segnali di riferimento sono stati successivamente scalati per il valore di PGA_0 atteso al suolo rigido in corrispondenza dell'areale oggetto di analisi. Per fare ciò è stata considerata l'interpolazione spaziale dei valori di PGA_0 proposta da INGV per il territorio nazionale e resi disponibili per il territorio regionale sui punti di una griglia con passo 0.05 gradi.

Per il sito in oggetto tale valore è pari a **0.151g** considerando un valore di **$C_u = 1.00$** (Classe d'uso II) e **$V_n = 50$ anni** per ottenere un tempo di ritorno pari a 475 anni.

RISULTATI OTTENUTI

Sulla scorta delle verifiche svolte mediante software STRATA, in riferimento al modello considerato, è stato possibile definire, nel dominio delle frequenze, la funzione TF (Funzione di trasferimento) e rapporto spettrale di amplificazione associato. Per via grafica si inserisce successivamente la funzione di trasferimento TF ottenuta a seguito dell'analisi RSL in oggetto. Attraverso tale funzione è possibile definire il campo di frequenze entro il quale il sottosuolo, in corrispondenza del sito in oggetto, amplifica il segnale sismico, oltre che a quantificare l'amplificazione stessa.

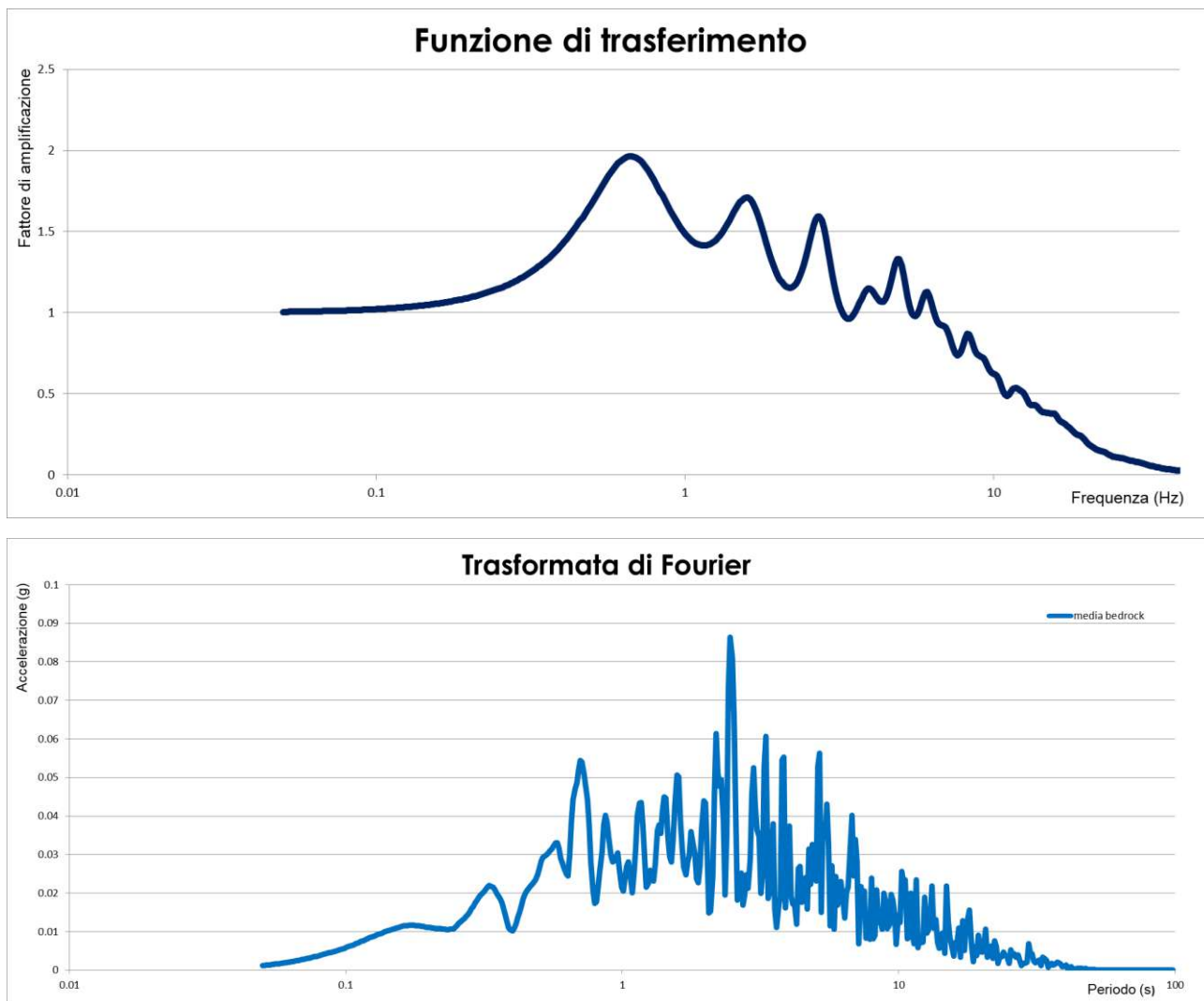


Fig.4.4 - Dall'alto: Funzione di Trasferimento e funzione FFT.

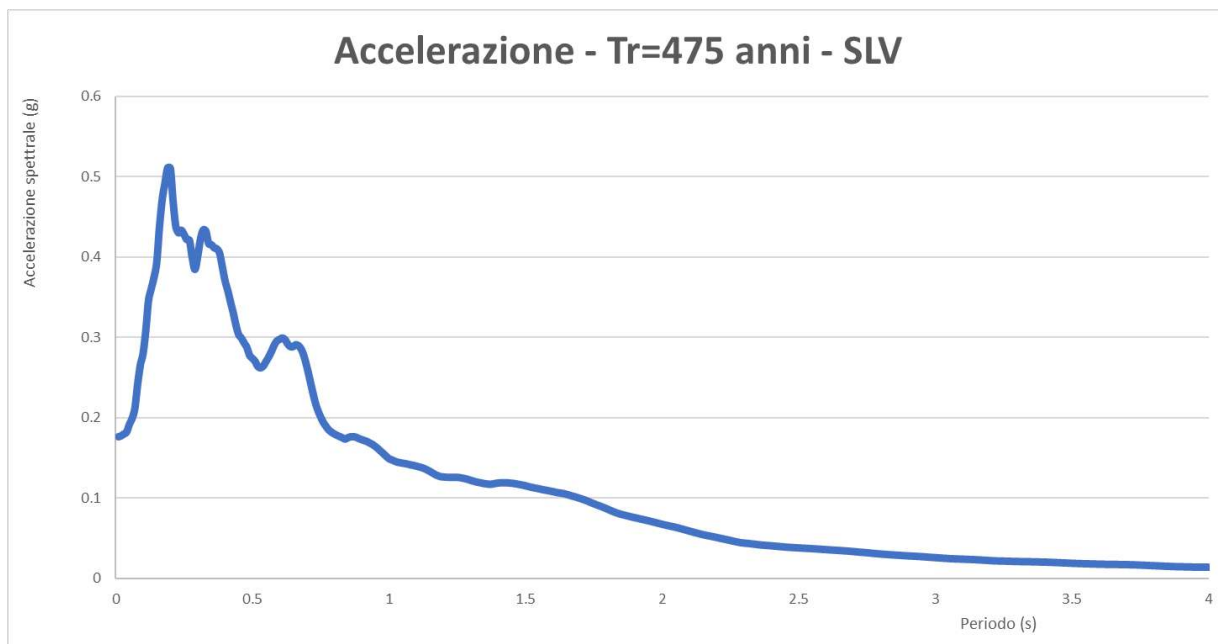


Fig.4.5 - Spettro accelerazione RSL terzo livello di approfondimento

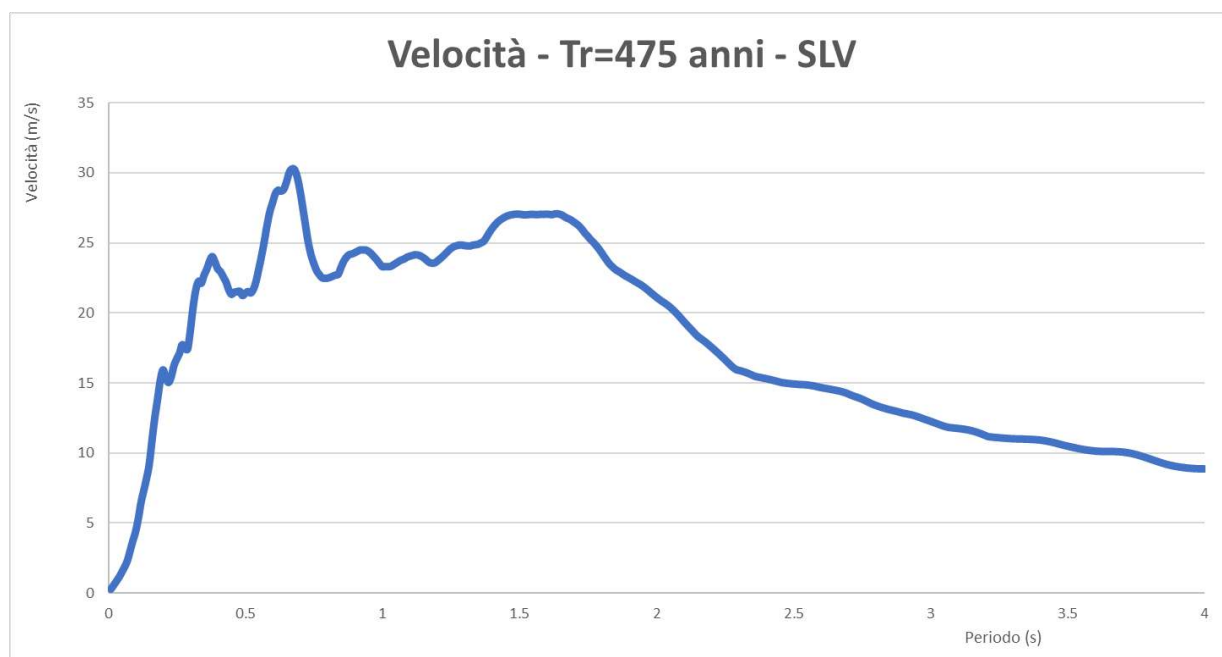


Fig.4.6 - Spettro velocità RSL terzo livello di approfondimento

Come descritto nell'all.2 della DGR 476/2021, la stima del fattore di amplificazione **FA** è stata calcolata considerando un tempo di ritorno $TR=475$ anni, con uno smorzamento $\zeta=5\%$, e relativi parametri rappresentativi dello scuotimento sismico, in particolare:

- accelerazione di picco orizzontale (PGA);
- intensità spettrale SA

$$SA = \int_{T_1}^{T_2} A(T, \zeta) dT$$

dove A è lo spettro di risposta in accelerazione, T è il periodo proprio e ζ è lo smorzamento; sono stati considerati quattro intervalli di periodo proprio T ottenendo quattro valori di intensità spettrale:

	T ₁	T ₂
SA1	0,1 s	0,5 s
SA2	0,4 s	0,8 s
SA3	0,7 s	1,1 s
SA4*	0,5 s	1,5 s

- intensità spettrale SI

$$SI = \int_{T_1}^{T_2} V(T, \zeta) dT$$

dove V è lo spettro di risposta in velocità, T è il periodo proprio e ζ è lo smorzamento; sono stati considerati tre intervalli di periodo proprio T ottenendo tre valori di intensità

	T ₁	T ₂
SI1	0,1 s	0,5 s
SI2	0,5 s	1,0 s
SI3*	0,5 s	1,5 s

Di seguito si riportano in tabella i valori di FA:

Fattore di amplificazione	Periodo T (s)	FA
Fattore di Amplificazione SA1	0.1s ≤ T ≤ 0.5s	1.23
Fattore di Amplificazione SA2	0.4s ≤ T ≤ 0.8s	1.51
Fattore di Amplificazione SA3	0.7s ≤ T ≤ 1.1s	1.58
Fattore di Amplificazione SA4	0.5s ≤ T ≤ 1.5s	1.63

Tab.4.4 – Fattori di amplificazione SA1 –SA2 –SA3 – SA4.

Fattore di amplificazione	Periodo T (s)	FA
Fattore di Amplificazione SI1	0.1s ≤ T ≤ 0.5s	1.23
Fattore di Amplificazione SI2	0.5s ≤ T ≤ 1.0s	1.57
Fattore di Amplificazione SI3	0.5s ≤ T ≤ 1.5s	1.63

Tab.4.5 – Fattori di amplificazione SI1 –SI2 –SI3.

Infine si è calcolato il valore di H_{SM} , ovvero il parametro che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto, dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{UHS}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato per l'intervallo di periodi $0.1 \leq T \leq 0.5$ s e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione (FA) calcolato per lo stesso intervallo di periodi:

$$H_{SM} = \frac{ASI_{UHS}}{\Delta T} \times FA$$

I valori di $ASI_{UHS}/\Delta T$, calcolati per ogni punto della griglia INGV, sono riportati nel file all_4_coord.kmz disponibili nella pagina web dedicata agli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica a cura del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, di seguito si riportano i valori della griglia INGV dell'area in studio.

La zona in studio presenta un valore di $ASI_{HS}/\Delta T$ pari a **333**.

Di seguito si riportano i valori di H_{SM} e H_{0408} , H_{0711} , H_{0515} ricavati, 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 $0,5s \leq T \leq 1,5s$.

H_{SM}	Periodo T (s)
$H_{SM} = 599$	$0,1 s \leq T \leq 0,5s$
$H_{0408} = 799$	$0,4 s \leq T \leq 0,8s$
$H_{0711} = 932$	$0,7 s \leq T \leq 1,1s$
$H_{0515} = 899$	$0,5 s \leq T \leq 1,5s$

Tab.4.6 – Valori Hsm ottenuti per i diversi periodi.

Dai risultati sopra esposti dell'analisi di risposta sismica locale si ottiene un valore di accelerazione massima attesa al suolo del valore $PGA_{max} = A_{max} = 0.186g$ (per $T=0$ s).

4.2.1 Stabilità nei confronti della liquefazione (§ A2.2. DGR 476/2021)

In accordo con la normativa regionale DGR 476/21 si è proceduto alla verifica della liquefazione per le verticali di prova CPT1 e CPTU.

La valutazione del fenomeno della liquefazione viene svolta attraverso il calcolo del fattore di sicurezza di ciascun livello che compone il sottosuolo analizzato nei confronti del fenomeno stesso. Il fattore di sicurezza è derivato secondo la seguente formulazione:

$$F_L(z) = \frac{CRR_{M=7.5, \sigma'_v=1atm}}{CSR} \cdot MSF \cdot K_\sigma$$

Dove:

CRR è rappresentato dal rapporto di resistenza ciclica

MSF rappresenta il fattore di scala della magnitudo che è funzione della magnitudo stessa, della PGA e del valore di CRR

K_σ è il fattore di correzione che tiene conto della pressione efficace alla profondità a cui la resistenza viene valutata

CSR è il rapporto di tensione ciclica, ovvero la tensione di taglio indotta dall'azione sismica, normalizzata rispetto alla tensione verticale efficace. Tale parametro è derivabile secondo la seguente formulazione:

$$CSR = \frac{\tau_{media}}{\sigma'_{v0}} = 0.65 \cdot \frac{a_{max s}}{g} \cdot \frac{\sigma'_{v0}}{\sigma'_{v0}} \cdot r_d$$

I termini che compongono la seguente relazione sono rappresentati da a_{max}/g che descrive il valore dell'accelerazione orizzontale a $T = 0.00$ s, il rapporto della tensione litostatica totale ed efficace, e il coefficiente riduttivo r_d . Quest'ultimo, in accordo con la predetta normativa è stato stimato secondo la seguente formulazione:

$$r_d = \exp[\alpha(z) + \beta(z) \cdot M]$$
$$\alpha(z) = -1.012 - 1.126 \cdot \text{sen}\left(\frac{z}{11.73} + 5.133\right)$$
$$\beta(z) = 0.106 + 0.118 \cdot \text{sen}\left(\frac{z}{11.28} + 5.142\right)$$

dove M rappresenta il valore di magnitudo di riferimento per il sito in analisi.

Il valore **CRR** è stato ricavato attraverso la metodologia di calcolo proposta da **Boulanger&Idriss 2014**. Per le specifiche della procedura di calcolo adottata si faccia riferimento all'allegato **A2.2** della DGR 476/2021 della Regione Emilia Romagna. L'analisi di liquefazione è stata eseguita entro i -20.00 m rispetto al piano campagna come prescritto dalla normativa di riferimento.

A seguito dell'identificazione del fattore di sicurezza F_L è stato determinato l'indice potenziale di liquefazione I_L (LPI) attraverso il quale è possibile definire l'esposizione del sito al rischio di liquefazione. Il potenziale di liquefazione I_L è stato determinato secondo la seguente formulazione:

$$I_L = \int_0^{z_{crit}} F(z) \cdot w(z) \cdot dz \quad \text{in cui} \quad w(z) = \frac{200}{z_{crit}} \cdot \left(1 - \frac{z}{z_{crit}}\right)$$

Dove $F(z)$ viene determinato secondo le formulazioni proposte da Somnez (2003)

$F(z) = 0$	per	$F_L \geq 1.2$
$F(z) = 2 \cdot 10^6 \cdot \exp(-18.427 \cdot F_L)$	per	$1.2 > F_L \geq 0.95$
$F(z) = 1 - F_L$	per	$F_L \leq 0.95$

In base al valore di I_L ottenuto è possibile fornire un'indicazione del rischio di liquefazione. In considerazione delle linee guida emesse dalla Regione Emilia Romagna, a seguito degli eventi sismici di Maggio e Giugno 2012, si considera la classificazione di rischio definita da **Somnez 2003**:

INDICE DI LIQUEFAZIONE	Rischio di liquefazione
LPI=0	Nulla
0<LPI≤2	Basso
2<LPI≤5	Moderato
5<LPI≤10	Alto
15>LPI	Molto alto

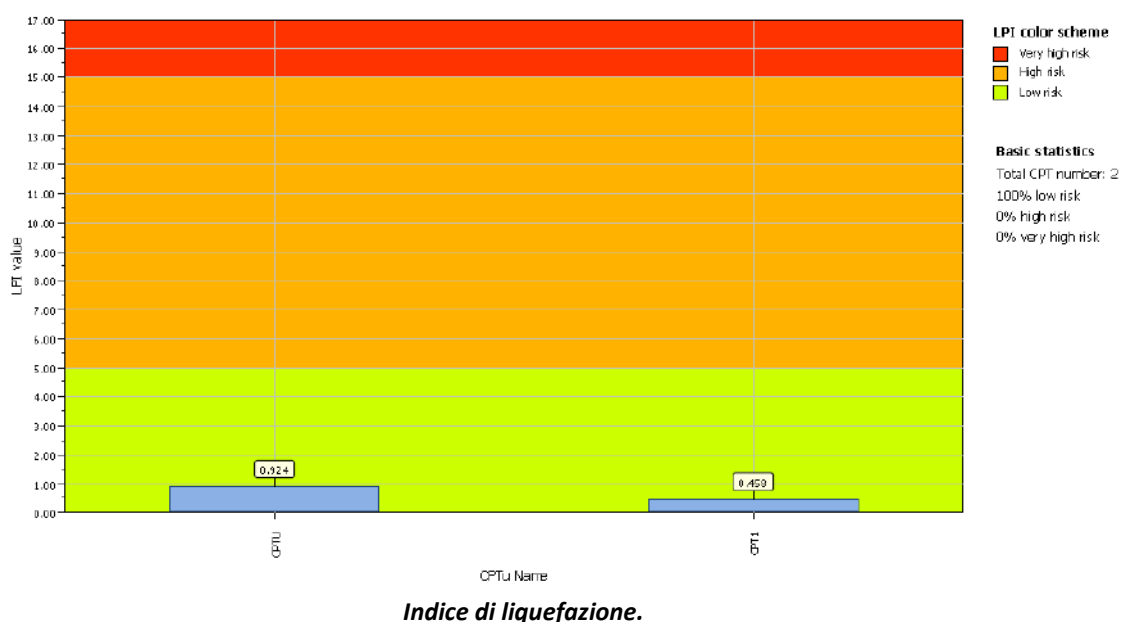
Si illustra successivamente il valore di LPI derivato dalle verticali di prova CPT1 e CPTU, considerando un'accelerazione massima al suolo pari a **0.19 g** (calcolata secondo RSL – secondo terzo livello di approfondimento), e una magnitudo di riferimento pari a **M=6.14**.

A seguito della verifica, in riferimento alla verticale, sono stati ottenuti i seguenti valori di LPI:

INDAGINE	INDICE DI LIQUEFAZIONE	RISCHIO
CPTU	0.924	BASSO
CPT1	0.458	BASSO

Project title : ELABORAZIONE PROVE PENETROMETRICA
 Location : FOSSOLI - VIA I. MARTINELLI

Overall Liquefaction Potential Index report



4.2.2 Cedimenti post-sismici (§ A2.2. DGR 476/2021)

La stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica si ottiene applicando le procedure descritte nell'allegato A3.B della DGR 476/2021. Si ricorda che, come cita la norma DGR 476/21, la stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica è affetta da notevoli incertezze e che i valori che si ottengono devono intendersi solo orientativi.

Il cedimento permanente indotto dall'azione sismica in corrispondenza di una verticale di esplorazione si ottiene dalla somma dei contributi al cedimento stimati per i diversi strati del sottosuolo, fino alla profondità alla quale tali contributi non sono più significativi. Il cedimento permanente post-sismico può dunque essere stimato con l'equazione:

$$S = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{vi} \cdot \Delta z_i$$

in cui ε_{vi} è la deformazione volumetrica (e verticale) dello strato i-esimo e Δz_i il suo spessore.

I cedimenti permanenti indotti dall'azione sismica possono essere dovuti alle deformazioni volumetriche (e quindi verticali) di:

- terreni granulari saturi,
- terreni granulari insaturi,
- terreni coesivi soffici.

I cedimenti conseguenti a liquefazione di terreni granulari saturi hanno luogo immediatamente dopo il terremoto o comunque in un tempo non superiore a un giorno, i cedimenti per densificazione di terreni granulari insaturi avvengono durante lo scuotimento sismico, mentre i cedimenti per consolidazione di terreni coesivi soffici possono richiedere tempi anche molto lunghi in funzione delle condizioni stratigrafiche e geotecniche.

Il calcolo dei cedimenti post-sismici in terreni incoerenti (*vertical settlements*) in condizioni sature (*liquefaction vertical settlements*) e insature (*dry sand vertical settlements*), eseguito per la verticale CPTU ha evidenziato quanto segue:

CPTU	Dry Seattle (cm)	Liq Seattle (cm)
CPT1	0	4.93
CPTU	0	7.30

Per la stima della portata del danneggiamento dovuto al verificarsi dei cedimenti post-sismici è possibile fare riferimento agli autori Ishihara & Yoshimine (Soils and Foundations Vol.32, No. 1, 173-188, Mar 1992 Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering) (Fig. n. 10.2).

Table 1. Relation between damage extent and approximate settlements

Extent of damage	Settlements (cm)	Phenomena on the ground surface
Light to no damage	0~10	Minor cracks
Medium damage	10~30	Small cracks, oozing of sand
Extensive damage	30~70	Large cracks, spouting of sands, large offsets, lateral movement

Relazione tra la portata del danneggiamento e il valore di cedimento post-sismico Ishihara & Yoshimine 1992

Considerando la classificazione indicata, il valore di cedimento ottenuto si riferisce a una classe di danneggiamento bassa. I fenomeni attesi in superficie sono relativi a piccole crepe.

5 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO – NTC18

5.1 Pericolosità sismica di base

Secondo la classificazione sismica del territorio nazionale proposta a partire dall'O.P.C.M. n. 3274/2003 e successive modifiche, il **Comune di Carpi (MO)** risulta appartenente alla **classe di sismicità 3** (Fig. 4.1).

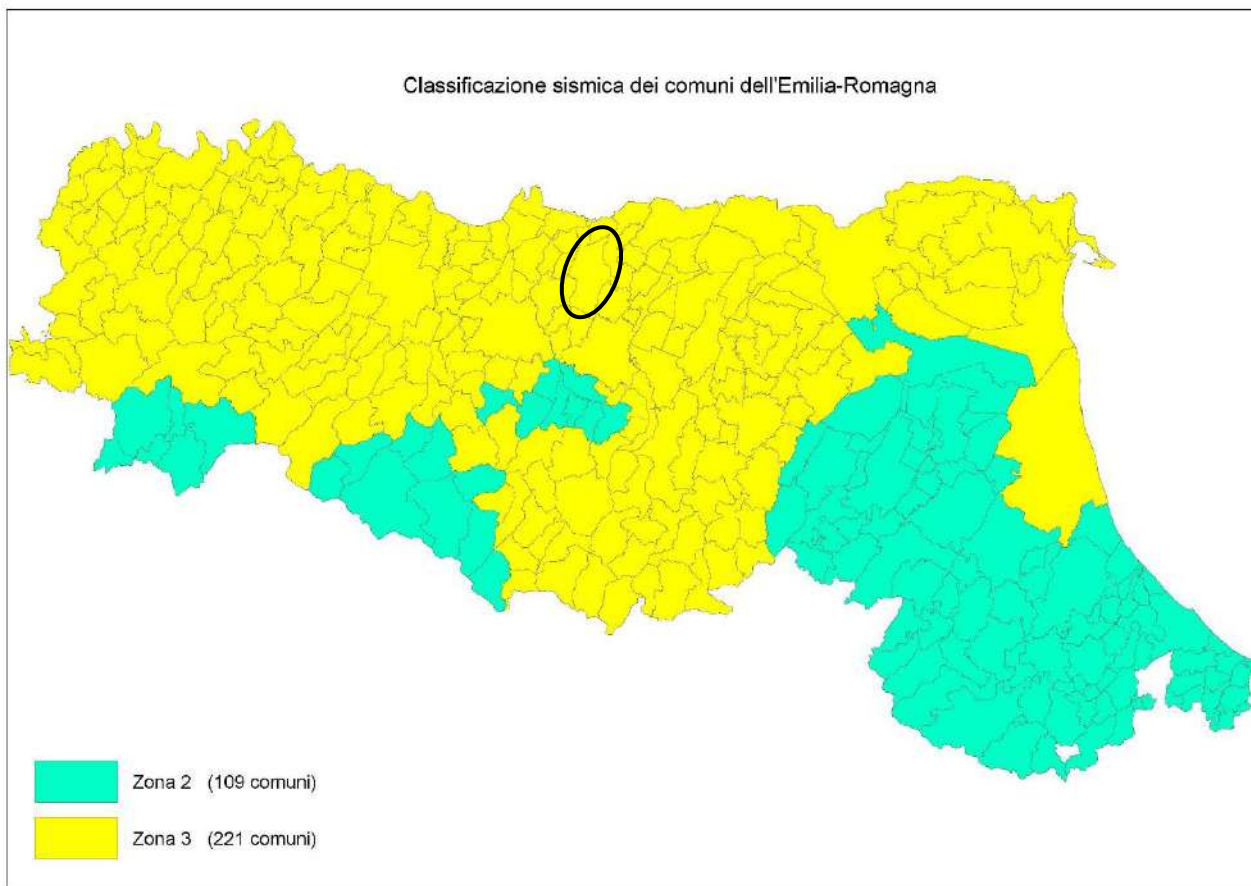


Fig.4.1 - Classificazione sismica dei comuni della Regione Emilia-Romagna (DGR 146/23).

La suddivisione del territorio nazionale in zone a diversa classe di sismicità, caratterizzate da un valore di accelerazione di picco ed un corrispondente spettro di risposta elastico da utilizzare nella progettazione, risulta in realtà superata dall'entrata in vigore del D.M. 14/01/2008. Sulla base dei contenuti delle NNTC 2008 e delle successive NTC 2018, per ogni costruzione deve essere definita un'accelerazione di riferimento propria, in funzione delle coordinate geografiche dell'area e della vita nominale dell'opera.

Per ciascuna area in oggetto, in relazione a un periodo di riferimento T_R stimato di 475 anni, è stato definito un parametro di accelerazione massima attesa a_g definita in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido e con superficie topografica orizzontale. L'accelerazione a_g rappresenta uno dei parametri principali che definisce la **pericolosità sismica di base**, insieme ai parametri F_0 e T_c^* dello spettro di risposta elastico, desumibili nelle tabelle riportate sotto (Tab. 5.1).

Stati limite

Classe Edificio
 II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...

Vita Nominale 50

Interpolazione Media ponderata

CU = 1

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0.041	2.546	0.248
Danno (SLD)	50	0.051	2.516	0.265
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.151	2.583	0.269
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.203	2.529	0.276
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

Coefficienti sismici

Tipo Stabilità dei pendii e fondazioni

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m) us (m)

1 0.1

Cat. Sottosuolo C

Cat. Topografica T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,47	1,39
CC Coeff. funz categoria	1,66	1,63	1,62	1,61
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Acc.ne massima attesa al sito [m/s²] 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.012	0.015	0.053	0.079
kv	0.006	0.008	0.027	0.039
Amax [m/s ²]	0.597	0.755	2.171	2.761
Beta	0.200	0.200	0.240	0.280

Tab.5.1 - Tabella riassuntiva dei parametri sismici del sito in esame secondo NTC18.

5.2 Valutazione dell'azione sismica – NTC18 – Approccio semplificato

Per la definizione dell'azione sismica, sulla base di quanto previsto dalle NTC si può fare riferimento ad un approccio semplificato che **si basa sull'individuazione della categoria di sottosuolo e le condizioni topografiche del sito**, in funzione delle quali si definiscono l'entità dell'amplificazione stratigrafica e topografica. Sulla base delle NTC 2018, e tenendo conto dei dati ottenuti **dalle indagini geofisiche eseguite in sito**, si **classifica** il terreno di fondazione in oggetto, come appartenente alla **categoria C**.

Si ricava quindi il **fattore stratigrafico S_s** , mediante la seguente relazione, valida suoli in classe C:

$$1.00 \leq S_s = 1.70 - (0.60 \cdot F_o \cdot a_g/g) \leq 1.50 \quad (4.1.1)$$

dove:

- F_o = fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2.2;
- a_g/g = accelerazione orizzontale del sito, con tempo di ritorno pari a **475 anni**/accelerazione di gravità;
- S_s = coefficiente di amplificazione stratigrafica o fattore stratigrafico, calcolato tramite la relazione sopra riportata.

Successivamente, sulla base delle condizioni topografiche del sito studiato, si considera un valore di un fattore topografico S_T sulla base della seguente tabella:

Categoria topografica	Ubicazione opera/intervento	ST
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$	1.0
T2	Pendii con inclinazione media $> 15^\circ$	1.2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1.2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $> 30^\circ$	1.4

Per l'area studiata si riportano in tabella i parametri della pericolosità di base.

PARAMETRI PERICOLOSITÀ DI BASE			
Tr (anni)	ag(g)	Fo	Tc*(s)
475	0.151	2.583	0.269

PARAMETRI PERICOLOSITÀ DI SITO	
S_s	S_T
1.47	1.00

Si calcola infine per ciascuna area l'accelerazione massima orizzontale A_{max} con la seguente formula:

$$A_{max} = S_s \cdot S_T \cdot a_g = 1.47 \cdot 1.0 \cdot 0.151 = 0.222g$$

5.2.1 Stabilità nei confronti della liquefazione (§NTC18)

In accordo con la normativa regionale DGR 476/21 si è proceduto alla verifica della liquefazione per le verticali di prova CPT1 e CPTU.

La valutazione del fenomeno della liquefazione viene svolta attraverso il calcolo del fattore di sicurezza di ciascun livello che compone il sottosuolo analizzato nei confronti del fenomeno stesso. Il fattore di sicurezza è derivato secondo la seguente formulazione:

$$F_L(z) = \frac{CRR_{M=7.5; \sigma'_v=1atm}}{CSR} \cdot MSF \cdot K_\sigma$$

Dove:

CRR è rappresentato dal rapporto di resistenza ciclica

MSF rappresenta il fattore di scala della magnitudo che è funzione della magnitudo stessa, della PGA e del valore di CRR

K_σ è il fattore di correzione che tiene conto della pressione efficace alla profondità a cui la resistenza viene valutata

CSR è il rapporto di tensione ciclica, ovvero la tensione di taglio indotta dall'azione sismica, normalizzata rispetto alla tensione verticale efficace. Tale parametro è derivabile secondo la seguente formulazione:

$$CSR = \frac{\tau_{media}}{\sigma'_{v0}} = 0.65 \cdot \frac{a_{maxs}}{g} \cdot \frac{\sigma'_{v0}}{\sigma'_{v0}} \cdot r_d$$

I termini che compongono la seguente relazione sono rappresentati da a_{max}/g che descrive il valore dell'accelerazione orizzontale a $T = 0.00$ s, il rapporto della tensione litostatica totale ed efficace, e il coefficiente riduttivo r_d . Quest'ultimo, in accordo con la predetta normativa è stato stimato secondo la seguente formulazione:

$$r_d = \exp[\alpha(z) + \beta(z) \cdot M]$$
$$\alpha(z) = -1.012 - 1.126 \cdot \text{sen}\left(\frac{z}{11.73} + 5.133\right)$$
$$\beta(z) = 0.106 + 0.118 \cdot \text{sen}\left(\frac{z}{11.28} + 5.142\right)$$

dove M rappresenta il valore di magnitudo di riferimento per il sito in analisi.

Il valore **CRR** è stato ricavato attraverso la metodologia di calcolo proposta da **Boulanger&Idriss 2014**. Per le specifiche della procedura di calcolo adottata si faccia riferimento all'allegato **A2.2** della DGR 476/2021 della Regione Emilia-Romagna. L'analisi di liquefazione è stata eseguita entro i -20.00 m rispetto al piano campagna come prescritto dalla normativa di riferimento.

A seguito dell'identificazione del fattore di sicurezza F_L è stato determinato l'indice potenziale di liquefazione IL (LPI) attraverso il quale è possibile definire l'esposizione del sito al rischio di liquefazione. Il potenziale di liquefazione LPI è stato determinato secondo la seguente formulazione:

$$I_L = \int_0^{z_{crit}} F(z) \cdot w(z) \cdot dz \quad \text{in cui} \quad w(z) = \frac{200}{z_{crit}} \cdot \left(1 - \frac{z}{z_{crit}}\right)$$

Dove $F(z)$ viene determinato secondo le formulazioni proposte da Somnez (2003)

$$\begin{array}{ll} F(z) = 0 & \text{per } F_L \geq 1.2 \\ F(z) = 2 \cdot 10^6 \cdot \exp(-18.427 \cdot F_L) & \text{per } 1.2 > F_L \geq 0.95 \\ F(z) = 1 - F_L & \text{per } F_L \leq 0.95 \end{array}$$

In base al valore di LPI ottenuto è possibile fornire un'indicazione del rischio di liquefazione. In considerazione delle linee guida emesse dalla Regione Emilia-Romagna, a seguito degli eventi sismici di Maggio e Giugno 2012, si considera la classificazione di rischio definita da **Sonmez 2003**:

INDICE DI LIQUEFAZIONE	Rischio di liquefazione
LPI=0	Nulla
0 < LPI ≤ 2	Basso
2 < LPI ≤ 5	Moderato
5 < LPI ≤ 10	Alto
15 > LPI	Molto alto

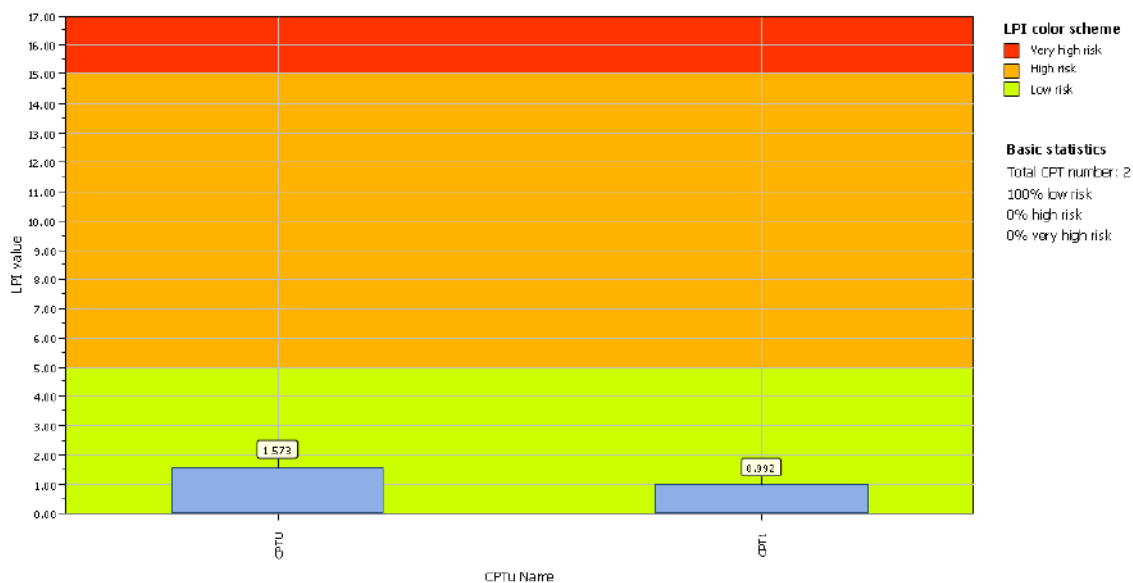
Si illustra successivamente il valore di LPI derivato dalle verticali di prova CPT1 e CPTU considerando un'accelerazione massima al suolo $A_{max} = 0.22g$ (calcolata secondo l'approccio semplificato NTC18), e una magnitudo di riferimento pari a $M = 6.14$.

