



Comune di Sant'Agata Bolognese

Provincia di Bologna

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 MICROZONAZIONE SISMICA dell'area (Delibera di Assemblea Legislativa Regionale n.112/2007)



OGGETTO:

Relazione geologica-geotecnica e sismica
a supporto del progetto di un Masterplan -
Progetto Ampliamento insediamento
produttivo comparto Automobili Lamborghini
S.p.A., Via F. Lamborghini e Via Montirone nel
Comune di Sant'Agata Bolognese (BO)



Dott. Geol. Pierluigi Dallari
Maggio 2015
Rif. 288/15



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 geomorfologici 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 D. M. 14/01/2008 NNTC) e la Verifica agli Stati Limiti Ultimi (SLU) (par. 6.4 del D.M. 14/01/08), al fine della progettazione per azioni sismiche

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

Oggetto:

**Relazione geologica-geotecnica e sismica a supporto
del progetto di un Piano Urbanistico Attuativo
riguardante la trasformazione dell'Area ARP e
Masterplan Automobili Lamborghini S.p.A., Via F.
Lamborghini e Via Montirone nel Comune di Sant'Agata
Bolognese (BO)**

Committente:

Automobili Lamborghini S.p.A.

Indice del contenuto

1. PREMESSE.....	4
1.1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA.....	5
2. RELAZIONE GEOLOGICA.....	7
2.1. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DEL SITO.....	7
2.2. INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	8
2.2.1 Prova penetrometrica statica con punta meccanica CPT.....	8
2.3 CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE E GEOTECNICHE DEL TERRENO DI FONDAZIONE.....	11
2.2.1 Prove penetrometriche statiche con piezocono CPTU.....	12
2.4.1 Caratteristiche geotecniche e litostратigrafiche del terreno di fondazione.....	15
3. RELAZIONE GEOTECNICA.....	18
3.1. MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO - AREA "TEMPORARY LOGISTICS KOPRON" E "TEMPORARY EMPTIES AREA".....	18
3.2. IPOTESI DI FONDAZIONI.....	20
3.3 VERIFICA DEI CEDIMENTI DA CPT.....	22
3.4 VERIFICA DEI CEDIMENTI DA CPTU.....	22
3.4 MODULO DI SOTTOFONDO.....	24
4. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO.....	25
4.1. SISMICITÀ DELL'AREA.....	25
4.2. INDAGINI GEOFISICHE.....	27
4.2.1. Indagini sismiche con Metodo MASW.....	27
4.2.2 Indagine sismica passiva con metodo dei microtremiti (Re.Mi. - ESAC).....	29
4.2.3. Indagini sismiche passive con Metodo HVSR.....	34
4.3. CALCOLO DELLO STATO LIMITE ULTIMO (SLU) – PAR.6.4 DM 14/01/08.....	35
4.4 MICROZONAZIONE SISMICA: Rischio Sismico.....	40
4.5 PRIMO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO: Carta delle aree suscettibili di effetti locali.....	41
5.2 Secondo livello di approfondimento: microzonazione sismica.....	42
4.8 VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE.....	43
5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	47

Tavole

Tav. n. 1:	"Carta corografica",	scala 1: 25.000;
Tav. n. 2:	"Carta topografica"	scala 1: 10.000;
Tav. n. 3:	"Ripresa fotografica generale dell'area di interesse"	scala grafica;
Tav. n. 4:	"Carta della litologia di superficie",	scala 1: 5.000;
Tav. n. 5:	"Indagini geognostiche",	scala grafica;
Tav. n. 6:	"Emergenze, criticità, limiti e condizioni alle trasformazioni"	scala grafica;
Tav. n. 7:	"Pericolosità sismica locale - effetti di sito"	scala grafica
Tav. n. 8:	"Aree suscettibili di effetti locali"	scala grafica
Tav. n. 9:	"Carta di microzonazione sismica"	scala grafica

Allegati

- N. 1** Prove penetrometriche statiche corredate di interpretazione geotecnica;
- N. 2** Verifiche geotecniche;
- N. 3** Indagine sismica - tecnica MASW;
- N. 4** Indagine sismica - tecnica Re.Mi.;
- N. 5** Indagine sismica - tecnica ESAC;
- N. 6** Indagine sismica - tecnica HVSR;
- N. 7** Verifica alla liquefazione.

1. PREMESSE

Su incarico della Committenza e in accordo con lo Studio Tecnico di progettazione, nel mese di Maggio 2015, è stato eseguito il presente studio a supporto del progetto di un Piano Urbanistico Attuativo, riguardante la trasformazione dell'Area ARP (ambito Agricolo di Rilievo Paesaggistico) e Masterplan Automobili Lamborghini S.p.A., in Via F. Lamborghini e Via Montirone nel Comune di Sant'Agata Bolognese (BO).



Foto1.1.1: Ripresa satellitare dell'area di interesse, tratta da "Bing Maps".



Foto1.1.2: Ripresa satellitare di dettaglio dell'area di interesse, tratta da "Bing Maps".

1.1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA

L'area oggetto di studi si colloca a Sud-Ovest del centro del Comune di Sant'Agata Bolognese (BO), in Via F. Lamborghini e Via Montirone, ad una quota topografica media di circa 23.00 - 25.00 m s.l.m..

L'area in oggetto è sita a Sud-Ovest del centro del Comune di Sant'Agata Bolognese (BO), come visibile nella "Carta corografica" (**tav. n. 1**) in scala 1: 25.000, tavola CTR n. 202_SO "Nonantola", nella "Carta topografica" (**tav. n. 2**) in scala 1:10.000, sezione CTR n. 202100 "Sant'Agata Bolognese" e nella "Ripresa fotografica generale dell'area di interesse" (**tav. n. 3**), tratta da Google Maps, che compaiono in allegato.

Le coordinate geografiche relative al sito in oggetto, calcolate mediante apposito software ed utilizzando la maglia di punti riportata in **figura 1.1.3** sono le seguenti:

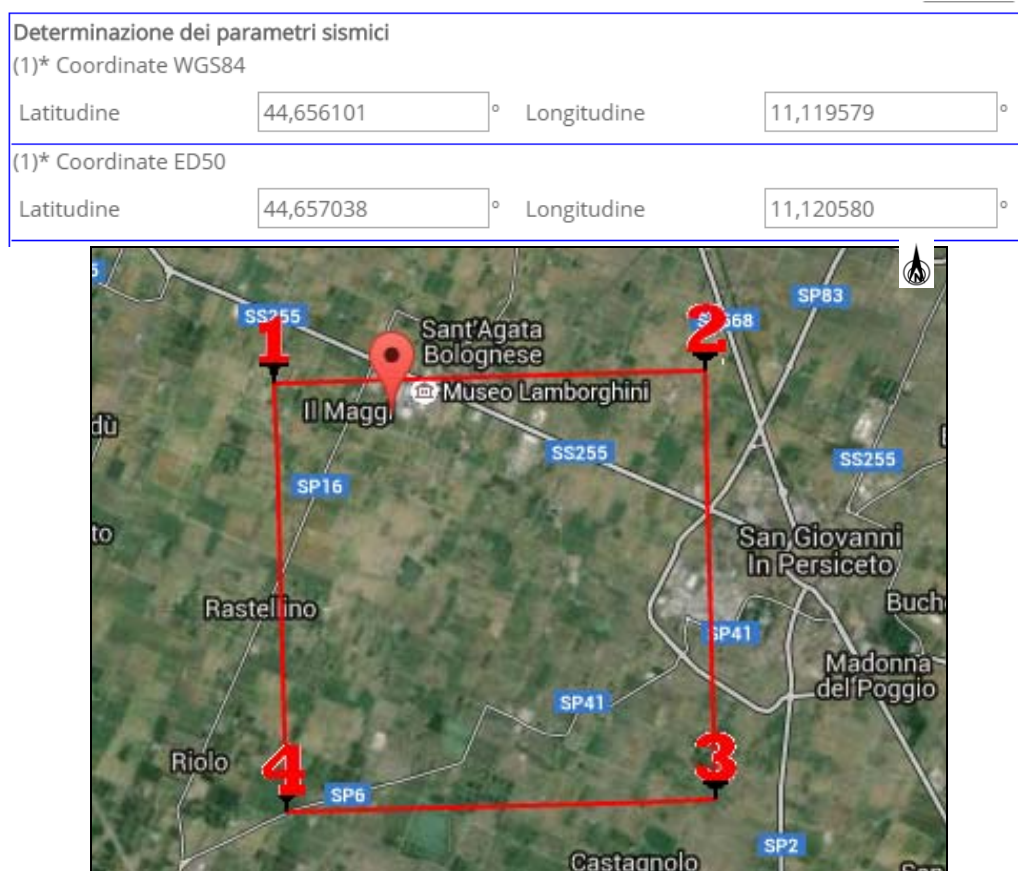


Fig. 1.1.3: Griglia di punti che identificano l'area di interesse, tratta da Geostru Parametri Sismici.

Per ottemperare alle richieste del **D.M. 14/01/2008** la presente relazione tecnica verrà suddivisa nei seguenti ambiti:

- 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".

2. RELAZIONE GEOLOGICA

2.1. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DEL SITO

Da quanto si evince dalla "Carta della litologia di superficie", scala 1: 5.000, (tav. n. 4) nell'area oggetto di studi affiora la seguente litologia:

Successione Neogenico Quaternaria del Margine Appenninico Padano

- **AES8 – Subsistema di Ravenna:** Ghiaie e ghiaie sabbiose, passanti a sabbie e limi organizzate in numerosi ordini di terrazzi alluvionali. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. A tetto suoli a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente fino a 150 cm e parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallo-bruno. Contengono frequenti reperti archeologici di età del Bronzo, del Ferro e Romana. Potenza fino a oltre 25 m. *Olocene (età radiometrica della base: 11.000 - 8.000 anni)*. Tale subsistema si trova in litofacies limosa nel lotto in oggetto e in gran parte dell'area circostante.

L'area è completamente pianeggiante con una leggera inclinazione in direzione nord-est in concordanza con l'andamento della Pianura Padana.

2.2. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per la caratterizzazione litostratigrafica e geotecnica del terreno di fondazione, sono state eseguite in sito le seguenti indagini geognostiche:

- **n. 1 prova penetrometrica statica con punta meccanica CPT**, eseguita in data 12/05/2015 presso l'area in cui verranno realizzati il "Temporary Logistics Kopron" e il "Temporary Empties Area";
- **n. 2 prove penetrometriche statiche con punta elettrica CPTU**, eseguite in data 18/05/2015 presso le aree in cui verranno realizzati il "2Warehouse" e il "Paintshop";
- **n. 1 indagine sismica MASW**, eseguita in data 20/05/2015;
- **n. 1 indagine sismica Re.Mi.**, eseguita in data 20/05/2015;
- **n. 1 indagine sismica ESAC**, eseguita in data 20/05/2015;
- **n. 3 indagini sismiche passive HVSR**, eseguite in data 20/05/2015.

In **allegato n. 1** sono presenti i grafici e i tabulati relativi alla prova penetrometrica statica CPT e alle prove penetrometriche statiche CPTU corredate di interpretazione geotecnica. L'ubicazione di tali indagini è visibile nella **tav. n. 5** che compare in allegato. Nell'**allegato n. 3, 4, 5, 6** sono invece visibili le indagini sismiche MASW, Re.Mi., ESAC ed HVSR.

2.2.1 Prova penetrometrica statica con punta meccanica CPT

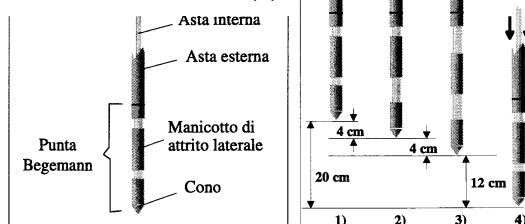
Nell'area in cui verranno realizzati il "Temporary Logistics Kopron" e il "Temporary Empties Area" è stata eseguita, in data **12/05/2015**, **n. 1 prova penetrometrica statica CPT**, spinta fino alla profondità di – 30.00 m da p.c..

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:

Punta meccanica	Begemann
Spinta	100 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°

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 all'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_l);
- 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 (R_l).

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 (Area Manicotto Laterale) = 150 cm²

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

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:

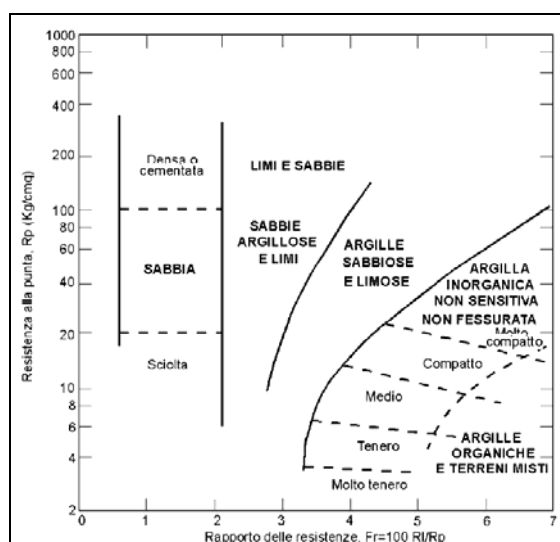
Il metodo di BEGEMANN considera il **rapporto tra Rp e RI** come parametro indicativo delle variazioni litologiche. In particolare l'Autore suggerisce le seguenti correlazioni:

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:



2.3 CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE E GEOTECNICHE DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione geotecnica e litostratigrafica della prova penetrometrica eseguita in data 12/05/2015 illustrate nell'**allegato n. 1**, si può riassumere quanto segue:

- Si rileva un primo strato di **argilla limosa a media consistenza** fino alla profondità di circa - 2.60 m da p.c. ($0.98 \text{ MPa} < R_p < 1.86 \text{ MPa}$), seguito da un **livello argilloso limoso coesivo a scarsa consistenza** ($0.49 \text{ MPa} < R_p < 1.08 \text{ MPa}$) fino alla profondità di circa - 9.20 m da p.c.. Da qui fino a - 22.00 m da p.c. si rileva uno strato di **argilla limosa a media consistenza** ($0.88 \text{ MPa} < R_p < 2.06 \text{ MPa}$). Segue fino alla massima profondità investigata dalla prova, pari a - 30.00 m da p.c., un **livello di argille limose consistenti** ($1.86 \text{ MPa} < R_p < 6.96 \text{ MPa}$);
- Per quanto riguarda il grado di consolidazione dei materiali coesivi, è stata rinvenuta la presenza di terreni sovraconsolidati **SC** (con $OCR > 4$) fino a - 4.40 m da p.c., seguiti da terreni leggermente consolidati **LC** ($2 < OCR < 4$) fino alla profondità di - 16.20 m da p.c.. Si rilevano successivamente terreni normalconsolidati **NC** ($1 < OCR < 2$) fino alla quota di - 22.00 m da p.c., seguiti da terreni leggermente consolidati **LC** ($2 < OCR < 4$) fino alla profondità di - 28.80 m da p.c., seguiti, infine, da terreni normalconsolidati **NC** ($1 < OCR < 2$) fino a fondo foro.
- Al termine della prova penetrometrica è stata rilevata la soggiacenza della falda freatica all'interno dei fori di sondaggio mediante l'utilizzo di un freatimetro elettroacustico. La quota si attesta pari a **Dw = - 1.50 m da p.c..**

2.2.1 Prove penetrometriche statiche con piezocono CPTU

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



Fig. 2.3: Attrezzatura di prova utilizzata.

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

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

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

la composizione dell'attrezzatura di prova ed il collegamento con il sistema di acquisizione dei dati digitale TGAS07 (Fig.2.4) e le caratteristiche del piezocono (Fig. 2.5):

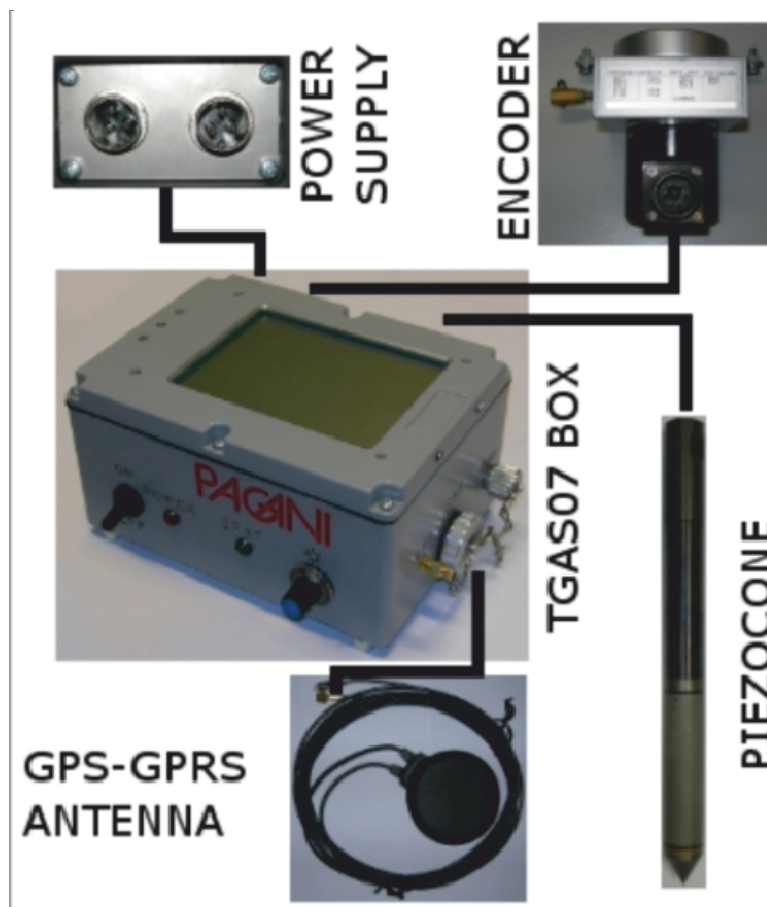


Fig. 2.4: Attrezzatura di prova e collegamento con il sistema di acquisizione digitale.

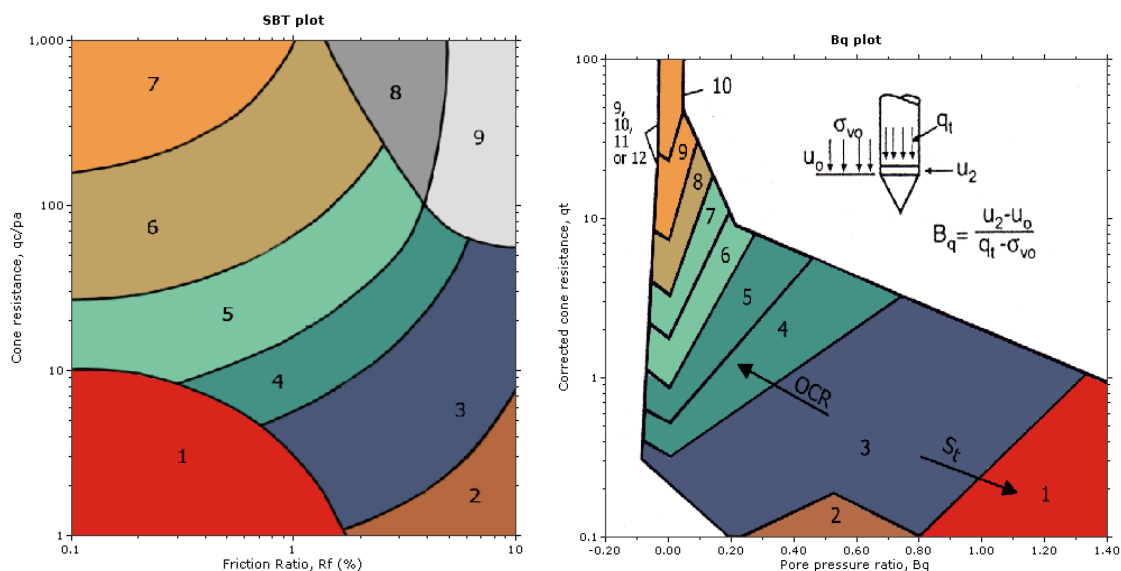
Caratteristiche del Piezocono			
Canali di misura:		Dimensioni:	
Resistenza di punta (q_c):	10; 50; 100 MPa	Angolo di apertura cono:	60°
Attrito laterale (f_s):	0,5 MPa	Diametro:	36 mm
Pressione nei pori (U):	2,5 MPa	Sezione di spinta:	10 cm ²
Inclinazione:	0 - 40°	Superficie laterale:	150 cm ²
		Peso:	2,1 kg
		Lunghezza:	413 mm

Fig. 2.5: Caratteristiche del Piezocono Pagani.

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

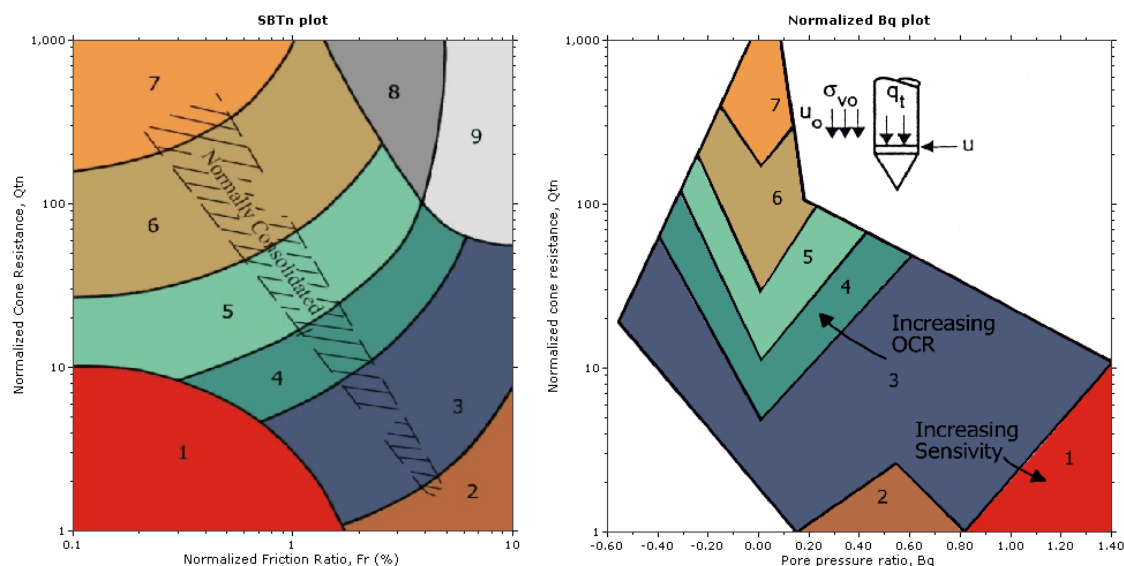
resistenza e pressione interstiziale misurati ed illustrata l'interpretazione litostratigrafica e geotecnica delle prove, sono riportati in **Allegato n. 1**.

La caratterizzazione litostratigrafica del terreno è stata effettuata in funzione delle carte proposte da Robertson, in cui il tipo di comportamento del terreno è definito da tre parametri: q_t , resistenza alla punta corretta, R_f , B_q , nella prima carta (1986) e con i parametri normalizzati nella seconda (1990).



SBT legend

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



SBTn legend

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

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

:: 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) :: $I_c < 3.27 \text{ and } I_c > 1.00 \text{ then } k = 10^{0.952 - 3.04 I_c}$ $I_c \leq 4.00 \text{ and } I_c > 3.27 \text{ then } k = 10^{-4.52 - 1.37 I_c}$:: N_{60} (blows per 30 cm) :: $N_{60} = \left(\frac{q_t}{p_a} \right) \cdot \frac{1}{10^{1.1268 - 0.2817 I_c}}$ $N_{160} = Q_{tn} \cdot \frac{1}{10^{1.1268 - 0.2817 I_c}}$:: Young's Modulus, E_s (MPa) :: $(q_t - \sigma_v) \cdot 0.015 \cdot 10^{0.55 I_c + 1.68}$ (applicable only to $I_c < I_{c_crit}$) :: Relative Density, D_r (%) :: $100 \cdot \sqrt{\frac{Q_{tn}}{k_{DR}}} \quad \text{(applicable only to SBTs: 5, 6, 7 and 8 or } I_c < I_{c_crit})$:: 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 SBTs: 5, 6, 7 and 8) :: 1-D constrained modulus, M (MPa) :: If $I_c > 2.20$ $\alpha = 14 \text{ for } Q_{tn} > 14$ $\alpha = Q_{tn} \text{ for } Q_{tn} \leq 14$ $M_{CPT} = \alpha \cdot (q_t - \sigma_v)$ If $I_c \leq 2.20$ $M_{CPT} = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 I_c + 1.68}$	:: Small strain shear Modulus, G_0 (MPa) :: $G_0 = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 I_c + 1.68}$:: Shear Wave Velocity, V_s (m/s) :: $V_s = \left(\frac{G_0}{\rho} \right)^{0.50}$:: Undrained peak shear strength, S_u (kPa) :: $N_{1t} = 10.50 + 7 \cdot \log(F_r) \text{ or user defined}$ $S_u = \frac{(q_t - \sigma_v)}{N_{1t}}$ (applicable only to SBTs: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c_crit}$) :: Remolded undrained shear strength, $S_{u(rem)}$ (kPa) :: $S_{u(rem)} = f_s \quad \text{(applicable only to SBTs: 1, 2, 3, 4 and 9 or } I_c > I_{c_crit})$:: Overconsolidation Ratio, OCR :: $k_{OCR} = \left[\frac{Q_{tn}^{(0.30)}}{0.25 \cdot (10.50 + 7 \cdot \log(F_r))} \right]^{1.25} \text{ or user defined}$ $OCR = k_{OCR} \cdot Q_{tn}$ (applicable only to SBTs: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c_crit}$) :: In situ Stress Ratio, K_0 :: $K_0 = 0.1 + \left(\frac{q_t - \sigma_v}{\sigma_{v0}} \right)$ (applicable only to SBTs: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c_crit}$) :: Soil Sensitivity, S_t :: $S_t = \frac{N_{1t}}{F_r}$ (applicable only to SBTs: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c_crit}$) :: Effective Stress Friction Angle, ϕ' (°) :: $\phi' = 29.5^\circ \cdot B_q^{0.121} \cdot (0.256 + 0.336 \cdot B_q + \log Q_{tn})$ (applicable for $0.10 < B_q < 1.00$)
---	--

Fig. 2.6: Correlazioni utilizzate per la stima dei parametri geotecnici.

2.4.1 Caratteristiche geotecniche e litostratigrafiche del terreno di fondazione

Dall'esecuzione delle n. 2 prove penetrometriche statiche con piezocono CPTU, eseguite presso le aree in cui verranno realizzati il "Warehouse" e il "Paintshop", le cui elaborazioni sono riportate in **Allegato n.1**, sono state rilevate le litostratigrafie del sottosuolo, schematizzate di seguito:

CPTU n. 2: area "Warehouse"



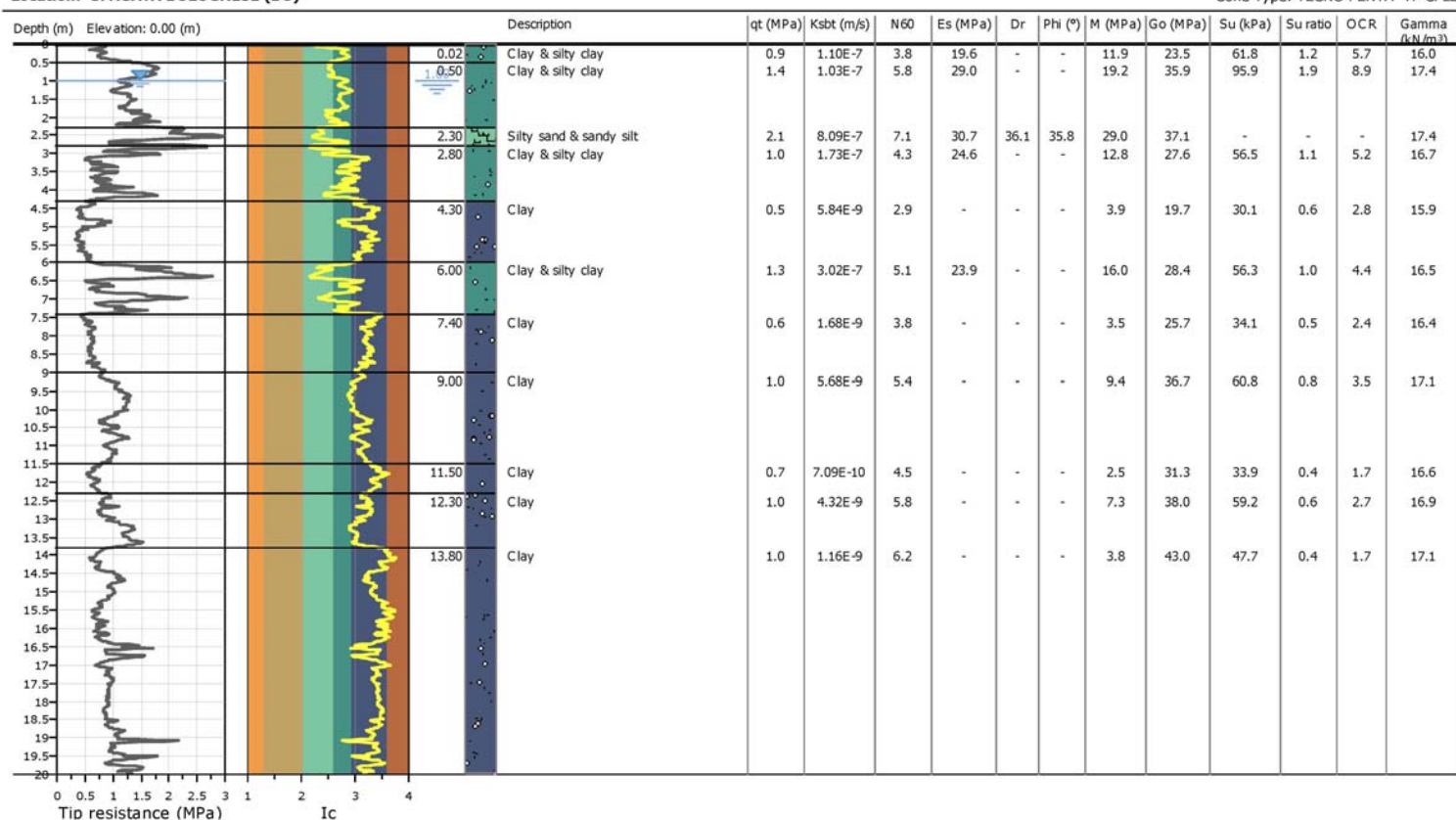
Geo Group S.r.l.
182, v. Cesare Costi
Tel 059/3967169 Fa
e-mail geo.group@li

Project: STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE
Location: S. AGATA BOLOGNESE (BO)

CPT: CPTu2

Total depth: 20.00 m, Date: 18/05/2015

Cone Type: TECNO PENTA TP CPL2IN



CPeT-IT v.1.7.4.13 - CPTU data presentation & interpretation software - Report created on: 19/05/2015, 10.36.40

Project file: \\Geosrv\iferimenti 2015\Rif.288_15-Ampliamento Area ARP Automobili Lamborghini, Sant'Agata Bolognese, Piano particolareggiato\Prove CPTU_19.05.15\CPTU 2-3.cpt

1

CPTU n. 3: area "Paintshop"



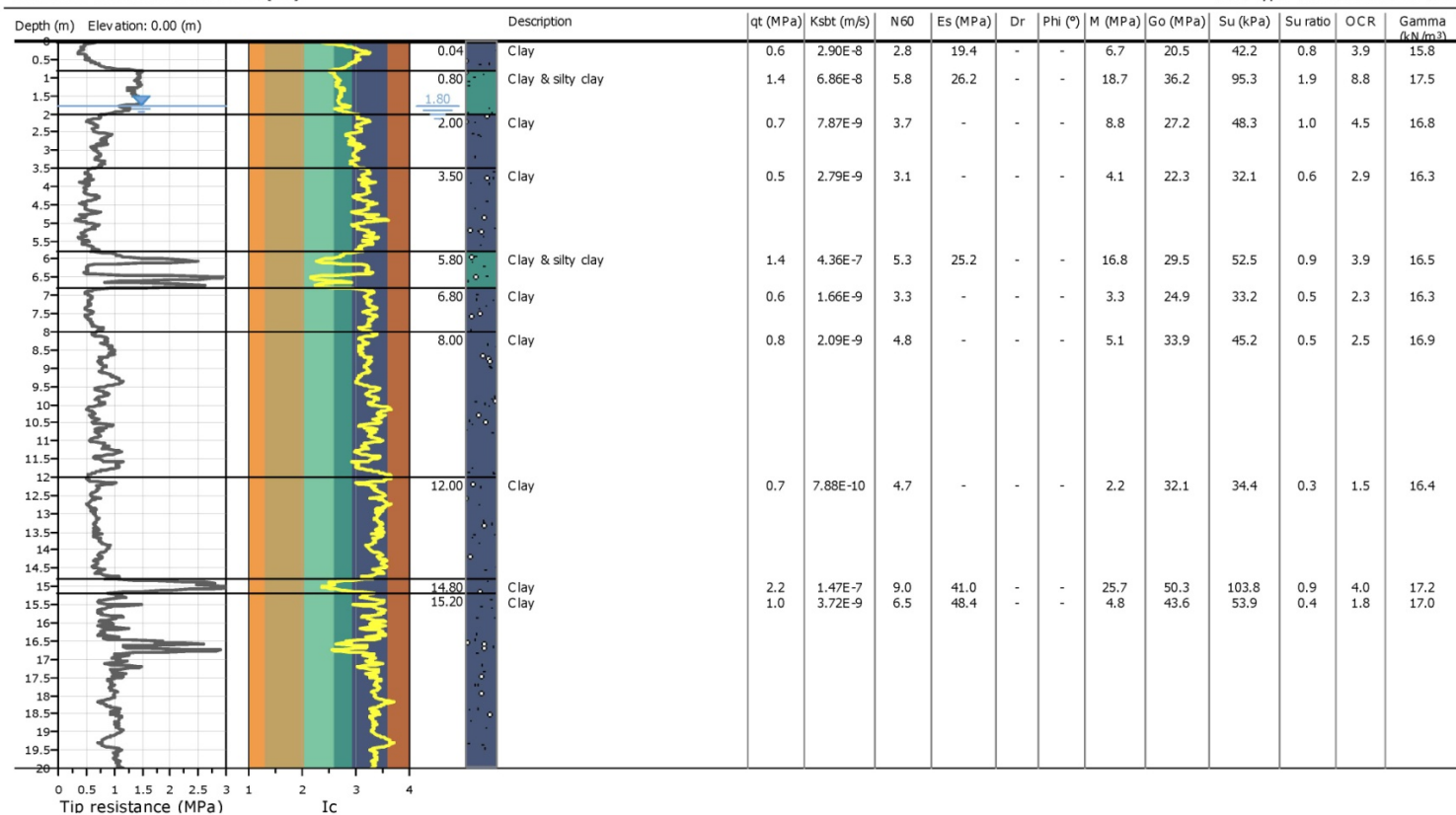
Geo Group S.r.l.
182, v. Cesare Costa 41123
Tel 059/3967169 Fax 059/3967169
e-mail geo.group@libero.it

Project: STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE AREA I
Location: S. AGATA BOLOGNESE (BO)

CPT: CPTu3

Total depth: 20.00 m, Date: 18/05/2015

Cone Type: TECNO PENTA TP CPL2IN



CPeT-IT v.1.7.4.13 - CPTU data presentation & interpretation software - Report created on: 19/05/2015, 10.43.22

Project file: \\Geosrv\referimenti 2015\Rif.288_15-Ampliamento Area ARP Automobili Lamborghini, Sant'Agata Bolognese, Piano particolareggiato\Prove CPTU_19.05.15\CPTU 2-3.cpt

1

Al termine delle prova penetrometrica statica con piezocono CPTU n. 2, approfondita fino alla quota di -20.00 m da p.c., è stata rilevata la soggiacenza della falda freatica all'interno del foro di sondaggio alla quota **D_w = - 1.00 m da p.c.**

Al termine delle prova penetrometrica statica con piezocono CPTU n. 3, approfondita fino alla quota di -20.00 m da p.c., è stata rilevata la soggiacenza della falda freatica all'interno del foro di sondaggio alla quota **D_w = - 1.80 m da p.c.**

3. RELAZIONE GEOTECNICA

3.1. MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO - AREA "TEMPORARY LOGISTICS KOPRON" E "TEMPORARY EMPTIES AREA"

Il modello geotecnico è finalizzato a fornire tutti i dati geotecnici necessari per un futuro progetto edificatorio.

Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione geotecnica e litostratigrafica della prova penetrometrica statica CPT n. 1, illustrata nell'**allegato n. 1** e precedentemente descritta, è stato possibile estrapolare il seguente modello geotecnico del terreno investigato:

Strato	Profondità	Falda	Litotipo	Parametri geotecnici	
1	0.0 – 3.40 m da p.c.	-1.50 m da p.c.	Argilla o argilla limosa mediamente consistente	γ	1800 kg/m ³ $\approx$ 18.00 kN/m ³
				γ'	2100 kg/m ³ $\approx$ 21.00 kN/m ³
				C_{uk}	0.50 kg/cm ² $\approx$ 50.0 kN/m ²
				C'_k	0.05 kg/cm ² $\approx$ 5.0 kN/m ²
				M_0	50.0 kg/cm ² $\approx$ 5000 kN/m ²
				E_s	70.0 kg/cm ² $\approx$ 7000 kN/m ²
				ϕ_k	23°
				v	0.40
2	3.40 – 9.20 m da p.c.		Argilla o argilla limosa poco consistente	γ	1750 kg/m ³ $\approx$ 17.50 kN/m ³
				γ'	2050 kg/m ³ $\approx$ 20.50 kN/m ³
				C_{uk}	0.35 kg/cm ² $\approx$ 35.0 kN/m ²
				C'_k	0.035 kg/cm ² $\approx$ 3.5 kN/m ²
				M_0	35.0 kg/cm ² $\approx$ 3500 kN/m ²
				E_s	49.0 kg/cm ² $\approx$ 4900 kN/m ²
				ϕ_k	20°
				v	0.50
3	9.20 – 22.00 m da p.c.		Argilla o argilla limosa mediamente consistente	γ	1800 kg/m ³ $\approx$ 18.00 kN/m ³
				γ'	2100 kg/m ³ $\approx$ 21.00 kN/m ³
				C_{uk}	0.65 kg/cm ² $\approx$ 65.0 kN/m ²
				C'_k	0.065 kg/cm ² $\approx$ 6.5 kN/m ²

4		Argilla o argilla limosa consistente	M ₀	45.0 kg/cm ² ≈ 4500 kN/m ²
			E _s	91.0 kg/cm ² ≈ 9100 kN/m ²
			ϕ _k	23°
			v	0.40
	Da 22.00 m da p.c.		γ	1900 kg/m ³ ≈ 19.00 kN/m ³
			γ'	2200 kg/m ³ ≈ 22.00 kN/m ³
			C _{uk}	1.00 kg/cm ² ≈ 100.0 kN/m ²
			C' _k	0.10 kg/cm ² ≈ 10.0 kN/m ²
			M ₀	100.0 kg/cm ² ≈ 10000 kN/m ²
			E _s	140.0 kg/cm ² ≈ 14000 kN/m ²
			ϕ _k	25°
			v	0.30
<u>Legenda</u>	γ =	peso specifico terreno naturale		
	γ' =	peso specifico terreno saturo		
	C _{uk} =	coesione non drenata caratteristica		
	C' _k =	coesione efficace caratteristica		
	Dr =	densità relativa		
	M ₀ =	modulo di deformazione edometrico		
	v =	modulo di Poisson		
	E _s =	modulo elastico		
	ϕ _k =	angolo d'attrito caratteristico		

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) [Formula di Lunne & Eide]

Dr = 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 = 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].

3.2. IPOTESI DI FONDAZIONI

Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione dell'indagine geotecnica eseguite in sito mediante esecuzione della prova penetrometrica statica CPT n. 1, si può fornire una prima ipotesi di fondazione per i futuri fabbricati da realizzare all'interno del Piano Urbanistico Attuativo riguardante la trasformazione dell'Area ARP e Masterplan Automobili Lamborghini S.p.A. nell'area di realizzazione del "Temporary Logistics Kopron" e "Temporary Empties Area". Ipotezzando fondazioni di tipo nastriforme in c.a., approfondite a $D = -1.00$ m da p.c. attuale, si potrà considerare valida una portata ammissibile pari a $Q_{amm} = 1.00 \text{ kg/cm}^2 \approx 100.0 \text{ kN/m}^2$.

Comunque, in fase attuativa, si dovrà approfondire il presente studio, eseguendo puntuali indagini per ogni singolo fabbricato in progetto, in numero adeguato relativamente all'intervento e, solo allora, sulla base di tali dati ricavati dalle indagini, si potranno fornire con precisione indicazioni relative alla tipologia e dimensioni delle fondazioni e procedere al calcolo preciso dei cedimenti e degli SLU.

IPOTESI - FONDAZIONI SUPERFICIALI DIRETTE DI TIPO NASTRIFORME IN C.A.

"Temporary Logistics Kopron" e "Temporary Empties Area"

- larghezza della base	B	=	2.00 m
- lunghezza della fondazione	B ^l	=	5.00 m
- profondità della quota di imposta	D	=	1.00 m da p.c.
- peso specifico terreno naturale sopra falda	γ	=	1800 kg/m ³ $\approx$ 18.00 kN/m ³
- peso specifico terreno saturo	γ'	=	2100 kg/m ³ $\approx$ 21.00 kN/m ³
- coesione non drenata caratteristica	C _{uk}	=	0.50 kg/cm ² $\approx$ 50.0 kN/m ²
- coesione efficace caratteristica	C' _k	=	0.05 kg/cm ² $\approx$ 5.0 kN/m ²
- angolo d'attrito caratteristico	ϕ_K	=	23°
- modulo di deformazione edometrico	M _o	=	50.0 kg/cm ² $\approx$ 5000 kN/m ²
- modulo elastico	E _s	=	70.0 kg/cm ² $\approx$ 7000 kN/m ²
- coefficiente di Poisson	ν	=	0.40
- profondità falda freatica	D	=	-1.50 m da p.c.
- pendenza del terreno	β	=	$\sim 0^\circ$
- classe di sismicità	C _s	=	3

I calcoli delle pressioni ammissibili sono stati eseguiti utilizzando l'equazione di **Terzaghi** per **fondazioni superficiali dirette di tipo nastriforme in c.a.**, con la condizione a breve termine dove $C_u \neq 0$ e $\phi = 0$ (condizione più gravosa).

Considerando, inoltre, un fattore di sicurezza **Fs = 3** si ottengono i seguenti risultati:

Pressione ammissibile Q_{amm} (Verifica a breve termine $C_u \neq 0$ e $\varphi = 0$)		
Quota di imposta	Pressione limite	Pressione ammissibile
- 1.00 m da p.c.	3.00 kg/cm ² $\approx$ 300 kN/m ²	1.00 Kg/cm ² $\approx$ 100.0 kN/m ²

Si sottolinea che la pressione ammissibile sul terreno risulta pari a **$Q_{amm} = 1.00 \text{ kg/cm}^2 \approx 100.0 \text{ kN/m}^2$** , ma ai fini di contenere i cedimenti sul terreno, in quanto al di sotto del primo strato di argilla limosa mediamente consistente è presente un livello di argilla limosa a scarsa consistenza a partire dalla profondità di -3.50/-4.00 m da p.c.; si è scelto di applicare sul terreno un carico pari a **$Q = 0.80 \text{ kg/cm}^2 \approx 80.0 \text{ kN/m}^2$** . Tale assunzione sarà, come sopra descritto, da verificare con ulteriori indagini una volta ricevuti i progetti definitivi delle strutture da realizzare nell'area oggetto di indagine.

Tale assunzione è confermata dalle risultanze di precedenti indagini geognostiche illustrate nella **Tav. n. 6**, tratta dal PSC del Comune di Sant'Agata Bolognese (BO).

3.3 VERIFICA DEI CEDIMENTI DA CPT

È stato eseguito il calcolo della distribuzione delle tensioni indotte al terreno di fondazione dagli interventi in progetto secondo il metodo di Newmark (**Allegato n. 2**).

Il metodo di Newmark si basa sul presupposto che il terreno di fondazione possa essere assimilato ad uno spazio semi-infinito a comportamento perfettamente elastico, omogeneo e isotropo.

Per la verifica dei cedimenti sono stati considerati i parametri geotecnici emersi dall'elaborazione della prova penetrometrica CPT eseguita ed i carichi applicati sul terreno ipotizzati sono illustrati nella tabella che segue. Tutto ciò premesso, utilizzando il *metodo di calcolo di Steinbrenner per gli strati coesivi*, sono stati ottenuti i seguenti risultati:

CALCOLO DEI CEDIMENTI IMMEDIATI SECONDARI E DI CONSOLIDAZIONE	
Quota di imposta D = - 1.00 m da piano campagna	
Carico applicato sul terreno $\Delta P = 0.80 \text{ kg/cm}^2 \approx 80 \text{ kN/m}^2$	
Metodo di calcolo dei cedimenti degli strati coesivi Steinbrenner	
Cedimento della fondazione	S = 2.31 cm
Cedimento totale strati coesivi	S = 2.31 cm
Cedimento totale terreno di fondazione	S = 2.31 cm

3.4 VERIFICA DEI CEDIMENTI DA CPTU

Le verifiche dei cedimenti primari e secondari attesi sulle fondazioni sono stati calcolati anche sulla base dei dati ottenuti sulle verticali delle prove penetrometriche statiche con piezocono CPTU eseguite nell'area di realizzazione della "Warehouse" e del "Paintshop" (**Allegato n. 2**): le verifiche sono state effettuate mediante software CPeT – IT v. 1.7.4.13 prodotto da GeoLogisMiki – Geotechnical Software, in accordo con il metodo edometrico.

I cedimenti primari sono stati calcolati con la seguente formula:

$$S = \sum \frac{\Delta \sigma_v}{M_{CPT}} \Delta z$$

- $\Delta \sigma_v$ è la tensione indotta nel terreno, alla profondità z, dalla pressione di contatto della fondazione;
- M_{CPT} è il modulo edometrico, a deformazione laterale impedita, ricavato dalle CPTU e relativa allo strato i-esimo;
- Δz rappresenta lo spessore dello strato i-esimo in cui è stato suddiviso lo strato compressibile e per il quale si conosce il modulo edometrico.

I cedimenti secondari con la formula riportata di seguito, in relazione ad un periodo di riferimento di 12 mesi:

$$S = C\alpha \cdot \Delta z \cdot \log(t)$$

- $C\alpha$ coefficiente di consolidazione secondaria

Le verifiche, visibili in **Allegato n. 2**, sono state effettuate, in questo caso, nell'ipotesi sia di fondazione RIGIDA che nell'ipotesi di fondazione ELASTICA, su fondazione nastriforme in muratura, con un carico applicato pari a $\Delta P = 0.80 \text{ kg/cm}^2 \approx 80 \text{ kN/m}^2$.

I risultati sono i seguenti:

CPTU n. 2

	ELASTICA	RIGIDA
PRIMARI	2.39 cm	1.69 cm
SECONDARI	0.42 cm	0.39 cm
TOTALI	2.82 cm	2.09 cm

CPTU n. 3

	ELASTICA	RIGIDA
PRIMARI	2.96 cm	1.99 cm
SECONDARI	0.54 cm	0.46 cm
TOTALI	3.50 cm	2.45 cm

Si rammenta che sia nel caso della CPT che della CPTU i cedimenti calcolati sono teorici e dovranno essere verificati in fase di approfondimento delle indagini in seguito all'ottenimento dei disegni di progetto definitivi.

3.4 MODULO DI SOTTOFONDO

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

Il parametro k è detto costante di sottofondo. Come è noto, k non dipende solo dal terreno, ma anche dai carichi applicati, dalle proprietà del terreno, dalla forma e dimensioni della fondazione. Utilizzando la Formula di Bowles (1982):

$$k \text{ (kN/mc)} = 40 \cdot Q_{\text{lim effettivo applicato}} \cdot F_c$$

dove $F_c = 2.54 \text{ cm}$ / cedimento della fondazione (in cm) e dove $Q_{\text{lim effettivo applicato}} = 3 \cdot \Delta P$ (incremento di carico sul terreno); quindi, nel nostro caso, $3 \cdot 0.80 \text{ kg/cm}^2 = 3 \cdot 80 \text{ kN/m}^2 = 2.40 \text{ kg/cm}^2 = 240 \text{ kN/m}^2$, e considerando un cedimento di riferimento pari a $S = 2.31 \text{ cm}$, si ottengono i valori di costante di Winkler riassunti nella tabella seguente:

Modulo di sottofondo		
Cedimento di riferimento	Carico applicato sul terreno	Costante di Winkler
$S = 2.31 \text{ cm}$	$\Delta P = 0.80 \text{ kg/cm}^2 \approx 80 \text{ kN/m}^2$	$1.06 \text{ kg/cm}^3 \approx 10600 \text{ kN/m}^3$

4. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO

4.1. SISMICITÀ DELL'AREA

Con l'entrata in vigore del **D.M. 14/01/2008** recante "Nuove Norme tecniche per le costruzioni", il Comune di Sant'Agata Bolognese (BO) è stato classificato in **classe di sismicità 3**.

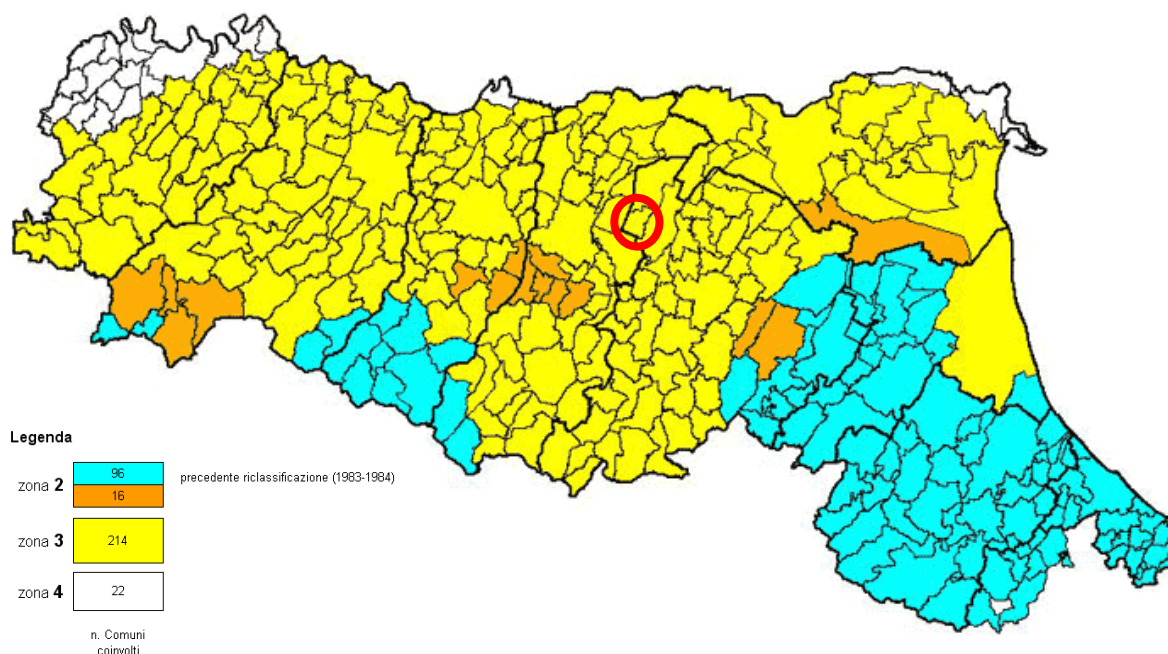


Fig. 4.1: Classificazione sismica vigente dei comuni della regione Emilia-Romagna ed ubicazione del territorio comunale di Sant'Agata Bolognese (BO).

Sulla base della nuova normativa sismica per gli edifici, sopracitata, secondo le indagini geofisiche eseguite in sito si classifica il terreno di fondazione come appartenente alla **categoria C**, corrispondente a *depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine di media consistenza con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u30} < 250$ KPa nei terreni a grana fine).*

Ora, sulla base dei contenuti del **D.M. 14/01/2008** "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" è stato definito, per il sito in studio, un parametro di accelerazione massima attesa a_g , in relazione ad un tempo di riferimento T_R stimato di **475 anni (SLV)** e considerando la classe d'uso pari a **II**, per l'area in oggetto, identificata dalle seguenti

coordinate geografiche (Sistema di riferimento **ED50**): Latitudine: 44.657038°, Longitudine 11.120580°, tale parametro è risultato pari ad **a_g attesa = 0.161_g**

Stato Limite				
	Tr [anni]	a_g [g]	F_o	T_c^* [s]
Operatività (SLO)	30	0,048	2,479	0,255
Danno (SLD)	50	0,059	2,513	0,270
Salvaguardia vita (SLV)	475	0,161	2,553	0,276
Prevenzione collasso (SLC)	975	0,212	2,515	0,282
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,013	0,016	0,056	0,091
kv	0,006	0,008	0,028	0,045
Amax [m/s²]	0,700	0,865	2,283	2,870
Beta	0,180	0,180	0,240	0,310

Tab. 4.1: Parametri sismici per l'area di interesse desunti dal programma *GEO STRU PS Parametri Sismici*

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 C si avrà:

$$1,00 \leq S_s = 1,70 - (0,60 \cdot F_o \cdot a_g/g) \leq 1,50 \quad (4.1)$$

dove:

F_o = Fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2.2; per il sito oggetto di studio tale valore, calcolato mediante l'utilizzo di apposito software, risulta pari a **2.553**;

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

S_s = Coefficiente di amplificazione stratigrafica o fattore stratigrafico, calcolato tramite la relazione (4.1); per il sito oggetto di studio risulta pari a **1.45**.

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 ai valori del fattore stratigrafico S_s e del fattore topografico S_t si procede al calcolo dell' accelerazione massima orizzontale A_{max} :

$$A_{max} = S_s \cdot S_t \cdot a_g = 1.45 \cdot 1 \cdot 0.161g = 0.233g$$

4.2. INDAGINI GEOFISICHE

Per la classificazione sismica dell'area di studio, sono state eseguite le seguenti indagini geofisiche:

- **n. 1 indagine sismica MASW;**
- **n. 1 indagine sismica Re.Mi.;**
- **n. 1 indagine sismica ESAC;**
- **n. 3 indagini sismiche passive HVSR.**

Nell'allegato n. 3, 4, 5, 6 sono visibili i grafici e i risultati delle indagini sismiche MASW, Re.Mi. ESAC e HVSR.

