

Comune di Soliera

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 e sismica inerente al progetto di demolizione e ricostruzione con ampliamento di capannoni per allevamento bovini, in Via Croce Lama n. 55 nel Comune di Soliera (MO)

ART. 53 L.R. 24/17



Dot. Geol. Pierluigi Dallari

Giugno 2021
Rif. 564/21



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



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

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), verifica della stabilità nei confronti della liquefazione (7.11.3. NTC 2018)

OGGETTO

Caratterizzazione geologica, geotecnica e sismica inerente al progetto di demolizione e ricostruzione con ampliamento di capannoni per allevamento bovini, in Via Croce Lama n. 55 nel Comune di Soliera (MO).

Rif. n. 564/2021



UFFICI: via Per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo 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 Pec: geo.group@winpec.it Sito: www.geogroupmodena.it



INDICE DEL CONTENUTO

1	PREMESSE.....	3
2	INQUADRAMENTO GENERALE.....	4
2.1	Inquadramento geografico	4
2.2	Elementi geologici e geomorfologici	5
2.3	Inquadramento sismico	6
3	INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	7
3.1	Indagini Geotecniche.....	7
3.1.1	Prove penetrometriche statiche CPTU	7
3.2	Indagini Geofisiche.....	8
3.2.1	Indagine sismica passiva a stazione singola (analisi HVSR).....	8
4	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO.....	9
4.1	Pericolosità sismica di base	9
4.2	Categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 NTC2018)	11
4.3	Azione sismica e risposta sismica del sito – Analisi di risposta sismica locale.....	12
5	MODELLAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA DEL SITO	21
5.1	Modello geotecnico del sottosuolo.....	21
5.2	Stabilità nei confronti della liquefazione (§ A2.2. DGR 630/2019)	22
5.3	Stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica (§ A3.B DGR 630/2019).....	25
6	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	26

TAVOLE

Tav. n. 1: “Carta Topografica”
Tav. n. 2: “Ripresa Satellitare”
Tav. n. 3: “Ubicazione indagini”

scala 1: 5.000
 scala 1: 5.000
 scala 1: 1.000

ALLEGATI

ALL. n. 1 Prove penetrometriche statiche CPT
ALL. n. 2 Indagini sismiche
ALL. n. 3 Verifica alla liquefazione

1 PREMESSE

Nel mese di giugno 2021 è stato eseguito il presente studio geologico, geotecnico e sismico inerente al progetto di demolizione e ricostruzione con ampliamento di capannoni per allevamento bovini, secondo l'art. 53 della L.R. 24/17. L'area in studio si trova in Via Croce Lama n. 55 nel Comune di Soliera (MO).



Fig.1.1 - Ubicazione del sito in studio.

La presente relazione fa riferimento alle disposizioni normative contenute in:

- Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 – D.M. 17/01/2018;
- DGR 630/2019.

2 INQUADRAMENTO GENERALE

2.1 Inquadramento geografico

L'area in esame è collocata a ovest del Comune di Soliera (Fig.2.1). Le coordinate specifiche dell'area sono le seguenti:

SITO IN ESAME	
COORDINATE GEOGRAFICHE	
LATITUDINE	LONGITUDINE
44.742489	10.911187



Fig.2.1 – Ubicazione geografica 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 delle coperture, tratta dal Progetto CARG della Regione Emilia-Romagna, si evidenzia come l'area in studio sia caratterizzata da limo di piana alluvionale.

In particolare l'area in studio è caratterizzata dal Subsistema di Ravenna **AES8**, ovvero ghiaie e ghiaie sabbiose, passanti a sabbie e limi organizzate in numerosi ordini di terrazzi alluvionali. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. A tetto suoli a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente fino a 150 cm e parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallo-bruno. Contengono frequenti reperti archeologici di età del Bronzo, del Ferro e Romana. Potenza fino a oltre 25 m. Olocene (età radiometrica della base: 11.000 - 8.000 anni).



Ambienti deposiz. e litologie (10K)

Argilla - Piana alluvionale

Limo - Piana alluvionale

Coperture quaternarie (10K)

AES8 - Subsistema di Ravenna

Fig.2.2 – Estratto della carta di litologia di superficie.

2.3 Inquadramento sismico

A supporto dell'analisi sismica e della valutazione della stabilità del sito, successivamente descritta nei paragrafi seguenti, per quel che concerne i fenomeni co-sismici è stata preliminarmente consultata la cartografia relativa allo studio di Microzonazione Sismica del Comune di Soliera, ed in particolare la "Carta delle Microzone omogenee in Prospettiva sismica" (tav. n. 6), di cui un estratto è riportato in figura (Fig. 2.3). L'area in studio ricade in una zona suscettibile di instabilità.



Legenda

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

- 
21 Limi inorganici, tene di rocce, calcine fini limose e argille, limi argillosi di bassa plasticità.
 Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche stratigrafiche.
 Stati precisi: Approfondimenti di 0' livello.
- 
22 Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille glauconie, limi argillosi di bassa plasticità.
 Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche stratigrafiche.
 Stati precisi: Approfondimenti di 0' livello.
- 
23 Argille organiche di media plasticità, con intercalazioni composte da limi calcinosi e calcine limose.
 Spessori massimo 2.00 mt e medio - elevati addirittura.
 Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche stratigrafiche.
 Stati precisi: Approfondimenti di 0' livello.
- 
24 Sabbie limose e miscce di sabbie e limi, sabbie in banchi superficiali con spessore variabile da 0.50 a 10.00 mt, con al loro sottile depositi argillosi limosi (fiume Secchia - Fiume Secchia).
 Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche stratigrafiche e potenziali fenomeni di liquefazione dei livelli incassati.
 Stati precisi: Approfondimenti di 0' livello per la zona del potenziale di liquefazione.
- 
25 Sabbie argillose, intercalazioni di siccioni argillosi ad alta plasticità e livelli calcinosi da siccio a medio addirittura.
 Faccia di trasposizione fluviale (fiume Secchia e canalizzazioni secondarie).
 Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche stratigrafiche e potenziali fenomeni di liquefazione dei livelli incassati.
 Stati precisi: Approfondimenti di 0' per zone del potenziale di liquefazione e cedimenti co-sismici.

Zone suscettibili di instabilità

- 
26 Zone potenzialmente liquefabili 2A.
 Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche stratigrafiche e potenziali fenomeni di liquefazione dei livelli incassati.
 Stati precisi: Approfondimenti di 0' livello per la zona del potenziale di liquefazione.

Fig.2.3 – 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 07/06/2021, la seguente indagine geognostica:

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

I risultati della suddetta indagine sono riportati nell'**allegato n. 1**.

3.1.1 Prove penetrometriche statiche CPTU

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

La prova penetrometrica statica con punta elettrica (CPTU), 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 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.

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

	Profondità verticale di prova	Falda freatica D_w
CPTU 1	-20.00 m da p.c.	-1.50 m da p.c.

3.2 Indagini Geofisiche

Per la caratterizzazione sismica dell'area di studio, è stata eseguita, in data 07/06/2021, la seguente indagine geofisica:

- **n. 1 indagine sismica passiva HVSr**

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

3.2.1 Indagine sismica passiva a stazione singola (analisi HVSr)

La misura sismica passiva a stazione singola è stata eseguita mediante un tomografo digitale dotato di tre canali velocimetrici, modello Tromino® prodotto da Moho srl (Marghera (VE), Italia). Per l'acquisizione è stata adottata una frequenza di campionamento di 128 Hz per una durata totale di 20 minuti (Fig. 3.1).

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.

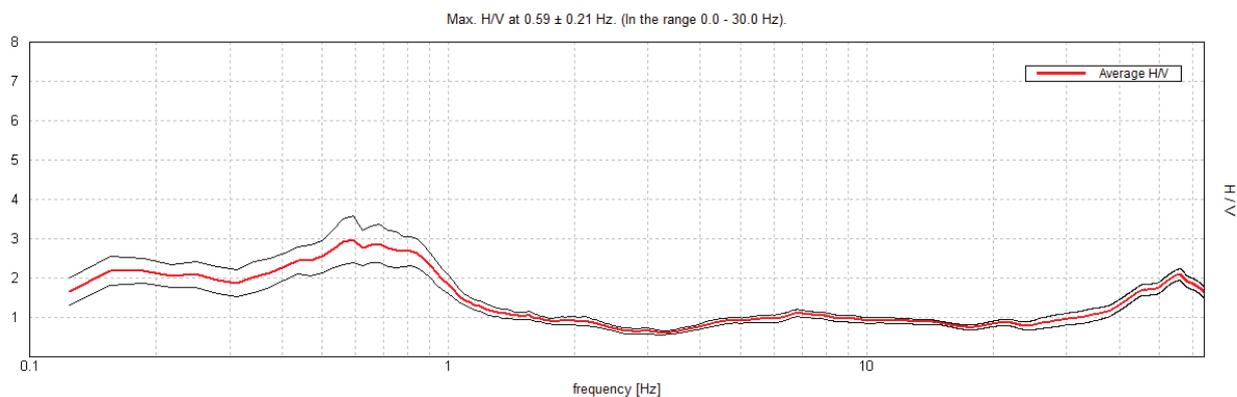


Fig.3.1 - Curva HVSr che identifica un picco a 0.59 Hz.

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 Soliera (MO)** risulta appartenente alla **classe di sismicità 3** (Fig. 4.1).

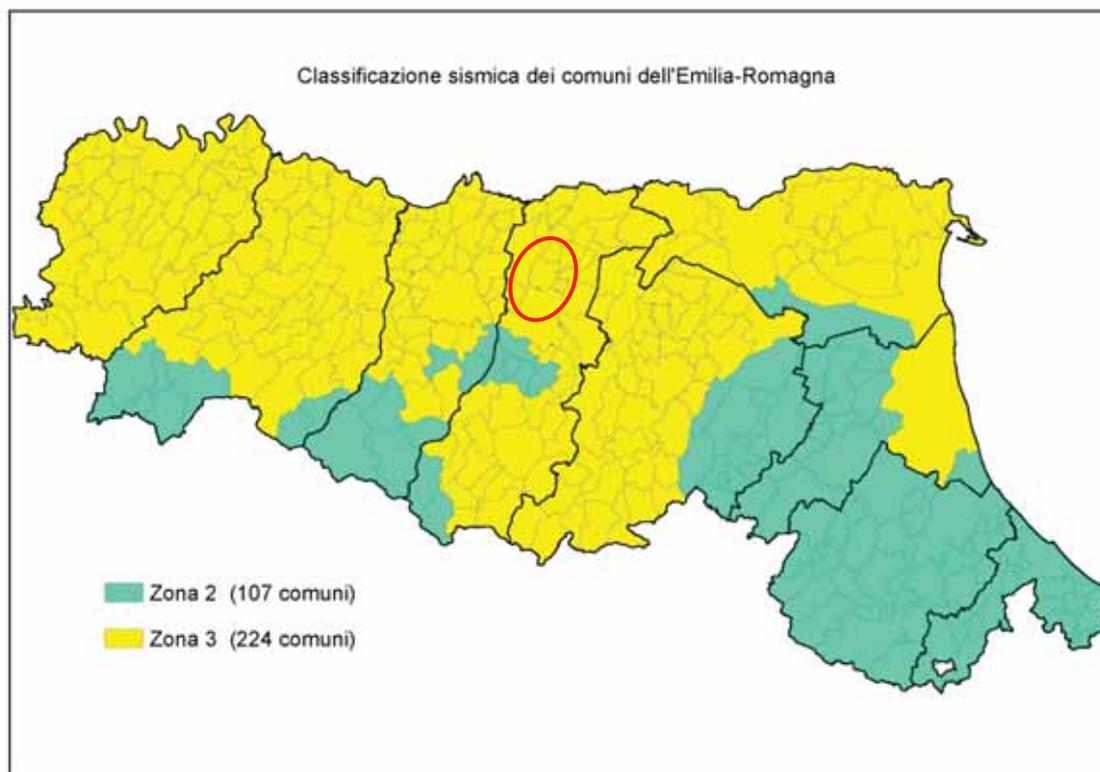


Fig.4.1 - Classificazione sismica dei comuni della regione Emilia-Romagna, DGR 1164/18.

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 (Tab. 4.1).

Stati limite				
Classe Edificio				
Il Affollamento normale: Assenza di funz. pubbliche e sociali...				
Vita Normale 50				
Interpolazione Media ponderata				
CU = 1				
Stato Limite	T_r [ann]	a_g [g]	F_0	γ_c^* [%]
Operatività (SLO)	30	0.045	2.489	0.252
Danno (SLD)	50	0.056	2.505	0.257
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.157	2.572	0.272
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.209	2.524	0.278
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

Coefficienti sismici				
Tipo Stabilità dei pendii e fondazioni				
<input type="checkbox"/> Muti di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.				
H [m]			u_s [m]	
1			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	1,66	1,62	1,61	1,60
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00
<input type="checkbox"/> Acc.ne massima attesa al sito [m/s ²] 0.6				
	SLO	SLD	SLV	SLC
k_h	0.013	0.017	0.055	0.081
k_v	0.007	0.008	0.028	0.040
A_{max} [m/s ²]	0.657	0.625	2.251	2.832
Beta	0.200	0.200	0.240	0.280

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 dell'indagine sismica HVSr, si è ottenuto il valore di $V_{s,30}$ e di frequenza naturale del terreno f_0 riportati nella seguente tabella:

HVSr	0.59 ± 0.21 Hz	NON RISPETTA I CRITERI SESAME
	V_{s30}	203 m/s

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 – Analisi di risposta sismica locale

Dato che l'area in studio ricade in parte in una zona instabile §2.3, si è provveduto allo studio di risposta sismica locale di terzo livello.

È stata così definita l'azione sismica di progetto secondo uno studio di **risposta sismica locale**, secondo III livello di approfondimento.

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):

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

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

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

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

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

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

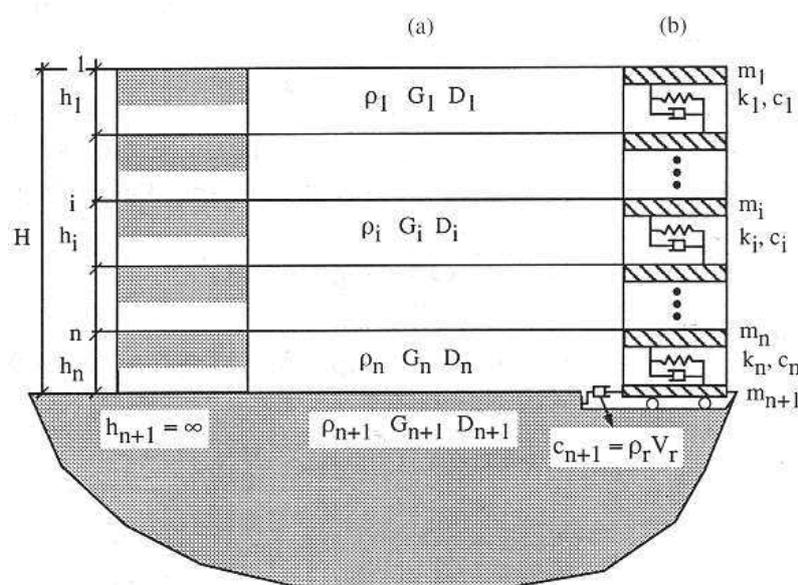


Fig.4.2 - Modello a strati continui adottato per la simulazione con il codice di calcolo STRATA.

MODELLO SIMULATO

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

Il profilo sismico del sottosuolo utilizzato per la modellazione della RSL deriva dall'elaborazione dell'indagine HVSR eseguita in sito integrato con dati di bibliografici. Si illustra successivamente il modello utilizzato:

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.35	0.35	80	0.43
5.35	5.00	150	0.43
9.35	4.00	180	0.42
36.35	27.00	235	0.42
66.35	30.00	281	0.42
116.35	50.00	380	0.42
154.35	38.00	400	0.42
inf.	inf.	600	0.42

EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

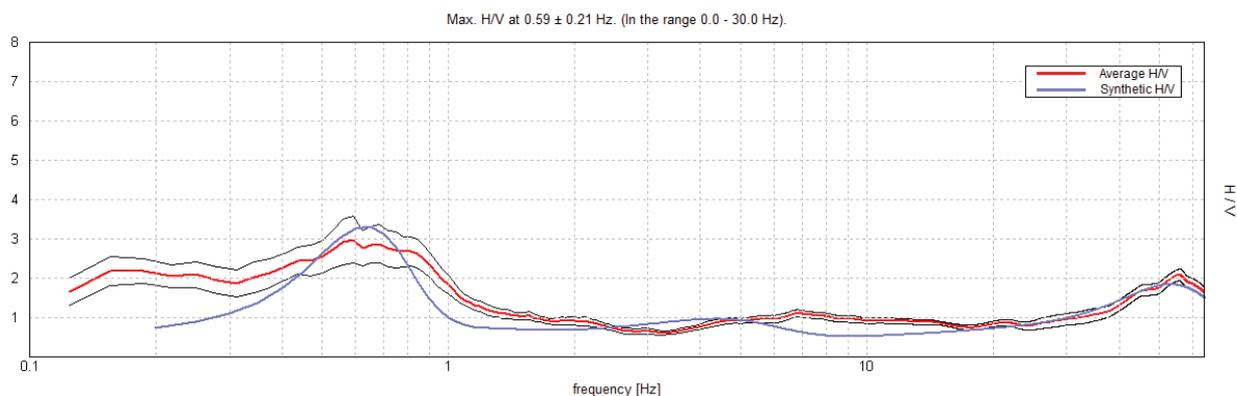


Fig.4.3 – Elaborazione HVSR.

