

Comune di Cento

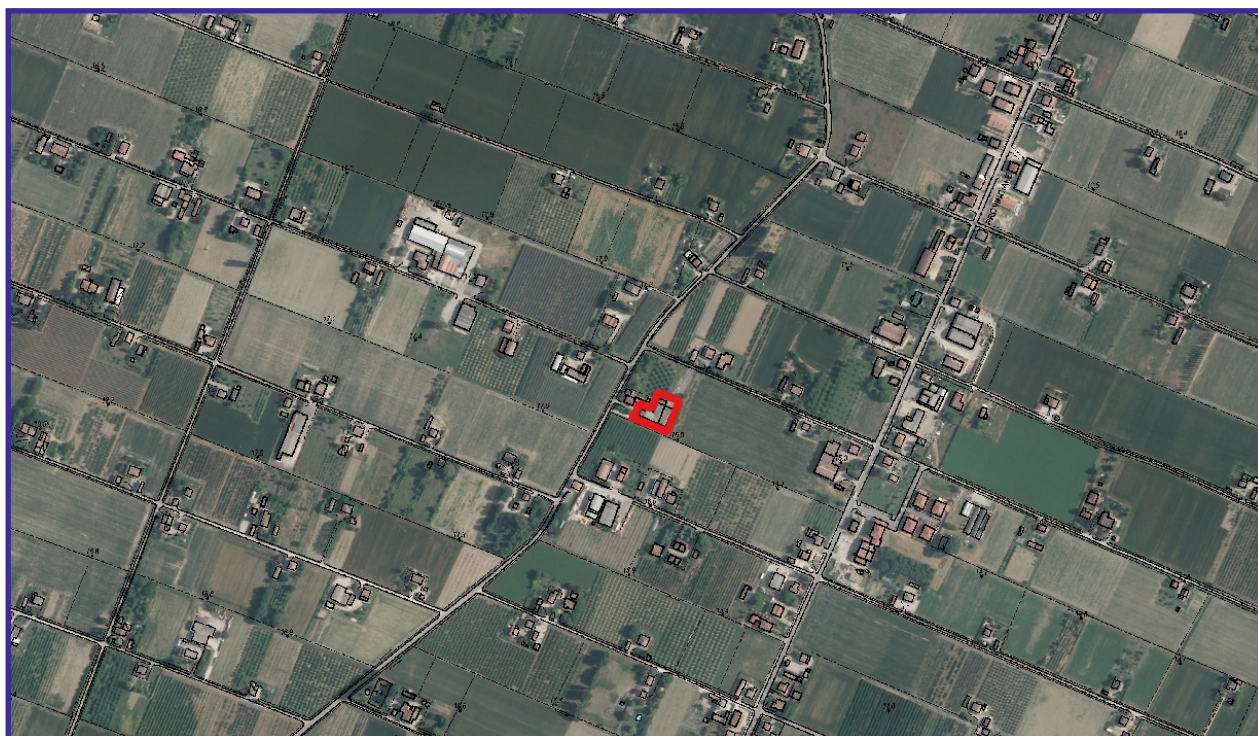
Provincia di Ferrara

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)

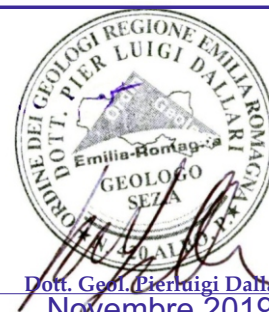
ANALISI PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE relativa alla caratterizzazione geofisica del volume significativo di terreno (3.2.2 NTC 2018), valutazione dell'azione sismica di riferimento (3.2.3. NTC 2018), Risposta sismica locale e verifica della stabilità nei confronti della liquefazione (7.11.3. NTC 2018)

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 PPIP in Via Larga nella località Renazzo del Comune di Cento (FE)



Dott. Geol. Pierluigi Dallari
Novembre 2019
Rif. 657/19



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 PPIP in Via Larga nella località Renazzo del Comune di Cento (FE).

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
3.2	Indagini Geofisiche.....	9
3.2.1	Indagine sismica con metodo MASW	9
3.2.2	Indagine sismica passiva a stazione singola (analisi HVSR).....	9
4	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO	11
4.1	Pericolosità sismica di base	11
4.2	Categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 NTC2018).....	14
4.3	Azione sismica e risposta sismica del sito – Risposta sismica locale	15
5	MODELLAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA DEL SITO	26
5.1	Modello geotecnico del sottosuolo	26
5.2	Stabilità nei confronti della liquefazione (§ A2.2. DGR 630/2019)	28
5.3	Stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica (§ B. DGR 630/2019)	30
6	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	31

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 con punta elettrica e piezocono CPTU corredate di interpretazione geotecnica

ALL. n. 2 Indagini sismiche

ALL. n. 3 Verifiche di liquefazione

1 PREMESSE

Nel mese di ottobre 2019 è stato eseguito il presente studio geologico, geotecnico e sismico di un'area interessata dalla realizzazione di un PPIP in Via Larga nella località Renazzo del Comune di Cento (FE).

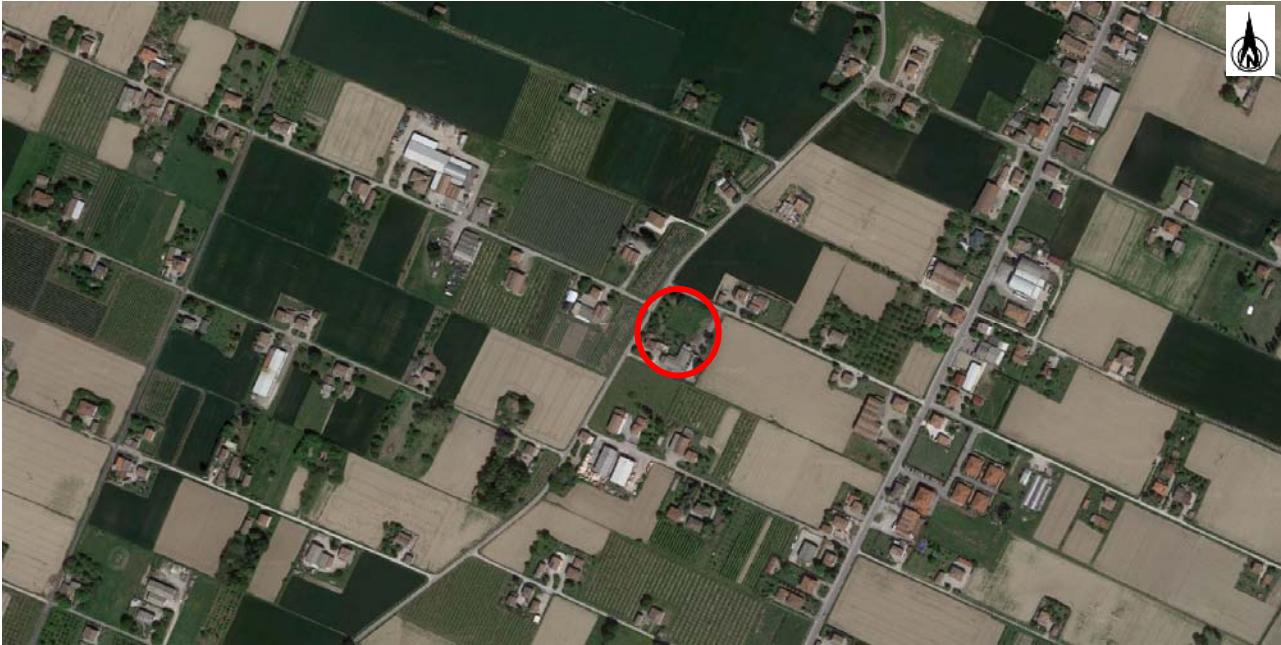


Fig. 1.1: Ubicazione del sito in studio.

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 Cento.

2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area oggetto di studio è posta nel Comune di Cento (FE). Da quanto si evince dalla carta "litologia di superficie", tratta dal "Progetto CARG" della Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico Sismico e del Suolo, nell'area oggetto di studio affiora la seguente litologia:

SUCCESSIONE NEOGENICO-QUATERNARIA DEL MARGINE APPENNINICO PADANO

AES8a – UNITÀ DI MODENA

Depositi ghiaiosi passanti a sabbie e limi di terrazzo alluvionale. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. Unità definita dalla presenza di un suolo a bassissimo grado di alterazione, con profilo potente meno di 100 cm, calcareo, grigio-giallastro o bruno grigiastro. Nella pianura ricopre resti archeologici di età romana del VI secolo d.C.. Potenza massima di alcuni metri (< 10 m). Post-VI secolo d.C.

Tessitura : Limo Sabbioso

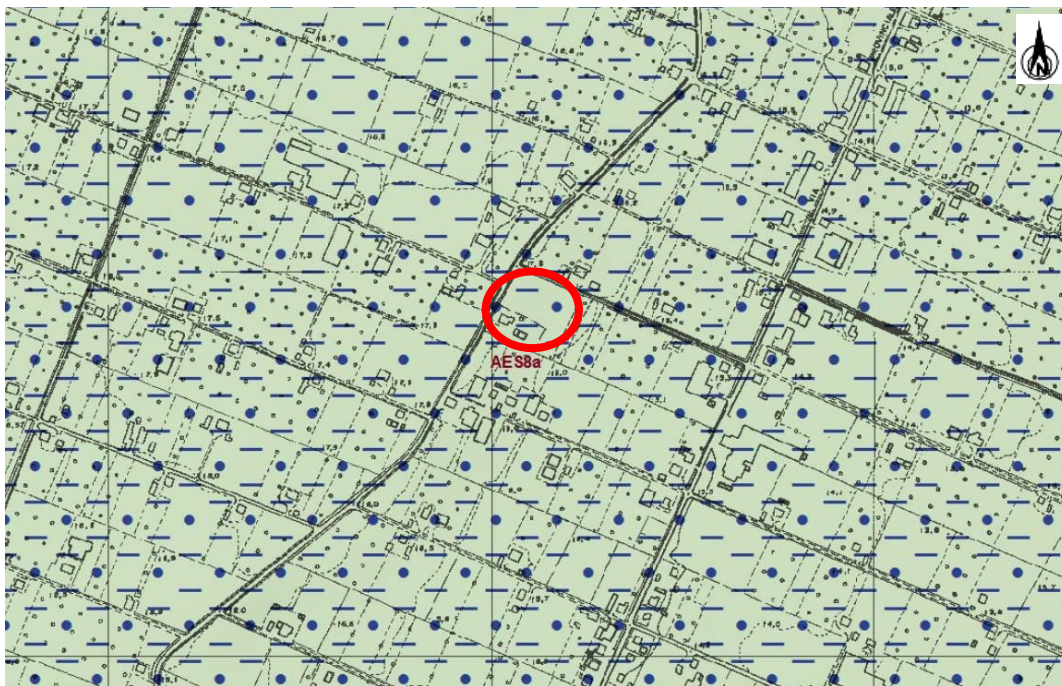


Fig. 1.2: Estratto della carta della litologia di superficie.

3 INDAGINI GEOGNOSTICHE

3.1 Indagini Geotecniche

In relazione alla litologia presente nell'area e in base alla tipologia di intervento in progetto è stata eseguita nell'area in oggetto la seguente indagine geognostica:

- ***n. 1 prova penetrometrica statica con punta elettrica e piezocono CPTU, eseguita in data 07/11/2019.***

I risultati della suddetta indagine 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 07/11/2019, **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	-20.32 m da p.p.	-1.50 m da p.p. (07/11/19)

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 (CPTe/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).

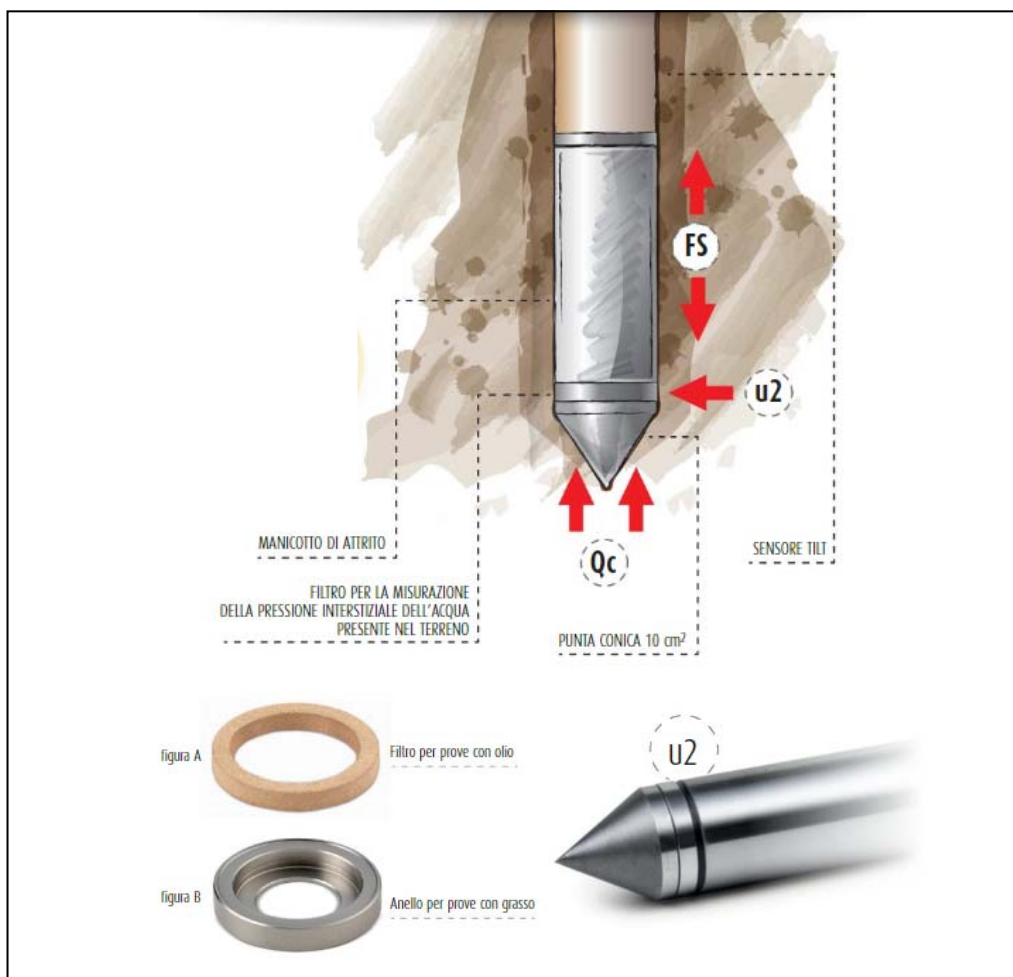


Fig. 3.2: Attrezzatura di prova.

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°

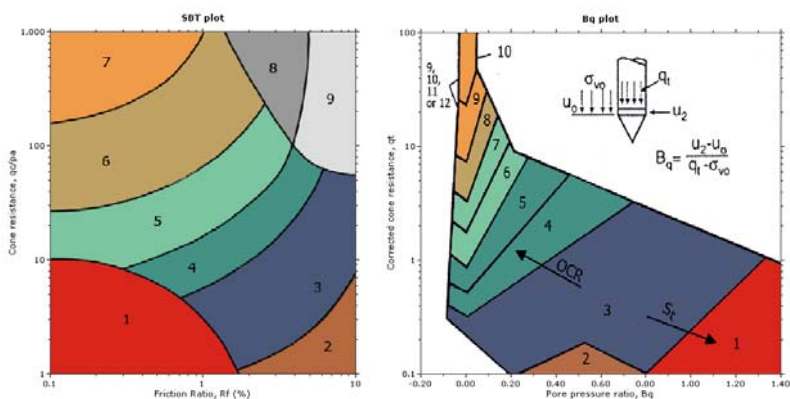
DIMENSIONI

Lunghezza	320 mm	Peso	1,8 kg
Diametro	35,8 mm	Angolo di apertura punta	60°
Sezione	10 cm ²	Superficie manicotto laterale	150 cm ²

Fig. 3.3: Caratteristiche del Piezocono Pagani.

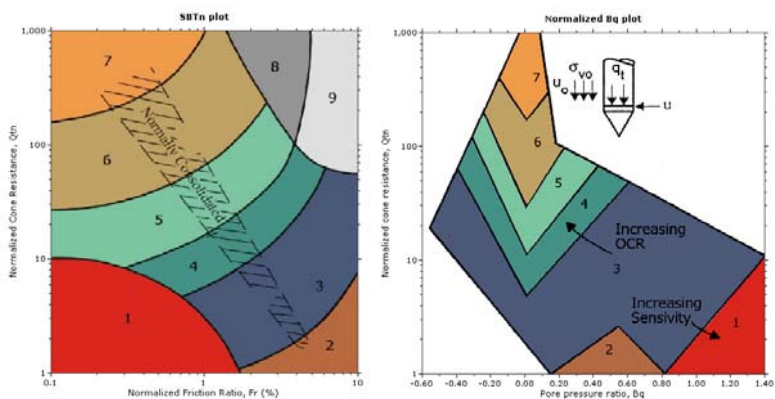
I dati acquisiti sono stati elaborati con software CPeT – IT v. 1.7.4.13 prodotto da GeoLogisMiki – Geotechnical Software. I report, in cui sono riportati su grafici i dati di resistenza e pressione interstiziale misurati sono riportati in **allegato n. 1**, dove viene illustrata anche l'interpretazione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



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 |



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 |

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.

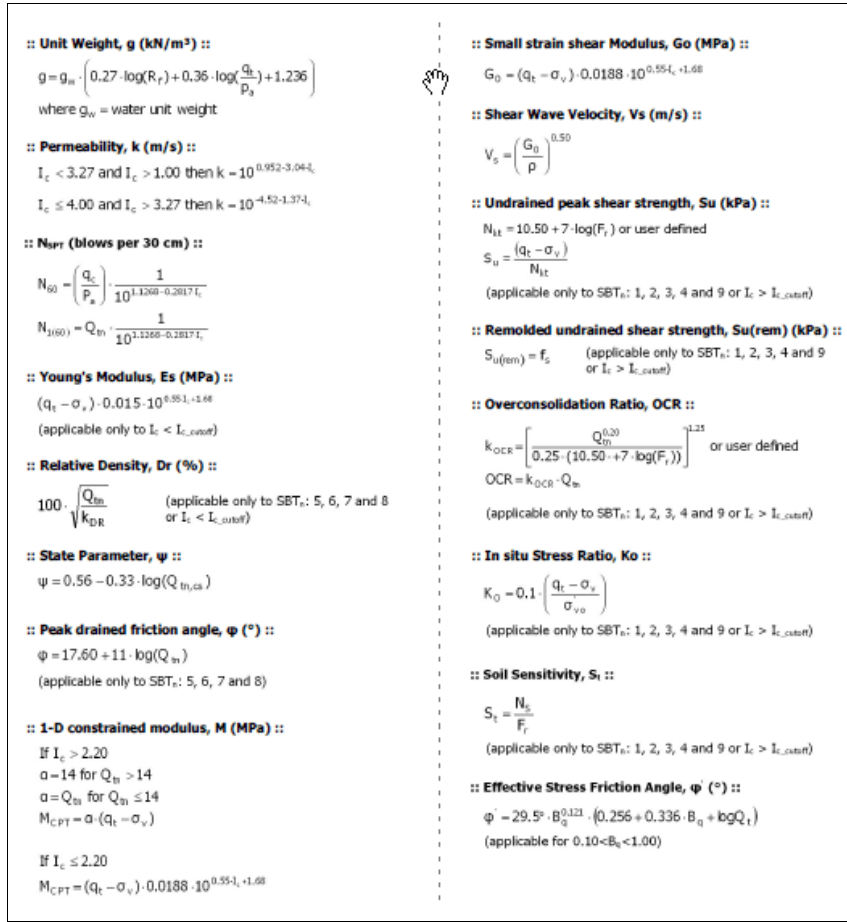
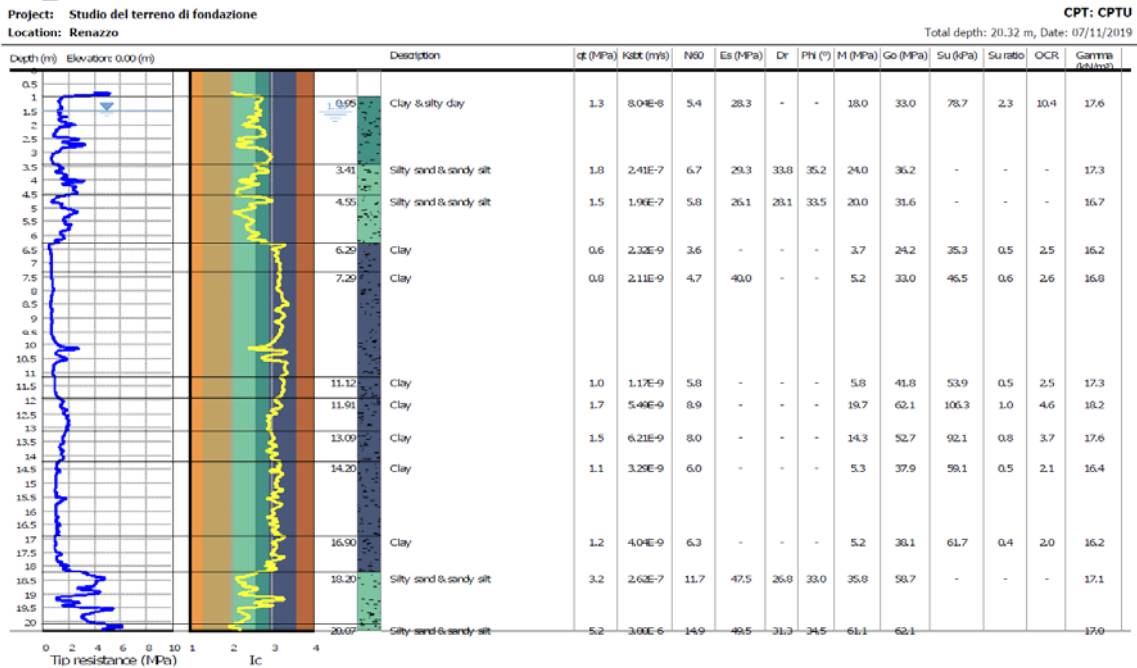


Fig. 3.4: Correlazioni utilizzate per la stima dei parametri geotecnici.