4.2.1. Indagini sismiche con Metodo MASW.

Per potere classificare l'area da un punto di vista sismico, come richiesto dal D.M. 14 Gennaio 2008, è stata eseguita in sito **n. 1 indagine sismica con tecnica MASW**.

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

I dati sono stati registrati mediante un sismografo GEODE della Geometrics a 24 canali. La procedura di elaborazione adottata per la classificazione dei profili del suolo di fondazione ha utilizzato la tecnica MASW per la determinazione dello spettro di velocità tramite l'inversione della curva di dispersione, con l'utilizzo del *software winMASW 4.3*.

La procedura MASW può quindi sintetizzarsi in tre stadi distinti:

- Acquisizione dei dati di campo;
- Estrazione della curva di dispersione;
- Inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs, che descrive la variazione di Vs con la profondità.

Determinazione del parametro V_{s30} ai sensi del D.M. 14/01/2008

Le elaborazioni presenti in **Allegato n. 2**, restituiscono dei grafici che riportano la curva di dispersione del segnale, dalla cui inversione è stato calcolato il Modello "Sismo – Stratigrafico", espresso in termini di velocità delle onde di taglio (Vs), con un'immagine a colori che mostra i valori di lettura delle velocità/frequenza ed il profilo delle velocità delle onde di taglio con l'indicazione della V_{s30} calcolata, espressa in metri/secondo.

Tale valore, nell'area indagata, per la classificazione sismica del terreno di fondazione, seguendo le indicazioni del D.M. 14 Gennaio 2008, sono risultati pari a:

MASW	$V_{s30} = 215\text{m/s}$	Categoria C
-------------	---	--------------------

Quindi, secondo la classificazione del suolo, sulla base della nuova normativa sismica per gli edifici (**D.M. 14 Gennaio 2008**) e in base ai dati ottenuti dalle indagini geofisiche sopracitate

(Allegato n. 2), si conferma l'appartenenza del terreno di fondazione indagato alla **categoria C**, corrispondente a "DEPOSITI DI TERRENI A GRANA GROSSA MEDIAMENTE ADDENSATI O TERRENI A GRANA FINA MEDIAMENTE CONSISTENTI CON SPESSORI SUPERIORI A 30 METRI, CARATTERIZZATI DA UN GRADUALE MIGLIORAMENTO DELLE PROPRIETÀ MECCANICHE CON LA PROFONDITÀ E DA VALORI DI V_{s30} COMPRESI TRA **180 m/s** E **360 m/s** (OVVERO CON VALORI DI $15 < N_{SPT,30} < 50$ NEI TERRENI A GRANA GROSSA E $70 < C_{u30} < 250$ kPa NEI TERRENI A GRANA FINA)".



Foto.4.2.1: Ripresa fotografica dello stendimento sismico MASW eseguito.

4.2.2 Indagine sismica passiva con metodo dei microtremitori (Re.Mi. - ESAC)

Per estendere la caratterizzazione sismica del sottosuolo e raggiungere un'elevata coerenza dei dati acquisiti nell'indagine MASW precedentemente descritta, sono state svolte n. 2 acquisizioni di rumore sismico ambientale disperso attraverso array di registrazione lineari. Tale tecnica, conosciuta secondo la metodologia Re.Mi. (Louie, 2001), permette di

campionare le frequenze più basse, caratterizzanti le porzioni più profonde del sottosuolo. La tecnica Re.Mi. sfrutta la capacità di poter mettere in relazione le velocità di fase e le frequenze, relative alle onde di taglio, con le forme di dispersione delle onde di superficie. I microtremori sismici naturali determinano, in corrispondenza della superficie, la formazione di onde superficiali di Rayleigh. L'indagine Re.Mi è stata eseguita mediante l'ausilio di sismografo GEODE (Geometrics) con 24 canali di acquisizione. L'array di misura è stato costituito attraverso la disposizione di n. 24 geofoni verticali con frequenza propria di vibrazione pari a 4.5 Hz, con *offset* geofonico pari a 5.00 m.

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

La metodologia ESAC (*Extended spatial autocorrelation*) deriva dall'implementazione della tecnica SPAC, basata sul presupposto dell'esistenza di un'onda stazionaria nel tempo e nello spazio (Aki, 1957). Per quanto riguarda la componente verticale dei microtremori, considerando uno stendimento circolare avente raggio noto r , il coefficiente di autocorrelazione azimutale medio è definito come $\rho(f, r)$ e calcolabile. Durante la fase di determinazione delle velocità di fase $c(f)$ nel metodo SPAC, viene utilizzato un valore costante di r . Così facendo, il coefficiente di autocorrelazione a una determinata frequenza f è collegato alla velocità di fase delle onde di Rayleigh $c(f)$ attraverso la funzione di Bessel di primo tipo e ordine zero $J_0(\)$:

$$\rho(f, r) = J_0 \left(\frac{2\pi f r}{c(f)} \right)$$

La metodologia ESAC deriva dalla metodologia SPAC utilizzando un valore fisso di r invece che di f (Ohori et al., 2002; Okada, 2003). Il coefficiente di autocorrelazione viene adattato ad una determinata frequenza f secondo la funzione di Bessel $J_0(\)$ che dipende dalla distanza

tra le stazioni dell'array r_{0n} rappresentata dallo spazio compreso tra la stazione base e le successive stazioni. Così facendo il coefficiente di autocorrelazione è determinato secondo la seguente formulazione:

$$\rho_{0n}(f, r_{0n}) = J_0 \left(\frac{2 \pi f r_{0n}}{c(f)} \right) \quad n = 1, 2, 3, \dots, N$$

Nella seguente equazione l'unica incognita è rappresentata dalla velocità di fase $c(f)$, che può essere ricavata dall'inversione dei coefficienti di autocorrelazione individuati. Due assunzioni vengono fatte per la metodologia in oggetto: la prima è rappresentata dall'assunzione che i microtremori delle onde di Rayleigh vibrino principalmente secondo il modo fondamentale mentre, la seconda assunzione, è che il sottosuolo sia stratificato secondo giacitura parallela rispetto all'array stesso di misura.

Il metodo ESAC infatti non è in grado di discriminare i modi differenti (fondamentale o superiori) ma individua solamente il modo di vibrazione principale (Okada, 2003). Rispetto al metodo SPAC che predilige array di misura circolari, la peculiarità del metodo ESAC risiede nella possibilità di utilizzare array a geometria 2D variabile (forme a L, a T etc). Il vantaggio principale della tecnica ESAC, rispetto alle comuni indagini Re.Mi., si colloca nella possibilità di estrazione delle velocità indipendentemente dalla direzione della sorgente (Asten, 2001). Così facendo il picking dello spettro viene eseguito al massimo dell'energia dello spettro, e non più al minimo come nella tecnica Re.Mi..

A seguito dell'elaborazione delle indagini Re.Mi. ed ESAC eseguite sono stati ottenuti i seguenti valori di VS_{30} :

INDAGINE	VS_{30} (m/s)
Re.Mi.	200
ESAC	225

Pertanto, come già individuato a seguito dell'indagine MASW precedentemente illustrata, secondo la classificazione del sottosuolo imposta dal DM 14/01/2008 NNTC, si definisce il terreno di fondazione dell'area studiata come appartenente alla appartenente alla **categoria C**, corrispondente a "DEPOSITI DI TERRENI A GRANA GROSSA MEDIAMENTE ADDENSATI O TERRENI A GRANA FINA MEDIAMENTE CONSISTENTI CON SPESSORI SUPERIORI A 30 METRI, CARATTERIZZATI

DA UN GRADUALE MIGLIORAMENTO DELLE PROPRIETÀ MECCANICHE CON LA PROFONDITÀ E DA VALORI DI V_{s30} COMPRESI TRA **180 m/s** E **360 m/s** (OVVERO CON VALORI DI **$15 < N_{SPT,30} < 50$** NEI TERRENI A GRANA GROSSA E **$70 < C_{u30} < 250$ kPa** NEI TERRENI A GRANA FINA)".



Foto 4.2.2: Ripresa fotografica dello stendimento sismico Re.Mi. eseguito.



Foto 4.2.3: Ripresa fotografica dello stendimento sismico ESAC eseguito.

4.2.3. Indagini sismiche passive con Metodo HVSR.

In data **20/05/2015** sono state eseguite presso l'area in studio **n. 3 indagini sismiche passive HVSR – Metodo di Nakamura.**

La caratterizzazione sismica dei terreni tramite la tecnica di **indagine sismica passiva HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio – Metodo di Nakamura)** è finalizzata all'individuazione delle frequenze caratteristiche di **risonanza di sito**. Esse sono correlabili ai cambi litologici presenti sia all'interno della copertura che nell'ammasso roccioso.

L'utilizzo di algoritmi di calcolo finalizzati ad una modellizzazione sintetica delle **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 energizzazione esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque. Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un **sismometro digitale** della ditta *Sara Electronics* di Perugia modello **SR04HS**, che rappresenta la nuova generazione di strumenti ultra-leggeri e ultra-compatti in alta risoluzione adatto a tali misurazioni.

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 indagini sismiche HVSR non è stato riscontrato nessun picco di frequenza caratteristico del sito.

4.3. CALCOLO DELLO STATO LIMITE ULTIMO (SLU) – PAR.6.4 DM 14/01/08

In relazione a quanto esposto nel D.M. 14 Gennaio 2008 “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, si procede alla verifica nei confronti degli stati limite ultimi (**SLU**).

Nelle verifiche agli stati limite si distinguono:

- EQU: stato limite di equilibrio come corpo rigido;
- STR: stato limite di resistenza della struttura compresi gli elementi di fondazione;
- GEO: stato limite di resistenza del terreno.

Per ogni stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione:

$$Ed \leq Rd$$

Dove: Ed = valore di progetto dell'azione o degli effetti delle azioni;

Rd = valore di progetto della resistenza del terreno.

Per quanto riguarda le azioni, i relativi coefficienti parziali γ_F sono indicati nella seguente tabella:

CARICHI	EFFETTO	Coeff. Parziale γ_F (o γ_F)	EQU	(A1)	(A2)
---------	---------	--	-----	------	------

				STR	GEO
Permanenti	Favorevole	Y _{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali ⁽¹⁾	Favorevole	Y _{G2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	Y _{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
⁽¹⁾ Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti					

Tab. n. 4. 3.1: Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.

Nella **Tab. n. 4.3.1** il significato dei simboli è il seguente:

γ_{G1} = coefficiente parziale del peso proprio della struttura;

γ_{G2} = coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;

γ_{Qi} = coefficiente parziale delle azioni variabili.

Si precisa che il terreno e l'acqua costituiscono carichi permanenti (strutturali) quando, nella modellazione utilizzata, contribuiscono al comportamento dell'opera con le loro caratteristiche di peso, resistenza e rigidità.

La **resistenza** R_d del terreno può essere determinata:

- 1) in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, diviso per il valore del coefficiente parziale γ_M specificato nella seguente tabella e tenendo conto, ove necessario, dei coefficienti parziali γ_R relativi al particolare tipo di opera:

Parametro cui applicare il coefficiente parziale		Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Descrizione	Simbolo			
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,00	1,40
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,00	1,00

Tab. 4.3.2: Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno.

- 2) in modo analitico, con riferimento a correlazioni con i risultati delle prove in sito, tenendo conto dei coefficienti parziali γ_R relativi al particolare tipo di opera;
- 3) sulla base di misure dirette effettuate su prototipi, tenendo conto dei coefficienti parziali γ_R relativi al particolare tipo di opera.

Si precisa che per le rocce ed i materiali lapidei, al valore caratteristico della resistenza a compressione uniassiale q_u , deve essere applicato un coefficiente parziale $\gamma_{qu} = 1,6$.

Per gli ammassi rocciosi e per i terreni a struttura complessa, nella valutazione della resistenza caratteristica occorre tener conto della natura e delle caratteristiche geometriche e di resistenza delle discontinuità strutturali.

La verifica nei confronti degli stati limite ultimi viene effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3).

Gli stati limite ultimi delle fondazioni superficiali si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e al raggiungimento degli elementi strutturali che compongono la fondazione stessa.

Le verifiche devono essere effettuate almeno nei confronti dei seguenti stati limite:

a) SLU di tipo geotecnico (GEO):

- Collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno;
- Collasso per scorrimento sul piano di posa;
- Stabilità globale.

b) SLU di tipo strutturale (STR):

- Raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali, accertando che la condizione $E_d \leq R_d$ sia soddisfatta per ogni stato limite considerato.
- Stabilità globale, utilizzando la combinazione "2" (A2+M2+R2) e tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali per le azioni, per i parametri geotecnici e per le resistenze globali

c) Le rimanenti verifiche devono essere effettuate seguendo almeno uno dei seguenti approcci (ed utilizzando i valori dei coefficienti parziali):

- **Approccio 1:** Combinazione 1 (A1+M1+R1)
Combinazione 2 (A2+M2+R2)
- **Approccio 2:** Combinazione (A1+M1+R3)

VERIFICA	COEFF.PARZIALE (R1)	COEFF.PARZIALE (R2)	COEFF.PARZIALE (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,8$	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$	$\gamma_R = 1,1$

Tab. 4.3.3: Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali.

Fattori correttivi sismici: Paolucci e Pecker (1997)

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

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

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

- a_{MAX} (ag/g): **0.233g** (relativa a SLV ; $T_r = 475$ anni);
- coefficiente intensità sismica del terreno K_h : **0.056**

Nel nostro caso specifico, per quanto riguarda le **opere di fondazione ipotizzate**, nelle verifiche di sicurezza agli stati limite ultimi è stato calcolato lo **SLU sia a breve che a lungo termine** per un futuro ipotetico fabbricato, utilizzando i seguenti approcci di calcolo:

1) Approccio 1 - combinazione 2 (A2 + M2 + R2);

2) Approccio 2 - combinazione 1 (A1 + M1 + R3).

Utilizzando, quindi, **l'Approccio 1, combinazione 2 (A2+M2+R2)**, lo stato limite ultimo nel caso in esame, ottenuto in condizioni “**non drenate**” dove **$C_u \neq 0$ e $\varphi = 0$** , applicando il coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata, secondo la seguente relazione **$C_{ud} = C_{uk} / 1.4$** , dove **C_{ud} = coesione non drenata di progetto** e **C_{uk} = coesione non drenata caratteristica**, sarà pari a:

IPOTESI di FABBRICATO - CONDIZIONE STATICA (Terzaghi)
Carico limite ultimo SLU - Breve Termine – Condizioni non drenate

Profondità di imposta	Dimensioni della fondazione	Carico limite ultimo SLU
		F.S. = 1.8
- 1.00 m da p.c.	2.00 m x 5.00 m	1.23 kg/cm ² $\approx$ 123 kN/m ²

Utilizzando sempre **l'Approccio 1, combinazione 2 (A2 + M2 + R2)** si è calcolato lo stato limite ultimo, in condizioni “**drenate**”, dove **$C' \neq 0$ e $\varphi' \neq 0$** , considerando un **angolo di attrito caratteristico** del valore **$\varphi'_k = 23^\circ$** . Applicando il coefficiente di riduzione parziale per la tangente dell'angolo di attrito secondo la relazione: **$\tan \varphi'_d = \tan \varphi'_k / 1.25$** , dove **$\varphi'_d$ è l'angolo d'attrito di progetto**, ne deriva il seguente valore ridotto: **$\varphi'_d \approx 19^\circ$** . Quindi, utilizzando la riduzione parziale per la tangente dell'angolo di attrito e tenendo conto anche

della coesione efficace, secondo la formula di Terzaghi si ottiene, per l'ipotetico fabbricato, uno stato limite ultimo pari a:

IPOTESI di FABBRICATO - CONDIZIONE STATICA (Terzaghi)
Carico limite ultimo SLU - Lungo Termine – Condizioni drenate

Profondità di imposta	Dimensioni della fondazione	Carico limite ultimo SLU
		F.S. = 1.8
- 1.00 m da p.c.	2.00 m x 5.00 m	1.40 kg/cm ² ≈ 140 kN/m ²

IPOTESI di FABBRICATO - CONDIZIONE SISMICA PSEUDOSTATICA (Paolucci e Pecker)

Carico limite ultimo SLU - Lungo Termine – Condizioni drenate

Profondità di imposta	Dimensioni della fondazione	Carico limite ultimo SLU
		F.S. = 1.8
- 1.00 m da p.c.	2.00 m x 5.00 m	1.33 kg/cm ² ≈ 133 kN/m ²

Utilizzando invece **l'Approccio 2, combinazione (A1+M1+R3)** il carico limite ultimo per l'ipotetico fabbricato, ottenuto in condizioni “**non drenate**” dove **Cu ≠ 0** e **φ = 0**, applicando il coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata secondo la seguente relazione **Cud = Cuk / 1.0**, per cui si avrà **Cud = Cuk**, dove **Cud = coesione non drenata di progetto** e **Cuk = coesione non drenata caratteristica**, sarà pari a:

IPOTESI di FABBRICATO - CONDIZIONE STATICA (Terzaghi)
Carico limite ultimo SLU - Breve Termine – Condizioni non drenate

Profondità di imposta	Dimensioni della fondazione	Carico limite ultimo SLU
		F.S. = 2.3
- 1.00 m da p.c.	2.00 m x 5.00 m	1.32 kg/cm ² ≈ 132 kN/m ²

Per quanto riguarda il carico limite ultimo in condizioni “**drenate**”, dove **C' ≠ 0** e **φ' ≠ 0**, è stato considerato, sempre seguendo **l'Approccio 2, combinazione (A1 + M1 + R3)** un **angolo di attrito caratteristico** del valore **φ'k = 23°**. Applicando il coefficiente di riduzione parziale per la tangente dell'angolo di attrito secondo la relazione: **tg φ'd = tg φ'k / 1.0**, dove **φ'd** è l'**angolo d'attrito di progetto**, ne deriva, essendo **φ'k = φ'd** il seguente valore: **φ'd = 23°**. Quindi secondo la formula, tenendo conto anche della coesione efficace di Terzaghi si ottiene, per l'intervento in progetto uno stato limite ultimo pari a:

IPOTESI di FABBRICATO - CONDIZIONE STATICA (Terzaghi)
Carico limite ultimo SLU - Lungo Termine – Condizioni drenate

Profondità di imposta	Dimensioni della fondazione	Carico limite ultimo SLU
-----------------------	-----------------------------	--------------------------

		F.S. = 2.3
- 1.00 m da p.c.	2.00 m x 5.00 m	1.85 kg/cm ² $\approx$ 185 kN/m ²

IPOTESI di FABBRICATO - CONDIZIONE SISMICA PSEUDOSTATICA (Paolucci e Pecker)

Carico limite ultimo SLU - Lungo Termine – Condizioni drenate

Profondità di imposta	Dimensioni della fondazione	Carico limite ultimo SLU
		F.S. = 1.8
- 1.00 m da p.c.	2.00 m x 5.00 m	1.78 kg/cm ² $\approx$ 178 kN/m ²

4.4 MICROZONAZIONE SISMICA: Rischio Sismico

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:

Indagini geologica e geomorfologia classica:

- 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 Sant'Agata Bolognese presenta un valore di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo (cioè per periodo $T=0$) $a_{refg} = 0,159$ (espressa sempre in frazione dell'accelerazione di gravità).

E' altresì stato da Noi calcolato, sulla base dei contenuti del **D.M. 14/01/2008** "Nuove norme tecniche per le costruzioni" il parametro di accelerazione massima attesa a_g in relazione ad un tempo di riferimento T_R stimato di 475 anni (SLV), identificato (**sistema ED 50**) dalle seguenti coordinate geografiche: Latitudine: 44.657038°, Longitudine 11.120580°, tale parametro è risultato pari ad $a_{g\text{ attesa}} = 0.233g$.

4.5 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.

Dalla consultazione della tavola QC. 6t/t7b "Pericolosità sismica locale - effetti di sito" degli Elaborati cartografici di Piano del PSC vigente per le Terre d'Acqua, comprensive del Comune di Sant'Agata Bolognese, riportata nella **Tavola n. 7**, è emerso che l'area studiata ricade in una zona classificata come "*Probabilità di liquefazione dei terreni assente (metodo Robertson-Wride)*".

Dalla consultazione della tavola di variante al PTCP "Aree suscettibili di effetti locali" degli Elaborati cartografici di Piano del PTCP del 2013 vigente per la Provincia di Bologna,

riportata nella **Tavola n. 8**, è emerso che l'area studiata ricade in una zona classificata come "Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziale liquefazione".

In relazione alla valutazione della microzonazione sismica (art.16 - L.R. 20/2000), si procede con gli approfondimenti di **Il livello per la valutazione di amplificazione litologica e per il potenziale liquefazione.**

5.2 Secondo livello di approfondimento: microzonazione sismica

Per il secondo livello di analisi, per la definizione dei fattori di amplificazione locali, si fa riferimento, secondo quanto indicato dalla D.R. n. 122/2007, alle Vs ricavate dalla campagna geognostica realizzata in sito e alle tabelle regionali e ha determinato cautelativamente che il sottosuolo appartiene all'ambito di **PIANURA 1 - ambito di pianura caratterizzato da profilo stratigrafico costituito da presenza di potenti orizzonti di ghiaie (anche decine di metri) e da alternanza di sabbie e peliti, con substrato poco profondo stimato a profondità inferiore a 100 m da p.c.**

Per l'area oggetto di approfondimento, i fattori di amplificazione sismica rispetto ad un suolo di riferimento sono stati ricavati dalle tabelle presenti nell'allegato A2 della D.R. n. 122/2007 in funzione dell'ambito e dei valori di $V_{s,30}$.

I risultati ottenuti dai nostri studi sono invece visibili in **Tav. n. 9 "Carta di Microzonazione sismica"** presente in allegato, dove è riassunta la sintesi dei risultati delle indagini per la definizione del modello sismostratigrafico e dei profili di velocità di propagazione delle onde di Taglio Vs.

La velocità delle onde di taglio S nei primi 30 m di sottosuolo $V_{s,30}$ è risultata pari a:

Indagine sismica MASW	$V_{s,30} = 215 \text{ m/s}$
Indagine sismica Re.Mi	$V_{s,30} = 200 \text{ m/s}$
Indagine sismica ESAC	$V_{s,30} = 225 \text{ m/s}$

Tali valori sono caratteristici della "categoria C"; facendo poi riferimento alle tabelle dell'ambito **PIANURA 1** si sono ricavati i seguenti fattori di amplificazione:

F.A. P.G.A. = 1,7

F.A. SI (0,1<T0<0,5) = 1,9

F.A. SI (0,5<T0<1,0) = 2,6

4.8 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.

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 riliquifazione.

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 CPTU, 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 mobilitabile 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/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

MSF = coefficiente correttivo funzione della magnitudo del sisma.

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

$$R = 0.883 \left[\frac{(q_{c1n})_{cs}}{1000} \right] + 0.05 \quad \text{per } (q_{c1n})_{cs} < 50 \text{ e}$$
$$R = 93 \left[\frac{(q_{c1n})_{cs}}{1000} \right]^3 + 0.08 \quad \text{per } 50 \leq (q_{c1n})_{cs} < 160.$$

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

Viene considerato **non** liquefacibile un deposito in cui sia $F_s > 1$.

Calcolo dell'indice di liquefacibilità

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:

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

dove:

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

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

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	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 eseguita considerando la prova penetrometrica statica CPT n. 1 è stata eseguita secondo il metodo di Robertson e Wride (1997) considerando una magnitudo di riferimento $M = 6.14$, un'accelerazione massima orizzontale $A_{max} = 0.233_g$ (sulla base delle N.N.T.C) e la soggiacenza della falda freatica alla quota $D_w = -1.50$ m da p.c..

La verifica alla liquefazione per l'area in oggetto a partire dalle prove penetrometriche CPTU n. 2 e CPTU n. 3 eseguita secondo il metodo di Robertson (1998) è stata effettuata mediante software CLiq v. 1.7.1.6 prodotto da GeoLogisMiki – Geotechnical Software.

La verifica a liquefazione è stata eseguita considerando una magnitudo di riferimento $M = 6.14$, un'accelerazione massima orizzontale $A_{max} = 0.233_g$ (calcolata sulla base delle N.N.T.C) e la soggiacenza della falda freatica alla quota $D_w = -1.00$ m da p.c. per la CPTU n. 2 e $D_w = -1.80$ m da p.c. per la CPTU n. 3.

Le verifiche alla liquefazione hanno fornito i seguenti indici **LPI** del potenziale di liquefazione:

Verticale di prova	IL
CPT n. 1	IL = 0.0 rischio di liquefazione molto basso
CPTU n. 2	IL = 1.972 rischio di liquefazione basso
CPTU n. 3	IL = 1.029 rischio di liquefazione basso

5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La presente relazione, stilata ai sensi del D.M. 14 Gennaio 2008 "Nuove Norme Tecniche per le costruzioni", è stata redatta a supporto del progetto di un Piano Urbanistico Attuativo, riguardante la trasformazione dell'Area ARP e Masterplan Automobili Lamborghini S.p.A., presso Via F. Lamborghini e Via Montirone nel Comune di Sant'Agata Bolognese (BO).

Ai sensi della D.A.L. della Regione Emilia Romagna n.112/2007 si sono eseguiti gli studi di microzonazione sismica dell'area con **approfondimenti di II livello**.

Sulla base dei dati ricavati dalle indagini geognostiche eseguite in sito si possono dare indicazioni preliminari per i futuri fabbricati da realizzare.

A tal fine si è fatta un'ipotesi di fabbricato tipo con **fondazioni nastriformi** approfondite a quota di **D = - 1.00 m da p.c.**, tenendo conto dei parametri geotecnici del primo strato del modello geotecnico schematico medio (paragrafo 3.1), si potrà considerare valida una portata ammissibile pari a **Qamm = 1.00 kg/cm² ≈ 100.0 kN/m²**.

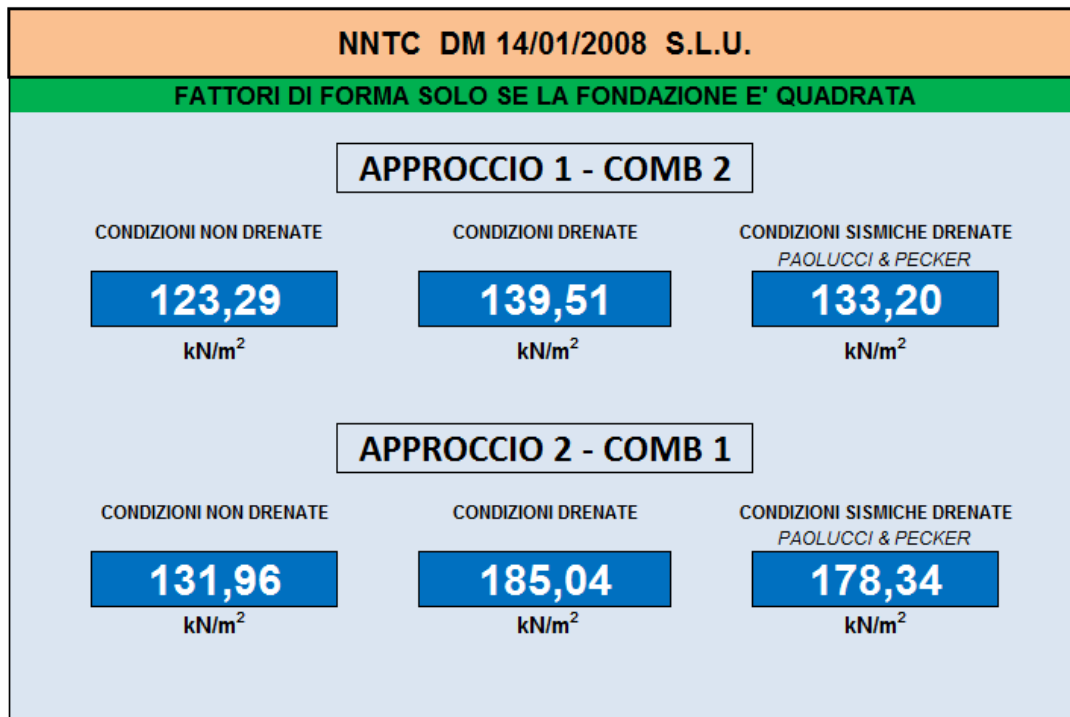
In fase esecutiva dovranno essere eseguite per ogni singolo fabbricato ulteriori e puntuali indagini geotecniche corredate delle successive relazioni geologiche e geotecniche necessarie per determinare con precisione la portata ammissibile, i cedimenti e gli SLU.

In relazione a quanto esposto nel Testo Unico Nuove Norme Tecniche per le costruzioni in zona sismica, redatto dal Ministero delle infrastrutture e dei trasporti edito nel Gennaio 2008, si è proceduto ad una **preliminare verifica** nei confronti degli stati limite ultimi (**SLU**). Per quanto riguarda le **opere di fondazione ipotizzate**, nelle verifiche di sicurezza agli stati limite ultimi è stato calcolato lo SLU **sia a breve che a lungo termine** determinato **sia in condizioni statiche che pseudostatiche** (**PAOLUCCI E PECKER [1997]**) per un ipotetico futuro fabbricato tipo, utilizzando i seguenti approcci di calcolo:

1) Approccio 1 - combinazione 2 (A2 + M2 + R2);

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

Si riassumono nella seguente tabella i valori di portanza del terreno di fondazione agli stati limite ultimi **SLU**, per ipotesi di fondazioni nastriformi in c.a. approfondite a **D = - 1.00 m da p.c.**



Le indagini sismiche MASW, Re.Mi. ed ESAC. hanno permesso di determinare la velocità delle onde sismiche di taglio nei primi 30 m, restituendo i seguenti valori:

MASW	Vs30 = 215 m/s	categoria C
Re.Mi.	Vs30 = 200 m/s	
ESAC	Vs30 = 225 m/s	

Gli spettri H/V ottenuti dall'elaborazione delle n. 3 indagini sismiche passive HVSR eseguite in sito non hanno evidenziato alcuna frequenza caratteristica di sito

In base ai risultati sopra esposti e in conformità con la nuova normativa sismica per gli edifici (D.M. 14 Gennaio 2008), si classifica il terreno di fondazione in esame come appartenente alla **categoria C**, corrispondente a *depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero con valori di $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < Cu_{30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).*

Ora, 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 ad un tempo di riferimento V_R stimato di 475 anni, per l'area in oggetto, identificata dalle

seguenti coordinate geografiche: Latitudine: 44.657038°, Longitudine 11.120580°, tale parametro è risultato pari ad **$a_g \text{ attesa} = 0.161g$**

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 il sito in classe **C** si avrà, dopo gli opportuni calcoli, in base ai valori del fattore stratigrafico e del fattore topografico ottenuti, un' accelerazione massima orizzontale **$A_{\max} = 0.233g$** .

La verifica alla liquefazione, eseguita secondo il metodo di **Robertson e Wride (1997)** sulla verticale di prova della CPT n. 1, ha fornito valore di “indice di liquefacibilità” **$IL = 0.0$** segno di un **rischio di liquefazione “molto basso”**.

La verifica alla liquefazione, eseguita secondo il metodo di **Robertson (1998)** su entrambe le verticali di prova delle CPTU n. 2 e CPTU n. 3, ha fornito valori di “indice di liquefacibilità” **$IL = 1.972$ e $IL = 1.029$** segno di un **rischio di liquefazione “basso”**.

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

Modena, 25 Maggio 2015

Dott. Geol. Pier Luigi Dallari



GEO GROUP s.r.l.

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

Tavole

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_SO Nonantola



Tav. n. 1 “Carta Corografica”
Scala 1: 25000



Area di interesse

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

[illegible]

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 “Bing Mappe”)
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

*Successione neogenico-quadernaria del margine
appenninico padano*



AES8 - Subistema di Ravenna

Ghiaie, sabbie e limi organizzate in i terrazzi
alluvionali; a tetto suoli con basso grado di
alterazione. *Olocene*

Ambiente deposizionale e litologia affiorante



Limo sabbioso - Piana alluvionale



Limo argilloso - Piana alluvionale

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 “Indagini geognostiche”

(tratta da “Bing Mappe”)

Scala grafica

Legenda



Prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT e con punta elettrica CPTU



Indagine sismica passiva HVSr



Indagine sismica MASW



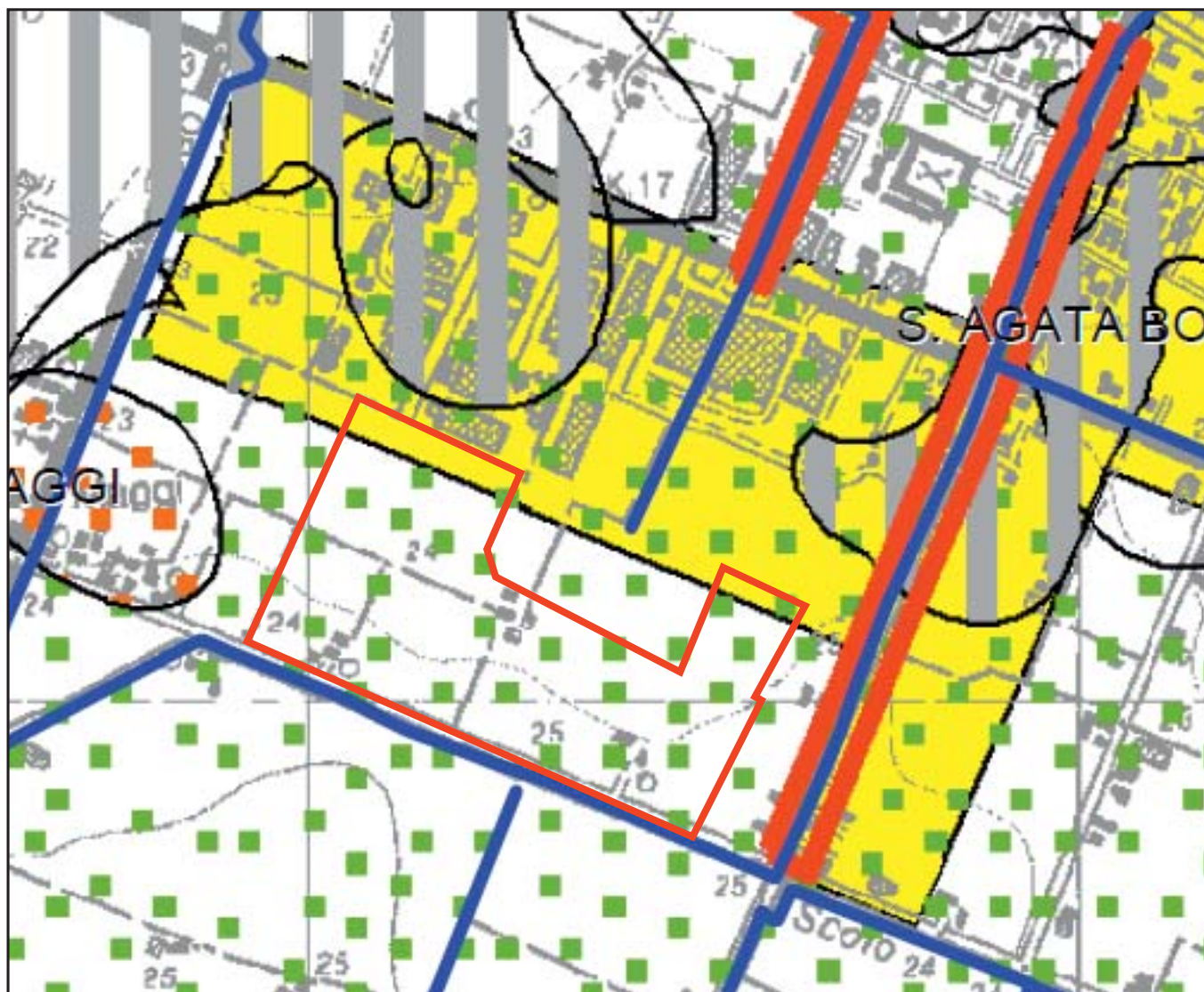
Indagine sismica Re.Mi.



Indagine sismica ESAC

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 "Emergenze, criticità, limiti e condizioni alle trasformazioni"



Scala grafica



Area di interesse

Legenda

ELEMENTI CHE ESCLUDONO LE TRASFORMAZIONI DEL TERRITORIO

- Asse dei corsi d'acqua principali
- Reticolo idrografico (Consorzio di Bonifica Reno Palata)
- Aree morfologicamente depresse o a deflusso idrico difficoltoso
- Casse di espansione
- Sprofondamenti superficiali

ELEMENTI CHE CONDIZIONANO E/O LIMITANO LE TRASFORMAZIONI DEL TERRITORIO

- Area di approfondimento su dati geognostici esistenti
- Aree con resistenza meccanica media del I° strato (1 - 4 m) < 8 kg/cm², ovvero con caratteristiche meccaniche scadenti e per le quali sono necessari in fase attuativa maggiori approfondimenti diagnostici
- Aree con caratteristiche di portanza del II° strato (4 - 7 m) e III° strato (7 - 10 m) inferiori a quelle del I° strato (1 - 4 m), ovvero aree sulle quali sono necessari in fase attuativa maggiori approfondimenti diagnostici ed attente valutazioni dei cedimenti
- Aree caratterizzate da liquefazione dei terreni molto probabile in caso di sisma (FS + 1)
- Aree morfologicamente depresse s/o a debolissima pendenza
- Critiche idrauliche (segnalazioni del Consorzio di Bonifica Reno Palata)

Vulnerabilità naturale dell'acquifero

- Estremamente elevata
- Elevata

Subsidenza totale del periodo 1983 - 1999

- 600 - 800 mm
- 800 - 1000 mm

Bacini fognari

- Aree in sofferenza idraulica non in grado di supportare ulteriori carichi idraulici, che richiedono interventi idraulici di sgravio già nello stato di fatto
- Aree in sofferenza idraulica non in grado di supportare ulteriori carichi idraulici

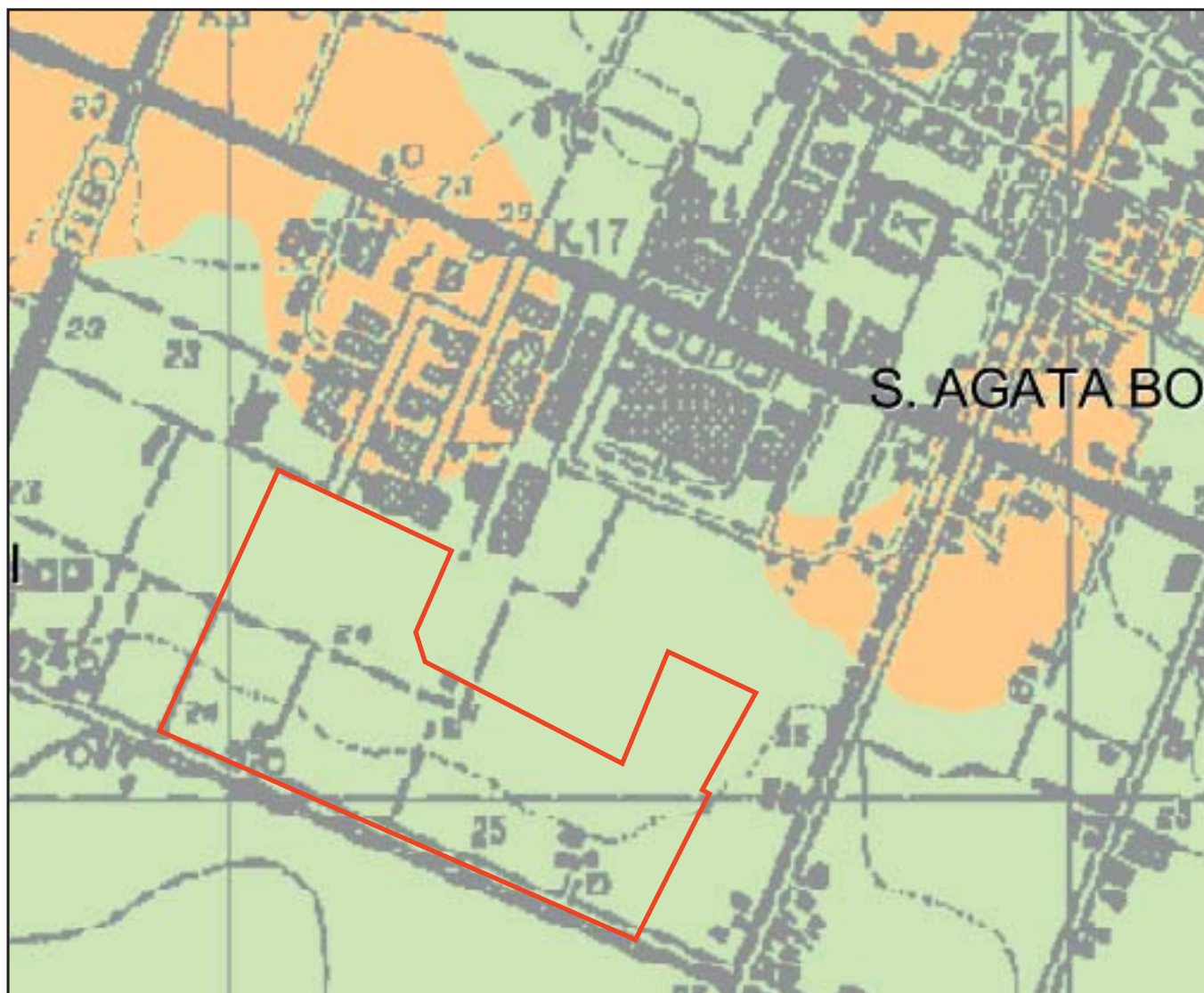
PSC TERRED'ACQUA
PUNTO SOSTITUTIVO DEL COMITATO
COMUNI DI ANZOLA DELL'EMILIA, CALDERARA DI RENO, SALA BOLOGNESE,
CREVALCORE, SANT'AGATA BOLOGNESE, SAN GIOVANNI IN PERSICETO
QUADRO CONOSCITIVO



SUOLO - SOTTOSUOLO - ACQUE
EMERGENZE, CRITICITÀ, LIMITI E
CONDIZIONI ALLE TRASFORMAZIONI
QC. 6/T2

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 "Pericolosità sismica locale -effetti di sito-"

Scala grafica



Legenda

Probabilità di liquefazione dei terreni (metodo Robertson - Wride)

 Liquefazione molto probabile ($FS < 1$)

 Liquefazione possibile ($1 \leq FS < 1,25$)

 Liquefazione assente ($FS \geq 1,25$)

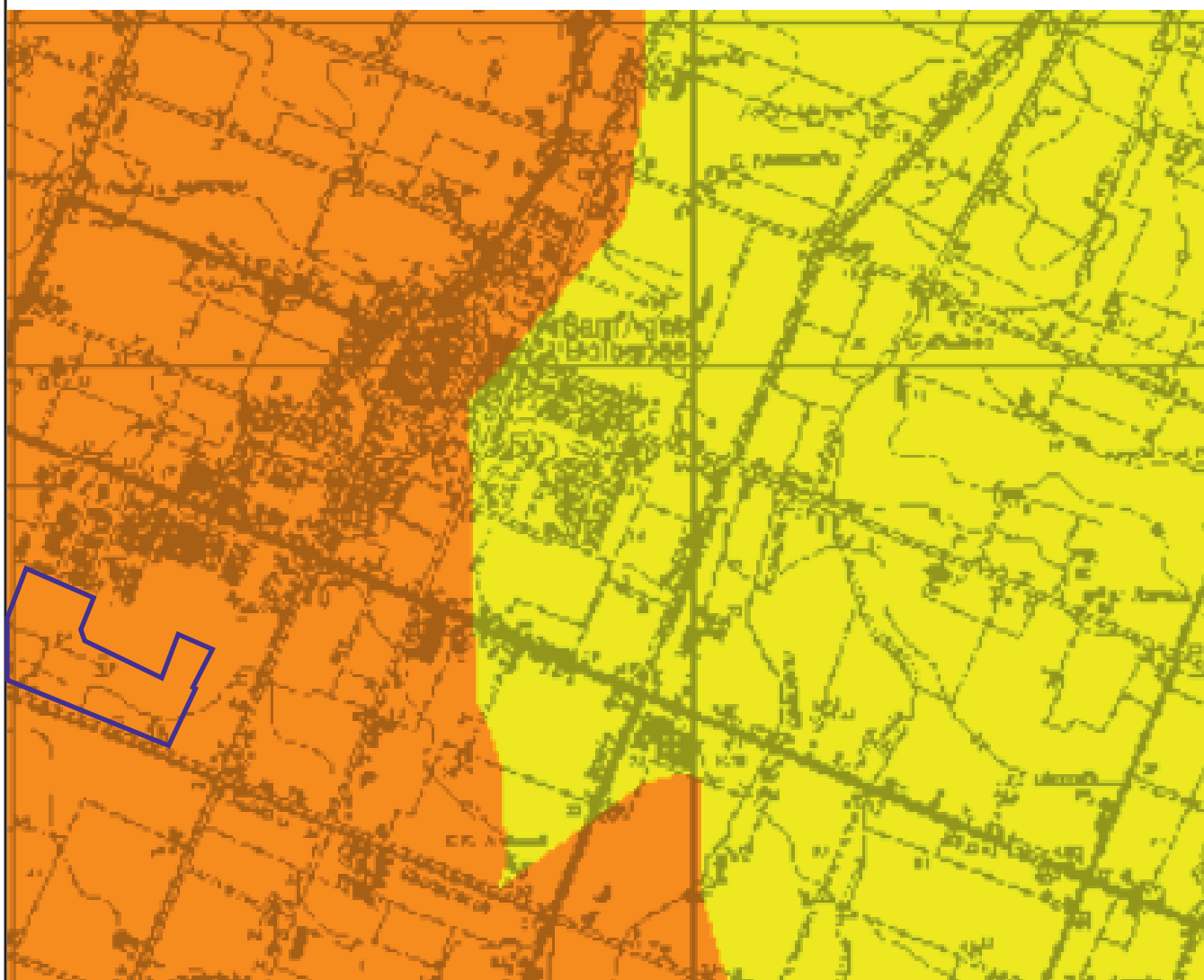


Area di interesse



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. 8 “Aree suscettibili di effetti locali”



Scala grafica

-  L2 - Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziale liquefazione
-  G - Area potenzialmente instabile per presenza di cavità sotterranee
-  R - Aree incoerenti/incerte per caratteristiche litologiche e morfologiche
-  C - Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziali cedimenti



Area di interesse

Effetti locali attesi per l'area di interesse

- Depositi alluvionali di fondovalle:
Effetto atteso: *amplificazione litologica
e potenziali cedimenti*

Variante al PTCP ai sensi dell'art.27 della L.R. 20/2000 e s.m.i.
Delibera di Consiglio Provinciale n.57 28/10/2013

GEO GROUP s.r.l.

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche
181, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/3368245 - Email: geo.group@libero.it

Tav. n. 9 "Carta di Microzonazione Sismica"

L.R. 20/2000 D.A.L. 112/07



MICROAREA INDAGATA:
Amplificazione litologica e
potenziale di liquefazione
approfondimenti di II livello

Legenda

- Prova penetrometrica statica CPT
 - Prove penetrometriche statiche CPTU
 - Indagine sismica MASW
 - Indagine sismica Re.Mi.
 - Indagine sismica ESAC
 - Indagini sismiche HVSr
- scala grafica

All. A2 Art.16 c.1 della L.R. 20/2000

PIANURA 1:

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 (inferiore a 100 m da p.c.)

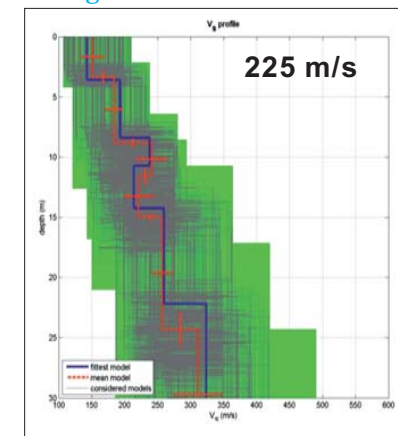
FATTORE DI AMPLIFICAZIONE F.A. MEDIO

F.A. PGA = 1.7
(PGA accelerazione massima orizz. alla superficie)

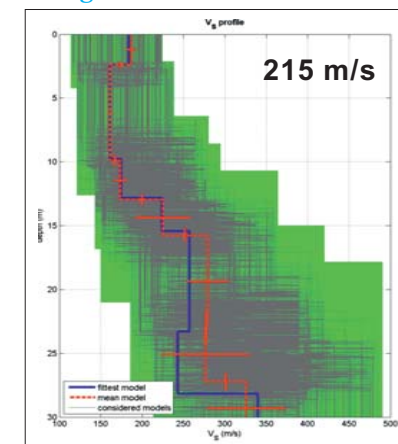
F.A. (intensità spettrale 0.1s<T< 0.5s) = 1.9

F.A. (intensità spettrale 0.5s<T< 1.0s) = 2.6

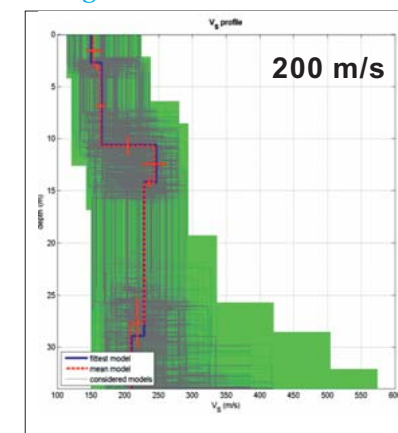
Indagine Sismica ESAC



Indagine Sismica MASW



Indagine Sismica Re.Mi.



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

GEO GROUP s.r.l.

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

Prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT n. 1

LEGENDA VALORI DI RESISTENZA FATTORI DI CONVERSIONE

Strumento utilizzato:
Pagani TG63-100 -

Caratteristiche:

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

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

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

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

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

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

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

CONVERSIONI

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

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

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

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

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

1 t = 1000 kg $\approx$ 10 kN

LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE CORRELAZIONI GENERALI

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

Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977

Valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

$F = q_c / f_s$	NATURA LITOLOGICA	PROPRIETA'
$F \leq 1470 \text{ kPa}$	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 q_c e di $FR = (f_s / q_c) \% :$

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

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

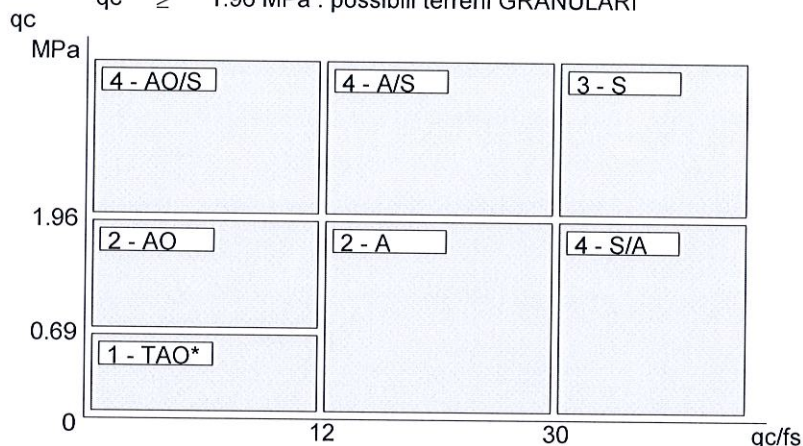
- $1/3 \pm 1/2$ di quello misurato , per depositi sabbiosi
- quello misurato (inalterato) , per depositi coesivi.

LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI SPECIFICHE TECNICHE

Le scelte litologiche vengono effettuate in base al rapporto q_c / f_s (Begemann 1965 - A.G.I. 1977) prevedendo altresì la possibilità di casi dubbi :

$q_c \leq 1.96 \text{ MPa}$: possibili terreni COESIVI
 $q_c \geq 1.96 \text{ MPa}$: possibili terreni GRANULARI

anche se $(q_c / f_s) > 30$
anche se $(q_c / f_s) < 30$



NATURA LITOLOGICA

- 1 - COESIVA (TORBOSA) ALTA COMPRIM.
- 2 - COESIVA IN GENERE
- 3 - GRANULARE
- 4 - COESIVA / GRANULARE

PARAMETRI GEOTECNICI (validità orientativa) - simboli - correlazioni - bibliografia

- γ' = peso dell' unità di volume (efficace) del terreno [correlazioni : γ' - q_c - natura]
(Terzaghi & Peck 1967 - Bowles 1982)
- σ'_{vo} = tensione verticale geostatica (efficace) del terreno (valutata in base ai valori di γ')
- C_u = coesione non drenata (terreni coesivi) [correlazioni : C_u - q_c]
- OCR = grado di sovra consolidazione (terreni coesivi) [correlazioni : OCR - C_u - σ'_{vo}]
(Ladd et al. 1972 / 1974 / 1977 - Lancellotta 1983)
- Eu = modulo di deformazione non drenato (terreni coesivi) [correl. : Eu - C_u - OCR - I_p I_p = ind.plast.]
Eu50 - Eu25 corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (Duncan & Buchigani 1976)
- E' = modulo di deformazione drenato (terreni granulari) [correlazioni : E' - q_c]
E'50 - E'25 corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (coeff. di sicurezza F = 2 - 4 rispettivamente)
Schmertmann 1970 / 1978 - Jamiolkowski ed altri 1983)
- Mo = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [correl. : Mo - q_c - natura]
Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973)
- Dr = densità relativa (terreni granulari N. C. - normalmente consolidati)
[correlazioni : Dr - R_p - σ'_{vo} (Schmertmann 1976)]
- $\emptyset'$ = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari N.C.) [correl. : $\emptyset'$ - Dr - q_c - σ'_{vo})
 - $\emptyset_{Ca}$ - Caquot (1948)
 - $\emptyset_{DB}$ - De Beer (1965)
 - $\emptyset_{DM}$ - Durgunoglu & Mitchell (1975) (sabbie N.C.)
 - $\emptyset_{Ko}$ - Koppejan (1948)
 - $\emptyset_{Sc}$ - Schmertmann (1978)
 - $\emptyset_{Me}$ - Meyerhof (1956 / 1976) (sabbie limose)
- F.L. = accelerazione al suolo che può causare liquefazione (terreni granulari)
(g = accelerazione gravità)(Seed & Idriss 1971 - Sirio 1976) [correlazioni : (Amax/g) - Dr]
- Vs = velocità di propagazione delle onde sismiche (lysan 1996)

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

CPT

1

riferimento

568-2015

certificato n°

6822

Committente: **Studio tecnico**
Cantiere: **Studio terreno di fondazione**
Località: **Sant'Agata Bolognese**

U.M.: **MPa** Data esec.: **12/05/2015**
Pagina: **1/4** Data certificato: **14/05/2015**
Elaborato: Falda: **-1.50 m** da p.c.