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 γ (%). Si riportano successivamente le curve di decadimento considerate per l'esecuzione del calcolo di risposta sismica locale:

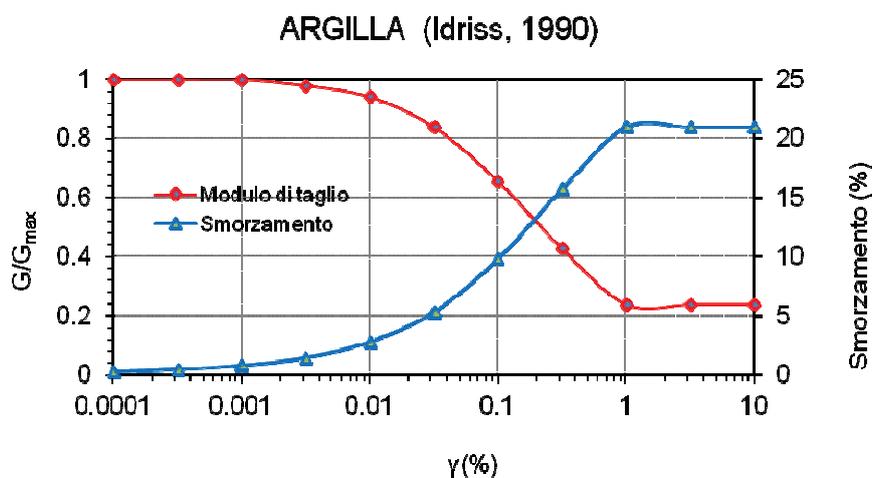
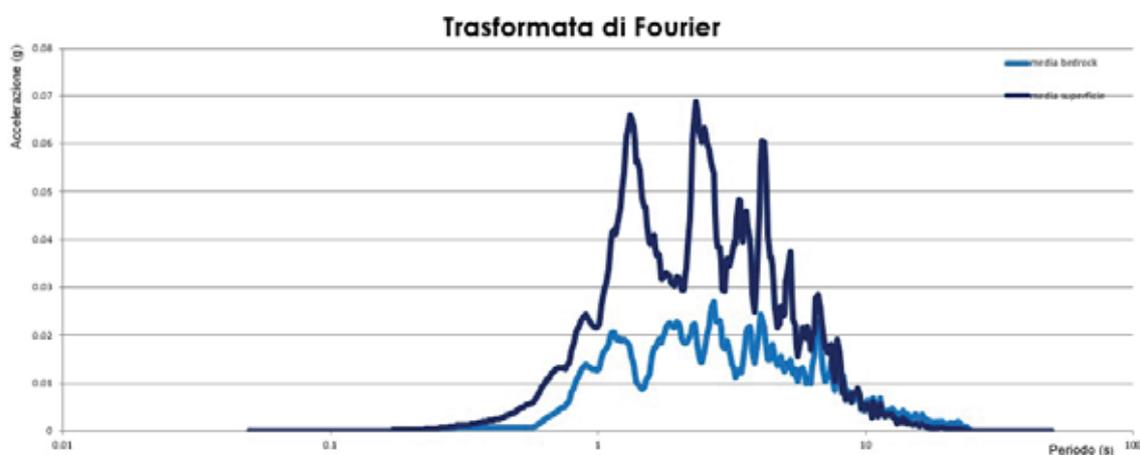
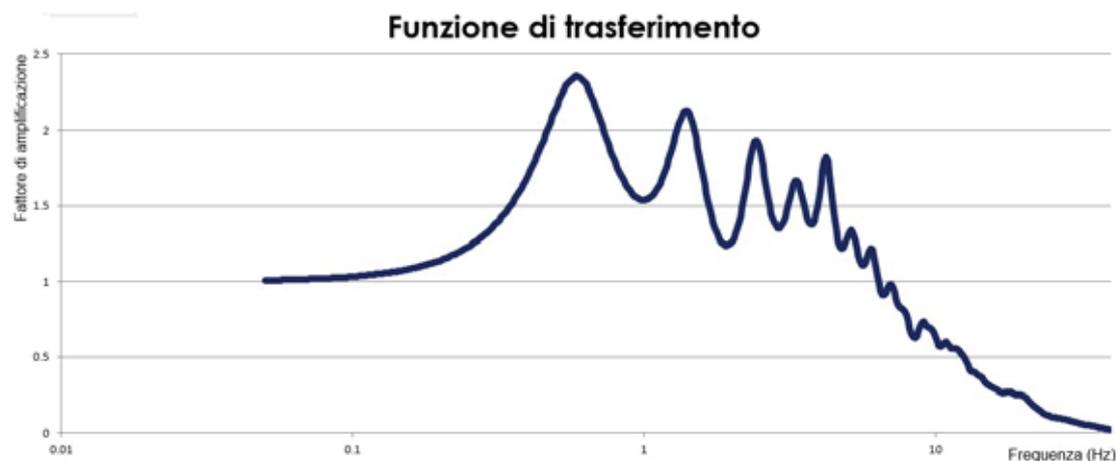


Fig.4.4 - Curve di decadimento dei moduli G/G_{max} e D , utilizzate per descrivere il comportamento dei materiali coesivi che compongono il sottosuolo in oggetto.

Trattandosi di una verifica diretta ai fini di pianificazione, in accordo con quanto esposto nella DGR 630/2019, l'analisi RSL in oggetto è stata svolta adottando come input sismico 3 accelerogrammi, corrispondenti allo stato limite SLV. Gli accelerogrammi reali e misurati, sono stati individuati secondo gli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica.

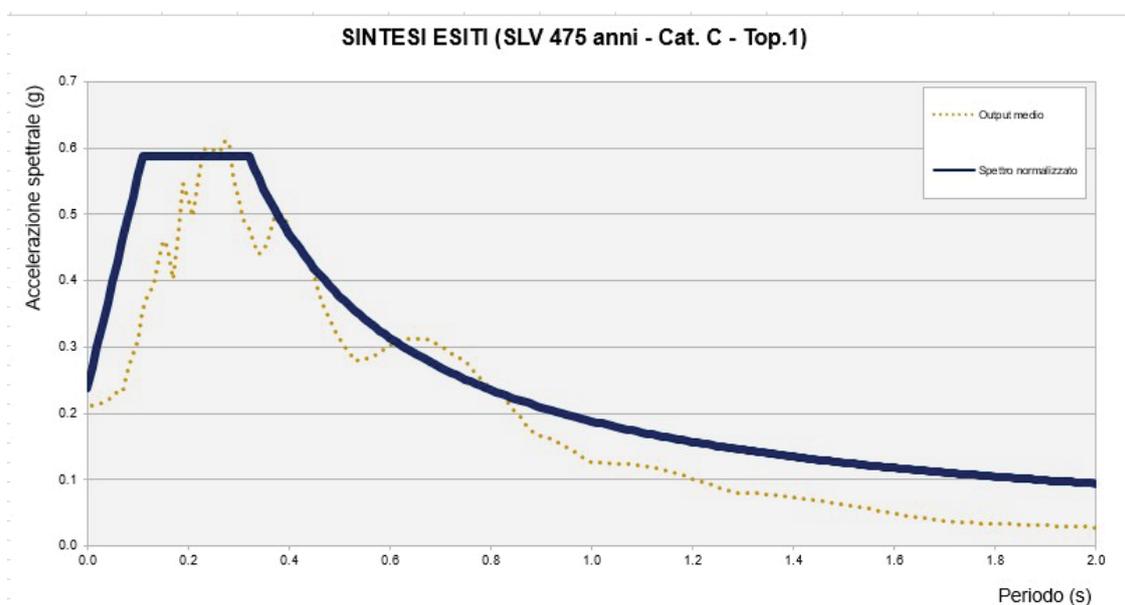
RISULTATI OTTENUTI

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.



In alto Funzione di Trasferimento e in basso funzione FT.

Dati i valori di accelerazione ottenuti dal calcolo eseguito, è stato definito lo spettro normalizzato per lo stato limite considerato. Così facendo è stato ottenuto lo spettro a probabilità uniforme, sulla base dei risultati ottenuti mediante il software STRATA. Lo spettro normalizzato RSL è stato derivato attraverso le indicazioni contenute nell'ordinanza n.55 del 24 aprile 2018 "Disciplina per la delocalizzazione temporanea delle attività economiche o produttive e dei servizi pubblici danneggiati dal sisma eseguiti e conclusi in data anteriore a quella di entrata in vigore del decreto legge n. 189 del 2016".



Si illustra successivamente lo spettro RSL normalizzato.

SLV – PARAMETRI SPETTRO NORMALIZZATO - RSL						
ag (g)	Fo	Tc*	TB(s)	TC(s)	Ss	Amax (g)
0.157	2.484	0.272	0.11	0.32	1.51	0.237

Come descritto nell'allegato 2 della DGR 630/2019, la stima del fattore di amplificazione **FA** è stata calcolata considerando un tempo di ritorno $T_R=475$ anni, con uno smorzamento $\zeta=5\%$, e relativi parametri rappresentativi dello scuotimento sismico, in particolare:

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

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

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

	T₁	T₂
SA1	0,1 s	0,5 s
SA2	0,4 s	0,8 s
SA3	0,7 s	1,1 s
SA4*	0,5 s	1,5 s

- intensità spettrale SI

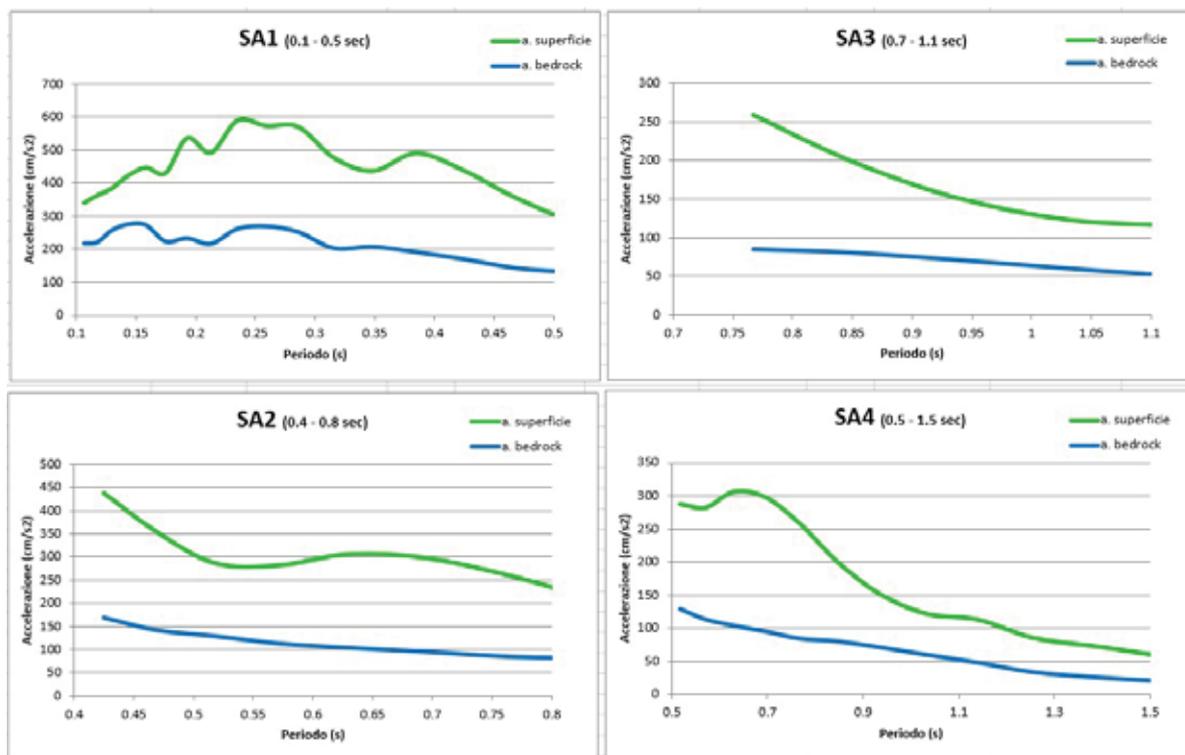
$$SI = \int_{T_1}^{T_2} V(T, \zeta) dT$$

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

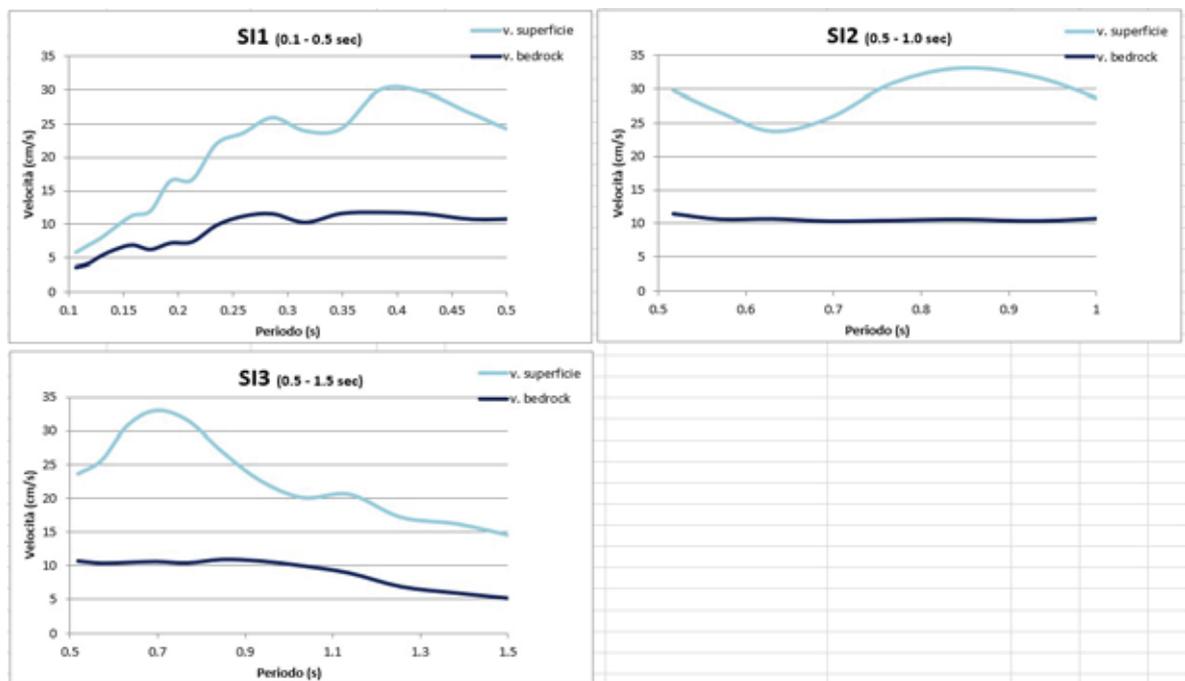
	T₁	T₂
SI1	0,1 s	0,5 s
SI2	0,5 s	1,0 s
SI3*	0,5 s	1,5 s

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

SPETTRI DI RISPOSTA IN ACCELERAZIONE



SPETTRI DI RISPOSTA IN VELOCITÀ



Di seguito si riportano in tabella i FA:

Fattore di amplificazione	Periodo T (s)	FA
Fattore di Amplificazione SA1	$0.1s \leq T \leq 0.5s$	2.09
Fattore di Amplificazione SA2	$0.4s \leq T \leq 0.8s$	2.67
Fattore di Amplificazione SA3	$0.7s \leq T \leq 1.1s$	2.40
Fattore di Amplificazione SA4	$0.5s \leq T \leq 1.5s$	2.58

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

Fattore di amplificazione	Periodo T (s)	FA
Fattore di Amplificazione SI1	$0.1s \leq T \leq 0.5s$	2.09
Fattore di Amplificazione SI2	$0.5s \leq T \leq 1.0s$	2.67
Fattore di Amplificazione SI3	$0.5s \leq T \leq 1.5s$	2.58

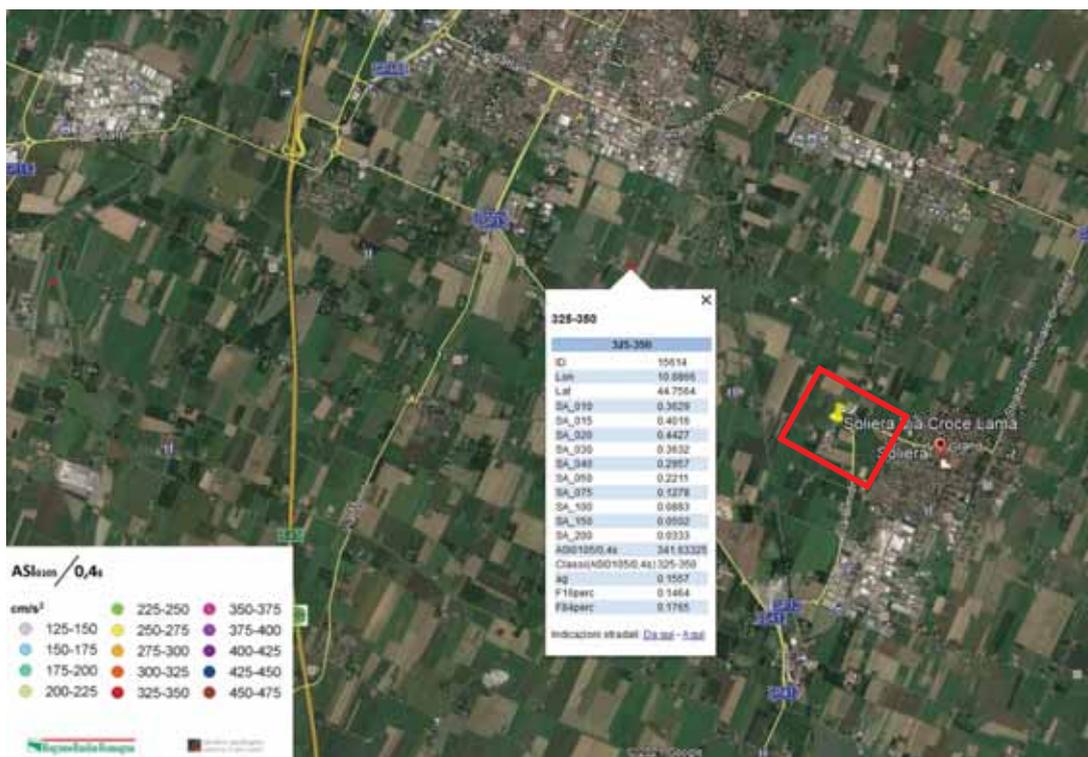
Tab.4.5 – Fattori di amplificazione SI1 –SI2 –SI3.

