

arch. Luigi Benatti

Ing. Massimo Savini

TECO + Partners

Ing. Andrea Artusi



SINERGIA
SERVIZI ALL'INGEGNERIA

Via Paganelli, 20 41122 Modena
Tel: 059 8752988 Fax: 059 4823606
E-mail: info@sinergia-srl.net

studio tecnico associato con sede in via Tiarini 22, 40129 Bologna, tel / fax: 051352493 / 051379161, e-mail: teco@studioteco.it

STRADA STATALE 12
COMUNE DI MEDOLLA
(MO)

PROGETTO
PIANO URBANISTICO
ATTUATIVO
D'INIZIATIVA PRIVATA
RELATIVO ALL'AREA
"TRE TORRI NORD"

COMMITTENTE:
BIOMEDICA SRL

T = C + Partners

revisions:

Progetto di fattibilità

Relazione geologica

scala:

RG

Maggio
2020

Verifica/emissione:

Riesame:

Validazione:

Comune di Medolla

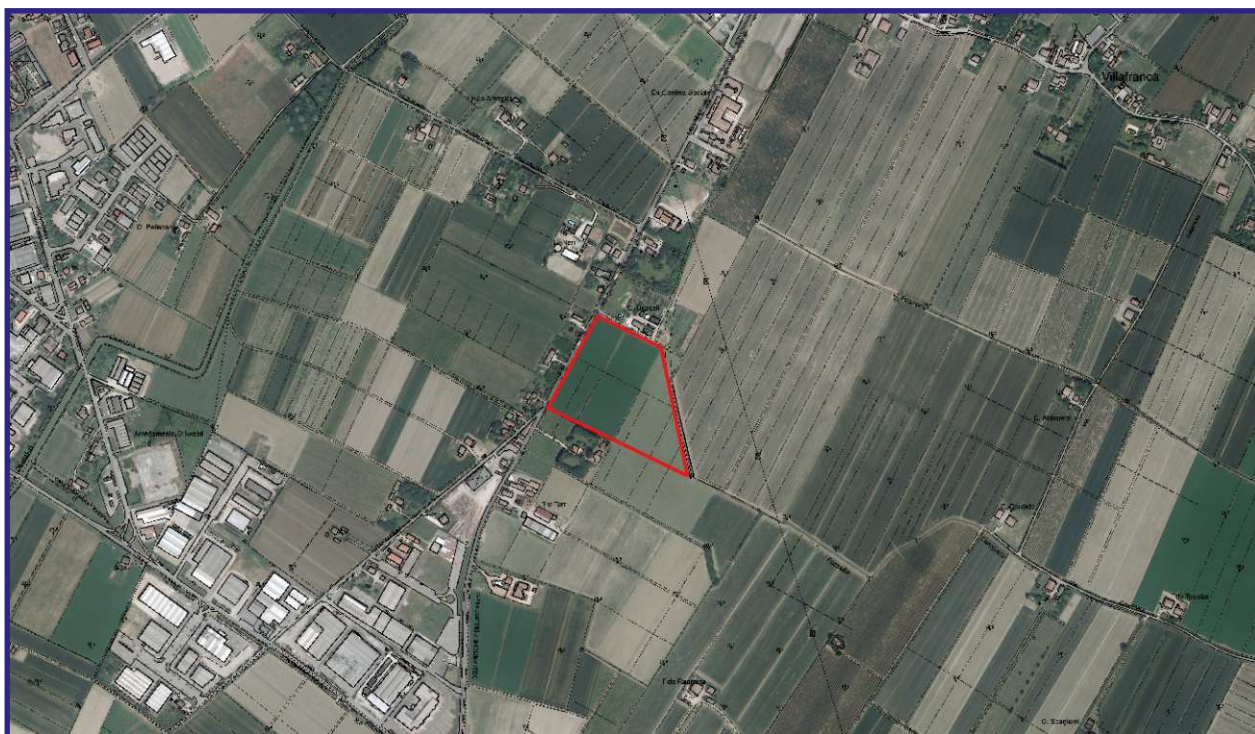
Provincia di Modena

RELAZIONE GEOLOGICA inerente la caratterizzazione e modellazione geologica del sito (6.2.1. NTC 2018)

RELAZIONE GEOTECNICA relativa alle indagini, alla caratterizzazione e alla modellazione geotecnica a supporto della progettazione strutturale (6.2.2. NTC 2018) nonché relativa alla verifica delle opere di fondazione (6.4. NTC 2018)

ANALISI PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE relativa alla caratterizzazione geofisica del volume significativo di terreno (3.2.2 NTC 2018), valutazione dell'azione sismica di riferimento (3.2.3. NTC 2018), Risposta sismica locale e verifica della stabilità nei confronti della liquefazione (7.11.3. NTC 2018)

Relazione contenente lo studio di "MICROZONAZIONE SISMICA DEL SITO" (ai sensi della DGR 630/2019 RER) con verifica del coefficiente di amplificazione del moto sismico secondo approccio descritto nella normativa della Regione Emilia Romagna e verifica dei fenomeni di liquefazione



OGGETTO:

**Studio geologico, geotecnico e sismico
di un'area interessata dalla realizzazione
di un PUA in Strada Statale 12
nel Comune di Medolla (MO)**



GEO GROUP s.r.l.
Via C. Costa, 182 - 41123 MODENA
Tel. 059/3967169 Fax. 059/5960176
E-mail: info@geogroupmodena.it
P.IVA e C.F. 02981500362
www.geogroupmodena.it



**AZIENDA CON SISTEMA
DI GESTIONE QUALITÀ
CERTIFICATO DA DNV
= ISO 9001 =**

Relazione Tecnica

comprendente:

RELAZIONE GEOLOGICA

inerente la caratterizzazione e modellazione geologica del sito (6.2.1. NTC 2018)

RELAZIONE GEOTECNICA

Relativa alle indagini, alla caratterizzazione e alla modellazione geotecnica a supporto della progettazione strutturale (6.2.2. NTC 2018)

ANALISI PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

Relativa alla caratterizzazione geofisica del volume significativo di terreno (3.2.2 NTC 2018), valutazione dell'azione sismica di riferimento (3.2.3. NTC 2018), Risposta sismica locale e verifica della stabilità nei confronti della liquefazione (DRG 630/2019)

Oggetto:

Studio geologico, geotecnico e sismico di un'area interessata dalla realizzazione di un PUA in Strada Statale 12 nel Comune di Medolla (MO).

Indice del contenuto

1	PREMESSE	3
2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	3
3	INDAGINI GEOGNOSTICHE	4
3.1	Indagini Geotecniche	4
3.1.1	Prova penetrometrica statica con punta elettrica e piezocono CPTU	4
3.1.2	Prova penetrometrica statica con punta meccanica CPT	9
3.2	Indagini Geofisiche.....	11
3.2.1	Indagine sismica passiva ESAC.....	11
3.2.2	Indagine sismica con metodo MASW	11
3.2.3	Indagine sismica passiva a stazione singola (analisi HVSR).....	12
4	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO	13
4.1	Pericolosità sismica di base	13
4.2	Categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 NTC2018).....	16
4.3	Azione sismica e risposta sismica del sito – Risposta sismica locale	17
5	MODELLAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA DEL SITO	27
5.1	Modello geotecnico del sottosuolo	27
5.2	Stabilità nei confronti della liquefazione (§ A2.2. DGR 630/2019)	29
5.3	Stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica (§ B. DGR 630/2019)	31
6	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	32

Tavole

Tav. n. 1:	“Ripresa satellitare”	scala 1: 5.000
Tav. n. 2:	“Carta Topografica”	scala 1: 5.000
Tav. n. 3:	“Indagini geognostiche”	scala 1: 2.000

Allegati

- ALL. n. 1** Prove penetrometriche statiche CPT e CPTU corredate di interpretazione geotecnica
ALL. n. 2 Indagini sismiche
ALL. n. 3 Verifiche di liquefazione

1 PREMESSE

Nel mese di dicembre 2019 è stato eseguito il presente studio geologico, geotecnico e sismico di un'area interessata dalla realizzazione di un PUA in Strada Statale 12 nel Comune di Medolla (MO).

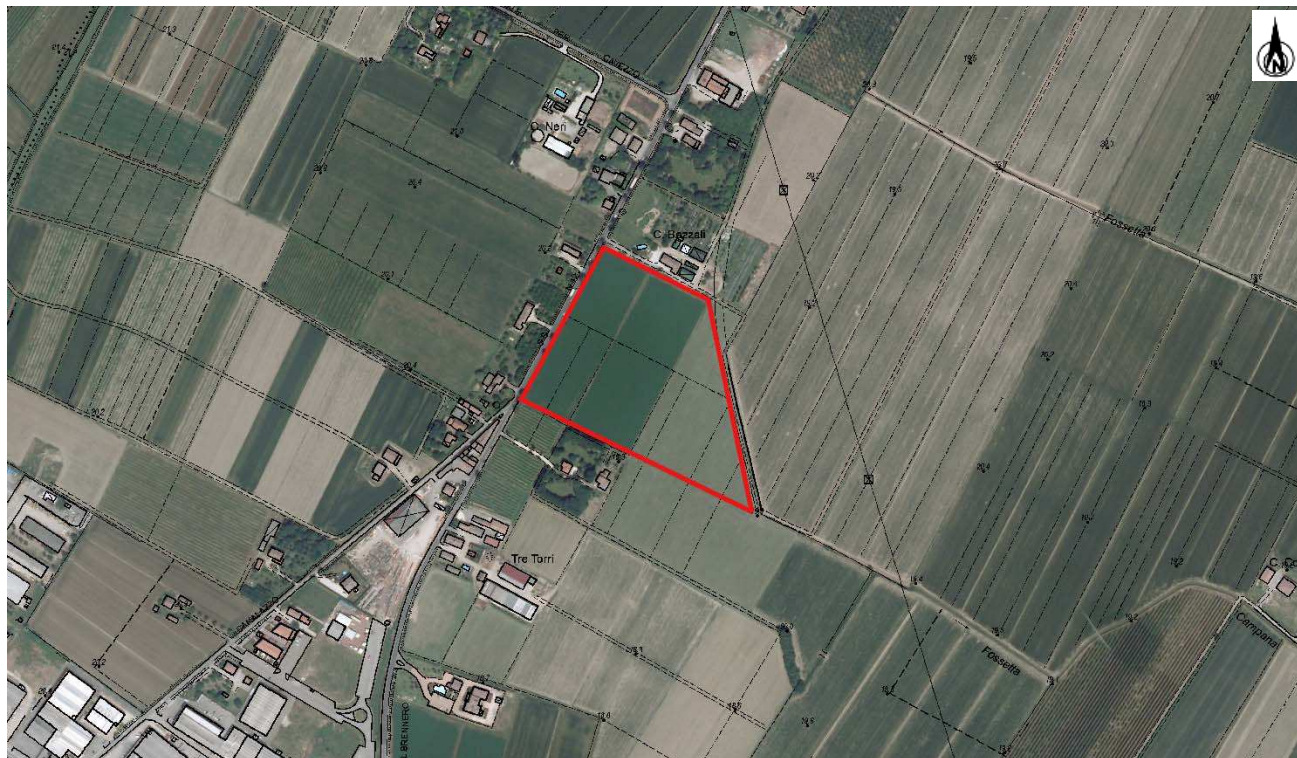


Fig. 1.1: Ubicazione del sito in studio.

La presente relazione fa riferimento alle disposizioni normative contenute in:

- Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 – D.M. 17/01/2018;
- Delibera di Giunta Regionale 630/2019;
- Carte di Microzonazione sismica del Comune di Medolla.

2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area oggetto di studio è posta nel Comune di Medolla (MO). Da quanto si evince dalla “Carta geologica d'Italia”, nell'area oggetto di studio affiora la seguente litologia:

as – argille sabbiose e sabbie argillose

L'area oggetto di studio è posta nella pianura modenese, in una zona pianeggiante alla quota topografica media di circa 20.00 m s.l.m..

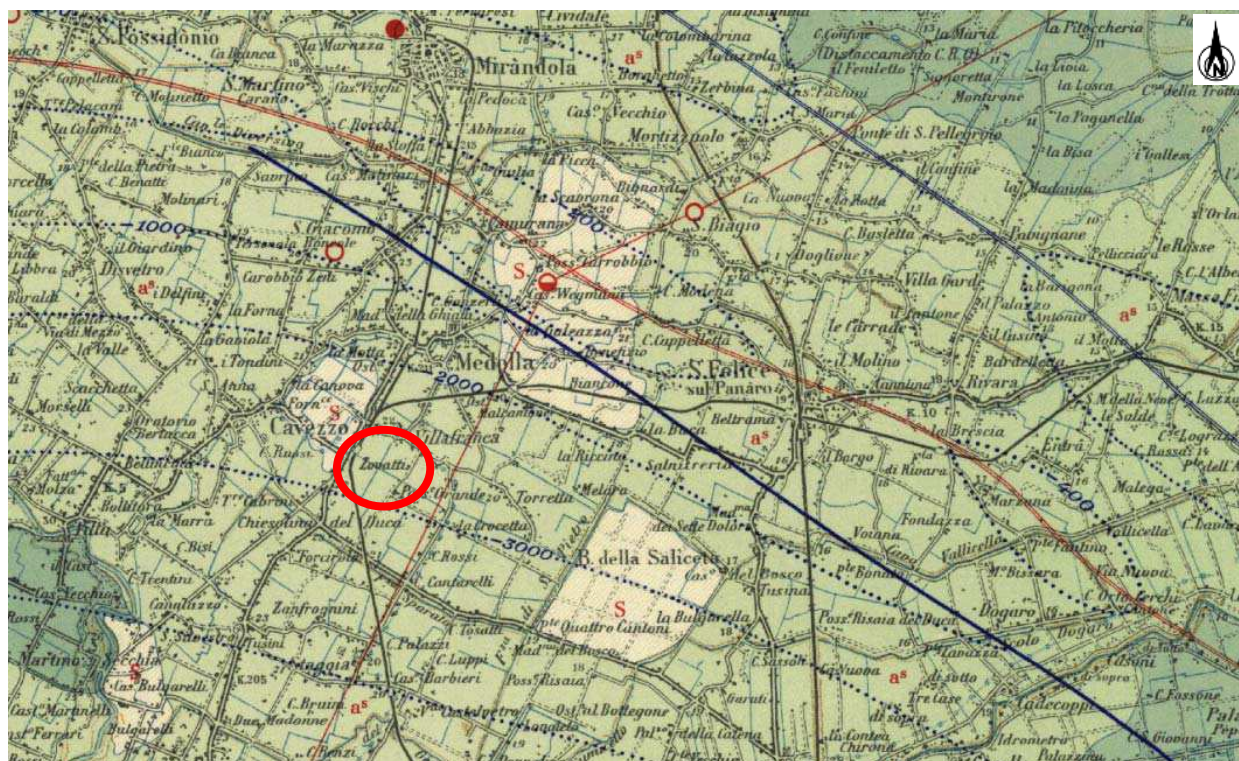


Fig. 1.2: Estratto della carta della litologia di superficie.

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 nell'area in oggetto le seguenti indagini geognostiche:

- *n. 1 prova penetrometrica statica con punta elettrica e piezocono CPTU, eseguita in data 27/11/2019;*
- *n. 2 prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT, eseguite in data 27/11/2019.*

I risultati delle indagini sono riportati nell'**allegato n. 1**, mentre l'ubicazione è illustrata nella **tav. n. 3**.

3.1.1 Prova penetrometrica statica con punta elettrica e piezocono CPTU

Nell'area di interesse è stata eseguita, in data 27/11/2019, **n. 1 prova penetrometrica statica con punta elettrica e piezocono CPTU**. Dall'esecuzione della prova, la cui elaborazione è riportata in **allegato n 1**, sono stati ottenuti i parametri geotecnici e la litostratigrafia del sottosuolo, visibili nello stesso allegato. Al termine della prova penetrometrica statica con piezocono CPTU è stata rilevata la soggiacenza della falda freatica mediante l'utilizzo di un freatimetro elettroacustico. Il livello della falda freatica è riportato nella tabella sottostante.

INDAGINI	PROFONDITÀ	LIVELLO FALDA FREATICA
CPTU 1	-20.36 m da p.c.	-4.70 m da p.c. (27/11/19)

Il penetrometro utilizzato per realizzare le prove statiche è un Gouda da 200 kN di spinta, montato su autocarro gommato a trazione integrale.

La prova penetrometrica statica con punta elettrica (CPTU/U), consiste essenzialmente nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta conica standard, connessa all'estremità inferiore di una batteria di aste cave, che viene infissa a pressione e velocità costante nel terreno tramite un dispositivo di spinta idraulico che agisce alla sommità delle aste.



Fig. 3.1: Attrezzatura di prova utilizzata.

La punta elettrica è strumentata con sensori elettrici e un sistema di trasmissione dei dati in superficie via cavo, che permette l'acquisizione e la registrazione dei dati quasi in continuo, ogni centimetro. I dati misurati durante la prova sono la resistenza totale alla penetrazione Q_t , la resistenza alla penetrazione della punta Q_c e la resistenza laterale del manicotto F_s ; è possibile inoltre monitorare, durante l'esecuzione della prova, alcuni parametri di controllo quali l'inclinazione rispetto alla verticalità e la velocità di penetrazione del cono. Una punta elettrica particolare, detta "piezocono", è dotata anche di un dispositivo di misura della pressione, attraverso il quale viene misurata la pressione dell'acqua nei pori del terreno u (CPTU). La pressione che viene misurata è la pressione $u = u_0 + \Delta u$, dove u_0 è la pressione dovuta al livello idrostatico e Δu quella generata dallo sforzo alla penetrazione nel terreno.

Il piezocono da Noi utilizzato è un Pagani, con sistema di acquisizione TGAS07 ed è dotato di un dispositivo di misura della pressione costituito da un cilindro metallico saturato con grasso, situato poco al di sopra della punta conica. Si riportano, di seguito, la composizione dell'attrezzatura di prova (**fig. 3.1**) e le caratteristiche del piezocono (**fig. 3.2**).

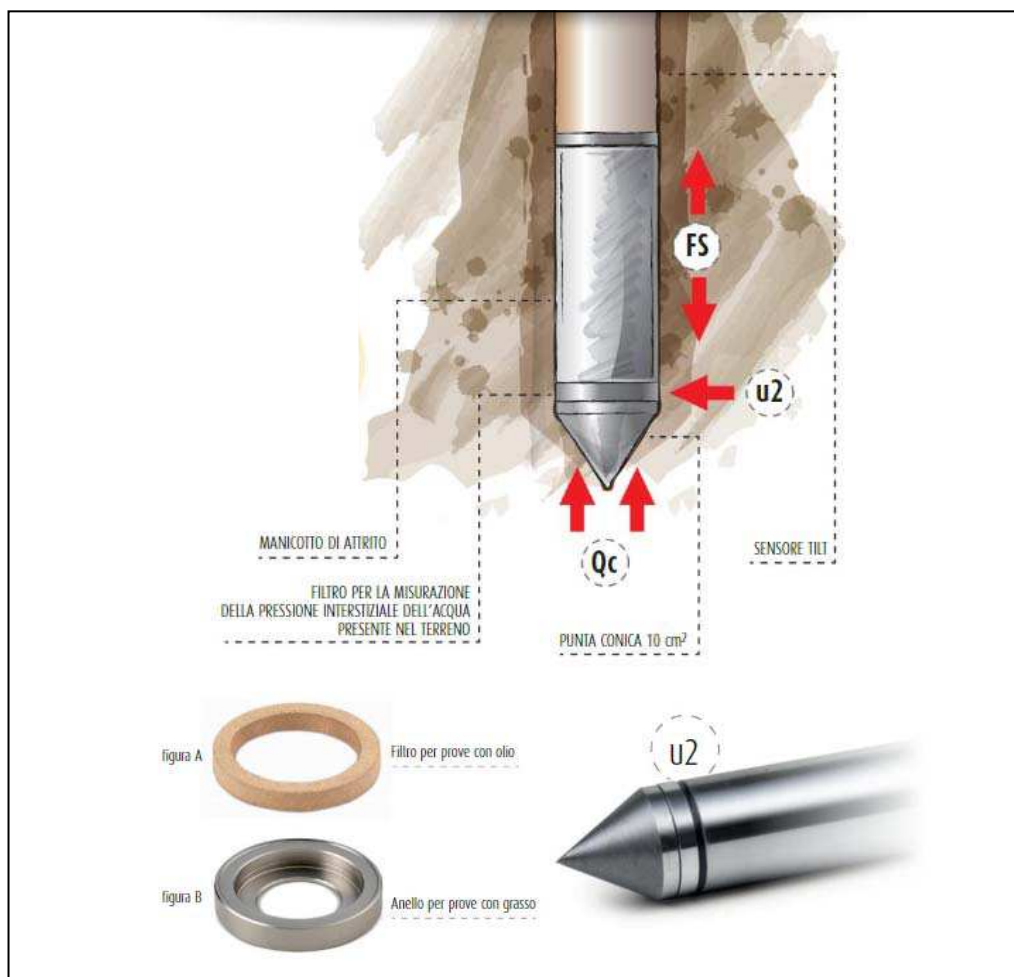


Fig. 3.2: Attrezzatura di prova.

SPECIFICHE TECNICHE

Sensore	Fondo scala	Risoluzione	Precisione
QC	50 - 100 MPa	24 bit	0,005 MPa
FS	1600 kPa	24 bit	0,04 MPa
U2	2500 kPa	24 bit	0,04 MPa
TILT	0° - 20°	12 bit	0,5°

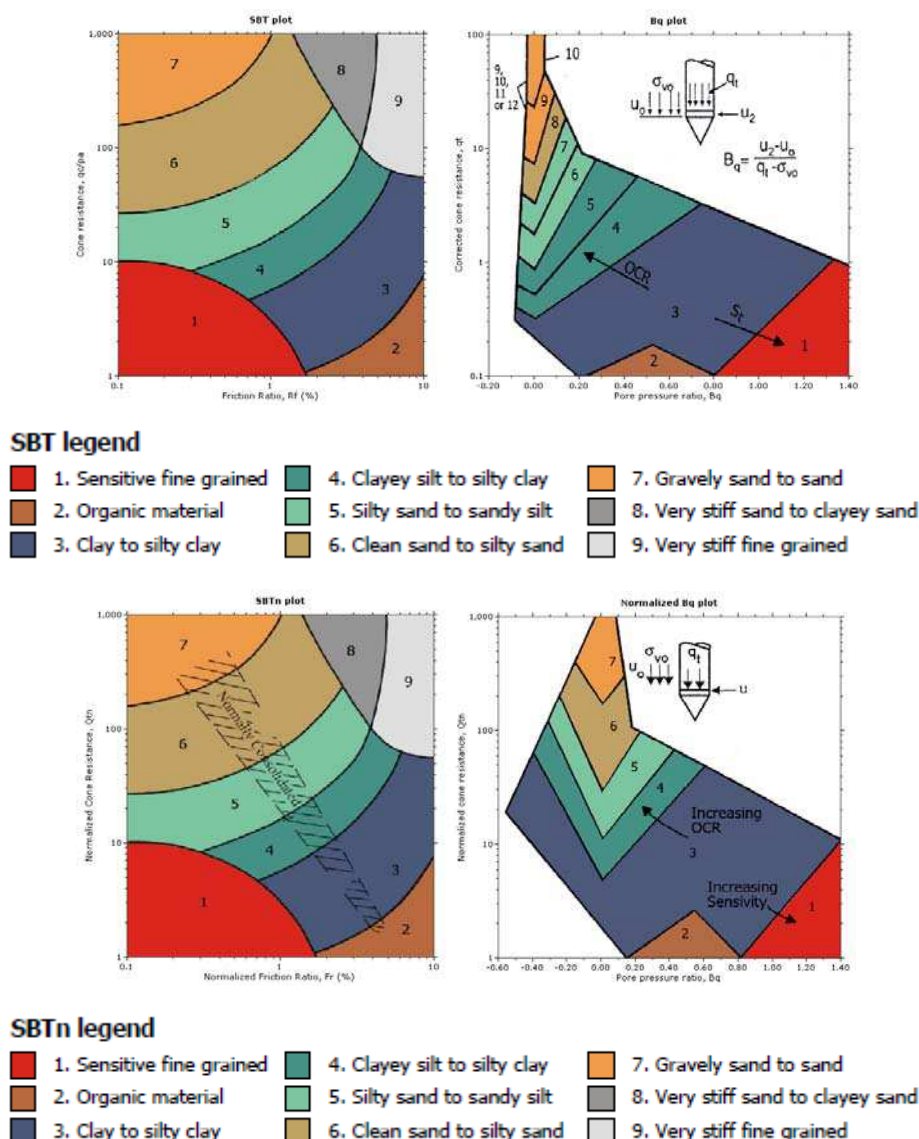
DIMENSIONI

Lunghezza	320 mm	Peso	1,8 kg
Diametro	35,8 mm	Angolo di apertura punta	60°
Sezione	10 cm²	Superficie manicotto laterale	150 cm²

Fig. 3.3: Caratteristiche del Piezocono Pagani.

I dati acquisiti sono stati elaborati con software CPeT – IT v. 1.7.4.13 prodotto da GeoLogisMiki – Geotechnical Software. I report, in cui sono riportati su grafici i dati di resistenza e pressione interstiziale misurati sono riportati in **allegato n. 1**, dove viene illustrata anche l'interpretazione litostratigrafica e geotecnica della prova.

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: q_t , resistenza alla punta corretta, R_f , B_q , nella prima carta (1986) e con i parametri normalizzati nella seconda (1990).

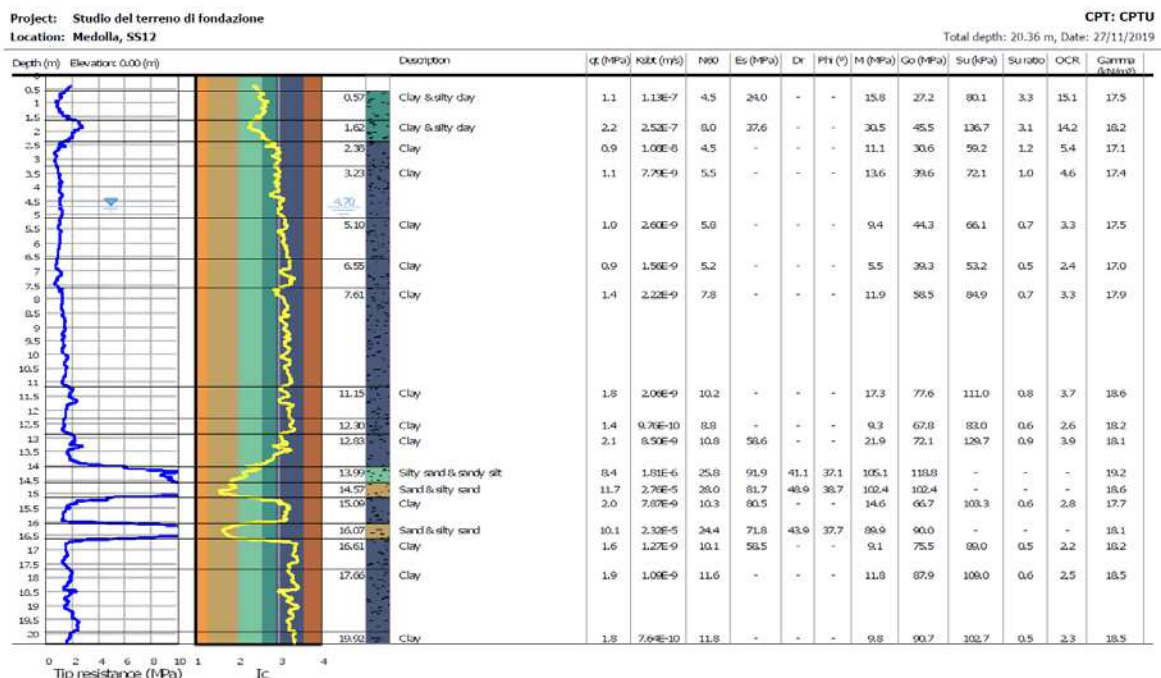


La ricerca e la disponibilità di numerosi dati ottenuti in camera di calibrazione e in campagna ha prodotto numerose correlazioni tra i dati misurati in sito e il valore dei parametri geotecnici caratteristici dei terreni. Il software utilizzato per l'elaborazione delle prove utilizza le correlazioni riportate nello schema seguente.

