

# 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)



### OGGETTO:

**Caratterizzazione geologica, geotecnica, idrogeologica e sismica inerente al PUA "Ex Tonini", in Via Bologna nel Comune di Medolla**



Dot. Geol. Pier Luigi Dallari

Dicembre 2021  
Rif. 1224/21



**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](http://www.geogroupmodena.it)



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

E

Comune di Medolla  
Comune di Medolla

COPIA CONFORME ALL'ORIGINALE DIGITALE  
Protocollo N. 0005125/2023 del 15/05/2023

Firmatario: Pier Luigi Dallari

## RELAZIONE TECNICA

### RELAZIONE GEOLOGICA

inerente alla 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 (DGR 476/2021)

### OGGETTO

**Caratterizzazione geologica, geotecnica, idrogeologica e sismica inerente al PUA "Ex Tonini", in Via Bologna nel Comune di Medolla (MO).**

---

**Rif. n. 1224/2021**



UFFICI: via Per Modena, 12 - 41051 Castelnovo R. (MO)

SEDE LEGALE: via C. Costa, 182 - 41123 Modena (MO)

tel. 059/3967169; 059/828367 - p. Iva e C.F.02981500362

Email: [info@geogroupmodena.it](mailto:info@geogroupmodena.it) Pec: [geo.group@winpec.it](mailto:geo.group@winpec.it) Sito: [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it)



## INDICE DEL CONTENUTO

1	PREMESSE.....	3
2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO .....	4
2.1	Inquadramento geografico.....	4
2.2	Elementi geologici e geomorfologici.....	5
2.3	Inquadramento idrogeologico .....	6
2.4	Inquadramento sismico.....	8
3	INDAGINI GEOGNOSTICHE .....	9
3.1	Indagini Geotecniche .....	9
3.1.1	Prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono CPTE/U.....	9
3.2	Indagini Geofisiche.....	11
3.2.1	Indagine sismica attiva con metodo MASW .....	11
3.2.2	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) .....	15
4.3	Azione sismica e risposta sismica del sito – Risposta sismica locale.....	16
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 476/2021) .....	28
5.3	Stima dei cedimenti indotti dall’azione sismica (§ ALL. A3, B. DGR 476/2021).....	31
6	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	32

## TAVOLE

<b>Tav. n. 1:</b> “Carta Topografica”	scala 1: 5.000
<b>Tav. n. 2:</b> “Ripresa Satellitare”	scala 1: 5.000
<b>Tav. n. 3:</b> “Ubicazione indagini”	scala 1: 1.250

## ALLEGATI

- ALL. n. 1** Prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono CPTU  
**ALL. n. 2** Indagini sismiche  
**ALL. n. 3** Verifica alla liquefazione

# 1 PREMESSE

Nel mese di dicembre 2021 è stato eseguito il presente studio geologico, geotecnico, idrogeologico e sismico dell'area denominata "Ex Tonini", in Via Bologna nel Comune di Medolla (MO).

La superficie territoriale dell'intero sito in studio è pari a 11.230 mq, mentre l'area complessiva da insediare è di 1.685 mq ad uso esclusivamente residenziale.



**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;
- DGR 630/2019 e DGR 476/2021.

## 2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

### 2.1 Inquadramento geografico

L'area in esame è collocata in ambiente di pianura, nel Comune di Medolla (Fig.2.1). Le coordinate specifiche dell'area sono le seguenti:

SITO IN ESAME	
COORDINATE GEOGRAFICHE	
LATITUDINE	LONGITUDINE
44.854452	11.066295



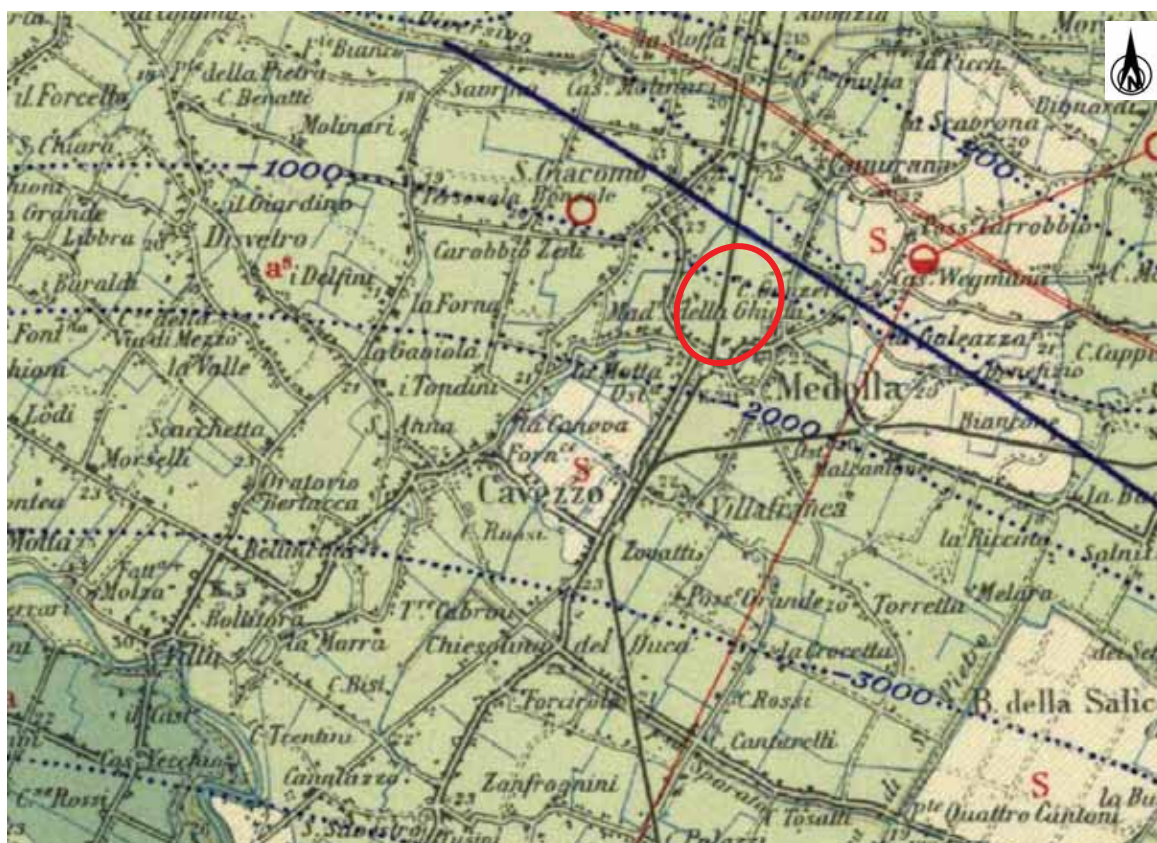
**Fig.2.1 - Ubicazione del sito in studio.**

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

## 2.2 Elementi geologici e geomorfologici

Dalla consultazione della “Carta Geologica d’Italia” a scala 1:100.000, si evidenzia come l’area in studio sia caratterizzata da argille sabbiose e sabbie argillose (**a<sup>s</sup>**).

Di seguito si riporta uno stralcio della carta sopra elencata (Fig. 2.2).



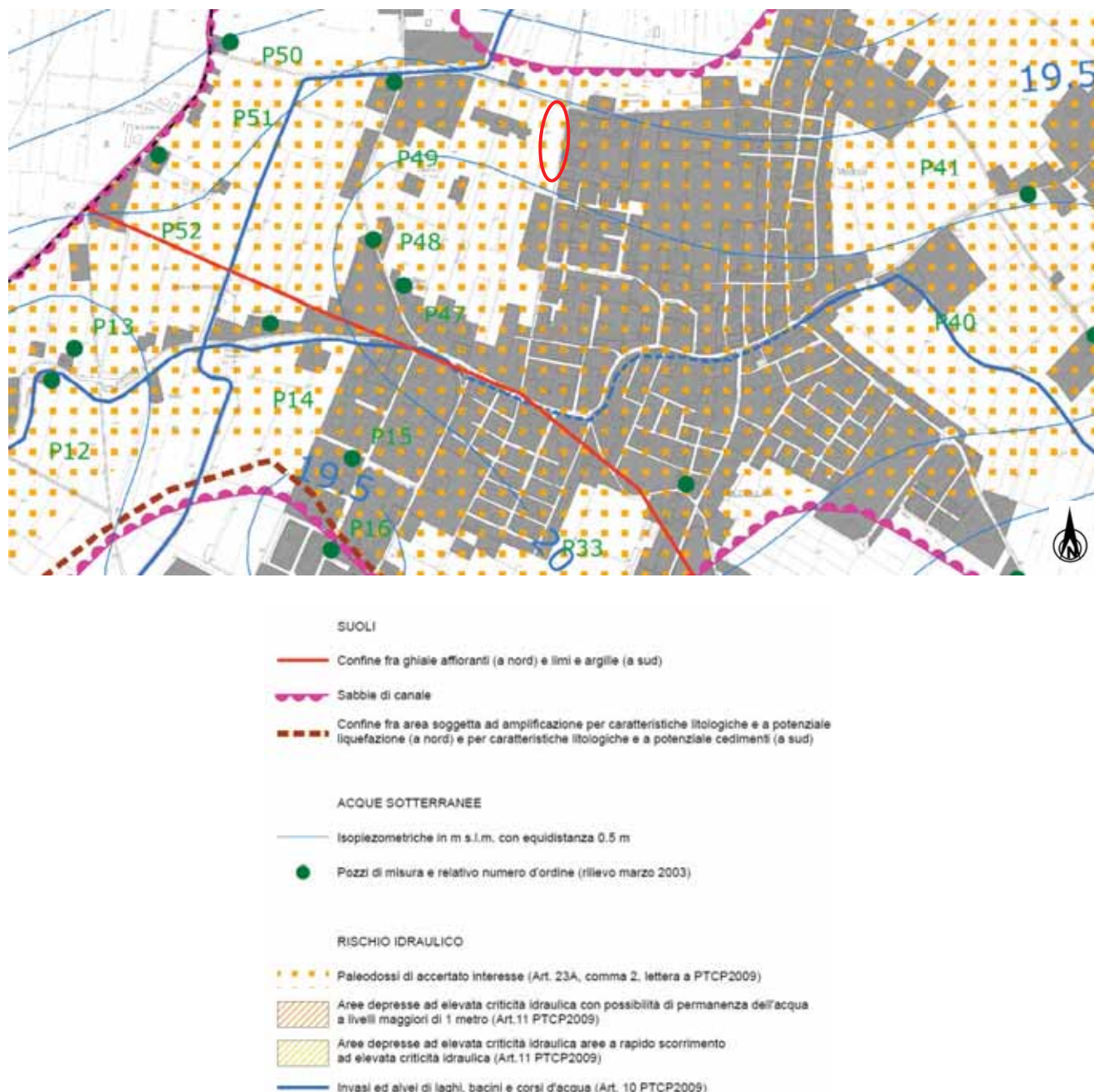
Litologia di superficie

	Sabbie e terreni prevalentemente sabbiosi		Argille e terreni prevalentemente argillosi
	Argille sabbiose e sabbie argillose		Argille ipercolloidali e sale della Burana

Fig.2.2 – Carta Geologica d’Italia 1: 100.000 – Estratto ISPRA.

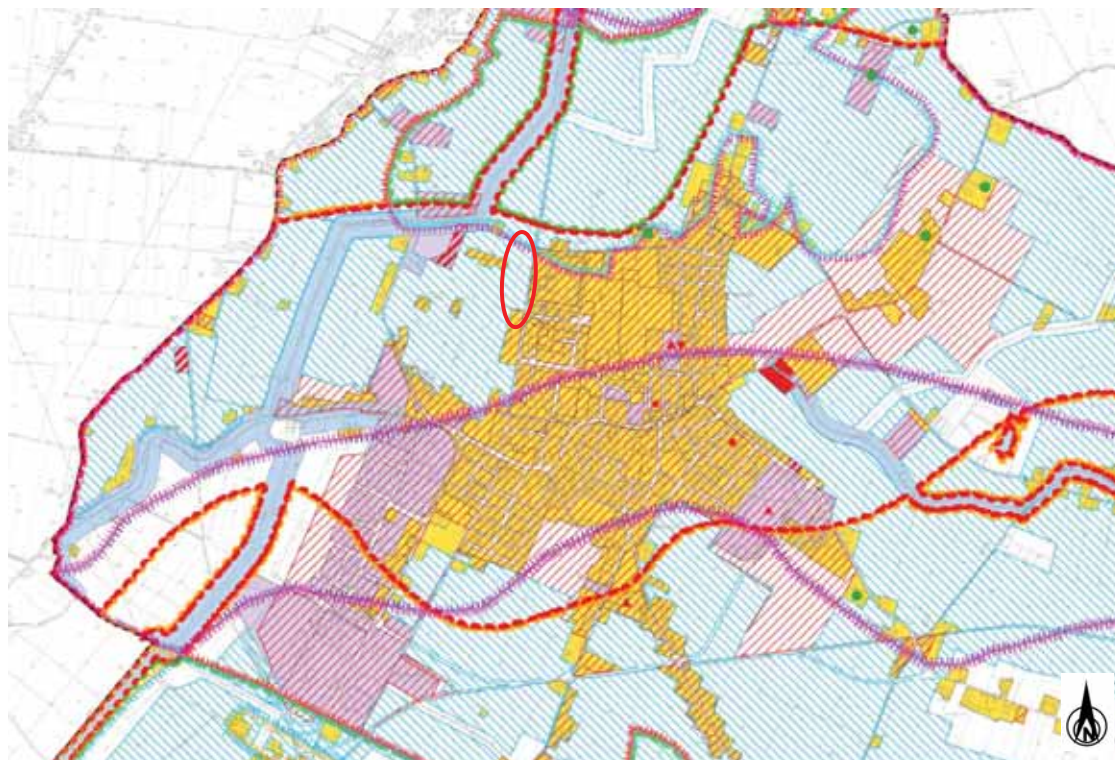
## 2.3 Inquadramento idrogeologico

Dalla consultazione del PSC del Comune di Medolla ed in particolare della tavola QC 11 “Suoli e rischio idraulico”, si evince che l’area in studio è caratterizzata da una soggiacenza della falda acquifera compresa tra 19.5 m s.l.m. e 20.0 m s.l.m.. Inoltre l’area è cartografata come paleodosso.



**Fig.2.3 – Carta QC11 “Suoli e rischio idraulico”.**

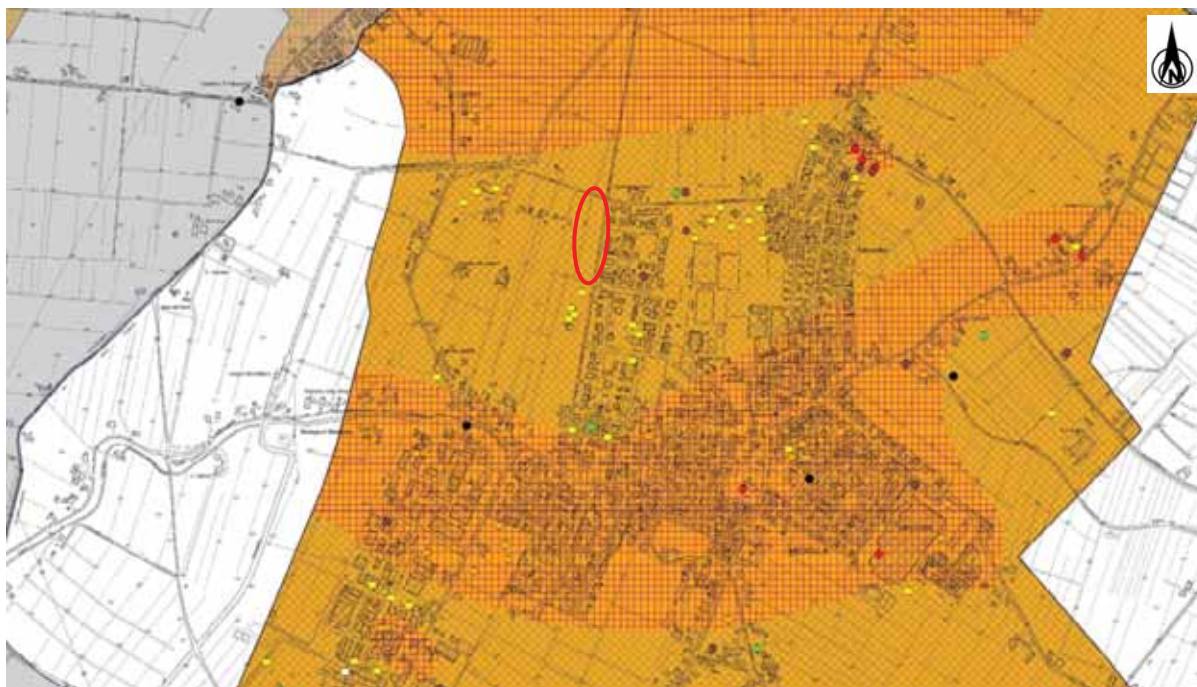
Il territorio comunale è suddiviso in svariate aree classificate secondo una scala di sette gradi di vulnerabilità dell'acquifero: alle zone soggette ad elevata criticità idraulica corrispondono gradi di vulnerabilità da molto basso a medio-basso (BB, B, MP-BB), mentre nelle zone caratterizzate da criticità idraulica via via decrescente corrispondono i gradi di vulnerabilità dell'acquifero da medio-basso ad alto (MP-B, MP-M, M, A). L'area in studio ricade in un grado di vulnerabilità M.



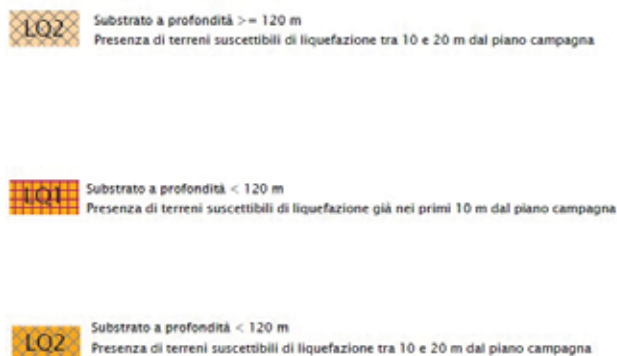
**Fig.2.4 – Carta QC10 “Vulnerabilità dell'acquifero e centri di pericolo”.**

## 2.4 Inquadramento sismico

A supporto dell'analisi sismica e della valutazione della stabilità del sito, successivamente descritta nei paragrafi seguenti, per quel che concerne i fenomeni co-sismici è stata preliminarmente consultata la cartografia relativa allo studio di Microzonazione Sismica del Comune di Medolla (MO), ed in particolare dalla "Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica" (ordinanza 70), di cui un estratto è riportato in figura (Fig. 2.3). Si nota come l'area in studio sia suscettibile di instabilità, pertanto al fine di derivare la pericolosità sismica locale, risulta necessario eseguire la risposta sismica locale al terzo livello di approfondimento, successivamente illustrato al paragrafo §4.3.



Zone suscettibili di amplificazione e liquefazione.



**Fig.2.5 – Carta delle Microzone omogenee in prospettiva sismica.**

### 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, in data 14/12/21, la seguente indagine geognostica:

- **N. 1 prova penetrometrica statica con punta elettrica e piezocono CPTU.**

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

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

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.

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  $\Delta u$  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.

I dati acquisiti sono stati elaborati con software CPeT – IT v. 1.7.4.13 prodotto da GeoLogisMiki – Geotechnical Software.

La CPTU eseguita in sito è stata spinta fino alla seguente profondità:

Verticale di prova	Profondità prova	Profondità falda freatica $D_w$
CPTU 1	-20.00 m da p.c.	-3.75 m da p.c.

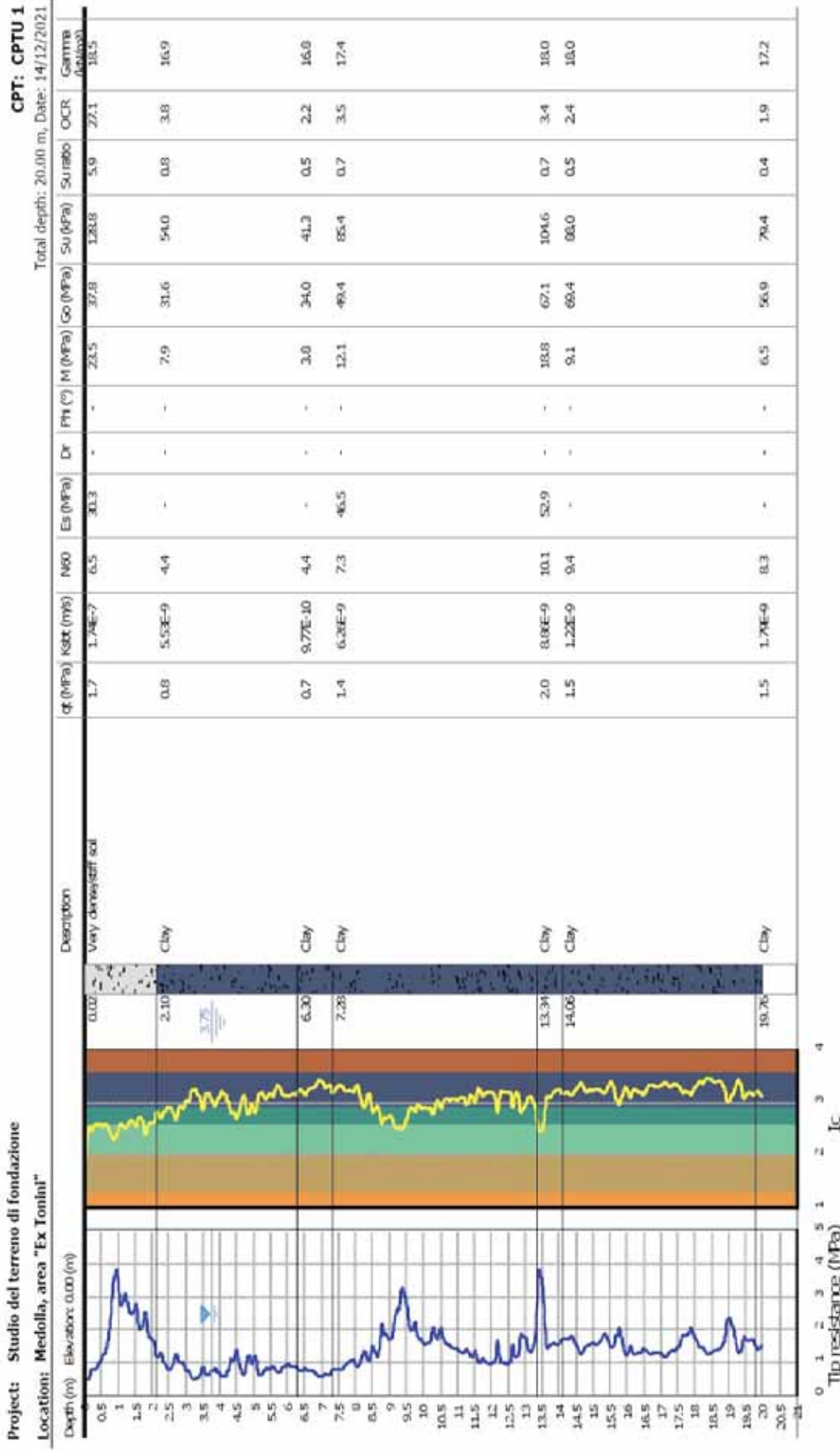


Fig.3.1 – Stratigrafia CPTU1.