A seguito della verifica, in riferimento alle verticali, è stato ottenuto il seguente valore di LPI:

INDAGINE	INDICE DI LIQUEFAZIONE	RISCHIO
CPTU	1.573	BASSO
CPT1	0.992	BASSO

Project title : ELABORAZIONE PROVE PENETROMETRICA
Location : FOSSOLI - VIA T. MARTINELLI

Overall Liquefaction Potential Index report



Valore di LPI

6 MODELLAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA DEL SITO

6.1 Modello geotecnico del sottosuolo

Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione delle indagini geotecniche e litostratigrafiche, si può riassumere il seguente modello geotecnico schematico del terreno investigato.

Strato	Profondità	falda	Litotipo	Parametri geotecnici		
1	Da p.c. a – 3.60 m da p.c.	– 2.20 m da p.c.	Argilla o argilla limosa a media consistenza	γ	1800 kg/m ³ ≈ 18.00 kN/m ³	
				γ'	2100 kg/m ³ ≈ 21.00 kN/m ³	
				C_{uk}	0.50 kg/cm ² ≈ 50.0 kN/m ²	
				C'_k	0.05 kg/cm ² ≈ 5.0 kN/m ²	
				M_0	40.0 kg/cm ² ≈ 4000 kN/m ²	
				E	70.0 kg/cm ² ≈ 7000 kN/m ²	
				ν	0.40	
2	3.60 – 12.60 m da p.c.		Argilla o argilla limosa a media elevata consistenza	γ	1800 kg/m ³ ≈ 18.00 kN/m ³	
				γ'	2100 kg/m ³ ≈ 21.00 kN/m ³	
				C_{uk}	0.70 kg/cm ² ≈ 70.0 kN/m ²	
				C'_k	0.07 kg/cm ² ≈ 7.0 kN/m ²	
				M_0	55.0 kg/cm ² ≈ 5500 kN/m ²	
				E	98.0 kg/cm ² ≈ 9800 kN/m ²	
				ν	0.38	
3	12.60 – 16.80 m da p.c.		Sabbia o sabbia limosa mediamente addensata	γ	1850 kg/m ³ ≈ 18.50 kN/m ³	
				γ'	2150 kg/m ³ ≈ 21.50 kN/m ³	
				Dr	49%	
				E	140.0 kg/cm ² ≈ 14000 kN/m ²	
				ν	0.35	
4	16.80 – 20.00 m da p.c.		Argilla o argilla limosa consistente	γ	1850 kg/m ³ ≈ 18.50 kN/m ³	
				γ'	2150 kg/m ³ ≈ 21.50 kN/m ³	
				C_{uk}	0.75 kg/cm ² ≈ 75.0 kN/m ²	
				C'_k	0.075 kg/cm ² ≈ 7.5 kN/m ²	
				M_0	57.0 kg/cm ² ≈ 5700 kN/m ²	
				E	105.0 kg/cm ² ≈ 10500 kN/m ²	
				ν	0.38	
Legenda				γ	=	peso specifico terreno naturale
				γ'	=	peso specifico terreno saturo
				C_{uk}	=	coesione non drenata caratteristica
				C'_k	=	coesione efficace caratteristica
				M_{0k}	=	modulo di deformazione edometrico caratteristico
				E_s	=	modulo elastico
				ϕ_k	=	angolo d'attrito caratteristico
				Dr	=	densità relativa
ν	=	coefficiente di Poisson				

La quota zero del presente modello corrisponde al piano campagna, dove sono state eseguite le prove penetrometriche.

6.2 Tipologia di fondazioni e calcolo della capacità portante

Per il calcolo della capacità portante del terreno si sono utilizzati i parametri geotecnici emersi dall'elaborazione delle prove penetrometriche eseguite nel sito in studio. Al fine di calcolare la capacità portante del terreno, si sono ipotizzate delle **fondazioni su platea in c.a.**, approfondite alla quota D=-0.80 m da p.c...

larghezza della fondazione	B = 8.00 m
lunghezza della fondazione	B' = 10.00 m
profondità della quota di imposta	D = -0.80 m da p.c.

Parametri di resistenza e deformabilità:

1	Da p.c. a - 3.60 m da p.c.	- 2.20	Argilla o argilla limosa a media consistenza	γ	1800 kg/m ³ \approx 18.00 kN/m ³
		m da p.c.		γ'	2100 kg/m ³ \approx 21.00 kN/m ³
				C_{uk}	0.50 kg/cm ² \approx 50.0 kN/m ²
				C'_k	0.05 kg/cm ² \approx 5.0 kN/m ²
				M₀	40.0 kg/cm ² \approx 4000 kN/m ²
				E	70.0 kg/cm ² \approx 7000 kN/m ²
				v	0.40
				ϕ_k	22°

5.3.1 Verifica nei confronti degli SLU (6.4 NTC 2018)

In relazione a quanto esposto nella normativa tecnica nazionale NTC 2018, si procede alla verifica nei confronti degli stati limite ultimi (SLU) di resistenza del terreno (GEO) relativamente alle opere di fondazione in oggetto, di **tipo superficiale**, fornendo il valore di resistenza offerta dal sistema geotecnico (**R_d GEO**). Il valore di progetto della resistenza **R_d** può essere determinato:

- a) in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, diviso per il valore del coefficiente parziale γ_M specificato nella Tab. 6.2.II (NTC 2018) e tenendo conto, ove necessario, dei coefficienti parziali γ_R specificati nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera;
- b) in modo analitico, con riferimento a correlazioni con i risultati di prove in sito, tenendo conto dei coefficienti parziali γ_R riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera;
- c) sulla base di misure dirette su prototipi, tenendo conto dei coefficienti parziali γ_R riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera.

Le verifiche sono effettuate applicando la combinazione (A1+M1+R3) di coefficienti parziali prevista dall'approccio 2, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.4.I.

Fattori correttivi sismici: Paolucci e Pecker (1997)

Per tener conto degli effetti inerziali indotti dal sisma nei riguardi della determinazione del q_{lim} vengono introdotti, all'interno della formula di Terzaghi, i fattori correttivi z:

$$z_c = 1 - 0.32 \cdot K_h \qquad z_q = \left(1 - \frac{k_h}{\tan \varphi}\right)^{0.35} \qquad z_\gamma = z_q$$

Dove il K_h è il coefficiente sismico orizzontale. Le verifiche sono state effettuate considerando quindi i seguenti parametri sismici:

- a_{MAX} (ag/g): **0.222g** (calcolata con approccio semplificato NTC18, relativa a SLV ; $T_r = 475$ anni);
- coefficiente intensità sismica del terreno K_h : 0.053

La determinazione della resistenza R_d GEO è stata svolta nella condizione sia a breve che a lungo termine per l'intervento in progetto.

La resistenza R_d calcolata in condizioni “**non drenate**” dove $C_u \neq 0$ e $\phi = 0$, applicando il coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata secondo la seguente relazione $C_{ud} = C_{uk} / 1.0$, per cui si avrà $C_{ud} = C_{uk}$, dove $C_{ud} =$ coesione non drenata di progetto e $C_{uk} =$ coesione non drenata caratteristica, sarà pari a:

CONDIZIONE STATICA – CONDIZIONI NON DRENATE – A1+M1+R3		
Profondità di imposta	Larghezza della fondazione	Carico limite ultimo SLU F.S. = 2.3
D=-0.80 m da p.c.	B= 8.00 m X L= 10.00 m	1.30 kg/cm ² ≈ 130 kN/m ²

La resistenza R_d calcolata in condizioni “**drenate**” seguendo l’**Approccio 2**, combinazione (**A1 + M1 + R3**), applicando il coefficiente di riduzione parziale per la tangente dell’angolo di attrito secondo la relazione: $\tan \phi'd = \tan \phi'k / 1.0$, dove $\phi'd$ è l’angolo d’attrito di progetto, ne deriva, essendo $\phi'k = \phi'd$. Quindi secondo la formula di Terzaghi si ottiene, per l’intervento in progetto uno stato limite ultimo pari a:

CONDIZIONE STATICA – CONDIZIONI DRENATE – A1+M1+R3		
Profondità di imposta	Larghezza della fondazione	Carico limite ultimo SLU F.S. = 2.3
D=-0.80 m da p.c.	B= 8.00 m X L= 10.00 m	3.04 kg/cm ² ≈ 304 kN/m ²

CONDIZIONE PSEUDO-STATICA – CONDIZIONI DRENATE – A1+M1+R3		
Profondità di imposta	Larghezza della fondazione	Carico limite ultimo SLU F.S. = 2.3
D=-0.80 m da p.c.	B= 8.00 m X L= 10.00 m	2.91 kg/cm ² ≈ 291 kN/m ²

5.3.2 Verifica dei cedimenti

È stato eseguito il calcolo del cedimento edometrico del terreno di fondazione mediante il metodo di consolidazione monodimensionale di Terzaghi.

È stato **considerato** un carico applicato al terreno di fondazione pari a $P = 50 \text{ kN/m}^2 \approx 0.50 \text{ kg/cm}^2$; per una quota di imposta delle fondazioni pari a $D = -0.80 \text{ m da p.c.}$, e si è ottenuto un valore di cedimento del terreno pari a:

Profondità di imposta	B x L	Carico considerato	Cedimento per consolidazione
D=-0.80 m da p.c.	B= 8.00 m X L= 10.00 m	50 kN/m ²	1.559 cm

5.3.3 Modulo di sottofondo

Il modello di Winkler considera il terreno come formato da una distribuzione di vincoli semplici bilaterali elastici. La relazione che ne regola il comportamento è di tipo lineare tra il cedimento (w) e la pressione di contatto (p): $p = kw$.

Il parametro k è detto costante di sottofondo. Come è noto, k non dipende solo dal terreno ma anche dai carichi applicati, dalle proprietà del terreno, dalla forma e le dimensioni della fondazione.

Utilizzando la Formula di Bowles (1974):

$$k \text{ (kN/mc)} = 40 * Q_{lim} * F_c,$$

dove $F_c = 2.54/\text{cedimento della fondazione (cm)}$; è stato considerato un cedimento di riferimento pari a $S = 1.559 \text{ cm}$ ed un carico applicato al terreno di fondazione pari a $P = 0.50 \text{ kg/cm}^2 \approx 50 \text{ kN/m}^2$, il modulo di sottofondo o costante di Winkler è risultato pari a $K = 0.98 \text{ kg/cm}^3 \approx 9769 \text{ kN/m}^3$.

7 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il presente elaborato contiene la modellazione geologica, geotecnica e sismica derivante dalla sintesi dei risultati delle analisi e delle indagini eseguite nell'area di interesse a supporto della progettazione ingegneristica delle opere in progetto, in conformità alla normativa nazionale NTC 2018 e relative normative regionali DGR 630/19 e DGR 476/21. In particolare, il progetto si muove nell'ambito dell'Art. 53 della Legge 24/2017, (procedimento unico), si è pertanto suddivisa la relazione in due parti.

In funzione dei risultati ottenuti a seguito della campagna geognostica eseguita è stato possibile identificare l'assetto stratigrafico e geotecnico delle unità litologiche che compongono il sottosuolo di riferimento, dettagliatamente descritto nei modelli geologici e geotecnici precedentemente.

Per quel che concerne la caratterizzazione geofisica del sottosuolo si è fatto riferimento alla campagna indagini espletata. In ottemperanza della normativa tecnica nazionale (NTC 2018) e in accordo con i risultati ottenuti a seguito delle indagini geofisiche espletate è possibile classificare il terreno di fondazione come appartenente alla categoria C.

Per la definizione dell'azione sismica del sito, in riferimento alla **DGR 476/2021**, è stato eseguito l'approfondimento di III livello, dato che l'area in studio non risulta essere cartografata sulle carte di microzonazione sismica al terzo livello. Da tale analisi si sono ottenuti i seguenti valori:

Di seguito si riportano in tabella i FA:

Fattore di amplificazione	Periodo T (s)	FA
Fattore di Amplificazione SA1	$0.1s \leq T \leq 0.5s$	1.23
Fattore di Amplificazione SA2	$0.4s \leq T \leq 0.8s$	1.51
Fattore di Amplificazione SA3	$0.7s \leq T \leq 1.1s$	1.58
Fattore di Amplificazione SA4	$0.5s \leq T \leq 1.5s$	1.63

Fattori di amplificazione SA1 –SA2 –SA3 – SA4.

Fattore di amplificazione	Periodo T (s)	FA
Fattore di Amplificazione SI1	$0.1s \leq T \leq 0.5s$	1.23
Fattore di Amplificazione SI2	$0.5s \leq T \leq 1.0s$	1.57
Fattore di Amplificazione SI3	$0.5s \leq T \leq 1.5s$	1.63

Fattori di amplificazione SI1 –SI2 –SI3.

H _{SM}	Periodo T (s)
H _{SM} = 599	$0,1 s \leq T \leq 0,5s$
H ₀₄₀₈ = 799	$0,4 s \leq T \leq 0,8s$
H ₀₇₁₁ = 932	$0,7 s \leq T \leq 1,1s$
H ₀₅₁₅ = 899	$0,5 s \leq T \leq 1,5s$

Valori Hsm ottenuti per i diversi periodi.

Per la definizione dell'azione sismica, a supporto del progetto esecutivo, è stato eseguito lo studio di pericolosità sismica utilizzando l'approccio semplificato delle NTC 2018. Dall'analisi così eseguita si sono ottenuti i seguenti risultati:

ag	Approccio semplificato NTC18	
	FA	Amax (g)
0.151	1.47	0.222

In relazione a quanto esposto nelle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni in zona sismica del 2018, si è proceduto alla verifica nei confronti degli stati limite ultimi (SLU). Nel nostro caso specifico, per quanto riguarda le opere di fondazione, nelle verifiche di sicurezza agli stati limite ultimi è stato calcolato lo SLU sia a breve che a lungo termine per l'intervento in progetto, utilizzando il seguente approccio di calcolo:

- Approccio 2 combinazione (A1 + M1 + R3).

I risultati sono visibili nel § 5.3.1.

Si riassumono nella seguente tabella i valori di portanza del terreno di fondazione calcolati agli stati limite ultimi SLU relativamente alle fondazioni ipotizzate e sopra descritte.

Verifica nei confronti degli SLU		
APPROCCIO 2 – COMBINAZIONE 1		
CONDIZIONE NON DRENATE	CONDIZIONI DRENATE	CONDIZIONI SISMICHE DRENATE Paolucci &Pecker
1.30 kg/cm ² ≈ 130 kN/m ²	3.04 kg/cm ² ≈ 304 kN/m ²	2.91 kg/cm ² ≈ 291 kN/m ²

In ottemperanza della normativa tecnica nazionale (NTC 2018) e in accordo con i risultati ottenuti a seguito delle indagini geofisiche espletate per il sito in oggetto è possibile classificare il terreno di fondazione come appartenente alla **categoria C**, depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o a 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 equivalentemente compresi tra **180 m/s** e **360 m/s**.

È stata eseguita la verifica della suscettibilità al fenomeno della liquefazione sulla base delle prove penetrometriche CPT1 e CPTU, considerando una accelerazione massima al suolo **A_{max} = 0.19g (secondo lo studio di risposta sismica locale di terzo livello)** e una **A_{max} = 0.22g (secondo l'approccio semplificato NTC18)**, e una **magnitudo di riferimento** pari a **M=6.14**. Dalle analisi della suscettibilità nei confronti del fenomeno della liquefazione così eseguita si sono ottenuti valori di LPI corrispondenti a un **rischio di liquefazione basso** (§4.2.1 e §5.2.1).

Modena, 19 novembre 2024

Dott. Geol. [REDACTED] i



TAVOLE

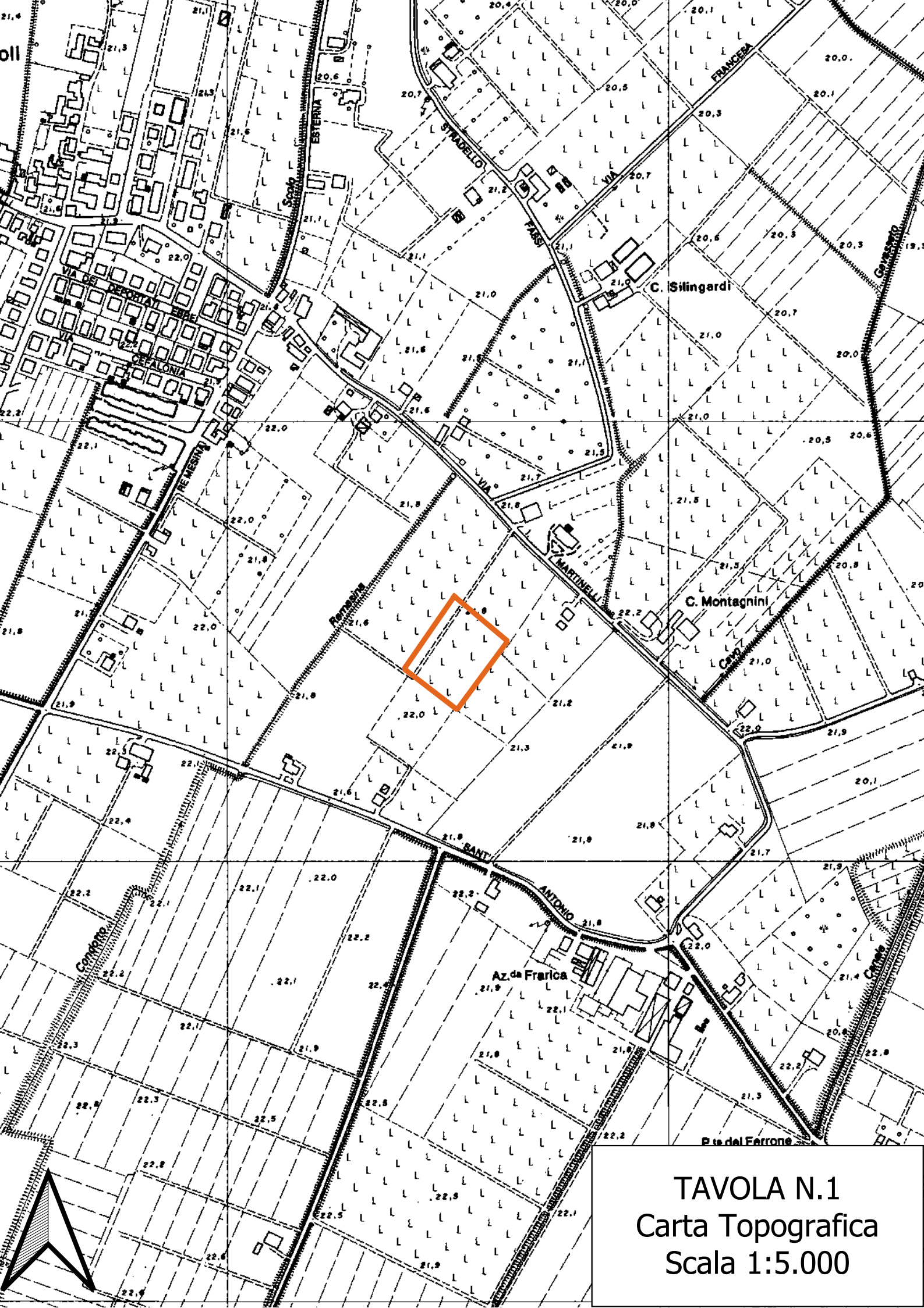
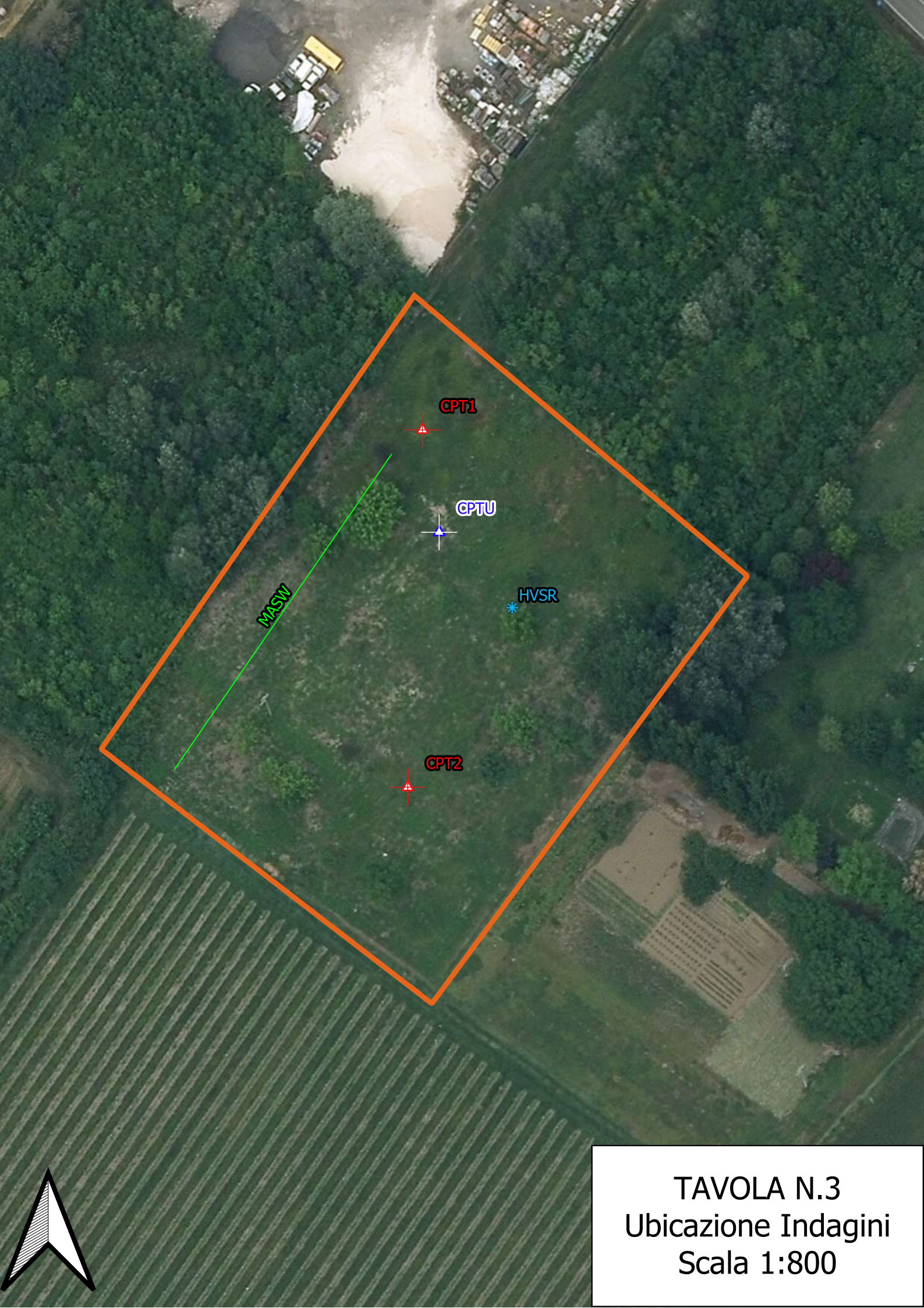


TAVOLA N.1
Carta Topografica
Scala 1:5.000



TAVOLA N.2
Ripresa Satellitare
Scala 1:5.000





CPT1

CPTU

HVSR

CPT2

MASW

TAVOLA N.3
Ubicazione Indagini
Scala 1:800



ALLEGATO 1

PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT

LEGENDA VALORI DI RESISTENZA FATTORI DI CONVERSIONE

Strumento utilizzato:**TG63-200Stat - Pagani - Piacenza**

Caratteristiche:

- punta conica meccanica \varnothing 35.7 mm, area punta $A_p = 10 \text{ cm}^2$
- punta conica meccanica angolo di apertura: $\alpha = 60^\circ$
- manicotto laterale di attrito tipo 'Begemann' ($\varnothing = 35.7 \text{ mm} - h = 133 \text{ mm} - A_m = 150 \text{ cm}^2$)
- velocità di avanzamento costante $V = 2 \text{ cm/sec}$ ($\pm 0,5 \text{ cm / sec}$)
- spinta max nominale dello strumento S_{max} variabile a seconda del tipo
- costante di trasformazione $CT = \text{SPINTA (Kg)} / \text{LETTURA DI CAMPAGNA}$
(dato tecnico legato alle caratteristiche del penetrometro utilizzato, fornito dal costruttore)

fase 1 - resistenza alla punta: $q_c \text{ (MPa)} = (L_1) \times CT / 10$ fase 2 - resistenza laterale locale: $f_s \text{ (kPa)} = [(L_2) - (L_1)] \times CT / 150$ fase 3 - resistenza totale : $R_t \text{ (kPa)} = (L_t) \times CT$

- Prima lettura = lettura di campagna durante l'infissione della sola punta (fase 1)
- Seconda lettura = lettura di campagna relativa all'infissione di punta e manicotto (fase 2)
- Terza lettura = lettura di campagna relativa all'infissione delle aste esterne (fase 3)

N.B. : la spinta $S \text{ (Kg)}$, corrispondente a ciascuna fase, si ottiene moltiplicando la corrispondente lettura di campagna L per la costante di trasformazione CT .

N.B. : causa la distanza intercorrente (20 cm circa) fra il centro del manicotto laterale e la punta conica del penetrometro, la resistenza laterale locale f_s viene computata 20 cm sopra la punta.

CONVERSIONI1 kN (kiloNewton) = 1000 N \approx 100 kg = 0,1 t1 MN (megaNewton) = 1.000 kN = 1.000.000 N \approx 100 t1 kPa (kiloPascal) = 1 kN/m² = 0,001 MN/m² = 0,001 MPa \approx 0,1 t/m² = 0,01 kg/cm²1 MPa (megaPascal) = 1 MN/m² = 1.000 kN/m² = 1000 kPa \approx 100 t/m² = 10 kg/cm²1 kg/cm² = 10 t/m² \approx 100 kN/m² = 100 kPa = 0,1 MN/m² = 0,1 MPa1 t = 1000 kg \approx 10 kN

LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE CORRELAZIONI GENERALI

Valutazioni in base al rapporto: $F = (q_c / f_s)$

Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977

Valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

F = q_c / f_s	NATURA LITOLOGICA	PROPRIETA'
$F \leq 1470$ kPa	TORBE ED ARGILLE ORGANICHE	COESIVE
1470 kPa < $F \leq 2940$ kPa	LIMI ED ARGILLE	COESIVE
2940 kPa < $F \leq 5880$ kPa	LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE	GRANULARI
$F > 5880$ kPa	SABBIE E SABBIE CON GHIAIA	GRANULARI

**Vengono inoltre riportate le valutazioni stratigrafiche fornite da Schmertmann (1978),
ricavabili in base ai valori di q_c e di $FR = (f_s / q_c) \% :$**

- AO = argilla organica e terreni misti
- Att = argilla (inorganica) molto tenera
- At = argilla (inorganica) tenera
- Am = argilla (inorganica) di media consistenza
- Ac = argilla (inorganica) consistente
- Acc = argilla (inorganica) molto consistente
- ASL = argilla sabbiosa e limosa
- SAL = sabbia e limo / sabbia e limo argilloso
- Ss = sabbia sciolta
- Sm = sabbia mediamente addensata
- Sd = sabbia densa o cementata
- SC = sabbia con molti fossili, calcareniti

Secondo Schmertmann il valore della resistenza laterale da usarsi, dovrebbe essere pari a:

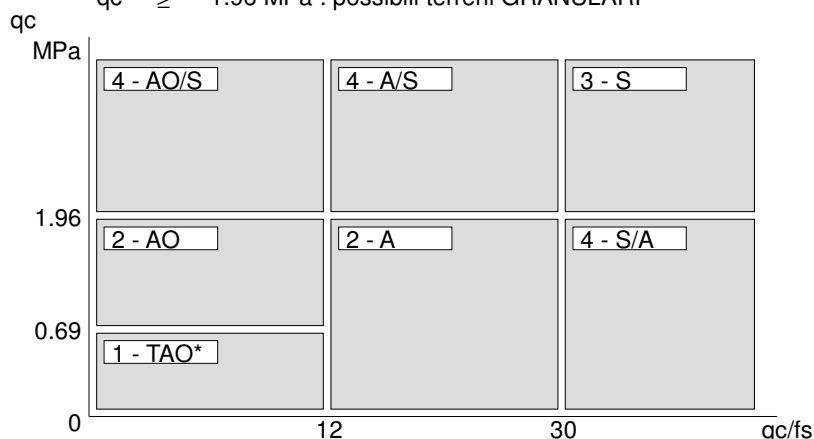
- $1/3 \pm 1/2$ di quello misurato , per depositi sabbiosi
- quello misurato (inalterato) , per depositi coesivi.

LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI SPECIFICHE TECNICHE

Le scelte litologiche vengono effettuate in base al rapporto qc / fs (Begemann 1965 - A.G.I. 1977) prevedendo altresì la possibilità di casi dubbi :

$qc \leq 1.96 \text{ MPa}$: possibili terreni COESIVI
 $qc \geq 1.96 \text{ MPa}$: possibili terreni GRANULARI

anche se $(qc / fs) > 30$
 anche se $(qc / fs) < 30$



NATURA LITOLOGICA

- 1 - COESIVA (TORBOSA) ALTA COMPRIM.
- 2 - COESIVA IN GENERE
- 3 - GRANULARE
- 4 - COESIVA / GRANULARE

PARAMETRI GEOTECNICI (validità orientativa) - simboli - correlazioni - bibliografia

- γ' = peso dell' unità di volume (efficace) del terreno [correlazioni : γ' - qc - natura]
(Terzaghi & Peck 1967 - Bowles 1982)
- σ'_{vo} = tensione verticale geostatica (efficace) del terreno (valutata in base ai valori di γ')
- C_u = coesione non drenata (terreni coesivi) [correlazioni : C_u - qc]
- OCR = grado di sovra consolidazione (terreni coesivi) [correlazioni : OCR - C_u - σ'_{vo}]
(Ladd et al. 1972 / 1974 / 1977 - Lancellotta 1983)
- E_u = modulo di deformazione non drenato (terreni coesivi) [correl. : E_u - C_u - OCR - l_p l_p = ind.plast.]
 E_{u50} - E_{u25} corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (Duncan & Buchigani 1976)
- E' = modulo di deformazione drenato (terreni granulari) [correlazioni : E' - qc]
 E'_{50} - E'_{25} corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (coeff. di sicurezza $F = 2 - 4$ rispettivamente)
Schmertmann 1970 / 1978 - Jamiolkowski ed altri 1983)
- M_o = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [correl. : M_o - qc - natura]
Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973)
- D_r = densità relativa (terreni granulari N. C. - normalmente consolidati)
[correlazioni : D_r - R_p - σ'_{vo} (Schmertmann 1976)]
- \emptyset' = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari N.C.) [correl. : \emptyset' - D_r - qc - σ'_{vo})
 \emptyset'_{Ca} - Caquot (1948) \emptyset'_{Ko} - Koppejan (1948)
 \emptyset'_{DB} - De Beer (1965) \emptyset'_{Sc} - Schmertmann (1978)
 \emptyset'_{DM} - Durgunoglu & Mitchell (1975) (sabbie N.C.) \emptyset'_{Me} - Meyerhof (1956 / 1976) (sabbie limose)
- F.L. = fattore di liquefazione (F.L.1 = Sabbie Pulite, F.L.2 = Sabbie Limose)
- V_s = velocità di propagazione delle onde sismiche (Iyisan 1996)

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

CPT**1**

Riferimento

105-2020

Committente **STUDIO TECNICO**
 Cantiere **STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE**
 Località **CARPI - VIA MARTINELLI - NUOVO GATTILE**

U.M.: **MPa** Data esec. **05/06/2020**
 Pagina **1**
 Elaborato **Falda -2.30 m**

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %
0.20	20.0	25.0		1.96	53.00	38	2.7	15.20	70.0	80.0		6.86	100.00	70	1.4
0.40	18.0	26.0		1.76	93.00	19	5.2	15.40	105.0	120.0		10.29	33.00	318	0.3
0.60	20.0	34.0		1.96	127.00	16	6.4	15.60	125.0	130.0		12.25	67.00	187	0.5
0.80	26.0	45.0		2.55	133.00	20	5.1	15.80	140.0	150.0		13.72	33.00	424	0.2
1.00	25.0	45.0		2.45	40.00	63	1.6	16.00	165.0	170.0		16.17	67.00	246	0.4
1.20	24.0	30.0		2.35	53.00	45	2.2	16.20	200.0	210.0		19.60	67.00	299	0.3
1.40	24.0	32.0		2.35	60.00	40	2.5	16.40	170.0	180.0		16.66	67.00	254	0.4
1.60	36.0	45.0		3.53	53.00	68	1.5	16.60	180.0	190.0		17.64	33.00	545	0.2
1.80	27.0	35.0		2.65	40.00	68	1.5	16.80	140.0	145.0		13.72	200.00	70	1.4
2.00	38.0	44.0		3.72	33.00	115	0.9	17.00	20.0	50.0		1.96	113.00	18	5.7
2.20	40.0	45.0		3.92	13.00	308	0.3	17.20	17.0	34.0		1.67	67.00	25	3.9
2.40	34.0	36.0		3.33	67.00	51	2.0	17.40	16.0	26.0		1.57	60.00	27	3.8
2.60	24.0	34.0		2.35	60.00	40	2.5	17.60	16.0	25.0		1.57	67.00	24	4.2
2.80	35.0	44.0		3.43	87.00	40	2.5	17.80	15.0	25.0		1.47	80.00	19	5.3
3.00	11.0	24.0		1.08	53.00	21	4.8	18.00	14.0	26.0		1.37	87.00	16	6.2
3.20	12.0	20.0		1.18	67.00	18	5.6	18.20	17.0	30.0		1.67	87.00	20	5.1
3.40	15.0	25.0		1.47	67.00	22	4.5	18.40	16.0	29.0		1.57	100.00	16	6.3
3.60	20.0	30.0		1.96	93.00	22	4.7	18.60	15.0	30.0		1.47	60.00	25	4.0
3.80	20.0	34.0		1.96	100.00	20	5.0	18.80	26.0	35.0		2.55	107.00	24	4.1
4.00	20.0	35.0		1.96	67.00	30	3.4	19.00	20.0	36.0		1.96	133.00	15	6.7
4.20	16.0	26.0		1.57	73.00	22	4.6	19.20	19.0	39.0		1.86	127.00	15	6.7
4.40	19.0	30.0		1.86	60.00	32	3.2	19.40	21.0	40.0		2.06	133.00	16	6.3
4.60	25.0	34.0		2.45	67.00	37	2.7	19.60	24.0	44.0		2.35	120.00	20	5.0
4.80	24.0	34.0		2.35	73.00	33	3.0	19.80	20.0	38.0		1.96	127.00	16	6.4
5.00	17.0	28.0		1.67	47.00	36	2.8	20.00	21.0	40.0		2.06			
5.20	19.0	26.0		1.86	67.00	28	3.5								
5.40	15.0	25.0		1.47	53.00	28	3.5								
5.60	10.0	18.0		0.98	33.00	30	3.3								
5.80	7.0	12.0		0.69	40.00	18	5.7								
6.00	4.0	10.0		0.39	40.00	10	10.0								
6.20	9.0	15.0		0.88	33.00	27	3.7								
6.40	10.0	15.0		0.98	60.00	17	6.0								
6.60	17.0	26.0		1.67	53.00	32	3.1								
6.80	17.0	25.0		1.67	33.00	52	1.9								
7.00	17.0	22.0		1.67	73.00	23	4.3								
7.20	25.0	36.0		2.45	100.00	25	4.0								
7.40	25.0	40.0		2.45	107.00	23	4.3								
7.60	25.0	41.0		2.45	93.00	27	3.7								
7.80	24.0	38.0		2.35	107.00	22	4.5								
8.00	24.0	40.0		2.35	87.00	28	3.6								
8.20	24.0	37.0		2.35	100.00	24	4.2								
8.40	25.0	40.0		2.45	87.00	29	3.5								
8.60	22.0	35.0		2.16	73.00	30	3.3								
8.80	27.0	38.0		2.65	93.00	29	3.4								
9.00	24.0	38.0		2.35	93.00	26	3.9								
9.20	23.0	37.0		2.25	113.00	20	4.9								
9.40	23.0	40.0		2.25	93.00	25	4.0								
9.60	24.0	38.0		2.35	120.00	20	5.0								
9.80	24.0	42.0		2.35	127.00	19	5.3								
10.00	25.0	44.0		2.45	113.00	22	4.5								
10.20	21.0	38.0		2.06	113.00	19	5.4								
10.40	23.0	40.0		2.25	100.00	23	4.3								
10.60	20.0	35.0		1.96	87.00	23	4.4								
10.80	19.0	32.0		1.86	80.00	24	4.2								
11.00	15.0	27.0		1.47	7.00	214	0.5								
11.20	19.0	20.0		1.86	53.00	36	2.8								
11.40	14.0	22.0		1.37	80.00	18	5.7								
11.60	20.0	32.0		1.96	127.00	16	6.4								
11.80	13.0	32.0		1.27	93.00	14	7.2								
12.00	20.0	34.0		1.96	93.00	22	4.7								
12.20	12.0	26.0		1.18	60.00	20	5.0								
12.40	6.0	15.0		0.59	27.00	22	4.5								
12.60	8.0	12.0		0.78	33.00	24	4.1								
12.80	7.0	12.0		0.69	7.00	100	1.0								
13.00	19.0	20.0		1.86	40.00	48	2.1								
13.20	20.0	26.0		1.96	93.00	22	4.7								
13.40	11.0	25.0		1.08	27.00	41	2.5								
13.60	26.0	30.0		2.55	33.00	79	1.3								
13.80	40.0	45.0		3.92	93.00	43	2.3								
14.00	26.0	40.0		2.55	40.00	65	1.5								
14.20	70.0	76.0		6.86	53.00	132	0.8								
14.40	60.0	68.0		5.88	200.00	30	3.3								
14.60	40.0	70.0		3.92	93.00	43	2.3								
14.80	80.0	94.0		7.84	67.00	119	0.8								
15.00	75.0	85.0		7.35	67.00	112	0.9								

