

studio tecnico magnani

Via Gonzaga 8 42016 Guastalla RE tel 0522 826403 fax 0522 218116 info@studiotecnicomagnani.it www.studiotecnicomagnani.com

oggetto:..... **VARIANTE al Piano di recupero "ARU PR 14"**
committente:..... **IMMOBILIARE TIZIANO TRE S.R.L.**
località:..... **Via Croce Luzzara (RE)**
data:..... **Luglio 2022**

AII. 6 - Relazione geologica

progettista:..... **Arch. Emiliano Magnani**

Comune di Luzzara

Provincia di Reggio Emilia

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 a supporto del progetto di realizzazione di un fabbricato commerciale, sito in Via Croce nel Comune di Luzzara



Dot. Geol. Pier Luigi Dallari

Febbraio 2022
Rif. 65/22



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



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

RELAZIONE TECNICA

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)

RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA

Relativa alla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione (NTC 2018, DGR RER 1373/2011)

OGGETTO

Caratterizzazione geologica, geotecnica e sismica a supporto del progetto di realizzazione di un fabbricato commerciale, sito in Via Croce nel Comune di Luzzara (RE).

Rif. n. 65/22



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.....	5
2.1	Inquadramento geografico	5
2.2	Elementi geologici e geomorfologici	6
2.3	Inquadramento sismico	7
3	INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	9
3.1	Indagini Geotecniche	9
3.1.1	Prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT	9
3.1.2	Prove penetrometriche statiche con punta elettrica CPTU	10
3.2	Indagini Geofisiche.....	12
3.2.1	Indagine sismica passiva a stazione singola (analisi HVSr).....	12
3.2.2	Indagine sismica attiva con metodo MASW	13
4	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO	14
4.1	Pericolosità sismica di base	14
4.2	Categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 NTC2018)	16
4.3	Azione sismica e risposta sismica del sito – Approccio semplificato	17
4.4	Azione sismica e risposta sismica del sito – Analisi di risposta sismica locale	18
5	MODELLAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA DEL SITO	25
5.1	Modello geotecnico del sottosuolo.....	25
5.2	Tipologia di fondazioni e calcolo della capacità portante	25
5.2.1	Verifica nei confronti degli SLU (6.4 NTC 2018)	26
5.2.2	Verifica dei cedimenti	27
5.2.3	Modulo di sottofondo	27
5.3	Stabilità nei confronti della liquefazione (§ A2.2. DGR 476/2021)	28
6	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	30

TAVOLE

Tav. n. 1: “Carta Topografica”

scala 1: 5.000

Tav. n. 2: “Ripresa Satellitare”

scala 1: 5.000

Tav. n. 3: “Ubicazione indagini”

scala 1: 750

ALLEGATI

ALL. n. 1 Prove penetrometriche statiche CPT e CPTU

ALL. n. 2 Verifiche geotecniche

ALL. n. 3 Indagini sismiche

ALL. n. 4 Verifica alla liquefazione

1 PREMESSE

Nel mese di febbraio 2022 è stato eseguito il presente studio geologico, geotecnico e sismico a supporto del progetto di realizzazione di un fabbricato commerciale, sito in Via Croce nel Comune di Luzzara (RE).

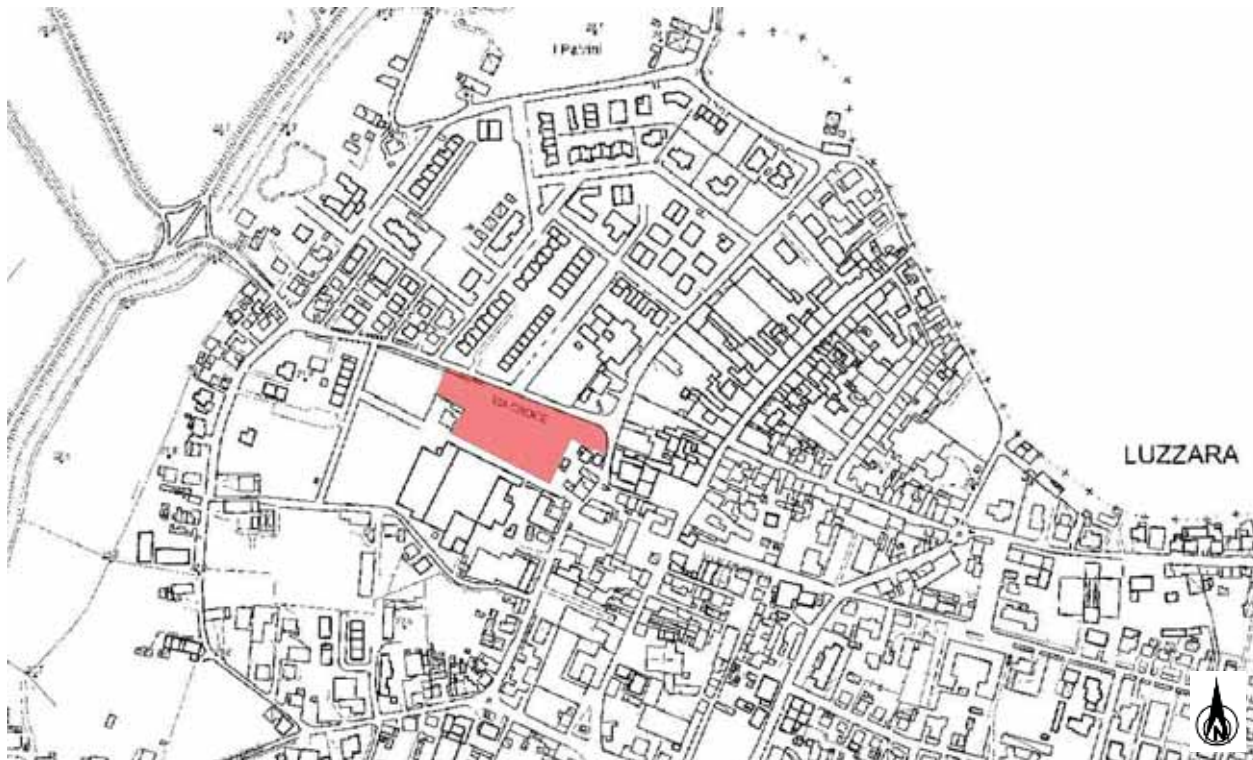


Fig.1.1 - Ubicazione del sito in studio.

La presente relazione fa riferimento alle disposizioni normative contenute in:

- Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 – D.M. 17/01/2018;
- DGR 476/2021.

Il presente elaborato illustra le caratteristiche geologico-stratigrafiche, geotecniche e sismiche relative al volume significativo di sottosuolo indagato a supporto del progetto di realizzazione del nuovo edificio commerciale.



Fig.1.2 – Fabbricato in progetto.

2 INQUADRAMENTO GENERALE

2.1 Inquadramento geografico

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

SITO IN ESAME	
COORDINATE GEOGRAFICHE	
LATITUDINE	LONGITUDINE
44.963062	10.686264

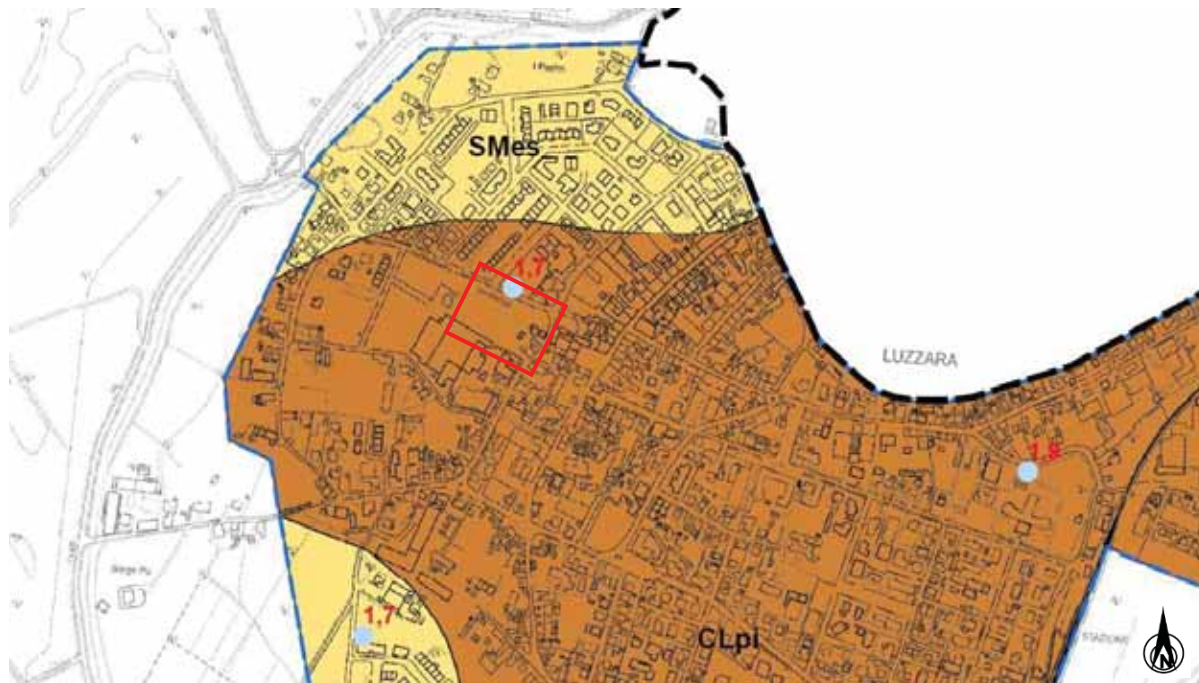


Fig.2.1 – Ubicazione geografica del sito in studio.

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

2.2 Elementi geologici e geomorfologici

Dalla consultazione della carta geologico – tecnica della Microzonazione sismica del Comune di Luzzara, si evidenzia come l'area in studio ricada in zona **CLpi** (Fig. 2.2).



Terreni di copertura

SM	Sabbie limose, miscele di sabbie e limo
ML	Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità
CL	Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre

Fig.2.2 – Estratto della carta geologico-tecnica – Microzonazione sismica del Comune di Luzzara.


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 Luzzara (RE), ed in particolare dalla "Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica", di cui un cui estratto è riportato in figura (Fig. 2.3); si nota come l'area in studio ricada in zona di attenzione di instabilità.




Legenda

Zone di attenzione per l'instabilità

- 

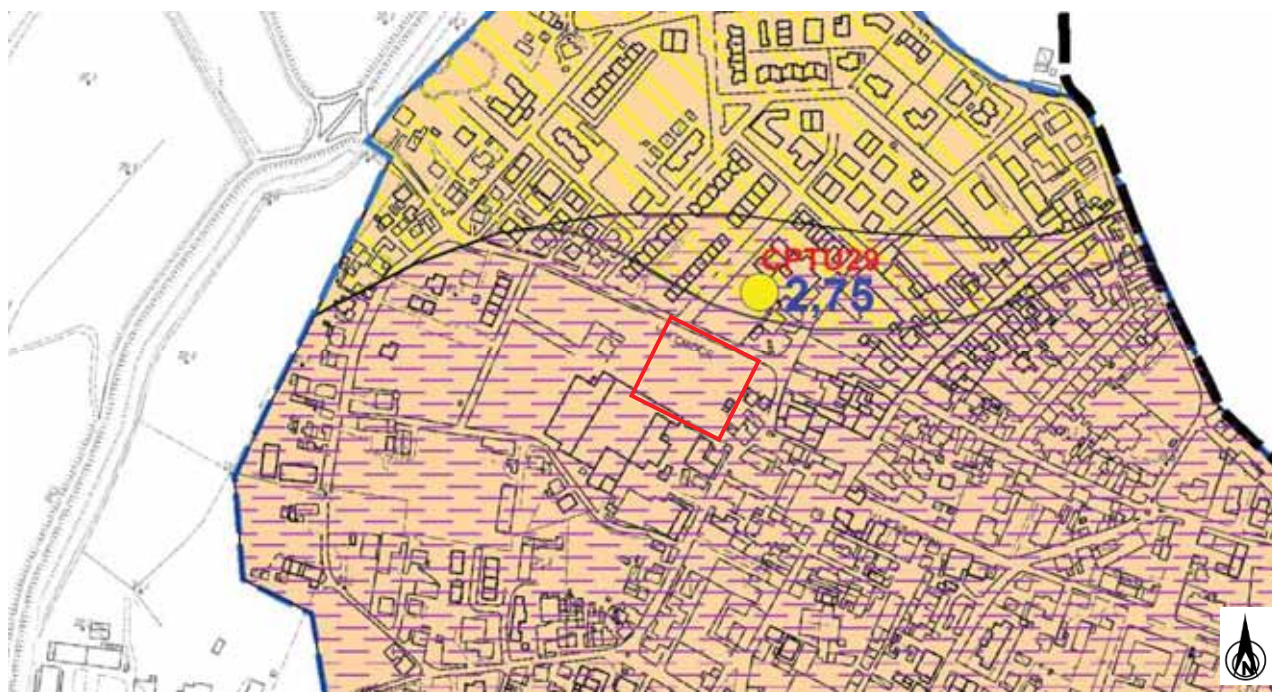
ZALQ1: zona di attenzione per liquefazioni tipo I
successione stratigrafica costituita da una coltre di depositi limosi e limo-sabbiosi presenti sino a quote variabili da -2,00 a -7,00 m da p.c., sovrastante un orizzonte di sabbie e sabbie limose di potenza pluridecimetrica
- 

ZALQ1: zona di attenzione per liquefazioni tipo I
successione stratigrafica costituita da una coltre superficiale di depositi prevalentemente argillosi e argilloso-limosi dello spessore variabile da 8,00 a 15,00 m, sovrastante un orizzonte di sabbie e sabbie limose di potenza pluridecimetrica
- 

Zona con presenza di terreni coesivi aventi scadenti caratteristiche geomeccaniche

Fig.2.3 – Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica.

Dalla consultazione della Microzonazione Sismica del Comune di Luzzara (RE), ed in particolare dalla "Carta di microzonazione sismica FPGA", di cui un estratto è riportato in figura (Fig. 2.4), si nota come l'area in studio ricade in zona instabile per la presenza di terreni coesivi aventi scadenti caratteristiche geomeccaniche con $FA_{PGA}=1.5-1.6$, pertanto al fine di derivare la pericolosità sismica risulta ragionevole eseguire la risposta sismica locale al terzo livello di approfondimento §4.4.





Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali


 $FA_{PGA} = 1,5 - 1,6$

Zone suscettibili di instabilità

I valori dei Fattori di Amplificazione sono stati ricavati dalle tabelle allegate alla Delibera dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna n. 112/2007

 ZSLQ - Zona di suscettibilità per liquefazione
 $FA_{PGA} 1,5 - 1,6$
 $2 < IL <= 5$

 ZSLQ - Zona di suscettibilità per liquefazione
 $FA_{PGA} 1,5 - 1,6$
 $5 < IL <= 15$

 ZSLQ - Zona di suscettibilità per liquefazione
 $FA_{PGA} 1,5 - 1,6$
 $IL > 15$

 Zona con presenza di terreni coesivi aventi scadenti caratteristiche geomeccaniche

Fig.2.4 – Estratto della "Carta delle microzonazione sismica FPGA".

3 INDAGINI GEOGNOSTICHE

3.1 Indagini Geotecniche

In relazione alla litologia presente nell'area e in base alla tipologia di intervento in progetto, in data 08/02/22, sono state eseguite nell'area in studio le seguenti indagini geognostiche:

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

Al termine delle prove penetrometriche è stato misurato il livello della falda freatica. Di seguito si riportano i valori misurati.

VERTICALE DI PROVA	FALDA FREATICA [D _w]
CPTU 1	D _w = -2.30 m da p.c.
CPTU 2	D _w = -2.20 m da p.c.
CPT 1	D _w = -2.30 m da p.c.

I risultati sono riportati nell'allegato n. 1.

3.1.1 Prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT

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

Spinta	S	200 kN
Punta conica meccanica		
Diametro	Φ	35.7 mm
Area punta	A	10 cm ²
Angolo di apertura	α	60°
Manicotto laterale di attrito		
Diametro	Φ	35.7 mm
Altezza	h	133 mm
Area	A	150 cm ²
Velocità di avanzamento costante	V	2 cm/sec
Intervallo di misura		20 cm

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

Correlazioni utilizzate per la stima dei parametri geotecnici

Coesione non drenata (terreni coesivi) C_u

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

Modulo di deformazione non drenato E_u

DUNCAN-BUCHIGANI 1976

Modulo edometrico M_o

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

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

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

Velocità delle onde di taglio V_s

YOSHIDA MOTONORI 1988

3.1.2 Prove penetrometriche statiche con punta elettrica 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.



Fig. 3.1 – Attrezzatura di prova utilizzata.

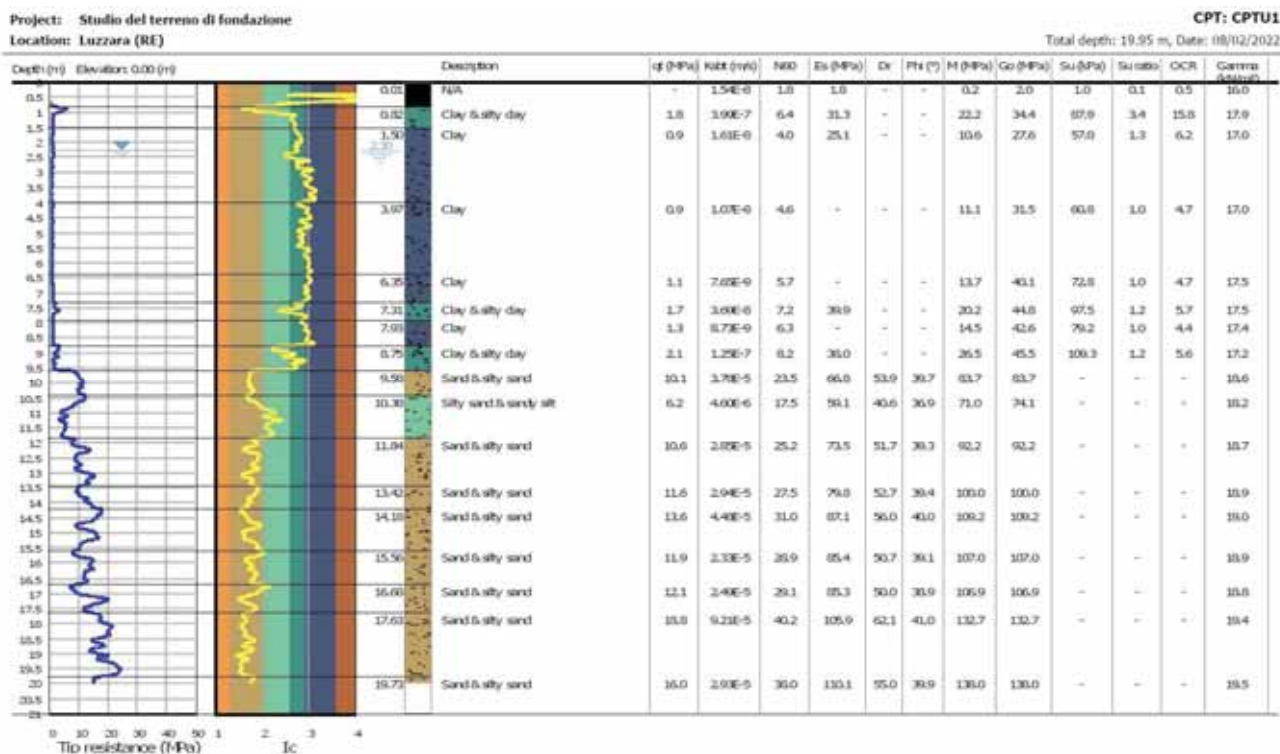
La punta elettrica è strumentata con sensori elettrici e un sistema di trasmissione dei dati in superficie via cavo, che permette l'acquisizione e la registrazione dei dati quasi in continuo, ogni centimetro. I dati misurati durante la prova sono la resistenza totale alla penetrazione Q_t , la resistenza alla penetrazione della punta Q_c e la resistenza laterale del manicotto F_s ; è possibile inoltre monitorare, durante l'esecuzione della prova, alcuni parametri di controllo quali l'inclinazione rispetto alla verticalità e la velocità di penetrazione del cono.

Una punta elettrica particolare, detta "piezocono", è dotata anche di un dispositivo di misura della pressione, attraverso il quale viene misurata la pressione dell'acqua nei pori del terreno u (CPTU). La pressione che viene misurata è la pressione $u = u_0 + \Delta u$, dove u_0 è la pressione dovuta al livello idrostatico e Δu quella generata dallo sforzo alla penetrazione nel terreno.

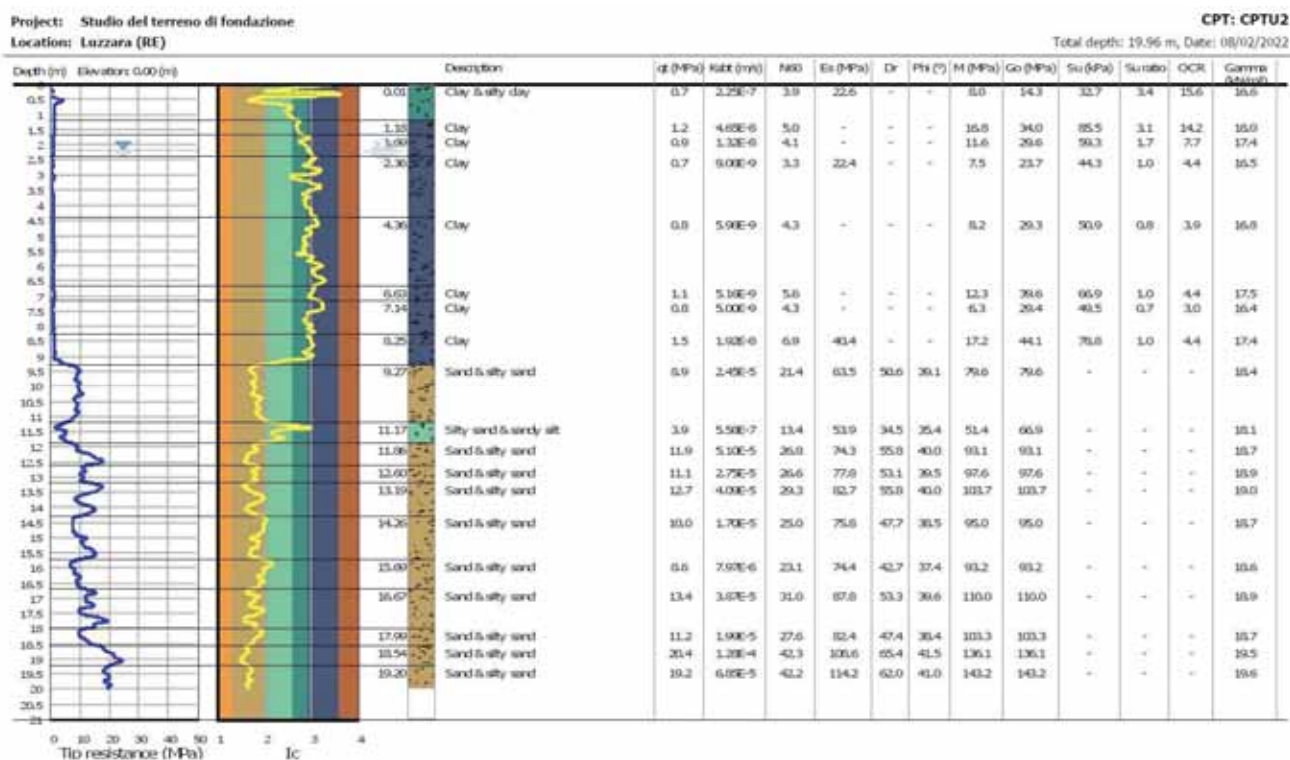
Il piezocono da Noi utilizzato è un Pagani, con sistema di acquisizione TGAS07 ed è dotato di un dispositivo di misura della pressione costituito da un cilindro metallico saturato con grasso, situato poco al di sopra della punta conica.

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

CPTU 1



CPTU 2



3.2 Indagini Geofisiche

Per la caratterizzazione sismica dell'area di studio, sono state eseguite in sito, in data 25/01/2022, le seguenti indagini geofisiche:

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

I risultati 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 Vs nel terreno dalla formula:

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

dove h è lo spessore dello strato.

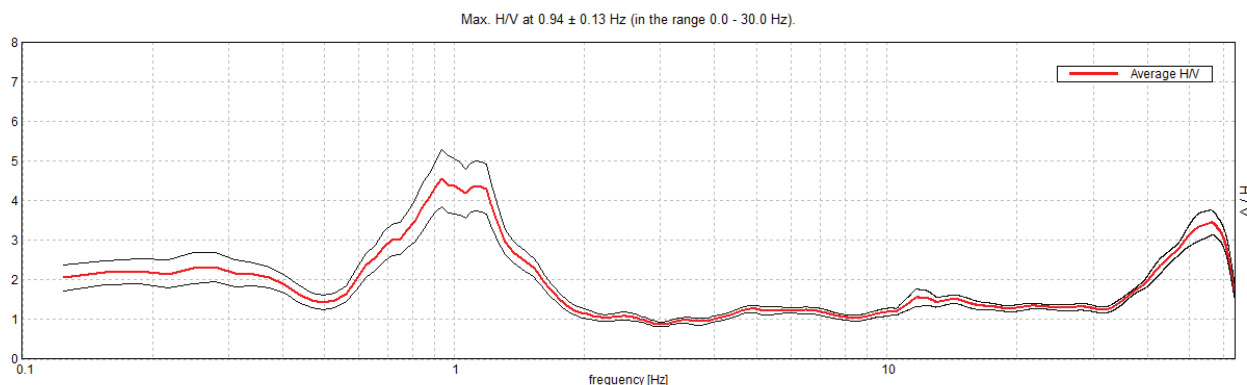


Fig.3.2 - Curva HVSR che identifica un picco a 0.94 Hz.

3.2.2 Indagine sismica attiva con metodo MASW

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

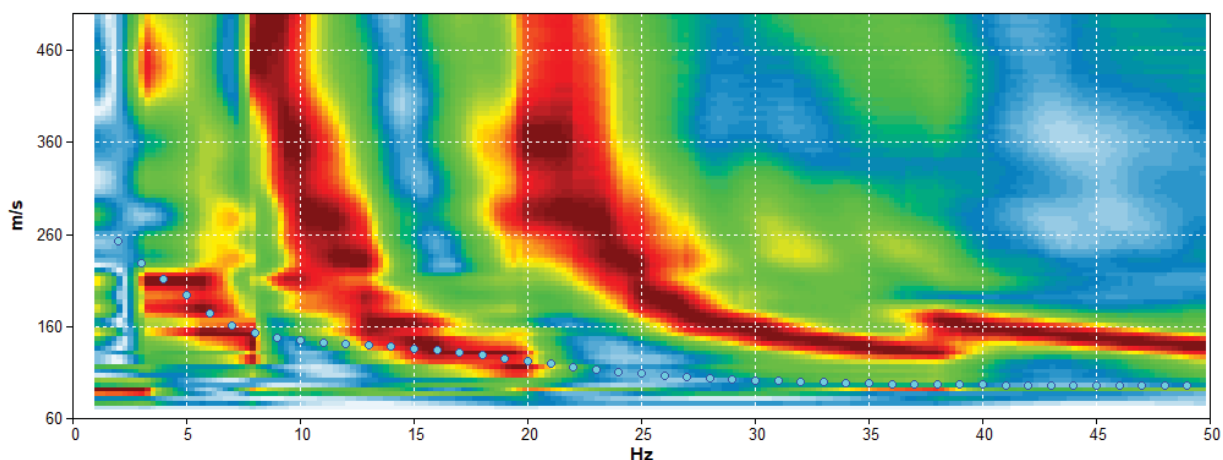


Fig.3.3 - Curva di dispersione MASW.

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 Luzzara (RE)** risulta appartenente alla **classe di sismicità 3** (Fig. 4.1).

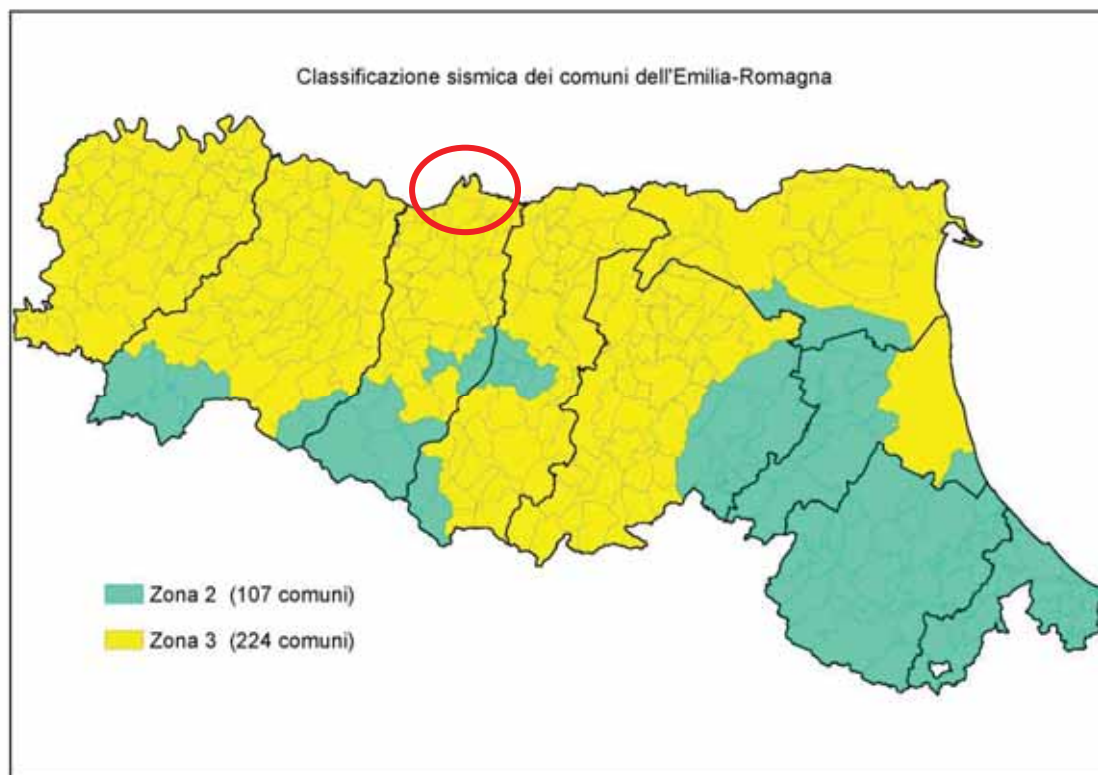











Fig.4.1 - Classificazione sismica dei comuni della regione Emilia – DGR 1164/18.

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			
	Vita Norminale	50		
	Interpolazione	Media ponderata		
CU = 1.5				
Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	F ₀	T _c [s]
Operatività (SLO)	45	0.039	2.583	0.252
Danno (SLD)	75	0.047	2.593	0.274
Salvaguardia vita (SLV)	712	0.105	2.574	0.316
Prevenzione collasso (SLC)	1462	0.132	2.608	0.319
Periodo di riferimento per l'azione sismica	75			

Coefficienti sismici				
	Tipo:	Stabilità dei pendii e fondazioni		
<input type="checkbox"/> Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.				
	H (m)	1		us (m)
	Cat. Sottosuolo	C		
	Cat. Topografica	T1		
		SLO	SLD	SLV
SS Amplificazione stratigrafica		1,50	1,50	1,50
CC Coeff. funz categoria		1,65	1,61	1,54
ST Amplificazione topografica		1,00	1,00	1,00
<input type="checkbox"/> Acc.ne massima attesa al sito [m/s ²]				
		 0,5		
		SLO	SLD	SLV
kh		0.012	0.014	0.038
kv		0.006	0.007	0.019
Amax [m/s ²]		0.581	0.693	1.542
Beta		0.200	0.200	0.240

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

In particolare sono state considerate le seguenti caratteristiche:

- Classe edificio = 3
- Vita nominale = 50 anni
- Tr = 712 anni

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) è stata eseguita in sito l'indagine sismica sopra descritta 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 è ottenuto il valore di $V_{S,30}$ e di frequenza naturale del terreno f_0 riportati nelle seguenti tabelle:

MASW	V_{S30}	194 m/s
------	-----------	---------

HVSR	0.94 ± 0.13 Hz	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 – Approccio semplificato

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

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

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

dove:

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

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

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

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

PARAMETRI PERICOLOSITÀ DI BASE					
T_r (anni)	a_g (g)	F_o	T_c^* (s)	S_s	S_T
712	0.105	2.574	0.316	1.50	1.00

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

$$A_{max} = S_s \cdot S_T \cdot a_g = 1.50 \cdot 1.0 \cdot 0.105 = 0.157g$$

4.4 Azione sismica e risposta sismica del sito – Analisi di risposta sismica locale

Dato che l'area in studio ricade in parte in una zona soggetta a liquefazione §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.

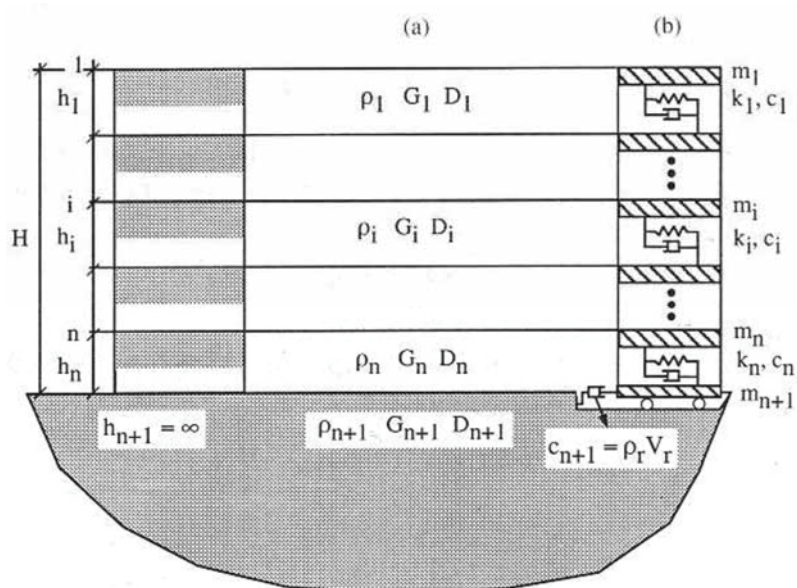


Fig.4.2 - Modello a strati continui adottato per la simulazione con il codice di calcolo STRATA.

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 delle indagini eseguite 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
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

Per descrivere il comportamento dinamico dei terreni costituenti il modello sono state considerate curve di decadimento dei moduli di rigidità e smorzamento, al variare della deformazione percentuale γ (%). Si riportano successivamente le curve di decadimento considerate per l'esecuzione del calcolo di risposta sismica locale:

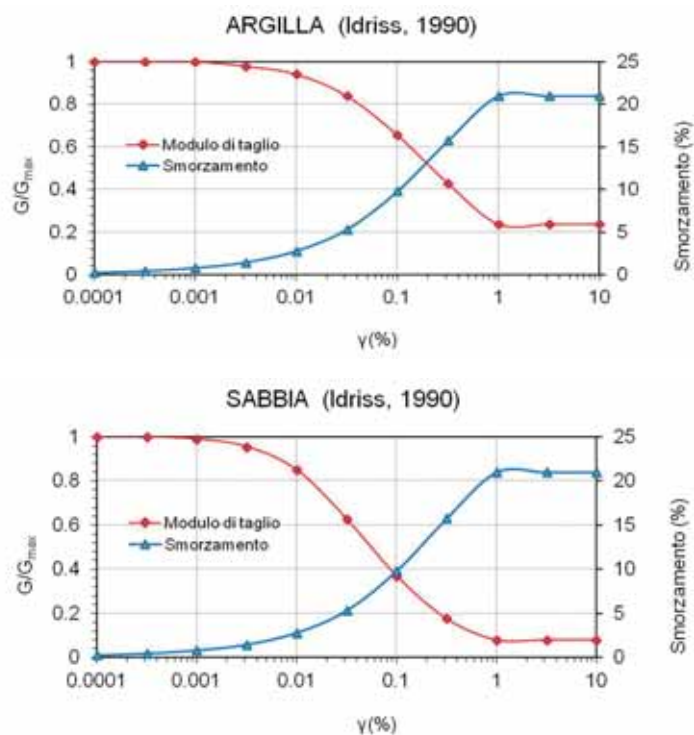


Fig.4.3 - Curve di decadimento dei moduli G/G_{max} e D , utilizzate per descrivere il comportamento dei materiali coesivi che compongono il sottosuolo in oggetto.

