

PROVINCIA DI FERRARA
COMUNE DI FERRARA

**REALIZZAZIONE DELLA NUOVA SEDE DEL
CENTRO UNIFICATO PER L'EMERGENZA DELLA
PROTEZIONE CIVILE A FERRARA**

EMERGENZA SISMA REGIONE EMILIA-ROMAGNA AI SENSI DELL'ART.1 COMMA 2 DEL D.L. N. 74/2012

PROGETTO DEFINITIVO

Redatto secondo l'Art. 28 del DPR 207/2010

ALLEGATO C.1
RELAZIONE GEOLOGICA
AI SENSI DEL DGR 2193/2015

REV 1



Comune di Ferrara

Provincia di Ferrara

RELAZIONE GEOLOGICA inerente le indagini eseguite, la caratterizzazione e modellazione geologica del sito (G.2.1. DM 14/01/08)

RELAZIONE GEOTECNICA basata sulle indagini geognostiche effettuate, al fine della caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno del sito (G.2.2. DM 14/01/08)

Relazione concernente la "RISPOSTA SISMICA DEL SITO" (D.M. 14/01/08 - NNTC) la verifica a possibili fenomeni di liquefazione (D.M. 14/01/2008)

Relazione contenente lo studio di "MICROZONAZIONE SISMICA DEL SITO" (ai sensi della DGR 2193/2015 RER) con verifica del coefficiente di amplificazione del moto sismico secondo approccio descritto nella normativa della Regione Emilia Romagna e verifica dei fenomeni di liquefazione



OGGETTO:

**Studio di microzonazione sismica
per l'area denominata "CERPIC"
presso il Centro Unificato dell'Emergenza
sul territorio della Protezione Civile
in progetto in Via Bologna n. 534
nella località Chiesuol Del Fosso
nel Comune di Ferrara (FE)**



Dott. Geol. Pier Luigi Dallari
Novembre 2017
Rif. 646/17

ASSOCIATO



GEO GROUP s.r.l.

Via C. Costa, 182 - 41123 MODENA

Tel. 059/3967169 Fax. 059/5332019

E-mail: info@geogroupmodena.it

P.IVA e C.F. 02981500362

www.geogroupmodena.it



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

Relazione Tecnica comprendente:

RELAZIONE GEOLOGICA inerente le indagini geognostiche eseguite, la definizione delle unità litotecniche, gli eventuali processi geomorfologici al fine della modellazione geologica del sito (**6.2.1. DM 14/01/08**)

Relazione concernente la **"RISPOSTA SISMICA DEL SITO"** (*ai sensi del D. M. 14/01/2008 NNTC*) e la verifica agli Stati Limiti Ultimi (SLU) (**6.4 del D.M. 14/01/08**) al fine della progettazione per azioni sismiche

MICROZONAZIONE SISMICA dell'area secondo gli *indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica*, ai sensi della *Delibera di Assemblea Legislativa n.112/2007* e della *Delibera Giunta Regionale n. 2193/2015* e dell'*Ordinanza n. 70 del 13/11/2012*.

Oggetto:

Studio di microzonazione sismica per l'area denominata "CERPIC" presso il Centro Unificato dell'Emergenza sul territorio della Protezione Civile in progetto in Via Bologna n. 534 nella località Chiesuol Del Fosso nel Comune di Ferrara (FE).

Indice del contenuto

1	PREMESSE.....	3
1.1	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	6
2.	RELAZIONE GEOLOGICA.....	8
2.1	MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO - GEOLOGIA.....	8
2.2	INDAGINI GEOGNOSTICHE	8
2.1	Prove penetrometriche CPTU e S-CPTU.....	9
3	CLASSIFICAZIONE e CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO – PROGETTAZIONE PER AZIONI SISMICHE.....	14
3.1	INDAGINI GEOFISICHE	14
3.1.1	Indagine sismica con metodo MASW.....	14
4.1.2	Indagine sismica passiva con metodo dei microtremori (Re.Mi.).....	15
4.1.3	Indagini sismiche Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) – Metodo di Nakamura	16
4.3	AZIONE SISMICA: STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA (III LIVELLO DI APPROFONDIMENTO DGR 2193/15).....	18
3.3.1	VERIFICA DELLA SUSCETTIVITÀ DEL SITO AL FENOMENO DI LIQUEFAZIONE (APPROCCIO DGR 2193/2015).....	26
3.3.2	CALCOLO DEI CEDIMENTI POST-SISMICI	28
3.4	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO (§ 3.2.2 NTC 2008).....	30
5	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	31

Tavole

Tav. n. 1: “Carta Corografica”	scala 1: 25.000;
Tav. n. 2: “Carta Topografica”	scala 1: 5.000;
Tav. n. 3: “Ripresa fotografica generale dell’area di interesse”	scala grafica;
Tav. n. 4: “Carta della litologia di superficie”	scala grafica;
Tav. n. 5: “Indagini geognostiche”	scala grafica.

Allegati

- ALL. n. 1** Prove penetrometriche statiche CPTU e SCPTU;
ALL. n. 2 Indagini sismiche;
ALL. n. 3 Verifica alla liquefazione;

1 PREMESSE

Nel mese di Novembre 2017 è stata eseguito il presente studio di microzonazione sismica ai sensi L.R. n. 19/2008 e della D.G.R. n. 2193/2015 relativa all'area denominata "CERPIC" in progetto per la realizzazione del Centro Unificato dell'Emergenza della Protezione Civile in progetto in Via Bologna n. 534 in località Chiesuol Del Fosso nel Comune di Ferrara (FE).





Fig. 1.1: Inquadramento geografico dell'area denominata "CERPIC" in progetto; immagini tratte da **Bing Maps**.

Si riportano di seguito alcuni disegni progettuali inerenti gli interventi in progetto di cui si tratta nella presente relazione di studio di microzonazione sismico.



Fig. 1.2: Planimetria di progetto dell'intero lotto oggetto di futura realizzazione del Centro Unificato dell'Emergenza della Protezione Civile.



Fig. 1.3: Planimetria di progetto dell'area denominata "CERPIC" di futura realizzazione presso il Centro Unificato dell'Emergenza della Protezione Civile in progetto.

1.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area in esame è sita a sud-ovest rispetto al centro del Comune di Ferrara (FE), nei pressi della località Chiesuol Del Fosso in Via Bologna n. 534, nei pressi dell'area "Ferrara Fiere Congressi S.r.l.", come illustrato nella "Carta corografica", tavola CTR n. 185_SE "**Ferrara**" alla scala 1: 25.000 (**tav. n. 1**); nella "Carta topografica", alla scala 1: 10.000 tratta dalla Carta Geografica Unica della Provincia di Ferrara, (**tav. n. 2**) e nella "Ripresa fotografica generale dell'area di interesse" (**tav. n. 3**), riportate in allegato.

Le coordinate geografiche relative al sito in oggetto, calcolate mediante apposito software ed utilizzando la maglia di punti riportata in figura 1.2 sono le seguenti:

(1)* Coordinate WGS84 (°)	
Latitudine 44.811044	Longitudine 11.586126
(1)* Coordinate ED50 (°)	
Latitudine 44,811973	Longitudine 11,587119



Fig. 1.2: Maglia di punti che identificano l'area di interesse.

Per ottemperare alle richieste del D.M. 14/01/2008 il succitato studio verrà suddiviso nei seguenti ambiti:

1) RELAZIONE GEOLOGICA riguardante le indagini geognostiche eseguite, la caratterizzazione e modellazione geologica del sito (6.2.1. D.M. 14/01/08);

2) Relazione concernente la "RISPOSTA SISMICA DEL SITO" (ai sensi del D. M. 14/01/2008 NNTC), la verifica dello Stato Limite Ultimo (SLU) (par. 6.4 del D.M. 14/01/08) e la verifica a possibili fenomeni di liquefazione (D.M. 14 /01/2008)

3) MICROZONAZIONE SISMICA DELL'AREA ai sensi della *Delibera Assemblea Legislativa (DAL) n. 112/2007 Art. 16 c.1 'indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica'* e successiva DGR 2193/2015

2. RELAZIONE GEOLOGICA

2.1 MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO - GEOLOGIA

L'area oggetto di studio è posta a sud-ovest rispetto al centro del Comune di Ferrara (FE). Da quanto si evince dalla cartografia della "Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000", nell'area oggetto di studio affiora la seguente litologia:

S^a – terreni sabbioso argillosi

L'area oggetto di studio è posta nella pianura modenese, in una zona pianeggiante alla quota topografica media di circa 7.00 m s.l.m..

2.2 INDAGINI GEOGNOSTICHE

In relazione alla litologia presente nell'area e in base alla tipologia di intervento in progetto, la campagna geognostica è stata espletata mediante le seguenti indagini geognostiche:

- ***n. 1 prova penetrometrica statica con piezocono sismico SCPTU, che ha raggiunto la profondità di -30.30 m da p.c., eseguita in data 31/10/2017;***
- ***n. 1 prova penetrometrica statica con piezocono CPTU, che ha raggiunto la profondità di -20.00 m da p.c., eseguita in data 31/10/2017;***
- ***n. 2 indagini sismiche con metodologia MASW, eseguite in data 27/10/2017;***
- ***n. 2 indagini sismiche passive con metodologia Re.Mi., eseguite in data 27/10/2017;***
- ***n. 3 indagini sismiche passive HVSR, eseguite in data 27/10/2017.***

L'ubicazione delle indagini geognostiche è illustrata nella **tav. n. 5**

2.2.1 Prove penetrometriche CPTU e S-CPTU

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

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

Una punta elettrica particolare, detta "piezocono", è dotata anche di un dispositivo di misura della pressione, attraverso il quale viene misurata la pressione dell'acqua nei pori del terreno u (CPTU).

La pressione che viene misurata è la pressione $u = u_0 + \Delta u$, dove u_0 è la pressione dovuta al livello idrostatico e Δu quella generata dallo sforzo alla penetrazione nel terreno.

Il piezocono da Noi utilizzato è un Tecno Penta TP CPL2IN ed è dotato di un dispositivo di misura della pressione costituito da un cilindro metallico saturato con grasso, situato poco al di sopra della punta conica. Si riporta di seguito lo schema con le caratteristiche del piezocono utilizzato.

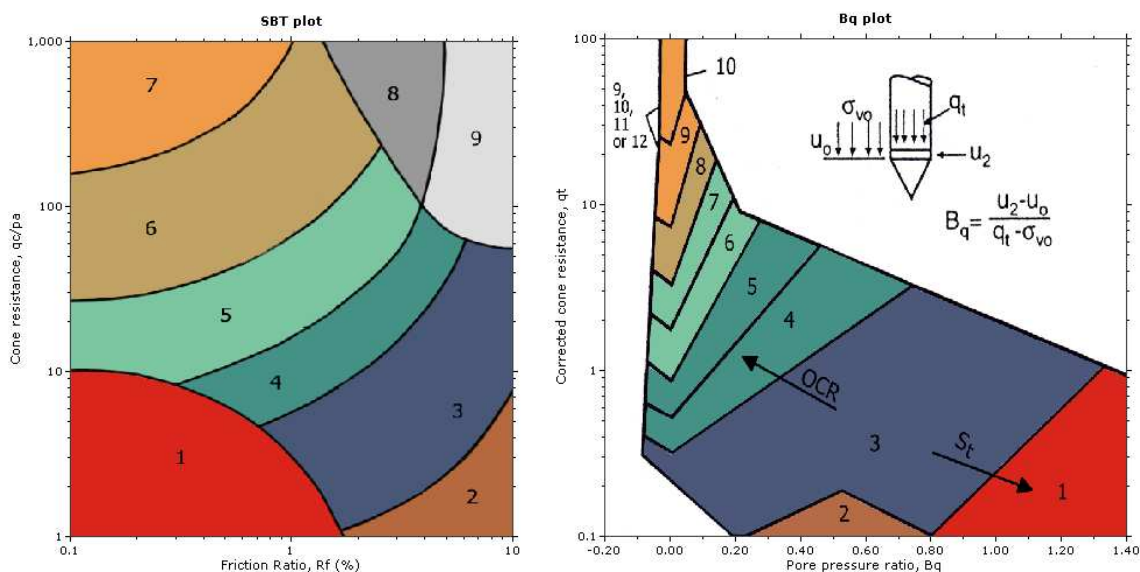
DATI STRUMENTALI DEL PIEZOCONO	
Area punta	10 cm ²
Area interna punta cono	6.6 cm ²
Angolo di apertura punta	60 °
Diametro punta conica meccanica	35.7 mm
Altezza manicotto laterale	13.37 cm
Passo	2 cm
Distanza punta/setto poroso	0.4 cm

Tab. 2.1: Caratteristiche del piezocono utilizzato.

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

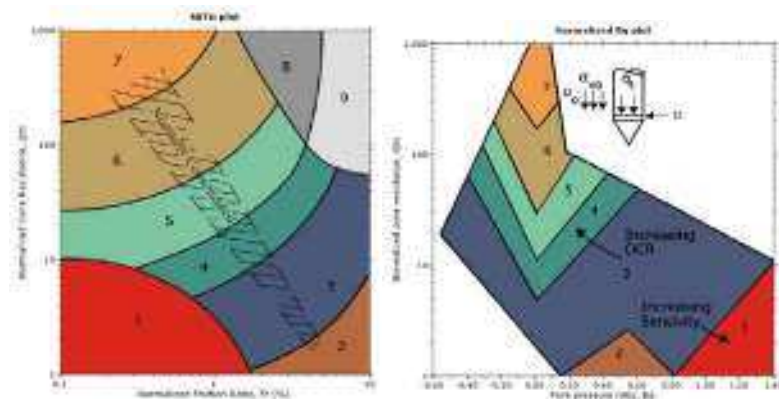
La caratterizzazione litostratigrafica del terreno è stata effettuata in funzione delle carte proposte da Robertson, in cui il tipo di comportamento del terreno è definito da tre parametri: q_t , resistenza

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



SBT legend

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



SBTn legend

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

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

Unit Weight, g (kN/m³) :: $g = g_w \cdot [0.27 \cdot \log(R_f) + 0.36 \cdot \log(\frac{q_t}{p_s}) + 1.236]$ where g_w = water unit weight Permeability, k (m/s) :: $I_c < 3.27$ and $I_c > 1.00$ then $k = 10^{0.952-3.084 \cdot I_c}$ $I_c \leq 4.00$ and $I_c > 3.27$ then $k = 10^{-4.52-1.374 \cdot I_c}$ N_{60} (blows per 30 cm) :: $N_{60} = \left(\frac{q_c}{p_s} \right) \cdot \frac{1}{10^{1.108-0.2817 \cdot I_c}}$ $N_{60} = Q_{60} \cdot \frac{1}{10^{1.108-0.2817 \cdot I_c}}$ Young's Modulus, E_s (MPa) :: $(q_t - \sigma_v) \cdot 0.015 \cdot 10^{0.55-1.148 \cdot I_c}$ (applicable only to $I_c < I_{c,rem}$) Relative Density, D_r (%) :: $100 \cdot \sqrt{\frac{Q_{60}}{k_{DR}}}$ (applicable only to SBTs: 5, 6, 7 and 8 or $I_c < I_{c,rem}$) State Parameter, ψ :: $\psi = 0.56 - 0.33 \cdot \log(Q_{60})$ Peak drained friction angle, ϕ (°) :: $\phi = 17.60 + 11 \cdot \log(Q_{60})$ (applicable only to SBTs: 5, 6, 7 and 8) 1-D constrained modulus, M (MPa) :: If $I_c > 2.20$ $\alpha = 14$ for $Q_{60} > 14$ $\alpha = Q_{60}$ for $Q_{60} \leq 14$ $M_{CPT} = \alpha \cdot (q_t - \sigma_v)$ If $I_c \leq 2.20$ $M_{CPT} = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55-1.148 \cdot I_c}$	Small strain shear Modulus, G_0 (MPa) :: $G_0 = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55-1.148 \cdot I_c}$ Shear Wave Velocity, V_s (m/s) :: $V_s = \left(\frac{G_0}{\rho} \right)^{0.50}$ Undrained peak shear strength, S_u (kPa) :: $N_{60} = 10.50 + 7 \cdot \log(F_r)$ or user defined $S_u = \frac{(q_t - \sigma_v)}{N_{60}}$ (applicable only to SBTs: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c,rem}$) Remolded undrained shear strength, $S_u(rem)$ (kPa) :: $S_{u(rem)} = F_s$ (applicable only to SBTs: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c,rem}$) Overconsolidation Ratio, OCR :: $k_{OCR} = \left[\frac{Q_{60}^{0.20}}{0.25 \cdot (10.50 + 7 \cdot \log(F_r))} \right]^{1.25}$ or user defined $OCR = k_{OCR} \cdot Q_{60}$ (applicable only to SBTs: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c,rem}$) In situ Stress Ratio, K_0 :: $K_0 = 0.1 \cdot \left(\frac{q_t - \sigma_v}{\sigma_{v0}} \right)$ (applicable only to SBTs: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c,rem}$) Soil Sensitivity, S_s :: $S_s = \frac{N_s}{F_r}$ (applicable only to SBTs: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c,rem}$) Effective Stress Friction Angle, ϕ (°) :: $\phi = 29.5^\circ \cdot B_0^{0.123} \cdot (0.256 + 0.336 \cdot B_0 + \log Q_t)$ (applicable for $0.10 < B_0 < 1.00$)
---	---

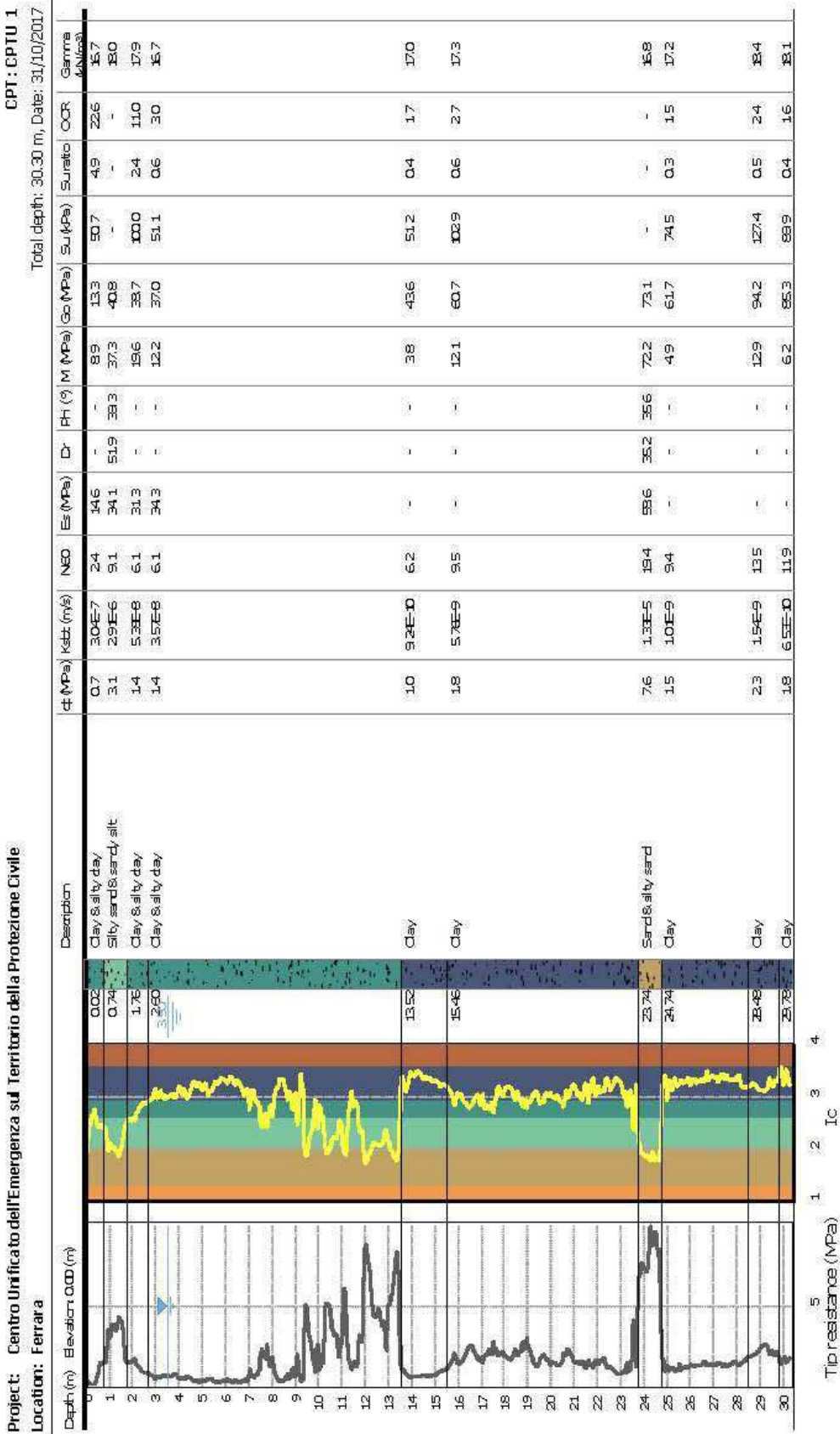
Fig. 2.2: Correlazioni utilizzate per la stima dei parametri geotecnici.

La prova penetrometrica elettrica con piezocono sismico SCPTU consiste nell'infissione nel terreno di un piezocono standard all'interno del quale sono inseriti tre geofoni per la misura della velocità di propagazione nel terreno delle onde sismiche di taglio S e di compressione P. Le modalità esecutive della prova seguono le normative tecniche standard della classica prova con piezocono la cui infissione viene arrestata ad intervalli regolari di 1,00 metro per effettuare l'acquisizione dei dati sismici tramite sensori e sismografo.

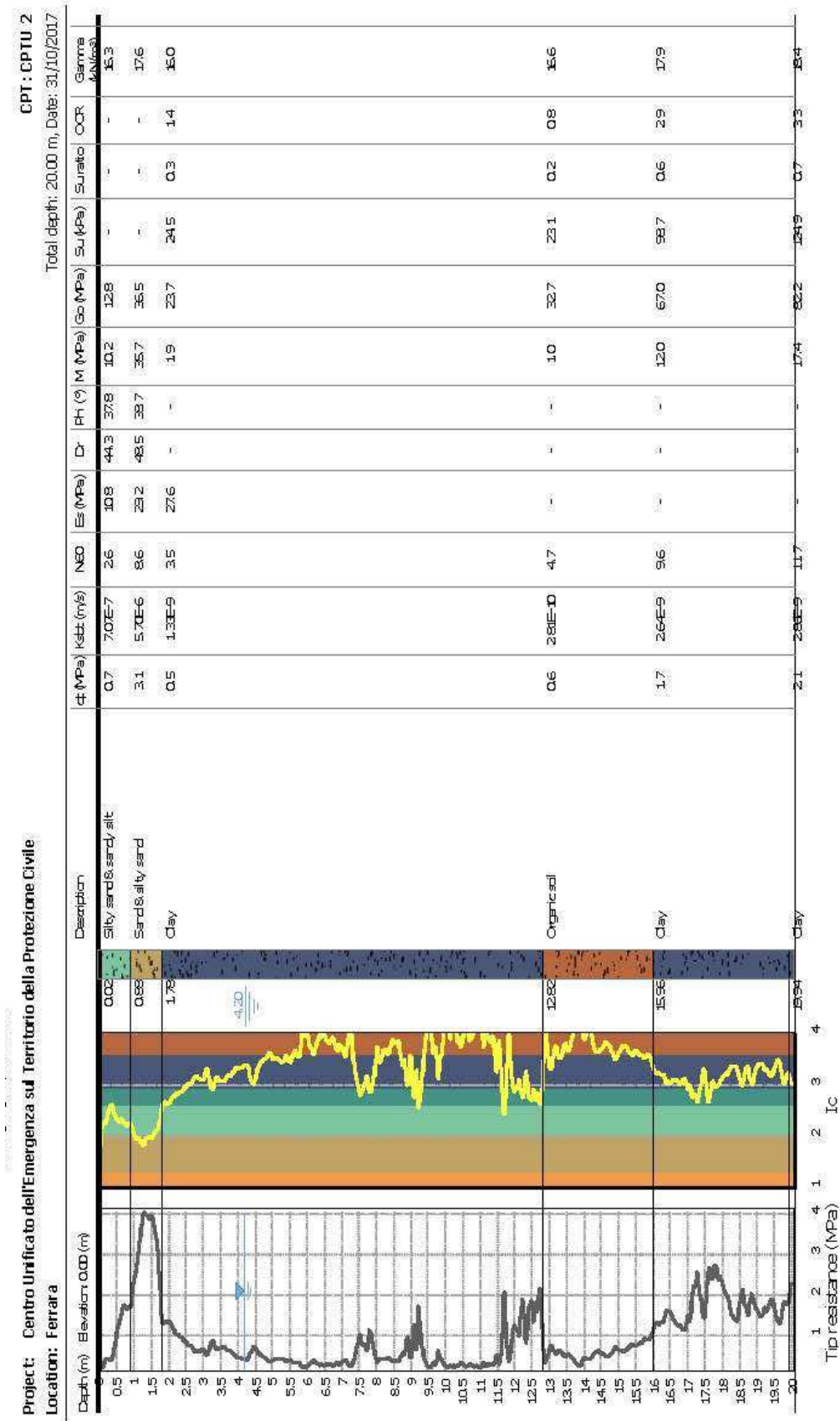
Il sistema di energizzazione del terreno (sorgente delle onde di taglio) è costituito da una pesante traversina in ferro collegata e fissata al penetrometro in modo tale che le terminazioni della traversina siano situate ad una distanza non superiore a 3,00 metri dalla verticale di prova. Le traversine di ferro fissate alle terminazioni vengono colpite con una mazza o un martello sufficientemente pesanti. Per la valutazione dei tempi di arrivo ad ogni metro di profondità viene utilizzato il metodo del cross-over (sovrapposizione di due segnali con opposta polarizzazione) che permette di scartare i segnali non coerenti, individuare i segnali migliori su cui mediare e determinare con precisione i tempi di arrivo delle onde di taglio.

Attraverso le indagini SCPTU proposte, oltre a identificare con esattezza la litostratigrafia dei punti indagati, è stato ricavato il valore di velocità di onde S ad ogni metro di profondità, sulla base di una misura diretta e affidabile. Le misure delle velocità di onde S sono state eseguite fino alla profondità di -30.00 m.

SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA – CPTU1/SCPTU



SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA – CPTU2



3 CLASSIFICAZIONE e CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO – PROGETTAZIONE PER AZIONI SISMICHE

3.1 INDAGINI GEOFISICHE

Per la classificazione sismica dell'area di studio, in data **27/10/2017** sono state eseguite in sito le seguenti indagini geofisiche:

- **n. 2 indagini sismiche con metodo MASW;**
- **n. 2 indagini sismiche passive con metodo Re.Mi.;**
- **n. 3 indagini sismiche passive Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) – Metodo di Nakamura.**

L'ubicazione delle indagini eseguite è riportata nella **Tav. n. 5**, mentre in **Allegato n.2** sono presenti i grafici relativi ai risultati ottenuti dall'elaborazione delle indagini sismiche **MASW, Re.Mi.** e **HVSr** rispettivamente.

3.1.1 Indagine sismica con metodo MASW

Per misurare le velocità delle onde di taglio si possono eseguire prospezioni sismiche mediante stendimenti superficiali, utilizzando geofoni verticali da 4,5 Hz ed acquisendo attivamente i segnali delle onde rifratte alla superficie mediante una sorgente artificialmente provocata. Questa tecnica, nota con la sigla **MASW** (Multichannel Analysis of Surface Waves), permette di ricostruire il profilo verticale delle Vs con procedimenti di modellazione diretta delle velocità di fase delle onde, rifratte alla superficie. Partendo dal sismogramma registrato mediante sorgente energizzante in asse con lo stendimento, viene eseguita un'analisi spettrale che ha consentito di elaborare un'immagine della distribuzione del segnale di velocità sismica in funzione delle diverse frequenze che lo compongono. Da tale elaborazione, tramite una fase di "picking" del segnale ad elevata intensità è stata ottenuta la "**curva di dispersione**", dalla cui inversione è stato calcolato il **modello sismo-stratigrafico** espresso in termini di velocità delle onde di taglio (Vs). I dati sono stati registrati mediante un sismografo **Geode Geometrics 24** bit con filtri disinseriti, velocità di campionamento (sample rate) di 0.2 millisecondi e lunghezza delle acquisizioni di 1 secondo. 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.

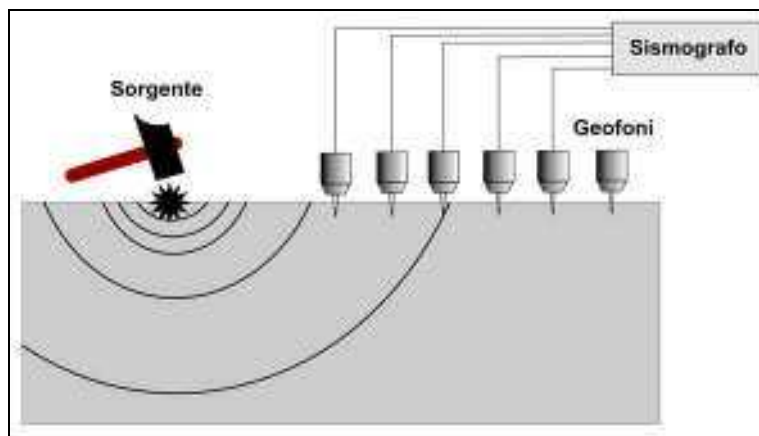


Fig. 3.1: Schema di Array lineare e punto energizzante.



Fig. 3.2: Strumentazione della Geode Geometrics utilizzata per l'esecuzione dell'indagine sismica MASW e Re.Mi.

4.1.2 Indagine sismica passiva con metodo dei microtremori (Re.Mi.)

Nel sito oggetto di indagine sono state eseguite n. 2 acquisizioni di rumore sismico ambientale disperso attraverso array di registrazione lineari. Tale tecnica, conosciuta secondo la metodologia Re.Mi. (**Louie, 2001**), permette di campionare le frequenze più basse, caratterizzanti le porzioni più profonde del sottosuolo. La tecnica Re.Mi. sfrutta la capacità di poter mettere in relazione le velocità di fase e le frequenze, relative alle onde di taglio, con le forme di dispersione delle onde di superficie. I microtremori sismici naturali determinano, in corrispondenza della superficie, la formazione di onde superficiali di Rayleigh. L'indagine Re.Mi è stata eseguita mediante l'ausilio di

sismografo GEODE (Geometrics) con 24 canali di acquisizione. L'array di misura è stato costituito attraverso la disposizione di n. 24 geofoni verticali con frequenza propria di vibrazione pari a 4.5 Hz, con **offset** geofonico pari a 5.00 m.

La tecnica Re.Mi. utilizza i microtremori naturali come sorgente sismica, trasformando i dati acquisiti da un dominio spazio/tempo a un dominio frequenza/velocità⁻¹ attraverso una trasformazione definita $\rho\text{-}\tau$ (Thorson & Claerbout, 1985) e una trasformazione di Fourier applicata nella direzione di τ . Così facendo è possibile definire lo spettro energetico relativo alle velocità di fase delle onde di Rayleigh nel dominio frequenza/velocità⁻¹. Utilizzando array lineari l'interpretazione degli spettri non risulta pertanto lineare: per ovviare al problema delle velocità apparenti, derivante dal fatto che la direzione di propagazione delle onde nelle tecniche passive non è necessariamente parallela all'array, è di comune prassi eseguire il **pick** dello spettro non al massimo dell'energia ma al minimo.

4.1.3 Indagini sismiche Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) – Metodo di Nakamura

La caratterizzazione sismica dei terreni tramite la tecnica di **indagine sismica passiva HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio – Metodo di Nakamura)** è finalizzata all'individuazione delle frequenze caratteristiche di risonanza di sito. Esse sono correlabili ai cambi litologici presenti sia all'interno della copertura che nell'ammasso roccioso. L'utilizzo di algoritmi di calcolo finalizzati ad una modellizzazione sintetica dello spettro H/V, permette di correlare ogni picco spettrale con le discontinuità presenti nel sottosuolo (per esempio i cambi litologici). I dati che si possono ricavare sono spessori, profondità e velocità di propagazione delle onde di taglio all'interno del sismo-strato individuato. Tramite l'elaborazione di moti superiori e l'analisi dell'andamento delle tre componenti del moto, è possibile distinguere i picchi di origine naturale da quelli generati dai moti superiori o da artefatti, al fine di garantire una corretta interpretazione dello spettro sismico registrato. La tecnica dei rapporti spettrali (HVSr) trova la sua massima applicazione negli studi di microzonazione sismica poiché fornisce un parametro fondamentale (frequenza propria di risonanza di sito) per una corretta progettazione di edifici antisismici. Negli ultimi anni si è affermata anche per la sua versatilità poiché si è dimostrato come lo spettro sismico può rappresentare un modello sismo – stratigrafico del sottosuolo.

La tecnica **HVSr** è totalmente **non invasiva, molto rapida**, si può applicare ovunque e non necessita di nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazioni esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque. Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un "velocimetro triassiale" conforme alle norme SESAME.

I risultati che si possono ottenere da indagini sismiche HVSr sono:

- La **frequenza caratteristica di risonanza del sito** che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto **dimensionamento degli edifici antisismici**. Si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare strutture aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno, per evitare l'effetto di "**doppia risonanza**", fenomeno estremamente pericoloso per la stabilità delle costruzioni.
- La **frequenza fondamentale di risonanza di un edificio**, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In seguito sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito e capire se, in caso di sisma, la costruzione potrà essere o meno a rischio.
- La **velocità media delle onde di taglio Vs** calcolata tramite un apposito codice di calcolo. È necessario, per l'**affidabilità del risultato**, conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia (prova penetrometrica, sondaggio, etc.) e riconoscibile nella **curva H/V**. E' possibile calcolare la **Vs30** e la relativa categoria del suolo di fondazione come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 gennaio 2008.
- La **stratigrafia del sottosuolo** con un **range** di indagine compreso tra 0.5 e 700 m di profondità, anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri. Il principio su cui si basa la tecnica **HVSR**, in termini di **stratigrafia del sottosuolo**, è rappresentato dalla definizione di strato, inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un **contrasto d'impedenza**, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

Dall'elaborazione delle indagini sismiche passive HVSR eseguite in sito, è stato individuato nello spettro H/V dell'indagine HVSR n. 2 un picco caratteristico alla frequenza 0.88 ± 0.1 Hz; dal confronto tra lo spettro H/V sperimentale e quello sintetico, illustrati in **fig. 3.3**, si è ottenuto il modello sismo-stratigrafico riportato nella **tabella 3.1**.

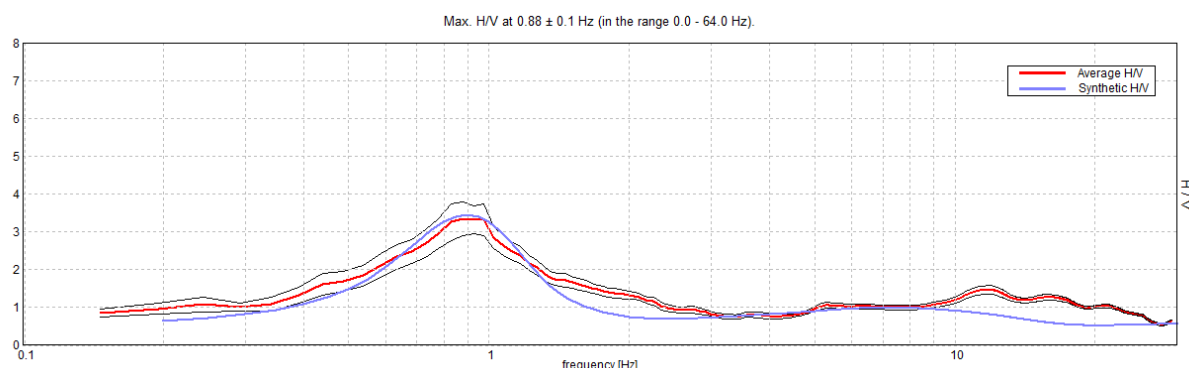


Fig. 3.3 – Curva H/V sintetica e sperimentale ottenuta dall'indagine sismica HVSR n. 2.

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.50	0.50	90	0.42
2.50	2.00	110	0.42
7.50	5.00	162	0.42
21.50	14.00	193	0.42
44.50	23.00	244	0.42
76.50	32.00	350	0.42
116.50	40.00	400	0.42
inf.	inf.	500	0.42

Tabella 3.1 – Modello sismo-stratigrafico ottenuto dall'indagine sismica HVSR n. 2.

4.3 AZIONE SISMICA: STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA (III LIVELLO DI APPROFONDIMENTO DGR 2193/15)

Alla luce di quanto esposto nel § 3.2.2 del D.M. 14/01/2008 e in accordo con quanto esposto nella D.A.L 112/2007 e successiva D.G.R. 2193/2015 della Regione Emilia Romagna, sono stati definiti i fattori di amplificazione dell'accelerazione e delle velocità spettrali 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 del D.M. 14/01/2008, attraverso analisi numerica monodimensionale in campo lineare equivalente. Per fare ciò è stato utilizzato come strumento di lavoro il software di calcolo STRATA (University of Texas - Austin).

Ai fini della restituzione degli spettri di accelerazione, relativi allo stato limite SLV, è stata svolta la verifica dell'amplificazione del sito mediante l'utilizzo di un modello simulato in campo lineare equivalente.

Utilizzando un modello lineare equivalente è possibile ottenere una soluzione di un modello non lineare, attraverso analisi lineari complete nelle quali, al termine di ogni interazione vengono aggiornati i parametri di **rigidezza** e **smorzamento** che sono dipendenti dallo stato di deformazione del terreno. Attraverso un'iterazione di calcoli si raggiunge una convergenza prefissata a monte della fase di computazione.

Il software STRATA è in grado di valutare la risposta sismica di un deposito di terreno, considerando un profilo monodimensionale in cui si propagano linearmente le onde sismiche, in funzione dei parametri dinamici attribuiti al terreno. Il terreno viene schematizzato come un sistema di N strati orizzontali omogenei, isotropi e visco-elastici, sovrastanti un semispazio uniforme, attraversati da un treno di onde di taglio che incidono verticalmente le superfici. Ogni strato è descritto per mezzo dello spessore H , del modulo di taglio massimo G_{max} o dalla corrispondente velocità massima V_{max} , dal valore dello smorzamento D , dal peso dell'unità di volume γ e dalle curve di decadimento del modulo di rigidezza a taglio normalizzato ($G / G_0 - \gamma$) e le corrispondenti curve dello smorzamento ($D - \gamma$) con la deformazione di taglio γ . Il modello lineare visco-elastico fa

riferimento al modello reologico di Kelvin-Voigt, costituito da una molla e uno smorzatore viscoso in parallelo. Tale modello è descritto quindi dalla rigidezza (**G**) e dallo smorzamento (**D**). L'onda monodimensionale viene descritta dall'equazione in cui lo spostamento provocato (**u**) è funzione della profondità (**z**) e del tempo (**t**):

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

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

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

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

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

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

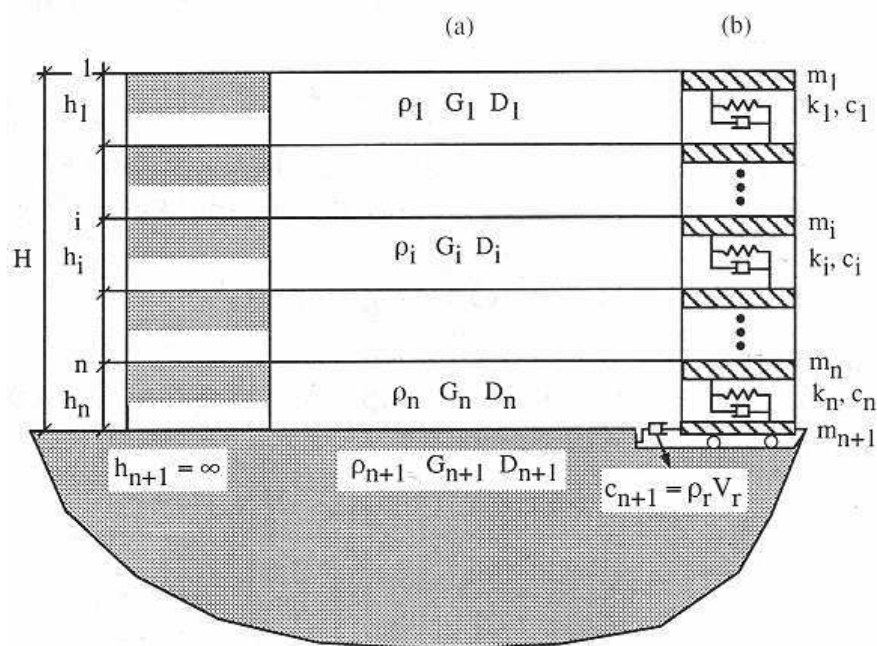


Fig. 4.5: Modello a strati continui adottato per la simulazione con il codice di calcolo STRATA.