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

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

I valori di $ASI_{UHS}/\Delta T$, calcolati per ogni punto della griglia INGV, sono riportati nel file [all 4 coord.kmz](#) disponibili nella pagina web dedicata agli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica a cura del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, di seguito si riportano i valori della griglia INGV dell'area in studio.

La zona in studio presenta un valore di $ASI_{UHS}/\Delta T$ pari a **341**.



Valori di ASIUS/ΔT per l'area in studio - griglia INGV.

Di seguito si riportano i valori di H_{SM} e H_{0408} , H_{0711} , H_{0515} ricavati, ovvero lo scuotimento in accelerazione (cm/s^2) atteso al sito per gli intervalli di periodi $0,4s \leq T \leq 0,8s$, $0,7s \leq T \leq 1,1s$ e $0,5s \leq T \leq 1,5s$.

H_{SM}	Periodo T (s)
$H_{SM} = 713$	$0,1 s \leq T \leq 0,5s$
$H_{0408} = 913$	$0,4 s \leq T \leq 0,8s$
$H_{0711} = 819$	$0,7 s \leq T \leq 1,1s$
$H_{0515} = 879$	$0,5 s \leq T \leq 1,5s$

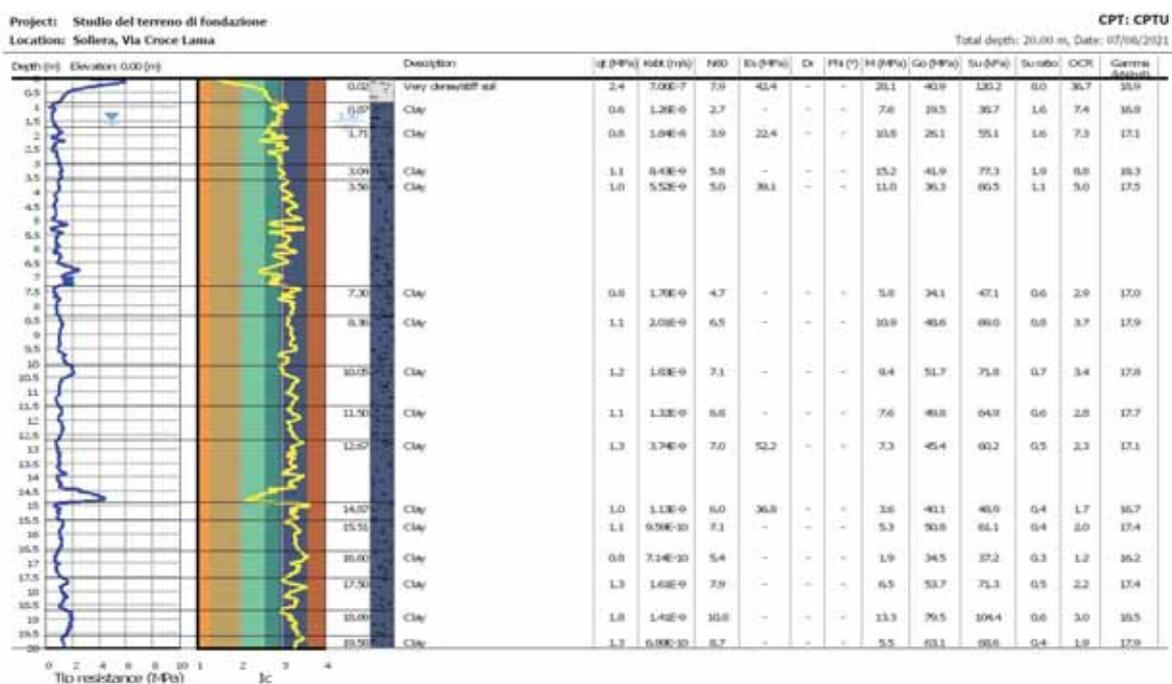
Valori Hsm ottenuti per i diversi periodi.

Dai risultati sopra esposti dell'analisi di risposta sismica locale si ottiene un valore di accelerazione massima attesa al suolo del valore $PGA_{max} = A_{max} = 0.237g$ (per $T=0$ s).

5 MODELLAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA DEL SITO

5.1 Modello geotecnico del sottosuolo

Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione dell'indagine geotecnica e litostratigrafica, si può riassumere il seguente modello geotecnico schematico del terreno investigato.



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

In accordo con la normativa regionale DGR 630/19 si è proceduto alla verifica della liquefazione per la verticale di prova CPTU.

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. L'analisi di liquefazione è stata eseguita entro i -20.00 m rispetto al piano campagna come prescritto dalla normativa di riferimento.

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

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

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

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

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

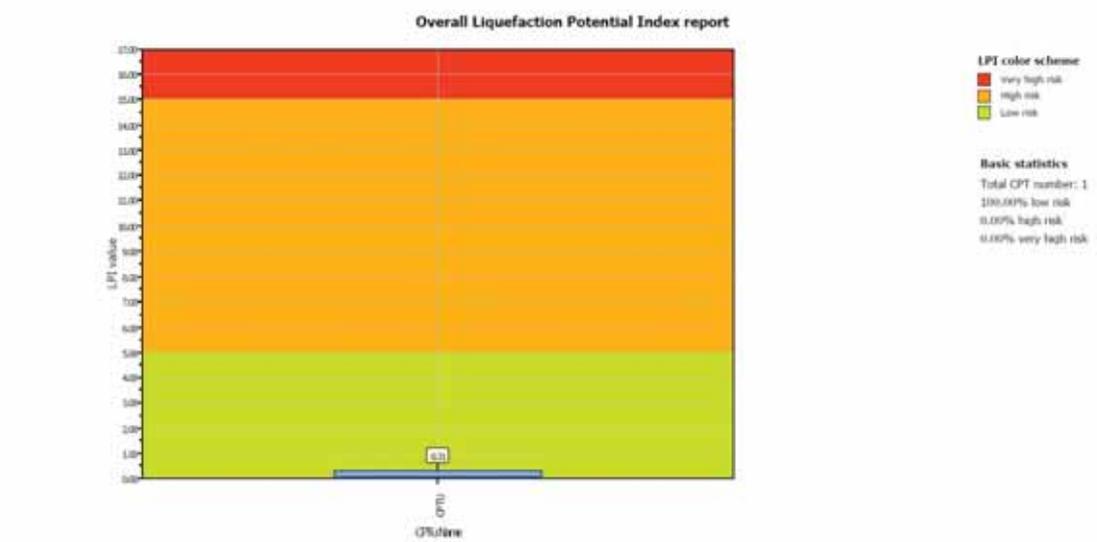
INDICE DI LIQUEFAZIONE	Rischio di liquefazione
LPI=0	Nulla
0 < LPI ≤ 2	Basso
2 < LPI ≤ 5	Moderato
5 < LPI ≤ 10	Alto
15 > LPI	Molto alto

Si illustra successivamente il valore di LPI derivato dalla verticale di prova CPT considerando un'accelerazione massima al suolo **$A_{max}=0.237g$** (RSL – DGR 630/2019) e una magnitudo di riferimento pari a **$M=6.14$** .

A seguito della verifica, in riferimento alla verticale CPT, è stato ottenuto il seguente valore di LPI:

INDAGINE	INDICE DI LIQUEFAZIONE	RISCHIO
CPTU	0.31	BASSO

Project title : Studio del terreno di fondazione
Location : Soliera, Via Croce Lama



5.3 Stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica (§ A3.B DGR 630/2019)

La stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica si ottiene applicando le procedure descritte nell'allegato A3.B della DGR 630/2019. 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:

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

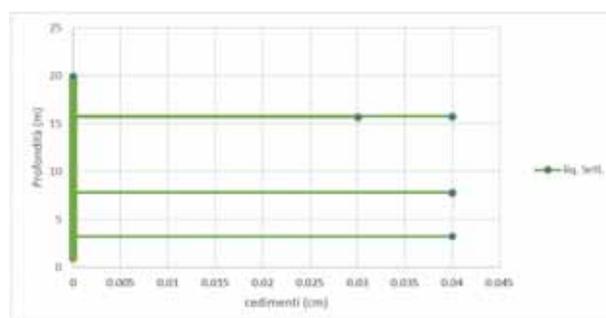
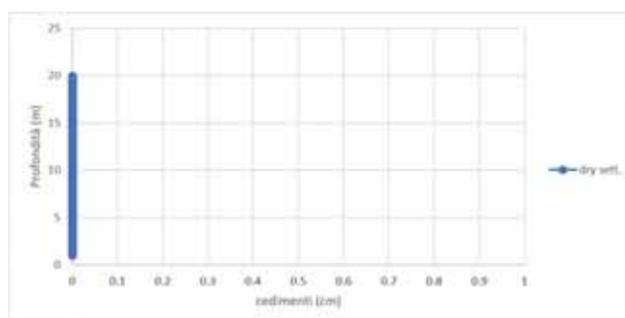
ε_{vi} = deformazione volumetrica;

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 han evidenziato quanto segue:

INDAGINE	Cedimento in terreni incoerenti insaturi (DRY SETTLEMENT) [cm]	Cedimento in terreni incoerenti saturi (LIQ. SETTLEMENT) [cm]
CPTU_1	0.00	0.71



6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il presente elaborato riassume e illustra le caratteristiche geologico-stratigrafiche, geotecniche e sismiche inerente al progetto di demolizione e ricostruzione con ampliamento di capannoni per allevamento bovini, secondo l'art. 53 della L.R. 24/17. L'area in studio si trova in Via Croce Lama n. 55 nel Comune di Soliera (MO).

Sulla base dei dati emersi dalle indagini geotecniche eseguite (§ 3.1), si fornisce per il terreno di fondazione indagato, il modello geotecnico medio riportato nel § 5.1 della presente relazione.

In ottemperanza della normativa tecnica nazionale (NTC 2018) e in accordo con i risultati ottenuti a seguito delle indagini geofisiche espletate per il sito in oggetto è possibile classificare il terreno di fondazione come appartenente alla **categoria C**, depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o a terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalentemente compresi tra **180 m/s** e **360 m/s**.

Per la definizione dell'azione sismica del sito (§ 4.3) è stato eseguito uno studio di risposta sismica locale (DGR 630/2019 e Ordinanza n.55 del 24 aprile 2018). Dall'analisi così eseguita si sono ottenuti i seguenti risultati:

	RSL
ag	A_{max}
0.157g	0.237g

È stata eseguita la verifica della suscettibilità al fenomeno della liquefazione considerando un'accelerazione massima al suolo **A_{max} = 0.237g** (calcolata secondo RSL – DGR 630/2019, SLV) e una magnitudo di riferimento pari a **M=6.14**. A seguito della verifica, si è ottenuto il seguente valore di LPI:

INDAGINE	INDICE DI LIQUEFAZIONE	RISCHIO
CPTU_1	0.31	BASSO

Inoltre sono stati calcolati i cedimenti indotti dall'azione sismica secondo la DGR 630/2019 (§ 5.3).

INDAGINE	Cedimento in terreni incoerenti insaturi (DRY SETTLEMENT) [cm]	Cedimento in terreni incoerenti saturi (LIQ. SETTLEMENT) [cm]
CPTU_1	0.00	0.71

In generale, dalla consultazione dei dati bibliografici, dalle cartografie e dalle caratteristiche geologico-stratigrafiche geotecniche e sismiche dell'area in studio emerse dalla nostra indagine in sito, 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, 10 giugno 2021

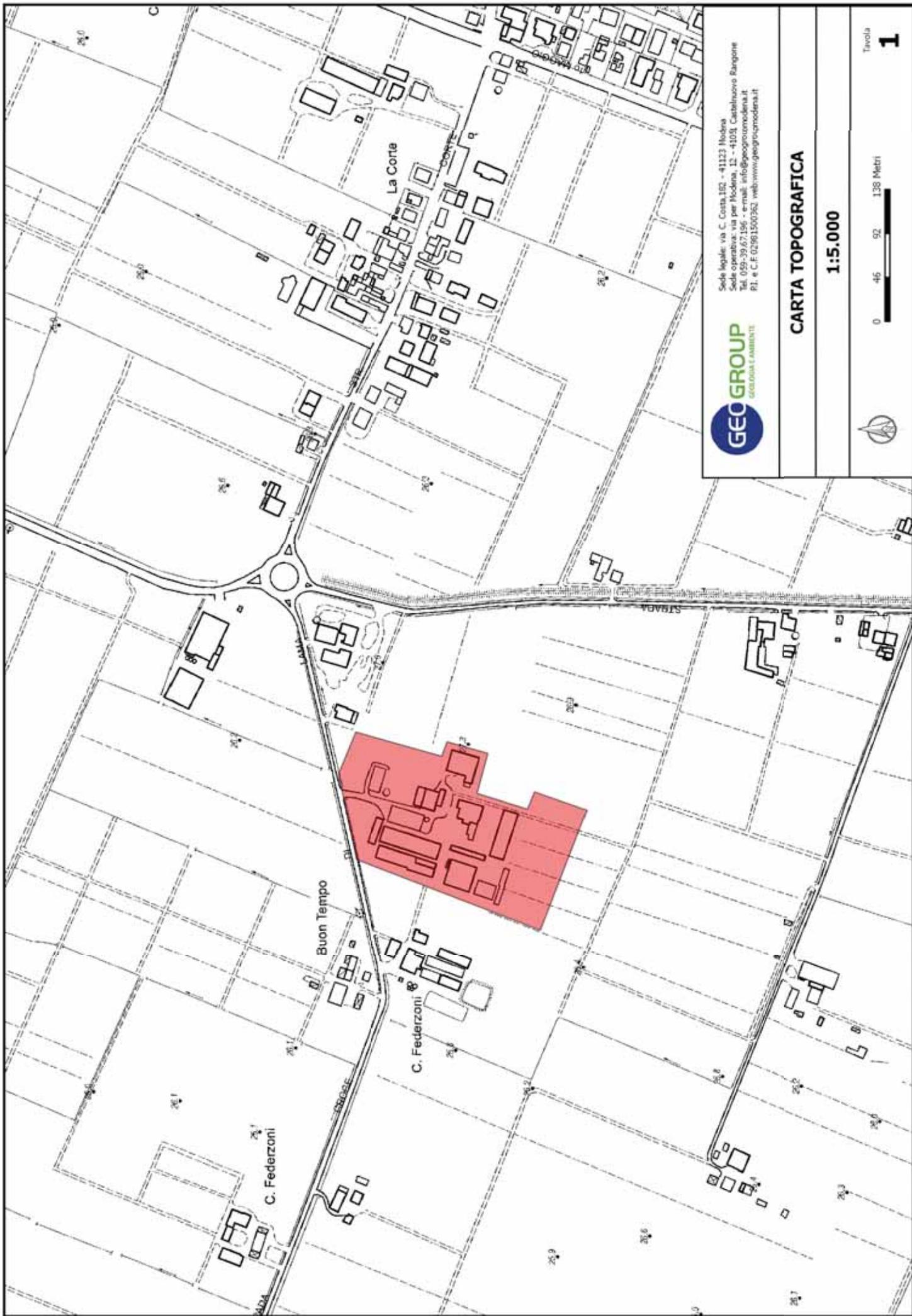
Dott. Geol. Pier Luigi Dallari



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@geogruppmodena.it
P.I. e C.F. 02961500962 web: www.geogruppmodena.it