Trattandosi di una verifica diretta ai fini progettuali, in accordo con quanto esposto nel § 7.3 delle NTC 2018, l'analisi RSL in oggetto è stata svolta adottando come input sismico **7 accelerogrammi**, corrispondenti allo stato limite SLV. Gli accelerogrammi reali e misurati, sono stati individuati mediante l'utilizzo del software REXEL v. 3.5 (Computer aided code-based real record selection for seismic analysis of structures) realizzato dal Dipartimento di Strutture per l'ingegneria e l'architettura dell'Università degli Studi di Napoli Federico II. Utilizzando le coordinate relative al sito di riferimento, considerando una categoria di sottosuolo A e una **classe d'uso pari a III** e una **vita nominale pari a 50 anni**, sono stati definiti n. 7 accelerogrammi per lo stato limite SLV. Gli accelerogrammi sono stati prelevati dal "European Strong-motion Database".

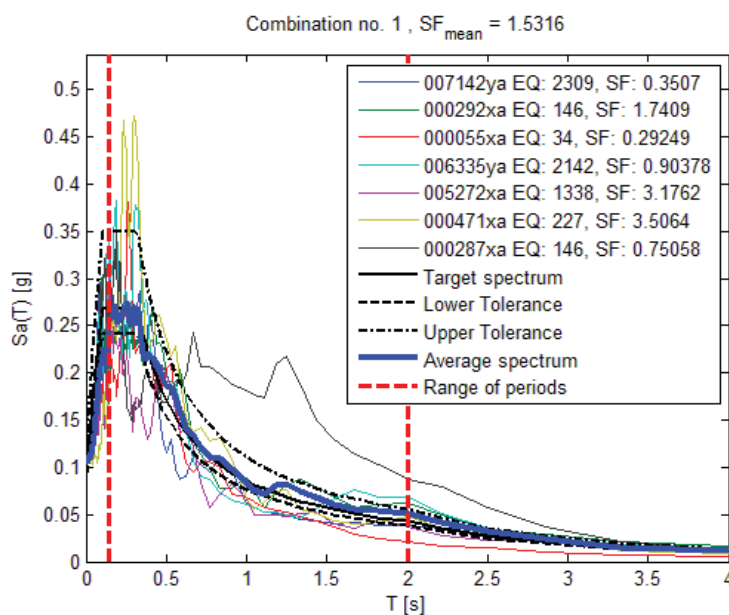
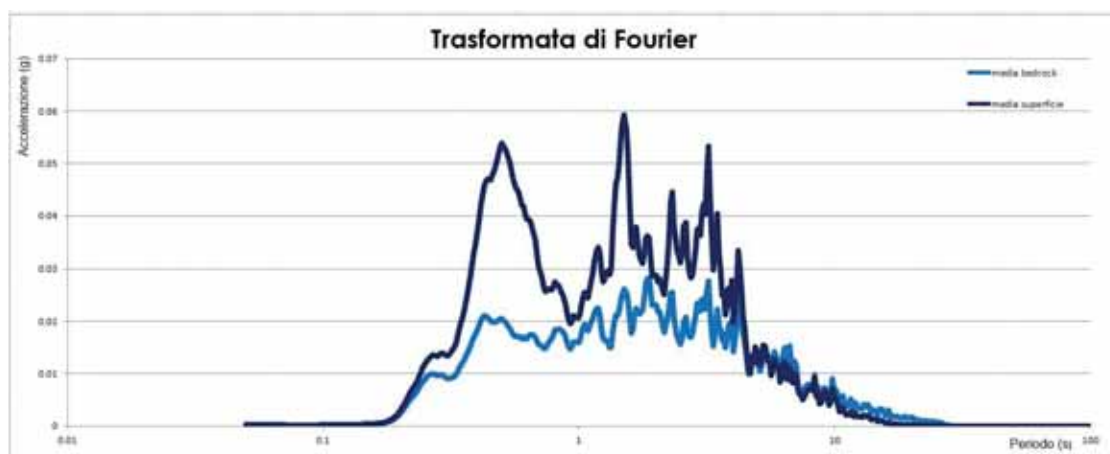
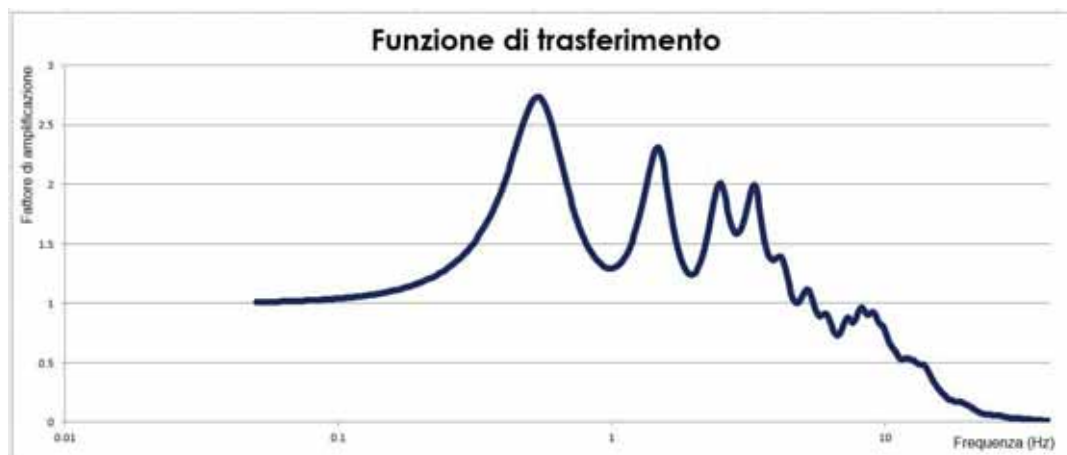


Fig.4.4 - Forme spettrali relative agli accelerogrammi considerati.

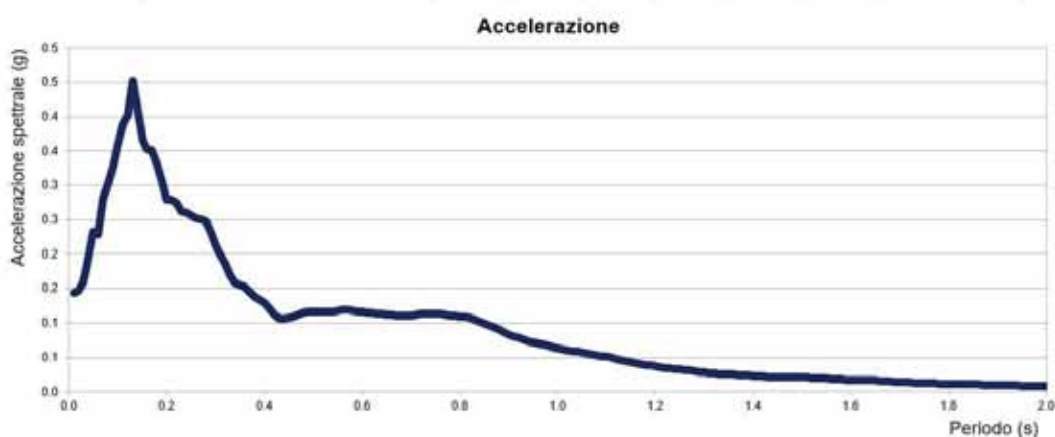
RISULTATI OTTENUTI

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.

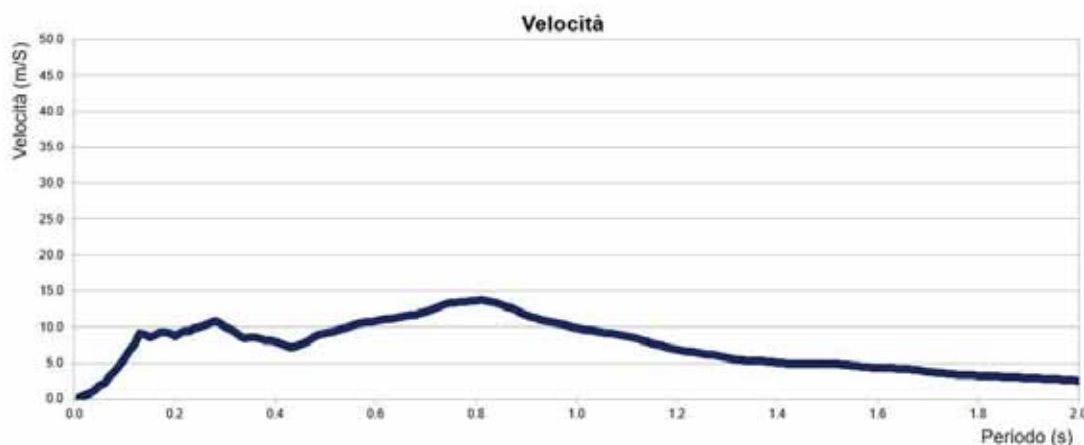


In alto Funzione di Trasferimento e in basso funzione FT.

Definiti i parametri che descrivono il comportamento del sottosuolo nel campo elastico lineare equivalente e descritti gli accelerogrammi su suolo rigido validi per il sito in oggetto, attraverso il software STRATA sono state definite le seguenti forme spettrali, in termini accelerazione e velocità alla superficie:

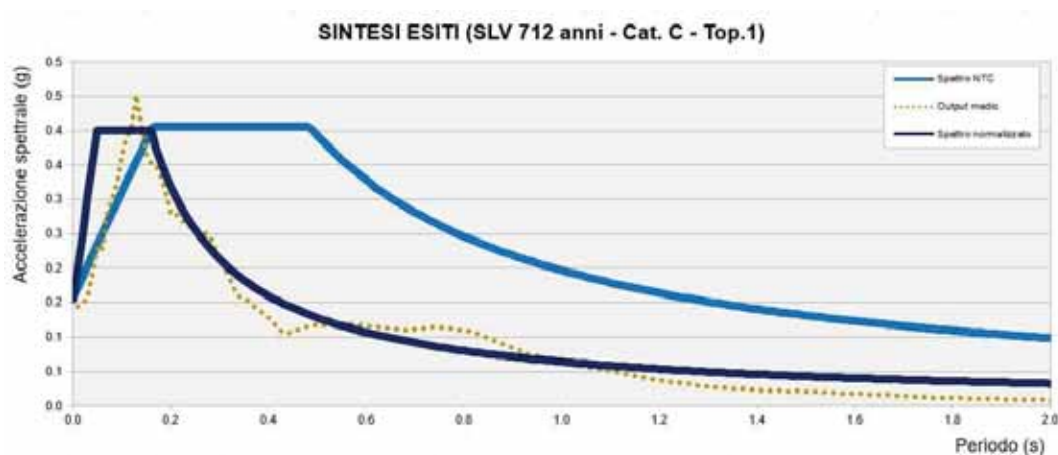


Accelerazioni spettrali relative a un periodo di ritorno pari a 475 anni (SLV)



Velocità spettrali relative a un periodo di ritorno pari a 475 anni (SLV).

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".



Sintesi esiti RSL e confronto con spettro NTC2018 (SLV) derivato secondo approccio semplificato

Lo spettro RSL, sia nella forma per punti, sia nella forma normalizzata, definito sulla base di 7 simulazioni definisce un'azione sismica **inferiore** rispetto a quanto derivabile secondo approccio semplificato NTC2018 per una categoria di sottosuolo di tipo C. In forza di ciò **risulta ragionevole e cautelativo adottare, ai fini di progettazione, l'azione sismica derivabile secondo approccio semplificato (categorie di sottosuolo) come esplicitato da normativa tecnica NTC2018**. Si illustra successivamente, in forma tabellare, lo spettro RSL per punti e il suo corrispettivo normalizzato.

SLV – PARAMETRI SPETTRO NORMALIZZATO - RSL

ag (g)	Fo	Tc*	TB(s)	TC(s)	Ss	Amax (g)
0.105	2.571	0.316	0.05	0.16	1.48	0.155

5 MODELLAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA DEL SITO

5.1 Modello geotecnico del sottosuolo

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

Modello geotecnico medio										
Profondità	Deposito	$\gamma_{\text{NAT}} / \gamma_{\text{SAT}}$	c'	C_u	D_r	ϕ^l	E_s	M	D_w	
A	0.0 – 1.0	Riporto argilloso e ghiaioso								
B	1.0 – 2.0	Argilla limosa a media consistenza	18.0/21.0	5.0	50.0	/	23	7700	4600	-2.20
C	2.0 – 8.2	Argilla limosa a scarsa consistenza	17.5/20.5	3.9	39.0	/	21	5460	3400	
D	8.2 – 9.6	Argilla limosa a media consistenza	18.0/21.0	6.0	60.0	/	23	8400	4600	
E	9.6 – 20.0	Sabbia limosa mediamente addensata	18.5/21.5	/	/	66	35	37000	/	
M da p.c.		Descrizione litologica	Peso di volume naturale e saturo (kN/m ³)	Coesione efficace (kN/m ²)	Coesione non drenata (kN/m ²)	Densità relativa (%)	Angolo d'attrito efficace di picco (°)	Modulo di Young (kN/m ²)	Modulo edometrico (kN/m ²)	Soggiacenza (m da p.c.)

5.2 Tipologia di fondazioni e calcolo della capacità portante

Per il calcolo della capacità portante del terreno si sono utilizzati cautelativamente i parametri geotecnici emersi dall'elaborazione delle prove penetrometriche eseguite nel sito in studio. Al fine di calcolare la capacità portante del terreno si sono ipotizzate fondazioni superficiali impostate su **plinti in c.a.**

larghezza della fondazione	B	=	3.5 m
lunghezza della fondazione	B'	=	3.5 m
profondità della quota di imposta	D	=	-1.4 m da p.c.

Parametri di resistenza e deformabilità:

Profondità	Deposito	$\gamma_{\text{NAT}} / \gamma_{\text{SAT}}$	c'	C_u	D_r	ϕ^l	E_s	M	D_w	
B	1.0 – 2.0	Argilla limosa a media consistenza	18.0/21.0	5.0	50.0	/	23	7000	4600	-2.20
M da p.c.		Descrizione litologica	Peso di volume naturale e saturo (kN/m ³)	Coesione efficace (kN/m ²)	Coesione non drenata (kN/m ²)	Densità relativa (%)	Angolo d'attrito efficace di picco (°)	Modulo di Young (kN/m ²)	Modulo edometrico (kN/m ²)	Soggiacenza (m da p.c.)

5.2.1 Verifica nei confronti degli SLU (6.4 NTC 2018)

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

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

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

Fattori correttivi sismici: Paolucci e Pecker (1997)

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

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

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

- a_{MAX} (ag/g): **0.157g** (calcolato con l'approccio semplificato NTC18, relativa a SLV; $T_r = 712$ anni);
- coefficiente intensità sismica del terreno K_h : 0.038.

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

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

CONDIZIONE STATICA – CONDIZIONI NON DRENATE – A1+M1+R3		
Profondità di imposta	Larghezza della fondazione	Carico limite ultimo SLU - F.S. = 2.3
D=-1.4 m da p.c.	B= 3.5 m X L= 3.5 m	1.35 kg/cm² ≈ 135 kN/m²

La resistenza R_d calcolata in condizioni **"drenate"** seguendo l'Approccio 2, combinazione (A1 + M1 + R3), applicando il coefficiente di riduzione parziale per la tangente dell'angolo di attrito secondo la relazione: t_g

$\phi'd = \text{tg } \phi'k / 1,0$, dove $\phi'd$ è l'angolo d'attrito di progetto, ne deriva, essendo $\phi'k = \phi'd$. Quindi secondo la formula di Terzaghi si ottiene, per l'intervento in progetto uno stato limite ultimo pari a:

CONDIZIONE STATICA – CONDIZIONI DRENATE – A1+M1+R3		
Profondità di imposta	Larghezza della fondazione	Carico limite ultimo SLU F.S. = 2.3
D=-1.4 m da p.c.	B= 3.5 m X L= 3.5 m	2.61 kg/cm² ≈ 261 kN/m²

CONDIZIONE PSEUDO-STATICA – CONDIZIONI DRENATE – A1+M1+R3		
Profondità di imposta	Larghezza della fondazione	Carico limite ultimo SLU F.S. = 2.3
D=-1.4 m da p.c.	B= 3.5 m X L= 3.5 m	2.54 kg/cm² ≈ 254 kN/m²

5.2.2 Verifica dei cedimenti

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

Profondità di imposta	B x L	Carico considerato	Cedimento per consolidazione
D=-1.4 m da p.c.	B= 3.5 m X L= 3.5 m	100 kN/m ²	2.71 cm

5.2.3 Modulo di sottofondo

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

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

Utilizzando la Formula di Bowles (1974):

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

dove $F_c = 2.54/\text{cedimento della fondazione (cm)}$; è stato considerato un cedimento di riferimento pari a **S=2.71 cm** ed un carico applicato al terreno di fondazione pari a **P = 1.00 kg/cm² ≈ 100 kN/m²**, il modulo di sottofondo o costante di Winkler è risultato pari a **K = 1.12 kg/cm³ ≈ 11200 kN/m³**.

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

In accordo con la normativa regionale DGR 476/2021 si è proceduto alla verifica della liquefazione per le verticali di prova.

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

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

Dove:

CRR è rappresentato dal rapporto di resistenza ciclica

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Si illustra successivamente il valore di LPI derivato dalle verticali di prova CPT e CPTU considerando un'accelerazione massima al suolo $A_{max} = 0.157g$ (calcolata secondo l'approccio semplificato NTC18), la soggiacenza della falda freatica è stata ipotizzata in condizioni sismiche alla profondità $D_w = -1.00$ m e una magnitudo di riferimento pari a $M = 6.14$.

A seguito della verifica, è stato ottenuto il seguente valore di LPI:

INDAGINE	INDICE DI LIQUEFAZIONE	RISCHIO
CPTU1	0.812	BASSO
CPTU2	1.003	BASSO
CPT1	1.1	BASSO

6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il presente elaborato riassume e illustra le caratteristiche geologico-stratigrafiche, geotecniche e sismiche relative al volume significativo di sottosuolo indagato a supporto del progetto di realizzazione di un fabbricato commerciale, sito in Via Croce nel Comune di Luzzara (RE).

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

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

I risultati sono visibili nel § 5.3.1.

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

Verifica nei confronti degli SLU		
APPROCCIO 2 – COMBINAZIONE (A1 + M1 + R3)		
CONDIZIONE NON DRENATE	CONDIZIONI DRENATE	CONDIZIONI SISMICHE DRENATE Paolucci & Pecker
1.35 kg/cm ² ≈ 135 kN/m ²	2.61 kg/cm ² ≈ 261 kN/m ²	2.54 kg/cm ² ≈ 254 kN/m ²

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

Per la definizione dell'azione sismica, è stato eseguito l'approfondimento di terzo livello della risposta sismica locale, che risulta minore rispetto al valore ottenuto mediante l'utilizzo dell'approccio semplificato delle NTC 2018. Dall'analisi così eseguita si sono ottenuti i seguenti risultati:

Parametri sismici				
ag	Approccio semplificato NTC18		RSL	
	FA	Amax	FA	Amax
0.105	1.50	0.157	1.48	0.155

È stata eseguita la verifica della suscettibilità al fenomeno della liquefazione sulla base delle prove penetrometriche eseguite in sito, considerando una accelerazione massima al suolo $A_{max} = 0.157g$ (approccio semplificato -NTC18), la soggiacenza della falda freatica è stata ipotizzata 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 un valore di LPI corrispondente a un **rischio di liquefazione basso** (§ 5.3).

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

Modena, 11 febbraio 2022

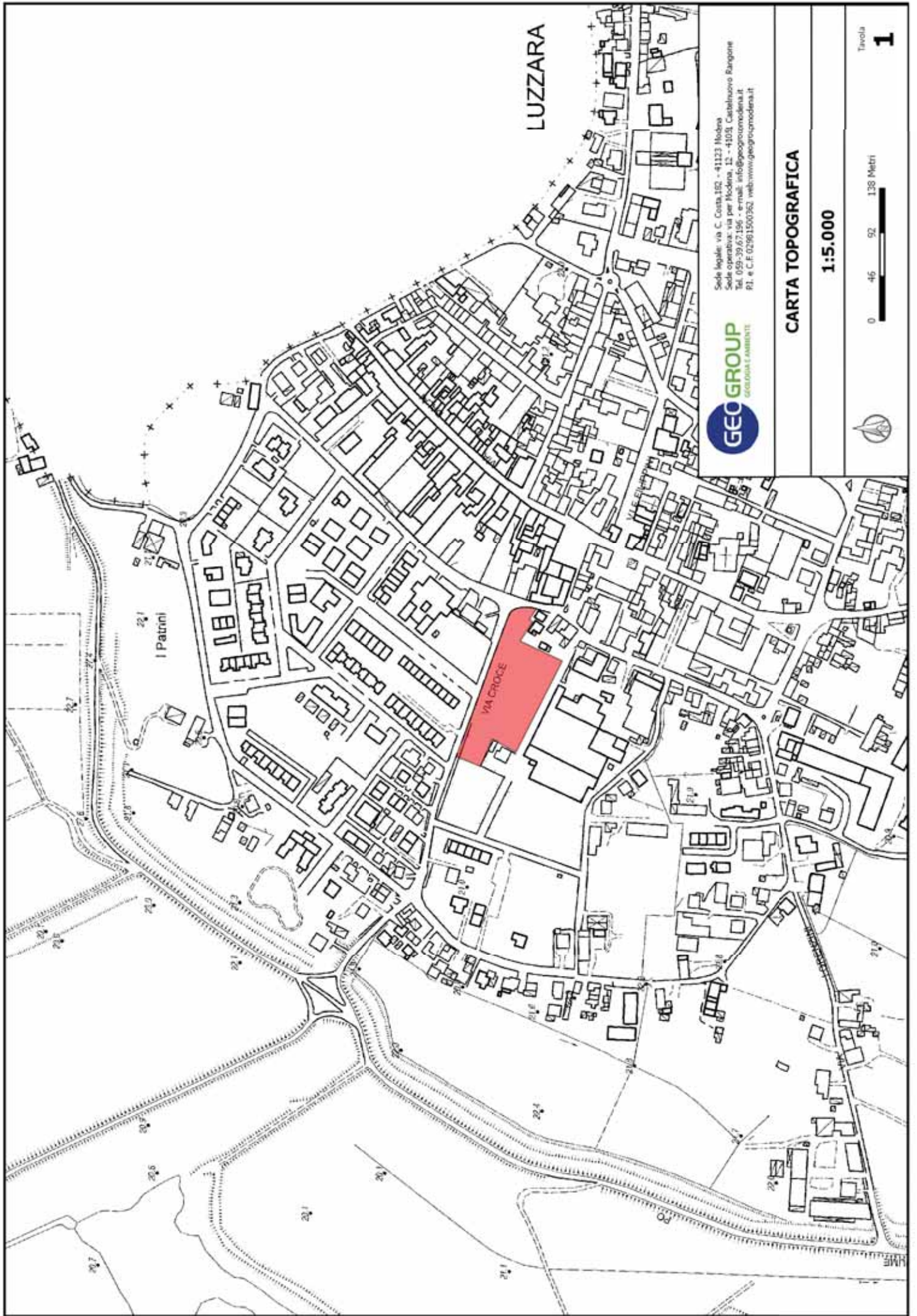
Dott. Geol. Pier Luigi Dallari



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
PI, e C.F. 02961500962 web: www.geogroupmodena.it

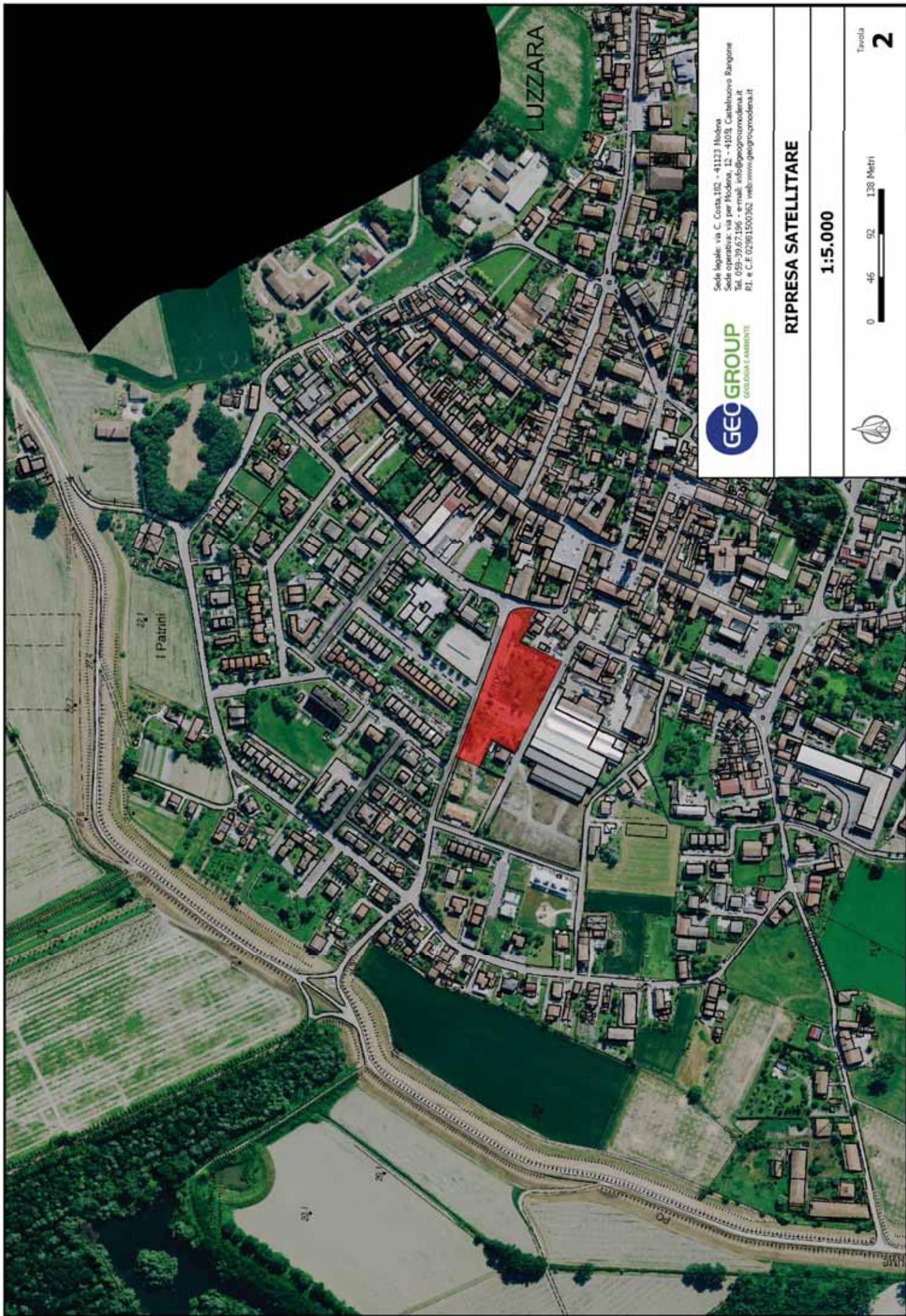
CARTA TOPOGRAFICA

1:5.000



0 46 92 138 Metri

Tavola **1**



Sede legale: via C. Costa,102 - 41123 Modena
Sede operativa: via per Modena, 11 - 41013 Castelnuovo Rangone
Tel. 059-39767196 - e-mail: info@geogroupmodena.it
PI, e C.F. 029615001962, web:www.geogroupmodena.it

RIPRESA SATELLITARE

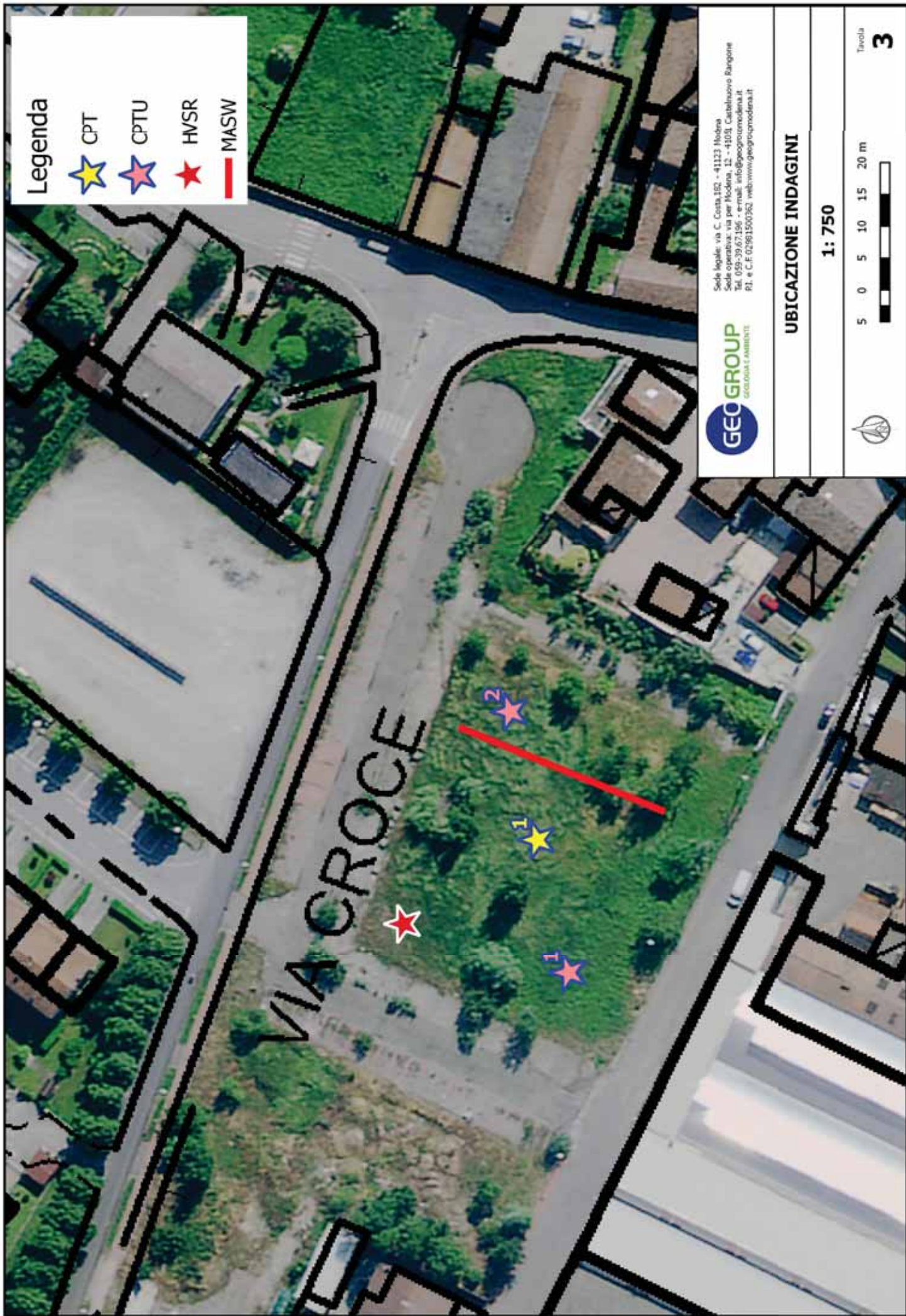
1:5.000



0 46 92 138 Metri

Tavola

2



Legenda



CPT



CPTU



HVSR



MASW



GEO GROUP
geotecnologie e servizi

Sede legale: via C. Costa,102 - 41123 Modena
Sede operativa: via per Modena, 11 - 41013 Castelnuovo Rangone
Tel. 059-3967196 - e-mail: info@geogrupmodena.it
P.I. e C.F. 02961500962 - web:www.geogrupmodena.it

UBICAZIONE INDAGINI

1: 750



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 CPT e CPTU corredate di interpretazione geotecnica

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

Prove penetrometriche statiche CPT

LEGENDA VALORI DI RESISTENZA FATTORI DI CONVERSIONE

Strumento utilizzato:
SP200 - GeoDeepDrill

Caratteristiche:

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

fase 1 - resistenza alla punta: $q_c \text{ (MPa)} = (L_1) \times CT / 10$

fase 2 - resistenza laterale locale: $f_s \text{ (kPa)} = [(L_2) - (L_1)] \times CT / 150$

fase 3 - resistenza totale : $R_t \text{ (kPa)} = (L_t) \times CT$

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

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

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

CONVERSIONI

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

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

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

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

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

1 t = 1000 kg \approx 10 kN

LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE CORRELAZIONI GENERALI

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

Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977

Valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

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

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

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

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

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

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

CPT**1**

Riferimento

035-2022Committente **Studio tecnico**U.M.: **MPa**Data esec. **08/02/2022**Cantiere **Studio del terreno di fondazione**Pagina **1**Località **Luzzara (RE)**

Elaborato

Falda **-2.30 m da p.c.**

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %
0.20	36.0	49.0		3.14	100.00	32	3.1	15.20	92.0	102.0		9.02	60.00	153	0.7
0.40	32.0	53.0		18.72	87.00	220	0.5	15.40	130.0	139.0		12.74	80.00	163	0.6
0.60	191.0	206.0		3.53	187.00	19	5.2	15.60	170.0	182.0		16.66	93.00	183	0.5
0.80	79.0	107.0		7.74	60.00	132	0.8	15.80	101.0	115.0		9.90	73.00	138	0.7
1.00	12.0	21.0		1.18	87.00	14	7.3	16.00	113.0	124.0		11.07	87.00	130	0.8
1.20	15.0	28.0		1.47	87.00	17	5.8	16.20	128.0	141.0		12.54	73.00	175	0.6
1.40	14.0	27.0		1.37	80.00	18	5.7	16.40	121.0	132.0		11.86	73.00	166	0.6
1.60	13.0	25.0		1.27	67.00	19	5.2	16.60	101.0	112.0		9.90	67.00	151	0.7
1.80	12.0	22.0		1.18	67.00	18	5.6	16.80	143.0	153.0		14.01	87.00	164	0.6
2.00	11.0	21.0		1.08	53.00	21	4.8	17.00	171.0	184.0		16.76	100.00	171	0.6
2.20	9.0	17.0		0.88	33.00	27	3.7	17.20	135.0	150.0		13.23	73.00	185	0.5
2.40	7.0	12.0		0.69	20.00	35	2.9	17.40	134.0	145.0		13.13	87.00	154	0.6
2.60	7.0	10.0		0.69	33.00	21	4.7	17.60	161.0	174.0		15.78	87.00	185	0.5
2.80	8.0	13.0		0.78	33.00	24	4.1	17.80	149.0	162.0		14.60	87.00	171	0.6
3.00	6.0	11.0		0.59	33.00	18	5.5	18.00	165.0	178.0		16.17	87.00	190	0.5
3.20	7.0	12.0		0.69	27.00	26	3.9	18.20	176.0	189.0		17.25	87.00	202	0.5
3.40	10.0	14.0		0.98	20.00	50	2.0	18.40	150.0	163.0		14.70	80.00	188	0.5
3.60	6.0	9.0		0.59	13.00	46	2.2	18.60	173.0	185.0		16.95	100.00	173	0.6
3.80	6.0	8.0		0.59	20.00	30	3.3	18.80	200.0	215.0		19.60	133.00	150	0.7
4.00	7.0	10.0		0.69	40.00	18	5.7	19.00	220.0	240.0		21.56	113.00	195	0.5
4.20	9.0	15.0		0.88	60.00	15	6.7	19.20	185.0	202.0		18.13	100.00	185	0.5
4.40	9.0	18.0		0.88	60.00	15	6.7	19.40	189.0	204.0		18.52	107.00	177	0.6
4.60	9.0	18.0		0.88	53.00	17	5.9	19.60	151.0	167.0		14.80	73.00	207	0.5
4.80	9.0	17.0		0.88	40.00	23	4.4	19.80	174.0	185.0		17.05	87.00	200	0.5
5.00	8.0	14.0		0.78	20.00	40	2.5	20.00	185.0	198.0		18.13			
5.20	6.0	9.0		0.59	13.00	46	2.2								
5.40	7.0	9.0		0.69	33.00	21	4.7								
5.60	8.0	13.0		0.78	40.00	20	5.0								
5.80	8.0	14.0		0.78	33.00	24	4.1								
6.00	6.0	11.0		0.59	20.00	30	3.3								
6.20	7.0	10.0		0.69	27.00	26	3.9								
6.40	6.0	10.0		0.59	33.00	18	5.5								
6.60	7.0	12.0		0.69	40.00	18	5.7								
6.80	9.0	15.0		0.88	53.00	17	5.9								
7.00	10.0	18.0		0.98	53.00	19	5.3								
7.20	11.0	19.0		1.08	53.00	21	4.8								
7.40	8.0	16.0		0.78	33.00	24	4.1								
7.60	8.0	13.0		0.78	20.00	40	2.5								
7.80	7.0	10.0		0.69	20.00	35	2.9								
8.00	8.0	11.0		0.78	27.00	30	3.4								
8.20	10.0	14.0		0.98	47.00	21	4.7								
8.40	11.0	18.0		1.08	53.00	21	4.8								
8.60	12.0	20.0		1.18	53.00	23	4.4								
8.80	13.0	21.0		1.27	60.00	22	4.6								
9.00	12.0	21.0		1.18	47.00	26	3.9								
9.20	24.0	31.0		2.35	27.00	89	1.1								
9.40	20.0	24.0		1.96	20.00	100	1.0								
9.60	10.0	13.0		0.98	33.00	30	3.3								
9.80	85.0	90.0		8.33	73.00	116	0.9								
10.00	126.0	137.0		12.35	73.00	173	0.6								
10.20	121.0	132.0		11.86	80.00	151	0.7								
10.40	103.0	115.0		10.09	67.00	154	0.7								
10.60	95.0	105.0		9.31	60.00	158	0.6								
10.80	89.0	98.0		8.72	53.00	168	0.6								
11.00	96.0	104.0		9.41	60.00	160	0.6								
11.20	74.0	83.0		7.25	53.00	140	0.7								
11.40	57.0	65.0		5.59	47.00	121	0.8								
11.60	30.0	37.0		2.94	80.00	38	2.7								
11.80	30.0	42.0		2.94	40.00	75	1.3								
12.00	51.0	57.0		5.00	40.00	128	0.8								
12.20	46.0	52.0		4.51	53.00	87	1.2								
12.40	107.0	115.0		10.49	73.00	147	0.7								
12.60	125.0	136.0		12.25	80.00	156	0.6								
12.80	108.0	120.0		10.58	67.00	161	0.6								
13.00	117.0	127.0		11.47	73.00	160	0.6								
13.20	110.0	121.0		10.78	67.00	164	0.6								
13.40	93.0	103.0		9.11	67.00	139	0.7								
13.60	121.0	131.0		11.86	73.00	166	0.6								
13.80	124.0	135.0		12.15	80.00	155	0.6								
14.00	139.0	151.0		13.62	80.00	174	0.6								
14.20	110.0	122.0		10.78	67.00	164	0.6								
14.40	126.0	136.0		12.35	87.00	145	0.7								
14.60	122.0	135.0		11.96	80.00	153	0.7								
14.80	103.0	115.0		10.09	73.00	141	0.7								
15.00	97.0	108.0		9.51	67.00	145	0.7								