<p>:: Unit Weight, g (kN/m³) ::</p> $g = g_w \cdot \left(0.27 \cdot \log(R_f) + 0.36 \cdot \log\left(\frac{q_t}{p_a}\right) + 1.236 \right)$ <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 $k = 10^{0.952 - 3.04 I_c}$</p> <p>$I_c \leq 4.00$ and $I_c > 3.27$ then $k = 10^{-4.53 - 1.37 I_c}$</p> <p>:: N_{60} (blows per 30 cm) ::</p> $N_{60} = \left(\frac{q_t}{p_a} \right) \cdot \frac{1}{10^{1.1169 - 0.2817 I_c}}$ $N_{160} = Q_{tn} \cdot \frac{1}{10^{1.1228 - 0.2817 I_c}}$ <p>:: Young's Modulus, E_s (MPa) ::</p> $(q_t - \sigma_v) \cdot 0.015 \cdot 10^{0.55 I_c - 1.68}$ <p>(applicable only to $I_c < I_{c,limit}$)</p> <p>:: Relative Density, D_r (%) ::</p> $100 \cdot \sqrt{\frac{Q_{tn}}{k_{DR}}} \quad \text{(applicable only to SBTs: 5, 6, 7 and 8 or } I_c < I_{c,limit} \text{)}$ <p>:: State Parameter, ψ ::</p> $\psi = 0.56 - 0.33 \cdot \log(Q_{tn,ca})$ <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> $M_{CPT} = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 I_c - 1.68}$	<p>:: Small strain shear Modulus, G_0 (MPa) ::</p> $G_0 = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 I_c - 1.68}$ <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> $N_{sk} = 10.50 + 7 \cdot \log(F_r) \text{ or user defined}$ $S_u = \frac{(q_t - \sigma_v)}{N_{sk}}$ <p>(applicable only to SBTs: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c,limit}$)</p> <p>:: Remolded undrained shear strength, $S_u(rem)$ (kPa) ::</p> $S_{u(rem)} = F_s \quad \text{(applicable only to SBTs: 1, 2, 3, 4 and 9 or } I_c > I_{c,limit} \text{)}$ <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 $I_c > I_{c,limit}$)</p> <p>:: In situ Stress Ratio, K_0 ::</p> $K_0 = 0.1 \cdot \left(\frac{q_t - \sigma_v}{\sigma_{v0}} \right)$ <p>(applicable only to SBTs: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c,limit}$)</p> <p>:: Soil Sensitivity, S_t ::</p> $S_t = \frac{N_{sk}}{F_r}$ <p>(applicable only to SBTs: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c,limit}$)</p> <p>:: Effective Stress Friction Angle, ϕ (°) ::</p> $\phi = 29.5 \cdot B^{0.123} \cdot (0.256 + 0.336 \cdot B_q + \log Q_{t1})$ <p>(applicable for $0.10 < B_q < 1.00$)</p>
--	--

Fig. 3.4: Correlazioni utilizzate per la stima dei parametri geotecnici.

CPTU 1



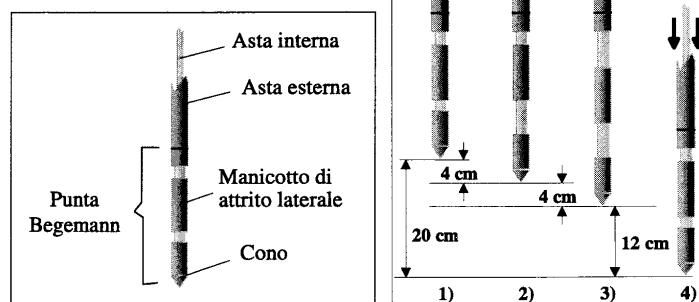
3.1.2 Prova penetrometrica statica con punta meccanica CPT

Nell'allegato n. 1 sono riportati i grafici e le tabelle riguardanti le prove eseguite, corredate dell'elaborazione geotecnica e litostratigrafica.

Lo strumento impiegato per eseguire le prove è un penetrometro cingolato le cui caratteristiche tecniche sono riassunte nella seguente tabella:

Punta meccanica	Begemann
Spinta	200 kN
Intervalli di misura	20 cm
Parametri registrati	Rp (resistenza alla punta)
	RI (resistenza attrito laterale)
Area punta	10 cm ²
Angolo alla punta	60°

Fig. 3.5: Punta Begemann (a) e schema di avanzamento (b).



La prova penetrometrica statica CPT (*Cone Penetration Test*) viene realizzata infiggendo nel terreno, alla velocità di 2 cm/sec, la punta meccanica Begemann (fig. 3.5). La punta presenta alla sua estremità inferiore un cono avente un angolo al vertice di 60°, un diametro alla base di 36 mm e quindi un'area di base di 10 cm². Esso supporta lungo il suo stelo un manicotto d'attrito, la cui superficie laterale è di 150 cm². I valori degli sforzi di reazione che il suolo oppone alla penetrazione della punta, allo scorrimento del manicotto laterale e l'avanzamento dell'insieme punta più aste, verranno registrati ogni 20 cm di avanzamento in profondità.

L'esecuzione della prova avviene tramite il seguente schema di avanzamento (fig. 3.5):

- 1) posizione di riposo con punta completamente chiusa;
- 2) spinta esercitata sulle aste interne con avanzamento di 4 cm del solo cono; visualizzazione dello sforzo di punta (Rp);
- 3) spinta esercitata sulle aste interne con avanzamento di 4 cm di cono + manicotto; visualizzazione dello sforzo di punta + attrito laterale (RI);
- 4) spinta esercitata sulle aste esterne con avanzamento di 12 cm e ritorno alla posizione di riposo con punta completamente chiusa; visualizzazione dello sforzo di punta + attrito + attrito della batteria di aste (Rt).

Nella fase d'avanzamento in cui viene letta la resistenza alla punta, il display restituisce automaticamente il carico unitario di resistenza (R_p) tenuto conto della superficie di infissione di circa 10 cm^2 . Nella fase di avanzamento in cui viene letta la somma delle resistenze alla punta ed al manicotto di frizione il display visualizza il carico assoluto espresso in kg diviso per 10 (RI).

Ad ogni profondità di misura (x), i valori reali della resistenza alla penetrazione della punta " q_c " e dell'attrito laterale locale " f_s " possono essere calcolati tramite le seguenti formule:

$$q_c(x) = R_p(x) \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

dove:

$$AP \text{ (Area Punta)} = 10 \text{ cm}^2$$

$$AM \text{ (Area Manicotto Laterale)} = 150 \text{ cm}^2$$

$$f_s(X) = (RI(x+1) - R_p(x+1)) \cdot (AP/AM) = (RI(x+1) - R_p(x+1)) / 15$$

La particolare punta utilizzata per la perforazione *Friction Jacket Cone* è servita a determinare, oltre al carico di rottura, anche la litologia dei terreni investigati: dal rapporto tra la resistenza penetrometrica alla punta e la resistenza laterale locale è infatti possibile risalire, attraverso l'esperienza di **Begemann**, modificata da **Schmertmann** (di seguito descritti), alla granulometria, e di conseguenza alla litologia, dei terreni attraversati dall'indagine.

Metodo di Begemann:

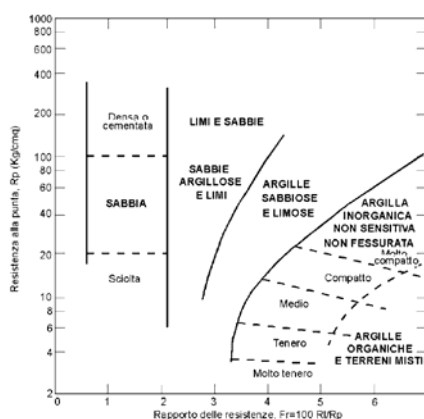
Il metodo di BEGEMANN considera il **rapporto tra R_p e RI** come parametro indicativo delle variazioni litologiche. In particolare l'Autore suggerisce le seguenti correlazioni:

Rapporto R_p/RI	Litologia
$R_p/RI < 15$	Argilla organica e torba
$15 < R_p/RI < 20$	Limo e/o argilla inorganica
$30 < R_p/RI < 60$	Limo sabbioso e sabbia limosa
$R_p/RI > 60$	Sabbie o sabbia più ghiaia

Va ricordato che tali correlazioni sono valide solo per terreni immersi in falda.

Metodo di Schmertmann:

Il metodo di SCHMERTMANN considera come indicativo della litologia della verticale indagata il rapporto delle resistenze **Fr** (con **Fr%=100 RI/ R_p**), secondo il grafico seguente:



3.2 Indagini Geofisiche

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

- *n. 1 indagine sismica ESAC*
- *n. 1 indagine sismica MASW*
- *n. 1 indagine sismica HVSr*

I risultati delle indagini sismiche sopra citate sono riportati integralmente nell'**allegato n. 2**.

3.2.1 Indagine sismica passiva ESAC

La tecnica denominata ESAC si definisce passiva in quanto si utilizzano i microtremiti naturali come sorgente sismica, i quali vengono misurati attraverso geofoni verticali disposti secondo array lineare. L'analisi avviene grazie al passaggio delle registrazioni ottenute, attraverso la trasformata di Fourier, da un dominio spazio/tempo a un dominio frequenza/velocità. Il risultato dell'analisi è l'identificazione dello spettro energetico del segnale, in funzione della frequenza e della velocità. Dato che i livelli energetici possono variare significativamente alle diverse frequenze, lo spettro durante la fase di elaborazione viene normalizzato.

L'indagine sismica è stata eseguita in sito utilizzando 24 geofoni verticali, distanziati di 2 m, con frequenza naturale di 4.5 Hz fissati al terreno ad intervalli regolari. I dati sono stati registrati mediante un sismografo GEODE Geometrics 24 bit, con intervallo di campionamento (sample rate) pari a 4 millisecondi e lunghezza delle acquisizioni di 30 secondi.

3.2.2 Indagine sismica 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 artificiale 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, $V(fase)/freq.$, può essere convertito nel profilo V_s /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.

3.2.3 Indagine sismica passiva a stazione singola (analisi HVSR)

La misura sismica passiva a stazione singola è stata eseguita mediante un tromografo 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. Ulteriori dettagli sono esposti nel report allegato.

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

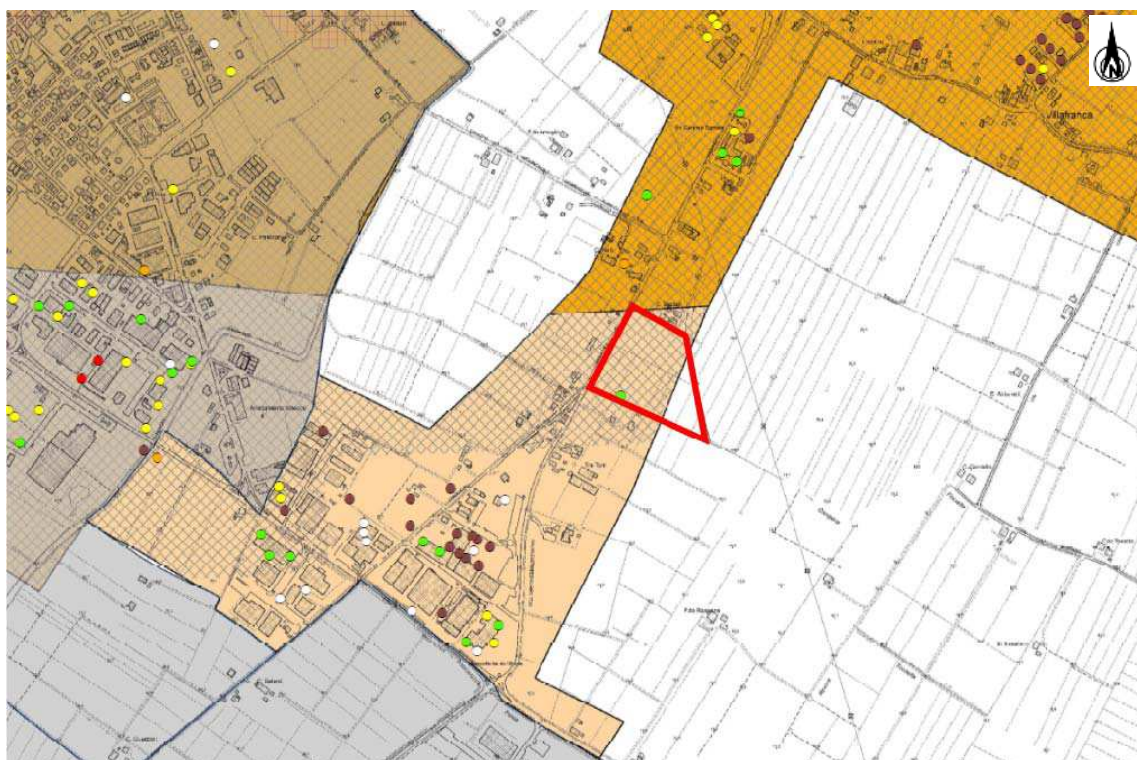
$$f = \frac{V_s}{4h}$$

dove h è lo spessore dello strato.

4 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

4.1 Pericolosità sismica di base

Dalla consultazione delle carte di Microzonazione Sismica del Comune di Medolla (MO), ed in particolare della "Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica", un cui estratto è riportato in figura, si nota come l'area in studio ricada in una zona suscettibile di instabilità.



Zone suscettibili di amplificazione e liquefazione.

- LQ2** Substrato a profondità ≥ 120 m
Presenza di terreni suscettibili di liquefazione tra 10 e 20 m dal piano campagna
- LQ1** Substrato a profondità < 120 m
Presenza di terreni suscettibili di liquefazione già nei primi 10 m dal piano campagna
- LQ2** Substrato a profondità < 120 m
Presenza di terreni suscettibili di liquefazione tra 10 e 20 m dal piano campagna

Fig. 3.1: Estratto della carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica.

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

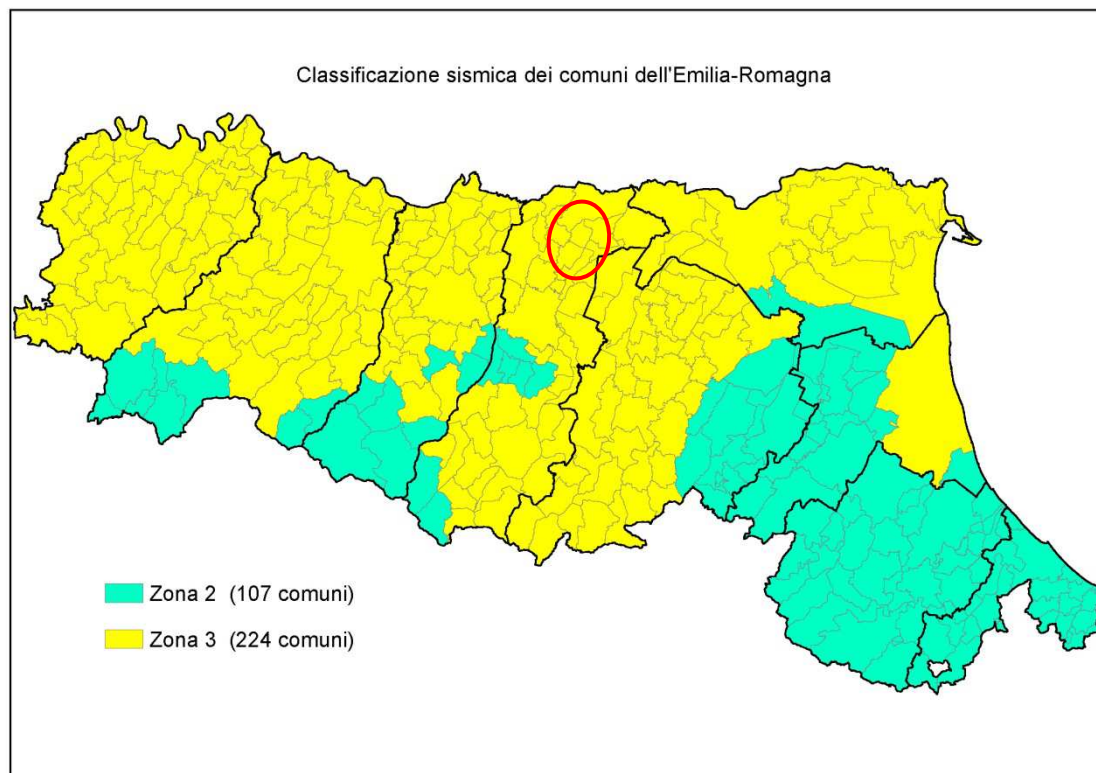


Fig. 3.2: Classificazione sismica e dei comuni della regione Emilia-Romagna a partire dall'O.P.C.M. n. 3274/2003 e successive modifiche (aggiornamento luglio 2018) e ubicazione del territorio comunale di Medolla (MO).

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.

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	T_c^* [s]
Operatività (SLO)	30	0.040	2.565	0.250
Danno (SLD)	50	0.051	2.493	0.268
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.151	2.589	0.269
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.203	2.535	0.276
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

4.2 Categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 NTC2018)

Per determinare il parametro $V_{S,E}$ e definire quindi la categoria di sottosuolo dell'area indagata (§ 3.2.2 NTC 2018) sono state eseguite in sito le indagini sismiche descritte ai paragrafi precedenti. Il valore di $V_{S,Eq}$ si calcola attraverso la formula 3.2.1 delle NTC 2018:

$$V_{S,Eq} = \frac{H}{\sum_i \frac{H_i}{V_{Si}}}$$

dove H è la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s.

Dall'elaborazione delle indagini sismiche eseguite e sopra citate si è ottenuto un valore di $V_{S,Eq}$ e di frequenza naturale del terreno f_0 riportati nella seguente tabella:

$V_{S,E}$ MASW	208 m/s
$V_{S,E}$ ESAC	203 m/s
$V_{S,E}$ HVSr	202 m/s

HVSr	0.63 ± 0.06 Hz	NON RISPETTA I CRITERI SESAME
------	--------------------	-------------------------------

Pertanto, secondo la classificazione del sottosuolo imposta dal NTC 2018, si definisce il sottosuolo indagato come appartenente alla appartenente alla **categoria C**, corrispondente a:

DEPOSITI DI TERRENI A GRANA GROSSA MEDIAMENTE ADDENSATI O TERRENI A GRANA FINA MEDIAMENTE CONSISTENTI CON PROFONDITÀ DEL SUBSTRATO SUPERIORI A 30 m, CARATTERIZZATI DA UN MIGLIORAMENTO DELLE PROPRIETÀ MECCANICHE CON LA PROFONDITÀ E DA VALORI DI VELOCITÀ EQUIVALENTE COMPRESI TRA **180 m/s E 360 m/s**.

4.3 Azione sismica e risposta sismica del sito – Risposta sismica locale

Nel presente studio, è stata eseguita la risposta sismica locale secondo III livello di approfondimento, per lo studio della pericolosità sismica dell'area sita in Strada Statale 12 nel Comune di Medolla (MO).

Per ottemperare ai riferimenti normativi citati l'analisi è stata svolta secondo quanto indicato al § 7.11.3 delle NTC 2018, 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):

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

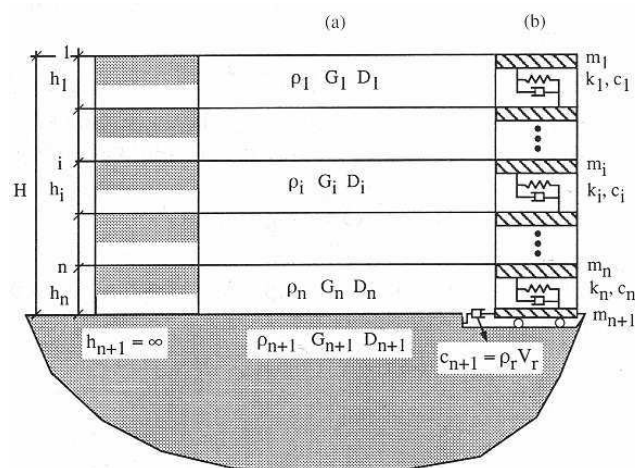
Nell'equazione appena presentata A e B rappresentano le corrispettive amplificazioni del tetto e della base dello strato considerato. Il fattore k^* risulta dipendente dal modulo di taglio (G), dal grado di smorzamento (D) e dalla densità del terreno (ρ). Le relazioni sono le seguenti:

$$k^* = \frac{\omega}{v_s^*}$$

$$v_s^* = \sqrt{\frac{G^*}{\rho}}$$

$$G^* = G(1 - 2D^2 + i2D\sqrt{1 - D^2}) \approx G(1 + i2D)$$

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



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

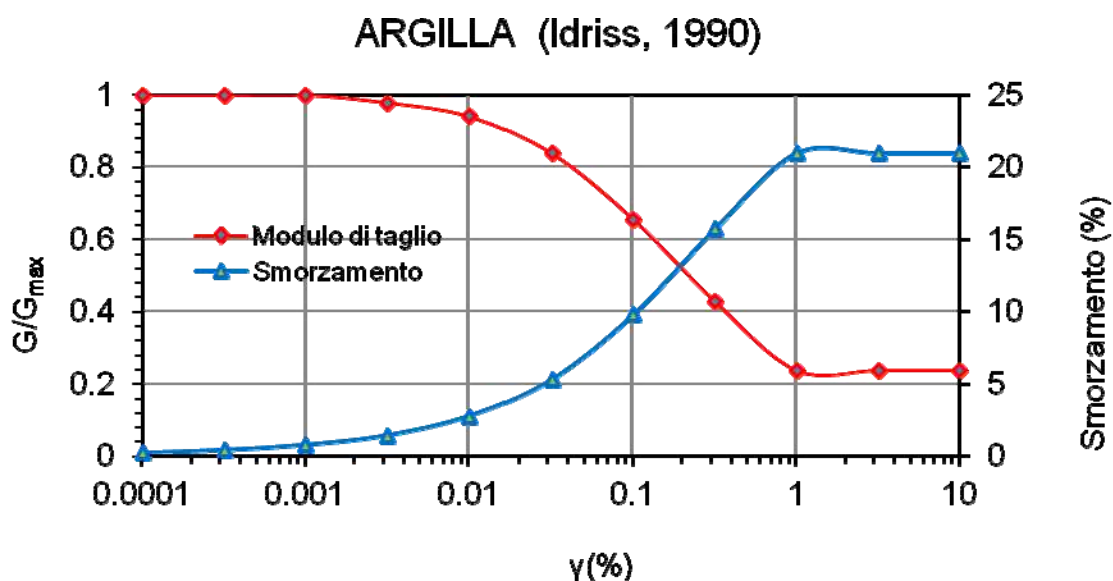
MODELLO SIMULATO

Il modello simulato deriva dai dati ottenuti dalla prova geofisica che compone 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 delle indagini HVSR eseguite in sito integrata 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
9.00	9.00	170	0.42
35.00	26.00	220	0.42
82.00	47.00	328	0.42
145.00	63.00	430	0.42
inf.	inf.	550	0.42

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 riportano successivamente le curve di decadimento considerate per l'esecuzione del calcolo di risposta sismica locale:



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

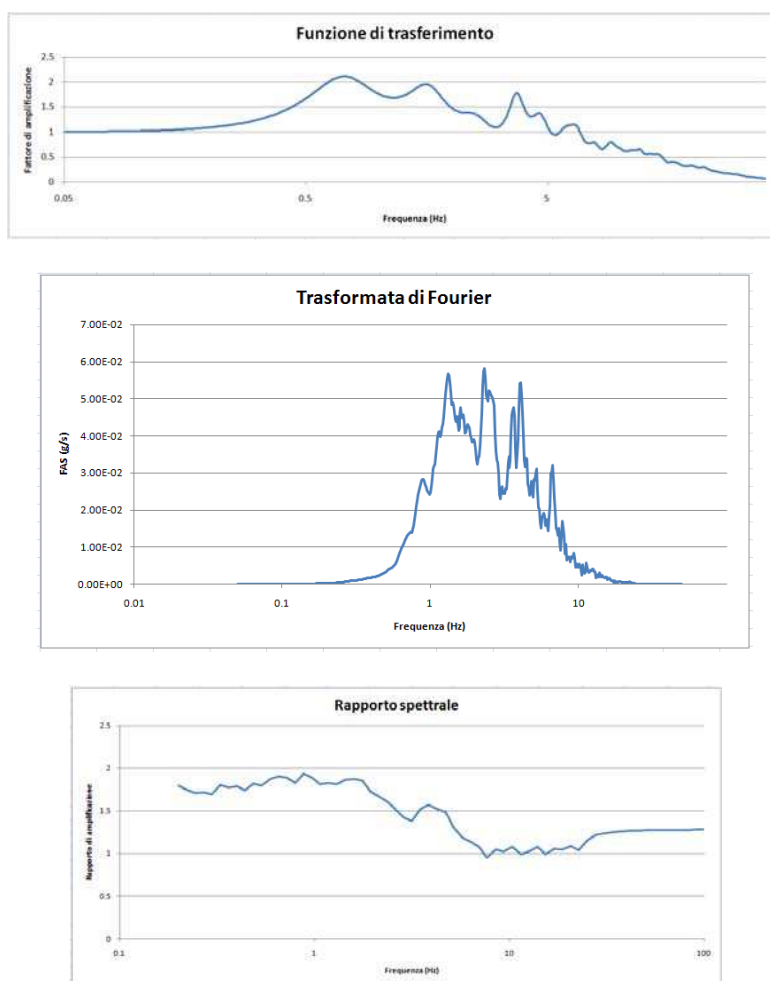
In accordo con quanto esposto nella D.G.R. 630/19, l'analisi RSL in oggetto è stata svolta adottando come input sismico 3 accelerogrammi, corrispondenti allo stato limite SLV. I segnali di riferimento sono stati successivamente scalati per il valore di PGA_0 atteso al suolo rigido in corrispondenza dell'areale 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.

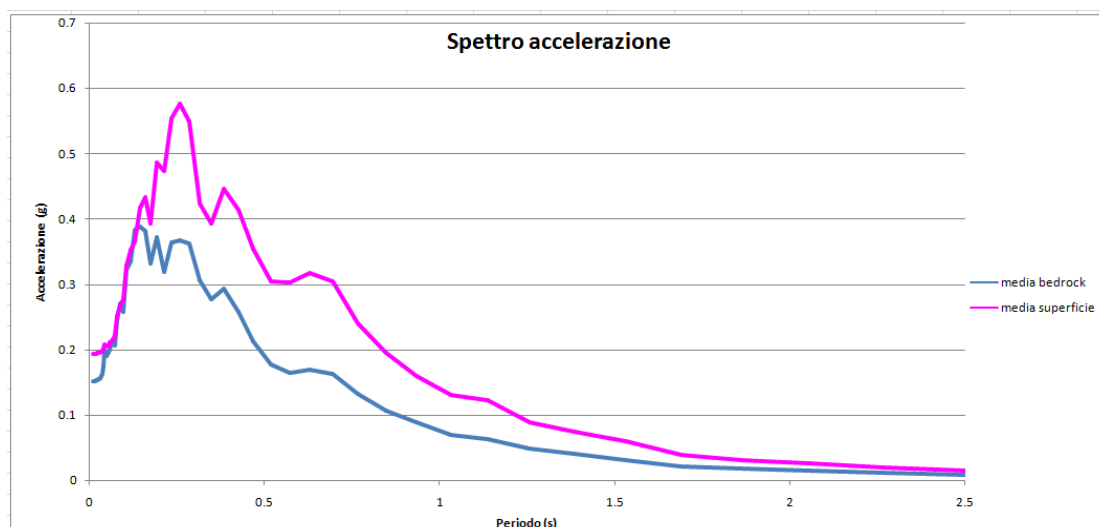
Per il sito in oggetto tale valore è pari a **0.151g** considerando un valore di **$C_u = 1.00$** (Classe d'uso II) e **$V_n = 50$ anni** per ottenere un tempo di ritorno pari a 475 anni.

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.



Dall'alto: Funzione di Trasferimento, funzione FFT e rapporto spettrale di amplificazione.