CPTU 1



3.2 Indagini Geofisiche

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

- **n. 2 indagini sismiche MASW**
- **n. 2 indagini sismiche HVSr**

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

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

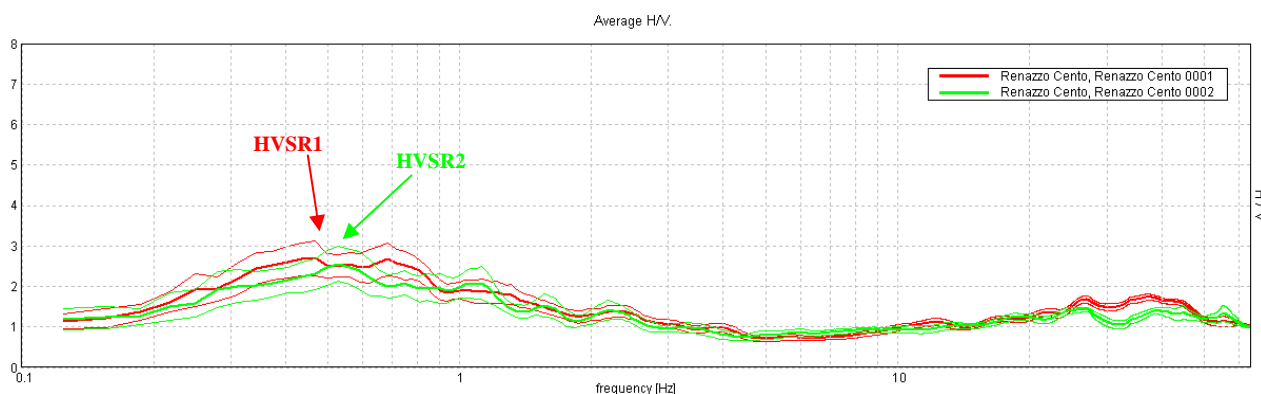
3.2.2 Indagine sismica passiva a stazione singola (analisi HVSr)

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.



Curve H/V ottenute dalla misura sismica passiva a stazione singola; si evidenzia un picco di frequenza tra 0.74 Hz e 0.53 Hz.

4 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

4.1 Pericolosità sismica di base

Dalla consultazione delle carte di Microzonazione Sismica del Comune di Cento (FE), 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.



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 Cento (FE)** risulta appartenente alla **classe di sismicità 3**.

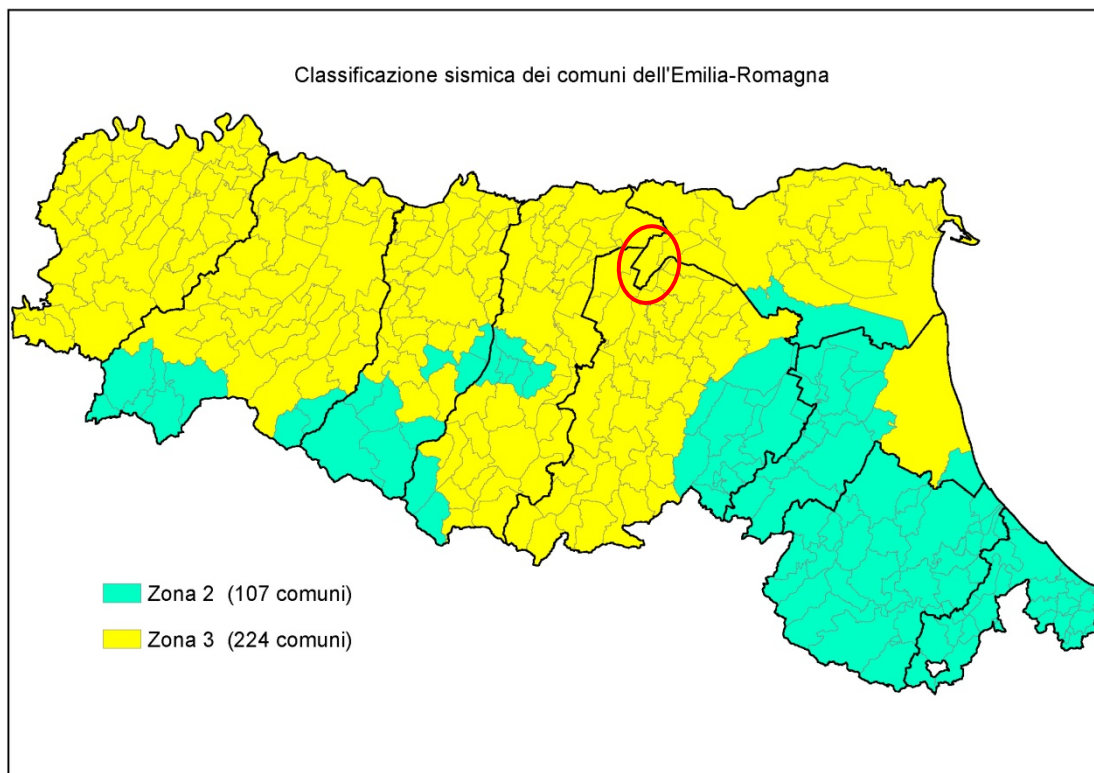


Fig. 3.2: Classificazione sismica e dei comuni della regione Emilia-Romagna a partire dall'O.P.C.M. n. 3274/2003 e successive modifiche (aggiornamento luglio 2018) e ubicazione del territorio comunale di Nonantola (MO).

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	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0.041	2.539	0.255
Danno (SLD)	50	0.054	2.470	0.267
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.155	2.590	0.271
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.207	2.538	0.278
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

Coefficienti sismici



Tipo Stabilità dei pendii e fondazioni

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

H (m) 1 us (m) 0.1



Cat. Sottosuolo C



Cat. Topografica T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,46	1,38
CC Coeff. funz categoria	1,65	1,62	1,62	1,60
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

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

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.012	0.016	0.054	0.080
kv	0.006	0.008	0.027	0.040
Amax [m/s ²]	0.606	0.796	2.214	2.804
Beta	0.200	0.200	0.240	0.280

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 1	182 m/s
$V_{S,E}$ MASW 2	187 m/s

HVSR1	0.47 ± 0.07 HZ	RISPETTA I CRITERI SESAME
HVSR2	0.53 ± 0.39 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 Via Larga nella località Renazzo del Comune di Cento (FE).

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):

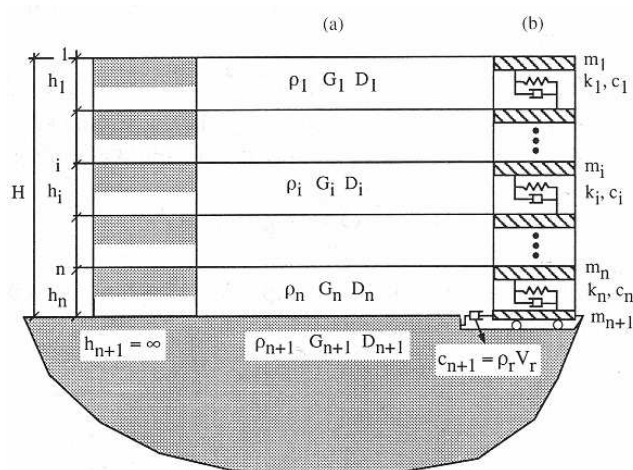
$$u(z, t) = A \exp [i (\omega t + k^* z)] + B \exp [i (\omega t - k^* z)]$$

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:

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

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

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.

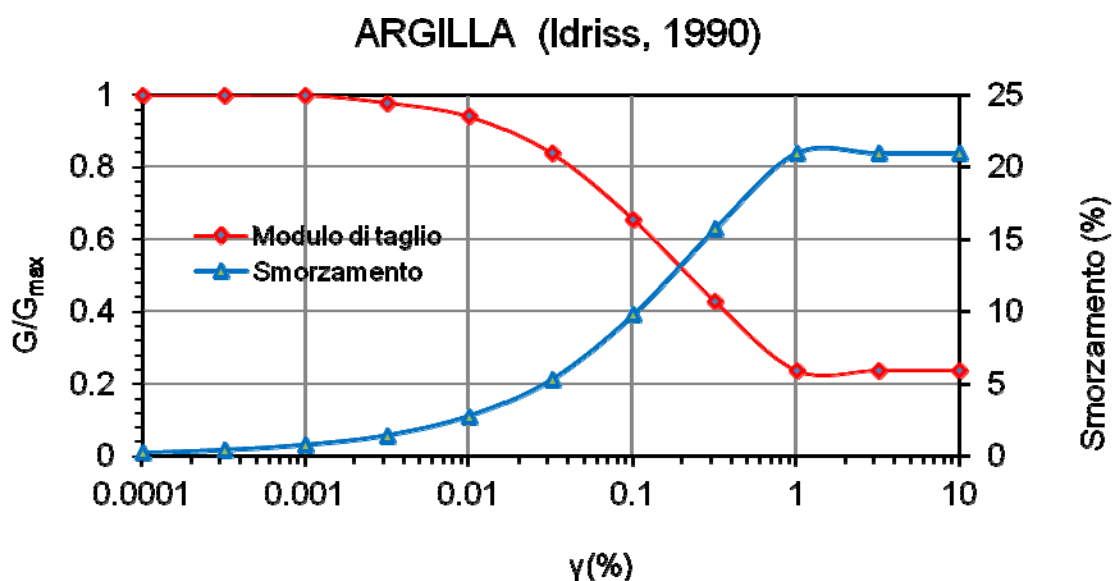
MODELLO SIMULATO

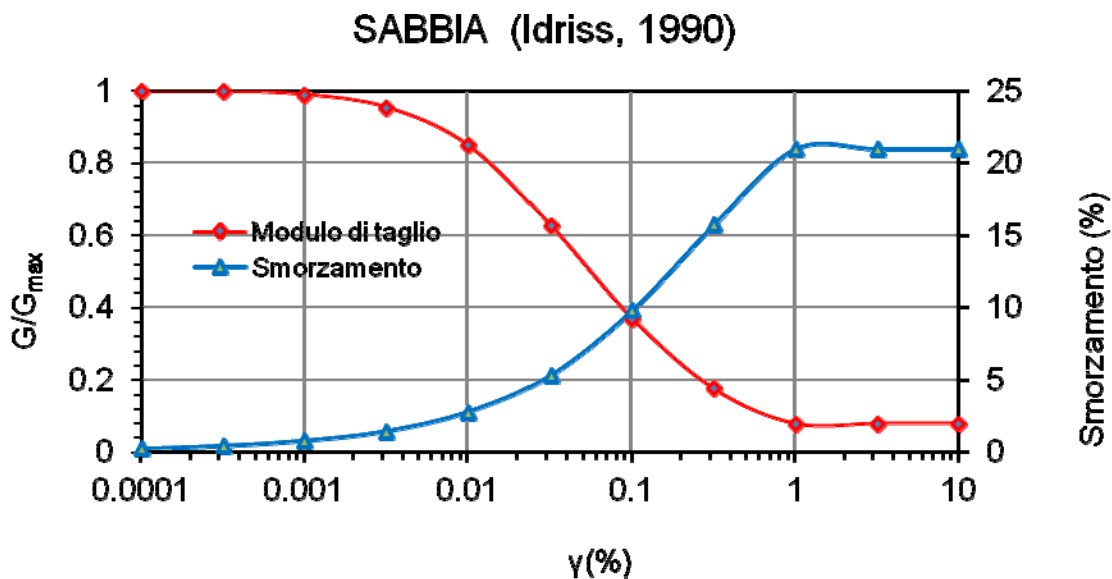
Il modello simulato deriva dai dati ottenuti dalla prova geofisica che compone la campagna geognostica eseguita in sito. Tale profilo approssima il comportamento del sottosuolo, dal punto di vista sismico, in corrispondenza dell'area studiata. Il profilo considerato deriva dall'interpolazione dei dati 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
10.00	10.00	150	0.45
30.00	20.00	280	0.43
65.00	35.00	295	0.43
125.00	60.00	350	0.43
inf.	inf.	580	0.43

Per descrivere il comportamento dinamico dei terreni costituenti il modello sono state considerate curve di decadimento dei moduli di rigidità 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:





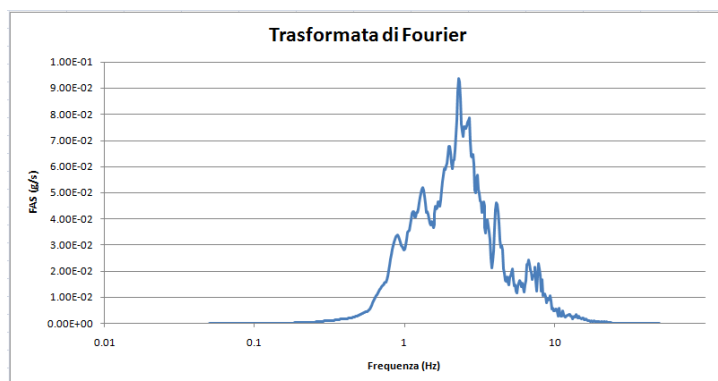
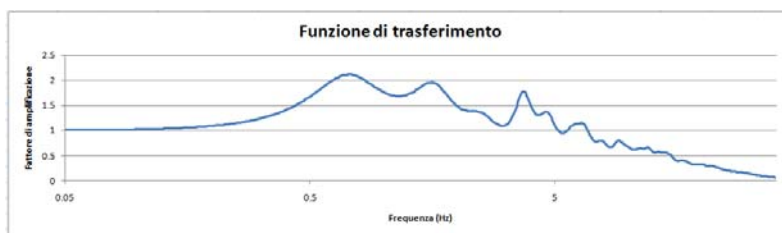
Curva di decadimento dei moduli G/G_{max} e smorzamento D , utilizzate per descrivere il comportamento dei materiali che compongono il sottosuolo in oggetto.

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.

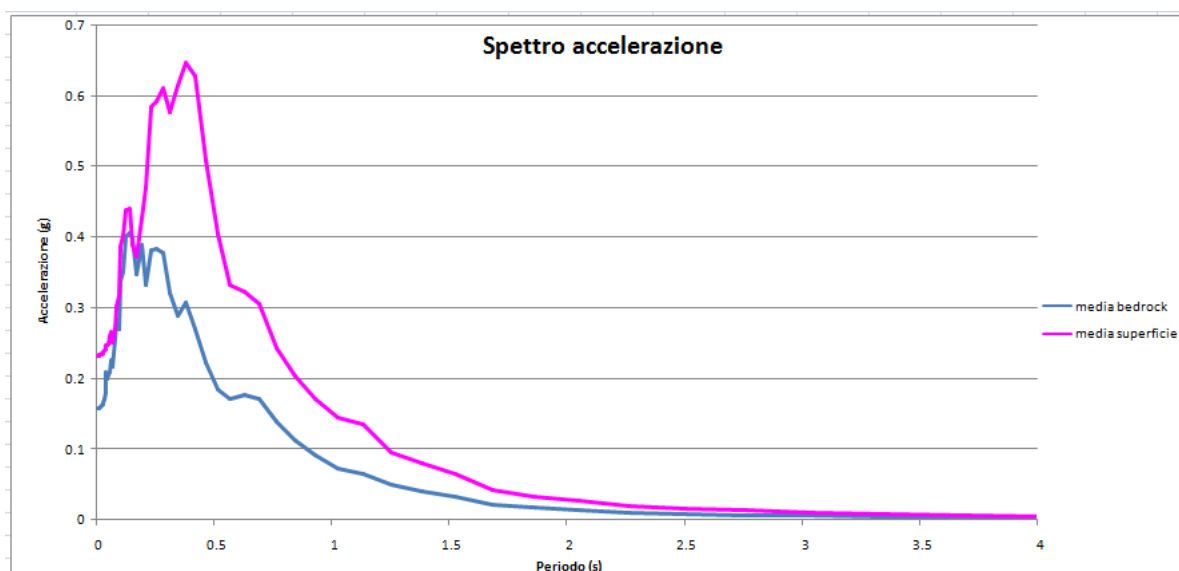
Per il sito in oggetto tale valore è pari a **0.155g** considerando un valore di **$C_u = 1.00$** (Classe d'uso II) e **$V_n = 50$ anni** per ottenere un tempo di ritorno pari a 475 anni.

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	0.232073614				
0.011037	0.232181086	0.07937	0.269985655	0.695271	0.306425721
0.012181	0.232311102	0.087599	0.301936661	0.767353	0.244134175
0.013444	0.232462736	0.09668	0.317413436	0.846907	0.204081845
0.014838	0.232650561	0.106704	0.387387546	0.934709	0.171107215
0.016376	0.232881358	0.117766	0.402858633	1.031614	0.145704496
0.018074	0.2331666	0.129975	0.438518899	1.138566	0.134449458
0.019947	0.23351795	0.14345	0.44039657	1.256605	0.096488168
0.022015	0.233955315	0.158322	0.389085175	1.386883	0.081295335
0.024298	0.23450416	0.174736	0.372279203	1.530666	0.064749978
0.026817	0.23517732	0.192852	0.426967308	1.689356	0.043018001
0.029597	0.236027167	0.212846	0.470577567	1.864499	0.0334821
0.032666	0.237121111	0.234912	0.583529114	2.057799	0.027518936
0.036052	0.238579656	0.259266	0.592087646	2.271139	0.020464881
0.03979	0.240628406	0.286146	0.610758753	2.506597	0.016899389
0.043915	0.246299144	0.315811	0.575755894	2.766465	0.013437181
0.048468	0.246284132	0.348553	0.61351087	3.053276	0.011277214
0.053493	0.249860971	0.384689	0.647433484	3.369821	0.009209476
0.059038	0.260645505	0.424571	0.627531146	3.719184	0.006508684
0.065159	0.265753362	0.468588	0.508546481	4.104766	0.005477497
0.071914	0.250706741	0.517168	0.404464815	4.530323	0.004236997
		0.570785	0.332348881	5	0.003384476
		0.629961	0.323558364		

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

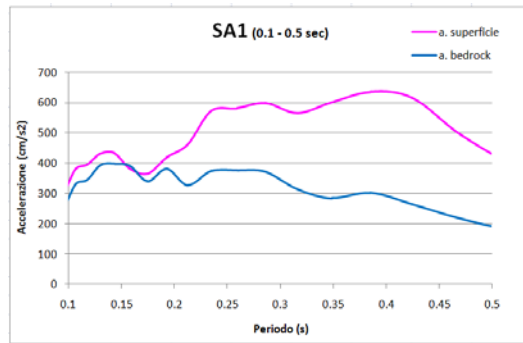
$$SI = \int_{T_1}^{T_2} V(T, \zeta) dT$$

dove V è lo spettro di risposta in velocità, T è il periodo proprio e ζ è lo smorzamento³; sono stati considerati tre intervalli di periodo proprio T ottenendo tre valori di intensità

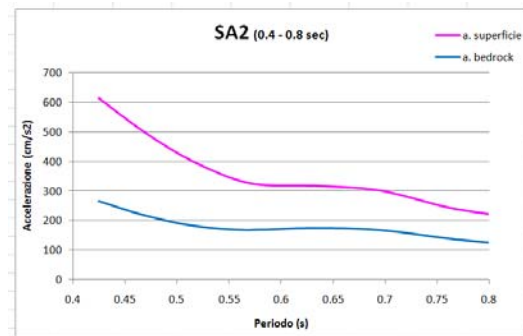
	T₁	T₂
SI1	0,1 s	0,5 s
SI2	0,5 s	1,0 s
SI3*	0,5 s	1,5 s

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

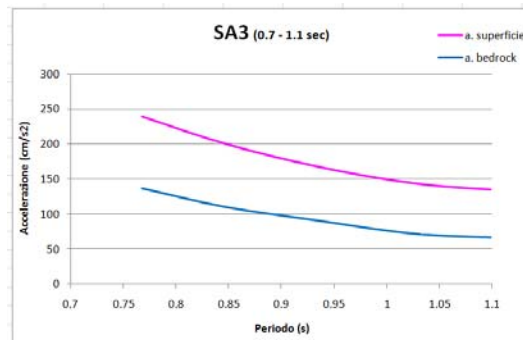
SPETTRI DI RISPOSTA IN ACCELERAZIONE



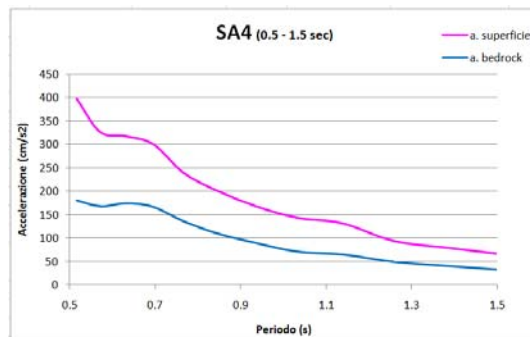
Spettro di risposta in accelerazione SA1