H = profondità

qc = resistenza punta

L1 = prima lettura (punta)

fs = resistenza laterale

L2 = seconda lettura (punta + laterale)

alla stessa quota di qc

Lt = terza lettura (totale)

F = rapporto Begemann (qc / fs)

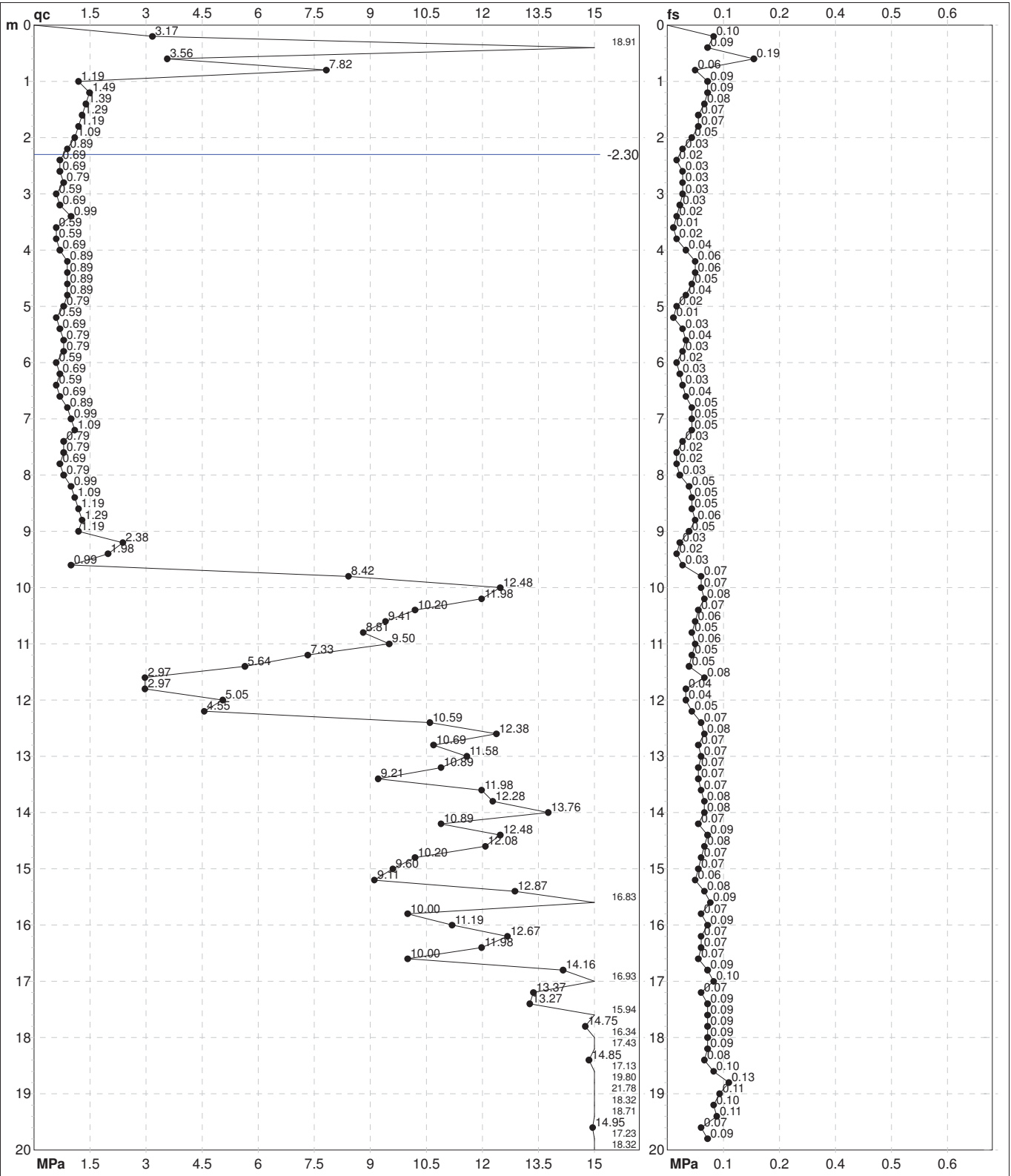
CT = 10.00 costante di trasformazione

Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

CPT	1
Riferimento	035-2022

Committente	Studio tecnico	U.M.:	MPa	Data esec.	08/02/2022
Cantiere	Studio del terreno di fondazione	Scala:	1:100	Quota inizio:	
Località	Luzzara (RE)	Pagina	1	Falda	-2.30 m da p.c.
		Elaborato			



		Penetrometro: SP200	preforo m
		Responsabile:	Corr.astine: kN/ml
		Assistente:	Cod. tip:

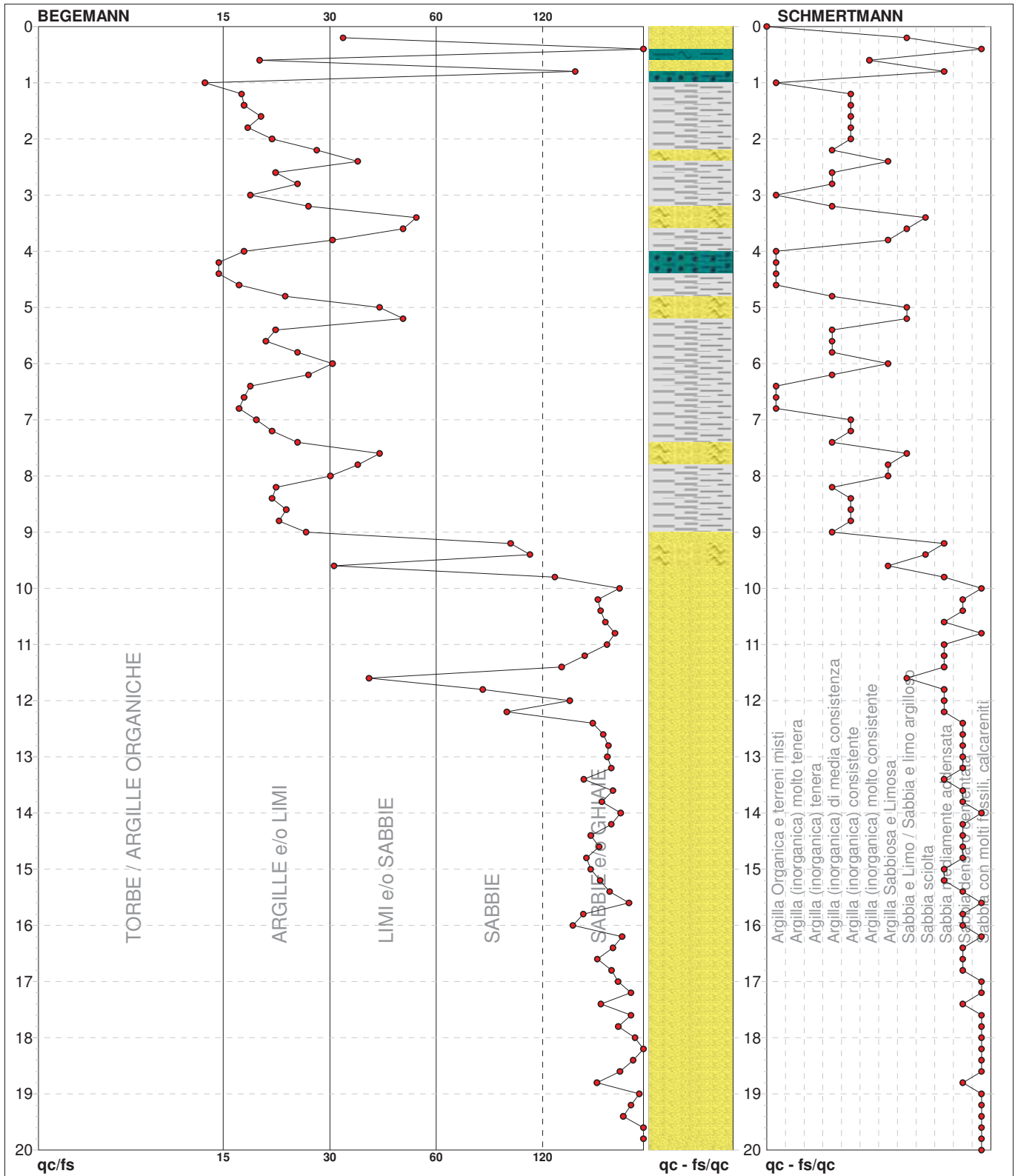
PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT	1
Riferimento	035-2022

Committente **Studio tecnico**
Cantiere **Studio del terreno di fondazione**
Località **Luzzara (RE)**

U.M.: **MPa** Data esec. **08/02/2022**
Scala: **1:100**
Pagina **1**
Elaborato **Falda -2.30 m da p.c.**



TORBE / ARGILLE OR	3 punti, 3.00%	Argilla Organica e terreni misti	9 punti, 9.00%	Argilla Sabbiosa e Limosa	6 punti, 6.00%
ARGILLE e/o LIMI	32 punti, 32.00%	Argilla (inorganica) di media consistenza	12 punti, 12.00%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo argilloso	6 punti, 6.00%
LIMI e/o SABBIE	10 punti, 10.00%	Argilla (inorganica) consistente	10 punti, 10.00%	Sabbia sciolta	2 punti, 2.00%
SABBIE	5 punti, 5.00%	Argilla (inorganica) molto consistente	1 punti, 1.00%	Sabbia mediamente addensata	13 punti, 13.00%
SABBIE e/o GHIAIE	49 punti, 49.00%			Sabbia densa o cementata	21 punti, 21.00%
				Sabbia con molti fossili, calcareniti	19 punti, 19.00%

FON111

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

PARAMETRI GEOTECNICI

CPT**1**

Riferimento

035-2022

Committente **Studio tecnico**
 Cantiere **Studio del terreno di fondazione**
 Località **Luzzara (RE)**

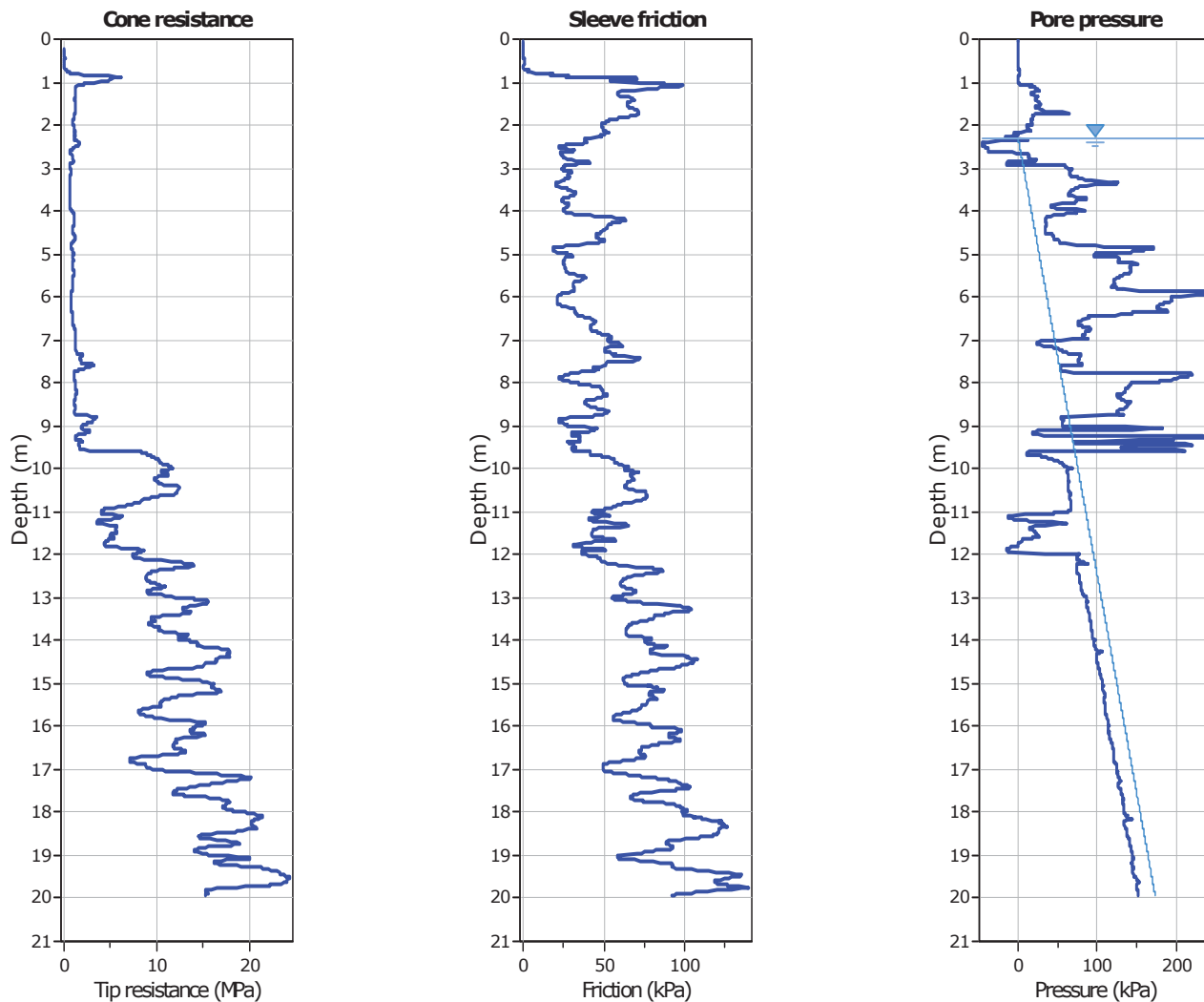
U.M.: **MPa** Data esec. **08/02/2022**
 Pagina **1**
 Elaborato **Falda -2.30 m da p.c.**

H m	qc U.M.	qc/fs	zone	γ' t/m ³	σ'_{vo} kPa	Vs m/s	NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE											
							Cu kPa	OCR %	Eu50 U.M.	Eu25 U.M.	Mo U.M.	Dr %	Sc (°)	Ca (°)	Ko (°)	DB (°)	DM (°)	Me (°)	E'50 U.M.	E'25 U.M.	Mo U.M.	FL1	FL2
0.20	3.14	32.00	3	1.85	3.6	204	--	--	--	--	--	100	43	43	41	38	45	29	5.2	7.8	9.4	--	--
0.40	18.72	219.54	3	1.85	7.3	401	--	--	--	--	--	100	43	49	47	43	45	37	31.2	46.8	56.2	--	--
0.60	3.53	19.25	4	1.85	10.9	214	117.6	99.9	20.0	30.0	10.6	91	42	38	36	33	42	30	5.9	8.8	10.6	--	--
0.80	7.74	131.67	3	1.85	14.5	287	--	--	--	--	--	100	43	41	38	36	44	33	12.9	19.4	23.2	--	--
1.00	1.18	13.79	2	1.85	18.1	141	56.0	25.7	9.5	14.3	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.20	1.47	17.24	2	1.85	21.8	154	65.3	24.8	11.1	16.7	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.40	1.37	17.50	2	1.85	25.4	150	62.4	19.3	10.6	15.9	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.60	1.27	19.40	2	1.85	29.0	145	59.3	15.3	10.1	15.1	4.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.80	1.18	17.91	2	1.85	32.6	141	56.0	12.3	9.5	14.3	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.00	1.08	20.75	2	1.85	36.3	137	52.6	10.0	8.9	13.4	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.20	0.88	27.27	2	1.85	39.9	127	44.1	7.1	9.9	14.9	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.40	0.69	35.00	4	0.83	41.5	115	34.3	4.9	11.5	17.2	3.2	2	31	24	20	19	27	26	1.1	1.7	2.1	--	--
2.60	0.69	21.21	2	0.84	43.2	115	34.3	4.7	12.0	18.0	3.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.80	0.78	24.24	2	0.86	44.8	121	39.2	5.3	12.2	18.4	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.00	0.59	18.18	2	0.82	46.5	109	29.4	3.5	13.1	19.7	2.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.20	0.69	25.93	2	0.84	48.1	115	34.3	4.1	13.4	20.1	3.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.40	0.98	50.00	4	0.86	49.8	132	49.0	6.2	13.1	19.6	3.9	9	32	25	21	20	28	26	1.6	2.5	2.9	--	--
3.60	0.59	46.15	4	0.82	51.4	109	29.4	3.1	14.2	21.3	2.8	--	31	22	18	18	25	26	1.0	1.5	1.8	--	--
3.80	0.59	30.00	4	0.82	53.0	109	29.4	3.0	14.5	21.7	2.8	--	31	22	18	17	25	26	1.0	1.5	1.8	--	--
4.00	0.69	17.50	4	0.84	54.6	115	34.3	3.5	15.4	23.1	3.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.20	0.88	15.00	2	0.88	56.4	127	44.1	4.6	15.7	23.5	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.40	0.88	15.00	2	0.88	58.1	127	44.1	4.4	16.2	24.3	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.60	0.88	16.98	2	0.88	59.8	127	44.1	4.3	16.7	25.1	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.80	0.88	22.50	2	0.88	61.5	127	44.1	4.1	17.2	25.8	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.00	0.78	40.00	4	0.84	63.2	121	39.2	3.5	17.8	26.7	3.4	--	31	22	19	18	25	26	1.3	2.0	2.4	--	--
5.20	0.59	46.15	4	0.82	64.8	109	29.4	2.3	15.9	23.8	2.8	--	31	21	17	16	25	26	1.0	1.5	1.8	--	--
5.40	0.69	21.21	2	0.84	66.4	115	34.3	2.7	17.6	26.4	3.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.60	0.78	20.00	2	0.86	68.1	121	39.2	3.1	18.9	28.3	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.80	0.78	24.24	2	0.86	69.8	121	39.2	3.1	19.2	28.8	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.00	0.59	30.00	4	0.82	71.4	109	29.4	2.1	16.4	24.5	2.8	--	31	20	17	16	25	26	1.0	1.5	1.8	--	--
6.20	0.69	25.93	2	0.84	73.0	115	34.3	2.4	18.3	27.5	3.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.40	0.59	18.18	2	0.82	74.6	109	29.4	2.0	16.5	24.8	2.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.60	0.69	17.50	2	0.84	76.3	115	34.3	2.3	18.6	27.9	3.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.80	0.88	16.98	2	0.88	78.0	127	44.1	3.1	21.5	32.2	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.00	0.98	18.87	2	0.90	79.8	132	49.0	3.4	22.4	33.7	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.20	1.08	20.75	2	0.91	81.6	137	52.6	3.6	23.0	34.5	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.40	0.78	24.24	2	0.86	83.3	121	39.2	2.4	20.9	31.4	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.60	0.78	40.00	4	0.84	84.9	121	39.2	2.4	21.1	31.6	3.4	--	31	21	17	16	25	26	1.3	2.0	2.4	--	--
7.80	0.69	35.00	4	0.83	86.5	115	34.3	2.0	19.3	28.9	3.2	--	31	20	17	16	25	26	1.1	1.7	2.1	--	--
8.00	0.78	29.63	2	0.86	88.2	121	39.2	2.3	21.3	32.0	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.20	0.98	21.28	2	0.90	90.0	132	49.0	2.9	24.4	36.6	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.40	1.08	20.75	2	0.91	91.8	137	52.6	3.1	25.4	38.1	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.60	1.18	22.64	2	0.92	93.6	141	56.0	3.3	26.2	39.3	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.80	1.27	21.67	2	0.93	95.4	145	59.3	3.5	26.9	40.3	4.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.00	1.18	25.53	2	0.92	97.2	141	56.0	3.2	26.9	40.4	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.20	2.35	88.89	3	0.86	98.9	183	--	--	--	--	--	23	34	26	22	21	29	28	3.9	5.9	7.1	--	--
9.40	1.96	100.00	4	0.93	100.7	171	78.4	4.6	28.0	42.1	5.9	16	33	25	21	20	28	27	3.3	4.9	5.9	--	--
9.60	0.98	30.30	4	0.86	102.4	132	49.0	2.5	26.0	39.0	3.9	--	31	21	18	17	25	26	1.6	2.5	2.9	--	--
9.80	8.33	116.44	3	0.98	104.3	295	--	--	--	--	--	65	39	32	29	27	36	33	13.9	20.8	25.0	--	--
10.00	12.35	172.60	3	1.04	106.3	342	--	--	--	--	--	78	41	33	31	29	38	35	20.6	30.9	37.0	--	--
10.20	11.86	151.25	3	1.03	108.3	337	--	--	--	--	--	76	40	33	30	28	37	35	19.8	29.6	35.6	--	--
10.40	10.09	153.73	3	1.00	110.3	317	--	--	--	--	--	70	40	32	29	27	36	34	16.8	25.2	30.3	--	--
10.60	9.31	158.33	3	0.99	112.3	308	--	--	--	--	--	67	39	32	29	27	36	34	15.5	23.3	27.9	--	--
10.80	8.72	167.92	3	0.98	114.2	300	--	--	--	--	--	64	39	31	28	27	35	33	14.5	21.8	26.2	--	--
11.00	9.41	160.00	3	0.99	116.1	309	--	--	--	--	--	66	39	32	29	27	36	34	15.7	23.5	28.2	--	--
11.20	7.25	139.62	3	0.96	118.0	280	--	--	--	--	--	57	38	30	27	26	34	32	12.1	18.1	21.8	--	--
11.40	5.59	121.28	3	0.93	119.8	254	--	--	--	--	--	48	37	29	26	24	33	31	9.3	14.0	16.8	--	--
11.60	2.94	37.50	3	0.88	121.5	199	--	--	--	--	--	25	34	26	22	21	29	29	4.9	7.4	8.8	--	--
11.80	2.94	75.00	3	0.88	123.3	199	--	--	--	--	--	25	34	26	22	21	29	29	4.9	7.4	8.8	--	--
12.00	5.00	127.50	3	0.92	125.1	243	--	--	--	--	--	43	36	28	25	23	32	31	8.3	12.5	15.0	--	--
12.20	4.51	86.79	3	0.91	126.8	234	--	--	--	--	--	39	36	28	24	23	31	31	7.5	11.3	13.5	--	--
12.40	10.49	146.58	3	1.01	128.8	322	--	--	--	--	--	68	39	32	29	27	36	34	17.5	26.2	31.5	--	--
12.60	12.25	156.25	3	1.04	130.8	341	--	--	--	--	--	73	40	32	29	28	37	35	20.4	30.6	36.8	--	--
12.80	10.58	161.19	3	1.01	132.8	323	--	--	--	--	--	67	39	32	29	27	36	34	17.6	26.5	31.8	--	--
13.00	11.47	160.27	3	1.03	134.8	333	--	--	--	--	--	70	40	32	29	27	36	35	19.1	28.7	34.4	--	--
13.20	10.78	164.18	3	1.02	136																		

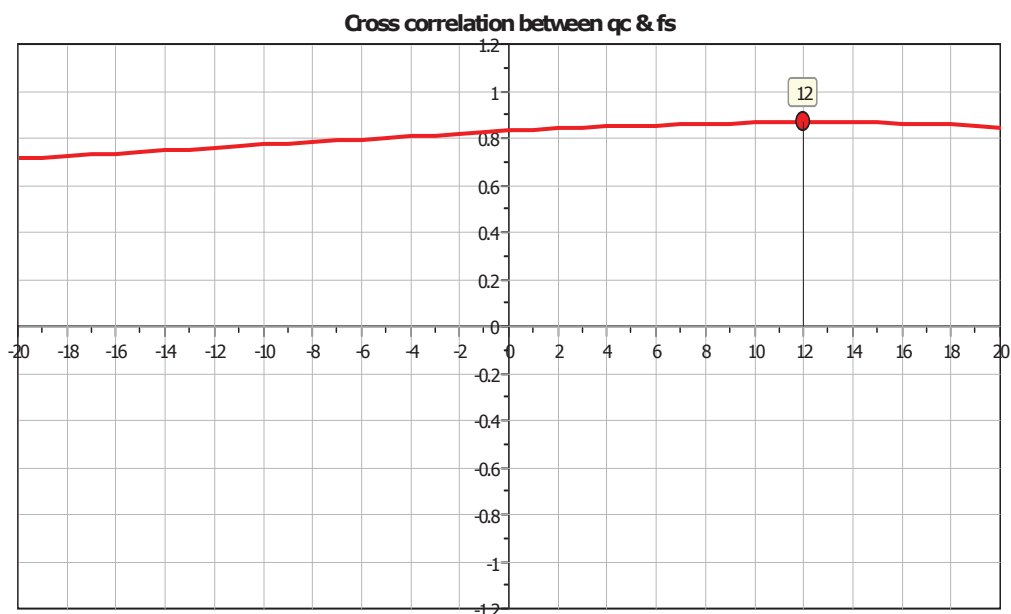
GEO GROUP s.r.l.

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

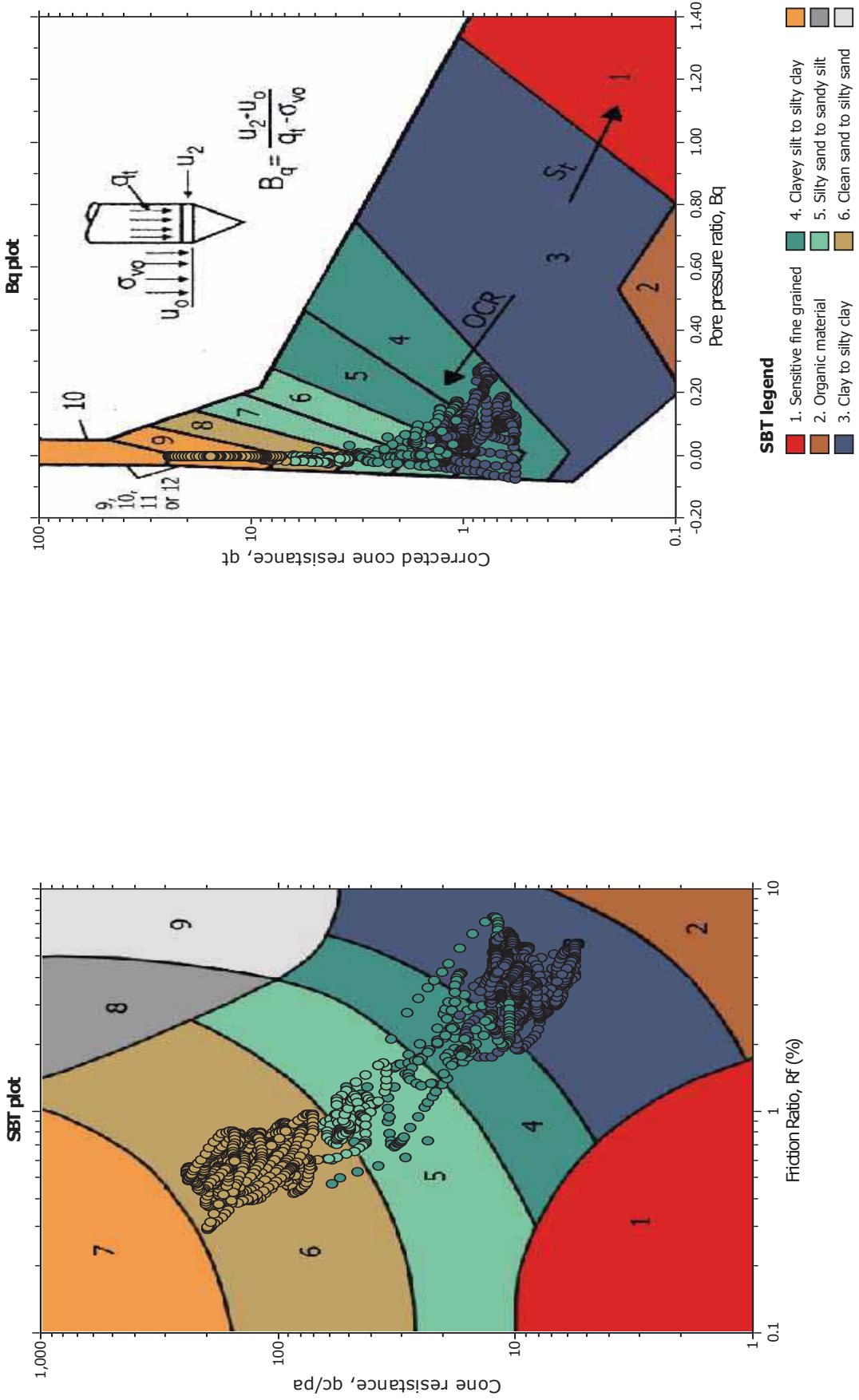
Prove penetrometriche statiche CPTU



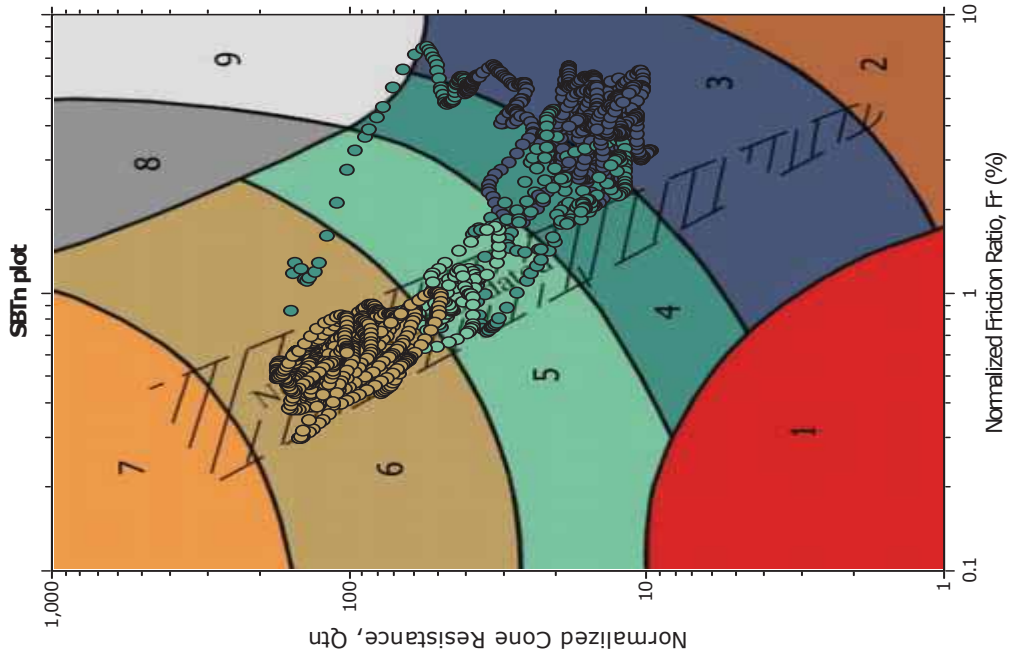
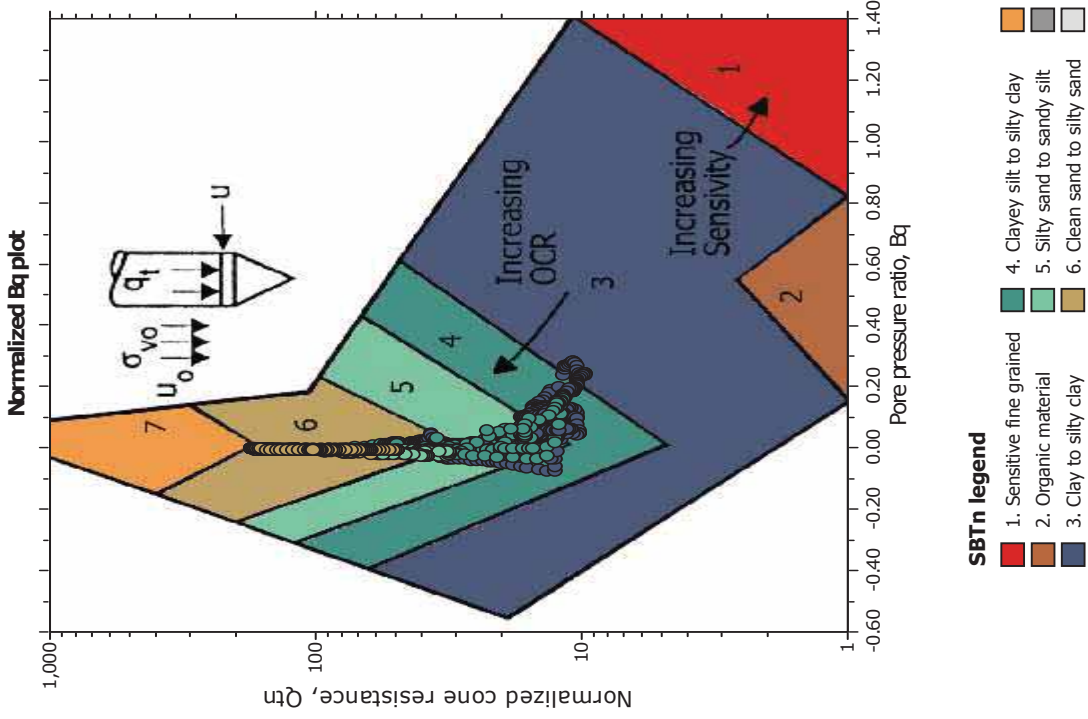
The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw q_c and f_s values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).