Spettro RSL

T [s]	Ag				
0.01	0.192514867	0.07937	0.250708864	0.695271	0.303908739
0.011037	0.192589684	0.087599	0.267375233	0.767353	0.239833606
0.012181	0.19269625	0.09668	0.276924575	0.846907	0.195372004
0.013444	0.192826168	0.106704	0.328239996	0.934709	0.159244243
0.014838	0.192981825	0.117766	0.351896259	1.031614	0.130610076
0.016376	0.193172708	0.129975	0.36536243	1.138566	0.122484812
0.018074	0.193407204	0.14345	0.417514668	1.256605	0.088383677
0.019947	0.193696246	0.158322	0.433133462	1.386883	0.074771132
0.022015	0.194039374	0.174736	0.393367198	1.530666	0.059091197
0.024298	0.194482972	0.192852	0.485462801	1.689356	0.038547186
0.026817	0.195048593	0.212846	0.472587306	1.864499	0.030791138
0.029597	0.195757415	0.234912	0.5533064	2.057799	0.025433463
0.032666	0.1967392	0.259266	0.575505844	2.271139	0.018766501
0.036052	0.19815513	0.286146	0.549084612	2.506597	0.015220926
0.03979	0.200784574	0.315811	0.423414548	2.766465	0.012053073
0.043915	0.207088556	0.348553	0.3927404	3.053276	0.010146154
0.048468	0.206558239	0.384689	0.445347134	3.369821	0.008378891
0.053493	0.205054266	0.424571	0.41412201	3.719184	0.005893428
0.059038	0.210205992	0.468588	0.354341858	4.104766	0.004998022
0.065159	0.214153192	0.517168	0.304522705	4.530323	0.003833647
0.071914	0.222653314	0.570785	0.303307574	5	0.003065244
		0.629961	0.31741201		

Come descritto nell'all. 2 della DGR 630/2019, 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:

	T₁	T₂
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

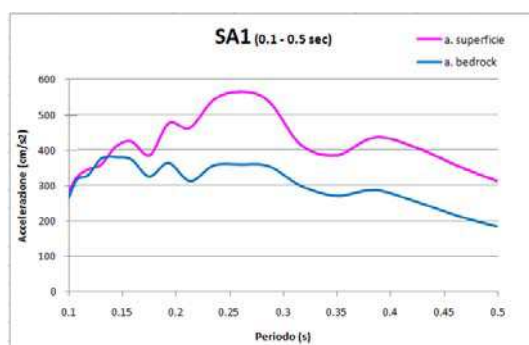
$$SI = \int_{T_1}^{T_2} V(T, \zeta) dT$$

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

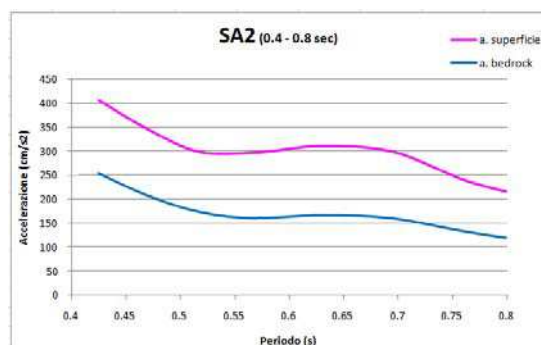
	T₁	T₂
SI1	0,1 s	0,5 s
SI2	0,5 s	1,0 s
SI3*	0,5 s	1,5 s

Di seguito si riportano i grafici degli spettri di risposta in accelerazione e velocità calcolati per l'area in studio.

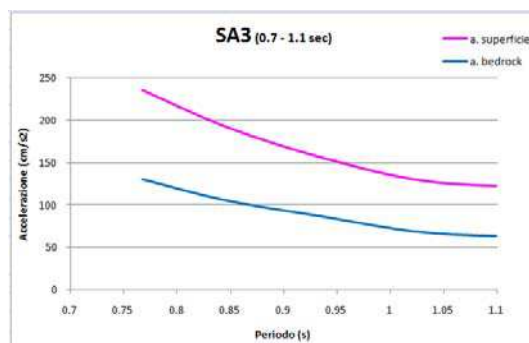
SPETTRI DI RISPOSTA IN ACCELERAZIONE



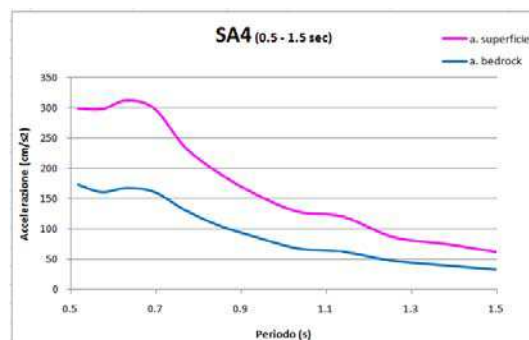
Spettro di risposta in accelerazione SA1



Spettro di risposta in accelerazione SA2

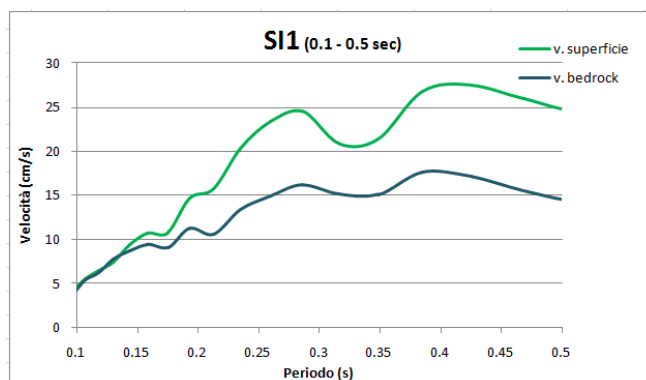


Spettro di risposta in accelerazione SA3

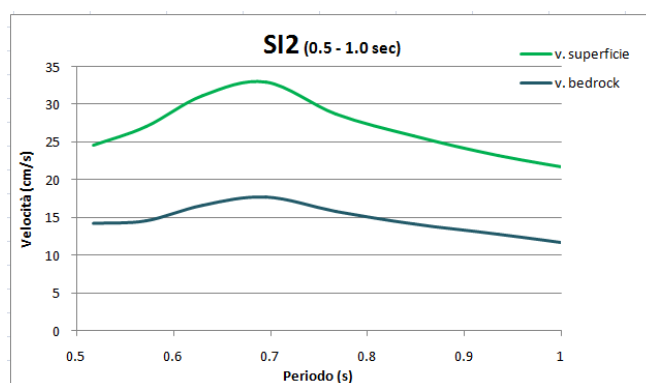


Spettro di risposta in accelerazione SA4

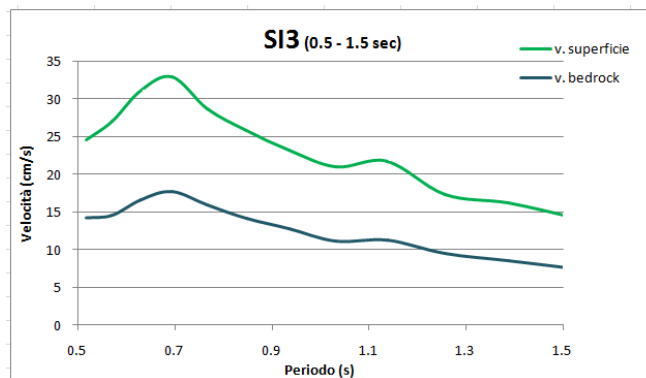
SPETTRI DI RISPOSTA IN VELOCITÀ



Spettro di risposta in velocità SI1



Spettro di risposta in velocità SI2



Spettro di risposta in velocità SI3

Di seguito si riportano in tabella i FA:

Fattore di amplificazione	Periodo T (s)	FA
Fattore di Amplificazione SA1	$0.1s \leq T \leq 0.5s$	1.26
Fattore di Amplificazione SA2	$0.4s \leq T \leq 0.8s$	1.77
Fattore di Amplificazione SA3	$0.7s \leq T \leq 1.1s$	1.85
Fattore di Amplificazione SA4	$0.5s \leq T \leq 1.5s$	1.85

Fattori di amplificazione SA1 –SA2 –SA3 – SA4

Fattore di amplificazione	Periodo T (s)	FA
Fattore di Amplificazione SI1	$0.1s \leq T \leq 0.5s$	1.26
Fattore di Amplificazione SI2	$0.5s \leq T \leq 1.0s$	1.83
Fattore di Amplificazione SI3	$0.5s \leq T \leq 1.5s$	1.85

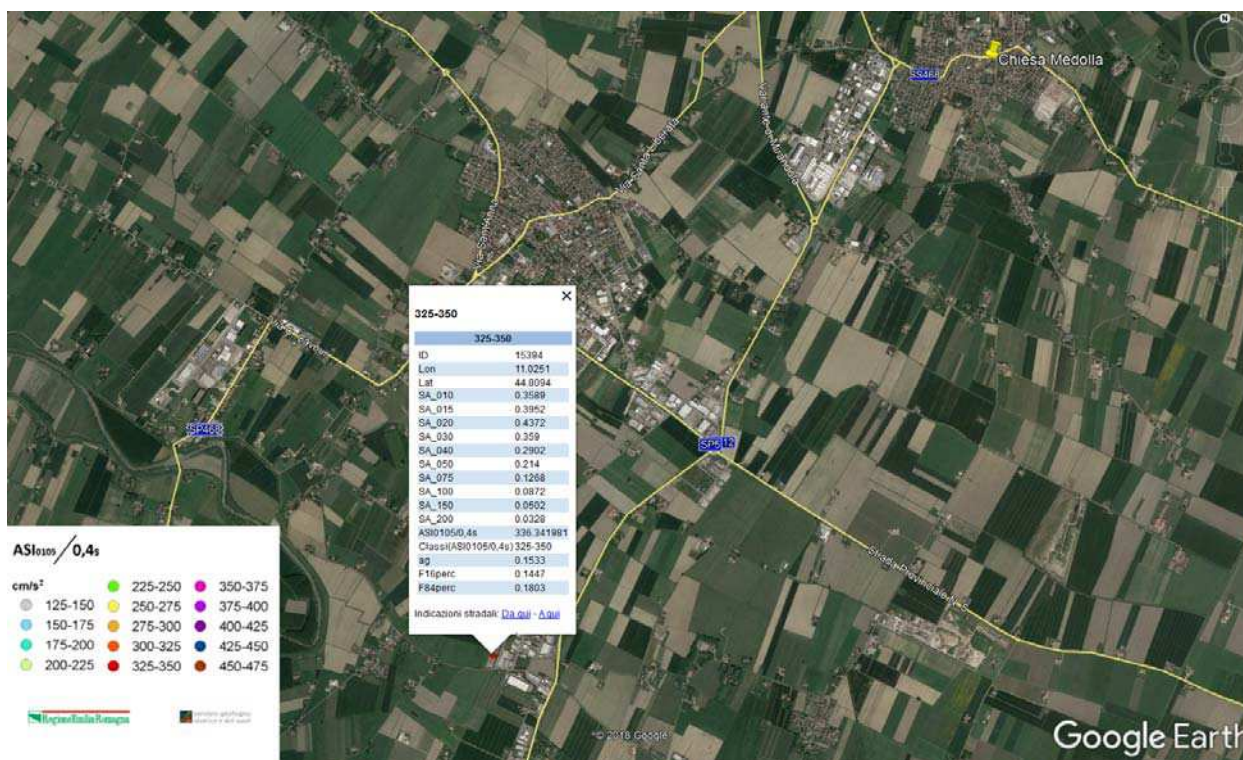
Fattori di amplificazione SI1 –SI2 –SI3

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 **336**.



valori di ASI0105/AT per l'area in studio - griglia INGV

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)
$H_{SM} = 425$	$0,1 s \leq T \leq 0,5s$
$H_{0408} = 597$	$0,4 s \leq T \leq 0,8s$
$H_{0711} = 623$	$0,7 s \leq T \leq 1,1s$
$H_{0515} = 621$	$0,5 s \leq T \leq 1,5s$

Dai risultati sopra esposti dell'analisi di risposta sismica locale si ottiene un valore di accelerazione massima attesa al suolo del valore $PGA_{max} = A_{max} = 0.192g$ (per $T=0 s$).

5 MODELLAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA DEL SITO

5.1 Modello geotecnico del sottosuolo

Il modello geotecnico è finalizzato a fornire tutti i dati geotecnici necessari l'intervento in oggetto. Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione geotecnica e litostratigrafica delle indagini geotecniche eseguite in sito e in relazione allo studio delle in oggetto, si può riassumere il seguente modello geotecnico schematico del terreno investigato:

MODELLO GEOTECNICO MEDIO

Strato	Profondità	Falda	Litotipo	Parametri geotecnici	
1	0.00 – 7.60 m da p.c.	-4.70 m da p.c.	Argilla o argilla limosa a media consistenza	γ	1800 kg/m ³ \approx 18.00 kN/m ³
				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 5.00 kN/m ²
				M_0	45.0 kg/cm ² \approx 4500 kN/m ²
				E_s	70.0 kg/cm ² \approx 7000 kN/m ²
				ϕ_k	23°
				v	0.45
2	7.60 – 14.00 m da p.c.		Argilla o argilla limosa a elevata consistenza	γ	1900 kg/m ³ \approx 19.00 kN/m ³
				γ'	2200 kg/m ³ \approx 22.00 kN/m ³
				C_{uk}	0.90 kg/cm ² \approx 90.0 kN/m ²
				C'_k	0.09 kg/cm ² \approx 9.00 kN/m ²
				M_0	70.0 kg/cm ² \approx 7000 kN/m ²
				E_s	126.0 kg/cm ² \approx 12600 kN/m ²
				ϕ_k	25°
				v	0.35
3	14.00 – 16.50 m da p.c.		Sabbia o sabbia limosa mediamente addensata	γ	1850 kg/m ³ \approx 18.50 kN/m ³
				γ'	2150 kg/m ³ \approx 21.50 kN/m ³
				Dr	45 %
				E_s	200.0 kg/cm ² \approx 20000 kN/m ²
				ϕ_k	35°
				v	0.35
4	16.50 – 21.00 m da p.c.		Argilla o argilla limosa a elevata consistenza	γ	1900 kg/m ³ \approx 19.00 kN/m ³
				γ'	2200 kg/m ³ \approx 22.00 kN/m ³
				C_{uk}	0.90 kg/cm ² \approx 90.0 kN/m ²
				C'_k	0.09 kg/cm ² \approx 9.00 kN/m ²
				M_0	80.0 kg/cm ² \approx 8000 kN/m ²
				E_s	126.0 kg/cm ² \approx 12600 kN/m ²
				ϕ_k	25°
				v	0.40

<u>Legenda</u>	γ	=	peso specifico terreno naturale
	γ'	=	peso specifico terreno saturo
	C_{uk}	=	coesione non drenata caratteristica
	C'_k	=	coesione efficace caratteristica
	D_r	=	densità relativa
	M_0	=	modulo di deformazione edometrico
	E_s	=	modulo elastico
	ϕ_k	=	angolo d'attrito caratteristico

Si riportano di seguito le referenze bibliografiche e le correlazioni utilizzate per la determinazione dei parametri geotecnici sopra riportati:

γ' = peso dell'unità di volume (efficace) del terreno [Terzaghi & Peck 1967 - Bowles 1982]

C_{uk} = coesione non drenata (terreni coesivi) [Formula di Lunne & Eide]

D_r = densità relativa (terreni granulari) [Schmertmann 1976]

M_0 = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973]

E_s = modulo elastico (terreni coesivi) [Trofimemkov 1974]

ϕ_k = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari) [Meyerhof 1956/1976, sabbie limose]

ϕ_k = angolo di attrito interno efficace (terreni coesivi) [prove di laboratorio CID da Noi eseguite su analoghi litotipi presso Nostro laboratorio certificato dal "Ministero delle infrastrutture e dei trasporti n.1845" per l'esecuzione e certificazione di prove su terre e rocce, categoria A]

5.2 Stabilità nei confronti della liquefazione (§ A2.2. DGR 630/2019)

In accordo con la normativa regionale DGR 630/19 si è proceduto alla verifica della liquefazione per la verticale di prova CPTU. Si premette che l'elaborazione delle indagini non ha identificato la presenza di unità sabbiose di sostanziale spessore tali da comportare la verificabilità di fenomeni di liquefazione.

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:

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

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 630/2019 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.

Le verifiche sono state svolte considerando una magnitudo di riferimento $M = 6.14$ (derivante dalla zonazione sismogenetica) e una accelerazione massima al suolo $A_{max} = 0.192g$ (Approccio DGR 630/19 III livello di approfondimento).

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)

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

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 **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 illustrano successivamente i valori di LPI derivati per ciascuna verticale di prova CPTU considerata ai fini delle analisi del fenomeno di liquefazione:

INDAGINE	INDICE DI LIQUEFAZIONE LPI	RISCHIO
CPTU	0.039	BASSO

Sulla scorta delle risultanze ottenute dalle verifiche della suscettività del sito al fenomeno di liquefazione emerge che l'areale oggetto di studio risulta esposto a un rischio "basso".

5.3 Stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica (§ B. DGR 630/2019)

Per cedimento si intende l'abbassamento del piano campagna, ovvero la sommatoria dei prodotti della deformazione verticale media per lo spessore di ciascuno degli strati deformati.

Il cedimento post sismico può essere dovuto a terreni granulari saturi, insaturi e a terreni coesivi soffici; tali cedimenti vengono stimati con la seguente equazione:

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

ε_{vi} = deformazione volumetrica;

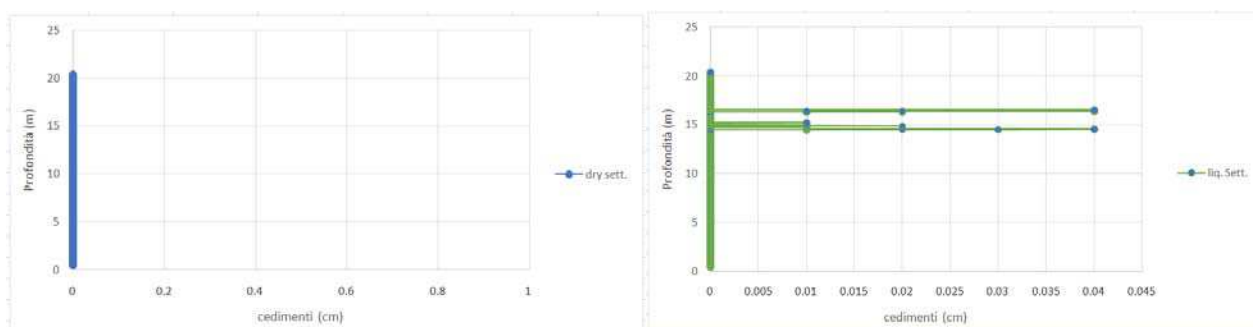
Δz_i = spessore dello strato i-esimo.

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 in condizioni sature e insature, eseguiti per la verticale CPTU hanno evidenziato i valori riportati in tabella:

CPTU1	CEDIMENTO IN TERRENI INCOERENTI SATURI – (Liq. Seattle)	1.22 cm
	CEDIMENTO IN TERRENI INCOERENTI INSATURI – (Dry. Seattle)	0.00 cm

Si riportano di seguito i valori calcolati dei cedimenti post sismici in terreni incoerenti sia in saturi (Liq. settlement) che insaturi (Dry settlement) per la verticale eseguita.



Cedimenti post sismici in terreni incoerenti saturi (Liquef. Settlement) e in terreni incoerenti insaturi (Dry settlement) eseguiti per la prova CPTU.

6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Nel mese di dicembre 2019 è stato eseguito il presente elaborato redatto al fine di verificare le condizioni di edificabilità e di pericolosità sismica dell'area sita in Strada Statale 12 nel Comune di Medolla (MO).

Sulla base dei dati emersi dalle indagini geotecniche eseguite (§ 3), si fornisce per il terreno di fondazione indagato, il modello geotecnico medio riportato nel § 5.2 della presente relazione.

La caratterizzazione sismica del sito è stata condotta sulla base di indagini geofisiche che hanno permesso di determinare:

- la velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità $V_{s,30}$:

$V_{s,E}$ MASW	208 m/s
$V_{s,E}$ ESAC	203 m/s
$V_{s,E}$ HVSr	202 m/s

- sulla base delle NTC 2018, e tenendo conto dell'indagine sismica sopraccitata, si classifica il terreno di fondazione in oggetto come appartenente alla **categoria C**, corrispondente a:

DEPOSITI DI TERRENI A GRANA GROSSA MEDIAMENTE ADDENSATI O TERRENI A GRANA FINA MEDIAMENTE CONSISTENTI CON PROFONDITÀ DEL SUBSTRATO SUPERIORI A 30 m, CARATTERIZZATI DA UN MIGLIORAMENTO DELLE PROPRIETÀ MECCANICHE CON LA PROFONDITÀ E DA VALORI DI VELOCITÀ EQUIVALENTE COMPRESI TRA **180 m/s E 360 m/s**.

Per la definizione dell'azione sismica in relazione all'intervento in progetto è stato eseguito uno studio di risposta sismica locale in ottemperanza alla DGR 630/2019, da cui si è ottenuto un valore di **$PGA_{max}=A_{max}=0.192g$** .

È stata eseguita la verifica della suscettibilità al fenomeno della liquefazione sulla base della prova penetrometrica CPTU eseguita in sito, considerando una accelerazione massima al suolo **$A_{max} = 0.192g$** (calcolata dal terzo livello di risposta sismica locale DGR 630/2019) e una **magnitudo di riferimento** pari a **$M=6.14$** . Dall'analisi della suscettibilità nei confronti del fenomeno della liquefazione così eseguita si è ottenuto un valore di LPI corrispondente a un **rischio di liquefazione basso**.

Sono stati inoltre calcolati i cedimenti indotti dall'azione sismica (§ 5.4).

Si ricorda che, in fase esecutiva, verrà caratterizzato il terreno di fondazione per ogni singolo intervento che sarà realizzato sull'area in oggetto.

A disposizione per ulteriori chiarimenti cogliamo l'occasione per porgere distinti saluti.

Modena, 4 dicembre 2019

Dott. Geol. Pier Luigi Dallari

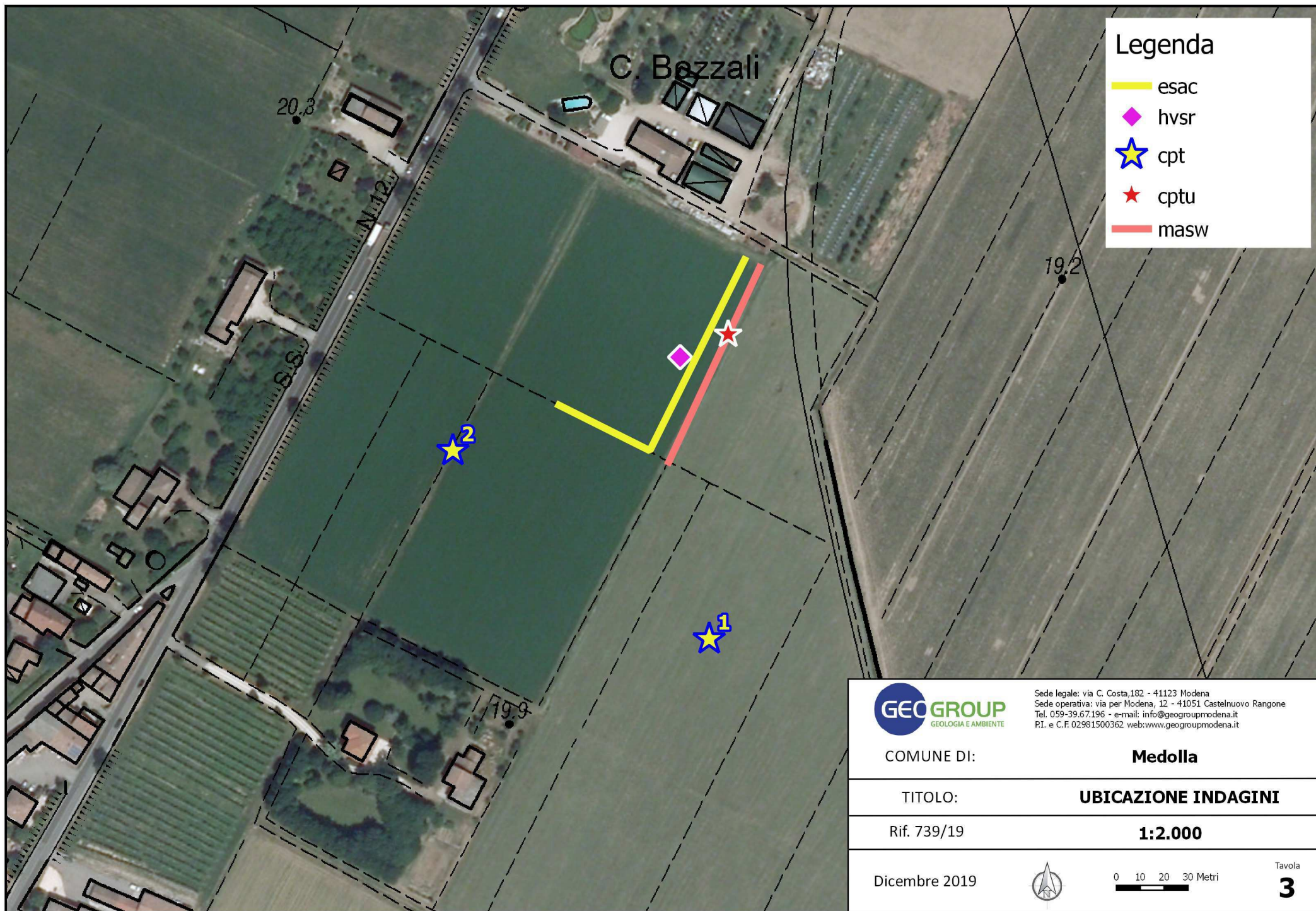


GEO GROUP s.r.l.

Indagini geognostiche e geofisiche – geologia applicata alle costruzioni – laboratorio geotecnico - idrogeologia
– coltivazione cave– bonifiche – consolidamenti – geologia ambientale – consulenze geologiche e geotecniche

TAVOLE





Legenda

- esac
- hvsr
- cpt
- cptu
- masw



Sede legale: via C. Costa,182 - 41123 Modena
Sede operativa: via per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo Rangone
Tel. 059-39.67.196 - e-mail: info@geogroupmodena.it
P.I. e C.F. 02981500362 web:www.geogroupmodena.it

COMUNE DI:

Medolla

TITOLO:

UBICAZIONE INDAGINI

Rif. 739/19

1:2.000

Dicembre 2019



0 10 20 30 Metri

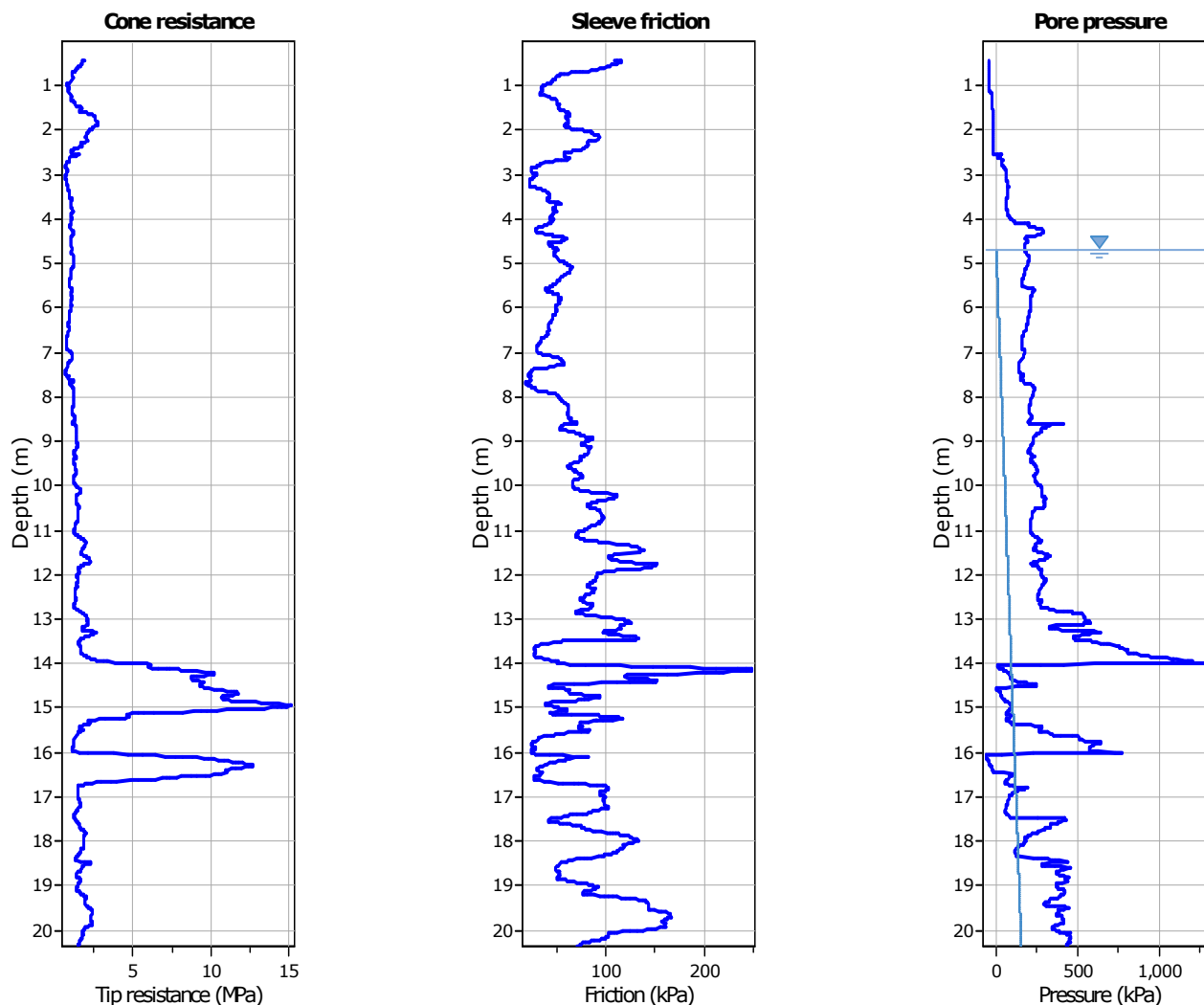
Tavola
3

GEO GROUP s.r.l.