## 3.2 Indagini Geofisiche

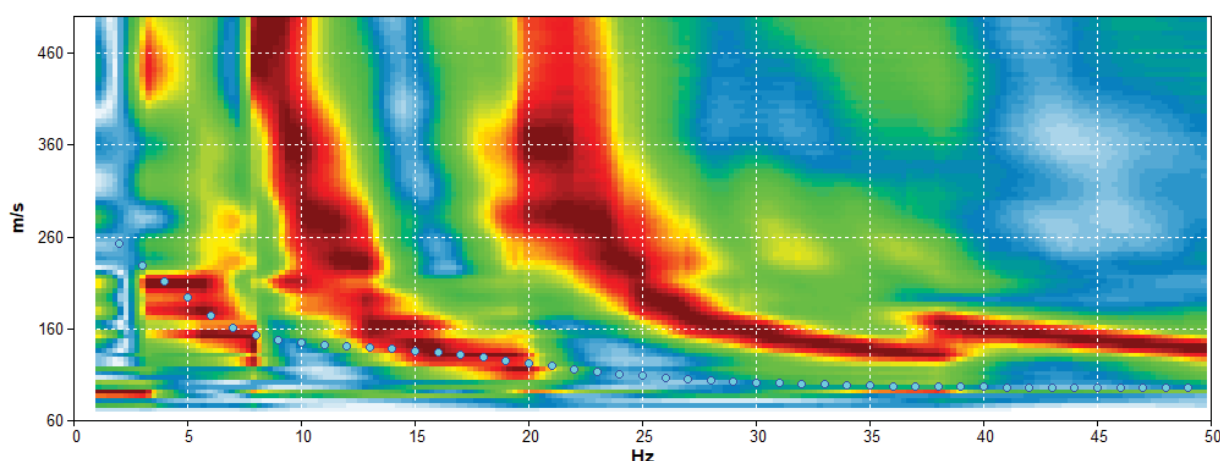
Per la caratterizzazione sismica dell'area di studio, in data 14/12/21, sono state eseguite le seguenti indagini geofisiche:

- **n. 2 indagini sismiche passive HVSR**
- **n.1 indagine sismica attiva MASW**

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

### 3.2.1 Indagine sismica attiva con metodo MASW

Per misurare le velocità delle onde di taglio si possono eseguire prospezioni sismiche mediante stendimenti superficiali, utilizzando geofoni verticali da 4,5 Hz ed acquisendo attivamente i segnali delle onde rifratte alla superficie mediante una sorgente artificialmente provocata. Questa tecnica, nota con la sigla **MASW** (Multichannel Analysis of Surface Waves), permette di ricostruire il profilo verticale delle Vs con procedimenti di modellazione diretta delle velocità di fase delle onde, rifratte alla superficie. Partendo dal sismogramma registrato mediante sorgente energizzante in asse con lo stendimento, viene eseguita un'analisi spettrale che ha consentito di elaborare un'immagine della distribuzione del segnale di velocità sismica in funzione delle diverse frequenze che lo compongono. Da tale elaborazione, tramite una fase di "picking" del segnale ad elevata intensità è stata ottenuta la "**curva di dispersione**", dalla cui inversione è stato calcolato il **modello sismo-stratigrafico** espresso in termini di velocità delle onde di taglio (Vs) (Fig. 3.5). 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.



**Fig.3.2 - Curva di dispersione MASW.**

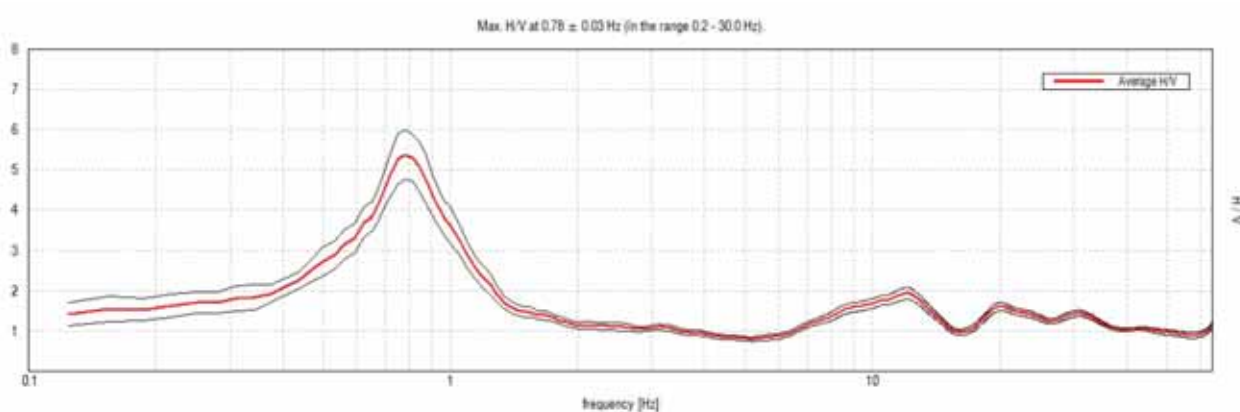
### 3.2.2 Indagine sismica passiva a stazione singola (analisi HVSR)

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 (Fig.3.2).

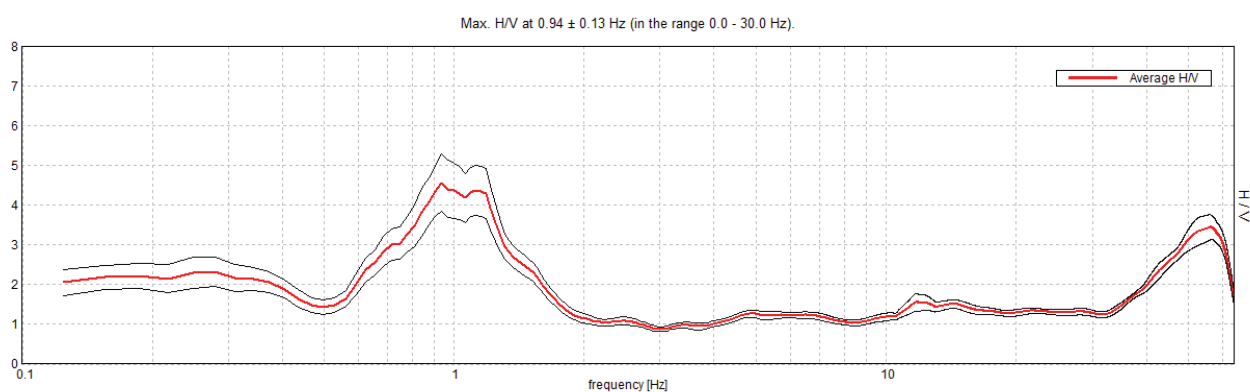
Lo scopo dell'indagine è la misura della frequenza di risonanza del terreno, la quale è legata alla velocità delle onde di taglio  $V_s$  nel terreno dalla formula:

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

dove  $h$  è lo spessore dello strato.



**Fig.3.3 - Curva HVSR che identifica un picco a 0.78 Hz.**

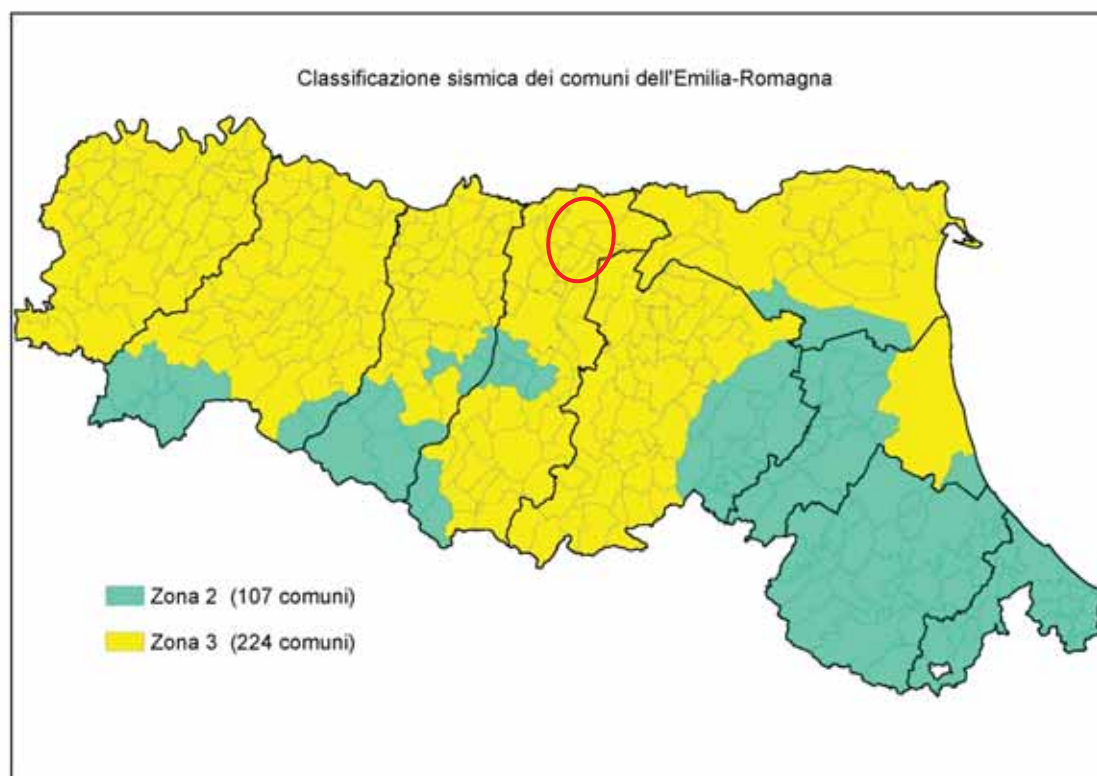


**Fig.3.4 - Curva HVSR che identifica un picco a 0.94 Hz.**

## 4 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

### 4.1 Pericolosità sismica di base

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



**Fig.4.1 - Classificazione sismica dei comuni della regione Emilia-Romagna; DGR 1164/18.**

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	0.039	2.569	0.250
Danno (SLD)	50	0.050	2.495	0.268
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.149	2.588	0.269
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.201	2.535	0.276
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

**Tab.4.1 - Tabella riassuntiva dei parametri sismici del sito in esame secondo NTC18.**

## 4.2 Categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 NTC2018)

Per determinare il parametro  $V_{30}$  e definire quindi la categoria di sottosuolo dell'area indagata (§ 3.2.2 NTC 2018) sono state eseguite in sito le indagini sismiche sopra descritte nel paragrafo precedente. Il valore di  $V_{30}$  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 MASW e HVSr si sono ottenuti i valori di  $V_{s,30}$  e di frequenza naturale del terreno  $f_0$  riportati nelle seguenti tabelle:

<b>MASW</b>	<b><math>V_{s30}</math></b>	<b>194 m/s</b>
-------------	-----------------------------	----------------

<b>HVSr 1</b>	<b><math>0.78 \pm 0.03</math> Hz</b>	RISPETTA I CRITERI SESAME
<b>HVSr 2</b>	<b><math>0.94 \pm 0.13</math> Hz</b>	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

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  $\gamma$  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  $\gamma$ . 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 ( $t$ ):

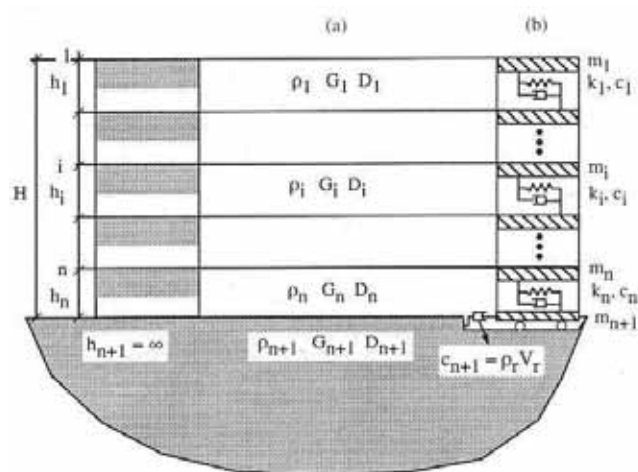
$$u(z, t) = A \exp [i (\omega t + k^* z)] + B \exp [i (\omega t - k^* z)]$$

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 ( $\rho$ ). Le relazioni sono le seguenti:

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

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

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



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

## MODELLO SIMULATO

Il modello simulato deriva dai dati ottenuti dalle prove geofisiche che 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 congiunta delle indagini HVSR e MASW eseguite in sito, integrate con dati di bibliografia. Si illustra successivamente il modello utilizzato:

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
2.00	2.00	80	0.42
10.00	8.00	160	0.42
30.00	20.00	250	0.42
70.00	40.00	300	0.35
125.00	55.00	350	0.35
inf.	inf.	700	0.35

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

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

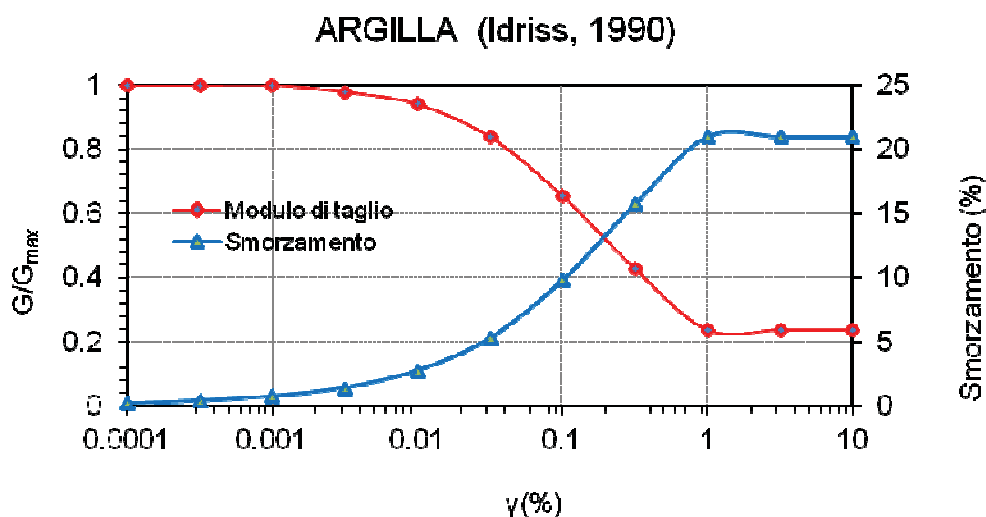


Fig.4.3 - Curva di decadimento dei moduli  $G/G_{max}$  e smorzamento  $D$ , utilizzati per descrivere il comportamento dei materiali coesivi che compongono il sottosuolo in oggetto.

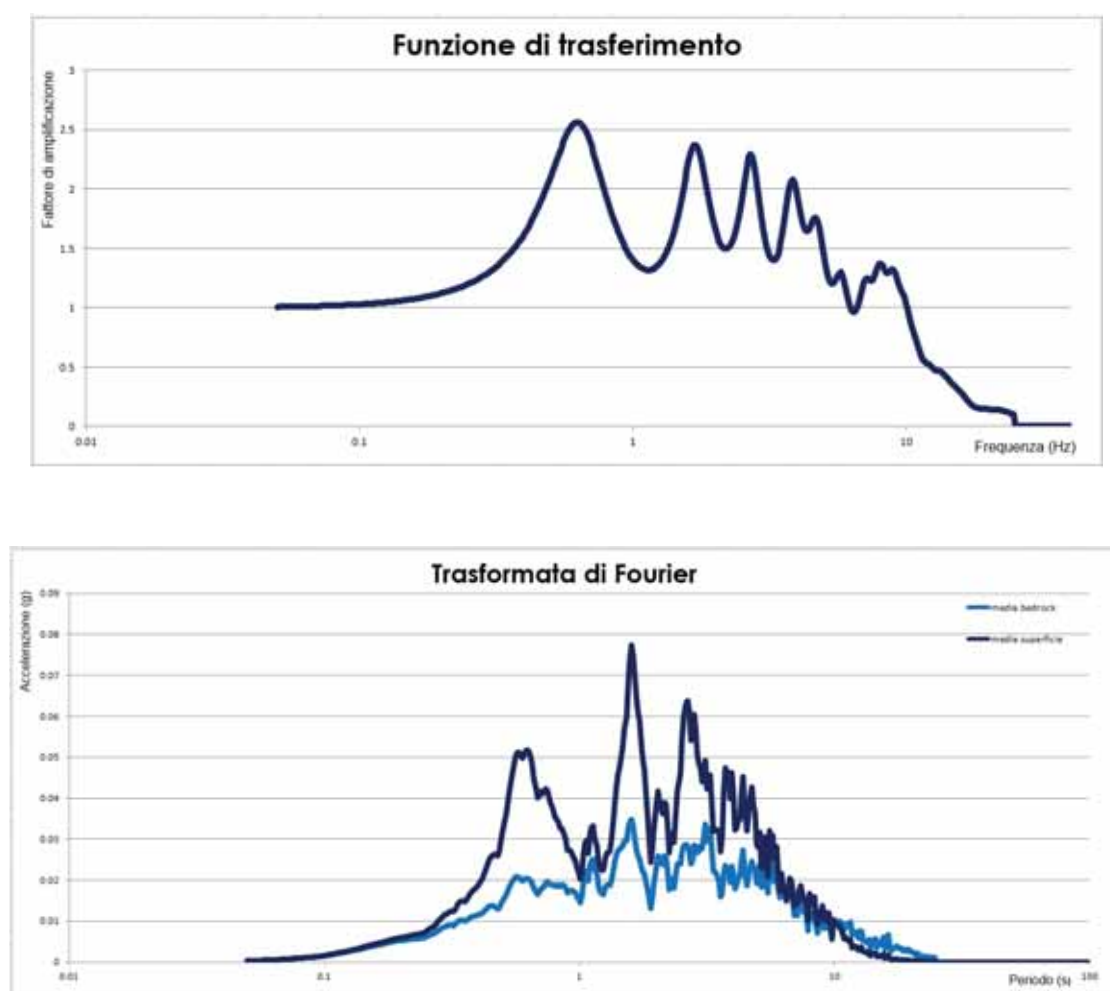
In accordo con quanto esposto nella DGR 603/2019 e nella DGR 476/21, l'analisi RSL in oggetto è stata svolta adottando come input sismico 7 accelerogrammi, corrispondenti allo stato limite SLV (tratti dalla piattaforma EUCENTRE). I segnali di riferimento sono stati successivamente scalati per il valore 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.

Per il sito in oggetto tale valore è pari a **0.149g** considerando un valore di  **$C_u = 1.00$**  (Classe d'uso II) e  **$V_n = 50$  anni** per ottenere un tempo di ritorno pari a 475 anni.

### **RISULTATI OTTENUTI**

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



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

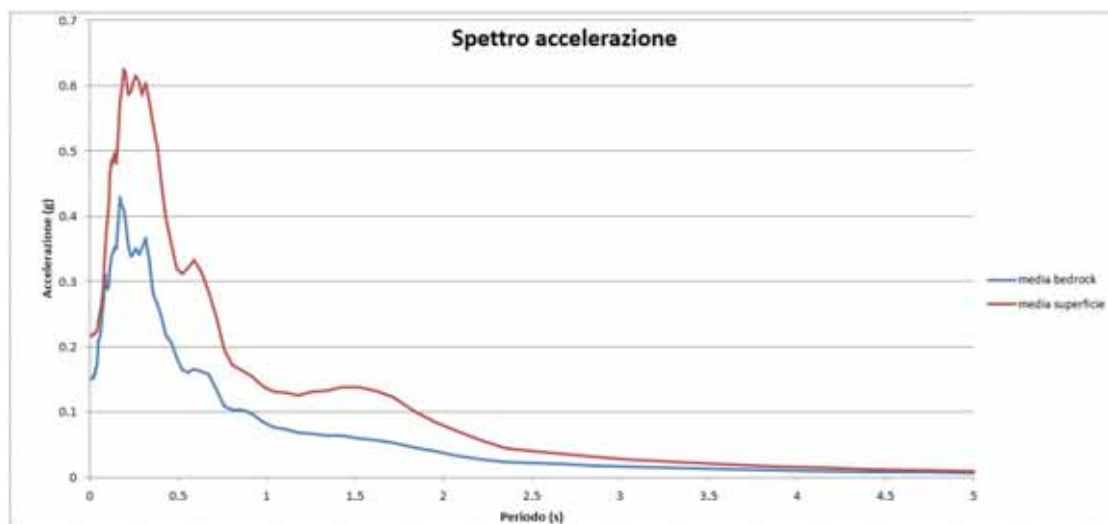


Fig.4.5 - Spettro accelerazione RSL



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

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

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

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

	<b>T<sub>1</sub></b>	<b>T<sub>2</sub></b>
<b>SA1</b>	0,1 s	0,5 s
<b>SA2</b>	0,4 s	0,8 s
<b>SA3</b>	0,7 s	1,1 s
<b>SA4*</b>	0,5 s	1,5 s