H = profondità
 L1 = prima lettura (punta)
 L2 = seconda lettura (punta + laterale)
 Lt = terza lettura (totale)
 CT = 10.00 costante di trasformazione

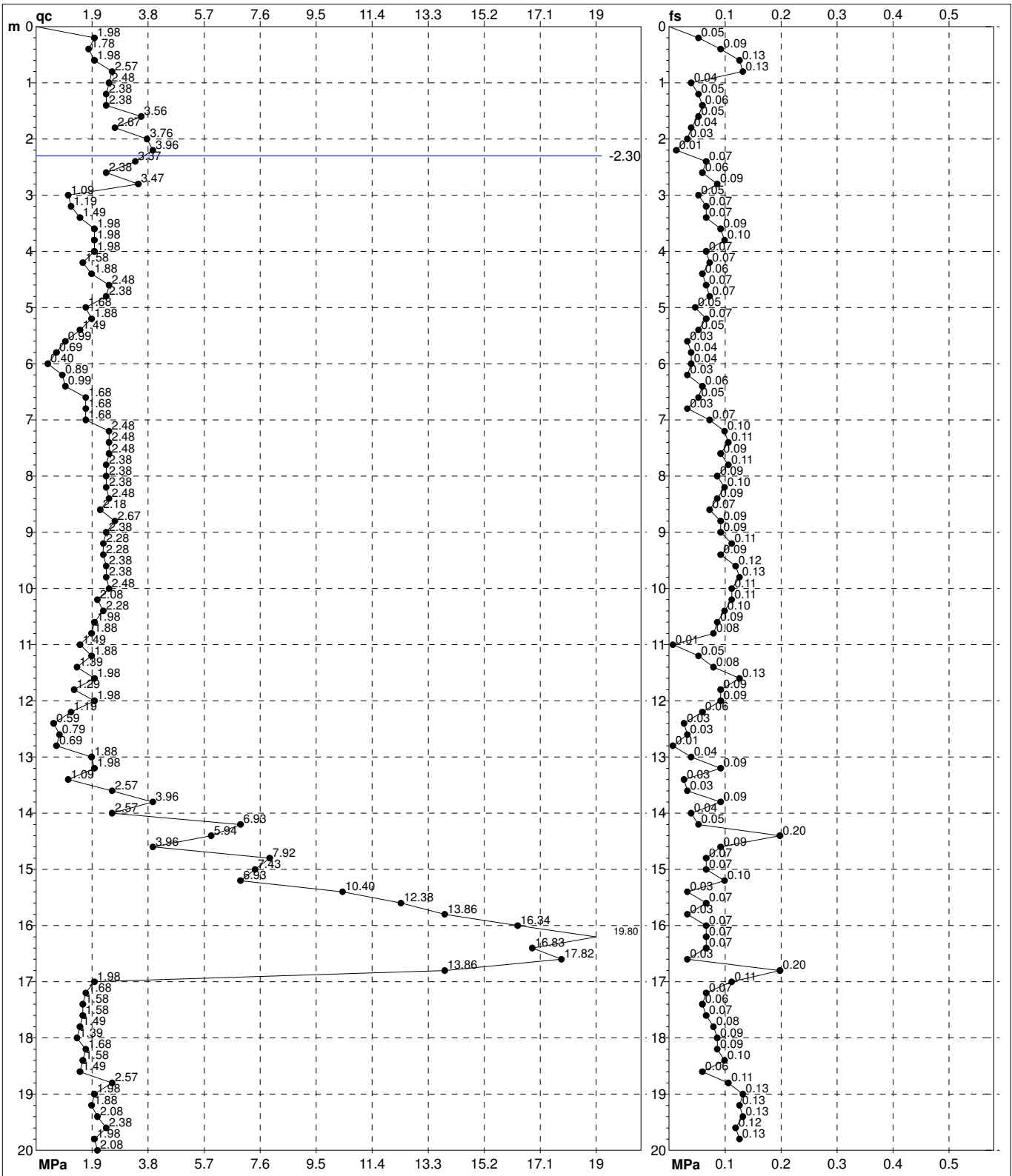
qc = resistenza punta
 fs = resistenza laterale
 alla stessa quota di qc
 F = rapporto Begemann (qc / fs)
 Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

CPT	1
Riferimento	105-2020

Committente **STUDIO TECNICO**
 Cantiere **STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE**
 Località **CARPI - VIA MARTINELLI - NUOVO GATTILE**

U.M.: **MPa** Data esec. **05/06/2020**
 Scala: **1:100**
 Pagina **1**
 Elaborato Quota inizio:
 Falda **-2.30 m**



Penetrometro: TG63-200Stat	preforo m
Responsabile:	Corr.astine: kN/ml
Assistente:	Cod. tip:

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT

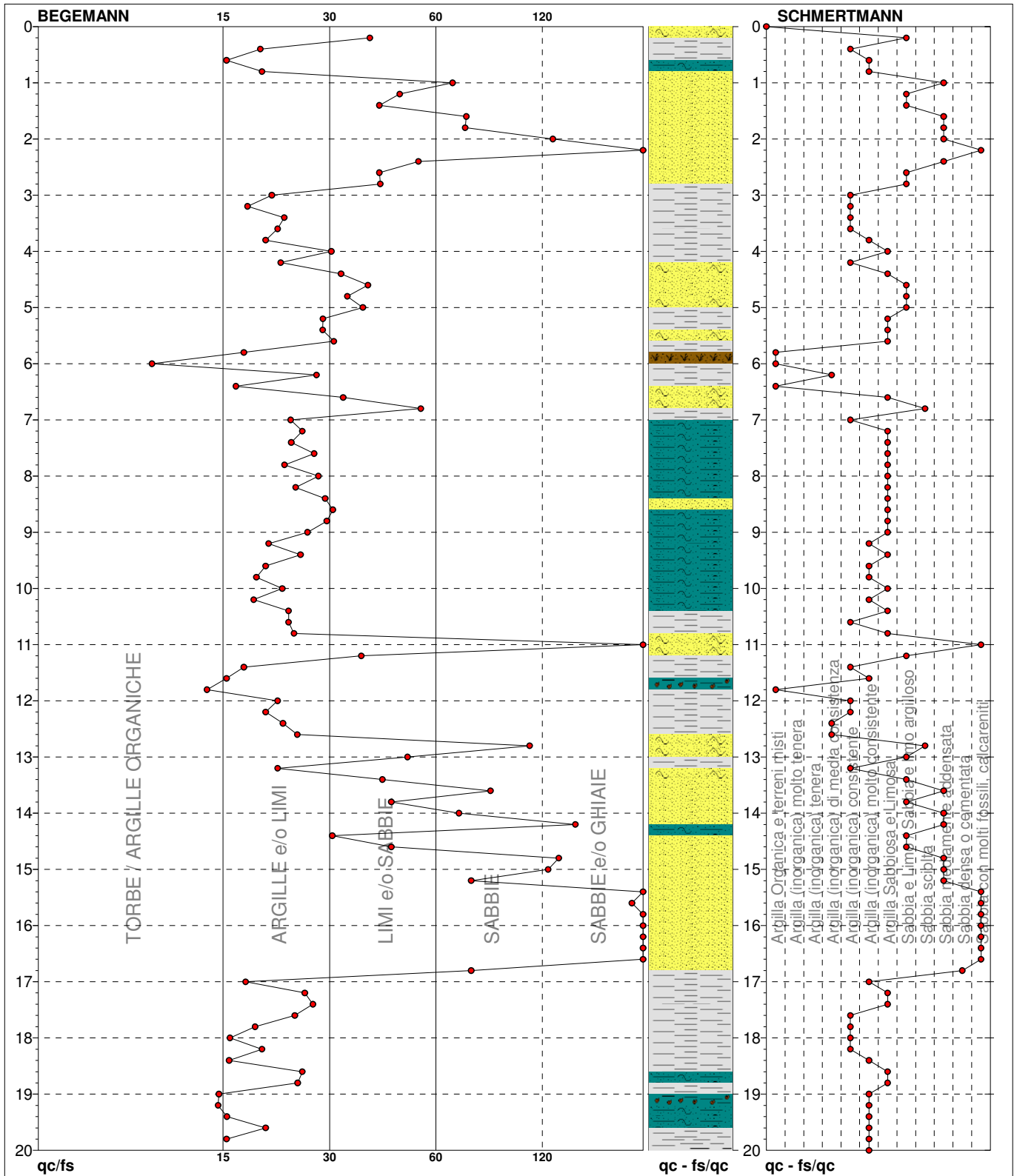
1

Riferimento

105-2020

Committente **STUDIO TECNICO**
 Cantiere **STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE**
 Località **CARPI - VIA MARTINELLI - NUOVO GATTILE**

U.M.: **MPa** Data esec. **05/06/2020**
 Scala: **1:100**
 Pagina **1**
 Elaborato **Falda -2.30 m**



TORBE / ARGILLE OR	3 punti, 3.00%	Argilla Organica e terreni misti	4 punti, 4.00%	Argilla Sabbiosa e Limosa	24 punti, 24.00%
ARGILLE e/o LIMI	56 punti, 56.00%	Argilla (inorganica) di media consistenza	3 punti, 3.00%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo argilloso	14 punti, 14.00%
LIMI e/o SABBIE	19 punti, 19.00%	Argilla (inorganica) consistente	16 punti, 16.00%	Sabbia sciolta	2 punti, 2.00%
SABBIE	11 punti, 11.00%	Argilla (inorganica) molto consistente	15 punti, 15.00%	Sabbia mediamente addensata	11 punti, 11.00%
SABBIE e/o GHIAIE	10 punti, 10.00%			Sabbia densa o cementata	1 punti, 1.00%
				Sabbia con molti fossili, calcareniti	9 punti, 9.00%

FON111

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
PARAMETRI GEOTECNICI

CPT	1
Riferimento	105-2020

Committente	STUDIO TECNICO	U.M.:	MPa	Data esec.	05/06/2020
Cantiere	STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE	Pagina	1	Falda	-2.30 m
Località	CARPI - VIA MARTINELLI - NUOVO GATTILE	Elaborato			

H m	qc U.M.	qc/fs	zone	γ' t/m ³	σ'_{vo} kPa	Vs m/s	NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE												
							Cu kPa	OCR %	Eu50 U.M.	Eu25 U.M.	Mo U.M.	Dr %	Sc (°)	Ca (°)	Ko (°)	DB (°)	DM (°)	Me (°)	E'50 U.M.	E'25 U.M.	Mo U.M.	FL1	FL2	
0.20	1.96	37.74	4	1.85	3.6	171	78.4	99.9	13.3	20.0	5.9	97	43	41	39	36	44	27	3.3	4.9	5.9	--	--	
0.40	1.76	19.35	2	1.85	7.3	164	73.5	99.9	12.5	18.7	5.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.60	1.96	15.75	2	1.85	10.9	171	78.4	74.1	13.3	20.0	5.9	70	40	36	33	31	40	27	3.3	4.9	5.9	--	--	
0.80	2.55	19.55	4	1.85	14.5	189	91.0	62.3	15.5	23.2	7.6	66	39	34	31	29	38	28	4.1	6.1	7.4	--	--	
1.00	2.45	62.50	4	1.85	18.1	186	--	--	--	--	--	60	38	33	30	28	37	28	3.9	5.9	7.1	--	--	
1.20	2.35	45.28	3	1.85	21.8	183	--	--	--	--	--	67	39	34	31	29	38	30	5.9	8.8	10.6	--	--	
1.40	2.35	40.00	3	1.85	25.4	183	--	--	--	--	--	56	38	32	29	27	37	28	3.9	5.9	7.1	--	--	
1.60	3.53	67.92	3	1.85	29.0	214	--	--	--	--	--	67	39	34	31	29	38	30	5.9	8.8	10.6	--	--	
1.80	2.65	67.50	3	1.85	32.6	192	--	--	--	--	--	54	38	32	29	27	36	28	4.4	6.6	7.9	--	--	
2.00	3.72	115.15	3	1.85	36.3	218	--	--	--	--	--	63	39	33	30	28	37	30	6.2	9.3	11.2	--	--	
2.20	3.92	307.69	3	1.85	39.9	222	--	--	--	--	--	62	39	33	30	28	37	30	6.5	9.8	11.8	--	--	
2.40	3.33	50.75	3	0.89	41.6	209	--	--	--	--	--	56	38	32	29	27	36	29	5.6	8.3	10.0	--	--	
2.60	2.35	40.00	3	0.86	43.3	183	--	--	--	--	--	43	36	30	27	25	34	28	3.9	5.9	7.1	--	--	
2.80	3.43	40.23	3	0.89	45.0	211	--	--	--	--	--	55	38	31	28	27	35	29	5.7	8.6	10.3	--	--	
3.00	1.08	20.75	2	0.91	46.8	137	52.6	7.3	11.6	17.4	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
3.20	1.18	17.91	2	0.92	48.6	141	56.0	7.5	11.9	17.9	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
3.40	1.47	22.39	2	0.95	50.5	154	65.3	8.7	12.0	17.9	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
3.60	1.96	21.51	4	0.93	52.3	171	78.4	10.4	13.3	20.0	5.9	32	35	28	25	23	31	27	3.3	4.9	5.9	--	--	
3.80	1.96	20.00	4	0.93	54.1	171	78.4	10.0	13.3	20.0	5.9	31	35	28	24	23	31	27	3.3	4.9	5.9	--	--	
4.00	1.96	29.85	4	0.93	55.9	171	78.4	9.6	13.5	20.2	5.9	30	35	27	24	23	31	27	3.3	4.9	5.9	--	--	
4.20	1.57	21.92	2	0.96	57.8	157	68.2	7.7	14.0	21.0	5.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
4.40	1.86	31.67	4	0.92	59.6	168	76.0	8.5	14.1	21.2	5.7	27	34	27	24	22	30	27	3.1	4.7	5.6	--	--	
4.60	2.45	37.31	3	0.86	61.3	186	--	--	--	--	--	36	36	28	25	23	32	28	4.1	6.1	7.4	--	--	
4.80	2.35	32.88	3	0.86	63.0	183	--	--	--	--	--	34	35	28	25	23	31	28	3.9	5.9	7.1	--	--	
5.00	1.67	36.17	4	0.91	64.8	161	70.9	7.0	16.2	24.3	5.3	21	34	26	23	21	29	27	2.8	4.2	5.0	--	--	
5.20	1.86	28.36	2	0.99	66.7	168	76.0	7.4	16.4	24.6	5.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5.40	1.47	28.30	2	0.95	68.6	154	65.3	5.9	18.2	27.3	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5.60	0.98	30.30	4	0.86	70.3	132	49.0	4.0	19.6	29.4	3.9	1	31	23	20	18	26	26	1.6	2.5	2.9	--	--	
5.80	0.69	17.50	2	0.84	71.9	115	34.3	2.5	18.2	27.3	3.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6.00	0.39	10.00	1	0.46	72.8	93	19.6	1.2	2.5	3.8	0.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6.20	0.88	27.27	2	0.88	74.5	127	44.1	3.3	20.8	31.2	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6.40	0.98	16.67	2	0.90	76.3	132	49.0	3.6	21.5	32.3	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6.60	1.67	32.08	4	0.91	78.1	161	70.9	5.6	21.1	31.6	5.3	17	33	25	22	20	28	27	2.8	4.2	5.0	--	--	
6.80	1.67	51.52	4	0.91	79.8	161	70.9	5.4	21.7	32.6	5.3	16	33	25	22	20	28	27	2.8	4.2	5.0	--	--	
7.00	1.67	23.29	2	0.97	81.7	161	70.9	5.3	22.4	33.6	5.3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
7.20	2.45	25.00	4	0.94	83.6	186	89.1	6.8	21.2	31.8	7.4	28	35	27	23	22	30	28	4.1	6.1	7.4	--	--	
7.40	2.45	23.36	4	0.94	85.4	186	89.1	6.6	21.9	32.8	7.4	28	35	26	23	22	30	28	4.1	6.1	7.4	--	--	
7.60	2.45	26.88	4	0.94	87.3	186	89.1	6.4	22.6	33.9	7.4	27	35	26	23	22	30	28	4.1	6.1	7.4	--	--	
7.80	2.35	22.43	4	0.94	89.1	183	87.1	6.1	23.5	35.2	7.1	25	34	26	23	21	30	28	3.9	5.9	7.1	--	--	
8.00	2.35	27.59	4	0.94	91.0	183	87.1	5.9	24.1	36.2	7.1	25	34	26	23	21	29	28	3.9	5.9	7.1	--	--	
8.20	2.35	24.00	4	0.94	92.8	183	87.1	5.8	24.8	37.2	7.1	24	34	26	23	21	29	28	3.9	5.9	7.1	--	--	
8.40	2.45	28.74	4	0.94	94.7	186	89.1	5.8	25.3	37.9	7.4	25	34	26	23	21	29	28	4.1	6.1	7.4	--	--	
8.60	2.16	30.14	3	0.86	96.4	177	--	--	--	--	--	20	34	25	22	21	29	28	3.6	5.4	6.5	--	--	
8.80	2.65	29.03	4	0.95	98.2	192	92.8	5.9	26.2	39.3	7.9	27	34	26	23	22	30	28	4.4	6.6	7.9	--	--	
9.00	2.35	25.81	4	0.94	100.1	183	87.1	5.3	27.4	41.0	7.1	22	34	25	22	21	29	28	3.9	5.9	7.1	--	--	
9.20	2.25	20.35	4	0.94	101.9	180	85.1	5.0	28.1	42.2	6.8	21	34	25	22	21	29	28	3.8	5.6	6.8	--	--	
9.40	2.25	24.73	4	0.94	103.7	180	85.1	4.9	28.7	43.1	6.8	20	34	25	22	21	28	28	3.8	5.6	6.8	--	--	
9.60	2.35	20.00	4	0.94	105.6	183	87.1	4.9	29.2	43.8	7.1	21	34	25	22	21	28	28	3.9	5.9	7.1	--	--	
9.80	2.35	18.90	4	0.94	107.4	183	87.1	4.8	29.8	44.7	7.1	21	34	25	22	21	28	28	3.9	5.9	7.1	--	--	
10.00	2.45	22.12	4	0.94	109.3	186	89.1	4.9	30.3	45.4	7.4	22	34	25	22	21	29	28	4.1	6.1	7.4	--	--	
10.20	2.06	18.58	4	0.93	111.1	174	80.7	4.2	31.0	46.5	6.2	15	33	24	21	20	28	27	3.4	5.1	6.2	--	--	
10.40	2.25	23.00	4	0.94	112.9	180	85.1	4.4	31.5	47.3	6.8	18	33	25	21	20	28	28	3.8	5.6	6.8	--	--	
10.60	1.96	22.99	4	0.93	114.7	171	78.4	3.9	32.2	48.3	5.9	13	33	24	21	19	27	27	3.3	4.9	5.9	--	--	
10.80	1.86	23.75	2	0.99	116.7	168	76.0	3.7	32.9	49.4	5.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
11.00	1.47	214.29	4	0.89	118.4	154	65.3	3.0	32.3	48.5	4.9	2	32	22	19	18	25	27	2.5	3.7	4.4	--	--	
11.20	1.86	35.85	4	0.92	120.2	168	76.0	3.5	33.9	50.9	5.7	10	32	23	20	19	27	27	3.1	4.7	5.6	--	--	
11.40	1.37	17.50	2	0.94	122.1	150	62.4	2.7	32.1	48.2	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
11.60	1.96	15.75	4	0.93	123.9	171	78.4	3.5	35.0	52.4	5.9	11	33	23	20	19	27	27	3.3	4.9	5.9	--	--	
11.80	1.27	13.98	2	0.93	125.7	145	59.3	2.5	31.6	47.4	4.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
12.00	1.96	21.51	4	0.93	127.5	171	78.4	3.4	35.9	53.8	5.9	10	32	23	20	19	27	27	3.3	4.9	5.9	--	--	
12.20	1.18	20.00	2	0.92	129.3	141	56.0	2.2	30.7	46.1	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
12.40	0.59	22.22	2	0.82	130.9	109	29.4	1.0	17.6	26.5	2.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
12.60	0.78	24.24	2	0.86	132.6	121	39.2	1.4	23.1	34.6														

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

CPT**2**

Riferimento

105-2020

Committente **STUDIO TECNICO**
 Cantiere **STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE**
 Località **CARPI - VIA MARTINELLI - NUOVO GATTILE**

U.M.: **MPa** Data eseg. **05/06/2020**
 Pagina **1**
 Elaborato Falda **-2.20 m**

H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf	H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf
m	-	-	-	MPa	kPa	-	%	m	-	-	-	MPa	kPa	-	%
0.20	20.0	40.0		1.96	40.00	50	2.0	15.20	61.0	68.0		5.98	160.00	38	2.6
0.40	20.0	26.0		1.96	107.00	19	5.4	15.40	41.0	65.0		4.02	293.00	14	7.1
0.60	16.0	32.0		1.57	133.00	12	8.3	15.60	50.0	94.0		4.90	100.00	50	2.0
0.80	15.0	35.0		1.47	67.00	22	4.5	15.80	70.0	85.0		6.86	67.00	104	1.0
1.00	10.0	20.0		0.98	100.00	10	10.0	16.00	70.0	80.0		6.86	133.00	53	1.9
1.20	10.0	25.0		0.98	47.00	21	4.7	16.20	100.0	120.0		9.80	100.00	100	1.0
1.40	8.0	15.0		0.78	27.00	30	3.4	16.40	120.0	135.0		11.76	93.00	129	0.8
1.60	11.0	15.0		1.08	60.00	18	5.5	16.60	141.0	155.0		13.82	73.00	193	0.5
1.80	11.0	20.0		1.08	27.00	41	2.5	16.80	160.0	171.0		15.68	200.00	80	1.3
2.00	20.0	24.0		1.96	47.00	43	2.4	17.00	200.0	230.0		19.60	200.00	100	1.0
2.20	16.0	23.0		1.57	120.00	13	7.5	17.20	160.0	190.0		15.68	200.00	80	1.3
2.40	12.0	30.0		1.18	40.00	30	3.3	17.40	160.0	190.0		15.68	33.00	485	0.2
2.60	14.0	20.0		1.37	27.00	52	1.9	17.60	140.0	145.0		13.72	200.00	70	1.4
2.80	12.0	16.0		1.18	40.00	30	3.3	17.80	20.0	50.0		1.96	133.00	15	6.7
3.00	11.0	17.0		1.08	47.00	23	4.3	18.00	15.0	35.0		1.47	73.00	21	4.9
3.20	13.0	20.0		1.27	33.00	39	2.5	18.20	15.0	26.0		1.47	67.00	22	4.5
3.40	20.0	25.0		1.96	127.00	16	6.4	18.40	16.0	26.0		1.57	73.00	22	4.6
3.60	13.0	32.0		1.27	93.00	14	7.2	18.60	16.0	27.0		1.57	87.00	18	5.4
3.80	20.0	34.0		1.96	93.00	22	4.7	18.80	17.0	30.0		1.67	87.00	20	5.1
4.00	20.0	34.0		1.96	60.00	33	3.0	19.00	16.0	29.0		1.57	100.00	16	6.3
4.20	20.0	29.0		1.96	93.00	22	4.7	19.20	20.0	35.0		1.96	120.00	17	6.0
4.40	16.0	30.0		1.57	67.00	24	4.2	19.40	22.0	40.0		2.16	120.00	18	5.5
4.60	20.0	30.0		1.96	93.00	22	4.7	19.60	20.0	38.0		1.96	127.00	16	6.4
4.80	16.0	30.0		1.57	73.00	22	4.6	19.80	21.0	40.0		2.06	133.00	16	6.3
5.00	16.0	27.0		1.57	60.00	27	3.8	20.00	24.0	44.0		2.35			
5.20	16.0	25.0		1.57	60.00	27	3.8								
5.40	17.0	26.0		1.67	67.00	25	3.9								
5.60	10.0	20.0		0.98	60.00	17	6.0								
5.80	5.0	14.0		0.49	33.00	15	6.6								
6.00	12.0	17.0		1.18	80.00	15	6.7								
6.20	16.0	28.0		1.57	20.00	80	1.3								
6.40	19.0	22.0		1.86	67.00	28	3.5								
6.60	17.0	27.0		1.67	73.00	23	4.3								
6.80	19.0	30.0		1.86	80.00	24	4.2								
7.00	14.0	26.0		1.37	87.00	16	6.2								
7.20	21.0	34.0		2.06	93.00	23	4.4								
7.40	24.0	38.0		2.35	120.00	20	5.0								
7.60	27.0	45.0		2.65	127.00	21	4.7								
7.80	26.0	45.0		2.55	133.00	20	5.1								
8.00	24.0	44.0		2.35	147.00	16	6.1								
8.20	22.0	44.0		2.16	133.00	17	6.0								
8.40	20.0	40.0		1.96	140.00	14	7.0								
8.60	21.0	42.0		2.06	40.00	53	1.9								
8.80	26.0	32.0		2.55	153.00	17	5.9								
9.00	25.0	48.0		2.45	167.00	15	6.7								
9.20	25.0	50.0		2.45	133.00	19	5.3								
9.40	25.0	45.0		2.45	153.00	16	6.1								
9.60	28.0	51.0		2.74	153.00	18	5.5								
9.80	25.0	48.0		2.45	93.00	27	3.7								
10.00	20.0	34.0		1.96	53.00	38	2.7								
10.20	20.0	28.0		1.96	127.00	16	6.4								
10.40	21.0	40.0		2.06	107.00	20	5.1								
10.60	24.0	40.0		2.35	87.00	28	3.6								
10.80	22.0	35.0		2.16	113.00	19	5.1								
11.00	22.0	39.0		2.16	100.00	22	4.5								
11.20	21.0	36.0		2.06	67.00	31	3.2								
11.40	20.0	30.0		1.96	93.00	22	4.7								
11.60	16.0	30.0		1.57	93.00	17	5.8								
11.80	15.0	29.0		1.47	60.00	25	4.0								
12.00	12.0	21.0		1.18	67.00	18	5.6								
12.20	15.0	25.0		1.47	80.00	19	5.3								
12.40	20.0	32.0		1.96	100.00	20	5.0								
12.60	15.0	30.0		1.47	87.00	17	5.8								
12.80	21.0	34.0		2.06	93.00	23	4.4								
13.00	12.0	26.0		1.18	40.00	30	3.3								
13.20	10.0	16.0		0.98	20.00	50	2.0								
13.40	9.0	12.0		0.88	47.00	19	5.2								
13.60	8.0	15.0		0.78	13.00	62	1.6								
13.80	20.0	22.0		1.96	47.00	43	2.4								
14.00	20.0	27.0		1.96	107.00	19	5.4								
14.20	10.0	26.0		0.98	20.00	50	2.0								
14.40	27.0	30.0		2.65	47.00	57	1.7								
14.60	41.0	48.0		4.02	100.00	41	2.4								
14.80	25.0	40.0		2.45	73.00	34	2.9								
15.00	65.0	76.0		6.37	47.00	138	0.7								

H = profondità
 L1 = prima lettura (punta)
 L2 = seconda lettura (punta + laterale)
 Lt = terza lettura (totale)
 CT =10.00 costante di trasformazione

qc = resistenza punta
 fs = resistenza laterale
 alla stessa quota di qc
 F = rapporto Begemann (qc / fs)
 Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100

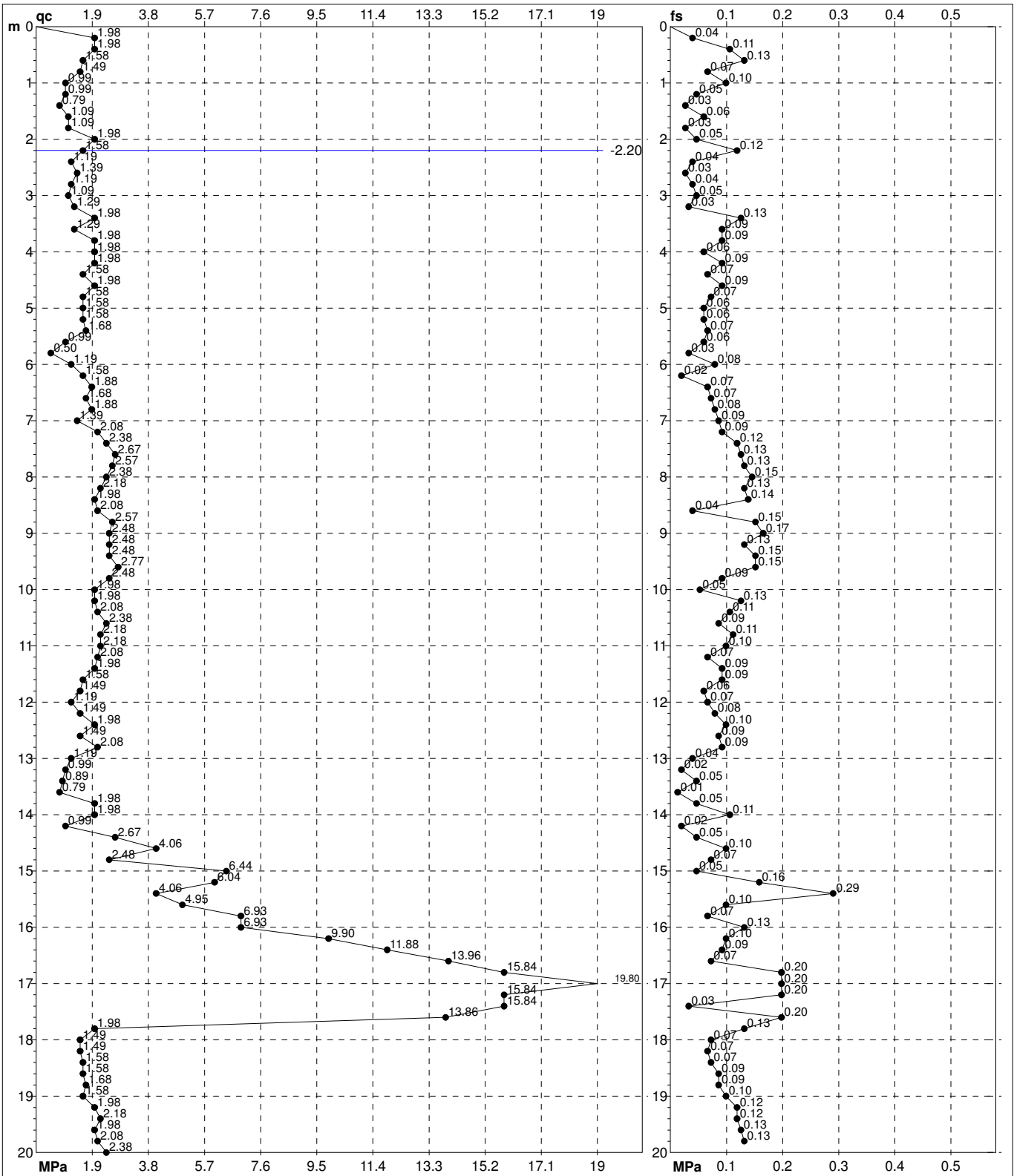
FON111

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

CPT	2
Riferimento	105-2020

Committente **STUDIO TECNICO**
 Cantiere **STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE**
 Località **CARPI - VIA MARTINELLI - NUOVO GATTILE**

U.M.: **MPa** Data eseg. **05/06/2020**
 Scala: **1:100**
 Pagina **1**
 Elaborato
 Quota inizio: **Falda -2.20 m**



Penetrometro: TG63-200Stat	preforo m
Responsabile:	Corr.astine: kN/ml
Assistente:	Cod. tip:

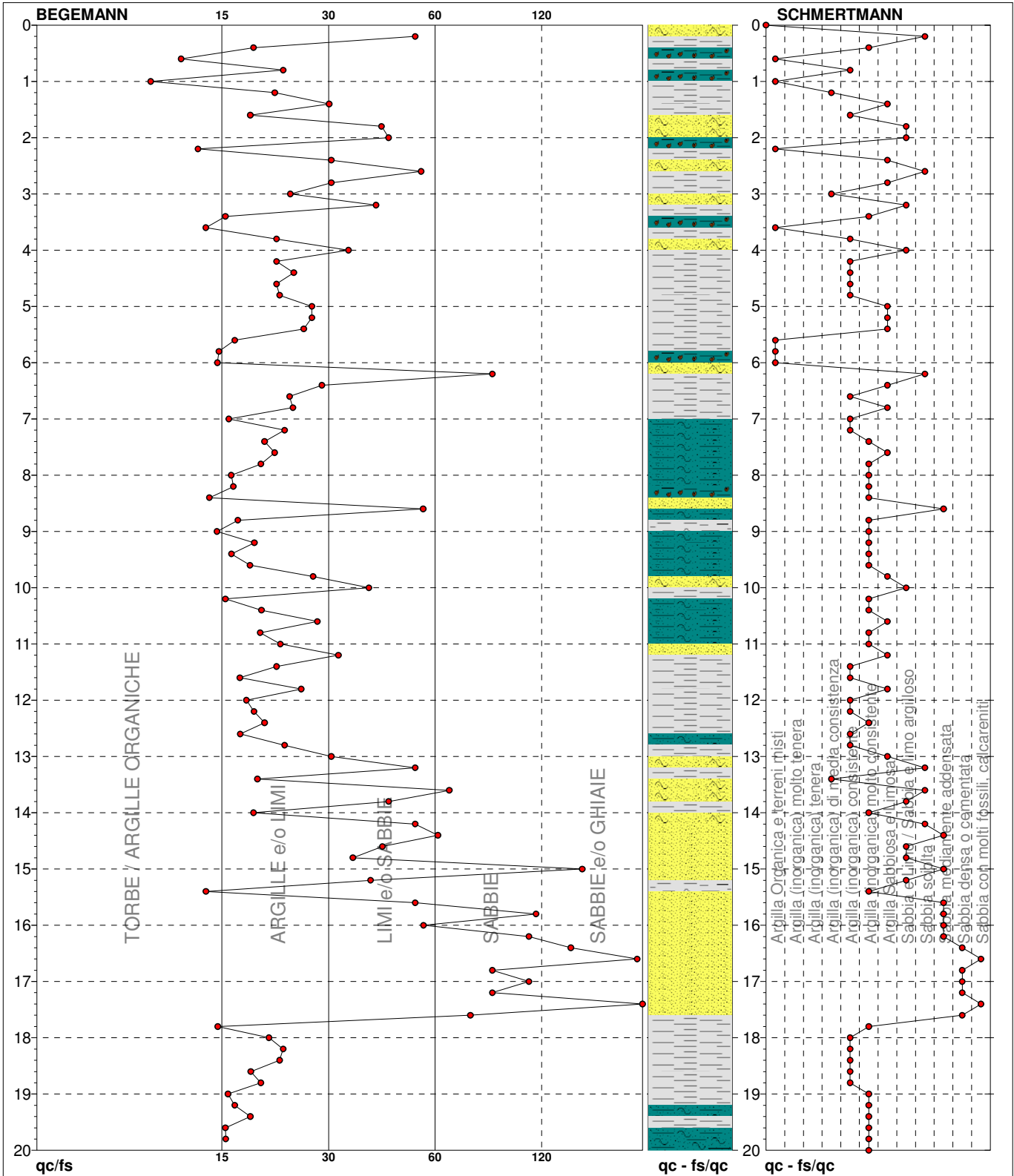
PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT	2
Riferimento	105-2020

Committente **STUDIO TECNICO**
Cantiere **STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE**
Località **CARPI - VIA MARTINELLI - NUOVO GATTILE**

U.M.: **MPa** Data esec. **05/06/2020**
Scala: **1:100**
Pagina **1**
Elaborato **Falda -2.20 m**



TORBE / ARGILLE OR	8 punti, 8.00%	Argilla Organica e terreni misti	7 punti, 7.00%	Argilla Sabbiosa e Limosa	14 punti, 14.00%
ARGILLE e/o LIMI	61 punti, 61.00%	Argilla (inorganica) di media consistenza	3 punti, 3.00%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo argilloso	9 punti, 9.00%
LIMI e/o SABBIE	18 punti, 18.00%	Argilla (inorganica) consistente	21 punti, 21.00%	Sabbia sciolta	6 punti, 6.00%
SABBIE	8 punti, 8.00%	Argilla (inorganica) molto consistente	25 punti, 25.00%	Sabbia mediamente addensata	7 punti, 7.00%
SABBIE e/o GHIAIE	4 punti, 4.00%			Sabbia densa o cementata	5 punti, 5.00%
				Sabbia con molti fossili, calcareniti	2 punti, 2.00%

FON111

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

PARAMETRI GEOTECNICI

CPT

2

Riferimento

105-2020

Committente **STUDIO TECNICO**

U.M.:

MPa

Data esec.