Spettro di risposta in accelerazione SA2

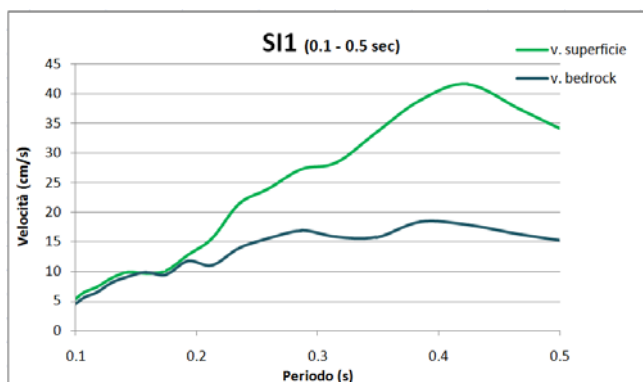


Spettro di risposta in accelerazione SA3

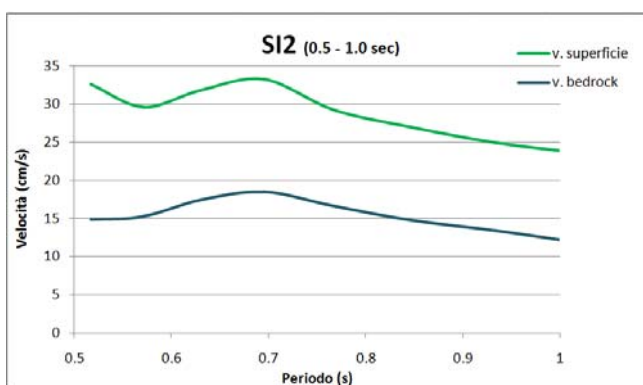


Spettro di risposta in accelerazione SA4

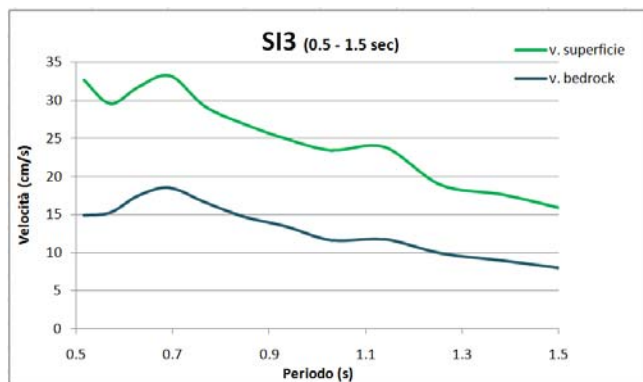
SPETTRI DI RISPOSTA IN VELOCITÀ



Spettro di risposta in velocità S11



Spettro di risposta in velocità S12



Spettro di risposta in velocità S13

Di seguito si riportano in tabella i FA:

Fattore di amplificazione	Periodo T (s)	FA
Fattore di Amplificazione SA1	$0.1s \leq T \leq 0.5s$	1.44
Fattore di Amplificazione SA2	$0.4s \leq T \leq 0.8s$	1.99
Fattore di Amplificazione SA3	$0.7s \leq T \leq 1.1s$	1.86
Fattore di Amplificazione SA4	$0.5s \leq T \leq 1.5s$	1.92

Fattori di amplificazione SA1 –SA2 –SA3 – SA4

Fattore di amplificazione	Periodo T (s)	FA
Fattore di Amplificazione SI1	$0.1s \leq T \leq 0.5s$	1.44
Fattore di Amplificazione SI2	$0.5s \leq T \leq 1.0s$	1.90
Fattore di Amplificazione SI3	$0.5s \leq T \leq 1.5s$	1.90

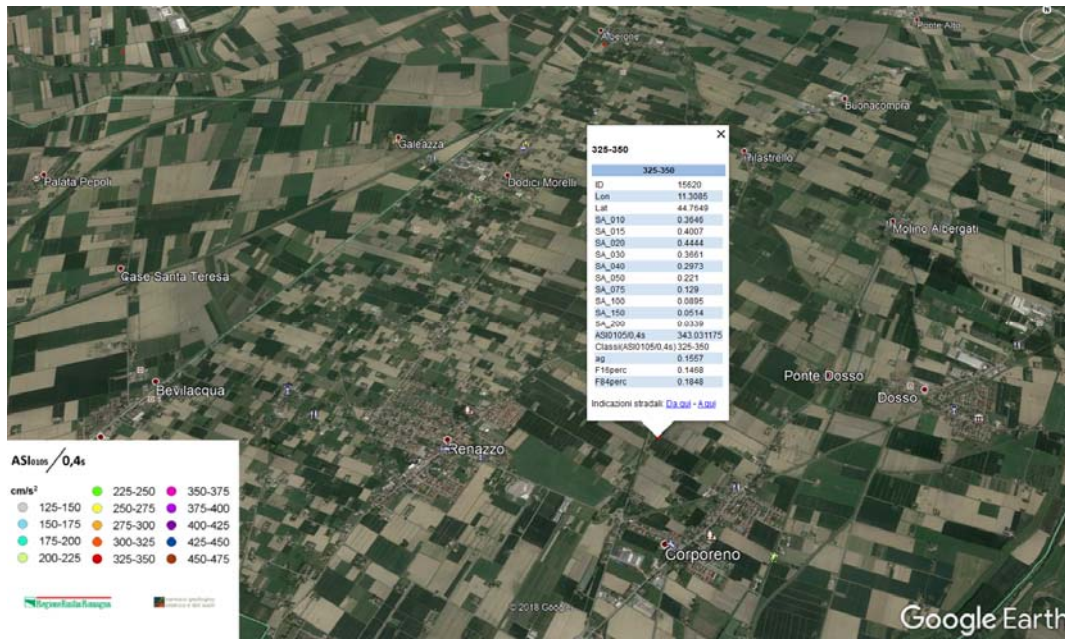
Fattori di amplificazione SI1 –SI2 –SI3

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 **343**.



valori di ASI_{UHS}/ΔT per l'area in studio - griglia INGV

Di seguito si riportano i valori di H_{SM} e $H_{0.408}$, $H_{0.711}$, $H_{0.515}$ 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)
$H_{SM} = 495$	$0,1 s \leq T \leq 0,5s$
$H_{0.408} = 693$	$0,4 s \leq T \leq 0,8s$
$H_{0.711} = 648$	$0,7 s \leq T \leq 1,1s$
$H_{0.515} = 669$	$0,5 s \leq T \leq 1,5s$

Dai risultati sopra esposti dell'analisi di risposta sismica locale si ottiene un valore di accelerazione massima attesa al suolo del valore $PGA_{max} = A_{max} = 0.232g$ (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 – 3.40 m da p.c.	-1.50 m da p.c.	Argilla o argilla limosa a media consistenza	γ	1800 kg/m ³ ≈ 18.00 kN/m ³
				γ'	2100 kg/m ³ ≈ 21.00 kN/m ³
				C_{uk}	0.60 kg/cm ² ≈ 60.0 kN/m ²
				C'_k	0.06 kg/cm ² ≈ 6.00 kN/m ²
				M_0	50.0 kg/cm ² ≈ 5000 kN/m ²
				E_s	70.0 kg/cm ² ≈ 7000 kN/m ²
				ϕ_k	23°
	ν	0.40			
2	3.40 – 6.20 m da p.c.		Sabbia limosa poco addensata	γ	1750 kg/m ³ ≈ 17.50 kN/m ³
				γ'	2050 kg/m ³ ≈ 20.50 kN/m ³
				D_r	30 %
				E_s	250.0 kg/cm ² ≈ 25000 kN/m ²
				ϕ_k	31°
	ν	0.40			
3	6.20 – 11.90 m da p.c.		Argilla o argilla limosa a scarsa consistenza	γ	1750 kg/m ³ ≈ 17.50 kN/m ³
				γ'	2050 kg/m ³ ≈ 20.50 kN/m ³
				C_{uk}	0.45 kg/cm ² ≈ 45.0 kN/m ²
				C'_k	0.045 kg/cm ² ≈ 4.50 kN/m ²
				M_0	40.0 kg/cm ² ≈ 4000 kN/m ²
				E_s	63.0 kg/cm ² ≈ 6300 kN/m ²
				ϕ_k	21°
	ν	0.50			
4	11.90 – 14.20 m da p.c.		Argilla o argilla limosa a elevata consistenza	γ	1900 kg/m ³ ≈ 19.00 kN/m ³
				γ'	2200 kg/m ³ ≈ 22.00 kN/m ³
				C_{uk}	0.90 kg/cm ² ≈ 90.0 kN/m ²
				C'_k	0.09 kg/cm ² ≈ 9.00 kN/m ²
				M_0	80.0 kg/cm ² ≈ 8000 kN/m ²
				E_s	126.0 kg/cm ² ≈ 12600 kN/m ²
				ϕ_k	25°
	ν	0.35			

5	14.20 – 18.20 m da p.c.		Argilla o argilla limosa a media consistenza	γ	1800 kg/m ³ ≈ 18.00 kN/m ³
				γ'	2100 kg/m ³ ≈ 21.00 kN/m ³
				C_{uk}	0.60 kg/cm ² ≈ 60.0 kN/m ²
				C'_k	0.06 kg/cm ² ≈ 6.00 kN/m ²
				M_0	50.0 kg/cm ² ≈ 5000 kN/m ²
				E_s	70.0 kg/cm ² ≈ 7000 kN/m ²
				ϕ_k	23°
				v	0.40
6	18.20 – 21.00 m da p.c.		Sabbia limosa poco addensata	γ	1850 kg/m ³ ≈ 18.50 kN/m ³
				γ'	2150 kg/m ³ ≈ 21.50 kN/m ³
				D_r	30 %
				E_s	250.0 kg/cm ² ≈ 25000 kN/m ²
				v	0.40
Legenda				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) [Formola 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 totalità delle verticali di prova CPTU eseguite nell'anno 2014. 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.

Nonostante l'evidenza preliminare, si è proceduto all'esecuzione della verifica a liquefazione. L'analisi della liquefazione non è stata estesa alle verticali di prova CPT in quanto l'approccio Boulanger & Idriss (2014) non risulta applicabile a questa tipologia di indagine.

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

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

Dove:

CRR è rappresentato dal rapporto di resistenza ciclica

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

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

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

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

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

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

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

Il valore **CRR** è stato ricavato attraverso la metodologia di calcolo proposta da **Boulanger&Idriss 2014**. Per le specifiche della procedura di calcolo adottata si faccia riferimento all'allegato **A2.2** della DGR 630/2019 della Regione Emilia Romagna. Le analisi di liquefazione sono state eseguite 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} = 0.245g** (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 **Sonmez 2003**:

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

Si 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 1	3.053	MODERATO

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 "moderato".

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;

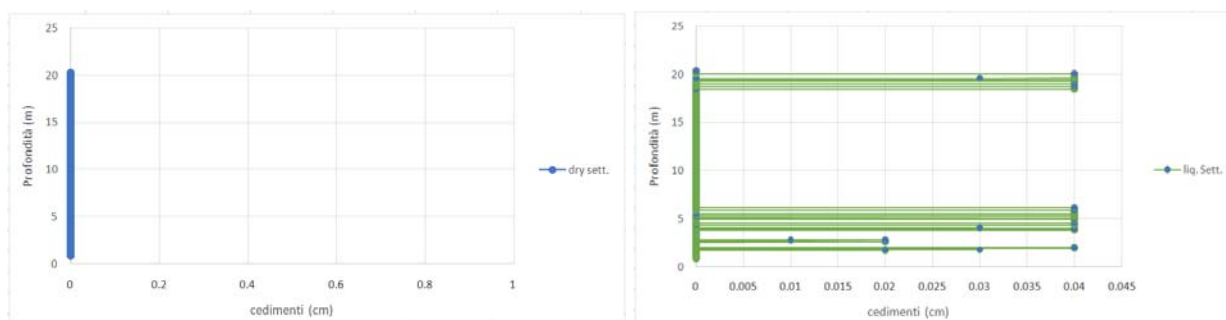
Δz_i = spessore dello strato i-esimo.

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)	7.43 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 le verticali eseguite.



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 novembre 2019 è stato eseguito il presente elaborato redatto al fine di verificare le condizioni di edificabilità e di pericolosità sismica dell'area sita in Via Larga nella località Renazzo del Comune di Cento (FE).

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 1	182 m/s
$V_{s,E}$ MASW 2	187 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 $PGA_{max}=A_{max}=0.232g$.

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 $A_{max} = 0.232g$ (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 moderato**.

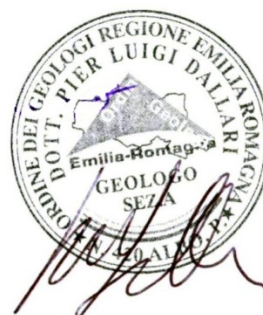
Sono stati inoltre calcolati i cedimenti indotti dall'azione sismica (§ 5.4).

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, 14 novembre 2019

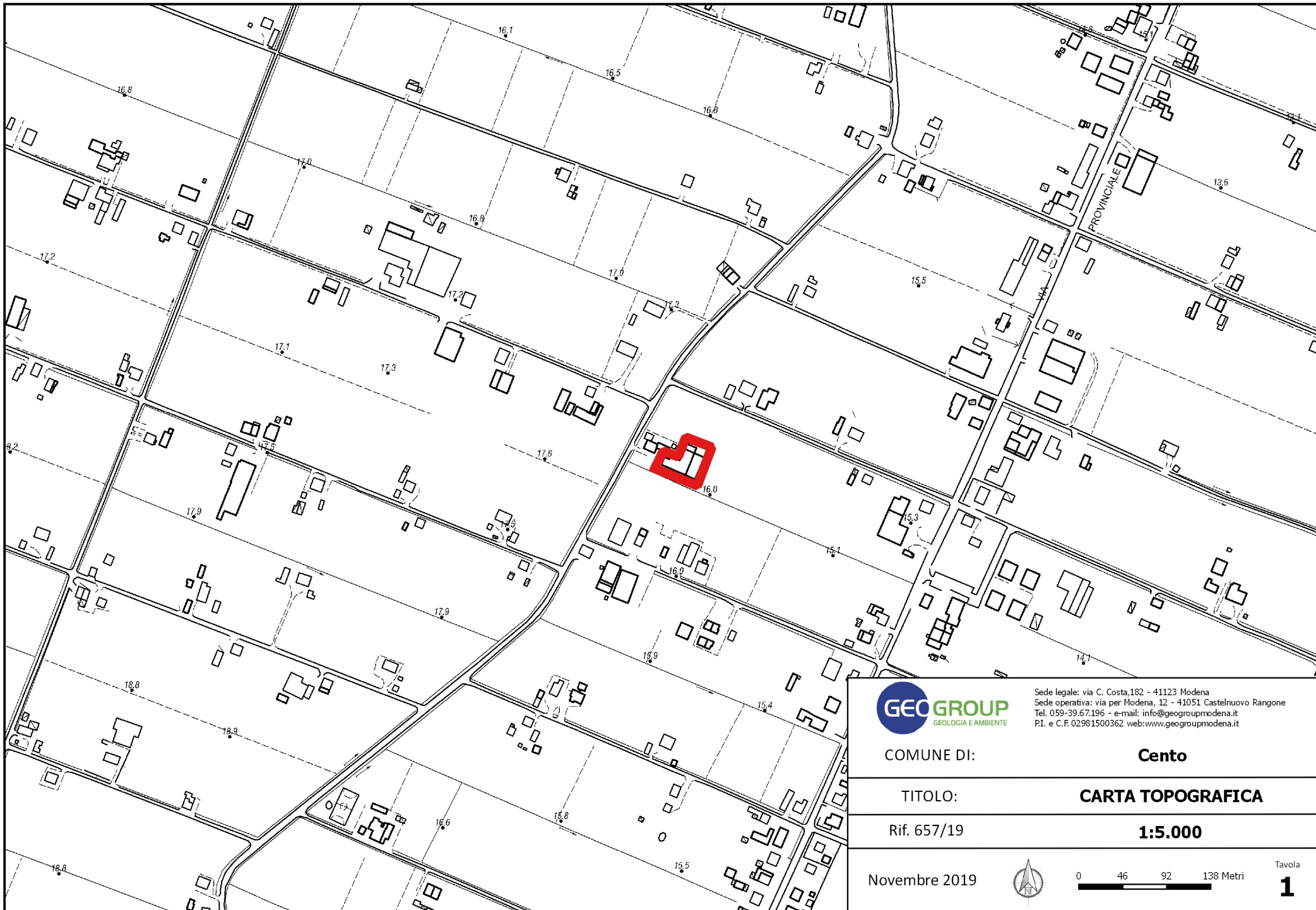
Dott. Geol. Pier Luigi Dallari



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



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:

Cento

TITOLO:

CARTA TOPOGRAFICA

Rif. 657/19

1:5.000

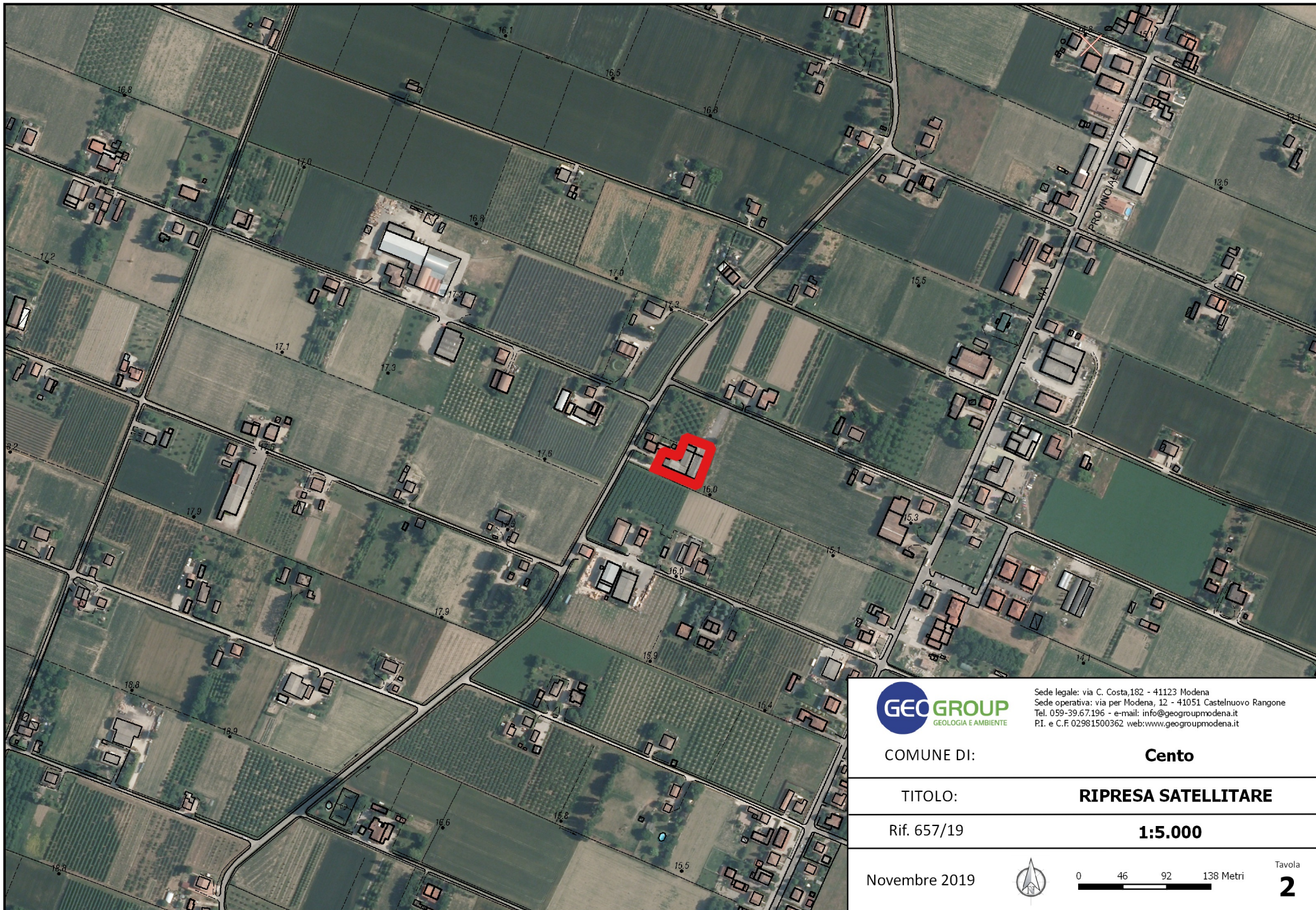
Novembre 2019



0 46 92 138 Metri

Tavola

1



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:

Cento

TITOLO:

