

Comune di Fiorano Modenese

Provincia di Modena

RELAZIONE GEOLOGICA inerente le indagini eseguite, la caratterizzazione e modellazione geologica del sito (§6.2.1. DM 17/01/18)

RELAZIONE GEOTECNICA basata sulle indagini geognostiche effettuate, al fine della caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno del sito (§6.2.2. DM 17/01/18)

Relazione concernente la "RISPOSTA SISMICA DEL SITO" (ai sensi del DM 17/01/18 NNTC) al fine della progettazione per azioni sismiche (§6.4 del DM 17/01/18)



Studio geologico, geotecnico e sismico del terreno di fondazione di un fabbricato ex uso industriale in v. Circondariale S. Francesco, 51



Dott. Geol. Pier Luigi Dallari
Giugno 2022
Rif. 519/22



Sede Legale: Via C. Costa, 182 - 41123 Modena
Uffici: Via Per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo R. (MO)
Tel. 059 3967169 - Fax. 059 5960176
info@geogroupmodena.it
www.geogroupmodena.it
P.IVA 02981500362



RELAZIONE TECNICA

comprendente:

RELAZIONE GEOLOGICA inerente alle indagini geognostiche eseguite, la definizione delle unità litotecniche, gli eventuali processi geomorfologici al fine della modellazione geologica del sito (§6.2.1. DM 17/01/18)

RELAZIONE GEOTECNICA basata sulle indagini eseguite, fornisce tutti i dati geotecnici necessari per il progetto, la caratterizzazione e la modellazione del volume significativo di terreno interessato (§6.2.2. DM 17/01/18)

Relazione concernente la “RISPOSTA SISMICA DEL SITO” (ai sensi del DM 17/01/18 NNTC) e alla caratterizzazione geofisica del volume significativo di terreno (3.2.2 NTC 2018), valutazione dell’azione sismica di riferimento (3.2.3. NTC 2018), risposta sismica locale e verifica della stabilità nei confronti della liquefazione (7.11.3. NTC 2018)

OGGETTO:

Studio geologico, geotecnico e sismico del terreno di
fondazione di un fabbricato industriale

in v. Circondariale S. Francesco, 51, nel Comune di Fiorano Modenese (MO)



Sede Legale: Via C. Costa, 182 - 41123 Modena
Uffici: Via Per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo R. (MO)
Tel. 059 3967169 - Fax. 059 5960176
info@geogroupmodena.it
www.geogroupmodena.it
P.IVA 02981500362



INDICE DEL CONTENUTO

1	PREMESSE	3
1.1	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	4
2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	5
3	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO	6
3.1	INDAGINI GEOTECNICHE	6
3.2	PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CON PIEZOCONO CPTU	6
3.3	SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO	8
3.4	PROVE DI LABORATORIO DI GEOTECNICA	10
3.4.1	PRELIEVO DEI CAMPIONI DI TERRENO	10
3.4.2	PROVE DI LABORATORIO ESEGUITE	10
3.4.3	PROVA DI TAGLIO DIRETTO	10
3.5	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE E LITOSTRATIGRAFICHE DEL SOTTOSUOLO	11
3.6	MODELLO GEOTECNICO	14
4	CLASSIFICAZIONE E CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO	15
4.1	INDAGINI GEOFISICHE	15
4.1.1	INDAGINI SISMICHE HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO (HVSR) – METODO DI NAKAMURA	15
4.1.2	INDAGINE SISMICA SECONDO DISPERSIONE ATTIVA DI ONDE DI SUPERFICIE DI TIPO REYLEIGH (METODOLOGIA MASW)	16
4.1.3	RISULTATI OTTENUTI	17
4.2	SISMICITÀ DELL'AREA	17
4.3	AZIONE SISMICA: STUDIO DI RISPOSTA SISMICA LOCALE (III LIVELLO DI APPROFONDIMENTO)	22
4.4	VERIFICA A LIQUEFAZIONE	28
5	CONCLUSIONI	30

TAVOLE

TAV. N. 1: "CARTA COROGRAFICA"	SCALA 1: 25.000;
TAV. N. 2: "CARTA TOPOGRAFICA"	SCALA 1: 10.000;
TAV. N. 3: "RIPRESA FOTOGRAFICA AEREA DELL'AREA DI INTERESSE"	SCALA GRAFICA;
TAV. N. 4: "CARTA LITOLOGIA DI SUPERFICIE"	SCALA 1: 5.000;
TAV. N. 5: "INDAGINI GEOGNOSTICHE"	SCALA GRAFICA.

ALLEGATI

- ALL. N. 1** PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CON PIEZOCONO CPTU;
- ALL. N. 2** SONDAGGIO A CAROTAGGIO S1 E ALLEGATO FOTOGRAFICO;
- ALL. N. 3** PROVE DI LABORATORIO DI GEOTECNICA;
- ALL. N. 4** INDAGINI GEOFICHE E DETERMINAZIONE DELLA $V_{s,30}$;
- ALL. N. 5** VERIFICA A LIQUEFAZIONE.



Sede Legale: Via C. Costa, 182 - 41123 Modena
Uffici: Via Per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo R. (MO)
 Tel. 059 3967169 - Fax. 059 5960176
 info@geogroupmodena.it
 www.geogroupmodena.it
 P.IVA 02981500362



1 PREMESSE

Su incarico della Committenza, Comune di Fiorano Modenese, in accordo con il tecnico incaricato, nel mese di Giugno 2022 è stato eseguito il presente studio geologico-geotecnico e sismico al fine di definire le caratteristiche geologiche e sismiche e determinare i parametri geotecnici caratteristici del terreno di fondazione di un fabbricato ex uso industriale sito in v. Circondariale S. Francesco, 51 a Fiorano Modenese (MO).



Fig. 1.1 – Foto aerea dell'area in studio tratta da Google Earth.



Fig. 1.2 – Foto aerea dell'area in studio tratta da Google Earth.

Per ottemperare alle richieste del D.M. 17/01/2018 il succitato studio verrà suddiviso nei seguenti ambiti:

- 1) **RELAZIONE GEOLOGICA** riguardante le indagini geognostiche eseguite, la caratterizzazione e modellazione geologica del sito (§6.2.1. DM 17/01/18);
- 2) **RELAZIONE GEOTECNICA** basata sulle indagini eseguite, fornisce la caratterizzazione e la modellazione del volume significativo di terreno interessato (§6.2.2. DM 17/01/18);
- 3) Relazione concernente la **“RISPOSTA SISMICA DEL SITO”** (ai sensi del DM 17/01/18) al fine della progettazione per azioni sismiche e della verifica della suscettività alla liquefazione dei terreni investigati.

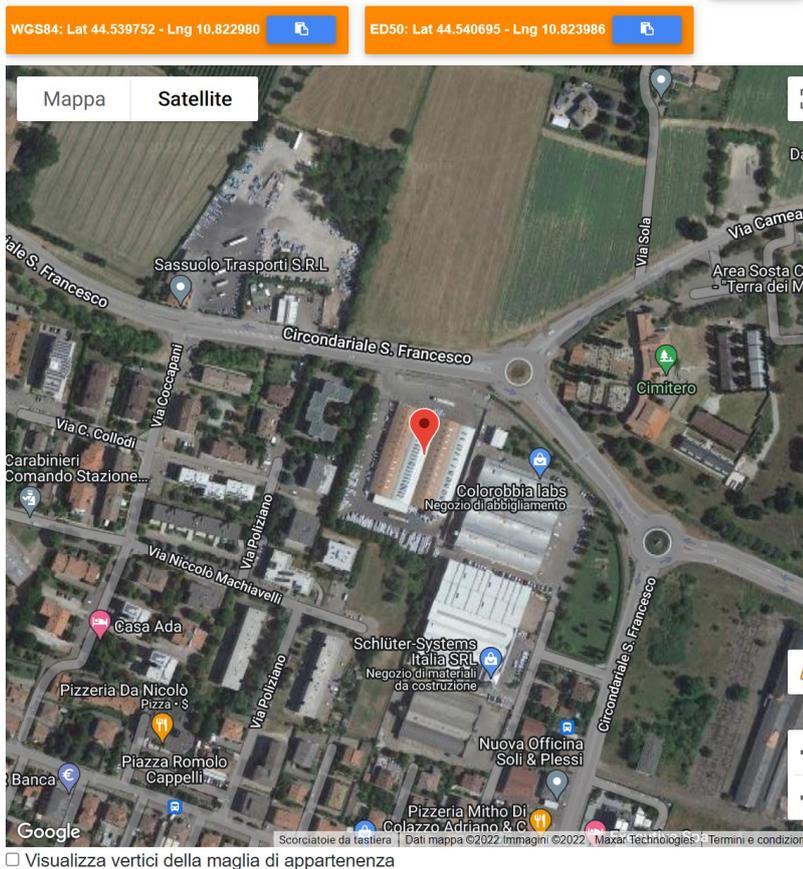
1.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il lotto in oggetto è ubicato in fregio alla Circondariale S. Francesco, nel Comune di Fiorano Modenese (MO) come illustrato nella “Carta corografica”, estratto tavola CTR n. 219_NO e 219_NE, alla scala 1: 25.000 (**tav. n. 1**); nella “Carta topografica” sezioni CTR n. 219060, alla scala 1: 10.000 (**tav. n. 2**) e nella “Ripresa aerea” (**tav. n. 3**), riportate in allegato.



Sede Legale: Via C. Costa, 182 - 41123 Modena
Uffici: Via Per Modena, 12 - 41051 Castelnovo R. (MO)
 Tel. 059 3967169 - Fax. 059 5960176
 info@geogroupmodena.it
 www.geogroupmodena.it
 P.IVA 02981500362





2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Dal punto di vista litologico nell'area affiorano i depositi di seguito illustrati e riportati nella "Carta geologica" (**tav. n. 4**), tratta dal sito della Regione Emilia Romagna, GEOLOGIA, SISMICA E SUOLI - Cartografia geologica interattiva:

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).

Il subsistema affiora in corrispondenza dell'area di interesse e in un'ampia zona circostante in litofacies limosa.

Dal punto di vista geomorfologico non si rilevano fenomeni degni di nota, il lotto è inserito in un contesto urbano, ad una quota topografica media di 110.0 m s.l.m..



Sede Legale: Via C. Costa, 182 - 41123 Modena
Uffici: Via Per Modena, 12 - 41051 Castelnuevo R. (MO)
Tel. 059 3967169 - Fax. 059 5960176
info@geogroupmodena.it
www.geogroupmodena.it
P.IVA 02981500362



3 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO

3.1 INDAGINI GEOTECNICHE

In relazione alla litologia individuata dalla cartografia nell'area di studio e in base alla tipologia dell'intervento in progetto, la campagna geognostica è stata espletata mediante le seguenti indagini:

- N. 2 PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CON PIEZOCONO CPTU;
- N. 1 SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO S1;
- PRELIEVO CAMPIONI DI TERRENO PER CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA IN LABORATORIO;

I tabulati e i diagrammi relativi alle prove penetrometriche effettuate in sito, corredati dell'interpretazione geotecnica, sono riportati in **allegato n. 1**. La stratigrafia ricavata dal sondaggio a carotaggio e le foto delle cassette in cantiere sono visibili in **allegato n. 2**.

3.2 PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CON PIEZOCONO CPTU

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

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

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

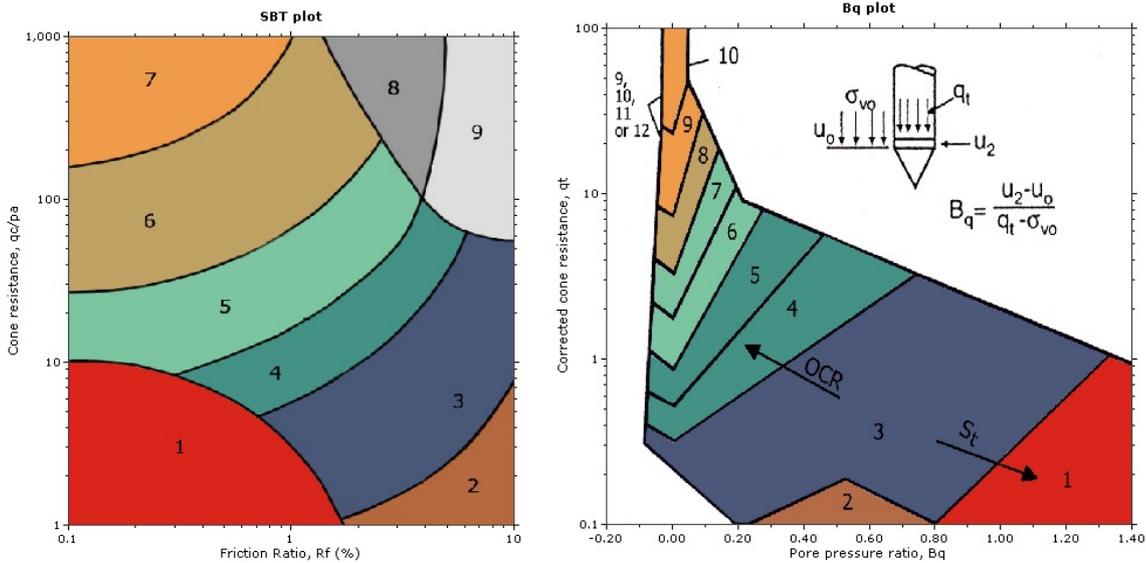
I dati acquisiti sono stati elaborati con software CPeT – IT v. 2.0.1.77 prodotto da GeoLogisMiki – Geotechnical Software. I report, in cui sono riportati su grafici i dati di resistenza e pressione interstiziale misurati e l'interpretazione litostratigrafica e geotecnica delle prove, sono riportati in **allegato n. 1**.

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



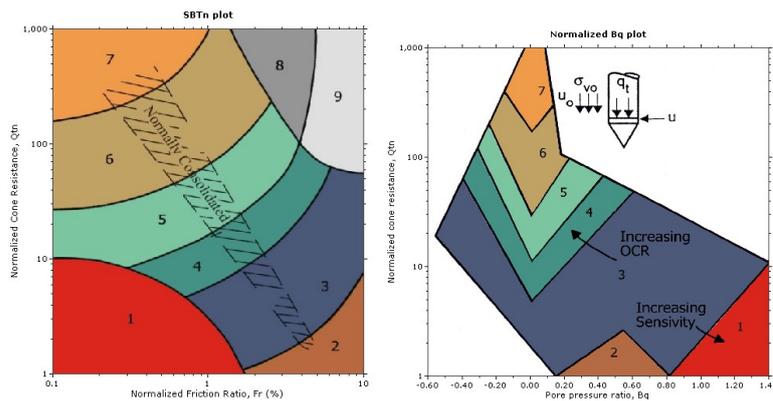
Sede Legale: Via C. Costa, 182 - 41123 Modena
Uffici: Via Per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo R. (MO)
Tel. 059 3967169 - Fax. 059 5960176
info@geogroupmodena.it
www.geogroupmodena.it
P.IVA 02981500362





SBT legend

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



SBTn legend

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

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



Sede Legale: Via C. Costa, 182 - 41123 Modena
 Uffici: Via Per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo R. (MO)
 Tel. 059 3967169 - Fax. 059 5960176
 info@geogroupmodena.it
 www.geogroupmodena.it
 P.IVA 02981500362



<p>:: Unit Weight, g (kN/m³) ::</p> $g = g_w \left(0.27 \cdot \log(R_f) + 0.36 \cdot \log\left(\frac{q_t}{P_a}\right) + 1.236 \right)$ <p>where g_w = water unit weight</p> <p>:: Permeability, k (m/s) ::</p> <p>$I_c < 3.27$ and $I_c > 1.00$ then $k = 10^{0.952 - 3.04 \cdot I_c}$</p> <p>$I_c \leq 4.00$ and $I_c > 3.27$ then $k = 10^{-4.52 - 1.37 \cdot I_c}$</p> <p>:: N_{spr} (blows per 30 cm) ::</p> $N_{60} = \left(\frac{q_c}{P_a} \right) \cdot \frac{1}{10^{1.1269 - 0.2817 \cdot I_c}}$ $N_{160} = Q_{tn} \cdot \frac{1}{10^{1.1269 - 0.2817 \cdot I_c}}$ <p>:: Young's Modulus, E_s (MPa) ::</p> $(q_t - \sigma_v) \cdot 0.015 \cdot 10^{0.55 \cdot I_c + 1.68}$ <p>(applicable only to $I_c < I_{c, crit}$)</p> <p>:: Relative Density, D_r (%) ::</p> $100 \cdot \sqrt{\frac{Q_{tn}}{k_{DPR}}} \quad \text{(applicable only to SBT}_s: 5, 6, 7 \text{ and } 8 \text{ or } I_c < I_{c, crit})$ <p>:: State Parameter, ψ ::</p> $\psi = 0.56 - 0.33 \cdot \log(Q_{tn, ca})$ <p>:: Peak drained friction angle, ϕ (°) ::</p> $\phi = 17.60 + 11 \cdot \log(Q_{tn})$ <p>(applicable only to SBT_s: 5, 6, 7 and 8)</p> <p>:: 1-D constrained modulus, M (MPa) ::</p> <p>If $I_c > 2.20$</p> $\alpha = 14 \text{ for } Q_{tn} > 14$ $\alpha = Q_{tn} \text{ for } Q_{tn} \leq 14$ $M_{CPT} = \alpha \cdot (q_t - \sigma_v)$ <p>If $I_c \leq 2.20$</p> $M_{CPT} = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 \cdot I_c + 1.68}$	<p>:: Small strain shear Modulus, G_0 (MPa) ::</p> $G_0 = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 \cdot I_c + 1.68}$ <p>:: Shear Wave Velocity, V_s (m/s) ::</p> $V_s = \left(\frac{G_0}{\rho} \right)^{0.50}$ <p>:: Undrained peak shear strength, S_u (kPa) ::</p> $N_{lt} = 10.50 + 7 \cdot \log(F_r) \text{ or user defined}$ $S_u = \frac{(q_t - \sigma_v)}{N_{lt}}$ <p>(applicable only to SBT_s: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c, crit}$)</p> <p>:: Remolded undrained shear strength, $S_u(rem)$ (kPa) ::</p> $S_{u(rem)} = f_s \quad \text{(applicable only to SBT}_s: 1, 2, 3, 4 \text{ and } 9 \text{ or } I_c > I_{c, crit})$ <p>:: Overconsolidation Ratio, OCR ::</p> $k_{OCR} = \left[\frac{Q_{tn}^{0.20}}{0.25 \cdot (10.50 + 7 \cdot \log(F_r))} \right]^{1.25} \text{ or user defined}$ $OCR = k_{OCR} \cdot Q_w$ <p>(applicable only to SBT_s: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c, crit}$)</p> <p>:: In situ Stress Ratio, K_0 ::</p> $K_0 = 0.1 \cdot \left(\frac{q_t - \sigma_v}{\sigma_{vo}} \right)$ <p>(applicable only to SBT_s: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c, crit}$)</p> <p>:: Soil Sensitivity, S_t ::</p> $S_t = \frac{N_t}{F_r}$ <p>(applicable only to SBT_s: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c, crit}$)</p> <p>:: Effective Stress Friction Angle, ϕ' (°) ::</p> $\phi' = 29.5 \cdot B_q^{0.121} \cdot (0.256 + 0.336 \cdot B_q + \log Q_t)$ <p>(applicable for $0.10 < B_q < 1.00$)</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fig. 3.3.1 – Correlazioni utilizzate per la stima dei parametri geotecnici.

3.3 SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO

Nei giorni 10/06/2022 è stato eseguito n. 1 sondaggio verticale a carotaggio continuo mediante sonda idraulica ATLAS A 66-CB T montata su sottocarro cingolato semovente, spinto alla profondità di -20.00 m dal piano campagna.

Per il sondaggio sono stati utilizzati un carotiere semplice **T1**, con diametro esterno pari a 101 mm e corona munita di denti al widiam, e tubi di rivestimento provvisori di diametro $\phi = 127$ mm.

La perforazione **a rotazione** viene condotta facendo avanzare un utensile, carotiere, per mezzo di una batteria di aste, alla quale viene applicata una spinta assiale ed una coppia di rotazione dal sistema idraulico dell'impianto.

Le “carote” di terreno, prelevate nel corso del sondaggio sono state riposte in apposite cassette catalogatrici in PVC, a 5 scomparti, per una lunghezza totale di 5.00 m cadauna: la descrizione della litologia è riportata nella stratigrafia presente nell'**allegato n. 2**, insieme a tutta la documentazione fotografica.



Fig. 3.3.2 – Esecuzione del sondaggio S1

Sulle carote estratte è stata valutata la resistenza alla penetrazione in condizioni non drenate **RP**, misurata mediante POCKET PENETROMETER e la resistenza al taglio mediante VANE TEST **VT**. Tali dati sono riportati nella colonna litostratigrafica presente nella stratigrafia in **allegato n. 2**.

Nel corso del sondaggio non è stata rilevata la soggiacenza di falde freatiche libere all'interno del foro di sondaggio.

3.4 PROVE DI LABORATORIO DI GEOTECNICA

3.4.1 PRELIEVO DEI CAMPIONI DI TERRENO

Nel corso dell'esecuzione del sondaggio a carotaggio sono stati prelevati i seguenti campioni per caratterizzare i depositi coesivi individuati.