SBT - Bq plots



SBT - Bq plots (normalized)

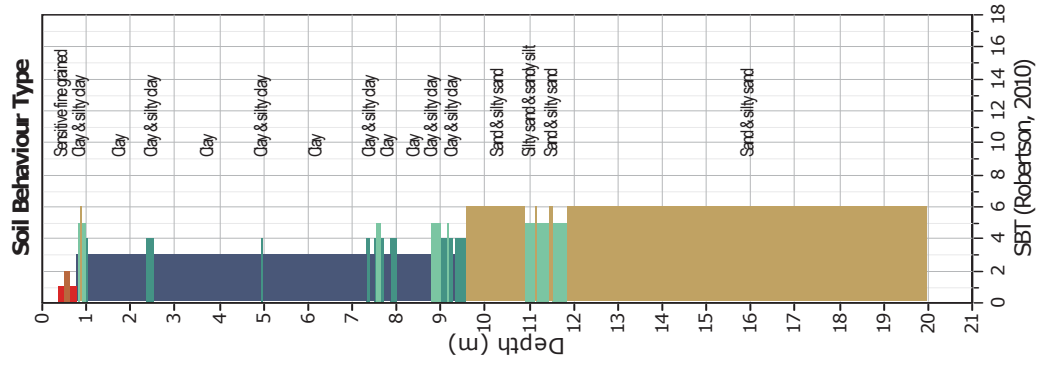
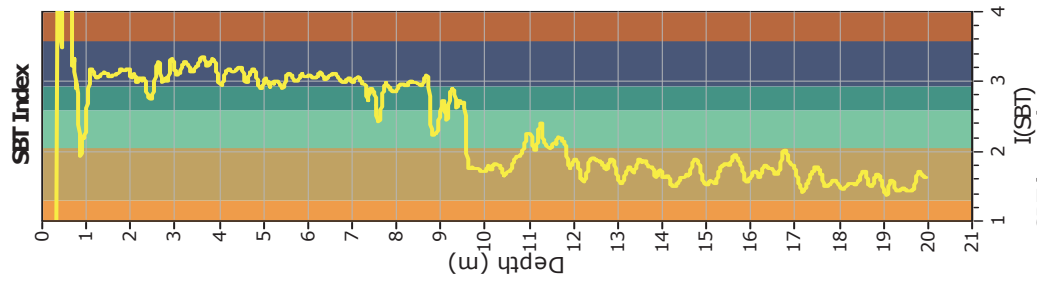
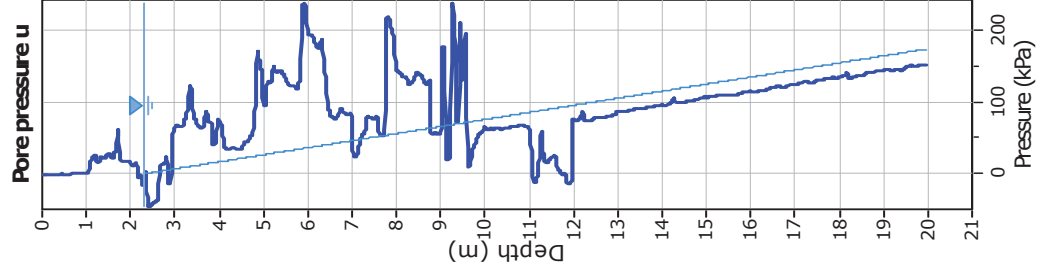
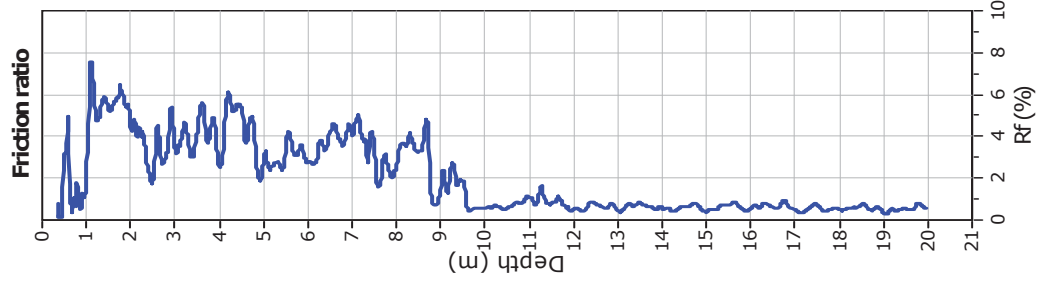
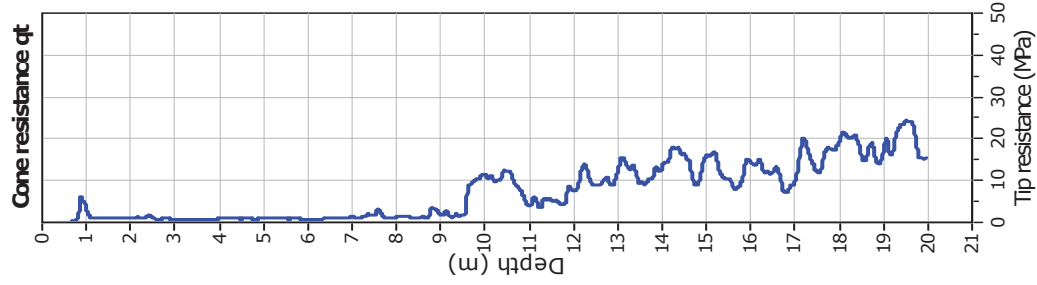




Geo Group S.r.l.
 v. per Modena, 12- Casteinuovo Rangone (MO)
 059 3967169
 info@geogroupmodena.it

Project: Studio del terreno di fondazione
Location: Luzzara (RE)

CPT: CPTU1
 Total depth: 19.95 m, Date: 08/02/2022



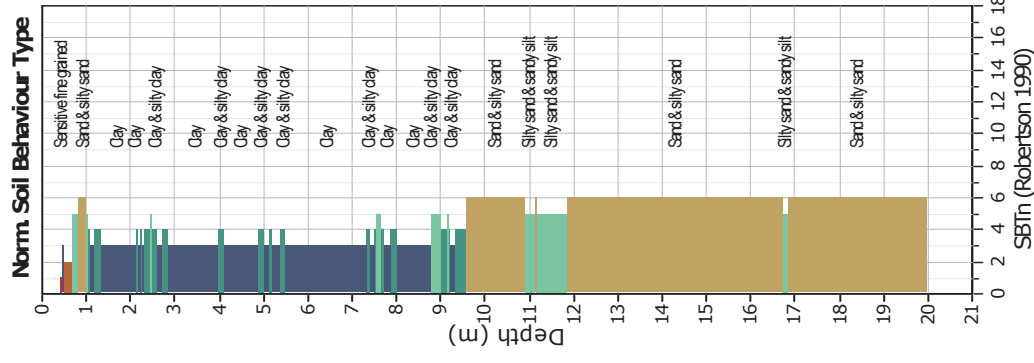
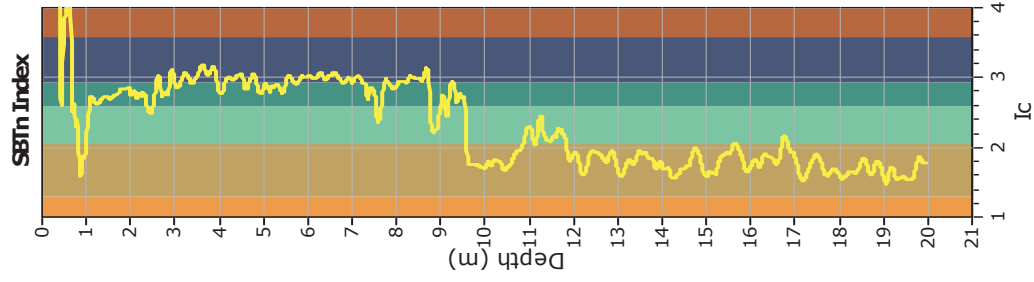
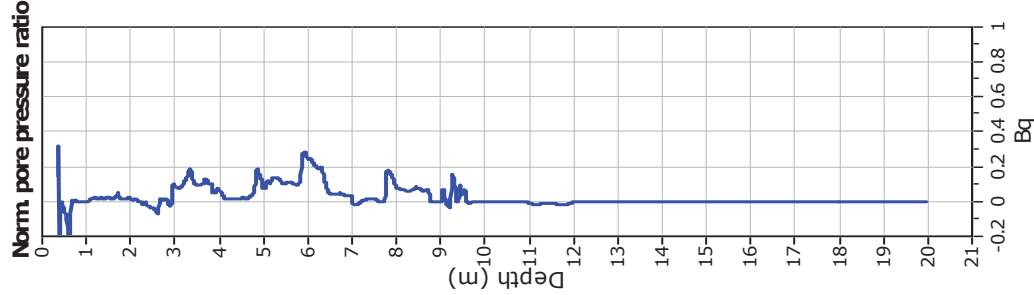
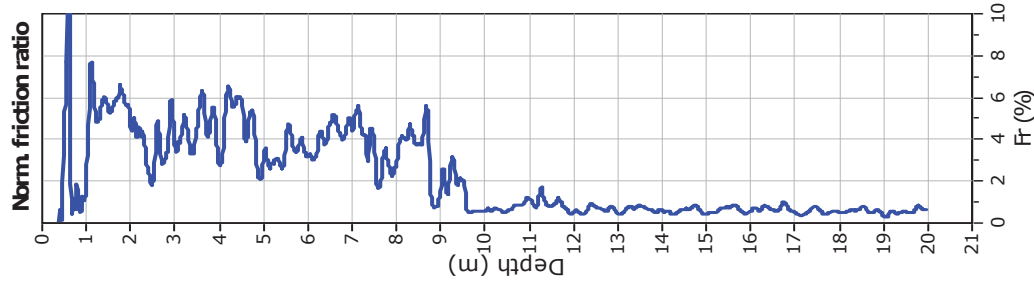
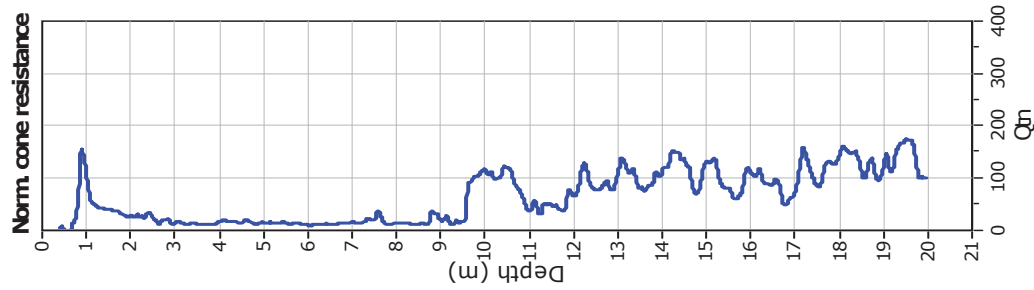
- SBT legend**
- 1. Sensitive fine grained
 - 2. Organic material
 - 3. Clay to silty clay
 - 4. Clayey silt to silty clay
 - 5. Silty sand to sandy silt
 - 6. Clean sand to silty sand
 - 7. Gravely sand to sand
 - 8. Very stiff sand to clayey sand
 - 9. Very stiff fine grained



Geo Group S.r.l.
 v. per Modena, 12- Casteinuovo Rangone (MO)
 059 3967169
 info@geogroupmodena.it

Project: Studio del terreno di fondazione
Location: Luzzara (RE)

CPT: CPTU1
 Total depth: 19.95 m, Date: 08/02/2022



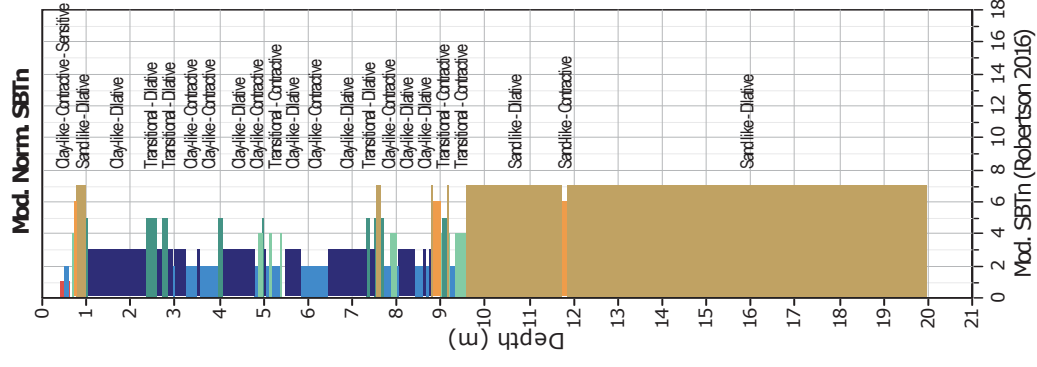
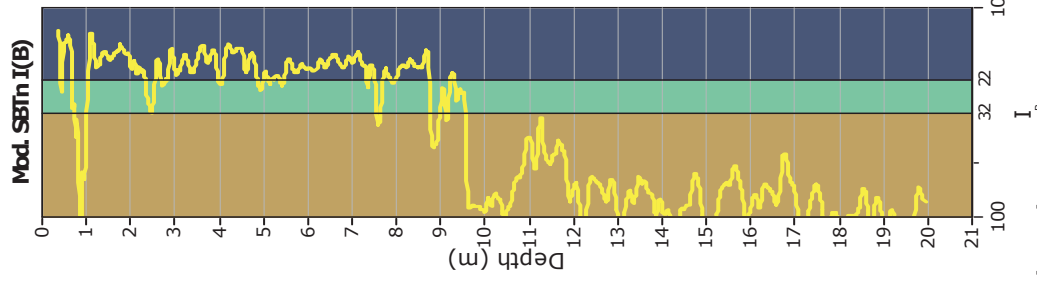
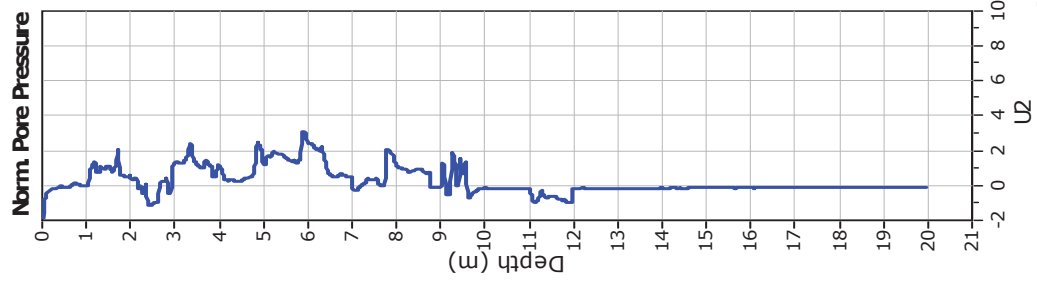
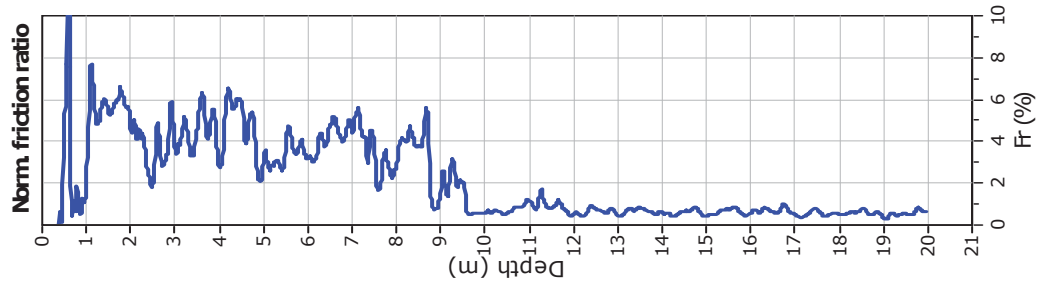
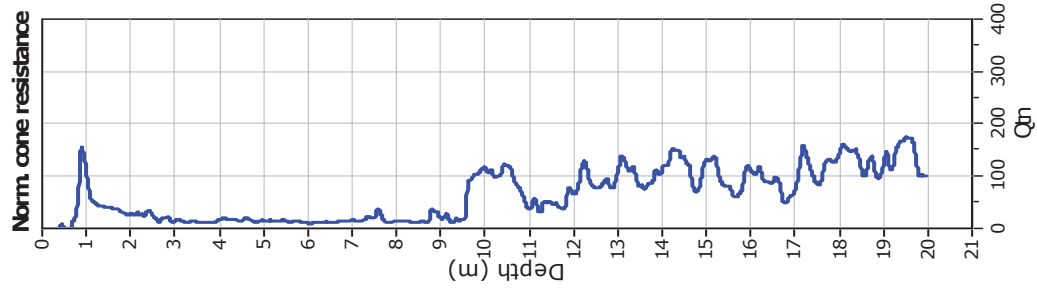
- SBTn legend**
- 1. Sensitive fine grained
 - 2. Organic material
 - 3. Clay to silty clay
 - 4. Clayey silt to silty clay
 - 5. Silty sand to sandy silt
 - 6. Clean sand to silty sand
 - 7. Gravely sand to sand
 - 8. Very stiff sand to clayey sand
 - 9. Very stiff fine grained



Geo Group S.r.l.
 v. per Modena, 12- Castelnuevo Rangone (MO)
 059 3967169
 info@geogroupmodena.it

Project: Studio del terreno di fondazione
Location: Luzzara (RE)

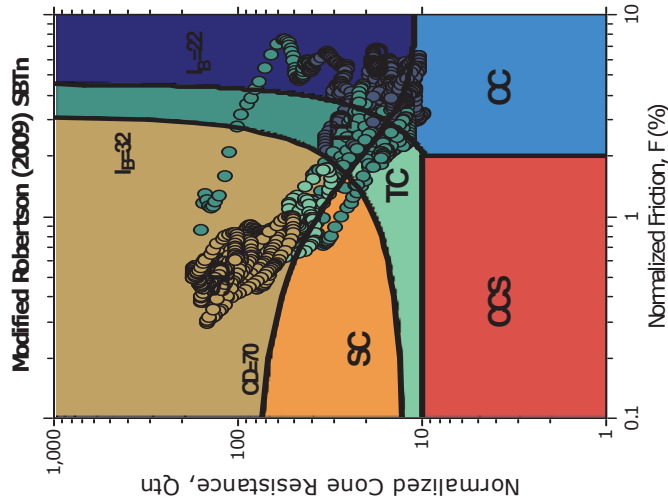
CPT: CPTU1
 Total depth: 19.95 m, Date: 08/02/2022



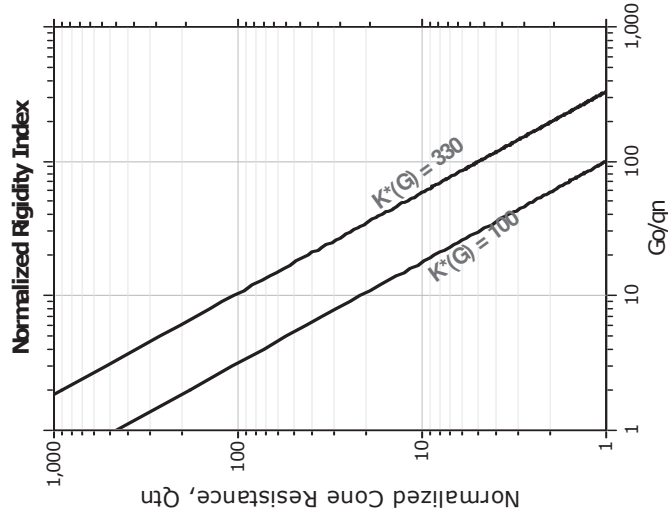
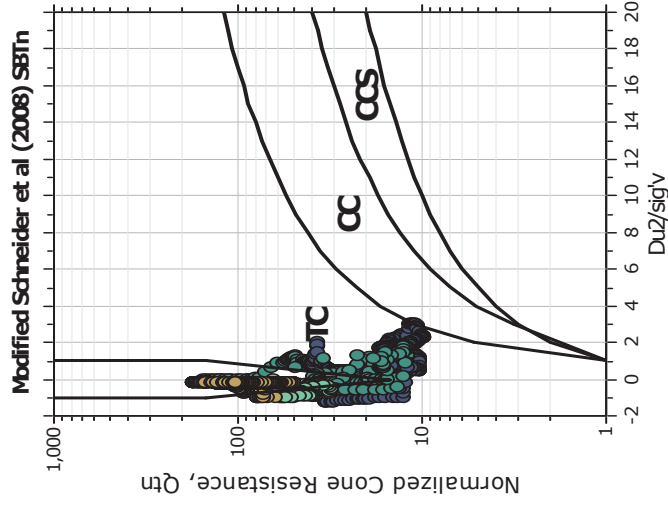
Mod. SBTn legend

- 1. CC: 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

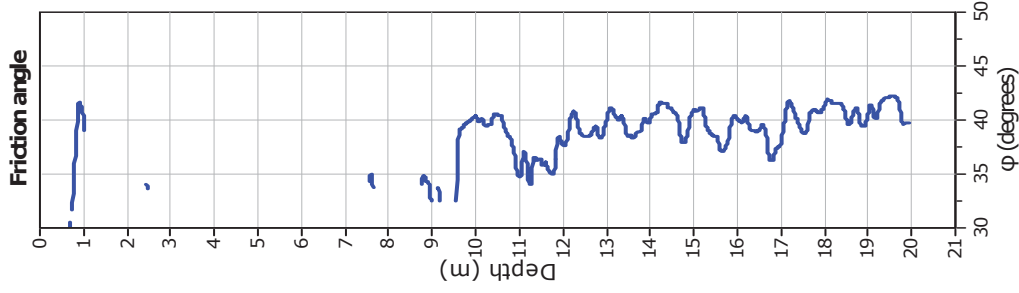
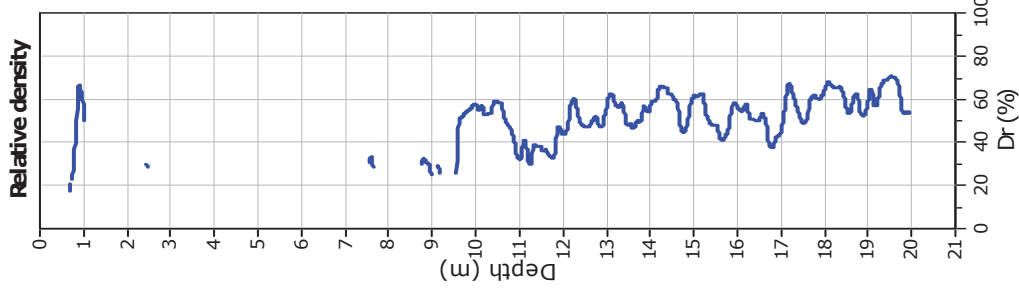
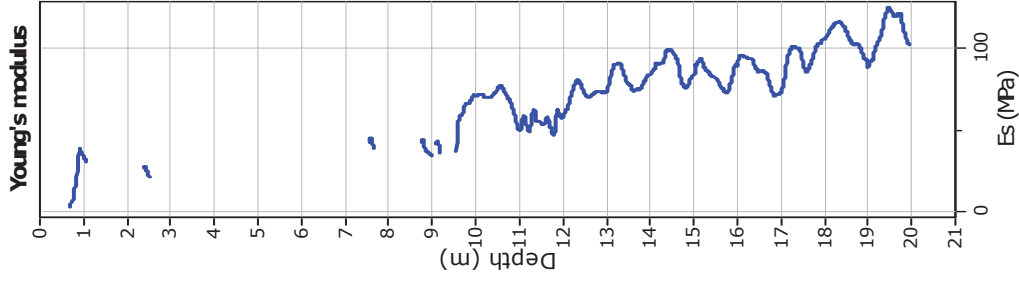
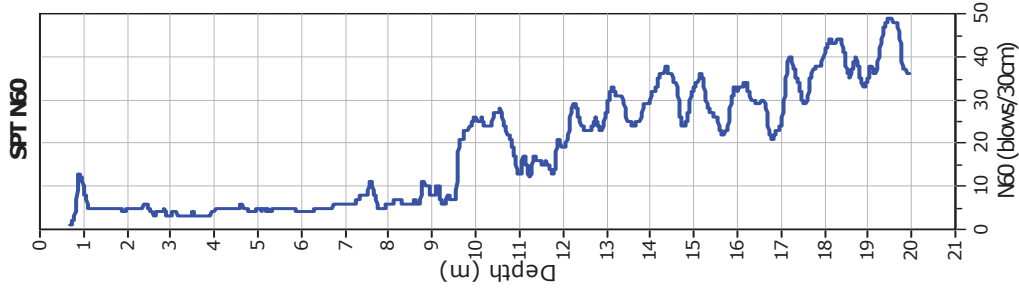
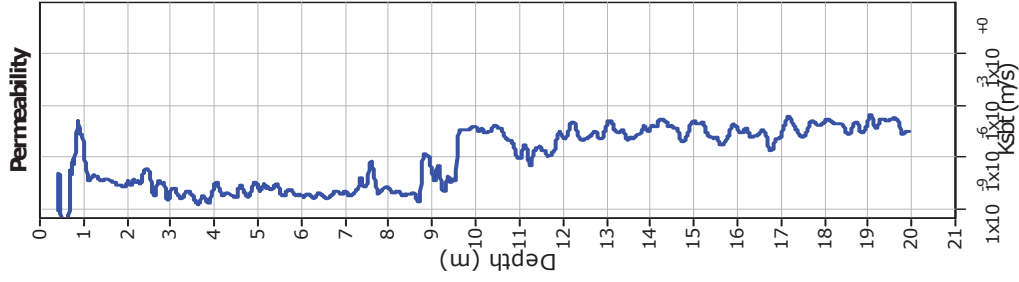
Updated SBTn plots



- 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



Geo Group S.r.l.

v. per Modena, 12- Castelnuevo Rangone (MO)

059 3967169

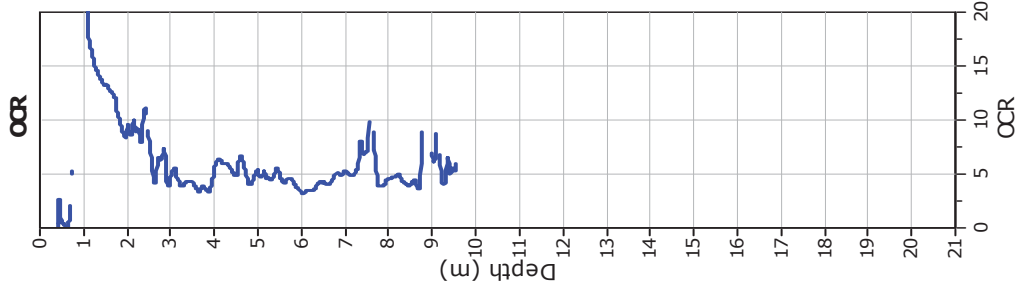
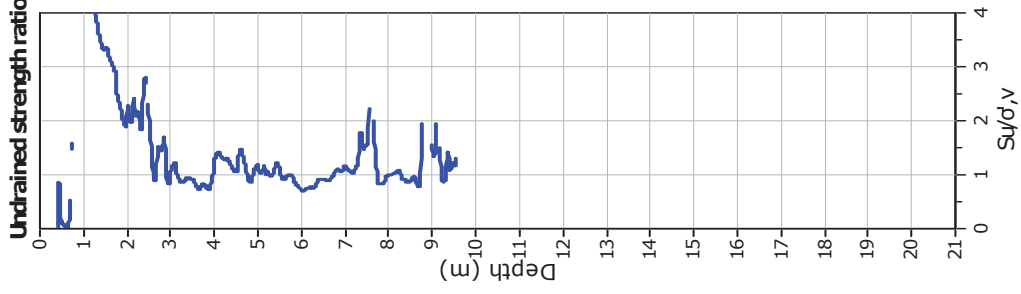
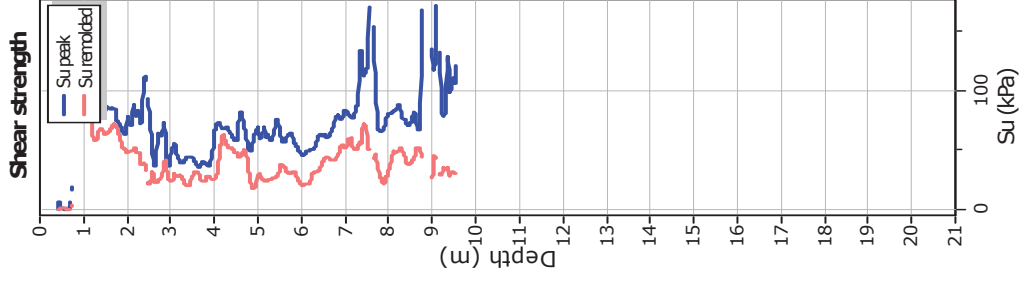
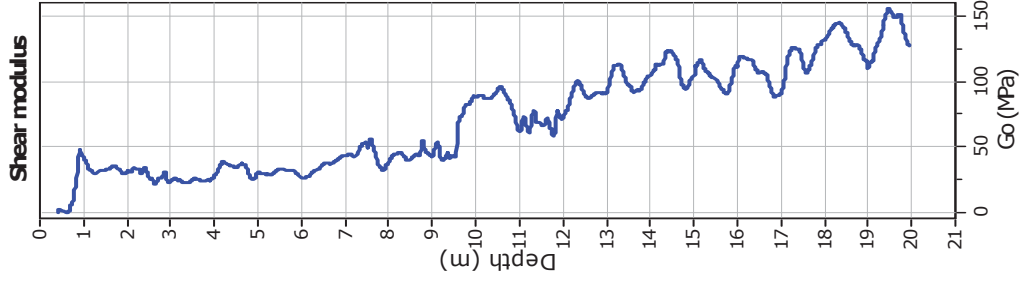
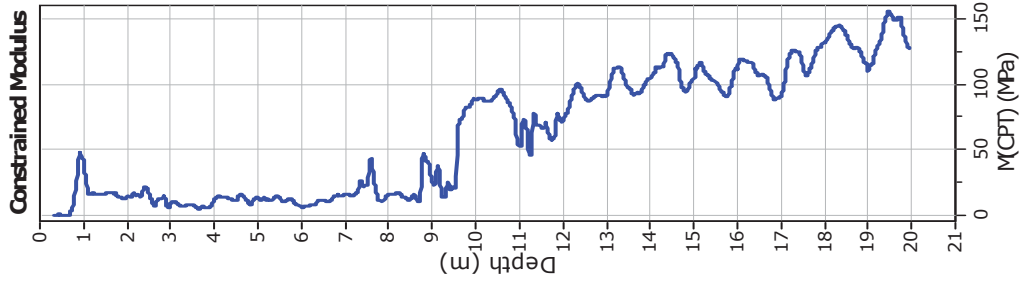
info@geogroupmodena.it

Project: Studio del terreno di fondazione

Location: Luzzara (RE)

CPT: CPTU1

Total depth: 19.95 m, Date: 08/02/2022



Calculation parameters

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

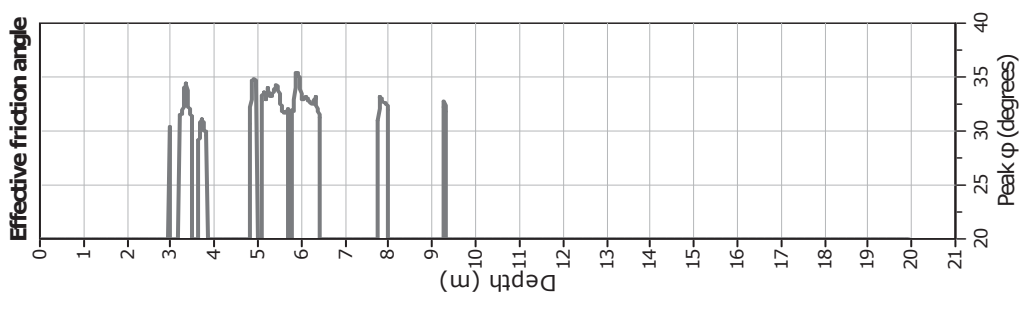
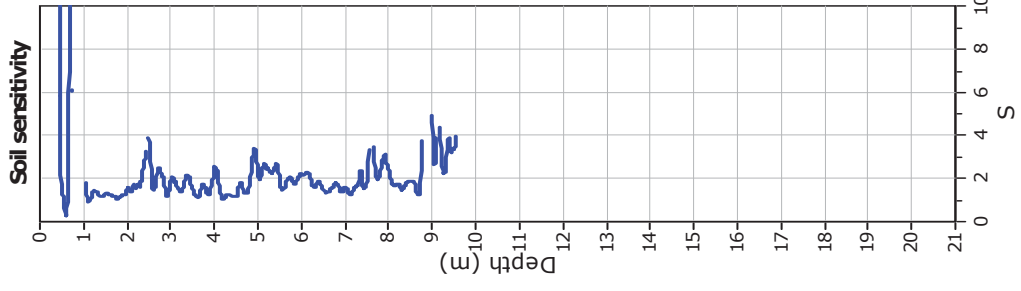
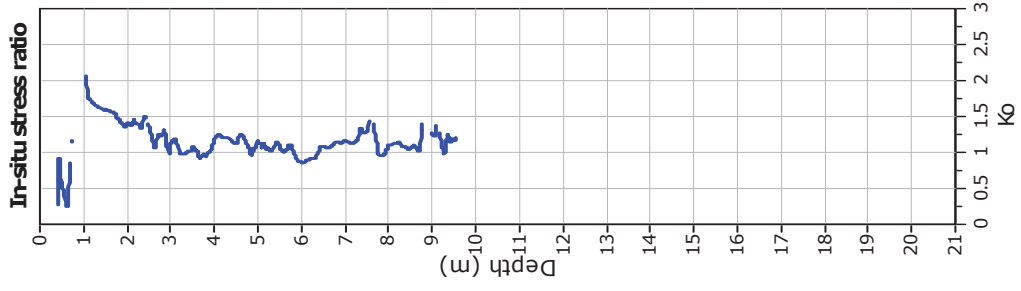
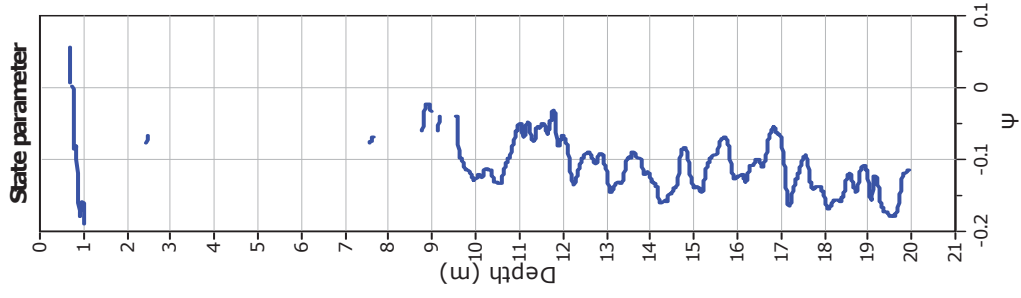
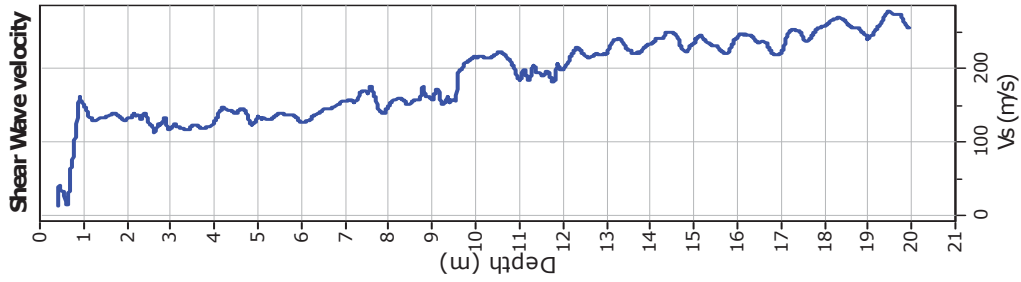
G_o : Based on variable α/β using I_c (Robertson, 2009)