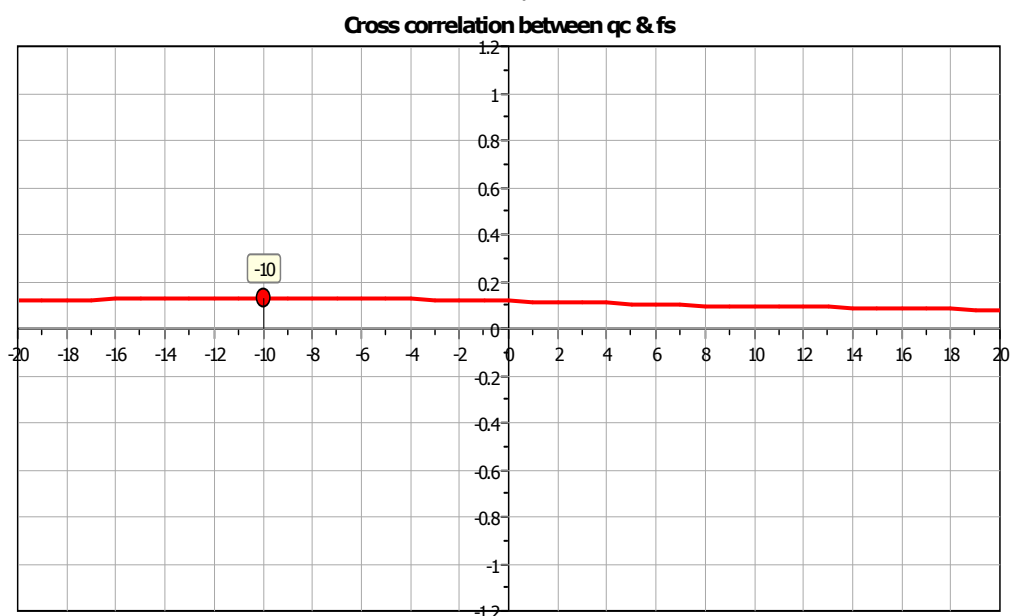
Indagini geognostiche e geofisiche – geologia applicata alle costruzioni – laboratorio geotecnico - idrogeologia
– coltivazione cave– bonifiche – consolidamenti – geologia ambientale – consulenze geologiche e geotecniche

ALLEGATO N° 1

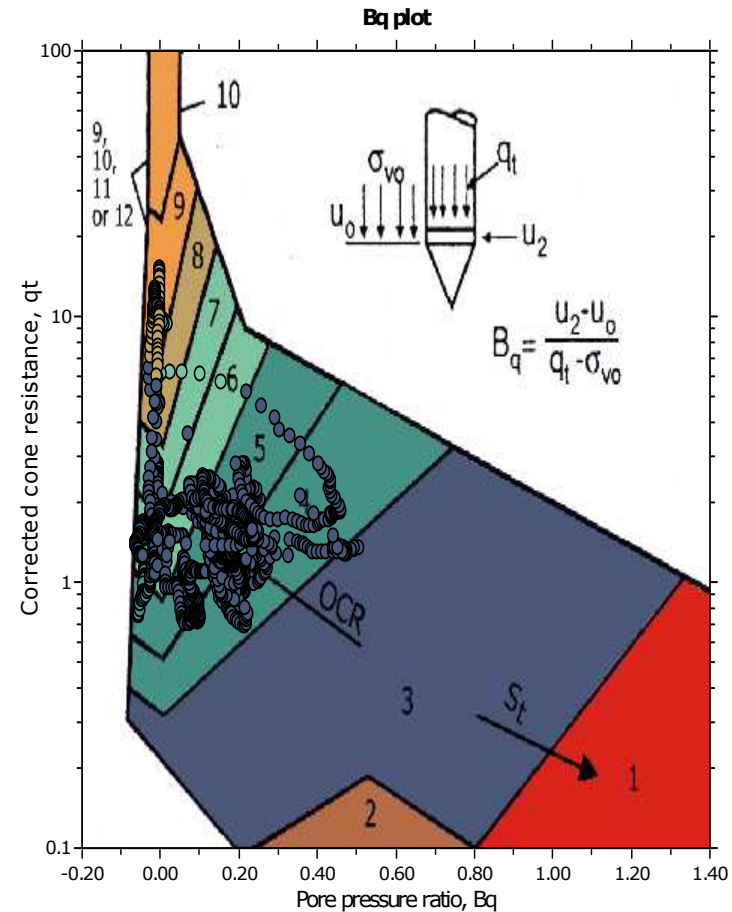
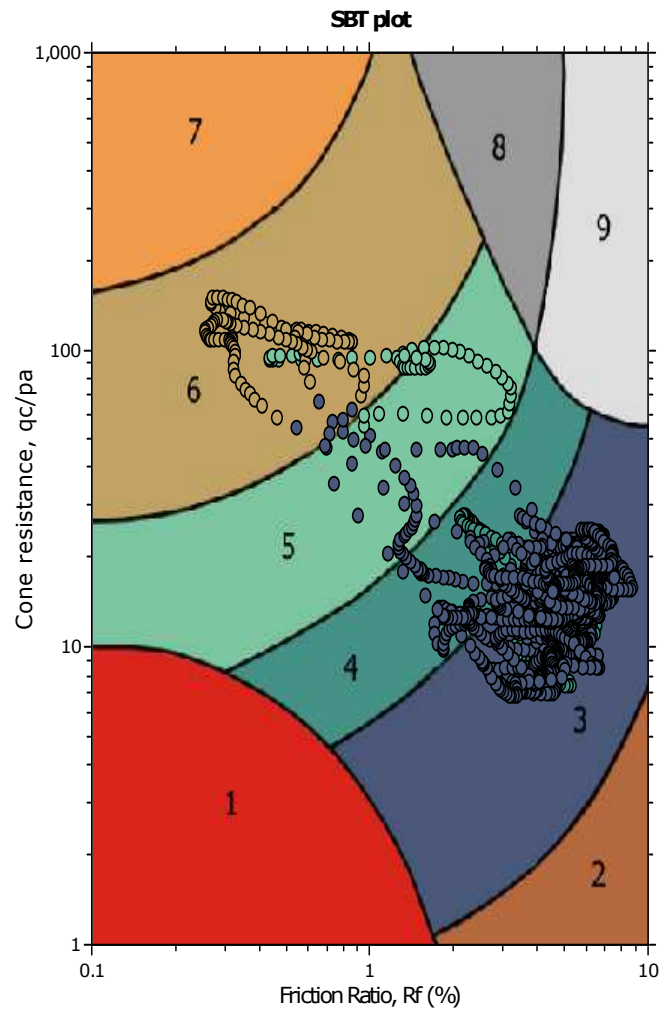
Prove penetrometriche statiche CPT e CPTU corredate di interpretazione geotecnica



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



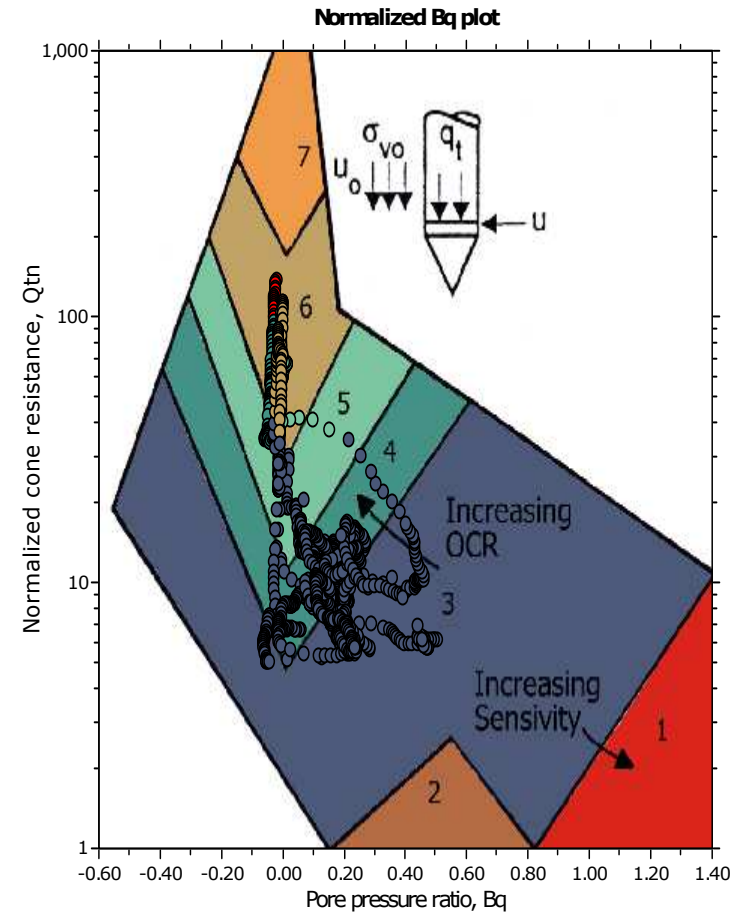
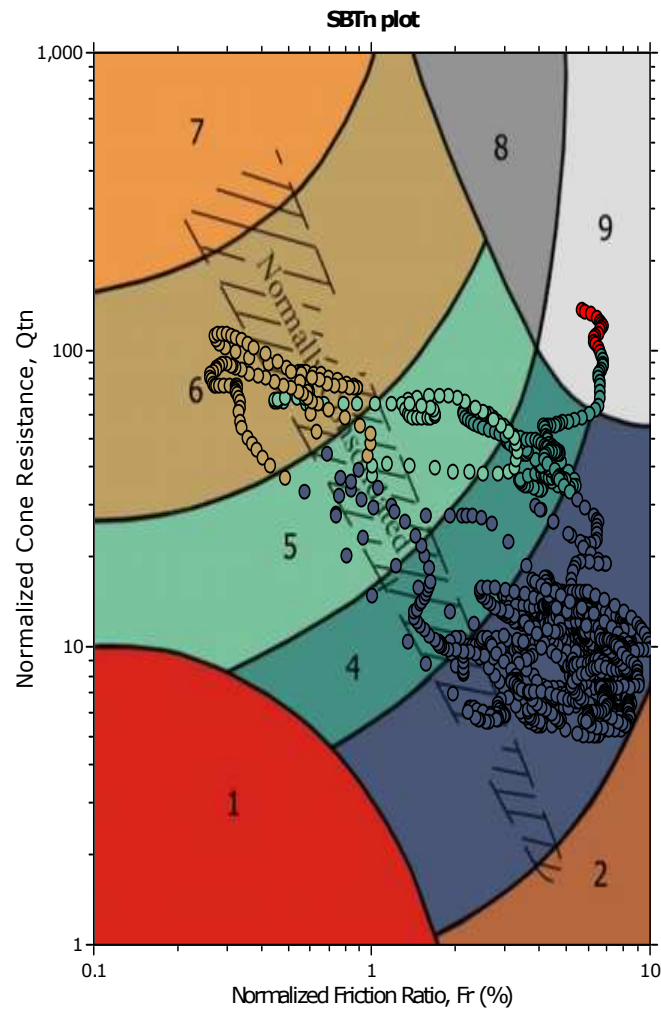
SBT - Bq plots



SBT legend

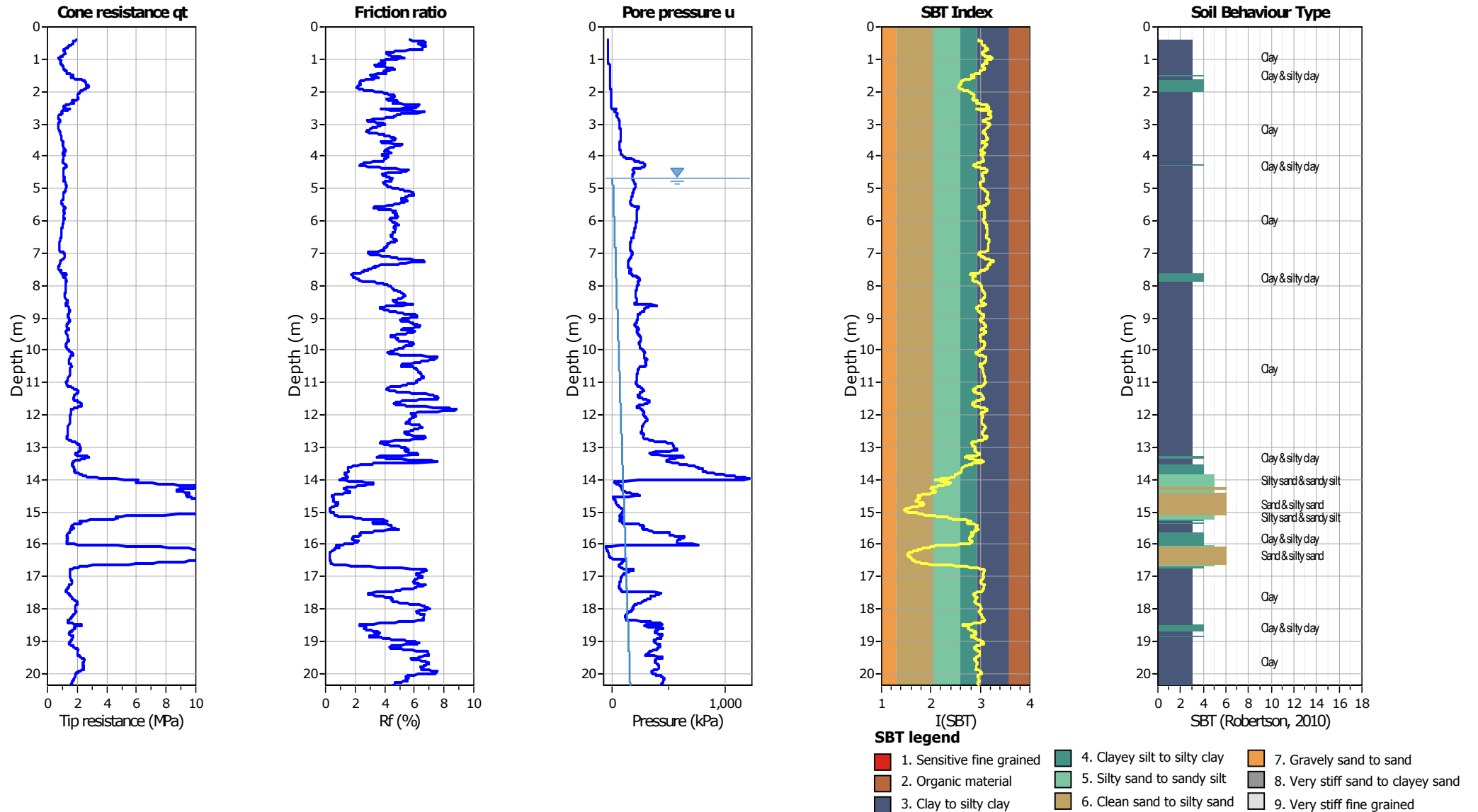
- | | | |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty clay | 7. Gravely sand to sand |
| 2. Organic material | 5. Silty sand to sandy silt | 8. Very stiff sand to clayey sand |
| 3. Clay to silty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

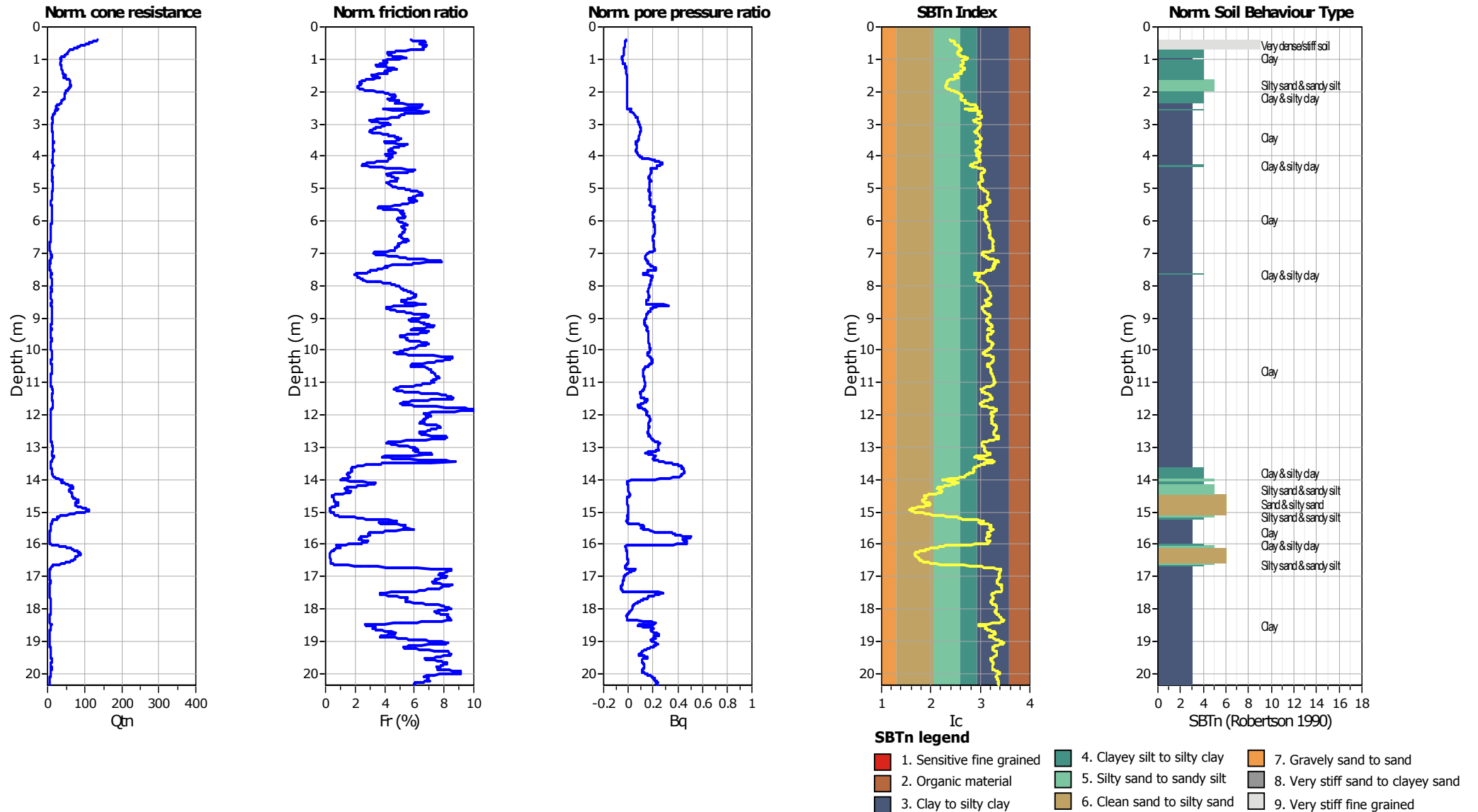
SBT - Bq plots (normalized)

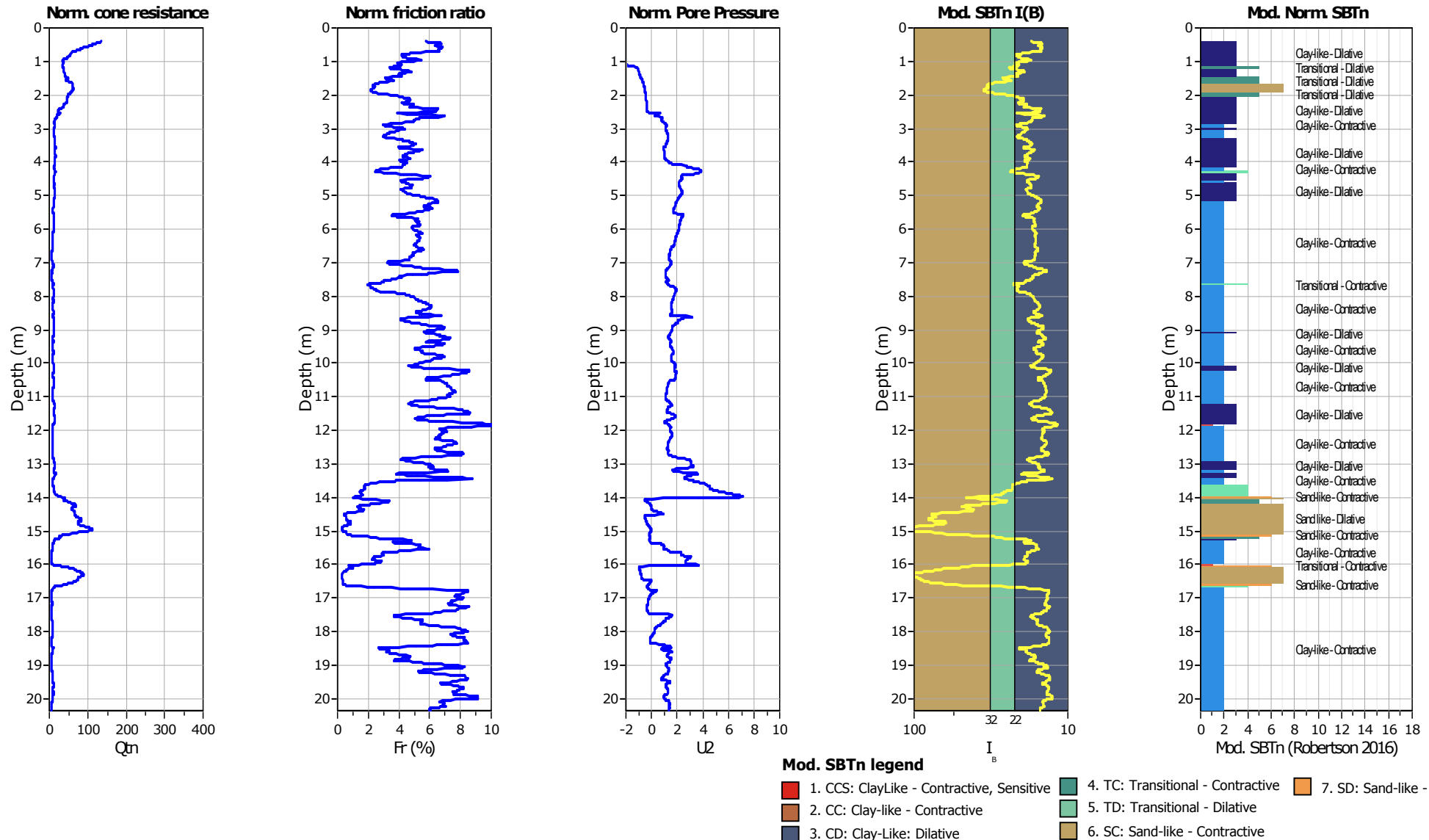


SBTn legend

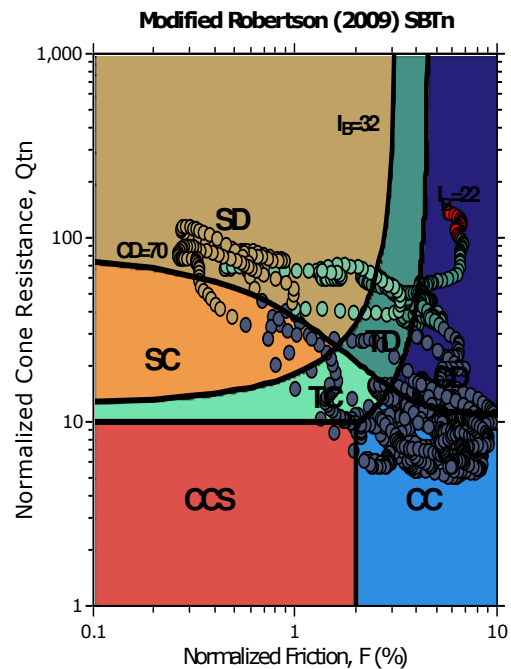
- | | | |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty clay | 7. Gravely sand to sand |
| 2. Organic material | 5. Silty sand to sandy silt | 8. Very stiff sand to clayey sand |
| 3. Clay to silty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



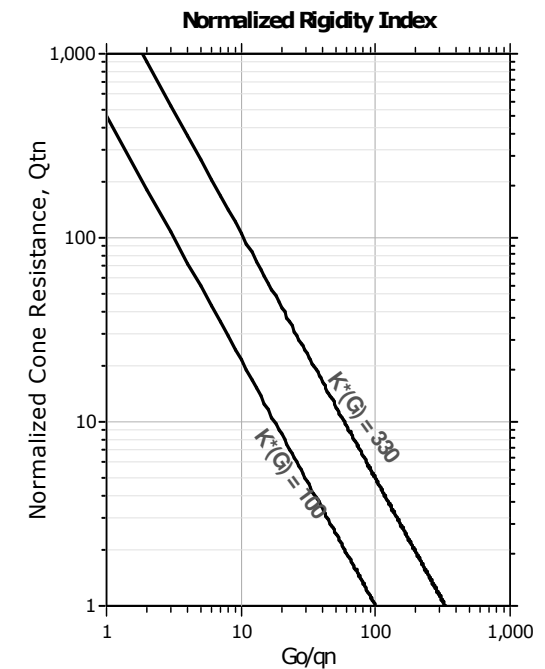
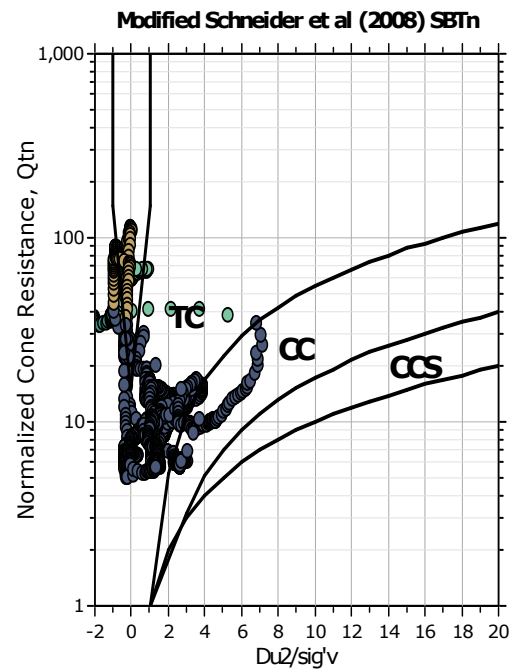




