




COMUNE DI CENTO
PROVINCIA DI FERRARA

PIANO DELLA RICOSTRUZIONE
(L.R. n. 16 del 21.12.2012)
PRIMO STRALCIO
IN VARIANTE AL VIGENTE PRG

ADOZIONE PRIMO STRALCIO: Del C.C. n. 22 del 18.03.2014
APPROVAZIONE PRIMA TRANCHE: Del C.C. n. 52 del 30.07.2014
APPROVAZIONE SECONDA TRANCHE (apposizione vincolo espropriativo – Punti 1.B.1 e 1.B.2 del Piano): Del C.C. n. 61 del 30.09.2014
APPROVAZIONE TERZA TRANCHE: Del C.C. n. del

TERZA TRANCHE - STESURA CONTRODEDOTTA

Il Sindaco e Assessore all'Urbanistica PIERO LODI	
OIKOS RICERCHE SRL Roberto Farina (progettista)	COMUNE DI CENTO Carlo Mario Piacquadio (progettista)
Alessandra Carini, Antonio Conticello	Daniele Gelli (Ufficio MUDE) Leonardo Busi, Vincenzo Miracapillo (CED)
	
E2	ALLEGATO: RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA RELATIVA ALLE ZONE DI INTERVENTO PRIVATO (D.A.L. n. 112/2007)

Comune di Cento

Provincia di Ferrara

RELAZIONE GEOLOGICA inerente le indagini eseguite, la caratterizzazione e modellazione geologica del sito (6.2.1. DM 14/01/08)

RELAZIONE GEOTECNICA basata sulle indagini geognostiche effettuate, al fine della caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno del sito (6.2.2. 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) e a potenziali cedimenti post-sismici e amplificazione litologica nell'ambito di una MICROZONAZIONE SISMICA dell'area (Delibera di Assemblea Legislativa Regionale n.112/2007)



OGGETTO:

Studio delle caratteristiche litologiche, geotecniche e sismiche, in riferimento al nuovo comparto denominato "Via Pioppo" da edificarsi in corrispondenza di Via Pioppo



Dott. Geol. Pier Luigi Dallari
Marzo 2014
Rif. 123/14

ASSOCIATO



GEO GROUP s.r.l.

Via C. Costa, 182 - 41123 MODENA

Tel. 059/3967169 Fax. 059/5332019

E-mail: geo.group@libero.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 geomorfici al fine della modellazione geologica del sito (6.2.1 DM 14/01/08)

RELAZIONE GEOTECNICA

Basata sulle indagini eseguite, fornisce tutti i dati geotecnici necessari per il progetto e la caratterizzazione e la modellazione del volume significativo di terreno interessato (6.2.2 DM 14/01/08)

Relazione concernente la "RISPOSTA SISMICA DEL SITO" (ai sensi del DM 14/01/08 NNTC) , la Verifica agli Stati Limite Ultimi (SLU) (par. 6.4 del DM 14/01/08) e la verifica dei potenziali fenomeni di liquefazione

MICROZONAZIONE SISMICA dell'area, ai sensi della Delibera di Assemblea Legislativa n.112/2007, art. 16-c.1 "Indirizzi per gli studi di micro zonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica"

OGGETTO

Studio delle caratteristiche litologiche, geotecniche e sismiche,
in riferimento al nuovo comparto denominato "Via Pioppo"
da edificarsi in corrispondenza di Via Pioppo, nel Comune di Cento
(FE)

COMMITTENTE: COMUNE DI CENTO (FE)

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



INDICE DEL CONTENUTO

1. PREMESSE	3
1.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	4
2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	4
2.1 GEOLOGIA DEL SITO.....	4
2.2 DOCUMENTAZIONE CARTOGRAFICA A SUPPORTO DELLO STUDIO PRELIMINARE.....	5
3 CAMPAGNA GEOGNOSTICA	7
3.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	7
3.1.1 Prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT.....	7
3.1.2 Prove penetrometriche statiche con piezocono CPTU	10
3.2 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE E LITOSTRATIGRAFICHE DEL SOTTOSUOLO.....	13
4 RELAZIONE GEOTECNICA	15
4.1 MODELLO GEOTECNICO	15
5. CLASSIFICAZIONE E CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO	17
5.1 INDAGINI GEOFISICHE	17
5.1.1 Indagine sismica con metodo MASW	17
5.1.2 Indagine sismica a rifrazione con metodo dei microtremori (Re.Mi).....	19
5.1.3 Indagine sismica Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr).....	21
5.2 AZIONE SISMICA	23
5.2.1. ANALISI SEMPLIFICATA (NNTC 2008).....	23
5.2.2. DELIBERA N.112-2007 REGIONE EMILIA ROMAGNA	25
5.2.2.1 PRIMO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO: CARTA DELLE AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI.....	26
5.2.2.2 SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO: CARTA DELLE AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI	27
5.2.3. ANALISI DI TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO	28
5.2.3.1 R.S.L. mediante verifica monodimensionale in campo lineare equivalente dell'amplificazione locale.....	28
6. VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE	36
7. CONCLUSIONI	41

TAVOLE

Tav. n. 1: "Carta corografica"	scala 1: 25.000;
Tav. n. 2: "Carta topografica"	scala 1: 10.000;
Tav. n. 3: "Ripresa satellitare dell'area di interesse"	scala grafica;
Tav. n. 4: "Carta geologica"	scala 1: 5.000;
Tav. n. 5: "Carta degli effetti di sito"	scala grafica;
Tav. n. 6: "Carta del potenziale di liquefazione"	scala grafica;
Tav. n. 7: "Carta del rischio potenziale"	scala grafica;
Tav. n. 8: "Livelli di approfondimento"	scala grafica;
Tav. n. 9: "Carta sismotettonica"	scala grafica;
Tav. n. 10: "Carta dei fattori di amplificazione e del rischio di liquefazione"	scala grafica;
Tav. n. 11: "Ubicazione delle indagini"	scala grafica.

ALLEGATI

- ALL. n. 1** Prove penetrometriche statiche CPT corredate di interpretazione geotecnica;
- ALL. n. 2** Prova penetrometriche statiche con punta elettrica CPTU corredate di interpretazione geotecnica;
- ALL. n. 3** Indagine geofisica MASW;
- ALL. n. 4** Indagine geofisica Re.Mi/ESAC;
- ALL. n. 5** Indagine geofisica HVSr;
- ALL. n. 6** Verifica della suscettibilità alla liquefazione;
- ALL. n. 7** Prova penetrometrica statica con cono sismico e piezocono eseguita da Elletipi s.r.l.

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



1. PREMESSE

Nel mese di Marzo 2014 su incarico del Comune di Cento è stato eseguito il presente studio geologico, geotecnico e sismico, finalizzato allo studio del terreno di fondazione del nuovo comparto denominato "Via Pioppo", da edificarsi in prossimità di Via Pioppo, nel Comune di Cento (FE).



Fig. 1.1 – Ortofoto AGEA 2011 (Regione Emilia Romagna) relativa all'area oggetto di studi (perimetro in rosso)

Per ottemperare alle richieste del **D.M. 14/01/2008** il presente studio verrà suddiviso nelle seguenti sezioni:

- 1) **RELAZIONE GEOLOGICA** riguardante le indagini geognostiche eseguite, la caratterizzazione e modellazione geologica del sito (6.2.1. DM 14/01/08);
- 2) **RELAZIONE GEOTECNICA** basata sulle indagini eseguite, fornisce la caratterizzazione e la modellazione del volume significativo di terreno interessato (6.2.2. DM 14/01/08);
- 3) 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).
- 4) **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".

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



1.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area in esame è sita in direzione Ovest rispetto al nucleo urbano della Città di Cento, come illustrato nella "Carta corografica", tavola CTR 202_NE alla scala 1: 25.000 (**tav. n. 1**), nella "Carta topografica" alla scala 1: 10.000, sezione n°202080 (**tav. n. 2**), e nella "Ripresa fotografica generale" (**tav. n. 3**), riportate in allegato.

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

(1)* Coordinate ED50	
Lat. 44,726908 °	Long. 11,278224 °

2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

2.1 GEOLOGIA DEL SITO

L'area in esame, dal punto di vista morfometrico, risulta pianeggiante e ricade ad una quota topografica media di 14 m s.l.m.

Dal punto di vista geologico nell'area affiorano i depositi di seguito illustrati e riportati nella "Carta geologica" (**tav. n. 4**), della Regione Emilia Romagna:

AES8a – Unità di Modena: Depositi ghiaiosi passanti a sabbie e limi di terrazzo alluvionale. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. Unità definita dalla presenza di un suolo a bassissimo grado di alterazione, con profilo potente meno di 100 cm, calcareo, grigio-giallastro o bruno grigiastro. Nella pianura ricopre resti archeologici di età romana del VI secolo d.C.. Potenza massima di alcuni metri (< 10 m). *Post-VI secolo d.C. Litofacies: LIMO-SABBIOSO.*

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



2.2 DOCUMENTAZIONE CARTOGRAFICA A SUPPORTO DELLO STUDIO PRELIMINARE

Dalla consultazione del Piano Strutturale Comunale associato, relativo al Comune di Cento e approvato in data 23/07/2011, è preliminarmente possibile definire le caratteristiche e le criticità, collegate a elementi geologici e fattori sismici, in relazione al sottosuolo del lotto in oggetto.

Da quanto esposto nella cartografia "**Carta del rischio potenziale**" (Stralcio riportato in **Tav. n. 7**), allegata alla Relazione geologica "Contributo natura geologica, geomorfologica e idrogeologica" e allegati cartografici, redatta da "Università di Ferrara" per il quadro conoscitivo del PSC comunale, l'area in oggetto ricade parzialmente su un tratto soggetto a rischio idrogeologico determinato dalla presenza di depositi poroso-permeabili.

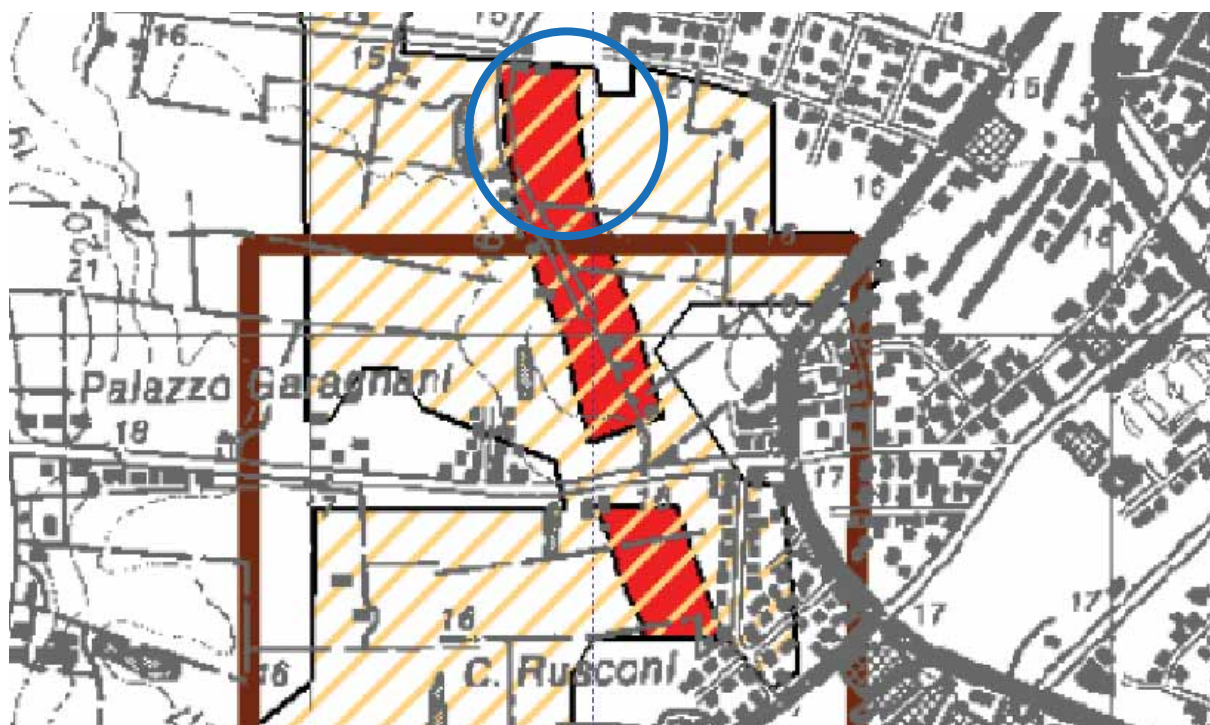


Fig. 2.1 – Stralcio della cartografia relativa al rischio potenziale (PSC Comune di Cento)

Come illustrato nella relazione geologica redatta per il PSC del Comune di Cento, la porzione caratterizzata da depositi poroso-permeabili è associabile alla presenza di un tratto di paleo-alveo. I paleo-alvei rappresentano l'antico letto di un corso d'acqua e hanno una morfologia molto varia. Generalmente i depositi che compongono i paleo-alvei sono di natura sabbiosa. In termini di prevenzione sismica, tali aree sono potenzialmente soggette a



fenomeni di liquefazione sismica data la presenza di depositi sabbiosi; pertanto, in tali aree, occorre valutare l'azione sismica e gli eventuali effetti attesi secondo procedure di studio approfondite.

Con riferimento allo studio geotecnico e sismico (Università di Ferrara – Dipartimento d'ingegneria), sempre allegato al PSC del Comune di Cento, è possibile definire gli aspetti sismici dell'area in oggetto, facendo riferimento alla "carta degli effetti di sito" (Stralcio riportato in **Tav. n.5**) e alla "carta del potenziale di liquefazione" (Stralcio riportato in **Tav. n.6**). L'area in oggetto, secondo quanto definito nella "carta degli effetti di sito" ricadrebbe su depositi suscettibili a liquefazione: nonostante ciò la "carta del potenziale di liquefazione" mostra come in prossimità del sito siano già state svolte verifiche alla liquefazione con potenziali di liquefazione bassi (da 0.00 a 1.37). Sulla base delle informazioni preliminari appena descritte e secondo quanto definito nella "carta semaforica di I livello" (Stralcio riportato in **Tav. n.8**), per l'area in oggetto, dovranno essere eseguite analisi secondo il terzo livello di approfondimento, in conformità a quanto descritto nella D.a.l. 112/2007 della Regione Emilia Romagna.

La potenzialità dell'area a essere soggetta a fenomeni di liquefazione risulta verificata anche secondo quanto descritto nella "carta dei fattori di amplificazione e del rischio di liquefazione" (Stralcio riportato in **Tav. n. 10**), redatta in seguito dell'ordinanza n.70 del 13/11/2012 della Regione Emilia Romagna. Dalla seguente cartografia si evince che l'area in oggetto ricada per buona parte all'interno di una fascia nella quale si rileva la presenza di terreni suscettibili di liquefazione nei primi 10 metri di sottosuolo dal piano campagna.

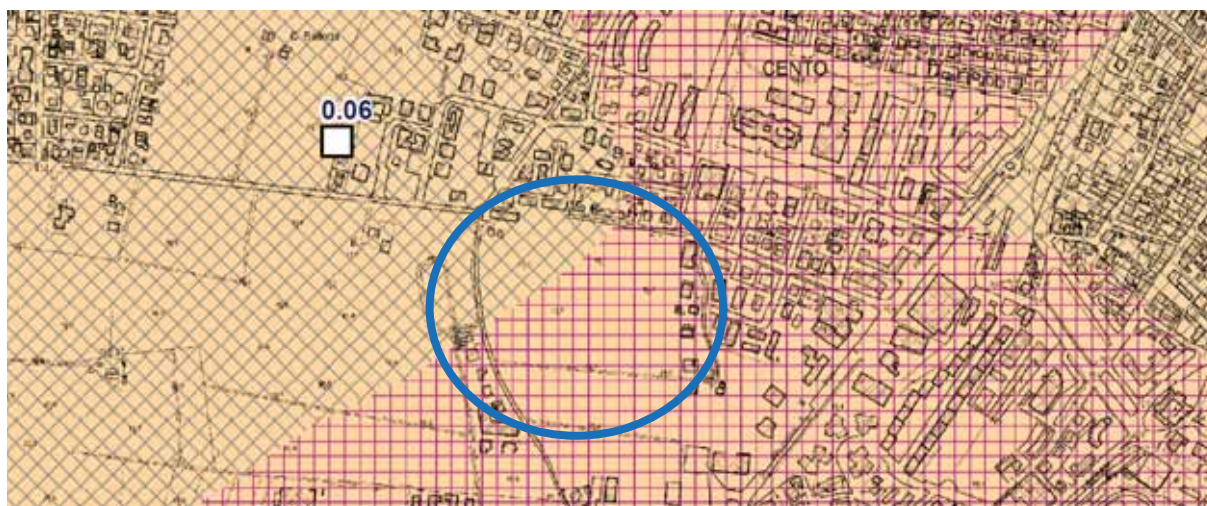


Fig. 2.2 – Stralcio della "carta dei fattori di amplificazione e del rischio di liquefazione" redatta in seguito dell'ordinanza n. 70 del 13/11/2012 della Regione Emilia Romagna.



3 CAMPAGNA GEOGNOSTICA

3.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE

In relazione alla litologia presente nell'area e alle informazioni appena descritte nel paragrafo precedente, la campagna geognostica e' stata espletata mediante le seguenti indagini:

- n° 1 prova penetrometrica CPTU spinta alla profondità di -25.50 m da p.c. (Eseguita in data 07/03/14);
- n° 3 prove penetrometriche CPTU (Eseguite in data 21/03/14)
- n° 1 prova penetrometrica CPT spinta alla profondità di -20.00 m da p.c. (Eseguita in data 07/03/14);
- n° 1 prove penetrometrica CPT spinta alla profondità di -20.00 m da p.c. (Eseguita in data 18/03/14)
- n° 1 prova penetrometrica CPT spinta alla profondità di -24.00 m da p.c. (Eseguita in data 24/03/14)
- n° 2 indagini sismiche secondo dispersione di onde superficiali di Rayleigh (metodologia MASW);
- n° 1 indagine sismica Re.Mi/ESAC;
- n° 4 indagini sismiche passive mediante registrazione a stazione singola di rumore sismico naturale (metodologia HVSR).

In aggiunta alla campagna d'indagine eseguita, a supporto delle fasi di studio, è stata considerata una prova SCPTU (**All. n. 7**) (prova penetrometrica statica con cono sismico e piezocono) eseguita da Elletipi s.r.l. in data 31/07/12, prelevata dal database delle indagini geognostiche della Regione Emilia Romagna.

L'ubicazione delle indagini eseguite è riportata nella **Tavola n. 11**. L'elaborazioni delle prove penetrometriche CPT sono visibili in **All. n. 1**, mentre i tabulati relativi alla prova CPTU sono visibili in **All. n. 2**. I certificati relativi alle indagini geofisiche eseguite sono visibili in **All. n. 3**, **n. 4** e **n. 5**.

3.1.1 Prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT

Nell'**Allegato n. 1** sono riportati i grafici e le tabelle riguardanti le prove eseguite, corredate dell'elaborazione geotecnica e litostratigrafica. Le caratteristiche tecniche dello strumento impiegato sono le seguenti:

GEO GROUP s.r.l.

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

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

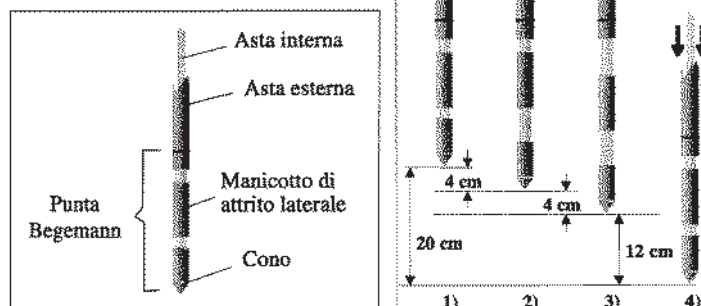
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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



Punta meccanica	Begemann
Spinta	100/200 kN
Intervalli di misura	20 cm
Parametri registrati	R_p (resistenza alla punta)
	R_I (resistenza attrito laterale)
Area punta	10 cm²
Angolo alla punta	60°

Fig. 2.2: Punta Begemann (a) e schema di avanzamento (b)



La prova penetrometrica statica CPT (*Cone Penetration Test*) viene realizzata infiggendo nel terreno, alla velocità di 2 cm/sec, la punta meccanica Begemann (**fig. 2.2**). La punta presenta alla sua estremità inferiore un cono avente un angolo al vertice di 60°, un diametro alla base di 36 mm e quindi un'area di base di 10 cm². Esso supporta lungo il suo stelo un manicotto d'attrito, la cui superficie laterale è di 150 cm². I valori degli sforzi di reazione che il suolo oppone alla penetrazione della punta, allo scorrimento del manicotto laterale e l'avanzamento dell'insieme punta più aste, verranno registrati ogni 20 cm di avanzamento in profondità.

L'esecuzione della prova avviene tramite il seguente schema di avanzamento (**fig. 2.2**):

- 1) posizione di riposo con punta completamente chiusa;
- 2) spinta esercitata sulle aste interne con avanzamento di 4 cm del solo cono; visualizzazione dello sforzo di punta (R_p);
- 3) spinta esercitata sulle aste interne con avanzamento di 4 cm di cono + manicotto; visualizzazione dello sforzo di punta + attrito laterale (R_I);
- 4) spinta esercitata sulle aste esterne con avanzamento di 12 cm e ritorno alla posizione di riposo con punta completamente chiusa; visualizzazione dello sforzo di punta + attrito + attrito della batteria di aste (R_t).

Nella fase d'avanzamento in cui viene letta la resistenza alla punta, il display restituisce automaticamente il carico unitario di resistenza (R_p) tenuto conto della superficie di



infissione di circa 10 cm². Nella fase di avanzamento in cui viene letta la somma delle resistenze alla punta ed al manicotto di frizione il display visualizza il carico assoluto espresso in kg diviso per 10 (RI).

Ad ogni profondità di misura (x), i valori reali della resistenza alla penetrazione della punta "q_c" e dell'attrito laterale locale "f_s" possono essere calcolati tramite le seguenti formule:

$$q_c(x) = R_p(x) \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

dove:

$$AP \text{ (Area Punta)} = 10 \text{ cm}^2$$

$$AM \text{ (Area Manicotto Laterale)} = 150 \text{ cm}^2$$

$$f_s(X) = (RI(x+1) - R_p(x+1)) \cdot (AP/AM) = (RI(x+1) - R_p(x+1)) / 15$$

La particolare punta utilizzata per la perforazione *Friction Jacket Cone* è servita a determinare, oltre al carico di rottura, anche la litologia dei terreni investigati: dal rapporto tra la resistenza penetrometrica alla punta e la resistenza laterale locale è infatti possibile risalire, attraverso l'esperienza di **Begemann**, modificata da **Schmertmann** (di seguito descritti), alla granulometria, e di conseguenza alla litologia, dei terreni attraversati dall'indagine.

Metodo di Begemann:

Il metodo di BEGEMANN considera il **rapporto tra Rp e RI** come parametro indicativo delle variazioni litologiche. In particolare l'Autore suggerisce le seguenti correlazioni:

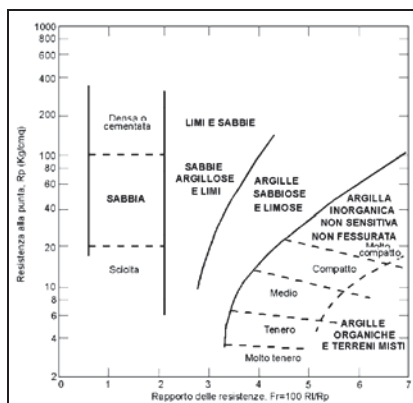
Rapporto Rp/RI	Litologia
Rp/RI < 15	Argilla organica e torba
15 < Rp/RI < 20	Limo e/o argilla inorganica
30 < Rp/RI < 60	Limo sabbioso e sabbia limosa
Rp/RI > 60	Sabbie o sabbia più ghiaia

Va ricordato che tali correlazioni sono valide solo per terreni immersi in falda.

Metodo di Schmertmann:

Il metodo di SCHMERTMANN considera come indicativo della litologia della verticale indagata il rapporto delle resistenze **Fr** (con **Fr%=100 RI/Rp**), secondo il grafico seguente:





3.1.2 Prove penetrometriche statiche con piezocono CPTU

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

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



Figura n. 2.2.2.1 – Attrezzatura di prova.

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 2.5 cm. 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

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

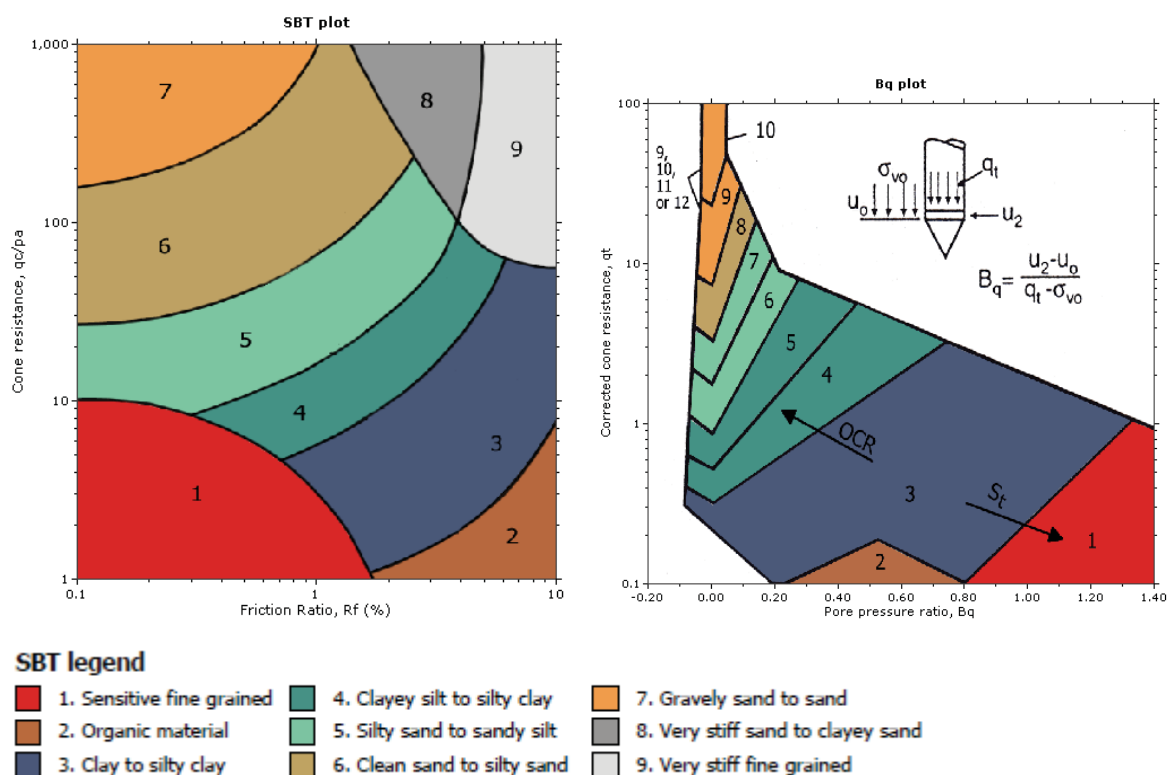


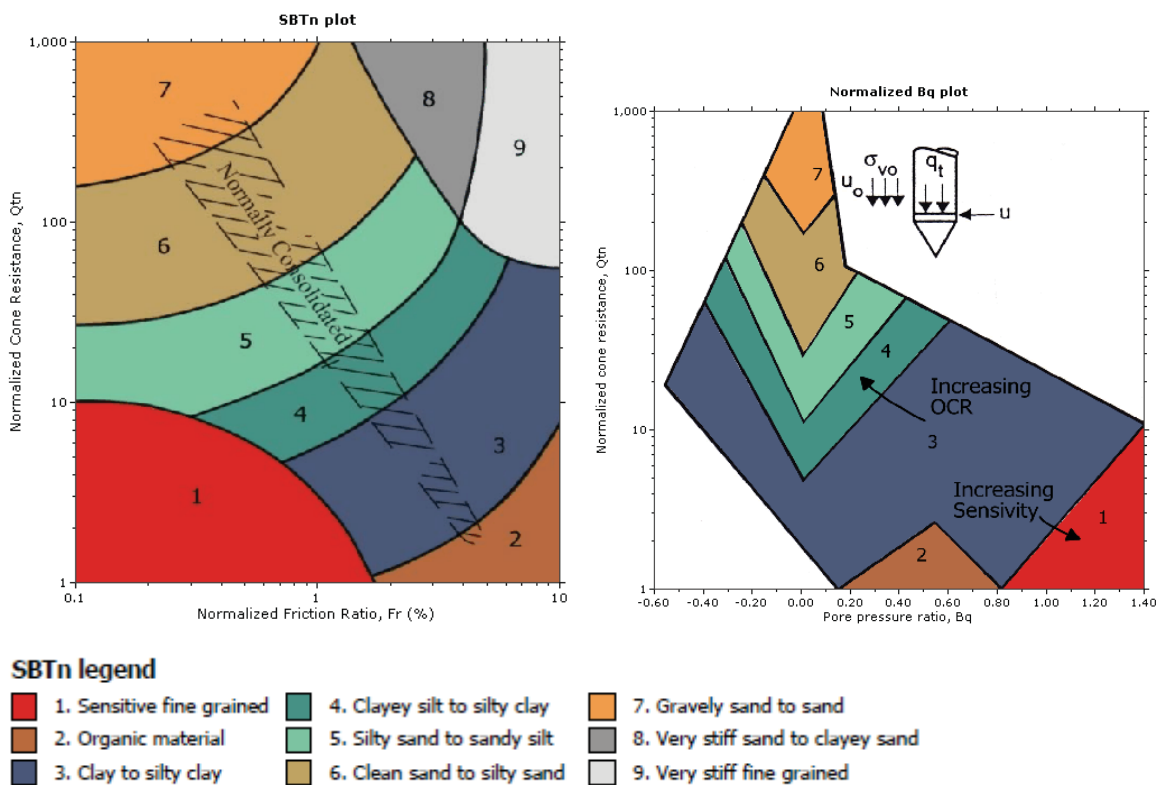
u (CPTU). La pressione che viene misurata è la pressione $u = u_0 + \Delta u$, dove u_0 è la pressione dovuta al livello idrostatico e Δu quella generata dallo sforzo alla penetrazione nel terreno.

Il piezocono, da Noi utilizzato, del tipo TGAS07B della Pagani Geotechnical Equipment, 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. Uno schema del piezocono, con le sue caratteristiche tecniche, è riportato in Allegato n. 1.

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 ed illustrata l'interpretazione litostratigrafica e geotecnica della prova, sono riportati in **Allegato n. 2**.

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).





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

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



<p>:: Unit Weight, g (kN/m³) ::</p> $g = g_w \cdot \left(0.27 \cdot \log(R_r) + 0.36 \cdot \log\left(\frac{q_t}{P_s}\right) + 1.236 \right)$ <p>where g_w = water unit weight</p> <p>:: Permeability, k (m/s) ::</p> <p>$I_c < 3.27$ and $I_c > 1.00$ then $k = 10^{0.952 - 3.04 \cdot I_c}$</p> <p>$I_c \leq 4.00$ and $I_c > 3.27$ then $k = 10^{-4.52 - 1.37 \cdot I_c}$</p> <p>:: N_{60} (blows per 30 cm) ::</p> $N_{60} = \left(\frac{q_c}{P_s} \right) \cdot \frac{1}{10^{1.1260 - 0.2017 \cdot I_c}}$ $N_{1/60} = Q_{tn} \cdot \frac{1}{10^{1.1260 - 0.2017 \cdot I_c}}$ <p>:: Young's Modulus, E_s (MPa) ::</p> $(q_t - \sigma_v) \cdot 0.015 \cdot 10^{0.55 \cdot I_c - 1.68}$ <p>(applicable only to $I_c < I_{c_crit}$)</p> <p>:: Relative Density, D_r (%) ::</p> $100 \cdot \sqrt{\frac{Q_{tn}}{k_{DR}}} \quad \text{(applicable only to SBT}_n\text{: 5, 6, 7 and 8 or } I_c < I_{c_crit}\text{)}$ <p>:: State Parameter, ψ ::</p> $\psi = 0.56 - 0.33 \cdot \log(Q_{tn,cs})$ <p>:: Peak drained friction angle, ϕ (°) ::</p> $\phi = 17.60 + 11 \cdot \log(Q_{tn})$ <p>(applicable only to SBT_n: 5, 6, 7 and 8)</p> <p>:: 1-D constrained modulus, M (MPa) ::</p> <p>If $I_c > 2.20$ $\alpha = 14$ for $Q_{tn} > 14$ $\alpha = Q_{tn}$ for $Q_{tn} \leq 14$ $M_{CPT} = \alpha \cdot (q_t - \sigma_v)$</p> <p>If $I_c \leq 2.20$ $M_{CPT} = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 \cdot I_c - 1.68}$</p>	<p>:: Small strain shear Modulus, G_0 (MPa) ::</p> $G_0 = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 \cdot I_c - 1.68}$ <p>:: Shear Wave Velocity, V_s (m/s) ::</p> $V_s = \left(\frac{G_0}{\rho} \right)^{0.50}$ <p>:: Undrained peak shear strength, S_u (kPa) ::</p> $N_{lt} = 10.50 + 7 \cdot \log(F_r) \text{ or user defined}$ $S_u = \frac{(q_t - \sigma_v)}{N_{lt}}$ <p>(applicable only to SBT_n: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c_crit}$)</p> <p>:: Remolded undrained shear strength, $S_u(rem)$ (kPa) ::</p> $S_{u(rem)} = f_s \quad \text{(applicable only to SBT}_n\text{: 1, 2, 3, 4 and 9 or } I_c > I_{c_crit}\text{)}$ <p>:: Overconsolidation Ratio, OCR ::</p> $k_{OCR} = \left[\frac{Q_{tn}^{0.20}}{0.25 \cdot (10.50 + 7 \cdot \log(F_r))} \right]^{-1.25} \text{ or user defined}$ $OCR = k_{OCR} \cdot Q_{tn}$ <p>(applicable only to SBT_n: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c_crit}$)</p> <p>:: In situ Stress Ratio, K_0 ::</p> $K_0 = 0.1 \cdot \left(\frac{q_t - \sigma_v}{\sigma_{v0}} \right)$ <p>(applicable only to SBT_n: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c_crit}$)</p> <p>:: Soil Sensitivity, S_t ::</p> $S_t = \frac{N_s}{F_r}$ <p>(applicable only to SBT_n: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c_crit}$)</p> <p>:: Effective Stress Friction Angle, ϕ' (°) ::</p> $\phi' = 29.5 \cdot B_q^{0.121} \cdot (0.256 + 0.336 \cdot B_q + \log Q_t)$ <p>(applicable for $0.10 < B_q < 1.00$)</p>
--	--

Figura n. 2.2.2.2 – Correlazioni utilizzate per la stima dei parametri geotecnici.

3.2 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE E LITOSTRATIGRAFICHE DEL SOTTOSUOLO

Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione geotecnica e litostratigrafica delle prove penetrometriche CPT e CPTU, illustrati nell'**All. n. 1 e All. n. 2**, si può riassumere quanto segue:

- il sottosuolo relativo all'area in oggetto risulta costituito da un livello superficiale composto da **argilla limosa a scarsa consistenza** (0.69 MPa < Rp < 1.78 MPa) che si approfondisce fino alla quota di -1.50 (minima)/-2.50 (massima) m da p.c. e, oltre il quale si rileva un livello composto da alternanze di **limi sabbiosi e limi argillosi sciolti**

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



(0.20 MPa < Rp < 2.28 MPa), che raggiunge la quota di -4.20 (minima)/-5.00 (massima) m da p.c.. Da tale quota è stato evidenziato un livello composto da **argilla limosa a scarsa consistenza** (0.40 MPa < Rp < 1.09 MPa), che si approfondisce fino alla quota di -8.20 (minima)/-8.50 (massima) m da p.c., seguita da un livello costituito da **argilla limosa consistente** (1.78 MPa < Rp < 4.75 MPa) che si approfondisce fino alla massima profondità d'indagine di -25.50 m da p.c.. All'interno del livello appena descritto si rinvencono sottili intercalazioni di **limi sabbiosi sciolti** .

- Per quanto riguarda il grado di consolidazione dei materiali coesivi, è stata rinvenuta la presenza di terreni sovraconsolidati **SC** (con OCR > 4) per l'interva verticale di prova.
- Al termine delle prove penetrometriche è stata eseguita la misura del livello piezometrico all'interno del foro di sondaggio, mediante un freatimetro elettroacustico; si elencano successivamente la soggiacenza della falda freatica misurata in corrispondenza delle indagini eseguite:

INDAGINE	D _w (m da p.c.)
CPT n. 1	-0.70 m
CPT n. 2	-0.70 m
CPT n. 3	-3.00 m
CPTU n. 1	-0.70 m
CPTU n. 2	-1.15 m
CPTU n. 3	-1.20 m
CPTU n. 4	-2.30 m



4 RELAZIONE GEOTECNICA

4.1 MODELLO GEOTECNICO

Sulla scorta delle indagini CPTU/CPT svolte, nel presente capitolo si definisce un modello geotecnico medio. Si sottolinea che tale modello risulta caratteristico solamente per le indagini svolte: una volta eseguita e completata l'intera campagna geognostica preventivata, tale modello potrà essere soggetto a modifica.

Il modello geotecnico è finalizzato a fornire tutti i dati geotecnici necessari per la progettazione degli interventi in progetto. Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione geotecnica e litostratigrafica delle indagini geotecniche eseguite, illustrate nell'All. n. 1 e All. n.2 precedentemente descritte, si possono riassumere i seguenti modelli geotecnici schematici del terreno investigato:

MODELLO GEOTECNICO CARATTERISTICO

Strato	Profondità	falda	Litotipo	Parametri geotecnici	
1	0.00 – 1.50 m da p.c.	-0.70 m da p.c.	Argilla o argilla limosa a scarsa consistenza	γ	1800 kg/m ³ ≈ 18.00 kN/m ³
				γ'	2000 kg/m ³ ≈ 20.00 kN/m ³
				C_{uk}	0.30 kg/cm ² ≈ 30.0 kN/m ²
				C'_k	0.03 kg/cm ² ≈ 3.0 kN/m ²
				M_{0k}	30.0 kg/cm ² ≈ 3000 kN/m ²
				E_s	49.0 kg/cm ² ≈ 4900 kN/m ²
				ϕ_k	18°/20°
				ν	0.45
2	1.50 – 5.00 m da p.c.		Limi o limi sabbiosi/argillosi mediamente consistenti	γ	1850 kg/m ³ ≈ 18.50 kN/m ³
				γ'	2050 kg/m ³ ≈ 20.50 kN/m ³
				C_{uk}	0.45 kg/cm ² ≈ 45.0 kN/m ²
				C'_k	0.045 kg/cm ² ≈ 4.5 kN/m ²
				M_{0k}	50.0 kg/cm ² ≈ 5000 kN/m ²
				E_s	70.0 kg/cm ² ≈ 7000 kN/m ²
				ϕ_k	21°/23°
				ν	0.40
3	5.00 – 8.80 m da p.c.		Argilla o argilla limosa a scarsa consistenza	γ	1800 kg/m ³ ≈ 18.00 kN/m ³
				γ'	2000 kg/m ³ ≈ 20.00 kN/m ³
				C_{uk}	0.30 kg/cm ² ≈ 30.0 kN/m ²
				C'_k	0.03 kg/cm ² ≈ 3.0 kN/m ²
				M_{0k}	30.0 kg/cm ² ≈ 3000 kN/m ²
				E_s	49.0 kg/cm ² ≈ 4900 kN/m ²
				ϕ_k	18°/20°
				ν	0.45

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



4	8.80 – 25.50 m da p.c.	Argilla o argilla limosa consistente	γ	$1900 \text{ kg/m}^3 \approx 19.00 \text{ kN/m}^3$	
			γ'	$2100 \text{ kg/m}^3 \approx 21.00 \text{ kN/m}^3$	
			C_{uk}	$1.00 \text{ kg/cm}^2 \approx 100.0 \text{ kN/m}^2$	
			C'_k	$0.1 \text{ kg/cm}^2 \approx 1.0 \text{ kN/m}^2$	
			M_{0k}	$80.0 \text{ kg/cm}^2 \approx 8000 \text{ kN/m}^2$	
			E_s	$140.0 \text{ kg/cm}^2 \approx 14000 \text{ kN/m}^2$	
			ϕ_k	$24^\circ/26^\circ$	
			ν	0.35	
Legenda			γ	=	<i>peso specifico terreno naturale</i>
			γ'	=	<i>peso specifico terreno saturo</i>
			C_{uk}	=	<i>coesione non drenata caratteristica</i>
			C'_k	=	<i>coesione efficace caratteristica</i>
			M_{0k}	=	<i>modulo di deformazione edometrico caratteristico</i>
			E_s	=	<i>modulo elastico</i>
			ϕ_k	=	<i>angolo d'attrito caratteristico</i>
			D_r	=	<i>densità relativa</i>
ν	=	<i>coefficiente di Poisson</i>			

Si riportano di seguito le referenze bibliografiche e le correlazioni utilizzate per la determinazione dei parametri geotecnici sopra riportati:

γ' = peso dell'unità di volume (efficace) del terreno [Terzaghi & Peck 1967 - Bowles 1982]

C_{uk} = coesione non drenata (terreni coesivi) [Formola di Lunne & Eide]

D_r = densità relativa (terreni granulari) [Schmertmann 1976]

M_0 = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973]

E_s = modulo elastico (terreni coesivi) [Trofimemkov 1974]

ϕ_k = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari) [Meyerhof 1956/1976, sabbie limose]

ϕ_k = angolo di attrito interno efficace (terreni coesivi) [prove di laboratorio CID da Noi eseguite su analoghi litotipi presso Nostro laboratorio certificato dal "Ministero delle infrastrutture e dei trasporti n.1845" per l'esecuzione e certificazione di prove su terre e rocce, categoria A]



5. CLASSIFICAZIONE E CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO

5.1 INDAGINI GEOFISICHE

Per caratterizzare l'area da un punto di vista sismico sono state eseguite le seguenti indagini geofisiche in sito:

- n° 2 indagini sismiche secondo dispersione di onde superficiali di Rayleigh (metodologia MASW);
- n° 1 indagine sismica Re.Mi/ESAC;
- n° 4 indagini sismiche passive mediante registrazione a stazione singola di rumore sismico naturale (metodologia HVSR);

In **Allegato n. 3, n. 4 e n. 5** sono visibili i grafici e i risultati delle indagini geofisiche in oggetto.

5.1.1 Indagine sismica con metodo MASW

Per potere classificare con precisione l'area da un punto di vista sismico, sono state eseguite **n° 2 indagini**, secondo dispersione di onde di superficie, secondo la metodologia MASW.

Per misurare le velocità delle onde di taglio si possono eseguire prospezioni sismiche mediante stendimenti superficiali, utilizzando geofoni verticali da 4,5 Hz e valutare la dispersione di onde di superficie (tipo Rayleigh) mediante un array lineare. 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 di superficie. Partendo dal sismogramma registrato mediante sorgente energizzante in asse con lo stendimento, viene eseguita un'analisi spettrale che ha consentito di elaborare un'immagine della distribuzione del segnale di velocità sismica in funzione delle diverse frequenze che lo compongono. Da tale elaborazione, tramite una fase di "picking" del segnale ad elevata intensità è stata ottenuta la "**curva di dispersione**", dalla cui inversione è stato calcolato il **modello sismo-stratigrafico** espresso in termini di velocità delle onde di taglio (Vs). I dati sono stati registrati mediante un sismografo *Geode Geometrics 24* bit con filtri disinseriti, velocità di campionamento (sample rate) di 0.25 millisecondi e lunghezza delle acquisizioni di 2 secondo. Si effettuano battute poste ad offset diversi (es. 10.00 m da geofono 1 e 5.00 m da geofono 1) mediante grave da 8,0 kg di massa.



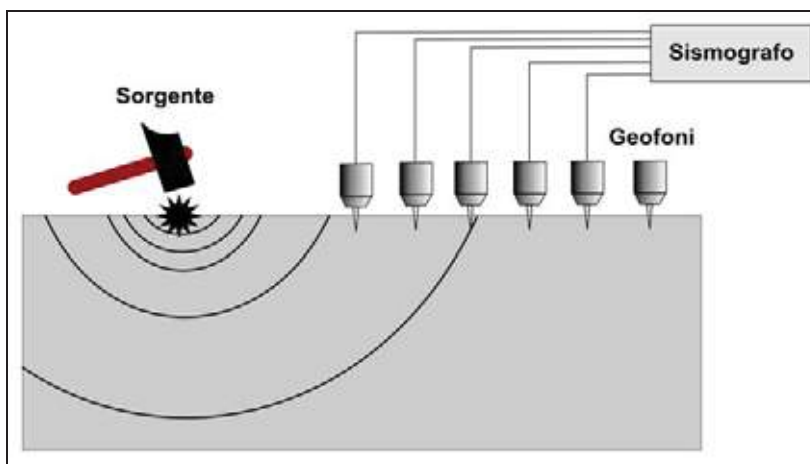


Fig. 5.1 - Schema di Array lineare e punto energizzante.

Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh, $V(\text{fase})/\text{freq.}$, può essere convertito nel profilo $V_s/\text{profondità}$. Tale metodo non è univoco e quindi il modello che ne scaturisce è un modello teorico; per questo motivo è preferibile operare in presenza di dati di taratura (come nel caso specifico) onde ricavare il modello reale. L'indagine eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle V_s fino a circa 35 m di profondità. Dalle indagini eseguite è stata ricavata la V_{s30} dalla presente formulazione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{v_i}}$$

Tale valore, nell' area indagata, per la classificazione sismica dei terreni di fondazione seguendo le indicazioni del **D.M. 14/01/2008**, è risultato pari a:

MASW n° 1	$V_{s30} = 165 \text{ m/s}$
MASW n° 2	$V_{s30} = 172 \text{ m/s}$

Pertanto, secondo la classificazione del suolo imposta dalle NNTC 2008, si definisce il terreno di fondazione dell' area studiata come appartenente alla **CATEGORIA [D]**, individuata da depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/s (ovvero con valori di NSPT, $30 < 15$ nei terreni a grana grossa e $Cu_{30} < 70 \text{ kPa}$ nei terreni a grana fina)". La categoria di sottosuolo definita per il sito risulta conforme ai dati ottenuti dalla prova SCPTU, eseguita da Elletipi s.r.l. nel mese di Luglio 2012.

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



5.1.2 Indagine sismica a rifrazione con metodo dei microtremori (Re.Mi)

La caratterizzazione geotecnica dei terreni dal punto di vista sismico richiede come elemento indispensabile la conoscenza del profilo delle velocità delle onde di taglio Vs degli strati del terreno presenti nel sito di studio, fino alla profondità di almeno 30 metri dal piano di posa delle fondazioni.

La normativa, sulla base del suddetto profilo, fornisce una classificazione dei suoli suddivisa nelle tipologie A, B, C, D, E ed S1, S2.

Per misurare le velocità delle onde di taglio si possono eseguire rilievi in foro di sondaggio meccanico con tecnica down-hole, se si dispone di un foro singolo o cross-hole fra due fori, oppure prospezioni sismiche mediante stendimenti superficiali utilizzando geofoni orizzontali con opportune energizzazioni del terreno o tramite geofoni verticali acquisendo i segnali dei microtremori rifratti ambientali.

Questa tecnica, nota con la sigla Re.Mi. (Refraction Microtremors), permette di ricostruire il profilo verticale delle Vs con procedimenti di modellazione diretta delle velocità di fase delle onde relative ai rumori sismici locali, rifratte alla superficie.

Nell'approccio teorico si utilizzano le onde superficiali di Rayleigh per la determinazione dei parametri di comportamento meccanico dei terreni a bassi livelli di deformazione, modulo di taglio e coefficiente di smorzamento, e si basa sulle proprietà dispersive che queste onde subiscono durante l'attraversamento di tali terreni.

Le onde di Rayleigh costituiscono un particolare tipo di onde superficiali che si trasmettono sulla superficie libera di un mezzo isotropo e omogeneo, e sono il risultato dell'interferenza tra onde di pressione "P" e di taglio "S".

In un mezzo stratificato queste onde sono di tipo dispersivo e vengono definite di pseudo-Rayleigh o di superficie.

La dispersione è una deformazione di un treno d'onde dovuta ad una variazione di propagazione di velocità con la frequenza; le componenti a frequenza minore penetrano più in profondità rispetto a quelle a frequenza maggiore.

Il calcolo del profilo delle velocità delle onde Rayleigh, *Velocità/frequenza* può essere convertito mediante opportuno software in profilo *Velocità/profondità*.

La metodologia permette di raggiungere livelli di profondità generalmente compresi fra 1/4 e 1/3 della lunghezza dello stendimento dei geofoni.

Esempio: Profondità = (Lunghezza stendimento / 4 ÷ 3) = (120 ml / 4 ÷ 3) = 30÷40 ml



Lo studio analitico del metodo Re.Mi. consente di operare favorevolmente in ambienti fortemente inquinati da rumori urbani e/o industriali.

Una volta determinate le velocità delle onde di taglio fino alla massima profondità raggiunta, si calcola una media pesata dei valori delle Vs di ogni strato per una profondità di 30 metri dal piano campagna e con tale parametro è possibile catalogare il sito nella classe di riferimento dell'ordinanza in oggetto.

Modalità operative

L'indagine sismica è stata eseguita in sito utilizzando 24 geofoni verticali con frequenza naturale di 14 Hz fissati al terreno ad intervalli regolari di 5 metri per una lunghezza complessiva dello stendimento pari a 115 metri.

I dati sono stati registrati mediante un sismografo *GEODE Geometrics 24 bit* con filtri disinseriti, velocità di campionamento (sample rate) di 2 millisecondi e lunghezza delle acquisizioni di 30 secondi.

Complessivamente sono stati registrati 10 files ad intervalli irregolari nell'arco di circa 1 ora di tempo.

Classificazione del terreno in base alle $V_{s,30}$ – D.M. 14/01/2008

L'elaborazione (**Allegato n. 2**) 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:

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

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



Tale valore, nell'area indagata, è risultato pari a:

RE.MI/ESAC	Vs ₃₀ = 172 m/s	Categoria D
------------	----------------------------	-------------

Quindi, secondo la classificazione del suolo, secondo le indicazioni del D.M. 14 Gennaio 2008 e in base ai risultati ottenuti dall'indagine geofisica Re.Mi. si classifica il terreno di fondazione del lotto come appartenente alla **CATEGORIA [D]**, individuata da depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 inferiori a 180 m/s (ovvero con valori di NSPT,30 < 15 nei terreni a grana grossa e Cu30 < 70 kPa nei terreni a grana fina)".

5.1.3 Indagine sismica Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR)

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.

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



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.

Sulla base dei dati ottenuti dall'elaborazione delle n° 4 indagini sismiche passive HVSR non è stato riscontrato nessun picco di frequenza caratteristico del sito.



5.2 AZIONE SISMICA

5.2.1. ANALISI SEMPLIFICATA (NNTC 2008)

In base alla normativa riguardante la situazione sismica del territorio, con riferimento al GdL del 1998, il Comune di Cento, ricadeva in **categoria III**.

Con l'entrata in vigore del **D.M. 14/01/2008** recante "Nuove Norme tecniche per le costruzioni", il Comune di Cento è stato classificato ex-novo in **classe di sismicità 3** (zona a **bassa sismicità**) (Fig 4.1).

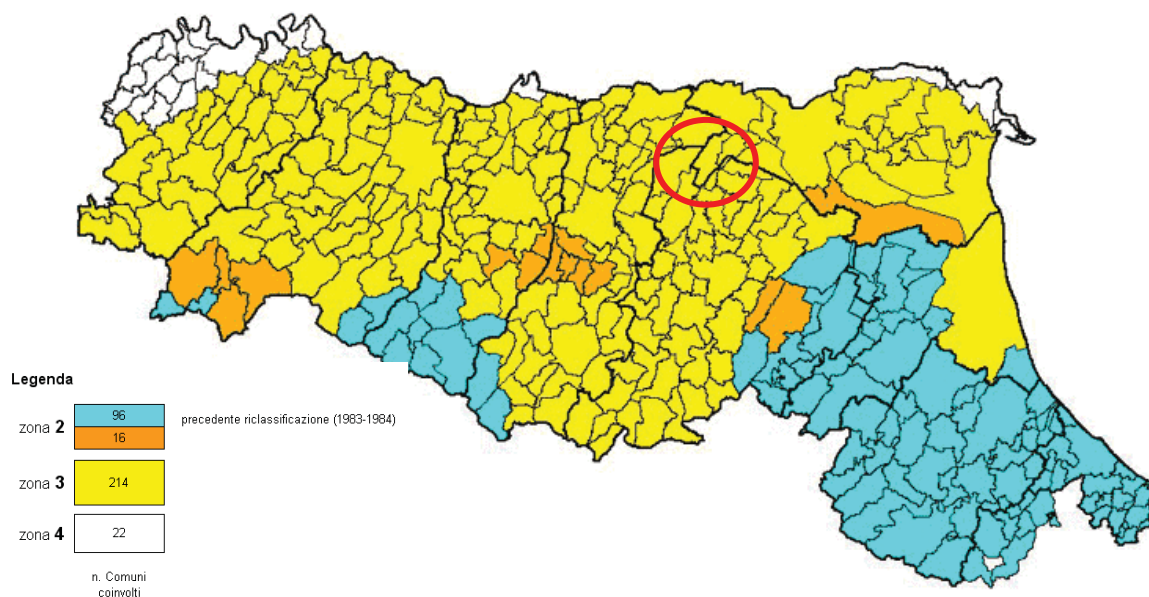


Fig. 5.2 – Classificazione sismica vigente dei comuni della regione Emilia-Romagna
Il cerchio rosso individua il Comune di Cento.

Sulla base della nuova normativa sismica per gli edifici (**D.M. 14 Gennaio 2008**), secondo le indagini geofisiche eseguite in sito si classifica il terreno di fondazione del fabbricato soggetto a interventi di miglioramento sismico, come appartenente alla **categoria D**, corrispondente a "Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/s (ovvero con valori di $NSPT_{30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $Cu_{30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina)".

Sulla base dei contenuti del **D.M. 14/01/2008** "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" è stato definito un parametro di accelerazione massima attesa a_g , in relazione a una vita nominale di 50 anni e a una classe d'uso pari a II, in relazione ad un tempo di riferimento T_R stimato di 475 anni.

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



Per l'area in oggetto, identificata dalle seguenti coordinate geografiche (ED50): Latitudine: 44.726908°, Longitudine 11.278224°, tale parametro è risultato pari ad a_g attesa= **0.157g**.

Determinazione dei parametri sismici

(1)* Coordinate WGS84				
Lat.	44.725974	°	Long.	11.277226
(1)* Coordinate ED50				
Lat.	44.726908	°	Long.	11.278224
Classe dell'edificio				
II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e so				Cu = 1
Vita nominale				50
<small>(Opere provvisorie <=10, Opere ordinarie >=50, Grandi opere >=100)</small>				
Interpolazione				Media ponderata
Calcola				

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0,044	2,509	0,256
Danno (SLD)	50	0,056	2,483	0,269
Salvaguardia vita (SLV)	475	0,157	2,591	0,273
Prevenzione collasso (SLC)	975	0,209	2,536	0,279
Periodo di riferimento per l'azione sismica:		50		

Tabella dei parametri sismici desunti dal programma GEOSTRU

Poiché tale valore di accelerazione sismica orizzontale a_g si riferisce al *bedrock*, per definire il valore di a_g in superficie si calcola inizialmente il fattore stratigrafico S_s caratteristico dell'area secondo il NTC 2008 D.M. 14/01/2008 da cui, essendo in classe D si avrà :

$$0.90 \leq S_s = 2.40 - (1.50 \cdot F_o \cdot a_g/g) \leq 1.80 \quad (4.1)$$

dove:

Fo = Fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2.2; per il sito oggetto di studio tale valore, calcolato mediante l'utilizzo di apposito software, risulta pari a **2.591**;

ag/g = accelerazione orizzontale del sito, con tempo di ritorno pari a 475 anni/accelerazione di gravità;

Ss = Coefficiente di amplificazione stratigrafica o fattore stratigrafico, calcolato tramite la relazione (4.1); per il sito oggetto di studio risulta pari a **1.79**.



Successivamente, sulla base delle condizioni topografiche del sito studiato, si ricava il fattore topografico ST dalla seguente tabella:

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

Per l'area studiata, appartenente alla categoria topografica T1, si ottiene un fattore topografico ST pari a 1.0.

In base a tali valori del fattore stratigrafico S_S e del fattore topografico ST si procede al calcolo dell' accelerazione massima orizzontale A_{max} :

$$A_{max} = S_S \cdot a_g = 1.79 \cdot 0.157 \text{ g} = 0.281 \text{ g}$$

5.2.2. DELIBERA N.112-2007 REGIONE EMILIA ROMAGNA

L'Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna con deliberazione n.112- oggetto n°2131 del 02/05/2007 ha approvato l'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, c.1, della LR 20/2000: "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica" e dei suoi allegati.

In tale documento sono forniti i criteri per l'individuazione delle aree soggette ad effetti locali e per la microzonazione sismica del territorio con particolare riguardo alla tipologia ed al livello di approfondimento degli studi da effettuare per una migliore definizione della risposta sismica locale. E' ormai accertato da numerosi studi a livello internazionale che, a parità di magnitudo e localizzazione della sorgente sismica (ipocentro), terreni a caratteristiche fisico meccaniche diverse subiscono deformazioni di intensità differente. Strumentalmente, ciò è rilevabile attraverso la modifica del moto sismico (*accelerogramma* o *spettro di risposta elastico*) impressa in termini di accelerazione in un dato periodo di tempo. Il moto sismico, impresso alle particelle, si propaga in modo contiguo nel terreno ampliandosi o smorzandosi in funzione del grado di addensamento e viscosità del materiale attraversato, caratterizzandosi per velocità delle onde di taglio (V_{sh}), più veloci tanto più il mezzo attraversato è addensato. Tutto ciò risulta di primaria importanza per un'attenta analisi della risposta sismica locale, al fine di individuare delle aree soggette ad effetti locali e per



orientare un'accurata indagine di campagna finalizzata alla definizione delle proprietà di seguito elencate:

Indagine geologica e geomorfologia classica:

- a) stratigrafia delle formazioni superficiali con definizione del contatto tra copertura superficiale e bedrock;
- b) morfologia di dettaglio dell'area con rilievo delle forme lineari o strutturali che possono generare amplificazione del moto sismico.

Studi geofisici specifici:

- c) profili di velocità delle onde sismiche trasversali Vs e longitudinali dentro le formazioni superficiali.

Recentemente, per la valutazione della **pericolosità sismica di base** si può fare riferimento all'Allegato A4 della Dal. Regione Emilia-Romagna n. 112 del 2.5.2007 "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica" in cui sono riportati i valori di accelerazione massima orizzontale al suolo (con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) per ogni Comune della Regione.

Secondo tale classificazione il Comune di Cento presenta un valore di accelerazione massima orizzontale di picco su suolo rigido $a_{refg} = 0.157 g$

5.2.2.1 PRIMO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO: CARTA DELLE AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI

Il primo livello di approfondimento raggruppa gli studi e la cartografia di base propedeutica alla redazione della "*Carta degli Effetti Attesi*" in cui sono evidenziate le zone caratterizzate da differenti scenari di pericolosità locale con indicazione degli effetti locali attesi.

Come già evidenziato nel secondo paragrafo del seguente elaborato, dalla consultazione delle carte relative al PSC del comune di Cento e delle cartografie relative all'ordinanza n.70 del 13/11/2012 della Regione Emilia Romagna, **l'area in oggetto ricade in una fascia in cui i depositi risultano potenzialmente liquefacibili**. L'azione sismica deve essere pertanto definita secondo appropio di terzo livello, secondo quanto descritto dalla D.a.l. 112/2007, con definizione dell'accelerazione massima orizzontale alla superficie secondo un modello di calcolo, differentemente dal modello semplificato proposto per le categorie di sottosuolo (norme NNTC 2008).

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



5.2.2.2 SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO: CARTA DELLE AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI

Sulla base di dati bibliografici raccolti per l'area in oggetto e dei risultati ottenuti dall'indagine geofisica eseguita in sito, il cui esito ha definito un valore di $Vs_{30} = 165 \text{ m/s}$, premesso che tale area ricade, secondo l'allegato A2 del D.A.L. 112 della L.R. 20/2000, all'interno dell'ambito definito come: "**PIANURA 2**" caratterizzato da profilo stratigrafico costituito da presenza di potenti orizzonti di ghiaie (anche decine di metri) e da alternanze di sabbie e peliti, con substrato profondo (> 100 m da p.c.), come riportato nella Tavola n.9 Carta sismotettonica, si riportano i seguenti coefficienti di amplificazione sismica:

Da indagine MASW:

F.A. P.G.A. = 1.5

F.A. SI ($0,1 < T_0 < 0,5$) = 1.8

F.A. SI ($0,5 < T_0 < 1,0$) = 2.5

dove:

- PGA= accelerazione massima orizzontale alla superficie
- SI = indice di Housner
- F.A. P.G.A.= Fattore di amplificazione P.G.A.
- F.A. 0.1-0.5 (intensità spettrale $0.1\text{sec} < T_0 < 0.5\text{sec}$);
- F.A. 0.5-1.0 (intensità spettrale $0.5\text{sec} < T_0 < 1.0\text{sec}$)

Considerando un coefficiente di amplificazione litologico pari a 1.60, è possibile ottenere un valore di P.G.A. (a_{\max}) pari a:

$$A_{\max} = Ss \cdot a_g = 1.50 \cdot 0.157g = 0.235g$$

Il valore di accelerazione alla superficie, ottenuto secondo l'approccio di calcolo imposto dalla D.a.l 112/2007, risulta nettamente inferiore rispetto a quello ottenuto secondo l'approccio semplificato proposto dal DM 14/01/2008. Pertanto, il valore di a_{\max} pari a **0.281 g** risulta attualmente e in via cautelativa, più consono ai fini della determinazione dell'azione sismica di progetto.



5.2.3. ANALISI DI TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

Alla luce di quanto esposto nel § 3.2.2 del D.M. 14/01/2008 e in accordo con la D.a.l. 112/2007 della Regione Emilia Romagna, è stata definita l'azione sismica di progetto secondo uno **studio di microzonazione sismica con III livello di approfondimento**. Per ottemperare ai riferimenti normativi citati è stata in primo luogo eseguita una risposta sismica locale (RSL), come indicato § 7.11.3 del D.M. 14/01/2008, mediante analisi numerica monodimensionale in campo lineare equivalente considerando il codice di calcolo EERA. I valori ottenuti sulla base dell'analisi monodimensionale sono stati in seguito confrontati con il calcolo dell'azione sismica riferita all'approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di parametri di amplificazione del moto sismico, in funzione delle categorie di sottosuolo di riferimento.

5.2.3.1 R.S.L. mediante verifica monodimensionale in campo lineare equivalente dell'amplificazione locale

Ai fini della restituzione dello spettro sismico è stata svolta la verifica dell'amplificazione del sito mediante l'utilizzo di un modello simulato in campo del lineare equivalente. Tale analisi è svolta per ottemperare a ciò che è richiesto dalla normativa nazionale vigente (NNTC 2008), la normativa regionale dell'Emilia Romagna (D.a.l. n° 112/2007).

L'analisi monodimensionale in campo lineare equivalente è stata svolta attraverso il codice di calcolo EERA (*Equivalent linear Earthquake site Response Analysis of Layered Soil Deposits*) sviluppato dal dipartimento di ingegneria civile della "University of Memphis".

Il codice di calcolo EERA è in grado di valutare la risposta sismica di un deposito di terreno, schematizzandolo 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 rigidità a taglio normalizzato ($G / G_0 - \gamma$) e le corrispondenti curve dello smorzamento ($D - \gamma$) con la deformazione di taglio γ .

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



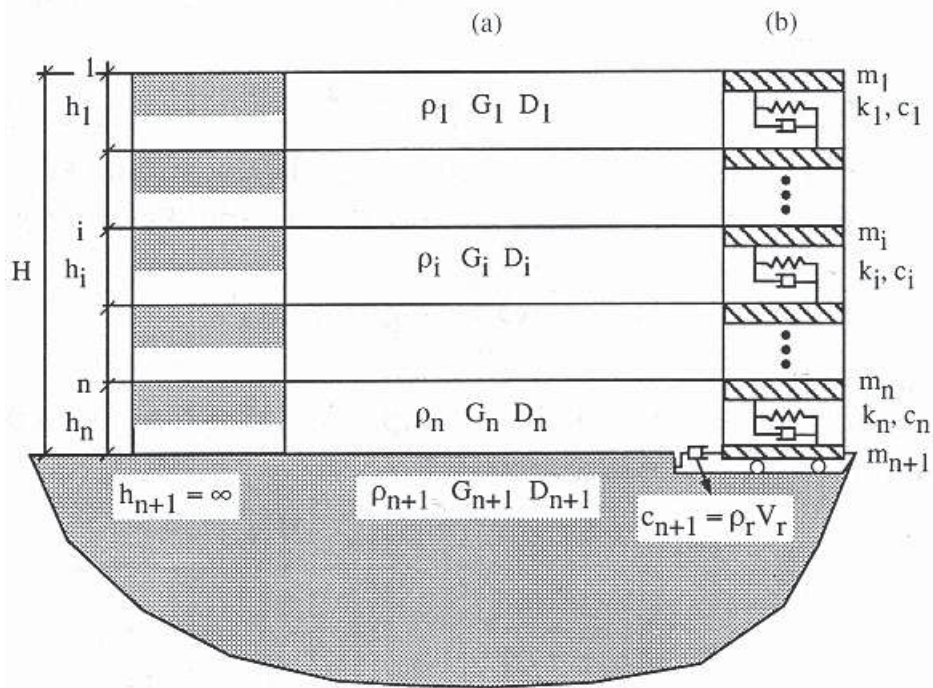


Fig. 5.3 – Modello a strati continui adottato per la simulazione con il codice di calcolo EERA

Il modello simulato per tale analisi 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 MASW eseguite e i dati, di natura bibliografica, disponibili per il sito di riferimento.

Sulla base di quest'ultimi è stato possibile stimare la profondità del suolo rigido (bedrock sismico). Considerando quindi la presenza di un bedrock sismico alla profondità pari a 150 m di profondità, è stata svolta un'interpolazione lineare tra i dati di superficie e quelli bibliografici. Il risultato è un profilo che individua le caratteristiche meccaniche principali del sottosuolo, relativa all'area in oggetto. Il profilo considerato risulta essere il seguente:



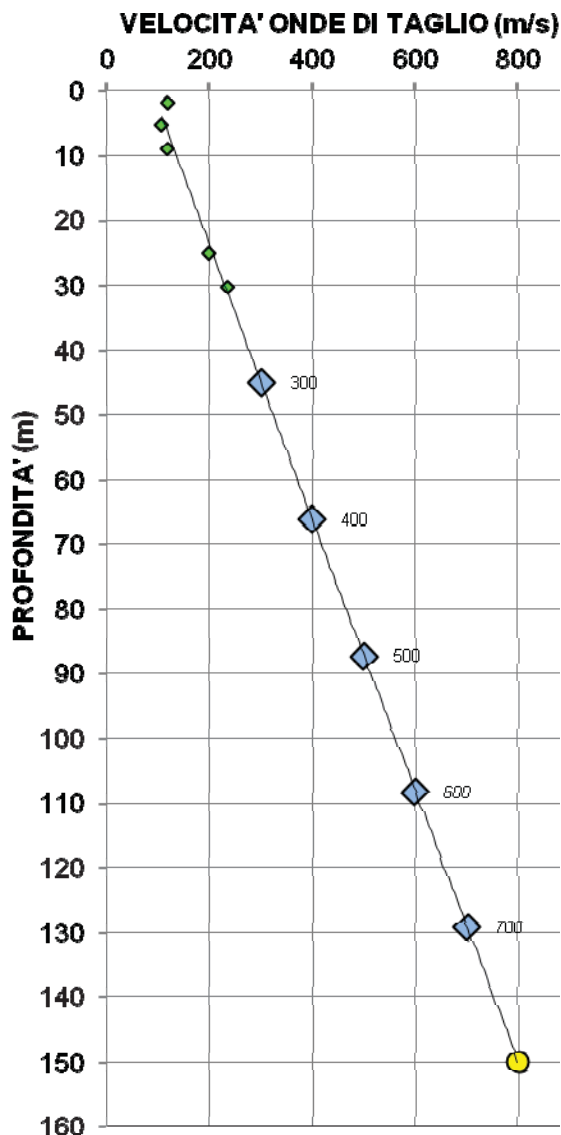


Fig. 5.4 – Gradiente delle velocità relativo alle onde di taglio nel sottosuolo.

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 rigiditàza (**G**) e dallo smorzamento (**D**). Per descrivere la stratigrafia relativa al sito in oggetto dal punto di vista dei due principali parametri appena descritti, sono state considerate curve di decadimento dei moduli di rigiditàza e smorzamento, al variare della deformazione percentuale $\gamma(\%)$, per ciascun materiale costituente il modello. Si riportano successivamente le curve di decadimento considerate per l'esecuzione del calcolo di risposta sismica locale:



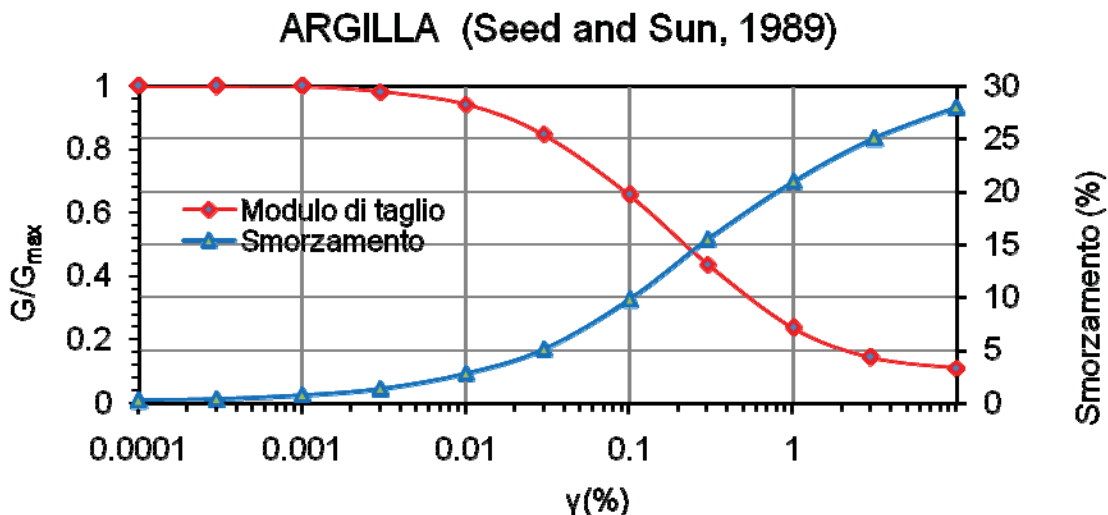


Fig. 5.5 – Curva di decadimento dei moduli G/G_{max} e D , utilizzata per descrivere il comportamento dei materiali coesivi che compongono il sottosuolo in oggetto

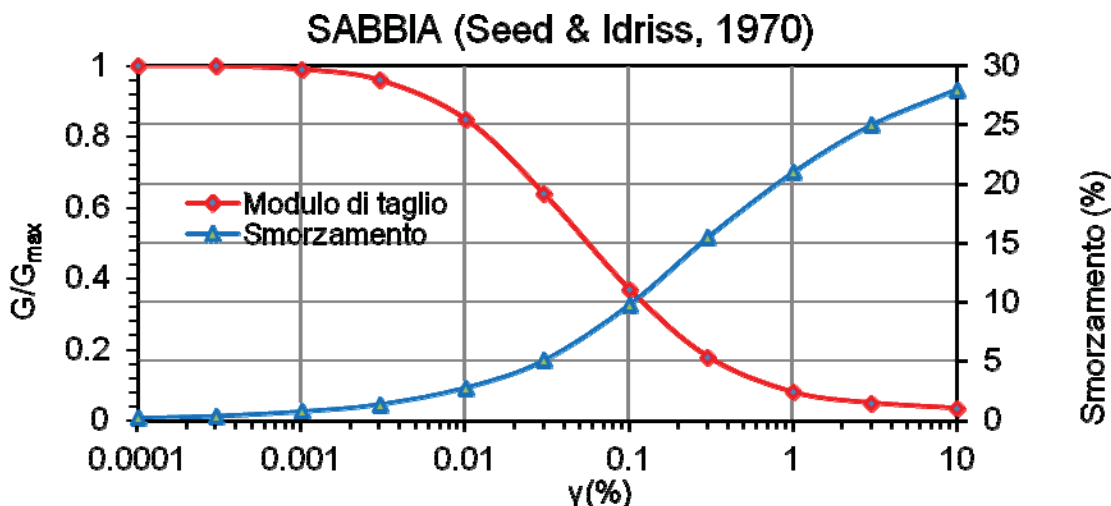


Fig. 5.6 – Curva di decadimento dei moduli G/G_{max} e D , utilizzata per descrivere il comportamento dei livelli ghiaiosi che si rinvenivano nel sottosuolo in oggetto

Per quanto riguarda il moto sismico, sono stati considerati accelerogrammi, riferiti al suolo rigido, forniti dalla Regione Emilia Romagna. Si tratta di 3 accelerogrammi, selezionati dalla banca dati accelerometrica "European Strong Motion database" e forniti per il Comune di Cento dal Servizio Geologico della Regione Emilia Romagna. I tre segnali di riferimento, che vengono implementati all'interno del codice di calcolo, corrispondono ad un sisma di natura impulsiva (INPUT 000046), un sisma con ampio contenuto in frequenze (INPUT 000156) ed infine un sisma con componente predominante alle alte frequenze (INPUT 000354).

INPUT 000046

GEO GROUP s.r.l.

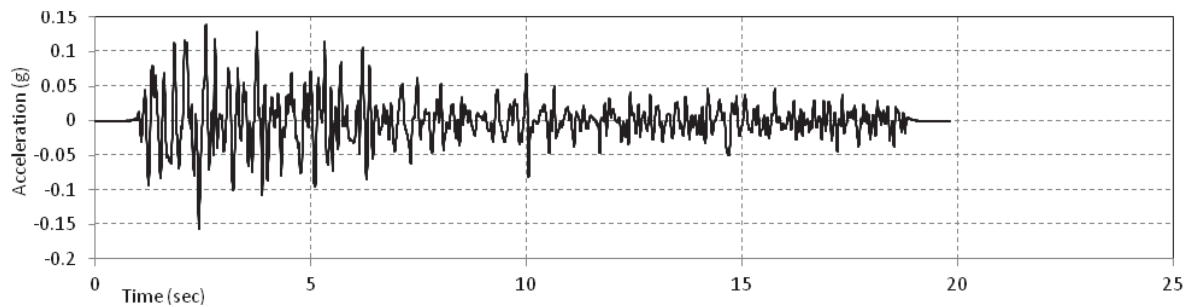
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

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

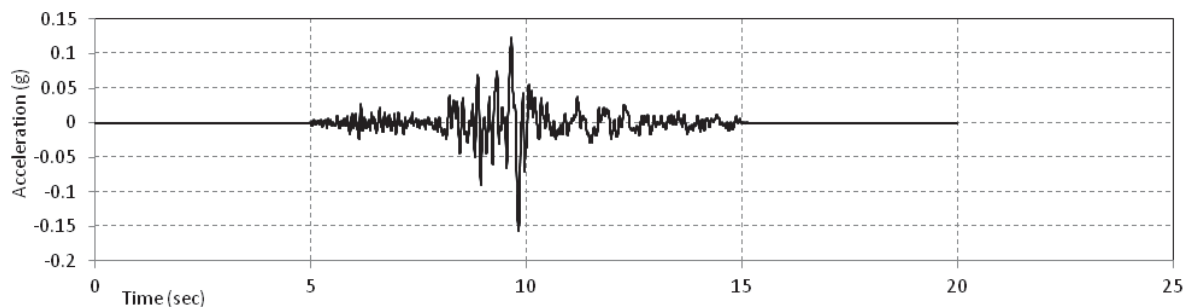
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

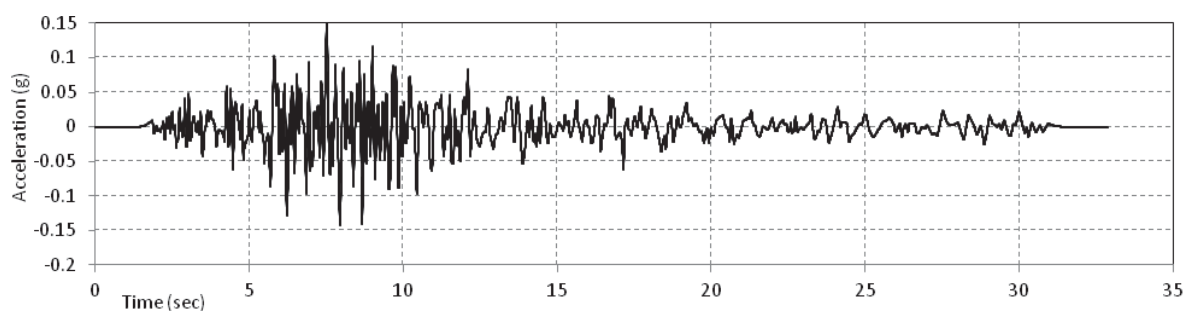




INPUT 000126



INPUT 000354



Definiti i parametri che descrivono il comportamento del sottosuolo nel campo elastico lineare e descritti gli accelerogrammi su suolo rigido validi per il territorio comunale di Cento, il codice di calcolo ha generato le seguenti forme spettrali in termini accelerazione e velocità alla superficie:

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



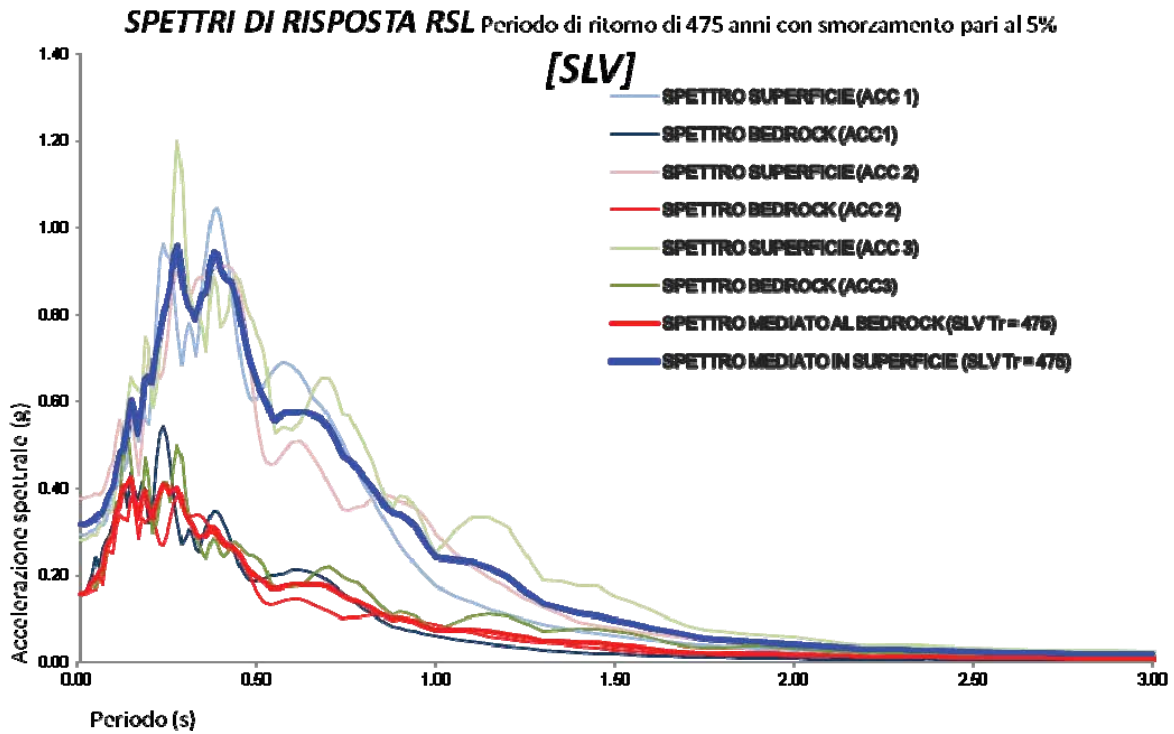


Fig. 5.7 – Accelerazioni spettrali, derivate durante il calcolo eseguito

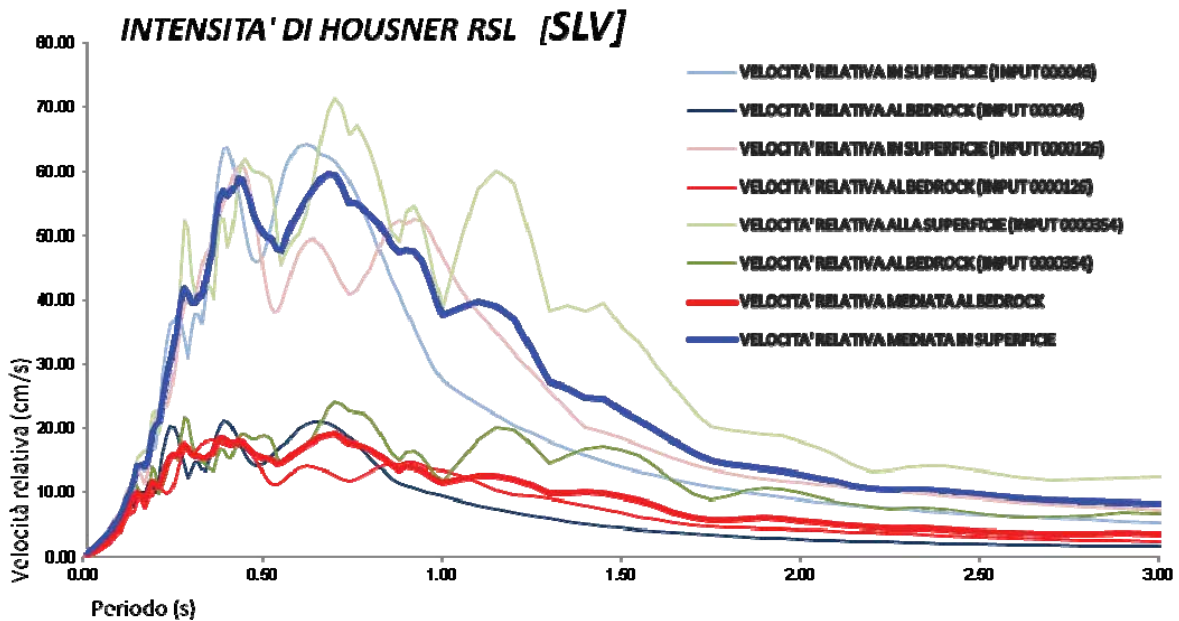


Fig. 5.8 – Velocità relative, derivate durante il calcolo eseguito



Dall'analisi di risposta sismica locale, svolta attraverso il codice di calcolo EERA e considerando un modello continuo lineare equivalente, è emerso che il valore di PGA, attesa alla superficie alla superficie e considerando un tempo di ritorno pari a 475 anni, è pari a **0.316 g**. I valori evidenziati durante l'analisi in oggetto sono riassunti nella seguente tabella:

PGA ₀ di riferimento valida per il territorio comunale di Cento (NNTC 2008)	0.157 g
PGA in superficie ottenuta dal modello simulato	0.316 g
Fattore di amplificazione della PGA	2.01
Fattore di amplificazione d'intensità spettrale compresa tra l'intervallo di frequenza 0.1 e 0.5 s	3.30
Fattore di amplificazione d'intensità spettrale compresa tra l'intervallo di frequenza 0.5 e 1.0 s	3.27

Successivamente viene riportata la funzione di trasferimento, individuata durante l'analisi svolta mediante il codice di calcolo EERA, relativa al modello considerato. Come visibile successivamente, per il sito in oggetto, si ottiene la massima amplificazione per una frequenza pari a **1.8 Hz**.

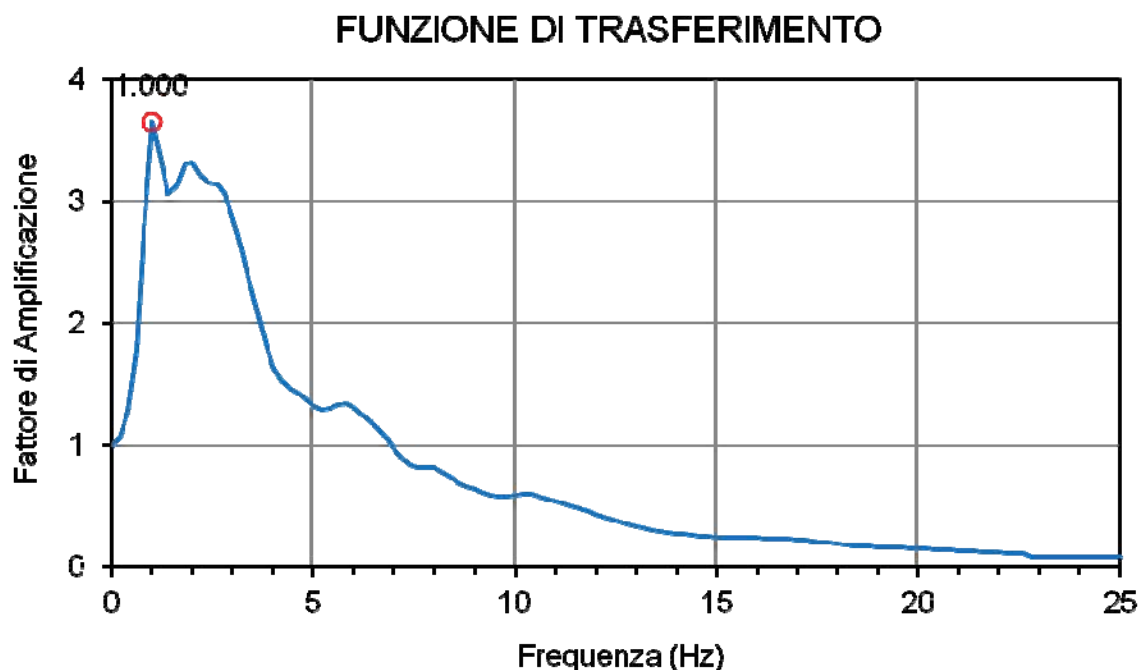


Fig. 5.9 – Funzione di trasferimento ottenuta



Dati i valori di accelerazione ottenuti dal calcolo eseguito è stato infine svolto un confronto con lo spettro di accelerazione, definito secondo i criteri delle NNTC 2008, considerando una classe di **sottosuolo tipo D** e un tempo di ritorno pari a **475 anni**.

Lo spettro di accelerazione ottenuto tramite la modellazione eseguita è stato invece normalizzato secondo quanto descritto nel All. n. 4 della D.a.I. 112/2007. Così facendo è stato ottenuto lo spettro a probabilità uniforme, sulla base dei risultati ottenuti mediante il codice di calcolo EERA.

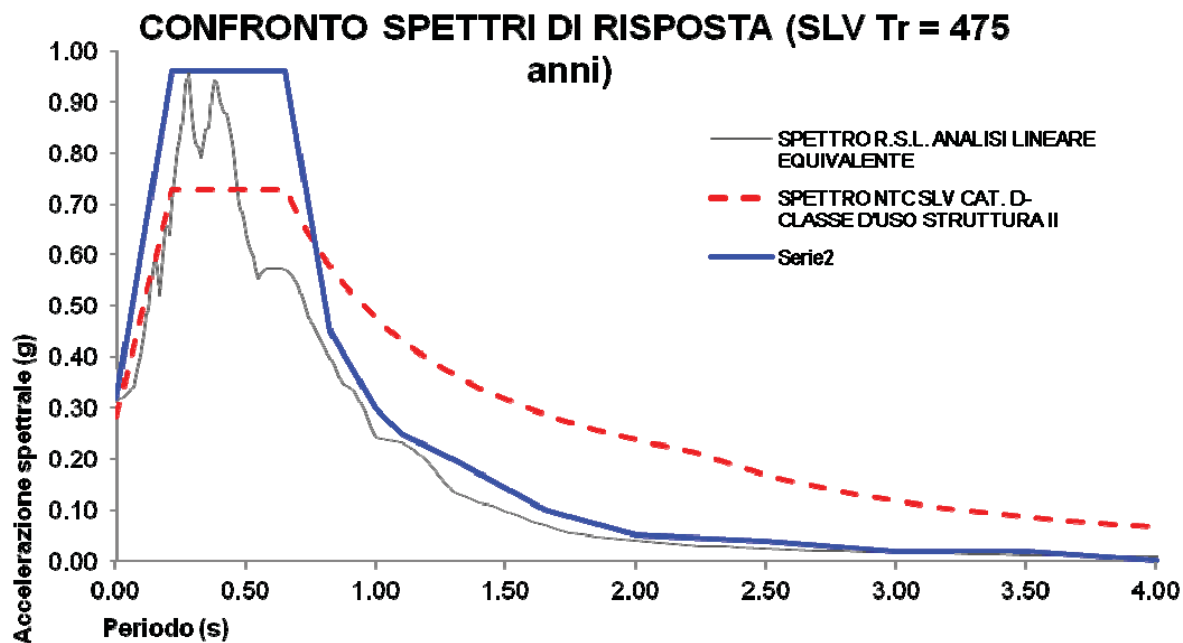


Fig. 5.10 – Confronto tra lo spettro di accelerazione calcolato secondo NTC (CAT. D) (in rosso tratteggiato) e lo spettro di accelerazione ottenuto dal calcolo mediante il codice EERA (in blu)

Da quanto è possibile osservare in **Fig. n. 5.10**, lo spettro calcolato per una categoria di sottosuolo D, sottostima l'azione sismica per il sito in oggetto. Considerando invece lo spettro normalizzato, ottenuto sulla base dell'analisi mediante il codice EERA, è possibile definire un' azione sismica maggiore. Il nuovo spettro ottenuto è caratterizzato dai seguenti parametri:

PGA (g)	Tr (anni)	F ₀	T _s [*] (s)	S	n	T _b (s)	T _c (s)	T _d (s)
0.316	475	3.03	0.273	2.01	1	0.218	0.653	2.23

Tab. 5.1 – Parametri che identificano lo spettro normalizzato, derivato dall'analisi mediante il codice di calcolo EERA



6. VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

Per liquefazione di un terreno s'intende il quasi totale annullamento della sua resistenza al taglio, con l'assunzione del comportamento meccanico caratteristico dei liquidi. I fenomeni di liquefazione interessano i **depositi sabbiosi saturi** e dipendono da:

- proprietà geotecniche dei terreni;
- caratteristiche delle vibrazioni sismiche e loro durata;
- genesi e storia geologica dei terreni;
- fattori ambientali.

Un **terreno incoerente saturo**, in assenza di sollecitazioni sismiche, è soggetto soltanto alla pressione litostatica, dovuta al peso dei sedimenti sovrastanti (in campo libero e con superficie piana).

Durante una sollecitazione sismica vengono indotte nel terreno delle sollecitazioni cicliche di taglio, dovute alla propagazione delle onde sismiche verso la superficie, mentre la pressione litostatica resta costante. Per tutta la durata della scossa ogni elemento di terreno è soggetto ad una serie di sforzi tangenziali che cambiano ripetutamente verso ed ampiezza.

Nel terreno si possono generare fenomeni di liquefazione se la scossa sismica produce un numero di cicli tale da far sì che la pressione interstiziale uguagli la pressione di confinamento. Nei depositi la pressione di confinamento aumenta con la profondità, mentre l'ampiezza dello sforzo di taglio indotto dal sisma diminuisce. La resistenza alla liquefazione quindi è maggiore con la profondità. Di conseguenza, maggiore è la **durata di un terremoto** (maggior numero di cicli), più alta è la possibilità che si arrivi alla liquefazione. Inoltre, maggiore è l'**ampiezza della vibrazione** e della deformazione indotta e minore è il numero di cicli necessari per giungere a tale condizione.

Il terreno può essere però soggetto a sforzi di taglio statici dovuti alla presenza di strutture in superficie o alla sua particolare posizione (per es. al di sotto di un versante). In questo caso l'instaurarsi del fenomeno della liquefazione dipende, oltre che dalle caratteristiche del sisma, anche dal rapporto che si stabilisce tra le tensioni di taglio indotte da quest'ultimo e quelle statiche preesistenti al terremoto.

La probabilità che un deposito raggiunga le condizioni per la liquefazione dipende anche dallo stato di addensamento, dalla composizione granulometrica, dalle condizioni di drenaggio, dalla storia delle sollecitazioni sismiche e dall'età del deposito stesso.

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



Tanto minore è il **grado di addensamento** del materiale (elevato indice dei vuoti e bassa densità relativa) tanto maggiore è la probabilità che, a parità di altre condizioni, un deposito raggiunga lo stato di liquefazione.

Anche la **distribuzione**, la **forma delle particelle** e il **grado di uniformità** influenzano notevolmente il fenomeno, per le implicazioni che questi fattori hanno sulla resistenza al taglio e per il modo di dissiparsi della pressione interstiziale in eccesso.

Per quanto riguarda la **storia delle sollecitazioni sismiche**, si può affermare che precedenti deformazioni moderate influiscano positivamente sulla resistenza del deposito, mentre una storia caratterizzata da alti livelli di deformazione (deposito già soggetto a liquefazione) ha effetti negativi sul potenziale di riliquefazione.

I depositi sabbiosi con più alto potenziale di liquefazione sono i più recenti. A parità di composizione e di altre condizioni lo stesso deposito, se più antico, avrà sviluppato legami intergranulari e cementazioni sempre più forti con il tempo.

Inoltre, la struttura di un deposito antico sarà resa più stabile e omogenea per gli effetti delle vibrazioni indotte da precedenti terremoti di piccola entità.

Dopo aver caratterizzato il terreno attraverso l'interpretazione di dati da prove penetrometriche statiche CPT, è stata eseguita una stima del rischio di liquefazione di terreni sotto falda in condizioni sismiche, mediante il metodo semplificato di "Robertson e Wride".

I metodi semplificati richiedono che venga definito un sisma di progetto, attraverso l'introduzione dell'*accelerazione sismica orizzontale massima* in superficie e della *magnitudo di riferimento*.

I dati del sisma di progetto sono stati ricavati attraverso l'analisi probabilistica dei dati del Catalogo Sismico Nazionale.

Tutti i metodi semplificati permettono di esprimere la suscettibilità alla liquefazione del deposito attraverso un coefficiente di sicurezza, dato dal rapporto fra la **resistenza al taglio mobilabile nello strato (R)** e lo **sforzo tangenziale indotto dal sisma (T)**. In pratica si avrà:

$$F_s = \frac{R}{T}$$

Un deposito dovrà essere considerato suscettibile di liquefazione se il coefficiente di sicurezza F_s sarà minore di 1.

La grandezza **T** dipende dai parametri del sisma di progetto (accelerazione sismica e magnitudo di progetto). **R** è funzione delle caratteristiche meccaniche dello strato,



principalmente del suo stato di addensamento, e può essere ricavato direttamente attraverso correlazioni con i risultati di prove penetrometriche statiche.

La grandezza **T** viene ricavata attraverso la relazione:

$$T = 0.65 \frac{a_{\max}}{g} \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} r_d \frac{1}{MSF};$$

dove:

a_{\max}	= accelerazione sismica massima;
g	= accelerazione di gravità = 980.7 cm/s ² ;
σ_{v0}	= pressione verticale totale alla profondità z dal p.c.;
σ'_{v0}	= pressione verticale efficace alla profondità z dal p.c.;
r_d	= coefficiente funzione della profondità dal p.c., valutabile secondo il seguente schema: $r_d = 1 - 0.00765z$ per $z \leq 9.15$ m $r_d = 1.174 - 0.0267z$ per $9.15 < z \leq 23$ m $r_d = 0.774 - 0.008z$ per $23 < z \leq 30$ m $r_d = 0.5$ per $z > 30$ m

MSF = coefficiente correttivo funzione della magnitudo del sisma.

Dopo aver caratterizzato il terreno attraverso l'interpretazione dei dati ottenuti da prove penetrometriche statiche CPT/CPTU, è stata eseguita una stima del rischio di liquefazione dei terreni sotto falda, in condizioni sismiche, mediante il metodo semplificato di "**Robertson e Wride**".

I metodi semplificati richiedono che venga definito un sisma di progetto, attraverso l'introduzione dell'accelerazione sismica orizzontale massima in superficie e della magnitudo di riferimento.

Tutti i metodi semplificati permettono di esprimere la predisposizione alla liquefazione del deposito attraverso un coefficiente di sicurezza, dato dal rapporto fra la resistenza al taglio mobilabile nello strato **CRR** ("Cyclic Resistance Ratio") e lo **sfuerzo tangenziale indotto dal sisma CSR** ("Cyclic Stress Ratio"). In pratica si avrà:

$$FS = \frac{CRR}{CSR}$$

Un deposito è considerato suscettibile di liquefazione se il coefficiente di sicurezza F_s è minore di 1.

La grandezza **CSR** dipende dai parametri del sisma di progetto (accelerazione sismica massima al suolo e magnitudo di progetto). **CRR** è funzione delle caratteristiche meccaniche dello strato e può essere ricavato direttamente attraverso correlazioni con i risultati di prove penetrometriche statiche.

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



La grandezza **CSR** viene ricavata attraverso la relazione:

$$CSR = 0.65 \cdot \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) \cdot r_d$$

dove:

- a_{max} = accelerazione massima alla superficie;
 g = accelerazione di gravità = 980.7 cm/s²;
 σ_{v0} = pressione verticale totale alla profondità z dal p.c.;
 σ'_{v0} = pressione verticale efficace alla profondità z dal p.c.;
 r_d = coefficiente funzione della profondità dal p.c., valutabile secondo il seguente schema:
 $r_d = 1 - 0.00765z$ per $z \leq 9.15$ m
 $r_d = 1.174 - 0.0267z$ per $9.15 < z \leq 23$ m
 $r_d = 0.774 - 0.008z$ per $23 < z \leq 30$ m
 $r_d = 0.5$ per $z > 30$ m

Il metodo di **Robertson e Wride** permette di correlare la resistenza al taglio **CRR** mobilitata nel terreno con i dati delle prove penetrometriche statiche (CPTE/U). La procedura di calcolo si basa sulle due seguenti equazioni:

$$CRR_{7.5} = 0.833 \cdot \left[\frac{(q_{c1n})_{cs}}{1000} + 0.05 \right] \quad \text{per } (q_{c1n})_{cs} < 50;$$

$$CRR_{7.5} = 93 \cdot \left[\frac{(q_{c1n})_{cs}}{1000} \right]^3 + 0.08 \quad \text{per } 50 \leq (q_{c1n})_{cs} < 160.$$

La grandezza $(q_{c1n})_{cs}$ rappresenta la resistenza alla punta normalizzata a circa 100 KPa e corretta per tenere conto della percentuale di fine presente.

Il valore di **CRR**_{7.5} è calcolato per un terremoto di magnitudo 7.5: per i terremoti di magnitudo minore o maggiore, **CRR**_{7.5} sarà corretto utilizzando la seguente relazione:

$$CRR = CRR_{7.5} \cdot MSF$$

Una stima del rischio di liquefazione complessivo lungo una verticale di calcolo viene fornita dal parametro indice di liquefazione **IL**. Tale indice viene definito dalla seguente relazione:



$$IL/LPI = \sum_{i=1}^{n} FW(z) \cdot \Delta z$$

dove:

n = numero degli intervalli di calcolo di Fs lungo la verticale;

F = 1-Fs per $Fs \leq 1$ e F = 0 per $Fs > 1$;

Δz = spessore dell'intervallo di calcolo;

W(z) = $10 - 0,5z$, con z = profondità di calcolo (massimo 20 m).

In base al valore di IL ottenuto è possibile fornire un'indicazione del rischio di liquefazione attraverso la seguente tabella:

IL/LPI	Rischio di liquefazione
IL=0	Molto basso
$0 < IL \leq 5$	Basso
$5 < IL \leq 15$	Alto
$15 < IL$	Molto alto

La verifica a liquefazione è stata svolta sia sulla verticale di prova CPTU, attraverso il software CLiq v. 1.7.1.6 prodotto da GeoLogisMiki, sia sulla verticale della prova CPT n°1, utilizzando il software LiqIT v. 4.7. prodotto sempre da GeoLogisMiki.

Le verifiche a liquefazione sono state eseguite, in via cautelativa, considerando una magnitudo di riferimento **M = 6.14**, un'accelerazione massima orizzontale **A_{max} = 0.316_g** (determinata sulla base dell'analisi RSL svolta).. Si riassumono nella seguente tabella i risultati ottenuti:

Prove	IL/LPI	Rischio di liquefazione
CPTU 1	8.09	Rischio alto
CPTU 2	11.19	Rischio alto
CPTU 3	11.48	Rischio alto
CPTU 4	8.07	Rischio alto
CPT 1	2.99	Rischio basso

Poiché le prove con piezocono CPTU sono caratterizzate da un ragguardevole dettaglio, nettamente superiore a quello ottenuto per le prove CPT, risulta cautelativo considerare attendibile un rischio di liquefazione alto nei riguardi l'area oggetto di studi.



7. CONCLUSIONI

Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione delle indagini eseguite in sito e in relazione alle verifiche eseguite, nei riguardi dell'area in cui verrà realizzato il comparto denominato "Via Pioppo", da edificarsi in prossimità di Via Pioppo, nel Comune di Cento (FE), è possibile affermare quanto segue:

- Dalla consultazione delle cartografie relative al PSC del Comune di Cento e della cartografia redatta dalla Regione Emilia Romagna, a seguito dell'ordinanza n.70/2012, **si evidenzia una potenziale verificabilità di fenomeni di liquefazione sismica, a causa della presenza di depositi superficiali sabbiosi, su gran parte della superficie areale del comparto**
- Sulla base delle indagini geotecniche CPT /CPTU eseguite si riscontra la presenza di depositi limosi/sabbiosi, tra la quota di -1.50 m da p.c. e -5.00 m da p.c.. I presenti depositi, per grado di addensamento e vicinanza al piano campagna, possono essere soggetti al fenomeno di liquefazione e generare instabilità geotecnica a fondazioni esistenti.
- Sempre il riferimento alle caratteristiche geotecniche del sottosuolo, sulla base delle indagini geognostiche svolte, è possibile evidenziare la presenza di depositi argillosi e depositi limo-sabbiosi, presenti tra la quota del piano campagna attuale e la quota di -8.50 m da p.c., con caratteristiche geotecniche scadenti. Allo stato di conoscenza attuale, la progettazione dei singoli interventi edilizi dovrà quindi prevedere un consolidamento del terreno o la realizzazione di fondazioni profonde, innestate e immerse nella prima unità geotecnica consistente, rilevabile oltre la quota di - 9.00 m da p.c.
- Sulla scorta delle indagini geofisiche eseguite è possibile classificare il sottosuolo, dal punto di vista sismico, con la **categoria D**. Considerando tale categoria, secondo l'approccio semplificato proposto dalle NNTC 2008, è possibile definire un'accelerazione massima alla superficie pari a **0.281 g**. Poiché l'area ricade, secondo le cartografie relative al PSC del comune di Cento, all'interno della fascia in cui devono essere predisposte analisi di terzo livello, è stata eseguita un'analisi monodimensionale in campo lineare della risposta sismica locale. Sulla base di tale analisi è stata definita un'accelerazione massima orizzontale di riferimento pari a **0.316 g**.

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



RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA inerente delle caratteristiche litologiche relative al nuovo comparto denominato "Via Pioppo", da edificarsi in prossimità di Via Pioppo, nel Comune di Cento (FE)
[Rif. 123/14]

- Le verifiche alla liquefazione, svolte per le prove CPTU, **hanno definito un rischio di liquefazione alto**. I depositi che risultano liquefacibili presenti dalla quota di -1.50 m da p.c. e -5.00 m da p.c. sono di natura incoerente limosa-sabbiosa e possiedono uno scarso grado di addensamento (densità relativa $D_r = 20-30\%$).
- In fase esecutiva occorrerà approfondire la campagna geognostica al fine di valutare con precisione le caratteristiche geotecniche/litostratifiche dell'area di sedime di ogni fabbricato, valutando puntualmente il rischio liquefazione e definendo con precisione la tipologia di fondazioni da utilizzare per ogni singolo intervento in progetto.

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

Modena, 26 marzo 2014

Dott. Geol. Pier Luigi Dallari



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



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

GEO GROUP s.r.l.

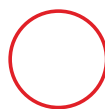
Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche
182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5332019 - E-mail: geo.group@libero.it

Tavola C.T.R. n. 202_NE



Tav. n. 1 "Carta Corografica"

Scala 1: 25000

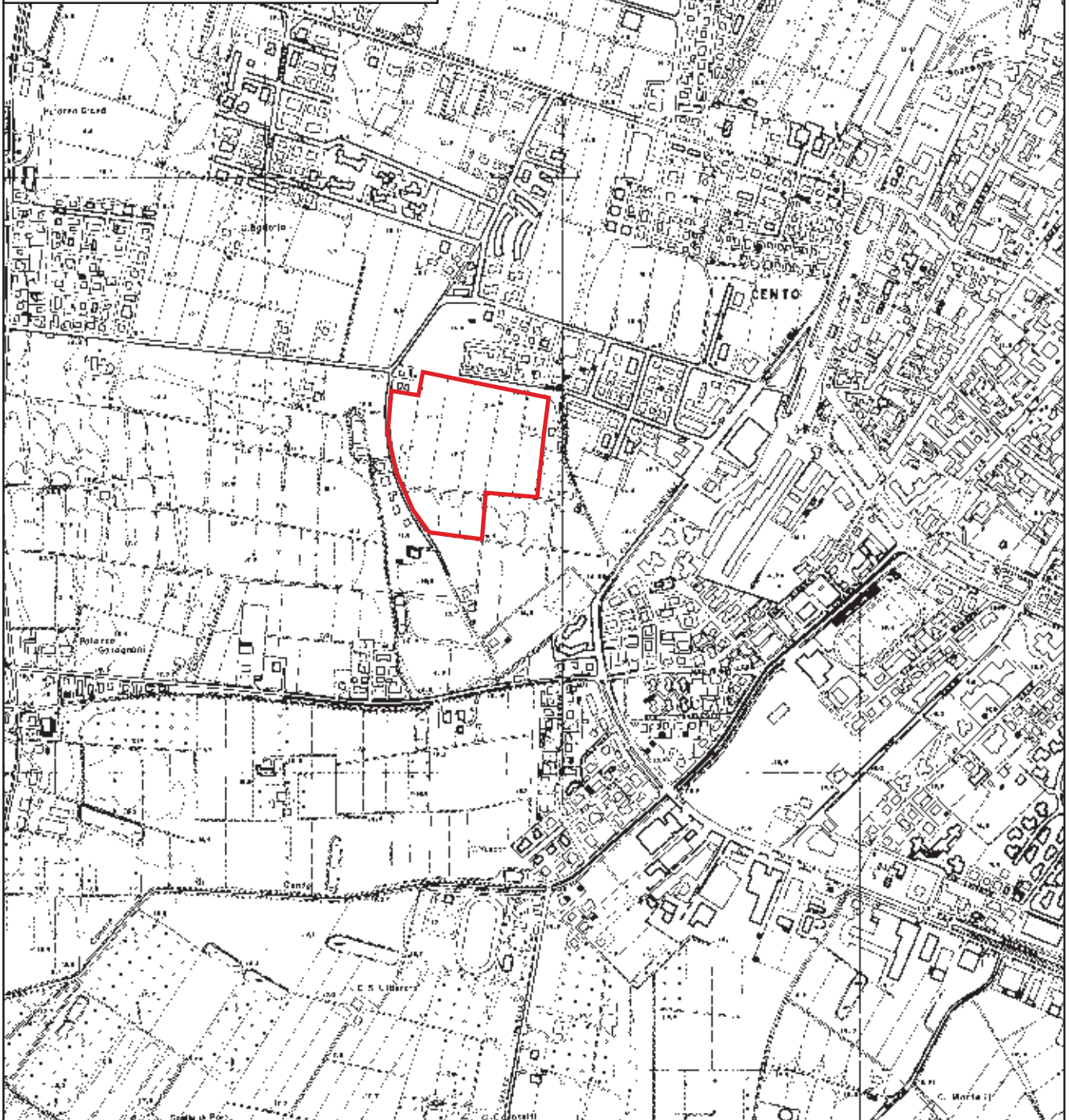


Area di interesse

GEO GROUP s.r.l.

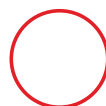
Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche
182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5332019 - E-mail: geo.group@libero.it

Sezione C.T.R. n. 202080



Tav. n. 2 "Carta topografica"

Scala 1: 10000



Area di interesse

GEO GROUP 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 Maps”)

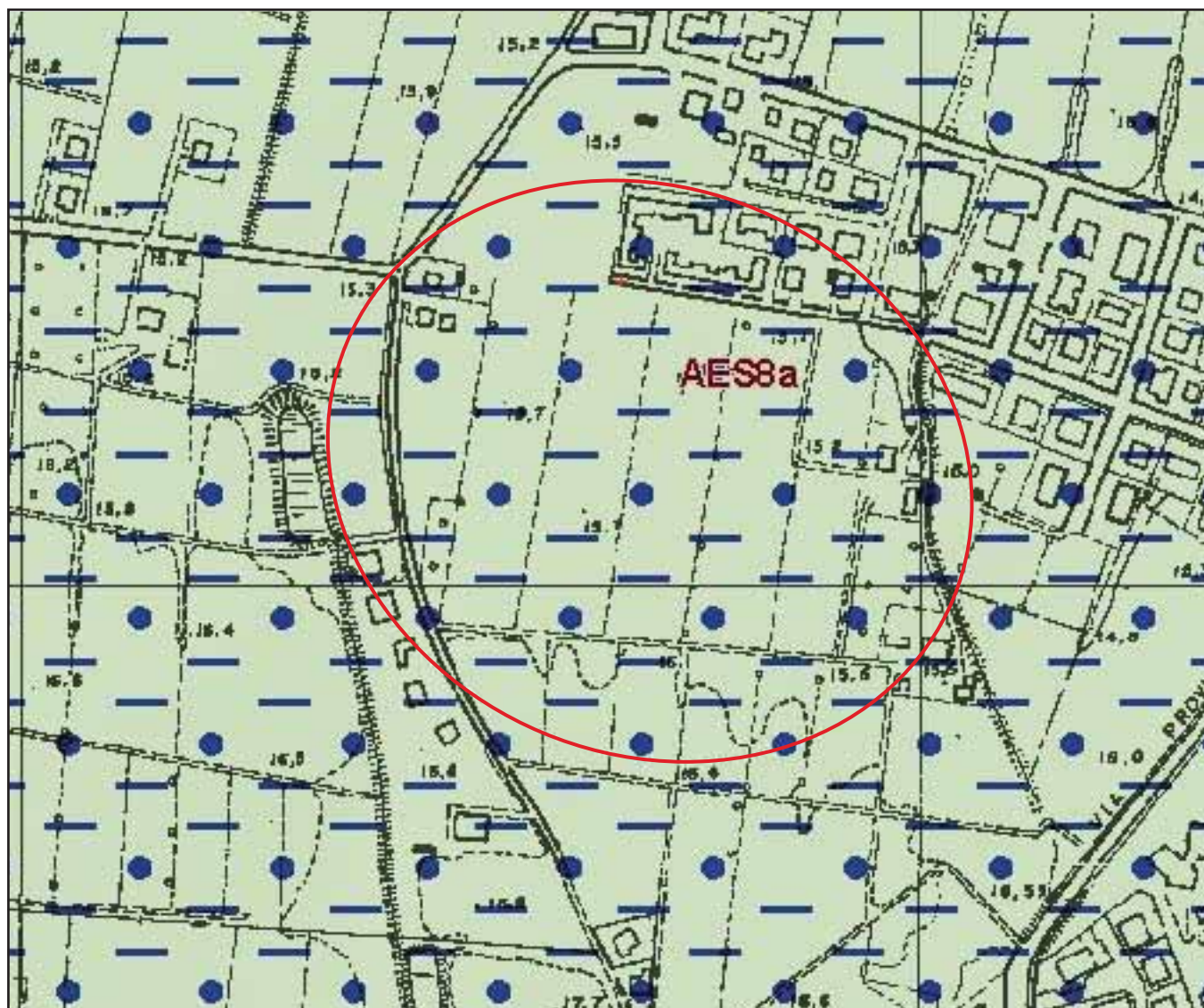
Scala grafica



Area oggetto di studio

GEO GROUP 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. 4 "Carta della litologia di superficie" Scala 1: 5000



Legenda



Area di interesse

Ambiente deposizionale e litologia affiorante



AES8a - Unità di Modena

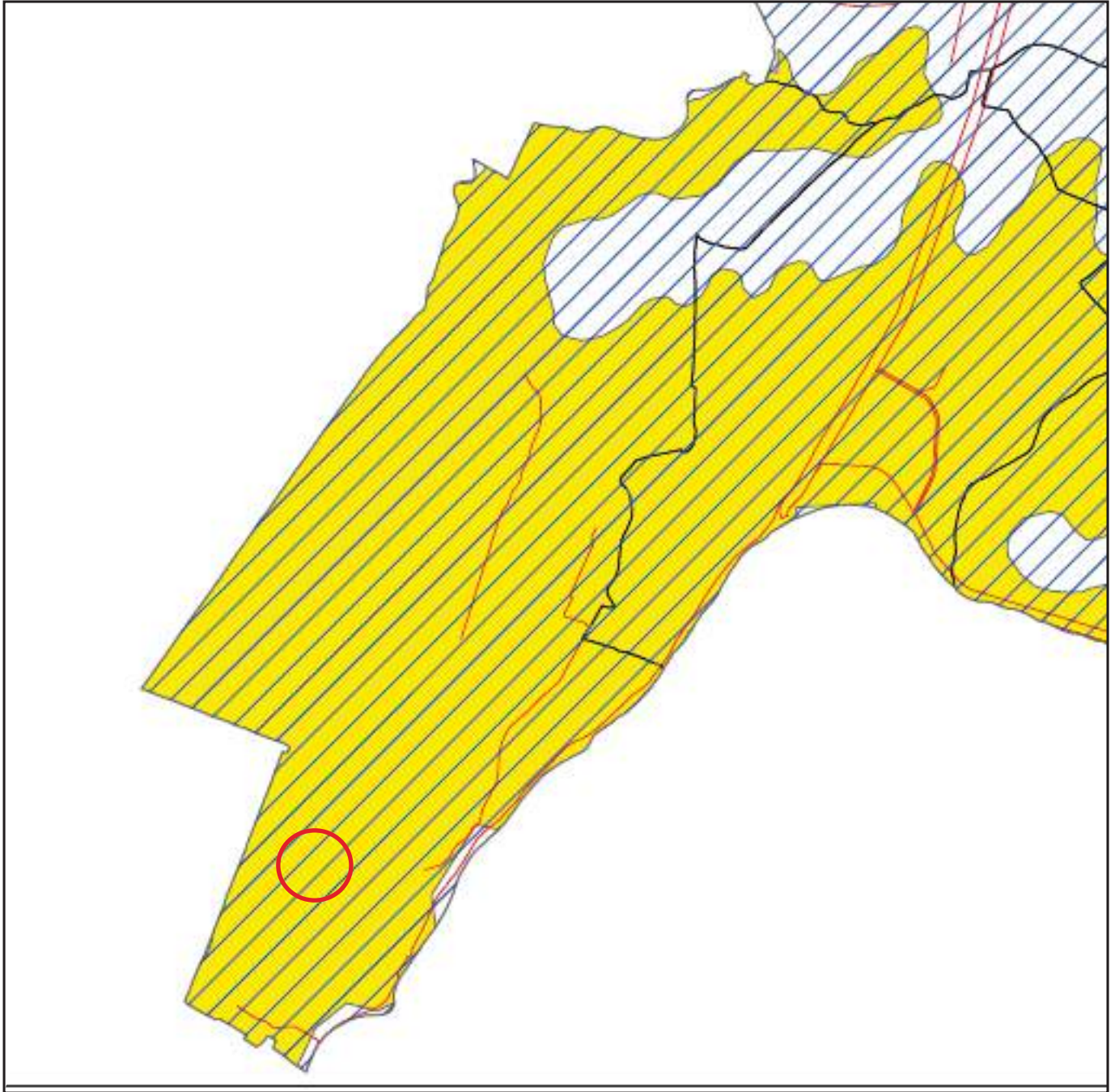
Tessitura

Limo sabbioso

ADO2a - Formazione di monte Adone - membro delle Ganzole

GEO GROUP 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. 5 "Carta degli effetti di sito"


PSC Comune di Cento


Scala grafica




Area oggetto di studio

Legenda

 1L-depositi_che_possono_determinare_amplificazione

 Depositi suscettibili di liquefazione

 Versanti potenzialmente instabili

GEO GROUP 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. 6 "Carta del potenziale di liquefazione"

PSC Comune di Cento

Scala grafica



Area oggetto di studio

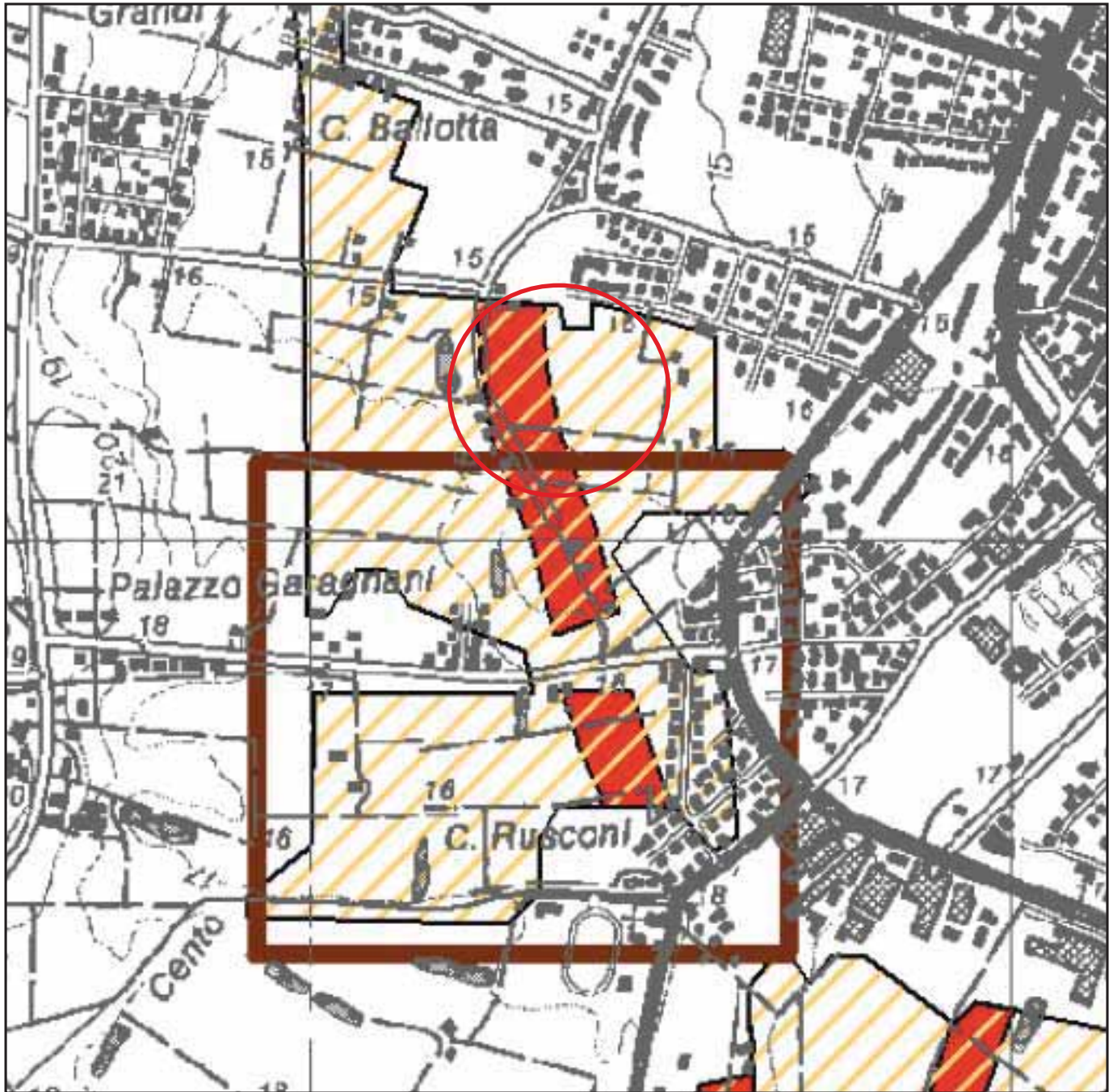
Legenda

Potenziale di liquefazione

- 0-5 Basso
- 5-15 Elevato
- >15 Molto elevato

GEO GROUP 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. 7 "Carta del rischio potenziale"

PSC Comune di Cento
Scala grafica



Area oggetto di studio

Legenda

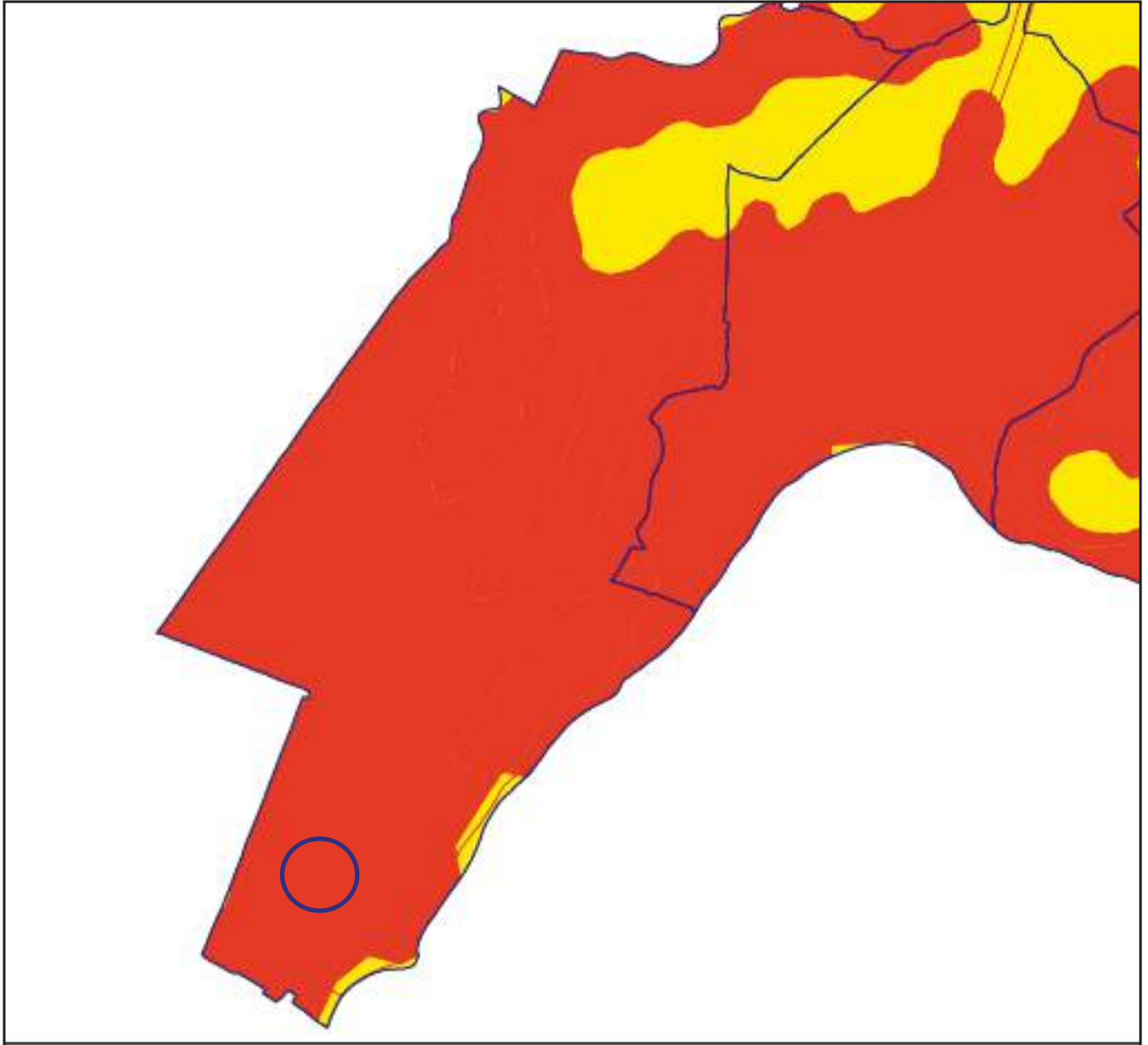
Tipologia di rischio potenziale



Aree soggette a rischio idrogeologico determinato dalla presenza di depositi poroso-permeabili

GEO GROUP 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. 8 “Livelli approfondimento”

PSC Comune di Cento

Scala grafica



Area oggetto di studio

Legenda



Aree non suscettibili di effetti di sito



Aree che necessitano il Secondo Livello di Approfondimento



Aree che necessitano il Terzo Livello d approfondimento

GEO GROUP 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. 9 "Carta sismotettonica"

Regione Emilia Romagna
Scala grafica



Area oggetto di studio

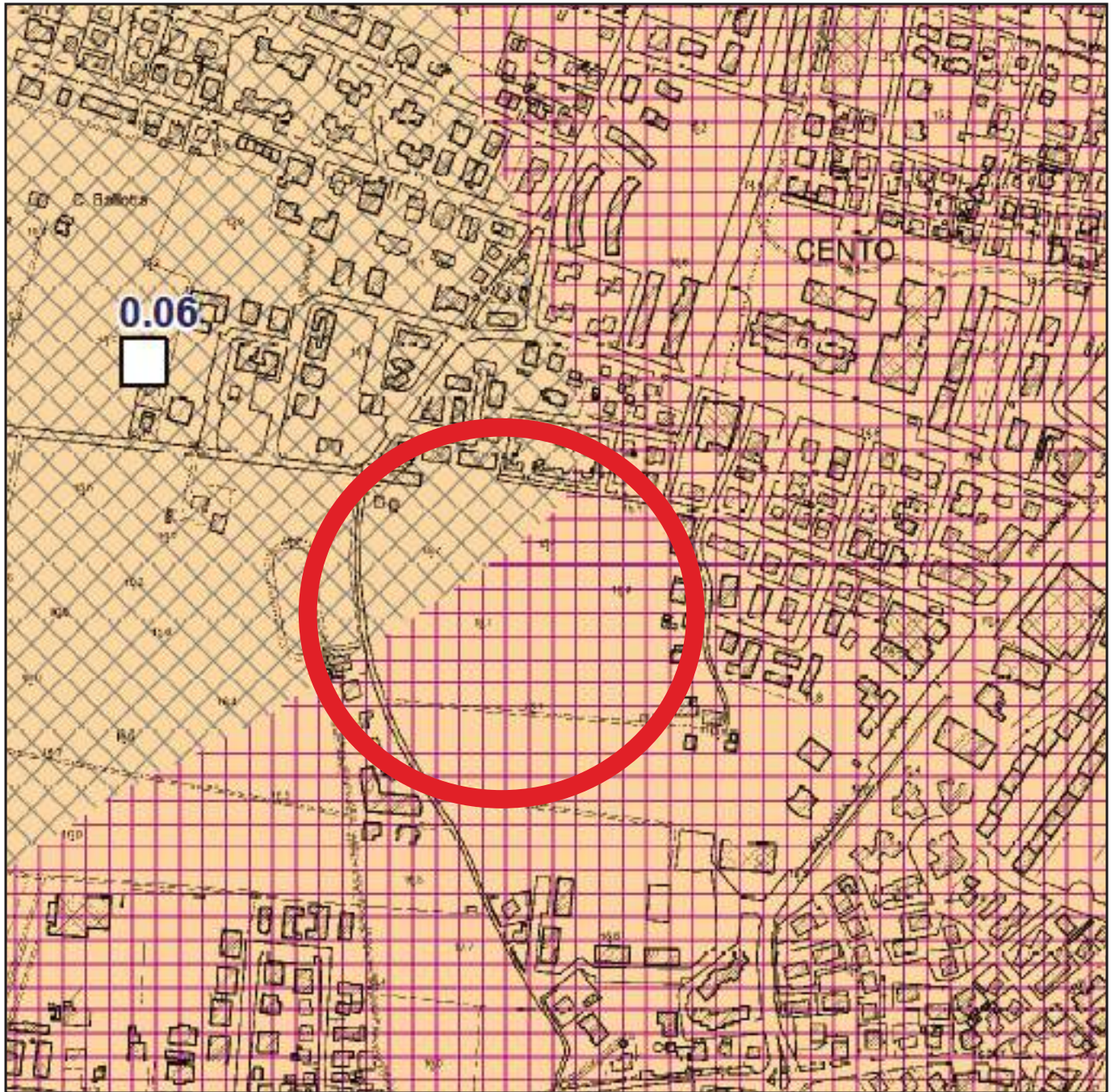
Legenda



Isobate della base del Sintema Emiliano
romagnolo superiore (Bedrock Sismico)

GEO GROUP 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. 10 "Carta dei fattori di amplificazione e e del rischio di liquefazione"

Regione Emilia Romagna

Scala grafica



Area oggetto di studio

LQ1

FAPGA = 1.5; FH 0.1 - 0.5s = 1.8; FH 0.5 - 1.0s = 2.5

Stima con abacchi DAL 112/2007

Presenza di terreni suscettibili di liquefazione già nei primi 10 m dal piano campagna

LQ2

FAPGA = 1.5; FH 0.1 - 0.5s = 1.8; FH 0.5 - 1.0s = 2.5

Stima con abacchi DAL 112/2007

Presenza di terreni suscettibili di liquefazione tra 10 e 20 m dal piano campagna

Legenda

GEO GROUP 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. 11 "Indagini geotecniche"

Scala grafica

Legenda



Prova penetrometrica statica
con punta meccanica CPT



Prova penetrometrica statica
con punta elettrica CPTU



Acquisizione a stazione singola
di rumore sismico naturale (HVSr)



Indagine sismica MASW



Indagine sismica Re.Mi/ESAC



Prova penetrometrica statica con
cono sismico e piezocono SCPTU
eseguita da Elletipi s.r.l.
(database indagini Regione Emilia
Romagna)

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 corredate di interpretazione geotecnica

LEGENDA VALORI DI RESISTENZA FATTORI DI CONVERSIONE

Strumento utilizzato:
GOUDA 200 kN -

Caratteristiche:

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

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

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

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

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

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

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

CONVERSIONI

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

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

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

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

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

1 t = 1000 kg \approx 10 kN

LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE CORRELAZIONI GENERALI

Valutazioni in base al rapporto: $F = (qc / fs)$

Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977

Valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

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

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

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

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

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

**PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI**

CPT

1

riferimento

090-2014

certificato n°

4994

Committente: **Studio tecnico**
Cantiere: **Studio del terreno di fondazione**
Località: **Cento, Comparto Via Pioppo**

U.M.: **MPa** Data eseg.: **08/03/2014**
Pagina: **1/4** Data certificato: **08/03/2014**
Elaborato: Falda: **-0.70 m** da quota inizio

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %
0.20	0.00	0.00		0.00	100.00	0		15.20	26.00	52.00		2.55	173.00	15	6.7
0.40	14.00	29.00		1.37	60.00	23	4.3	15.40	33.00	59.00		3.23	147.00	22	4.5
0.60	7.00	16.00		0.69	67.00	10	9.6	15.60	35.00	57.00		3.43	173.00	20	4.9
0.80	7.00	17.00		0.69	33.00	21	4.7	15.80	40.00	66.00		3.92	233.00	17	5.8
1.00	8.00	13.00		0.78	53.00	15	6.6	16.00	37.00	72.00		3.63	253.00	15	6.8
1.20	16.00	24.00		1.57	60.00	27	3.8	16.20	32.00	70.00		3.14	187.00	17	5.8
1.40	18.00	27.00		1.76	40.00	45	2.2	16.40	47.00	75.00		4.61	253.00	19	5.4
1.60	7.00	13.00		0.69	27.00	26	3.9	16.60	48.00	86.00		4.70	253.00	19	5.3
1.80	6.00	10.00		0.59	33.00	18	5.5	16.80	46.00	84.00		4.51	200.00	23	4.3
2.00	6.00	11.00		0.59	20.00	30	3.3	17.00	37.00	67.00		3.63	160.00	23	4.3
2.20	6.00	9.00		0.59	27.00	22	4.5	17.20	33.00	57.00		3.23	140.00	24	4.2
2.40	4.00	8.00		0.39	20.00	20	5.0	17.40	33.00	54.00		3.23	120.00	28	3.6
2.60	2.00	5.00		0.20	13.00	15	6.5	17.60	38.00	56.00		3.72	187.00	20	4.9
2.80	2.00	4.00		0.20	20.00	10	10.0	17.80	56.00	84.00		5.49	220.00	25	3.9
3.00	10.00	13.00		0.98	27.00	37	2.7	18.00	58.00	91.00		5.68	180.00	32	3.1
3.20	9.00	13.00		0.88	20.00	45	2.2	18.20	60.00	87.00		5.88	213.00	28	3.6
3.40	16.00	19.00		1.57	60.00	27	3.8	18.40	47.00	79.00		4.61	153.00	31	3.3
3.60	11.00	20.00		1.08	20.00	55	1.8	18.60	41.00	64.00		4.02	80.00	51	2.0
3.80	16.00	19.00		1.57	33.00	48	2.1	18.80	50.00	62.00		4.90	160.00	31	3.2
4.00	23.00	28.00		2.25	67.00	34	2.9	19.00	41.00	65.00		4.02	193.00	21	4.7
4.20	19.00	29.00		1.86	60.00	32	3.2	19.20	39.00	68.00		3.82	233.00	17	6.0
4.40	14.00	23.00		1.37	33.00	42	2.4	19.40	35.00	70.00		3.43	240.00	15	6.9
4.60	19.00	24.00		1.86	33.00	58	1.7	19.60	39.00	75.00		3.82	247.00	16	6.3
4.80	14.00	19.00		1.37	33.00	42	2.4	19.80	40.00	77.00		3.92	240.00	17	6.0
5.00	4.00	9.00		0.39	20.00	20	5.0	20.00	42.00	78.00		4.12			
5.20	4.00	7.00		0.39	27.00	15	6.8								
5.40	5.00	9.00		0.49	27.00	19	5.4								
5.60	4.00	8.00		0.39	27.00	15	6.8								
5.80	5.00	9.00		0.49	33.00	15	6.6								
6.00	5.00	10.00		0.49	40.00	13	8.0								
6.20	7.00	13.00		0.69	40.00	18	5.7								
6.40	6.00	12.00		0.59	47.00	13	7.8								
6.60	8.00	15.00		0.78	60.00	13	7.5								
6.80	10.00	19.00		0.98	60.00	17	6.0								
7.00	9.00	18.00		0.88	60.00	15	6.7								
7.20	8.00	17.00		0.78	67.00	12	8.4								
7.40	9.00	19.00		0.88	67.00	13	7.4								
7.60	10.00	20.00		0.98	60.00	17	6.0								
7.80	9.00	18.00		0.88	67.00	13	7.4								
8.00	10.00	20.00		0.98	73.00	14	7.3								
8.20	11.00	22.00		1.08	67.00	16	6.1								
8.40	8.00	18.00		0.78	53.00	15	6.6								
8.60	9.00	17.00		0.88	67.00	13	7.4								
8.80	8.00	18.00		0.78	67.00	12	8.4								
9.00	18.00	28.00		1.76	93.00	19	5.2								
9.20	20.00	34.00		1.96	107.00	19	5.4								
9.40	27.00	43.00		2.65	7.00	386	0.3								
9.60	33.00	34.00		3.23	120.00	28	3.6								
9.80	31.00	49.00		3.04	127.00	24	4.1								
10.00	35.00	54.00		3.43	120.00	29	3.4								
10.20	32.00	50.00		3.14	133.00	24	4.2								
10.40	27.00	47.00		2.65	113.00	24	4.2								
10.60	26.00	43.00		2.55	153.00	17	5.9								
10.80	33.00	56.00		3.23	160.00	21	4.8								
11.00	33.00	57.00		3.23	127.00	26	3.8								
11.20	37.00	56.00		3.63	27.00	137	0.7								
11.40	32.00	36.00		3.14	127.00	25	4.0								
11.60	36.00	55.00		3.53	147.00	24	4.1								
11.80	36.00	58.00		3.53	160.00	23	4.4								
12.00	44.00	68.00		4.31	167.00	26	3.8								
12.20	41.00	66.00		4.02	167.00	25	4.1								
12.40	36.00	61.00		3.53	140.00	26	3.9								
12.60	39.00	60.00		3.82	147.00	27	3.8								
12.80	41.00	63.00		4.02	167.00	25	4.1								
13.00	43.00	68.00		4.21	167.00	26	3.9								
13.20	43.00	68.00		4.21	220.00	20	5.1								
13.40	32.00	65.00		3.14	153.00	21	4.8								
13.60	43.00	66.00		4.21	173.00	25	4.0								
13.80	39.00	65.00		3.82	193.00	20	4.9								
14.00	39.00	68.00		3.82	173.00	23	4.4								
14.20	35.00	61.00		3.43	213.00	16	6.1								
14.40	29.00	61.00		2.84	180.00	16	6.2								
14.60	29.00	56.00		2.84	173.00	17	6.0								
14.80	32.00	58.00		3.14	173.00	18	5.4								
15.00	29.00	55.00		2.84	173.00	17	6.0								

H = profondità
L1 = prima lettura (punta)
L2 = seconda lettura (punta + laterale)
Lt = terza lettura (totale)
CT = 10.00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta
fs = resistenza laterale calcolata
0.20 m sopra quota qc
F = rapporto Begemann (qc / fs)
Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100

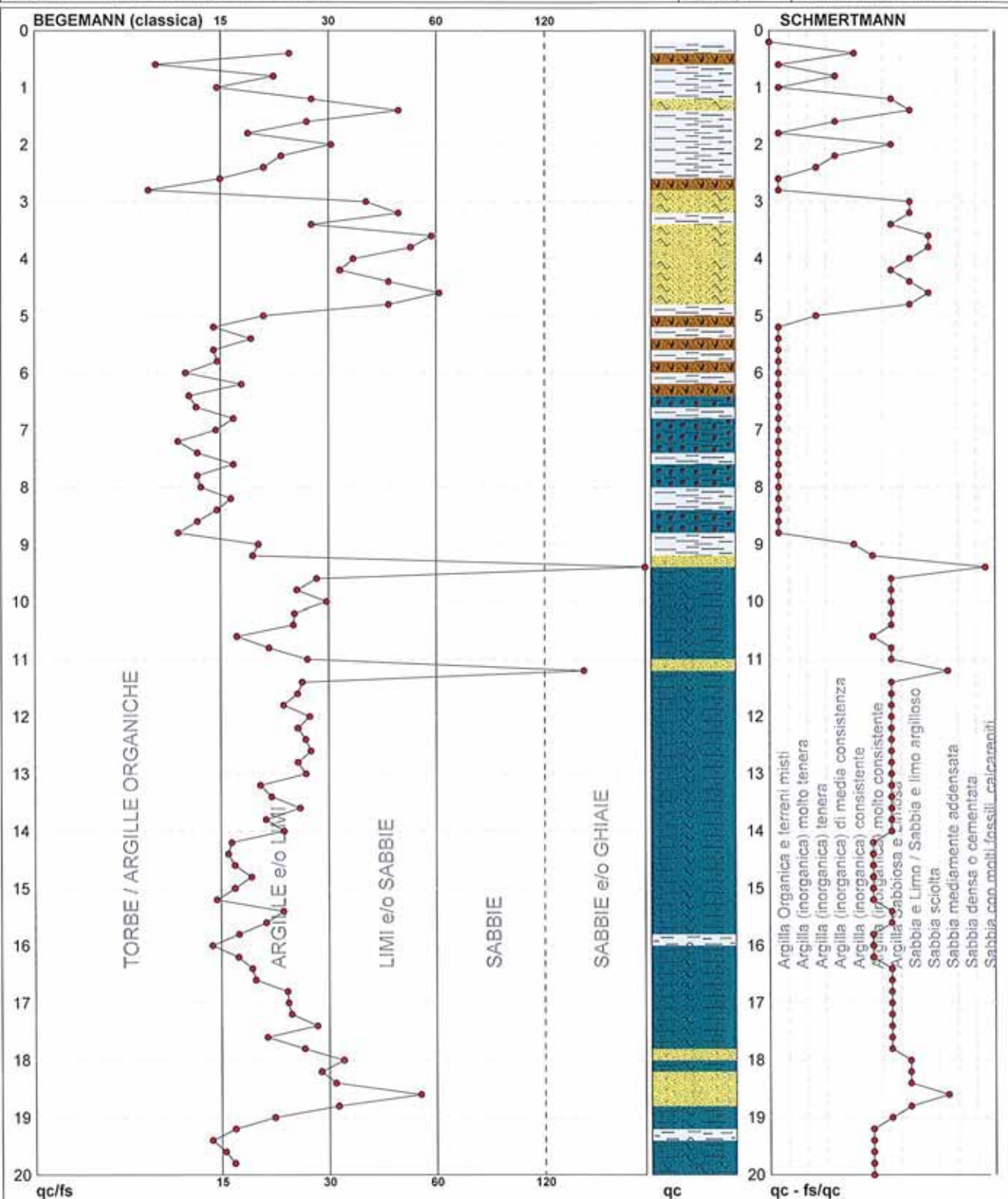
PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT	1
riferimento	090-2014
certificato n°	4994

Committente: **Studio tecnico**
 Cantiere: **Studio del terreno di fondazione**
 Località: **Cento, Comparto Via Pioppo**

U.M.: **MPa** Data eseg.: **08/03/2014**
 Scala: **1:100**
 Pagina: **3/4** Data certificato: **08/03/2014**
 Elaborato: Falda: **-0.70 m** da quota inizio



Torbe / Argille org. :	17 punti, 17.17%	Argilla Organica e terreni misti:	24 punti, 24.24%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	36 punti, 36.36%
Argille e/o Limi :	66 punti, 66.67%	Argilla (inorganica) tenera:	2 punti, 2.02%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	10 punti, 10.10%
Limi e/o Sabbie :	14 punti, 14.14%	Argilla (inorganica) media consist.:	3 punti, 3.03%	Sabbia sciolta:	3 punti, 3.03%
Sabbie e/o Ghiaie :	2 punti, 2.02%	Argilla (inorganica) consistente:	2 punti, 2.02%	Sabbia mediamente addensata:	2 punti, 2.02%
		Argilla (inorganica) molto consist.:	15 punti, 15.15%	Sabbia con molti fossili, calcareniti:	1 punto, 1.01%

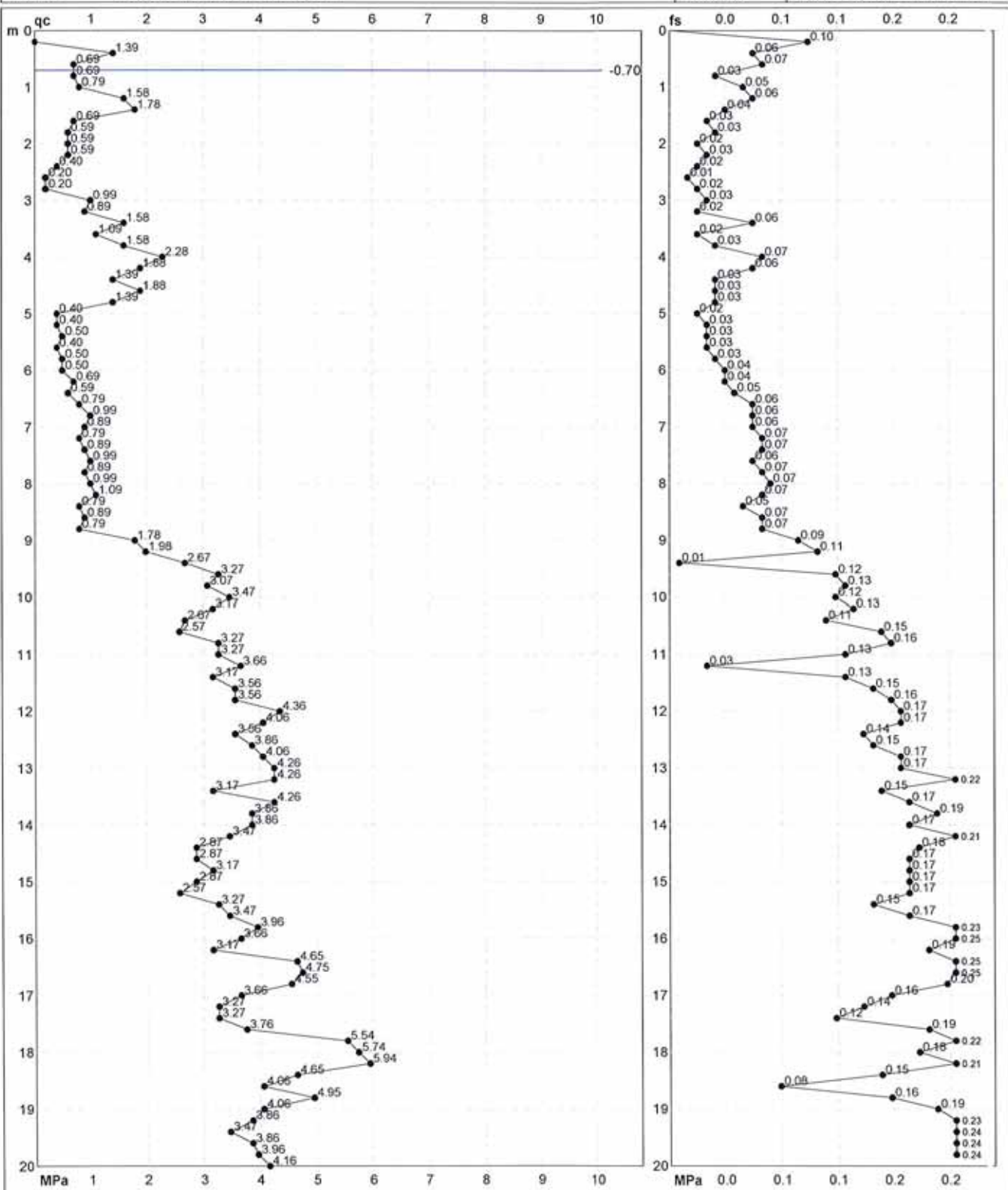
PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI DI RESISTENZA

CPT	1
riferimento	090-2014
certificato n°	4994

Committente: Studio tecnico
Cantiere: Studio del terreno di fondazione
Località: Cento, Comparto Via Pioppo

U.M.: MPa Data exec.: 08/03/2014
Scala: 1:100
Pagina: 2/4 Data certificato: 08/03/2014
Elaborato: Falda: -0.70 m da quota inizio



Penetrometro: GOUDA 200 kN	Preforo: m
Responsabile:	Corr.astine: kN/ml
Assistente:	Corr.astine: kN/ml

**PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI**

CPT

2

riferimento **102-2014**

certificato n° **5377**

Committente: **Studio tecnico**
Cantiere: **Studio terreno di fondazione**
Località: **Cento, via Pioppo**

U.M.: **MPa** Data eseg.: **19/03/2014**
Pagina: **1/4** Data certificato: **26/03/2014**
Elaborato: Falda: **-0.70 m** da p.c

H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf	H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf
m	-	-	-	MPa	kPa	-	%	m	-	-	-	MPa	kPa	-	%
0.20	1.00	3.00		0.10	13.00	8	13.0	15.20	25.00	40.00		2.45	107.00	23	4.3
0.40	4.00	6.00		0.39	40.00	10	10.0	15.40	26.00	42.00		2.55	107.00	24	4.1
0.60	9.00	15.00		0.88	67.00	13	7.4	15.60	24.00	40.00		2.35	93.00	26	3.9
0.80	7.00	17.00		0.69	60.00	12	8.6	15.80	29.00	43.00		2.84	93.00	31	3.2
1.00	8.00	17.00		0.78	33.00	24	4.1	16.00	30.00	44.00		2.94	80.00	38	2.7
1.20	7.00	12.00		0.69	33.00	21	4.7	16.20	44.00	56.00		4.31	67.00	66	1.5
1.40	8.00	13.00		0.78	27.00	30	3.4	16.40	38.00	48.00		3.72	133.00	29	3.5
1.60	8.00	12.00		0.78	33.00	24	4.1	16.60	28.00	48.00		2.74	80.00	35	2.9
1.80	14.00	19.00		1.37	27.00	52	1.9	16.80	34.00	46.00		3.33	107.00	32	3.1
2.00	11.00	15.00		1.08	33.00	33	3.0	17.00	36.00	52.00		3.53	113.00	32	3.1
2.20	17.00	22.00		1.67	33.00	52	1.9	17.20	36.00	53.00		3.53	120.00	30	3.3
2.40	10.00	15.00		0.98	40.00	25	4.0	17.40	30.00	48.00		2.94	93.00	32	3.1
2.60	11.00	17.00		1.08	33.00	33	3.0	17.60	33.00	47.00		3.23	93.00	35	2.8
2.80	12.00	17.00		1.18	33.00	36	2.8	17.80	30.00	44.00		2.94	93.00	32	3.1
3.00	13.00	18.00		1.27	27.00	48	2.1	18.00	24.00	38.00		2.35	107.00	22	4.5
3.20	14.00	18.00		1.37	40.00	35	2.9	18.20	24.00	40.00		2.35	107.00	22	4.5
3.40	13.00	19.00		1.27	20.00	65	1.5	18.40	36.00	52.00		3.53	127.00	28	3.5
3.60	15.00	18.00		1.47	13.00	115	0.9	18.60	40.00	59.00		3.92	153.00	26	3.8
3.80	13.00	15.00		1.27	13.00	100	1.0	18.80	38.00	61.00		3.72	160.00	24	4.2
4.00	12.00	14.00		1.18	20.00	60	1.7	19.00	28.00	52.00		2.74	93.00	30	3.3
4.20	11.00	14.00		1.08	33.00	33	3.0	19.20	31.00	45.00		3.04	67.00	46	2.2
4.40	16.00	21.00		1.57	33.00	48	2.1	19.40	37.00	47.00		3.63	120.00	31	3.2
4.60	15.00	20.00		1.47	33.00	45	2.2	19.60	26.00	44.00		2.55	93.00	28	3.6
4.80	16.00	21.00		1.57	20.00	80	1.3	19.80	27.00	41.00		2.65	133.00	20	4.9
5.00	15.00	18.00		1.47	40.00	38	2.7	20.00	35.00	56.00		2.94			
5.20	19.00	25.00		1.86	13.00	146	0.7								
5.40	20.00	22.00		1.96	13.00	154	0.7								
5.60	12.00	14.00		1.18	33.00	36	2.8								
5.80	5.00	10.00		0.49	27.00	19	5.4								
6.00	5.00	9.00		0.49	13.00	38	2.6								
6.20	5.00	7.00		0.49	20.00	25	4.0								
6.40	6.00	9.00		0.59	27.00	22	4.5								
6.60	7.00	11.00		0.69	27.00	26	3.9								
6.80	8.00	12.00		0.78	33.00	24	4.1								
7.00	8.00	13.00		0.78	33.00	24	4.1								
7.20	9.00	14.00		0.88	40.00	23	4.4								
7.40	9.00	15.00		0.88	47.00	19	5.2								
7.60	8.00	15.00		0.78	53.00	15	6.6								
7.80	8.00	16.00		0.78	47.00	17	5.9								
8.00	9.00	16.00		0.88	53.00	17	5.9								
8.20	9.00	17.00		0.88	53.00	17	5.9								
8.40	11.00	19.00		1.08	60.00	18	5.5								
8.60	11.00	20.00		1.08	67.00	16	6.1								
8.80	12.00	22.00		1.18	67.00	18	5.6								
9.00	13.00	23.00		1.27	80.00	16	6.2								
9.20	13.00	25.00		1.27	87.00	15	6.7								
9.40	19.00	32.00		1.86	113.00	17	5.9								
9.60	30.00	47.00		2.94	173.00	17	5.8								
9.80	31.00	57.00		3.04	187.00	17	6.0								
10.00	33.00	61.00		3.23	220.00	15	6.7								
10.20	31.00	64.00		3.04	200.00	16	6.5								
10.40	28.00	58.00		2.74	193.00	15	6.9								
10.60	28.00	57.00		2.74	187.00	15	6.7								
10.80	29.00	57.00		2.84	180.00	16	6.2								
11.00	33.00	60.00		3.23	180.00	18	5.5								
11.20	31.00	58.00		3.04	193.00	16	6.2								
11.40	34.00	63.00		3.33	193.00	18	5.7								
11.60	30.00	59.00		2.94	173.00	17	5.8								
11.80	26.00	52.00		2.55	147.00	18	5.7								
12.00	30.00	52.00		2.94	140.00	21	4.7								
12.20	35.00	56.00		3.43	187.00	19	5.3								
12.40	37.00	65.00		3.63	200.00	19	5.4								
12.60	37.00	67.00		3.63	207.00	18	5.6								
12.80	33.00	64.00		3.23	213.00	15	6.5								
13.00	32.00	64.00		3.14	187.00	17	5.8								
13.20	41.00	69.00		4.02	187.00	22	4.6								
13.40	42.00	70.00		4.12	133.00	32	3.2								
13.60	30.00	50.00		2.94	120.00	25	4.0								
13.80	28.00	46.00		2.74	133.00	21	4.8								
14.00	35.00	55.00		3.43	100.00	35	2.9								
14.20	36.00	51.00		3.53	133.00	27	3.7								
14.40	40.00	60.00		3.92	160.00	25	4.0								
14.60	35.00	59.00		3.43	133.00	26	3.8								
14.80	26.00	46.00		2.55	107.00	24	4.1								
15.00	33.00	49.00		3.23	100.00	33	3.0								

H = profondità
L1 = prima lettura (punta)
L2 = seconda lettura (punta + laterale)
Lt = terza lettura (totale)
CT = 10.00 costante di trasformazione
qc = resistenza di punta
fs = resistenza laterale calcolata alla stessa quota di qc
F = rapporto Begemann (qc / fs)
Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100

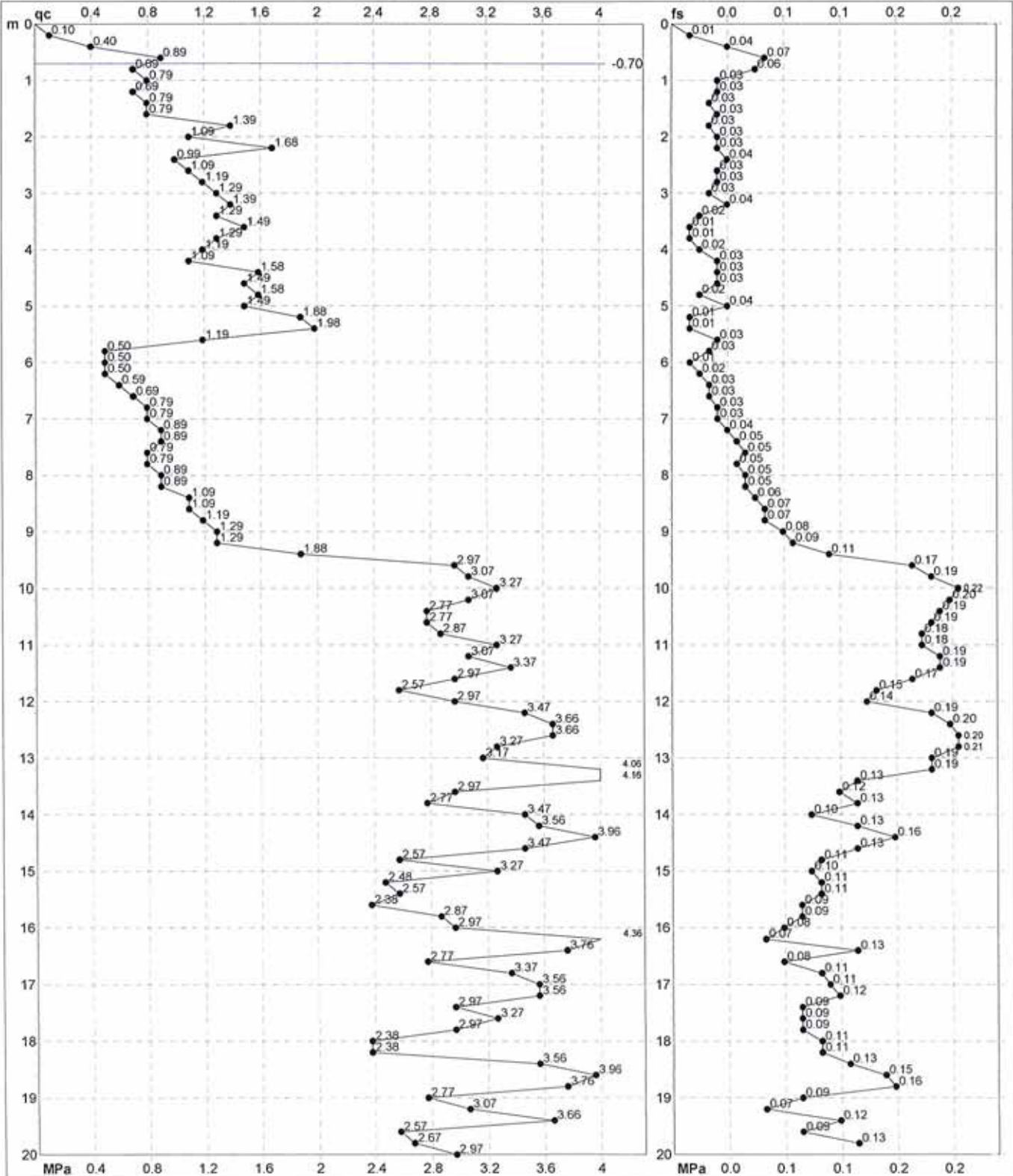
PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI DI RESISTENZA

CPT	2
referimento	102-2014
certificato n°	5377

Committente: Studio tecnico
Cantiere: Studio terreno di fondazione
Località: Cento, via Pioppo

U.M.: MPa Data exec.: 19/03/2014
Scala: 1:100
Pagina: 2/4 Data certificato: 26/03/2014
Elaborato: Falda: -0.70 m da p.c.