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

OCR factor for clays, N_{kt} : 0.33

—●— User defined estimation data

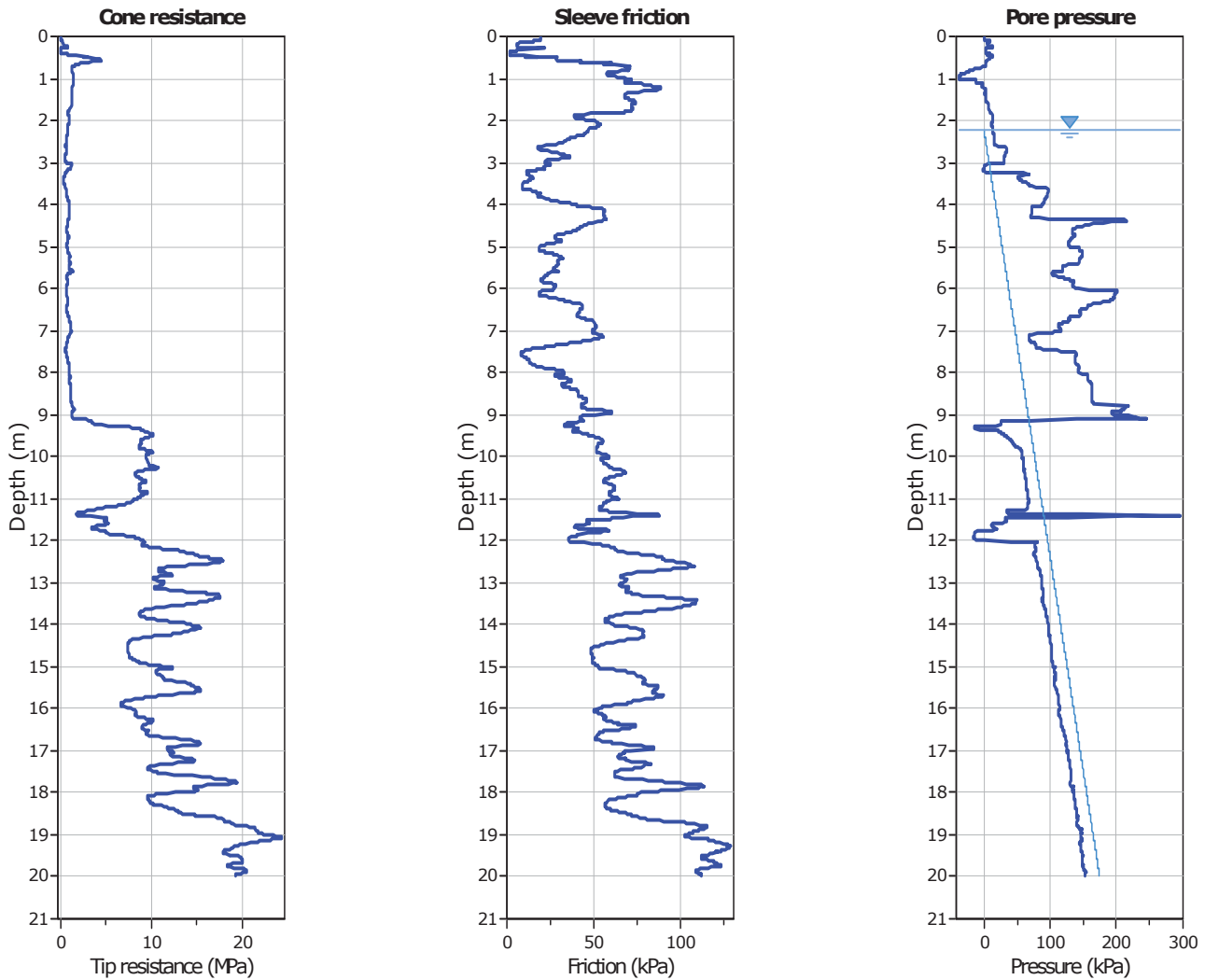
—●— Flat Dilatometer Test data



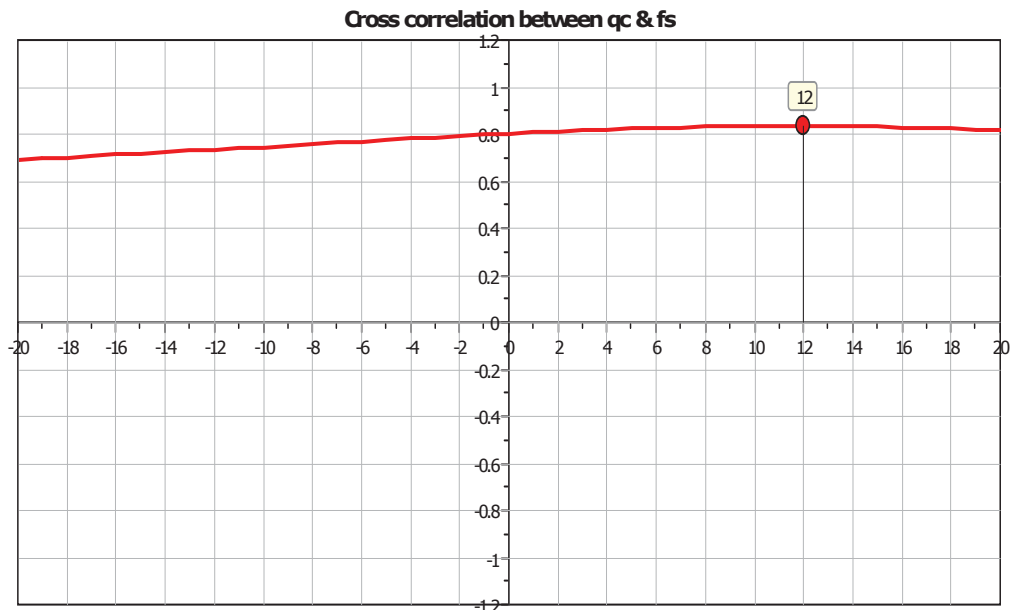
Calculation parameters

Soil Sensitivity factor, N_s : 7.00

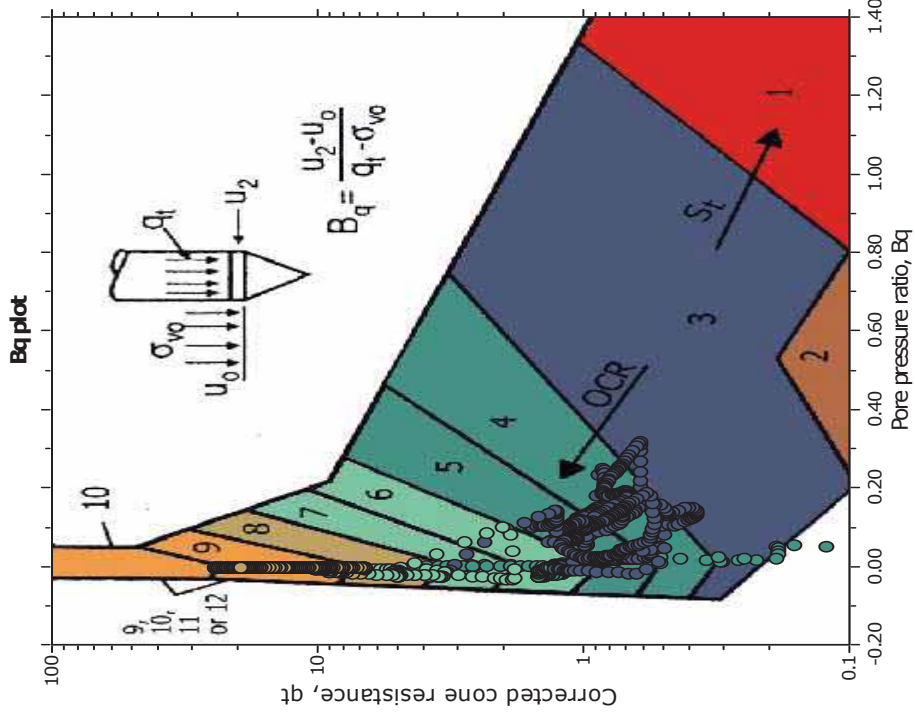
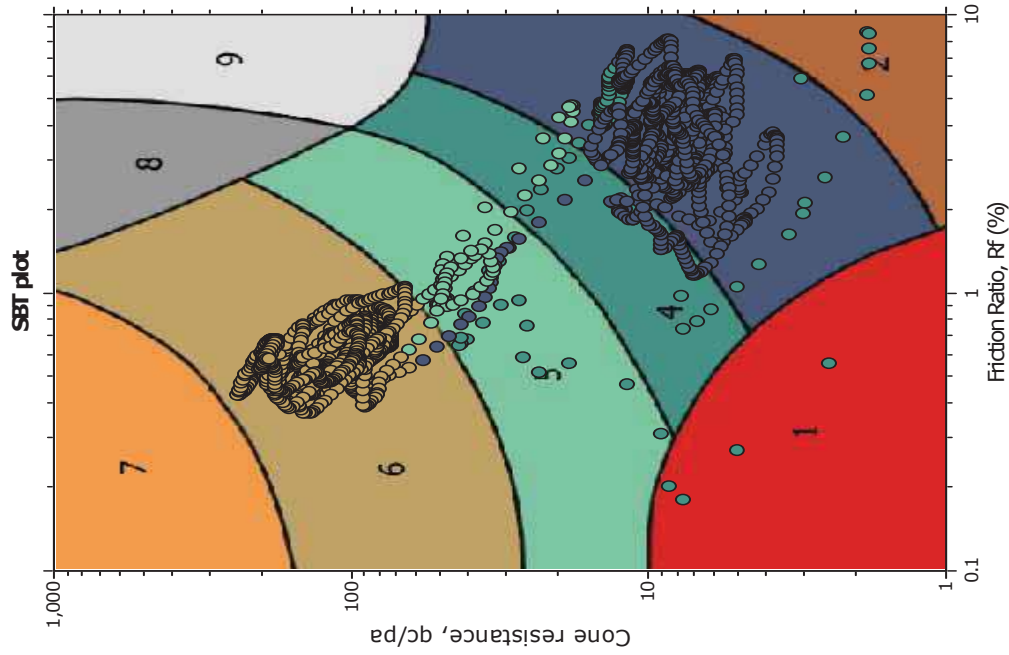
—●— User defined estimation data



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



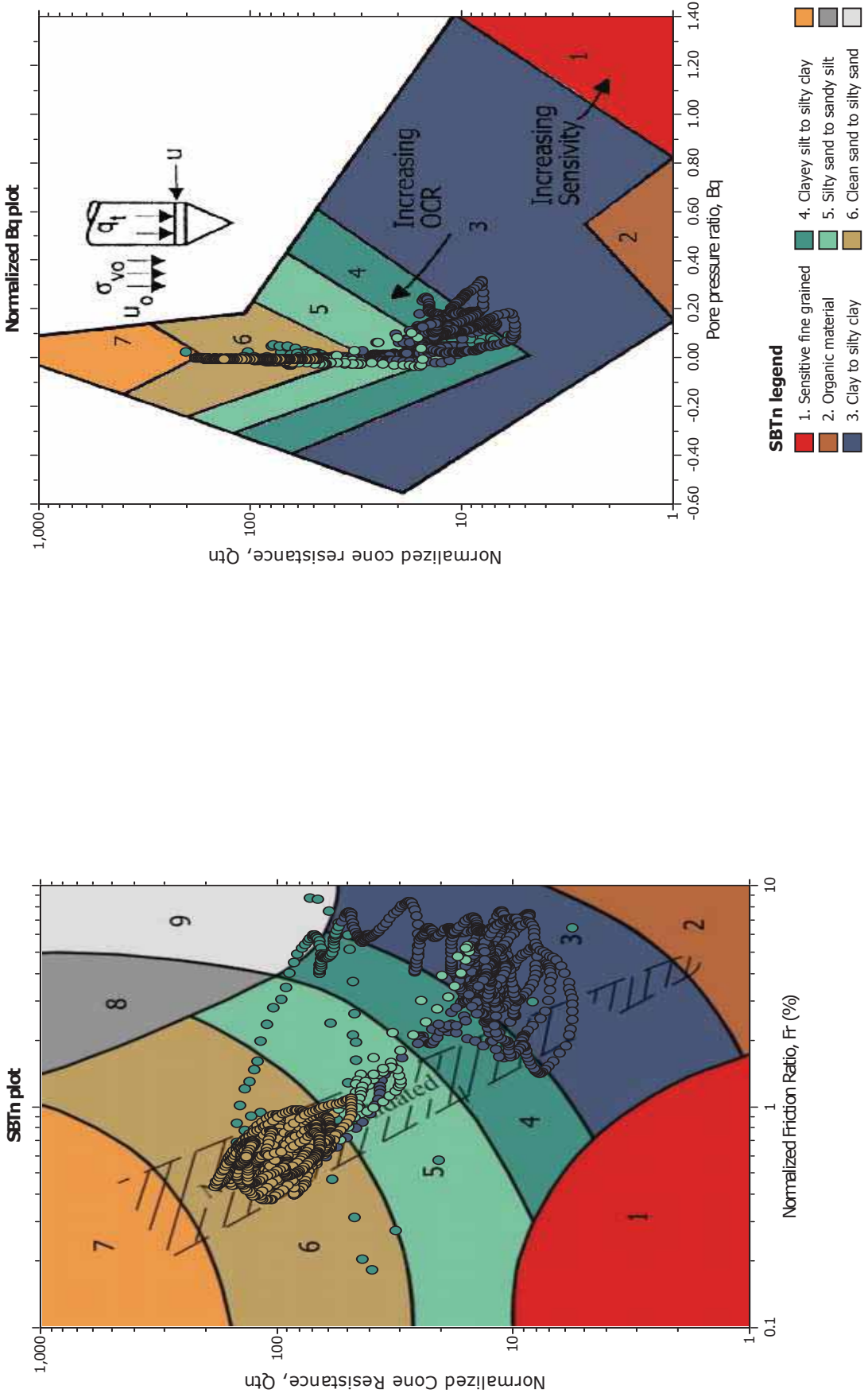
SBT - Bq plots

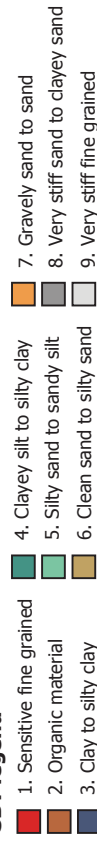
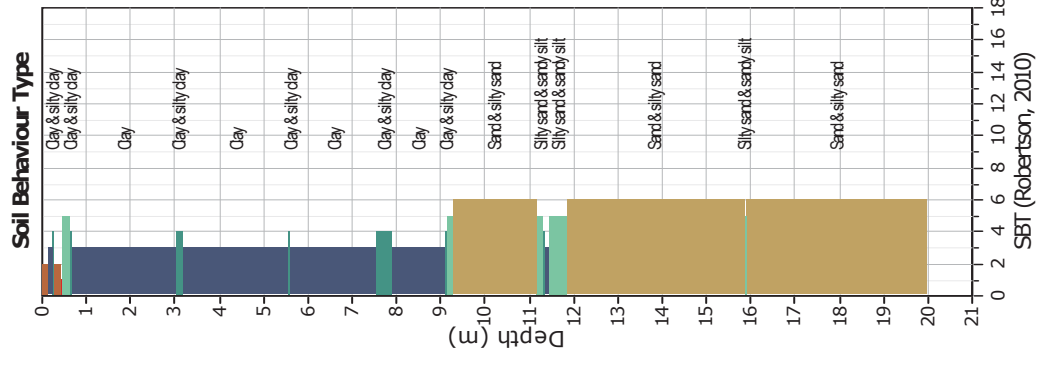
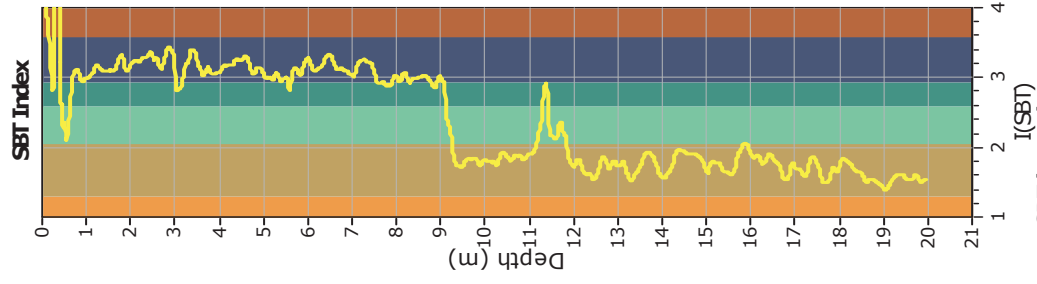
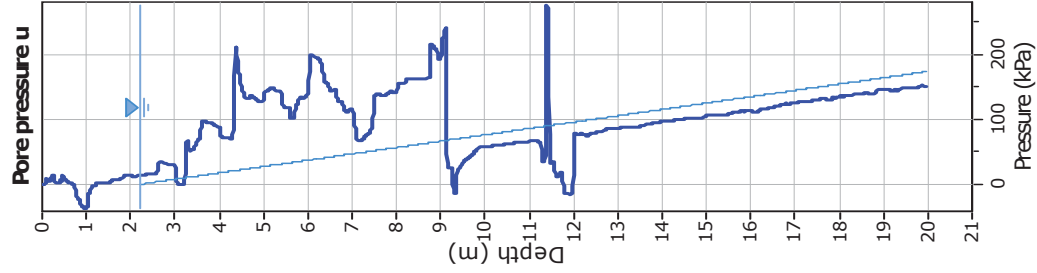
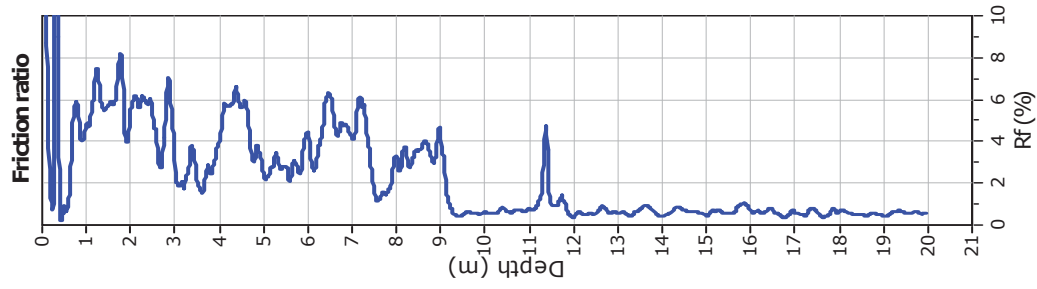
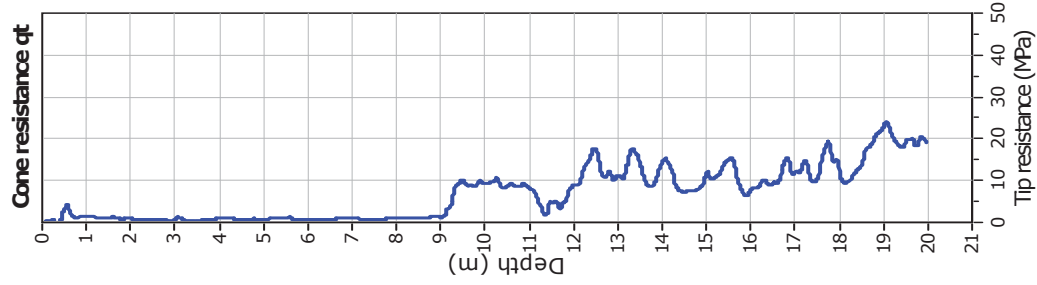


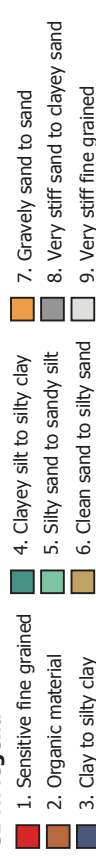
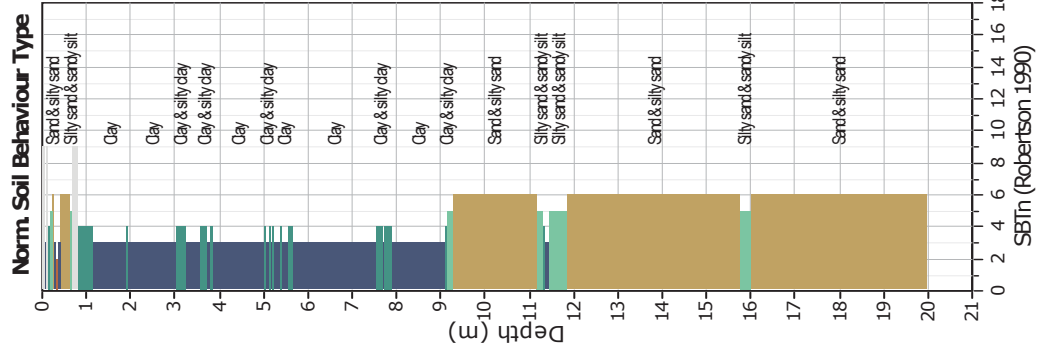
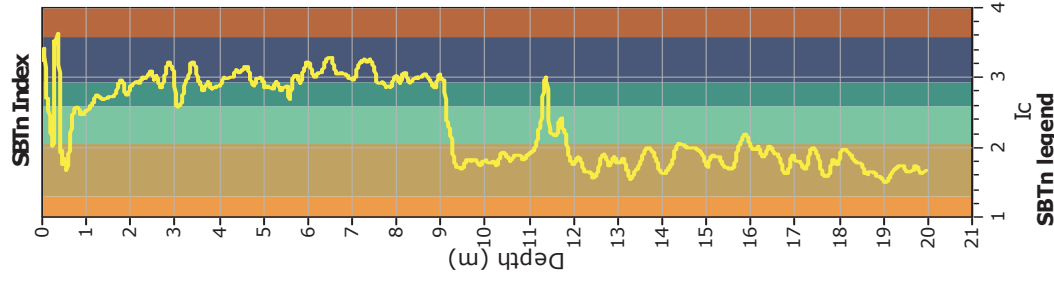
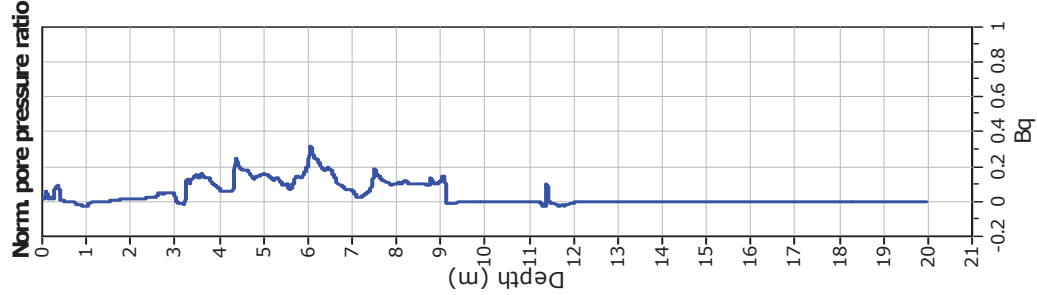
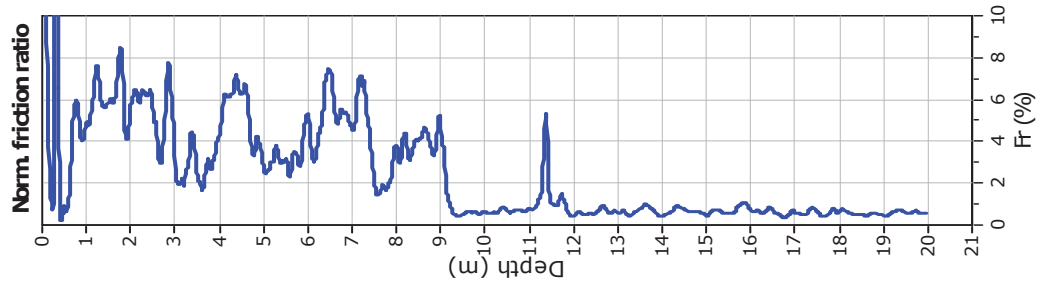
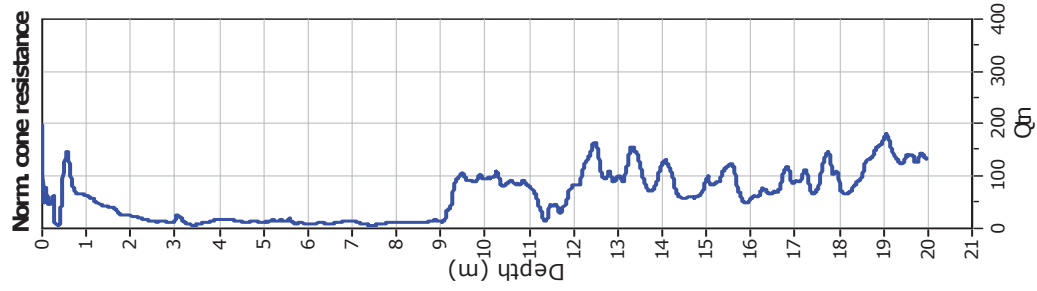
SBT legend

- 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)





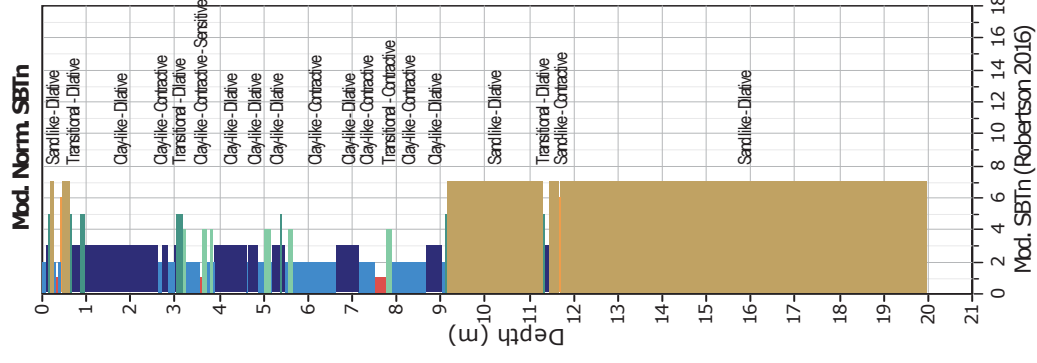
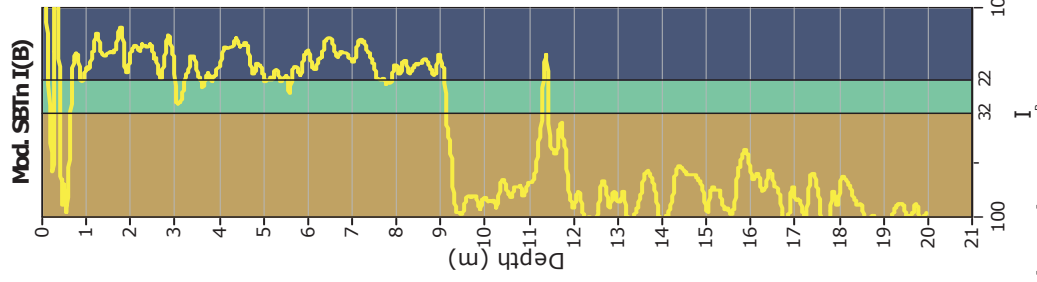
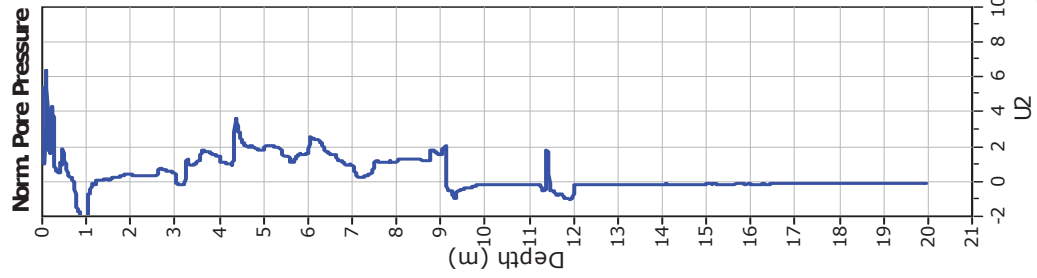
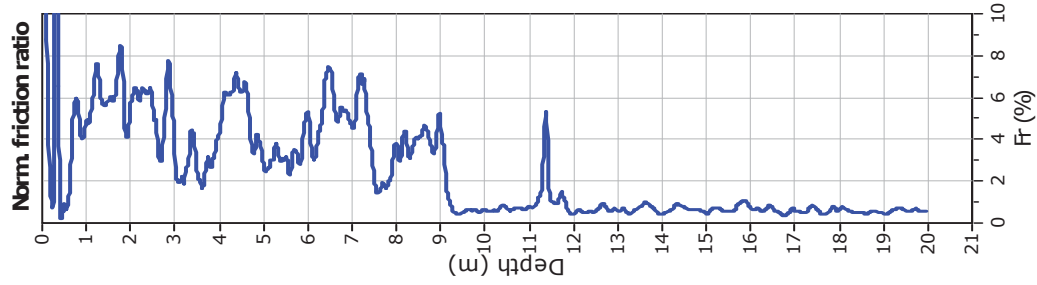
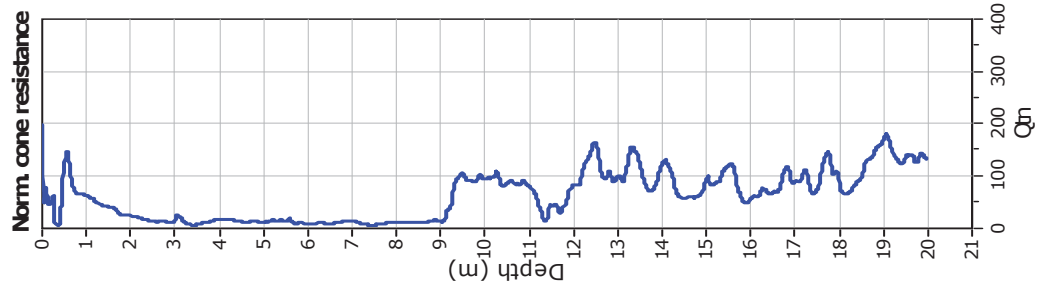




Geo Group S.r.l.
 v. per Modena, 12- Castelnuevo Rangone (MO)
 059 3967169
 info@geogroupmodena.it

Project: Studio del terreno di fondazione
Location: Luzzara (RE)

CPT: CPTU2
 Total depth: 19.96 m, Date: 08/02/2022



Mod. SBTn legend

- 1. CC: 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



Geo Group S.r.l.

v. per Modena, 12- Castelnuevo Rangone (MO)

059 3967169

info@geogroupmodena.it

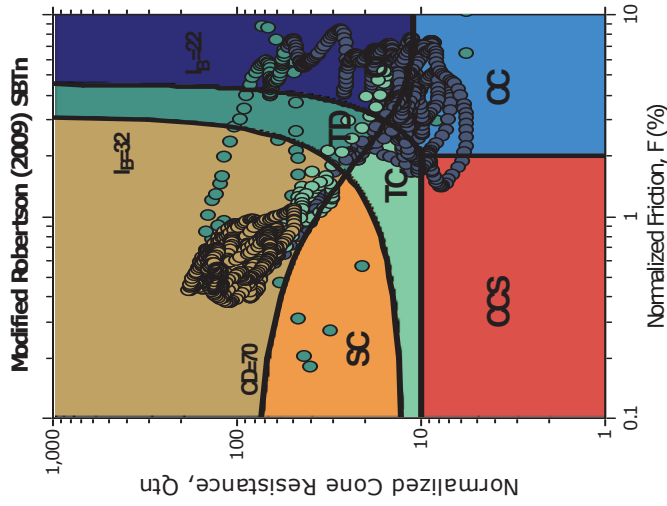
Project: Studio del terreno di fondazione

Location: Luzzara (RE)

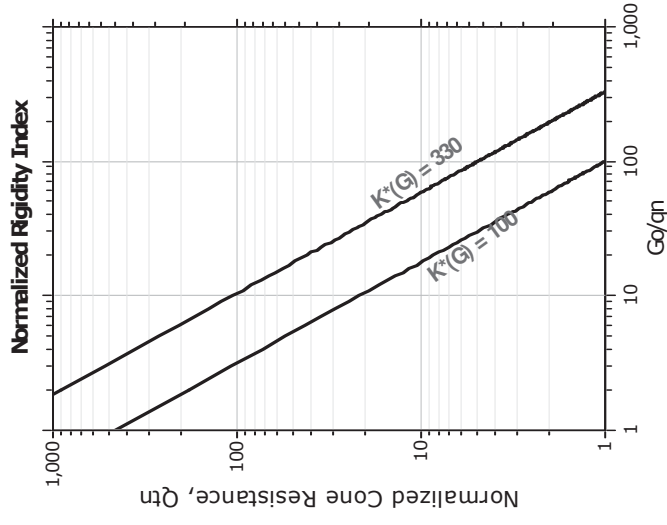
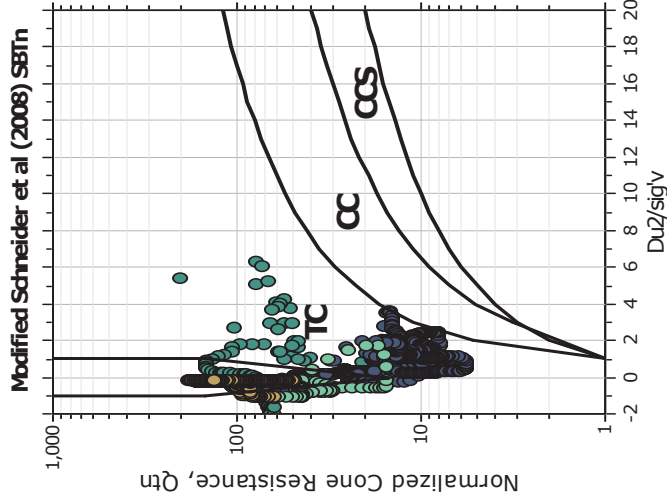
CPT: CPTU2

Total depth: 19.96 m, Date: 08/02/2022

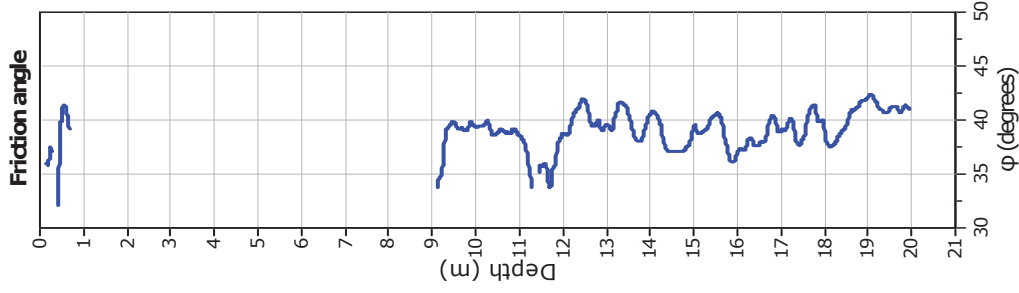
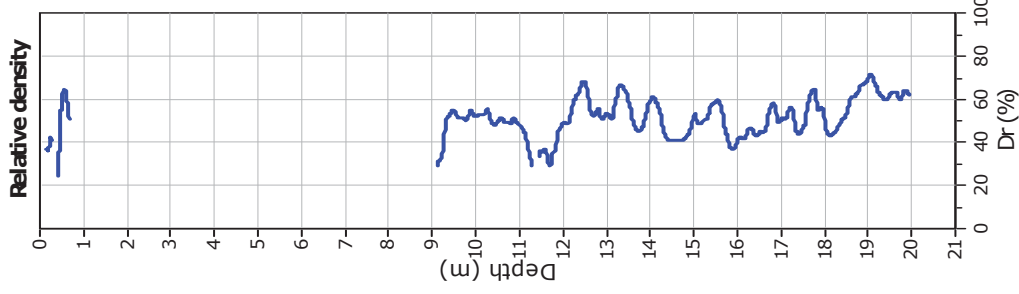
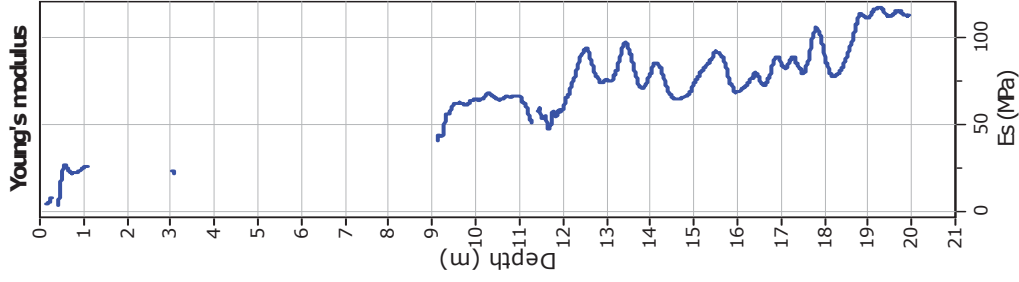
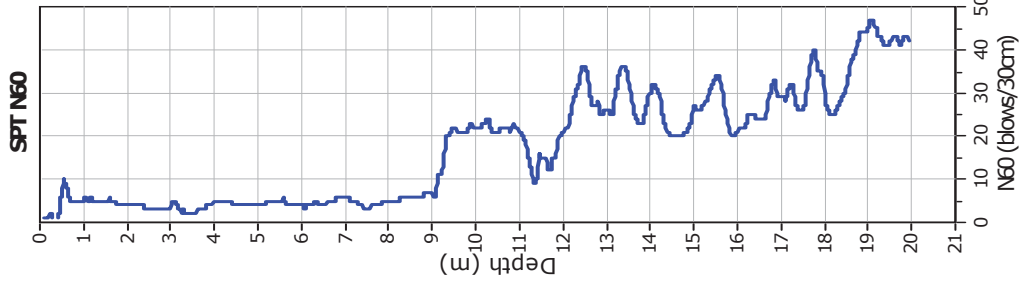
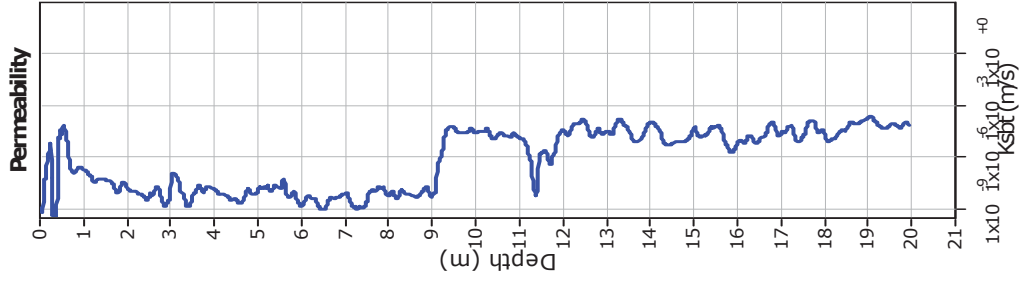
Updated SBTn plots