	CAMPIONI	TIPO	TIPO DI CAMPIONE	PROFONDITÀ
S1	C1	SHELBY	Indisturbati	-2.20/ -2.70 m da p.c.
	C2	SHELBY	Indisturbati	-7.20/ -7.60 m da p.c.
	C3	SHELBY	Indisturbati	-14.20/ -14.60 m da p.c.

Una volta sigillati ed etichettati i campioni di terreno sono stati avviati a laboratorio di geotecnica certificato presso il Ministero e sono stati sottoposti alle indagini descritte nel paragrafo seguente.

3.4.2 PROVE DI LABORATORIO ESEGUITE

Al fine di caratterizzare il terreno di fondazione sui campioni prelevati sono state eseguite le seguenti prove di laboratorio di geotecnica:

- N. 1 PROVA DI TAGLIO DIRETTO CONSOLIDATA E DRENATA (C.D.);

3.4.3 PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Al fine di calcolare **angolo di attrito interno** e **coesione efficace** del sottosuolo indagato, i campioni di terreno indisturbati e i campioni semi-disturbati sono stati sottoposti ad una **prova di resistenza al taglio** in scatola di Casagrande.

In particolare per ogni campione è stata effettuata una **prova consolidata-drenata (prova lenta CD)**: si tratta di una prova in cui una consolidazione sostanzialmente completa alla pressione di confinamento è seguita da uno sforzo assiale (di taglio) addizionale, applicato in modo tale che anche un suolo saturo a bassa permeabilità possa adattarsi completamente (interamente consolidato) alle sollecitazioni dovute agli sforzi addizionali, assiali e di taglio.

Dal campione di terreno prelevato sono stati ottenuti 3 provini, successivamente consolidati con carichi assiali diversi riportati sui certificati posti in allegato. Dopo che ogni provino ha raggiunto il consolidamento costante sotto lo sforzo assiale prestabilito, viene trasferito sull'apparecchiatura per le prove di taglio. Il provino è posto all'interno di due telai orizzontali, che possono scorrere uno rispetto all'altro, e le sollecitazioni applicate sono costituite dal carico assiale N e dalla forza di taglio T. Per queste prove è stata impostata nell'apparecchiatura una **velocità di avanzamento $v = 0.002$ mm/min**.



Sede Legale: Via C. Costa, 182 - 41123 Modena
 Uffici: Via Per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo R. (MO)
 Tel. 059 3967169 - Fax. 059 5960176
 info@geogroupmodena.it
 www.geogroupmodena.it
 P.IVA 02981500362



Nel corso della prova vengono misurati gli spostamenti tra i due telai orizzontali; questi permettono di calcolare solo la deformazione media del provino che, essendo all'interno di un telaio rigido, presenta uno stato di deformazione non uniforme. Di solito i risultati delle prove vengono utilizzati per determinare i valori di coesione e angolo di resistenza al taglio in termini di tensioni efficaci, noti la resistenza al taglio disponibile e la tensione efficace normale al piano di scorrimento.

È però importante tenere presente il fatto che l'apparecchiatura non consente di controllare le condizioni di drenaggio né di misurare la pressione interstiziale, di conseguenza la prova deve essere condotta in maniera tale da garantire "a priori" le condizioni di drenaggio, per questo è importante adottare una velocità di avanzamento adeguata alla tipologia di terreno da analizzare.

I risultati delle prove sono stati rappresentati in un diagramma avente in ordinate lo sforzo di taglio alla rottura ed in ascisse la tensione normale alla superficie di scorrimento. Una volta tracciata la retta che congiunge i tre punti all'interno del diagramma, si possono ricavare l'angolo d'attrito, che corrisponde alla pendenza della stessa retta rispetto all'orizzontale, e la coesione, che corrisponde al valore dell'intersezione della suddetta retta con l'asse delle ordinate.

S1	CAMPIONI	PROFONDITÀ	COESIONE EFFICACE (KPa)	ANGOLO DI ATTRITO INTERNO (°)
	C1	-2.20/ -2.70 m da p.c.	17.5 KPa	22.2°
	C2	-7.20/ -7.60 m da p.c.	18.1 KPa	26.5°
	C3	-14.20/ -14.60 m da p.c.	19.6 KPa	26.6°

3.5 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE E LITOSTRATIGRAFICHE DEL SOTTOSUOLO

Si richiamano brevemente i risultati delle prove penetrometriche e del sondaggio precedentemente descritti e illustrati nell'**allegato n. 1 e n. 2**:

- le prove penetrometriche con piezocono **CPTu** hanno individuato una successione di depositi coesivi argilloso limosi – limoso argillosi da consistenti a molto consistenti, lungo tutta la verticale di prova, caratterizzati da valori di resistenza alla punta compresi in media tra 2.00 e 3.00 MPa;
- la prova CPTu 2 si distingue dall'altra per la presenza entro i primi -7.00 m da p.c. di livelli sabbioso limosi addensati tra -3.20 e -4.00 m da p.c. e tra -5.70 e -7.00 m da p.c.;
- al termine delle prove penetrometriche **non** è stata rilevata la soggiacenza di una falda freatica libera all'interno del foro di sondaggio. La verifica è stata eseguita mediante freatimetro elettroacustico;
- tuttavia, considerazioni successive all'elaborazione delle prove, relative all'andamento con la profondità delle sovrappressioni neutre che si sviluppano al passaggio del piezocono, per le quali si



Sede Legale: Via C. Costa, 182 - 41123 Modena
 Uffici: Via Per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo R. (MO)
 Tel. 059 3967169 - Fax. 059 5960176
 info@geogroupmodena.it
 www.geogroupmodena.it
 P.IVA 02981500362



osserva un incremento netto a partire dalla profondità di -4.50 m da p.c. nella CPTu 1 e -3.00 m da p.c. nella CPTu 2, ci ha fatto decidere di considerare cautelativamente a tali quote una falda freatica nell'elaborazione del modello geotecnico medio;



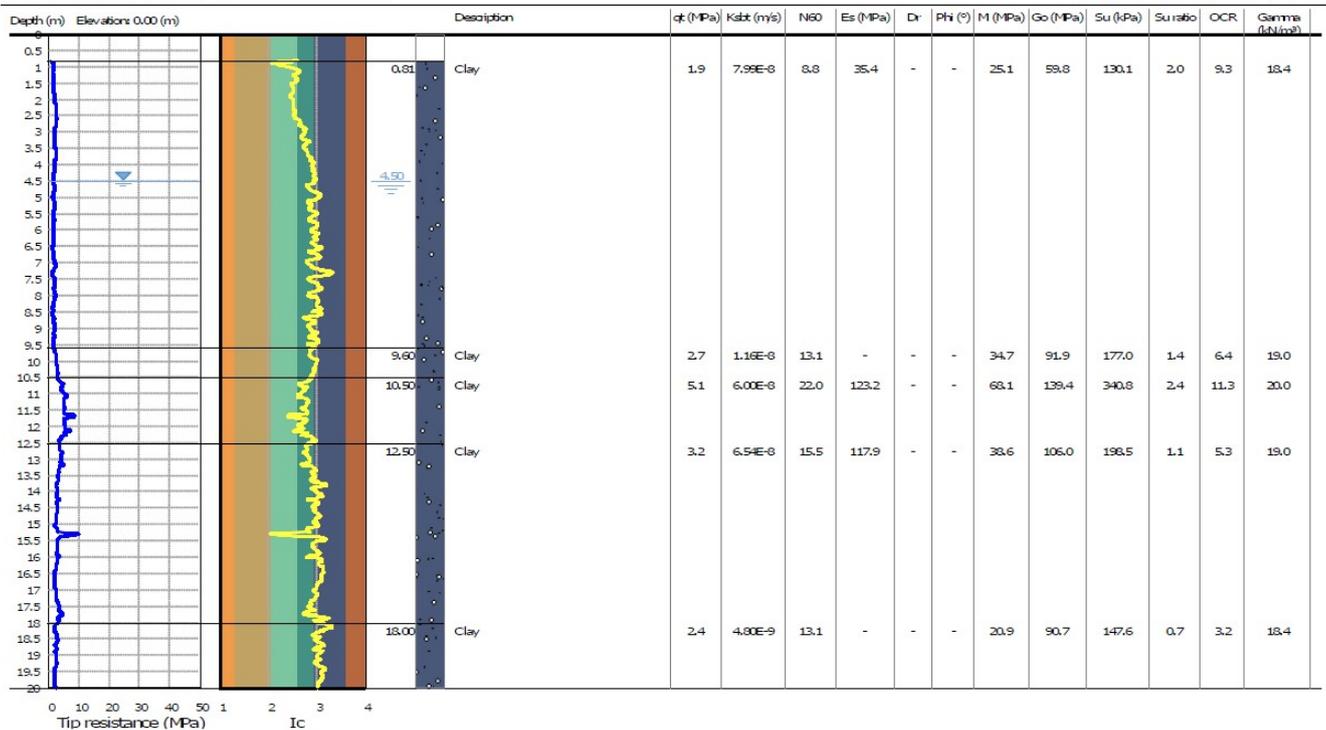
Geo Group S.r.l.
v. per Modena, 12- Castelnuovo Rangone (MO)
059 3967169
info@geogroupmodena.it

Project: STUDI DEL TERRENO DI FONDAZIONE

CPT: CPTu1

Location: FIORANO M. (MO) - MAGAZZINO COMUNALE

Total depth: 20.00 m, Date: 10/06/2022



Sede Legale: Via C. Costa, 182 - 41123 Modena
Uffici: Via Per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo R. (MO)
Tel. 059 3967169 - Fax. 059 5960176
info@geogroupmodena.it
www.geogroupmodena.it
P.IVA 02981500362



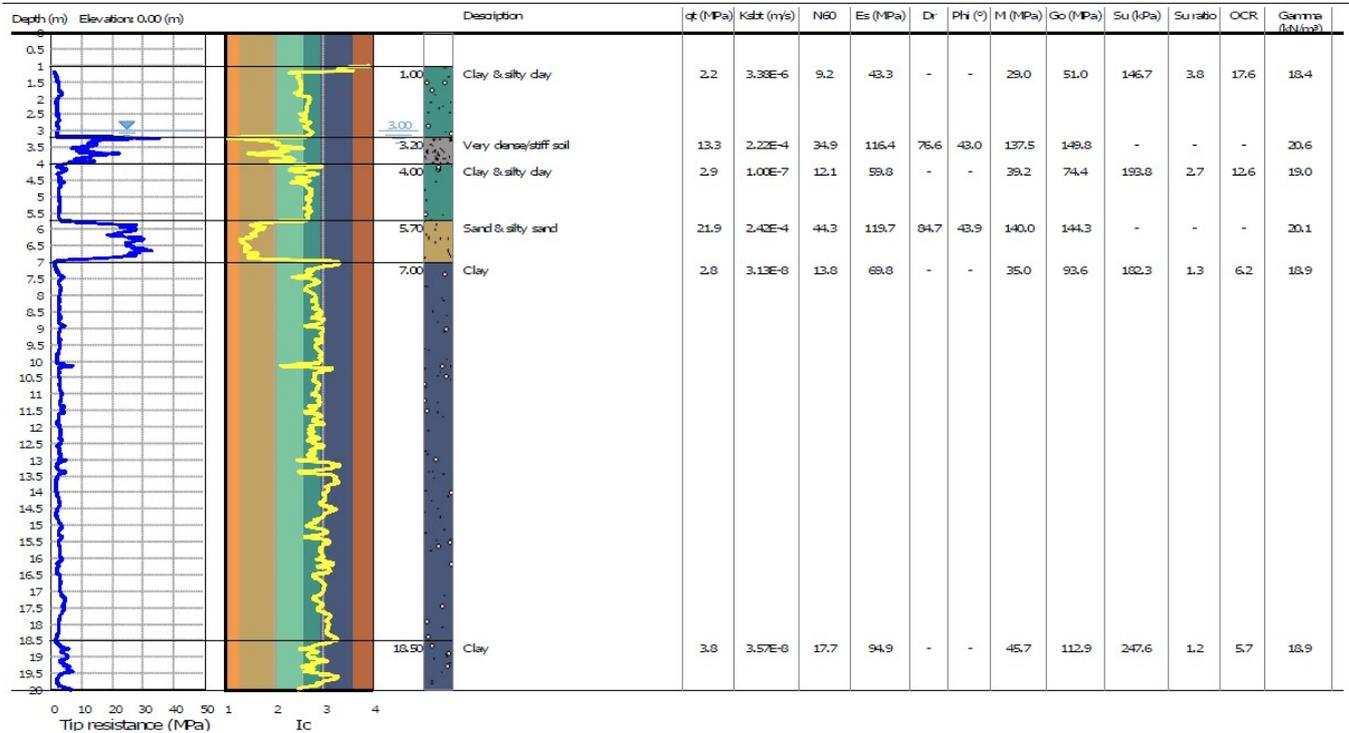


Geo Group S.r.l.
v. per Modena, 12- Castelnuovo Rangone (MO)
059 3967169
info@geogroupmodena.it

Project: STUDI DEL TERRENO DI FONDAZIONE
Location: FIORANO M. (MO) - MAGAZZINO COMUNALE

CPT: CPTu2

Total depth: 20.00 m, Date: 10/06/2022



- il **sondaggio a carotaggio S1**, in analogia con le prove penetrometriche, ha rilevato una successione di depositi argilloso limosi e limosi, caratterizzati dalla presenza, in particolare entro i primi -6.00 m da p.c. di inclusi eterogenei diffusi;
- nel corso del sondaggio non è stata rilevata la soggiacenza di falde freatiche libere all'interno del foro di sondaggio;
- i terreni si presentano lungo tutta la verticale poco umidi.



Sede Legale: Via C. Costa, 182 - 41123 Modena
Uffici: Via Per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo R. (MO)
Tel. 059 3967169 - Fax. 059 5960176
info@geogroupmodena.it
www.geogroupmodena.it
P.IVA 02981500362



3.6 MODELLO GEOTECNICO

Il modello geotecnico è finalizzato a fornire tutti i parametri geotecnici del terreno necessari per la progettazione. Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione geotecnica e litostratigrafica delle indagini geotecniche eseguite, illustrate nell'allegato n. 1 e n. 2 e precedentemente descritte, si fornisce il seguente modello medio.

MODELLO GEOTECNICO SCHEMATICO MEDIO

Strato	Profondità	Falda	Litotipo	Parametri geotecnici	
1	da piano campagna a - 9.50 m da p.c.	-3.00 m da p.c. HP	ARGILLE E ARGILLE LILOSE CONSISTENTI	γ	1850 kg/m ³ \approx 18.50 kN/m ³
				γ'	2150 kg/m ³ \approx 21.50 kN/m ³
				C_{uk}	1.30 kg/cm ² \approx 130.0 kN/m ²
				C'_k	0.17 kg/cm ² \approx 17.5 kN/m ²
				M_0	65.0 kg/cm ² \approx 6500 kN/m ²
				ϕ_k	22°
				ν	0.35
				E_s	182.0 kg/cm ² \approx 18200 kN/m ²
2	da -9.50 m a - 18.00 m da p.c.		ARGILLE E ARGILLE LILOSE CONSISTENTI CON ALTERNANZE LIMOSO SABBIOSE	γ	1900 kg/m ³ \approx 19.00 kN/m ³
				γ'	2200 kg/m ³ \approx 22.00 kN/m ³
				C_{uk}	1.70 kg/cm ² \approx 170.0 kN/m ²
				C'_k	0.20 kg/cm ² \approx 19.6 kN/m ²
				M_0	90.0 kg/cm ² \approx 9000 kN/m ²
				ϕ_k	26°
				ν	0.30
				E_s	238.0 kg/cm ² \approx 23800 kN/m ²
3	da -18.00 m a - 20.00 m da p.c.		ARGILLE E ARGILLE LILOSE CONSISTENTI	γ	1850 kg/m ³ \approx 18.50 kN/m ³
				γ'	2150 kg/m ³ \approx 21.50 kN/m ³
				C_{uk}	1.50 kg/cm ² \approx 150.0 kN/m ²
				C'_k	0.15 kg/cm ² \approx 15.0 kN/m ²
				M_0	80.0 kg/cm ² \approx 8000 kN/m ²
				ϕ_k	25°
				ν	0.32
				E_s	210.0 kg/cm ² \approx 21000 kN/m ²

4 CLASSIFICAZIONE E CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO

4.1 INDAGINI GEOFISICHE

Per classificare l'area da un punto di vista sismico è stata considerata la seguente indagine geofisica effettuata in sito:

- N. 1 INDAGINE SISMICA PASSIVA CON TECNICA HVSR;
- N. 1 INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA MASW.

L'elaborazione dell'indagine sismica è consultabile nell'**allegato n. 4**.

4.1.1 INDAGINI SISMICHE HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO (HVSR) – Metodo di Nakamura

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

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

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

- La **frequenza caratteristica di risonanza del sito** che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto **dimensionamento degli edifici antisismici**. Si dovranno adottare adeguate

precauzioni nell'edificare strutture aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno, per evitare l'effetto di "**doppia risonanza**", fenomeno estremamente pericoloso per la stabilità delle costruzioni.

- La **frequenza fondamentale di risonanza di un edificio**, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In seguito sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito e capire se, in caso di sisma, la costruzione potrà essere o meno a rischio.
- La **velocità media delle onde di taglio Vs** calcolata tramite un apposito codice di calcolo. È necessario, per l'**affidabilità del risultato**, conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia (prova penetrometrica, sondaggio, etc.) e riconoscibile nella **curva H/V**. È possibile calcolare la **Vs30** e la relativa categoria del suolo di fondazione come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018.

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.

4.1.2 INDAGINE SISMICA SECONDO DISPERSIONE ATTIVA DI ONDE DI SUPERFICIE DI TIPO REYLEIGH (metodologia MASW)

Per poter caratterizzare il sottosuolo nei confronti della risposta sismica locale, in corrispondenza dell'area in oggetto è stata svolta un'acquisizione in dispersione sismica attiva di onde superficiali tipo Rayleigh (MASW-Multichannel analysis of surface waves - *Park C. B., Miller R. D., & Xia J., 1999*), registrata mediante *array* lineari. Sulla scorta di tali indagini è stato possibile definire le velocità di trasmissione delle onde di taglio S nel sottosuolo.

La tecnica in oggetto permette di ricostruire il profilo verticale delle Vs con procedimenti di modellazione diretta delle velocità di fase delle onde di superficie (tipo Rayleigh). Partendo dal sismogramma registrato, generato mediante perturbazione indotta da una sorgente energizzante in asse con lo stendimento, è possibile condurre un'analisi spettrale in termini energetici.

Successivamente, attraverso la trasformata di Fourier, si individua la distribuzione dell'energia (spettro) relativa alle velocità di fase e in funzione delle varie frequenze alle quali sono registrate. Da tale elaborazione, tramite una fase di "picking" del segnale ad elevata intensità si ottiene la curva di dispersione. Attraverso una fase d'inversione del segnale è infine possibile calcolare il modello sismo-



Sede Legale: Via C. Costa, 182 - 41123 Modena
Uffici: Via Per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo R. (MO)
 Tel. 059 3967169 - Fax. 059 5960176
 info@geogroupmodena.it
 www.geogroupmodena.it
 P.IVA 02981500362



stratigrafico espresso in termini di velocità delle onde di taglio (V_s). Tale fase si basa sul principio che le velocità delle onde di Rayleigh sono generalmente 1/9 delle velocità delle onde di taglio (*Park C. B., Miller R. D., & Xia J., 1999*).

La suddetta analisi è stata realizzata mediante *array* lineare costituito da n. 24 geofoni verticali, aventi frequenza propria di risonanza pari a 4.5 Hz, spaziate di *offset* pari a 5.00 m. Il segnale analogico derivante dalle apparecchiature geofoni che è stato convertito in segnale digitale mediante sismografo Geode (Geometrics) 24 bit. I parametri di acquisizione utilizzati hanno previsto una velocità di campionamento (sample rate) di 0.2 millisecondi e lunghezza delle acquisizioni di 2 secondi. Le energizzazioni, eseguite attraverso massa battente da 8.00 Kg, sono state eseguite a 15.00 m, in direzione opposta al geofono corrispondente al primo canale di acquisizione della strumentazione.

Poiché il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh, Velocità(fase)/frequenza, rappresenta una metodologia non univoca, risulta sempre preferibile operare la modellazione in presenza di dati di *taratura (stratigrafici, geofisici, geotecnici ...)*.

4.1.3 RISULTATI OTTENUTI

Vengono illustrati successivamente i risultati ottenuti a seguito dell'elaborazione delle indagini geofisiche eseguite per la caratterizzazione sismica del sottosuolo.

HVSR	$V_{s30} = 273 \text{ m/s}$	Categoria C
MASW	$V_{s30} = 279 \text{ m/s}$	

Con riferimento alle categorie di sottosuolo definite dalla normativa tecnica nazionale NTC 2018 sulla base dei valori delle velocità mediate nei primi 30 m di sottosuolo, è possibile classificare il volume significativo indagato secondo la **categoria si sottosuolo C**.