Penetrometro: Pagani TG63-100	Preforo: m
Responsabile:	Corr.astine: kN/ml
Assistente:	Corr.astine: kN/ml

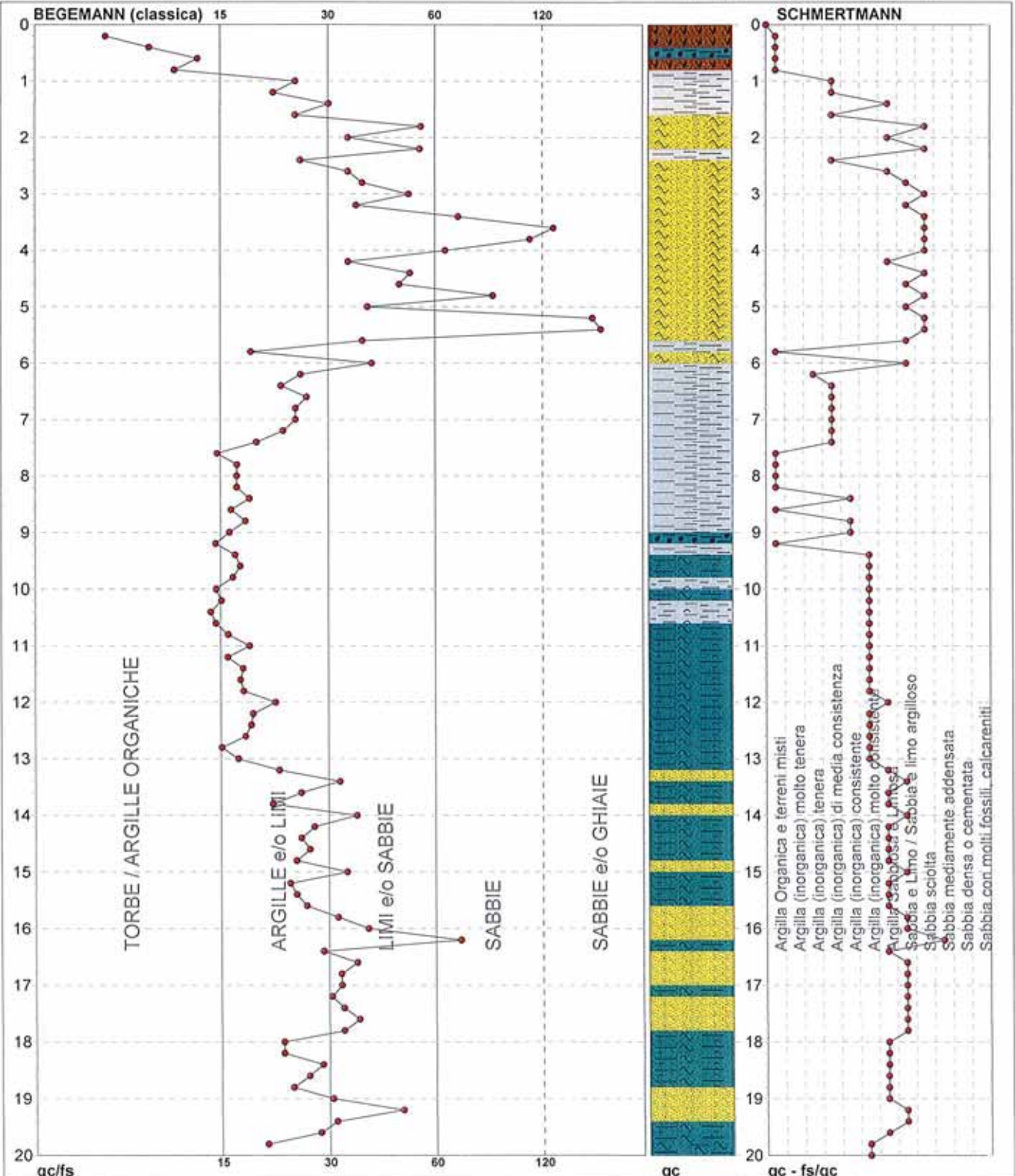
PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT	2
riferimento	102-2014
certificato n°	5377

Committente: Studio tecnico
Cantiere: Studio terreno di fondazione
Località: Cento, via Pioppo

U.M.: MPa Data eseg.: 19/03/2014
Scala: 1:100
Pagina: 3/4 Data certificato: 26/03/2014
Elaborato: Falda: -0.70 m da p.c.



Torbe / Argille org. :	8 punti, 8.08%	Argilla Organica e terreni misti:	11 punti, 11.11%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	23 punti, 23.23%
Argille e/o Limi :	56 punti, 56.57%	Argilla (inorganica) tenera:	1 punto, 1.01%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	20 punti, 20.20%
Limi e/o Sabbie :	28 punti, 28.28%	Argilla (inorganica) media consist.:	10 punti, 10.10%	Sabbia sciolta:	11 punti, 11.11%
Sabbie:	5 punti, 5.05%	Argilla (inorganica) consistente:	3 punti, 3.03%	Sabbia mediamente addensata:	1 punto, 1.01%
Sabbie e/o Ghiaie :	2 punti, 2.02%	Argilla (inorganica) molto consist.:	19 punti, 19.19%		

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

CPT	3
referimento	107-2014
certificato n°	5378

Committente: Studio tecnico
Cantiere: Studio terreno di fondazione
Località: Cento, via pioppo

U.M.: MPa Data eseg.: 24/03/2014
Pagina: 1/4 Data certificato: 26/03/2014
Elaborato: Falda: -3.00 m da p.c.

H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf	H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf
m	-	-	-	MPa	kPa	-	%	m	-	-	-	MPa	kPa	-	%
0.20	0.00	0.00		0.00	13.00	0		15.20	28.00	44.00		2.74	107.00	26	3.8
0.40	9.00	11.00		0.88	40.00	23	4.4	15.40	26.00	42.00		2.55	107.00	24	4.1
0.60	12.00	18.00		1.18	73.00	16	6.1	15.60	24.00	40.00		2.35	93.00	26	3.9
0.80	8.00	19.00		0.78	47.00	17	5.9	15.80	29.00	43.00		2.84	93.00	31	3.2
1.00	13.00	20.00		1.27	27.00	48	2.1	16.00	30.00	44.00		2.94	80.00	38	2.7
1.20	10.00	14.00		0.98	27.00	37	2.7	16.20	40.00	52.00		3.92	67.00	60	1.7
1.40	7.00	11.00		0.69	27.00	26	3.9	16.40	38.00	48.00		3.72	113.00	34	3.0
1.60	6.00	10.00		0.59	47.00	13	7.8	16.60	28.00	45.00		2.74	80.00	35	2.9
1.80	7.00	14.00		0.69	20.00	35	2.9	16.80	34.00	46.00		3.33	107.00	32	3.1
2.00	6.00	9.00		0.59	20.00	30	3.3	17.00	36.00	52.00		3.53	113.00	32	3.1
2.20	5.00	8.00		0.49	13.00	38	2.6	17.20	35.00	52.00		3.43	120.00	29	3.4
2.40	4.00	6.00		0.39	20.00	20	5.0	17.40	28.00	46.00		2.74	100.00	28	3.6
2.60	5.00	8.00		0.49	27.00	19	5.4	17.60	29.00	44.00		2.84	93.00	31	3.2
2.80	5.00	9.00		0.49	13.00	38	2.6	17.80	24.00	38.00		2.35	93.00	26	3.9
3.00	11.00	13.00		1.08	20.00	55	1.8	18.00	24.00	38.00		2.35	100.00	24	4.2
3.20	8.00	11.00		0.78	20.00	40	2.5	18.20	24.00	39.00		2.35	107.00	22	4.5
3.40	11.00	14.00		1.08	27.00	41	2.5	18.40	36.00	52.00		3.53	127.00	28	3.5
3.60	12.00	16.00		1.18	27.00	44	2.3	18.60	44.00	63.00		4.31	153.00	29	3.5
3.80	14.00	18.00		1.37	20.00	70	1.4	18.80	34.00	57.00		3.33	160.00	21	4.7
4.00	16.00	19.00		1.57	27.00	59	1.7	19.00	27.00	51.00		2.65	93.00	29	3.4
4.20	15.00	19.00		1.47	27.00	56	1.8	19.20	30.00	44.00		2.94	67.00	45	2.2
4.40	15.00	19.00		1.47	20.00	75	1.3	19.40	38.00	48.00		3.72	120.00	32	3.2
4.60	17.00	20.00		1.67	27.00	63	1.6	19.60	24.00	42.00		2.35	93.00	26	3.9
4.80	4.00	8.00		0.39	47.00	9	11.8	19.80	23.00	37.00		2.25	133.00	17	5.8
5.00	24.00	31.00		2.35	53.00	45	2.2	20.00	26.00	46.00		2.55	113.00	23	4.3
5.20	30.00	38.00		2.94	53.00	57	1.8	20.20	27.00	44.00		2.65	133.00	20	4.9
5.40	22.00	30.00		2.16	33.00	67	1.5	20.40	30.00	50.00		2.94	140.00	21	4.7
5.60	16.00	21.00		1.57	67.00	24	4.2	20.60	30.00	51.00		2.94	140.00	21	4.7
5.80	6.00	16.00		0.59	27.00	22	4.5	20.80	35.00	56.00		3.43	173.00	20	4.9
6.00	5.00	9.00		0.49	27.00	19	5.4	21.00	40.00	66.00		3.92	160.00	25	4.0
6.20	5.00	9.00		0.49	20.00	25	4.0	21.20	30.00	54.00		2.94	133.00	23	4.4
6.40	5.00	8.00		0.49	53.00	9	10.6	21.40	28.00	48.00		2.74	107.00	26	3.8
6.60	7.00	15.00		0.69	53.00	13	7.6	21.60	22.00	38.00		2.16	100.00	22	4.5
6.80	8.00	16.00		0.78	27.00	30	3.4	21.80	14.00	29.00		1.37	80.00	18	5.7
7.00	5.00	9.00		0.49	27.00	19	5.4	22.00	22.00	34.00		2.16	113.00	19	5.1
7.20	4.00	8.00		0.39	20.00	20	5.0	22.20	30.00	47.00		2.94	140.00	21	4.7
7.40	8.00	11.00		0.78	27.00	30	3.4	22.40	17.00	38.00		1.67	80.00	21	4.7
7.60	4.00	8.00		0.39	20.00	20	5.0	22.60	24.00	36.00		2.35	93.00	26	3.9
7.80	4.00	7.00		0.39	20.00	20	5.0	22.80	24.00	38.00		2.35	93.00	26	3.9
8.00	8.00	11.00		0.78	27.00	30	3.4	23.00	44.00	58.00		4.31	93.00	47	2.1
8.20	6.00	10.00		0.59	27.00	22	4.5	23.20	45.00	59.00		4.41	67.00	67	1.5
8.40	6.00	10.00		0.59	27.00	22	4.5	23.40	70.00	80.00		6.86	73.00	96	1.0
8.60	3.00	7.00		0.29	27.00	11	9.0	23.60	65.00	76.00		6.37	47.00	138	0.7
8.80	6.00	10.00		0.59	33.00	18	5.5	23.80	64.00	71.00		6.27	53.00	121	0.8
9.00	8.00	13.00		0.78	40.00	20	5.0	24.00	62.00	70.00		6.08			
9.20	13.00	19.00		1.27	47.00	28	3.6								
9.40	17.00	24.00		1.67	60.00	28	3.5								
9.60	16.00	25.00		1.57	60.00	27	3.8								
9.80	24.00	33.00		2.35	113.00	21	4.7								
10.00	27.00	44.00		2.65	127.00	21	4.7								
10.20	22.00	41.00		2.16	120.00	18	5.5								
10.40	20.00	38.00		1.96	93.00	22	4.7								
10.60	21.00	35.00		2.06	87.00	24	4.1								
10.80	19.00	32.00		1.86	73.00	26	3.8								
11.00	19.00	30.00		1.86	100.00	19	5.3								
11.20	21.00	36.00		2.06	100.00	21	4.8								
11.40	22.00	37.00		2.16	67.00	33	3.0								
11.60	30.00	40.00		2.94	67.00	45	2.2								
11.80	28.00	38.00		2.74	73.00	38	2.6								
12.00	18.00	29.00		1.76	47.00	38	2.6								
12.20	23.00	30.00		2.25	80.00	29	3.5								
12.40	14.00	26.00		1.37	33.00	42	2.4								
12.60	16.00	21.00		1.57	67.00	24	4.2								
12.80	24.00	34.00		2.35	87.00	28	3.6								
13.00	34.00	47.00		3.33	127.00	27	3.7								
13.20	30.00	49.00		2.94	107.00	28	3.6								
13.40	30.00	46.00		2.94	113.00	27	3.8								
13.60	29.00	46.00		2.84	113.00	26	3.9								
13.80	28.00	45.00		2.74	93.00	30	3.3								
14.00	36.00	50.00		3.53	100.00	36	2.8								
14.20	36.00	51.00		3.53	140.00	26	3.9								
14.40	39.00	60.00		3.82	160.00	24	4.1								
14.60	30.00	54.00		2.94	133.00	23	4.4								
14.80	26.00	46.00		2.55	107.00	24	4.1								
15.00	30.00	46.00		2.94	107.00	28	3.6								

H = profondità
L1 = prima lettura (punta)
L2 = seconda lettura (punta + laterale)
Lt = terza lettura (totale)
CT = 10.00 costante di trasformazione

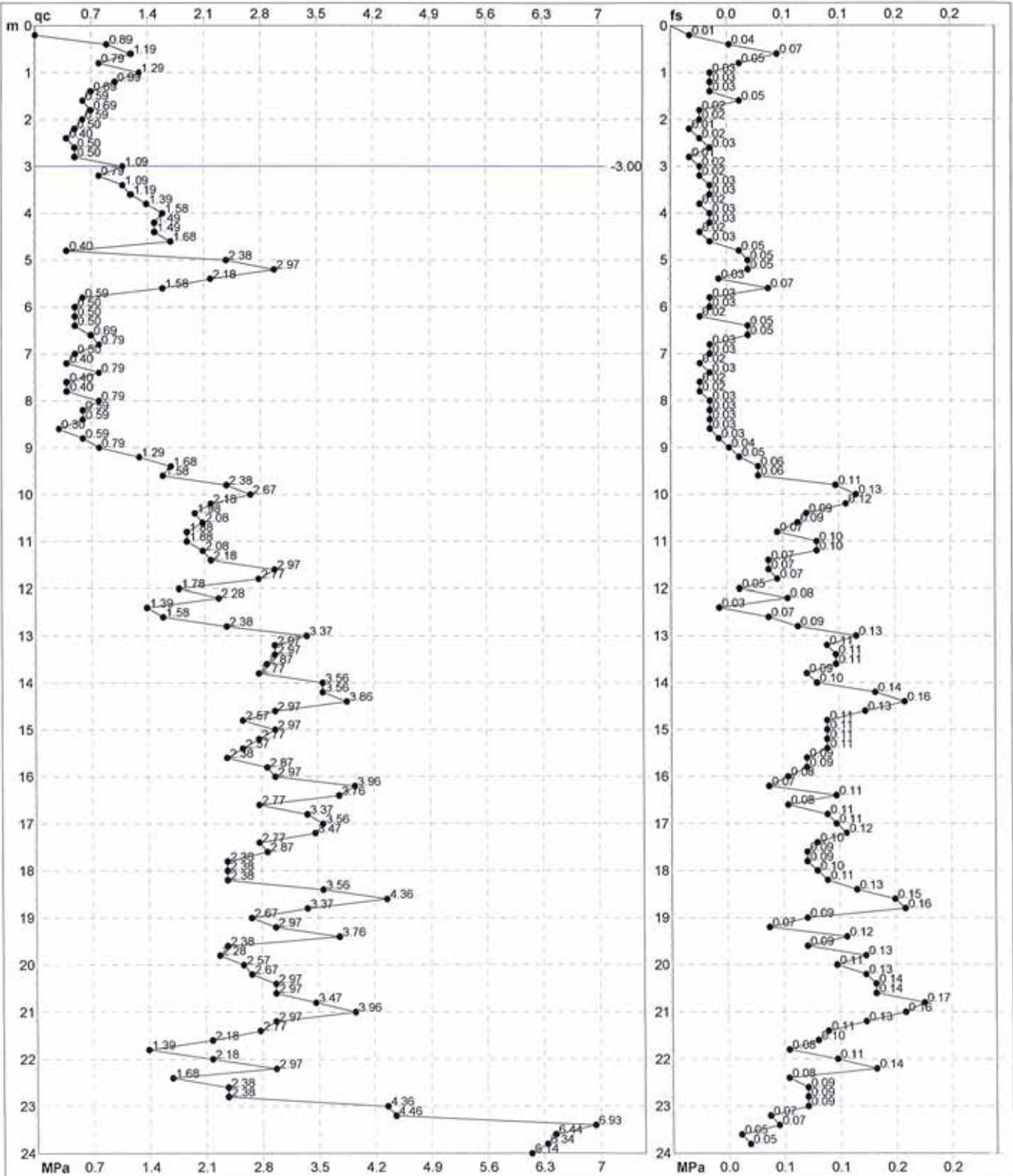
qc = resistenza di punta
fs = resistenza laterale calcolata
0.20 m sopra quota qc
F = rapporto Begemann (qc / fs)
Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIAGRAMMI DI RESISTENZA

CPT	3
riferimento	107-2014
certificato n°	5378

Committente: **Studio tecnico**
Cantiere: **Studio terreno di fondazione**
Località: **Cento, via pioppo**

U.M.: **MPa** Data eseg.: **24/03/2014**
Scala: **1:120**
Pagina: **2/4** Data certificato: **26/03/2014**
Elaborato: Falda: **-3.00 m** da p.c.



Penetrometro: TG63-200	Preforo: m
Responsabile:	Corr.astine: kN/ml
Assistente:	Corr.astine: kN/ml

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

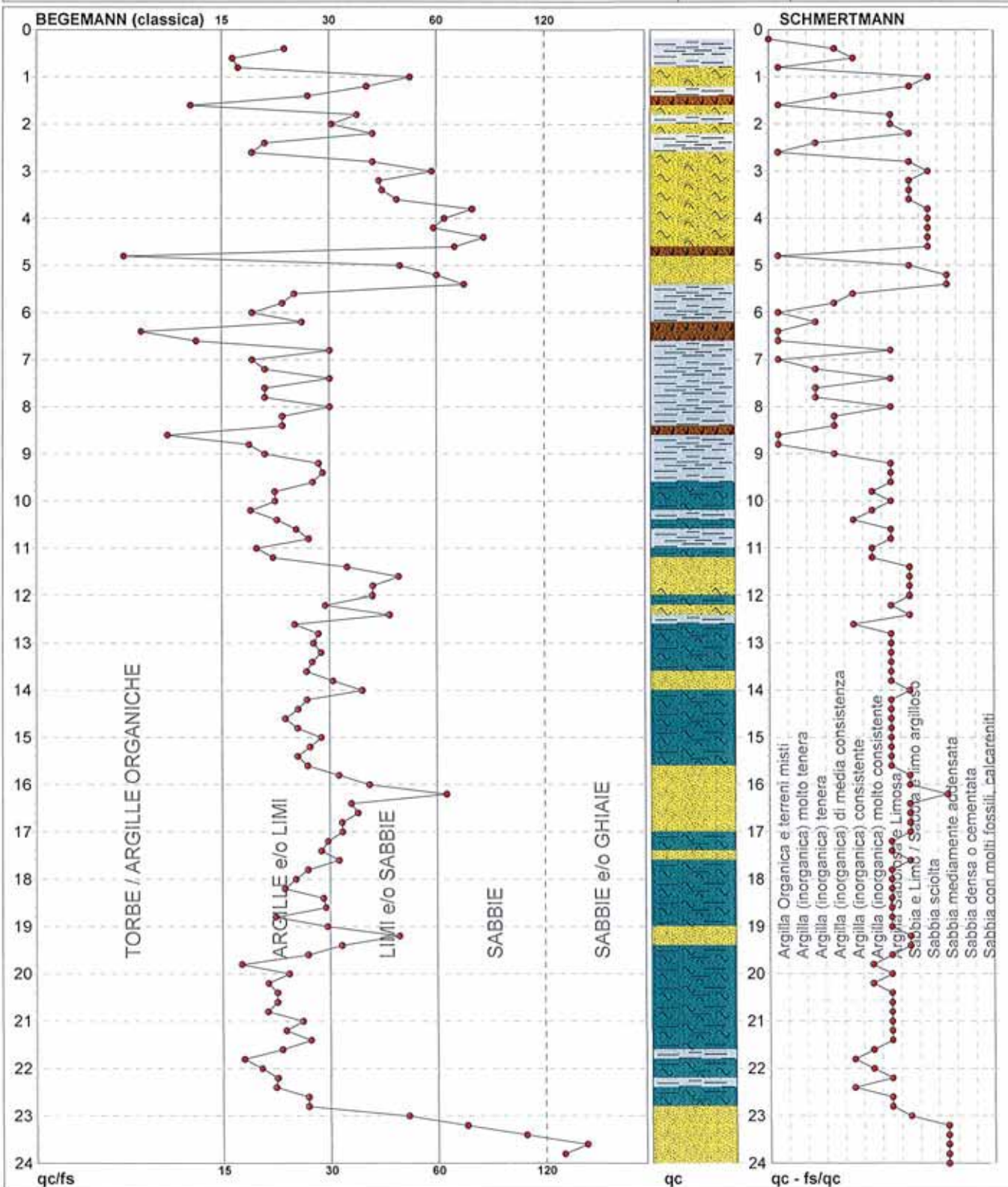
CPT

3

referimento **107-2014**
certificato n° **5378**

Committente: **Studio tecnico**
Cantiere: **Studio terreno di fondazione**
Località: **Cento, via pioppo**

U.M.: **MPa** Data eseg.: **24/03/2014**
Scala: **1:120**
Pagina: **3/4** Data certificato: **26/03/2014**
Elaborato: Falda: **-3.00 m da p.c.**



Torbe / Argille org. :	6 punti, 5.04%	Argilla Organica e terreni misti:	10 punti, 8.40%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	45 punti, 38.66%
Argille e/o Limi :	74 punti, 62.18%	Argilla (inorganica) tenera:	5 punti, 4.20%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg. :	23 punti, 19.33%
Limi e/o Sabbie :	31 punti, 26.05%	Argilla (inorganica) media consist.:	6 punti, 5.04%	Sabbia sciolta:	7 punti, 5.88%
Sabbie:	6 punti, 5.04%	Argilla (inorganica) consistente:	6 punti, 5.04%	Sabbia mediamente addensata:	7 punti, 5.88%
Sabbie e/o Ghiaie :	2 punti, 1.68%	Argilla (inorganica) molto consist.:	8 punti, 6.72%		

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA PARAMETRI GEOTECNICI	CPT	3
	riferimento	107-2014
	certificato n°	5378

Committente: Studio tecnico	U.M.: MPa	Data esec.: 24/03/2014
Cantiere: Studio terreno di fondazione	Pagina: 4/4	Data certificato: 26/03/2014
Località: Cento, via pioppo	Elaborato:	Falda: -3.00 m da p.c.

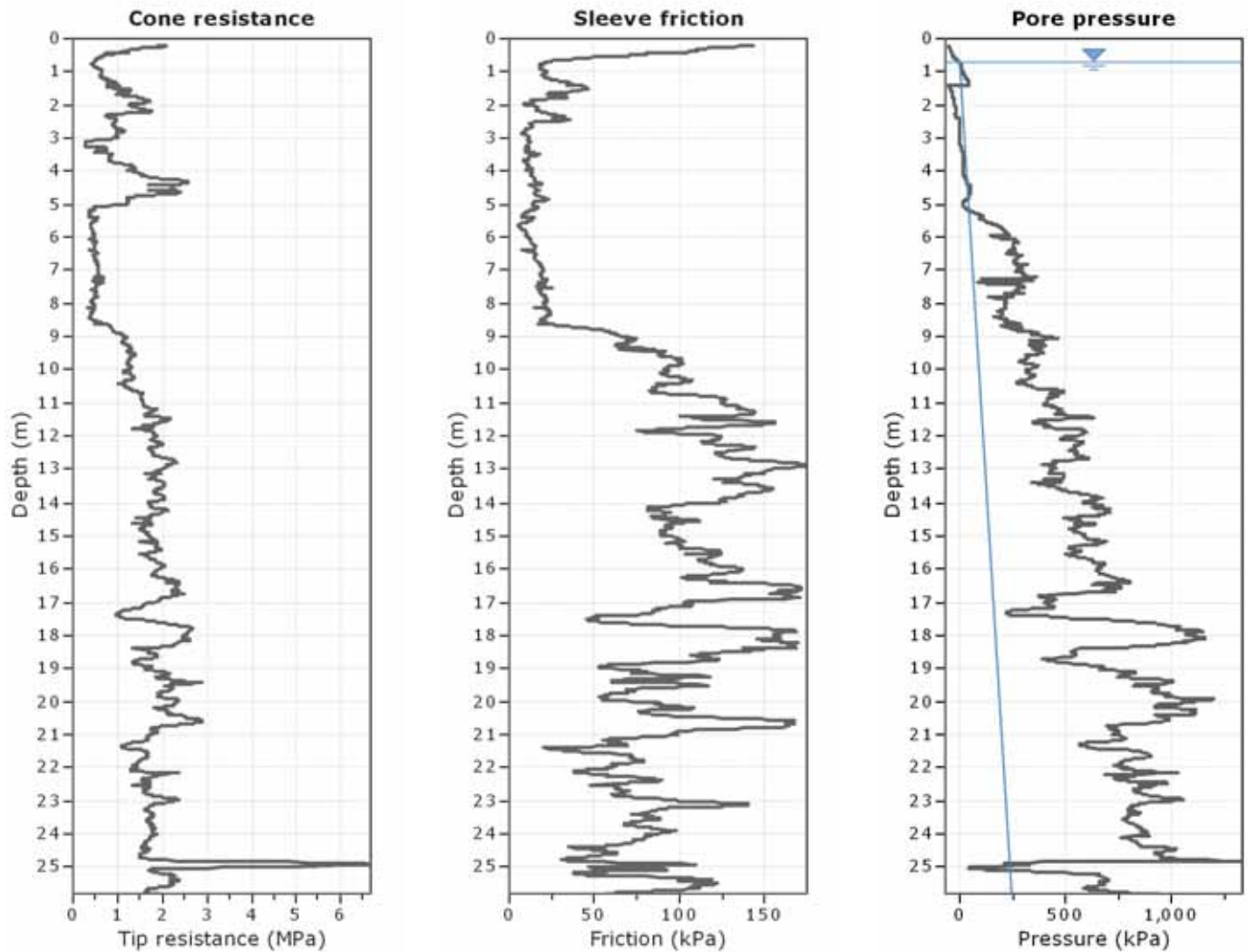
Prof. m	qc U.M.	qc/fs	zone	γ^* t/m ³	σ'_{vo} kPa	Vs m/s	NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE										
							Cu kPa	OCR %	Eu50 U.M.	Eu25 U.M.	Mo U.M.	Dr %	σ_{Sc} (°)	σ_{Ca} (°)	σ_{Ko} (°)	σ_{DB} (°)	σ_{DM} (°)	σ_{Me} (°)	F.L.	E'50 U.M.	E'25 U.M.	Mo U.M.
20.00	2.55	23.01		0.95	200.8	189	91.0	2.3	49.2	73.8	7.6	8	39	22	19	18	25	28	--	4.2	6.4	7.6
20.20	2.65	20.30		0.95	202.7	192	92.8	2.4	50.0	75.0	7.9	9	39	23	19	18	26	28	--	4.4	6.6	7.9
20.40	2.94	21.43		0.96	204.6	199	98.0	2.5	51.9	77.9	8.8	13	39	23	20	19	26	29	--	4.9	7.4	8.8
20.60	2.94	21.43		0.96	206.4	199	98.0	2.5	52.1	78.2	8.8	12	39	23	20	19	26	29	--	4.9	7.4	8.8
20.80	3.43	20.23		0.98	208.4	211	114.3	3.0	56.7	85.1	10.3	18	39	24	20	19	27	29	--	5.7	8.6	10.3
21.00	3.92	25.00		1.00	210.3	222	130.7	3.5	59.3	88.9	11.8	22	40	24	21	20	28	30	--	6.5	9.8	11.8
21.20	2.94	22.56		0.96	212.2	199	98.0	2.4	52.6	79.0	8.8	12	39	23	19	18	26	29	--	4.9	7.4	8.8
21.40	2.74	26.17		0.96	214.1	194	94.6	2.3	51.6	77.4	8.2	9	39	22	19	18	26	28	--	4.6	6.9	8.2
21.60	2.16	22.00		0.93	215.9	177	82.9	1.9	46.9	70.3	6.5	1	38	21	18	17	25	28	--	3.6	5.4	6.5
21.80	1.37	17.50		0.94	217.8	150	62.4	1.3	36.8	55.2	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
22.00	2.16	19.47		0.93	219.6	177	82.9	1.9	47.0	70.6	6.5	0	38	21	18	17	25	28	--	3.6	5.4	6.5
22.20	2.94	21.43		0.96	221.5	199	98.0	2.3	53.4	80.1	8.8	11	39	23	19	18	26	29	--	4.9	7.4	8.8
22.40	1.67	21.25		0.97	223.4	161	70.9	1.5	41.4	62.1	5.3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
22.60	2.35	25.81		0.94	225.2	183	87.1	1.9	49.2	73.8	7.1	3	38	21	18	17	25	28	--	3.9	5.9	7.1
22.80	2.35	25.81		0.94	227.1	183	87.1	1.9	49.3	73.9	7.1	2	38	21	18	17	25	28	--	3.9	5.9	7.1
23.00	4.31	47.31		0.91	228.8	230	--	--	--	--	--	23	40	24	21	20	28	31	--	7.2	10.8	12.9
23.20	4.41	67.16		0.91	230.6	232	--	--	--	--	--	24	40	24	21	20	28	31	--	7.4	11.0	13.2
23.40	6.66	95.89		0.95	232.5	274	--	--	--	--	--	39	41	27	23	22	30	32	--	11.4	17.2	20.6
23.60	6.37	138.30		0.94	234.3	267	--	--	--	--	--	36	41	26	23	22	30	32	--	10.6	15.9	19.1
23.80	6.27	120.75		0.94	236.2	265	--	--	--	--	--	35	41	26	23	22	30	32	--	10.5	15.7	18.8
24.00	6.08	--		0.94	238.0	262	--	--	--	--	--	34	41	26	23	21	29	32	--	10.1	15.2	18.2

GEO GROUP s.r.l.

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

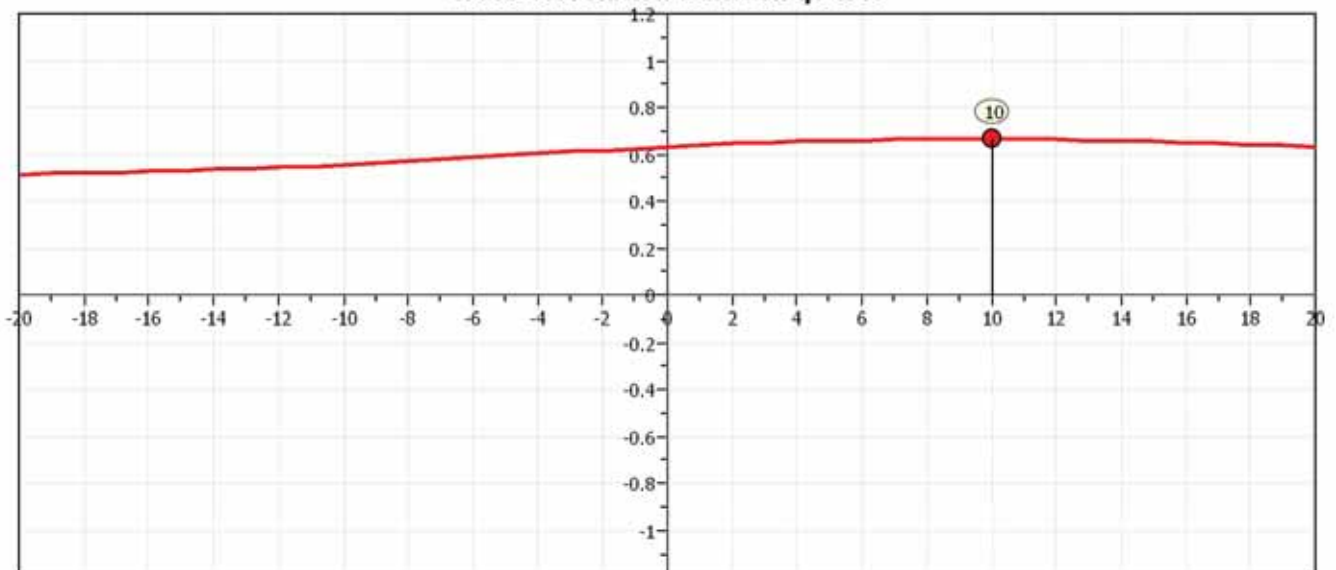
ALLEGATO N° 2

Prove penetrometriche statiche CPTU corredate di interpretazione geotecnica

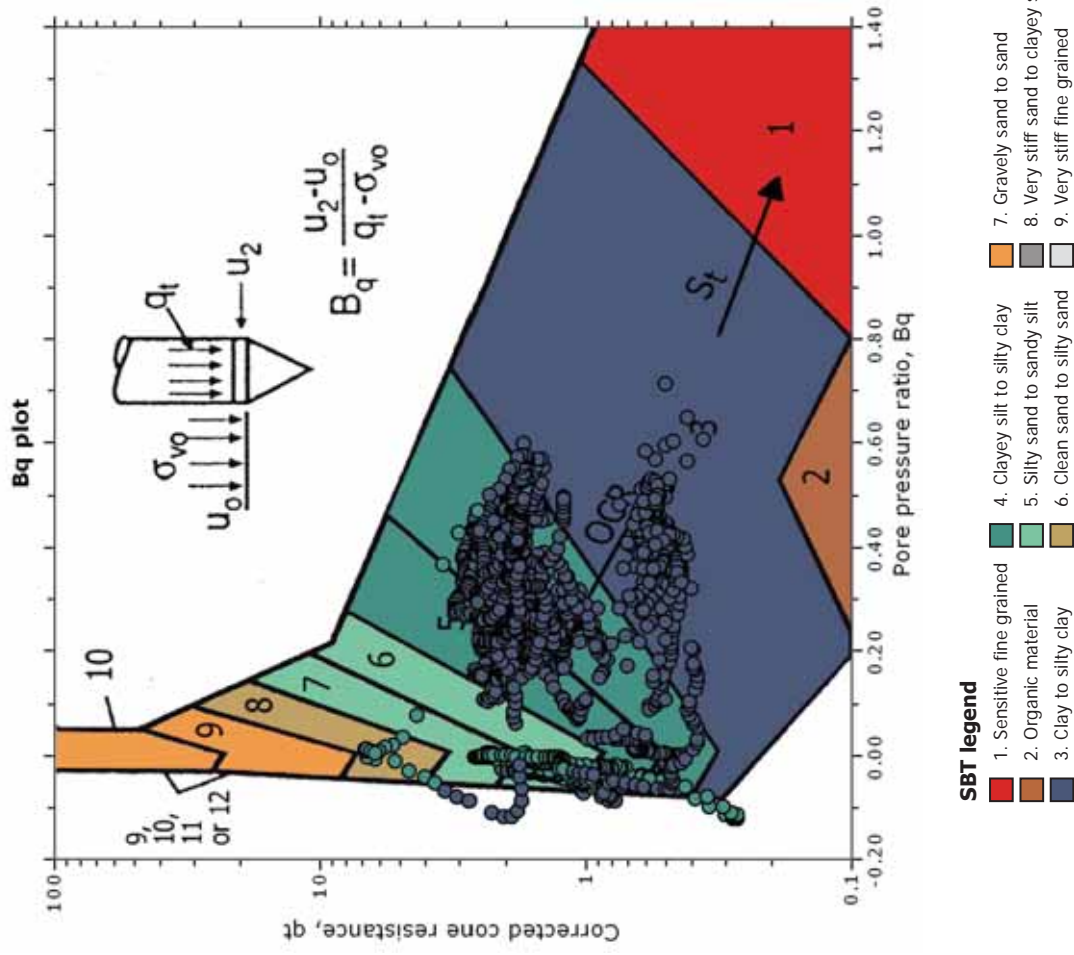
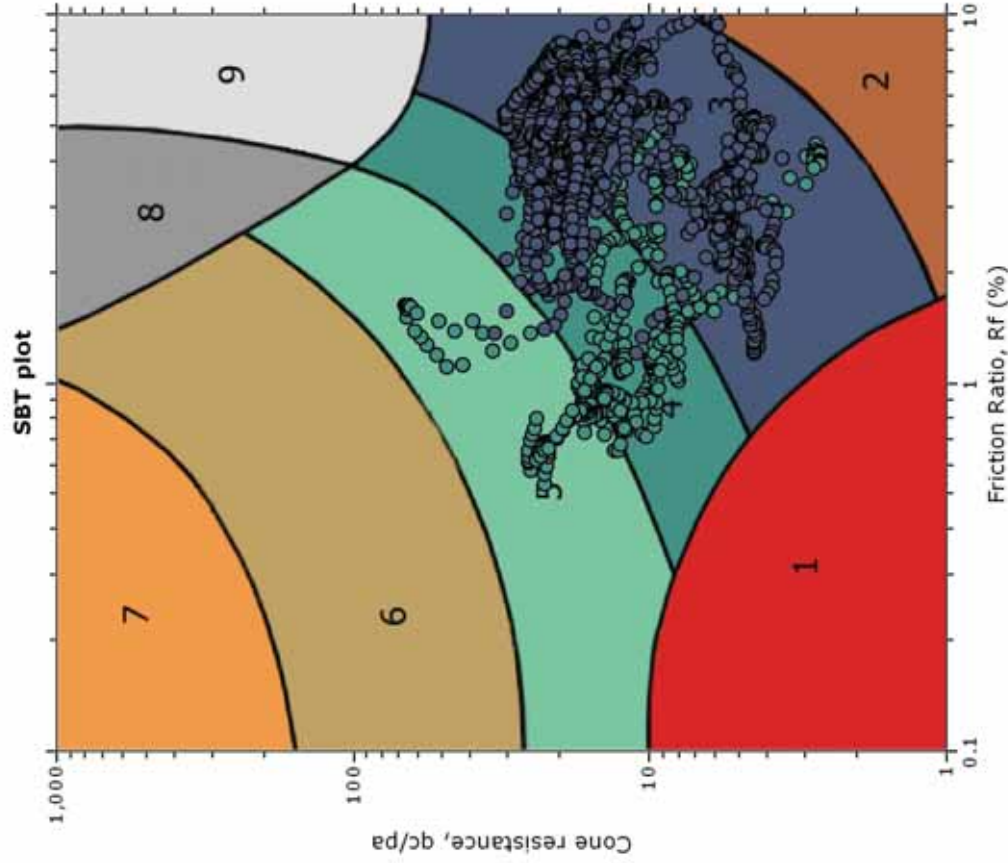


The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw q_c and f_s values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).

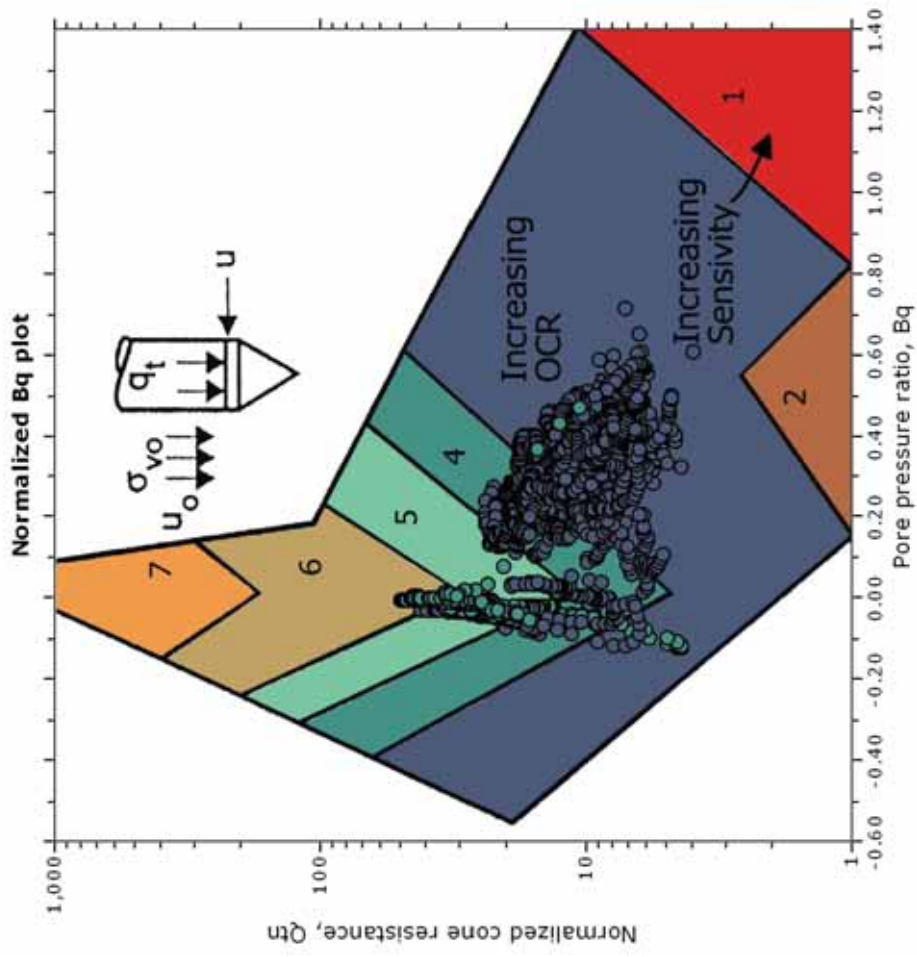
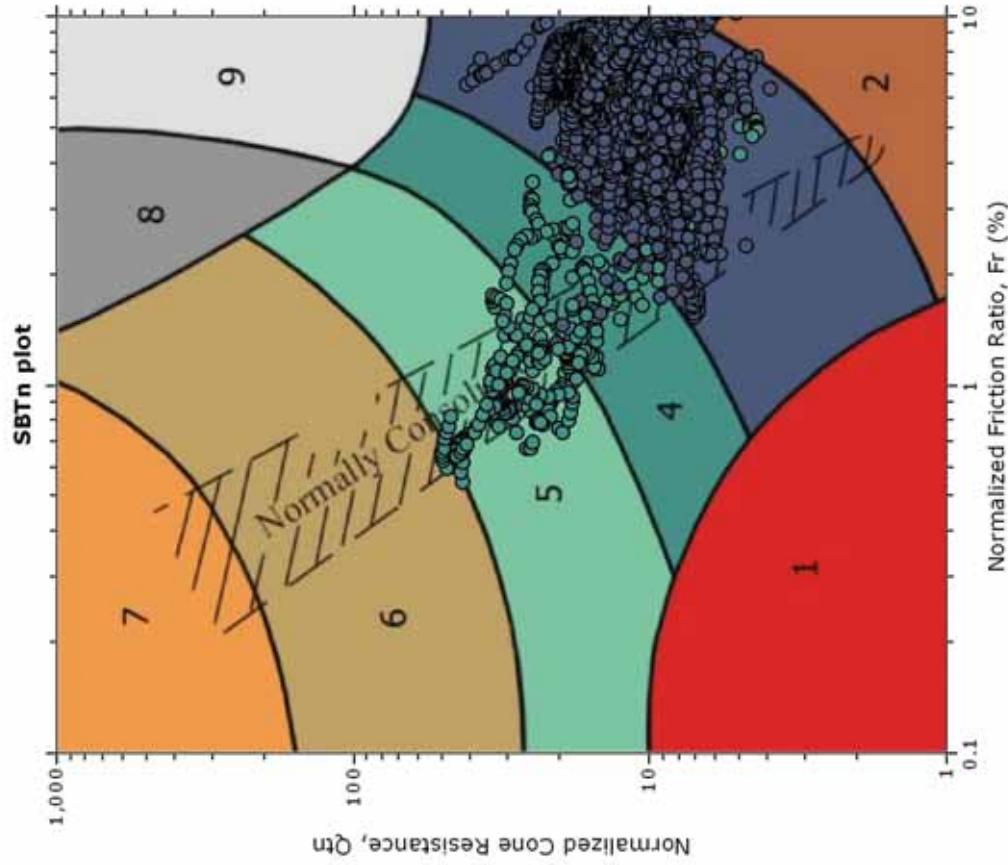
Cross correlation between q_c & f_s



SBT - Bq plots



SBTn - Bq plots (normalized)



SBTn legend

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



Geo Group S.r.l.
 182, v. Cesare Costa 41123 MODENA
 Tel 059/3967169 Fax 059/5332019
 e-mail geo.group@libero.it

Project: Studio del terreno di fondazione

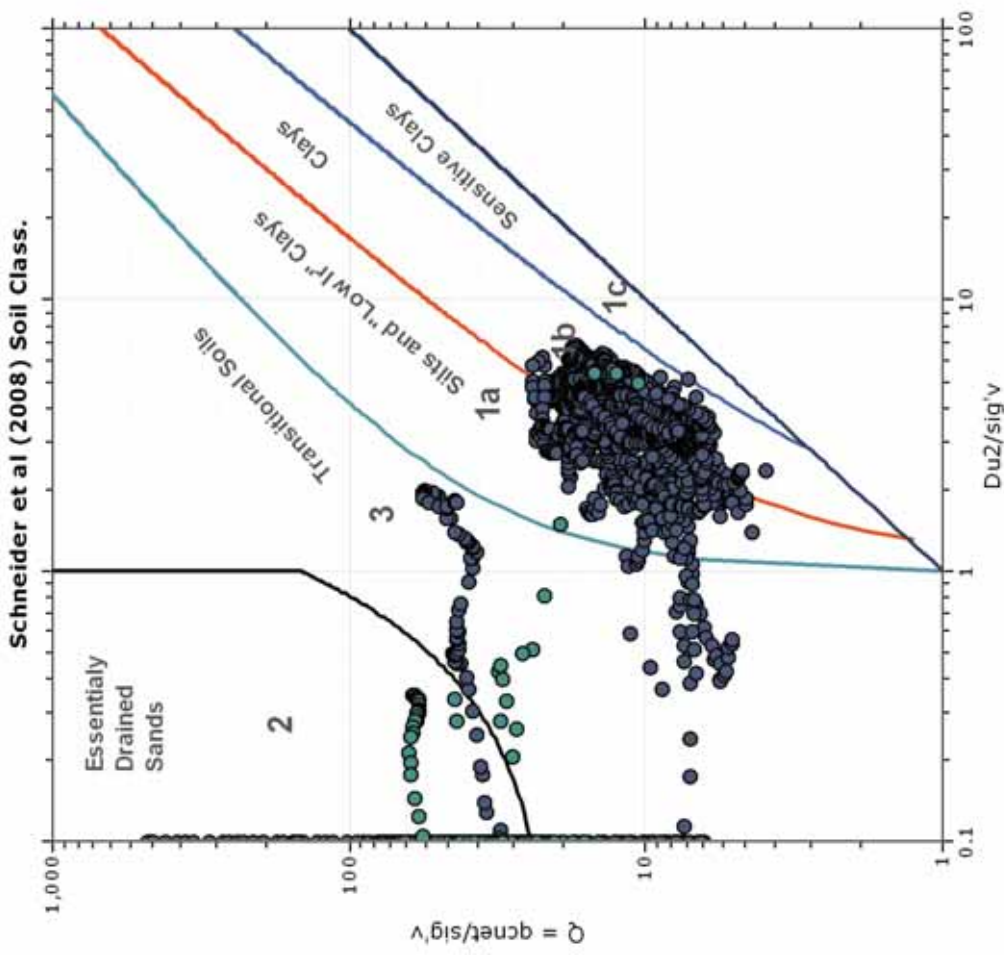
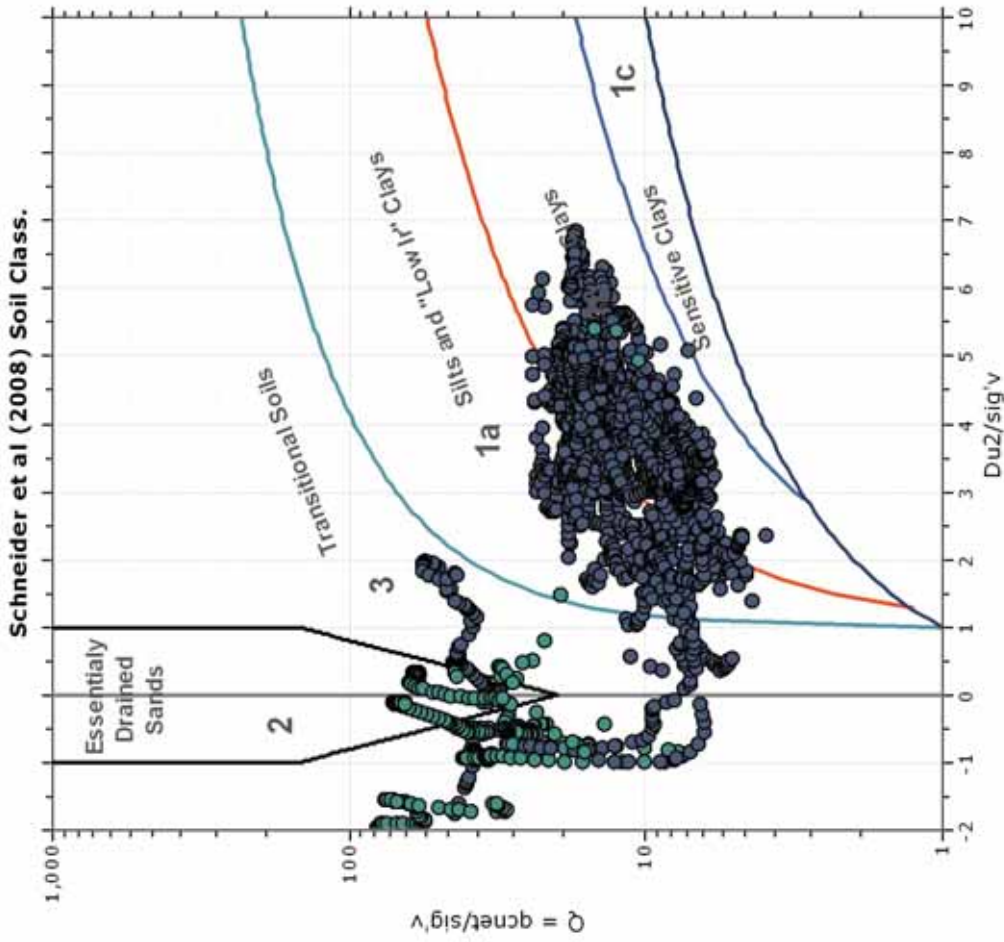
Location: Cento, Via Pioppo

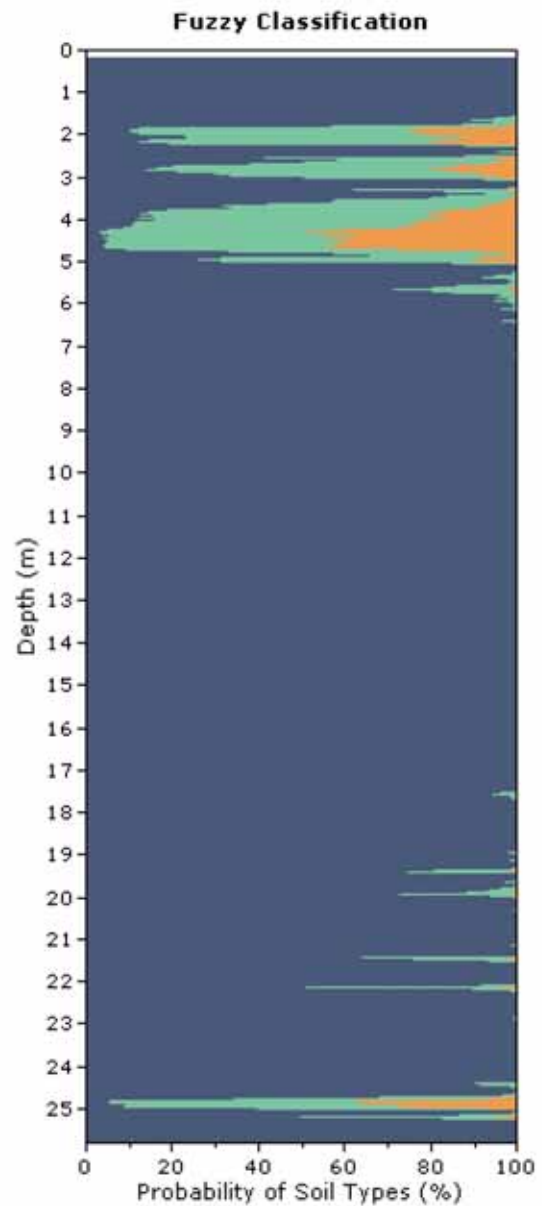
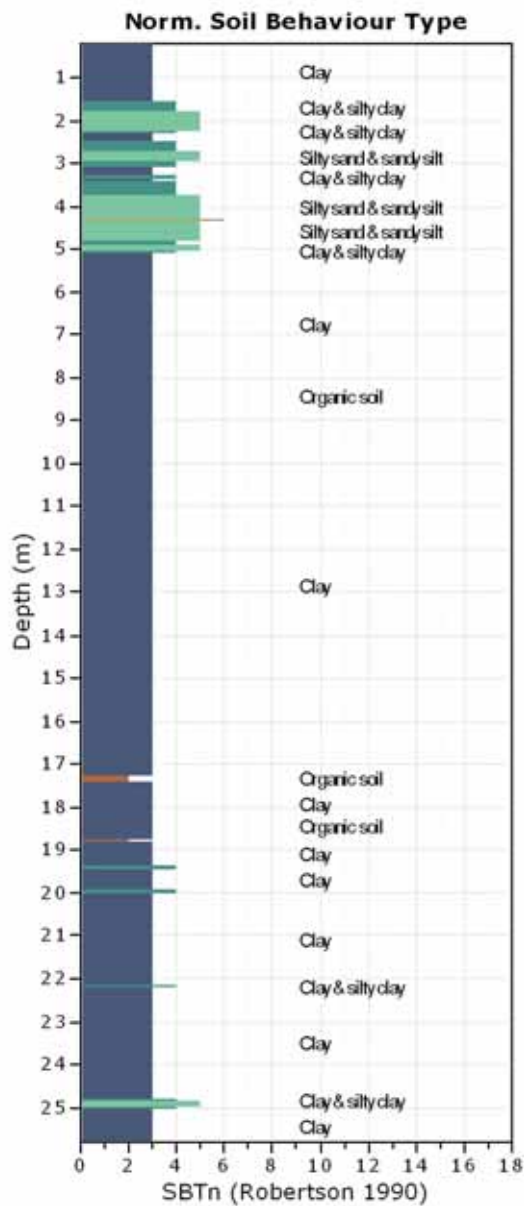
CPT: CPTU1

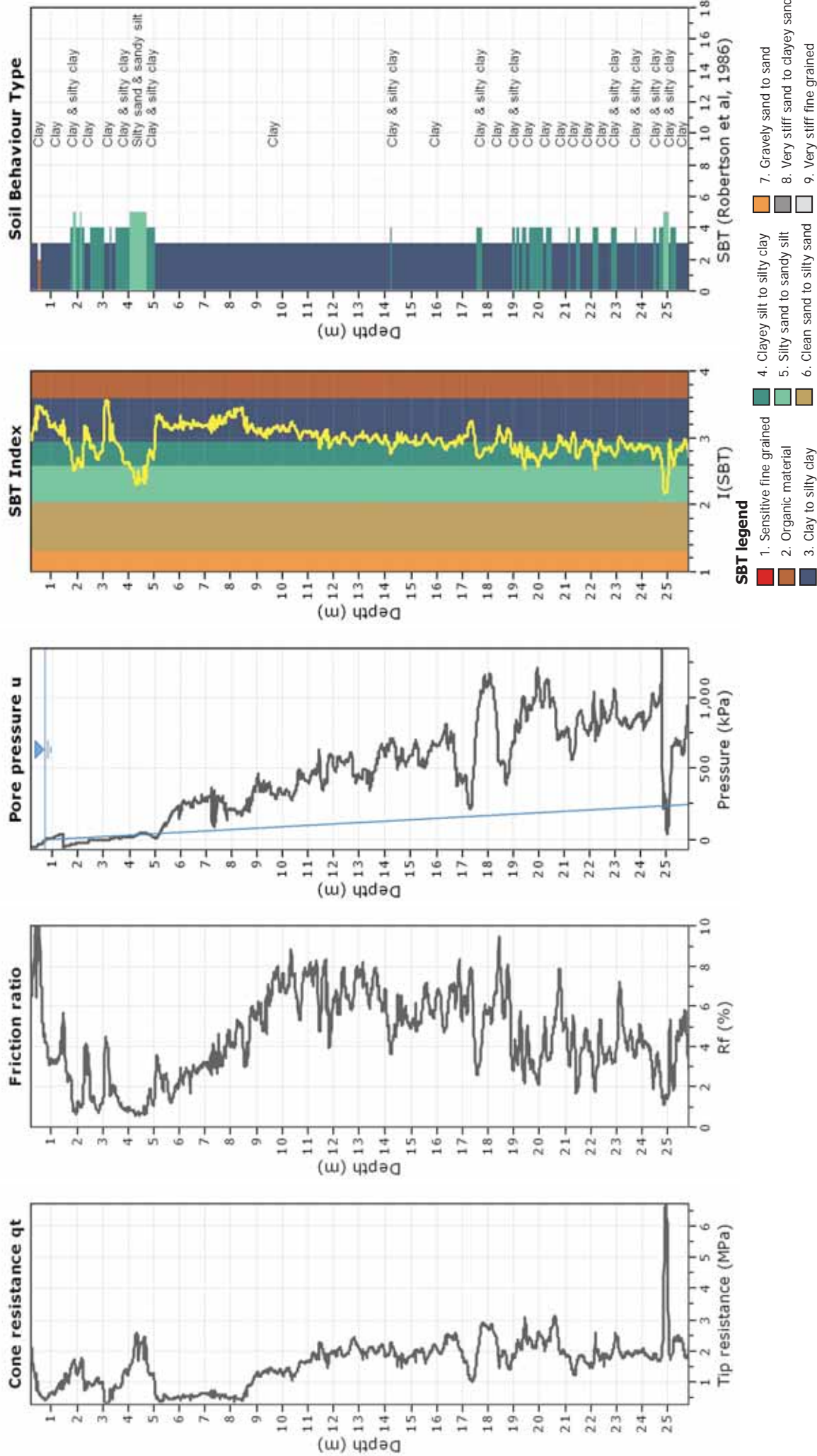
Total depth: 25.81 m, Date: 07/03/2014

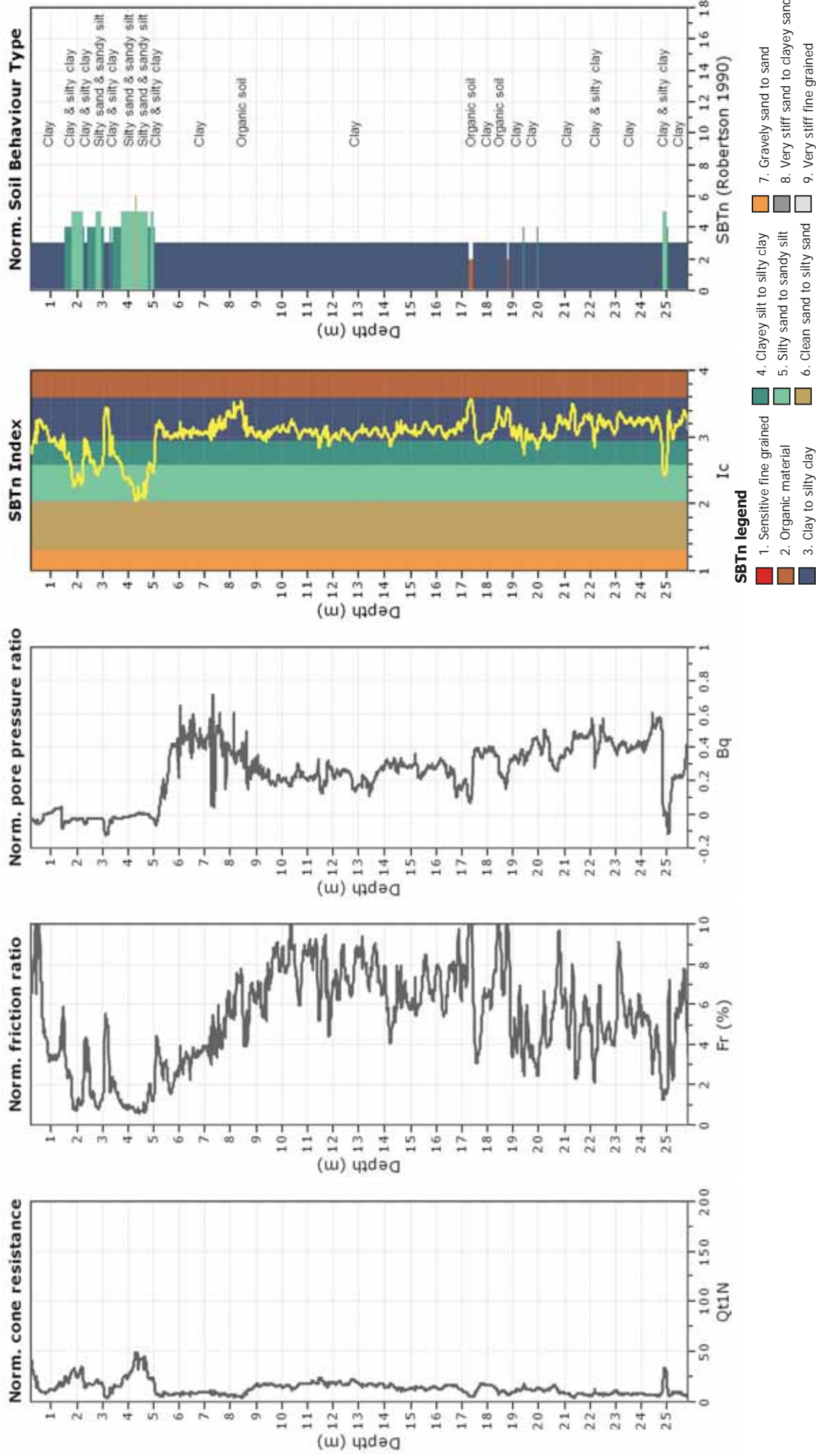
Cone Type: Unknown

Bq plots (Schneider)











Geo Group S.r.l.
 182, v. Cesare Costa 41123 MODENA
 Tel 059/3967169 Fax 059/5332019
 e-mail geo.group@libero.it

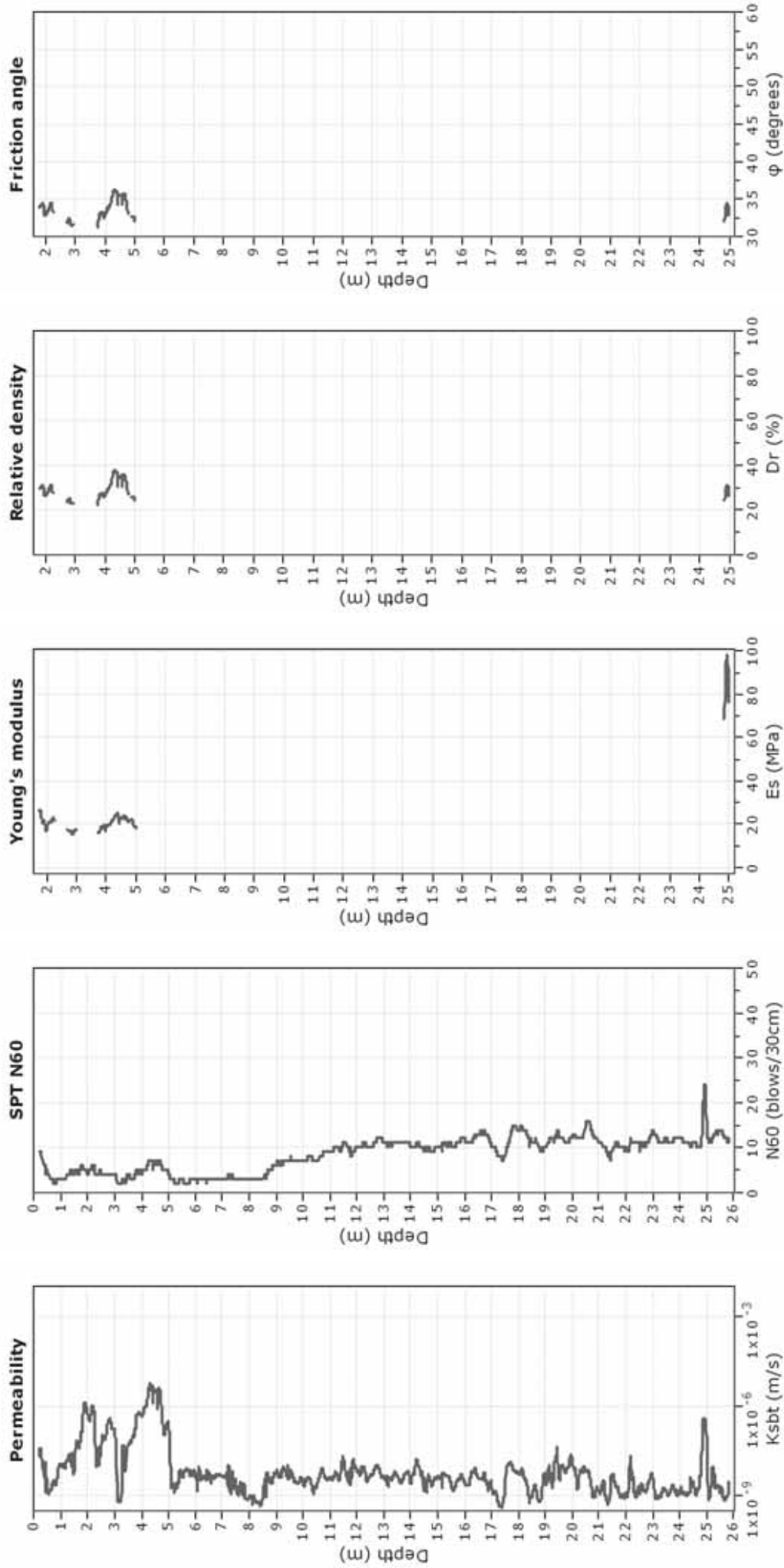
Project: Studio del terreno di fondazione

Location: Cento, Via Pioppo

CPT: CPTU1

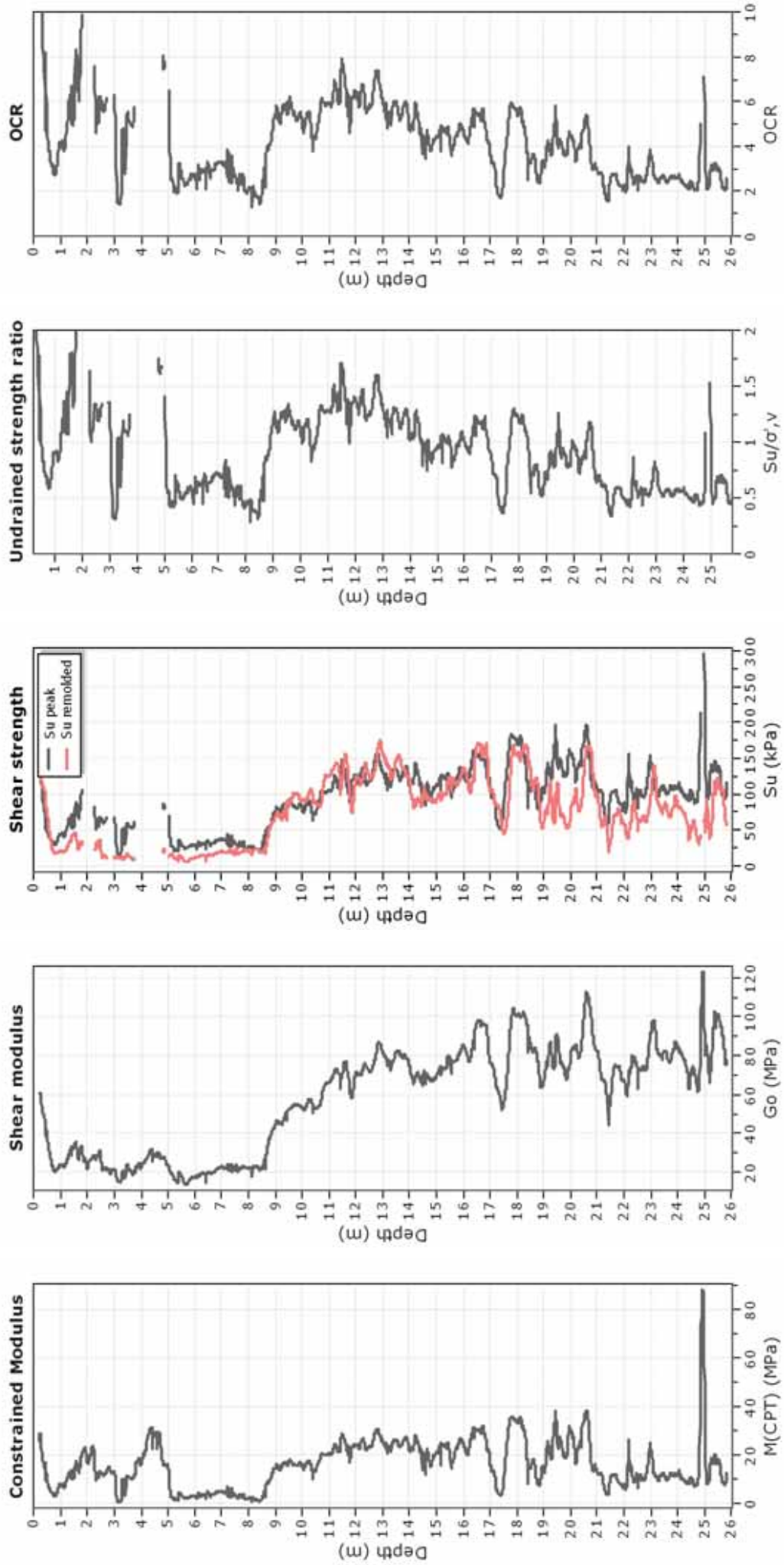
Total depth: 25.81 m, Date: 07/03/2014

Cone Type: Unknown



Calculation parameters

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



Calculation parameters

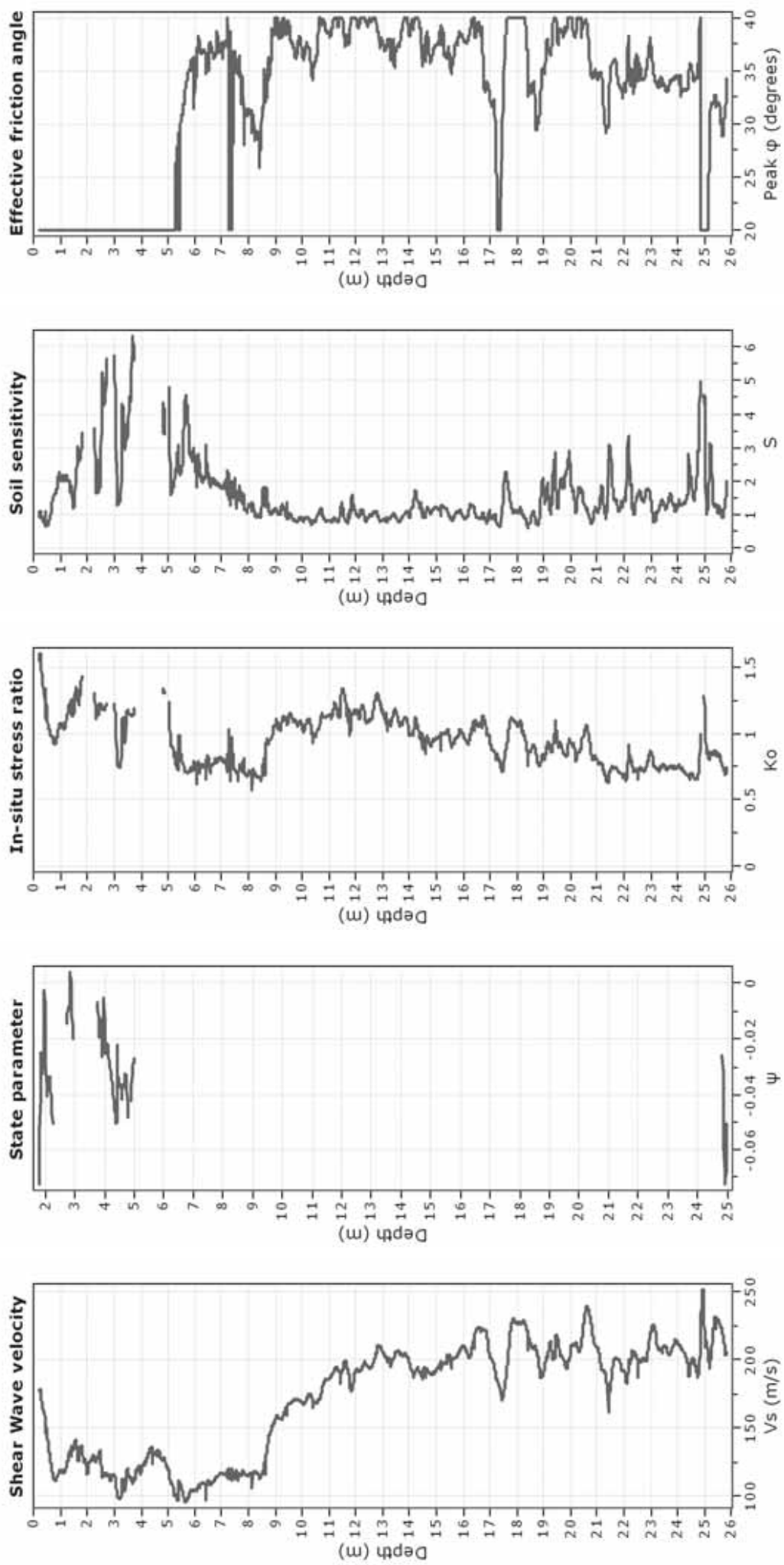
Constrained modulus: Based on variable $\alpha/\rho/\eta$ using I. and Q_{b0} (Robertson, 2009)
 Go: Based on variable $\alpha/\rho/\eta$ using I. (Robertson, 2009)
 Undrained shear strength cone factor for clays, N_{sk} : 14
 OCR factor for clays, N_{sk} : 0.33
 ● User defined estimation data



Geo Group S.r.l.
 182, v. Cesare Costa 41123 MODENA
 Tel 059/3967169 Fax 059/5332019
 e-mail geo.group@libero.it

CPT: CPTU1
 Total depth: 25.81 m, Date: 07/03/2014
 Cone Type: Unknown

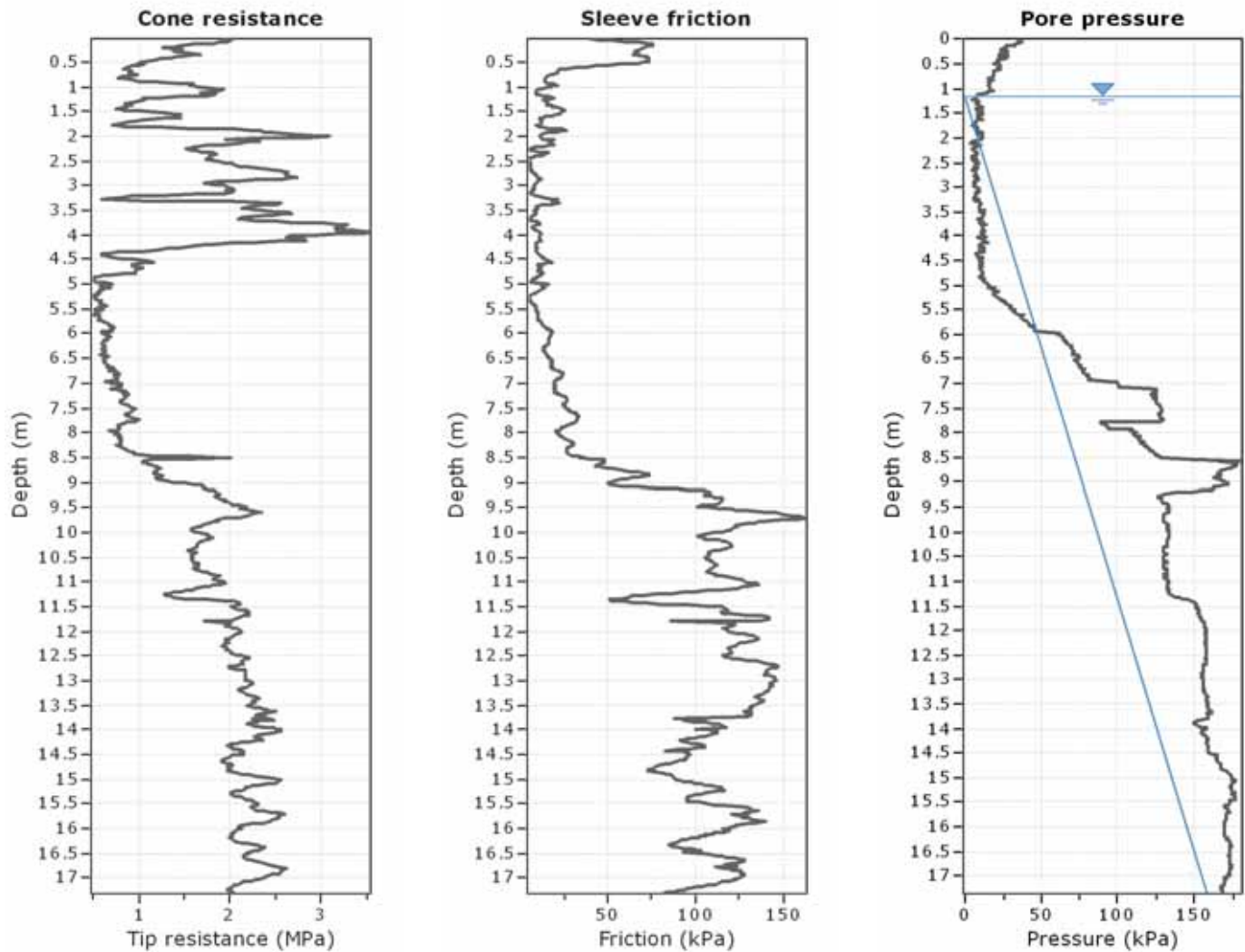
Project: Studio del terreno di fondazione
Location: Cento, Via Pioppo



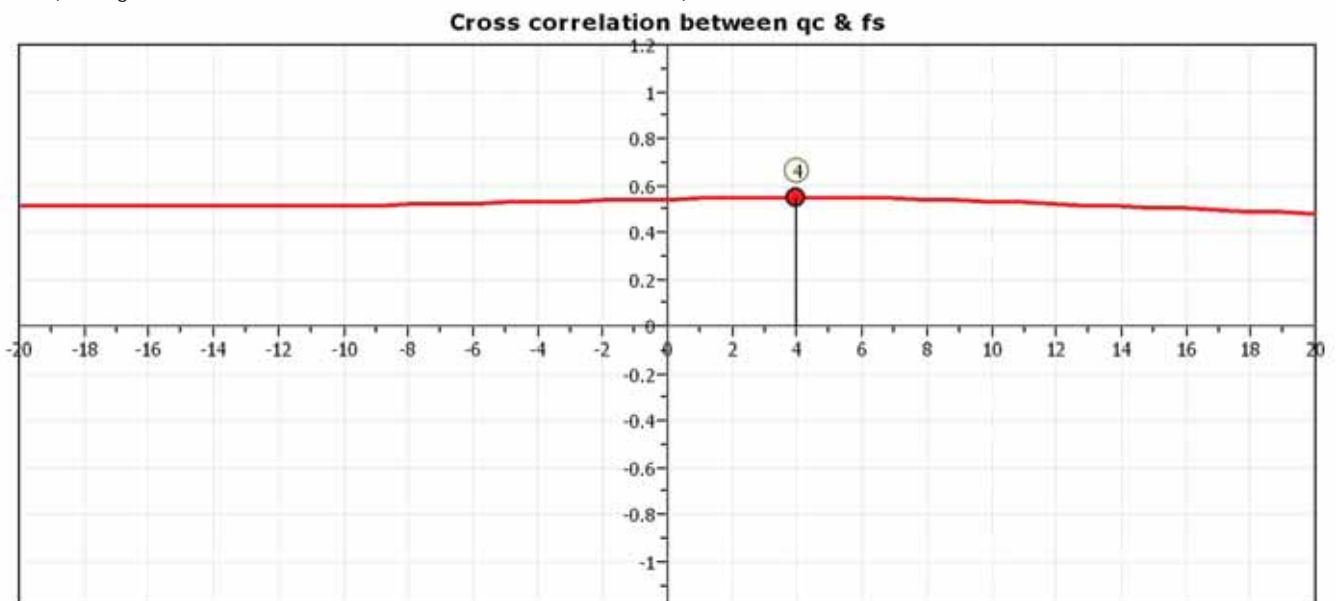
Calculation parameters

Soil Sensitivity factor, N_s : 7.00

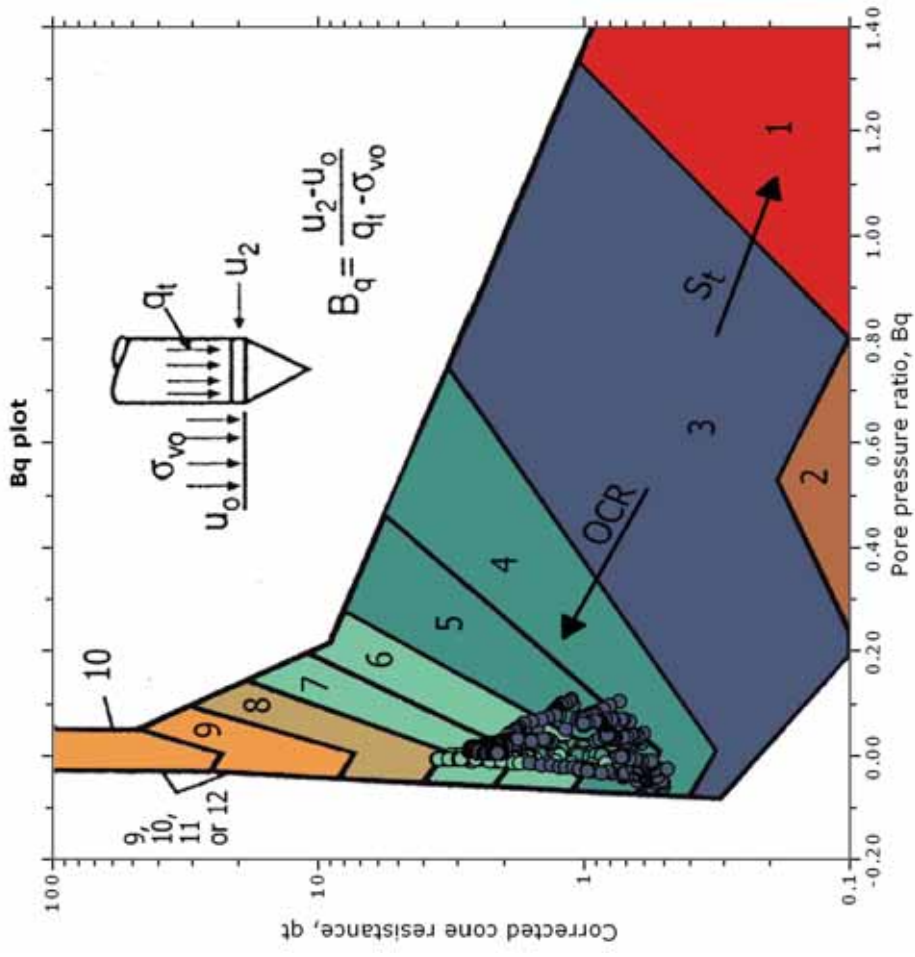
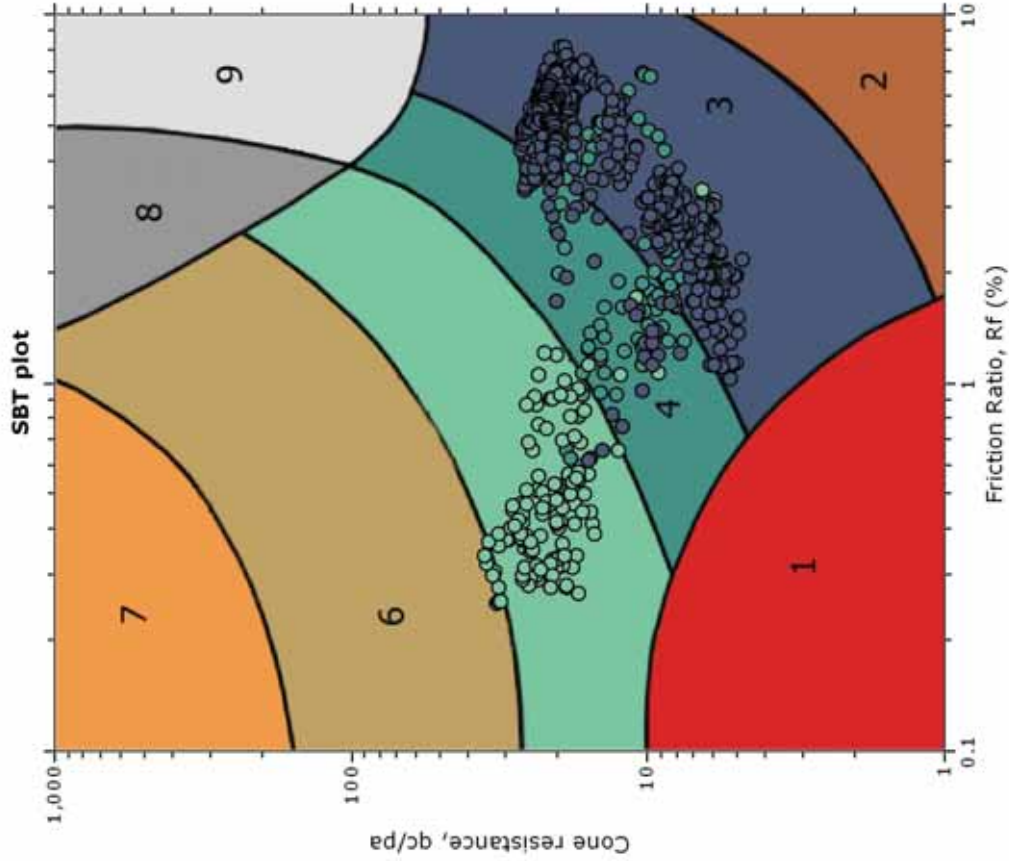
—●— User defined estimation data



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).



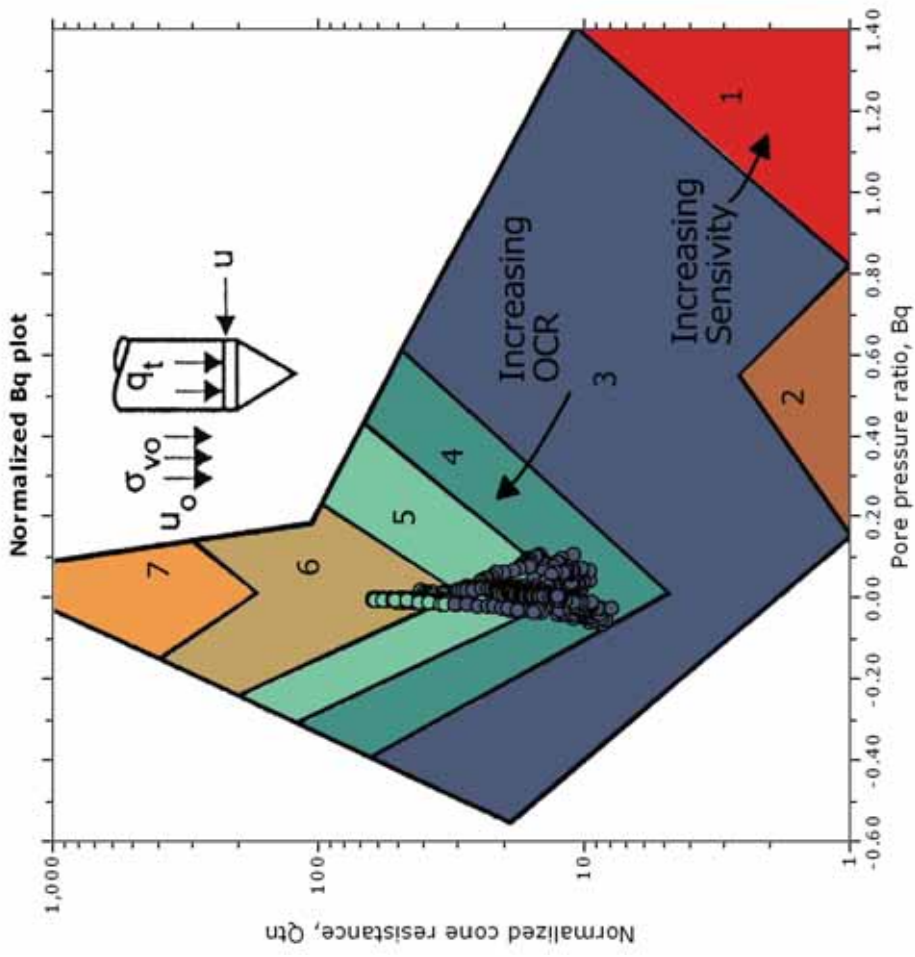
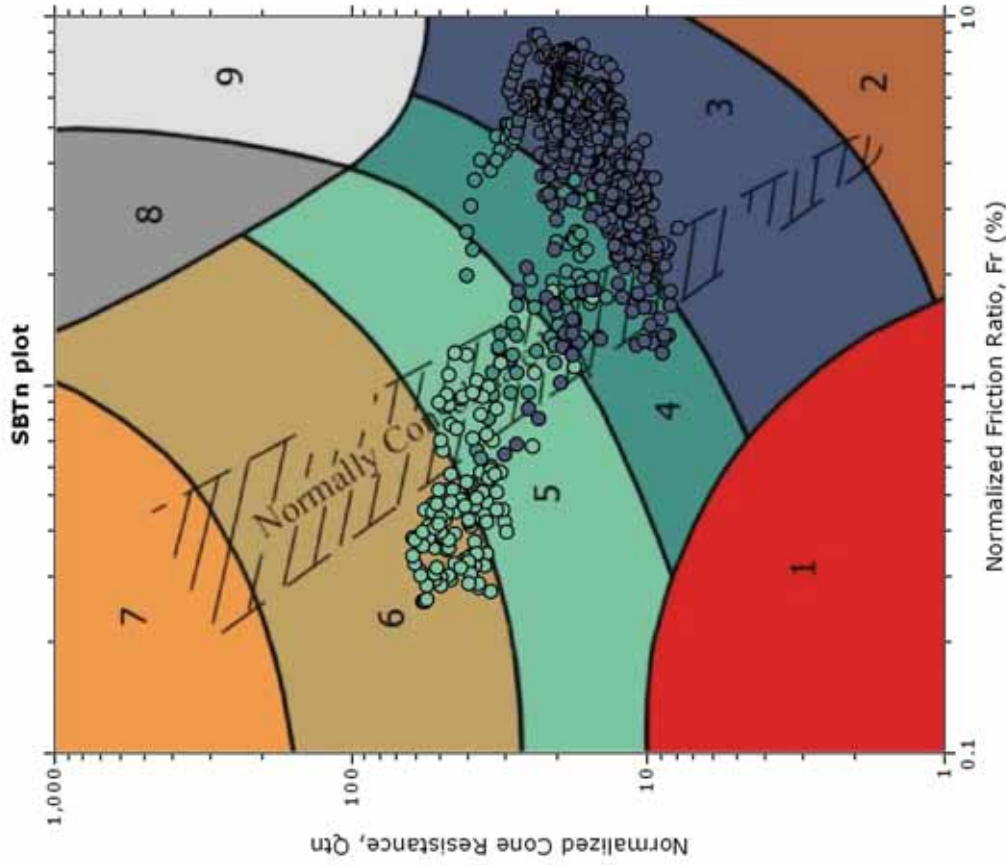
SBT - Bq plots



SBT legend

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

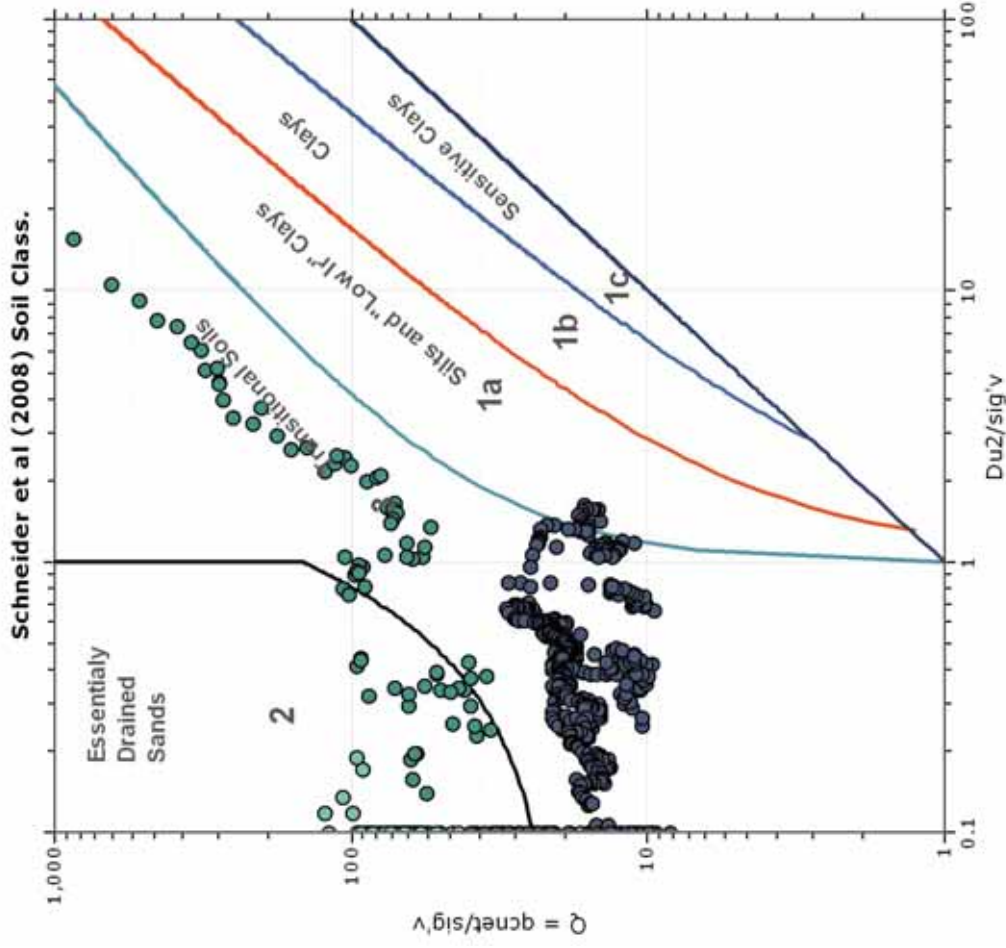
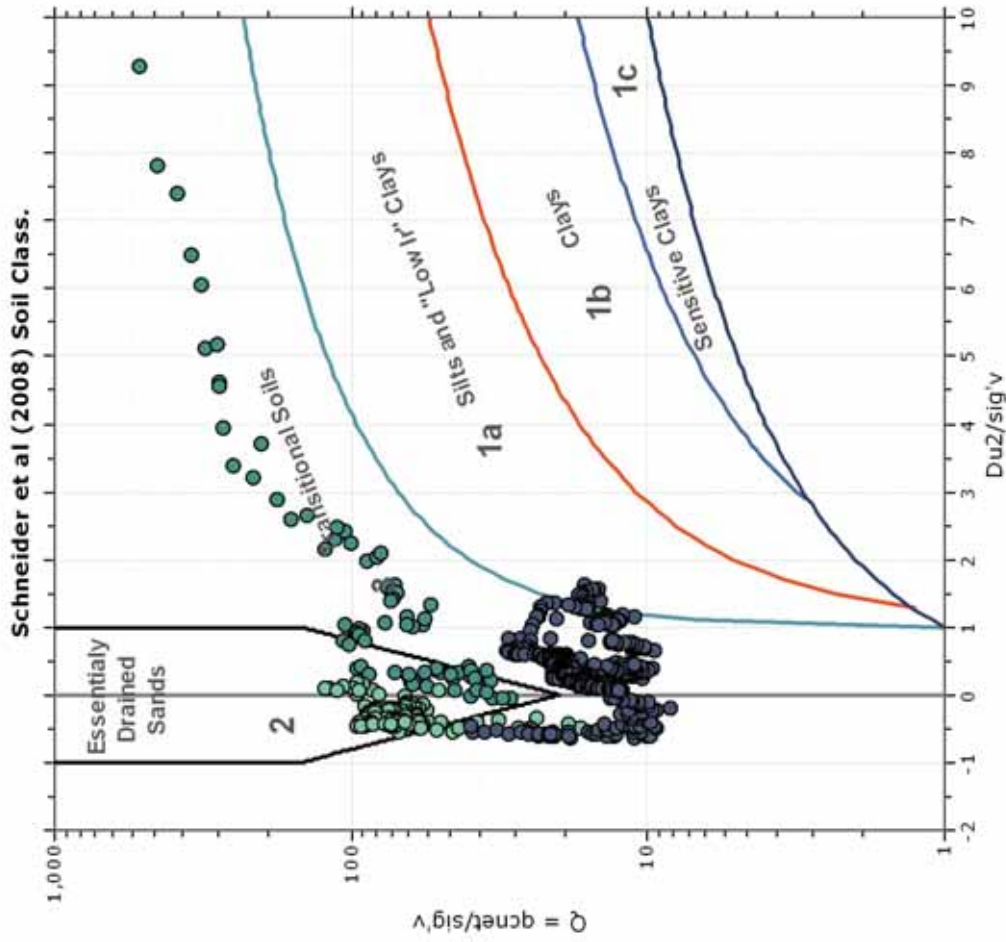
SBT - Bq plots (normalized)

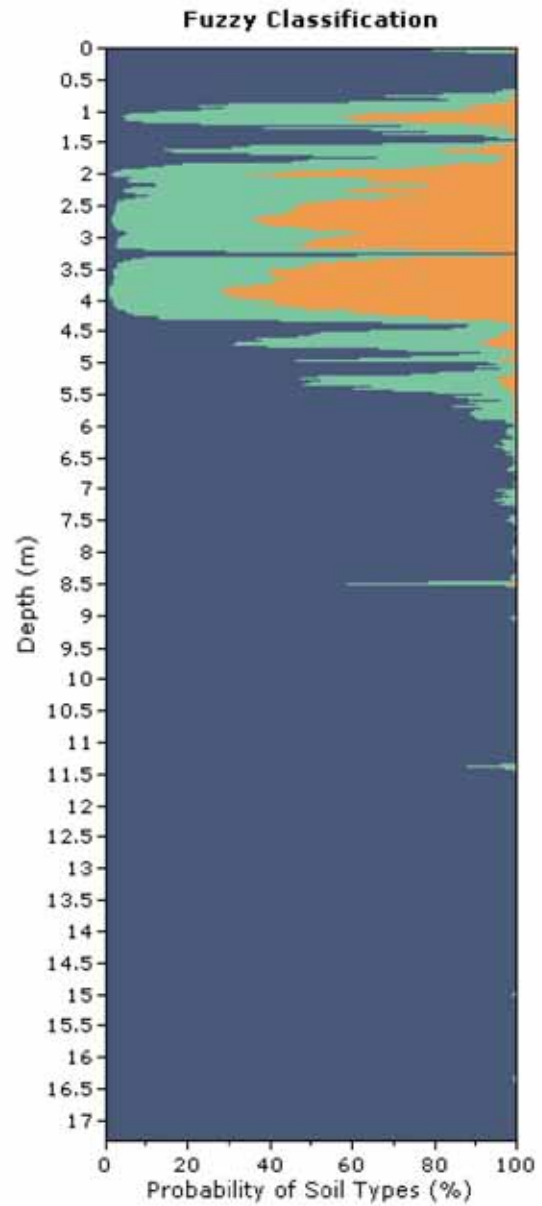
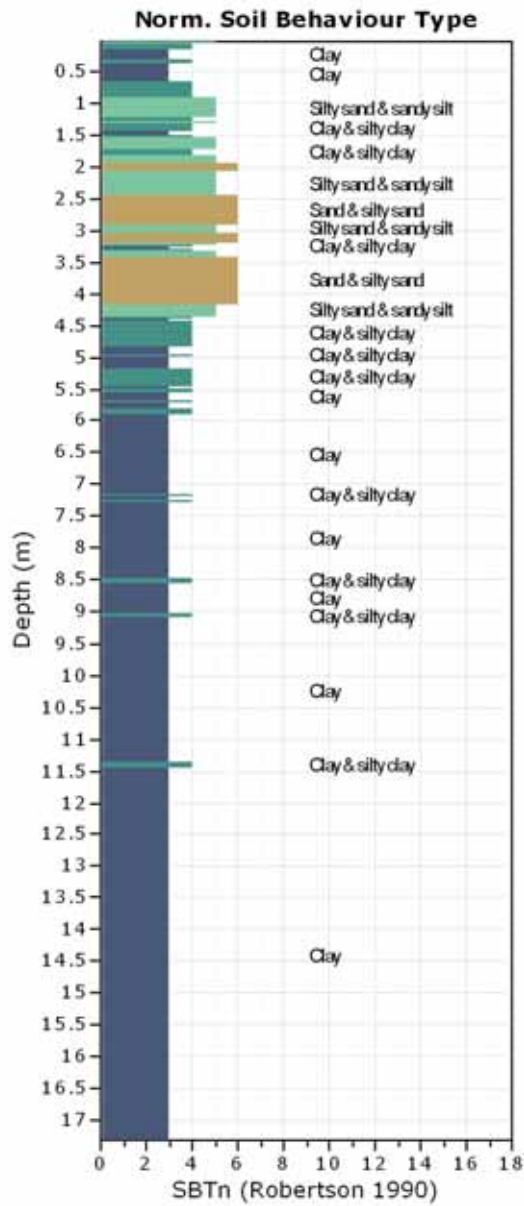


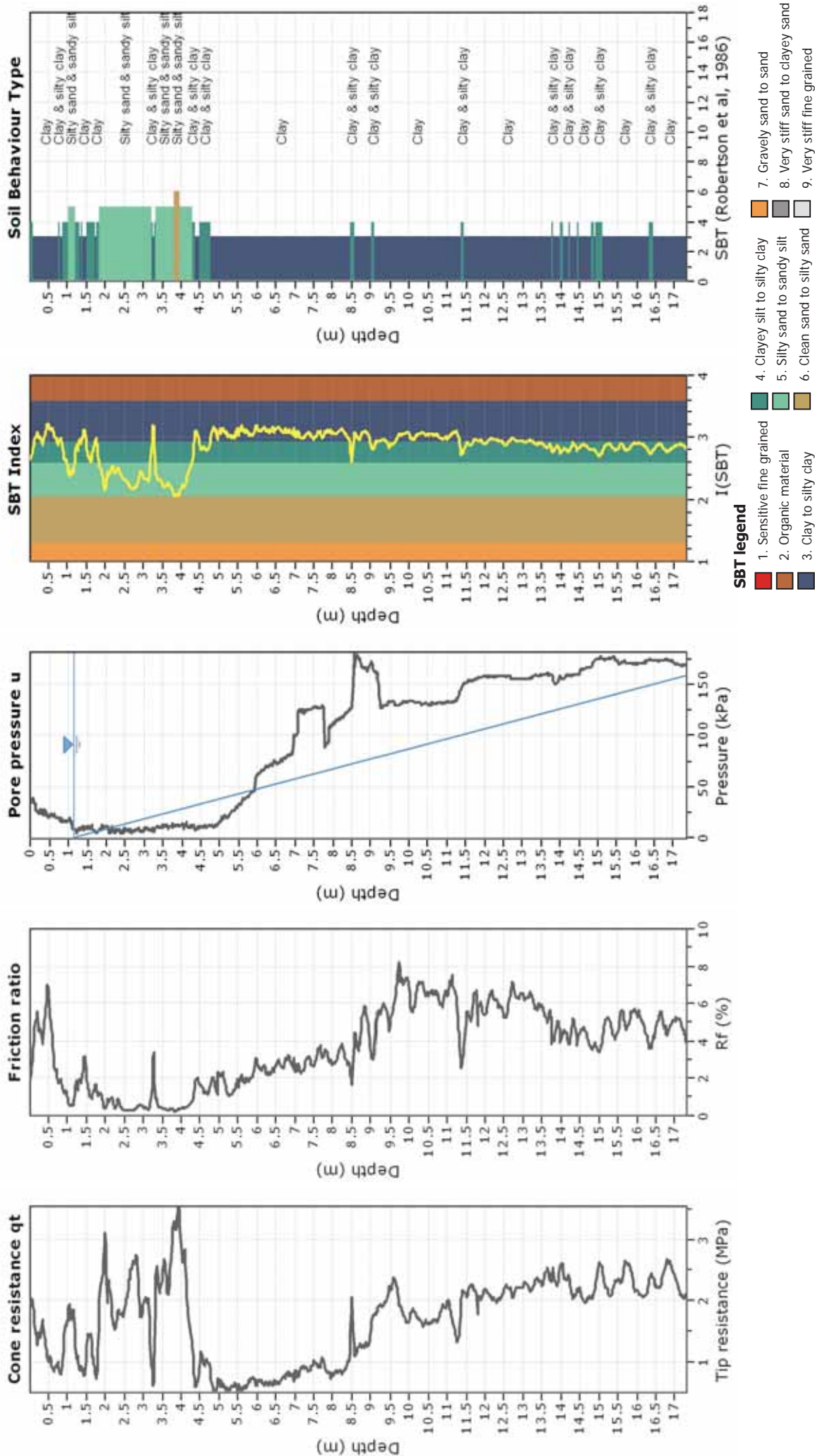
SBTn legend

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

Bq plots (Schneider)









Geo Group S.r.l.
 182, v. Cesare Costa 41123 MODENA
 Tel 059/3967169 Fax 059/5332019
 e-mail geo.group@libero.it

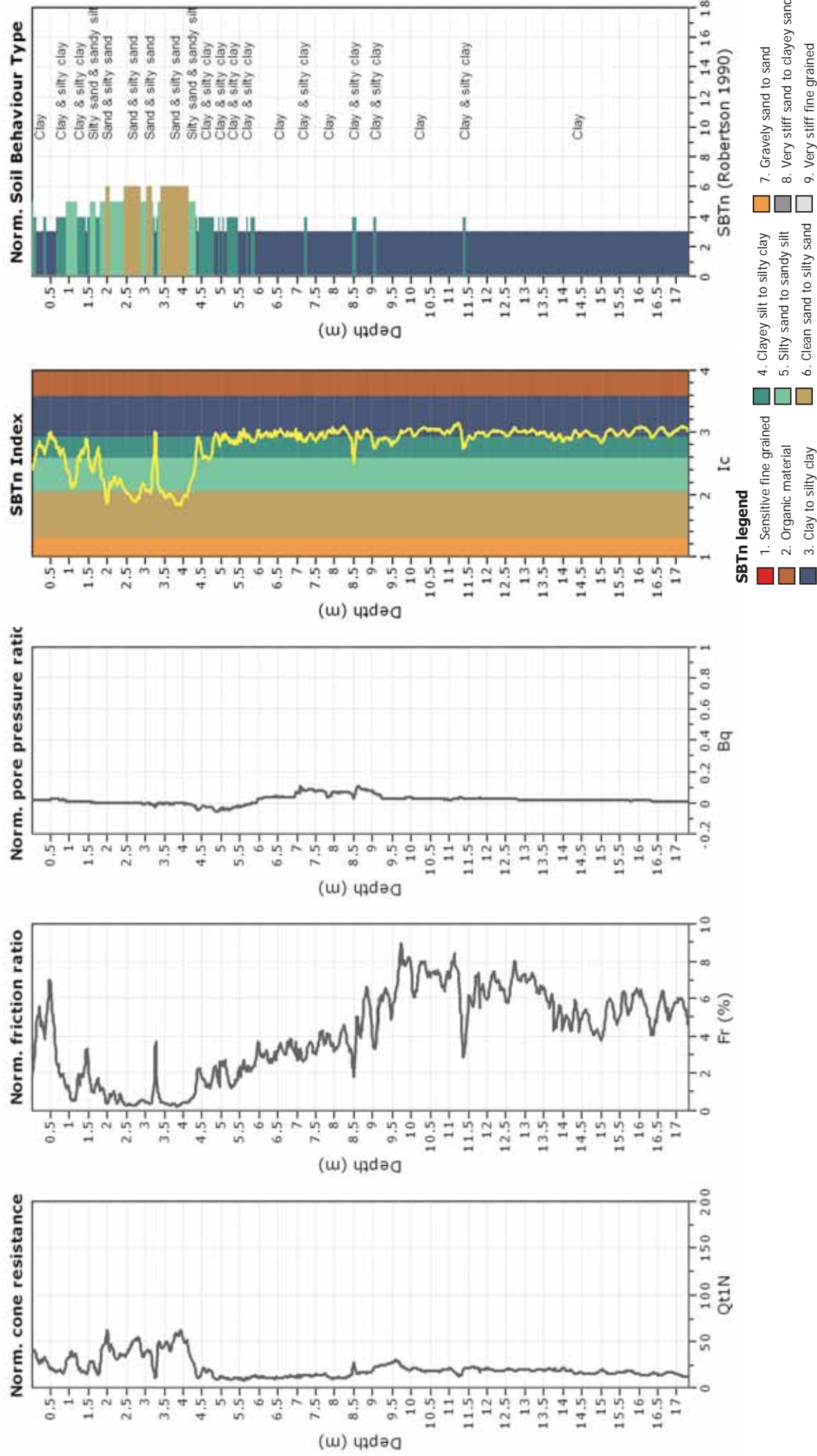
Project: Studio del terreno di fondazione

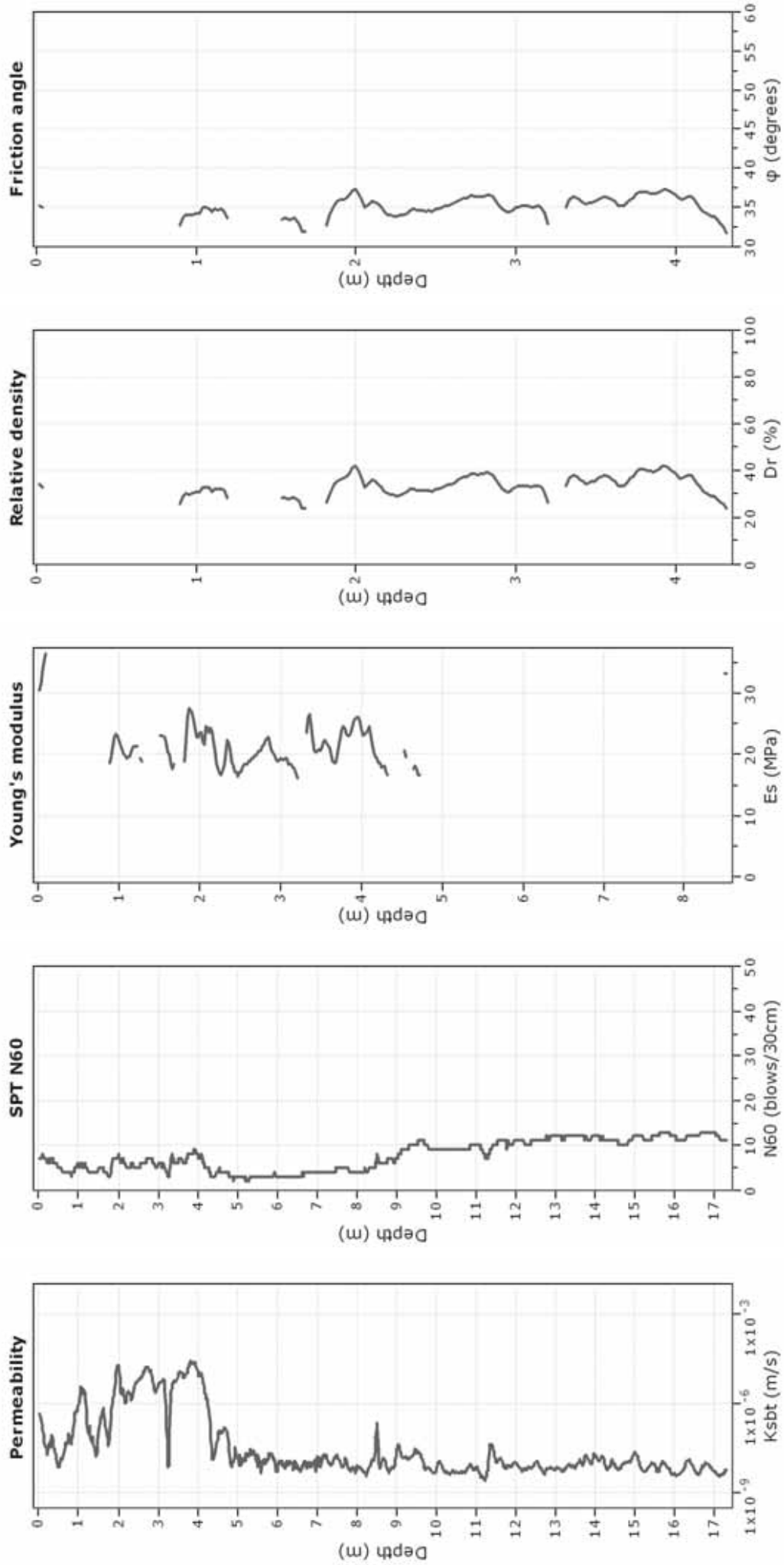
Location: Cento, Via Pioppo

CPT: CPTU2

Total depth: 17.32 m, Date: 21/03/2014

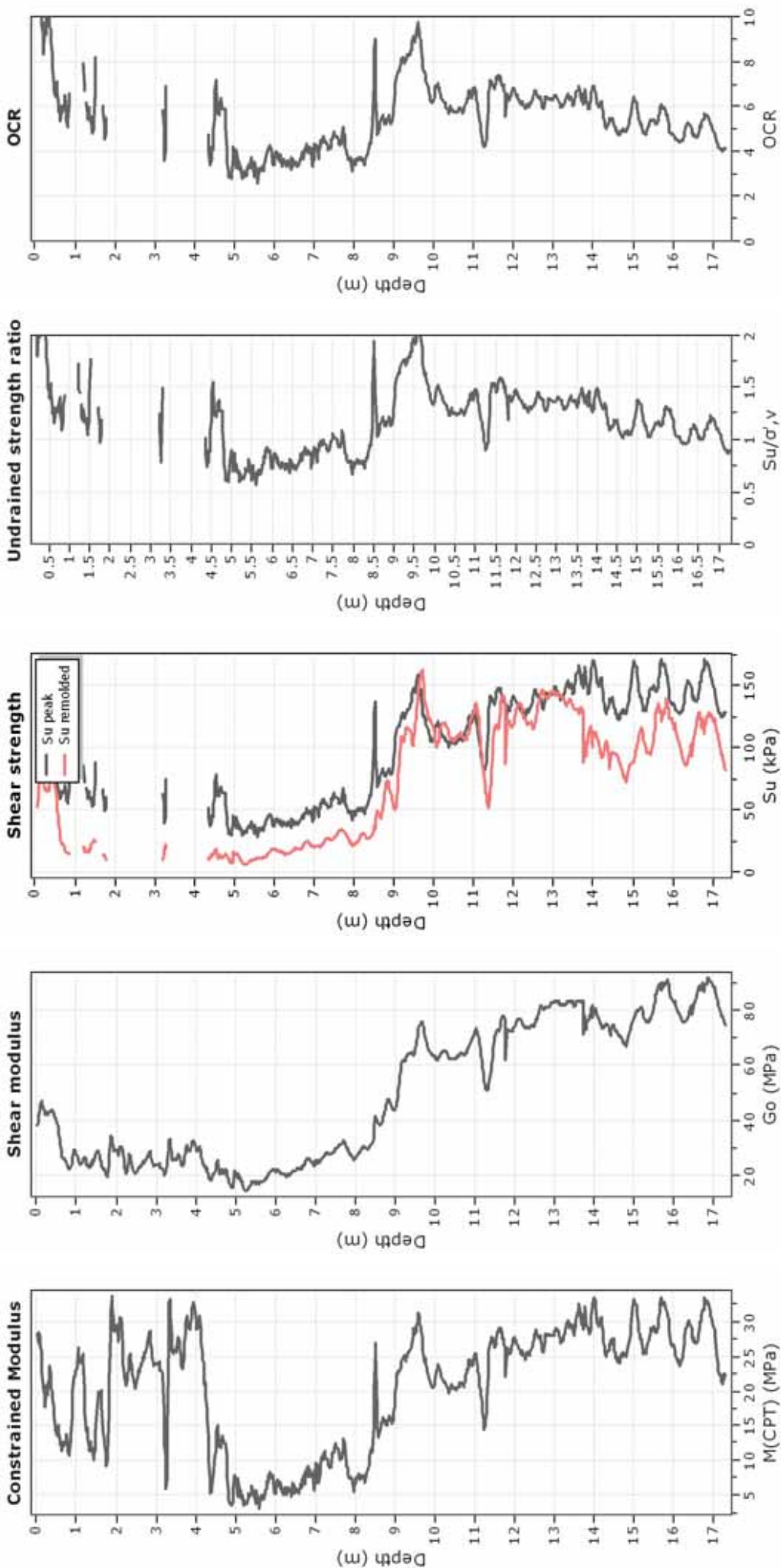
Cone Type: Unknown





Calculation parameters

Permeability: Based on SBT_n
 SPT N₆₀: Based on I_c and q_t
 Young's modulus: Based on variable alpha using I_c (Robertson, 2009) ● User defined estimation data
 Relative density constant, C_{Dr}: 350.0
 Phi: Based on Kulhawy & Mayne (1990)



Calculation parameters

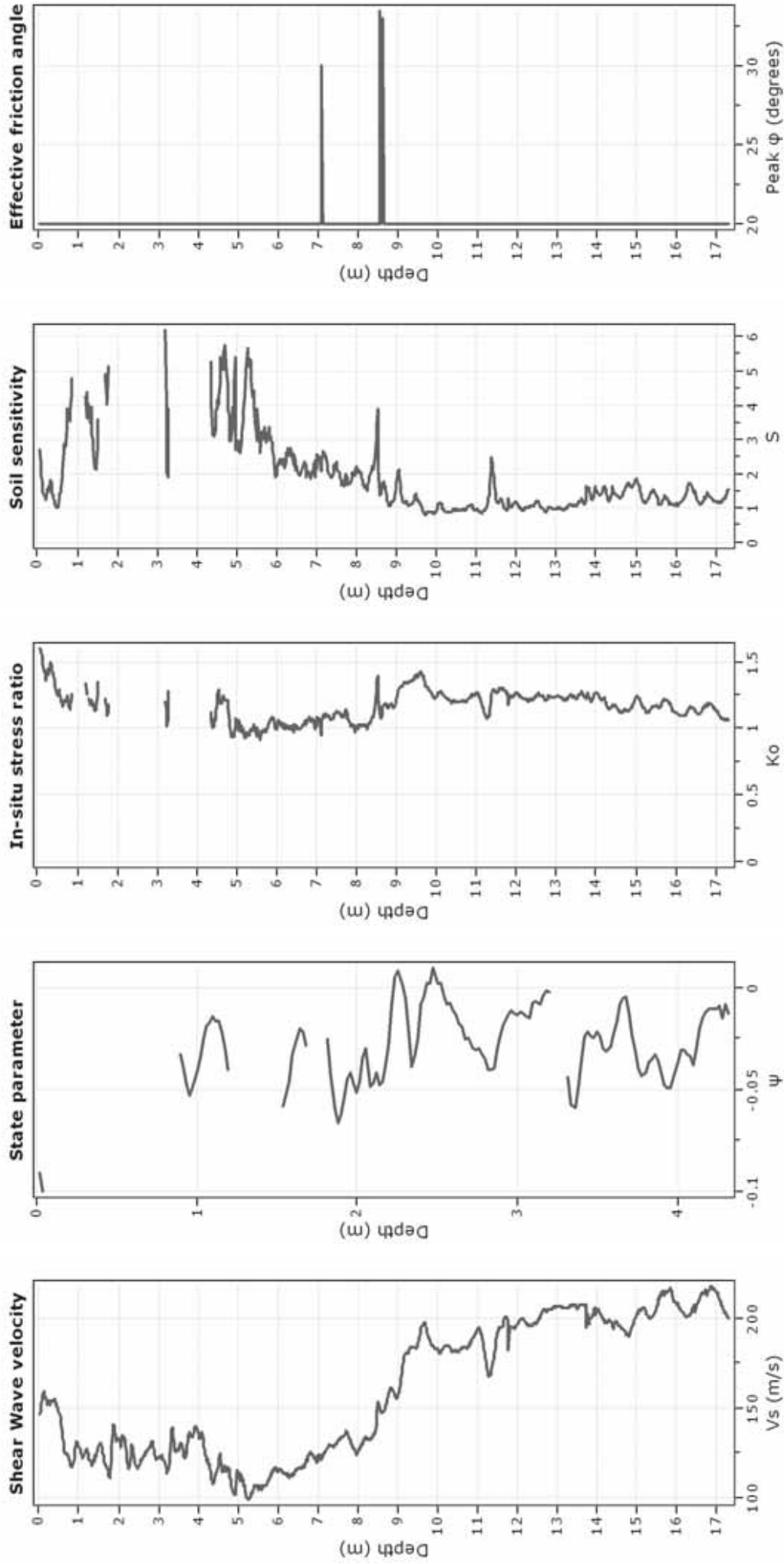
Constrained modulus: Based on variable $\alpha/p/\eta$ using I. and Q_{b0} (Robertson, 2009)

Go: Based on variable $\alpha/p/\eta$ using I. (Robertson, 2009)

Undrained shear strength cone factor for clays, $N_{k,c}$: 14

OCR factor for clays, $N_{k,c}$: 0.33

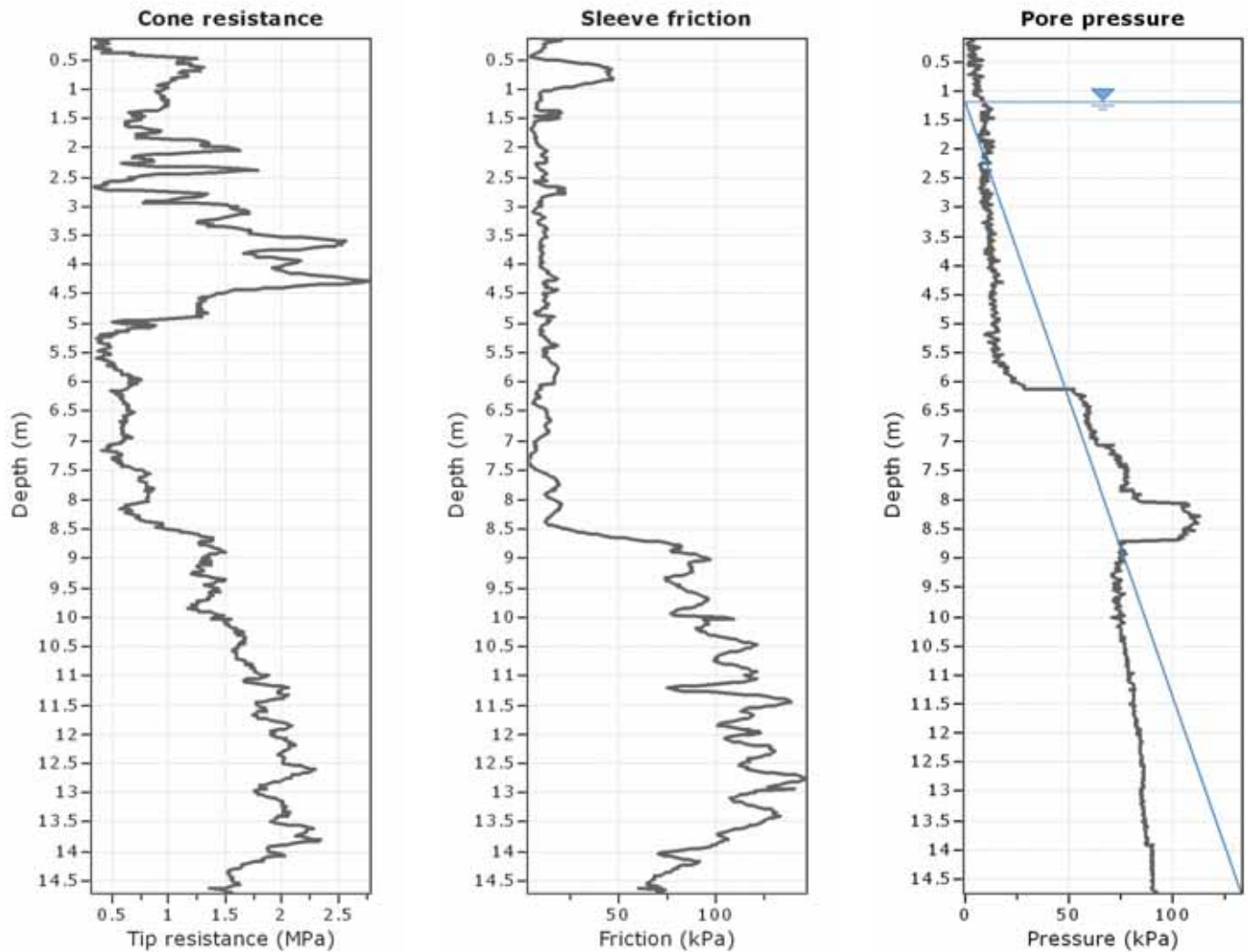
● User defined estimation data



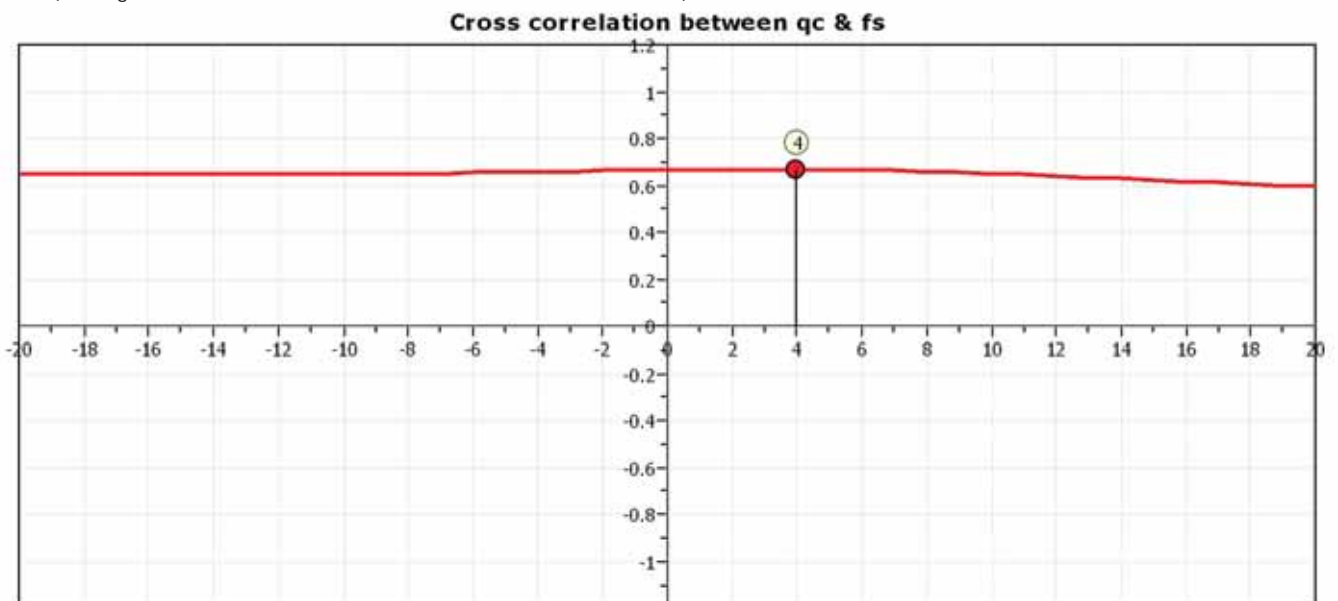
Calculation parameters

Soil Sensitivity factor, N_s : 7.00

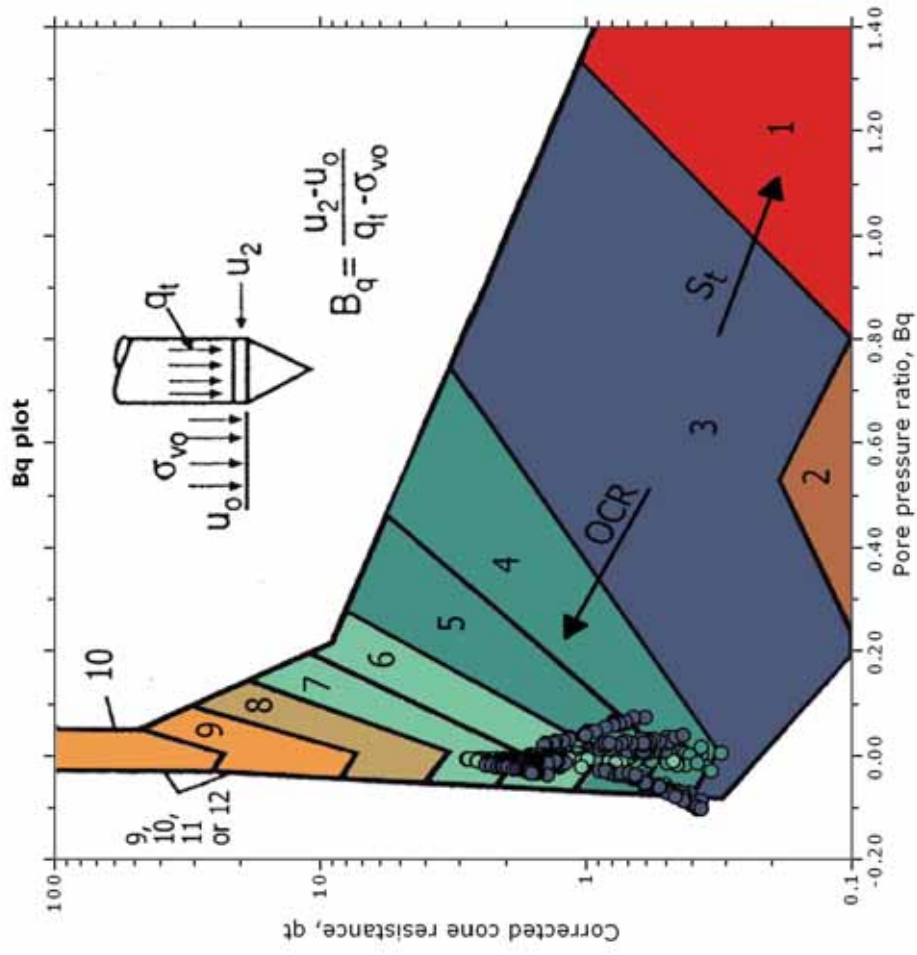
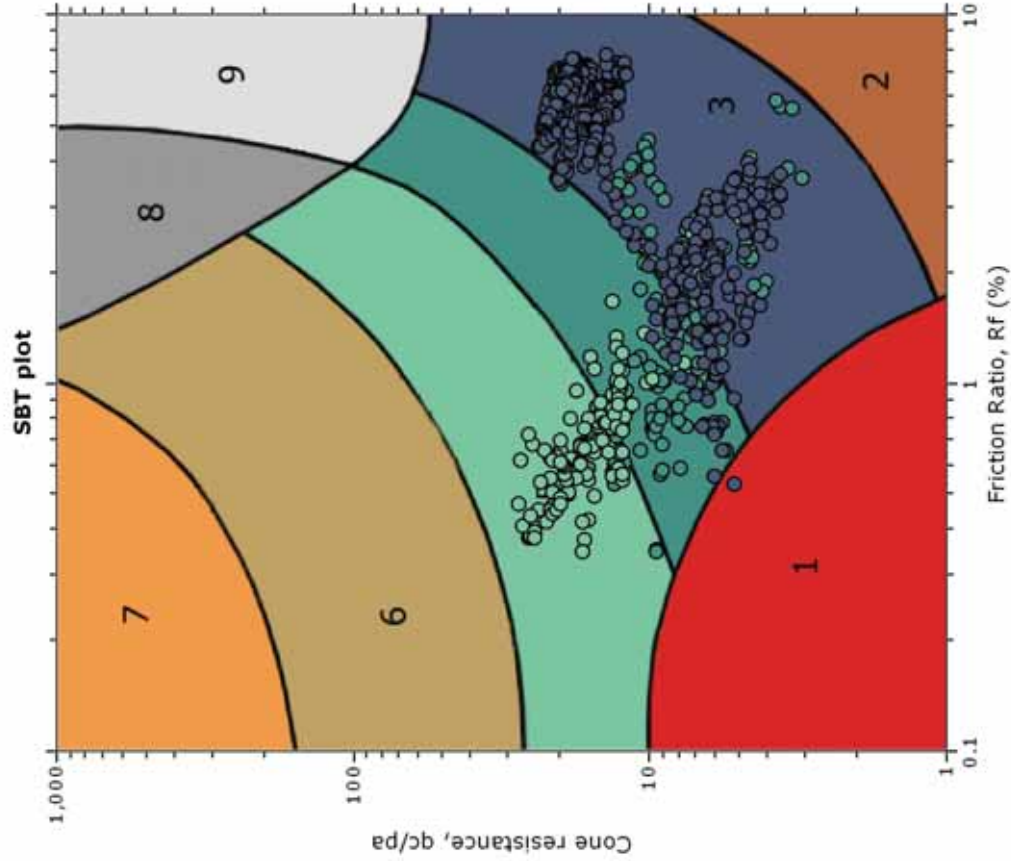
—●— User defined estimation data



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



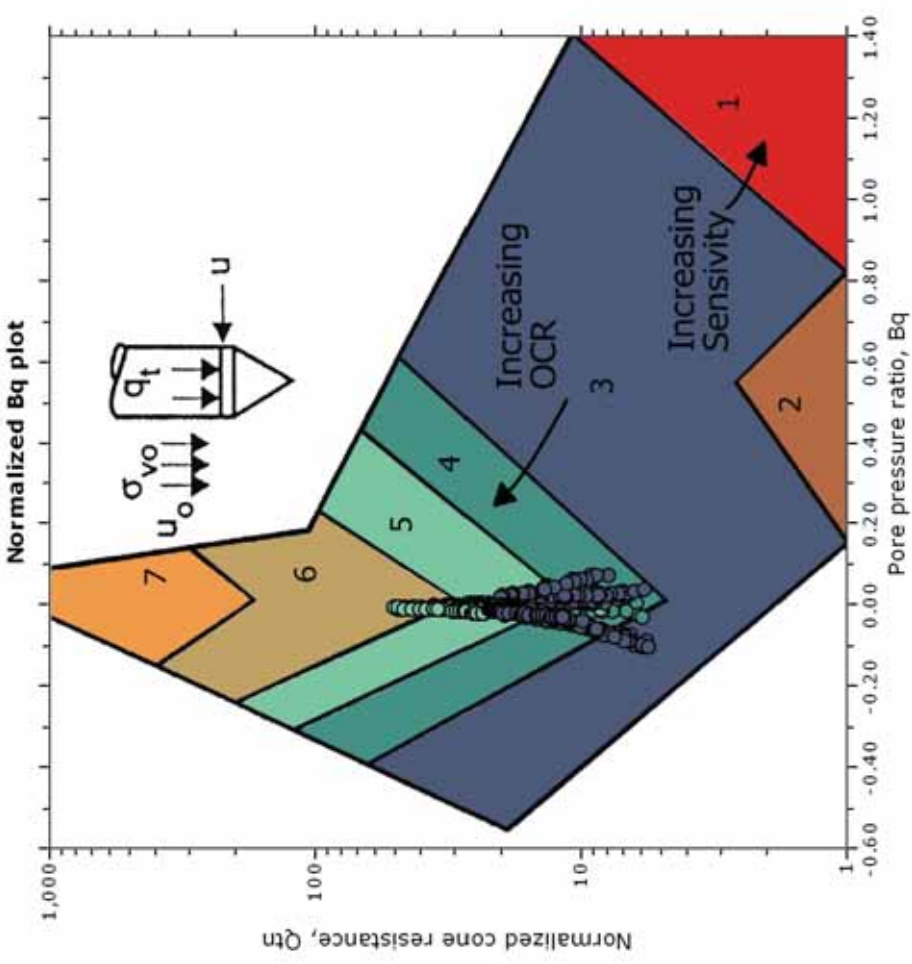
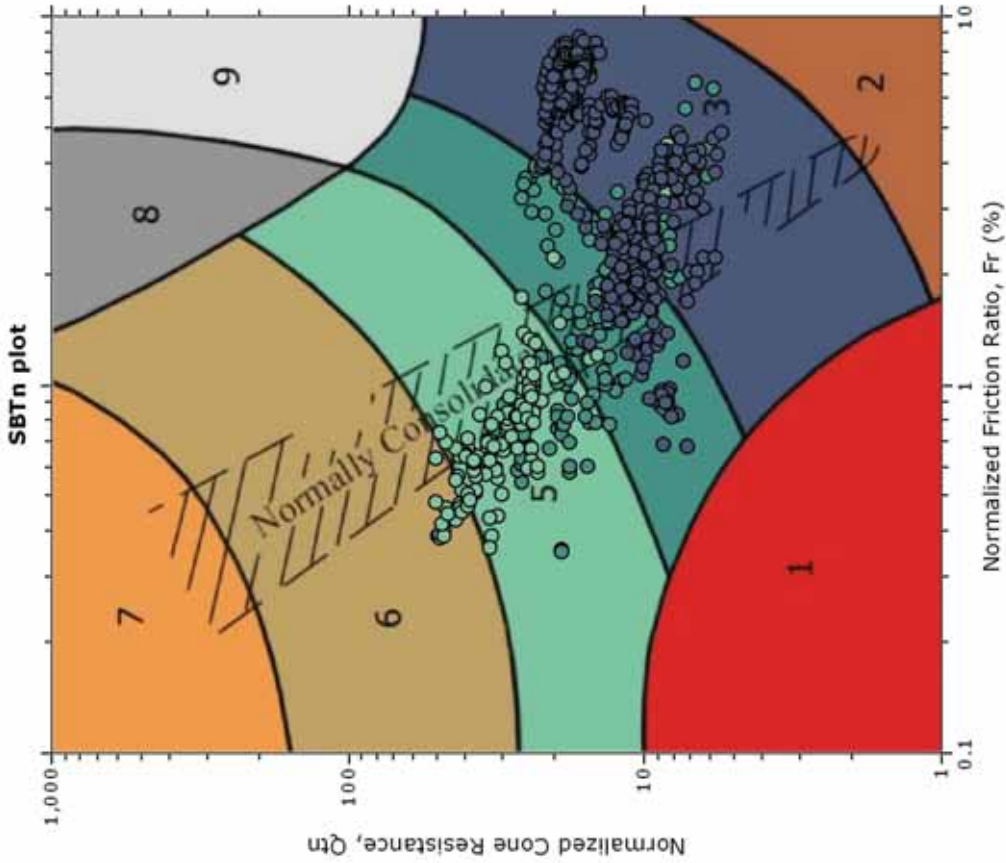
SBT - Bq plots