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %
0.20	0.00	0.00		0.00	133.00	0		15.20	15.00	26.00		1.47	80.00	19	5.3
0.40	19.00	39.00		1.86	147.00	13	7.7	15.40	15.00	27.00		1.47	120.00	13	8.0
0.60	25.00	47.00		2.45	120.00	21	4.8	15.60	15.00	33.00		1.47	120.00	13	8.0
0.80	17.00	35.00		1.67	120.00	14	7.1	15.80	15.00	33.00		1.47	87.00	17	5.8
1.00	11.00	29.00		1.08	93.00	12	8.5	16.00	15.00	28.00		1.47	80.00	19	5.3
1.20	10.00	24.00		0.98	73.00	14	7.3	16.20	13.00	25.00		1.27	60.00	22	4.6
1.40	7.00	18.00		0.69	73.00	10	10.4	16.40	11.00	20.00		1.08	60.00	18	5.5
1.60	17.00	28.00		1.67	73.00	23	4.3	16.60	11.00	20.00		1.08	80.00	14	7.3
1.80	17.00	28.00		1.67	87.00	20	5.1	16.80	15.00	27.00		1.47	73.00	21	4.9
2.00	14.00	27.00		1.37	120.00	12	8.6	17.00	11.00	22.00		1.08	80.00	14	7.3
2.20	16.00	34.00		1.57	47.00	34	2.9	17.20	13.00	25.00		1.27	73.00	18	5.6
2.40	10.00	17.00		0.98	40.00	25	4.0	17.40	17.00	28.00		1.67	60.00	28	3.5
2.60	8.00	14.00		0.78	93.00	9	11.6	17.60	12.00	21.00		1.18	67.00	18	5.6
2.80	12.00	26.00		1.18	47.00	26	3.9	17.80	17.00	27.00		1.67	73.00	23	4.3
3.00	10.00	17.00		0.98	40.00	25	4.0	18.00	15.00	26.00		1.47	107.00	14	7.1
3.20	10.00	16.00		0.98	47.00	21	4.7	18.20	16.00	32.00		1.57	87.00	18	5.4
3.40	8.00	15.00		0.78	53.00	15	6.6	18.40	16.00	29.00		1.57	107.00	15	6.7
3.60	8.00	16.00		0.78	47.00	17	5.9	18.60	17.00	33.00		1.67	107.00	16	6.3
3.80	9.00	16.00		0.88	53.00	17	5.9	18.80	19.00	35.00		1.86	120.00	16	6.3
4.00	10.00	18.00		0.98	40.00	25	4.0	19.00	18.00	36.00		1.76	107.00	17	5.9
4.20	11.00	17.00		1.08	47.00	23	4.3	19.20	13.00	29.00		1.27	107.00	12	8.2
4.40	9.00	16.00		0.88	40.00	23	4.4	19.40	16.00	32.00		1.57	80.00	20	5.0
4.60	6.00	12.00		0.59	40.00	15	6.7	19.60	17.00	29.00		1.67	67.00	25	3.9
4.80	8.00	14.00		0.78	53.00	15	6.6	19.80	21.00	31.00		2.06	93.00	23	4.4
5.00	7.00	15.00		0.69	27.00	26	3.9	20.00	15.00	29.00		1.47	67.00	22	4.5
5.20	6.00	10.00		0.59	27.00	22	4.5	20.20	13.00	23.00		1.27	73.00	18	5.6
5.40	5.00	9.00		0.49	33.00	15	6.6	20.40	11.00	22.00		1.08	80.00	14	7.3
5.60	5.00	10.00		0.49	40.00	13	8.0	20.60	13.00	25.00		1.27	93.00	14	7.2
5.80	8.00	14.00		0.78	40.00	20	5.0	20.80	14.00	28.00		1.37	87.00	16	6.2
6.00	9.00	15.00		0.88	47.00	19	5.2	21.00	15.00	28.00		1.47	113.00	13	7.5
6.20	7.00	14.00		0.69	40.00	18	5.7	21.20	16.00	33.00		1.57	113.00	14	7.1
6.40	8.00	14.00		0.78	40.00	20	5.0	21.40	16.00	33.00		1.57	107.00	15	6.7
6.60	8.00	14.00		0.78	67.00	12	8.4	21.60	15.00	31.00		1.47	120.00	13	8.0
6.80	9.00	19.00		0.88	53.00	17	5.9	21.80	19.00	37.00		1.86	140.00	14	7.4
7.00	9.00	17.00		0.88	40.00	23	4.4	22.00	25.00	46.00		2.45	173.00	14	6.9
7.20	7.00	13.00		0.69	40.00	18	5.7	22.20	29.00	55.00		2.84	200.00	15	6.9
7.40	6.00	12.00		0.59	47.00	13	7.8	22.40	38.00	68.00		3.72	213.00	18	5.6
7.60	7.00	14.00		0.69	53.00	13	7.6	22.60	39.00	71.00		3.82	273.00	14	7.0
7.80	8.00	16.00		0.78	53.00	15	6.6	22.80	40.00	81.00		3.92	287.00	14	7.2
8.00	8.00	16.00		0.78	67.00	12	8.4	23.00	42.00	85.00		4.12	267.00	16	6.4
8.20	9.00	19.00		0.88	67.00	13	7.4	23.20	48.00	88.00		4.70	280.00	17	5.8
8.40	9.00	19.00		0.88	60.00	15	6.7	23.40	37.00	79.00		3.63	180.00	21	4.9
8.60	9.00	18.00		0.88	53.00	17	5.9	23.60	24.00	51.00		2.35	113.00	21	4.7
8.80	8.00	16.00		0.78	60.00	13	7.5	23.80	16.00	33.00		1.57	107.00	15	6.7
9.00	9.00	18.00		0.88	67.00	13	7.4	24.00	29.00	45.00		2.84	180.00	16	6.2
9.20	10.00	20.00		0.98	80.00	13	8.0	24.20	38.00	65.00		3.72	247.00	15	6.5
9.40	15.00	27.00		1.47	113.00	13	7.5	24.40	39.00	76.00		3.82	253.00	15	6.5
9.60	19.00	36.00		1.86	120.00	16	6.3	24.60	39.00	77.00		3.82	247.00	16	6.3
9.80	21.00	39.00		2.06	120.00	18	5.7	24.80	45.00	82.00		4.41	253.00	18	5.6
10.00	20.00	38.00		1.96	113.00	18	5.7	25.00	35.00	73.00		3.43	280.00	13	8.0
10.20	20.00	37.00		1.96	107.00	19	5.4	25.20	34.00	76.00		3.33	247.00	14	7.3
10.40	14.00	30.00		1.37	80.00	18	5.7	25.40	37.00	74.00		3.63	213.00	17	5.8
10.60	9.00	21.00		0.88	67.00	13	7.4	25.60	47.00	79.00		4.61	280.00	17	6.0
10.80	10.00	20.00		0.98	80.00	13	8.0	25.80	41.00	83.00		4.02	260.00	16	6.3
11.00	14.00	26.00		1.37	53.00	26	3.8	26.00	35.00	74.00		3.43	180.00	19	5.1
11.20	12.00	20.00		1.18	73.00	16	6.1	26.20	37.00	64.00		3.63	213.00	17	5.8
11.40	9.00	20.00		0.88	67.00	13	7.4	26.40	39.00	71.00		3.82	240.00	16	6.2
11.60	11.00	21.00		1.08	87.00	13	7.9	26.60	36.00	72.00		3.53	200.00	18	5.6
11.80	14.00	27.00		1.37	107.00	13	7.6	26.80	27.00	57.00		2.65	173.00	16	6.4
12.00	15.00	31.00		1.47	113.00	13	7.5	27.00	21.00	47.00		2.06	173.00	12	8.2
12.20	19.00	36.00		1.86	107.00	18	5.6	27.20	34.00	60.00		3.33	147.00	23	4.3
12.40	14.00	30.00		1.37	67.00	21	4.8	27.40	35.00	57.00		3.43	200.00	18	5.7
12.60	11.00	21.00		1.08	53.00	21	4.8	27.60	37.00	67.00		3.63	287.00	13	7.8
12.80	9.00	17.00		0.88	47.00	19	5.2	27.80	71.00	114.00		6.96	393.00	18	5.5
13.00	9.00	16.00		0.88	53.00	17	5.9	28.00	84.00	143.00		8.23	207.00	41	2.5
13.20	12.00	20.00		1.18	80.00	15	6.7	28.20	46.00	77.00		4.51	160.00	29	3.5
13.40	14.00	26.00		1.37	107.00	13	7.6	28.40	46.00	70.00		4.51	193.00	24	4.2
13.60	18.00	34.00		1.76	140.00	13	7.8	28.60	47.00	76.00		4.61	133.00	35	2.8
13.80	19.00	40.00		1.86	93.00	20	4.9	28.80	26.00	46.00		2.55	100.00	26	3.8
14.00	18.00	32.00		1.76	100.00	18	5.6	29.00	12.00	27.00		1.18	93.00	13	7.8
14.20	10.00	25.00		0.98	73.00	14	7.3	29.20	19.00	33.00		1.86	127.00	15	6.7
14.40	11.00	22.00		1.08	80.00	14	7.3	29.40	21.00	40.00		2.06	113.00	19	5.4
14.60	14.00	26.00		1.37	80.00	18	5.7	29.60	19.00	36.00		1.86	133.00	14	7.0
14.80	15.00	27.00		1.47	87.00	17	5.8	29.80	23.00	43.00		2.25	133.00	17	5.8
15.00	13.00	26.00		1.27	73.00	18	5.6	30.00	21.00	41.00		2.06			

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

1

riferimento

568-2015

certificato n°

6822

Committente: **Studio tecnico**

Cantiere: **Studio terreno di fondazione**

Località: **Sant'Agata Bolognese**

U.M.: **MPa**

Scala: **1:150**

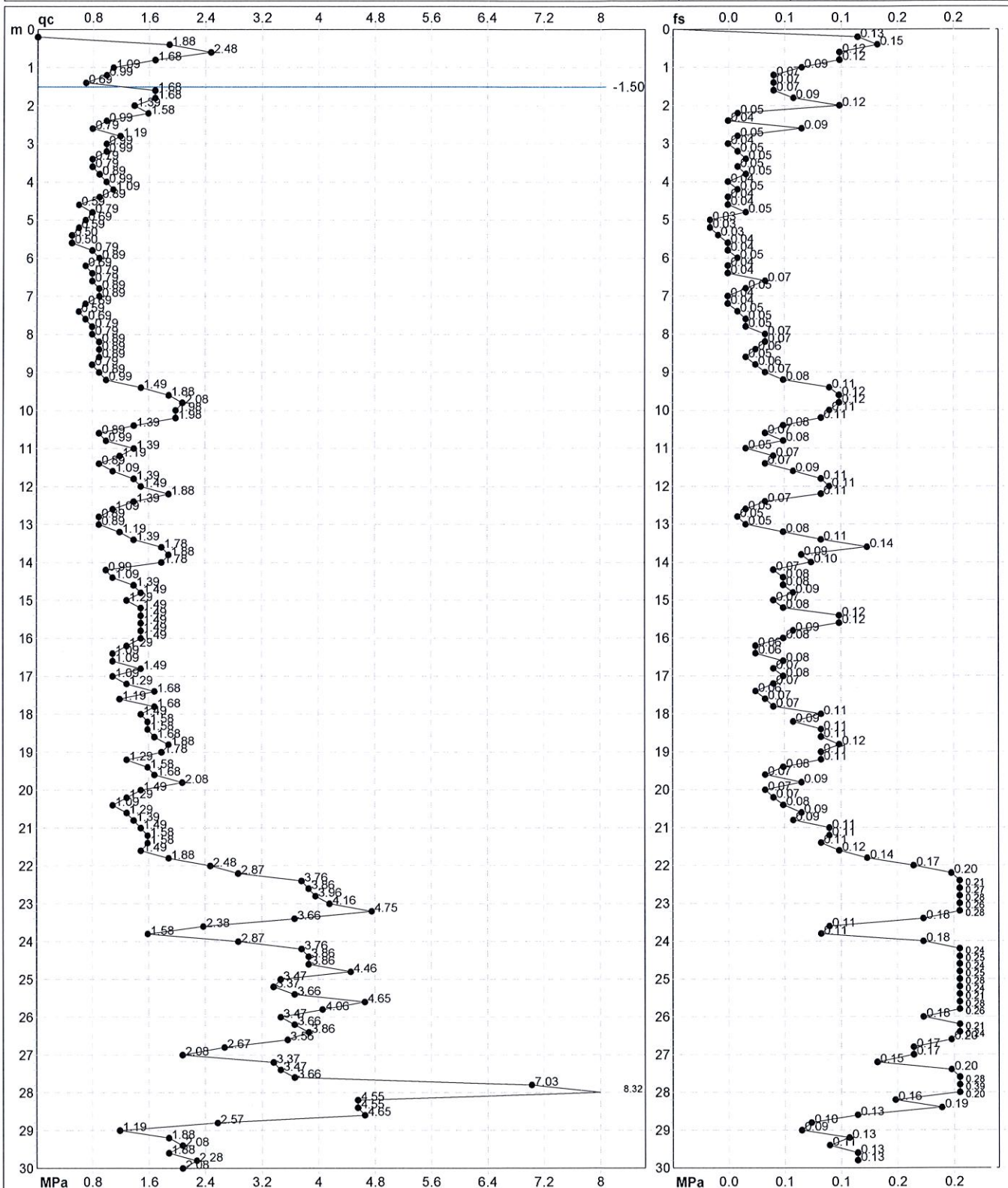
Pagina: **2/4**

Elaborato:

Data esec.: **12/05/2015**

Data certificato: **14/05/2015**

Falda: **-1.50 m** da p.c.



Penetrometro: **Pagani TG63-100**

Responsabile:

Assistente:

Preforo: **m**

Corr.astine: **kN/ml**

Corr.astine: **kN/ml**

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT

1

riferimento

568-2015

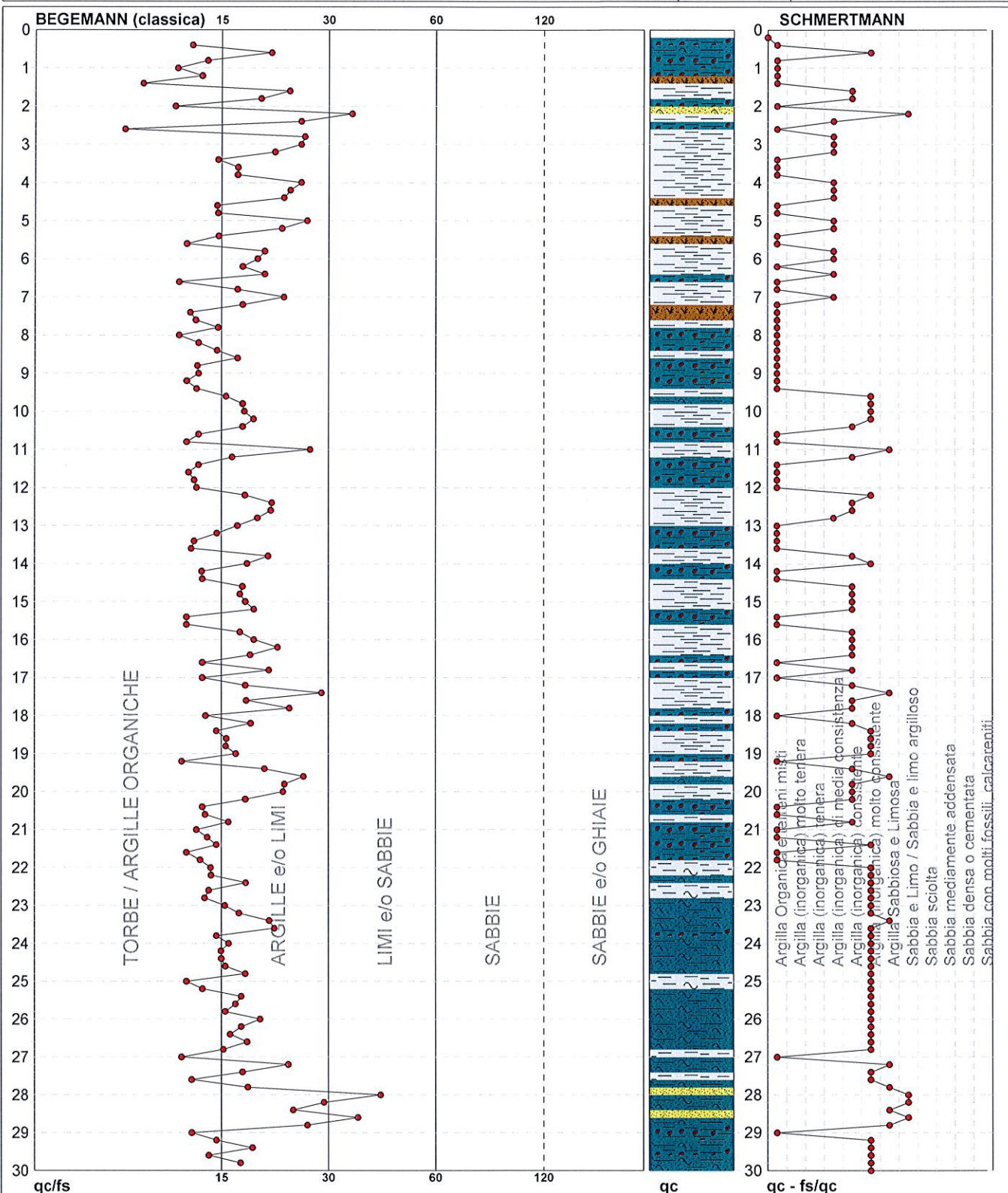
certificato n°

6822

Committente: **Studio tecnico**
Cantiere: **Studio terreno di fondazione**
Località: **Sant'Agata Bolognese**

U.M.: **MPa**
Scala: **1:150**
Pagina: **3/4**
Elaborato:

Data eseg.: **12/05/2015**
Data certificato: **14/05/2015**
Falda: **-1.50 m da p.c.**



Torbe / Argille org. :	57 punti, 38.26%	Argilla Organica e terreni misti:	55 punti, 36.91%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	8 punti, 5.37%
Argille e/o Limi :	89 punti, 59.73%	Argilla (inorganica) media consist.:	14 punti, 9.40%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	4 punti, 2.68%
Limi e/o Sabbie :	3 punti, 2.01%	Argilla (inorganica) consistente:	25 punti, 16.78%		
		Argilla (inorganica) molto consist.:	42 punti, 28.19%		

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

PARAMETRI GEOTECNICI

CPT

riferimento

certificato n°

1**568-2015**

6822

Committente: **Studio tecnico**
Cantiere: **Studio terreno di fondazione**
Località: **Sant'Agata Bolognese**

U.M.: **MPa** Data eseg.: **12/05/2015**
Pagina: **4/4** Data certificato: **14/05/2015**
Elaborato: **Falda: -1.50 m da p.c.**

Prof. m	qc U.M.	qc/fs	zone	γ' t/m³	σ'vo kPa	Vs m/s	NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE											
							Cu kPa	OCR %	Eu50 U.M.	Eu25 U.M.	Mo U.M.	Dr %	φSc (°)	φCa (°)	φKo (°)	φDB (°)	φDM (°)	φMe (°)	F.L.	E'50 U.M.	E'25 U.M.	Mo U.M.	
0.20	--	--	--	1.85	3.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.40	1.86	12.93	--	1.99	7.5	168	76.0	99.9	12.9	19.4	5.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.60	2.45	20.83	--	1.94	11.3	186	89.1	82.6	15.1	22.7	7.4	77	44	36	34	31	40	28	--	4.1	6.1	7.4	--
0.80	1.67	14.17	--	1.97	15.2	161	70.9	43.0	12.1	18.1	5.3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.00	1.08	11.83	--	1.91	18.9	137	52.6	22.5	8.9	13.4	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.20	0.98	13.70	--	1.90	22.7	132	49.0	16.5	8.3	12.5	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.40	0.69	9.59	--	1.46	25.5	115	34.3	9.1	1.4	2.2	1.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.60	1.67	23.29	--	0.97	27.4	161	70.9	20.6	12.1	18.1	5.3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.80	1.67	19.54	--	0.97	29.3	161	70.9	18.9	12.1	18.1	5.3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.00	1.37	11.67	--	0.94	31.2	150	62.4	14.9	10.6	15.9	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.20	1.57	34.04	--	0.90	32.9	157	68.2	15.6	11.6	17.4	5.1	36	41	29	26	24	33	27	--	2.6	3.9	4.7	--
2.40	0.98	25.00	--	0.90	34.7	132	49.0	9.7	8.4	12.6	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.60	0.78	8.60	--	0.86	36.4	121	39.2	6.9	9.2	13.8	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.80	1.18	25.53	--	0.92	38.2	141	56.0	10.1	9.5	14.3	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.00	0.98	25.00	--	0.90	40.0	132	49.0	8.1	9.6	14.3	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.20	0.98	21.28	--	0.90	41.7	132	49.0	7.7	10.1	15.2	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.40	0.78	15.09	--	0.86	43.4	121	39.2	5.5	11.7	17.6	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.60	0.78	17.02	--	0.86	45.1	121	39.2	5.3	12.3	18.5	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.80	0.88	16.98	--	0.88	46.8	127	44.1	5.8	12.5	18.7	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.00	0.98	25.00	--	0.90	48.6	132	49.0	6.3	12.6	18.9	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.20	1.08	23.40	--	0.91	50.4	137	52.6	6.6	12.9	19.3	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.40	0.88	22.50	--	0.88	52.1	127	44.1	5.1	14.3	21.5	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.60	0.59	15.00	--	0.46	53.0	109	29.4	3.0	2.9	4.4	0.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.80	0.78	15.09	--	0.86	54.7	121	39.2	4.1	15.3	22.9	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.00	0.69	25.93	--	0.84	56.3	115	34.3	3.4	15.8	23.7	3.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.20	0.59	22.22	--	0.82	57.9	109	29.4	2.7	15.2	22.8	2.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.40	0.49	15.15	--	0.80	59.5	101	24.5	2.1	13.6	20.4	2.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.60	0.49	12.50	--	0.46	60.4	101	24.5	2.0	2.9	4.4	0.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.80	0.78	20.00	--	0.86	62.1	121	39.2	3.5	17.5	26.3	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.00	0.88	19.15	--	0.88	63.8	127	44.1	4.0	17.8	26.8	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.20	0.69	17.50	--	0.84	65.5	115	34.3	2.8	17.5	26.2	3.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.40	0.78	20.00	--	0.86	67.1	121	39.2	3.2	18.7	28.0	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.60	0.78	11.94	--	0.86	68.8	121	39.2	3.1	19.0	28.5	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.80	0.88	16.98	--	0.88	70.6	127	44.1	3.5	19.9	29.8	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.00	0.88	22.50	--	0.88	72.3	127	44.1	3.4	20.3	30.5	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.20	0.69	17.50	--	0.84	73.9	115	34.3	2.4	18.4	27.6	3.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.40	0.59	12.77	--	0.46	74.8	109	29.4	2.0	3.5	5.3	0.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.60	0.69	13.21	--	0.46	75.7	115	34.3	2.3	3.9	5.9	1.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.80	0.78	15.09	--	0.86	77.4	121	39.2	2.7	20.3	30.4	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.00	0.78	11.94	--	0.86	79.1	121	39.2	2.6	20.5	30.7	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.20	0.88	13.43	--	0.88	80.8	127	44.1	2.9	22.0	32.9	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.40	0.88	15.00	--	0.88	82.5	127	44.1	2.9	22.2	33.3	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.60	0.88	16.98	--	0.88	84.3	127	44.1	2.8	22.5	33.7	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.80	0.78	13.33	--	0.86	86.0	121	39.2	2.4	21.1	31.7	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.00	0.88	13.43	--	0.88	87.7	127	44.1	2.7	22.9	34.3	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.20	0.98	12.50	--	0.90	89.4	132	49.0	3.0	24.3	36.5	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.40	1.47	13.27	--	0.95	91.3	154	65.3	4.1	25.5	38.2	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.60	1.86	15.83	--	0.99	93.2	168	76.0	4.9	25.8	38.7	5.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.80	2.06	17.50	--	0.93	95.1	174	80.7	5.1	26.1	39.2	6.2	19	40	25	22	21	28	27	--	3.4	5.1	6.2	--
10.00	1.96	17.70	--	0.93	96.9	171	78.4	4.8	26.9	40.3	5.9	17	39	25	21	20	28	27	--	3.3	4.9	5.9	--
10.20	1.96	18.69	--	0.93	98.7	171	78.4	4.7	27.4	41.2	5.9	17	39	25	21	20	28	27	--	3.3	4.9	5.9	--
10.40	1.37	17.50	--	0.94	100.5	150	62.4	3.5	28.3	42.5	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.60	0.88	13.43	--	0.88	102.3	127	44.1	2.2	24.2	36.3	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.80	0.98	12.50	--	0.90	104.0	132	49.0	2.4	26.1	39.2	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11.00	1.37	26.42	--	0.94	105.9	150	62.4	3.2	29.5	44.3	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11.20	1.18	16.44	--	0.92	107.7	141	56.0	2.8	28.6	42.9	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11.40	0.88	13.43	--	0.88	109.4	127	44.1	2.0	24.7	37.0	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11.60	1.08	12.64	--	0.91	111.2	137	52.6	2.5	28.0	42.0	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11.80	1.37	13.08	--	0.94	113.0	150	62.4	3.0	30.8	46.3	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
12.00	1.47	13.27	--	0.95	114.9	154	65.3	3.1	31.7	47.5	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
12.20	1.86	17.76	--	0.99	116.8	168	76.0	3.7	33.0	49.5	5.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
12.40	1.37	20.90	--	0.94	118.7	150	62.4																

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

PARAMETRI GEOTECNICI

CPT**1**

riferimento

568-2015

certificato n°

6822

Committente: **Studio tecnico**
Cantiere: **Studio terreno di fondazione**
Località: **Sant'Agata Bolognese**

U.M.: **MPa**Data esec.: **12/05/2015**Pagina: **4/4**Data certificato: **14/05/2015**

Elaborato:

Falda: **-1.50 m** da p.c.

							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE													
Prof. m	qc U.M.	qc/fs	zone	γ' t/m³	σ'_{vo} kPa	Vs m/s	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	1.47	22.39		0.95	190.7	154	65.3	1.6	37.7	56.6	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
20.20	1.27	17.81		0.93	192.5	145	59.3	1.4	34.7	52.1	4.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
20.40	1.08	13.75		0.91	194.3	137	52.6	1.2	31.2	46.8	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
20.60	1.27	13.98		0.93	196.1	145	59.3	1.4	34.8	52.2	4.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
20.80	1.37	16.09		0.94	198.0	150	62.4	1.5	36.4	54.6	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
21.00	1.47	13.27		0.95	199.9	154	65.3	1.6	38.0	57.0	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
21.20	1.57	14.16		0.96	201.7	157	68.2	1.6	39.4	59.2	5.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
21.40	1.57	14.95		0.96	203.6	157	68.2	1.6	39.5	59.2	5.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
21.60	1.47	12.50		0.95	205.5	154	65.3	1.5	38.1	57.2	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
21.80	1.86	13.57		0.99	207.4	168	76.0	1.8	43.4	65.1	5.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
22.00	2.45	14.45		0.94	209.3	186	89.1	2.2	49.1	73.7	7.4	6	38	22	19	18	25	28	--	4.1	6.1	7.4	--		
22.20	2.84	14.50		0.96	211.2	197	96.3	2.4	52.0	78.0	8.5	11	39	23	19	18	26	29	--	4.7	7.1	8.5	--		
22.40	3.72	17.84		0.99	213.1	218	124.1	3.2	59.2	88.9	11.2	20	40	24	21	20	27	30	--	6.2	9.3	11.2	--		
22.60	3.82	14.29		1.00	215.0	220	127.4	3.3	60.0	90.1	11.5	20	40	24	21	20	27	30	--	6.4	9.6	11.5	--		
22.80	3.92	13.94		1.00	217.0	222	130.7	3.3	60.8	91.2	11.8	21	40	24	21	20	27	30	--	6.5	9.8	11.8	--		
23.00	4.12	15.73		1.00	219.0	226	137.2	3.5	61.7	92.6	12.3	23	40	24	21	20	28	30	--	6.9	10.3	12.3	--		
23.20	4.70	17.14		1.01	220.9	238	156.8	4.1	61.7	92.5	14.1	27	40	25	22	20	28	31	--	7.8	11.8	14.1	--		
23.40	3.63	20.56		0.99	222.9	216	120.9	2.9	60.4	90.6	10.9	18	39	24	20	19	27	30	--	6.0	9.1	10.9	--		
23.60	2.35	21.24		0.94	224.7	183	87.1	1.9	49.1	73.7	7.1	3	38	21	18	17	25	28	--	3.9	5.9	7.1	--		
23.80	1.57	14.95		0.96	226.6	157	68.2	1.4	40.0	60.1	5.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
24.00	2.84	16.11		0.96	228.5	197	96.3	2.1	53.2	79.9	8.5	9	39	22	19	18	25	29	--	4.7	7.1	8.5	--		
24.20	3.72	15.38		0.99	230.4	218	124.1	2.9	62.2	93.4	11.2	18	39	24	20	19	27	30	--	6.2	9.3	11.2	--		
24.40	3.82	15.42		1.00	232.4	220	127.4	3.0	63.2	94.9	11.5	19	39	24	20	19	27	30	--	6.4	9.6	11.5	--		
24.60	3.82	15.79		1.00	234.3	220	127.4	2.9	63.5	95.3	11.5	18	39	24	20	19	27	30	--	6.4	9.6	11.5	--		
24.80	4.41	17.79		1.00	236.3	232	147.0	3.5	66.6	99.9	13.2	23	40	24	21	20	28	31	--	7.4	11.0	13.2	--		
25.00	3.43	12.50		0.98	238.2	211	114.3	2.5	60.5	90.8	10.3	14	39	23	20	19	26	29	--	5.7	8.6	10.3	--		
25.20	3.33	13.77		0.98	240.1	209	111.1	2.4	59.6	89.4	10.0	13	39	23	19	18	26	29	--	5.6	8.3	10.0	--		
25.40	3.63	17.37		0.99	242.1	216	120.9	2.6	62.9	94.4	10.9	16	39	23	20	19	26	30	--	6.0	9.1	10.9	--		
25.60	4.61	16.79		1.01	244.0	236	153.5	3.5	68.8	103.3	13.8	24	40	24	21	20	28	31	--	7.7	11.5	13.8	--		
25.80	4.02	15.77		1.00	246.0	224	133.9	2.9	66.8	100.1	12.1	19	40	24	20	19	27	30	--	6.7	10.0	12.1	--		
26.00	3.43	19.44		0.98	247.9	211	114.3	2.4	61.4	92.2	10.3	13	39	23	19	18	26	29	--	5.7	8.6	10.3	--		
26.20	3.63	17.37		0.99	249.9	216	120.9	2.5	63.8	95.7	10.9	15	39	23	20	19	26	30	--	6.0	9.1	10.9	--		
26.40	3.82	16.25		1.00	251.8	220	127.4	2.7	65.9	98.9	11.5	17	39	23	20	19	26	30	--	6.4	9.6	11.5	--		
26.60	3.53	18.00		0.99	253.7	214	117.6	2.4	63.1	94.6	10.6	14	39	23	19	18	26	30	--	5.9	8.8	10.6	--		
26.80	2.65	15.61		0.95	255.6	192	92.8	1.8	53.1	79.6	7.9	4	38	21	18	17	25	28	--	4.4	6.6	7.9	--		
27.00	2.06	12.14		0.93	257.4	174	80.7	1.5	47.2	70.7	6.2	--	38	20	17	16	25	27	--	3.4	5.1	6.2	--		
27.20	3.33	23.13		0.98	259.3	209	111.1	2.2	61.1	91.7	10.0	11	39	22	19	18	26	29	--	5.6	8.3	10.0	--		
27.40	3.43	17.50		0.98	261.3	211	114.3	2.2	62.5	93.8	10.3	12	39	23	19	18	26	29	--	5.7	8.6	10.3	--		
27.60	3.63	12.89		0.99	263.2	216	120.9	2.4	65.1	97.6	10.9	14	39	23	19	18	26	30	--	6.0	9.1	10.9	--		
27.80	6.96	18.07		1.03	265.2	276	231.9	5.3	72.4	108.6	20.9	36	41	26	23	21	30	32	--	11.6	17.4	20.9	--		
28.00	8.23	40.58		0.97	267.1	294	--	--	--	--	--	42	41	27	24	22	30	33	--	13.7	20.6	24.7	--		
28.20	4.51	28.75		1.01	269.1	234	150.3	3.0	73.8	110.6	13.5	21	40	24	20	19	27	31	--	7.5	11.3	13.5	--		
28.40	4.51	23.83		1.01	271.1	234	150.3	3.0	74.1	111.1	13.5	20	40	24	20	19	27	31	--	7.5	11.3	13.5	--		
28.60	4.61	35.34		0.91	272.9	236	--	--	--	--	--	21	40	24	20	19	27	31	--	7.7	11.5	13.8	--		
28.80	2.55	26.00		0.95	274.7	189	91.0	1.6	52.8	79.2	7.6	1	38	21	17	17	25	28	--	4.2	6.4	7.6	--		
29.00	1.18	12.90		0.92	276.5	141	56.0	0.9	33.6	50.4	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
29.20	1.86	14.96		0.99	278.5	168	76.0	1.2	45.1	67.6	5.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
29.40	2.06	18.58		0.93	280.3	174	80.7	1.3	47.6	71.4	6.2	--	38	20	16	15	25	27	--	3.4	5.1	6.2	--		
29.60	1.86	14.29		0.99	282.2	168	76.0	1.2	45.1	67.7	5.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
29.80	2.25	17.29		0.94	284.1	180	85.1	1.4	50.0	75.0	6.8	--	38	20	17	16	25	28	--	3.8	5.6	6.8	--		
30.00	2.06	--		0.85	285.7	174	--	--	--	--	--	--	38	20	16	15	25	27	--	3.4	5.1	6.2	--		

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

Prova penetrometrica statica con piezocono CPTU n. 2

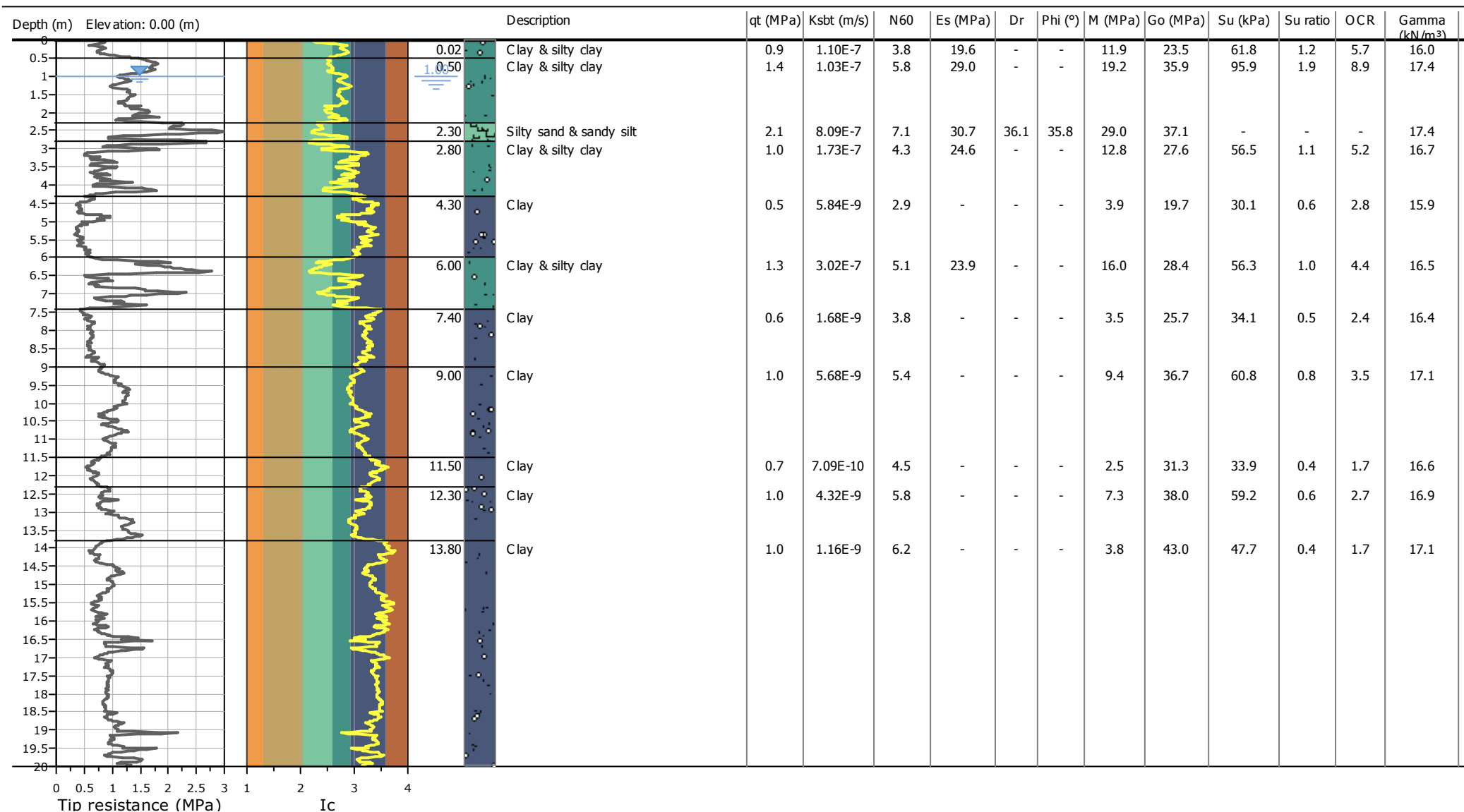
Project: STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE AREA LAMBORGHINI

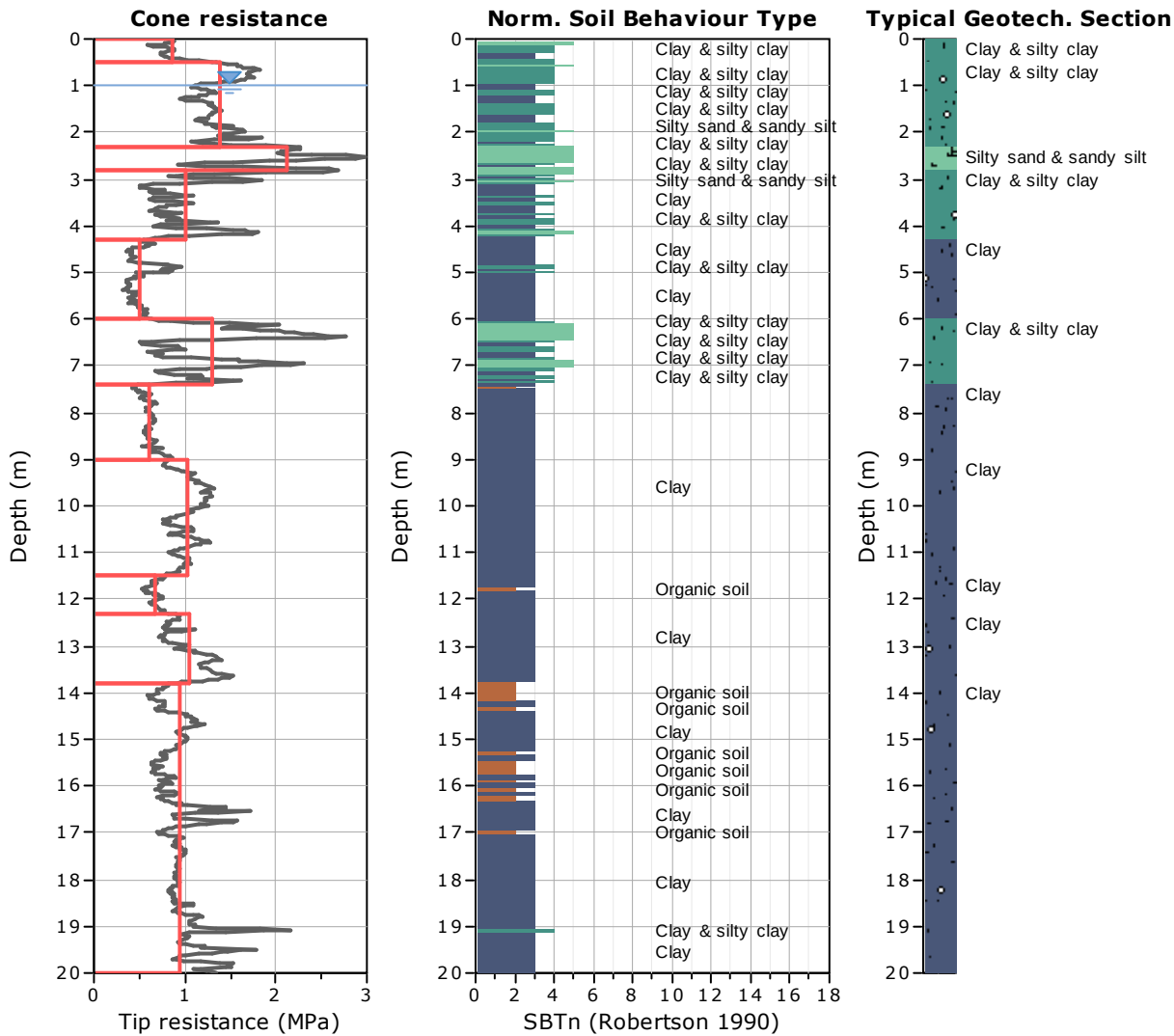
Location: S. AGATA BOLOGNESE (BO)

CPT: CPTu2

Total depth: 20.00 m, Date: 18/05/2015

Cone Type: TECNO PENTA TP CPL2IN





Tabular results

::: Layer No: 1 :::

Code: 1 **Start depth:** 0.02 (m), **End depth:** 0.50 (m)

Description: Clay & silty clay

Basic results

Total cone resistance: 0.86 ±0.18 MPa

Sleeve friction: 17.78 ±8.80 kPa

SBT_n: 4

SBT_n description: Clay & silty clay

Estimation results

Permeability: 1.10E-07 ±2.10E-07 m/s

N₆₀: 3.76 ±0.66 blows

Es: 19.59 ±7.82 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

̑ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 15.97 ±1.02 kN/m³

Constrained Mod.: 11.93 ±2.62 MPa

Go: 23.52 ±4.65 MPa

Su: 61.80 ±14.16 kPa

Su ratio: 1.24 ±0.28

O.C.R.: 5.71 ±1.31

::: Layer No: 2 :::**Code:** 2 **Start depth:** 0.50 (m), **End depth:** 2.30 (m)**Description:** Clay & silty clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.39 ±0.25 MPa

Sleeve friction: 44.14 ±7.48 kPa

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

Permeability: 1.03E-07 ±1.09E-07 m/s

N60: 5.80 ±0.72 blows

Es: 29.00 ±2.84 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

ö (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.45 ±0.21 kN/m³

Constrained Mod.: 19.19 ±3.50 MPa

Go: 35.93 ±2.40 MPa

Su: 95.94 ±16.49 kPa

Su ratio: 1.92 ±0.33

O.C.R.: 8.86 ±1.52

::: Layer No: 3 :::**Code:** 3 **Start depth:** 2.30 (m), **End depth:** 2.80 (m)**Description:** Silty sand & sandy silt**Basic results**

Total cone resistance: 2.11 ±0.58 MPa

Sleeve friction: 37.43 ±5.25 kPa

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

Permeability: 8.09E-07 ±6.93E-07 m/s

N60: 7.08 ±1.41 blows

Es: 30.70 ±2.21 MPa

Dr (%): 36.12 ±2.82

ö (degrees): 35.83 ±0.74 °

Unit weight: 17.41 ±0.24 kN/m³

Constrained Mod.: 28.97 ±8.11 MPa

Go: 37.14 ±3.78 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

::: Layer No: 4 :::**Code:** 4 **Start depth:** 2.80 (m), **End depth:** 4.30 (m)**Description:** Clay & silty clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.02 ±0.49 MPa

Sleeve friction: 27.15 ±3.73 kPa

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

Permeability: 1.73E-07 ±4.96E-07 m/s

N60: 4.34 ±1.21 blows

Es: 24.57 ±1.81 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

ö (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.75 ±0.22 kN/m³

Constrained Mod.: 12.85 ±7.28 MPa

Go: 27.62 ±3.19 MPa

Su: 56.46 ±18.27 kPa

Su ratio: 1.13 ±0.37

O.C.R.: 5.22 ±1.69

::: Layer No: 5 :::**Code:** 5 **Start depth:** 4.30 (m), **End depth:** 6.00 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 0.51 ±0.14 MPa

Sleeve friction: 16.84 ±3.77 kPa

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

Permeability: 5.84E-09 ±1.12E-08 m/s

N60: 2.86 ±0.58 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

ö (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 15.94 ±0.28 kN/m³

Constrained Mod.: 3.86 ±2.71 MPa

Go: 19.74 ±2.25 MPa

Su: 30.14 ±10.40 kPa

Su ratio: 0.60 ±0.21

O.C.R.: 2.78 ±0.96

::: Layer No: 6 :::**Code:** 6 **Start depth:** 6.00 (m), **End depth:** 7.40 (m)**Description:** Clay & silty clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.30 ±0.60 MPa

Sleeve friction: 19.79 ±4.65 kPa

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

Permeability: 3.02E-07 ±5.17E-07 m/s

N60: 5.08 ±1.51 blows

Es: 23.88 ±0.50 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

ö (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.45 ±0.36 kN/m³

Constrained Mod.: 15.98 ±9.27 MPa

Go: 28.38 ±5.12 MPa

Su: 56.34 ±20.40 kPa

Su ratio: 0.96 ±0.31

O.C.R.: 4.43 ±1.44

::: Layer No: 7 :::**Code:** 7 **Start depth:** 7.40 (m), **End depth:** 9.00 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 0.61 ±0.09 MPa

Sleeve friction: 23.24 ±1.35 kPa

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

Permeability: 1.68E-09 ±1.19E-09 m/s

N60: 3.77 ±0.43 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

ö (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.41 ±0.06 kN/m³

Constrained Mod.: 3.54 ±1.15 MPa

Go: 25.68 ±1.24 MPa

Su: 34.11 ±6.04 kPa

Su ratio: 0.52 ±0.08

O.C.R.: 2.39 ±0.36

::: Layer No: 8 :::**Code:** 8 **Start depth:** 9.00 (m), **End depth:** 11.50 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.02 ±0.16 MPa

Sleeve friction: 35.49 ±4.38 kPa

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

Permeability: 5.68E-09 ±4.08E-09 m/s

N60: 5.44 ±0.63 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

ö (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.09 ±0.19 kN/m³

Constrained Mod.: 9.38 ±3.63 MPa

Go: 36.72 ±2.90 MPa

Su: 60.75 ±11.55 kPa

Su ratio: 0.76 ±0.16

O.C.R.: 3.52 ±0.76

::: Layer No: 9 :::**Code:** 9 **Start depth:** 11.50 (m), **End depth:** 12.30 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 0.67 ±0.07 MPa

Sleeve friction: 27.19 ±2.88 kPa

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

Permeability: 7.09E-10 ±2.43E-10 m/s

N60: 4.46 ±0.50 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

ö (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.63 ±0.12 kN/m³

Constrained Mod.: 2.50 ±0.73 MPa

Go: 31.32 ±1.34 MPa

Su: 33.94 ±5.12 kPa

Su ratio: 0.37 ±0.06

O.C.R.: 1.70 ±0.25

:: Layer No: 10 ::**Code:** 10 **Start depth:** 12.30 (m), **End depth:** 13.80 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.05 ±0.23 MPa

Sleeve friction: 30.46 ±12.07 kPa

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

Permeability: 4.32E-09 ±3.63E-09 m/s

N60: 5.82 ±0.92 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

ö (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.86 ±0.40 kN/m³

Constrained Mod.: 7.31 ±3.78 MPa

Go: 38.01 ±6.20 MPa

Su: 59.22 ±16.34 kPa

Su ratio: 0.59 ±0.15

O.C.R.: 2.72 ±0.69

:: Layer No: 11 ::**Code:** 11 **Start depth:** 13.80 (m), **End depth:** 20.00 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 0.95 ±0.23 MPa

Sleeve friction: 37.03 ±6.55 kPa

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

Permeability: 1.16E-09 ±2.47E-09 m/s

N60: 6.21 ±0.86 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

ö (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.10 ±0.17 kN/m³

Constrained Mod.: 3.79 ±2.72 MPa

Go: 43.02 ±3.74 MPa

Su: 47.69 ±15.32 kPa

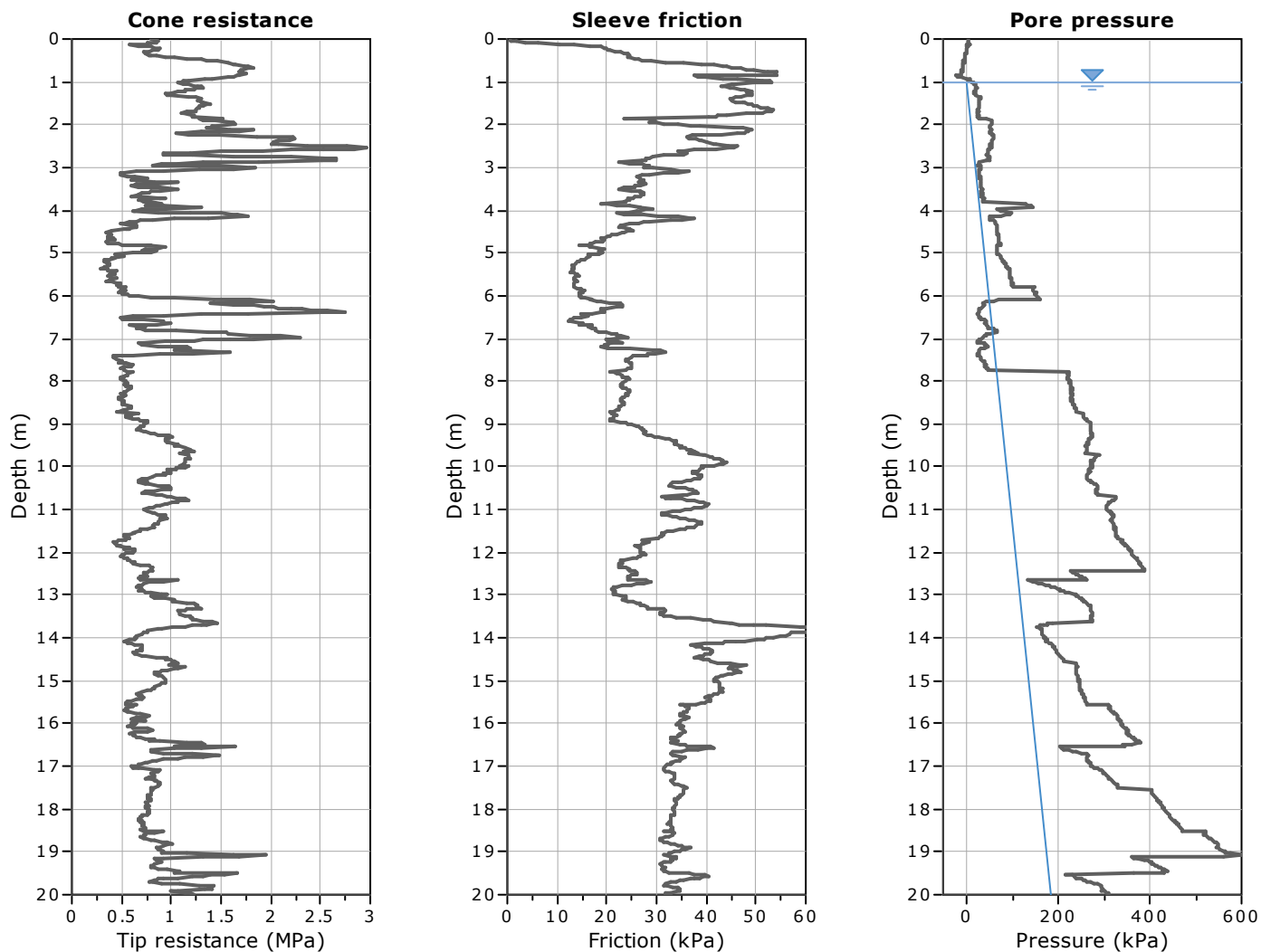
Su ratio: 0.37 ±0.11

O.C.R.: 1.72 ±0.51

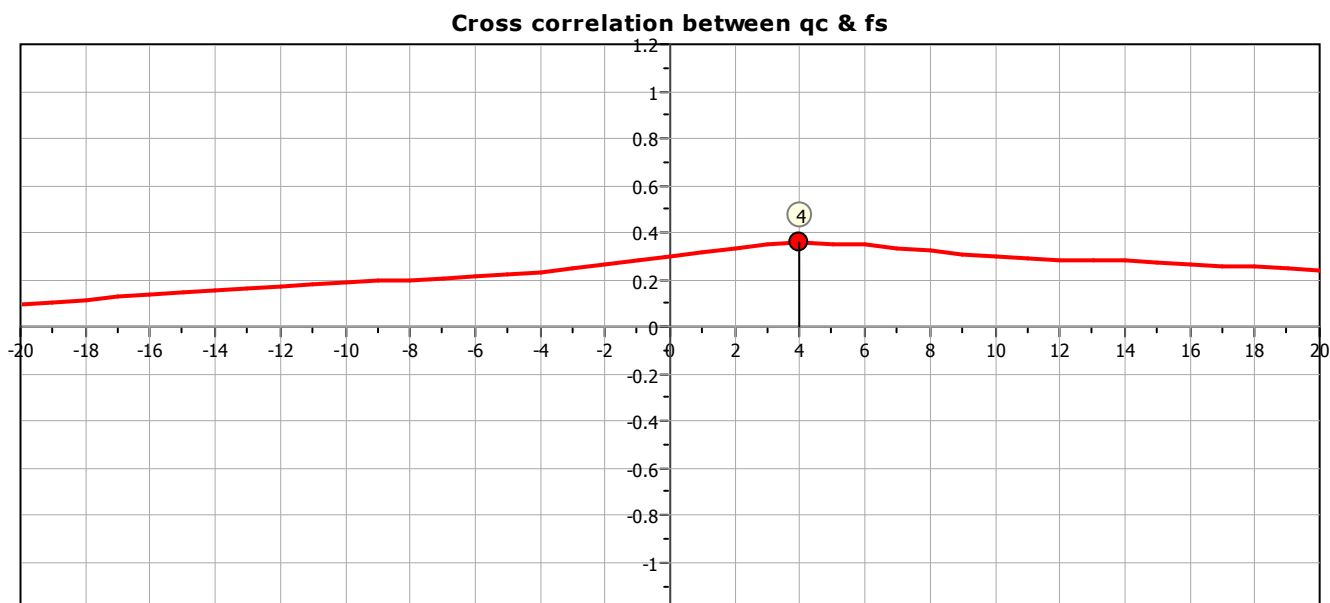
Summary table of mean values

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)
0.02	0.48	1.10E-07	3.8	19.6	0.0	0.0	11.9	23.5	61.8	1.2	5.7	16.0
0.50		(±2.10E-07)	(±0.7)	(±7.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±2.6)	(±4.7)	(±14.2)	(±0.3)	(±1.3)	(±1.0)
0.50	1.80	1.03E-07	5.8	29.0	0.0	0.0	19.2	35.9	95.9	1.9	8.9	17.4
2.30		(±1.09E-07)	(±0.7)	(±2.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±3.5)	(±2.4)	(±16.5)	(±0.3)	(±1.5)	(±0.2)
2.30	0.50	8.09E-07	7.1	30.7	36.1	35.8	29.0	37.1	0.0	0.0	0.0	17.4
2.80		(±6.93E-07)	(±1.4)	(±2.2)	(±2.8)	(±0.7)	(±8.1)	(±3.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.2)
2.80	1.50	1.73E-07	4.3	24.6	0.0	0.0	12.8	27.6	56.5	1.1	5.2	16.7
4.30		(±4.96E-07)	(±1.2)	(±1.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±7.3)	(±3.2)	(±18.3)	(±0.4)	(±1.7)	(±0.2)
4.30	1.70	5.84E-09	2.9	0.0	0.0	0.0	3.9	19.7	30.1	0.6	2.8	15.9
6.00		(±1.12E-08)	(±0.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±2.7)	(±2.3)	(±10.4)	(±0.2)	(±1.0)	(±0.3)
6.00	1.40	3.02E-07	5.1	23.9	0.0	0.0	16.0	28.4	56.3	1.0	4.4	16.5
7.40		(±5.17E-07)	(±1.5)	(±0.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±9.3)	(±5.1)	(±20.4)	(±0.3)	(±1.4)	(±0.4)
7.40	1.60	1.68E-09	3.8	0.0	0.0	0.0	3.5	25.7	34.1	0.5	2.4	16.4
9.00		(±1.19E-09)	(±0.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.2)	(±1.2)	(±6.0)	(±0.1)	(±0.4)	(±0.1)
9.00	2.50	5.68E-09	5.4	0.0	0.0	0.0	9.4	36.7	60.8	0.8	3.5	17.1
11.50		(±4.08E-09)	(±0.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±3.6)	(±2.9)	(±11.6)	(±0.2)	(±0.8)	(±0.2)
11.50	0.80	7.09E-10	4.5	0.0	0.0	0.0	2.5	31.3	33.9	0.4	1.7	16.6
12.30		(±2.43E-10)	(±0.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.7)	(±1.3)	(±5.1)	(±0.1)	(±0.3)	(±0.1)
12.30	1.50	4.32E-09	5.8	0.0	0.0	0.0	7.3	38.0	59.2	0.6	2.7	16.9
13.80		(±3.63E-09)	(±0.9)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±3.8)	(±6.2)	(±16.3)	(±0.1)	(±0.7)	(±0.4)
13.80	6.20	1.16E-09	6.2	0.0	0.0	0.0	3.8	43.0	47.7	0.4	1.7	17.1
20.00		(±2.47E-09)	(±0.9)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±2.7)	(±3.7)	(±15.3)	(±0.1)	(±0.5)	(±0.2)