4.2 SISMICITÀ DELL'AREA

Dalla consultazione della cartografia degli strumenti urbanistici del Comune di Fiorano Modenese (MO), in particolare lo Studio di microzonazione sismica di II livello – Carta MOPS, di cui si allega un estratto nella figura seguente, si nota che l'area in oggetto ricade in una zona stabile suscettibile di amplificazioni locali.



Fig. 4.2.1 – Estratto della Tav. 02: carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica MOPS e relativa legenda.

Secondo la classificazione sismica del territorio nazionale proposta a partire dall'O.P.C.M. n. 3274/2003 e successive modifiche, il **Comune di Fiorano Modenese (MO)** risulta appartenente alla **classe di sismicità 2**.

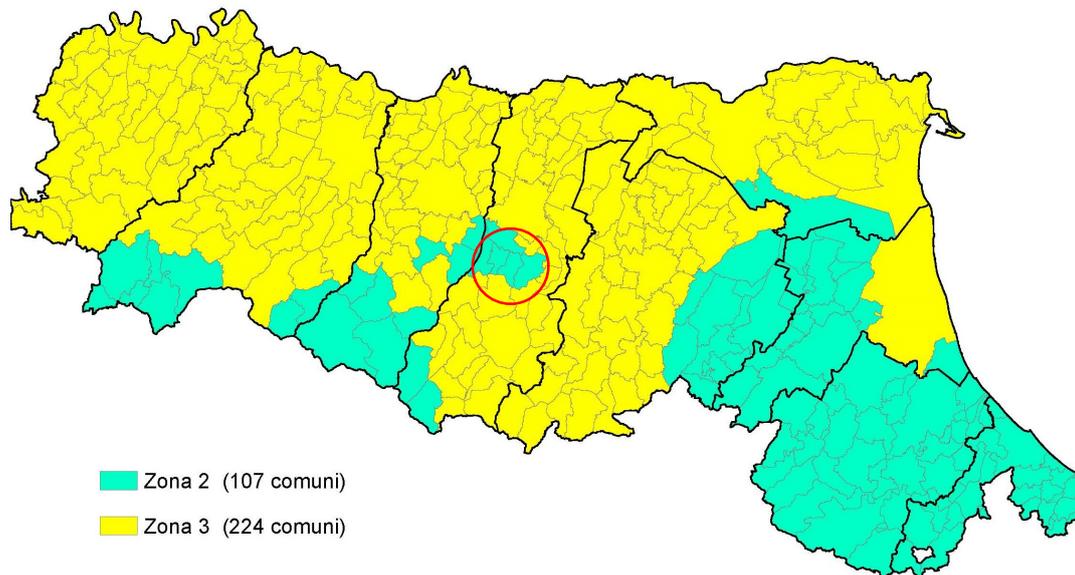


Fig. 4.2.1 – Classificazione sismica vigente dei comuni della regione Emilia-Romagna, il cerchio rosso indica il Comune di Fiorano Modenese (MO).

La suddivisione del territorio nazionale in zone a diversa classe di sismicità, caratterizzate da un valore di accelerazione di picco ed un corrispondente spettro di risposta elastico da utilizzare nella progettazione, risulta in realtà superata dall'entrata in vigore delle attuali Norme Tecniche per le Costruzioni (N.T.C. 2018), che ha limitato l'importanza della classificazione sismica alla gestione della pianificazione ed al controllo del territorio da parte degli enti pubblici.

Sulla base dei contenuti del **DM 17/01/18** - Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" deve essere definita un'accelerazione di riferimento propria, in funzione delle coordinate geografiche dell'area e della vita nominale dell'opera.

Per l'area in oggetto identificata dalle seguenti coordinate geografiche (**Sistema di riferimento ED50**): Latitudine: 44.540695°, Longitudine: 10.823986°, in relazione ad un periodo di riferimento T_R stimato di 949 anni per una classe del manufatto **VI**, è stato definito un parametro di accelerazione massima attesa a_g pari a $a_{g\text{ attesa}} = 0.203g$.

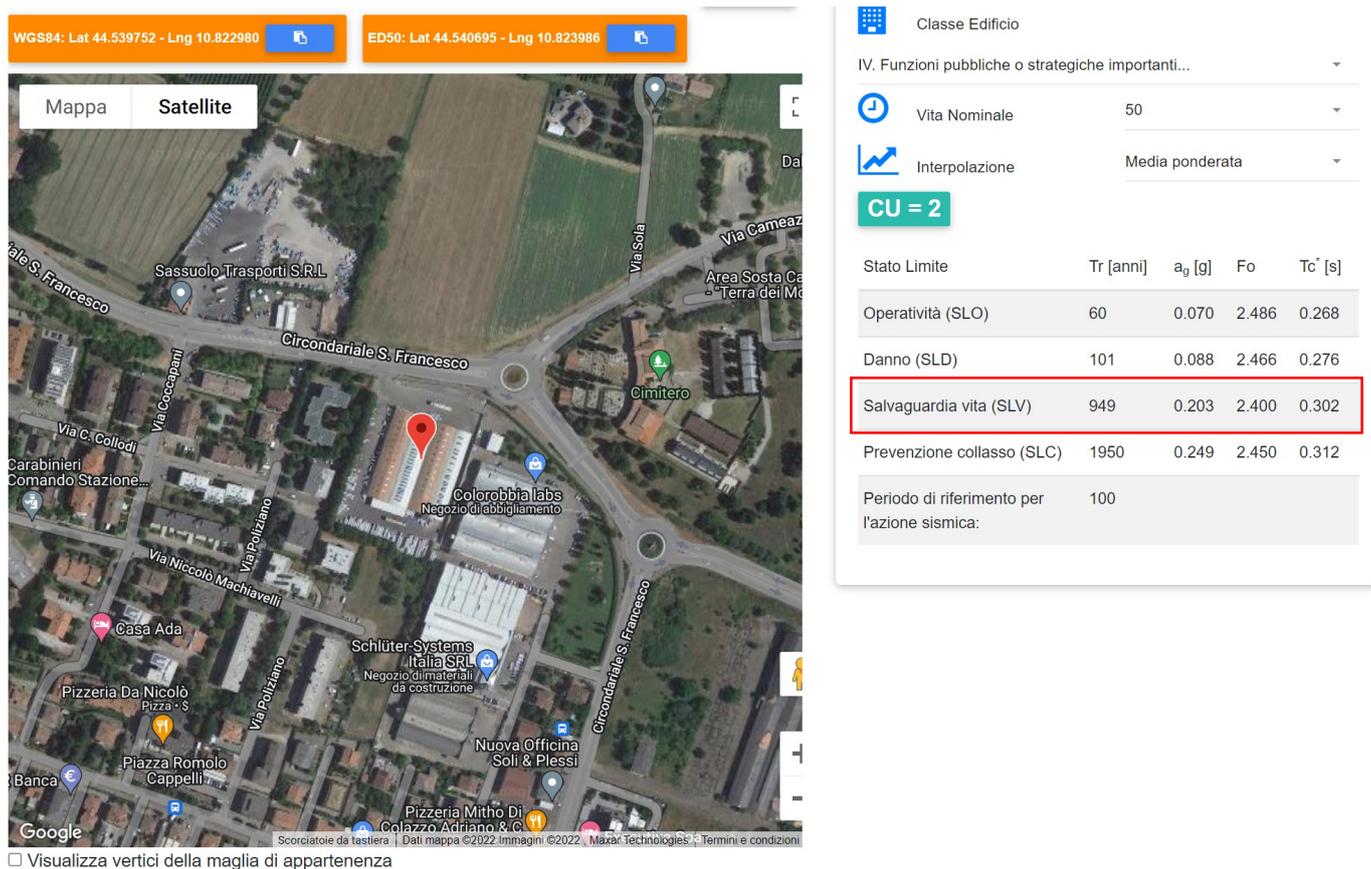


Tabelle 4.2.1 – Tabelle dei parametri sismici desunti dal programma “Parametri Sismici” di GEO STRU.

L'accelerazione orizzontale di picco attesa a_g è definita in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido (suolo categoria A) e con superficie topografica orizzontale. L'accelerazione a_g rappresenta uno dei parametri principali che definisce la **pericolosità sismica di base**, insieme ai parametri che F_0 e T_c^* dello spettro di risposta elastico, desumibili nelle tabelle riportate sopra.

Ai fini della definizione dell'azione sismica, determinata la pericolosità sismica di base, occorre valutare gli **effetti di sito** mediante specifiche analisi di risposta sismica locale.

Per la definizione dell'azione sismica, sulla base di quanto previsto dalle N.T.C., si può fare riferimento ad un approccio semplificato che **si basa sull'individuazione della categoria di sottosuolo e le condizioni topografiche del sito**, in funzione delle quali si definiscono l'entità dell'amplificazione stratigrafica e topografica.

Sulla base del recente Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le costruzioni” (DM 17/01/18) e tenendo conto dei dati ottenuti **dall'indagine geofisica eseguita in sito**, si **classifica** il terreno di fondazione in oggetto, come appartenente alla **categoria C**, corrispondente a “DEPOSITI DI TERRENI A

GRANA GROSSA MEDIAMENTE ADDENSATI O TERRENI A GRANA FINA MEDIAMENTE CONSISTENTI CON PROFONDITÀ DEL SUBSTRATO SUPERIORI A 30 METRI, CARATTERIZZATI DA UN MIGLIORAMENTO DELLE PROPRIETÀ MECCANICHE CON LA PROFONDITÀ E DA VALORI DI VELOCITÀ EQUIVALENTI $V_{s,EQ}$ COMPRESI TRA **180 M/S E 360 M/S**".

Si ricava quindi il **fattore stratigrafico S_s** , caratteristico del sito secondo le N.T.C. - D.M. 17/01/18, mediante la seguente relazione, valida suoli in classe **C**:

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

dove:

F_o = fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2.2; per il sito oggetto di studio tale valore, calcolato mediante l'utilizzo di apposito software, risulta pari a **2.400**;

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 4.1.1; per il sito oggetto di studio risulta pari a **1.41**;

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

Categoria topografica	Caratteristiche della superficie topografica	Fattore topografico S_T
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	1.0
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	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 $i > 30^\circ$	1.4

Per l'area studiata, sita, come suddetto in una zona pianeggiante, appartenente quindi alla categoria topografica **T1**, si ottiene un fattore topografico S_T pari a **1.0**.

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

$$A_{max} = S_s \cdot S_T \cdot a_g = 1.46 \cdot 1.0 \cdot 0.164 g = 0.286 g \quad (4.1.2)$$

4.3 AZIONE SISMICA: STUDIO DI RISPOSTA SISMICA LOCALE (III LIVELLO DI APPROFONDIMENTO)

Per l'edificio oggetto di intervento - che verrà destinato a magazzino comunale e sede della Protezione Civile - verrà considerata una classe dell'edificio IV, ovvero "Funzioni pubbliche o strategiche importanti", pertanto si è provveduto allo studio di risposta sismica locale di terzo livello.

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

Per ottemperare ai riferimenti normativi citati l'analisi è stata svolta secondo quanto indicato al § 7.11.3 delle NTC 2018, attraverso analisi numerica monodimensionale in campo lineare equivalente. Per fare ciò è stato utilizzato come strumento di lavoro il software di calcolo STRATA (University of Texas - Austin).

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

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

Il software STRATA è in grado di valutare la risposta sismica di un deposito di terreno, considerando un profilo monodimensionale in cui si propagano linearmente le onde sismiche, in funzione dei parametri dinamici attribuiti al terreno. Il terreno viene schematizzato come un sistema di N strati orizzontali omogenei, isotropi e visco-elastici, sovrastanti un semispazio uniforme, attraversati da un treno di onde di taglio che incidono verticalmente le superfici. Ogni strato è descritto per mezzo dello spessore H , del modulo di taglio massimo G_{max} o dalla corrispondente velocità massima V_{max} , dal valore dello smorzamento D , dal peso dell'unità di volume γ e dalle curve di decadimento del modulo di rigidezza a taglio normalizzato ($G / G_0 \cdot \gamma$) e le corrispondenti curve dello smorzamento ($D \cdot \gamma$) con la deformazione di taglio γ . Il modello lineare visco-elastico fa riferimento al modello reologico di Kelvin-Voigt, costituito da una molla e uno smorzatore viscoso in parallelo. Tale modello è descritto quindi dalla rigidezza (G) e dallo smorzamento (D). L'onda monodimensionale viene descritta dall'equazione in cui lo spostamento provocato (u) è funzione della profondità (z) e del tempo (t):



Sede Legale: Via C. Costa, 182 - 41123 Modena
Uffici: Via Per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo R. (MO)
Tel. 059 3967169 - Fax. 059 5960176
info@geogroupmodena.it
www.geogroupmodena.it
P.IVA 02981500362



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

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

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

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

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

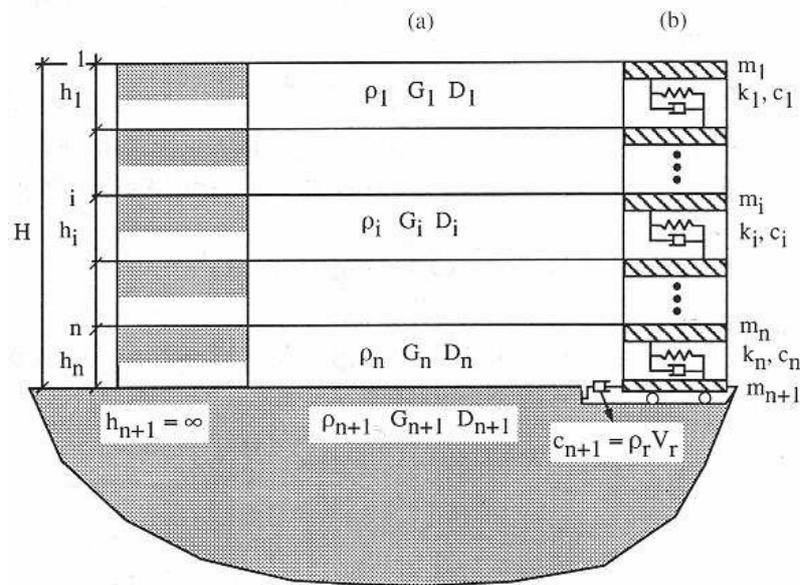


Fig.4.3.1- Modello a strati continui adottato per la simulazione con il codice di calcolo STRATA.

MODELLO SIMULATO

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

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

Modello geofisico utilizzato		
Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
1.00	1.00	170
7.00	6.00	230
32.00	25.00	320
inf.	inf.	500

EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

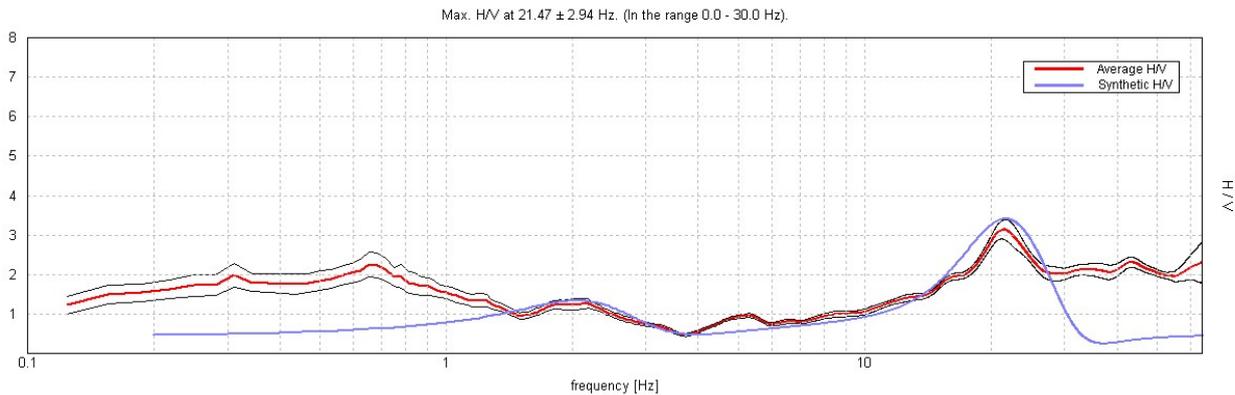


Fig.4.3.2 – Elaborazione HVSR.

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

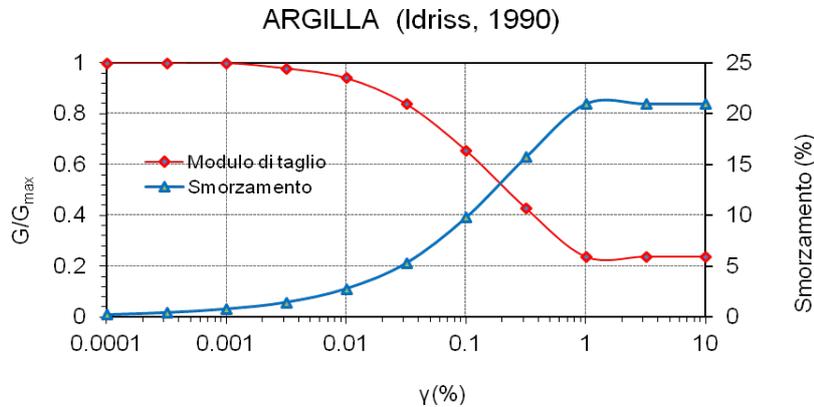


Fig.4.3.3 - Curve di decadimento dei moduli G/G_{max} e D , utilizzate per descrivere il comportamento dei materiali coesivi che compongono il sottosuolo in oggetto.

Trattandosi di una verifica diretta ai fini progettuali, in accordo con quanto esposto nel § 7.3 delle NTC 2018, l'analisi RSL in oggetto è stata svolta adottando come input sismico 7 accelerogrammi, corrispondenti allo stato limite SLV. Gli accelerogrammi reali e misurati, sono stati individuati mediante l'utilizzo del software REXEL v. 3.5 (Computer aided code-based real record selection for seismic analysis of structures) realizzato dal Dipartimento di Strutture per l'ingegneria e l'architettura



Sede Legale: Via C. Costa, 182 - 41123 Modena
 Uffici: Via Per Modena, 12 - 41051 Castelnovo R. (MO)
 Tel. 059 3967169 - Fax. 059 5960176
 info@geogroupmodena.it
 www.geogroupmodena.it
 P.IVA 02981500362



dell'Università degli Studi di Napoli Federico II. Utilizzando le coordinate relative al sito di riferimento, considerando una categoria di sottosuolo A e una classe d'uso pari a IV e una vita nominale pari a 50 anni, sono stati definiti n. 7 accelerogrammi per lo stato limite SLV. Gli accelerogrammi sono stati prelevati dal "European Strong-motion Database".

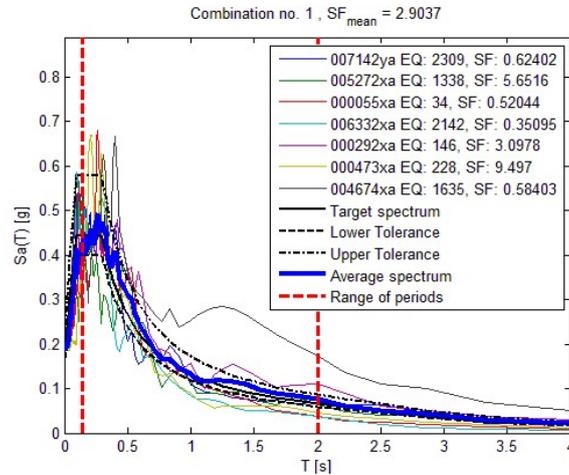
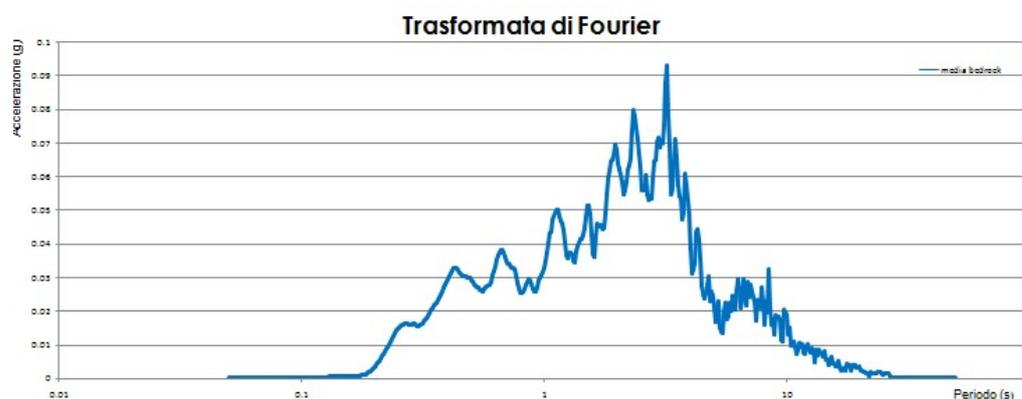


Fig.4.3.4 - Forme spettrali relative agli accelerogrammi considerati

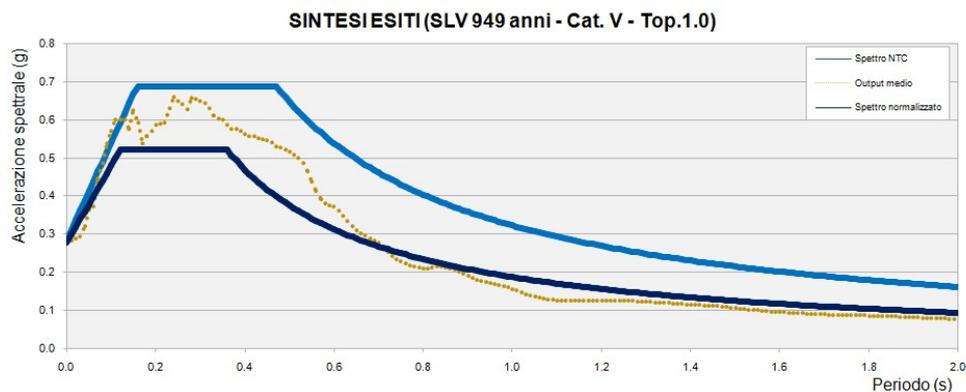
RISULTATI OTTENUTI

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



In alto Funzione di Trasferimento e in basso funzione FT.