SBT legend

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

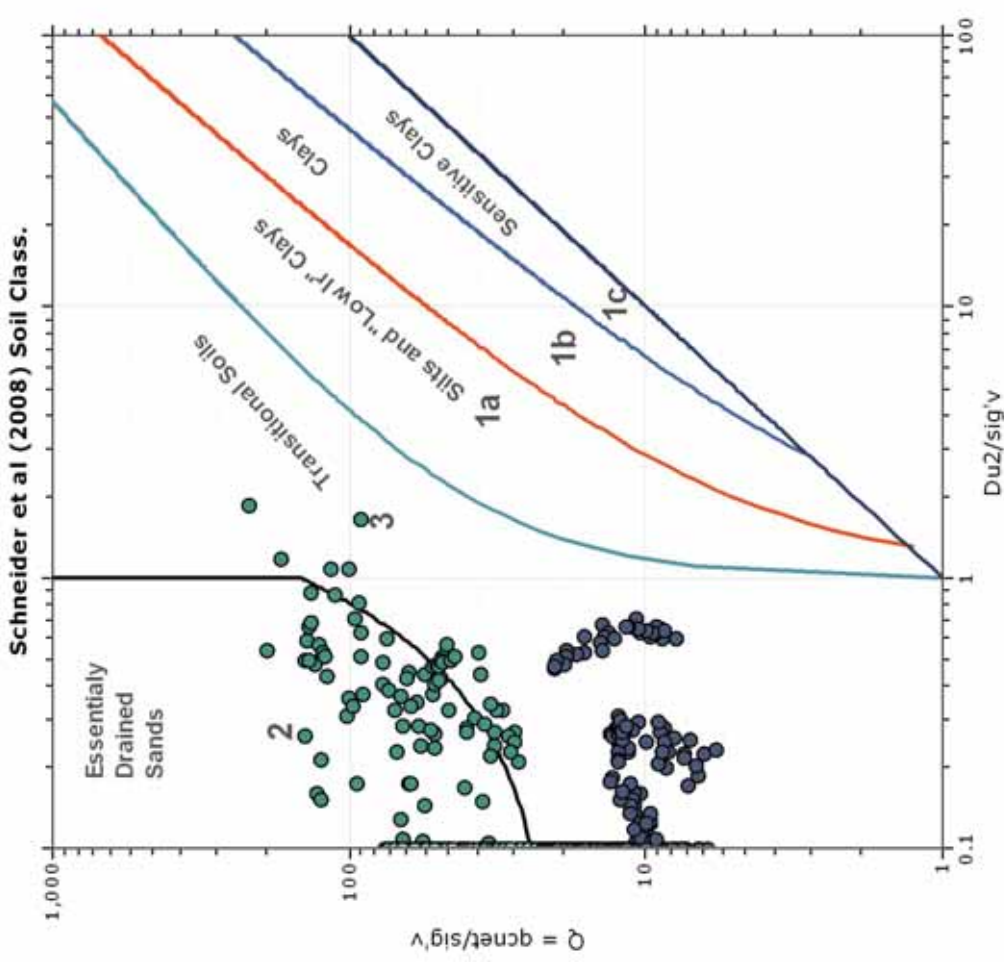
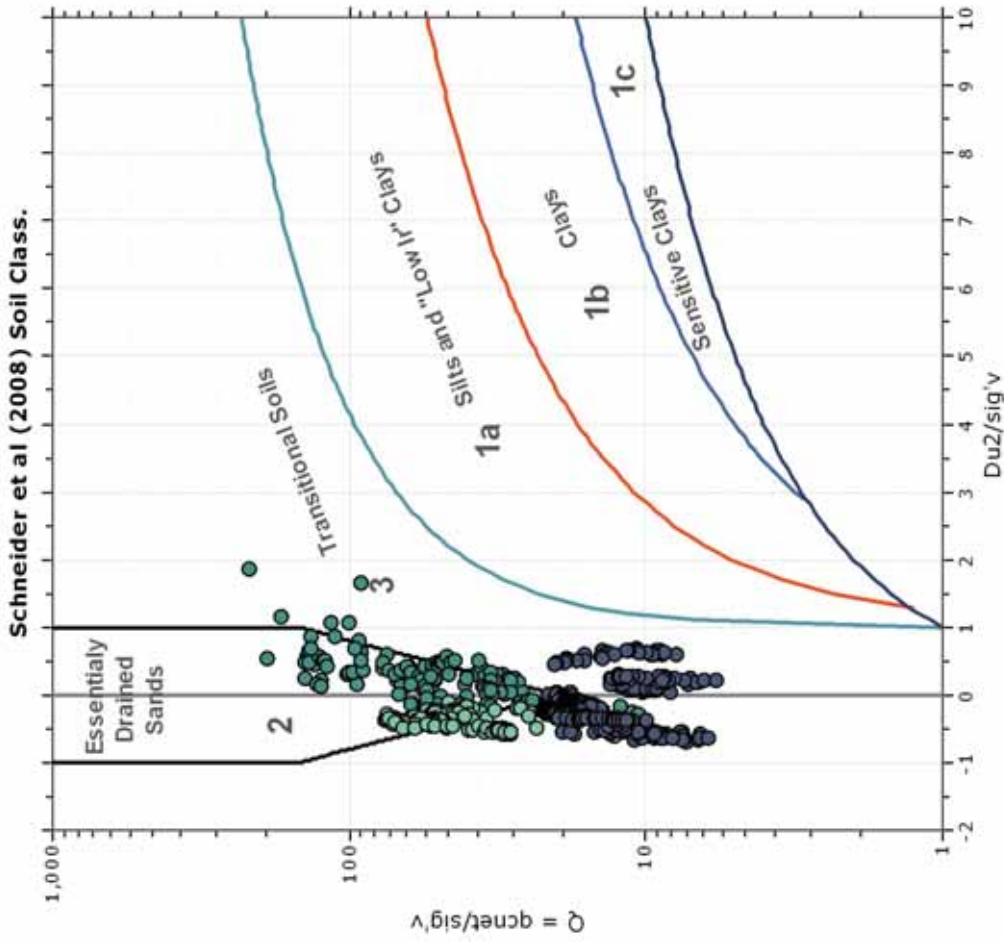
SBT - Bq plots (normalized)

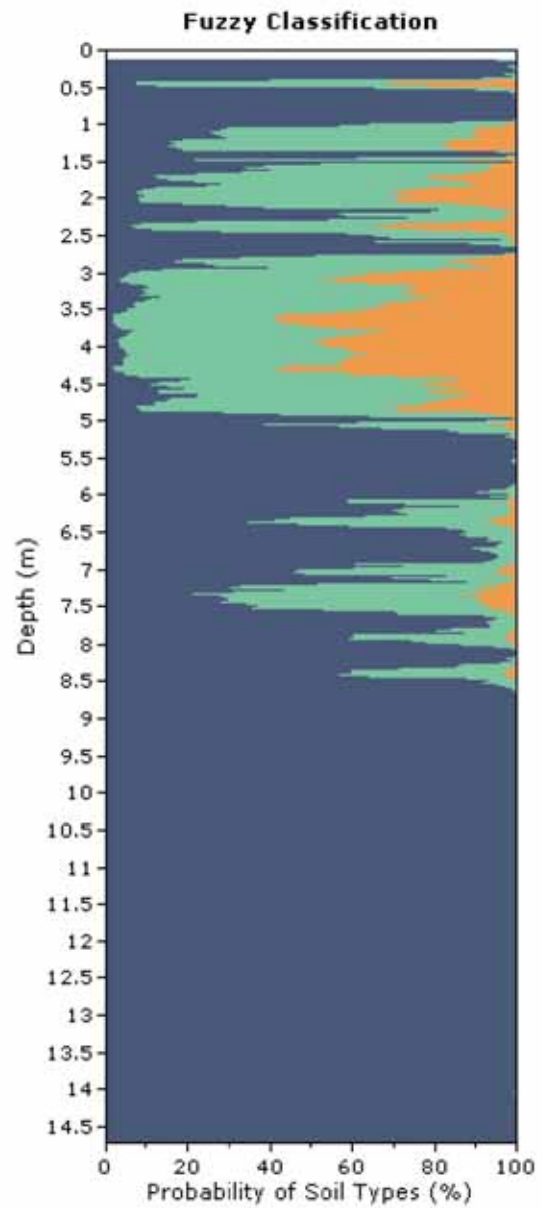
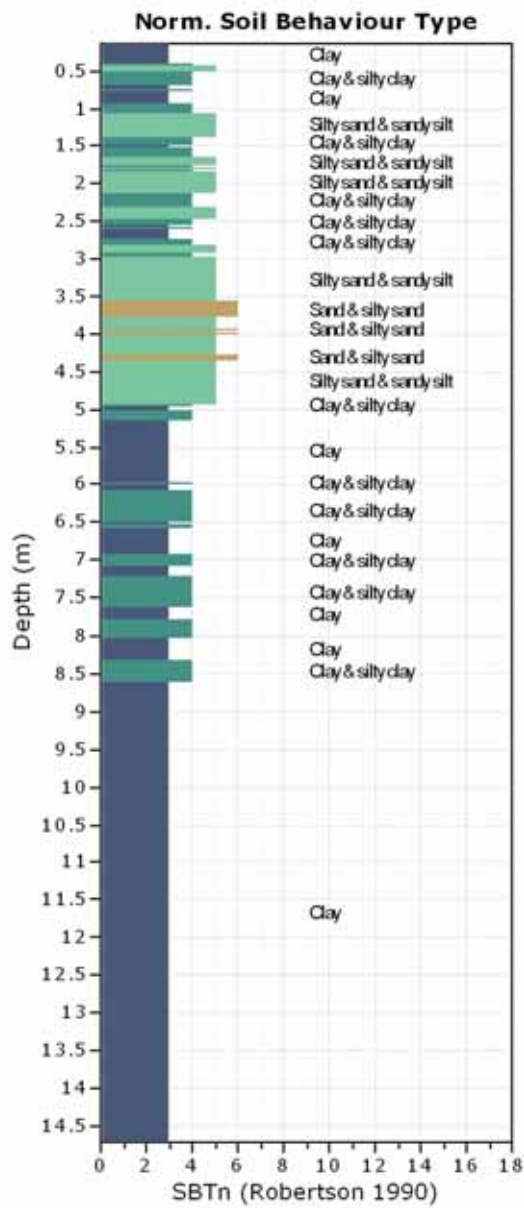


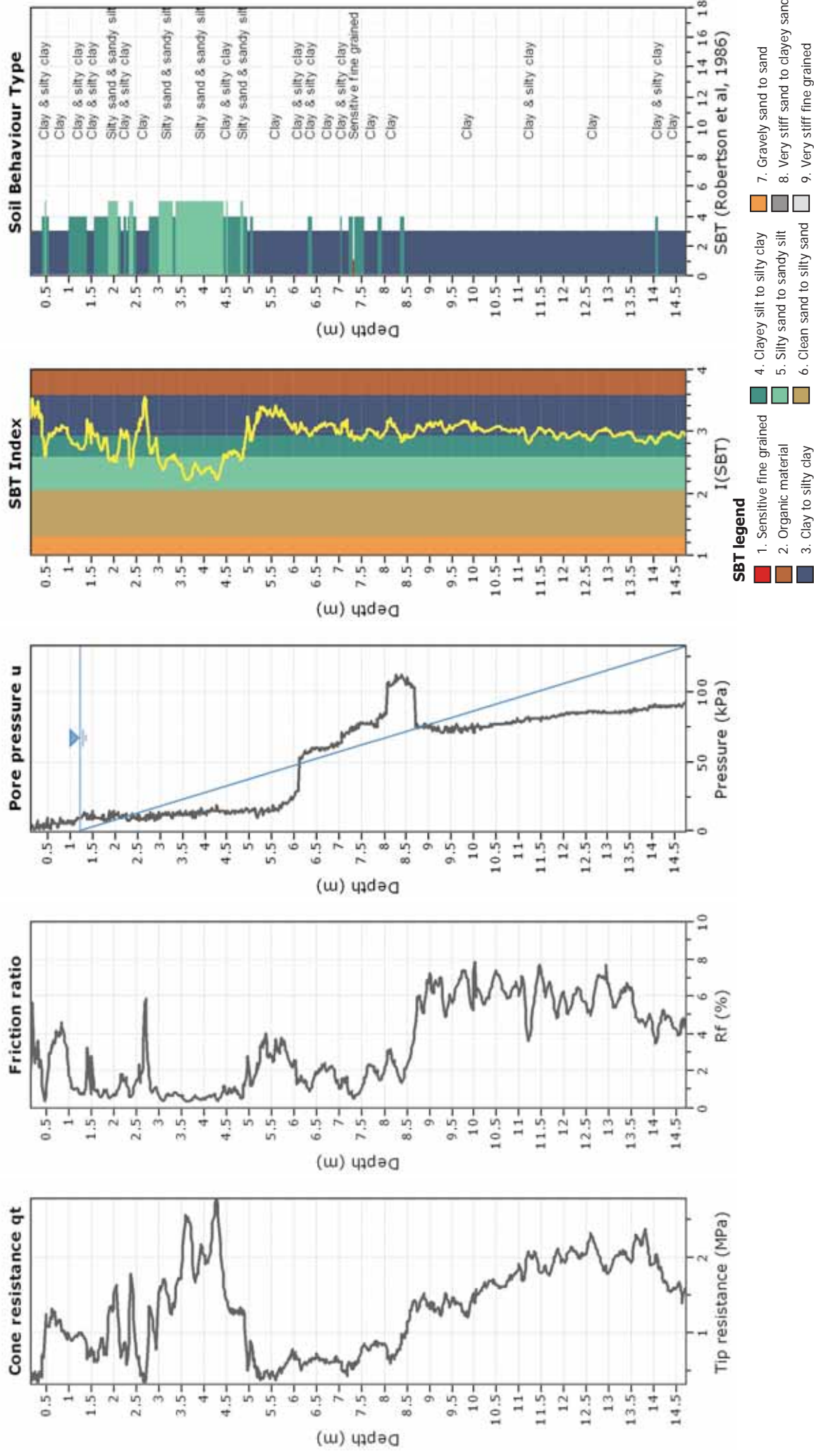
SBTn legend

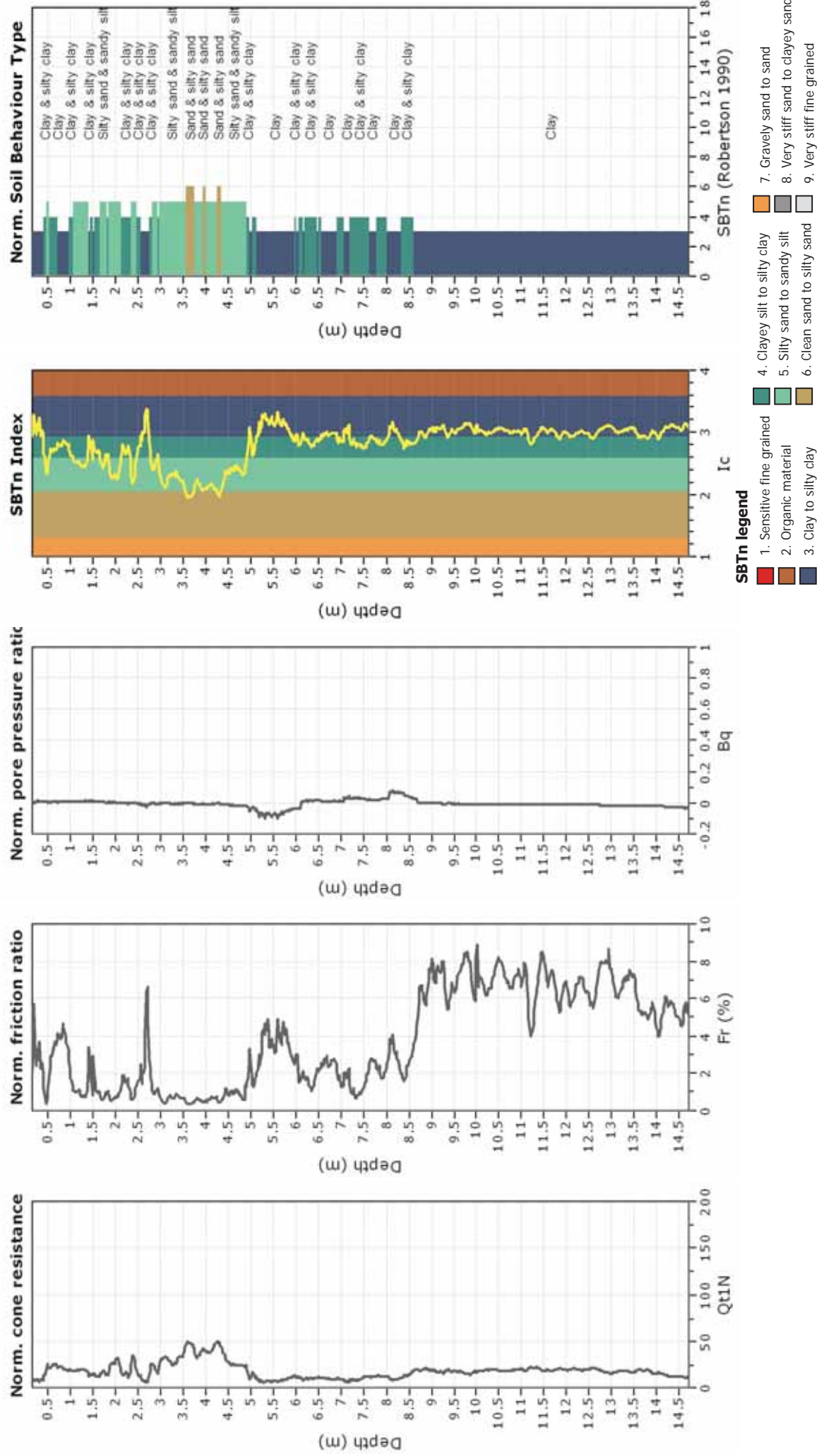
- 1. Sensitive fine grained
- 2. Organic material
- 3. Clay to silty clay
- 4. Clayey silt to silty clay
- 5. Silty sand to sandy silt
- 6. Clean sand to silty sand
- 7. Gravely sand to sand
- 8. Very stiff sand to clayey sand
- 9. Very stiff fine grained

Bq plots (Schneider)











Geo Group S.r.l.
 182, v. Cesare Costa 41123 MODENA
 Tel 059/3967169 Fax 059/5332019
 e-mail geo.group@libero.it

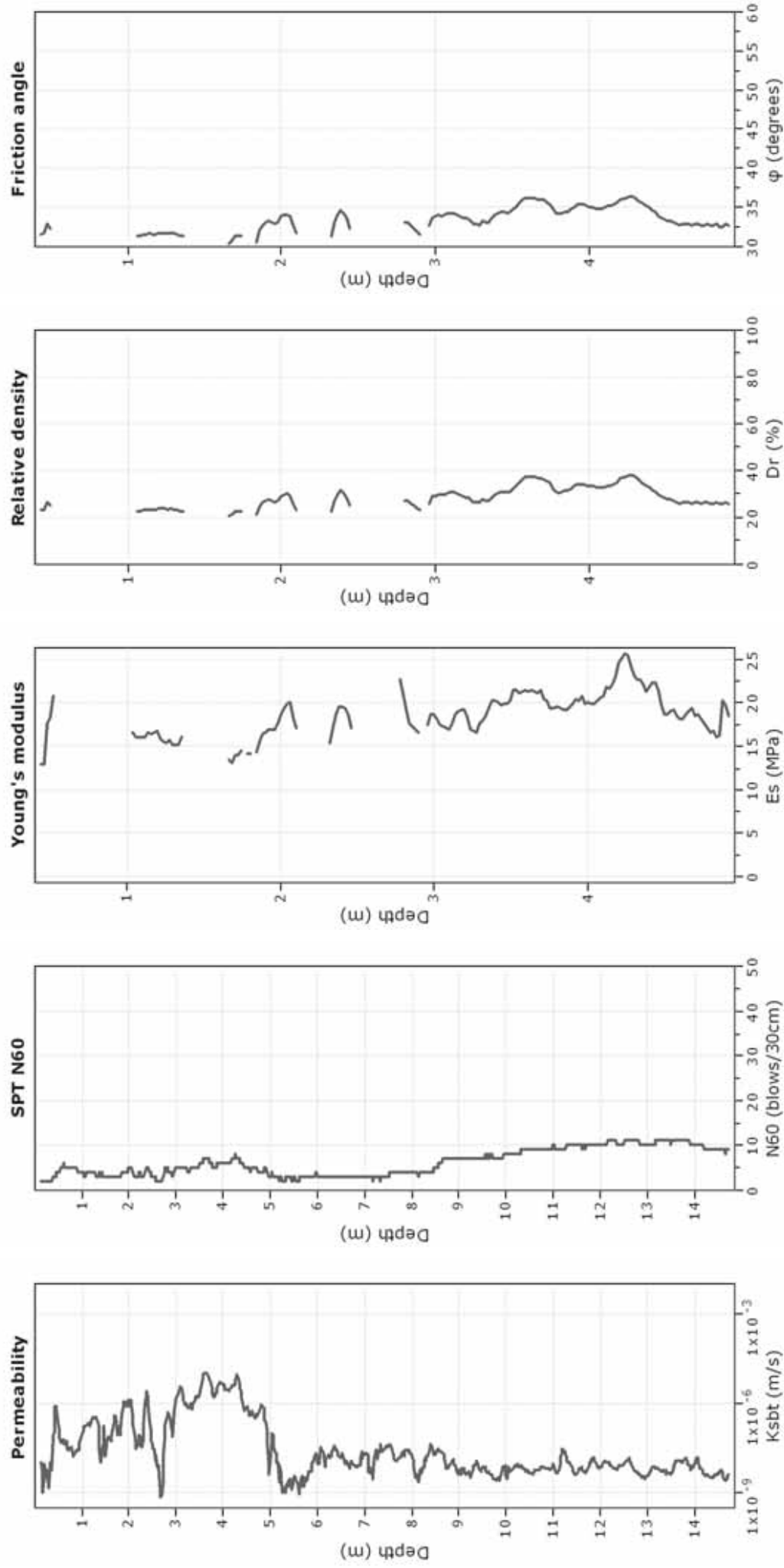
Project: Studio del terreno di fondazione

Location: Cento, Via Pioppo

CPT: CPTU3

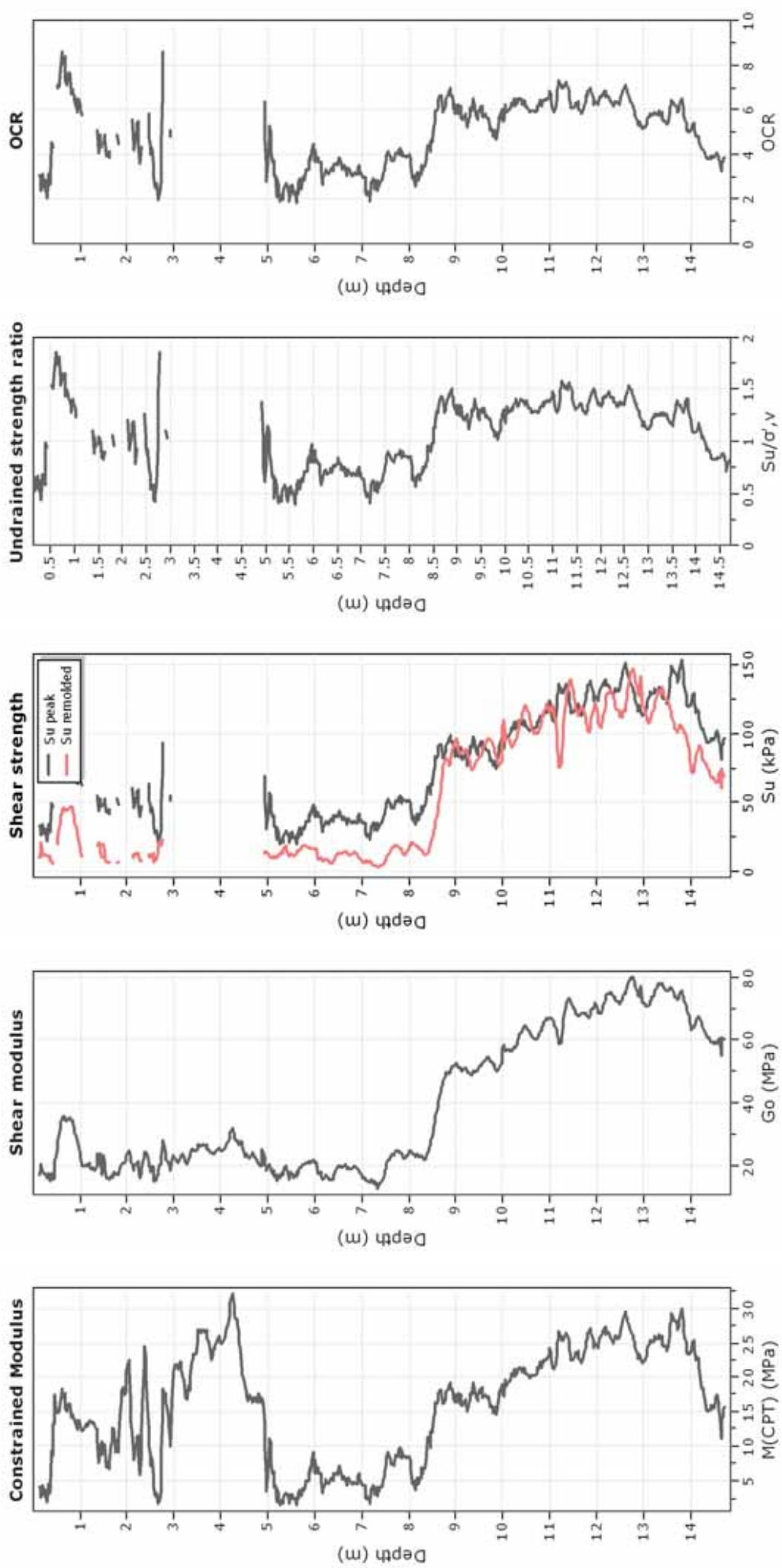
Total depth: 14.72 m, Date: 21/03/2014

Cone Type: Unknown



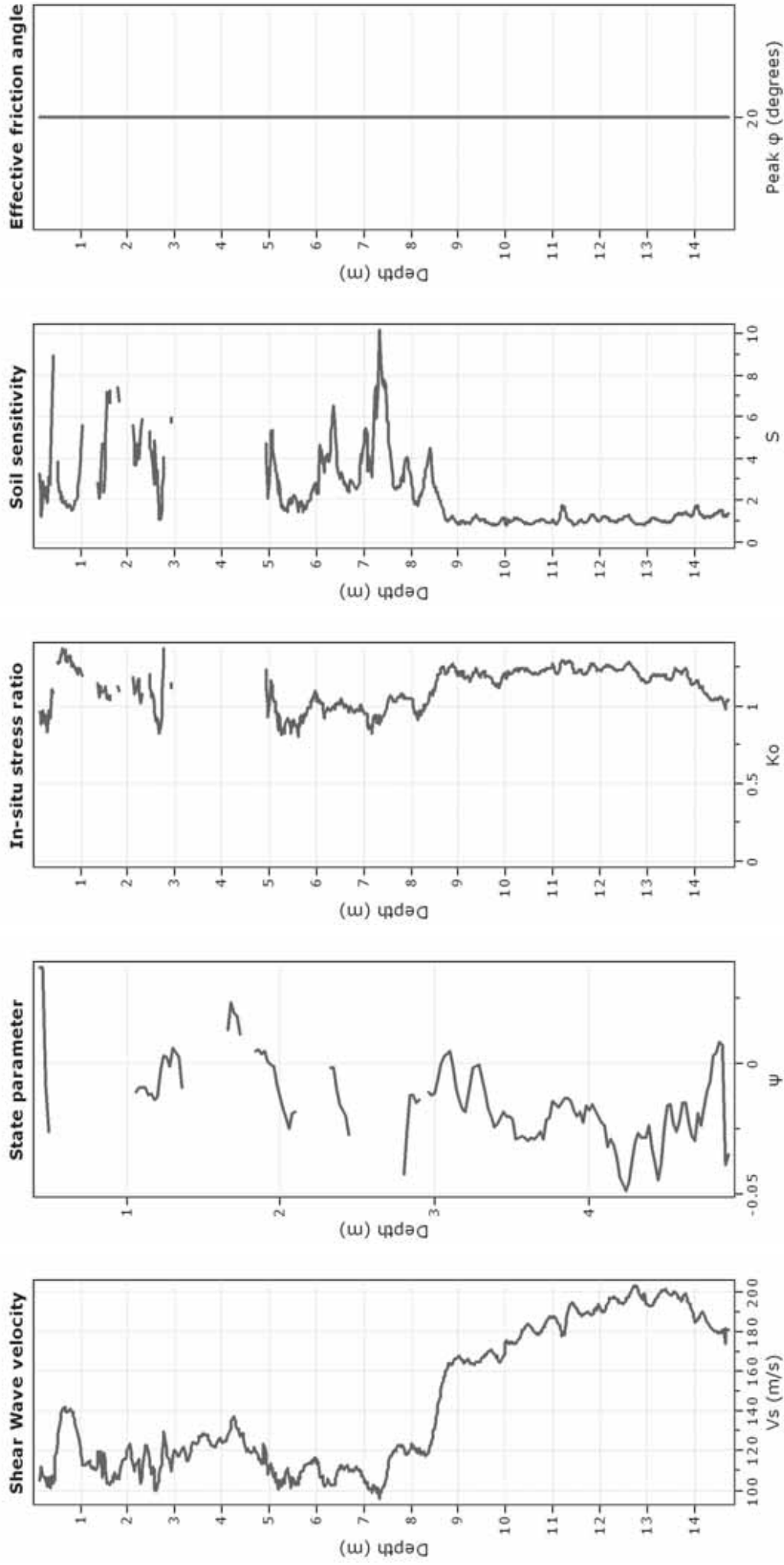
Calculation parameters

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



Calculation parameters

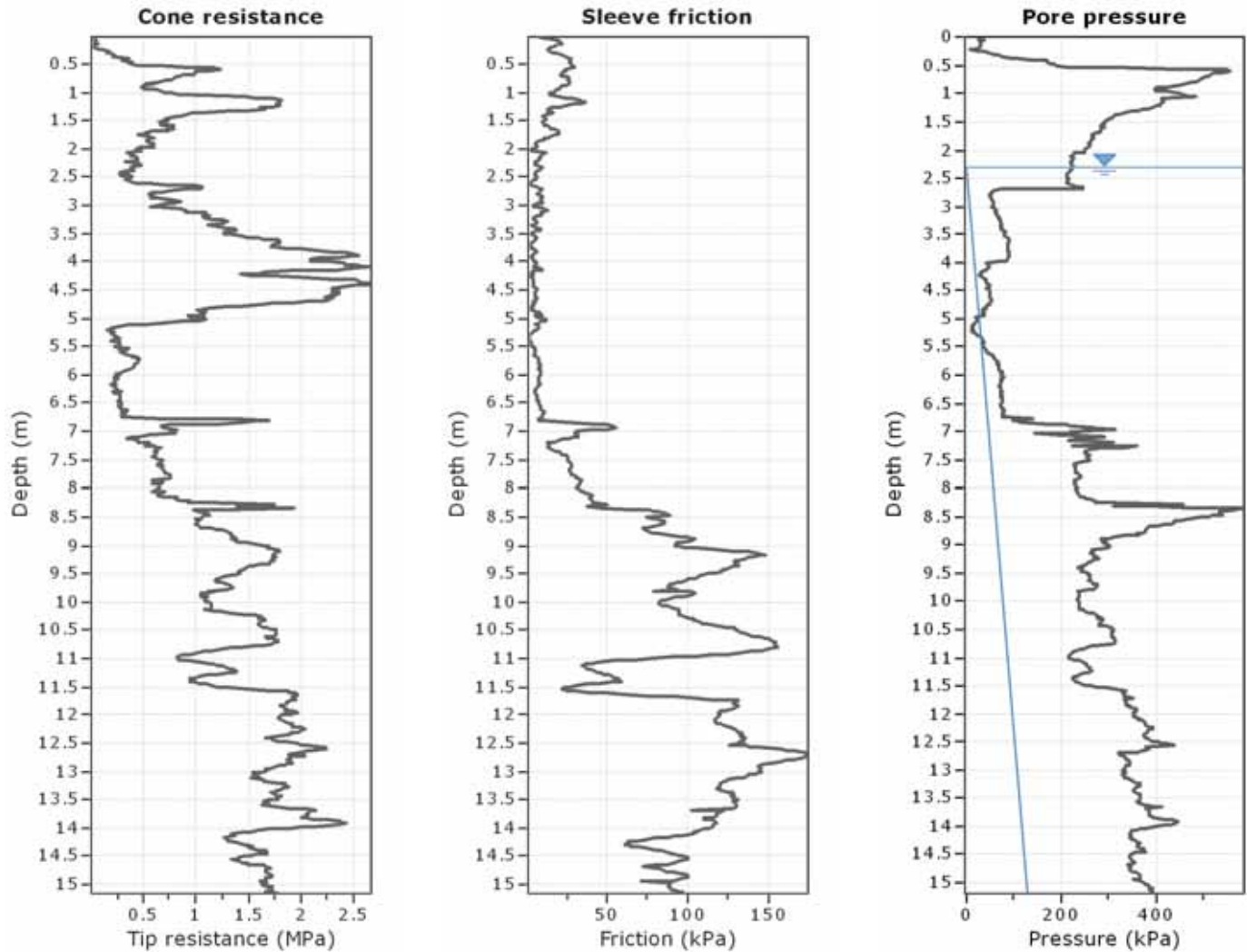
Constrained modulus: Based on variable $\alpha/\rho/\eta$ using I_c and Q_{b0} (Robertson, 2009)
 Go: Based on variable $\alpha/\rho/\eta$ using I_c (Robertson, 2009)
 Undrained shear strength cone factor for clays, $N_{k,c}$: 14
 OCR factor for clays, $N_{k,c}$: 0.33
 ● User defined estimation data



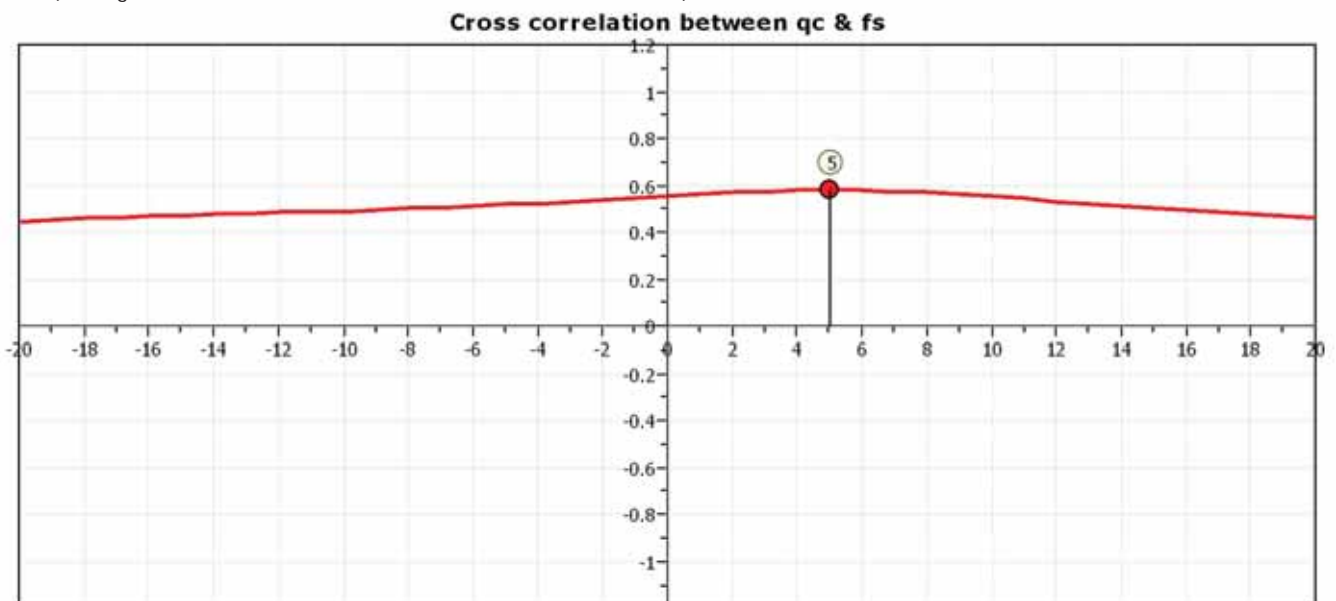
Calculation parameters

Soil Sensitivity factor, N_s : 7.00

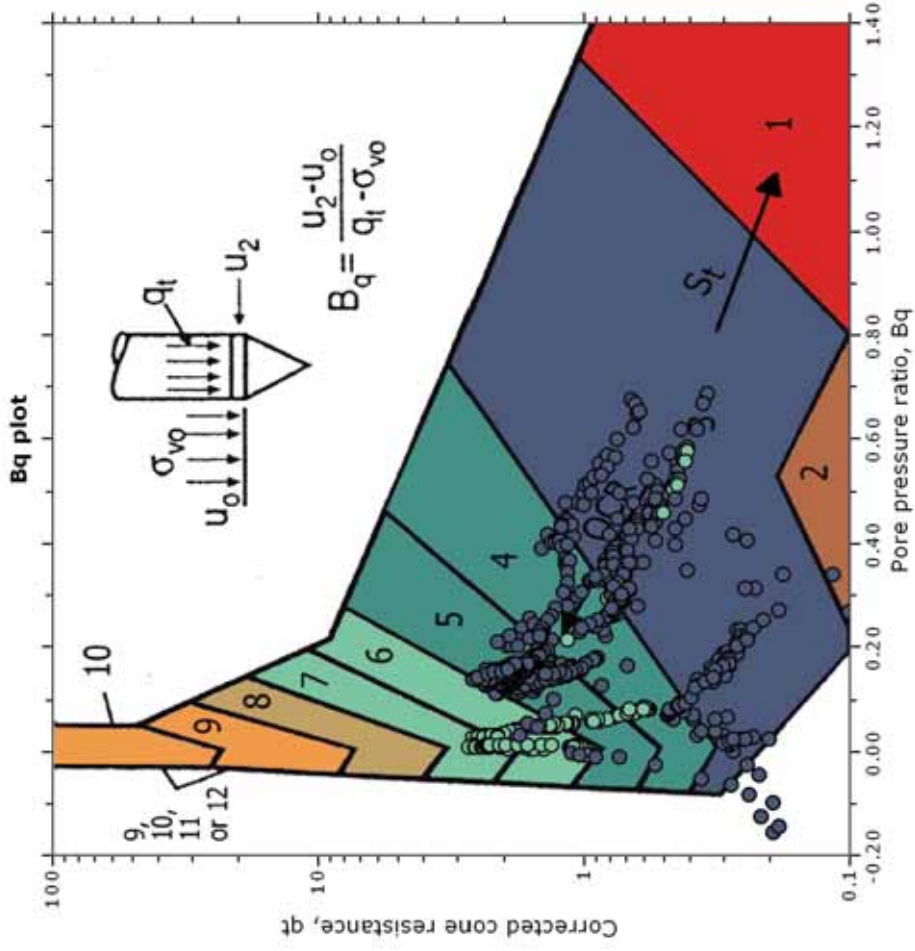
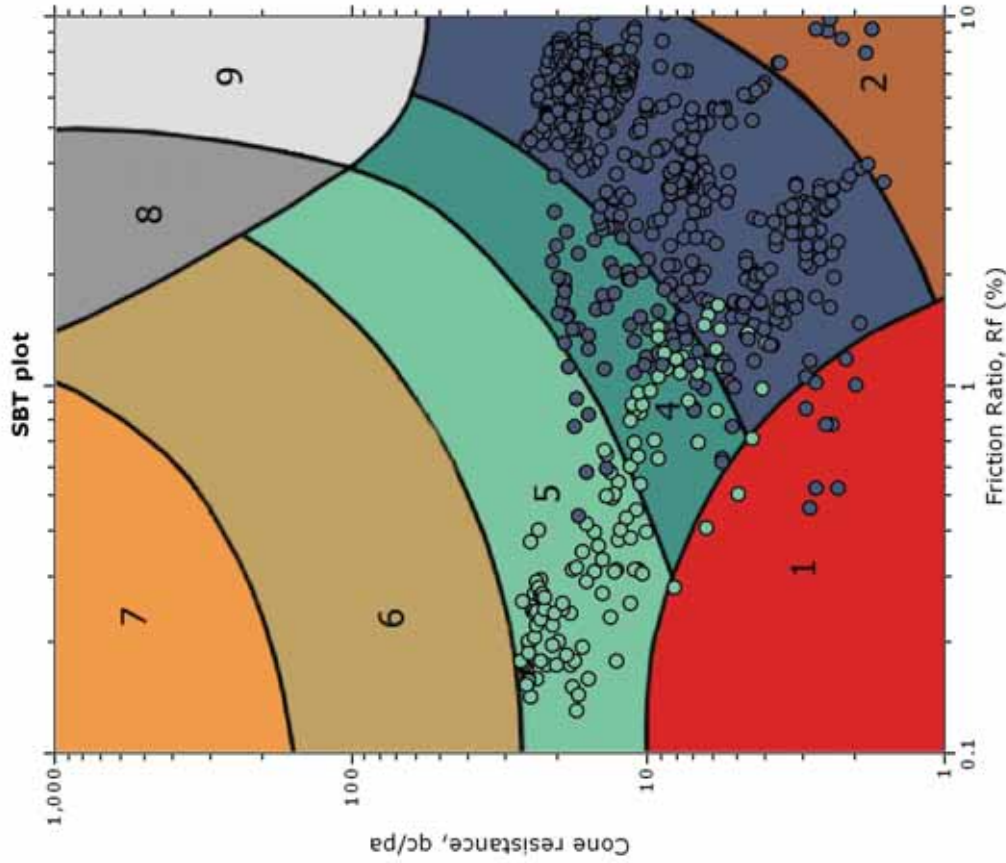
—●— User defined estimation data



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



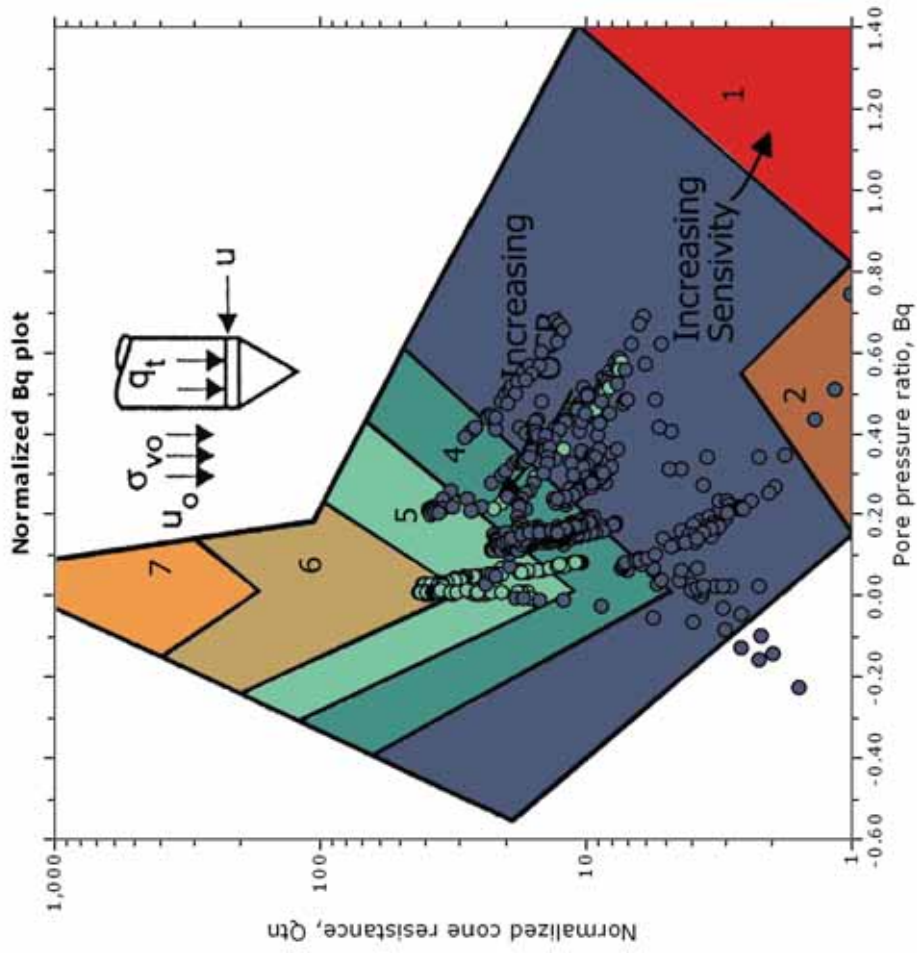
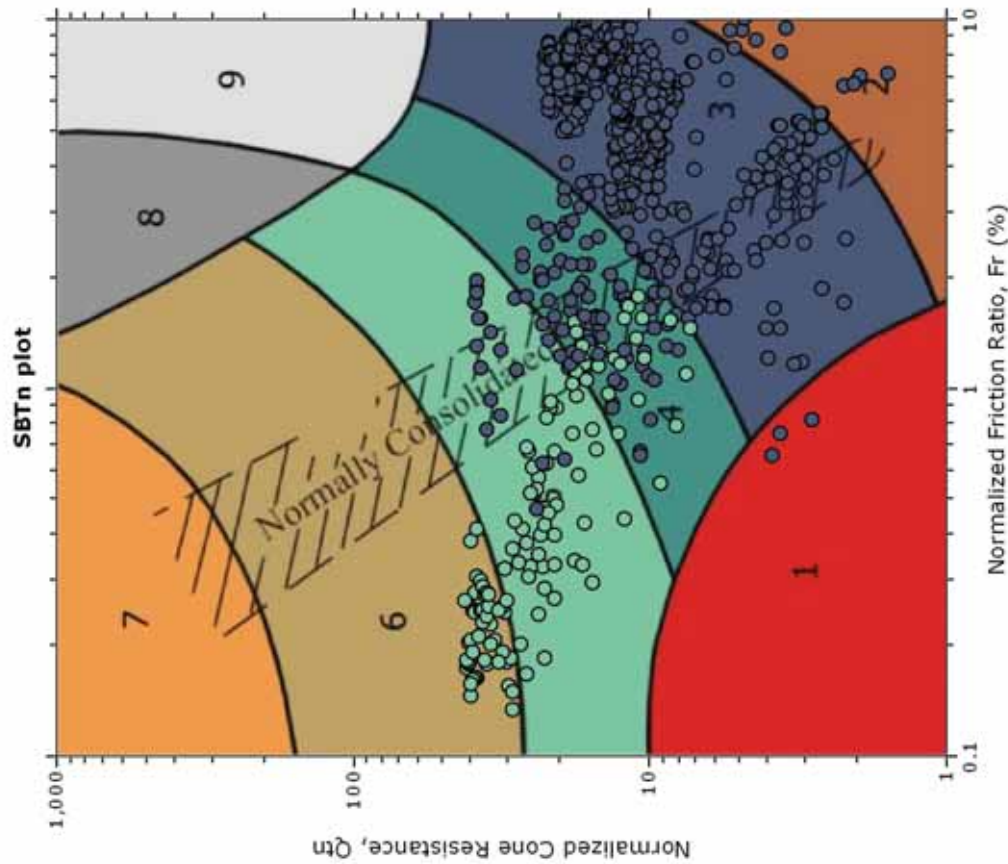
SBT - Bq plots



SBT legend

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

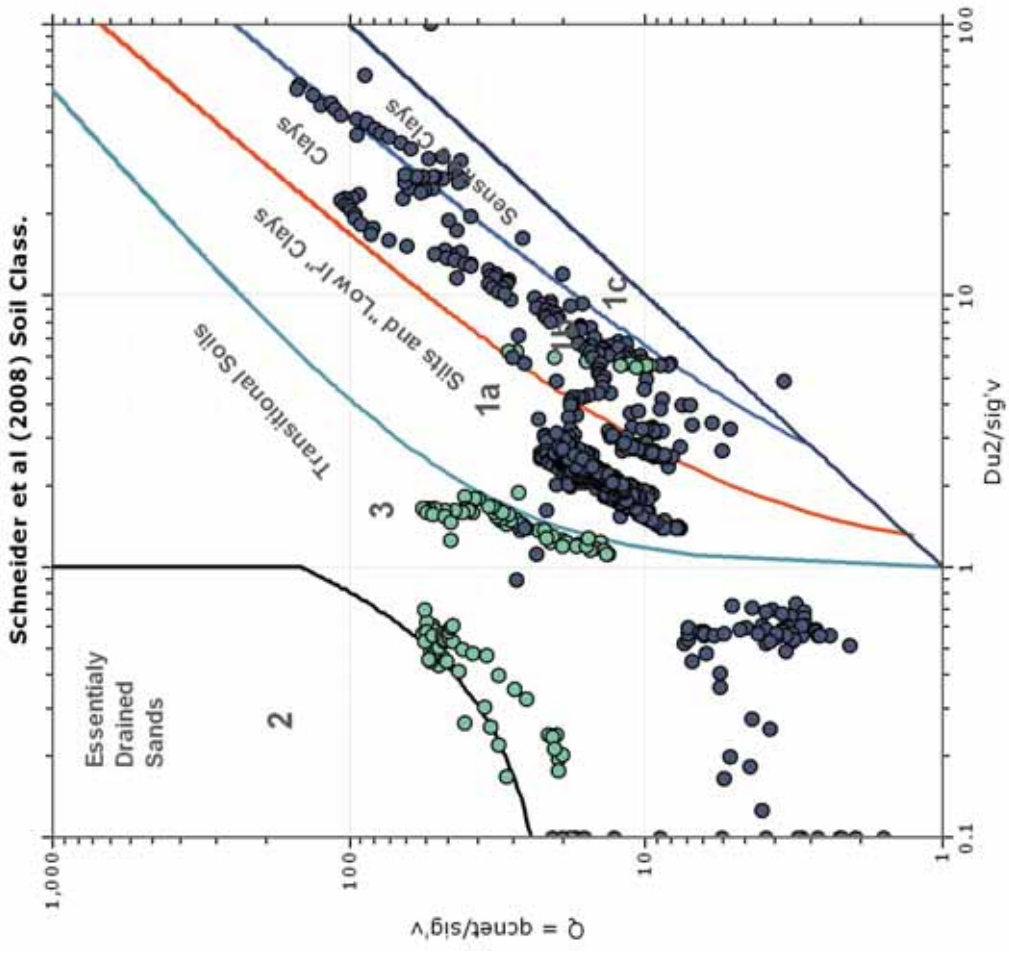
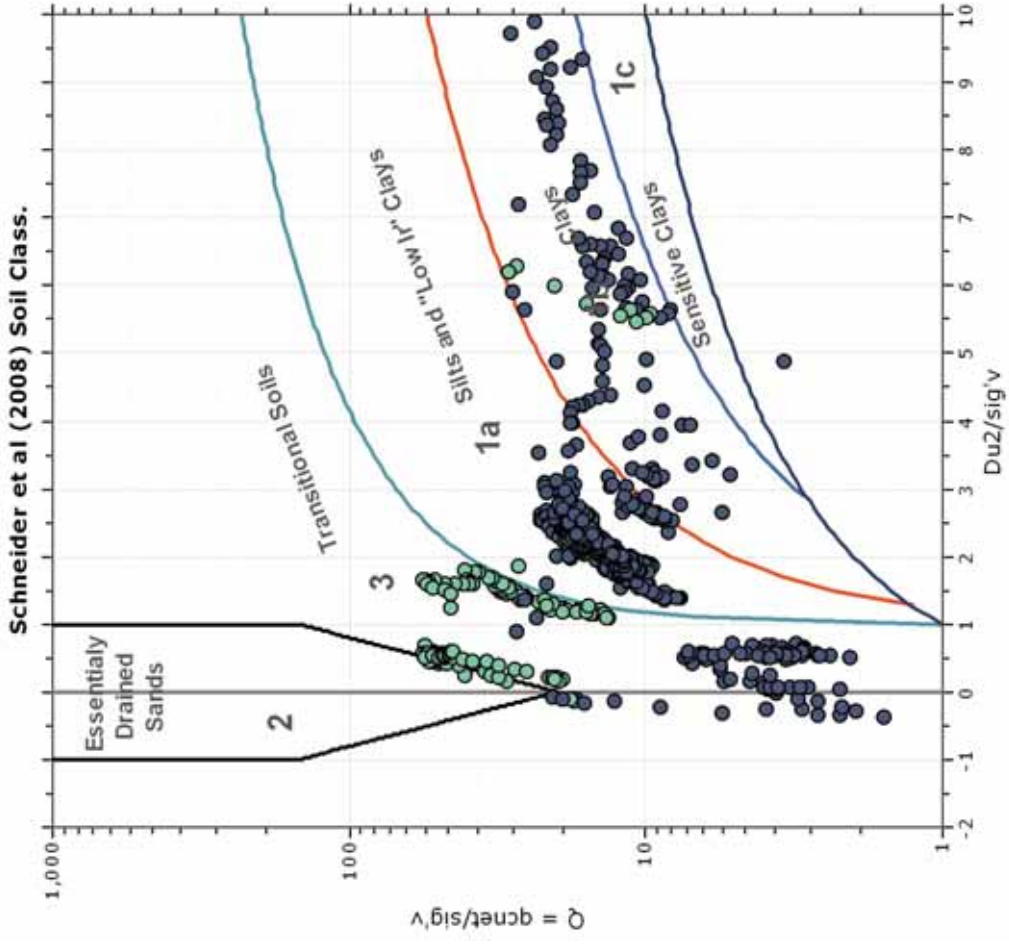
SBT - Bq plots (normalized)

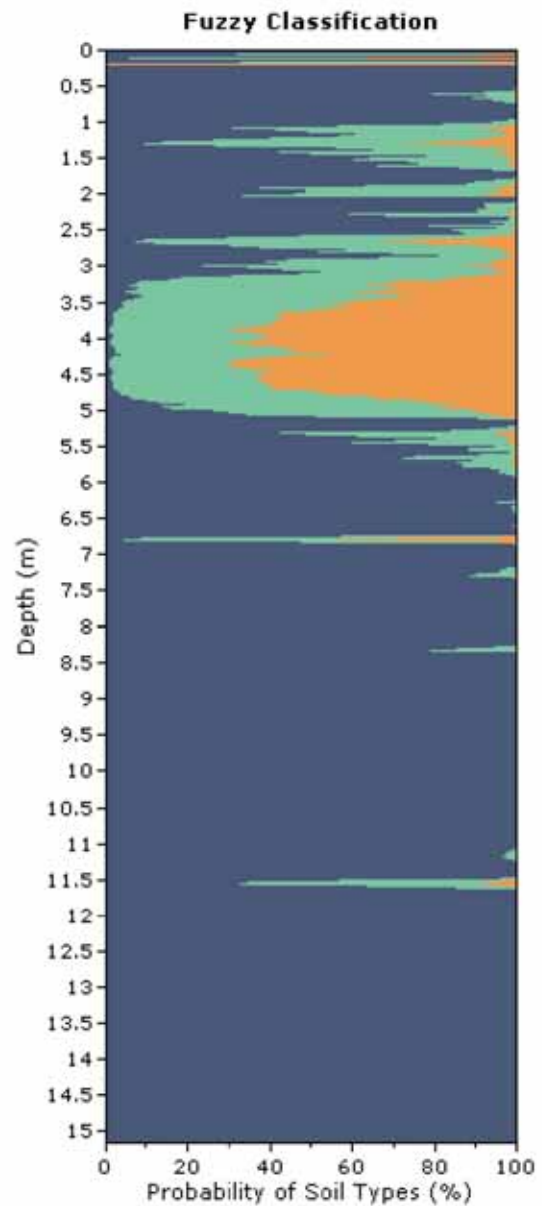
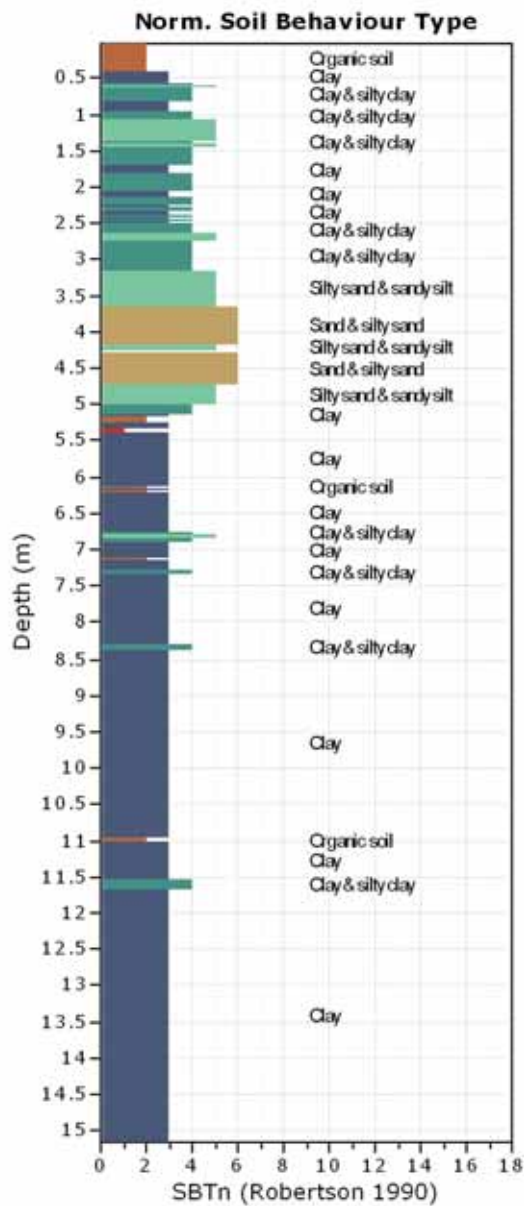


SBTn legend

- | | | |
|--|--|---|
| ■ 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 |

Bq plots (Schneider)







Geo Group S.r.l.
 182, v. Cesare Costa 41123 MODENA
 Tel 059/3967169 Fax 059/5332019
 e-mail geo.group@libero.it

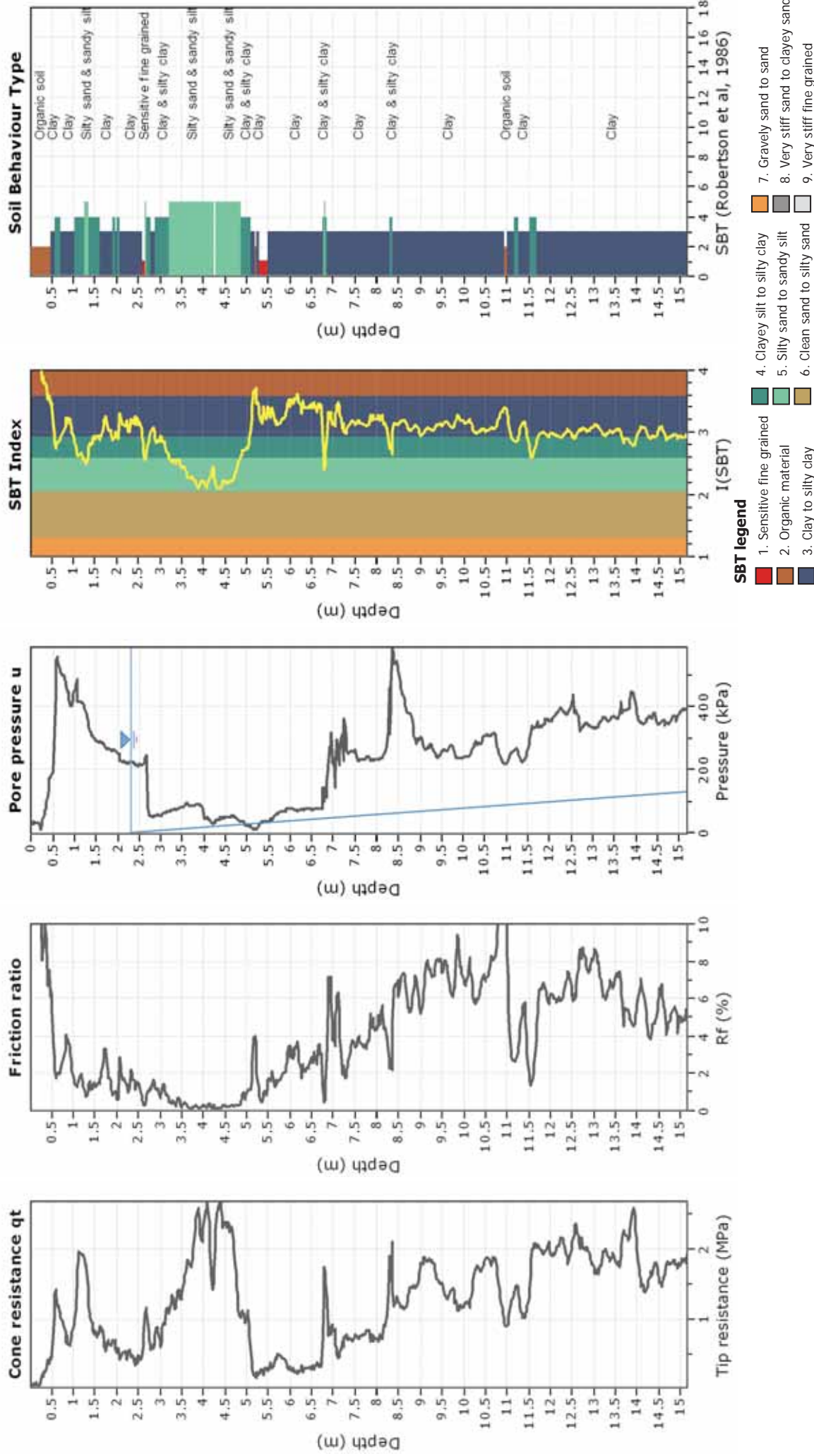
Project: Studio del terreno di fondazione

Location: Cento, Via Pioppo

CPT: CPTU4

Total depth: 15.16 m, Date: 21/03/2014

Cone Type: Unknown





Geo Group S.r.l.
 182, v. Cesare Costa 41123 MODENA
 Tel 059/3967169 Fax 059/5332019
 e-mail geo.group@libero.it

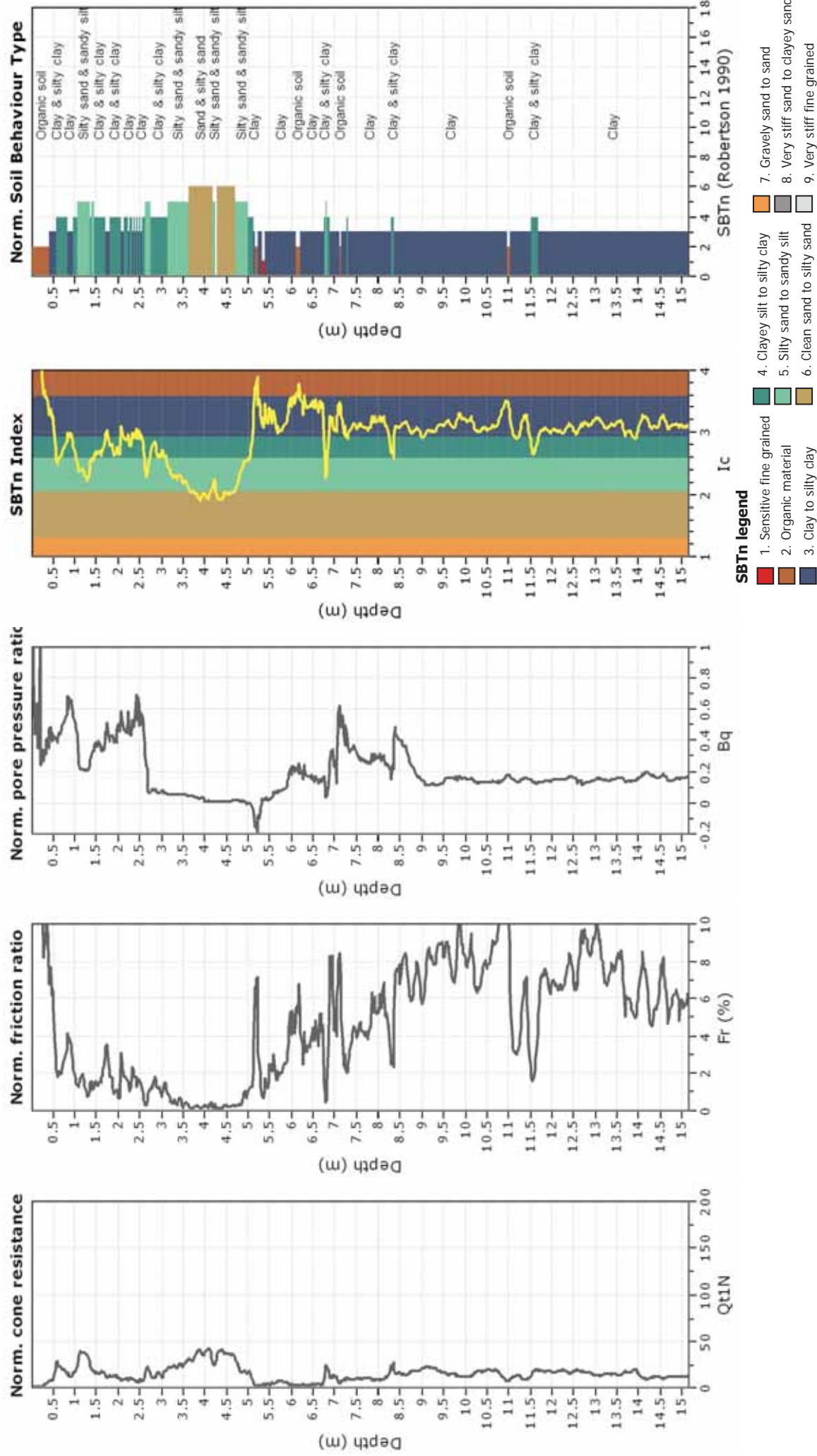
Project: Studio del terreno di fondazione

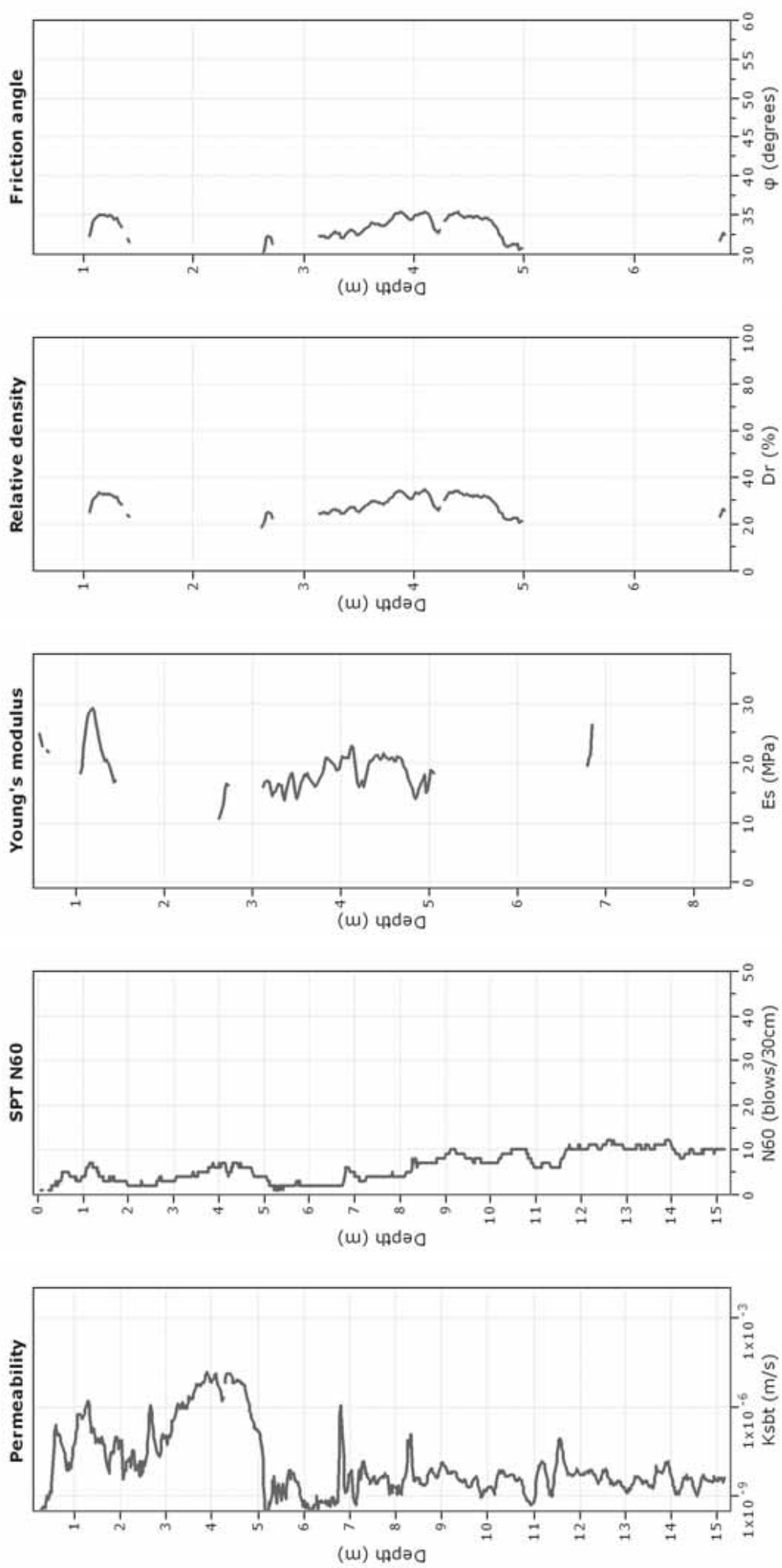
Location: Cento, Via Pioppo

CPT: CPTU4

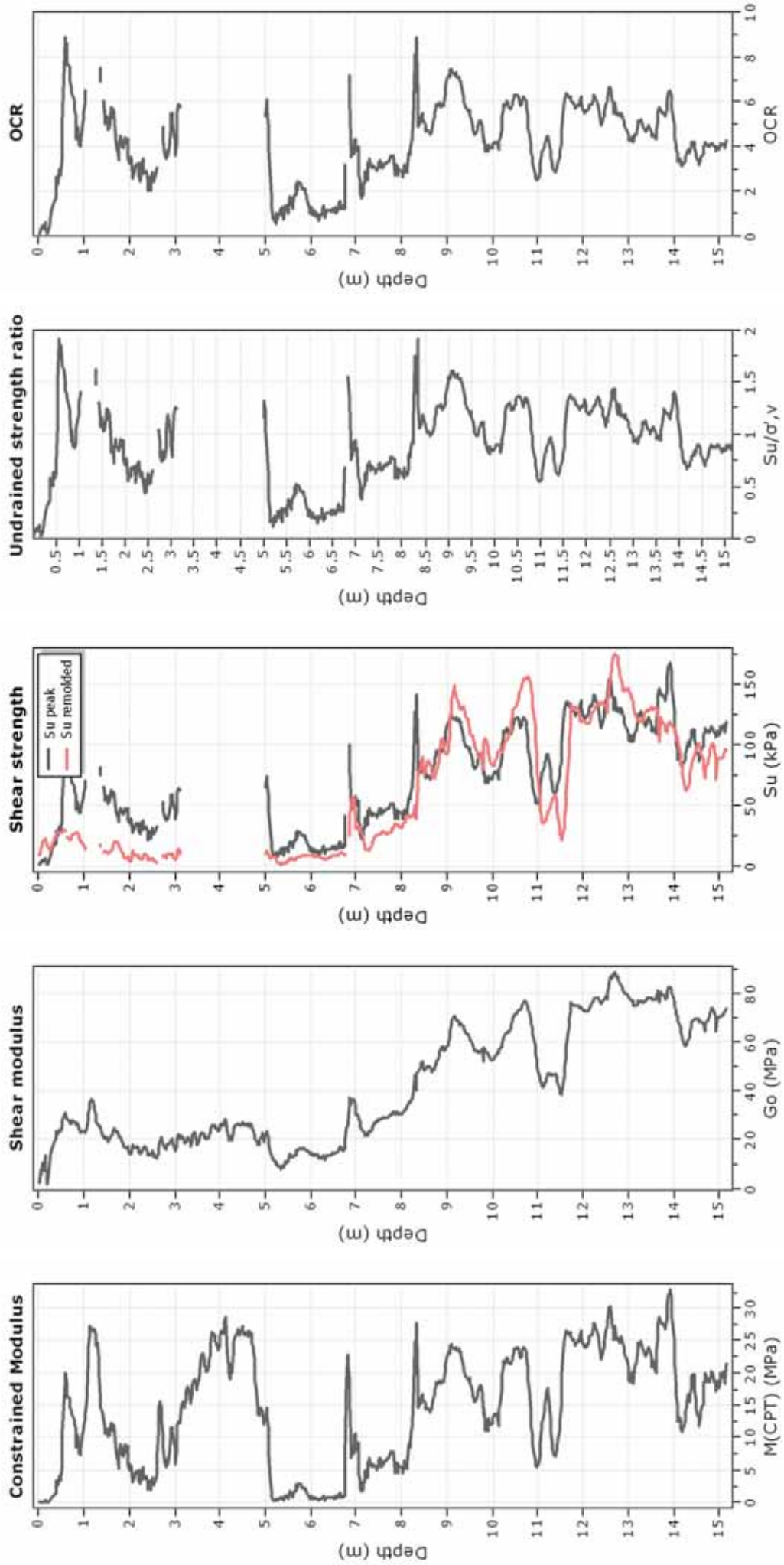
Total depth: 15.16 m, Date: 21/03/2014

Cone Type: Unknown





Calculation parameters
 Permeability: Based on SBT_n
 SPT N₆₀: Based on I_c and q_t
 Young's modulus: Based on variable alpha using I_c (Robertson, 2009) ● — User defined estimation data
 Relative density constant, C_{Dr}: 350.0
 Phi: Based on Kulhawy & Mayne (1990)



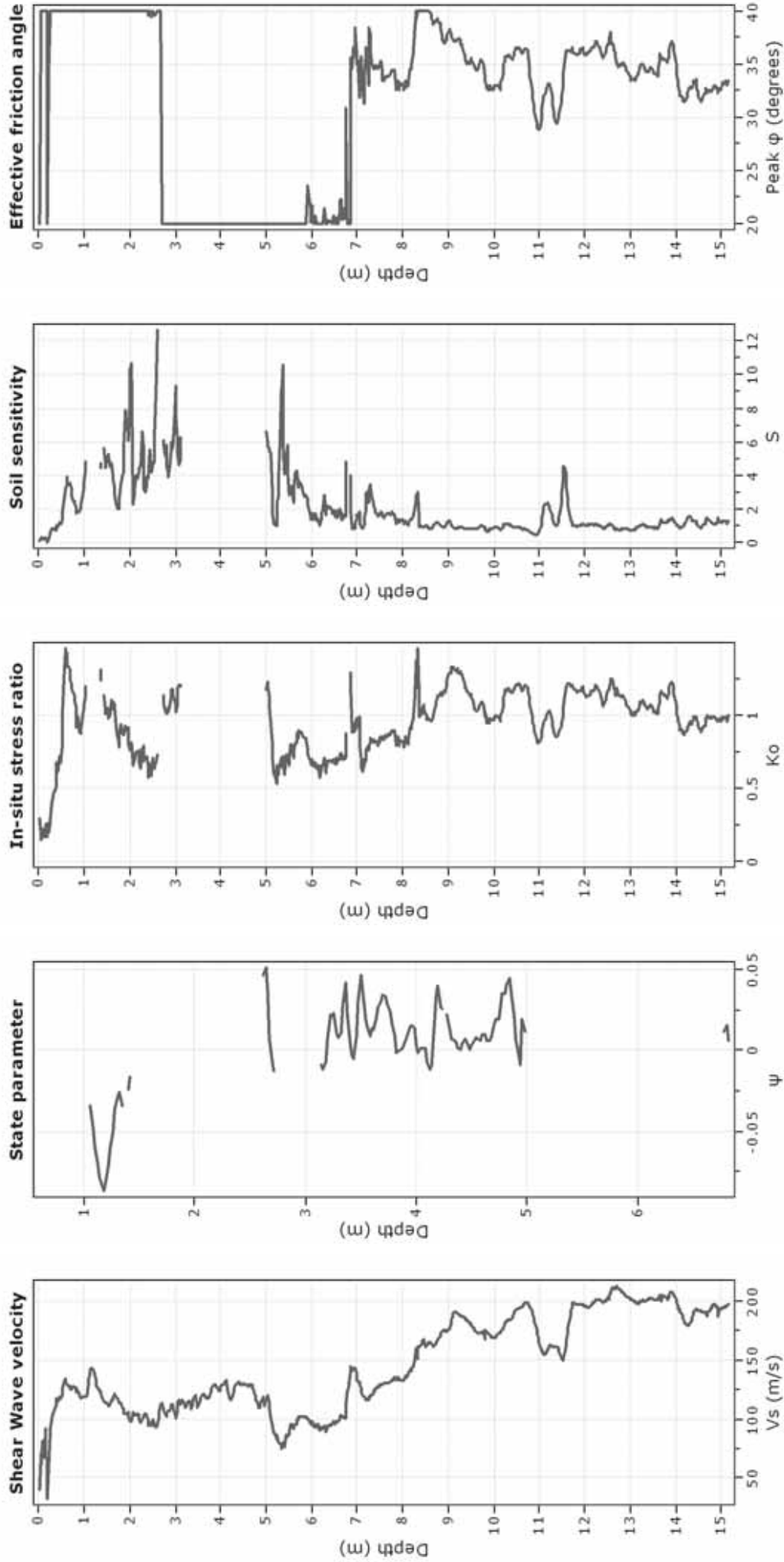
Calculation parameters
 Constrained modulus: Based on variable $\alpha/\rho/\eta$ using I_c and Q_{b0} (Robertson, 2009)
 Go: Based on variable $\alpha/\rho/\eta$ using I_c (Robertson, 2009)
 Undrained shear strength cone factor for clays, $N_{k,c}$: 14
 OCR factor for clays, $N_{k,c}$: 0.33
 ● User defined estimation data



Geo Group S.r.l.
 182, v. Cesare Costa 41123 MODENA
 Tel 059/3967169 Fax 059/5332019
 e-mail geo.group@libero.it

CPT: CPTU4
 Total depth: 15.16 m, Date: 21/03/2014
 Cone Type: Unknown

Project: Studio del terreno di fondazione
Location: Cento, Via Pioppo



Calculation parameters

Soil Sensitivity factor, N_s : 7.00

—●— User defined estimation data

Presented below is a list of formulas used for the estimation of various soil properties. The formulas are presented in SI unit system and assume that all components are expressed in the same units.

:: Unit Weight, g (kN/m³) ::

$$g = g_w \cdot \left(0.27 \cdot \log(R_f) + 0.36 \cdot \log\left(\frac{q_t}{p_a}\right) + 1.236 \right)$$

where g_w = water unit weight

:: Permeability, k (m/s) ::

$$I_c < 3.27 \text{ and } I_c > 1.00 \text{ then } k = 10^{0.952-3.04I_c}$$

$$I_c \leq 4.00 \text{ and } I_c > 3.27 \text{ then } k = 10^{-4.52-1.37I_c}$$

:: N_{SPT} (blows per 30 cm) ::

$$N_{60} = \left(\frac{q_c}{p_a}\right) \cdot \frac{1}{10^{1.1269-0.2817I_c}}$$

$$N_{1(60)} = Q_{tn} \cdot \frac{1}{10^{1.1269-0.2817I_c}}$$

:: Young's Modulus, E_s (MPa) ::

$$(q_t - \sigma_v) \cdot 0.015 \cdot 10^{0.55I_c - 1.68}$$

(applicable only to $I_c < I_{c_cutoff}$)

:: Relative Density, Dr (%) ::

$$100 \cdot \sqrt{\frac{Q_{tn}}{k_{DR}}} \quad (\text{applicable only to SBT}_n: 5, 6, 7 \text{ and } 8 \text{ or } I_c < I_{c_cutoff})$$

:: State Parameter, ψ ::

$$\psi = 0.56 - 0.33 \cdot \log(Q_{tn,cs})$$

:: Peak drained friction angle, ϕ (°) ::

$$\phi = 17.60 + 11 \cdot \log(Q_{tn})$$

(applicable only to SBT_n: 5, 6, 7 and 8)

:: 1-D constrained modulus, M (MPa) ::

If $I_c > 2.20$
 $a = 14$ for $Q_{tn} > 14$
 $a = Q_{tn}$ for $Q_{tn} \leq 14$
 $M_{CPT} = a \cdot (q_t - \sigma_v)$

If $I_c \leq 2.20$
 $M_{CPT} = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55I_c - 1.68}$

:: Small strain shear Modulus, G_0 (MPa) ::

$$G_0 = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55I_c - 1.68}$$

:: Shear Wave Velocity, V_s (m/s) ::

$$V_s = \left(\frac{G_0}{\rho}\right)^{0.50}$$

:: Undrained peak shear strength, S_u (kPa) ::

$$N_{kt} = 10.50 + 7 \cdot \log(F_r) \text{ or user defined}$$

$$S_u = \frac{(q_t - \sigma_v)}{N_{kt}}$$

(applicable only to SBT_n: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c_cutoff}$)

:: Remolded undrained shear strength, $S_u(rem)$ (kPa) ::

$$S_{u(rem)} = f_s \quad (\text{applicable only to SBT}_n: 1, 2, 3, 4 \text{ and } 9 \text{ or } I_c > I_{c_cutoff})$$

:: Overconsolidation Ratio, OCR ::

$$k_{OCR} = \left[\frac{Q_{tn}^{0.20}}{0.25 \cdot (10.50 + 7 \cdot \log(F_r))} \right]^{-1.25} \text{ or user defined}$$

$$OCR = k_{OCR} \cdot Q_{tn}$$

(applicable only to SBT_n: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c_cutoff}$)

:: In situ Stress Ratio, K_0 ::

$$K_0 = 0.1 \cdot \left(\frac{q_t - \sigma_v}{\sigma_{v0}}\right)$$

(applicable only to SBT_n: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c_cutoff}$)

:: Soil Sensitivity, S_t ::

$$S_t = \frac{N_s}{F_r}$$

(applicable only to SBT_n: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c_cutoff}$)

:: Effective Stress Friction Angle, ϕ' (°) ::

$$\phi' = 29.5^\circ \cdot B_q^{0.121} \cdot (0.256 + 0.336 \cdot B_q + \log Q_t)$$

(applicable for $0.10 < B_q < 1.00$)

References

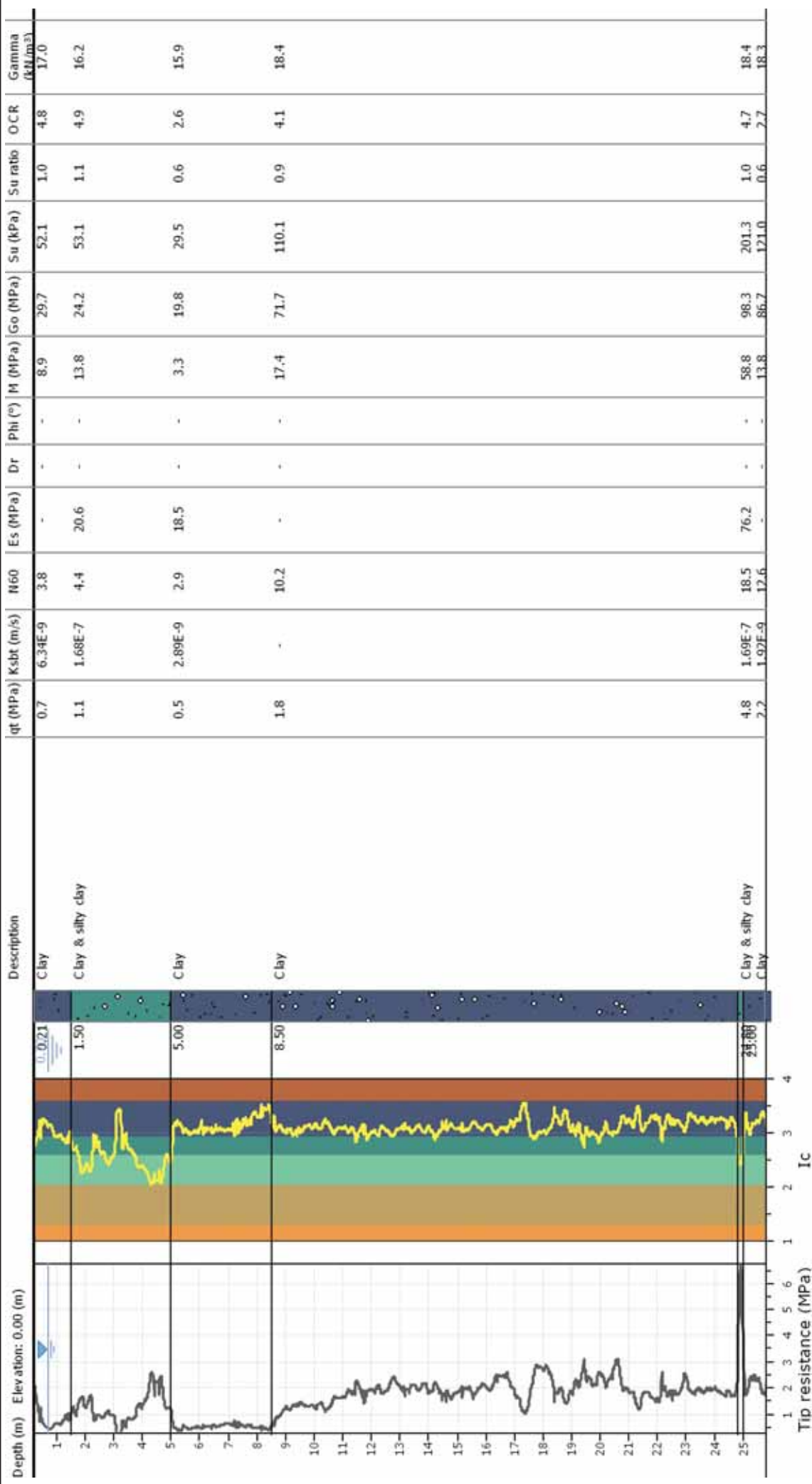
- Robertson, P.K., Cabal K.L., Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering, Gregg Drilling & Testing, Inc., 4th Edition, July 2010
- Robertson, P.K., Interpretation of Cone Penetration Tests - a unified approach., Can. Geotech. J. 46(11): 1337–1355 (2009)

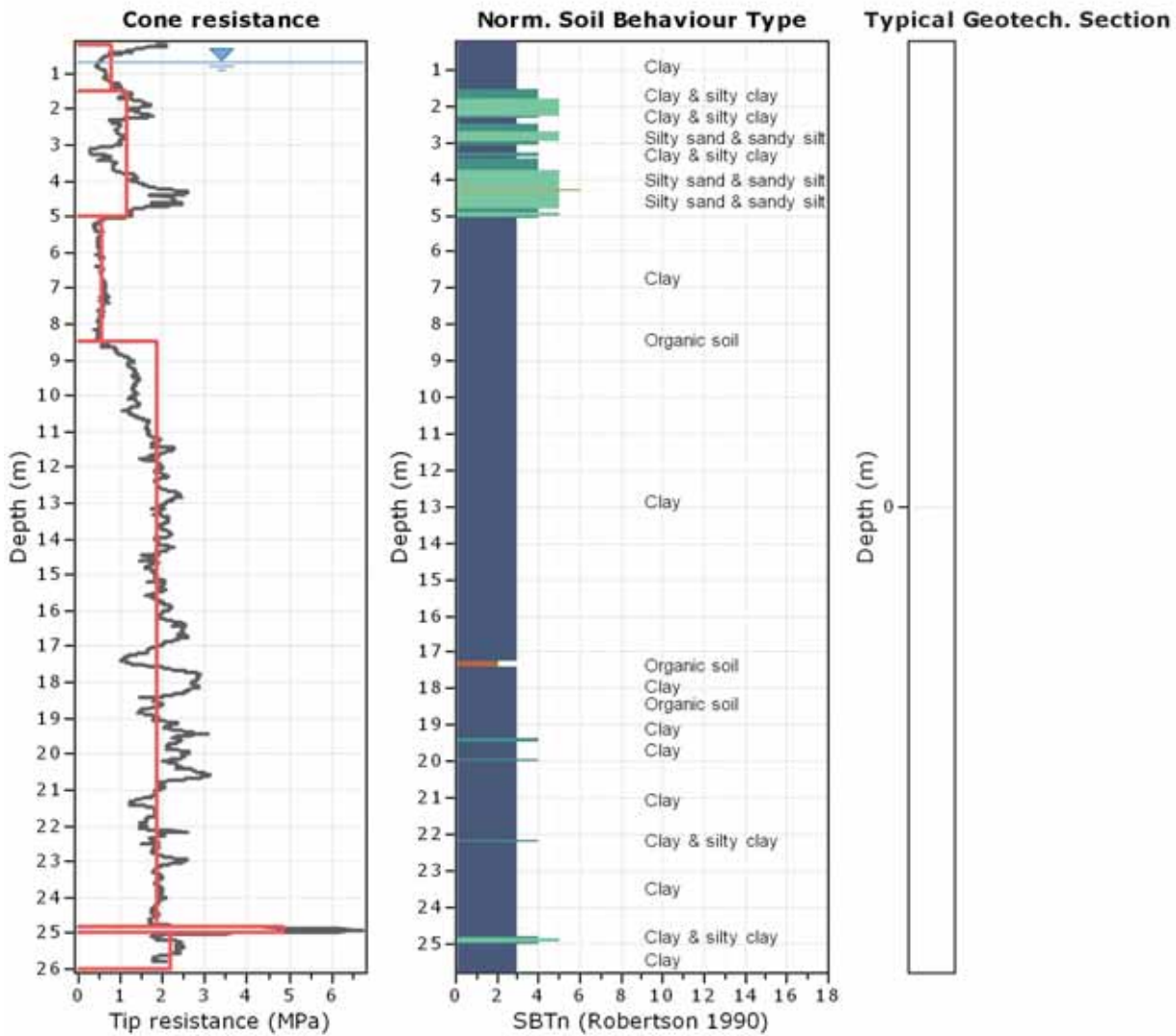


Geo Group S.r.l.
 182, v. Cesare Costa 41123 MODENA
 Tel 059/3967169 Fax 059/5332019
 e-mail geo.group@libero.it

CPT: CPTU1
 Total depth: 25.81 m, Date: 07/03/2014
 Surface Elevation: 0.00 m
 Coords: X:0.00, Y:0.00
 Cone Type: Unknown
 Cone Operator: Unknown

Project: STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE
Location: CENTO, VIA PIOPPO





Tabular results

::: Layer No: 1 :::		
Code: 1	Start depth: 0.21 (m), End depth: 1.50 (m)	
Description: Clay		
Basic results		
Total cone resistance:	0.75 ±0.39 MPa	
Sleeve friction:	36.82 ±37.58 kPa	
SBT_n: 3		
SBT _n description:	Clay	
Estimation results		
Permeability:	6.34E-09 ±8.38E-09 m/s	Constrained Mod.: 8.92 ±6.16 MPa
N60:	3.83 ±1.71 blows	Go: 29.68 ±11.52 MPa
Es:	0.00 ±0.00 MPa	Su: 52.08 ±27.77 kPa
Dr (%):	0.00 ±0.00	Su ratio: 1.04 ±0.56
ö (degrees):	0.00 ±0.00 °	O.C.R.: 4.81 ±2.57
Unit weight:	17.02 ±0.90 kN/m ³	

::: Layer No: 2 :::**Code: 2** **Start depth: 1.50 (m), End depth: 5.00 (m)****Description:** Clay & silty clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.13 ±0.56 MPa

Sleeve friction: 15.08 ±8.01 kPa

SBT_n: 4SBT_n description: Clay & silty clay**Estimation results**

Permeability: 1.68E-07 ±1.30E-06 m/s

N60: 4.39 ±1.28 blows

Es: 20.60 ±3.58 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

ö (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.16 ±0.53 kN/m³

Constrained Mod.: 13.84 ±7.75 MPa

Go: 24.18 ±4.60 MPa

Su: 53.14 ±21.37 kPa

Su ratio: 1.06 ±0.43

O.C.R.: 4.91 ±1.97

::: Layer No: 3 :::**Code: 3** **Start depth: 5.00 (m), End depth: 8.50 (m)****Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 0.53 ±0.10 MPa

Sleeve friction: 15.18 ±4.96 kPa

SBT_n: 3SBT_n description: Clay**Estimation results**

Permeability: 2.89E-09 ±1.90E-08 m/s

N60: 2.88 ±0.40 blows

Es: 18.47 ±18.47 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

ö (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 15.87 ±0.44 kN/m³

Constrained Mod.: 3.26 ±1.77 MPa

Go: 19.77 ±2.74 MPa

Su: 29.53 ±6.13 kPa

Su ratio: 0.56 ±0.13

O.C.R.: 2.58 ±0.61

::: Layer No: 4 :::**Code: 4** **Start depth: 8.50 (m), End depth: 24.80 (m)****Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.83 ±0.43 MPa

Sleeve friction: 93.55 ±35.58 kPa

SBT_n: 3SBT_n description: Clay**Estimation results**

Permeability: 0.00E+00 ±5.40E-09 m/s

N60: 10.16 ±2.14 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

ö (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 18.44 ±0.51 kN/m³

Constrained Mod.: 17.37 ±7.95 MPa

Go: 71.70 ±14.86 MPa

Su: 110.07 ±28.95 kPa

Su ratio: 0.88 ±0.31

O.C.R.: 4.06 ±1.45

::: Layer No: 5 :::**Code: 5** **Start depth: 24.80 (m), End depth: 25.00 (m)****Description:** Clay & silty clay**Basic results**

Total cone resistance: 4.84 ±1.49 MPa

Sleeve friction: 67.80 ±27.32 kPa

SBT_n: 4SBT_n description: Clay & silty clay**Estimation results**

Permeability: 1.69E-07 ±1.56E-07 m/s

N60: 18.49 ±4.31 blows

Es: 76.22 ±76.22 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

ö (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 18.44 ±0.59 kN/m³

Constrained Mod.: 58.84 ±22.97 MPa

Go: 98.27 ±18.62 MPa

Su: 201.32 ±58.68 kPa

Su ratio: 1.01 ±0.31

O.C.R.: 4.67 ±1.44

:: Layer No: 6 ::**Code:** 6 **Start depth:** 25.00 (m), **End depth:** 26.00 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 2.15 ±0.36 MPa

Sleeve friction: 81.91 ±27.22 kPa

SBT_n: 3SBT_n description: Clay**Estimation results**

Permeability: 1.92E-09 ±1.04E-08 m/s

N60: 12.60 ±1.19 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

ö (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 18.35 ±0.41 kN/m³

Constrained Mod.: 13.82 ±6.73 MPa

Go: 86.74 ±10.65 MPa

Su: 121.01 ±25.83 kPa

Su ratio: 0.58 ±0.13

O.C.R.: 2.70 ±0.60

Project: STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Location: CENTO, VIA PIOPPO

Summary table of mean values

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT _{N100} (blows/30cm)	E _s (MPa)	D _r	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G ₀ (MPa)	Undrained strength, S _u (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m ³)
0.21 1.50	1.29	6.34E-09 (±8.38E-09)	3.8 (±1.7)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	8.9 (±6.2)	29.7 (±11.5)	52.1 (±27.8)	1.0 (±0.6)	4.8 (±2.6)	17.0 (±0.9)
1.50 5.00	3.50	1.68E-07 (±1.30E-06)	4.4 (±1.3)	20.6 (±3.6)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	13.8 (±7.7)	24.2 (±4.6)	53.1 (±21.4)	1.1 (±0.4)	4.9 (±2.0)	16.2 (±0.5)
5.00 8.50	3.50	2.89E-09 (±1.90E-08)	2.9 (±0.4)	18.5 (±18.5)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	3.3 (±1.8)	19.8 (±2.7)	29.5 (±6.1)	0.6 (±0.1)	2.6 (±0.6)	15.9 (±0.4)
8.50 24.80	16.30	0.00E+00 (±5.40E-09)	10.2 (±2.1)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	17.4 (±7.9)	71.7 (±14.9)	110.1 (±29.0)	0.9 (±0.3)	4.1 (±1.4)	18.4 (±0.5)
24.80 25.00	0.20	1.69E-07 (±1.56E-07)	18.5 (±4.3)	76.2 (±76.2)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	58.8 (±23.0)	98.3 (±18.6)	201.3 (±58.7)	1.0 (±0.3)	4.7 (±1.4)	18.4 (±0.6)
25.00 26.00	1.00	1.92E-09 (±1.04E-08)	12.6 (±1.2)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	13.8 (±6.7)	86.7 (±10.6)	121.0 (±25.8)	0.6 (±0.1)	2.7 (±0.6)	18.3 (±0.4)

Depth values presented in this table are measured from free ground surface



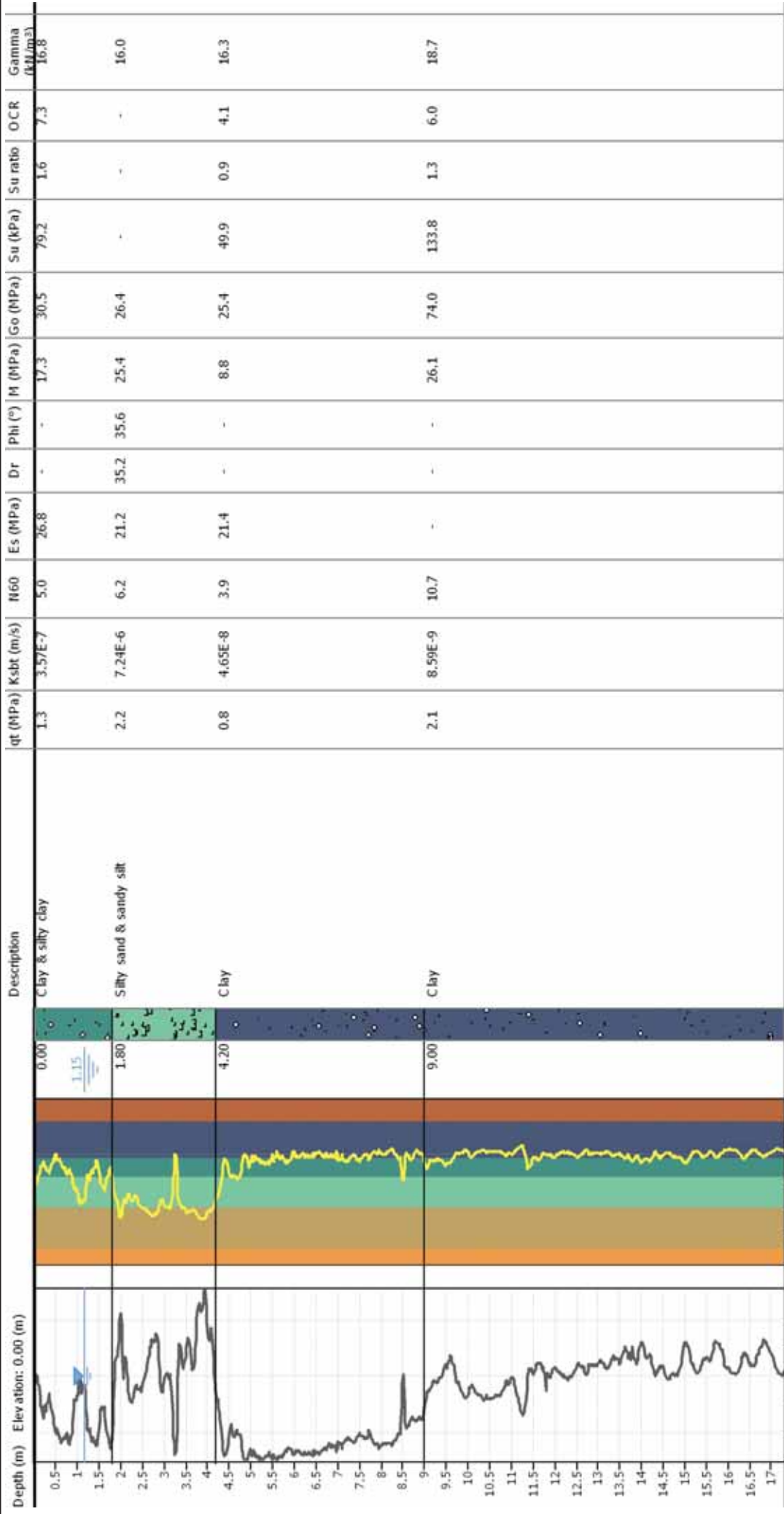
Geo Group S.r.l.
 182, v. Cesare Costa 41123 MODENA
 Tel 059/3967169 Fax 059/5332019
 e-mail geo.group@libero.it

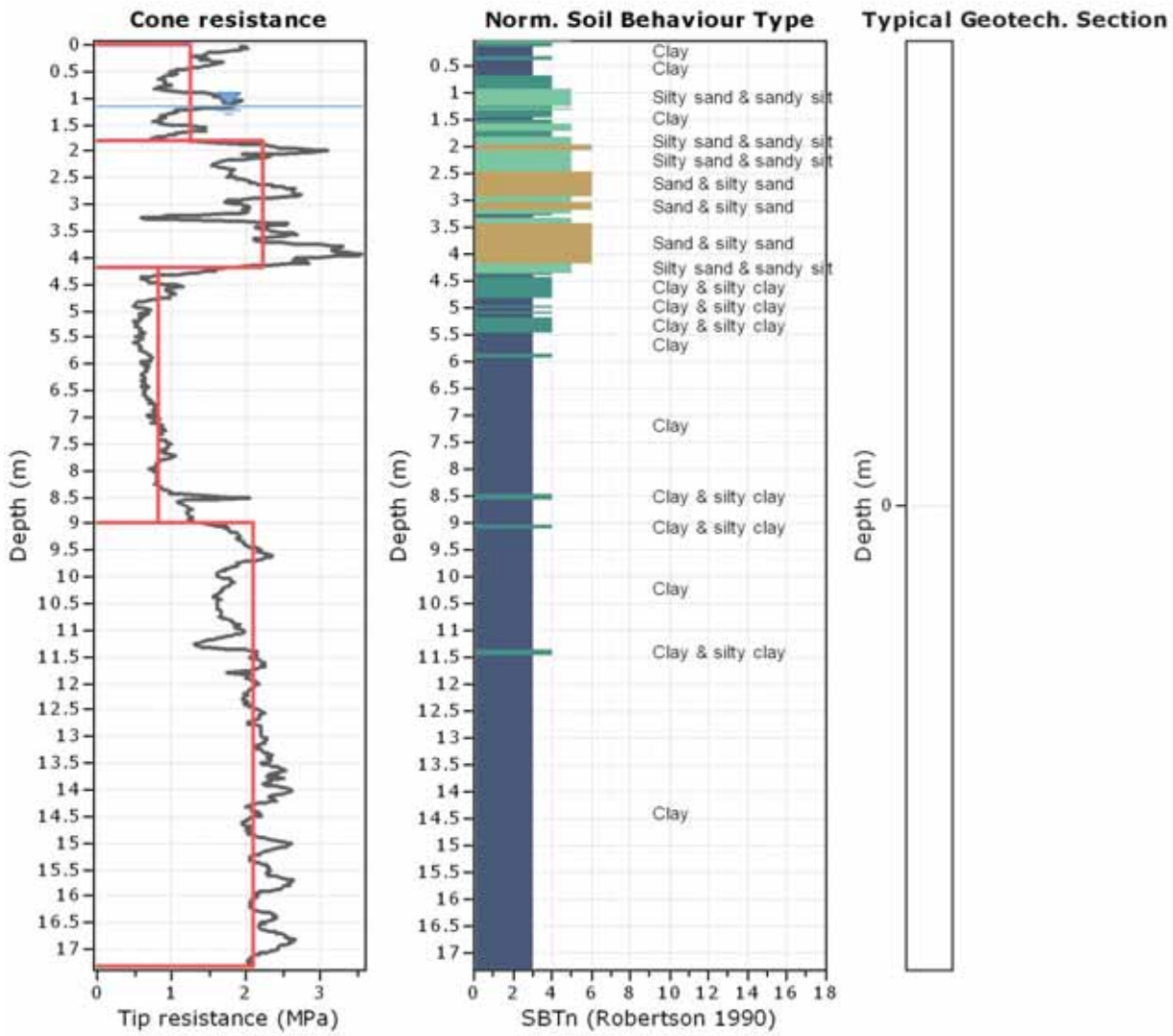
CPT: CPTU2

Total depth: 17.32 m, Date: 21/03/2014
 Surface Elevation: 0.00 m
 Coords: X:0.00, Y:0.00
 Cone Type: Unknown
 Cone Operator: Unknown

Project: STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Location: CENTO, VIA PIOPPO





Tabular results

::: Layer No: 1 :::		
Code: 1 Start depth: 0.00 (m), End depth: 1.80 (m)		
Description: Clay & silty clay		
Basic results	Estimation results	
Total cone resistance: 1.26 ±0.38 MPa	Permeability: 3.57E-07 ±7.30E-07 m/s	Constrained Mod.: 17.33 ±5.28 MPa
Sleeve friction: 32.87 ±23.63 kPa	N60: 4.99 ±1.22 blows	Go: 30.51 ±8.37 MPa
SBT _n : 4	Es: 26.78 ±7.93 MPa	Su: 79.23 ±24.37 kPa
SBT _n description: Clay & silty clay	Dr (%): 0.00 ±0.00	Su ratio: 1.58 ±0.49
	ö (degrees): 0.00 ±0.00 °	O.C.R.: 7.32 ±2.25
	Unit weight: 16.80 ±0.83 kN/m ³	

::: Layer No: 2 :::**Code: 2** **Start depth: 1.80 (m), End depth: 4.20 (m)****Description:** Silty sand & sandy silt**Basic results**

Total cone resistance: 2.23 ±0.59 MPa

Sleeve friction: 11.25 ±4.64 kPa

SBT_n: 5SBT_n description: Silty sand & sandy silt**Estimation results**

Permeability: 7.24E-06 ±6.07E-06 m/s

N60: 6.21 ±1.22 blows

Es: 21.22 ±2.68 MPa

Dr (%): 35.19 ±3.48

ö (degrees): 35.56 ±0.96 °

Unit weight: 15.98 ±0.44 kN/m³

Constrained Mod.: 25.39 ±4.87 MPa

Go: 26.38 ±3.43 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

::: Layer No: 3 :::**Code: 3** **Start depth: 4.20 (m), End depth: 9.00 (m)****Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 0.82 ±0.26 MPa

Sleeve friction: 22.21 ±13.82 kPa

SBT_n: 3SBT_n description: Clay**Estimation results**

Permeability: 4.65E-08 ±1.92E-07 m/s

N60: 3.94 ±1.14 blows

Es: 21.41 ±6.74 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

ö (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.28 ±0.72 kN/m³

Constrained Mod.: 8.79 ±4.23 MPa

Go: 25.36 ±7.49 MPa

Su: 49.86 ±15.99 kPa

Su ratio: 0.88 ±0.21

O.C.R.: 4.07 ±0.97

::: Layer No: 4 :::**Code: 4** **Start depth: 9.00 (m), End depth: 17.32 (m)****Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 2.10 ±0.28 MPa

Sleeve friction: 113.62 ±20.39 kPa

SBT_n: 3SBT_n description: Clay**Estimation results**

Permeability: 8.59E-09 ±5.69E-09 m/s

N60: 10.74 ±1.35 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

ö (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 18.69 ±0.25 kN/m³

Constrained Mod.: 26.10 ±3.62 MPa

Go: 74.05 ±9.24 MPa

Su: 133.78 ±17.84 kPa

Su ratio: 1.29 ±0.23

O.C.R.: 5.98 ±1.06

Project: STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE

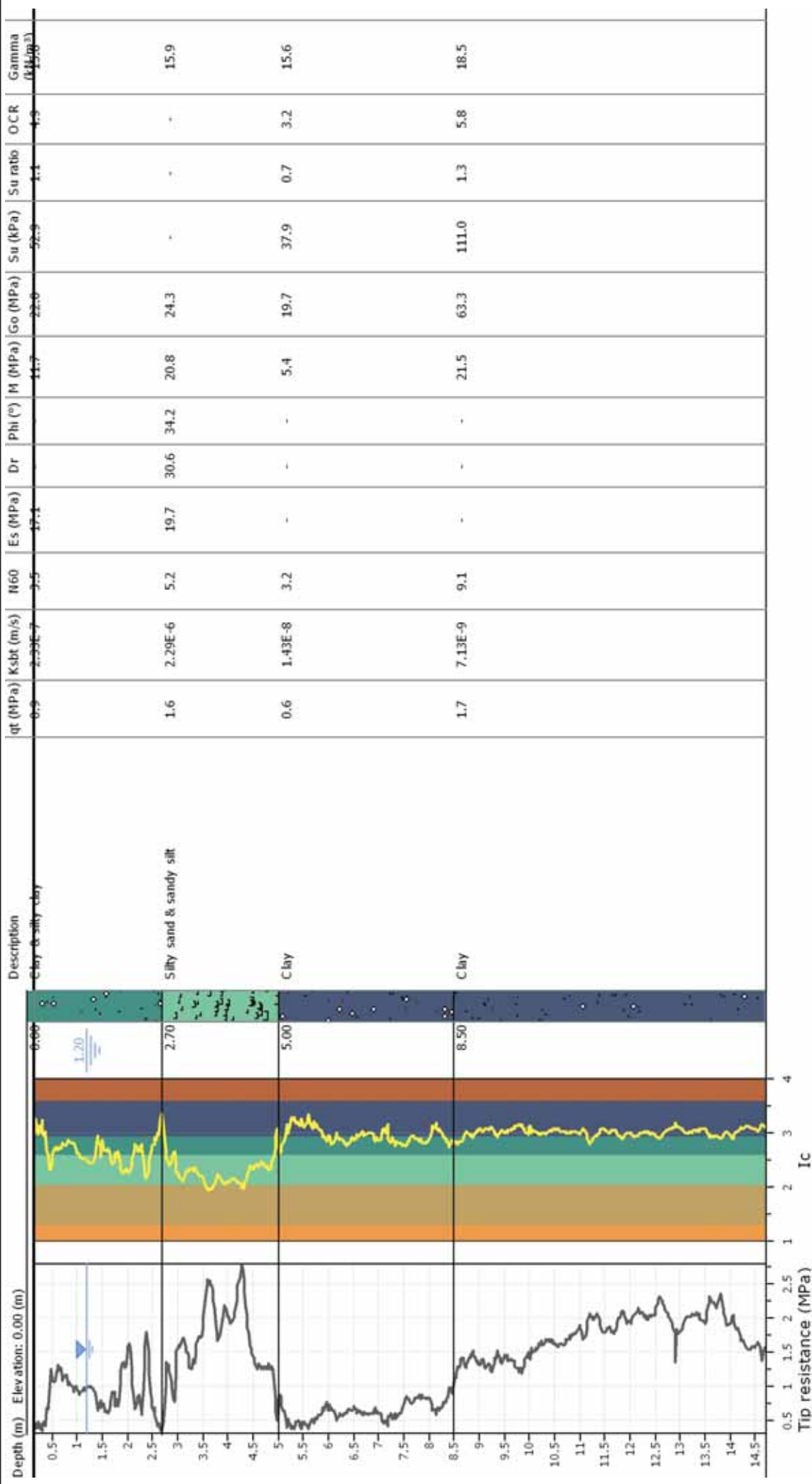
Location: CENTO, VIA PIOPPO

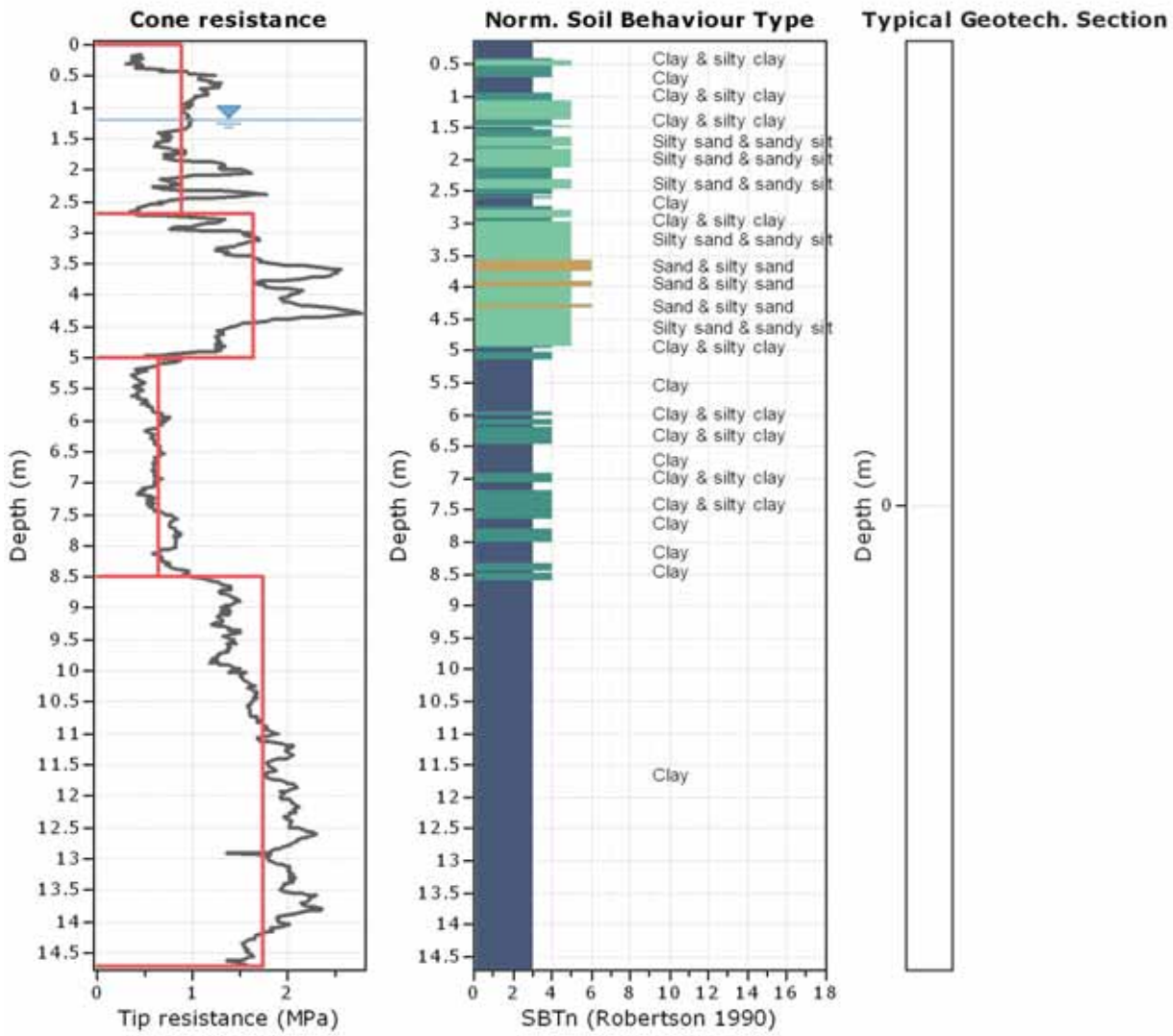
Summary table of mean values

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT _{N100} (blows/30cm)	E _s (MPa)	D _r	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G ₀ (MPa)	Undrained strength, S _u (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m ³)
0.00	1.80	3.57E-07 (±7.30E-07)	5.0 (±1.2)	26.8 (±7.9)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	17.3 (±5.3)	30.5 (±8.4)	79.2 (±24.4)	1.6 (±0.5)	7.3 (±2.3)	16.8 (±0.8)
1.80	2.40	7.24E-06 (±6.07E-06)	6.2 (±1.2)	21.2 (±2.7)	35.2 (±3.5)	35.6 (±1.0)	25.4 (±4.9)	26.4 (±3.4)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0	16.0 (±0.4)
4.20	4.80	4.65E-08 (±1.92E-07)	3.9 (±1.1)	21.4 (±6.7)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	8.8 (±4.2)	25.4 (±7.5)	49.9 (±16.0)	0.9 (±0.2)	4.1 (±1.0)	16.3 (±0.7)
9.00	8.32	8.59E-09 (±5.69E-09)	10.7 (±1.4)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	26.1 (±3.6)	74.0 (±9.2)	133.8 (±17.8)	1.3 (±0.2)	6.0 (±1.1)	18.7 (±0.3)

Depth values presented in this table are measured from free ground surface

Project: STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE
Location: CENTO, VIA PIOPPO





Tabular results

::: Layer No: 1 :::		
Code: 1	Start depth: 0.00 (m), End depth: 2.70 (m)	
Description: Clay & silty clay		
Basic results		
Total cone resistance:	0.89 ±0.32 MPa	
Sleeve friction:	15.37 ±12.03 kPa	
SBT_n:	4	
SBT _n description:	Clay & silty clay	
Estimation results		
Permeability:	2.33E-07 ±3.92E-07 m/s	Constrained Mod.: 11.68 ±5.15 MPa
N60:	3.53 ±1.00 blows	Go: 22.01 ±5.66 MPa
Es:	17.12 ±2.73 MPa	Su: 52.93 ±19.64 kPa
Dr (%):	0.00 ±0.00	Su ratio: 1.06 ±0.39
ö (degrees):	0.00 ±0.00 °	O.C.R.: 4.89 ±1.81
Unit weight:	15.80 ±0.77 kN/m ³	

::: Layer No: 2 :::**Code: 2** **Start depth: 2.70 (m), End depth: 5.00 (m)****Description:** Silty sand & sandy silt**Basic results**

Total cone resistance: 1.64 ±0.53 MPa

Sleeve friction: 11.75 ±3.24 kPa

SBT_n: 5SBT_n description: Silty sand & sandy silt**Estimation results**

Permeability: 2.29E-06 ±2.55E-06 m/s

N60: 5.18 ±1.12 blows

Es: 19.67 ±2.00 MPa

Dr (%): 30.61 ±3.90

ö (degrees): 34.20 ±1.21 °

Unit weight: 15.95 ±0.30 kN/m³

Constrained Mod.: 20.78 ±6.06 MPa

Go: 24.34 ±2.72 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

::: Layer No: 3 :::**Code: 3** **Start depth: 5.00 (m), End depth: 8.50 (m)****Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 0.64 ±0.14 MPa

Sleeve friction: 12.51 ±4.47 kPa

SBT_n: 3SBT_n description: Clay**Estimation results**

Permeability: 1.43E-08 ±1.22E-08 m/s

N60: 3.20 ±0.61 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

ö (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 15.62 ±0.52 kN/m³

Constrained Mod.: 5.41 ±2.31 MPa

Go: 19.66 ±3.22 MPa

Su: 37.94 ±9.26 kPa

Su ratio: 0.70 ±0.14

O.C.R.: 3.22 ±0.67

::: Layer No: 4 :::**Code: 4** **Start depth: 8.50 (m), End depth: 14.72 (m)****Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.74 ±0.30 MPa

Sleeve friction: 100.57 ±22.72 kPa

SBT_n: 3SBT_n description: Clay**Estimation results**

Permeability: 7.13E-09 ±4.31E-09 m/s

N60: 9.06 ±1.49 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

ö (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 18.46 ±0.36 kN/m³

Constrained Mod.: 21.49 ±4.22 MPa

Go: 63.26 ±10.17 MPa

Su: 110.97 ±19.96 kPa

Su ratio: 1.26 ±0.17

O.C.R.: 5.82 ±0.81

Project: STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Location: CENTO, VIA PIOPPO

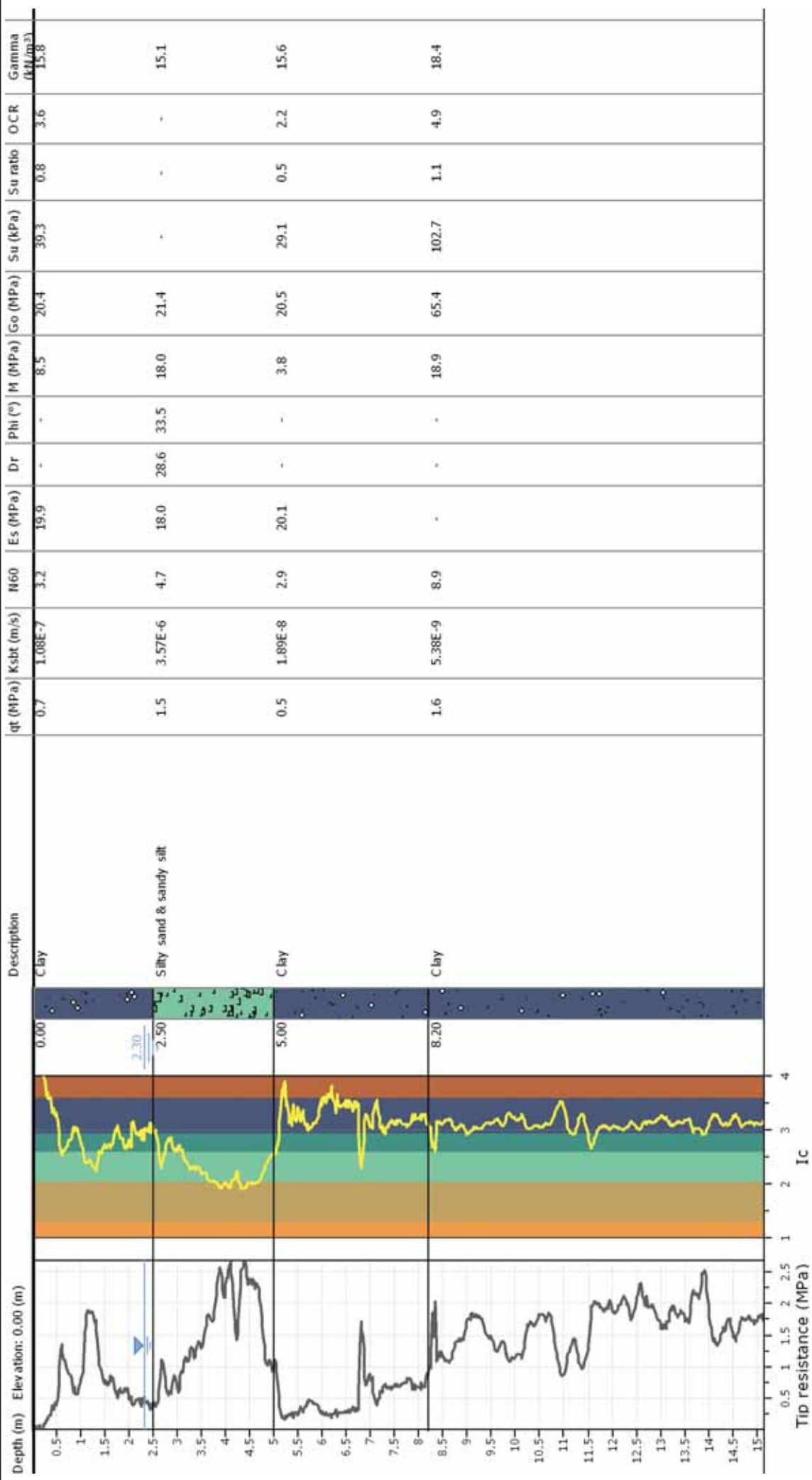
Summary table of mean values

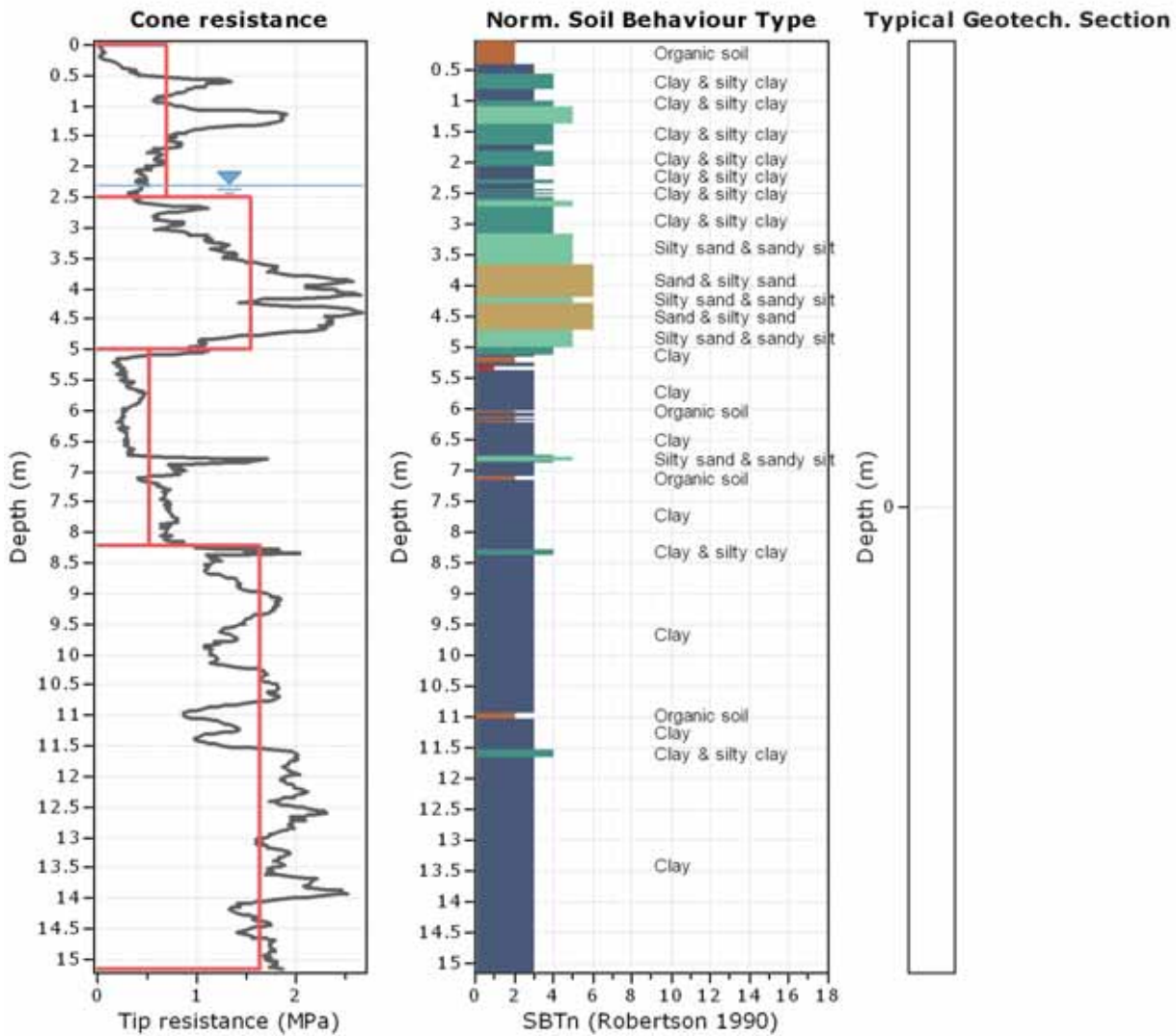
From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT _{N60} (blows/30cm)	E _s (MPa)	D _r	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G ₀ (MPa)	Undrained strength, S _u (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m ³)
0.00	2.70	2.33E-07 (±3.92E-07)	3.5 (±1.0)	17.1 (±2.7)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	11.7 (±5.2)	22.0 (±5.7)	52.9 (±19.6)	1.1 (±0.4)	4.9 (±1.8)	15.8 (±0.8)
2.70	2.30	2.29E-06 (±2.55E-06)	5.2 (±1.1)	19.7 (±2.0)	30.6 (±3.9)	34.2 (±1.2)	20.8 (±6.1)	24.3 (±2.7)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	15.9 (±0.3)
5.00	3.50	1.43E-08 (±1.22E-08)	3.2 (±0.6)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	5.4 (±2.3)	19.7 (±3.2)	37.9 (±9.3)	0.7 (±0.1)	3.2 (±0.7)	15.6 (±0.5)
8.50	6.22	7.13E-09 (±4.31E-09)	9.1 (±1.5)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	21.5 (±4.2)	63.3 (±10.2)	111.0 (±20.0)	1.3 (±0.2)	5.8 (±0.8)	18.5 (±0.4)

Depth values presented in this table are measured from free ground surface

Project: STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Location: CENTO, VIA PIOPPO





Tabular results

::: Layer No: 1 :::		
Code: 1	Start depth: 0.00 (m), End depth: 2.50 (m)	
Description: Clay		
Basic results		
Total cone resistance: 0.70 ±0.47 MPa	Estimation results	
Sleeve friction: 16.72 ±8.13 kPa	Permeability: 1.08E-07 ±2.25E-07 m/s	Constrained Mod.: 8.52 ±7.27 MPa
SBT_n: 3	N60: 3.20 ±1.40 blows	Go: 20.38 ±7.06 MPa
SBT _n description: Clay	Es: 19.85 ±2.81 MPa	Su: 39.27 ±21.78 kPa
	Dr (%): 0.00 ±0.00	Su ratio: 0.79 ±0.44
	ö (degrees): 0.00 ±0.00 °	O.C.R.: 3.63 ±2.01
	Unit weight: 15.81 ±0.80 kN/m ³	

::: Layer No: 2 :::**Code: 2** **Start depth: 2.50 (m), End depth: 5.00 (m)****Description:** Silty sand & sandy silt**Basic results**

Total cone resistance: 1.54 ±0.68 MPa

Sleeve friction: 5.96 ±2.38 kPa

SBT_n: 5SBT_n description: Silty sand & sandy silt**Estimation results**

Permeability: 3.57E-06 ±3.99E-06 m/s

N60: 4.68 ±1.40 blows

Es: 17.98 ±2.60 MPa

Dr (%): 28.57 ±4.09

ö (degrees): 33.51 ±1.43 °

Unit weight: 15.07 ±0.47 kN/m³

Constrained Mod.: 18.03 ±7.21 MPa

Go: 21.39 ±3.79 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

::: Layer No: 3 :::**Code: 3** **Start depth: 5.00 (m), End depth: 8.20 (m)****Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 0.53 ±0.29 MPa

Sleeve friction: 16.93 ±13.20 kPa

SBT_n: 3SBT_n description: Clay**Estimation results**

Permeability: 1.89E-08 ±1.02E-07 m/s

N60: 2.94 ±1.18 blows

Es: 20.15 ±4.22 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

ö (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 15.60 ±1.08 kN/m³

Constrained Mod.: 3.75 ±4.11 MPa

Go: 20.50 ±8.31 MPa

Su: 29.06 ±17.29 kPa

Su ratio: 0.48 ±0.27

O.C.R.: 2.20 ±1.23

::: Layer No: 4 :::**Code: 4** **Start depth: 8.20 (m), End depth: 15.16 (m)****Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.63 ±0.34 MPa

Sleeve friction: 104.62 ±32.46 kPa

SBT_n: 3SBT_n description: Clay**Estimation results**

Permeability: 5.38E-09 ±1.00E-08 m/s

N60: 8.91 ±1.69 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

ö (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 18.44 ±0.49 kN/m³

Constrained Mod.: 18.93 ±5.69 MPa

Go: 65.44 ±12.37 MPa

Su: 102.73 ±23.37 kPa

Su ratio: 1.05 ±0.24

O.C.R.: 4.87 ±1.11

Project: STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Location: CENTO, VIA PIOPPO

Summary table of mean values

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT _{N100} (blows/30cm)	E _s (MPa)	D _r	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G ₀ (MPa)	Undrained strength, S _u (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m ³)
0.00	2.50	1.08E-07 (±2.25E-07)	3.2 (±1.4)	19.9 (±2.8)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	8.5 (±7.3)	20.4 (±7.1)	39.3 (±21.8)	0.8 (±0.4)	3.6 (±2.0)	15.8 (±0.8)
2.50	2.50	3.57E-06 (±3.99E-06)	4.7 (±1.4)	18.0 (±2.6)	28.6 (±4.1)	33.5 (±1.4)	18.0 (±7.2)	21.4 (±3.8)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	15.1 (±0.5)
5.00	3.20	1.89E-08 (±1.02E-07)	2.9 (±1.2)	20.1 (±4.2)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	3.8 (±4.1)	20.5 (±8.3)	29.1 (±17.3)	0.5 (±0.3)	2.2 (±1.2)	15.6 (±1.1)
8.20	6.96	5.38E-09 (±1.00E-08)	8.9 (±1.7)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	18.9 (±5.7)	65.4 (±12.4)	102.7 (±23.4)	1.1 (±0.2)	4.9 (±1.1)	18.4 (±0.5)

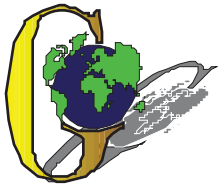
Depth values presented in this table are measured from free ground surface

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

Indagine sismica MASW



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

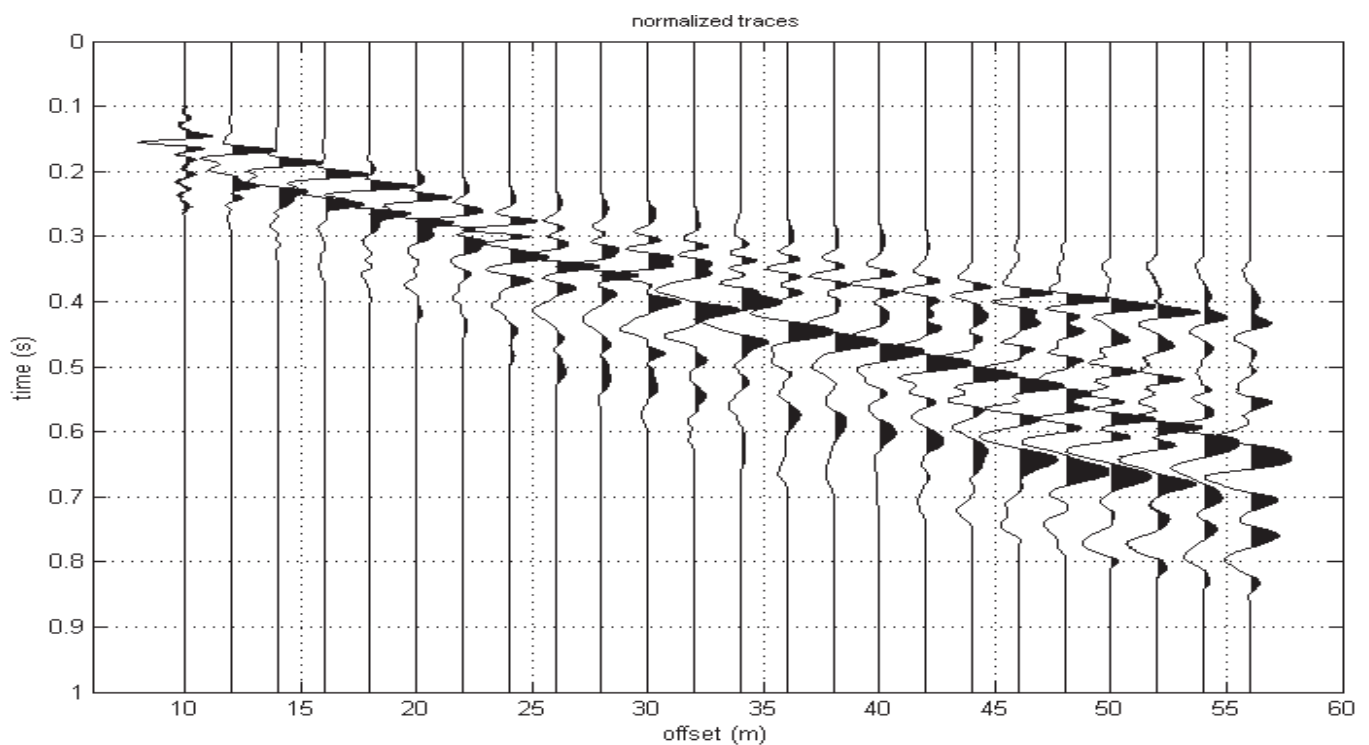
p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogrouppmodena.it - e-mail: info@geogrouppmodena.it

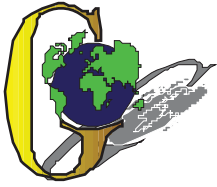
ANALISI SISMICA DI SITO SECONDO METODOLOGIA M.A.S.W.

Cantiere: Moglia, Via De Amicis
Operatori: Dott. ssa Annalisa Cameroni
Data: 17/12/2013
Lavoro: Studio del terreno di fondazione
Elaborazione: Dott. Gabriele Ghirardini
Responsabile: Dott. Geol. Pier Luigi Dallari



UBICAZIONE DELLO STENDIMENTO SISMICO IMPIEGATO





GEO GROUP s.r.l.

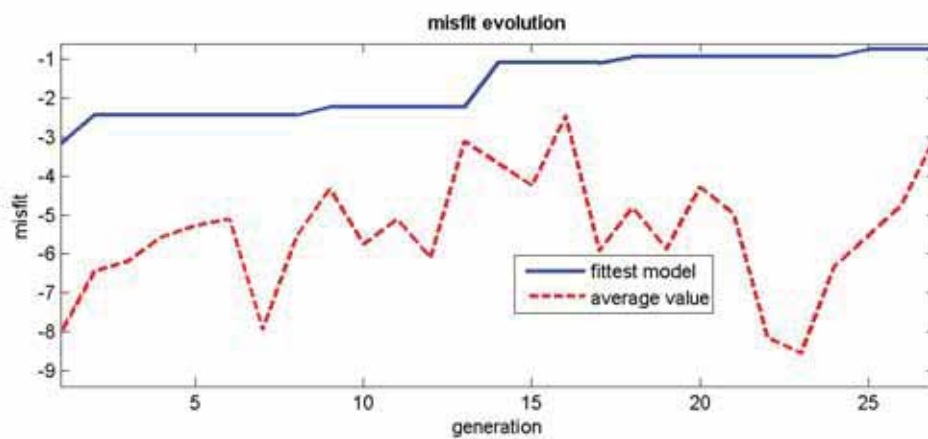
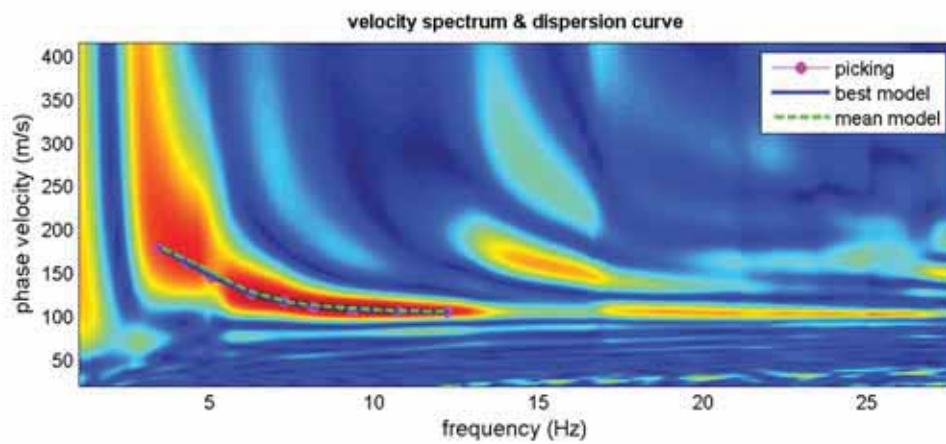
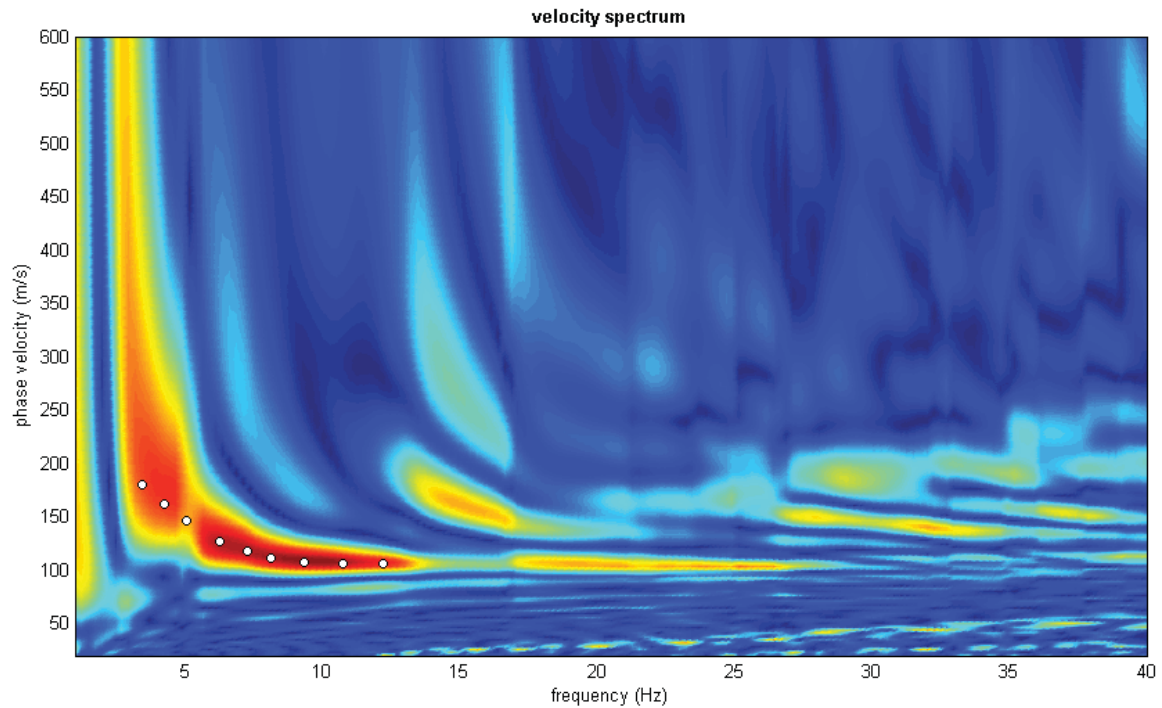
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo 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.

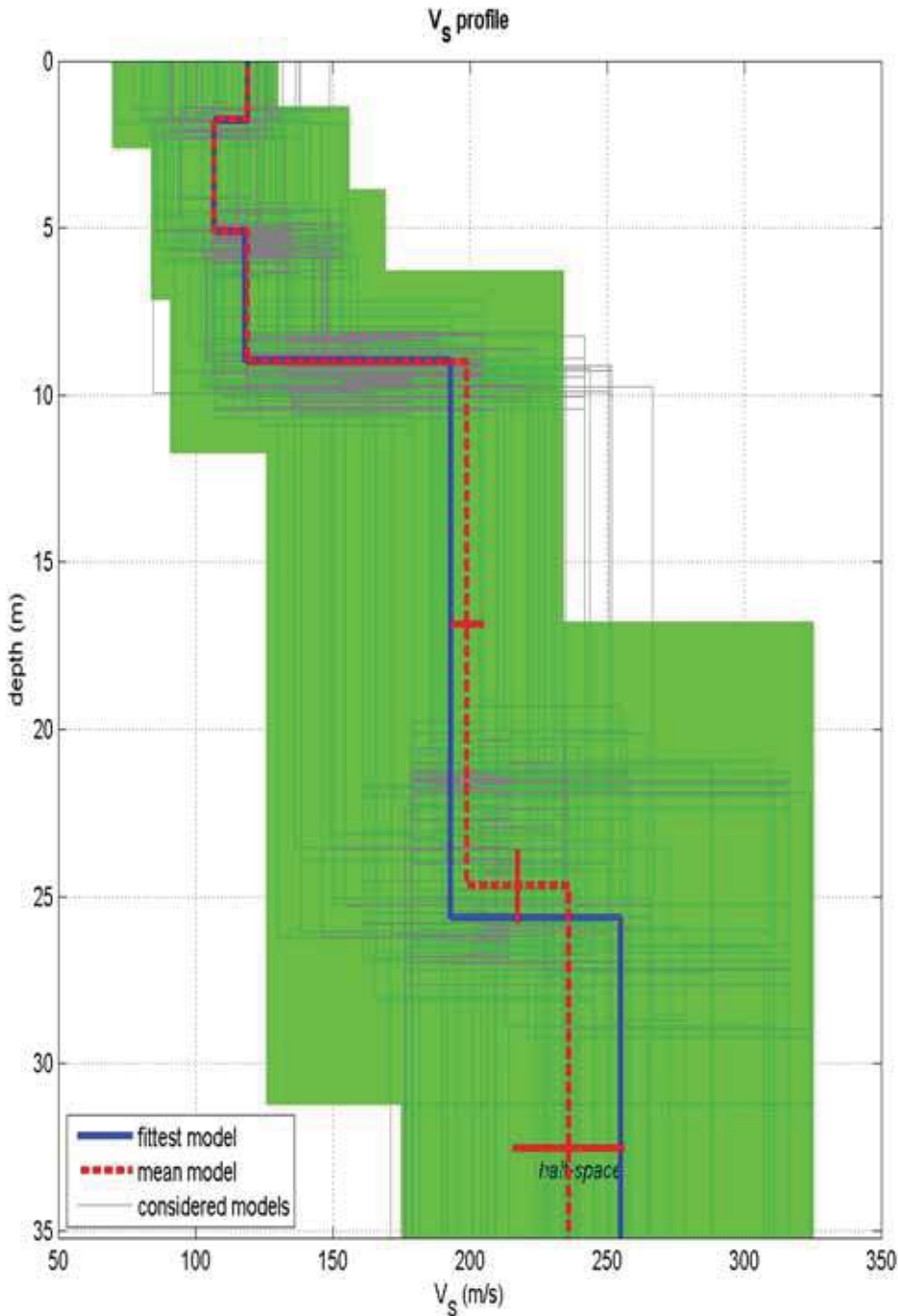
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

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

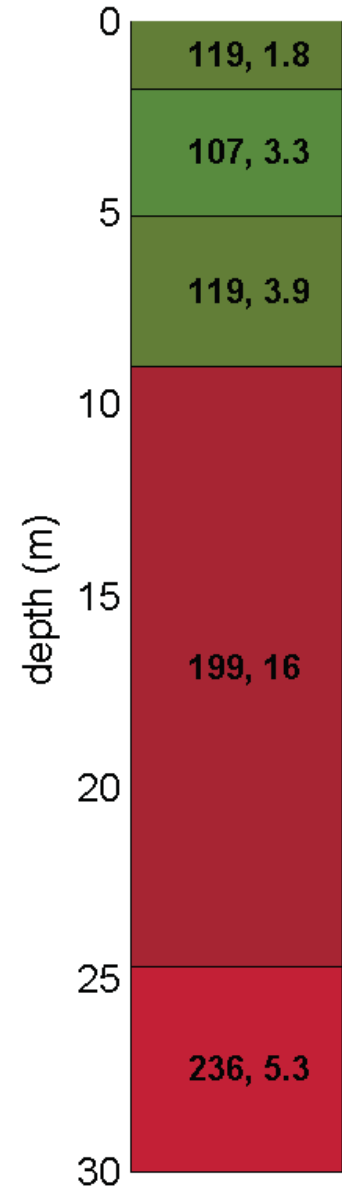
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

MODELLO Vs30 DERIVATO DALL'INDAGINE MASW ESEGUITA



Subsurface model



BEST MODEL
Vs30 = 165 m/s

V _s	density	thickness
(m/s)	(gr/cm ³)	(m)

MASW - In Onde Rayleigh (ZVFDX5MO10)

CENTO (FE) – Via Pioppo

- **Strumento e Parametri di acquisizione**

Strumento: SAB – 0019 / 02 - 11

Start recording: 07/03/14 17:07:07 End recording: 07/03/14 17:08:52

Trace length: 0h00'02". Sampling rate: 512 Hz

- **Geometria Array**

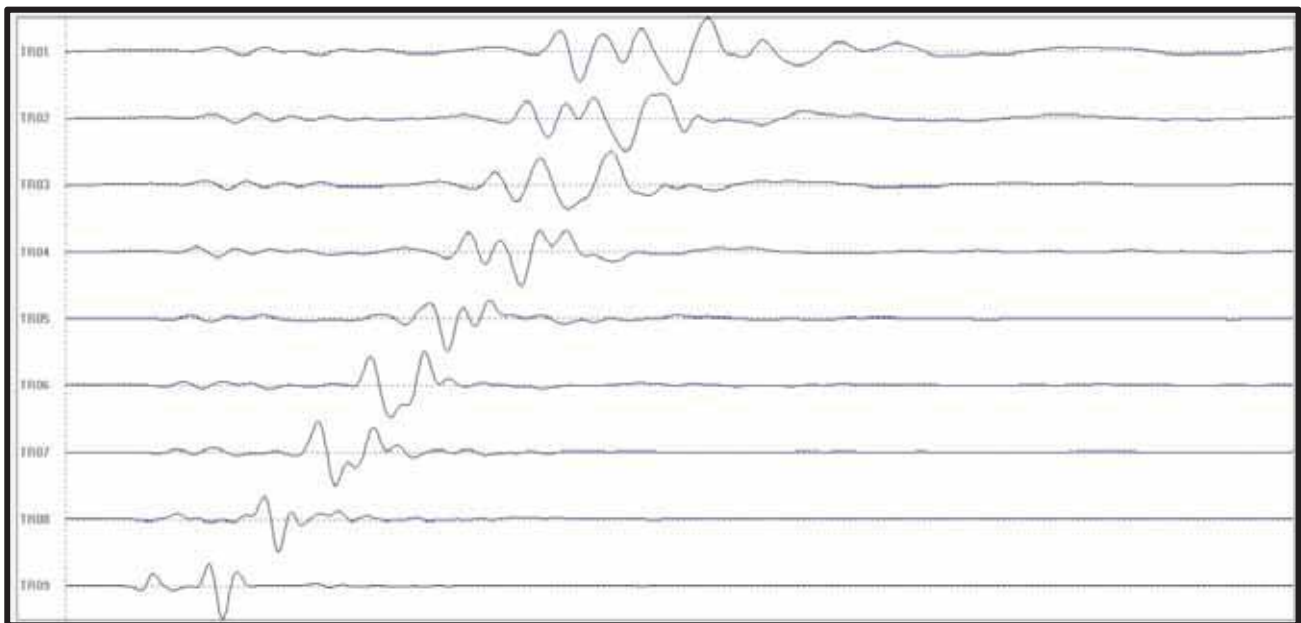
Nomi canali : TR01 ;TR02 ; TR03 ; TR04 ; TR05 ; TR06 ; TR07 ; TR08 ; TR09

Array geometry (x): 0.0 5.0 10.0 15.0 20.0 25.0 30.0 35.0 40.0 m.