- 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



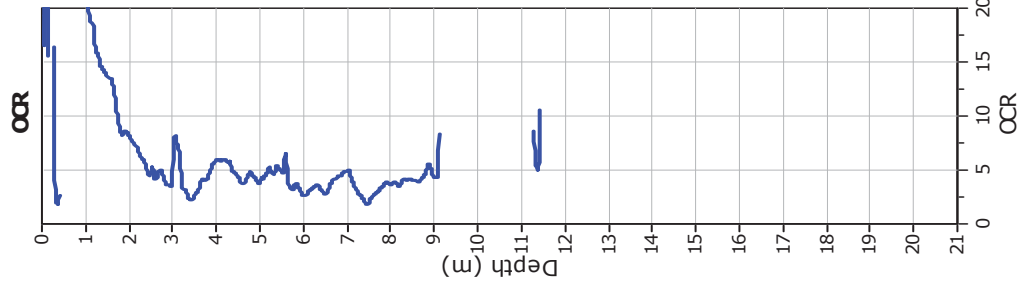
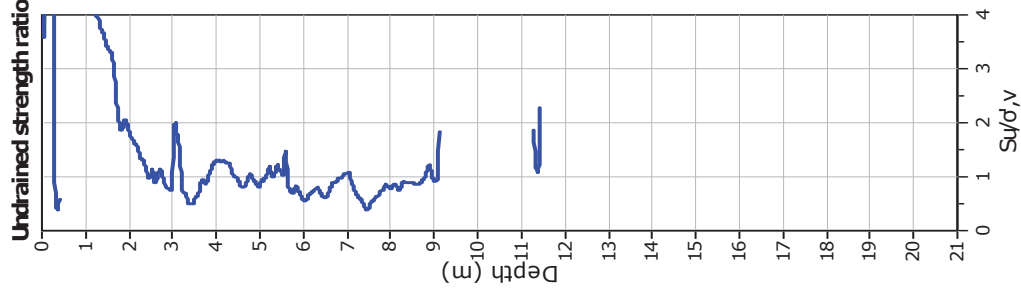
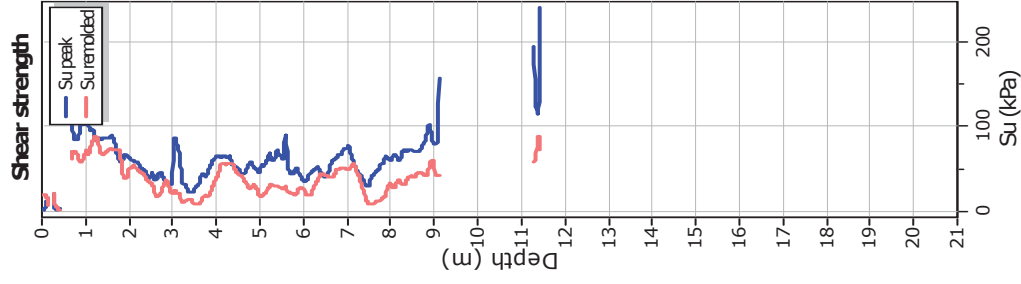
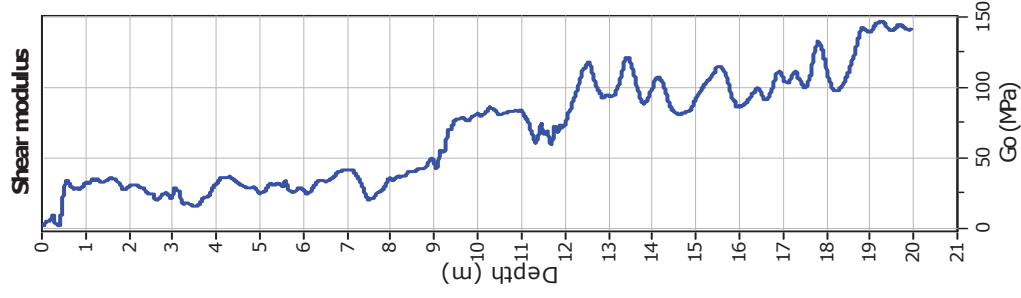
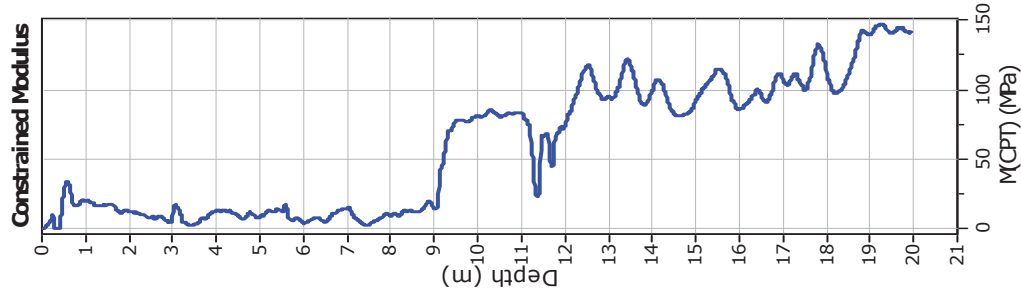
$K(G) > 330$: Soils with significant microstructure (e.g. age/cementation)



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

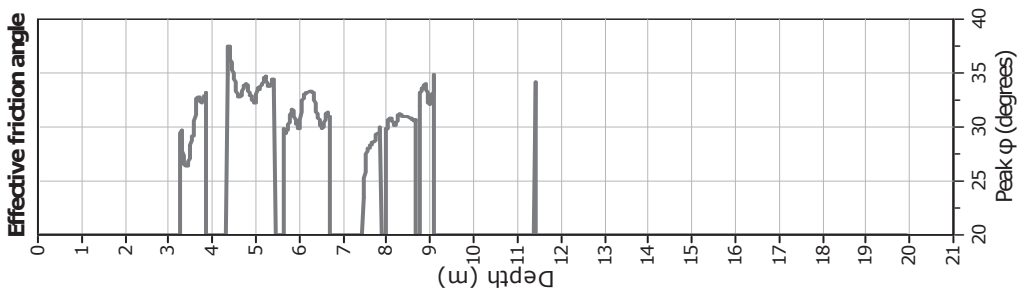
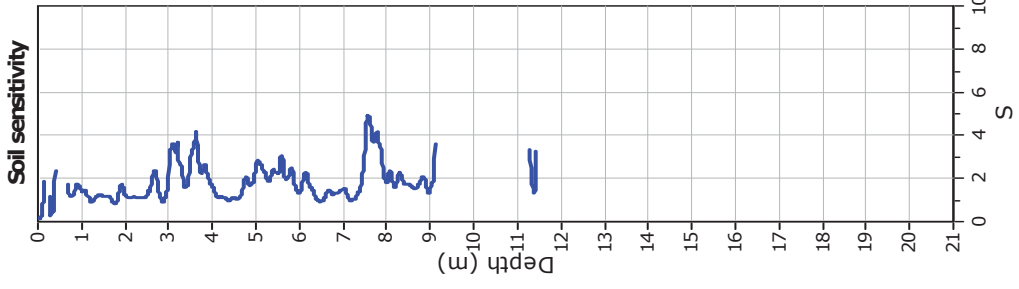
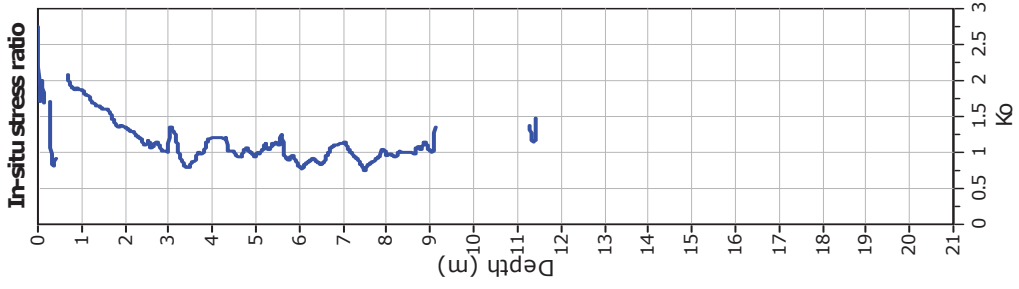
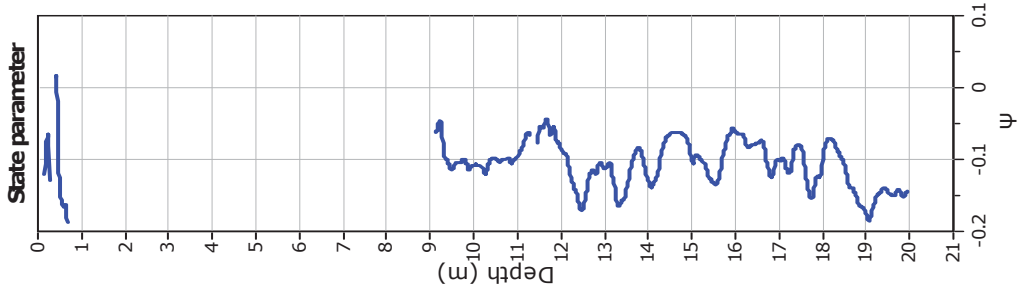
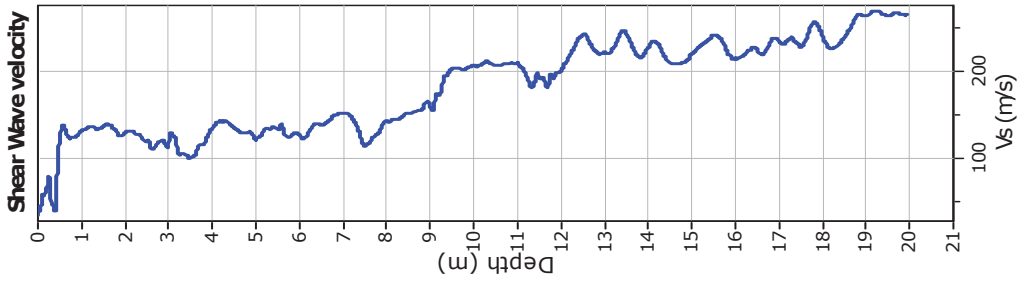
Constrained modulus: Based on variable α/β using I_c and Q_{in} (Robertson, 2009) OCR factor for clays, N_{kt} : 0.33
 Go: Based on variable α/β using I_c (Robertson, 2009) —●— User defined estimation data
 Undrained shear strength cone factor for clays, N_{kt} : 14 —●— Flat Dilatometer Test data



Geo Group S.r.l.
v. per Modena, 12- Casteinuovo Rangone (MO)
059 3967169
info@geogroupmodena.it

Project: Studio del terreno di fondazione
Location: Luzzara (RE)

CPT: CPTU2
Total depth: 19.96 m, Date: 08/02/2022



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

Verifiche geotecniche

DATI GENERALI

Normativa	NTC2018
Larghezza fondazione	3.5 m
Lunghezza fondazione	3.5 m
Profondità piano di posa	1.4 m
Profondità falda	2.2

STRATIGRAFIA TERRENO

Spessore strato [m]	Peso unità di volume [kN/m ³]	Peso unità di volume saturo [kN/m ³]	Angolo di attrito [°]	Coesione [kN/m ²]	Coesione non drenata [kN/m ²]	Modulo Elastico [kN/m ²]	Modulo Edometrico [kN/m ²]	Descrizione
2.0	18.0	21.0	23.0	5.0	50.0	7000.0	4600.0	B
6.2	17.5	20.5	21.0	3.9	39.0	5460.0	3400.0	C
1.4	18.0	21.0	23.0	6.0	60.0	8400.0	4600.0	D
10.4	18.5	21.5	35.0	0.0	0.0	37000.0	0.0	E

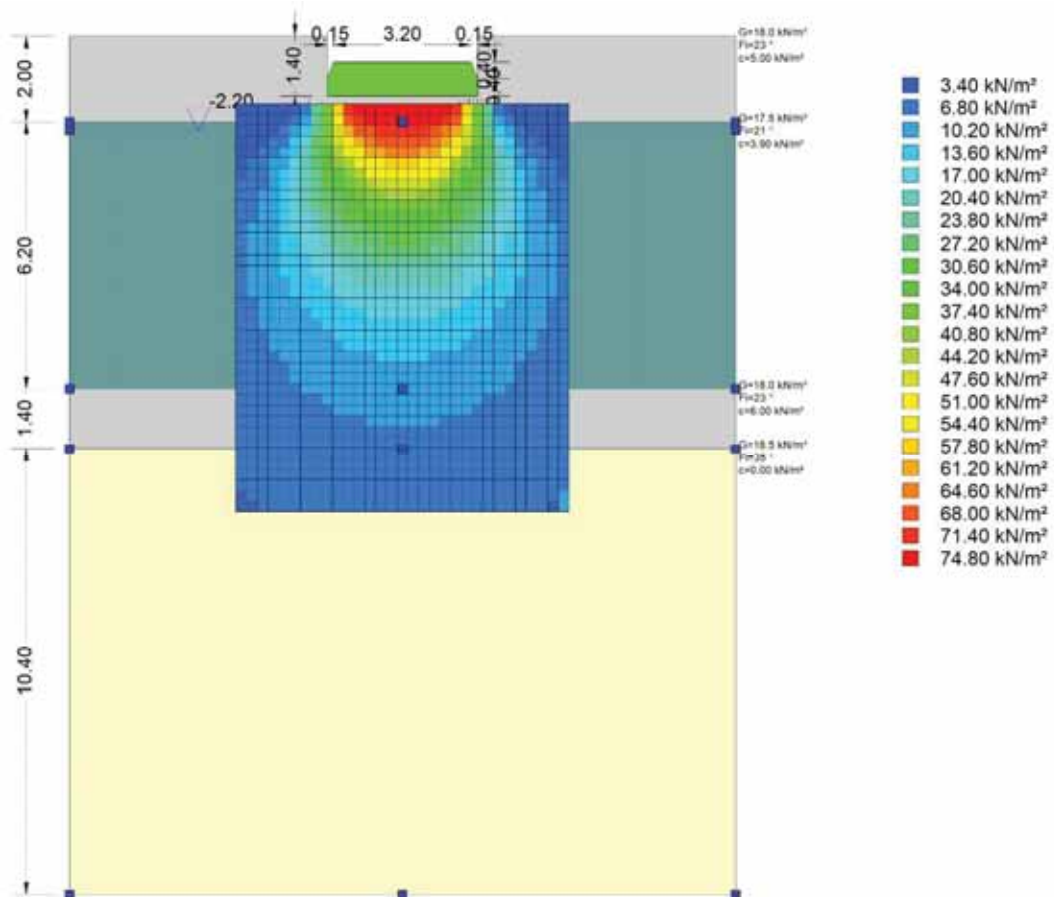
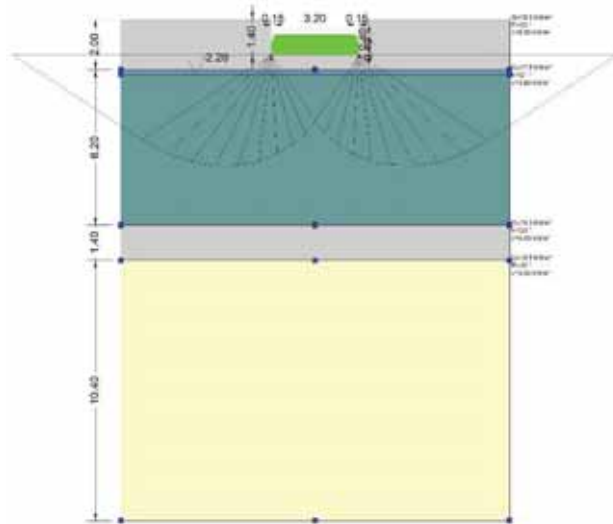
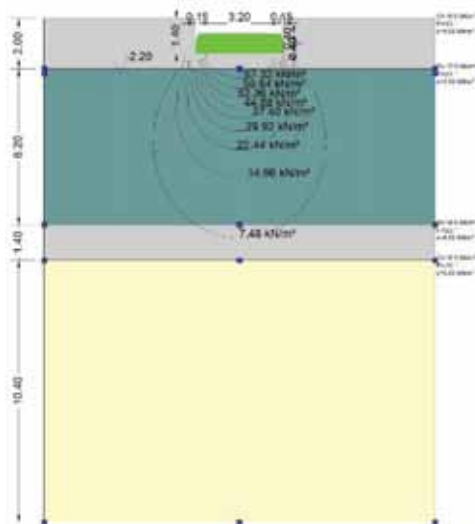
CEDIMENTI PER OGNI STRATO

*Cedimento edometrico calcolato con: Metodo consolidazione monodimensionale di Terzaghi

Pressione normale di progetto	100.0 kN/m ²
Cedimento totale	2.71 cm

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

Strato	Z (m)	Tensione (kN/m ²)	Dp (kN/m ²)	Metodo	Wc (cm)	Ws (cm)	Wt (cm)
1	1.7	30.6	18.652	Edometrico	0.2433	--	0.2433
2	5.1	70.51	12.587	Edometrico	2.2953	--	2.2953
3	8.9	111.493	5.694	Edometrico	0.1733	--	0.1733
4	14.8	0	0	Schmertmann	0	--	0



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

Indagini sismiche

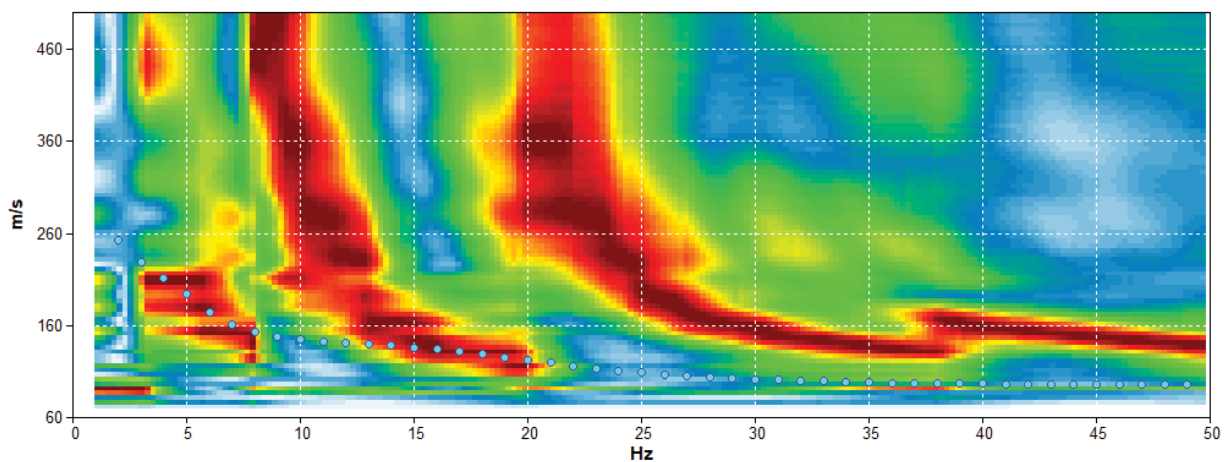
LUZZARA

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

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

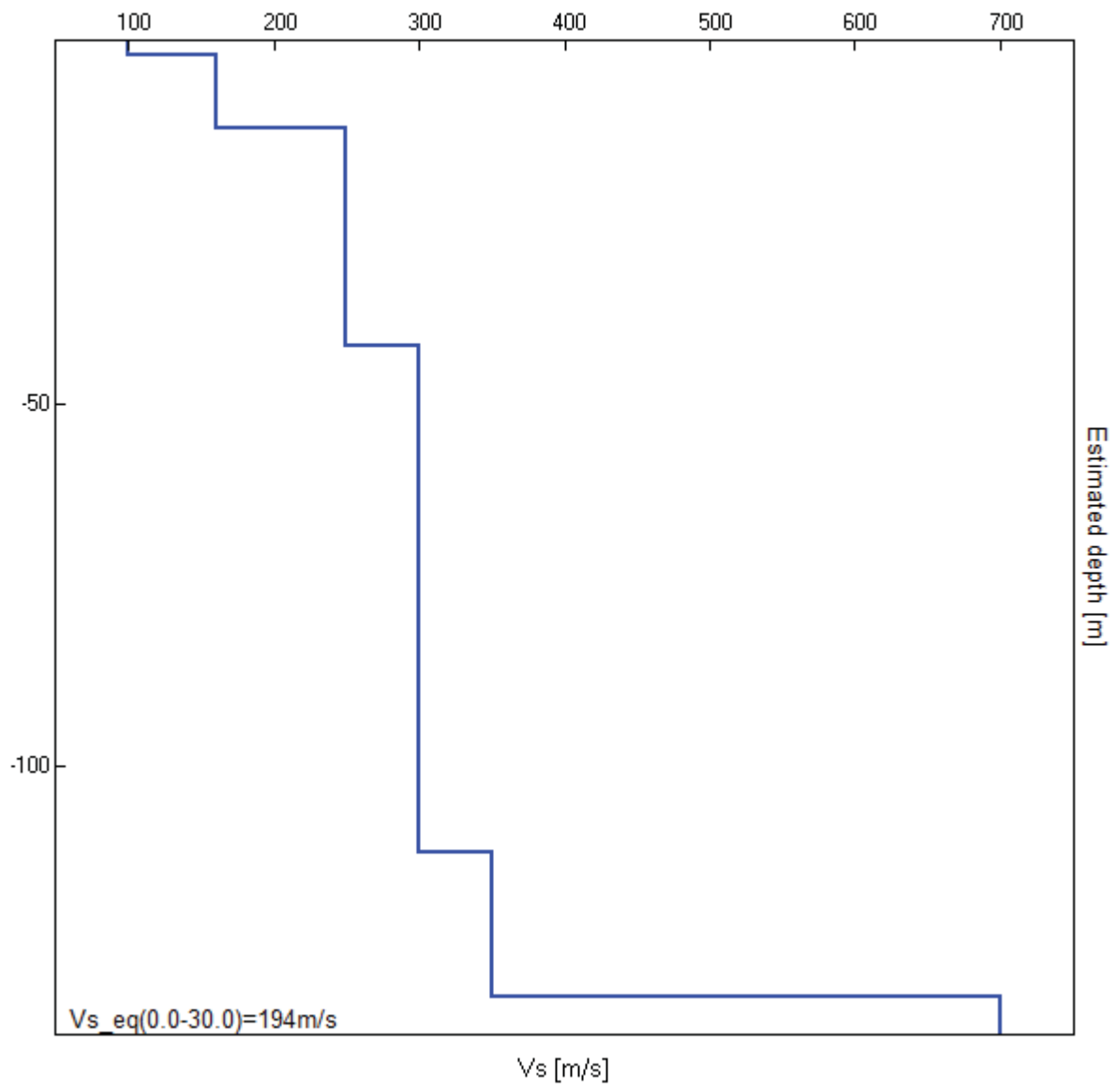
Array geometry (x): 0.0 2.0 4.0 6.0 8.0 10.0 12.0 14.0 m.

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



LUZZARA

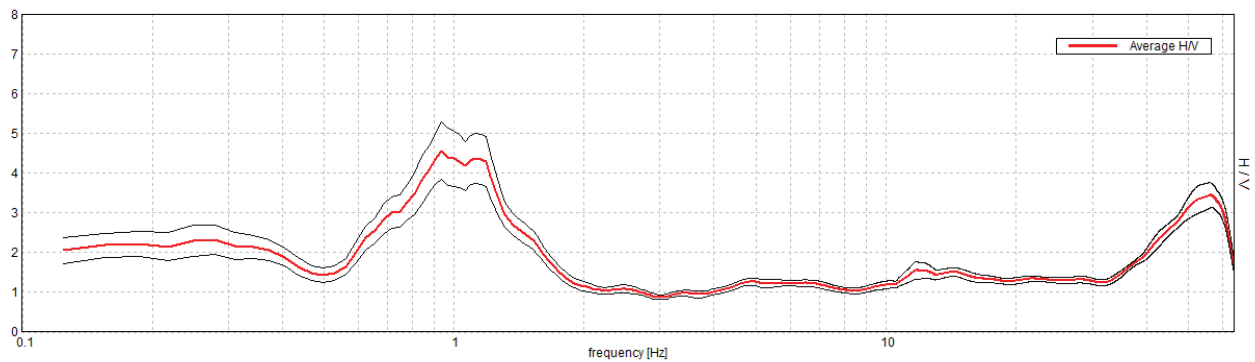
Instrument: TE3-0303/01-17
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: 51

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

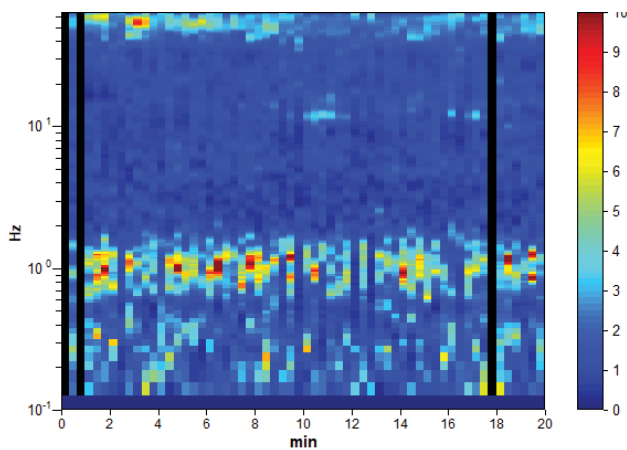
Trace length: 0h20'00". Analyzed 95% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

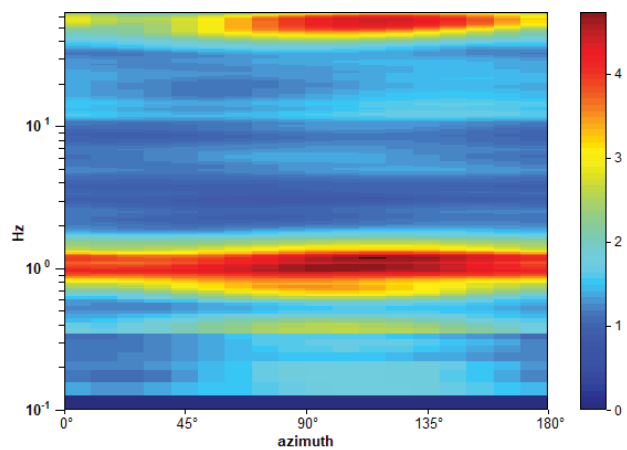
Max. H/V at 0.94 ± 0.13 Hz (in the range 0.0 - 30.0 Hz).



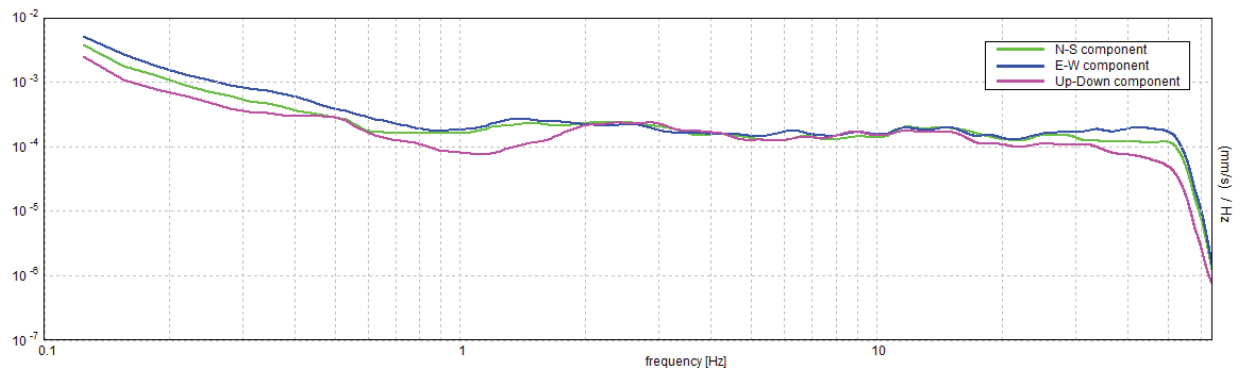
H/V TIME HISTORY



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 ± 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
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° 4

Verifica alla liquefazione

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

Prove penetrometriche statiche CPTU

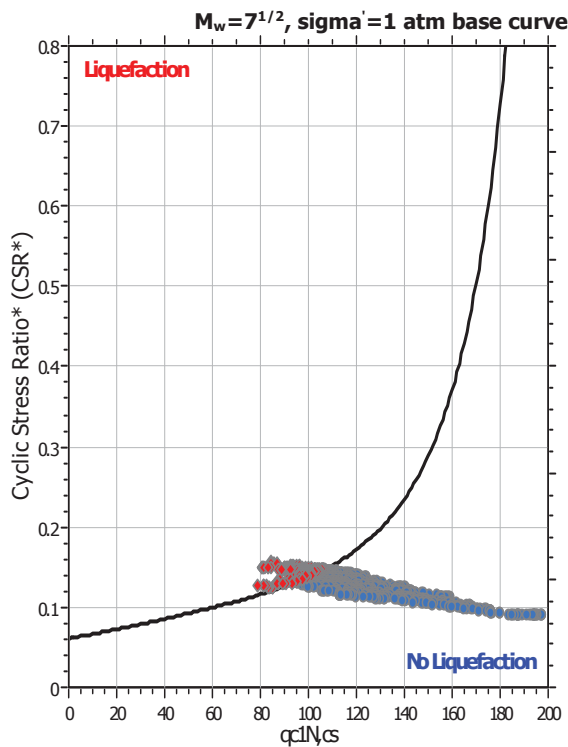
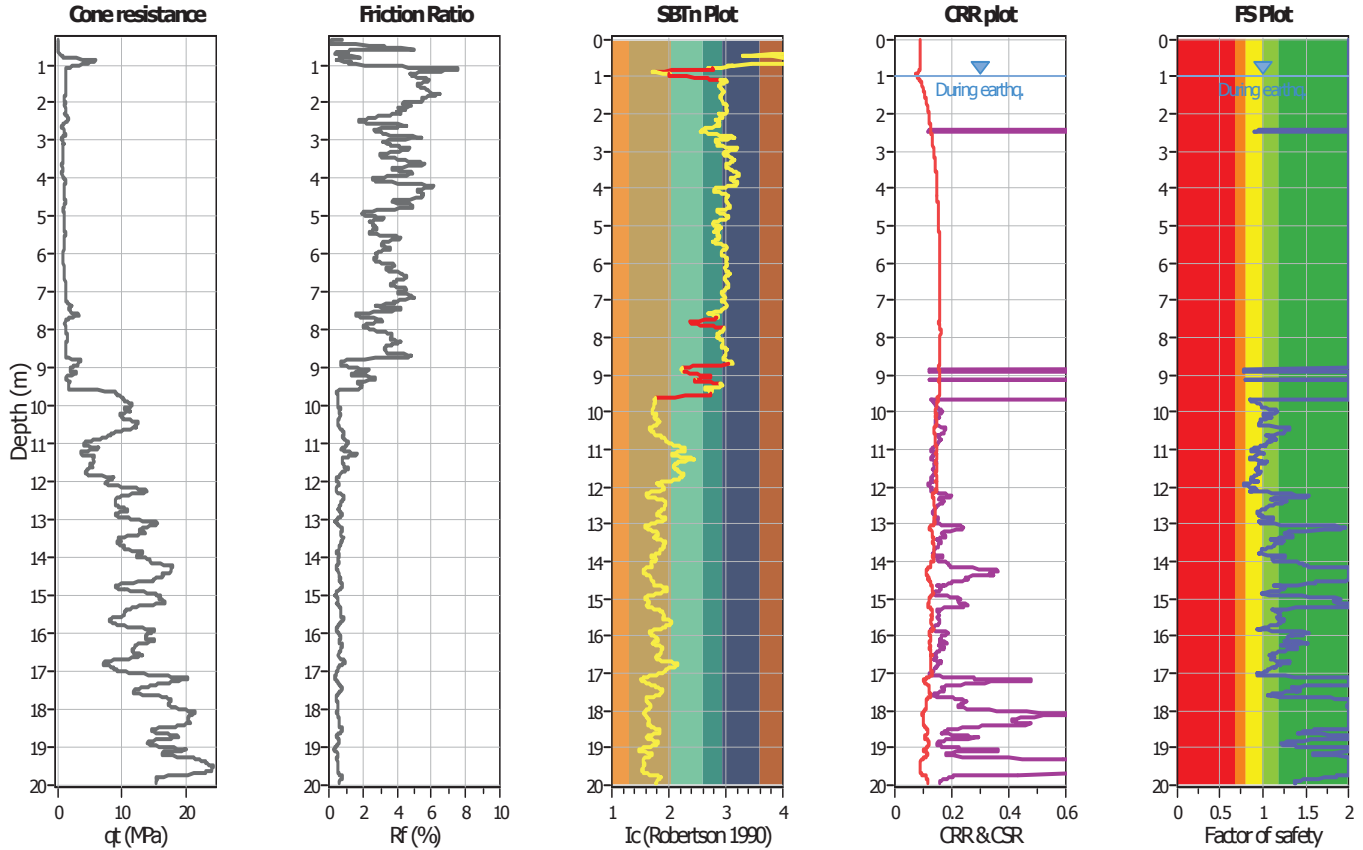
LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

Project title : Studio del terreno di fondazione
CPT file : CPTU1

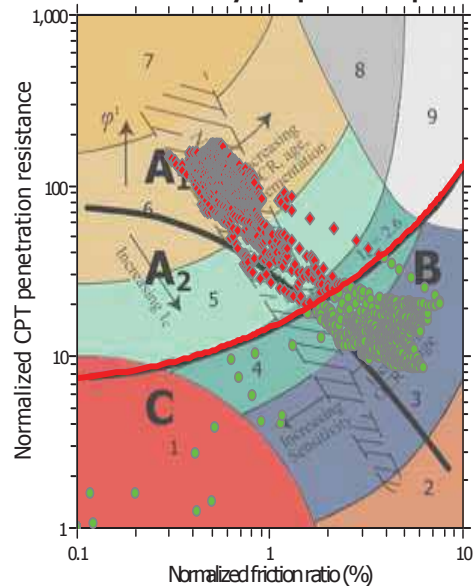
Location : Luzzara (RE)

Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	2.30 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth:	20.00 m
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	MSF method:	Method
Peak ground acceleration:	0.16	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_σ applied:	Yes		