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 utilizzato per la modellazione della RSL deriva dall'elaborazione dell'indagine HVSR n. 2 e delle indagini di superficie eseguite (MASW, REMI). Si illustra successivamente il modello utilizzato:

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.50	0.50	90	0.42
2.50	2.00	110	0.42
7.50	5.00	162	0.42
21.50	14.00	193	0.42
44.50	23.00	244	0.42
76.50	32.00	350	0.42
116.50	40.00	400	0.42
inf.	inf.	500	0.42

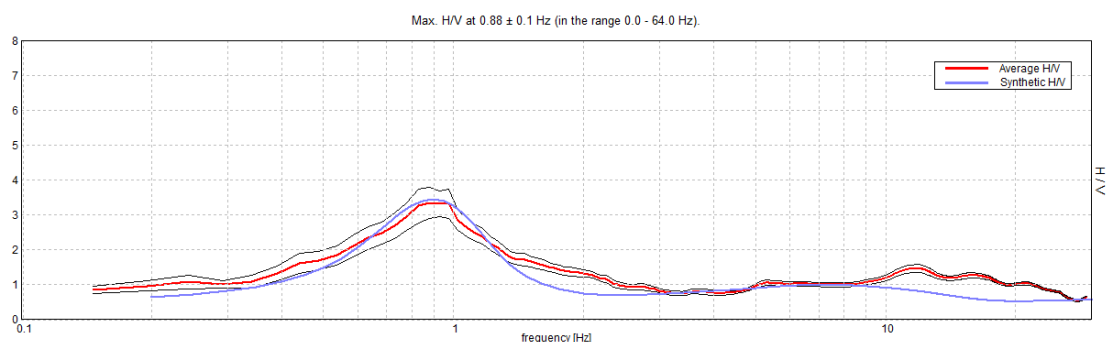


Fig. 3.6: Modello sismico utilizzato per la RSL eseguita e curva HVSR relativa al modello impiegato

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

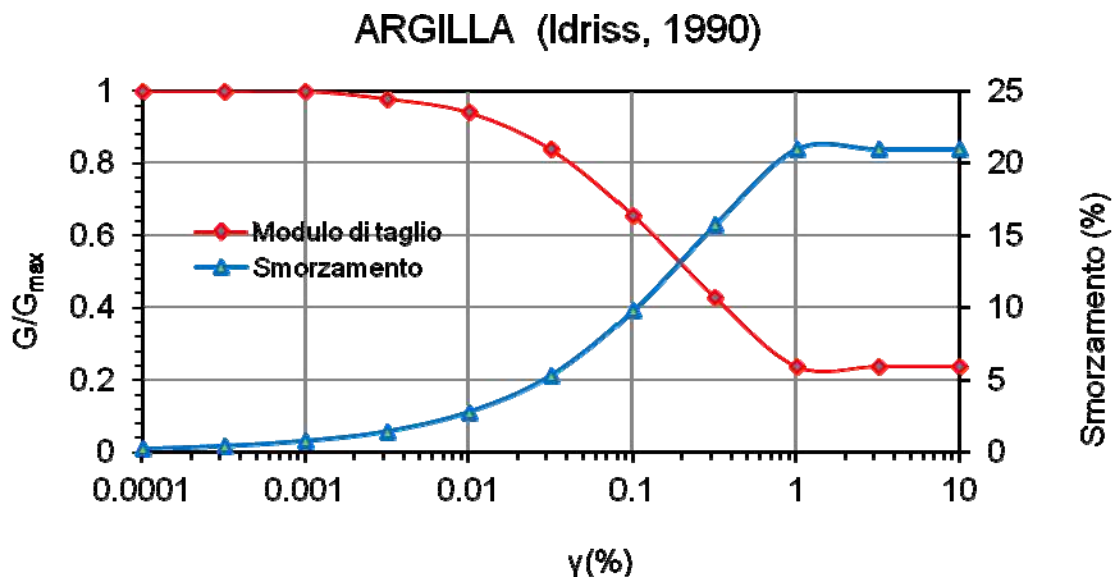


Fig. 3.7: Curva di decadimento dei moduli G/G_{max} e D , utilizzata per descrivere il comportamento dei materiali coesivi che compongono il sottosuolo in oggetto.

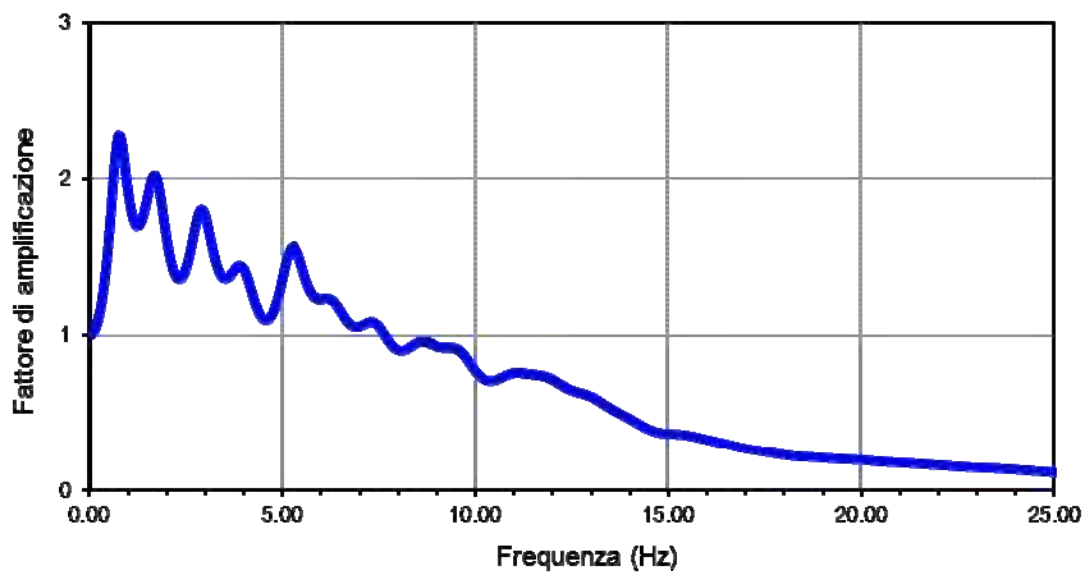
Trattandosi di una verifica a monte di una fase di verifica urbanistica, in accordo con quanto esposto nella D.G.R. 2193/15, l'analisi RSL in oggetto è stata svolta adottando come input sismico 3 accelerogrammi, corrispondenti allo stato limite SLV. I segnali di riferimento sono stati successivamente scalati per il valore di PGA_0 atteso al suolo rigido in corrispondenza dell'areale oggetto di analisi. Per fare ciò è stata considerata l'interpolazione spaziale dei valori di PGA_0 proposta da INGV per il territorio nazionale e resi disponibili per il territorio regionale sui punti di una griglia con passo 0.05 gradi.

Per il sito in oggetto, come rappresentato nella figura successivamente illustrata, tale valore è pari a **0.253 g** considerando un valore di $C_u = 2.00$ (Classe d'uso IV) e $V_n = 100$ anni per ottenere un tempo di ritorno pari a 1898 anni.

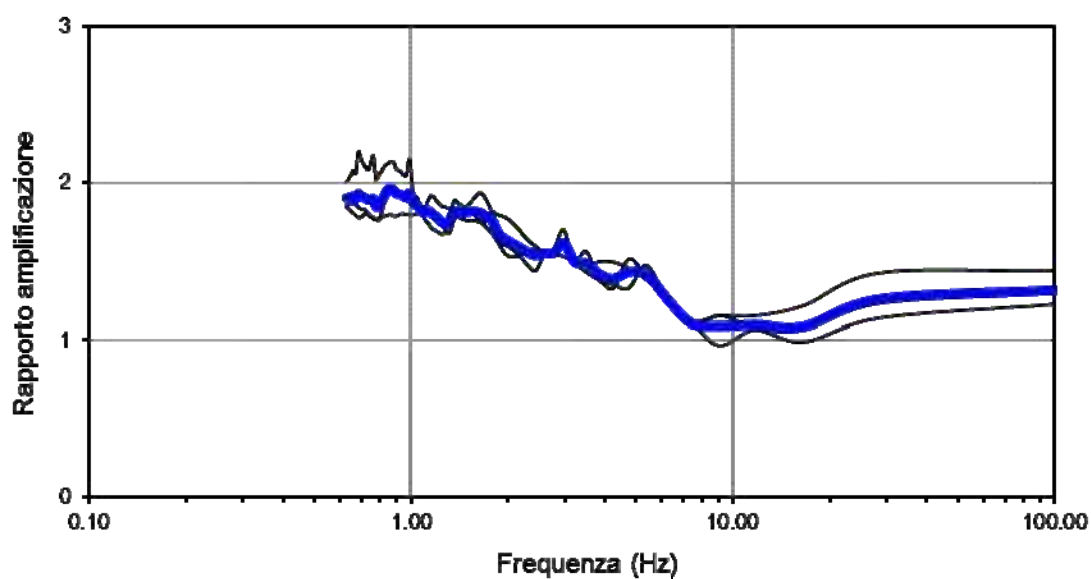
RISULTATI OTTENUTI

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

FUNZIONE DI TRASFERIMENTO



RAPPORTO SPETTRALE



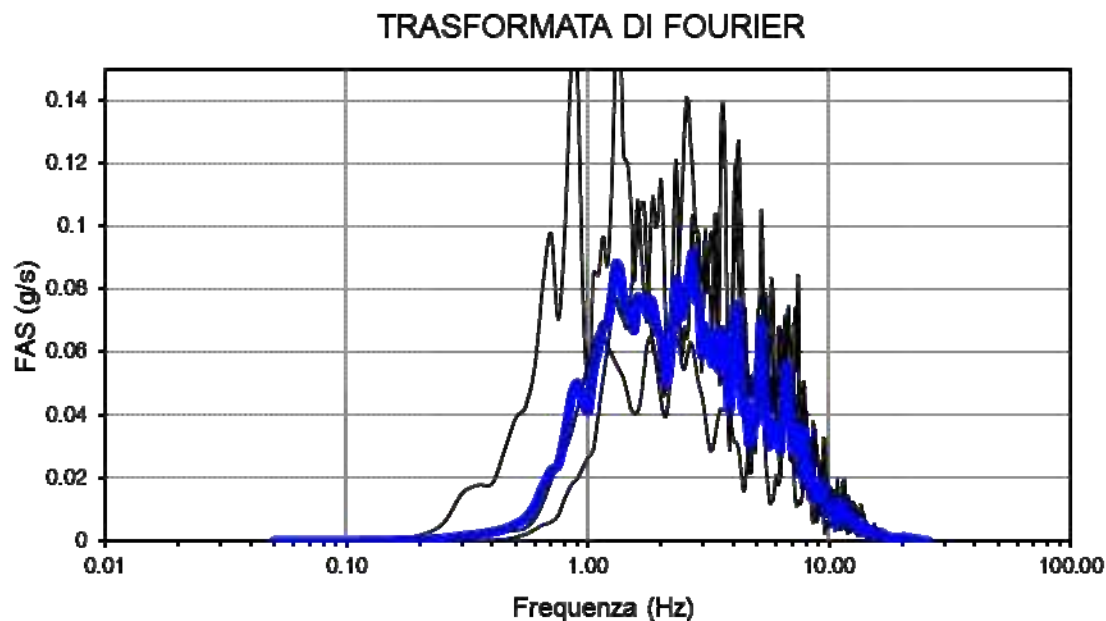


Fig. 3.9: In alto: funzione FTT, funzione FT e rapporto spettrale di amplificazione.

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:

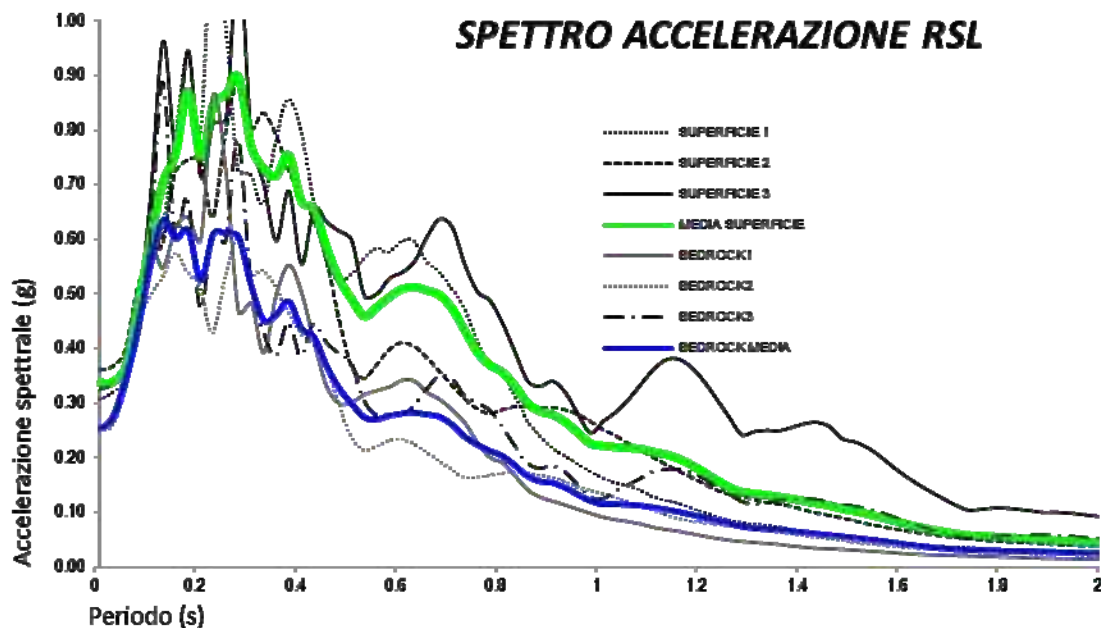


Fig. 3.10: Accelerazioni spettrali relative a un periodo di ritorno pari a 1898 anni (SLV).

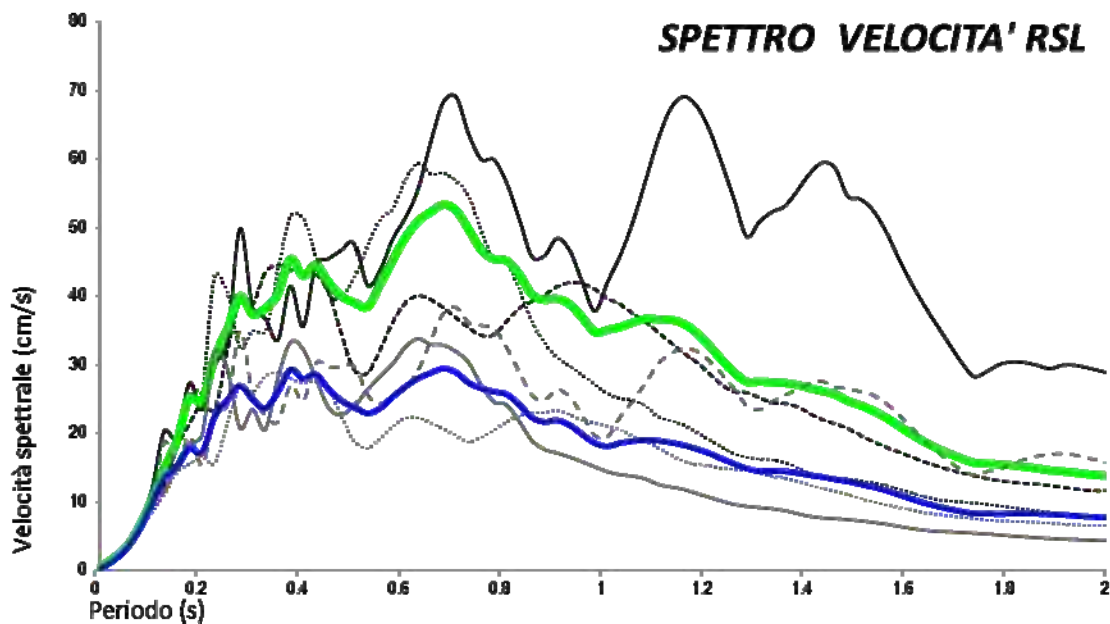
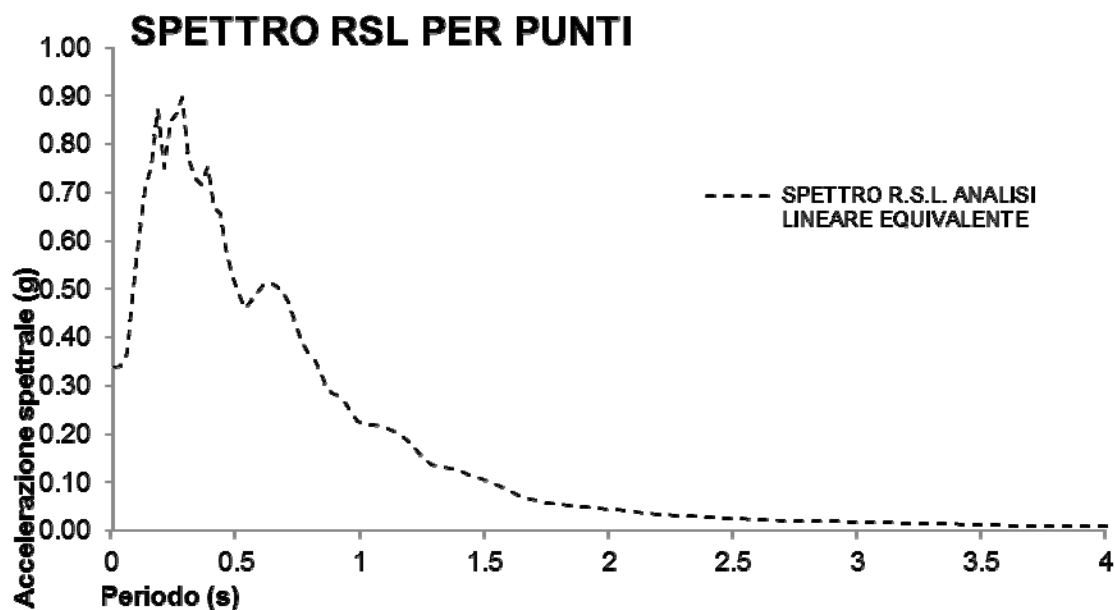


Fig. 3.11: Velocità spettrali relative a un periodo di ritorno pari a 1898 anni (SLV).

A seguito delle risultanze dello studio RSL svolto si definiscono i seguenti parametri sismici caratteristici del sito analizzato:

	F.A. S.I.					PGA _{MAX}
	PGA ₀	F.A. PGA	(0.00 < T(s) < 0.50)	(0.50 < T(s) < 1.00)	(0.50 < T(s) < 1.50)	
SLV	0.253	1.33	1.60	1.79	1.97	0.337

Tab. 3.2: Parametri che identificano lo spettro normalizzato (SLV - Tr 1898), derivato dall'analisi mediante il software di calcolo STRATA;



T (s)	Ag	T (s)	Ag	T (s)	Ag	T (s)	Ag	T (s)	Ag
0.01	0.337	1.04	0.219	2.07	0.042	3.09	0.016	4.12	0.008
0.04	0.339	1.06	0.218	2.09	0.040	3.12	0.016	4.15	0.008
0.06	0.366	1.09	0.216	2.12	0.039	3.14	0.016	4.17	0.008
0.09	0.478	1.11	0.211	2.14	0.037	3.17	0.016	4.20	0.008
0.11	0.600	1.14	0.206	2.17	0.036	3.19	0.016	4.22	0.008
0.14	0.705	1.16	0.199	2.19	0.034	3.22	0.015	4.25	0.008
0.16	0.757	1.19	0.187	2.22	0.033	3.24	0.015	4.27	0.007
0.19	0.872	1.21	0.174	2.24	0.032	3.27	0.015	4.30	0.007
0.21	0.750	1.24	0.159	2.27	0.031	3.29	0.015	4.32	0.007
0.24	0.847	1.26	0.147	2.29	0.030	3.32	0.014	4.35	0.007
0.26	0.866	1.29	0.137	2.32	0.030	3.35	0.014	4.37	0.007
0.29	0.898	1.31	0.135	2.34	0.029	3.37	0.014	4.40	0.007
0.31	0.771	1.34	0.132	2.37	0.029	3.40	0.014	4.42	0.007
0.34	0.730	1.36	0.129	2.39	0.028	3.42	0.013	4.45	0.007
0.36	0.716	1.39	0.125	2.42	0.028	3.45	0.013	4.47	0.007
0.39	0.755	1.41	0.121	2.44	0.027	3.47	0.013	4.50	0.006
0.41	0.670	1.44	0.117	2.47	0.026	3.50	0.012	4.52	0.006
0.44	0.656	1.46	0.113	2.49	0.026	3.52	0.012	4.55	0.006
0.46	0.585	1.49	0.107	2.52	0.025	3.55	0.011	4.57	0.006
0.49	0.528	1.51	0.102	2.54	0.024	3.57	0.011	4.60	0.006
0.51	0.490	1.54	0.097	2.57	0.024	3.60	0.011	4.62	0.006
0.54	0.459	1.56	0.092	2.59	0.023	3.62	0.011	4.65	0.006
0.56	0.476	1.59	0.085	2.62	0.023	3.65	0.010	4.67	0.006
0.59	0.495	1.61	0.079	2.64	0.022	3.67	0.010	4.70	0.006
0.61	0.509	1.64	0.074	2.67	0.022	3.70	0.010	4.72	0.006
0.64	0.513	1.66	0.069	2.69	0.021	3.72	0.010	4.75	0.006
0.66	0.507	1.69	0.065	2.72	0.021	3.75	0.010	4.77	0.006
0.69	0.498	1.72	0.061	2.74	0.020	3.77	0.010	4.80	0.006
0.71	0.473	1.74	0.058	2.77	0.020	3.80	0.009	4.82	0.006

0.74	0.433	1.77	0.057	2.79	0.020	3.82	0.009	4.85	0.005
0.76	0.393	1.79	0.056	2.82	0.020	3.85	0.009	4.87	0.005
0.79	0.370	1.82	0.054	2.84	0.019	3.87	0.009	4.90	0.005
0.81	0.357	1.84	0.053	2.87	0.019	3.90	0.009	4.92	0.005
0.84	0.331	1.87	0.051	2.89	0.019	3.92	0.009	4.95	0.005
0.86	0.300	1.89	0.050	2.92	0.019	3.95	0.009	4.97	0.005
0.89	0.285	1.92	0.048	2.94	0.019	3.97	0.009	5.00	0.005
0.91	0.279	1.94	0.047	2.97	0.018	4.00	0.009		
0.94	0.265	1.97	0.046	2.99	0.018	4.02	0.009		
0.96	0.246	1.99	0.045	3.02	0.017	4.05	0.009		
0.99	0.226	2.02	0.044	3.04	0.017	4.07	0.008		
1.01	0.222	2.04	0.043	3.07	0.017	4.10	0.008		

3.3.1 VERIFICA DELLA SUSCETTIVITÀ DEL SITO AL FENOMENO DI LIQUEFAZIONE (APPROCCIO DGR 2193/2015)

In accordo con la normativa regionale DGR 2193/2015 si è proceduto alla verifica della liquefazione per entrambe le verticali di prova CPTU1/SCPTU e CPT2.

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:

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

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:

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

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:

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

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

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

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 2193/2015 della Regione Emilia Romagna.

Le verifiche sono state svolte considerando una magnitudo di riferimento **M = 6.14**, una accelerazione massima al suolo **A_{max} = 0.337 g (Approccio DGR 2193/15 III livello di approfondimento)** e con soggiacenza della falda freatica alla profondità di **Dw = -3.50 m da p.c.**

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

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

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

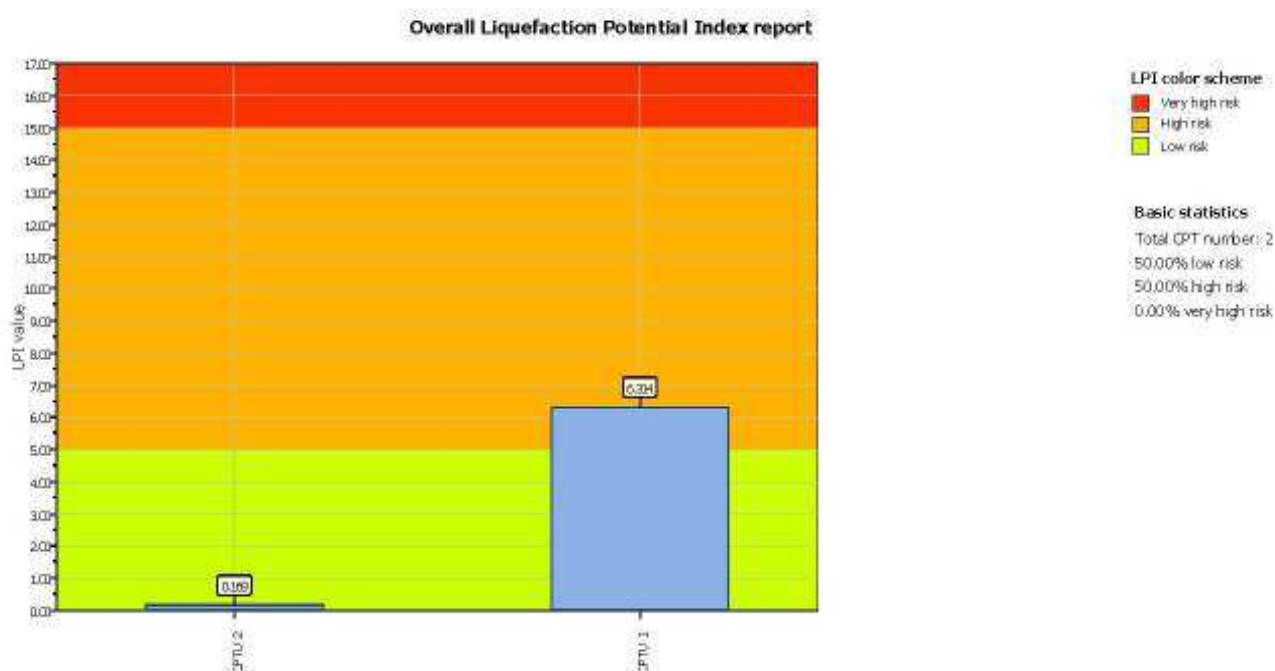
$$\begin{array}{ll} F(z) = 0 & \text{per } F_L \geq 1.2 \\ F(z) = 2 \cdot 10^6 \cdot \exp(-18.427 \cdot F_L) & \text{per } 1.2 > F_L \geq 0.95 \\ F(z) = 1 - F_L & \text{per } F_L \leq 0.95 \end{array}$$

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

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

A seguito della verifica, in riferimento alla verticale di prova CPT, è stato ottenuto il seguente indice LPI (Indice potenziale liquefazione):

INDAGINE	INDICE DI LIQUEFAZIONE LPI	RISCHIO
CPTU 1/SCPTU	6.314	ALTO
CPTU 2	0.169	BASSO



3.3.2 CALCOLO DEI CEDIMENTI POST-SISMICI

Per ottemperare alla normativa regionale DGR 2193/2015 è stata svolta la verifica quantitativa dei cedimenti post-sismici dei livelli granulari saturi, granulari insaturi e dei livelli coesivi soffici. La verifica dei cedimenti è stata eseguita considerando le verticali di entrambe le prove CPTU.

CEDIMENTI POST-SISMICI – TERRENI GRANULARI SATURI

La stima dei cedimenti dei terreni granulari saturi è stata svolta in relazione alla resistenza alla punta della prova CPTU, normalizzata e corretta $(q_{c1N})_{cs}$ e del coefficiente di sicurezza alla liquefazione F_L . Il cedimento post-sismico per ciascuno strato è dato da $\Delta s_i = \varepsilon_{vi} \Delta z_i$. La deformazione volumetrica ε_{vi} è stata stimata secondo la metodologia proposta da Idriss e Boulanger (2008) e dettagliata al punto B.1 dell'allegato A2.2 della DGR 2391/2015.

CEDIMENTI POST-SISMICI – TERRENI GRANULARI INSATURI

La valutazione della suscettibilità di addensamento dei terreni granulari insaturi e conseguente cedimento è stata calcolata derivando la deformazione volumetrica per un numero di cicli equivalente N_c il cui valore è funzione della magnitudo del terremoto secondo l'equazione $N_c = (M-4)^{2.17}$. La procedura di calcolo completa viene descritta al punto B.2 dell'allegato A2.2 della DGR 2193/2015.

CEDIMENTI POST-SISMICI – TERRENI COESIVI SOFFICI

I cedimenti dei livelli coesivi è stata svolta solamente per gli strati dotati di $c_u < 70$ kPa e $I_p > 30$ %. L'entità del cedimento di riconsolidazione conseguente alla dissipazione delle pressioni interstiziali accumulate durante il terremoto è stata stimata mediante la formulazione proposta da Yasyhara e Andersen (1991). In tale equazione, descritta dettagliatamente al punto B.3 dell'allegato A2.2 della DGR 2193/2015, l'indice di ricompressione C_r è stato assunto pari all'indice di rigonfiamento C_s , funzione del modulo edometrico. Nel presente caso, sulla scorta dei valori di resistenza alla punta ottenuti a seguito della prova CPTU eseguita, il modulo edometrico è stato ricavato mediante la relazione proposta da Mitchell & Gardner (1975)

La verifica dei cedimenti sismici è stata eseguita considerando una soggiacenza della falda freatica pari a **Dw = -3.50 m** da p.c., il valore di PGA derivante dall'analisi RSL eseguita e una magnitudo di riferimento pari a **M = 6.14**.

Si illustrano successivamente i valori di cedimenti post-sismici totali ottenuti:

CEDIMENTI POST SISMICI TOTALI DGR 2193/2015)	
CPTU1/SCPTU	10.899 cm
CPTU2	0.259 cm

I cedimenti calcolati sono da intendersi verificabili solamente al termine di un evento sismico avente magnitudo e accelerazioni comparabili a quelle utilizzate per le analisi descritte.

3.4 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO (§ 3.2.2 NTC 2008)

Per determinare il parametro V_{s30} e definire quindi la categoria di sottosuolo dell'area indagata (§ 3.2.2 NNTC 2008) sono state eseguite in sito le indagini sismiche descritte nei paragrafi precedenti della presente relazione. L'elaborazione delle indagini sismiche sopra citate restituisce un grafico che riporta la curva di dispersione attraverso un'immagine a colori che mostra il profilo delle velocità delle onde di Rayleigh come velocità di fase e frequenza. Analizzando tale grafico si ottiene un modello teorico dell'andamento delle Vs con la profondità fino ad una quota di -30.00 m dal piano di posa delle fondazioni, attraverso la formula:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_i \frac{h_i}{V_{si}}}$$

Dall'elaborazione delle indagini sismiche eseguite sono stati ottenuti valori di V_{s30} pari a:

INDAGINE	V_{s30} (m/s)
MASW n. 1	185
MASW n. 2	196
Re.Mi. n. 1	189
Re.Mi. n. 2	199
HVSR n. 2	185
CPTU1/SCPTU	181

Pertanto, secondo la classificazione proposta dalle NTC 2008 basata sul parametro V_{s30} , si definisce il sottosuolo dell'area studiata come appartenente alla **CATEGORIA C**, corrispondente a

depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di **V_{s30} compresi tra 180 e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).**

Tuttavia, alla luce dei risultati ottenuti dall'analisi di risposta sismica locale e di verifica alla suscettività nei confronti della liquefazione, che ha fornito, per la prova CPTU1/SCPTU, un valore di $IL=6.314$, corrispondente a un **rischio di liquefazione alto**.

Pertanto, si ritiene di dover classificare il sottosuolo in oggetto come appartenente alla **CATEGORIA S2**, corrispondente a

depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

5 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La presente relazione è stata redatta al fine di fornire lo studio di microzonazione sismica ai sensi L.R. n. 19/2008 e della D.G.R. n. 2193/2015 relativa all'area denominata "CERPIC" in progetto per la realizzazione del Centro Unificato dell'Emergenza della Protezione Civile in progetto in Via Bologna n. 534 in località Chiesuol Del Fosso nel Comune di Ferrara (FE).

Per la caratterizzazione litostratigrafica dell'area in oggetto sono state eseguite n. 1 prova penetrometrica statica con piezocono sismico SCPTU e n. 1 prova penetrometrica statica con piezocono CPTU.

Dall'elaborazione delle indagini sismiche eseguite in sito sono stati ottenuti i valori di V_{s30} pari a:

INDAGINE	V_{s30} (m/s)
MASW n. 1	185
MASW n. 2	196
Re.Mi. n. 1	189
Re.Mi. n. 2	199
HVSR n. 2	185
CPTU1/SCPTU	181

La presente relazione è stata redatta in accordo con i nuovi indirizzi di Microzonazione sismica della Regione Emilia Romagna (**DGR 2193/2015**). È stata eseguita una valutazione del fattore di amplificazione e delle relative intensità spettrali secondo uno studio di III livello di approfondimento. A seguito delle risultanze dello studio RSL svolto si definiscono i seguenti parametri sismici caratteristici del sito analizzato:

F.A. S.I.						
	PGA ₀	F.A. PGA	(0.00 < T(s) < 0.50)	(0.50 < T(s) < 1.00)	(0.50 < T(s) < 1.50)	PGA _{MAX}
SLV	0.253	1.33	1.60	1.79	1.97	0.337

Per ottemperare alla normativa regionale DGR 2193/2015 è stata svolta la verifica quantitativa dei cedimenti post-sismici dei livelli granulari saturi, granulari insaturi e dei livelli coesivi soffici. La verifica dei cedimenti è stata eseguita considerando le verticali di entrambe le prove CPTU.

Si illustrano successivamente i valori di cedimenti post-sismici totali ottenuti:

CEDIMENTI POST SISMICI (DGR 2193/2015)	
CPTU1/SCPTU	10.899 cm
CPTU2	0.259 cm

I cedimenti calcolati sono da intendersi verificabili solamente al termine di un evento sismico avente magnitudo e accelerazioni comparabili a quelle utilizzate per le analisi descritte.

Secondo la classificazione del sottosuolo proposta dalle NTC 2008 basata sul parametro V_{s30} , si definisce il sottosuolo dell'area studiata come appartenente alla **CATEGORIA C**.

Tuttavia, dall'analisi di risposta sismica locale e di verifica alla suscettività nei confronti della liquefazione, che ha fornito, per la prova CPTU1/SCPTU, un valore di $IL=6.314$, corrispondente a un **rischio di liquefazione alto**. Inoltre, si ritiene che la soggiacenza della falda, che durante le indagini eseguite in sito è stata rinvenuta alla quota **$D_w=-3.50$ m da p.c.** (CPTU1/SCPTU), sia suscettibile di innalzamenti dovuti a stagionalità.

Pertanto, si ritiene di dover classificare il sottosuolo in oggetto come appartenente alla **CATEGORIA S2**, corrispondente a

depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Tutto ciò premesso, in fase di progettazione esecutiva si ritiene opportuno effettuare una indagine geognostica di dettaglio, al fine di confermare i risultati finora ottenuti, per definire un quadro geologico e geotecnico più completo, ai fini di calcolare gli stati limite SLU e i cedimenti delle fondazioni delle strutture da realizzare.

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

Modena, 10 novembre 2017

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

GEOGROUP s.r.l.

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche
182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5332019- E-mail: geo.group@libero.it



Tav. n. 1 "Carta Corografica"

Scala 1: 25.000



Legenda



Area di interesse

GEOGROUP s.r.l.

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche
182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5332019- E-mail: geo.group@libero.it



Tav. n. 2 “Carta topografica”

Scala 1: 5.000



Legenda

Area di interesse

tratto da:



CGU Carta Geografica Unica
della Provincia di Ferrara

GEOGROUP s.r.l.

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche

182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5332019- E-mail: geo.group@libero.it



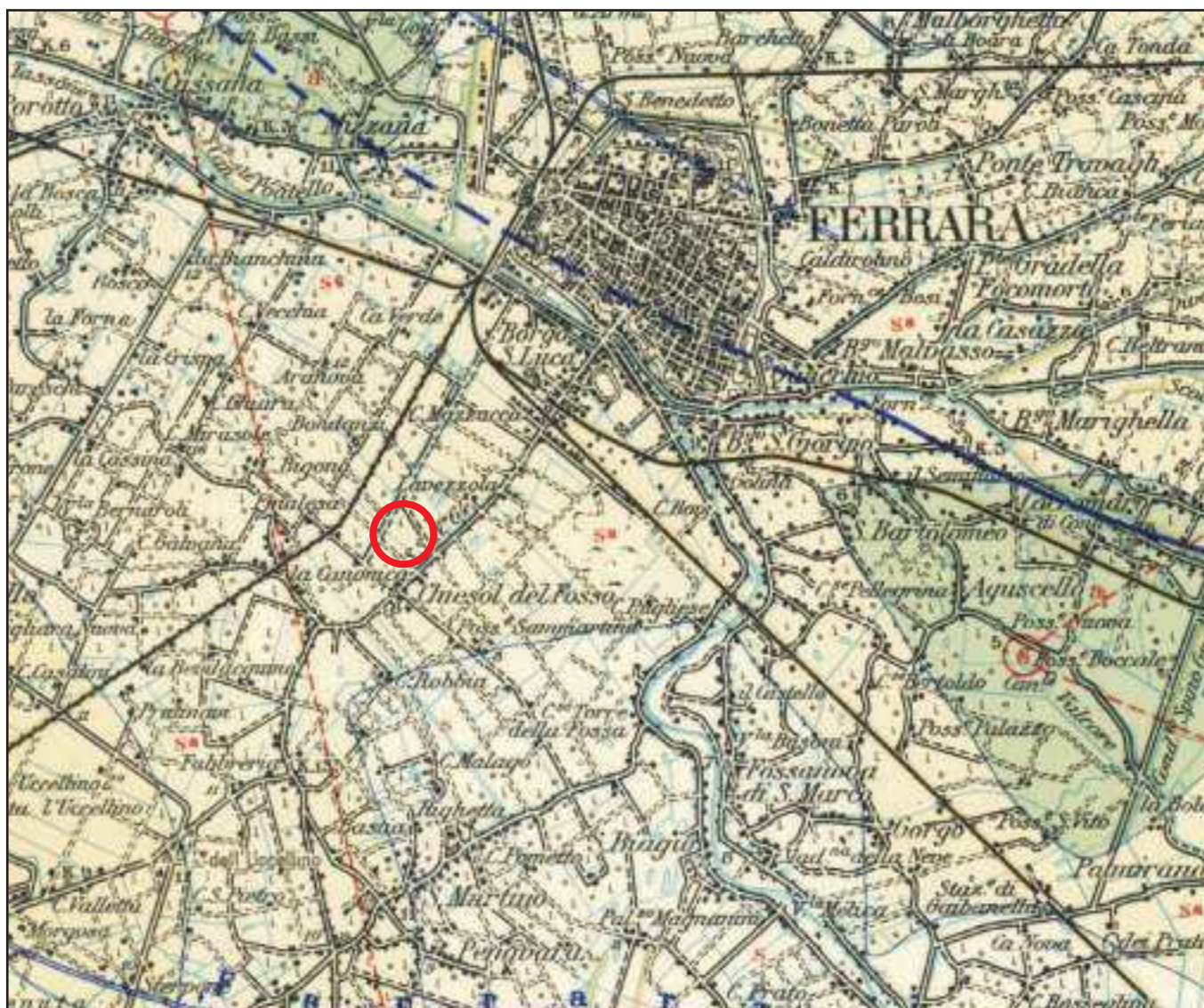
Tav. n. 3 “Ripresa fotografica generale dell’area di interesse”

(tratta da “Google Earth Image © 2012 DigitalGlobe”)

Scala grafica



Area di interesse



Tav. n. 4 “Carta della litologia di superficie”

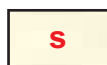
Scala grafica

Legenda

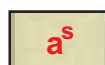


Area di interesse

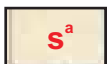
Litologia di superficie



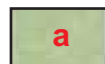
Sabbie e terreni prevalentemente sabbiosi



Argille sabbiose e sabbie argillose



Terreni sabbioso-argillosi

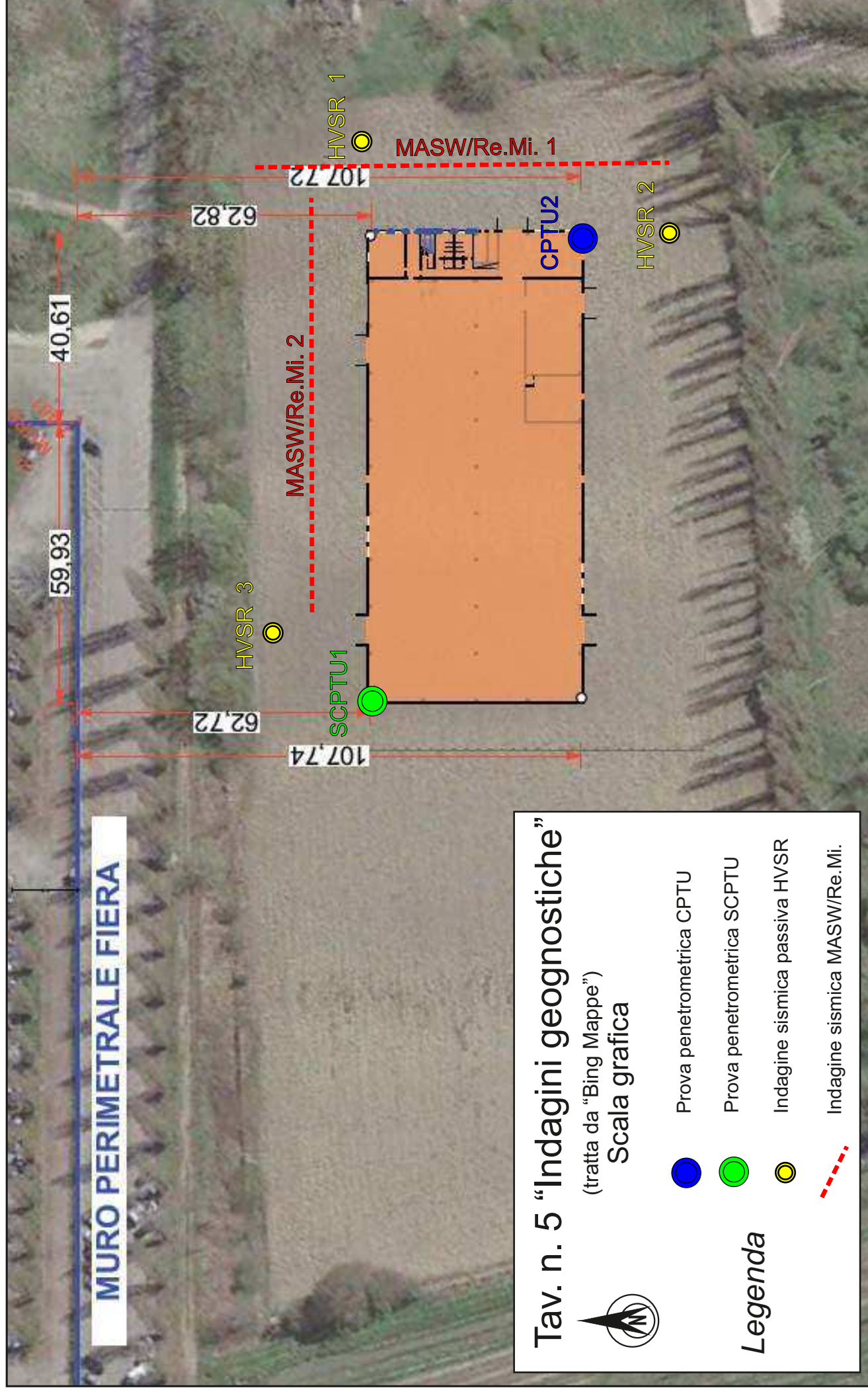


Argille e terreni prevalentemente argillosi

GEO GROUP S.r.l.