CARTA TOPOGRAFICA

1:5.000



Tavola **1**



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@geogruppmodena.it
P.I. e C.F. 02961500192, web:www.geogruppmodena.it

RIPRESA SATELLITARE

1:5.000



0 46 92 138 Metri

Tavola

2



Legenda

★ hvsr

★ cptu



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
PI. e C.F. 02961500762 web:www.geogroupmodena.it

UBICAZIONE INDAGINI

1: 500

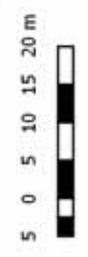


Tavola
3

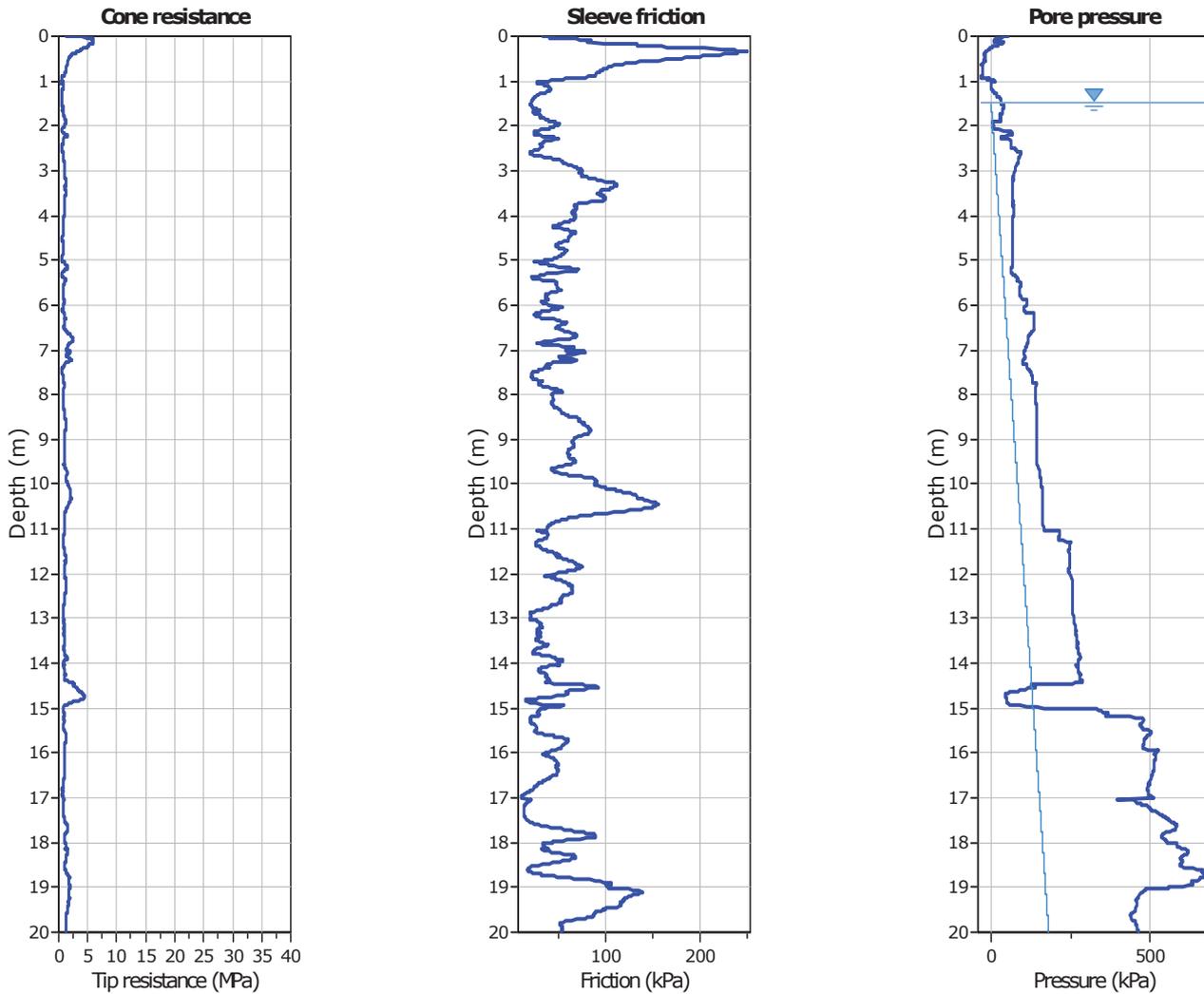


GEO GROUP s.r.l.

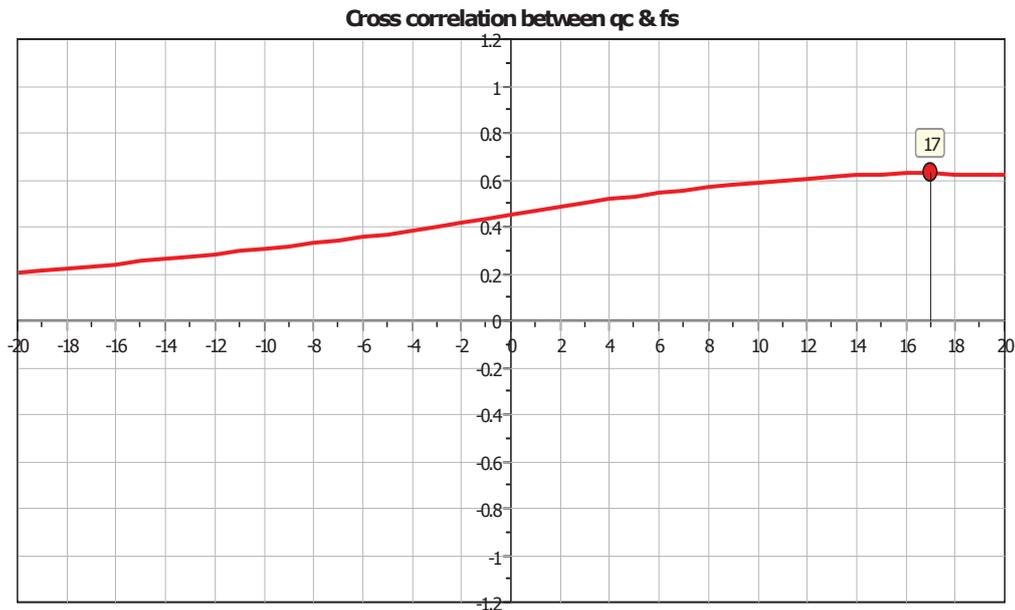
Indagini geognostiche e geofisiche – geologia applicata alle costruzioni – laboratorio geotecnico - idrogeologia
– coltivazione cave– bonifiche – consolidamenti – geologia ambientale – consulenze geologiche e geotecniche

ALLEGATO N° 1

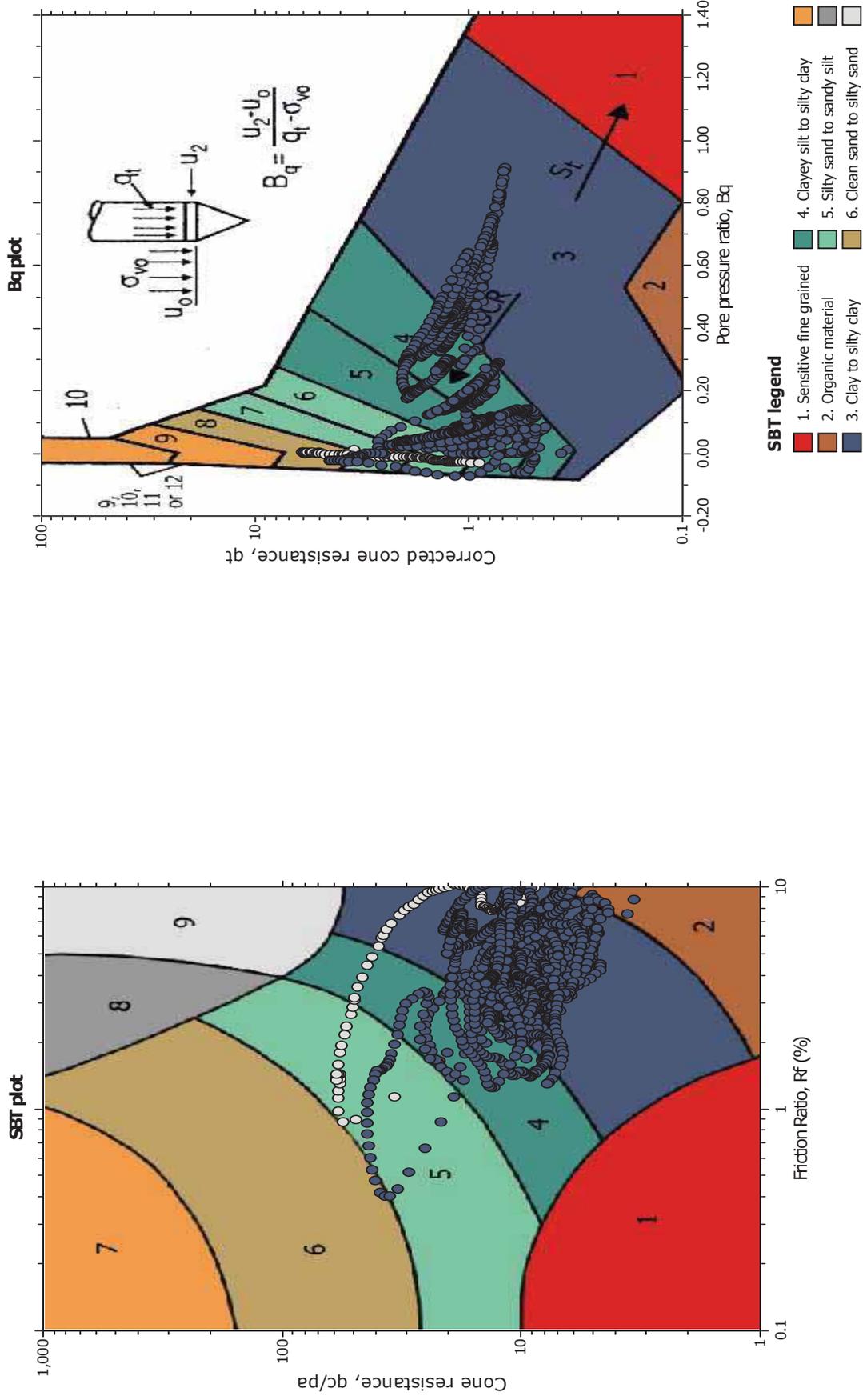
Prove penetrometriche statiche CPTU corredate di interpretazione geotecnica



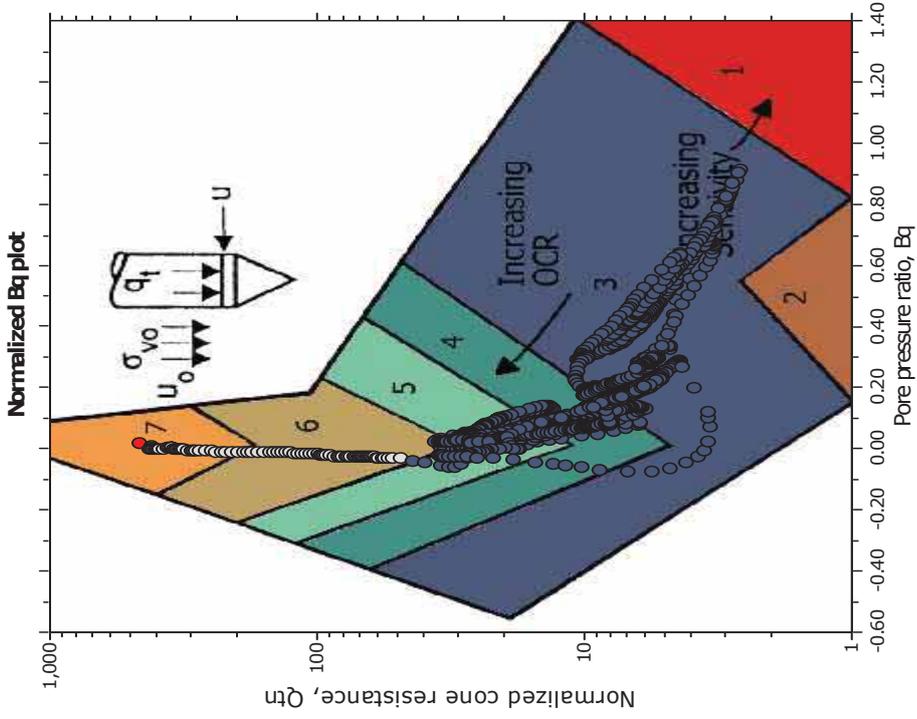
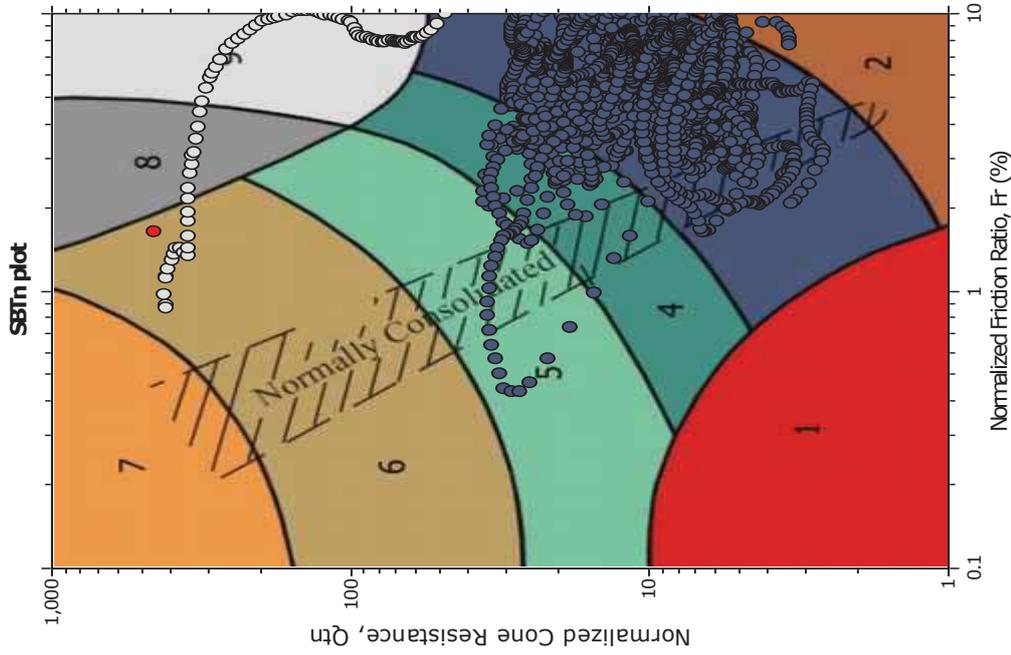
The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw q_c and f_s values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).