RIPRESA SATELLITARE

Rif. 657/19

1:5.000

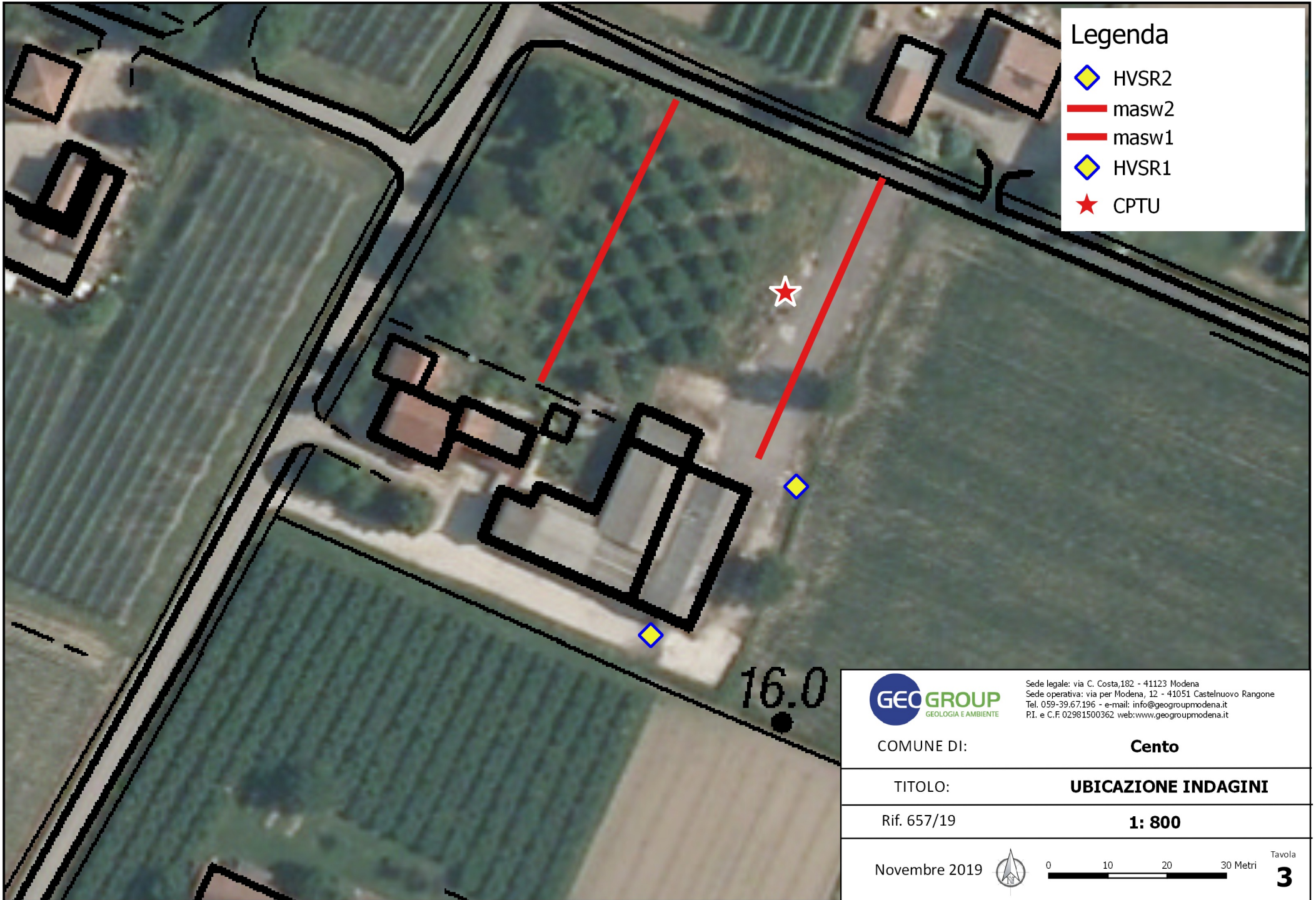
Novembre 2019








0 46 92 138 Metri

Tavola

2



Legenda

-  HVSR2
-  masw2
-  masw1
-  HVSR1
-  CPTU



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: **Cento**

TITOLO: **UBICAZIONE INDAGINI**

Rif. 657/19 **1: 800**

Novembre 2019

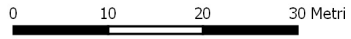


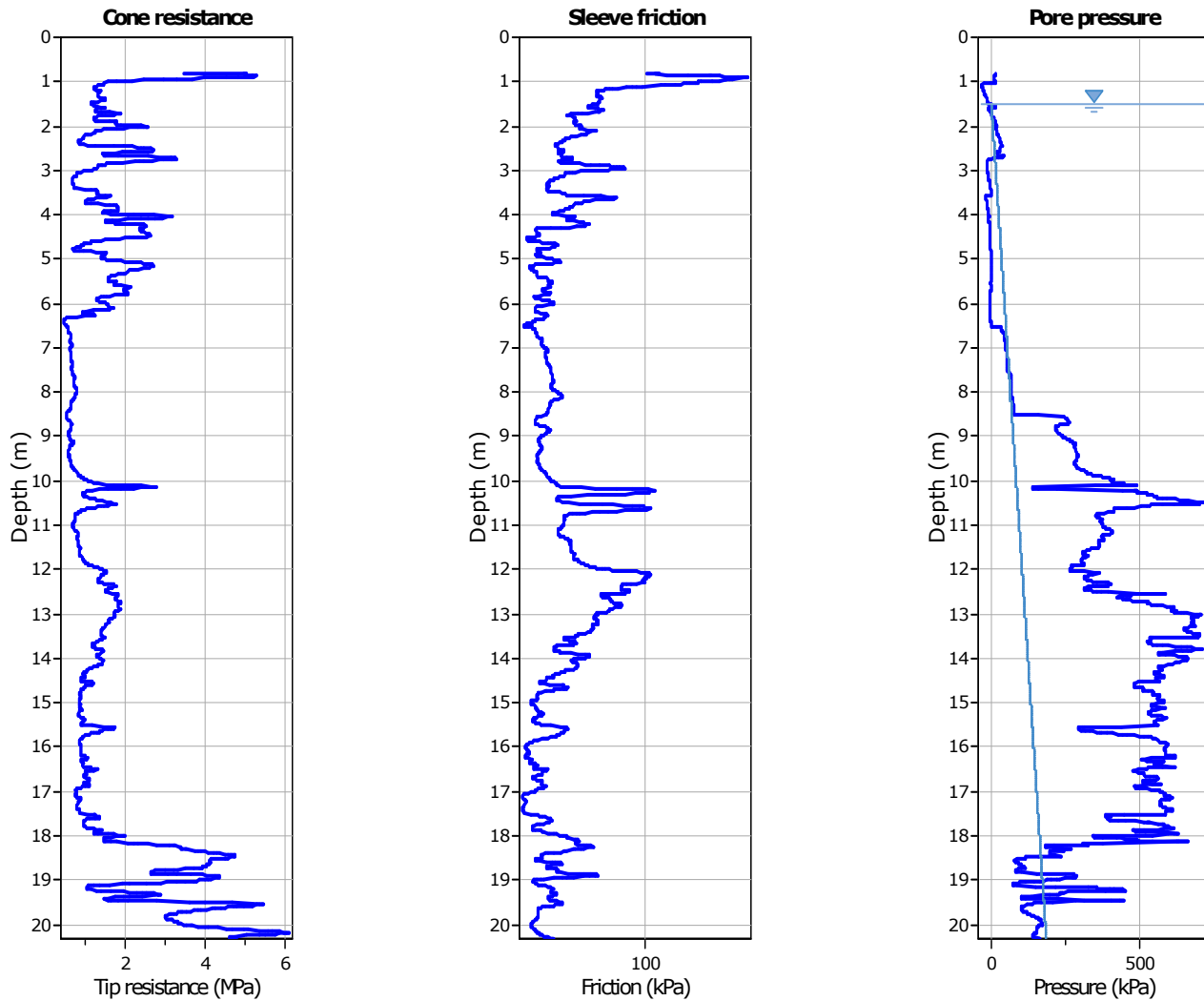
Tavola
3

GEO GROUP s.r.l.

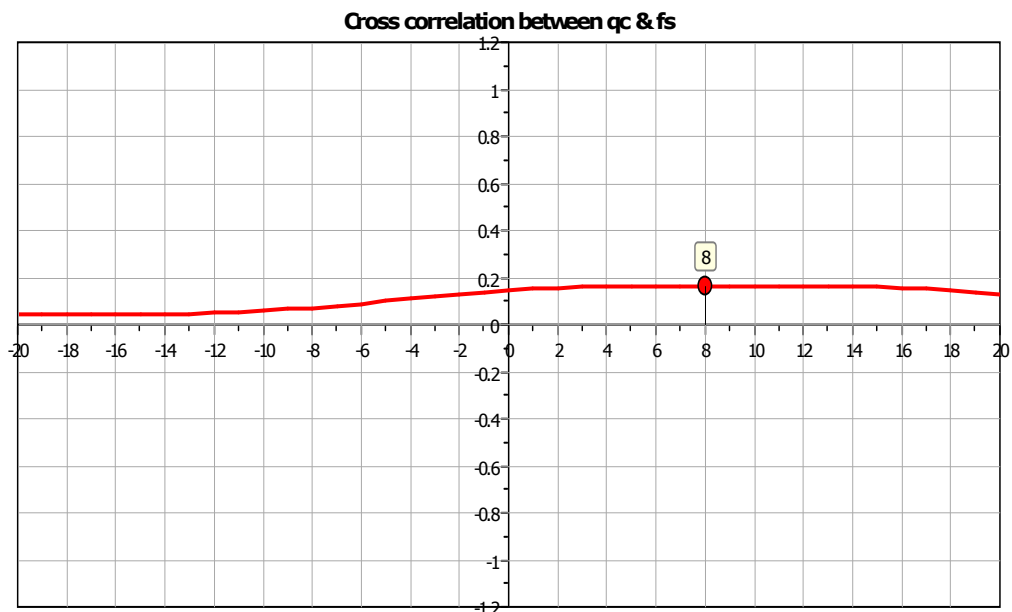
Indagini geognostiche e geofisiche – geologia applicata alle costruzioni – laboratorio geotecnico - idrogeologia
– coltivazione cave– bonifiche – consolidamenti – geologia ambientale – consulenze geologiche e geotecniche

ALLEGATO N° 1

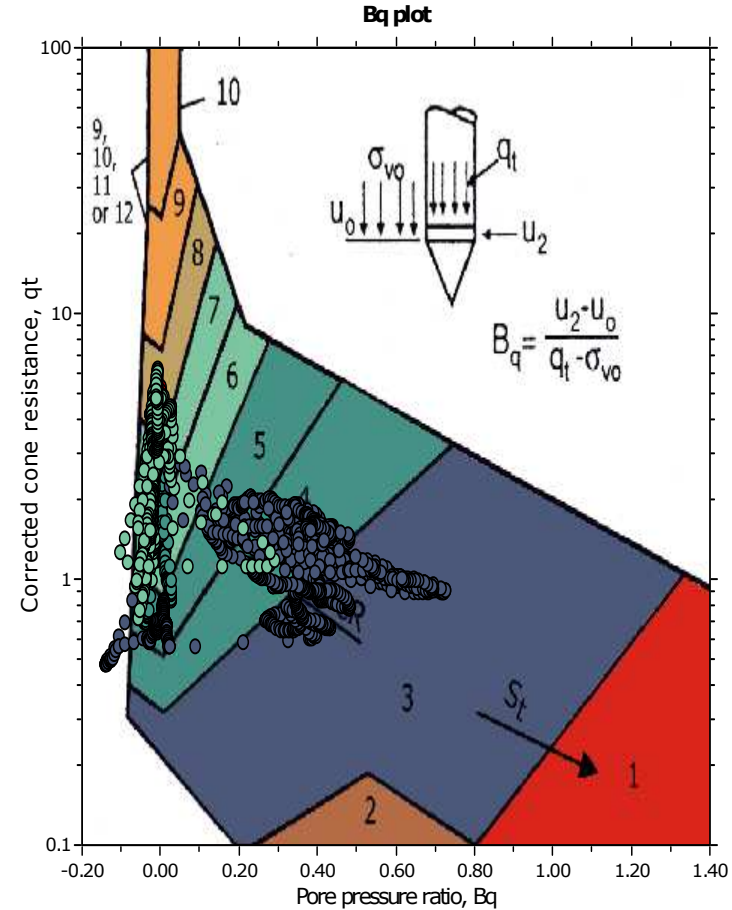
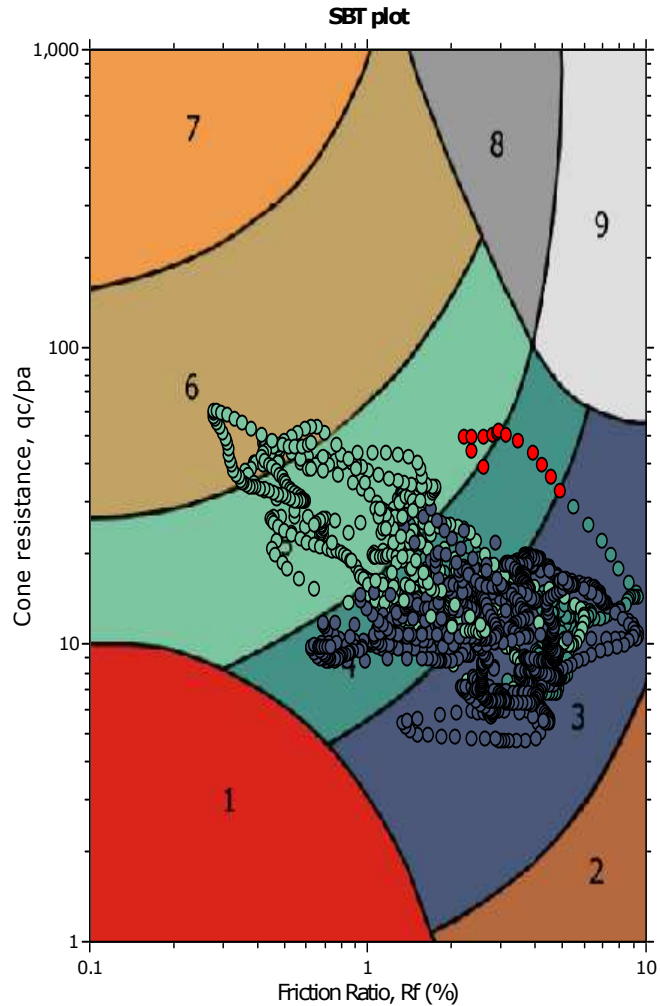
Prove penetrometriche statiche CPTU corredate di interpretazione geotecnica



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).



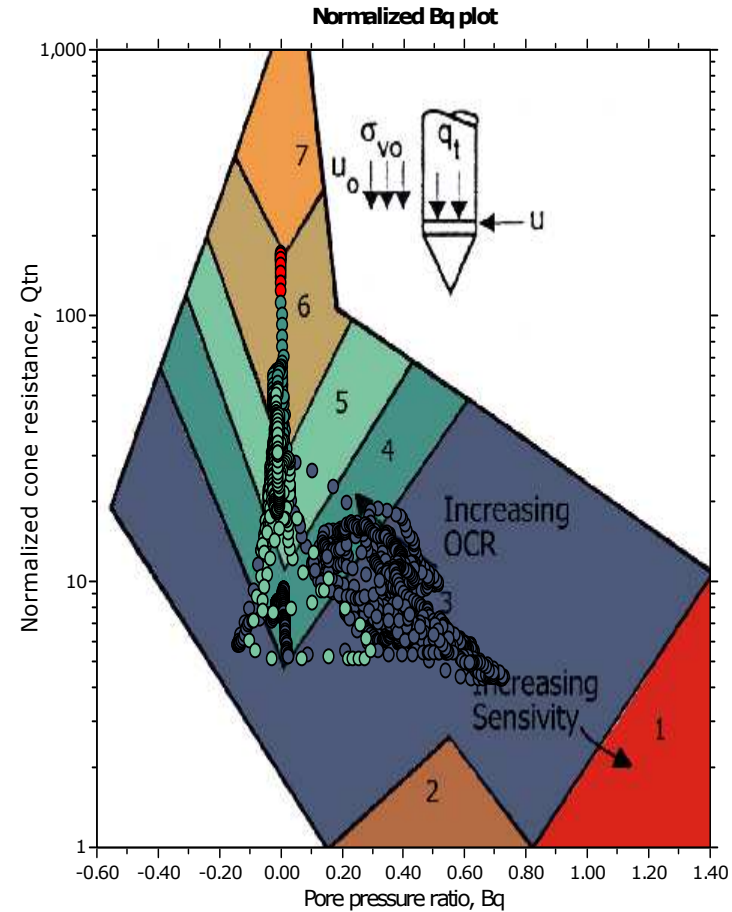
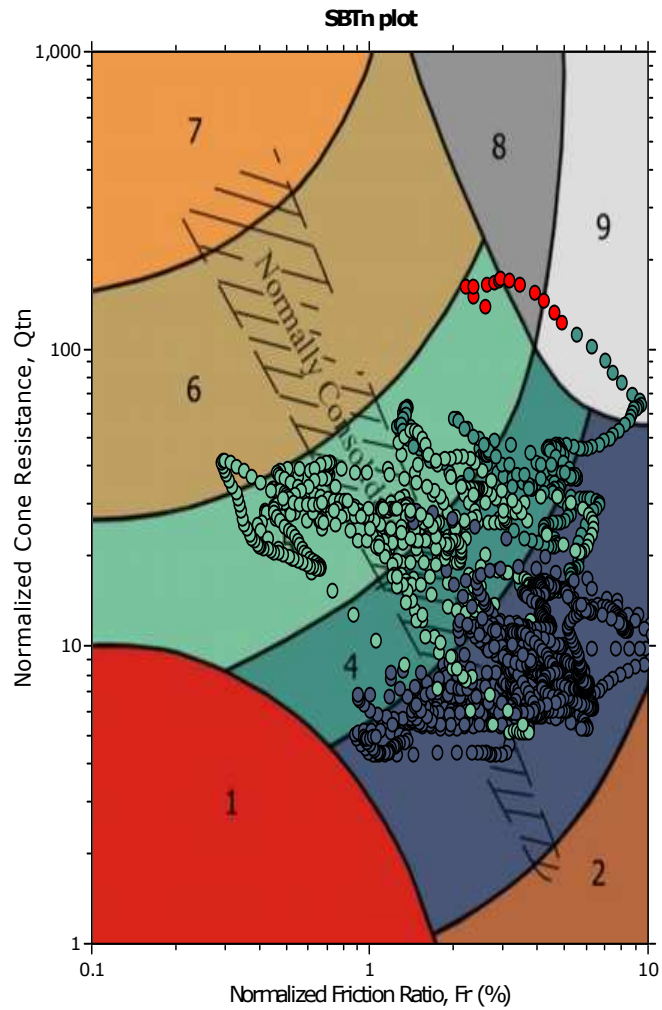
SBT - Bq plots



SBT legend

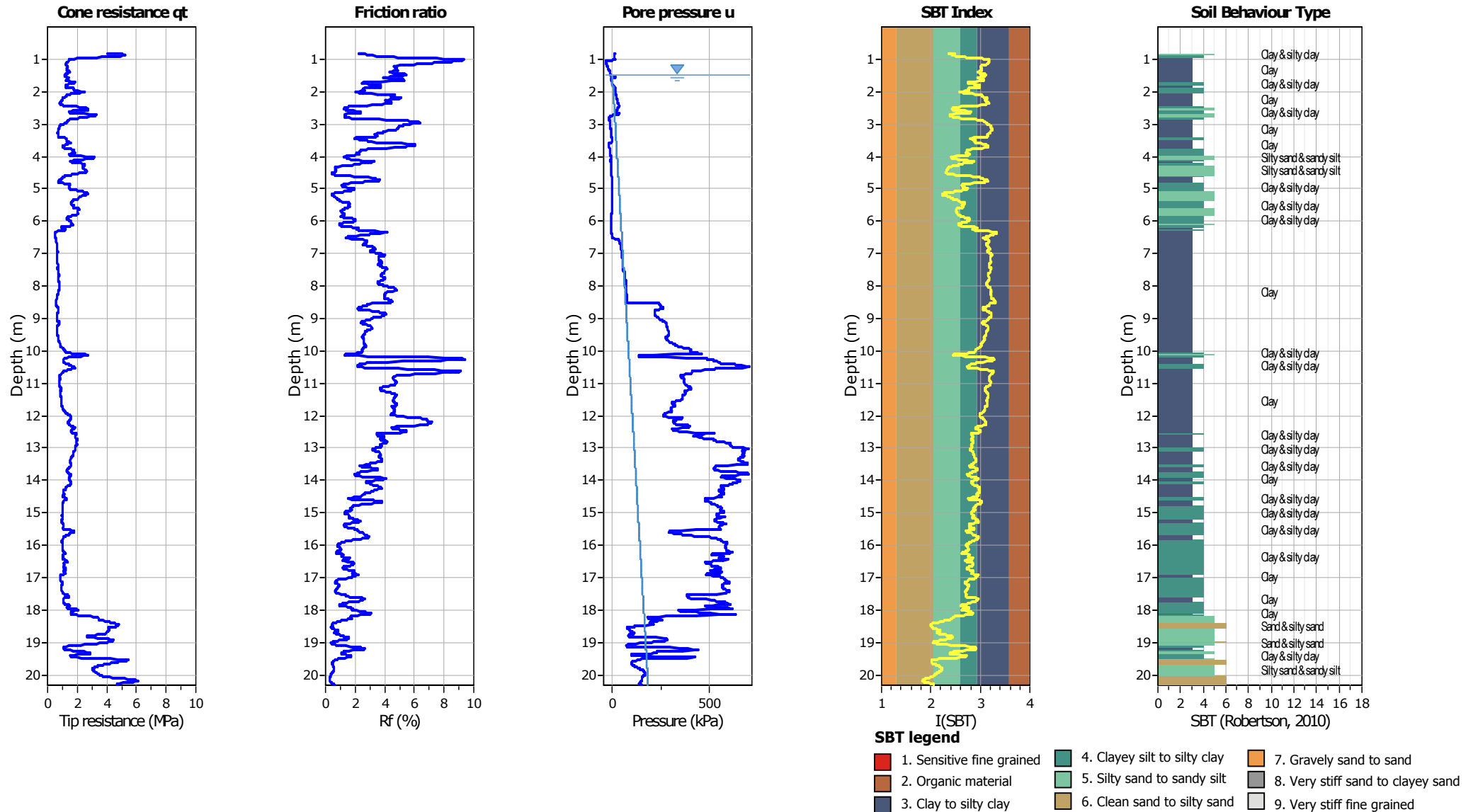
- | | | |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty clay | 7. Gravely sand to sand |
| 2. Organic material | 5. Silty sand to sandy silt | 8. Very stiff sand to clayey sand |
| 3. Clay to silty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