- intensità spettrale SI

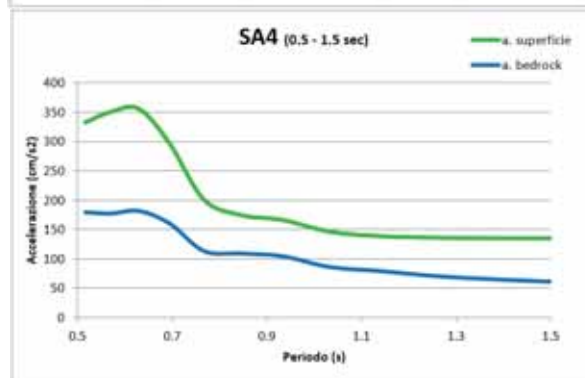
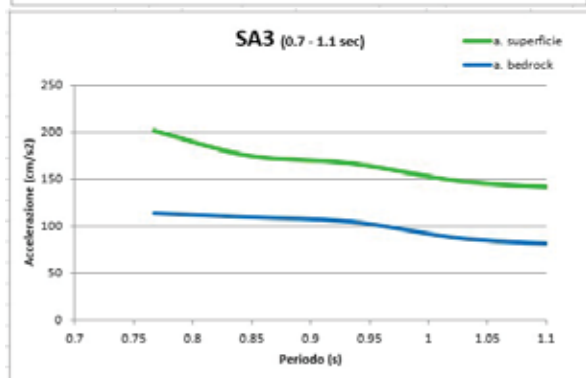
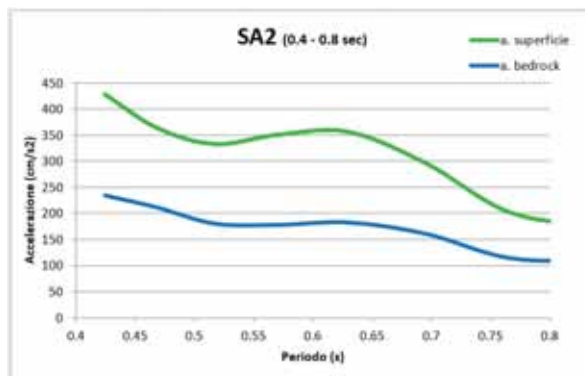
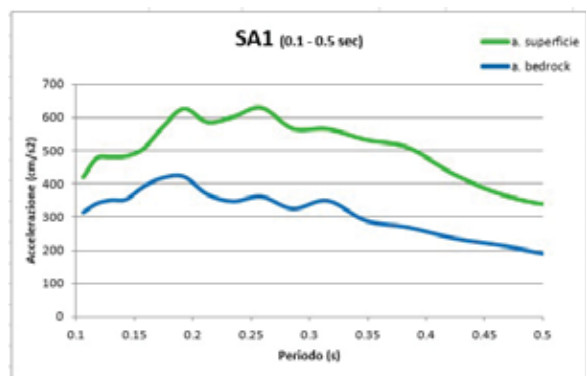
$$SI = \int_{T_1}^{T_2} V(T, \zeta) dT$$

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

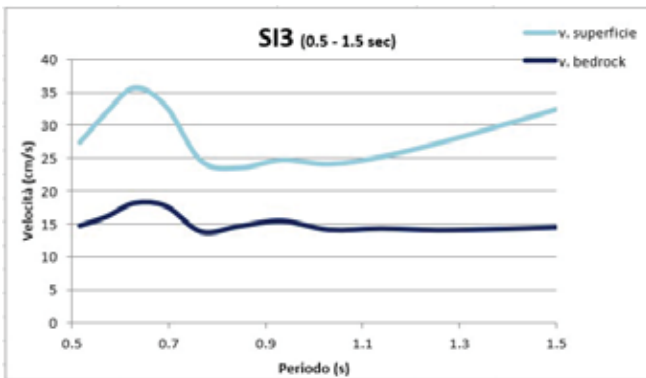
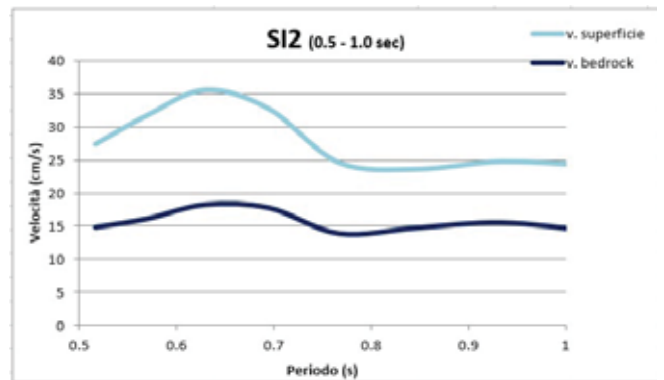
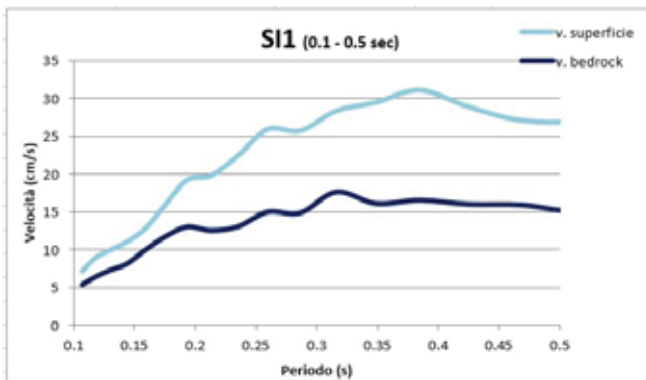
	<b>T<sub>1</sub></b>	<b>T<sub>2</sub></b>
<b>SI1</b>	0,1 s	0,5 s
<b>SI2</b>	0,5 s	1,0 s
<b>SI3*</b>	0,5 s	1,5 s

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**



**SPETTRI DI RISPOSTA IN VELOCITÀ**



Di seguito si riportano in tabella i FA:

Fattore di amplificazione	Periodo T (s)	FA
Fattore di Amplificazione SA1	$0.1s \leq T \leq 0.5s$	1.61
Fattore di Amplificazione SA2	$0.4s \leq T \leq 0.8s$	1.81
Fattore di Amplificazione SA3	$0.7s \leq T \leq 1.1s$	1.68
Fattore di Amplificazione SA4	$0.5s \leq T \leq 1.5s$	1.86

**Tab.4.3 – Fattori di amplificazione SA1 –SA2 –SA3 – SA4.**

Fattore di amplificazione	Periodo T (s)	FA
Fattore di Amplificazione SI1	$0.1s \leq T \leq 0.5s$	1.61
Fattore di Amplificazione SI2	$0.5s \leq T \leq 1.0s$	1.78
Fattore di Amplificazione SI3	$0.5s \leq T \leq 1.5s$	1.86

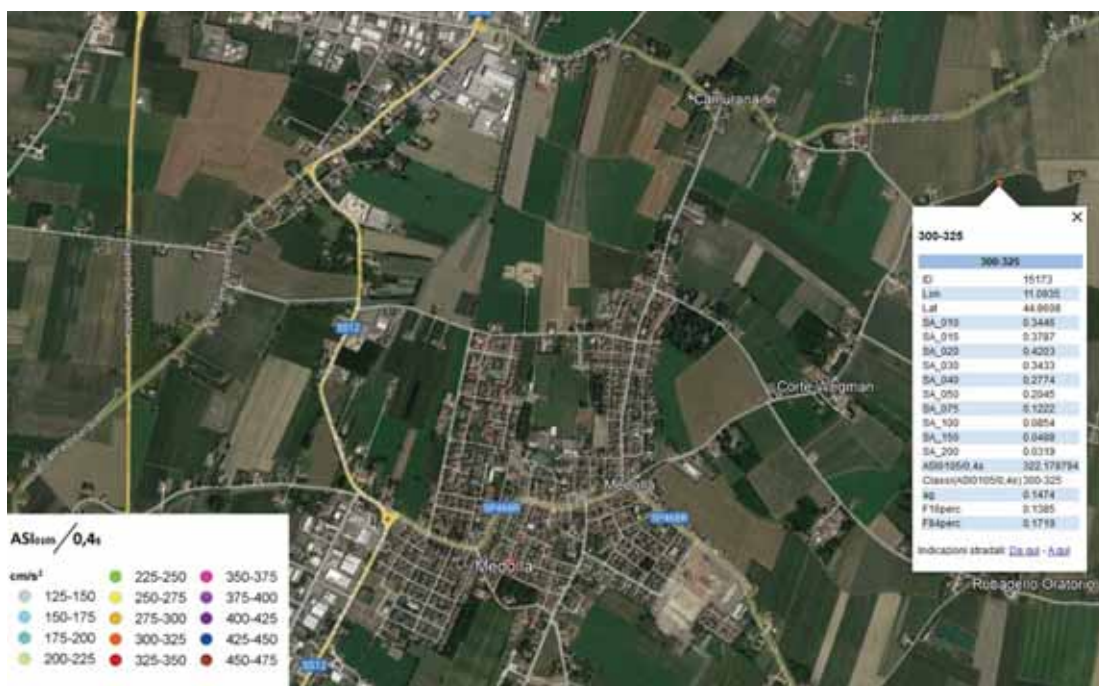
**Tab.4.4 – Fattori di amplificazione SI1 –SI2 –SI3.**

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 **322**.



**Fig.4.6 – Valori di ASIUS/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)
$H_{SM} = 518$	$0,1 s \leq T \leq 0,5s$
$H_{0,408} = 585$	$0,4 s \leq T \leq 0,8s$
$H_{0,711} = 542$	$0,7 s \leq T \leq 1,1s$
$H_{0,515} = 599$	$0,5 s \leq T \leq 1,5s$

**Tab.4.5 – Valori Hsm ottenuti per i diversi periodi.**

Dai risultati sopra esposti dell'analisi di risposta sismica locale si ottiene un valore di accelerazione massima attesa al suolo del valore  **$PGA_{max} = A_{max} = 0.218g$**  (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 dell'indagine geotecnica eseguita in sito e in relazione all'intervento in progetto, si può riassumere il seguente modello geotecnico schematico del terreno investigato:

#### Parametri di resistenza e deformabilità:

Modello geotecnico medio										
	Profondità	Deposito	$\gamma_{\text{NAT}} / \gamma_{\text{SAT}}$	$c'$	$C_u$	$D_r$	$\phi^i$	$E_s$	$M$	$D_w$
<b>A</b>	0.0 – 2.00	Argilla limosa sovraconsolidata	18.5/21.5	10.0	100.0	/	25	14000	10000	-3.75
<b>B</b>	2.00 – 6.30	Argilla limosa a media consistenza	18.0/21.0	0.5	50.0	/	23	7000	4500	
<b>C</b>	6.30 – 7.28	Argilla limosa a scarsa consistenza	17.5/20.5	4.0	40.0	/	21	5600	3500	
<b>D</b>	7.28 – 20.0	Argilla limosa consistente	18.5/21.5	8.0	80.0	/	25	11200	7000	
		Descrizione litologica	Peso di volume naturale e saturo (kN/m <sup>3</sup> )	Coesione efficace (kN/m <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kN/m <sup>2</sup> )	Densità relativa (%)	Angolo d'attrito efficace di picco (°)	Modulo di Young (kN/m <sup>2</sup> )	Modulo edometrico (kN/m <sup>2</sup> )	Soggiacenza (m da p.c.)
	M da p.c.									

Sulla base del modello geotecnico medio si ritiene possibile l'utilizzo di fondazioni superficiali. Si consiglia, per le verifiche geotecniche, di utilizzare i parametri caratteristici del secondo strato.

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

In accordo con la normativa regionale DGR 476/21 si è proceduto alla verifica della liquefazione per la CPTU.

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

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

Dove:

**CRR** è rappresentato dal rapporto di resistenza ciclica

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

**K<sub>σ</sub>** è il fattore di correzione che tiene conto della pressione efficace alla profondità a cui la resistenza viene valutata

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

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

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

$$r_d = \exp[\alpha(z) + \beta(z) \cdot M]$$

$$\alpha(z) = -1.012 - 1.126 \cdot \text{sen}\left(\frac{z}{11.73} + 5.133\right)$$

$$\beta(z) = 0.106 + 0.118 \cdot \text{sen}\left(\frac{z}{11.28} + 5.142\right)$$

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

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

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

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

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

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

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

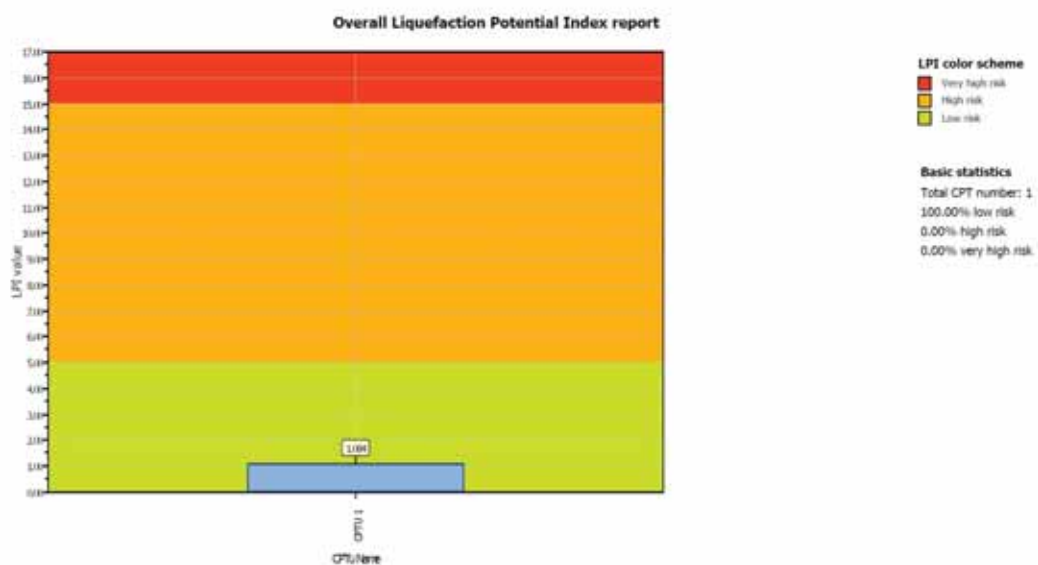
INDICE DI LIQUEFAZIONE	Rischio di liquefazione
LPI=0	Nulla
0 < LPI ≤ 2	Basso
2 < LPI ≤ 5	Moderato
5 < LPI ≤ 10	Alto
15 > LPI	Molto alto

Si illustra successivamente il valore di LPI derivato dalla verticale di prova, considerando un'accelerazione massima al suolo  $A_{max}=0.218g$  (calcolata secondo RSL), la soggiacenza della falda freatica in condizioni sismiche alla profondità  $D_w = -1.00$  m e una magnitudo di riferimento pari a  $M=6.14$ .

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

INDAGINE	INDICE DI LIQUEFAZIONE	RISCHIO
CPTU1	1.084	BASSO

Project title : Studio del terreno di fondazione  
Location : Medolla, area "Ex Tonini"



**Fig.5.1 – Indice di liquefazione dalla prova CPTU.**

### 5.3 Stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica (§ ALL. A3, B. DGR 476/2021)

La stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica si ottiene applicando le procedure descritte nell'allegato A3.B della DGR 476/2021. I valori che si ottengono devono intendersi solo orientativi.

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:

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

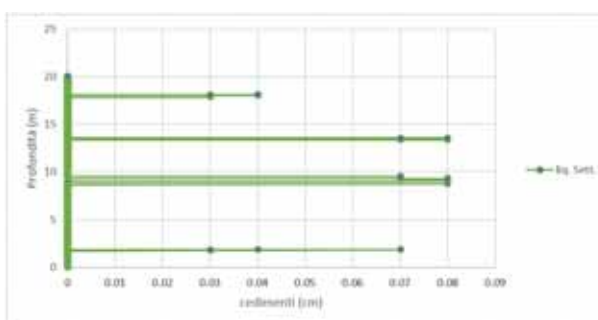
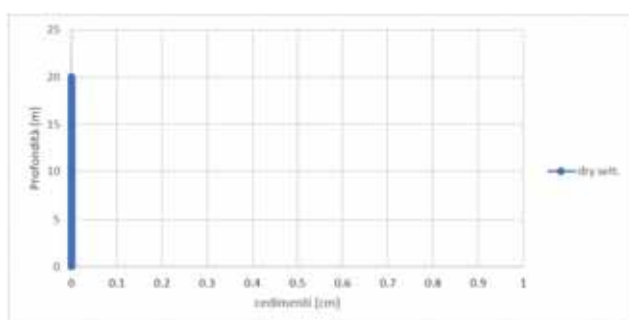
$\varepsilon_{vi}$  = deformazione volumetrica;

$\Delta z_i$  = 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, eseguito per la verticale CPTU ha evidenziato quanto segue:

CPTU1	
<b>CEDIMENTO IN TERRENI INCOERENTI SATURI – (Liq. Settle)</b>	<b>2.95 cm</b>
<b>CEDIMENTO IN TERRENI INCOERENTI INSATURI – (Dry. Settle)</b>	<b>0.00 cm</b>



## 6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Nel mese di dicembre 2021 è stato eseguito il presente elaborato al fine di verificare le caratteristiche geologiche, geotecniche, idrogeologiche e sismiche dell'area denominata "Ex Tonini", in Via Bologna nel Comune di Medolla (MO).

La caratterizzazione sismica del sito è stata condotta sulla base di indagini geofisiche di tipo MASW e HVSR eseguite nel sito in studio (§ 3.2); tali prove hanno permesso di determinare che la velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità  $V_{s30} = 194 \text{ m/s}$ . 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 del sito è stata eseguito uno studio di risposta sismica locale (§ 4.3). Dall'analisi così eseguita si sono ottenuti i seguenti risultati:

ag	RSL	
	F.A.	A <sub>max</sub>
0.149g	1.46	0.218g

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  $A_{max} = 0.218g$  (calcolata dal terzo livello di risposta sismica locale DGR 476/2021), la soggiacenza della falda freatica in condizioni sismiche alla profondità **Dw=-1.00 m da p.c.** 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 il seguente valori di LPI (§ 5.2):

INDAGINE	INDICE DI LIQUEFAZIONE	RISCHIO
CPTU	1.084	BASSO

Sono stati inoltre calcolati i cedimenti indotti dall'azione sismica (§ 5.3).

**In generale, dalla consultazione dei dati bibliografici, dalle cartografie e dalle caratteristiche geologico-stratigrafiche e sismiche dell'area in studio, non si sono riscontrati elementi ostativi che possano compromettere l'intervento in progetto.**

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

**Modena, 17 dicembre 2021**

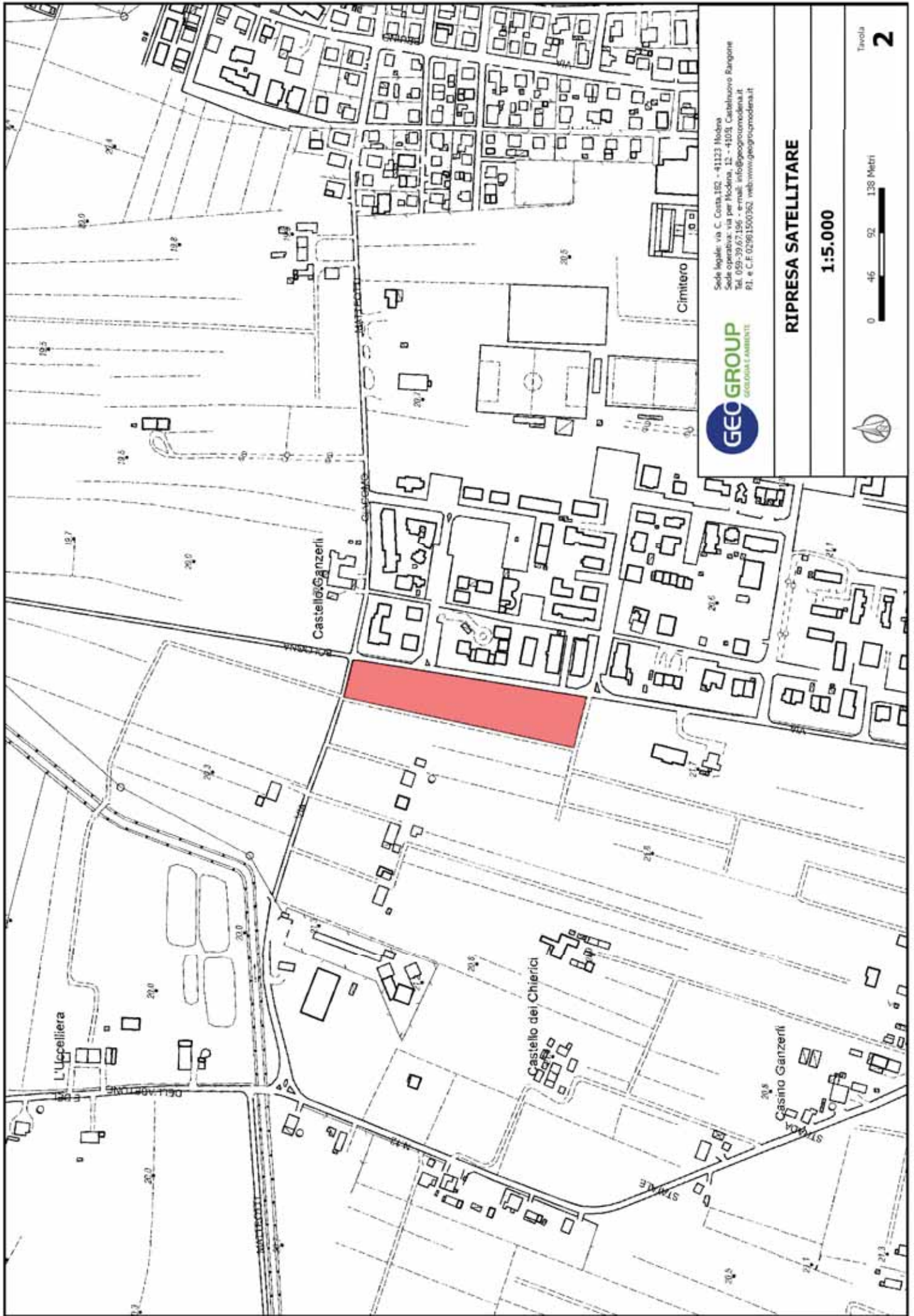
**Dott. Geol. Pier Luigi Dallari**



# **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***



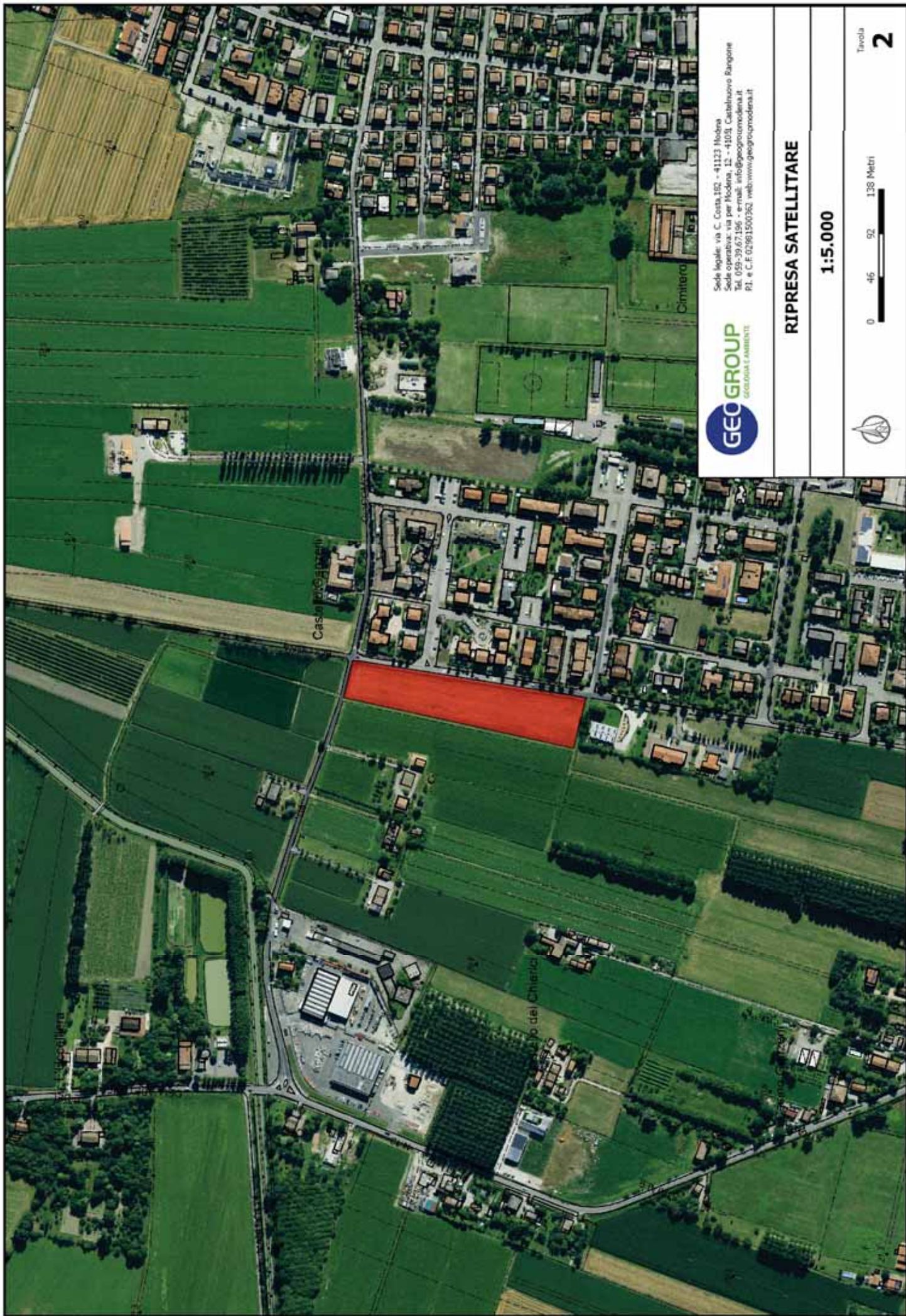
Sede legale: via C. Costa, 152 - 41123 Modena  
Sede operativa: via per Modena, 11 - 41013 Castelnuovo Rangone  
Tel. 059-39.67.196 - e-mail: info@geogroupmodena.it  
P.I. e C.F. 02961500962 web: www.geogroupmodena.it