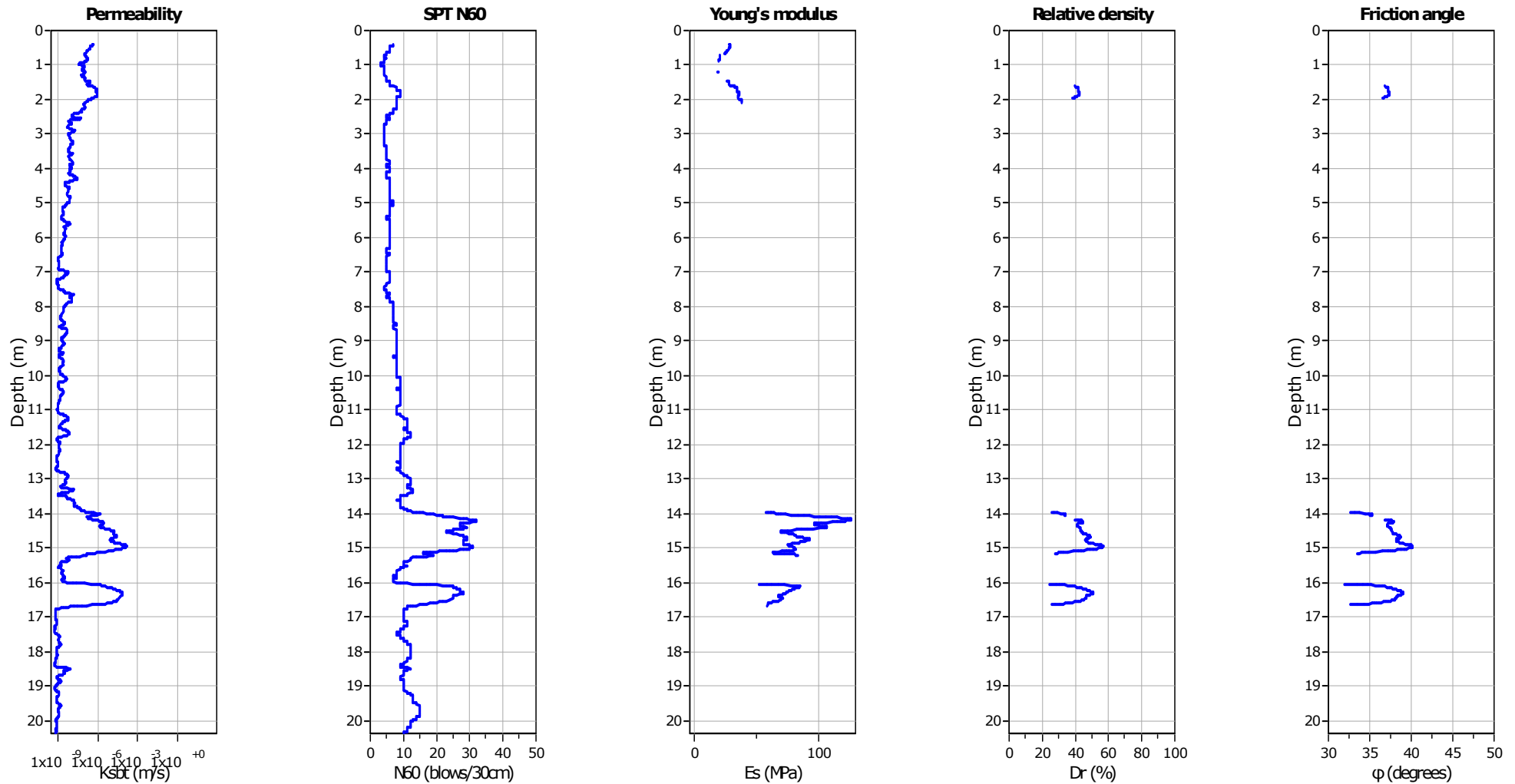
Updated SBTn plots



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)



Calculation parameters

Permeability: Based on SBT_n

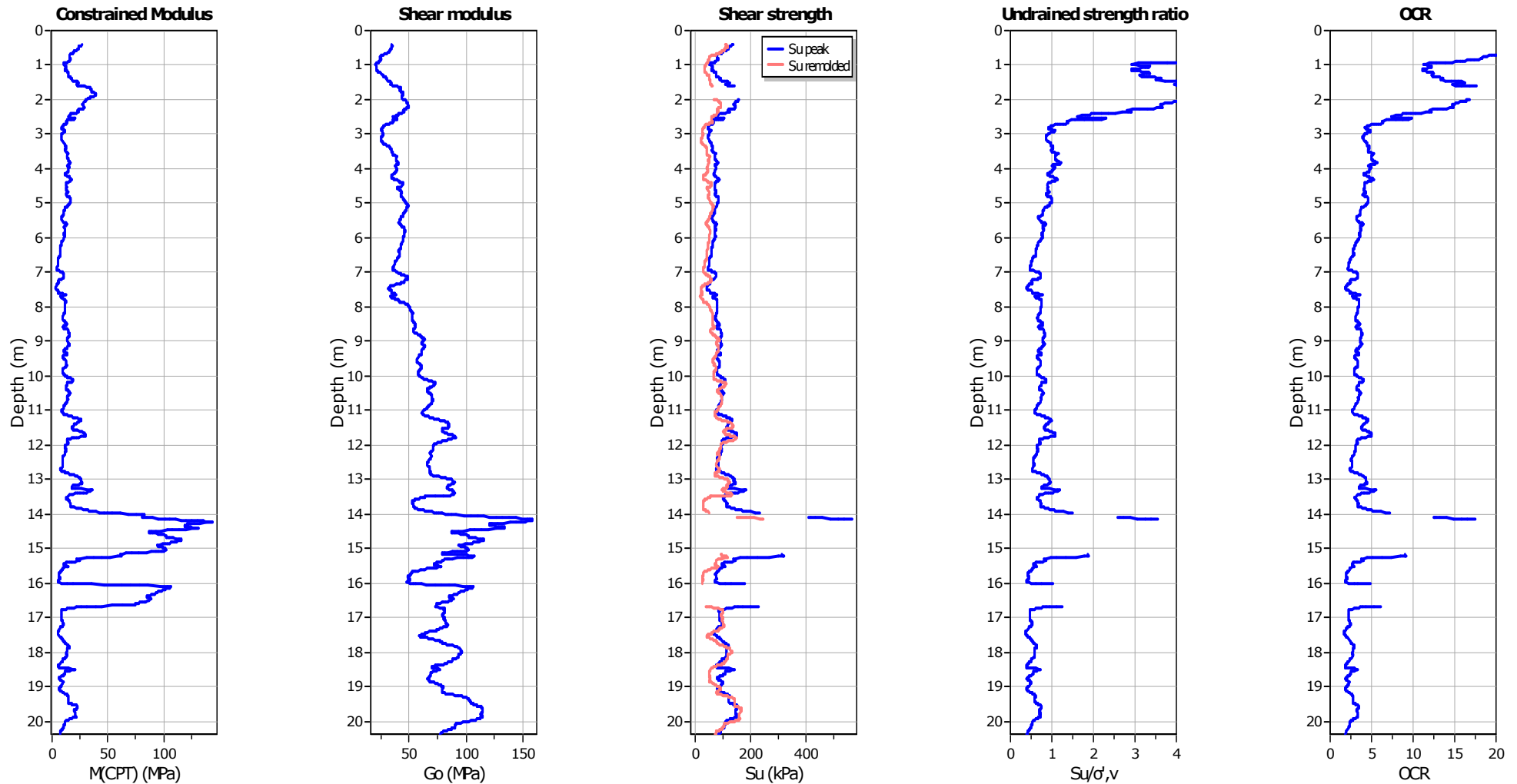
SPT N₆₀: Based on I_c and q_t

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

Relative density constant, C_{Dr}: 350.0

Phi: Based on Kulhavy & Mayne (1990)

—●— User defined estimation data



Calculation parameters

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

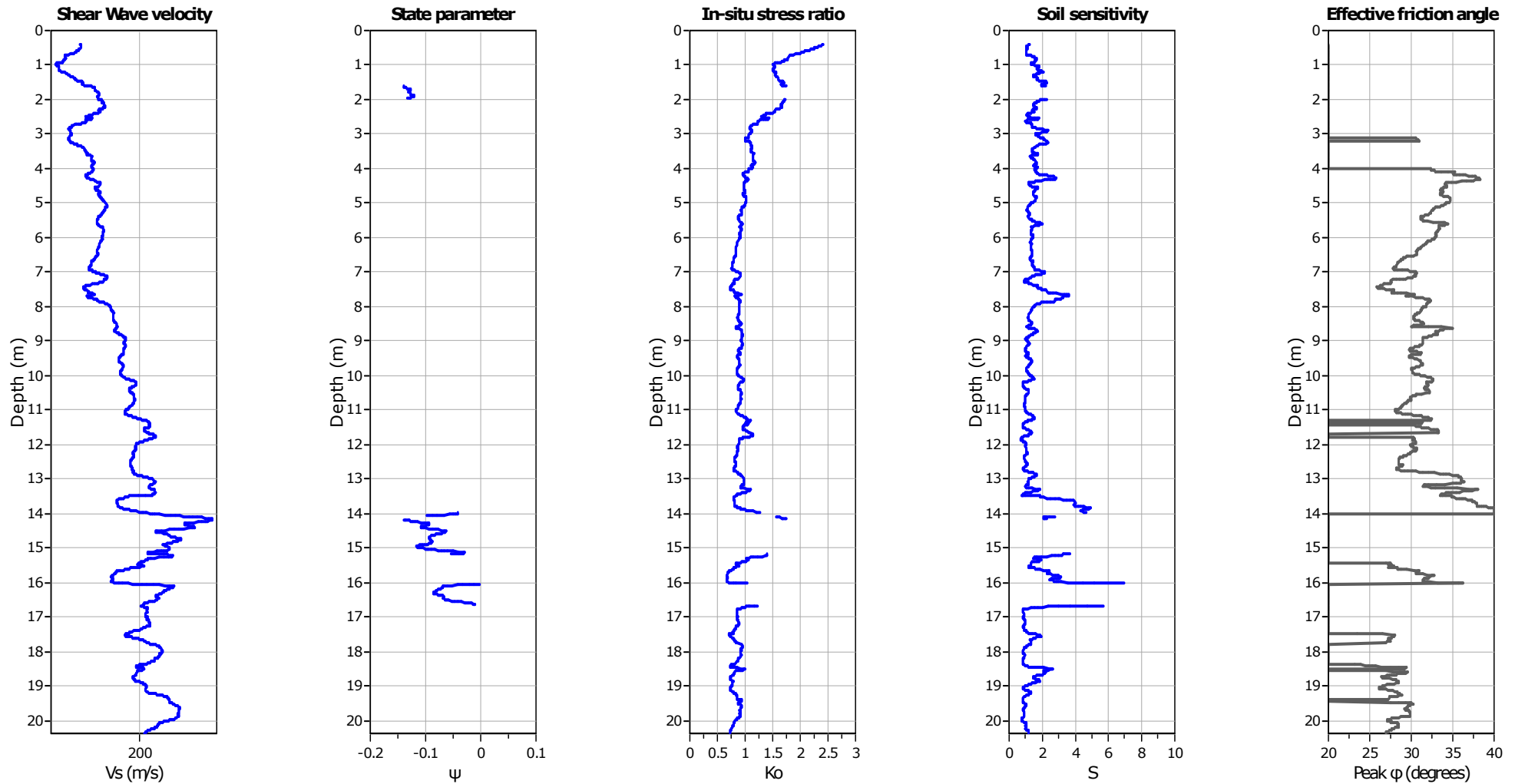
Go: Based on variable α using I_c (Robertson, 2009)

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

OCR factor for clays, N_{kt} : 0.33

—●— User defined estimation data

—●— Flat Dilatometer Test data



Calculation parameters

Soil Sensitivity factor, N_s : 7.00

—●— User defined estimation data

LEGENDA VALORI DI RESISTENZA FATTORI DI CONVERSIONE

Strumento utilizzato:
SP200 - GeoDeepDrill

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.

CONVERSIONI

1 kN (kiloNewton) = 1000 N \approx 100 kg = 0,1 t

1 MN (megaNewton) = 1.000 kN = 1.000.000 N \approx 100 t

1 kPa (kiloPascal) = 1 kN/m² = 0,001 MN/m² = 0,001 MPa \approx 0,1 t/m² = 0,01 kg/cm²

1 MPa (megaPascal) = 1 MN/m² = 1.000 kN/m² = 1000 kPa \approx 100 t/m² = 10 kg/cm²

1 kg/cm² = 10 t/m² \approx 100 kN/m² = 100 kPa = 0,1 MN/m² = 0,1 MPa

1 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'
$F \leq 1470 \text{ kPa}$	TORBE ED ARGILLE ORGANICHE	COESIVE
$1470 \text{ kPa} < F \leq 2940 \text{ kPa}$	LIMI ED ARGILLE	COESIVE
$2940 \text{ kPa} < F \leq 5880 \text{ kPa}$	LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE	GRANULARI
$F > 5880 \text{ kPa}$	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 $FR = (f_s / q_c) \% :$**

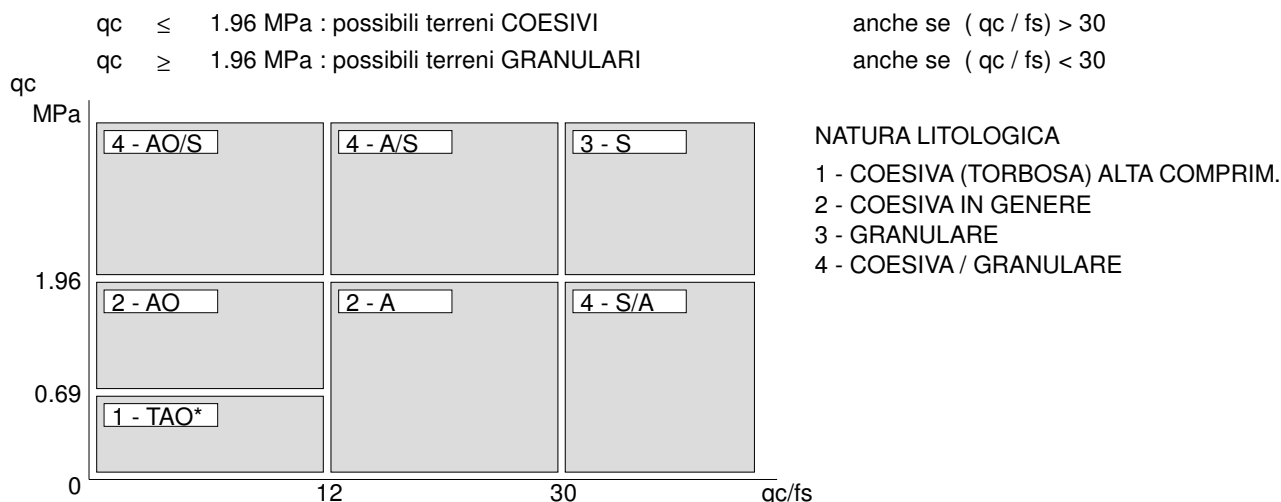
- AO	=	argilla organica e terreni misti
- Att	=	argilla (inorganica) molto tenera
- At	=	argilla (inorganica) tenera
- Am	=	argilla (inorganica) di media consistenza
- Ac	=	argilla (inorganica) consistente
- Acc	=	argilla (inorganica) molto consistente
- ASL	=	argilla sabbiosa e limosa
- SAL	=	sabbia 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 q_c / f_s (Begemann 1965 - A.G.I. 1977) prevedendo altresì la possibilità di casi dubbi :



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

- γ' = peso dell' unità di volume (efficace) del terreno [correlazioni : γ' - q_c - 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 - q_c]
- 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 - I_p I_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' - q_c]
 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 - q_c - 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 - q_c - 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

1005-2019Committente **Studio tecnico**Cantiere **Studio del terreno di fondazione**Località **Medolla, SS12**U.M.: **MPa**

Data esec. 27/11/2019

Pagina 1

Elaborato

Falda -4.70 m da p.c.

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %
0.20	0.0	0.0		0.00	40.00	0		15.20	15.0	30.0		1.47	113.00	13	7.5
0.40	16.0	22.0		1.57	93.00	17	5.8	15.40	18.0	35.0		1.76	107.00	17	5.9
0.60	14.0	28.0		1.37	67.00	21	4.8	15.60	16.0	32.0		1.57	100.00	16	6.3
0.80	10.0	20.0		0.98	53.00	19	5.3	15.80	20.0	35.0		1.96	187.00	11	9.4
1.00	9.0	17.0		0.88	53.00	17	5.9	16.00	30.0	58.0		2.94	140.00	21	4.7
1.20	8.0	16.0		0.78	53.00	15	6.6	16.20	29.0	50.0		2.84	133.00	22	4.6
1.40	8.0	16.0		0.78	53.00	15	6.6	16.40	16.0	36.0		1.57	113.00	14	7.1
1.60	9.0	17.0		0.88	53.00	17	5.9	16.60	24.0	41.0		2.35	167.00	14	7.0
1.80	9.0	17.0		0.88	47.00	19	5.2	16.80	23.0	48.0		2.25	147.00	16	6.4
2.00	10.0	17.0		0.98	60.00	17	6.0	17.00	20.0	42.0		1.96	133.00	15	6.7
2.20	11.0	20.0		1.08	80.00	14	7.3	17.20	19.0	39.0		1.86	107.00	18	5.6
2.40	12.0	24.0		1.18	87.00	14	7.3	17.40	19.0	35.0		1.86	147.00	13	7.7
2.60	13.0	26.0		1.27	87.00	15	6.7	17.60	22.0	44.0		2.16	147.00	15	6.7
2.80	12.0	25.0		1.18	67.00	18	5.6	17.80	20.0	42.0		1.96	140.00	14	7.0
3.00	10.0	20.0		0.98	73.00	14	7.3	18.00	17.0	38.0		1.67	113.00	15	6.6
3.20	12.0	23.0		1.18	87.00	14	7.3	18.20	18.0	35.0		1.76	153.00	12	8.5
3.40	14.0	27.0		1.37	93.00	15	6.6	18.40	23.0	46.0		2.25	153.00	15	6.7
3.60	14.0	28.0		1.37	107.00	13	7.6	18.60	20.0	43.0		1.96	127.00	16	6.4
3.80	18.0	34.0		1.76	120.00	15	6.7	18.80	21.0	40.0		2.06	100.00	21	4.8
4.00	17.0	35.0		1.67	33.00	52	1.9	19.00	15.0	30.0		1.47	107.00	14	7.1
4.20	19.0	24.0		1.86	100.00	19	5.3	19.20	17.0	33.0		1.67	113.00	15	6.6
4.40	13.0	28.0		1.27	40.00	33	3.1	19.40	24.0	41.0		2.35	140.00	17	5.8
4.60	16.0	22.0		1.57	107.00	15	6.7	19.60	23.0	44.0		2.25	147.00	16	6.4
4.80	16.0	32.0		1.57	100.00	16	6.3	19.80	18.0	40.0		1.76	127.00	14	7.1
5.00	15.0	30.0		1.47	107.00	14	7.1	20.00	19.0	38.0		1.86	127.00	15	6.7
5.20	15.0	31.0		1.47	100.00	15	6.7	20.20	17.0	36.0		1.67			
5.40	15.0	30.0		1.47	60.00	25	4.0								
5.60	18.0	27.0		1.76	60.00	30	3.3								
5.80	15.0	24.0		1.47	67.00	22	4.5								
6.00	13.0	23.0		1.27	40.00	33	3.1								
6.20	17.0	23.0		1.67	87.00	20	5.1								
6.40	13.0	26.0		1.27	93.00	14	7.2								
6.60	16.0	30.0		1.57	113.00	14	7.1								
6.80	15.0	32.0		1.47	113.00	13	7.5								
7.00	15.0	32.0		1.47	87.00	17	5.8								
7.20	12.0	25.0		1.18	147.00	8	12.3								
7.40	22.0	44.0		2.16	133.00	17	6.0								
7.60	20.0	40.0		1.96	140.00	14	7.0								
7.80	21.0	42.0		2.06	120.00	18	5.7								
8.00	19.0	37.0		1.86	87.00	22	4.6								
8.20	20.0	33.0		1.96	140.00	14	7.0								
8.40	18.0	39.0		1.76	140.00	13	7.8								
8.60	23.0	44.0		2.25	153.00	15	6.7								
8.80	21.0	44.0		2.06	180.00	12	8.6								
9.00	19.0	46.0		1.86	140.00	14	7.4								
9.20	27.0	48.0		2.65	193.00	14	7.1								
9.40	24.0	53.0		2.35	200.00	12	8.3								
9.60	30.0	60.0		2.94	200.00	15	6.7								
9.80	27.0	57.0		2.65	187.00	14	6.9								
10.00	26.0	54.0		2.55	200.00	13	7.7								
10.20	26.0	56.0		2.55	200.00	13	7.7								
10.40	30.0	60.0		2.94	167.00	18	5.6								
10.60	32.0	57.0		3.14	227.00	14	7.1								
10.80	31.0	65.0		3.04	200.00	16	6.5								
11.00	27.0	57.0		2.65	187.00	14	6.9								
11.20	24.0	52.0		2.35	160.00	15	6.7								
11.40	22.0	46.0		2.16	180.00	12	8.2								
11.60	28.0	55.0		2.74	187.00	15	6.7								
11.80	23.0	51.0		2.25	167.00	14	7.3								
12.00	23.0	48.0		2.25	180.00	13	7.8								
12.20	25.0	52.0		2.45	187.00	13	7.5								
12.40	23.0	51.0		2.25	160.00	14	7.0								
12.60	21.0	45.0		2.06	113.00	19	5.4								
12.80	18.0	35.0		1.76	120.00	15	6.7								
13.00	15.0	33.0		1.47	113.00	13	7.5								
13.20	18.0	35.0		1.76	207.00	9	11.5								
13.40	31.0	62.0		3.04	280.00	11	9.0								
13.60	40.0	82.0		3.92	153.00	26	3.8								
13.80	49.0	72.0		4.80	220.00	22	4.5								
14.00	27.0	60.0		2.65	200.00	14	7.4								
14.20	30.0	60.0		2.94	120.00	25	4.0								
14.40	46.0	64.0		4.51	180.00	26	3.9								
14.60	35.0	62.0		3.43	200.00	18	5.7								
14.80	26.0	56.0		2.55	120.00	22	4.6								
15.00	25.0	43.0		2.45	100.00	25	4.0								

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

0.20 m sopra quota qc

F = rapporto Begemann (qc / fs)

Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

CPT

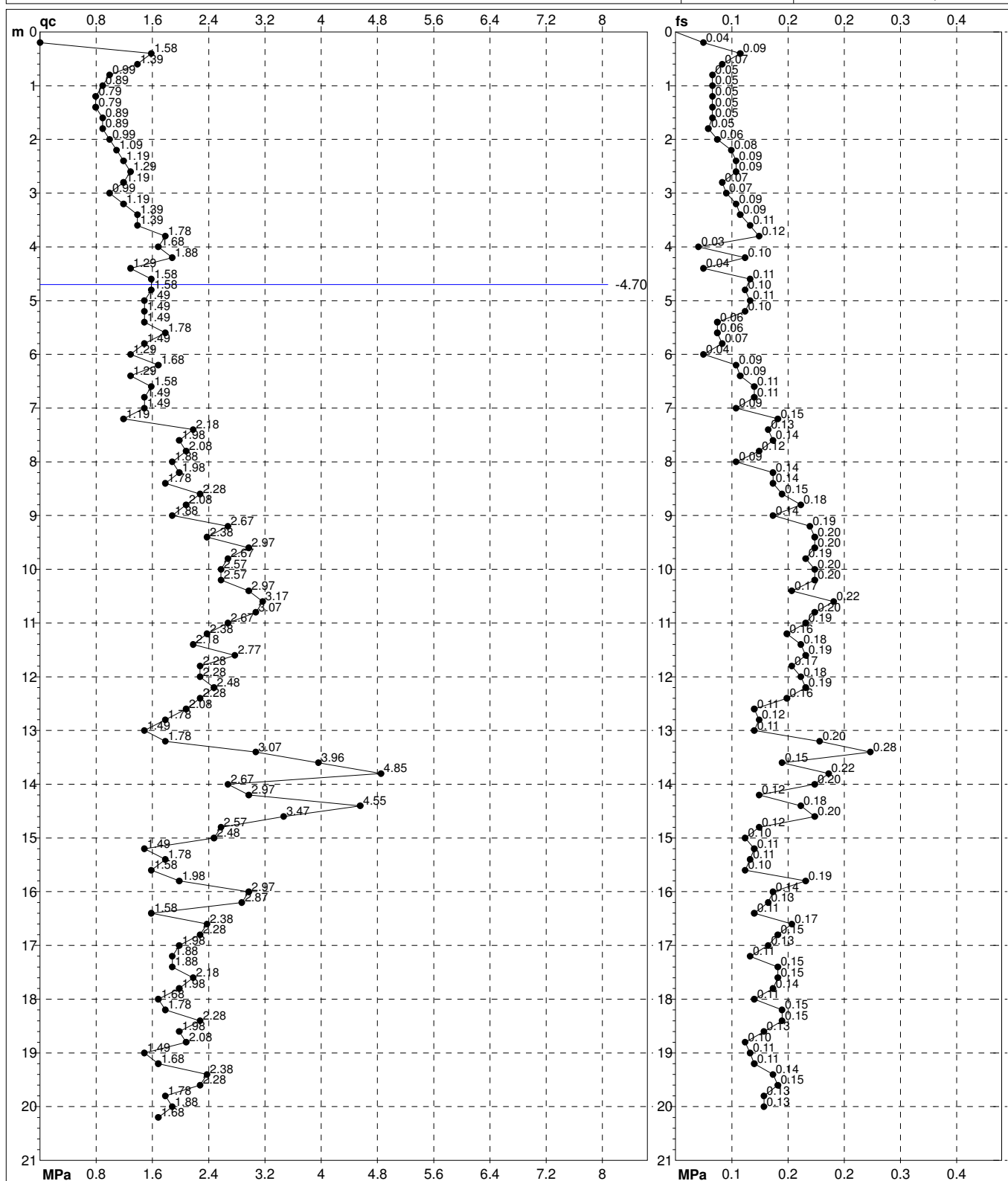
Riferimento

1**1005-2019**

Committente **Studio tecnico**
 Cantiere **Studio del terreno di fondazione**
 Località **Medolla, SS12**

U.M.: **MPa**
 Scala: **1:105**
 Pagina **1**
 Elaborato

Data esec. **27/11/2019**
 Quota inizio:
 Falda **-4.70 m** da p.c.



Penetrometro: SP200

Responsabile:

Assistente:

preforo m

Corr.astine: kN/ml

Cod. tip:

FON111

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT

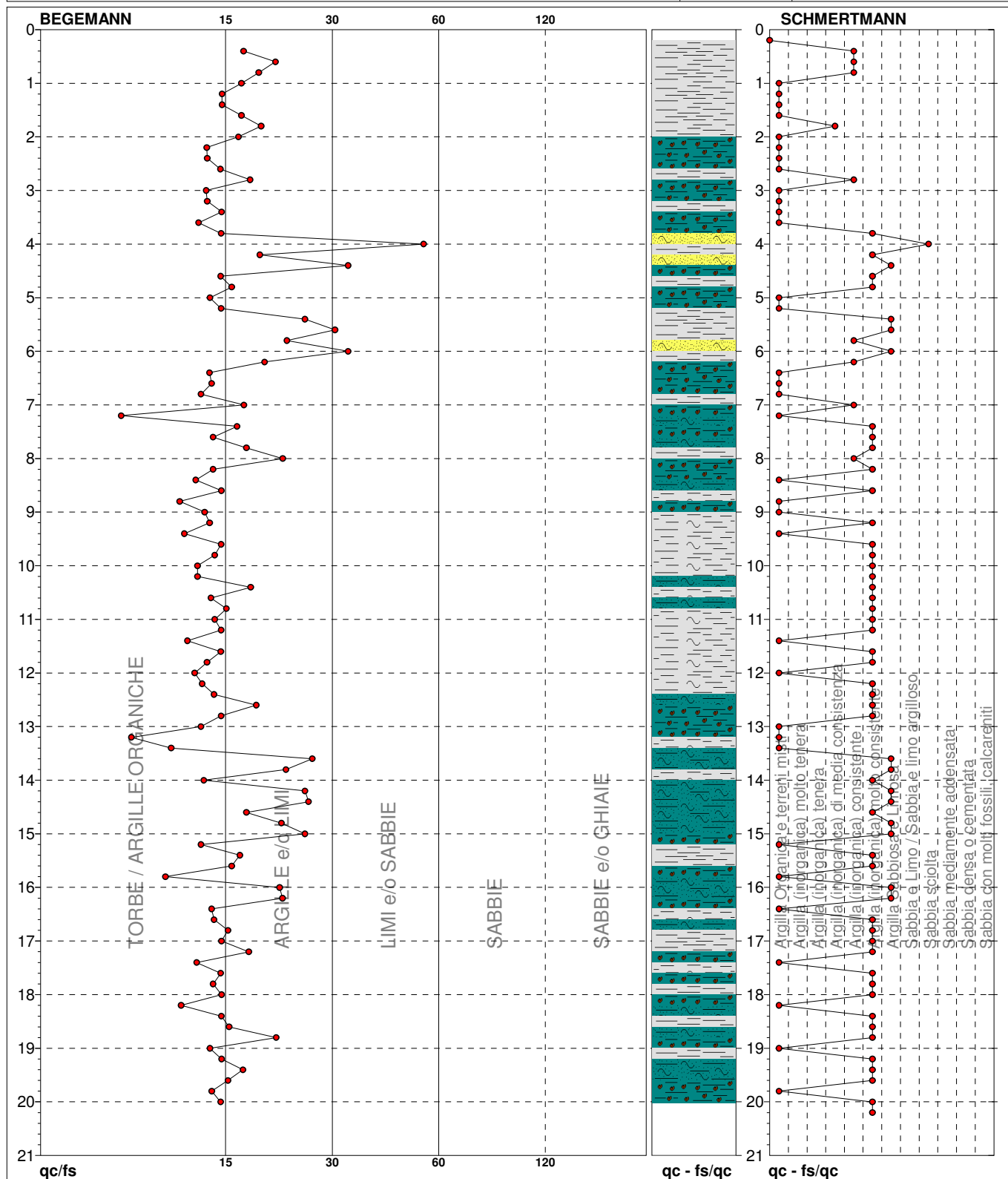
Riferimento

1

1005-2019

Committente **Studio tecnico**
Cantiere **Studio del terreno di fondazione**
Località **Medolla, SS12**

U.M.: **MPa**
Scala: **1:105**
Pagina **1**
Elaborato
Data eseg. **27/11/2019**
Falda **-4.70 m da p.c.**



TORBE / ARGILLE OR	51 punti, 50.50%	Argilla Organica e terreni misti	34 punti, 33.66%	Argilla Sabbiosa e Limosa	12 punti, 11.88%
ARGILLE e/o LIMI	46 punti, 45.54%	Argilla (inorganica) di media consistenza	1 punti, 0.99%	Sabbia sciolta	1 punti, 0.99%
LIMI e/o SABBIE	3 punti, 2.97%	Argilla (inorganica) consistente	8 punti, 7.92%		
		Argilla (inorganica) molto consistente	43 punti, 42.57%		

FON111

Software by dott. Geol. Diego Merlin +39 0425-840820

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA PARAMETRI GEOTECNICI						CPT	1
						Riferimento	1005-2019

Committente	Studio tecnico	U.M.:	MPa	Data esec.	27/11/2019
Cantiere	Studio del terreno di fondazione	Pagina	1		
Località	Medolla, SS12	Elaborato		Falda	-4.70 m da p.c.