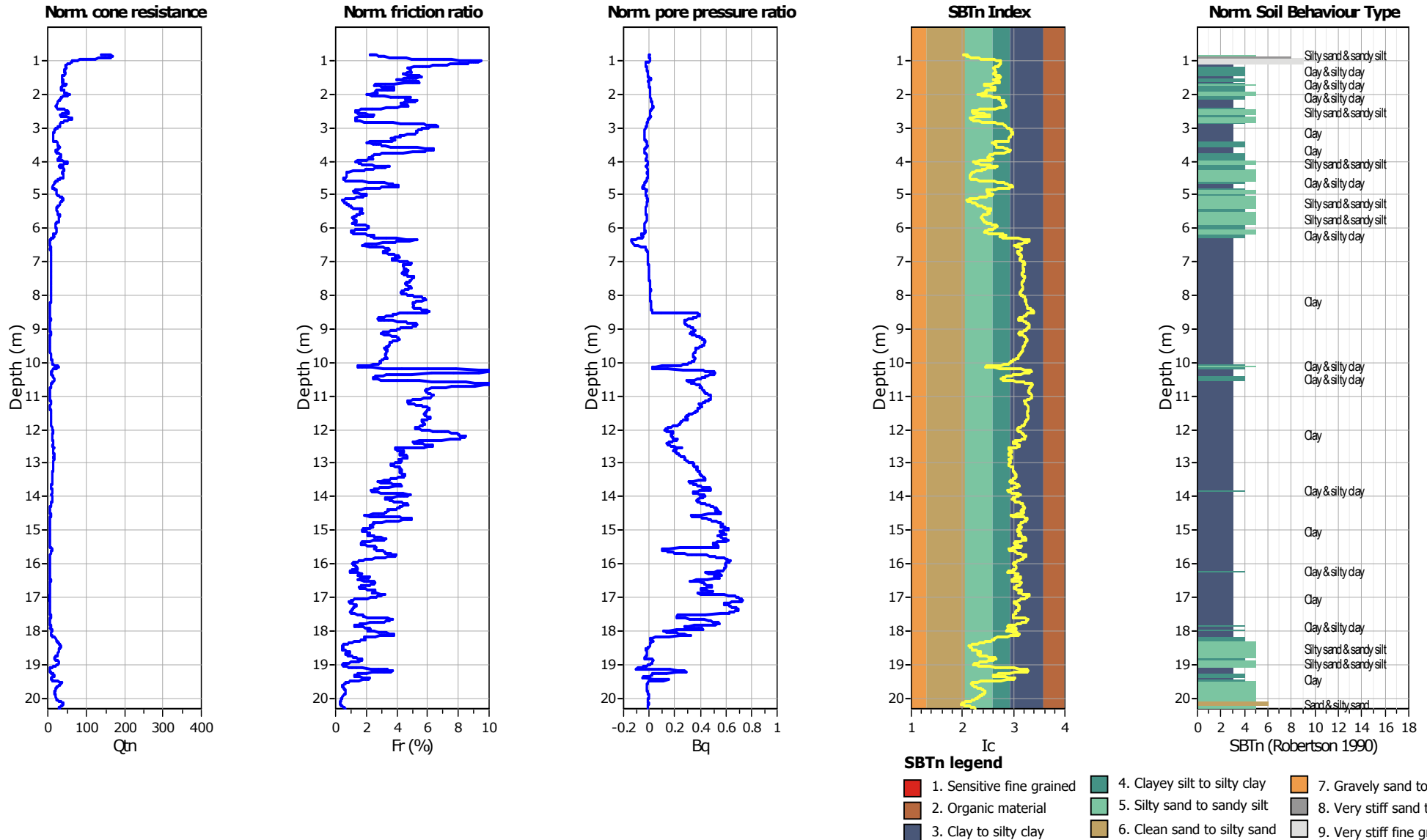
SBT - Bq plots (normalized)

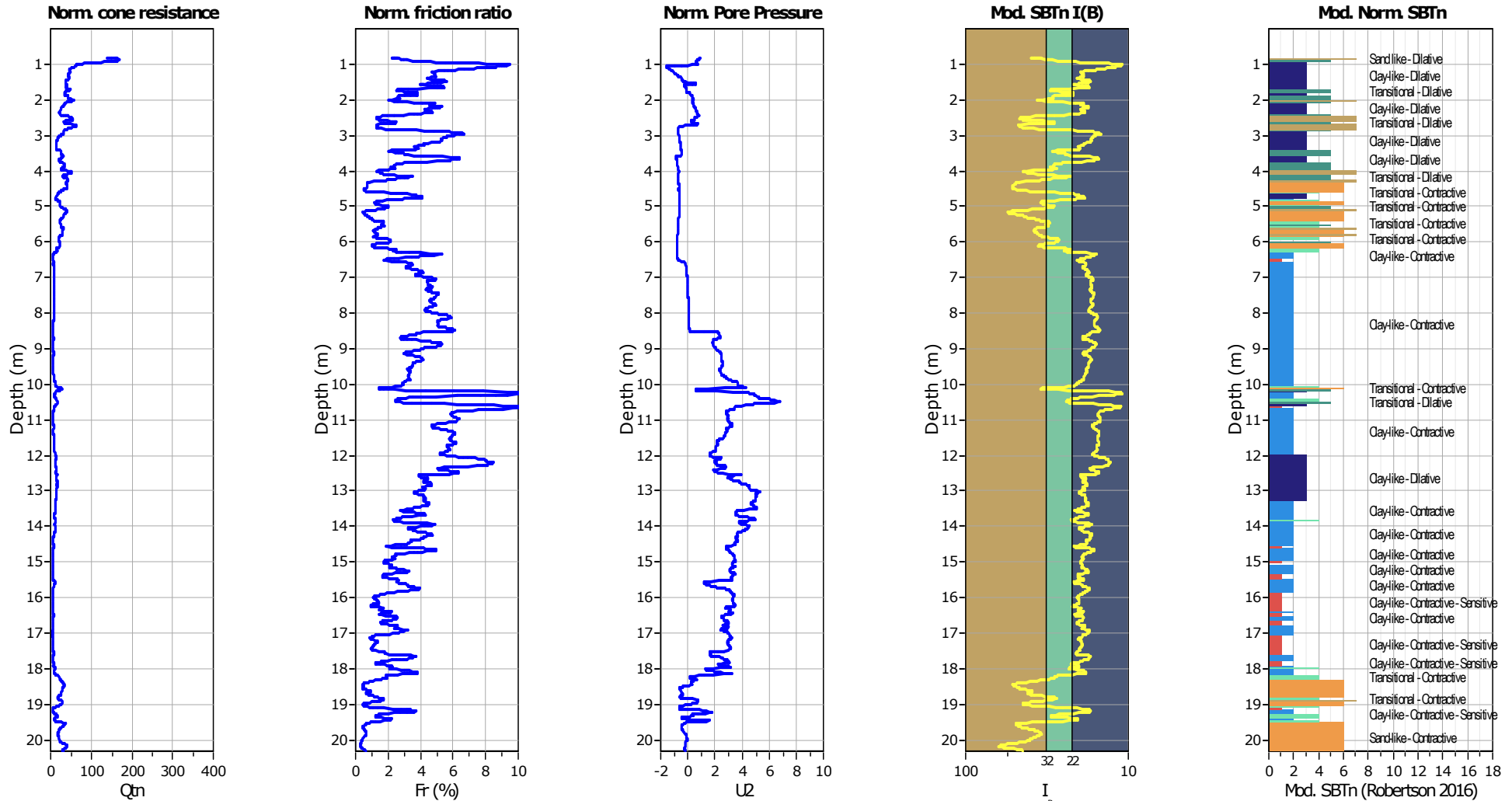


SBTn legend

- | | | |
|--|---|---|
| ■ 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 |



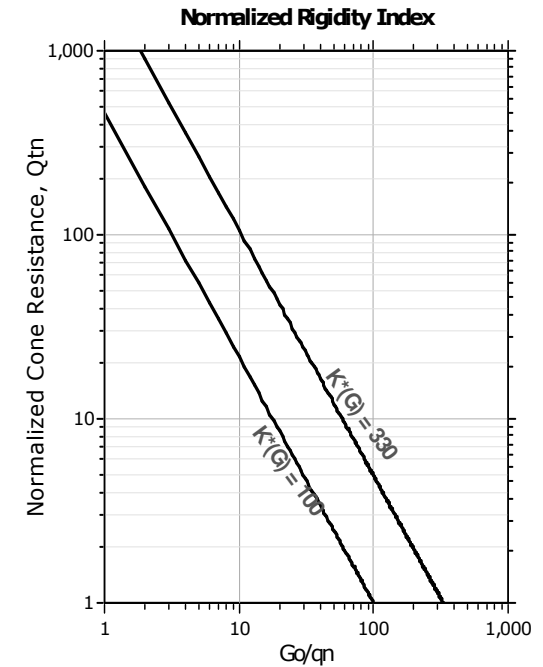
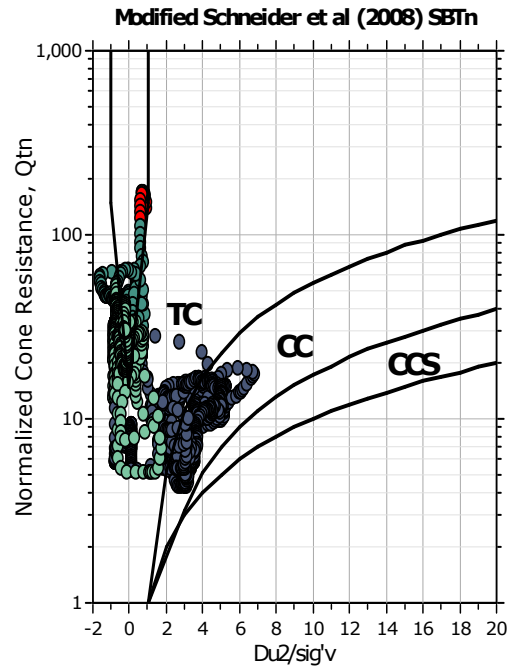
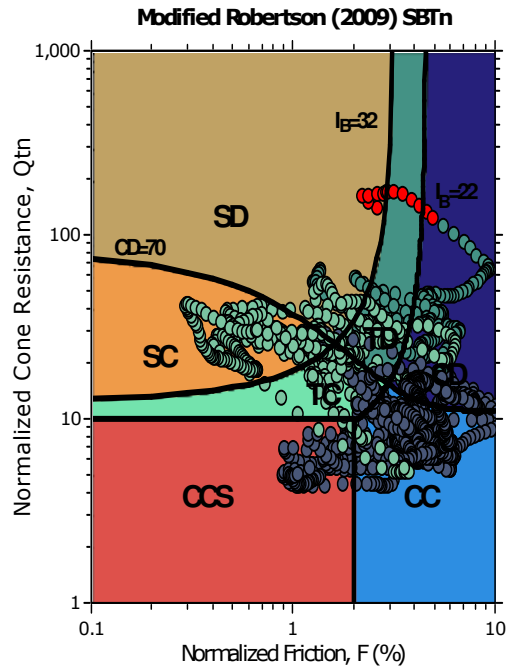




Mod. SBTn legend

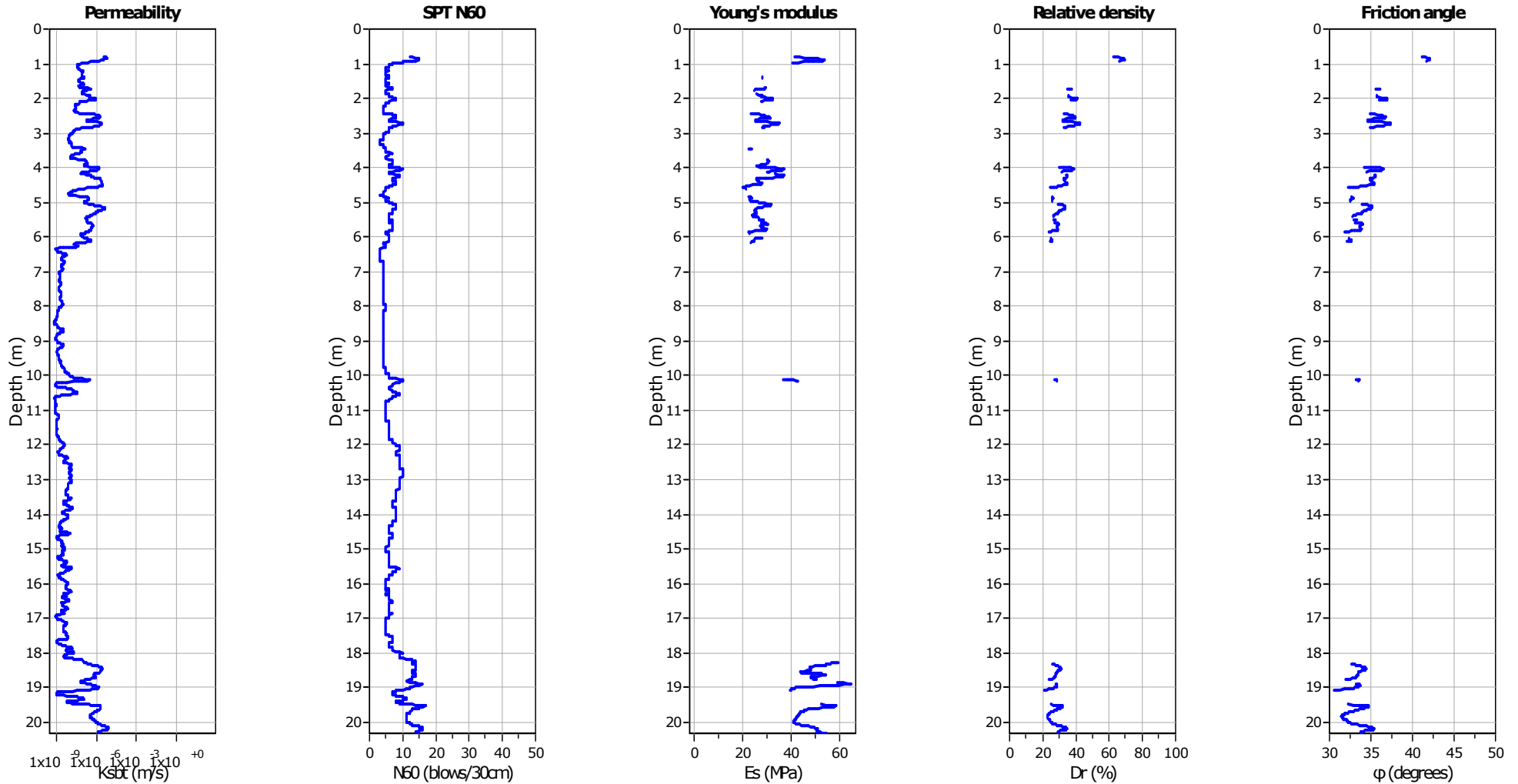
- | | | |
|---|-----------------------------------|-----------------------------|
| 1. CCS: ClayLike - Contractive, Sensitive | 4. TC: Transitional - Contractive | 7. SD: Sand-like - Dilative |
| 2. CC: Clay-like - Contractive | 5. TD: Transitional - Dilative | |
| 3. CD: Clay-Like: Dilative | 6. SC: Sand-like - Contractive | |

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

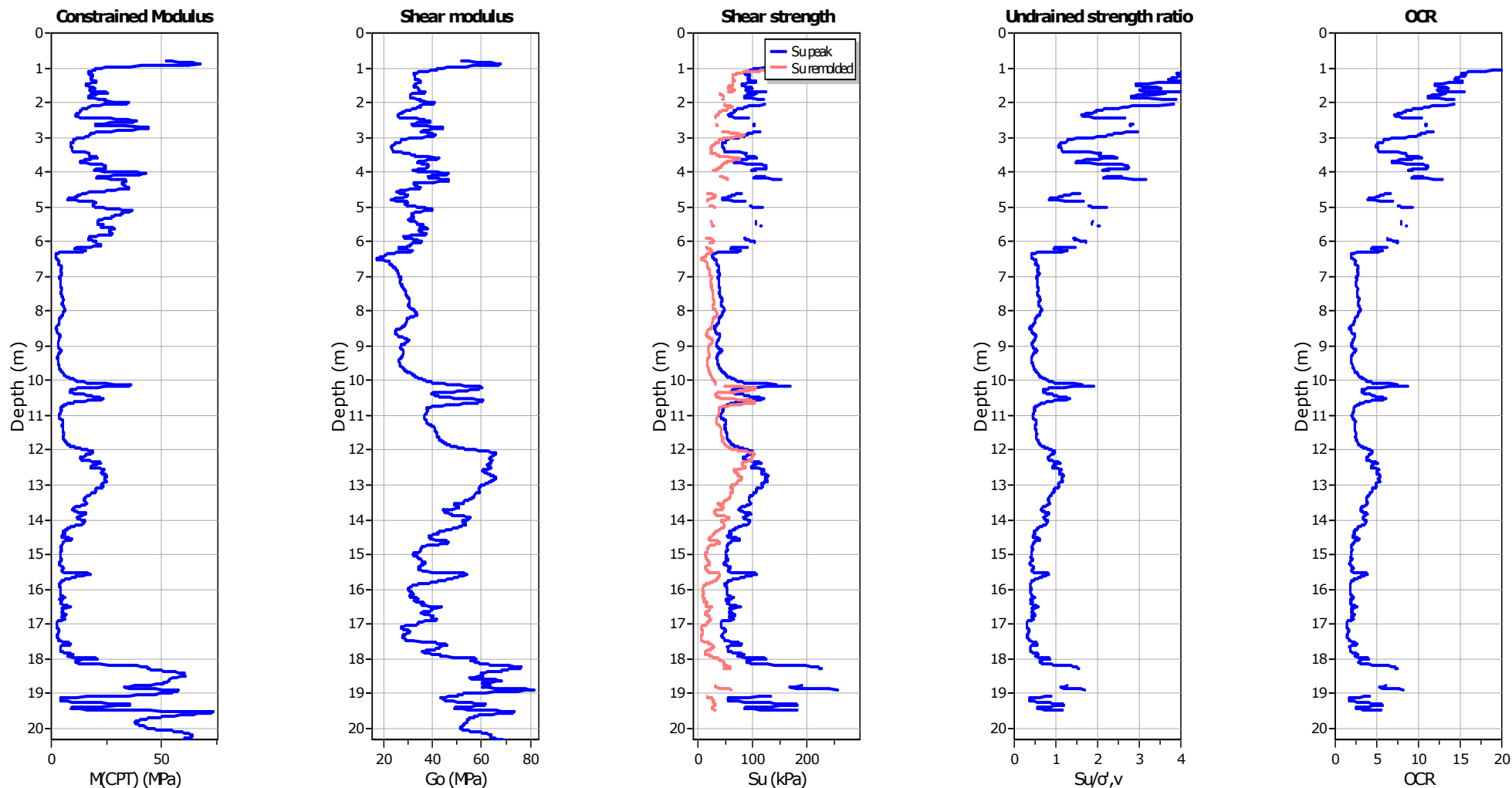
SPT N₆₀: Based on I_c and q_t

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 *alpha* using I_c and Q_{tn} (Robertson, 2009)

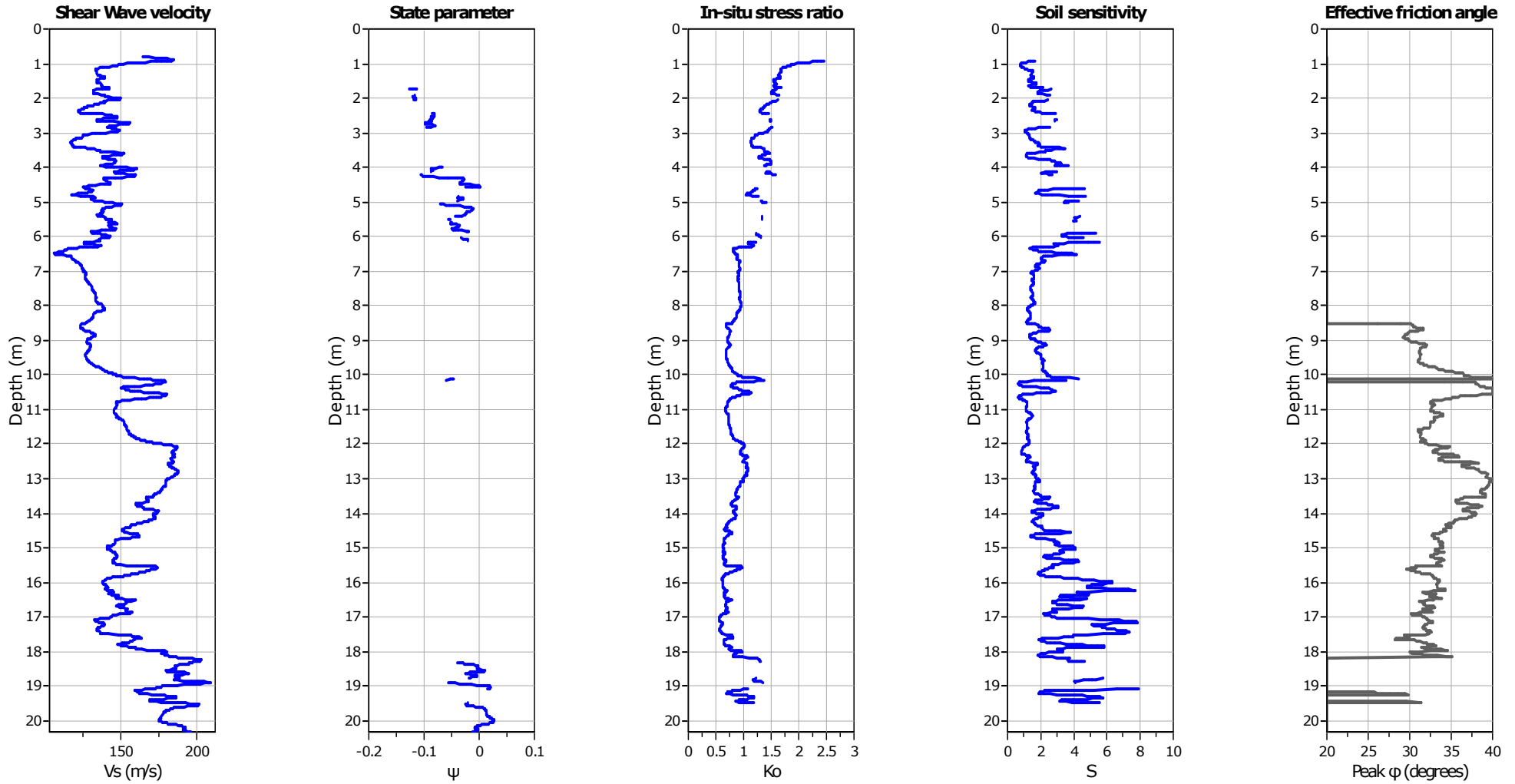
Go: Based on variable *alpha* using I_c (Robertson, 2009)