SBT - Bq plots

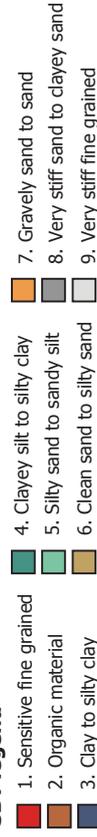
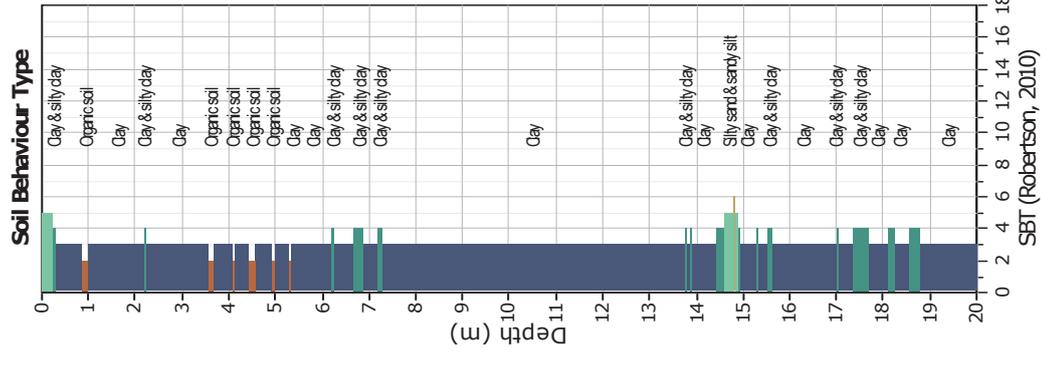
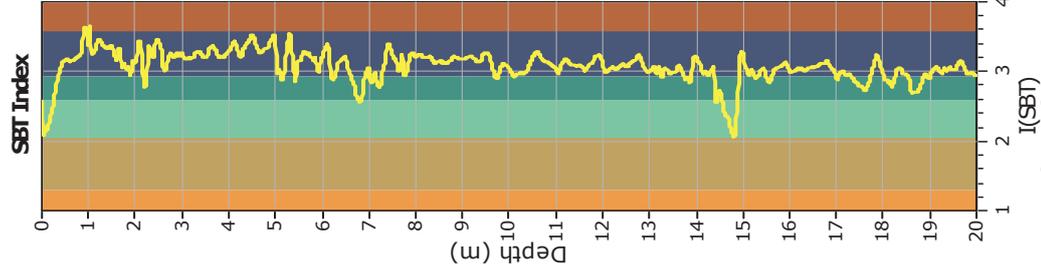
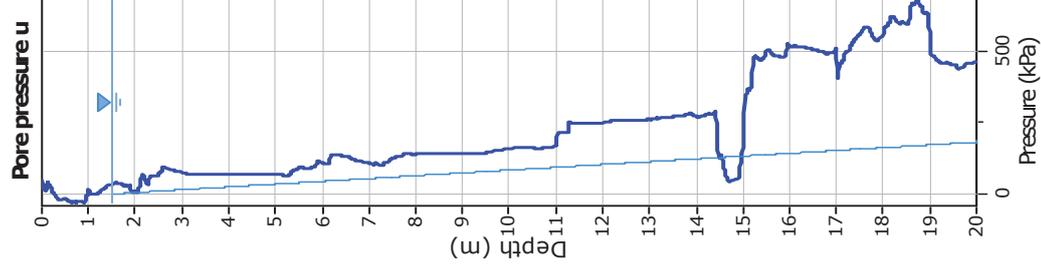
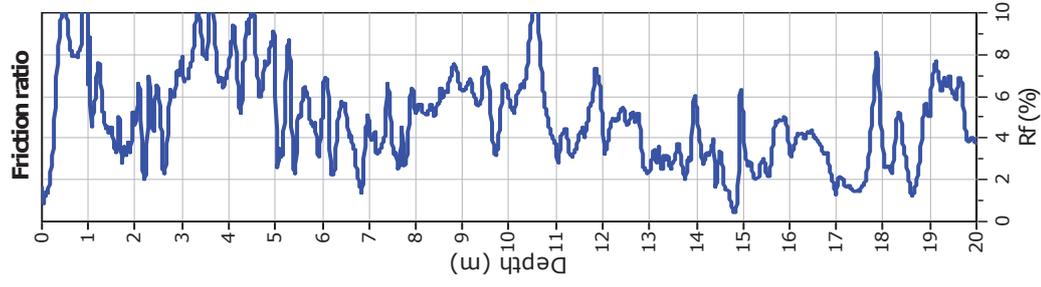
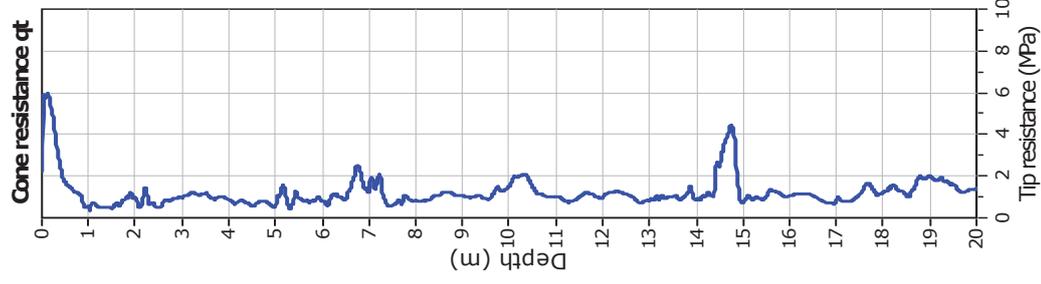


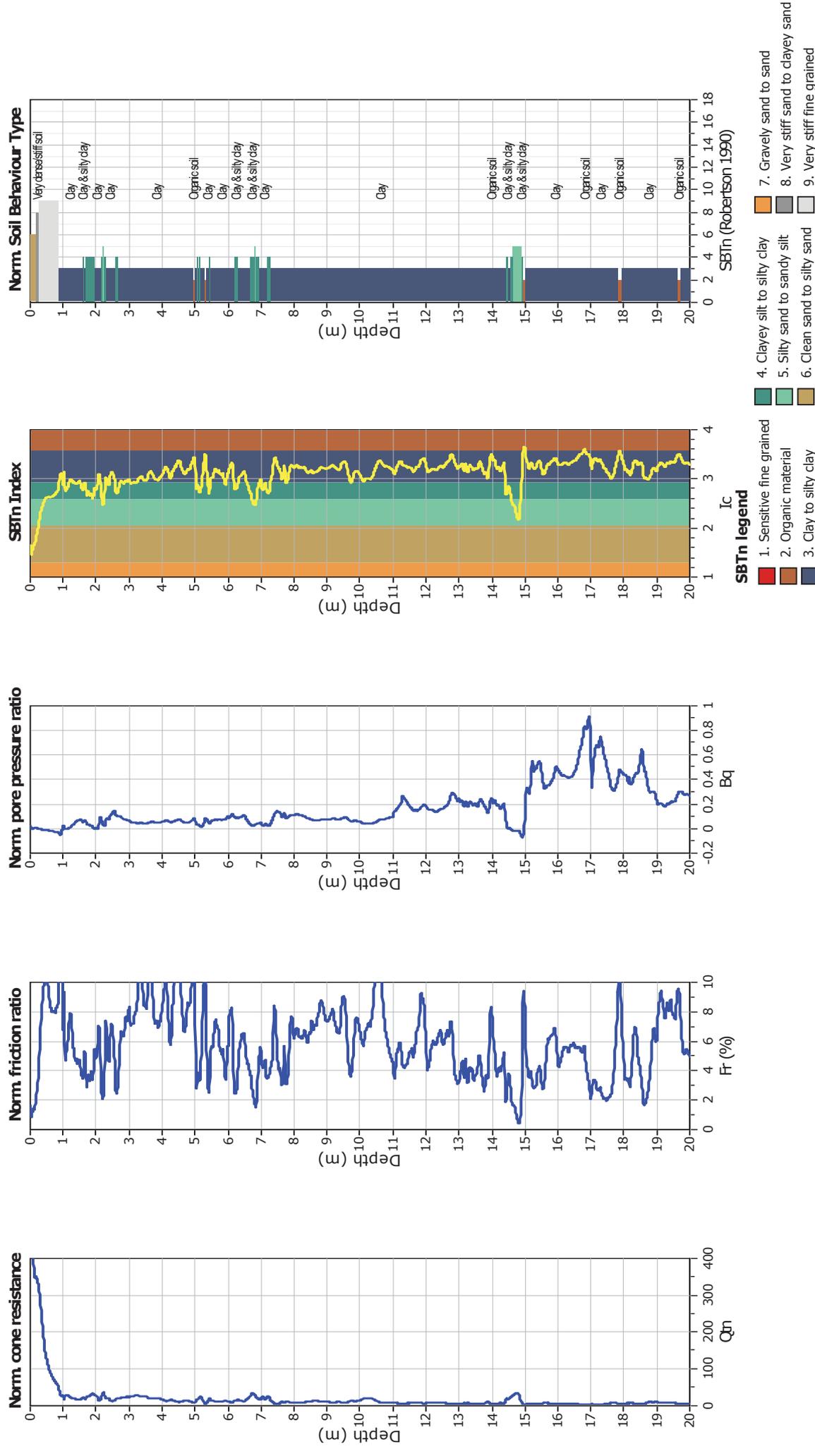
SBT - Bq plots (normalized)

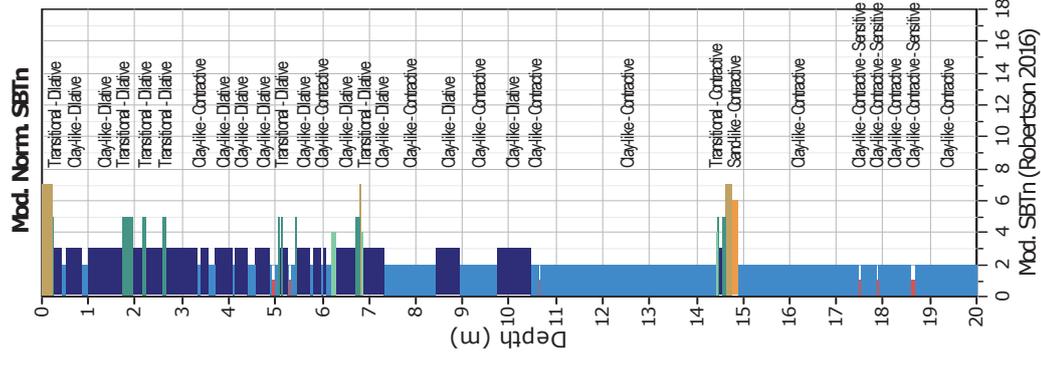
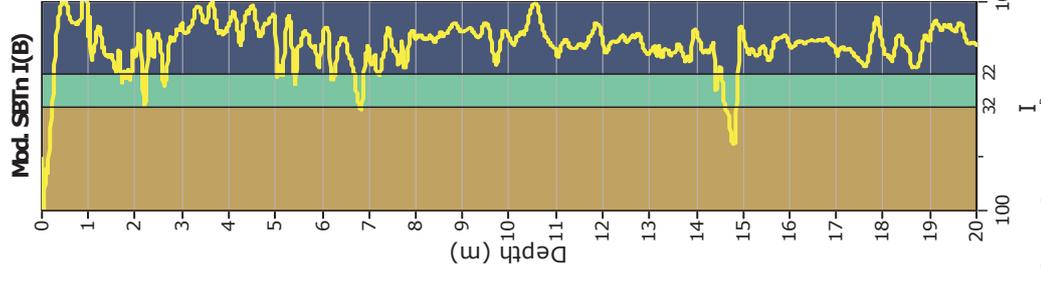
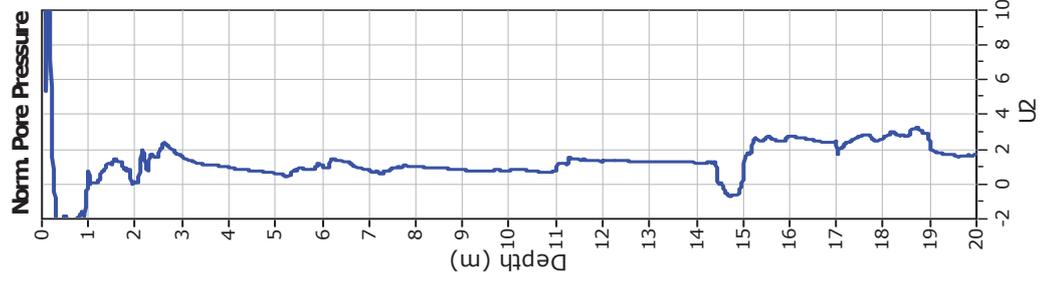
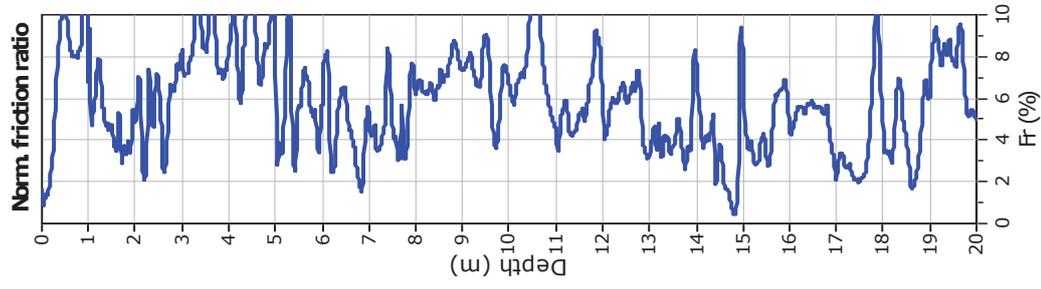
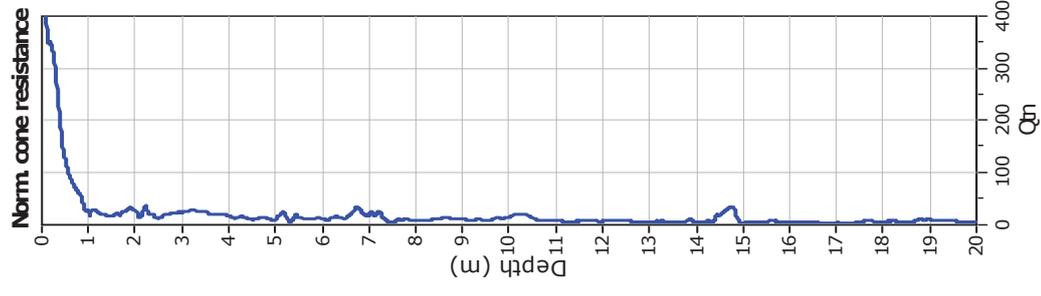


SBTn legend

- 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



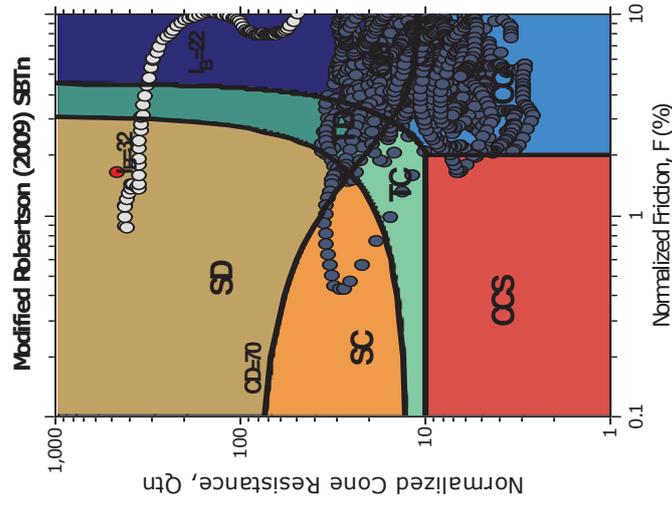




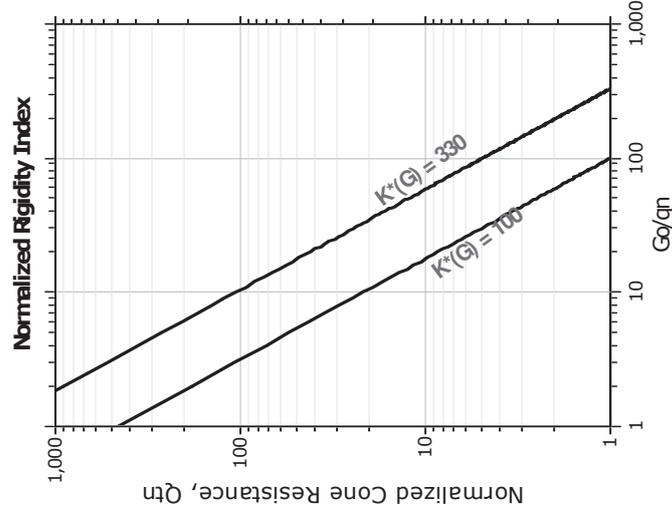
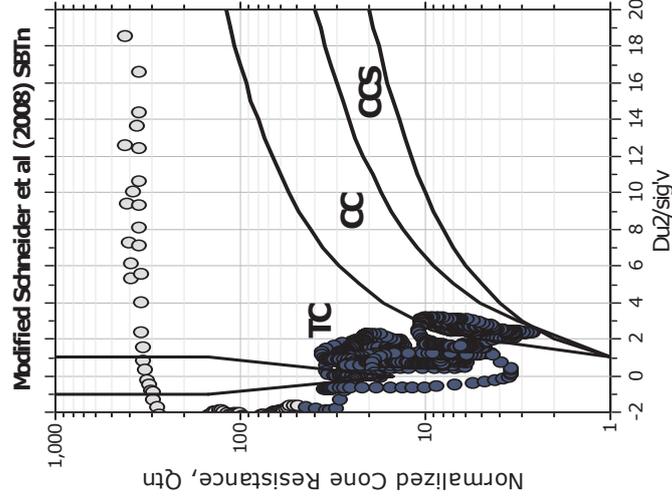
Mod. SBTn legend