05/06/2020

Cantiere **STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE**

Pagina

1

Località **CARPI - VIA MARTINELLI - NUOVO GATTILE**

Elaborato

Falda

-2.20 m

H m	qc U.M.	qc/fs	zone	γ' t/m³	σ'vo kPa	Vs m/s	NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE											
							Cu kPa	OCR %	Eu50 U.M.	Eu25 U.M.	Mo U.M.	Dr %	Sc (°)	Ca (°)	Ko (°)	DB (°)	DM (°)	Me (°)	E'50 U.M.	E'25 U.M.	Mo U.M.	FL1	FL2
0.20	1.96	50.00	4	1.85	3.6	171	78.4	99.9	13.3	20.0	5.9	97	43	41	39	36	44	27	3.3	4.9	5.9	--	--
0.40	1.96	18.69	4	1.85	7.3	171	78.4	99.9	13.3	20.0	5.9	80	41	38	35	33	41	27	3.3	4.9	5.9	--	--
0.60	1.47	12.03	2	1.85	10.9	157	68.2	62.3	11.6	17.4	5.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.80	1.57	22.39	2	1.85	14.5	154	65.3	41.2	11.1	16.7	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.00	0.98	10.00	2	1.85	18.1	132	49.0	21.8	8.3	12.5	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.20	0.98	21.28	2	1.85	21.8	132	49.0	17.3	8.3	12.5	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.40	0.78	29.63	2	1.85	25.4	121	39.2	10.8	6.7	10.0	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.60	1.08	18.33	2	1.85	29.0	137	52.6	13.2	8.9	13.4	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.80	1.08	40.74	4	1.85	32.6	137	52.6	11.4	8.9	13.4	4.2	23	34	27	24	23	31	26	1.8	2.7	3.2	--	--
2.00	1.96	42.55	4	1.85	36.3	171	78.4	16.5	13.3	20.0	5.9	41	36	30	27	25	34	27	3.3	4.9	5.9	--	--
2.20	1.57	13.33	2	0.96	38.1	157	68.2	13.0	11.6	17.4	5.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.40	1.18	30.00	4	0.88	39.9	141	56.0	9.6	9.6	14.4	4.4	21	34	27	23	22	30	26	2.0	2.9	3.5	--	--
2.60	1.37	51.85	4	0.89	41.6	150	62.4	10.4	10.6	15.9	4.7	25	34	27	24	23	31	26	2.3	3.4	4.1	--	--
2.80	1.18	30.00	4	0.88	43.3	141	56.0	8.7	10.3	15.4	4.4	19	34	26	23	22	30	26	2.0	2.9	3.5	--	--
3.00	1.08	23.40	2	0.91	45.1	137	52.6	7.6	11.0	16.5	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.20	1.27	39.39	4	0.88	46.8	145	59.3	8.4	11.1	16.7	4.6	20	34	26	23	22	30	26	2.1	3.2	3.8	--	--
3.40	1.96	15.75	2	0.93	48.6	171	78.4	11.4	13.3	20.0	5.9	34	35	28	25	23	32	27	3.3	4.9	5.9	--	--
3.60	1.27	13.98	2	0.93	50.5	145	59.3	7.7	12.3	18.4	4.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.80	1.96	21.51	4	0.93	52.3	171	78.4	10.4	13.3	20.0	5.9	32	35	28	25	23	32	27	3.3	4.9	5.9	--	--
4.00	1.96	33.33	4	0.93	54.1	171	78.4	10.0	13.3	20.0	5.9	31	35	28	24	23	31	27	3.3	4.9	5.9	--	--
4.20	1.96	21.51	4	0.93	55.9	171	78.4	9.6	13.5	20.2	5.9	30	35	27	24	23	31	27	3.3	4.9	5.9	--	--
4.40	1.57	23.88	2	0.96	57.8	157	68.2	7.7	14.0	21.0	5.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.60	1.96	21.51	4	0.93	59.6	171	78.4	8.8	14.1	21.2	5.9	29	35	27	24	23	31	27	3.3	4.9	5.9	--	--
4.80	1.57	21.92	2	0.96	61.5	157	68.2	7.1	15.3	23.0	5.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.00	1.57	26.67	2	0.96	63.3	157	68.2	6.9	16.0	24.0	5.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.20	1.57	26.67	2	0.96	65.2	157	68.2	6.6	16.7	25.0	5.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.40	1.67	25.37	2	0.97	67.1	161	70.9	6.7	17.1	25.6	5.3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.60	0.98	16.67	2	0.90	68.9	132	49.0	4.1	19.2	28.8	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.80	0.49	15.15	2	0.80	70.5	101	24.5	1.7	14.1	21.2	2.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.00	1.18	15.00	2	0.92	72.3	141	56.0	4.6	20.1	30.2	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.20	1.57	80.00	4	0.90	74.0	157	68.2	5.7	19.9	29.9	5.1	16	33	25	22	20	28	27	2.6	3.9	4.7	--	--
6.40	1.86	28.36	2	0.99	76.0	168	76.0	6.3	19.8	29.7	5.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.60	1.67	23.29	2	0.97	77.9	161	70.9	5.6	21.0	31.5	5.3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.80	1.86	23.75	2	0.99	79.8	168	76.0	5.9	21.2	31.8	5.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.00	1.37	16.09	2	0.94	81.7	150	62.4	4.5	22.8	34.2	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.20	2.06	22.58	4	0.93	83.5	174	80.7	6.0	22.1	33.1	6.2	22	34	26	22	21	29	27	3.4	5.1	6.2	--	--
7.40	2.35	20.00	4	0.94	85.3	183	87.1	6.4	22.1	33.1	7.1	26	34	26	23	22	30	28	3.9	5.9	7.1	--	--
7.60	2.65	21.26	4	0.95	87.2	192	92.8	6.8	22.1	33.2	7.9	30	35	27	24	22	30	28	4.4	6.6	7.9	--	--
7.80	2.55	19.55	4	0.95	89.0	189	91.0	6.5	23.0	34.5	7.6	28	35	26	23	22	30	28	4.2	6.4	7.6	--	--
8.00	2.35	16.33	4	0.94	90.9	183	87.1	6.0	24.1	36.2	7.1	25	34	26	23	21	29	28	3.9	5.9	7.1	--	--
8.20	2.16	16.54	4	0.93	92.7	177	82.9	5.5	25.2	37.8	6.5	21	34	25	22	21	29	28	3.6	5.4	6.5	--	--
8.40	1.96	14.29	4	0.93	94.5	171	78.4	5.0	26.1	39.2	5.9	18	33	25	22	20	28	27	3.3	4.9	5.9	--	--
8.60	2.06	52.50	3	0.85	96.2	174	--	--	--	--	--	19	34	25	22	20	28	27	3.4	5.1	6.2	--	--
8.80	2.55	16.99	4	0.95	98.1	189	91.0	5.7	26.3	39.5	7.6	26	34	26	23	21	29	28	4.2	6.4	7.6	--	--
9.00	2.45	14.97	4	0.94	99.9	186	89.1	5.4	27.1	40.7	7.4	24	34	26	22	21	29	28	4.1	6.1	7.4	--	--
9.20	2.45	18.80	4	0.94	101.8	186	89.1	5.3	27.8	41.7	7.4	23	34	26	22	21	29	28	4.1	6.1	7.4	--	--
9.40	2.45	16.34	4	0.94	103.6	186	89.1	5.2	28.4	42.6	7.4	23	34	25	22	21	29	28	4.1	6.1	7.4	--	--
9.60	2.74	18.30	4	0.96	105.5	194	94.6	5.5	28.6	42.9	8.2	26	34	26	23	21	29	28	4.6	6.9	8.2	--	--
9.80	2.45	26.88	4	0.94	107.3	186	89.1	5.0	29.6	44.5	7.4	22	34	25	22	21	29	28	4.1	6.1	7.4	--	--
10.00	1.96	37.74	4	0.93	109.2	171	78.4	4.2	30.5	45.7	5.9	14	33	24	21	20	27	27	3.3	4.9	5.9	--	--
10.20	1.96	15.75	4	0.93	111.0	171	78.4	4.1	31.0	46.5	5.9	14	33	24	21	20	27	27	3.3	4.9	5.9	--	--
10.40	2.06	19.63	4	0.93	112.8	174	80.7	4.1	31.5	47.2	6.2	15	33	24	21	20	27	27	3.4	5.1	6.2	--	--
10.60	2.35	27.59	4	0.94	114.6	183	87.1	4.5	32.0	48.0	7.1	19	34	25	22	20	28	28	3.9	5.9	7.1	--	--
10.80	2.16	19.47	4	0.93	116.5	177	82.9	4.1	32.5	48.8	6.5	16	33	24	21	20	28	28	3.6	5.4	6.5	--	--
11.00	2.16	22.00	4	0.93	118.3	177	82.9	4.0	33.0	49.5	6.5	15	33	24	21	20	28	28	3.6	5.4	6.5	--	--
11.20	2.06	31.34	3	0.85	120.0	174	--	--	--	--	--	13	33	24	21	19	27	27	3.4	5.1	6.2	--	--
11.40	1.96	21.51	4	0.93	121.8	171	78.4	3.6	34.4	51.6	5.9	11	33	24	20	19	27	27	3.3	4.9	5.9	--	--
11.60	1.57	17.20	2	0.96	123.7	157	68.2	3.0	33.7	50.6	5.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11.80	1.47	25.00	2	0.95	125.5	154	65.3	2.8	33.4	50.0	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
12.00	1.18	17.91	2	0.92	127.3	141	56.0	2.2	30.6	45.9	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
12.20	1.47	18.75	2	0.95	129.2	154	65.3	2.7	33.8	50.7	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
12.40	1.96	20.00	4	0.93	131.0	171	78.4	3.3	36.7	55.0	5.9	10	32	23	20	19	26	27	3.3	4			

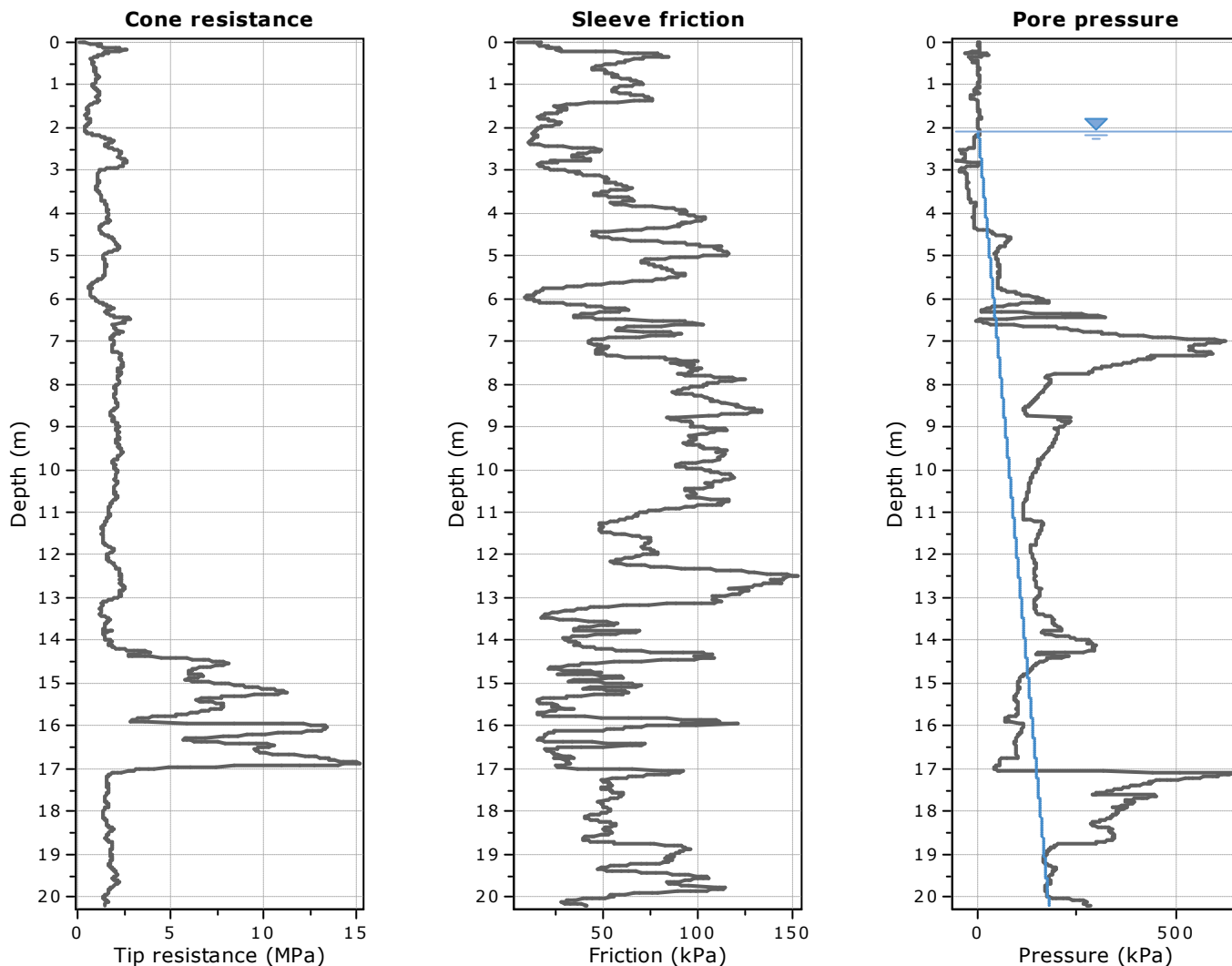
ALLEGATO 2

PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPTE/U



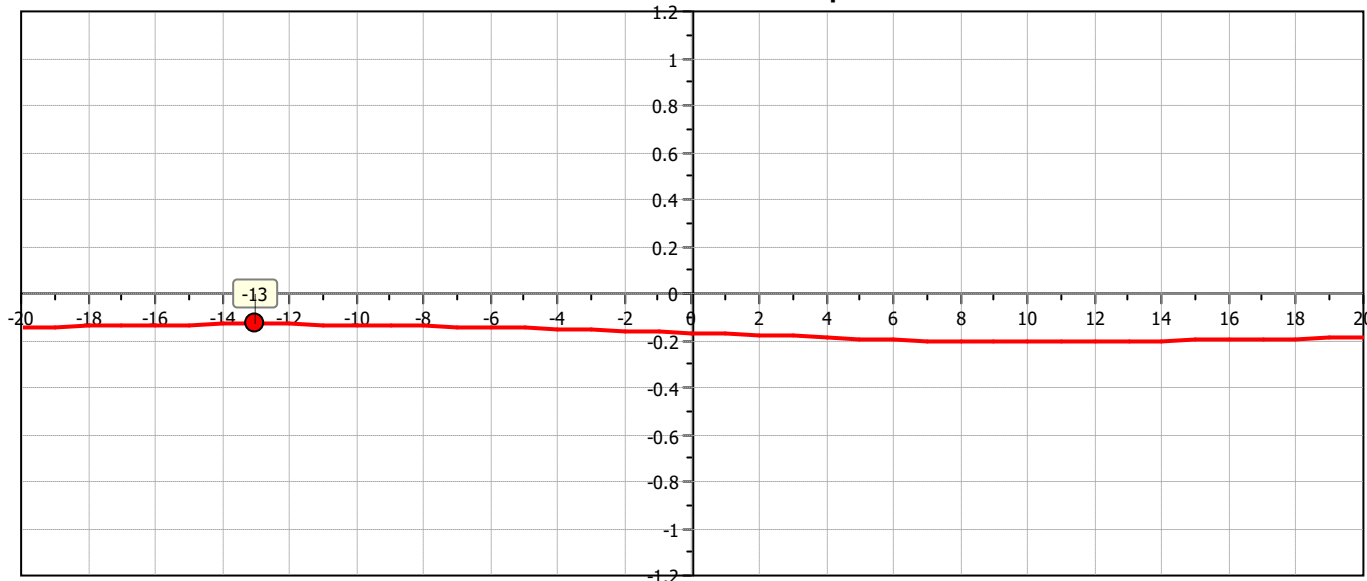
Project: ELABORAZIONE PROVE PENETROMETRICA

Location: FOSSOLI - VIA I. MARTINELLI



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

Cross correlation between q_c & f_s

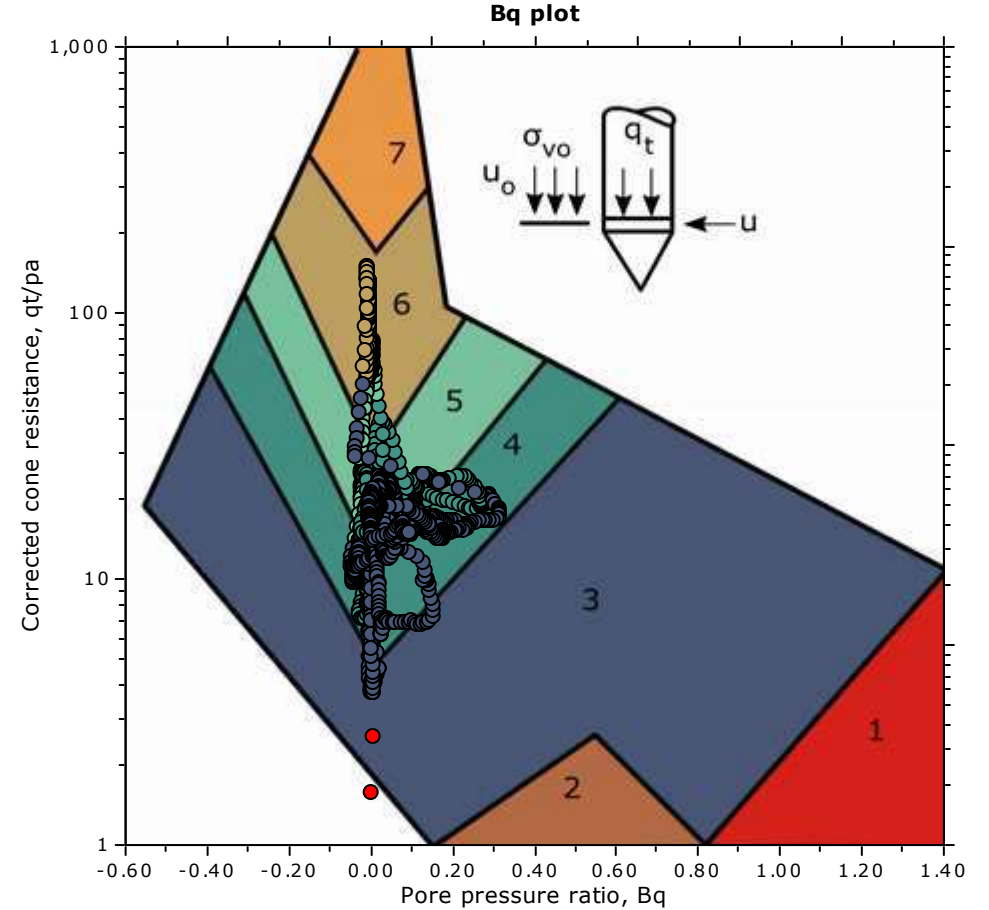
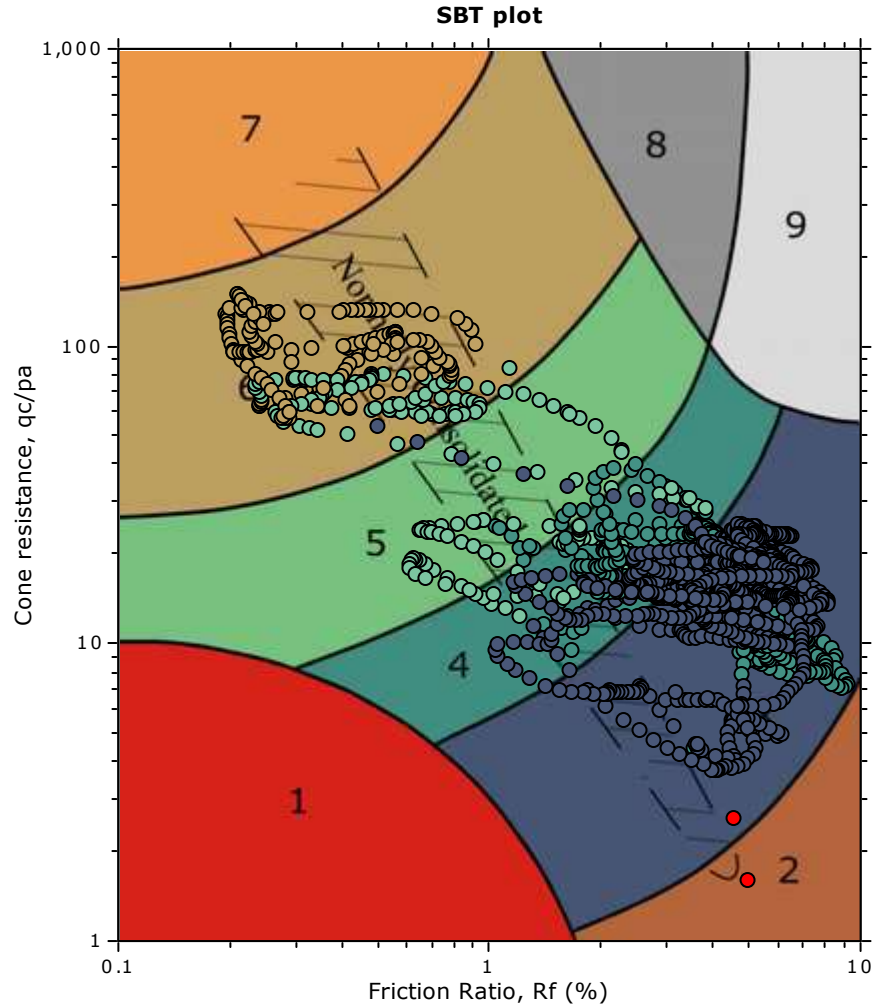




Project: ELABORAZIONE PROVE PENETROMETRICA

Location: FOSSOLI - VIA I. MARTINELLI

SBT - Bq plots



SBT legend

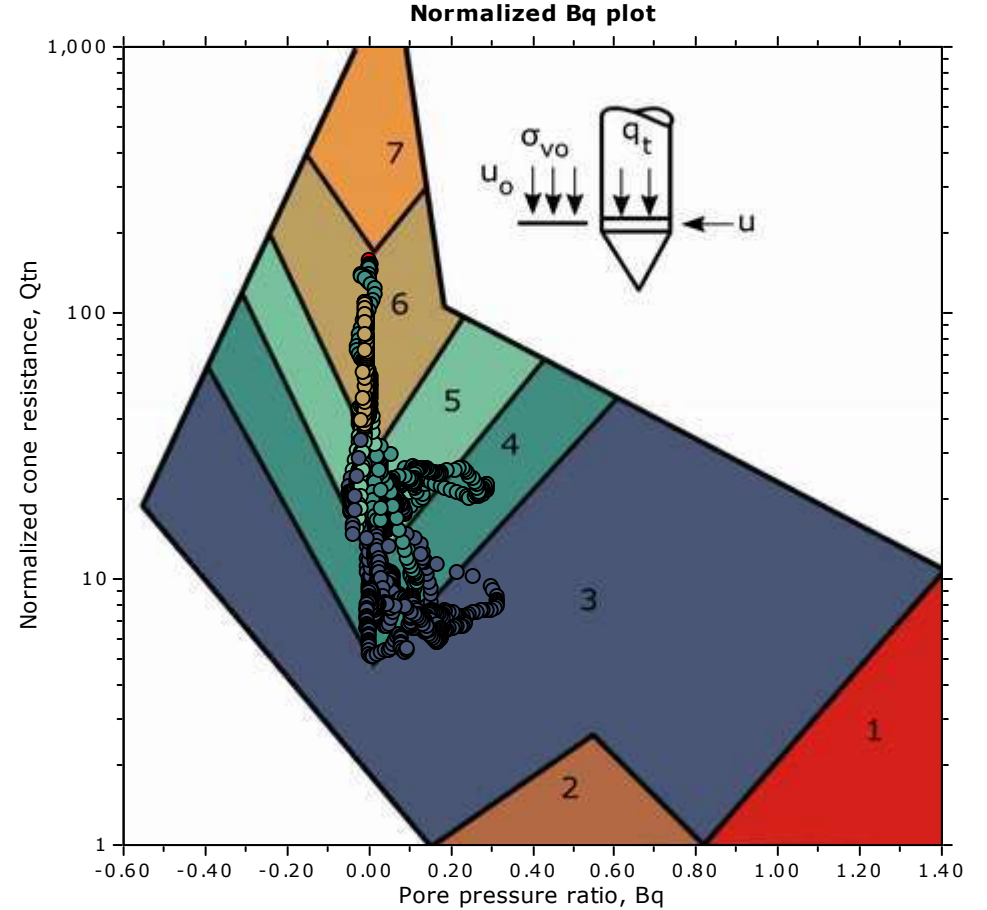
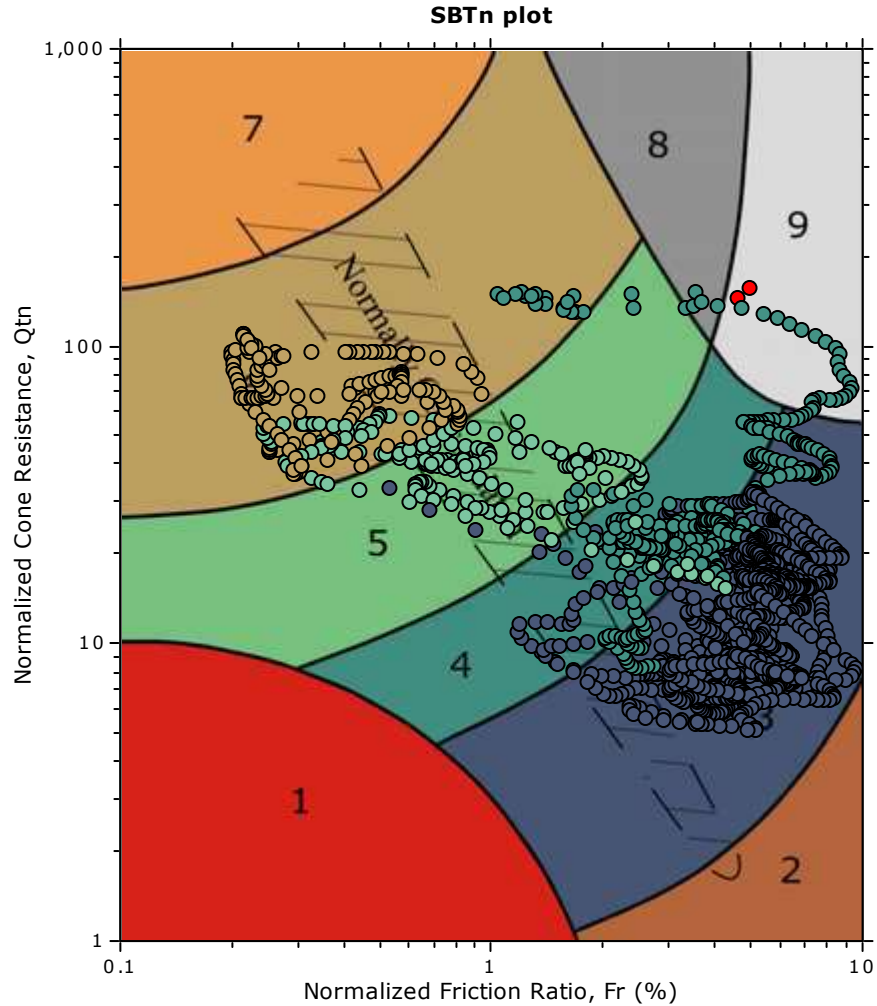
- | | | |
|--|---|---|
| ■ 1. Sensitive fine grained | ■ 4. Clayey silt to silty clay | ■ 7. Gravelly sand to sand |
| ■ 2. Organic material | ■ 5. Silty sand to sandy silt | ■ 8. Very stiff sand to clayey sand |
| ■ 3. Clay to silty clay | ■ 6. Clean sand to silty sand | ■ 9. Very stiff fine grained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



Project: ELABORAZIONE PROVE PENETROMETRICA

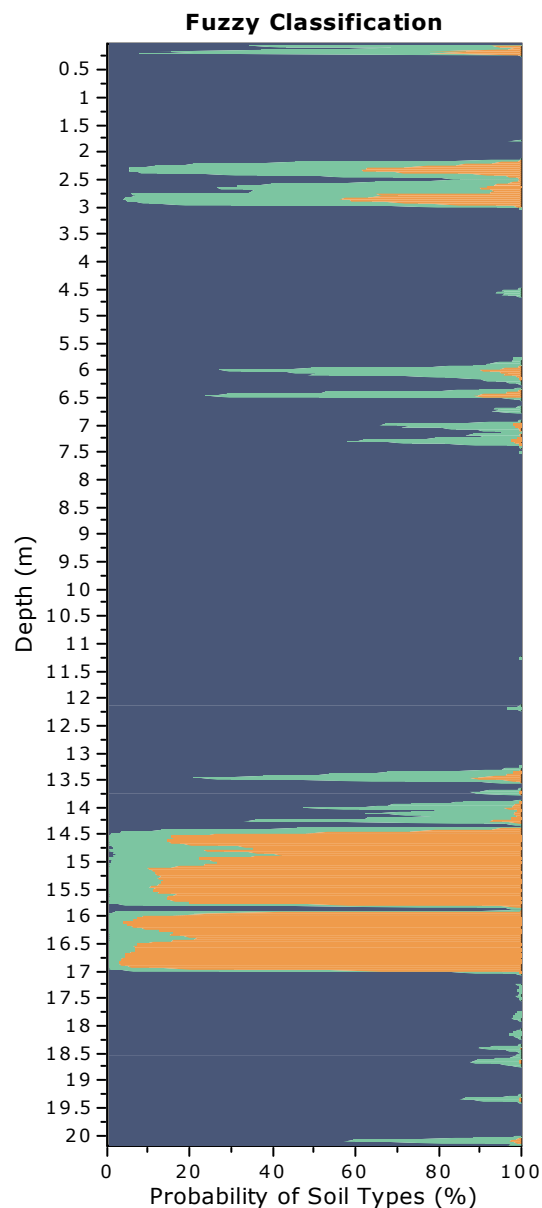
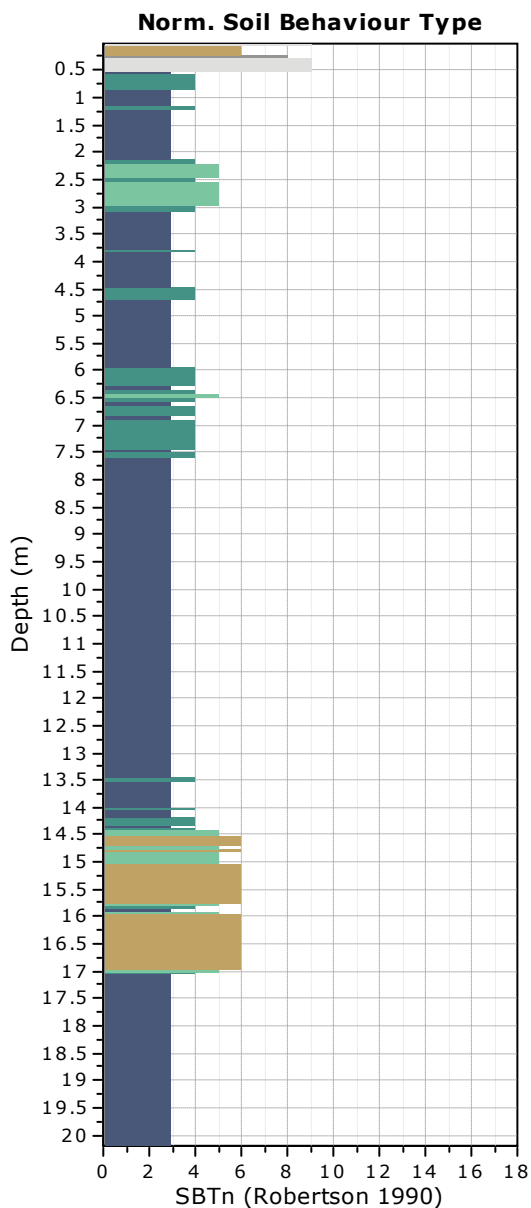
Location: FOSSOLI - VIA I. MARTINELLI

SBT - Bq plots (normalized)