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



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

Lo spettro RSL, sia nella forma per punti, sia nella forma normalizzata, definito sulla base di 7 simulazioni definisce un'azione sismica inferiore rispetto a quanto derivabile secondo approccio semplificato NTC2018 per una categoria di sottosuolo di tipo C. In forza di ciò **risulta ragionevole e cautelativo adottare, ai fini di progettazione, l'azione sismica derivabile secondo approccio semplificato (categorie di sottosuolo) come esplicitato da normativa tecnica NTC 2018.** Si illustra successivamente lo spettro RSL normalizzato.

SLV – PARAMETRI SPETTRO NORMALIZZATO - RSL						
ag (g)	Fo	Tc*	TB(s)	TC(s)	Ss	Amax (g)
0.203	1.872	0.302	0.12	0.36	1.37	0.278

4.4 VERIFICA A LIQUEFAZIONE

In accordo con la normativa regionale DGR 630/19 si è proceduto alla verifica della liquefazione. La valutazione del fenomeno della liquefazione viene svolta attraverso il calcolo del fattore di sicurezza di ciascun livello che compone il sottosuolo analizzato nei confronti del fenomeno stesso. Il fattore di sicurezza è derivato secondo la seguente formulazione:

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

Dove:

CRR è rappresentato dal rapporto di resistenza ciclica

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Il valore **CRR** è stato ricavato attraverso la metodologia di calcolo proposta da **Boulanger&Idriss 2014**. Per le specifiche della procedura di calcolo adottata si faccia riferimento all'allegato **A2.2** della DGR 630/2019 della Regione Emilia Romagna. L'analisi di liquefazione è stata eseguita entro i -20.00 m rispetto al piano campagna come prescritto dalla normativa di riferimento.

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

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

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

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

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

IL	RISCHIO DI LIQUEFAZIONE
IL=0	Non liquefacibile
0<IL≤2	Basso
2<IL≤5	Moderato
5<IL≤15	Alto
15<IL	Molto alto

Le verifiche sono state eseguite considerando una magnitudo di riferimento $M = 6.14$ (derivante dalla zonazione sismogenetica) e una accelerazione massima al suolo $A_{max} = 0.286g$ (calcolata sulla base delle NTC 2018) e ipotizzando una soggiacenza della falda freatica posta cautelativamente alla quota $D_w = - 1.00$ m da p. campagna.

La verifica è stata eseguita sulla verticale di prova della CPT mediante software CLiq v.2.2.0.28 prodotto da Geologis Miki.

Si riassumono nella seguente tabella i risultati ottenuti:

	Prove	IL/LPI	Rischio di liquefazione
$A_{max} = 0.286_g$	CPTu 1	1.0	Basso
	CPTu 2	1.3	Basso

La verifica a liquefazione corredata dei relativi grafici è riportata in **allegato n. 5**.

5 CONCLUSIONI

Il presente studio geologico - geotecnico e sismico è stato redatto a supporto delle valutazioni tecniche su un fabbricato ex uso industriale sito in v. Circondariale S. Francesco, 51 a Fiorano Modenese (MO), per il quale è prevista una nuova destinazione come magazzino comunale e sede della Protezione Civile.

Si fornisce per il terreno di fondazione del fabbricato esistente, il **modello geotecnico** medio riportato nel §3.6 della presente relazione.

La **caratterizzazione sismica** del sito condotta sulla base delle indagini geofisiche effettuate in sito, ha permesso di determinare che:

- mediante le indagini geofisiche è stato possibile ricavare la velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità V_{s30} , i valori ricavati sono i seguenti:

HVSR	$V_{s30} = 273 \text{ m/s}$	Categoria C
MASW	$V_{s30} = 279 \text{ m/s}$	

- sulla base delle N.T.C. 2018 e tenendo conto dei dati ottenuti dalle indagini geofisiche eseguite in sito, si classifica il terreno di fondazione in oggetto come appartenente alla **categoria C**, corrispondente a “DEPOSITI DI TERRENI A GRANA GROSSA MEDIAMENTE ADDENSATI O TERRENI A GRANA FINA MEDIAMENTE CONSISTENTI CON PROFONDITÀ DEL SUBSTRATO SUPERIORI A 30 METRI, CARATTERIZZATI DA UN MIGLIORAMENTO DELLE PROPRIETÀ MECCANICHE CON LA PROFONDITÀ E DA VALORI DI VELOCITÀ EQUIVALENTI $V_{s,Eq}$ COMPRESI TRA **180 m/s** E **360 m/s**”;
- secondo quanto indicato dalle N.T.C. 2018 per ogni costruzione deve essere definita un’accelerazione di riferimento propria, in funzione delle coordinate geografiche dell’area e della vita nominale dell’opera. Per l’area in oggetto identificata dalle seguenti coordinate geografiche (**Sistema di riferimento ED50**): Latitudine: 44.540695°, Longitudine: 10.823986°, in relazione ad un periodo di riferimento T_R stimato di 949 anni per una classe

del manufatto **IV**, è stato definito un parametro di accelerazione massima attesa a_g pari a a_g attesa = **0.203g**.

- per l'edificio oggetto di intervento - che verrà destinato a magazzino comunale e sede della Protezione Civile - verrà considerata una classe dell'edificio IV, ovvero "Funzioni pubbliche o strategiche importanti", pertanto si è provveduto allo studio di risposta sismica locale di terzo livello.
- lo spettro RSL, sia nella forma per punti, sia nella forma normalizzata, definito sulla base di 7 simulazioni definisce un'azione sismica inferiore rispetto a quanto derivabile secondo approccio semplificato NTC2018 per una categoria di sottosuolo di tipo C. In forza di ciò **risulta ragionevole e cautelativo adottare, ai fini di progettazione, l'azione sismica derivabile secondo approccio semplificato (categorie di sottosuolo) come esplicitato da normativa tecnica NTC 2018.**

Per la definizione dell'azione sismica:

- secondo l'approccio previsto dalle N.T.C. 2018, definite l'amplificazione stratigrafica e topografica in funzione della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche del sito, l'accelerazione massima al suolo è risultata pari a $A_{max} = 0.286g$.

È stata eseguita una verifica a liquefazione, considerando una magnitudo di riferimento $M = 6.14$ (derivante dalla zonazione sismogenetica) e una accelerazione massima al suolo $A_{max} = 0.286g$ (calcolata sulla base delle NTC 2018) e ipotizzando una soggiacenza della falda freatica posta cautelativamente alla quota $D_w = - 1.00 m$ da piano campagna.

Si riassumono nella seguente tabella i risultati ottenuti:

	Prove	IL/LPI	Rischio di liquefazione
$A_{max} = 0.286g$	CPTu 1	1.0	Basso
	CPTu 2	1.3	Basso

Modena, 27 Giugno 2022

GEO GROUP S.R.L.

Dott. Geol. Pier Luigi Dallari



Sede Legale: Via C. Costa, 182 - 41123 Modena
Uffici: Via Per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo R. (MC)
Tel. 059 3967169 - Fax. 059 5960176
info@geogroupmodena.it
www.geogroupmodena.it
P.IVA 02981500362

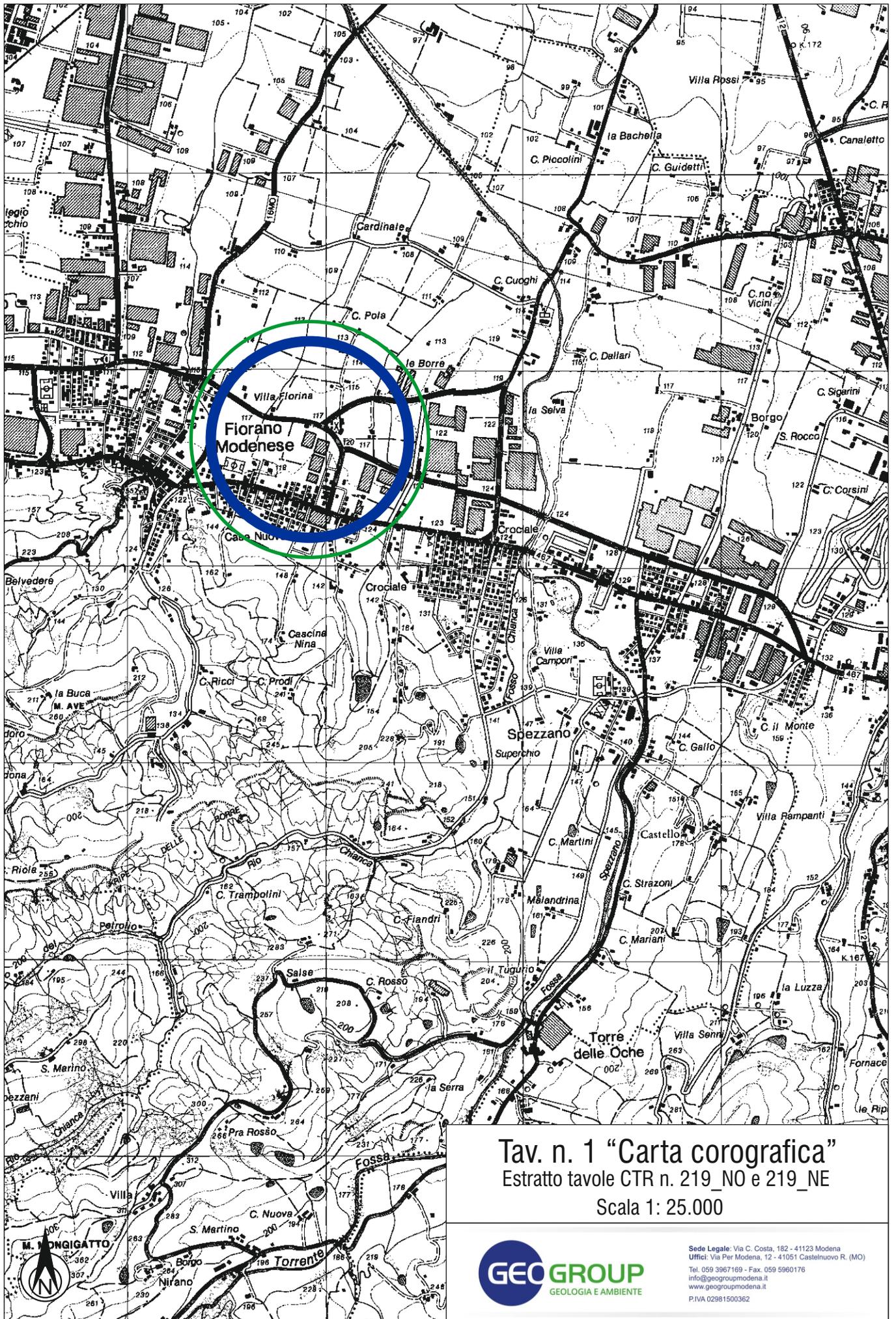


TAVOLE



Sede Legale: Via C. Costa, 182 - 41123 Modena
Uffici: Via Per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo R. (MO)
Tel. 059 3967169 - Fax. 059 5960176
info@geogroupmodena.it
www.geogroupmodena.it
P.IVA 02981500362

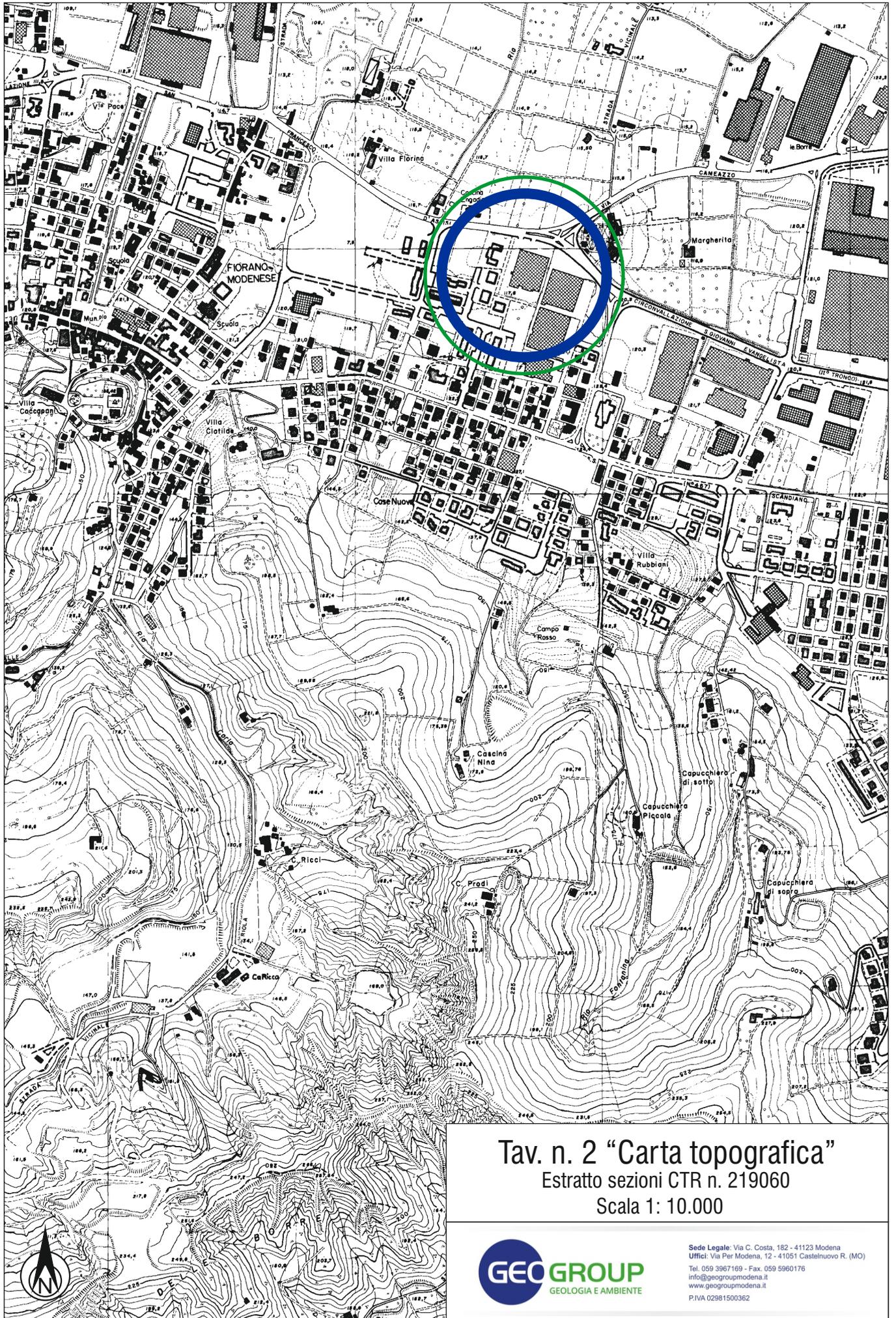




Tav. n. 1 "Carta corografica"
Estratto tavole CTR n. 219_NO e 219_NE
Scala 1: 25.000



Sede Legale: Via C. Costa, 182 - 41123 Modena
Ufficio: Via Per Modena, 12 - 41051 Castelnovo R. (MO)
Tel. 059 3967169 - Fax. 059 5960176
info@geogroupmodena.it
www.geogroupmodena.it
P.IVA 02981500362



Tav. n. 2 "Carta topografica"
Estratto sezioni CTR n. 219060
Scala 1: 10.000



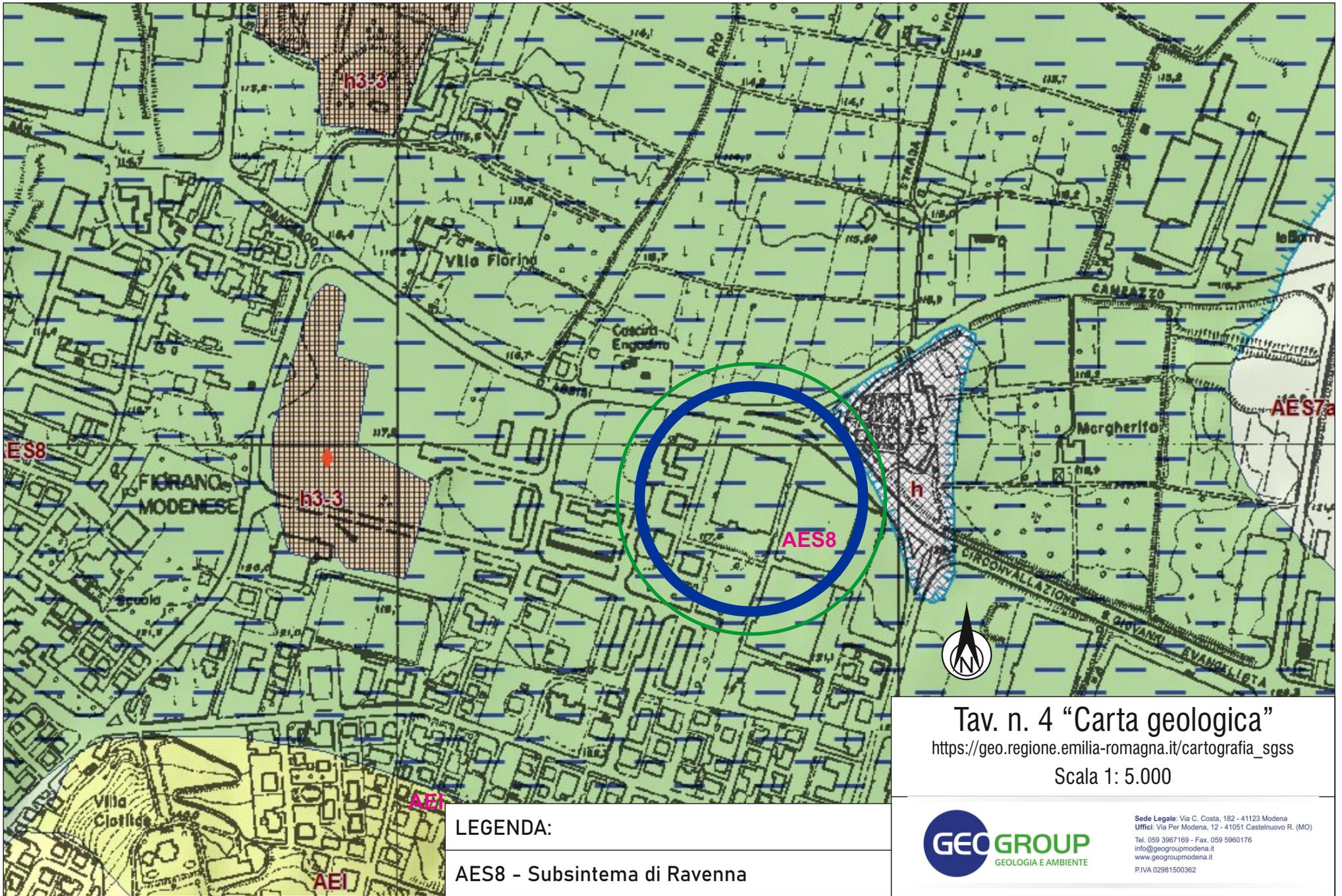
Sede Legale: Via C. Costa, 182 - 41123 Modena
Ufficio: Via Per Modena, 12 - 41051 Castelnovo R. (MO)
Tel. 059 3967169 - Fax. 059 5960176
info@geogroupmodena.it
www.geogroupmodena.it
P.IVA 02981500362



Tav. n. 3 "Ripresa aerea"
tratta da archivio interattivo Google Earth
Scala grafica



Sede Legale: Via C. Costa, 182 - 41123 Modena
Ufficio: Via Per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo R. (MO)
Tel. 059 3967169 - Fax. 059 5960176
info@geogroupmodena.it
www.geogroupmodena.it
P.IVA 02981500362



Tav. n. 4 "Carta geologica"

https://geo.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss

Scala 1: 5.000

LEGENDA:

AES8 - Subsistema di Ravenna

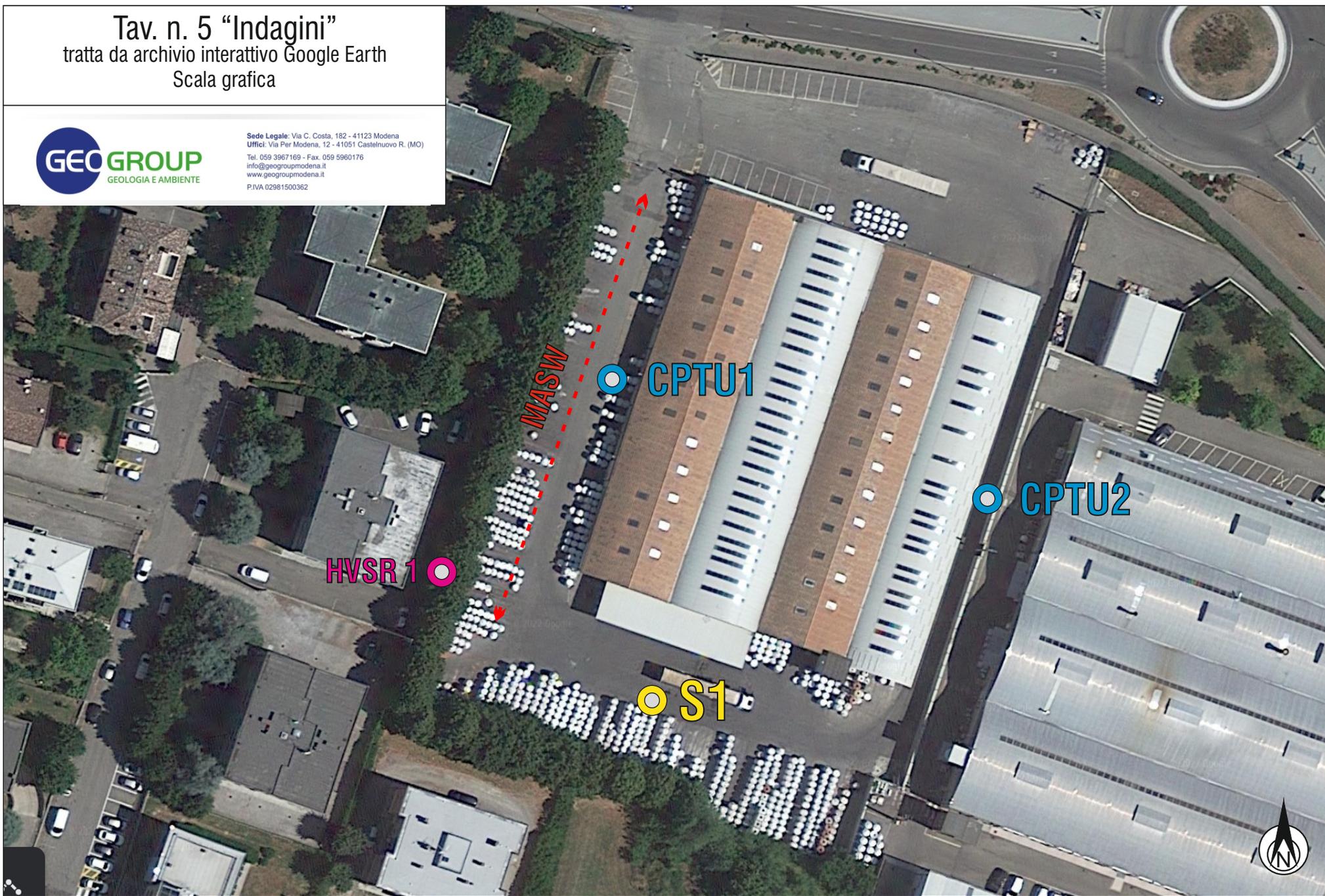


Sede Legale: Via C. Costa, 182 - 41123 Modena
 Uffici: Via Per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo R. (MO)
 Tel. 059 3967169 - Fax. 059 5960176
 info@geogroupmodena.it
 www.geogroupmodena.it
 P.IVA 02981500362

Tav. n. 5 "Indagini"
tratta da archivio interattivo Google Earth
Scala grafica



Sede Legale: Via C. Costa, 182 - 41123 Modena
Ufficio: Via Per Modena, 12 - 411051 Castelnovo R. (MO)
Tel. 059 3967169 - Fax. 059 5960176
info@geogroupmodena.it
www.geogroupmodena.it
P.IVA 02981500362



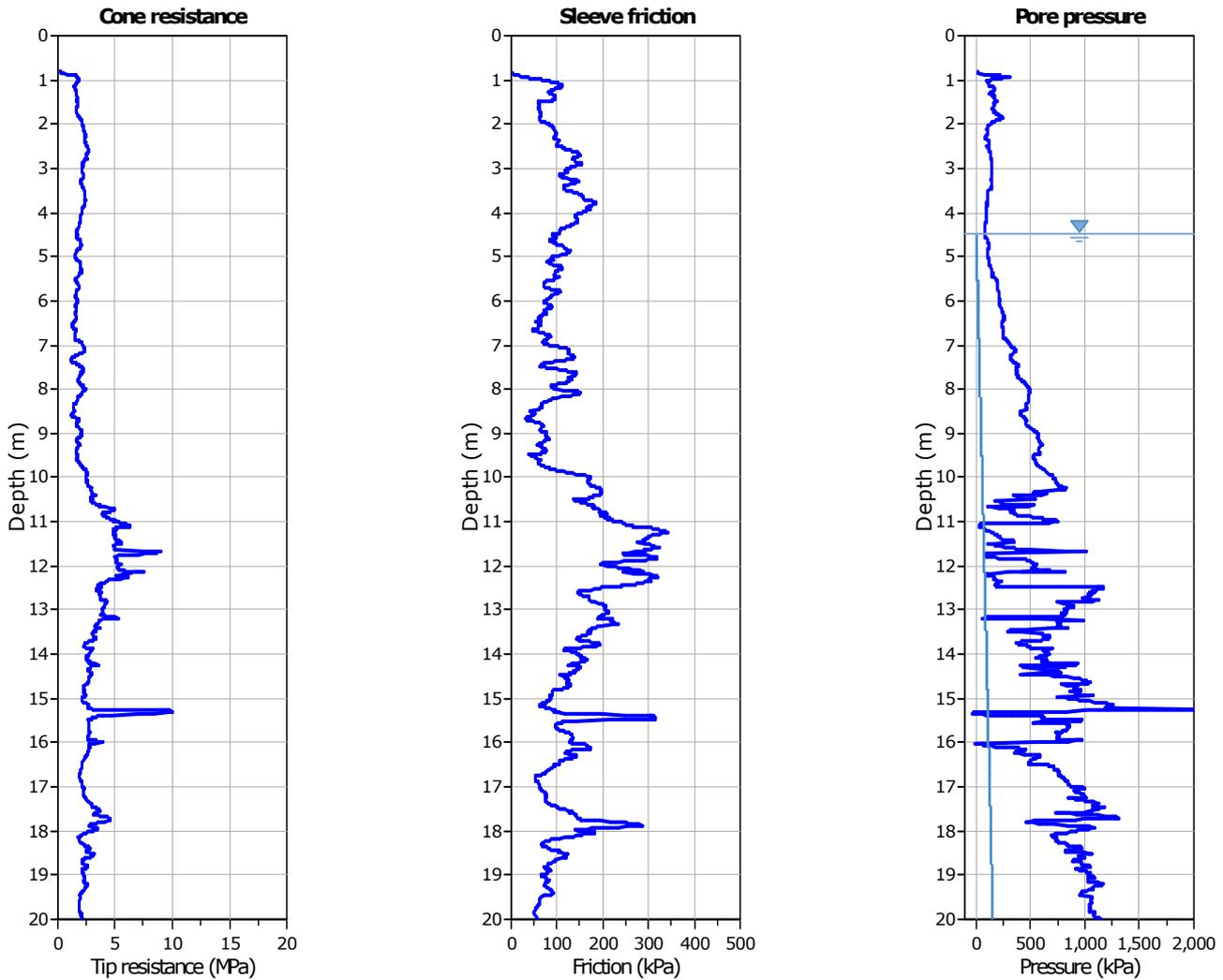
ALLEGATO N° 1

PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CON PIEZOCONO CPTU

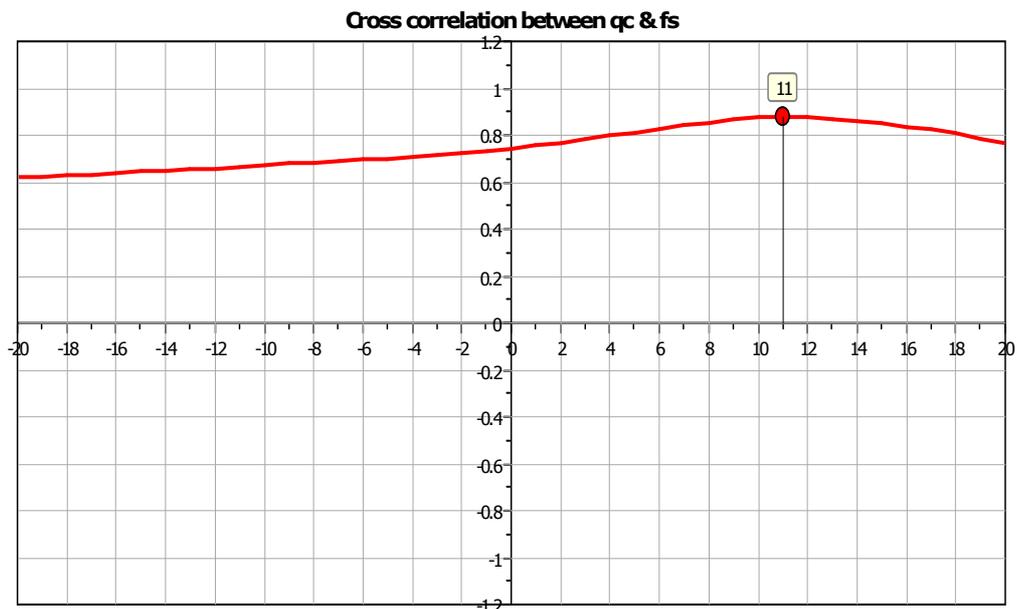


Sede Legale: Via C. Costa, 182 - 41123 Modena
Uffici: Via Per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo R. (MO)
Tel. 059 3967169 - Fax. 059 5960176
info@geogroupmodena.it
www.geogroupmodena.it
P.IVA 02981500362

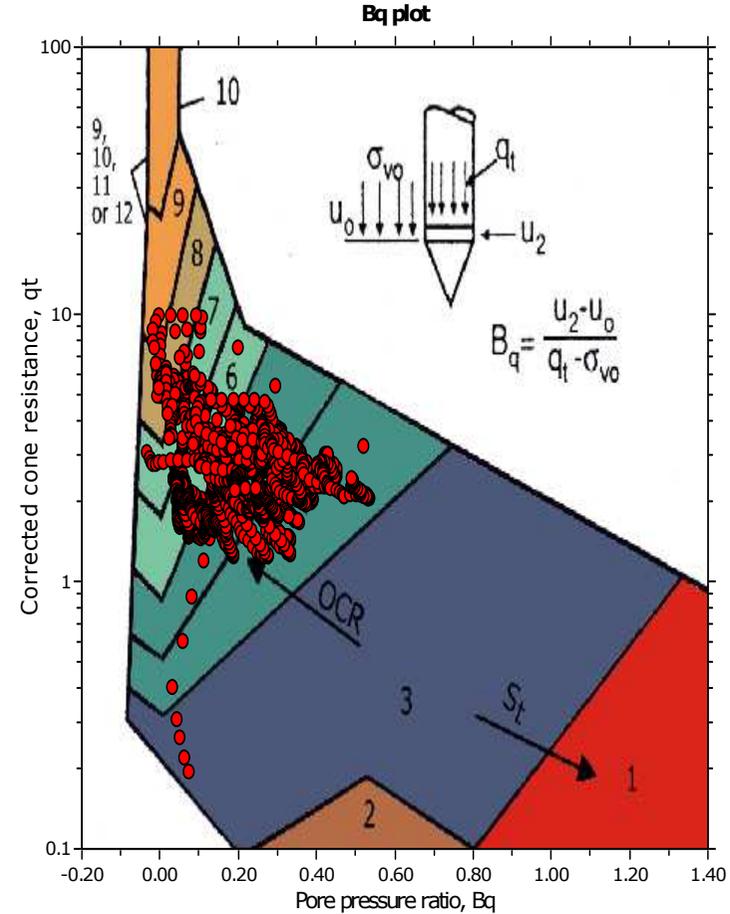
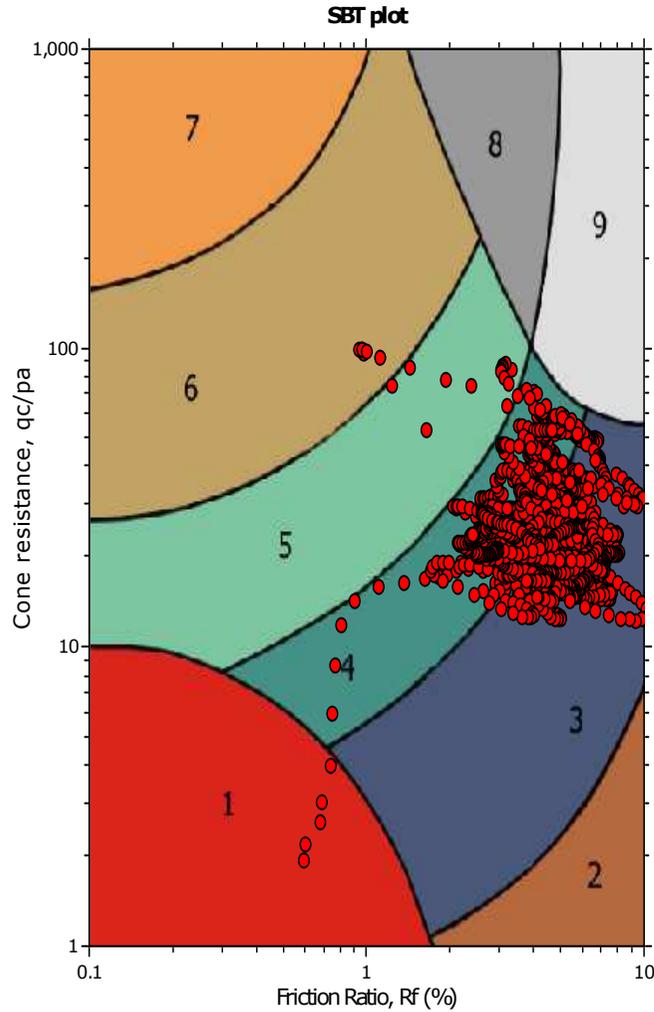




The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw q_c and f_s values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).



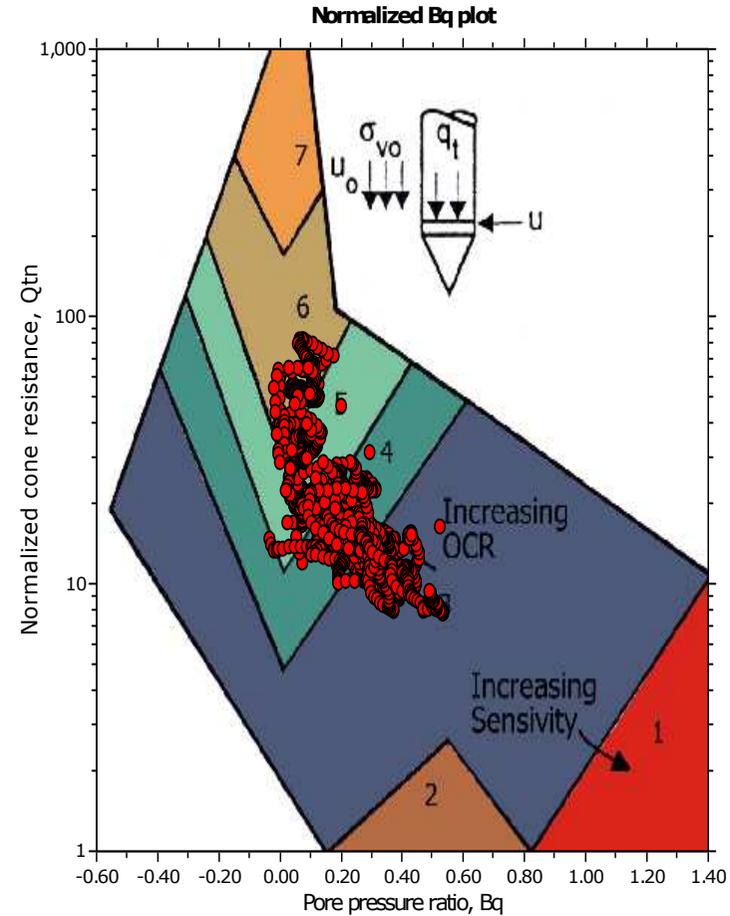
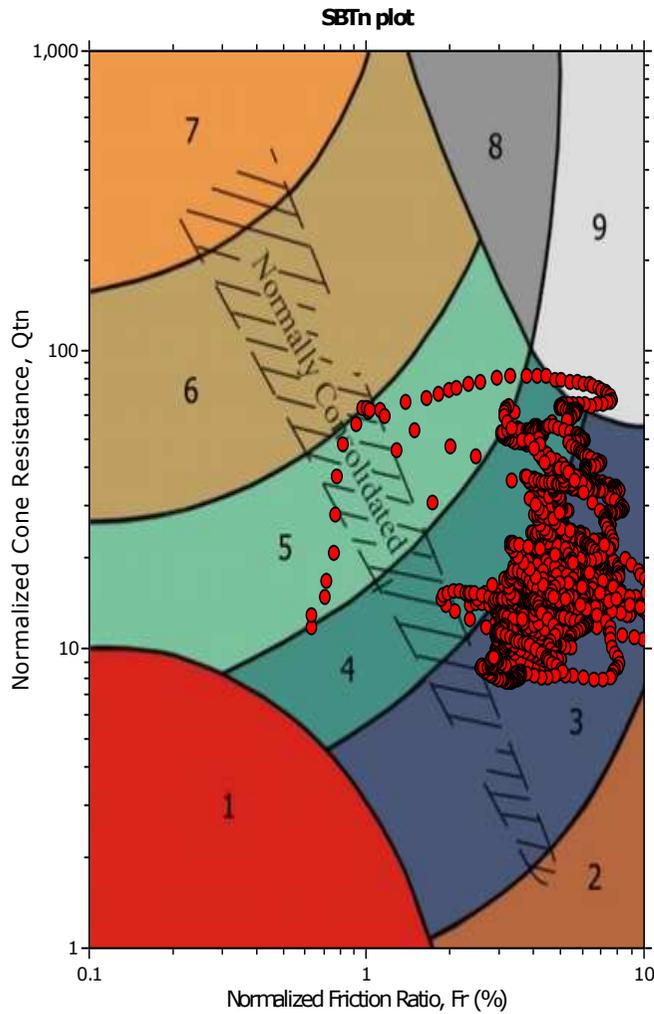
SBT - Bq plots



SBT legend

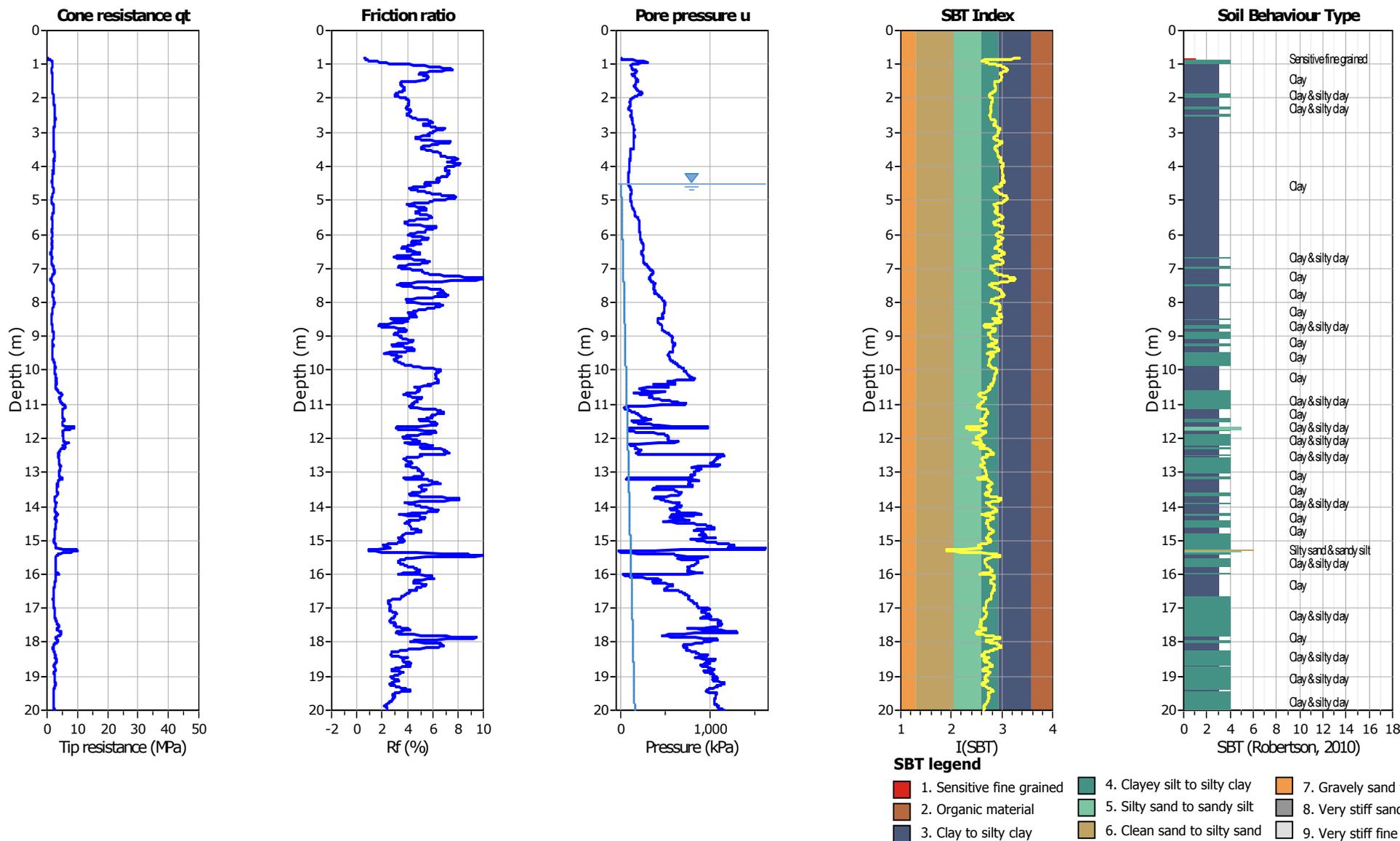
- | | | |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty clay | 7. Gravely sand to sand |
| 2. Organic material | 5. Silty sand to sandy silt | 8. Very stiff sand to clayey sand |
| 3. Clay to silty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