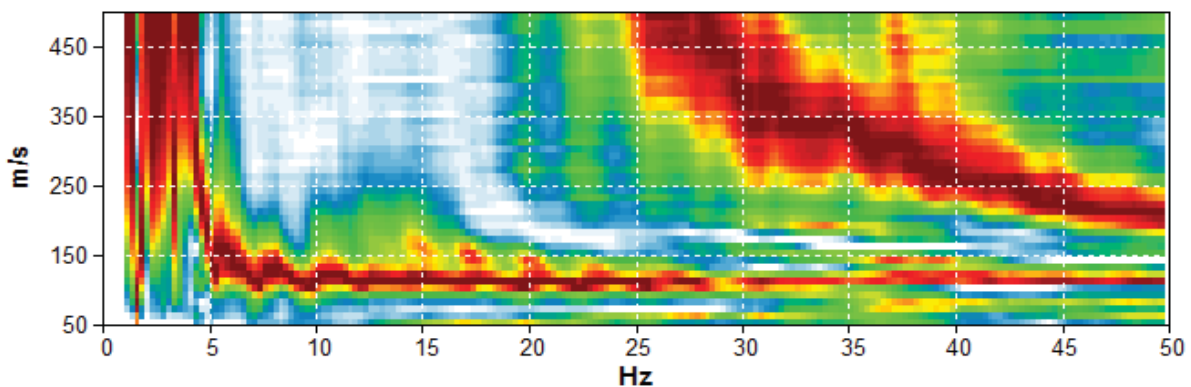
Distanza intergeofonica : DX = 5,00 m.

Offset minimo MO = 10,00 m.

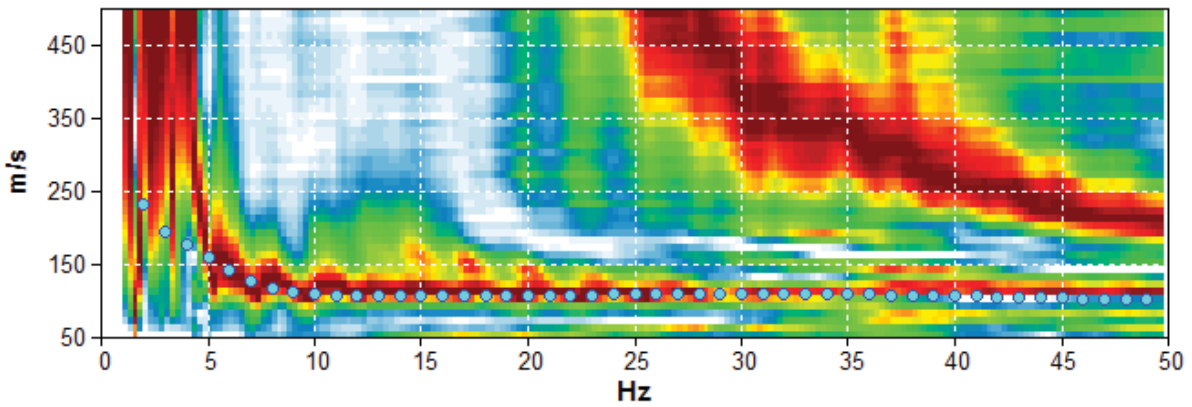
Dataset normalizzato nell'intervallo (0 – 1 s) – Componente Verticale onde Rayleigh ZVF:



Spettro Velocità di Fase Onde RAYLEIGH:

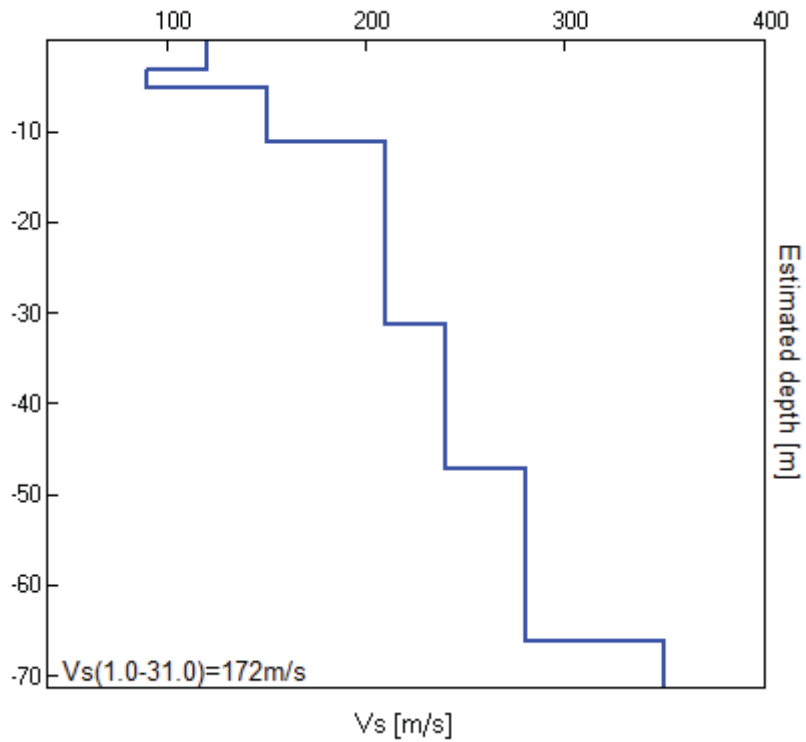


MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
3.20	3.20	120	0.42
5.20	2.00	90	0.42
11.20	6.00	150	0.42
31.20	20.00	210	0.42
47.20	16.00	240	0.42
66.20	19.00	280	0.42
inf.	inf.	350	0.42

$V_s(1.0-31.0)=172\text{m/s}$



La Masw ha dato informazioni fino a circa 7.5 Hz ossia 7.5 m di profondità, la restante porzione del modello è stato ricavato dal fit congiunto con HVSr 2.

GEO GROUP s.r.l.

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

ALLEGATO N° 4

Indagine sismica Re.Mi/ESAC

Re.Mi / ESAC

CENTO (FERRARA), Via Pioppo – DX 5 GX7 – GY 2

- **Strumento e Parametri di acquisizione**

Strumento: SAB – 0019 / 02 - 11

Start recording: 07/03/14 16:03:15 End recording: 07/03/14 16:23:19

Trace length: 0h20'04". Sampling rate: 256 Hz

- **Geometria Array**

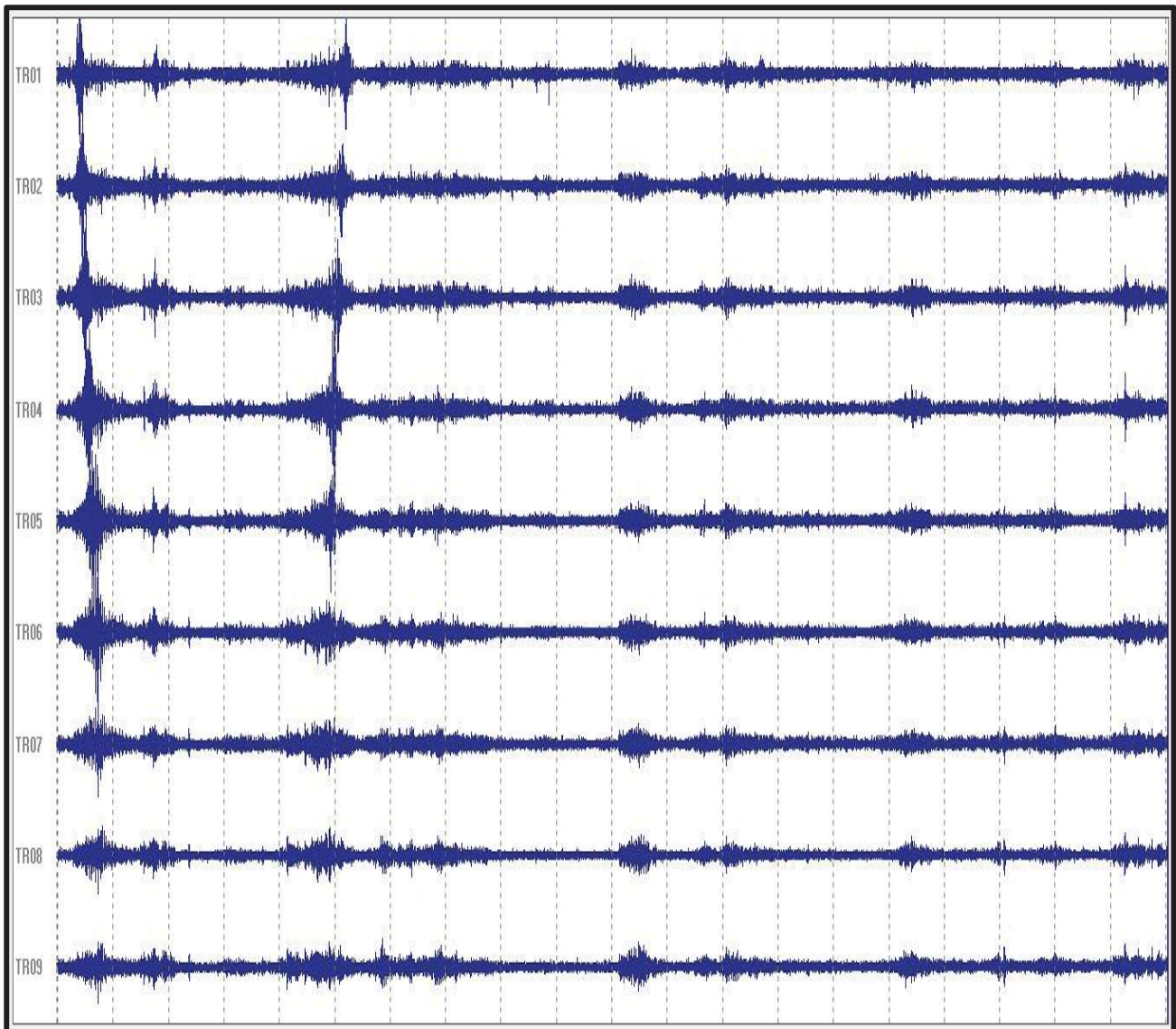
Nomi canali : TR01 ;TR02 ; TR03 ; TR04 ; TR05 ; TR06 ; TR07 ; TR08 ; TR09

Array geometry (x): 0.0 5.0 10.0 15.0 20.0 25.0 30.0 35.0 40.0 m.

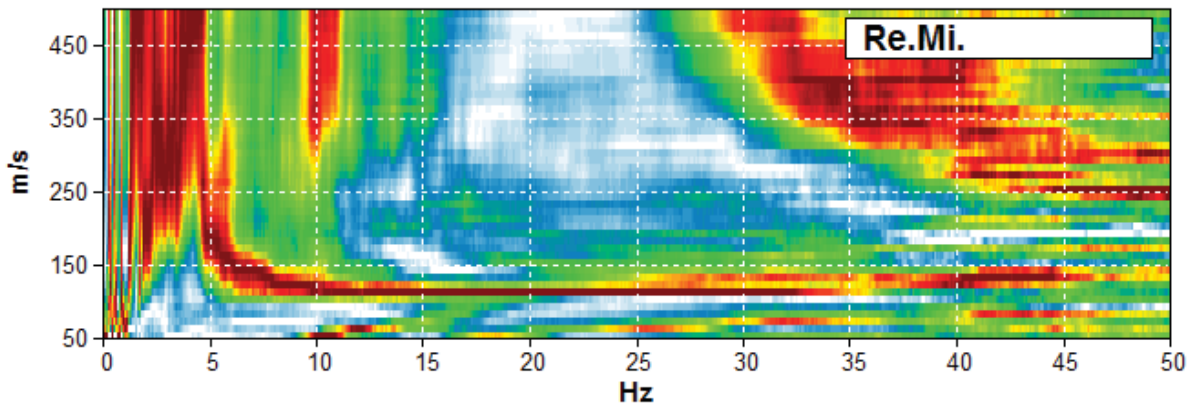
Array geometry (y): 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 5.0 10.0 m.

Distanza intergeofonica : DX = 5,00 m.

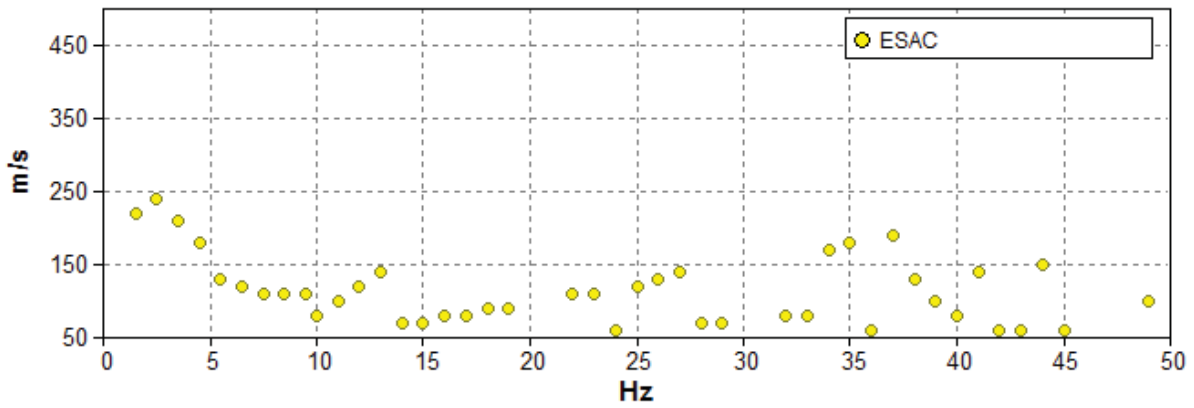
Dataset normalizzato nei 20 minuti di acquisizione:



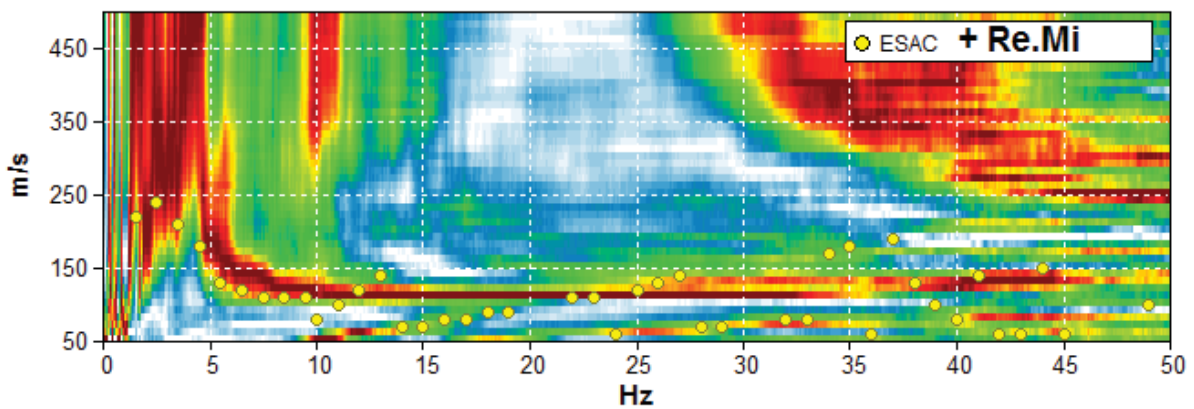
Spettro Velocità di Fase Onde Rayleigh da Prova Re.Mi.



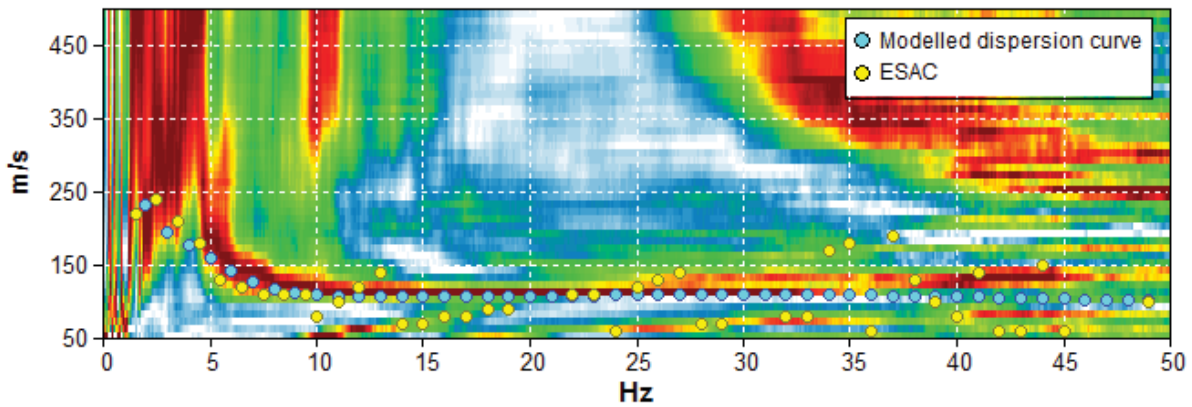
Curva di Dispersione sperimentale "Effettiva" da Procedura ESAC:



Spettro Velocità di Fase Onde Rayleigh da Prova Re.Mi. + Curva di Dispersione Effettiva da Procedura ESAC:

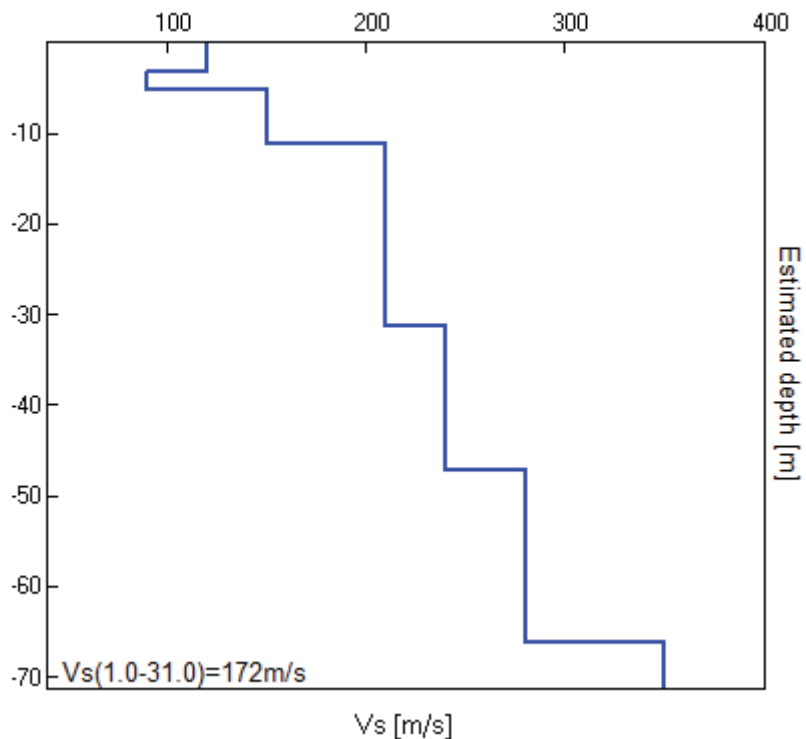


MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
3.20	3.20	120	0.42
5.20	2.00	90	0.42
11.20	6.00	150	0.42
31.20	20.00	210	0.42
47.20	16.00	240	0.42
66.20	19.00	280	0.42
inf.	inf.	350	0.42

$V_s(1.0-31.0)=172\text{m/s}$



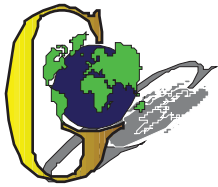
La prova REMI/ESAC ha dato informazioni fino a circa 2,25 Hz, pertanto la profondità, raggiunta è circa 40.00 m., la restante porzione del modello è stato ricavato dal fit congiunto REMI/ESAC – HVS2.

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° 5

Indagine sismica HVSR



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

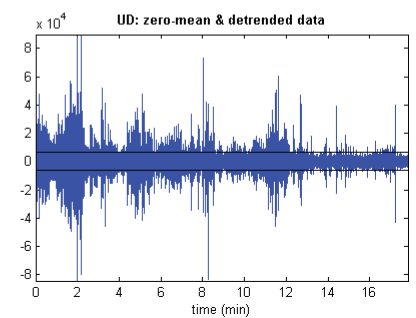
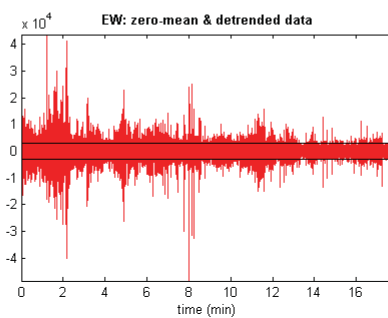
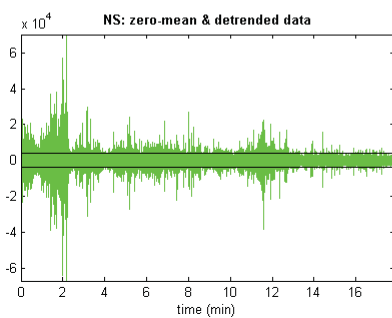
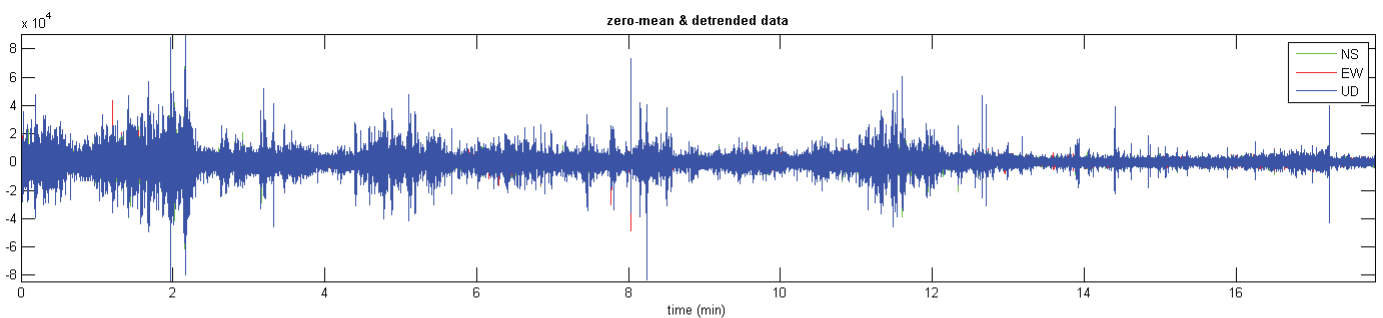
p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogrouppmodena.it - e-mail: info@geogrouppmodena.it

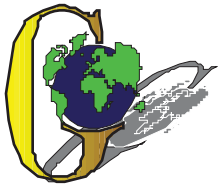
ANALISI SISMICA DI SITO SECONDO METODOLOGIA HVSR

Cantiere: Cento, Via Pioppo
Operatori: Ing. Silvia Sernesi
Data: 07/03/2014
Lavoro: Studio del terreno di fondazione
Elaborazione: Dott. Gabriele Ghirardini
Responsabile: Dott. Geol. Pier Luigi Dallari



UBICAZIONE DELLA STAZIONE DI MISURA





GEO GROUP s.r.l.

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

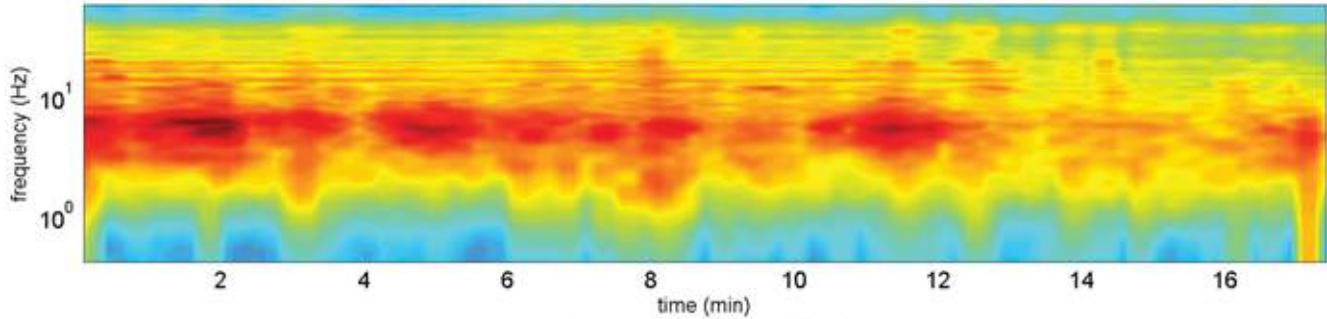
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

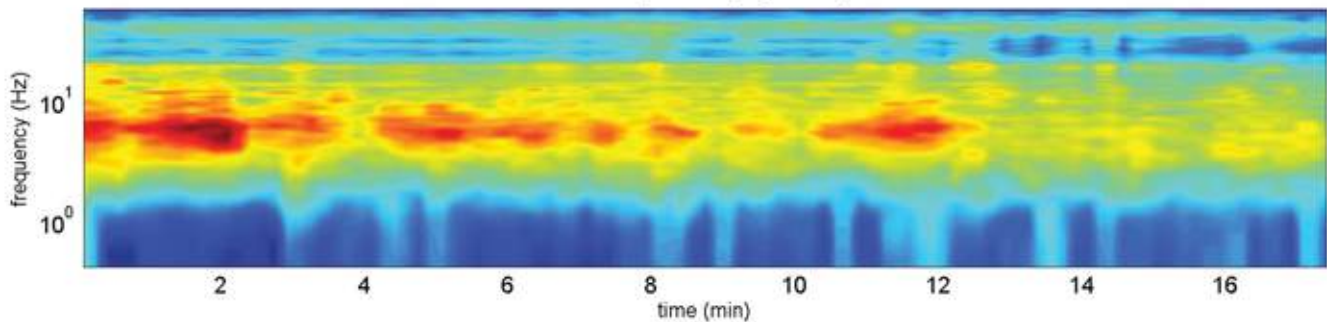
p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogrouppmodena.it - e-mail: info@geogrouppmodena.it

PERSISTENZA HVSR

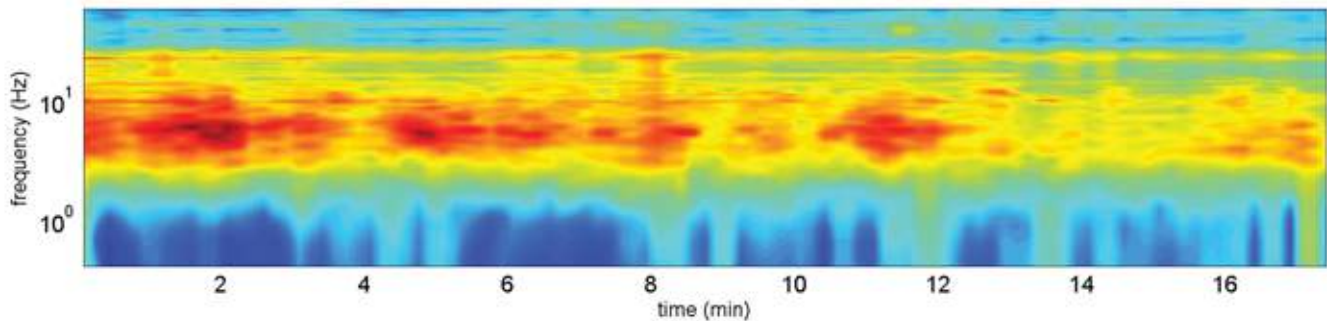
vertical component (logarithm)



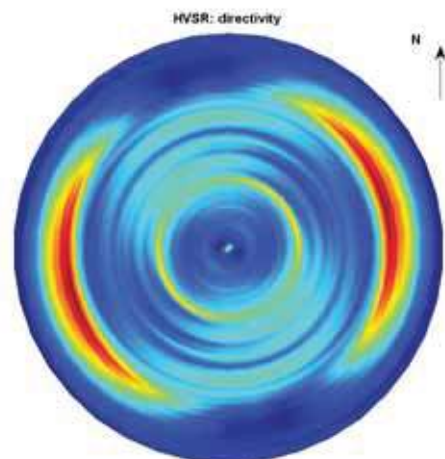
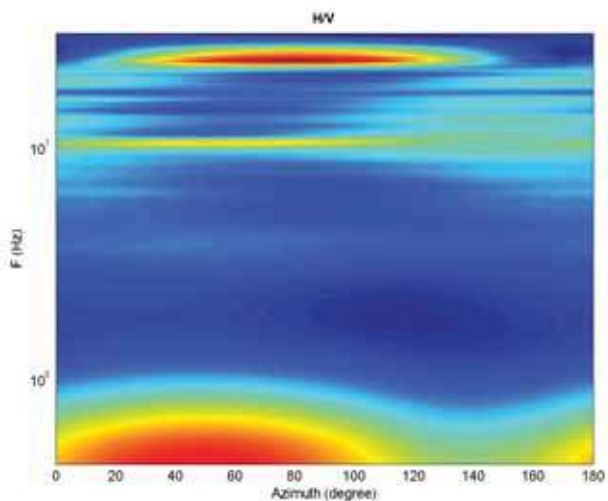
NS component (logarithm)

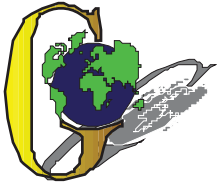


EW component (logarithm)



DIREZIONALITA' HVSR





GEO GROUP s.r.l.

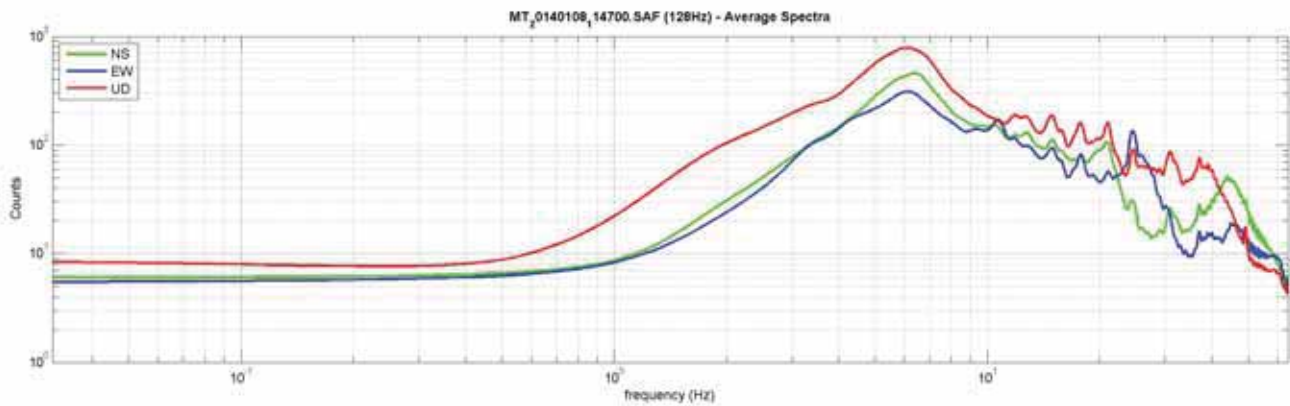
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

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

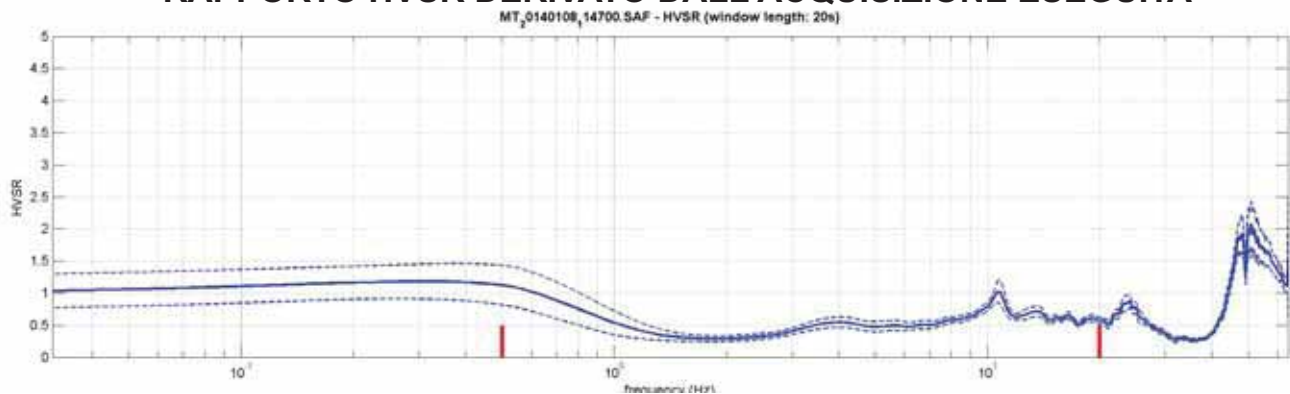
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

VELOCITA' SPETTRALI



RAPPORTO HVSR DERIVATO DALL'ACQUISIZIONE ESEGUITA



FREQUENZA DERIVATA

0.5 Hz

(non verificata secondo i criteri sesame 2006)

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

- #1. $[f_0 > 10/Lw]$: $3.1 > 0.5$ (OK)
- #2. $[nc > 200]$: $6191 > 200$ (OK)
- #3. $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)

==== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

- #1. $[\text{exists } f^- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f^-) < A_0/2]$: (NO)
- #2. $[\text{exists } f^+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f^+) < A_0/2]$: (OK)
- #3. $[A_0 > 2]$: $1.2 < 2$ (NO)
- #4. $[f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$: (NO)
- #5. $[\sigma_{f_0} < \epsilon(f_0)]$: $3.774 > 0.156$ (NO)
- #6. $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$: $0.185 < 1.58$ (OK)

CENTO - Via Pioppo - HVSR 2

Instrument: TRZ-0121/01-11

Start recording: 07/03/14 15:50:57 End recording: 07/03/14 16:10:57

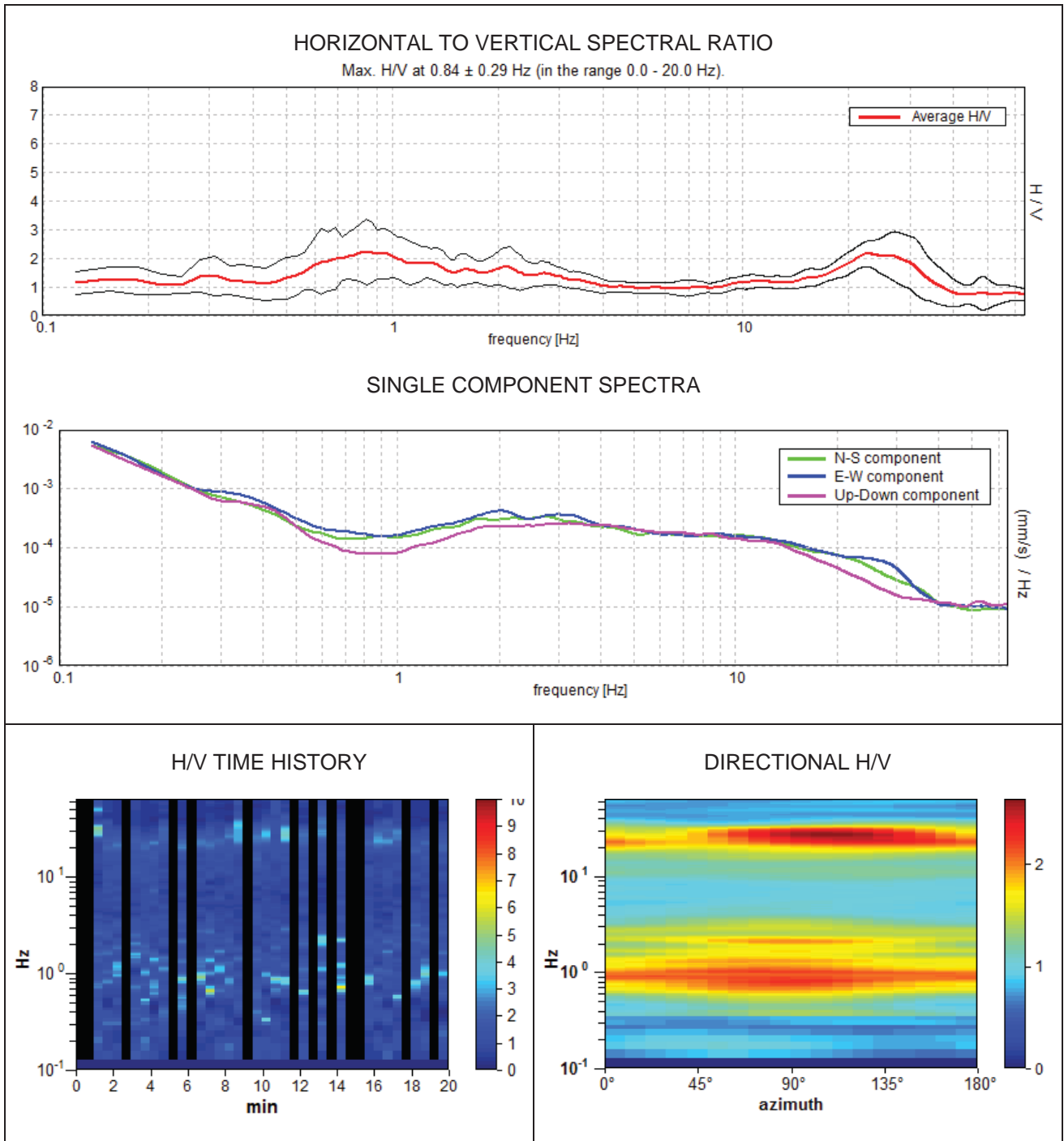
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS: LAT 44.725504° - LONG 11.277764°

Trace length: 0h20'00". Analyzed 68% trace (manual window selection)

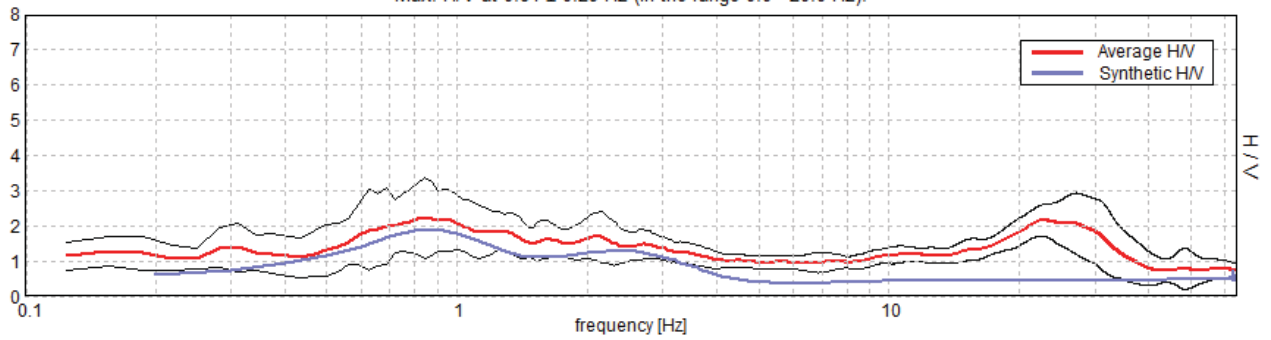
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 30 s - Smoothing type: Triangular window - Smoothing: 10%



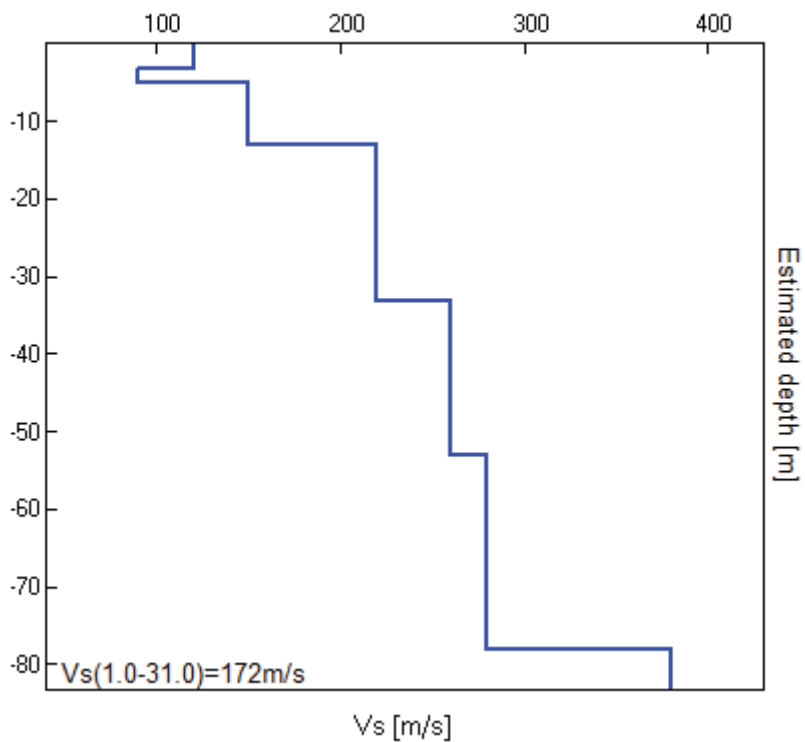
EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 0.84 ± 0.29 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
3.20	3.20	120	0.42
5.20	2.00	90	0.42
13.20	8.00	150	0.42
33.20	20.00	220	0.42
53.20	20.00	260	0.42
78.20	25.00	280	0.42
inf.	inf.	380	0.42

$V_s(1.0-31.0)=172\text{m/s}$



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

Max. H/V at 0.84 ± 0.29 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	0.84 > 0.33	OK	
$n_c(f_0) > 200$	683.4 > 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 42 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.438 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	2.22 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.34904 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.29451 < 0.12656		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.1381 < 2.0	OK	

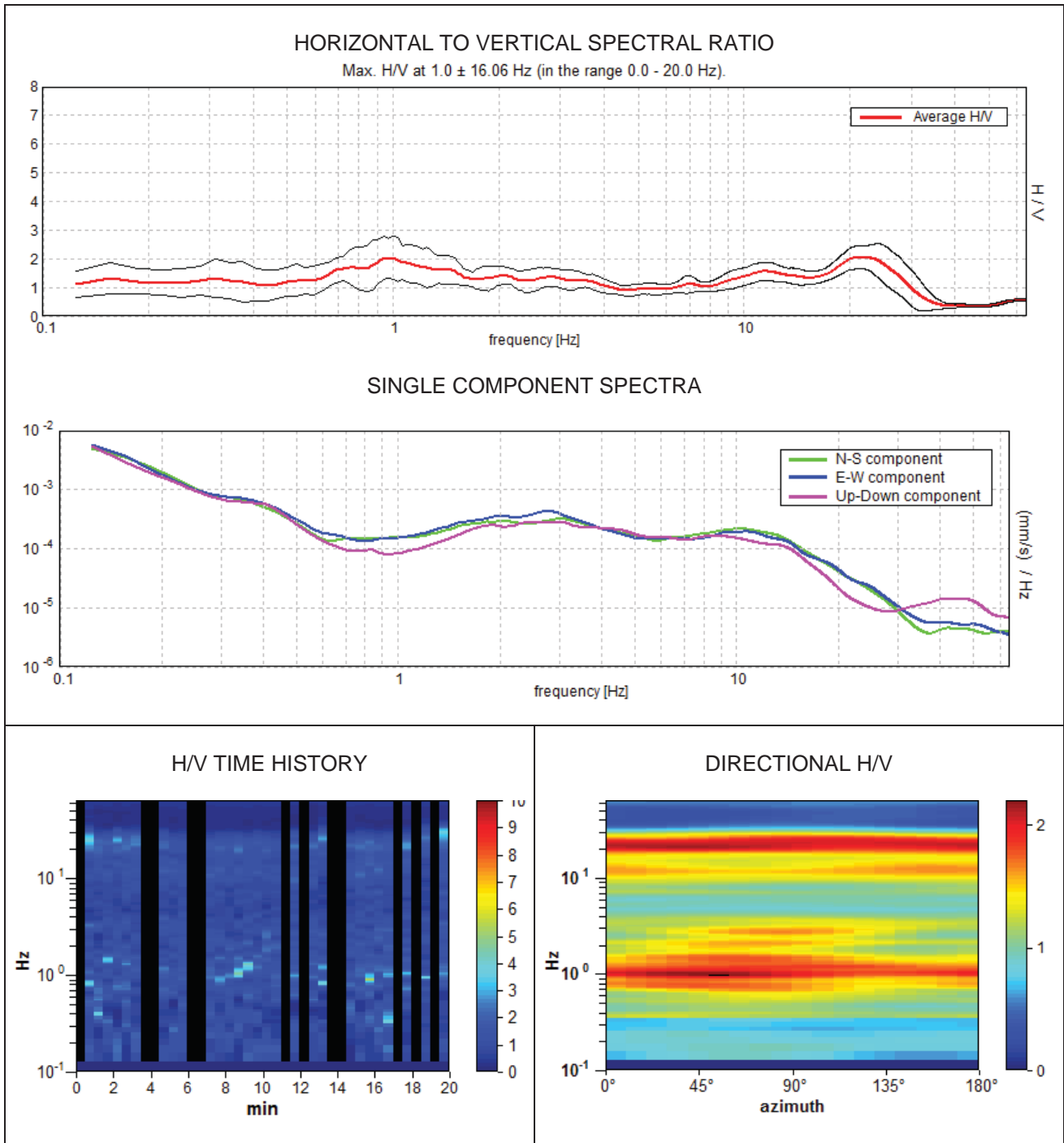
L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak 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

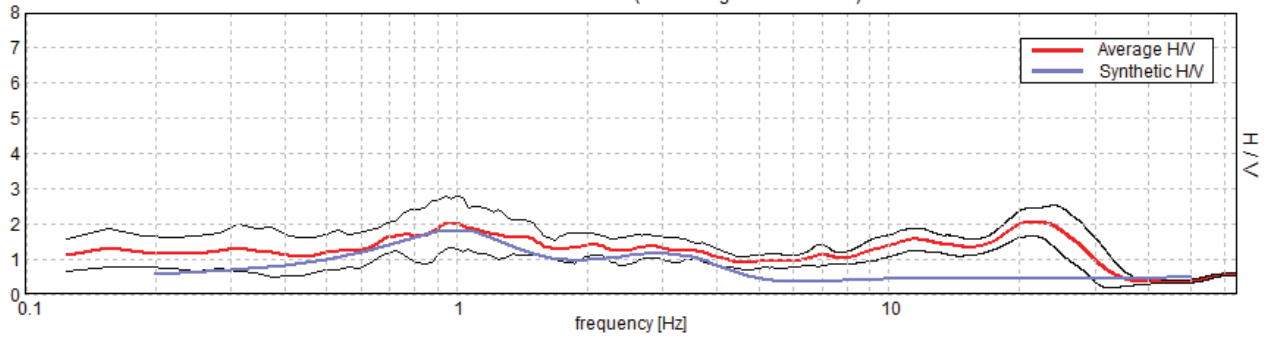
CENTO - Via Pioppo - HVSR 3

Instrument: TRZ-0121/01-11
Start recording: 07/03/14 16:19:32 End recording: 07/03/14 16:39:33
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS: LAT 44.724723° - LONG 11.276779°
Trace length: 0h20'00". Analyzed 70% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 30 s - Smoothing type: Triangular window - Smoothing: 10%



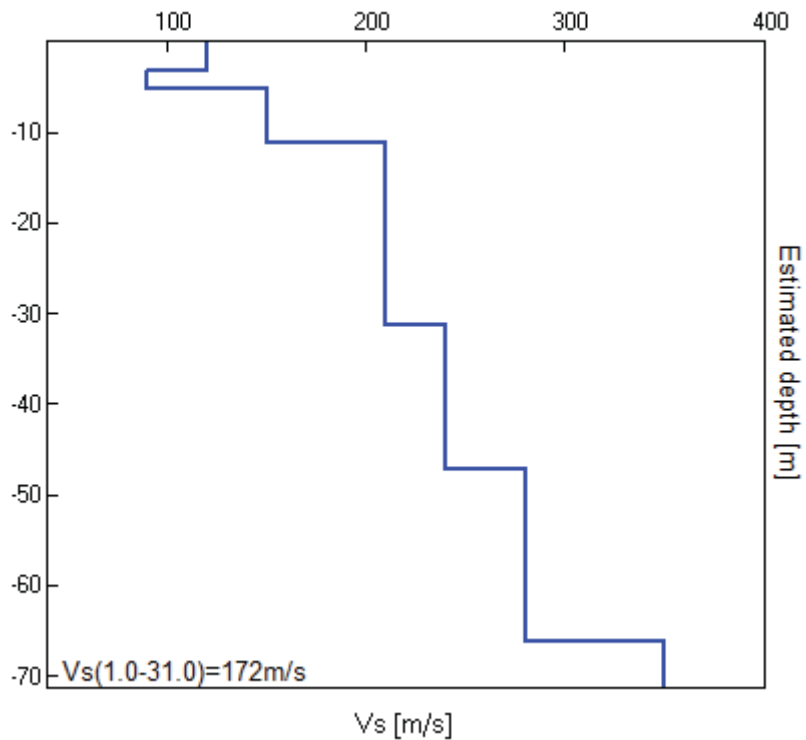
EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 1.0 ± 16.06 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
3.20	3.20	120	0.42
5.20	2.00	90	0.42
11.20	6.00	150	0.42
31.20	20.00	210	0.42
47.20	16.00	240	0.42
66.20	19.00	280	0.42
inf.	inf.	350	0.42

$V_s(1.0-31.0)=172\text{m/s}$



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

Max. H/V at 1.0 ± 16.06 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

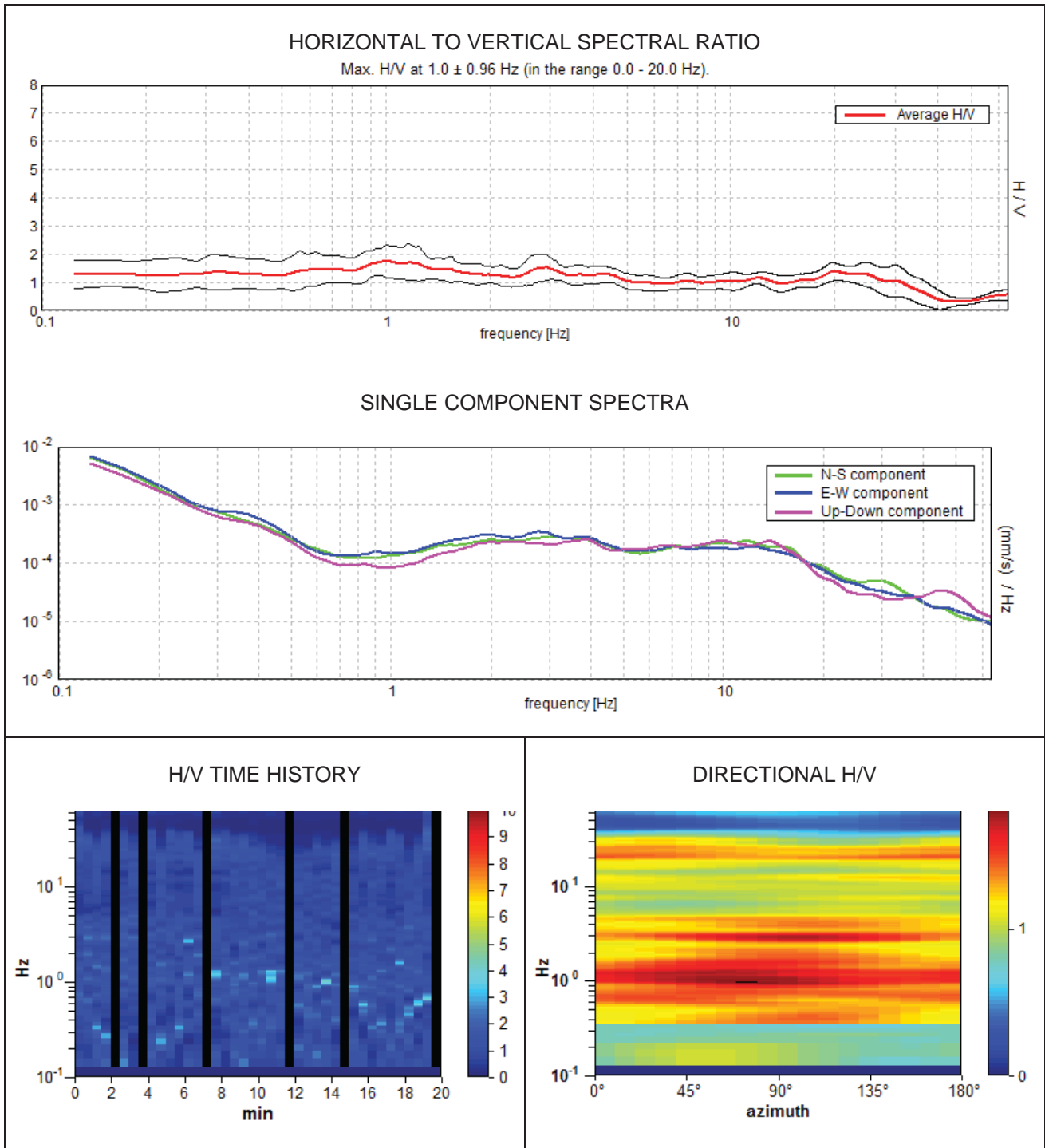
Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	$1.00 > 0.33$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$840.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 49 times	OK	
Criteria 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 $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$2.03 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 16.05818 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$16.05818 < 0.1$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.7597 < 1.78$	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

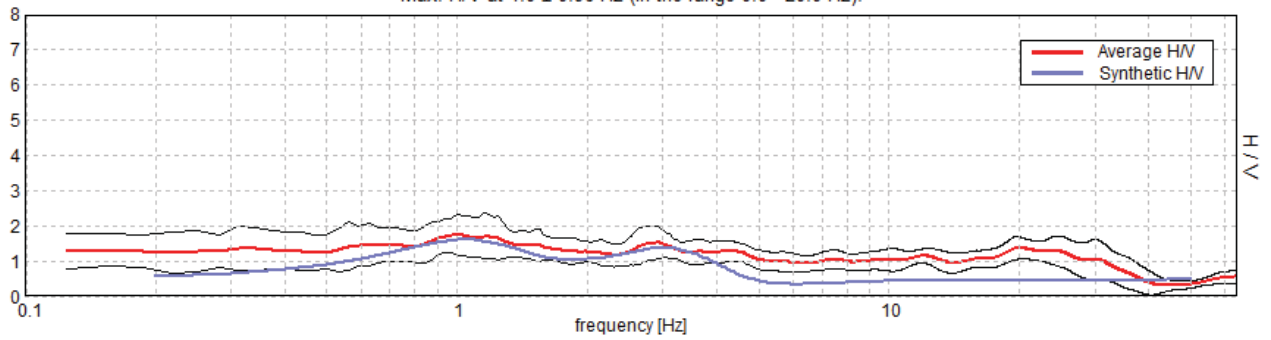
CENTO - Via Pioppo - HVSR 4

Instrument: TRZ-0121/01-11
Start recording: 07/03/14 16:44:50 End recording: 07/03/14 17:04:50
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS: LAT 44.725667° - LONG 11.275934°
Trace length: 0h20'00". Analyzed 85% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 30 s - Smoothing type: Triangular window - Smoothing: 10%



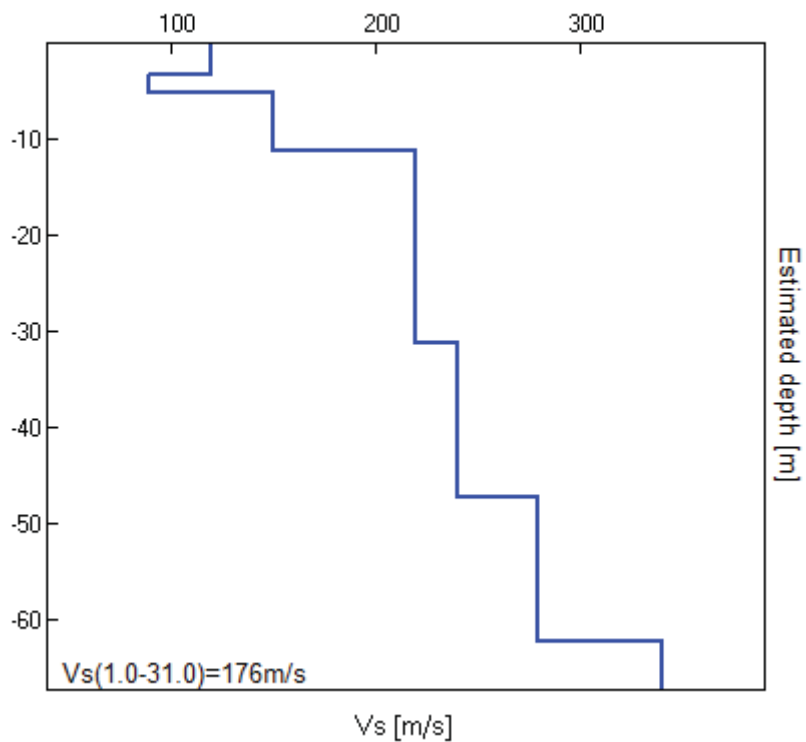
EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 1.0 ± 0.96 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
3.20	3.20	120	0.42
5.20	2.00	90	0.42
11.20	6.00	150	0.42
31.20	20.00	220	0.42
47.20	16.00	240	0.42
62.20	15.00	280	0.42
inf.	inf.	340	0.42

$V_s(1.0-31.0)=176\text{m/s}$



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

Max. H/V at 1.0 ± 0.96 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	$1.00 > 0.33$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$1020.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 49 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 $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$1.73 > 2$		NO
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.95799 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.95799 < 0.1$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.5956 < 1.78$	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° 6

Verifica alla liquefazione

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

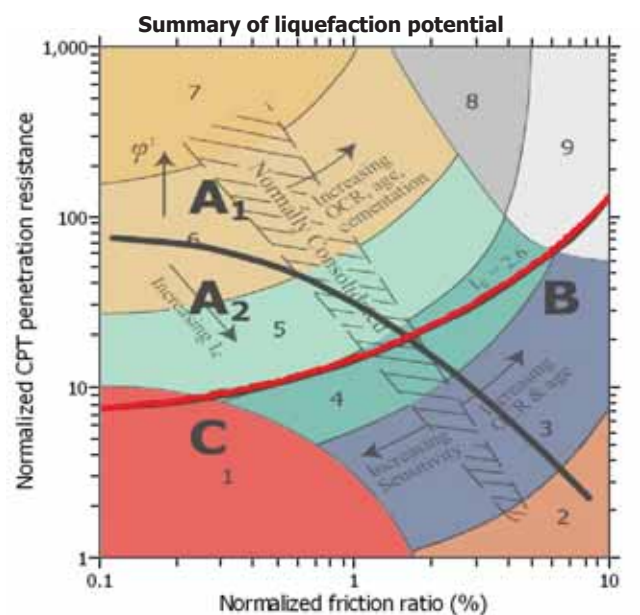
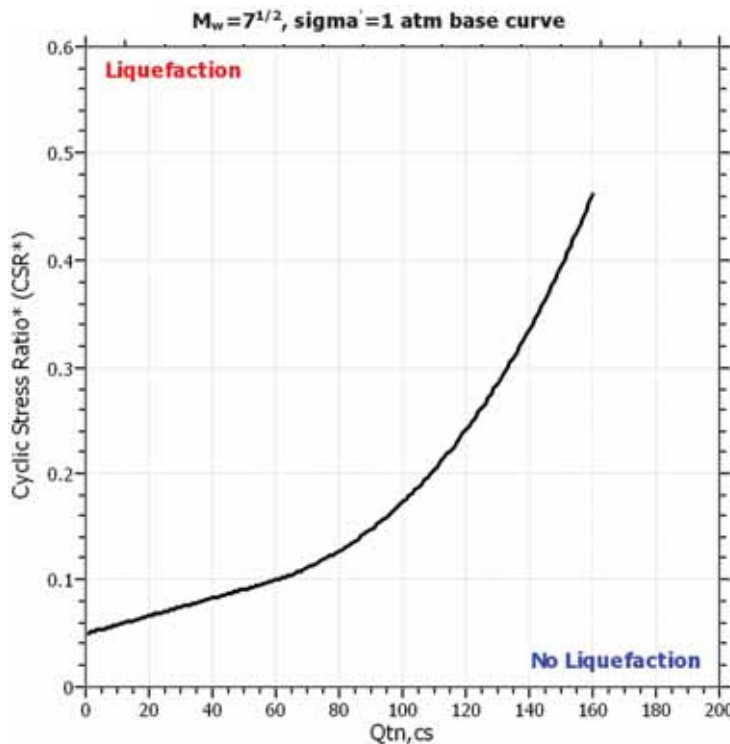
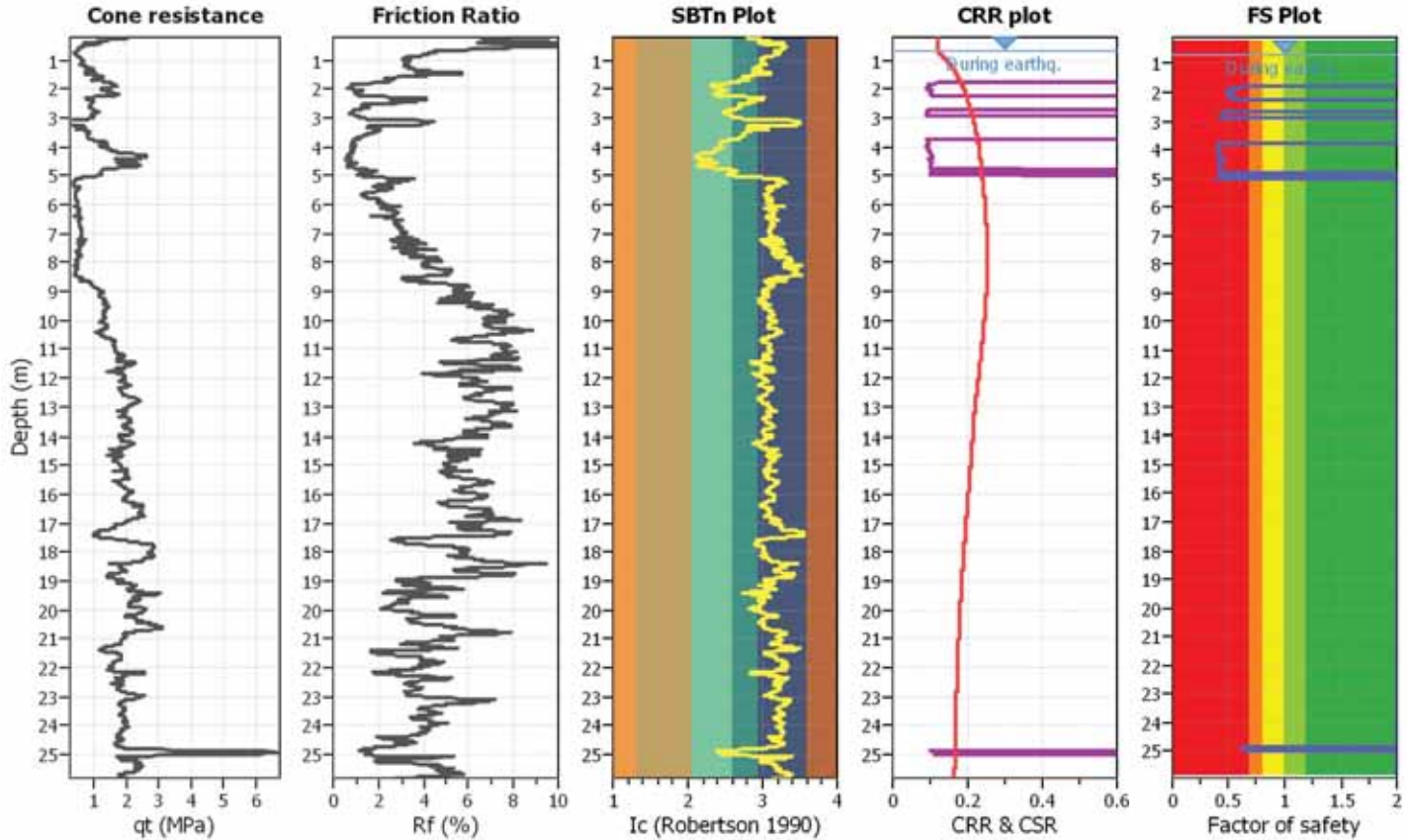
Project title : Studio del terreno di fondazione

Location : Cento, Via Pioppo

CPT file : CPTU1

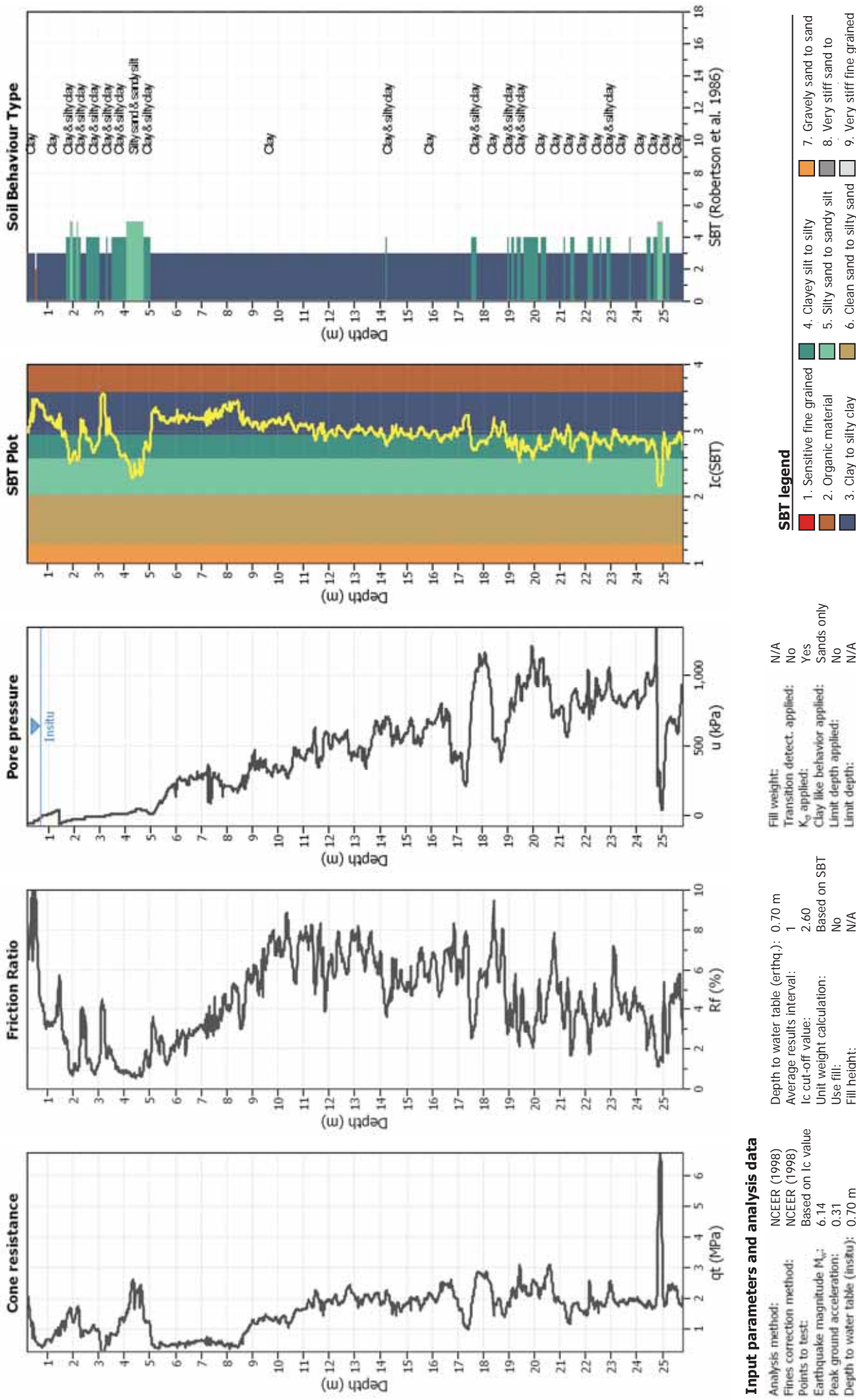
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	0.70 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	0.70 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:	No
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.31	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_0 applied:	Yes		



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



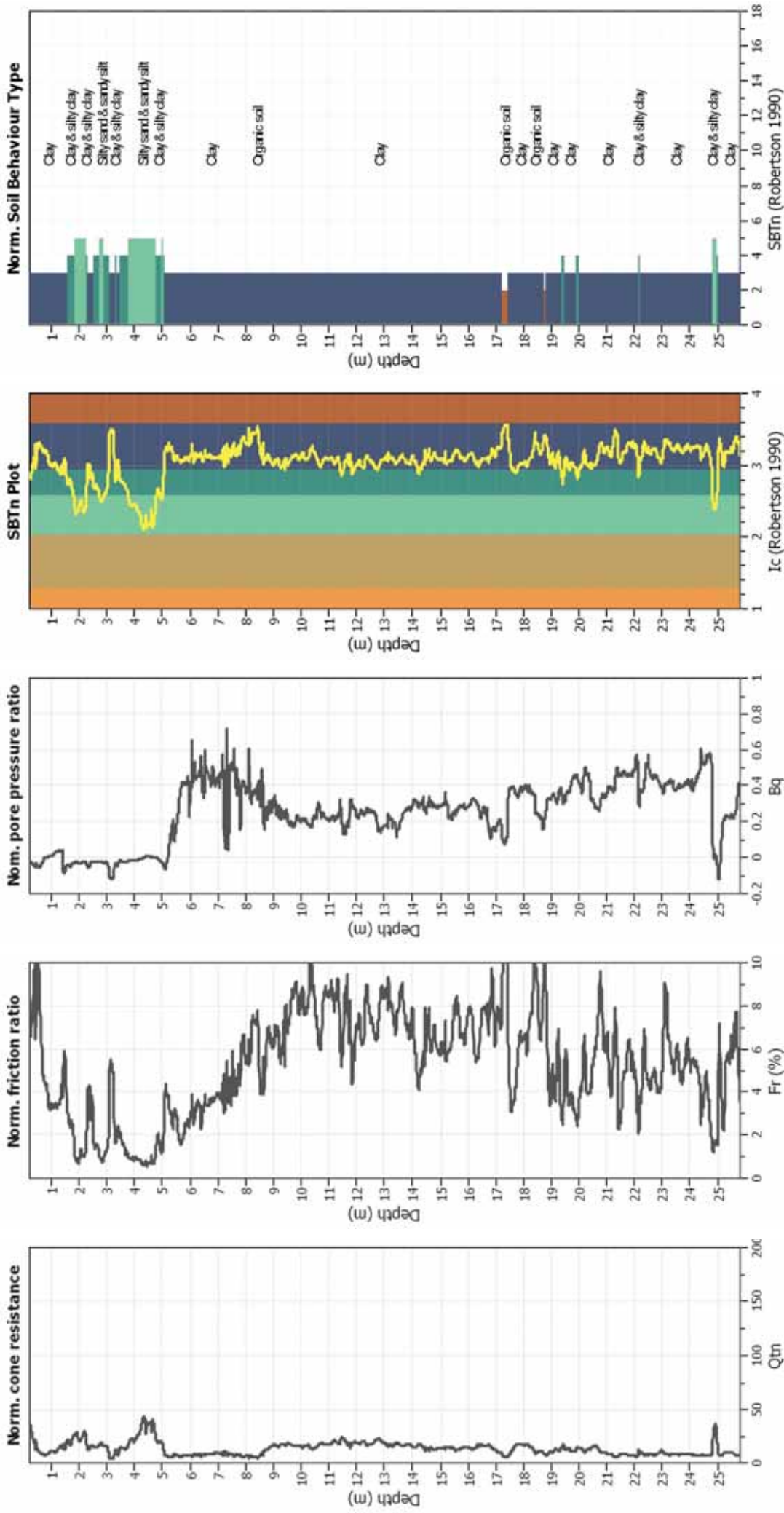
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on I_c value	K_p applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.31	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	0.70 m	Limit depth:	N/A
Depth to water table (earthq.):	0.70 m		
Average results interval:	1		
I_c cut-off value:	2.60		
Unit weight calculation:	Based on SBT		
Use fill:	No		
Fill height:	N/A		

SBT legend

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

CPT basic interpretation plots (normalized)



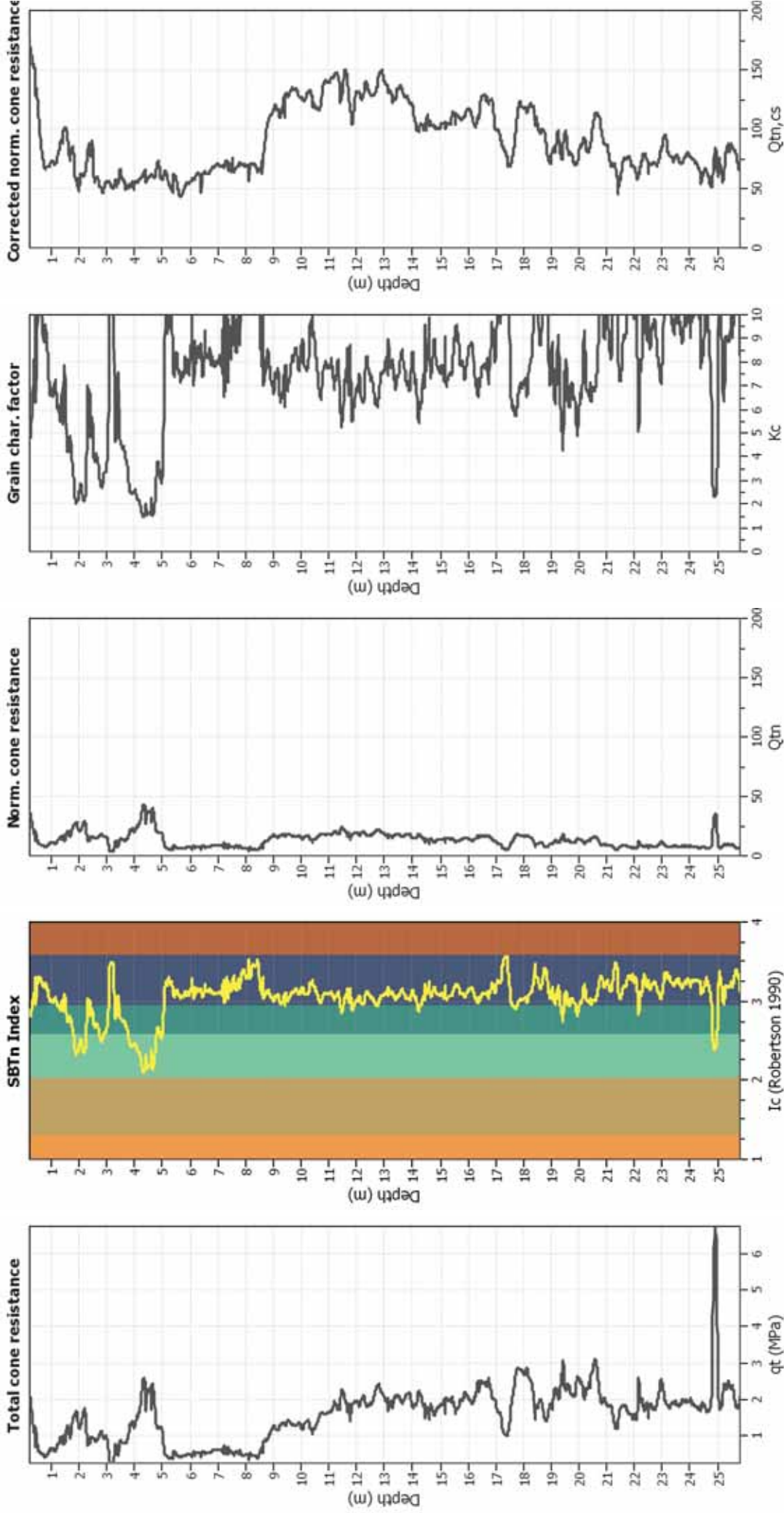
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	K_p applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.31	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	0.70 m	Limit depth:	N/A
Depth to water table (earthq.):	0.70 m		
Average results interval:	1		
Ic cut-off value:	2.60		
Unit weight calculation:	Based on SBT		
Use fill:	No		
Fill height:	N/A		

SBTn legend

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

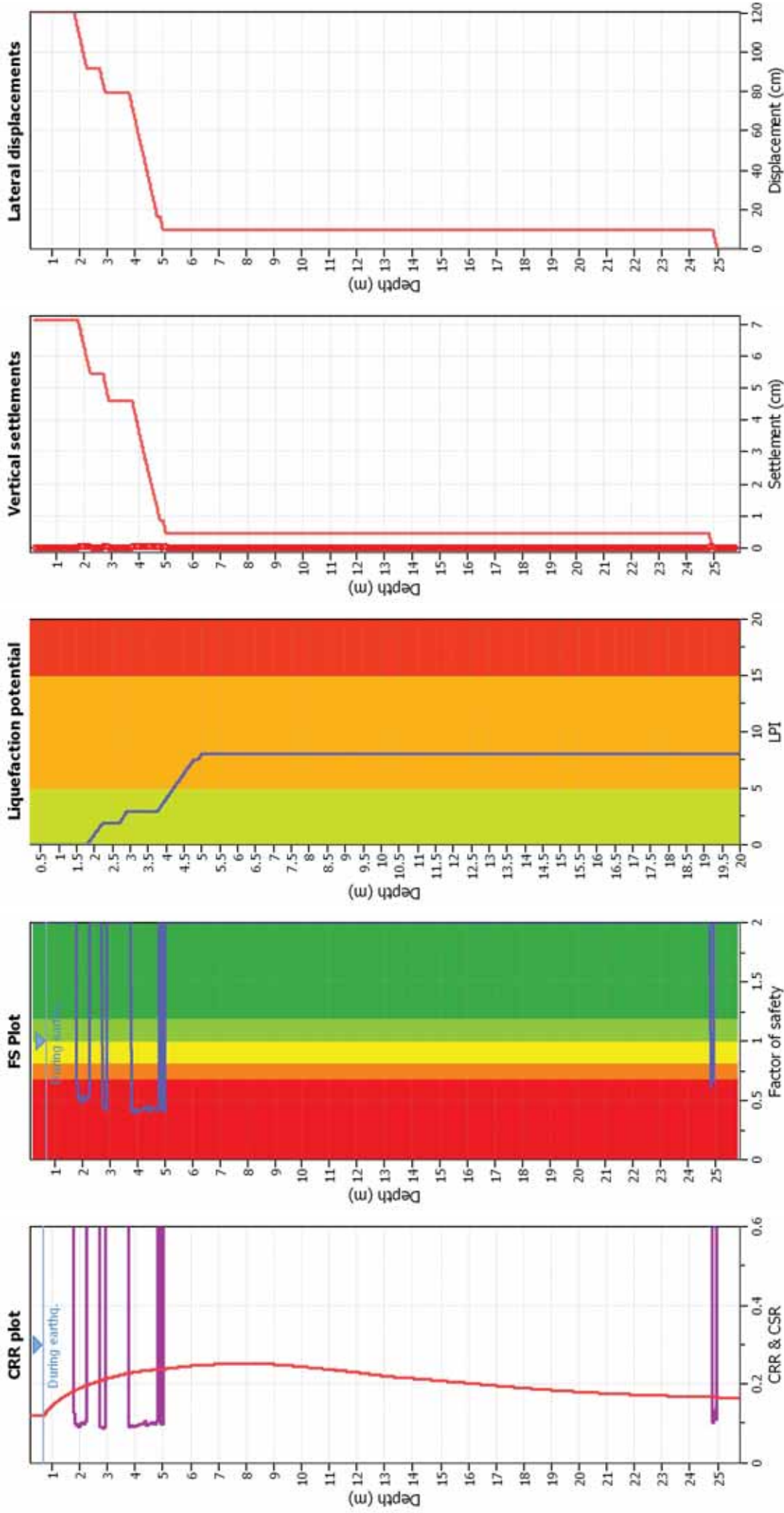
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	K _{cs} applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.31	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	0.70 m	Limit depth:	N/A
Depth to water table (erthq.):	0.70 m		
Average results interval:	1		
Ic cut-off value:	2.60		
Unit weight calculation:	Based on SBT		
Use fill:	No		
Fill height:	N/A		

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method: NCEER (1998)
 Fines correction method: NCEER (1998)
 Points to test: Based on I_c value
 Earthquake magnitude M_w: 6.14
 Peak ground acceleration: 0.31
 Depth to water table (insitu): 0.70 m

Depth to water table (erthq.): 0.70 m
 Average results interval: 1
 I_c cut-off value: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: N/A

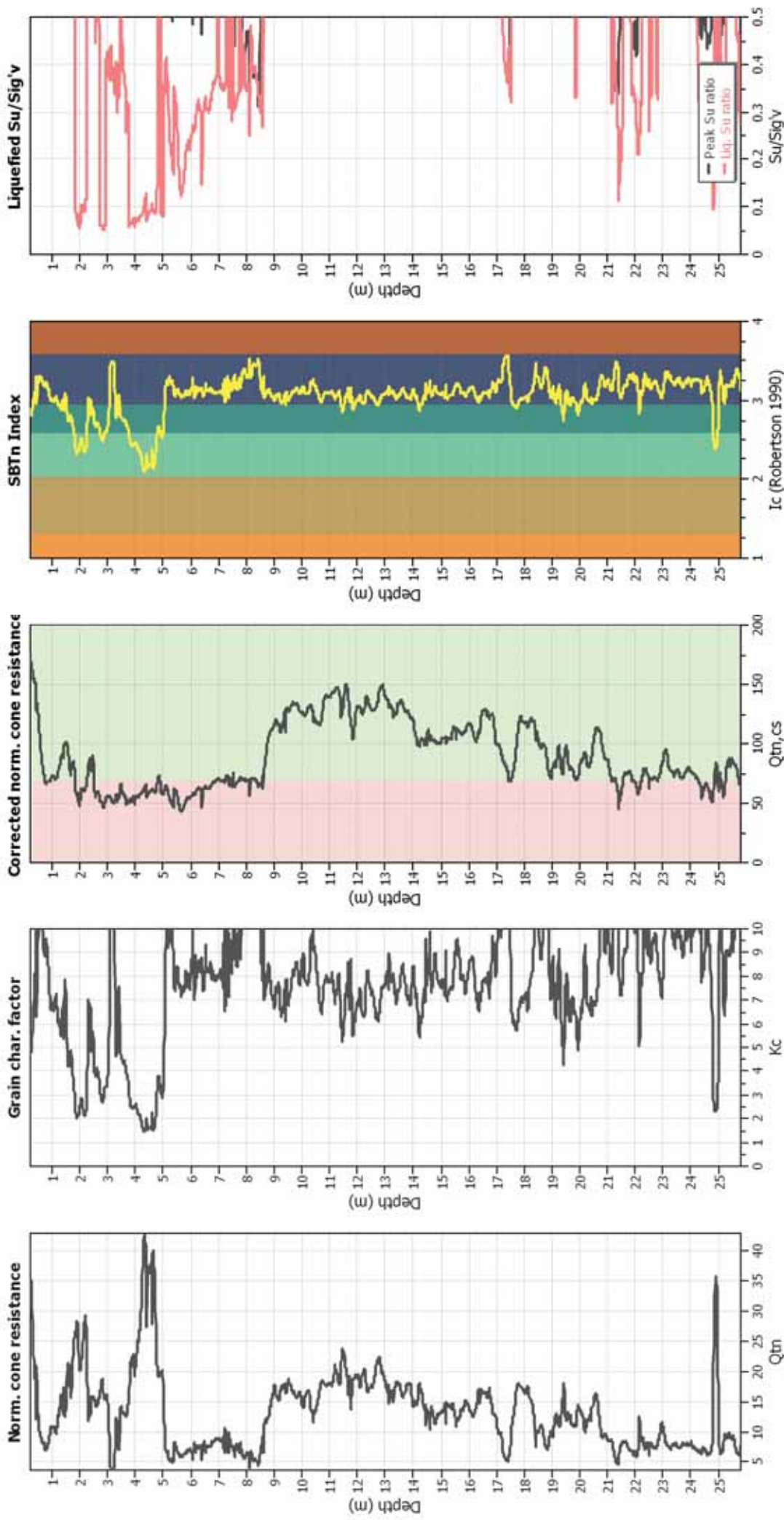
Fill weight: N/A
 Transition detect. applied: No
 K₀ applied: Yes
 Clay like behavior applied: Sands only
 Limit depth applied: No
 Limit depth: N/A

F.S. color scheme

■ Almost certain it will liquefy
■ Very likely to liquefy
■ Liquefaction and no liquefaction are equally likely
■ Unlikely to liquefy
■ Almost certain it will not liquefy

LPI color scheme
■ Very high risk
■ High risk
■ Low risk

Check for strength loss plots (Robertson (2010))



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	K _u applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.31	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	0.70 m	Limit depth:	N/A
Depth to water table (erthq.):	0.70 m		
Average results interval:	1		
Ic cut-off value:	2.60		
Unit weight calculation:	Based on SBT		
Use fill:	No		
Fill height:	N/A		

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

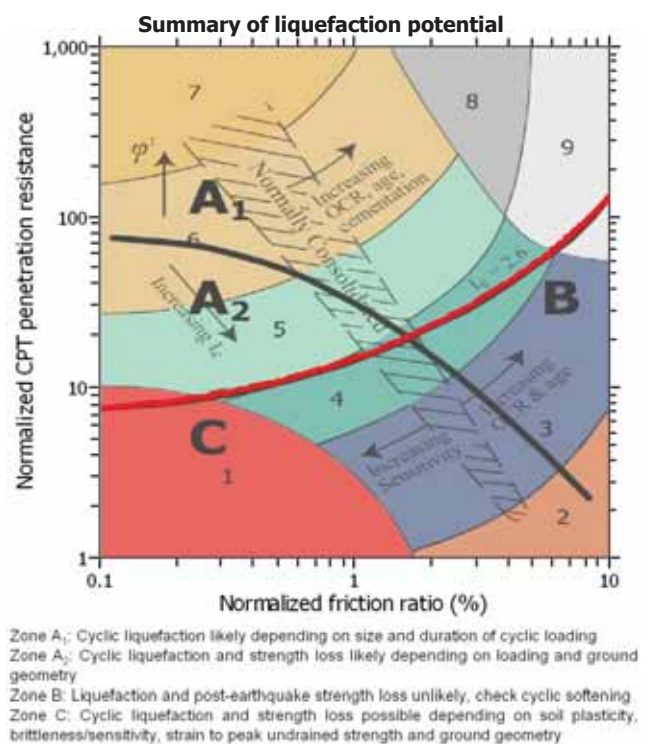
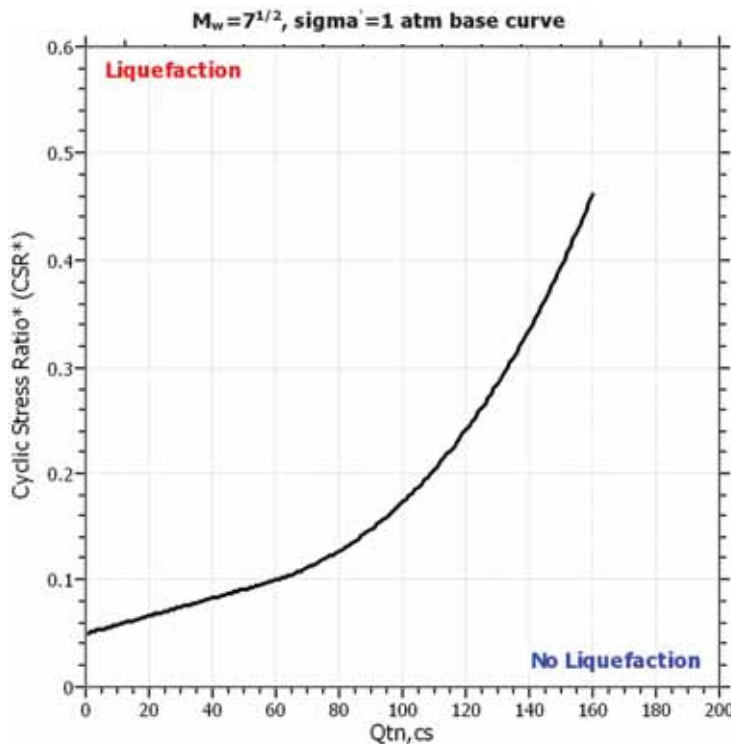
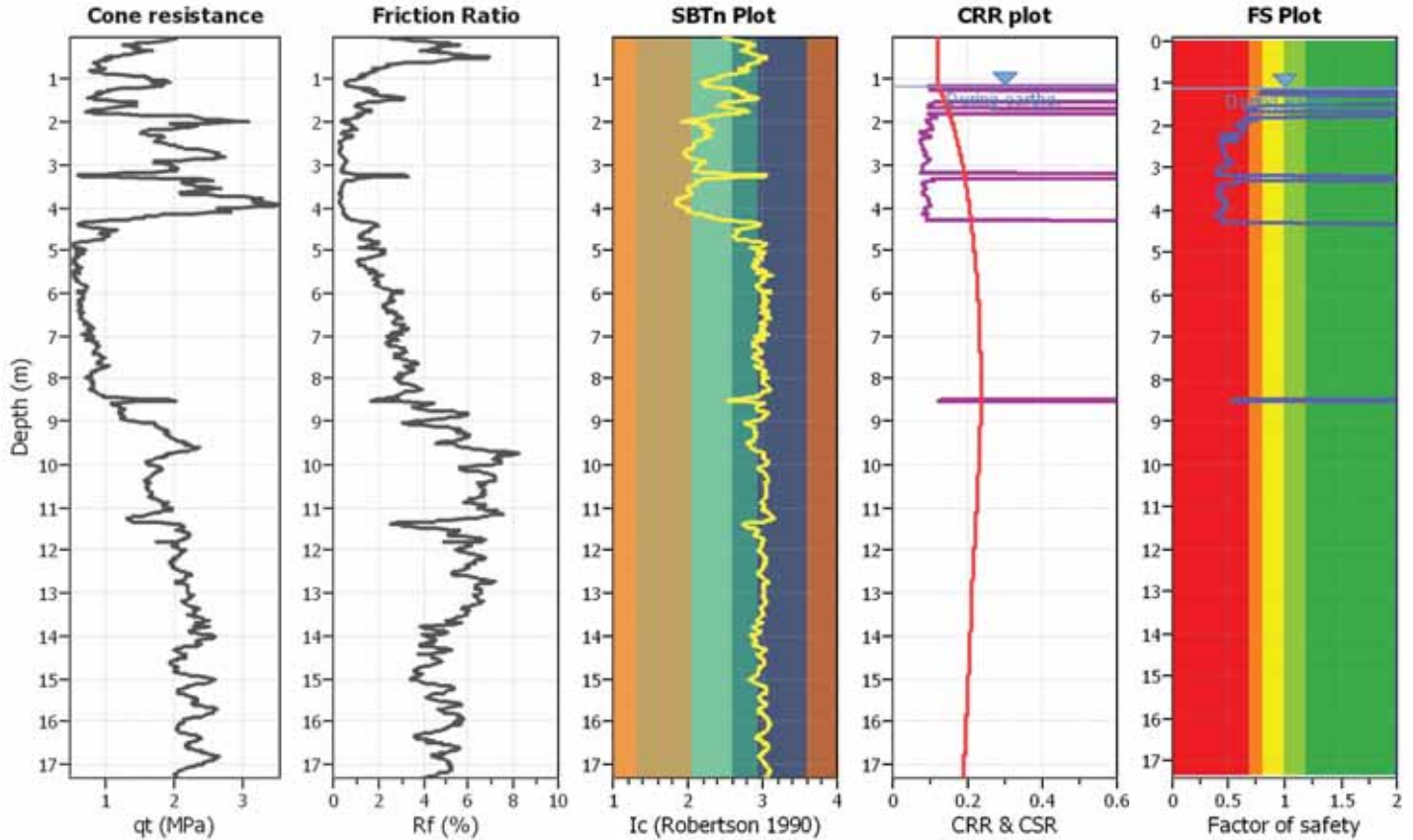
Project title : Studio del terreno di fondazione

Location : Cento, Via Pioppo

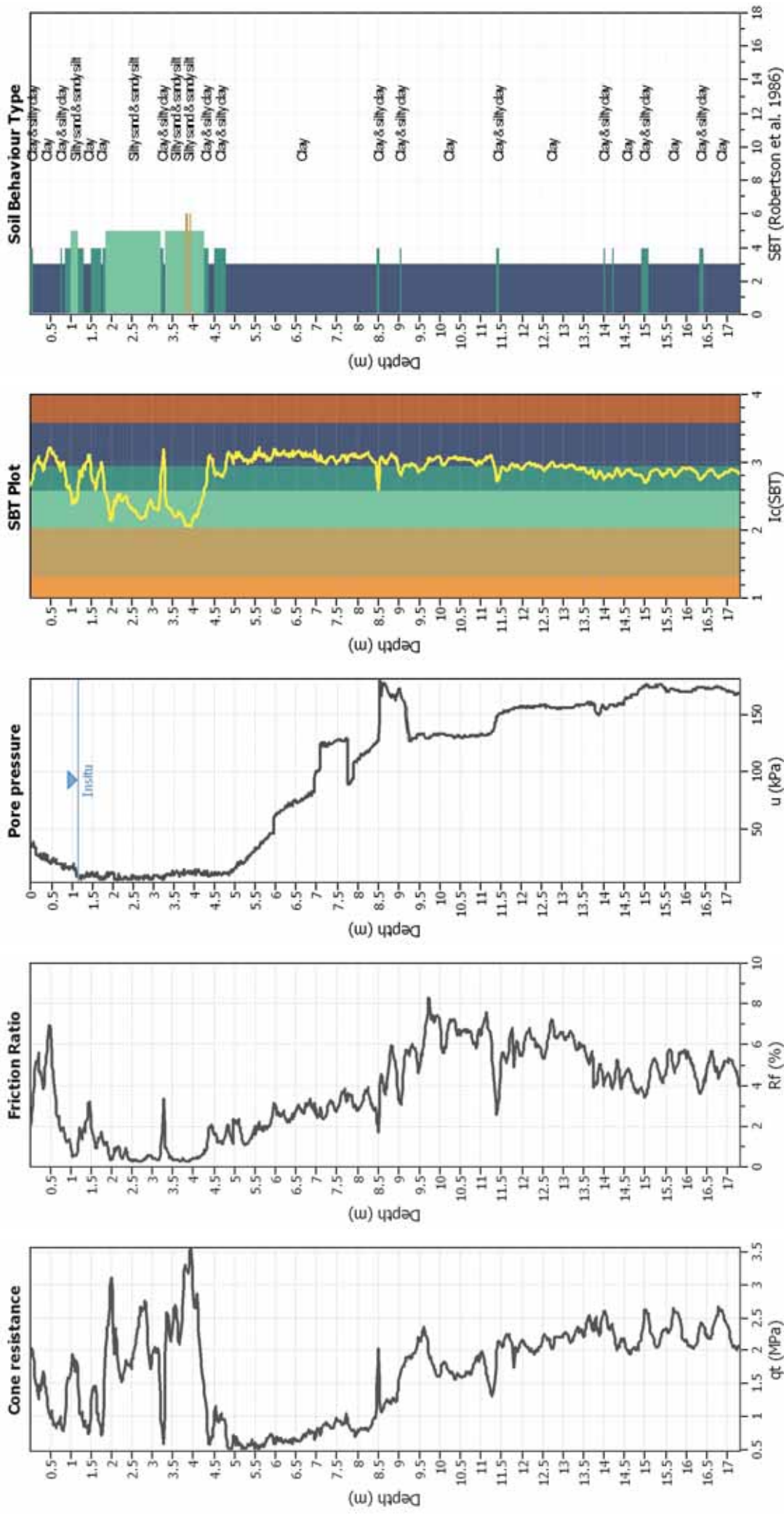
CPT file : CPTU2

Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	1.15 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	1.15 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:	No
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.31	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_0 applied:	Yes		



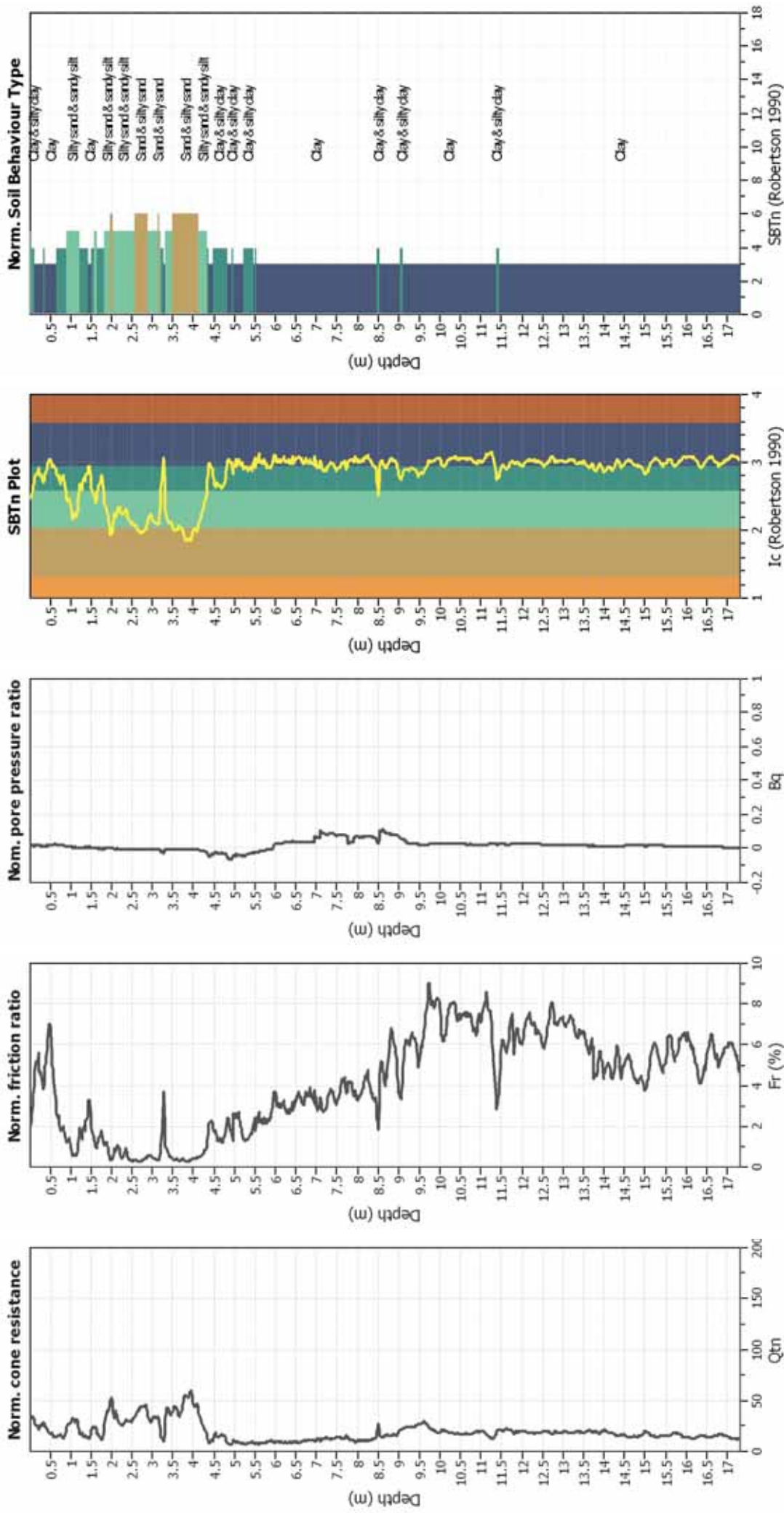
CPT basic interpretation plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	K_p applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.31	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.15 m	Limit depth:	N/A
Depth to water table (erthq.):	1.15 m		
Average results interval:	1		
Ic cut-off value:	2.60		
Unit weight calculation:	Based on SBT		
Use fill:	No		
Fill height:	N/A		

CPT basic interpretation plots (normalized)



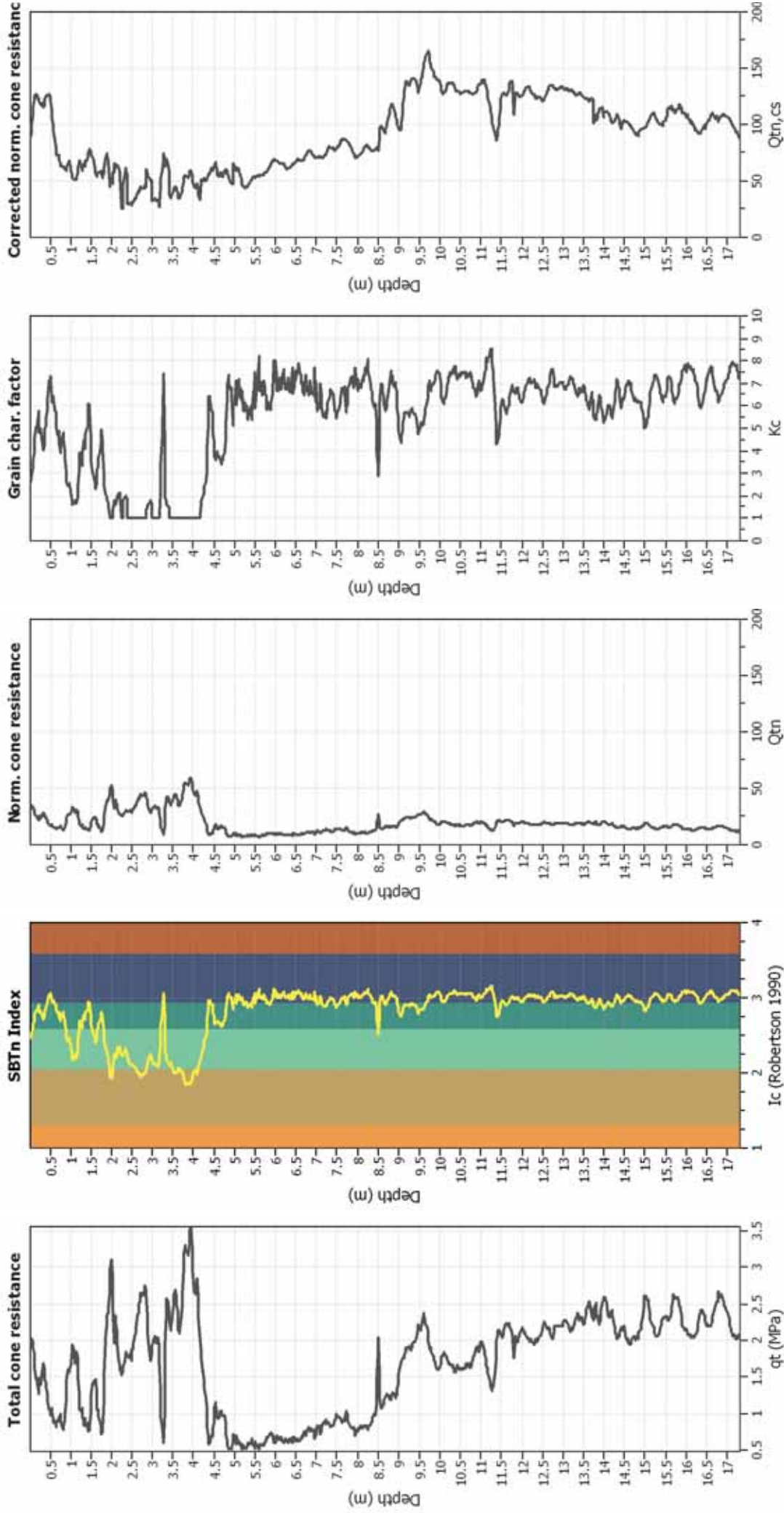
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	K _p applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.31	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.15 m	Limit depth:	N/A
Depth to water table (erthq.):	1.15 m		
Average results interval:	1		
Ic cut-off value:	2.60		
Unit weight calculation:	Based on SBT		
Use fill:	No		
Fill height:	N/A		

SBTn legend

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

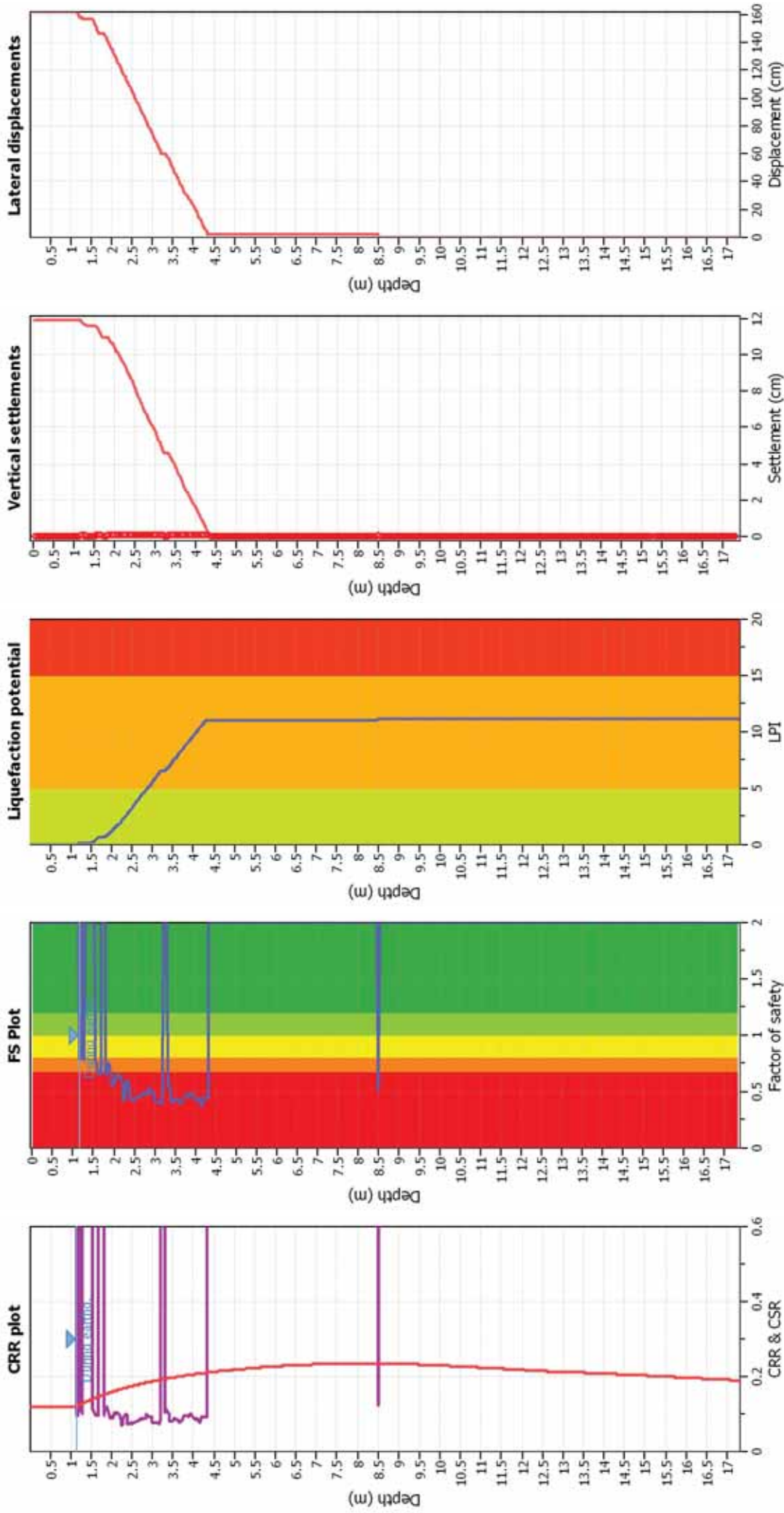
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	K ₀ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.31	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.15 m	Limit depth:	N/A
Depth to water table (erthq):	1.15 m		
Average results interval:	1		
Ic cut-off value:	2.60		
Unit weight calculation:	Based on SBT		
Use fill:	No		
Fill height:	N/A		

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method: NCEER (1998)
 Fines correction method: NCEER (1998)
 Points to test: Based on I_c value
 Earthquake magnitude M_w : 6.14
 Peak ground acceleration: 0.31
 Depth to water table (insitu): 1.15 m

Depth to water table (erthq.): 1.15 m
 Average results interval: 1
 I_c cut-off value: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A
 Transition detect. applied: No
 K_{σ} applied: Yes
 Clay like behavior applied: Sands only
 Limit depth applied: No
 Limit depth: N/A

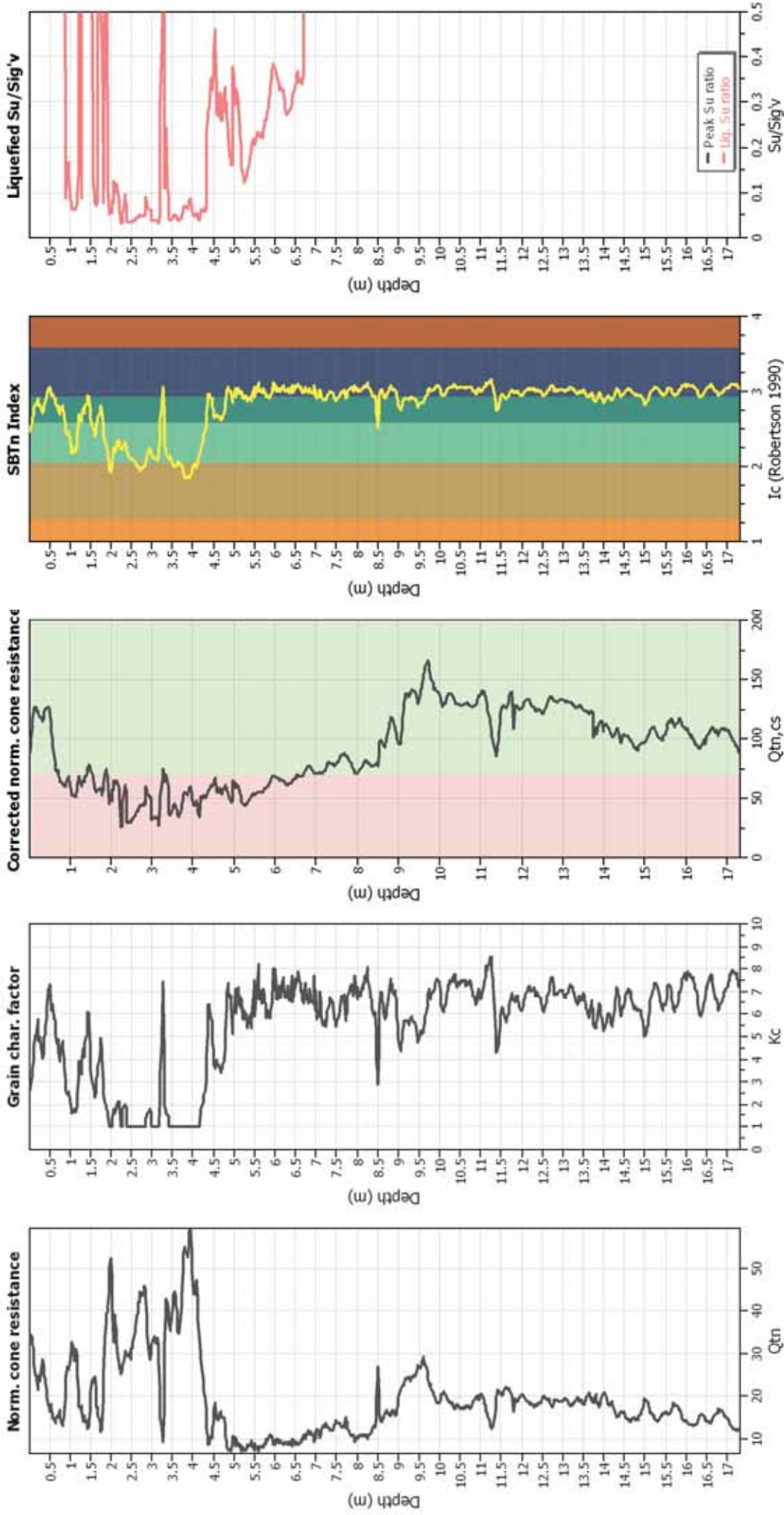
F.S. color scheme

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

LPI color scheme

Very high risk
 High risk
 Low risk

Check for strength loss plots (Robertson (2010))



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	K_p applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.31	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.15 m	Limit depth:	N/A
Depth to water table (erthq.):	1.15 m		
Average results interval:	1		
Ic cut-off value:	2.60		
Unit weight calculation:	Based on SBT		
Use fill:	No		
Fill height:	N/A		

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

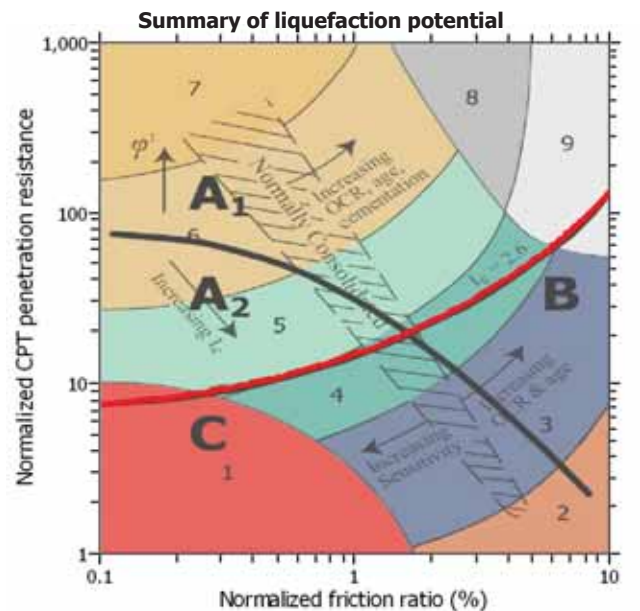
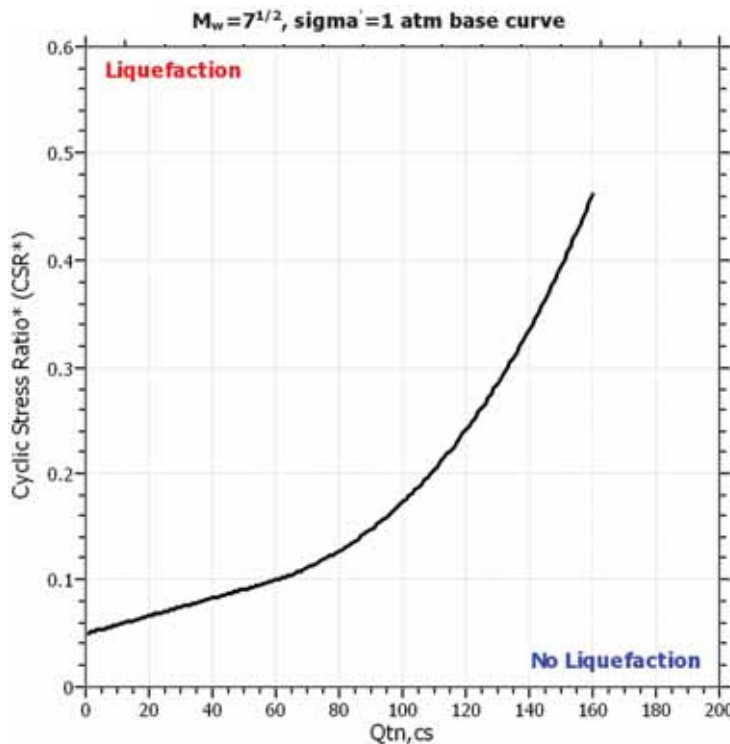
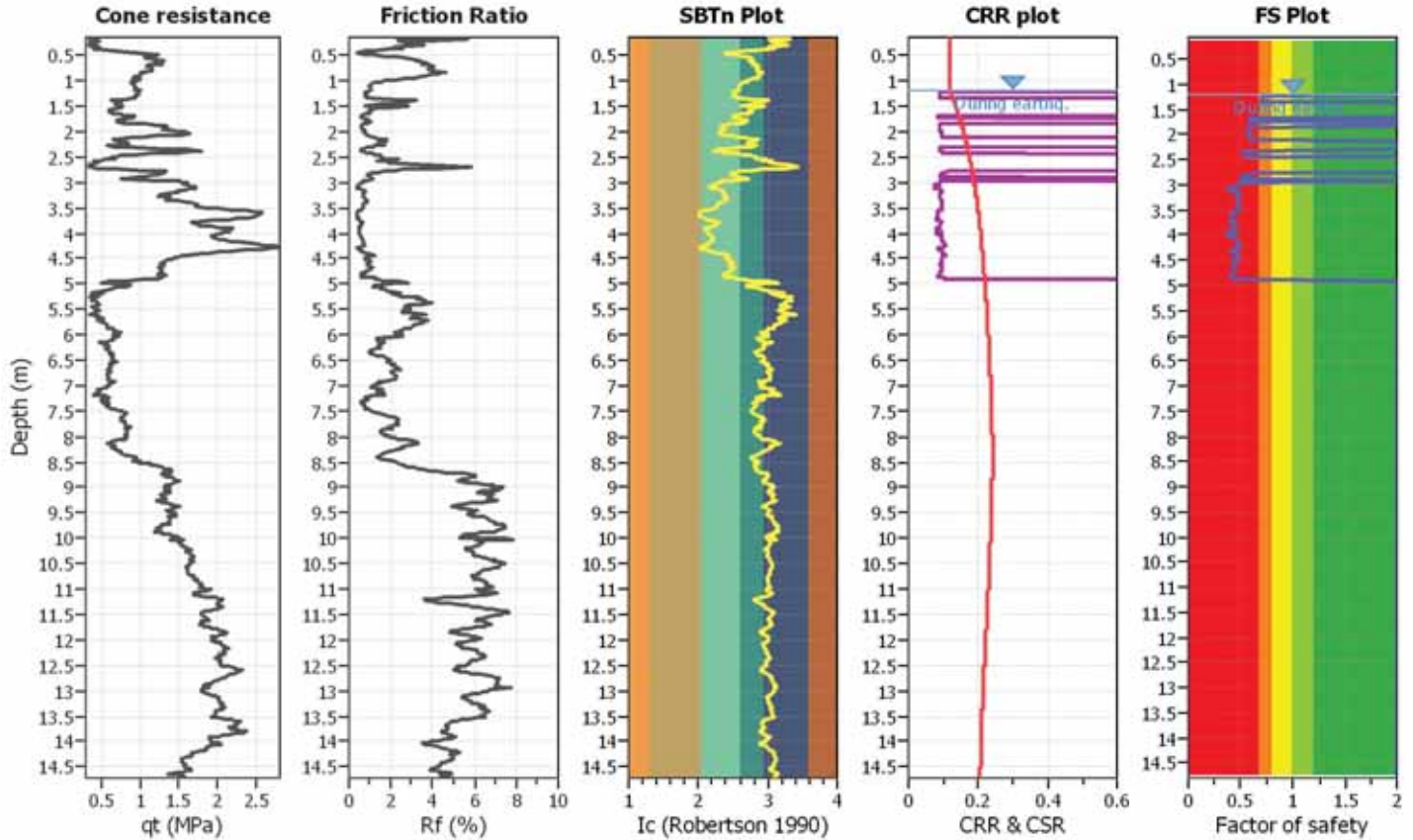
Project title : Studio del terreno di fondazione

Location : Cento, Via Pioppo

CPT file : CPTU3

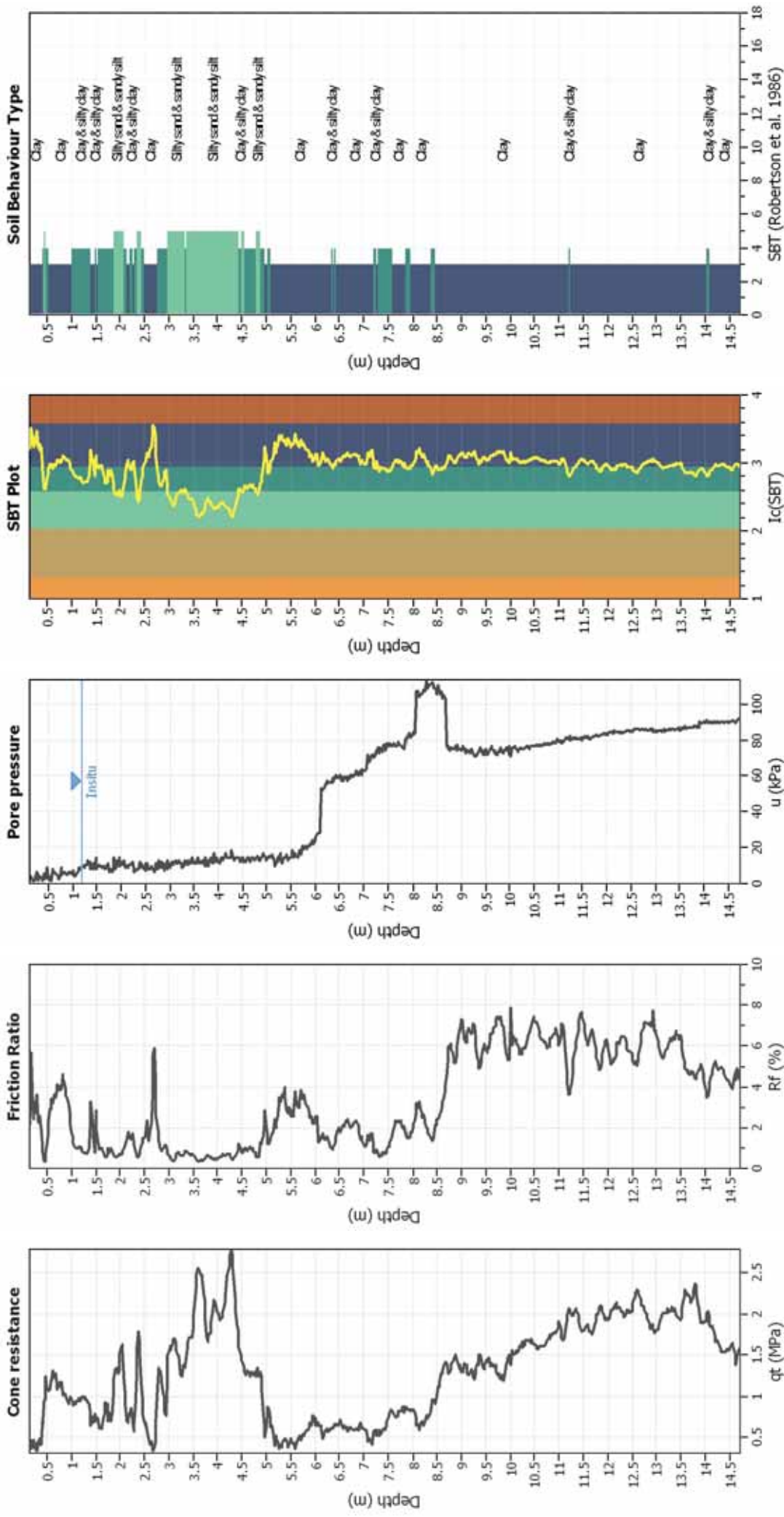
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	1.20 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	1.20 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:	No
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.31	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_0 applied:	Yes		



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



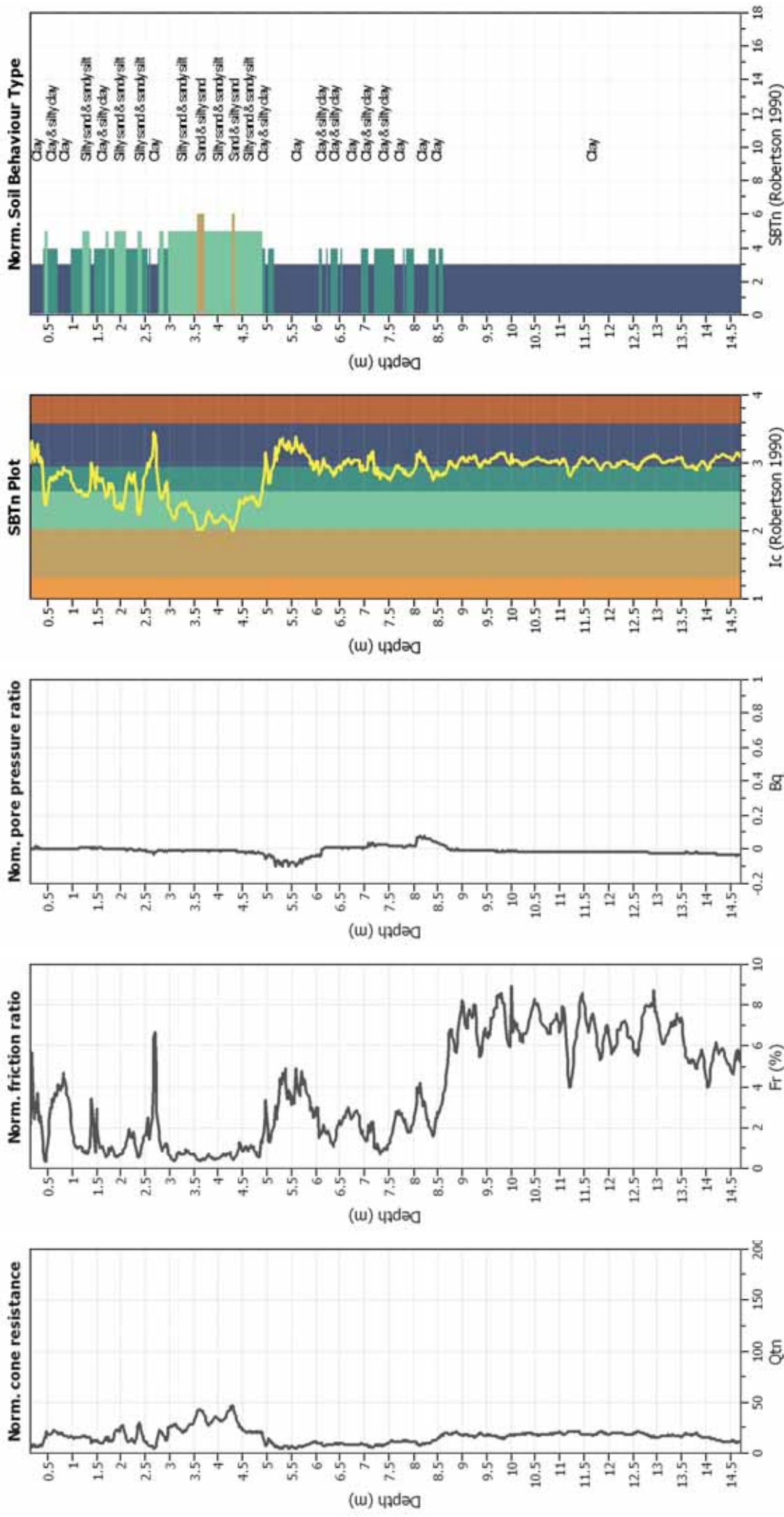
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on I_c value	K_p applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.31	Limit depth applied:	No
Depth to water table (in situ):	1.20 m	Limit depth:	N/A
Depth to water table (earthq.):	1.20 m		
Average results interval:	1		
I_c cut-off value:	2.60		
Unit weight calculation:	Based on SBT		
Use fill:	No		
Fill height:	N/A		

SBT legend

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

CPT basic interpretation plots (normalized)



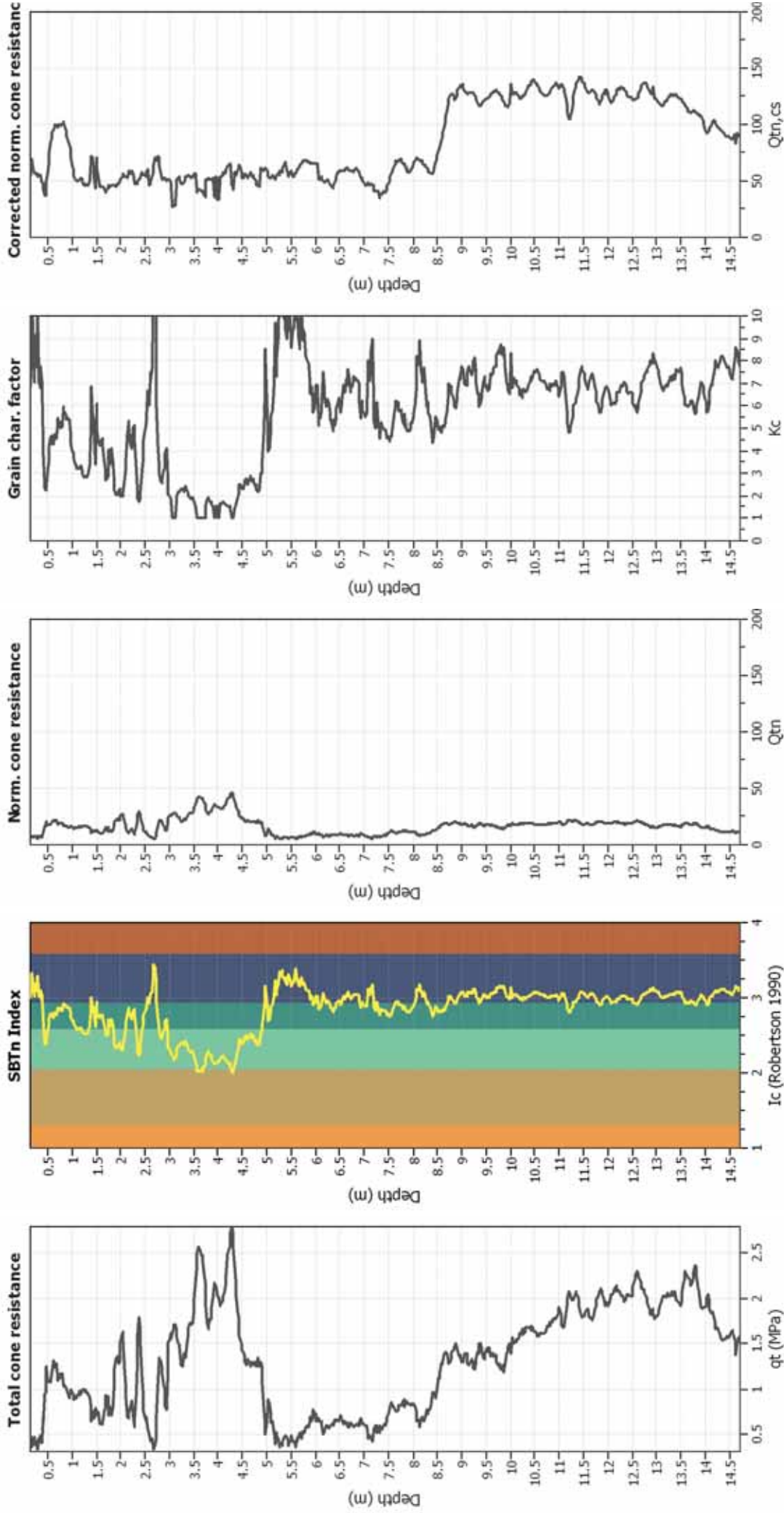
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	K_p applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.31	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.20 m	Limit depth:	N/A
Depth to water table (earthq.):	1.20 m		
Average results interval:	1		
Ic cut-off value:	2.60		
Unit weight calculation:	Based on SBT		
Use fill:	No		
Fill height:	N/A		

SBTn legend

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

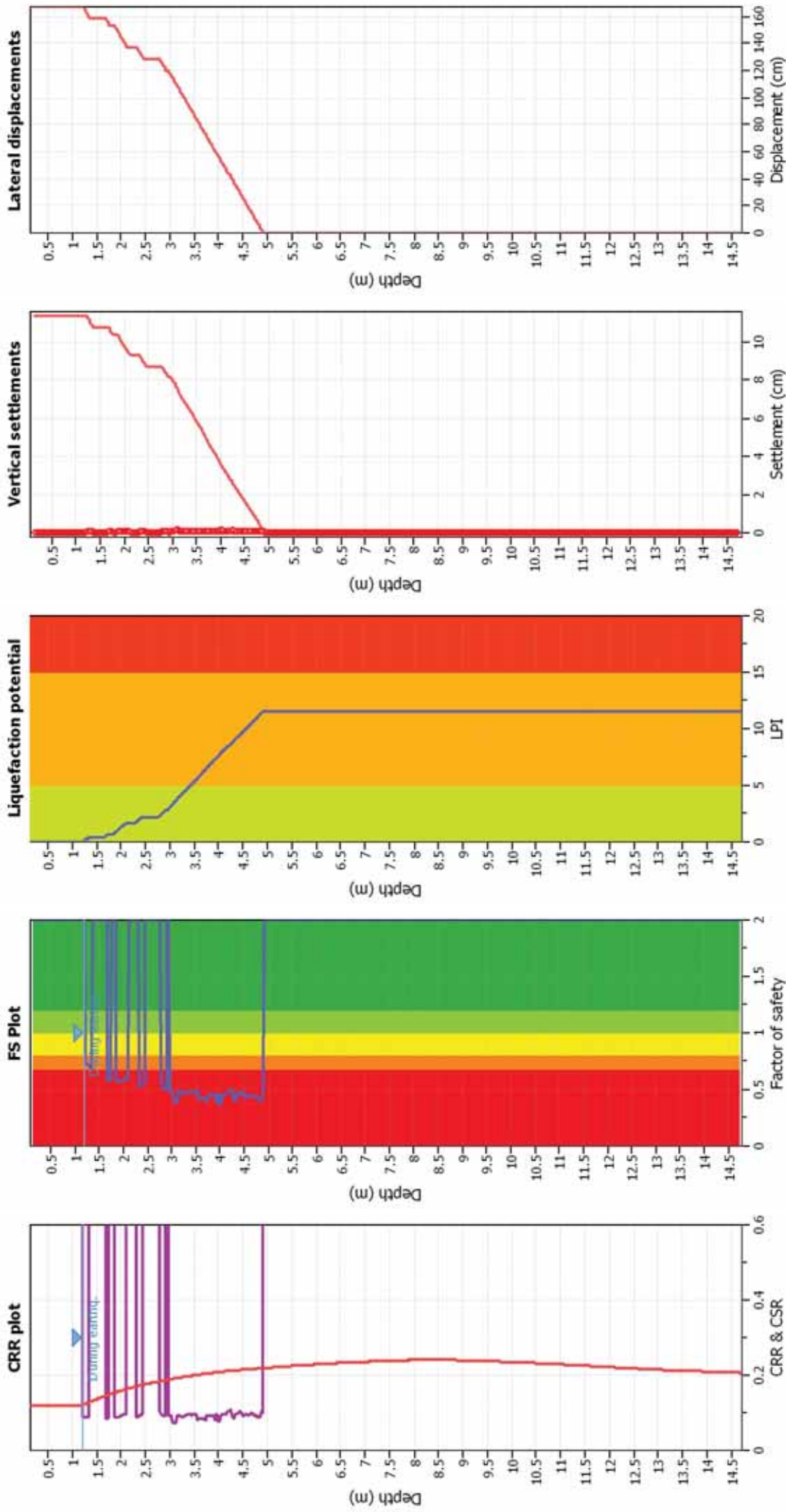
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	K ₀ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.31	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.20 m	Limit depth:	N/A
Depth to water table (erthq.):	1.20 m		
Average results interval:	1		
Ic cut-off value:	2.60		
Unit weight calculation:	Based on SBT		
Use fill:	No		
Fill height:	N/A		

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method: NCEER (1998)
 Fines correction method: NCEER (1998)
 Points to test: Based on I_c value
 Earthquake magnitude M_w: 6.14
 Peak ground acceleration: 0.31
 Depth to water table (insitu): 1.20 m

Depth to water table (erthq.): 1.20 m
 Average results interval: 1
 I_c cut-off value: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: N/A

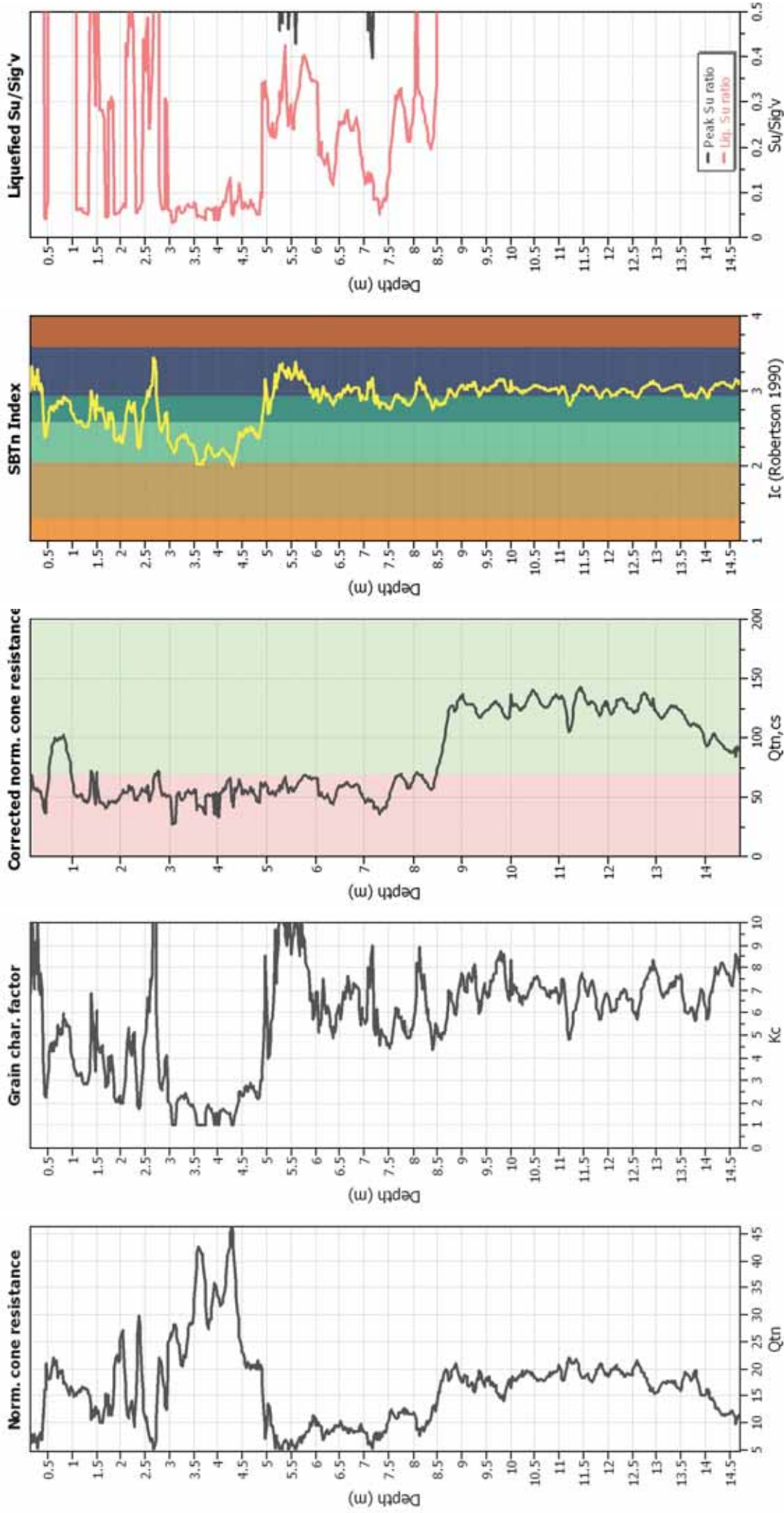
Fill weight: N/A
 Transition detect. applied: No
 K_σ applied: Yes
 Clay like behavior applied: Sands only
 Limit depth applied: No
 Limit depth: N/A

F.S. color scheme

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

LPI color scheme
■ Very high risk
■ High risk
■ Low risk

Check for strength loss plots (Robertson (2010))



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	K _u applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.31	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.20 m	Limit depth:	N/A
Depth to water table (erthq):	1.20 m		
Average results interval:	1		
Ic cut-off value:	2.60		
Unit weight calculation:	Based on SBT		
Use fill:	No		
Fill height:	N/A		

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

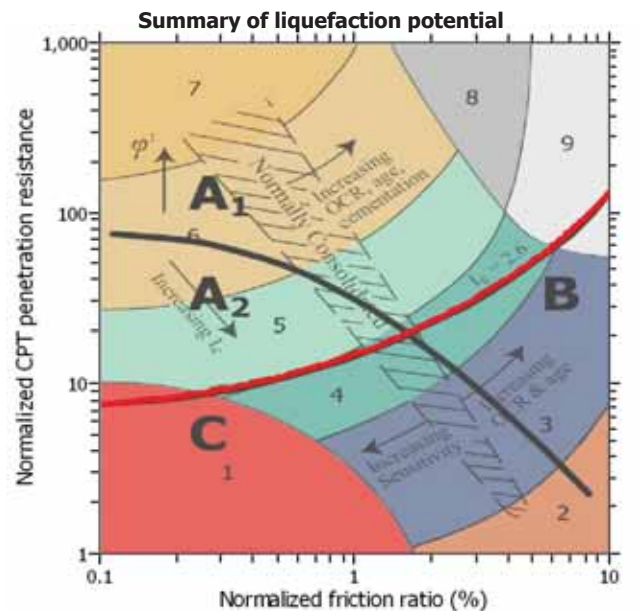
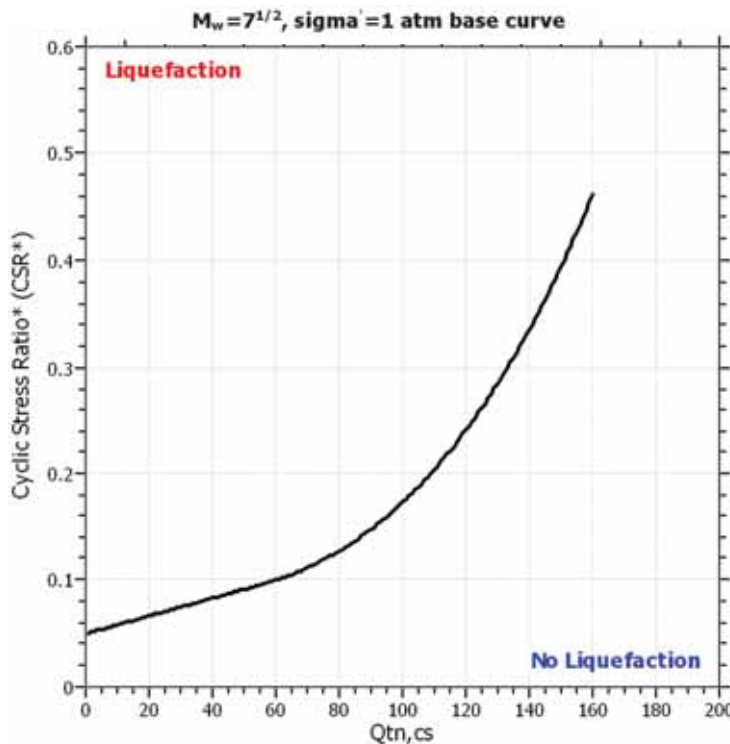
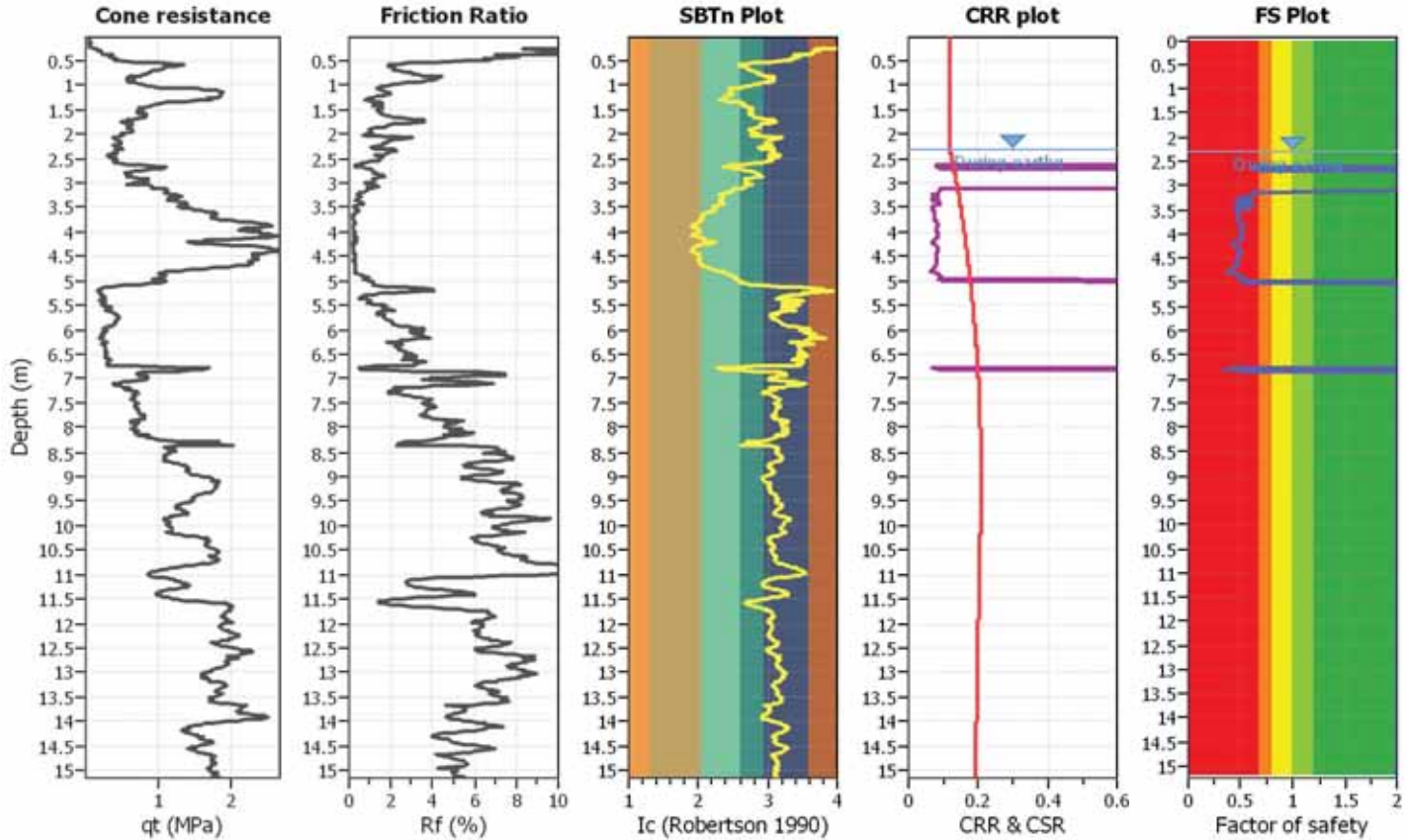
Project title : Studio del terreno di fondazione

Location : Cento, Via Pioppo

CPT file : CPTU4

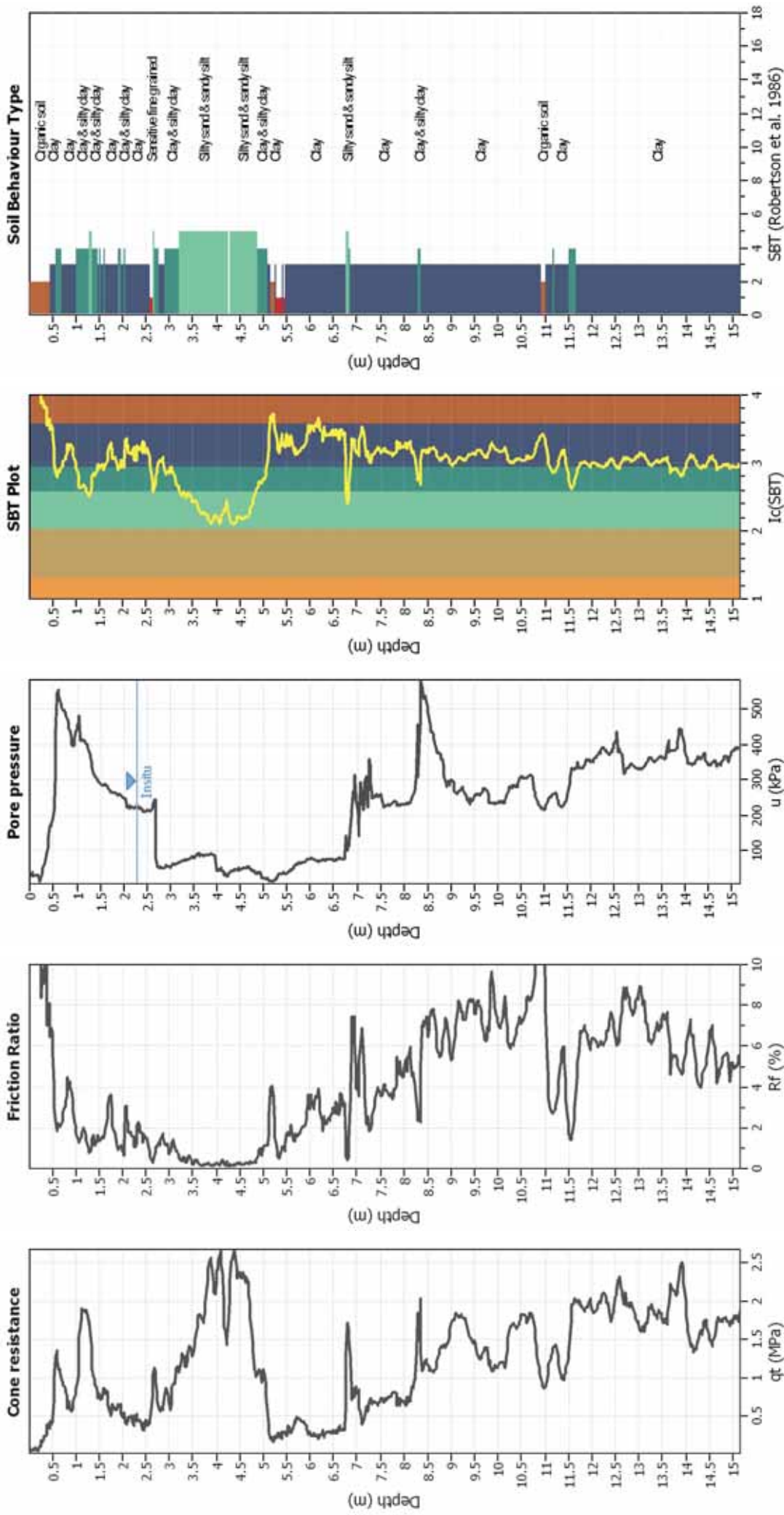
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	2.30 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	2.30 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:	No
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.31	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_0 applied:	Yes		