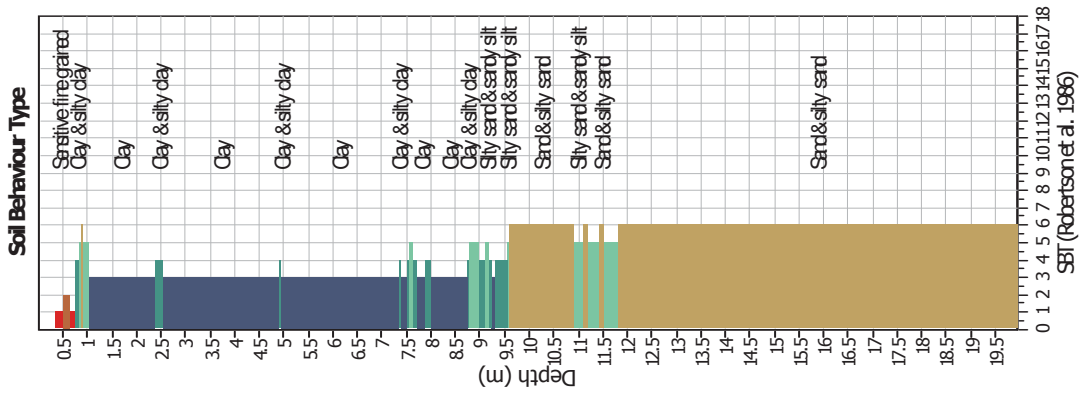
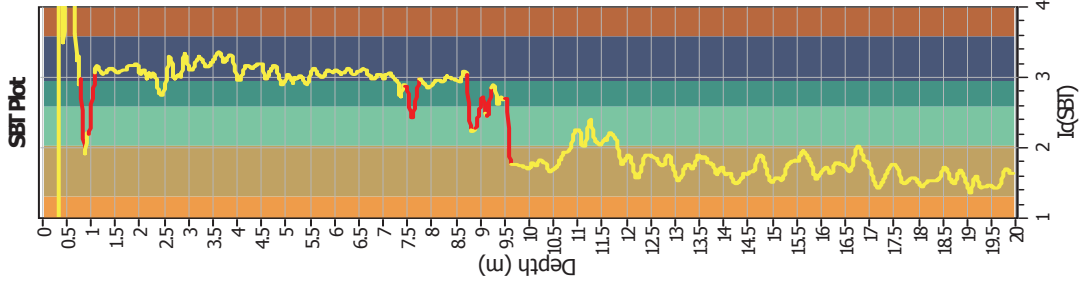
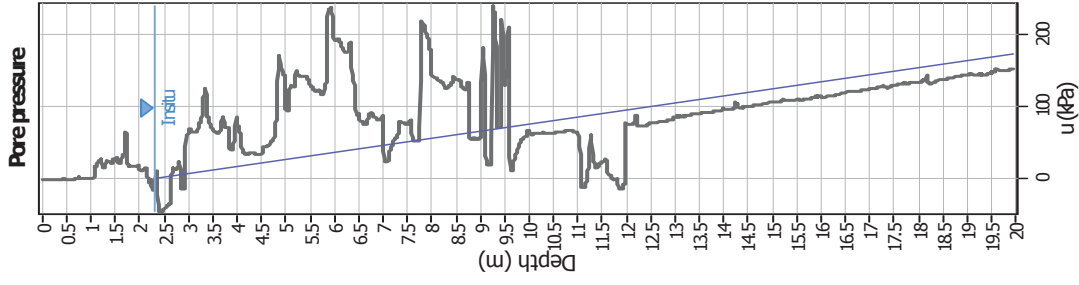
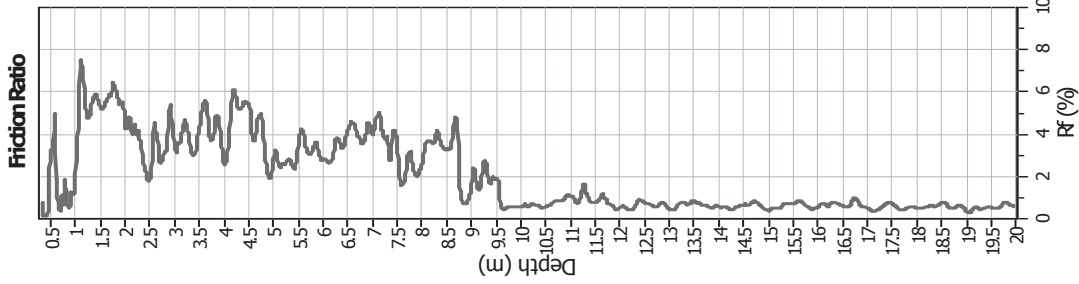
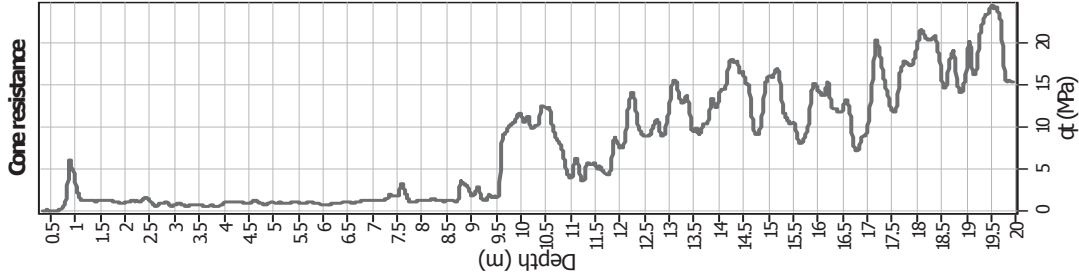


Summary of liquefaction potential



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

CPT basic interpretation plots



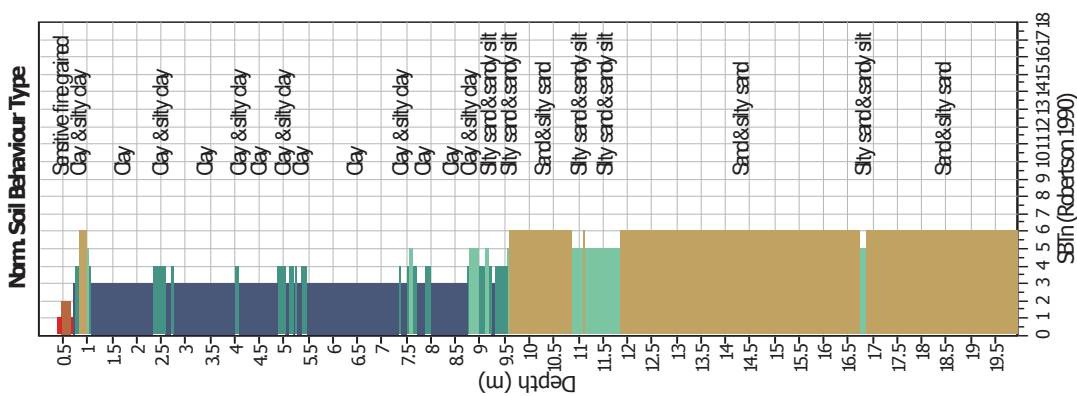
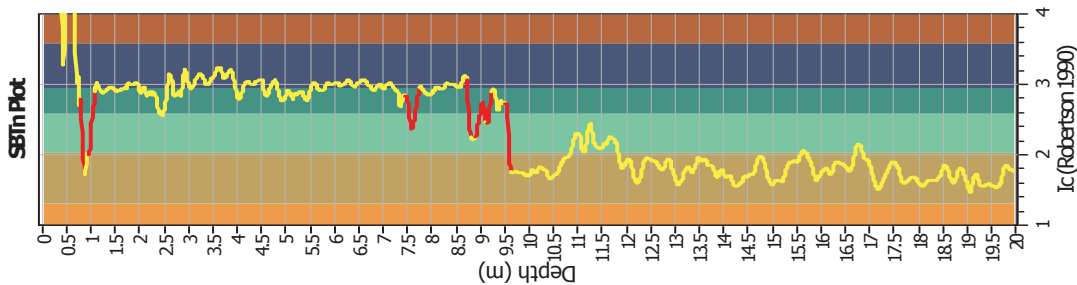
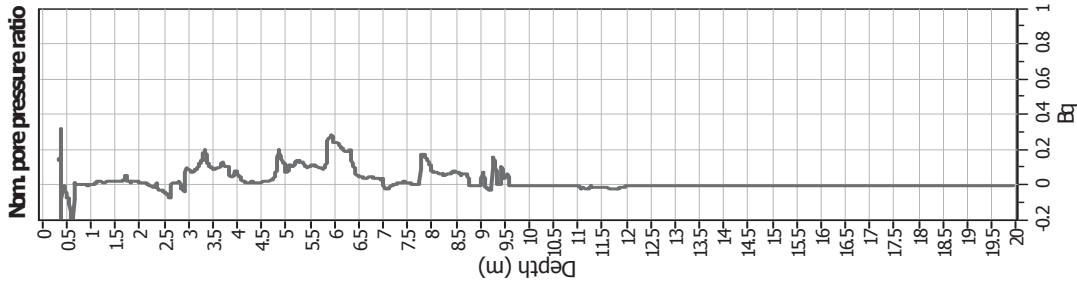
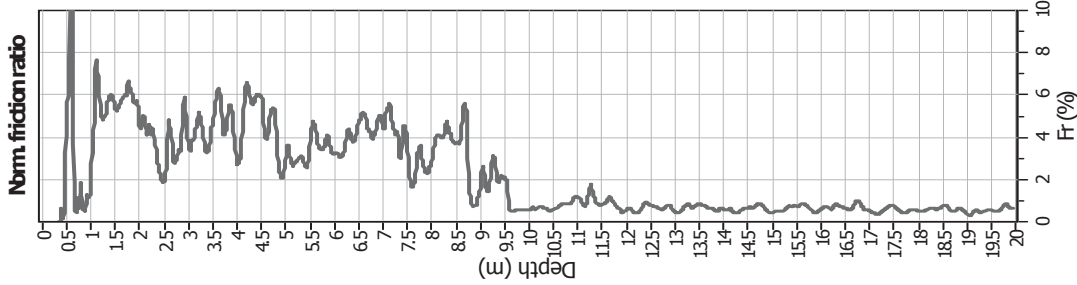
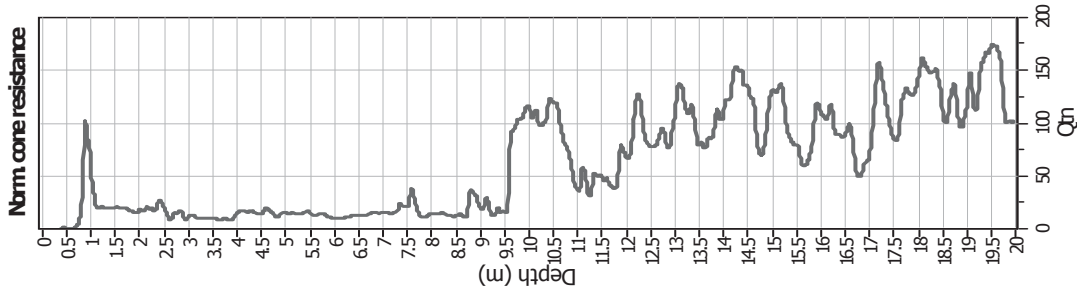
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (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:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.16	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	2.30 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

SBT 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

CPT basic interpretation plots (normalized)



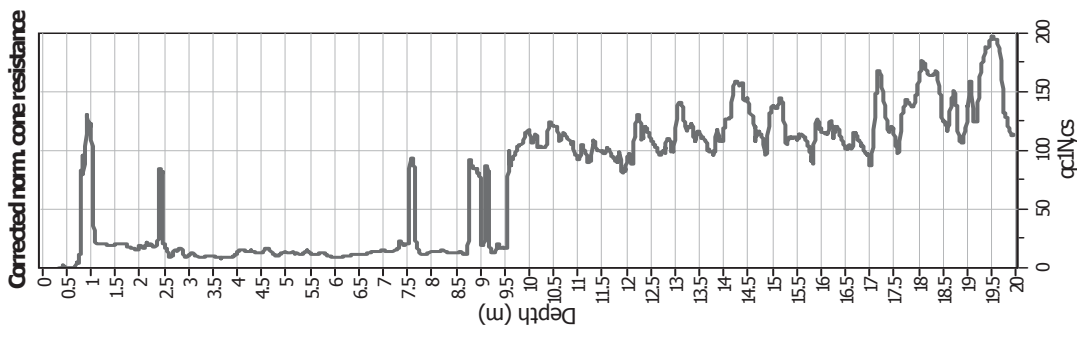
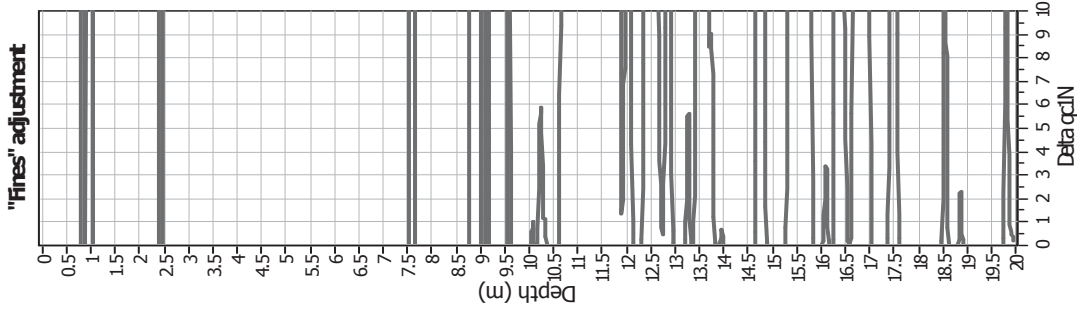
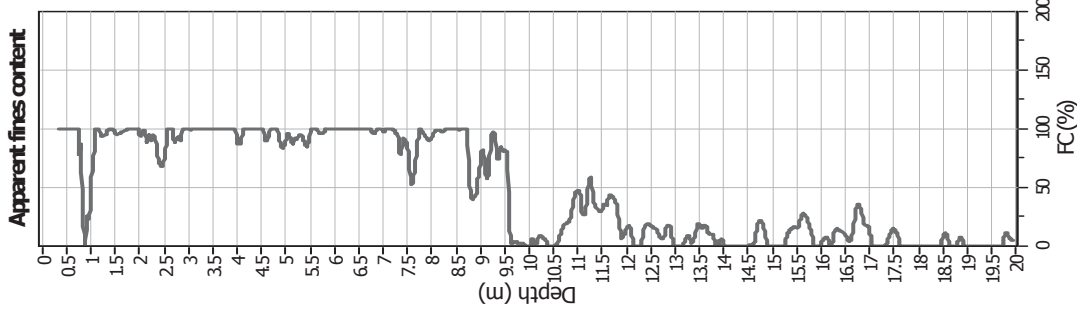
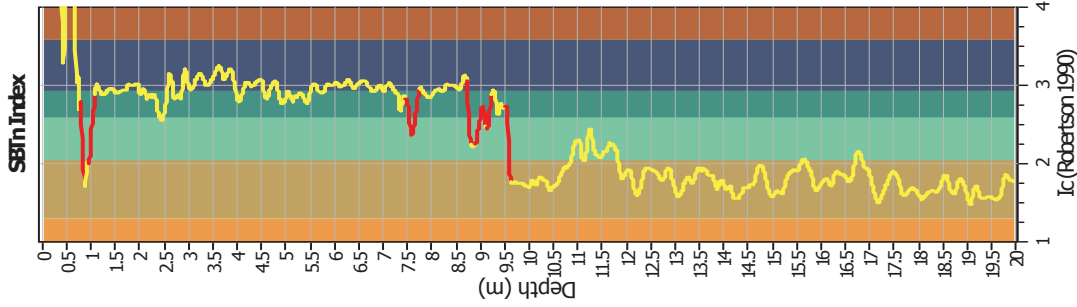
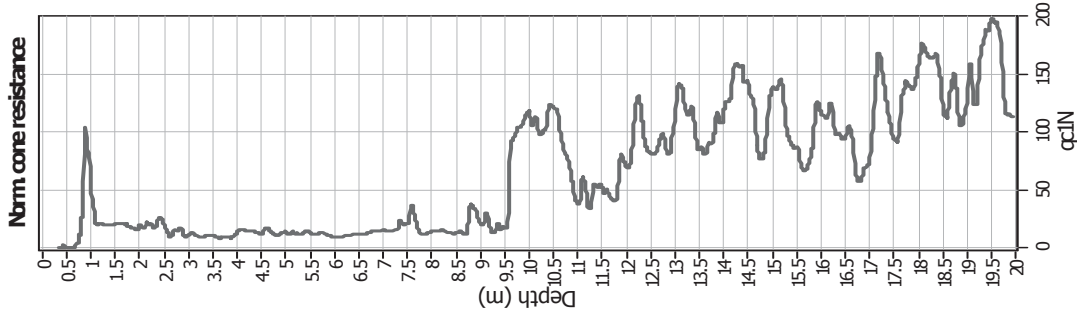
Input parameters and analysis data

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:	Yes
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:	0.16	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	2.30 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

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

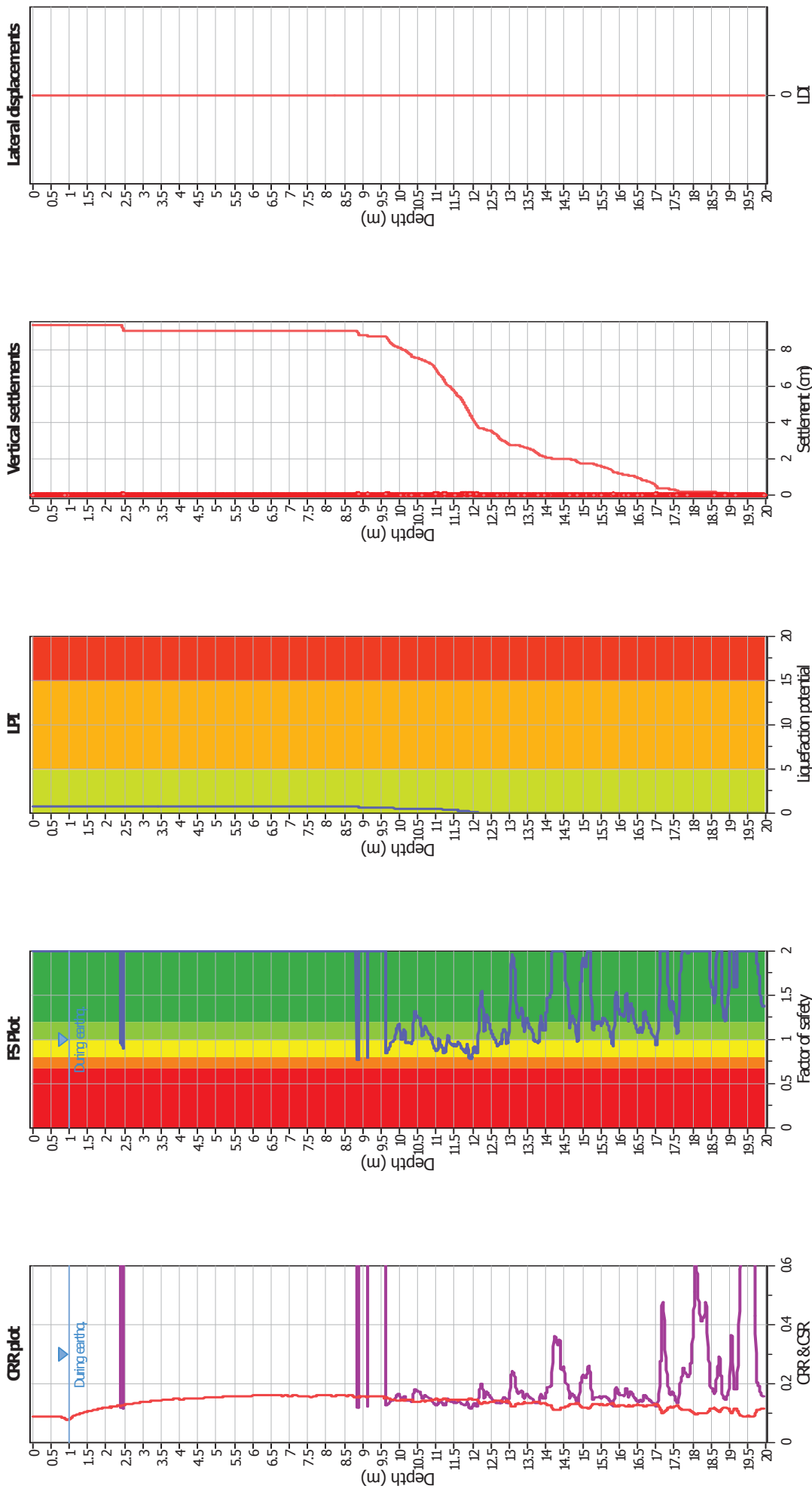
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Transition detect. applied:	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:	0.16	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	2.30 m	Limit depth:	20.00 m
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:	Yes
Points to test:	Based on I _c value	K _s applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.16	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	2.30 m	Limit depth:	20.00 m

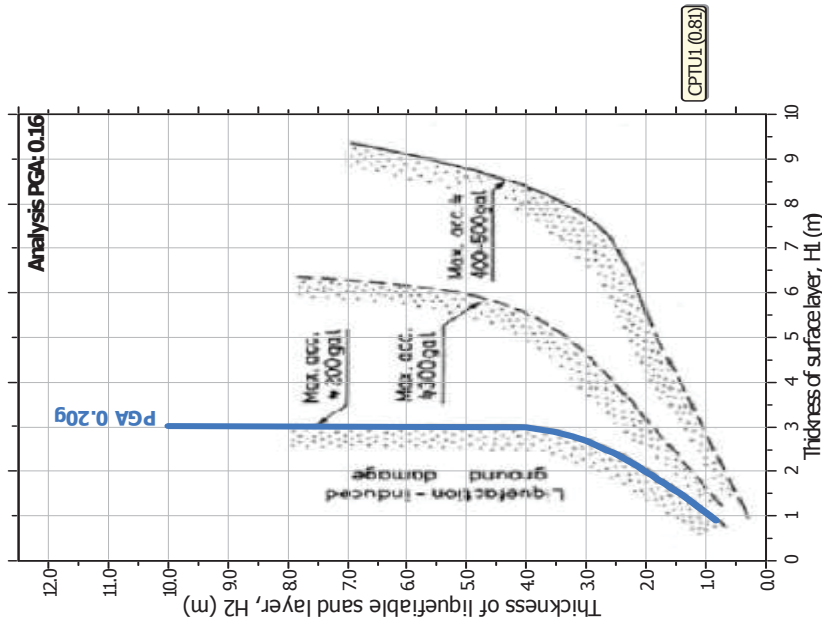
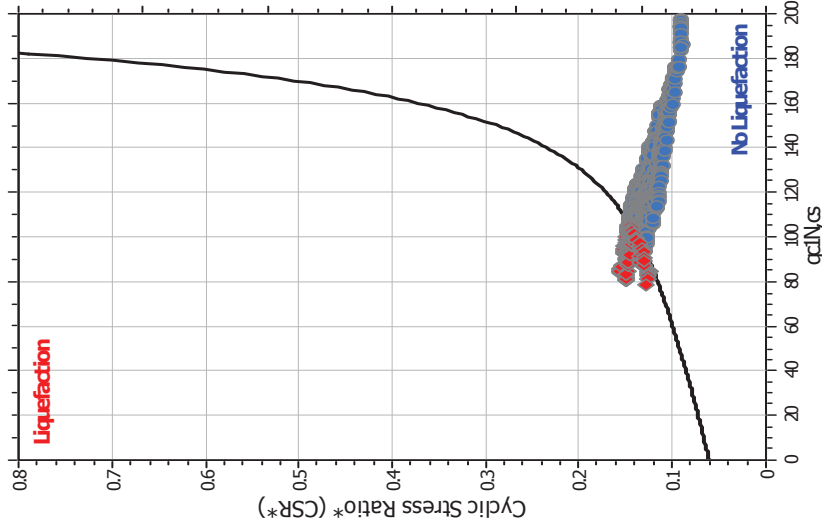
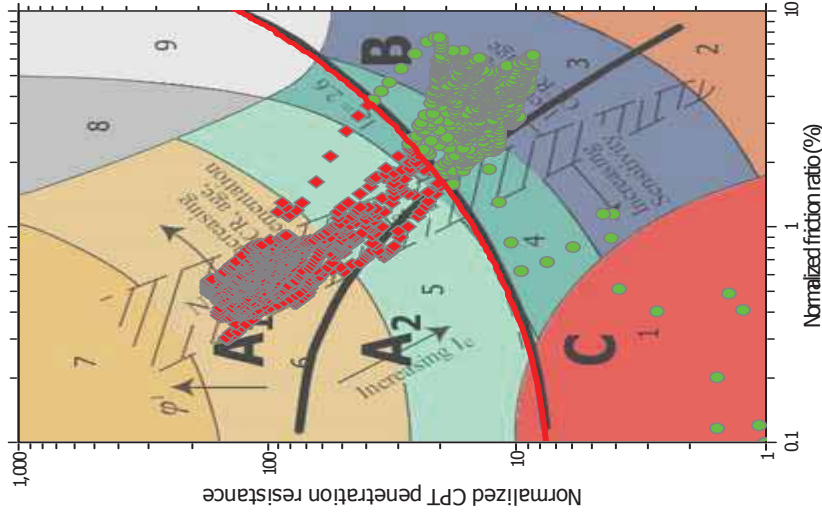
F.S. color scheme

Red	Almost certain it will liquefy
Orange	Very likely to liquefy
Yellow	Liquefaction and no liq. are equally likely
Green	Unlike to liquefy
Dark Green	Almost certain it will not liquefy

LPI color scheme

Red	Very high risk
Orange	High risk
Green	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:	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:	0.16	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	2.30 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

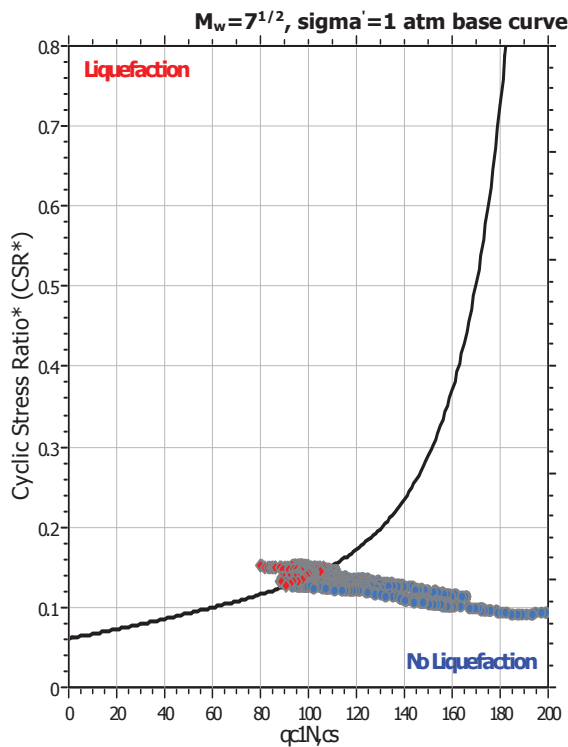
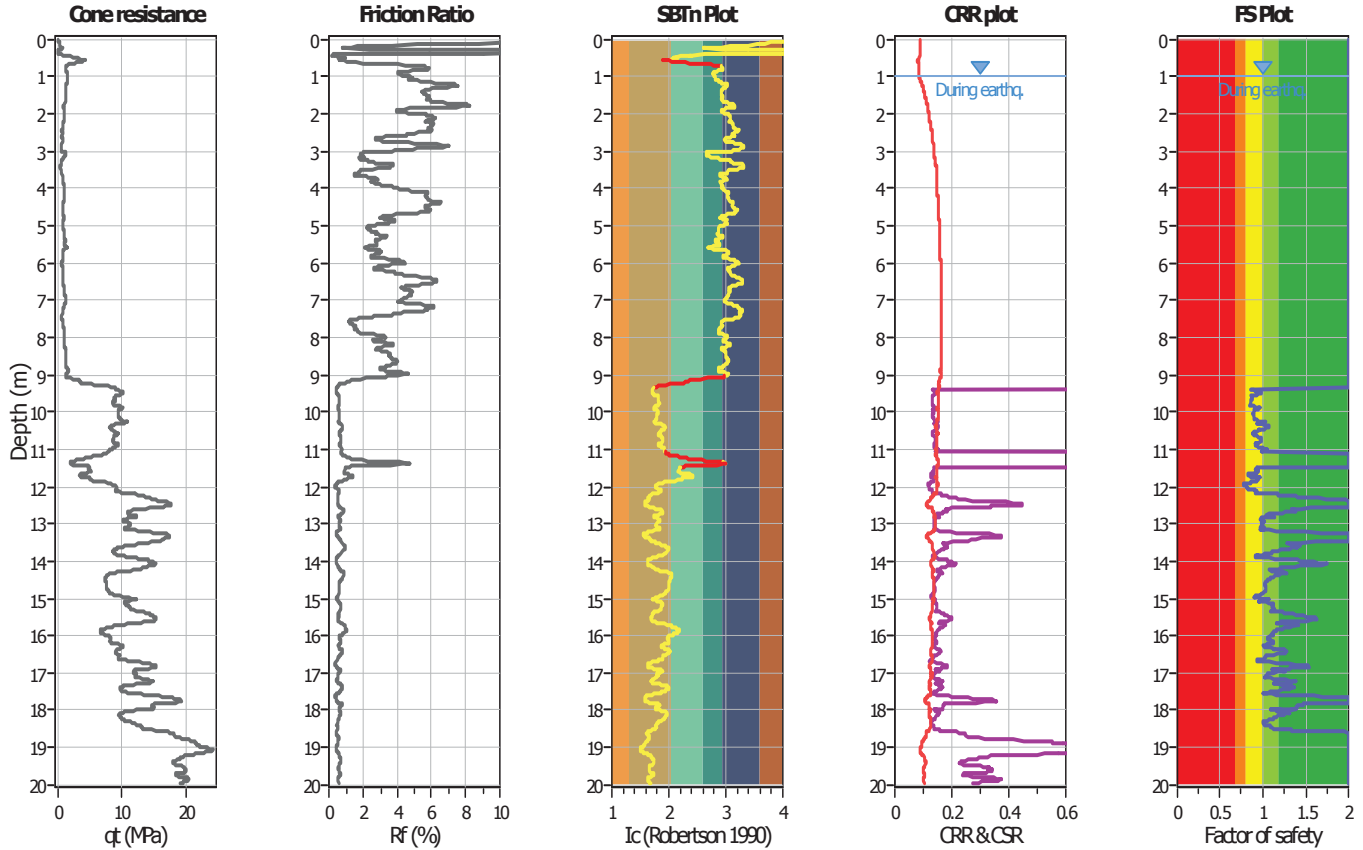
Project title : Studio del terreno di fondazione

Location : Luzzara (RE)

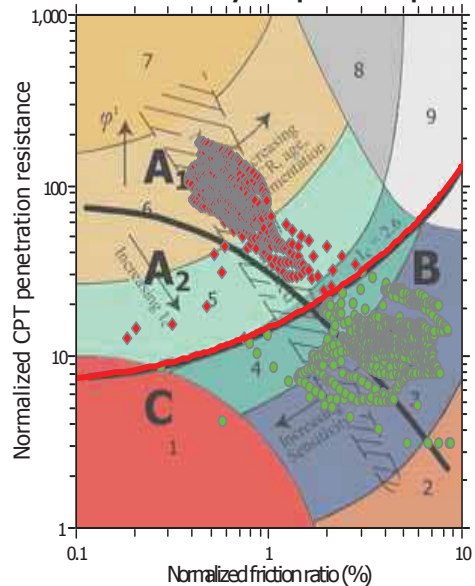
CPT file : CPTU2

Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	2.30 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth:	20.00 m
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	MSF method:	Method
Peak ground acceleration:	0.16	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_σ applied:	Yes		

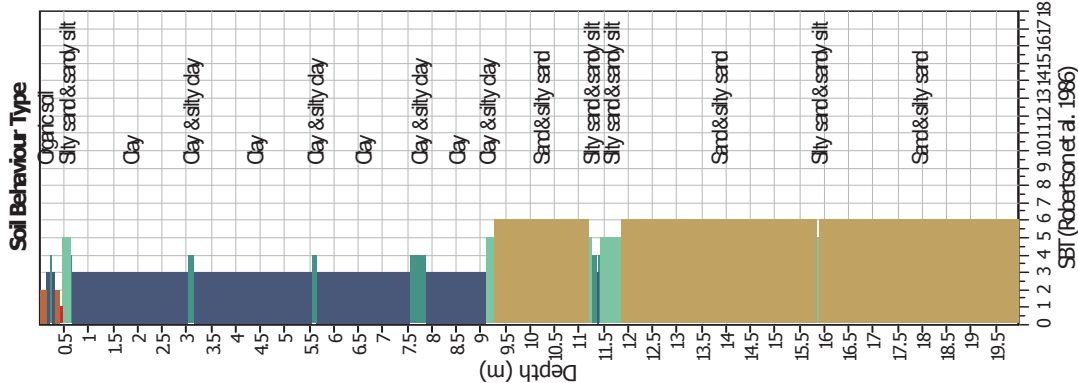
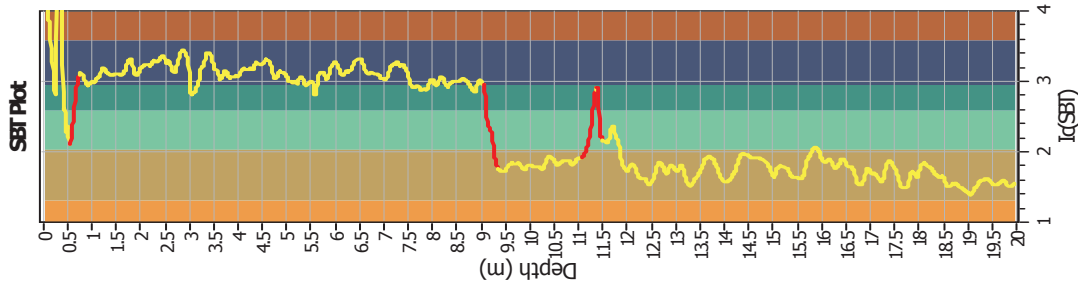
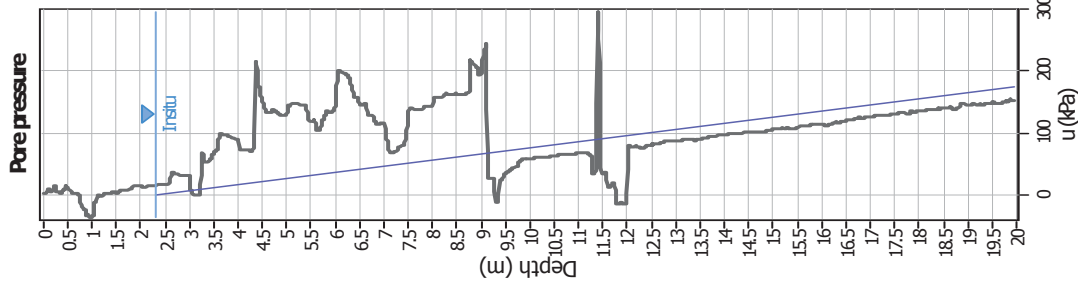
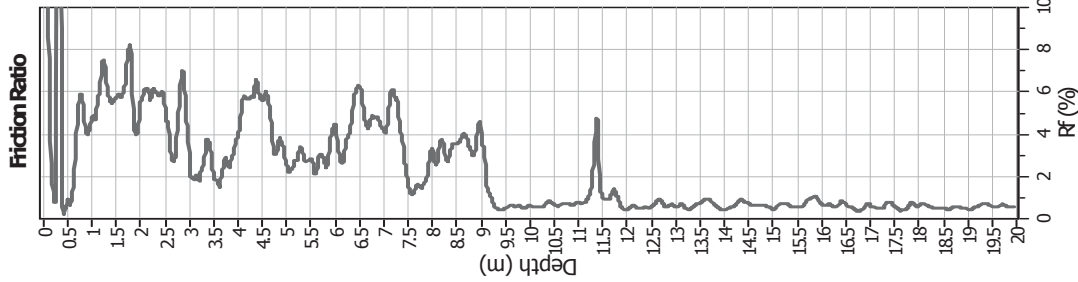
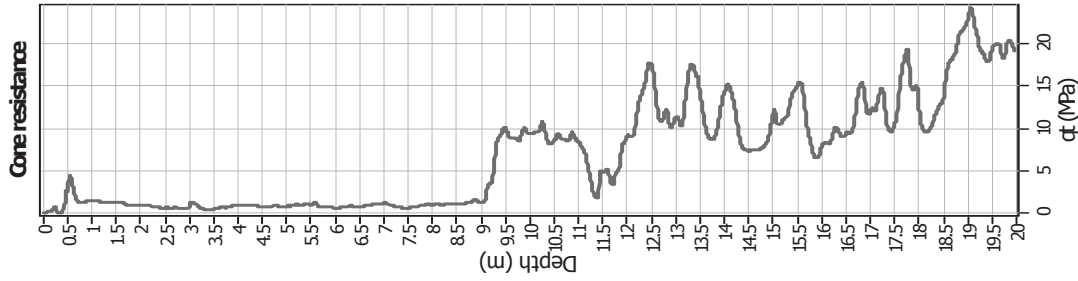