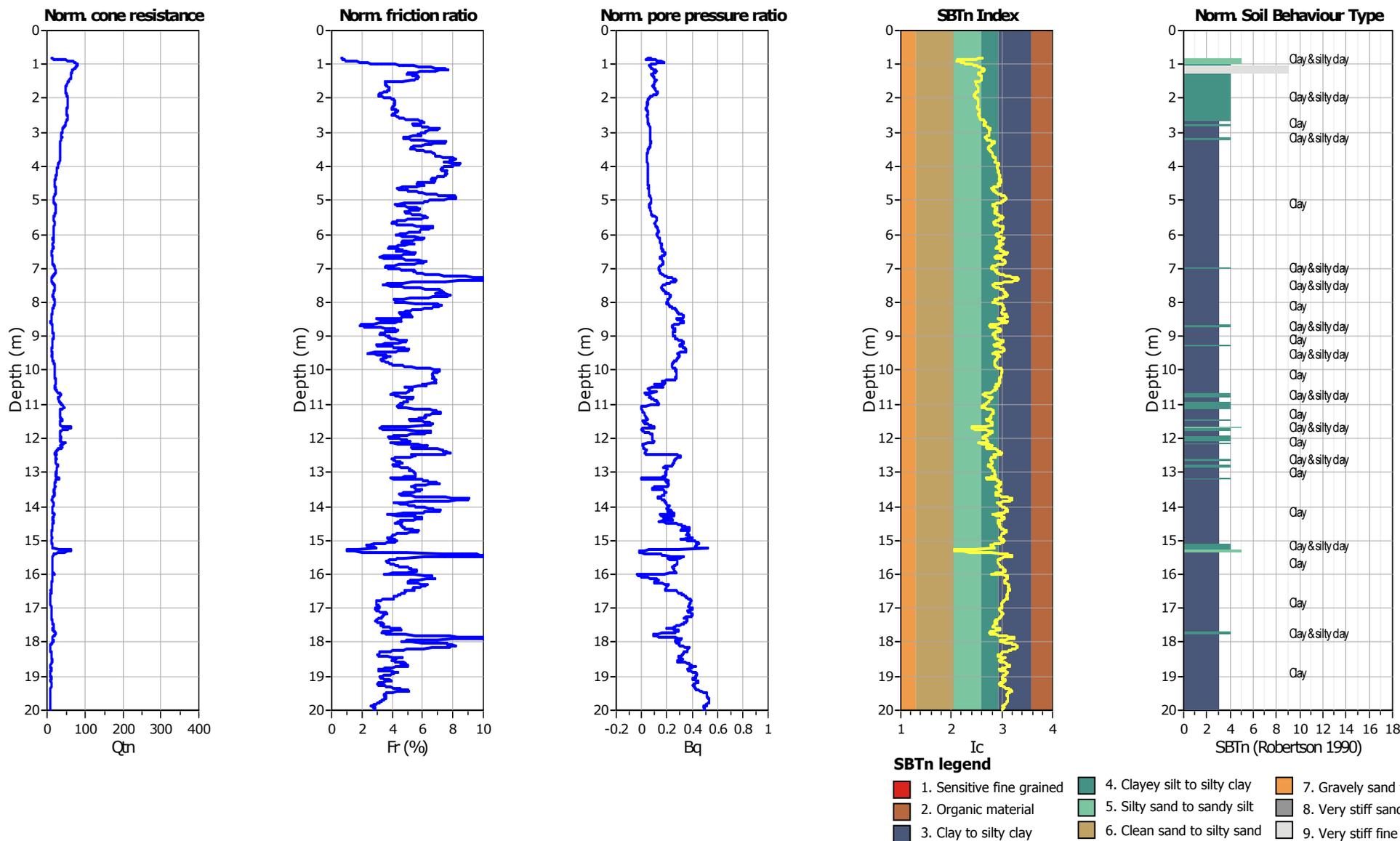
SBT - Bq plots (normalized)

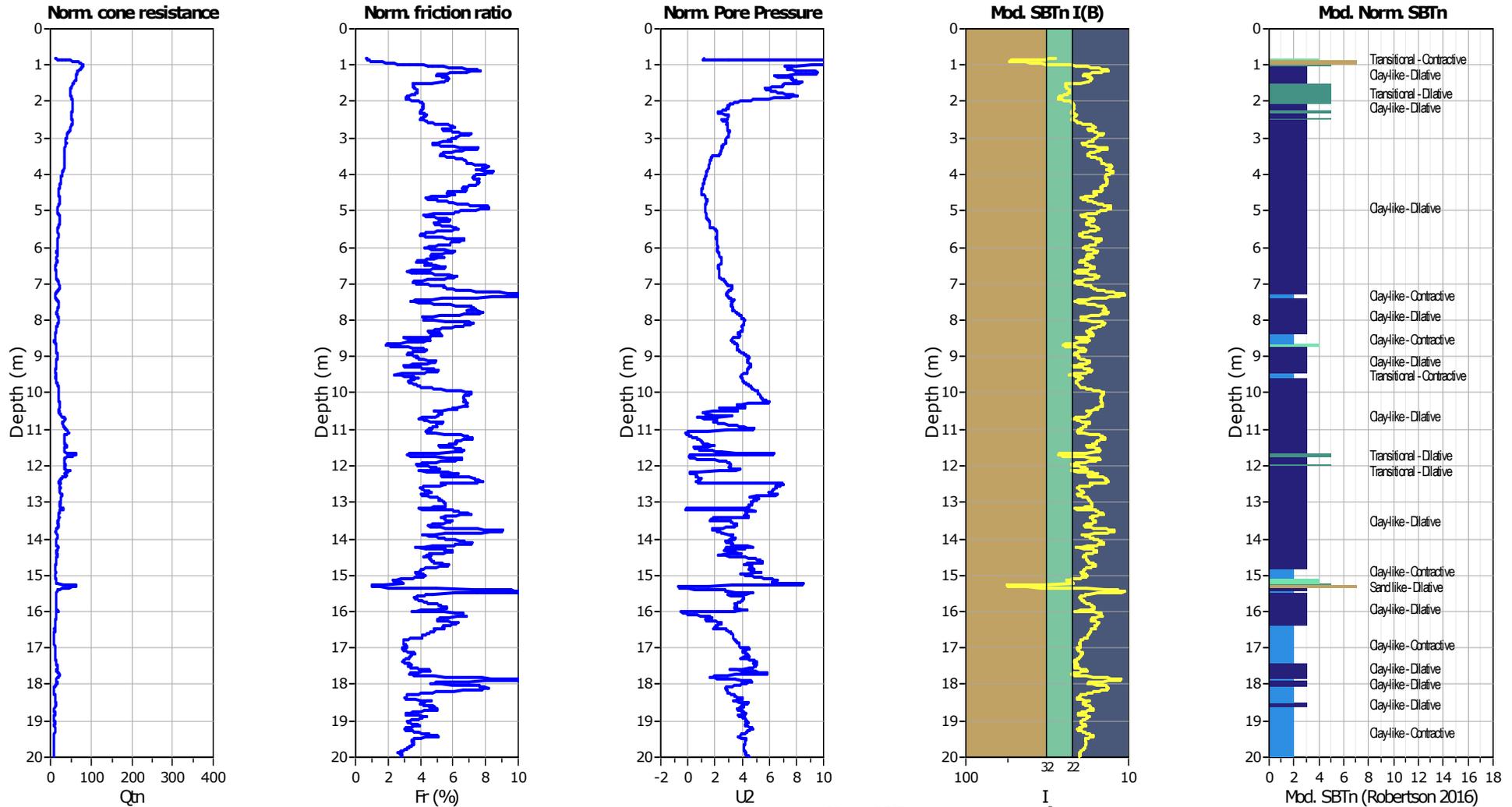


SBTn legend

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



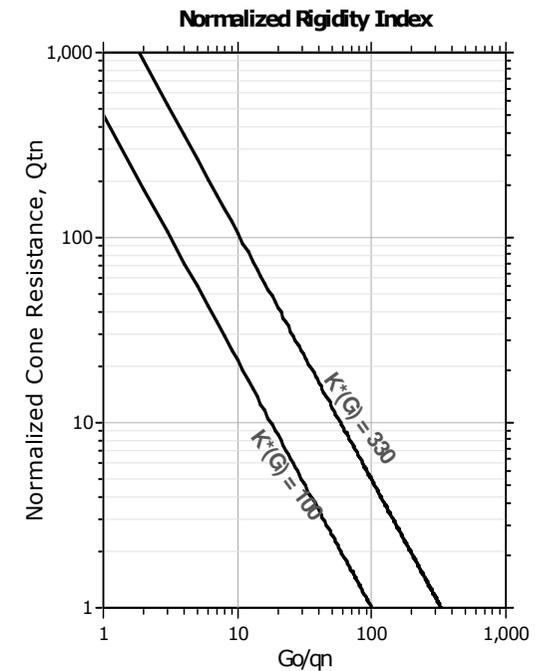
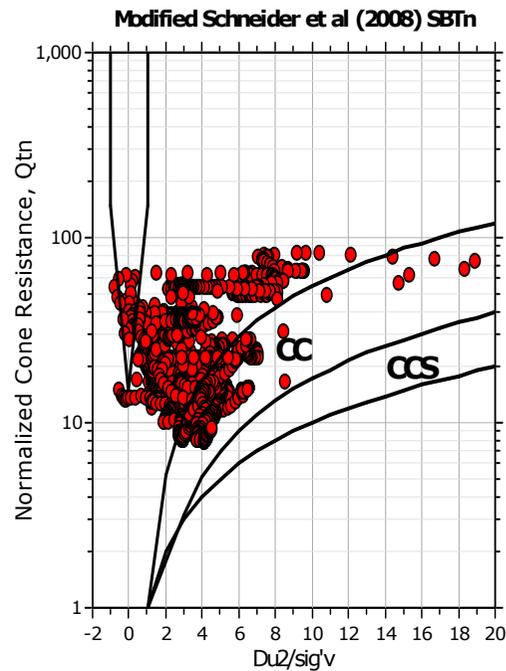
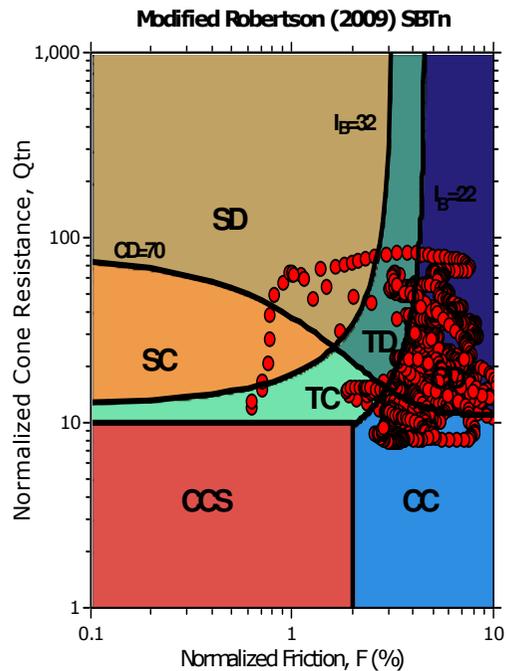




Mod. SBTn legend

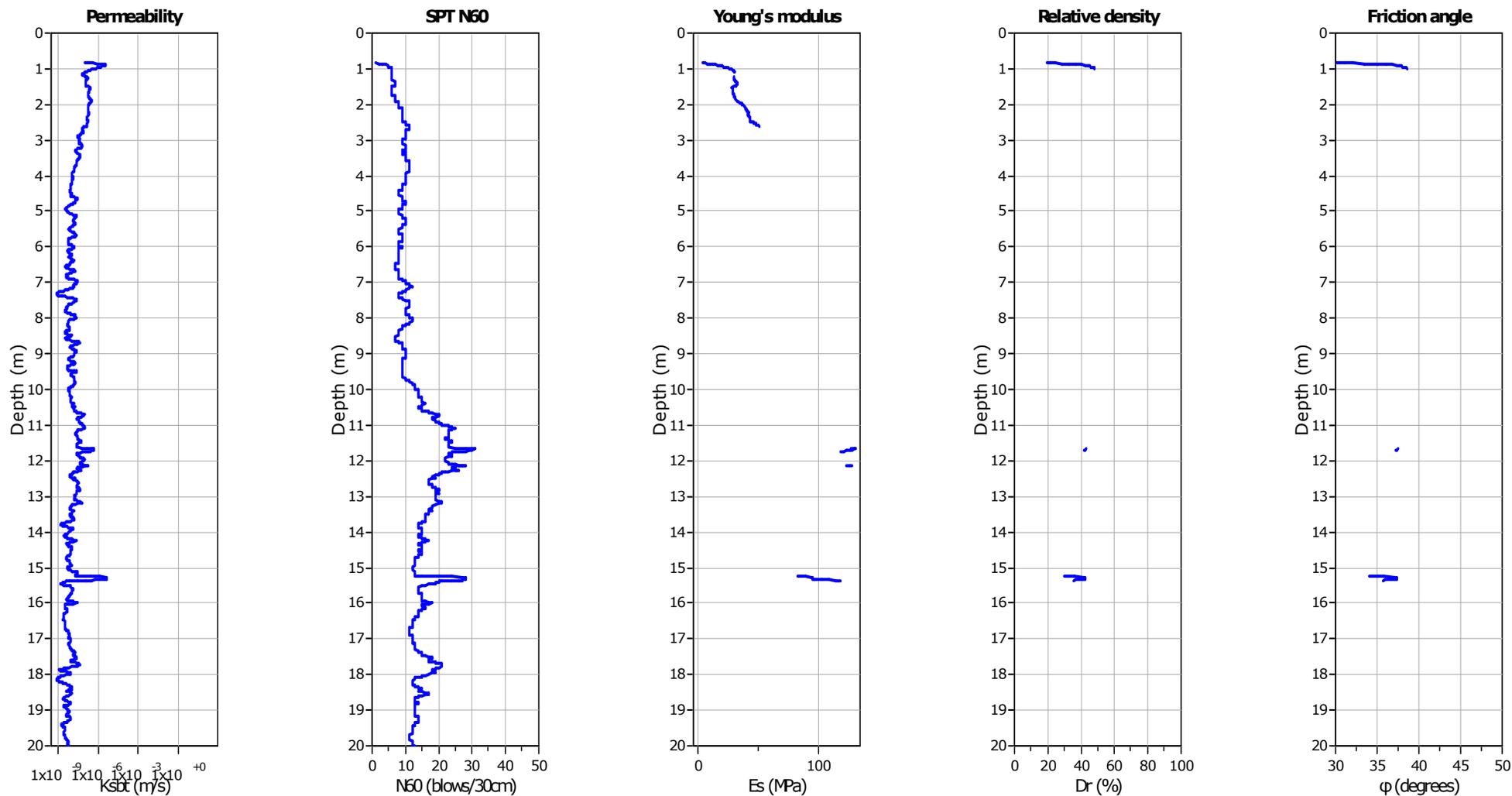
- | | | |
|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| ■ 1. CCS: ClayLike - Contractive, Sensitive | ■ 4. TC: Transitional - Contractive | ■ 7. SD: Sand-like - Dilative |
| ■ 2. CC: Clay-like - Contractive | ■ 5. TD: Transitional - Dilative | |
| ■ 3. CD: Clay-Like: Dilative | ■ 6. SC: Sand-like - Contractive | |

Updated SBTn plots



- CCS: Clay-like - Contractive - Sensitive
- CC: Clay-like - Contractive
- CD: Clay-like - Dilative
- TC: Transitional - Contractive
- TD: Transitional - Dilative
- SC: Sand-like - Contractive
- SD: Sand-like - Dilative

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



Calculation parameters

Permeability: Based on SBT_n

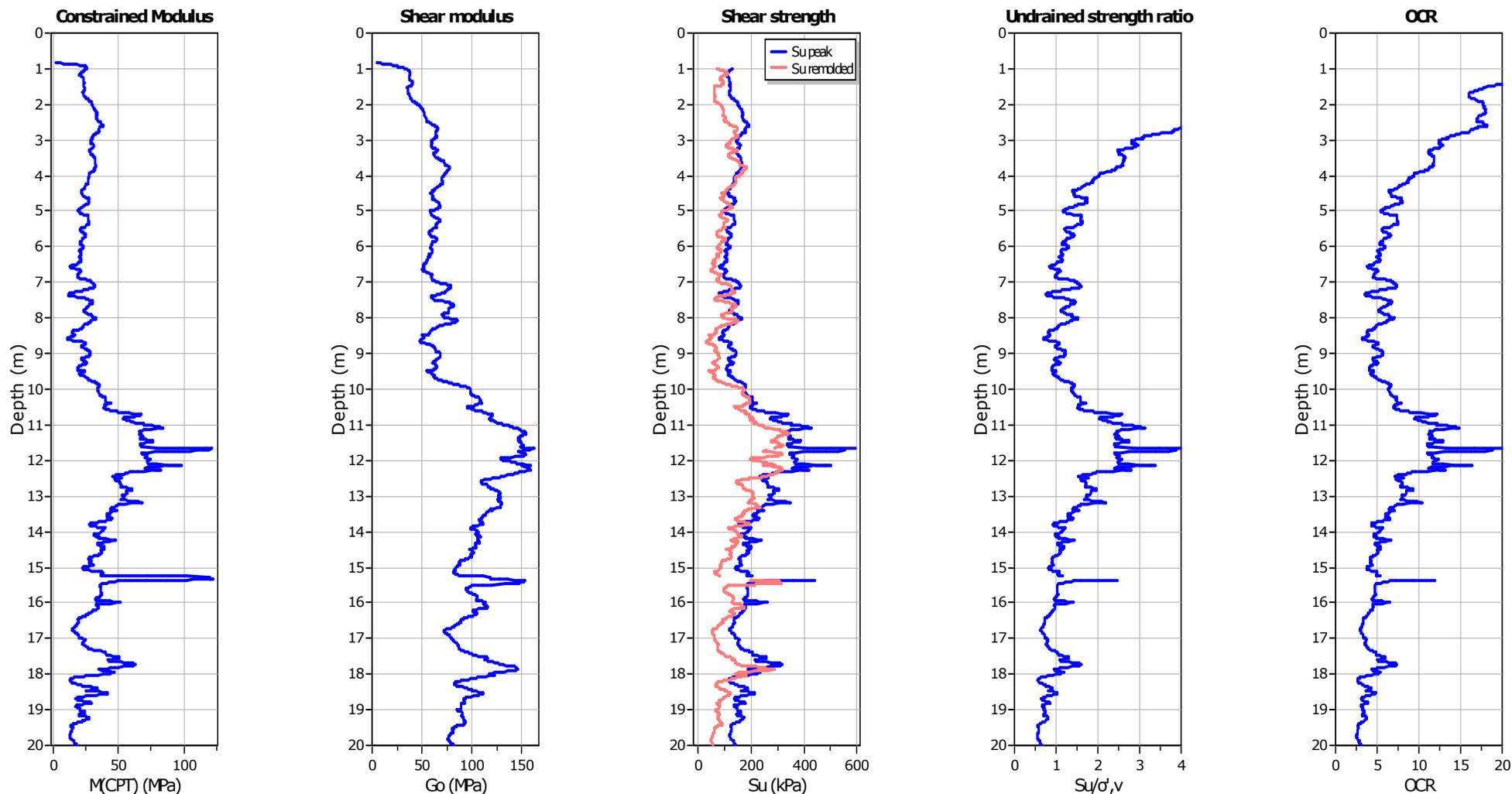
SPT N₆₀: Based on I_c and q_t

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

Relative density constant, C_{Dr}: 350.0

Phi: Based on Kulhawy & Mayne (1990)