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche

182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5960176 - E-mail: info@geogroupmodena.it

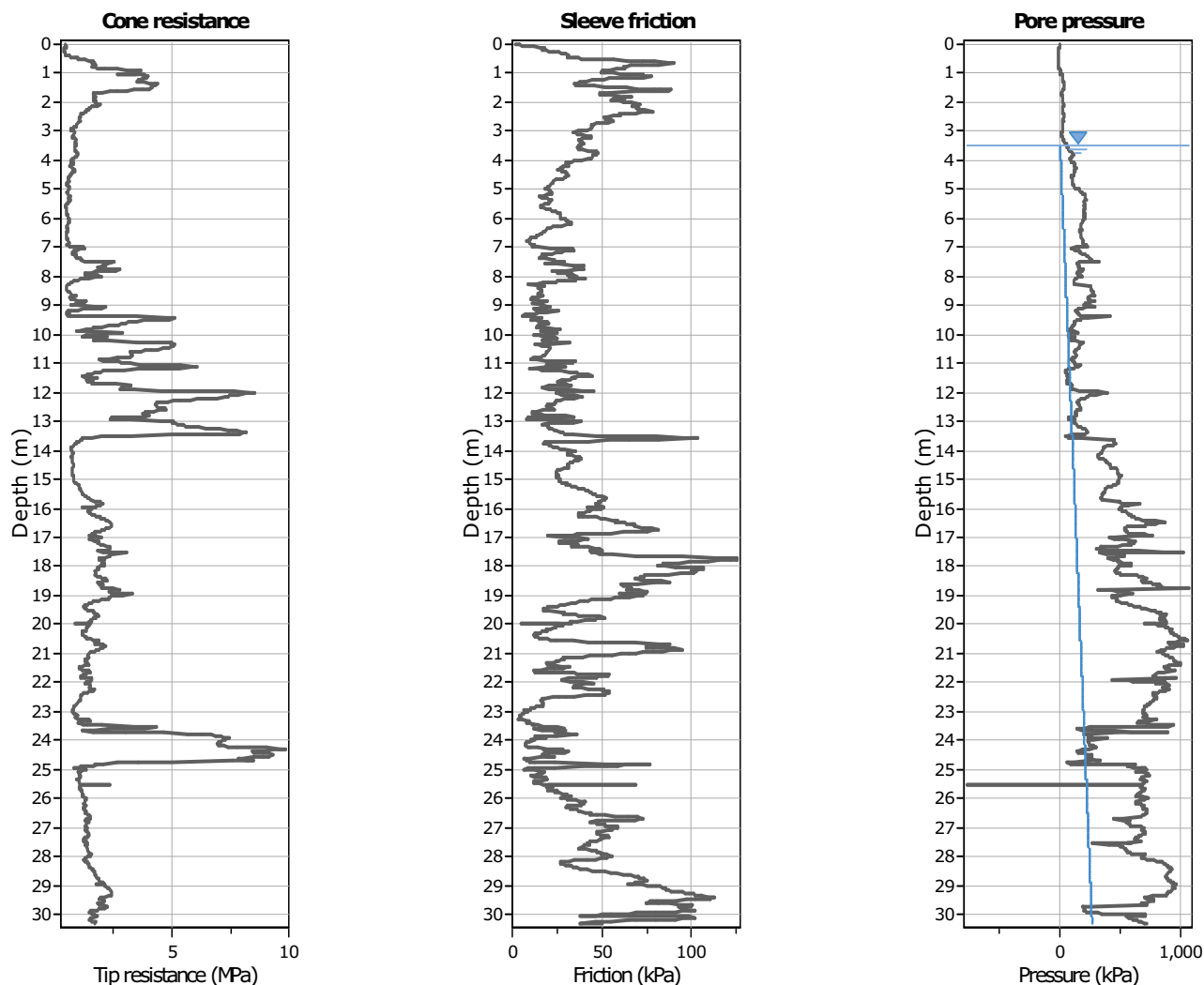


GEO GROUP s.r.l.

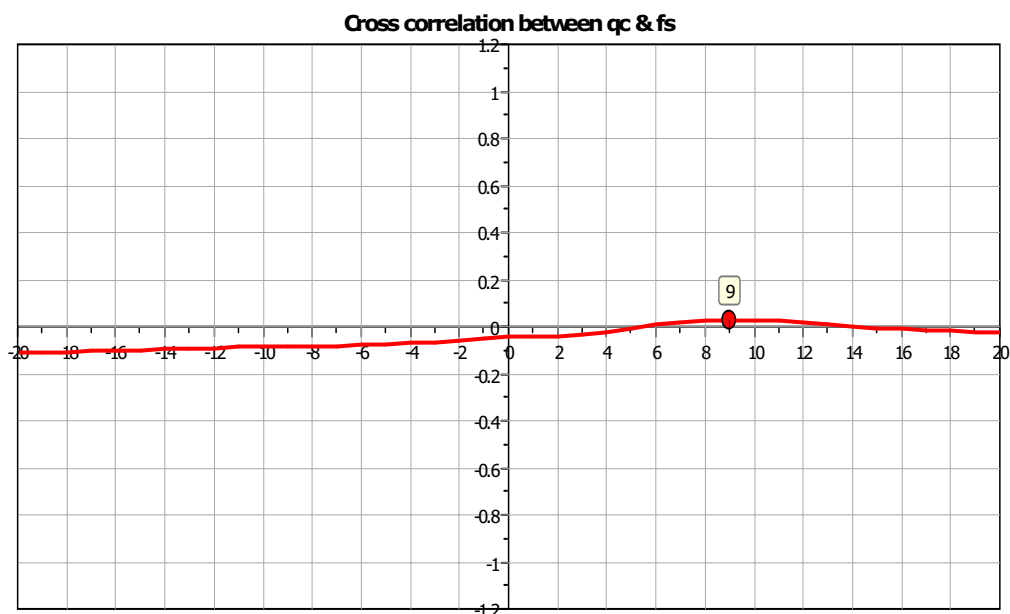
Indagini geognostiche e geofisiche – geologia applicata alle costruzioni – laboratorio geotecnico - idrogeologia
– coltivazione cave– bonifiche – consolidamenti – geologia ambientale – consulenze geologiche e geotecniche

ALLEGATO N° 1

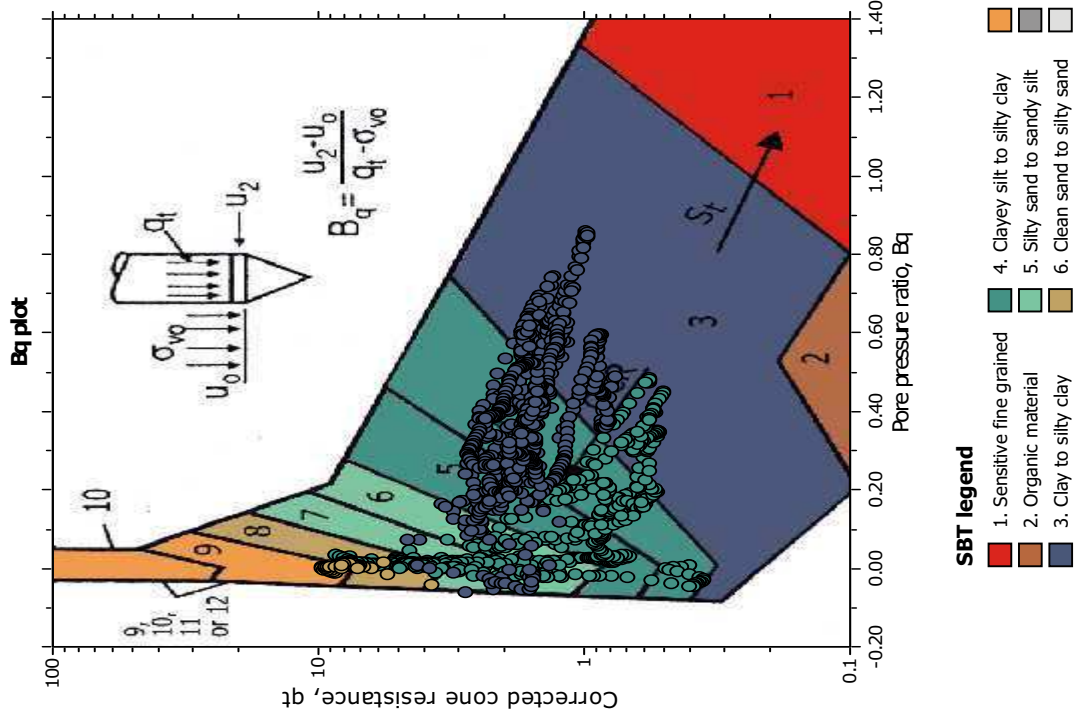
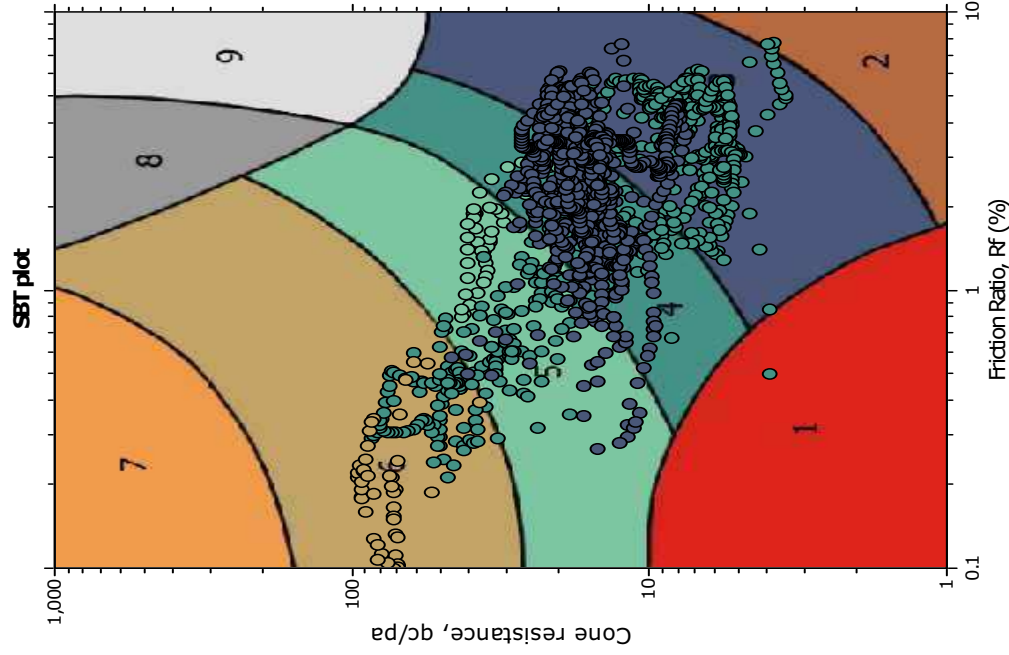
Prove penetrometriche statiche CPT e SCPTU corredate di interpretazione geotecnica



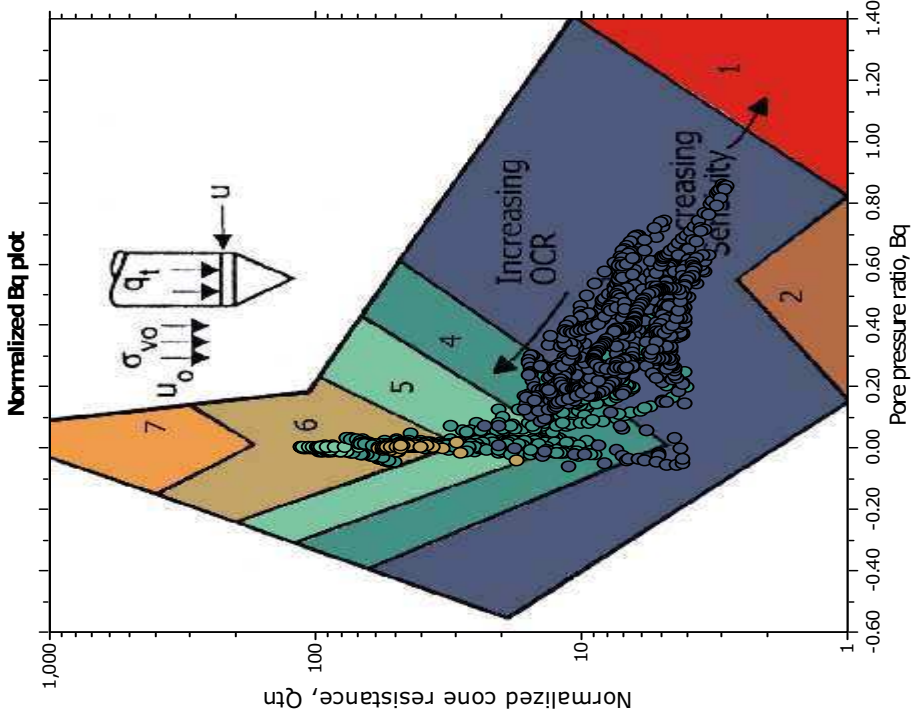
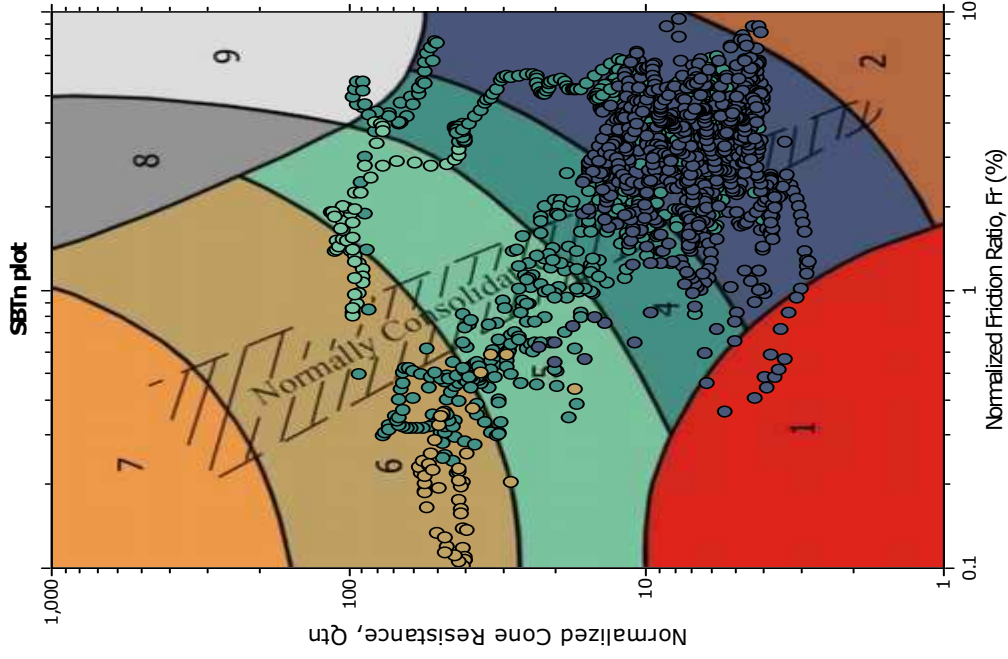
The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw q_c and f_s values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).

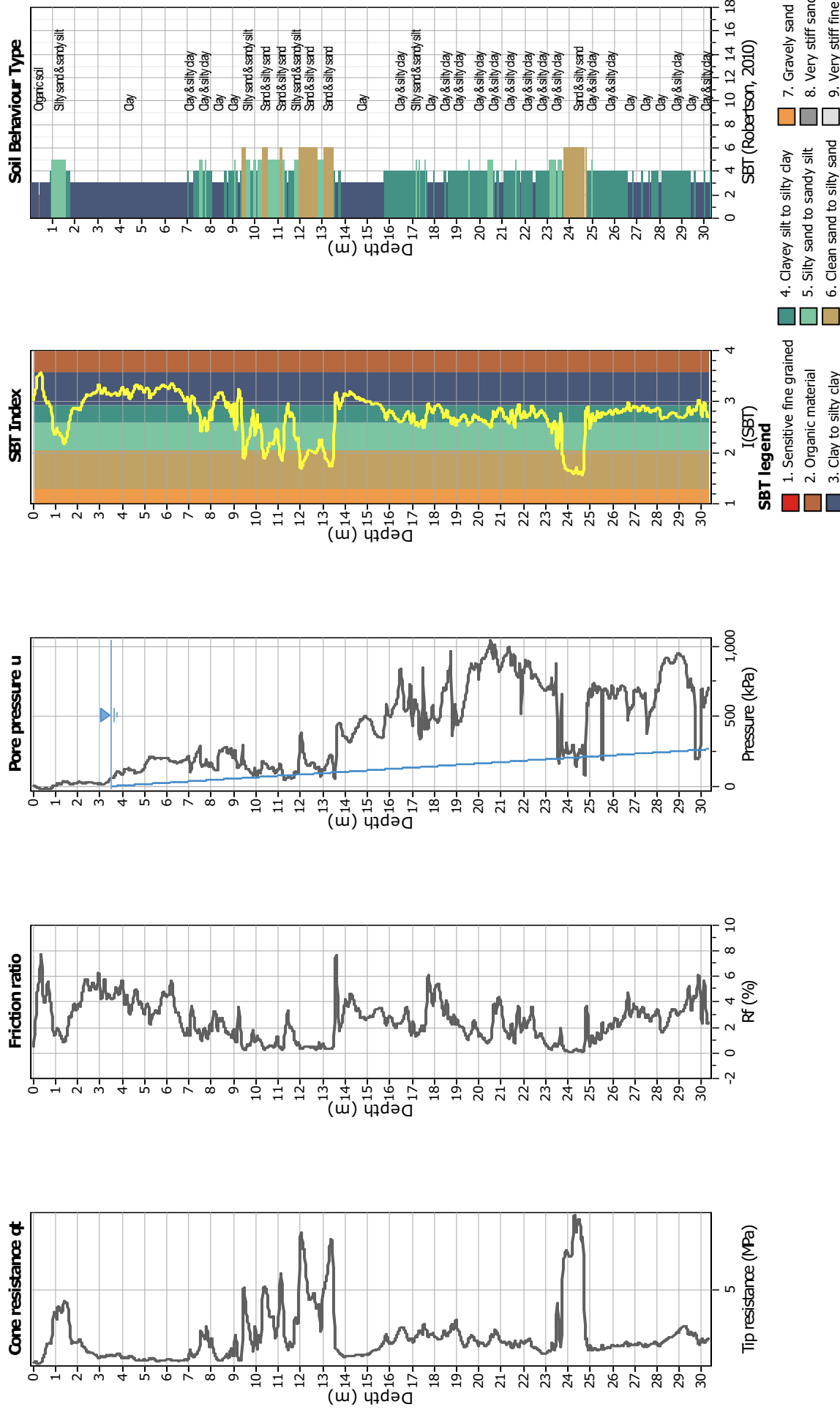


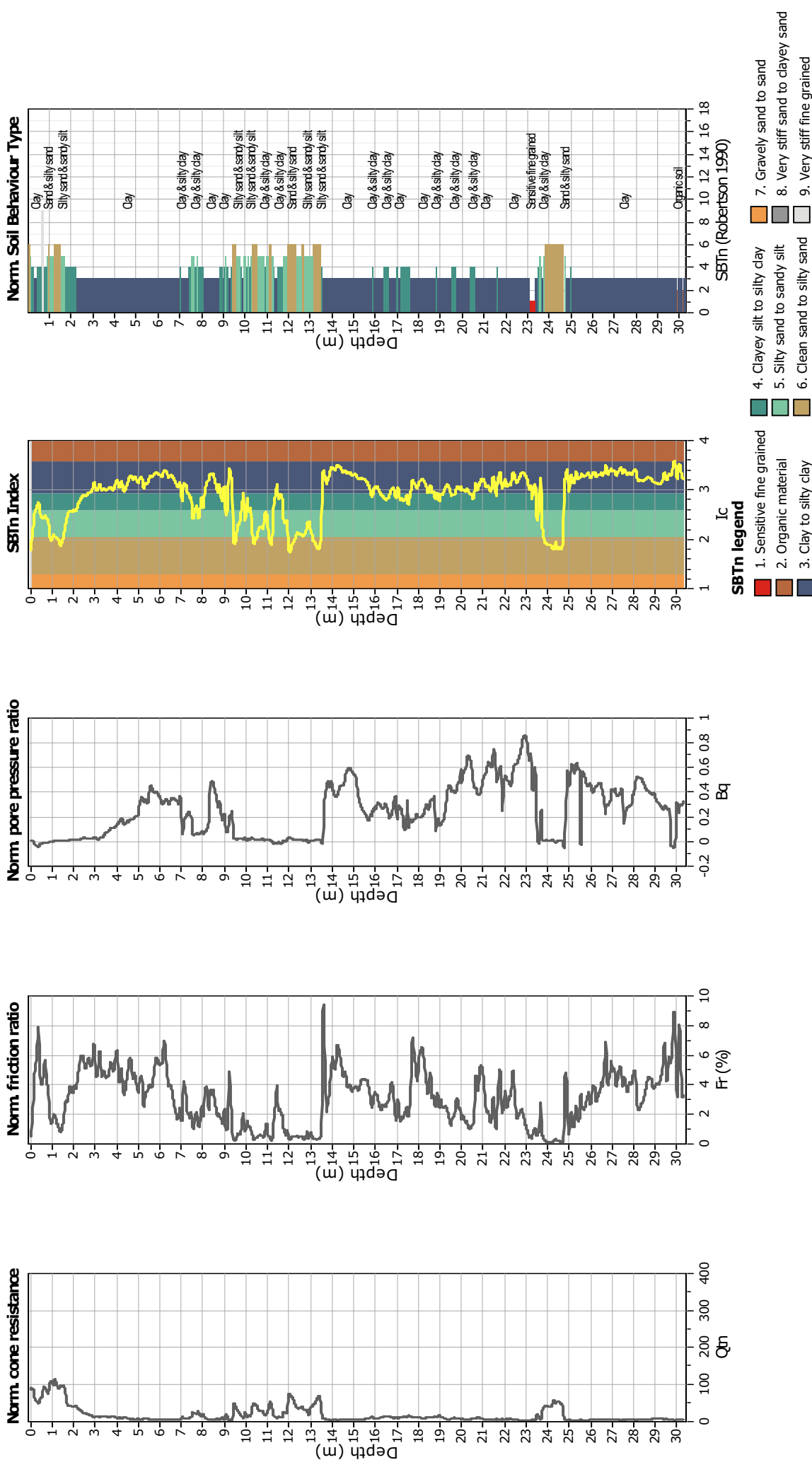
SBT - Bq plots



SBT - Bq plots (normalized)





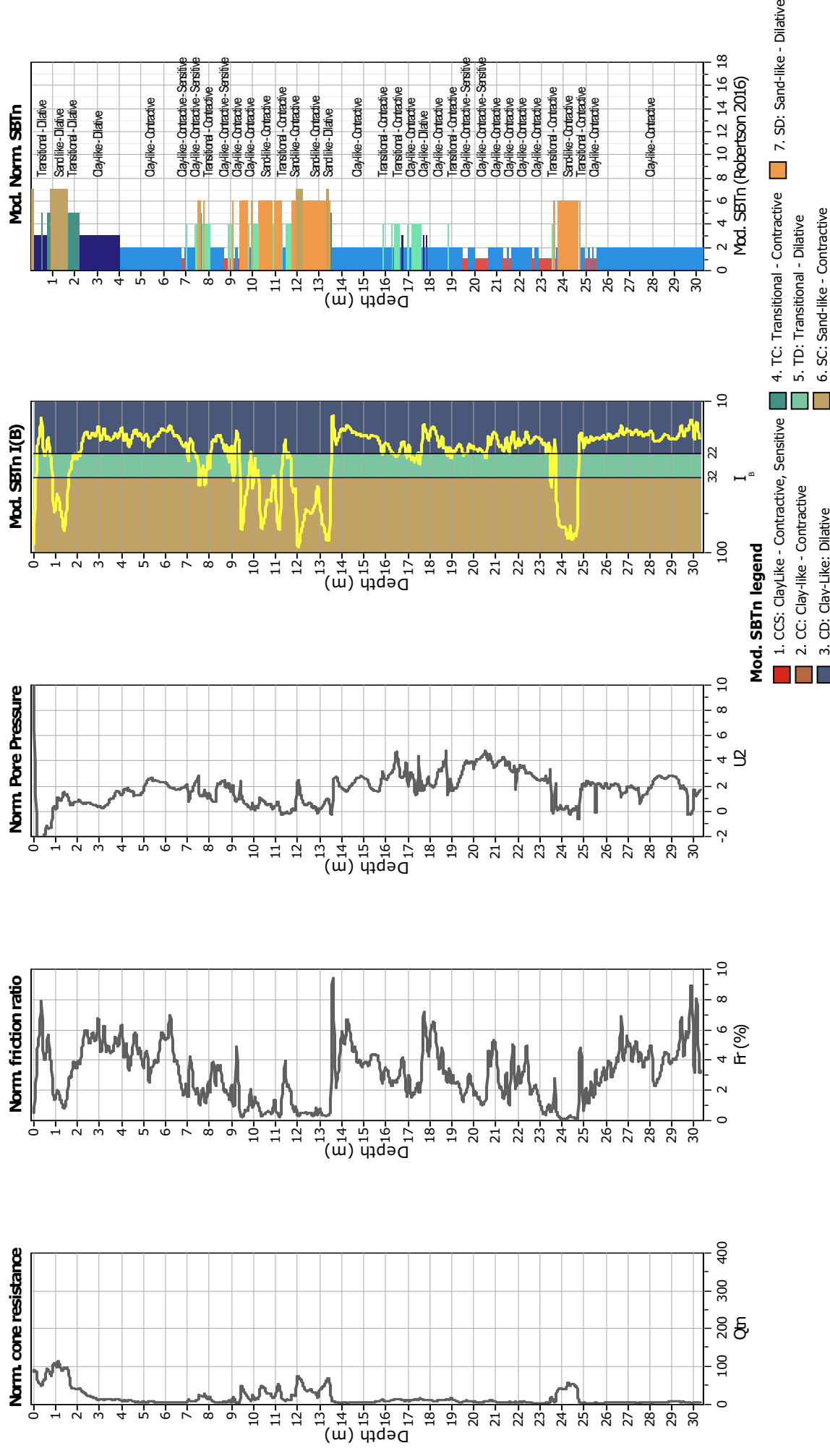


Project: Centro Unificato dell'Emergenza sul Territorio della Protezione Civile

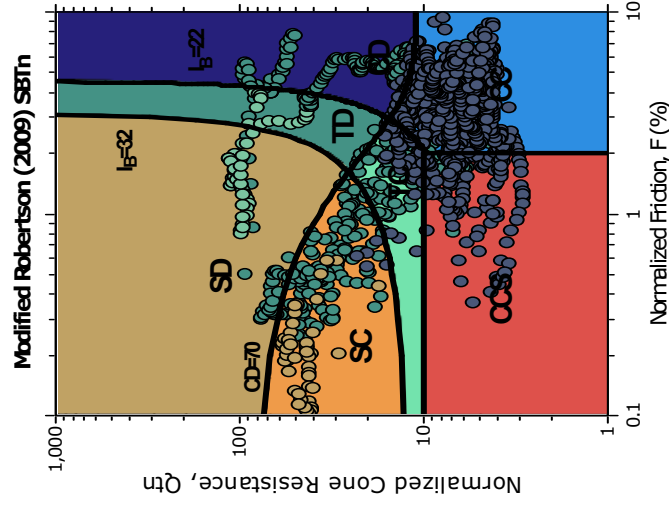
Location: Ferrara

CPT: CPTU 1

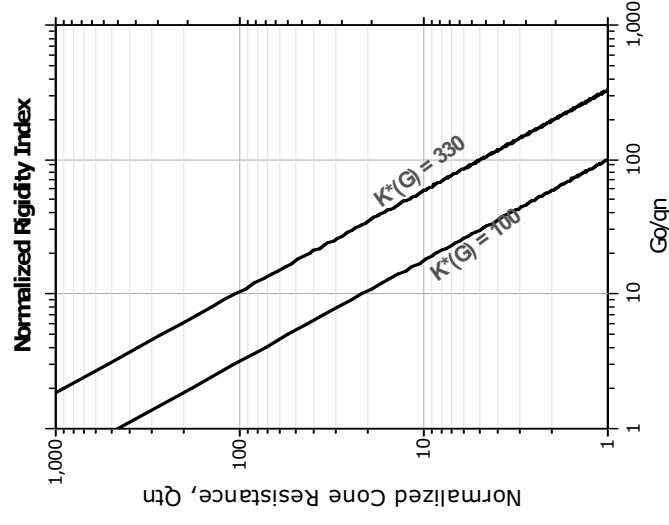
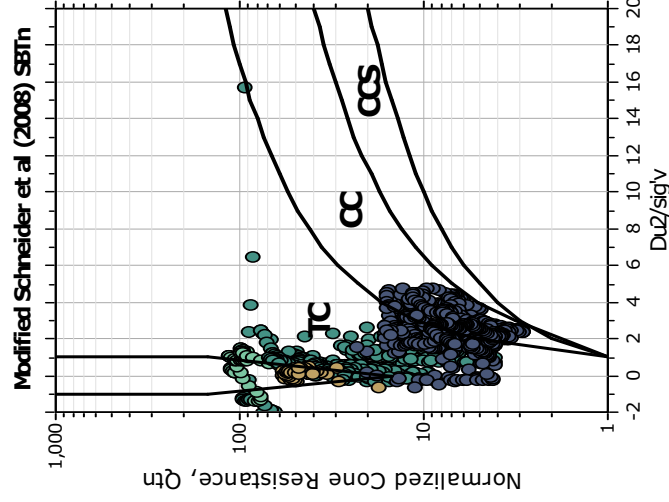
Total depth: 30.30 m, Date: 31/10/2017



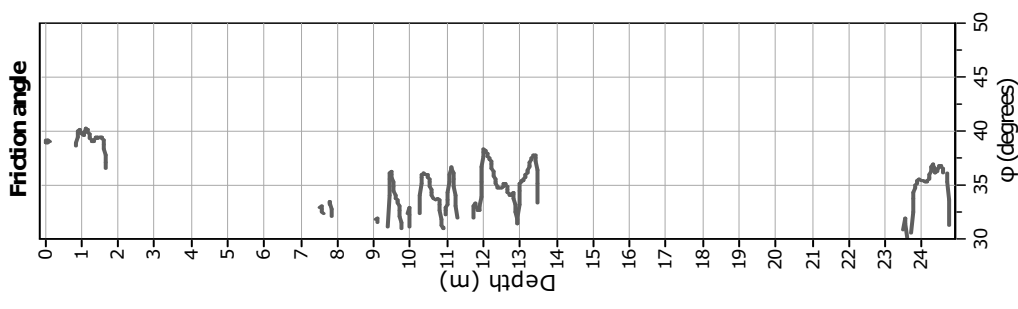
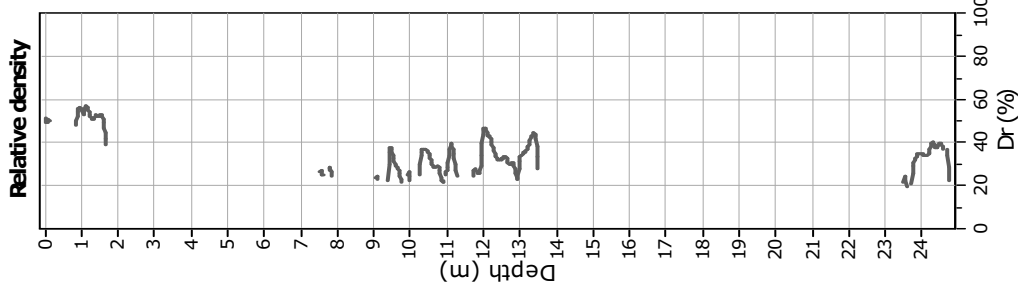
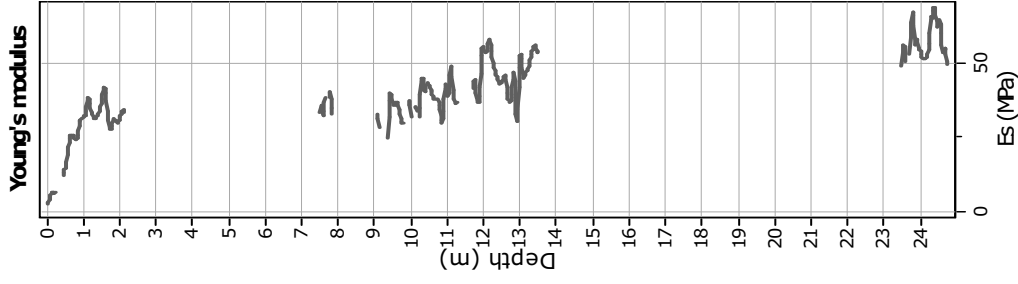
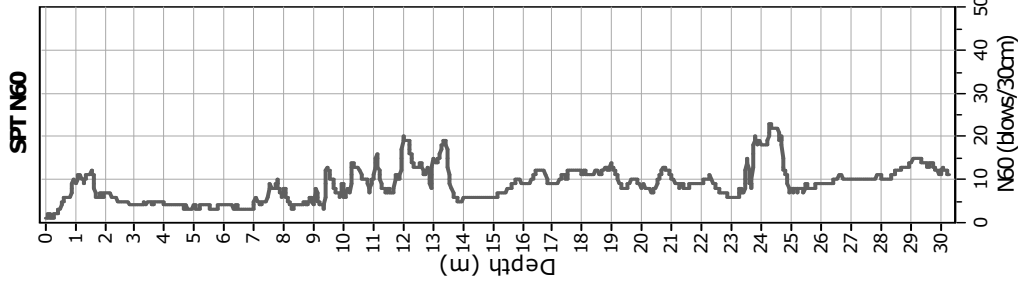
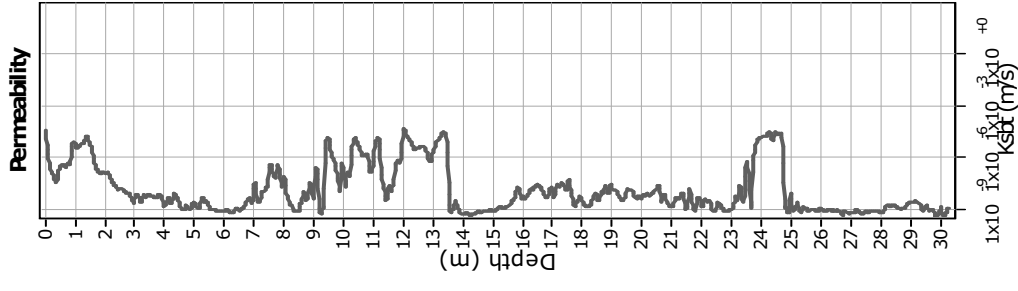
Updated SBTn plots