- 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

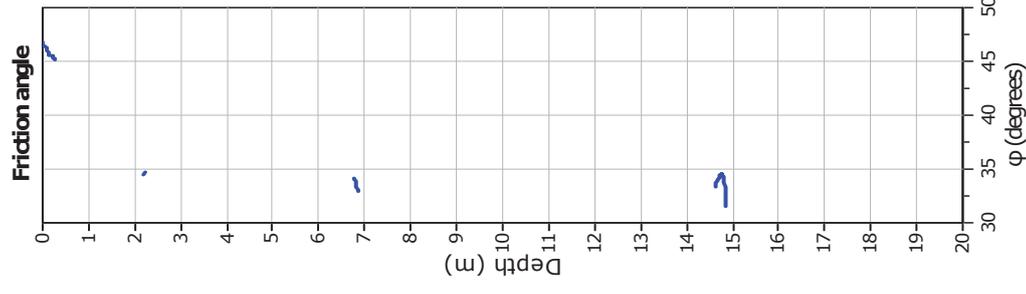
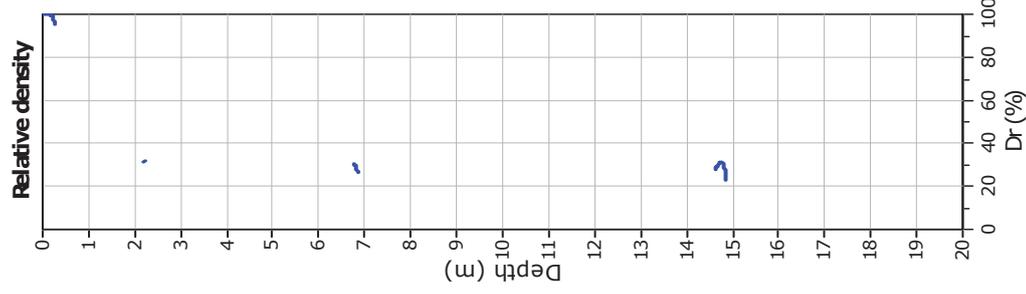
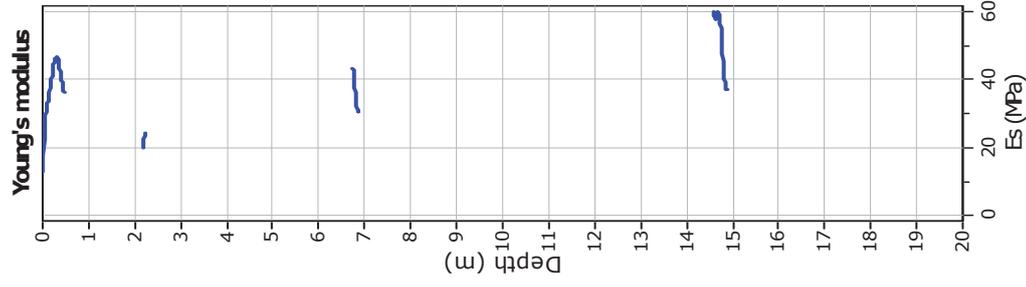
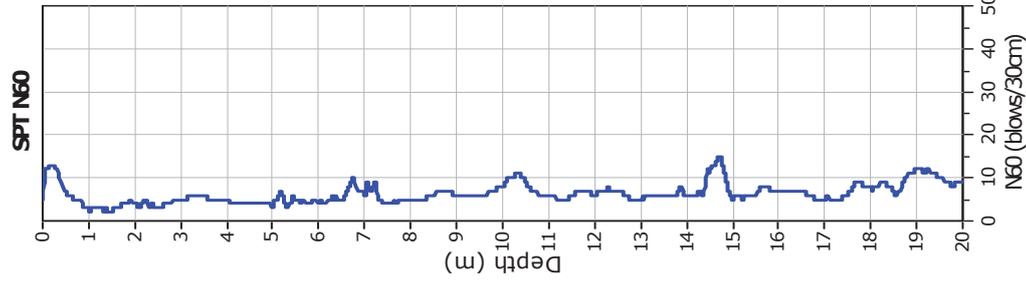
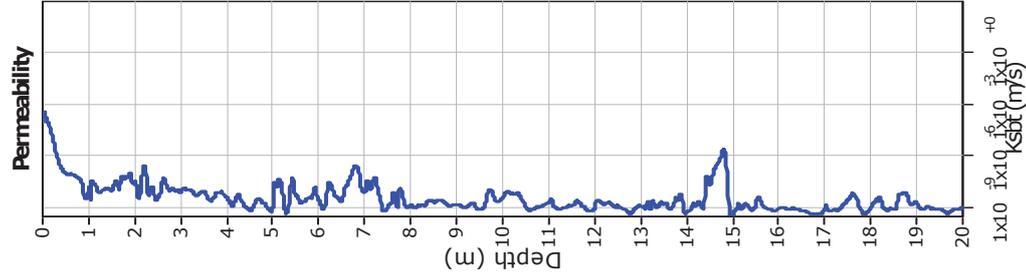
Updated SBTn plots



- 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

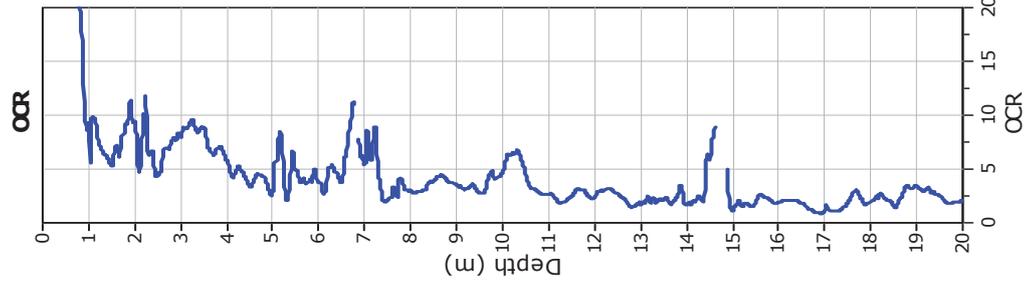
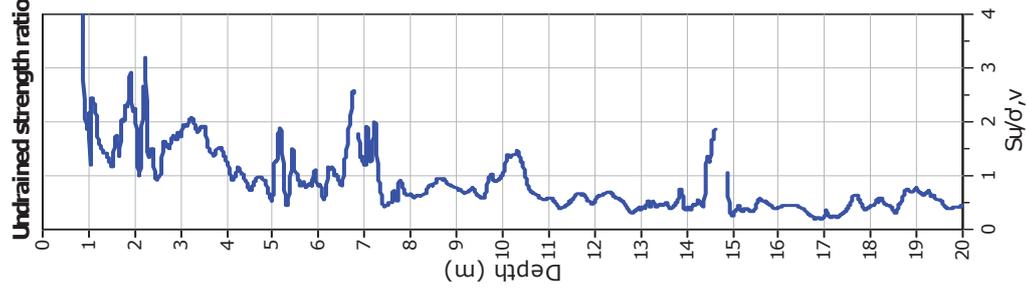
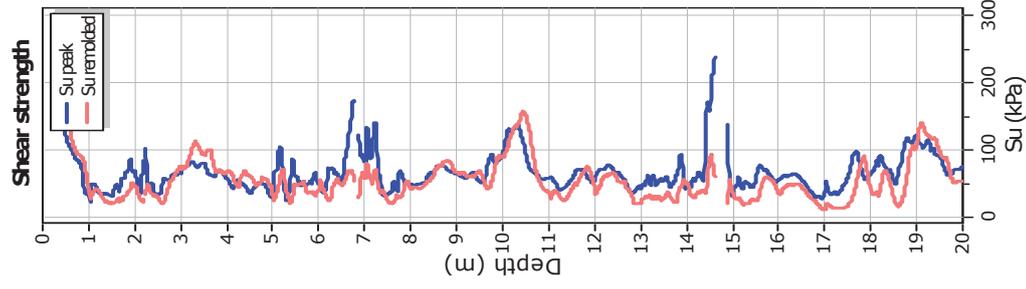
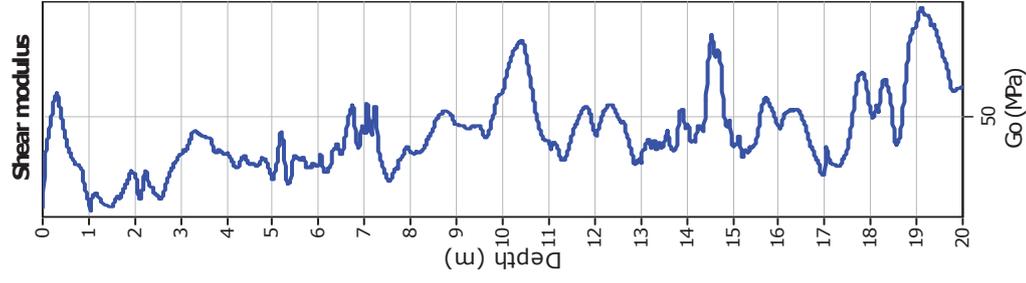
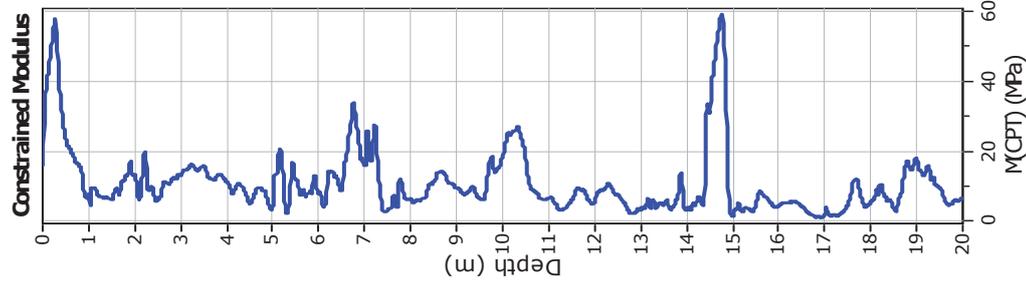
SPT N_{60} : Based on I_c and q_t

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



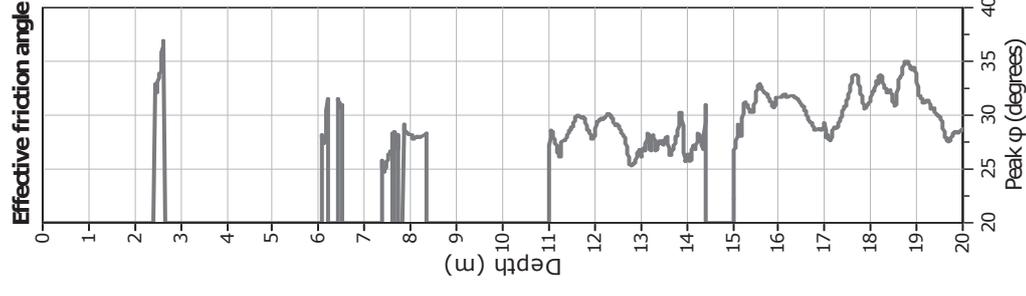
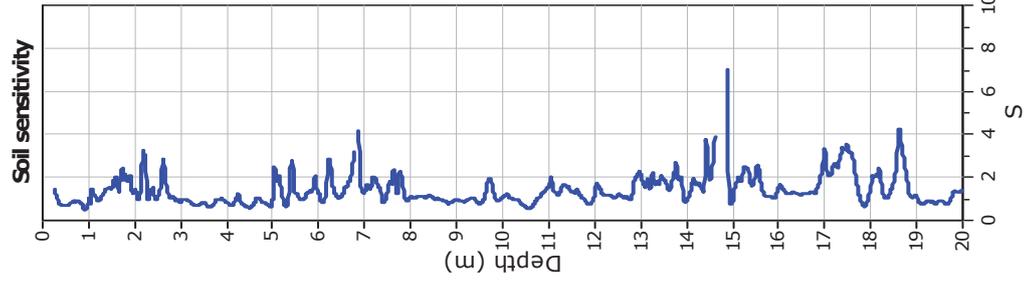
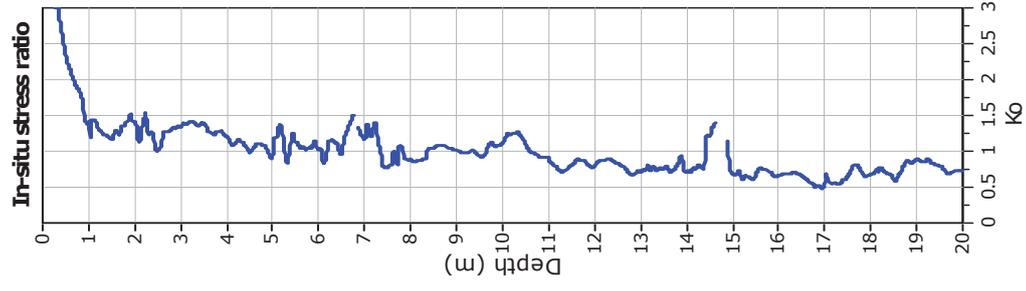
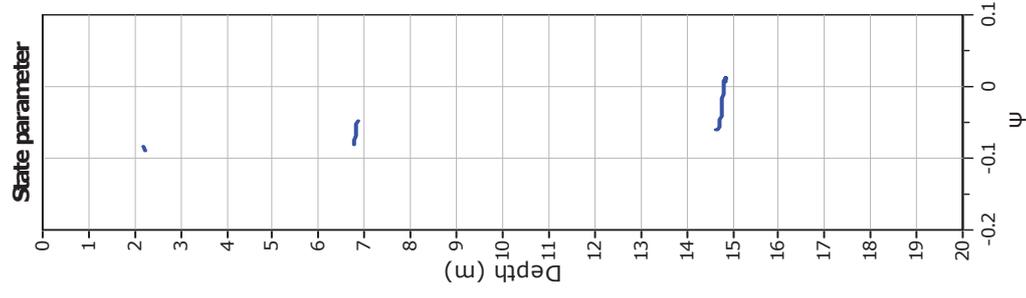
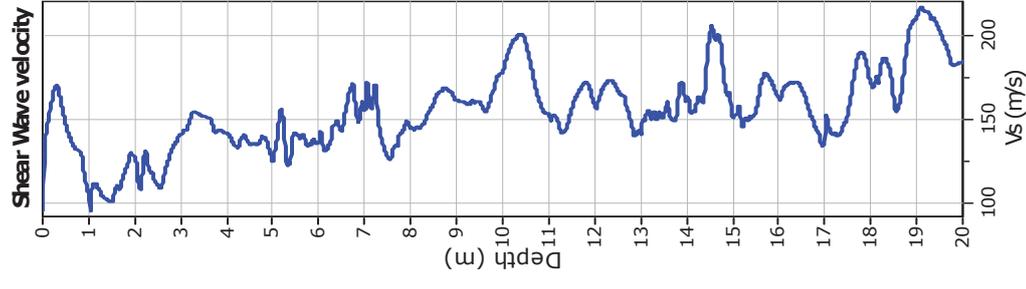
Calculation parameters

Constrained modulus: Based on variable α/β using I_c and Q_m (Robertson, 2009)
 Go: Based on variable α/β using I_c (Robertson, 2009)

OCR factor for clays, N_{kt} : 0.33

—●— User defined estimation data
 —●— Flat Dilatometer Test data

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



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

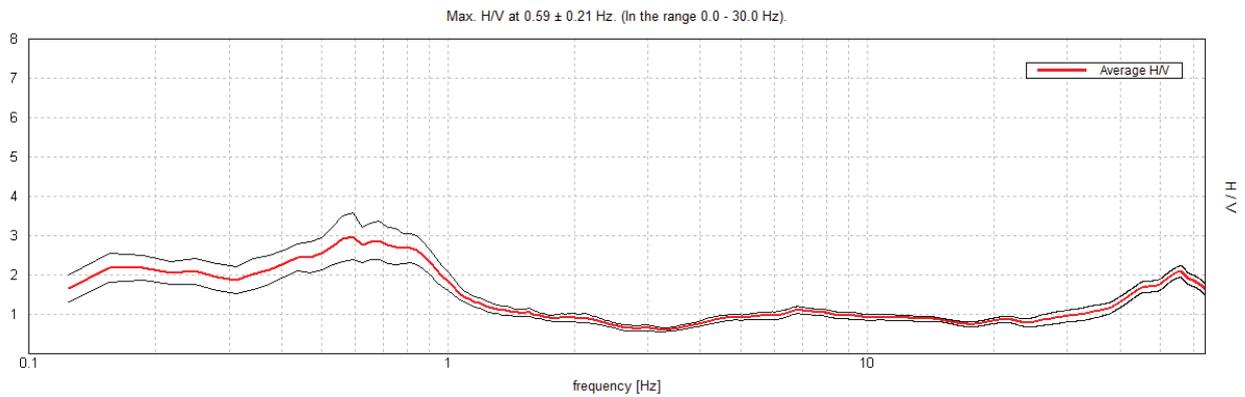
Indagini sismiche

SOLIERA

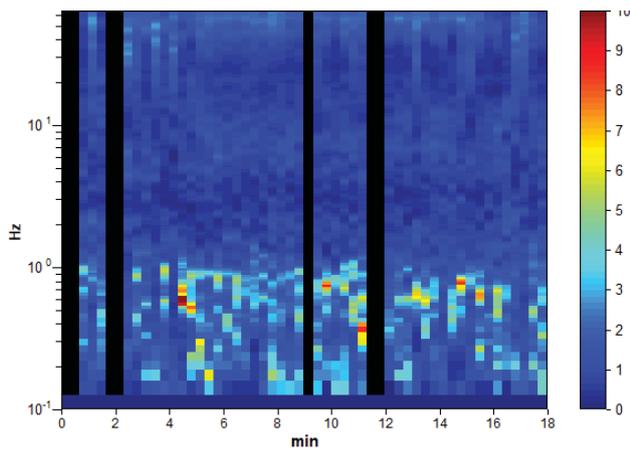
Instrument: TZB-0123/01-20
 Data format: 32 bit
 Full scale [mV]: 179
 Start recording: 09/06/2021 09:47:45 End recording: 09/06/2021 10:05:45
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN
 GPS data not available

Trace length: 0h18'00". Analyzed 87% trace (manual window selection)
 Sampling rate: 128 Hz
 Window size: 20 s
 Smoothing type: Triangular window
 Smoothing: 10%