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

OCR factor for clays, N_{kt} : 0.33

● User defined estimation data

● Flat Dilatometer Test data



Calculation parameters

Soil Sensitivity factor, N_s : 7.00

—●— User defined estimation data

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 – 41124 Modena

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

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

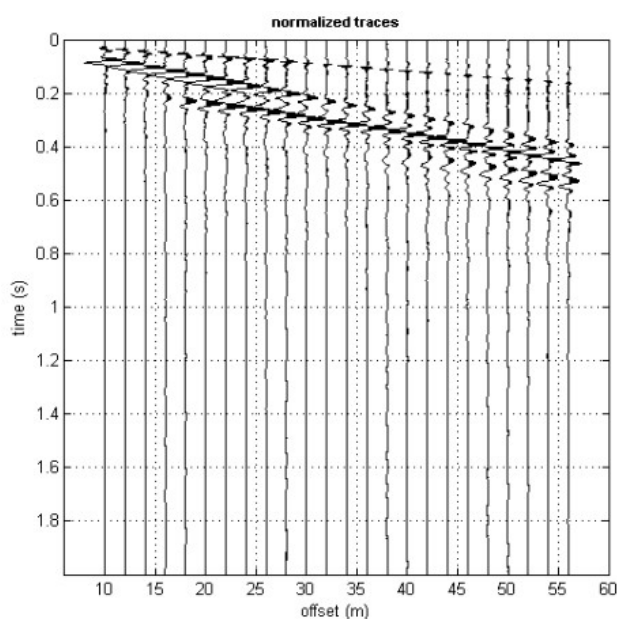
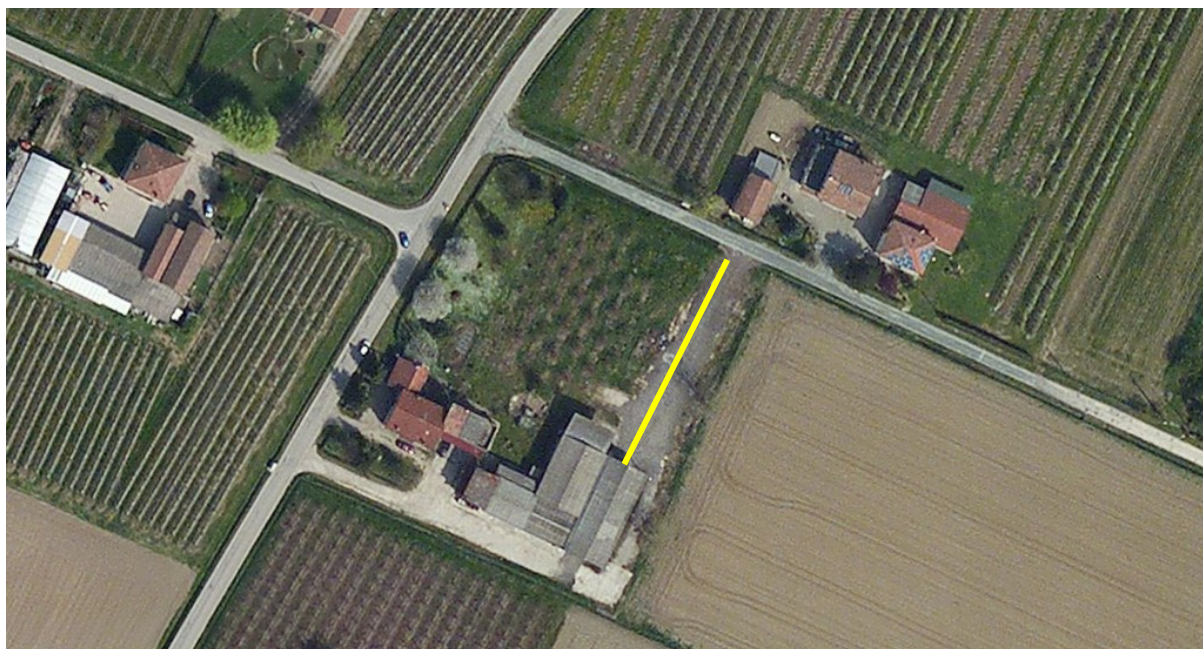
p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it - e-mail: info@geogroupmodena.it



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

Cantiere: Renazzo – Via Larga
Operatori: Dott. Ghirardini Gabriele
Data: 06/05/2013
Lavoro: Piano particolareggiato
Elaborazione: Dott. Ssa Linda Veratti
Responsabile: Dott. Geol. Pier Luigi Dallari

CERTIFICATO: 196_M_13





GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

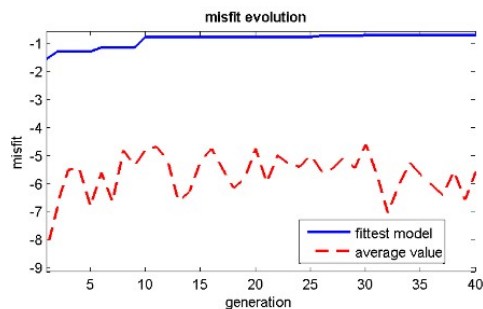
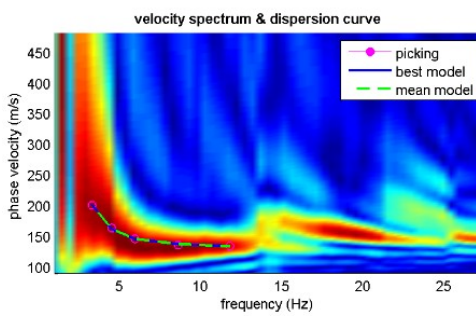
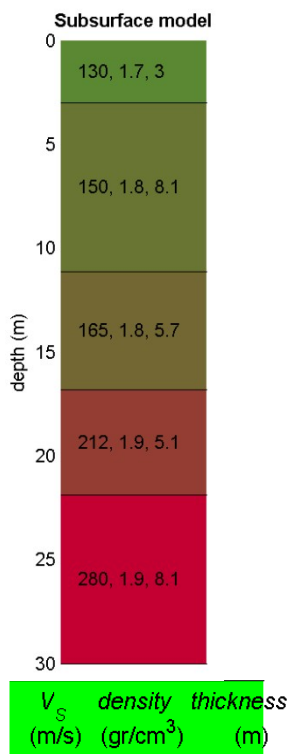
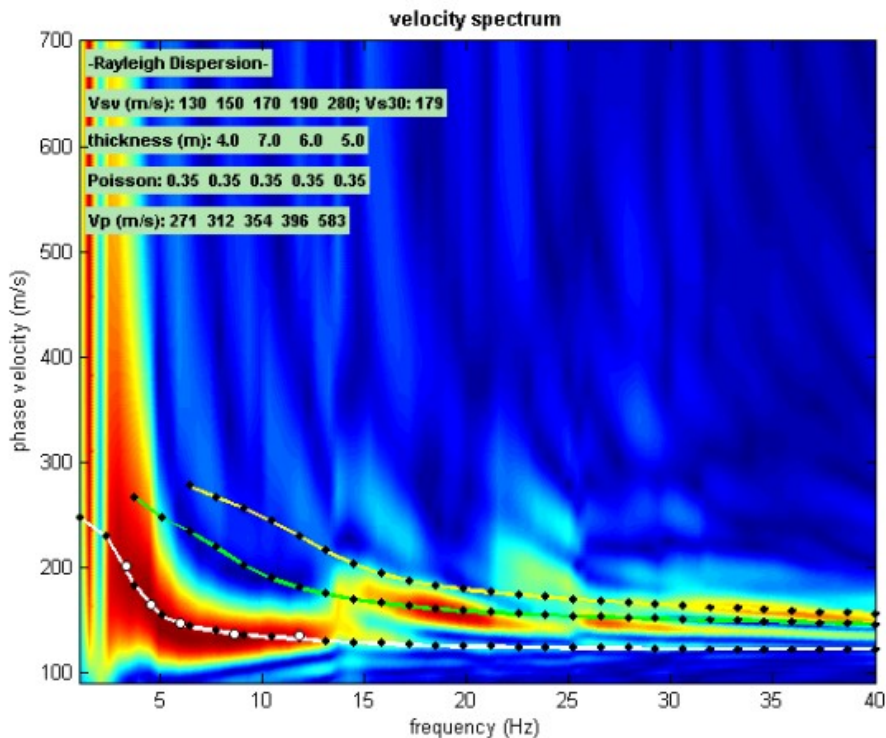
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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



ELABORAZIONE





GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

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

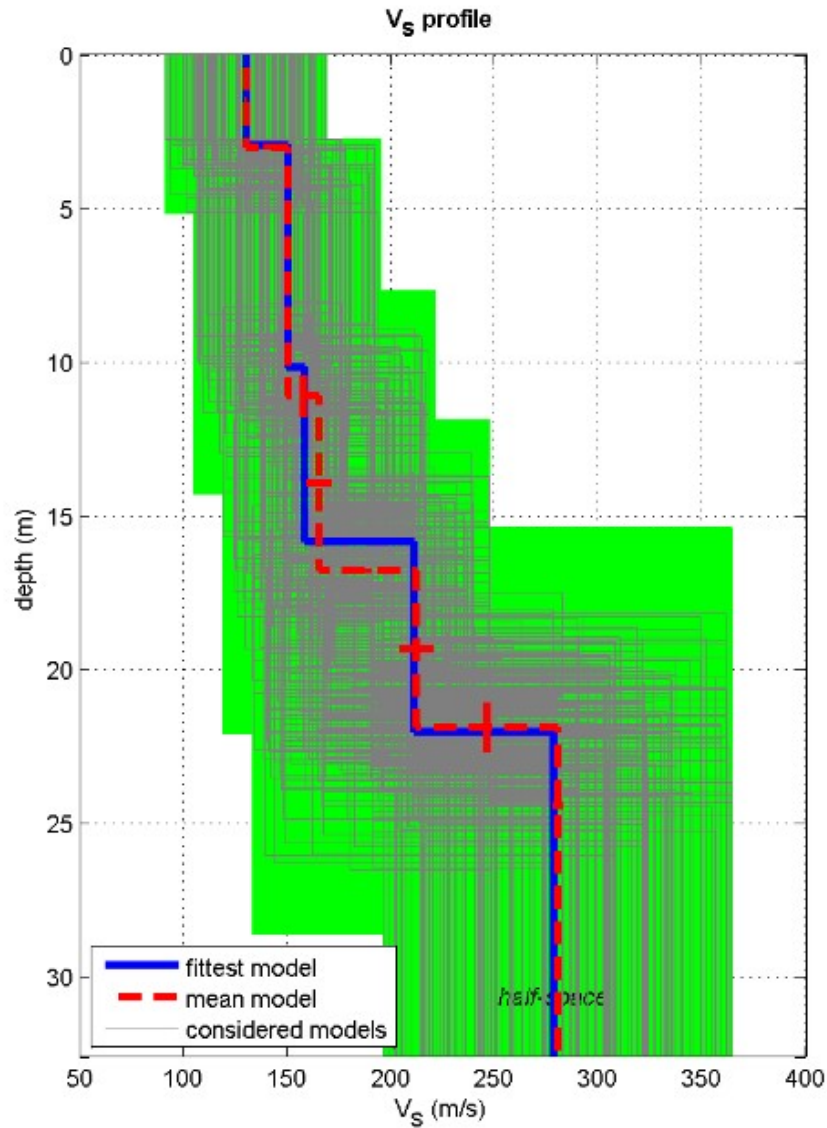
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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



[MODELLO FINALE]

$V_{S30} = 182 \text{ m/s}$



dataset: 103.dat

dispersion curve: picking.cdp

V_{S30} (best model): 182 m/s

V_{S30} (mean model): 182 m/s



GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

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

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

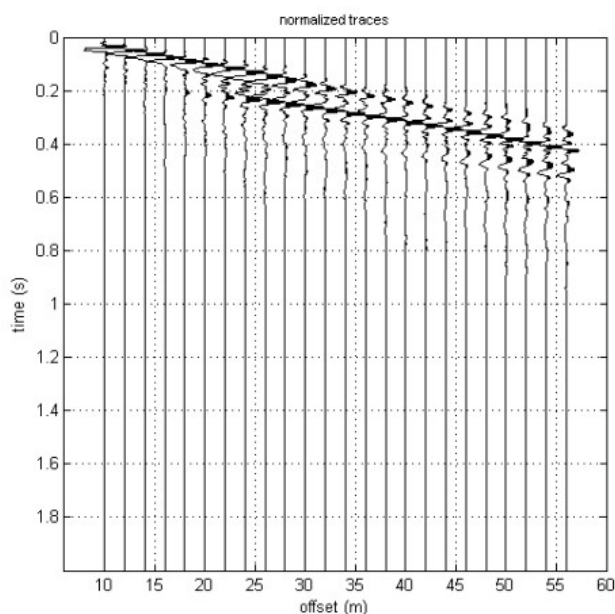
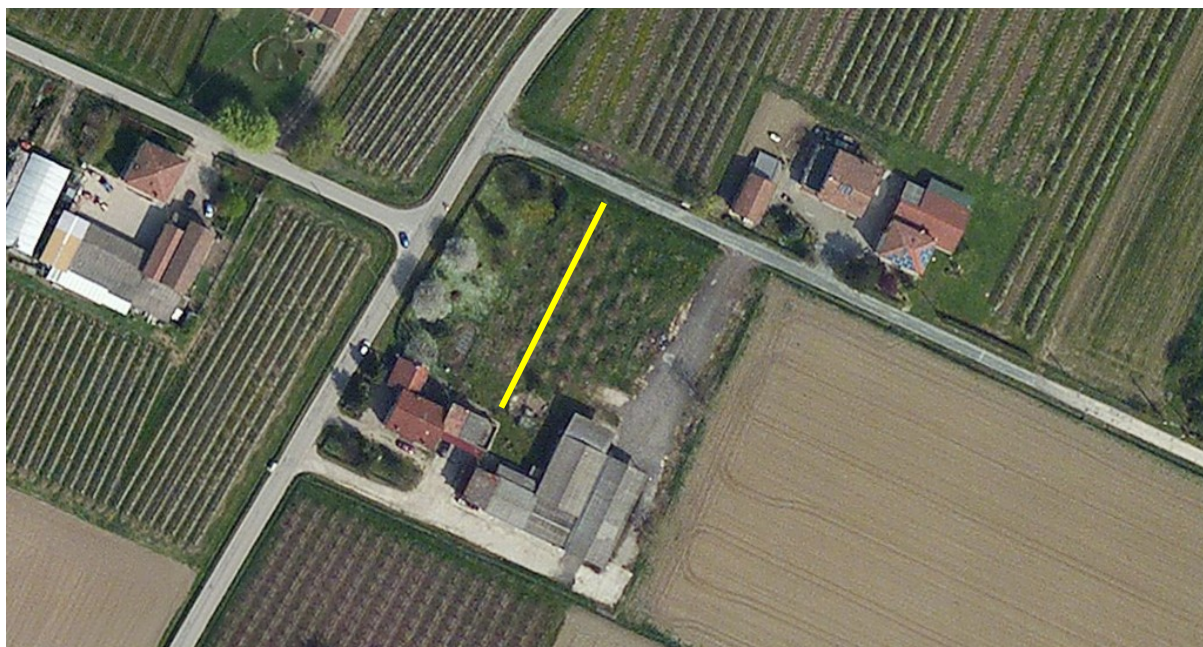
p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it - e-mail: info@geogroupmodena.it



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

Cantiere: Renazzo – Via Larga
Operatori: Dott. Ghirardini Gabriele
Data: 06/05/2013
Lavoro: Piano particolareggiato
Elaborazione: Dott. Ssa Linda Veratti
Responsabile: Dott. Geol. Pier Luigi Dallari

CERTIFICATO: 197_M_13





GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

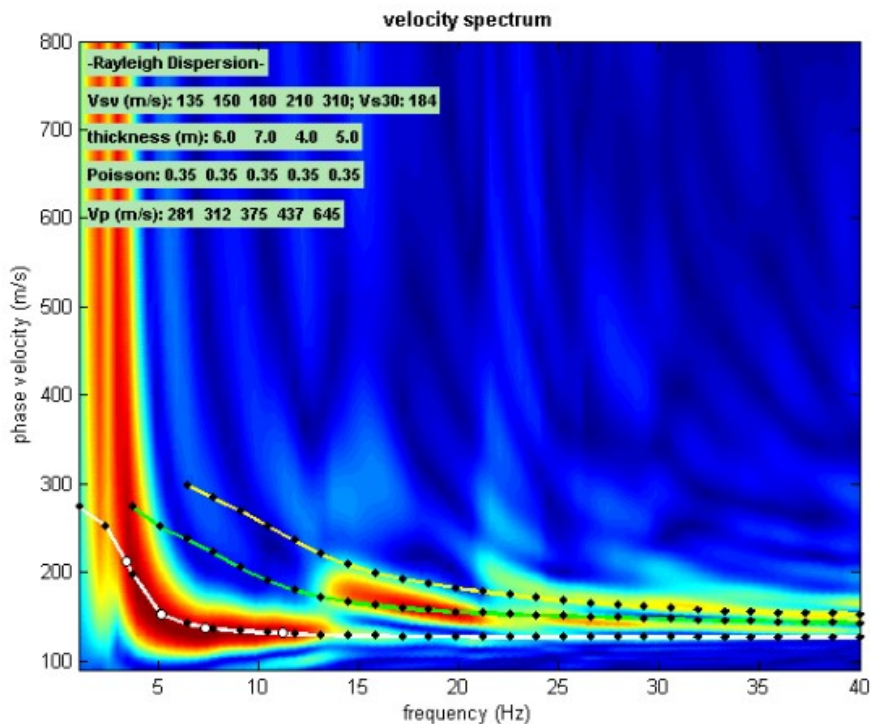
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

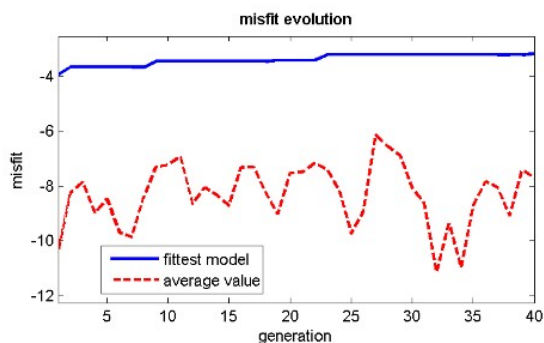
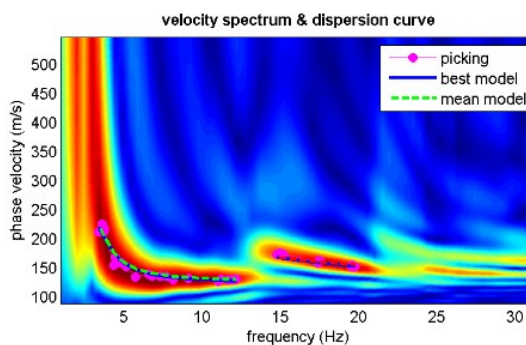
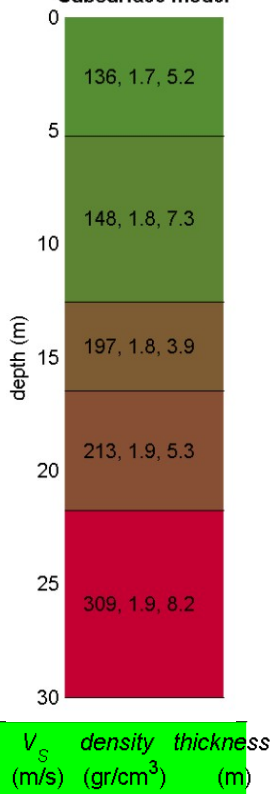
p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it - e-mail: info@geogroupmodena.it