CC: 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

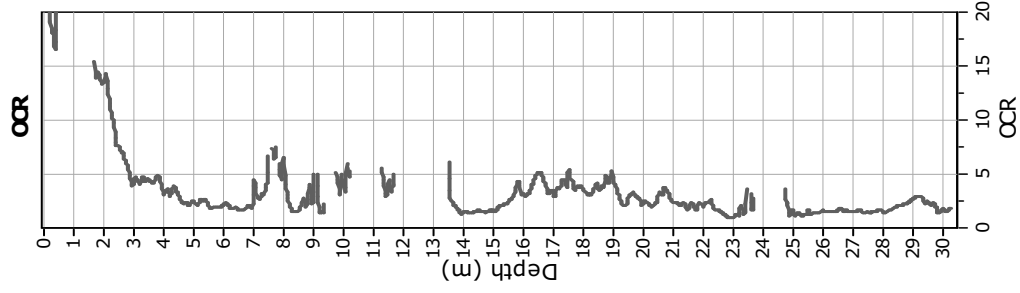
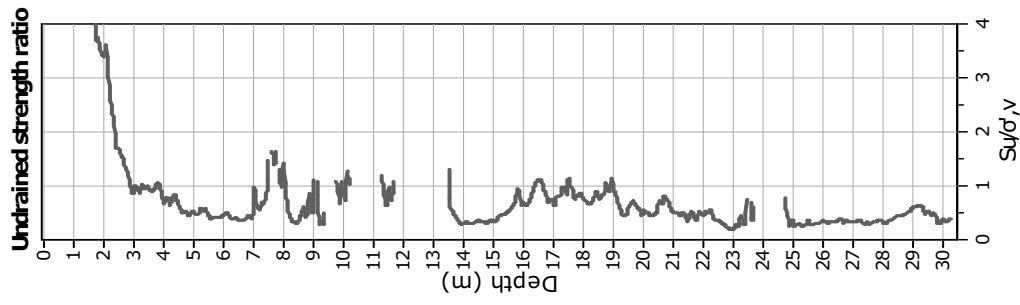
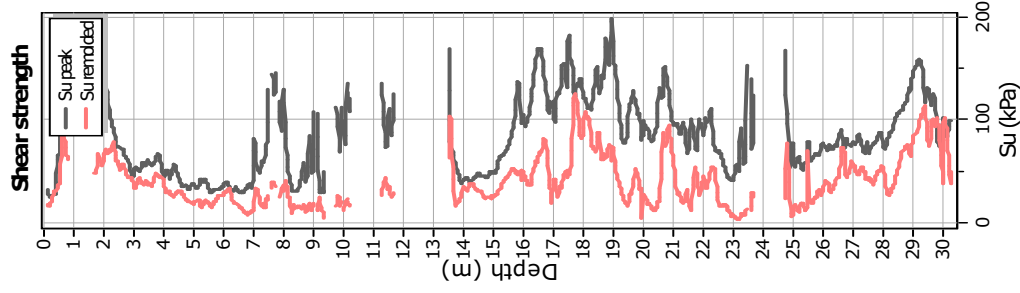
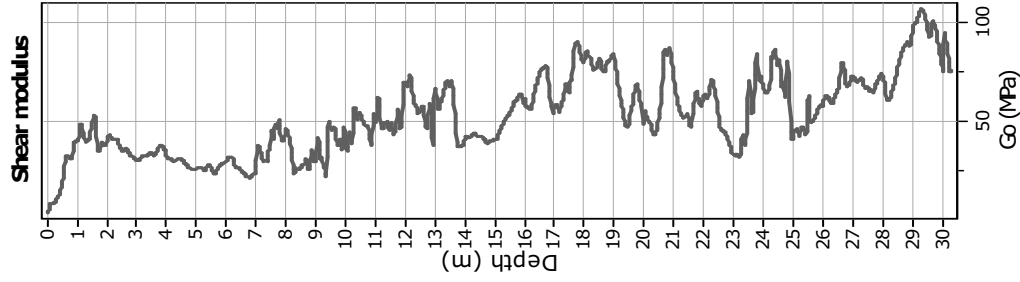
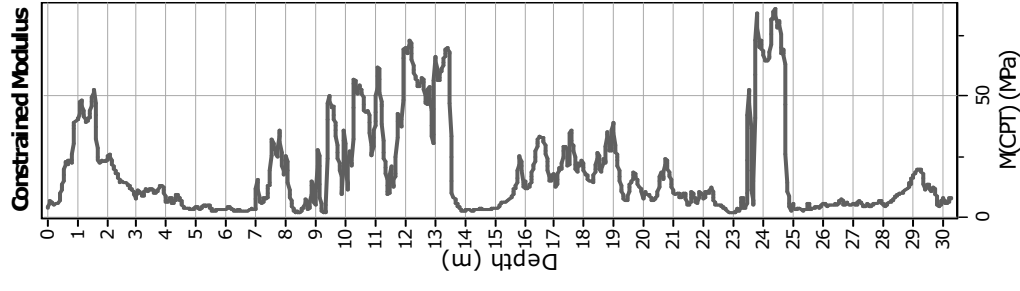
SPT N_{60} : Based on I_c and q_t

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/ρ using I_c and Q_m (Robertson, 2009)

Go: Based on variable α/ρ 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

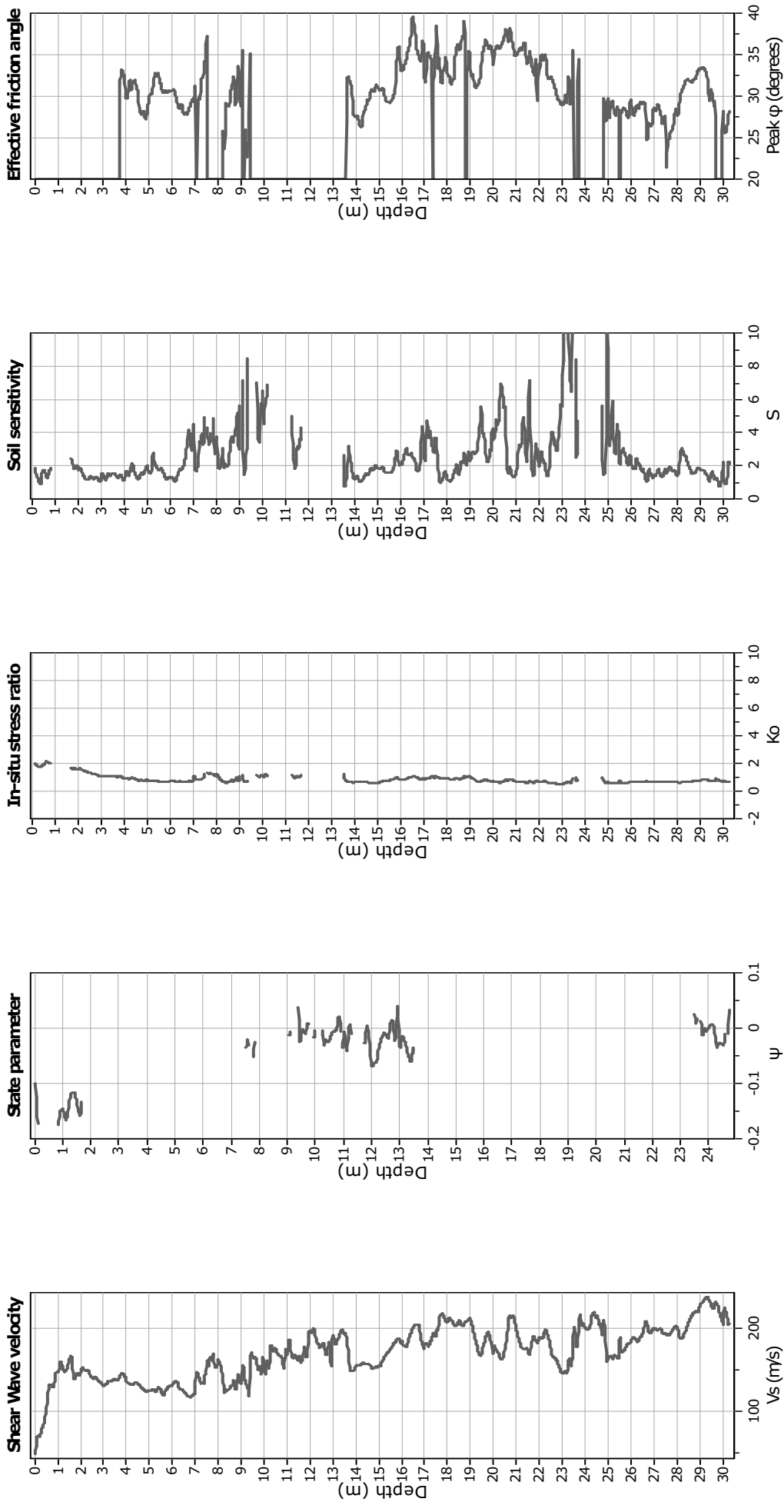
—●— Flat Dilatometer Test data



GEO GROUP SRL
Via Per Modena 12 - Castelnuovo Rangone
059-39.67.169 Fax 059-59.60.176
www.geogroupmodena.it

Project: Centro Unificato dell'Emergenza sul Territorio della Protezione Civile
Location: Ferrara

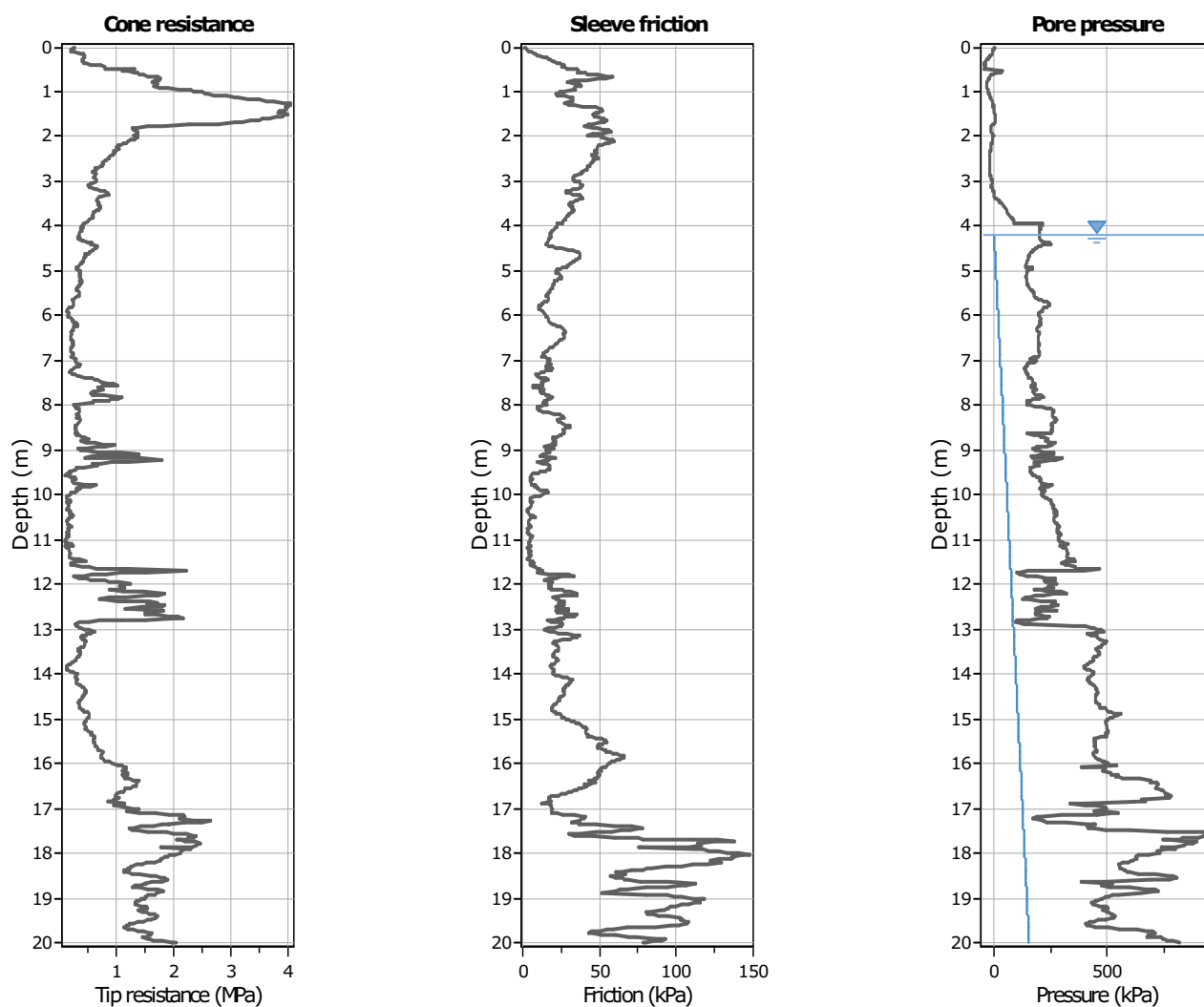
CPT: CPTU 1
Total depth: 30.30 m, Date: 31/10/2017



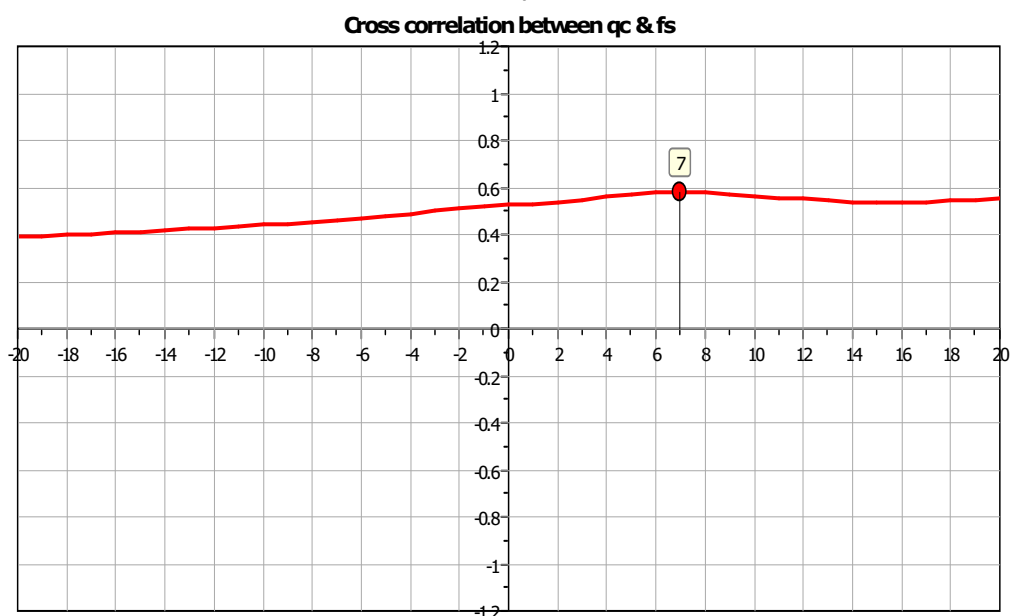
Calculation parameters

Soil Sensitivity factor, N_s : 7.00

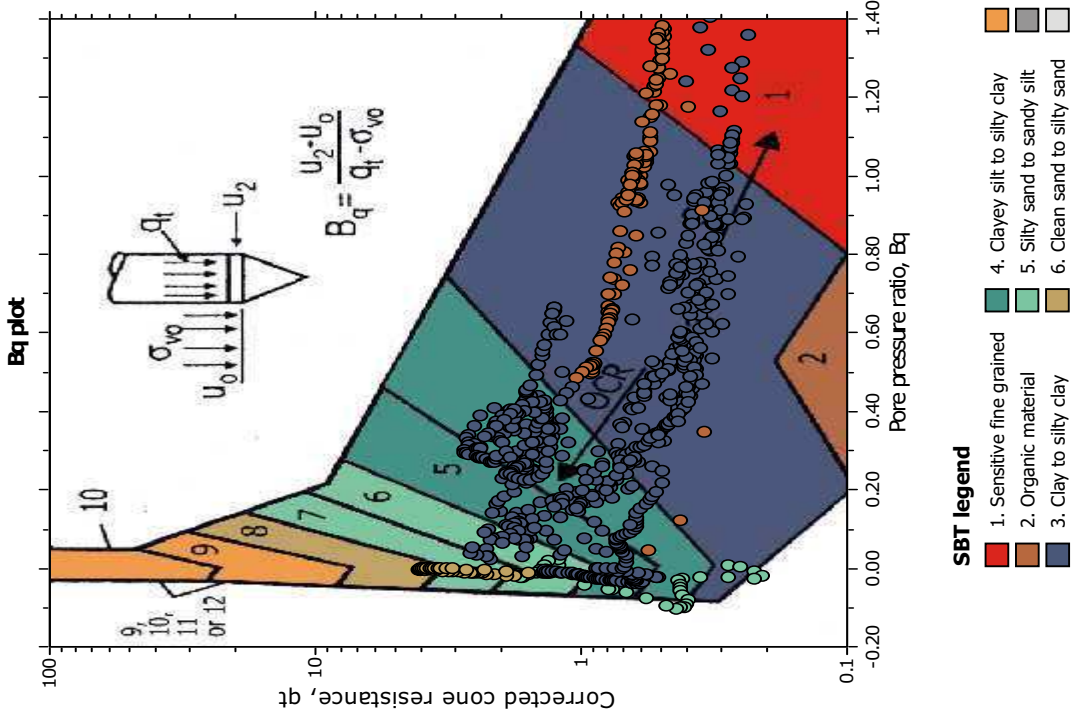
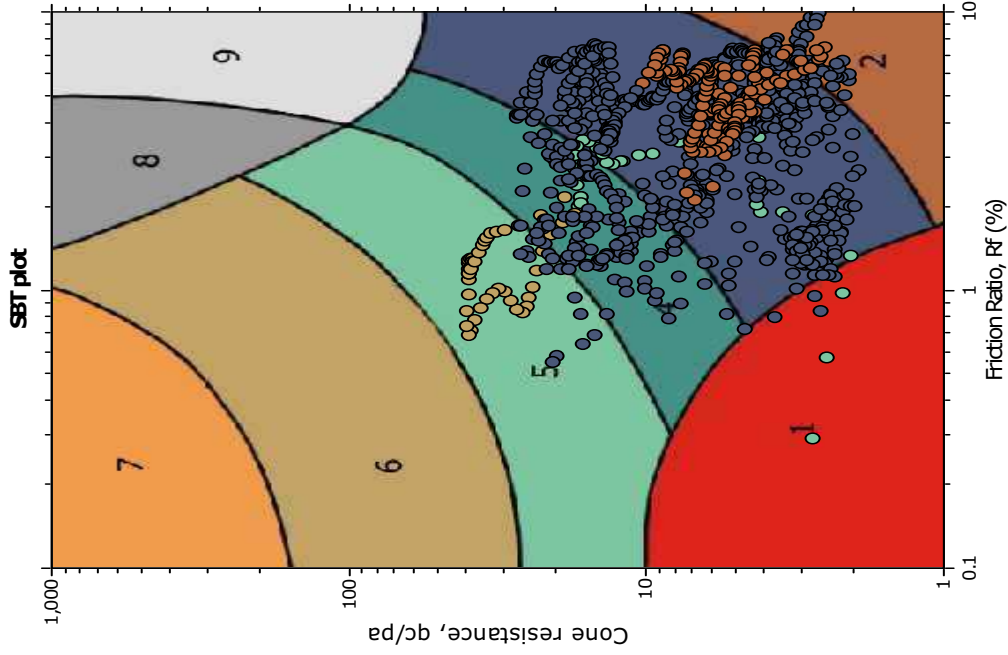
—●— User defined estimation data



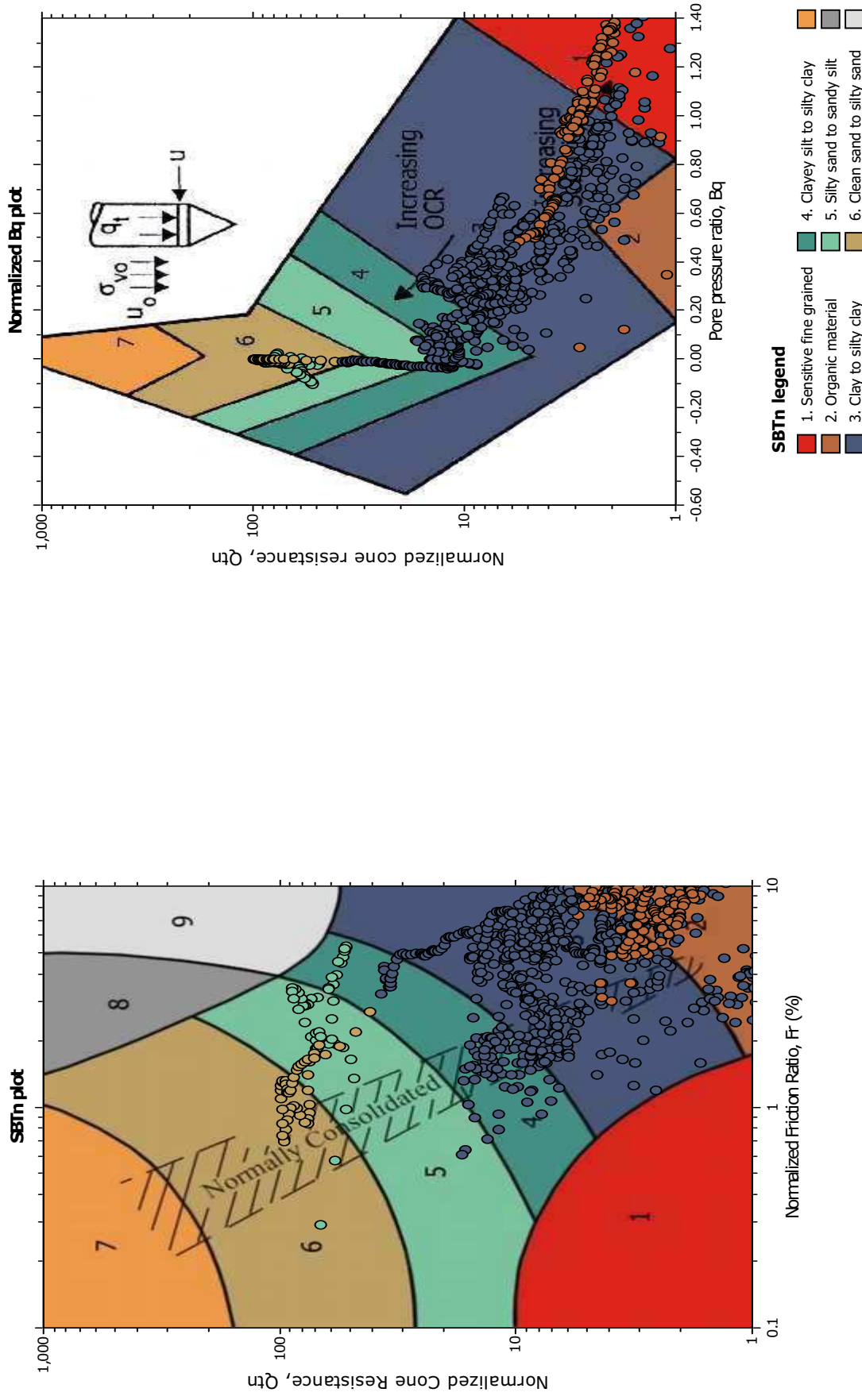
The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw q_c and f_s values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).

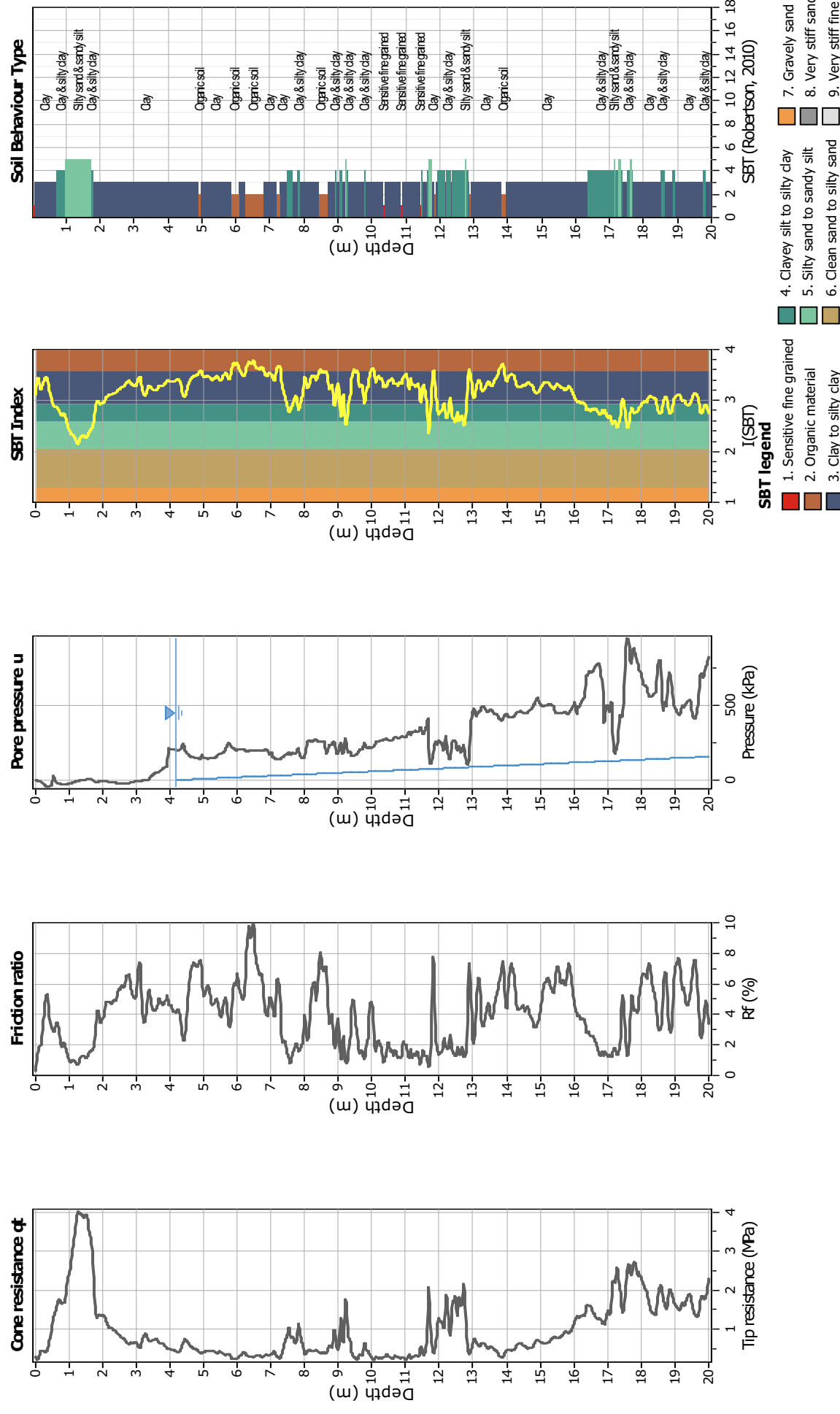


SBT - Bq plots



SBT - Bq plots (normalized)



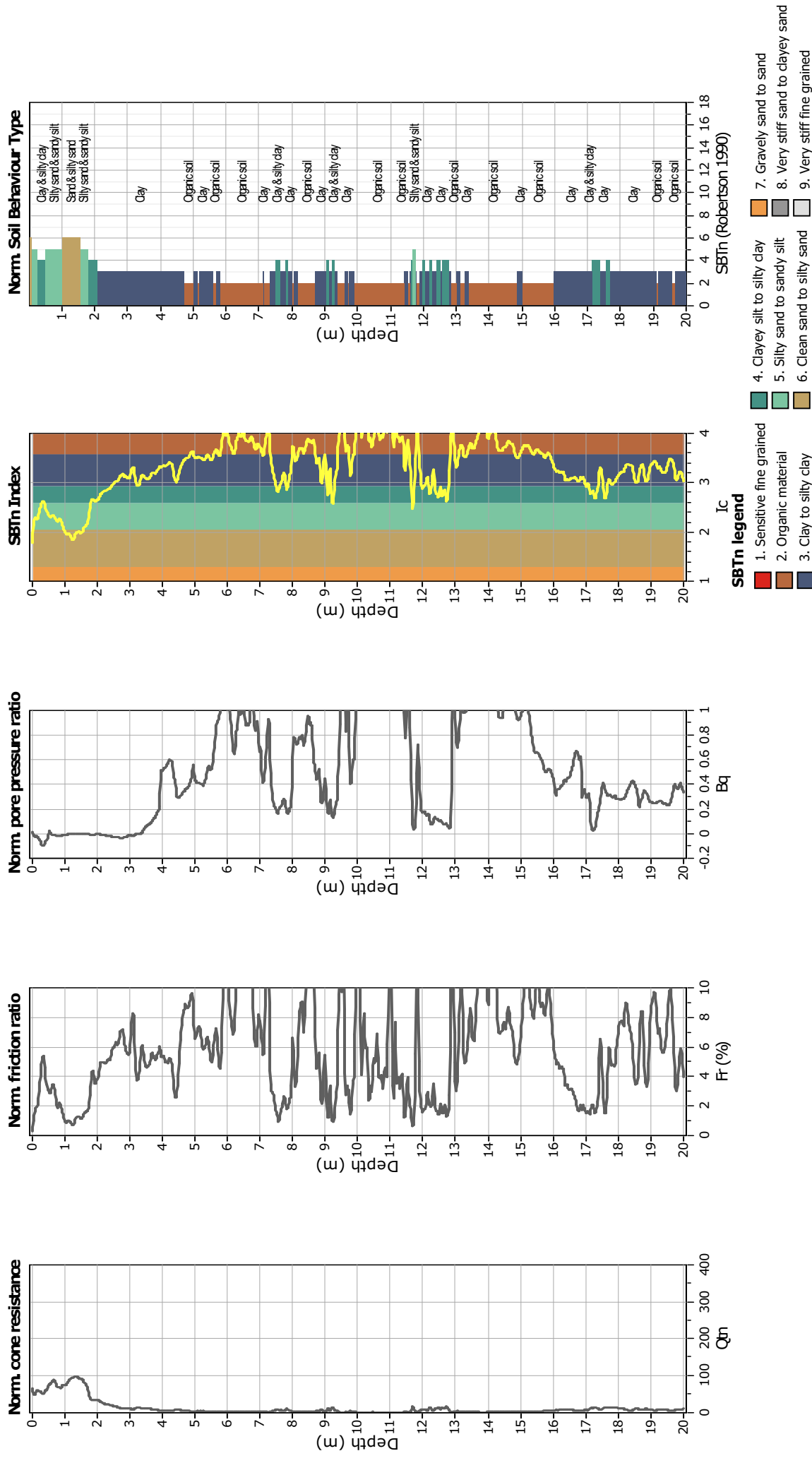


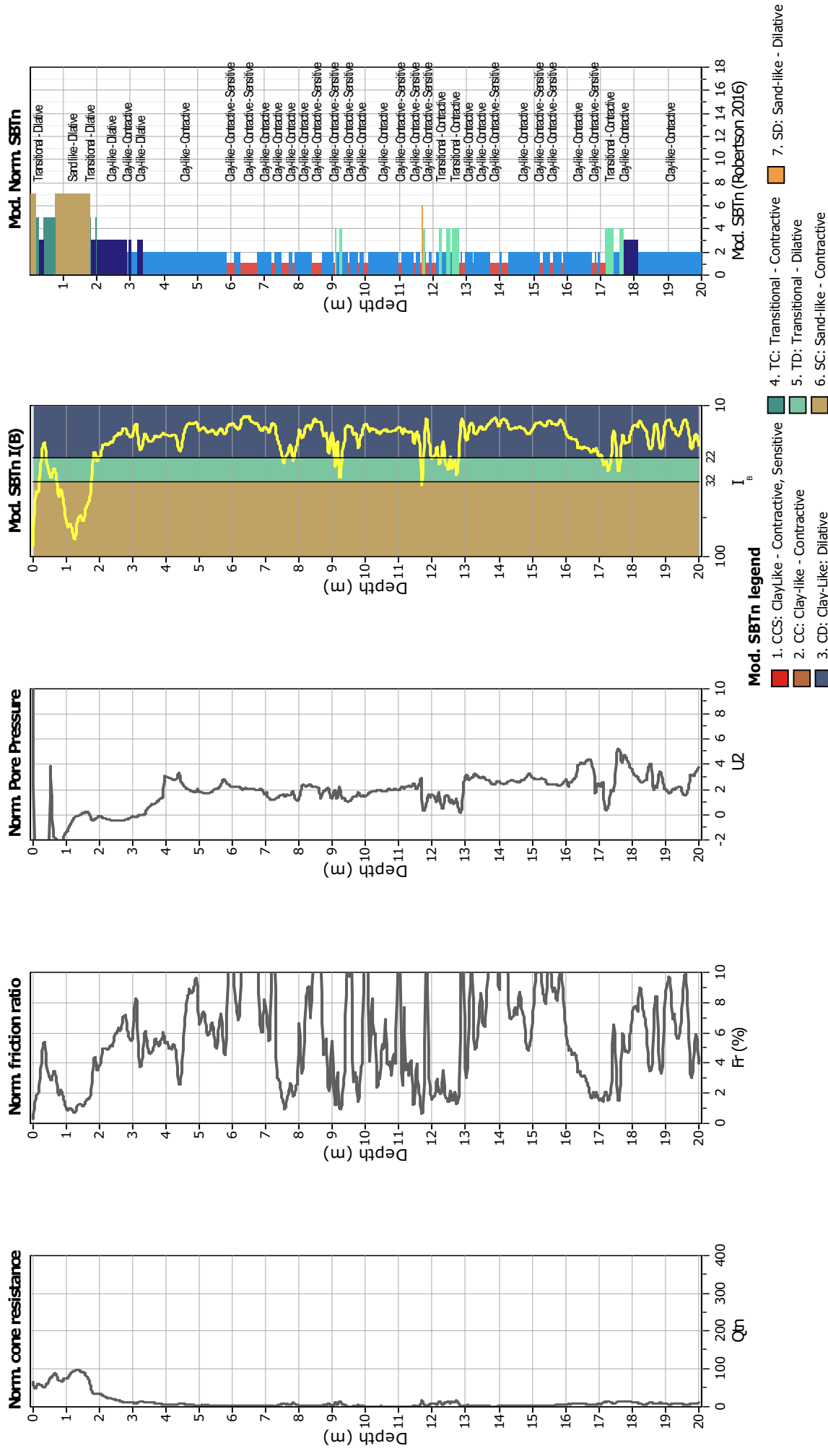
Project: Centro Unificato dell'Emergenza sul Territorio della Protezione Civile

Location: Ferrara

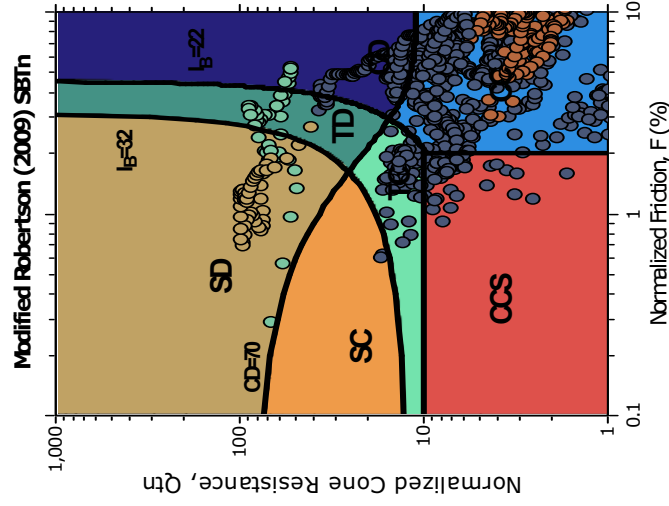
CPT: CPTU 2

Total depth: 20.00 m, Date: 31/10/2017

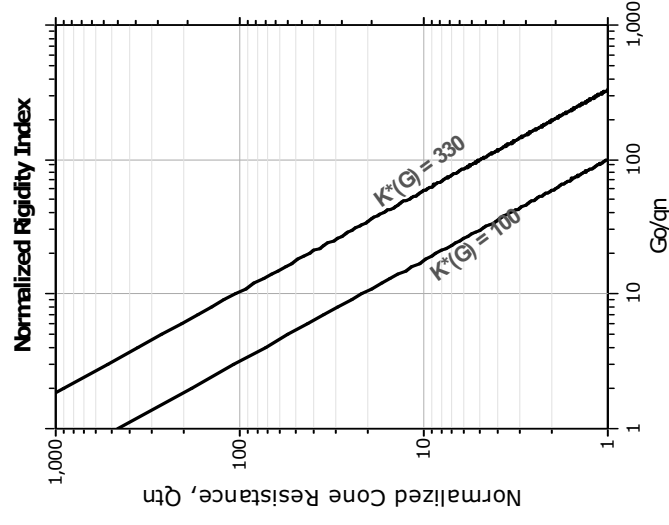
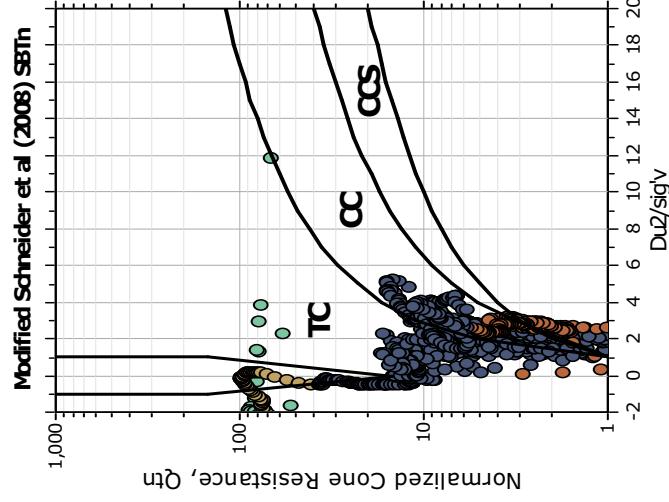




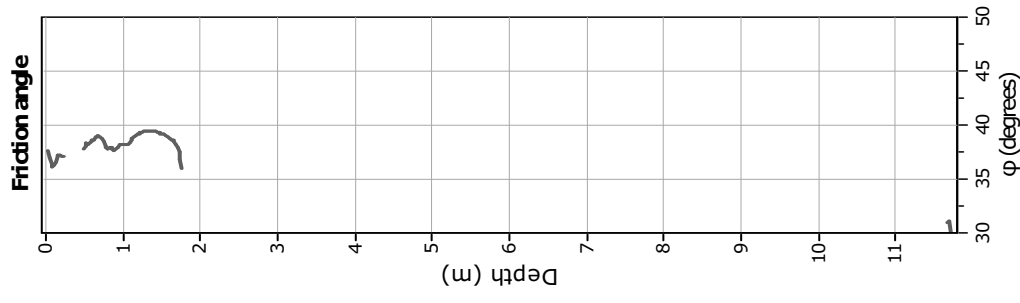
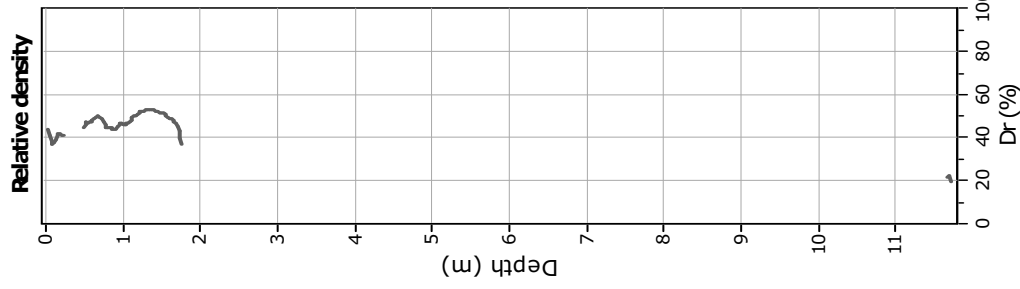
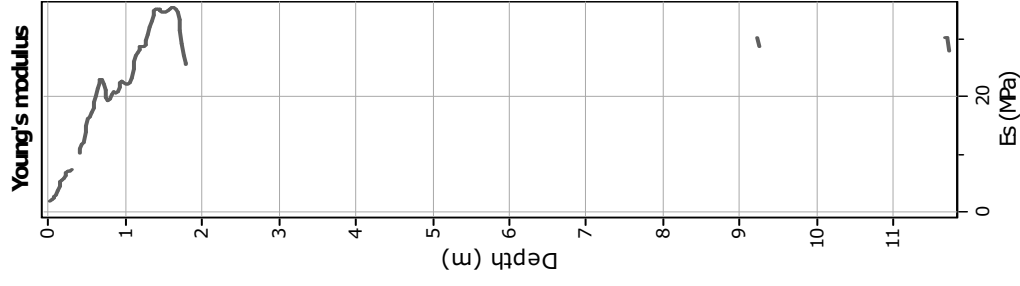
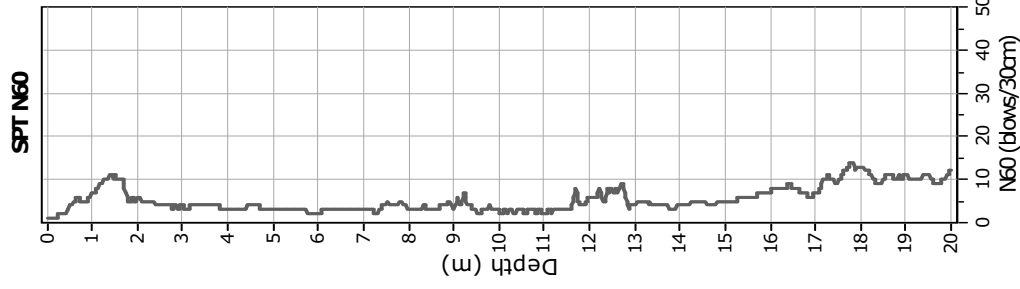
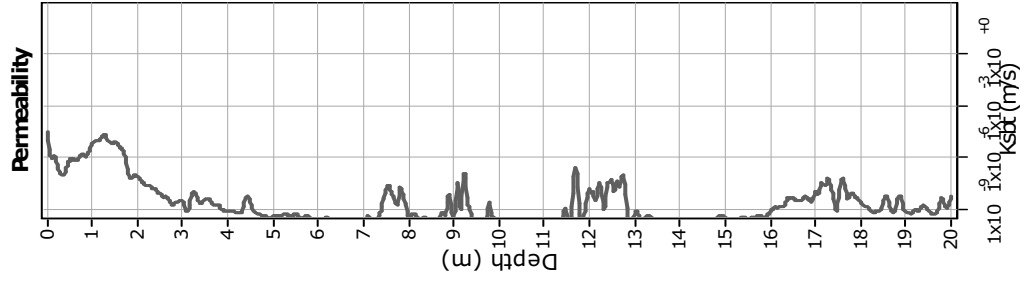
Updated SBTn plots