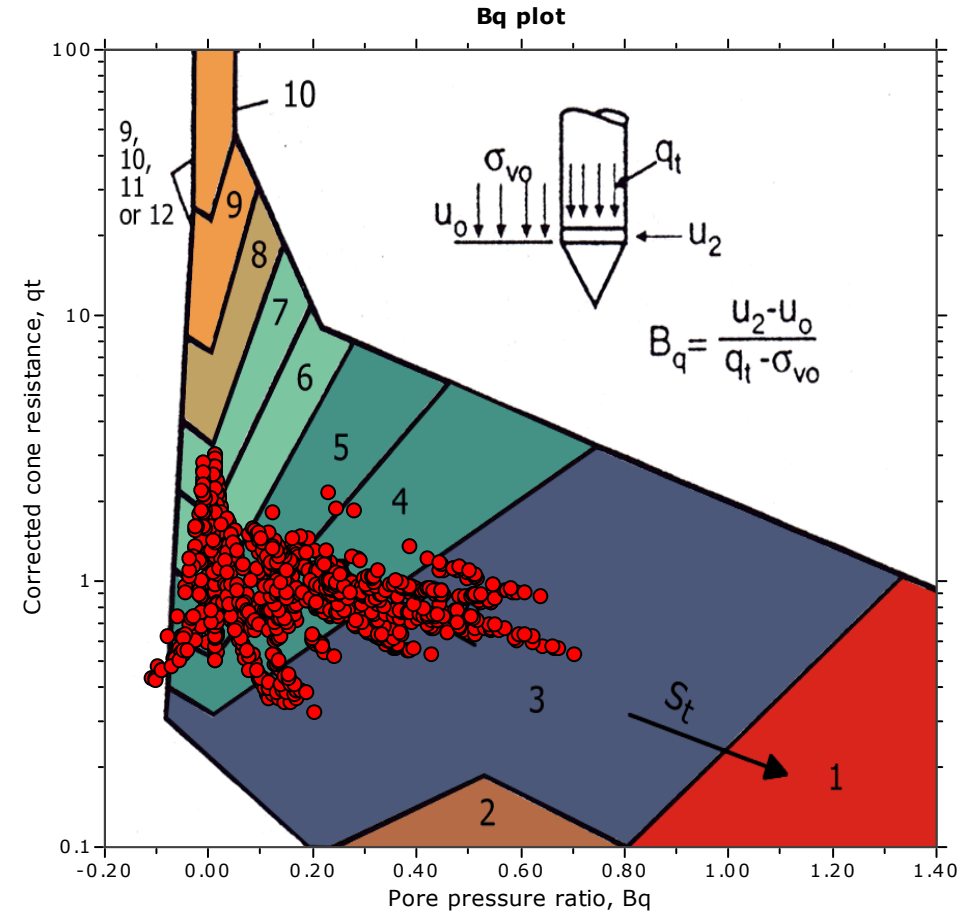
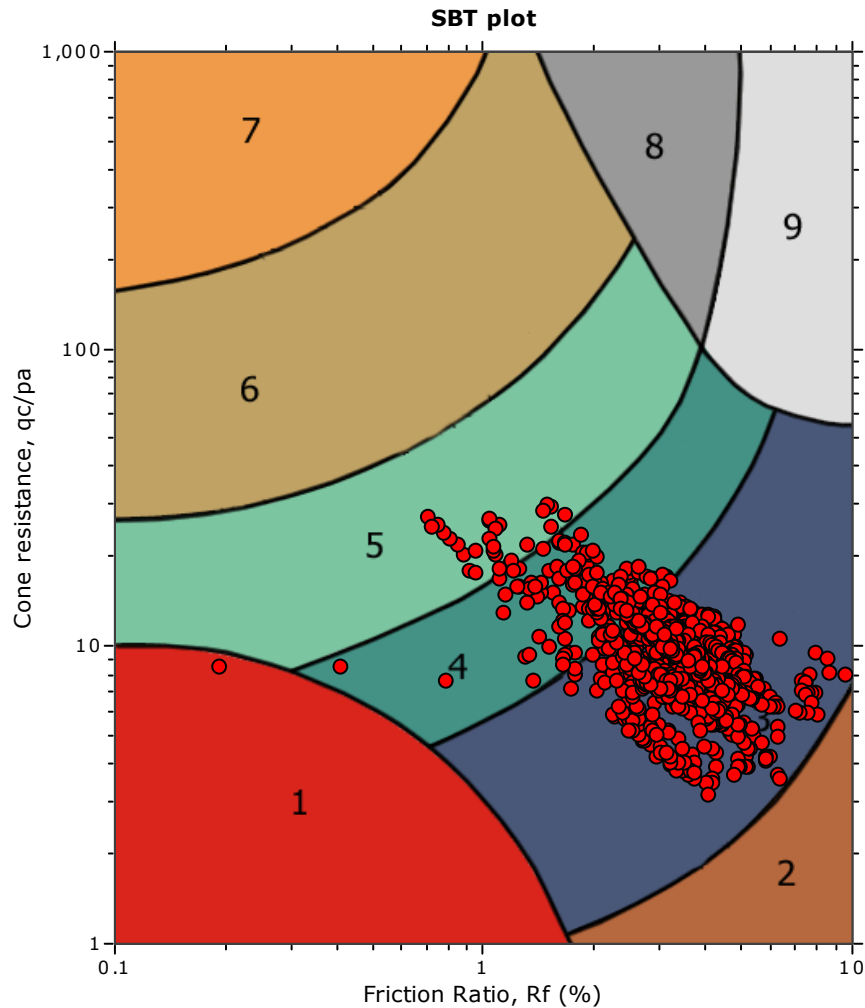
Depth values presented in this table are measured from free ground surface



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).



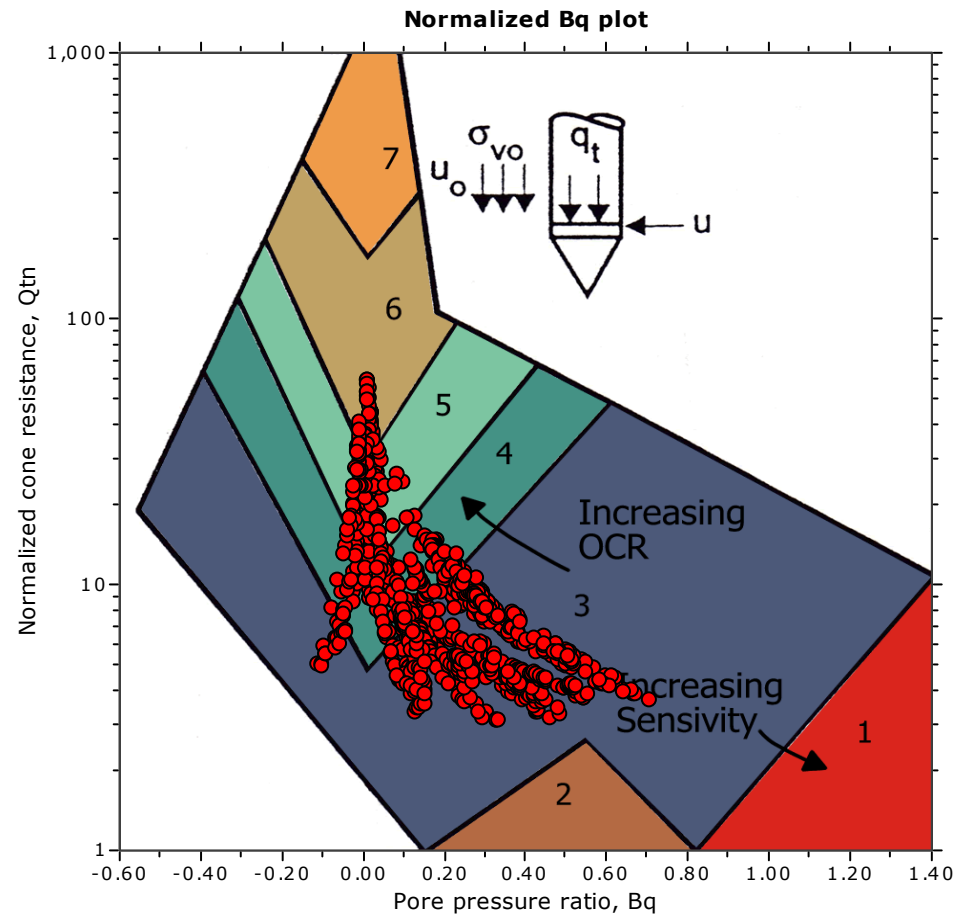
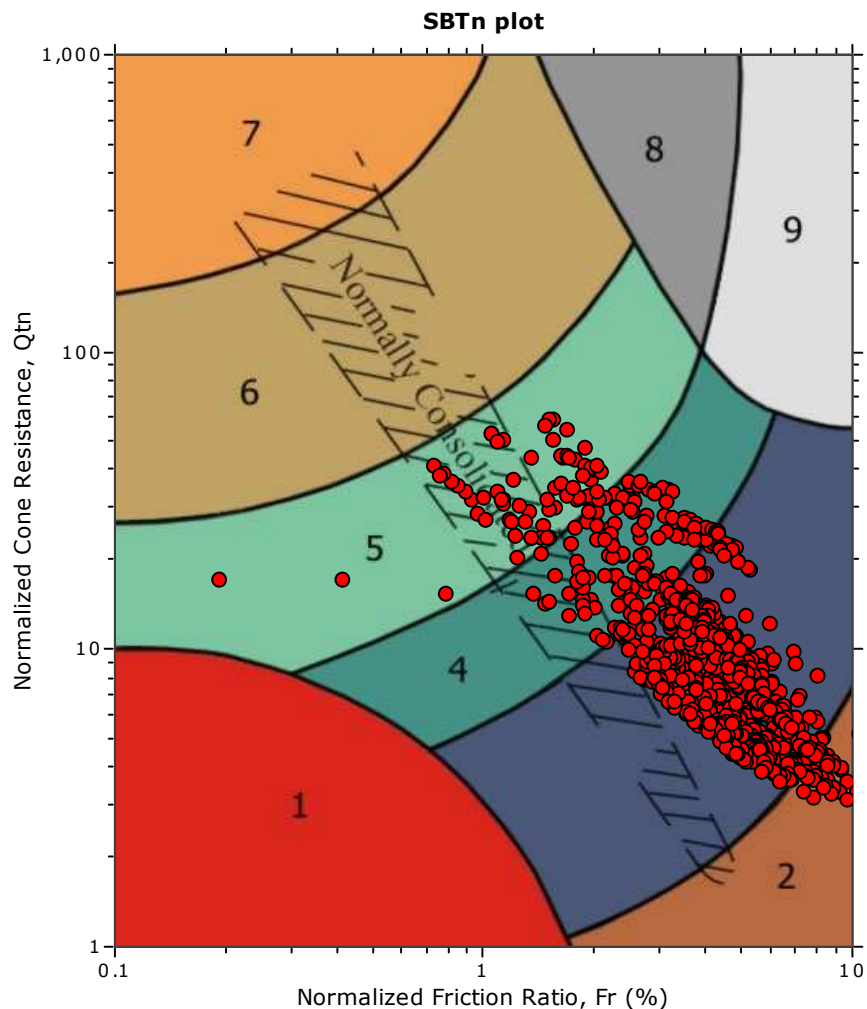
SBT - Bq plots



SBT legend

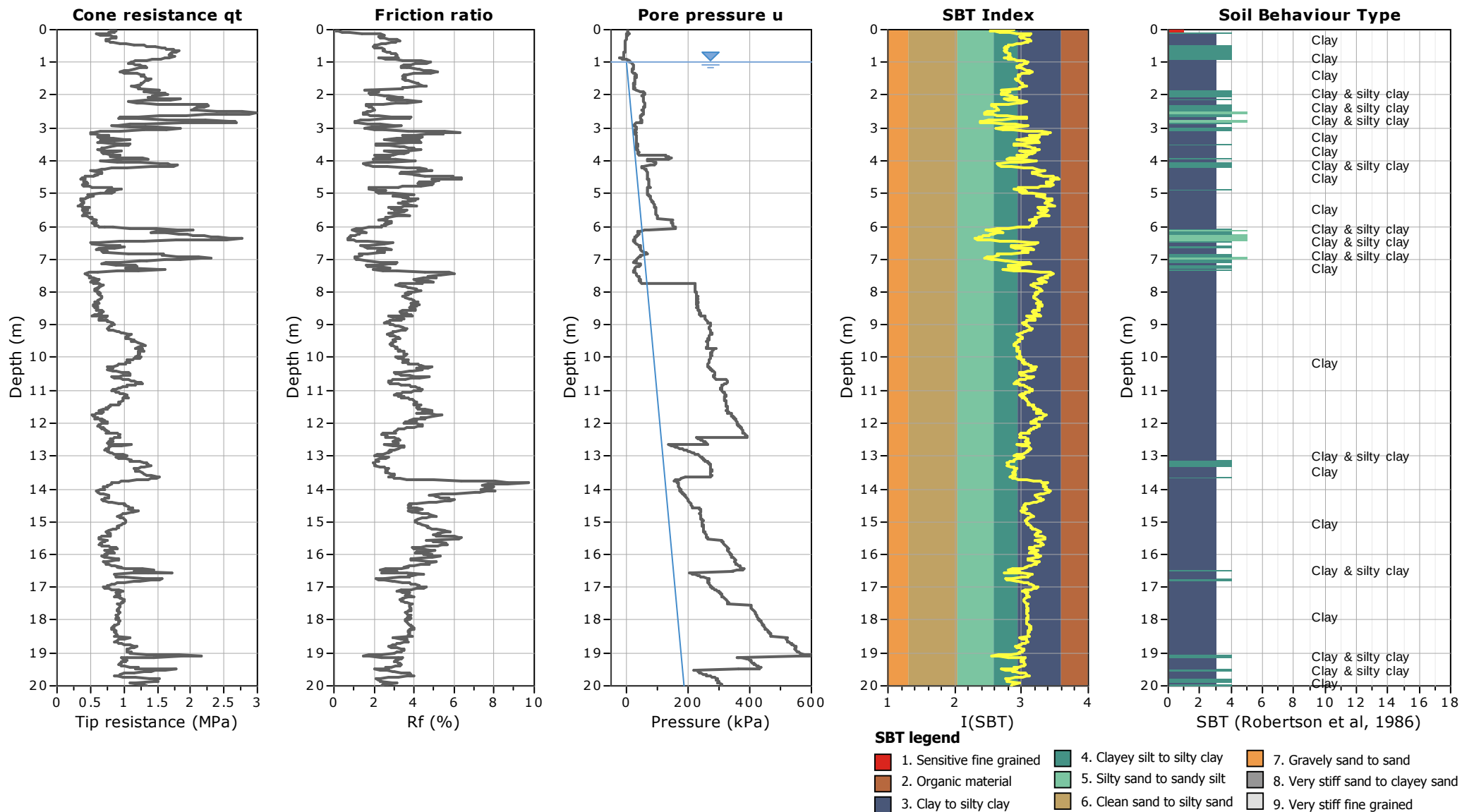
- | | | |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty clay | 7. Gravely sand to sand |
| 2. Organic material | 5. Silty sand to sandy silt | 8. Very stiff sand to clayey sand |
| 3. Clay to silty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

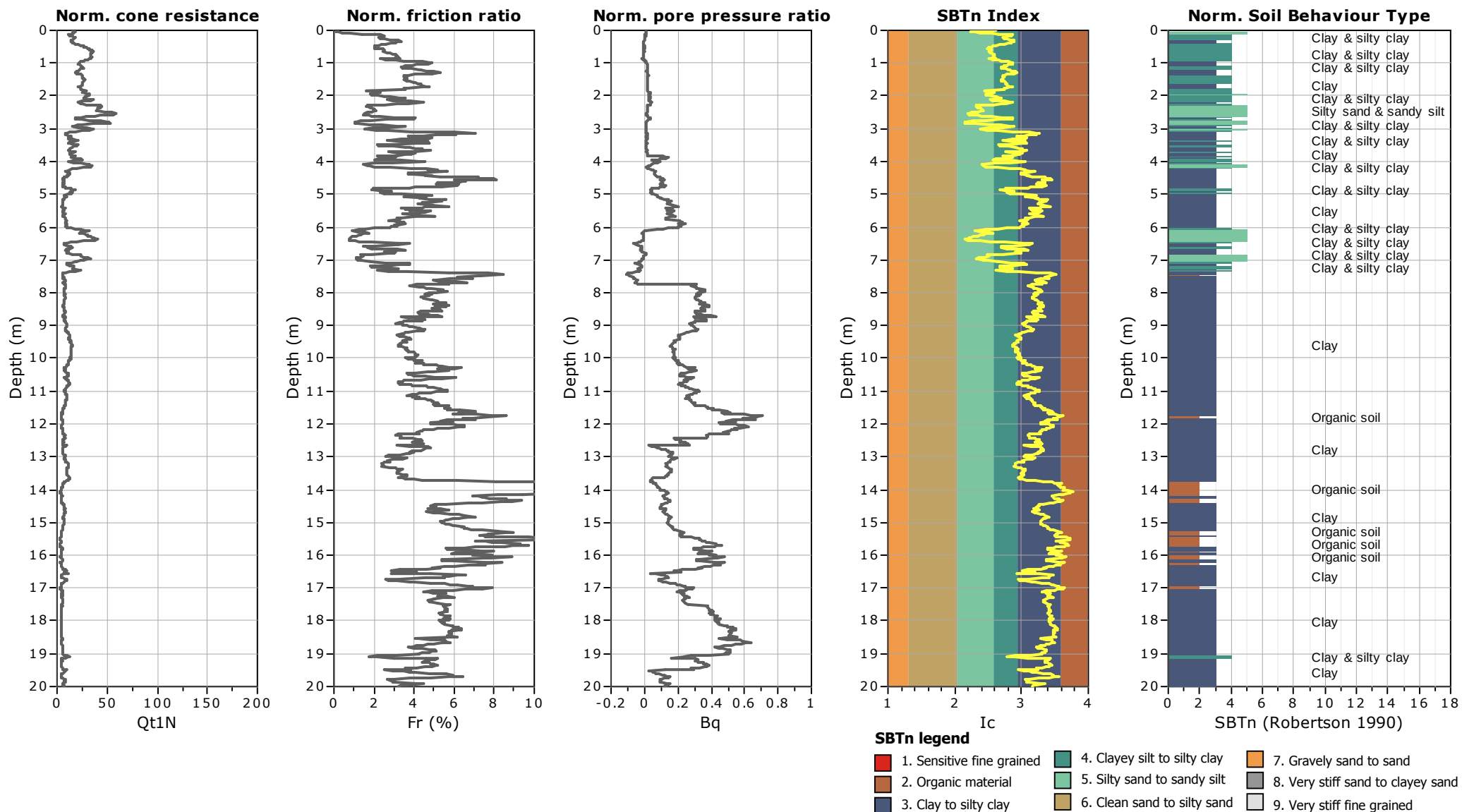
SBT - Bq plots (normalized)

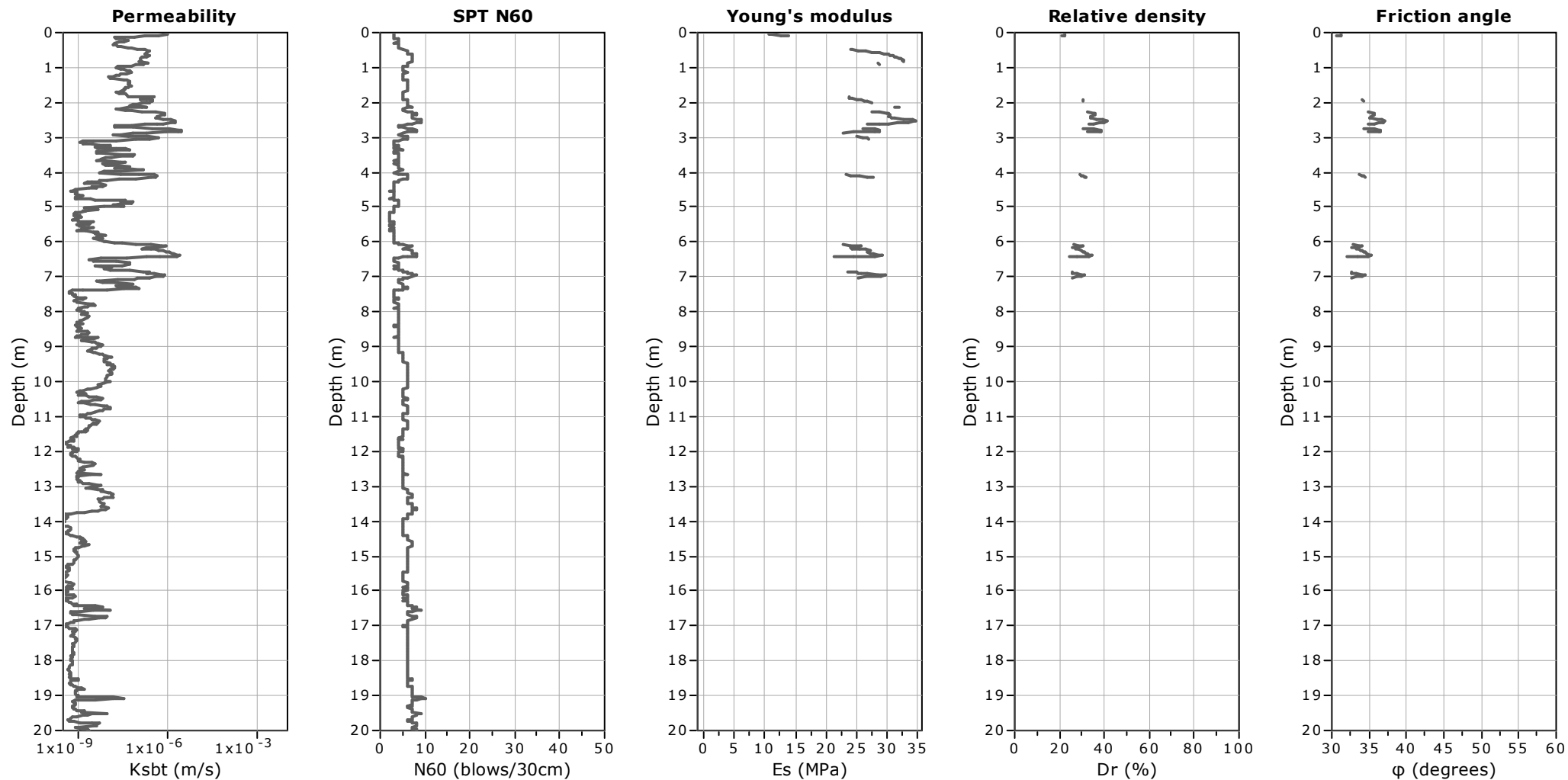


SBTn legend

- | | | |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 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 |







Calculation parameters

Permeability: Based on SBT_n

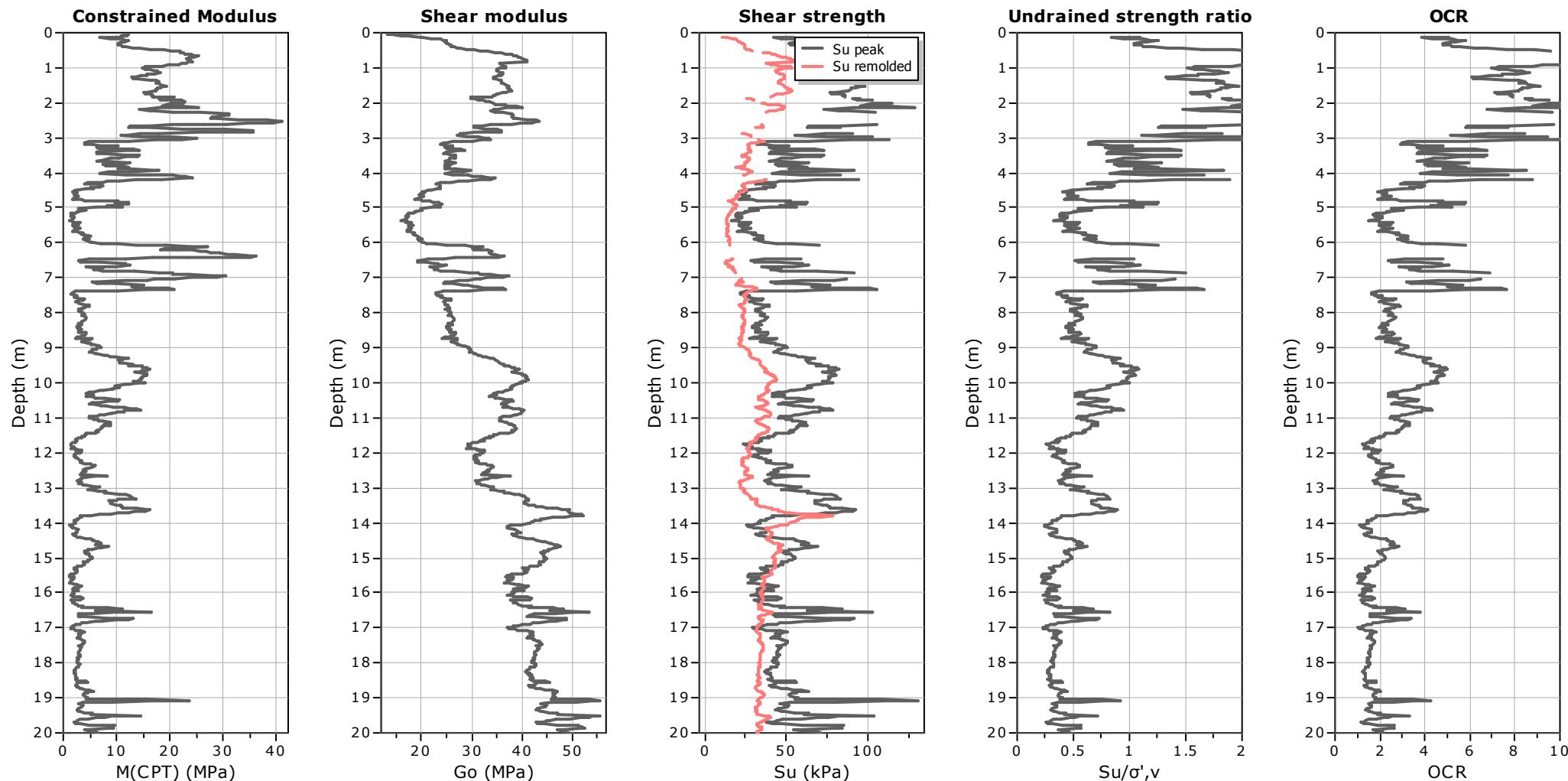
SPT N_{60} : Based on I_c and q_t

Young's modulus: Based on variable alpha using I_c (Robertson, 2009)

Relative density constant, C_{Dr} : 350.0

Phi: Based on Kulhavy & Mayne (1990)

—●— User defined estimation data



Calculation parameters

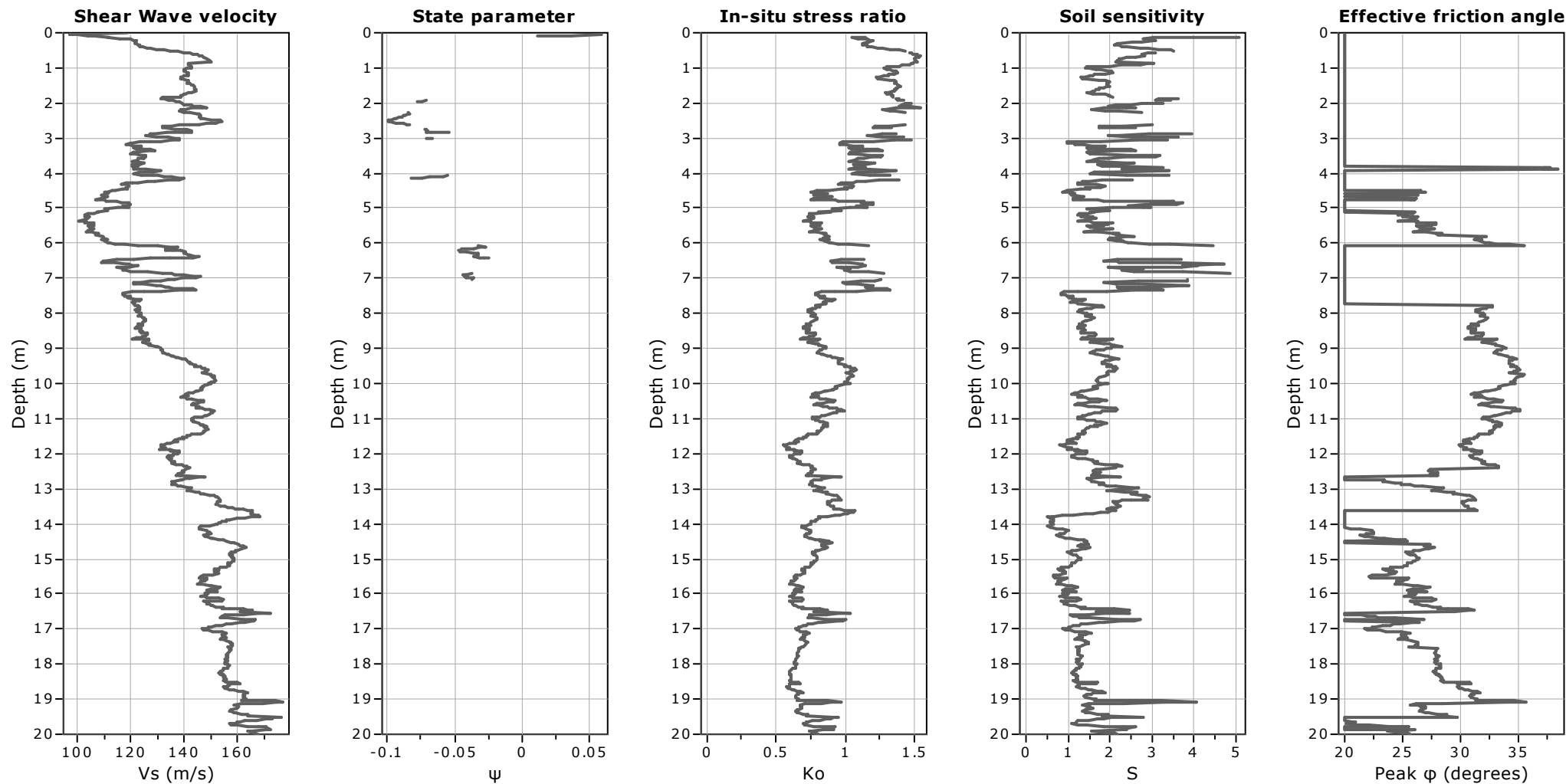
Constrained modulus: Based on variable α using I_c and Q_{in} (Robertson, 2009)

Go: Based on variable α using I_c (Robertson, 2009)

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

OCR factor for clays, N_{kt} : 0.33

—●— User defined estimation data



Calculation parameters

Soil Sensitivity factor, N_s : 7.00

—●— User defined estimation data

GEO GROUP s.r.l.

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

Prova penetrometrica statica con piezocono CPTU n. 3

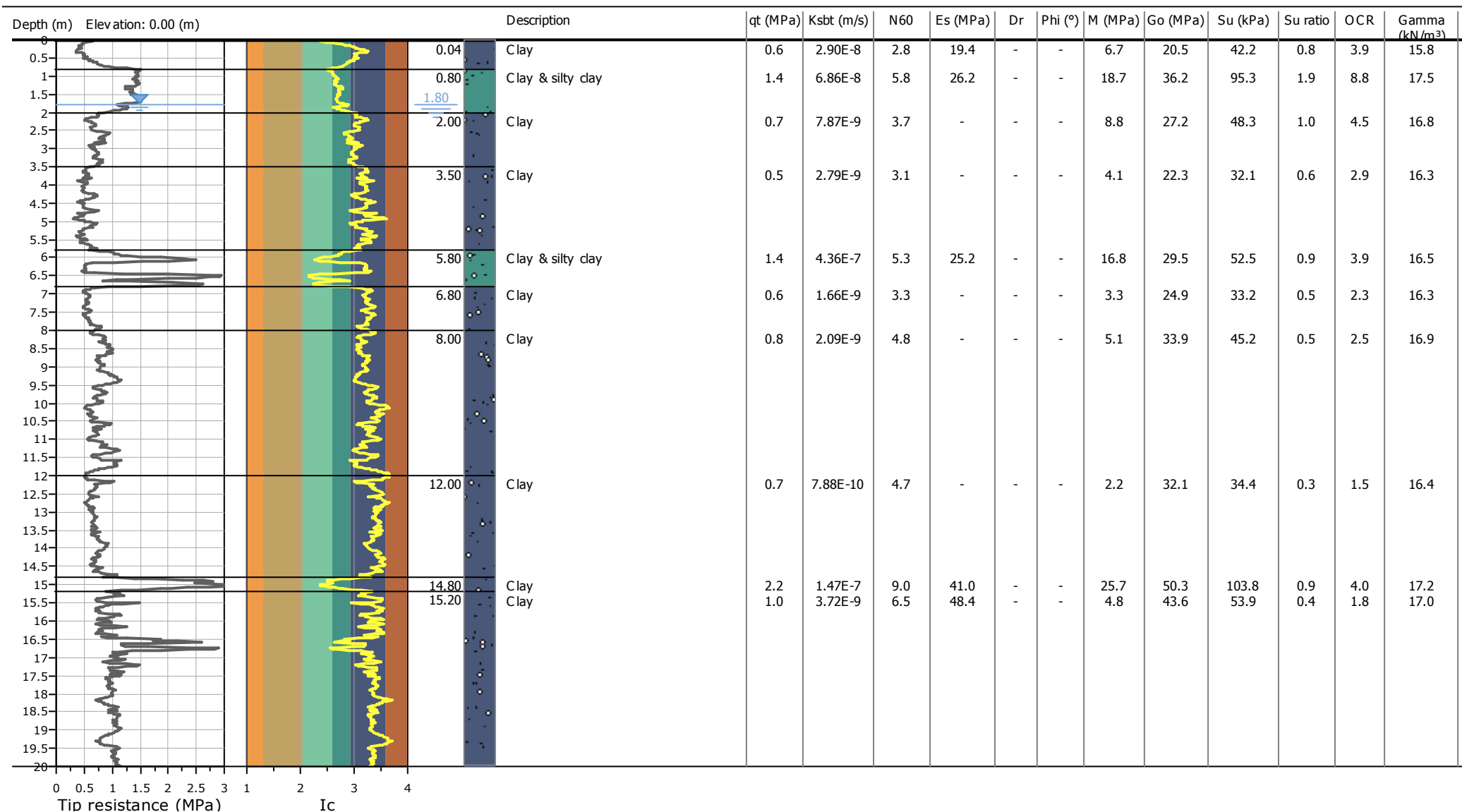
Project: STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE AREA LAMBORGHINI

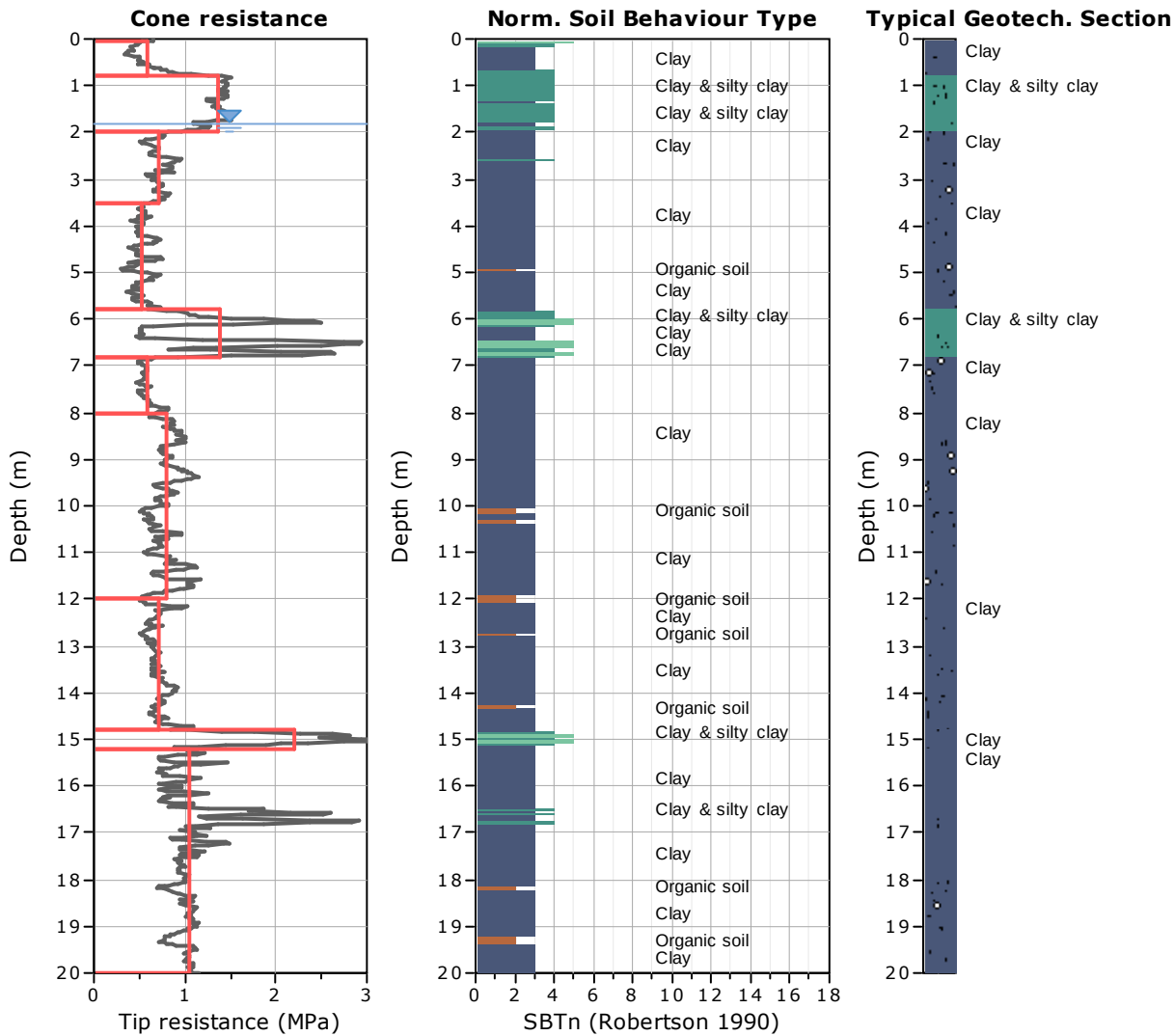
Location: S. AGATA BOLOGNESE (BO)

CPT: CPTu3

Total depth: 20.00 m, Date: 18/05/2015

Cone Type: TECNO PENTA TP CPL2IN





Tabular results

::: Layer No: 1 :::

Code: 1 **Start depth:** 0.04 (m), **End depth:** 0.80 (m)

Description: Clay

Basic results

Total cone resistance: 0.59 ± 0.24 MPa

Sleeve friction: 15.97 ± 7.47 kPa

SBT_n: 3

SBT_n description: Clay

Estimation results

Permeability: $2.90E-08 \pm 5.01E-08$ m/s

N₆₀: 2.79 ± 0.86 blows

Es: 19.37 ± 8.69 MPa

Dr (%): 0.00 ± 0.00

ö (degrees): 0.00 ± 0.00 °

Unit weight: 15.76 ± 0.88 kN/m³

Constrained Mod.: 6.73 ± 4.20 MPa

Go: 20.54 ± 4.95 MPa

Su: 42.17 ± 17.68 kPa

Su ratio: 0.84 ± 0.35

O.C.R.: 3.90 ± 1.63

::: Layer No: 2 :::**Code:** 2 **Start depth:** 0.80 (m), **End depth:** 2.00 (m)**Description:** Clay & silty clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.36 ±0.15 MPa

Sleeve friction: 45.68 ±7.29 kPa

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

Permeability: 6.86E-08 ±4.03E-08 m/s

N60: 5.77 ±0.46 blows

Es: 26.19 ±0.96 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

ö (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.48 ±0.21 kN/m³

Constrained Mod.: 18.69 ±2.10 MPa

Go: 36.25 ±2.39 MPa

Su: 95.34 ±10.73 kPa

Su ratio: 1.91 ±0.21

O.C.R.: 8.81 ±0.99

::: Layer No: 3 :::**Code:** 3 **Start depth:** 2.00 (m), **End depth:** 3.50 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 0.72 ±0.10 MPa

Sleeve friction: 31.20 ±3.82 kPa

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

Permeability: 7.87E-09 ±5.23E-09 m/s

N60: 3.74 ±0.44 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

ö (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.81 ±0.14 kN/m³

Constrained Mod.: 8.85 ±2.01 MPa

Go: 27.21 ±1.43 MPa

Su: 48.27 ±7.09 kPa

Su ratio: 0.97 ±0.14

O.C.R.: 4.46 ±0.66

::: Layer No: 4 :::**Code:** 4 **Start depth:** 3.50 (m), **End depth:** 5.80 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 0.53 ±0.10 MPa

Sleeve friction: 22.06 ±3.79 kPa

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

Permeability: 2.79E-09 ±2.55E-09 m/s

N60: 3.06 ±0.36 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

ö (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.28 ±0.22 kN/m³

Constrained Mod.: 4.10 ±1.80 MPa

Go: 22.28 ±1.75 MPa

Su: 32.06 ±7.07 kPa

Su ratio: 0.62 ±0.14

O.C.R.: 2.87 ±0.65

::: Layer No: 5 :::**Code:** 5 **Start depth:** 5.80 (m), **End depth:** 6.80 (m)**Description:** Clay & silty clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.38 ±0.81 MPa

Sleeve friction: 19.86 ±2.08 kPa

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

Permeability: 4.36E-07 ±7.00E-07 m/s

N60: 5.33 ±1.98 blows

Es: 25.15 ±1.51 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

ö (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.47 ±0.31 kN/m³

Constrained Mod.: 16.81 ±12.40 MPa

Go: 29.46 ±6.12 MPa

Su: 52.50 ±23.72 kPa

Su ratio: 0.85 ±0.36

O.C.R.: 3.93 ±1.67

::: Layer No: 6 :::**Code:** 6 **Start depth:** 6.80 (m), **End depth:** 8.00 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 0.59 ±0.09 MPa

Sleeve friction: 20.96 ±3.72 kPa

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

Permeability: 1.66E-09 ±1.76E-09 m/s

N60: 3.33 ±0.51 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

ö (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.26 ±0.22 kN/m³

Constrained Mod.: 3.31 ±1.46 MPa

Go: 24.93 ±2.44 MPa

Su: 33.18 ±6.56 kPa

Su ratio: 0.49 ±0.09

O.C.R.: 2.27 ±0.44

::: Layer No: 7 :::**Code:** 7 **Start depth:** 8.00 (m), **End depth:** 12.00 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 0.80 ±0.16 MPa

Sleeve friction: 32.21 ±6.37 kPa

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

Permeability: 2.09E-09 ±1.91E-09 m/s

N60: 4.79 ±0.59 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

ö (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.87 ±0.25 kN/m³

Constrained Mod.: 5.07 ±2.61 MPa

Go: 33.94 ±2.56 MPa

Su: 45.19 ±11.53 kPa

Su ratio: 0.54 ±0.16

O.C.R.: 2.48 ±0.72

::: Layer No: 8 :::**Code:** 8 **Start depth:** 12.00 (m), **End depth:** 14.80 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 0.70 ±0.11 MPa

Sleeve friction: 22.87 ±3.00 kPa

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

Permeability: 7.88E-10 ±7.10E-10 m/s

N60: 4.71 ±0.53 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

ö (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.44 ±0.17 kN/m³

Constrained Mod.: 2.23 ±1.07 MPa

Go: 32.05 ±2.82 MPa

Su: 34.42 ±7.81 kPa

Su ratio: 0.32 ±0.07

O.C.R.: 1.46 ±0.31

::: Layer No: 9 :::**Code:** 9 **Start depth:** 14.80 (m), **End depth:** 15.20 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 2.20 ±0.83 MPa

Sleeve friction: 31.29 ±3.99 kPa

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

Permeability: 1.47E-07 ±1.70E-07 m/s

N60: 9.00 ±1.92 blows

Es: 41.02 ±3.44 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

ö (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.21 ±0.28 kN/m³

Constrained Mod.: 25.70 ±13.91 MPa

Go: 50.32 ±6.88 MPa

Su: 103.81 ±43.34 kPa

Su ratio: 0.88 ±0.37

O.C.R.: 4.05 ±1.73

:: Layer No: 10 ::**Code:** 10 **Start depth:** 15.20 (m), **End depth:** 20.00 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.05 ±0.32 MPa

Sleeve friction: 31.77 ±3.39 kPa

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

Permeability: 3.72E-09 ±1.55E-08 m/s

N60: 6.53 ±1.01 blows

Es: 48.37 ±0.52 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

ö (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.96 ±0.19 kN/m³

Constrained Mod.: 4.76 ±5.39 MPa

Go: 43.64 ±4.54 MPa

Su: 53.89 ±23.36 kPa

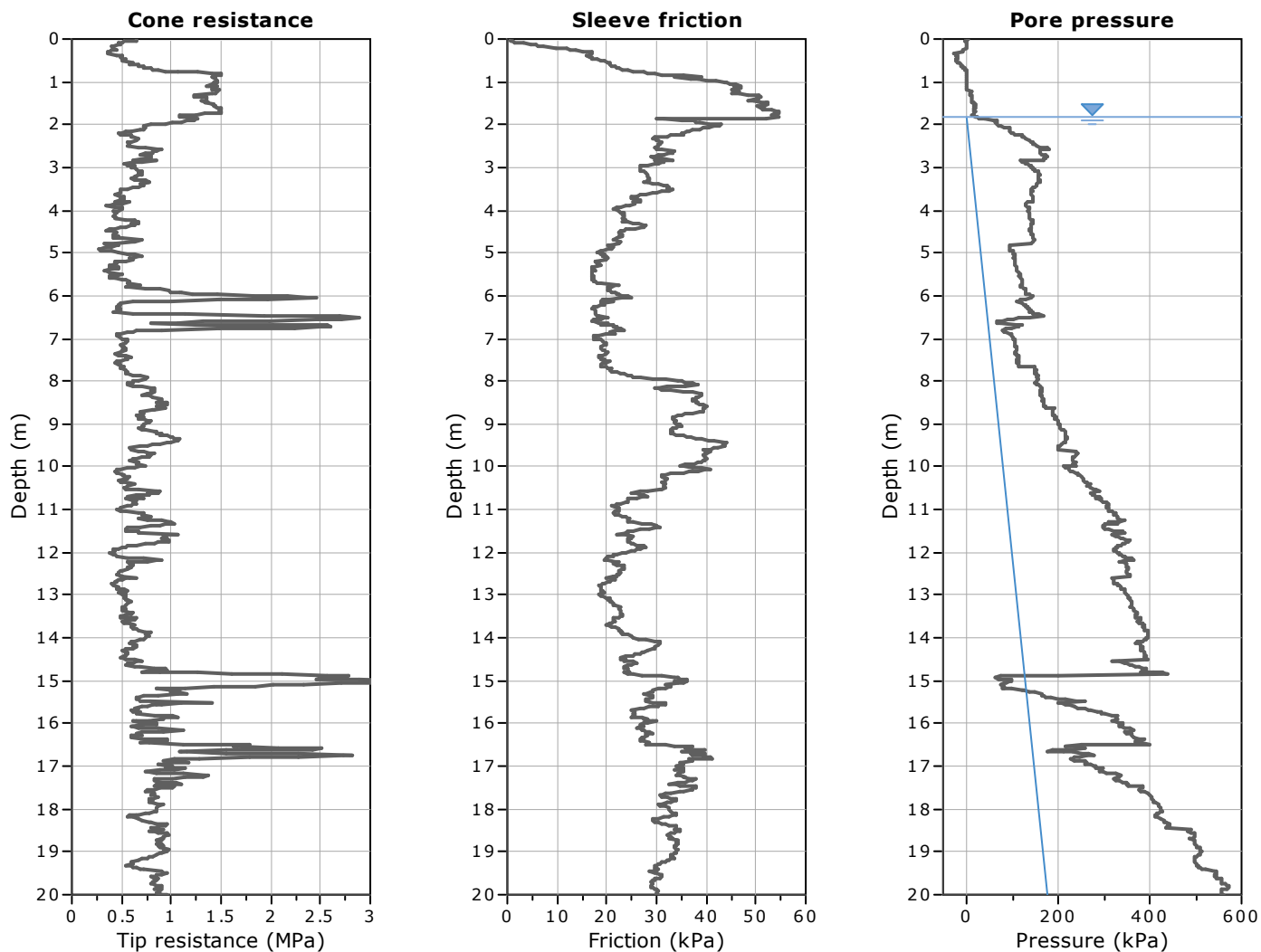
Su ratio: 0.39 ±0.19

O.C.R.: 1.82 ±0.86

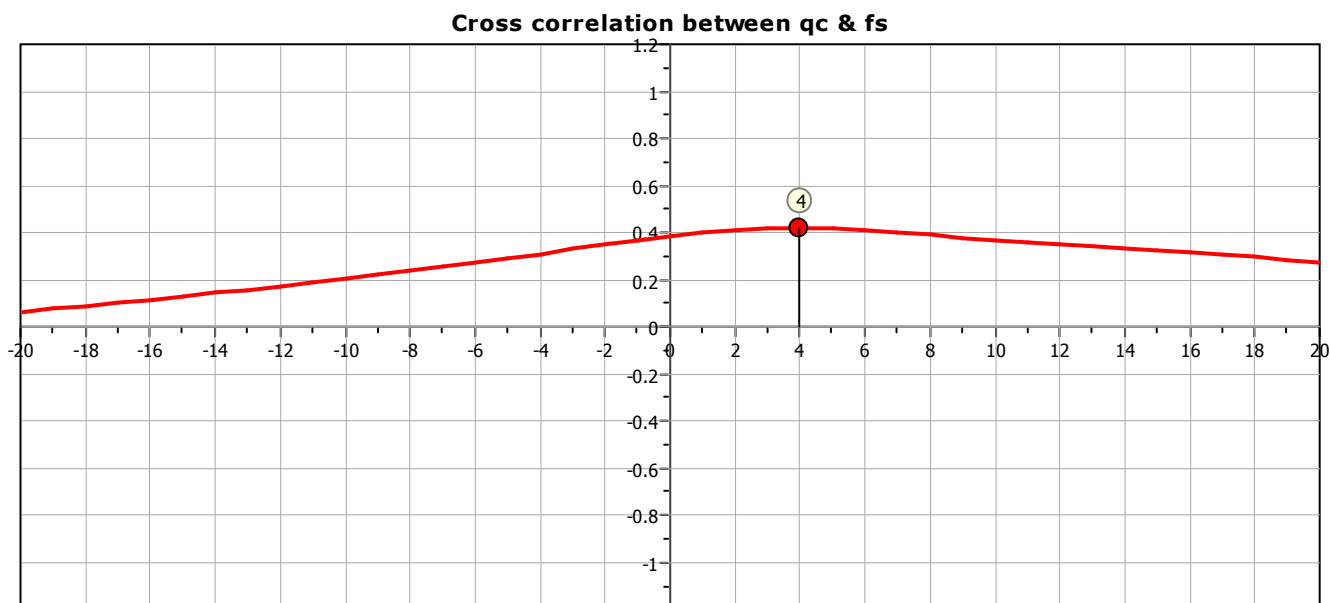
Summary table of mean values

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)
0.04	0.76	2.90E-08	2.8	19.4	0.0	0.0	6.7	20.5	42.2	0.8	3.9	15.8
0.80		(±5.01E-08)	(±0.9)	(±8.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±4.2)	(±4.9)	(±17.7)	(±0.4)	(±1.6)	(±0.9)
0.80	1.20	6.86E-08	5.8	26.2	0.0	0.0	18.7	36.2	95.3	1.9	8.8	17.5
2.00		(±4.03E-08)	(±0.5)	(±1.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±2.1)	(±2.4)	(±10.7)	(±0.2)	(±1.0)	(±0.2)
2.00	1.50	7.87E-09	3.7	0.0	0.0	0.0	8.8	27.2	48.3	1.0	4.5	16.8
3.50		(±5.23E-09)	(±0.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±2.0)	(±1.4)	(±7.1)	(±0.1)	(±0.7)	(±0.1)
3.50	2.30	2.79E-09	3.1	0.0	0.0	0.0	4.1	22.3	32.1	0.6	2.9	16.3
5.80		(±2.55E-09)	(±0.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.8)	(±1.7)	(±7.1)	(±0.1)	(±0.7)	(±0.2)
5.80	1.00	4.36E-07	5.3	25.2	0.0	0.0	16.8	29.5	52.5	0.9	3.9	16.5
6.80		(±7.00E-07)	(±2.0)	(±1.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±12.4)	(±6.1)	(±23.7)	(±0.4)	(±1.7)	(±0.3)
6.80	1.20	1.66E-09	3.3	0.0	0.0	0.0	3.3	24.9	33.2	0.5	2.3	16.3
8.00		(±1.76E-09)	(±0.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.5)	(±2.4)	(±6.6)	(±0.1)	(±0.4)	(±0.2)
8.00	4.00	2.09E-09	4.8	0.0	0.0	0.0	5.1	33.9	45.2	0.5	2.5	16.9
12.00		(±1.91E-09)	(±0.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±2.6)	(±2.6)	(±11.5)	(±0.2)	(±0.7)	(±0.3)
12.00	2.80	7.88E-10	4.7	0.0	0.0	0.0	2.2	32.1	34.4	0.3	1.5	16.4
14.80		(±7.10E-10)	(±0.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.1)	(±2.8)	(±7.8)	(±0.1)	(±0.3)	(±0.2)
14.80	0.40	1.47E-07	9.0	41.0	0.0	0.0	25.7	50.3	103.8	0.9	4.0	17.2
15.20		(±1.70E-07)	(±1.9)	(±3.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±13.9)	(±6.9)	(±43.3)	(±0.4)	(±1.7)	(±0.3)
15.20	4.80	3.72E-09	6.5	48.4	0.0	0.0	4.8	43.6	53.9	0.4	1.8	17.0
20.00		(±1.55E-08)	(±1.0)	(±0.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±5.4)	(±4.5)	(±23.4)	(±0.2)	(±0.9)	(±0.2)