SBTn legend

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



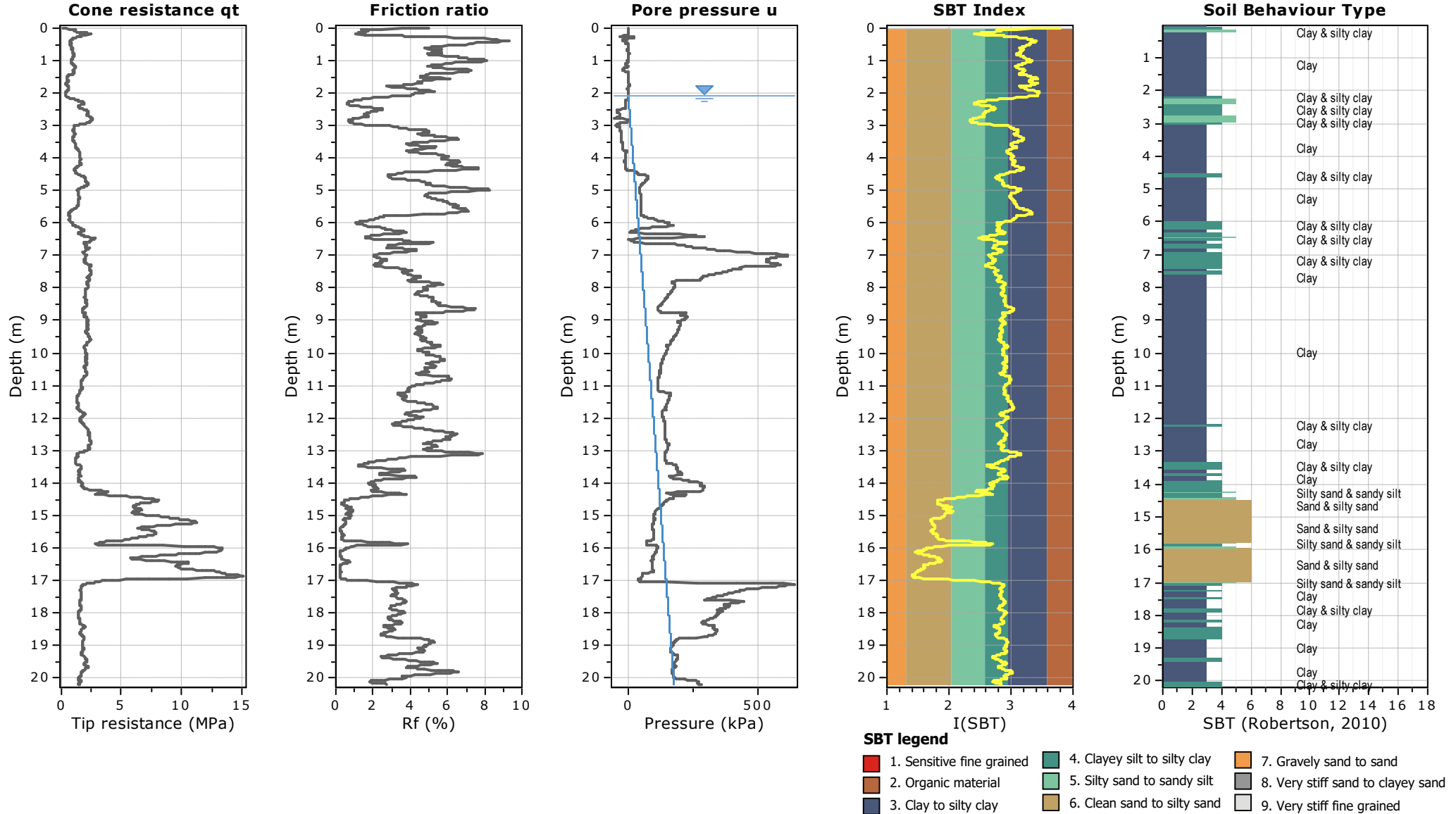
Fuzzy classification legend

- Highly probable clayey soil
- Highly probable mixture soil
- Highly probable sandy soil



Project: ELABORAZIONE PROVE PENETROMETRICA

Location: FOSSOLI - VIA I. MARTINELLI

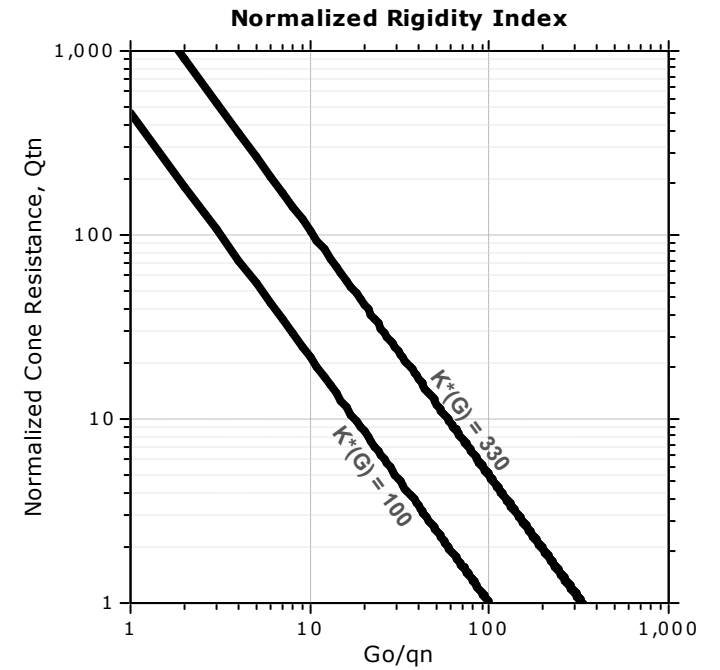
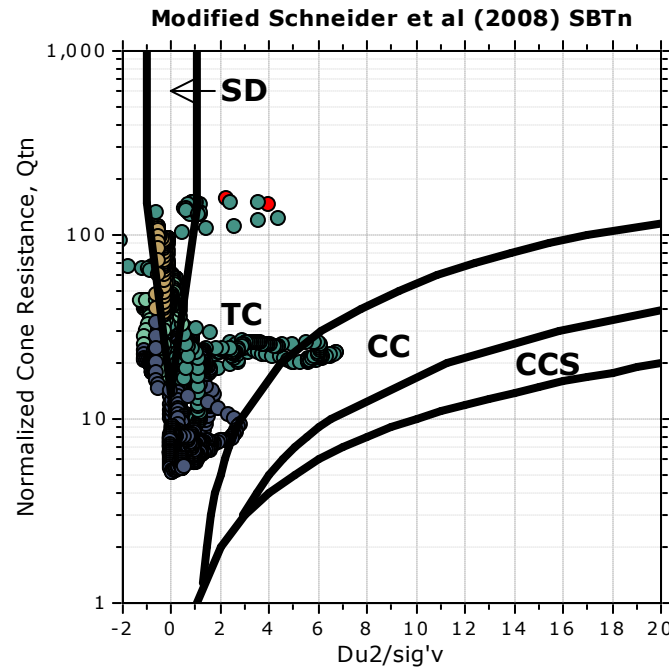
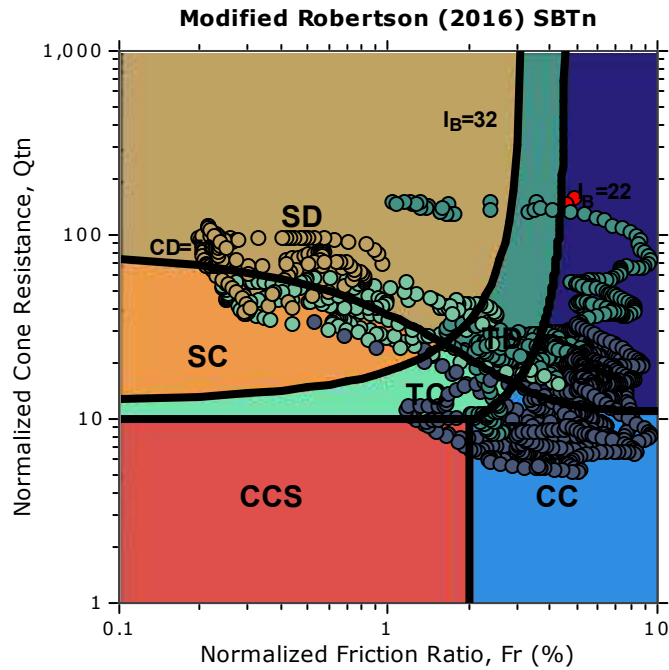




Project: ELABORAZIONE PROVE PENETROMETRICA

Location: FOSSOLI - VIA I. MARTINELLI

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)

ALLEGATO 3

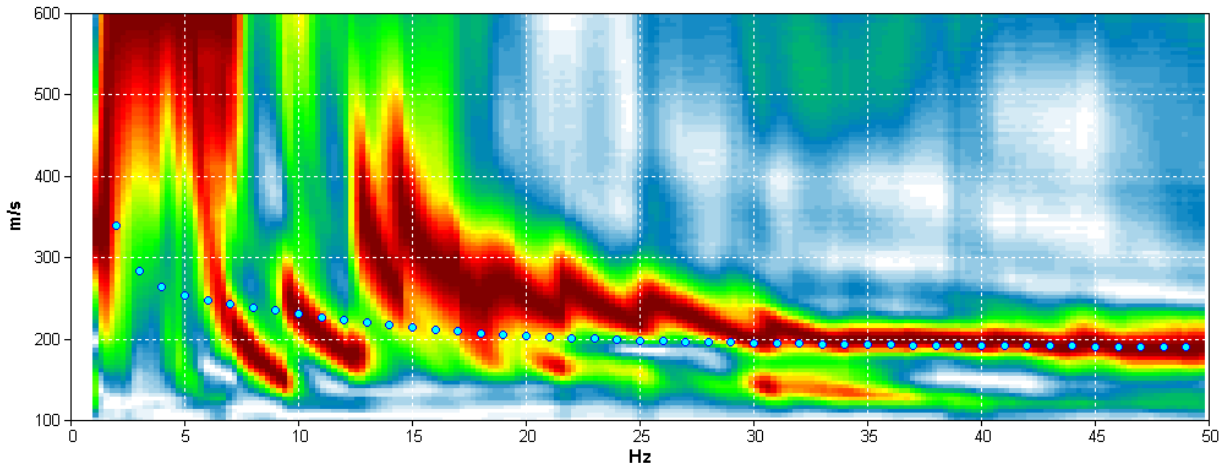
INDAGINI SISMICHE

Indagine sismica MASW

INFORMAZIONI GENERALI

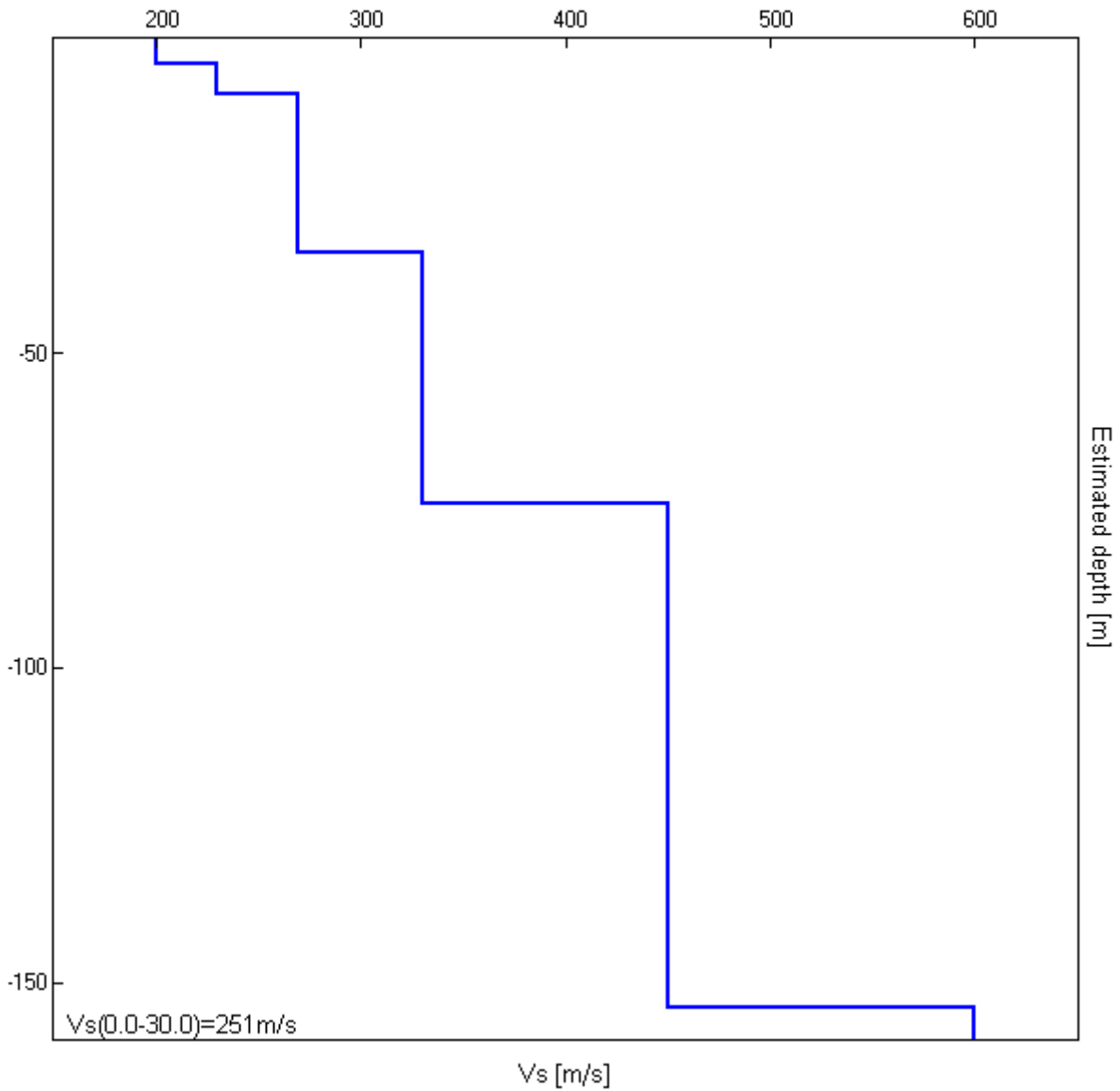
Cantiere: **NUOVO GATILE DI CARPI - Comune di Carpi (Mo)**
 Data esecuzione: **05/06/2020**
 Strumentazione utilizzata: **GEODE GEOMETRICS 24bit/24ch** - Energizzazione: **Massa battente da 10 kg**
 - Sensoristica: **Geofoni verticali 4.5 Hz**
 Responsabile: **Dott. Geol. Pier Luigi Dallari**
 Elaborazione: **Dott.ssa Lisa Gasparini**

MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
4.00	4.00	200	0.45
9.00	5.00	230	0.45
34.00	25.00	270	0.43
74.00	40.00	330	0.43
154.00	80.00	450	0.43
inf.	inf.	600	0.43

Vs (0.0-30.0) = 251 m/s

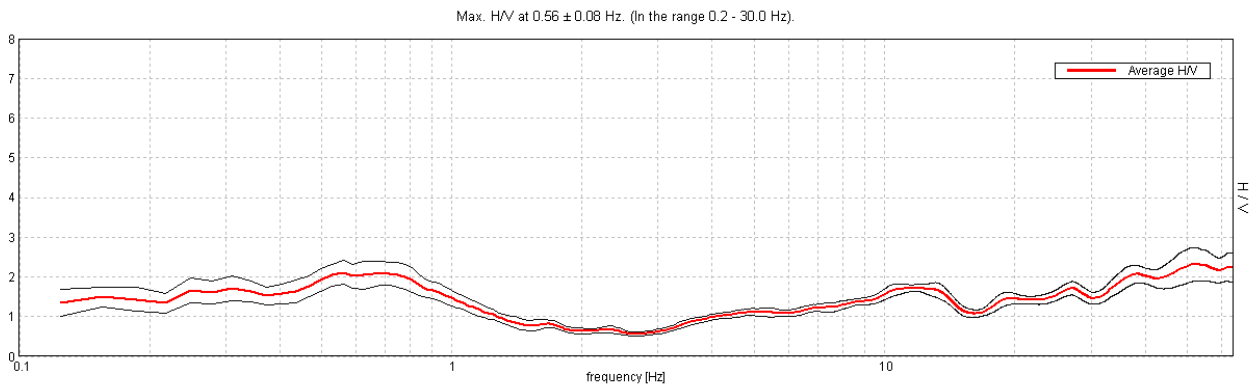


Indagine sismica HVSr

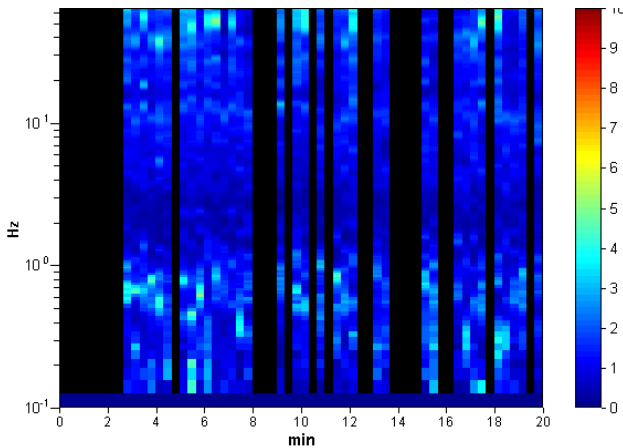
INFORMAZIONI GENERALI

Cantiere: **NUOVO GATTILE DI CARPI - Comune di Carpi (Mo)**
 Data esecuzione: **05/06/2020**
 Strumentazione utilizzata: **TROMINO - MOHO** - Sensoristica: **3 canali velocimetrici per l'acquisizione del micro-tremore sismico ambientale (fino a ± 1.5 mm/s ~)**
 Responsabile: **Dott. Geol. Pier Luigi Dallari**
 Elaborazione: **Dott.ssa Lisa Gasparini**

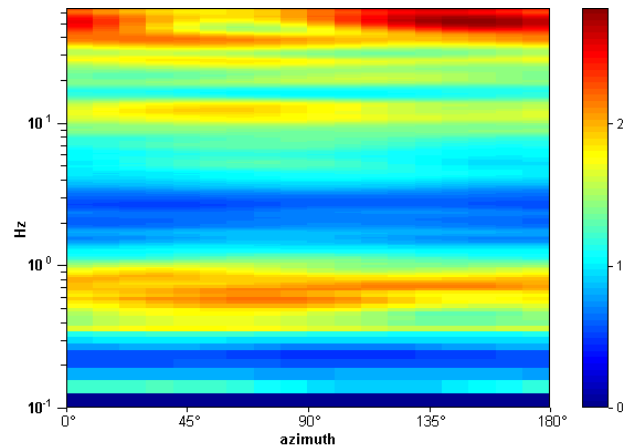
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



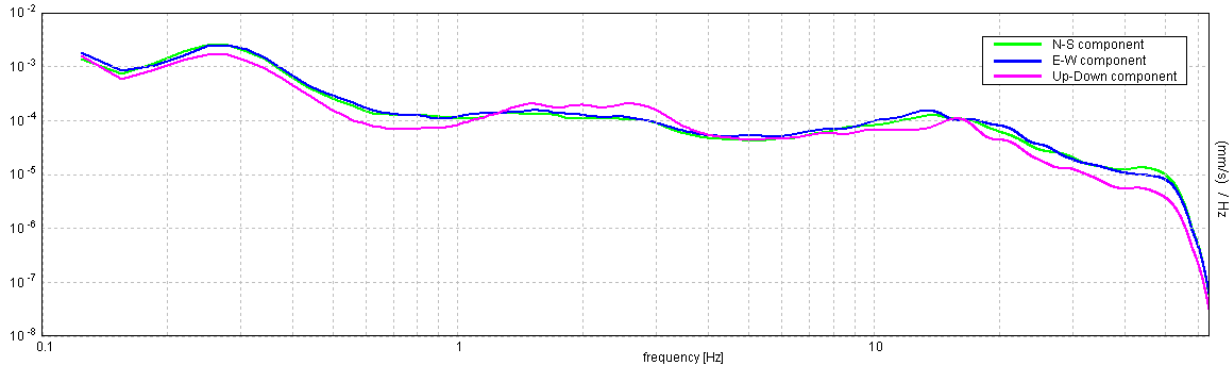
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



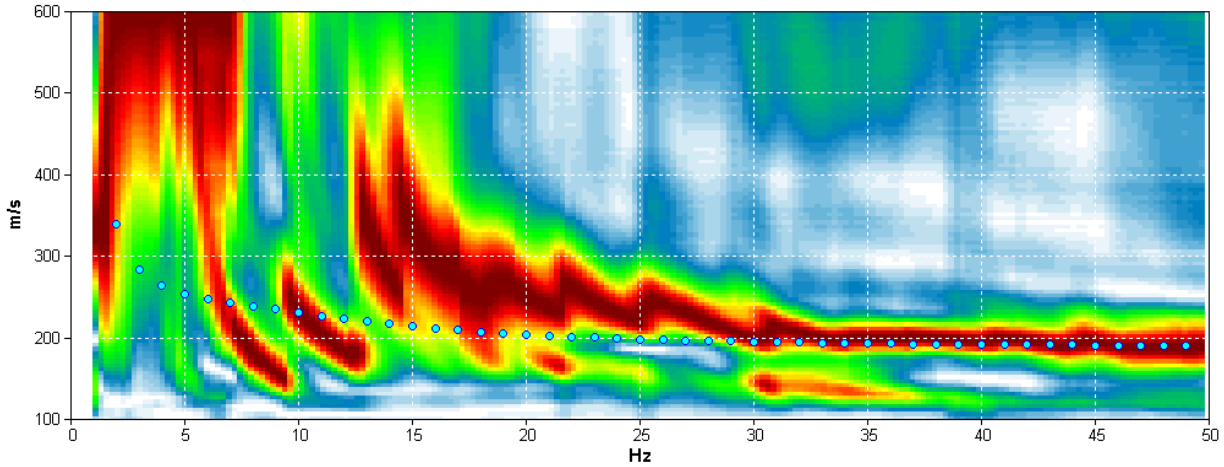
[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 0.56 ± 0.08 Hz (in the range 0.2 - 30.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]					
$f_0 > 10 / L_w$	0.56 > 0.50	OK			
$n_c(f_0) > 200$	393.8 > 200	OK			
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 28 times	OK			
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]					
Exists f^- in $[f_0/4, f_0] A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO		
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.25 Hz	OK			
$A_0 > 2$	2.12 > 2	OK			
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.13929 < 0.05$		NO		
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.07835 < 0.08438	OK			
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.2905 < 2.0	OK			
L_w window length n_w number of windows used in the analysis $n_c = L_w n_w f_0$ number of significant cycles f current frequency f_0 H/V peak frequency σ_f standard deviation of H/V peak frequency $\varepsilon(f_0)$ threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ A_0 H/V peak amplitude at frequency f_0 $A_{H/V}(f)$ H/V curve amplitude at frequency f f^- frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$ f^+ frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$ $\sigma_A(f)$ standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided $\sigma_{\log H/V}(f)$ standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve $\theta(f_0)$ threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$					
Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

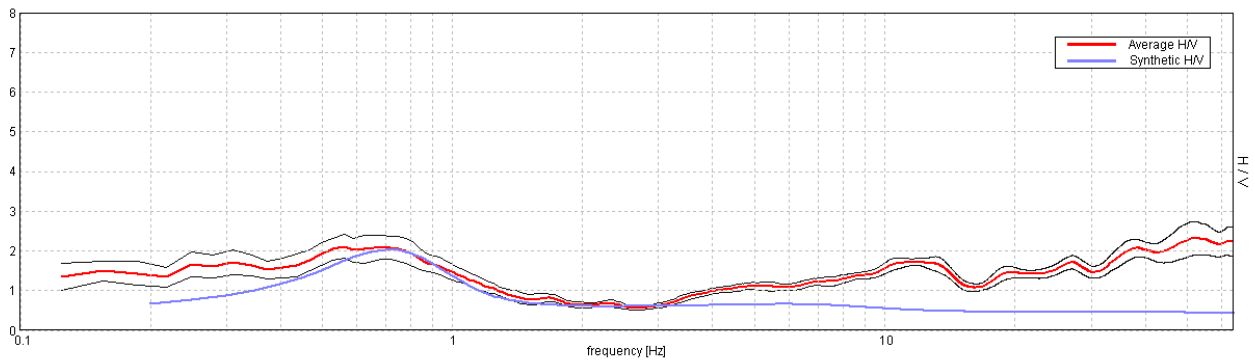
Elaborazione congiunta MASW – HVSr

MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 0.56 ± 0.08 Hz. (In the range 0.2 - 30.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
4.00	4.00	200	0.45
9.00	5.00	230	0.45
34.00	25.00	270	0.43
74.00	40.00	330	0.43
154.00	80.00	450	0.43
inf.	inf.	600	0.43

Vs (0.0-30.0) = 251m/s

ALLEGATO 4

VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE – DGR 630/2019

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

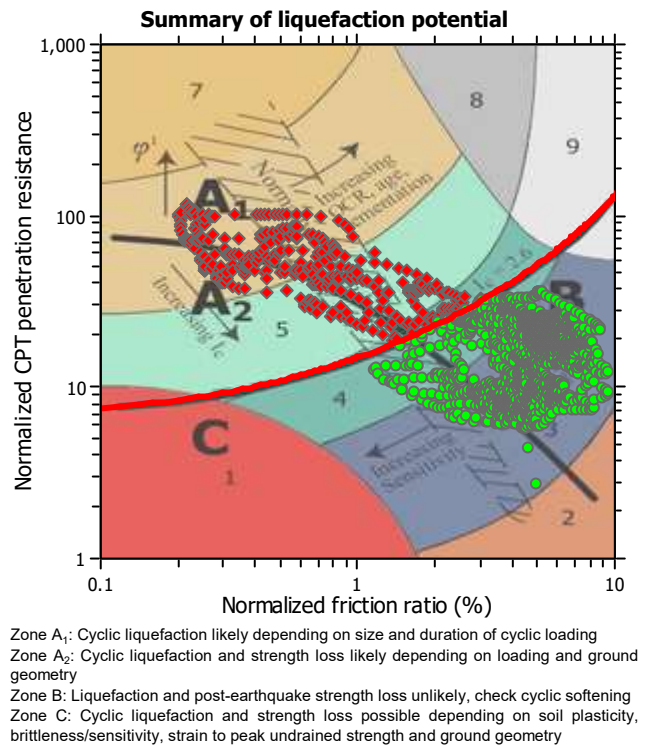
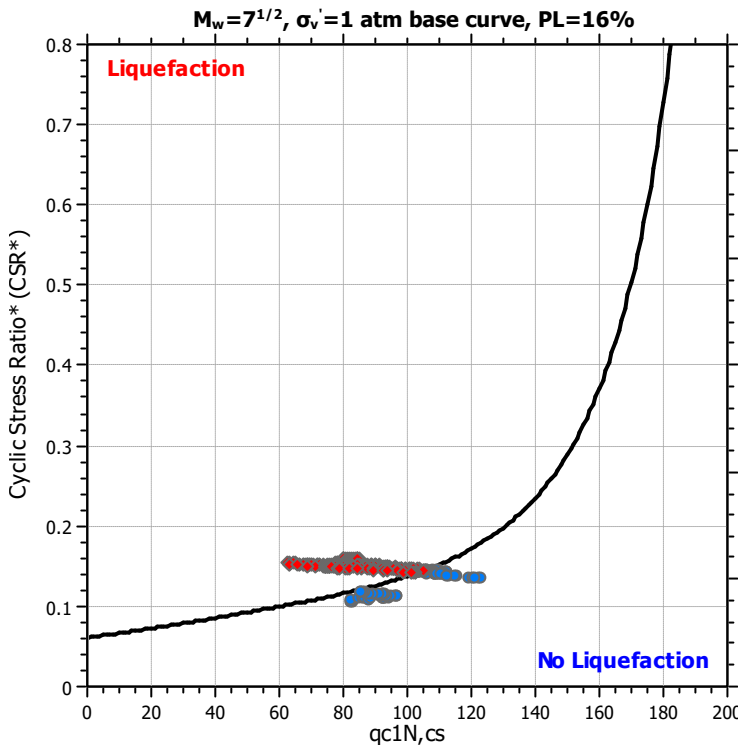
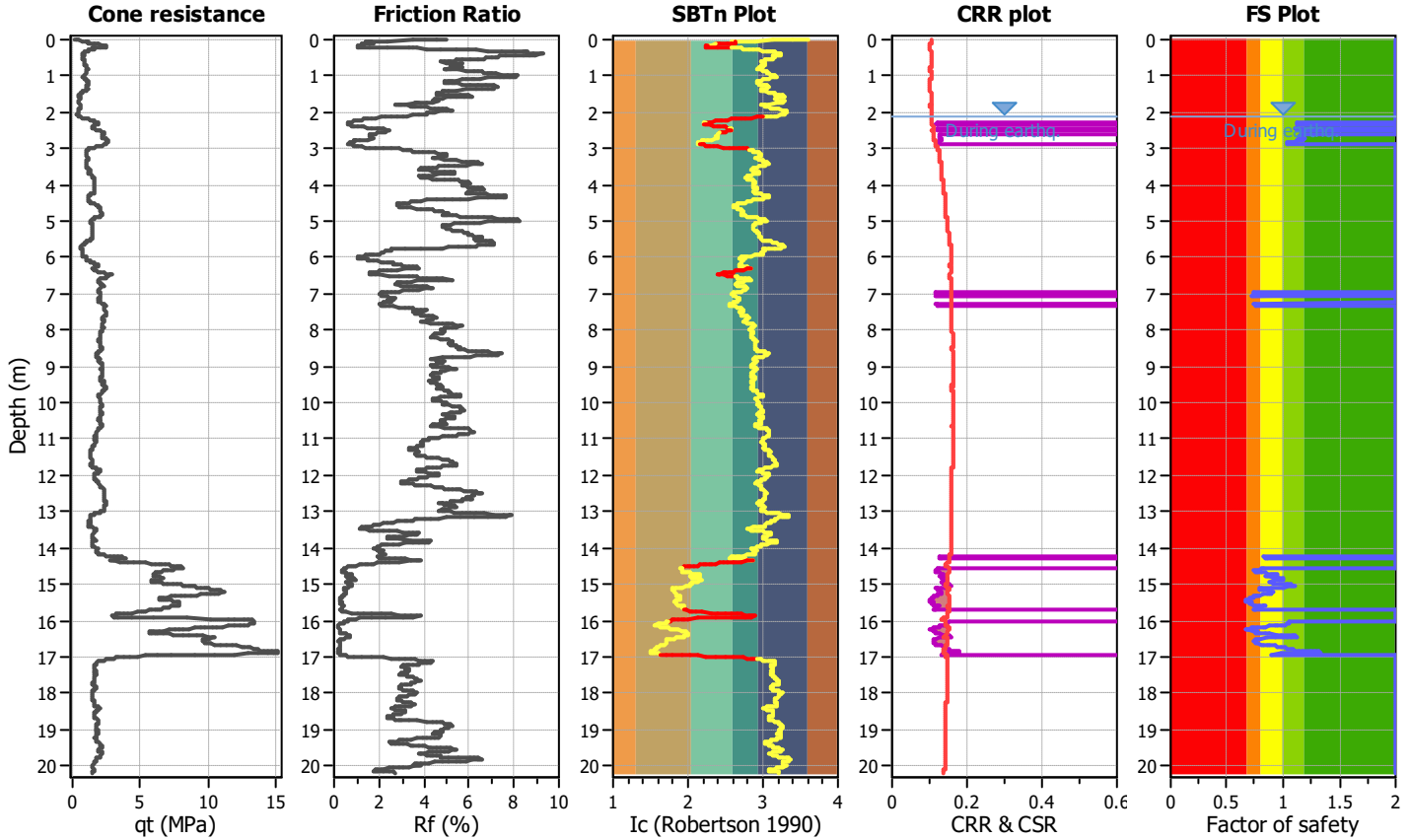
Project title : ELABORAZIONE PROVE PENETROMETRICA

Location : FOSSOLI - VIA I. MARTINELLI

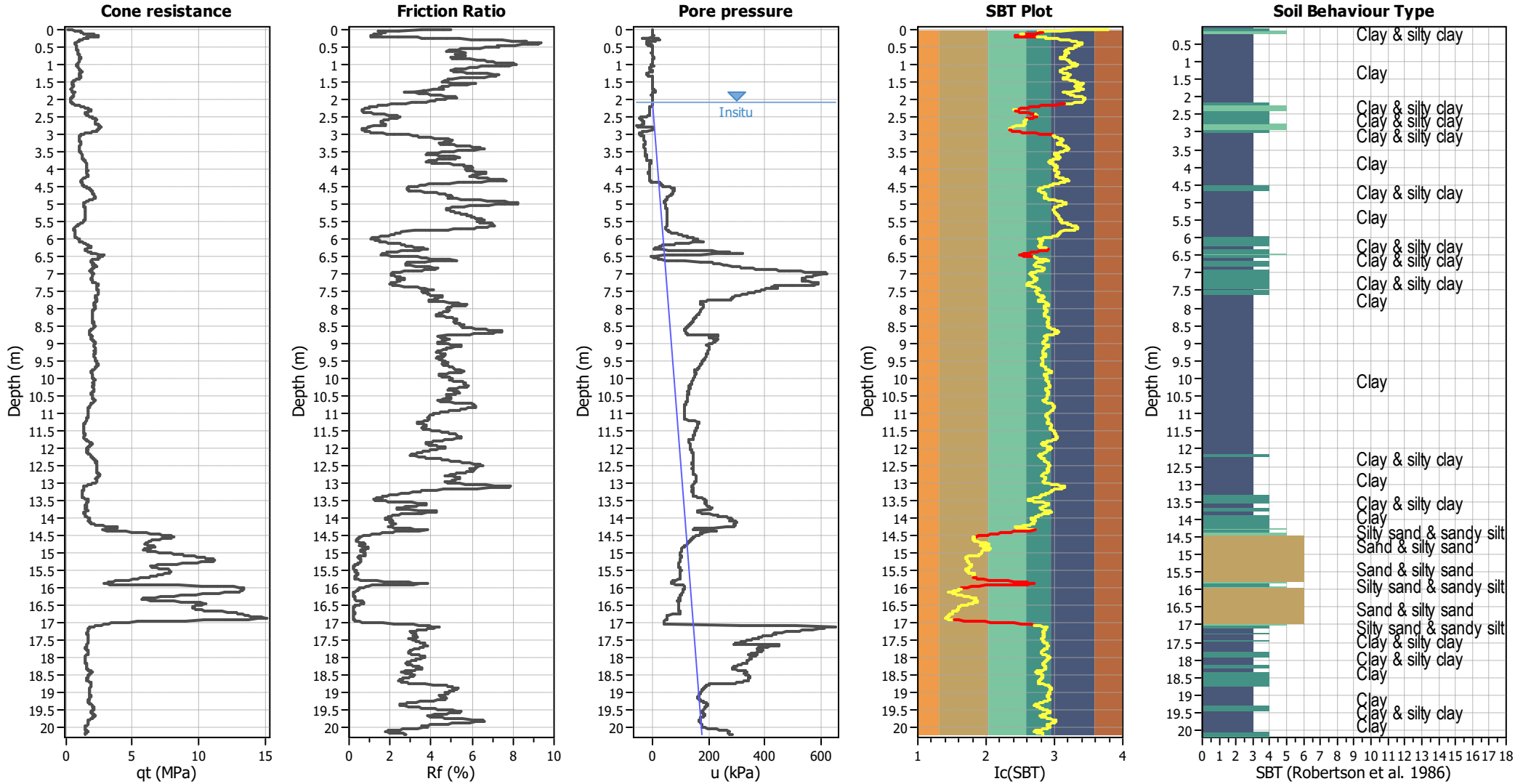
CPT file : CPTU

Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	2.10 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	2.10 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
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:	Yes	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.19	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_σ applied:	Yes	MSF method:	Method based



CPT basic interpretation plots



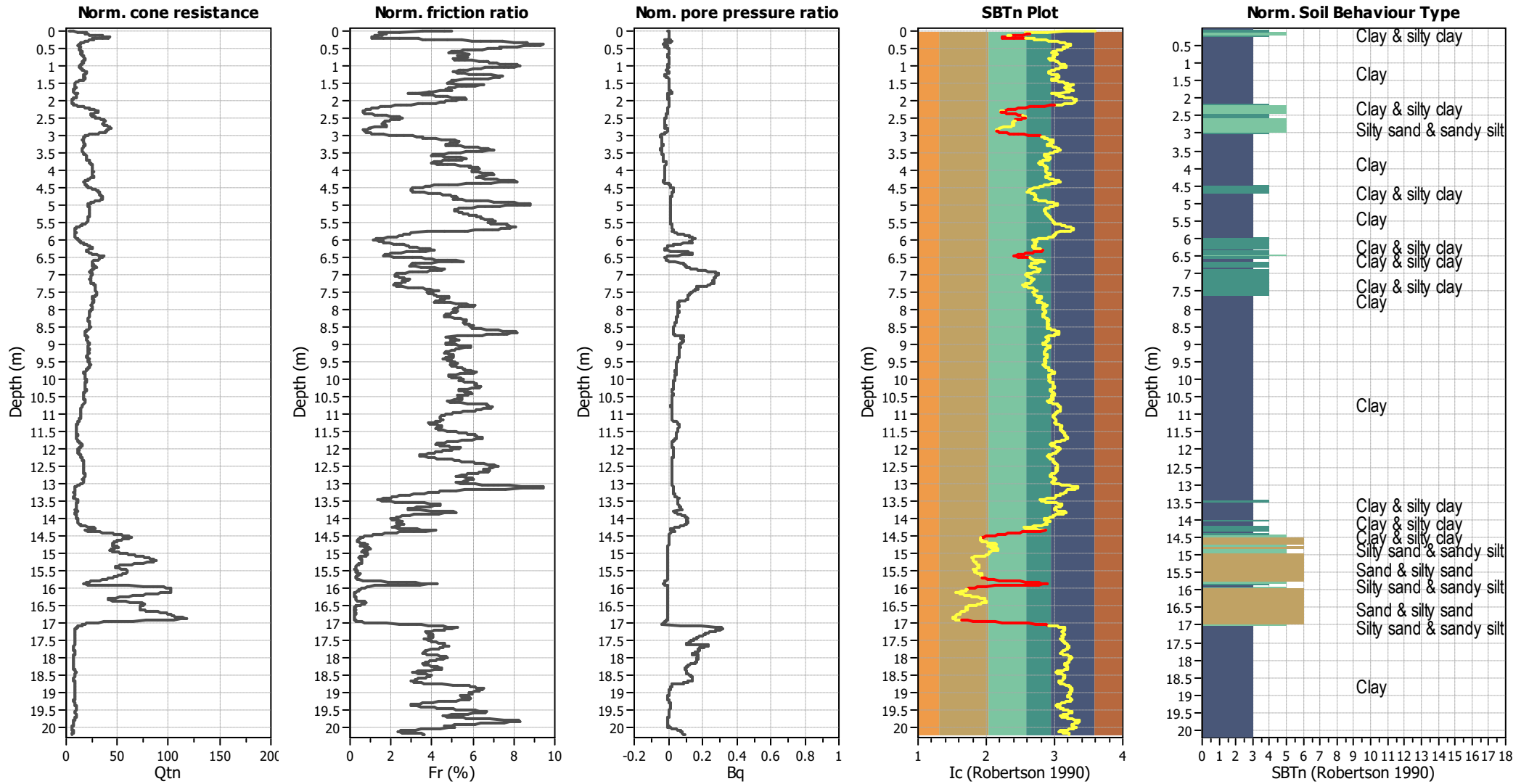
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.10 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _q applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.19	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.10 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBT legend