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

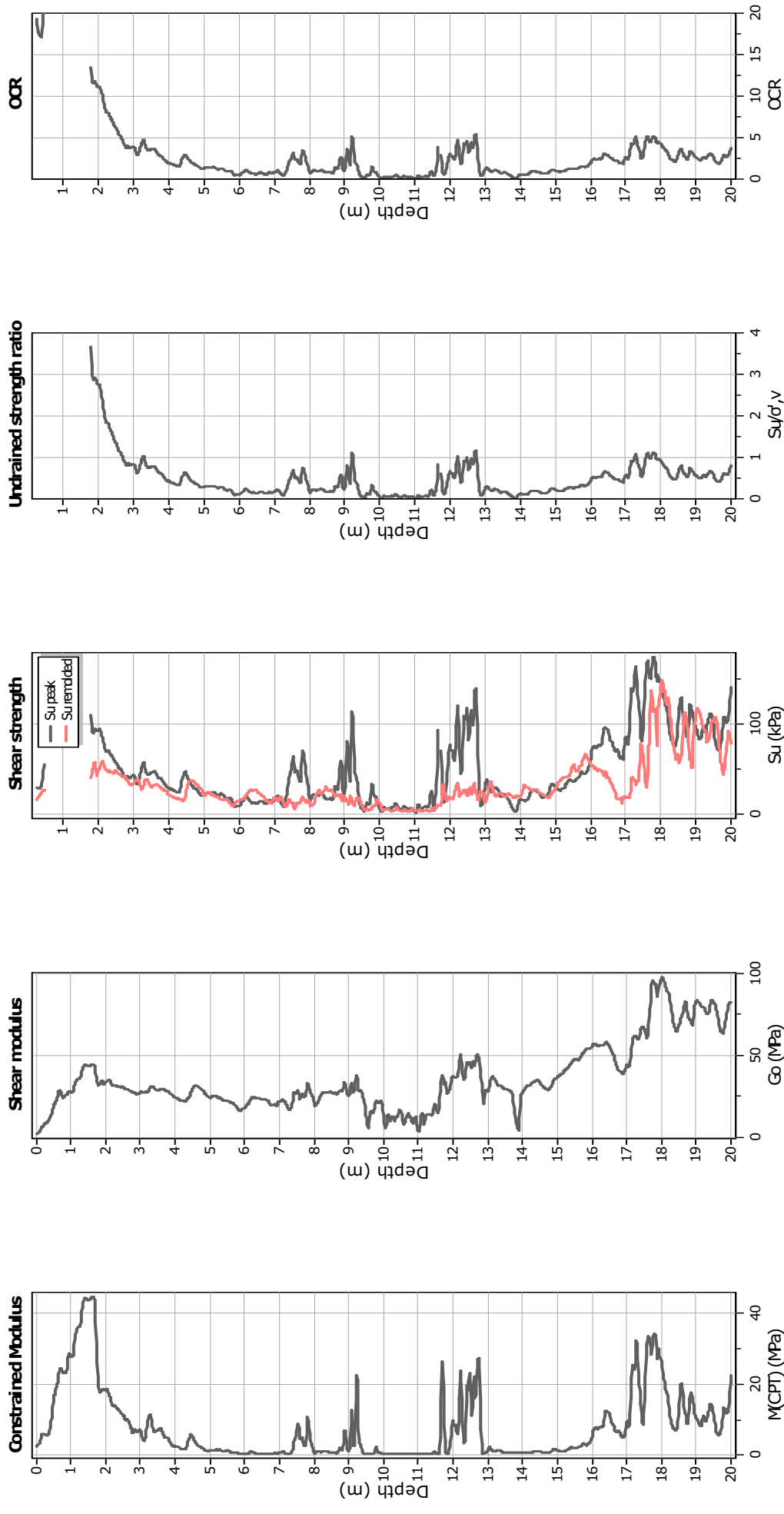
SPT N_{60} : Based on I_c and q_t

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/ρ using I_c and Q_m (Robertson, 2009)

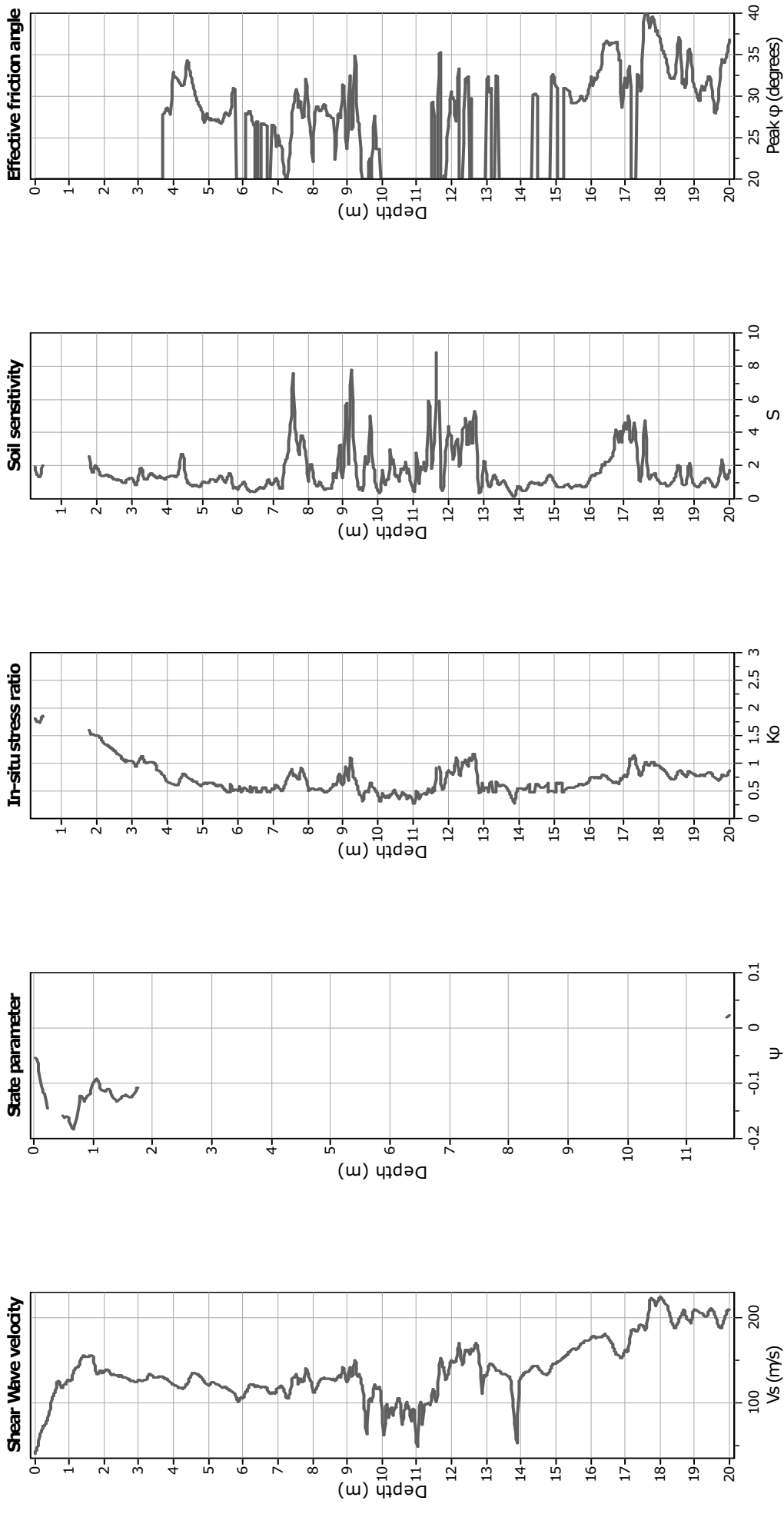
G_0 : Based on variable α/ρ using I_c (Robertson, 2009)

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



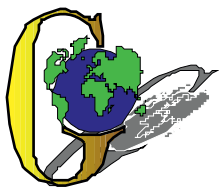
Calculation parameters

Soil Sensitivity factor, N_s : 7.00

—●— User defined estimation data

ID Prova: SCPTU 1 Profondità falda: a mt 4.30 da p.c. Preforo: -		Profondità massima raggiunta: 30.30 mt Punta sismica: Tecnopenta CPLSD RIF. 169/17GF							
Vs 30 e ANAGRAFICA PROVA SCPTU 1									
Cantiere: Ferrara (FE) Data: 31/10/2017 169/17GF - SCPTU1 CPTU2									
Vs30									
prof. (p)	prof. (cs)	Dist (L)	Tempo (t)	VsP	L2-L1	t2-t1	VsL		
m	m	m	sec	m/sec	m	sec	m/sec		
0.00	0.00	0.00	0.0000	295	1.80	0.0061	295	1.00	0.003359
1.30	1.00	1.8028	0.0061	270	0.70	0.0031	223	1.00	0.002459
2.30	2.00	2.5000	0.0092	260	0.85	0.0060	122	1.00	0.008241
3.30	3.00	3.3241	0.0163	209	0.56	0.0086	115	1.00	0.009005
4.30	4.00	4.2200	0.0238	169	0.56	0.0086	115	1.00	0.009005
5.30	5.00	5.2200	0.0328	149	0.55	0.0086	111	1.00	0.009005
6.30	6.00	6.1847	0.0402	134	0.56	0.0074	130	1.00	0.007688
7.30	7.00	7.1589	0.0476	151	0.97	0.0073	133	1.00	0.00752
8.30	8.00	8.1394	0.0554	147	0.98	0.0078	125	1.00	0.007977
9.30	9.00	9.1241	0.0613	149	0.98	0.0060	165	1.00	0.006006
10.30	10.00	10.1119	0.0678	149	0.99	0.0065	152	1.00	0.006572
11.30	11.00	11.0934	0.0732	152	0.99	0.0054	184	1.00	0.005455
12.30	12.00	12.0863	0.0793	153	0.99	0.0050	164	1.00	0.005009
13.30	13.00	13.0863	0.0843	155	0.99	0.0051	196	1.00	0.005110
14.30	14.00	14.0801	0.0904	156	0.99	0.0060	164	1.00	0.006008
15.30	15.00	15.0748	0.0950	159	0.99	0.0046	215	1.00	0.004666
16.30	16.00	16.0702	0.1001	161	1.00	0.0051	197	1.00	0.005088
17.30	17.00	17.0660	0.1050	163	1.00	0.0050	201	1.00	0.004938
18.30	18.00	18.0624	0.1100	164	1.00	0.0050	199	1.00	0.005002
19.30	19.00	19.0591	0.1150	166	1.00	0.0050	199	1.00	0.005002
20.30	20.00	20.0562	0.1201	167	1.00	0.0050	198	1.00	0.005005
21.30	21.00	21.0535	0.1246	169	1.00	0.0045	222	1.00	0.004500
22.30	22.00	22.0511	0.1293	170	1.00	0.0048	209	1.00	0.004729
23.30	23.00	23.0489	0.1340	172	1.00	0.0047	213	1.00	0.004700
24.30	24.00	24.0468	0.1385	174	1.00	0.0044	235	1.00	0.004400
25.30	25.00	25.0450	0.1428	175	1.00	0.0043	230	1.00	0.004365
26.30	26.00	26.0432	0.1470	177	1.00	0.0042	236	1.00	0.004324
27.30	27.00	27.0416	0.1512	179	1.00	0.0042	238	1.00	0.004200
28.30	28.00	28.0401	0.1553	181	1.00	0.0041	243	1.00	0.004111
29.30	29.00	29.0388	0.1594	182	1.00	0.0041	244	1.00	0.004109
30.30	30.00	30.0375	0.1635	184	1.00	0.0041	245	1.00	0.004109
								30.00	0.16568
								181.1	
prof (cs): profondità cono sismico prof. (p): profondità piezocono prof. (di): profondità piezocono DI: distanza fra la sorgente del rumore S - geofono triassiale (L) Tempo (t): tempo d'arrivo dell'onda a S VsP: velocità del suono nel percorso fra S ed L - Vs puntuale alla profondità VsL: Vs per ogni livello (L2 - L1)/(t2 - t1) Nel calcolo delle Vs30 è da intendersi un possibile valore di indeterminazione del +/- 20% del valore ricavato									
</									

Figura 1 – Schema di down hole con metodo diretto



GEO GROUP s.r.l.

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

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

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

ANALISI SISMICA DI SITO SECONDO METODOLOGIA ReMI

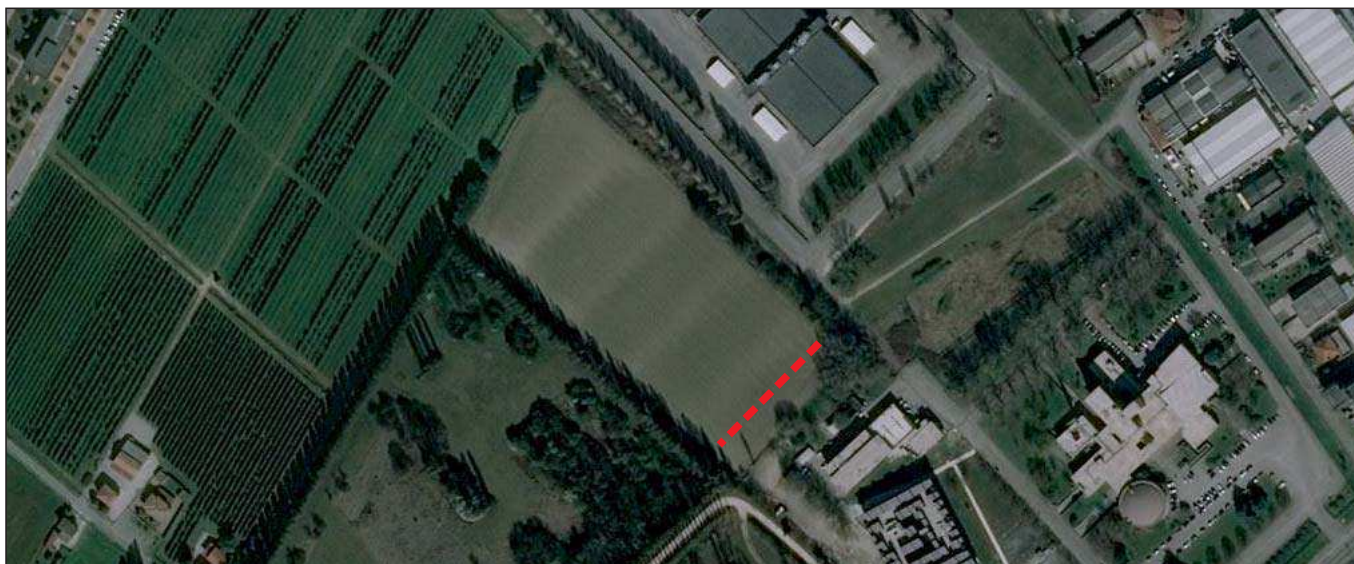
Cantiere: Ferrara (FE), Via Bologna n. 534

Data: 27/10/2017

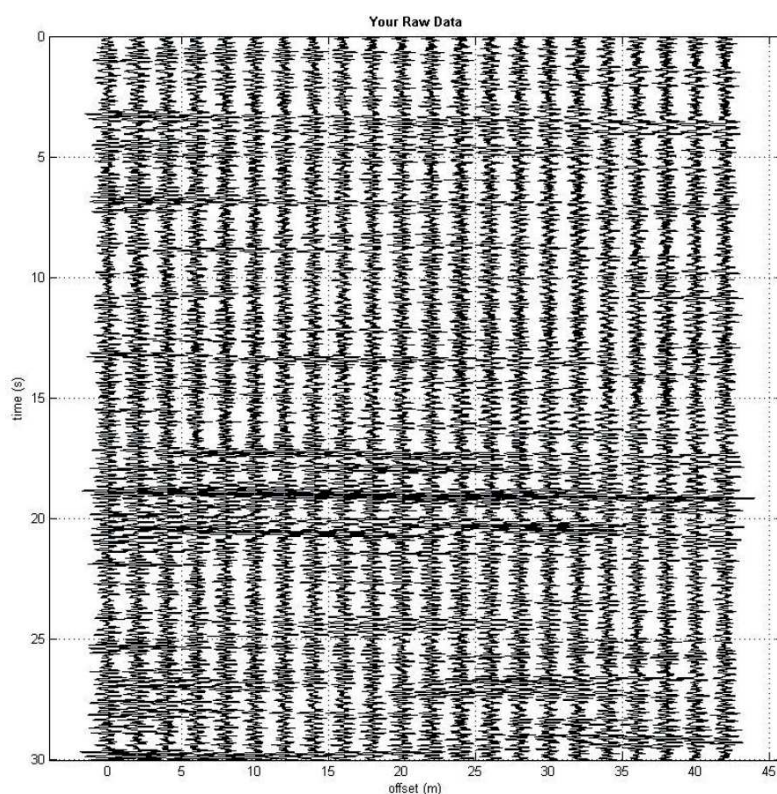
Lavoro: Studio di microzonazione sismica

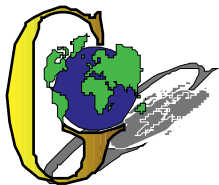
Responsabile: Dott. Geol. Pier Luigi Dallari

Re.Mi. 1
Rif. 646/17



UBICAZIONE DELLO STENDIMENTO SISMICO IMPIEGATO





GEO GROUP s.r.l.

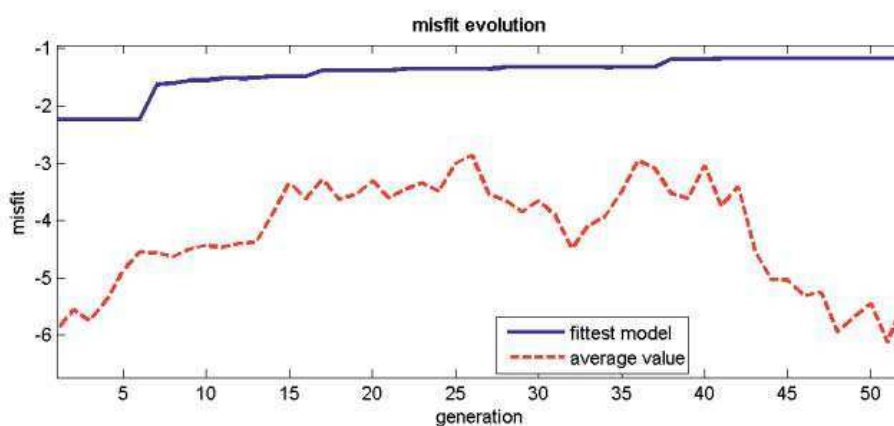
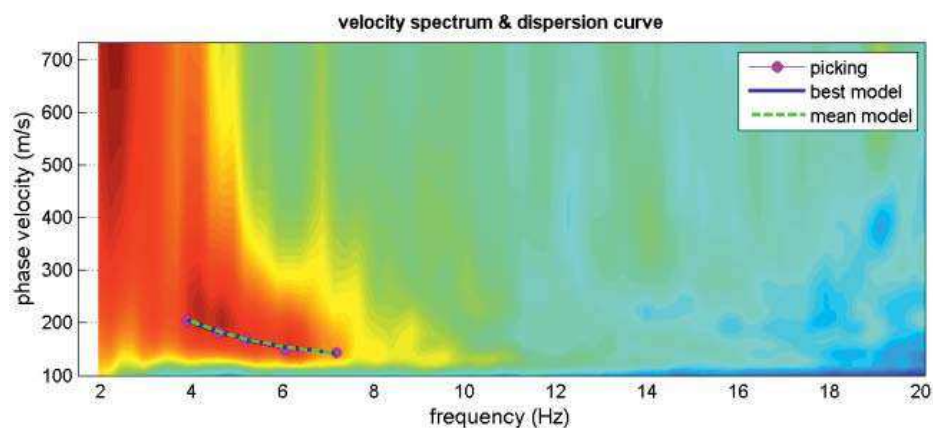
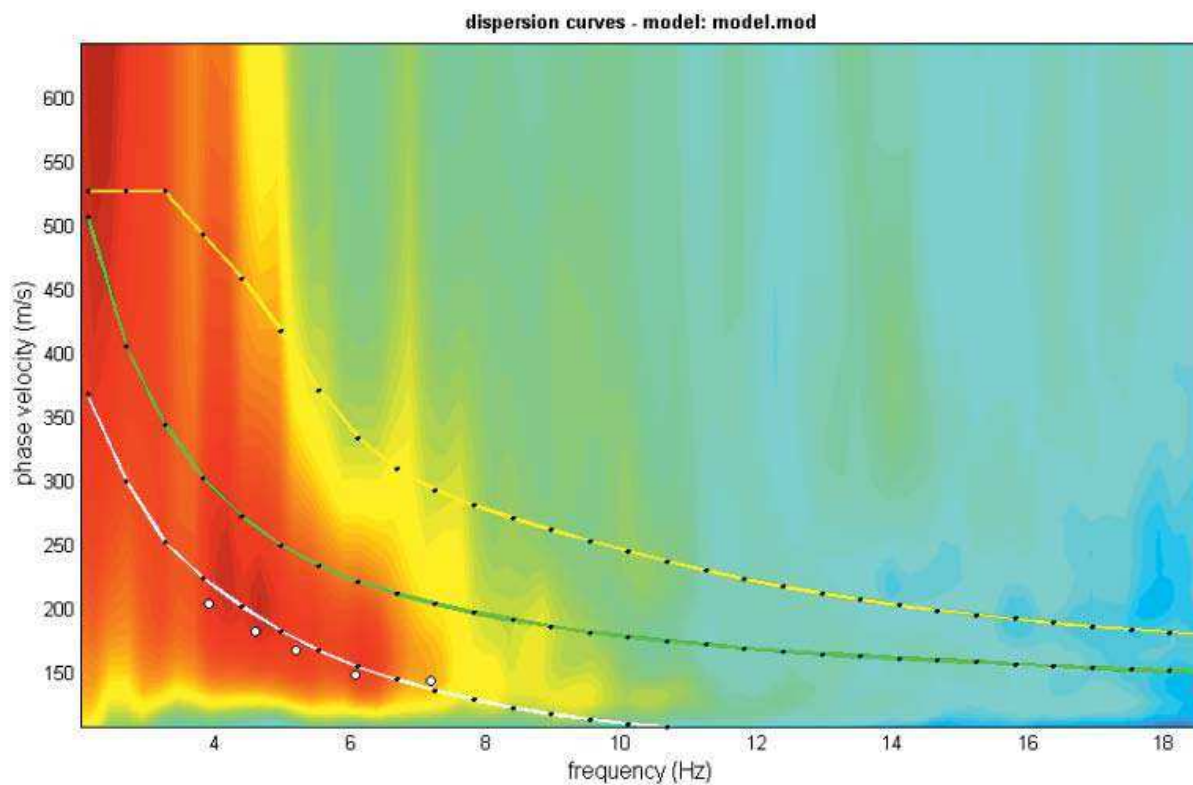
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

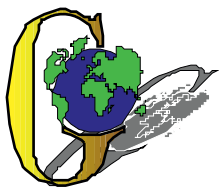
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuevo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

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





GEO GROUP s.r.l.

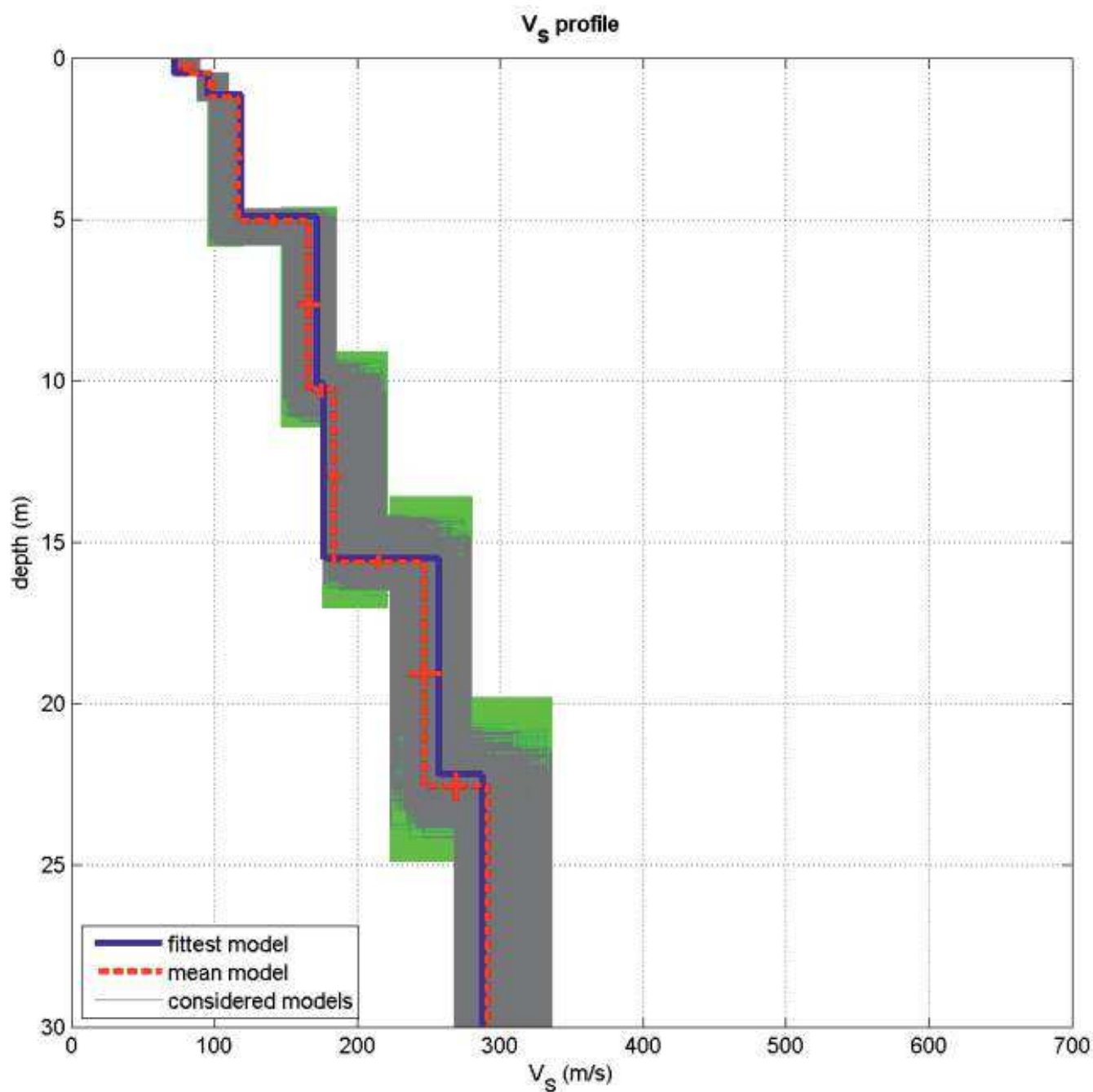
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

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

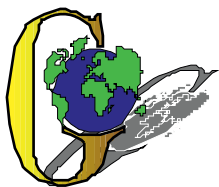
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

MODELLO Vs30 DERIVATO DALL'INDAGINE ReMI ESEGUITA



BEST MODEL
Vs30 = 189 m/s



GEO GROUP s.r.l.

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

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

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

ANALISI SISMICA DI SITO SECONDO METODOLOGIA Re.MI

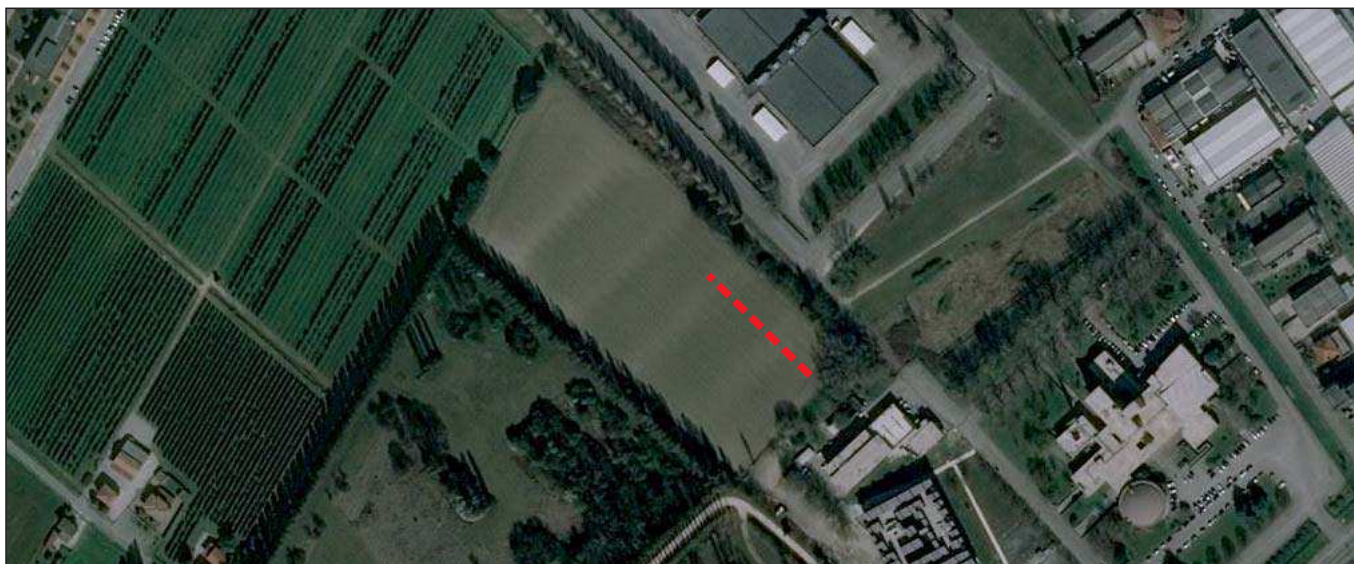
Cantiere: Ferrara (FE), Via Bologna n. 534

Data: 27/10/2017

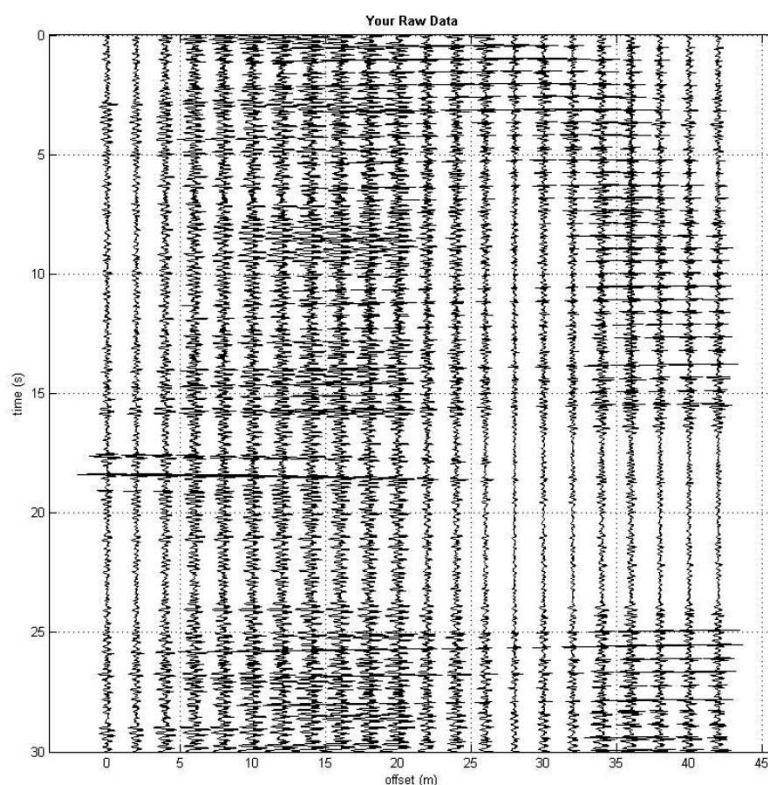
Lavoro: Studio di microzonazione sismica

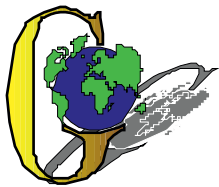
Responsabile: Dott. Geol. Pier Luigi Dallari

Re.Mi. 2
Rif. 646/17



UBICAZIONE DELLO STENDIMENTO SISMICO IMPIEGATO





GEO GROUP s.r.l.

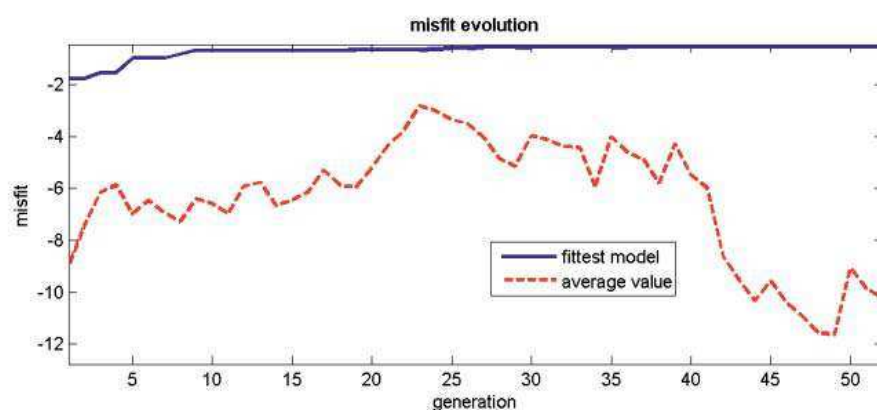
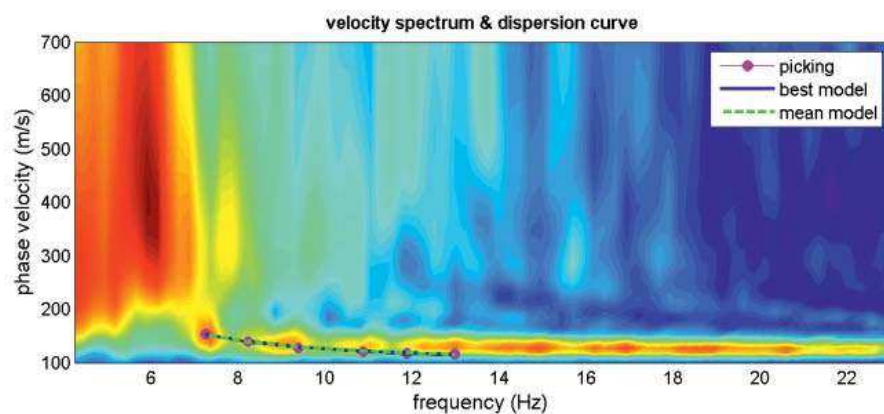
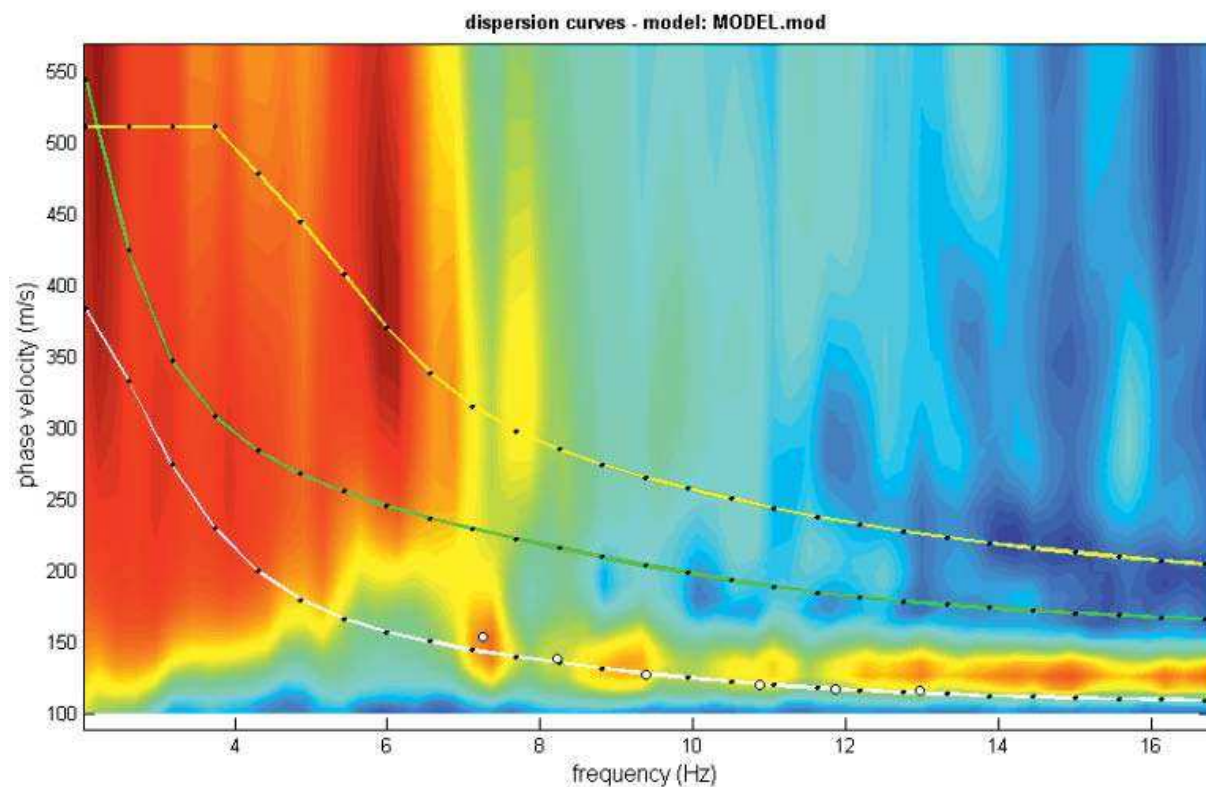
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

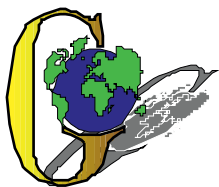
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuevo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

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





GEO GROUP s.r.l.