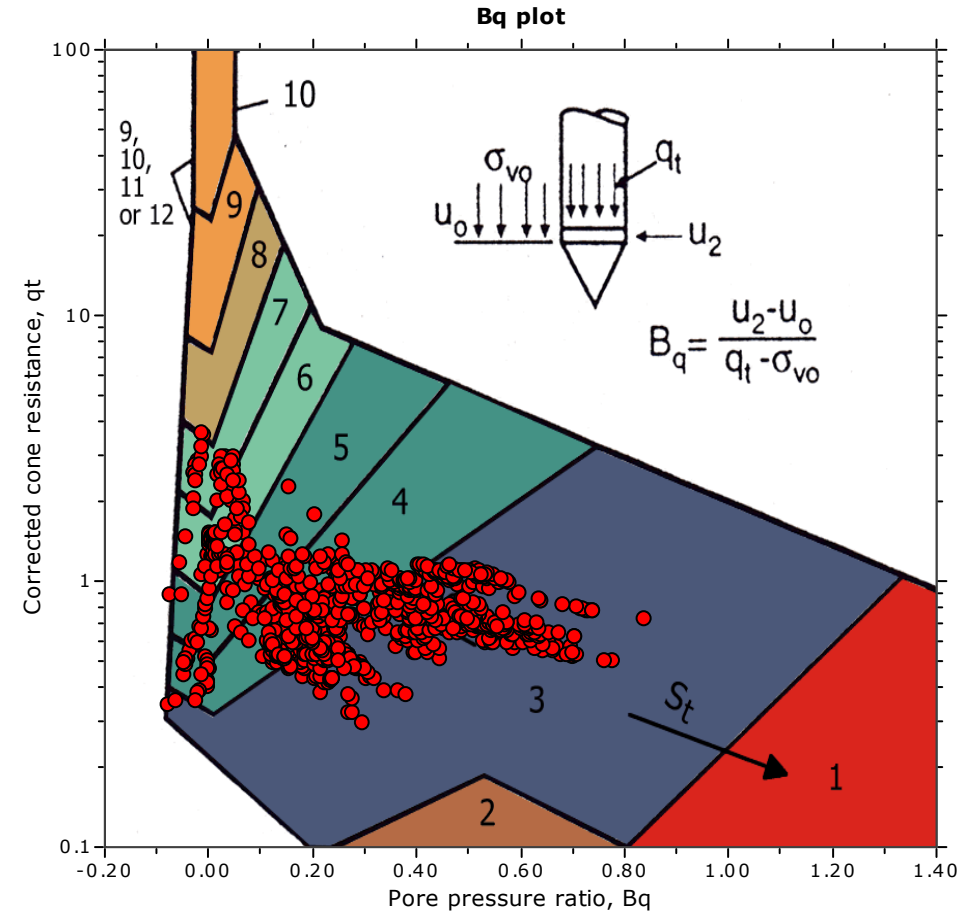
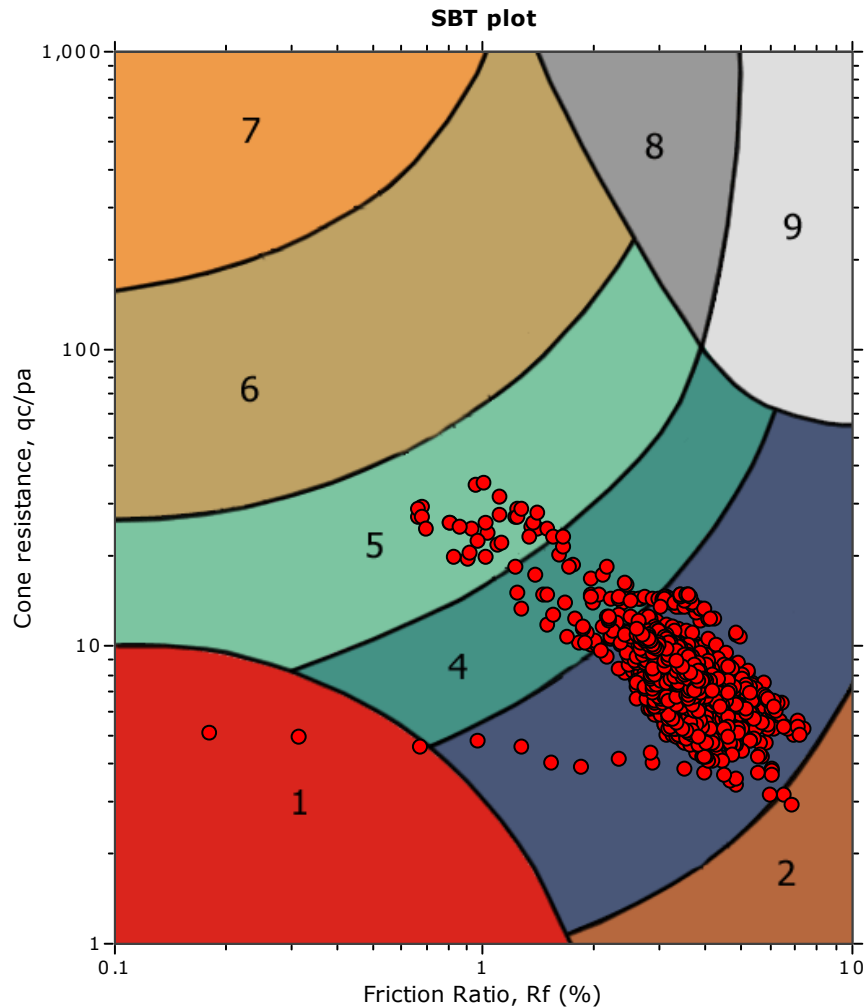
Depth values presented in this table are measured from free ground surface



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).



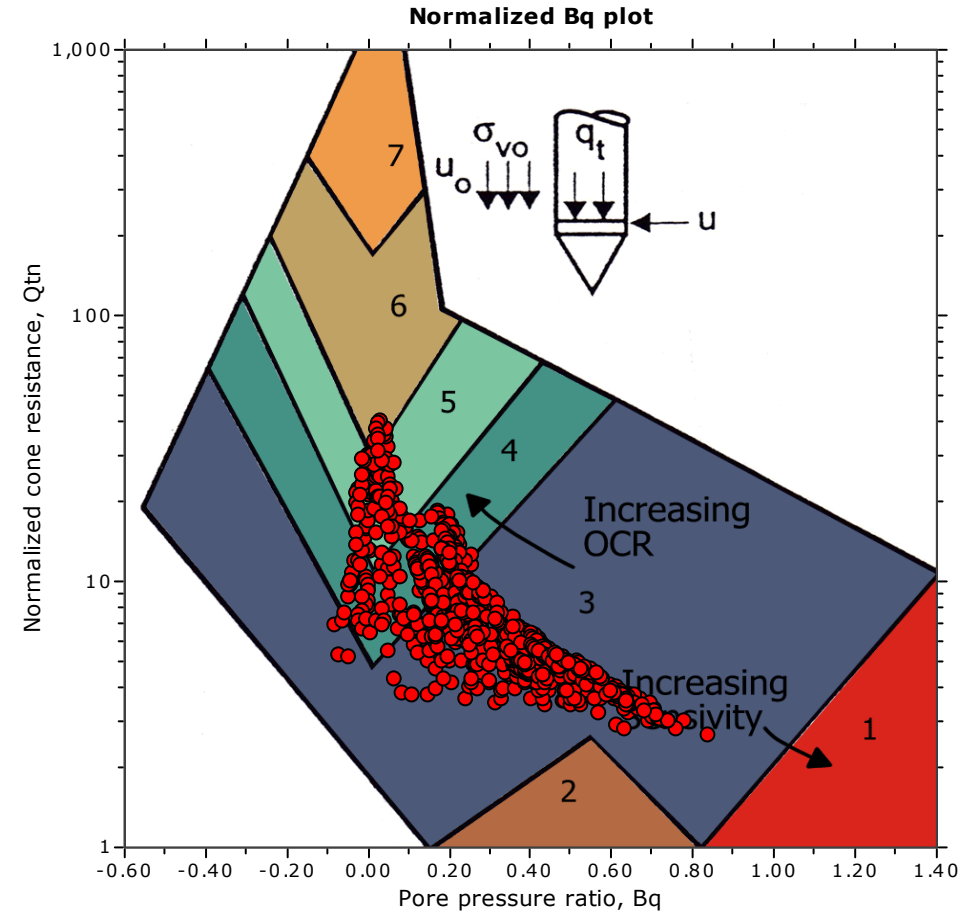
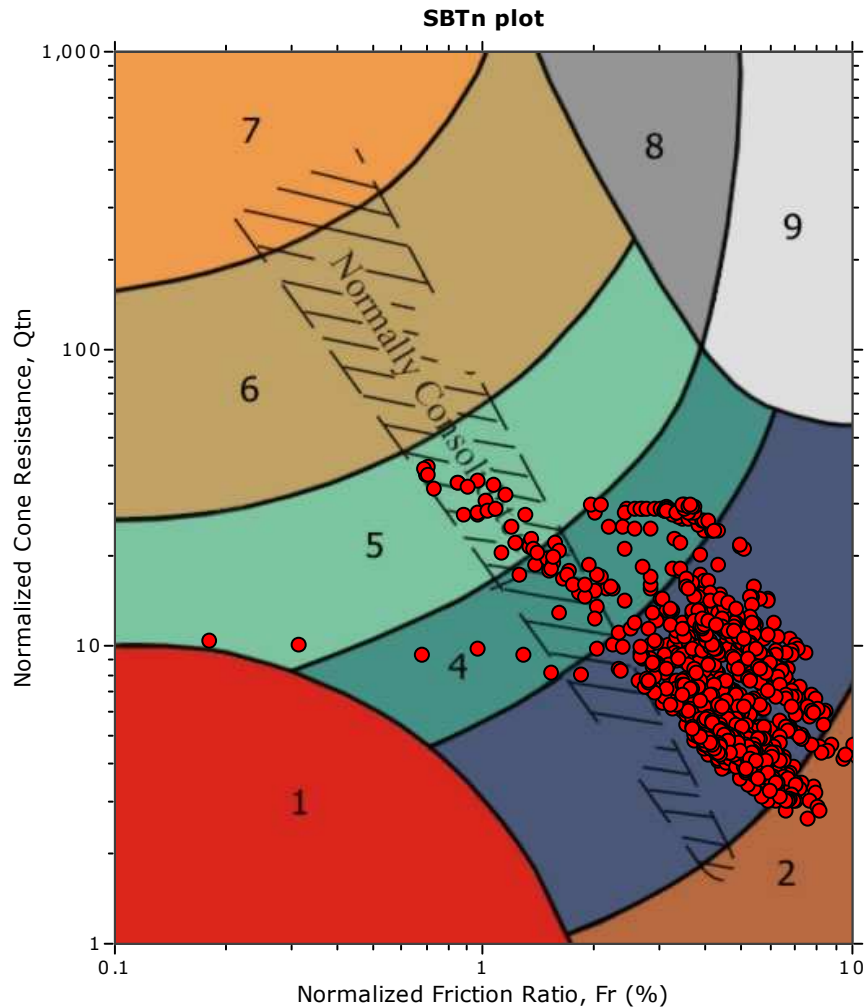
SBT - Bq plots



SBT legend

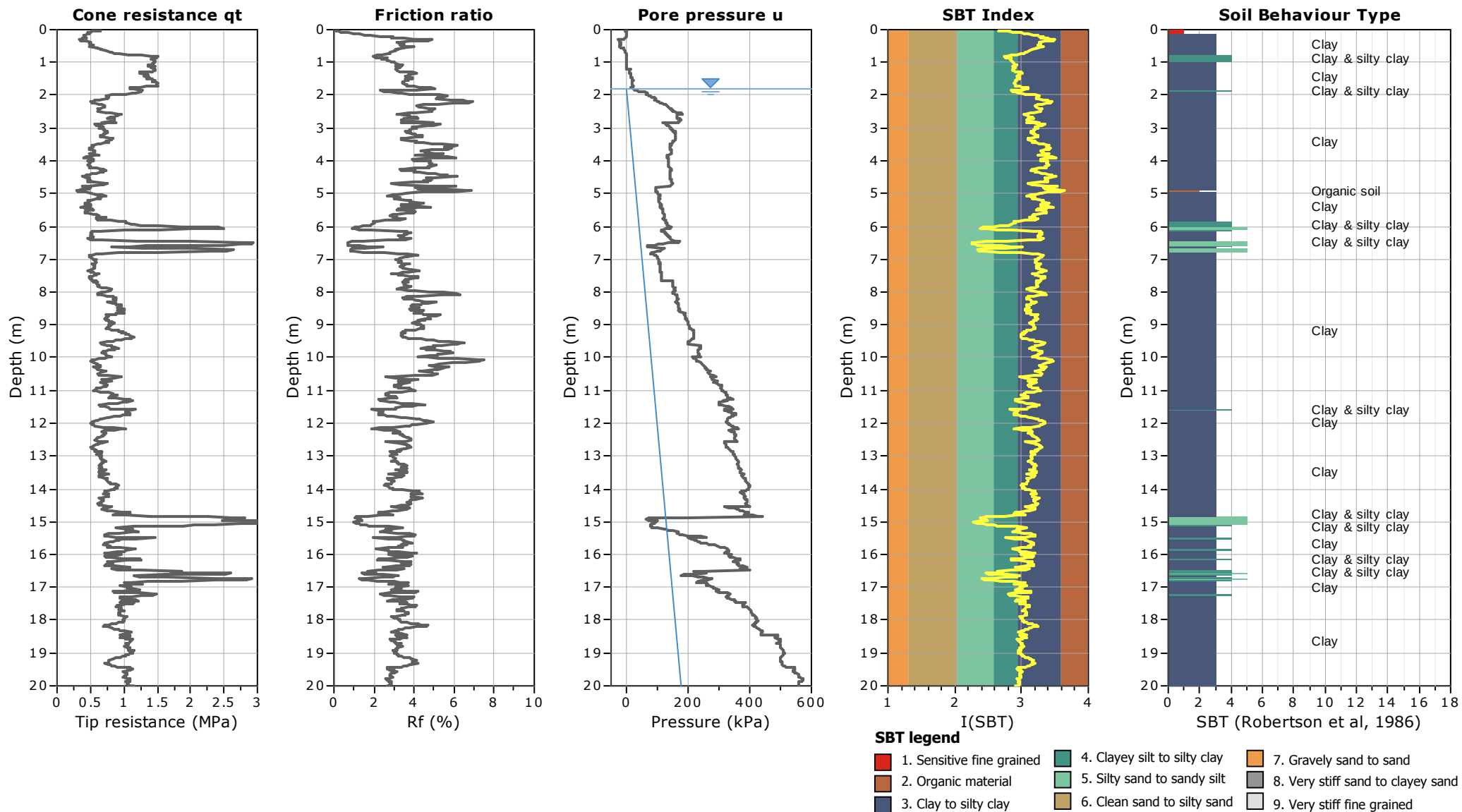
- | | | |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty clay | 7. Gravely sand to sand |
| 2. Organic material | 5. Silty sand to sandy silt | 8. Very stiff sand to clayey sand |
| 3. Clay to silty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

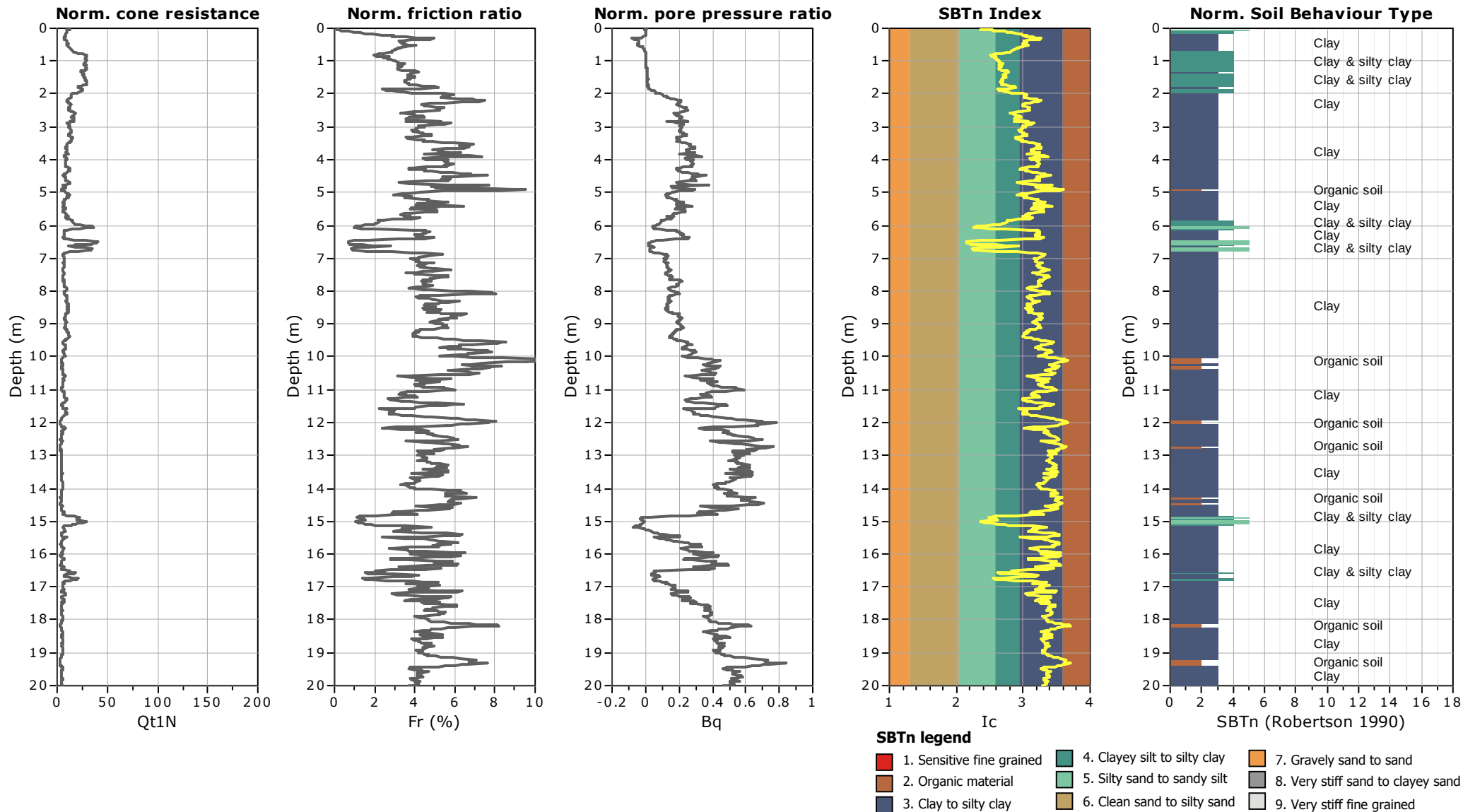
SBT - Bq plots (normalized)

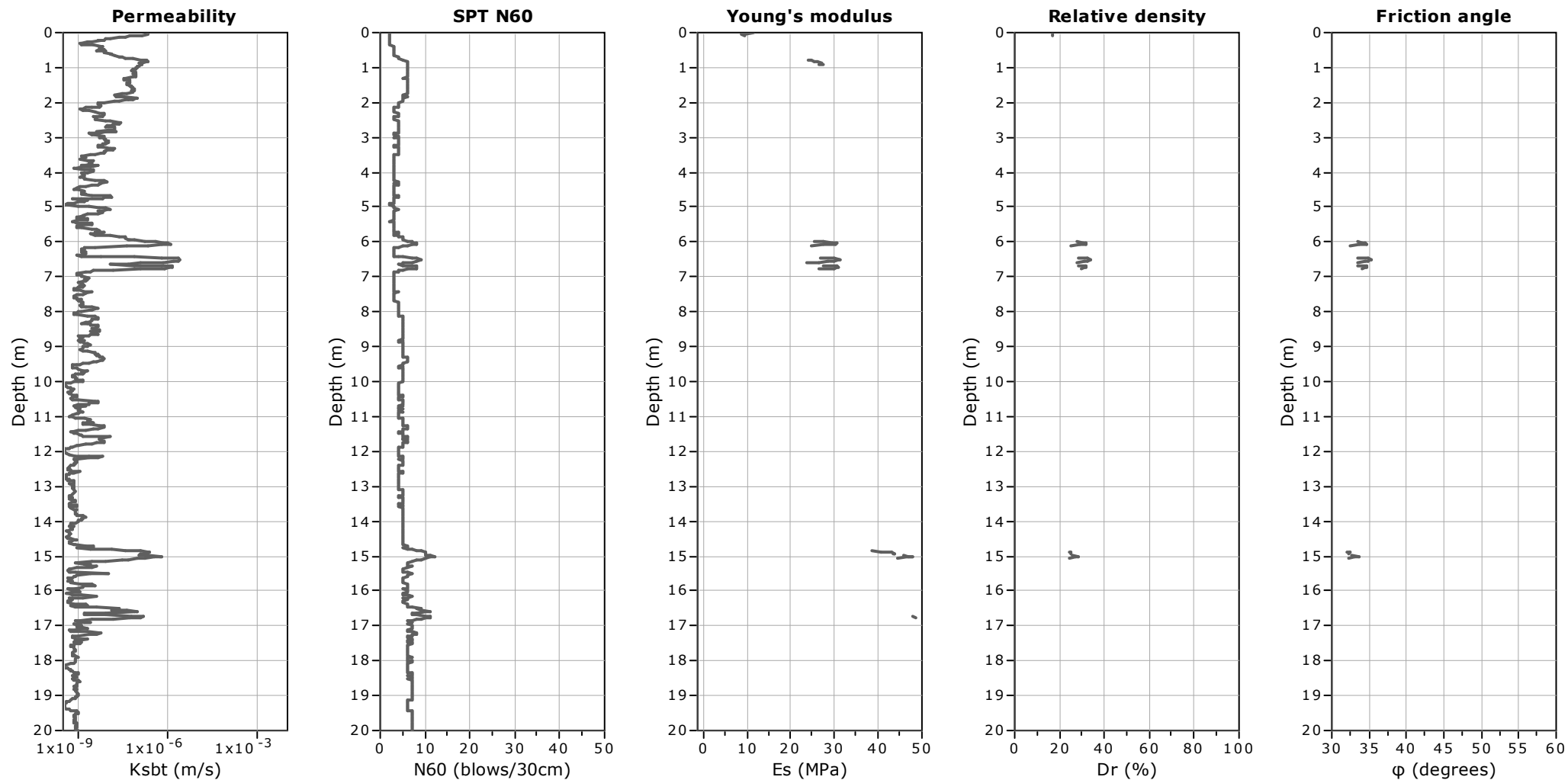


SBTn legend

- | | | |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 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 |







Calculation parameters

Permeability: Based on SBT_n

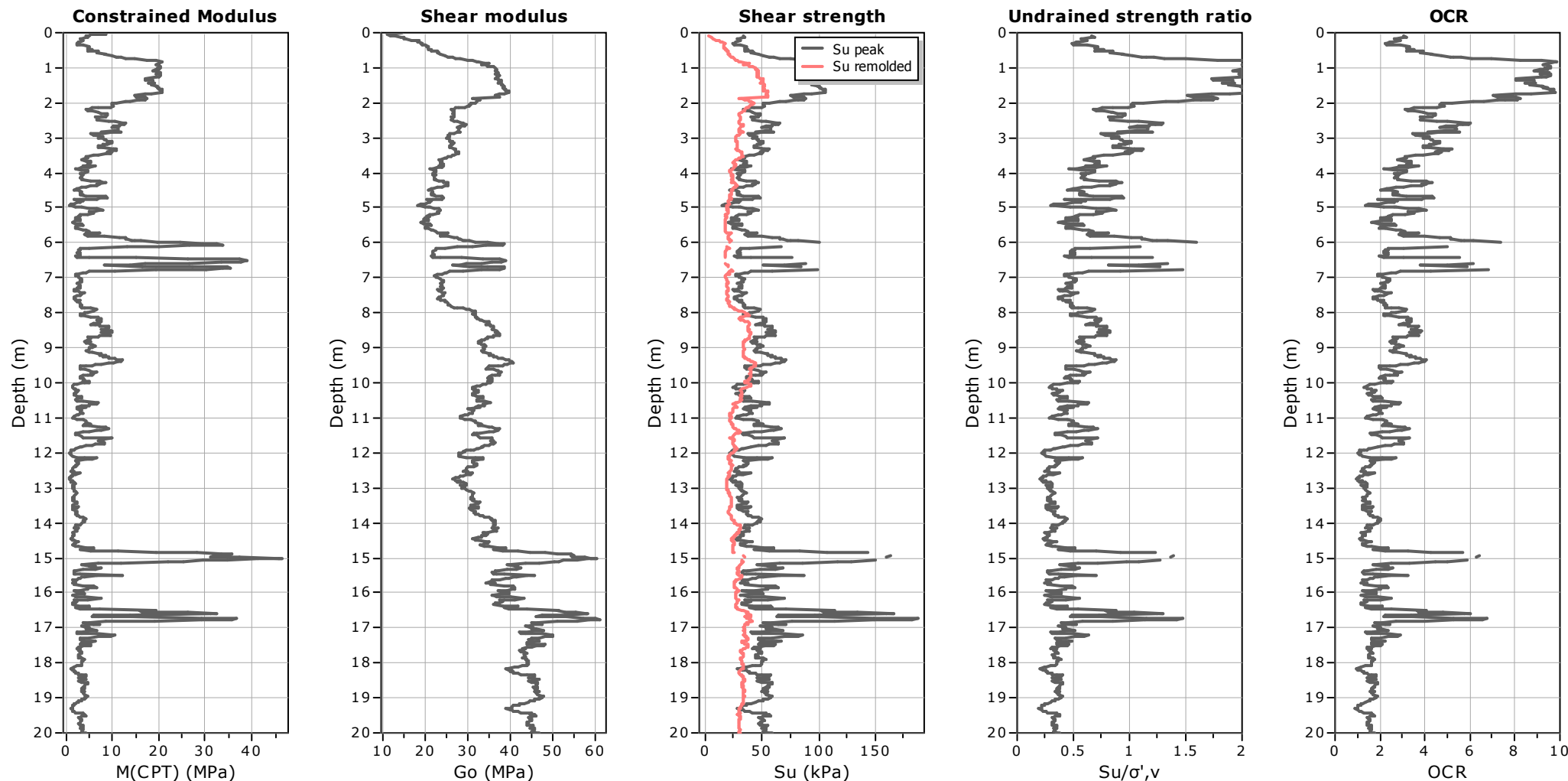
SPT N_{60} : Based on I_c and q_t

Young's modulus: Based on variable alpha using I_c (Robertson, 2009)

Relative density constant, C_{Dr} : 350.0

Phi: Based on Kulhavy & Mayne (1990)

—●— User defined estimation data



Calculation parameters

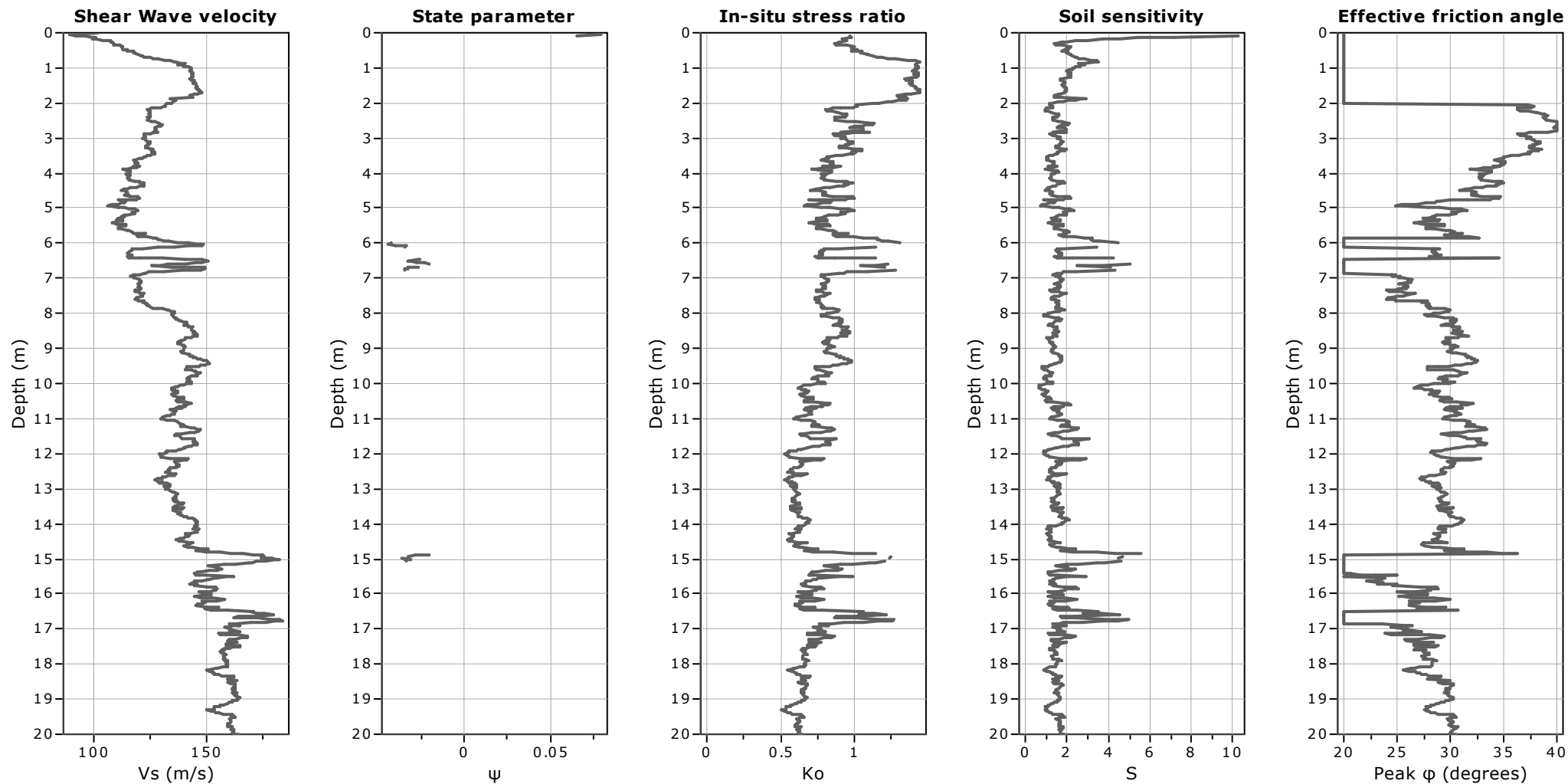
Constrained modulus: Based on variable α using I_c and Q_{tn} (Robertson, 2009)

Go: Based on variable α using I_c (Robertson, 2009)

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

OCR factor for clays, N_{kt} : 0.33

—●— User defined estimation data



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) ::

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

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

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

$$N_{60} = \left(\frac{q_c}{p_a} \right) \cdot \frac{1}{10^{1.1268 - 0.2817 I_c}}$$

$$N_{I(60)} = Q_{tn} \cdot \frac{1}{10^{1.1268 - 0.2817 I_c}}$$

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

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

(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 $SBT_n: 5, 6, 7 \text{ and } 8$)

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

If $I_c > 2.20$

$$a = 14 \text{ for } Q_{tn} > 14$$

$$a = Q_{tn} \text{ for } Q_{tn} \leq 14$$

$$M_{CPT} = a \cdot (q_t - \sigma_v)$$

If $I_c \leq 2.20$

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

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

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

:: 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 $SBT_n: 1, 2, 3, 4 \text{ and } 9$ 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 $SBT_n: 1, 2, 3, 4 \text{ and } 9$ or $I_c > I_{c_cutoff}$)

:: In situ Stress Ratio, K_0 ::

$$K_0 = 0.1 \cdot \left(\frac{q_t - \sigma_v}{\sigma'_{vo}} \right)$$

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

:: Soil Sensitivity, S_t ::

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

(applicable only to $SBT_n: 1, 2, 3, 4 \text{ and } 9$ 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.

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

ALLEGATO N° 2

Verifiche geotecniche

GEO GROUP s.r.l.

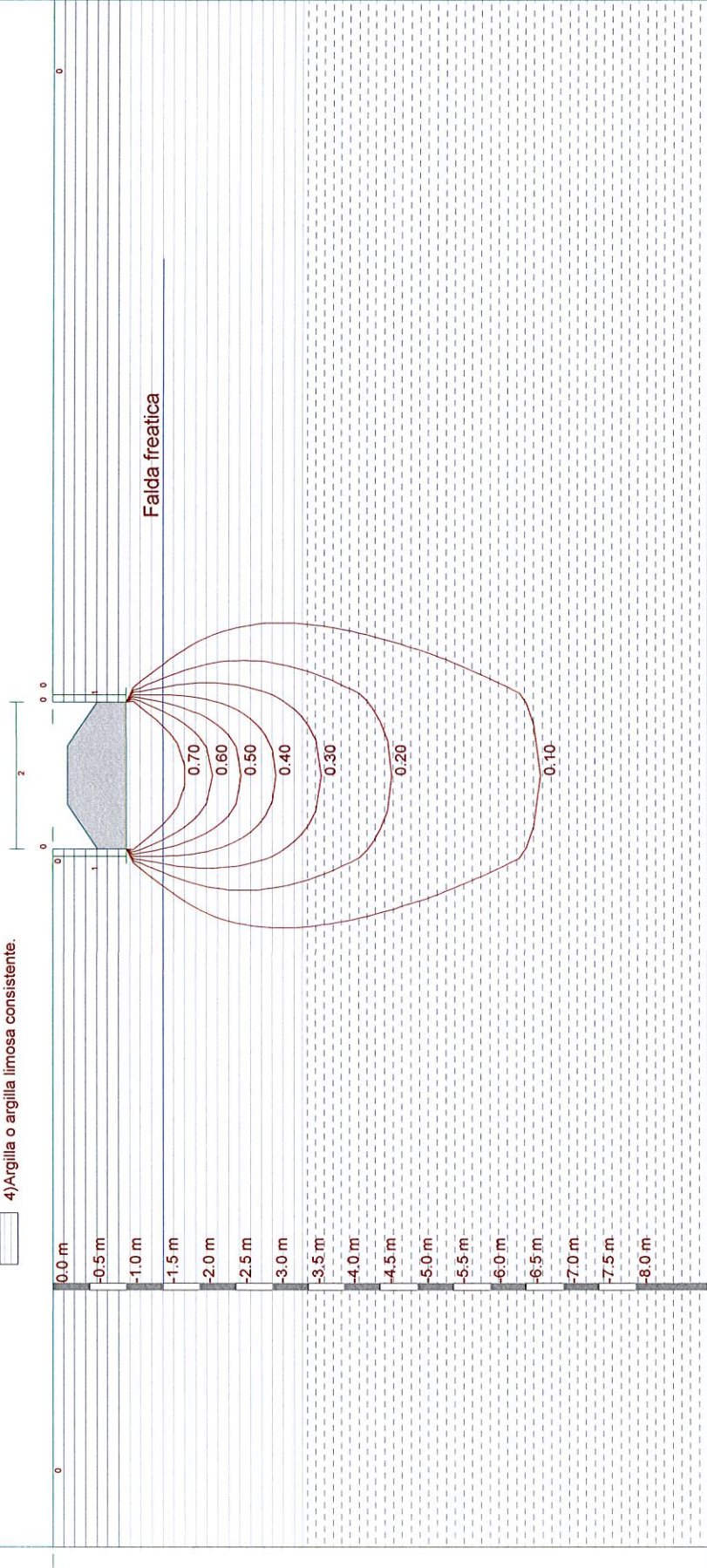
Indagini geognostiche e geofisiche – geologia applicata alle costruzioni – laboratorio geotecnico - idrogeologia
– coltivazione cave– bonifiche – consolidamenti – geologia ambientale – consulenze geologiche e geotecniche

Verifiche geotecniche CPT n. 1

MODELLO GEOTECNICO MEDIO		Comittente: STUDIO TECNICO Località: SANTIAGATA BOLOGNESE (BO) Data: 22/05/2015				
N.1						
Falda (m): 1.5		Note:				
Tipologia fondazione: nastri forme						
Legenda: $\Phi(\text{°})$ =angolo d'attrito - $C(\text{kg/cm}^2)$ =coesione - $E(\text{kg/cm}^2)$ =modulo di deformazione $P_v(\text{kg/mc})$ =peso di volume naturale						
H(m)	H ₂ O	Descrizione	Phi (°)	C (kg/cm ²)	E (kg/cm ²)	P _v (kg/mc)
0.0	0.0	Argilla o argilla limosa mediamente consistente.	23 0	0.5	50.0	1407.9
1.0						
2.0						
3.0						
4.0						
5.0	3.4	Argilla o argilla limosa poco consistente.	20 0	0.3	35.0	1050.0
6.0						
7.0						
8.0						
9.0						
10.0	9.2	Argilla o argilla limosa mediamente consistente.	23 0	0.7	45.0	1100.0
11.0						
12.0						
13.0						
14.0						
15.0	22.0	Argilla o argilla limosa consistente.	25 0	1.0	100.0	1200.0
16.0						
17.0						
18.0						
19.0						
20.0						
21.0						
22.0						
23.0						
24.0						
25.0						

- ☐ 1) Argilla o argilla limosa mediamente consistente.
- ☐ 2) Argilla o argilla limosa poco consistente.
- ☐ 3) Argilla o argilla limosa mediamente consistente.
- ☐ 4) Argilla o argilla limosa consistente.

Tensioni indotte met. Newmark



☐

☐

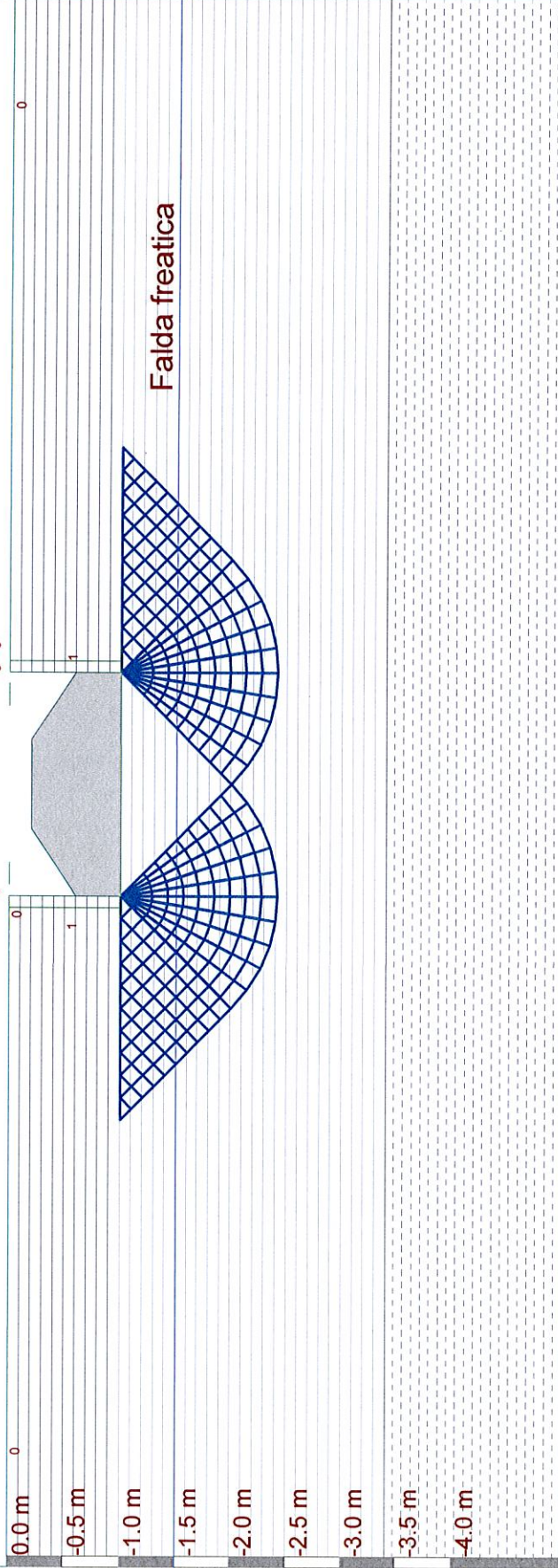
☐

☐

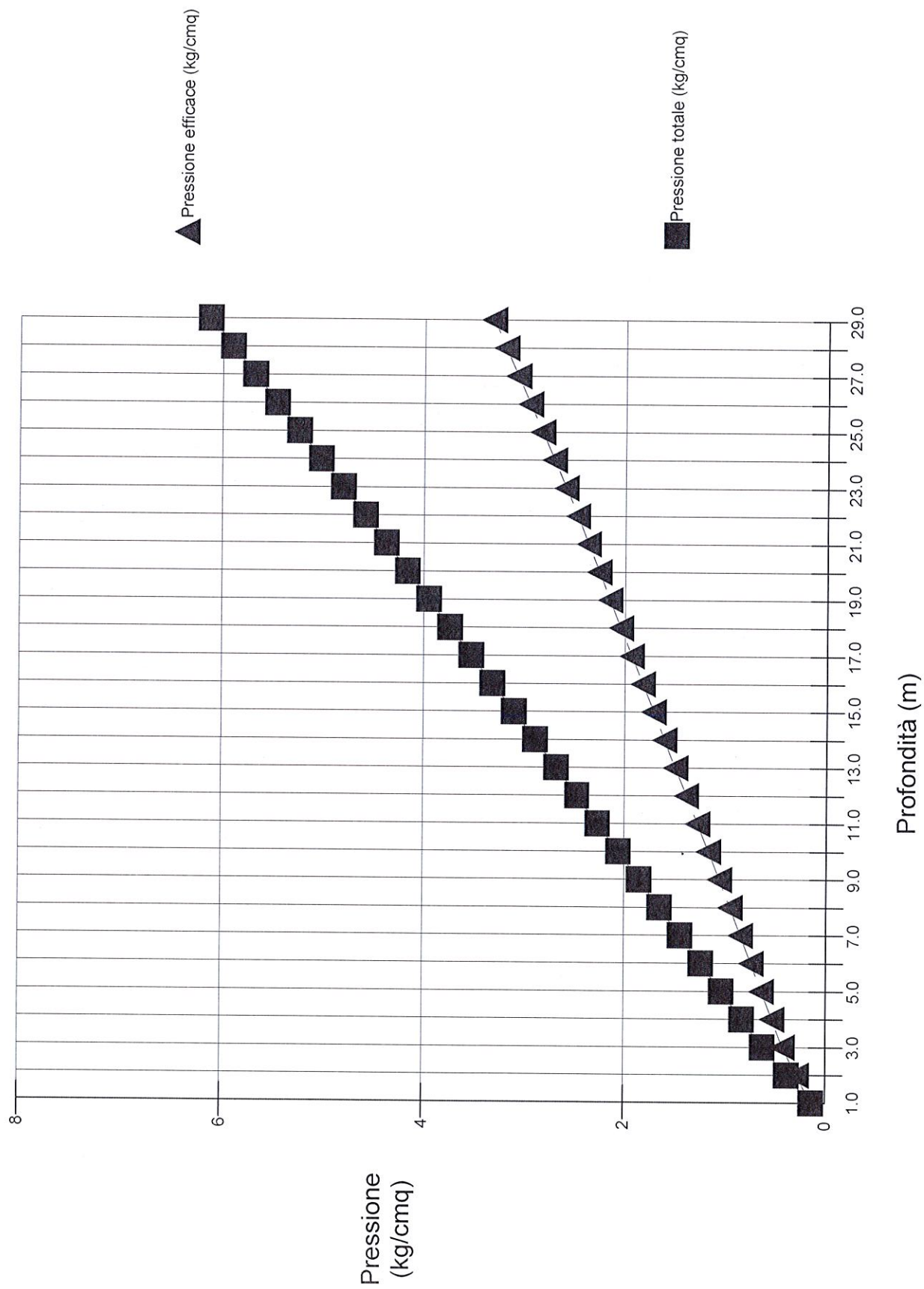
- 1) Argilla o argilla limosa mediamente consistente.
- 2) Argilla o argilla limosa poco consistente.
- 3) Argilla o argilla limosa mediamente consistente.
- 4) Argilla o argilla limosa consistente.

Cuneo di portanza

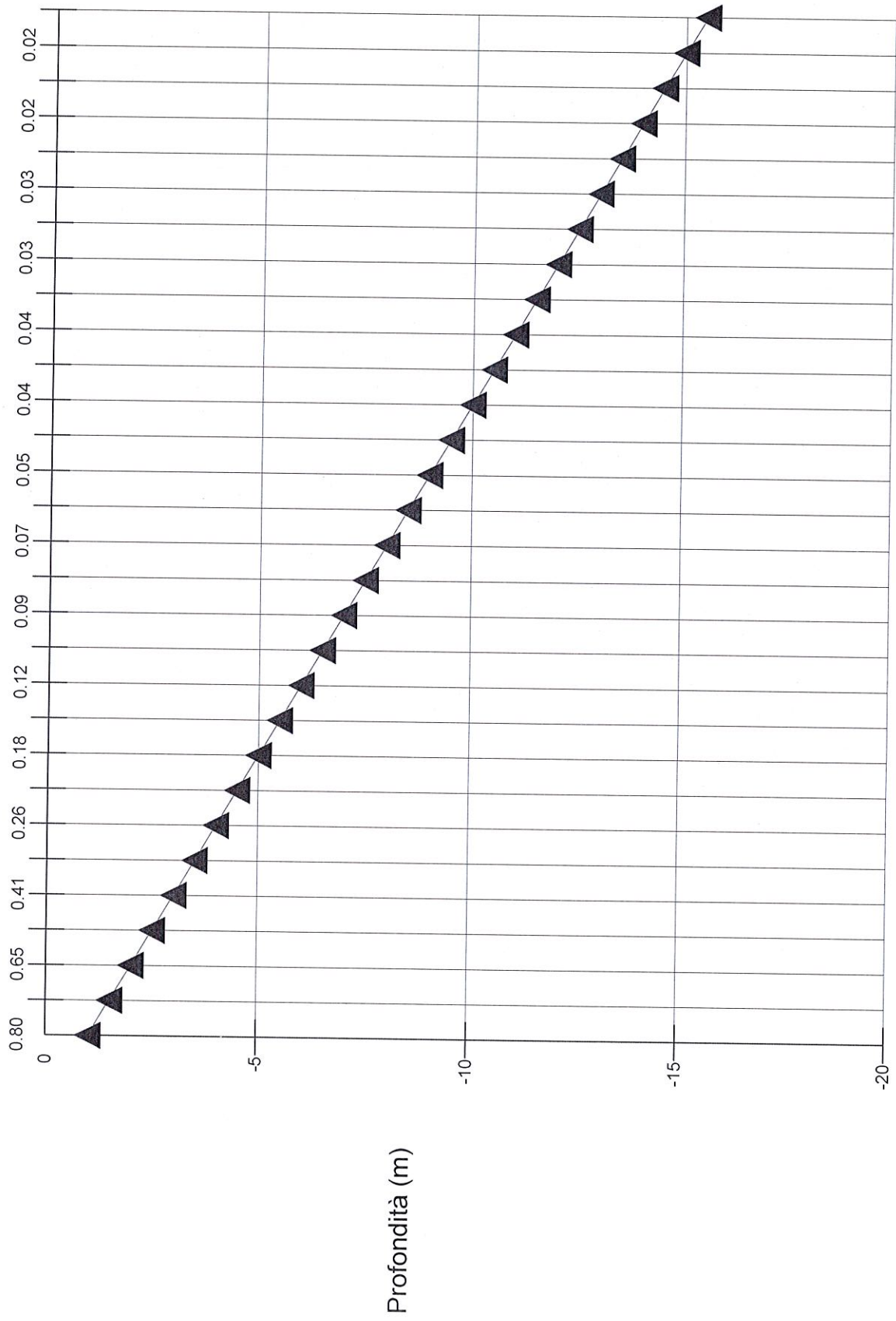
2



Andamento della pressione totale ed efficace del terreno



Andamento delle sollecitazioni: criterio di Newmark



Sovraccarico (kg/cm²)

DATI GEOMETRICI DELLA FONDAZIONE

Tipologia della fondazione:nastriforme
Geometria della fondazione:
Larghezza della base (m):2.00
Lunghezza della fondazione (m):5.00
Eccentricità della base - lato corto (m):0.00
Eccentricità della base - lato lungo (m):0.00
Profondità di posa - lato destro (m):1.00
Profondità di posa - lato sinistro (m):1.00
Profondità dello scavo - lato destro (m):0.00
Profondità dello scavo - lato sinistro (m):0.00
Larghezza dello scavo - lato destro (m):0.00
Larghezza dello scavo - lato sinistro (m):0.00
Inclinazione del pendio - lato a valle (°):0
Inclinazione del pendio - lato a monte (°):0
Inclinazione della base - lato corto (°):0
Inclinazione della base - lato lungo (°):0
Inclinazione del carico - lato corto (°):0
Inclinazione del carico - lato lungo (°):0
Fondazione di tipo:elastica
Densità del calcestruzzo (kg/mc):2500.00

FALDA

Profilo della falda

N	X (m)	Y(m)
1	-6.00	-1.50
2	8.00	-1.50

STRATIGRAFIA

Profilo strato n. 1

N	X (m)	Y(m)
1	-9.50	0.00
2	0.00	0.00
3	0.00	0.00
4	0.00	0.00
5	0.00	-1.00
6	2.00	-1.00
7	2.00	0.00
8	2.00	0.00
9	2.00	0.00
10	11.50	0.00

Strato n. 1 - Descrizione: Argilla o argilla limosa mediamente consistente.

Densità relativa $D_r(\%)$: 0
Angolo d'attrito $\Phi(^{\circ})$: 0.00
Gamma sopra falda (kg/mc): 1800.00
Gamma saturo (kg/mc): 2100.00
Coesione (kg/cm²): 0.50
Mod.deformazione (kg/cm²): 50.00
Indice vuoti: 0.00
O.C.R.: 2.00
Indice compr.princ.: 0.00
Indice compr.sec.: 0.00
Indice ricompr.: 0.00
Coef.consolidazione (cm²/s): 0.00
Coef.di Poisson: 0.40
R.Q.D.(%): 0.00
Nspt medio: 0
Rp(kg/cm²): 0.00

Profilo strato n. 2

N	X (m)	Y(m)
1	-6.00	-3.41
2	8.00	-3.41

Strato n. 2 - Descrizione: Argilla o argilla limosa poco consistente.

Densità relativa $D_r(\%)$: 0
Angolo d'attrito $\Phi(^{\circ})$: 0.00
Gamma sopra falda (kg/mc): 1750.00
Gamma saturo (kg/mc): 2050.00
Coesione (kg/cm²): 0.35
Mod.deformazione (kg/cm²): 35.00
Indice vuoti: 0.00
O.C.R.: 1.00
Indice compr.princ.: 0.00
Indice compr.sec.: 0.00
Indice ricompr.: 0.00
Coef.consolidazione (cm²/s): 0.00
Coef.di Poisson: 0.50
R.Q.D.(%): 0.00
Nspt medio: 0
Rp(kg/cm²): 0.00

Profilo strato n. 3

N	X (m)	Y(m)
1	-6.00	-9.20
2	8.00	-9.20

Strato n. 3 - Descrizione: Argilla o argilla limosa mediamente consistente.