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

CPT basic interpretation plots (normalized)



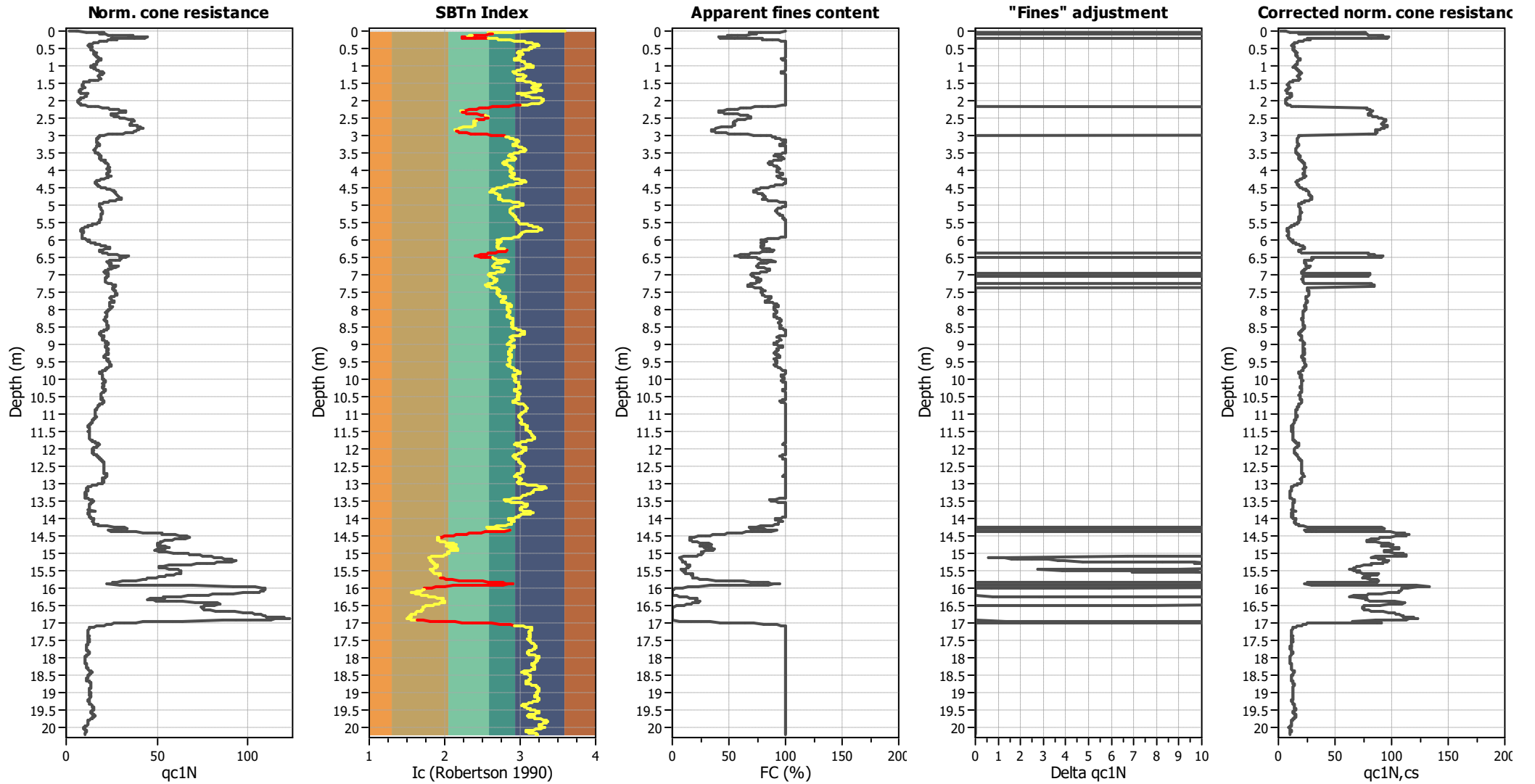
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.10 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _q applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.19	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.10 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBTn legend

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

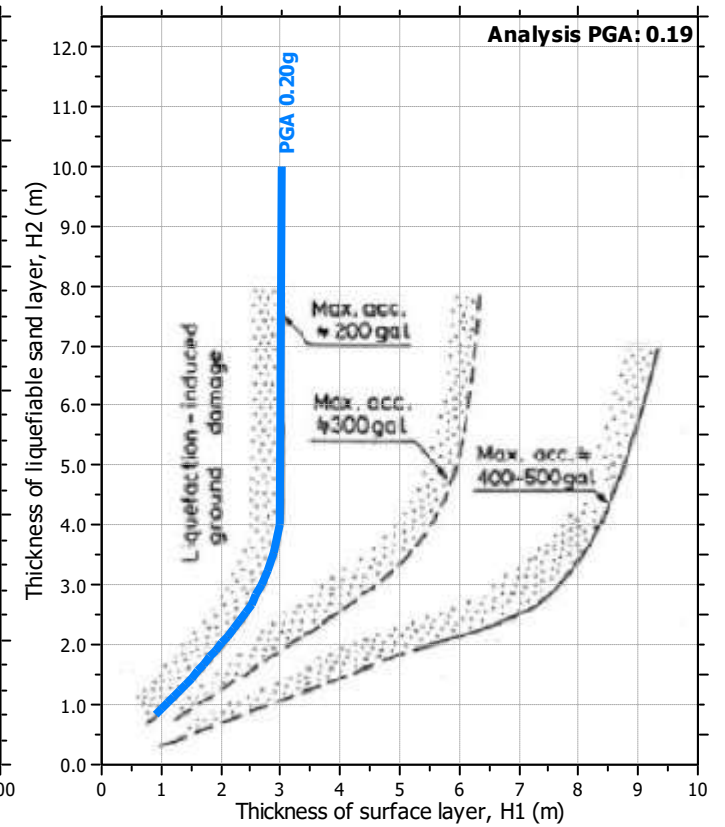
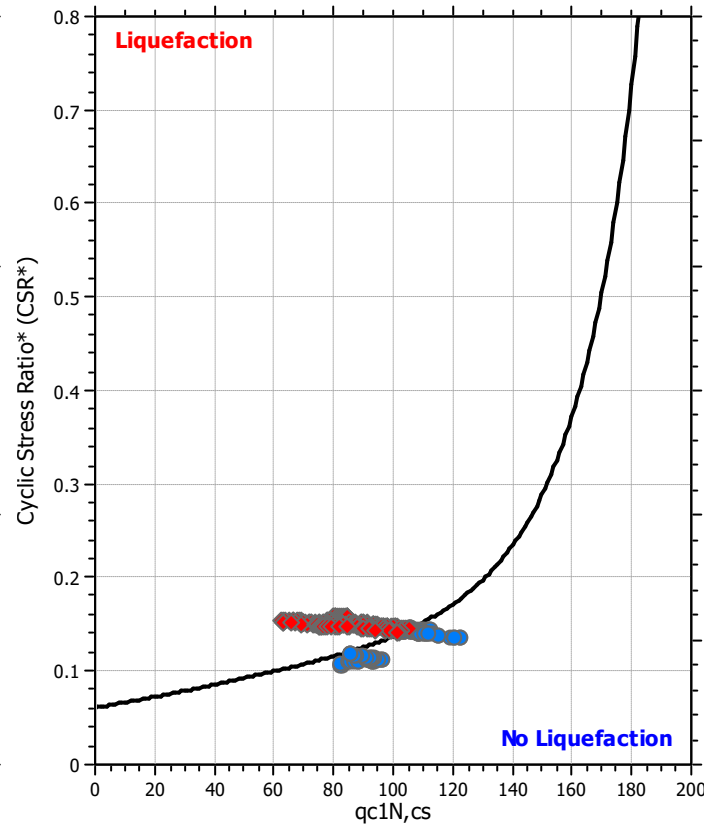
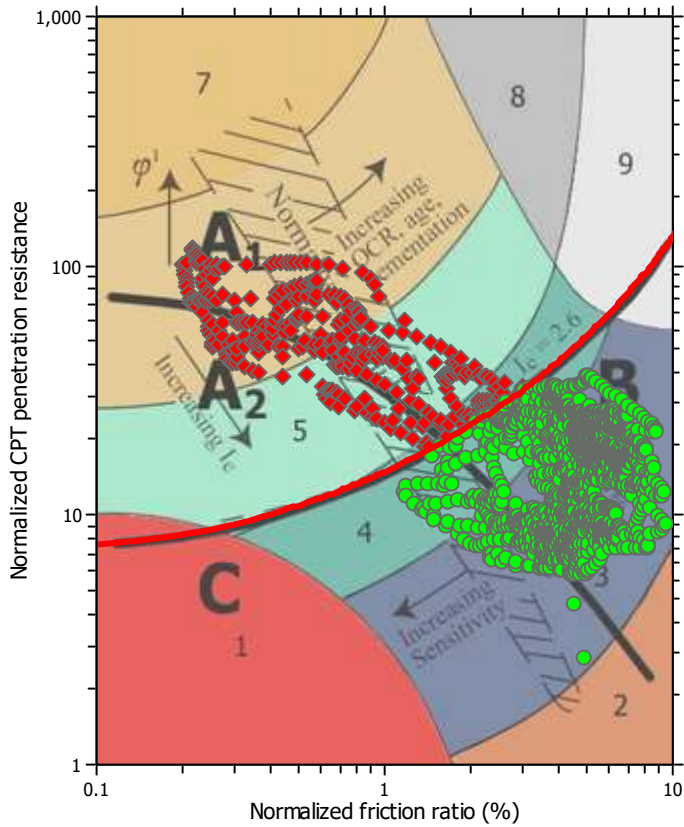
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.10 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _σ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.19	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.10 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

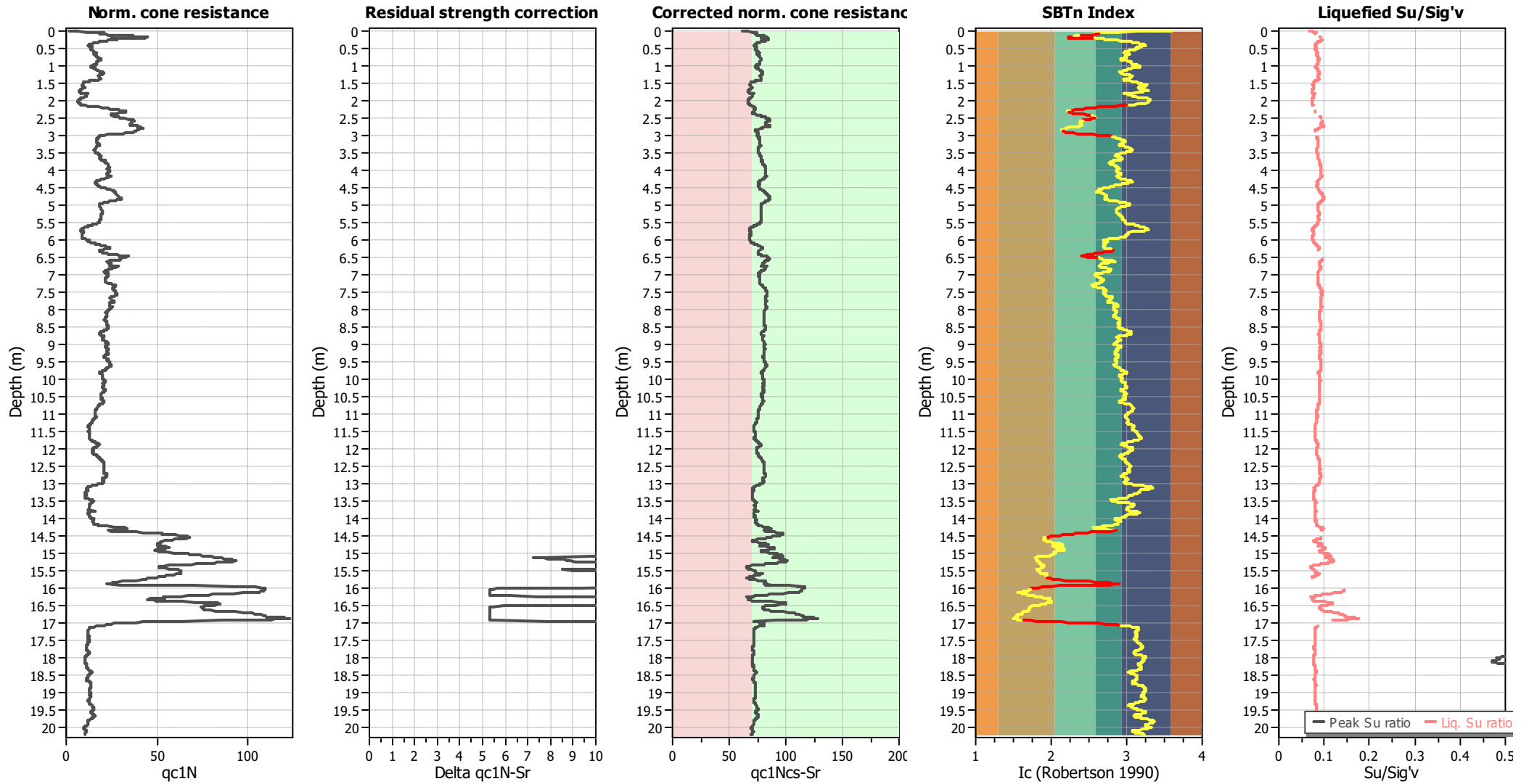
Liquefaction analysis summary plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.10 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _σ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.19	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.10 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

Check for strength loss plots (Idriss & Boulanger (2008))



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.10 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _q applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.19	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.10 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

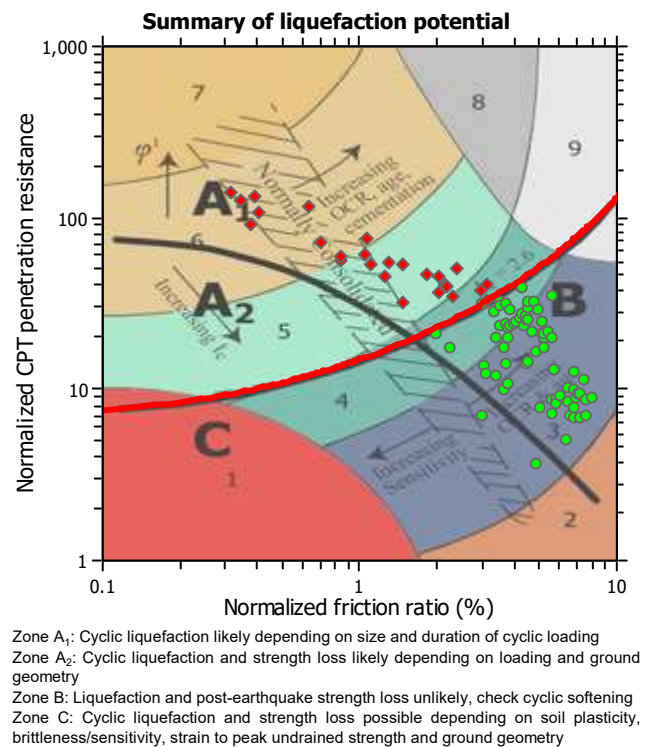
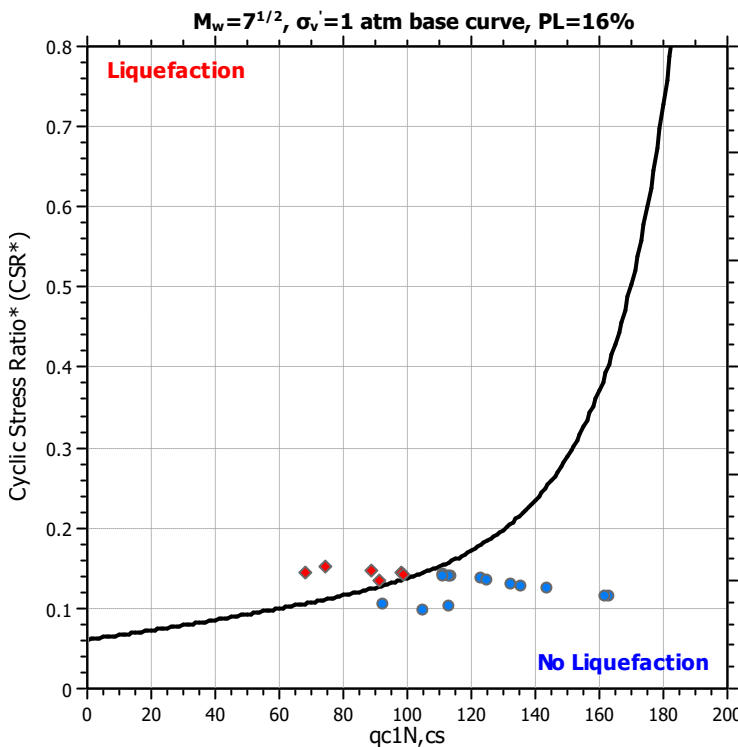
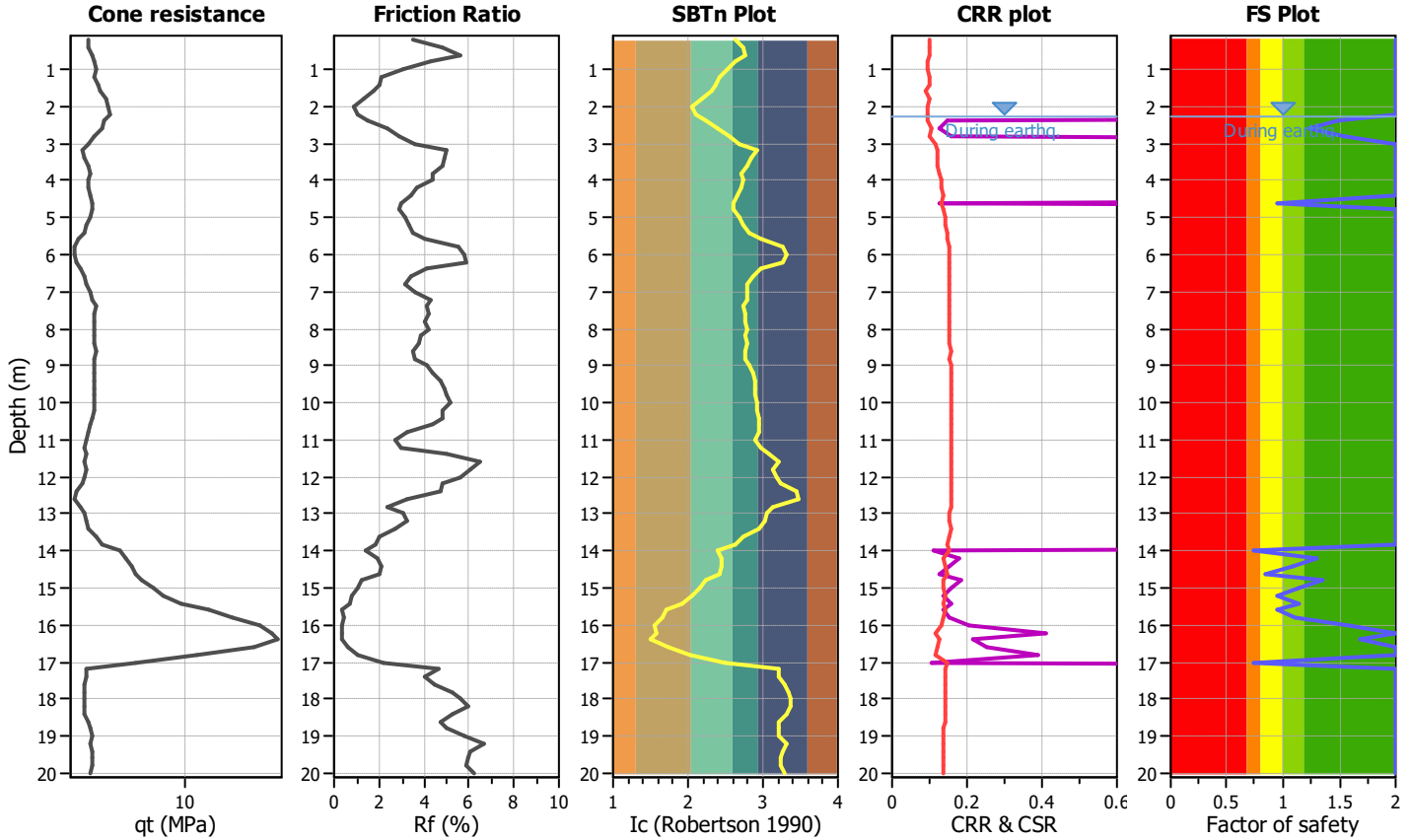
Project title : ELABORAZIONE PROVE PENETROMETRICA

Location : FOSSOLI - VIA I. MARTINELLI

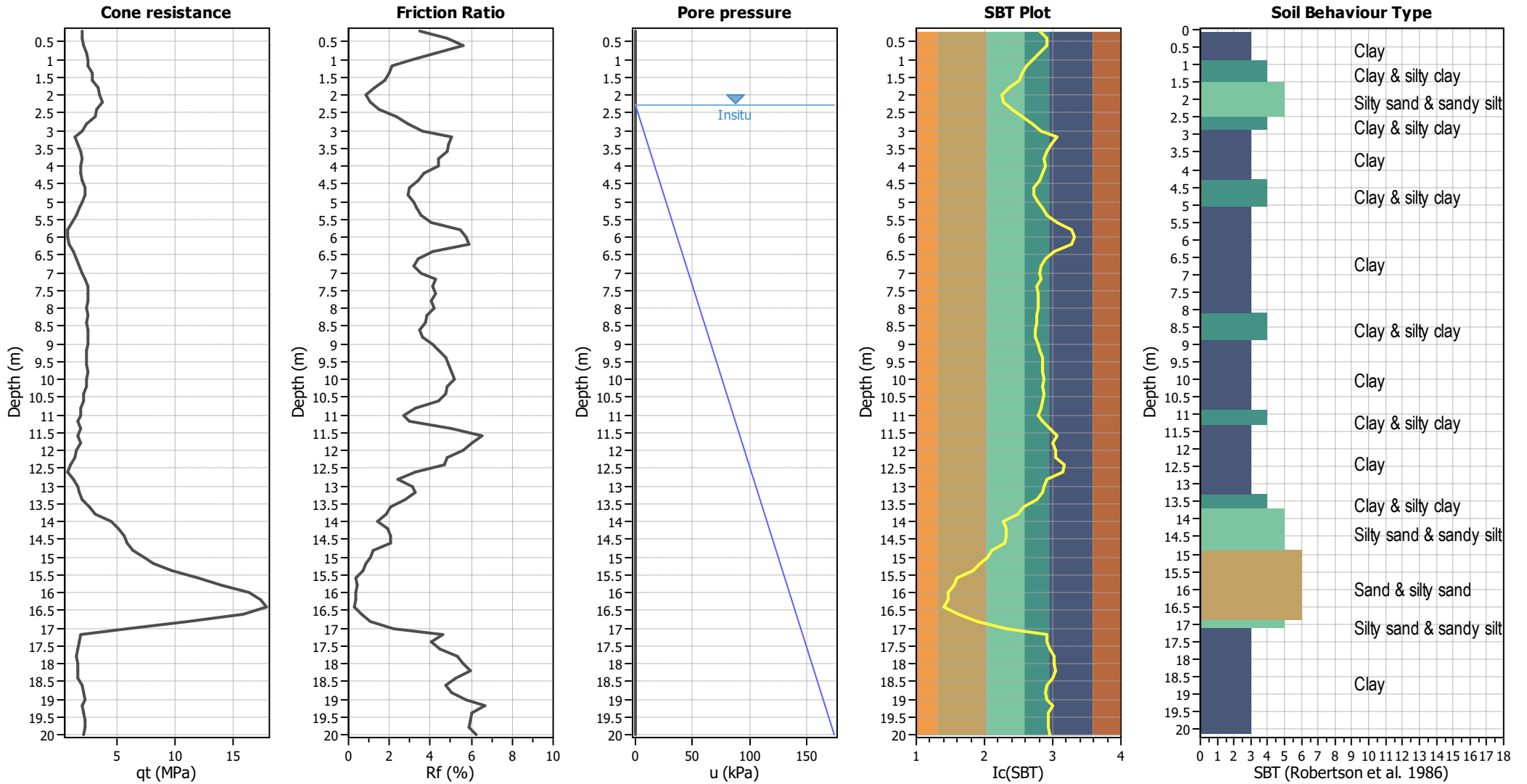
CPT file : CPT1

Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	2.30 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	2.30 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth:	N/A
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	MSF method:	Method based
Peak ground acceleration:	0.19	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_σ applied:	Yes		



CPT basic interpretation plots



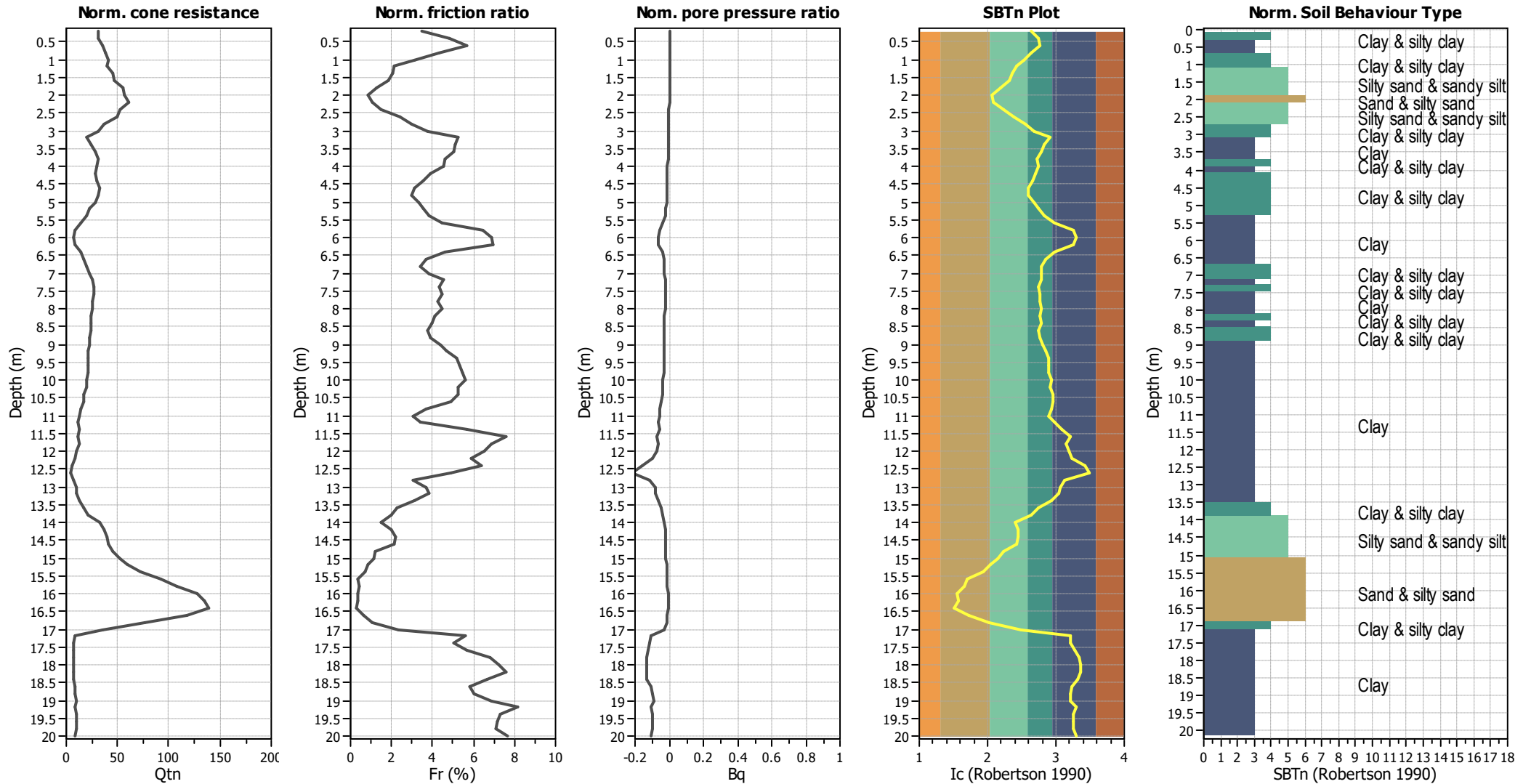
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.30 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _σ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.19	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.30 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBT legend

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

CPT basic interpretation plots (normalized)



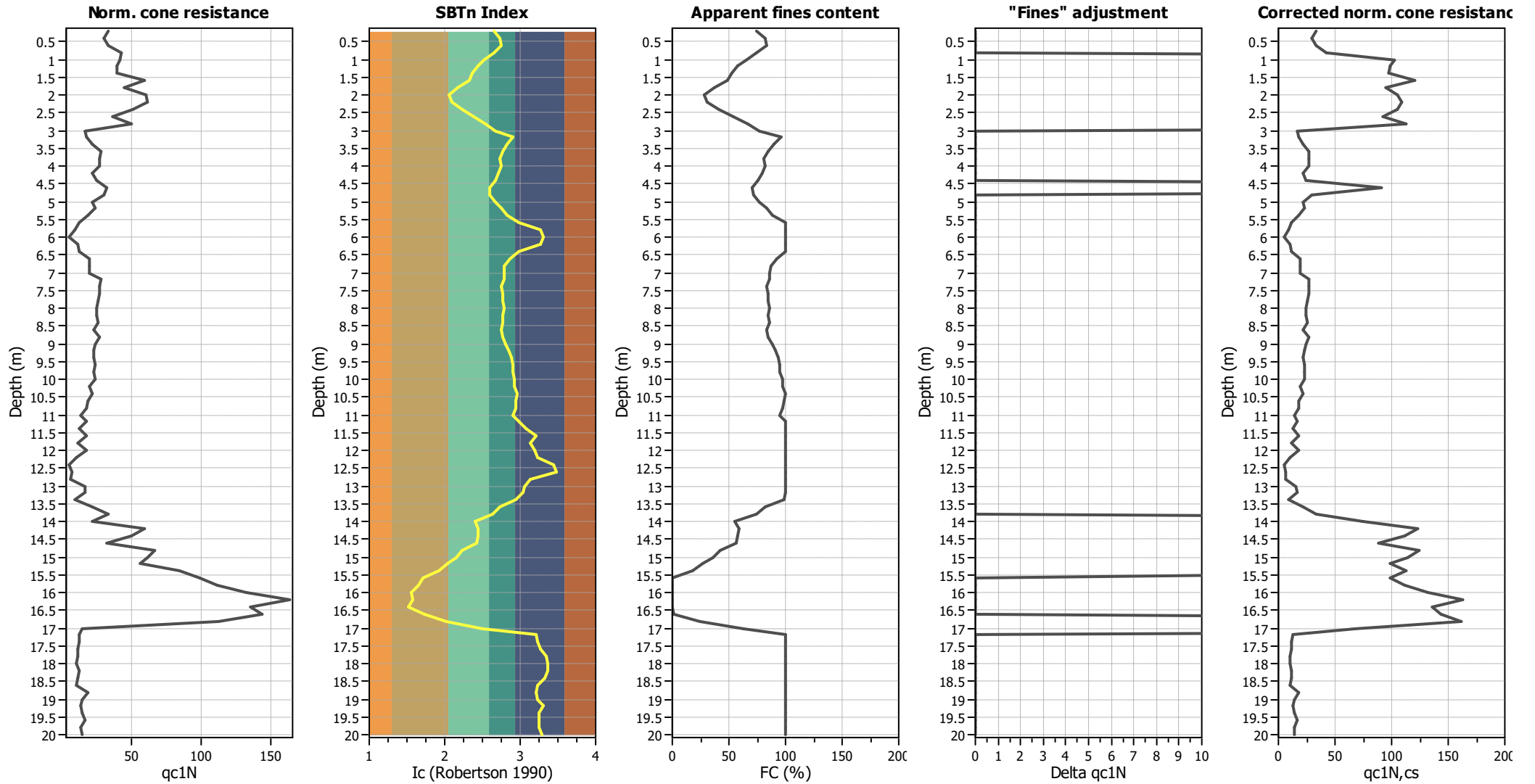
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.30 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _q applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.19	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.30 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBTn legend