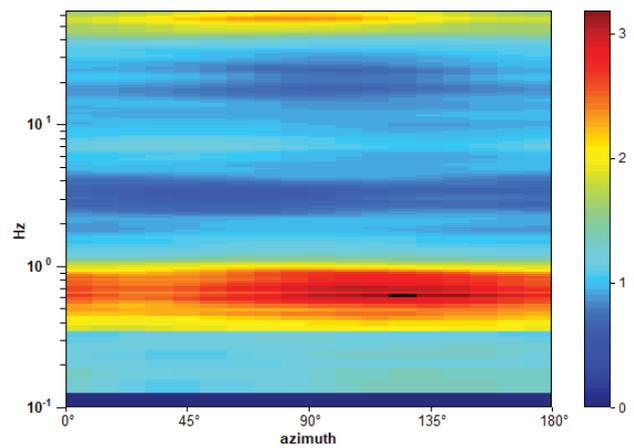
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



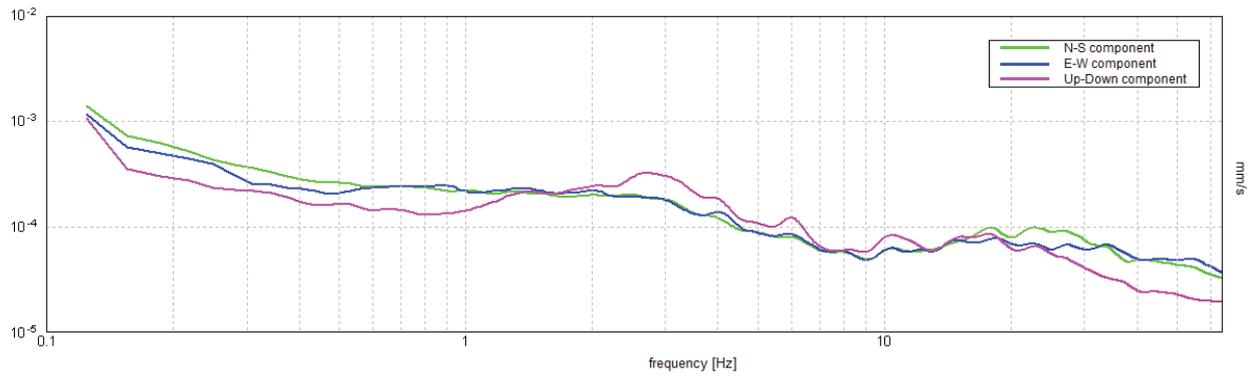
H/V TIME HISTORY



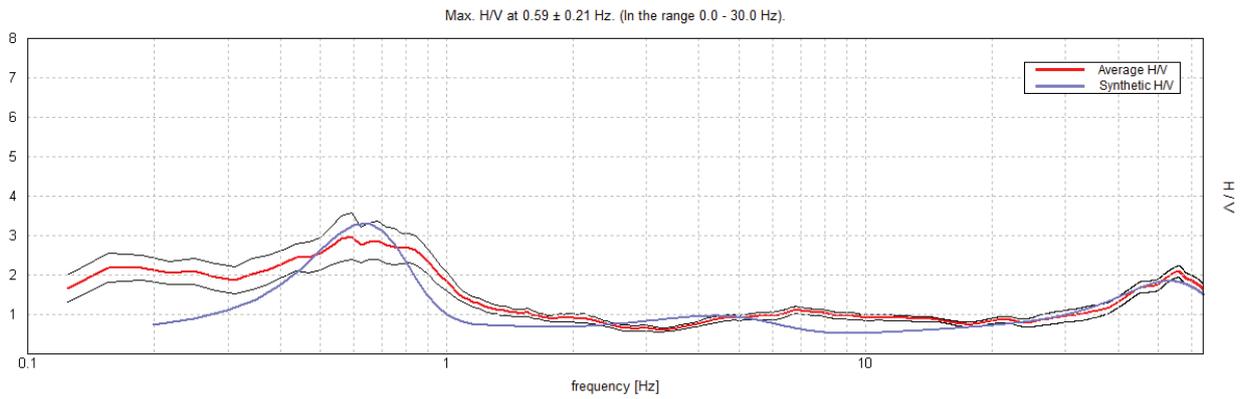
DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA

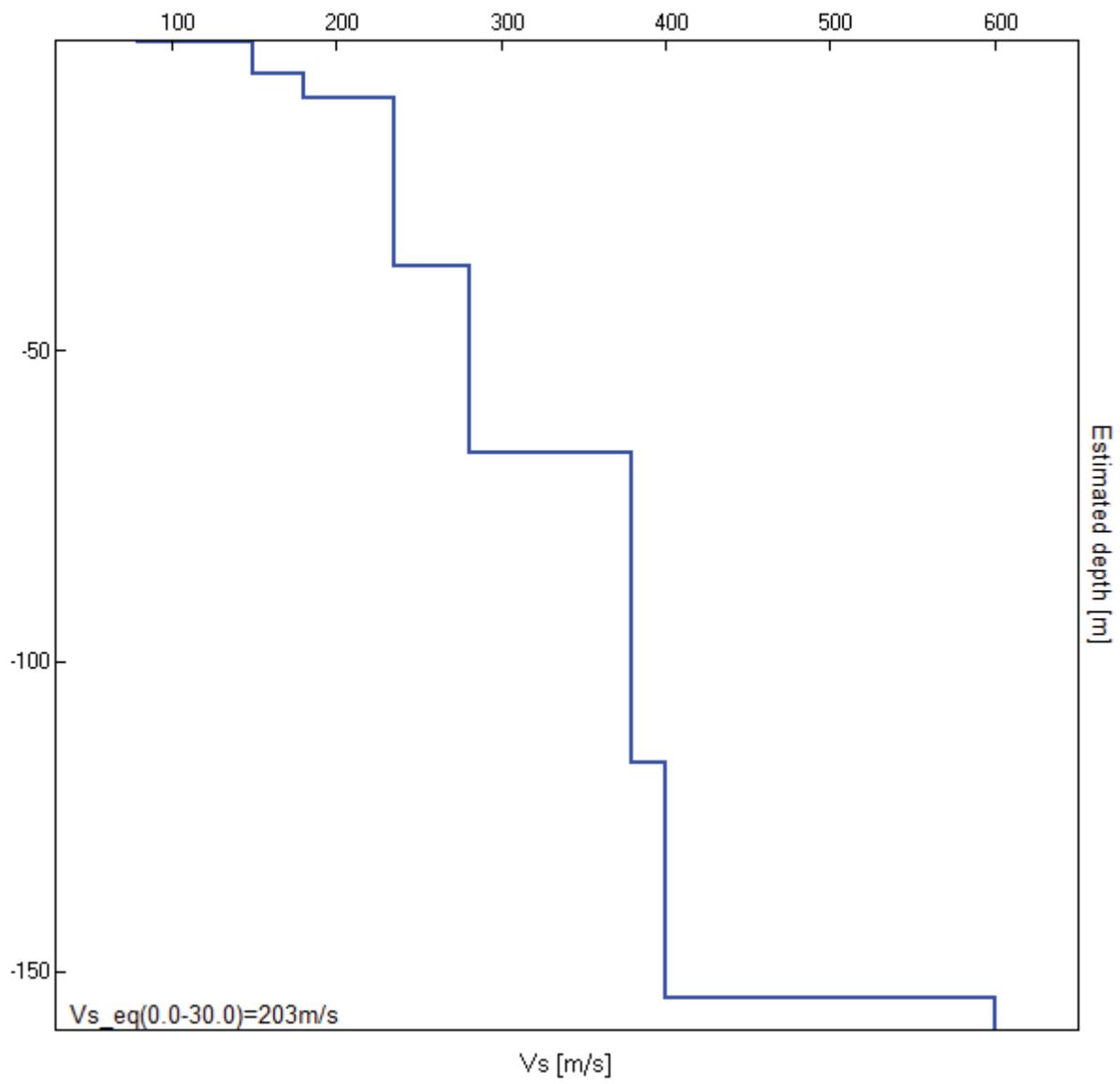


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.35	0.35	80	0.43
5.35	5.00	150	0.43
9.35	4.00	180	0.42
36.35	27.00	235	0.42
66.35	30.00	281	0.42
116.35	50.00	380	0.42
154.35	38.00	400	0.42
inf.	inf.	600	0.42

$Vs_{eq}(0.0-30.0)=203\text{m/s}$



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

Max. H/V at 0.59 ± 0.21 Hz (in the range 0.0 - 30.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	0.59 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	558.1 > 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 30 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.094 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.98 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.35406 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.21023 < 0.08906		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.5878 < 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

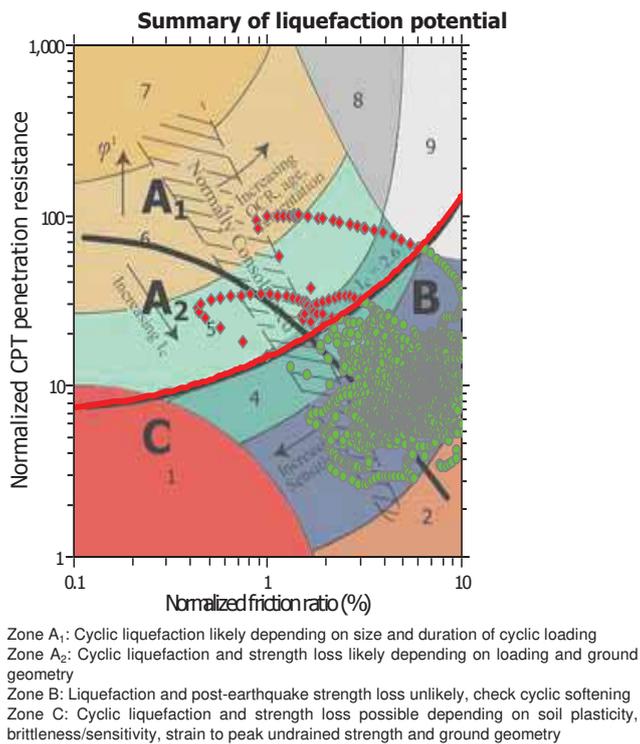
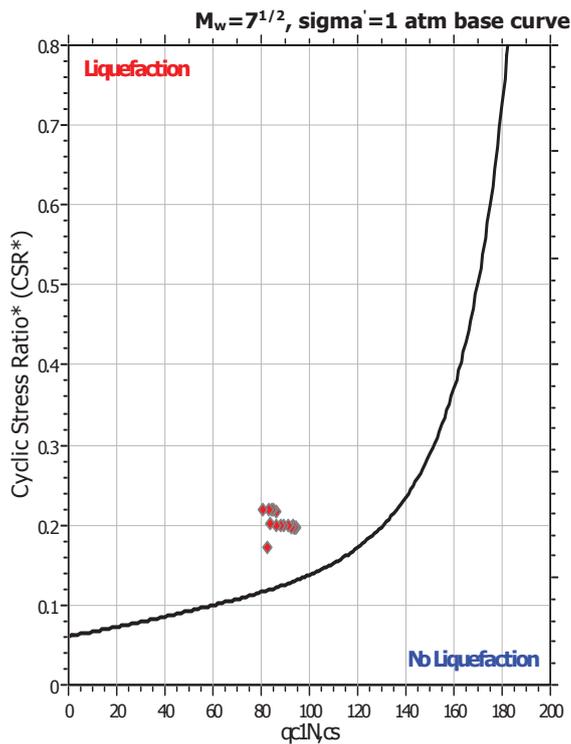
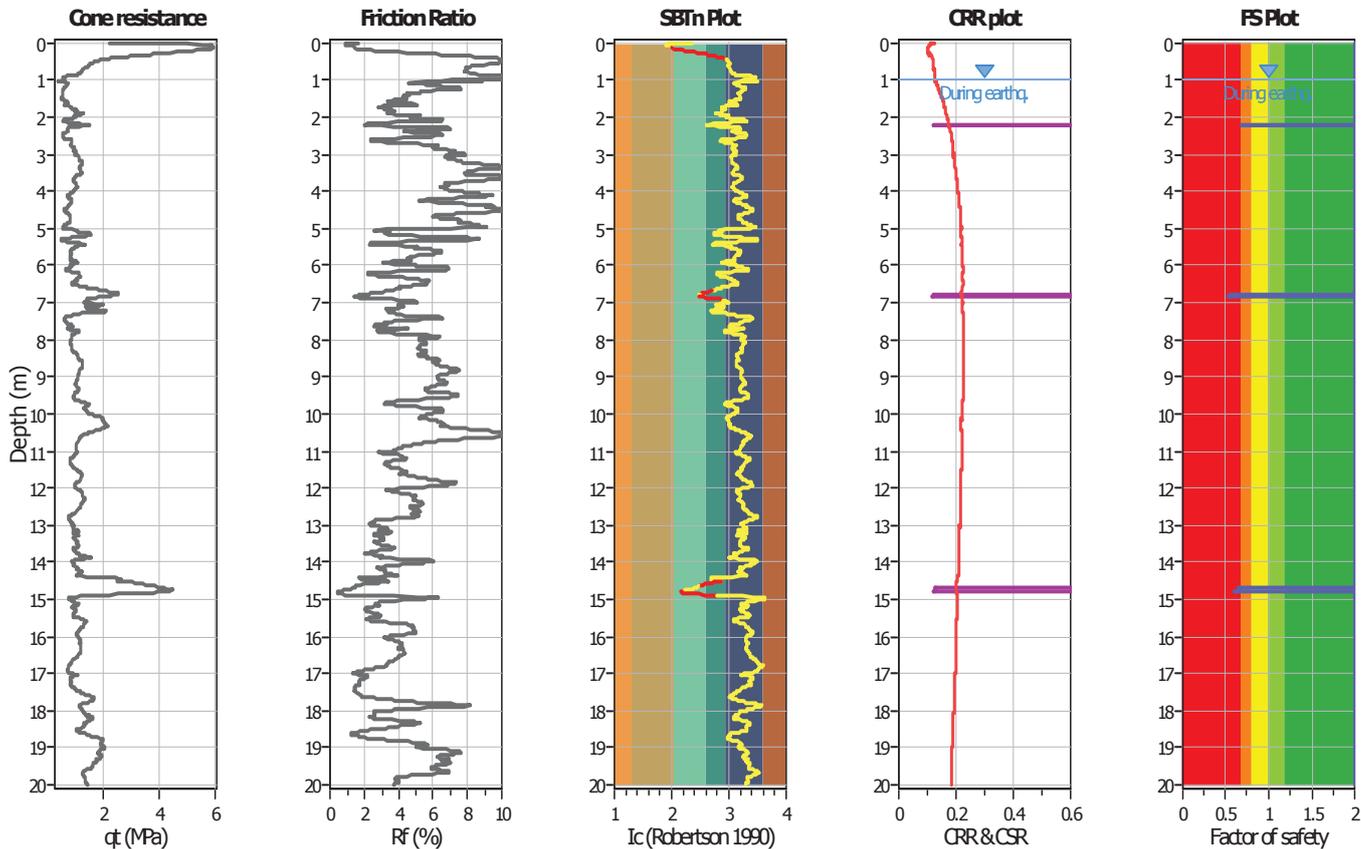
Project title : Studio del terreno di fondazione