Densità relativa $Dr(\%)$: 0

Angolo d'attrito $\Phi(^{\circ})$:0.00

Gamma sopra falda (kg/mc):1800.00

Gamma saturo (kg/mc):2100.00

Coesione (kg/cm²):0.65

Mod.deformazione (kg/cm²):45.00

Indice vuoti:0.00

O.C.R.:2.00

Indice compr.princ.:0.00

Indice compr.sec.:0.00

Indice ricompr.:0.00

Coef.consolidazione(cm²/s):0.00

Coef.di Poisson:0.40

R.Q.D.(%):0.00

Nspt medio:0

Rp(kg/cm²):0.00

Profilo strato n. 4

N	X (m)	Y(m)
1	-6.00	-22.00
2	8.00	-22.00

Strato n. 4 - Descrizione: Argilla o argilla limosa consistente.

Densità relativa $Dr(\%)$: 0

Angolo d'attrito $\Phi(^{\circ})$:0.00

Gamma sopra falda (kg/mc):1900.00

Gamma saturo (kg/mc):2200.00

Coesione (kg/cm²):1.00

Mod.deformazione (kg/cm²):100.00

Indice vuoti:0.00

O.C.R.:3.00

Indice compr.princ.:0.00

Indice compr.sec.:0.00

Indice ricompr.:0.00

Coef.consolidazione(cm²/s):0.00

Coef.di Poisson:0.30

R.Q.D.(%):0.00

Nspt medio:0

Rp(kg/cm²):0.00

PORTANZA DELLA FONDAZIONE

Profondità di calcolo:1.00
Criterio di calcolo:Terzaghi
Portanza limite della fondazione (kg/cm²):3.00
Coefficiente di sicurezza:3.00
Portanza ammissibile della fondazione (kg/cm²):1.00
Fattore di portanza N_q:1.00
Fattore di portanza N_g:0.00
Fattore di portanza N_c:5.71
Fattore di forma S_q:1.00
Fattore di forma S_g:1.00
Fattore di forma S_c:1.00
Fattore di approfondimento D_q:1.00
Fattore di approfondimento D_g:1.00
Fattore di approfondimento D_c:1.00
Fattore di inclinazione dei carichi I_q:1.00
Fattore di inclinazione dei carichi I_g:1.00
Fattore di inclinazione dei carichi I_c:1.00
Fattore di inclinazione della base B_q:1.00
Fattore di inclinazione della base B_g:1.00
Fattore di inclinazione della base B_c:1.00
Fattore di pendio G_q:1.00
Fattore di pendio G_g:1.00
Fattore di pendio G_c:1.00
Peso di volume medio sopra il piano di posa (kg/m³):1407.92

CEDIMENTI DELLA FONDAZIONE

Carico applicato sulla fondazione (kg/cm²) :0.80
Metodo di calcolo strati incoerenti:
Cedimento immediato (cm):0.00
Cedimento secondario (cm):0.00
Cedimento massimo della fondazione (cm):0.00
Cedimento minimo della fondazione (cm):0.00
Cedimento totale degli strati incoerenti (cm):0.00
Metodo di calcolo strati coesivi:Steinbrenner
Cedimento di consolidazione (cm):0.00
Cedimento secondario (cm):0.00
Cedimento della fondazione (cm):2.31
Cedimento totale degli strati coesivi (cm):2.31
Cedimento totale del terreno di fondazione (cm):2.31

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE

Calcolo del coefficiente di sottofondazione - K di Winkler.

Criterio di calcolo :Bowles

Carico applicato sulla fondazione(kg/cm²):0.80

Cedimento di riferimento(cm):2.31

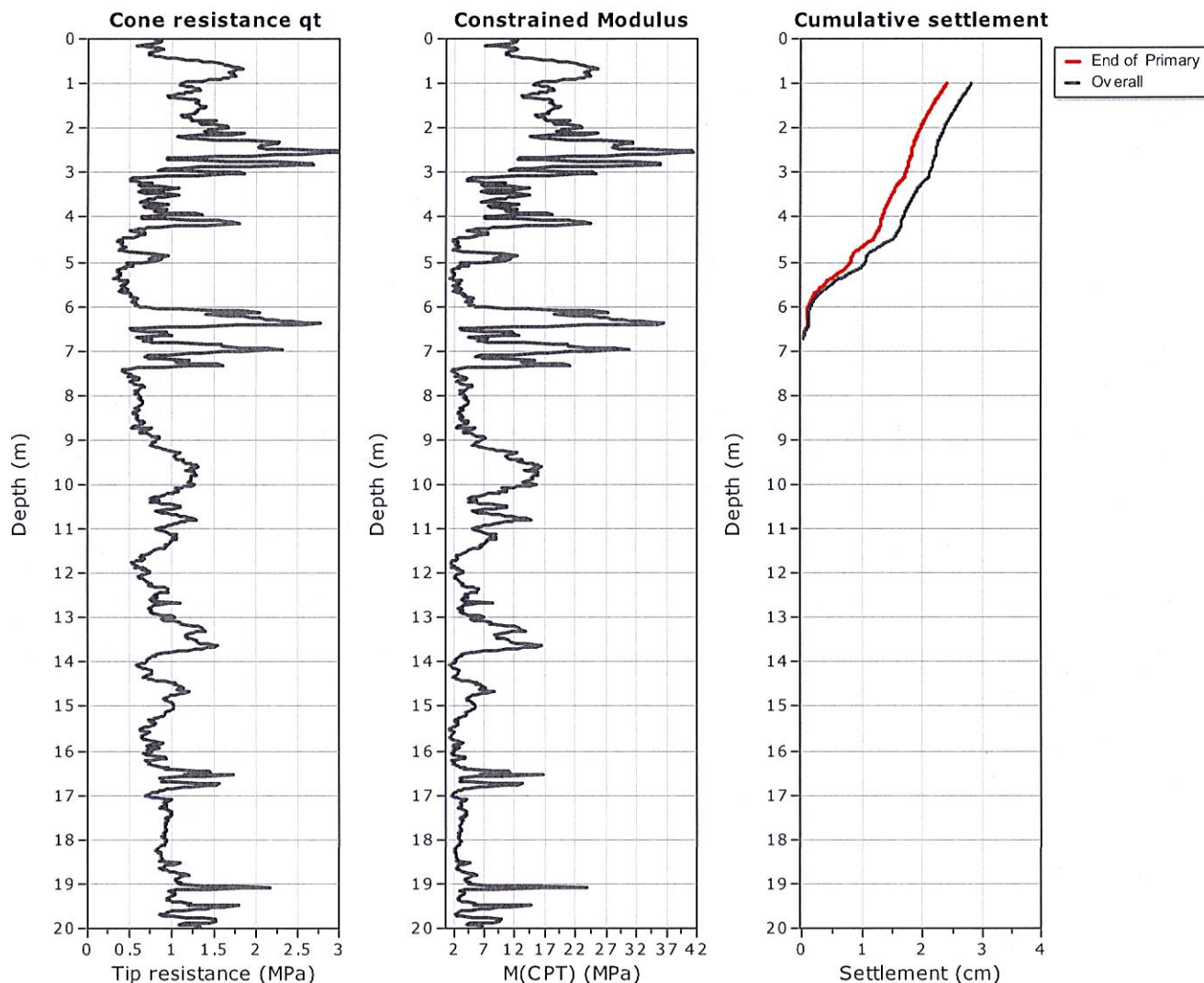
Coefficiente di sottofondazione (kg/cm²):1.06

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

Verifiche geotecniche CPTU n. 2

Settlements calculation according to theory of elasticity*



Calculation properties

Footing type: Rectangular
Footing width: 2.00 (m)
L/B: 3
Footing pressure: 80.00 (kPa)
Embedment depth: 1.00 (m)
Footing is rigid: No
Remove excavation load: No
Apply 20% rule: Yes
Calculate secondary settlements: Yes
Time period for second. settlements: 12 months

* Primary settlements calculation is performed according to the following formula:

$$S = \sum \frac{\Delta \sigma_v}{M_{CPT}} \Delta z$$

* Secondary (creep) settlements calculation is performed according to the following formula:

$$S = C_a \cdot \Delta z \cdot \log(t)$$

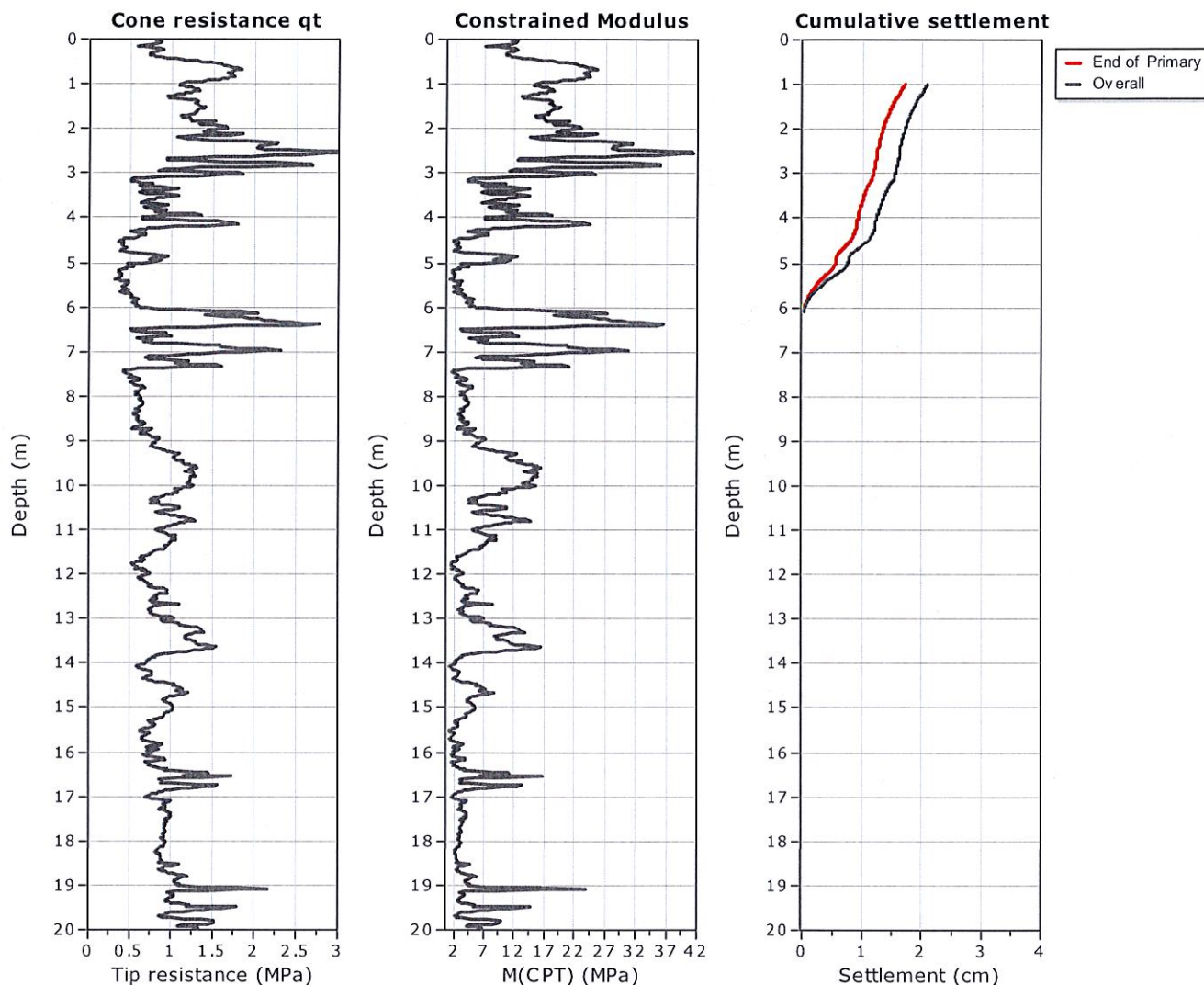
:: Tabular results ::

Point No	Start depth (m)	End depth (m)	Thickness (m)	Relative depth (m)	Delta P (kPa)	M _(CPT) (MPa)	Iz	Settlement (cm)	Second. settlement (cm)	Overall settlement (cm)
271	6.40	6.42	0.02	5.41	12.30	35.15	0.15	0.001	0.000	0.001
272	6.42	6.44	0.02	5.43	12.23	23.43	0.15	0.001	0.000	0.001
273	6.44	6.46	0.02	5.45	12.16	16.84	0.15	0.001	0.000	0.001
274	6.46	6.48	0.02	5.47	12.09	11.64	0.15	0.002	0.001	0.003
275	6.48	6.50	0.02	5.49	12.02	4.82	0.15	0.005	0.002	0.007
276	6.50	6.52	0.02	5.51	11.95	2.86	0.15	0.008	0.004	0.012
277	6.52	6.54	0.02	5.53	11.88	3.17	0.15	0.007	0.004	0.011
278	6.54	6.56	0.02	5.55	11.81	3.16	0.15	0.007	0.004	0.011
279	6.56	6.58	0.02	5.57	11.74	6.87	0.15	0.003	0.002	0.005
280	6.58	6.60	0.02	5.59	11.67	11.51	0.15	0.002	0.001	0.003
281	6.60	6.62	0.02	5.61	11.61	11.67	0.15	0.002	0.001	0.003
282	6.62	6.64	0.02	5.63	11.54	11.08	0.14	0.002	0.001	0.003
283	6.64	6.66	0.02	5.65	11.47	12.54	0.14	0.002	0.001	0.003
284	6.66	6.68	0.02	5.67	11.41	9.96	0.14	0.002	0.001	0.003
285	6.68	6.70	0.02	5.69	11.35	4.87	0.14	0.005	0.002	0.007
286	6.70	6.72	0.02	5.71	11.28	4.10	0.14	0.005	0.003	0.008
287	6.72	6.74	0.02	5.73	11.22	6.35	0.14	0.004	0.002	0.005
288	6.74	6.76	0.02	5.75	11.15	7.45	0.14	0.003	0.002	0.005

Total primary settlement: 2.39**Total secondary settlement: 0.42****Total calculated settlement: 2.82****Abbreviations**

Start depth:	Start depth of soil layer (penetration depth measured from ground free surface)
End depth:	End depth of soil layer (penetration depth measured from ground free surface)
Thickness:	Thickness of soil layer
Relative depth:	Depth of calculation relative to footing
Iz:	Stress influence factor
Delta P:	Footing imposed stress:
Eff. stress:	Effective stress
M _(CPT) :	Constrained modulus from CPT
Settlement:	Primary settlement
Second. settlement:	Secondary settlements due to creep

Settlements calculation according to theory of elasticity*



Calculation properties

Footing type: Rectangular
 Footing width: 2.00 (m)
 L/B: 3
 Footing pressure: 80.00 (kPa)
 Embedment depth: 1.00 (m)
 Footing is rigid: Yes
 Remove excavation load: No
 Apply 20% rule: Yes
 Calculate secondary settlements: Yes
 Time period for second. settlements: 12 months

* Primary settlements calculation is performed according to the following formula:

$$S = \sum \frac{\Delta \sigma_v}{M_{CPT}} \Delta z$$

* Secondary (creep) settlements calculation is performed according to the following formula:

$$S = C_a \cdot \Delta z \cdot \log(t)$$

:: Tabular results ::

Point No	Start depth (m)	End depth (m)	Thickness (m)	Relative depth (m)	Delta P (kPa)	M _(CPT) (MPa)	Iz	Settlement (cm)	Second. settlement (cm)	Overall settlement (cm)
226	5.50	5.52	0.02	4.51	12.13	2.71	0.15	0.009	0.004	0.013
227	5.52	5.54	0.02	4.53	12.06	1.72	0.15	0.014	0.006	0.020
228	5.54	5.56	0.02	4.55	12.00	1.96	0.15	0.012	0.005	0.018
229	5.56	5.58	0.02	4.57	11.93	1.96	0.15	0.012	0.005	0.018
230	5.58	5.60	0.02	4.59	11.87	2.38	0.15	0.010	0.004	0.014
231	5.60	5.62	0.02	4.61	11.80	3.01	0.15	0.008	0.004	0.011
232	5.62	5.64	0.02	4.63	11.74	1.94	0.15	0.012	0.005	0.018
233	5.64	5.66	0.02	4.65	11.68	2.24	0.15	0.010	0.005	0.015
234	5.66	5.68	0.02	4.67	11.62	1.59	0.15	0.015	0.007	0.021
235	5.68	5.70	0.02	4.69	11.55	2.37	0.14	0.010	0.004	0.014
236	5.70	5.72	0.02	4.71	11.49	3.14	0.14	0.007	0.003	0.011
237	5.72	5.74	0.02	4.73	11.43	3.67	0.14	0.006	0.003	0.009
238	5.74	5.76	0.02	4.75	11.37	3.14	0.14	0.007	0.003	0.011
239	5.76	5.78	0.02	4.77	11.31	3.66	0.14	0.006	0.003	0.009
240	5.78	5.80	0.02	4.79	11.25	3.31	0.14	0.007	0.003	0.010
241	5.80	5.82	0.02	4.81	11.19	4.93	0.14	0.005	0.002	0.007
242	5.82	5.84	0.02	4.83	11.13	4.49	0.14	0.005	0.002	0.007
243	5.84	5.86	0.02	4.85	11.08	4.09	0.14	0.005	0.003	0.008
244	5.86	5.88	0.02	4.87	11.02	3.86	0.14	0.006	0.003	0.009
245	5.88	5.90	0.02	4.89	10.96	4.84	0.14	0.005	0.002	0.007
246	5.90	5.92	0.02	4.91	10.90	3.50	0.14	0.006	0.003	0.009
247	5.92	5.94	0.02	4.93	10.85	4.43	0.14	0.005	0.002	0.007
248	5.94	5.96	0.02	4.95	10.79	4.42	0.13	0.005	0.002	0.007
249	5.96	5.98	0.02	4.97	10.74	4.20	0.13	0.005	0.003	0.008
250	5.98	6.00	0.02	4.99	10.68	4.99	0.13	0.004	0.002	0.006
251	6.00	6.02	0.02	5.01	10.62	5.43	0.13	0.004	0.002	0.006
252	6.02	6.04	0.02	5.03	10.57	7.16	0.13	0.003	0.002	0.005
253	6.04	6.06	0.02	5.05	10.52	10.21	0.13	0.002	0.001	0.003
254	6.06	6.08	0.02	5.07	10.46	13.77	0.13	0.002	0.001	0.002
255	6.08	6.10	0.02	5.09	10.41	19.44	0.13	0.001	0.000	0.001
256	6.10	6.12	0.02	5.11	10.36	23.94	0.13	0.001	0.000	0.001

Total primary settlement: 1.69**Total secondary settlement: 0.39****Total calculated settlement: 2.09****Abbreviations**

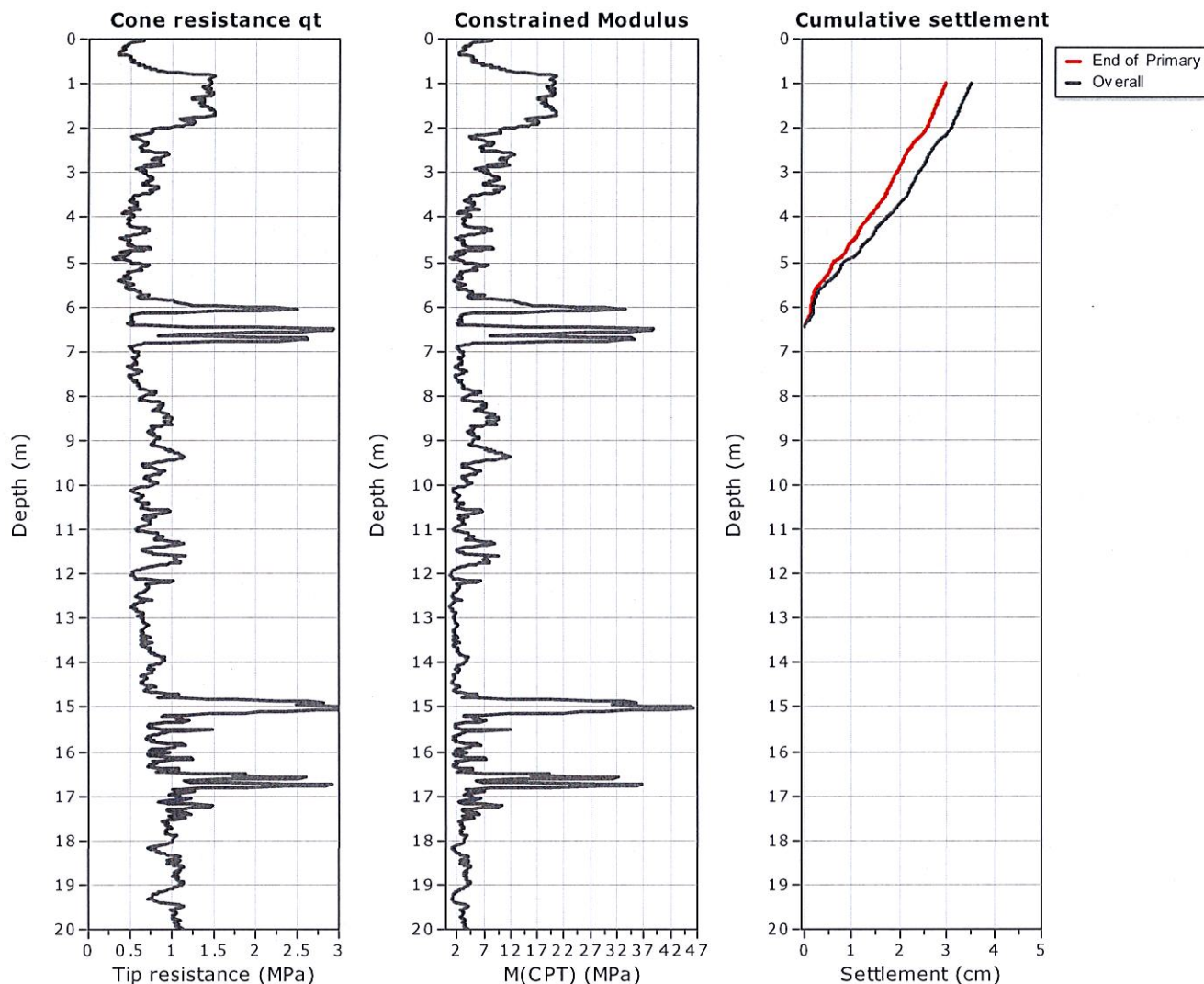
Start depth:	Start depth of soil layer (penetration depth measured from ground free surface)
End depth:	End depth of soil layer (penetration depth measured from ground free surface)
Thickness:	Thickness of soil layer
Relative depth:	Depth of calculation relative to footing
Iz:	Stress influence factor
Delta P:	Footing imposed stress:
Eff. stress:	Effective stress
M _(CPT) :	Constrained modulus from CPT
Settlement:	Primary settlement
Second. settlement:	Secondary settlements due to creep

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

Verifiche geotecniche CPTU n. 3

Settlements calculation according to theory of elasticity*



Calculation properties

Footing type: Rectangular
 Footing width: 2.00 (m)
 L/B: 3
 Footing pressure: 80.00 (kPa)
 Embedment depth: 1.00 (m)
 Footing is rigid: No
 Remove excavation load: No
 Apply 20% rule: Yes
 Calculate secondary settlements: Yes
 Time period for second. settlements: 12 months

* Primary settlements calculation is performed according to the following formula:

$$S = \sum \frac{\Delta \sigma_v}{M_{CPT}} \Delta z$$

* Secondary (creep) settlements calculation is performed according to the following formula:

$$S = C_a \cdot \Delta z \cdot \log(t)$$

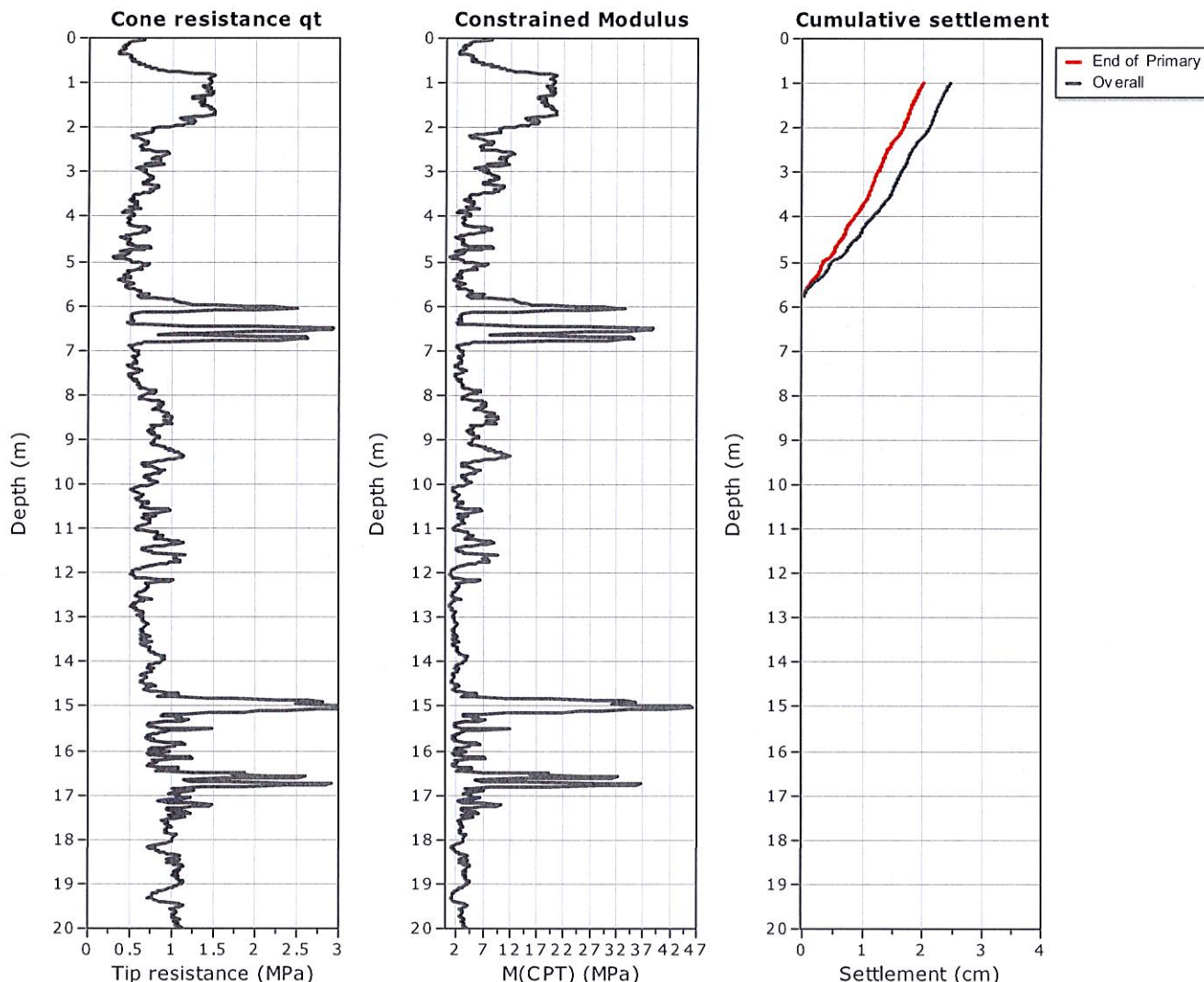
:: Tabular results ::

Point No	Start depth (m)	End depth (m)	Thickness (m)	Relative depth (m)	Delta P (kPa)	M _(CPT) (MPa)	Iz	Settlement (cm)	Second. settlement (cm)	Overall settlement (cm)
271	6.40	6.42	0.02	5.41	12.30	2.55	0.15	0.010	0.005	0.015
272	6.42	6.44	0.02	5.43	12.23	5.21	0.15	0.005	0.003	0.007
273	6.44	6.46	0.02	5.45	12.16	15.11	0.15	0.002	0.001	0.002

Total primary settlement: 2.96**Total secondary settlement: 0.54****Total calculated settlement: 3.50****Abbreviations**

Start depth:	Start depth of soil layer (penetration depth measured from ground free surface)
End depth:	End depth of soil layer (penetration depth measured from ground free surface)
Thickness:	Thickness of soil layer
Relative depth:	Depth of calculation relative to footing
Iz:	Stress influence factor
Delta P:	Footing imposed stress:
Eff. stress:	Effective stress
M _(CPT) :	Constrained modulus from CPT
Settlement:	Primary settlement
Second. settlement:	Secondary settlements due to creep

Settlements calculation according to theory of elasticity*



Calculation properties

Footing type: Rectangular
Footing width: 2.00 (m)
L/B: 3
Footing pressure: 80.00 (kPa)
Embedment depth: 1.00 (m)
Footing is rigid: Yes
Remove excavation load: No
Apply 20% rule: Yes
Calculate secondary settlements: Yes
Time period for second. settlements: 12 months

* Primary settlements calculation is performed according to the following formula:

$$S = \sum \frac{\Delta \sigma_v}{M_{CPT}} \Delta z$$

* Secondary (creep) settlements calculation is performed according to the following formula:

$$S = C_a \cdot \Delta z \cdot \log(t)$$

:: Tabular results ::

Point No	Start depth (m)	End depth (m)	Thickness (m)	Relative depth (m)	Delta P (kPa)	M _(CPT) (MPa)	Iz	Settlement (cm)	Second. settlement (cm)	Overall settlement (cm)
226	5.50	5.52	0.02	4.51	12.13	3.73	0.15	0.006	0.003	0.010
227	5.52	5.54	0.02	4.53	12.06	2.74	0.15	0.009	0.004	0.013
228	5.54	5.56	0.02	4.55	12.00	2.04	0.15	0.012	0.006	0.018
229	5.56	5.58	0.02	4.57	11.93	2.03	0.15	0.012	0.006	0.018
230	5.58	5.60	0.02	4.59	11.87	2.02	0.15	0.012	0.006	0.018
231	5.60	5.62	0.02	4.61	11.80	2.56	0.15	0.009	0.005	0.014
232	5.62	5.64	0.02	4.63	11.74	3.68	0.15	0.006	0.003	0.010
233	5.64	5.66	0.02	4.65	11.68	4.38	0.15	0.005	0.003	0.008
234	5.66	5.68	0.02	4.67	11.62	4.95	0.15	0.005	0.002	0.007
235	5.68	5.70	0.02	4.69	11.55	4.91	0.14	0.005	0.002	0.007
236	5.70	5.72	0.02	4.71	11.49	4.88	0.14	0.005	0.002	0.007
237	5.72	5.74	0.02	4.73	11.43	4.46	0.14	0.005	0.003	0.008
238	5.74	5.76	0.02	4.75	11.37	7.24	0.14	0.003	0.002	0.005
239	5.76	5.78	0.02	4.77	11.31	5.60	0.14	0.004	0.002	0.006

Total primary settlement: 1.99

Total secondary settlement: 0.46

Total calculated settlement: 2.45

Abbreviations

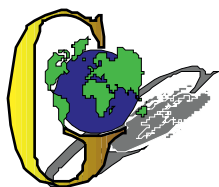
Start depth:	Start depth of soil layer (penetration depth measured from ground free surface)
End depth:	End depth of soil layer (penetration depth measured from ground free surface)
Thickness:	Thickness of soil layer
Relative depth:	Depth of calculation relative to footing
Iz:	Stress influence factor
Delta P:	Footing imposed stress:
Eff. stress:	Effective stress
M _(CPT) :	Constrained modulus from CPT
Settlement:	Primary settlement
Second. settlement:	Secondary settlements due to creep

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 – tecnica MASW



GEO GROUP s.r.l.

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

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

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

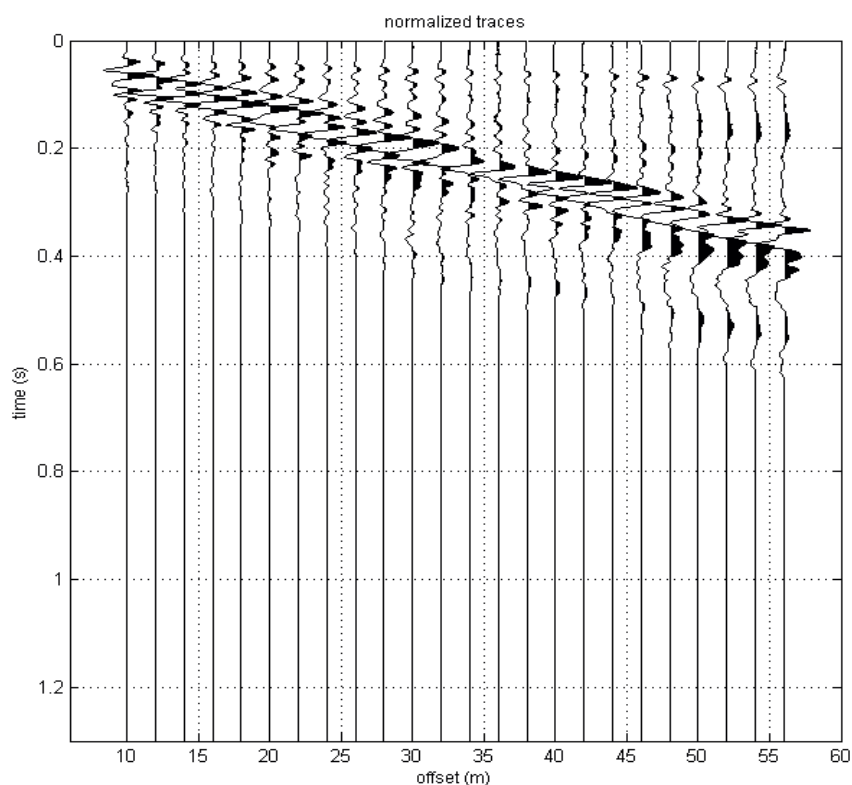
p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it - e-mail: info@geogroupmodena.it

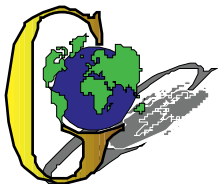
ANALISI SISMICA DI SITO SECONDO METODOLOGIA M.A.S.W.

Cantiere: Sant'Agata Bolognese (BO), Lamborghini S.p.A.
Operatore: Dott.ssa Erika Parmeggiani e Dott.ssa Annalisa Borghi
Data: 20/05/2015
Lavoro: Studio del terreno di fondazione
Elaborazione: Dott. ssa Erika Parmeggiani
Responsabile: Dott. Geol. Pier Luigi Dallari



UBICAZIONE DELLO STENDIMENTO SISMICO IMPIEGATO





GEO GROUP s.r.l.

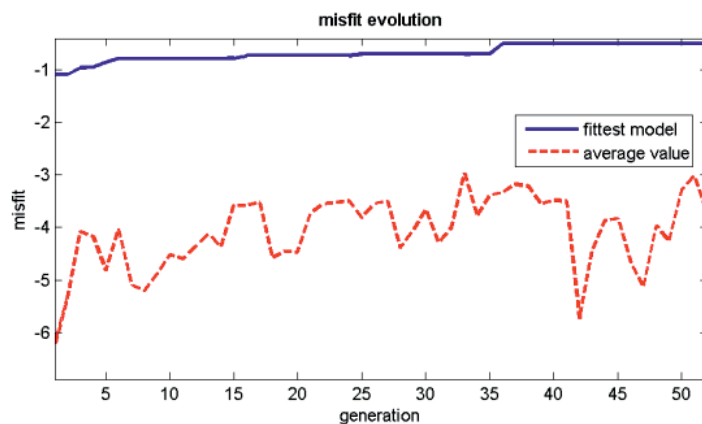
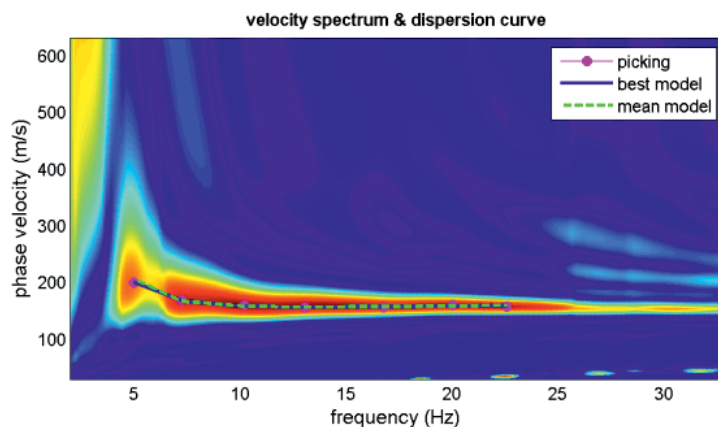
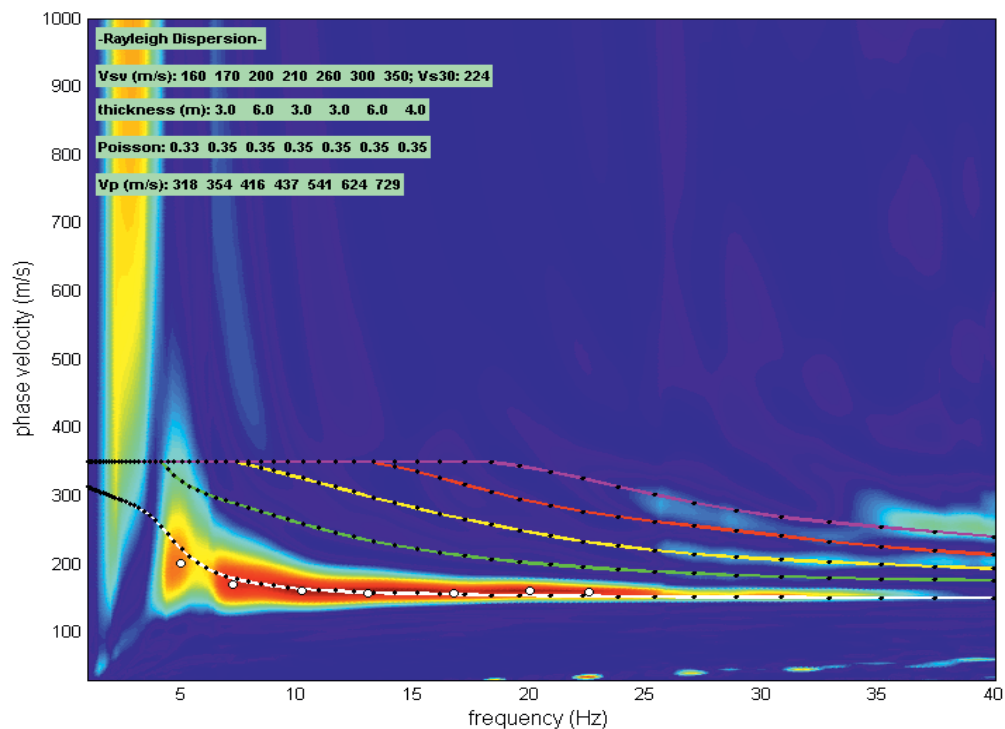
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

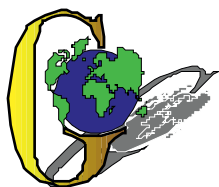
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

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





GEO GROUP s.r.l.

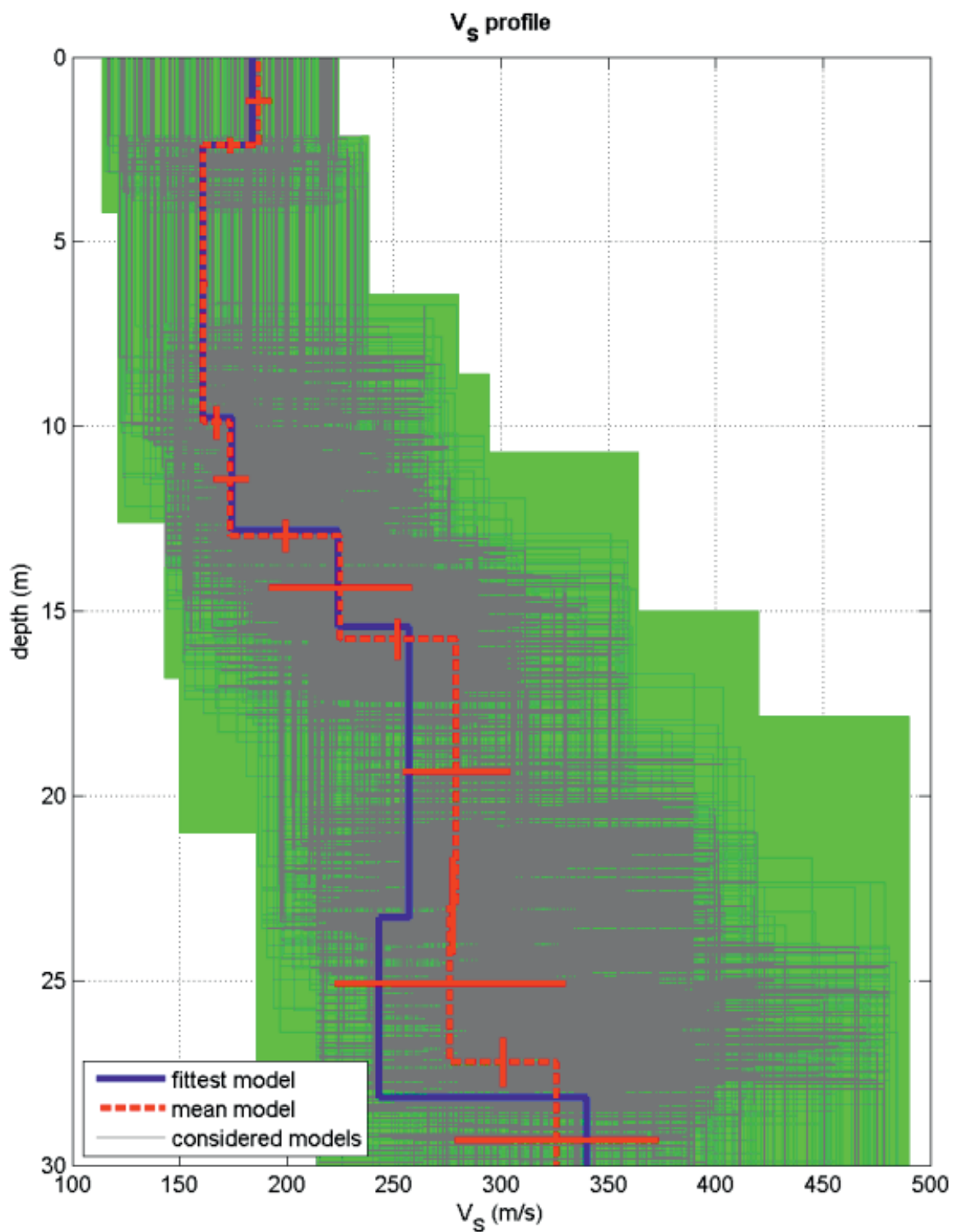
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

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

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

MODELLO Vs30 DERIVATO DALL'INDAGINE MASW ESEGUITA



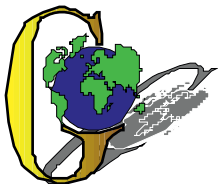
BEST MODEL
Vs30 = 215 m/s

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



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 ReMI

Cantiere: Sant'Agata Bolognese (BO), Lamborghini S.p.A.

Operatori: Dott.ssa Erika Parmeggiani e Dott.ssa Annalisa Borghi

Data: 20/05/2015

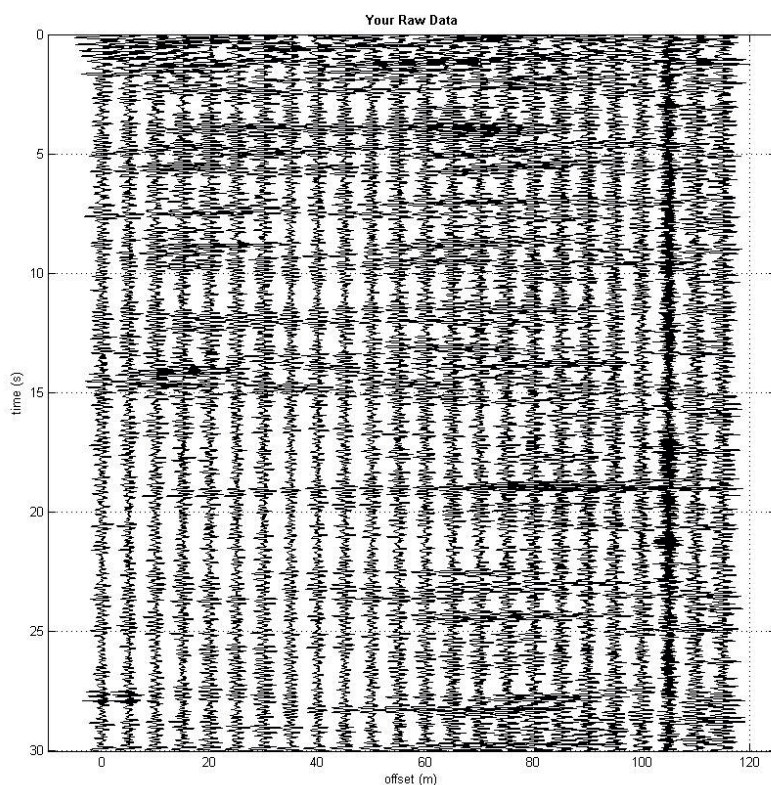
Lavoro: Studio terreno di fondazione

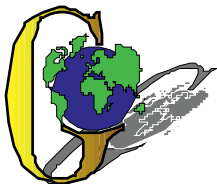
Elaborazione: Dott.ssa Erika Parmeggiani

Responsabile: Dott. Geol. Pier Luigi Dallari



UBICAZIONE DELLO STENDIMENTO SISMICO IMPIEGATO





GEO GROUP s.r.l.

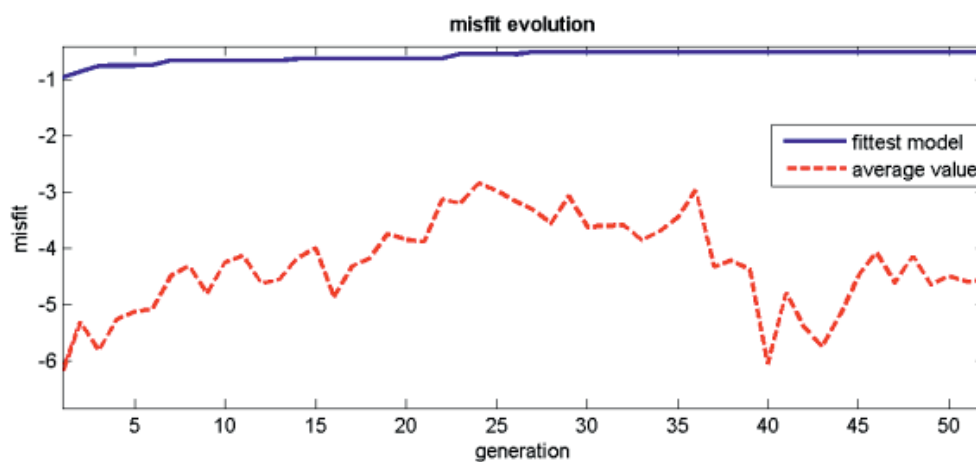
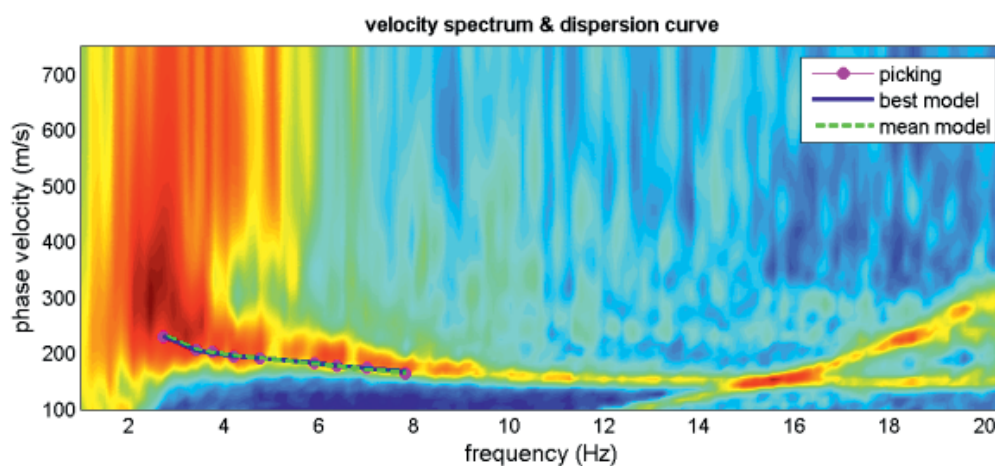
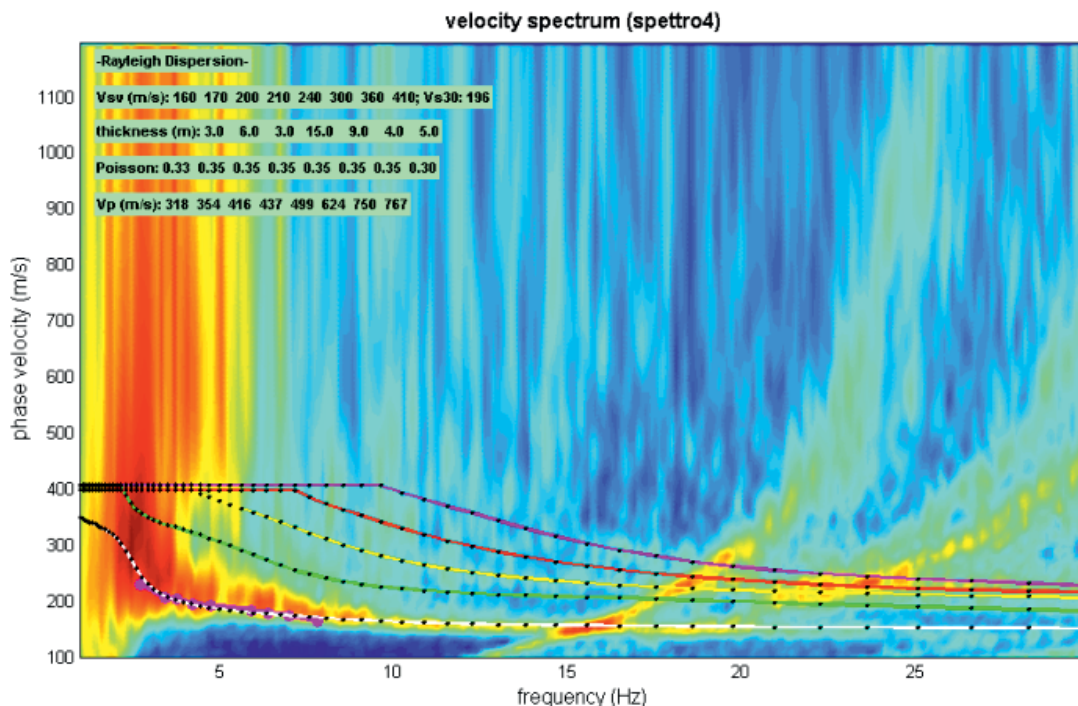
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

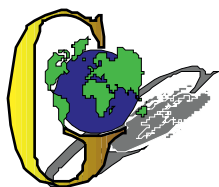
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

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





GEO GROUP s.r.l.

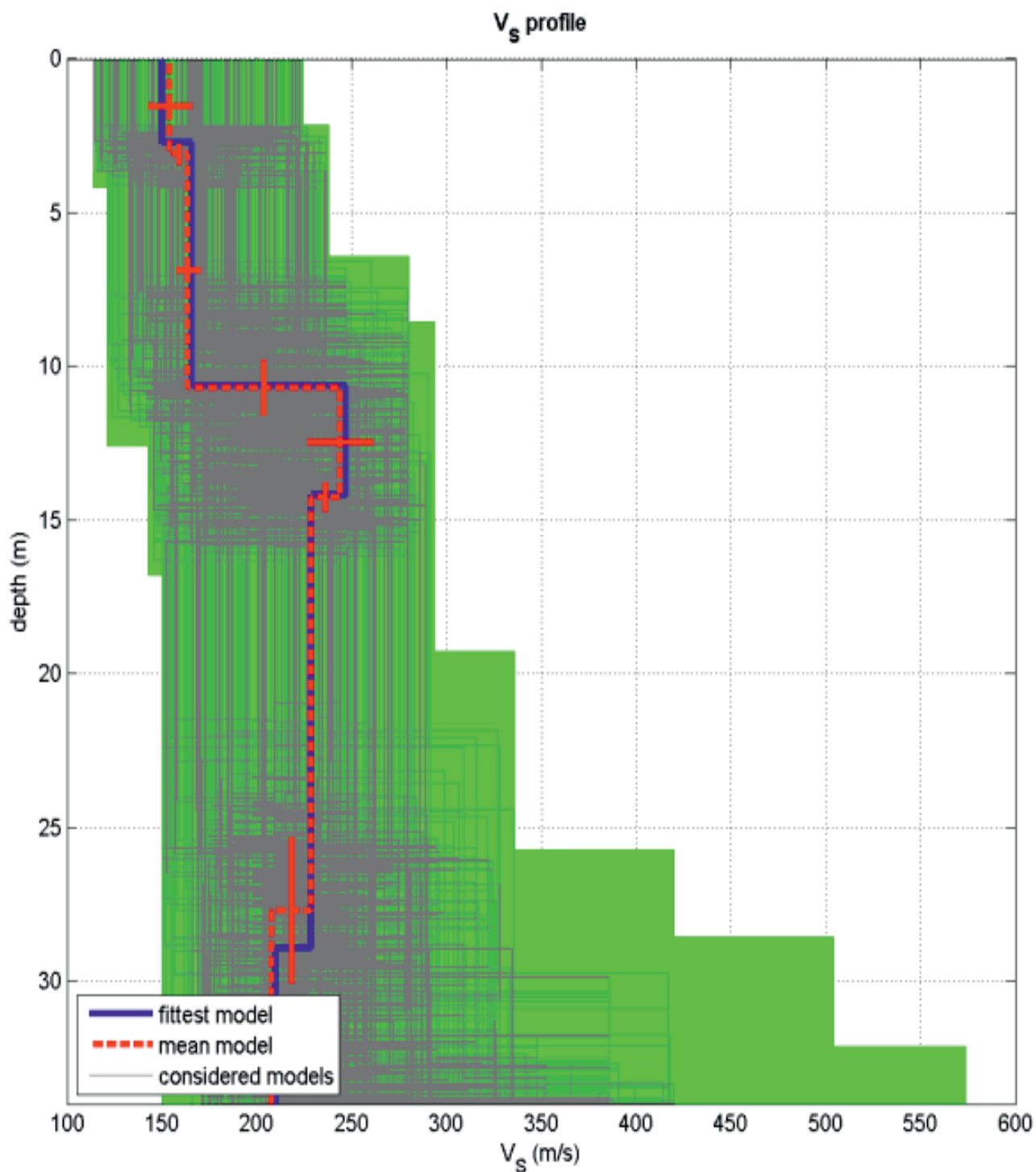
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

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

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

MODELLO V_{s30} DERIVATO DALL'INDAGINE ReMI ESEGUITA



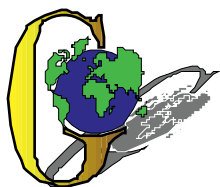
BEST MODEL
 $V_{s30} = 200$ m/s

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 - tecnica ESAC



GEO GROUP s.r.l.