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

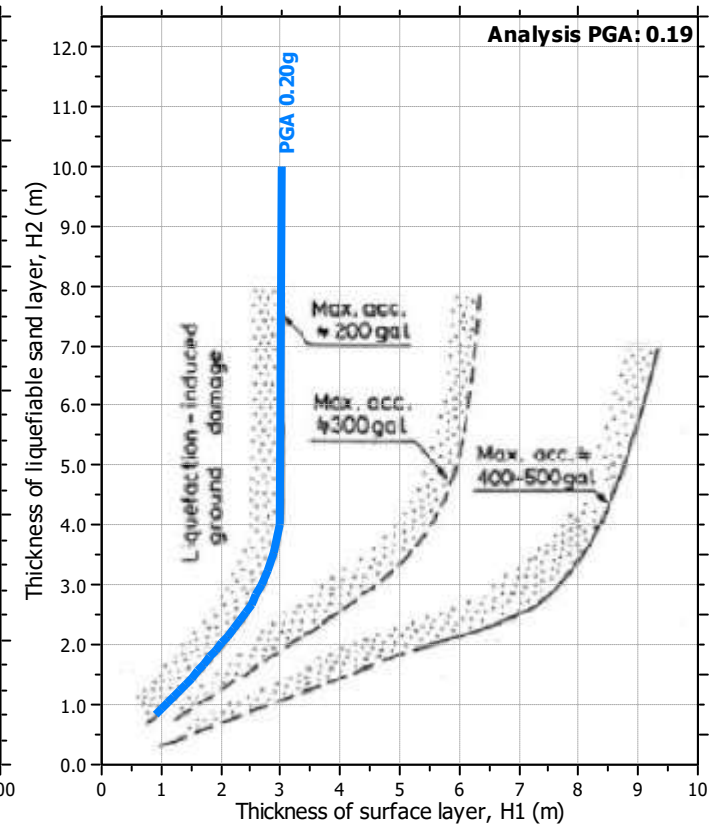
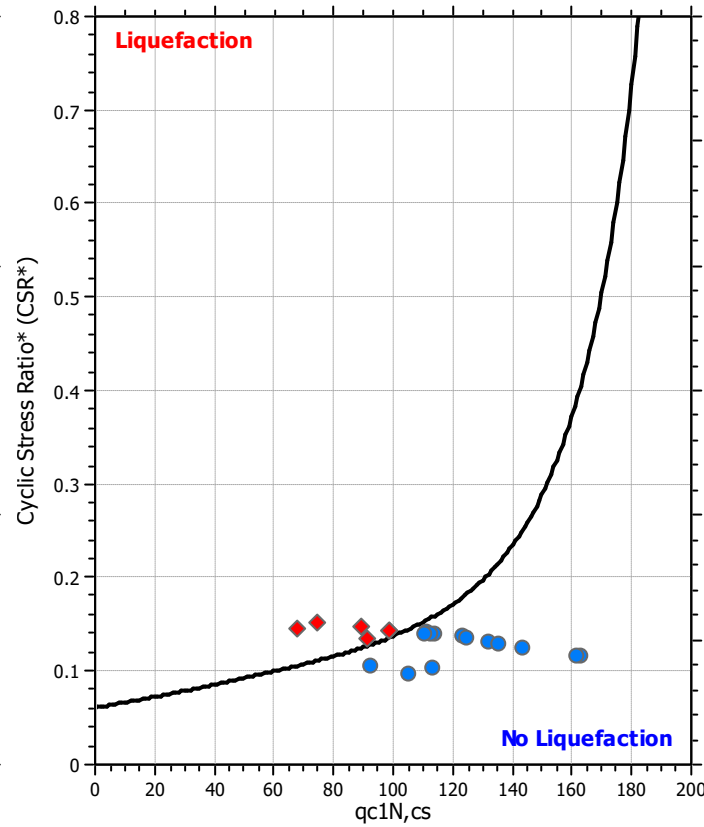
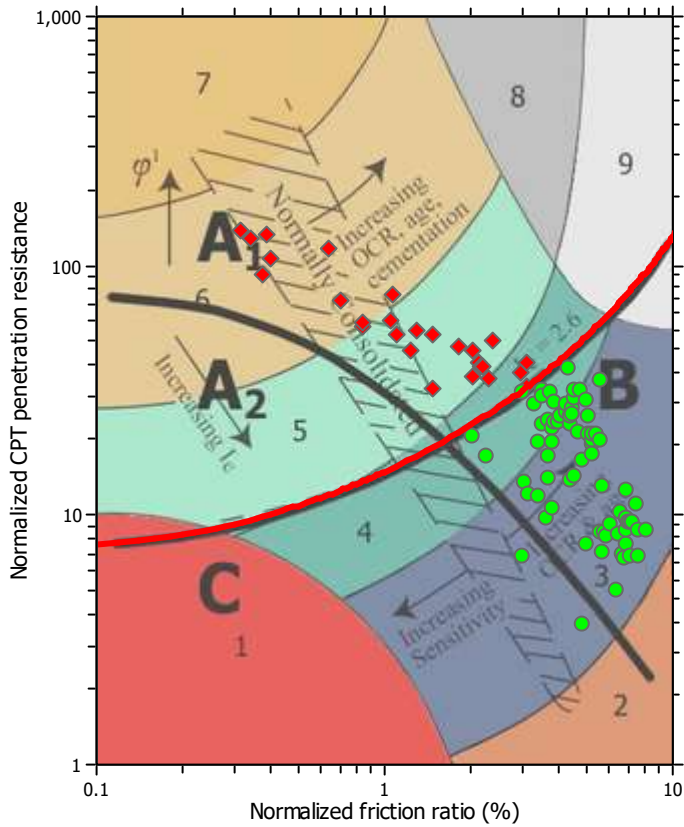
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.30 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _σ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.19	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.30 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

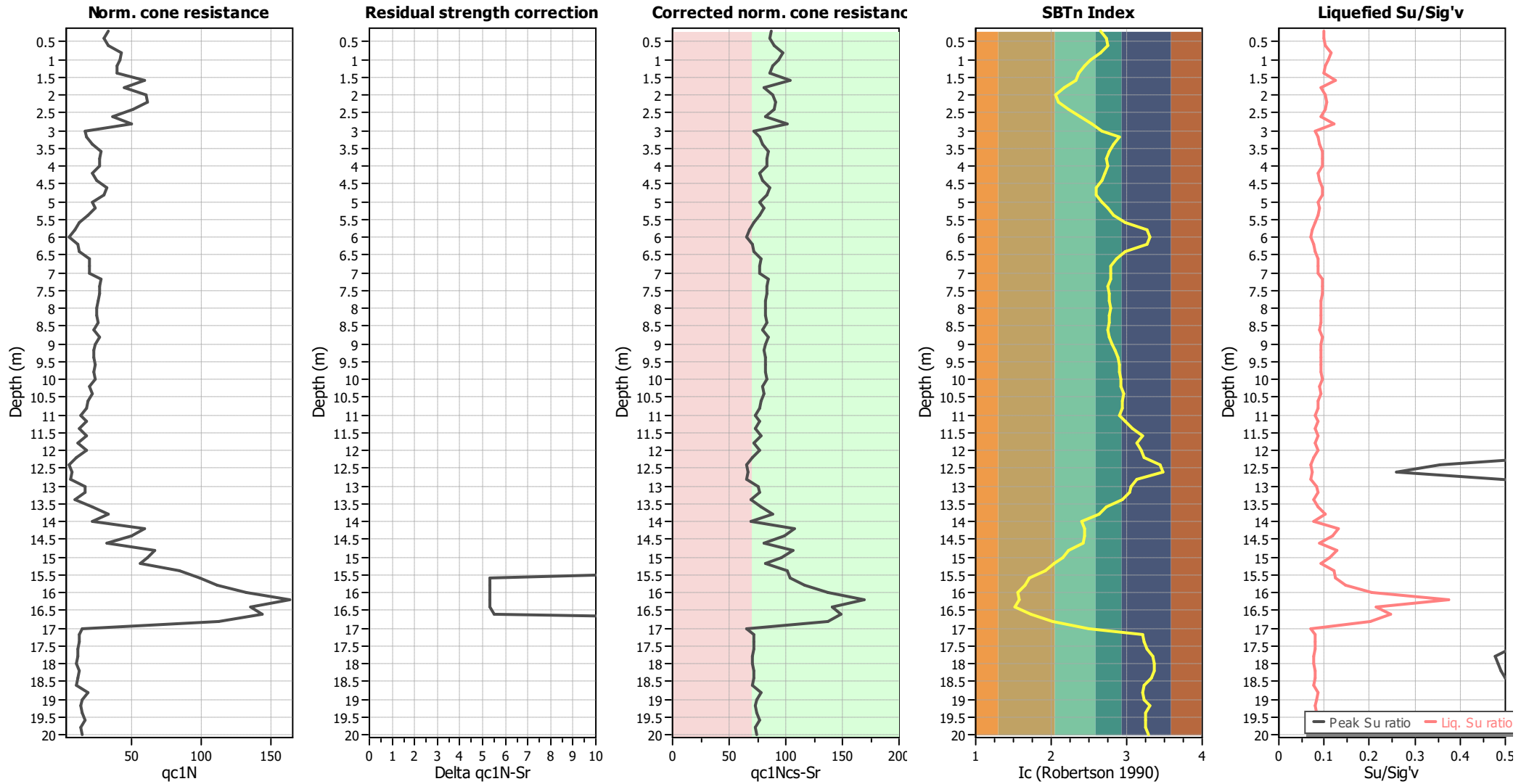
Liquefaction analysis summary plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.30 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on I_c value	I_c cut-off value:	2.60	K_{σ} applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.19	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.30 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

Check for strength loss plots (Idriss & Boulanger (2008))



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.30 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _σ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.19	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.30 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

ALLEGATO 5

VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE – NTC18

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

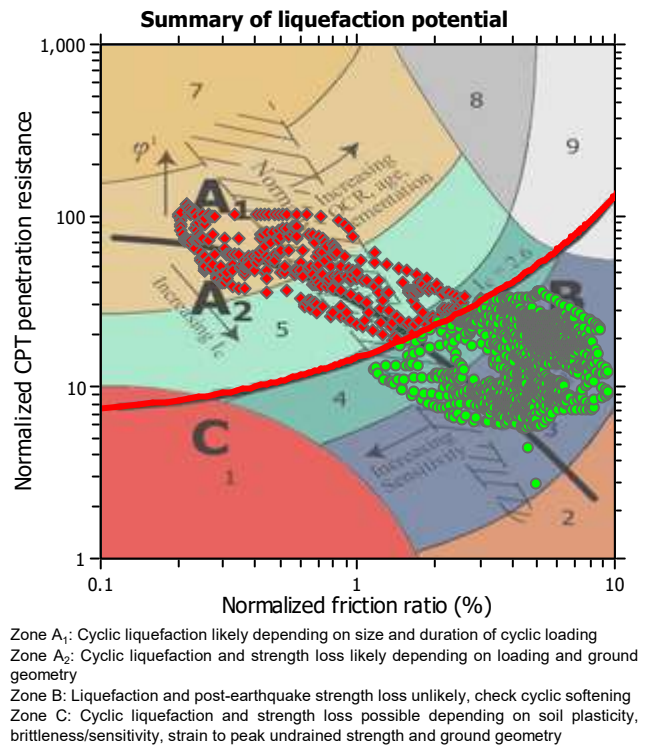
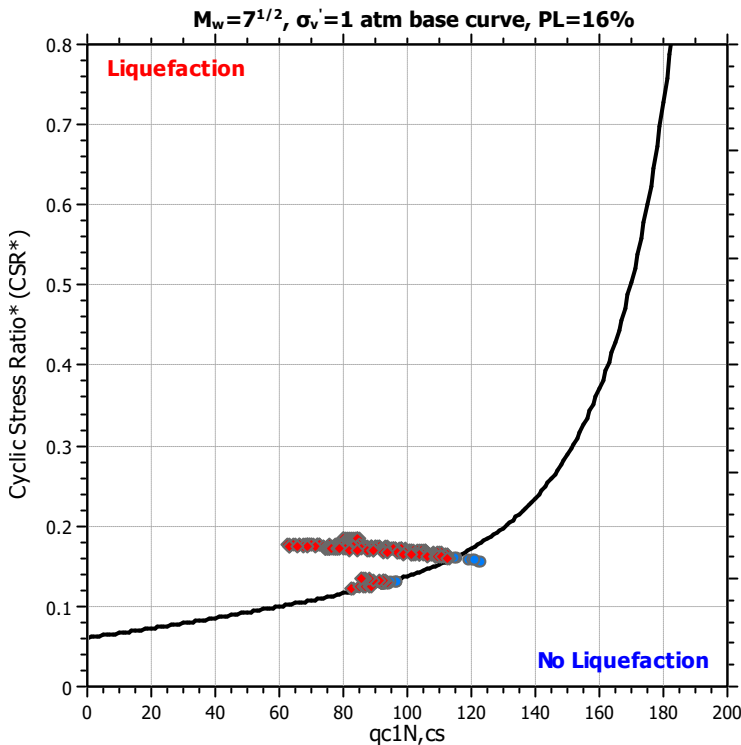
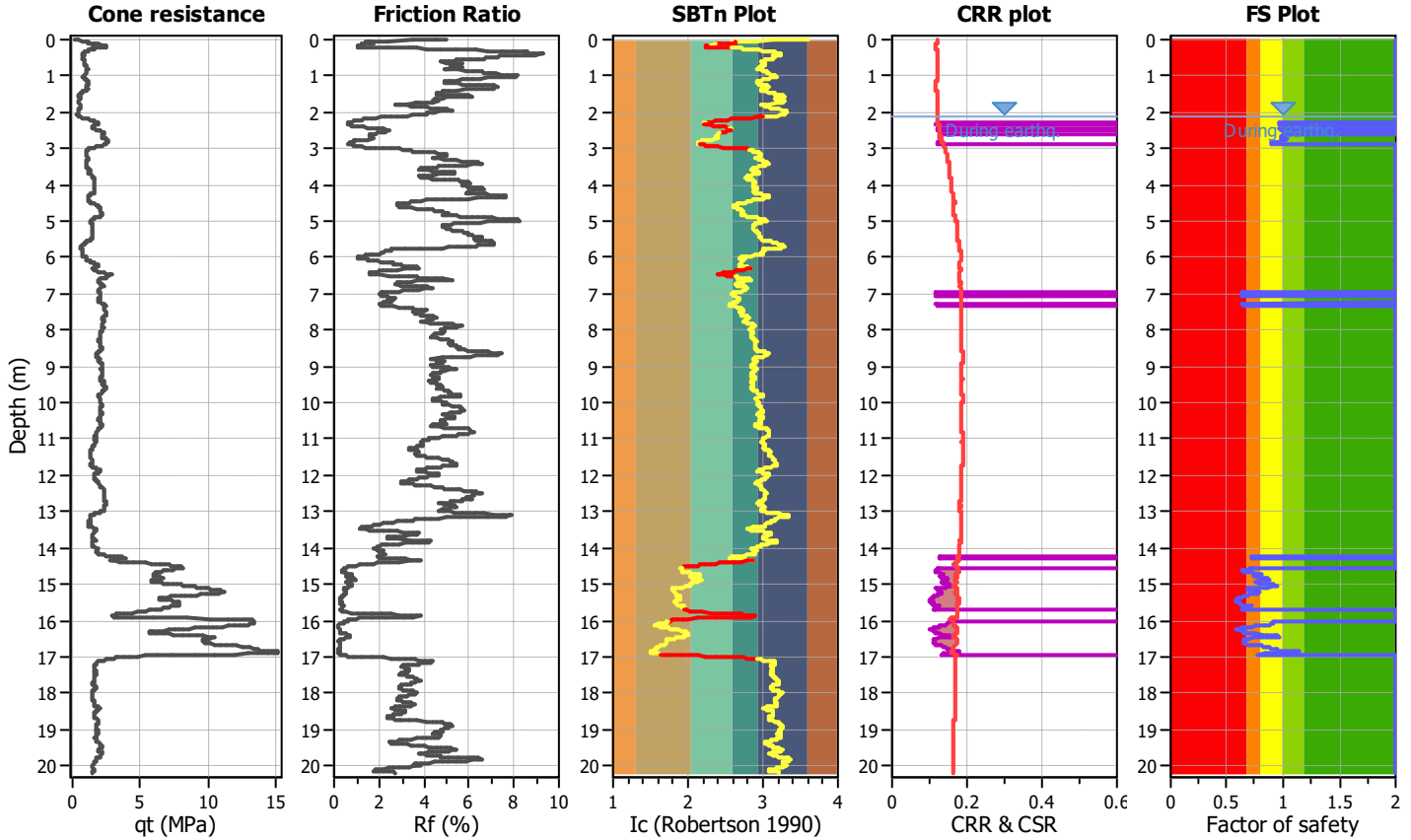
Project title : ELABORAZIONE PROVE PENETROMETRICA

Location : FOSSOLI - VIA I. MARTINELLI

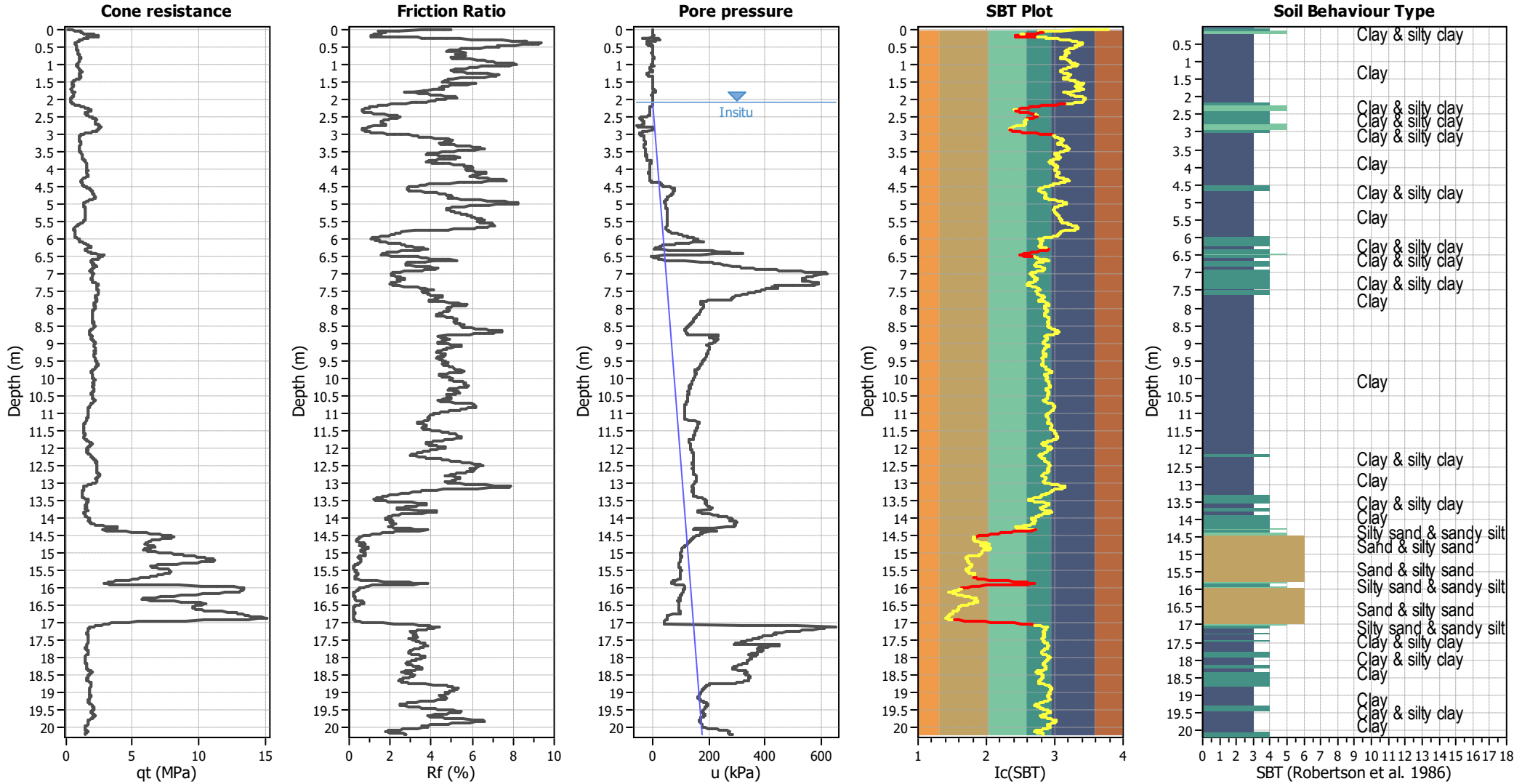
CPT file : CPTU

Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	2.10 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	2.10 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
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:	Yes	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.22	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_σ applied:	Yes	MSF method:	Method based



CPT basic interpretation plots



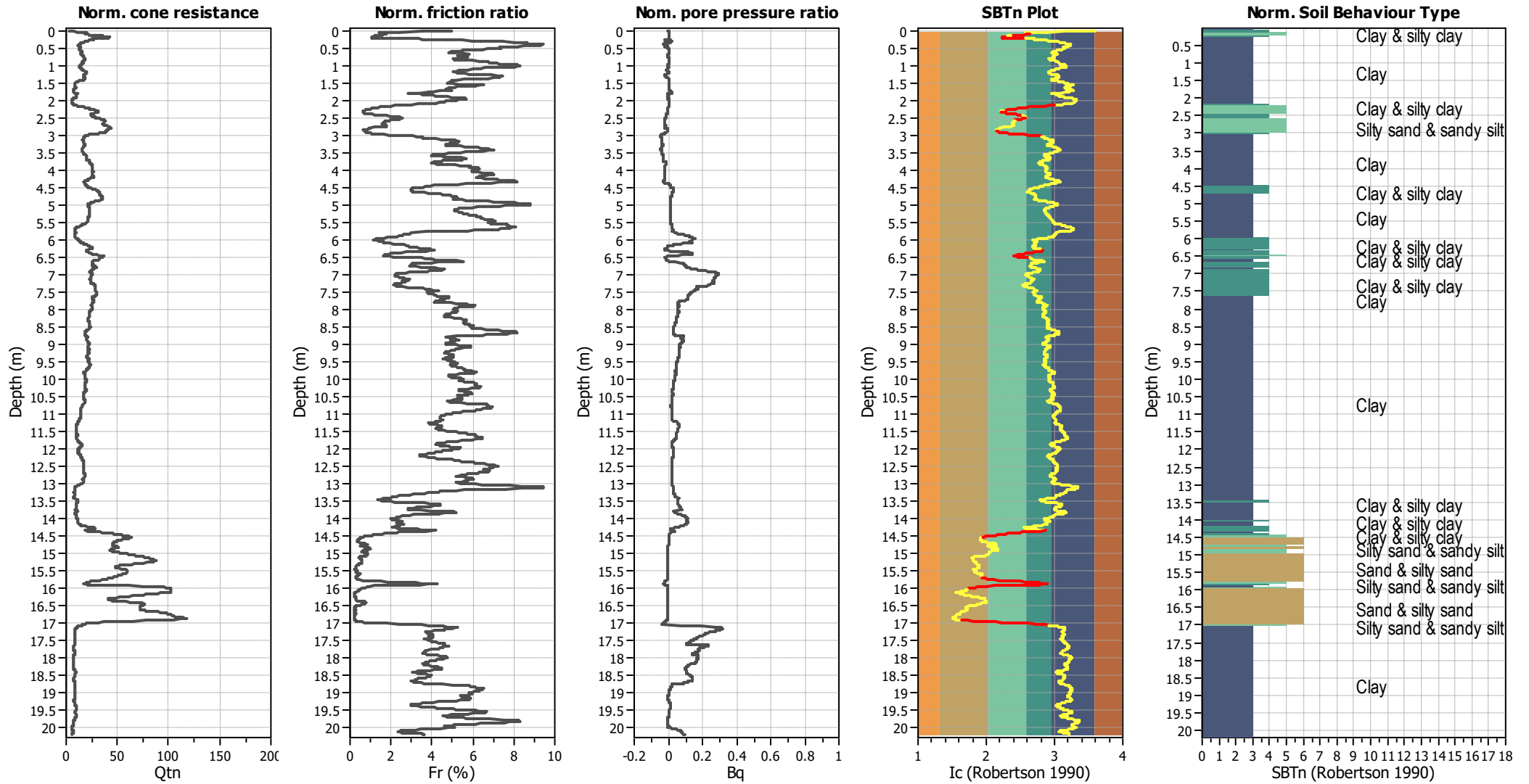
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.10 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _q applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.22	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.10 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBT legend

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

CPT basic interpretation plots (normalized)



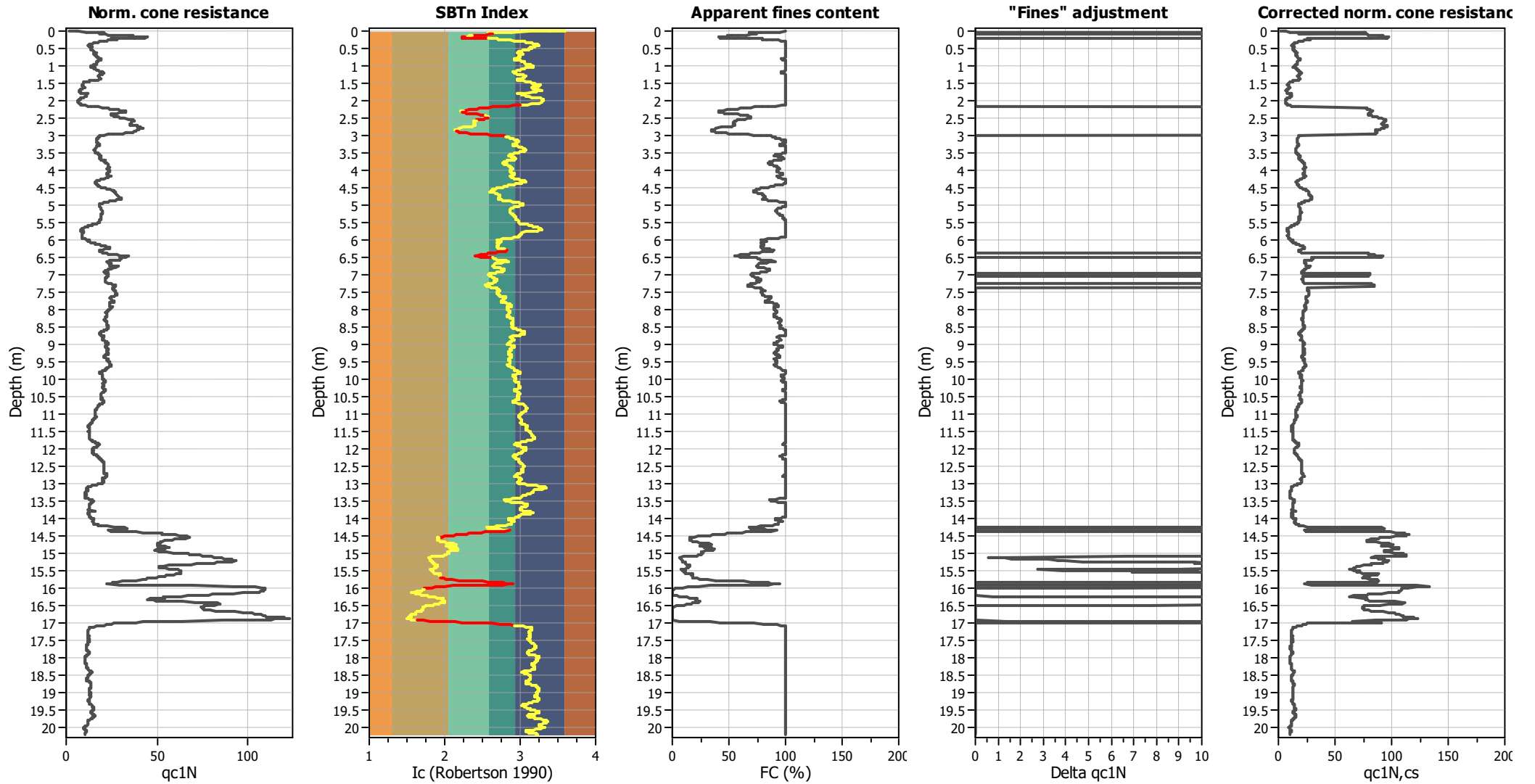
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.10 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _q applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.22	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.10 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBTn legend

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

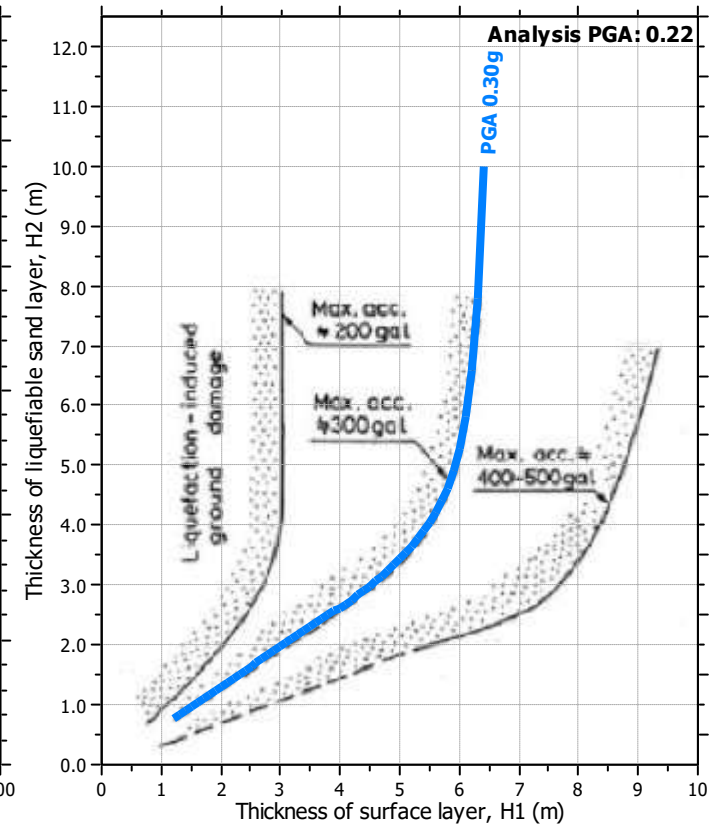
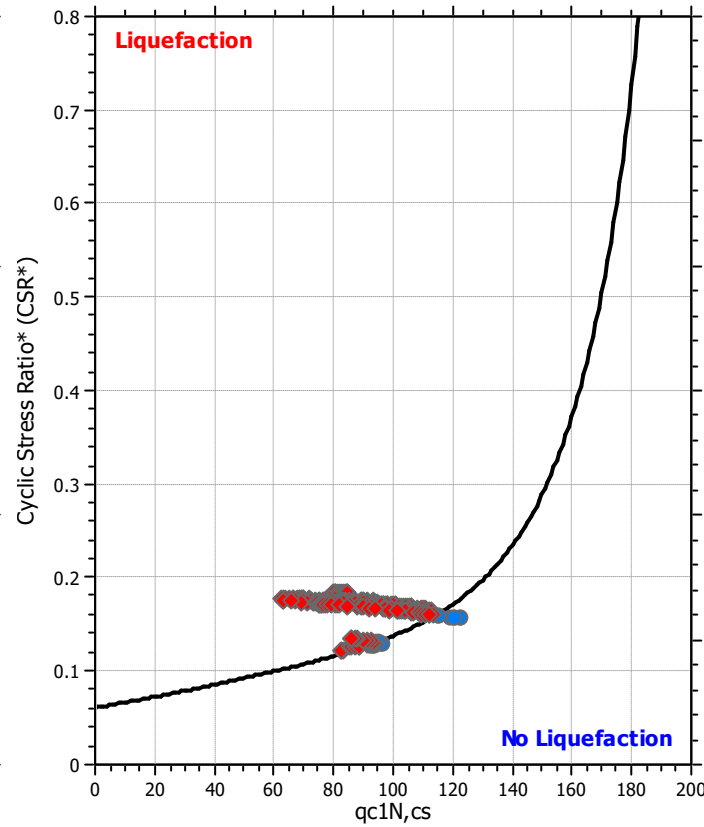
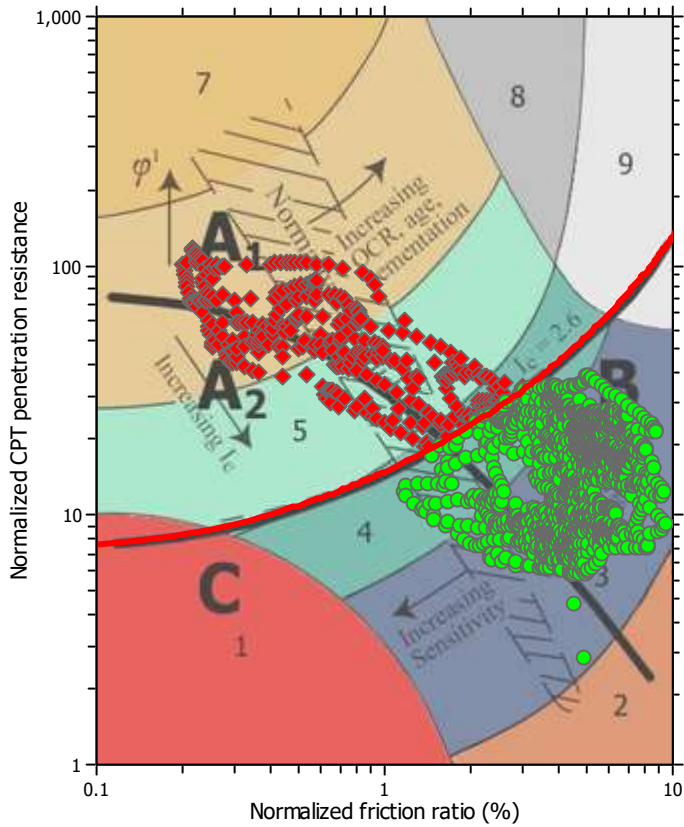
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.10 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _σ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.22	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.10 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

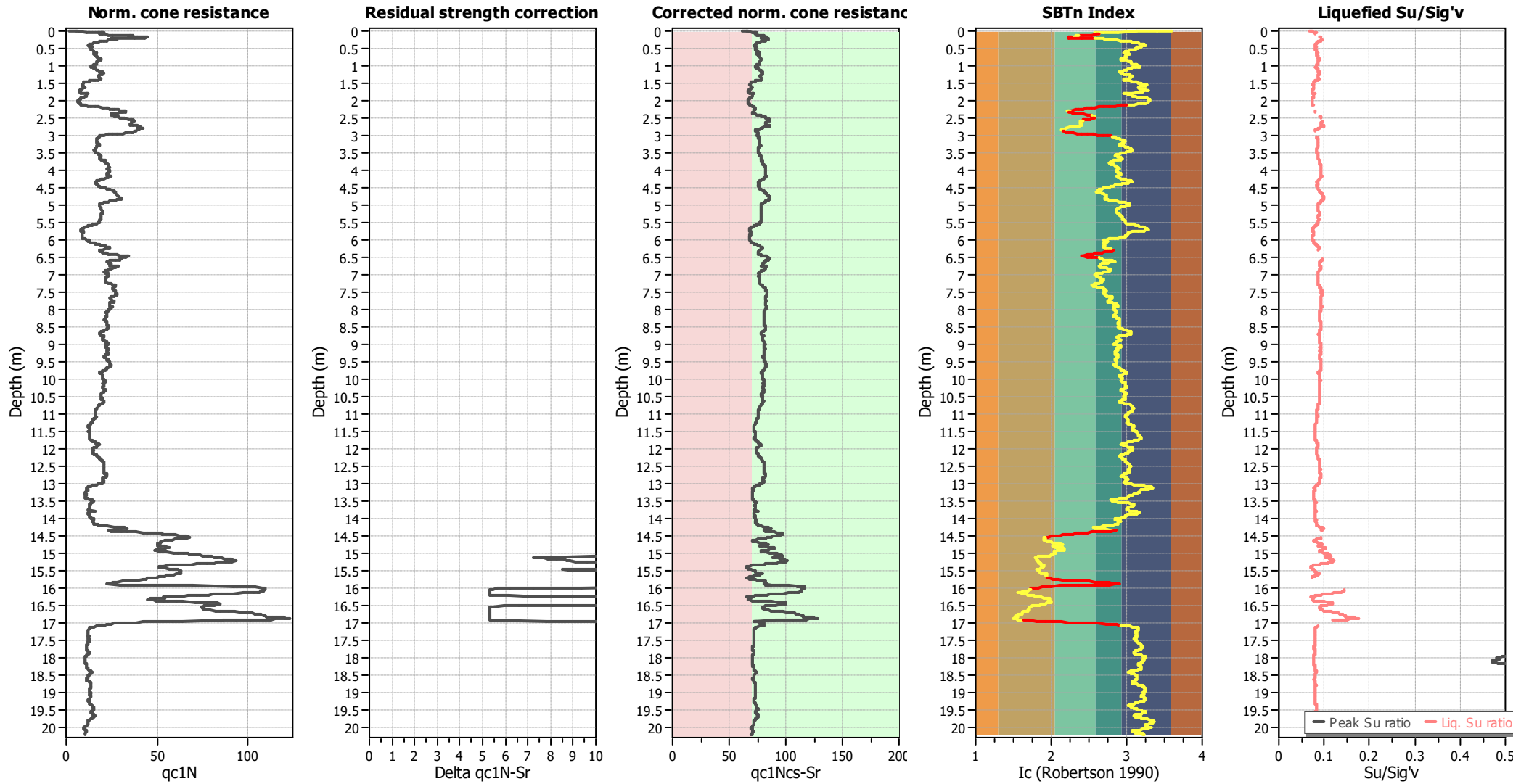
Liquefaction analysis summary plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.10 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _σ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.22	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.10 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

Check for strength loss plots (Idriss & Boulanger (2008))



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.10 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _q applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.22	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.10 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