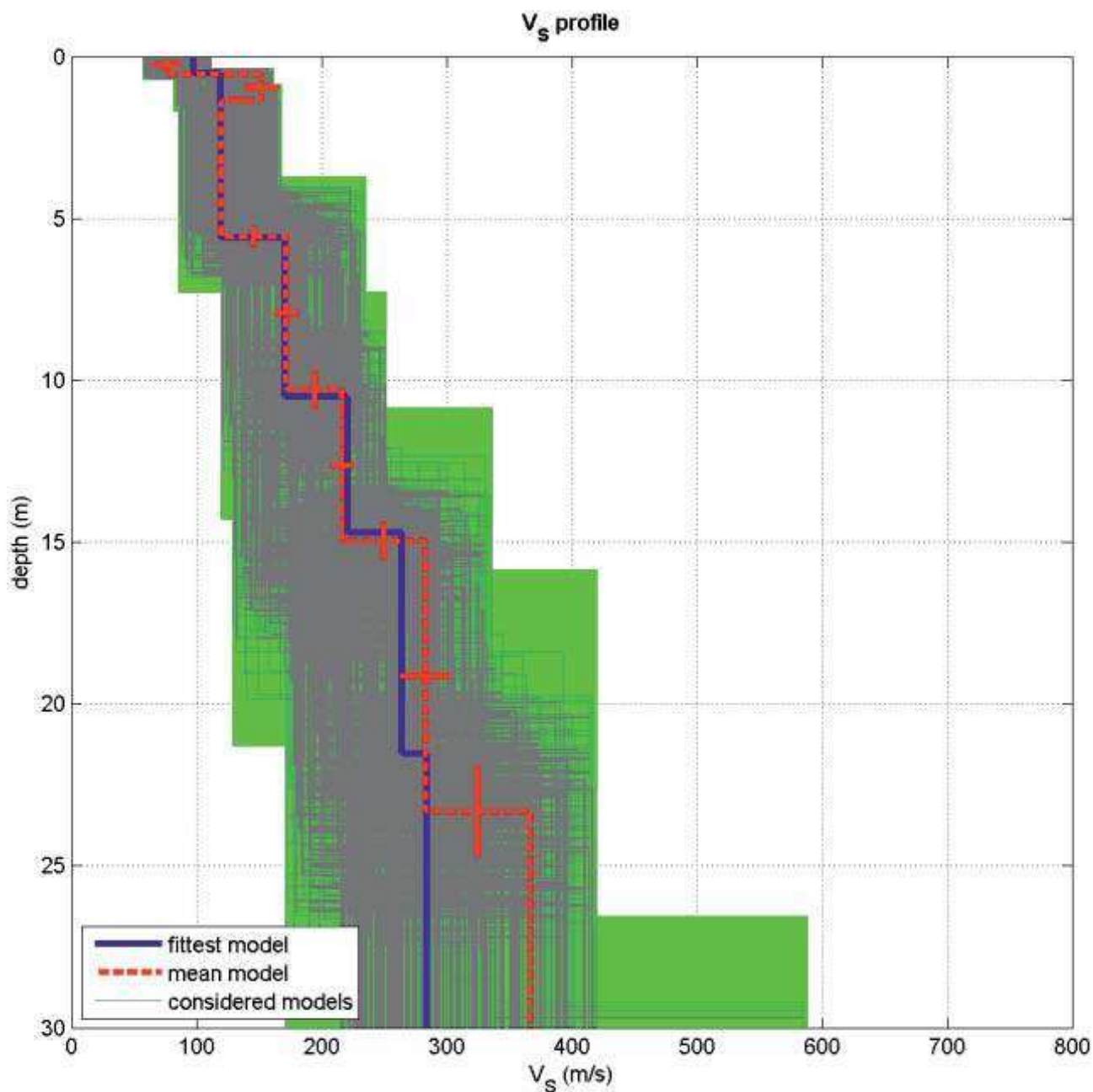
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

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

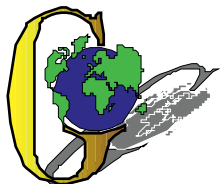
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

MODELLO Vs30 DERIVATO DALL'INDAGINE ReMI ESEGUITA



BEST MODEL
Vs30 = 189 m/s



GEO GROUP s.r.l.

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

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

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

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

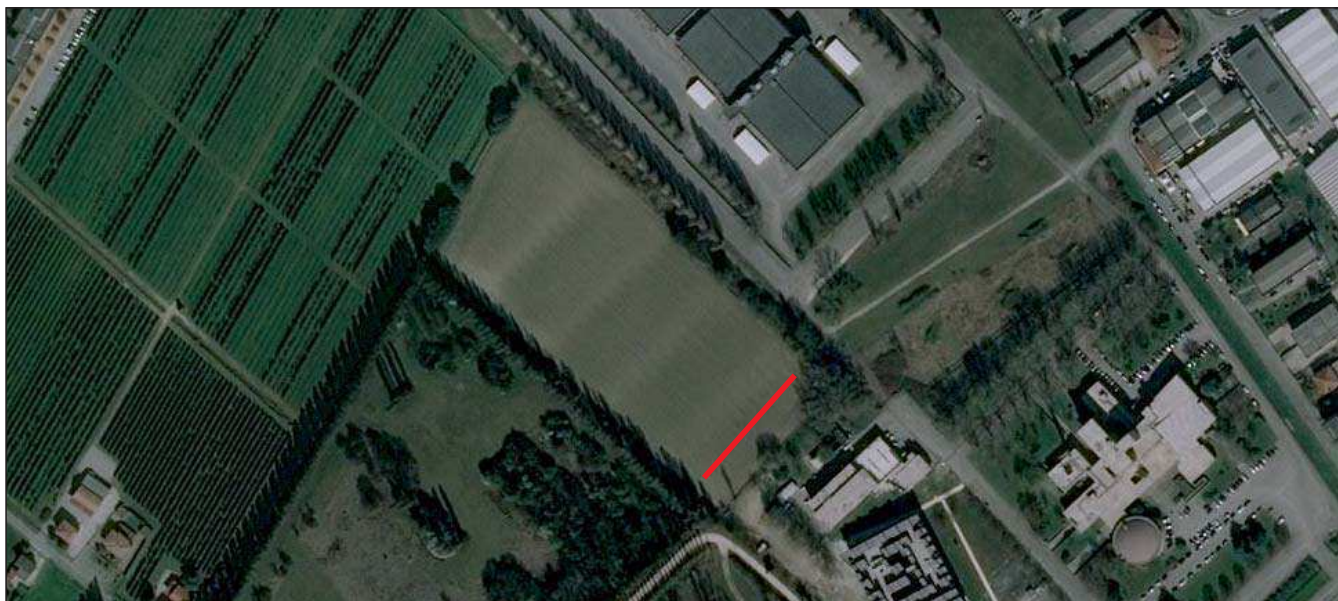
Cantiere: Ferrara (FE), Via Bologna n. 534

Lavoro: Studio di microzonazione sismica

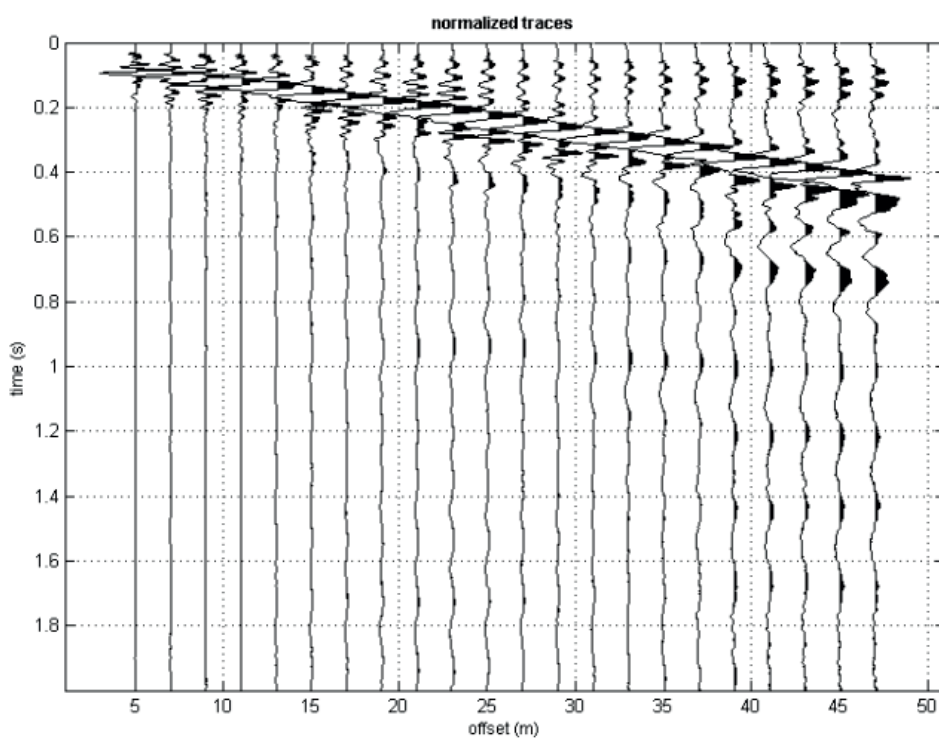
Data: 27/10/2017

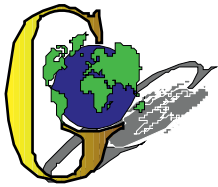
Responsabile: Dott. Geol. Pier Luigi Dallari

MASW n. 1
Rif. 646/17



UBICAZIONE DELLO STENDIMENTO SISMICO IMPIEGATO





GEO GROUP s.r.l.

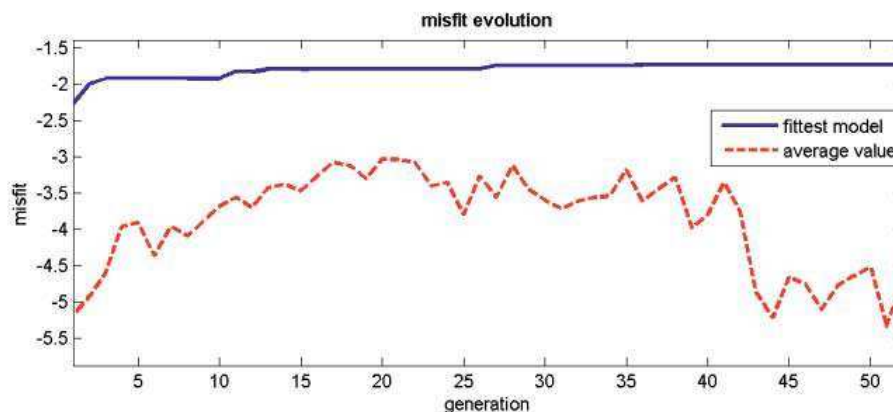
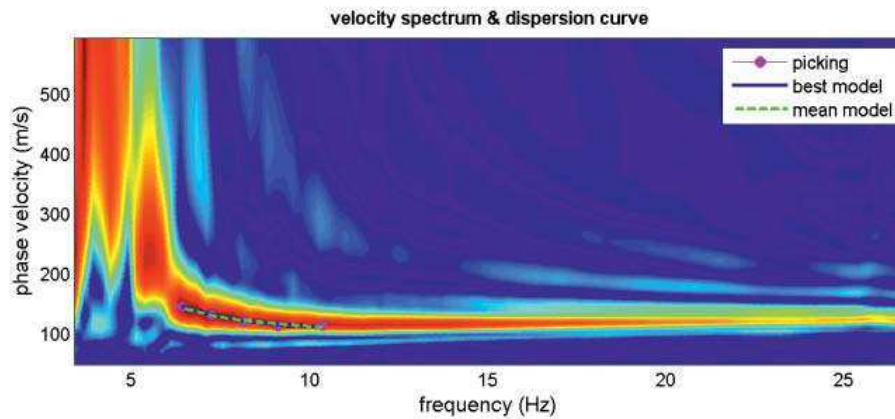
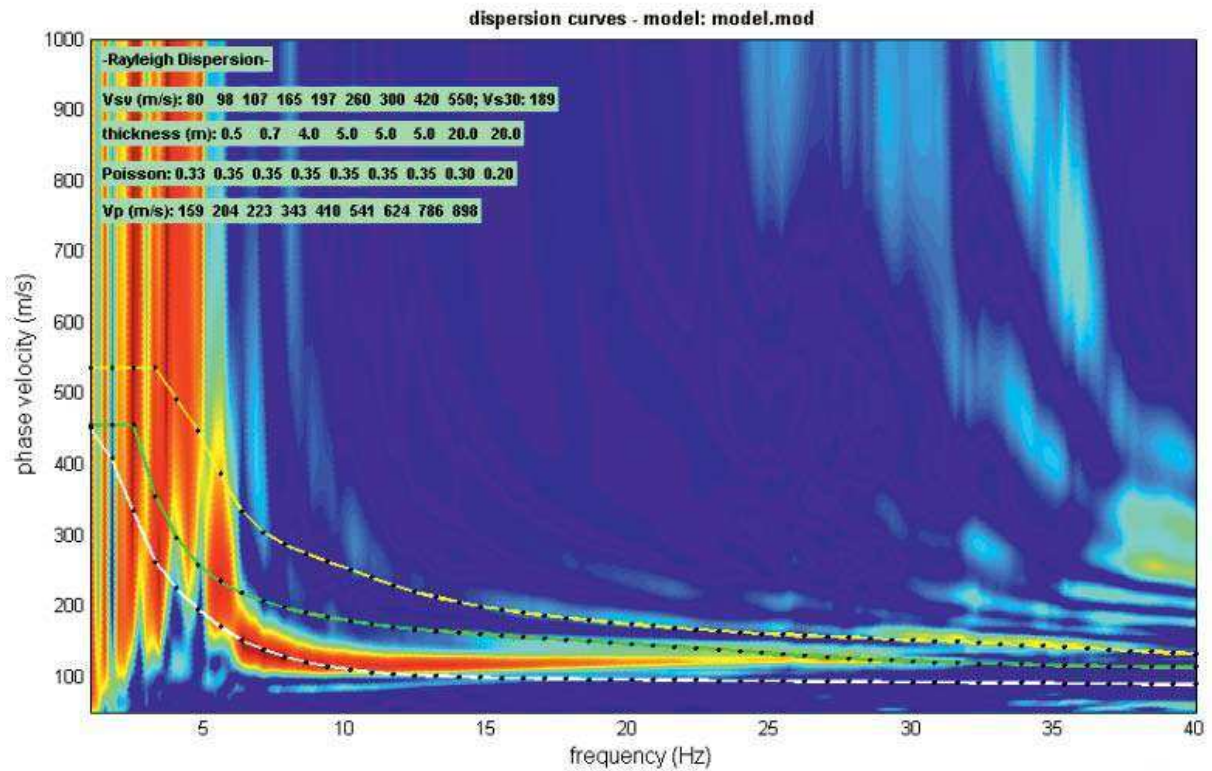
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

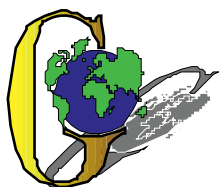
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

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





GEO GROUP s.r.l.

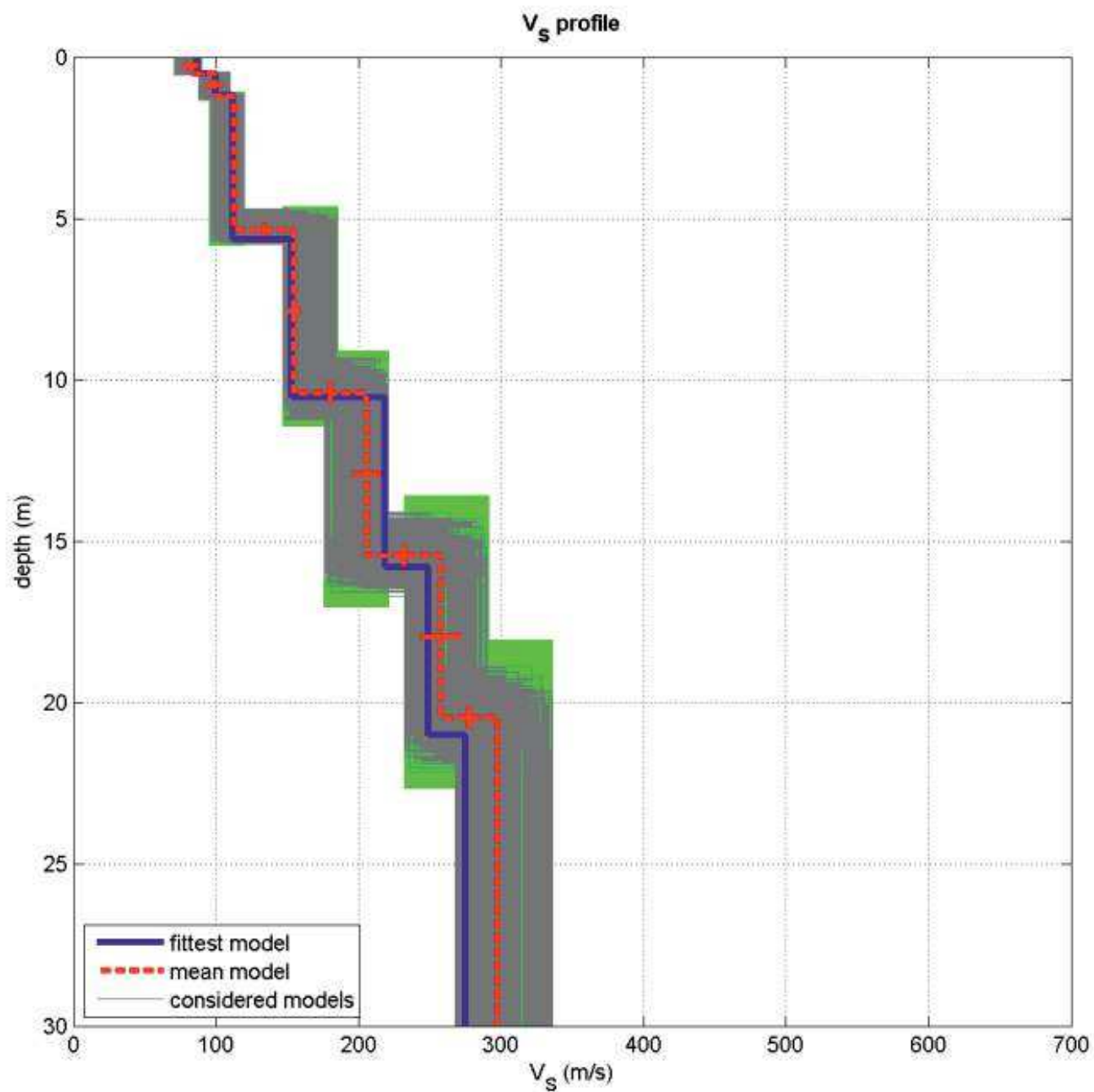
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

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

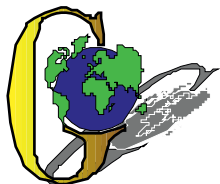
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

MODELLO Vs30 DERIVATO DALL'INDAGINE MASW ESEGUITA



BEST MODEL
Vs30 = 185 m/s



GEO GROUP s.r.l.

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

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

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

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

Cantiere: Ferrara (FE), Via Bologna n. 534

Lavoro: Studio di microzonazione sismica

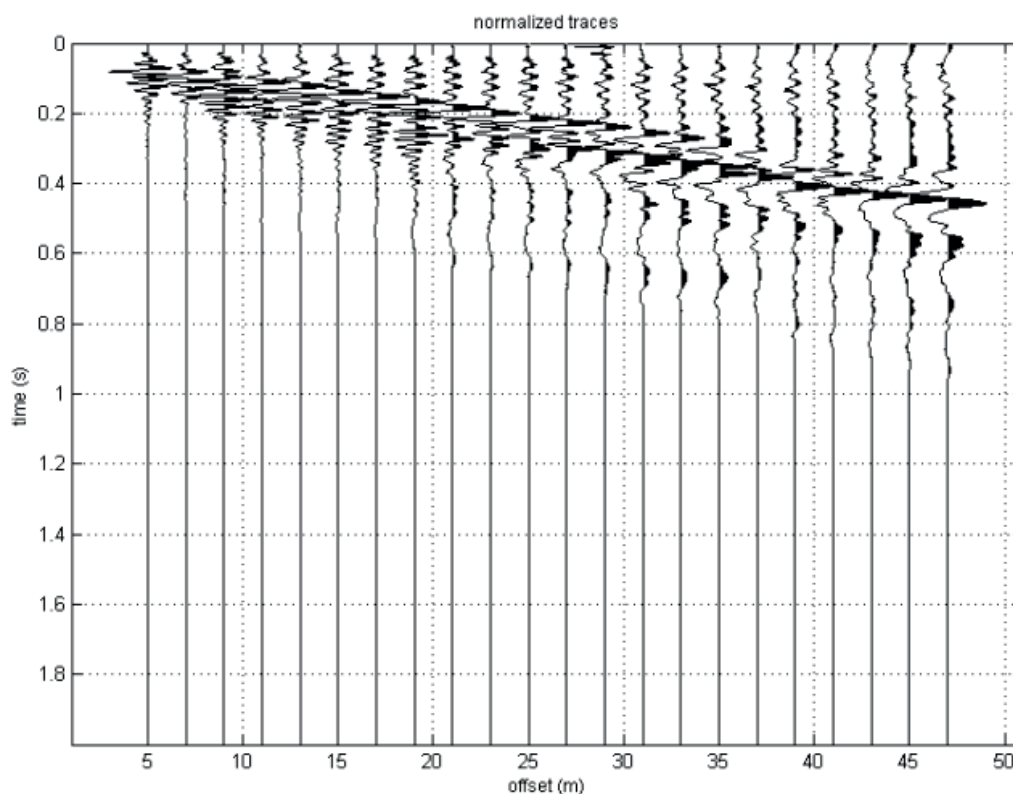
Data: 27/10/2017

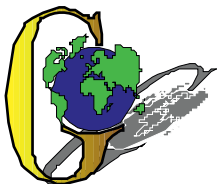
Responsabile: Dott. Geol. Pier Luigi Dallari

MASW n. 2
Rif. 646/17



UBICAZIONE DELLO STENDIMENTO SISMICO IMPIEGATO





GEO GROUP s.r.l.

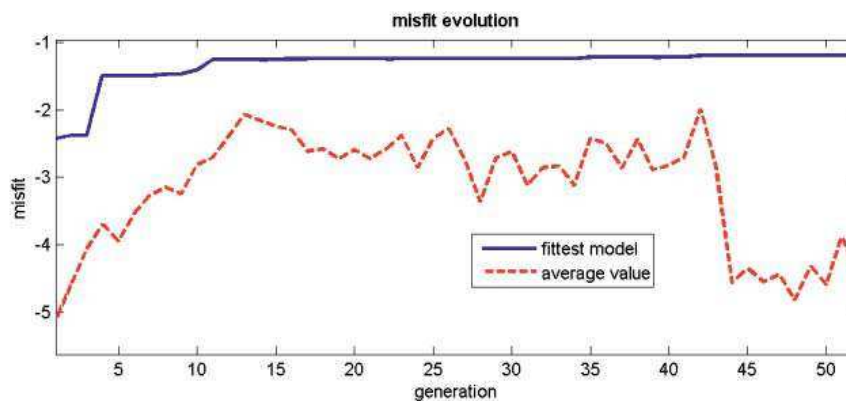
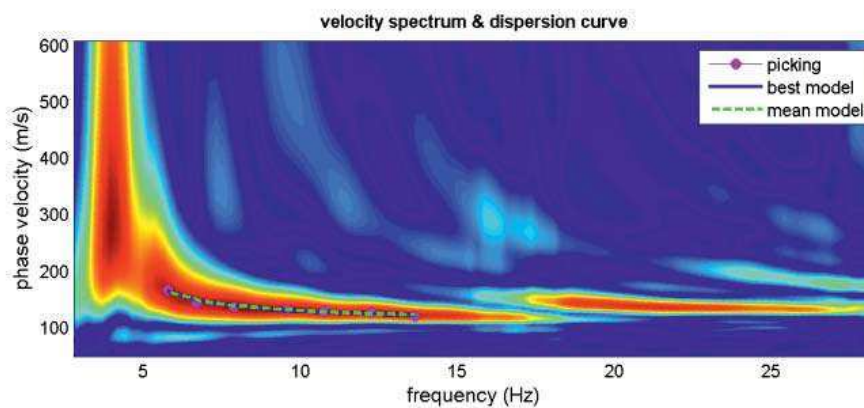
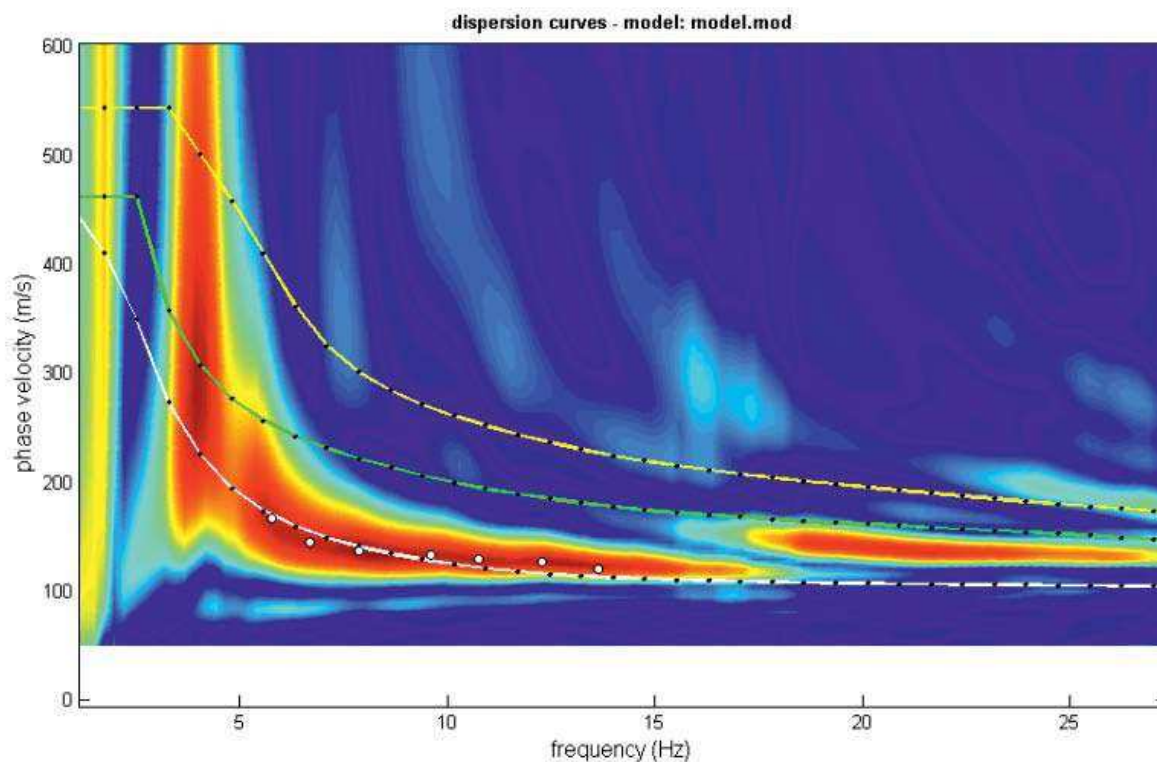
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

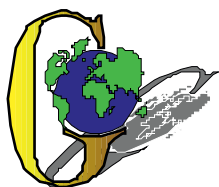
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

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





GEO GROUP s.r.l.

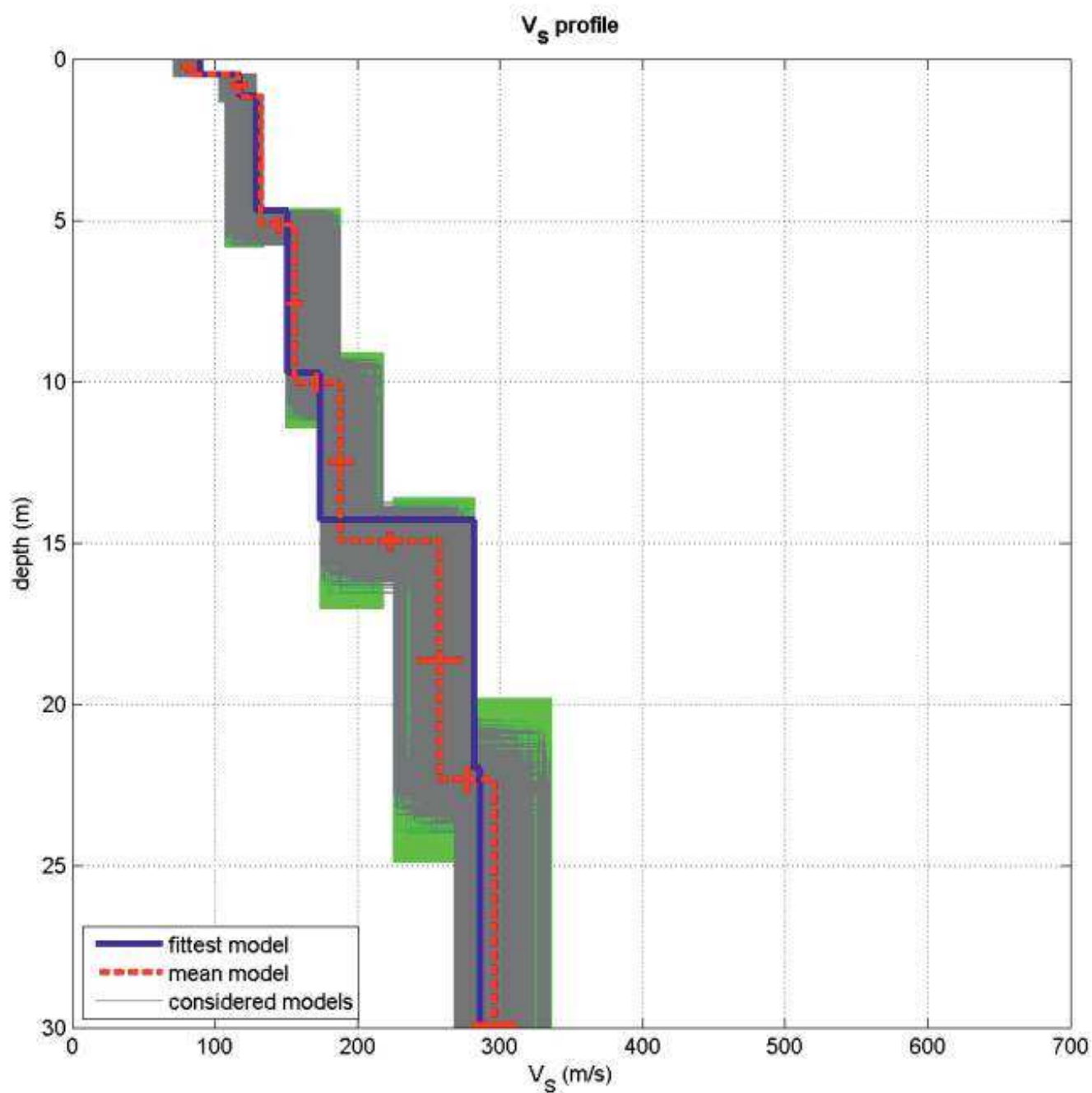
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

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

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

MODELLO Vs30 DERIVATO DALL'INDAGINE MASW ESEGUITA



BEST MODEL
 $V_{s30} = 196$ m/s

1, 01

Instrument: EXT- 24 bit USB

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: n.a.

Start recording: 27/10/17 10:55:04 End recording: 27/10/17 11:15:04

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analysis performed on the entire trace.

Sampling rate: 200 Hz

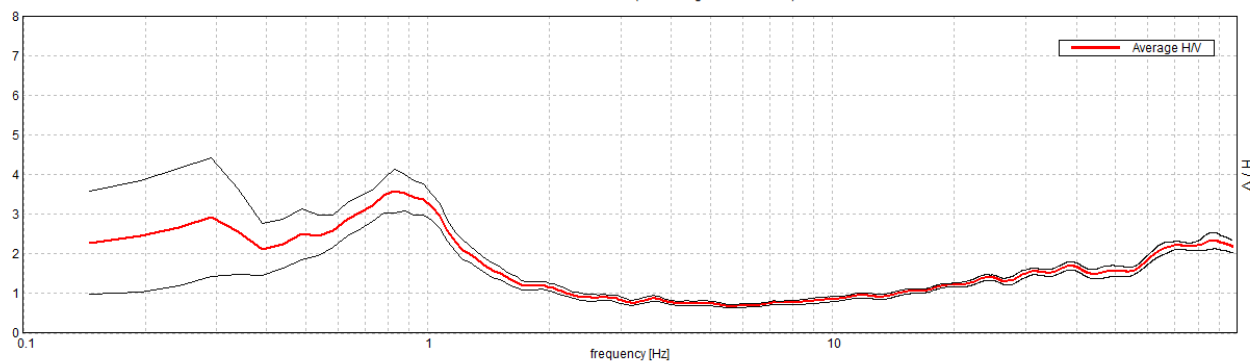
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

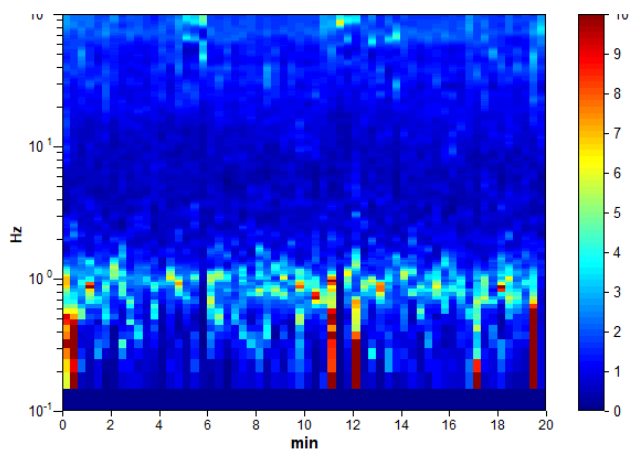
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

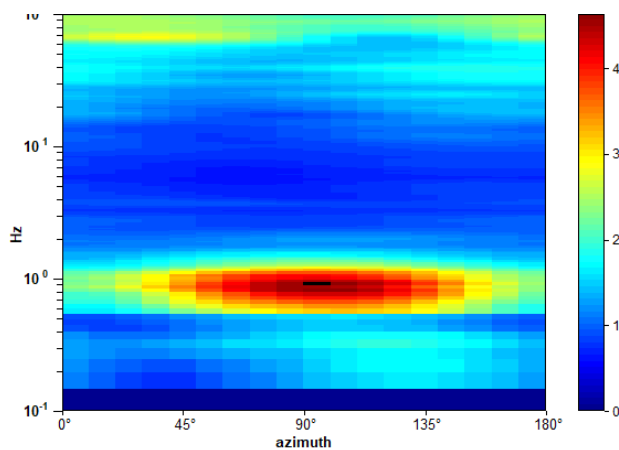
Max. H/V at 0.83 ± 0.26 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



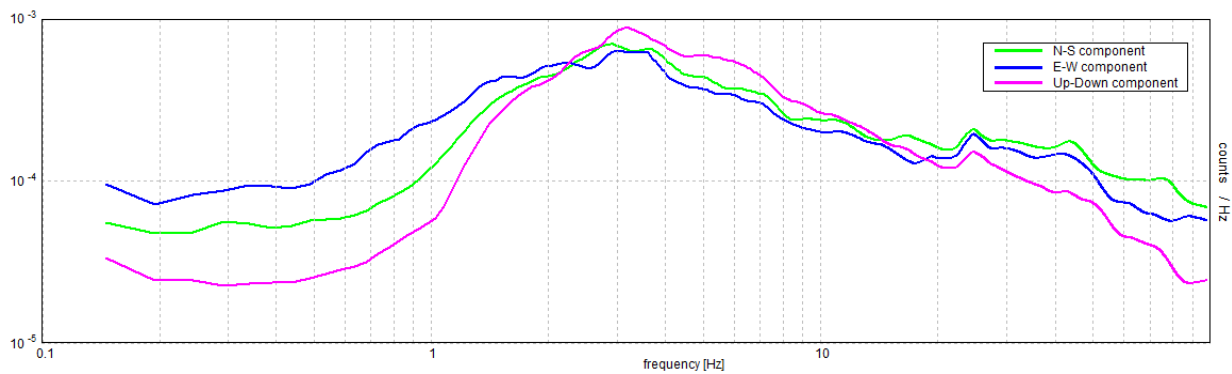
H/V TIME HISTORY



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 0.83 ± 0.26 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.83 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$996.1 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 26 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.367 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.58 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.3121 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.25907 < 0.12451$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.5444 < 2.0$	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

1, 02

Instrument: EXT- GEMINI 3D L

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: n.a.

Start recording: 27/10/17 11:22:51 End recording: 27/10/17 11:42:51

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analysis performed on the entire trace.