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

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

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

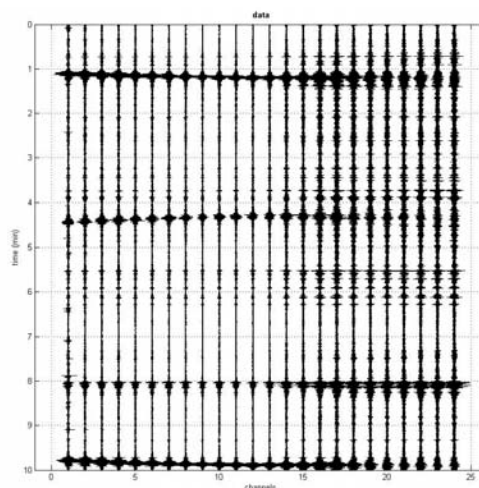
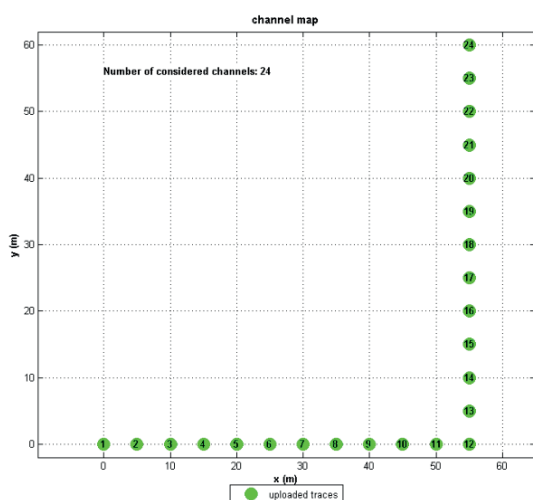
p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it - e-mail: info@geogroupmodena.it

ANALISI SISMICA DI SITO SECONDO METODOLOGIA ESAC

Cantiere: Sant'Agata Bolognese (BO), Lamborghini S.p.A.
Operatori: Dott.ssa Erika Parmeggiani e Dott.ssa Annalisa Borghi
Data: 20/05/2015
Lavoro: Studio del terreno di fondazione
Elaborazione: Dott.ssa Erika Parmeggiani
Responsabile: Dott. Geol. Pier Luigi Dallari



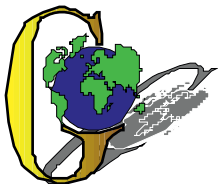
UBICAZIONE DELLO STENDIMENTO SISMICO IMPIEGATO



SCHEMA CONCETTUALE DELLE CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELL' ARRAY

PARAMETRI ACQUISIZIONE

Sample interval: 40 ms
Record length: 30.00 s



GEO GROUP s.r.l.

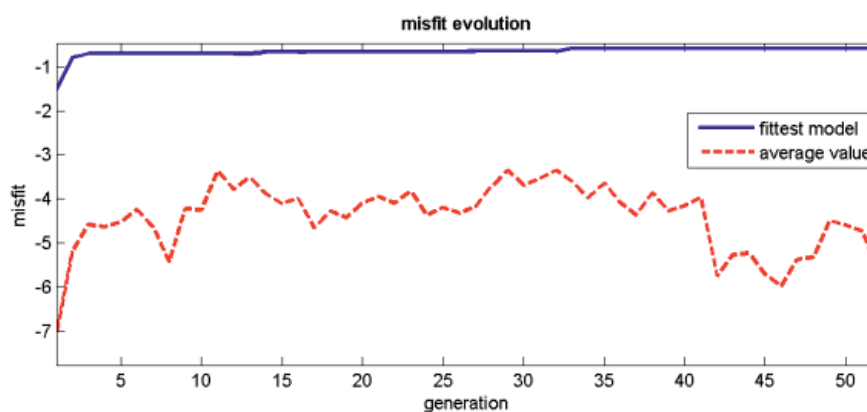
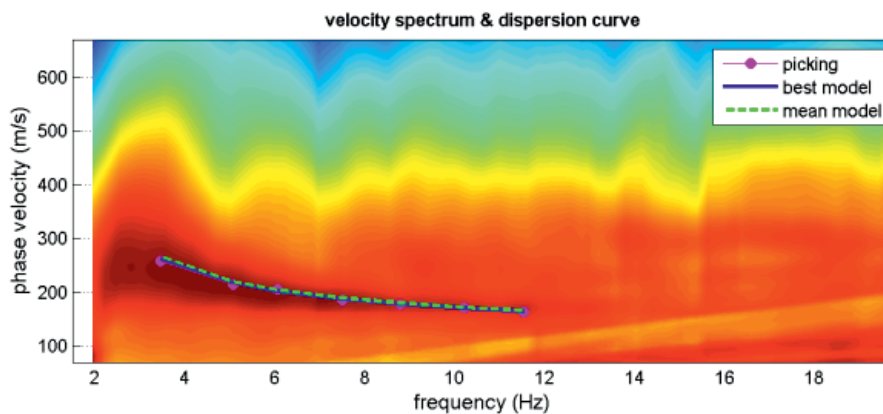
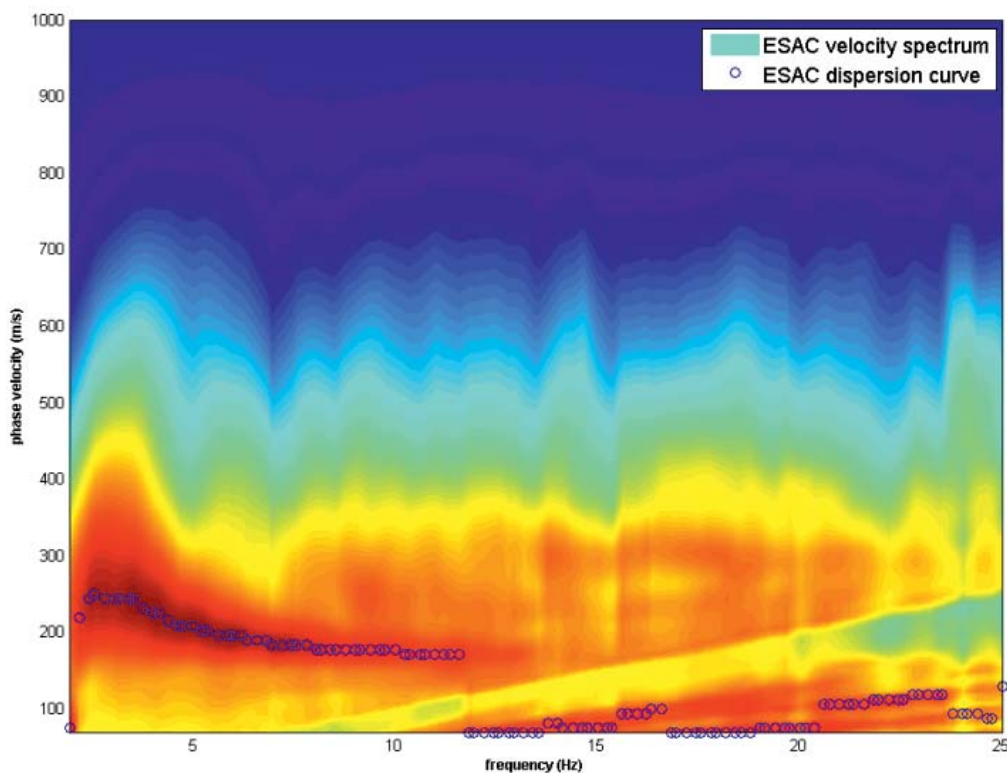
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

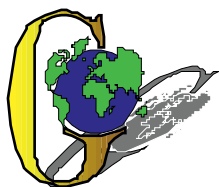
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

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





GEO GROUP s.r.l.

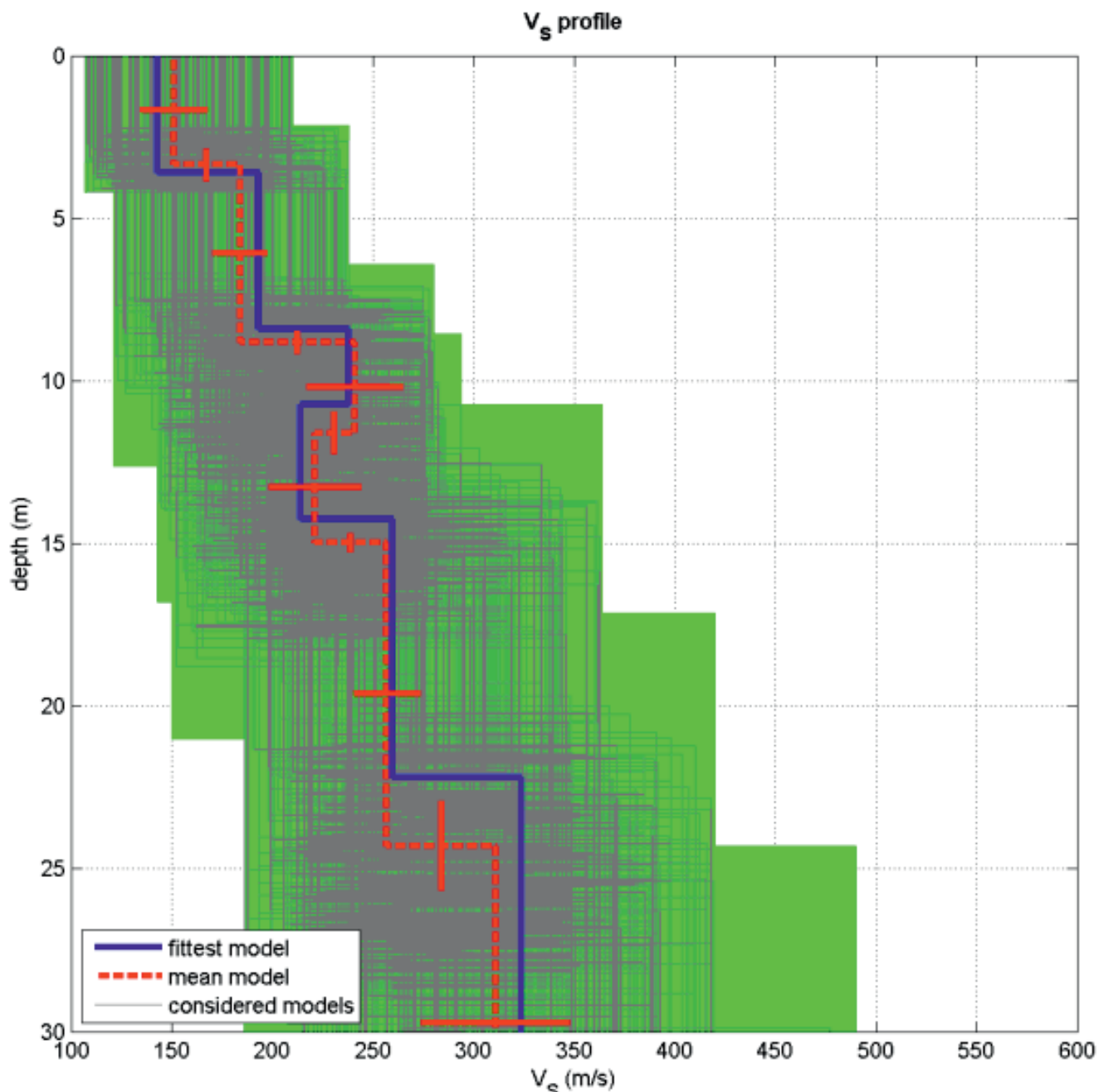
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

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

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

MODELLO Vs30 DERIVATO DALL'INDAGINE MASW ESEGUITA



BEST MODEL
 $V_{s30} = 225$ m/s

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

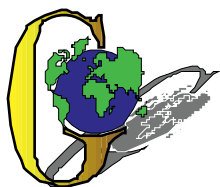
ALLEGATO N° 6

Indagine sismica - tecnica HVSR

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

HVSR 1



GEO GROUP s.r.l.

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

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

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

ANALISI SISMICA DI SITO SECONDO METODOLOGIA HVSR

Cantiere: Sant'Agata Bolognese (BO), Lamborghini S.p.A.

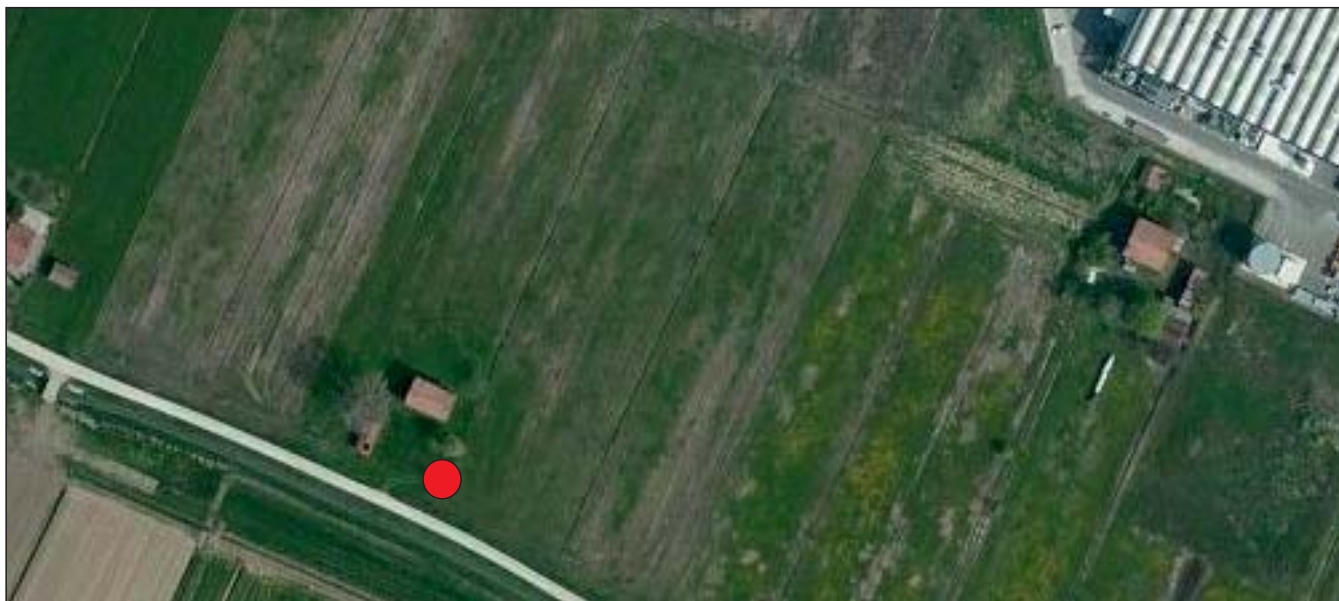
Data: 20/05/2015

Lavoro: Studio del terreno di fondazione

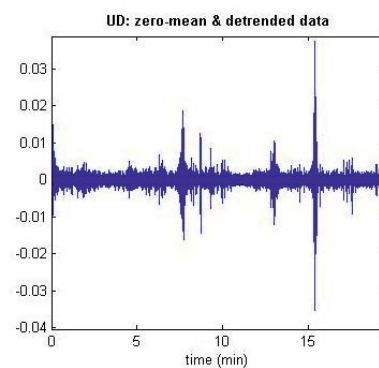
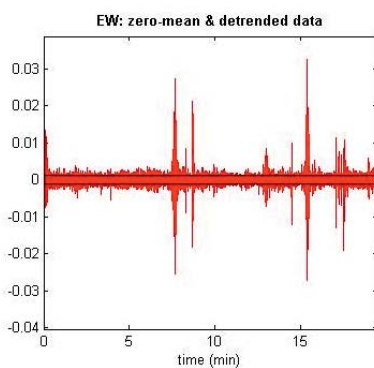
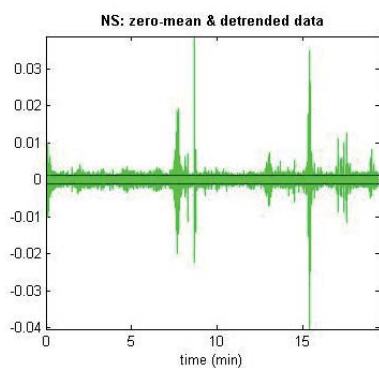
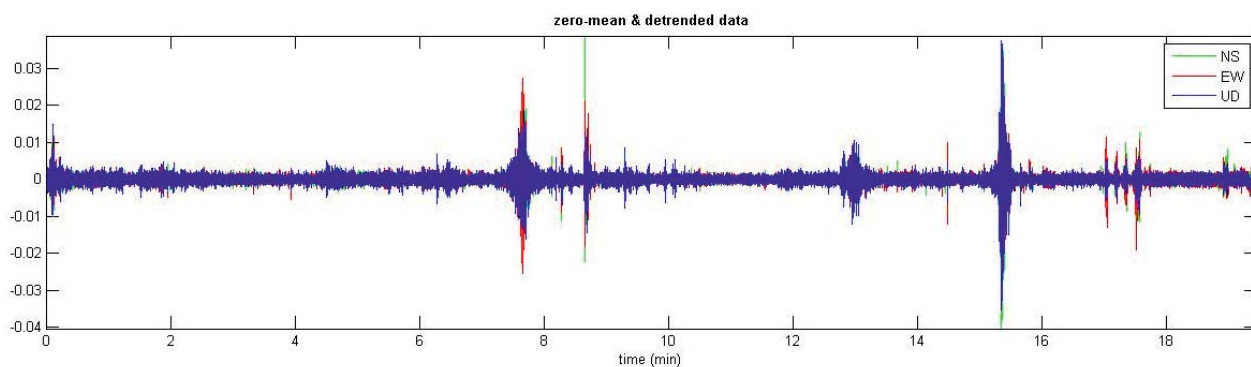
Operatore: Dott.ssa Erika Parmeggiani e Dott.ssa Annalisa Borghi

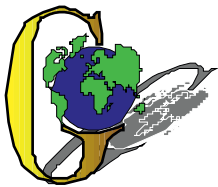
Elaborazione: Dott.ssa Erika Parmeggiani

Responsabile: Dott. Geol. Pier Luigi Dallari



UBICAZIONE DELLA STAZIONE DI MISURA





GEO GROUP s.r.l.

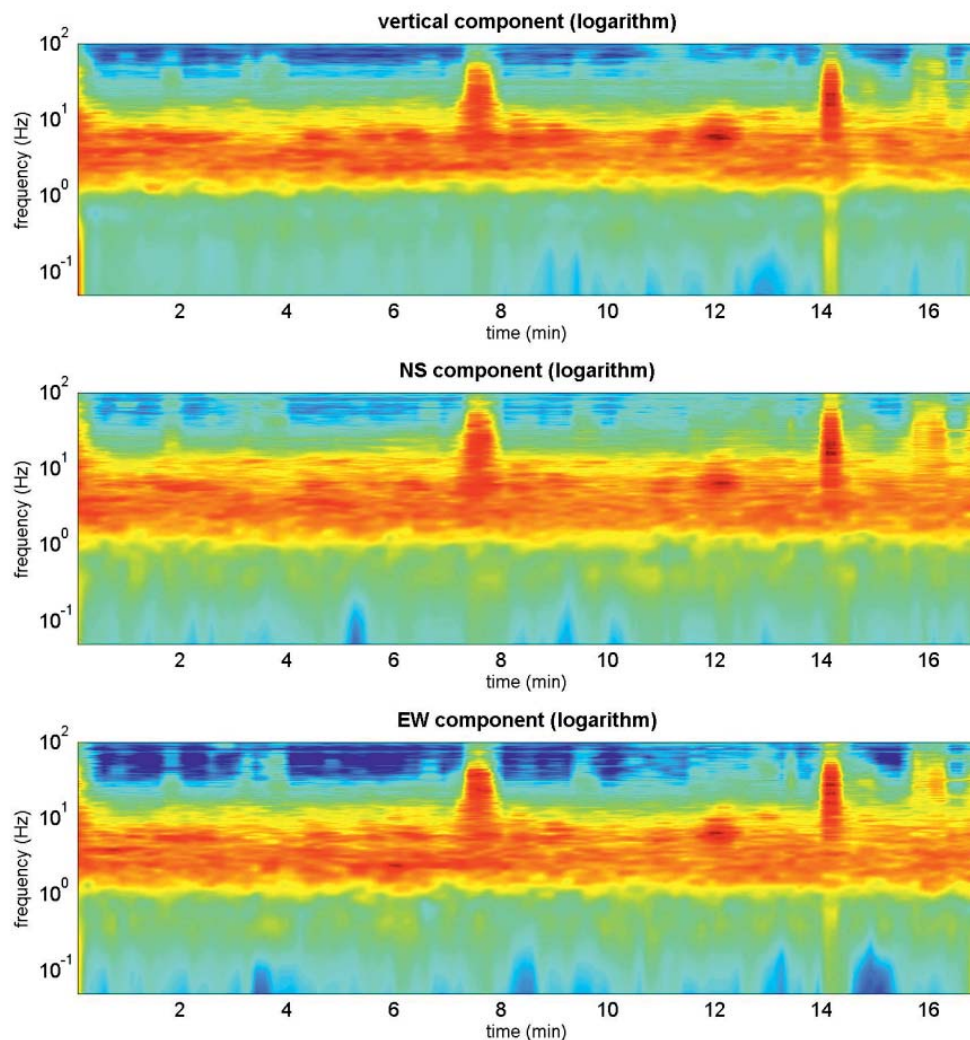
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

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

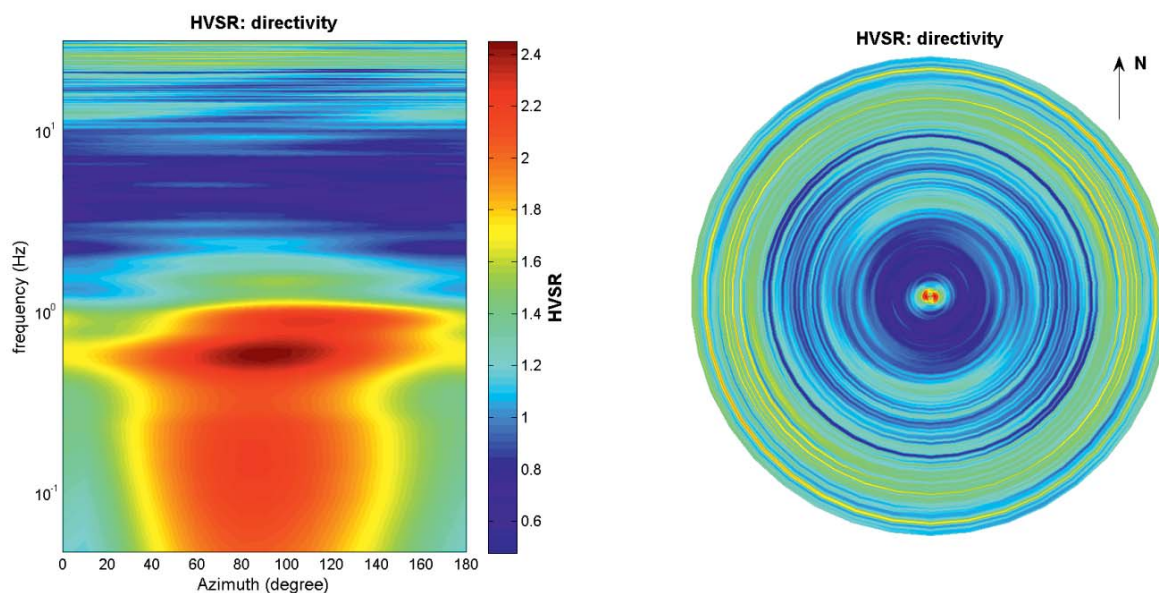
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

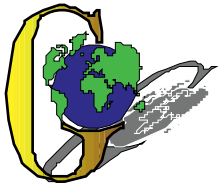
p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it - e-mail: info@geogroupmodena.it

PERSISTENZA HVSR



DIREZIONALITA' HVSR





GEO GROUP s.r.l.

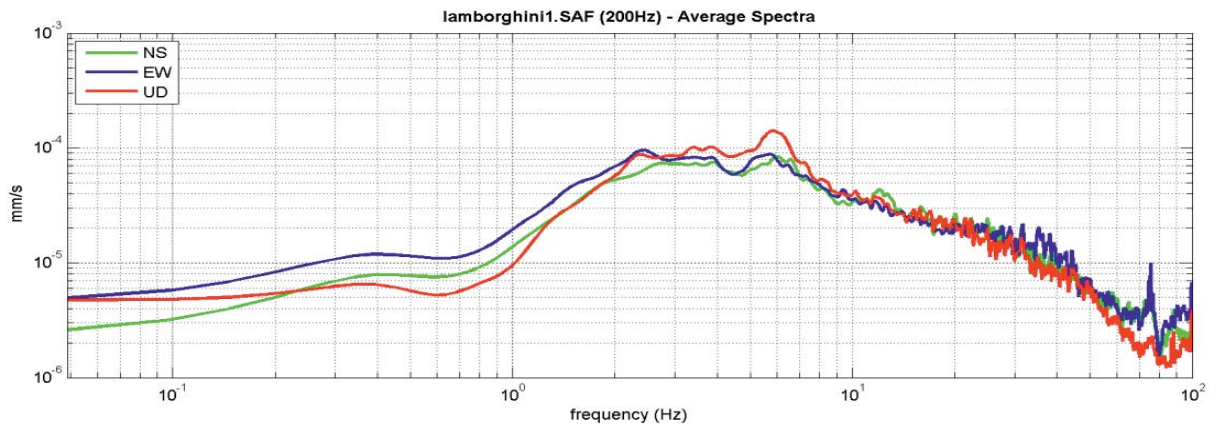
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

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

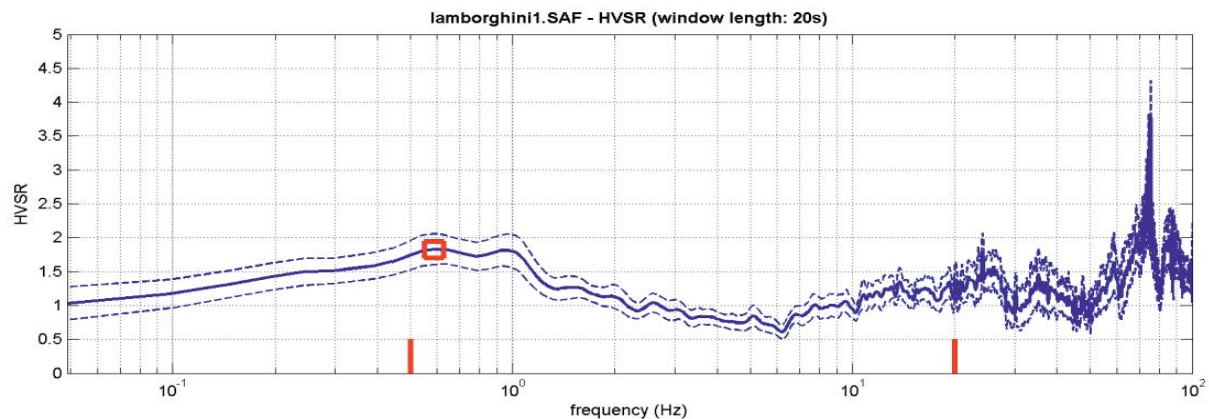
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

VELOCITA' SPETTRALI



RAPPORTO HVSR DERIVATO DALL'ACQUISIZIONE ESEGUITA



FREQUENZA DERIVATA nessun picco stratigrafico rilevato

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

- #1. $[f_0 > 10/L_w]$: $0.586 > 0.5$ (OK)
- #2. $[n_c > 200]$: $1196 > 200$ (OK)
- #3. $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)

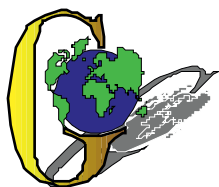
==== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

- #1. $[\text{exists } f \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2]$: (NO)
- #2. $[\text{exists } f^+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2]$: yes (considering standard deviations), at frequency Hz (OK)
- #3. $[A_0 > 2]$: $1.8 < 2$ (NO)
- #4. $[f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$: (NO)
- #5. $[\sigma_A < \epsilon(f_0)]$: $7.301 > 0.088$ (NO)
- #6. $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$: $0.227 < 2$ (OK)

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

HVSR 2



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: Sant'Agata Bolognese (BO), Lamborghini S.p.A.

Data: 20/05/2015

Lavoro: Studio del terreno di fondazione

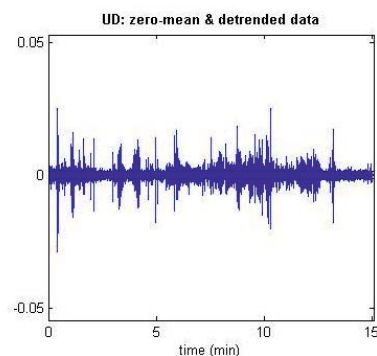
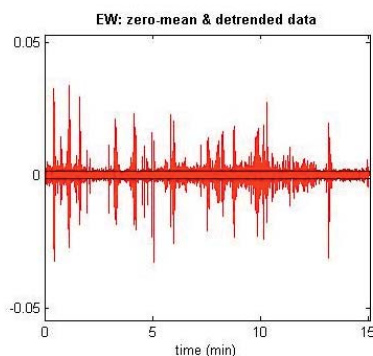
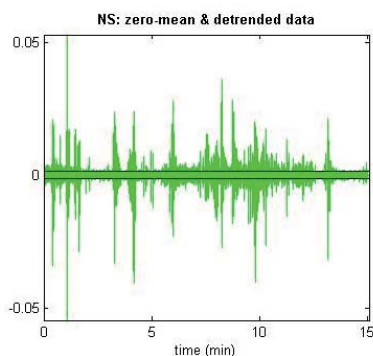
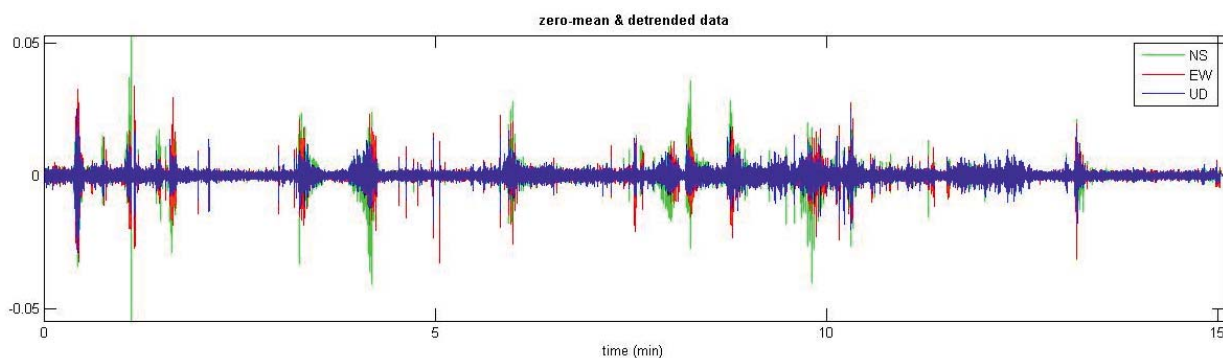
Operatore: Dott.ssa Erika Parmeggiani e Dott.ssa Annalisa Borghi

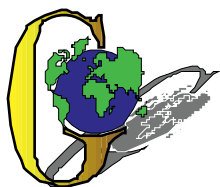
Elaborazione: Dott.ssa Erika Parmeggiani

Responsabile: Dott. Geol. Pier Luigi Dallari



UBICAZIONE DELLA STAZIONE DI MISURA





GEO GROUP s.r.l.

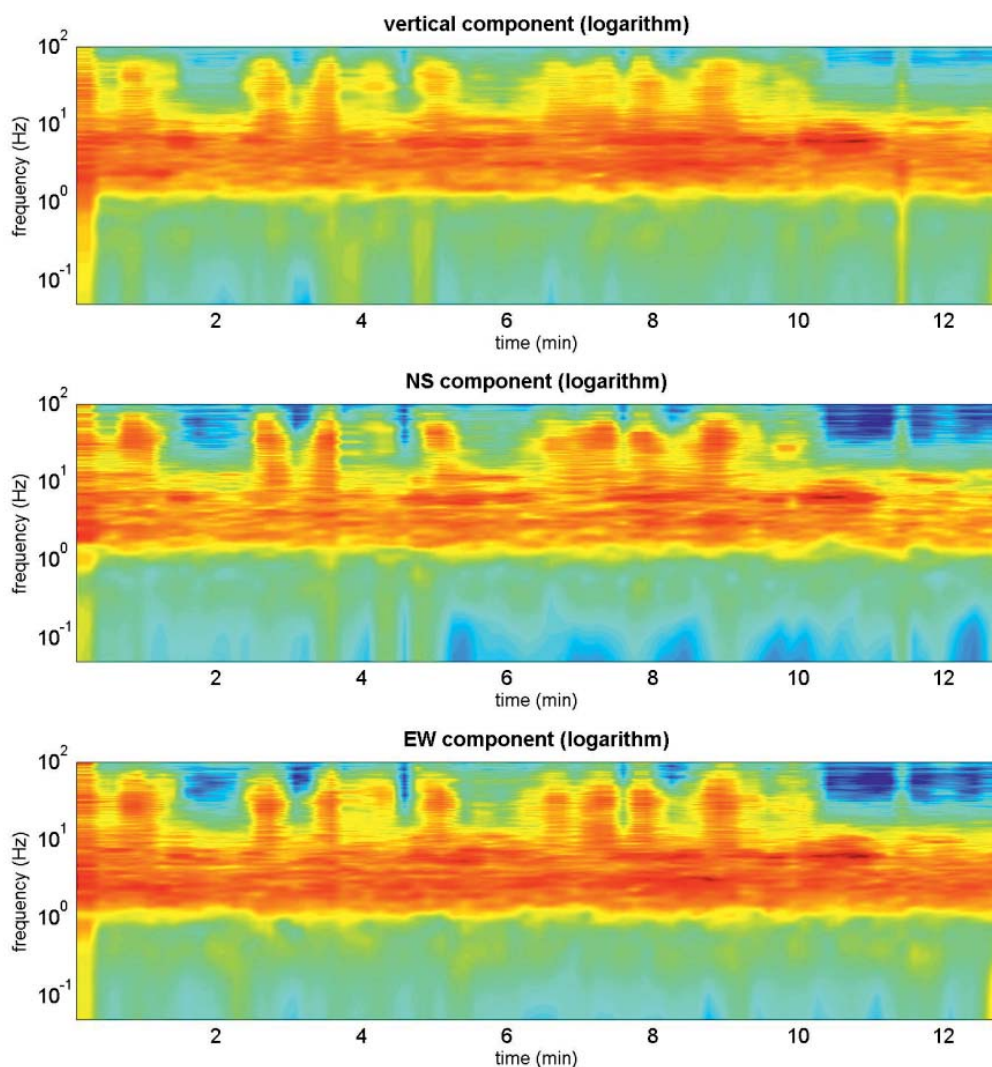
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

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

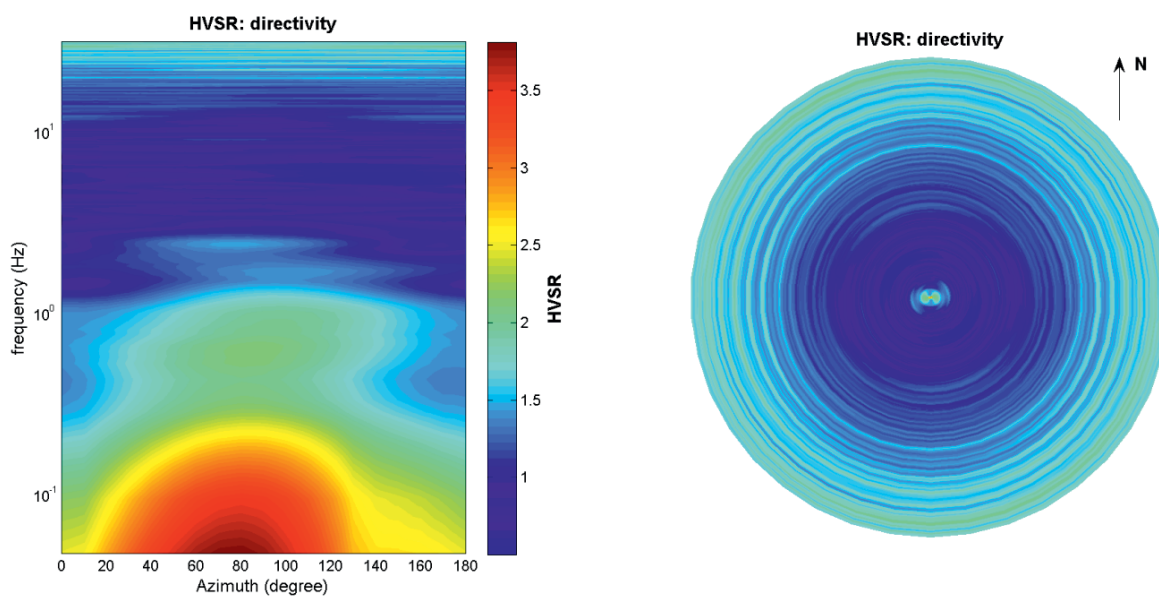
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

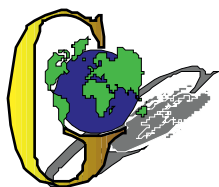
p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogrouppmodena.it - e-mail: info@geogrouppmodena.it

PERSISTENZA HVSR



DIREZIONALITA' HVSR





GEO GROUP s.r.l.

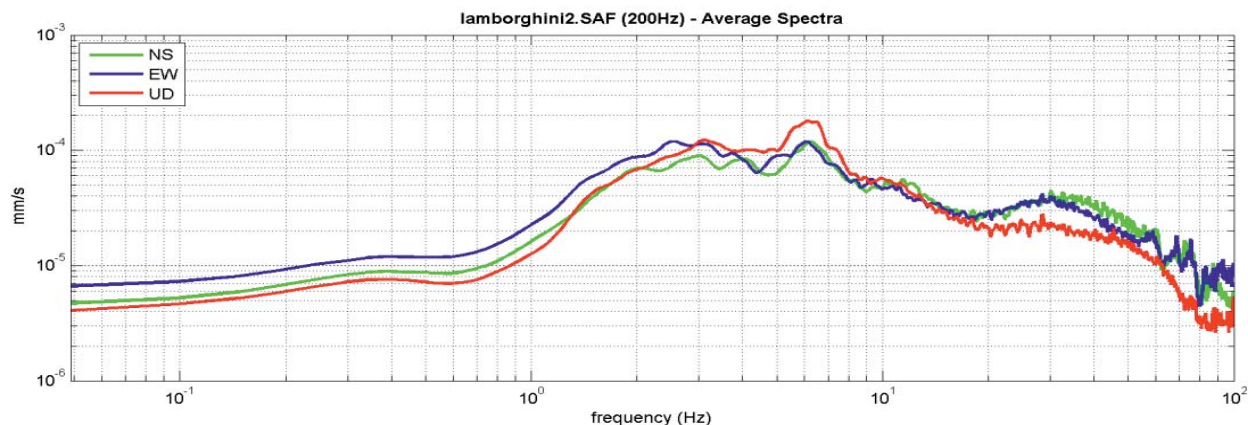
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

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

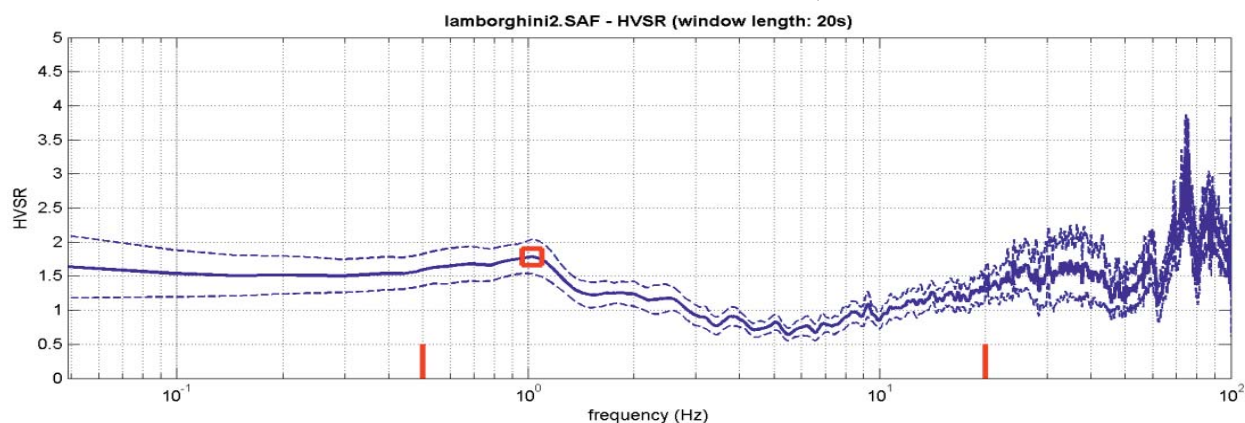
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

VELOCITA' SPETTRALI



RAPPORTO HVSR DERIVATO DALL'ACQUISIZIONE ESEGUITA



FREQUENZA DERIVATA nessun picco stratigrafico rilevato

Criteria for a reliable H/V curve

- #1. $[f_0 > 10/L_w]$: $1.026 > 0.5$ (OK)
- #2. $[n_c > 200]$: $1580 > 200$ (OK)
- #3. $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)

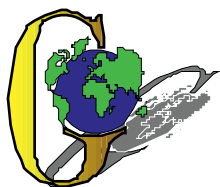
Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled)

- #1. $[\text{exists } f\text{-in the range } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f_-) < A_0/2]$: (NO)
- #2. $[\text{exists } f\text{+ in the range } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f_+) < A_0/2]$: yes, at frequency 3.3Hz (OK)
- #3. $[A_0 > 2]$: $1.8 < 2$ (NO)
- #4. $[f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$: (OK)
- #5. $[\sigma_A < \epsilon(f_0)]$: $7.372 > 0.103$ (NO)
- #6. $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$: $0.251 < 1.78$ (OK)

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

HVSR 3



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: Sant'Agata Bolognese (BO), Lamborghini S.p.A.

Data: 20/05/2015

Lavoro: Studio del terreno di fondazione

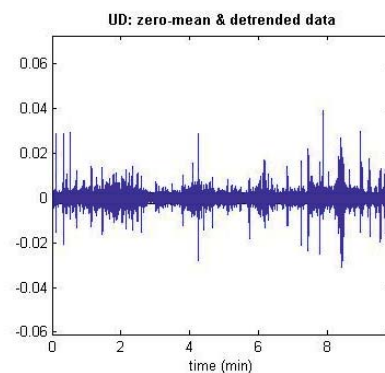
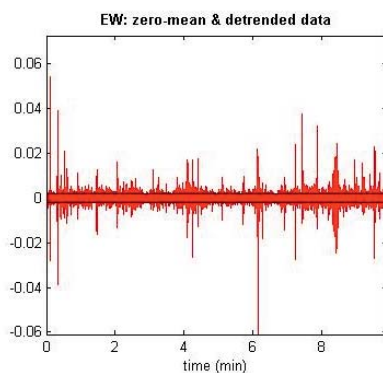
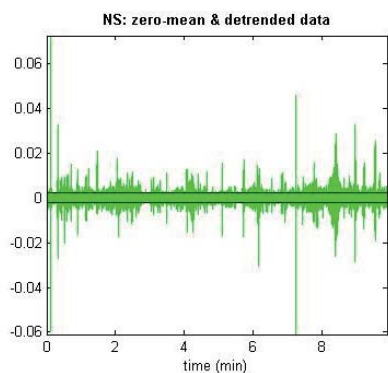
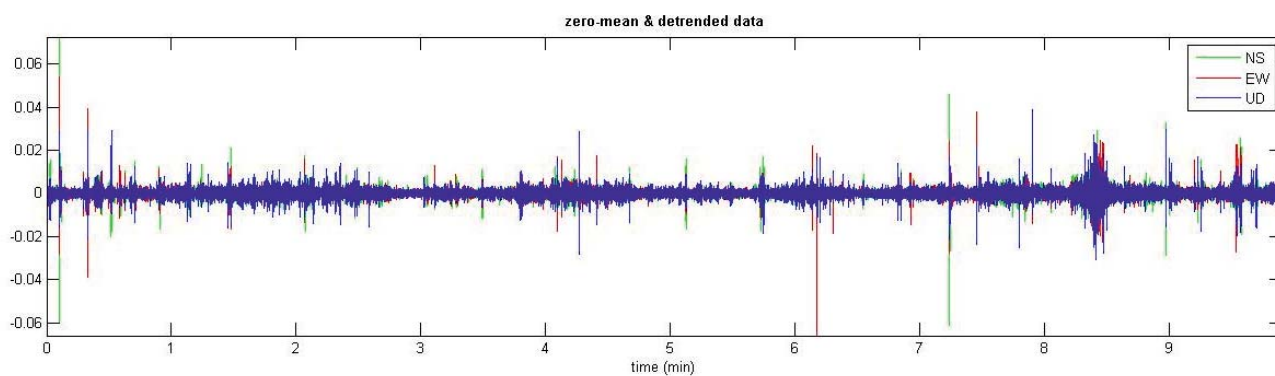
Operatore: Dott.ssa Erika Parmeggiani e Dott.ssa Annalisa Borghi

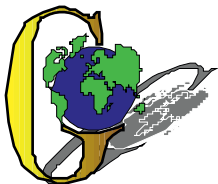
Elaborazione: Dott.ssa Erika Parmeggiani

Responsabile: Dott. Geol. Pier Luigi Dallari



UBICAZIONE DELLA STAZIONE DI MISURA





GEO GROUP s.r.l.

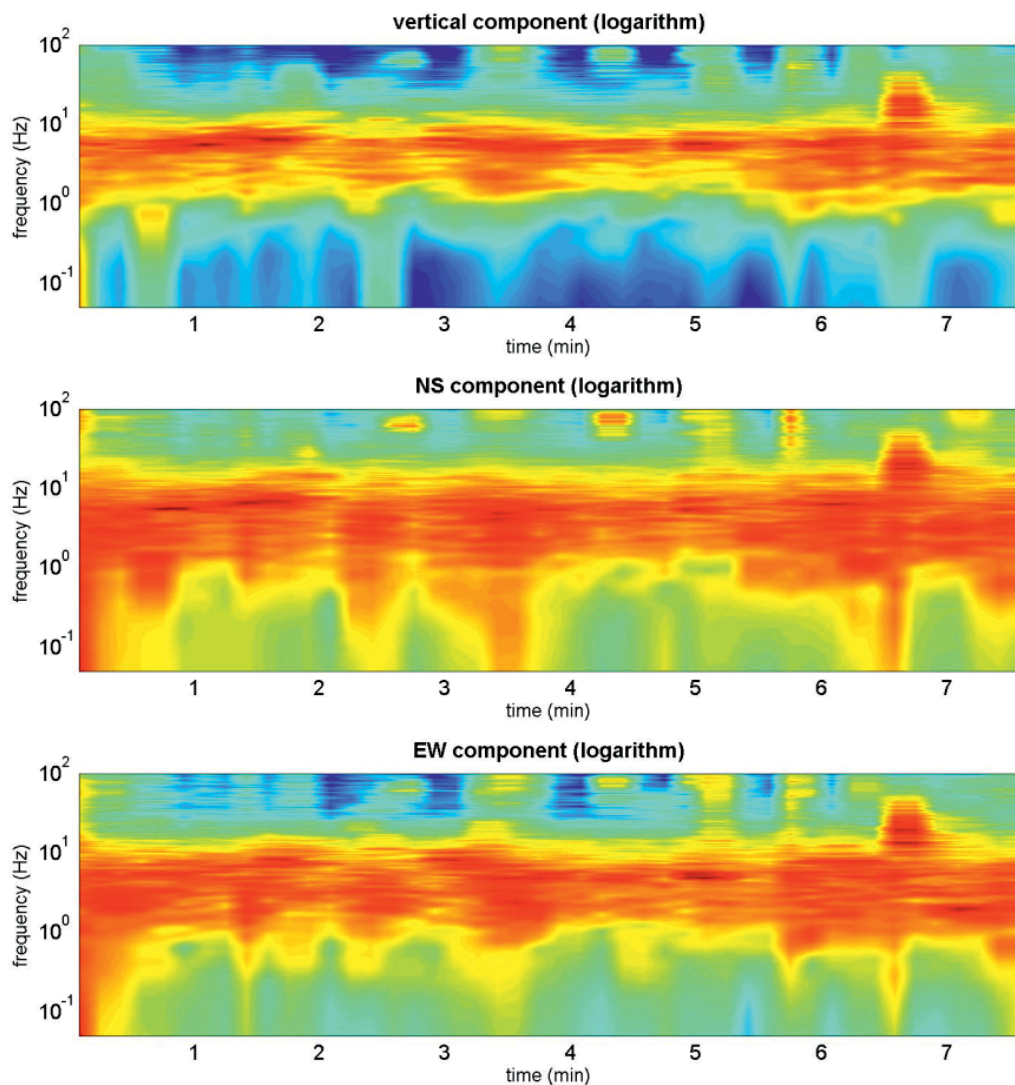
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

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

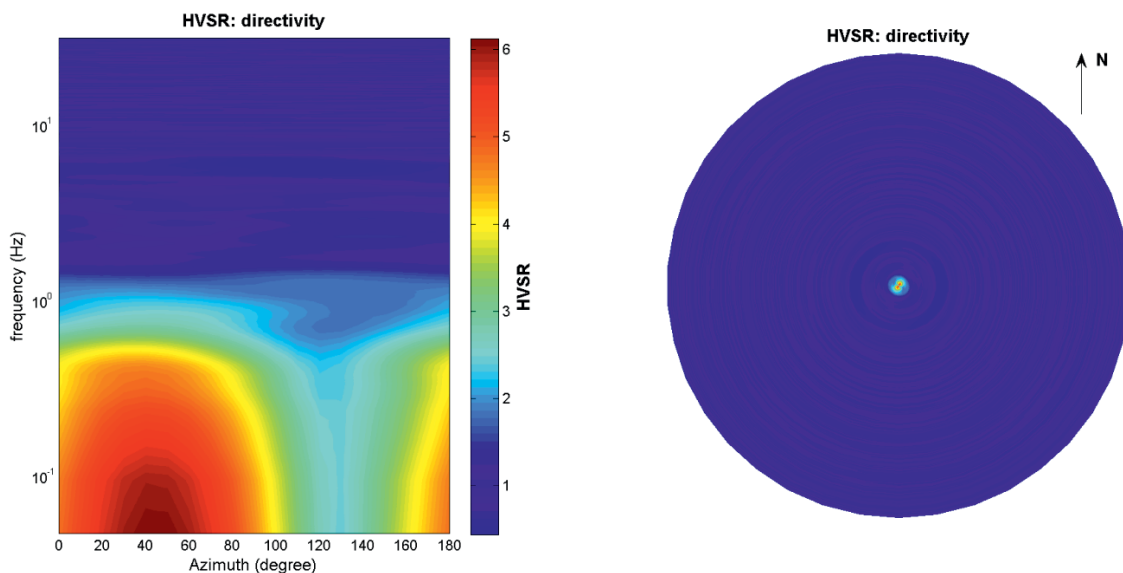
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

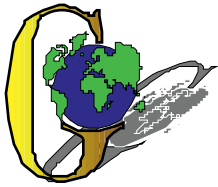
p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it - e-mail: info@geogroupmodena.it

PERSISTENZA HVSR



DIREZIONALITA' HVSR





GEO GROUP s.r.l.

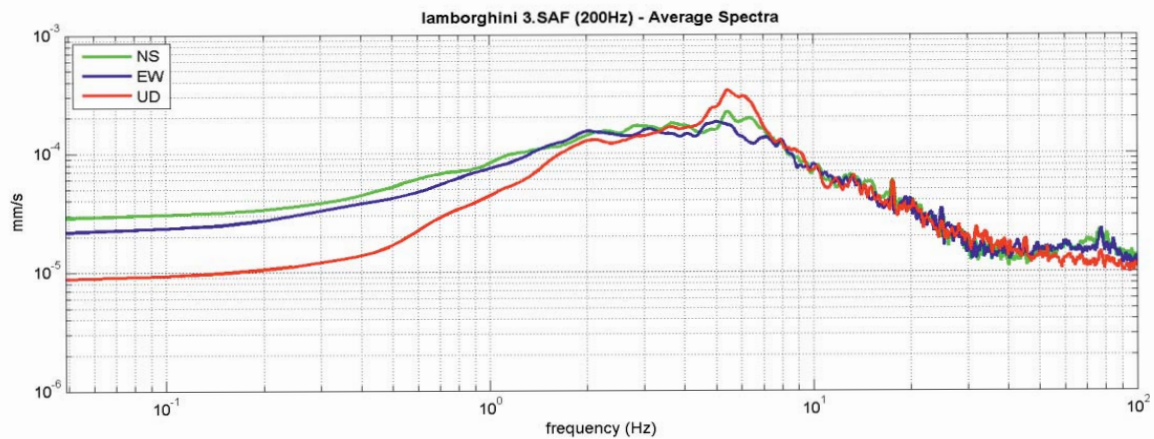
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

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

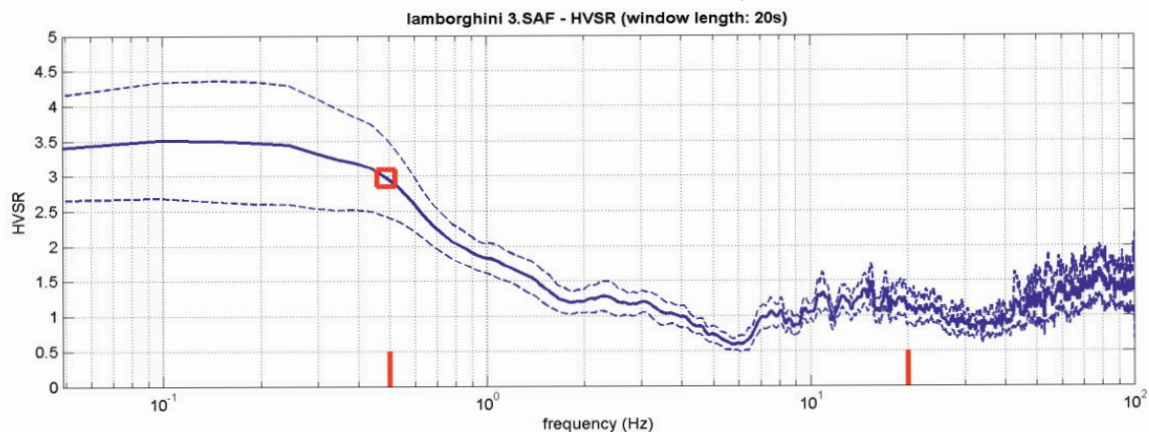
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

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

VELOCITA' SPETTRALI



RAPPORTO HVSR DERIVATO DALL'ACQUISIZIONE ESEGUITA



FREQUENZA DERIVATA nessun picco stratigrafico rilevato

Criteria for a reliable H/V curve

- #1. $[f_0 > 10/L_w]$: $0.489 < 0.5$ (NO)
- #2. $[nc > 200]$: $449 > 200$ (OK)
- #3. $[f_0 < 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 3 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (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. $[\text{exists } f+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f+) < A_0/2]$: yes, at frequency 1.5Hz (OK)
- #3. $[A_0 > 2]$: $3.0 > 2$ (OK)
- #4. $[f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$: (OK)
- #5. $[\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)]$: $6.384 > 0.098$ (NO)
- #6. $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$: $0.554 < 2.5$ (OK)

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

Verifica alla liquefazione

GEO GROUP s.r.l.