Summary of liquefaction potential



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

CPT basic interpretation plots



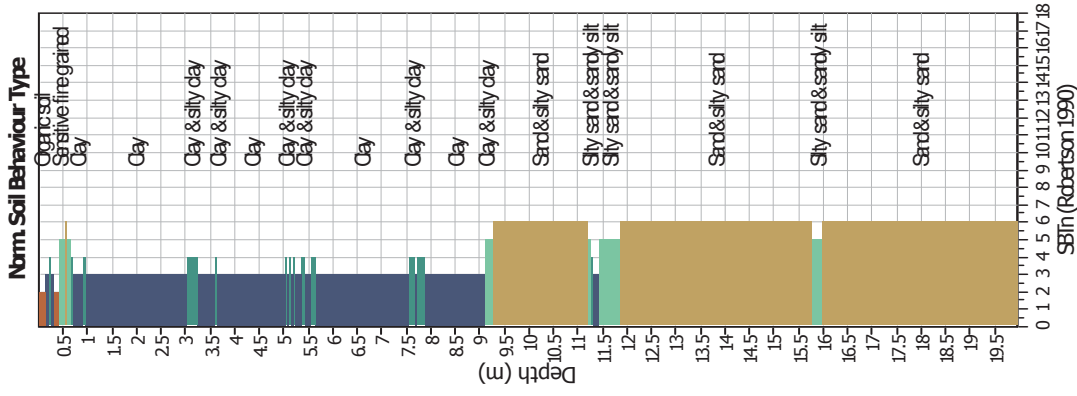
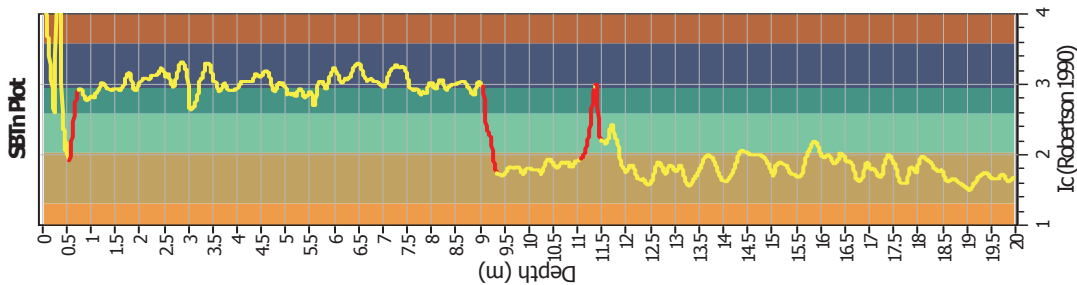
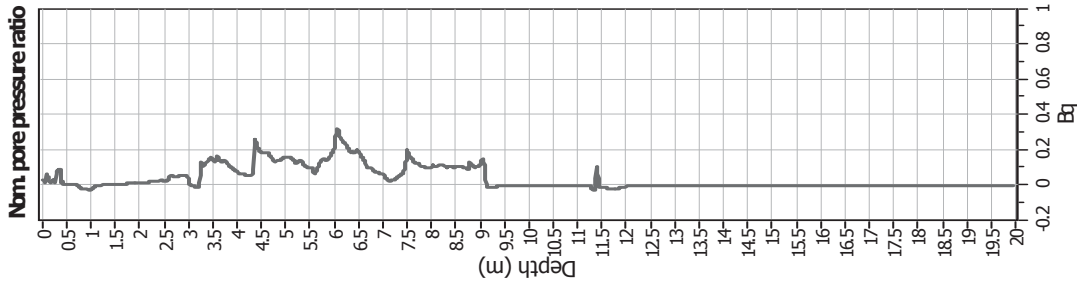
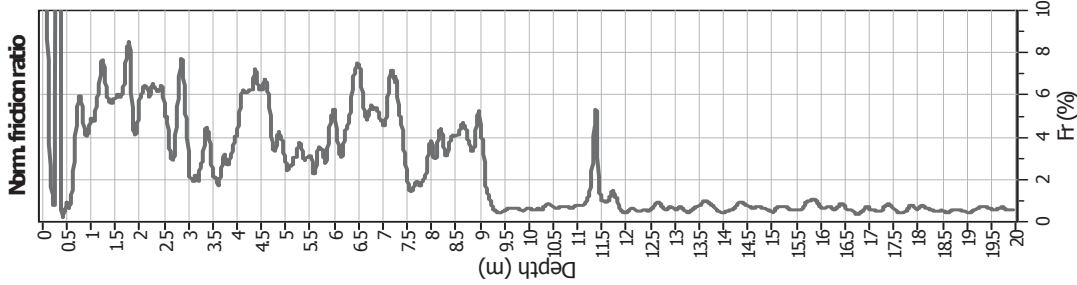
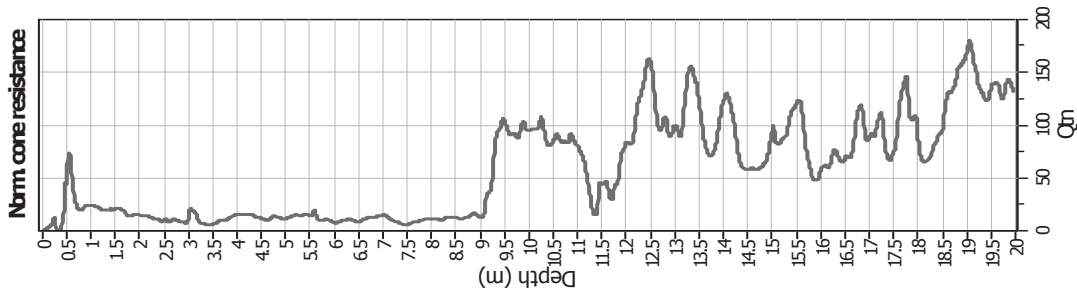
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (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:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.16	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	2.30 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

SBT 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

CPT basic interpretation plots (normalized)



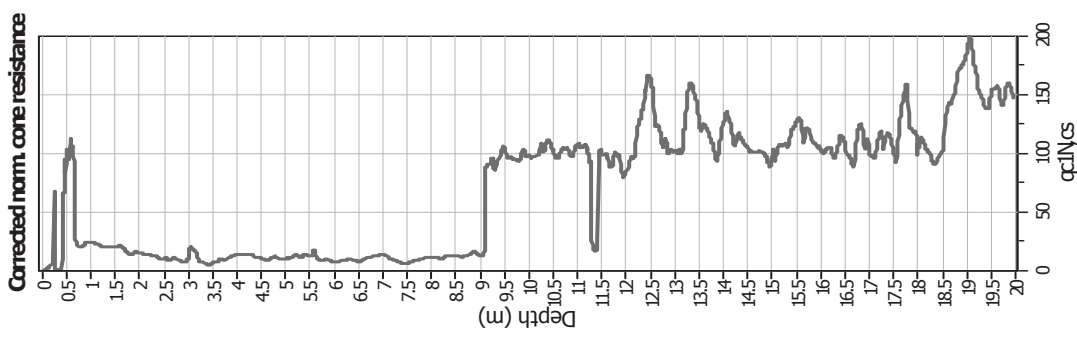
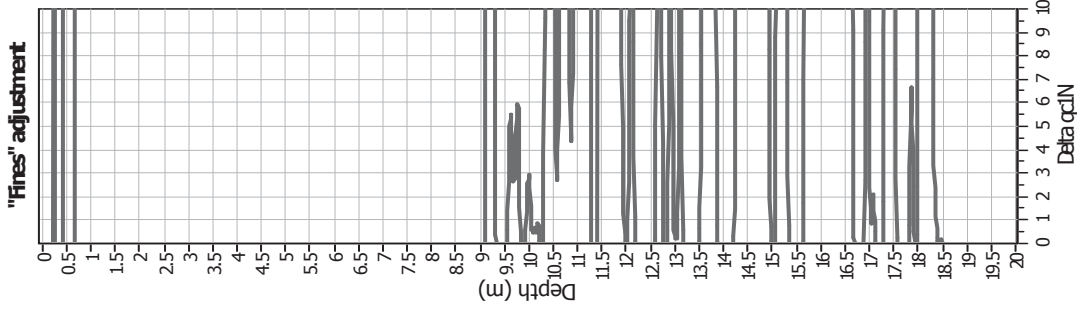
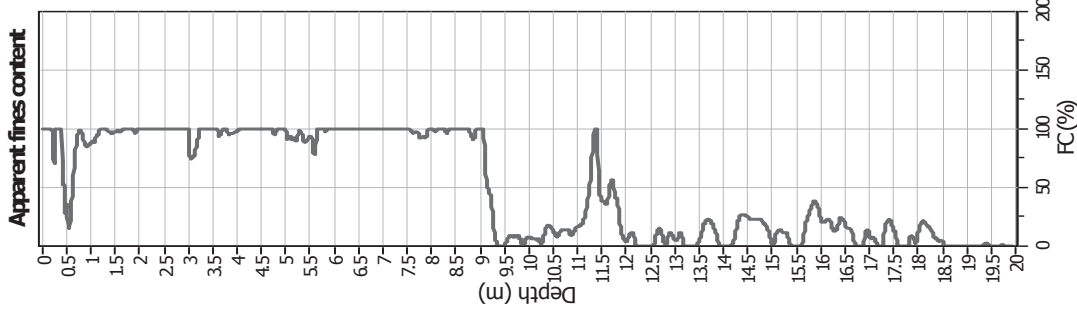
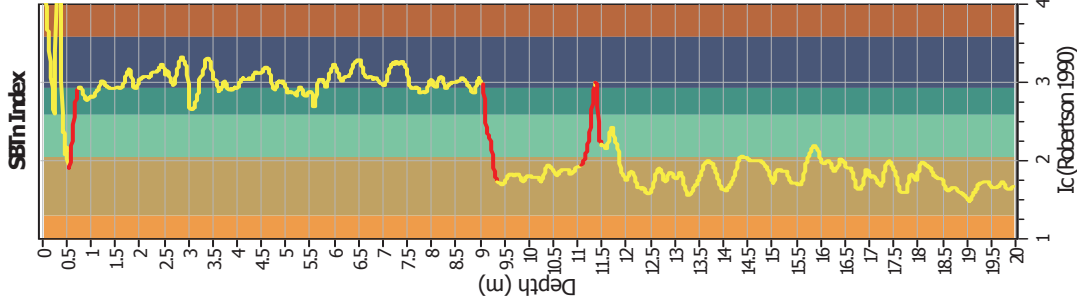
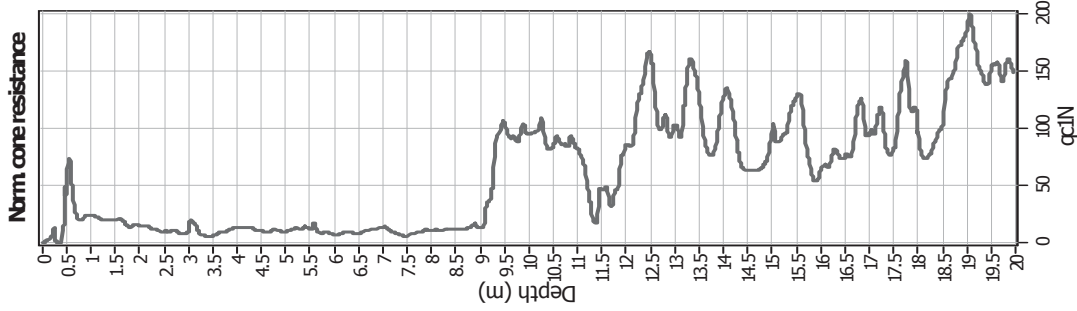
Input parameters and analysis data

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:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.16	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	2.30 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

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

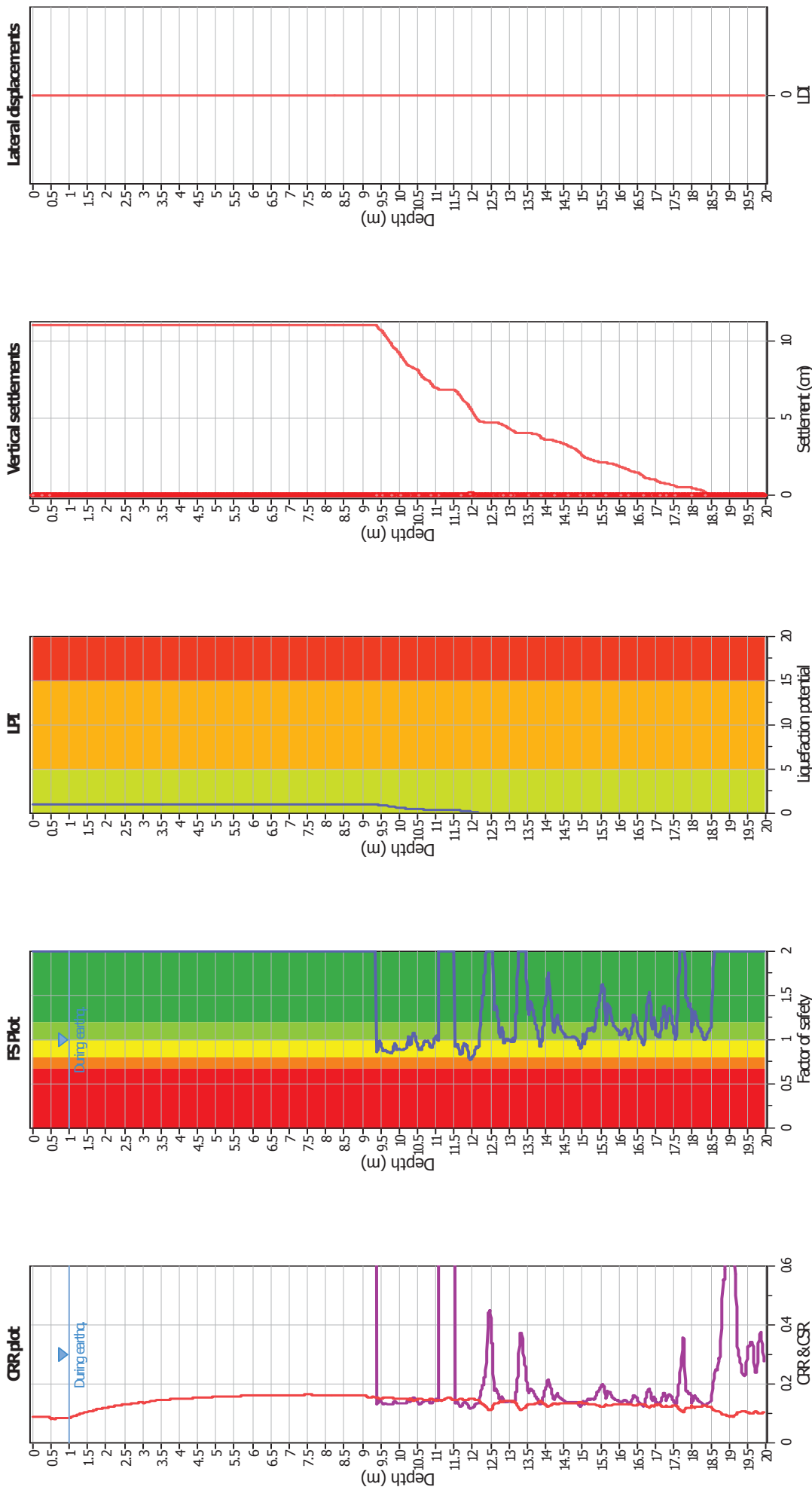
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	K_p applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.16	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	2.30 m	Limit depth:	20.00 m
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:	Yes
Points to test:	Based on I _c value	K _s applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.16	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	2.30 m	Limit depth:	20.00 m

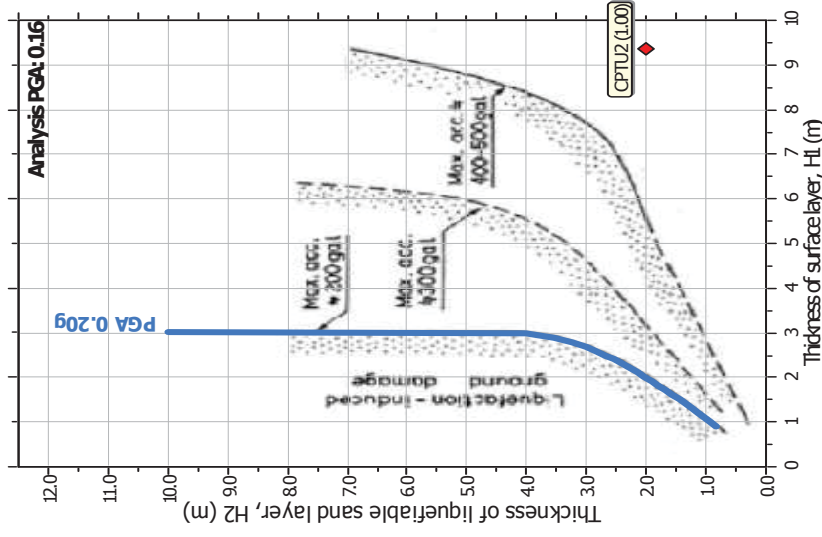
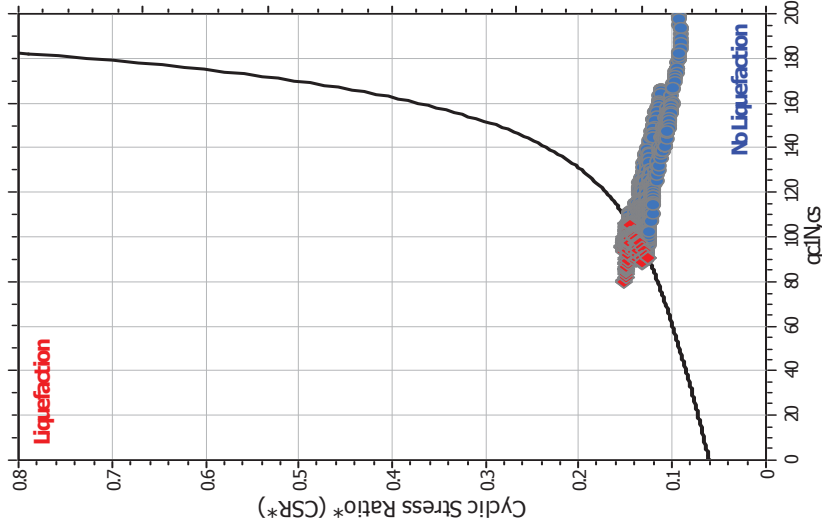
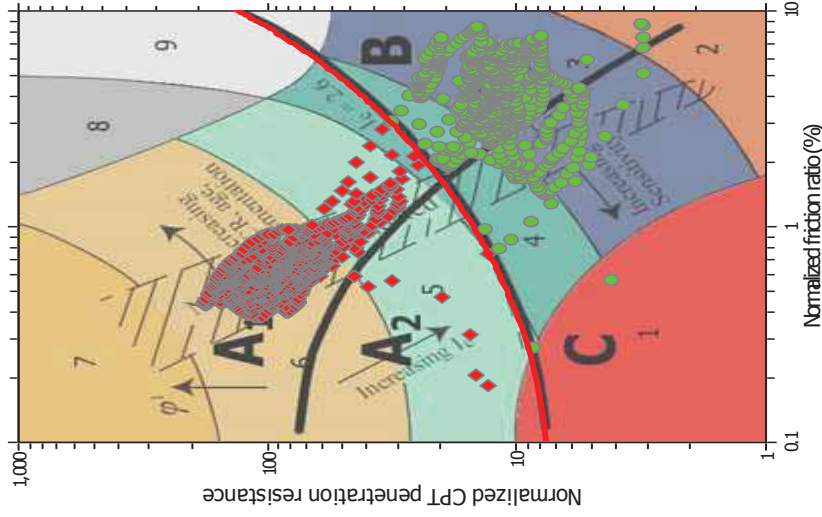
F.S. color scheme

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

LPI color scheme

■	Very high risk
■	High risk
■	Low risk

Liquefaction analysis summary plots



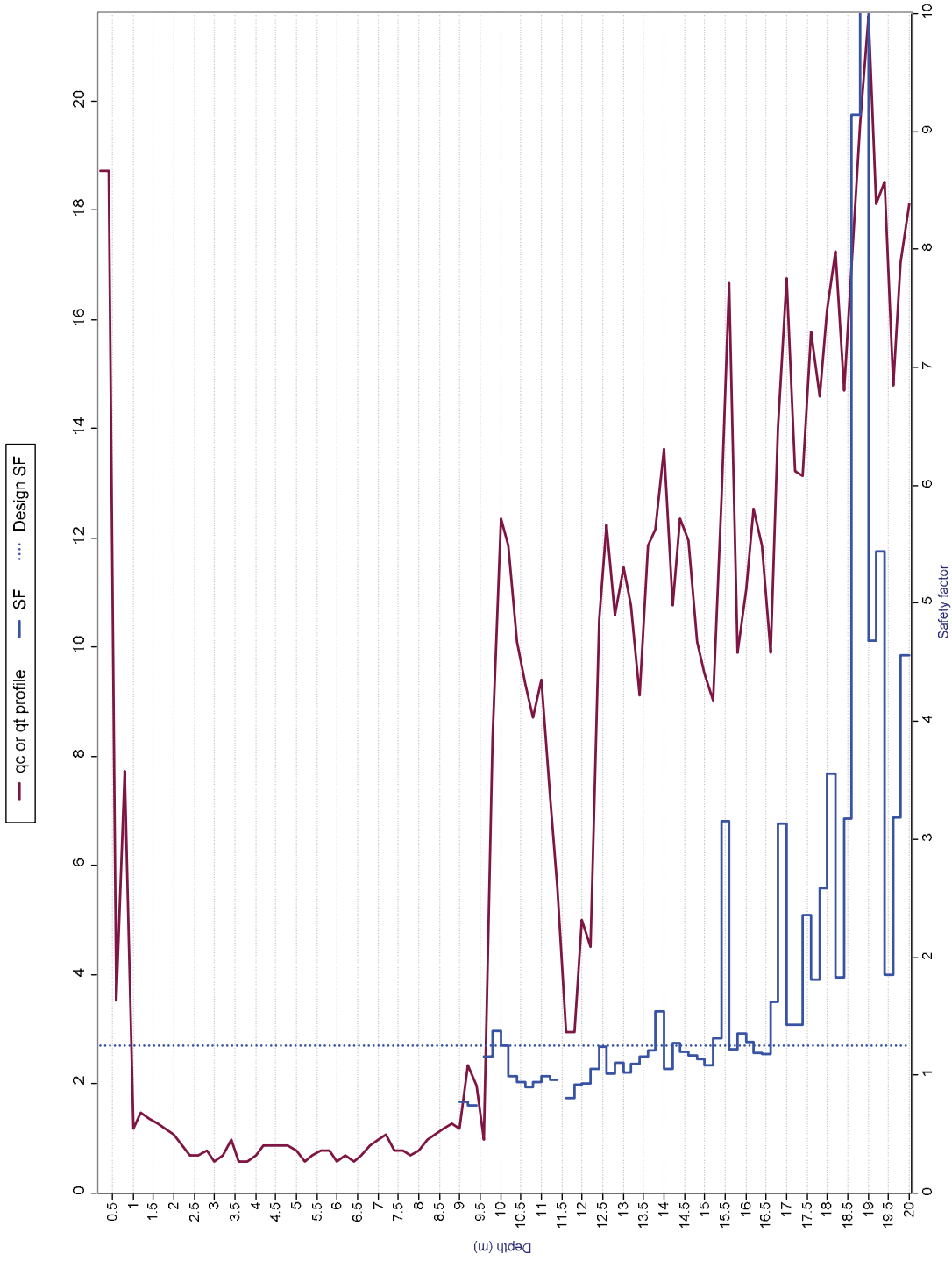
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (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:	0.16	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	2.30 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

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

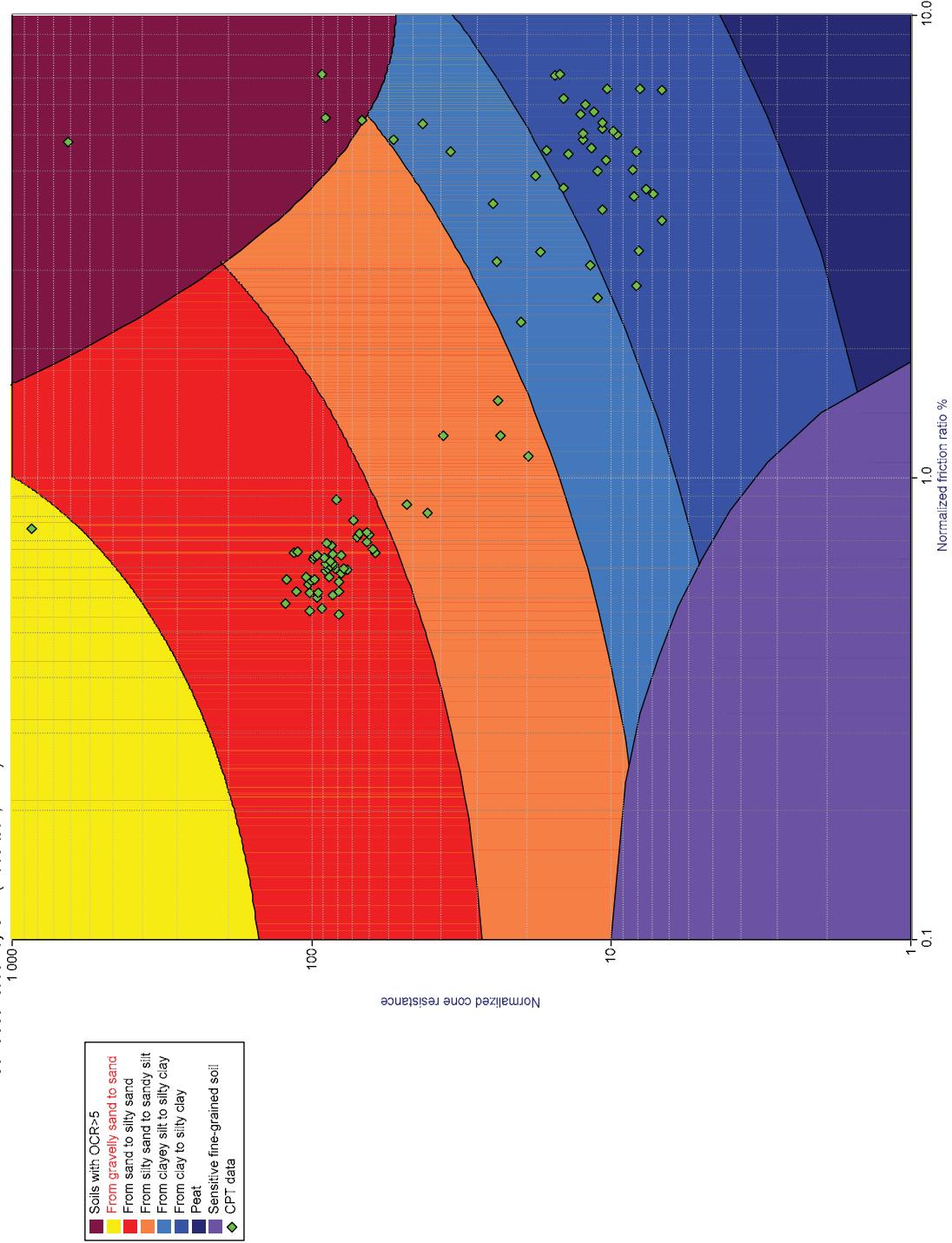
Prove penetrometriche statiche CPT



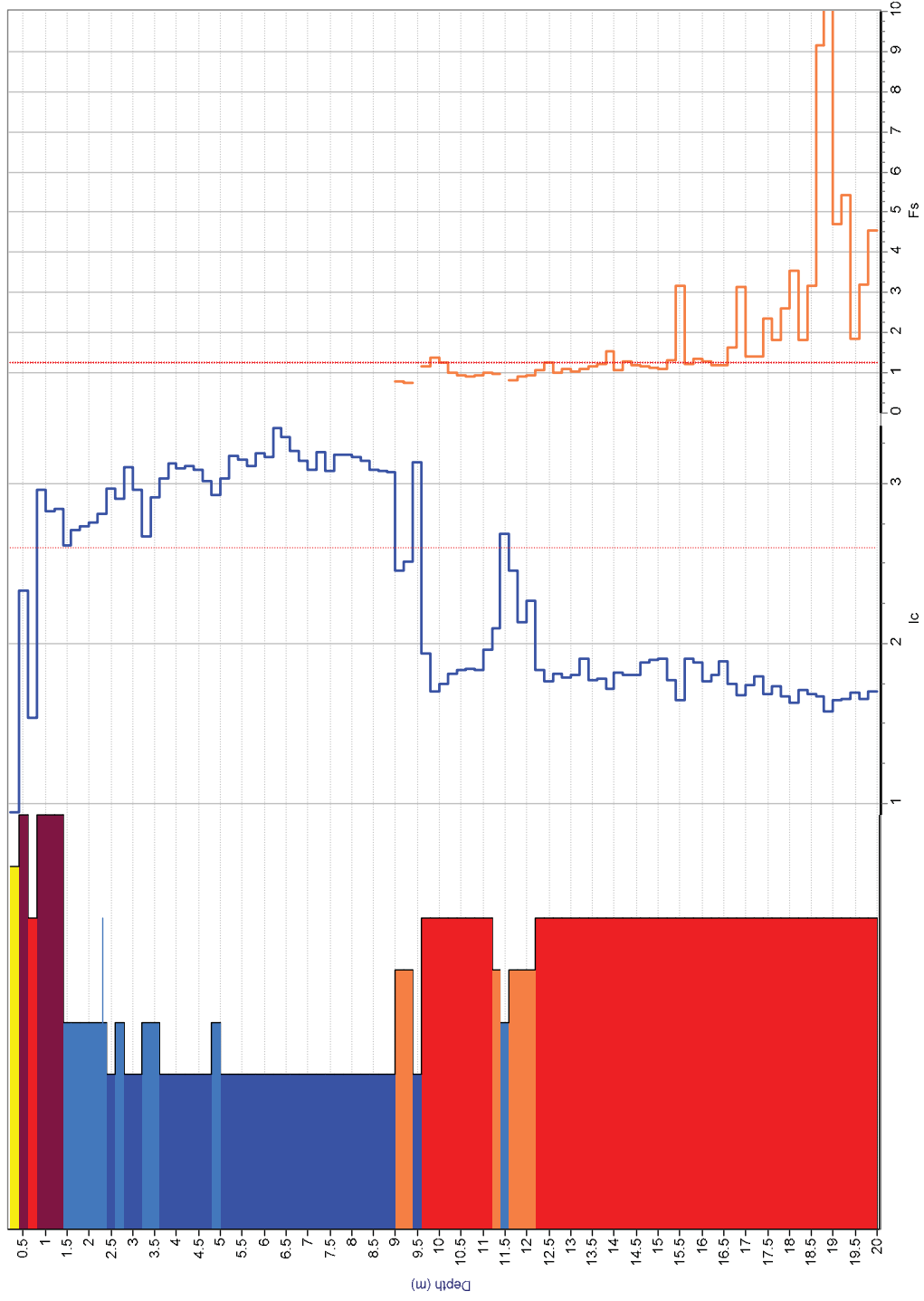
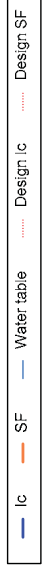
Liquefaction potential index=1.1 risk: low

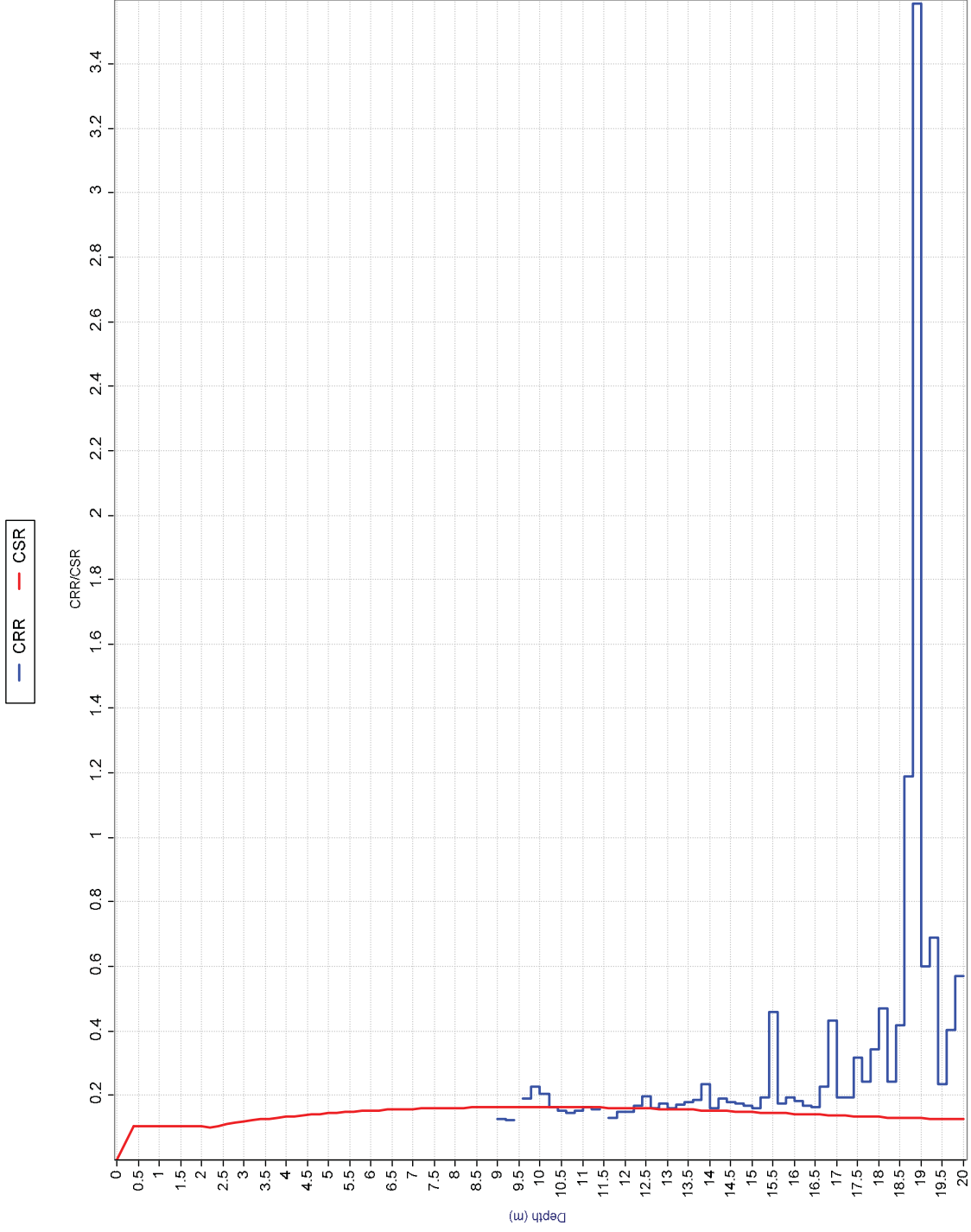
Geo Group srl Via Cesare Costa 182 Modena info@geogroupmodena.it

Soil classification by CPT (Robertson, 1990)



Ic and SF profile





Geo Group srl Via Cesare Costa 182 Modena info@geogroupmodena.it