### RIPRESA SATELLITARE

1:5.000



Tavola **2**



gestione L'AMBITO

Sede legale: via C. Costa,102 - 41123 Modena  
Sede operativa: via per Modena, 11 - 41013 Castelnuovo Rangone  
Tel. 059-39.67.196 - e-mail: info@geogruppmodena.it  
PI. e C.F. 02961500962 web:www.geogruppmodena.it

### RIPRESA SATELLITARE

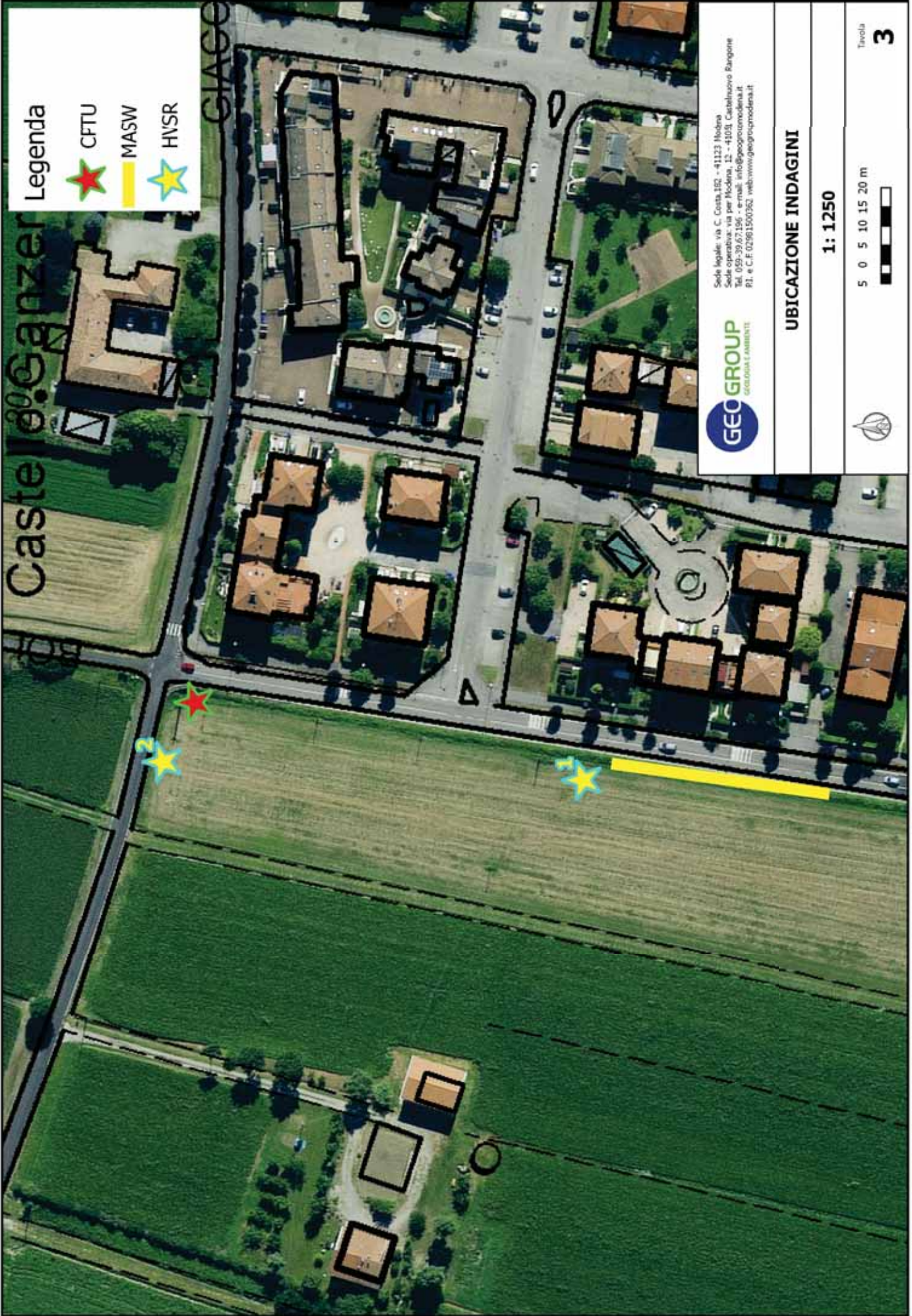
1:5.000



0 46 92 138 Metri

Tavola

2



Legenda

-  CFTU
-  MASW
-  HNSR




Sede legale: via C. Costa,102 - 41123 Modena  
 Sede operativa: via per Modena, 11 - 41013 Castelnuovo Rangone  
 Tel. 059-39.67.196 - e-mail: info@geogruppmodena.it  
 P.I. e C.F. 029615001962 web:www.geogruppmodena.it

UBICAZIONE INDAGINI

1: 1250

5 0 5 10 15 20 m




Tavola

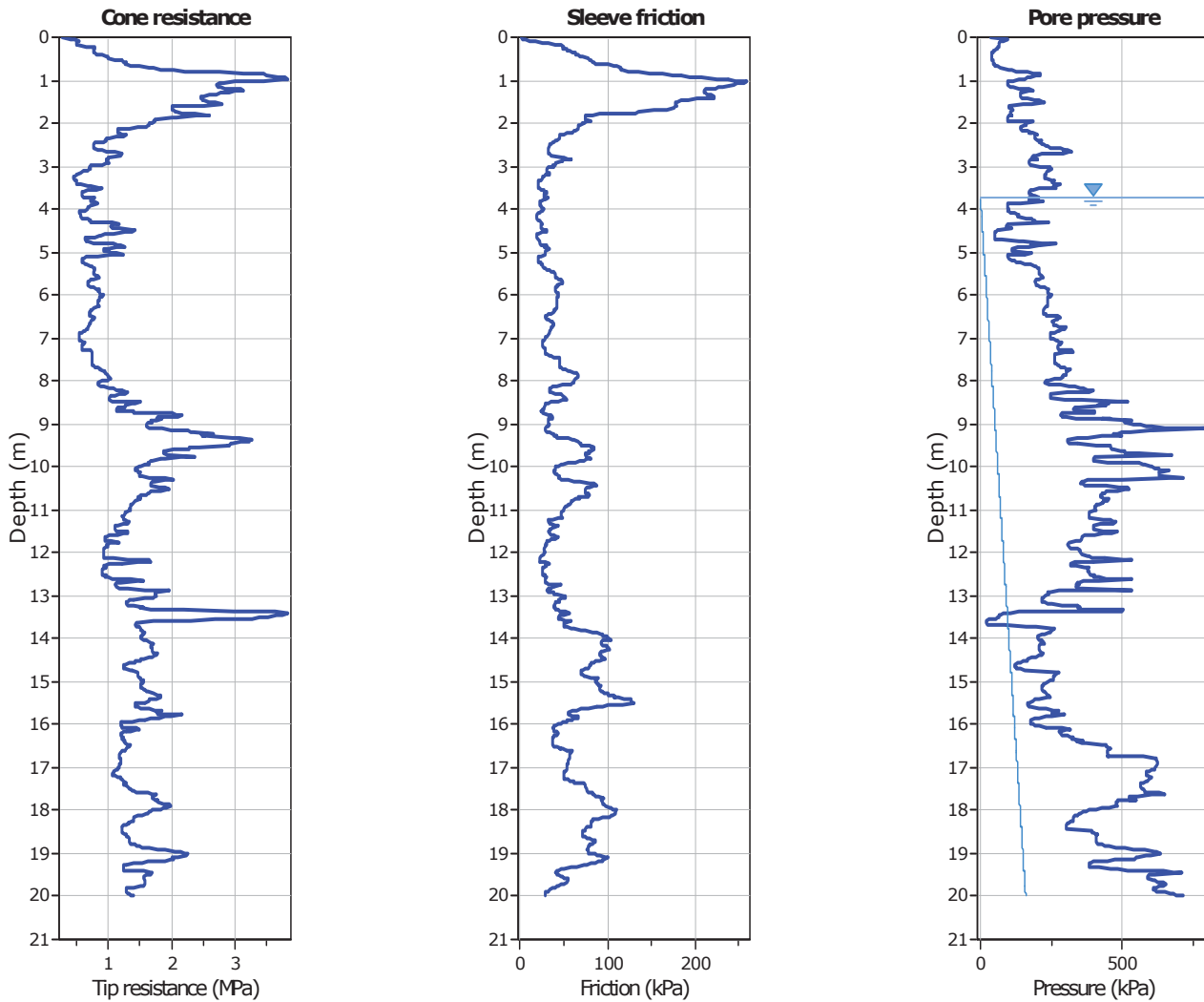
3

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

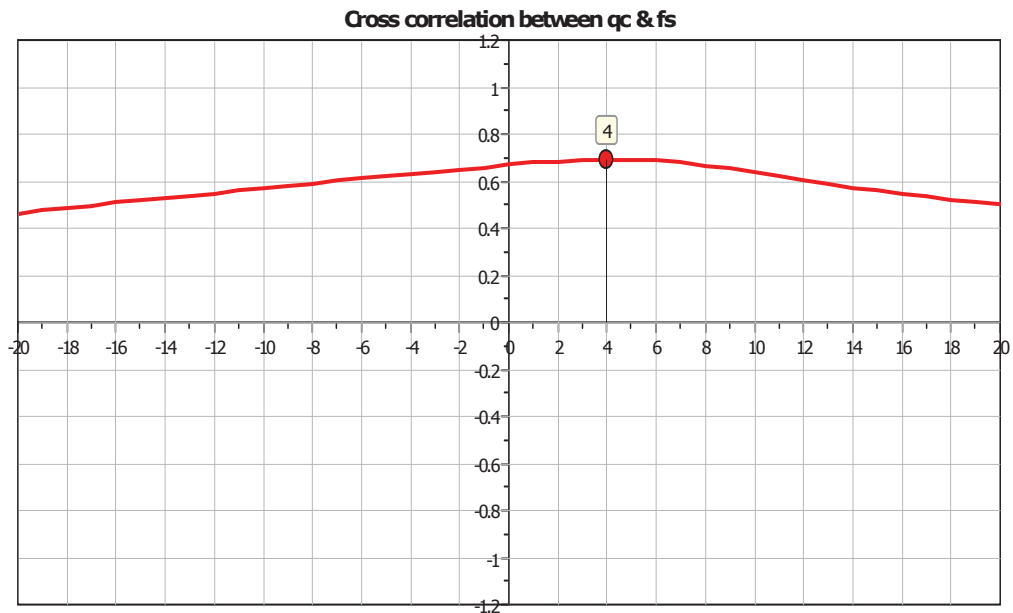
Indagini geognostiche e geofisiche – geologia applicata alle costruzioni – laboratorio geotecnico - idrogeologia  
– coltivazione cave– bonifiche – consolidamenti – geologia ambientale – consulenze geologiche e geotecniche

### ***ALLEGATO N° 1***

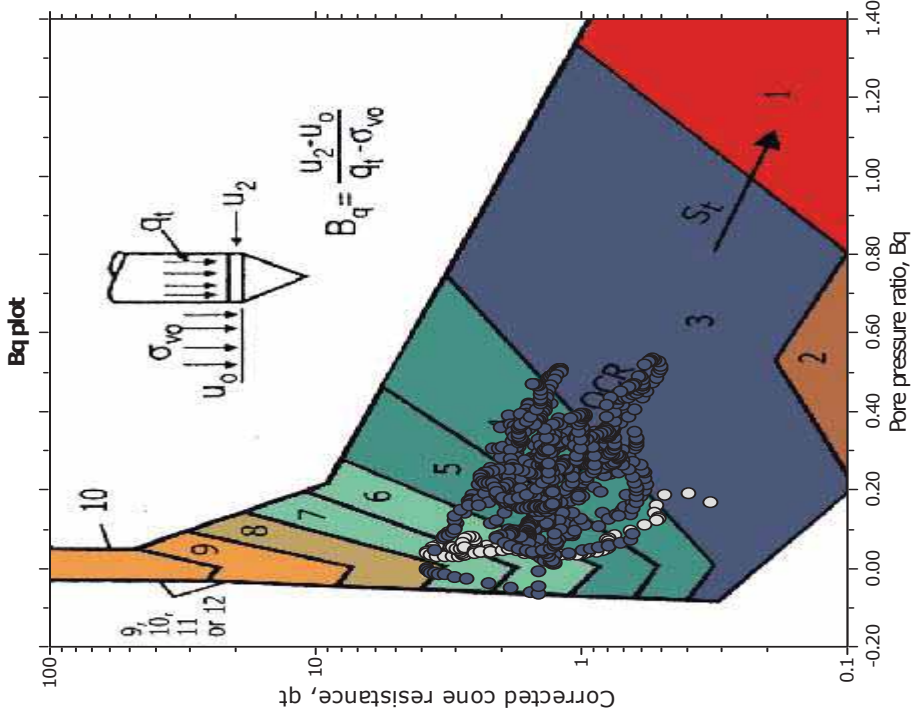
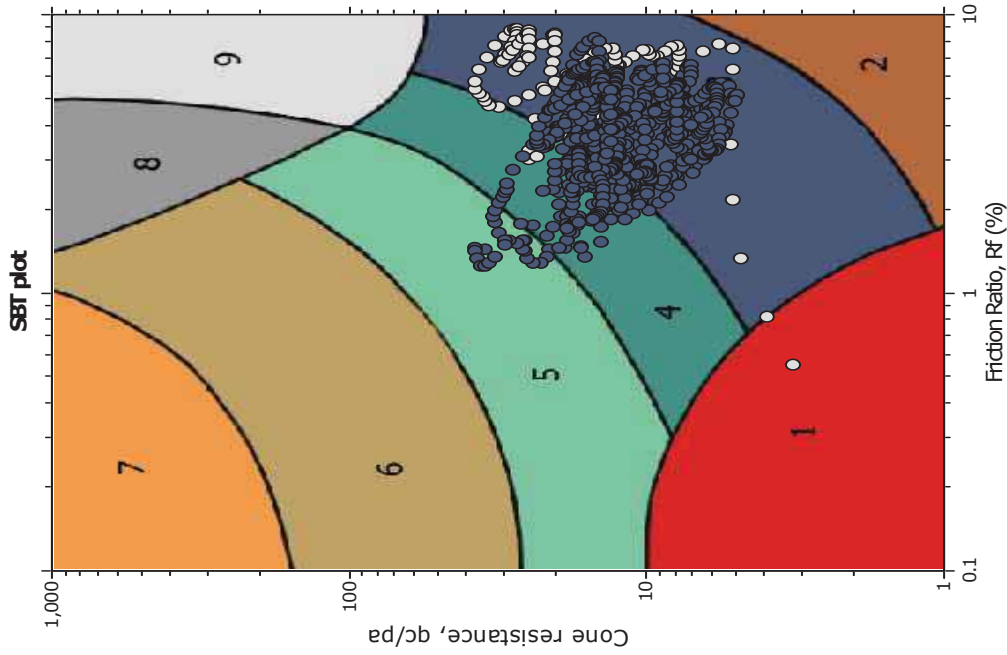
### ***Prove penetrometriche statiche CPTU corredate di interpretazione geotecnica***



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).