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



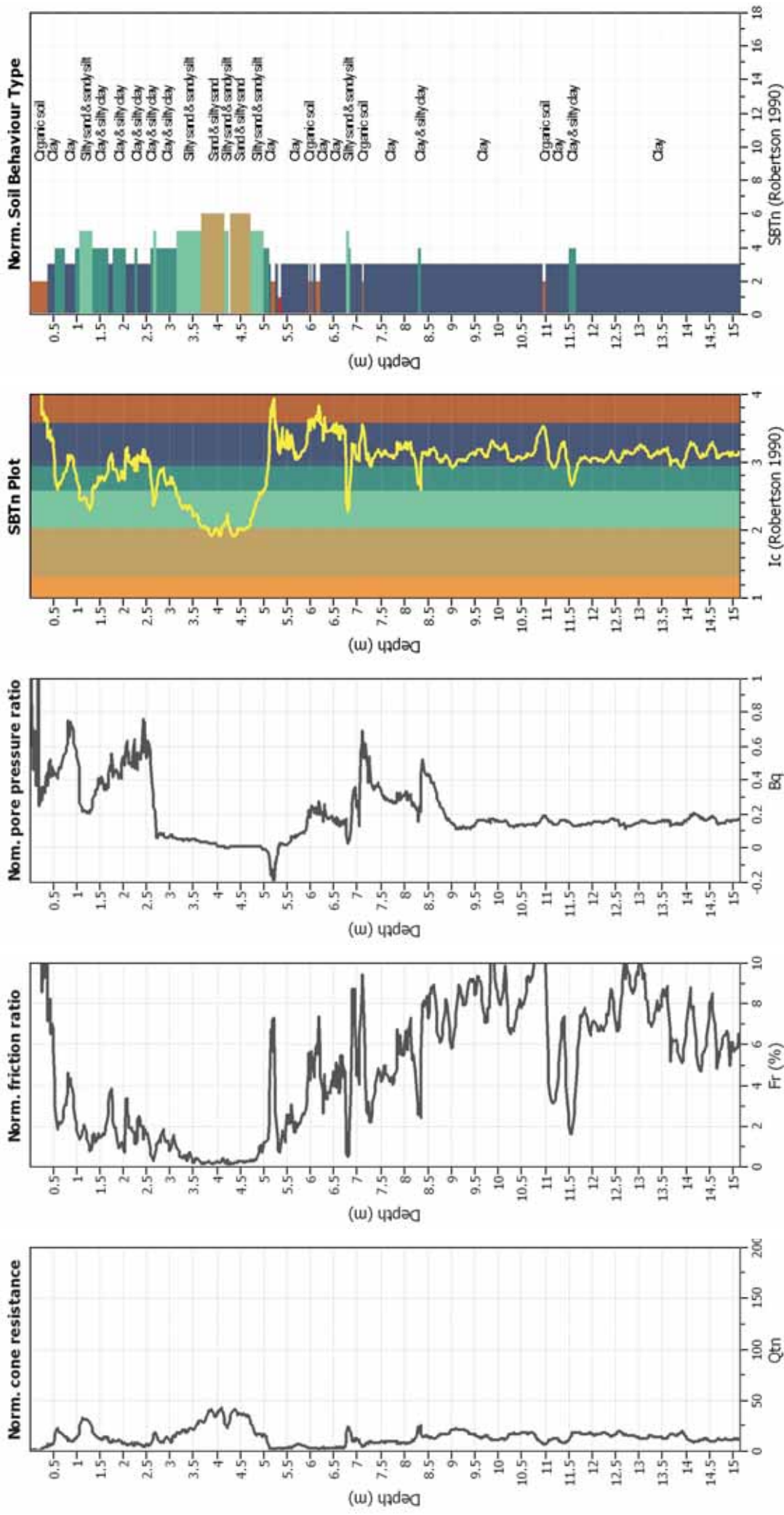
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	K_p applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.31	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.30 m	Limit depth:	N/A
Depth to water table (erthq.):	2.30 m		
Average results interval:	1		
Ic cut-off value:	2.60		
Unit weight calculation:	Based on SBT		
Use fill:	No		
Fill height:	N/A		

SBT legend

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

CPT basic interpretation plots (normalized)



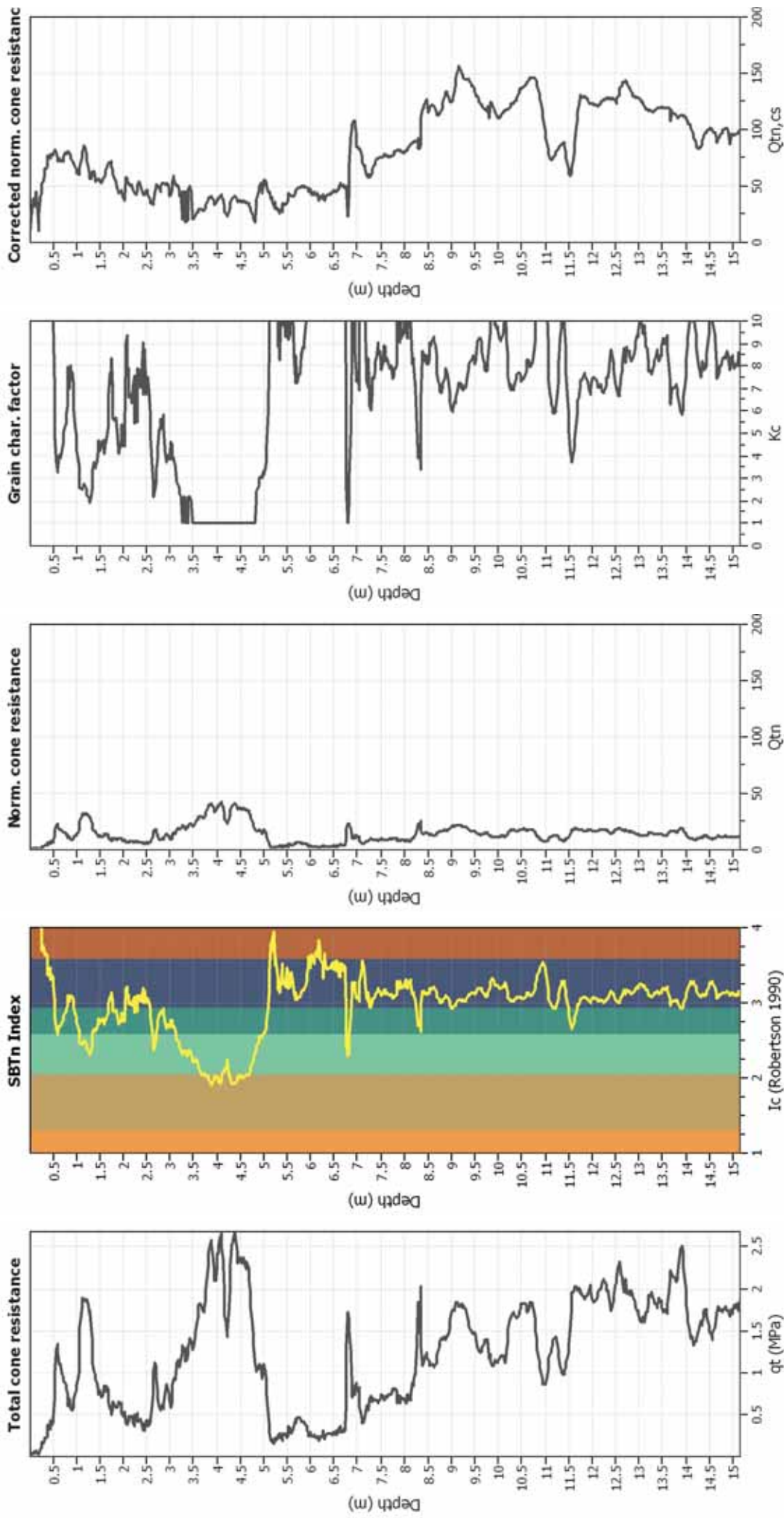
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	K_p applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.31	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.30 m	Limit depth:	N/A
Depth to water table (erthq.):	2.30 m		
Average results interval:	1		
Ic cut-off value:	2.60		
Unit weight calculation:	Based on SBT		
Use fill:	No		
Fill height:	N/A		

SBTn legend

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

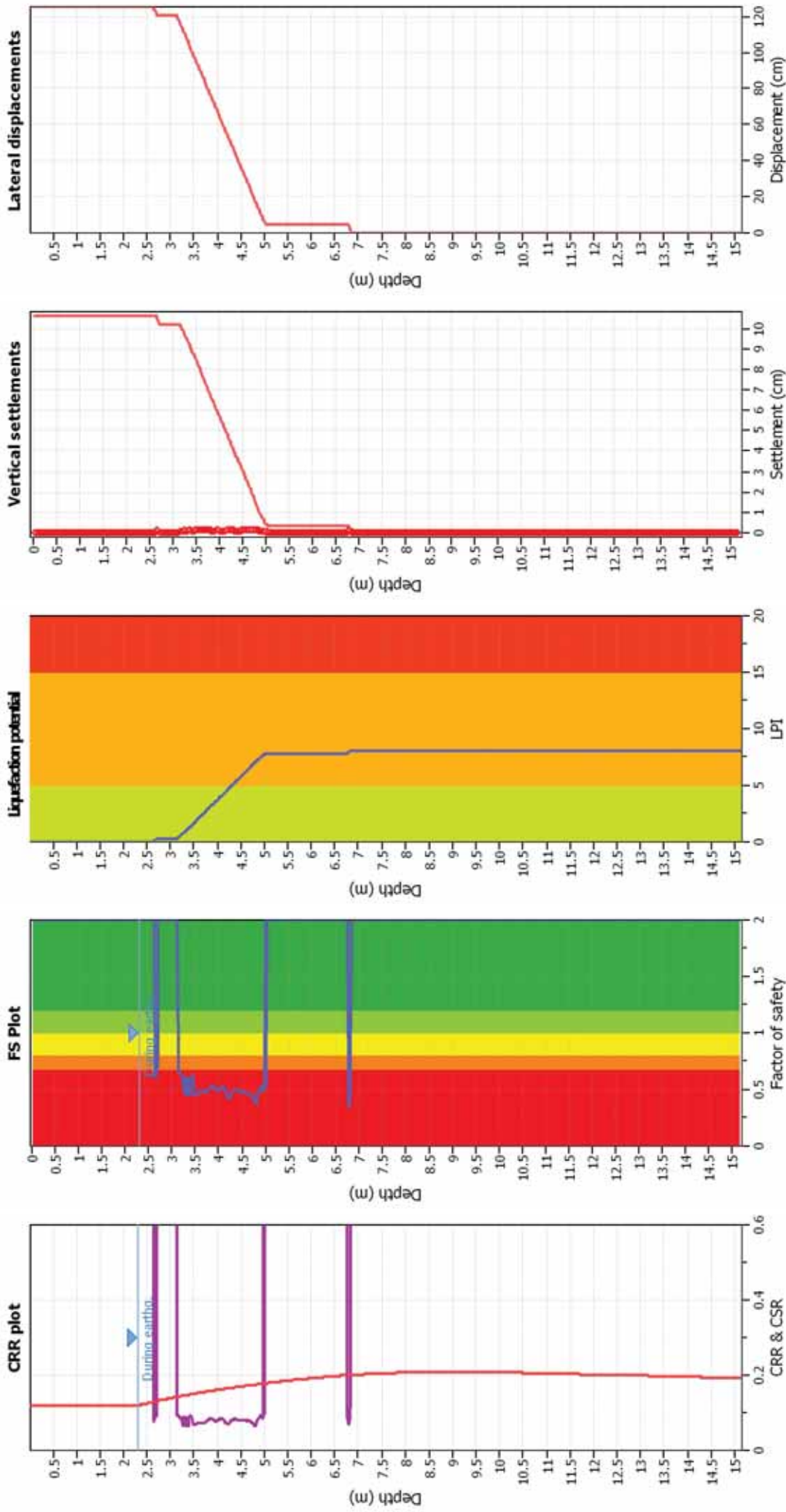
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	K ₀ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.31	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.30 m	Limit depth:	N/A
Depth to water table (erthq.):	2.30 m		
Average results interval:	1		
Ic cut-off value:	2.60		
Unit weight calculation:	Based on SBT		
Use fill:	No		
Fill height:	N/A		

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method: NCEER (1998)
 Fines correction method: NCEER (1998)
 Points to test: Based on Ic value
 Earthquake magnitude M_w : 6.14
 Peak ground acceleration: 0.31
 Depth to water table (insitu): 2.30 m

Depth to water table (erthq): 2.30 m
 Average results interval: 1
 Ic cut-off value: 2.60
 Unit weight calculation: Based on SBT
 Use fill: No
 Fill height: N/A

Fill weight: N/A
 Transition detect. applied: No
 K_0 applied: Yes
 Clay like behavior applied: Sands only
 Limit depth applied: No
 Limit depth: N/A

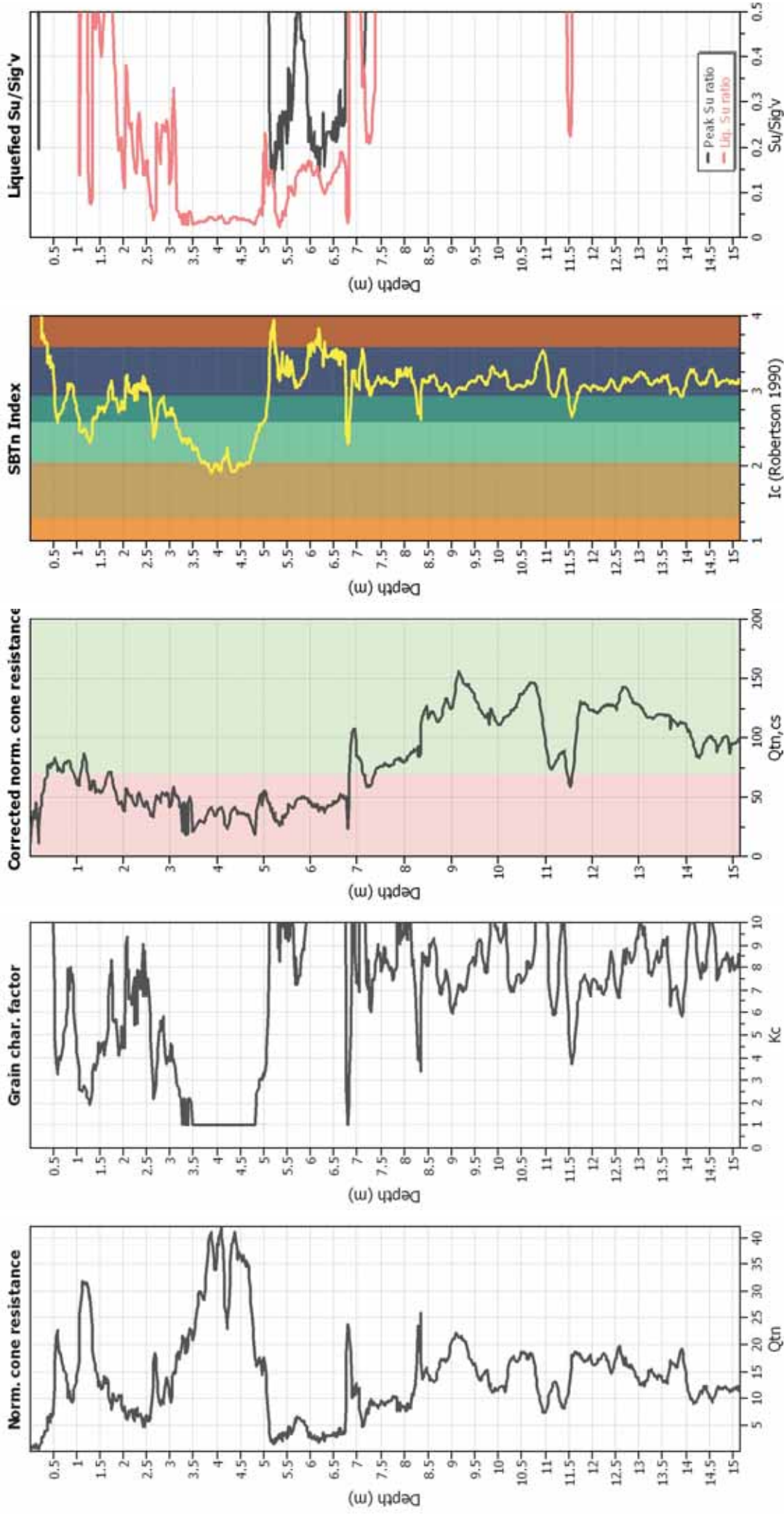
F.S. color scheme

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

LPI color scheme

Very high risk
 High risk
 Low risk

Check for strength loss plots (Robertson (2010))



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	K_p applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.31	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	2.30 m	Limit depth:	N/A
Depth to water table (erthq):	2.30 m		
Average results interval:	1		
Ic cut-off value:	2.60		
Unit weight calculation:	Based on SBT		
Use fill:	No		
Fill height:	N/A		



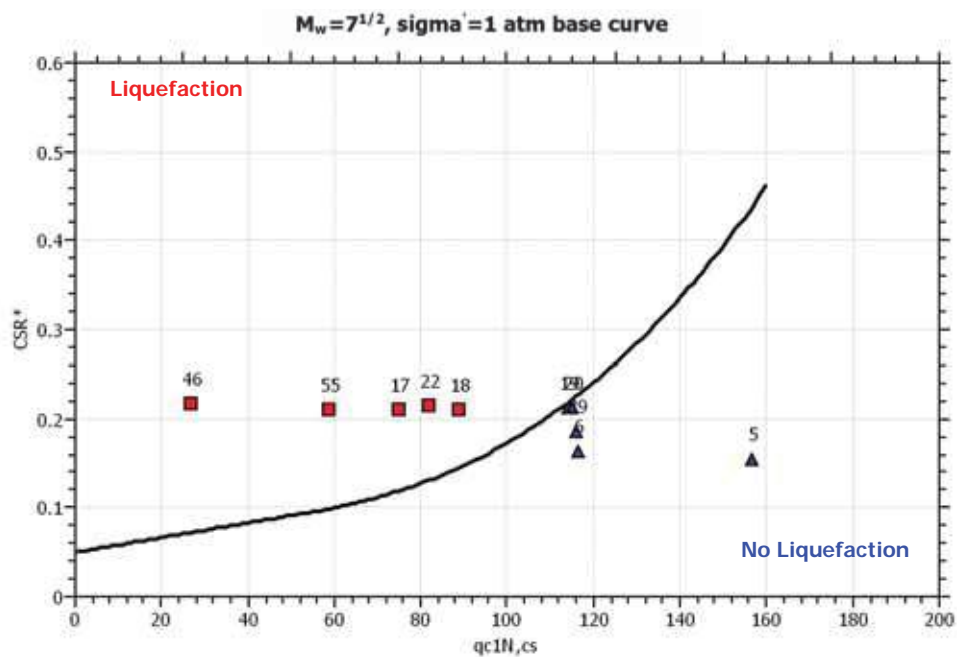
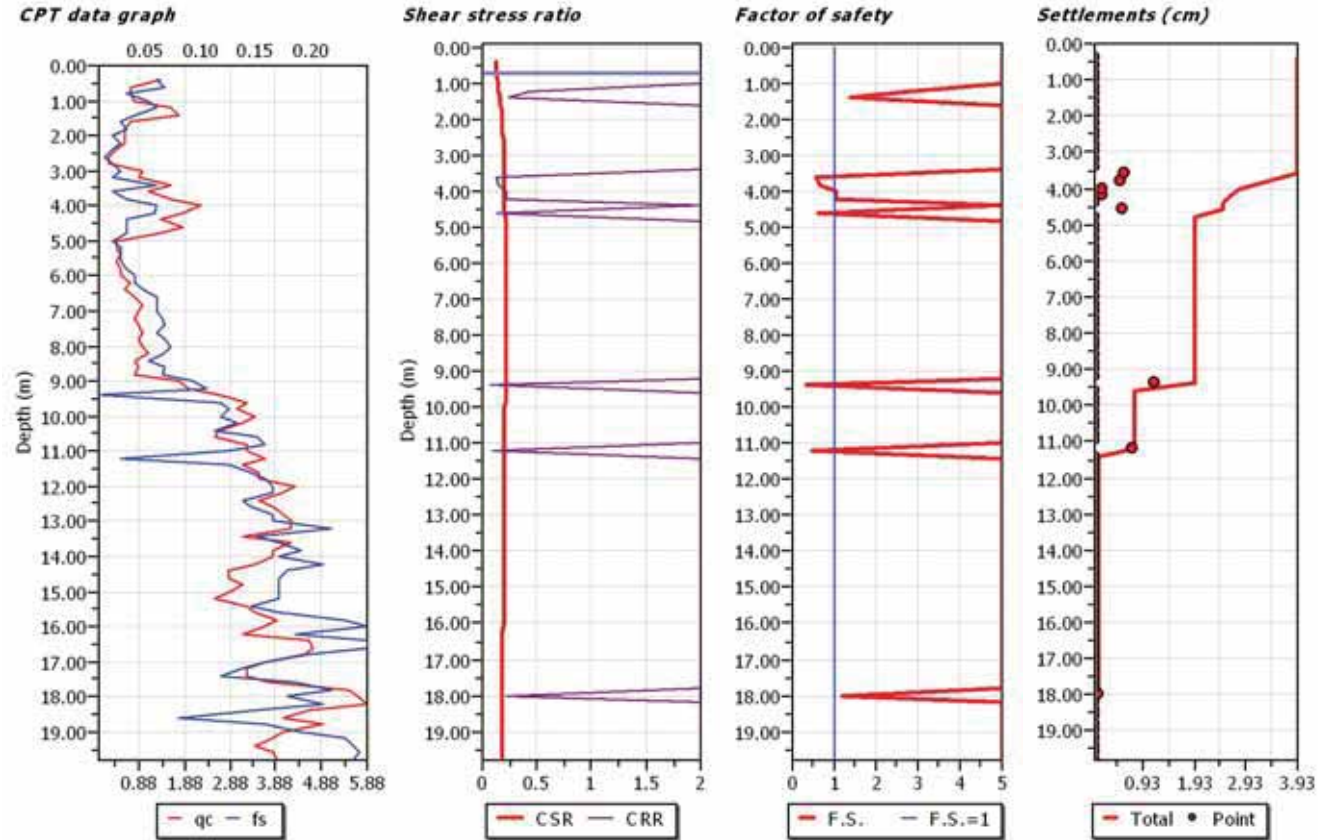
LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

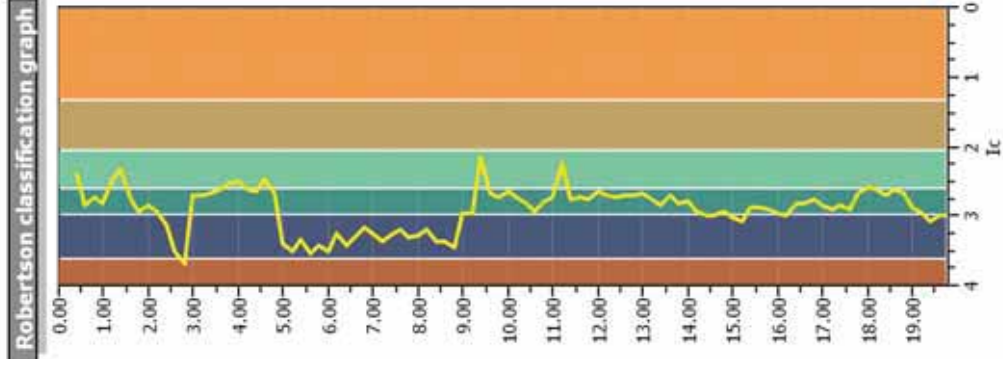
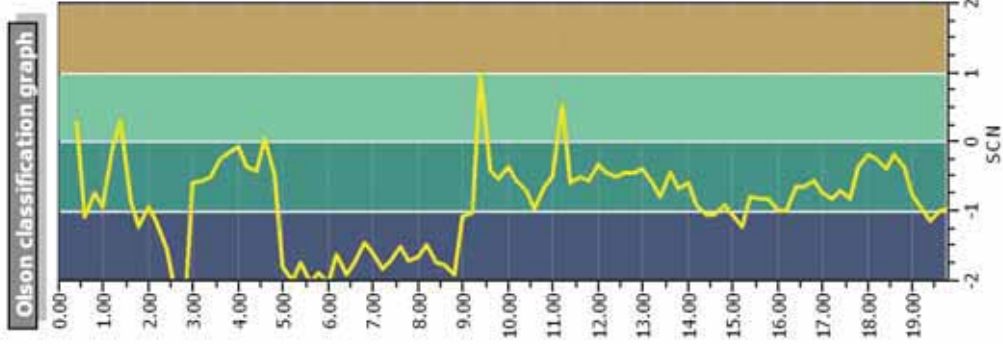
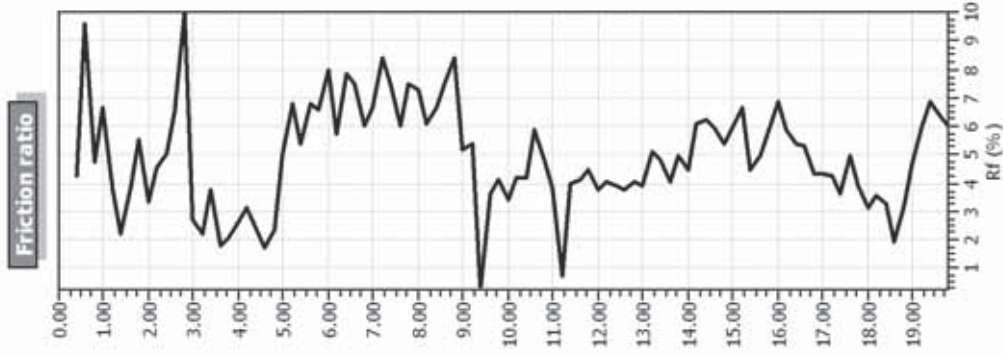
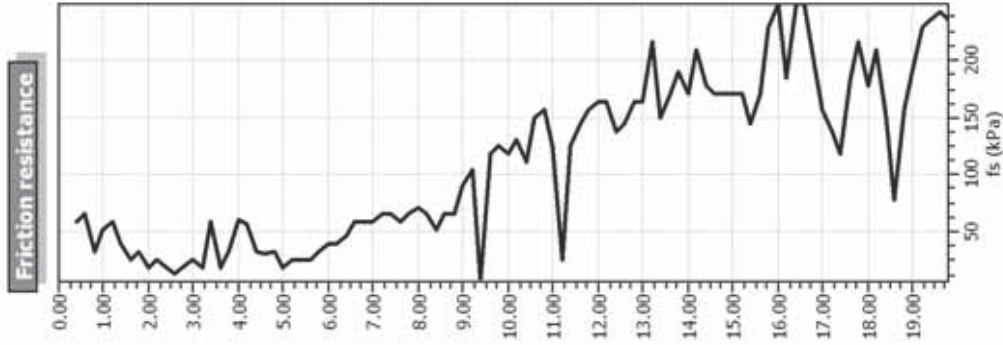
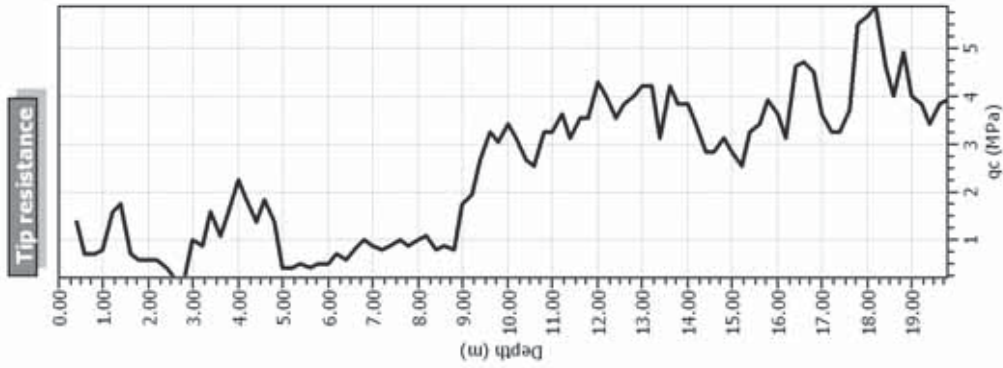
Project title : Analisi rischio di liquefazione CPT n. 1

Project subtitle : Cento, Via Pioppo

Input parameters and analysis data

In-situ data type:	Cone Penetration Test	Depth to water table:	0.70 m
Analysis type:	Deterministic	Earthquake magnitude M_w :	6.14
Analysis method:	Robertson (1998)	Peak ground acceleration:	0.31 g
Fines correction method:	Robertson (1998)	User defined F.S.:	1.00





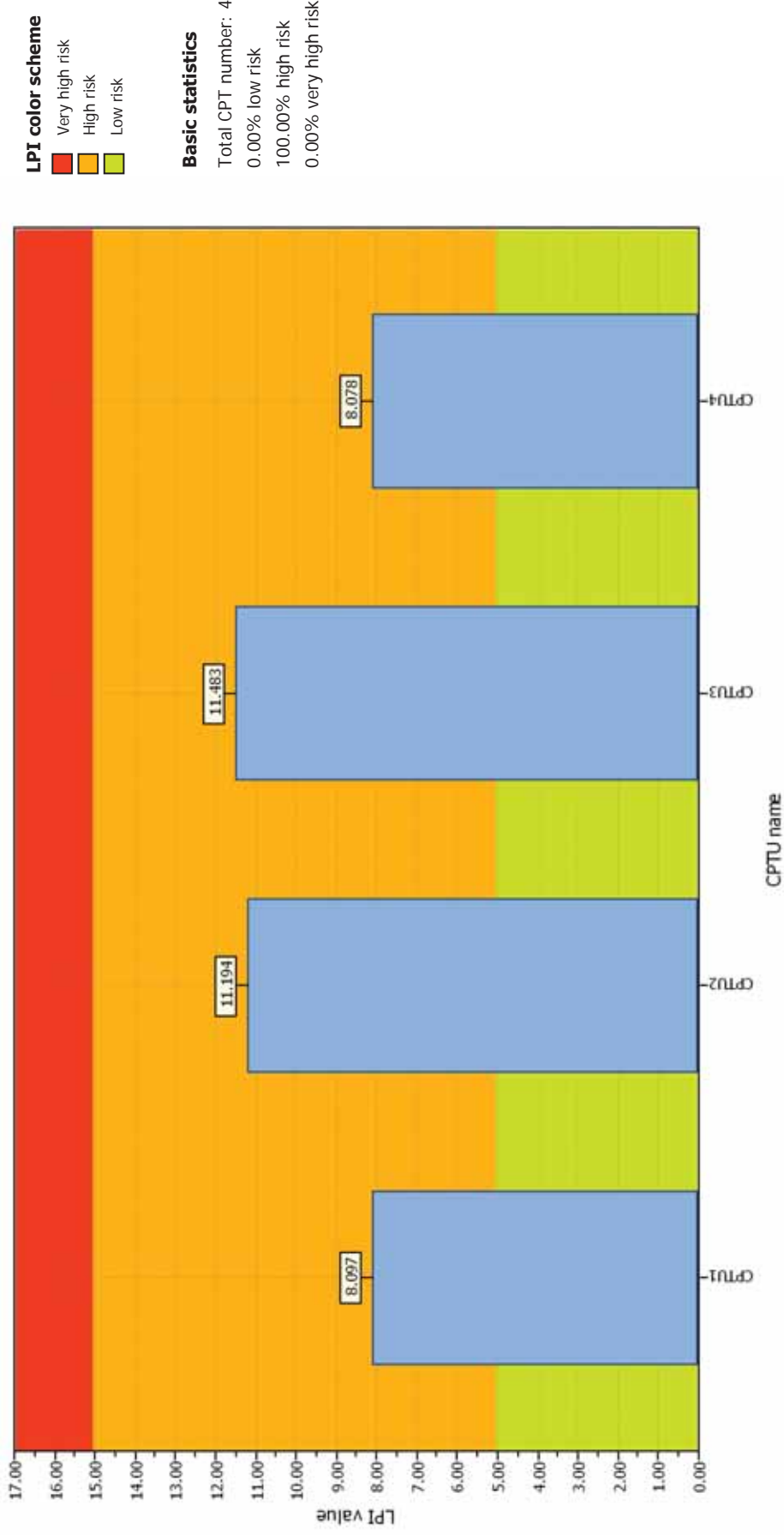
Soil type index legend

- Gravelly sand to dense sand
- Sands: clean sand to silty sand
- Sand mixtures: silty sand to sandy silt
- Silt mixtures: clayey silt to silty clay
- Clays: silty clay to clay
- Organic soils: peats

Project title : Studio del terreno di fondazione

Location : Cento, Via Piozzo

Overall Liquefaction Potential Index report



:: Field input data ::

Point ID	Depth (m)	q_c (MPa)	f_s (kPa)	Fines content (%)	Unit weight (kN/m ³)
1	0.40	1.37	58.72	25.98	18.00
2	0.60	0.69	66.03	49.02	18.00
3	0.80	0.69	32.53	41.66	18.00
4	1.00	0.78	51.69	47.77	18.00
5	1.20	1.57	58.87	30.95	18.00
6	1.40	1.76	39.11	24.58	18.00
7	1.60	0.69	26.61	45.37	18.00
8	1.80	0.59	32.45	55.05	18.00
9	2.00	0.59	19.67	48.57	18.00
10	2.20	0.59	26.55	54.29	18.00
11	2.40	0.39	19.50	67.40	18.00
12	2.60	0.20	13.00	100.00	18.00
13	2.80	0.20	20.00	100.00	18.00
14	3.00	0.98	26.46	40.73	18.00
15	3.20	0.88	19.56	41.02	18.00
16	3.40	1.57	58.87	38.41	18.00
17	3.60	1.08	19.64	36.26	18.00
18	3.80	1.57	32.38	32.08	19.00
19	4.00	2.25	60.00	30.22	19.00
20	4.20	1.83	57.78	35.95	19.00
21	4.40	1.37	32.30	37.67	19.00
22	4.60	1.83	31.78	29.85	19.00
23	4.80	1.37	32.30	38.85	19.00
24	5.00	0.39	19.50	88.88	19.00
25	5.20	0.39	26.33	98.00	19.00
26	5.40	0.49	26.46	83.65	19.00
27	5.60	0.39	26.33	100.00	19.00
28	5.80	0.49	32.34	91.37	19.00
29	6.00	0.49	39.20	97.77	19.00
30	6.20	0.69	39.43	76.74	19.00
31	6.40	0.59	46.20	91.48	19.00
32	6.60	0.78	58.51	80.46	19.00
33	6.80	0.98	58.79	69.05	19.00
34	7.00	0.88	58.67	75.56	19.00
35	7.20	0.78	65.33	86.21	19.00
36	7.40	0.88	65.52	79.82	19.00
37	7.60	0.98	58.79	72.24	19.00
38	7.80	0.88	65.52	81.61	19.00
39	8.00	0.98	71.53	78.16	19.00
40	8.20	1.08	65.77	71.67	19.00
41	8.40	0.78	51.69	86.46	19.00
42	8.60	0.88	65.52	85.22	19.00
43	8.80	0.78	65.33	94.28	19.00
44	9.00	1.76	90.96	56.75	19.00
45	9.20	1.96	104.87	55.20	19.00
46	9.40	2.65	6.87	17.65	19.00
47	9.60	3.23	117.45	38.82	19.00
48	9.80	3.04	124.54	42.13	19.00
49	10.00	3.43	117.59	37.42	19.00
50	10.20	3.14	130.51	42.35	19.00
51	10.40	2.65	110.93	46.28	19.00
52	10.60	2.55	150.09	53.64	19.00
53	10.80	3.23	156.57	45.29	19.00
54	11.00	3.23	124.33	41.76	19.00
55	11.20	3.63	26.49	20.84	19.00

:: Field input data (continued) ::

Point ID	Depth (m)	q _c (MPa)	f _s (kPa)	Fines content (%)	Unit weight (kN/m ³)
56	11.40	3.14	124.60	43.41	19.00
57	11.60	3.53	144.14	41.80	19.00
58	11.80	3.53	156.89	43.48	19.00
59	12.00	4.31	163.57	37.41	19.00
60	12.20	4.02	163.75	40.04	19.00
61	12.40	3.53	137.30	42.09	19.00
62	12.60	3.82	143.99	40.27	19.00
63	12.80	4.02	163.75	40.77	19.00
64	13.00	4.21	163.50	39.36	19.00
65	13.20	4.21	215.35	44.22	19.00
66	13.40	3.14	150.10	49.57	19.00
67	13.60	4.21	169.35	40.62	19.00
68	13.80	3.82	189.02	46.39	19.00
69	14.00	3.82	169.48	44.72	19.00
70	14.20	3.43	208.76	53.26	19.00
71	14.40	2.84	176.29	58.70	19.00
72	14.60	2.84	169.45	58.21	19.00
73	14.80	3.14	169.73	53.95	19.00
74	15.00	2.84	169.45	58.86	19.00
75	15.20	2.55	169.66	64.57	19.00
76	15.40	3.23	143.88	50.44	19.00
77	15.60	3.43	169.55	51.19	19.00
78	15.80	3.92	228.31	51.43	19.00
79	16.00	3.63	248.29	56.81	19.00
80	16.20	3.14	183.52	57.58	19.00
81	16.40	4.61	248.12	47.00	19.00
82	16.60	4.70	247.76	46.42	19.00
83	16.80	4.51	196.09	44.06	19.00
84	17.00	3.63	156.94	49.12	19.00
85	17.20	3.23	137.04	51.96	19.00
86	17.40	3.23	117.45	49.43	19.00
87	17.60	3.72	183.07	51.68	19.00
88	17.80	5.49	215.72	39.30	19.00
89	18.00	5.68	176.29	35.13	19.00
90	18.20	5.88	208.73	36.70	19.00
91	18.40	4.61	150.07	40.36	19.00
92	18.60	4.02	78.44	35.92	19.00
93	18.80	4.90	156.80	39.17	19.00
94	19.00	4.02	189.27	50.56	19.00
95	19.20	3.82	228.20	56.86	19.00
96	19.40	3.43	235.25	63.11	19.00
97	19.60	3.82	241.93	58.59	19.00
98	19.80	3.92	235.15	56.99	19.00

Depth : Depth from free surface, at which CPT was performed (m)
 q_c : Measured cone resistance
 f_s : Sleeve friction resistance
 Fines content : Percentage of fines in soil (%)
 Unit weight : Bulk soil unit weight (kPa)

:: Cyclic Stress Ratio calculation (CSR fully adjusted and normalized) ::

Point ID	Depth (m)	Sigma (kPa)	u (kPa)	Sigma' (kPa)	r _d	CSR	MSF	CSR _{req,H=7.5}	K _{sigma}	CSR*
1	0.40	7.20	0.00	7.20	1.00	0.20	1.67	0.12	1.00	0.12
2	0.60	10.80	0.00	10.80	1.00	0.20	1.67	0.12	1.00	0.12
3	0.80	14.40	0.98	13.42	0.99	0.21	1.67	0.13	1.00	0.13

:: Cyclic Stress Ratio calculation (CSR fully adjusted and normalized) (continued) ::
--

Point ID	Depth (m)	Sigma (kPa)	u (kPa)	Sigma' (kPa)	r_d	CSR	MSF	$CSR_{req,M=7.5}$	K_{sigma}	CSR*
4	1.00	18.00	2.94	15.06	0.99	0.24	1.67	0.14	1.00	0.14
5	1.20	21.60	4.91	16.70	0.99	0.26	1.67	0.15	1.00	0.15
6	1.40	25.20	6.87	18.33	0.99	0.27	1.67	0.16	1.00	0.16
7	1.60	28.80	8.83	19.97	0.99	0.29	1.67	0.17	1.00	0.17
8	1.80	32.40	10.79	21.61	0.99	0.30	1.67	0.18	1.00	0.18
9	2.00	36.00	12.75	23.25	0.98	0.31	1.67	0.18	1.00	0.18
10	2.20	39.60	14.71	24.89	0.98	0.32	1.67	0.19	1.00	0.19
11	2.40	43.20	16.68	26.52	0.98	0.32	1.67	0.19	1.00	0.19
12	2.60	46.80	18.64	28.16	0.98	0.33	1.67	0.20	1.00	0.20
13	2.80	50.40	20.60	29.80	0.98	0.33	1.67	0.20	1.00	0.20
14	3.00	54.00	22.56	31.44	0.98	0.34	1.67	0.20	1.00	0.20
15	3.20	57.60	24.52	33.08	0.98	0.34	1.67	0.21	1.00	0.21
16	3.40	61.20	26.49	34.71	0.97	0.35	1.67	0.21	1.00	0.21
17	3.60	64.80	28.45	36.35	0.97	0.35	1.67	0.21	1.00	0.21
18	3.80	68.60	30.41	38.19	0.97	0.35	1.67	0.21	1.00	0.21
19	4.00	72.40	32.37	40.03	0.97	0.35	1.67	0.21	1.00	0.21
20	4.20	76.20	34.34	41.87	0.97	0.35	1.67	0.21	1.00	0.21
21	4.40	80.00	36.30	43.70	0.97	0.36	1.67	0.21	1.00	0.21
22	4.60	83.80	38.26	45.54	0.96	0.36	1.67	0.21	1.00	0.21
23	4.80	87.60	40.22	47.38	0.96	0.36	1.67	0.22	1.00	0.22
24	5.00	91.40	42.18	49.22	0.96	0.36	1.67	0.22	1.00	0.22
25	5.20	95.20	44.15	51.05	0.96	0.36	1.67	0.22	1.00	0.22
26	5.40	99.00	46.11	52.89	0.96	0.36	1.67	0.22	1.00	0.22
27	5.60	102.80	48.07	54.73	0.96	0.36	1.67	0.22	1.00	0.22
28	5.80	106.60	50.03	56.57	0.96	0.36	1.67	0.22	1.00	0.22
29	6.00	110.40	51.99	58.41	0.95	0.36	1.67	0.22	1.00	0.22
30	6.20	114.20	53.95	60.24	0.95	0.36	1.67	0.22	1.00	0.22
31	6.40	118.00	55.92	62.08	0.95	0.36	1.67	0.22	1.00	0.22
32	6.60	121.80	57.88	63.92	0.95	0.36	1.67	0.22	1.00	0.22
33	6.80	125.60	59.84	65.76	0.95	0.36	1.67	0.22	1.00	0.22
34	7.00	129.40	61.80	67.60	0.95	0.37	1.67	0.22	1.00	0.22
35	7.20	133.20	63.77	69.43	0.94	0.37	1.67	0.22	1.00	0.22
36	7.40	137.00	65.73	71.27	0.94	0.37	1.67	0.22	1.00	0.22
37	7.60	140.80	67.69	73.11	0.94	0.37	1.67	0.22	1.00	0.22
38	7.80	144.60	69.65	74.95	0.94	0.37	1.67	0.22	1.00	0.22
39	8.00	148.40	71.61	76.79	0.94	0.37	1.67	0.22	1.00	0.22
40	8.20	152.20	73.58	78.62	0.94	0.37	1.67	0.22	1.00	0.22
41	8.40	156.00	75.54	80.46	0.94	0.37	1.67	0.22	1.00	0.22
42	8.60	159.80	77.50	82.30	0.93	0.37	1.67	0.22	1.00	0.22
43	8.80	163.60	79.46	84.14	0.93	0.37	1.67	0.22	1.00	0.22
44	9.00	167.40	81.42	85.98	0.93	0.37	1.67	0.22	1.00	0.22
45	9.20	171.20	83.39	87.81	0.93	0.37	1.67	0.22	1.00	0.22
46	9.40	175.00	85.35	89.65	0.92	0.36	1.67	0.22	1.00	0.22
47	9.60	178.80	87.31	91.49	0.92	0.36	1.67	0.22	1.00	0.22
48	9.80	182.60	89.27	93.33	0.91	0.36	1.67	0.22	1.00	0.22
49	10.00	186.40	91.23	95.17	0.91	0.36	1.67	0.21	1.00	0.21
50	10.20	190.20	93.19	97.00	0.90	0.36	1.67	0.21	1.00	0.21
51	10.40	194.00	95.16	98.84	0.90	0.35	1.67	0.21	1.00	0.21
52	10.60	197.80	97.12	100.68	0.89	0.35	1.67	0.21	1.00	0.21
53	10.80	201.60	99.08	102.52	0.89	0.35	1.67	0.21	1.00	0.21
54	11.00	205.40	101.04	104.36	0.88	0.35	1.67	0.21	0.99	0.21
55	11.20	209.20	103.00	106.19	0.88	0.35	1.67	0.21	0.99	0.21
56	11.40	213.00	104.97	108.03	0.87	0.35	1.67	0.21	0.98	0.21
57	11.60	216.80	106.93	109.87	0.87	0.34	1.67	0.21	0.98	0.21
58	11.80	220.60	108.89	111.71	0.86	0.34	1.67	0.21	0.98	0.21

:: Cyclic Stress Ratio calculation (CSR fully adjusted and normalized) (continued) ::

Point ID	Depth (m)	Sigma (kPa)	u (kPa)	Sigma' (kPa)	r _d	CSR	MSF	CSR _{eq,M=7.5}	K _{sigma}	CSR*
59	12.00	224.40	110.85	113.55	0.85	0.34	1.67	0.20	0.97	0.21
60	12.20	228.20	112.81	115.39	0.85	0.34	1.67	0.20	0.97	0.21
61	12.40	232.00	114.78	117.22	0.84	0.34	1.67	0.20	0.97	0.21
62	12.60	235.80	116.74	119.06	0.84	0.33	1.67	0.20	0.97	0.21
63	12.80	239.60	118.70	120.90	0.83	0.33	1.67	0.20	0.96	0.21
64	13.00	243.40	120.66	122.74	0.83	0.33	1.67	0.20	0.96	0.21
65	13.20	247.20	122.63	124.58	0.82	0.33	1.67	0.20	0.96	0.21
66	13.40	251.00	124.59	126.41	0.82	0.33	1.67	0.20	0.95	0.21
67	13.60	254.80	126.55	128.25	0.81	0.33	1.67	0.19	0.95	0.20
68	13.80	258.60	128.51	130.09	0.81	0.32	1.67	0.19	0.95	0.20
69	14.00	262.40	130.47	131.93	0.80	0.32	1.67	0.19	0.95	0.20
70	14.20	266.20	132.44	133.76	0.80	0.32	1.67	0.19	0.94	0.20
71	14.40	270.00	134.40	135.60	0.79	0.32	1.67	0.19	0.94	0.20
72	14.60	273.80	136.36	137.44	0.79	0.32	1.67	0.19	0.94	0.20
73	14.80	277.60	138.32	139.28	0.78	0.31	1.67	0.19	0.94	0.20
74	15.00	281.40	140.28	141.12	0.77	0.31	1.67	0.19	0.93	0.20
75	15.20	285.20	142.25	142.96	0.77	0.31	1.67	0.19	0.93	0.20
76	15.40	289.00	144.21	144.79	0.76	0.31	1.67	0.18	0.93	0.20
77	15.60	292.80	146.17	146.63	0.76	0.31	1.67	0.18	0.93	0.20
78	15.80	296.60	148.13	148.47	0.75	0.30	1.67	0.18	0.92	0.20
79	16.00	300.40	150.09	150.31	0.75	0.30	1.67	0.18	0.92	0.20
80	16.20	304.20	152.06	152.15	0.74	0.30	1.67	0.18	0.92	0.19
81	16.40	308.00	154.02	153.98	0.74	0.30	1.67	0.18	0.92	0.19
82	16.60	311.80	155.98	155.82	0.73	0.30	1.67	0.18	0.92	0.19
83	16.80	315.60	157.94	157.66	0.73	0.29	1.67	0.18	0.91	0.19
84	17.00	319.40	159.90	159.50	0.72	0.29	1.67	0.17	0.91	0.19
85	17.20	323.20	161.87	161.34	0.72	0.29	1.67	0.17	0.91	0.19
86	17.40	327.00	163.83	163.17	0.71	0.29	1.67	0.17	0.91	0.19
87	17.60	330.80	165.79	165.01	0.71	0.28	1.67	0.17	0.90	0.19
88	17.80	334.60	167.75	166.85	0.70	0.28	1.67	0.17	0.90	0.19
89	18.00	338.40	169.71	168.69	0.69	0.28	1.67	0.17	0.90	0.19
90	18.20	342.20	171.68	170.53	0.69	0.28	1.67	0.17	0.90	0.19
91	18.40	346.00	173.64	172.36	0.68	0.28	1.67	0.17	0.90	0.18
92	18.60	349.80	175.60	174.20	0.68	0.27	1.67	0.16	0.89	0.18
93	18.80	353.60	177.56	176.04	0.67	0.27	1.67	0.16	0.89	0.18
94	19.00	357.40	179.52	177.88	0.67	0.27	1.67	0.16	0.89	0.18
95	19.20	361.20	181.49	179.72	0.66	0.27	1.67	0.16	0.89	0.18
96	19.40	365.00	183.45	181.55	0.66	0.27	1.67	0.16	0.89	0.18
97	19.60	368.80	185.41	183.39	0.65	0.26	1.67	0.16	0.89	0.18
98	19.80	372.60	187.37	185.23	0.65	0.26	1.67	0.16	0.88	0.18

Depth : Depth from free surface, at which CPT was performed (m)
 Sigma : Total overburden pressure at test point, during earthquake (kPa)
 u : Water pressure at test point, during earthquake (kPa)
 Sigma' : Effective overburden pressure, during earthquake (kPa)
 r_d : Nonlinear shear mass factor
 CSR : Cyclic Stress Ratio
 MSF : Magnitude Scaling Factor
 CSR_{eq,M=7.5} : CSR adjusted for M=7.5
 K_{sigma} : Effective overburden stress factor
 CSR* : CSR fully adjusted

:: Cyclic Resistance Ratio calculation CRR_{7.5} ::

Point ID	q _c (MPa)	I _c	F (%)	n	q _{c1n}	K _c	q _{c1cs}	CRR _{7.5}
1	1.37	2.39	4.31	0.73	91.92	2.27	208.57	2.00
2	0.69	2.85	9.72	0.86	46.30	2.27	105.06	2.00
3	0.69	2.71	4.82	0.82	34.99	2.27	79.40	2.00

:: Cyclic Resistance Ratio calculation CRR_{7.5} (continued) ::

Point ID	q _c (MPa)	I _c	F (%)	n	q _{c1n}	K _c	q _{c1cs}	CRR _{7.5}
4	0.78	2.79	6.78	0.84	37.71	2.27	85.58	2.00
5	1.57	2.47	3.80	0.75	59.19	2.64	156.39	0.44
6	1.76	2.32	2.25	0.70	57.28	2.03	116.36	0.23
7	0.69	2.76	4.02	0.83	25.35	2.03	51.49	2.00
8	0.59	2.92	5.82	0.88	21.55	2.03	43.78	2.00
9	0.59	2.81	3.55	0.85	19.19	2.03	38.98	2.00
10	0.59	2.91	4.82	0.88	18.71	2.03	38.02	2.00
11	0.39	3.10	5.62	0.94	12.05	2.03	24.47	2.00
12	0.20	3.48	8.49	1.00	5.44	2.03	11.05	2.00
13	0.20	3.63	13.37	1.00	5.02	2.03	10.20	2.00
14	0.98	2.68	2.86	0.81	23.71	2.03	48.17	2.00
15	0.88	2.69	2.38	0.81	20.25	2.03	41.13	2.00
16	1.57	2.64	3.90	0.80	35.19	2.03	71.49	2.00
17	1.08	2.60	1.93	0.79	22.52	3.32	74.73	0.12
18	1.57	2.51	2.16	0.76	31.25	2.84	88.62	0.14
19	2.25	2.47	2.76	0.75	43.27	2.64	114.18	0.22
20	1.83	2.60	3.29	0.79	34.79	3.30	114.89	0.22
21	1.37	2.63	2.50	0.80	24.95	3.30	82.39	2.00
22	1.83	2.47	1.82	0.75	31.44	2.60	81.83	0.13
23	1.37	2.65	2.52	0.80	23.38	2.60	60.85	2.00
24	0.39	3.37	6.53	1.00	6.07	2.60	15.79	2.00
25	0.39	3.47	8.93	1.00	5.77	2.60	15.03	2.00
26	0.49	3.31	6.77	1.00	7.39	2.60	19.24	2.00
27	0.39	3.51	9.17	1.00	5.25	2.60	13.66	2.00
28	0.49	3.40	8.44	1.00	6.78	2.60	17.64	2.00
29	0.49	3.47	10.33	1.00	6.50	2.60	16.92	2.00
30	0.69	3.23	6.85	0.98	9.45	2.60	24.60	2.00
31	0.59	3.40	9.79	1.00	7.60	2.60	19.79	2.00
32	0.78	3.28	8.89	0.99	10.26	2.60	26.70	2.00
33	0.98	3.14	6.88	0.95	12.72	2.60	33.10	2.00
34	0.88	3.22	7.82	0.97	10.99	2.60	28.61	2.00
35	0.78	3.35	10.10	1.00	9.32	2.60	24.24	2.00
36	0.88	3.27	8.82	0.99	10.39	2.60	27.04	2.00
37	0.98	3.18	7.01	0.96	11.34	2.60	29.52	2.00
38	0.88	3.29	8.91	1.00	9.80	2.60	25.51	2.00
39	0.98	3.25	8.60	0.98	10.78	2.60	28.07	2.00
40	1.08	3.17	7.09	0.96	11.69	2.60	30.41	2.00
41	0.78	3.35	8.28	1.00	7.76	2.60	20.18	2.00
42	0.88	3.34	9.10	1.00	8.75	2.60	22.78	2.00
43	0.78	3.44	10.60	1.00	7.33	2.60	19.07	2.00
44	1.76	2.96	5.71	0.90	18.24	2.60	47.47	2.00
45	1.96	2.94	5.86	0.89	20.08	2.60	52.27	2.00
46	2.65	2.15	0.28	0.65	26.58	1.00	26.58	0.07
47	3.23	2.66	3.85	0.81	32.78	1.00	32.78	2.00
48	3.04	2.72	4.36	0.82	30.25	1.00	30.25	2.00
49	3.43	2.63	3.63	0.80	33.74	1.00	33.74	2.00
50	3.14	2.73	4.42	0.83	30.25	1.00	30.25	2.00
51	2.65	2.80	4.52	0.85	24.80	1.00	24.80	2.00
52	2.55	2.92	6.38	0.88	23.38	1.00	23.38	2.00
53	3.23	2.78	5.17	0.84	29.66	1.00	29.66	2.00
54	3.23	2.72	4.11	0.82	29.20	1.00	29.20	2.00
55	3.63	2.25	0.77	0.68	32.83	1.79	58.72	0.10
56	3.14	2.75	4.26	0.83	27.45	1.79	49.08	2.00
57	3.53	2.72	4.35	0.82	30.66	1.79	54.83	2.00
58	3.53	2.75	4.74	0.83	30.18	1.79	53.97	2.00

:: Cyclic Resistance Ratio calculation $CRR_{7.5}$ (continued) ::

Point ID	q_c (MPa)	I_c	F (%)	n	q_{c1n}	K_c	q_{c1cs}	$CRR_{7.5}$
59	4.31	2.63	4.00	0.80	36.91	1.79	66.02	2.00
60	4.02	2.69	4.32	0.81	33.75	1.79	60.36	2.00
61	3.53	2.72	4.16	0.83	28.93	1.79	51.73	2.00
62	3.82	2.69	4.02	0.82	31.09	1.79	55.60	2.00
63	4.02	2.70	4.33	0.82	32.37	1.79	57.89	2.00
64	4.21	2.67	4.12	0.81	33.60	1.79	60.09	2.00
65	4.21	2.76	5.43	0.84	32.97	1.79	58.96	2.00
66	3.14	2.85	5.20	0.86	23.59	1.79	42.19	2.00
67	4.21	2.70	4.28	0.82	32.27	1.79	57.72	2.00
68	3.82	2.80	5.31	0.85	28.49	1.79	50.95	2.00
69	3.82	2.77	4.76	0.84	28.19	1.79	50.42	2.00
70	3.43	2.91	6.60	0.88	24.48	1.79	43.77	2.00
71	2.84	3.00	6.86	0.91	19.50	1.79	34.87	2.00
72	2.84	2.99	6.60	0.90	19.24	1.79	34.41	2.00
73	3.14	2.92	5.93	0.89	21.35	1.79	38.17	2.00
74	2.84	3.00	6.62	0.91	18.72	1.79	33.47	2.00
75	2.55	3.08	7.49	0.93	16.23	1.79	29.02	2.00
76	3.23	2.87	4.89	0.87	21.32	1.79	38.13	2.00
77	3.43	2.88	5.40	0.87	22.46	1.79	40.17	2.00
78	3.92	2.89	6.30	0.87	25.65	1.79	45.88	2.00
79	3.63	2.97	7.46	0.90	23.08	1.79	41.28	2.00
80	3.14	2.98	6.47	0.90	19.42	1.79	34.73	2.00
81	4.61	2.81	5.77	0.85	29.78	1.79	53.26	2.00
82	4.70	2.80	5.65	0.85	30.11	1.79	53.85	2.00
83	4.51	2.76	4.67	0.84	28.66	1.79	51.25	2.00
84	3.63	2.85	4.74	0.86	22.13	1.79	39.58	2.00
85	3.23	2.89	4.71	0.88	19.11	1.79	34.18	2.00
86	3.23	2.85	4.05	0.86	19.01	1.79	34.00	2.00
87	3.72	2.89	5.40	0.88	21.86	1.79	39.10	2.00
88	5.49	2.67	4.18	0.81	34.05	1.79	60.89	2.00
89	5.68	2.59	3.30	0.79	35.43	3.27	115.85	0.22
90	5.88	2.62	3.77	0.80	36.22	3.27	118.45	2.00
91	4.61	2.69	3.52	0.82	27.34	3.27	89.39	2.00
92	4.02	2.61	2.14	0.79	23.67	3.27	77.41	2.00
93	4.90	2.67	3.45	0.81	28.77	3.27	94.06	2.00
94	4.02	2.87	5.17	0.87	22.19	3.27	72.56	2.00
95	3.82	2.97	6.60	0.90	20.41	3.27	66.75	2.00
96	3.43	3.06	7.68	0.93	17.64	3.27	57.66	2.00
97	3.82	3.00	7.01	0.91	19.91	3.27	65.09	2.00
98	3.92	2.97	6.63	0.90	20.37	3.27	66.60	2.00

- q_c : Measured cone resistance
- I_c : Soil behavior type index
- F : Normalized friction ratio
- n : Stress exponent
- q_{c1n} : Normalized cone resistance
- K_c : Cone resistance correction factor due to fines
- $q_{c1n,cs}$: Normalized and adjusted cone resistance
- $CRR_{7.5}$: Cyclic resistance ratio for $M_w=7.5$

:: Settlements calculation for saturated sands ::

Point ID	q_c (MPa)	$q_{c1n,cs}$	FS_L	e_v (%)	Settle. (cm)
1	1.37	208.57	5.00	0.00	0.00
2	0.69	105.06	5.00	0.00	0.00
3	0.69	79.40	5.00	0.00	0.00
4	0.78	85.58	5.00	0.00	0.00

:: Settlements calculation for saturated sands (continued) ::

Point ID	q_c (MPa)	$q_{c1N,cs}$	FS_c	e_v (%)	Settle. (cm)
5	1.57	156.39	2.81	0.00	0.00
6	1.76	116.36	1.38	0.00	0.00
7	0.69	51.49	5.00	0.00	0.00
8	0.59	43.78	5.00	0.00	0.00
9	0.59	38.98	5.00	0.00	0.00
10	0.59	38.02	5.00	0.00	0.00
11	0.39	24.47	5.00	0.00	0.00
12	0.20	11.05	5.00	0.00	0.00
13	0.20	10.20	5.00	0.00	0.00
14	0.98	48.17	5.00	0.00	0.00
15	0.88	41.13	5.00	0.00	0.00
16	1.57	71.49	5.00	0.00	0.00
17	1.08	74.73	0.57	2.97	0.59
18	1.57	88.62	0.69	2.58	0.52
19	2.25	114.18	1.03	0.78	0.16
20	1.83	114.89	1.04	0.78	0.16
21	1.37	82.39	5.00	0.00	0.00
22	1.83	81.83	0.61	2.75	0.55
23	1.37	60.85	5.00	0.00	0.00
24	0.39	15.79	5.00	0.00	0.00
25	0.39	15.03	5.00	0.00	0.00
26	0.49	19.24	5.00	0.00	0.00
27	0.39	13.66	5.00	0.00	0.00
28	0.49	17.64	5.00	0.00	0.00
29	0.49	16.92	5.00	0.00	0.00
30	0.69	24.60	5.00	0.00	0.00
31	0.59	19.79	5.00	0.00	0.00
32	0.78	26.70	5.00	0.00	0.00
33	0.98	33.10	5.00	0.00	0.00
34	0.88	28.61	5.00	0.00	0.00
35	0.78	24.24	5.00	0.00	0.00
36	0.88	27.04	5.00	0.00	0.00
37	0.98	29.52	5.00	0.00	0.00
38	0.88	25.51	5.00	0.00	0.00
39	0.98	28.07	5.00	0.00	0.00
40	1.08	30.41	5.00	0.00	0.00
41	0.78	20.18	5.00	0.00	0.00
42	0.88	22.78	5.00	0.00	0.00
43	0.78	19.07	5.00	0.00	0.00
44	1.76	47.47	5.00	0.00	0.00
45	1.96	52.27	5.00	0.00	0.00
46	2.65	26.58	0.33	5.80	1.16
47	3.23	32.78	5.00	0.00	0.00
48	3.04	30.25	5.00	0.00	0.00
49	3.43	33.74	5.00	0.00	0.00
50	3.14	30.25	5.00	0.00	0.00
51	2.65	24.80	5.00	0.00	0.00
52	2.55	23.38	5.00	0.00	0.00
53	3.23	29.66	5.00	0.00	0.00
54	3.23	29.20	5.00	0.00	0.00
55	3.63	58.72	0.47	3.62	0.72
56	3.14	49.08	5.00	0.00	0.00
57	3.53	54.83	5.00	0.00	0.00
58	3.53	53.97	5.00	0.00	0.00
59	4.31	66.02	5.00	0.00	0.00

:: Settlements calculation for saturated sands (continued) ::

Point ID	q_c (MPa)	$q_{c1N,cs}$	FS_L	e_v (%)	Settle. (cm)
60	4.02	60.36	5.00	0.00	0.00
61	3.53	51.73	5.00	0.00	0.00
62	3.82	55.60	5.00	0.00	0.00
63	4.02	57.89	5.00	0.00	0.00
64	4.21	60.09	5.00	0.00	0.00
65	4.21	58.96	5.00	0.00	0.00
66	3.14	42.19	5.00	0.00	0.00
67	4.21	57.72	5.00	0.00	0.00
68	3.82	50.95	5.00	0.00	0.00
69	3.82	50.42	5.00	0.00	0.00
70	3.43	43.77	5.00	0.00	0.00
71	2.84	34.87	5.00	0.00	0.00
72	2.84	34.41	5.00	0.00	0.00
73	3.14	38.17	5.00	0.00	0.00
74	2.84	33.47	5.00	0.00	0.00
75	2.55	29.02	5.00	0.00	0.00
76	3.23	38.13	5.00	0.00	0.00
77	3.43	40.17	5.00	0.00	0.00
78	3.92	45.88	5.00	0.00	0.00
79	3.63	41.28	5.00	0.00	0.00
80	3.14	34.73	5.00	0.00	0.00
81	4.61	53.26	5.00	0.00	0.00
82	4.70	53.85	5.00	0.00	0.00
83	4.51	51.25	5.00	0.00	0.00
84	3.63	39.58	5.00	0.00	0.00
85	3.23	34.18	5.00	0.00	0.00
86	3.23	34.00	5.00	0.00	0.00
87	3.72	39.10	5.00	0.00	0.00
88	5.49	60.89	5.00	0.00	0.00
89	5.68	115.85	1.20	0.37	0.07
90	5.88	118.45	5.00	0.00	0.00
91	4.61	89.39	5.00	0.00	0.00
92	4.02	77.41	5.00	0.00	0.00
93	4.90	94.06	5.00	0.00	0.00
94	4.02	72.56	5.00	0.00	0.00
95	3.82	66.75	5.00	0.00	0.00
96	3.43	57.66	5.00	0.00	0.00
97	3.82	65.09	5.00	0.00	0.00
98	3.92	66.60	5.00	0.00	0.00

Total settlement : 3.93

q_c : Measured cone resistance
 $q_{c1N,cs}$: Normalized and adjusted cone resistance
 FS_L : Factor of safety against liquefaction
 e_v : Post-liquefaction volumetric strain
 Settle. : Calculated settlement

:: Overall liquefaction potential according to Iwasaki ::

Point ID	F	w_z	I_L	Point ID	F	w_z	I_L
1	0.00	9.80	0.00	2	0.00	9.70	0.00
3	0.00	9.60	0.00	4	0.00	9.50	0.00
5	0.00	9.40	0.00	6	0.00	9.30	0.00
7	0.00	9.20	0.00	8	0.00	9.10	0.00
9	0.00	9.00	0.00	10	0.00	8.90	0.00
11	0.00	8.80	0.00	12	0.00	8.70	0.00

:: Overall liquefaction potential according to Iwasaki (continued) ::

Point ID	F	w _z	I _L	Point ID	F	w _z	I _L
13	0.00	8.60	0.00	14	0.00	8.50	0.00
15	0.00	8.40	0.00	16	0.00	8.30	0.00
17	0.43	8.20	0.71	18	0.31	8.10	0.51
19	0.00	8.00	0.00	20	0.00	7.90	0.00
21	0.00	7.80	0.00	22	0.39	7.70	0.60
23	0.00	7.60	0.00	24	0.00	7.50	0.00
25	0.00	7.40	0.00	26	0.00	7.30	0.00
27	0.00	7.20	0.00	28	0.00	7.10	0.00
29	0.00	7.00	0.00	30	0.00	6.90	0.00
31	0.00	6.80	0.00	32	0.00	6.70	0.00
33	0.00	6.60	0.00	34	0.00	6.50	0.00
35	0.00	6.40	0.00	36	0.00	6.30	0.00
37	0.00	6.20	0.00	38	0.00	6.10	0.00
39	0.00	6.00	0.00	40	0.00	5.90	0.00
41	0.00	5.80	0.00	42	0.00	5.70	0.00
43	0.00	5.60	0.00	44	0.00	5.50	0.00
45	0.00	5.40	0.00	46	0.67	5.30	0.71
47	0.00	5.20	0.00	48	0.00	5.10	0.00
49	0.00	5.00	0.00	50	0.00	4.90	0.00
51	0.00	4.80	0.00	52	0.00	4.70	0.00
53	0.00	4.60	0.00	54	0.00	4.50	0.00
55	0.53	4.40	0.47	56	0.00	4.30	0.00
57	0.00	4.20	0.00	58	0.00	4.10	0.00
59	0.00	4.00	0.00	60	0.00	3.90	0.00
61	0.00	3.80	0.00	62	0.00	3.70	0.00
63	0.00	3.60	0.00	64	0.00	3.50	0.00
65	0.00	3.40	0.00	66	0.00	3.30	0.00
67	0.00	3.20	0.00	68	0.00	3.10	0.00
69	0.00	3.00	0.00	70	0.00	2.90	0.00
71	0.00	2.80	0.00	72	0.00	2.70	0.00
73	0.00	2.60	0.00	74	0.00	2.50	0.00
75	0.00	2.40	0.00	76	0.00	2.30	0.00
77	0.00	2.20	0.00	78	0.00	2.10	0.00
79	0.00	2.00	0.00	80	0.00	1.90	0.00
81	0.00	1.80	0.00	82	0.00	1.70	0.00
83	0.00	1.60	0.00	84	0.00	1.50	0.00
85	0.00	1.40	0.00	86	0.00	1.30	0.00
87	0.00	1.20	0.00	88	0.00	1.10	0.00
89	0.00	1.00	0.00	90	0.00	0.90	0.00
91	0.00	0.80	0.00	92	0.00	0.70	0.00
93	0.00	0.60	0.00	94	0.00	0.50	0.00
95	0.00	0.40	0.00	96	0.00	0.30	0.00
97	0.00	0.20	0.00	98	0.00	0.10	0.00

Overall potential I_L : 2.99

I_L = 0.00 - No liquefaction
 I_L between 0.00 and 5.00 - Liquefaction not probable
 I_L between 5.00 and 15.00 - Liquefaction probable
 I_L > 15.00 - Liquefaction certain

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° 7

***Prova penetrometrica statica con
cono sismico e piezocono
eseguita da Elletipi S.r.l.***



elletipi s.r.l.

Sede operativa ed ammin. via: Via Annibale Zucchini, 69 - 44100 FERRARA
tel. 0532/56771; fax 0532/56119 e-mail: info@elletipi.it

P IVA e Codice Fiscale n. 00174600367

Laboratorio aut. del Ministero Infrastr. e Trasporti P.C.S. IL.PP. S.T.O. in base al D.P.R. n. 200/01 art. 29 circ. n. 248/00 Dec. n° 53362 del 02/09/2009

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE
INTEGRATO CERTIFICATO DA DNV
UNI EN ISO 9001/2000
UNI EN ISO 14001

202080B001

COMMITTENTE: dott. Thomas Veronese - via Roma 10 - 44021 Codigoro (FE)

CANTIERE: ISIT - Via Rigone 1 - Cento - Ferrara

CPT N° 1 PROF. FALDA (m da p.c.) 2.50 PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 111010)[a = 0.66]

DATA 31/07/12 PREFORO (m da p.c.)

COMMESSA 11085/12 C. SITO N°: S120208 del 02/08/12

UBICAZIONE

Località: ISIT - Via Rigone 1 - Cento - Ferrara



202080B001

Lo Sperimentatore:
dott. geol. Massimo Romagnoli

S120208_SCP1U 1.xls - pag 6 di 6

Il Direttore del Laboratorio:
dott. geol. PhD Gianluca Ferioli



elletipi s.r.l.

Sede operativa ed amm.va: Via Annibale Zucchini, 69 - 44100 FERRARA

tel. 0532/56771; fax 0532/56119 e-mail: info@elletipi.it

P IVA e Codice Fiscale n. 00174600387

Laboratorio aut. dal Ministero Infrastrutture e Trasporti P.C.E. LL.PP. S.T.C. in base al D.P.R. n. 300/01 art. 28 circ. n. 243/98 Dec. n° 83262 del 06/05/2009

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE INTEGRATO CERTIFICATO DA DNV
UNI EN ISO 9001/2000
UNI EN ISO 14001

202080B001

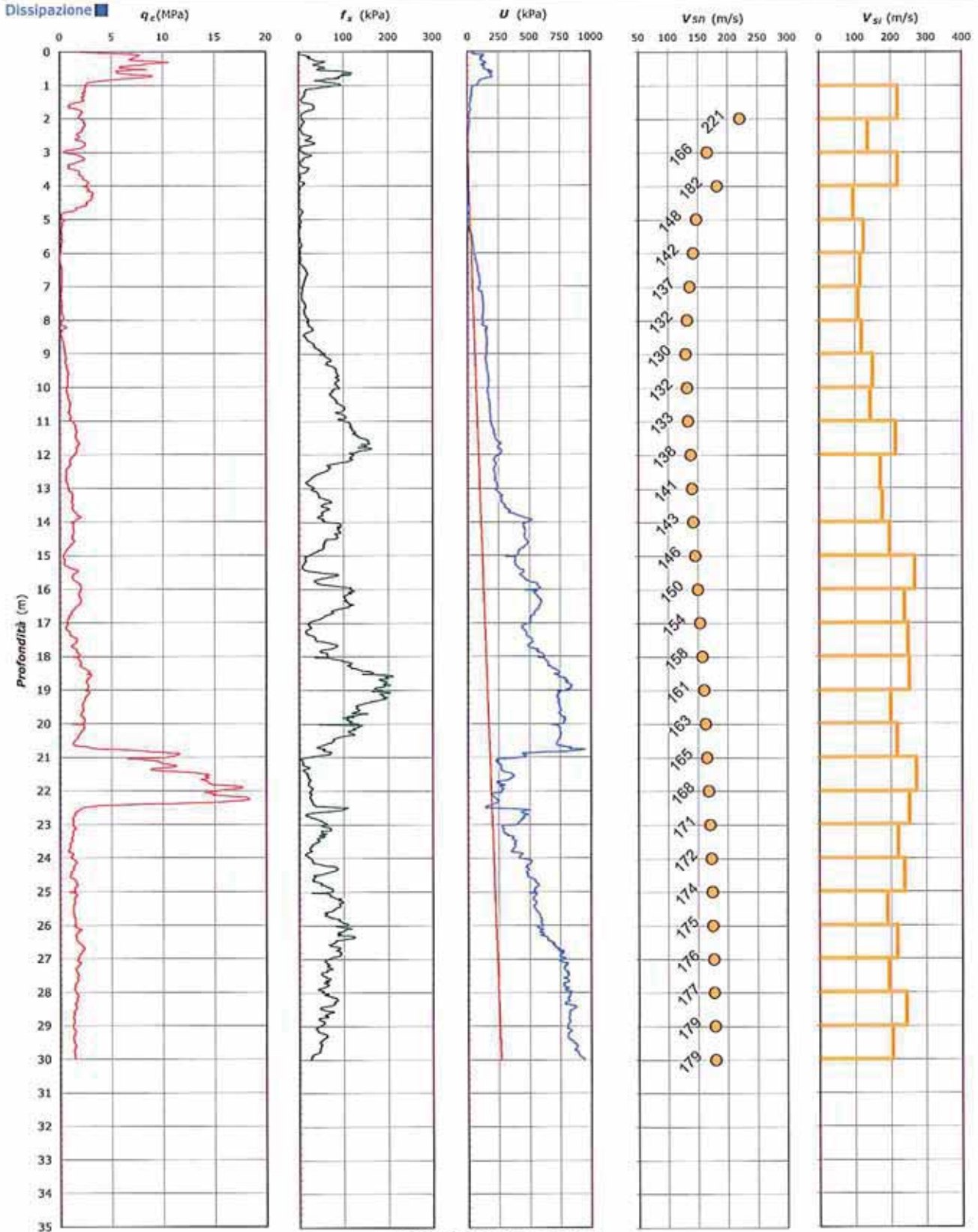
COMMITTENTE: dott. Thomas Veronese - via Roma 10 - 44021 Codigoro (FE)

CANTIERE: ISIT - Via Rigone 1 - Cento - Ferrara

CPT N° 1 **PROF. FALDA (m da p.c.)** 2.50 **PUNTA:** Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 111010)[a = 0.66]

DATA 31/07/12 **PREFORO (m da p.c.)**

COMMESSA 11085/12 **C. SITO N°:** S120208 del 02/08/12



202080B001

Lo Sperimentatore:
dott. geol. Massimo Romagnoli

S120208_SCPTU 1.3h - pag 4 di 6

Il Direttore del Laboratorio:
dott. geol. PhD Gianluca Ferioli



elletipi s.r.l.

Sede operativa ed amms: Via Anibalda Zucchini, 69 - 44100 FERRARA

tel. 0532/56771; fax 0532/56119 e-mail: info@elletipi.it

P.IVA e Codice Fiscale n. 00174600387

Laboratorio a. d. del Ministero Infrastruttura e Trasporti P.C.S. U.L.P.P. S.T.C. in base al D.P.R. n. 20021 del 29 dic. n. 34398/Dec. n. 33262 del 06/05/2009

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE INTEGRATO CERTIFICATO DA DNV UNI EN ISO 9001/2000 UNI EN ISO 14001

202080B001

COMMITTENTE: dott. Thomas Veronese - via Roma 10 - 44021 Codigoro (FE)

CANTIERE: ISIT - Via Rigone 1 - Cento - Ferrara

CPT N° 1

PROF. FALDA (m da p.c.) 2.50

PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 111010)[a = 0.66]

DATA 31/07/12

PREFORO (m da p.c.)

COMMESSA 11085/12

C. SITO N°:

S120208 del 02/08/12

prof. m	qc	fs	U	incl.	prof. m	qc	fs	U	incl.	prof. m	qc	fs	U	incl.	prof. m	qc	fs	U	incl.	prof. m	qc	fs	U	incl.
Mpa	kPa	kPa	gradi		Mpa	kPa	kPa	gradi		Mpa	kPa	kPa	gradi		Mpa	kPa	kPa	gradi		Mpa	kPa	kPa	gradi	
0.02	2.05	0.35	47.13	3.23	2.02	2.09	6.16	17.22	2.04	4.02	2.38	3.24	3.79	2.54	6.02	0.04	3.06	47.74	3.39	8.02	0.36	23.37	125.27	4.06
0.04	4.35	1.68	52.63	2.62	2.04	2.29	8.38	17.22	2.09	4.04	2.63	2.68	2.56	2.45	6.04	0.04	3.06	59.34	3.40	8.04	0.15	18.54	132.60	4.08
0.05	5.32	1.68	37.97	1.16	2.06	2.32	11.83	16.00	2.10	4.06	2.75	3.17	3.17	2.48	6.06	0.04	3.06	62.39	3.43	8.06	0.15	19.21	128.33	4.11
0.08	6.62	0.74	66.67	2.03	2.08	2.44	13.50	17.22	2.04	4.08	2.86	3.57	3.79	2.51	6.08	0.04	4.39	64.22	3.43	8.08	0.15	19.88	126.50	4.36
0.10	7.75	11.21	139.92	2.35	2.10	2.44	13.05	16.00	2.04	4.10	2.94	3.24	4.40	2.49	6.10	0.04	4.39	66.06	3.42	8.10	0.18	23.55	128.94	4.36
0.12	7.73	17.65	131.38	2.29	2.12	2.42	11.39	15.38	2.07	4.12	2.82	1.79	3.17	2.48	6.12	0.05	4.39	66.67	3.39	8.12	0.23	22.22	116.12	4.36
0.14	7.71	24.08	122.83	2.42	2.14	2.42	8.72	14.77	2.08	4.14	2.68	0.02	3.17	2.56	6.14	0.03	4.28	66.06	3.44	8.14	0.26	21.77	119.78	4.37
0.16	7.39	26.64	104.52	2.62	2.16	2.42	6.05	14.16	2.09	4.16	2.68	0.02	3.17	2.51	6.16	0.03	4.39	65.45	3.48	8.16	0.30	22.22	127.11	4.37
0.18	7.25	19.42	119.17	2.23	2.18	2.53	5.16	15.38	2.07	4.18	3.15	0.13	6.23	2.51	6.18	0.02	4.62	59.95	3.48	8.18	0.52	34.11	141.76	4.37
0.20	7.21	23.30	113.06	2.32	2.20	2.55	6.83	14.77	2.07	4.20	3.24	0.80	5.62	2.55	6.20	0.04	4.95	69.11	3.48	8.20	0.67	26.65	160.68	4.31
0.22	7.03	28.18	105.74	2.28	2.22	2.48	7.61	12.94	2.10	4.22	3.27	1.80	5.62	2.51	6.22	0.03	4.73	70.94	3.48	8.22	0.74	29.51	164.35	4.23
0.24	6.74	34.51	106.35	2.05	2.24	2.32	5.61	9.89	2.10	4.24	3.23	1.91	5.01	2.51	6.24	0.03	4.51	72.16	3.50	8.24	0.62	31.62	152.14	4.23
0.26	7.23	33.74	112.45	2.08	2.26	2.33	4.39	9.89	2.15	4.26	3.19	1.80	5.01	2.56	6.26	0.04	3.06	73.99	3.51	8.26	0.50	31.62	158.24	4.18
0.28	8.22	41.08	122.83	2.23	2.28	2.29	3.51	8.67	2.13	4.28	3.14	1.36	4.40	2.56	6.28	0.08	2.73	67.28	3.52	8.28	0.32	32.50	141.76	4.18
0.30	9.14	59.75	130.77	2.40	2.30	2.24	2.95	7.45	2.13	4.30	3.12	1.13	5.01	2.57	6.30	0.14	3.84	76.43	3.50	8.30	0.22	32.61	144.20	4.17
0.32	10.59	54.64	156.41	2.44	2.32	2.20	3.28	7.45	2.14	4.32	3.19	1.13	5.62	2.55	6.32	0.19	4.62	79.49	3.54	8.32	0.21	28.06	152.14	4.17
0.34	10.14	48.53	144.20	2.48	2.34	2.27	5.18	7.45	2.16	4.34	3.24	0.47	6.23	2.56	6.34	0.15	4.74	81.93	3.55	8.34	0.15	24.30	150.31	4.28
0.36	8.84	39.19	123.44	2.38	2.36	2.20	6.62	5.62	2.12	4.36	3.16	0.69	5.01	2.60	6.36	0.14	7.18	80.10	3.56	8.36	0.15	20.08	151.53	4.31
0.38	8.32	33.31	116.12	2.45	2.38	2.15	6.07	5.62	2.18	4.38	3.12	1.47	5.01	2.59	6.38	0.17	9.61	80.71	3.56	8.38	0.13	16.08	149.69	4.34
0.40	7.90	34.28	114.29	2.36	2.40	2.01	7.84	4.40	2.21	4.40	3.10	1.80	5.62	2.60	6.40	0.17	10.06	83.76	3.56	8.40	0.15	14.87	150.31	4.36
0.42	7.13	45.17	143.59	2.39	2.42	1.89	5.96	3.17	2.20	4.42	3.03	1.91	5.01	2.56	6.42	0.19	11.17	83.15	3.55	8.42	0.12	12.31	161.29	4.28
0.44	6.07	45.84	135.65	2.43	2.44	1.74	7.63	1.95	2.21	4.44	2.94	2.02	5.01	2.59	6.44	0.24	12.60	83.76	3.49	8.44	0.12	10.53	149.08	4.40
0.46	5.83	57.49	131.38	2.41	2.46	1.78	11.31	5.01	2.18	4.46	2.81	1.80	4.40	2.61	6.46	0.25	14.38	84.98	3.50	8.46	0.14	11.86	151.53	4.37
0.48	5.94	58.95	134.43	2.44	2.48	1.75	15.75	2.56	2.22	4.48	2.67	1.80	3.79	2.61	6.48	0.26	16.60	85.59	3.54	8.48	0.20	13.74	152.14	4.34
0.50	6.54	47.72	139.32	2.41	2.50	1.80	23.09	3.17	2.21	4.50	2.57	1.80	3.79	2.63	6.50	0.25	16.16	84.37	3.55	8.50	0.21	13.61	153.36	4.30
0.52	6.84	43.72	139.32	2.41	2.52	1.92	28.31	4.40	2.24	4.52	2.59	1.25	5.01	2.61	6.52	0.30	17.15	86.81	3.49	8.52	0.28	17.38	158.24	4.27
0.54	8.49	41.23	164.96	2.29	2.54	1.98	29.75	3.79	2.19	4.54	2.73	0.80	6.23	2.62	6.54	0.28	17.48	80.71	3.49	8.54	0.31	17.93	158.24	4.28
0.56	6.11	70.56	191.82	2.20	2.56	1.97	26.65	1.34	2.26	4.56	2.71	1.47	6.23	2.63	6.56	0.28	17.82	87.42	3.54	8.56	0.32	17.93	157.63	4.27
0.58	5.49	94.90	166.79	2.24	2.58	1.87	24.43	0.49	2.20	4.58	2.64	2.03	5.01	2.65	6.58	0.25	18.14	88.03	3.50	8.58	0.36	19.37	158.85	4.25
0.60	5.59	105.46	208.91	2.18	2.60	1.69	23.09	2.32	2.21	4.60	2.47	1.91	3.79	2.63	6.60	0.27	19.69	91.70	3.48	8.60	0.36	20.37	158.24	4.23
0.62	5.60	112.46	174.11	2.21	2.62	1.51	18.76	2.32	2.22	4.62	2.16	0.58	1.34	2.63	6.62	0.27	19.69	94.14	3.48	8.62	0.33	22.35	157.63	4.27
0.64	5.82	120.01	184.49	2.21	2.64	1.64	14.32	0.49	2.24	4.64	1.80	0.47	1.34	2.66	6.64	0.26	18.81	92.92	3.50	8.64	0.38	26.14	157.63	4.27
0.66	6.29	98.79	182.05	2.17	2.66	1.96	19.77	2.56	2.22	4.66	1.65	0.47	1.34	2.66	6.66	0.26	17.25	92.31	3.49	8.66	0.38	28.58	157.63	4.27
0.68	7.00	96.68	194.87	2.15	2.68	2.23	27.21	5.01	2.25	4.68	1.64	2.47	1.34	2.67	6.68	0.30	16.69	92.31	3.51	8.68	0.39	30.47	158.85	4.28
0.70	8.06	116.46	194.26	2.12	2.70	2.40	32.77	5.62	2.26	4.70	1.63	6.81	1.34	2.67	6.70	0.25	16.02	92.92	3.50	8.70	0.43	34.14	161.29	4.28
0.72	9.10	94.45	193.65	2.09	2.72	2.51	36.55	6.23	2.25	4.72	1.61	8.81	6.23	2.68	6.72	0.30	16.25	92.02	3.50	8.72	0.44	34.47	155.80	4.29
0.74	8.96	89.18	200.37	2.29	2.74	2.57	36.00	5.01	2.26	4.74	1.45	9.47	2.56	2.68	6.74	0.25	15.58	96.58	3.55	8.74	0.45	33.92	157.63	4.30
0.76	8.66	92.52	200.37	2.35	2.76	2.53	31.55	3.17	2.24	4.76	1.15	9.47	1.71	2.70	6.76	0.27	15.03	96.58	3.55	8.76	0.49	35.14	158.85	4.31
0.78	7.41	80.85	149.69	2.30	2.78	2.51	22.56	1.95	2.22	4.78	0.80	9.36	4.77	2.72	6.78	0.27	14.03	97.19	3.54	8.78	0.48	36.58	158.85	4.32
0.80	6.86	89.83	147.25	2.19	2.80	2.46	12.33	0.12	2.21	4.80	0.51	8.14	6.60	2.70	6.80	0.27	13.69	97.19	3.54	8.80	0.45	34.36	150.92	4.33
0.82	6.12	55.39	126.50	2.26	2.82	2.41	6.23	1.71	2.30	4.82	0.35	6.81	7.21	2.73	6.82	0.26	13.58	97.80	3.58	8.82	0.46	36.81	151.53	4.33
0.84	5.08	52.83	102.08	2.24	2.84	2.34	4.45	2.32	2.22	4.84	0.26	5.70	6.60	2.72	6.84	0.27	12.91	98.41	3.58	8.84	0.46	39.47	151.53	4.33
0.86	4.42	36.39	106.96	2.26	2.86	2.26	5.01	3.55	2.30	4.86	0.20	4.81	2.94	2.73	6.86	0.27	12.58	100.24	3.57	8.86	0.51	46.58	155.19	4.34
0.88	3.60	61.73	94.75	2.28	2.88	2.03	4.24	5.38	2.29	4.88	0.17	4.59	0.12	2.78	6.88	0.26	11.36	102.69	3.60	8.88	0.51	44.25	153.97	4.35
0.90	3.31	56.85	89.87	2.28	2.90	1.69	3.02	6.60	2.34	4.90	0.18	4.37	3.17	2.80	6.90	0.25	11.14	100.85	3.61	8.90	0.51	46.91	153.97	4.33
0.92	2.84	75.51	92.31	2.30	2.92	1.27	2.35	6.60	2.31	4.92	0.22	3.26	5.01	2.79	6.92	0.25	10.80	102.69	3.61	8.92	0.54	49.91	155.19	4.34
0.94	2.72	80.96	87.42	2.28	2.94	0.91	2.91	7.82	2.33	4.94														



elletipi s.r.l.

Sede operativa ed amministrazione: Via Annibale Zucchini, 69 - 44100 FERRARA

tel. 0532/56771; fax 0532/56119 e-mail: info@elletipi.it

P.IVA e Codice Fiscale n. 00174600387

Laboratorio aut. del Ministero Infrastrutture e Trasporti P.C.S. M.P.P. S.T.C. in base al D.P.R. n. 200/01 art. 59 circ. n. 248/99 Dec. n° 532/02 del 05/05/2003

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE INTEGRATO CERTIFICATO DA DNV UNI EN ISO 9001/2000 UNI EN ISO 14001

202080B001

COMMITTENTE: dott. Thomas Veronese - via Roma 10 - 44021 Codigoro (FE)

CANTIERE: ISIT - Via Rigone 1 - Cento - Ferrara

CPT N° 1

PROF. FALDA (m da p.c.) 2.50

PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 111010)[a = 0.66]

DATA 31/07/12

PREFORO (m da p.c.)

COMMESSA 11085/12

C. SITO N°:

S120208 del 02/08/12

Table with 15 columns: prof., qc, fs, U, incl., m, Mpa, kPa, kPa, gradi. It contains 150 rows of data points for various measurements.

202080B001

Lo Sperimentatore: dott. geol. Massimo Romagnoli

S120208_SCPTU L.txt - pag 2 di 6

Il Direttore del Laboratorio: dott. geol. PhD Gianluca Ferioli



elletipi s.r.l.

Sede operativa ed amm.va: Via Annibale Zucchini, 69 - 44100 FERRARA

tel. 0532/56771; fax 0532/56119 e-mail: info@elletipi.it

P.IVA e Codice Fiscale n. 00174600367

Laboratori a.d. del Ministero Infrastrutture e Trasporti P.C.S. I.L.P.P. S.T.C. in base al D.P.R. n. 30591 art. 28 del n. 24399 Dec. n. 33362 del 06/05/2009

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE INTEGRATO CERTIFICATO DA DNV UNI EN ISO 9001/2000 UNI EN ISO 14001

202080B001

COMMITTENTE: dott. Thomas Veronese - via Roma 10 - 44021 Codigoro (FE)

CANTIERE: ISIT - Via Rigone 1 - Cento - Ferrara

CPT N° 1

PROF. FALDA (m da p.c.) 2.50

PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 111010)[a = 0.66]

DATA 31/07/12

PREFORO (m da p.c.)

COMMESSA 11085/12

C. SITO N°:

S120208 del 02/08/12

Table with 10 columns (prof., qc, fs, U, incl.) and 10 rows of data. The table contains a large amount of numerical data representing test results for various parameters.

202080B001

Lo Sperimentatore: dott. geol. Massimo Romagnoli

S120208_SCPTU 1.xls - pag 3 di 8

Il Direttore del Laboratorio: dott. geol. PhD Gianluca Ferioli



Studio Servizi Tecnici
Settore geologia e ambiente

DOTT. GEOL. THOMAS VERONESE

Via Roma, 10

44021 CODIGORO (Ferrara)

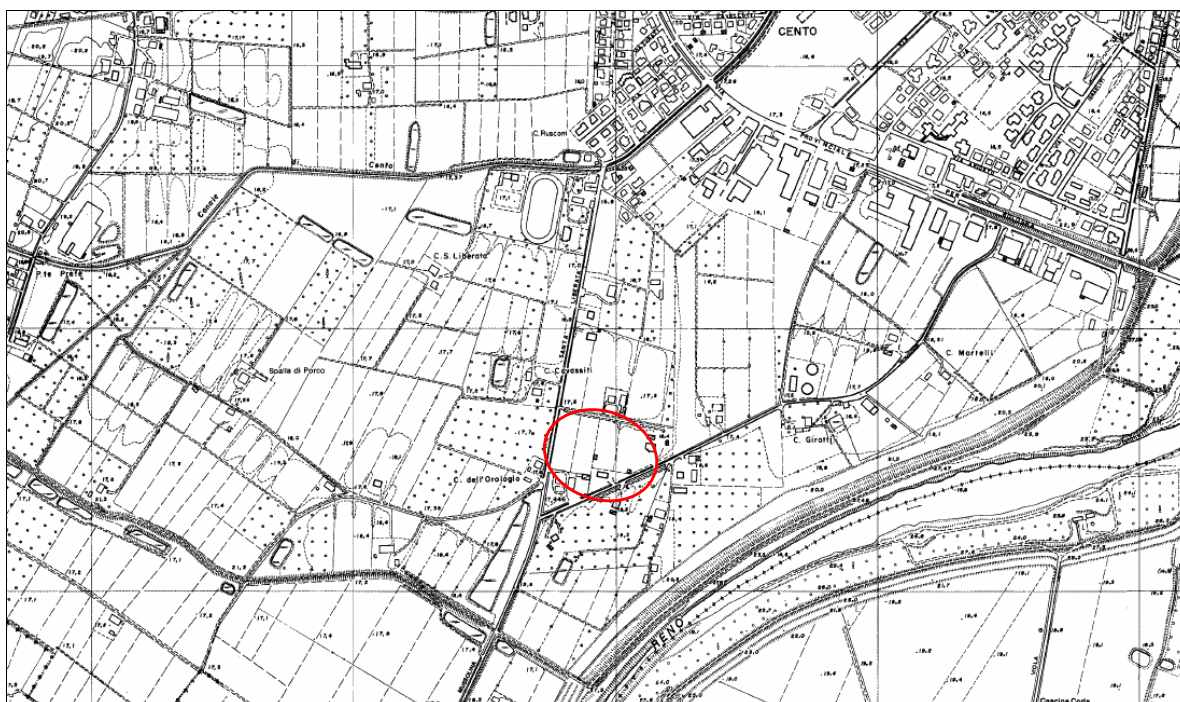
Tel e fax. 0533 / 713798 cell. 335-5240380

E-mail: thomas.veronese@tin.it

MODELLAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

Comune di Cento
Provincia di Ferrara

Progetto per l'inserimento nel Piano della Ricostruzione del comune di Cento di un intervento urbanistico residenziale in via Santa Liberata a Cento (Fe) indicata come area D1.4 nella cartografia di Piano.



Committente: **EFFE COSTRUZIONI Srl**
Via Santa Liberata n. 12
44042 Cento (FE)

28 Febbraio 2014

Studio S.S.T. Settore Geologia e Ambiente

Geotecnica; Studio terreni di fondazione; Stabilità dei versanti; Rilevamento geologico; Rilievi topografici; Geofisica - Contributi allo Studio di Impatto Ambientale; Assistenza alle pubbliche amministrazioni negli studi di fattibilità e di realizzazione dei P.R.G., cimiteri, discariche, piani attività estrattive, studi di acquiferi per la tutela e per l'utilizzo di risorse idriche sotterranee; subirrigazioni.



INDICE:

1. PREMESSA	2
NORMATIVA E RACCOMANDAZIONI DI RIFERIMENTO	4
2. MODELLAZIONE GEOLOGICA.....	4
2.1. GEOLOGIA STRUTTURALE DELL'AREA	4
2.2. CARATTERI STRATIGRAFICI E LITOLOGICI.....	7
2.3. CARATTERI GEOMORFOLOGICI.....	12
2.4. CARATTERI IDROGEOLOGICI.....	13
3. DEFINIZIONE DEI PARAMETRI SISMICI.....	14
3.1. DATI DI AUSILIO PER LA PROGETTAZIONE SISMICA.....	14
<i>Azioni sismiche "Delibera Assemblea Legislativa n°112/2007 della Regione Emilia Romagna".....</i>	14
<i>Categoria di suolo di fondazione – Secondo D.M. 14/01/08.....</i>	15
<i>Parametri sismici secondo "D.M. 14 gennaio 2008".....</i>	20
<i>Magnitudo di progetto.....</i>	23
3.2. VERIFICA DELLA RESISTENZA ALLA LIQUEFAZIONE DELLE SABBIE	24
3.3. CALCOLO CEDIMENTI POSTSISMICI NEI TERRENI GRANULARI.....	27
3.3. CALCOLO CEDIMENTI POSTSISMICI IN TERRENI COESIVI	28
3.4. MISURA FREQUENZA DI RISONANZA DEPOSITI IN CAMPO LIBERO H/V	32
4. MODELLAZIONE GEOTECNICA SULLE INDAGINI	35
4.1. ACQUISIZIONE DATI CON PROVA PENETROMETRICA STATICA	36
4.2. ACQUISIZIONE DATI CON SONDAGGIO GEOGNOSTICO	37
4.3. ACQUISIZIONE DATI CON PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO	39
4.3.1. <i>Analisi Granulometrica.....</i>	39
4.3.2. <i>Limiti di Atterberg (Norma CNR- UNI 10014).....</i>	41
5. ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE	44
6. CONCLUSIONI.....	60

ALLEGATO: certificati delle prove geotecniche in sito

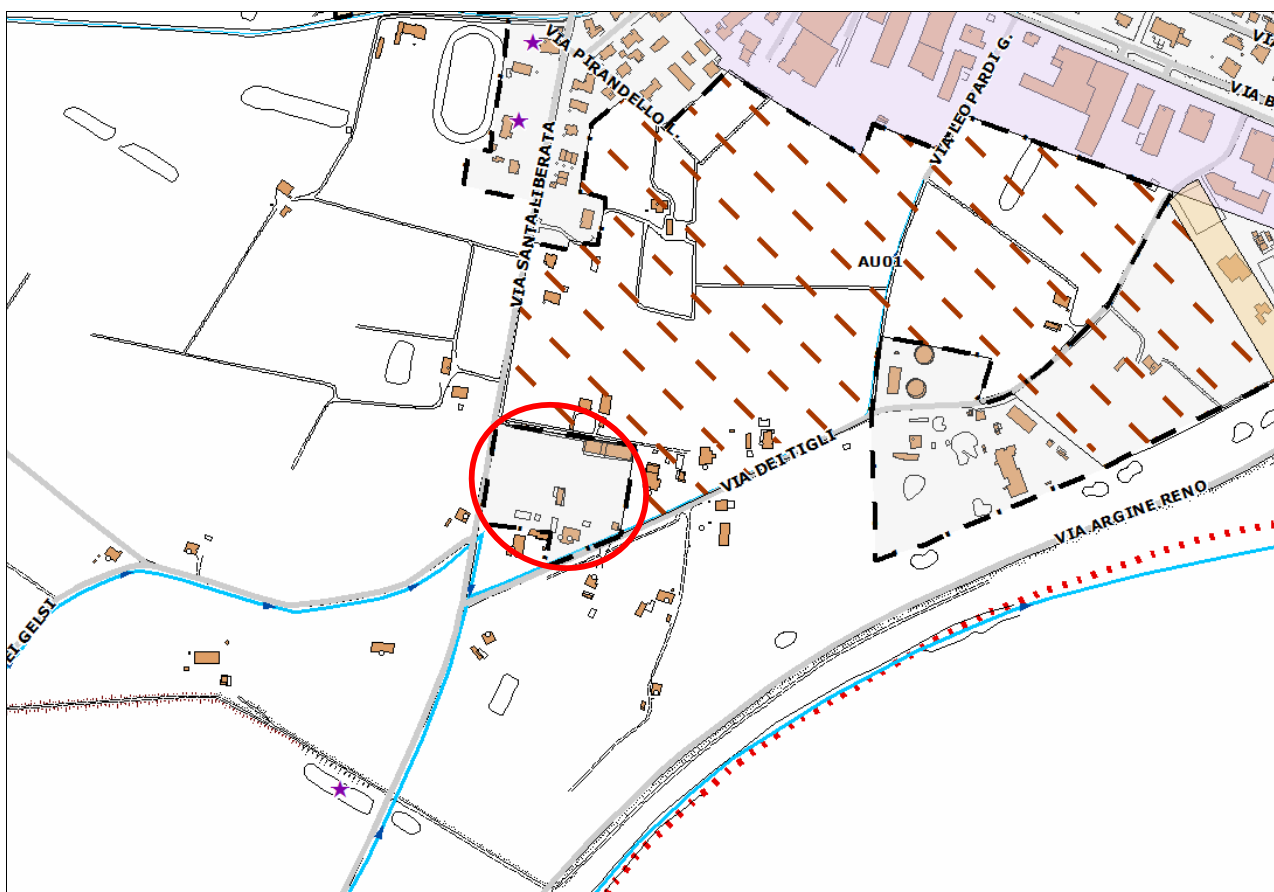
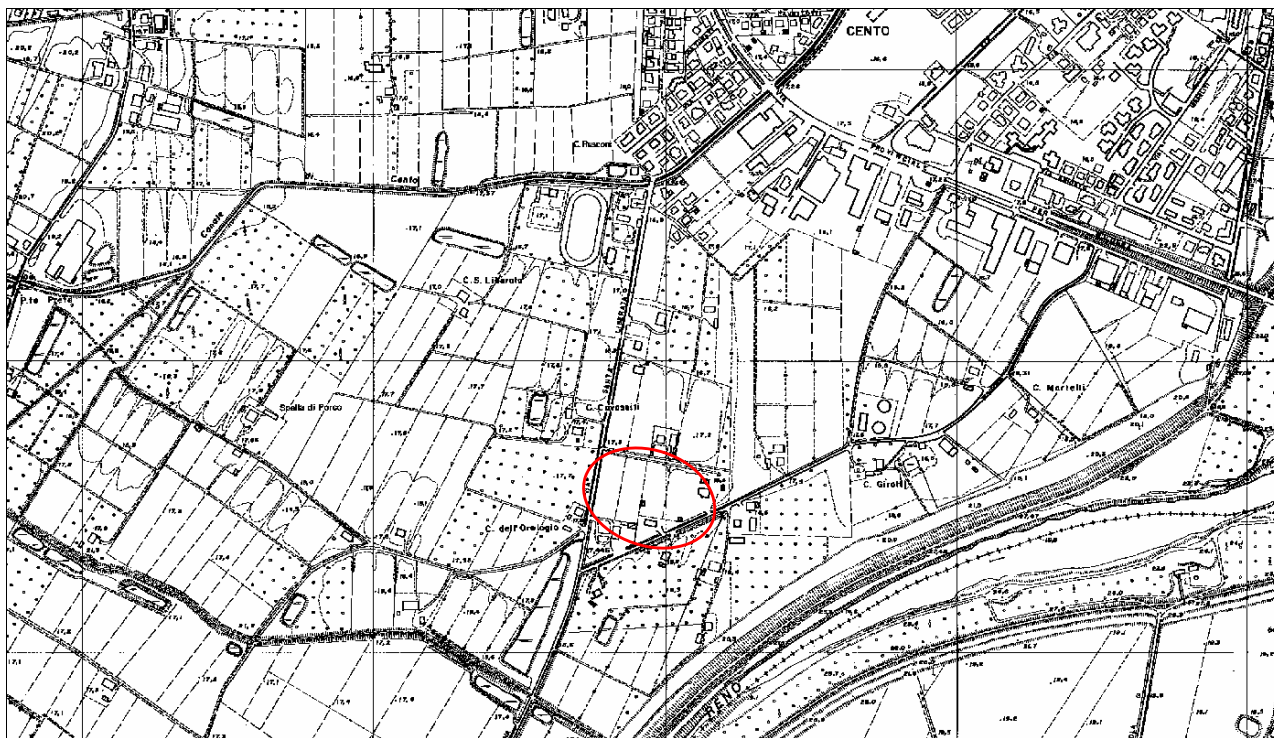
ALLEGATO: relazione geofisica per prova H/V

ALLEGATO: Studi sismici della Regione Emilia Romagna - Ordinanza n. 70 del 13/11/2012 e cartografia di riferimento

1. PREMESSA

Su incarico della ditta Effe Costruzioni, con sede in via Santa Liberata n. 12 a Cento (FE), si redige lo studio per ricostruire la modellazione geologica e sismica con relative indagini per l'inserimento nel Piano della Ricostruzione del comune di Cento di un intervento urbanistico residenziale in via Santa Liberata a Cento (Fe) indicata come area D1.4 nella cartografia di Piano.

In FIGURA 1.1 si riporta l'ubicazione dell'area di intervento.





Estratto di PSC adottato

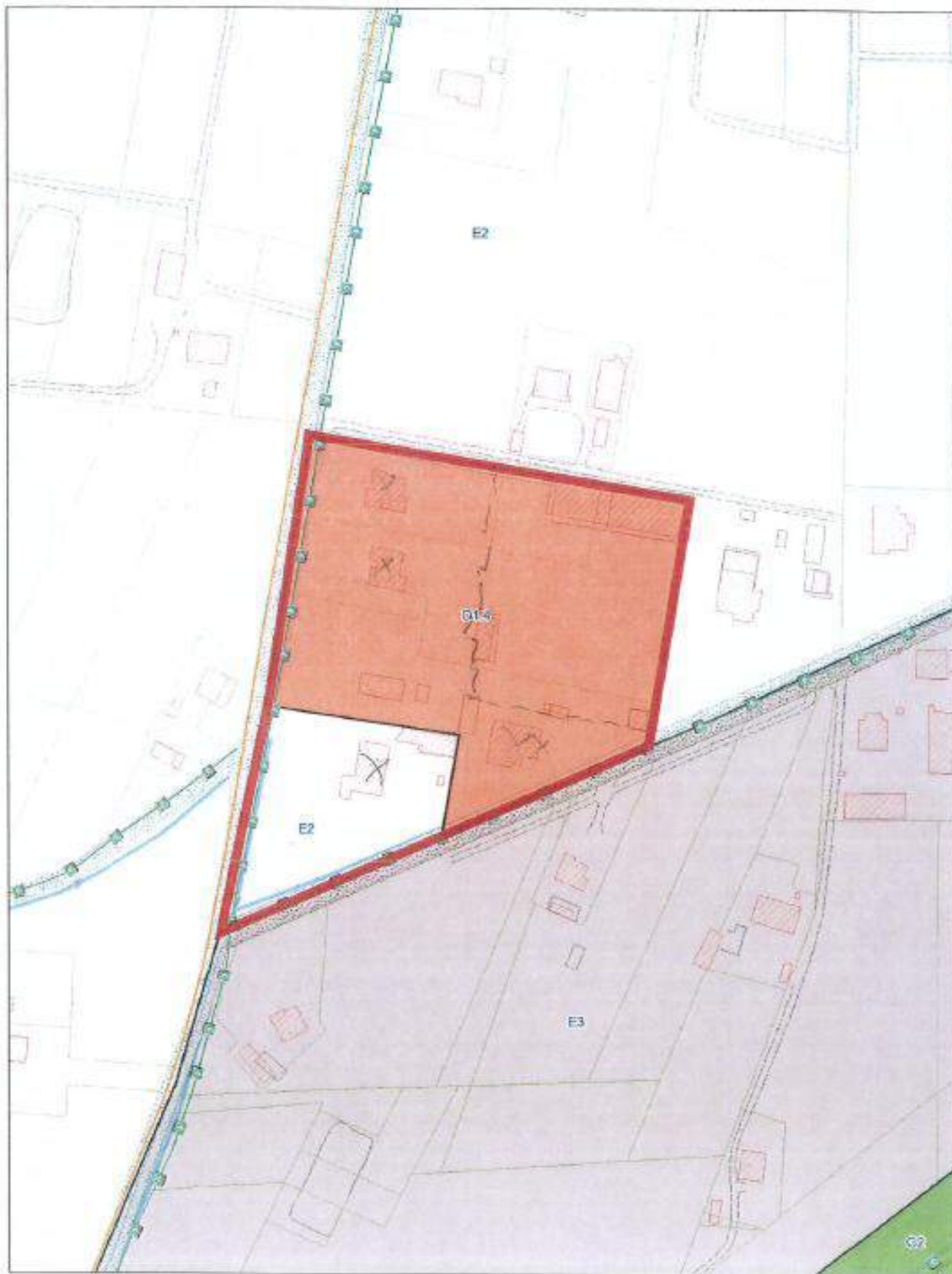


FIGURA 1.1 – Ubicazione dell'area di intervento a Cento Fe

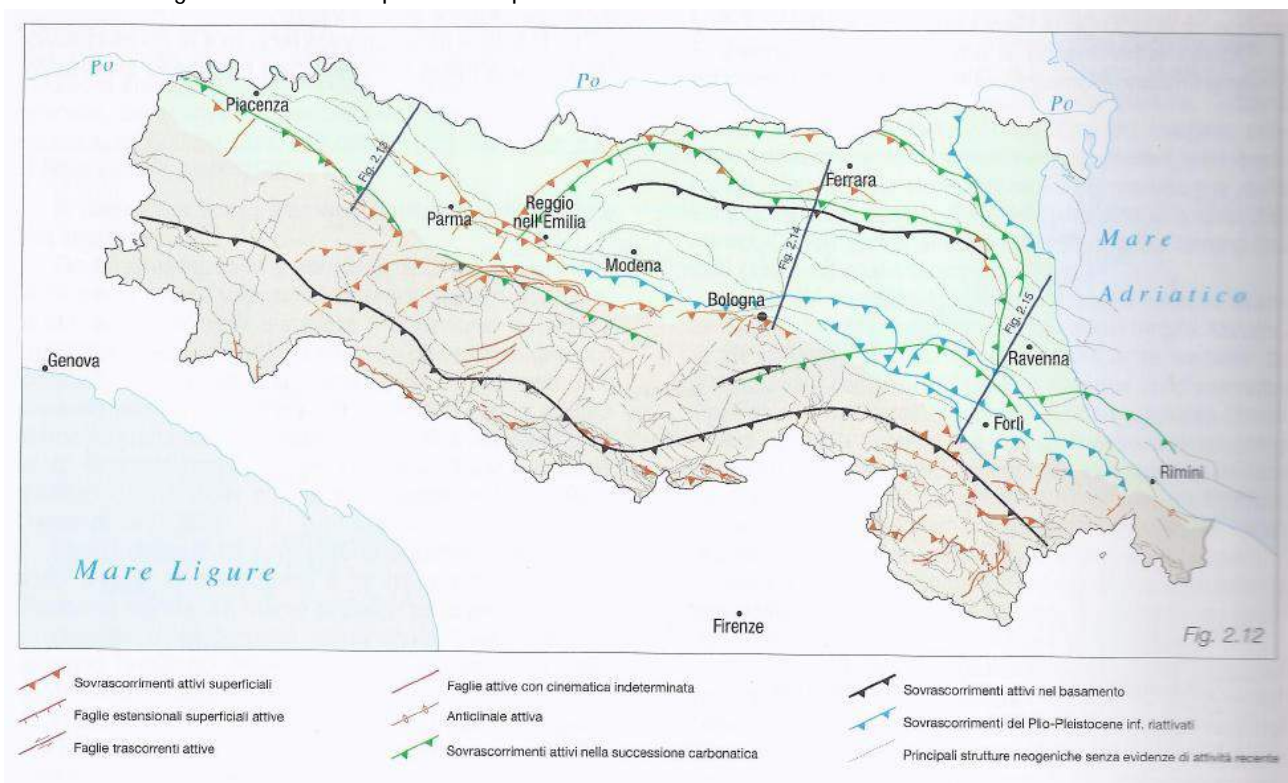
Normativa e Raccomandazioni di riferimento

- Decreto del Ministero delle Infrastrutture 14 gennaio 2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni", pubblicato sulla G.U. n. 29 del 4 febbraio 2008, suppl. ord. N.30, che entrano in vigore il 6 marzo 2008.
- Circolare Applicativa n°617 del 02/02/2009 alle NTC/2008.
- Delibera Assemblea Legislativa n°112/2007 della Regione Emilia Romagna "Atto di Indirizzo e coordinamento tecnico" per gli studi di microzonizzazione sismica.
- A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana)
"Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche (giugno 1977).
- A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana)
"Raccomandazioni sui pali di fondazione (dicembre 1984)".
- A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana)
"Aspetti geotecnici nella progettazione in zona sismica (Edizione Provvisoria, marzo 2005)".
- C.N.R. UNI Ente Nazionale Italiano di Unificazione.
Eurocode EC-7: Geotechnics, design – dicembre 1987.
- C.N.R. UNI Ente Nazionale Italiano di Unificazione.
Eurocode EC-8: Design provisions for earthquake resistance of structures – ottobre 1994.

2. MODELLAZIONE GEOLOGICA

2.1. GEOLOGIA STRUTTURALE DELL'AREA

Nella FIGURA 2.1 si riporta la mappa dei principali sovrascorrimenti attivi nel substrato roccioso emiliano-romagnolo e le sezioni passanti in prossimità di Cento.



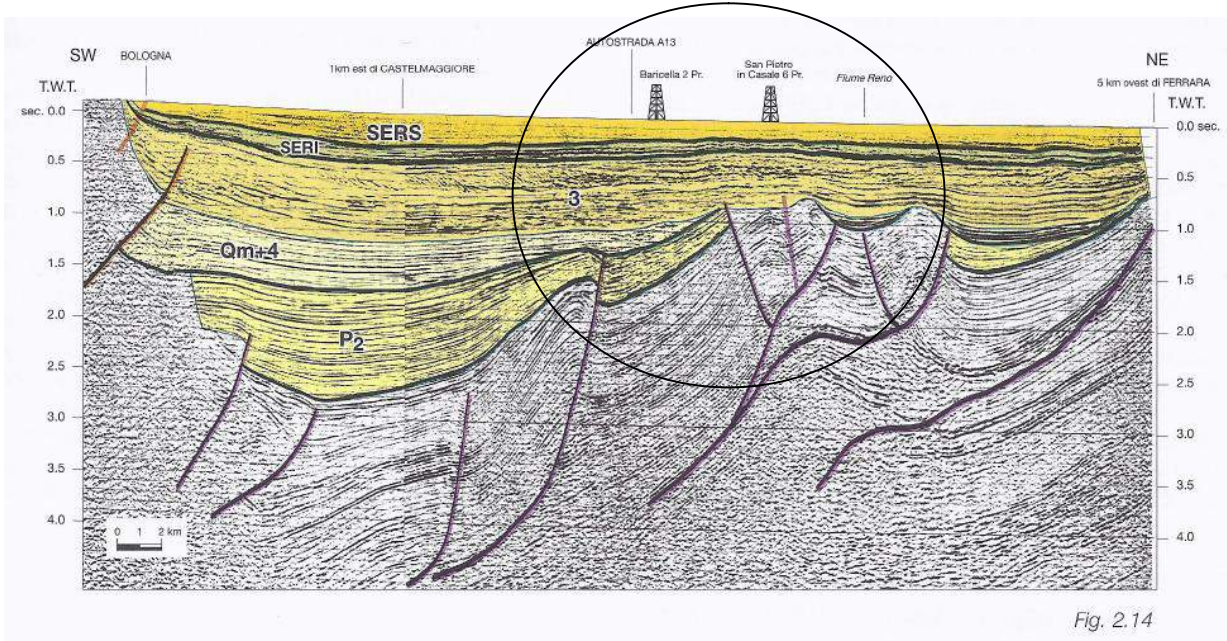


Fig. 2.14

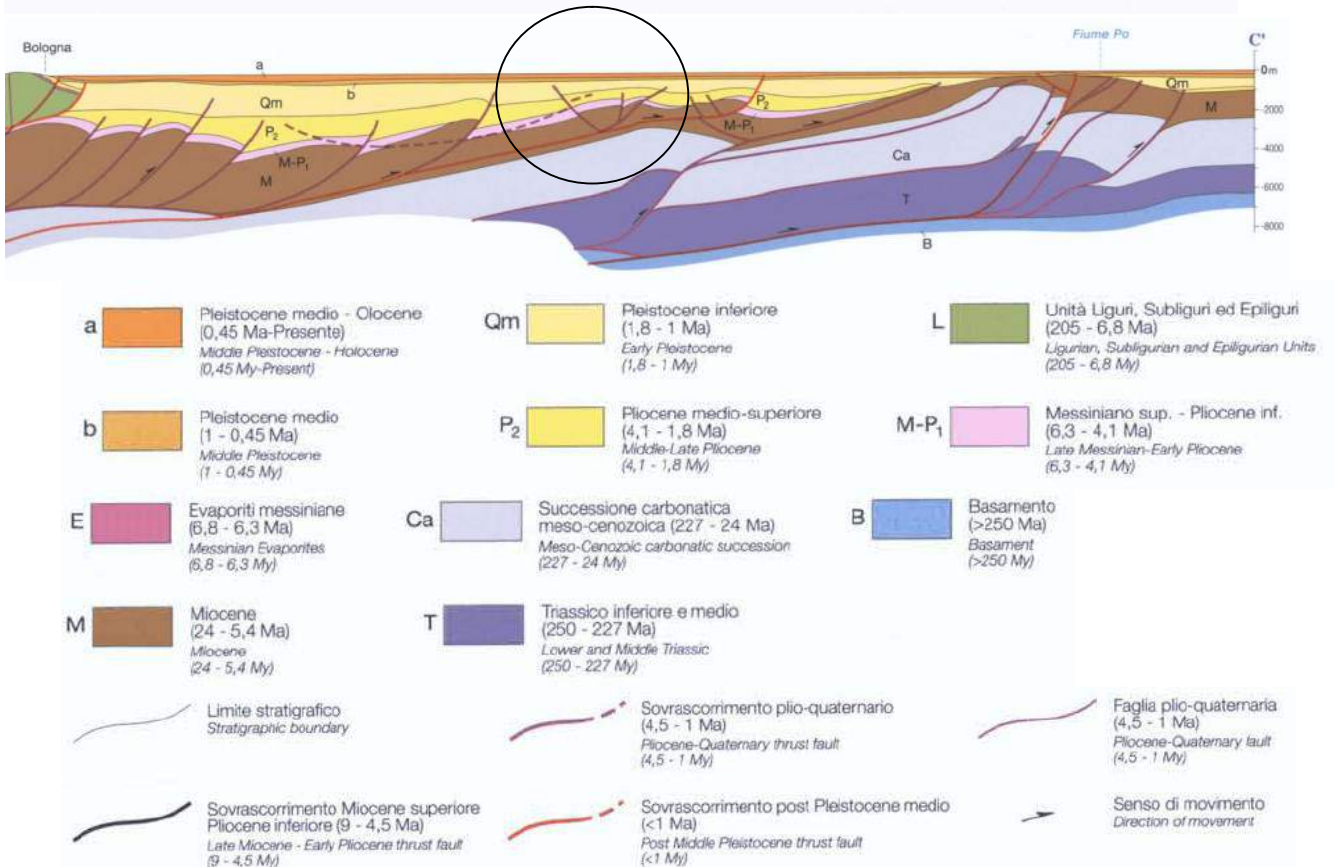


FIGURA 2.1 – Principali strutture del substrato geologico in corrispondenza del Contese.

Nella FIGURA 2.2 si riporta uno stralcio della Carta Strutturale della Pianura Padana, con le Pieghe Ferraresi dell'Appennino sepolto (Pieri & Groppi, 1981, CNR, 1992) con visibili le varie strutture sepolte e le faglie e sistemi trascorrenti attivi e non attivi, che sono all'origine dell'attribuzione alla Zona sismica 3, in cui Cento era stata inserita nella OPCM 3274/2003.

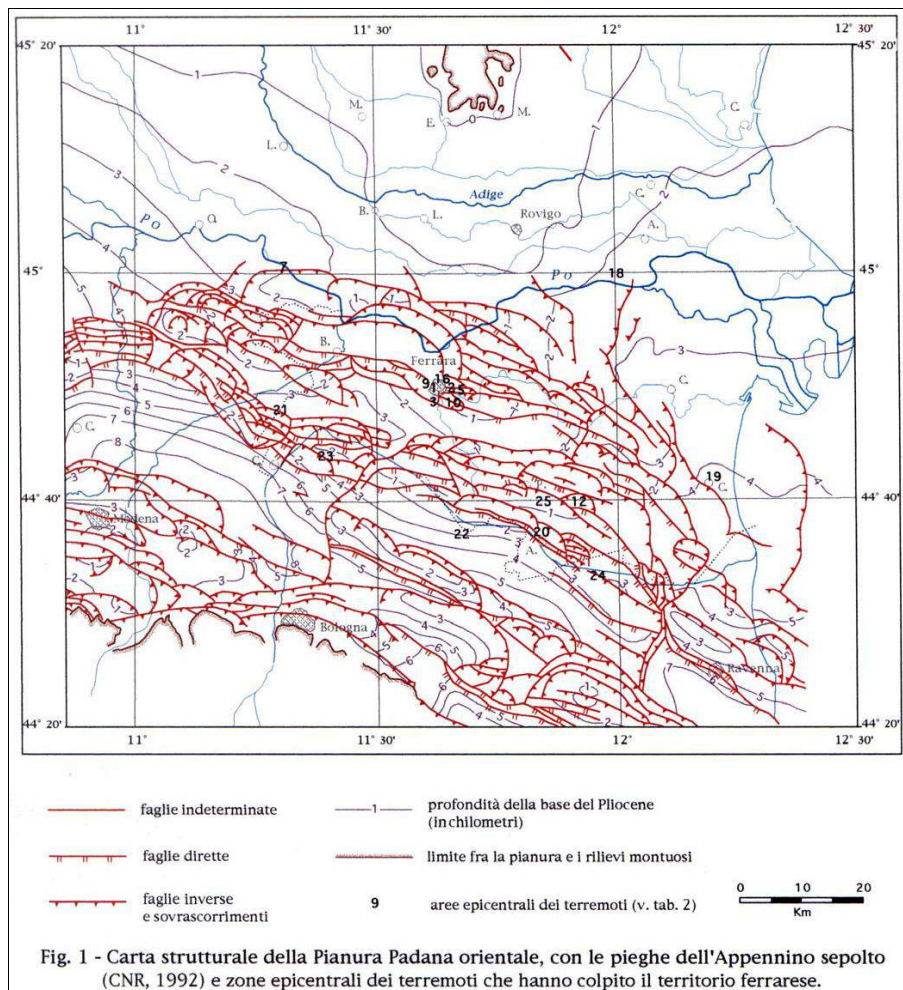


FIGURA 2.2 – Carta strutturale della Pianura Padana orientale (Pieri e Groppi, 1981, CNR, 1992)

Si fa inoltre presente che tutto il territorio comunale di Cento ricade all'interno della zona sismogenetica 912 (FIGURA 2.3), e potenzialmente è sede epicentrale di eventi sismici.

La zonizzazione sismica ZS9 pone come magnitudo attesa massima nella zona sismogenetica 912 il valore di $M = 6,14$ (INGV, Veletti e Malensise, 2004).

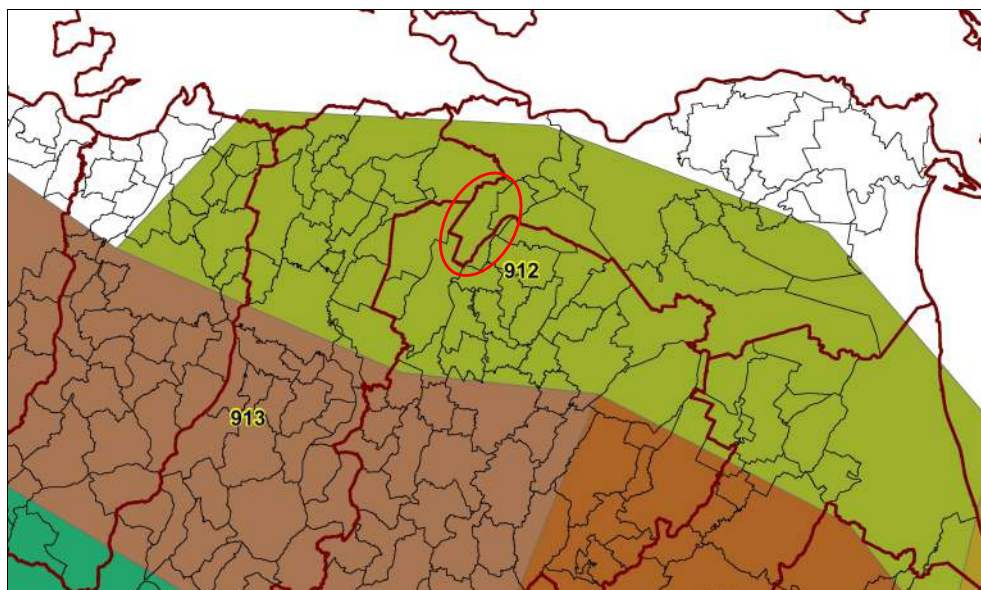


FIGURA 2.3 - Mappa delle aree sismogenetiche dell'Italia Settentrionale

2.2. CARATTERI STRATIGRAFICI E LITOLOGICI

Generalmente i sedimenti che si rilevano a Cento sono di derivazione alluvionale, legati agli apporti dei fiumi appenninici in modo particolare al fiume Reno. Si rilevano depositi di canale e di argine prossimale con sedimenti tipici di alta e bassa energia idrodinamica.

Generalmente nel sito allo studio si rilevano sedimenti argilloso limosi, con possibile presenza di livelli torbosi; talora è possibile rilevare anche banchi sabbiosi di spessori da decimetrici a metrici a diverse profondità.

Per la validazione del modello geologico è stata eseguita una campagna di indagine, per la ricostruzione di un modello tridimensionale del terreno che permetta di definire al meglio la stratigrafia del sottosuolo dell'area in esame, consistente in una prova penetrometrica statica con punta elettrica e sismocono SCPTU1, spinta fino alla profondità -25,40 m dal p.c. con rif. U17-13.

Non è stato possibile eseguire la prova fino alla profondità di -30,00 m da p.c. per la presenza di terreni saturi fin dal piano campagna, con basse resistenze al taglio, che non hanno offerto un adeguato ancoraggio del penetrometro. In profondità infatti sono presenti terreni argillosi molto consistenti.

Attraverso dati bibliografici si ricava che la stratigrafia dell'area allo studio è caratterizzata da terreni coesivi fino alla profondità di -30,00 m da p.c..

Il punto investigato con la prova penetrometrica statica SCPTU1 rileva:

- o da p.c. fino a -1,20 m da p.c. un banco di terreni prevalentemente coesivi consistenti con valore di resistenza alla punta R_p medio di 12,2 kg/cm²;
- o da -1,20 m da p.c. fino a -2,30 m da p.c. uno strato di terreni prevalentemente coesivi moderatamente consistenti con valore di resistenza alla punta R_p medio di 7,3 kg/cm²;
- o da -2,30 m da p.c. fino a -4,50 m da p.c. uno strato di terreni prevalentemente granulari sciolti con valore di resistenza alla punta R_p medio di 11,4 kg/cm²;
- o da -4,50 m da p.c. fino a -6,00 m da p.c. uno strato di terreni caratterizzati da sedimenti prevalentemente granulari sciolti con valore di resistenza alla punta R_p medio di 8,7 kg/cm²;
- o da -6,00 m da p.c. fino a -7,50 m da p.c. un banco di terreni prevalentemente coesivi poco consistenti con valore di resistenza alla punta R_p medio di 4,3 kg/cm²;
- o da -7,50 m da p.c. fino a -10,00 m da p.c. un banco di terreni caratterizzati da sedimenti prevalentemente coesivi moderatamente consistenti con valore di resistenza alla punta R_p medio di 6,7 kg/cm²;
- o da -10,00 m da p.c. fino a -17,00 m da p.c. uno strato di terreni prevalentemente coesivi consistenti con valore di resistenza alla punta R_p medio di 16,6 kg/cm²;
- o da -17,00 m da p.c. fino a -25,40 m da p.c., massima profondità d'investigazione, uno strato di terreni caratterizzati da sedimenti prevalentemente coesivi molto consistenti con valore di resistenza alla punta R_p medio di 23,0 kg/cm².

Da queste indagini e dalla fotointerpretazione aerea di immagini fotografiche in B/N del sito, si possono ricostruire i caratteri geomorfologici del sito.

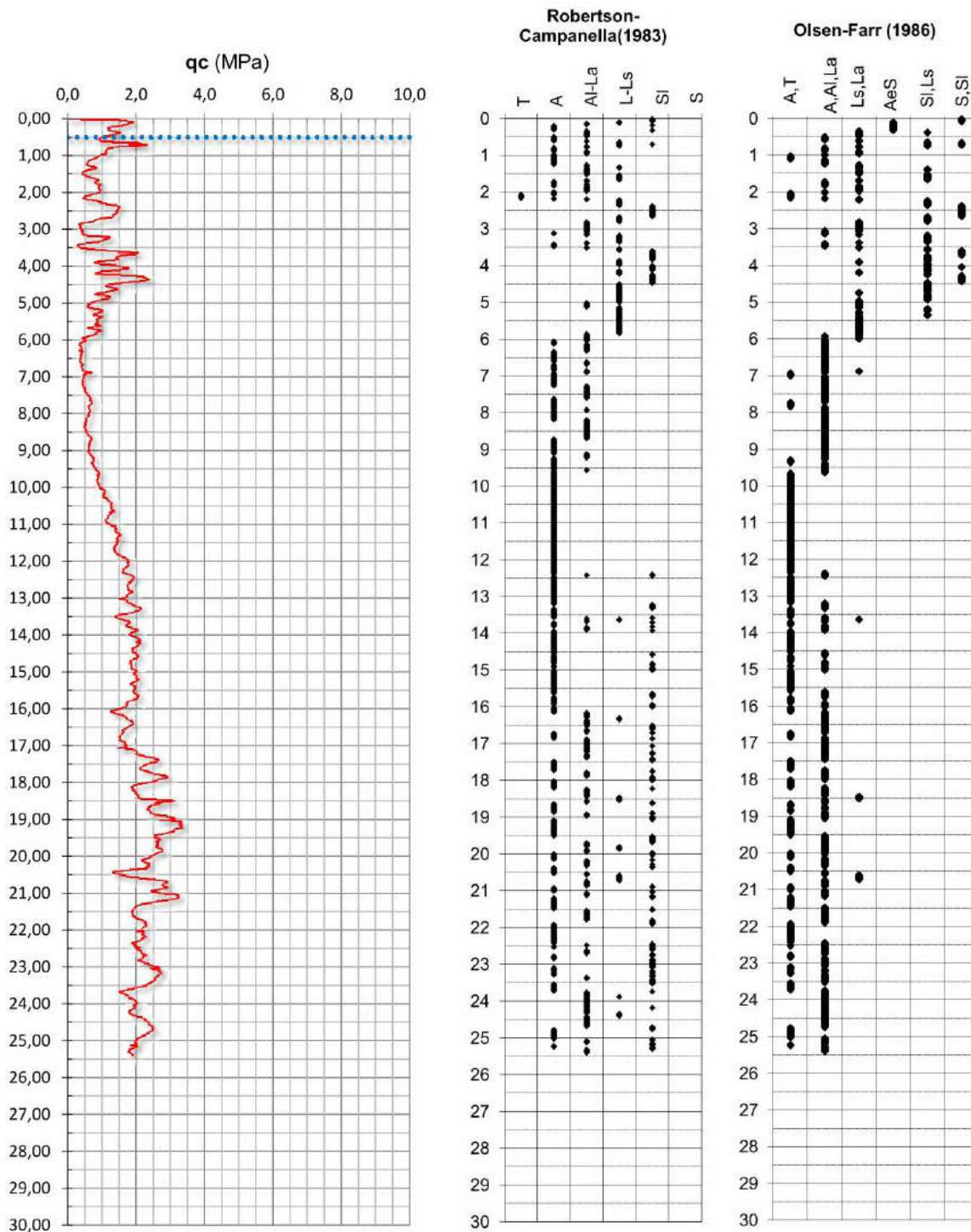


Diagramma di resistenza e litologie

Vista la presenza di terreni granulari nei primi 5m di terreno, si è optato per eseguire un sondaggio a carotaggio con coclea per prelevare campioni di sedimenti e classificarli.

Si è dunque effettuato un sondaggio geognostico S1 a distruzione di nucleo con l'ausilio di una sonda oleodinamica leggera munita di coclea ϕ 70 mm. Il sondaggio S1, schematizzato nella allegata scheda stratigrafica (SCHEDA 1), è stato spinto fino alla profondità di -4,00 m da p.c. ed è stato realizzato affianco alla prova penetrometrica statica.

La stratigrafia del sondaggio S1 rileva:

- da p.c. fino a -0,10 m da p.c. terreno vegetale;
- da -0,10 m da p.c. fino a -1,20 m da p.c. argilla e limo di colore nocciola poco consistente;
- da -1,20 m da p.c. fino a -1,65 m da p.c. limo di colore nocciola poco consistente;
- da -1,65 m da p.c. fino a -2,30 m da p.c. argilla debolmente limosa di colore marrone rossastro consistente;
- da -2,30 m da p.c. fino a -3,20 m da p.c. limo sabbioso di color grigio poco addensata;
- da -3,20 m da p.c. fino a -3,60 m da p.c. sabbia fine limosa di color grigio sciolta;
- da -3,60 m da p.c. fino a -3,90 m da p.c. sabbia media di color grigio poco addensata;
- da -3,90 m da p.c. fino a -4,00 m da p.c. sabbia media limosa di color grigio poco addensata;

In corrispondenza del sondaggio geognostico S1 sono stati prelevati 2 campioni di terreno a diverse profondità da sottoporre ad analisi di laboratorio geotecnico; il campione C1 dalla profondità di -1,20 m da p.c. a -1,60 m da p.c. e il campione C2 dalla profondità di -2,60 m da p.c. a -2,90 m da p.c..

I campioni C1 e C2 sono dunque stati sottoposti ad analisi di laboratorio geotecnico, nello specifico ai limiti di Atterberg ed analisi granulometriche complete.

Inoltre nell'area candidata a POC son state realizzate una serie di prove con apposita relazione redatta nel 2007 per il progetto di nuovo fabbricato ad uso civile. A tal proposito sono state realizzate 2 prove penetrometriche statiche CPT1 e CPT2 e due sondaggi geognostici con particolare riguardo per i terreni più superficiali S1 e S2.

In FIGURA 2.4 si riporta uno stralcio catastale della vecchia relazione con l'ubicazione delle indagini svolte in sito.

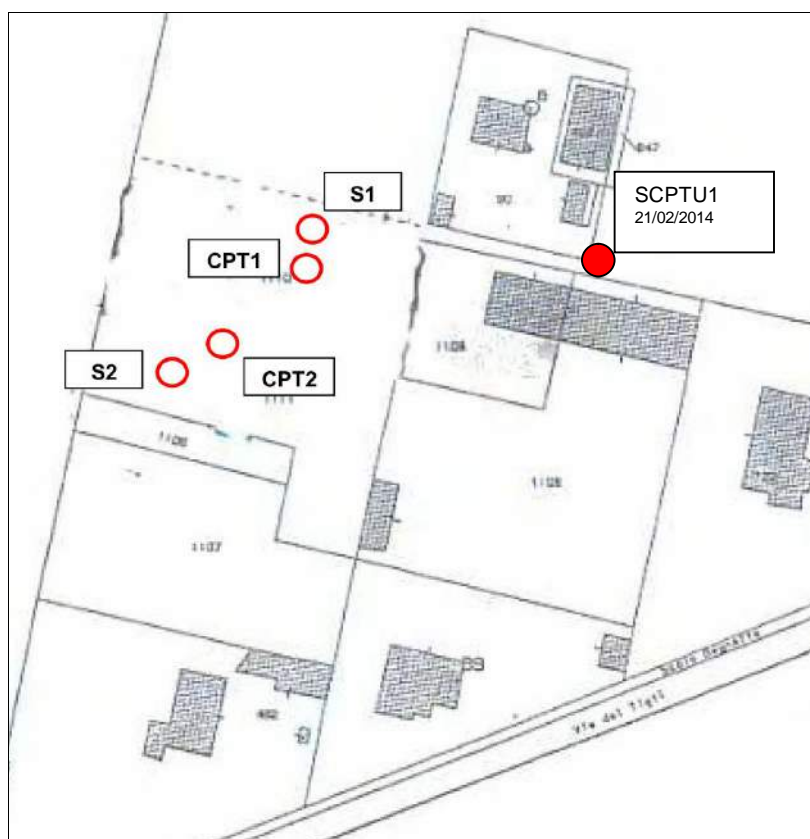
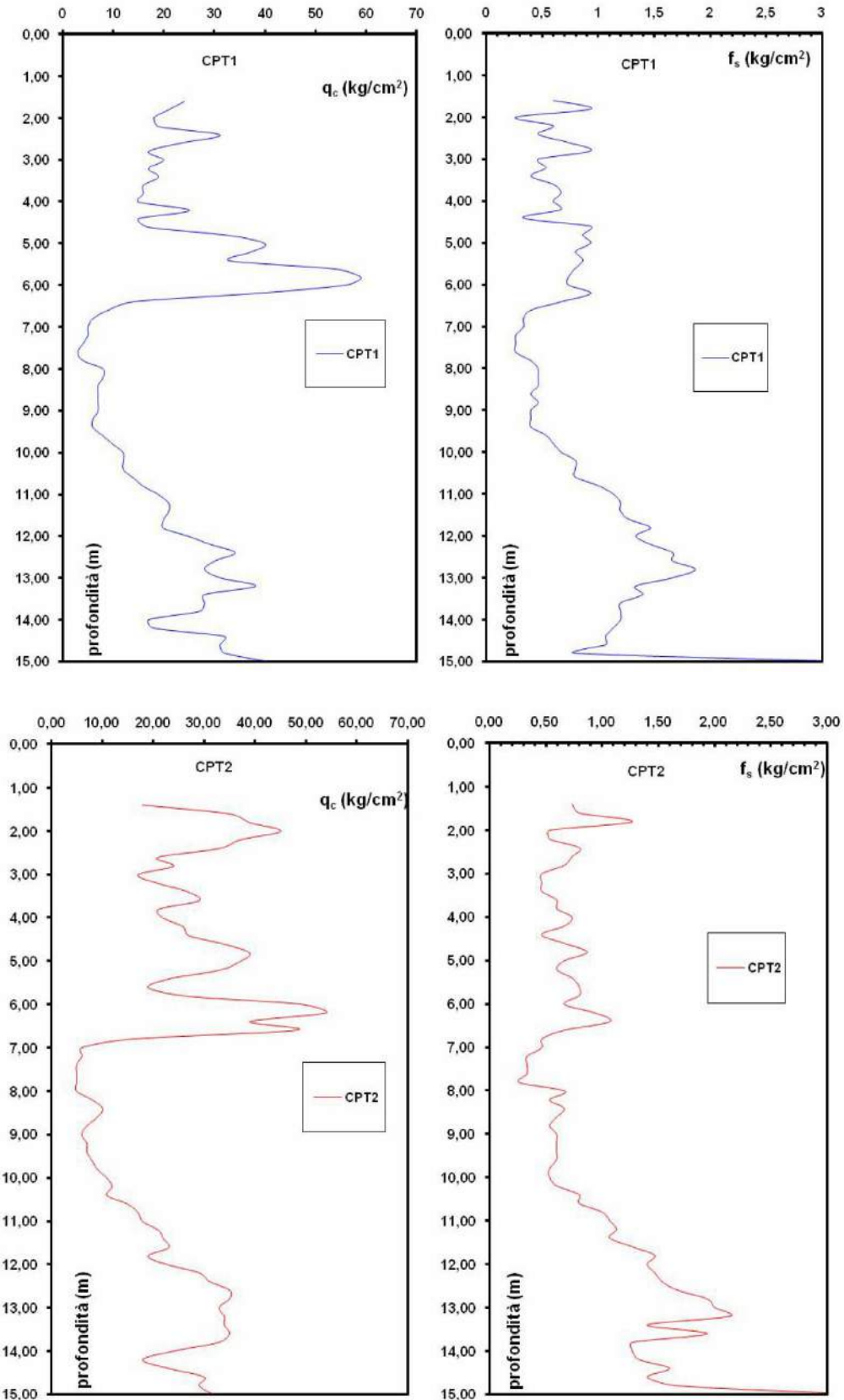
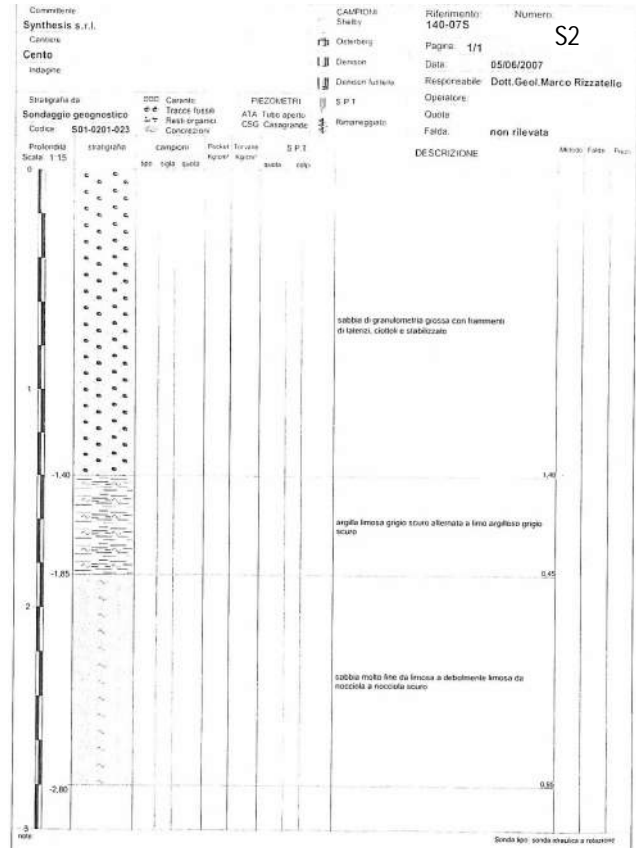
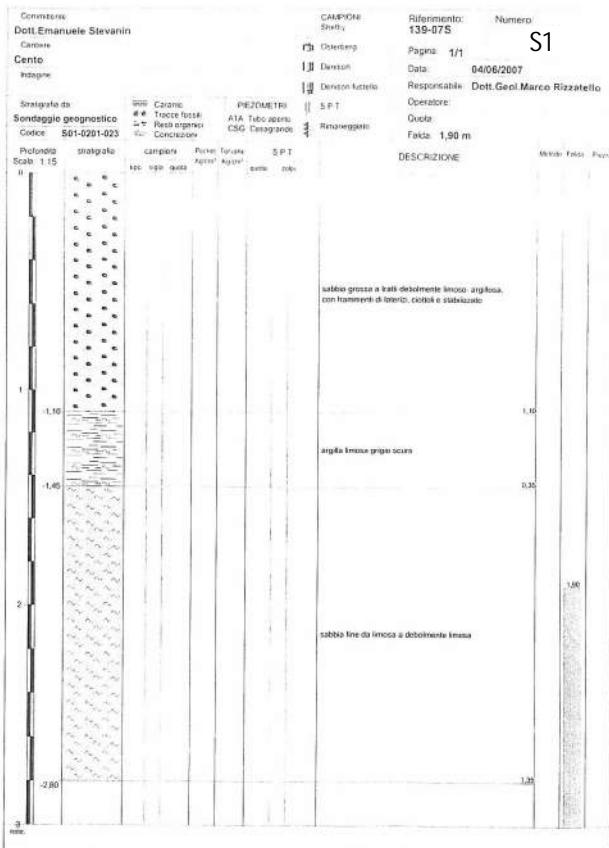


FIGURA 2.4 – Stralcio catastale con ubicazione indagini bibliografiche

Le due prove penetrometriche statiche bibliografiche CPT1 e CPT2 sono state spinte entrambe fino alla profondità di -15,00 m da p.c., mentre i due sondaggi geognostici S1 e S2 sono stati eseguiti fino alla profondità di -2,80 m da p.c..

Successivamente vengono riportati i diagrammi di resistenza delle 2 prove bibliografiche e uno schema con le caratteristiche litologiche rilevate nei due sondaggi.





SONDAGGIO S1

PROFONDITÀ (mt dal piano scavo)	LITOLOGIA PREVALENTE
0.00 – 1.40	Sabbia grossa limosa con frammenti di laterizi e ciottoli
1.40 – 1.85	Argilla limosa
1.85 – 2.80	Sabbia da limosa a debolmente limosa

SONDAGGIO S2

PROFONDITÀ (mt dal piano scavo)	LITOLOGIA PREVALENTE
0.00 – 1.10	Sabbia grossa limosa con frammenti di laterizi e ciottoli
1.10 – 1.45	Argilla limosa
1.45 – 2.80	Sabbia fine da limosa a debolmente limosa

Come è possibile notare dalle due CPT bibliografiche svolte e dai 2 sondaggi geognostici anche in questa area prevale uno strato di terreni di copertura fino a circa -1,50/-1,80 m da p.c. caratterizzati da riporto e argille limose più in profondità e da sabbie limose e limi sabbiosi fino alla profondità di circa -7,00 m da p.c., al di sotto prevalgono sedimenti coesivi che diventano più consistenti con la profondità fino a fine prova.

2.3. CARATTERI GEOMORFOLOGICI

Dal punto di vista geomorfologico l'assetto del territorio su cui si interviene risulta determinato essenzialmente da una dinamica di tipo fluviale che ha generato nel corso del tempo e mediante il susseguirsi di eventi, il deposito e l'accumulo dei sedimenti prevalentemente distali.

In particolare la sua evoluzione è legata al fiume Reno. Generalmente in quest'area prevalgono sedimenti alluvionali di catino interfluviale, depositatisi in ambiente di bassa energia idrodinamica, dunque prevalentemente si rinvencono terreni coesivi.

Analizzando la FIGURA 2.5, che riporta una zoomata della Carta Geomorfologica della Provincia di Ferrara, si può notare come il sito allo studio sia ubicato in una posizione distale rispetto al paleoalveo.

Nell'area non ci sono segni topografici o tracce ben visibili, che indichino la presenza di paleoalvei minori o canali di esondazione fluviale, ma il tessuto urbano è così antropizzato che è difficile rilevare in sito questa tipologia di forme.

Le litologie presenti non possono pertanto essere definite senza un'indagine puntuale, poiché sedimenti generalmente fini di esondazione fluviale, e sedimenti generalmente più grossolani di alveo, sono stati sovrapposti, rendendo possibile la presenza di sabbie, o limi, o argille, o torbe, o miscele binarie e ternarie degli stessi, senza il rispetto di regole fisse sulla loro presenza e sulla loro distribuzione geometrica.

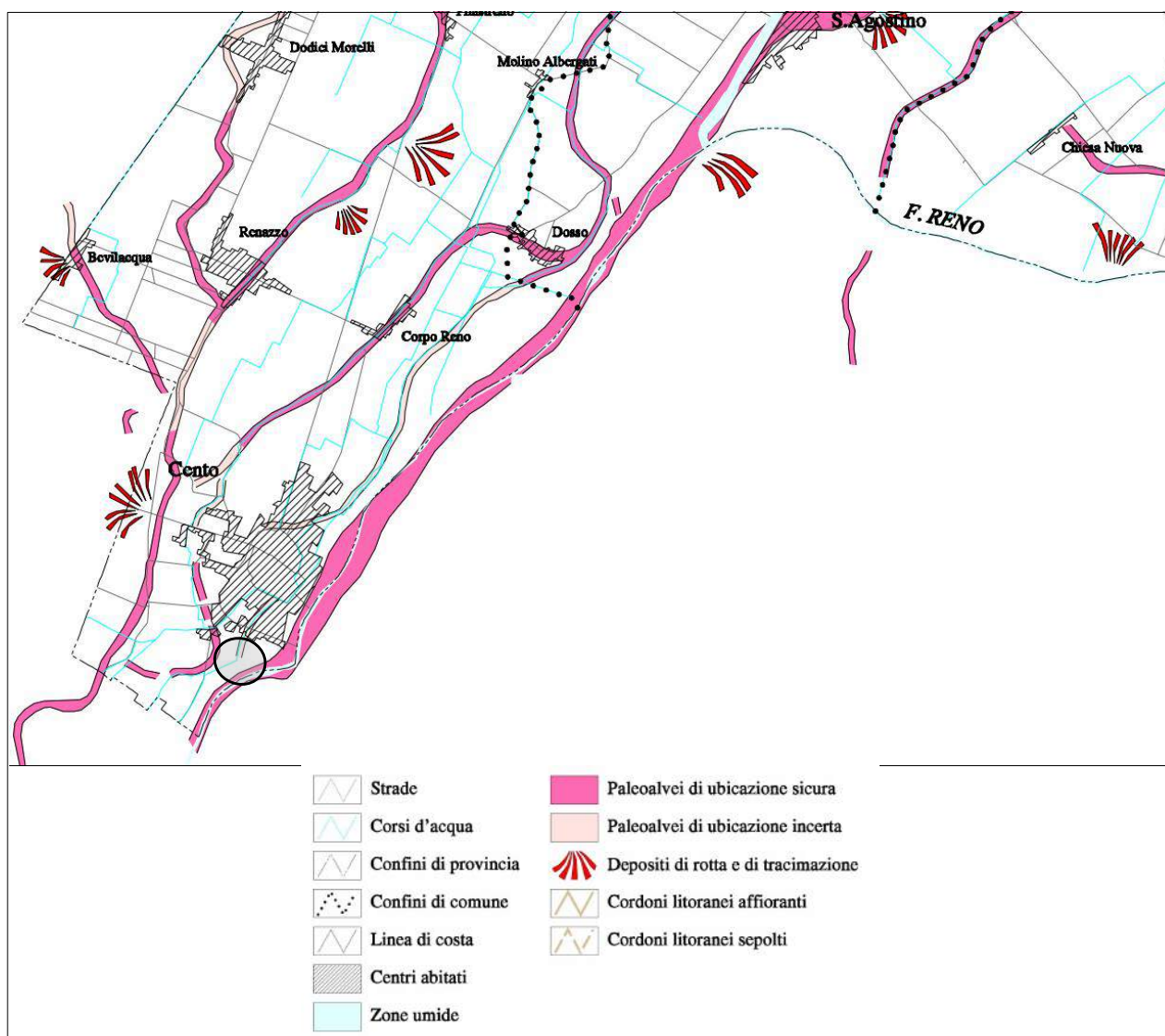


FIGURA 2.5 – Zoomata della carta Geomorfologica della provincia di Ferrara

2.4. CARATTERI IDROGEOLOGICI

Nell'area è stata rilevata la quota della superficie di falda all'interno del foro di esecuzione della prova penetrometrica statica con punta elettrica e sismocono SCPTU1, con rif. U17-14. Tale quota è stata rilevata in data 21/02/2014 alla profondità di -0,50 m dal p.c.. Il livello freatico potrebbe oscillare rispetto ai valori riscontrati in tal giorno, solo un monitoraggio di un anno idrogeologico permetterebbe di valutare le oscillazioni stagionali di queste quote.