ELABORAZIONE



Subsurface model





GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

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

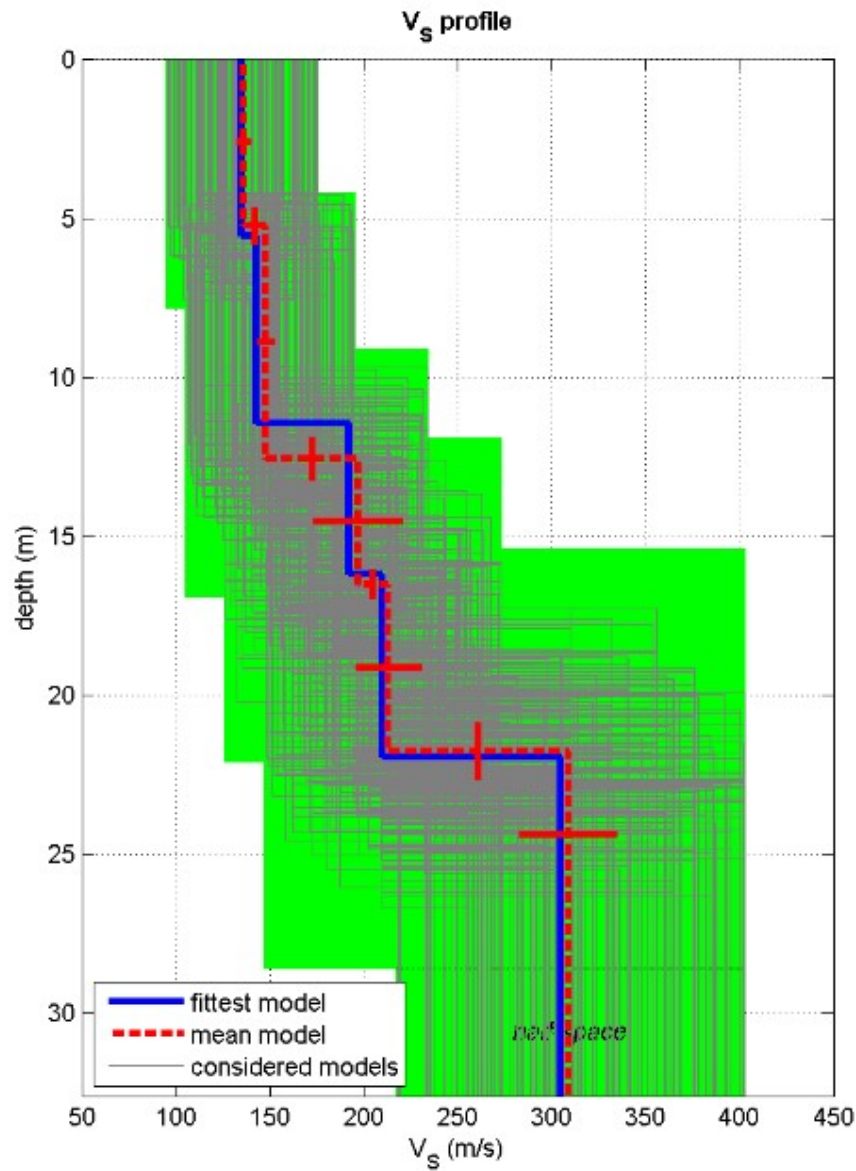
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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



[MODELLO FINALE]

$V_{S30} = 187 \text{ m/s}$



dataset: 104.dat

dispersion curve: picking.cdp

V_{s30} (best model): 187 m/s

V_{s30} (mean model): 188 m/s

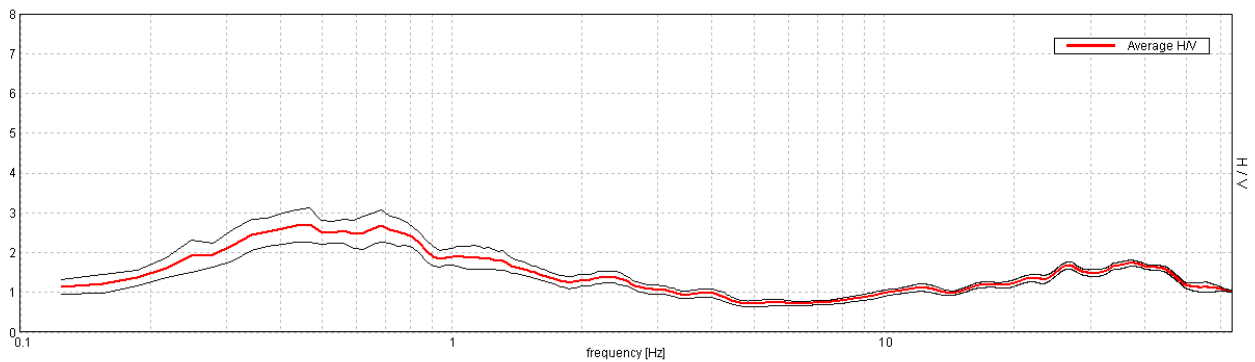
RENAZZO CENTO, 1

Instrument: TE3-0303/01-17
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: 51
Start recording: 07/11/19 11:41:51 End recording: 07/11/19 12:01:51
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

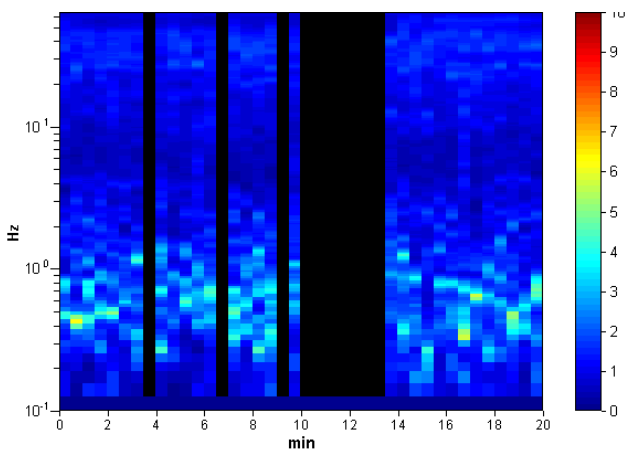
Trace length: 0h20'00". Analyzed 75% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 30 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

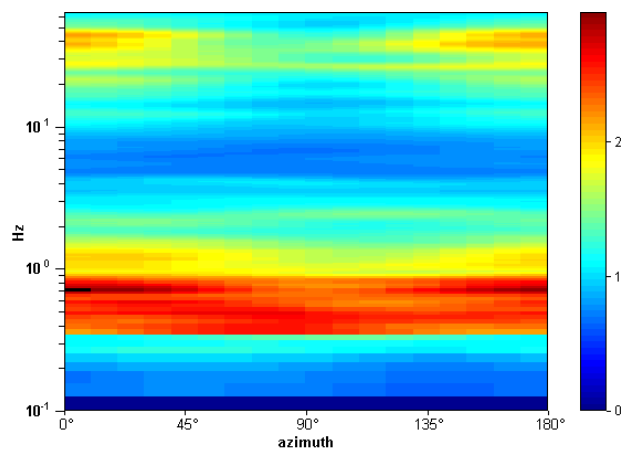
Max. H/V at 0.47 ± 0.07 Hz (in the range 0.0 - 30.0 Hz).



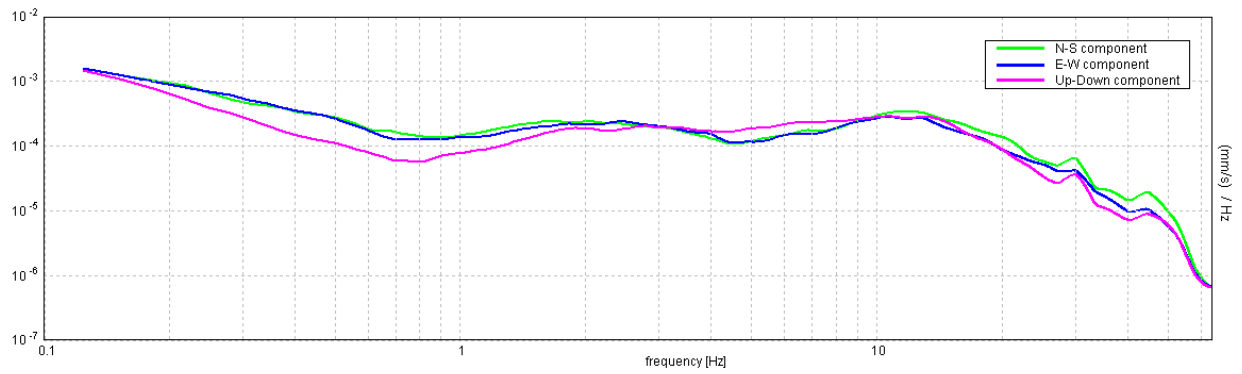
H/V TIME HISTORY



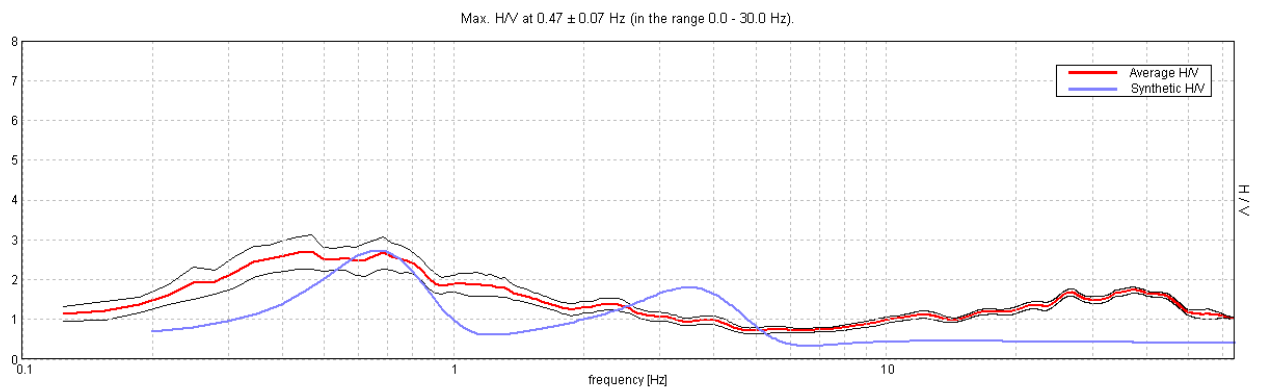
DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



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

Max. H/V at 0.47 ± 0.07 Hz (in the range 0.0 - 30.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.47 > 0.33$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$421.9 > 200$	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 24 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.156 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.719 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.70 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.15105 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.0708 < 0.09375$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4234 < 2.5$	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

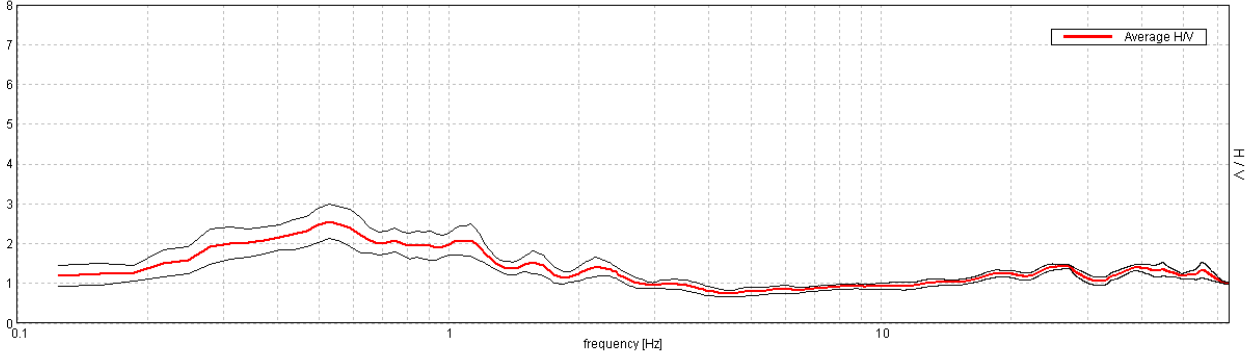
RENAZZO CENTO, 2

Instrument: TE3-0303/01-17
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: 51
Start recording: 07/11/19 12:03:00 End recording: 07/11/19 12:13:00
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

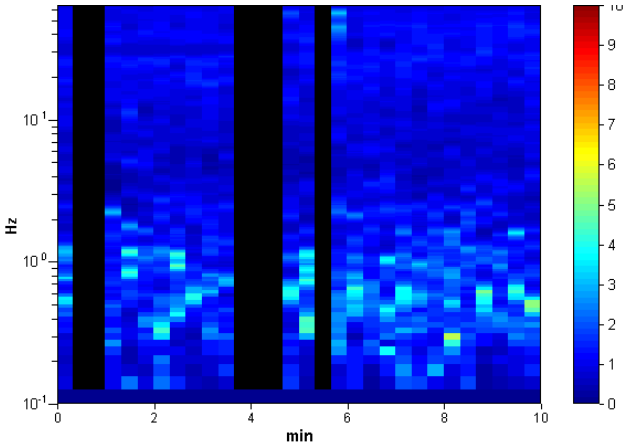
Trace length: 0h10'00". Analyzed 80% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

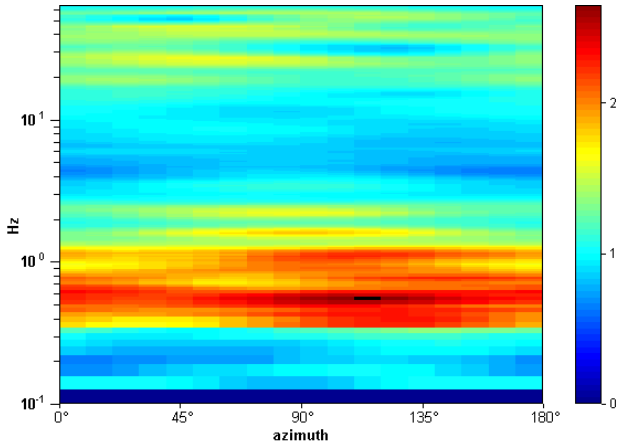
Max. H/V at 0.53 ± 0.39 Hz (in the range 0.0 - 30.0 Hz).



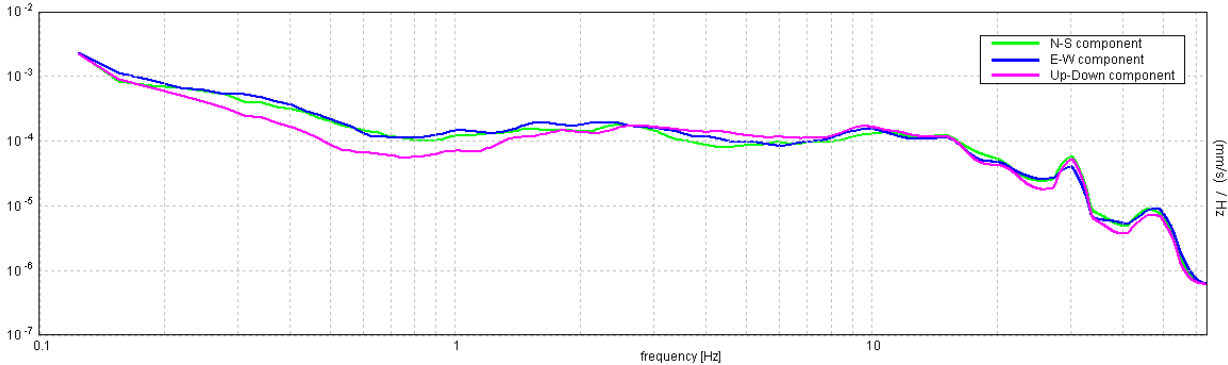
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V

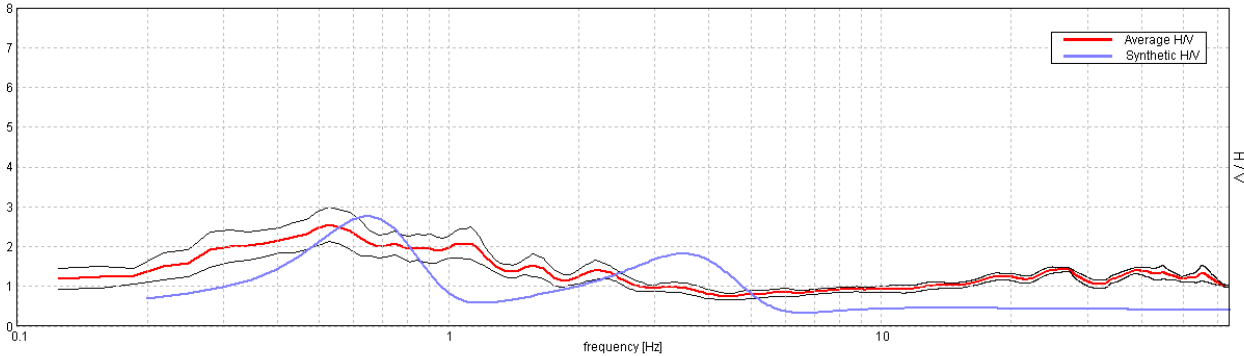


SINGLE COMPONENT SPECTRA



EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 0.53 ± 0.39 Hz (in the range 0.0 - 30.0 Hz).



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

Max. H/V at 0.53 ± 0.39 Hz (in the range 0.0 - 30.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	0.53 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	255.0 > 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 26 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.188 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.75 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.56 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.73313 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.38948 < 0.07969		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.4264 < 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

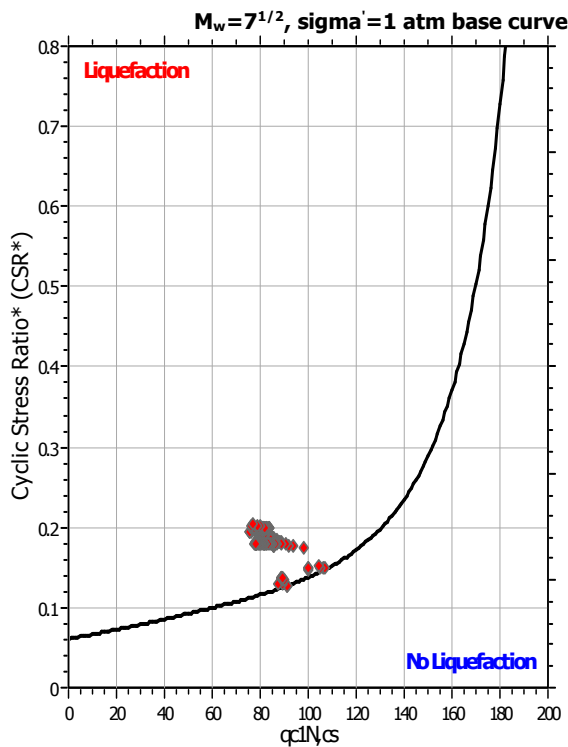
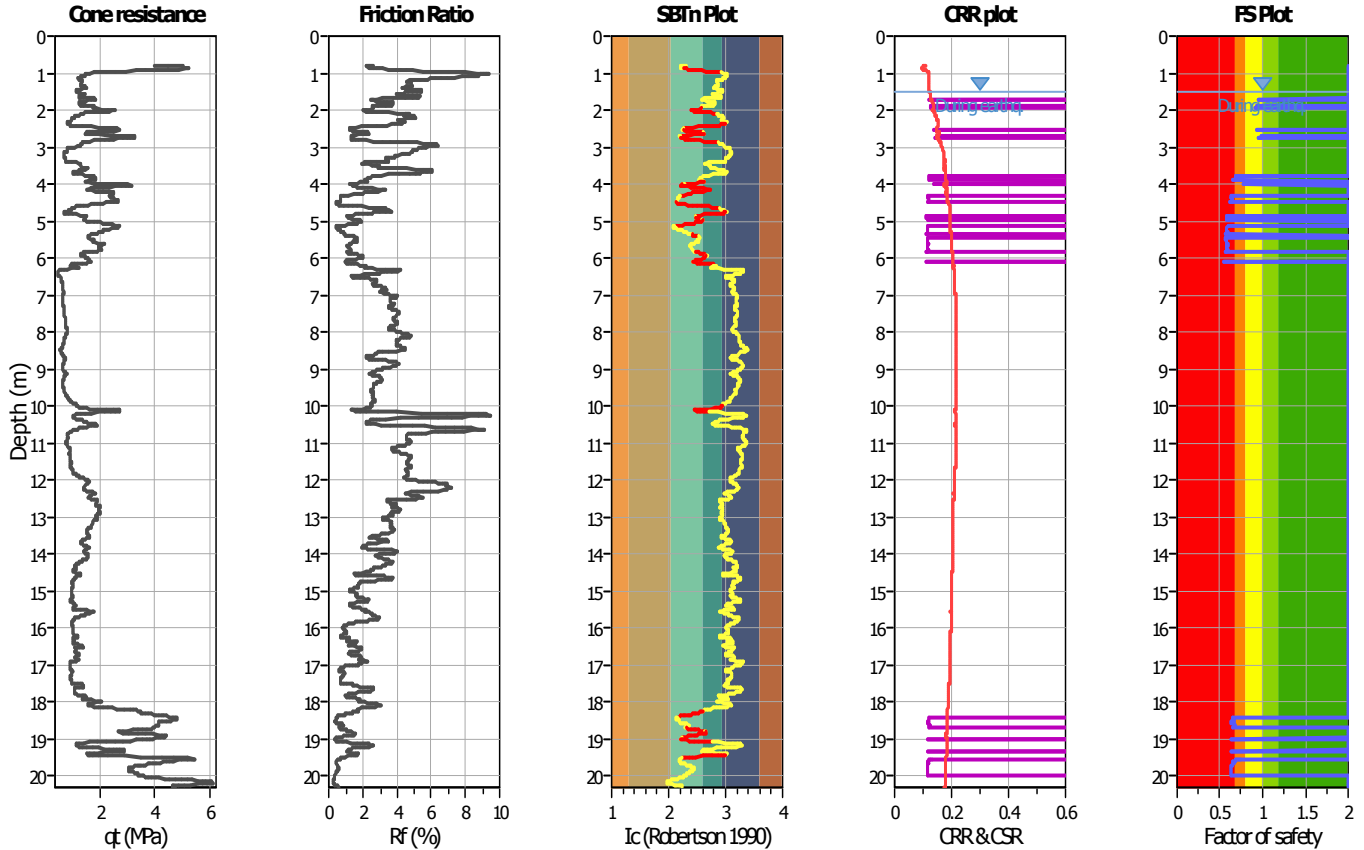
Project title : Studio del terreno di fondazione