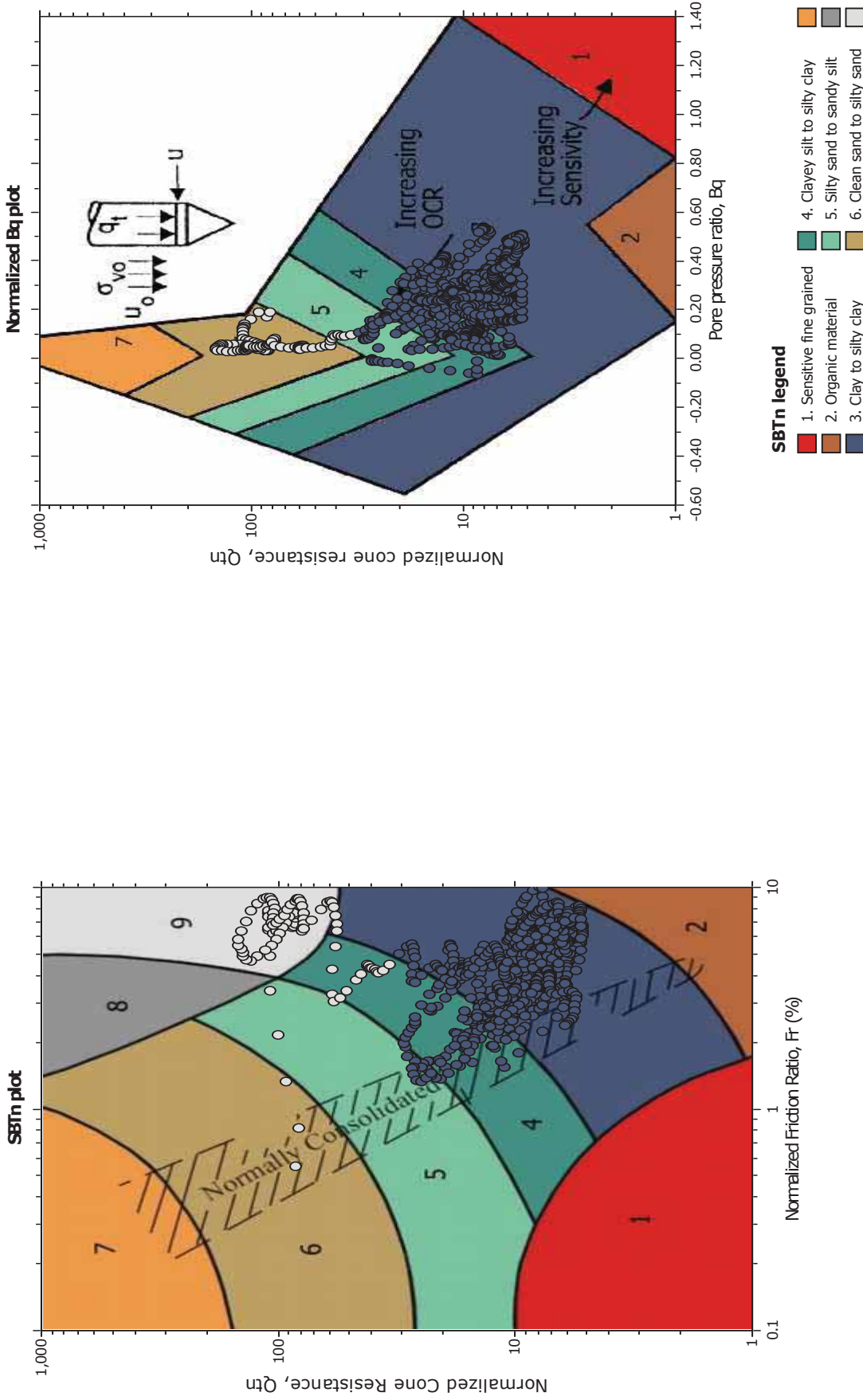
**SBT - Bq plots**

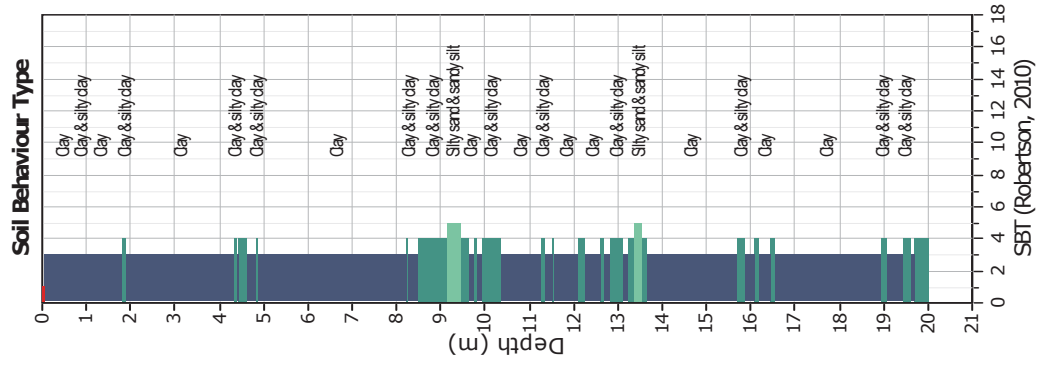
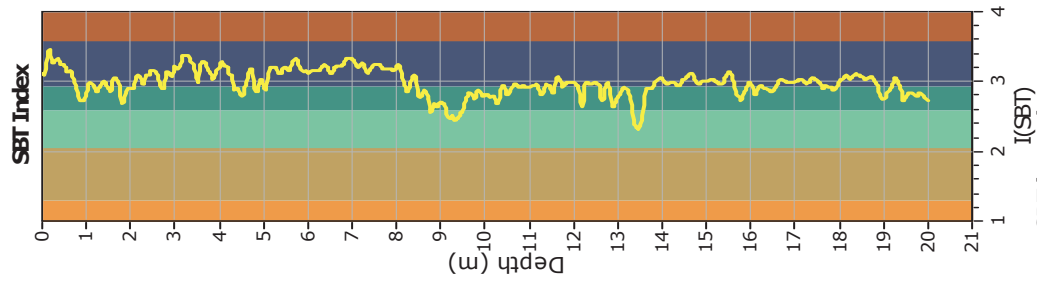
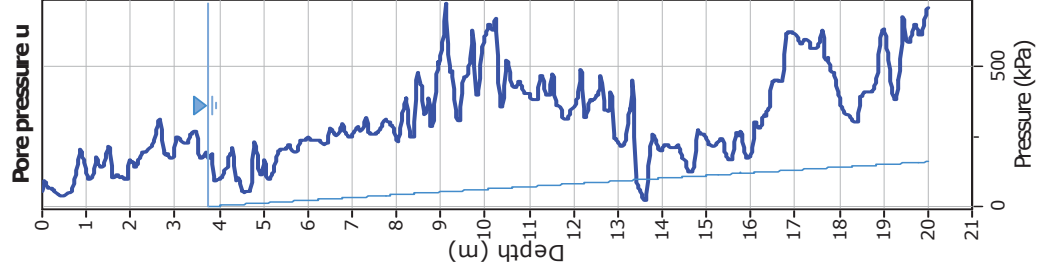
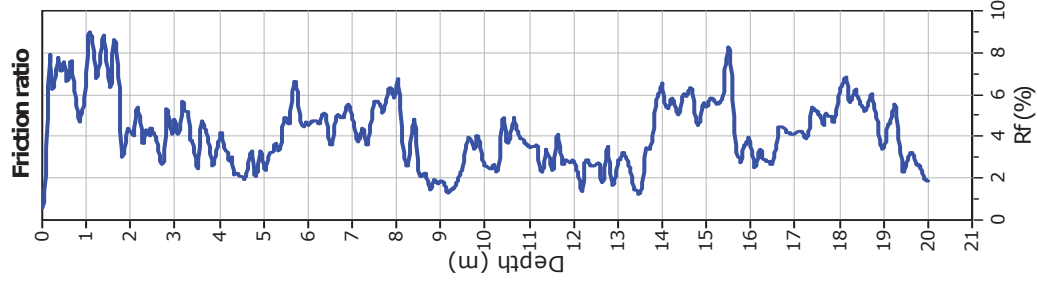
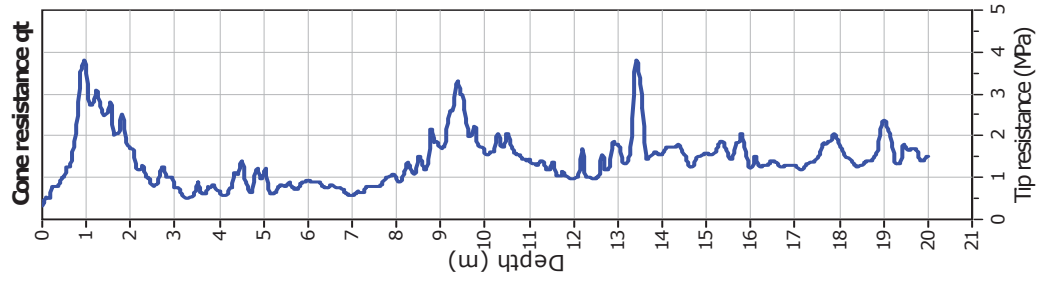


**SBT legend**

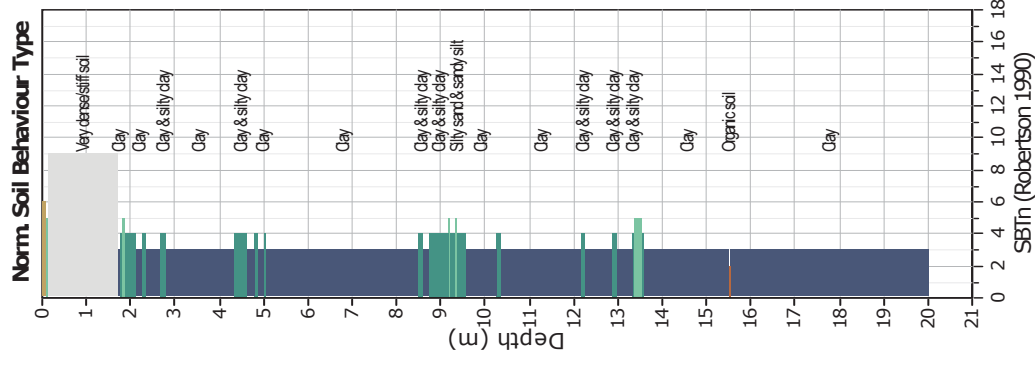
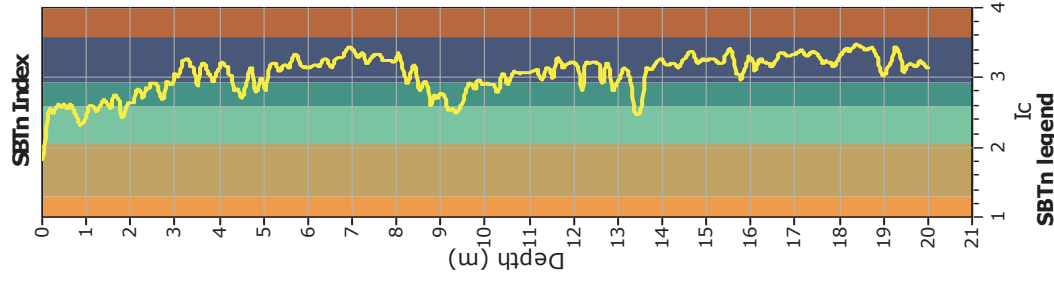
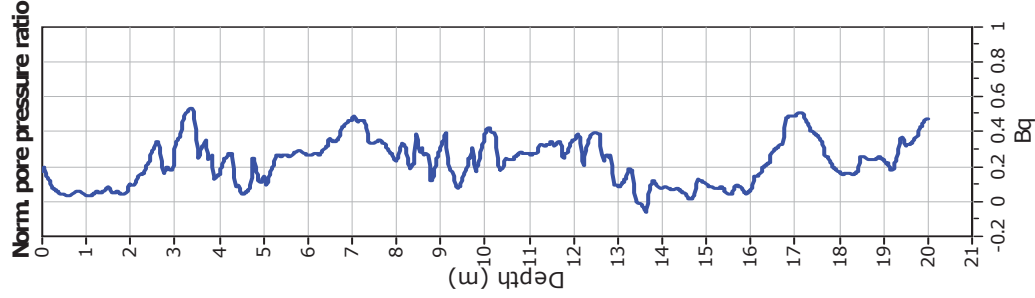
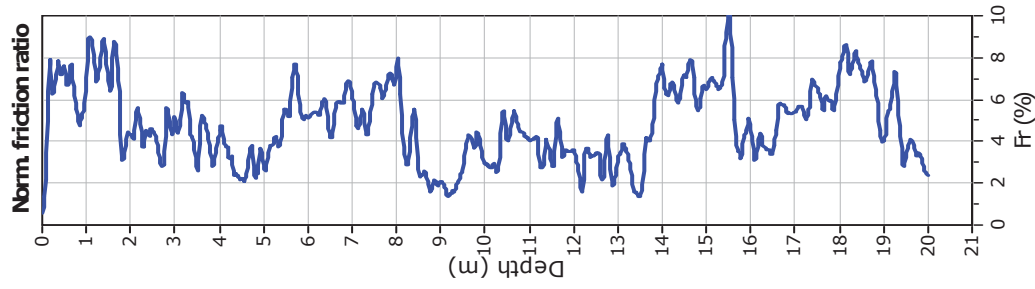
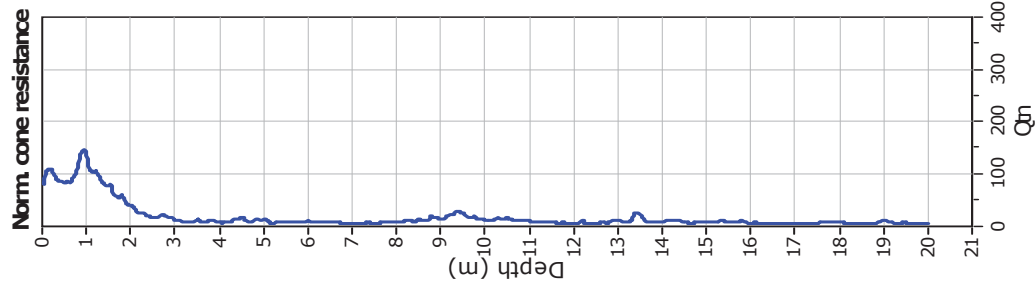
- 1. Sensitive fine grained
- 2. Organic material
- 3. Clay to silty clay
- 4. Clayey silt to silty clay
- 5. Silty sand to sandy silt
- 6. Clean sand to silty sand
- 7. Gravely sand to sand
- 8. Very stiff sand to clayey sand
- 9. Very stiff fine grained

**SBT - Bq plots (normalized)**

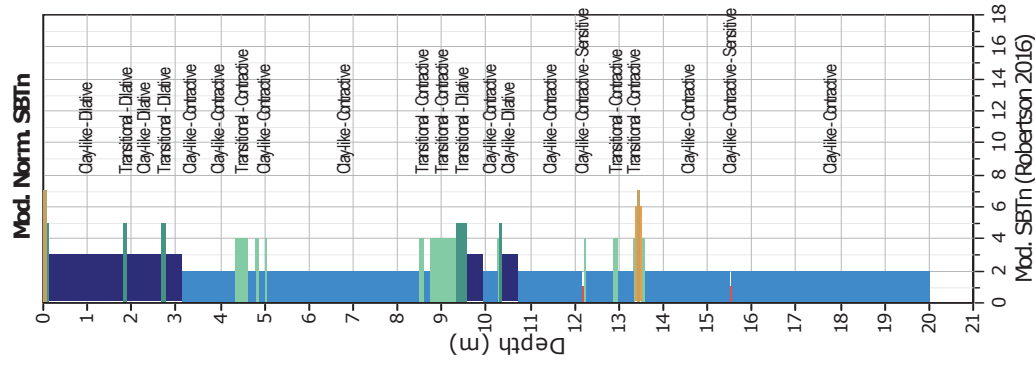
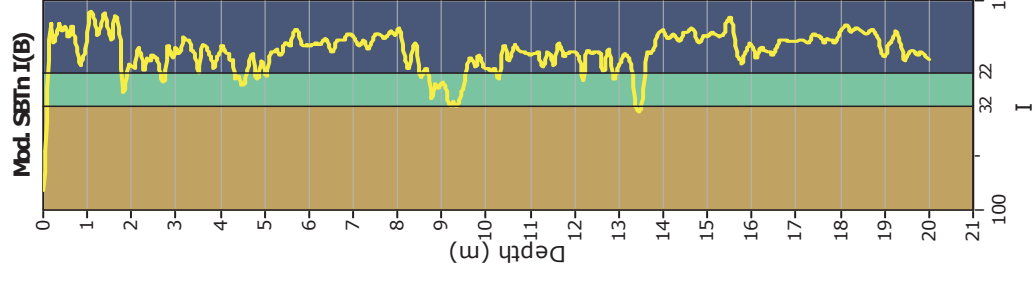
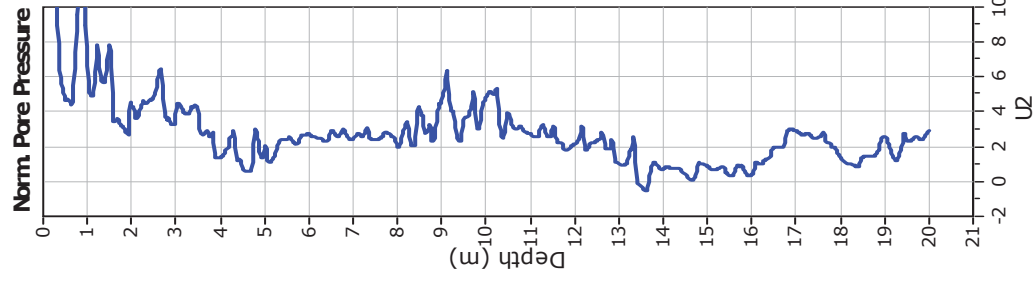
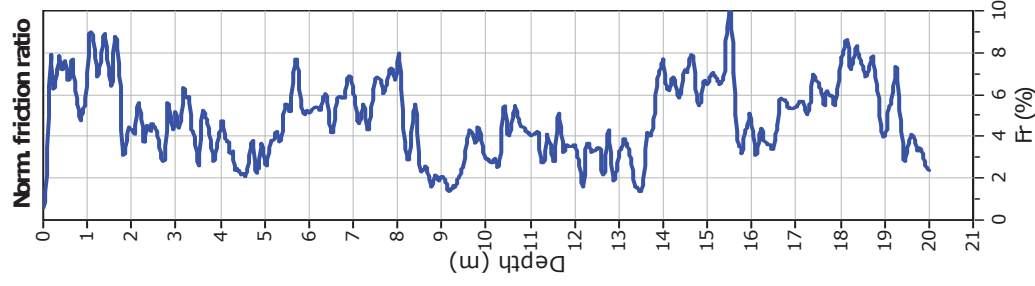
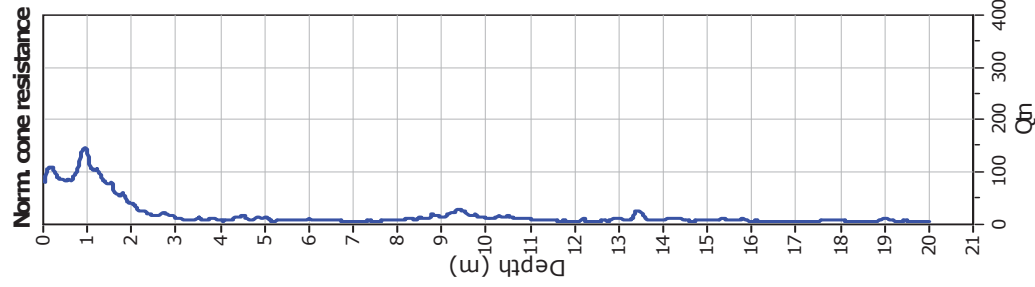




- SBT legend**
- 1. Sensitive fine grained
  - 2. Organic material
  - 3. Clay to silty clay
  - 4. Clayey silt to silty clay
  - 5. Silty sand to sandy silt
  - 6. Clean sand to silty sand
  - 7. Gravely sand to sand
  - 8. Very stiff sand to clayey sand
  - 9. Very stiff fine grained



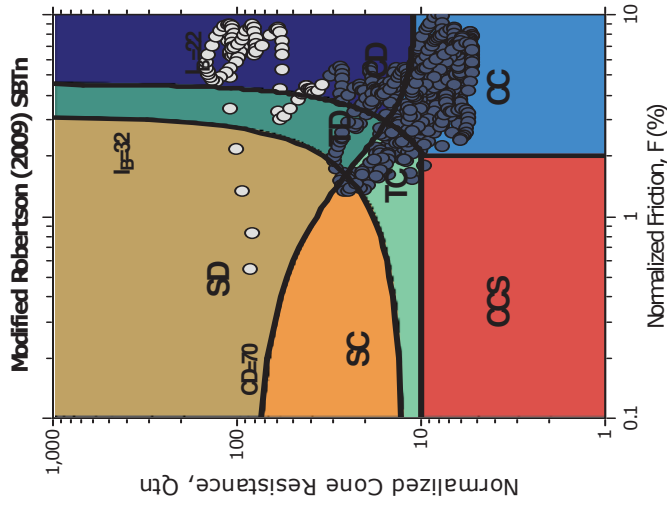
- SBTn legend**
- 1. Sensitive fine grained
  - 2. Organic material
  - 3. Clay to silty clay
  - 4. Clayey silt to silty clay
  - 5. Silty sand to sandy silt
  - 6. Clean sand to silty sand
  - 7. Gravely sand to sand
  - 8. Very stiff sand to clayey sand
  - 9. Very stiff fine grained



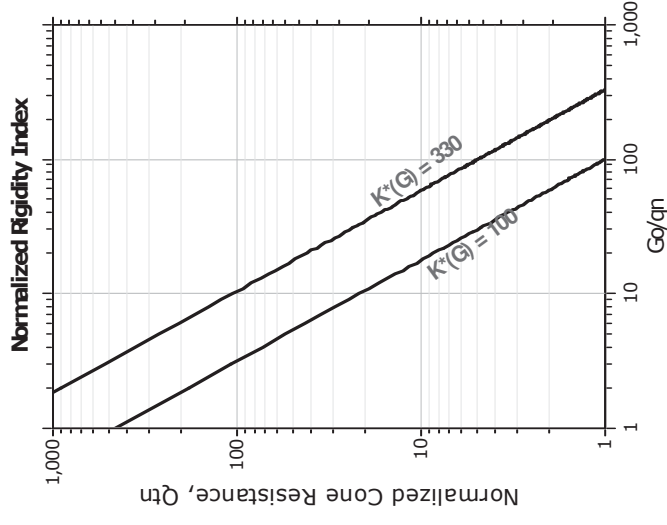
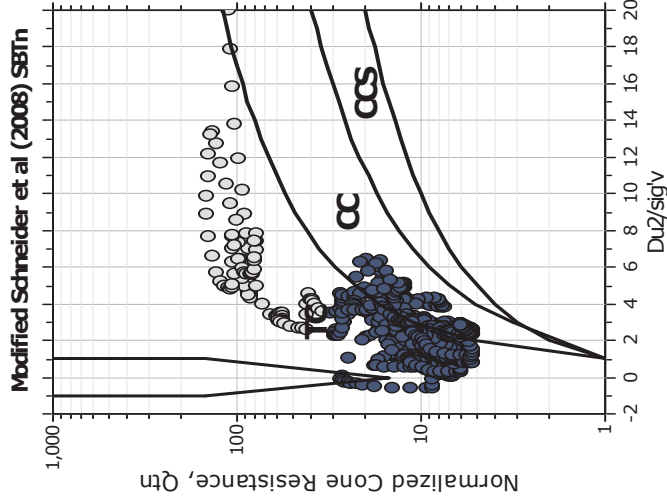
**Mod. SBTn legend**

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

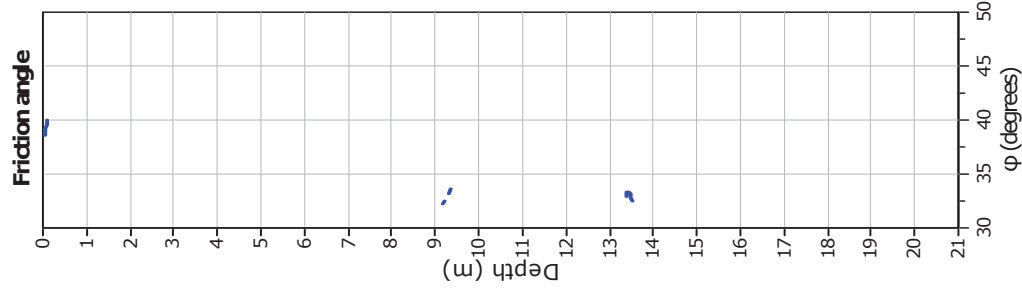
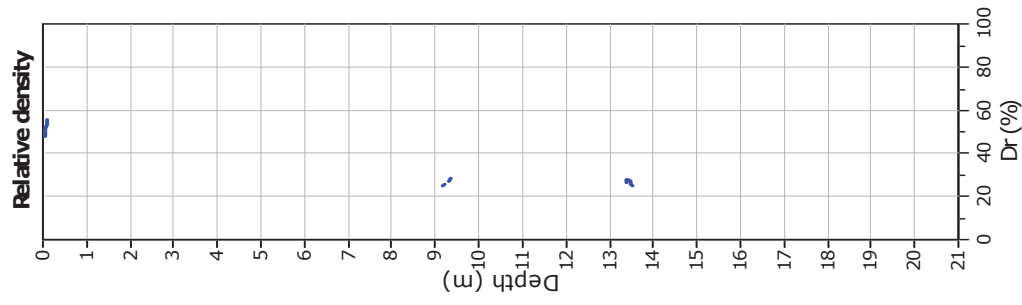
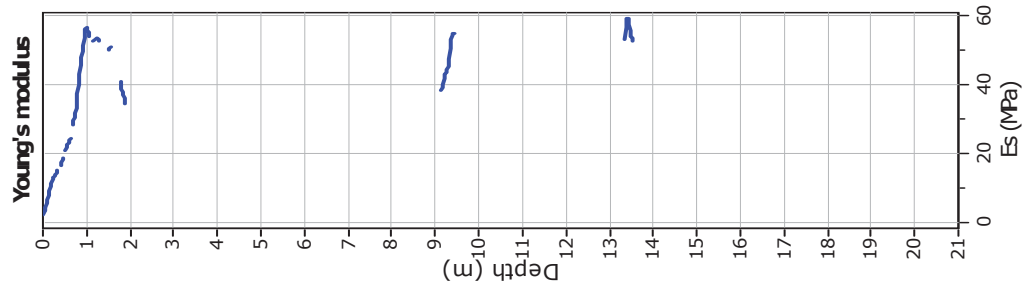
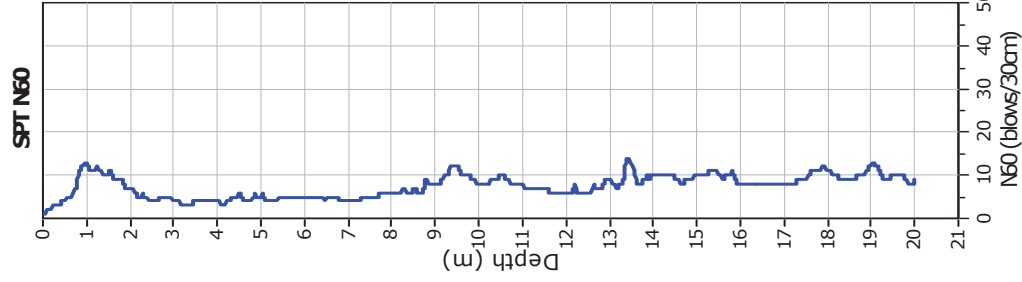
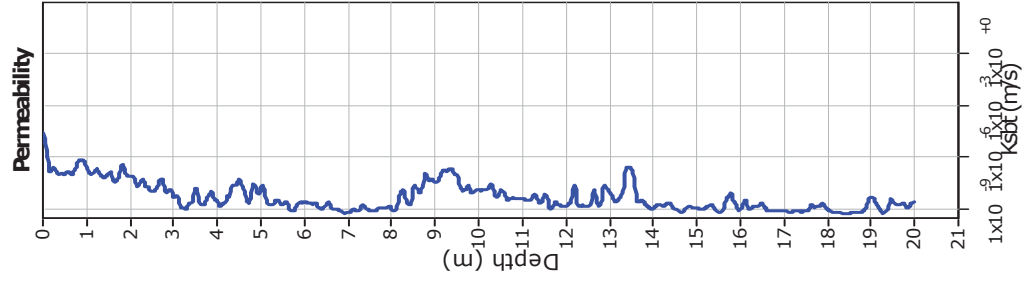
**Updated SBTn plots**