Le frequenti precipitazioni di questo periodo alterano in modo significativo i livelli di falda rendendoli sempre più prossimi ai piani campagna, imbibendo i terreni superficiali.

I caratteri prevalentemente argillosi e dunque poco permeabili dei litotipi affioranti, fanno sì che il territorio abbia dei coefficienti di deflusso superficiale delle acque meteoriche piuttosto alti.

La circolazione delle acque nel territorio in esame risulta governata in modo particolare dal fiume Reno che scorre poco più a sud rispetto al sito in esame.

L'area è attraversata da una serie di canalizzazioni secondarie, costituite da canalini interpoderali o interaziendali, che regolano lo scolo e l'irrigazione dell'area. Le acque meteoriche che precipitano all'interno dell'area che delimita il sito in esame vengono convogliate verso il fiume Reno e verso lo scolo Bagnetto.

In FIGURA 2.6 si riporta uno stralcio della *Carta delle aree allagate in seguito a piogge intense negli anni 1995 e 1996* (Amministrazione provinciale di Ferrara), dove vengono evidenziati i tracciati dei canali di scolo. Da questa carta si può inoltre evincere che l'area in esame è stata soggetta ad allagamenti persistenti (area tratteggiata) in seguito a piogge intense per un periodo da 2 fino a 4 giorni.

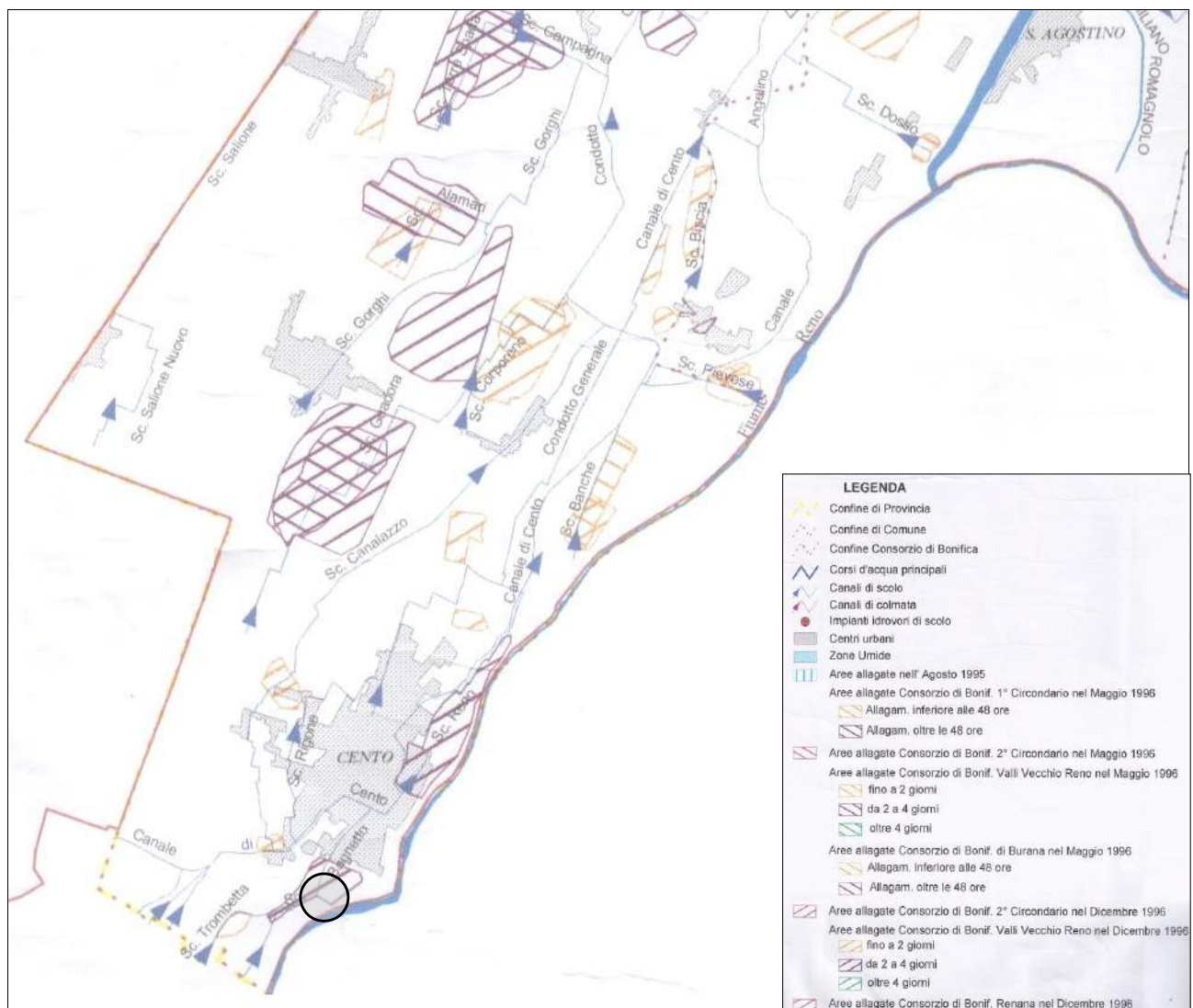


FIGURA 2.6 – Particolare della *Carta delle aree allagate in seguito a piogge intense negli anni 1995 e 1996* (Amministrazione provinciale di Ferrara)

3. DEFINIZIONE DEI PARAMETRI SISMICI

3.1. DATI DI AUSILIO PER LA PROGETTAZIONE SISMICA

“La Regione Emilia Romagna non è esente da attività sismo-tettonica. La sua sismicità può però essere definita media relativamente alla sismicità nazionale, poiché i terremoti storici hanno avuto magnitudo massima compresa tra 5,5 e 6 della scala Richter e intensità del IX-X grado della scala MCS. I maggiori terremoti (Magnitudo > 5,5) si sono verificati nel settore sud-orientale, in particolare nell'Appennino Romagnolo e lungo la costa riminese. Altri settori interessati da sismicità frequente ma generalmente di minore energia (Magnitudo < 5,5) sono il margine appenninico-padano tra la Val d'Arda e Bologna, l'arco della dorsale ferrarese e il crinale appenninico” (Note illustrative, Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna, 2004).

Gli eventi del maggio 2012 hanno avuto magnitudo massima di 5,9.

Azioni simiche “Delibera Assemblea Legislativa n°112/2007 della Regione Emilia Romagna”

L'Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, c. 1, della L.R. 20/2000 per “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica” fornisce i valori di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g (a_{refg}) per ogni comune della regione Emilia Romagna.

Per il comune di Cento vengono previste accelerazioni massime di 0.157g.

Nel medesimo atto viene specificato che in ambito di pianura caratterizzato da profilo stratigrafico costituito da alternanze di sabbie e peliti (PIANURA 2), come nel caso in esame, per suoli caratterizzati da valori di V_{S30} fino a 300 m/s si dovrà adottare un fattore di amplificazione sismica F.A.=1,50 per cui l'accelerazione diventerà $A_{max}=0,235$.

Accelerazione di progetto = 0,235 g

In ambito di pianura caratterizzato da profilo stratigrafico costituito da alternanze di sabbie e peliti, con spessori anche decametrici, talora con intercalazioni di orizzonti di ghiaie (di spessore anche decine di metri), con substrato profondo (≥ 100 m da p.c.) (PIANURA 2) si devono usare le seguenti tabelle.

F.A. P.G.A.

V_{S30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.1	1.0	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE - $0.1s < T_0 < 0.5s$

V_{S30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.8	1.8	1.7	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	1.0	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE - $0.5s < T_0 < 1.0s$

V_{S30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	2.5	2.3	2.3	2.0	1.8	1.7	1.7	1.5	1.2	1.0

In FIGURA 3.1 è riportato lo spettro di risposta secondo l'atto di indirizzo 112/2007.

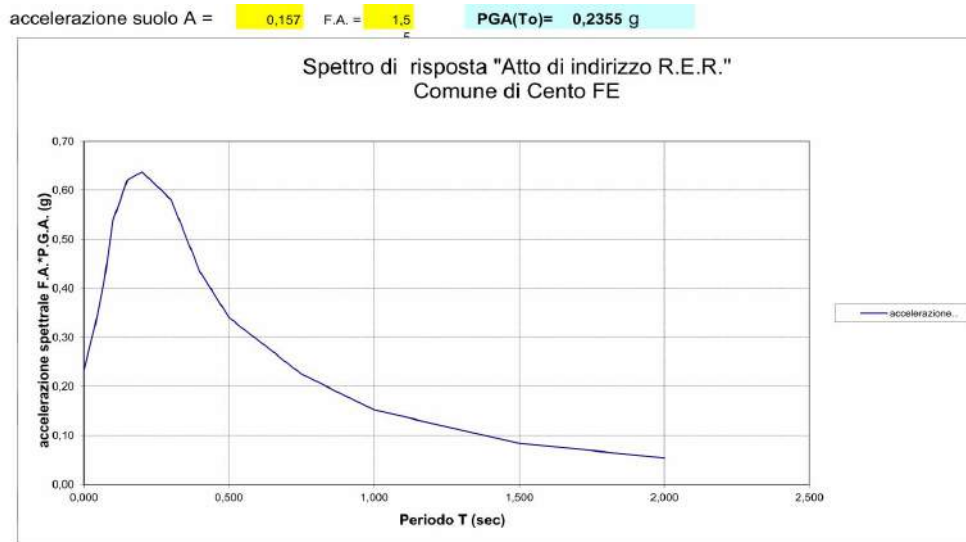


FIGURA 3.1 – Spettro di risposta secondo atto di indirizzo con $T_R=475$ anni, smorzamento = 5%.

Categoria di suolo di fondazione – Secondo D.M. 14/01/08

La categoria di suolo dipende dal valore di V_{s30} . Il parametro V_{s30} rappresenta la media ponderata dei valori delle velocità dell'onda di taglio "S" nei primi 30 m di sottosuolo indagato, matematicamente espressa da (eq. 3.1):

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{v_i}} \quad \text{eq. 3.1}$$

dove,

V_{s30} : velocità media ponderata delle onde di taglio "S",

h_i : spessore dello strato i -esimo,

v_i : velocità delle onde di taglio "S" nello strato i -esimo.

Il valore di V_{s30} è stato rilevato in sito attraverso misure dirette fino alla profondità di -25,40 m da p.c. e prolungato fino alla profondità di -30,00 m da p.c. attraverso il valore di velocità di V_s bibliografico estrapolato dai dati presenti nel paese di Cento sia dello scrivente sia quelli della Regione Emilia Romagna.

A tal proposito dunque è stata realizzata una prova penetrometrica statica con punta elettrica e sismocono SCPTU1 con rif. U17-14 spinta fino alla profondità di -25,40 m da p.c. prolungata con dati bibliografici fino alla profondità di -30,00 m da p.c.. Si ricorda che la V_{s30} va calcolata dal piano di posa della fondazione.

Non è stato possibile eseguire la prova fino alla profondità di -30,00 m da p.c. per la presenza di terreni coesivi molto consistenti presenti dalla profondità di -17,00 m da p.c. fino a fine prova, che presentano coesioni molto elevate esercitate lungo la batteria di aste. Attraverso dati bibliografici si ricava che la stratigrafia dell'area allo studio è caratterizzata da terreni coesivi fino alla profondità di -30,00 m da p.c..

In FIGURA 3.2 è riportata l'ubicazione della prova SCPTU1 con rif. U17-14.

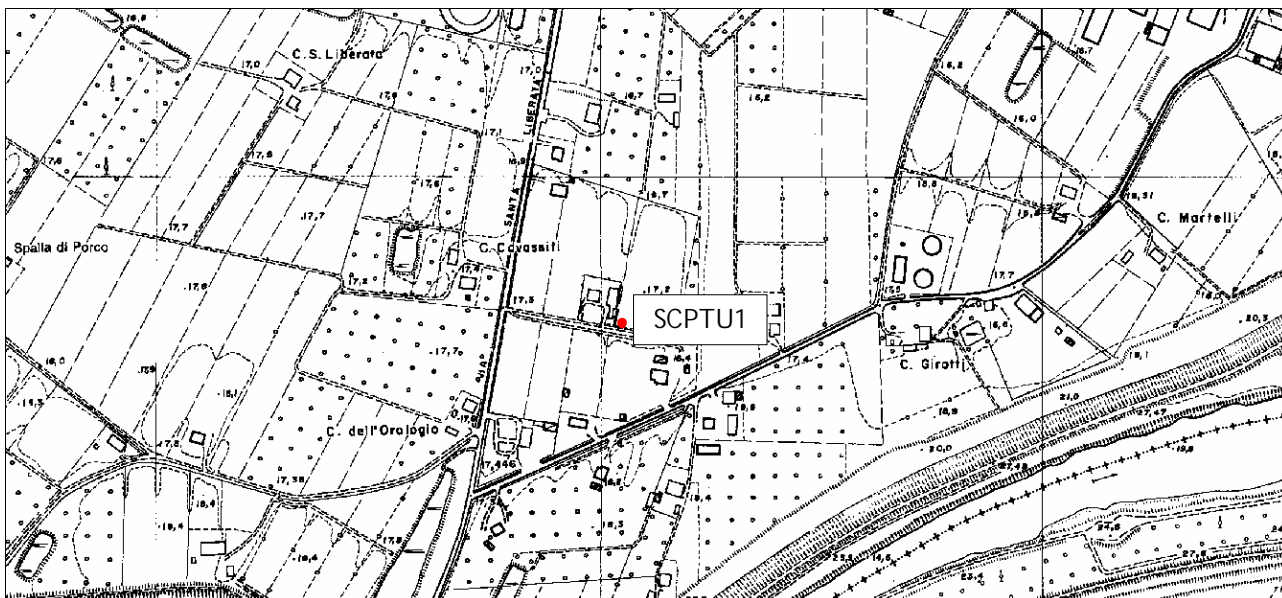


FIGURA 3.2 – Ubicazione prova penetrometrica statica con punta elettrica SCPTU1

La prova consiste nell'inserire sulla punta elettrica della prova penetrometrica statica con punta elettrica dei ricevitori (geofoni) che con opportuna strumentazione e una sorgente di onde in superficie possono essere misurati, a profondità diverse, in questo caso ogni metro (SCPTU1) fino alla profondità di -25,40 m da p.c., i tempi di arrivo delle onde sismiche fra la superficie (sorgente) ed i ricevitori (in profondità), analogamente a quanto avviene con il metodo geofisico cosiddetto "downhole".

La punta utilizzata prende il nome di Piezocono G1-CPL2IN (FIGURA 3.3).

In base ai tempi di arrivo conoscendo la distanza tra la sorgente ed il ricevitore si può calcolare la velocità delle onde sismiche ed in particolare delle onde di taglio (V_s).

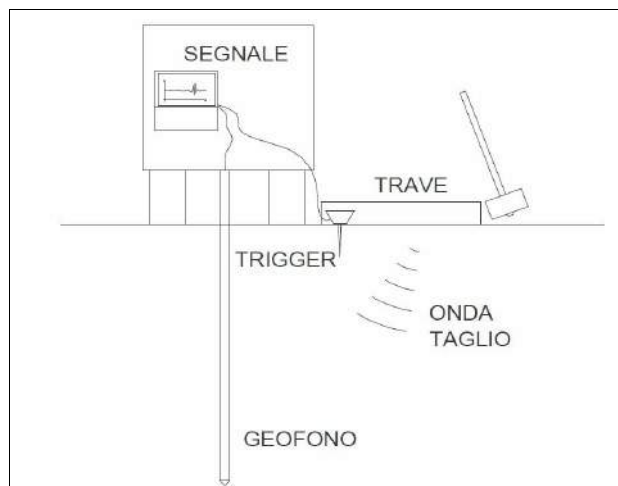


FIGURA 3.3 – Rappresentazione grafica della prova penetrometrica con piezocono sismico

Durante la realizzazione della prova penetrometrica statica con punta elettrica e sismocono SCPTU1 con rif. U17-14 sono state realizzate letture dirette dei tempi di arrivo delle onde di taglio S ad intervalli regolari fino alla profondità di -25,40 m da p.c. prolungata con dati bibliografici fino alla profondità di -30,00 m da p.c..

Attraverso questo strumento è possibile determinare la velocità di propagazione delle onde S alla profondità di 30 metri (V_{s30}).

Di seguito viene riportata l'elaborazione della prova SCPTU1 svolta in sito con la rappresentazione del profilo verticale della velocità delle onde di taglio S ad ogni metro, la categoria di suolo di fondazione (ricavata attraverso il profilo fino alla profondità di -30 m da p.c.) e il profilo verticale di G_0 (che rappresenta il modulo di taglio alle piccole deformazioni).

PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA
PROVA DOWN HOLE SCPTU

RIF. PROVA: CPTU n°:
U17-14 CPTU1

COMMITTENTE: EFFE costruzioni s.r.l.

PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 25,40

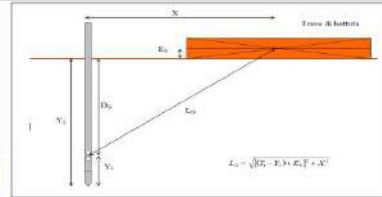
CANTIERE: POC via Santa Liberata, Cento (Fe)

PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 0,50

DATA: 21/02/2014

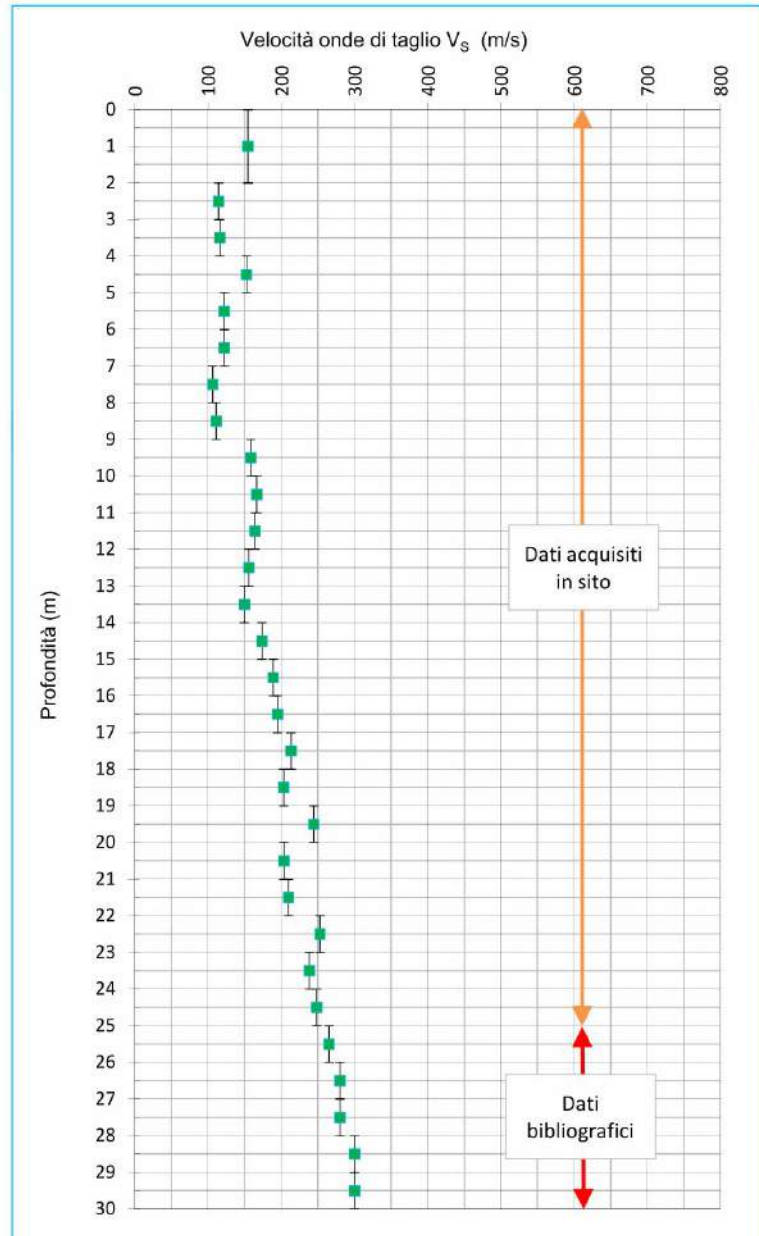
PREFORO (m da p.c.): 0,00

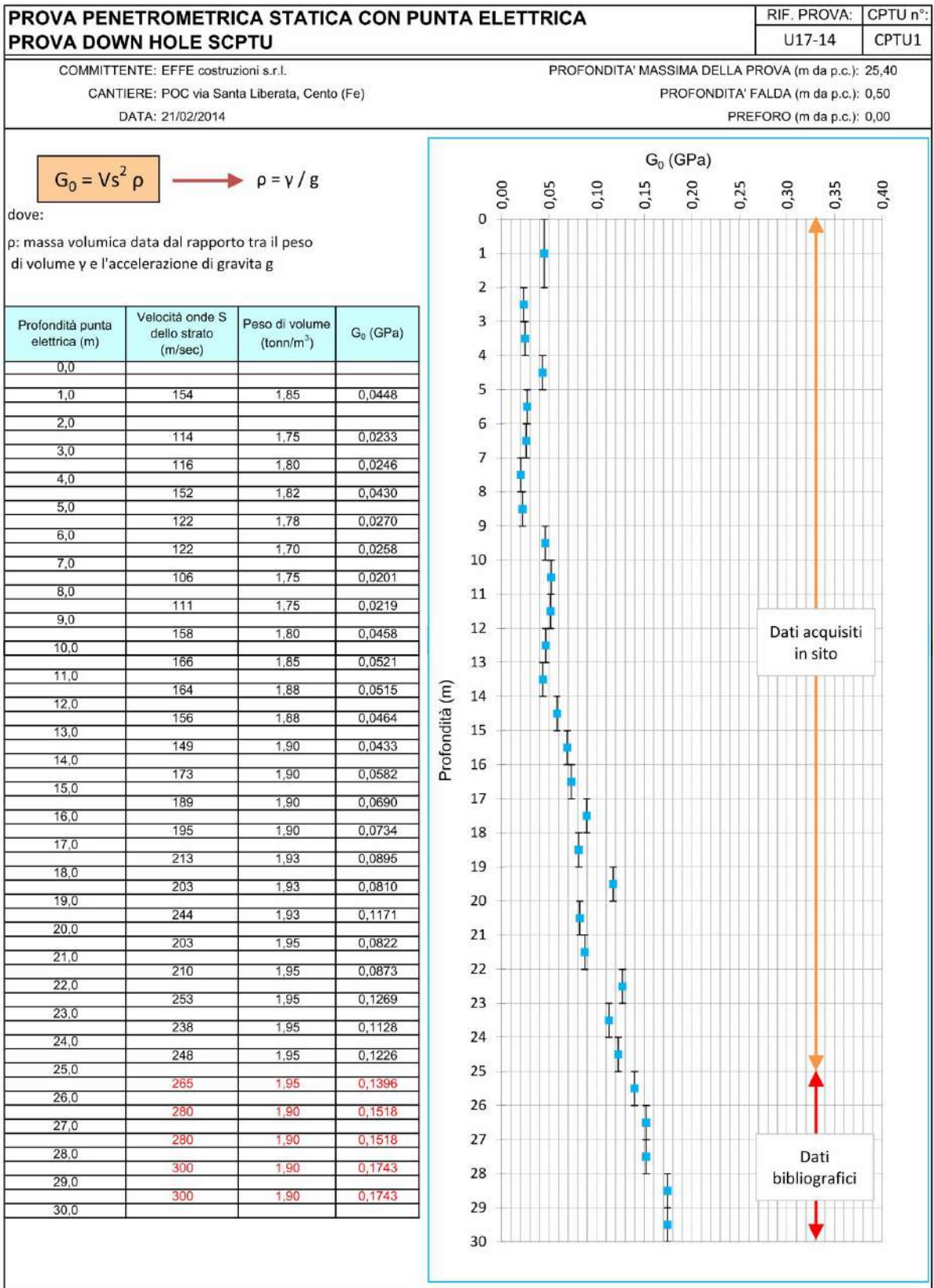
Peso mazza battente: 5Kg
Ricevitore Down Hole: G1-cpl2IN
Equipaggiamento di registrazione: D1-SISMI USB
Distanza centro sorgente-verticale X: 0,25 m
Distanza punta-accelerometro Y₂: 0,20 m



Vs₃₀ = 182 m/sec Categoria suolo di fondazione = C

Distanza corretta L _D punta elettrica	Tempo di arrivo onda S (millisecondi)	Velocità onde S dello strato (m/sec)
0,000		
0,838		154
1,817	11,787	114
2,811	20,492	116
3,808	29,098	152
4,807	35,656	122
5,805	43,852	122
6,805	52,049	106
7,804	61,475	111
8,804	70,492	158
9,803	76,820	166
10,803	82,836	164
11,803	88,934	156
12,802	95,361	149
13,802	102,049	173
14,802	107,816	189
15,802	113,115	195
16,802	118,252	213
17,802	122,941	203
18,802	127,869	244
19,802	131,967	203
20,802	136,885	210
21,801	141,656	253
22,801	145,613	238
23,801	149,811	248
24,801	153,837	265
25,801		280
26,801		280
27,801		300
28,801		300
29,801		





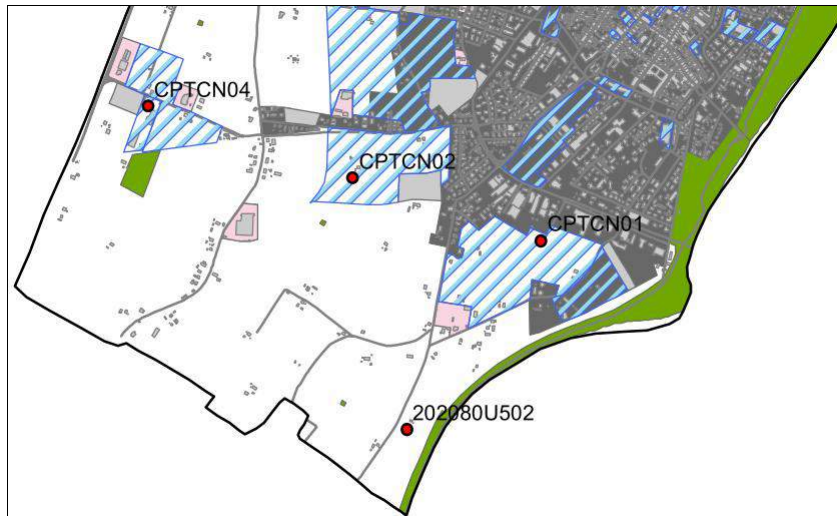
Il valore di Vs_{30} risultante dalla lettura dei tempi di arrivo delle onde S fino alla profondità di 30,00 m da p.c. è di 182 m/s e quindi la Categoria di suolo di fondazione è C.

$Vs_{30} = 182 \text{ m/s}$ Categoria di suolo C

I dati bibliografici sono reperibili sul sito:

<http://www.comune.cento.fe.it/sportellicomunali/territorio/pagina360.html>;

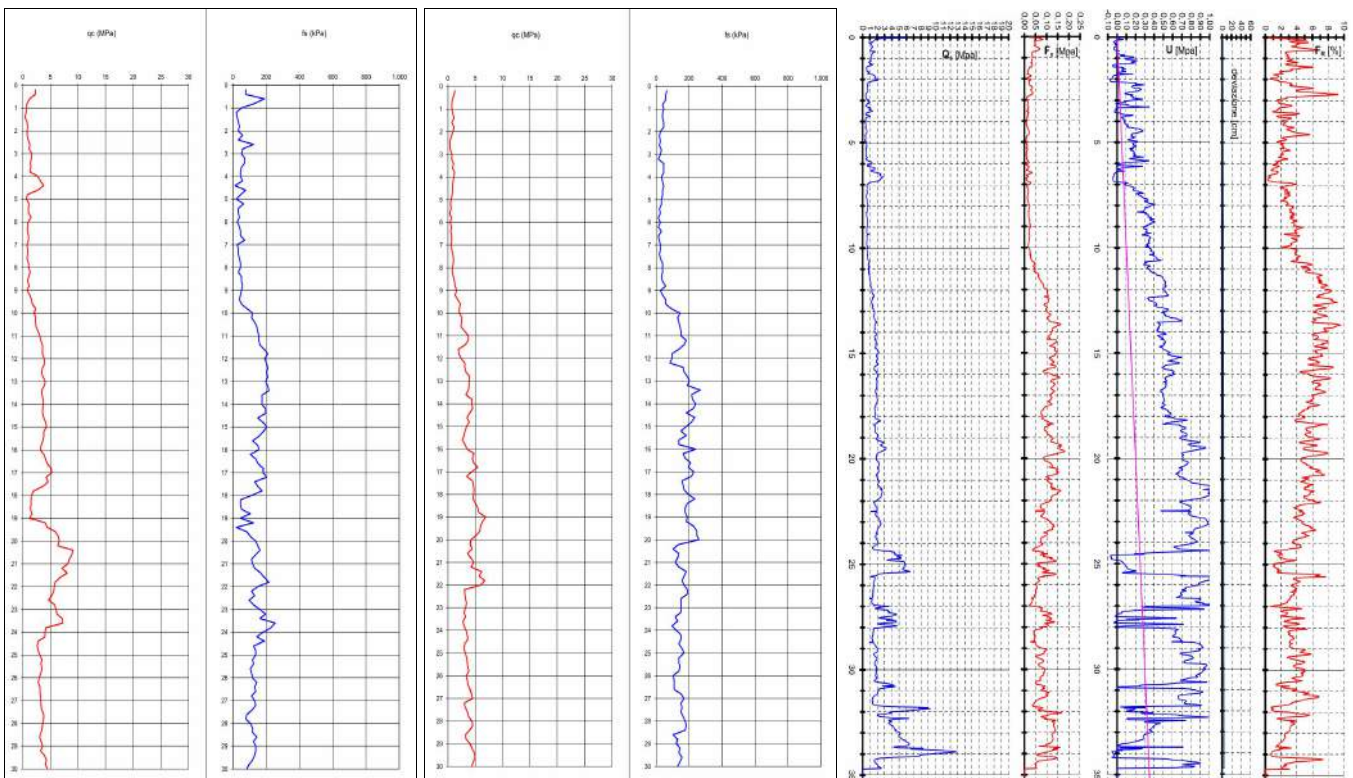
La prova geologiche bibliografiche della regione e per la redazione del PSC sono riportate successivamente:



CPTCN01

CPTCN02

202080U502



Parametri sismici secondo "D.M. 14 gennaio 2008"

La classificazione sismica introdotta dall'OPCM 3519/2006, recepita dal D.M. 14/01/2008, attribuisce al comune di Cento un valore di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo appartenente all'intervallo 0,150 – 0,175, con $T=0$, su suolo rigido ($V_{s30}>800\text{m/sec}$) e con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni. Secondo il vigente D.M., gli spettri di risposta rappresentano delle componenti (orizzontale e verticale) delle azioni sismiche di progetto di un generico sito del territorio nazionale.

In FIGURA 3.4, si riporta un particolare della mappa di pericolosità sismica redatta dall'INGV, secondo la Tabella 1, allegata alle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.

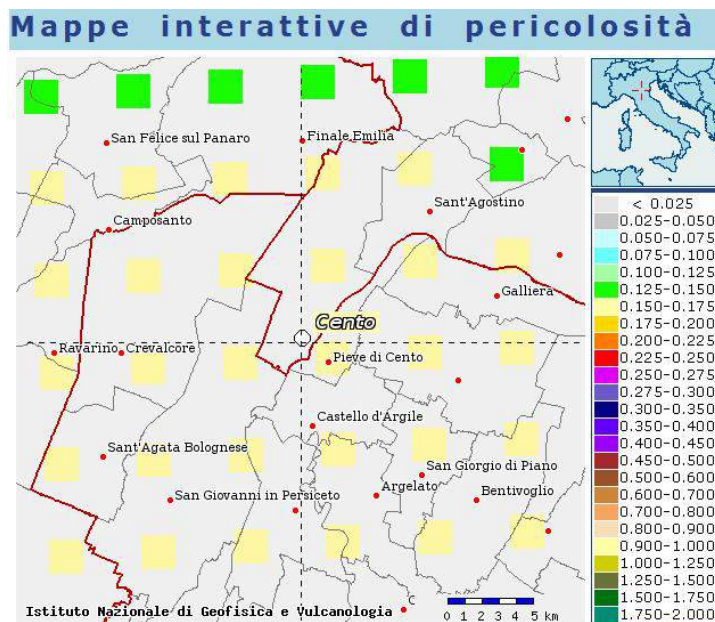


FIGURA 3.4 – Carta pericolosità sismica, da progetto DCP – INGV – S1. fonte: <http://esse1-gis.mi.ingv.it>

Per la scelta della strategia di progettazione, il progettista procede in funzione delle caratteristiche dell'opera progettata e definisce lo spettro di risposta. Ai fini della normativa, *le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:*

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_o valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
- T^*_c periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

In allegato alla norma per tutti i siti italiani, sono forniti i valori di a_g , F_o e T^*_c necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

Nella Tabella 3.1 tratta dalla normativa si riportano i valori di probabilità di superamento per i diversi Stati Limite a cui si può spingere la progettazione. In questo caso si propone lo Stato Limite di Salvaguardia della vita, ma sarà responsabilità del progettista scegliere lo stato limite più consono in base alla tipologia di progetto.

Stati Limite		P_{VR} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Tabella 3.1 - D.M. 14-01-2008 Probabilità di superamento P_{VR} al variare dello stato limite considerato

Di seguito si riportano i parametri sismici calcolati secondo un approccio "sito dipendente".

Come indicato nell'Allegato A del D.M. 14 gennaio 2008, si possono ottenere i valori dei suddetti parametri spettrali (a_g , F_0 e T^*c) del sito in esame utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (FIGURA 3.5).

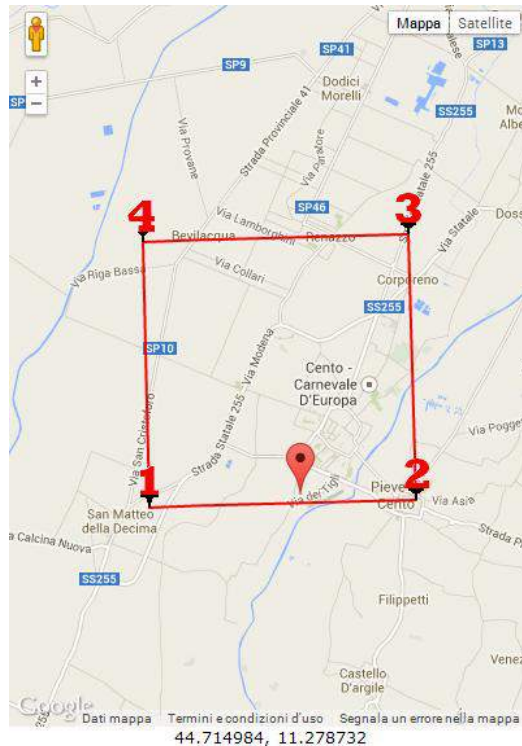


FIGURA 3.5 – Vertici della griglia di riferimento

fonte: <http://www.geostru.com/geoapp/Parametri-Sismici.aspx>

Si valutano i parametri spettrali a_g , F_0 e T^*c per il sito di progetto (approccio "sito-dipendente") a titolo esemplificativo considerando l'amplificazione stratigrafica e topografica (T1) (Cap. 3.2 del D.M. 2008) la categoria del sottosuolo (C) e la classe d'uso della costruzione (II) (Cap. 2.4 del D.M. 2008).

Per le analisi di microzonizzazione sismica si utilizzano i dati di scuotimento sismico con tempi di ritorno di $T_R=475$.

Parametri sismici

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii e fondazioni

Sito in esame.

latitudine: 44,715918

longitudine: 11,279731

Classe: 2

Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 15841 Lat: 44,7136Lon: 11,2400 Distanza: 3152,174

Sito 2 ID: 15842 Lat: 44,7149Lon: 11,3102 Distanza: 2413,259

Sito 3 ID: 15620 Lat: 44,7649Lon: 11,3085 Distanza: 5900,914

Sito 4 ID: 15619 Lat: 44,7636Lon: 11,2381 Distanza: 6237,585

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 50anni

Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 30 [anni]
ag: 0,044 g
Fo: 2,506
Tc*: 0,256 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 50 [anni]
ag: 0,056 g
Fo: 2,484
Tc*: 0,269 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 475 [anni]
ag: 0,157 g
Fo: 2,591
Tc*: 0,273 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 975 [anni]
ag: 0,209 g
Fo: 2,536
Tc*: 0,279 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss: 1,500
Cc: 1,650
St: 1,000
Kh: 0,013
Kv: 0,007
Amax: 0,644
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,500
Cc: 1,620
St: 1,000
Kh: 0,017
Kv: 0,008
Amax: 0,824
Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,460
Cc: 1,610

St: 1,000
Kh: 0,055
Kv: 0,027
Amax: 2,247 (Amax/g=0,229g)
Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,380
Cc: 1,600
St: 1,000
Kh: 0,081
Kv: 0,040
Amax: 2,835
Beta: 0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50
Geostru software - www.geostru.com

Magnitudo di progetto

La zonizzazione sismica ZS9 pone come magnitudo attesa massima nella zona sismogenetica 912 il valore di $M = 6,14$. Nei tempi storici erano stati stimati eventi con magnitudo di 5,6. Durante gli eventi del maggio 2012 si sono liberate energie sismiche sulla dorsale ferrarese con magnitudo di 5,9 (che è stato stimato da Picotti, 2013, come evento con T_R di 1000 anni). Conservativamente lo scrivente adotterà per le analisi della liquefazione delle sabbie la magnitudo di 6,14.

Magnitudo di progetto
 $M = 6,14$ Mw

In FIGURA 3.6 sono riportati i sismi che hanno colpito la provincia di Ferrara in tempi storici relativamente recenti; i terremoti storici in questa area allo studio sono decisamente più bassi.

Comune	Lat.	Lon.	Imax	Mw
ARGENTA	44.61459	11.83658	9	6,1
ARGENTA	44.61459	11.83658	9	6,1
BONDENO	44.88857	11.41666	8	5,6
CENTO	44.72685	11.28937	7	5,2
CODIGORO	44.83096	12.10568	<= 6	4,8
COMACCHIO	44.69444	12.18290	7	5,2
COPPARO	44.89391	11.82986	8	5,6
FERRARA	44.83559	11.61842	8	5,6
FORMIGNANA	44.84187	11.85894	8	5,6
JOLANDA DI SAVOIA	44.88518	11.97726	7	5,2
LAGOSANTO	44.76249	12.13965	7	5,2
MASI TORELLO	44.79369	11.79704	8	5,6
MASSA FISCAGLIA	44.80818	12.01334	7	5,2
MESOLA	44.92060	12.23033	<= 6	4,8
MIGLIARINO	44.77058	11.93149	8	5,6
MIRABELLO	44.82534	11.46031	8	5,6
OSTELLATO	44.74516	11.94085	8	5,6
POGGIO RENATICO	44.76571	11.48392	8	5,6
PORTOMAGGIOR	44.69759	11.80509	8	5,6
RO	44.94634	11.76146	8	5,6
SANT'AGOSTINO	44.79258	11.38519	8	5,6
VIGARANO MAINARDA	44.84191	11.49759	8	5,6
VOGHIERA	44.75737	11.75011	8	5,6
TRESIGALLO	44.81771	11.89393	8	5,6
GORO	44.85334	12.30076	<= 6	4,8
MIGLIARO	44.79835	11.97311	7	5,2
Mw=0,430Imax+2.182				

FIGURA 3.6 - Sismi che hanno colpito la provincia di Ferrara in tempi storici

3.2. VERIFICA DELLA RESISTENZA ALLA LIQUEFAZIONE DELLE SABBIE

L'obiettivo della riduzione del rischio sismico passa anche per l'analisi delle componenti territoriali che possono innescare fenomeni negativamente impattanti con le strutture antropiche e la loro sicurezza. Vale comunque la pena evidenziare che laddove sono presenti i caratteri predisponenti, non è detto che si possano realizzare le condizioni di cause scatenanti; ovvero un terreno sabbioso può avere tutti i requisiti granulometrici e di addensamento per liquefarsi, ma nell'area non si verificherà un sisma con energia sufficiente ad indurre liquefazione.

In particolare vengono ritenuti motivi di esclusione dalla verifica a liquefazione, la verifica di almeno una di queste circostanze:

1. Eventi sismici attesi di magnitudo di momento M_w inferiore a 6 e durata inferiore a 15 sec. ("La Liquefazione del terreno in condizioni sismiche" – Crespellani, Nardi, Simoncini – Zanichelli 1988).

2. Accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni *free-field* minori di 0,1g;

3. Accelerazioni massime al piano campagna in condizioni *free-field* minori di 0,15g e terreni con caratteristiche ricadenti in una delle tre seguenti categorie:

- -frazione di fine, FC, superiore al 20%, con indice di plasticità $PI > 10$;
- $FC \geq 35\%$ e resistenza $(N_1)_{60} > 20$;
- $FC \leq 5\%$ e resistenza $(N_1)_{60} > 25$

Dove $(N_1)_{60}$ è il valore normalizzato della resistenza penetrometrica della prova SPT.

4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella FIGURA 3.7 da distinguere i materiali in funzione del coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ o $U_c > 3,5$.

5. Profondità media stagionale della falda superiore ai 15m dal piano campagna.

6. Copertura di strati superficiali non liquefacibili con spessore maggiore di 3m, oppure con spessore maggiore di 5m per magnitudo maggiori di $M > 7$.

7. Un ulteriore motivo di esclusione dalla verifica di liquefazione è dato dal valore della densità relativa D_r del deposito. Gibbs ha eseguito diversi studi su risultati di vari autori stabilendo che una densità relativa pari a 70% è valore limite tra terreni liquefacibili e non liquefacibili ("Manuale di geotecnica per l'ingegneria civile" di Nunziante Marino, Maggioli Editore, 2006), di conseguenza tutti i terreni con $D_r > 70\%$ vengono automaticamente esclusi dalla verifica alla liquefazione.

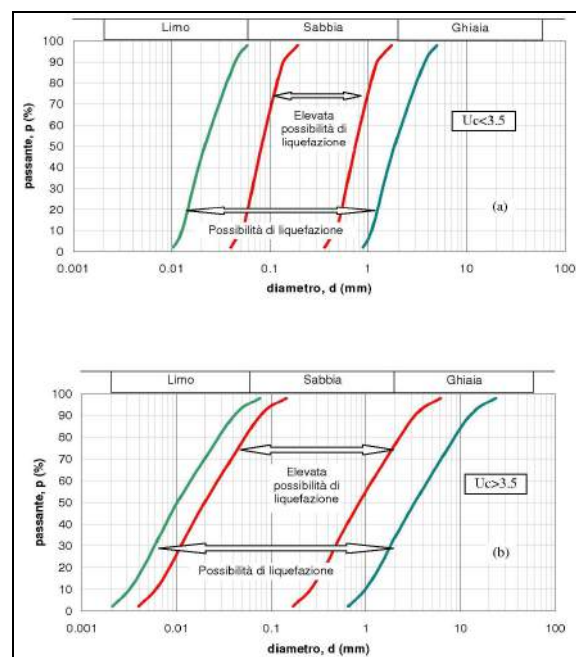


FIGURA 3.7 - Fasce granulometriche per la valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione di un terreno

Il D.M. 14/01/2008 ha riassunto in questi 5 punti i casi in cui non è prevista liquefazione:

7.11.3.4.2 Esclusione della verifica a liquefazione

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;
2. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di $0,1g$;
3. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
4. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
5. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

Per la verifica della liquefazione delle sabbie è stato utilizzato un software di calcolo che analizzando ogni strato da 2 cm individuato dalla prova CPTU, ne verifica la potenzialità di liquefazione.

Ai fini del calcolo è stata considerata la prova penetrometrica statica con punta elettrica e sismocono SCPTU1 con rif. U17-14 spinta fino alla profondità di -25,40 m da p.c..

Per questo calcolo si è considerata una magnitudo di 6,14 e un'accelerazione di progetto di $0,23g$

Utilizzando i dati di input (D.M. 14 gennaio 2008) visualizzati in FIGURA 3.8, se ne deduce che nell'area di studio il fenomeno della liquefazione è un effetto di sito atteso per tre strati sabbiosi.

CPT file : rif. U17-14 CPTU1 Effe costruzi

Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	1.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	0.50 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	20.00 m
Peak ground acceleration:	0.23	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_c applied:	Yes	MSF method:	Method based

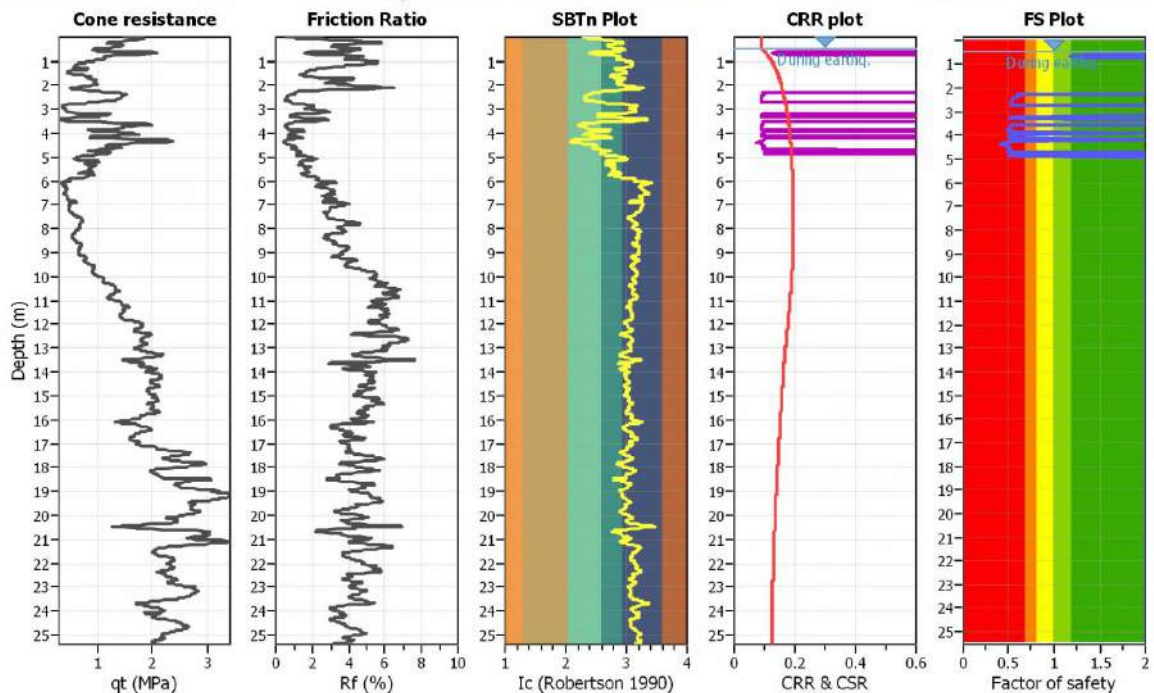


FIGURA 3.8: Dati di input e sintesi dell'analisi sulla liquefazione delle sabbie.

In FIGURA 3.9, si riporta il diagramma del CRR e del CSR, dove si evidenziano strati in cui il fattore di resistenza alla liquefazione è inferiore a 1,00.

Nella stessa figura è riportato il valore dell'indice del potenziale di liquefazione IPL calcolato per la prova penetrometrica statica con punta elettrica analizzata.

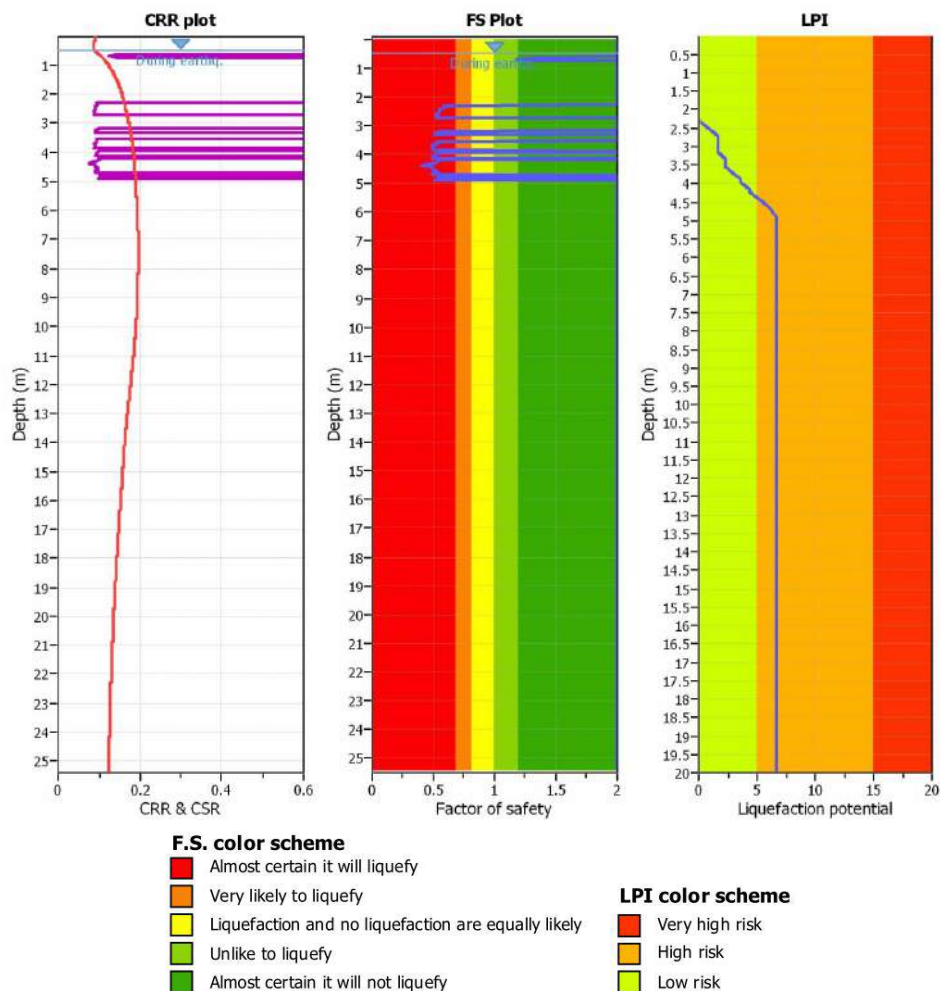


FIGURA 3.9: Particolare dell'analisi condotta con $PGA=0,23g$ e $Mw=6,14$

Per quantificare il tipo di ripercussioni sulle strutture costruite in un determinato sito, dal punto di vista ingegneristico, si ricorre al calcolo dell'indice del potenziale di liquefazione, I_L , definito dalla seguente relazione:

$$I_L = \int_0^{20} F(z)w(z)dz, \quad \text{eq. 3.2}$$

in cui z è la profondità dal piano di campagna in metri e $w(z)=10-0.5z$

Ad una quota z il fattore $F(z)=F$ vale:

$$F = 1 - F_L \text{ se } F_L \leq 1.0$$

$$F = 0 \text{ se } F_L > 1.0$$

dove F_L è il fattore di sicurezza alla liquefazione alla quota considerata.

Con il software si calcola nei primi 20,00 m, il valore del potenziale di liquefazione per tutti gli strati incoerenti.

I terreni in esame risultano avere un *alto* rischio di liquefazione ($I_{PL} = 6,64$) se sollecitati da un sisma di $M_w=6,14$ ed una accelerazione di 0,23g.

In base alla Tabella 3.2 e 3.3 si può affermare dunque che i terreni in esame hanno un potenziale di liquefazione Alto pari a 6,64.

Potenziale Liquefazione I_{PL}	Classificazione
$I_{PL} = 0$	<i>Non liquefacibile</i>
$0 < I_{PL} \leq 2$	<i>Basso</i>
$2 < I_{PL} \leq 5$	<i>Moderato</i>
$5 < I_{PL} \leq 15$	Alto
$I_{PL} \geq 15$	<i>Molto Alto</i>

Tabella 3.2 – Classificazione indice potenziale liquefazione

CPTU	Potenziale Liquefazione I_{PL}
CPTU1	6,64

Tabella 3.3 – Indice potenziale liquefazione calcolato per la SCPTU1

Considerata la presenza di suoli di categoria S2 (sabbie sature liquefacibili) e valutato che IPL è maggiore di 2, si procederà nel capitolo 6 ad una analisi di risposta sismica locale.

3.3. CALCOLO CEDIMENTI POSTSISMICI NEI TERRENI GRANULARI

Dell'elaborazione completa dei cedimenti post sismici si riporta solo il risultato finale; sono stati stimati i cedimenti postsismici nei banchi sabbiosi rilevati con la prova penetrometrica statica con punta elettrica e sismocono SCPTU1 con rif. U17-14 spinta fino alla profondità di -25,40 m da p.c..

Dalle elaborazioni informatiche, si ricava che con una Magnitudo di 6,14 e P.G.A. di 0,23g, alcuni dei livelli hanno il fattore di resistenza alla liquefazione inferiore a 1,00, determinando cedimenti post sismici nei terreni granulari pari a 6,92 cm (Tabella 3.4).

CPTU	Cedimenti postsismici (cm)
CPTU1	6,92

Tabella 3.4 – Cedimenti post-sismici

La presenza di terreni liquefacibili con indice di potenziale di liquefazione talora attorno a 4, pur essendo moderato, può rendere necessario il ricorso a sistemi di consolidamento dei terreni di fondazione, che possono essere di tipo attivo o di tipo passivo.

Lo scrivente ritiene che in questo contesto stratigrafico e sismico, il ricorso a sistemi passivi sia sufficiente (sistemi atti a consentire la dissipazione delle sovrappressioni neutre, dovute al sisma). I sistemi passivi possono contemplare pali in ghiaia, dreni, trincee o pozzi.

3.3. CALCOLO CEDIMENTI POSTSISMICI IN TERRENI COESIVI

Per l'Atto di Indirizzo nr.112/2007 ,nei depositi coesivi molto soffici ($c_u \leq 70\text{kPa}$) e plastici ($I_p \geq 30\%$)

in cui si prevede un incremento delle pressioni interstiziali $\frac{\Delta u}{\sigma'_0} \geq 0.3$

durante il terremoto di riferimento deve essere stimato il cedimento di riconsolidazione conseguente alla dissipazione delle pressioni interstiziali accumulate durante il terremoto.

Tale rapporto può essere valutato dal grafico riportato in FIGURA 3.10 in funzione della deformazione indotta dal terremoto di progetto negli strati di terreno.

Tale deformazione è valutabile utilizzando la seguente espressione:

$$\text{deformazione (\%)} \quad \gamma_{\max} = 0.65 \cdot a_{g,\text{rif}} \cdot S \cdot \sigma_{v0} \cdot r_d \cdot \frac{1}{G} \quad \text{eq. (3.3)}$$

$a_{g,\text{rif}}$ = accelerazione di riferimento per il comune allo studio (Cento $a_{\text{rif}}=0,157g$)

S = fattore di amplificazione funzione della velocità di propagazione delle onde di taglio V_s e dunque della stratigrafia dei terreni (nel caso in esame F.A.=1,5 – PIANURA2);

σ_{v0} = carico litostatico in termini di tensioni totali a metà dello strato considerato

$r_d = 1 - 0,015z$ (da Atto indirizzo, n.112/2007)

G = valore ridotto di G_0 funzione dell'accelerazione a_{\max} .

G_0 = modulo di taglio alle piccole deformazioni.

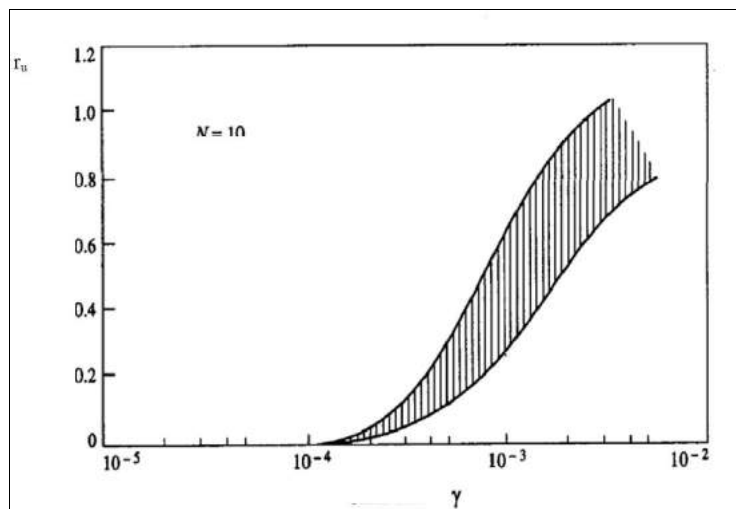
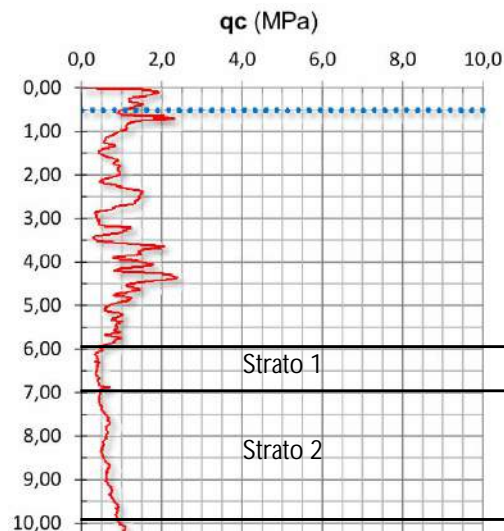


FIGURA 3.10: Valore del rapporto di pressione interstiziale r_u in funzione della deformazione di taglio massima indotta dal terremoto

Per il calcolo dei cedimenti post-sismici per terreni coesivi soffici, si è fatto ricorso a dati bibliografici per caratterizzare lo strato di argille moderatamente consistenti presenti da -6,00 m da p.c. fino a 10,00 m da p.c..



La stratigrafia rilevata dalla prova penetrometrica statica con punta elettrica e sismocono SCPTU1, è caratterizzata da uno strato di sedimenti prevalentemente coesivi poco consistenti con un valore di R_p medio pari a $4,3 \text{ kg/cm}^2$, presente tra $-6,00 \text{ m}$ da p.c. e $-7,50 \text{ m}$ da p.c. (Strato1) e da uno strato di sedimenti prevalentemente coesivi moderatamente consistenti con un valore di R_p medio pari a $6,7 \text{ kg/cm}^2$, presente dalla profondità di $-7,50 \text{ m}$ da p.c. fino a $-10,00 \text{ m}$ da p.c. (Strato2).



Questi 2 strati immersi in falda presentano valori di coesione media rispettivamente pari a 20 kPa e 31kPa per cui inferiori al valore di riferimento normativo ($C_u \leq 70\text{kPa}$); supponendo di avere un indice di plasticità I_p superiore al 30% (valore di riferimento normativo) in via del tutto conservativa si procede al calcolo dei cedimenti post-sismici nei terreni coesivi soffici.

Pertanto, una volta soddisfatte le condizioni iniziali di calcolo ($IP \geq 30$ e $C_u \leq 70$ kPa), si necessita verificare che il valore di r_u sia maggiore o minore di 0,3.

Il modulo di taglio a piccole deformazioni G_0 per i terreni coesivi è stato determinato interpolando il valore di resistenza alla punta media dei 2 strati coesivi (strato 1 - 430 kPa e strato 2- 670 kPa) ed il valore di PGA ($0,157g \times 1,50 = 0,235g$), per cui il rapporto G/G_0 è pari a 0,44 (FIGURA 3.11).

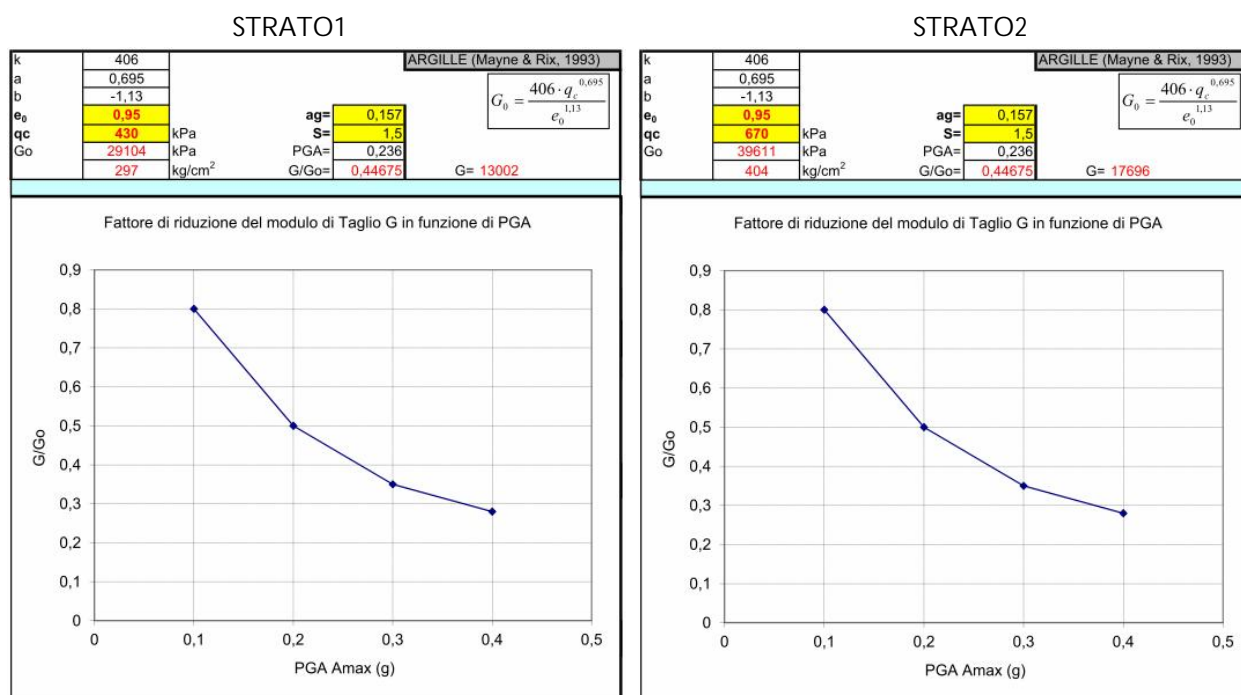


FIGURA 3.11 - Fattore di riduzione del modulo di taglio G in funzione dell'accelerazione ($a_{g,riv}$) (AGI, 2005)

Il modulo di taglio alle basse deformazioni G_0 si ottiene con le correlazione da R_p e indice dei vuoti proposta da Mayne e Rix (1993). I valori ricavati sono molto prossimi a quelli misurati con la prova SCPTU. L'indice dei vuoti e_0 è stato estrapolato attraverso edometrie di prove bibliografiche eseguite sulla medesima unità geologica a Cento.

In FIGURA 3.12 si ricava il valore finale del rapporto di pressione interstiziale r_u per i due strati analizzati.



FIGURA 3.12 – Valori di r_u per i 2 strati

Come si può notare, il rapporto di pressione interstiziale medio per i due strati è superiore a 0,3:

$$r_u = \Delta u / \sigma'_{v0} = 0,57 / 0,54 > 0,30$$

pertanto, in base alle condizioni descritte dall'Atto di indirizzo n°112/2007, occorre procedere al calcolo del cedimento post sismico in questi 2 strati di terreno coesivo.

Per il calcolo del cedimento post-sismico si ricorre all'equazione 3.4:

$$\Delta H = H \cdot \frac{\alpha \cdot Cr}{1 + e_0} \cdot \log \left(\frac{1}{1 - \frac{\Delta u}{\sigma'_0}} \right) \quad \text{eq. 3.4}$$

Sostituendo con i seguenti valori:

Strato 1

H = 1,50 m

$\alpha = 1,25$ (valore compreso tra 1 e 1,5)

$e_0 = 0,95$

$(\Delta u / \sigma'_0) = 0,578$ (FIGURA 3.12)

Strato 2

H = 2,50 m

$\alpha = 1,25$ (valore compreso tra 1 e 1,5)

$e_0 = 0,95$

$(\Delta u / \sigma'_0) = 0,542$ (FIGURA 3.12)

Sulla base di dati bibliografici si ricava il coefficiente di compressibilità del terreno Cc, da cui poi si ricava il Cr:

$Cc = 0,15$

$Cr = 0,225 \times 0,15 = 0,033$ (FIGURA 3.13)

Sostituendo, si ricava che il cedimento totale della curva media, dato dalla somma dei due strati è:

DH = 2,98cm

CEDIMENTO POST-SISMICO IN TERRENI COESIVI SOFFICI CON $Cu < 70kPa$ e $IP > 30\%$			
$\Delta H = H \cdot \frac{\alpha \cdot Cr}{1 + e_0} \cdot \log \left(\frac{1}{1 - \frac{\Delta u}{\sigma'_0}} \right)$	Spessore strato H = 150 cm		
	Cc= 0,15	Cr= 0,0330	$e_0 = 0,95$
Calcolo del cedimento post-sismico nei terreni coesivi soffici			
Strato 1	minimo	DH= 0,67 cm	rapporto $r_v = 0,387$
	medio	DH= 1,19 cm	rapporto $r_v = 0,578$
	massimo	DH= 1,59 cm	rapporto $r_v = 0,685$
CEDIMENTO POST-SISMICO IN TERRENI COESIVI SOFFICI CON $Cu < 70kPa$ e $IP > 30\%$			
$\Delta H = H \cdot \frac{\alpha \cdot Cr}{1 + e_0} \cdot \log \left(\frac{1}{1 - \frac{\Delta u}{\sigma'_0}} \right)$	Spessore strato H = 250 cm		
	Cc= 0,15	Cr= 0,0330	$e_0 = 0,95$
Calcolo del cedimento post-sismico nei terreni coesivi soffici			
Strato 2	minimo	DH= 1,02 cm	rapporto $r_v = 0,359$
	medio	DH= 1,79 cm	rapporto $r_v = 0,542$
	massimo	DH= 2,50 cm	rapporto $r_v = 0,664$

3.4. MISURA FREQUENZA DI RISONANZA DEPOSITI IN CAMPO LIBERO H/V

E' stata commissionata alla ditta TeamGeofisica srl, su incarico dello scrivente, una campagna d'indagine geofisica finalizzata alla determinazione della frequenza di risonanza dei terreni dell'area in oggetto. Il metodo utilizzato si basa sull'analisi dei rapporti spettrali del rumore sismico ambientale (Microtremori noto anche come "Nakamura"). L'indagine è stata effettuata in data 24 febbraio 2014.

Si allega la relazione specialistica, che fa parte integrante di questo lavoro. Qui si propone solo il risultato finale delle misurazioni effettuate dal dott. Nasser Abu Zeid.

Le due coppie di prove H/V sono ubicate nella FIGURA 3.13.

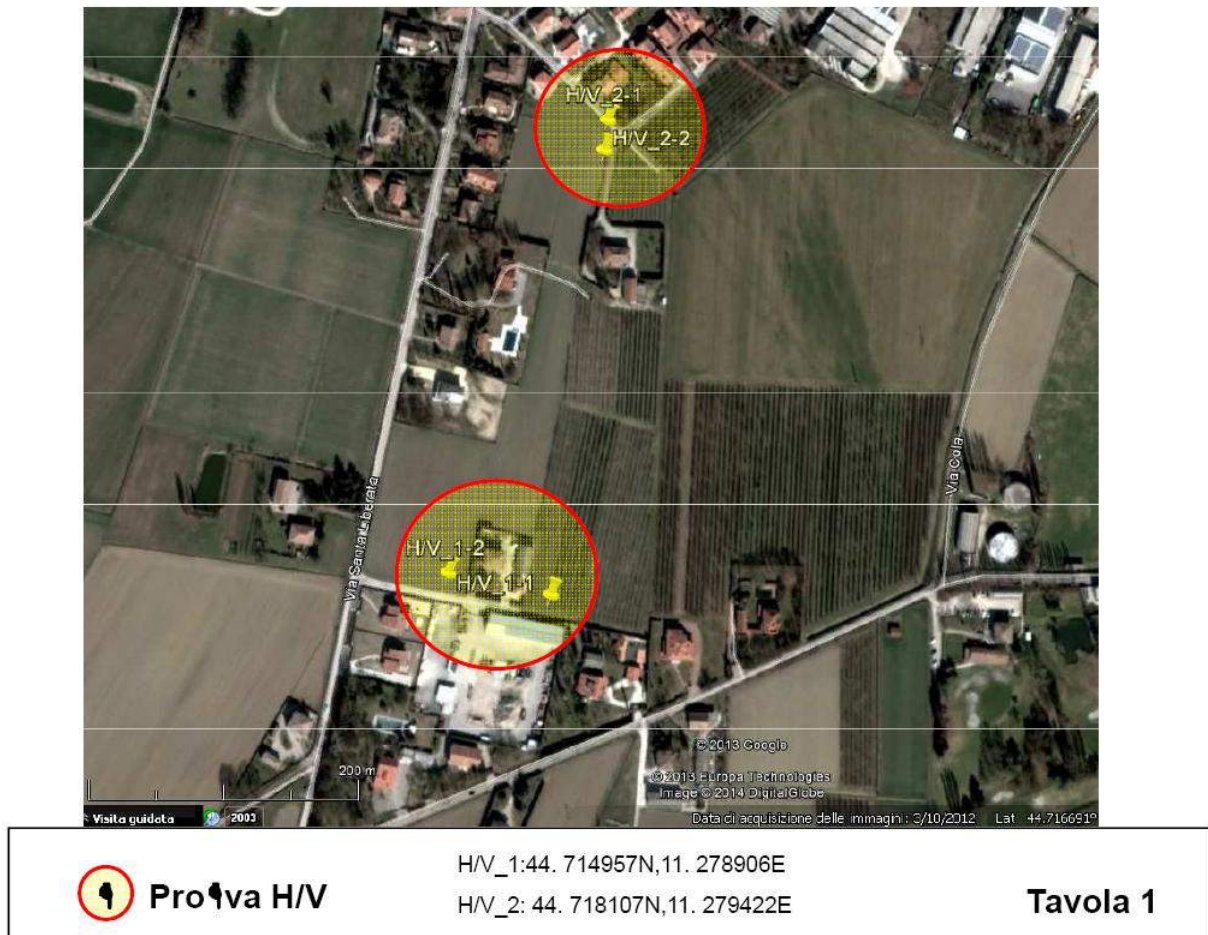


FIGURA 3.13. – Ubicazione delle prove H/V

I risultati ottenuti, utilizzando il codice di calcolo Geopsy (vers. 2.5, 2013), sono riportati in FIGURA 3.14. Mentre le frequenze di risonanze ottenute sono riportate in Tabella 1.

I risultati ottenuti permettono di formulare quanto segue:

- la frequenza di risonanza con rapporto H/V intorno/superiore a 2, tipica dell'area è denominata F0 (Tabella 1), risulta essere intorno a 0,64Hz. Questo valore corrisponde ad un periodo di risonanza intorno a 1,6 secondi e suggerisce la presenza di discontinuità acustica collocata a profondità compresa tra 155 e 200 m,
- La frequenza di risonanza (F1), pari a 0,83 Hz/periodo 1,2 secondi, risulta stabile ed indica la presenza di una seconda discontinuità acustica più superficiale a profondità 120-130 metri.

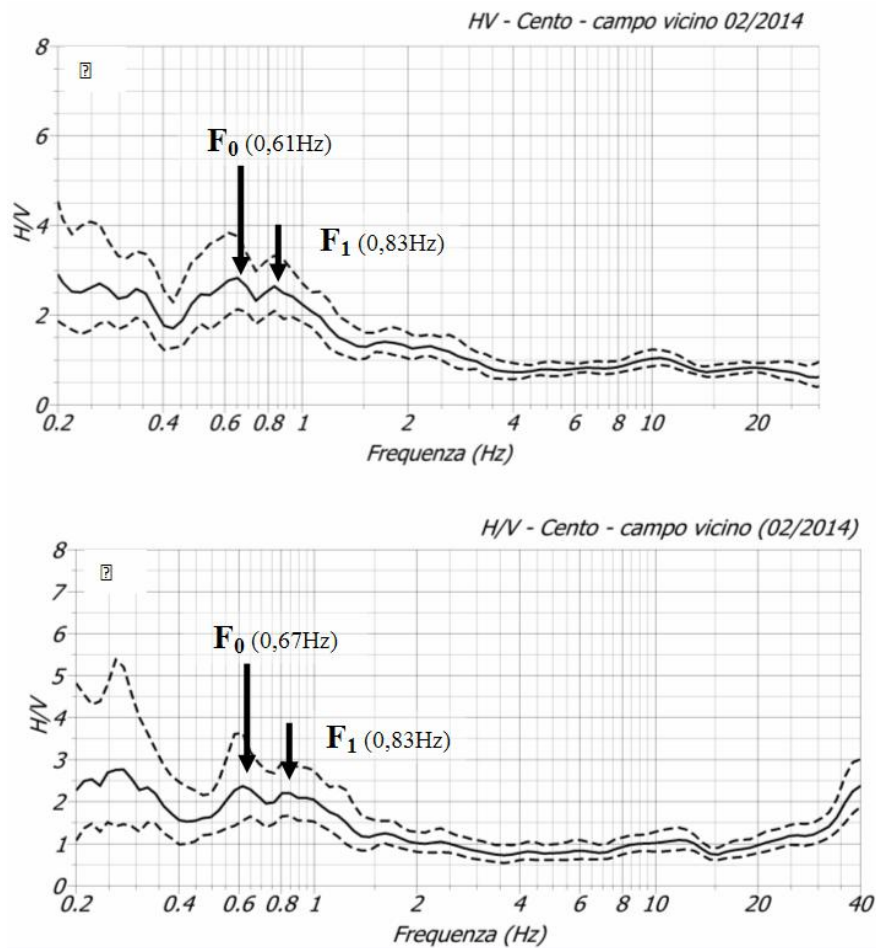


FIGURA 3.14. Spettri prove dei rapporti spettrali (H/V) effettuate in campo vicino su terreno libero. Le frecce indicano le frequenze di risonanza tipiche dei terreni investigati. F₀: frequenza di risonanza dei terreni. L'inserto in alto a destra indica l'analisi di direzionalità del rumore sismico in funzione dell'angolo di rotazione. I colori indicano l'ampiezza del rapporto H/V. Come si può

Tabella 1: elenco delle frequenze di risonanze ottenute dalle prove HVSR.

prova H/V	Frequenza (Hz)	Valore Frequenza	Periodo T ₀ (sec)	Ampiezza (A)
1*	F ₀	0,61 ± 0,03	1,6	2,4
1*	F ₁	0,84 ± 0,03	1,2	2,2
2*	F ₀	0,67 ± 0,02	1,5	2,8
2*	F ₁	0,83 ± 0,00	1,2	2,6
1,2*prove effettuate in campo libero				

4. MODELLAZIONE GEOTECNICA SULLE INDAGINI

Uno dei motivi di pericolosità geologica del territorio, deriva in questi luoghi, dall'interazione tra opere di fondazione e terreni compressibili, su cui le costruzioni in elevazione possono creare condizioni di instabilità del complesso opera-terreno.

Si rende quindi necessario fare alcune valutazioni per verificare le caratteristiche meccaniche dei terreni di fondazione, utilizzando in via indicativa, i dati derivabili dalle indagini specifiche eseguite per la modellazione geologica.

E' dunque stata considerata la prova penetrometrica statica con punta elettrica e sismocono SCPTU1 con rif. U17-14, spinta fino alla profondità di -25,40 m da p.c.. Inoltre per conoscere con adeguato dettaglio le caratteristiche lito-stratigrafiche del sito, è stata effettuata un'indagine geognostica con particolare riguardo per i terreni più superficiali consistente in un sondaggio geognostico S1 a distruzione di nucleo spinto fino alla profondità di -4,00 m da p.c. ed è stato realizzato affianco alla prova penetrometrica statica.

In FIGURA 4.1 viene riportata una planimetria catastale con la rappresentazione delle aree del comune di Cento candidate a POC con l'ubicazione della prova SCPTU1 e del sondaggio S1 eseguiti in sito.

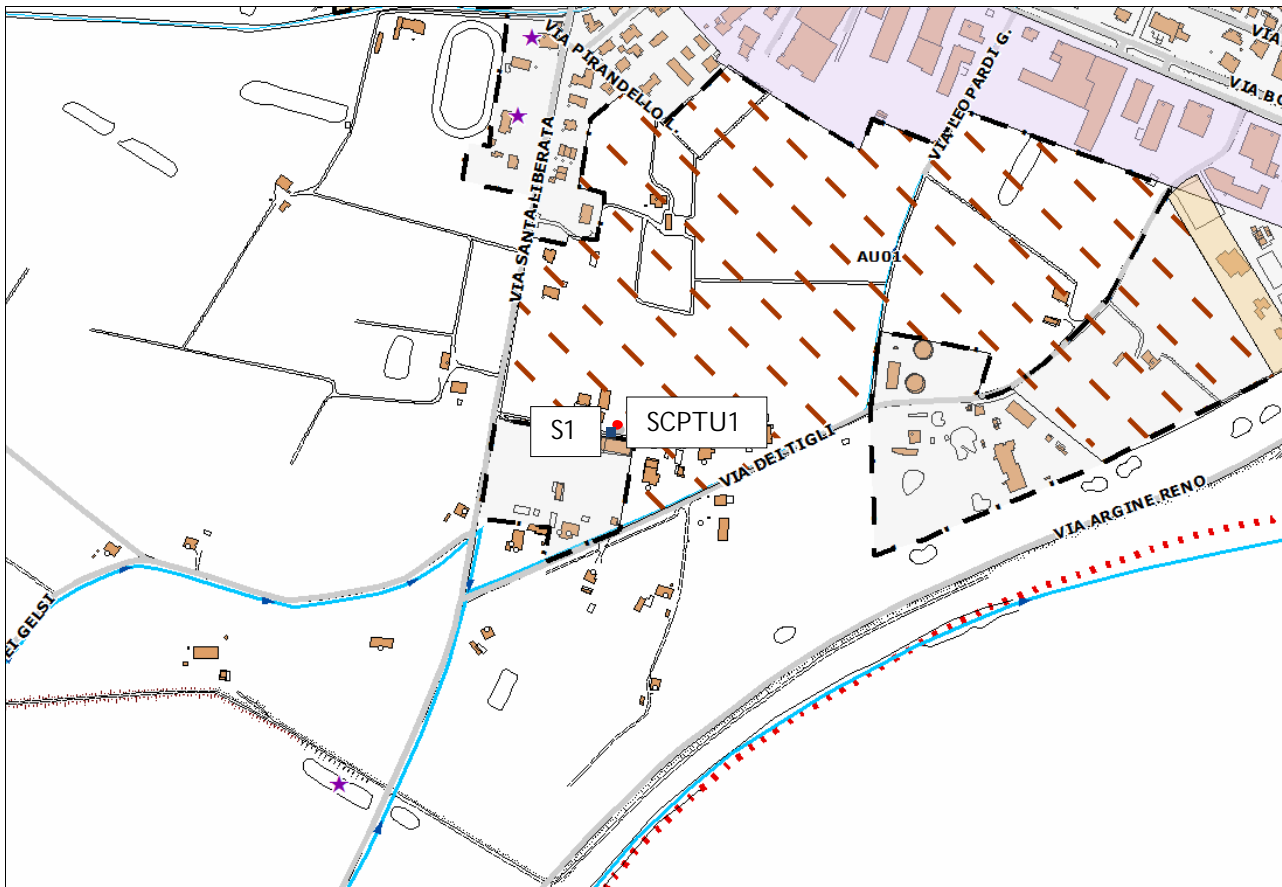


FIGURA 4.1 – Planimetria generale e ubicazione prova

Negli Allegati sono inserite, per le CPT eseguite, le seguenti schede: a) diagrammi di resistenza, b) valutazioni litologiche, c) tabelle parametri geotecnici.

4.1. ACQUISIZIONE DATI CON PROVA PENETROMETRICA STATICA

L'esecuzione della prova penetrometrica è avvenuta con un Penetrometro Statico con punta elettrica con piezocono.

Si allegano i diagrammi delle resistenze dal cui confronto si possono evincere le differenze di comportamento dei terreni nei vari strati incontrati; le interpretazioni litologiche, in base alle valutazioni stratigrafiche fornite da Douglas-Olsen (1981), Robertson-Campanella (1983) e Olsen-Farr (1986).

Le caratteristiche geotecniche dei terreni ricavate dai risultati della penetrometria statica sono riportate in tabella parametri geotecnici.

Nelle tabelle viene fatta distinzione fra i terreni di natura coesiva e quelli di natura granulare.

Per i terreni di natura coesiva vengono riportati, i valori di resistenza all'infissione della punta del penetrometro qc (Mpa), la resistenza laterale Fs (MPa), il peso di volume γ' (kN/m³), la coesione non drenata Cu (kPa), il grado di sovraconsolidazione OCR, dei moduli di deformazione non drenati Eu50 (MPa) corrispondenti rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50 e 25 %, del modulo di deformazione edometrico Mo (Mpa).

Per i terreni di natura granulare vengono riportati, i valori di resistenza all'infissione della punta del penetrometro qc (MPa), la resistenza laterale Fs (MPa), la densità relativa Dr (%), dell'angolo di attrito interno efficace ϕ' (°), i moduli di deformazione drenati E'25 (MPa) e del modulo di deformazione edometrico Mo (MPa).

Nella Tabella 4.1 si riportano i parametri geotecnici medi per strati pseudomogenei rilevati con la prova penetrometrica statica con punta elettrica e sismocono SCPTU1.

Identificativo		PROVA PENETROMETRICA STATICA											PARAMETRI GEOTECNICI								
Emissione		feb-14											-Prova n° CPTU1								
Pagina		1 di 2											-Data prova 21/02/2014								
-Committente		EFFE costruzioni s.r.l.											-Prof. preforo 0,00 m								
-Cantiere		POC via Santa Liberata, Cento (Fe)											-Prof. finale 25,40 m								
-Quota p.c.		17,20 m s.l.m.																			
-Livello di falda		0,50 m da p.c.																			
		MATERIALI COESIVI											MATERIALI GRANULARI								
DA	A	qcm	fsm	deltaU	litol.	Peso Vol.	Cu (qc)	OCR (qc)	OCR (U)	Mo	Eu50	CR	Dr	FI _{DM}	FI'Schm.					E'25	Mo
m	m	MPa	MPa	MPa	(-)	kN/m ³	KPa	(-)	(-)	MPa	MPa	(-)	(%)	(°)	(°)					MPa	MPa
0,0	1,2	1,22	0,04	0,03	AL	20,00	69	20	9	4,31	11,69	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,2	2,3	0,73	0,02	0,11	LA	20,00	41	17	7	3,07	6,741	0,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,3	4,5	1,14	0,01	0,04	SL	19,00	-	-	-	-	-	-	<20	30	29	32	35	39	3,43	5,48	
4,5	6,0	0,87	0,01	0,01	LS	20,00	-	-	-	-	-	-	<20	29	26	30	33	37	2,47	3,96	
6,0	7,5	0,43	0,01	0,13	A	17,50	20	2	4	2,13	10,87	0,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7,5	10,0	0,67	0,03	0,18	A	17,50	31	3	4	3,09	15,44	0,29	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10,0	17,0	1,66	0,09	0,19	A	17,50	82	4	7	5,25	30,17	0,15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17,0	25,4	2,30	0,11	0,47	A	17,50	111	4	5	6,84	43,38	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabella 4.1 – Stratigrafia geotecnica semplificata

Nell'area è stata rilevata la quota della superficie di falda all'interno del foro di esecuzione della prova penetrometrica statica con punta elettrica e sismocono SCPTU1 con rif. U17-14. Tale quota è stata rilevata in data 21/02/2014 alla profondità di -0,50 m dal p.c..

Il livello freatico potrebbe oscillare rispetto ai valori riscontrati in tal giorno, solo un monitoraggio di un anno idrogeologico permetterebbe di valutare le oscillazioni stagionali di queste quote.

4.2. ACQUISIZIONE DATI CON SONDAGGIO GEOGNOSTICO

La stratigrafia del sondaggio S1 rileva:

- da p.c. fino a -0,10 m da p.c. terreno vegetale;
- da -0,10 m da p.c. fino a -1,20 m da p.c. argilla e limo di colore nocciola poco consistente;
- da -1,20 m da p.c. fino a -1,65 m da p.c. limo di colore nocciola poco consistente;
- da -1,65 m da p.c. fino a -2,30 m da p.c. argilla debolmente limosa di colore marrone rossastro consistente;
- da -2,30 m da p.c. fino a -3,20 m da p.c. limo sabbioso di color grigio poco addensata;
- da -3,20 m da p.c. fino a -3,60 m da p.c. sabbia fine limosa di color grigio sciolta;
- da -3,60 m da p.c. fino a -3,90 m da p.c. sabbia media di color grigio poco addensata;
- da -3,90 m da p.c. fino a -4,00 m da p.c. sabbia media limosa di color grigio poco addensata;

Di seguito si riportano le foto del sondaggio S1 e la scheda stratigrafica.



Da p.c. a -0,80 m



da -0,80 m a -1,60 m



Da -1,60 m a -2,40 m



da -2,40 m a -3,20



da -3,20 m a -4,00

Dott. Geol. Thomas Veronese Via Romea, 80 44023 Vaccolino (FE)			Inizio Esecuzione 21/02/2014		Fine Esecuzione //		Metodo Perfor. Sondaggio a coclea		Sondaggio S1					
			Quota p.c.					Attrezzo Sonda oleodinamica						
Committente Effe Costruzioni srl							Località Cento Fe							
Campioni Carotiere Semplice [T1] Carotiere Doppio [T2] Rimaneggiati [RI] Denison [D] Osterberg [OS] Shelby [SH] Indisturbati [IN]						Foto		Livello Acqua		Prof. Foro	Prof. Riv.	Assistente T. Veronese		
								Data 21-02-14	Mt. p.c. 0.50	4.00		Operatore L. Lunghi		
MT.	QUOTA DA P.C.	SIMBO LOGIA	CAMPIONI			DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	%	P.P.	T.V.	S.P.T.			Liv. acqua	Piezometro
			tipo	num	PROF					R.Q.D.	kg/cm2	kg/cm2		
	.10					Terreno vegetale								
1						Argilla e limo di colore nocciola poco consistente							.50	
	1.20		C1	1,2-1.60		Limo di colore nocciola poco consistente								
2	1.65					Argilla debolmente limosa di colore marrone rossastro consistente								
	2.30					Argilla debolmente limosa di colore marrone rossastro consistente								
3			C2	2,6-2.90		Limo sabbioso di color grigio poco addensato								
	3.20					Sabbia fine limosa di color grigio sciolta								
4	3.60					Sabbia media di color grigio poco addensata								
	3.90 4.00					Sabbia media limosa di color grigio poco addensata								

4.3. ACQUISIZIONE DATI CON PROVE di LABORATORIO GEOTECNICO

In corrispondenza del sondaggio geognostico S1 sono stati prelevati 2 campioni di terreno a diverse profondità da sottoporre ad analisi di laboratorio geotecnico; il campione C1 dalla profondità di -1,20 m da p.c. a -1,60 m da p.c. e il campione C2 dalla profondità di -2,60 m da p.c. a -2,90 m da p.c..

I campioni C1 e C2 sono dunque stati sottoposti ad analisi di laboratorio geotecnico, nello specifico ai limiti di Atterberg ed analisi granulometriche complete.

4.3.1. Analisi Granulometrica

Una terra è costituita da un insieme di grani di forma e dimensioni differenti. Scopo dell'analisi granulometrica è quello di determinare la distribuzione percentuale dei grani, per massa, secondo le loro dimensioni. La determinazione va eseguita mediante crivelli e setacci per la frazione solida di dimensioni maggiori di 0,075 mm (ghiaie e sabbie), per quella di dimensioni inferiori (limi e argille) si ricorre all'analisi per sedimentazione. La distribuzione ottenuta viene rappresentata graficamente mediante una curva che prende il nome di "Curva granulometrica" (AGI, *Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio*, 1994).

Successivamente si riporta la curva granulometrica dei 2 campioni analizzati, in ascissa si riporta il diametro delle particelle, espresso in mm, mentre in ordinata la percentuale di passante.

Dalla curva granulometrica ottenuta per sedimentazione, si può distinguere la percentuale di argilla rispetto al limo ed alle sabbie.

ANALISI GRANULOMETRICA (per setacciatura e sedimentazione) norma A.S.T.M. D 422			
COMMITTENTE:	VERONESE DOTT. GEOL. THOMAS - Via Roma, 10 - 44021 Codigoro (FE)		
CANTIERE:	Cento (FE) - POC EFFE COSTRUZIONI		
CAMPIONE:	C1 da 1.20 a 1.60 m		
COMMESSA:	12973/14	DURATA PROVE:	21 - 27/02/14
VERBALE ACC.:	044/14	DATA CONSEGNA:	21/02/14
GEO - CERT. n°:	G140524	rev.00 del:	27/02/14

Codici strumentazione: 480, 419, 348, 432, 570, 571, 572, 573, 290, 291, 292, 293, 282, 283, 286

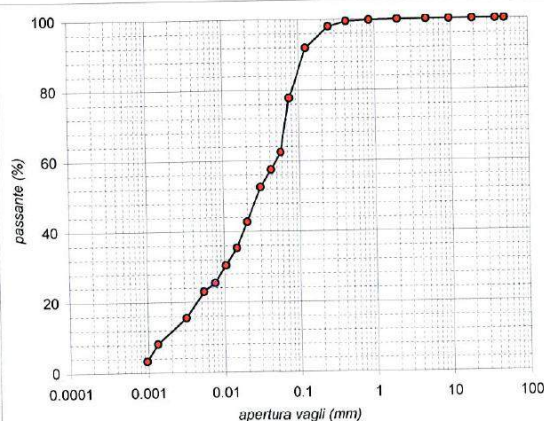
Aspetto del campione: Limo sabbioso e argilloso marrone

TIPO VAGLIO	apertura (mm)	trattenuto (g)	trattenuto (%)	cum. tratt. (%)	passante (%)
crivello	50	0.00	0.00	0.00	100.00
crivello	38.1	0.00	0.00	0.00	100.00
crivello	19.1	0.00	0.00	0.00	100.00
crivello	9.5	0.00	0.00	0.00	100.00
crivello	4.75	0.00	0.00	0.00	100.00
setaccio	2.0	0.12	0.05	0.05	99.95
setaccio	0.850	0.45	0.19	0.24	99.76
setaccio	0.425	0.78	0.33	0.57	99.43
setaccio	0.250	3.36	1.42	1.99	98.01
setaccio	0.125	14.31	6.03	8.02	91.98
setaccio	0.075	33.78	14.24	22.26	77.74
calcolato	0.0572	36.30	15.31	37.57	62.43
calcolato	0.0415	11.69	4.93	42.50	57.50
calcolato	0.0301	11.69	4.93	47.43	52.57
calcolato	0.0199	23.39	9.86	57.30	42.70
calcolato	0.0145	17.54	7.40	64.69	35.31
calcolato	0.0105	11.69	4.93	69.62	30.38
calcolato	0.0075	11.69	4.93	74.55	25.45
calcolato	0.0054	5.85	2.47	77.02	22.98
calcolato	0.0032	17.54	7.40	84.42	15.58
calcolato	0.0013	17.54	7.40	91.81	8.19
calcolato	0.0010	11.69	4.93	96.74	3.26
calcolato	fondo	7.72	3.26	100.00	0.00
TOTALE		237.15			

φ max (mm) = 2.24

Passante effettivo setaccio 0.075 (g)	50
19	30
19	60
19	120
19	300
19	600
19	1200
19	2400
19	4800
19	14400
19	86400
19	172800

Rapporti granulometrici		
	USCS	AGI
GHIAIA	> 4,75 mm	> 2,00 mm
	0.0%	0.1%
SABBIA	> 0,075 mm	> 0,06 mm
	22.3%	34.8%
LIMO	> 2 μ	> 2 μ
	66.1%	53.5%
ARGILLA	< 2 μ	< 2 μ
	11.6%	11.6%

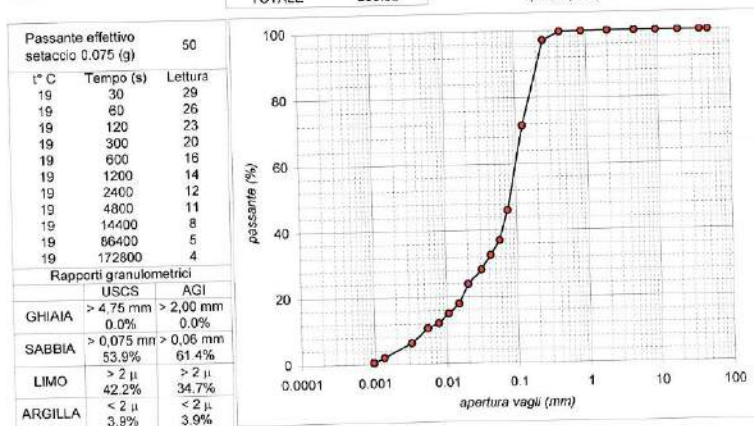


ANALISI GRANULOMETRICA (per setacciatura e sedimentazione) norma A.S.T.M. D 422			
COMMITTENTE:	VERONESE DOTT. GEOL. THOMAS - Via Roma, 10 - 44021 Codigoro (FE)		
CANTIERE:	Cento (FE) - POC EFTE COSTRUZIONI		
CAMPIONE:	C2 da 2.60 a 2.90 m		
COMMESSA:	12973/14	DURATA PROVE:	21 - 27/02/14
VERBALE ACC.:	044/14	DATA CONSEGNA:	21/02/14
GEO - CERT. n°:	G140525	rev.00 del:	27/02/14

Codici strumentazione: 480, 419, 348, 432, 570, 571, 572, 573, 290, 291, 292, 293, 282, 283, 285

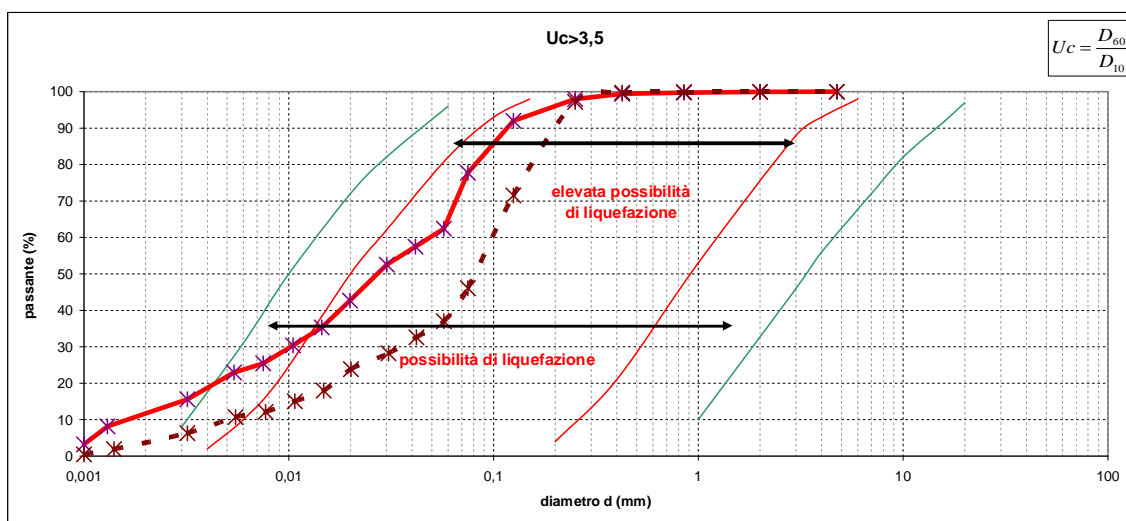
Aspetto del campione: Sabbia con limo grigio

TIPO VAGLIO	apertura (mm)	trattenuto (g)	trattenuto (%)	cum. tratt. (%)	passante (%)
crivello	50	0.00	0.00	0.00	100.00
crivello	38.1	0.00	0.00	0.00	100.00
crivello	19.1	0.00	0.00	0.00	100.00
crivello	9.5	0.00	0.00	0.00	100.00
crivello	4.75	0.00	0.00	0.00	100.00
setaccio	2.0	0.00	0.00	0.00	99.90
setaccio	0.850	0.24	0.10	0.10	99.75
setaccio	0.425	0.36	0.15	0.25	97.20
setaccio	0.250	6.12	2.55	2.80	71.55
setaccio	0.125	61.50	25.54	28.45	46.07
setaccio	0.075	61.11	25.48	53.93	37.00
calcolato	0.0572	21.76	9.07	63.00	32.52
calcolato	0.0420	10.51	4.38	67.38	28.23
calcolato	0.0307	10.51	4.38	71.77	23.85
calcolato	0.0201	10.51	4.38	76.15	18.00
calcolato	0.0148	14.02	5.84	82.00	15.08
calcolato	0.0107	7.01	2.92	84.92	12.16
calcolato	0.0077	7.01	2.92	87.84	10.70
calcolato	0.0055	3.50	1.46	89.30	9.31
calcolato	0.0032	10.51	4.38	93.69	6.31
calcolato	0.0014	10.51	4.38	98.07	1.93
calcolato	0.0010	3.50	1.46	99.53	0.47
fondo	1.13	0.00	0.00	100.00	0.00
TOTALE		239.82		ϕ max (mm) =	1.02



Rapporti granulometrici		
	USCS	AGI
GHIAIA	> 4.75 mm	> 2,00 mm
	0.0%	0.0%
SABBIA	> 0,075 mm	> 0,06 mm
	53,9%	61,4%
LIMO	> 2 μ	> 2 μ
	42,2%	34,7%
ARGILLA	< 2 μ	< 2 μ
	3,9%	3,9%

Le curve granulometriche sono state inserite nei grafici seguenti, dove emerge che i campioni di sedimento granulare analizzato hanno il carattere predisponente alla liquefazione, anche se vi è in entrambi i casi una coda significativa di sedimenti fini che escono dal fuso liquefacibile.



Campione n C1	dimensione granuli (mm)	0.001	0.0013	0.0032	0.0054	0.0075	0.0105	0.0145	0.0199	0.0301	0.0418	0.0572	0.075	0.125	0.25	0.425	0.85	2	4.75	D ₅₀	D ₆₀	U _c
prof. -1,20/-1,60	% passante	3,26	8,19	15,58	22,98	25,45	30,38	35,31	42,7	52,57	57,5	62,43	77,74	91,98	98,01	99,43	99,76	99,95	100	0,05	0,002	25,0
Campione n C2	dimensione granuli (mm)	0.001	0.0014	0.0032	0.0055	0.0077	0.0107	0.0148	0.0201	0.0307	0.042	0.0572	0.075	0.125	0.25	0.425	0.85	2	4.75	D ₅₀	D ₆₀	U _c
prof. -2,60/-2,90	% passante	0,47	1,93	6,31	10,7	12,16	15,08	18	23,85	28,23	32,62	37	46,07	71,55	97,2	99,75	99,9	100	100	0,1	0,005	20,0

Nella curva continua è rappresentato il campione C1 e nella curva tratteggiata il campione C2.

4.3.2. Limiti di Atterberg (Norma CNR- UNI 10014)

Il comportamento dei terreni a grana fine è fortemente influenzato dal contenuto d'acqua nei pori. Diventa perciò molto importante sia conoscere il contenuto d'acqua di un deposito naturale sia confrontare questo contenuto d'acqua con alcuni valori di contenuto d'acqua caratteristici, che costituiscono i limiti di comportamento del terreno stesso.

I limiti di Atterberg sono dei contenuti di acqua determinati in laboratorio che rappresentano abbastanza bene dei passaggi critici di comportamento del terreno. Facendo aumentare con continuità il contenuto d'acqua w si noterà che il terreno argilloso passa da quello di solido fragile a quello di semisolido, quindi a quello plastico e infine a quello fluido; a queste variazioni possono essere abbinate delle variazioni di risposta deformazionale del terreno. Il contenuto d'acqua che separa il passaggio dal solido fragile al semisolido è detto limite di ritiro, quello dal semisolido al plastico è detto limite di plasticità, quello dallo stato plastico allo stato fluido è il limite di liquidità; la differenza fra il limite di liquidità e il limite di plasticità è detto indice di plasticità e indica il campo di contenuto d'acqua nel quale il terreno è allo stato plastico. I limiti di Atterberg costituiscono una prova importante perché presentano una notevole fedeltà nei risultati sperimentali nonostante l'apparecchiatura sperimentale di prova risulti molto semplice.

L'analisi è stata effettuata sul campione di terreno C1 e C2; i risultati sono riportati in Tabella 4.4.

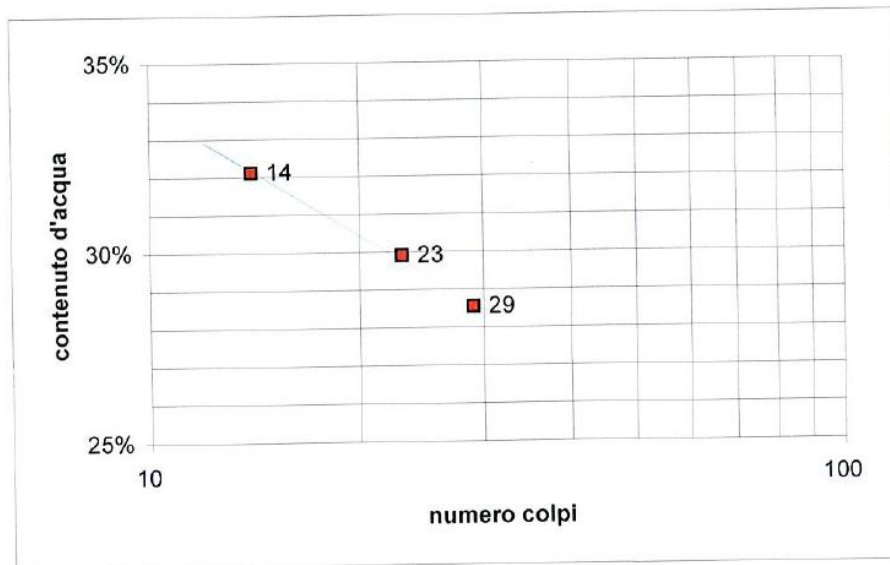
Limiti		C1 (1,20-1,60m)	C2 (2,60-2,90m)
Umidità Naturale	Wn	27	27
Limite Liquido	LL	29	25
Limite Plastico	LP	20	21
Indice Plastico	IP	9	5
Indice di consistenza	Ic	0.24	0.31

Tabella 4.2 – Limiti di Atterberg

LIMITI DI ATTERBERG (norma ASTM D4318 metodo A)			
COMMITTENTE:	VERONESE DOTT. GEOL. THOMAS - Via Roma, 10 - 44021 Codigoro (FE)		
CANTIERE:	Cento (FE) - POC EFTE COSTRUZIONI		
CAMPIONE:	C1 da 1.20 a 1.60 m		
COMMESSA:	12973/14	DURATA PROVE:	21 - 27/02/14
VERBALE ACC.:	044/14	DATA CONSEGNA:	21/02/14
GEO - CERT. n°:	G140526	rev.0 del:	27/02/14
codice int. Strum.: 344-480.			
ASPETTO MACROSCOPICO DEL CAMPIONE:	Limo sabbioso e argilloso marrone		

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		UMIDITA'
	1	2	3	1	2	
impasto						
N° colpi	14	23	29			
massa umida+ tara (g)	39.21	43.23	46.16	8.35	9.09	988.38
massa secca+ tara (g)	30.23	33.86	36.41	7.31	7.95	843.66
acqua contenuta (g)	8.98	9.37	9.75	1.04	1.14	144.72
tara (g)	2.27	2.53	2.26	2.24	2.35	311.70
peso secco (g)	27.96	31.33	34.15	5.07	5.60	531.96
contenuto d'acqua	32.1%	29.9%	28.6%	20.5%	20.4%	27.2%

Umidità Naturale	Wn =	27%
Limite Liquido	LL =	29%
Limite Plastico	LP =	20%
Indice Plastico	IP =	9%
Indice di Consistenza	Ic =	0.24



LIMITI DI ATTERBERG (norma ASTM D4318 metodo A)

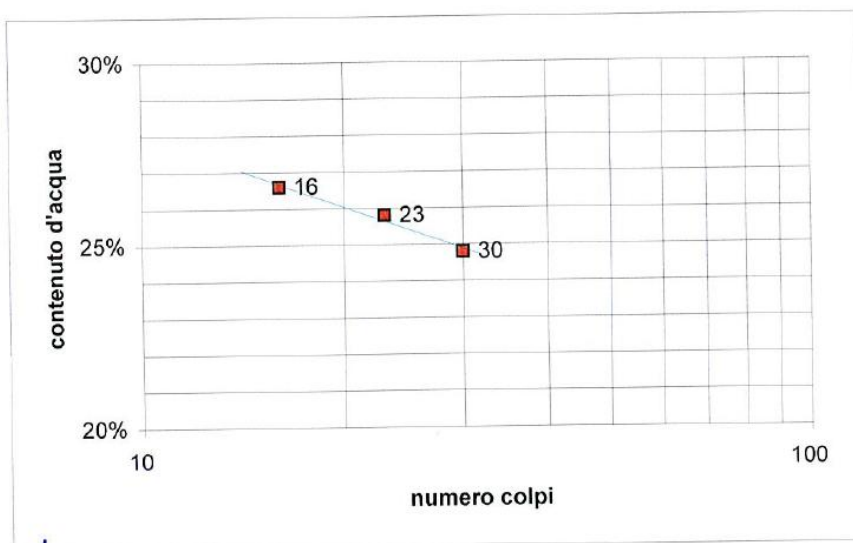
COMMITTENTE:	VERONESE DOTT. GEOL. THOMAS - Via Roma, 10 - 44021 Codigoro (FE)		
CANTIERE:	Cento (FE) - POC EFFE COSTRUZIONI		
CAMPIONE:	C2 da 2.60 a 2.90 m		
COMMESSA:	12973/14	DURATA PROVE:	21 - 27/02/14
VERBALE ACC.:	044/14	DATA CONSEGNA:	21/02/14
GEO - CERT. n°:	G140527	rev.0 del:	27/02/14

codice int. Strum.: 344-480.

ASPETTO MACROSCOPICO DEL CAMPIONE: **Sabbia con limo grigio**

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		UMIDITA'
	1	2	3	1	2	
impasto						
N° colpi	16	23	30			
massa umida+ tara (g)	52.90	43.57	48.57	11.16	11.41	1129.50
massa secca+ tara (g)	42.29	35.12	39.38	9.63	9.84	956.13
acqua contenuta (g)	10.61	8.45	9.19	1.53	1.57	173.37
tara (g)	2.40	2.37	2.32	2.33	2.24	310.36
peso secco (g)	39.89	32.75	37.06	7.30	7.60	645.77
contenuto d'acqua	26.6%	25.8%	24.8%	21.0%	20.7%	26.8%

Umidità Naturale	Wn =	27%
Limite Liquido	LL =	25%
Limite Plastico	LP =	21%
Indice Plastico	IP =	5%
Indice di Consistenza	Ic =	-0.31



5. ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

La funzione di amplificazione di un sito fornisce una chiara ed efficace rappresentazione dell'effetto "filtrante" di un deposito di terreno sulle onde sismiche. Essa mette in evidenza in quale campo di frequenze la presenza del terreno può indurre effetti significativi di amplificazione del moto sismico incidente o, viceversa, se tali effetti possano addirittura tradursi in un'attenuazione delle ampiezze in superficie.

La conoscenza della sola funzione di amplificazione non è comunque sufficiente per determinare le caratteristiche del moto sismico alla superficie di un deposito. In termini applicativi, scopo finale di un'analisi di risposta sismica locale è infatti quello di disporre di uno spettro di risposta dell'accelerazione (associato ad un terremoto presunto ed ad un dato fattore di smorzamento strutturale), che includa realisticamente l'effetto di amplificazione del sottosuolo. Ciò premesso la funzione di amplificazione (o meglio la funzione di trasferimento) rappresenta comunque un indispensabile elemento per determinare il moto in superficie. Si riporta di seguito lo schema del processo che porta alla determinazione del moto sismico alla superficie di un deposito di terreno su basamento roccioso, a cui è applicata l'eccitazione sismica rappresentata, anziché da un'onda armonica stazionaria, da un moto irregolare come nel caso di un sisma reale.

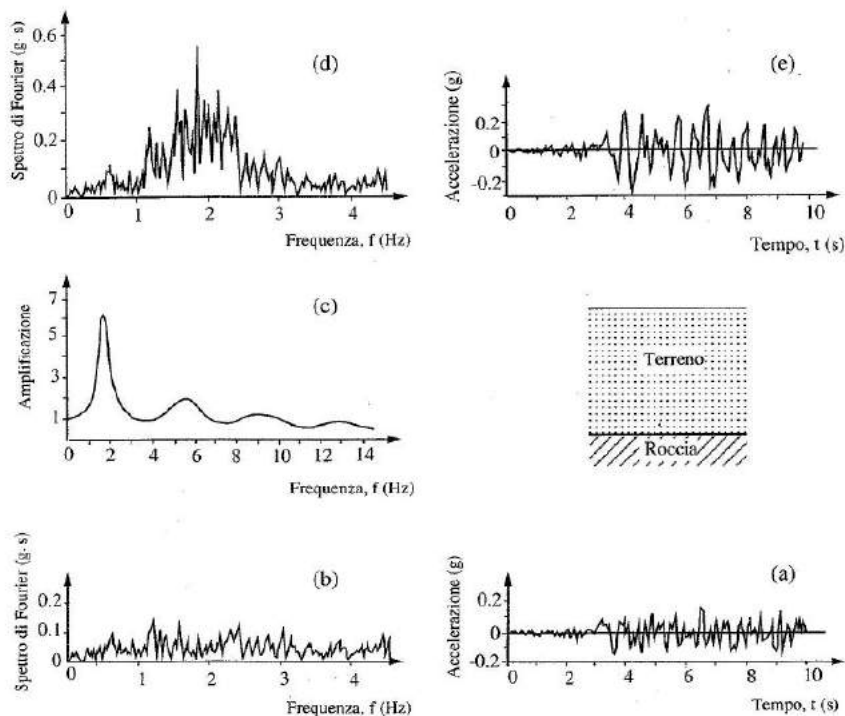
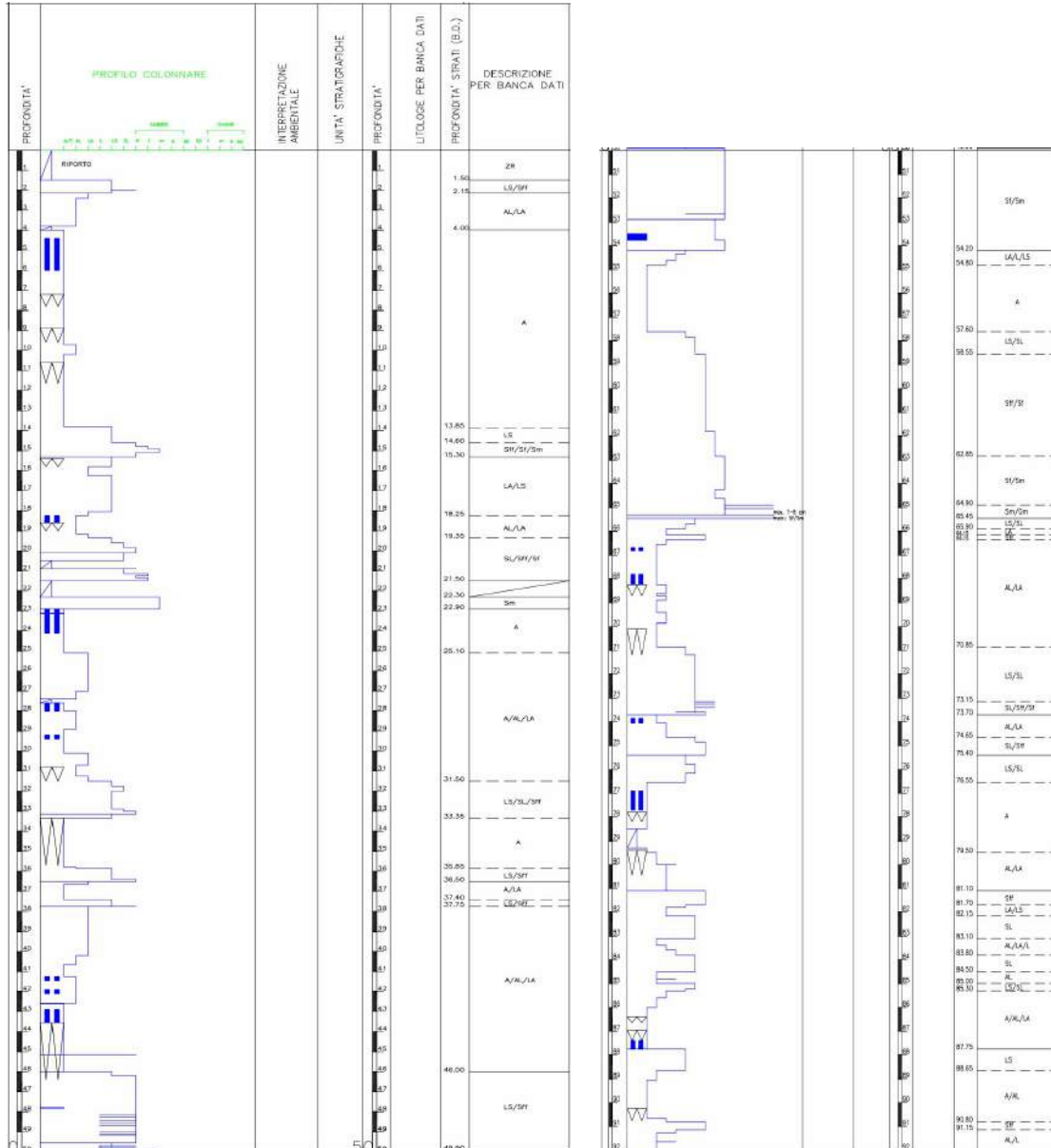
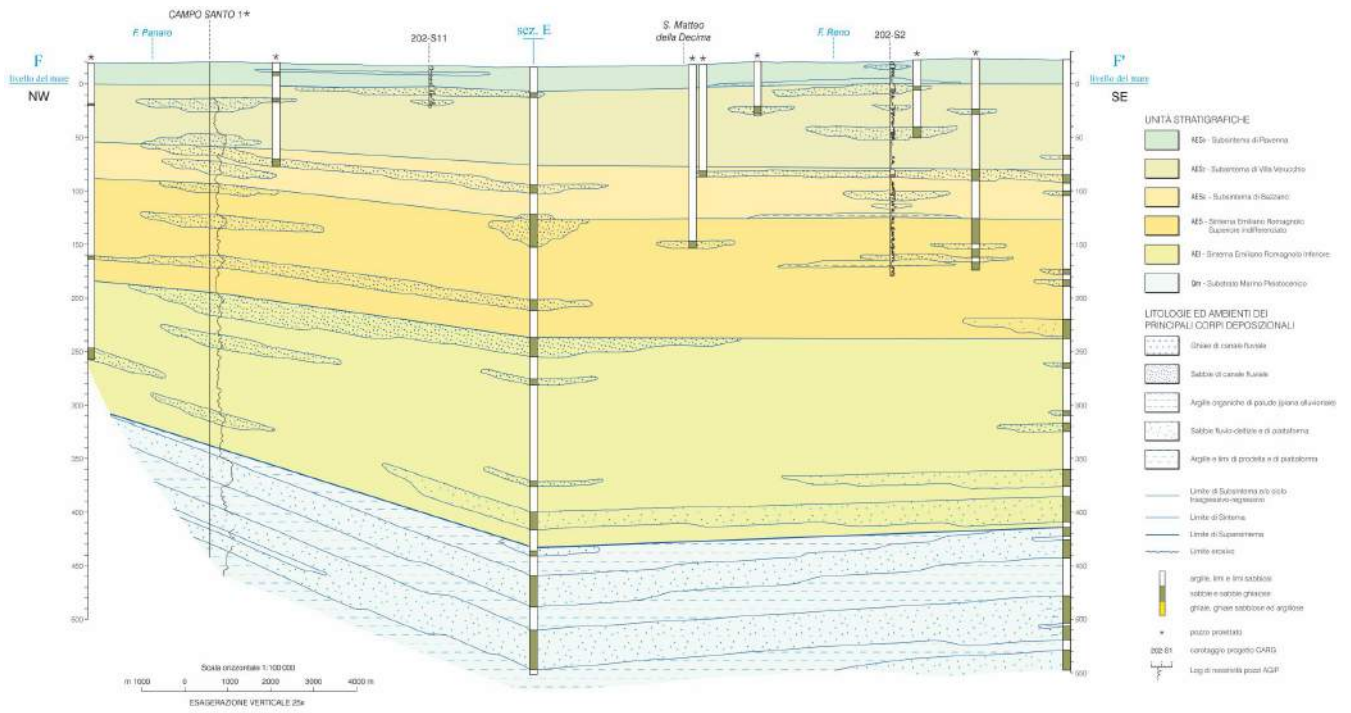
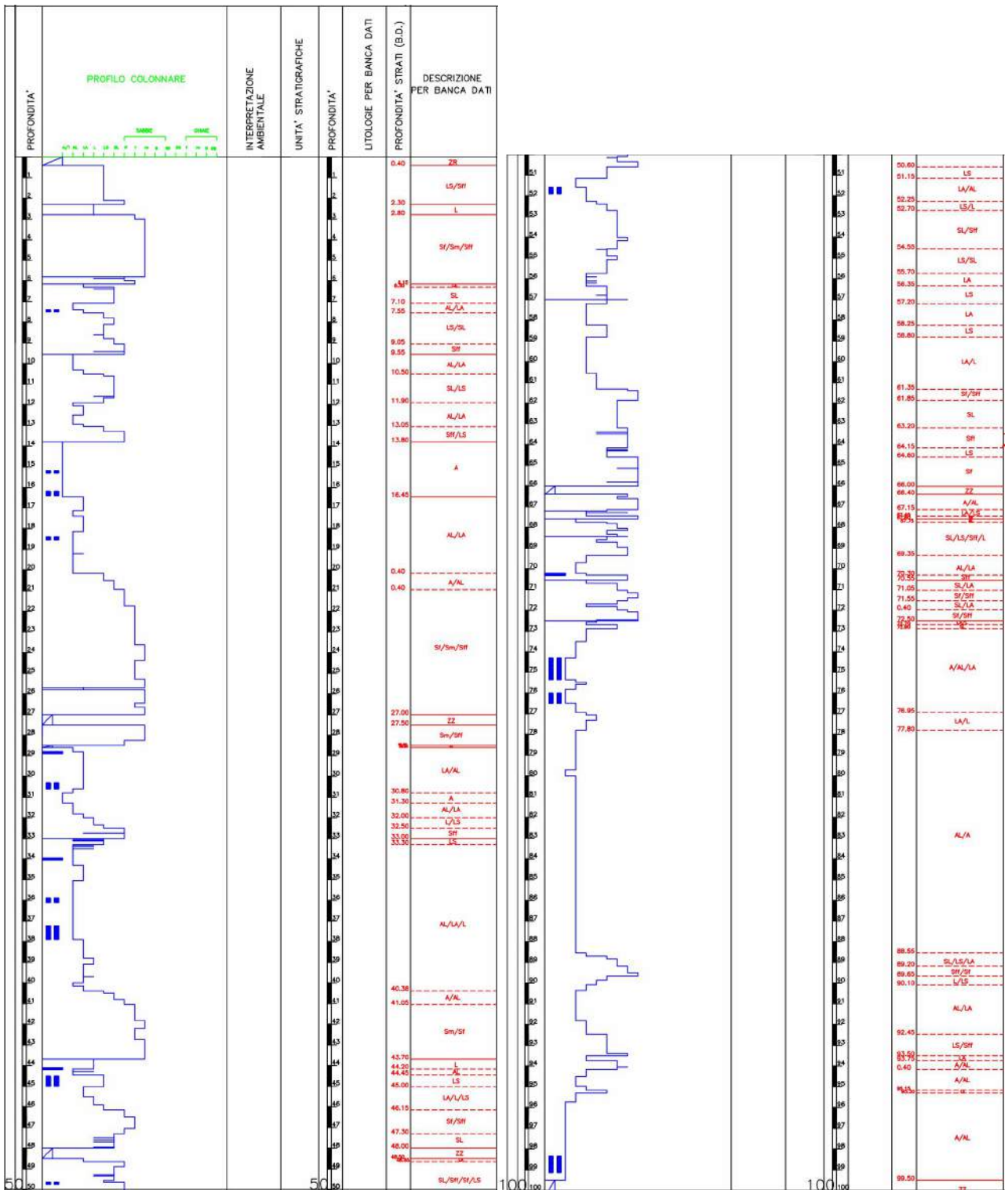


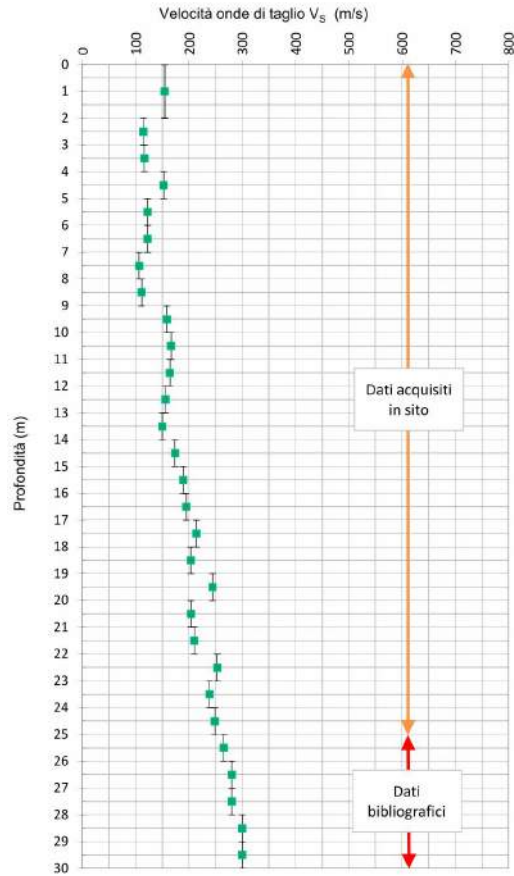
Fig. 4.1. Schema di calcolo della risposta di un banco omogeneo eccitato da un segnale sismico.

Nel caso allo studio è stata ricostruita la sequenza stratigrafica fino al bed-rock sismico, attribuendo ad ogni strato i valori di peso di volume, di V_s e attribuendo delle curve di decadimento del modulo G_0 espresse come rapporto G/G_0 in funzione dello sforzo di taglio e delle curve di smorzamento D sempre in funzione del diverso stato di sforzo di taglio. Tali curve sono state ricavate dai lavori svolti dal prof. Johan Facciorusso per la Regione Emilia Romagna a San Carlo e a Mirabello; alcune curve derivano da prove di colonna risonante fatte eseguire dallo scrivente su terreni di Dosso e di Bondeno.

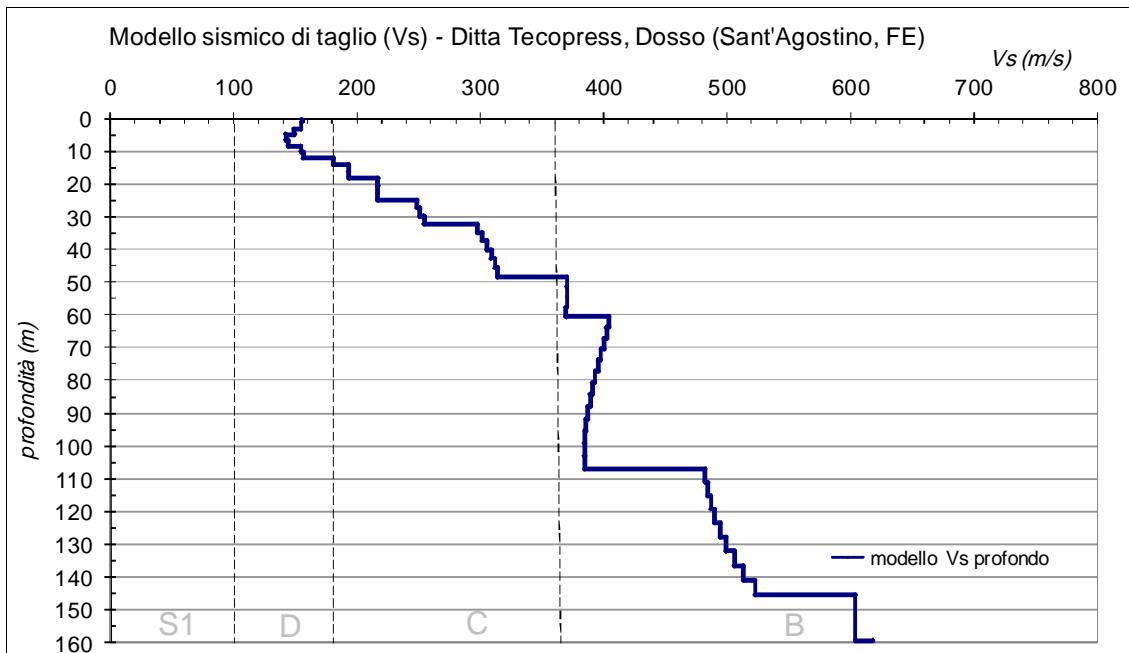
Il modello stratigrafico profondo con due sondaggi della Regione Emilia Romagna ed il modello di V_s vengono riportati di seguito:







Modello di Vs fino a 30m di profondità



Modello di Vs fino a 160m.

Si sintetizza il profilo geologico fino a 300m di profondità e i valori di Vs attribuiti ai vari strati, per ricostruire il modello di input per la RSL.

Committente EFFE Costruzioni						Località CENTO FE									
Campioni Carotiere Semplice [T1] Carotiere Doppio [T2] Rimaneggiati [RI] Denison [D] Osterberg [OS] Shelby [SH] Indisturbati [IN]				Foto		Livello Acqua		Prof. Foro	Prof. Riv.	Assistente Geol Veronese T					
MT.		QUOTA DA P.C.		SIMBOLOGIA		DESCRIZIONE STRATIGRAFICA		% R.Q.D.	P.P. kg/cm2	T.V. kg/cm2	S.P.T. N1 N2 N3			Liv. acqua -50-	Piezometro
2.00		2.00		[Symbol]		Vs 154 m/sec									
4.00		4.00		[Symbol]		Vs 115 m/sec									
5.00		5.00		[Symbol]		Vs 152 m/sec									
9.00		9.00		[Symbol]		Vs 115 m/sec									
14.00		14.00		[Symbol]		Vs 157 m/sec									
17.00		17.00		[Symbol]		Vs 186 m/sec									
22.00		22.00		[Symbol]		Vs 215 m/sec									
25.00		25.00		[Symbol]		Vs 246 m/sec									
28.00		28.00		[Symbol]		Vs 275 m/sec									
31.50		31.50		[Symbol]		Vs 300 m/sec									
33.50		33.50		[Symbol]		Vs 300 m/sec									
46.00		46.00		[Symbol]		Vs 310 m/sec									
55.00		55.00		[Symbol]		Vs 360 m/sec									
58.00		58.00		[Symbol]		Vs 360 m/sec									
66.00		66.00		[Symbol]		Vs 400 m/sec									
71.00		71.00		[Symbol]		Vs 400 m/sec									
76.00		76.00		[Symbol]		Vs 395 m/sec									
101.00		101.00		[Symbol]		Vs 390 m/sec									

Committente EFFE Costruzioni						Località CENTO FE								
Campioni Carotiere Semplice [T1] Carotiere Doppio [T2] Rimaneggiati [RI] Denison [D] Osterberg [OS] Shelby [SH] Indisturbati [IN]					Foto		Livello Acqua		Prof. Foro	Prof. Riv.	Assistente Geol Veronese T Operatore			
						Data 21/02/14		Mt. p.c. 0.5						
MT.	QUOTA DA P.C.	SIMBO LOGIA	CAMPIONI			DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	%	P.P.	T.V.	S.P.T.			Liv. acqua	Piezometro
			tipo	num	PROF					R.Q.D.	kg/cm2	kg/cm2		
103	101.00					Vs 390 m/sec								
104														
105														
106														
107														
108	108.00					Vs 400 m/sec								
109														
110														
111														
112														
113														
114														
115														
116														
117	117.00					Vs 485 m/sec								
118														
119														
120														
121														
122														
123														
124														
125														
126														
127														
128														
129														
130	130.00					Vs 520 m/sec								
131														
132														
133														
134														
135														
136														
137														
138														
139														
140														
141														
142														
143														
144														
145														
146														
147														
148														
149														
150														
151														
152														
153														
154														
155														
156														
157														
158														
159														
160														
161														
162														
163														
164														
165														
166														
167														
168														
169														
170														
171														
172														
173														
174														
175														
176														
177														
178														
179														
180														
181														
182														
183														
184														
185														
186														
187														
188														
189														
190														
191														
192	192.00													
193														
194														
195														
196														
197														
198														
199	220.00					Vs 700 m/sec								

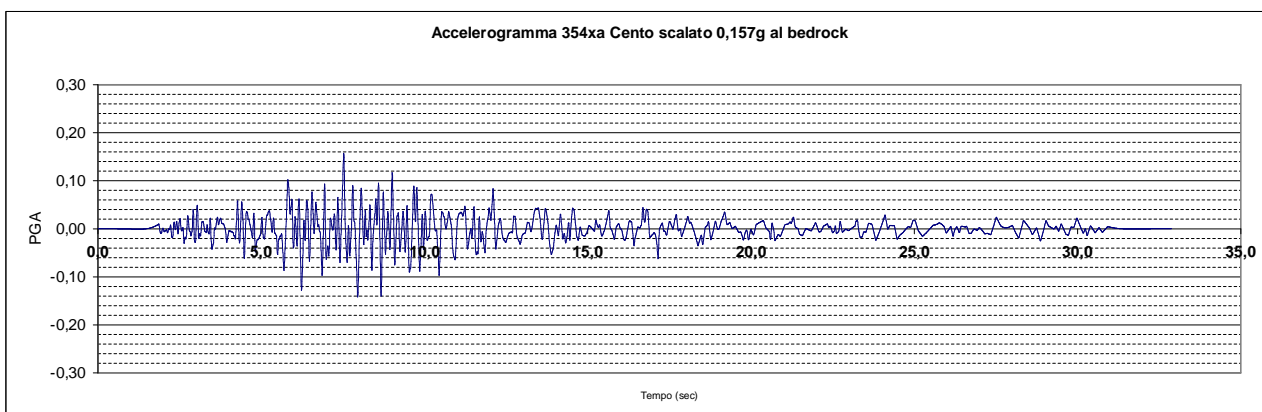
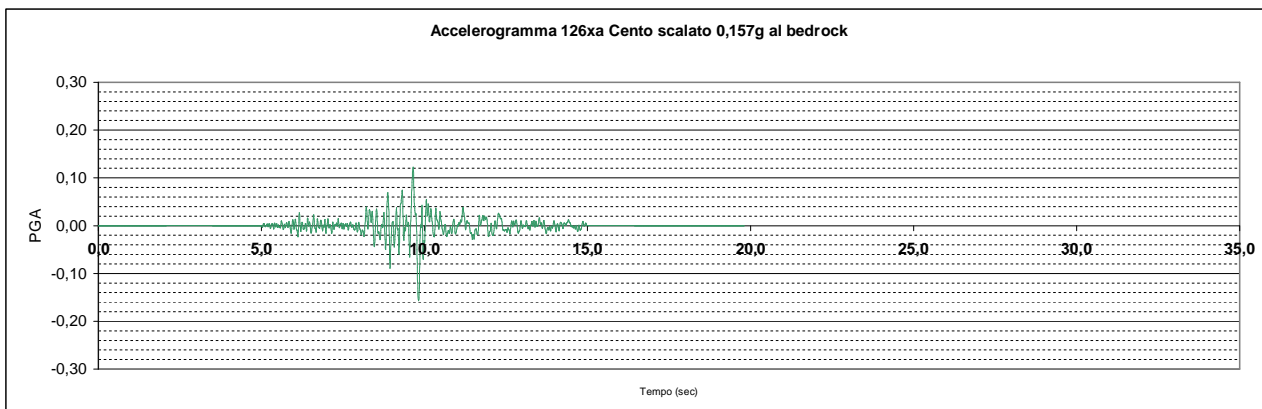
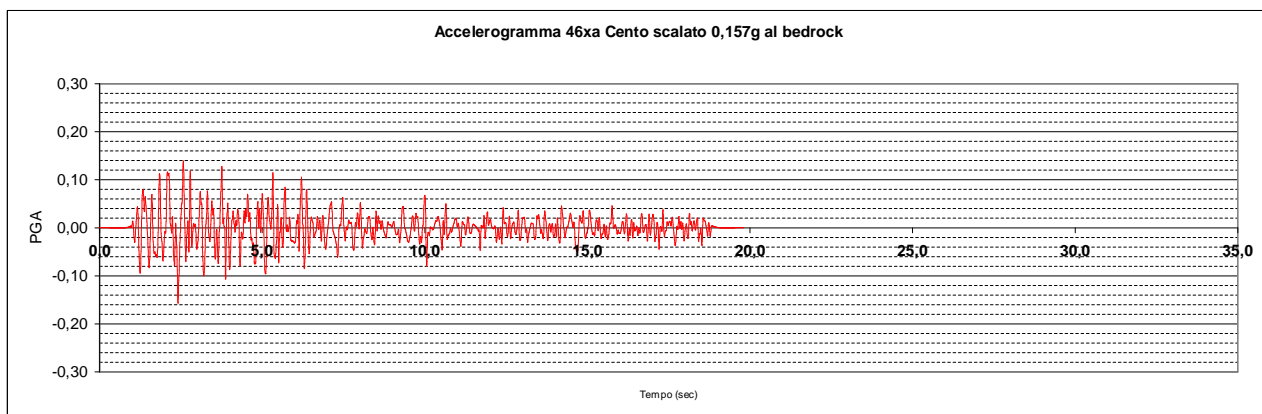
Committente EFFE Costruzioni							Località CENTO FE							
Campioni Carotiere Semplice [T1] Carotiere Doppio [T2] Rimaneggiati [RI] Denison [D] Osterberg [OS] Shelby [SH] Indisturbati [IN]					Foto		Livello Acqua		Prof. Foro	Prof. Riv.	Assistente Geol Veronese T			
							Data 21/02/14	Mt. p.c. 0.5			Operatore			
MT.	QUOTA DA P.C.	SIMBO LOGIA	CAMPIONI			DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	%	P.P.	T.V.	S.P.T.			Liv. acqua	Piezometro
			tipo	num	PROF		R.Q.D.	kg/cm2	kg/cm2	N1	N2	N3		
220.00						Vs 700 m/sec								
235.00						Vs 740 m/sec								
300.00						Vs 780 m/sec								

I dati stratigrafici sono stati derivati dai carotaggi profondi pubblicati sul sito della Regione. Le velocità delle Vs sono state assegnate agli strati litologici seguendo la progressione di crescita che la Vs segue fino a 160m di profondità.

Ora invece si riportano le schermate con evidenziati i dati Input per l'analisi di RSL, eseguita con il software STRATA.

Soil Types					General Settings				Soil Types				Soil Profile				Motion(s)				
Name	Unit Weight (kN/m ³)	G/G_max Model	Damping Model		Site Profile																
					Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)													
1	1	18.50	BondCR2 AL	BondCR2 AL	1	0.00	2.00	1	154.00												
2	2	17.50	Ost 1 Dosso SL	Ost 1 Dosso SL	2	2.00	2.00	2	115.00												
3	3	18.00	Ost 1 Dosso SL	Ost 1 Dosso SL	3	4.00	1.00	3	152.00												
4	4	17.00	Ost 4 Dosso AOT	Ost 4 Dosso AOT	4	5.00	4.00	4	115.00												
5	5	18.50	M1C2	M1C2	5	9.00	5.00	5	157.00												
6	6	19.00	Ost 6 Dosso A	Ost 6 Dosso A	6	14.00	3.00	6	186.00												
7	7	19.00	Ost 6 Dosso A	Ost 6 Dosso A	7	17.00	5.00	7	215.00												
8	8	19.00	Ost 6 Dosso A	Ost 6 Dosso A	8	22.00	3.00	8	246.00												
9	9	19.00	Ost 6 Dosso A	Ost 6 Dosso A	9	25.00	3.00	9	275.00												
10	10	19.50	Ost 6 Dosso A	Ost 6 Dosso A	10	28.00	3.50	10	300.00												
11	11	20.00	S10C2	S10C2	11	31.50	2.00	11	300.00												
12	12	20.00	Ost 6 Dosso A	Ost 6 Dosso A	12	33.50	12.50	12	310.00												
13	13	20.00	S10C2	S10C2	13	46.00	9.00	13	360.00												
14	14	20.00	Ost 6 Dosso A	Ost 6 Dosso A	14	55.00	3.00	14	360.00												
15	15	20.50	Idriss (1990), Sand	Idriss (1990), Sand	15	58.00	8.00	15	400.00												
16	16	20.50	Idriss (1990), Clay	Idriss (1990), Clay	16	66.00	5.00	16	400.00												
17	17	21.00	Idriss (1990), Sand	Idriss (1990), Sand	17	71.00	5.00	17	395.00												
18	18	20.50	Idriss (1990), Clay	Idriss (1990), Clay	18	76.00	25.00	18	390.00												
19	19	21.00	Idriss (1990), Sand	Idriss (1990), Sand	19	101.00	7.00	19	400.00												
20	20	21.00	Idriss (1990), Clay	Idriss (1990), Clay	20	108.00	9.00	20	485.00												
21	21	21.00	Idriss (1990), Sand	Idriss (1990), Sand	21	117.00	13.00	21	520.00												
22	22	21.00	Idriss (1990), Clay	Idriss (1990), Clay	22	130.00	62.00	22	600.00												
23	23	22.00	Idriss (1990), Clay	Idriss (1990), Clay	23	192.00	28.00	23	700.00												
24	24	22.00	Idriss (1990), Sand	Idriss (1990), Sand	24	220.00	15.00	24	740.00												
25	25	22.00	Idriss (1990), Clay	Idriss (1990), Clay	25	235.00	65.00	25	780.00												
				Custom	26	300.00	Half-Space	Bedrock	800.00												

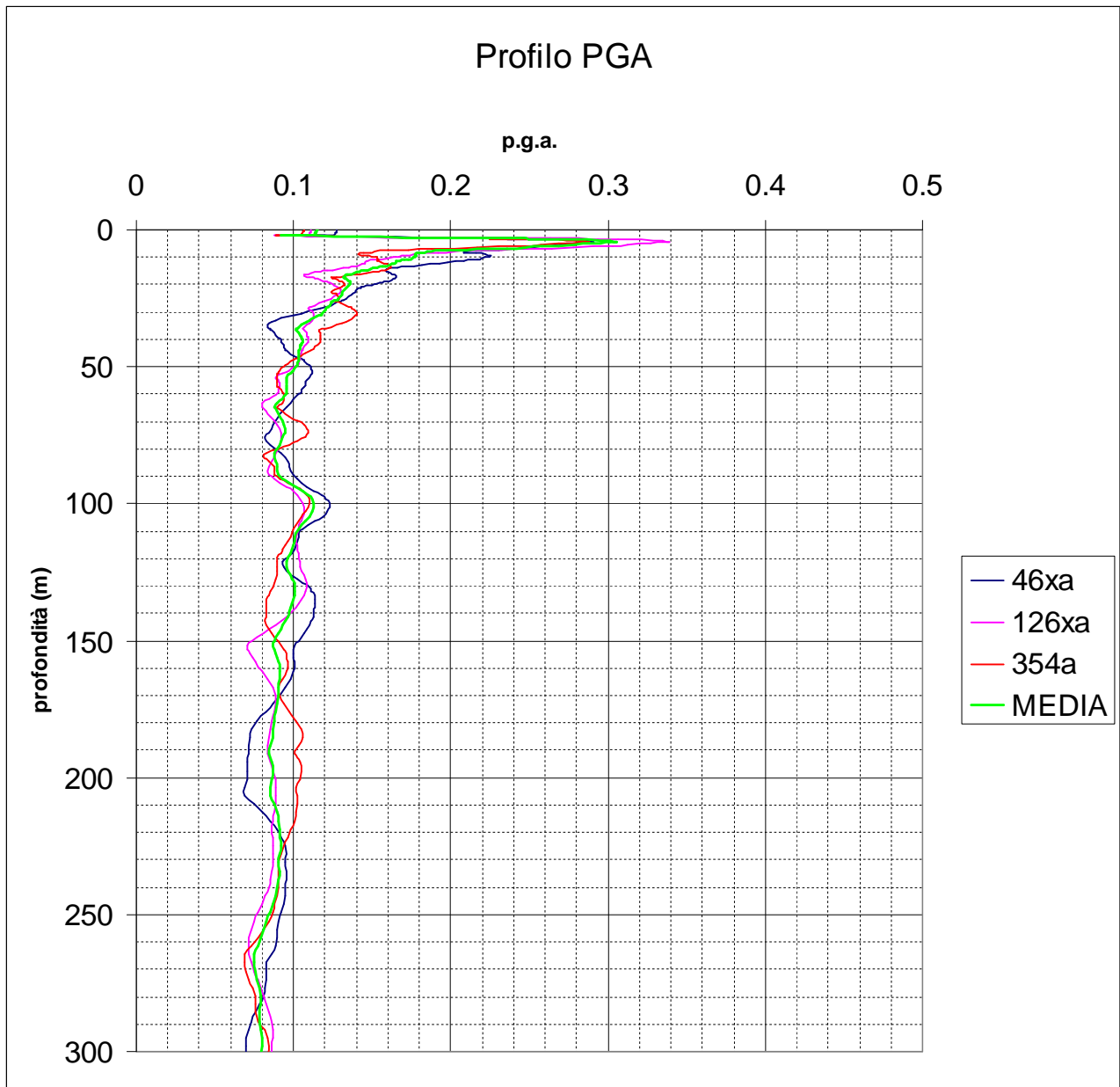
Si riportano i tre accelerogrammi al bedrock forniti dalla Regione Emilia Romagna e scalati per il comune di Cento a 0,157g ($T_R=475$ anni):



Utilizzando il codice STRATA si ottengono i risultati riportati di seguito.

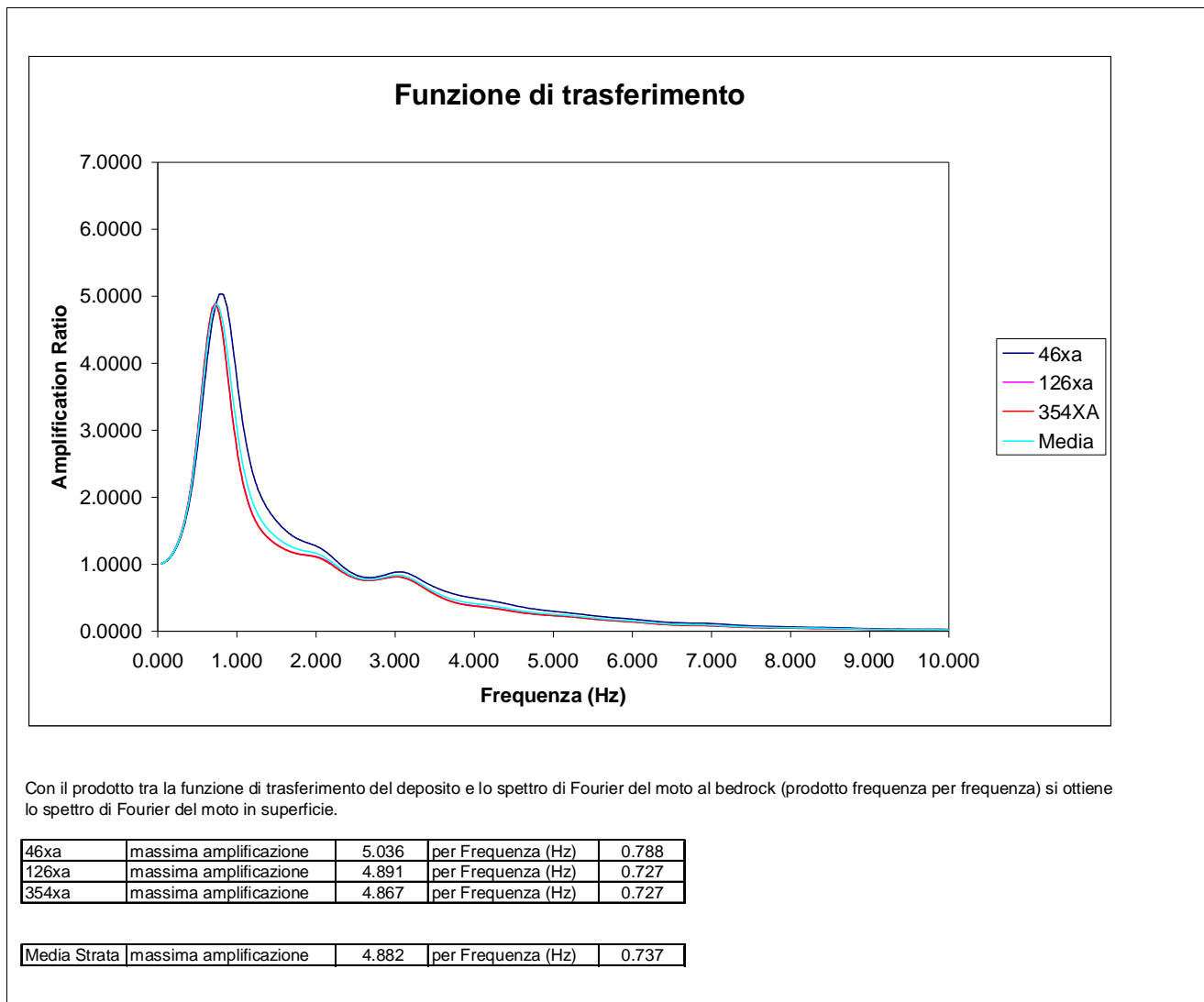
Nel grafico che segue è riportato profilo di PGA dal bedrock fino al piano campagna:

Come si può notare negli ultimi 30metri, ed in particolare negli ultimi 30metri si ha una netta amplificazione del picco massimo di accelerazione. In superficie si ottengono i seguenti valori di PGA:

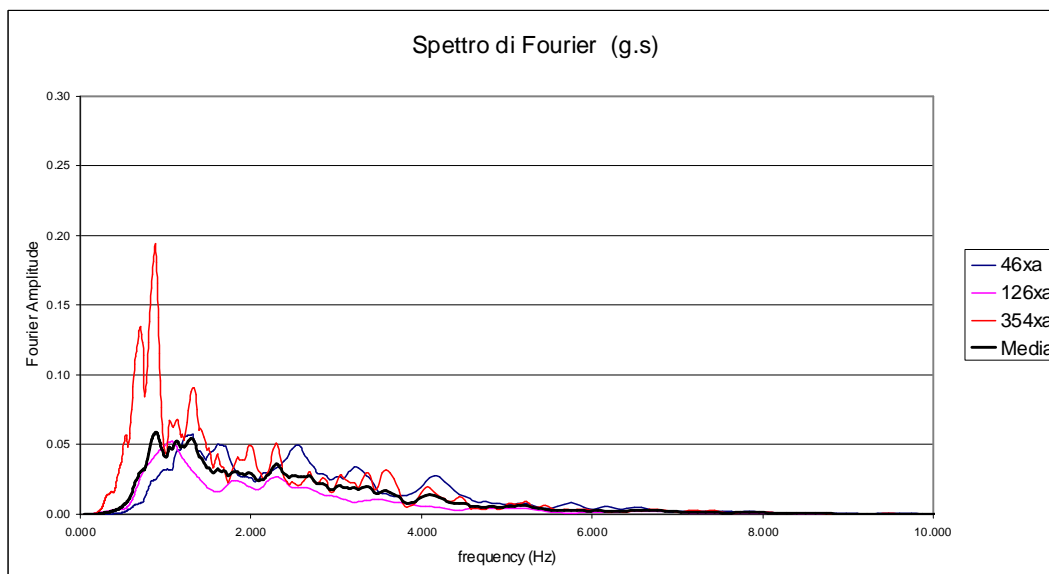


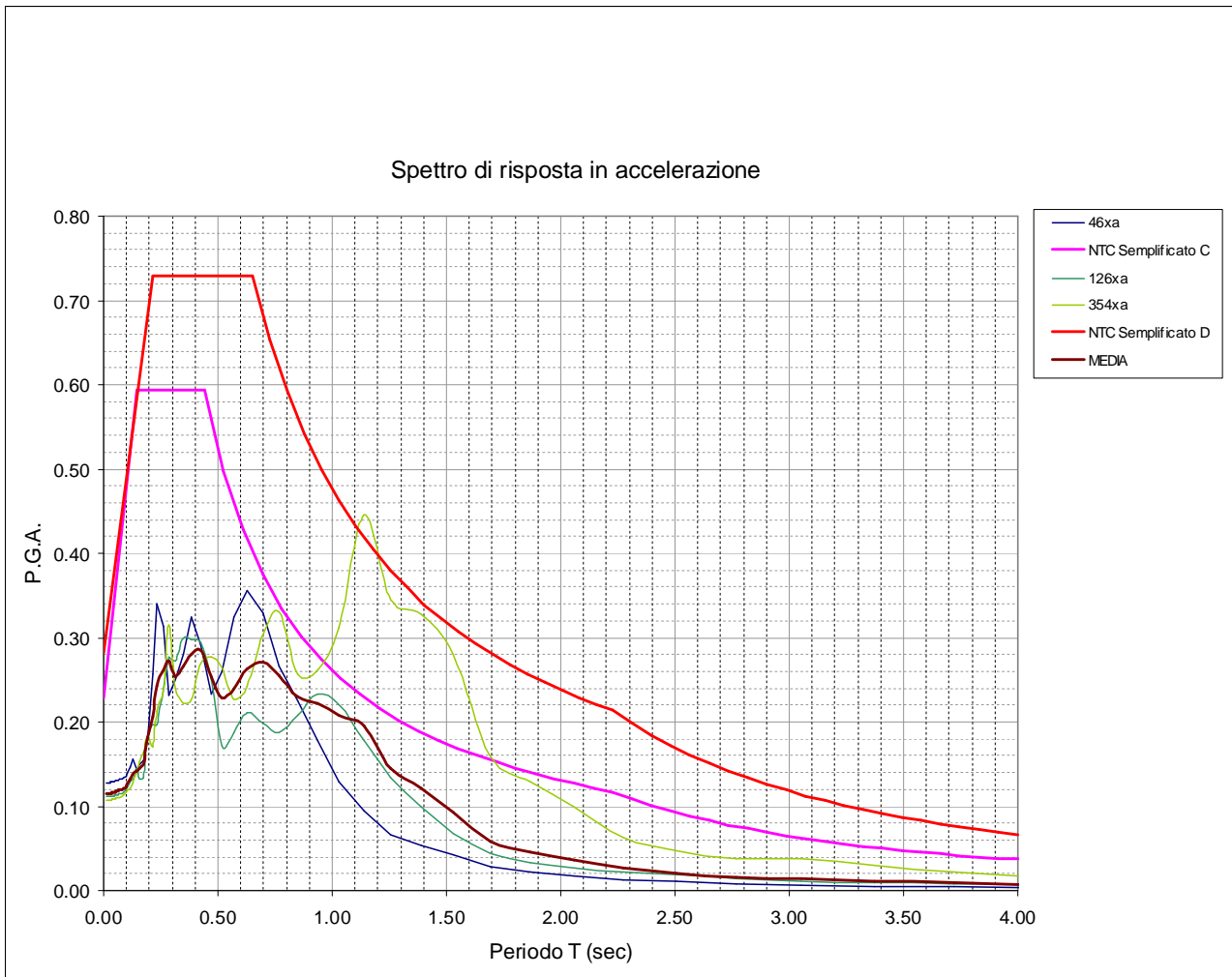
		F.A.	
P.G.A. bedrock		0.157	
P.G.A. superficie	46xa	0.128	0.81
P.G.A. superficie	126xa	0.111	0.71
P.G.A. superficie	354xa	0.107	0.68
P.G.A. superficie	Strata Media	0.115	0.73

La funzione di trasferimento che regola queste amplificazioni è la seguente:

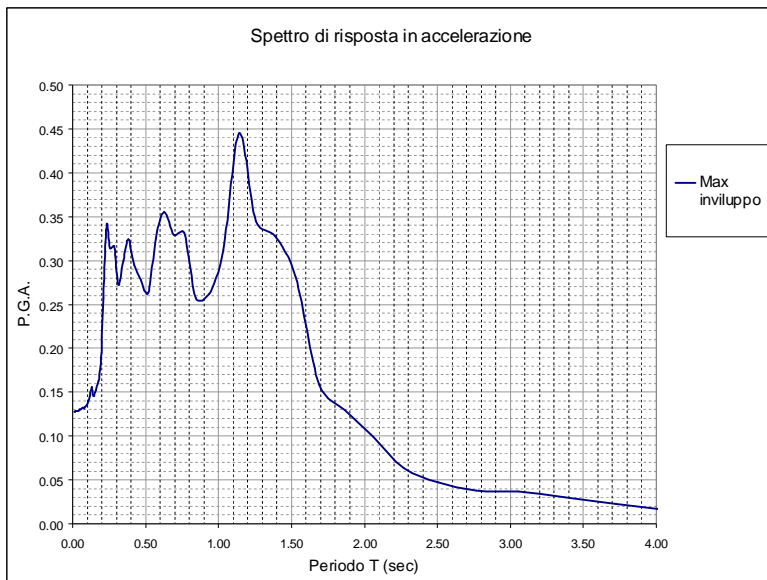


Lo spettro di Fourier in superficie è qui riportato:





Nel caso si ricorra a 3 accelerogrammi, si prenderà lo spettro più conservativo.