Sampling rate: 200 Hz

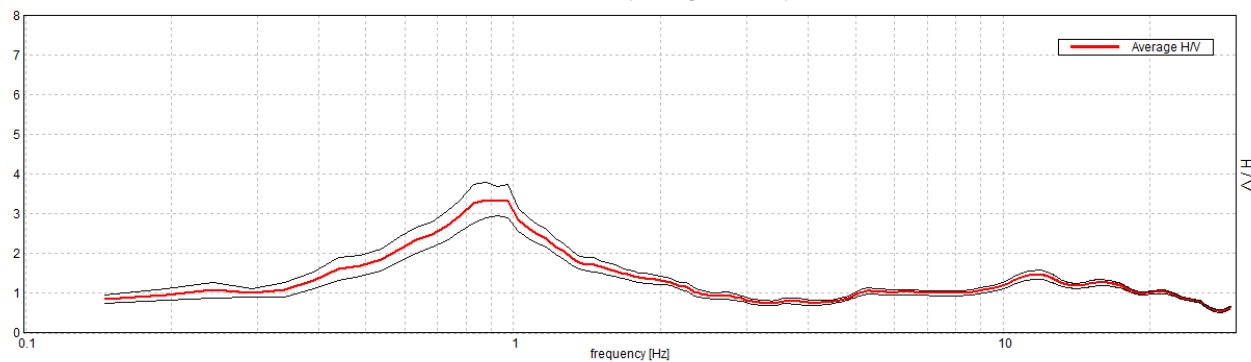
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

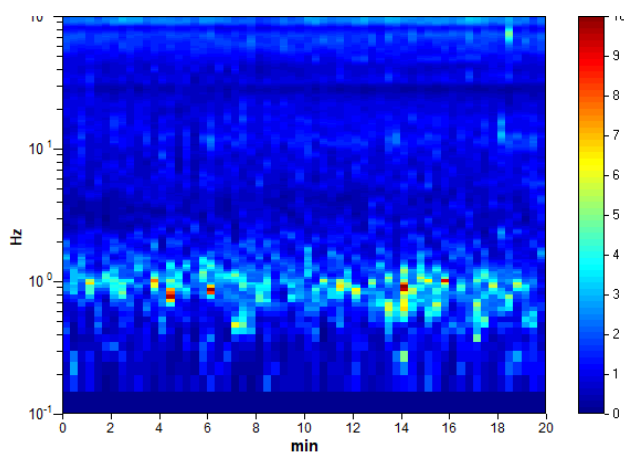
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

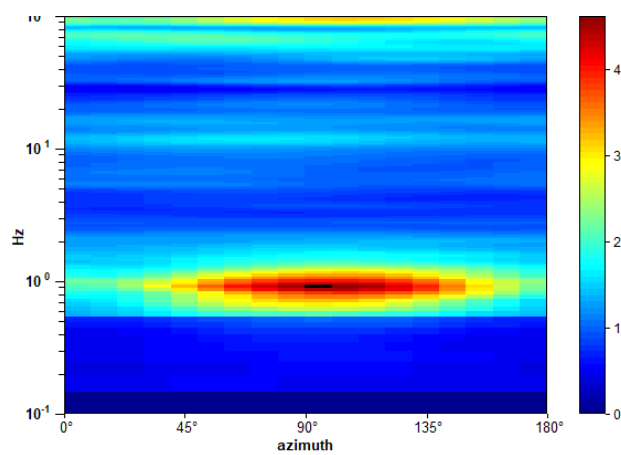
Max. H/V at 0.88 ± 0.1 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



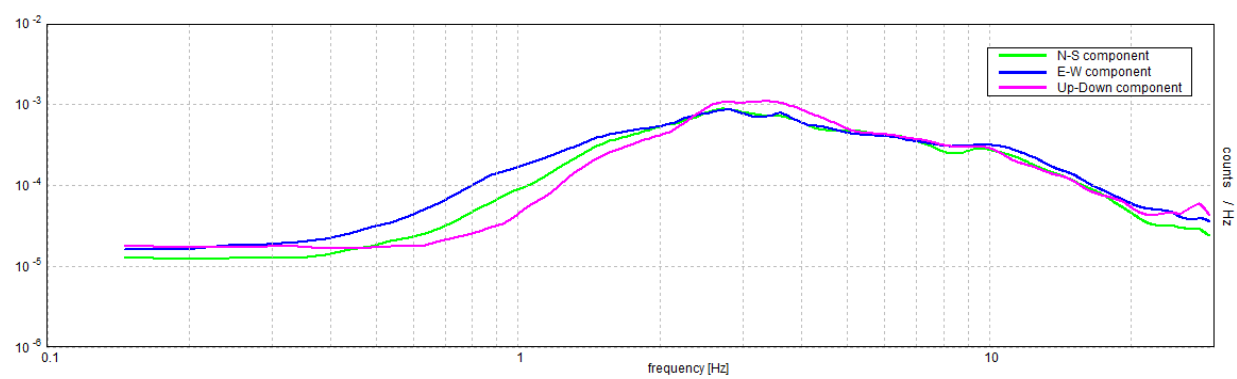
H/V TIME HISTORY



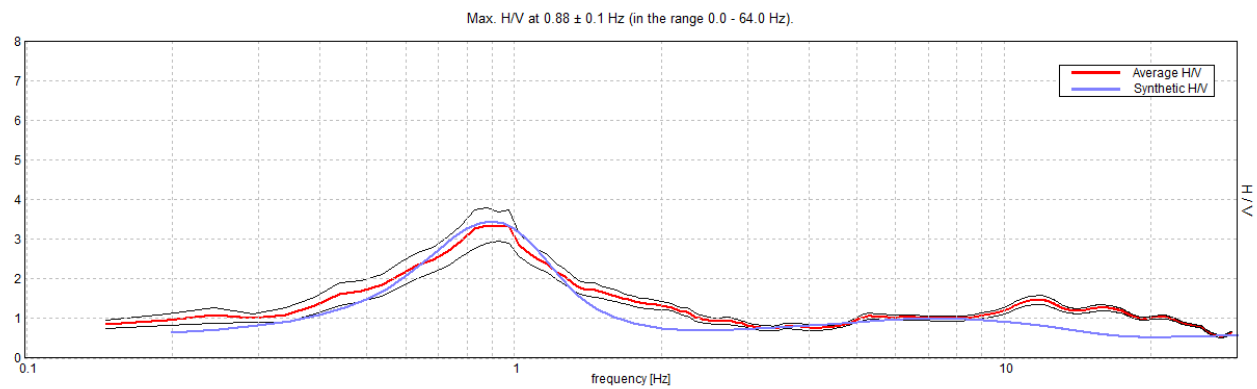
DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA

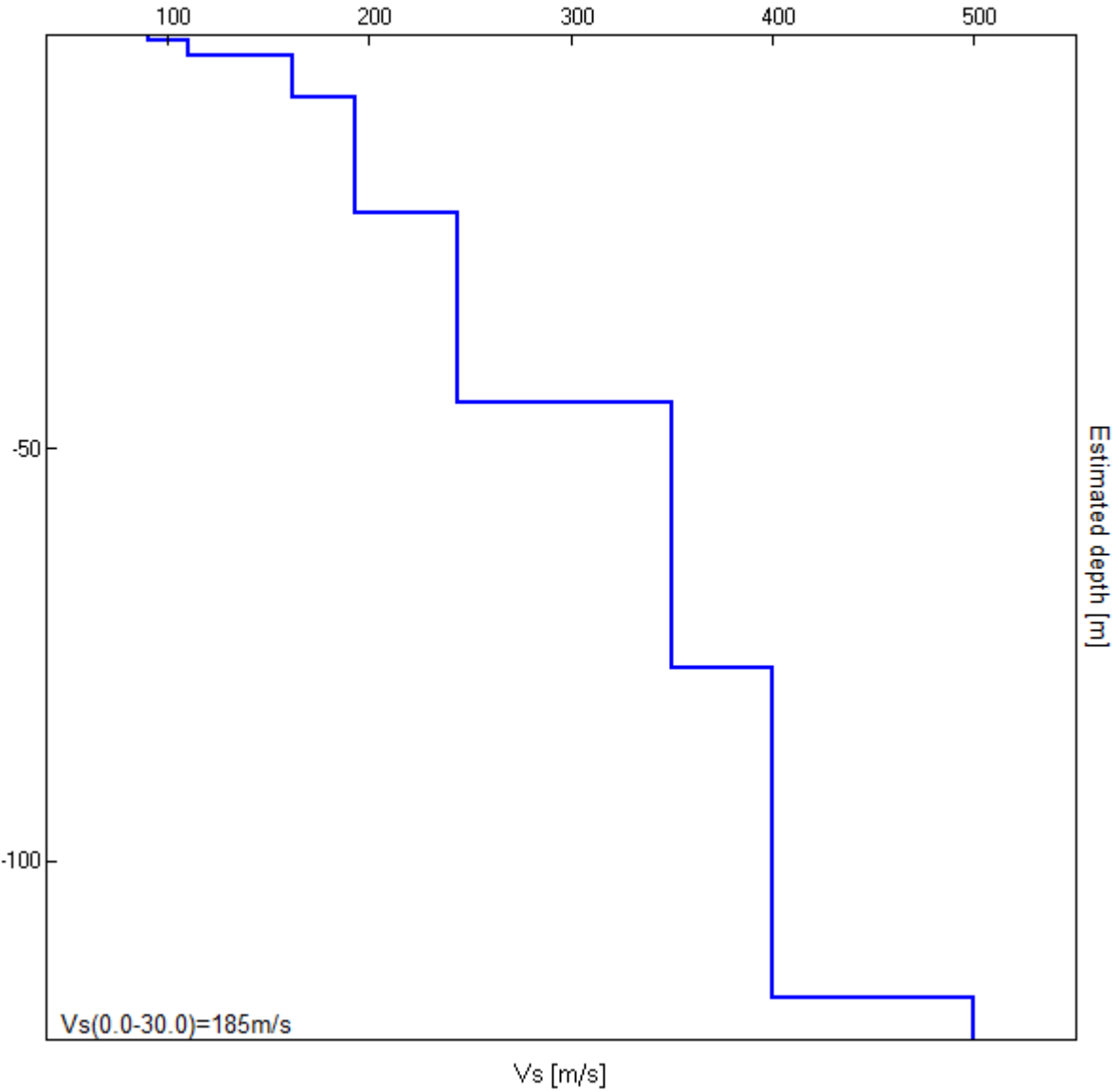


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.50	0.50	90	0.42
2.50	2.00	110	0.42
7.50	5.00	162	0.42
21.50	14.00	193	0.42
44.50	23.00	244	0.42
76.50	32.00	350	0.42
116.50	40.00	400	0.42
inf.	inf.	500	0.42

Vs(0.0-30.0)=185m/s



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

Max. H/V at 0.88 ± 0.1 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.88 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$1054.7 > 200$	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 28 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.439 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.514 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.34 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.11763 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.10339 < 0.13184$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.446 < 2.0$	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

01, 03

Instrument: EXT- GEMINI 3D L

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: n.a.

Start recording: 27/10/17 12:27:02 End recording: 27/10/17 12:47:02

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analysis performed on the entire trace.

Sampling rate: 200 Hz

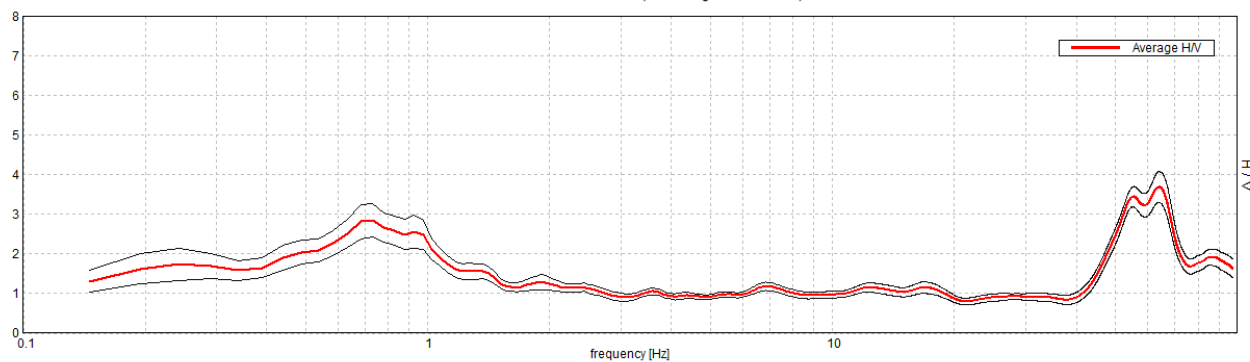
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

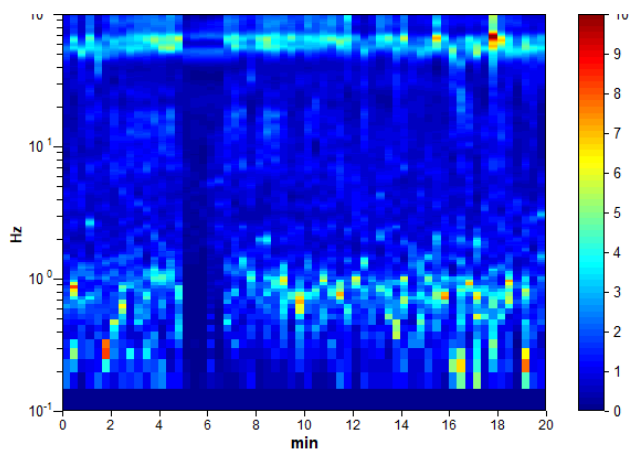
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

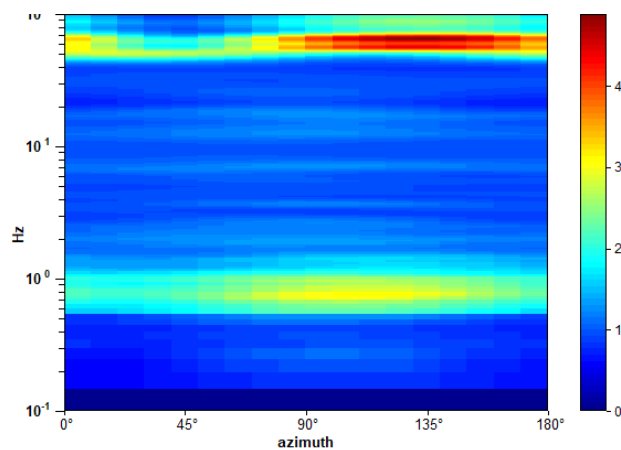
Max. H/V at 63.96 ± 16.85 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



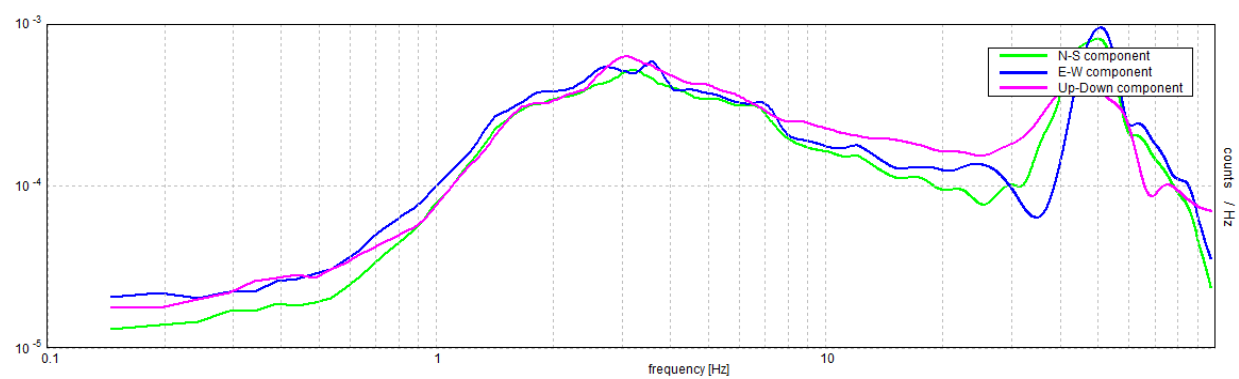
H/V TIME HISTORY



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 63.96 ± 16.85 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$63.96 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$76757.8 > 200$	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 1394 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	46.924 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	73.486 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.69 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.26343 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$16.8501 < 3.19824$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.387 < 1.58$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

GEO GROUP s.r.l.

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

ALLEGATO N° 3

Verifica alla liquefazione

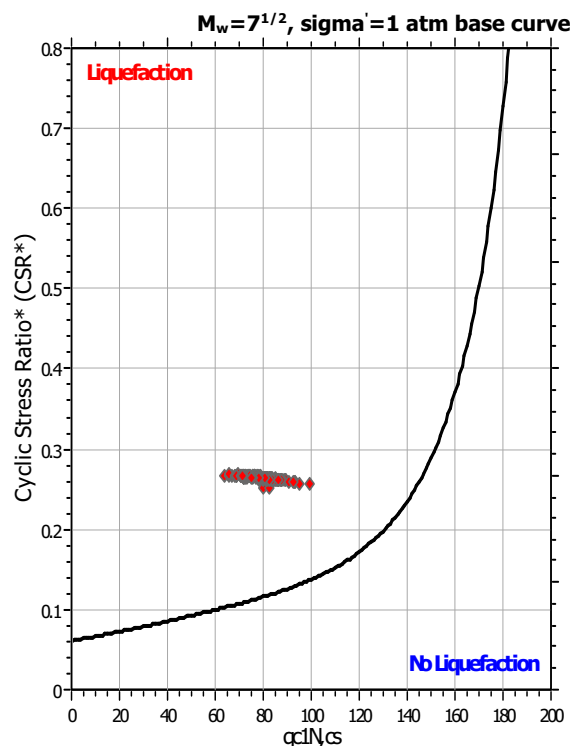
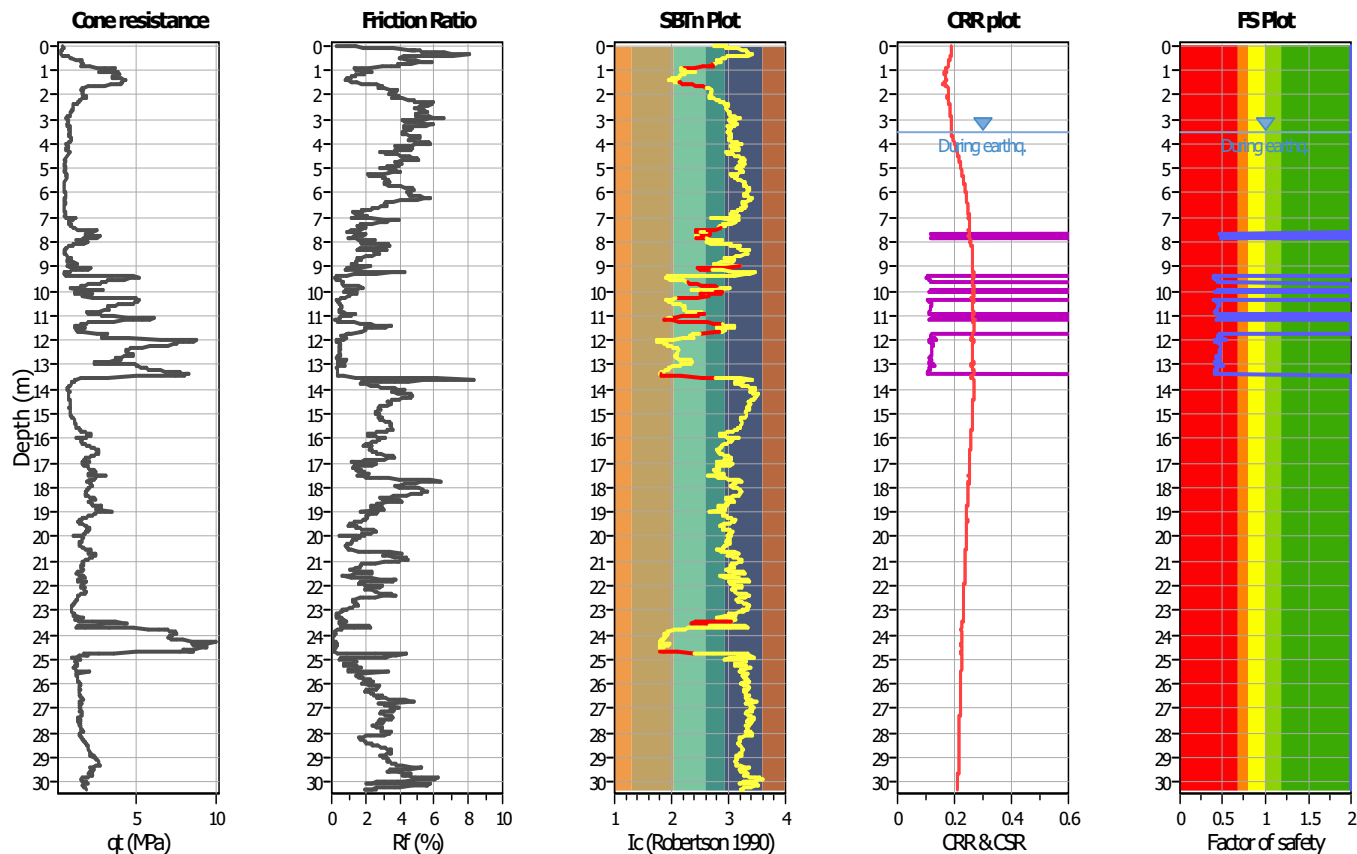
LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

Project title : Centro Unificato dell'Emergenza sul Territorio **Location :** Ferrara

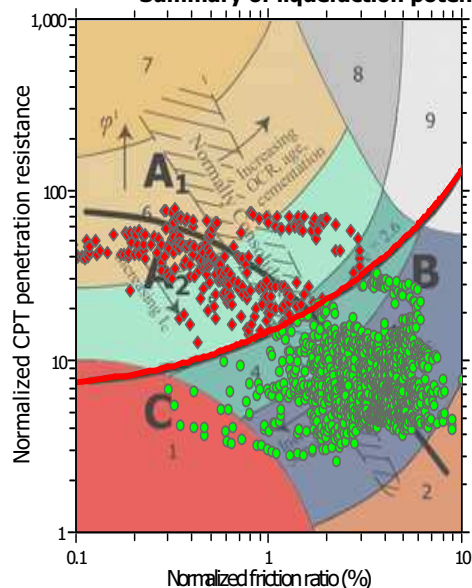
CPT file : CPTU 1

Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	3.50 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	3.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	1	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:	0.34	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_0 applied:	Yes		

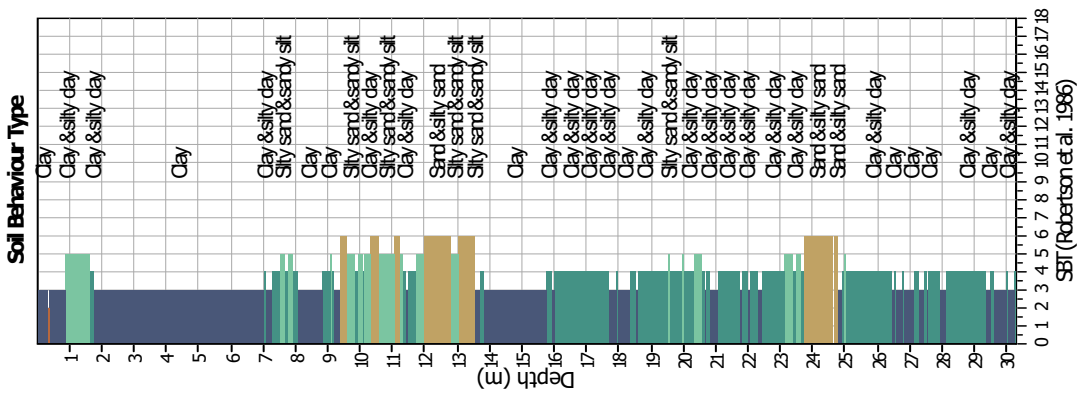
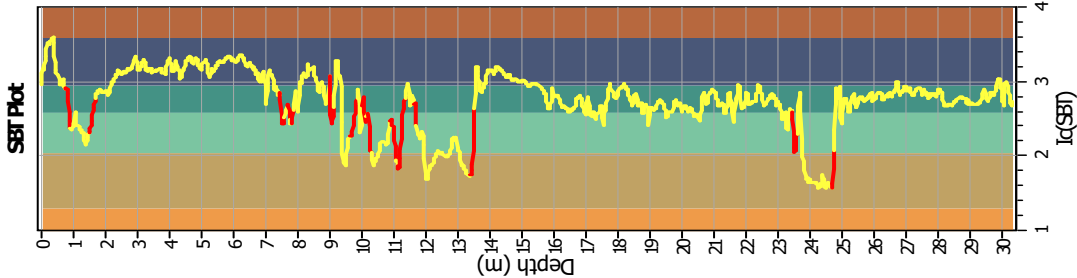
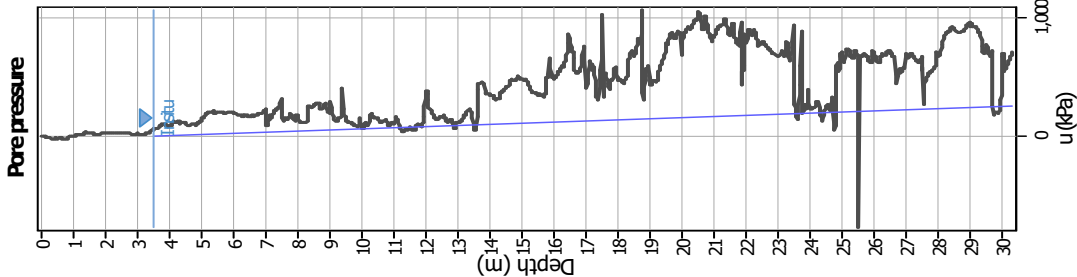
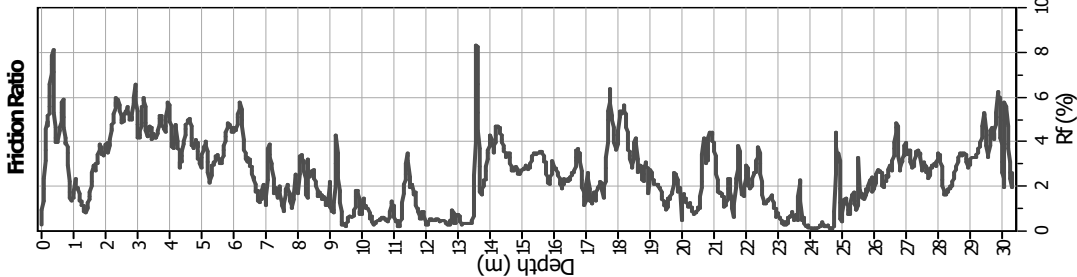
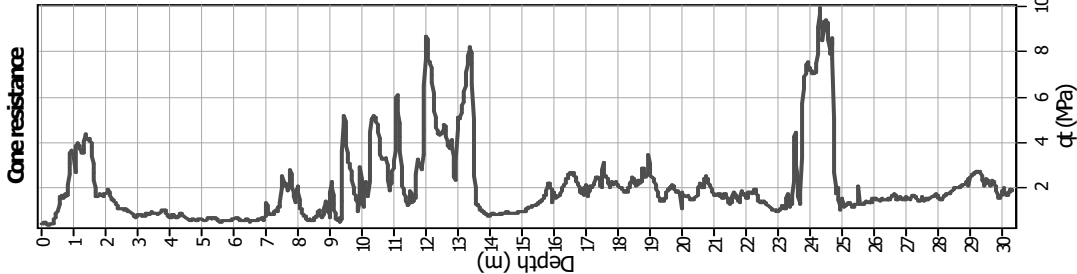


Summary of liquefaction potential



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



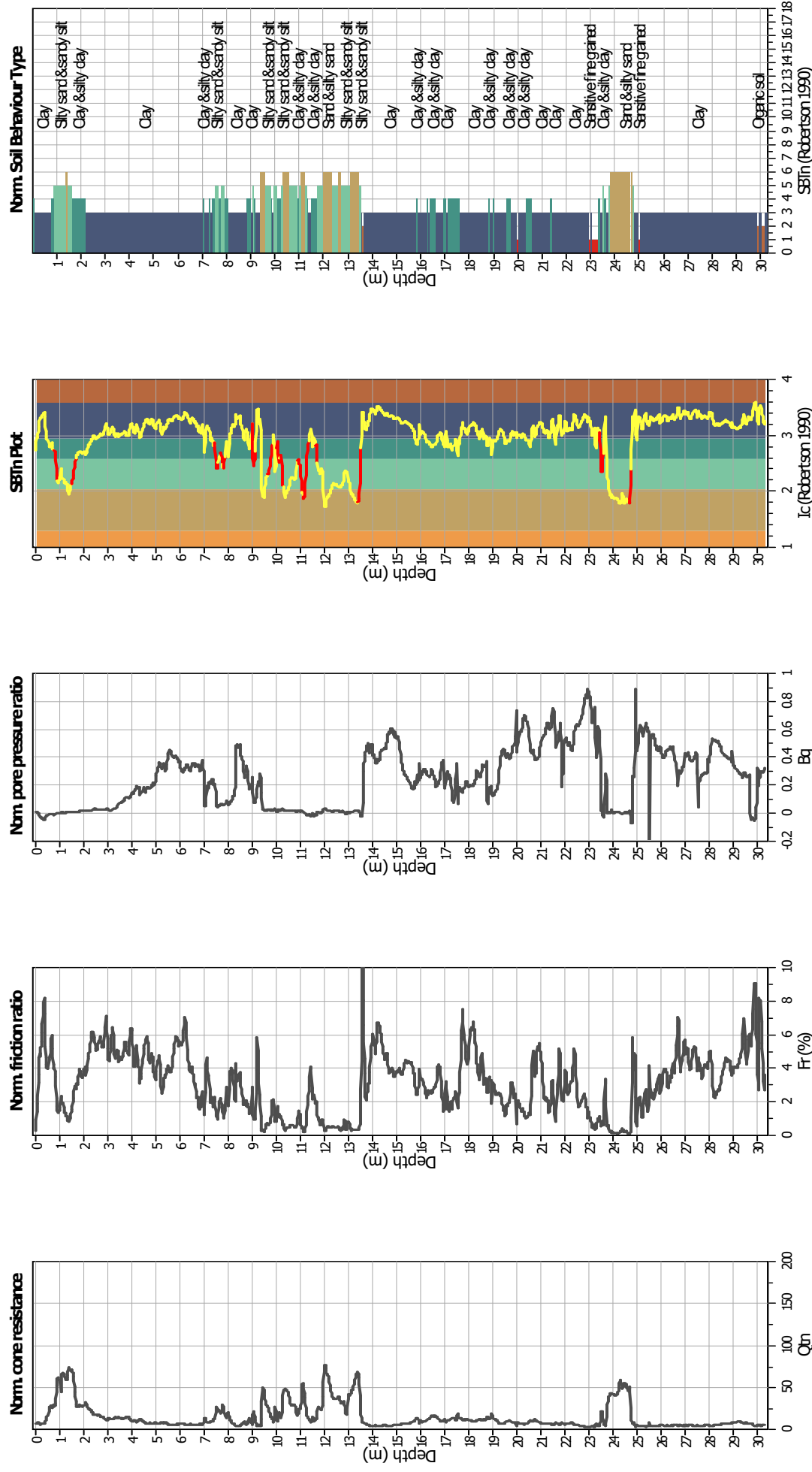
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	3.50 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on I _c value	I _c cut-off value:	2.60	K ₀ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.34	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	3.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

SBT legend

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

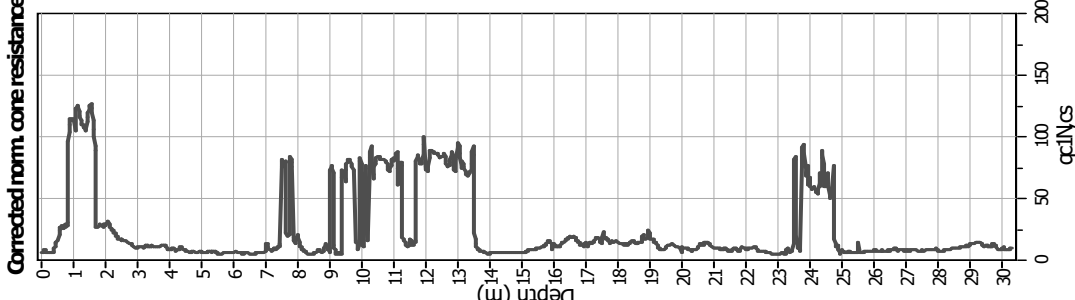
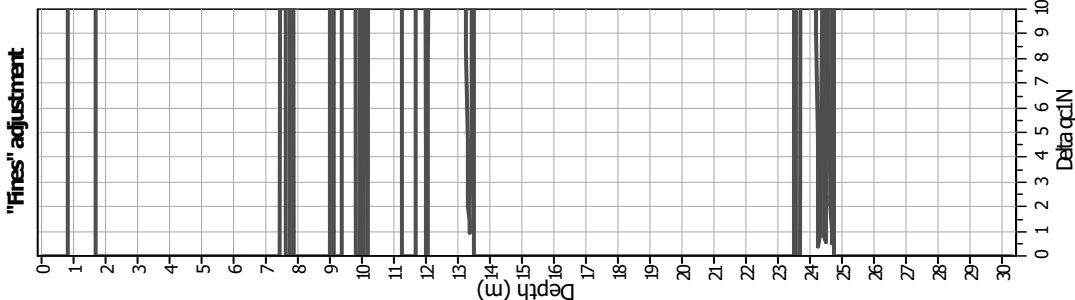
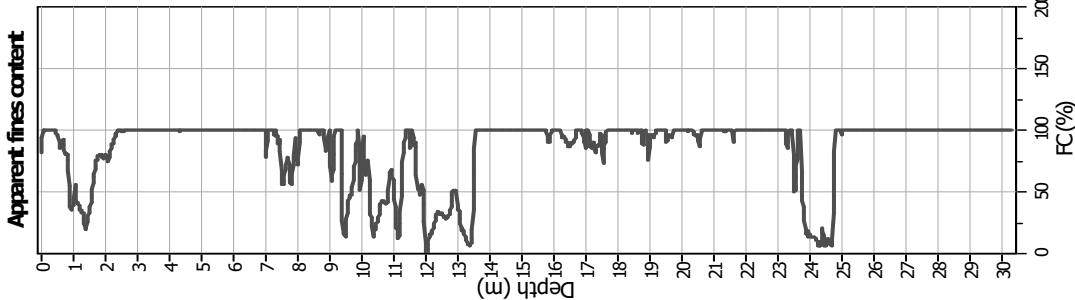
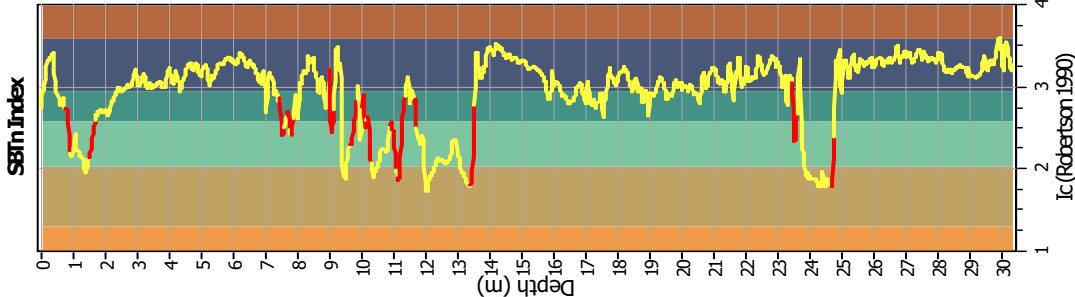
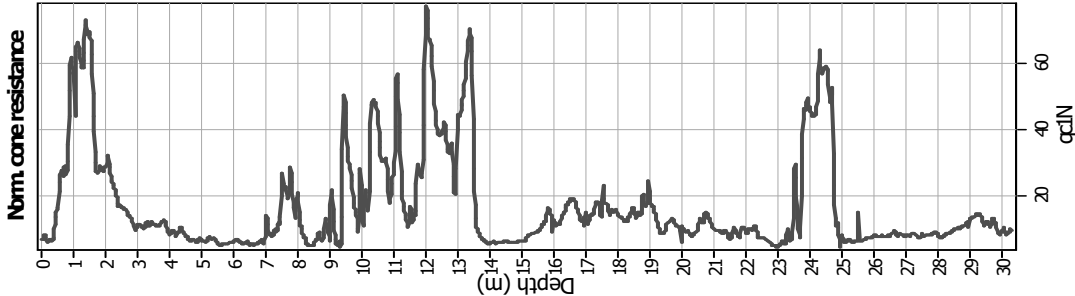
CPT basic interpretation plots (normalized)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	3.50 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	1	Transition detect:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _g applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.34	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insttu):	3.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

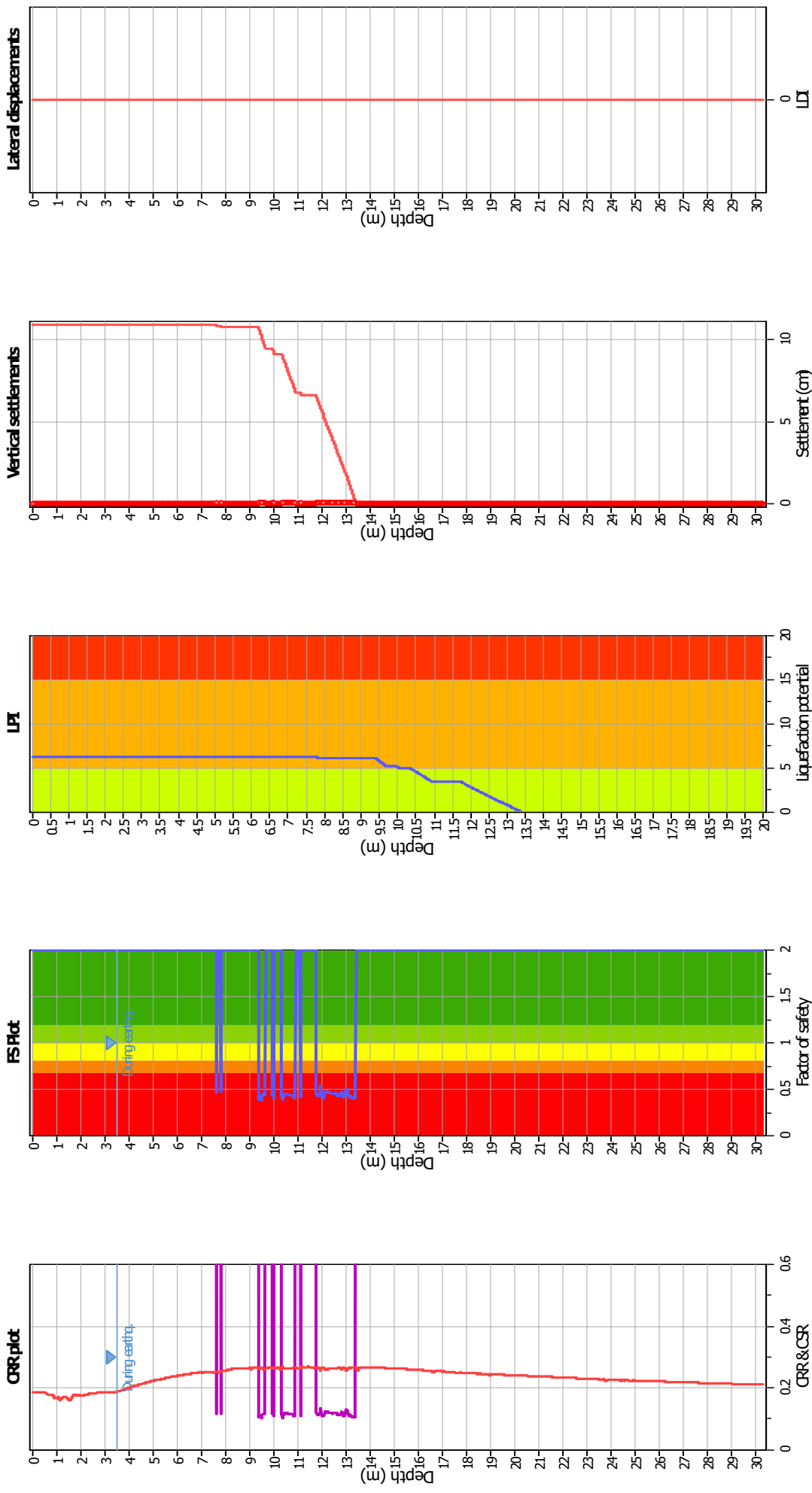
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (earthq.):	3.50 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _c applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.34	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	3.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (earthq.):	3.50 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K ₀ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.34	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	3.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

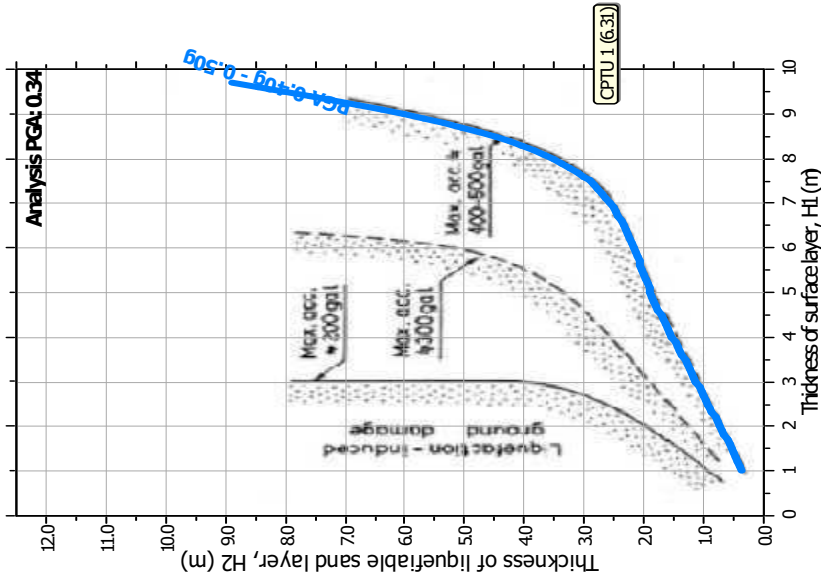
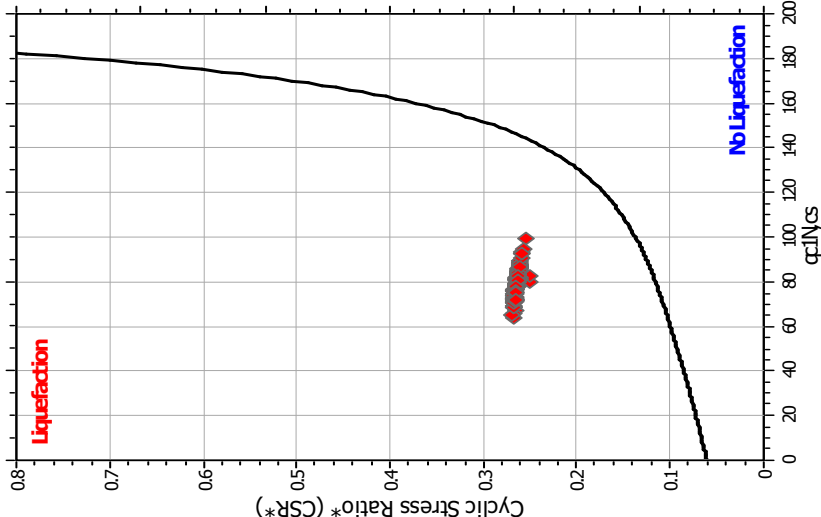
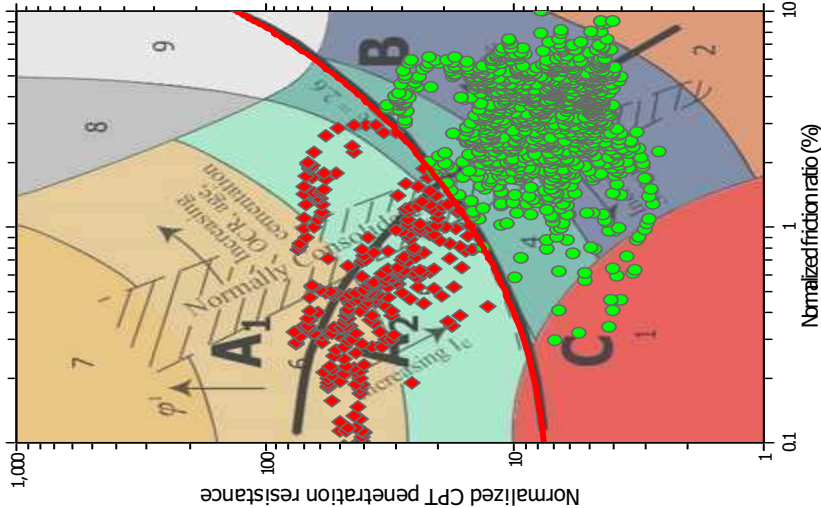
F.S. color scheme