- 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

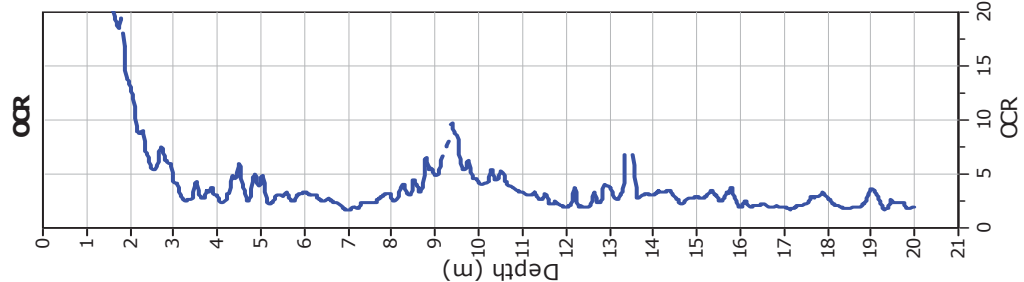
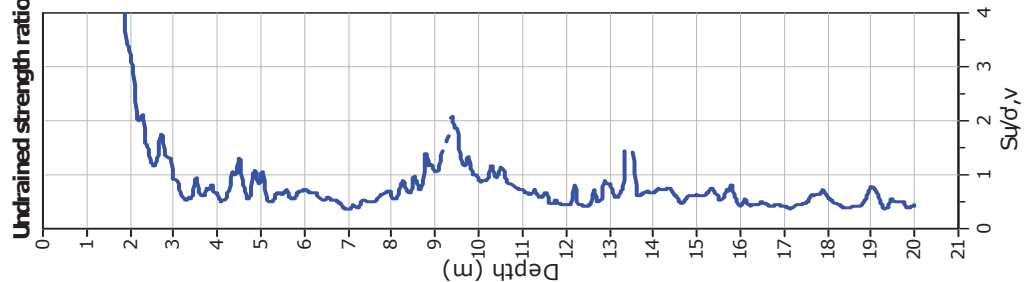
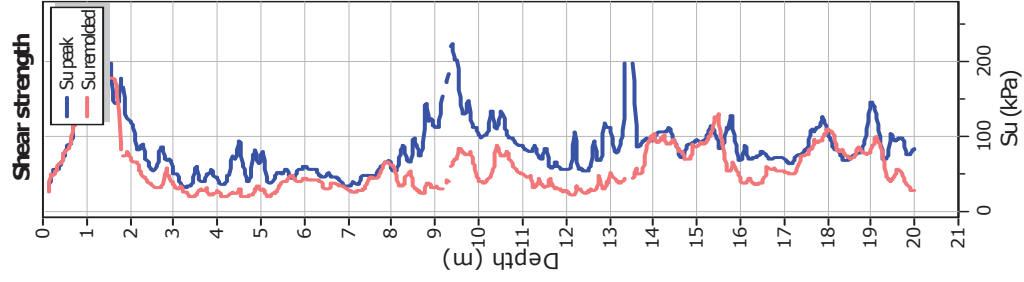
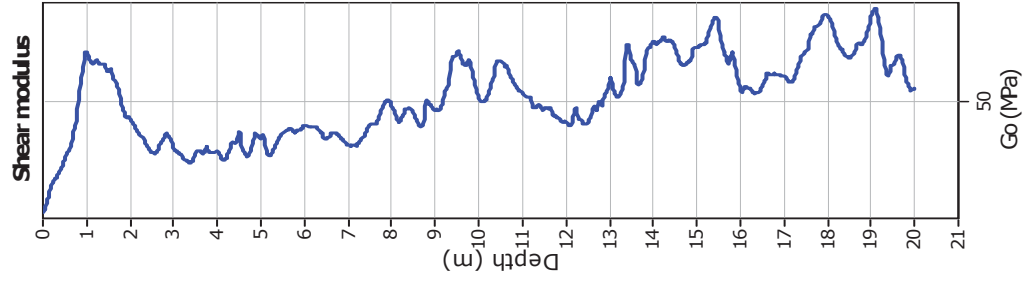
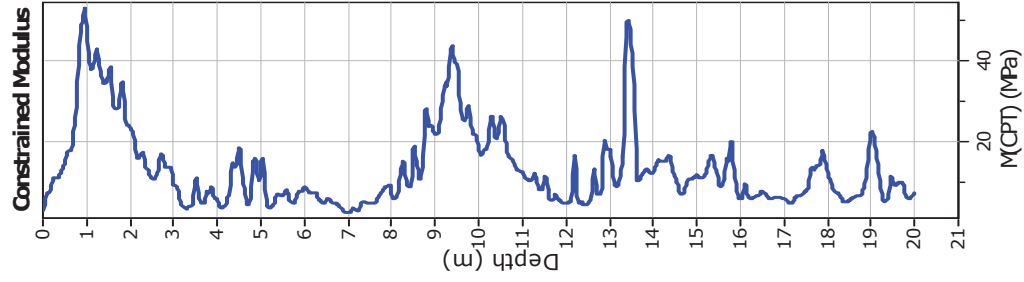


$K(G) > 330$ : Soils with significant microstructure (e.g. age/cementation)



**Calculation parameters**

Permeability: Based on  $SBT_n$   
 SPT  $N_{60}$ : Based on  $I_c$  and  $q_t$   
 Young's modulus: Based on variable alpha using  $I_c$  (Robertson, 2009)  
 Relative density constant,  $C_{Dr}$ : 350.0  
 Phi: Based on Kulhawy & Mayne (1990)  
 —●— User defined estimation data



**Calculation parameters**

Constrained modulus: Based on variable  $\alpha/\rho/\alpha$  using  $I_c$  and  $Q_{in}$  (Robertson, 2009)

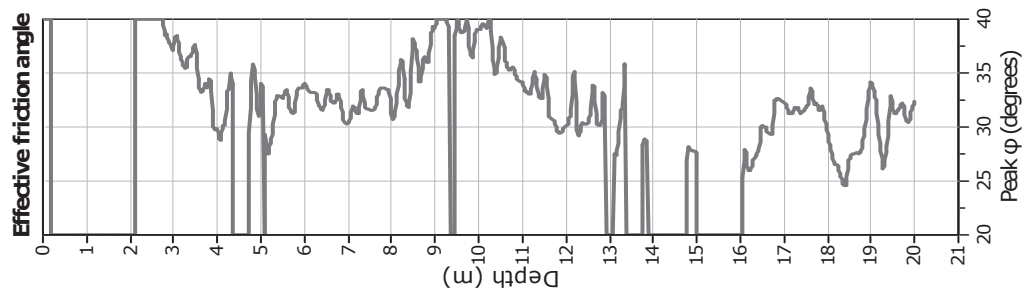
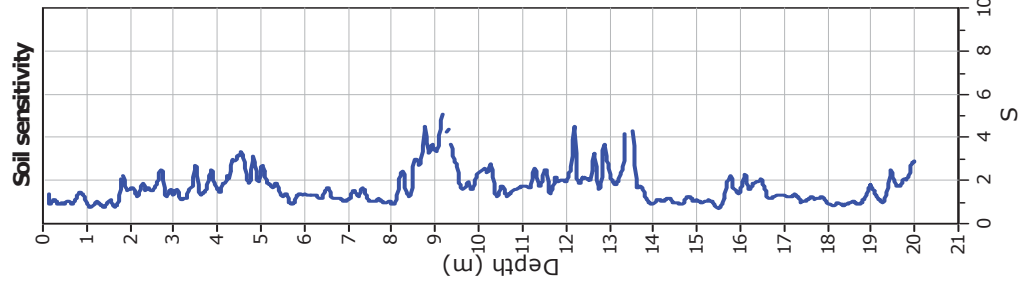
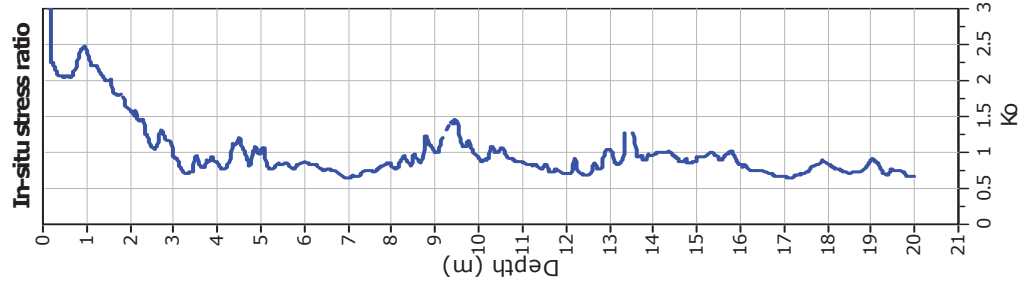
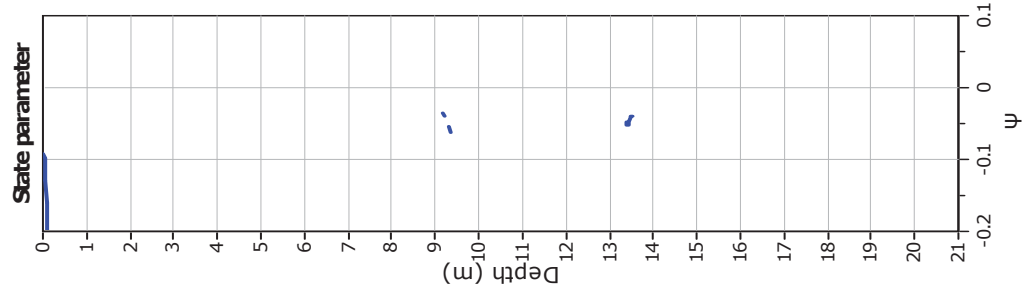
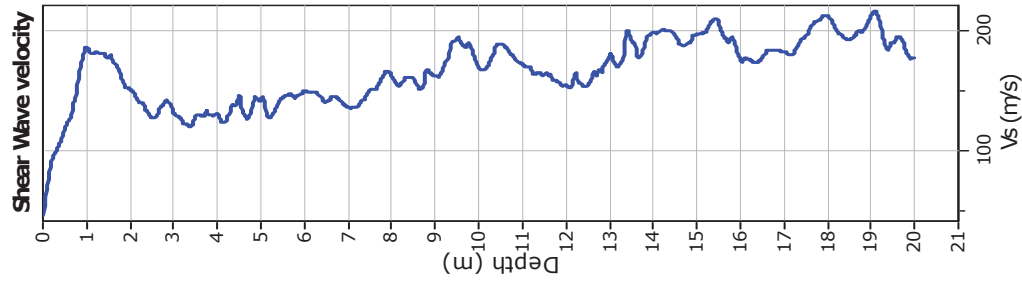
$G_o$ : Based on variable  $\alpha/\rho/\alpha$  using  $I_c$  (Robertson, 2009)

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***

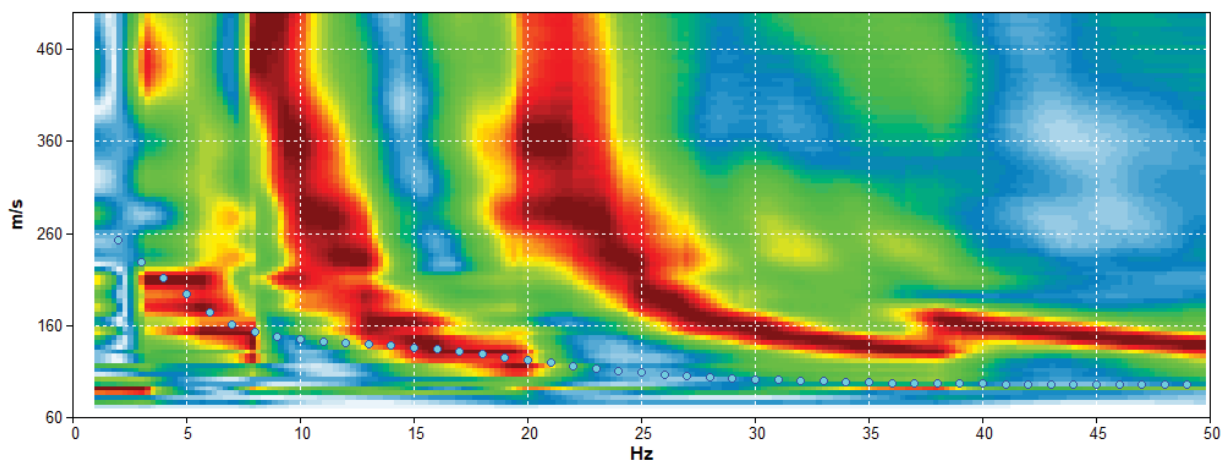
## MEDOLLA, MASW

Trace length: 0h00'02".  
 Sampling rate: 4000 Hz

Channel labels: CH01 ; CH02 ; CH03 ; CH04 ; CH05 ; CH06 ; CH07 ; CH08

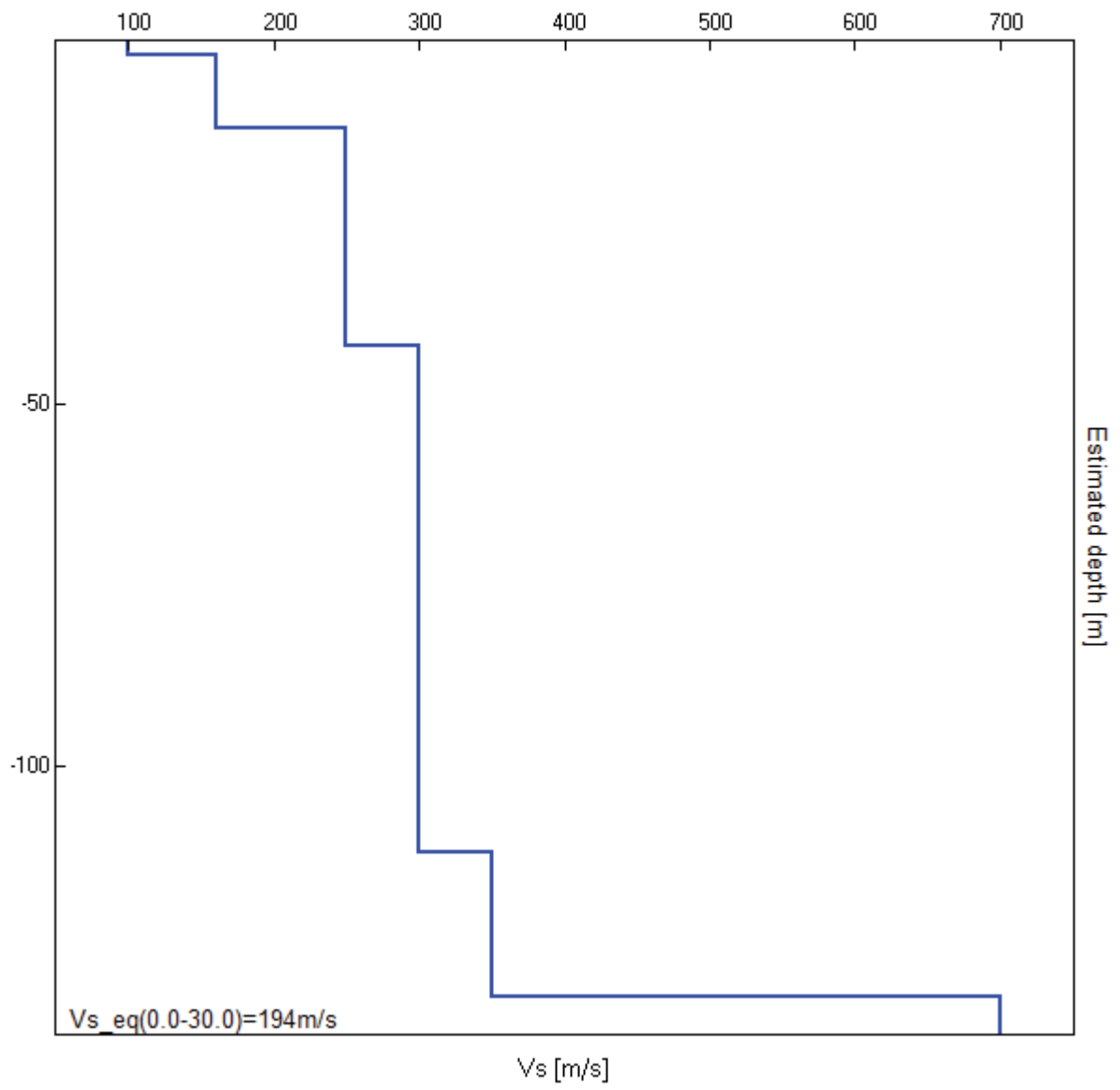
Array geometry (x): 0.0 2.0 4.0 6.0 8.0 10.0 12.0 14.0 m.

MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
2.00	2.00	100	0.42
12.00	10.00	160	0.42
42.00	30.00	250	0.42
112.00	70.00	300	0.42
132.00	20.00	350	0.42
inf.	inf.	700	0.42

Vs\_eq(0.0-30.0)=194m/s



## HV\_1, MEDOLLA

Instrument: TE3-0303/01-17

Data format: 32 bit

Full scale [mV]: 51

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

(UTC time synchronized to the first recording sample): not available in this acquisition mode + 0 + 0 samples

Satellite no.: 5

Trace length: 0h30'00". Analyzed 84% trace (automatic window selection)

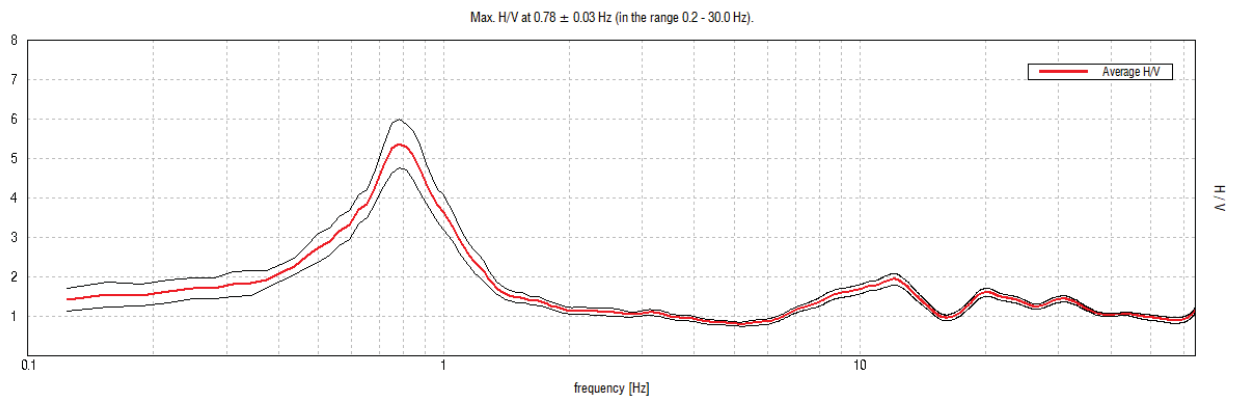
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

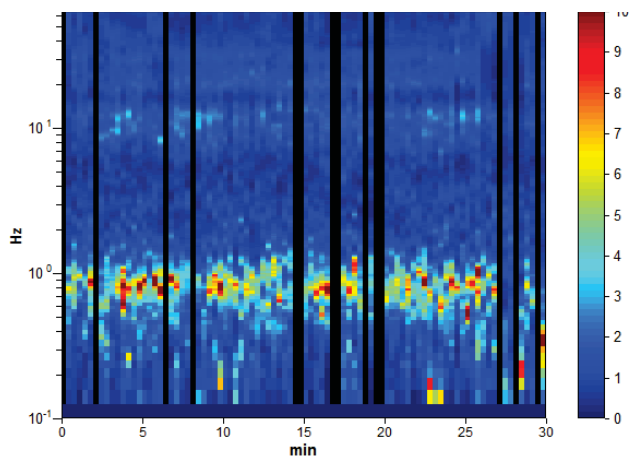
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

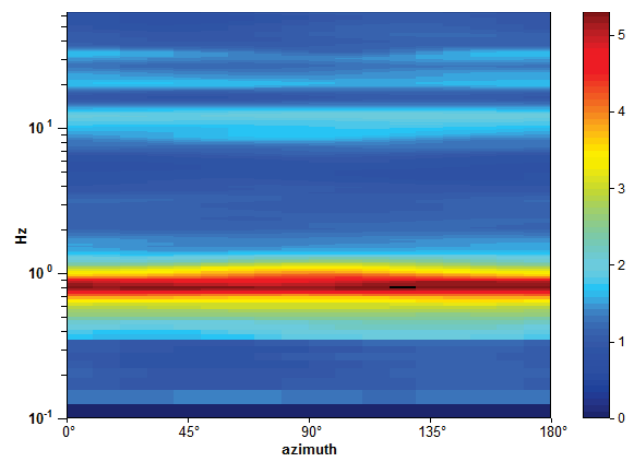
### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