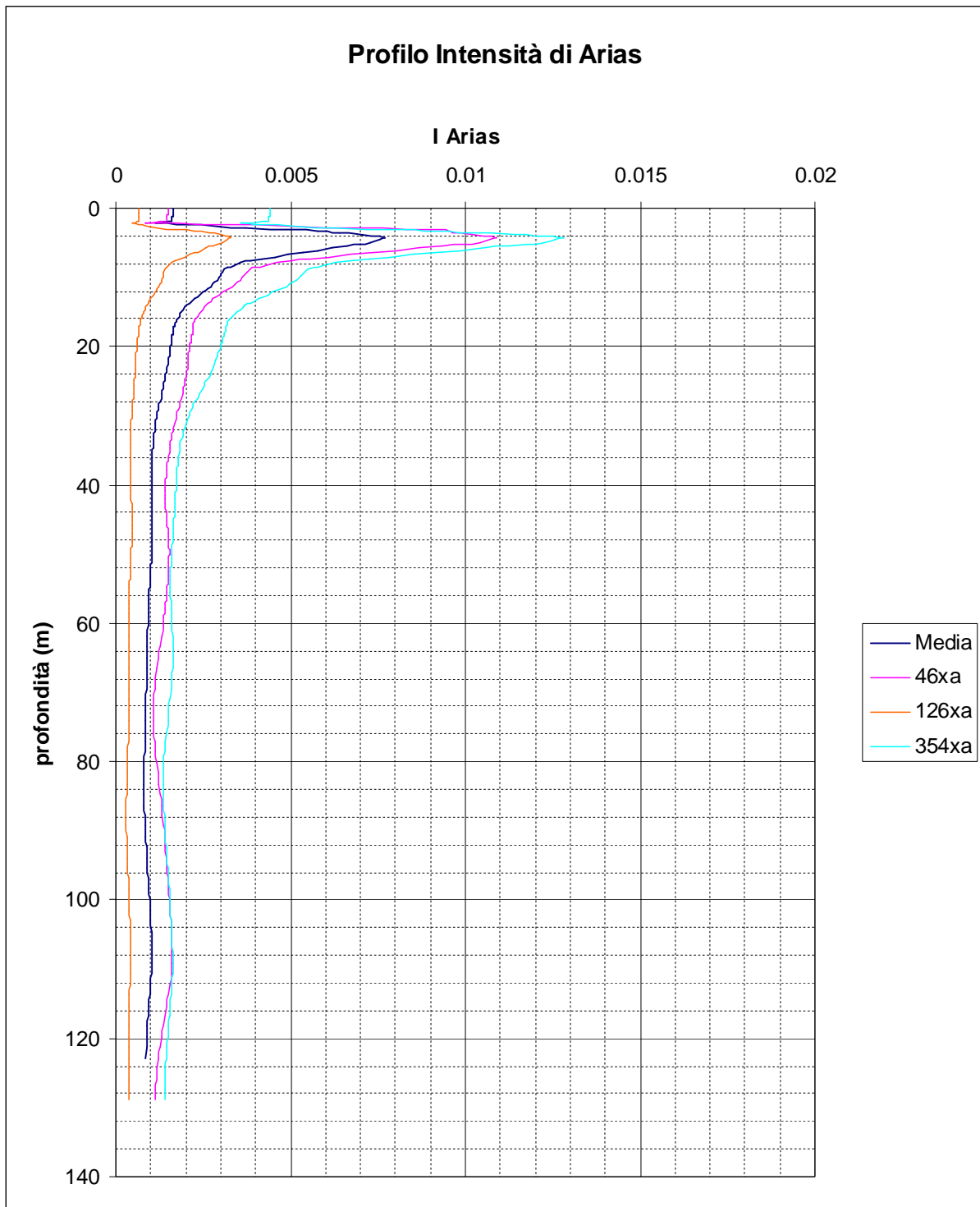
T (sec)	46xa	126xa	354xa	Media	Max Inviluppo
0.01	0.13	0.11	0.11	0.11	0.13
0.01	0.13	0.11	0.11	0.11	0.13
0.01	0.13	0.11	0.11	0.11	0.13
0.01	0.13	0.11	0.11	0.12	0.13
0.01	0.13	0.11	0.11	0.12	0.13
0.02	0.13	0.11	0.11	0.12	0.13
0.02	0.13	0.11	0.11	0.12	0.13
0.02	0.13	0.11	0.11	0.12	0.13
0.02	0.13	0.11	0.11	0.12	0.13
0.02	0.13	0.11	0.11	0.12	0.13
0.03	0.13	0.11	0.11	0.12	0.13
0.03	0.13	0.11	0.11	0.12	0.13
0.03	0.13	0.11	0.11	0.12	0.13
0.04	0.13	0.11	0.11	0.12	0.13
0.04	0.13	0.11	0.11	0.12	0.13
0.04	0.13	0.11	0.11	0.12	0.13
0.05	0.13	0.11	0.11	0.12	0.13
0.05	0.13	0.11	0.11	0.12	0.13
0.06	0.13	0.11	0.11	0.12	0.13
0.07	0.13	0.11	0.11	0.12	0.13
0.07	0.13	0.12	0.11	0.12	0.13
0.08	0.13	0.12	0.11	0.12	0.13
0.09	0.13	0.12	0.11	0.12	0.13
0.10	0.14	0.12	0.12	0.12	0.14
0.11	0.14	0.12	0.12	0.13	0.14
0.12	0.15	0.13	0.12	0.13	0.15
0.13	0.16	0.13	0.13	0.14	0.16
0.14	0.14	0.15	0.14	0.14	0.15
0.16	0.15	0.13	0.15	0.14	0.15
0.17	0.15	0.13	0.16	0.15	0.16
0.19	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
0.21	0.26	0.20	0.17	0.21	0.26
0.23	0.34	0.20	0.21	0.24	0.34
0.26	0.31	0.24	0.24	0.26	0.31
0.29	0.23	0.28	0.32	0.27	0.32
0.32	0.25	0.27	0.24	0.25	0.27
0.35	0.28	0.30	0.22	0.27	0.30
0.38	0.32	0.30	0.23	0.28	0.32
0.42	0.29	0.29	0.27	0.29	0.29
0.47	0.23	0.25	0.28	0.25	0.28
0.52	0.26	0.17	0.26	0.23	0.26
0.57	0.33	0.19	0.23	0.24	0.33
0.63	0.36	0.21	0.24	0.26	0.36
0.70	0.33	0.20	0.30	0.27	0.33
0.77	0.27	0.19	0.33	0.25	0.33
0.85	0.23	0.21	0.26	0.23	0.26
0.93	0.18	0.23	0.26	0.22	0.26
1.03	0.13	0.22	0.31	0.21	0.31
1.14	0.09	0.18	0.45	0.20	0.45
1.26	0.07	0.13	0.34	0.14	0.34
1.39	0.05	0.10	0.33	0.12	0.33
1.53	0.04	0.07	0.28	0.09	0.28
1.69	0.03	0.04	0.16	0.06	0.16
1.86	0.02	0.03	0.13	0.05	0.13
2.06	0.02	0.03	0.10	0.04	0.10
2.27	0.01	0.02	0.06	0.03	0.06
2.51	0.01	0.02	0.05	0.02	0.05
2.77	0.01	0.01	0.04	0.02	0.04
3.05	0.01	0.01	0.04	0.01	0.04
3.37	0.01	0.01	0.03	0.01	0.03
3.72	0.00	0.01	0.02	0.01	0.02
4.10	0.00	0.01	0.02	0.01	0.02
4.53	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
5.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01

Questi dati andranno valutati anche in base allo smorzamento che può derivare dalla rigidità della struttura che si andrà a progettare o a valutare, ovvero in base al suo fattore di struttura q .

Le valutazioni a cui si è pervenuti in questo studio sono per un $q=1$ (ovvero per un coefficiente di smorzamento ξ del 5%).

Lo strutturista potrà effettuare una RSL più vicina alla realtà in quanto potrà tenere conto anche del fattore di struttura.

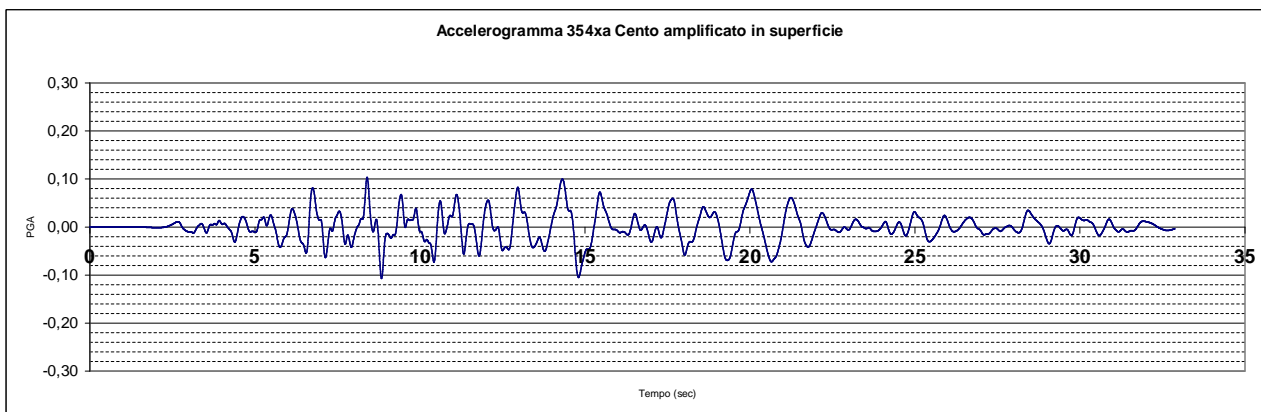
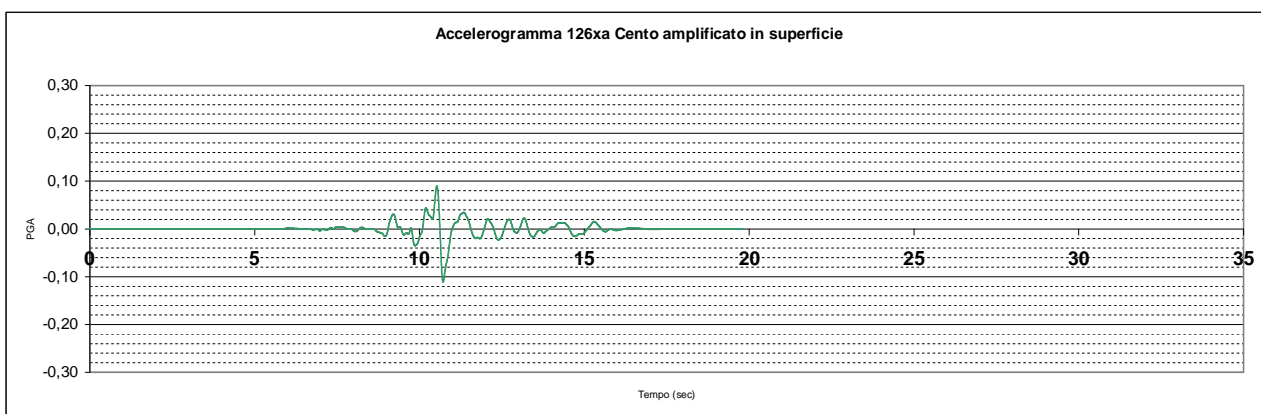
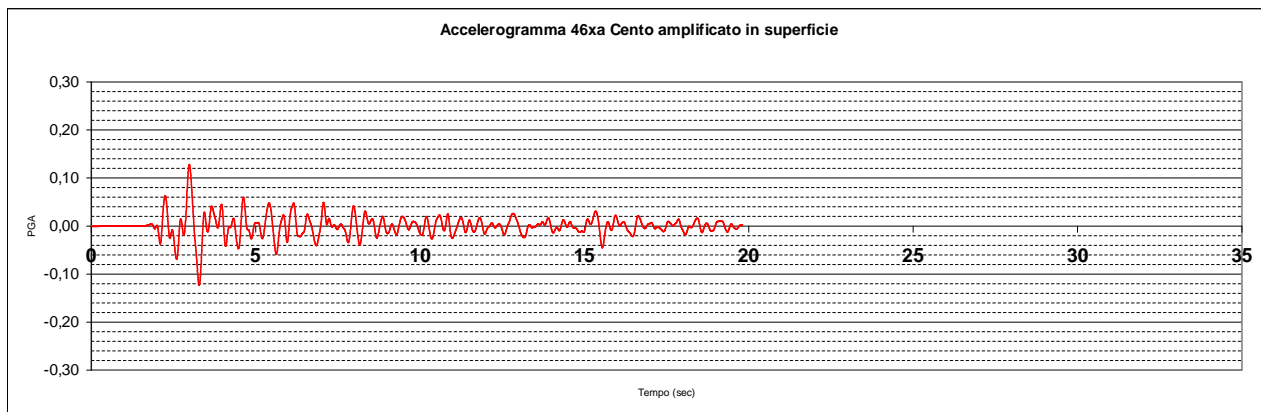
Il profilo dell'Intensità di ARIAS è riportato nella seguente figura.



Gli accelerogrammi in superficie, visibilmente smorzati dallo strato sabbioso superficiale, sono riportati di seguito. E' importante notare che uno studio di RSL deve tener conto delle caratteristiche geotecniche intrinseche dei terreni del sito allo studio. Tali terreni vanno sottoposti alle idonee prove di laboratorio per ottenere i parametri di decadimento del modulo G_0 e dello smorzamento D che tali sedimenti sono in grado di offrire alla variazione delle deformazioni di taglio indotte dal sisma.

Quindi il ricorso a dati bibliografici risulta essere di ausilio per dare indicazioni di massima, ma non sostituiscono una vera analisi di Risposta Sismica Locale. Per esempio si osservi nel profilo delle PGA come le amplificazioni portano a PGA di circa 0,30g a circa 6m di profondità, sollecitando in modo molto importante la base del deposito sabbioso. Poi quest'ultimo attenua e smorza l'azione sismica riducendola e deamplificando sulla superficie del terreno l'accelerazione liberata al bedrock sismico (F.A. <1).

Questo per dire che le curve attribuite ai materiali hanno un ruolo fondamentale, e non si ritiene sufficiente il ricorso a dati bibliografici, almeno fino a quanto l'utilizzo di queste RSL non sia stato pienamente digerito e sperimentato da noi utilizzatori finali, con anni di esperienza, ancora tutta da maturare.



6. CONCLUSIONI

- Per la mitigazione del rischio sismico dell'area D1.4. candidata ad essere inserita nel Piano della Ricostruzione di Cento, per un intervento urbanistico residenziale in via Santa Liberata a Cento (Fe), è stata eseguita una campagna di indagine consistente in:

- 1) una prova penetrometrica statica con punta elettrica e sismocono SCPTU1, spinta fino alla profondità di -25,40 m da p.c., con *rif. U 17-14*,
- 2) un sondaggio geognostico con prelievo di campioni disturbati
- 3) analisi di laboratorio geotecnico
- 4) misura della frequenza di risonanza del sito mediante prova H/V.

Non è stato possibile eseguire la prova SCPTU fino alla profondità di -30,00 m da p.c. per la presenza di terreni saturi fin dal piano campagna, con basse resistenze al taglio, che non hanno offerto un adeguato ancoraggio del penetrometro. In profondità infatti sono presenti terreni argillosi molto consistenti, che offrono alti attriti laterali lungo la batteria delle aste, sollecitando gli ancoraggi oltre la resistenza del terreno superficiale troppo bagnato. Nel sito erano già presenti due prove CPT a 15m di profondità. Nell'intorno dell'area sono invece presenti indagini a circa 35m raccolte nella banca dati regionale. Attraverso questi dati bibliografici si ricava che la stratigrafia dell'area allo studio è caratterizzata da terreni coesivi fino alla profondità di -30,00 m da p.c..

- Dal punto di vista geomorfologico l'assetto del territorio su cui si interviene risulta determinato essenzialmente da una dinamica di tipo fluviale che ha generato nel corso del tempo e mediante il susseguirsi di eventi, il deposito e l'accumulo di sedimenti a bassa energia idrodinamica (sedimenti alluvionali distali).

L'area presenta criticità idrauliche; di fatto è stata soggetta ad allagamenti persistenti in seguito a precipitazioni intense per un periodo da 2 fino a 4 giorni. Le frequenti precipitazioni di questo periodo alterano in modo significativo i livelli di falda rendendoli sempre più prossimi ai piani campagna, imbibendo i terreni superficiali. Gli ultimi allagamenti persistenti risalgono all'ottobre del 2005 con lo straripamento del canale di Cento.

Nell'area è stata rilevata la quota della superficie di falda all'interno del foro di esecuzione della prova penetrometrica statica con punta elettrica e sismocono SCPTU1, con *rif. U17-14*. Tale quota è stata rilevata in data 21/02/2014 alla profondità di -0,50 m dal p.c.. Il livello freatico potrebbe oscillare rispetto ai valori riscontrati in tal giorno, solo un monitoraggio di un anno idrogeologico permetterebbe di valutare le oscillazioni stagionali di queste quote.

L'area è attraversata da una serie di canalizzazioni secondarie, costituite da canalini interpoderali o interaziendali, che regolano lo scolo e l'irrigazione dell'area. Le acque meteoriche che precipitano all'interno dell'area che delimita il sito in esame vengono convogliate verso il fiume Reno e verso lo scolo Bagnetto.

- Le prove penetrometriche prima, ed il sondaggio poi, hanno evidenziato la presenza di sabbie limoso-argillose presenti da 2,3m fino a circa 5,0m dal p.c.. I fusi non ricadono interamente tra quelli liquefacibili. In ogni caso, viste le alte energie sismiche attese, non si può escludere che tali depositi siano suscettibili di liquefazione. Di fatto il 20 maggio 2012 ed il 29 maggio 2012 non si sono evidenziate problematiche o evidenze di liquefazione.

- L'Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, c. 1, della L.R. 20/2000 per "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica" fornisce i valori di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g (a_{refg}) per ogni comune della regione Emilia Romagna, per il comune di Cento vengono previste accelerazioni massime al bedrock sismico di 0.157g.

- Il valore di V_{S30} misurato è di 182m/sec per cui il sito è soggetto ad amplificazione sismica. Tale amplificazione è fornita dall'Atto di Indirizzo 112/2007 della R.E.R. ed altresì, è calcolabile con i procedimenti dettati dal D.M. 14/01/2008.

Secondo l'Atto di Indirizzo regionale in ambito di pianura caratterizzato da profilo stratigrafico costituito da alternanze di sabbie e peliti (PIANURA 2), come nel caso in esame, per suoli caratterizzati da

valori di V_{s30} fino a 300 m/s si dovrà adottare un fattore di amplificazione sismica $F.A.=1,50$ per cui l'accelerazione diventerà $P.G.A.=0,235g$.

- Secondo il vigente D.M. 14/01/2008 l'accelerazione sitospecifica è stata calcolata in 0,157g, l'amplificazione sismica S_s è stata invece calcolata in 1,46, per cui $P.G.A. = 0,229g$.

- La magnitudo massima attesa nei tempi di ritorno adottati è di 6,14 Mw, dato che l'area allo studio ricade all'interno della zona sismogenetica 912. Gli eventi sismici del maggio 2012 hanno dato valori di 5,9.

- Per la verifica della liquefazione delle sabbie è stato utilizzato un software di calcolo C-Liq che analizzando ogni strato da 20 cm individuato dalla prova penetrometrica con punta elettrica e sismocono SCPTU1, ne verifica la potenzialità di liquefazione.

Dai calcoli emerge che nell'area di studio il fenomeno della liquefazione è un effetto di sito atteso. Dall'elaborazione dell'indagine è emerso che il sito esaminato mostra un alto indice del potenziale di liquefazione ($IPL=6,64$).

Dalle elaborazioni informatiche, si è inoltre ricavato che con una Magnitudo di 6.14, si determinano cedimenti post sismici nei terreni granulari saturi pari a 6,92 cm.

- Ricorrendo ad una sommaria analisi di risposta sismica locale (limitata dal fatto che è basata sostanzialmente su dati bibliografici e non su misure dirette), si constata che alla base dello strato sabbioso arrivano accelerazioni di circa 0,30g, che poi vengono velocemente smorzate per il dumping delle sabbie limose argillose rilevate da -2,3m fino a -5,0m dal p.c.; dunque il problema della liquefazione viene confermato.

- Gli accelerogrammi in superficie, visibilmente smorzati dallo strato sabbioso superficiale, evidenziano accelerazioni inferiori a quelle liberate al bedrock sismico. Si ha in affioramento, una deamplificazione. È importante notare che uno studio di RSL deve tener conto delle caratteristiche geotecniche intrinseche dei terreni del sito allo studio. Tali terreni vanno sottoposti alle idonee prove di laboratorio per ottenere i parametri di decadimento del modulo G_0 e dello smorzamento D , che tali sedimenti sono in grado di offrire alla variazione delle deformazioni al taglio indotte dal sisma. Il ricorso a dati bibliografici risulta essere di ausilio per dare indicazioni di massima, ma non sostituiscono una vera analisi di Risposta Sismica Locale. Per esempio si osservi nel profilo delle PGA come le amplificazioni portano a PGA di circa 0,30g a circa 6m di profondità, sollecitando in modo molto importante la base del deposito sabbioso. Poi quest'ultimo attenua e smorza l'azione sismica riducendola e deamplificando sulla superficie del terreno l'accelerazione liberata al bedrock sismico ($F.A. < 1$). Questo per dire che le curve attribuite ai materiali hanno un ruolo fondamentale, e non si ritiene sufficiente il ricorso a dati bibliografici, almeno fino a quanto l'utilizzo di queste RSL non sia stato pienamente digerito e sperimentato da noi utilizzatori finali, con anni di esperienza, ancora tutta da maturare.

- Il cedimento post-sismico in terreni coesivi soffici risulta pari a 2,98 cm ricavato dall'analisi di 2 strati di terreni immersi in falda presenti da -6,00 m da p.c. fino a 10,00 m da p.c.. Nello specifico uno strato di sedimenti prevalentemente coesivi poco consistenti con un valore di R_p medio pari a 4,3 kg/cm², presente tra -6,00 m da p.c. e -7,50 m da p.c. (Strato1) e uno strato di sedimenti prevalentemente coesivi moderatamente consistenti con un valore di R_p medio pari a 6,7 kg/cm², presente tra -7,50 m da p.c. e -10,00 m da p.c. (Strato2).

- N.B. Si fa presente che la liquefazione delle sabbie non è un fenomeno escludente l'edificabilità, ma è solo un fattore condizionante, per cui occorrerà, in fase progettuale, definire delle soluzioni tecniche che limitino l'accadimento di problematiche legate all'instabilità dei terreni. L'Allegato 4 alla Determinazione del Dirigente n° 12418 del 02/10/2012 approvata dalla Giunta Regionale, descrive per esempio una panoramica delle possibilità tecniche già adottate in diversi paesi soggetti a queste problematiche. Occorre imparare a convivere con il rischio sismico adottando idonee soluzioni tecniche, che non lo facciano temere.

Codigoro, li 28/02/2014

Dott. Geol. Thomas Veronese



PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA
UBICAZIONE DELLE PROVE SVOLTE - FOTO PIAZZAMENTI

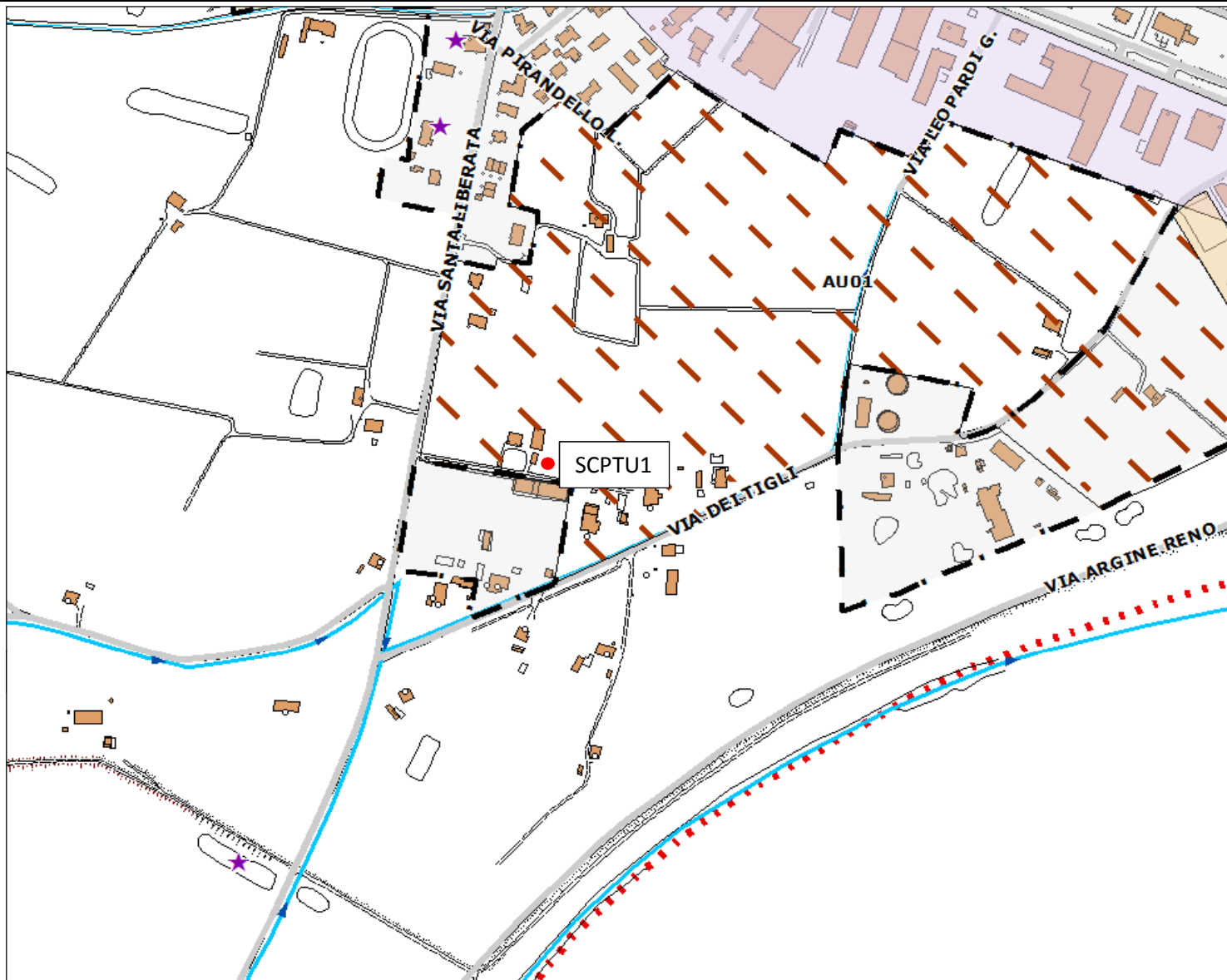
RIF. PROVA:

U17-14

COMMITTENTE: EFFE costruzioni s.r.l.

CANTIERE: POC via Santa Liberata, Cento (Fe)

DATA: 21/02/2014



SCPTU1

PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA															RIF. PROVA:		CPTU n°:							
LETTURE DI CAMPAGNA															U17-14		CPTU1							
COMMITTENTE: EFFE costruzioni s.r.l.										PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 25,40														
CANTIERE: POC via Santa Liberata, Cento (Fe)										PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 0,50														
DATA: 21/02/2014										PREFORO (m da p.c.): 0,00														
Prof. (m)	qc MPa	fs kPa	U kPa	Inc. °	Prof. (m)	qc MPa	fs kPa	U kPa	Inc. °	Prof. (m)	qc MPa	fs kPa	U kPa	Inc. °	Prof. (m)	qc MPa	fs kPa	U kPa	Inc. °					
0,02	1,45	5,50	39,06	0,34	1,82	0,90	37,08	136,75	0,55	3,62	1,90	13,94	73,48	0,83	5,42	0,86	17,39	53,50	1,14	7,22	0,43	14,25	236,65	1,40
0,04	1,55	14,51	12,42	0,34	1,84	0,90	32,53	145,63	0,55	3,64	2,05	13,72	65,71	0,85	5,44	0,84	16,61	52,39	1,14	7,24	0,43	14,25	237,75	1,40
0,06	1,79	19,83	9,09	0,34	1,86	0,90	26,08	150,06	0,54	3,66	1,97	10,83	62,38	0,84	5,46	0,84	15,50	52,39	1,14	7,26	0,44	14,48	238,86	1,40
0,08	1,92	25,16	5,76	0,34	1,88	0,90	24,19	162,28	0,55	3,68	1,74	8,38	62,38	0,85	5,48	0,85	13,61	51,28	1,12	7,28	0,45	14,36	239,98	1,41
0,10	1,85	36,49	2,44	0,34	1,90	0,91	26,41	166,72	0,56	3,70	1,56	7,61	62,38	0,85	5,50	0,87	13,72	50,16	1,14	7,30	0,48	14,36	245,53	1,41
0,12	1,77	45,71	0,22	0,38	1,92	0,94	29,51	197,80	0,56	3,72	1,46	7,60	63,49	0,85	5,52	0,86	14,27	50,16	1,14	7,32	0,49	14,14	242,20	1,41
0,14	1,70	52,71	2,00	0,27	1,94	0,94	32,84	208,90	0,55	3,74	1,41	8,38	64,60	0,85	5,54	0,82	14,27	49,05	1,14	7,34	0,49	14,14	235,54	1,42
0,16	1,65	60,16	5,34	0,40	1,96	0,95	33,62	207,79	0,55	3,76	1,41	8,83	65,71	0,86	5,56	0,78	14,71	47,95	1,14	7,36	0,49	14,92	231,10	1,44
0,18	1,57	67,27	8,66	0,42	1,98	0,95	35,40	203,35	0,54	3,78	1,44	8,82	66,82	0,85	5,58	0,86	13,05	52,39	1,14	7,38	0,48	15,14	235,54	1,43
0,20	1,40	71,61	9,77	0,38	2,00	0,88	36,40	186,70	0,56	3,80	1,48	9,71	65,71	0,88	5,60	0,96	16,05	53,50	1,15	7,40	0,50	15,14	234,43	1,42
0,22	1,25	72,39	8,66	0,31	2,02	0,82	37,83	197,80	0,57	3,82	1,43	10,16	60,15	0,89	5,62	0,90	17,60	51,28	1,14	7,42	0,53	16,25	238,86	1,45
0,24	1,16	68,05	8,66	0,38	2,04	0,74	39,16	194,46	0,57	3,84	1,24	8,71	60,15	0,89	5,64	0,74	14,38	50,16	1,14	7,44	0,54	16,58	246,64	1,43
0,26	1,19	68,94	5,34	0,40	2,06	0,66	37,72	182,25	0,58	3,86	0,99	7,15	56,83	0,89	5,66	0,58	10,38	46,84	1,16	7,46	0,57	16,58	249,96	1,47
0,28	1,17	67,27	4,22	0,36	2,08	0,59	36,83	156,73	0,58	3,88	0,84	7,70	55,72	0,89	5,68	0,60	9,38	52,39	1,18	7,48	0,57	18,14	252,19	1,46
0,30	1,16	63,61	1,33	0,38	2,10	0,50	36,05	153,40	0,57	3,90	0,76	11,70	56,83	0,89	5,70	0,78	10,49	60,15	1,16	7,50	0,60	18,36	251,08	1,47
0,32	1,27	55,50	3,55	0,41	2,12	0,47	32,50	151,18	0,60	3,92	0,87	17,26	61,26	0,90	5,72	0,95	13,49	60,15	1,18	7,52	0,63	18,14	255,52	1,47
0,34	1,40	51,72	19,09	0,40	2,14	0,45	29,94	151,18	0,59	3,94	1,19	16,81	69,04	0,89	5,74	0,96	15,38	57,94	1,17	7,54	0,62	19,25	262,18	1,48
0,36	1,50	50,05	33,52	0,41	2,16	0,48	24,94	155,62	0,58	3,96	1,37	15,03	71,25	0,91	5,76	0,87	12,93	56,83	1,18	7,56	0,66	20,25	268,84	1,46
0,38	1,50	45,72	50,16	0,40	2,18	0,55	21,27	157,84	0,59	3,98	1,42	16,25	67,93	0,90	5,78	0,81	12,93	55,72	1,17	7,58	0,66	20,81	273,28	1,49
0,40	1,36	42,60	64,60	0,38	2,20	0,69	19,82	153,40	0,60	4,00	1,52	14,81	67,93	0,91	5,80	0,80	14,49	56,83	1,16	7,60	0,65	22,03	271,05	1,47
0,42	1,29	41,94	61,26	0,38	2,22	0,82	18,60	128,98	0,59	4,02	1,61	11,23	81,25	0,91	5,82	0,83	16,71	55,72	1,16	7,62	0,63	23,58	272,16	1,49
0,44	1,29	42,27	52,39	0,38	2,24	0,95	16,38	110,11	0,58	4,04	1,76	11,79	69,04	0,91	5,84	0,79	17,15	54,61	1,17	7,64	0,65	25,36	277,72	1,49
0,46	1,22	43,82	54,61	0,38	2,26	0,98	14,71	103,45	0,59	4,06	1,77	13,23	56,83	0,93	5,86	0,74	18,38	53,50	1,17	7,66	0,67	26,58	282,15	1,49
0,48	1,11	44,82	46,84	0,40	2,28	0,94	11,82	102,34	0,60	4,08	1,66	13,12	54,61	0,93	5,88	0,65	15,37	52,39	1,17	7,68	0,69	27,25	247,75	1,49
0,50	0,99	45,60	40,18	0,38	2,30	1,12	11,59	101,23	0,60	4,10	1,43	9,67	54,61	0,91	5,90	0,57	12,82	51,28	1,16	7,70	0,69	28,59	258,85	1,48
0,52	0,93	43,38	35,74	0,42	2,32	1,26	13,14	99,01	0,59	4,12	1,16	7,01	52,39	0,93	5,92	0,46	11,82	51,28	1,17	7,72	0,67	29,59	268,84	1,49
0,54	0,92	43,16	32,41	0,42	2,34	1,40	14,70	87,91	0,60	4,14	0,96	8,01	51,28	0,93	5,94	0,43	10,59	54,61	1,18	7,74	0,66	30,48	271,05	1,48
0,56	0,89	42,72	33,52	0,42	2,36	1,48	16,47	76,81	0,59	4,16	0,87	10,45	51,28	0,93	5,96	0,45	9,93	66,82	1,18	7,76	0,63	30,81	287,71	1,49
0,58	0,93	40,94	33,52	0,42	2,38	1,51	13,70	75,70	0,60	4,18	0,80	13,01	51,28	0,93	5,98	0,49	10,70	77,92	1,17	7,78	0,62	31,25	288,82	1,48
0,60	0,97	40,39	35,74	0,42	2,40	1,50	13,03	74,59	0,60	4,20	0,83	14,23	54,61	0,93	6,00	0,49	11,70	75,70	1,19	7,80	0,60	31,58	294,36	1,48
0,62	1,05	39,39	40,18	0,43	2,42	1,46	10,14	72,36	0,62	4,22	1,23	14,34	67,93	0,91	6,02	0,51	15,04	67,93	1,16	7,82	0,61	30,47	301,03	1,50
0,64	1,98	43,16	56,83	0,42	2,44	1,43	8,14	72,36	0,60	4,24	1,74	16,34	65,71	0,93	6,04	0,44	13,70	70,15	1,19	7,84	0,61	28,47	301,03	1,49
0,66	2,13	38,94	63,49	0,38	2,46	1,43	8,36	70,15	0,60	4,26	2,03	17,23	62,38	0,93	6,06	0,38	13,26	71,25	1,18	7,86	0,61	26,92	302,14	1,51
0,68	1,78	31,94	56,83	0,36	2,48	1,43	9,03	65,71	0,62	4,28	2,21	15,56	63,49	0,93	6,08	0,33	11,93	75,70	1,19	7,88	0,62	25,92	288,82	1,51
0,70	2,30	26,94	44,62	0,34	2,50	1,41	7,92	63,49	0,62	4,30	2,23	11,32	80,14	0,97	6,10	0,33	11,37	85,69	1,20	7,90	0,63	24,03	283,26	1,51
0,72	2,09	36,39	46,84	0,37	2,52	1,43	8,81	59,05	0,63	4,32	2,32	11,99	79,03	0,97	6,12	0,32	10,04	94,56	1,21	7,92	0,63	23,03	276,61	1,49
0,74	1,51	35,17	45,73	0,36	2,54	1,41	9,58	55,72	0,64	4,34	2,38	10,88	77,92	0,96	6,14	0,34	9,59	104,55	1,20	7,94	0,62	22,69	273,28	1,51
0,76	1,37	45,29	45,73	0,38	2,56	1,39	8,58	54,61	0,64	4,36	2,34	10,65	75,70	0,98	6,16	0,38	9,15	113,44	1,21	7,96	0,62	23,03	273,28	1,51
0,78	1,25	47,08	44,62	0,37	2,58	1,34	6,91	54,61	0,64	4,38	2,26	10,21	73,48	0,96	6,18	0,39	9,26	115,65	1,21	7,98	0,62	23,69	273,28	1,51
0,80	1,19	52,75	46,84	0,38	2,60	1,31	6,14	56,83	0,64	4,40	2,09	9,21	72,36	0,95	6,20	0,38	9,26	123,43	1,21	8,00	0,59	22,91	271,05	1,51
0,82	1,12	56,09	55,72	0,34	2,62	1,32	6,58	57,94	0,63	4,42	1,85	8,43	70,15	0,99	6,22	0,39	9,15	130,09	1,23	8,02	0,60	23,92	261,06	1,51
0,84	1,12	56,31	64,60	0,36	2,64	1,33	8,13	53,50	0,64	4,44	1,63	8,32	69,04	0,99	6,24	0,40	9,26	135,64	1,21	8,04	0,61	23,58	259,95	1,51
0,86	1,12	52,41	72,36	0,37	2,66	1,27	9,13	47,95	0,64	4,46	1,45	8,76	66,82	0,98	6,26	0,40	9,48	138,96	1,23	8,06	0,58	23,36	252,19	1,53
0,88	1,10	49,51	72,36	0,38	2,68	1,11	8,79	45,73	0,64	4,48	1,30	9,21	64,60	1,00	6,28	0,32	8,93	137,85	1,24	8,08	0,56	23,25	254,41	1,54
0,90	1,11	46,40	73,48	0,37	2,70	0,96	7,57	45,73	0,64	4,50	1,17	9,54	63,49	1,00	6,30	0,42	12,48	181,15	1,25	8,10	0,54	23,03	252,19	1,53
0,92	1,13	42,20	72,36	0,38	2,72	0,85	7,02	46,84	0,67	4,52	1,10	10,65	62,38	1,00	6,32	0,42	12,82	181,15	1,25	8,12	0,54	22,70	249,96	1,54
0,94	1,11	41,64	69,04	0,36	2,74	0,80	6,90	46,84	0,68	4,54	1,14	11,31	63,49	1,00	6,34	0,40	12,82	181,15	1,25	8,14	0,53	22,36	254,41	1,51
0,96	1,06	42,31	65,71	0,37	2,76	0,77	7,35	47,95	0,68	4,56	1,24	12,87	65,71	1,00	6,36	0,39	13,26	181,15	1,25	8,16	0,54	21,81	262,18	1,51
0,98	0,95	46,64	65,71	0,38	2,78	0,73	8,35	47,95	0,67	4,58	1,37	16,31	60,15	1,00	6,38	0,39	13,59	180,04	1,25	8,18	0,54	20,92	272,16	1,53
1,0																								

PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA																				RIF. PROVA:		CPTU n°:		
LETTURE DI CAMPAGNA																				U17-14		CPTU1		
COMMITTENTE: EFFE costruzioni s.r.l.										PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 25,40														
CANTIERE: POC via Santa Liberata, Cento (Fe)										PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 0,50														
DATA: 21/02/2014										PREFORO (m da p.c.): 0,00														
Prof.	qc	fs	U	Inc.	Prof.	qc	fs	U	Inc.	Prof.	qc	fs	U	Inc.	Prof.	qc	fs	U	Inc.	Prof.	qc	fs	U	Inc.
(m)	MPa	kPa	kPa	°	(m)	MPa	kPa	kPa	°	(m)	MPa	kPa	kPa	°	(m)	MPa	kPa	kPa	°	(m)	MPa	kPa	kPa	°
9,02	0,58	23,48	244,42	1,58	10,82	1,15	82,89	322,12	1,79	12,62	1,75	130,61	208,90	1,98	14,42	1,88	104,95	344,32	2,40	16,22	1,66	54,20	365,41	2,63
9,04	0,60	24,15	263,29	1,58	10,84	1,15	81,33	319,90	1,79	12,64	1,73	128,49	211,12	1,97	14,44	1,87	105,62	346,54	2,40	16,24	1,67	53,54	367,63	2,62
9,06	0,62	23,59	267,73	1,58	10,86	1,11	79,77	315,45	1,79	12,66	1,75	128,49	213,34	1,95	14,46	1,89	103,40	347,65	2,40	16,26	1,71	53,76	369,85	2,61
9,08	0,63	23,48	261,06	1,58	10,88	1,10	78,54	315,45	1,77	12,68	1,76	128,40	231,10	1,98	14,48	1,95	101,17	353,20	2,41	16,28	1,72	53,43	370,95	2,60
9,10	0,62	23,93	264,40	1,57	10,90	1,10	76,77	314,35	1,77	12,70	1,75	125,40	228,88	1,99	14,50	1,99	102,39	359,85	2,41	16,30	1,77	54,76	373,18	2,60
9,12	0,65	24,26	289,93	1,58	10,92	1,11	75,43	314,35	1,76	12,72	1,77	122,17	225,55	1,98	14,52	1,99	102,17	363,19	2,41	16,32	1,84	56,21	378,73	2,60
9,14	0,67	24,59	284,38	1,55	10,94	1,12	73,87	314,35	1,76	12,74	1,76	123,51	218,89	2,02	14,54	2,03	100,05	366,52	2,41	16,34	1,88	59,43	385,39	2,58
9,16	0,70	24,26	282,15	1,58	10,96	1,17	71,10	316,56	1,77	12,76	1,75	123,51	231,10	2,02	14,56	2,05	96,38	364,30	2,42	16,36	1,87	63,54	388,72	2,59
9,18	0,73	23,59	275,50	1,59	10,98	1,20	69,65	318,79	1,76	12,78	1,80	120,17	232,21	2,02	14,58	2,05	96,49	366,52	2,42	16,38	1,90	66,87	394,26	2,56
9,20	0,74	24,48	269,95	1,59	11,00	1,26	69,87	321,01	1,75	12,80	1,86	117,17	227,76	2,03	14,60	2,04	98,16	364,30	2,42	16,40	1,90	70,32	395,38	2,55
9,22	0,75	27,15	264,40	1,58	11,02	1,27	72,67	313,24	1,76	12,82	1,89	116,28	229,99	2,02	14,62	2,00	98,93	360,96	2,45	16,42	1,89	72,09	392,05	2,56
9,24	0,75	29,59	264,40	1,60	11,04	1,38	74,33	306,58	1,76	12,84	1,83	117,28	227,76	2,05	14,64	1,97	99,60	358,75	2,42	16,44	1,84	69,43	382,05	2,56
9,26	0,74	30,93	267,73	1,60	11,06	1,36	76,78	303,25	1,76	12,86	1,77	116,72	231,10	2,05	14,66	1,88	104,04	360,96	2,42	16,46	1,79	70,31	372,06	2,55
9,28	0,73	32,15	264,40	1,60	11,08	1,38	79,44	297,70	1,77	12,88	1,76	113,39	229,99	2,06	14,68	1,86	105,04	359,85	2,42	16,48	1,76	73,31	370,95	2,55
9,30	0,73	32,81	257,74	1,62	11,10	1,40	81,78	294,36	1,75	12,90	1,75	108,83	226,65	2,07	14,70	1,82	103,93	358,75	2,42	16,50	1,72	75,20	375,40	2,56
9,32	0,69	33,93	257,74	1,62	11,12	1,38	86,11	292,15	1,76	12,92	1,73	105,16	225,55	2,10	14,72	1,86	101,26	359,85	2,45	16,52	1,72	71,98	377,62	2,55
9,34	0,69	34,36	276,61	1,62	11,14	1,38	86,67	266,62	1,76	12,94	1,70	103,60	226,65	2,09	14,74	1,84	98,37	363,19	2,41	16,54	1,66	72,75	378,73	2,55
9,36	0,71	32,92	299,92	1,62	11,16	1,38	86,55	256,63	1,76	12,96	1,71	102,05	228,88	2,09	14,76	1,81	97,26	367,63	2,45	16,56	1,64	71,53	378,73	2,56
9,38	0,72	31,59	291,04	1,63	11,18	1,38	87,66	252,19	1,77	12,98	1,69	103,94	235,54	2,11	14,78	1,85	92,59	369,85	2,44	16,58	1,59	70,52	384,28	2,54
9,40	0,73	31,03	275,50	1,63	11,20	1,40	86,00	253,30	1,77	13,00	1,63	107,71	237,75	2,11	14,80	1,84	87,70	369,85	2,46	16,60	1,59	68,63	384,28	2,56
9,42	0,75	31,92	279,94	1,62	11,22	1,44	84,22	256,63	1,79	13,02	1,51	84,59	229,99	2,11	14,82	1,84	84,81	363,19	2,46	16,62	1,63	64,19	382,05	2,58
9,44	0,78	32,03	282,15	1,64	11,24	1,50	82,33	258,85	1,76	13,04	1,71	101,15	239,98	2,12	14,84	1,85	85,36	359,85	2,45	16,64	1,59	61,63	377,62	2,58
9,46	0,79	32,48	282,15	1,65	11,26	1,54	80,10	247,75	1,77	13,06	1,72	106,43	242,20	2,12	14,86	1,86	87,25	357,64	2,45	16,66	1,59	61,30	373,18	2,59
9,48	0,78	33,70	293,25	1,66	11,28	1,54	79,43	232,21	1,77	13,08	1,72	108,87	251,08	2,14	14,88	1,85	90,36	364,30	2,46	16,68	1,57	63,52	369,85	2,60
9,50	0,81	33,70	264,40	1,64	11,30	1,48	82,76	214,45	1,79	13,10	1,73	109,54	264,40	2,13	14,90	1,84	91,58	364,30	2,49	16,70	1,55	67,63	370,95	2,59
9,52	0,83	33,70	267,73	1,66	11,32	1,46	84,43	194,46	1,80	13,12	1,75	107,43	275,50	2,14	14,92	1,85	93,36	368,74	2,48	16,72	1,54	72,41	375,40	2,60
9,54	0,84	35,03	272,16	1,66	11,34	1,46	85,65	191,14	1,79	13,14	1,81	103,20	281,05	2,13	14,94	1,93	89,14	369,85	2,49	16,74	1,53	75,52	375,40	2,61
9,56	0,89	35,03	276,61	1,67	11,36	1,43	89,87	208,90	1,80	13,16	1,87	100,20	279,94	2,15	14,96	1,99	85,25	366,52	2,49	16,76	1,49	76,74	373,18	2,60
9,58	0,89	36,58	278,83	1,66	11,38	1,41	91,43	207,79	1,80	13,18	1,89	97,09	284,38	2,15	14,98	1,99	87,36	360,96	2,50	16,78	1,51	77,41	375,40	2,62
9,60	0,90	38,36	278,83	1,68	11,40	1,44	90,98	205,56	1,79	13,20	1,94	94,42	286,60	2,15	15,00	1,98	91,02	355,42	2,51	16,80	1,51	77,41	376,51	2,62
9,62	0,90	39,58	273,28	1,69	11,42	1,44	89,98	204,45	1,81	13,22	1,99	93,42	291,04	2,16	15,02	1,92	95,13	352,09	2,50	16,82	1,52	75,54	376,51	2,59
9,64	0,90	40,91	272,16	1,69	11,44	1,47	88,31	202,24	1,81	13,24	2,08	90,86	298,81	2,16	15,04	1,94	97,80	350,98	2,51	16,84	1,49	71,54	378,73	2,61
9,66	0,84	42,47	283,26	1,67	11,46	1,44	88,42	204,45	1,82	13,26	2,11	90,97	313,24	2,18	15,06	1,93	106,43	324,34	2,49	16,86	1,53	67,76	383,16	2,59
9,68	0,89	42,70	274,39	1,68	11,48	1,41	88,53	204,45	1,80	13,28	2,13	91,97	316,56	2,20	15,08	1,98	112,65	326,55	2,49	16,88	1,58	63,98	388,72	2,56
9,70	0,88	43,81	265,51	1,67	11,50	1,43	87,30	203,35	1,82	13,30	2,12	92,75	314,35	2,19	15,10	2,00	117,98	325,45	2,49	16,90	1,66	61,09	393,15	2,58
9,72	0,88	44,14	255,52	1,68	11,52	1,42	87,30	200,02	1,81	13,32	2,07	94,19	322,15	2,20	15,12	2,02	119,32	328,78	2,49	16,92	1,66	61,53	392,05	2,56
9,74	0,86	44,25	256,63	1,68	11,54	1,39	89,30	232,21	1,81	13,34	2,02	96,63	315,45	2,22	15,14	2,00	118,09	335,44	2,51	16,94	1,67	62,64	390,94	2,57
9,76	0,86	44,14	257,74	1,67	11,56	1,37	89,63	243,31	1,82	13,36	1,92	100,85	313,24	2,20	15,16	1,98	116,76	340,99	2,49	16,96	1,69	63,53	388,72	2,55
9,78	0,86	44,92	257,74	1,68	11,58	1,37	87,07	246,64	1,81	13,38	1,90	101,29	311,02	2,22	15,18	2,00	113,76	339,88	2,49	16,98	1,66	66,42	387,61	2,54
9,80	0,84	46,36	262,18	1,69	11,60	1,36	83,63	268,84	1,82	13,40	1,83	103,38	304,35	2,22	15,20	2,07	111,42	340,99	2,51	17,00	1,65	69,31	387,61	2,53
9,82	0,86	48,25	261,06	1,67	11,62	1,37	79,85	265,51	1,82	13,42	1,70	106,18	295,48	2,23	15,22	2,05	111,42	340,99	2,51	17,02	1,67	71,08	390,94	2,54
9,84	0,85	49,36	268,84	1,69	11,64	1,37	79,85	266,62	1,82	13,44	1,58	108,73	286,60	2,25	15,24	2,00	111,42	335,44	2,51	17,04	1,70	71,86	394,26	2,54
9,86	0,86	50,58	272,16	1,69	11,66	1,33	86,54	277,72	1,83	13,46	1,47	112,29	278,83	2,23	15,26	1,98	110,41	332,11	2,51	17,06	1,46	63,47	395,38	2,53
9,88	0,88	51,25	271,05	1,67	11,68	1,36	85,99	276,61	1,82	13,48	1,40	114,17	278,83	2,23	15,28	1,90	111,86	331,00	2,52	17,08	1,81	76,36	422,02	2,53
9,90	0,90	52,58	275,50	1,68	11,70	1,37	85,87	276,61	1,83	13,50	1,39	112,50	282,15	2,23	15,30	1,86	113,19	329,89	2,52	17,10	1,89	78,91	428,68	2,52
9,92	0,89	53,58	279,94	1,68	11,72	1,38	85,43	276,61	1,83	13,52	1,40	107,99	285,48	2,23	15,32	1,82	114,74	336,55	2,51	17,12	1,96	83,02	433,12	2,53
9,94	0,91	53,47	278,83	1,68	11,74	1,38	84,65	276,61	1,82	13,54	1,45	95,72	306,58	2,24										

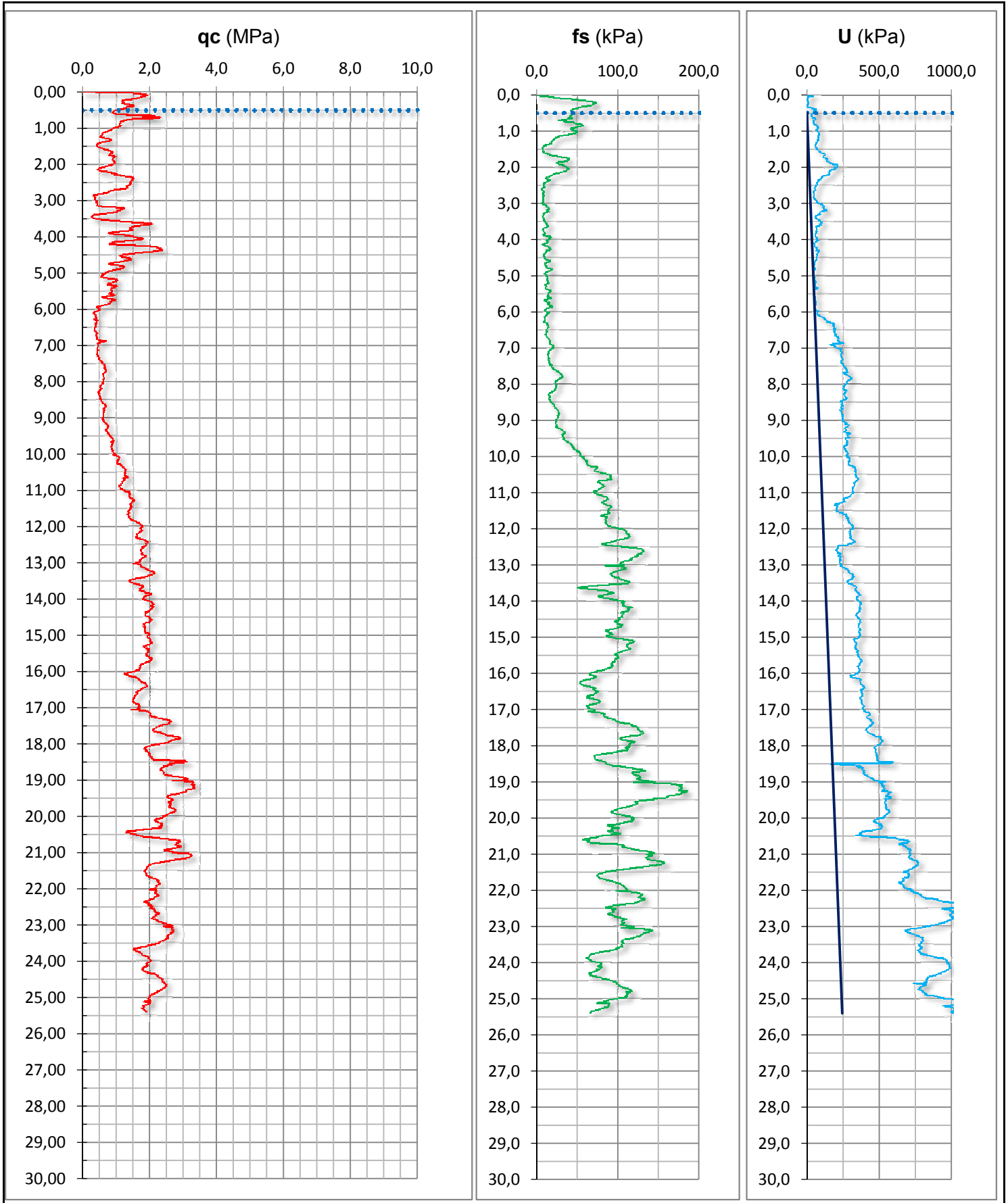
PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA															RIF. PROVA:		CPTU n°:							
LETTURE DI CAMPAGNA															U17-14		CPTU1							
COMMITTENTE: EFFE costruzioni s.r.l.										PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 25,40														
CANTIERE: POC via Santa Liberata, Cento (Fe)										PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 0,50														
DATA: 21/02/2014										PREFORO (m da p.c.): 0,00														
Prof.	qc	fs	U	Inc.	Prof.	qc	fs	U	Inc.	Prof.	qc	fs	U	Inc.	Prof.	qc	fs	U	Inc.	Prof.	qc	fs	U	Inc.
(m)	MPa	kPa	kPa	°	(m)	MPa	kPa	kPa	°	(m)	MPa	kPa	kPa	°	(m)	MPa	kPa	kPa	°	(m)	MPa	kPa	kPa	°
18,02	2,16	114,24	474,19	2,75	19,82	2,74	92,26	566,32	2,70	21,62	1,90	75,38	700,98	2,52	23,42	2,44	104,40	799,48	2,35	25,22	1,84	87,51	980,68	2,18
18,04	2,08	110,91	468,64	2,74	19,84	2,75	91,93	567,43	2,70	21,64	1,93	75,81	694,98	2,52	23,44	2,38	105,27	792,48	2,35	25,24	1,79	86,21	995,82	2,18
18,06	2,00	108,80	464,20	2,74	19,86	2,74	93,93	564,10	2,70	21,66	1,97	76,68	673,48	2,52	23,46	2,32	107,00	788,98	2,35	25,26	1,81	81,44	1010,45	2,18
18,08	1,90	111,22	471,96	2,70	19,88	2,71	96,04	558,55	2,71	21,68	2,01	79,71	664,48	2,51	23,48	2,30	105,27	786,48	2,35	25,28	1,79	78,84	1019,02	2,18
18,10	1,89	112,33	470,85	2,71	19,90	2,64	98,93	549,66	2,71	21,70	2,07	82,74	664,98	2,51	23,50	2,27	104,40	774,48	2,34	25,30	1,76	77,98	1021,04	2,18
18,12	1,84	111,34	470,85	2,71	19,92	2,58	103,60	544,12	2,71	21,72	2,13	85,77	663,98	2,51	23,52	2,19	103,97	773,48	2,34	25,32	1,81	72,35	1009,94	2,17
18,14	1,84	106,89	471,96	2,71	19,94	2,55	108,59	541,90	2,72	21,74	2,19	89,24	671,48	2,51	23,54	2,08	104,84	773,99	2,34	25,34	1,83	69,31	1001,87	2,17
18,16	1,90	100,66	473,08	2,72	19,96	2,53	113,04	535,24	2,71	21,76	2,21	93,14	655,98	2,51	23,56	1,95	106,14	788,98	2,34	25,36	1,85	66,71	996,32	2,17
18,18	1,89	96,55	473,08	2,73	19,98	2,47	117,82	527,46	2,71	21,78	2,25	95,74	636,48	2,50	23,58	1,93	101,80	797,98	2,34	25,38	1,89	66,28	994,31	2,17
18,20	1,89	92,22	474,19	2,74	20,00	2,40	119,71	524,14	2,68	21,80	2,26	98,34	638,48	2,50	23,60	1,87	98,34	796,48	2,33	25,40	1,90	65,85	1008,94	2,17
18,22	1,94	85,33	476,41	2,74	20,02	2,40	119,78	487,51	2,67	21,82	2,24	102,24	652,48	2,50	23,62	1,73	98,77	783,48	2,33					
18,24	1,96	78,77	479,74	2,75	20,04	2,38	115,78	478,63	2,66	21,84	2,26	103,54	660,48	2,50	23,64	1,62	97,47	778,48	2,33					
18,26	1,99	73,76	480,85	2,75	20,06	2,30	118,78	468,64	2,67	21,86	2,29	103,97	668,98	2,50	23,66	1,54	93,57	766,98	2,33					
18,28	2,01	70,87	480,85	2,76	20,08	2,20	117,78	460,86	2,67	21,88	2,27	107,00	662,98	2,49	23,68	1,51	88,37	767,98	2,33					
18,30	1,98	71,98	480,85	2,77	20,10	2,15	114,11	457,54	2,64	21,90	2,24	106,57	663,48	2,49	23,70	1,55	81,88	776,98	2,32					
18,32	2,00	71,43	483,06	2,78	20,12	2,15	109,00	468,64	2,66	21,92	2,20	108,30	670,98	2,49	23,72	1,60	78,41	778,48	2,32					
18,34	2,01	71,43	483,06	2,80	20,14	2,19	105,55	478,63	2,63	21,94	2,19	109,17	674,48	2,49	23,74	1,64	72,78	791,48	2,32					
18,36	2,05	71,31	484,18	2,79	20,16	2,24	101,88	495,28	2,63	21,96	2,17	110,03	696,98	2,49	23,76	1,71	68,01	790,98	2,32					
18,38	2,05	72,31	485,29	2,79	20,18	2,29	96,88	514,15	2,63	21,98	2,15	110,90	723,48	2,49	23,78	1,74	66,71	809,98	2,32					
18,40	2,07	73,98	485,29	2,81	20,20	2,38	87,21	516,36	2,63	22,00	2,19	111,77	726,98	2,48	23,80	1,78	64,98	835,48	2,32					
18,42	2,08	77,53	487,51	2,79	20,22	2,33	87,09	503,05	2,62	22,02	2,01	97,47	716,48	2,48	23,82	1,78	65,41	853,48	2,31					
18,44	2,14	81,53	497,50	2,79	20,24	2,33	92,09	519,70	2,63	22,04	2,17	113,93	727,98	2,48	23,84	1,80	65,41	870,48	2,31					
18,46	2,61	83,64	589,63	2,79	20,26	2,37	95,98	515,25	2,63	22,06	2,21	120,43	748,98	2,48	23,86	1,86	64,11	884,98	2,31					
18,48	3,07	85,75	581,75	2,79	20,28	2,26	101,32	515,25	2,63	22,08	2,19	125,20	754,98	2,48	23,88	1,95	61,08	926,98	2,31					
18,50	3,11	84,45	581,75	2,81	20,30	2,34	91,76	506,38	2,62	22,10	2,17	127,80	773,98	2,47	23,90	1,95	63,25	941,98	2,31					
18,52	2,85	88,01	581,75	2,81	20,32	2,30	91,43	484,18	2,61	22,12	2,15	129,96	781,98	2,47	23,92	1,96	64,55	958,48	2,30					
18,54	2,61	90,34	581,75	2,81	20,34	2,10	93,65	464,20	2,63	22,14	2,20	128,66	788,98	2,47	23,94	1,97	67,15	960,48	2,30					
18,56	2,54	94,22	581,75	2,81	20,36	1,91	86,87	420,91	2,62	22,16	2,22	126,93	791,98	2,47	23,96	2,01	67,58	963,48	2,30					
18,58	2,66	103,45	581,75	2,81	20,38	1,70	89,19	390,94	2,63	22,18	2,26	125,63	792,98	2,47	23,98	2,02	71,05	966,48	2,30					
18,60	2,52	109,44	581,75	2,81	20,40	1,49	96,64	375,40	2,61	22,20	2,23	124,76	805,48	2,46	24,00	2,01	75,38	964,48	2,30					
18,62	2,41	117,22	581,75	2,81	20,42	1,34	99,53	367,63	2,61	22,22	2,16	129,09	822,98	2,46	24,02	1,99	78,41	970,48	2,30					
18,64	2,40	119,11	581,75	2,81	20,44	1,30	102,53	364,30	2,61	22,24	2,15	132,13	870,48	2,46	24,04	1,93	78,84	981,48	2,29					
18,66	2,38	124,77	581,75	2,81	20,46	1,39	93,53	380,95	2,62	22,26	2,14	132,13	898,98	2,46	24,06	1,90	78,41	978,48	2,29					
18,68	2,35	132,11	581,75	2,81	20,48	1,48	87,25	339,88	2,61	22,28	2,10	129,53	898,98	2,46	24,08	1,91	76,89	982,47	2,29					
18,70	2,31	133,44	581,75	2,81	20,50	1,54	77,03	402,04	2,59	22,30	2,04	126,93	927,48	2,46	24,10	1,96	74,94	983,97	2,29					
18,72	2,30	126,43	581,75	2,83	20,52	1,65	76,47	447,55	2,60	22,32	1,98	123,90	938,48	2,45	24,12	1,94	78,41	982,47	2,29					
18,74	2,38	117,77	581,75	2,81	20,54	1,71	72,80	553,00	2,60	22,34	1,88	123,46	996,48	2,45	24,14	1,89	79,71	983,97	2,28					
18,76	2,40	71,31	484,18	2,83	20,56	1,80	67,68	610,72	2,62	22,36	1,84	119,56	1017,48	2,45	24,16	1,85	78,41	987,47	2,28					
18,78	2,41	117,98	581,75	2,81	20,58	2,03	59,46	625,15	2,61	22,38	1,90	110,90	1026,98	2,45	24,18	1,79	77,98	981,47	2,28					
18,80	2,42	119,65	581,75	2,81	20,60	2,26	56,79	632,92	2,63	22,40	1,97	103,97	1026,98	2,45	24,20	1,79	73,64	970,98	2,28					
18,82	2,40	123,64	581,75	2,83	20,62	2,39	64,57	685,09	2,61	22,42	2,00	95,74	1029,48	2,44	24,22	1,78	74,51	962,98	2,28					
18,84	2,45	125,30	581,75	2,83	20,64	2,65	63,57	706,18	2,62	22,44	1,95	91,84	1030,48	2,44	24,24	1,78	73,64	955,98	2,27					
18,86	2,51	127,41	581,75	2,84	20,66	2,84	62,35	699,52	2,63	22,46	2,00	87,94	1035,97	2,44	24,26	1,80	69,75	945,98	2,27					
18,88	2,60	127,63	581,75	2,81	20,68	2,90	64,24	697,30	2,62	22,48	2,09	84,91	1034,47	2,44	24,28	1,85	67,58	926,98	2,27					
18,90	2,77	126,40	581,75	2,81	20,70	2,92	72,46	661,78	2,63	22,50	2,05	90,97	996,48	2,44	24,30	1,92	64,11	922,48	2,27					
18,92	2,93	123,51	581,75	2,80	20,72	2,86	88,68	631,81	2,64	22,52	2,01	97,04	932,97	2,43	24,32	1,93	66,28	907,98	2,27					
18,94	3,04	125,85	581,75	2,80	20,74	2,85	104,68	631,81	2,64	22,54	2,05	96,17	971,97	2,43	24,34	2,05	64,98	891,48	2,27					
18,96	3,10	129,62	581,75	2,80	20,76	2,78	107,00	669,55	2,63	22,56	2,13	92,27	986,97	2,43	24,36	2,15	66,28	878,48	2,26					
18,98	3,13	136,40	581,75	2,80	20,78	2,75	104,11	670,44	2,62	22,58	2,12	93,14	1001,47	2,43	24,38	2,17	71,91	860,98	2,26					
19,00	3,12	141,95	581,75	2,78	20,80	2,78	104,40	677,98	2,60	22,60	2,13	94,44	1009,97	2,43	24,40	2,24	73,64	839,98	2,26					
19,02	3,28	159,30	581,75	2,74	20,82	2,89	109,60	686,48	2,59	22,62	2,16	92,27	1011,97	2,43	24,42	2,23	79,28	836,98	2,26					</

PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA
DIAGRAMMI DI RESISTENZA

RIF. PROVA:	CPTU n°:
U17-14	CPTU1

COMMITTENTE: EFFE costruzioni s.r.l.
 CANTIERE: POC via Santa Liberata, Cento (Fe)
 DATA: 21/02/2014

PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 25,40
 PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 0,50
 PREFORO (m da p.c.): 0,00



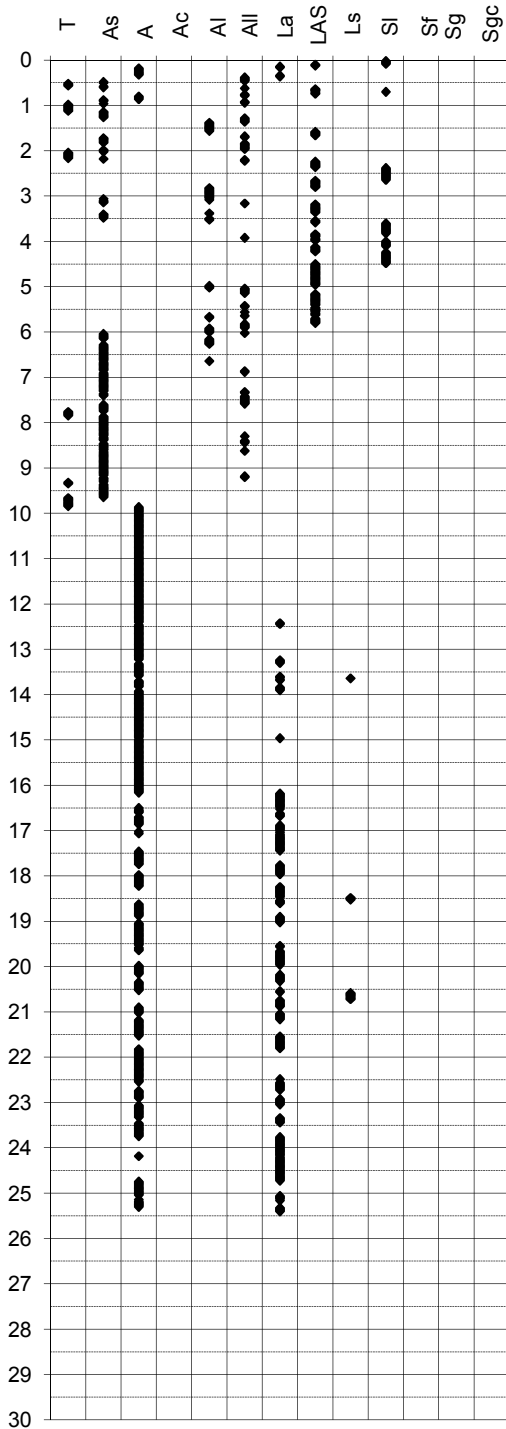
PROVA PENETROMETRICA STATICA

Identificativo	U17-14
Emissione	feb-14
Pagina	1 di 2

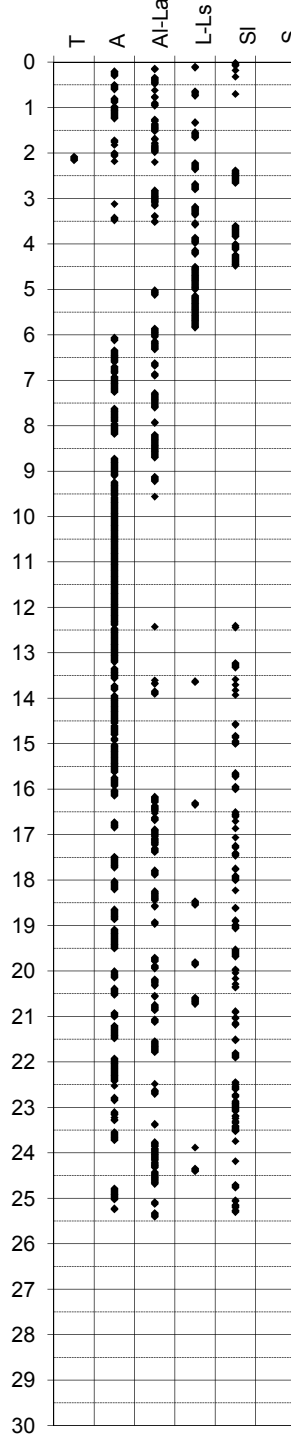
INTERPRETAZIONI LITOLOGICHE

-Committente	EFTE costruzioni s.r.l.	-Prova n°	CPTU1
-Cantiere	POC via Santa Liberata, Cento (Fe)	-Data prova	21/02/2014
-Quota p.c.	17,20 m s.l.m.	-Prof. preforo	m
-Livello di falda	0,50 m da p.c.	-Prof. finale	25,40 m
-Attrezzatura	Punta elettrica con piezocono		

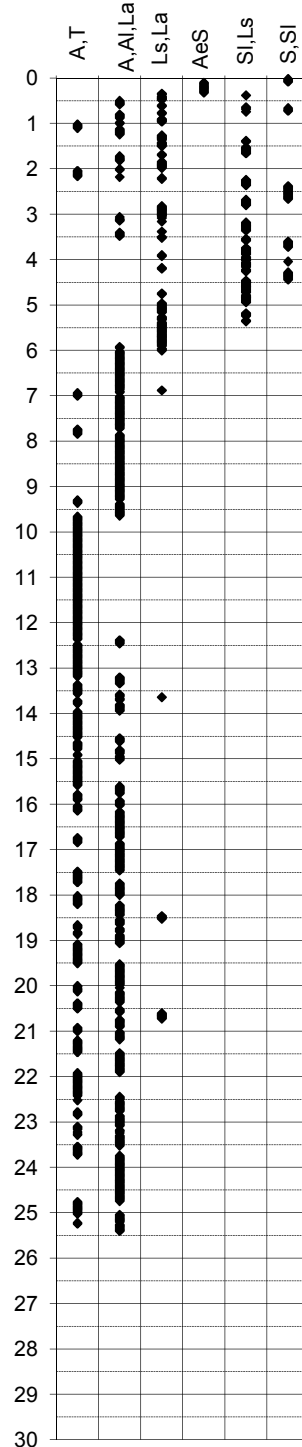
Douglas-Olsen (1981)



Robertson-Campanella(1983)



Olsen-Farr (1986)



PROVA PENETROMETRICA STATICA

Identificativo	U17-14
Emissione	feb-14
Pagina	1 di 2

PARAMETRI GEOTECNICI

-Committente	EFFE costruzioni s.r.l.	-Prova n°	CPTU1
-Cantiere	POC via Santa Liberata, Cento (Fe)	-Data prova	21/02/2014
-Quota p.c.	17,20 m s.l.m.	-Prof. preforo	0,00 m
-Livello di falda	0,50 m da p.c.	-Prof. finale	25,40 m

DA m	A m	MATERIALI COESIVI											MATERIALI GRANULARI							
		qcm MPa	fsm MPa	deltaU MPa	litol. (-)	Peso Vol. kN/m3	Cu (qc) KPa	OCR (qc) (-)	OCR (U) (-)	M ₀ MPa	Eu50 MPa	CR (-)	Dr (%)	FI' _{DM} (°)	FI'Schm. (°)			E'25 MPa	M ₀ MPa	
0,0	1,2	1,22	0,04	0,03	AL	20,00	69	20	9	4,31	11,69	0,06	-	-	-	-	-	-	-	
1,2	2,3	0,73	0,02	0,11	LA	20,00	41	17	7	3,07	6,741	0,10	-	-	-	-	-	-	-	
2,3	4,5	1,14	0,01	0,04	SL	19,00	-	-	-	-	-	-	<20	30	29	32	35	39	3,43	5,48
4,5	6,0	0,87	0,01	0,01	LS	20,00	-	-	-	-	-	-	<20	29	26	30	33	37	2,47	3,96
6,0	7,5	0,43	0,01	0,13	A	17,50	20	2	4	2,13	10,87	0,30	-	-	-	-	-	-	-	-
7,5	10,0	0,67	0,03	0,18	A	17,50	31	3	4	3,09	15,44	0,29	-	-	-	-	-	-	-	-
10,0	17,0	1,66	0,09	0,19	A	17,50	82	4	7	5,25	30,17	0,15	-	-	-	-	-	-	-	-
17,0	25,4	2,30	0,11	0,47	A	17,50	111	4	5	6,84	43,38	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-

PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA
PROVA DOWN HOLE SCPTU

RIF. PROVA:	CPTU n°:
U17-14	CPTU1

COMMITTENTE: EFFE costruzioni s.r.l.

PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 25,40

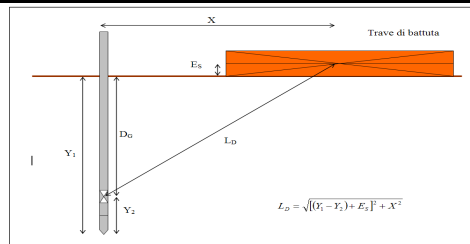
CANTIERE: POC via Santa Liberata, Cento (Fe)

PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 0,50

DATA: 21/02/2014

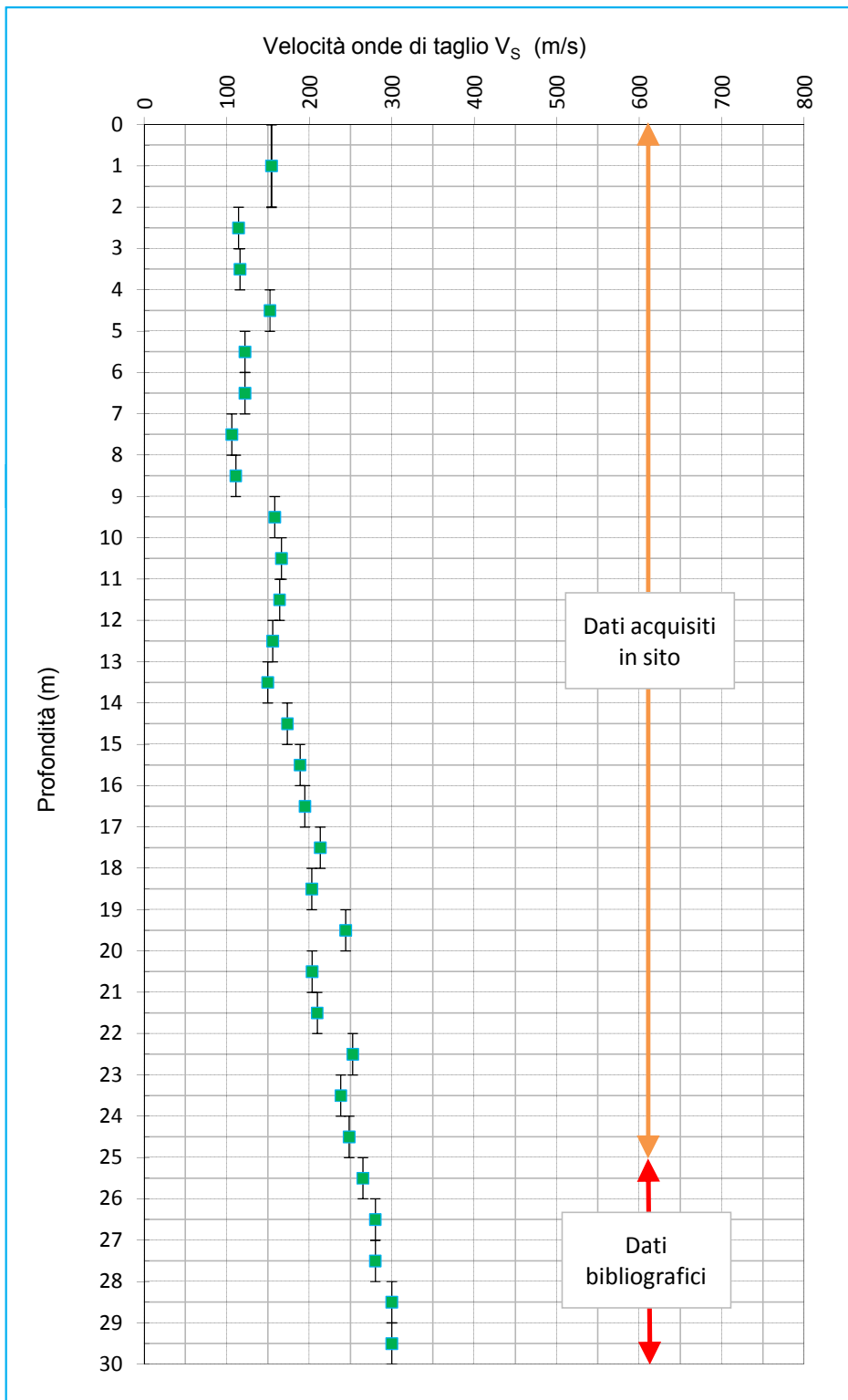
PREFORO (m da p.c.): 0,00

Peso mazza battente: 5Kg
 Ricevitore Down Hole: G1-cpl2IN
 Equipaggiamento di registrazione: D1-SISMI USB
 Distanza centro sorgente-verticale X: 0,25 m
 Distanza punta-accelerometro Y₂: 0,20 m



Vs₃₀ = 182 m/sec Categoria suolo di fondazione = C

Distanza corretta L _D punta elettrica	Tempo di arrivo onda S (millisecondi)	Velocità onde S dello strato (m/sec)
0,000		
0,838		154
1,817	11,787	114
2,811	20,492	116
3,808	29,098	152
4,807	35,656	122
5,805	43,852	122
6,805	52,049	106
7,804	61,475	111
8,804	70,492	158
9,803	76,820	166
10,803	82,836	164
11,803	88,934	156
12,802	95,361	149
13,802	102,049	173
14,802	107,816	189
15,802	113,115	195
16,802	118,252	213
17,802	122,941	203
18,802	127,869	244
19,802	131,967	203
20,802	136,885	210
21,801	141,656	253
22,801	145,613	238
23,801	149,811	248
24,801	153,837	265
25,801		280
26,801		280
27,801		300
28,801		300
29,801		



PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA PROVA DOWN HOLE SCPTU	RIF. PROVA:	CPTU n°:
	U17-14	CPTU1

COMMITTENTE: EFFE costruzioni s.r.l.

PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 25,40

CANTIERE: POC via Santa Liberata, Cento (Fe)

PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 0,50

DATA: 21/02/2014

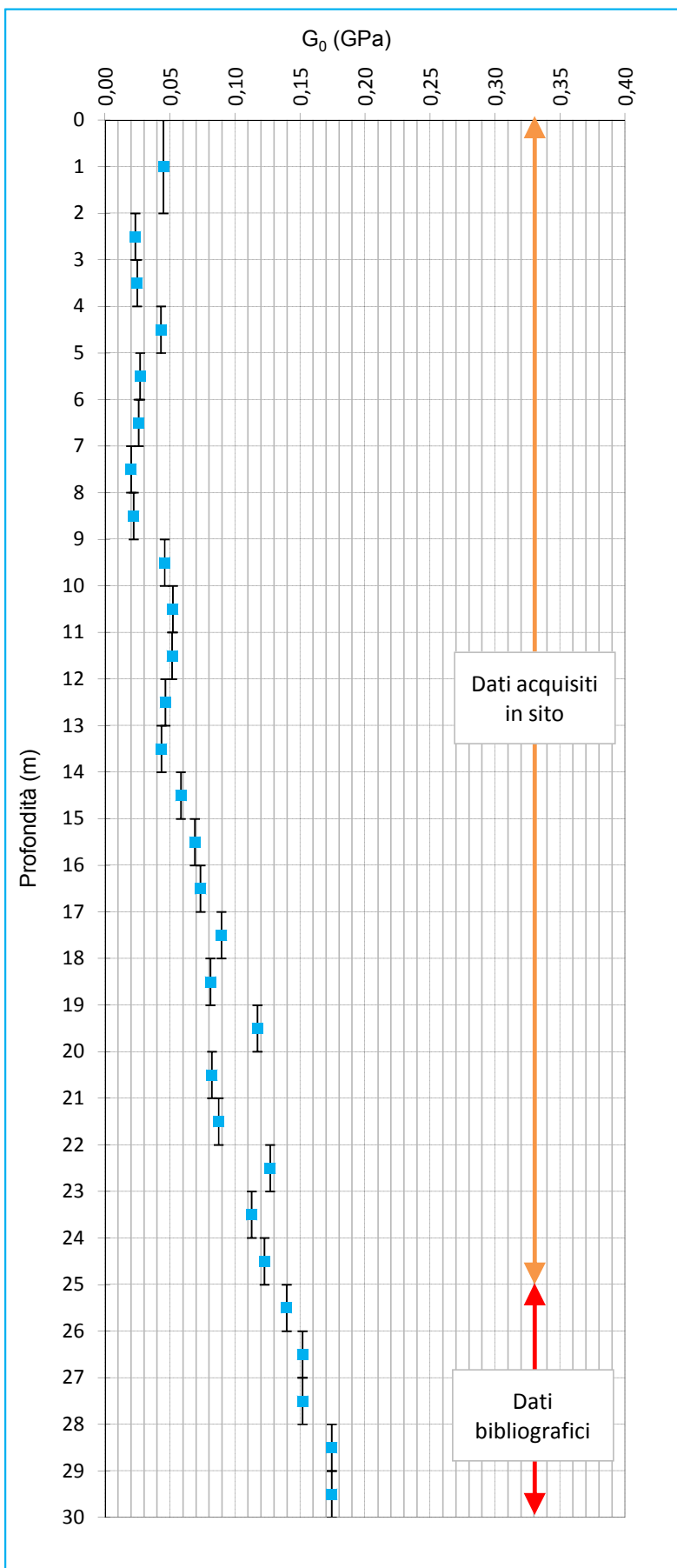
PREFORO (m da p.c.): 0,00

$$G_0 = Vs^2 \rho \quad \rightarrow \quad \rho = \gamma / g$$

dove:

ρ : massa volumica data dal rapporto tra il peso di volume γ e l'accelerazione di gravita g

Profondità punta elettrica (m)	Velocità onde S dello strato (m/sec)	Peso di volume (tonn/m ³)	G ₀ (GPa)
0,0			
1,0	154	1,85	0,0448
2,0			
3,0	114	1,75	0,0233
4,0			
5,0	152	1,82	0,0430
6,0	122	1,78	0,0270
7,0			
8,0	106	1,75	0,0201
9,0	111	1,75	0,0219
10,0	158	1,80	0,0458
11,0	166	1,85	0,0521
12,0	164	1,88	0,0515
13,0	156	1,88	0,0464
14,0	149	1,90	0,0433
15,0	173	1,90	0,0582
16,0	189	1,90	0,0690
17,0	195	1,90	0,0734
18,0	213	1,93	0,0895
19,0	203	1,93	0,0810
20,0	244	1,93	0,1171
21,0	203	1,95	0,0822
22,0	210	1,95	0,0873
23,0	253	1,95	0,1269
24,0	238	1,95	0,1128
25,0	248	1,95	0,1226
26,0	265	1,95	0,1396
27,0	280	1,90	0,1518
28,0	280	1,90	0,1518
29,0	300	1,90	0,1743
30,0	300	1,90	0,1743





elletipi s.r.l.

Sede legale, operativa, amm.va: via Zucchini, 69 - 44100 FERRARA

P.IVA e Codice Fiscale n.00174600387

sito: www.elletipi.it - email: info@elletipi.it

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE
INTEGRATO CERTIFICATO DA DNV
UNI EN ISO 9001/2000
UNI EN ISO 14001

Laboratorio Geotecnico autorizzato con Dec. n. 9199 del 10/10/2011, art. 59 del D.P.R. 380/2001, Circolari Ministeriali 7618/STC e 7619/STC

ANALISI GRANULOMETRICA

(per setacciatura e sedimentazione) norma A.S.T.M. D 422

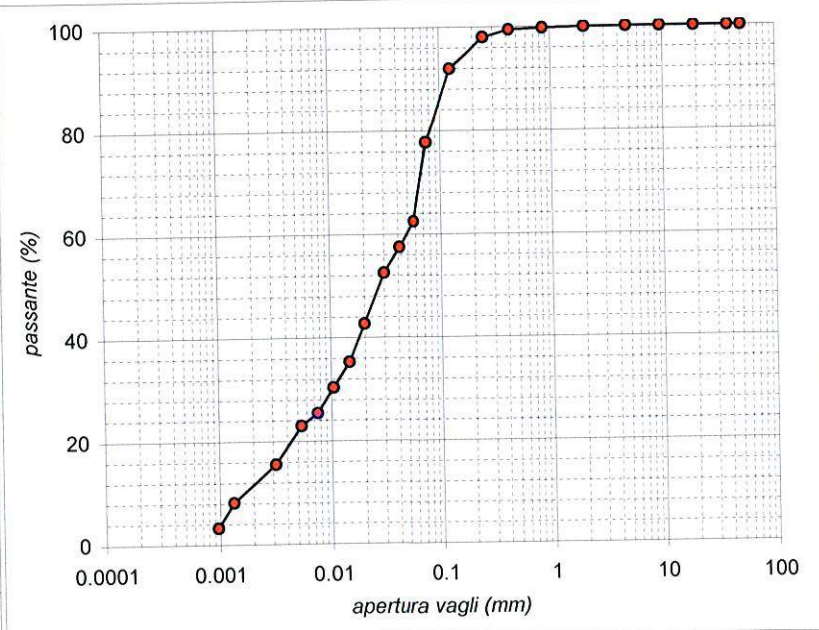
COMMITTENTE:	VERONESE DOTT. GEOL. THOMAS - Via Roma, 10 - 44021 Codigoro (FE)		
CANTIERE:	Cento (FE) - POC EFTE COSTRUZIONI		
CAMPIONE:	C1 da 1.20 a 1.60 m		
COMMESSA:	12973/14	DURATA PROVE:	21 - 27/02/14
VERBALE ACC.:	044/14	DATA CONSEGNA:	21/02/14
GEO - CERT. n°:	G140524	rev.00 del:	27/02/14

Codici strumentazione: 480, 419, 348, 432, 570, 571, 572, 573, 290, 291, 292, 293, 282, 283, 286

Aspetto del campione: **Limo sabbioso e argilloso marrone**

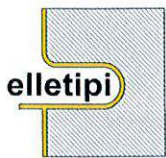
TIPO VAGLIO	apertura (mm)	trattenuto (g)	trattenuto (%)	cum. tratt. (%)	passante (%)
crivello	50	0.00	0.00	0.00	100.00
crivello	38.1	0.00	0.00	0.00	100.00
crivello	19.1	0.00	0.00	0.00	100.00
crivello	9.5	0.00	0.00	0.00	100.00
crivello	4.75	0.00	0.00	0.00	100.00
setaccio	2.0	0.12	0.05	0.05	99.95
setaccio	0.850	0.45	0.19	0.24	99.76
setaccio	0.425	0.78	0.33	0.57	99.43
setaccio	0.250	3.36	1.42	1.99	98.01
setaccio	0.125	14.31	6.03	8.02	91.98
setaccio	0.075	33.78	14.24	22.26	77.74
calcolato	0.0572	36.30	15.31	37.57	62.43
calcolato	0.0415	11.69	4.93	42.50	57.50
calcolato	0.0301	11.69	4.93	47.43	52.57
calcolato	0.0199	23.39	9.86	57.30	42.70
calcolato	0.0145	17.54	7.40	64.69	35.31
calcolato	0.0105	11.69	4.93	69.62	30.38
calcolato	0.0075	11.69	4.93	74.55	25.45
calcolato	0.0054	5.85	2.47	77.02	22.98
calcolato	0.0032	17.54	7.40	84.42	15.58
calcolato	0.0013	17.54	7.40	91.81	8.19
calcolato	0.0010	11.69	4.93	96.74	3.26
fondo		7.72	3.26	100.00	0.00
TOTALE		237.15		ϕ max (mm) =	2.24

Passante effettivo setaccio 0.075 (g)	50	
t° C	Tempo (s)	Letture
19	30	29
19	60	27
19	120	25
19	300	21
19	600	18
19	1200	16
19	2400	14
19	4800	13
19	14400	10
19	86400	7
19	172800	5
Rapporti granulometrici		
	USCS	AGI
GHIAIA	> 4,75 mm	> 2,00 mm
	0.0%	0.1%
SABBIA	> 0,075 mm	> 0,06 mm
	22.3%	34.8%
LIMO	> 2 μ	> 2 μ
	66.1%	53.5%
ARGILLA	< 2 μ	< 2 μ
	11.6%	11.6%



Il Direttore del Laboratorio Terre:
dott. geol. (dotto di ricerca) Gianluca Ferioli

Lo Sperimentatore:
dott. Luciano Rossi



elletipi s.r.l.

Sede legale, operativa, amm.va: via Zucchini, 69 - 44100 FERRARA

P.IVA e Codice Fiscale n.00174600387

© sito: www.elletipi.it - email: info@elletipi.it

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE INTEGRATO CERTIFICATO DA DNV
UNI EN ISO 9001/2000
UNI EN ISO 14001

Laboratorio Geotecnico autorizzato con Dec. n. 9199 del 10/10/2011, art. 59 del D.P.R. 380/2001, Circolari Ministeriali 7618/STC e 7619/STC

LIMITI DI ATTERBERG (norma ASTM D4318 metodo A)

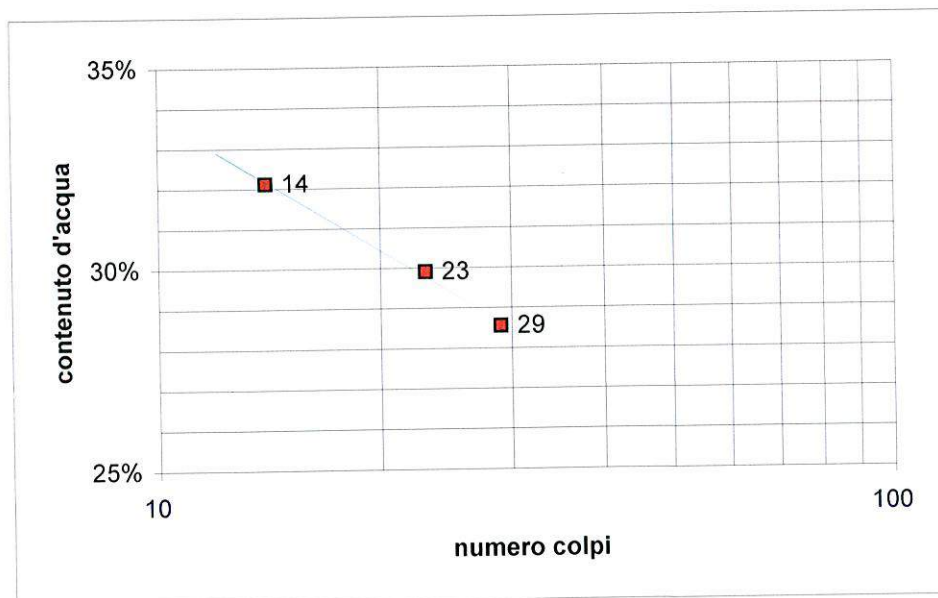
COMMITTENTE:	VERONESE DOTT. GEOL. THOMAS - Via Roma, 10 - 44021 Codigoro (FE)		
CANTIERE:	Cento (FE) - POC EFTE COSTRUZIONI		
CAMPIONE:	C1 da 1.20 a 1.60 m		
COMMESSA:	12973/14	DURATA PROVE:	21 - 27/02/14
VERBALE ACC.:	044/14	DATA CONSEGNA:	21/02/14
GEO - CERT. n°:	G140526	rev.0 del:	27/02/14

codice int. Strum.: 344- 480.

ASPETTO MACROSCOPICO DEL CAMPIONE: **Limo sabbioso e argilloso marrone**

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		UMIDITA'
	1	2	3	1	2	
impasto						
N° colpi	14	23	29			
massa umida+ tara (g)	39.21	43.23	46.16	8.35	9.09	988.38
massa secca+ tara (g)	30.23	33.86	36.41	7.31	7.95	843.66
acqua contenuta (g)	8.98	9.37	9.75	1.04	1.14	144.72
tara (g)	2.27	2.53	2.26	2.24	2.35	311.70
peso secco (g)	27.96	31.33	34.15	5.07	5.60	531.96
contenuto d'acqua	32.1%	29.9%	28.6%	20.5%	20.4%	27.2%

Umidità Naturale	Wn =	27%
Limite Liquido	LL =	29%
Limite Plastico	LP =	20%
Indice Plastico	IP =	9%
Indice di Consistenza	Ic =	0.24



Il Direttore del Laboratorio terre:
dott. geol. (dottoressa di ricerca) Gianluca Ferioli

Lo Sperimentatore:
dott. Luciano Rassi



elletipi s.r.l.

Sede legale, operativa, amm.va: via Zucchini, 69 - 44100 FERRARA

P.IVA e Codice Fiscale n.00174600387

sito: www.elletipi.it - email: info@elletipi.it

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE INTEGRATO CERTIFICATO DA DNV
UNI EN ISO 9001/2000
UNI EN ISO 14001

Laboratorio Geotecnico autorizzato con Dec. n. 9199 del 10/10/2011, art. 59 del D.P.R. 380/2001, Circolari Ministeriali 7618/STC e 7619/STC

ANALISI GRANULOMETRICA

(per setacciatura e sedimentazione) norma A.S.T.M. D 422

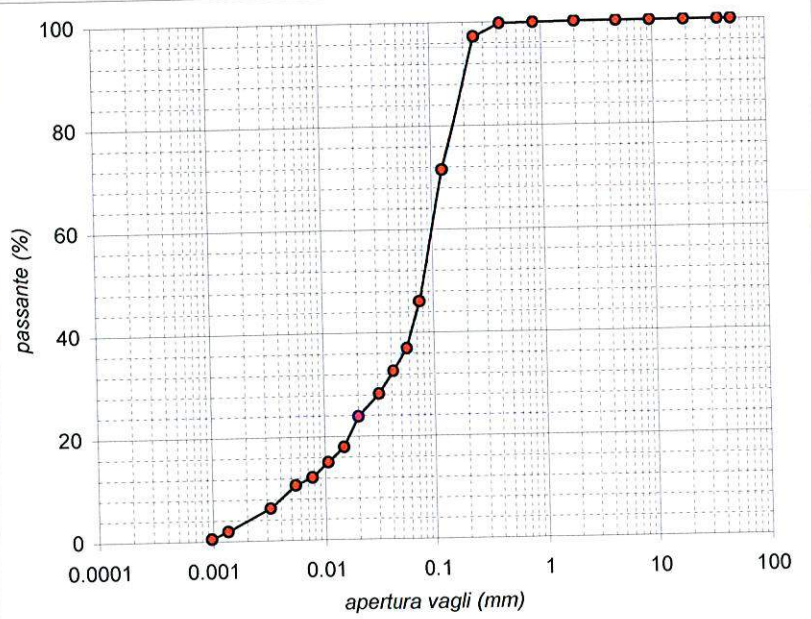
COMMITTENTE:	VERONESE DOTT. GEOL. THOMAS - Via Roma, 10 - 44021 Codigoro (FE)		
CANTIERE:	Cento (FE) - POC EFFE COSTRUZIONI		
CAMPIONE:	C2 da 2.60 a 2.90 m		
COMMESSA:	12973/14	DURATA PROVE:	21 - 27/02/14
VERBALE ACC.:	044/14	DATA CONSEGNA:	21/02/14
GEO - CERT. n°:	G140525	rev.00 del:	27/02/14

Codici strumentazione: 480, 419, 348, 432, 570, 571, 572, 573, 290, 291, 292, 293, 282, 283, 286

Aspetto del campione: Sabbia con limo grigio

TIPO VAGLIO	apertura (mm)	trattenuto (g)	trattenuto (%)	cum. tratt. (%)	passante (%)
crivello	50	0.00	0.00	0.00	100.00
crivello	38.1	0.00	0.00	0.00	100.00
crivello	19.1	0.00	0.00	0.00	100.00
crivello	9.5	0.00	0.00	0.00	100.00
crivello	4.75	0.00	0.00	0.00	100.00
setaccio	2.0	0.00	0.00	0.00	100.00
setaccio	0.850	0.24	0.10	0.10	99.90
setaccio	0.425	0.36	0.15	0.25	99.75
setaccio	0.250	6.12	2.55	2.80	97.20
setaccio	0.125	61.50	25.64	28.45	71.55
setaccio	0.075	61.11	25.48	53.93	46.07
calcolato	0.0572	21.76	9.07	63.00	37.00
calcolato	0.0420	10.51	4.38	67.38	32.62
calcolato	0.0307	10.51	4.38	71.77	28.23
calcolato	0.0201	10.51	4.38	76.15	23.85
calcolato	0.0148	14.02	5.84	82.00	18.00
calcolato	0.0107	7.01	2.92	84.92	15.08
calcolato	0.0077	7.01	2.92	87.84	12.16
calcolato	0.0055	3.50	1.46	89.30	10.70
calcolato	0.0032	10.51	4.38	93.69	6.31
calcolato	0.0014	10.51	4.38	98.07	1.93
calcolato	0.0010	3.50	1.46	99.53	0.47
calcolato	fondo	1.13	0.47	100.00	0.00
TOTALE		239.82		ϕ max (mm) =	1.02

Passante effettivo setaccio 0.075 (g)	50	
t° C	Tempo (s)	Lettura
19	30	29
19	60	26
19	120	23
19	300	20
19	600	16
19	1200	14
19	2400	12
19	4800	11
19	14400	8
19	86400	5
19	172800	4
Rapporti granulometrici		
	USCS	AGI
GHIAIA	> 4,75 mm	> 2,00 mm
	0.0%	0.0%
SABBIA	> 0,075 mm	> 0,06 mm
	53.9%	61.4%
LIMO	> 2 μ	> 2 μ
	42.2%	34.7%
ARGILLA	< 2 μ	< 2 μ
	3.9%	3.9%



Il Direttore del Laboratorio Terre:
dott. geol. (dottore di ricerca) Gianluca Ferioli

Lo Sperimentatore:
dott. Luciano Rossi



elletipi s.r.l.

Sede legale, operativa, amm.va: via Zucchini, 69 - 44100 FERRARA

P.IVA e Codice Fiscale n.00174600387

© sito: www.elletipi.it - email: info@elletipi.it

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE INTEGRATO CERTIFICATO DA DNV
UNI EN ISO 9001/2000
UNI EN ISO 14001

Laboratorio Geotecnico autorizzato con Dec. n. 9199 del 10/10/2011, art. 59 del D.P.R. 380/2001, Circolari Ministeriali 7618/STC e 7619/STC

LIMITI DI ATTERBERG (norma ASTM D4318 metodo A)

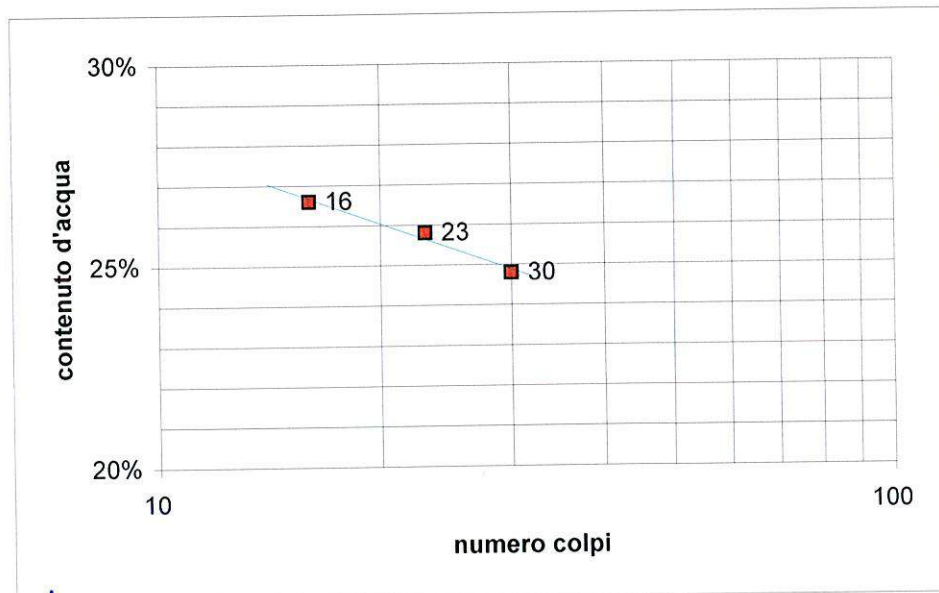
COMMITTENTE:	VERONESE DOTT. GEOL. THOMAS - Via Roma, 10 - 44021 Codigoro (FE)		
CANTIERE:	Cento (FE) - POC EFFE COSTRUZIONI		
CAMPIONE:	C2 da 2.60 a 2.90 m		
COMMESSA:	12973/14	DURATA PROVE:	21 - 27/02/14
VERBALE ACC.:	044/14	DATA CONSEGNA:	21/02/14
GEO - CERT. n°:	G140527	rev.0 del:	27/02/14

codice int. Strum.: 344- 480.

ASPETTO MACROSCOPICO DEL CAMPIONE: **Sabbia con limo grigio**

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		UMIDITA'
	1	2	3	1	2	
impasto						
N° colpi	16	23	30			
massa umida+ tara (g)	52.90	43.57	48.57	11.16	11.41	1129.50
massa secca+ tara (g)	42.29	35.12	39.38	9.63	9.84	956.13
acqua contenuta (g)	10.61	8.45	9.19	1.53	1.57	173.37
tara (g)	2.40	2.37	2.32	2.33	2.24	310.36
peso secco (g)	39.89	32.75	37.06	7.30	7.60	645.77
contenuto d'acqua	26.6%	25.8%	24.8%	21.0%	20.7%	26.8%

Umidità Naturale	Wn =	27%
Limite Liquido	LL =	25%
Limite Plastico	LP =	21%
Indice Plastico	IP =	5%
Indice di Consistenza	Ic =	-0.31



Il Direttore del Laboratorio terre:
dott. geol. (dotto re di ricerca) Gianluca Ferioli

Lo Sperimentatore:
dott. Luciano Rossi

**Indagine sismica con la tecnica dei
microtremori per la determinazione della
frequenza di risonanza del sottosuolo
dell'area sita in Via Santa Libertà in
Comune di Cento (FE)**

Febbraio 2014

Committente: Studio Geologico Veronese

Tecnico: Dr. Nasser Abu Zeid

Indagine sismica con la tecnica dei microtremori per la determinazione della frequenza di risonanza del sottosuolo dell'area sita in Via Santa Libertà in Comune di Cento (FE)



- Relazione Geofisica -

Febbraio 2014

Te.Am. Geofisica s.r.l. - Via G. Fabbri, 503 - 44124 Ferrara
Tel./Fax 0532-871495 Cap. Soc. 10.000 euro Parz. Vers.
Iscr. Reg. Impr. N. 178610 - P. IVA e Cod. Fisc. 01568060386
e-Mail: info@teamgeofisica.com WEB: www.teamgeofisica.com

INDICE

1.	PREMESSA _____	1
2.	TECNICA D'INDAGINE _____	1
	2.1. Il metodo HVSR (Horizontal vertical spectral ratio) _____	2
3.	ACQUISIZIONE DATI _____	4
4.	ANALISI DATI _____	5
5.	RISULTATI _____	5
6.	CONCLUSIONI _____	8
	BIBLIOGRAFIA _____	9

ELENCO DELLE FIGURE E TABELLE

Figura 1: modello di sottosuolo ad un grado di libertà (SDOF)	2
Figura 2. Tracce di rumore sismico acquisito in campo vicino e libero. Z: componente verticale, N: componente orizzontale in direzione N-S e E: componente orizzontale in direzione E-W.....	4
Figura 3. Spettri prove dei rapporti spettrali (H/V) effettuate in campo vicino su terreno libero. Le frecce indicano le frequenze di risonanza tipiche dei terreni investigati. F0: frequenza di risonanza dei terreni. L'inserto in alto a destra indica l'analisi di direzionalità del rumore sismico in funzione dell'angolo di rotazione. I colori indicano l'ampiezza del rapporto H/V. Come si può notare i picchi delle due frequenze rilevate, F0 e F1, sono omnidirezionale.....	6
Figura 4: relazione tra frequenza di risonanza di edifici in c.a. e n. di piani degli stessi.	7
Tabella 1: elenco delle frequenze di risonanze ottenute dalle prove HVSR. 7	

Avvertenze

I dati forniti nella presente relazione si riferiscono esclusivamente alla situazione esistente al periodo di indagine.

La precisione dei metodi impiegati è limitata dagli errori sistematici delle procedure di indagine.

L'autore della presente relazione garantisce la riservatezza dei dati e delle informazioni contenute e si riserva, previa autorizzazione del committente dell'indagine, il diritto esclusivo della loro pubblicazione su riviste scientifiche nazionali ed internazionali.

1. **PREMESSA**

Su incarico dello Studio Geologico Veronese di Codigoro (Ferrara) è stata effettuata in data 24 febbraio 2014 una campagna d'indagine geofisica finalizzata alla determinazione della frequenza di risonanza dei terreni dell'area in oggetto. Il metodo utilizzato si basa sull'analisi dei rapporti spettrali del rumore sismico ambientale (Microtremori noto anche come "Nakamura").

2. **TECNICA D'INDAGINE**

La risposta dinamica dei terreni sottoposti a sollecitazioni può essere ottenuta mediante l'analisi delle onde elastiche che si trasmettono nel sottosuolo. Come è noto, le sollecitazioni dinamiche generano diversi tipi di onde riconducibili a:

- a) onde di volume (P ed S) e
- b) onde superficiali (Rayleigh "R" e Love "L").

Le onde di maggiore interesse nella soluzione di molti problemi geotecnici legati al sistema sottosuolo-fondazione-struttura sono quelle comunemente indicate come onde di taglio di tipo "S", "R" e "L". Tali tipi di onde producono vibrazioni nelle particelle dei materiali costituenti il sottosuolo che al passaggio del treno d'onda risultano polarizzate lungo un piano perpendicolare rispetto alla direzione di propagazione dell'onda stessa. Ciò comporta la comparsa di sforzi di taglio successivamente trasmissibili alle strutture in superficie ed, in alcuni casi, ad un conseguente danno alle stesse.

Siccome la frequenza di risonanza propria dei terreni dipende dalla sequenza dei contrasti di impedenza acustica presenti nel sottosuolo è possibile utilizzare la tecnica dei rapporti spettrali per risalire a tale parametro. Il lavoro fondamentale su questa specifica procedura fu

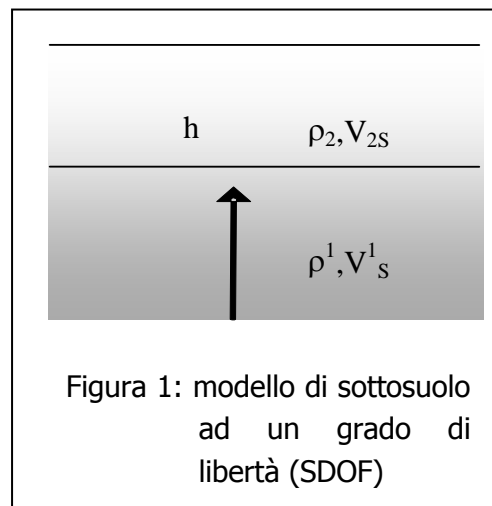
pubblicato da Nakamura nel 1989; per questo motivo è chiamato anche “metodo di Nakamura” (Nakamura, 1989).

2.1. IL METODO HVSR (HORIZONTAL VERTICAL SPECTRAL RATIO)

È ben noto che quando un'onda elastica che si propaga nel sottosuolo passando da un mezzo con impedenza acustica $Z_1 = \rho_1 v_1$ (dove ρ è la densità e v la velocità di un'onda di volume -P o S-) ad un mezzo con impedenza acustica $Z_2 = \rho_2 v_2$, se $Z_2 < Z_1$ l'ampiezza dell'onda trasmessa nel secondo mezzo aumenta. Questo fenomeno dipende soltanto dall'angolo d'incidenza e non dalla frequenza per le onde P, cioè tutte le singole componenti sinusoidali dell'onda vengono amplificate nella stessa misura. Per le onde S si dimostra invece che ha luogo un fenomeno di risonanza. Dato un sottosuolo formato da una copertura omogenea elastica di spessore h , poggiante su un substrato rigido (nella pratica un substrato è considerato rigido quando la sua V_{1S} supera 800 m/s), come in Figura 1, tali frequenze di risonanza sono date da (v. p. es. Lanzo e Silvestri, 1999):

$$f_n = \frac{V_{2S}(2n-1)}{4h}, n = 1, 2, \dots, \infty.$$

Ad esempio, per una copertura elastica spessa 50 m con V_{2S} di 200 m/s (velocità tipica di un sedimento sciolto), $f_1 = 1$ Hz, $f_2 = 3$ Hz e così via. Si tratta di campi di frequenze coincidenti con quelli delle costruzioni. L'ampiezza di oscillazione alle frequenze di risonanza tende all'infinito per un mezzo puramente elastico. È da notare che ciò non avviene mai nella pratica in quanto tutti i mezzi materiali hanno un comportamento visco-elastico. Ciò comporta uno smorzamento progressivo dell'ampiezza trasmessa $A(f_n)$ alla frequenza di risonanza, al crescere di questa, secondo la relazione:



$$A(f) = \frac{2}{(2n-1)} \cdot \frac{G}{\pi^2 \eta f}$$

dove G è il modulo di rigidità e η il coefficiente di viscosità.

Poiché sia le onde di Love che la componente orizzontale delle onde di Rayleigh si formano per interferenza costruttiva delle onde S, quanto detto vale con ottima approssimazione anche per tali onde, purchè il sottosuolo sia tabulare, cioè a strati piano/paralleli. Questo è un fatto particolarmente fortunato perché significa che basta registrare il rumore sismico ambientale, dove è ampiamente prevalente l'energia associata alle onde superficiali, per avere un'informazione precisa (nei limiti summenzionati) delle frequenze di risonanza. Questa infatti si ottiene con 3 semplici passaggi:

1. registrando in un punto per un certo tempo le 3 componenti del moto delle particelle del terreno (la verticale $V(t)$ e due orizzontali ortogonali tra loro: $NS(t)$, $EW(t)$) con un sismometro a frequenza propria inferiore al campo di frequenze di interesse;
2. calcolandone i rispettivi spettri di Fourier $V(f)$, $NS(f)$ e $EW(f)$ ¹

$$\frac{\sqrt{|NS(f)|^2 + |EW(f)|^2}}{|V(f)|}$$

3. facendo il rapporto detto per l'appunto HVSR, acronimo di Horizontal over Vertical Signal Ratio.

Si richiama l'attenzione del lettore su 2 fatti:

1. che non è possibile, conoscendo soltanto la frequenza di risonanza, determinare contemporaneamente la V_S dello strato elastico e la profondità h del substrato rigido: questi due parametri del sottosuolo compaiono in un prodotto, e quindi la loro determinazione è impossibile senza informazioni di altra origine;

¹ È d'uso indicare con la stessa lettera maiuscola la trasformata di Fourier di una funzione, indicata con la lettera minuscola.

- trattandosi di un metodo statistico, l'ampiezza alla frequenza di risonanza può essere affetta da un ampio margine di incertezza. L'ampiezza effettiva può essere stimata solo utilizzando un segnale deterministico, come quello di un terremoto.

3. ACQUISIZIONE DATI

L'area oggetto di indagine è stata investigata in data 16 gennaio 2014 mediante l'esecuzione di n.2 prove H/V (TAV-1).

Per l'acquisizione dati è stato impiegato una data logger a 24 bit collegato ad un sismometro 3D modello Sensor (S3S2, M.A.E. Apparecchiature Elettroniche srl. di Frosolone, Molise). La lunghezza temporale delle registrazioni è stata di 50 minuti (prova 1) e di 30 minuti (prova 2). Il passo di campionamento è di 250 Hz (in figura 2 si riporta un esempio di acquisizione)

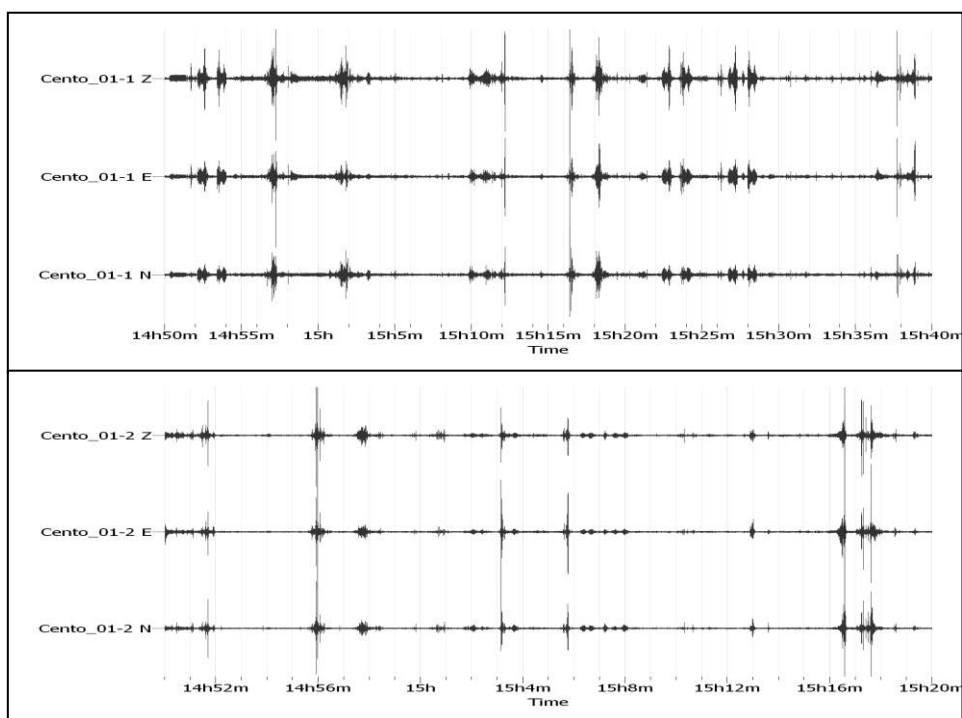
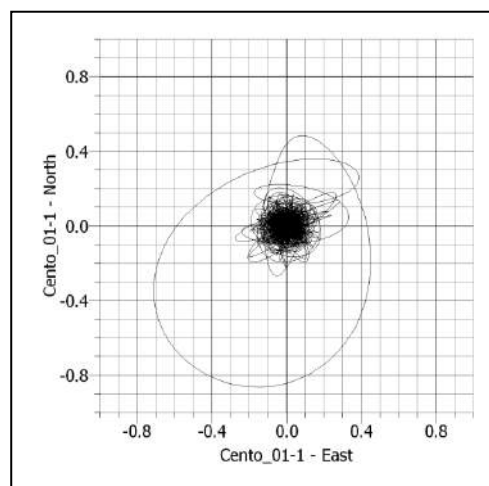


Figura 2. Tracce di rumore sismico acquisito in campo vicino e libero. Z: componente verticale, N: componente orizzontale in direzione N-S e E: componente orizzontale in direzione E-W.

4. ANALISI DATI

L'analisi delle serie temporali è proceduta seguendo i punti 2 e 3 del paragrafo 2.1. La figura 1 illustra il sismogramma delle due serie temporali registrate in campo vicino. È stato anche effettuata un'analisi relativa al movimento delle particelle a causa della propagazione dei segnali sismici nel terreno. Il risultato dell'analisi, riportato in figura (3) mostra l'assenza di anisotropie e conferma che il rumore sismico proviene da tutte le direzioni.

Figura 3. Distribuzione dei movimenti delle particelle del terreno sul piano X-Y. L'addensamento dei punti intorno ad un cerchio indica che il rumore sismico è isotropo. La curva intorno al cerchio è dovuta al movimento di un mezzo pesante nel piazzale della stessa Ditta.



5. RISULTATI

I risultati ottenuti, utilizzando il codice di calcolo Geopsy (vers. 2.5, 2013), sono riportati in figura 4. Mentre le frequenze di risonanze ottenute sono riportate in Tabella 1.

I risultati ottenuti permettono di formulare quanto segue:

1. la frequenza di risonanza con rapporto H/V intorno/superiore a 2, tipica dell'area è denominata F_0 (Tabella 1), risulta essere intorno a 0,64Hz. Questo valore corrisponde ad un periodo di risonanza intorno a 1,6 secondi e suggerisce la presenza di discontinuità acustica collocata a profondità compresa tra 155 e 200 m,

2. La frequenza di risonanza (F_1), pari a 0,83 Hz/periodo 1,2 secondi, risulta stabile ed indica la presenza di una seconda discontinuità acustica più superficiale a profondità 120-130 metri.

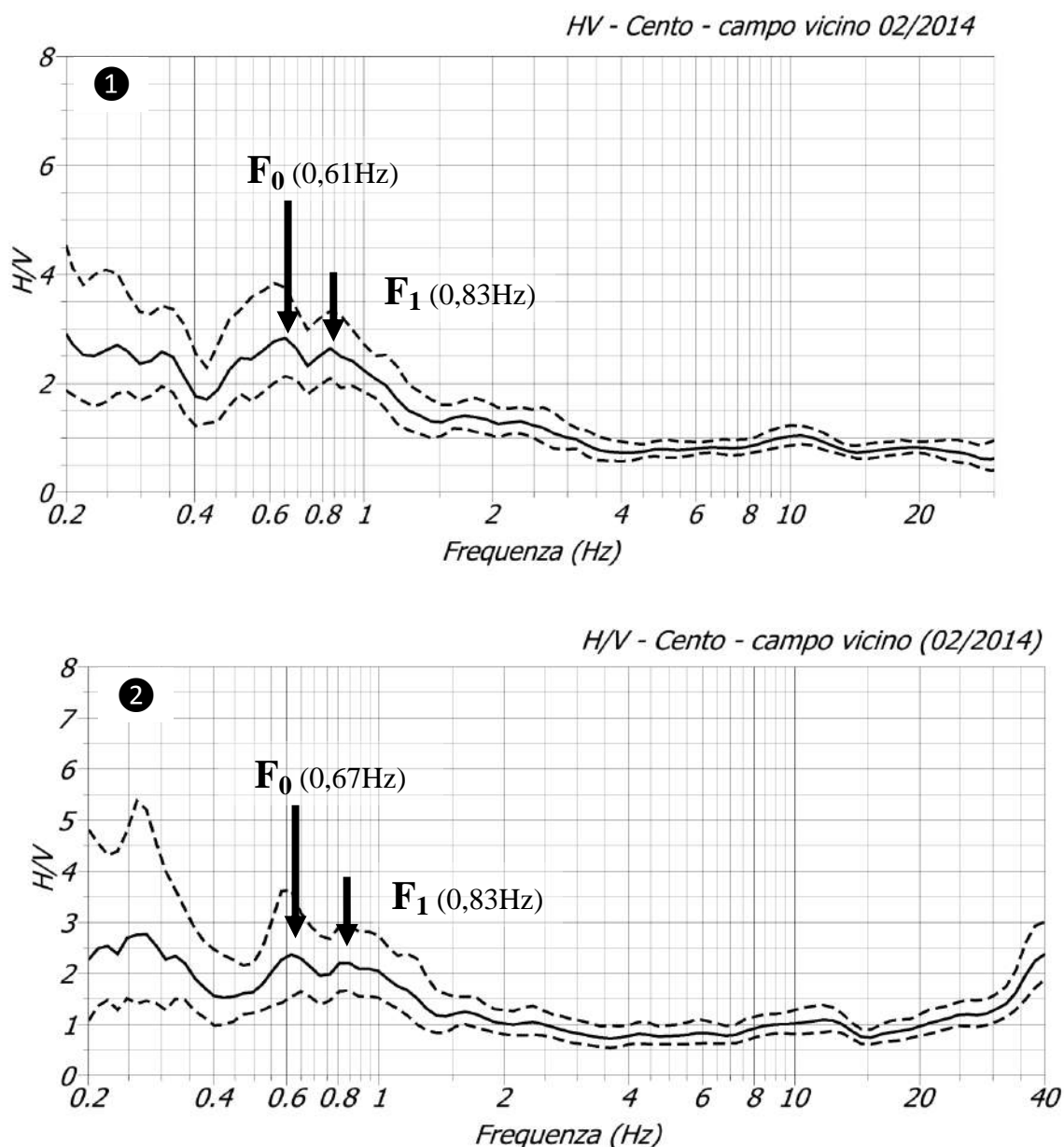


Figura 3. Spettri prove dei rapporti spettrali (H/V) effettuate in campo vicino su terreno libero. Le frecce indicano le frequenze di risonanza tipiche dei terreni investigati. F_0 : frequenza di risonanza dei terreni. L'inserto in alto a destra indica l'analisi di direzionalità del rumore sismico in funzione dell'angolo di rotazione. I colori indicano l'ampiezza del rapporto H/V. Come

si può notare i picchi delle due frequenze rilevate, F0 e F1, sono omnidirezionale.

Tabella 1: elenco delle frequenze di risonanze ottenute dalle prove HVSR.

prova H/V	Frequenza (Hz)	Valore Frequenza	Periodo T ₀ (sec)	Ampiezza (A)
1*	F ₀	0,61 ± 0,03	1,6	2,4
1*	F ₁	0,84 ± 0,03	1,2	2,2
2*	F ₀	0,67 ± 0,02	1,5	2,8
2*	F ₁	0,83 ± 0,00	1,2	2,6

1,2*prove effettuate in campo libero

Si ritiene utile ricordare il lettore dell'importanza della determinazione della frequenza di risonanza dei terreni di fondazione per la pianificazione urbanistica/progettazione.

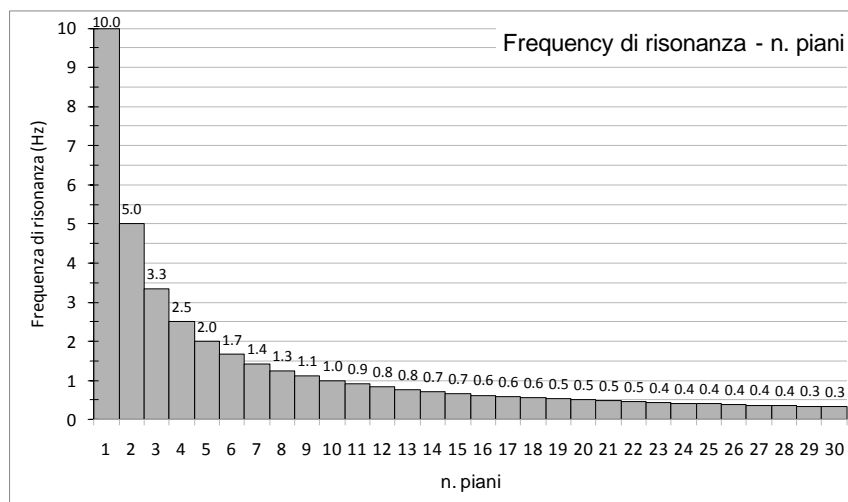


Figura 4: relazione tra frequenza di risonanza di edifici in c.a. e n. di piani degli stessi.

A questo proposito si riporta in Figura (4) la relazione semplificata tra il numero dei piani e la frequenza di risonanza degli stessi. Se la frequenza di risonanza dei terreni di fondazione coincide con quella dei fabbricati avviene

il fenomeno della risonanza degli stessi fabbricati che può portare al loro collasso se non propriamente progettate.

6. CONCLUSIONI

L'indagine geofisica effettuata in data 24.02.2014 con la tecnica dei microtremori (H/V) "Nakamura" ha consentito di risalire alle frequenze di risonanza tipiche dei terreni investigati in campo libero che risultano essere pari a $F_0=0,61-0,67$ Hz [1,5-1,6 sec] con media intorno a 0,64 Hz [periodo medio 1,5 secondi], $F_1=0,83$ Hz [1,2 sec]. Il picco di frequenza fondamentale (0,64 Hz/1,5 sec) è associato alla presenza di una discontinuità acustica ad una profondità compresa tra 155-200 metri mentre la F_1 è dovuta alla presenza di una superficie di discontinuità collocata a profondità compresa tra 120-130 m.

Si sottolinea che tutti i picchi di frequenza determinate per l'area in oggetto sono incompatibili con costruzioni in c.a. superiori a 11/12 piani.

Tecnico:

Dott. Nasser Abu Zeid

BIBLIOGRAFIA

Geopsy. Software per l'elaborazione dei dati dei microtremori.
<http://www.gepsy.org>.

Nakamura Y., 1989: A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremori on the ground surface. QR Railway Technical Research Institute, 30, 25-33.