● — User defined estimation data



Calculation parameters

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

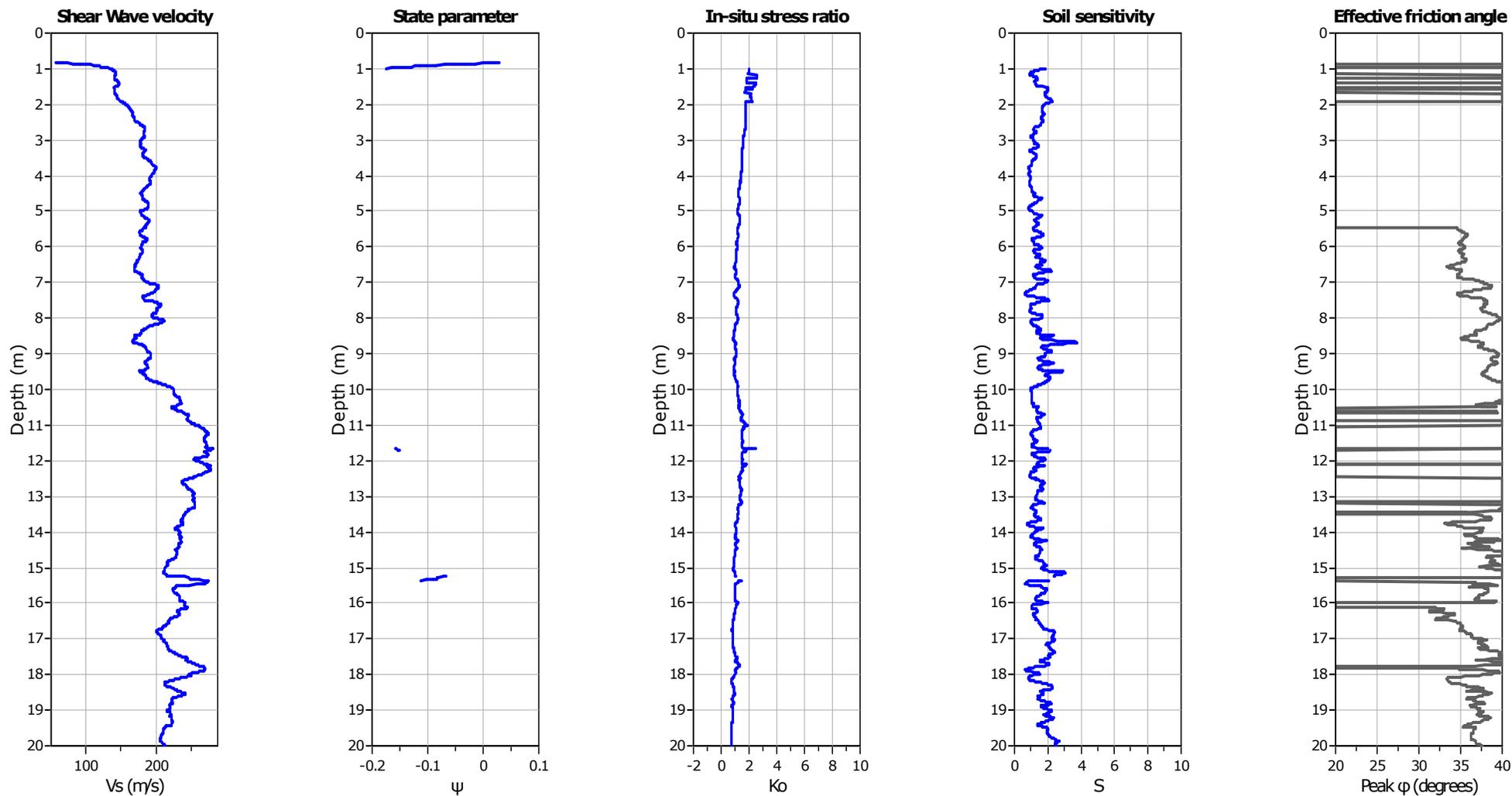
Go: Based on variable *alpha* using I_c (Robertson, 2009)

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

OCR factor for clays, N_{kt} : 0.33

● User defined estimation data

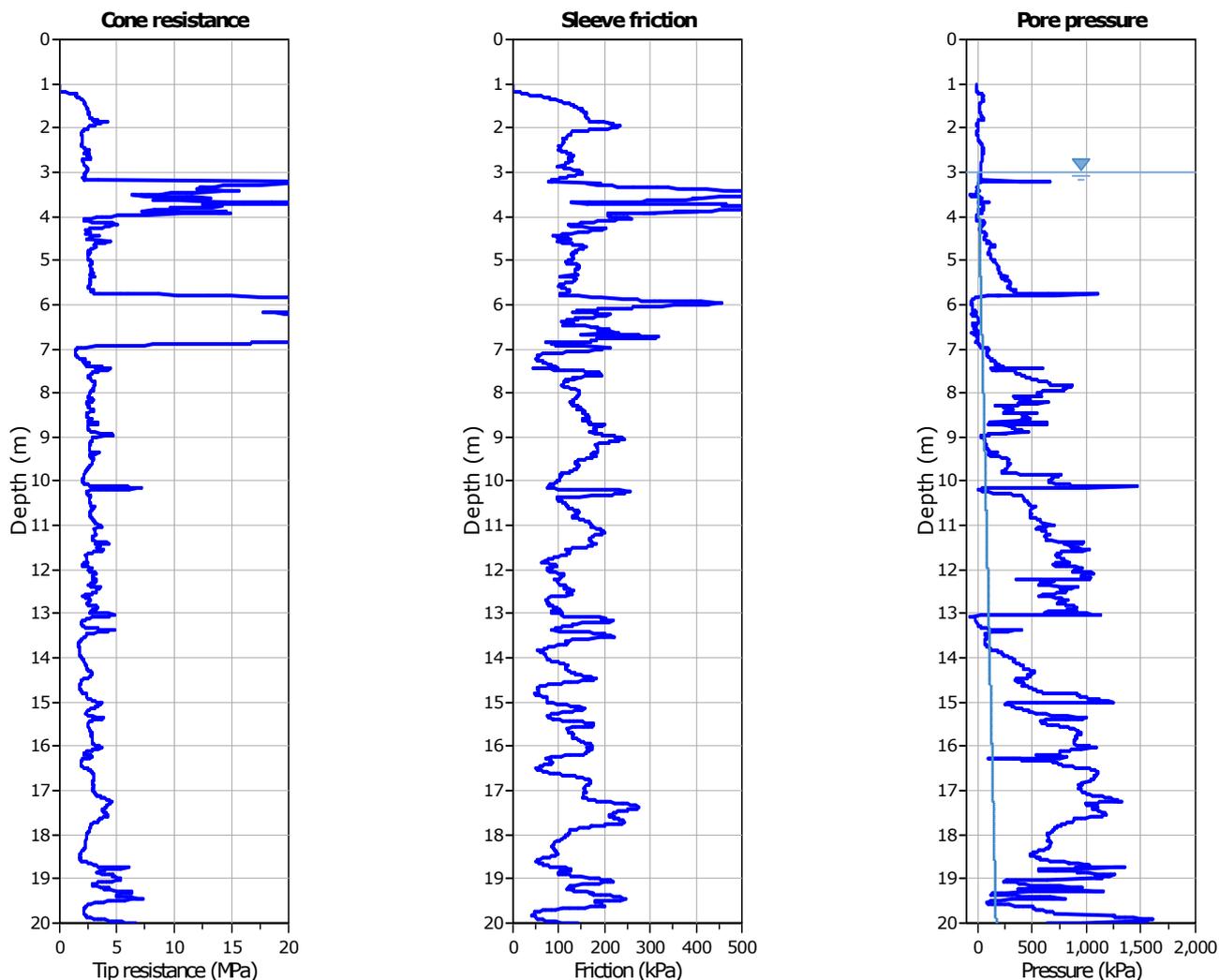
● Flat Dilatometer Test data



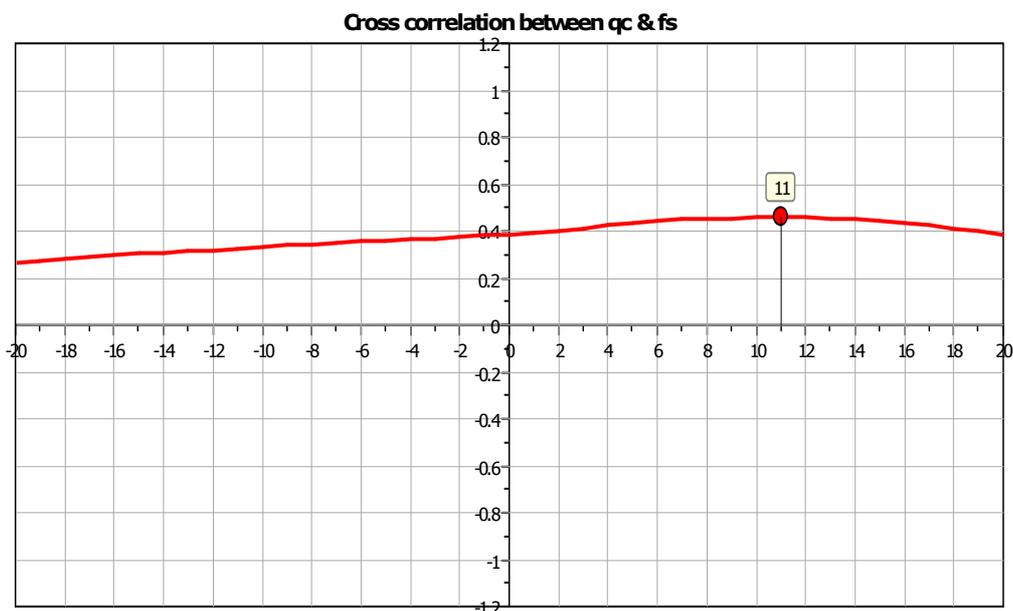
Calculation parameters

Soil Sensitivity factor, N_s : 7.00

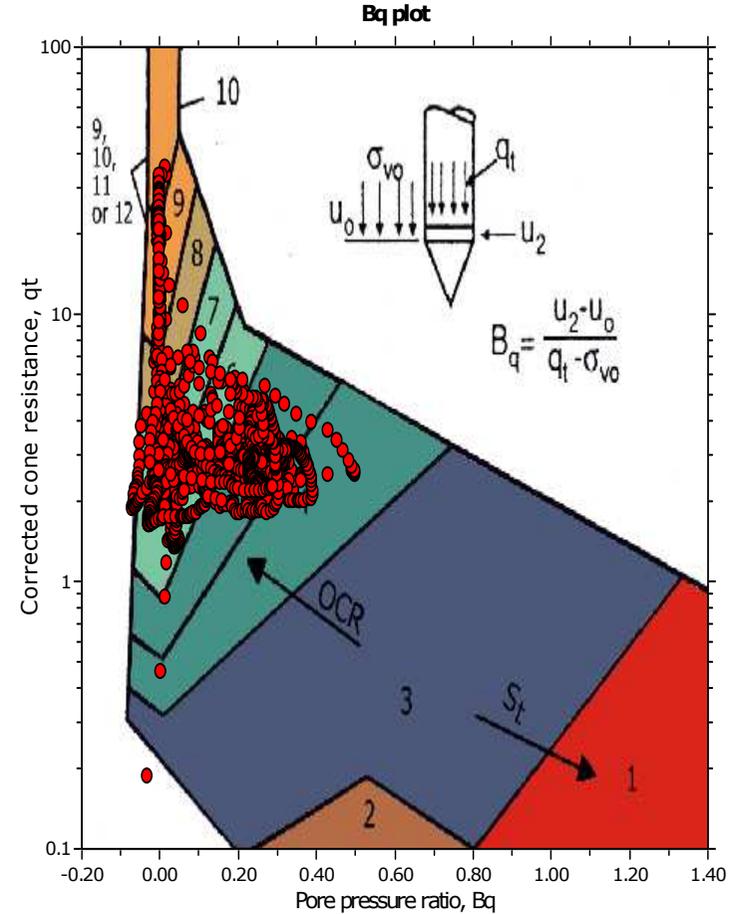
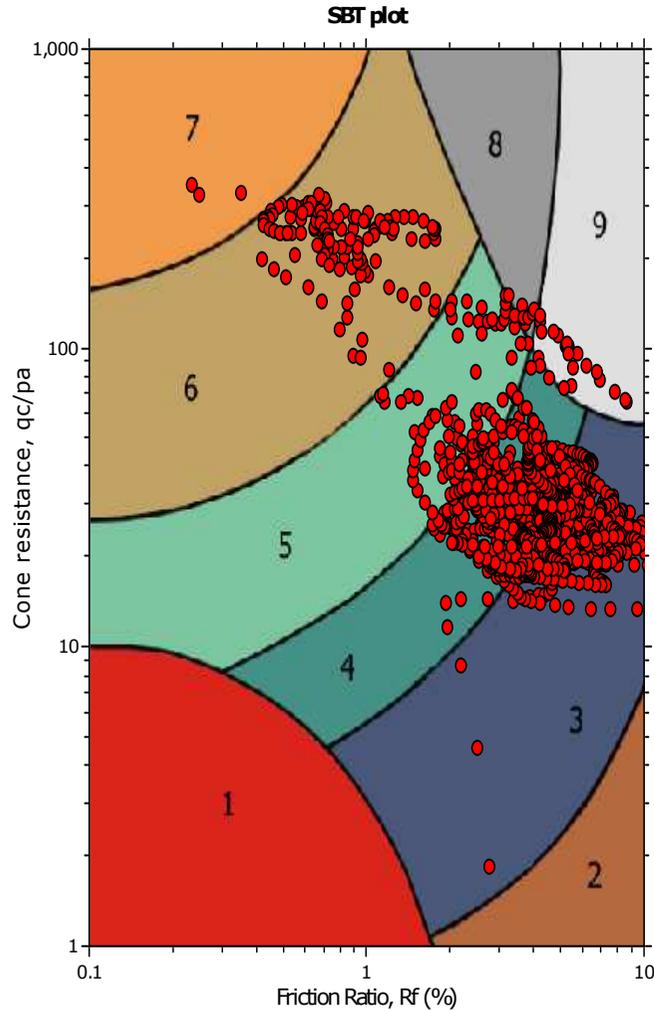
—●— User defined estimation data



The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw 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).



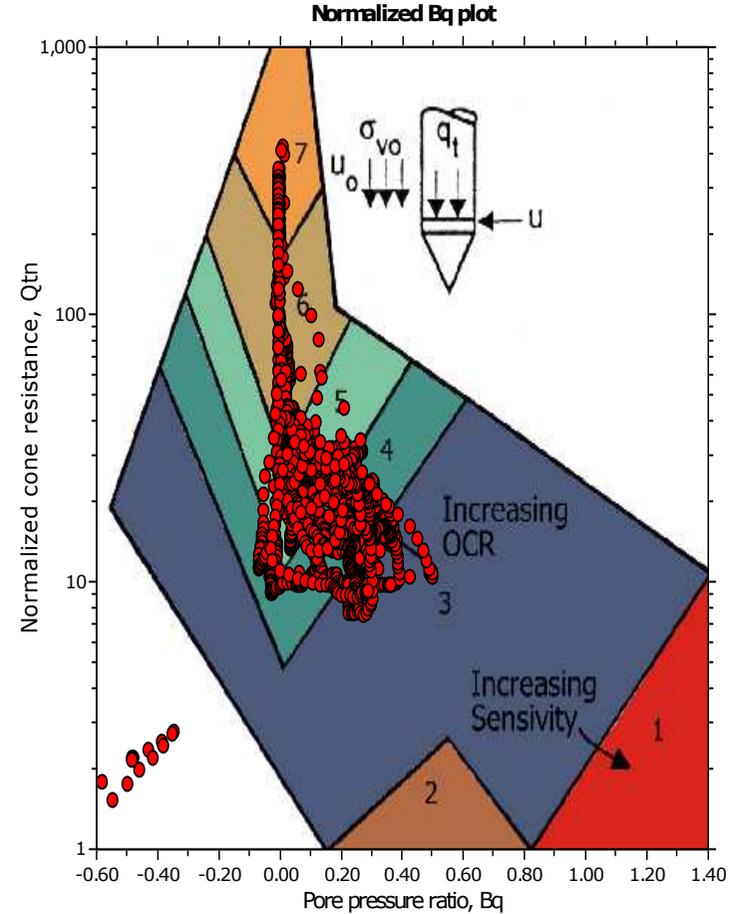
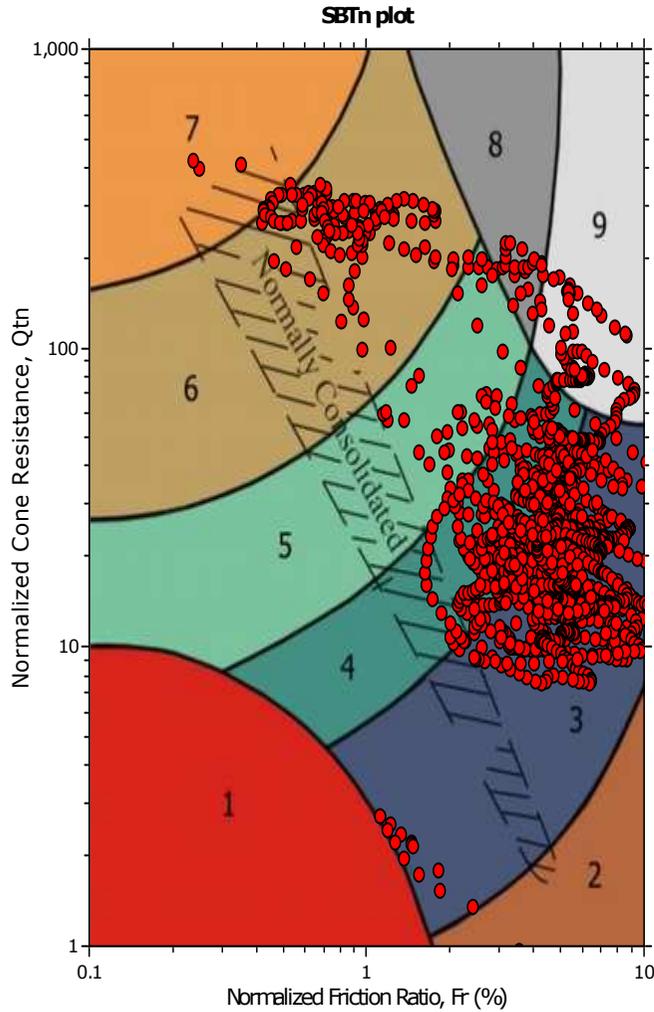
SBT - Bq plots



SBT legend

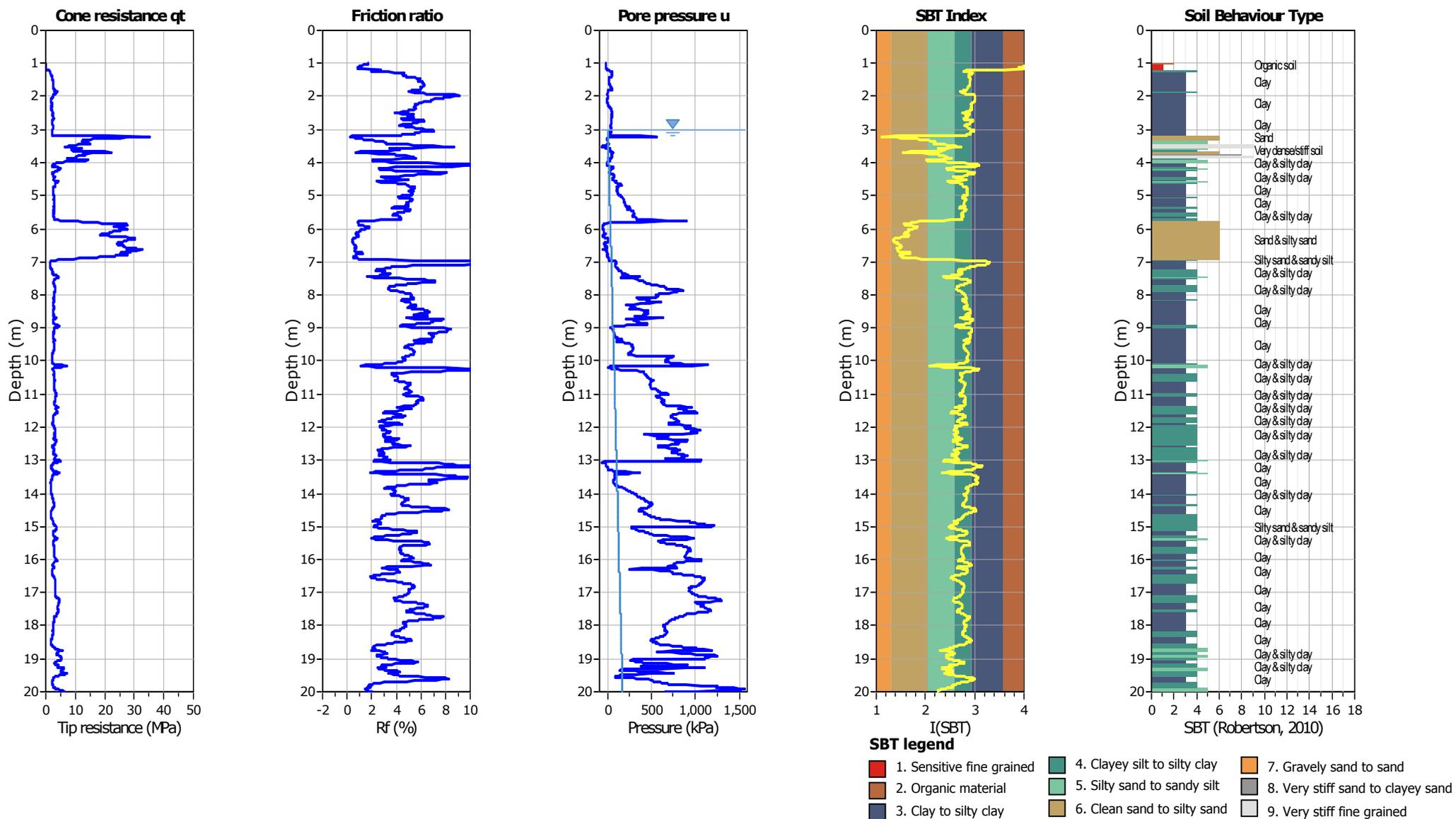
- | | | |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty clay | 7. Gravely sand to sand |
| 2. Organic material | 5. Silty sand to sandy silt | 8. Very stiff sand to clayey sand |
| 3. Clay to silty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