Location : Renazzo

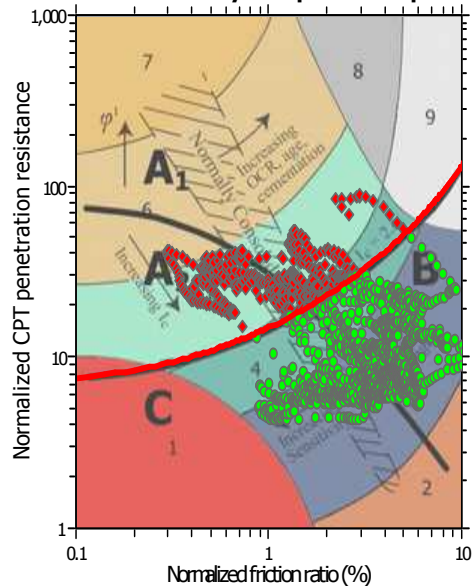
CPT file : CPTU

Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	1.50 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	1.50 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:	0.23	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_σ applied:	Yes	MSF method:	Method

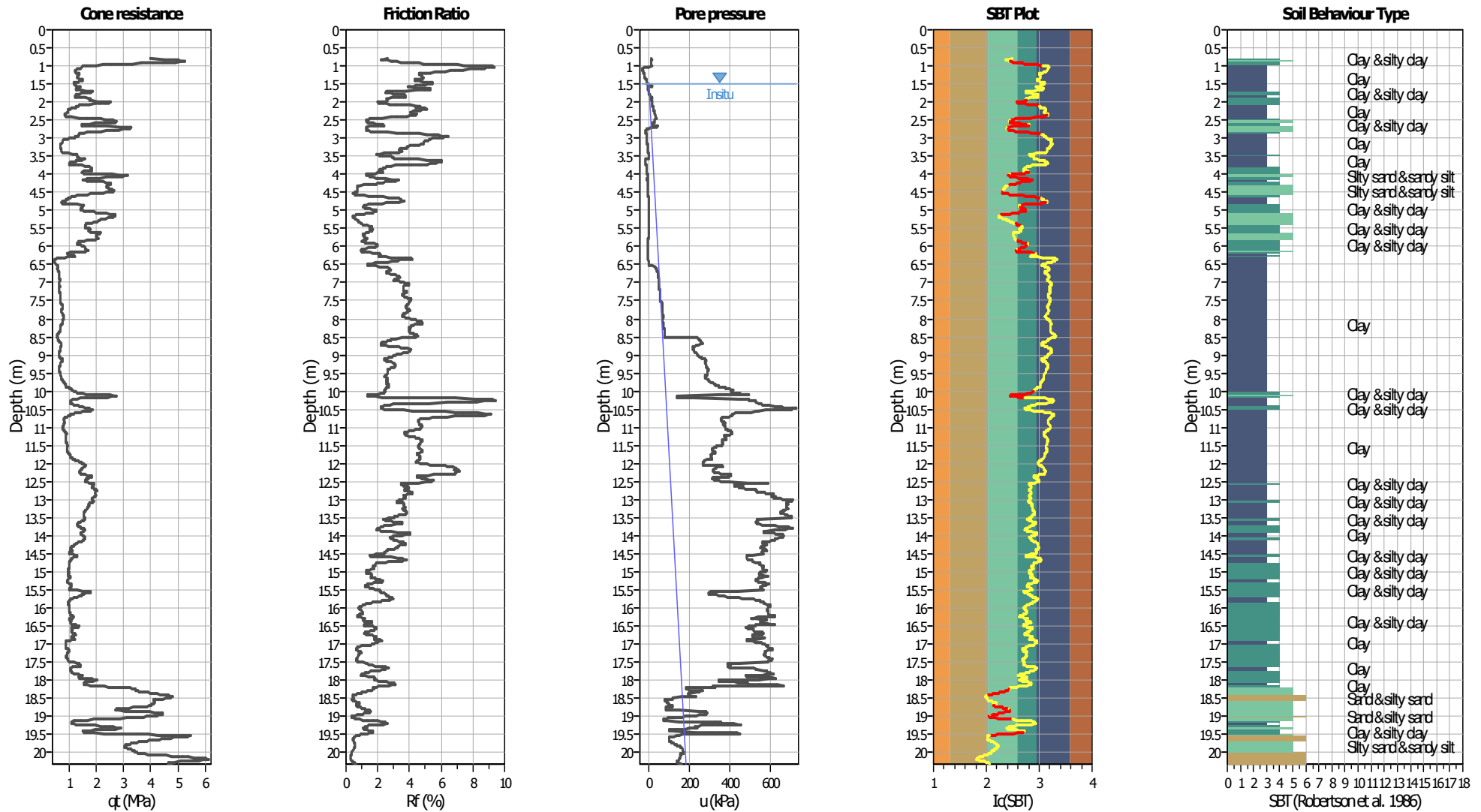


Summary of liquefaction potential



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



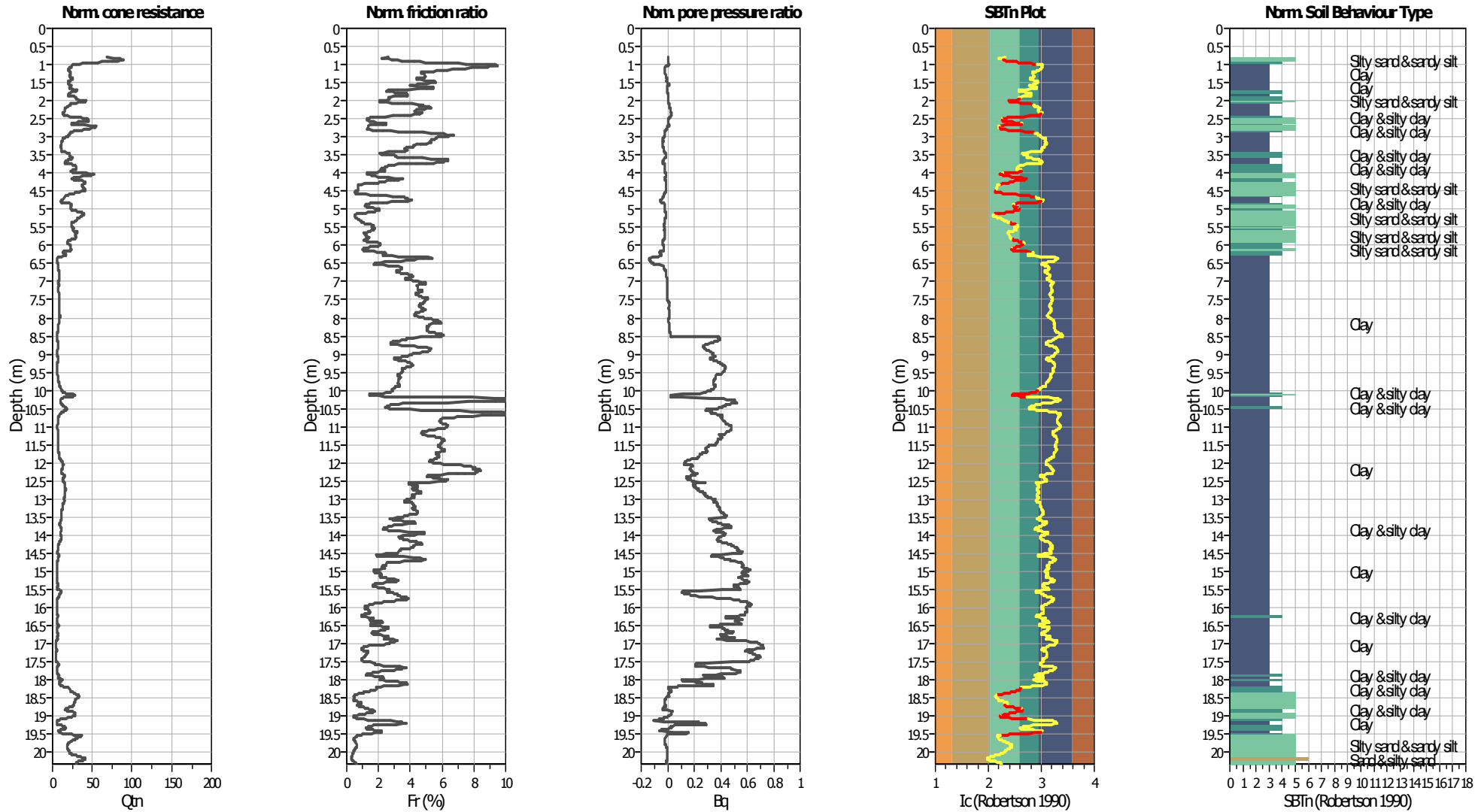
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.50 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:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	1.50 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)



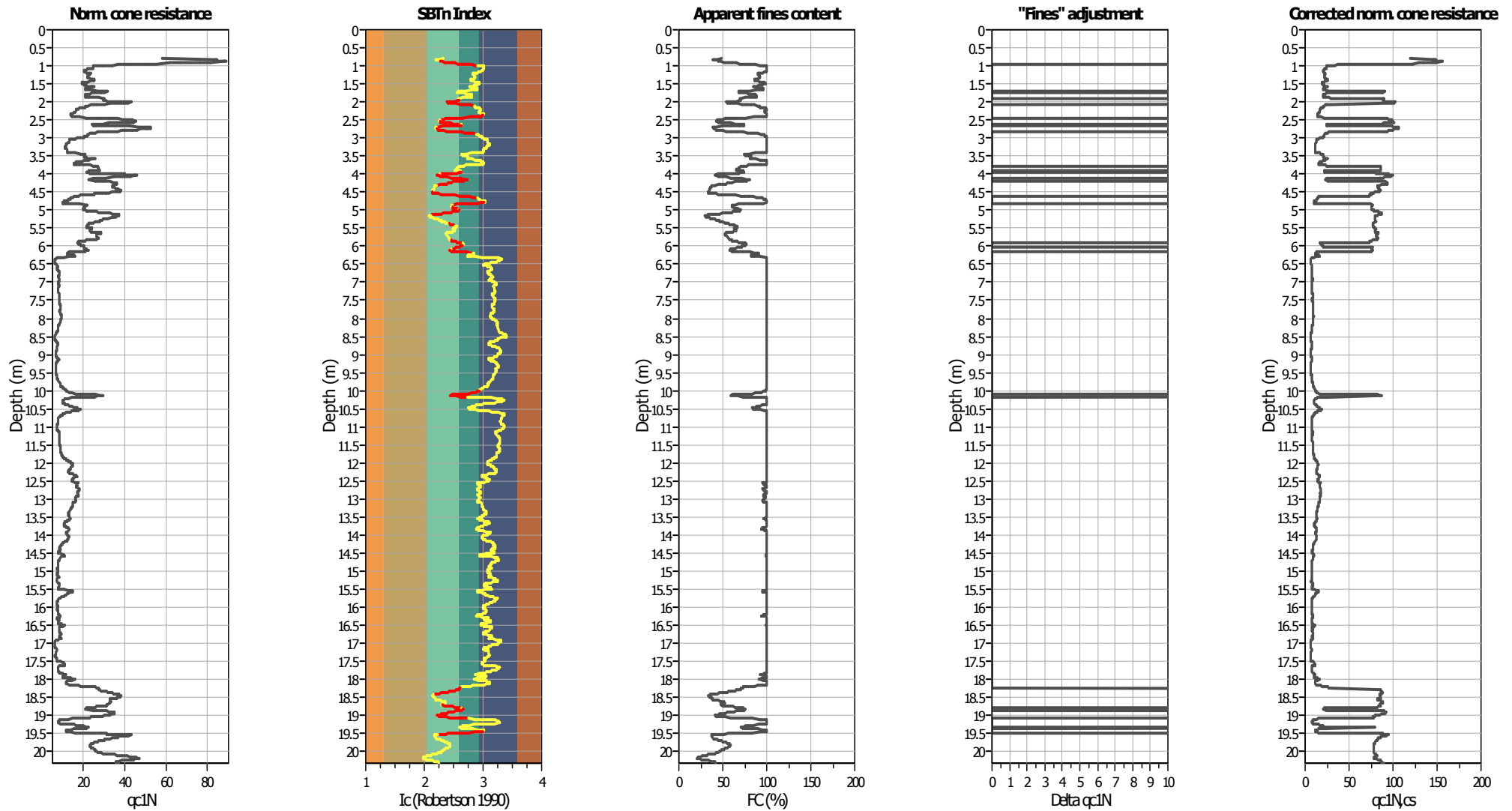
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.50 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _q applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	1.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

SBTn legend

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

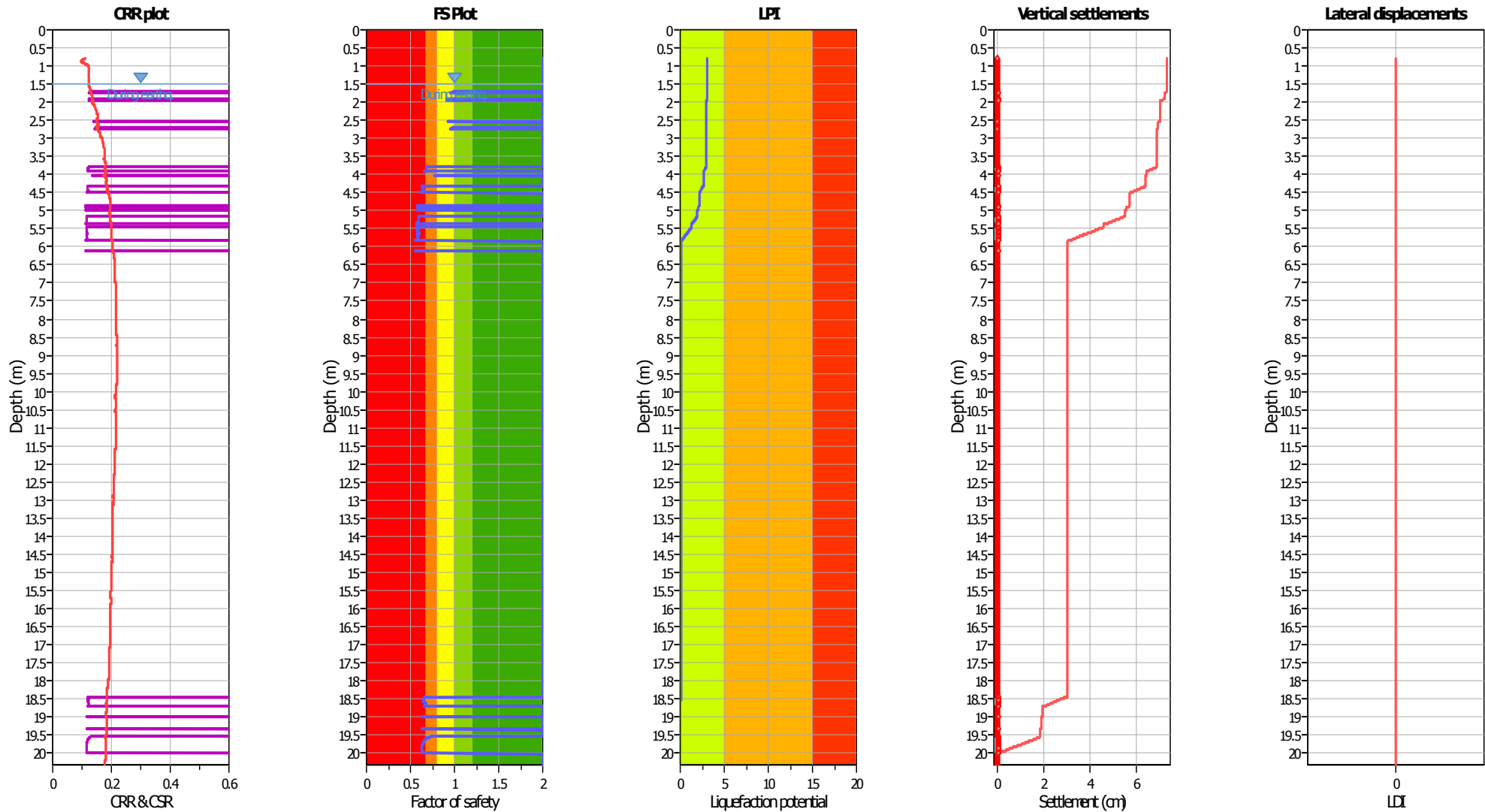
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.50 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _q applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	1.50 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 (erthq.):	1.50 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _σ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	1.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

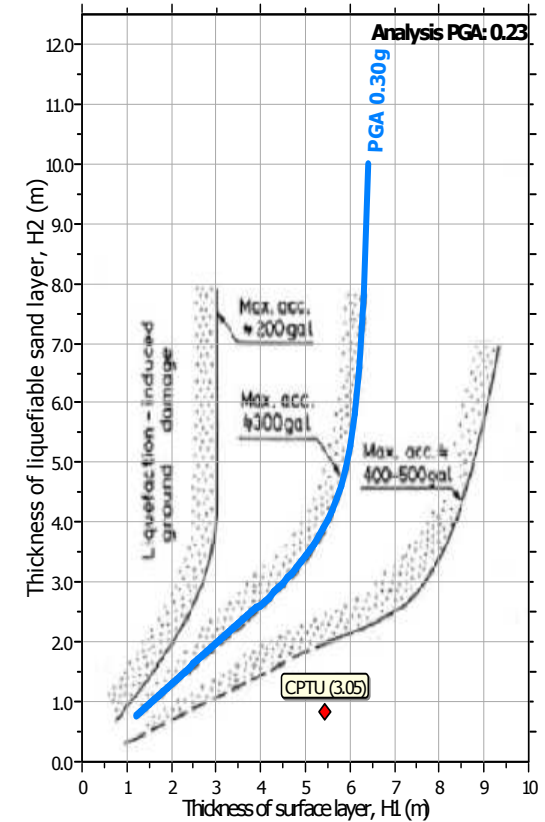
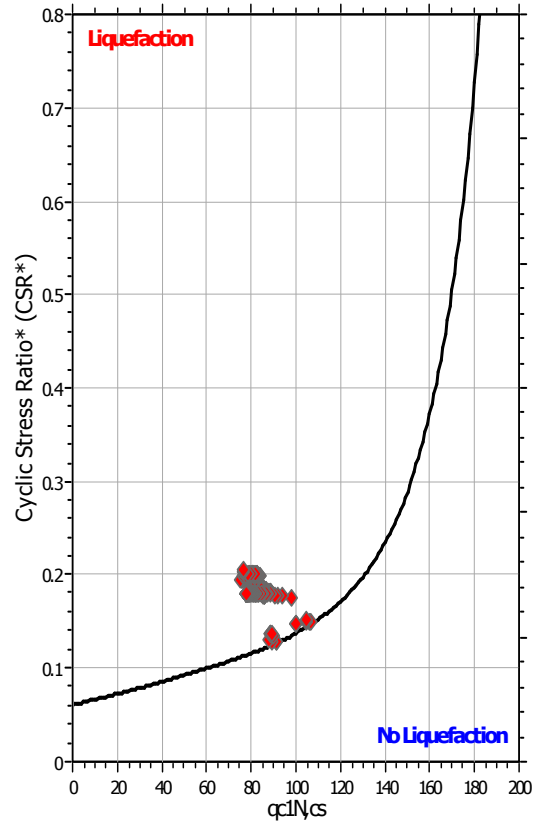
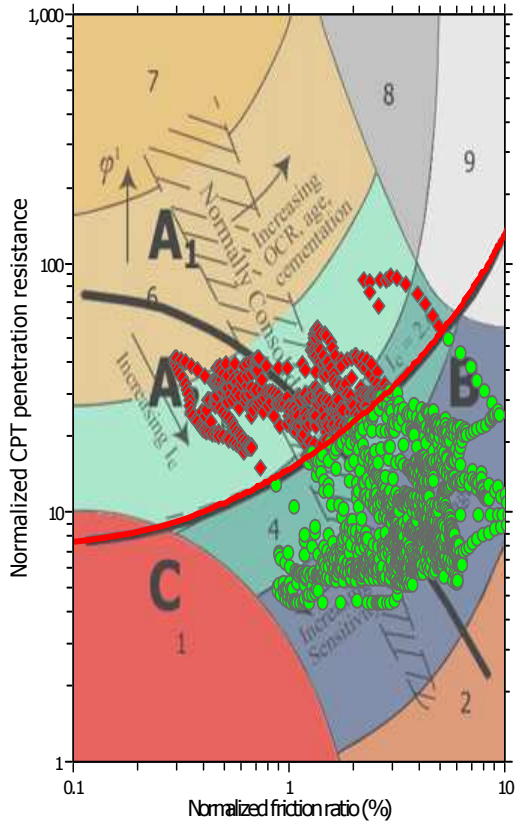
F.S. color scheme

- 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

Liquefaction analysis summary plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.50 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _q applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	1.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m