ALLEGATI

Studi sismici della Regione Emilia Romagna

Ordinanza n. 70 del 13/11/2012 e cartografia di riferimento



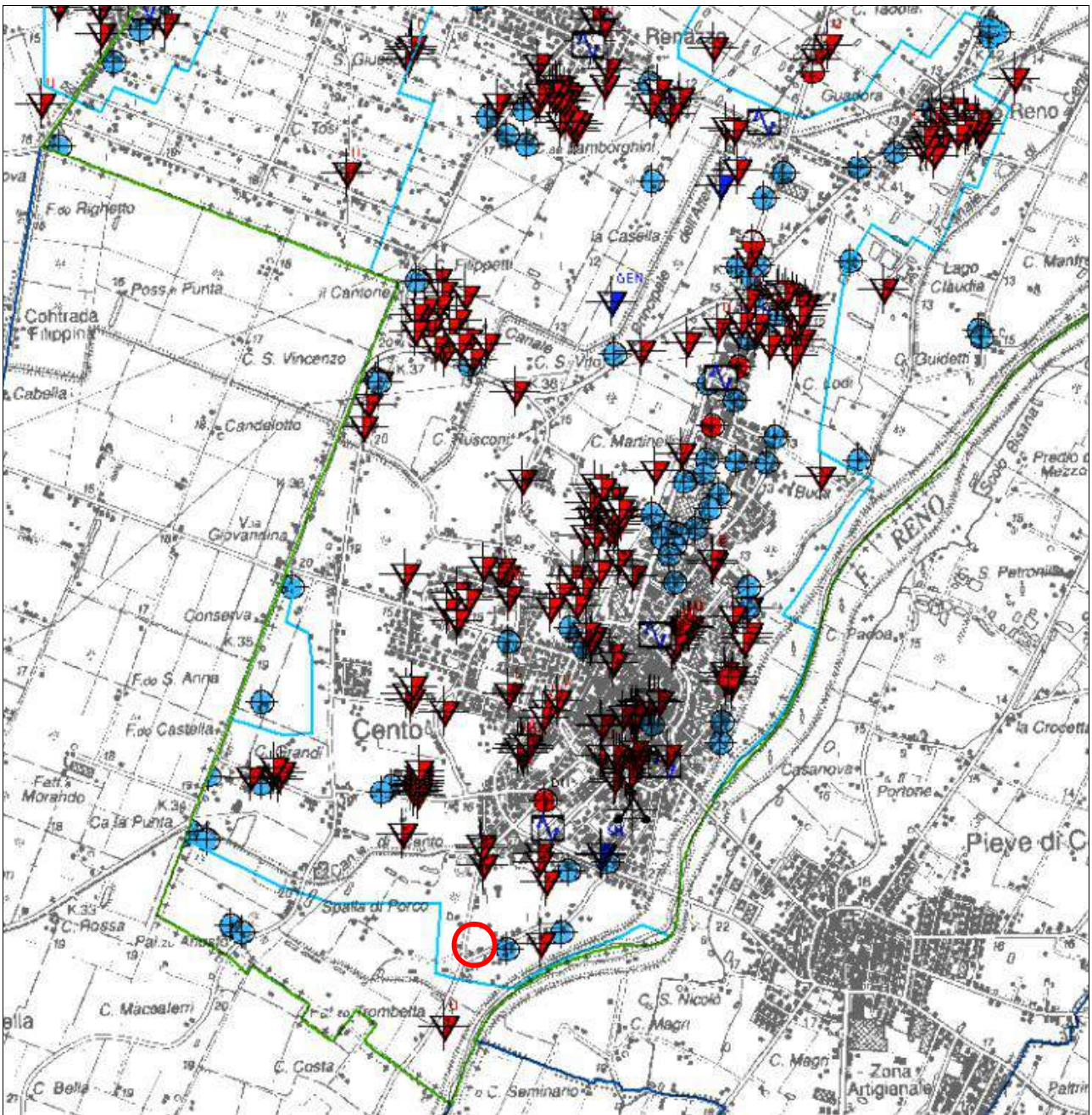
Assessorato Sicurezza Territoriale, Difesa del Suolo e della Costa, Protezione Civile
Assessorato Programmazione Territoriale, Urbanistica, Reti di infrastrutture materiali
e immateriali, Mobilità, Logistica e Trasporti

Ordinanza del Commissario delegato per la ricostruzione
n. 70 del 13 novembre 2012

MICROZONAZIONE SISMICA carta delle indagini

scala 1 : 100.000





Legenda

- | | | | | | |
|--|---|--|--|--|--------------------|
| | T - affioramento naturale o scavo | | MASW - prova MASW | | ambito di studio |
| | ESAC_SPAC - array sismico | | DMT - prova dilatometrica | | limite comunale |
| | S - carotaggio continuo | | DPSH - prova dinamica con penetrom. superpesante | | limite provinciale |
| | HVSR - misure di microtremore a stazione singola (HVSR) | | DL - prova dinamica con penetrometro leggero (DPL) | | limite regionale |
| | PI - perforazione per ricerca idrocarburi | | DPM - prova dinamica con penetrometro medio | | |
| | PA - pozzo per acqua | | DP - prova dinamica con penetrometro pesante (DPH) | | |
| | SCPT - prova CPT con cono sismico | | DINGEN - prova dinamica generica | | |
| | CPTE - prova CPT con punta elettrica | | SD - sondaggio a distruzione | | |
| | CPT - prova CPT con punta meccanica | | SEV - sondaggio elettrico verticale | | |
| | CH - prova CROSS HOLE | | SCPTU | | |
| | DH - prova DOWN HOLE | | SDMT | | |

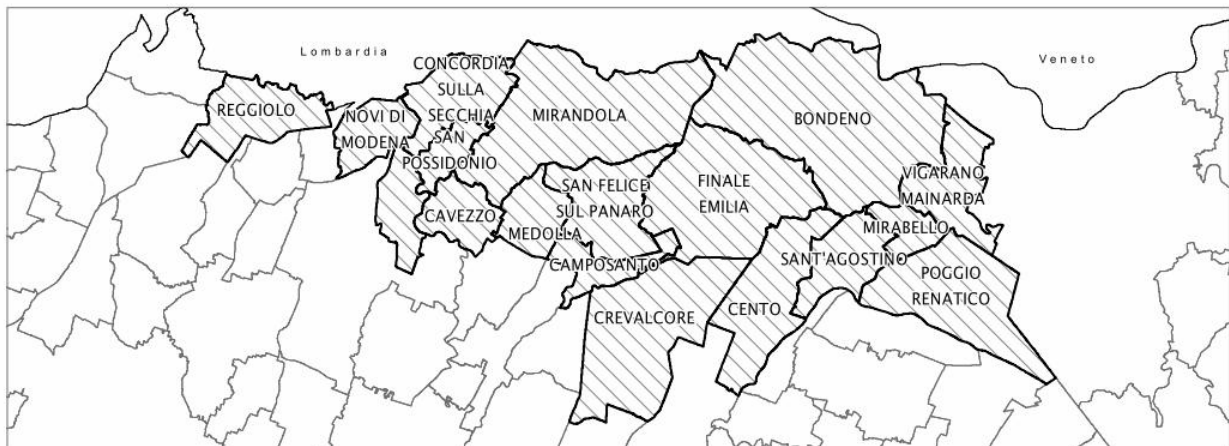


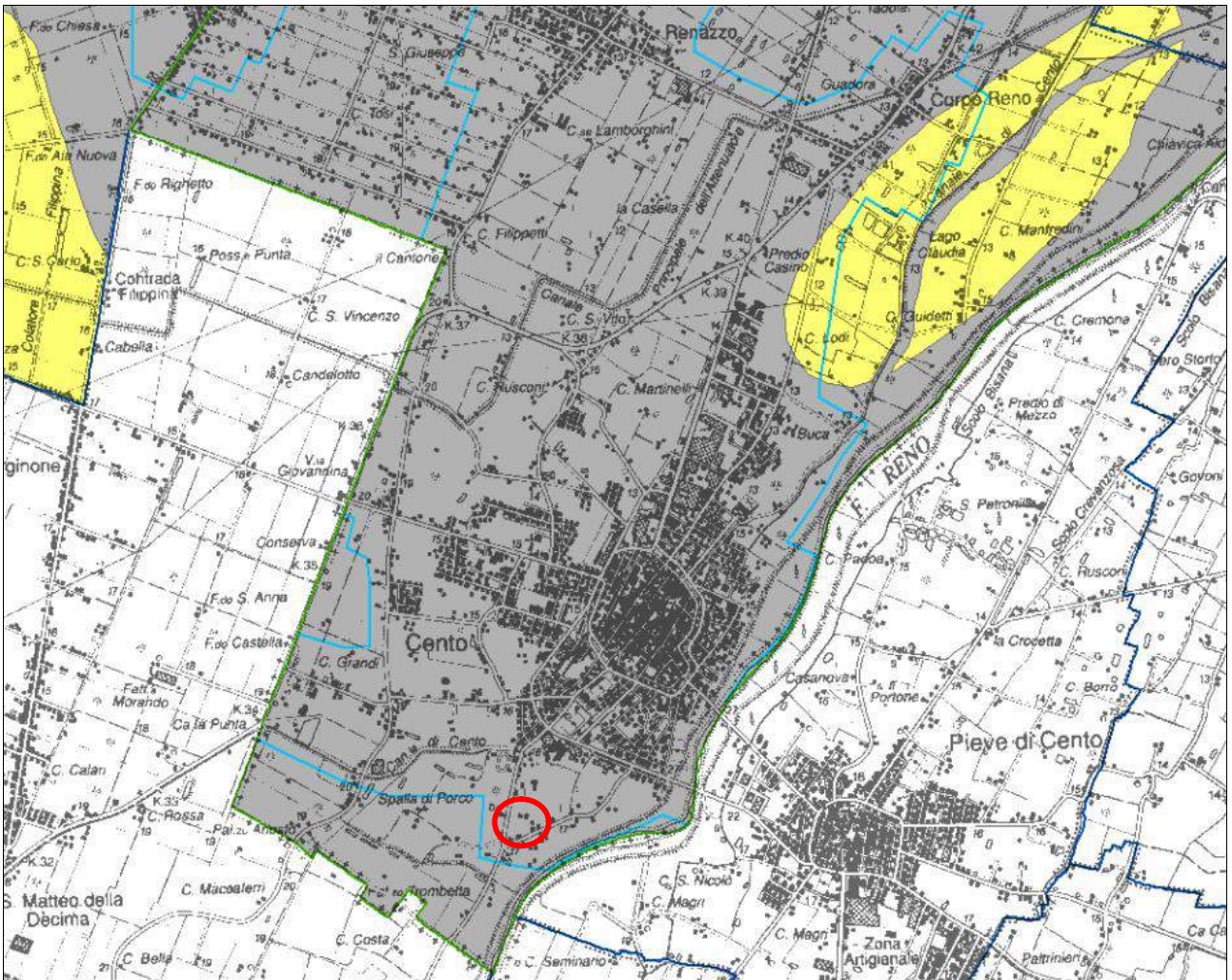
Assessorato Sicurezza Territoriale, Difesa del Suolo e della Costa, Protezione Civile
Assessorato Programmazione Territoriale, Urbanistica, Reti di infrastrutture materiali
e immateriali, Mobilità, Logistica e Trasporti

Ordinanza del Commissario delegato per la ricostruzione
n. 70 del 13 novembre 2012






MICROZONAZIONE SISMICA carta geologica di superficie

scala 1 : 100.000





Legenda

-  **A** Prevalenti terreni fini, limi e argille, di piana inondabile
-  **S** prevalenti terreni sabbiosi di canale-argine e ventagli di rotta
-  ambito di studio
-  limite provinciale
-  limite regionale



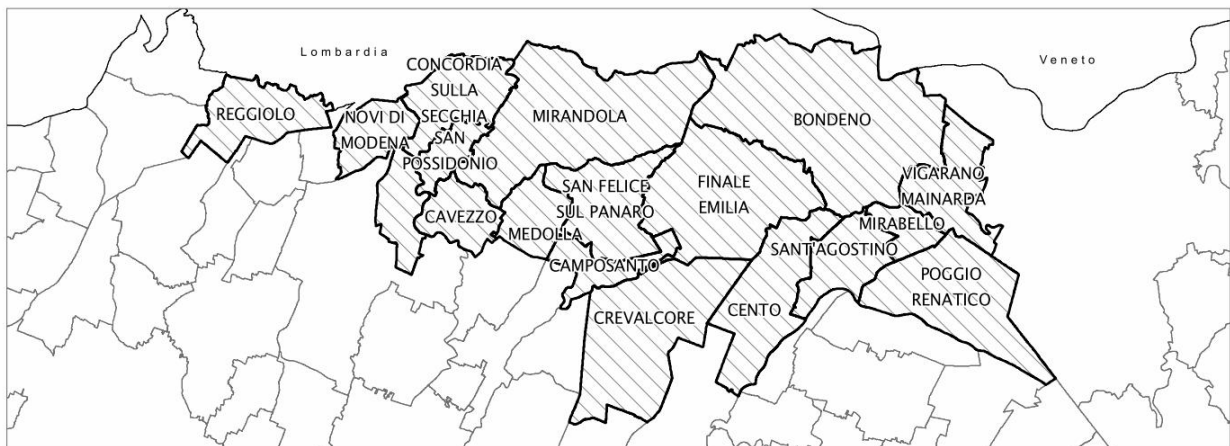
Assessorato Sicurezza Territoriale, Difesa del Suolo e della Costa, Protezione Civile
Assessorato Programmazione Territoriale, Urbanistica, Reti di infrastrutture materiali
e immateriali, Mobilità, Logistica e Trasporti

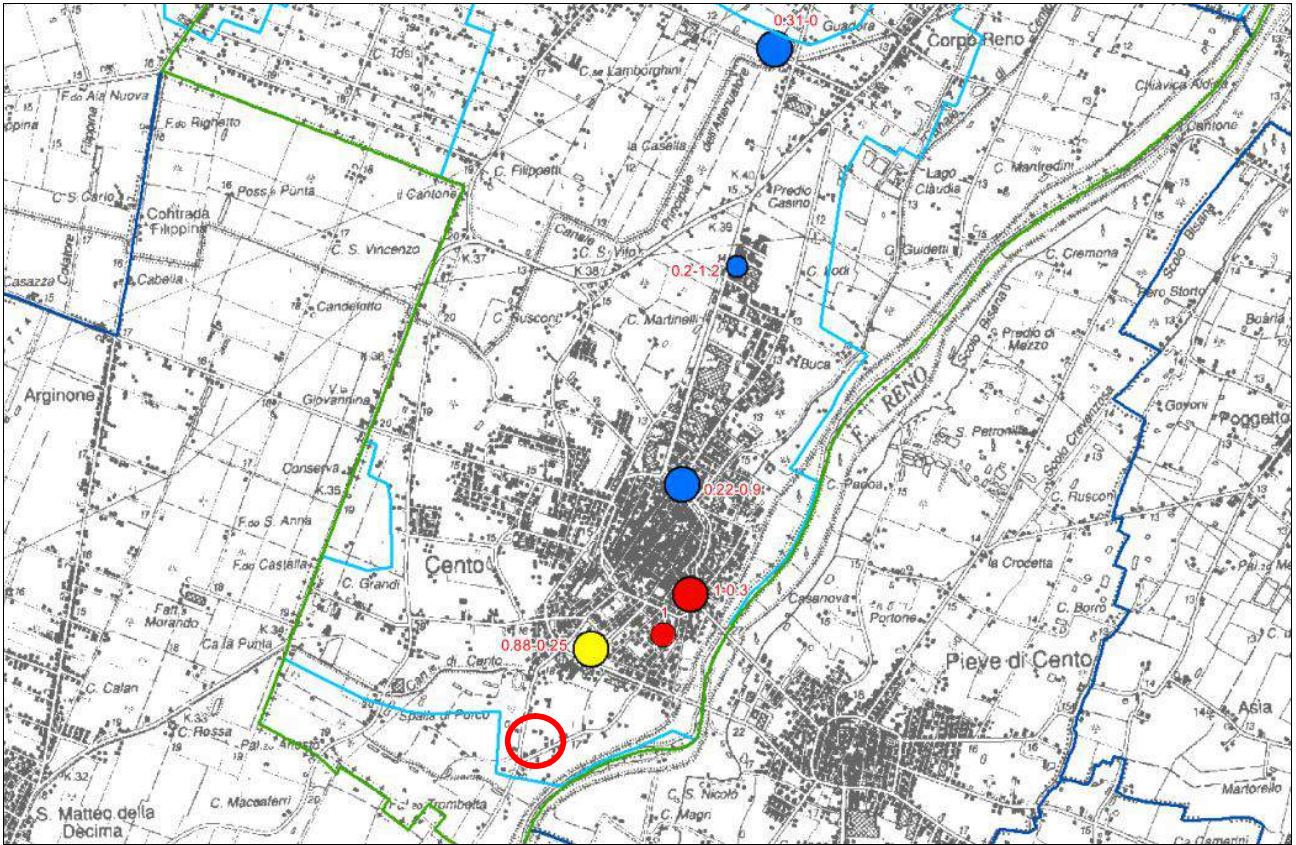
Ordinanza del Commissario delegato per la ricostruzione
n. 70 del 13 novembre 2012

MICROZONAZIONE SISMICA

carta delle frequenze naturali del terreno

scala 1 : 100.000





Legenda

	ADBPO	UNIBAS-OGS	PSC Mirandola	UNISI	RER MS ord. 70/2012
Fo < 0.6	<ul style="list-style-type: none"> A < 2 2 <= A < 2.5 A >= 2.5 	<ul style="list-style-type: none"> A < 2 2 <= A < 2.5 A >= 2.5 	<ul style="list-style-type: none"> A < 2 2 <= A < 2.5 A >= 2.5 	<ul style="list-style-type: none"> A < 2 2 <= A < 2.5 A >= 2.5 	<ul style="list-style-type: none"> A < 2 2 <= A < 2.5 A >= 2.5
0.6 <= Fo < 0.8	<ul style="list-style-type: none"> A < 2 2 <= A < 2.5 A >= 2.5 	<ul style="list-style-type: none"> A < 2 2 <= A < 2.5 A >= 2.5 	<ul style="list-style-type: none"> A < 2 2 <= A < 2.5 A >= 2.5 	<ul style="list-style-type: none"> A < 2 2 <= A < 2.5 A >= 2.5 	<ul style="list-style-type: none"> A < 2 2 <= A < 2.5 A >= 2.5
0.8 <= Fo < 1.0	<ul style="list-style-type: none"> A < 2 2 <= A < 2.5 A >= 2.5 	<ul style="list-style-type: none"> A < 2 2 <= A < 2.5 A >= 2.5 	<ul style="list-style-type: none"> A < 2 2 <= A < 2.5 A >= 2.5 	<ul style="list-style-type: none"> A < 2 2 <= A < 2.5 A >= 2.5 	<ul style="list-style-type: none"> A < 2 2 <= A < 2.5 A >= 2.5
Fo >= 1.0	<ul style="list-style-type: none"> A < 2 2 <= A < 2.5 A >= 2.5 	<ul style="list-style-type: none"> A < 2 2 <= A < 2.5 A >= 2.5 	<ul style="list-style-type: none"> A < 2 2 <= A < 2.5 A >= 2.5 	<ul style="list-style-type: none"> A < 2 2 <= A < 2.5 A >= 2.5 	<ul style="list-style-type: none"> A < 2 2 <= A < 2.5 A >= 2.5



Assessorato Sicurezza Territoriale, Difesa del Suolo e della Costa, Protezione Civile
Assessorato Programmazione Territoriale, Urbanistica, Reti di infrastrutture materiali
e immateriali, Mobilità, Logistica e Trasporti



Provincia di
Ferrara



Comune di
Cento

Ordinanza del Commissario delegato per la ricostruzione
n. 70 del 13 novembre 2012

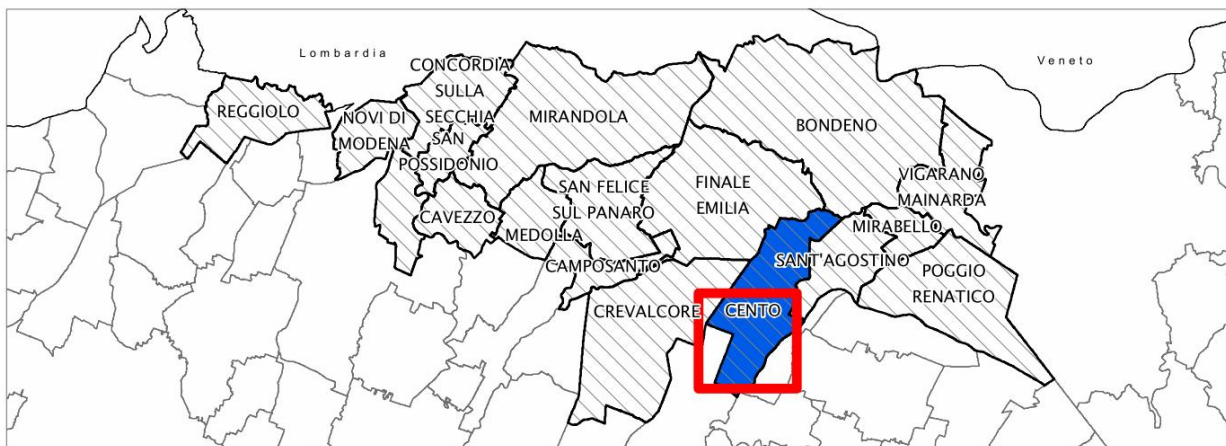
MICROZONAZIONE SISMICA

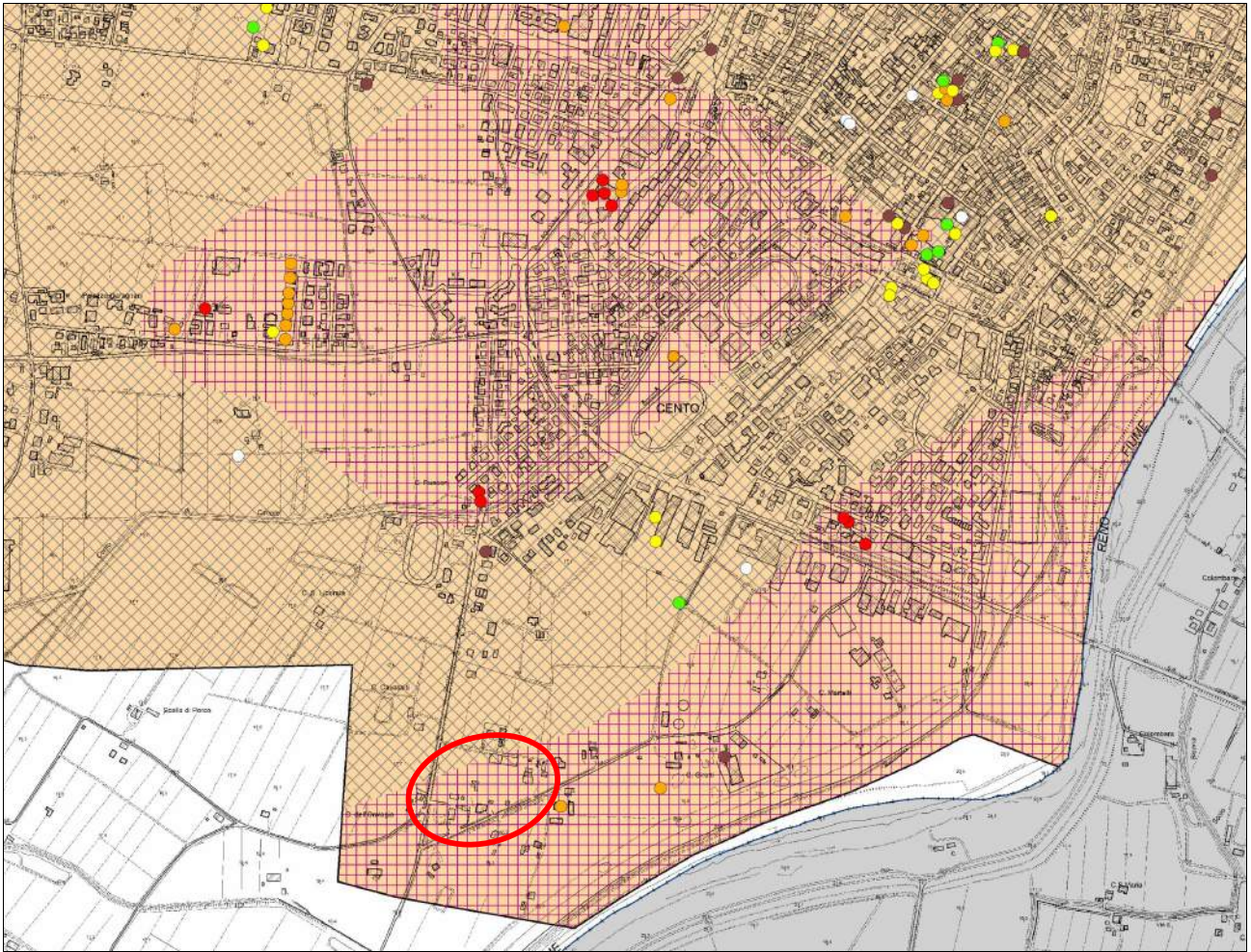
Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica

scala 1 : 10000

Versione 2.0 - 14/11/2013

Comune di CENTO (FE)(1° di 3)





Legenda

A1	Zona suscettibile di amplificazione. Substrato a profondità ≥ 120 m	LQ1	Substrato a profondità ≥ 120 m Presenza di terreni suscettibili di liquefazione già nei primi 10 m dal piano campagna
		LQ2	Substrato a profondità ≥ 120 m Presenza di terreni suscettibili di liquefazione tra 10 e 20 m dal piano campagna
		LQ1	Substrato a profondità < 120 m Presenza di terreni suscettibili di liquefazione già nei primi 10 m dal piano campagna
		LQ2	Substrato a profondità < 120 m Presenza di terreni suscettibili di liquefazione tra 10 e 20 m dal piano campagna

Prove geotecniche utilizzate per la stima della profondità degli orizzonti liquefacibili

- L1 - orizzonti liquefacibili (minimo 20 cm) presenti sotto falda già nei primi 5 m dal piano campagna
- L2 - orizzonti liquefacibili (minimo 1 m) presenti tra 5 m e 10 m dal piano campagna
- L3 - orizzonti liquefacibili (minimo 2 m) presenti tra 10 m e 15 m dal piano campagna
- L4 - orizzonti liquefacibili (minimo 2 m) presenti tra 15 m e 20 m dal piano campagna
- N - assenza di orizzonti liquefacibili (valutazione nei primi 20 m)
- X - dato non interpretabile
- punti di liquefazione

— fratture o allineamenti di punti di liquefazione



Assessorato Sicurezza Territoriale, Difesa del Suolo e della Costa, Protezione Civile
Assessorato Programmazione Territoriale, Urbanistica, Reti di infrastrutture materiali
e immateriali, Mobilità, Logistica e Trasporti



Provincia di
Ferrara



Comune di
Cento

Ordinanza del Commissario delegato per la ricostruzione
n. 70 del 13 novembre 2012

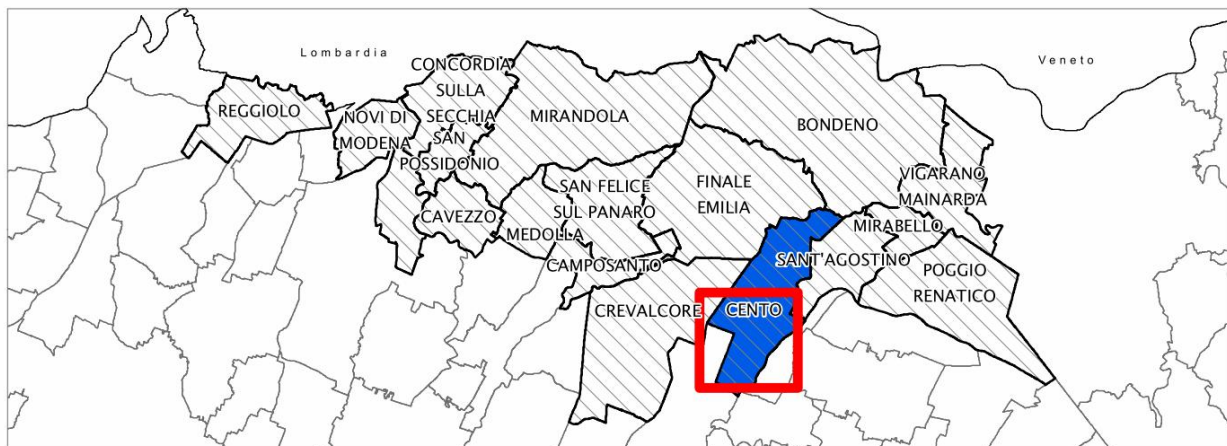
MICROZONAZIONE SISMICA

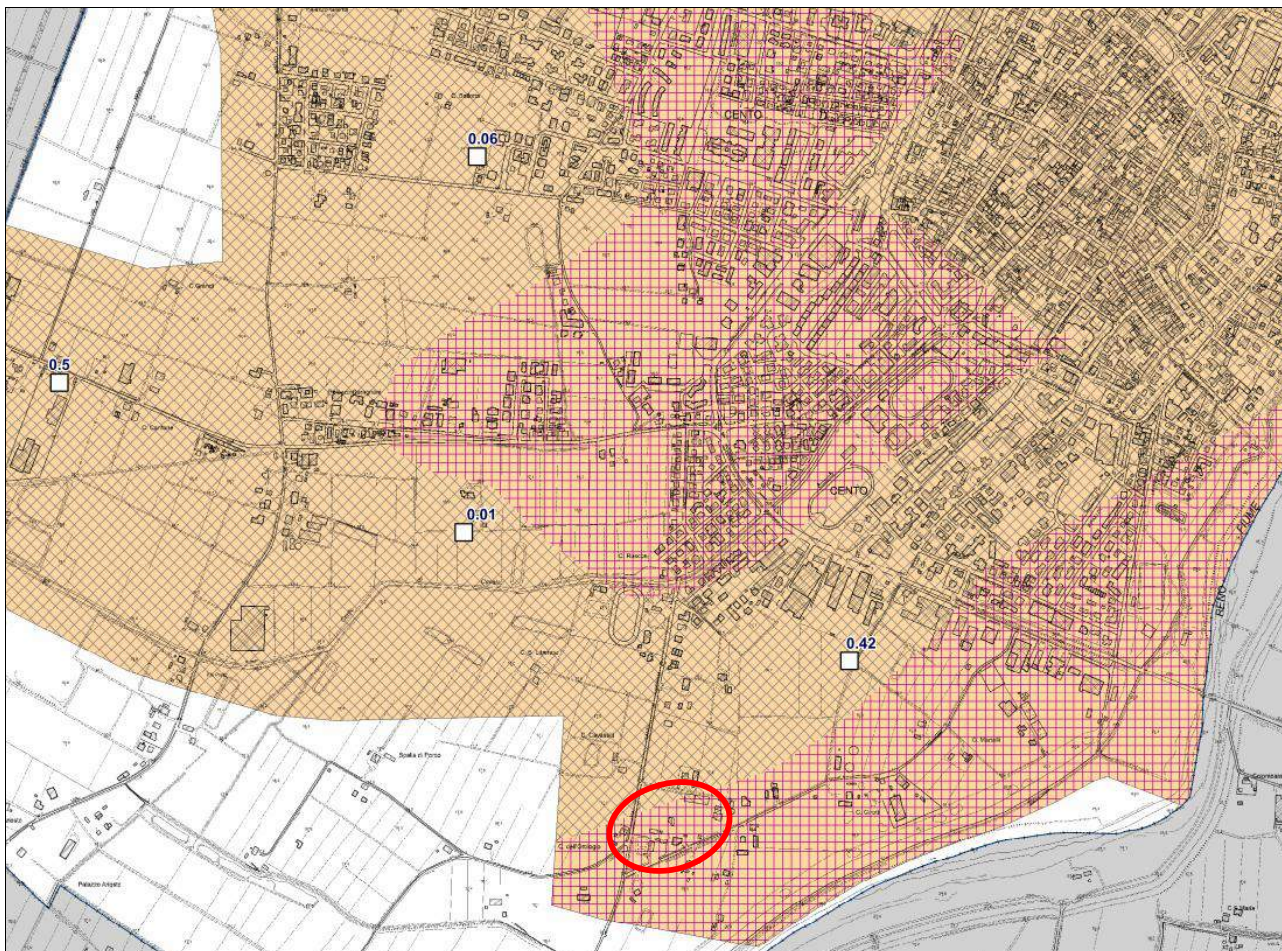
Carta dei fattori di amplificazione e del rischio di liquefazione

scala 1 : 10000

Versione 1.0 - 14/11/2013

Comune di CENTO (FE)(1° di 3)





Legenda

<p>A1 Zona suscettibile di amplificazione. FAPGA = 1.5 FH 0.1 - 0.5s = 1.8 FH 0.5 - 1.0s = 2.5 Stima con abachi DAL 112/2007</p>	<p>LQ1 FAPGA = 1.5; FH 0.1 - 0.5s = 1.8; FH 0.5 - 1.0s = 2.5 Stima con abachi DAL 112/2007 Presenza di terreni suscettibili di liquefazione già nei primi 10 m dal piano campagna</p>
<p>LQ2 FAPGA = 1.5; FH 0.1 - 0.5s = 1.8; FH 0.5 - 1.0s = 2.5 Stima con abachi DAL 112/2007 Presenza di terreni suscettibili di liquefazione tra 10 e 20 m dal piano campagna</p>	<p>LQ1 FAPGA = 1.7; FH 0.1 - 0.5s = 1.9; FH 0.5 - 1.0s = 2.6 Stima con abachi DAL 112/2007 Presenza di terreni suscettibili di liquefazione già nei primi 10 m dal piano campagna</p>
	<p>LQ2 FAPGA = 1.7; FH 0.1 - 0.5s = 1.9; FH 0.5 - 1.0s = 2.6 Stima con abachi DAL 112/2007 Presenza di terreni suscettibili di liquefazione tra 10 e 20 m dal piano campagna</p>

Valore dell'Indice di Liquefazione (IL: classificazione secondo Sonmez, 2003).

stima IL 10 m		stima IL 15-20 m	
1.2 ◇	Rischio di liquefazione basso ($0.0 < IL < 2.0$)	□ 1.5	
2.8 ◇	Rischio di liquefazione moderato ($2.0 \leq IL < 5.0$)	■ 3.3	
5.4 ◇	Rischio di liquefazione elevato ($5.0 \leq IL < 15.0$)	■ 6.4	

Per ogni verticale di verifica è riportato il valore puntuale di IL



Assessorato Sicurezza Territoriale, Difesa del Suolo e della Costa, Protezione Civile
Assessorato Programmazione Territoriale, Urbanistica, Reti di infrastrutture materiali
e immateriali, Mobilità, Logistica e Trasporti



Provincia di
Ferrara



Comune di
Cento

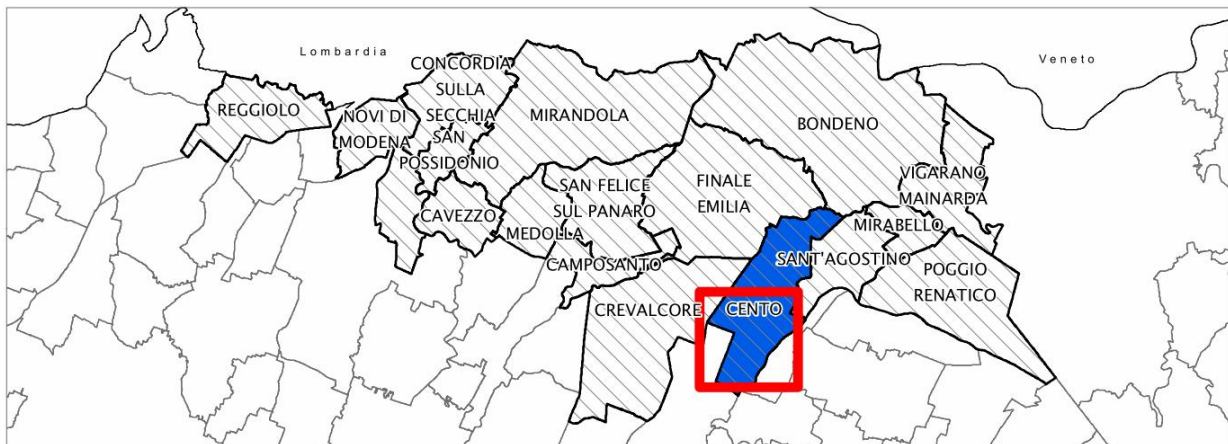
Ordinanza del Commissario delegato per la ricostruzione
n. 70 del 13 novembre 2012

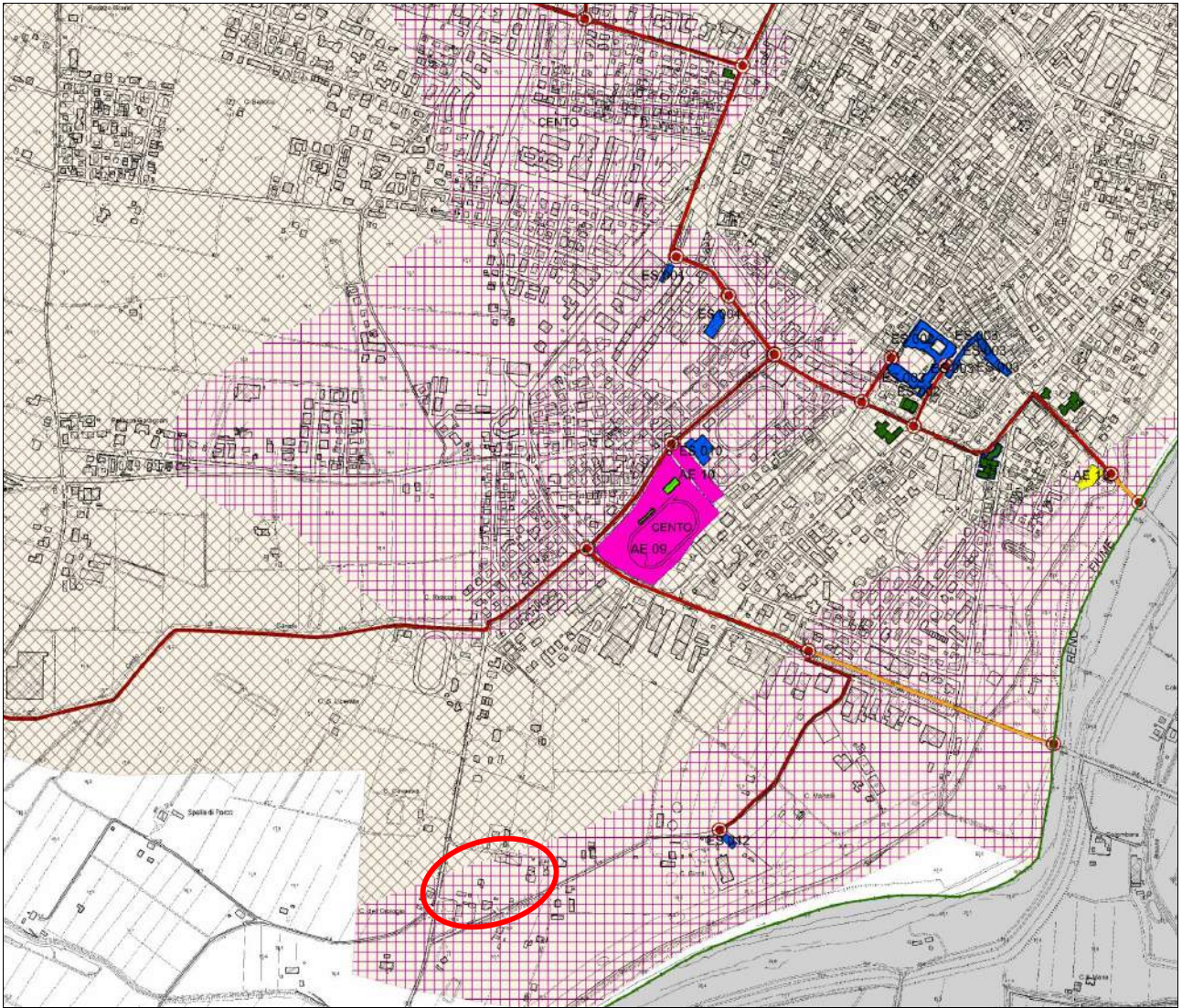
Confronto tra la Microzonazione Sismica e l'Analisi della Condizione Limite per l'Emergenza

scala 1 : 10000

Versione 1.0 - 14/11/2013

Comune di CENTO (FE)(1° di 3)










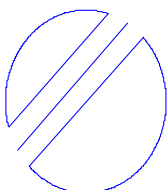
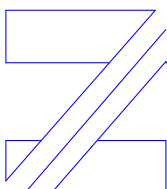
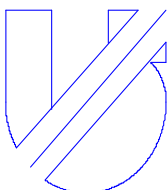
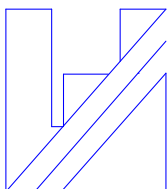
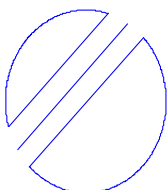
Legenda

<p>A1 Zona suscettibile di amplificazione FAPGA = 1.5 FH 0.1 - 0.5s = 1.8 FH 0.5 - 1.0s = 2.5 Stima con abachi DAL 112/2007</p>	<p>LQ1 FAPGA = 1.5; FH 0.1 - 0.5s = 1.8; FH 0.5 - 1.0s = 2.5 Stima con abachi DAL 112/2007 Presenza di terreni suscettibili di liquefazione già nei primi 10 m dal piano campagna</p>
<p>LQ2 FAPGA = 1.5; FH 0.1 - 0.5s = 1.8; FH 0.5 - 1.0s = 2.5 Stima con abachi DAL 112/2007 Presenza di terreni suscettibili di liquefazione tra 10 e 20 m dal piano campagna</p>	<p>LQ1 FAPGA = 1.7; FH 0.1 - 0.5s = 1.9; FH 0.5 - 1.0s = 2.6 Stima con abachi DAL 112/2007 Presenza di terreni suscettibili di liquefazione già nei primi 10 m dal piano campagna</p>
	<p>LQ2 FAPGA = 1.7; FH 0.1 - 0.5s = 1.9; FH 0.5 - 1.0s = 2.6 Stima con abachi DAL 112/2007 Presenza di terreni suscettibili di liquefazione tra 10 e 20 m dal piano campagna</p>

Sistema di gestione dell'emergenza

	Edificio strategico		Aggregato strutturale interferente
	Area di emergenza (AMMASSAMENTO)		Unità strutturale interferente
	Area di emergenza (RICOVERO)		Unità strutturale non interferente
	Infrastruttura di connessione		Limiti amministrativi comunali
	Infrastruttura di accessibilità		

SRL



Titolo

Relazione geologico-sismica

Data

11 FEBBRAIO 2014

Committente

**CAMPAGNOLI SRL
CORSO DEL GUERCINO N. 29/b – CENTO (FE)**

Progetto

**PIANO PARTICOLAREGGIATO DI
INIZIATIVA PRIVATA
in Cento (FE) Via Galvani**

Commessa

	Responsabili	Data	Revisione
Elaborazione	Dott. Geol. Stefano Malaguti		
Verifica	Dott. Geol. Stefano Malaguti	11/02/2014	01

Via Ascari, 6
44019 GUALDO DI VOGHIERA (FE)
TEL.: 0532 815683
FAX: 0532 776455
e-mail: info@songeo.it
www.songeo.it

INDICE

1.	INTRODUZIONE	3
2.	DESCRIZIONE DEL SITO IN ESAME	5
2.1	Inquadramento urbanistico.....	7
3.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	8
3.1	Inquadramento geologico, geomorfologico e geolitologico locale.....	9
4.	CLASSIFICAZIONE SISMICA DELL'AREA	12
5.	PROGRAMMA DI INDAGINE	16
5.1	Modellazione stratigrafica	19
5.2	Falda freatica	20
6	MODELLAZIONE SISMICA	21
6.1	Definizione della categoria di sottosuolo	23
6.2	Pericolosità sismica locale e valutazione dell'accelerazione massima del sito	25
6.3	Valutazione del fattore di amplificazione sismica locale	26
6.4	Amplificazione effetti sismici - Verifica a liquefazione.....	28
6.5	Amplificazione effetti sismici – Cedimenti post-sismici	30
7.	CONCLUSIONI.....	34

ALLEGATI

All. n. 1: Relazione indagine sismica passiva

All. n. 2: Schede prove penetrometriche

1. INTRODUZIONE

Su incarico della impresa Campagnoli Srl con sede in Cento (FE), in Corso del Guercino n. 29/b, , è stata eseguita una indagine geognostica e geofisica nell'area sita in via Galvani a Cento (FE), dove è in progetto la costruzione di fabbricati residenziali.

Il presente elaborato è indirizzato a fornire i parametri necessari alla modellazione geologica del sottosuolo, nonché ad assegnare la Classe Sismogenetica del sito indispensabile al fine della definizione delle caratteristiche di risposta elastica dei terreni fondali.

Il modello geologico del sito è stato orientato alla ricostruzione dei caratteri stratigrafici, litologici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio.

Per la definizione del modello sismico del sito si è proceduto attraverso:

- illustrazione della sismicità dell'area sulla base della classificazione sismica nazionale ai sensi dell'OPCM n.3274 del 20 marzo 2003 ;
- definizione del modello sismico del sottosuolo ovvero della categoria del suolo di fondazione attraverso i profili di velocità delle onde di taglio vs ottenuti con le prove geofisiche in sito secondo quanto specificato al paragrafo 3.2.2 del D.M. 14 gennaio 2008 - "Nuove norme tecniche per le costruzioni";
- valutazione della pericolosità sismica locale mediante l'individuazione dell'accelerazione orizzontale massima del terreno a_{max} (ai sensi delle NTC/2008) e del fattore di amplificazione F_a del sito;
- stima della suscettibilità alla liquefazione dei terreni di fondazione.

Quadro normativo di riferimento

D.M. 14.01.2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni"

D.M. 14.09.2005 "Norme tecniche per le costruzioni"

Circ. Cons. sup. LL.PP. N. 617 del 02.02.2009 "Istruzioni per l'applicazione delle NT di cui al D.M. 14.01.08"

Ordinanza PCM n. 3519 del 28.04.2006 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone"

Ordinanza PCM n. 3274 del 20.03.2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"

L.R. 30 ottobre 2008, n. 19 "Norme per la riduzione del rischio sismico"

D.G.R. Emilia Romagna N. 112 del 02.05.2007 "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica"

Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009

D.G.R. Emilia Romagna N. 121 del 01/02/2010 "Atto di indirizzo recante individuazione degli interventi privi di rilevanza per la pubblica incolumità ai fini sismici"

Ordinanza N. 70 del 13.11.2012 “Programma di microzonazione sismica nei comuni colpiti dai terremoti del 20 e 29 maggio 2012 in cui sono stati osservati effetti di intensità macrosismica $I_{MCS} \geq 6$ ”

Ordinanza n. 35 del 20 marzo 2013 “Modalità di applicazione dell’art. 3 comma 10 della legge 122 di conversione del d.l. 74/2012 e cartografia indicativa delle aree in cui è stato raggiunto e superato uno scuotimento del 70% dell’accelerazione spettrale elastica”

Ordinanza n. 112 del 30 settembre 2013 “Modifica dell’Ordinanza 35/2013 “Modalità di applicazione dell’art. 3 comma 10 della legge 122 di conversione del d.l. 74/2012”

A.G.I. Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini Giugno 1977

A.G.I. “Linee di indirizzo per interventi su edifici industriali monopiano colpiti dal terremoto della pianura padana emiliana del maggio 2012 non progettati con criteri antisismici: aspetti geotecnici”

Linee Guida NTC08 redatto da Gruppo Interregionale Ordine dei Geologi, Luglio 2010

2. DESCRIZIONE DEL SITO IN ESAME

L'area di interesse si trova nel Comune di Cento (FE), ubicata nella porzione nord orientale del centro abitato.

Nell'immagine seguente si riporta identificazione del sito su immagine orto fotografica, mentre nella successiva si riporta a stralcio della Carta Tecnica Regionale a scala 1:5000.



Figura 2.1: ortofoto con identificazione area

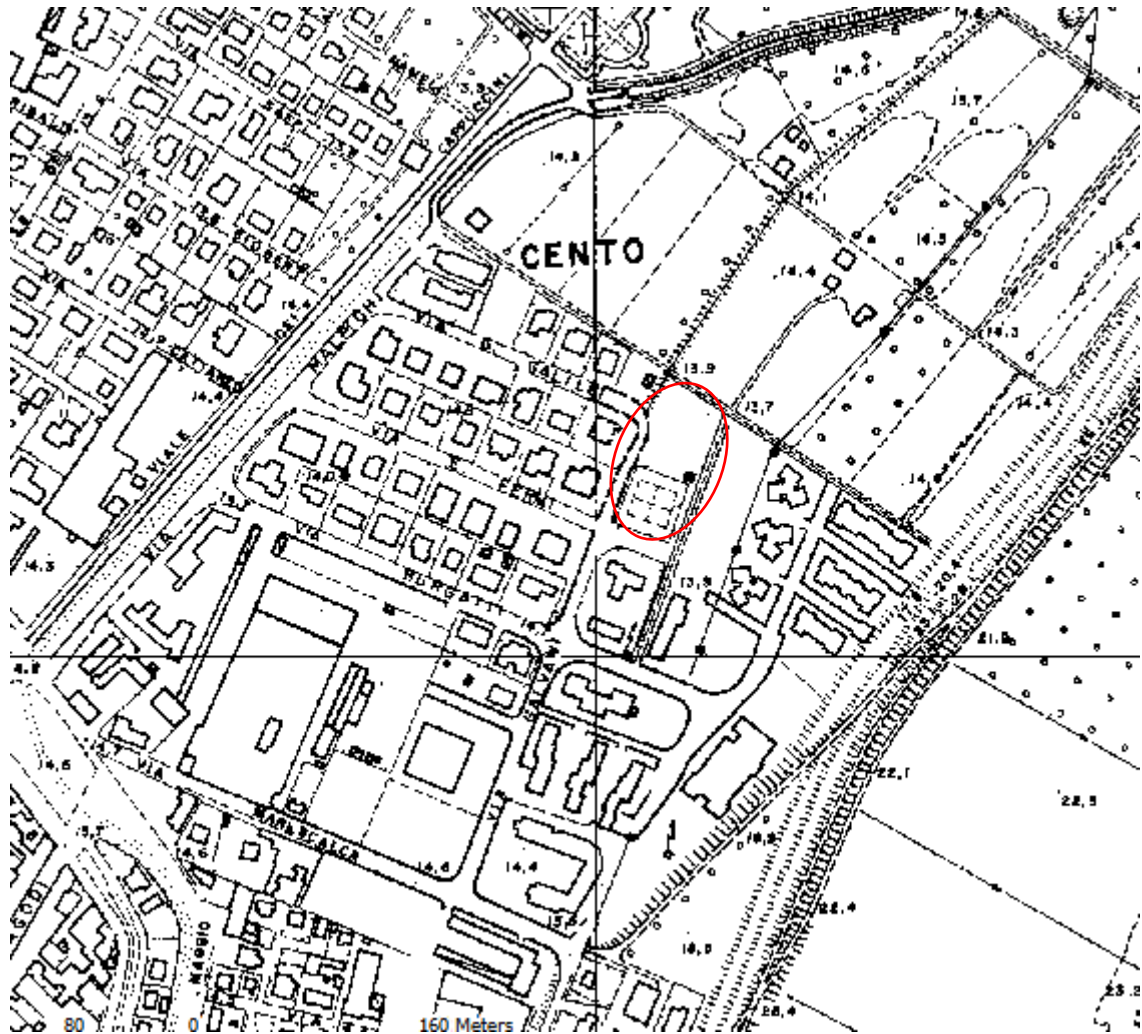


Figura 2.2: stralcio CTR 1:5000 con identificazione lotto di intervento

L'area sede di intervento è identificato geograficamente dalle seguenti coordinate:

Latitudine: 44,730730

Longitudine: 11,298660

Latitudine: 44°43'50"

Longitudine: 11°17'55"

2.1 Inquadramento urbanistico

Sulla base degli strumenti urbanistici vigenti, Piano Regolatore Generale Comunale adottato con delibera C.C. n. 98 del 28/06/2010 e n. 106 del 13/07/2010, l'area in oggetto rientra in "Ambito Urbano Consolidato prevalentemente residenziale" di cui all'art. 7.3 delle Norme Tecniche di Attuazione.

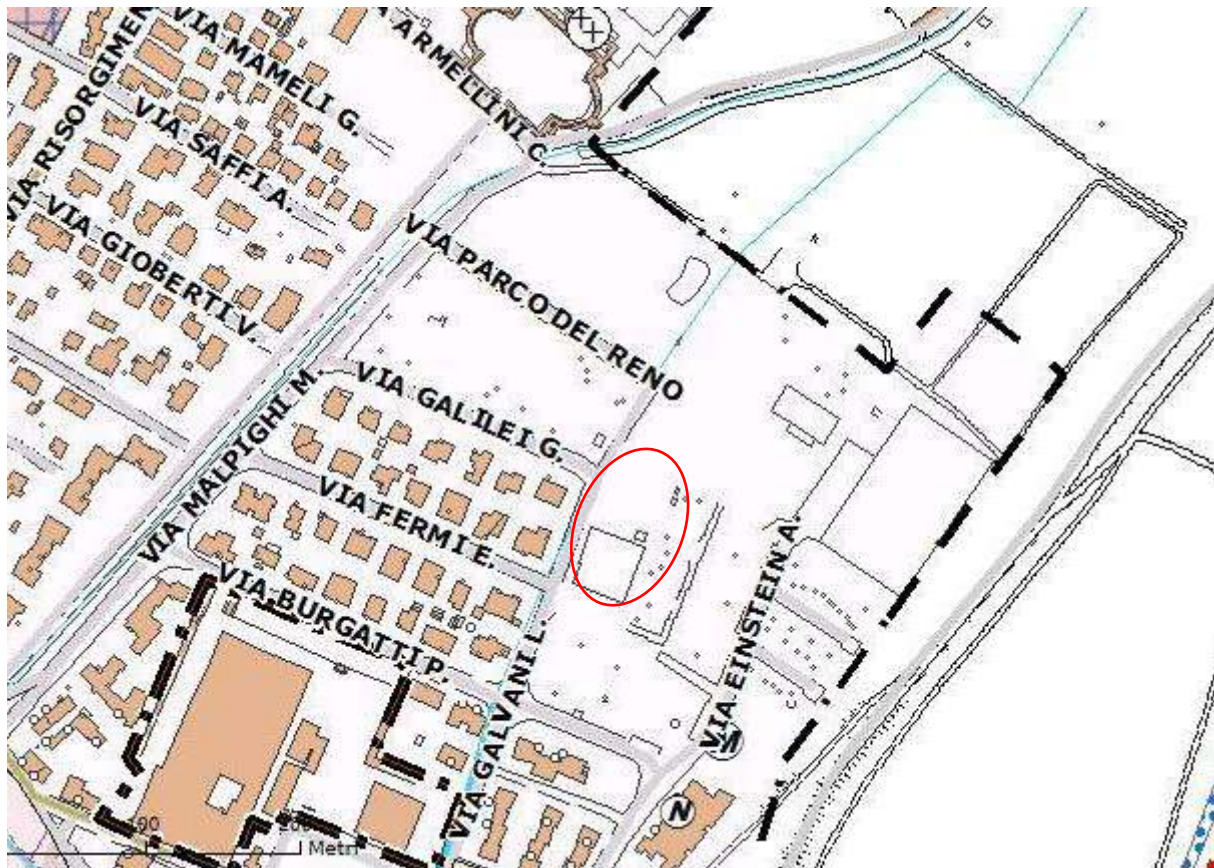


Figura 2.2 : stralcio cartografico del PSC comunale

Per quanto riguarda la tutela del territorio e dei paesaggio, nell'area in esame non sono presenti vincoli, area di rispetto o altre tipologie di zone di tutela.

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'area di studio ricade nella zona dell'alta pianura ferrarese a copertura alluvionale, con quota altimetrica di circa 14 m s.l.m., ed è caratterizzata da una morfologia sub-pianeggiante con gradienti topografici molto modesti (0.1-0.2%).

L'evoluzione geologica del territorio in studio va necessariamente inquadrata in un contesto regionale; essa ricade nella parte centro-meridionale della Pianura Padana, che costituisce dal punto di vista geologico, un grande bacino subsidente plio-pleistocenico di tipo sedimentario, che comincia a delinarsi sin dall'inizio del Triassico (225 milioni di anni fa) e viene interessato da subsidenza differenziata sia nel tempo che nello spazio, in diversi periodi (Mesozoico, Cenozoico, ma soprattutto Pliocene e Quaternario), con movimenti verticali controllati dai caratteri strutturali presenti in profondità.

L'assetto geologico dell'Emilia-Romagna è il risultato dei movimenti crostali che, a partire dal Terziario, hanno coinvolto due placche continentali: il blocco sardo-corso da una parte e la microplacca Padano-Adriatica dall'altra. Tale movimento ha portato alla formazione dell'orogenesi Appenninica ed alla successiva formazione dell'avanfossa Padana, quest'ultima delimitata verso nord dalla catena Alpina meridionale già sollevatasi a partire dall'era Mesozoica. Pertanto la Pianura Padana è caratterizzata da un assetto tettonico di tipo compressivo con ampie zone di raccorciamento crostale per compressione e collisione; conseguenza di tale tipologia di movimento è la formazione di sistemi di pieghe e faglie con direzione prevalente E/SE-N/NW (Figura 3.1).

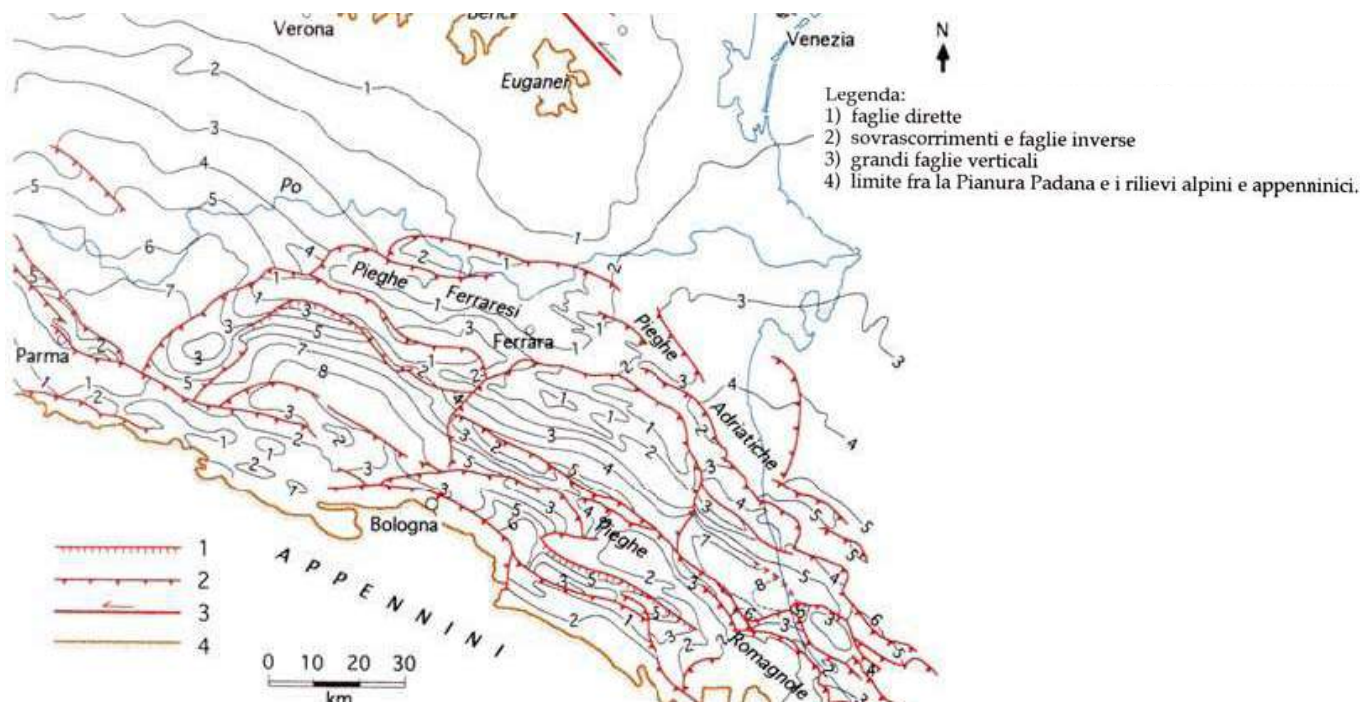


Figura 3.1- Carta strutturale della Pianura Padana orientale (PIERI & GROPPi 1981; CNR 1992)

Lungo gli allineamenti tettonici, lo spessore dei depositi quaternari subisce una notevole riduzione, sino a poche decine di metri (80/90 m).

In termini generali ed in modo schematico possiamo individuare tre zone principali:

- "Zona delle pieghe pedeappenniniche", dal margine collinare alla Via Emilia, costituita da una successione di sinclinali ed anticlinali, con asse a vergenza appenninica, spesso fagliate e sovrascorse sul fianco Nord;
- "Zona della Sinclinale di Bologna-Bomporto-Reggio Emilia", dove i depositi quaternari raggiungono il loro massimo spessore per tutta la pianura Padana;
- "Zona della Dorsale Ferrarese", alto strutturale costituito da una serie di pieghe associate a faglie dove, talora, lo spessore del Quaternario si riduce a poche decine di metri.

Questo andamento ad archi di pieghe del fronte sepolto dell'Appennino, di messa in posto sempre più recente man mano si procede verso le aree più esterne, è da correlarsi con il movimento di rotazione della catena in senso antiorario, che genera raccorciamenti cristallini di crescente intensità spostandosi dai settori occidentali a quelli orientali.

3.1 Inquadramento geologico, geomorfologico e geolitologico locale

Da un punto di vista sedimentario affiorano in superficie sedimenti pleistocenici e olocenici di piana alluvionale che si spingono in profondità anche per centinaia di metri sul substrato marino, costituiti dalle alluvioni del Po e dei corsi d'acqua appenninici, che in quest'area sono rappresentati dal fiume Reno.

Il territorio comunale di Cento è caratterizzato in linea generale da una morfologia pressoché sub-pianeggiante con dislivelli generalmente poco accentuati se si esclude l'alveo del fiume Reno che scorre pensile ad una quota di circa 10 m più alta rispetto la campagna circostante. Sono inoltre distinguibili delle fasce strette, allungate generalmente in direzione SO-NE, relativamente più rilevate (dossi) alternate a fasce più ampie e depresse denominate localmente come "valli", all'interno delle quali l'acqua tenderebbe a ristagnare, se non allontanata dai canali di bonifica da aree depresse.

Il sito in esame risulta inserito in un territorio pianeggiante privo di fenomeni di dissesto con quote topografiche attorno a 14 m s.l.m. Il centro abitato di Cento si trova in una zona debolmente depressa tra i dossi corrispondenti agli argini del Fiume Reno a sud-est e del paleo-alveo di Via Reno Vecchio a nord-ovest, come si evince dalla Carta geomorfologica a corredo del PSC.

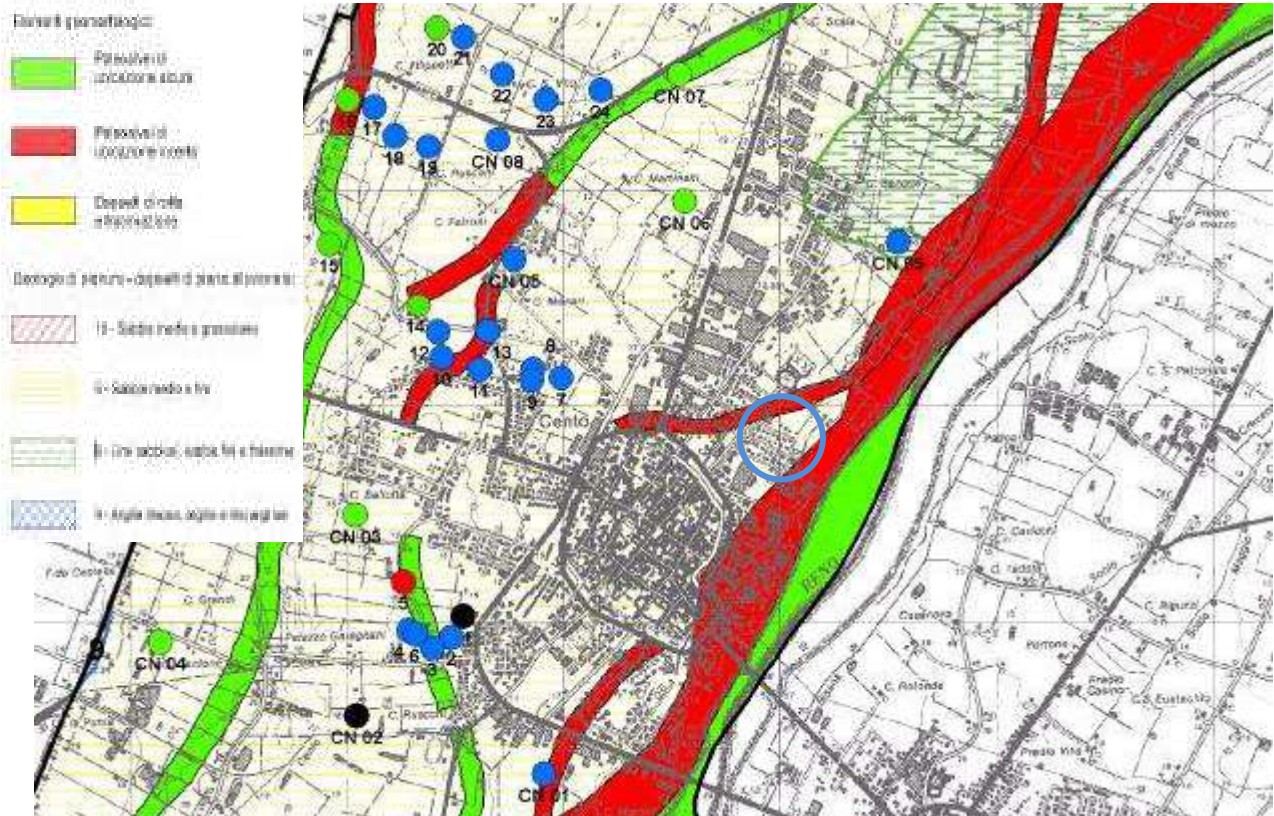


Figura 3.2- stralci Carta Geomorfológica del PSC Associato (Tav. B2.1 del Quadro conoscitivo)

Sulla base della cartografia della litologia superficiale a corredo del PSC, elaborata sulla base del diagramma ternario di Shepard, l'area risulta inserita in un ampio contesto a litologia fine a prevalenza argillo-limosa.

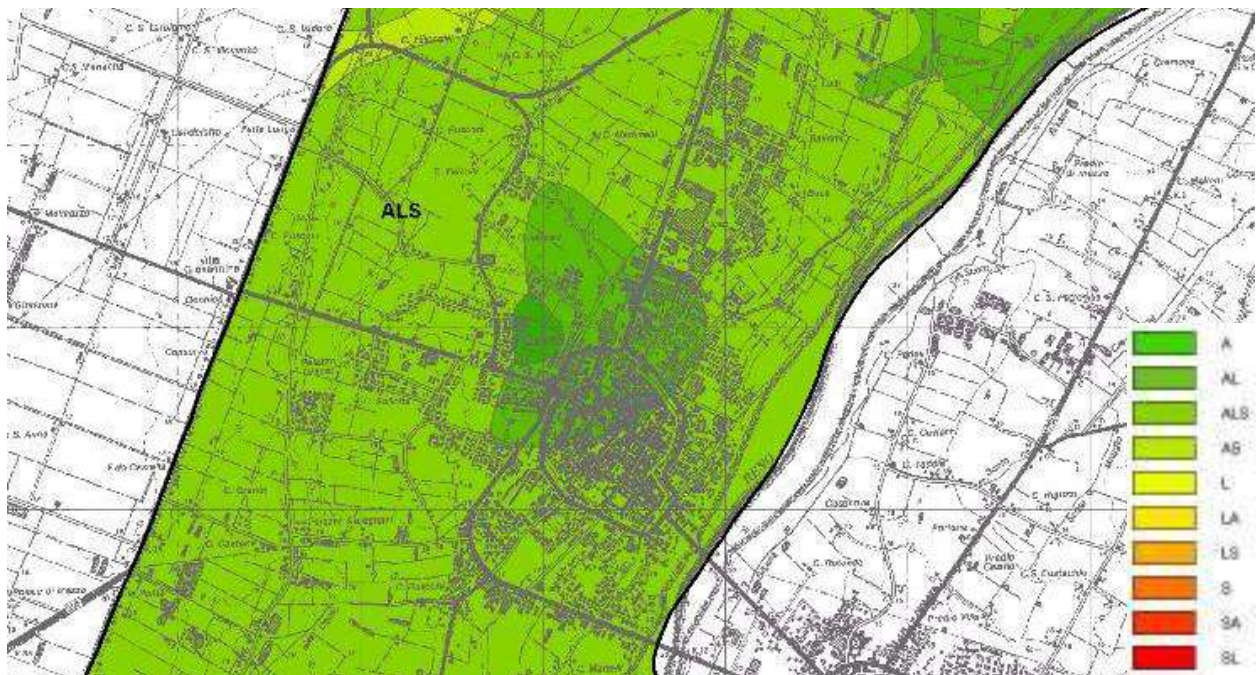


Figura 3.3- stralci Carta delle Litologie di Superficie del PSC Associato (Tav. B2.2 del Quadro conoscitivo)

Dal punto di vista idrogeologico, nella porzione di territorio in esame, la falda freatica presenta un flusso generale con direzione NE-SO con quota piezometrica di circa 12,5 m s.l.m. ad indicare un modesta soggiacenza, con potenziali escursioni anche significative.

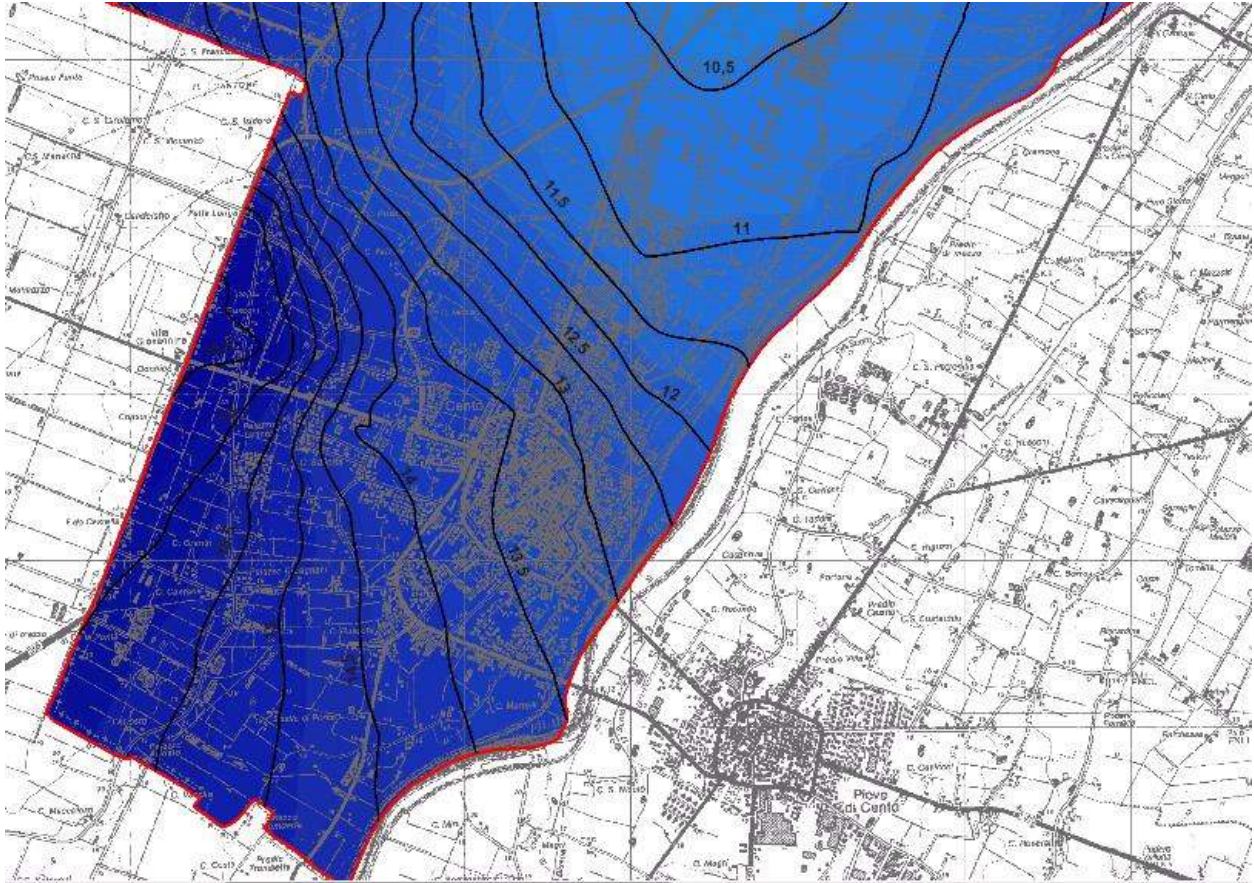


Figura 3.4- stralci Carta della Superficie Freatica del PSC Associato (Tav. B2.13 del Quadro conoscitivo)

4. CLASSIFICAZIONE SISMICA DELL'AREA

Il panorama legislativo in materia sismica è stato profondamente trasformato dalle recenti normative nazionali ovvero dall'OPCM n. 3274/2003 che è entrata in vigore dal 25 ottobre 2005, data coincidente con la pubblicazione della prima stesura delle norme tecniche per le costruzioni (D.M. 14 settembre 2005) e dalla successiva OPCM n. 3519/2006. La riclassificazione sismica del territorio nazionale prevede che tutto il territorio sia classificato sismico sulla base della **Mappa di Pericolosità Sismica del Territorio Nazionale** riportata in Fig. 4.1 espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ($V_{s,0} > 800$ m/s; cat.A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005).

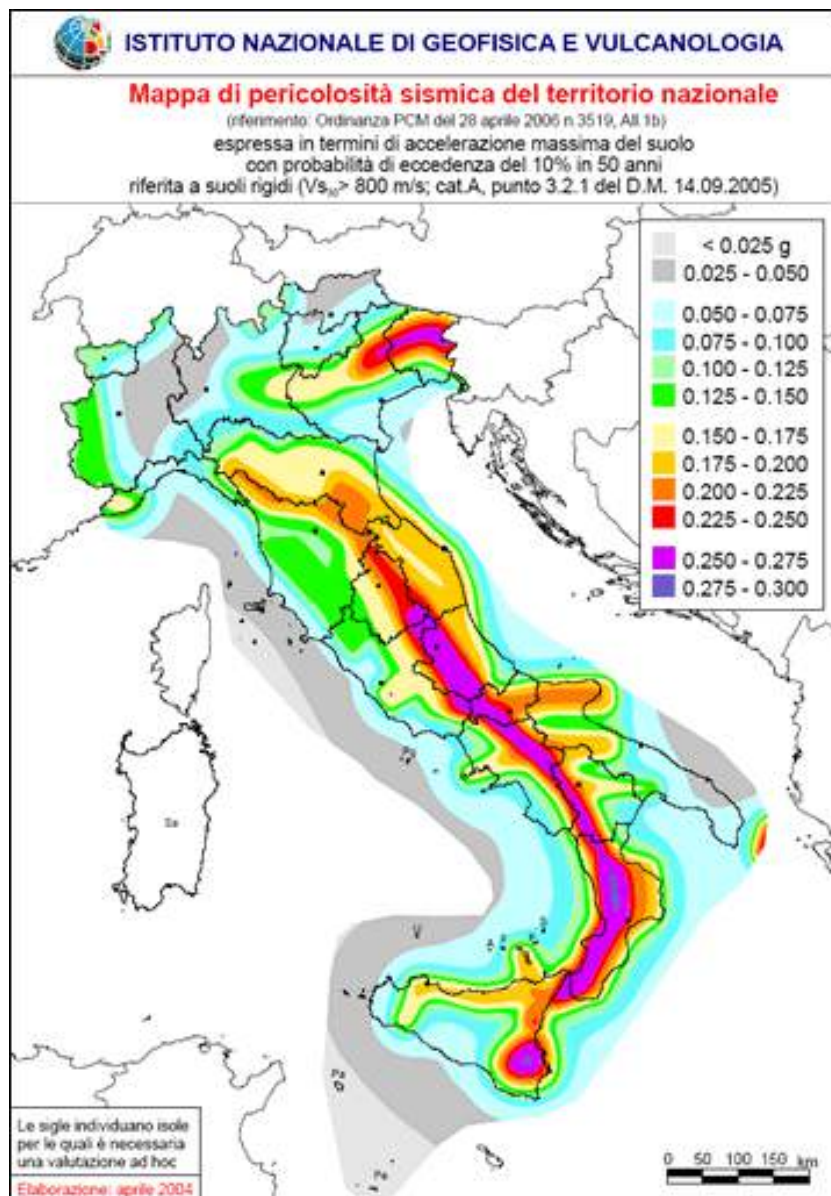


Figura 4.1: mappa di pericolosità sismica – OPCM 3519/06

In relazione alla pericolosità sismica di Fig. 4.1, il territorio nazionale è stato suddiviso in quattro zone con livelli decrescenti di pericolosità (Tabella 4.1 e Figura 4.2), in funzione a quattro differenti valori di accelerazione orizzontale massima al suolo a_{g475} , ossia quella riferita al 50esimo percentile, ad una vita di riferimento di 50 anni e ad una probabilità di superamento del 10% riferiti a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s30} > 800$ m/s.

Zona 1	$a_{g475} \geq 0.25g$
Zona 2	$0.25 < a_{g475} \leq 0.15g$
Zona 3	$0.15 < a_{g475} \leq 0.05g$
Zona 4	$a_{g475} < 0.05g$

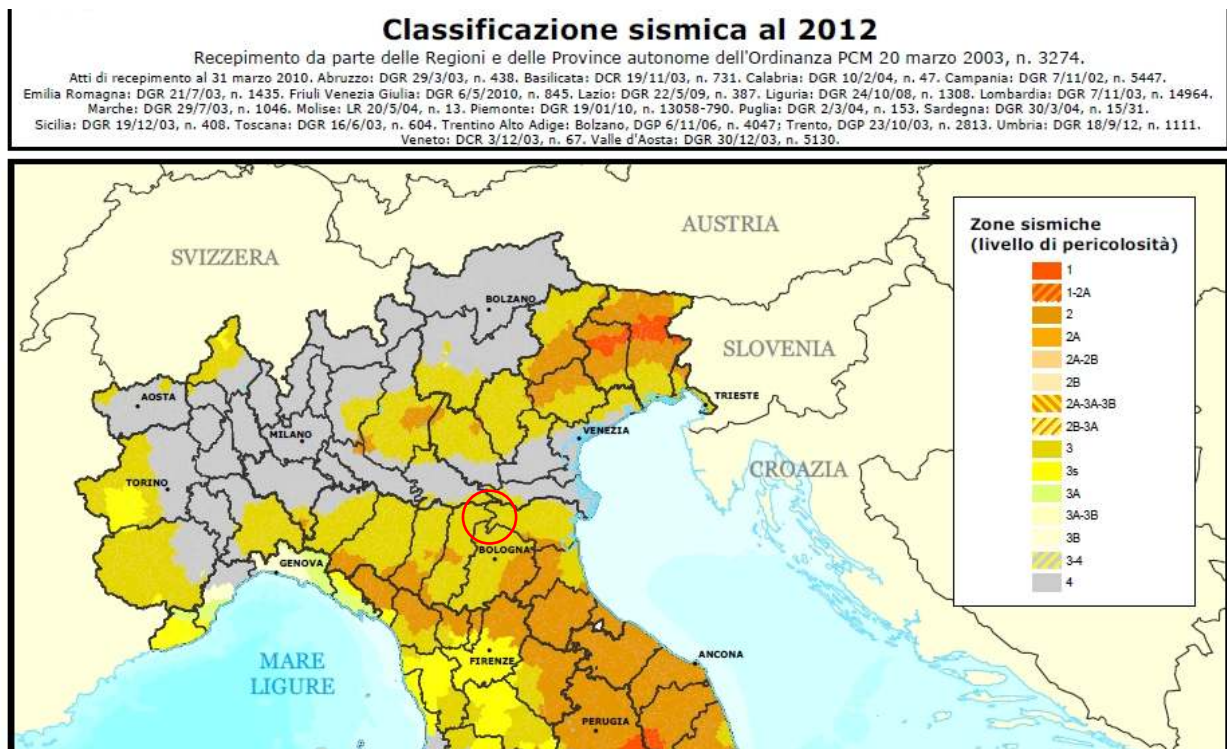


Figura 4.2: stralcio mappa di pericolosità sismica – 2012

Il territorio comunale di Cento, sulla base della normativa nazionale e regionale sopra menzionata è stato classificato in Zona sismica 3 (sismicità bassa).

L'appartenenza ad una delle quattro zone viene stabilita rispetto alla distribuzione sul territorio dei valori di a_{g475} con una tolleranza $0.025g$. Come si evince dalla tabella a ciascuna zona o sottozona è attribuito un valore di pericolosità di base, espressa in termini di accelerazione massima su suolo rigido (a_g). Tale valore di pericolosità di base non ha però influenza sulla progettazione. Infatti le nuove Norme Tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008, in vigore dal 1° luglio 2009, hanno modificato il ruolo che la classificazione sismica aveva

ai fini progettuali: per ciascuna zona, e quindi territorio comunale, precedentemente veniva fornito un valore di accelerazione di picco e quindi di spettro di risposta elastico da utilizzare per il calcolo delle azioni sismiche. Dal 1 luglio 2009 con l'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008, per ogni costruzione ci si deve riferire ad una accelerazione di riferimento "propria" individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area di progetto e in funzione della vita nominale dell'opera. Un valore di pericolosità di base, dunque, definito per ogni punto del territorio nazionale, indipendentemente dai confini amministrativi comunali. La classificazione sismica (zona sismica di appartenenza del comune) rimane utile solo per la gestione della pianificazione e per il controllo del territorio da parte degli enti preposti (Regione, Genio civile, ecc.).

In Fig. 4.3 è riportato uno stralcio della "Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale" riferita al dettaglio di interesse, redatta a cura dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia nel 2004 e recepita dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28.04.2006 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone".

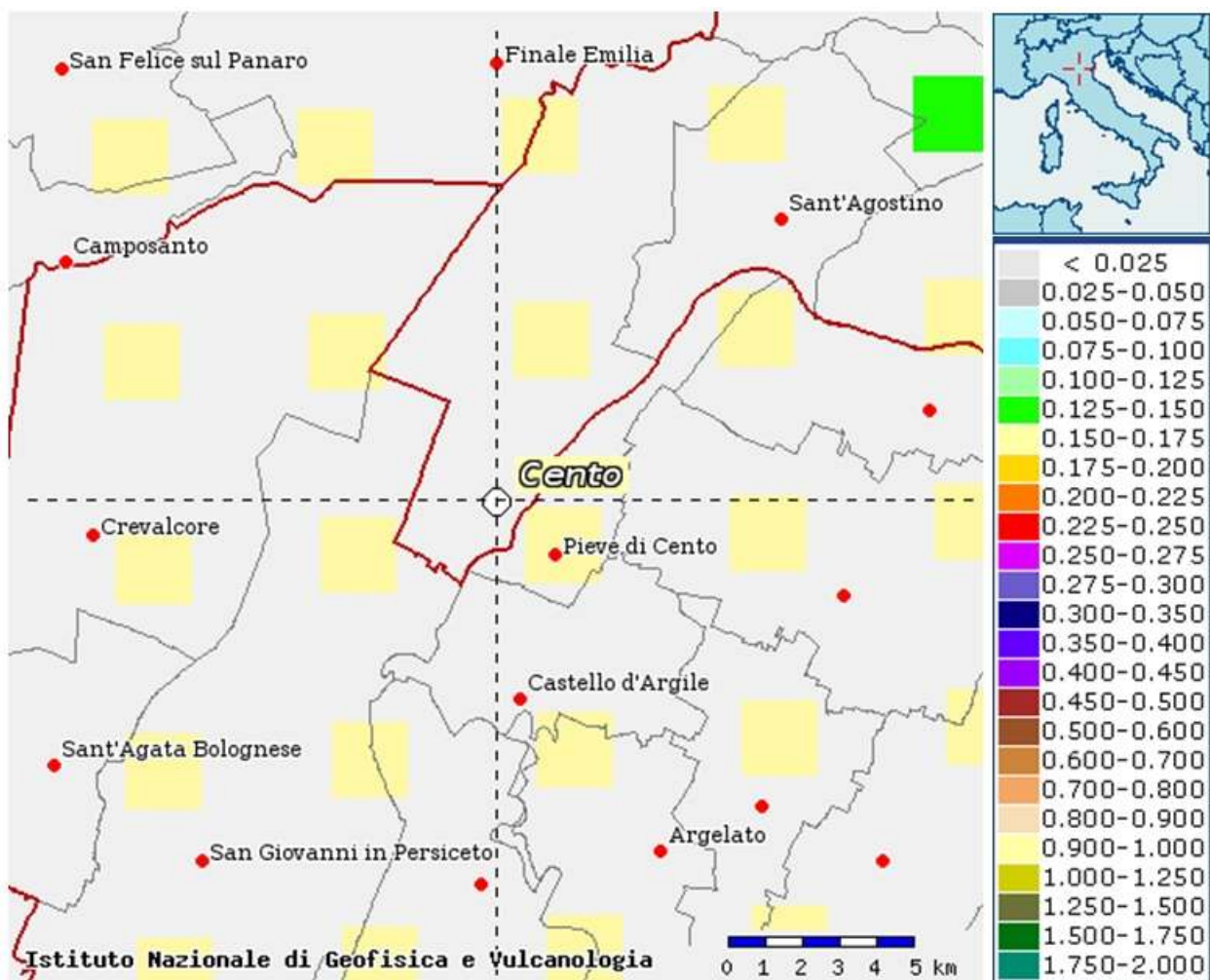


Figura 4.3: Mappa interattiva di pericolosità sismica (fonte INVG)

Come si può osservare il territorio comunale di Cento è compreso nella fascia di accelerazione (max.) di picco orizzontale del suolo (a_g) di 0,150 – 0,175 g.

In riferimento alla D.G.R. Emilia Romagna N. 112/2007, Allegato A4, Tabella 2, per il comune di Cento viene indicato un valore di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, cioè per $T=0$, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g (a_{refg}) il valore di 0.157.

5. PROGRAMMA DI INDAGINE

Date le caratteristiche dell'area e in accordo con la committenza sono state eseguite tre prove penetrometriche statiche, due con punta elettrica (CPTe) ed una con piezocono sismico (SCPTU): le prove hanno raggiunto mediamente la profondità di 20 metri oltre la quale il penetrometro si disancorava per eccessiva resistenza per attrito laterale sulla batteria di aste. Nell'immagine seguente si riporta l'ubicazione delle prove eseguite.



Figura 5.1: ubicazione prove penetrometriche

Per il completamento dell'indagine sismica è stata eseguita inoltre una prova geofisica mediante indagine sismica passiva HVSR.

L'indagine HVSR (Horizontal to Vertical SpectralRatio – Metodo di Nakamura) è finalizzata all'individuazione delle frequenze caratteristiche di risonanza di sito mediante lo spettro H/V.

La tecnica **HVSR** è di tipo passivo, quindi totalmente non invasiva: per l'acquisizione dei dati si utilizza un "tromometro digitale" della ditta Micromed s.r.l. modello "Tromino – ENGY PLUS".

I risultati principali che si possono ottenere da indagini sismiche HVSR sono quindi:

- 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 V_s 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 V_{s30} e la relativa categoria del suolo di fondazione come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 gennaio 2008

La relazione di elaborazione ed interpretazione della prova HVSR è riportata in Allegato n. 1.

Le prove penetrometriche statiche elettriche sono state eseguite mediante penetrometro statico Pagani 200 kN auto-ancorante, con spinta max pari a 20 t.

La penetrazione avviene attraverso un dispositivo di spinta, che agisce su una batteria di aste (aste cave con il cavo di trasmissione dati all'interno), alla cui estremità inferiore è collegata la punta elettrica. Lo sforzo necessario per l'infissione viene determinato a mezzo di un opportuno sistema di misura estensimetrico collegato alla punta ed al manicotto dell'attrito laterale.

I dati delle resistenze alla punta, al manicotto laterale e dell'inclinazione della punta vengono registrate su supporti magnetici e successivamente elaborati.

Le dimensioni della punta/manicotto sono standardizzate, e precisamente:

- diametro di base del cono $\Phi = 35.7 \text{ mm}$
- area della punta conica $A_p = 10 \text{ cm}^2$
- angolo apertura del cono $B = 60^\circ$
- superficie laterale manicotto $A_m = 150 \text{ cm}^2$

Nei diagrammi di prova sono riportati gli andamenti dei seguenti valori di resistenza (rilevati dalle letture di campagna in fase di infissione della punta):

- q_c (MPa) = resistenza alla punta (conica);
- f_s (kPa) = resistenza laterale (manicotto);
- f_s/q_c (%) = rapporto attrito laterale / resistenza alla punta;

I parametri sopra descritti, rilevati ad intervalli regolari di 1 cm, sono graficamente riportati nelle relative schede grafiche riportate in allegato (Allegato n. 2).

Oltre alle misurazioni sopra indicate, nella prova SCPTU, attraverso un trasduttore di pressione per la misura della pressione interstiziale dei pori, cioè il carico idraulico istantaneo presente nell'intorno della punta, attraverso un setto poroso opportunamente saturato e disareato posto sulla punta viene misurata la pressione dei pori, mentre attraverso l'ausilio di tre accelerometri, anch'essi inseriti nella punta, è possibile misurare anche la velocità di propagazione nel terreno delle onde sismiche di taglio S e di compressione P.

Le modalità esecutive della prova si basano sull'arresto dell'infissione del piezocono a step regolari di 1,00 metro, per effettuare l'acquisizione dei dati sismici tramite sensori e sismografo.

Una appropriata sorgente di segnale sismico, per il calcolo della V_s , deve preferenzialmente generare onde di taglio di larga ampiezza con poca o nessuna componente compressionale.

Il sistema di energizzazione del terreno (sorgente delle onde di taglio) è costituito da due masse metalliche compatte poggianti su traversina in legno, caricata con gli stabilizzatori a pistone del penetrometro ad una distanza di 50 cm dalla verticale di prova. Una delle piastre metalliche viene colpita con una mazza da 10 kg di peso, ad ogni metro di profondità, dopo aver spento il motore del penetrometro, quindi con le aste svincolate dal penetrometro stesso.

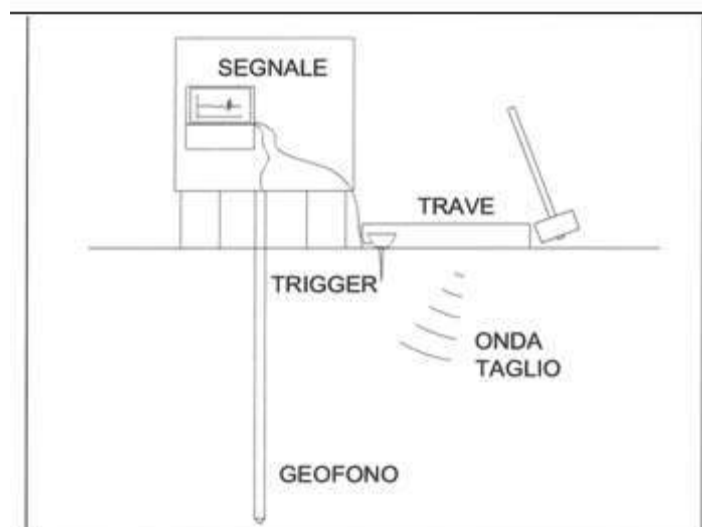


Figura 5.1: schema funzionamento sismocono

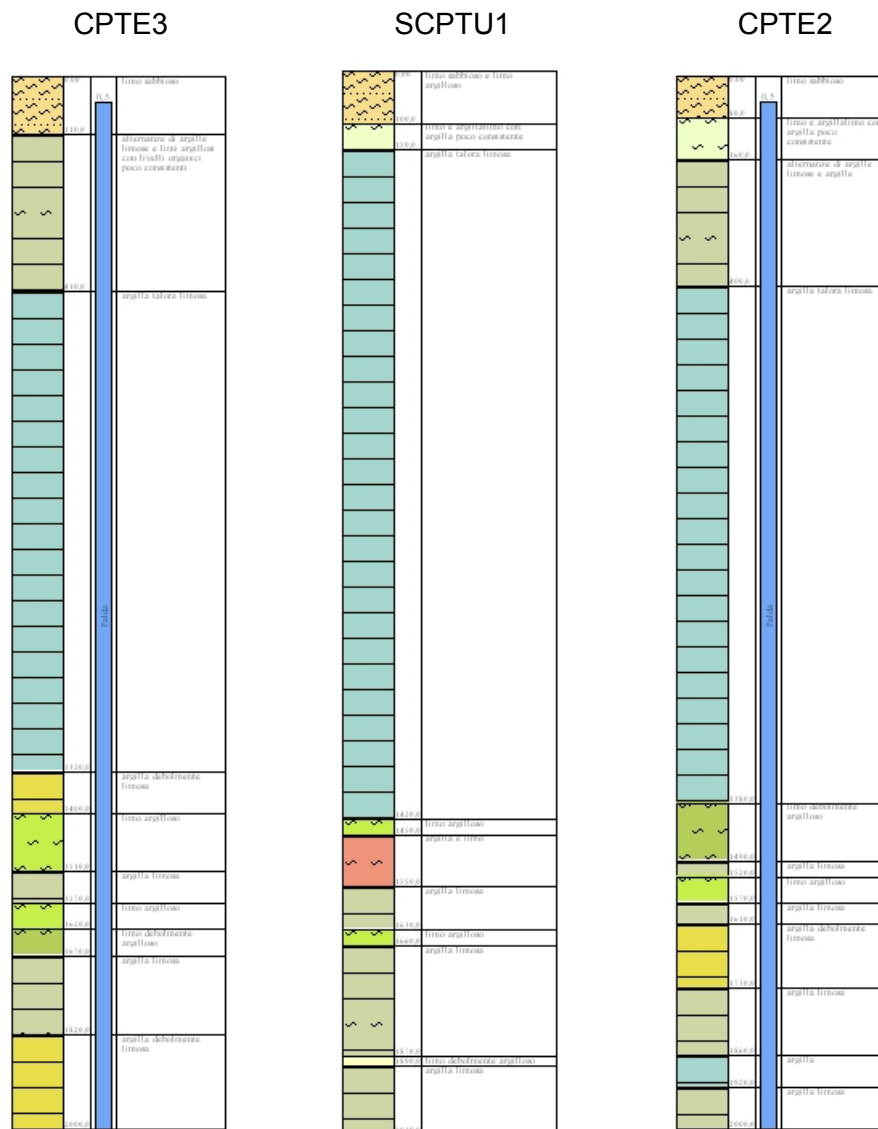
Tramite i sensori sismici presenti all'interno del piezocono, ed adeguato acquisitore dinamico, è possibile quindi rilevare e registrare tali segnali sismici e

di conseguenza determinare i tempi necessari alle onde sismiche per percorrere il tratto da piano campagna fino alla profondità a cui si trova il piezocono (tempi di arrivo).

Attraverso il rapporto distanza/tempo di percorrenza, è possibile determinare direttamente e con grande precisione le velocità delle onde S, caratterizzando i vari strati di terreno attraversati fino alla determinazione del parametro caratteristico per la classificazione sismica dei suoli, la V_{s30} .

5.1 Modellazione stratigrafica

Sulla base dei dati acquisiti dalle prove penetrometriche e sulla base delle elaborazioni stratigrafiche secondo Robertson 1986, è identificabile una stratigrafia tipo per il lotto in esame, rappresentata da:



Trascurando il primo metro di terreno costituito da terreno vegetale a composizione limosa sabbiosa, la restante porzione di sottosuolo è costituito da terreni coesivi quasi esclusivamente argillosi fino a circa 13 metri di profondità per poi passare a alternanze di terreni da argillosi a limosi argillosi nelle varie proporzioni tessiturali.

Non sono stati rilevati livelli con presenza della frazione granulometrica sabbiosa.

5.2 Falda freatica

Nella programmazione territoriale massimo interesse assume la prima falda, normalmente indicata come "falda freatica".

La conoscenza della profondità della prima falda, soprattutto nel massimo livello misurabile durante l'arco dell'anno, è necessaria per eseguire ogni tipo di programmazione sul territorio, sia per la zonizzazione agraria che per la difesa delle acque dell'inquinamento e soprattutto dell'analisi geotecnica per la penalizzazione delle aree edificabili.

Al termine delle operazioni di cantiere è stato possibile misurare la profondità della superficie freatica nel foro di sondaggio, rilevata a soli 50 cm dal piano campagna.

Maggiori o minori apporti meteorici nel tempo possono mutare l'attuale assetto piezometrico alterandone soprattutto la profondità dal piano campagna: come emerso dagli elaborati a corredo del PSC (figura 3.4 di capitolo 3.1) la falda in altro periodo era stata rinvenuta ad una profondità maggiore, pari a circa 150 cm dal piano campagna.

6 MODELLAZIONE SISMICA

L'azione sismica sulle costruzioni è generata dal moto non uniforme del terreno di sedimenti per effetto della propagazione delle onde sismiche. Il moto sismico eccita la struttura provocandone la risposta dinamica, che va controllata negli aspetti di sicurezza e di prestazioni attese. Per fare ciò risulta indispensabile definire le caratteristiche geolitologiche e geotecniche dei sottosuoli di fondazione.

La pericolosità sismica è definita dal D.M. 2008 in termini di “*accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} , nel periodo di riferimento V_R* ”.

I dati di input necessari alla definizione degli spettri elastici e di progetto del sito in esame sono:

1. coordinate geografiche del sito
2. vita nominale della struttura
3. classe d'uso e periodo di riferimento
4. topografia

1. Coordinate geografiche del sito (WGS84):

Latitudine: 44,730730

Longitudine: 11,298660

2. La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere utilizzata per lo scopo al quale è destinata.

TIPI DI COSTRUZIONE	VITA NOMINALE V_N (in anni)
Opere provvisorie, opere provvisionali e strutture in fase costruttiva.	≤10
Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute e di importanza normale	≥ 50
Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≤ 100

3. La strutture sono poi distinte in classi d'uso a seconda del tipo di affollamento che si prevede ci sarà all'interno della struttura oggetto di analisi.

Classe I:	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
Classe II:	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
Classe III:	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
Classe IV:	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica

Per ciascun tipo di classe d'uso è associato un coefficiente d'uso C_u utile al calcolo del periodo di riferimento per l'azione sismica V_R . Le azioni sismiche vengono difatti valutate in relazione ad un periodo di riferimento che si ricava, per ciascuna costruzione, moltiplicando la vita nominale per il coefficiente d'uso secondo la formula di seguito riportata:

$$V_R = V_N \times C_u$$

nella quale i valori di C_u sono riportati di seguito:

CLASSE D'USO.	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_u	0.7	1	1.5	2

Nello specifico si osserva che, considerando vita nominale (V_N) pari a 50 anni ed una classe d'uso II (coefficiente C_u pari a 1,0), il periodo di riferimento (V_R) è dato da:

$$V_R = 50 \text{ anni}$$

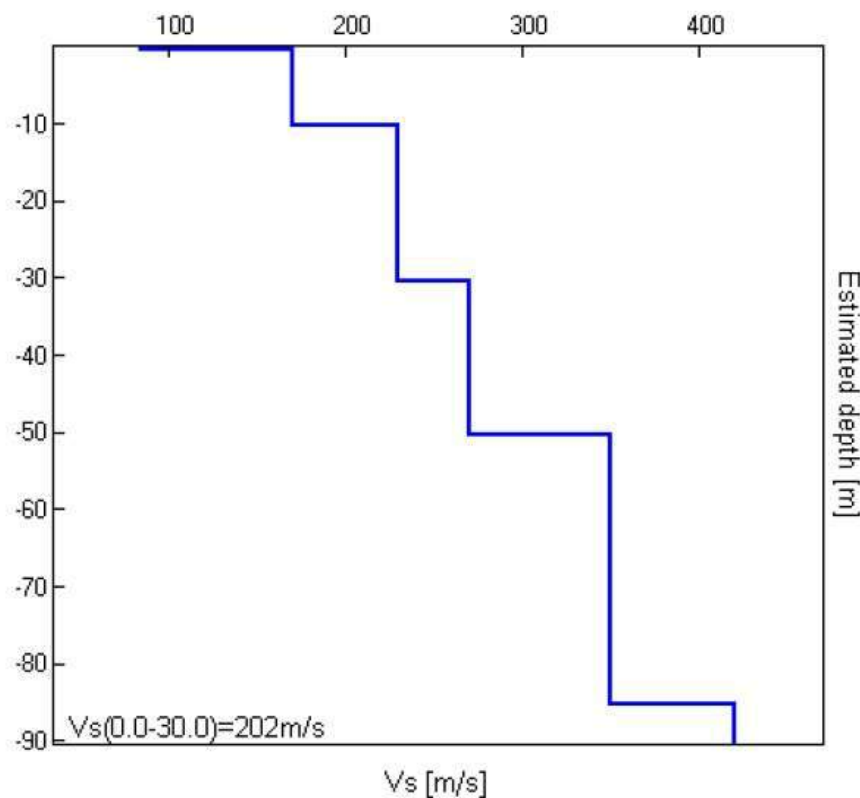
4. La nuova normativa prende inoltre in considerazione le condizioni topografiche sito specifiche, affermando la necessità di predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale nel caso di condizioni topografiche complesse, mentre per configurazioni superficiali semplici può essere adottata la seguente classificazione.

CATEGORIA	CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza di cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza di cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

6.1 Definizione della categoria di sottosuolo

Il capitolo 3.2.2 del NTC 2008 definisce le categorie di suolo precedentemente viste nel relativo capitolo 4. Ai fini della definizione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità sismica equivalente V_{s30} di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità.

Il modello sismico del sottosuolo è stato definito sulla base della variazione con la profondità della velocità delle onde di taglio v_s ricavata con la prova sismica HVSR (allegato 1).



Dall'analisi del grafico e dai dati di prova è possibile ricostruire un modello sismico della zona esaminata, come di seguito riportato.

STRATO 1: prof. 0.00÷0,35 m	$V_s = 85 \text{ m/s}$
STRATO 2: prof. 0,35÷10,35 m	$V_s = 170 \text{ m/s}$
STRATO 3: prof. 10,35÷30,35 m	$V_s = 230 \text{ m/s}$

attraverso il quale è stata quindi determinata la velocità equivalente delle onde di taglio, definita dalla seguente espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

in cui:

h_i è lo spessore (in metri) dell' i -esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità

V_i è la velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato

N è il numero di strati di terreni compresi nei primi 30 m di profondità.

Dai calcoli si ottiene una velocità equivalente $V_{s,30}$ pari a **202 m/s**.

In riferimento alla tabella 3.2.2, il sito esaminato presenta un sottosuolo di **tipo C** ovvero: **“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 $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s”**.

Categoria	Profilo stratigrafico	Parametri		
		V_{s30} (m/s)	NSPT	C_u (kPa)
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore max pari a 3 m</i>	> 800		
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità</i>	360÷800	>50	>250
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità</i>	180÷360	15÷50	70÷250
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità</i>	<180	<15	<70
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con $V_{s30} > 800$ m/s</i>			

Categorie di sottosuolo NTC/2008

Il completamento del modello sismico locale è stato effettuato con la determinazione della frequenza di risonanza caratteristica del sito, pari a **0,91 ± 0.03 Hz** legata ad un contrasto di impedenza profondo, posto indicativamente attorno ai 100 metri.

Tale contrasto determina un picco H/V che però non rispetta a pieno i criteri delle linee guida SESAME (2005) in materia di micro zonazione sismica.

Per quanto riguarda la prova SCPTU, essendosi disancorato il penetrometro alla profondità di poco oltre 20 metri, non è stato possibile determinare la V_{s30} dalla prova stessa, in quanto mancante dei dati dell'intervallo da 20 a 30 metri.

Sulla base della variazione con la profondità della v_s sono stati determinati con le relazioni sotto indicate il modulo dinamico di taglio G_o ed il modulo elastico dinamico E_o a piccole deformazioni, attraverso utilizzo delle seguenti relazioni:

$$G = \frac{\gamma_t}{g} \times (V_s)^2$$

$$E_d = 2 * G * (1 + \nu)$$

dove:

γ_t : peso di volume naturale

g : accelerazione di gravità (9,81 m/sec²)

V_s : velocità delle onde di taglio S

dove:

G : modulo di taglio

ν : coefficiente di Poisson (assunto pari a 0,35)

Strato Sismico	Profondità (m)	V_s (m/sec)	G (MPa)	E_d (MPa)
STRATO 1	0.00÷0,35	85	13,34	36,02
STRATO 2	0.35÷10,35	170	56,27	51,93
STRATO 3	10.35÷30.00	230	106,77	288,28

6.2 Pericolosità sismica locale e valutazione dell'accelerazione massima del sito

Le azioni sismiche di progetto in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito che costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La valutazione della pericolosità sismica locale è stata definita utilizzando la procedura indicata nelle NTC/2008 e nella successiva Circolare n°617/2009. In tal senso la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido ($V_s > 800$ m/s), viene definita mediante un approccio “sito dipendente” e non più tramite un criterio “zona dipendente”. Le NTC/08 stabiliscono il principio per cui le azioni sismiche sulle costruzioni si valutano in relazione alla pericolosità del sito definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa su suolo di categoria A (a_g) e del corrispondente spettro di risposta elastico.

Per accelerazione massima attesa si intende il picco del segnale che ha una certa probabilità P_{VR} di essere superato in un periodo di riferimento V_R . Il periodo di riferimento V_R viene determinato come prodotto della vita nominale della costruzione V_N e del coefficiente d'uso C_U . La vita nominale è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata. Il valore del coefficiente d'uso dipende dalla gravità delle perdite dovute al raggiungimento di un determinato stato limite e quindi riguarda “l'importanza” della struttura. La coppia P_{VR} , V_R che identifica l'accelerazione massima di riferimento per le azioni si può sintetizzare nel periodo di ritorno T_R .

Per definire lo spettro elastico in accelerazione oltre ad a_g sono necessari altri due parametri: F_0 cioè il valore del rapporto tra il massimo dello spettro e a_g per quel sito (amplificazione spettrale) e T_c^* , che rappresenta il periodo finale del ramo piatto dello spettro.

Considerando i seguenti valori: Vita nominale $V_N \geq 50$ anni (opere ordinarie Rif. Tab. 2.4.I NTC/08), Classe d'uso II (Rif. Paragrafo 2.4.2 NTC/08) e Coefficiente d'uso C_u pari a 1 (Rif. Tab. 2.4.II NTC/08) il periodo di riferimento V_R è pari a 50 anni, e per l'area in oggetto identificata dalle coordinate:

Latitudine: 44,730730 Longitudine: 11,298660

le forme spettrali previste dalle NTC/2008, definite dai parametri a_g , F_0 , e T_c^* riferiti ai periodi di ritorno T_R e Stato Limite Ultimo, calcolati con il programma "Spettri-NTC.ver.1.03" realizzato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, sono riportati nelle tabelle sottostanti, mentre nella Fig.19 sono visualizzati gli spettri di risposta elastici per i diversi stati limite.

STATO LIMITE	TR [anni]	a_g [g]	F_0 [g]	T_c^* [s]
SLO	30	0,044	2,507	0,257
SLD	50	0,056	2,482	0,269
SLV	475	0,157	2,591	0,273
SLC	975	0,209	2,536	0,279

6.3 Valutazione del fattore di amplificazione sismica locale

La valutazione dell'amplificazione sismica locale è stata definita con la metodologia prevista dalla Regione Emilia Romagna nella DGR 112/2007, Allegato A2 e sulla base dei recenti studi effettuati ed in corso di continuo aggiornamento da parte del Gruppo di lavoro MS Sisma 2012 della Regione Emilia Romagna.

I Fattori di Amplificazione (F.A.) sono riferiti al Suolo A come previsto dall'Eurocodice 8, parte 1, e dal D.M. 14/01/2008 "Approvazione delle norme tecniche per le costruzioni", e distinti in base agli ambiti territoriali.

Per le aree di pianura si distinguono due ambiti, uno denominato Pianura1, caratterizzato da profilo stratigrafico costituito da presenza di potenti orizzonti di ghiaie (anche decine di metri) e da alternanze di sabbie e peliti, con substrato poco profondo (< 100 m da p.c.), ed un secondo, denominato Pianura2, caratterizzato da profilo stratigrafico costituito da alternanze di sabbie e peliti, con spessori anche decametrici, talora con intercalazioni di orizzonti di ghiaie (di spessore

anche decine di metri), con substrato profondo (≥ 100 m da p.c.): vista la similitudine stratigrafica diventa rilevante la profondità del substrato profondo.

Si è quindi fatto riferimento alle tavole elaborate dal Gruppo di lavoro MS Sisma 2012, di seguito riportata, dalla quale si ricava per il territorio in esame una profondità superiore a 120 m.

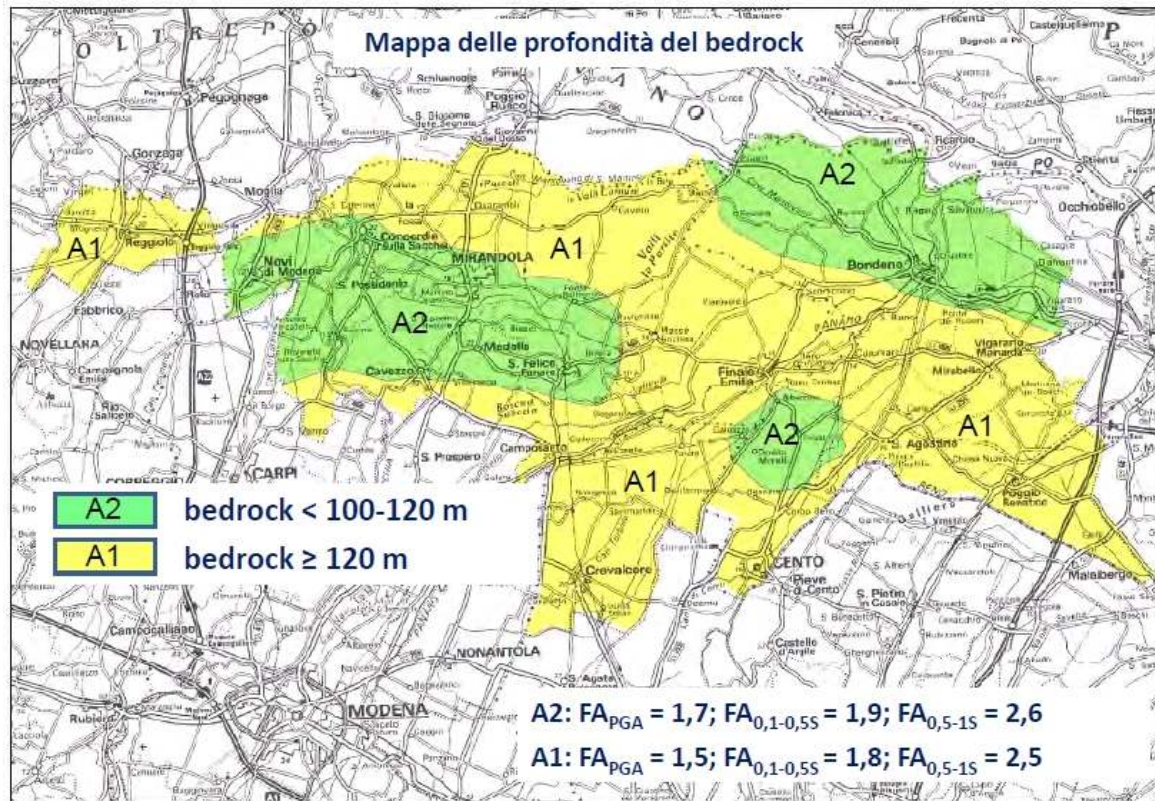


Figura 6.2: mappa profondità bedrock

In riferimento quindi alle tabelle A2.1.2 della DGR 112/2007, di seguito riportata, per i valori di V_{s30} determinati e prossimi a 200 m/sec, si dovranno utilizzare i parametri evidenziati

F.A. P.G.A.

V_{s30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.1	1.0	1.0

F.A. INTENSITÀ SPETTRALE - 0.1s < T_0 < 0.5s

V_{s30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.8	1.8	1.7	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	1.0	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE - 0.5s < T_0 < 1.0s

V_{s30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	2.5	2.3	2.3	2.0	1.8	1.7	1.7	1.5	1.2	1.0

Trattandosi inoltre di area di pianura, quindi con superficie topografica praticamente piatta, sono stati trascurati gli effetti topografici.

6.4 Amplificazione effetti sismici - Verifica a liquefazione

Un'altro importante aspetto della determinazione delle caratteristiche litologiche e geotecniche dei suoli in esame, è lo studio della suscettibilità alla liquefazione dei depositi presenti. Il termine liquefazione indica quei fenomeni di sollecitazione transitoria ma ripetuta che danno luogo alla perdita di resistenza al taglio o di accumulo di deformazioni plastiche in terreni incoerenti e saturi.

Il verificarsi di fenomeni di liquefazione non necessariamente produce una perdita di funzionalità o un collasso delle strutture interagenti con il terreno. Quando il fenomeno è innescato, riduzioni significative di capacità portante e cedimenti relativi sono in funzione dei diversi parametri sito specifici tra cui lo spessore e l'estensione areale dello strato liquefatto, lo spessore del materiale non soggetto a liquefazione che ricopre lo strato liquefatto, la pendenza del terreno e l'eventuale prossimità di una superficie libera.

Secondo la normativa italiana il sito presso il quale deve essere ubicato un manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione.

Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii e/o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili a liquefazione.

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti condizioni:

- Eventi sismici attesi con magnitudo M inferiore a 5;
- Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1g;
- Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 Kpa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 Kpa;
- Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate dalla figura 6.3 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ ed in figura 6.4 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$.

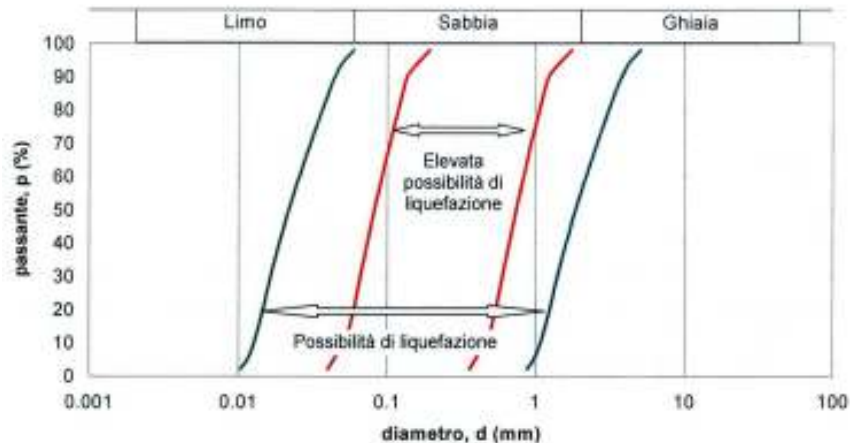


Figura 6.3: Fusi granulometrici di terreni suscettibili a liquefazione ($U_c < 3.5$)

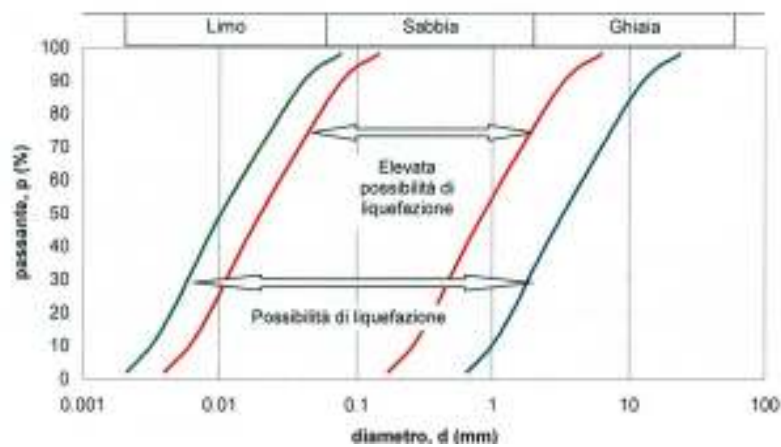


Figura 6.4: Fusi granulometrici di terreni suscettibili a liquefazione ($U_c > 3.5$)

La normativa impone che quando nessuna delle precedenti condizioni risulta soddisfatta si debba procedere alla verifica mediante i metodi generalmente accettati dalla Ingegneria Geotecnica.

Per il sito in esame, come da elaborazione delle prove penetrometriche e dalla ricostruzione stratigrafica di cui al cap. 5, non sono stati rilevati livelli teoricamente liquefacibile, in quanto a granulometria prettamente fine coesiva, da argillosa a limo argillosa.

Nel caso specifico l'area rientra nei territori colpiti dal sisma del maggio 2012 e oggetto di speciale approfondimento degli studi sismici con caratterizzazione sito specifica in base alla risposta sismica locale, di cui all'Ordinanza n. 70 del 13/11/2012 del Presidente della Regione Emilia Romagna, Vasco Errani, in qualità di Commissario delegato.

Tra i risultati della caratterizzazione sismica, si evidenzia la cartografia delle microzonazioni omogenee in prospettiva sismica, della quale si riporta stralcio della tavola “Cento 1” nella figura seguente, dalla quale emerge come l’area in esame sia inserita in contesto di “zona potenzialmente suscettibile a liquefazione nello spessore fra 10 e 20 metri” in via cautelativa, in quanto riferita a prove identificate come “dati non interpretabili”.

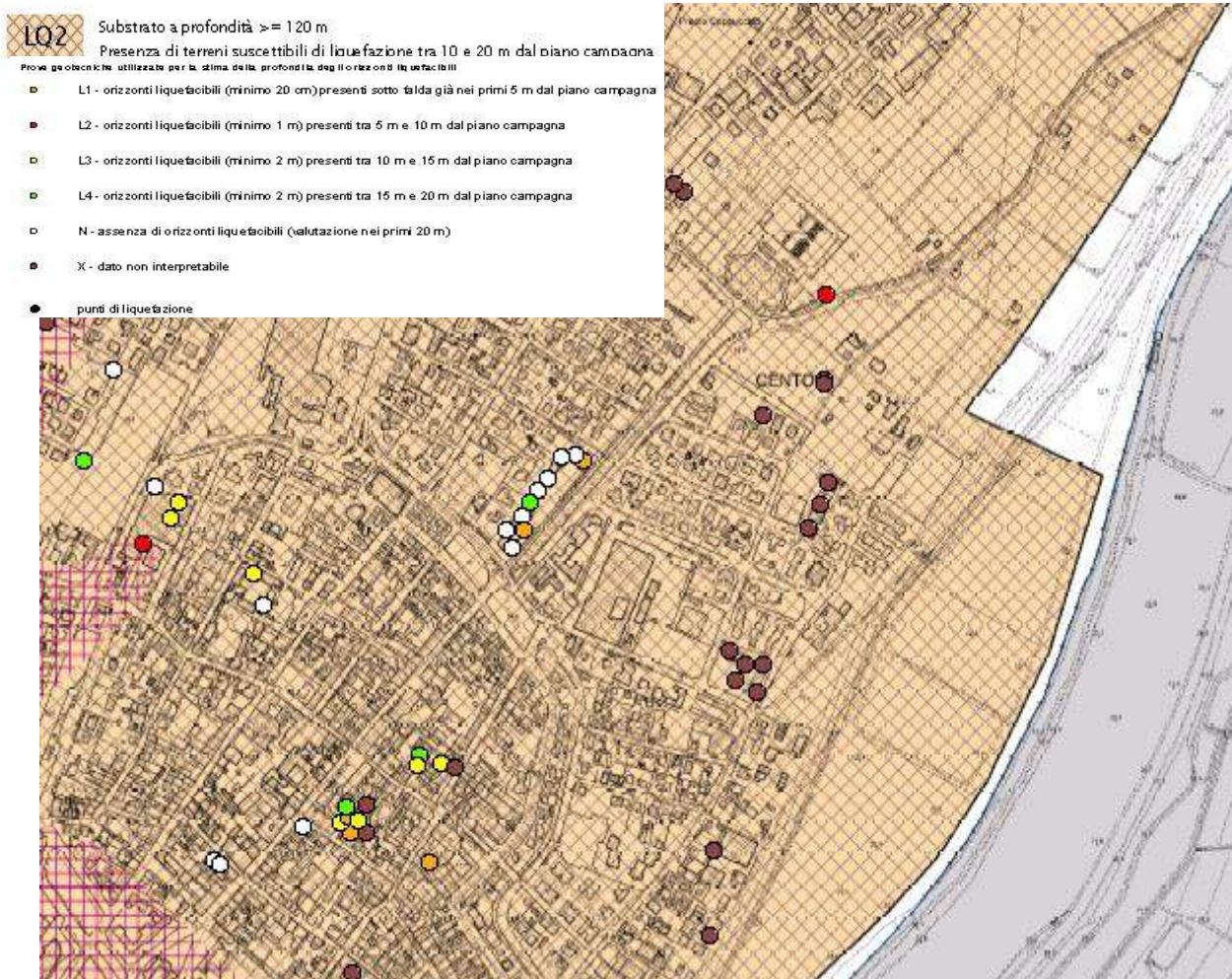


Figura 6.5: Carta delle microzonazioni omogenee in prospettiva sismica (versione 2.0 – 14/11/13)

6.5 Amplificazione effetti sismici – Cedimenti post-sismici

Terreni incoerenti (saturi e non), se sottoposti a forze dinamiche temporanee, quali intense vibrazioni o eventi tellurici, subiscono un riordino delle particelle, che si traduce in una compattazione dello strato interessato, e quindi in un cedimento, denominato *post-sismico*.

L’entità della deformazione verticale è funzione della densità iniziale del deposito (per le sabbie), del grado di sovraconsolidazione (per le argille), del suo spessore e della massima resistenza che si sviluppa nello strato.

In depositi incoerenti asciutti il cedimento post-sismico avviene pressoché immediatamente, mentre nei depositi incoerenti e coesivi saturi si completa quando le sovrappressioni interstiziali, generate dalle forze dinamiche, vengono interamente dissipate.

La valutazione dei cedimenti post-sismici viene usualmente fatta per i terreni incoerenti; effettivamente il riordino dei granuli in uno strato a seguito della dissipazione delle sovrappressioni è spesso legata al fenomeno della liquefazione, che interessa i soli depositi sabbiosi.

Tuttavia anche depositi coesivi soffici e/o plastici, sotto carichi dinamici particolarmente intensi, possono subire un riassetto delle particelle.

L'allegato A3 della Delibera della Regione Emilia-Romagna n°112/07 fornisce le "Procedure di riferimento per analisi di terzo livello di approfondimento". In particolare stabilisce i criteri per una caratterizzazione sismica piuttosto spinta, quali la stima del potenziale di liquefazione, i cedimenti post-sismici in terreni granulari (saturi e non) e coesivi

Come evidenziato nel precedente paragrafo, non sono presenti livelli granulari con caratteristiche tessiturali potenzialmente liquefacibili, per cui non si potranno sviluppare conseguentemente nemmeno fenomeni di riordino dei granuli ovvero fenomeni di cedimenti post-sismici.

Trattandosi di terreni fini coesivi, è stata quindi valutata la possibilità di sviluppo di cedimenti di riconsolidazione conseguente alla dissipazione delle pressioni interstiziali accumulate durante il terremoto. Tali fenomeni si sviluppano in terreni coesivi con caratteristiche geotecniche di elevata sofficià ($c_u \leq 70\text{kPa}$) e plasticità ($I_p \geq 30\%$). Di seguito si riportano quindi le elaborazioni dei valori del parametro coesione non drenata, attraverso la correlazione di "Kjekstad 1978-Lunne, Robertson and Powell 1977", per strati minimi compresi nei primi 15 metri di spessore di sottosuolo, per tutte tre le prove effettuate.

CPTU1

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Cu (KPa)
Strato 2	0,50	1,262514	0,000086	66,44
Strato 3	0,85	2,095964	0,006993	110,13
Strato 4	0,93	1,534398	0,016136	80,35
Strato 5	1,24	0,677342	0,030152	35,04
Strato 6	1,30	0,351437	0,027457	17,70
Strato 7	1,40	0,319837	0,012995	15,96
Strato 8	1,51	0,490911	0,006745	24,86
Strato 9	13,92	1,176394	0,070452	54,52
Strato 10	13,95	1,888603	0,061769	85,62
Strato 11	14,20	1,902011	0,075796	86,18
Strato 12	14,22	1,909276	0,062559	86,42
Strato 13	14,42	1,944494	0,069509	88,17

Strato 14	14,44	2,155134	0,071721	99,14
Strato 15	14,59	2,282567	0,085502	105,76
Strato 16	14,71	2,821831	0,10091	134,00
Strato 17	15,00	2,883085	0,131666	137,01

CPTE2

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Cu (KPa)
Strato 3	0,66	0,409593	0,000079	21,46
Strato 4	0,70	1,230398	0,000086	64,59
Strato 5	0,78	2,232657	0,000663	117,28
Strato 6	0,83	1,515903	0,019065	79,49
Strato 7	1,51	0,903108	0,034025	46,87
Strato 8	1,56	0,71321	0,007416	36,51
Strato 9	1,62	0,905171	0,012676	46,56
Strato 10	2,34	0,754063	0,027096	38,22
Strato 11	2,52	0,774736	0,012762	38,86
Strato 12	2,67	0,821594	0,02183	41,17
Strato 13	2,79	0,817312	0,013613	40,82
Strato 14	2,83	0,79627	0,015996	39,64
Strato 15	2,92	0,928305	0,017543	46,52
Strato 16	3,10	0,874654	0,029732	43,57
Strato 17	3,12	0,916984	0,018582	45,69
Strato 18	3,62	0,806326	0,026189	39,61
Strato 19	3,65	0,679248	0,009873	32,66
Strato 20	3,68	0,651192	0,008723	31,16
Strato 21	3,77	0,728468	0,010563	35,17
Strato 22	3,87	0,691504	0,01431	33,14
Strato 23	4,01	0,898948	0,014856	43,94
Strato 24	13,25	1,323238	0,074258	61,49
Strato 25	13,40	1,677741	0,046866	75,35
Strato 26	13,69	1,675868	0,070845	75,02
Strato 27	13,81	2,019654	0,065236	92,91
Strato 28	14,21	2,330889	0,101353	109,02
Strato 29	14,32	2,792835	0,095326	133,07
Strato 30	14,52	2,628466	0,128255	124,26
Strato 31	14,65	3,050821	0,109153	146,32
Strato 32	14,81	3,19837	0,134542	153,93
Strato 33	14,82	3,273678	0,129301	157,80
Strato 34	14,84	3,295827	0,133397	158,95
Strato 35	14,93	3,486804	0,126929	168,94
Strato 36	15,23	2,116594	0,095466	96,63

CPTE3

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Cu (KPa)
Strato 2	0,63	0,792315	0,0	41,64
Strato 3	0,64	1,41756	0,000733	74,47
Strato 4	0,99	1,978851	0,000058	103,83
Strato 5	1,14	1,130449	0,008243	58,93
Strato 6	1,27	1,002174	0,026005	52,04
Strato 7	1,29	1,025516	0,024252	53,20
Strato 8	1,72	0,811904	0,020458	41,74
Strato 9	1,78	0,712472	0,007358	36,27
Strato 10	1,86	0,919753	0,012034	47,11
Strato 11	2,22	0,684416	0,019657	34,51

Strato 12	2,34	0,707673	0,006403	35,51
Strato 13	2,36	0,706565	0,009119	35,38
Strato 14	2,67	0,717497	0,005829	35,81
Strato 15	2,78	0,990279	0,012327	49,97
Strato 16	3,14	0,84746	0,02361	42,23
Strato 17	3,22	0,926398	0,018696	46,17
Strato 18	3,39	0,75829	0,020312	37,21
Strato 19	3,42	0,733882	0,010922	35,83
Strato 20	3,48	0,679247	0,007516	32,91
Strato 21	3,49	0,655622	0,009097	31,63
Strato 22	3,52	0,640855	0,009902	30,84
Strato 23	3,71	0,714142	0,006317	34,59
Strato 24	3,81	0,839462	0,013667	41,05
Strato 25	3,86	0,78143	0,01766	37,93
Strato 26	4,14	0,915086	0,015566	44,81
Strato 27	4,35	0,946517	0,031486	46,23
Strato 28	4,43	1,023855	0,022926	50,15
Strato 29	5,39	0,803053	0,020117	38,05
Strato 30	5,42	0,903695	0,019947	42,88
Strato 31	5,48	0,93618	0,022175	44,55
Strato 32	5,51	1,024778	0,022707	49,17
Strato 33	6,20	0,892074	0,023981	41,84
Strato 34	6,34	0,911922	0,017203	42,49
Strato 35	6,58	0,75917	0,018536	34,28
Strato 36	6,62	0,830602	0,015769	37,91
Strato 37	7,29	0,840023	0,031522	38,04
Strato 38	7,42	1,063511	0,018145	49,41
Strato 39	12,13	1,536236	0,092038	71,80
Strato 40	12,18	1,714362	0,051444	78,72
Strato 41	12,26	1,583681	0,050999	71,78
Strato 42	12,36	1,70816	0,049776	78,24
Strato 43	13,24	1,813631	0,079111	83,29
Strato 44	13,29	2,179499	0,073864	102,06
Strato 45	13,30	2,183928	0,076572	102,27
Strato 46	13,36	2,254806	0,078533	105,96
Strato 47	13,90	2,08803	0,095043	96,87
Strato 48	14,07	2,026277	0,055311	93,26
Strato 49	14,30	2,368828	0,095473	111,08
Strato 50	14,33	2,545702	0,089865	120,26
Strato 51	14,52	2,369284	0,101909	110,86
Strato 52	14,83	2,641206	0,088545	124,91
Strato 53	14,97	3,01358	0,127881	144,28
Strato 54	15,09	3,06252	0,111918	146,71

Le prove evidenziano estesi spessori di sottosuolo che presentano valori di coesione non drenata inferiori a 70 KPa, per cui potenzialmente suscettibili a sviluppo di cedimenti post-sismici.

Come previsto dalle specifiche tecniche del Comune di Cento, sarà pertanto necessario eseguire i necessari approfondimenti in fase esecutiva, attraverso esecuzione di sondaggi geognostici a carotaggio continuo con prelievo di campioni indisturbati negli strati più soffici, sui quali eseguire prove geotecniche di laboratorio per la parametrizzazione geotecnica e geomeccanica di dettaglio ai fini della valutazione dell'effettiva suscettibilità ed entità dei cedimenti post-sismici.

7. CONCLUSIONI

Lo studio condotto ha permesso di definire la tipologia ed il comportamento del sottosuolo presente nell'area oggetto di studio, portando a concludere che il terreno investigato può essere utilizzato per la realizzazione dell'intervento di progetto. Di seguito i punti salienti emersi:

❖ Vincoli urbanistici e territoriali

L'area di intervento è inserita in contesto urbanizzato classificato come "Ambito Urbano Consolidato prevalentemente residenziale" di cui all'art. 7.3 delle Norme Tecniche di Attuazione del PSC in forma associata dei comuni dell'Alto Ferrarese.

❖ Successione stratigrafica

Il sottosuolo è caratterizzato dalla presenza di un livello superficiale di terreni coesivi poco consistenti, seguiti poi da terreni argillosi passanti ad alternanze argillose/argillo-limose oltre i 12-13 metri di profondità.

Nello spessore indagato di 20 metri non sono stati riscontrati livelli litologici riconducibili a terreni granulari sabbiosi o limo-sabbiosi.

❖ Falda Freatica

Nel corso della prova la falda è stata rinvenuta ad una profondità molto superficiale di soli 50 cm, a fronte di un valore di circa 150 dedotto dagli elaborati a corredo del PSC. Tali escursioni e soprattutto il valore minimo misurato sono da tenere in stretta considerazione in fase edificatoria in quanto non compatibili con normali quote di posa utilizzate per la base di fondazione superficiali.

❖ Classificazione sismica

Per la natura dei terreni individuata, per la collocazione geografica del sito ed a seguito dell'elaborazione delle indagini effettuate i principali parametri sismici risultano i seguenti:

Zona: 3 (da OPCM 3519/06)

A_{max} di picco al suolo: 0,157 g (da Del. Reg. 112/07 e valutazioni sito specifiche)

F.A. P.G.A.: 1,5 (substrato maggiore di 120 m di profondità da p.c.)

Categoria suolo: C (con $V_{s30} = 202$ m/s)

❖ Effetti di sito

Non sono previsti effetti di sito legati alla liquefazione dei terreni, in quanto non sono presenti litologie suscettibili a sviluppare tali fenomeni.

Sono invece presenti litologie coesive con valori di coesione non drenata inferiori a 70 KPa, per cui potenzialmente suscettibili a sviluppo di cedimenti post-sismici. Per tale motivo sarà necessario un approfondimento di indagine in fase di progettazione esecutiva, con esecuzione di sondaggi geognostici ed esecuzione di specifiche prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati, come tra l'altro previsto dalle specifiche tecniche del Comune di Cento.

Ferrara, 11 febbraio 2014

dott. geol. Stefano Malaguti



RELAZIONE GEOFISICA
MEDIANTE INDAGINE SISMICA PASSIVA.

INTERVENTO:

MISURE CON TROMOGRAFO

LOCALITÀ:

CENTO (FE)

VIA GALVANI

Dott. Geol. MARI Riccardo



INTRODUZIONE

Nel mese di Gennaio 2014 in località Cento in via Galvani è stata effettuata un' indagine con Tromografo per la classificazione sismica del tipo di suolo (come viene riportato in figura 1 e 2).



Fig.1 Ubicazione area di indagine

INDAGINE SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA

Il Tromino è uno strumento in grado di misurare i microtremori o rumore sismico, presente ovunque sulla superficie della terra perché prodotto dal vento o dalle onde marine. A questo rumore di fondo, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie ecc.) e naturali.

E' ormai accettato che la tecnica, nella sua formulazione classica, detta anche HVSR, è in grado di individuare la frequenza di risonanza dei terreni sciolti sovrastanti un basamento roccioso e permette di risalire, da questa, alla profondità del contatto (Ibs-von Seht e Wohlenberg, 1999; Castellaro et al. 2005) tramite una stima della velocità di propagazione delle onde acustiche nei mezzi attraversati. Questo risulta molto importante a livello ingegneristico perché se un edificio ha frequenze proprie di vibrazione uguali a quelle del substrato su cui è fondato, durante un sisma, si assiste al fenomeno dell'accoppiamento delle vibrazioni. Questo effetto di amplificazione sismica produrrà un grande aumento della sollecitazione sugli edifici.

Uno studio diverso dello stesso segnale permette inoltre di restituire una stratigrafia sismica. Il tipo di stratigrafia che le tecniche di sismica passiva possono restituire si basa sul concetto di *contrasto di*

impedenza. Per *strato* si intende cioè un'unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto di impedenza, ossia per il prodotto tra velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

Tutte le registrazioni dei microtremori sono state effettuate con il tromografo digitale TROMINO, progettato specificatamente per l'acquisizione del rumore sismico. Si tratta di un apparecchio portatile tutto-in-uno di 10 x 7 x 14 cm e 1 kg di peso dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, alimentato da 2 batterie AA da 1.5 V.

Si è effettuata una registrazione di rumore sismico ambientale della durata di 20'. Sono state effettuate su terreno naturale (foto sottostante).



Figura 2 ubicazione prova sismica

Dalle registrazioni del rumore sismico ambientale sono state ricavate le curve H/V, secondo la procedura descritta in Castellaro et al. (2005), con parametri:

- ⇒ larghezza delle finestre d'analisi 20 s,
- ⇒ lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale,
- ⇒ rimozione dei transienti sulla serie temporale degli H/V.

Per questo sito riportiamo in la curva H/V media e gli spettri medi da cui essa deriva.

Le curve H/V sono state invertite creando una serie di modelli sintetici (che contemplano la propagazione delle onde di Rayleigh e di Love nel modo fondamentale e superiori in sistemi multistrato), fino a considerare per buono il modello teorico più vicino alle curve sperimentali.

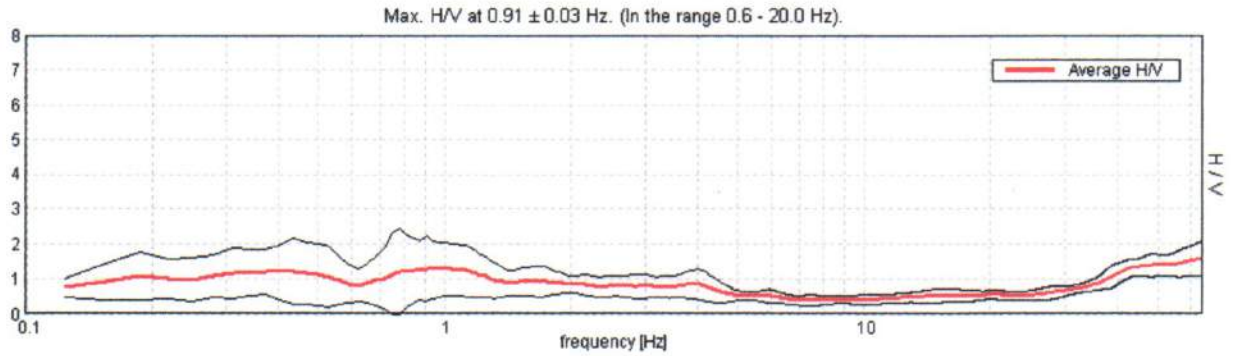


Fig 3: RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

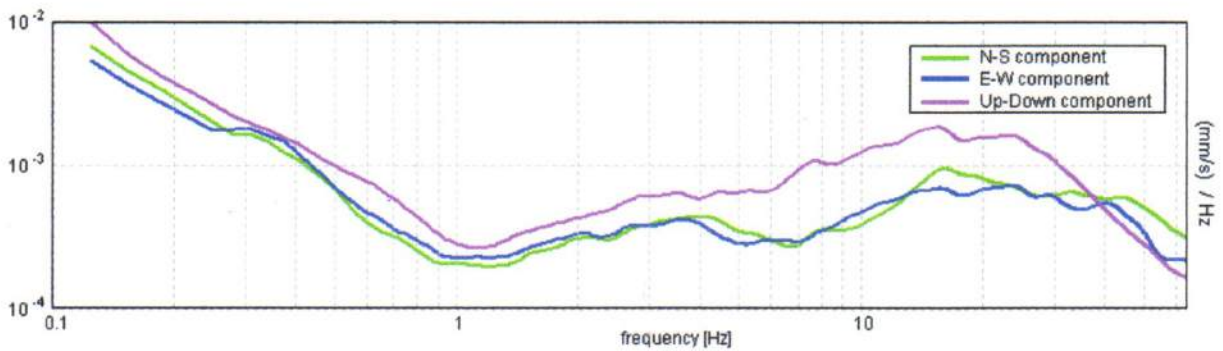


Fig4: SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

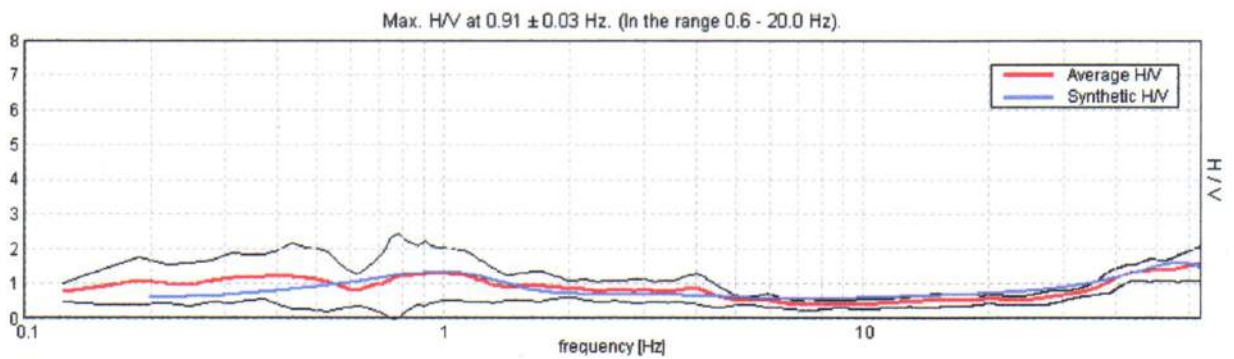
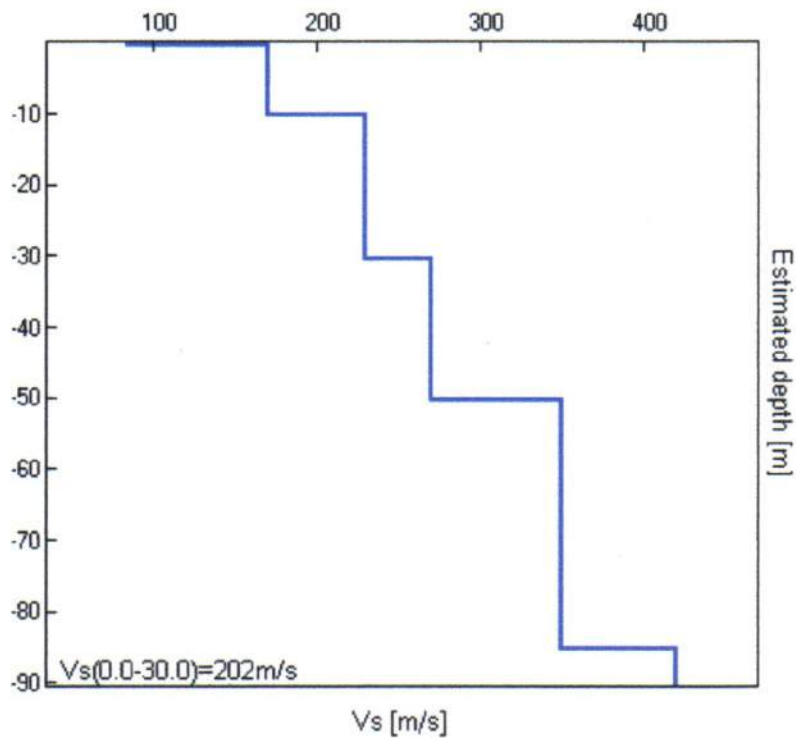


Fig 5: Confronto tra curva H/V sperimentale (media in rosso, intervallo di confidenza al 95% in nero) e teorica (blu).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.35	0.35	85	0.35
10.35	10.00	170	0.35
30.35	20.00	230	0.35
50.35	20.00	270	0.35
85.35	35.00	350	0.35
inf.	inf.	420	0.35

La velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m di terreno viene calcolata con la seguente formulazione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

dove h_i e V_{s_i} sono spessori e velocità dei singoli strati. In questo sito si ottiene $V_{s30} = 202 \text{ m/s}$.

La frequenza di risonanza del sito è $0.91 \pm 0.03 \text{ Hz}$ legata ad un contrasto di impedenza profondo, posto indicativamente attorno ai 100 m. Tale contrasto determina un picco H/V che però non rispetta, pienamente, i criteri delle linee guida SESAME (2005) in materia di microzonazione sismica.

Picco H/V a 0.91 ± 0.03 Hz (nell'intervallo 0.6 - 20.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.91 > 0.50$	OK
$n_c(f_0) > 200$	$833.8 > 200$	OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 44	OK

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$1.29 > 2$		NO
$f_{\text{picco}} [A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01838 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \sigma(f_0)$	$0.01665 < 0.13594$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \sigma(f_0)$	$0.4592 < 2.0$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\sigma(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \sigma(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\sigma(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \sigma(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\sigma(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\sigma(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \sigma(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Ferrara 05/02/2014

Dott. Geol. MARI Riccardo



SONGEO S.R.L.

Cone Penetration Test (CPTU) - Date: 05/02/2014

Site: Cento via Galvani - Test: scptu 1

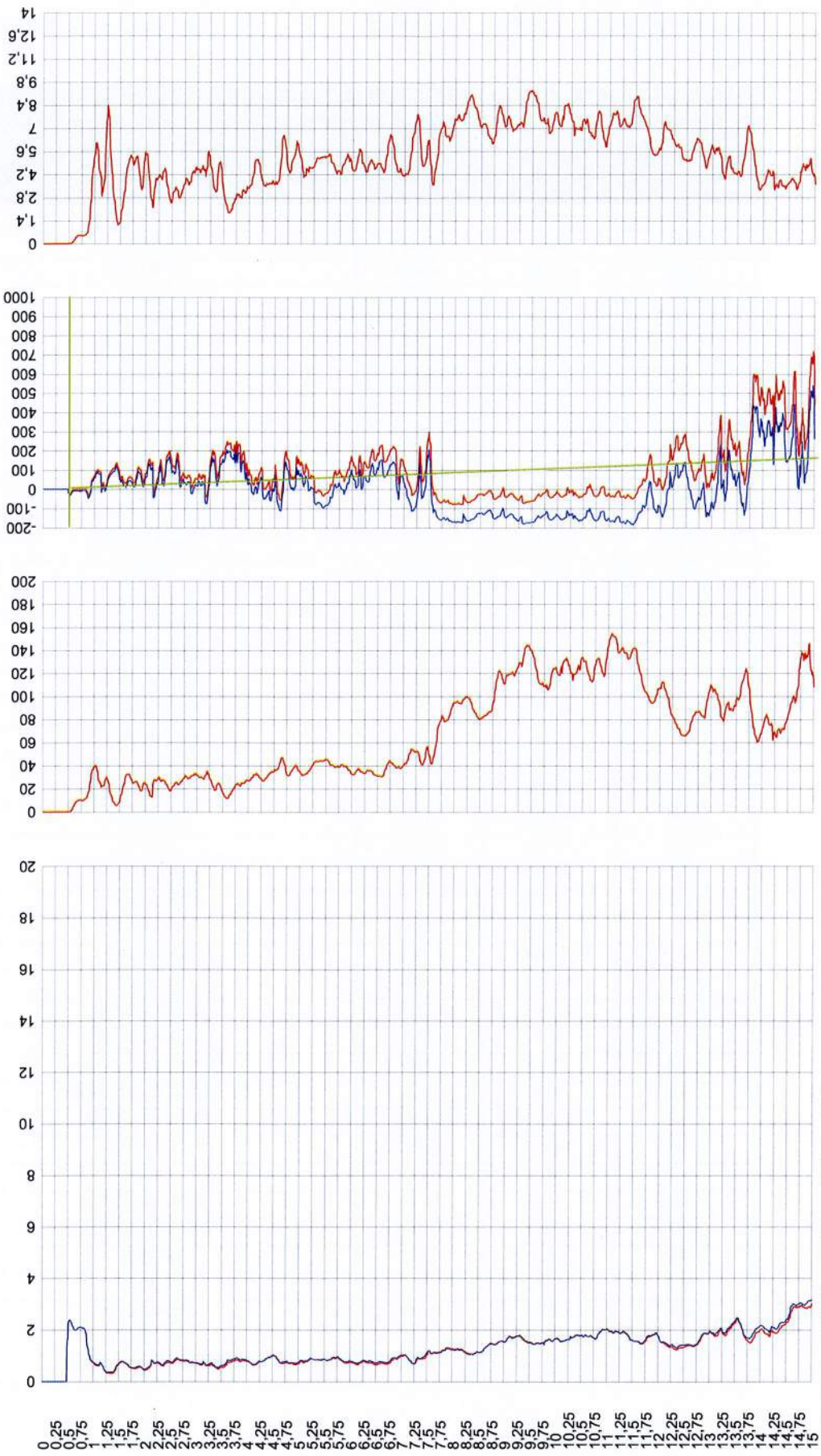
Profondità falda: -0,50 m da p.c.

Qc [MPa]

Fs [KPa]

U2 [KPa]

Rf [%]



CPTU-ACQ for TGAS (Pagani G.E. acquisition system)

Sperimentatore

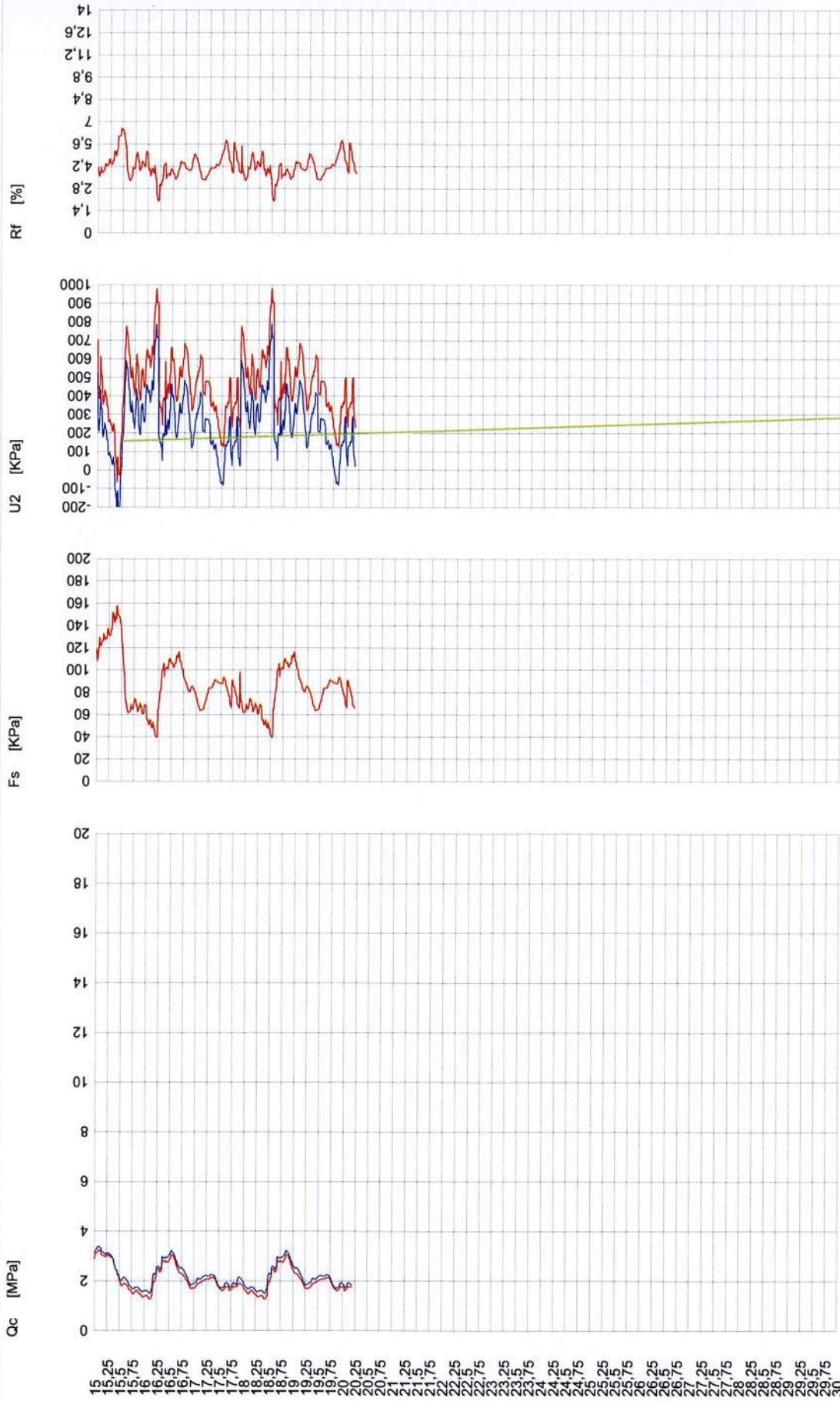
Direttore

Page: 2/3

SONGEO S.R.L.

Cone Penetration Test (CPTU) - Date: 05/02/2014

Site: Cento via Galvani - Test: scptu 1



CPTU-ACQ for TGAS (Pagani G.E. acquisition system)

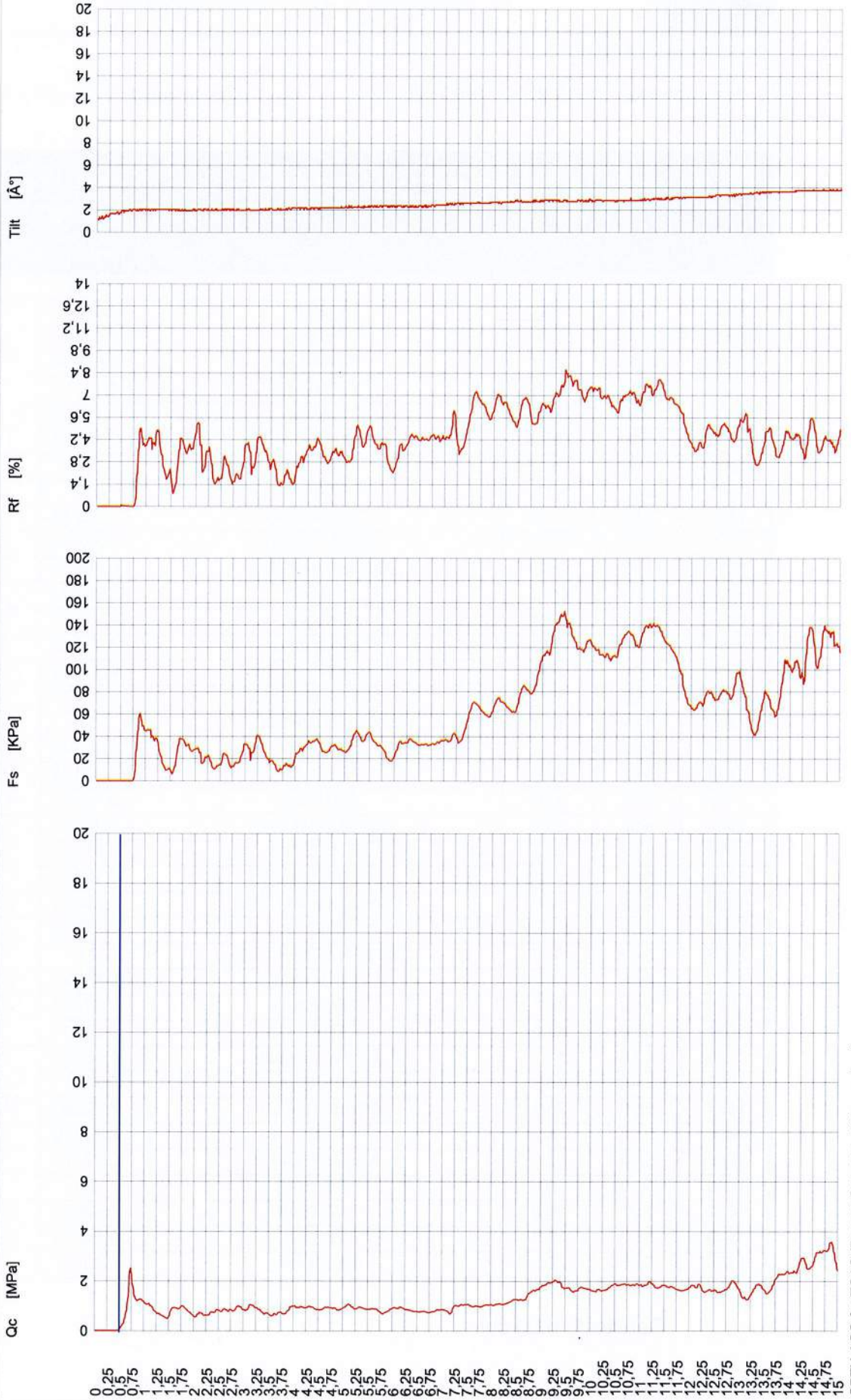
Sperimentatore

Direttore

SONGEO S.R.L.

Cone Penetration Test (CPTU) - Date: 05/02/2014

Site: Cento via Galvani - Test: cpte 2 Profondità falda: -0,50 m da p.c.



CPTU-ACQ for TGAS (Pagani G.E. acquisition system)

Sperimentatore

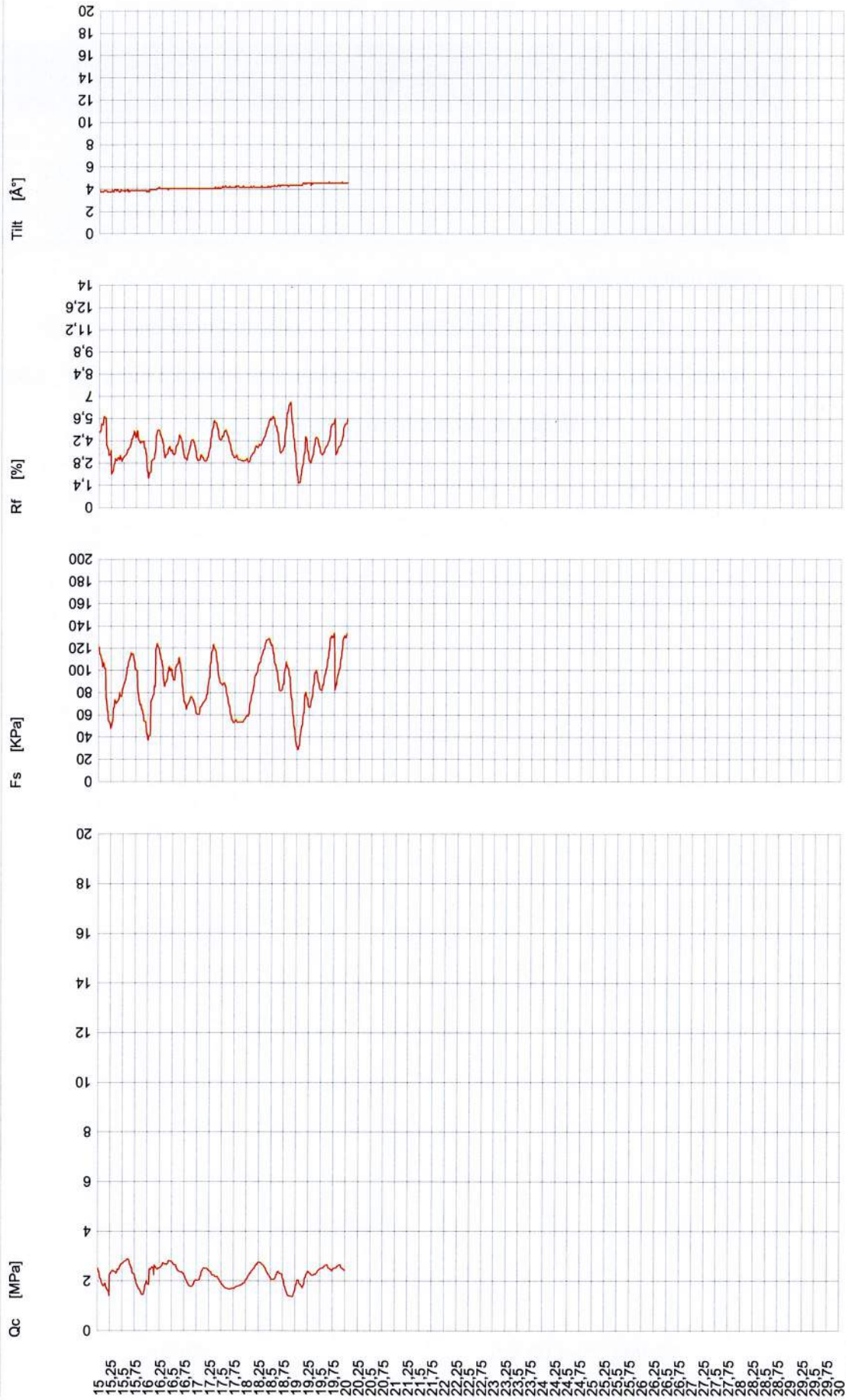
Direttore

Page: 2/3

SONGEO S.R.L.

Cone Penetration Test (CPTU) - Date: 05/02/2014

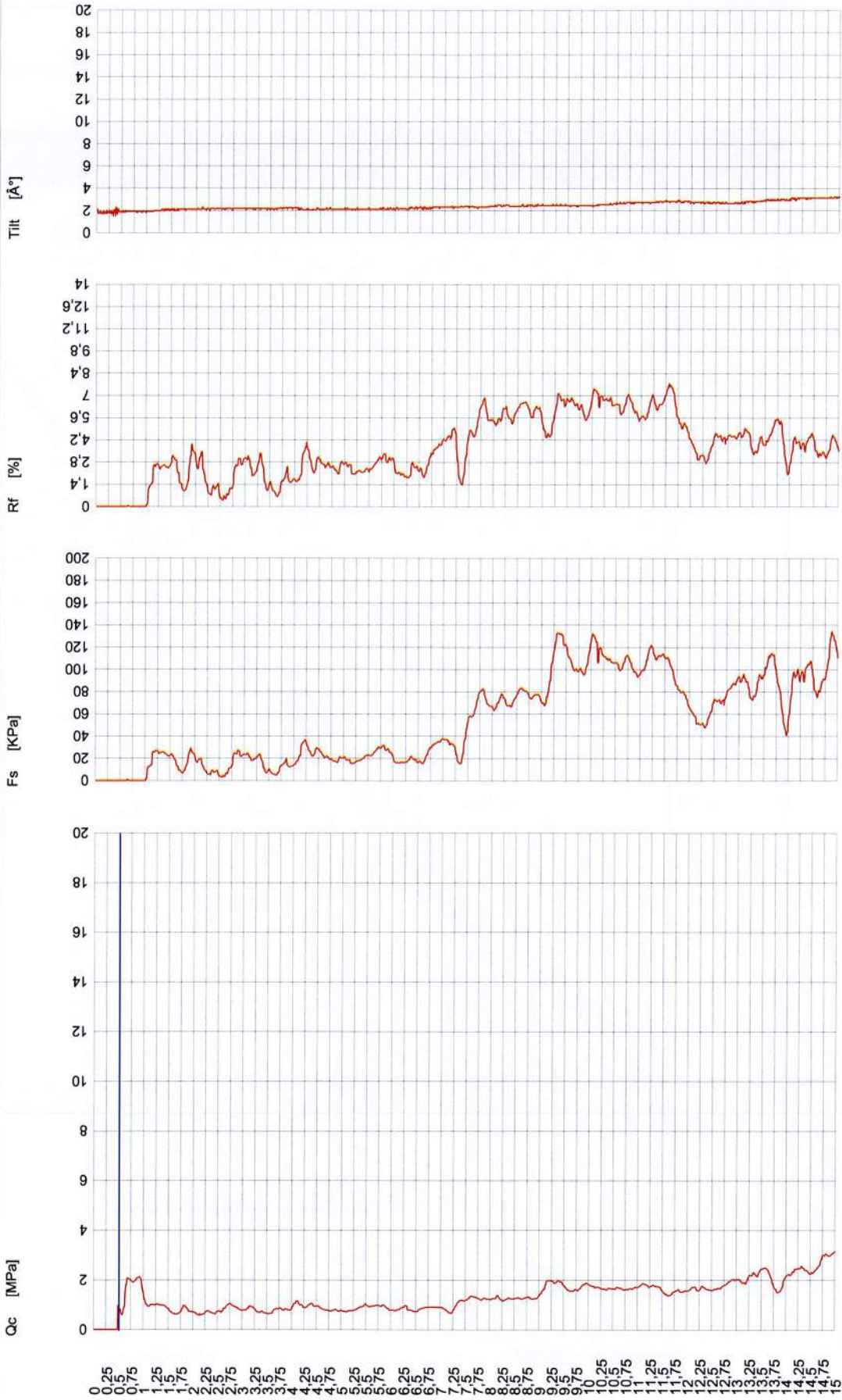
Site: Cento via Galvani - Test: cpte 2



SONGEO S.R.L.

Cone Penetration Test (CPTU) - Date: 05/02/2014

Site: Cento via Galvani - Test: cpte 3 Profondità falda: -0,50 m da p.c.



CPTU-ACQ for TGAS (Pagani G.E. acquisition system)

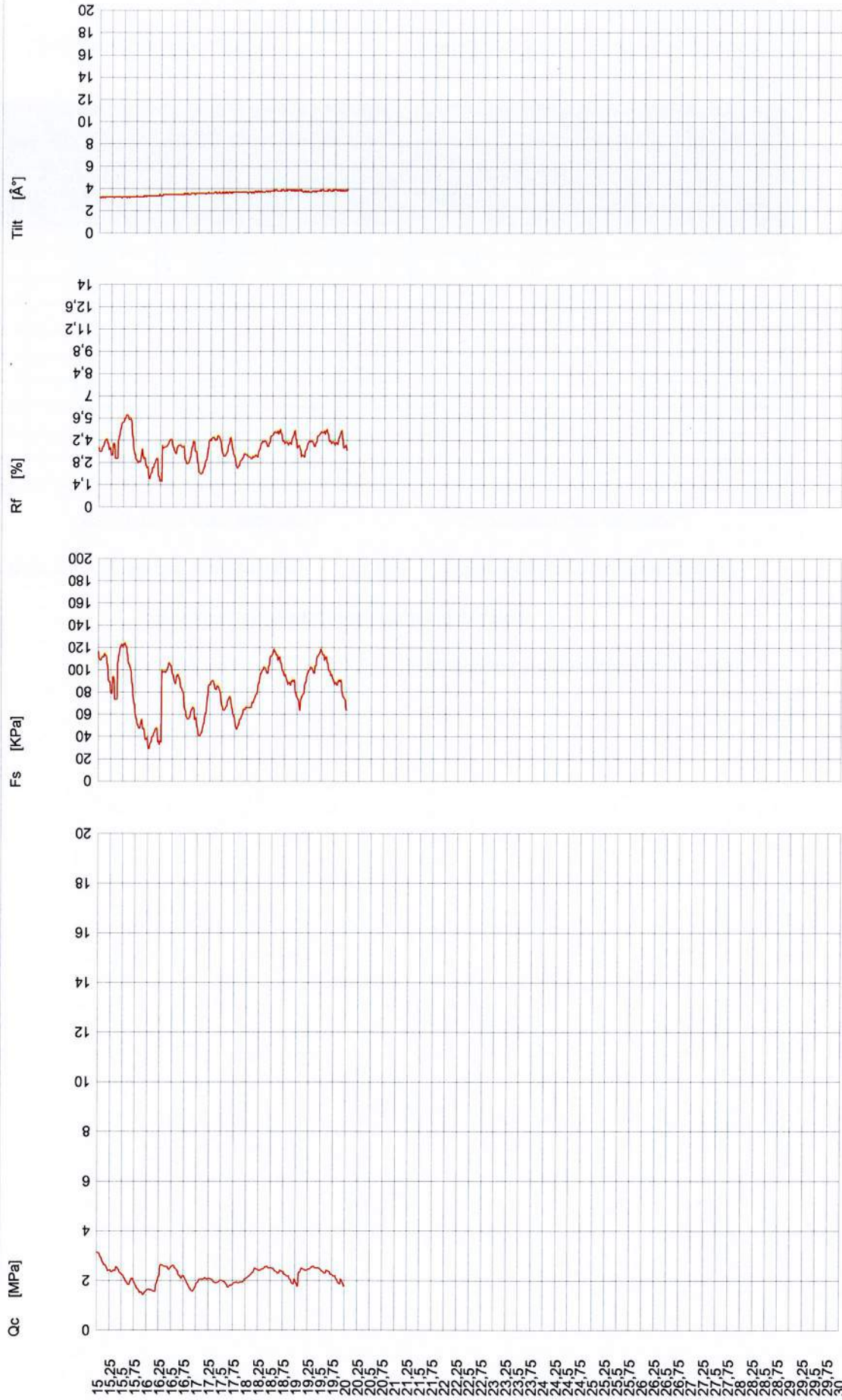
Sperimentatore

Direttore

SONGEO S.R.L.

Cone Penetration Test (CPTU) - Date: 05/02/2014

Site: Cento via Galvani - Test: cpte 3



CPTU-ACQ for TGAS (Pagani G.E. acquisition system)

Sperimentatore

Direttore