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

Liquefazione da CPT n. 1



Committente: Studio tecnico

Località: Sant'Agata Bolognese (BO), Laborghini S.p.A.

Descrizione: Studio terreno di fondazione

Note: Falda a - 1.50 m da p.c.

Sigla: 01

Stima del rischio di liquefazione con il metodo di Robertson e Wride (1997)

Profondità (m)	qc(kg/cmq)	fs (kg/cmq)	Gamma (t/mc)	Ic	Sforzo indotto dal sisma T	Resistenza alla liquefazione R	Coefficiente di sicurezza alla liquefazione Fs
0.4	19	1.47	1.8	2.24	0.079	0.594	10
0.6	25	1.2	1.8	2.16	0.078	0.292	10
0.8	17	1.2	1.8	2.47	0.078	0.146	10
1	11	0.93	1.8	2.71	0.078	0.109	
1.2	10	0.73	1.8	2.74	0.078	0.092	
1.4	7	0.73	1.8	3.02	0.077	0.075	
1.6	17	0.73	0.8	2.49	0.08	0.155	1.93
1.8	17	0.87	0.8	2.57	0.085	0.194	2.27
2	14	1.2	0.8	2.81	0.09	0.09	
2.2	16	0.47	0.8	2.45	0.094	0.129	1.38
2.4	10	0.4	0.8	2.72	0.097	0.076	
2.6	8	0.93	0.8	3.14	0.101	0.07	
2.8	12	0.47	0.8	2.68	0.103	0.078	
3	10	0.4	0.8	2.77	0.106	0.072	
3.2	10	0.47	0.8	2.83	0.108	0.071	
3.4	8	0.53	0.8	3.03	0.11	0.066	
3.6	8	0.47	0.8	3.01	0.112	0.066	
3.8	9	0.53	0.8	2.98	0.113	0.067	
4	10	0.4	0.8	2.84	0.115	0.068	
4.2	11	0.47	0.8	2.84	0.116	0.07	
4.4	9	0.4	0.8	2.94	0.117	0.065	
4.6	6	0.4	0.8	3.23	0.118	0.06	
4.8	8	0.53	0.8	3.13	0.119	0.063	
5	7	0.27	0.8	3.05	0.12	0.061	
5.2	6	0.27	0.8	3.17	0.121	0.059	
5.4	5	0.33	0.8	3.37	0.121	0.057	
5.6	5	0.4	0.8	3.44	0.122	0.057	
5.8	8	0.4	0.8	3.11	0.122	0.061	
6	9	0.47	0.8	3.09	0.123	0.062	
6.2	7	0.4	0.8	3.23	0.123	0.059	
6.4	8	0.4	0.8	3.15	0.123	0.06	
6.6	8	0.67	0.8	3.3	0.123	0.06	
6.8	9	0.53	0.8	3.16	0.124	0.061	
7	9	0.4	0.8	3.1	0.124	0.061	
7.2	7	0.4	0.8	3.29	0.124	0.058	
7.4	6	0.47	0.8	3.46	0.124	0.057	
7.6	7	0.53	0.8	3.39	0.124	0.058	
7.8	8	0.53	0.8	3.3	0.124	0.059	
8	8	0.67	0.8	3.38	0.124	0.059	
8.2	9	0.67	0.8	3.3	0.123	0.06	
8.4	9	0.6	0.8	3.28	0.123	0.059	
8.6	9	0.53	0.8	3.25	0.123	0.059	
8.8	8	0.6	0.8	3.39	0.123	0.058	

Certificato n.01 del 25/05/2015

Firma

GEO GROUP s.r.l.
via C. Costa 182 - 41100 MODENA
P. IVA 02981500362



Profondità (m)	qc(kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Gamma (t/mc)	Ic	Sforzo indotto dal sisma T	Resistenza alla liquefazione R	Coefficiente di sicurezza alla liquefazione Fs
9	9	0.67	0.8	3.34	0.123	0.059	
9.2	10	0.8	0.8	3.32	0.122	0.06	
9.4	15	1.13	0.8	3.14	0.122	0.064	
9.6	19	1.2	0.8	3	0.122	0.068	
9.8	21	1.2	0.8	2.94	0.122	0.069	
10	20	1.13	0.8	2.97	0.121	0.068	
10.2	20	1.07	0.8	2.96	0.121	0.068	
10.4	14	0.8	0.8	3.13	0.12	0.062	
10.6	9	0.67	0.8	3.41	0.12	0.058	
10.8	10	0.8	0.8	3.39	0.12	0.058	
11	14	0.53	0.8	3.03	0.119	0.062	
11.2	12	0.73	0.8	3.24	0.119	0.06	
11.4	9	0.67	0.8	3.44	0.118	0.057	
11.6	11	0.87	0.8	3.37	0.118	0.059	
11.8	14	1.07	0.8	3.26	0.118	0.061	
12	15	1.13	0.8	3.23	0.117	0.061	
12.2	19	1.07	0.8	3.05	0.117	0.064	
12.4	14	0.67	0.8	3.15	0.116	0.06	
12.6	11	0.53	0.8	3.27	0.116	0.058	
12.8	9	0.47	0.8	3.4	0.115	0.056	
13	9	0.53	0.8	3.44	0.115	0.056	
13.2	12	0.8	0.8	3.34	0.114	0.058	
13.4	14	1.07	0.8	3.31	0.114	0.06	
13.6	18	1.4	0.8	3.21	0.113	0.062	
13.8	19	0.93	0.8	3.06	0.112	0.063	
14	18	1	0.8	3.13	0.112	0.062	
14.2	10	0.73	0.8	3.49	0.111	0.057	
14.4	11	0.8	0.8	3.44	0.111	0.057	
14.6	14	0.8	0.8	3.26	0.11	0.059	
14.8	15	0.87	0.8	3.24	0.11	0.059	
15	13	0.73	0.9	3.31	0.109	0.058	
15.2	15	0.8	0.9	3.23	0.109	0.059	
15.4	15	1.2	0.9	3.35	0.108	0.059	
15.6	15	1.2	0.9	3.36	0.107	0.059	
15.8	15	0.87	0.9	3.27	0.107	0.059	
16	15	0.8	0.9	3.26	0.106	0.059	
16.2	13	0.6	0.9	3.3	0.105	0.058	
16.4	11	0.6	0.9	3.44	0.105	0.056	
16.6	11	0.8	0.9	3.52	0.104	0.056	
16.8	15	0.73	0.9	3.26	0.104	0.058	
17	11	0.8	0.9	3.54	0.103	0.056	
17.2	13	0.73	0.9	3.38	0.102	0.057	
17.4	17	0.6	0.9	3.13	0.102	0.059	
17.6	12	0.67	0.9	3.44	0.101	0.056	
17.8	17	0.73	0.9	3.19	0.101	0.059	
18	15	1.07	0.9	3.4	0.1	0.058	
18.2	16	0.87	0.9	3.3	0.099	0.058	
18.4	16	1.07	0.9	3.36	0.099	0.058	
18.6	17	1.07	0.9	3.32	0.098	0.059	

Certificato n.01 del 25/05/2015

Firma

GEO GROUP s.r.l.
 via C. Costa, 182 - 41100 MODENA
 P. IVA 02981500362



Profondità (m)	qc(kg/cmq)	fs (kg/cmq)	Gamma (t/mc)	lc	Sforzo indotto dal sisma T	Resistenza alla liquefazione R	Coefficiente di sicurezza alla liquefazione Fs
18.8	19	1.2	0.9	3.27	0.098	0.059	
19	18	1.07	0.9	3.28	0.097	0.059	
19.2	13	1.07	0.9	3.55	0.097	0.056	
19.4	16	0.8	0.9	3.31	0.096	0.058	
19.6	17	0.67	0.9	3.22	0.096	0.058	
19.8	21	0.93	0.9	3.15	0.095	0.06	
20	15	0.67	0.9	3.33	0.094	0.057	
20.2	13	0.73	0.9	3.47	0.094	0.056	
20.4	11	0.8	0.9	3.65	0.093	0.055	
20.6	13	0.93	0.9	3.55	0.093	0.056	
20.8	14	0.87	0.9	3.47	0.092	0.056	
21	15	1.13	0.9	3.49	0.092	0.057	
21.2	16	1.13	0.9	3.45	0.091	0.057	
21.4	169	1.07	0.9	1.85	0.091	0.334	3.68
21.6	15	1.2	0.9	3.53	0.09	0.056	
21.8	19	1.4	0.9	3.39	0.09	0.058	
22	25	1.73	0.9	3.24	0.089	0.061	
22.2	29	2	0.9	3.18	0.089	0.062	
22.4	38	2.13	0.9	3.02	0.089	0.066	
22.6	39	2.73	0.9	3.07	0.088	0.066	
22.8	40	2.87	0.9	3.08	0.088	0.066	
23	42	2.67	0.9	3.02	0.087	0.067	
23.2	48	2.8	0.9	2.95	0.087	0.069	
23.4	37	1.8	0.9	3	0.086	0.065	
23.6	24	1.13	0.9	3.19	0.086	0.059	
23.8	16	1.07	0.9	3.5	0.086	0.056	
24	29	1.8	0.9	3.19	0.085	0.061	
24.2	38	2.47	0.9	3.09	0.085	0.065	
24.4	39	2.53	0.9	3.08	0.084	0.065	
24.6	39	2.47	0.9	3.08	0.084	0.065	
24.8	45	2.53	0.9	2.99	0.084	0.067	
25	35	2.8	1	3.2	0.083	0.063	
25.2	34	2.47	1	3.19	0.083	0.063	
25.4	37	2.13	1	3.09	0.082	0.064	
25.6	47	2.8	1	3	0.082	0.067	
25.8	41	2.6	1	3.08	0.082	0.065	
26	35	1.8	1	3.09	0.081	0.062	
26.2	37	2.13	1	3.1	0.081	0.063	
26.4	39	2.4	1	3.1	0.081	0.064	
26.6	36	2	1	3.11	0.08	0.063	
26.8	27	1.73	1	3.28	0.08	0.059	
27	21	1.73	1	3.48	0.08	0.057	
27.2	34	1.47	1	3.08	0.079	0.062	
27.4	35	2	1	3.14	0.079	0.062	
27.6	37	2.87	1	3.21	0.079	0.062	
27.8	71	3.93	1	2.86	0.078	0.074	
28	84	2.07	1	2.57	0.078	0.503	6.43
28.2	46	1.6	1	2.9	0.078	0.065	
28.4	46	1.93	1	2.96	0.078	0.065	

Certificato n.01 del 25/05/2015

Firma
GEO GROUP s.r.l.
 via C. Costa 1821- 41100 MODENA
 P. IVA 02981500362



Profondità (m)	qc(kg/cm ²)	fs (kg/cm ²)	Gamma (t/mc)	Ic	Sforzo indotto dal sisma T	Resistenza alla liquefazione R	Coefficiente di sicurezza alla liquefazione Fs
28.6	47	1.33	1	2.85	0.077	0.065	
28.8	26	1	1	3.2	0.077	0.058	
29	12	0.93	1	3.88	0.077	0.054	
29.2	19	1.27	1	3.52	0.077	0.056	
29.4	21	1.13	1	3.41	0.076	0.057	
29.6	19	1.33	1	3.55	0.076	0.056	
29.8	23	1.33	1	3.39	0.076	0.057	
30	21	1.33	1	3.47	0.076	0.056	

Profondità tetto falda(m): 1.5

Profondità base falda(m): 30

Accelerazione sismica di progetto(g)= 0.233

Magnitudo di riferimento= 6.14

Indice di liquefazione=0.0 rischio molto basso

Fattore di correzione della magnitudo MSF: 1.94

Fs = R / T

Certificato n.01 del 25/05/2015

Firma
GEO GROUP s.r.l.
 via C. Costa, 182 - 41100 MODENA
 P. IVA 02981500362



Committente: Studio tecnico

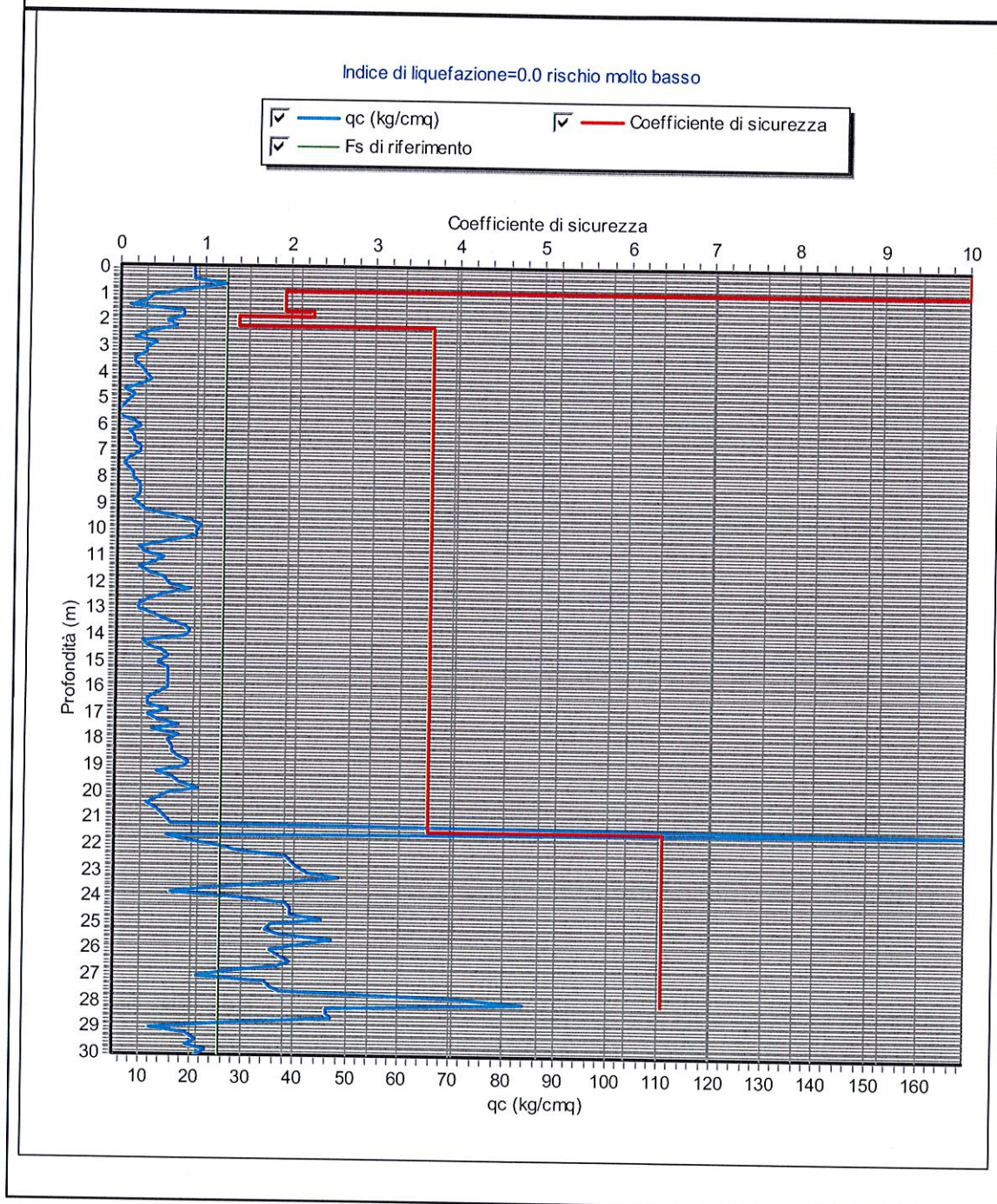
Località: Sant'Agata Bolognese (BO), Laborghini S.p.A.

Descrizione: Studio terreno di fondazione

Note: Falda a - 1.50 m da p.c.

Sigla: 01

Stima del rischio di liquefazione con il metodo di Robertson e Wride (1997)



Certificato n.01 del 25/05/2015

Firma **GEO GROUP S.r.l.**
via C. Costa, 182 41100 MODENA
P. IVA 02981500362

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

Liquefazione da CPTU n. 2

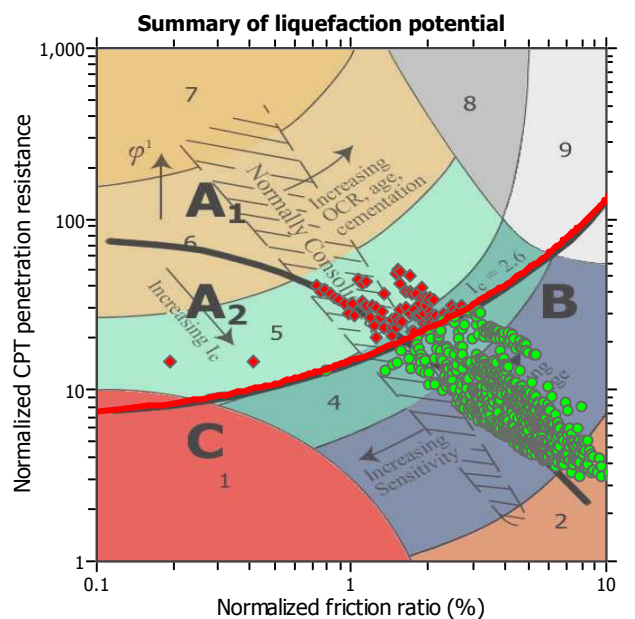
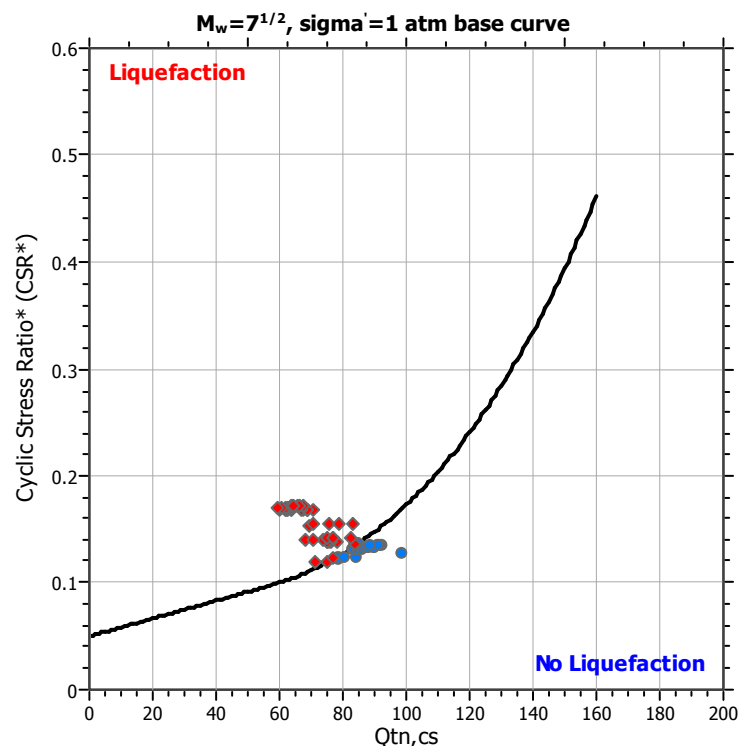
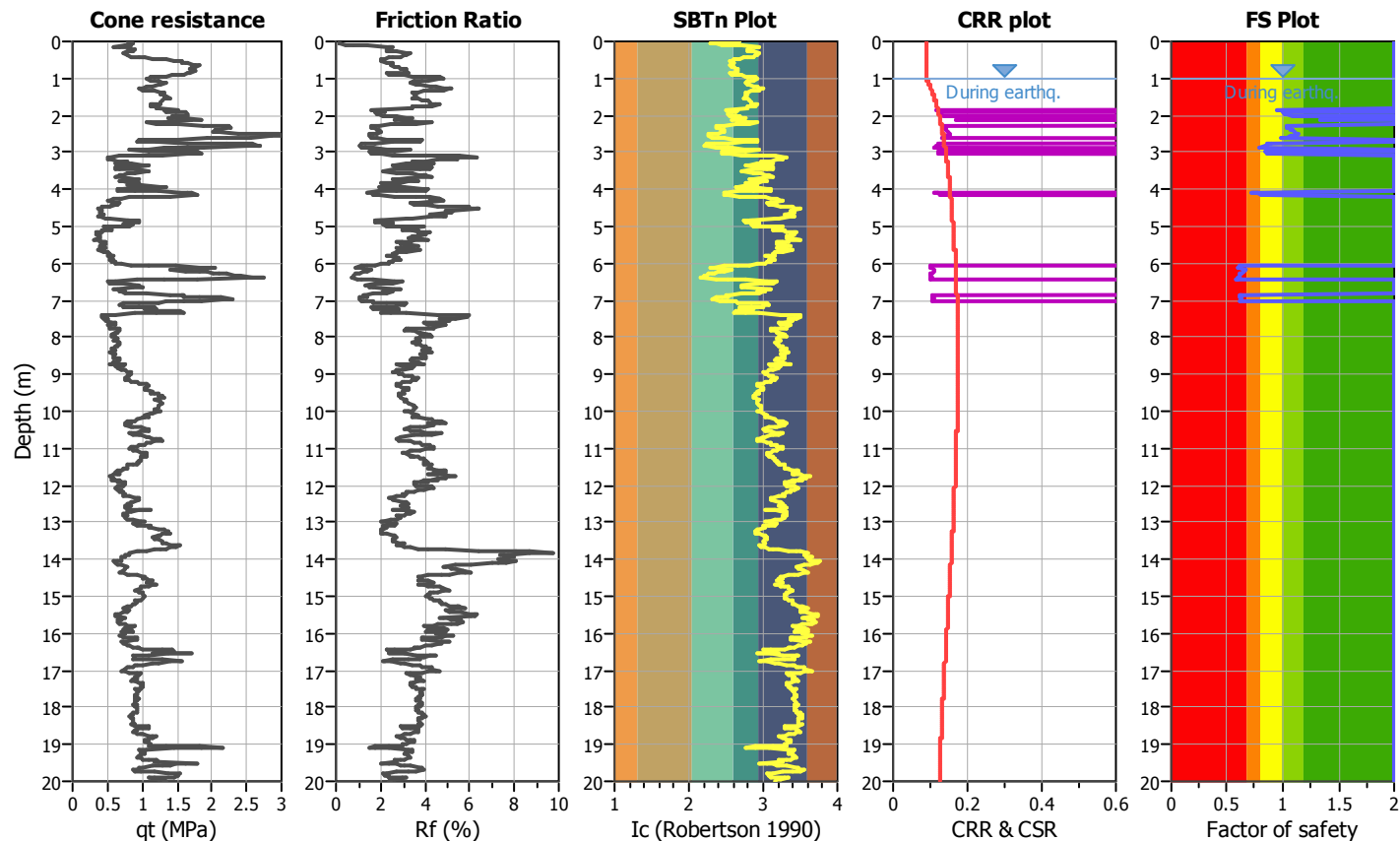
LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

Project title : STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE AREA Location : S. AGATA BOLOGNESE (BO)

CPT file : CPTu2

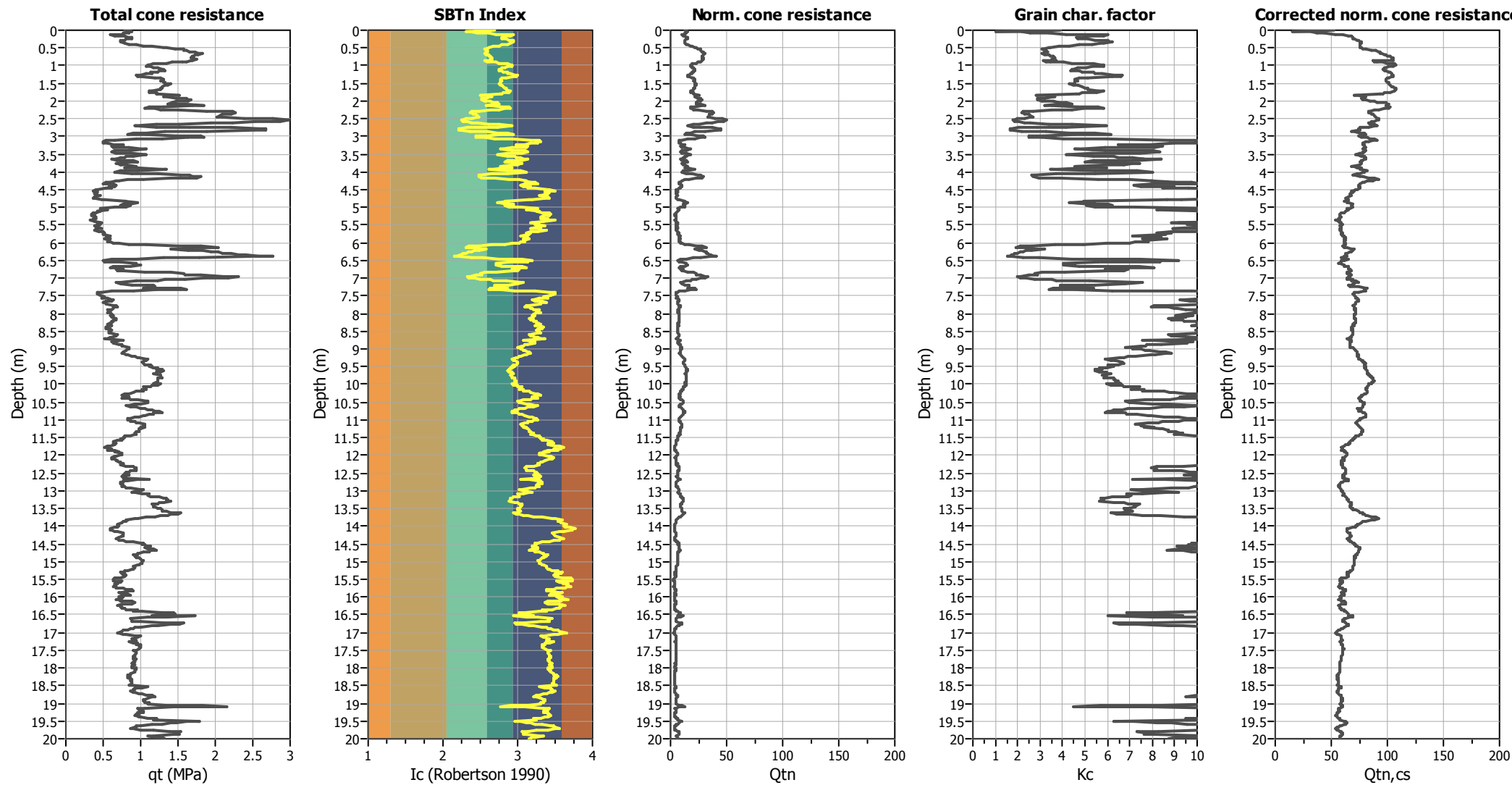
Input parameters and analysis data

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.):	1.00 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	1	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	20.00 m
Peak ground acceleration:	0.23	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_g applied:	No		



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

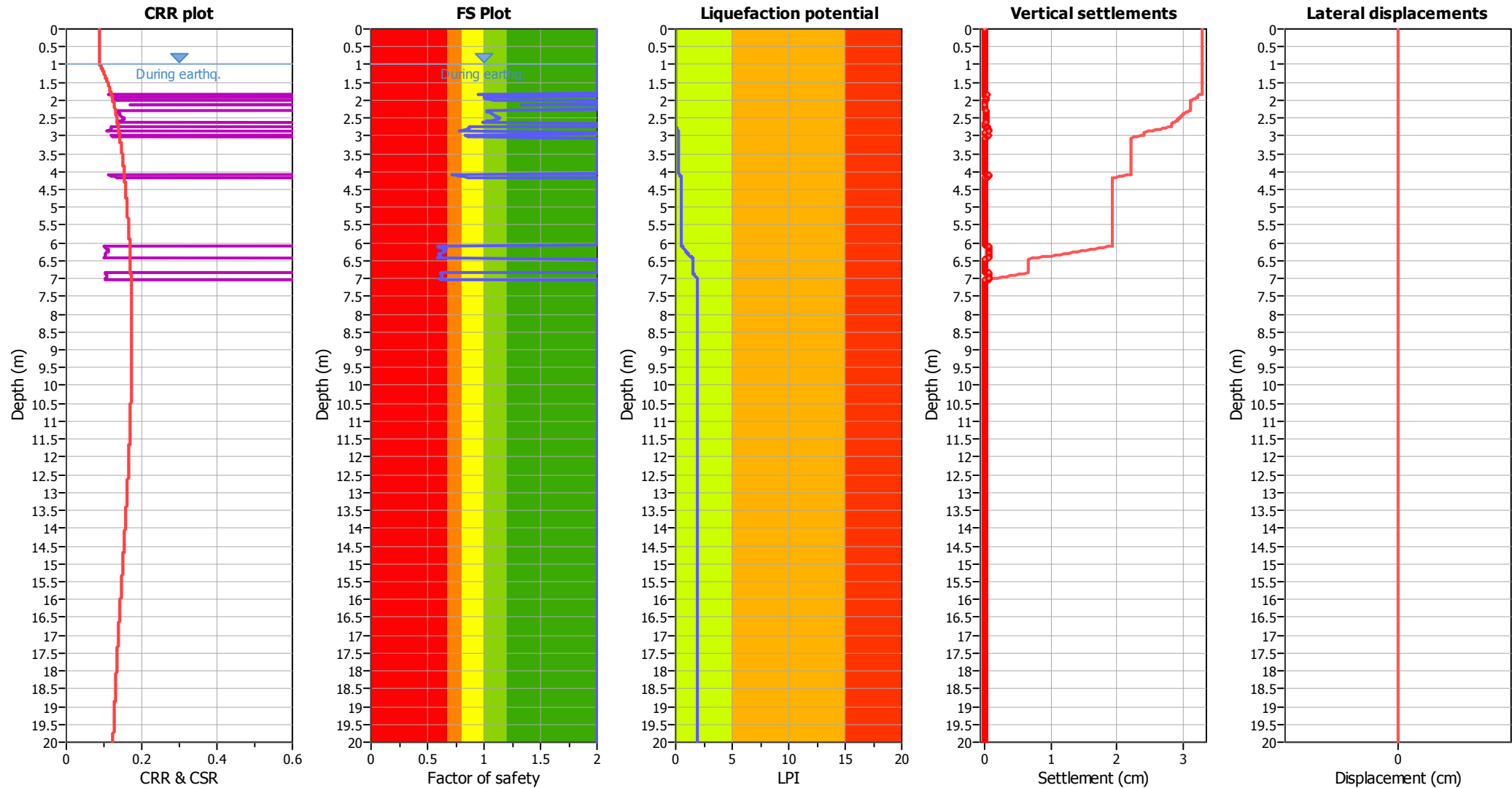
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _o applied:	No
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (earthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K ₀ applied:	No
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

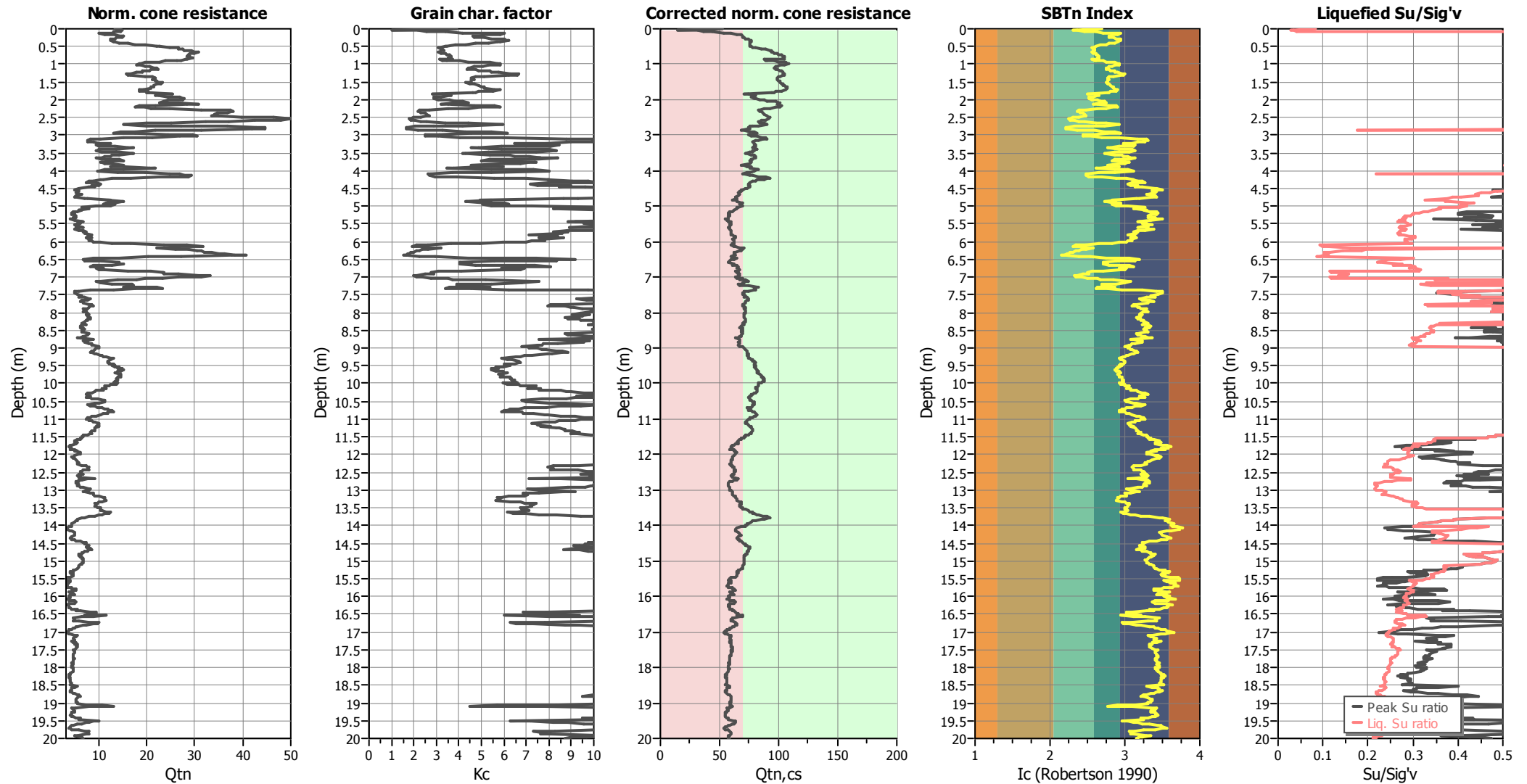
F.S. color scheme

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

LPI color scheme

Red	Very high risk
Orange	High risk
Yellow	Low risk

Check for strength loss plots (Robertson (2010))



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K ₀ applied:	No
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

GEO GROUP s.r.l.

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

Liquefazione da CPTU n. 3

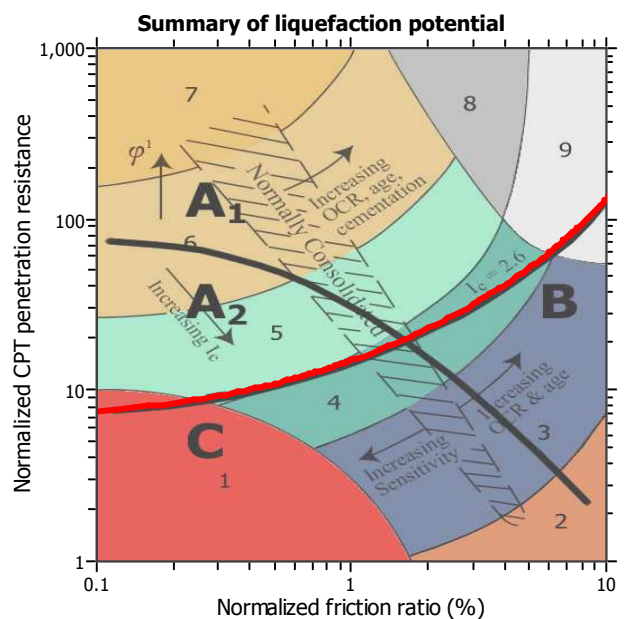
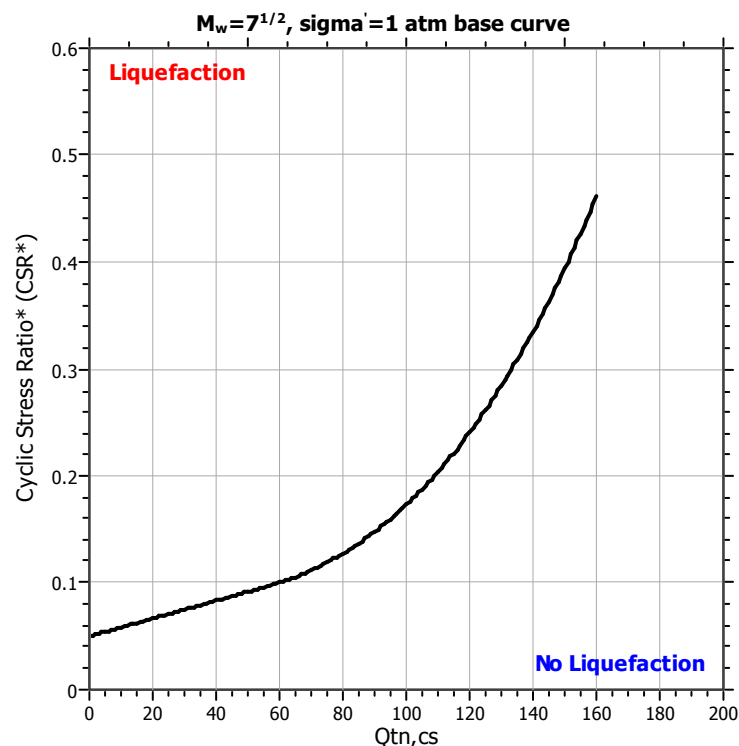
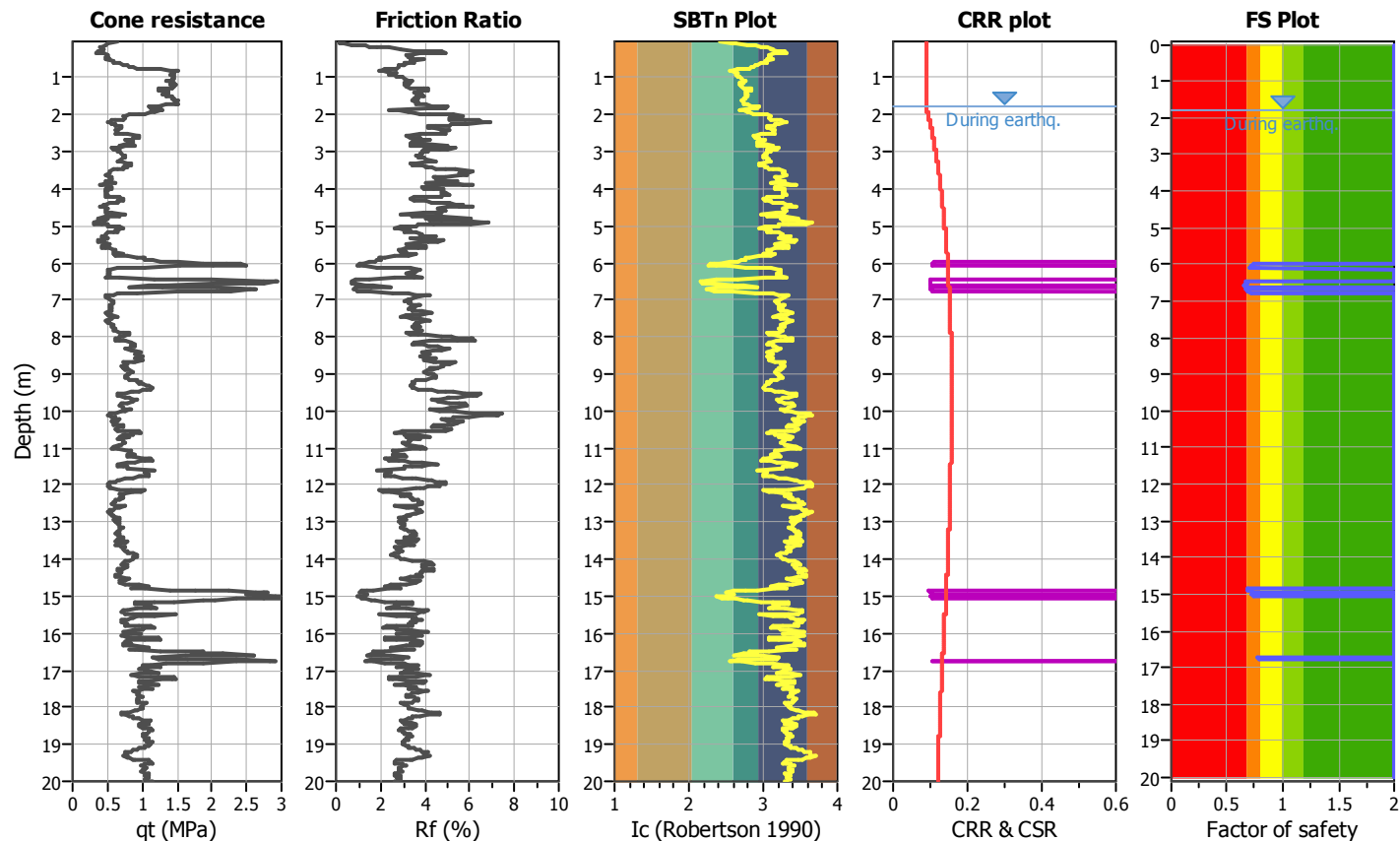
LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

Project title : STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE AREA Location : S. AGATA BOLOGNESE (BO)

CPT file : CPTu3

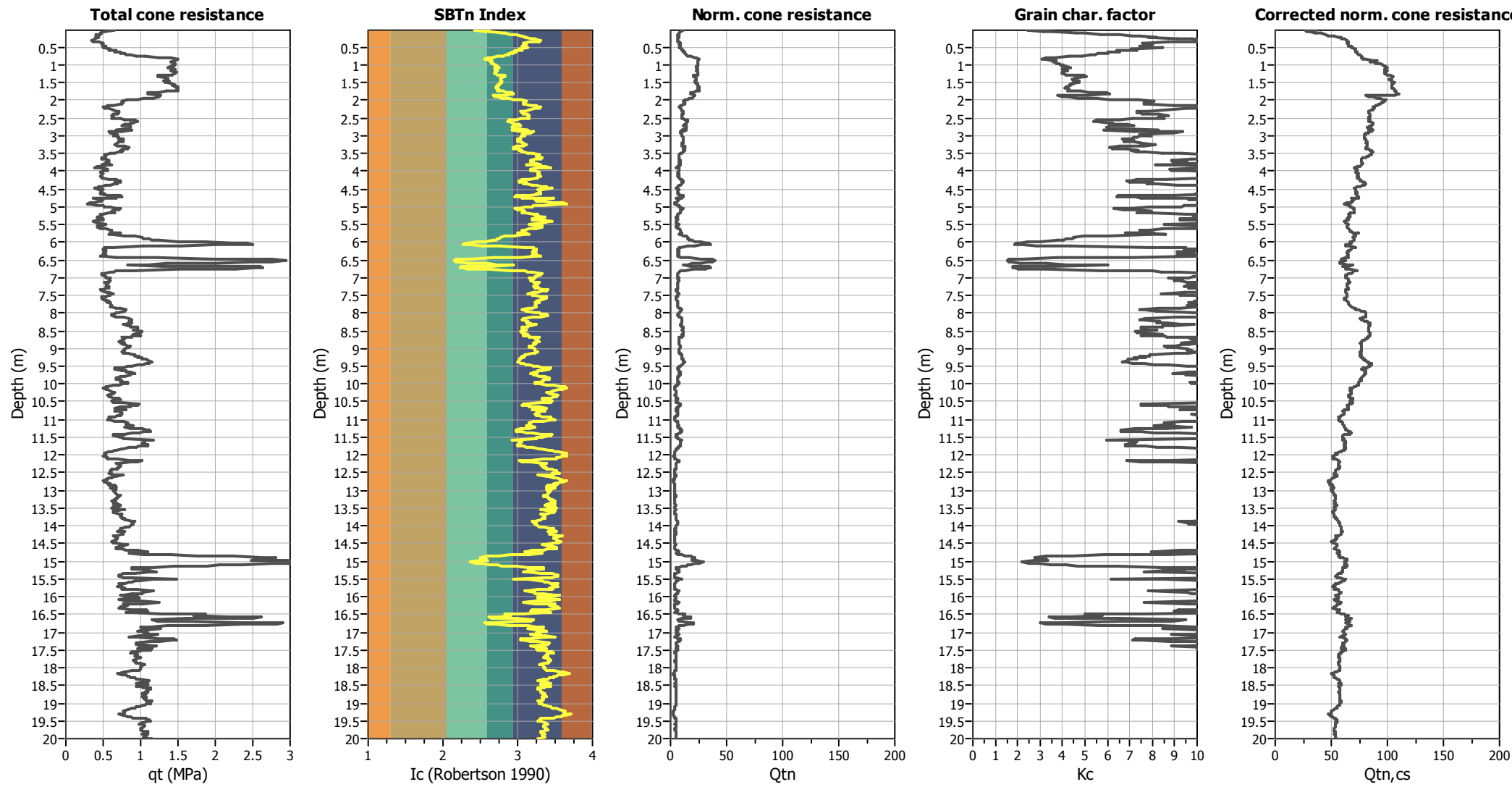
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	1.80 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	1.80 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	1	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	20.00 m
Peak ground acceleration:	0.23	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_g applied:	No		



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

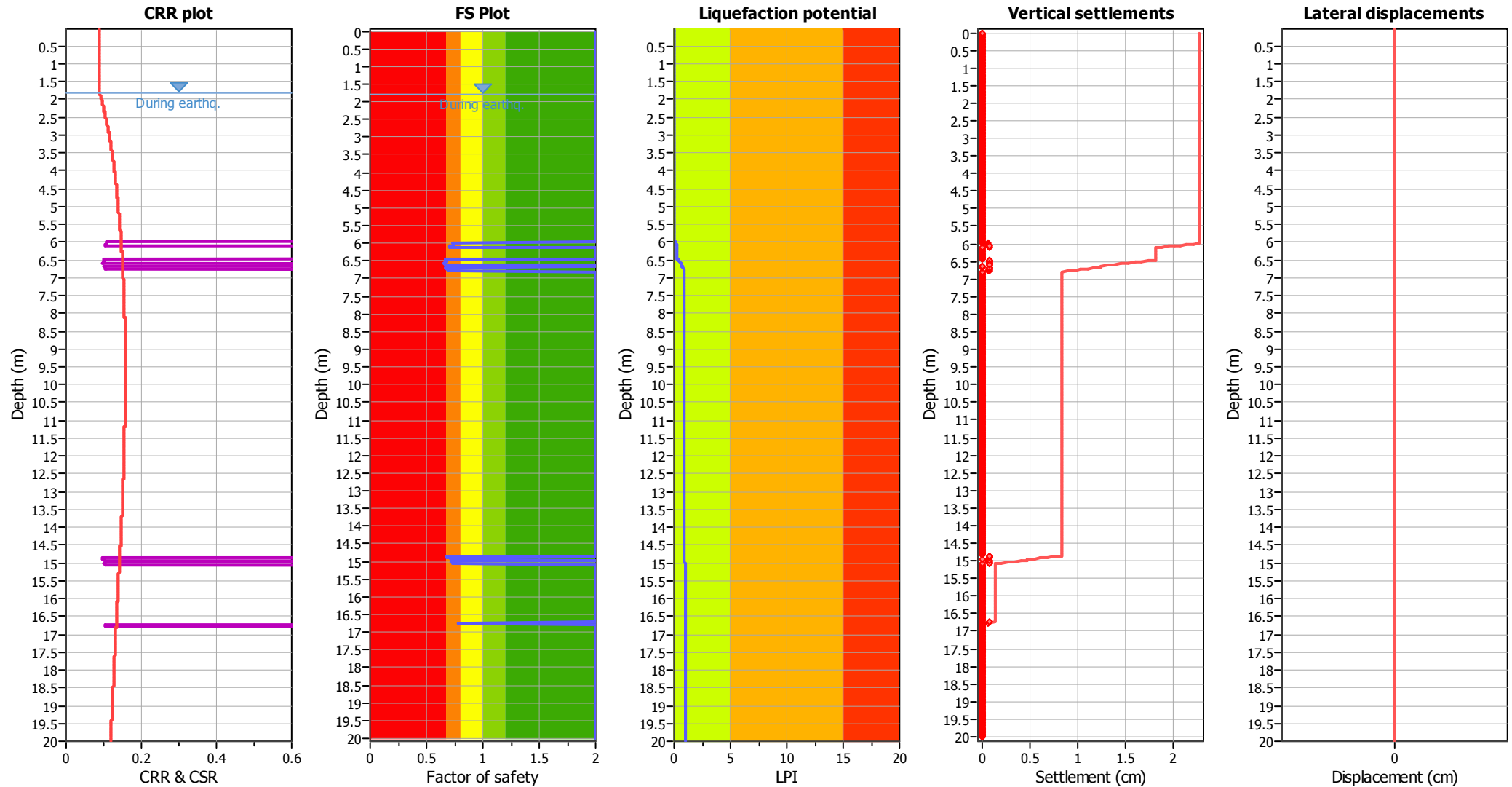
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.80 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _o applied:	No
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	1.80 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (earthq.):	1.80 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _σ applied:	No
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	1.80 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

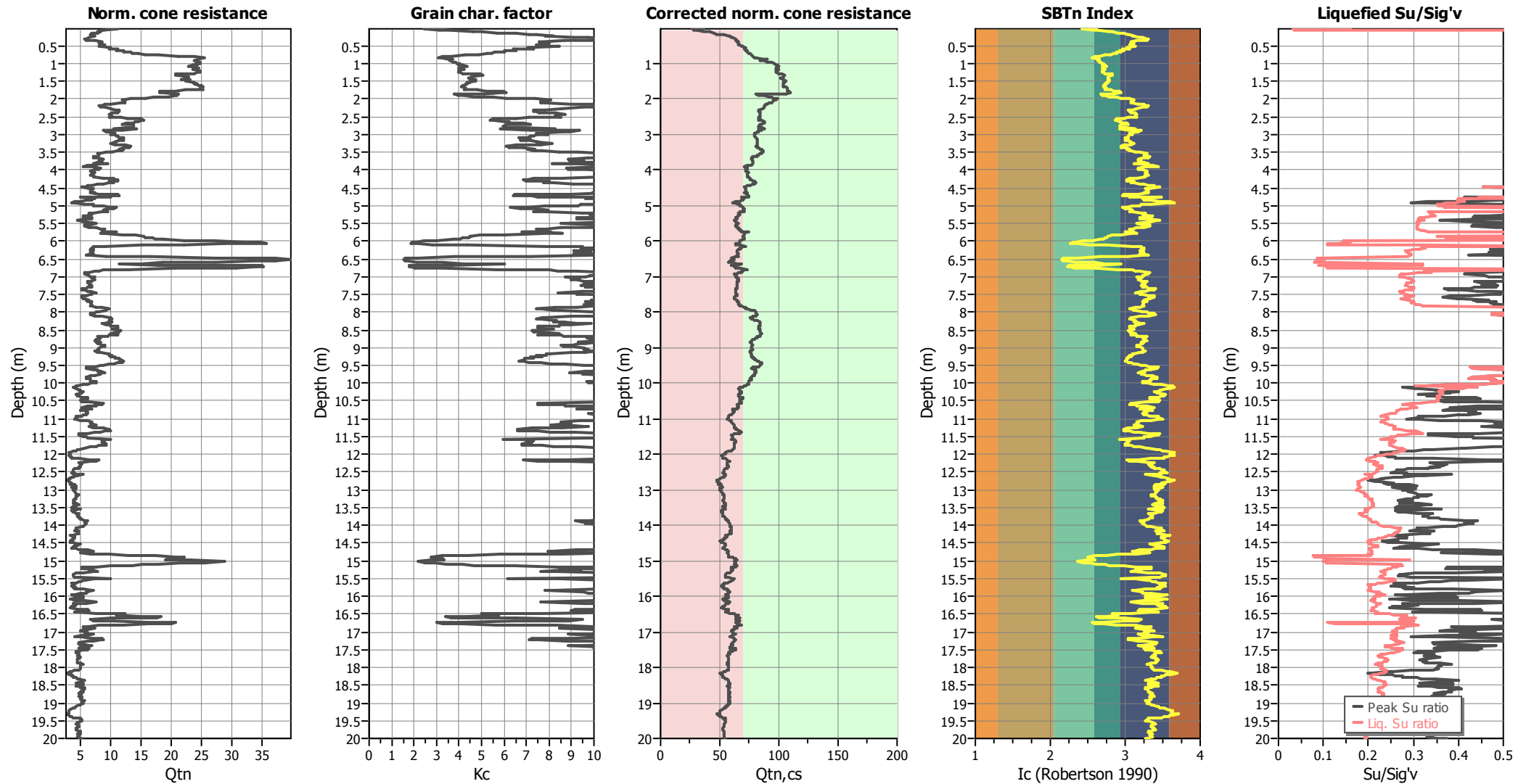
F.S. color scheme

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

LPI color scheme

Red	Very high risk
Orange	High risk
Yellow	Low risk

Check for strength loss plots (Robertson (2010))



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	1.80 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _o applied:	No
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	1.80 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m