							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE											
H	qc	qc/fs	zone	γ'	σ'vo	Vs	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	Sc	Ca	Ko	DB	DM	Me	E'50	E'25	Mo	FL1	FL2
m	U.M.			t/m³	kPa	m/s	kPa	%	U.M.	U.M.	U.M.	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	U.M.	U.M.	U.M.		
0.20	--	--	?	1.85	3.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.40	1.57	17.20	2	1.85	7.3	157	68.2	99.9	11.6	17.4	5.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.60	1.37	20.90	2	1.85	10.9	150	62.4	55.7	10.6	15.9	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.80	0.98	18.87	2	1.85	14.5	132	49.0	28.8	8.3	12.5	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.00	0.88	16.98	2	1.85	18.1	127	44.1	19.1	7.5	11.2	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.20	0.78	15.09	2	1.85	21.8	121	39.2	13.1	6.7	10.0	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.40	0.78	15.09	2	1.85	25.4	121	39.2	10.8	6.7	10.0	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.60	0.88	16.98	2	1.85	29.0	127	44.1	10.6	7.5	11.2	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.80	0.88	19.15	2	1.85	32.6	127	44.1	9.1	7.8	11.6	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.00	0.98	16.67	2	1.85	36.3	132	49.0	9.1	8.6	12.9	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.20	1.08	13.75	2	1.85	39.9	137	52.6	8.9	9.4	14.2	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.40	1.18	13.79	2	1.85	43.5	141	56.0	8.6	10.3	15.5	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.60	1.27	14.94	2	1.85	47.1	145	59.3	8.4	11.2	16.8	4.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.80	1.18	17.91	2	1.85	50.8	141	56.0	7.1	12.7	19.0	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.00	0.98	13.70	2	1.85	54.4	132	49.0	5.5	14.7	22.1	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.20	1.18	13.79	2	1.85	58.0	141	56.0	6.0	15.3	23.0	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.40	1.37	15.05	2	1.85	61.6	150	62.4	6.4	16.0	24.0	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.60	1.37	13.08	2	1.85	65.3	150	62.4	5.9	17.3	26.0	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.80	1.76	15.00	2	1.85	68.9	164	73.5	6.8	17.5	26.2	5.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.00	1.67	51.52	4	1.85	72.5	161	70.9	6.1	19.1	28.6	5.3	18	33	25	22	21	29	27	2.8	4.2	5.0	--	--
4.20	1.86	19.00	2	1.85	76.1	168	76.0	6.3	19.9	29.8	5.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.40	1.27	32.50	4	1.85	79.8	145	59.3	4.3	22.3	33.4	4.6	7	32	24	20	19	27	26	2.1	3.2	3.8	--	--
4.60	1.57	14.95	2	1.85	83.4	157	68.2	4.9	23.1	34.6	5.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.80	1.57	16.00	2	0.96	85.3	157	68.2	4.7	23.7	35.5	5.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.00	1.47	14.02	2	0.95	87.1	154	65.3	4.4	24.3	36.5	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.20	1.47	15.00	2	0.95	89.0	154	65.3	4.3	24.9	37.3	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.40	1.47	25.00	2	0.95	90.9	154	65.3	4.2	25.4	38.1	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.60	1.76	30.00	4	0.91	92.7	164	73.5	4.7	25.8	38.6	5.5	14	33	24	21	20	28	27	2.9	4.4	5.3	--	--
5.80	1.47	22.39	2	0.95	94.5	154	65.3	4.0	26.4	39.6	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.00	1.27	32.50	4	0.88	96.2	145	59.3	3.4	27.1	40.6	4.6	2	32	23	19	18	26	26	2.1	3.2	3.8	--	--
6.20	1.67	19.54	2	0.97	98.1	161	70.9	4.2	27.4	41.1	5.3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.40	1.27	13.98	2	0.93	100.0	145	59.3	3.3	27.9	41.9	4.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.60	1.57	14.16	2	0.96	101.9	157	68.2	3.8	28.7	43.0	5.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.80	1.47	13.27	2	0.95	103.7	154	65.3	3.5	29.3	43.9	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.00	1.47	17.24	2	0.95	105.6	154	65.3	3.4	29.7	44.6	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.20	1.18	8.16	2	0.92	107.4	141	56.0	2.8	28.6	42.8	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.40	2.16	16.54	4	0.93	109.2	177	82.9	4.4	30.5	45.7	6.5	17	33	25	21	20	28	28	3.6	5.4	6.5	--	--
7.60	1.96	14.29	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	--	--
7.80	2.06	17.50	4	0.93	112.8	174	80.7	4.1	31.5	47.3	6.2	15	33	24	21	20	27	27	3.4	5.1	6.2	--	--
8.00	1.86	21.84	2	0.99	114.8	168	76.0	3.7	32.4	48.5	5.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.20	1.96	14.29	4	0.93	116.6	171	78.4	3.8	32.8	49.2	5.9	12	33	24	20	19	27	27	3.3	4.9	5.9	--	--
8.40	1.76	12.86	2	0.98	118.5	164	73.5	3.5	33.4	50.1	5.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.60	2.25	15.03	4	0.94	120.4	180	85.1	4.1	33.6	50.4	6.8	16	33	24	21	20	28	28	3.8	5.6	6.8	--	--
8.80	2.06	11.67	4	0.93	122.2	174	80.7	3.7	34.5	51.7	6.2	13	33	24	20	19	27	27	3.4	5.1	6.2	--	--
9.00	1.86	13.57	2	0.99	124.1	168	76.0	3.4	34.9	52.3	5.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.20	2.65	13.99	4	0.95	126.0	192	92.8	4.3	35.2	52.8	7.9	21	34	25	22	20	28	28	4.4	6.6	7.9	--	--
9.40	2.35	12.00	4	0.94	127.8	183	87.1	3.9	35.9	53.8	7.1	16	33	24	21	20	28	28	3.9	5.9	7.1	--	--
9.60	2.94	15.00	4	0.96	129.7	199	98.0	4.4	36.2	54.3	8.8	24	34	25	22	21	29	29	4.9	7.4	8.8	--	--
9.80	2.65	14.44	4	0.95	131.6	192	92.8	4.1	36.7	55.1	7.9	20	34	25	21	20	28	28	4.4	6.6	7.9	--	--
10.00	2.55	13.00	4	0.95	133.4	189	91.0	3.9	37.4	56.2	7.6	18	33	24	21	20	28	28	4.2	6.4	7.6	--	--
10.20	2.55	13.00	4	0.95	135.3	189	91.0	3.8	38.1	57.1	7.6	18	33	24	21	20	28	28	4.2	6.4	7.6	--	--
10.40	2.94	17.96	4	0.96	137.2	199	98.0	4.1	38.3	57.4	8.8	22	34	25	22	20	28	29	4.9	7.4	8.8	--	--
10.60	3.14	14.10	4	0.97	139.1	204	104.5	4.4	38.8	58.2	9.4	24	34	25	22	21	29	29	5.2	7.8	9.4	--	--
10.80	3.04	15.50	4	0.97	141.0	202	101.3	4.2	39.4	59.0	9.1	23	34	25	22	21	28	29	5.1	7.6	9.1	--	--
11.00	2.65	14.44	4	0.95	142.8	192	92.8	3.7	40.3	60.5	7.9	18	33	24	21	20	28	28	4.4	6.6	7.9	--	--
11.20	2.35	15.00	4	0.94	144.7	183	87.1	3.3	40.5	60.8	7.1	13	33	24	20	19	27	28	3.9	5.9	7.1	--	--
11.40	2.16	12.22	4	0.93	146.5	177	82.9	3.1	40.4	60.5	6.5	10	32	23	20	19	26	28	3.6	5.4	6.5	--	--
11.60	2.74	14.97	4	0.96	148.4	194	94.6	3.6	41.9	62.8	8.2	18	33	24	21	20	28	28	4.6	6.9	8.2	--	

Committente	Studio tecnico	U.M.:	MPa	Data exec.	27/11/2019
Cantiere	Studio del terreno di fondazione	Pagina	2		
Località	Medolla, SS12	Elaborato		Falda	-4.70 m da p.c.

FON111

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

CPT**2**

Riferimento

1005-2019Committente **Studio tecnico**Cantiere **Studio del terreno di fondazione**Località **Medolla, SS12**U.M.: **MPa**

Data esec. 27/11/2019

Pagina 1

Elaborato

Falda -4.80 m da p.c.

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %
0.20	0.0	0.0		0.00	113.00	0		15.20	32.0	65.0		3.14	267.00	12	8.3
0.40	24.0	41.0		2.35	127.00	19	5.3	15.40	40.0	80.0		3.92	287.00	14	7.2
0.60	16.0	35.0		1.57	60.00	27	3.8	15.60	35.0	78.0		3.43	200.00	18	5.7
0.80	11.0	20.0		1.08	60.00	18	5.5	15.80	30.0	60.0		2.94	187.00	16	6.2
1.00	12.0	21.0		1.18	133.00	9	11.1	16.00	32.0	60.0		3.14	173.00	18	5.4
1.20	16.0	36.0		1.57	133.00	12	8.3	16.20	38.0	64.0		3.72	220.00	17	5.8
1.40	24.0	44.0		2.35	167.00	14	7.0	16.40	23.0	56.0		2.25	147.00	16	6.4
1.60	41.0	66.0		4.02	140.00	29	3.4	16.60	20.0	42.0		1.96	147.00	14	7.4
1.80	48.0	69.0		4.70	227.00	21	4.7	16.80	22.0	44.0		2.16	167.00	13	7.6
2.00	46.0	80.0		4.51	240.00	19	5.2	17.00	26.0	51.0		2.55	213.00	12	8.2
2.20	42.0	78.0		4.12	240.00	18	5.7	17.20	32.0	64.0		3.14	253.00	13	7.9
2.40	36.0	72.0		3.53	167.00	22	4.6	17.40	35.0	73.0		3.43	327.00	11	9.3
2.60	32.0	57.0		3.14	113.00	28	3.5	17.60	40.0	89.0		3.92	287.00	14	7.2
2.80	17.0	34.0		1.67	87.00	20	5.1	17.80	35.0	78.0		3.43	220.00	16	6.3
3.00	12.0	25.0		1.18	60.00	20	5.0	18.00	25.0	58.0		2.45	100.00	25	4.0
3.20	10.0	19.0		0.98	80.00	13	8.0	18.20	17.0	32.0		1.67	107.00	16	6.3
3.40	12.0	24.0		1.18	87.00	14	7.3	18.40	18.0	34.0		1.76	133.00	14	7.4
3.60	13.0	26.0		1.27	60.00	22	4.6	18.60	23.0	43.0		2.25	167.00	14	7.3
3.80	15.0	24.0		1.47	93.00	16	6.2	18.80	28.0	53.0		2.74	227.00	12	8.1
4.00	14.0	28.0		1.37	107.00	13	7.6	19.00	33.0	67.0		3.23	267.00	12	8.1
4.20	17.0	33.0		1.67	100.00	17	5.9	19.20	40.0	80.0		3.92	320.00	13	8.0
4.40	17.0	32.0		1.67	80.00	21	4.7	19.40	35.0	83.0		3.43	267.00	13	7.6
4.60	17.0	29.0		1.67	80.00	21	4.7	19.60	35.0	75.0		3.43	207.00	17	5.9
4.80	14.0	26.0		1.37	87.00	16	6.2	19.80	29.0	60.0		2.84	140.00	21	4.8
5.00	15.0	28.0		1.47	87.00	17	5.8	20.00	21.0	42.0		2.06	127.00	17	6.0
5.20	14.0	27.0		1.37	113.00	12	8.1	20.20	19.0	38.0		1.86			
5.40	15.0	32.0		1.47	120.00	13	8.0								
5.60	15.0	33.0		1.47	107.00	14	7.1								
5.80	14.0	30.0		1.37	100.00	14	7.1								
6.00	13.0	28.0		1.27	80.00	16	6.2								
6.20	12.0	24.0		1.18	93.00	13	7.8								
6.40	14.0	28.0		1.37	87.00	16	6.2								
6.60	13.0	26.0		1.27	53.00	25	4.1								
6.80	8.0	16.0		0.78	40.00	20	5.0								
7.00	9.0	15.0		0.88	60.00	15	6.7								
7.20	9.0	18.0		0.88	87.00	10	9.7								
7.40	18.0	31.0		1.76	100.00	18	5.6								
7.60	19.0	34.0		1.86	133.00	14	7.0								
7.80	20.0	40.0		1.96	153.00	13	7.7								
8.00	22.0	45.0		2.16	133.00	17	6.0								
8.20	22.0	42.0		2.16	160.00	14	7.3								
8.40	24.0	48.0		2.35	40.00	60	1.7								
8.60	26.0	32.0		2.55	153.00	17	5.9								
8.80	25.0	48.0		2.45	140.00	18	5.6								
9.00	21.0	42.0		2.06	80.00	26	3.8								
9.20	19.0	31.0		1.86	160.00	12	8.4								
9.40	20.0	44.0		1.96	140.00	14	7.0								
9.60	24.0	45.0		2.35	167.00	14	7.0								
9.80	25.0	50.0		2.45	200.00	13	8.0								
10.00	28.0	58.0		2.74	207.00	14	7.4								
10.20	29.0	60.0		2.84	200.00	15	6.9								
10.40	27.0	57.0		2.65	160.00	17	5.9								
10.60	24.0	48.0		2.35	160.00	15	6.7								
10.80	28.0	52.0		2.74	193.00	15	6.9								
11.00	33.0	62.0		3.23	180.00	18	5.5								
11.20	34.0	61.0		3.33	167.00	20	4.9								
11.40	38.0	63.0		3.72	107.00	36	2.8								
11.60	29.0	45.0		2.84	220.00	13	7.6								
11.80	26.0	59.0		2.55	213.00	12	8.2								
12.00	28.0	60.0		2.74	180.00	16	6.4								
12.20	31.0	58.0		3.04	213.00	15	6.9								
12.40	25.0	57.0		2.45	200.00	13	8.0								
12.60	24.0	54.0		2.35	207.00	12	8.6								
12.80	29.0	60.0		2.84	213.00	14	7.3								
13.00	36.0	68.0		3.53	247.00	15	6.9								
13.20	41.0	78.0		4.02	273.00	15	6.7								
13.40	36.0	77.0		3.53	260.00	14	7.2								
13.60	31.0	70.0		3.04	267.00	12	8.6								
13.80	36.0	76.0		3.53	280.00	13	7.8								
14.00	42.0	84.0		4.12	307.00	14	7.3								
14.20	50.0	96.0		4.90	327.00	15	6.5								
14.40	51.0	100.0		5.00	380.00	13	7.5								
14.60	40.0	97.0		3.92	213.00	19	5.3								
14.80	28.0	60.0		2.74	160.00	18	5.7								
15.00	27.0	51.0		2.65	220.00	12	8.1								

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

0.20 m sopra quota qc

F = rapporto Begemann (qc / fs)

Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT

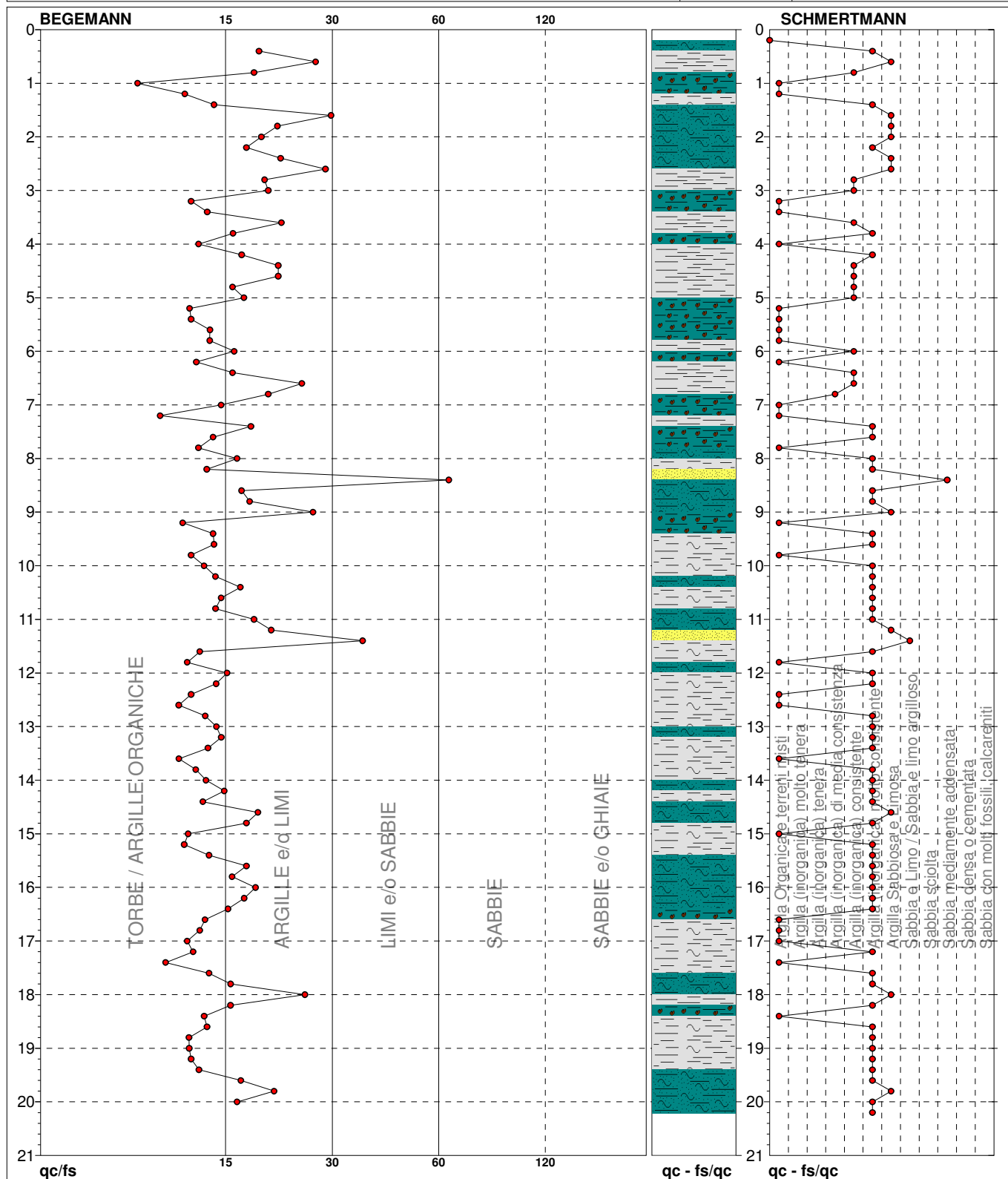
2

Riferimento

1005-2019

Committente **Studio tecnico**
Cantiere **Studio del terreno di fondazione**
Località **Medolla, SS12**

U.M.: **MPa**
Scala: **1:105**
Pagina **1**
Elaborato
Data esec. **27/11/2019**
Falda **-4.80 m da p.c.**



TORBE / ARGILLE OR	52 punti, 51.49%	Argilla Organica e terreni misti	25 punti, 24.75%	Argilla Sabbiosa e Limosa	11 punti, 10.89%
ARGILLE e/o LIMI	46 punti, 45.54%	Argilla (inorganica) di media consistenza	1 punti, 0.99%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo argilloso	1 punti, 0.99%
LIMI e/o SABBIE	2 punti, 1.98%	Argilla (inorganica) consistente	11 punti, 10.89%	Sabbia mediamente addensata	1 punti, 0.99%
		Argilla (inorganica) molto consistente	49 punti, 48.51%		

FON111

Software by dott. Geol. Diego Merlin +39 0425-840820

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

PARAMETRI GEOTECNICI

CPT

Riferimento



2**1005-2019**

Committente **Studio tecnico**
Cantiere **Studio del terreno di fondazione**
Località **Medolla, SS12**

U.M.: **MPa** Data esec. 27/11/2019Pagina 1
Elaborato Falda -4.80 m da p.c.

NATURA COESIVA												NATURA GRANULARE											
H	qc	qc/fs	zone	γ'	σ'vo	Vs	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	Sc	Ca	Ko	DB	DM	Me	E'50	E'25	Mo	FL1	FL2
m	U.M.			t/m³	kPa	m/s	kPa	%	U.M.	U.M.	U.M.	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	U.M.	U.M.	U.M.		
0.20	--	--	4	1.85	3.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.40	2.35	18.90	4	1.85	7.3	183	87.1	99.9	14.8	22.2	7.1	86	42	38	36	33	42	28	3.9	5.9	7.1	--	--
0.60	1.57	26.67	2	1.85	10.9	157	68.2	62.3	11.6	17.4	5.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.80	1.08	18.33	2	1.85	14.5	137	52.6	31.4	8.9	13.4	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.00	1.18	9.02	2	1.85	18.1	141	56.0	25.7	9.5	14.3	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.20	1.57	12.03	2	1.85	21.8	157	68.2	26.2	11.6	17.4	5.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.40	2.35	14.37	4	1.85	25.4	183	87.1	29.3	14.8	22.2	7.1	56	38	32	29	27	37	28	3.9	5.9	7.1	--	--
1.60	4.02	29.29	4	1.85	29.0	224	133.9	42.5	22.8	34.2	12.1	71	40	34	31	29	39	30	6.7	10.0	12.1	--	--
1.80	4.70	21.15	4	1.85	32.6	238	156.8	44.7	26.7	40.0	14.1	74	40	34	32	30	39	31	7.8	11.8	14.1	--	--
2.00	4.51	19.17	4	1.85	36.3	234	150.3	37.1	25.5	38.3	13.5	70	40	34	31	29	38	31	7.5	11.3	13.5	--	--
2.20	4.12	17.50	4	1.85	39.9	226	137.2	29.4	23.3	35.0	12.3	64	39	33	30	28	37	30	6.9	10.3	12.3	--	--
2.40	3.53	21.56	4	1.85	43.5	214	117.6	21.8	20.0	30.0	10.6	57	38	32	29	27	36	30	5.9	8.8	10.6	--	--
2.60	3.14	28.32	4	1.85	47.1	204	104.5	17.0	17.8	26.7	9.4	51	37	31	28	26	35	29	5.2	7.8	9.4	--	--
2.80	1.67	19.54	2	1.85	50.8	161	70.9	9.5	12.2	18.3	5.3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.00	1.18	20.00	2	1.85	54.4	141	56.0	6.5	14.0	21.0	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.20	0.98	12.50	2	1.85	58.0	132	49.0	5.1	16.0	24.0	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.40	1.18	13.79	2	1.85	61.6	141	56.0	5.6	16.7	25.0	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.60	1.27	21.67	2	1.85	65.3	145	59.3	5.6	17.6	26.5	4.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.80	1.47	16.13	2	1.85	68.9	154	65.3	5.9	18.3	27.5	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.00	1.37	13.08	2	1.85	72.5	150	62.4	5.2	19.9	29.8	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.20	1.67	17.00	2	1.85	76.1	161	70.9	5.7	20.4	30.6	5.3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.40	1.67	21.25	2	1.85	79.8	161	70.9	5.4	21.7	32.5	5.3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.60	1.67	21.25	2	1.85	83.4	161	70.9	5.1	22.9	34.4	5.3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.80	1.37	16.09	2	0.94	85.2	150	62.4	4.2	23.8	35.7	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.00	1.47	17.24	2	0.95	87.1	154	65.3	4.4	24.3	36.5	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.20	1.37	12.39	2	0.94	88.9	150	62.4	4.0	24.8	37.2	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.40	1.47	12.50	2	0.95	90.8	154	65.3	4.2	25.4	38.0	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.60	1.47	14.02	2	0.95	92.7	154	65.3	4.1	25.9	38.8	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.80	1.37	14.00	2	0.94	94.5	150	62.4	3.7	26.7	40.0	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.00	1.27	16.25	2	0.93	96.3	145	59.3	3.4	27.1	40.7	4.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.20	1.18	12.90	2	0.92	98.1	141	56.0	3.1	27.1	40.7	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.40	1.37	16.09	2	0.94	100.0	150	62.4	3.5	28.2	42.3	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.60	1.27	24.53	2	0.93	101.8	145	59.3	3.2	28.3	42.4	4.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.80	0.78	20.00	2	0.86	103.5	121	39.2	1.9	22.2	33.3	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.00	0.88	15.00	2	0.88	105.2	127	44.1	2.1	24.4	36.6	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.20	0.88	10.34	2	0.88	106.9	127	44.1	2.1	24.5	36.8	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.40	1.76	18.00	2	0.98	108.9	164	73.5	3.8	30.6	45.9	5.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.60	1.86	14.29	2	0.99	110.8	168	76.0	3.9	31.0	46.6	5.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.80	1.96	13.07	4	0.93	112.6	171	78.4	4.0	31.4	47.1	5.9	13	33	24	21	19	27	27	3.3	4.9	5.9	--	--
8.00	2.16	16.54	4	0.93	114.4	177	82.9	4.2	32.0	47.9	6.5	16	33	24	21	20	28	28	3.6	5.4	6.5	--	--
8.20	2.16	13.75	4	0.93	116.3	177	82.9	4.1	32.5	48.7	6.5	16	33	24	21	20	28	28	3.6	5.4	6.5	--	--
8.40	2.35	60.00	3	0.86	118.0	183	--	--	--	--	--	18	33	25	21	20	28	28	3.9	5.9	7.1	--	--
8.60	2.55	16.99	4	0.95	119.8	189	91.0	4.5	33.4	50.2	7.6	21	34	25	22	20	28	28	4.2	6.4	7.6	--	--
8.80	2.45	17.86	4	0.94	121.7	186	89.1	4.3	34.0	51.0	7.4	19	34	25	21	20	28	28	4.1	6.1	7.4	--	--
9.00	2.06	26.25	4	0.93	123.5	174	80.7	3.7	34.9	52.3	6.2	13	33	24	20	19	27	27	3.4	5.1	6.2	--	--
9.20	1.86	11.88	2	0.99	125.4	168	76.0	3.4	35.2	52.8	5.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.40	1.96	14.29	4	0.93	127.3	171	78.4	3.4	35.8	53.7	5.9	10	32	23	20	19	27	27	3.3	4.9	5.9	--	--
9.60	2.35	14.37	4	0.94	129.1	183	87.1	3.8	36.3	54.5	7.1	16	33	24	21	20	27	28	3.9	5.9	7.1	--	--
9.80	2.45	12.50	4	0.94	130.9	186	89.1	3.9	36.8	55.1	7.4	17	33	24	21	20	28	28	4.1	6.1	7.4	--	--
10.00	2.74	13.53	4	0.96	132.8	194	94.6	4.1	37.1	55.6	8.2	21	34	25	22	20	28	28	4.6	6.9	8.2	--	--
10.20	2.84	14.50	4	0.96	134.7	197	96.3	4.1	37.6	56.4	8.5	22	34	25	22	20	28	29	4.7	7.1	8.5	--	--
10.40	2.65	16.88	4	0.95	136.6	192	92.8	3.9	38.3	57.5	7.9	19	34	25	21	20	28	28	4.4	6.6	7.9	--	--
10.60	2.35	15.00	4	0.94	138.4	183	87.1	3.5	39.0	58.6	7.1	15	33	24	21	19	27	28	3.9	5.9	7.1	--	--
10.80	2.74	14.51	4	0.96	140.3	194	94.6	3.8	39.5	59.2	8.2	19	34	25	21	20	28	28	4.6	6.9	8.2	--	--
11.00	3.23	18.33	4	0.97	142.2	207	107.8	4.4	39.7	59.5	9.7	25	34	25	22	21	29	29	5.4	8.1	9.7	--	--
11.20	3.33	20.36	4	0.98	144.1	209	111.1	4.5	40.2	60.3	10.0	26	34	25	22	21	29	29	5.6	8.3	10.0	--	--
11.40	3.72	35.51	3	0.90	145.9	218	--	--	--	--	--	29	35	26	23	21	29	30	6.2	9.3			

Committente	Studio tecnico	U.M.:	MPa	Data exec.	27/11/2019
Cantiere	Studio del terreno di fondazione	Pagina	2		
Località	Medolla, SS12	Elaborato		Falda	-4.80 m da p.c.