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

LPI color scheme

	Very high risk
	High risk
	Low risk

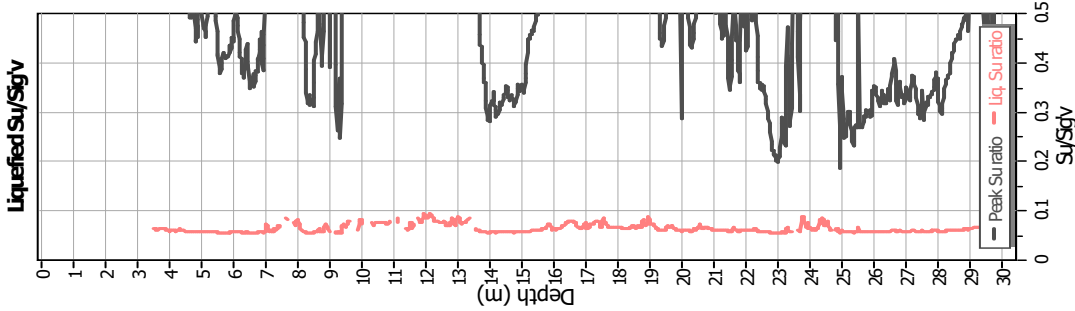
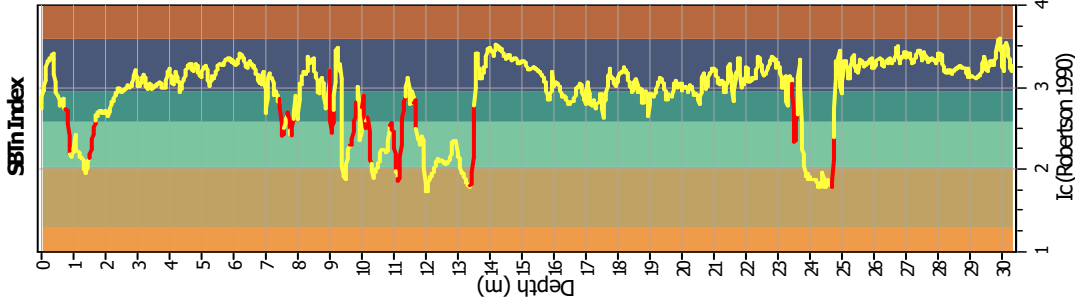
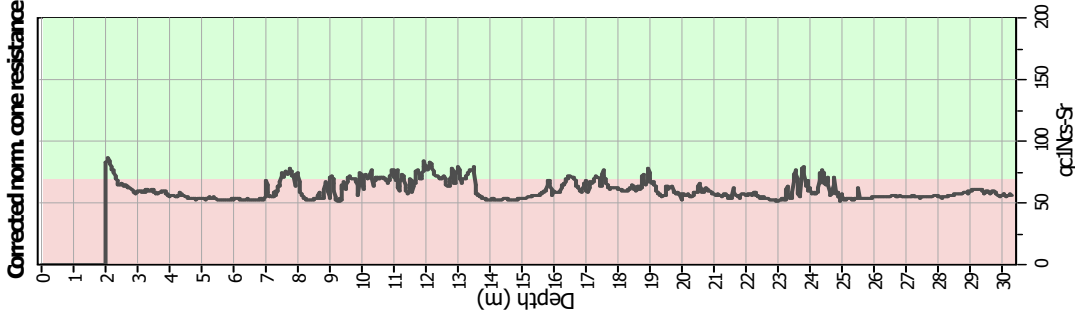
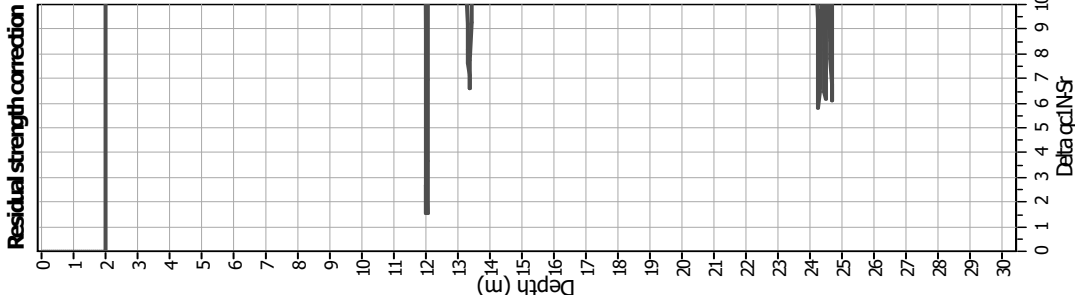
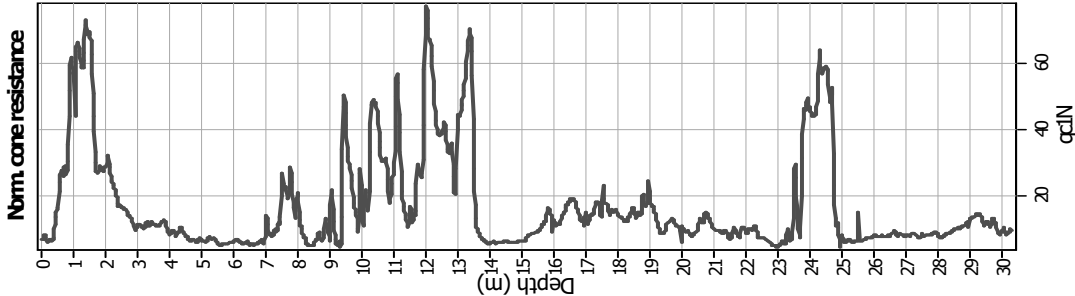
Liquefaction analysis summary plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (earthq.):	3.50 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on I_c value	I_c cut-off value:	2.60	K_r applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.34	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	3.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

Check for strength loss plots (Idriss & Boulanger (2008))



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (earthq.):	3.50 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _c applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.34	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	3.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

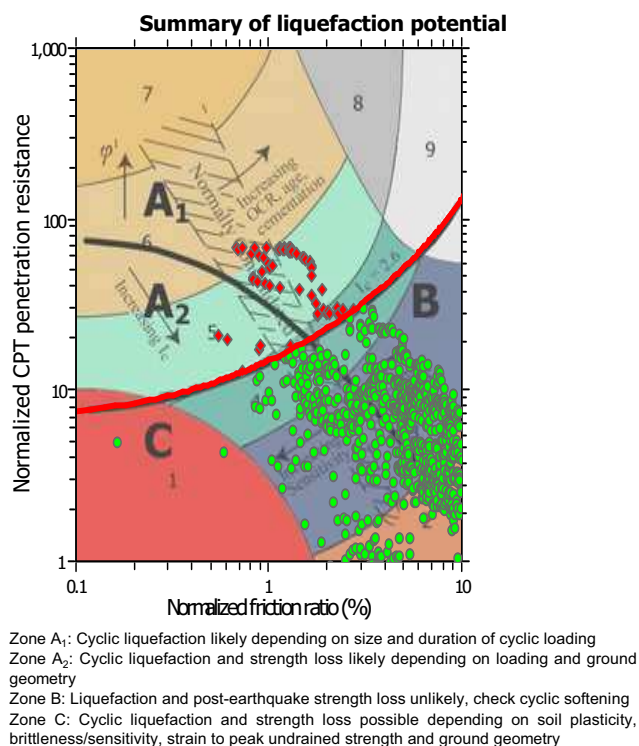
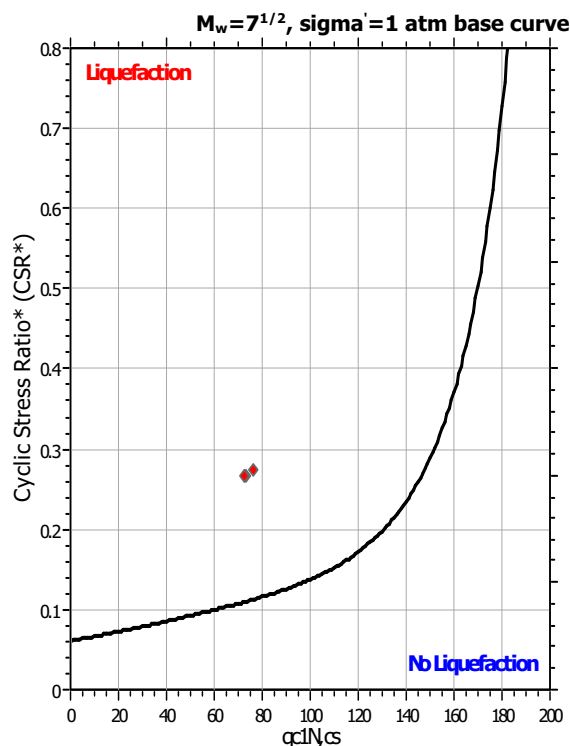
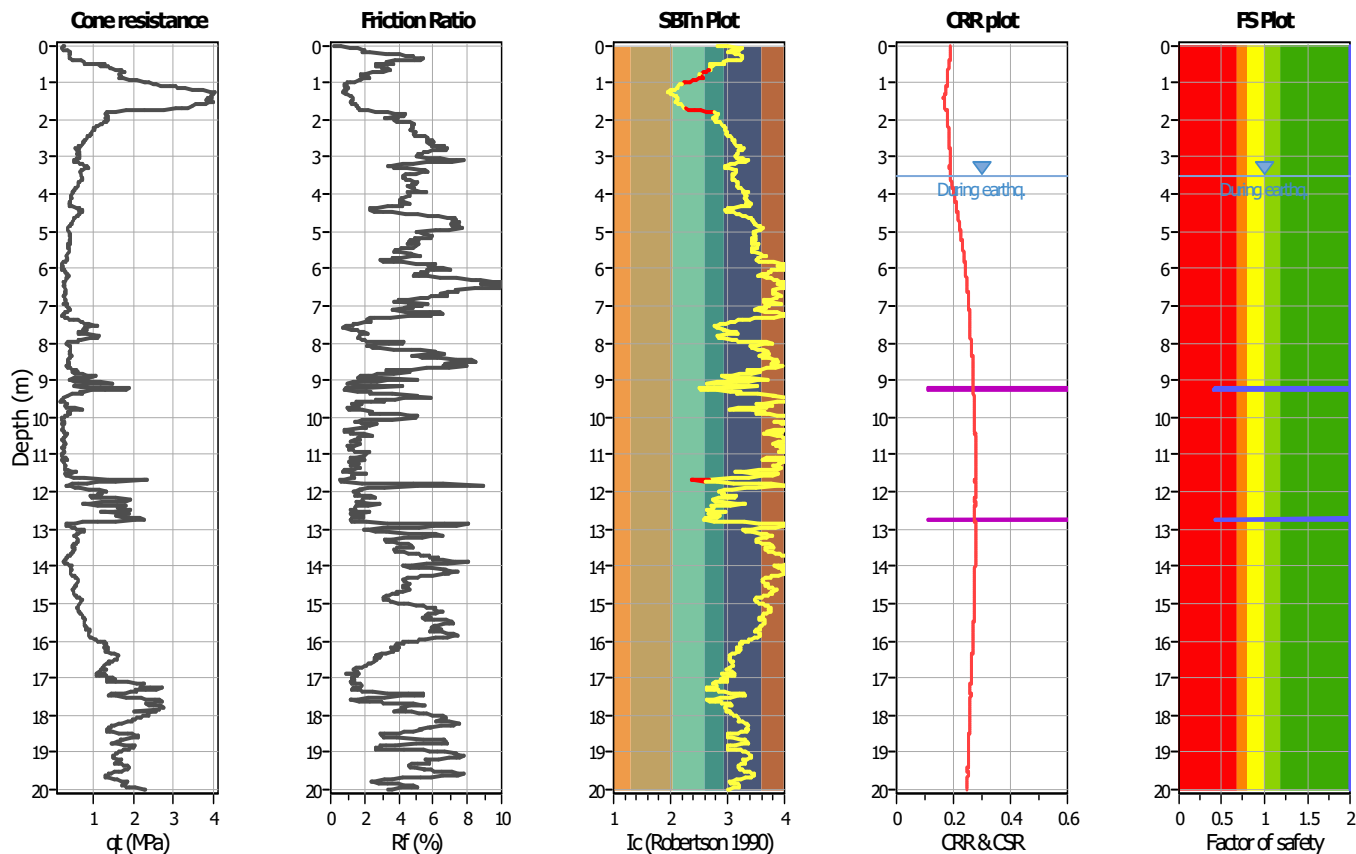
LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

Project title : Centro Unificato dell'Emergenza sul Territorio **Location :** Ferrara

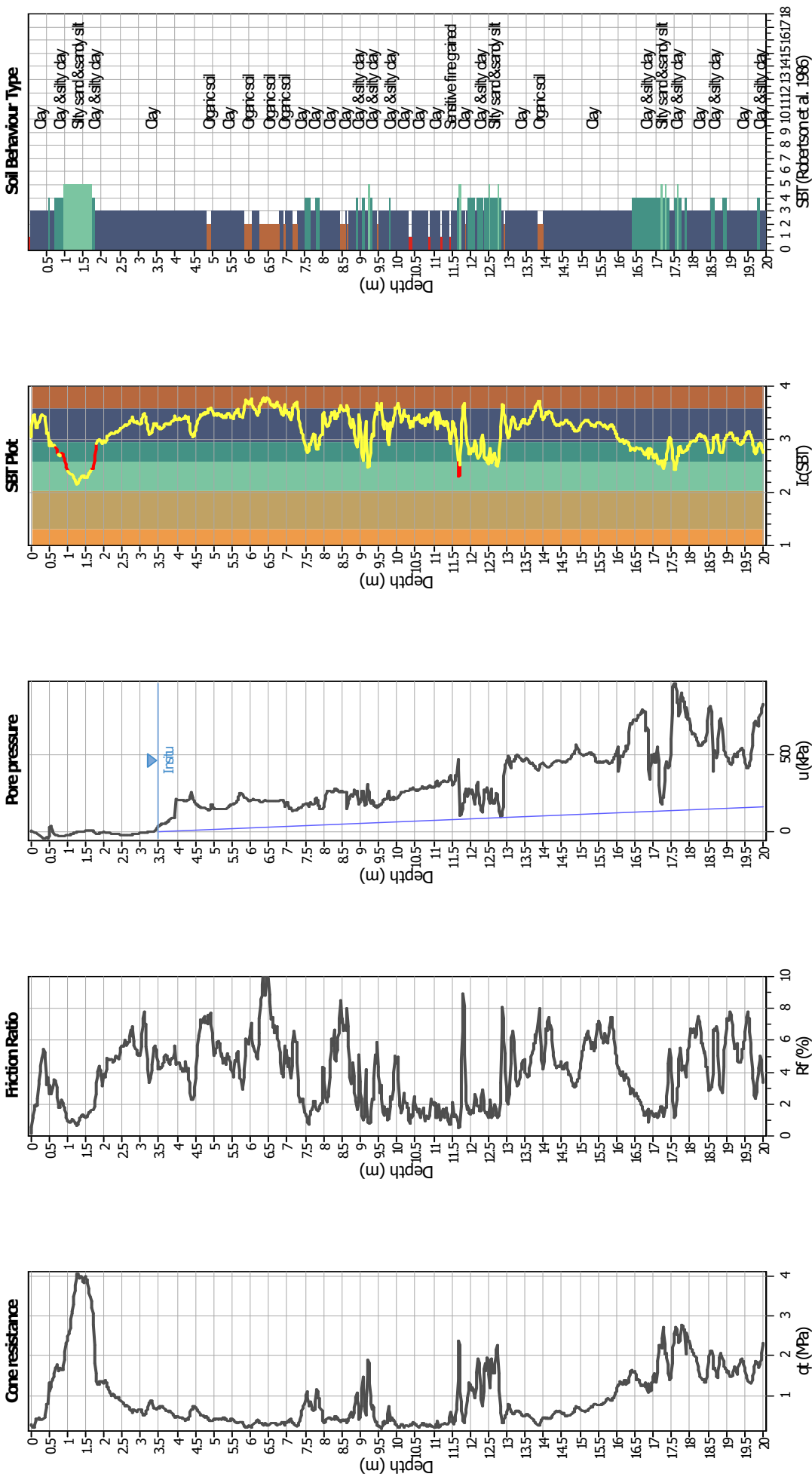
CPT file : CPTU 2

Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	3.50 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	3.50 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	1	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	Limit depth:	20.00 m
Peak ground acceleration:	0.34	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_0 applied:	Yes	MSF method:	Method



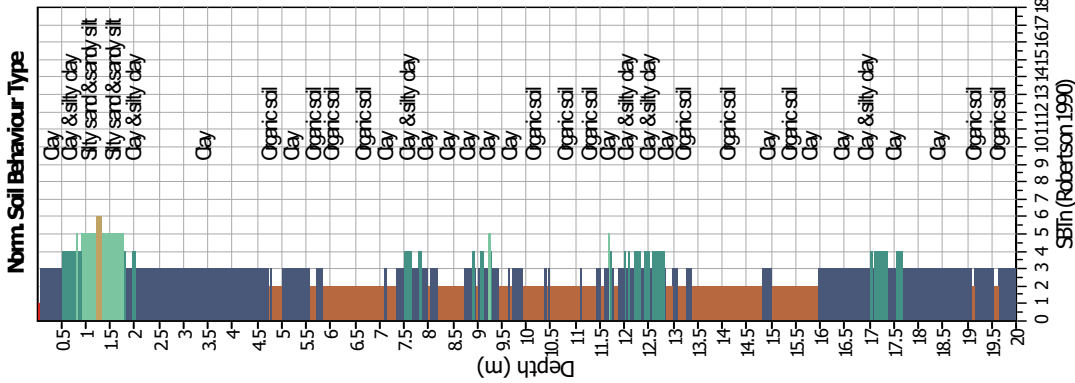
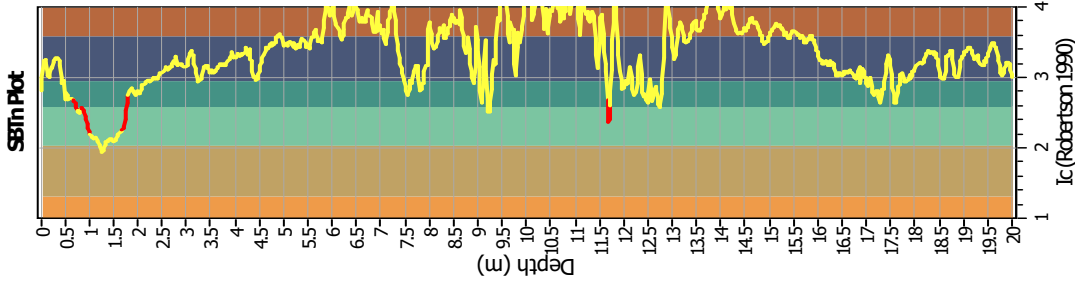
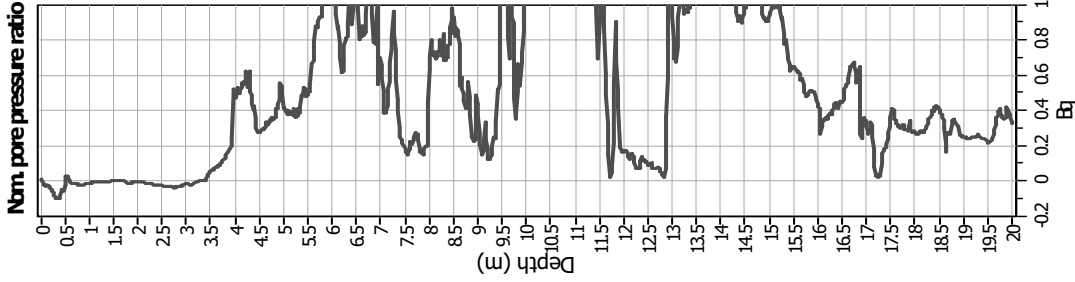
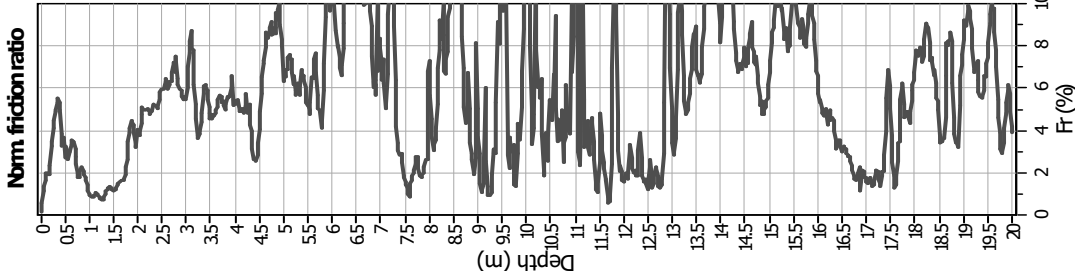
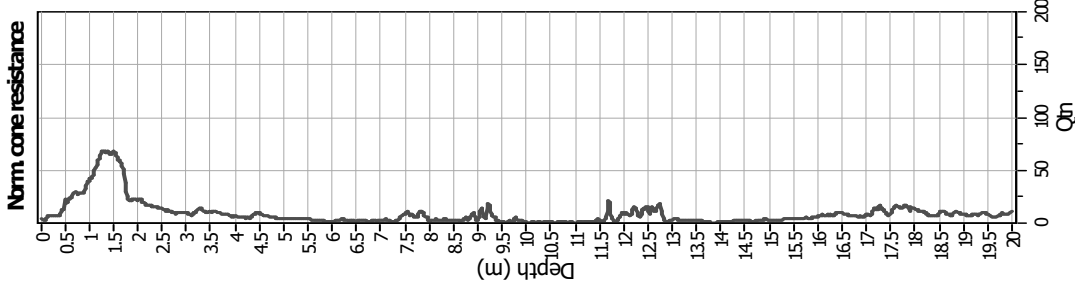
CPT basic interpretation plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (earth):	3.50 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _z applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.34	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	3.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

CPT basic interpretation plots (normalized)



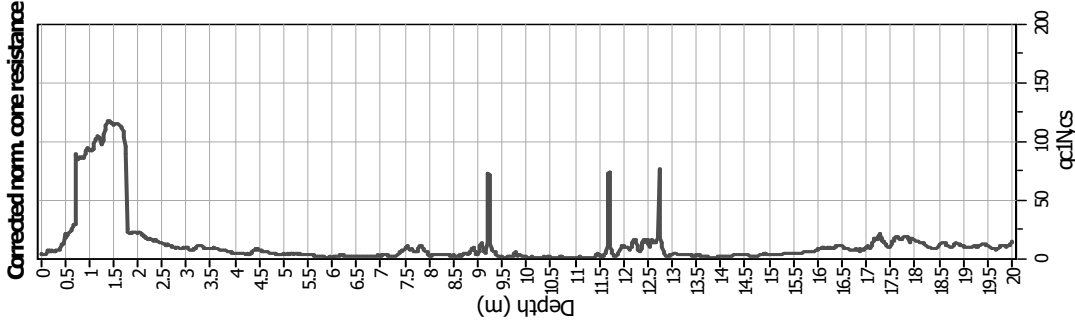
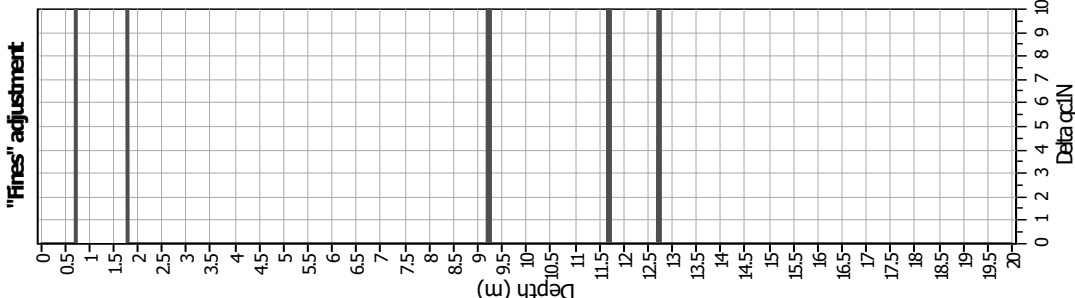
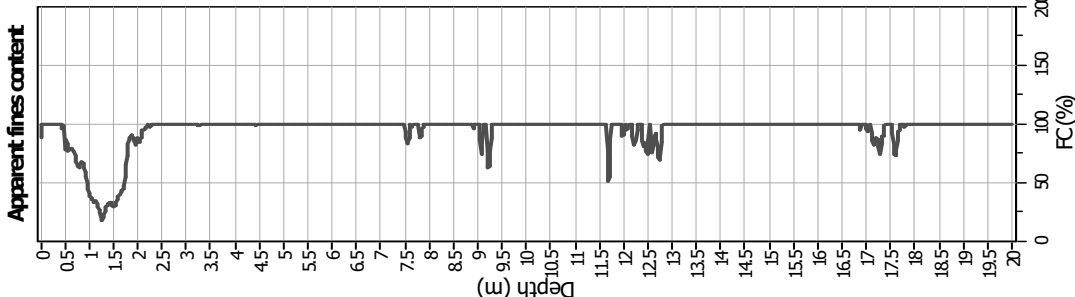
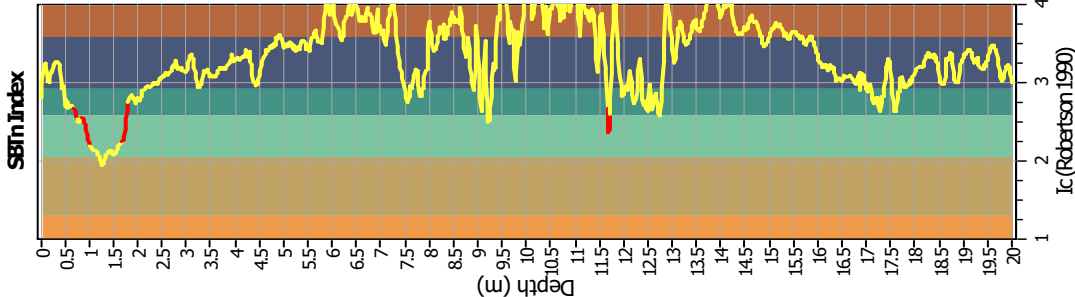
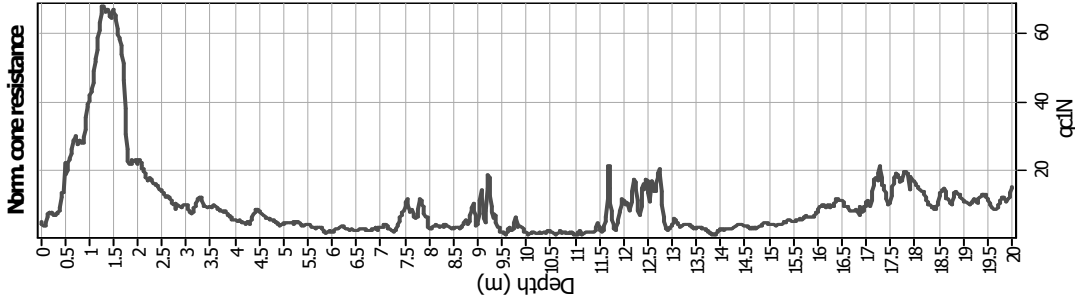
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (earthq.):	3.50 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _z applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.34	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	3.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

SBTn legend

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

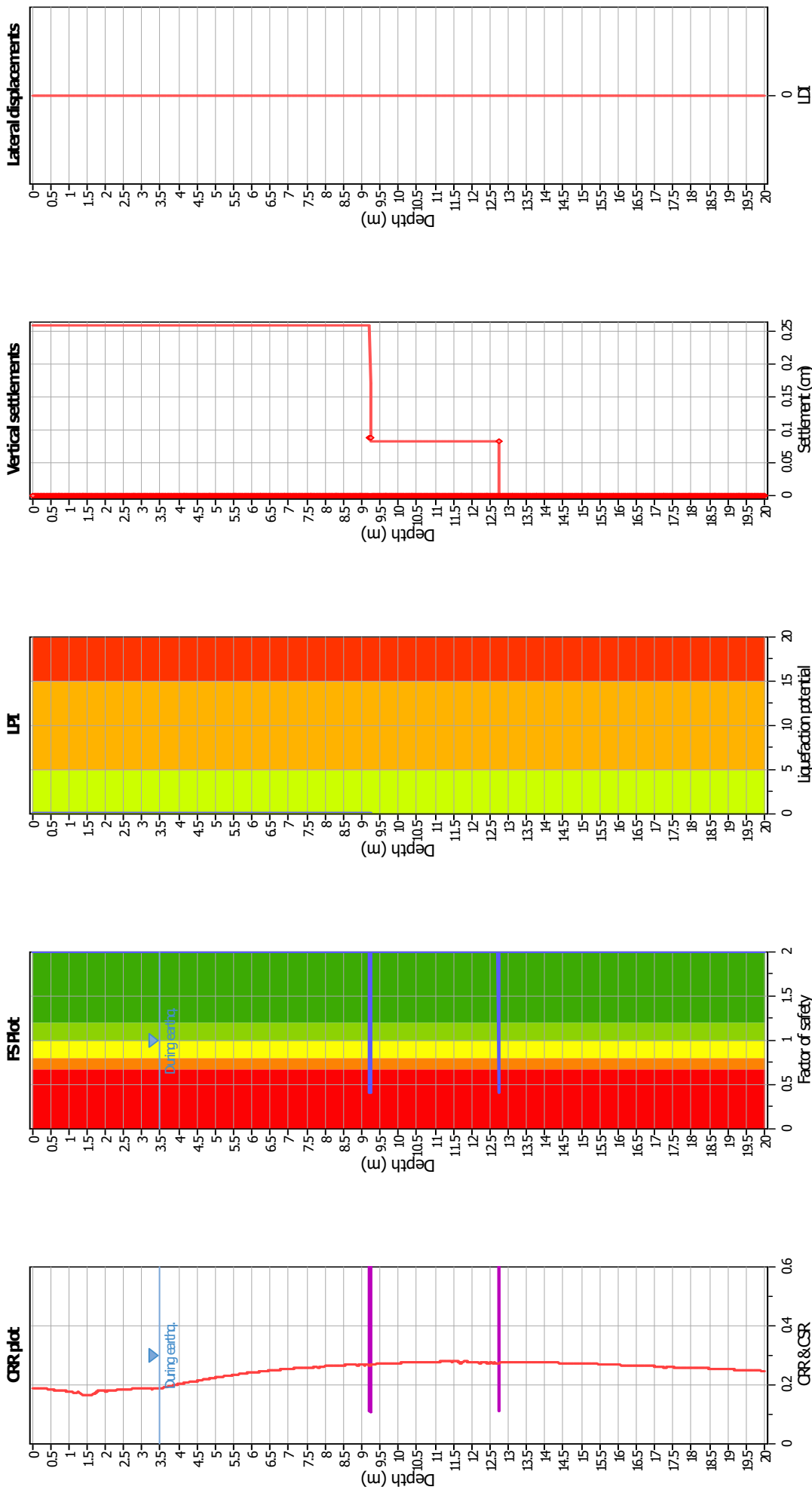
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (earthq.):	3.50 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _c applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.34	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	3.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (earthq.):	3.50 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K ₀ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.34	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	3.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

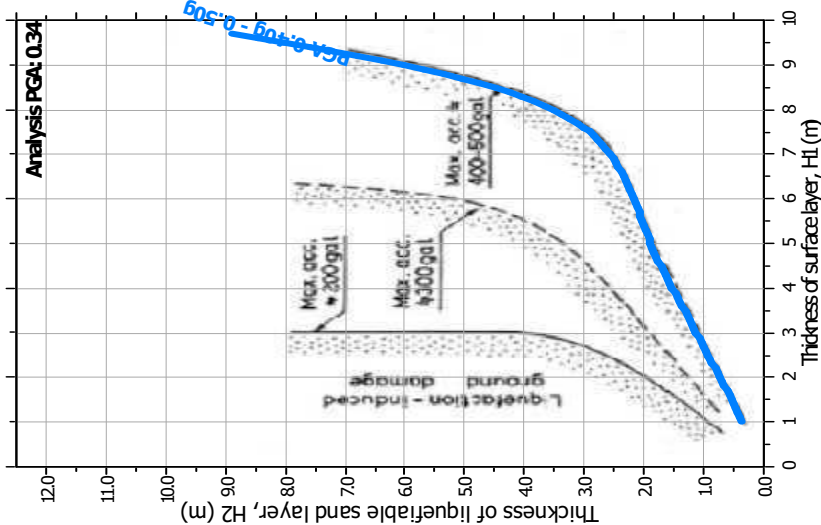
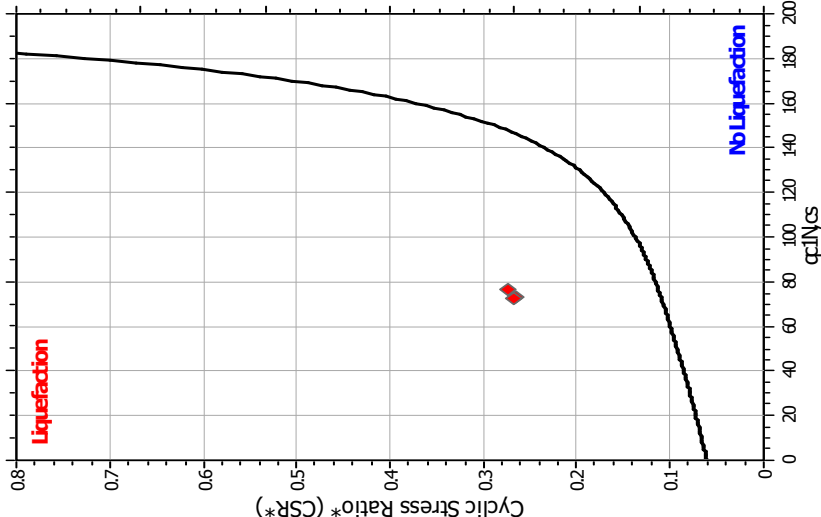
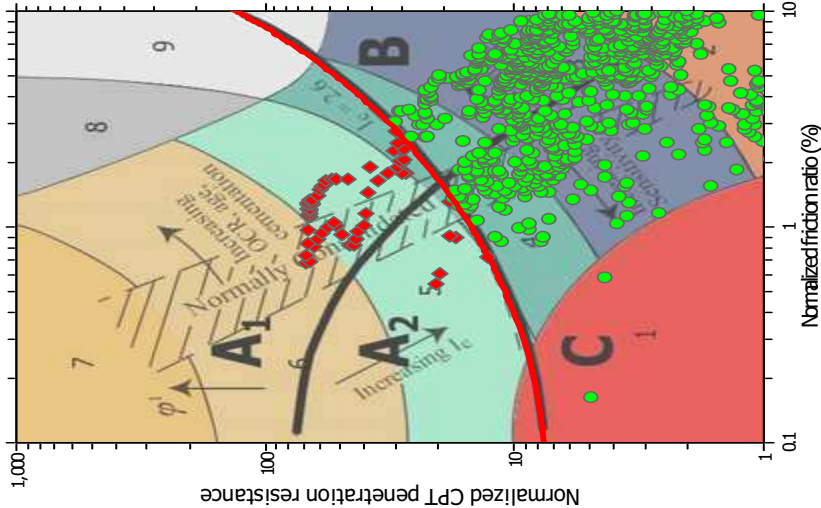
F.S. color scheme

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

LPI color scheme

Very high risk	High risk	Low risk
Red	Orange	Green

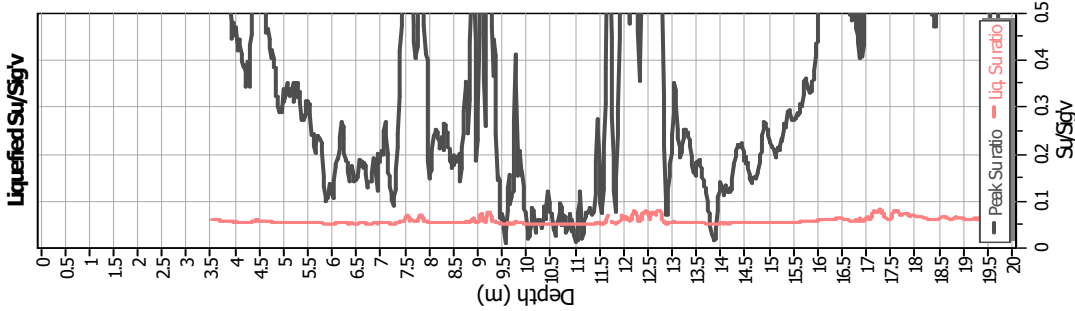
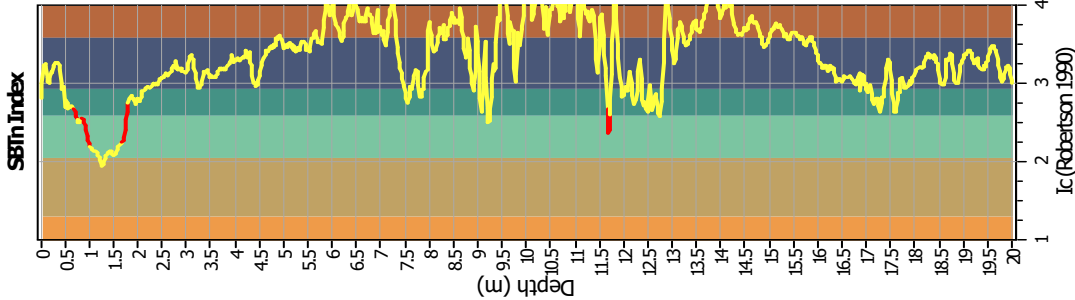
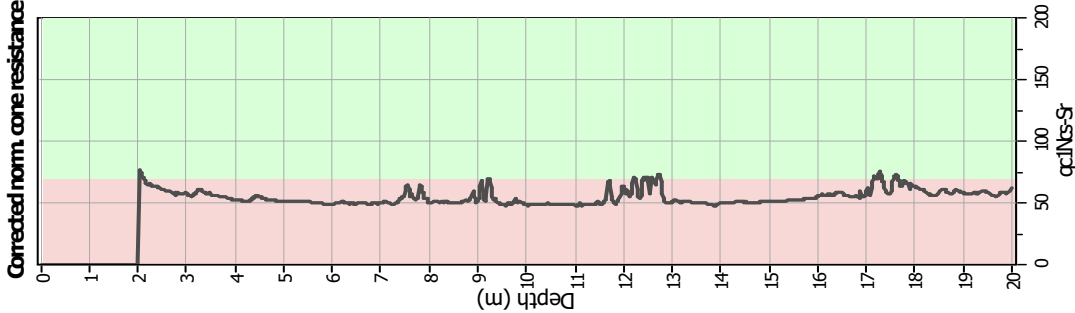
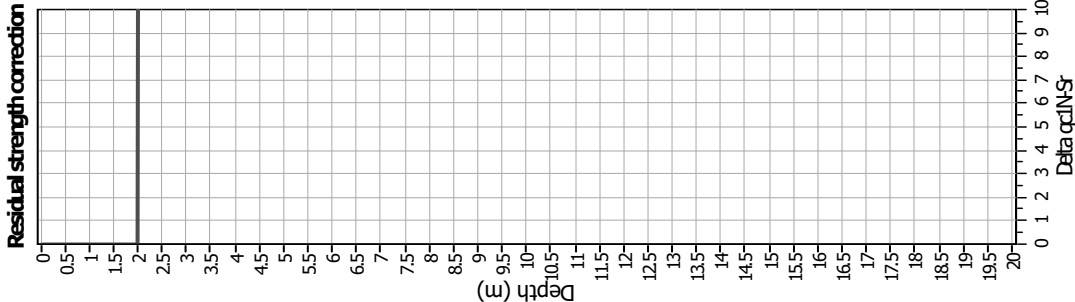
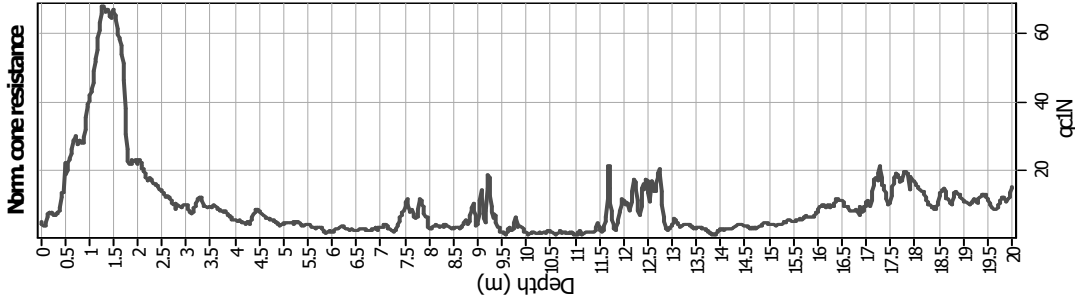
Liquefaction analysis summary plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	3.50 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _c applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.34	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	3.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

Check for strength loss plots (Idriss & Boulanger (2008))



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	3.50 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _c applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.34	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	3.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m