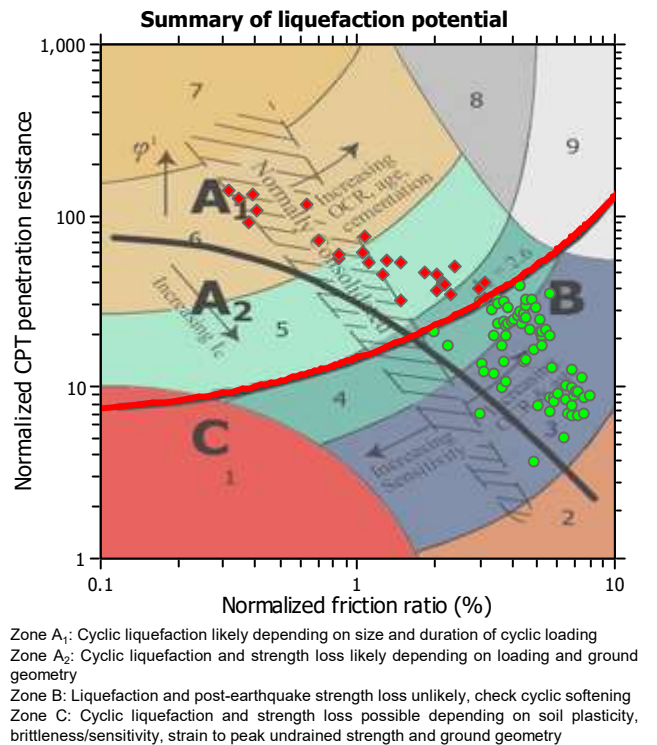
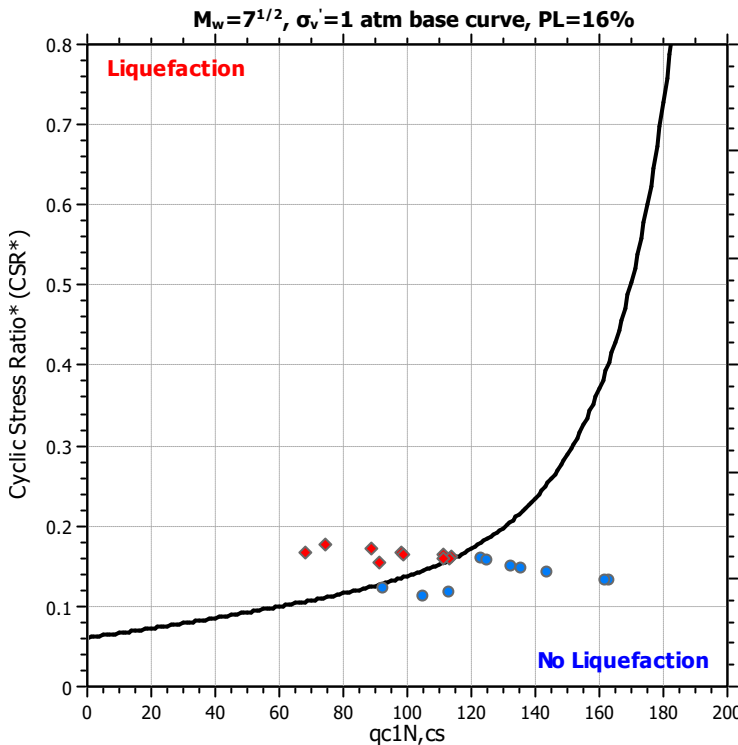
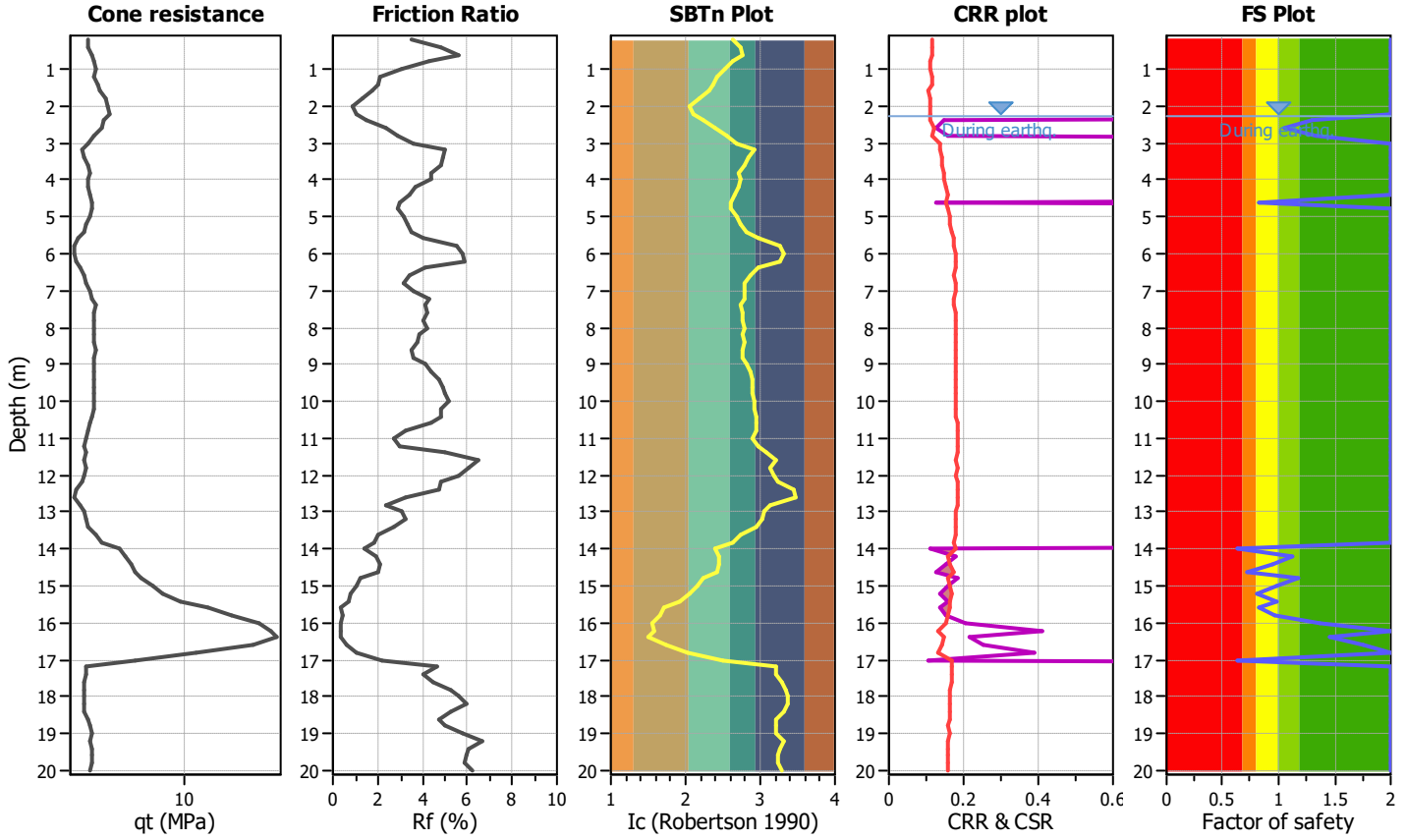
Project title : ELABORAZIONE PROVE PENETROMETRICA

Location : FOSSOLI - VIA I. MARTINELLI

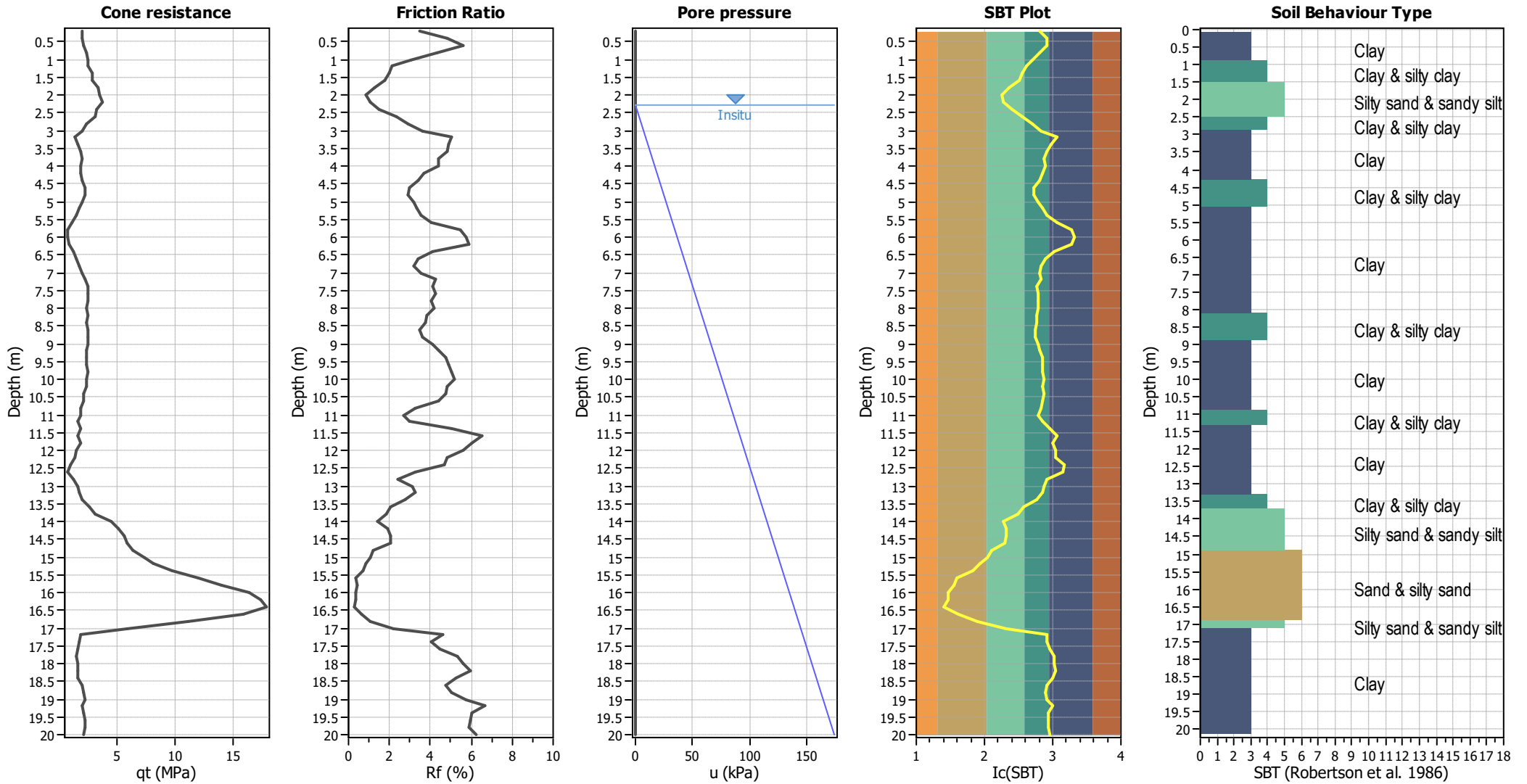
CPT file : CPT1

Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	2.30 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	2.30 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth:	N/A
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	MSF method:	Method based
Peak ground acceleration:	0.22	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_σ applied:	Yes		



CPT basic interpretation plots



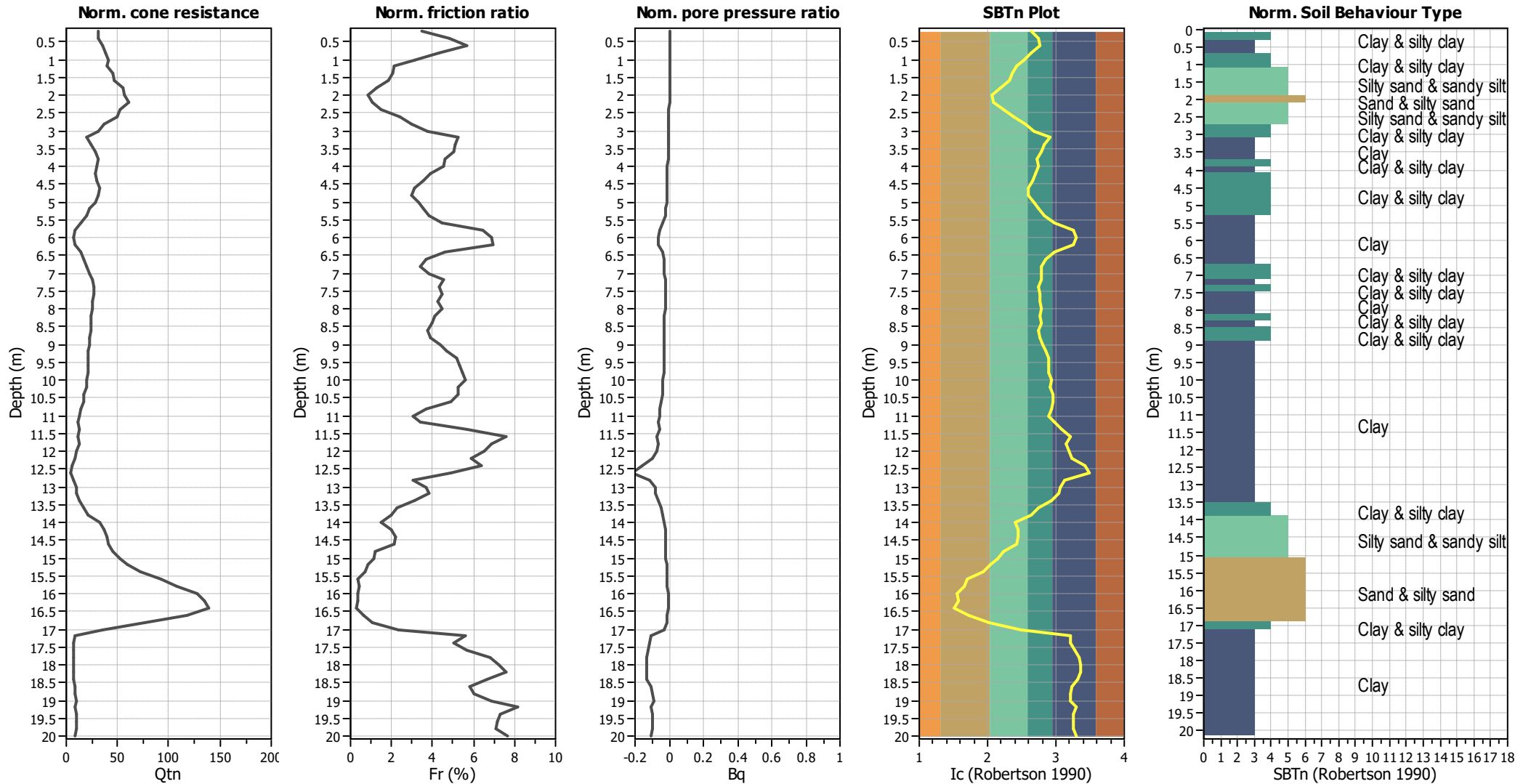
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.30 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _σ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.22	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.30 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBT legend

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

CPT basic interpretation plots (normalized)



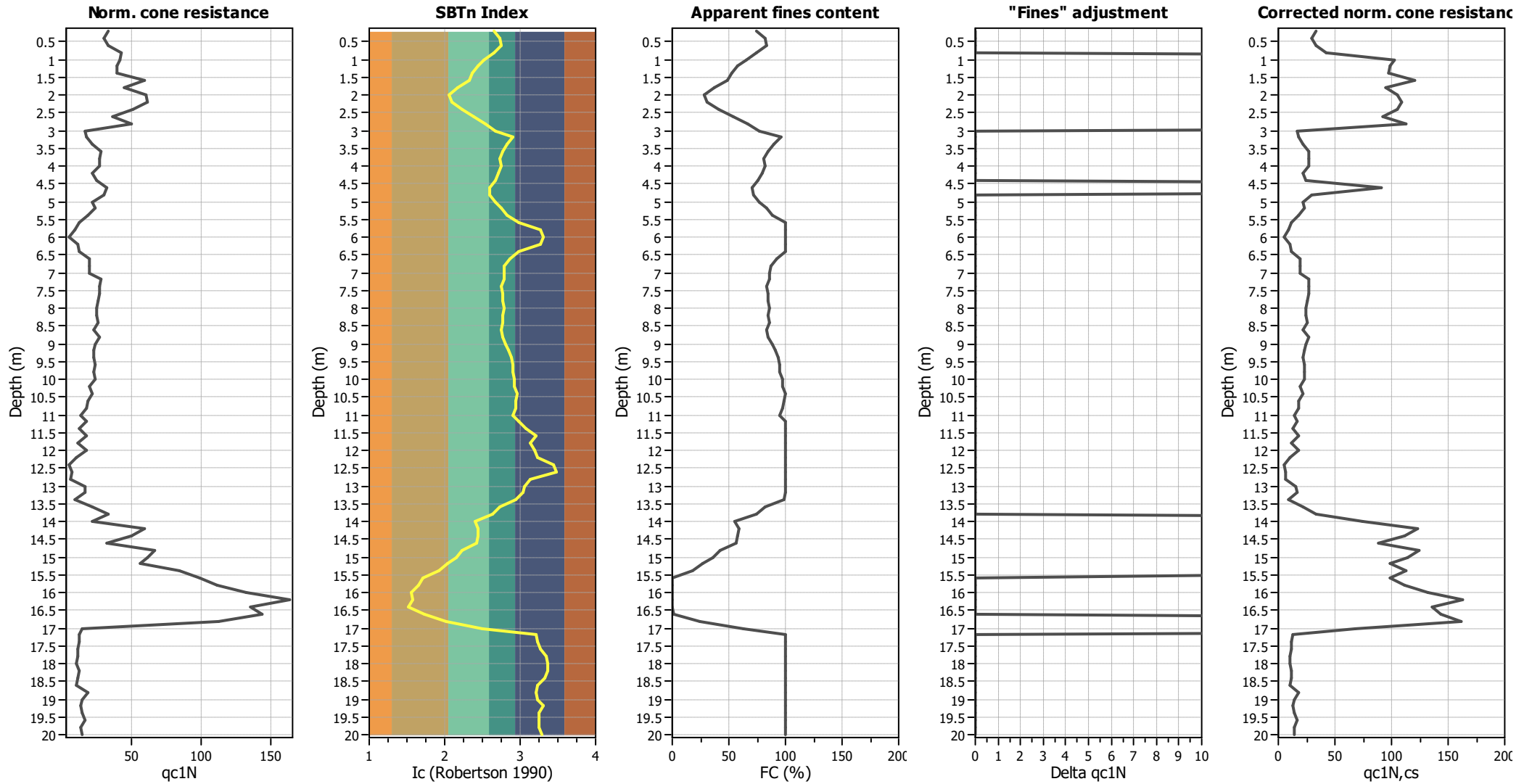
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.30 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _q applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.22	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.30 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBTn legend

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

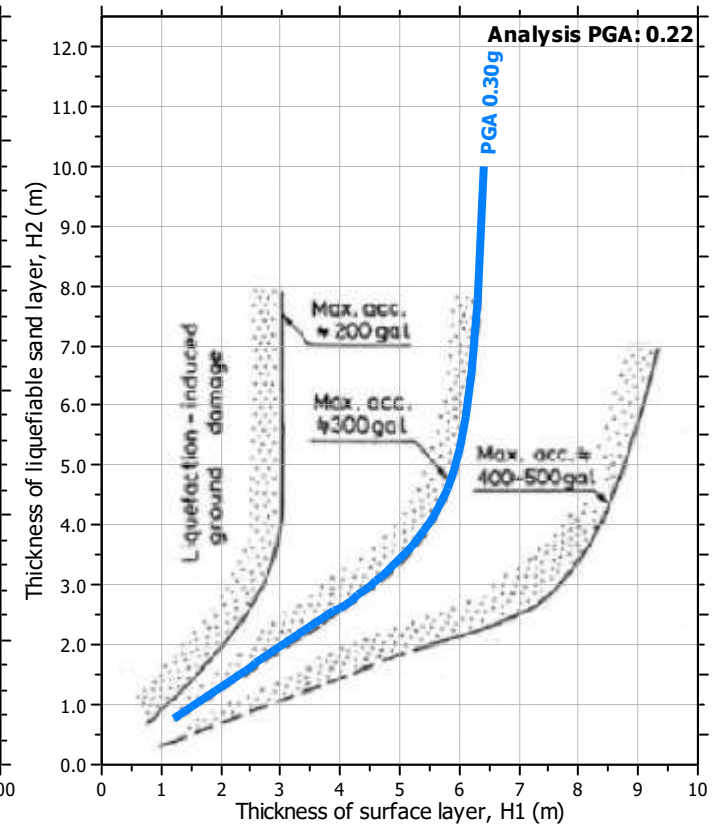
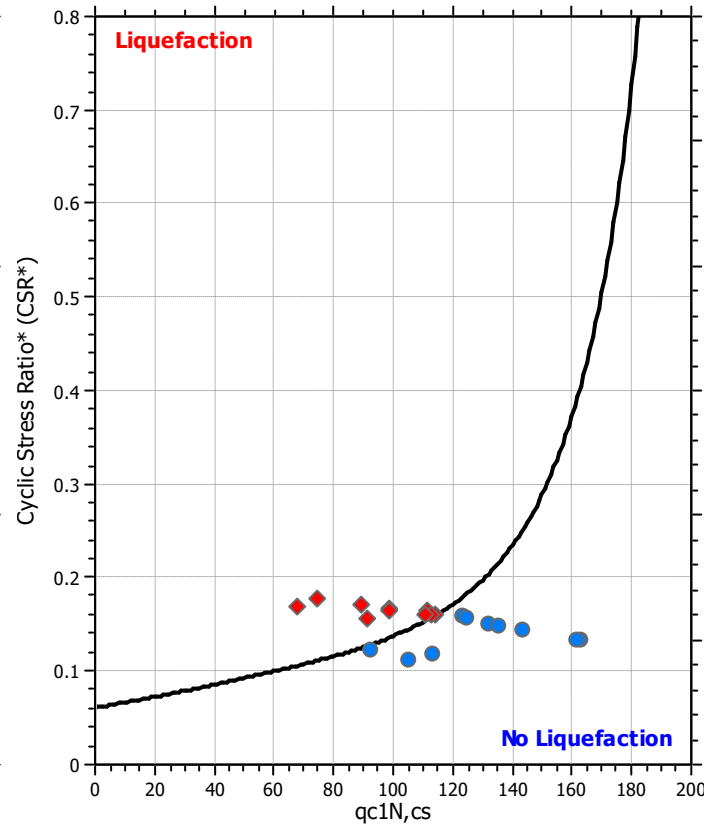
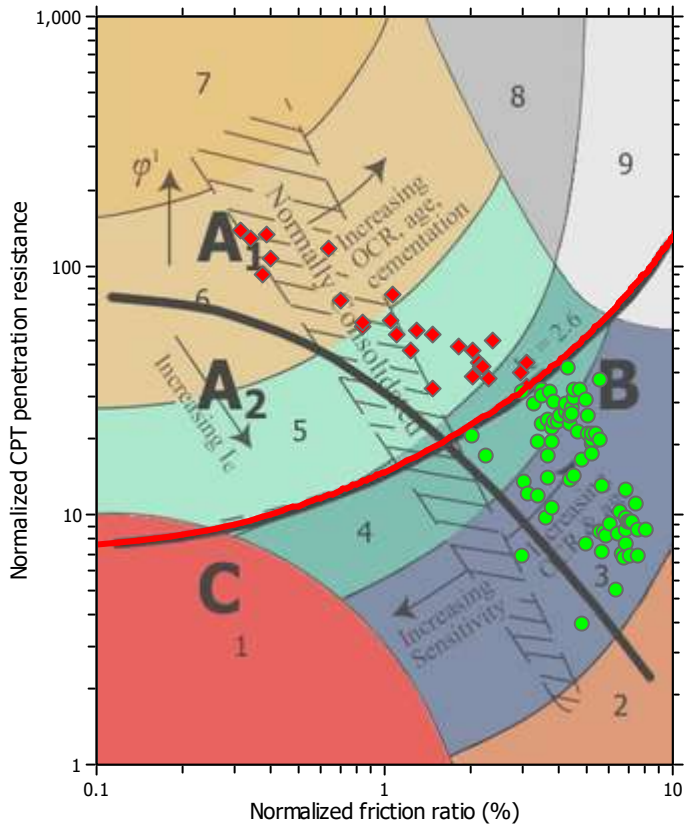
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.30 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _σ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.22	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.30 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

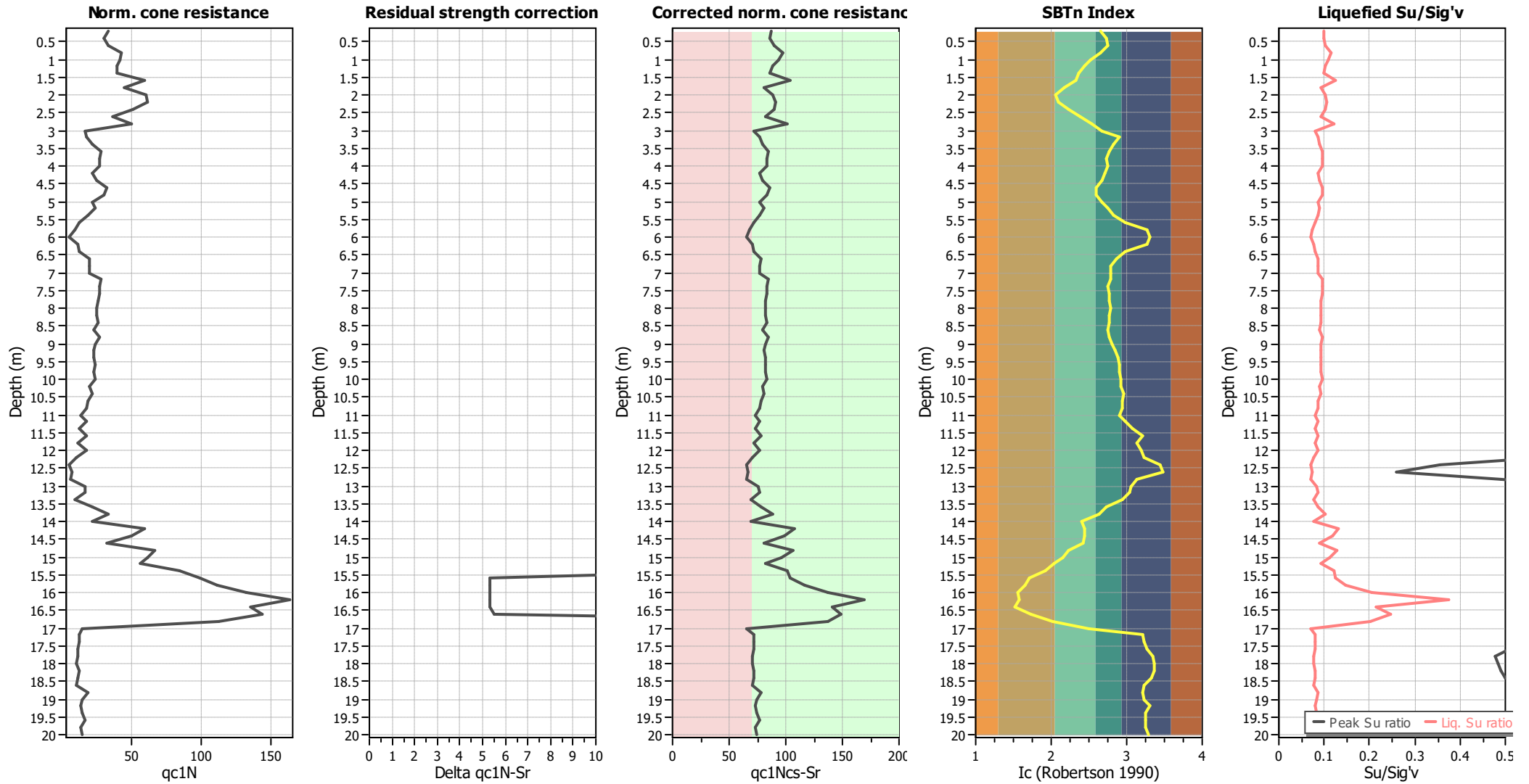
Liquefaction analysis summary plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.30 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on I_c value	I_c cut-off value:	2.60	K_{σ} applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.22	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.30 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

Check for strength loss plots (Idriss & Boulanger (2008))



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.30 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _σ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.22	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.30 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

ALLEGATO 6

VERIFICHE GEOTECNICHE

DATI GENERALI

Larghezza fondazione	8.0 m
Lunghezza fondazione	10.0 m
Profondità piano di posa	0.8 m
Profondità falda	2.2

STRATIGRAFIA TERRENO

Spessore strato [m]	Peso unità di volume [kN/m ³]	Peso unità di volume saturo [kN/m ³]	Angolo di attrito [°]	Coesione [kN/m ²]	Coesione non drenata [kN/m ²]	Modulo Elastico [kN/m ²]	Modulo Edometrico [kN/m ²]	Descrizione
3.6	18.0	21.0	22.0	5.0	50.0	7000.0	4000.0	ARGILLA MEDIA
9.0	18.0	21.0	24.0	7.0	70.0	9800.0	5500.0	ARGILLA MEDIA ELEVATA
4.2	18.5	21.5	30.0	0.0	0.0	14000.0	0.0	SABBIA
3.2	18.5	21.5	25.0	7.5	75.0	10500.0	5700.0	ARGILLA CONSISTENTE

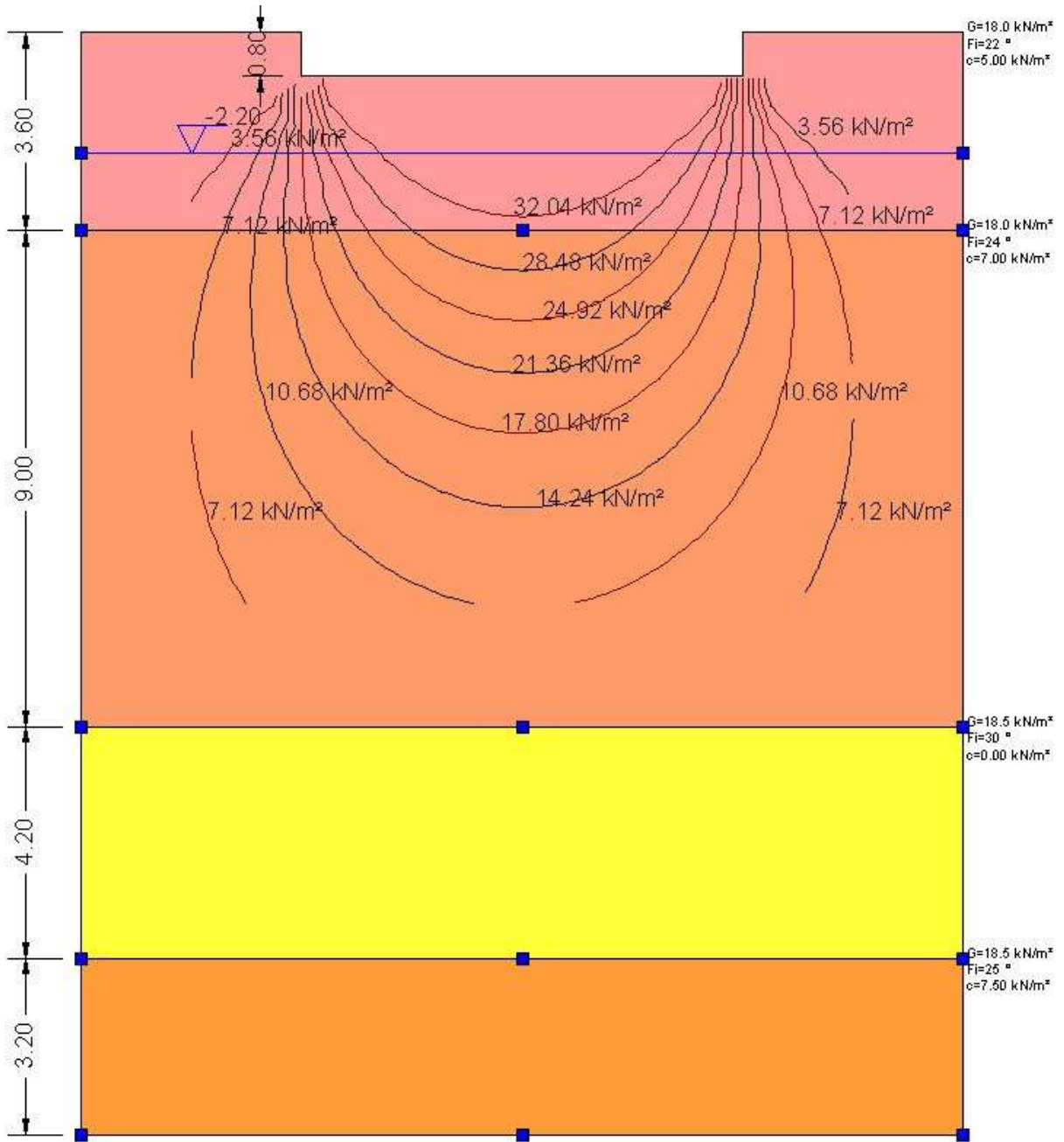
CEDIMENTI PER OGNI STRATO

*Cedimento edometrico calcolato con: Metodo consolidazione monodimensionale di Terzaghi

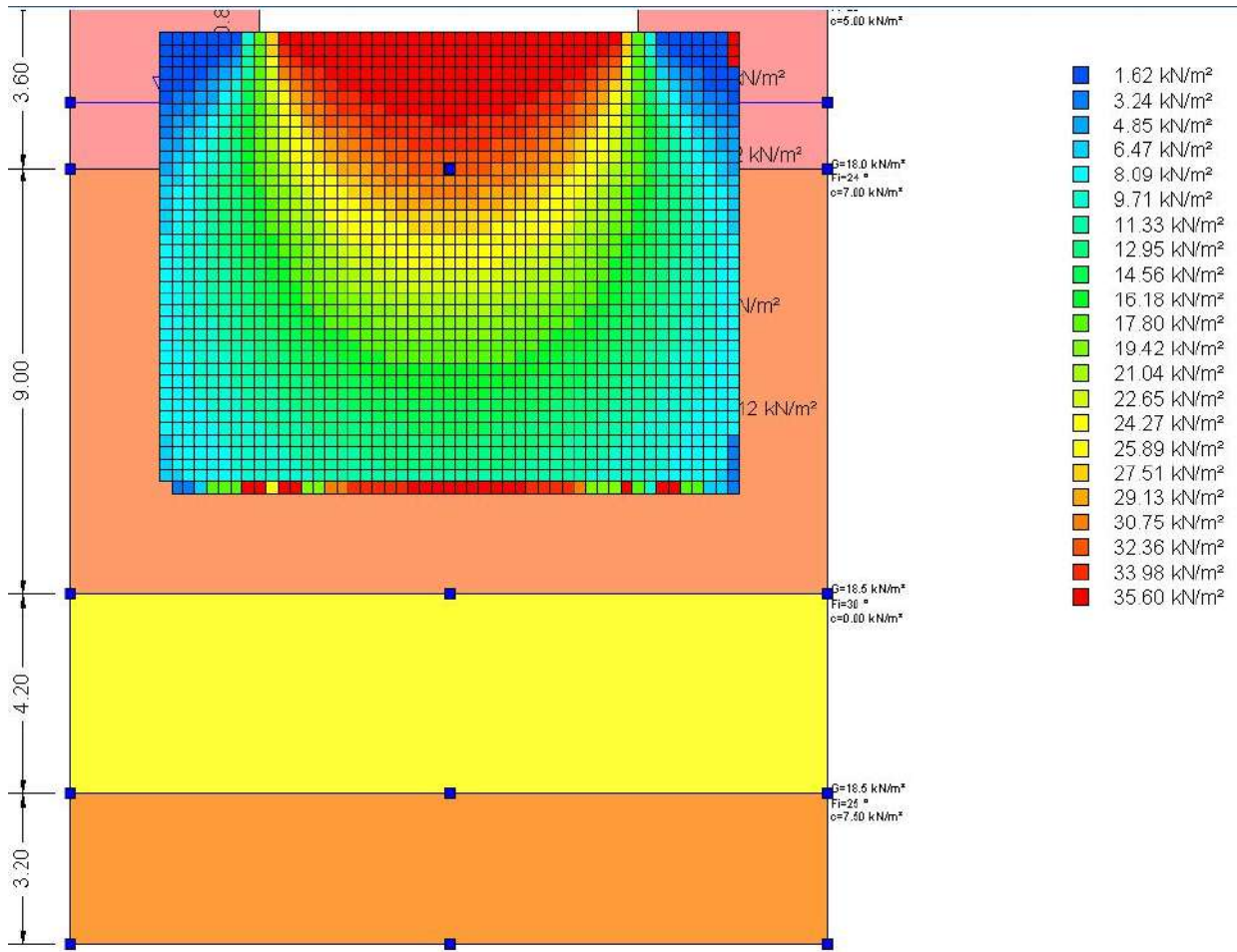
Pressione normale di progetto	50.0 kN/m ²
Cedimento totale	1.559 cm

Z: Profondità media dello strato; Dp: Incremento di tensione; Wc: Cedimento consolidazione; Ws: Cedimento secondario; Wt: Cedimento totale.

Strato	Z (m)	Tensione (kN/m ²)	Dp (kN/m ²)	Metodo	Wc (cm)	Ws (cm)	Wt (cm)
1	2.2	39.6	4.152	Edometrico	0.2906	--	0.2906
2	8.1	105.639	6.197	Edometrico	1.0141	--	1.0141
3	14.7	0	0	Schmertman	0.09	--	0.09
4	18.4	223.827	2.933	Edometrico	0.1647	--	0.1647



Bulbo dei cedimenti



Mapa delle tensioni