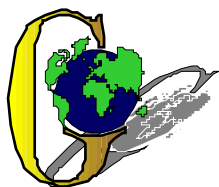
H m	qc U.M.	qc/fs	zone	γ' t/m³	σ'_{vo} kPa	Vs m/s	NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE											
							Cu kPa	OCR %	Eu50 U.M.	Eu25 U.M.	Mo U.M.	Dr %	Sc (°)	Ca (°)	Ko (°)	DB (°)	DM (°)	Me (°)	E'50 U.M.	E'25 U.M.	Mo U.M.	FL1	FL2
20.00	2.06	16.54	4 	0.93	229.4	174	80.7	1.7	46.4	69.6	6.2	--	31	21	17	16	25	27	3.4	5.1	6.2	--	--
20.20	1.86	--	3 	0.85	231.0	168	--	--	--	--	--	--	31	20	17	16	25	27	3.1	4.7	5.6	--	--

GEO GROUP s.r.l.

Indagini geognostiche e geofisiche – geologia applicata alle costruzioni – laboratorio geotecnico - idrogeologia
– coltivazione cave– bonifiche – consolidamenti – geologia ambientale – consulenze geologiche e geotecniche

ALLEGATO N° 2

Indagini sismiche



GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41123 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax. 059-59.60.176

p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it - e-mail: info@geogroupmodena.it

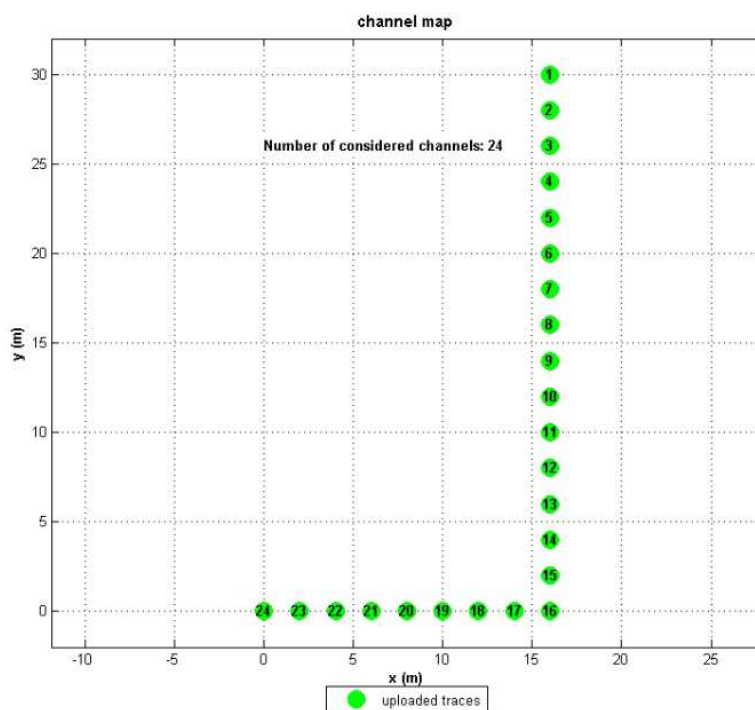
ANALISI SISMICA DI SITO SECONDO METODOLOGIA ESAC

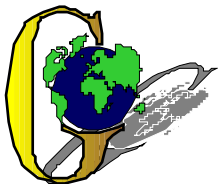
Cantiere: Medolla, SS12
Lavoro: Studio del terreno di fondazione
Responsabile: Dott. Geol. Pier Luigi Dallari

ESAC
Rif. 739/19



UBICAZIONE DELLO STENDIMENTO SISMICO IMPIEGATO





GEO GROUP s.r.l.

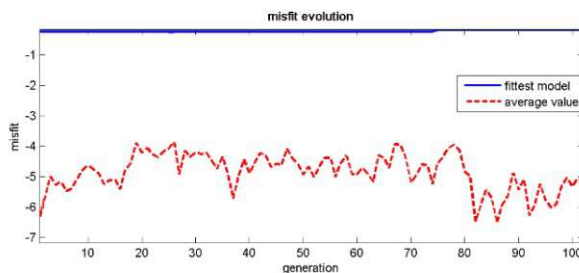
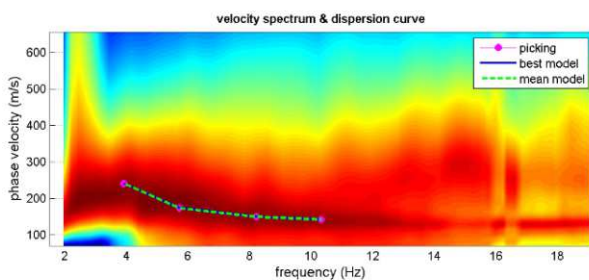
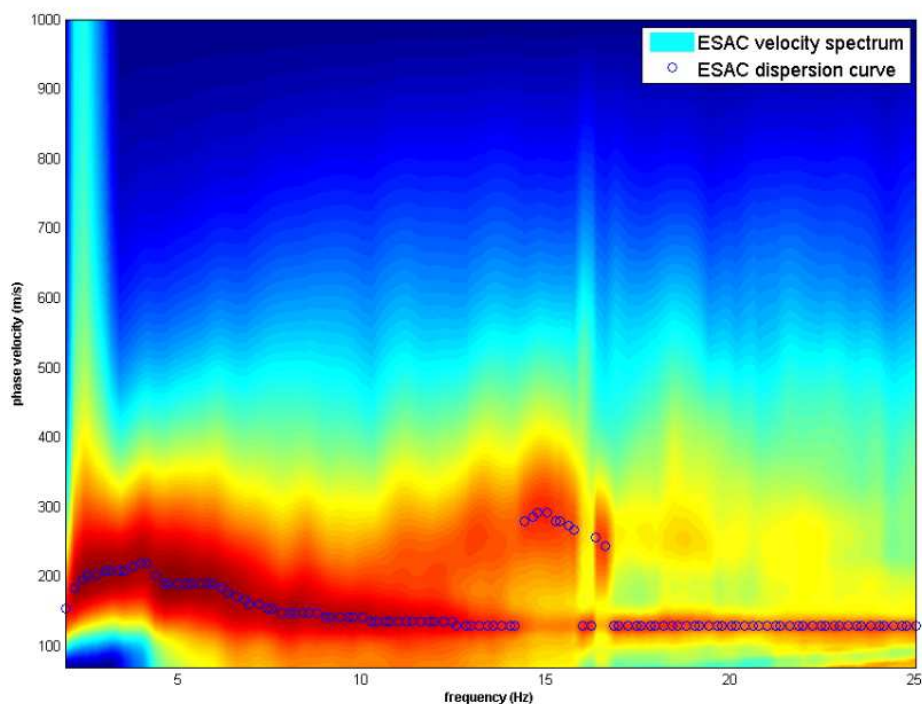
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41123 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)

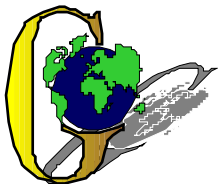
Tel. 059-39.67.169 - Fax. 059-59.60.176

p. IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it - e-mail: info@geogroupmodena.it

SPETTRO RELATIVO ALLE VELOCITA' DI FASE, REGISTRATE NEL DOMINIO DELLE FREQUENZE



www.winmasw.com



GEO GROUP s.r.l.

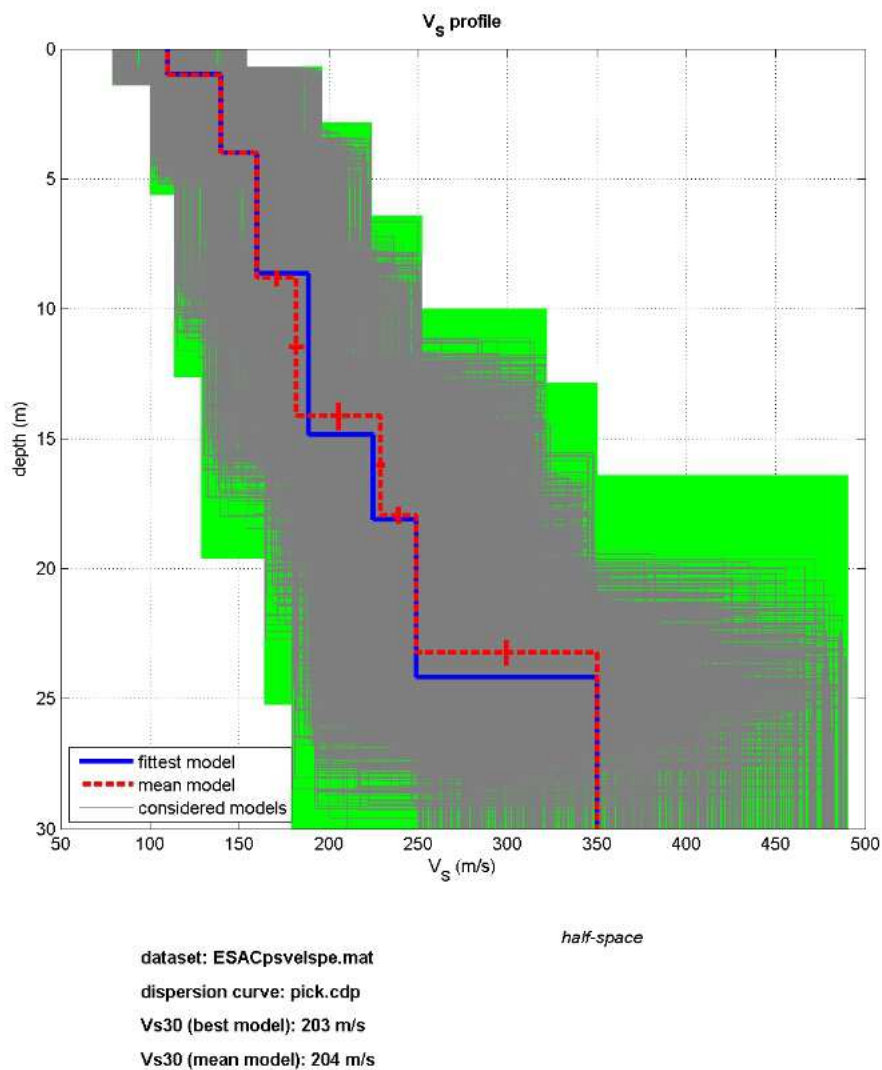
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41123 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)

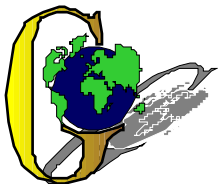
Tel. 059-39.67.169 - Fax. 059-59.60.176

p. IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it - e-mail: info@geogroupmodena.it

MODELLO V_{s30} DERIVATO DALL'INDAGINE ESAC ESEGUITA



BEST MODEL
 $V_{s30} = 203$ m/s

**GEO GROUP s.r.l.**

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41123 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax. 059-59.60.176

p. IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it - e-mail: info@geogroupmodena.it

ANALISI SISMICA DI SITO SECONDO METODOLOGIA M.A.S.W.

Cantiere: Medolla, SS12

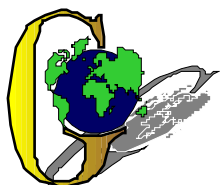
Lavoro: Studio del terreno di fondazione

Responsabile: Dott. Geol. Pier Luigi Dallari

MASW
Rif. 739/19



UBICAZIONE DELLO STENDIMENTO SISMICO IMPIEGATO



GEO GROUP s.r.l.

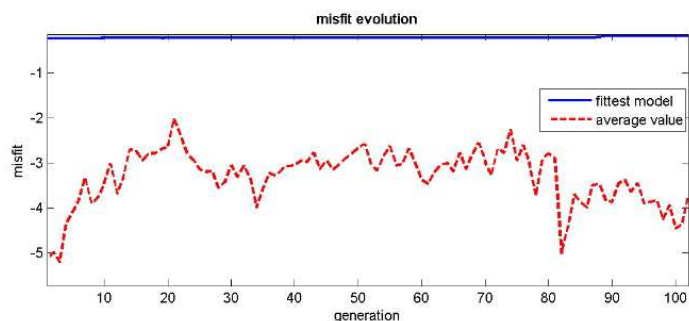
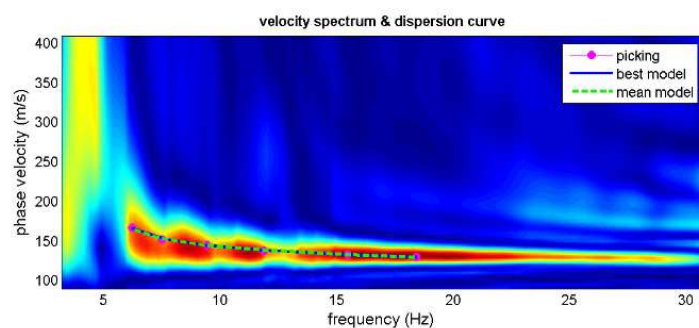
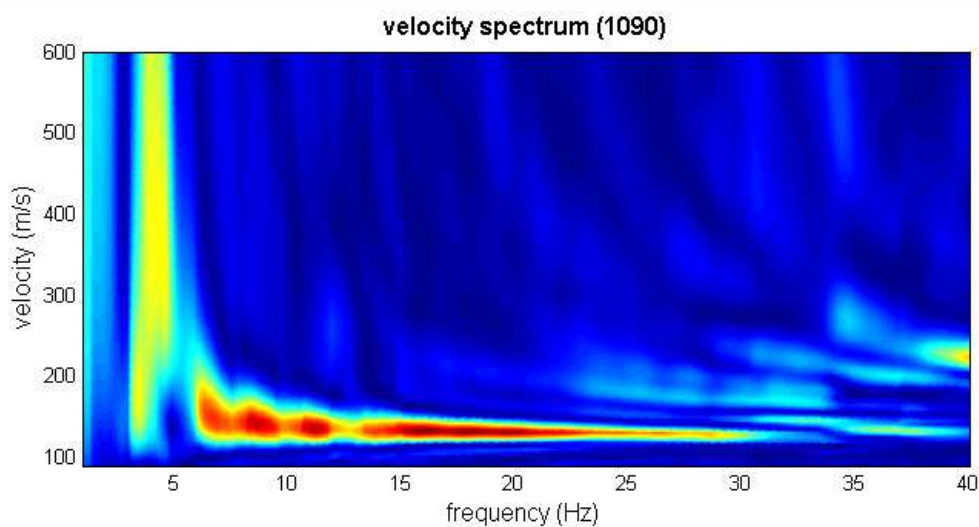
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41123 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)

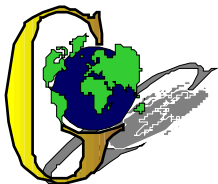
Tel. 059-39.67.169 - Fax. 059-59.60.176

p. IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it - e-mail: info@geogroupmodena.it

SPETTRO RELATIVO ALLE VELOCITA' DI FASE, REGISTRATE NEL DOMINIO DELLE FREQUENZE



www.winmasw.com



GEO GROUP s.r.l.

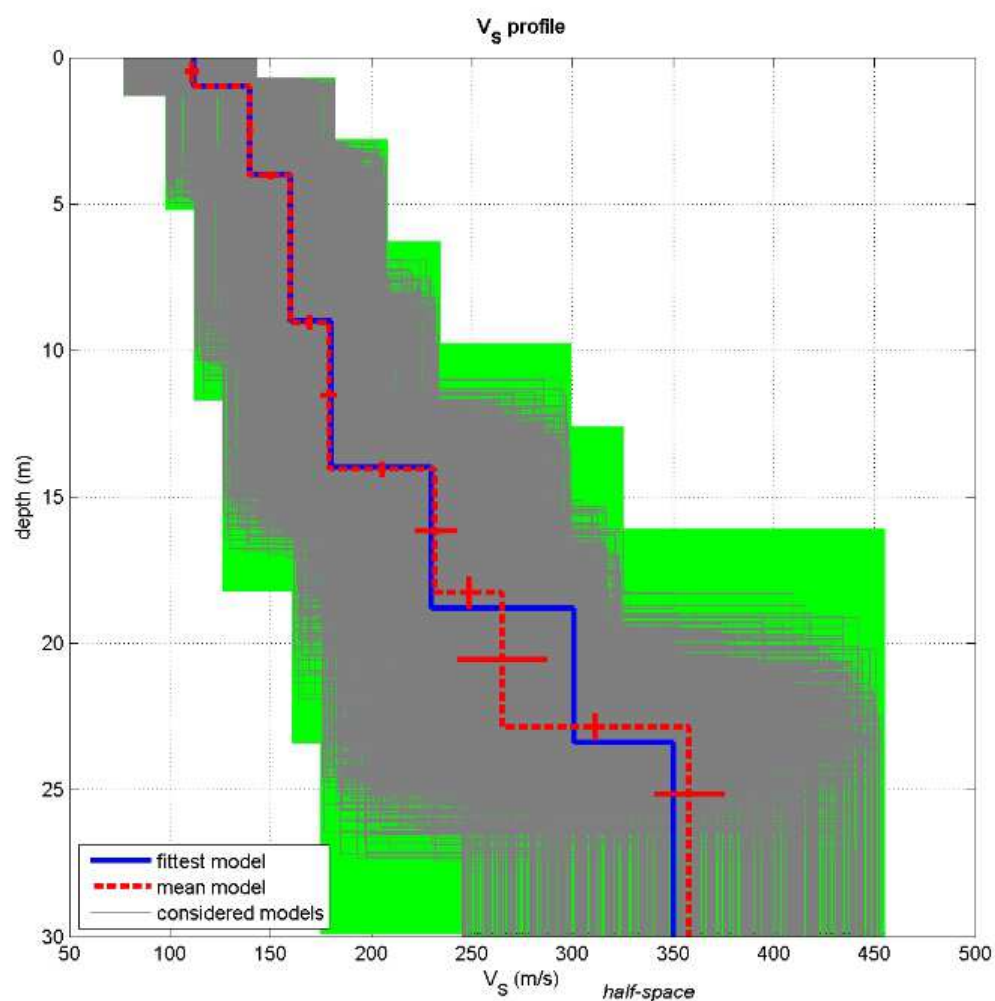
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41123 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax. 059-59.60.176

p. IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it - e-mail: info@geogroupmodena.it

MODELLO Vs30 DERIVATO DALL'INDAGINE MASW ESEGUITA



dataset: 1090.dat

dispersion curve: pick1.cdp

Vs30 (best model): 208 m/s

Vs30 (mean model): 206 m/s

BEST MODEL
Vs30 = 208 m/s

MEDOLLA, SS12 – HV 1

Instrument: TE3-0303/01-17

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: 51

Start recording: 26/11/19 12:02:24 End recording: 26/11/19 12:22:24

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 90% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

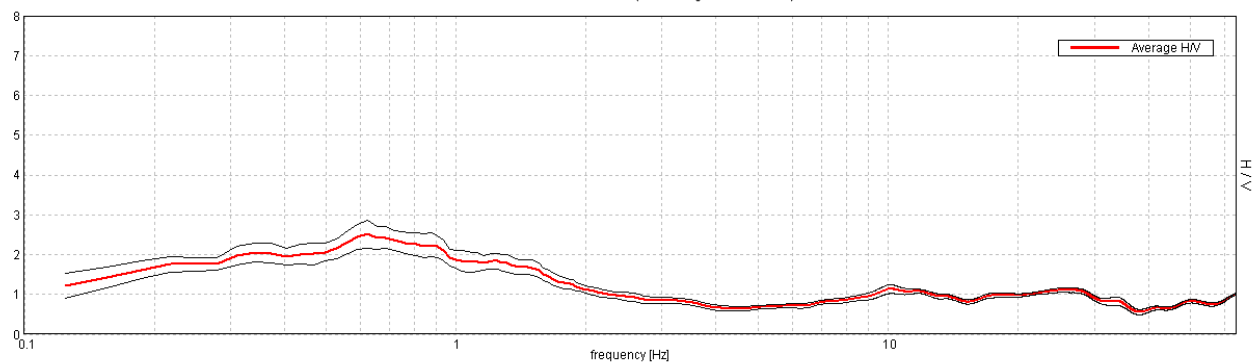
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

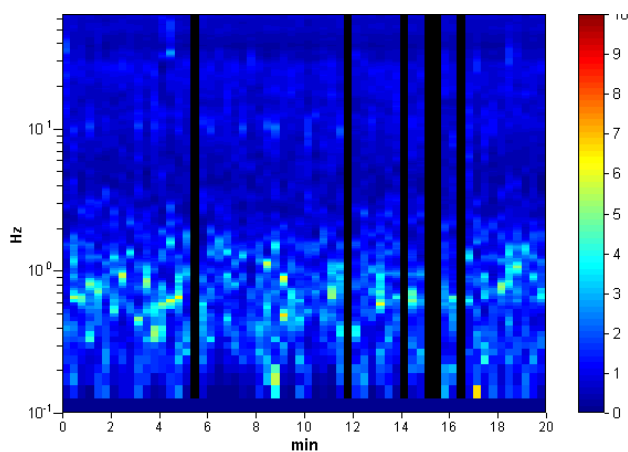
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

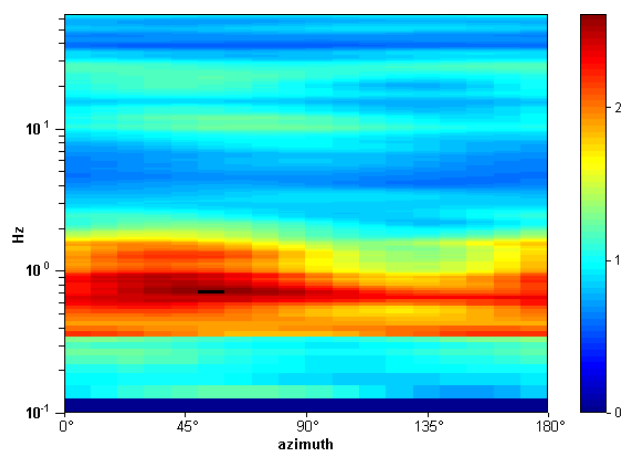
Max. H/V at 0.63 ± 0.06 Hz. (In the range 0.0 - 30.0 Hz).



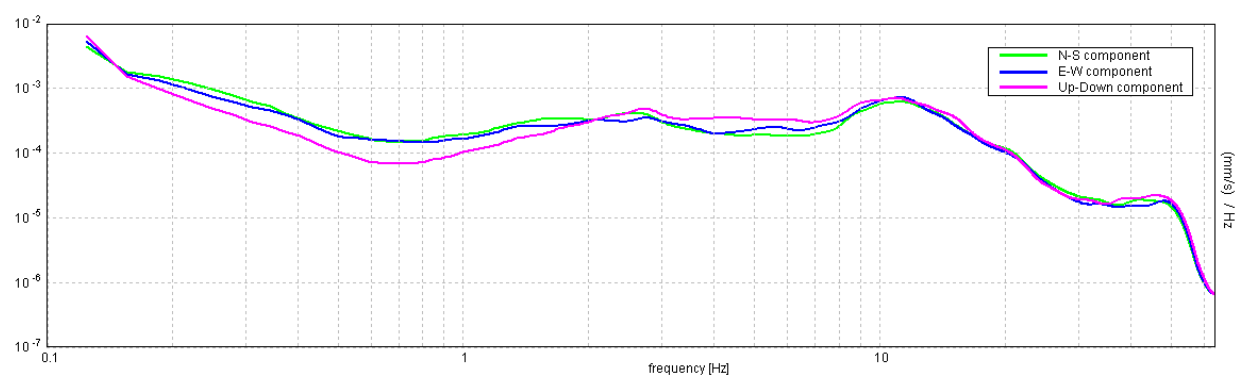
H/V TIME HISTORY



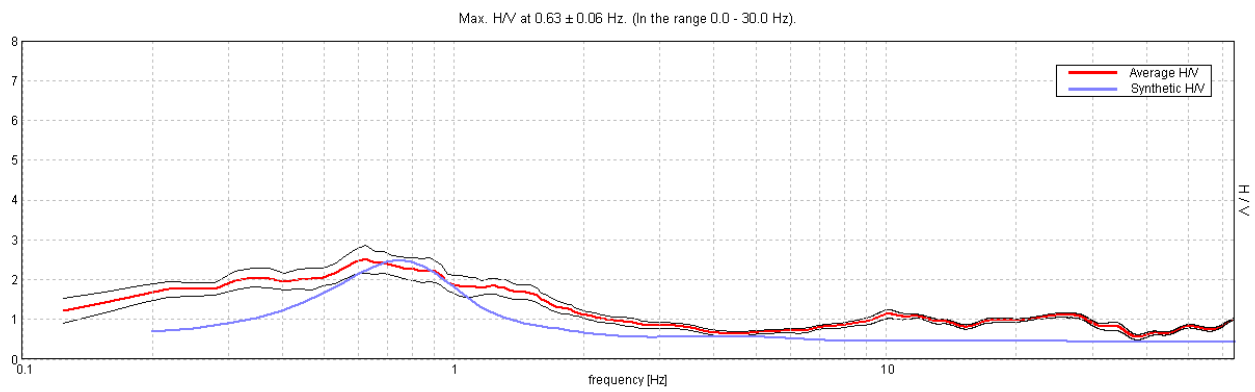
DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA

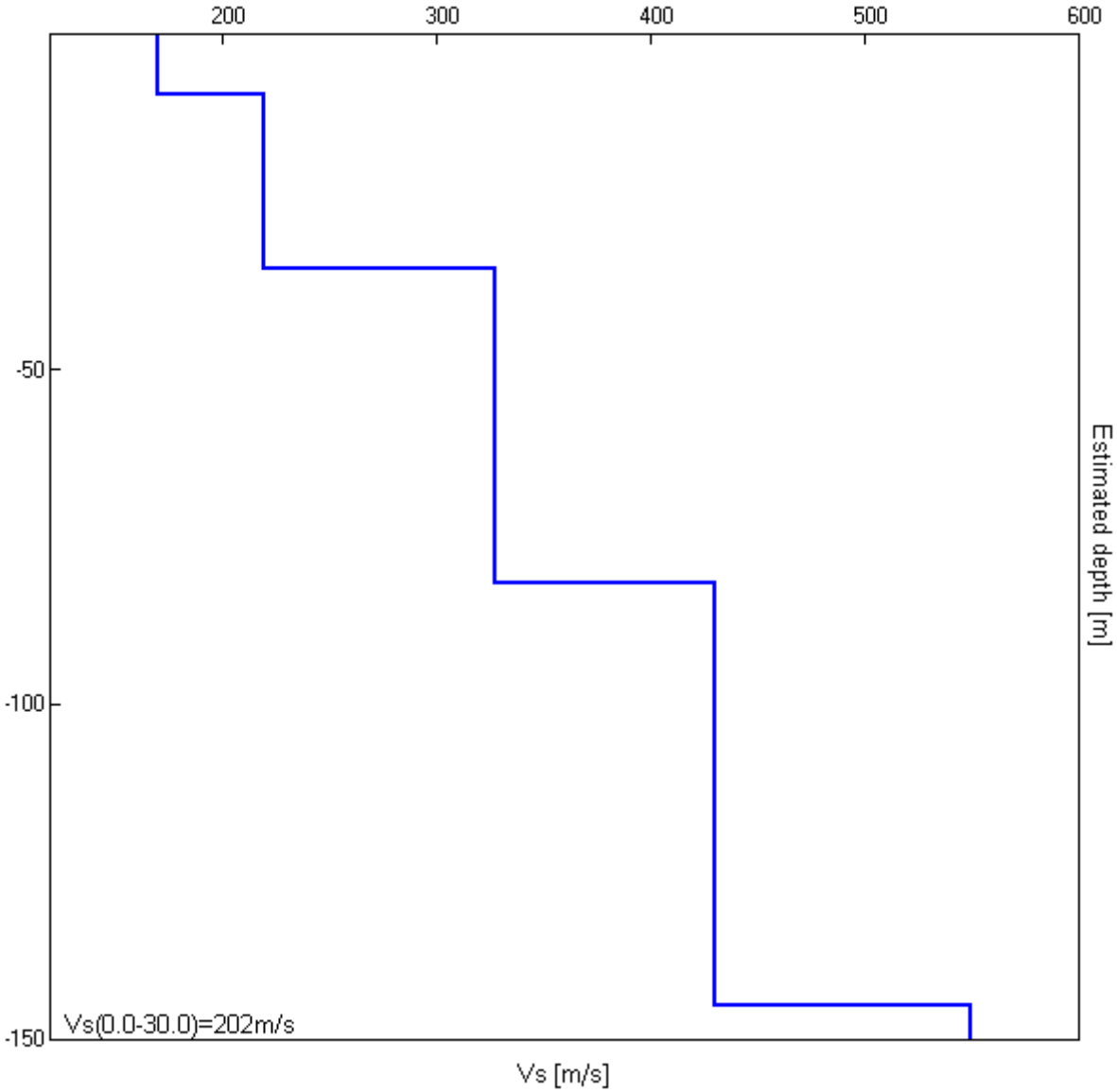


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
9.00	9.00	170	0.42
35.00	26.00	220	0.42
82.00	47.00	328	0.42
145.00	63.00	430	0.42
inf.	inf.	550	0.42

Vs(0.0-30.0)=202m/s



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

Max. H/V at 0.63 ± 0.06 Hz (in the range 0.0 - 30.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.63 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$675.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 31 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 $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.875 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.51 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.09255 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.05784 < 0.09375$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.3488 < 2.0$	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

GEO GROUP s.r.l.