Location : Soliera, Via Croce Lama

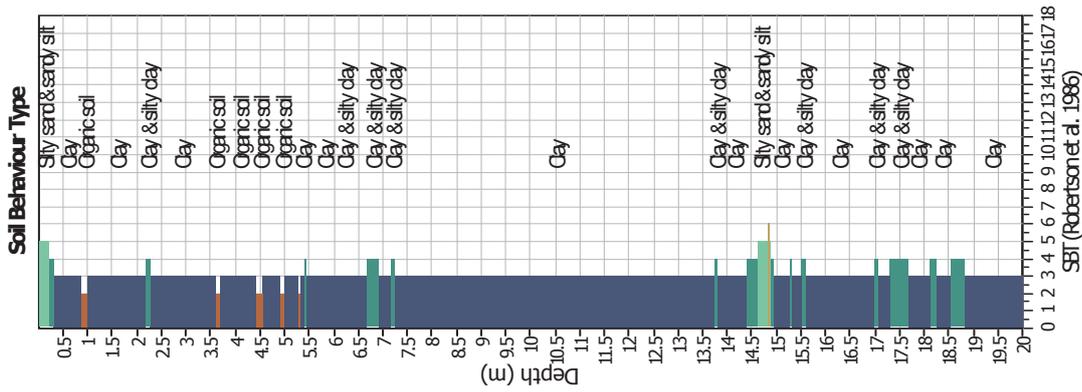
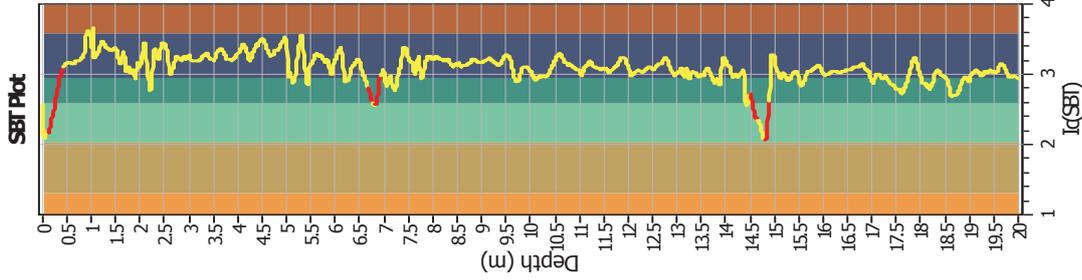
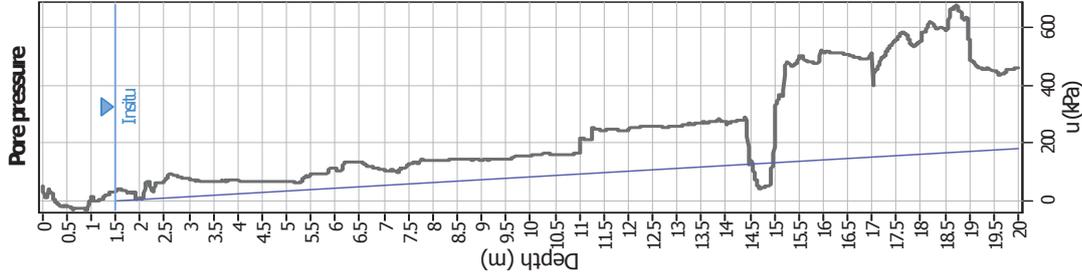
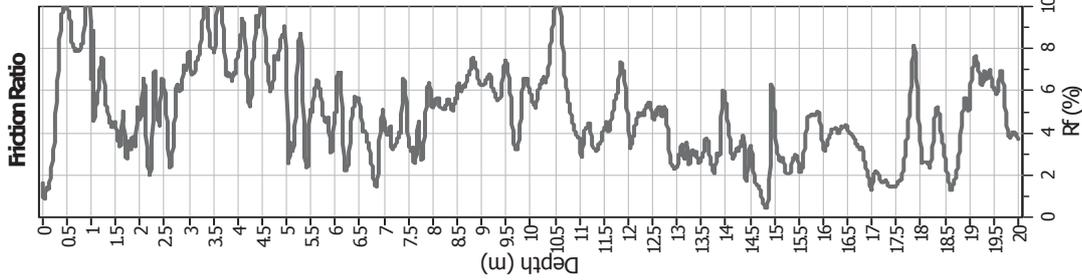
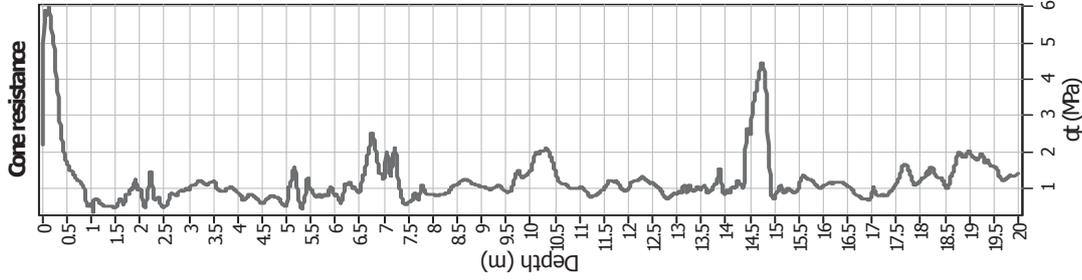
CPT file : CPTU

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.):	1.00 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	No
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.23	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_σ applied:	Yes	MSF method:	Method



CPT basic interpretation plots



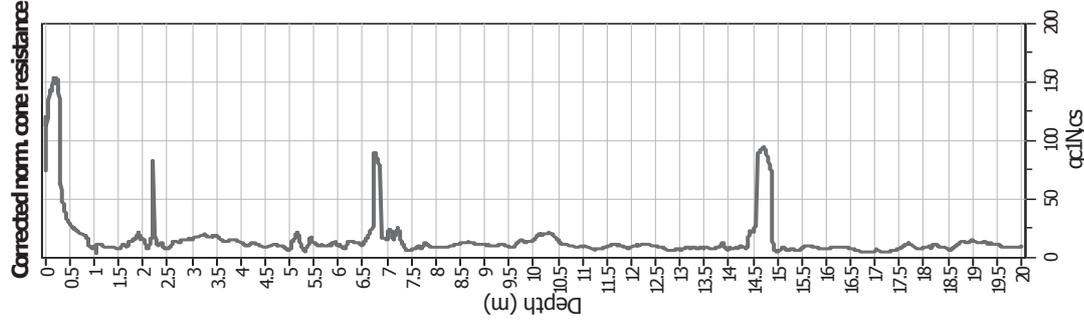
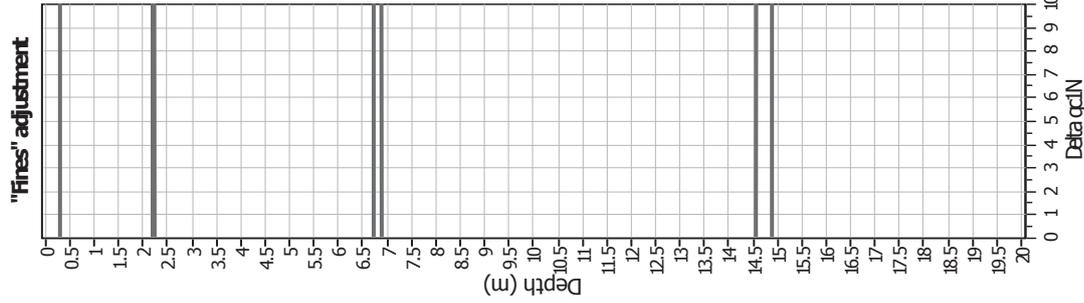
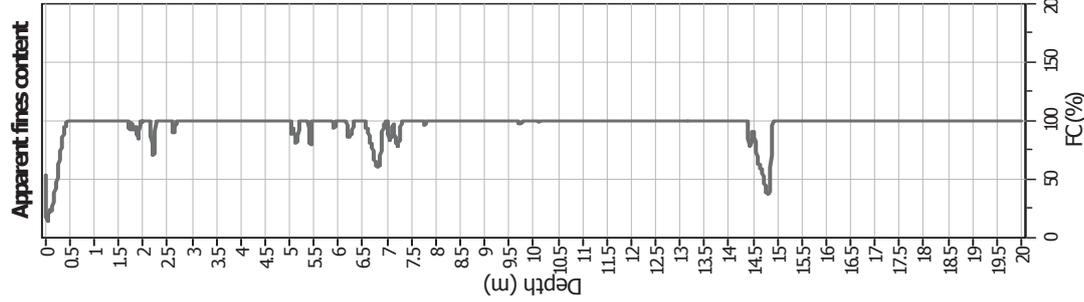
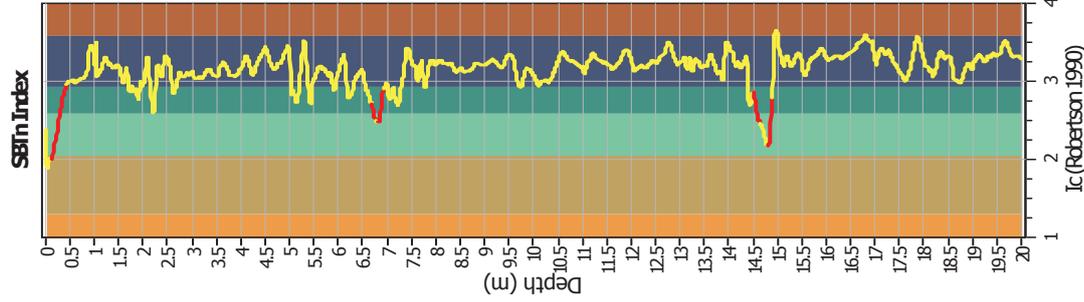
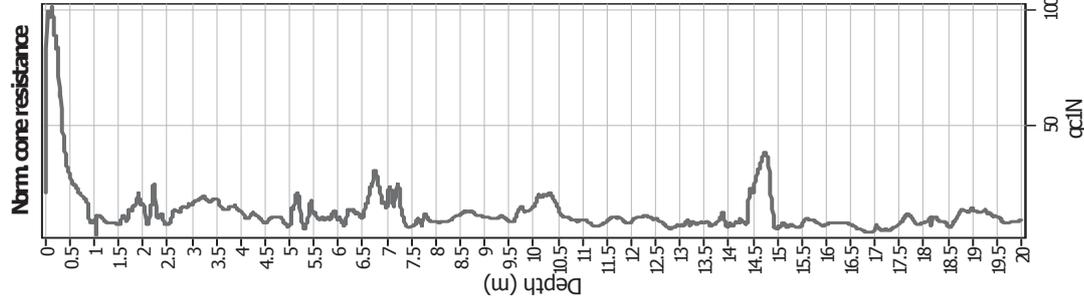
Input parameters and analysis data

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:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K_p applied:	Sands only
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	No
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.50 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

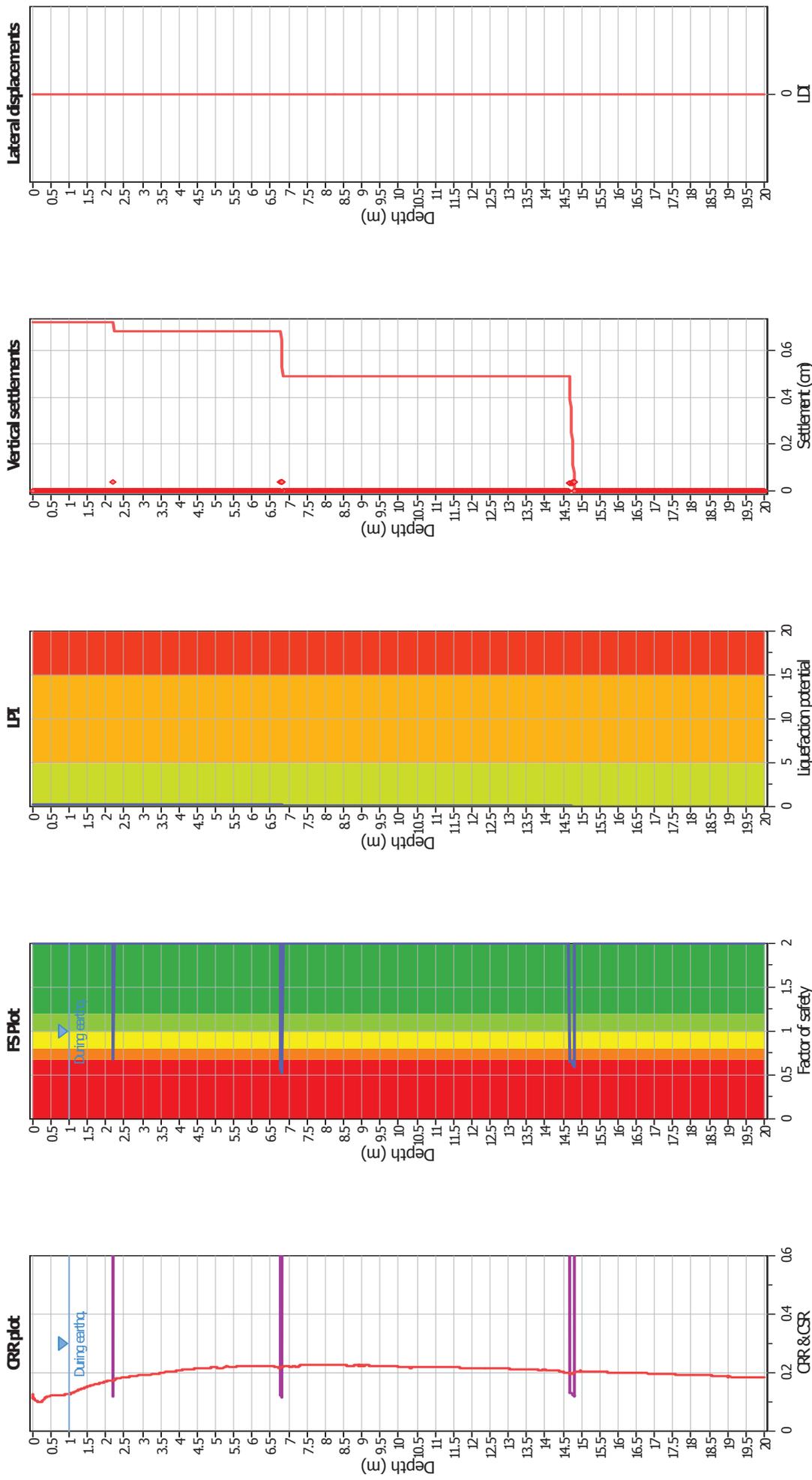
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Transition detect. applied:	Yes
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:	0.23	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.50 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		

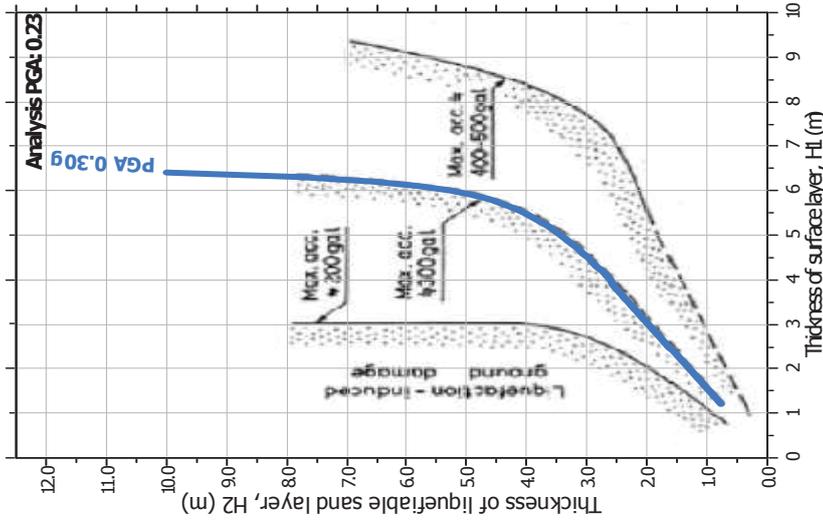
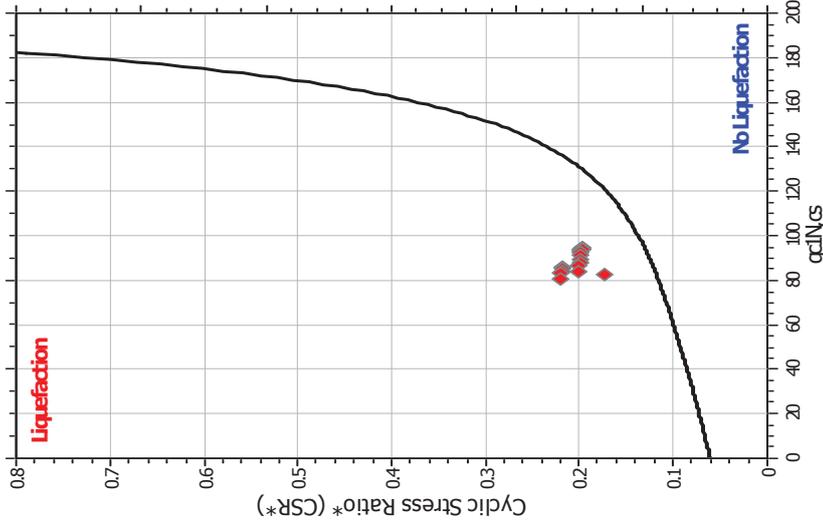
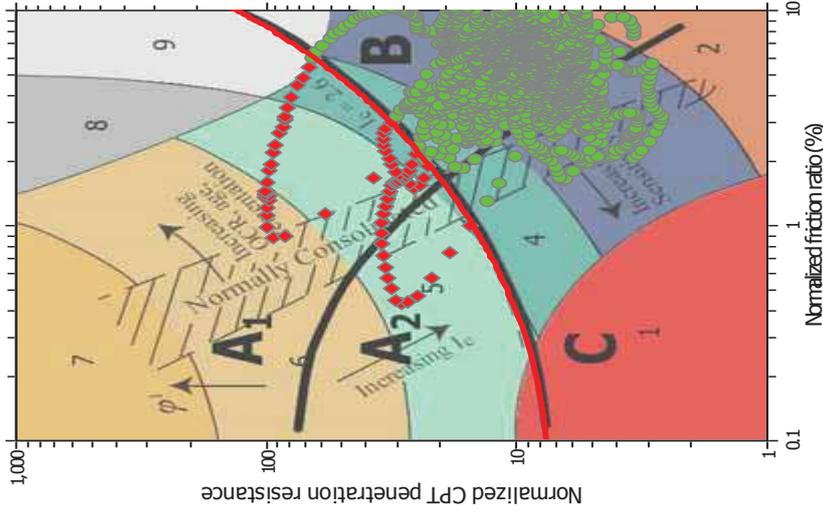
Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GW (earthq.):	1.00 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_s 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:	No
Depth to water table (insitu):	1.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

Liquefaction analysis summary plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (earthq.):	1.00 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 _v 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:	No
Depth to water table (insitu):	1.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A