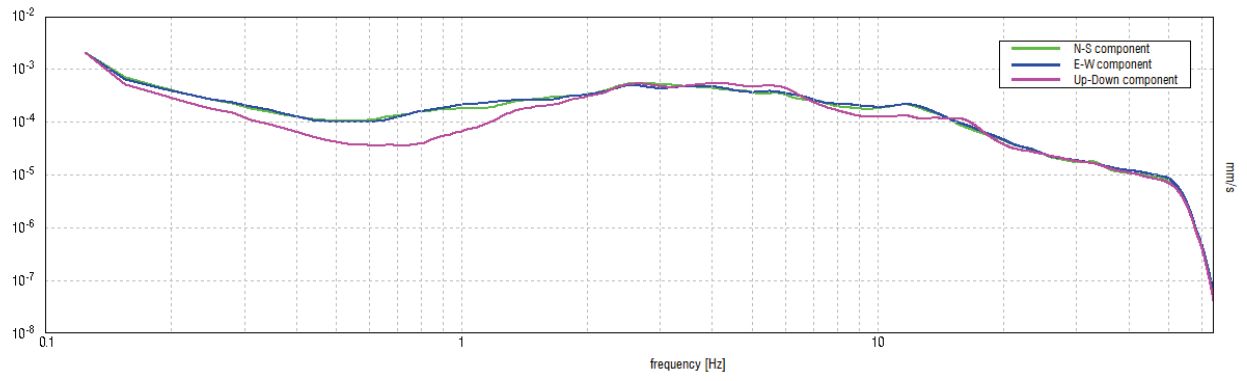
### H/V TIME HISTORY



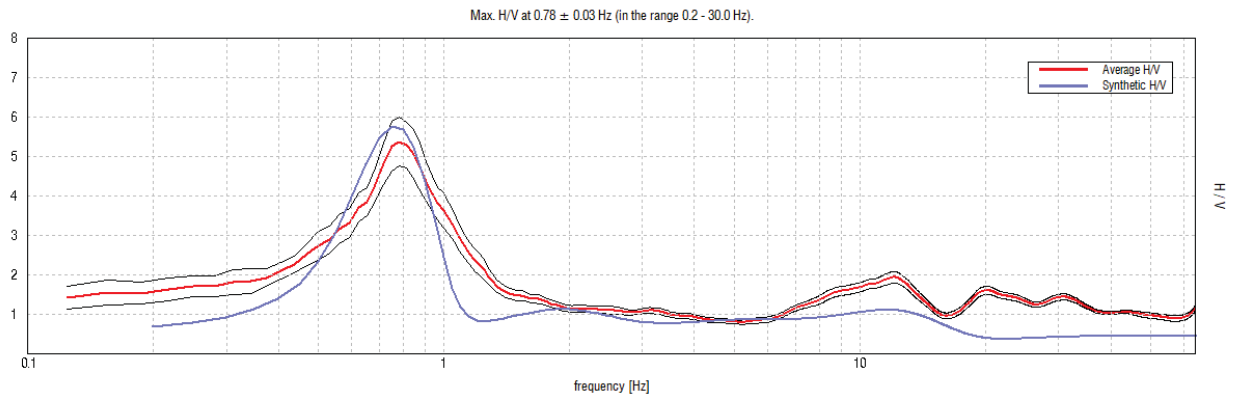
### DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA

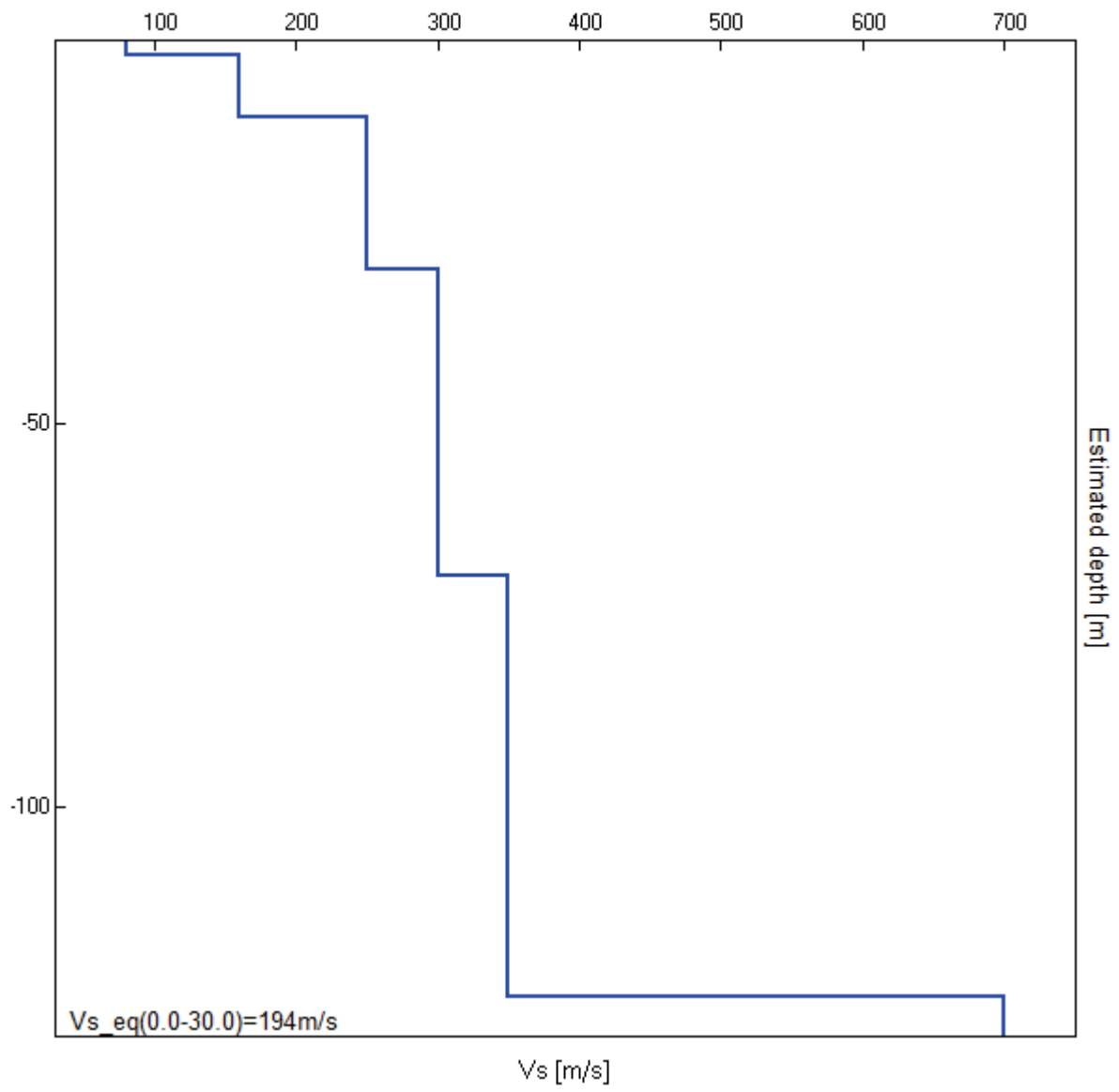


### EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
2.00	2.00	80	0.42
10.00	8.00	160	0.42
30.00	20.00	250	0.42
70.00	40.00	300	0.35
125.00	55.00	350	0.35
inf.	inf.	700	0.35

Vs\_eq(0.0-0.0)=m/s



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

**Max. H/V at  $0.78 \pm 0.03$  Hz (in the range 0.2 - 30.0 Hz).**

**Criteria for a reliable H/V curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.78 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$1187.5 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ 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 38 times	<b>OK</b>	

**Criteria for a clear H/V peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.469 Hz	<b>OK</b>	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.156 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$5.37 > 2$	<b>OK</b>	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.04329  < 0.05$	<b>OK</b>	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.03382 < 0.11719$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.6147 < 2.0$	<b>OK</b>	

$L_w$	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
$\sigma_f$	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  $\sigma_f$  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

## HV\_2, MEDOLLA

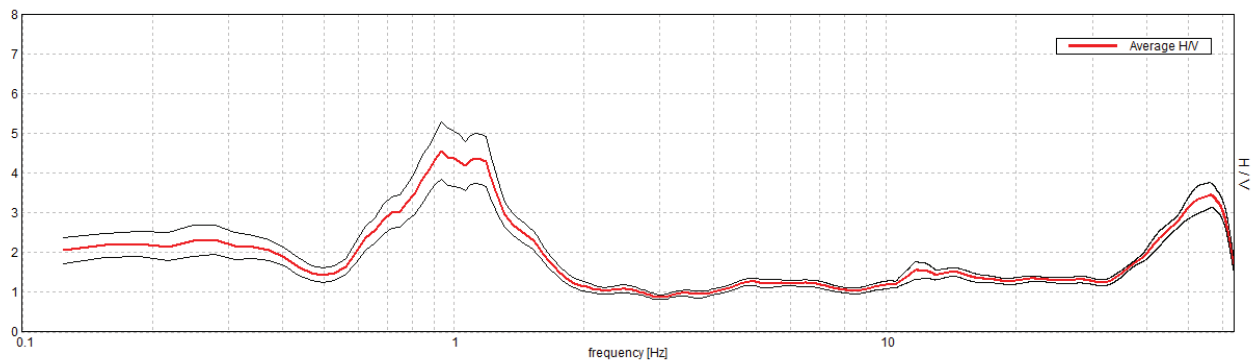
Instrument: TE3-0303/01-17  
Data format: 16 byte  
Full scale [mV]: 51

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
GPS data not available

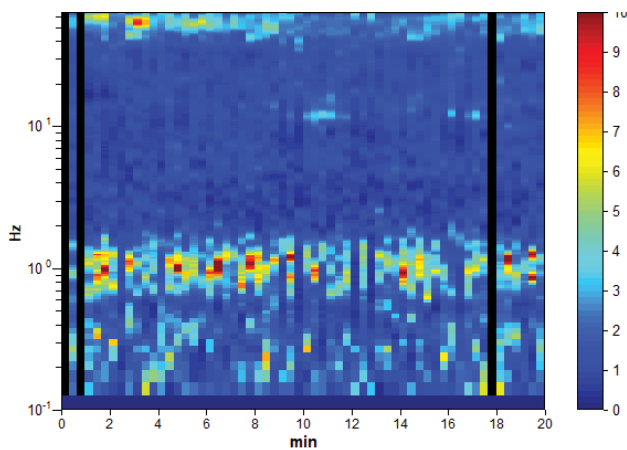
Trace length: 0h20'00". Analyzed 95% trace (manual window selection)  
Sampling rate: 128 Hz  
Window size: 20 s  
Smoothing type: Triangular window  
Smoothing: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

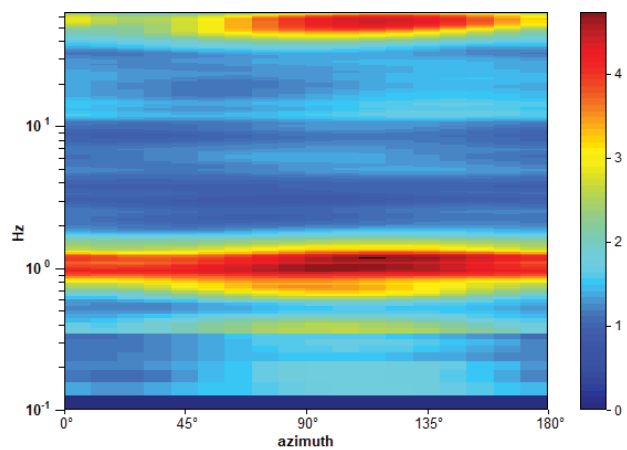
Max. H/V at  $0.94 \pm 0.13$  Hz (in the range 0.0 - 30.0 Hz).



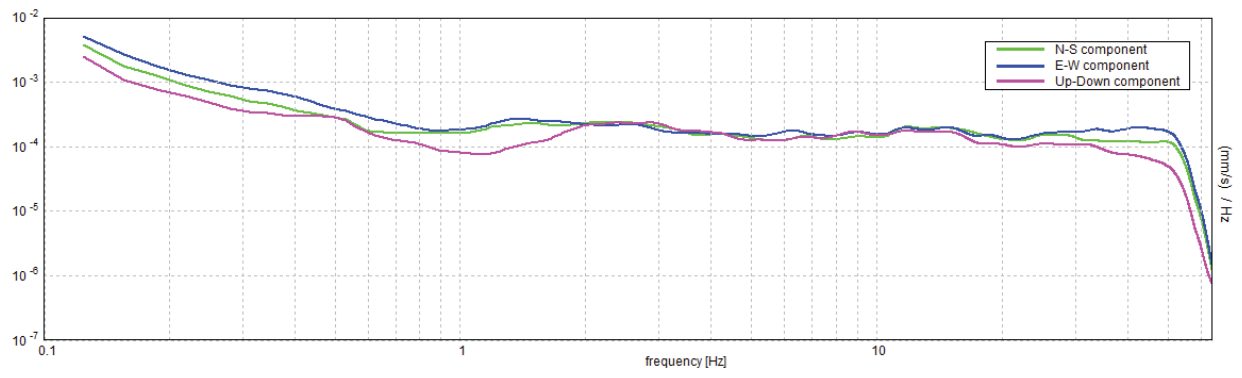
### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA



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

**Max. H/V at  $0.94 \pm 0.13$  Hz (in the range 0.0 - 30.0 Hz).**

**Criteria for a reliable H/V curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.94 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$1068.8 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 46 times	OK	

**Criteria for a clear H/V peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.594 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.563 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$4.56 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.13793  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.12931 < 0.14063$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.7265 < 2.0$	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
$\sigma_f$	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  $\sigma_f$  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**

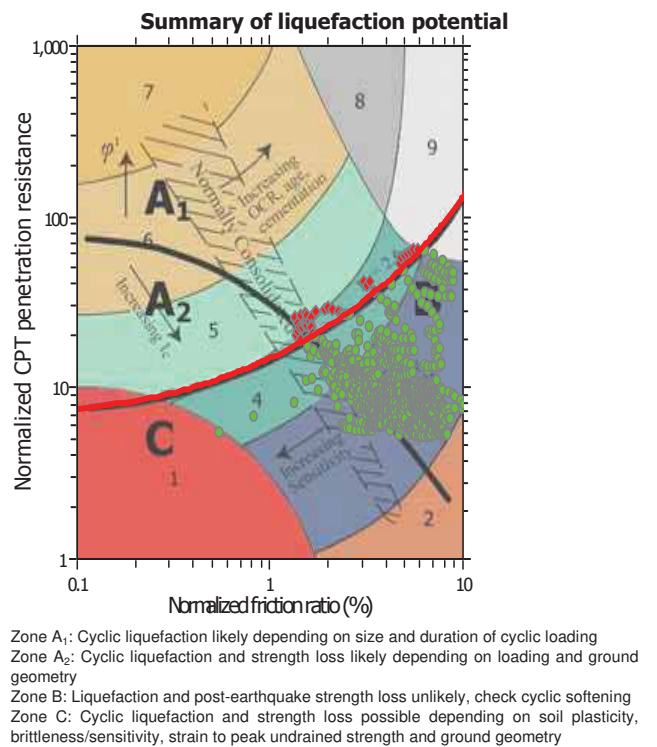
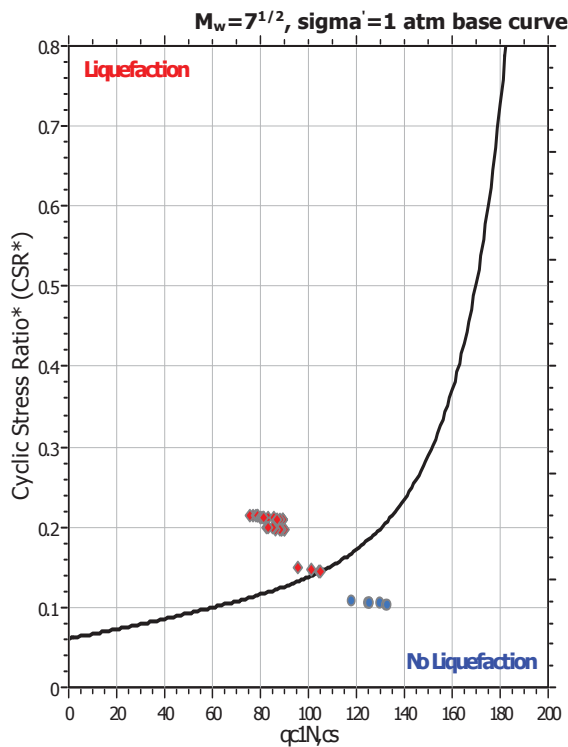
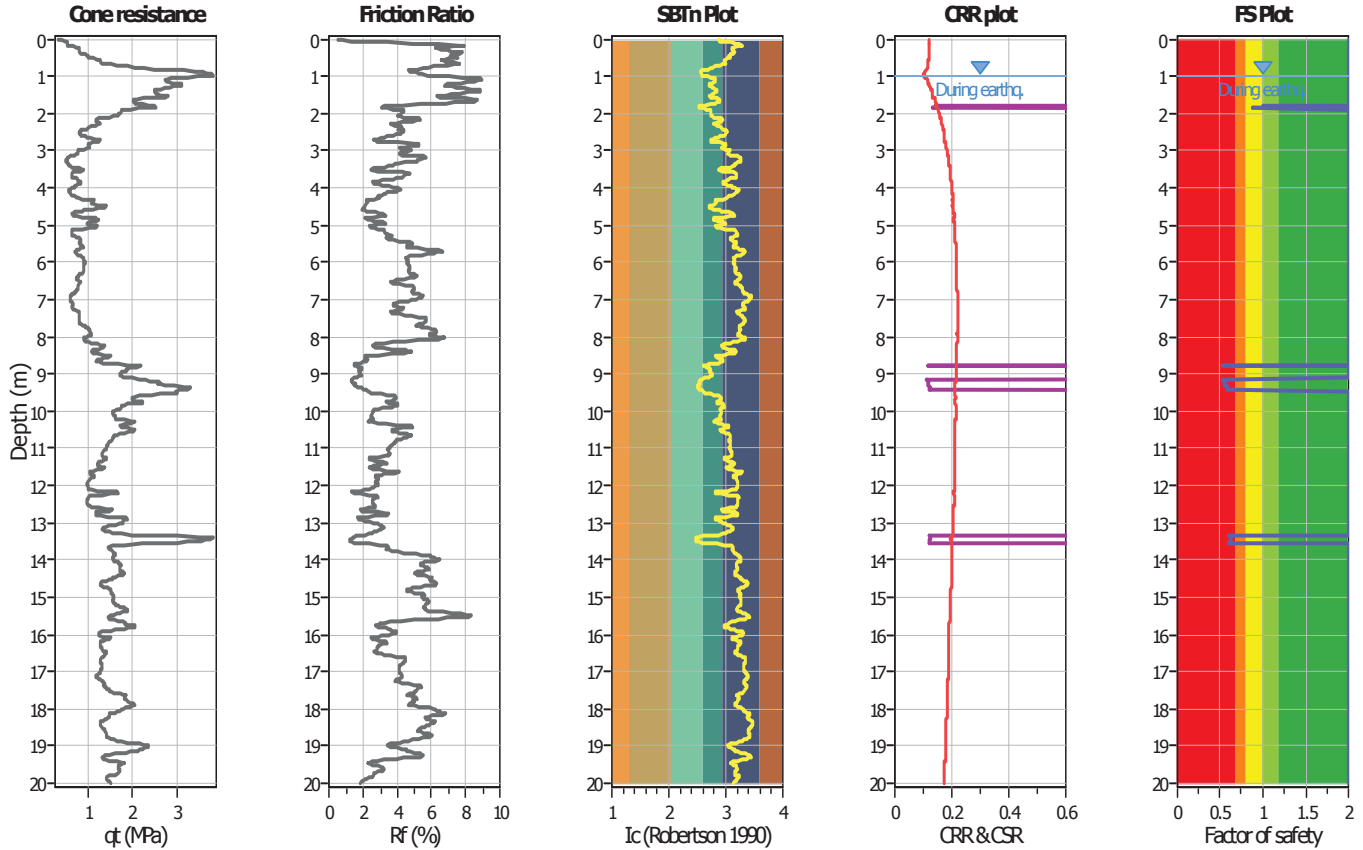
**Project title : Studio del terreno di fondazione**

**Location : Medolla, area "Ex Tonini"**

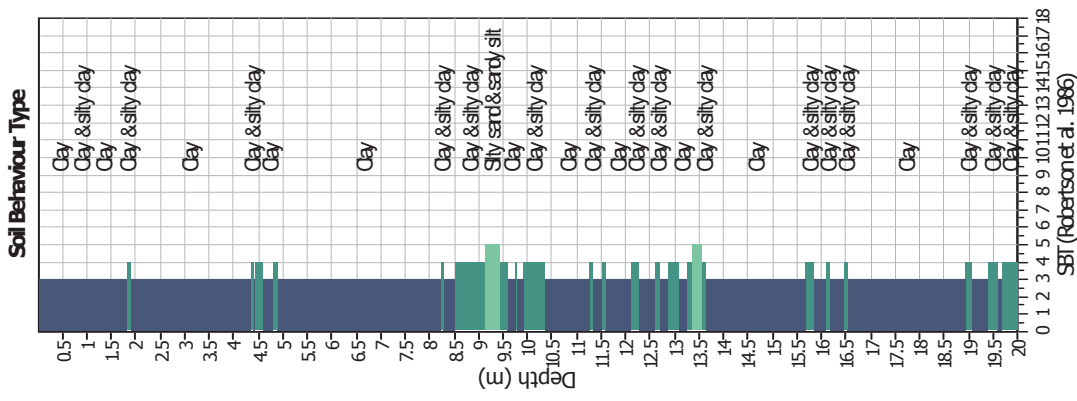
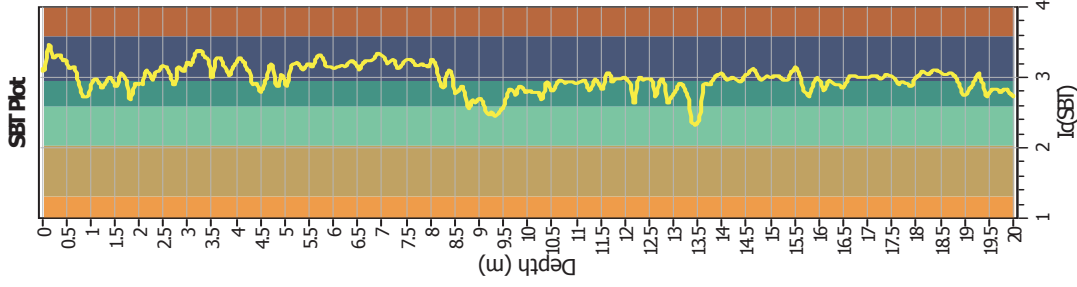
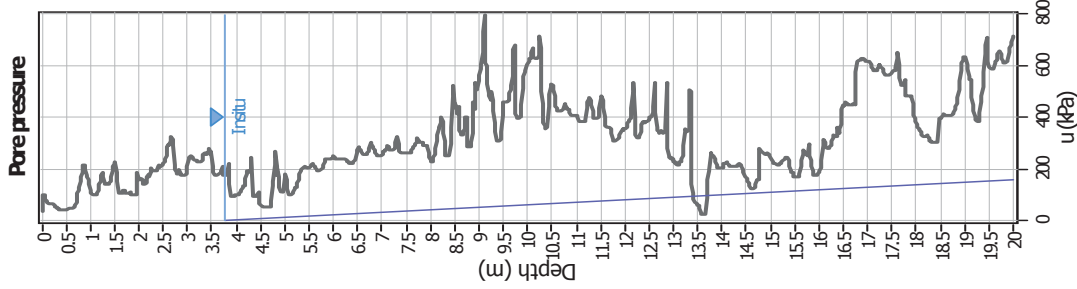
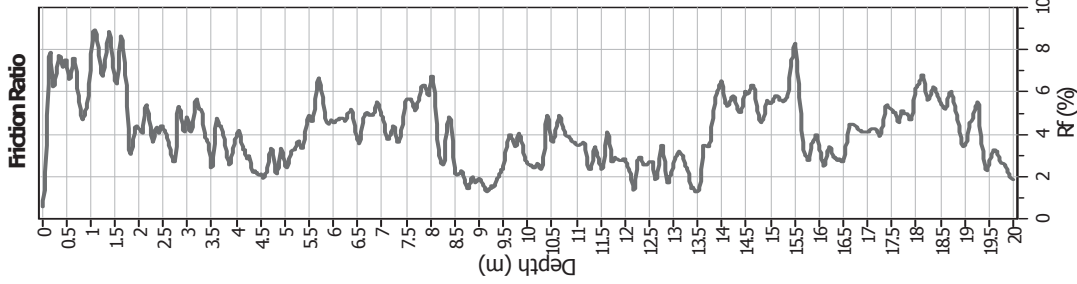
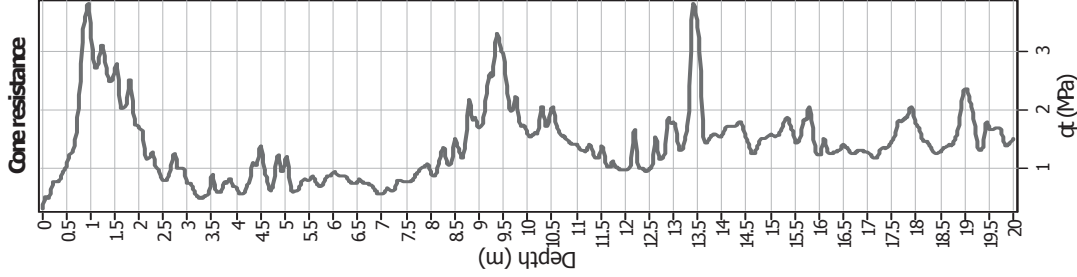
**CPT file : CPTU 1**