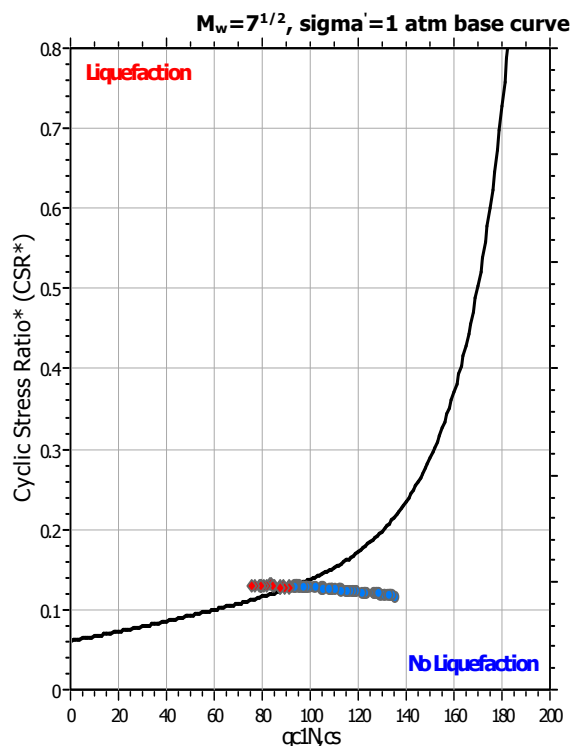
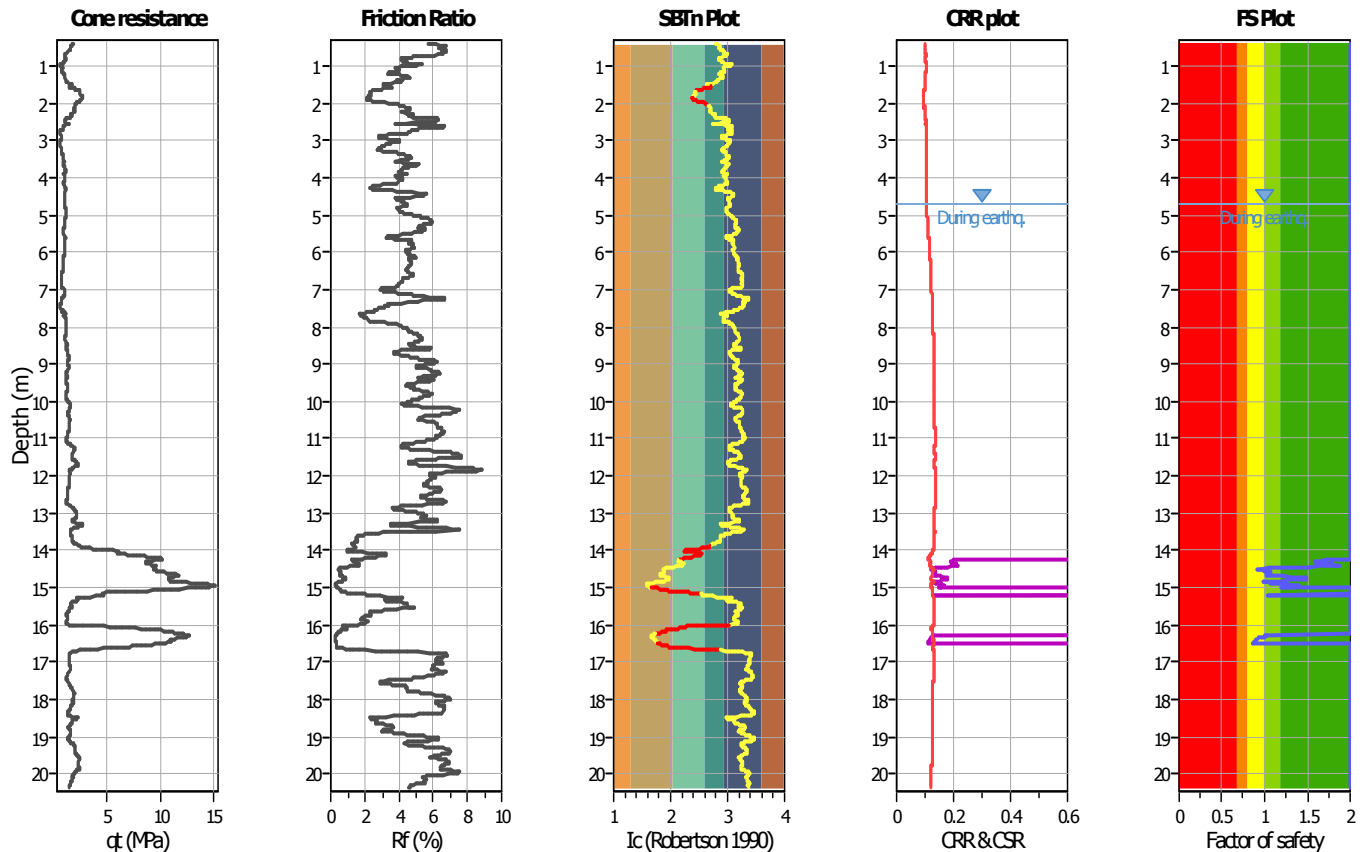
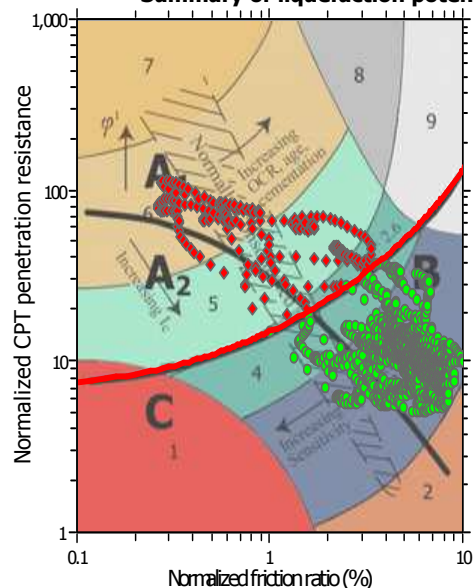
Indagini geognostiche e geofisiche – geologia applicata alle costruzioni – laboratorio geotecnico - idrogeologia
– coltivazione cave– bonifiche – consolidamenti – geologia ambientale – consulenze geologiche e geotecniche

ALLEGATO N° 3

Verifica alla liquefazione

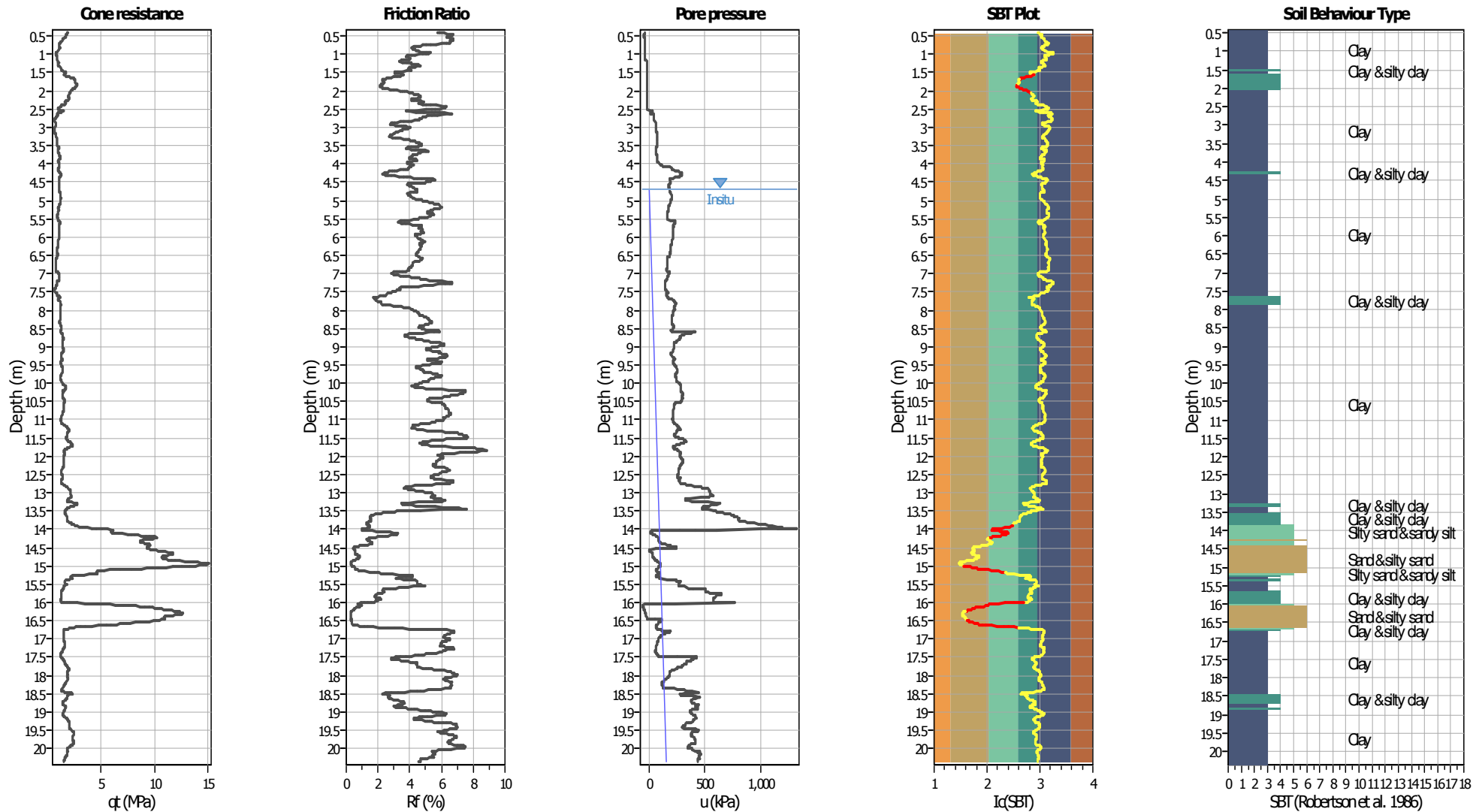
LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT
Project title : Studio del terreno di fondazione
Location : Medolla, SS12
CPT file : CPTU
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	4.70 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	4.70 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:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	Limit depth:	20.00 m
Peak ground acceleration:	0.19	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_0 applied:	Yes	MSF method:	Method


Summary of liquefaction potential


Zone A₁: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading
 Zone A₂: Cyclic liquefaction and strength loss likely depending on loading and ground geometry
 Zone B: Liquefaction and post-earthquake strength loss unlikely, check cyclic softening
 Zone C: Cyclic liquefaction and strength loss possible depending on soil plasticity, brittleness/sensitivity, strain to peak undrained strength and ground geometry

CPT basic interpretation plots



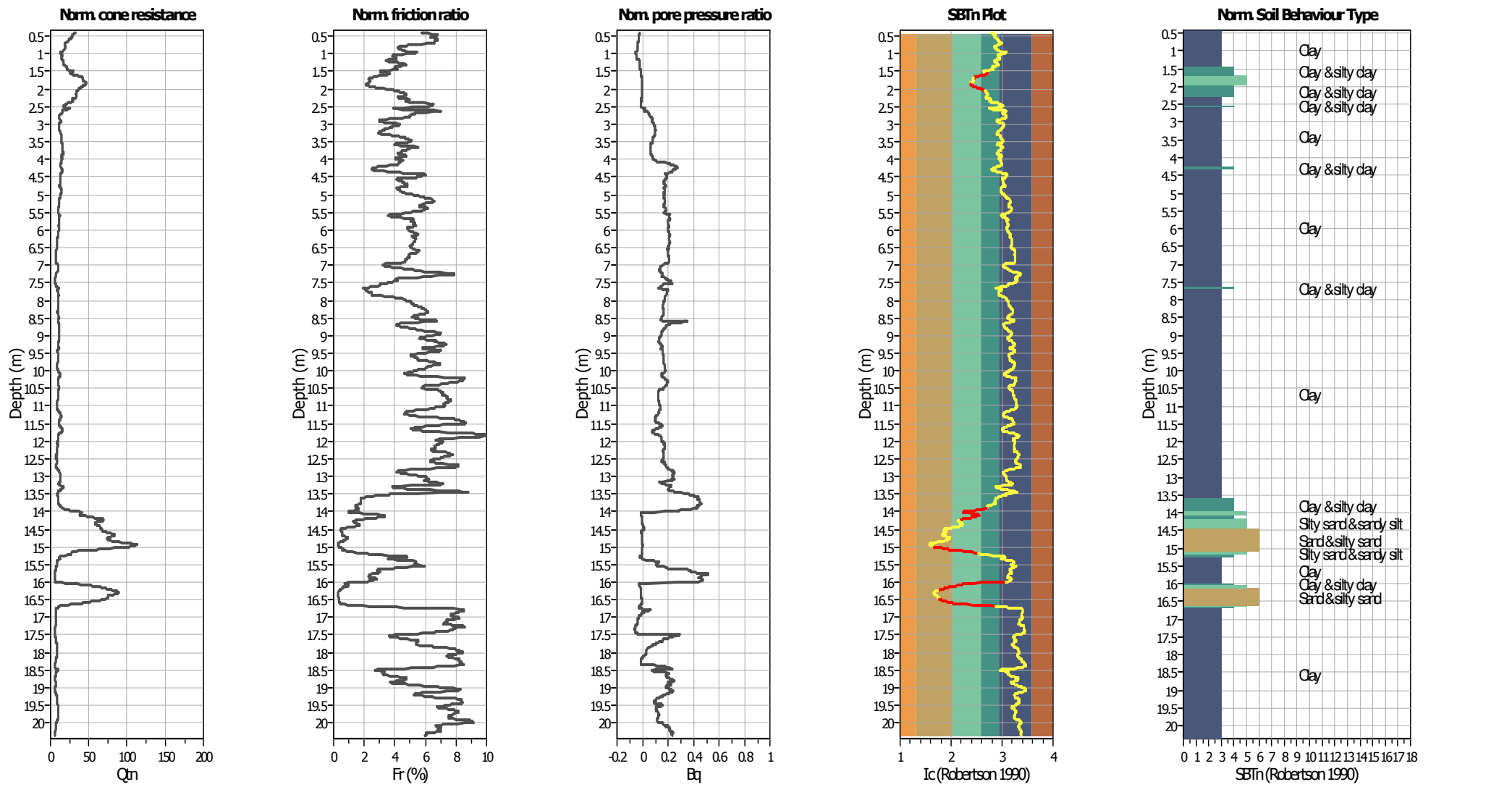
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	4.70 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 _g 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:	Yes
Depth to water table (insitu):	4.70 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

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)



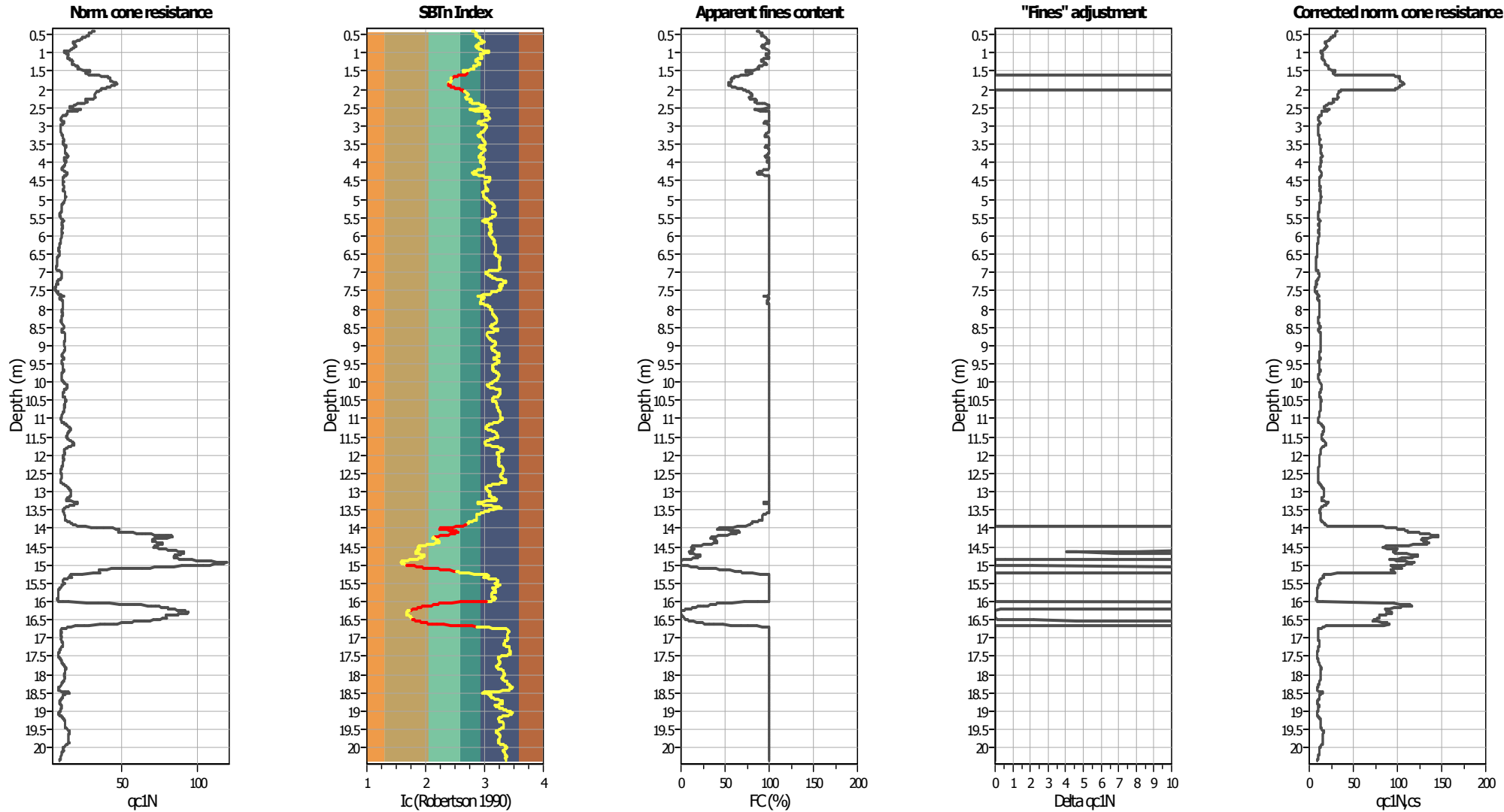
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	4.70 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 ₀ 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:	Yes
Depth to water table (insitu):	4.70 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

SBTn legend

1. Sensitive fine grained	4. Clayey silt to silty	7. Gravelly 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

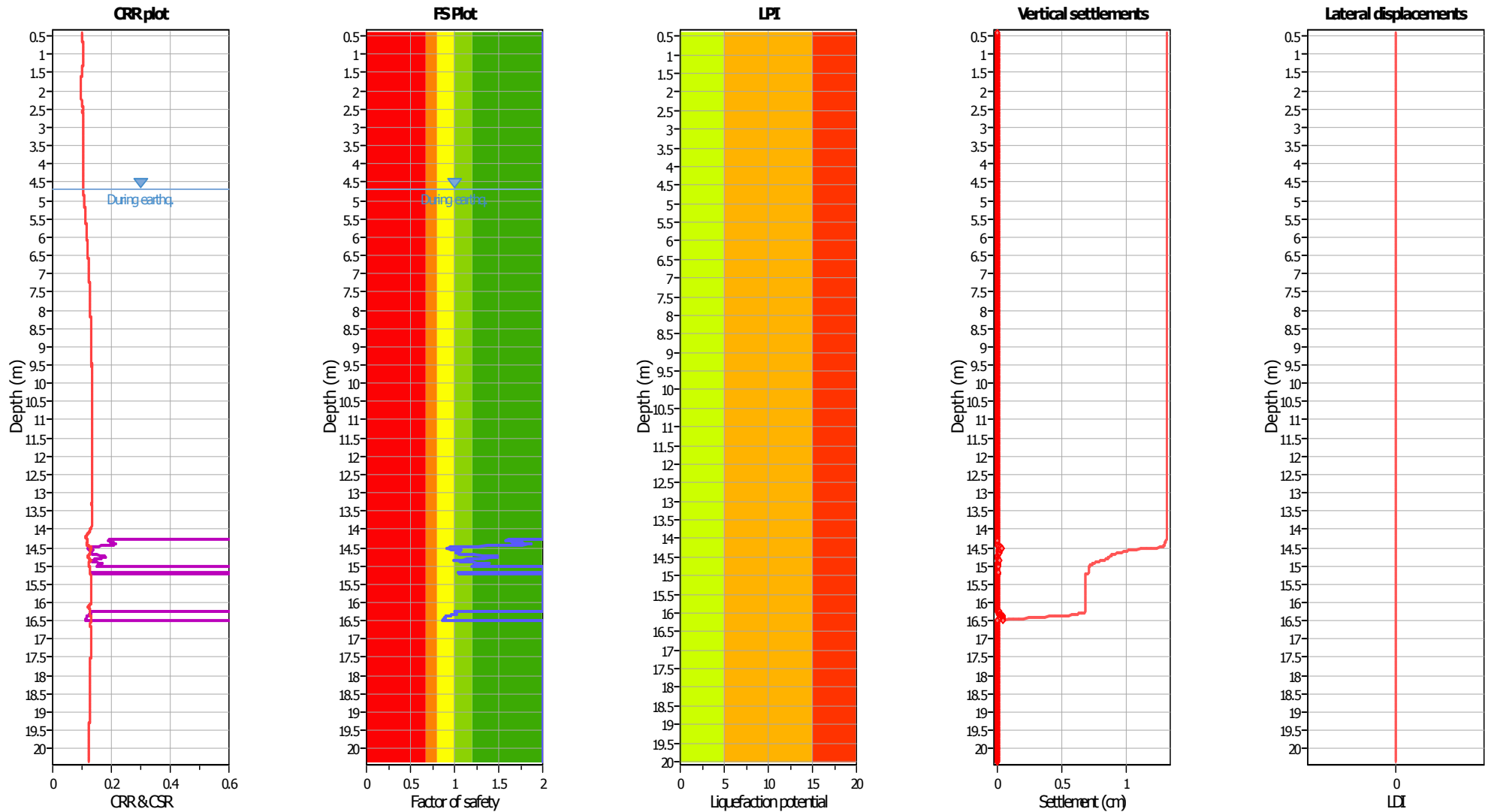
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	4.70 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:	Yes
Depth to water table (insitu):	4.70 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

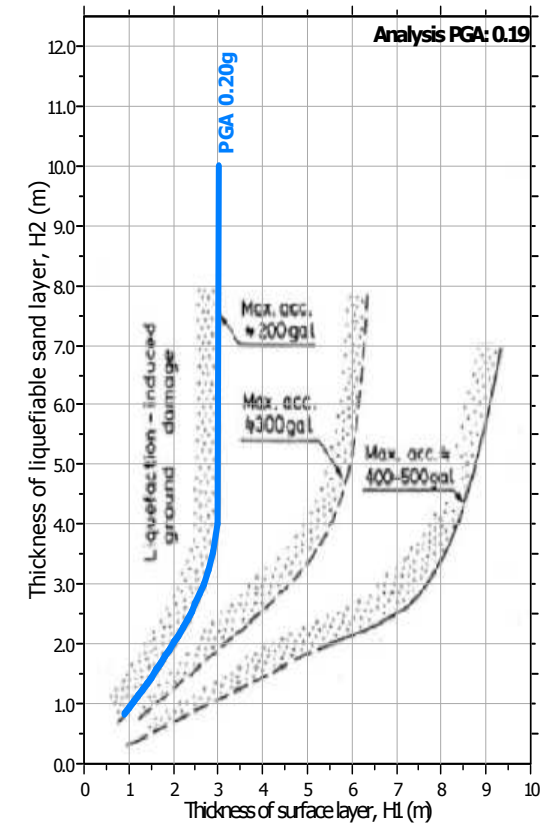
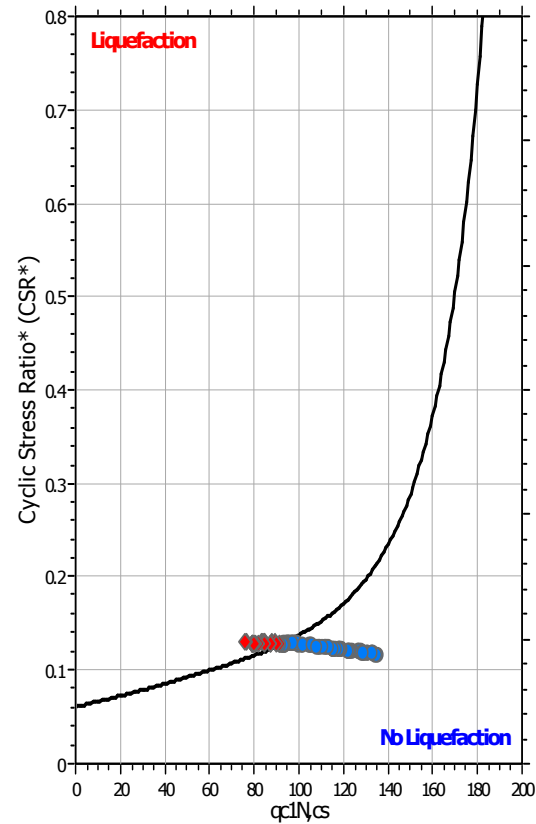
Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (earthq.):	4.70 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _g applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.19	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	4.70 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

F.S. color scheme

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

LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk



Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	4.70 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 _o 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:	Yes
Depth to water table (insitu):	4.70 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m