**Input parameters and analysis data**

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	3.75 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth:	N/A
Earthquake magnitude $M_w$ :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	MSF method:	Method
Peak ground acceleration:	0.22	Unit weight calculation:	Based on SBT	$K_\sigma$ applied:	Yes		



### CPT basic interpretation plots



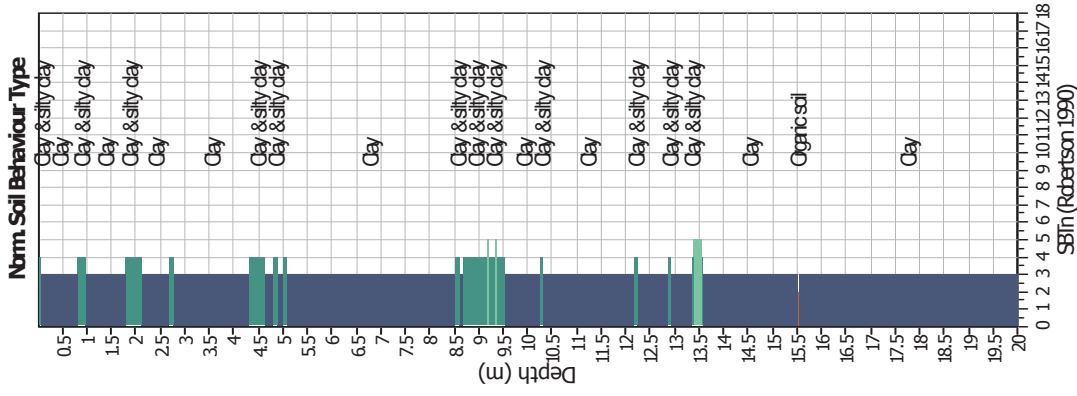
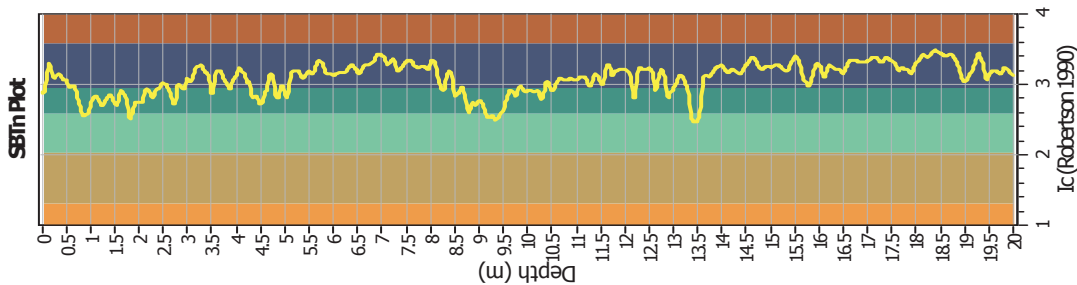
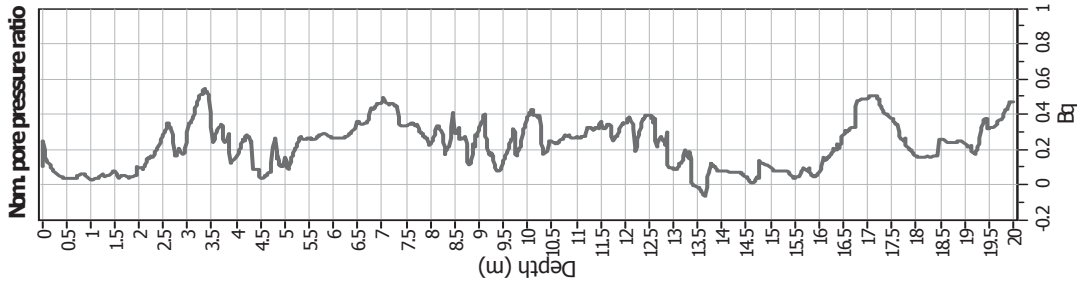
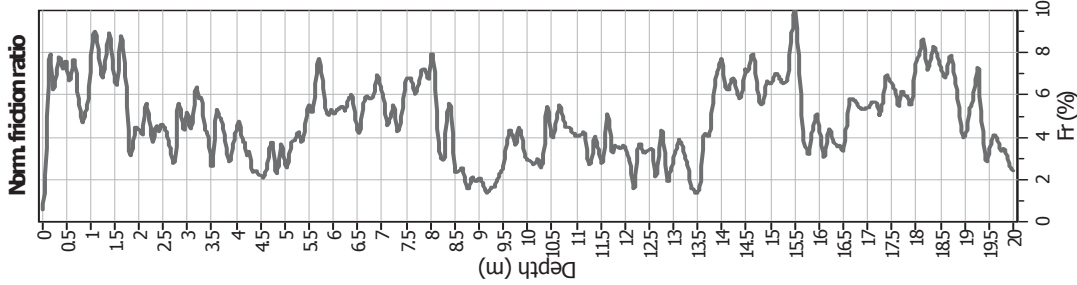
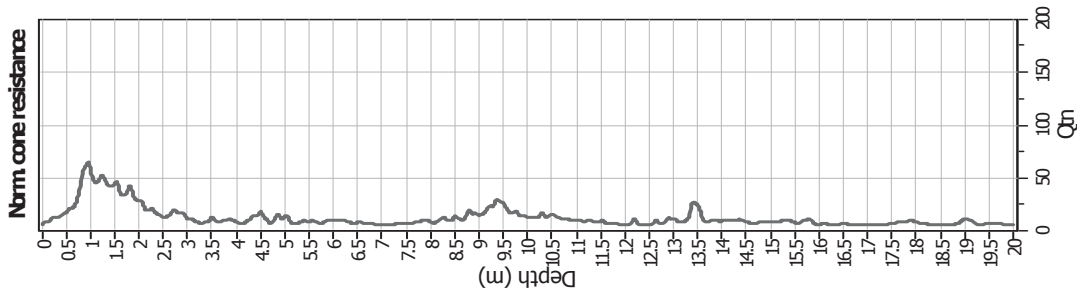
### Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (earthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	$K_p$ applied:	Yes
Earthquake magnitude $M_w$ :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.22	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	3.75 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

### SBT legend

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

### CPT basic interpretation plots (normalized)



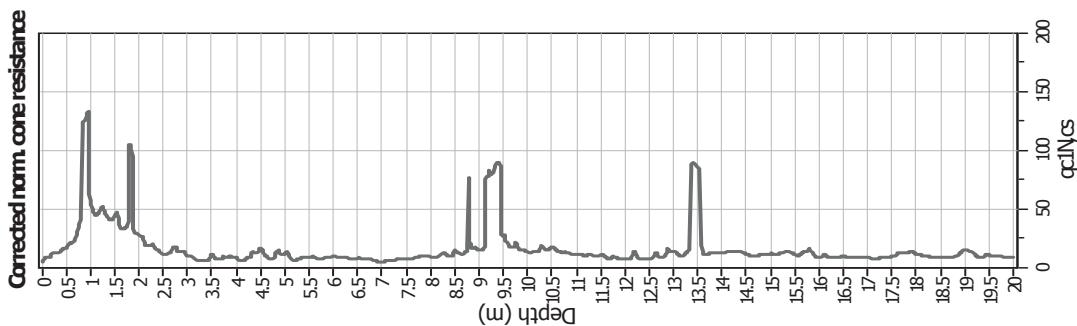
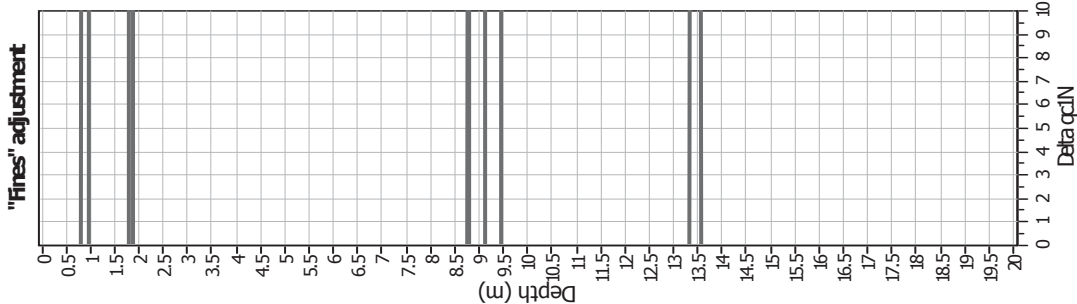
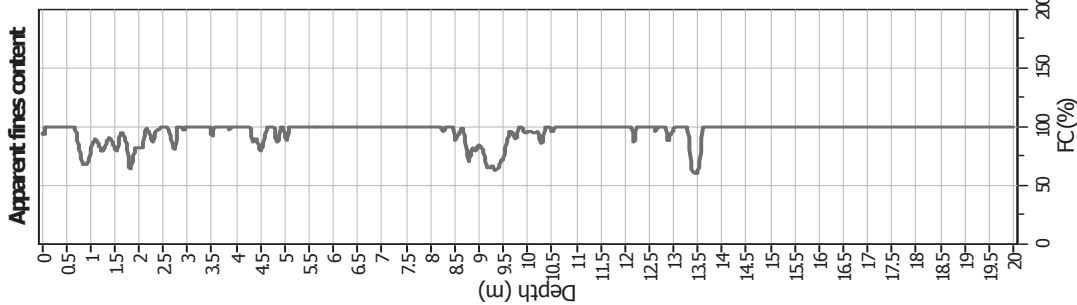
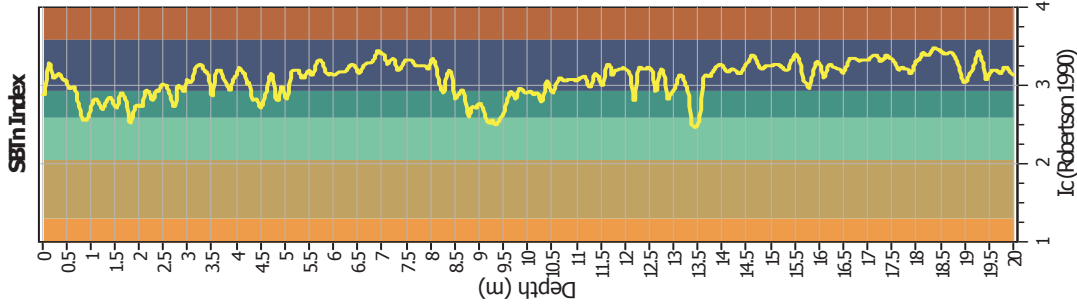
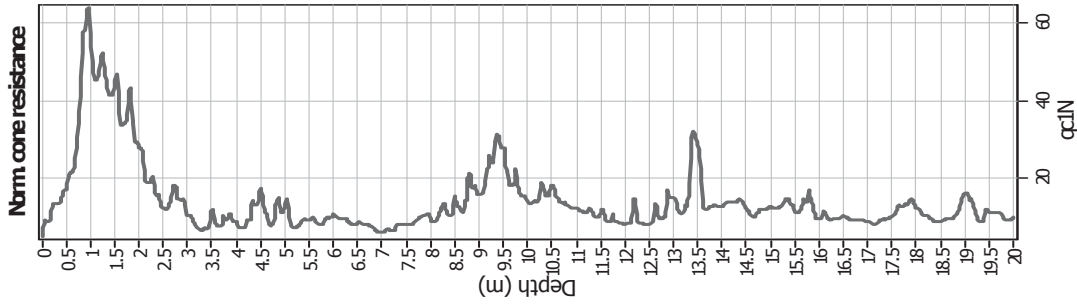
### Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GW (earthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on I <sub>c</sub> value	I <sub>c</sub> cut-off value:	2.60	K <sub>v</sub> applied:	Yes
Earthquake magnitude M <sub>w</sub> :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.22	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	3.75 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

### SBTn legend

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

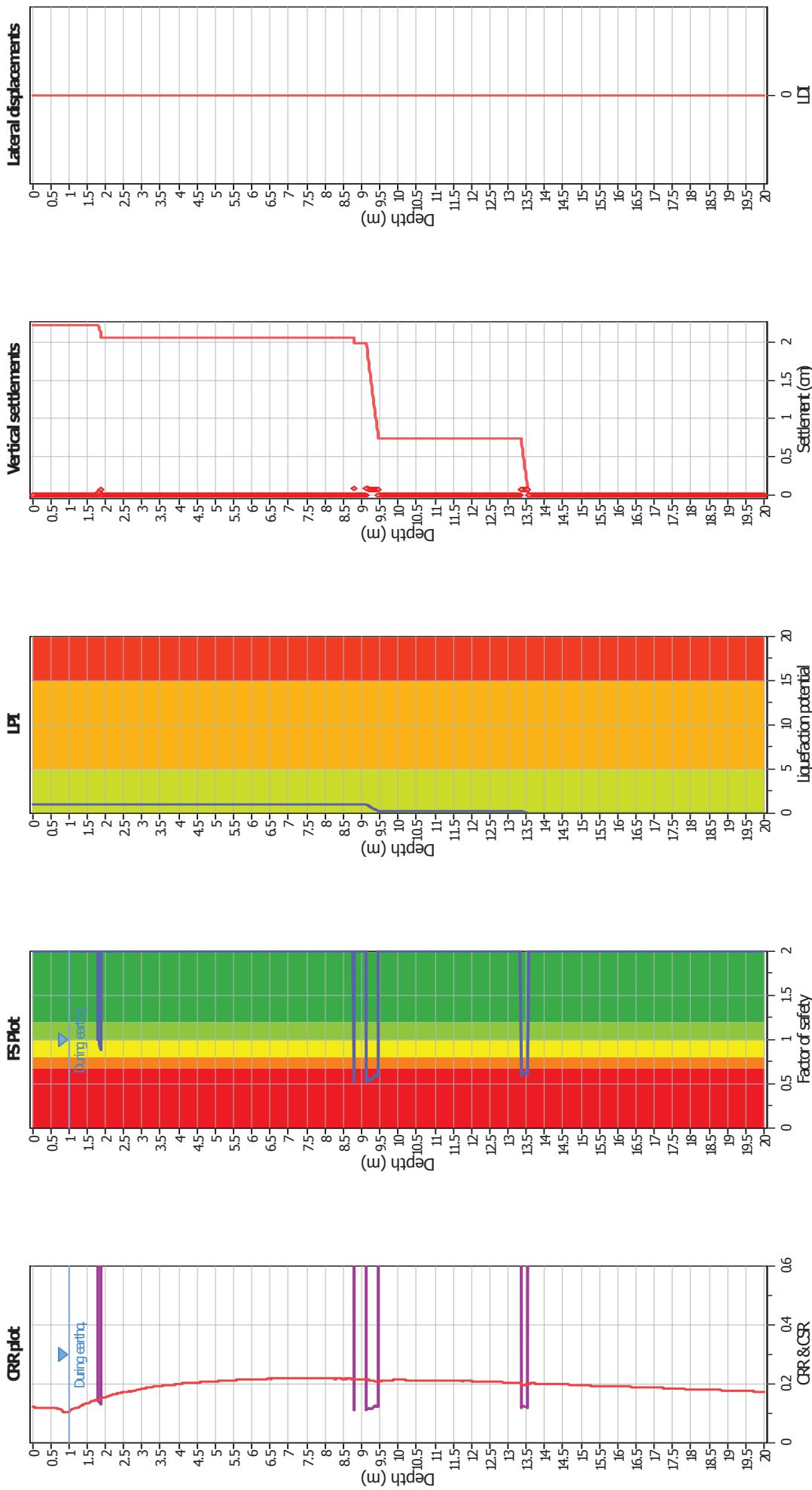
### Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



#### Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	$K_r$ applied:	Yes
Earthquake magnitude $M_w$ :	6.14	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.22	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	3.75 m	Limit depth:	N/A
Depth to GWT (earthq.):	1.00 m		
Average results interval:	3		
Ic cut-off value:	2.60		
Unit weight calculation:	Based on SBT		
Use fill:	No		
Fill height:	N/A		

### Liquefaction analysis overall plots



#### Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on I <sub>c</sub> value	K <sub>s</sub> applied:	Yes
Earthquake magnitude M <sub>w</sub> :	6.14	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.22	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	3.75 m	Limit depth:	N/A
Depth to GWT (earthq.):	1.00 m		
Average results interval:	3		
I <sub>c</sub> cut-off value:	2.60		
Unit weight calculation:	Based on SBT		
Use fill:	No		
Fill height:	N/A		

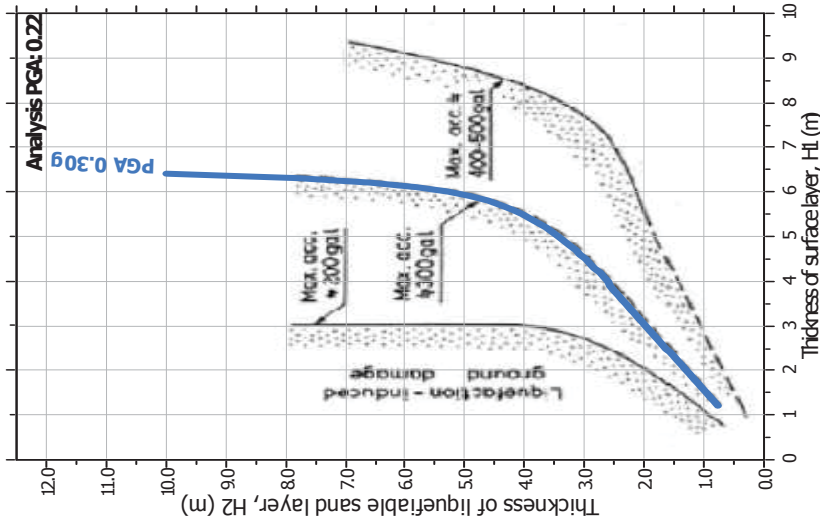
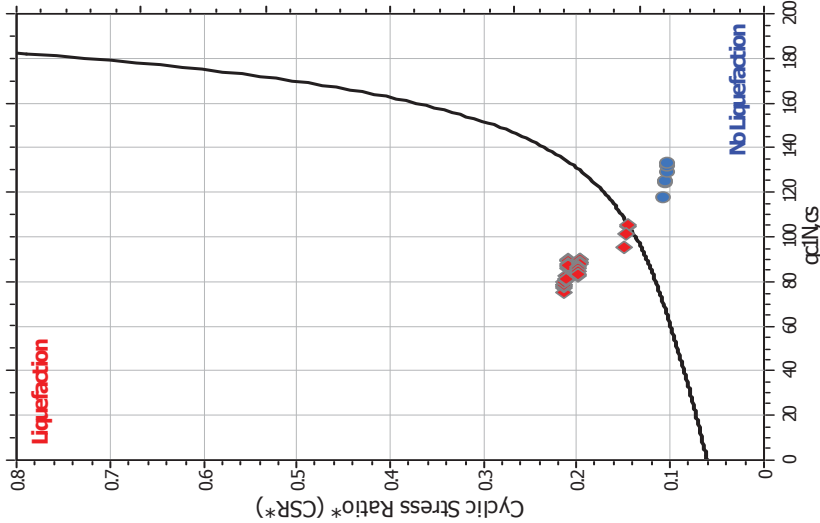
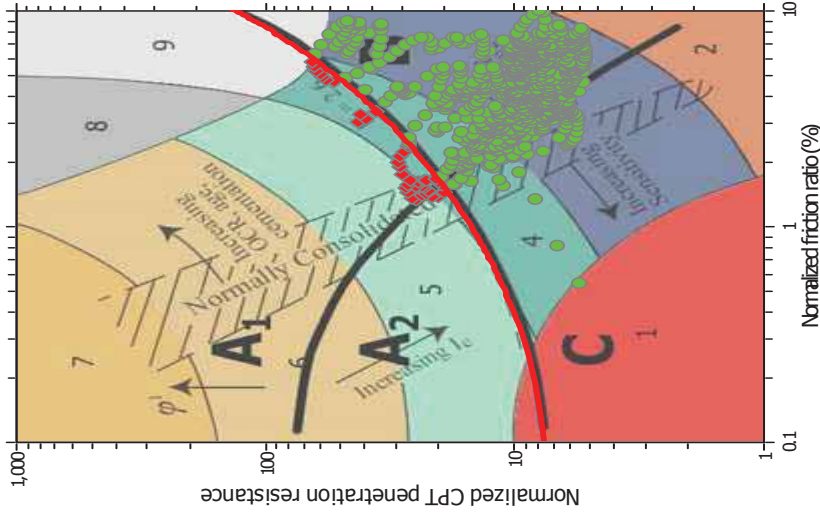
#### F.S. color scheme

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

#### LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

### Liquefaction analysis summary plots



#### Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (earthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K <sub>v</sub> applied:	Yes
Earthquake magnitude M <sub>w</sub> :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.22	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	3.75 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A