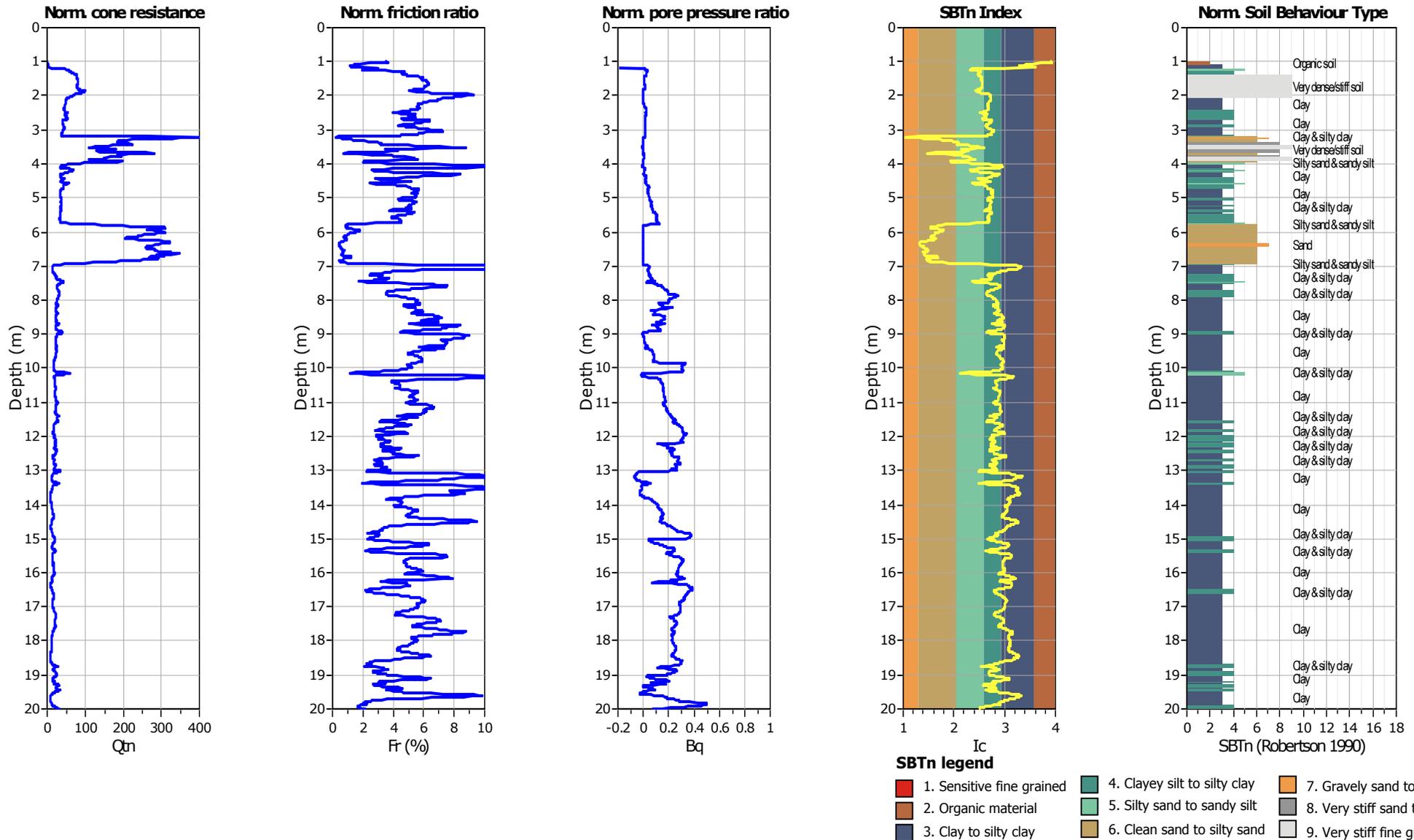
SBT - Bq plots (normalized)

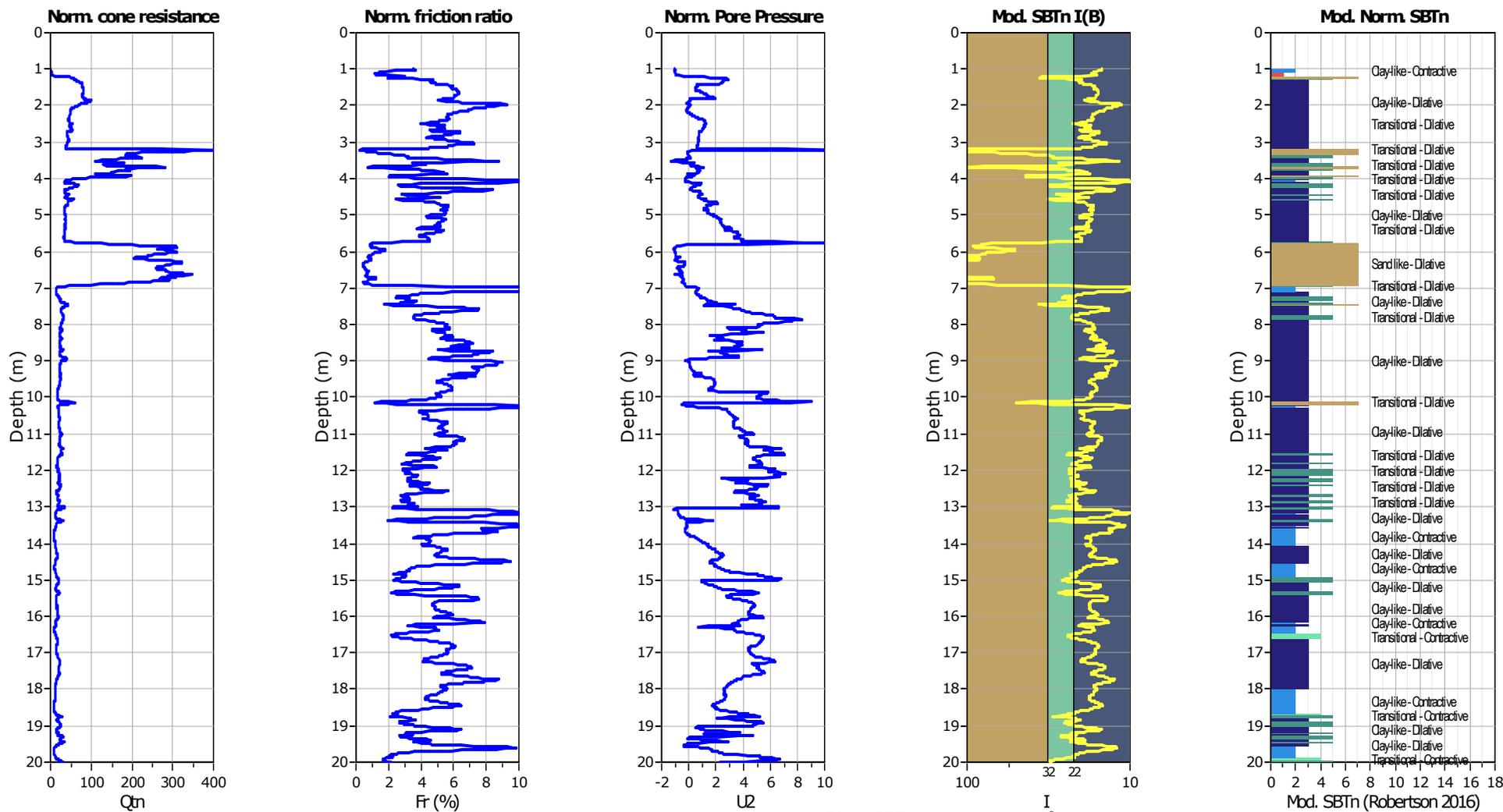


SBTn legend

- | | | |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| ■ 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 |



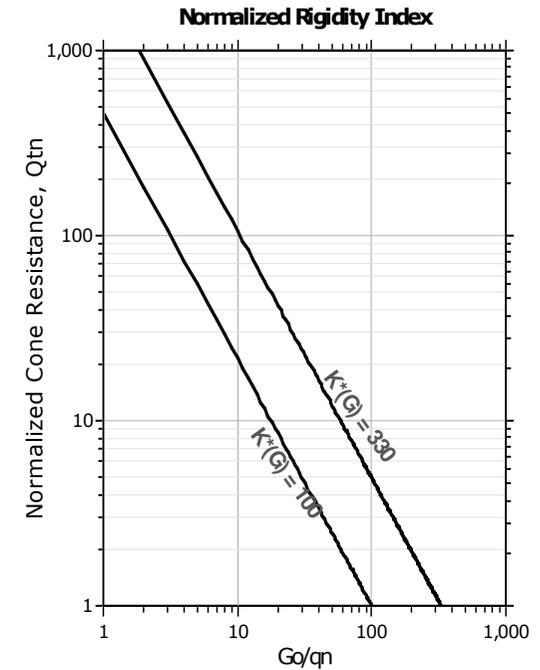
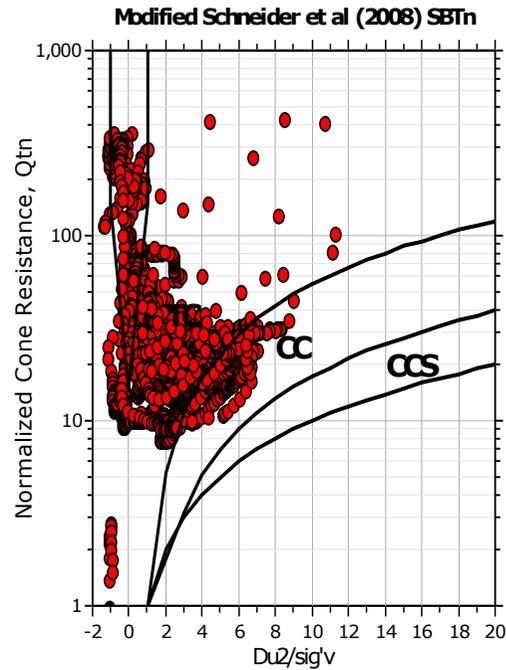
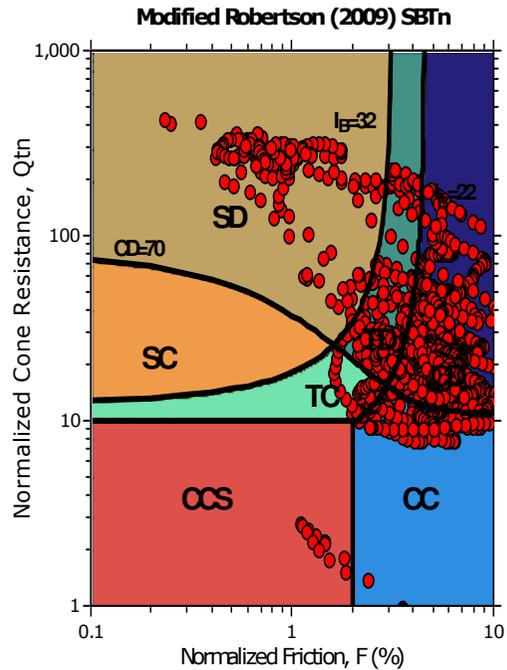




Mod. SBTn legend

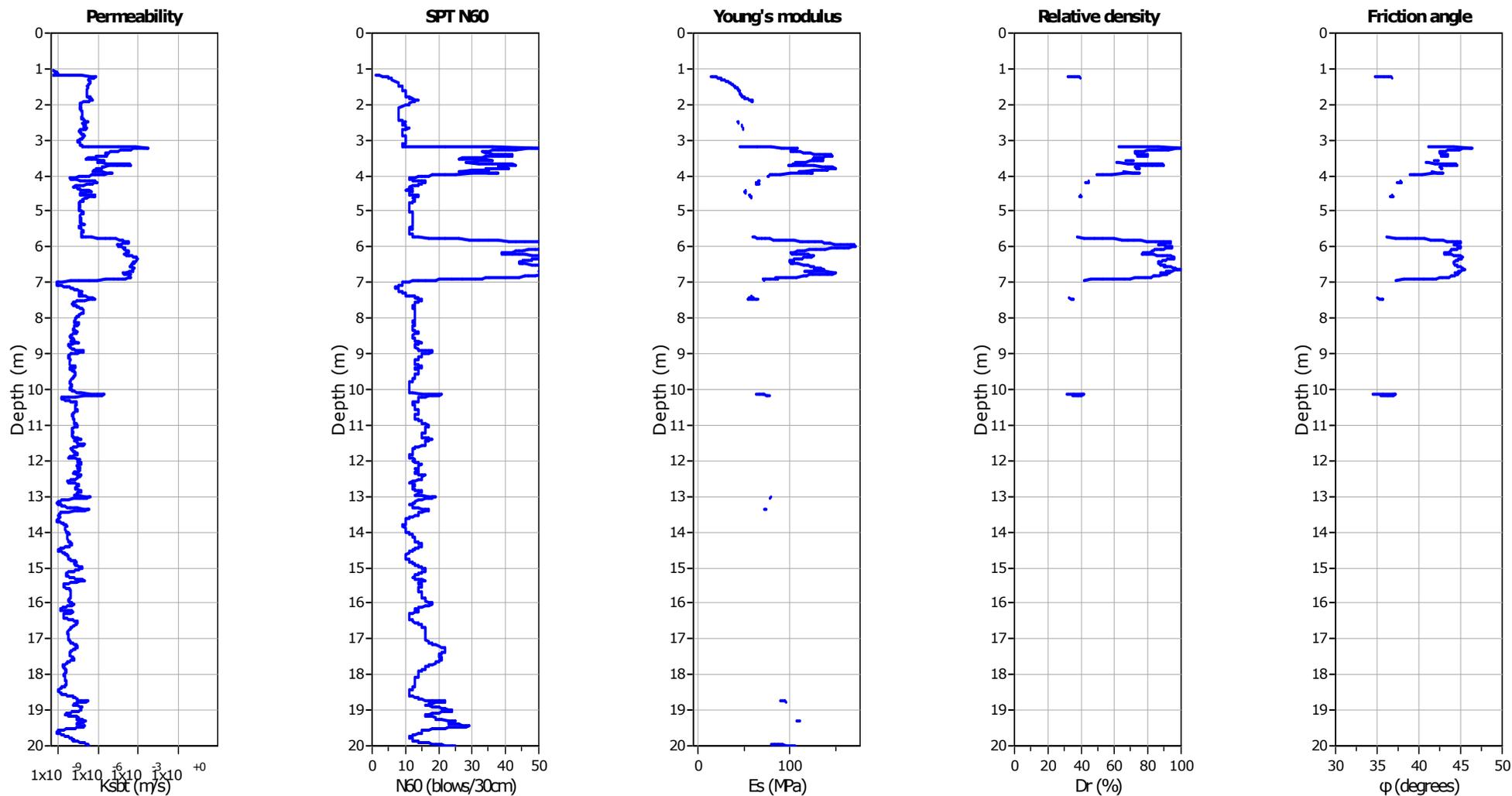
- | | | |
|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| ■ 1. CCS: ClayLike - Contractive, Sensitive | ■ 4. TC: Transitional - Contractive | ■ 7. SD: Sand-like - Dilative |
| ■ 2. CC: Clay-like - Contractive | ■ 5. TD: Transitional - Dilative | |
| ■ 3. CD: Clay-Like: Dilative | ■ 6. SC: Sand-like - Contractive | |

Updated SBTn plots



- CCS: Clay-like - Contractive - Sensitive
- CC: Clay-like - Contractive
- CD: Clay-like - Dilative
- TC: Transitional - Contractive
- TD: Transitional - Dilative
- SC: Sand-like - Contractive
- SD: Sand-like - Dilative

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



Calculation parameters

Permeability: Based on SBT_n

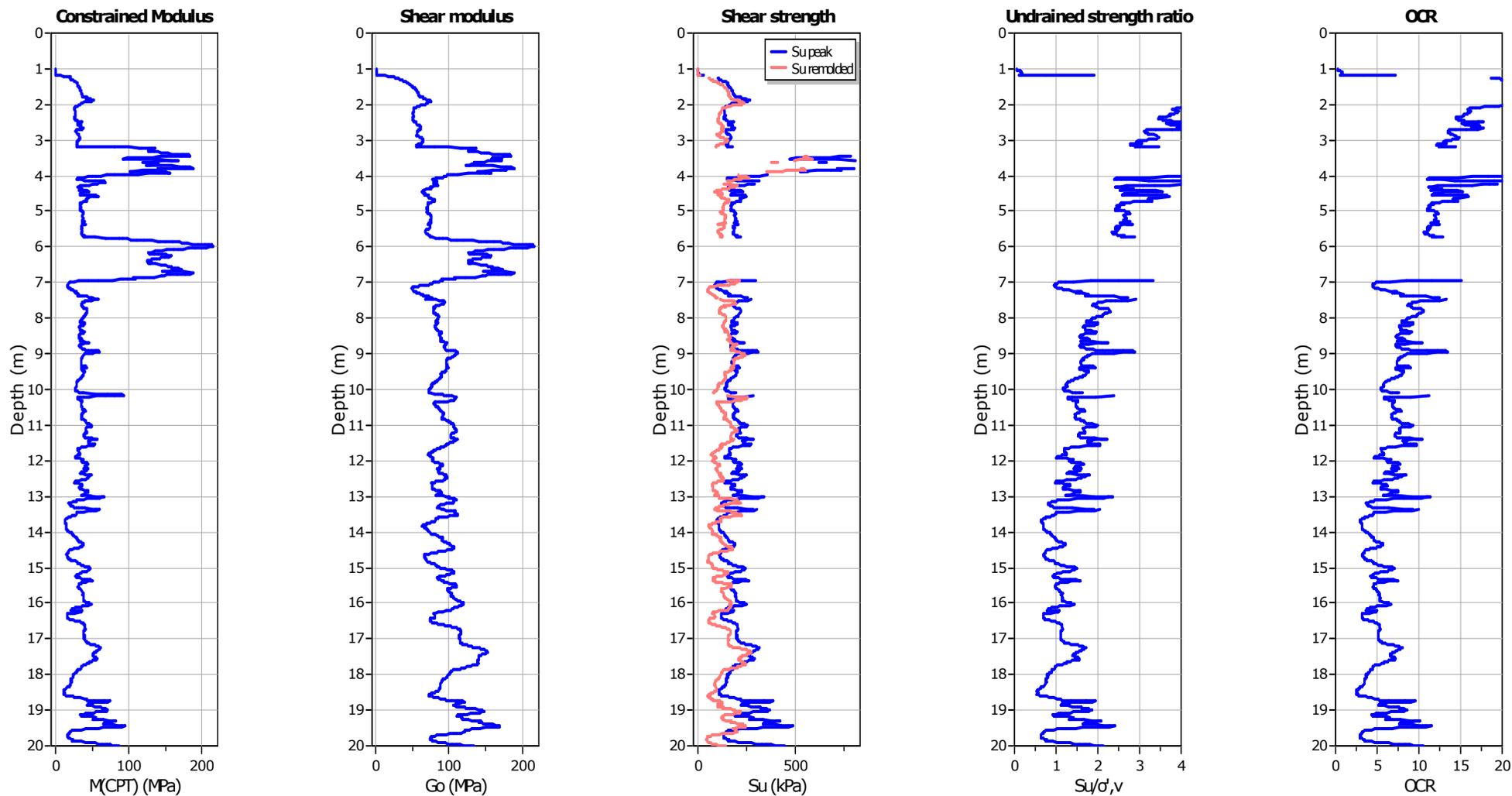
SPT N₆₀: Based on I_c and q_t

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 *alpha* using I_c and Q_{in} (Robertson, 2009)

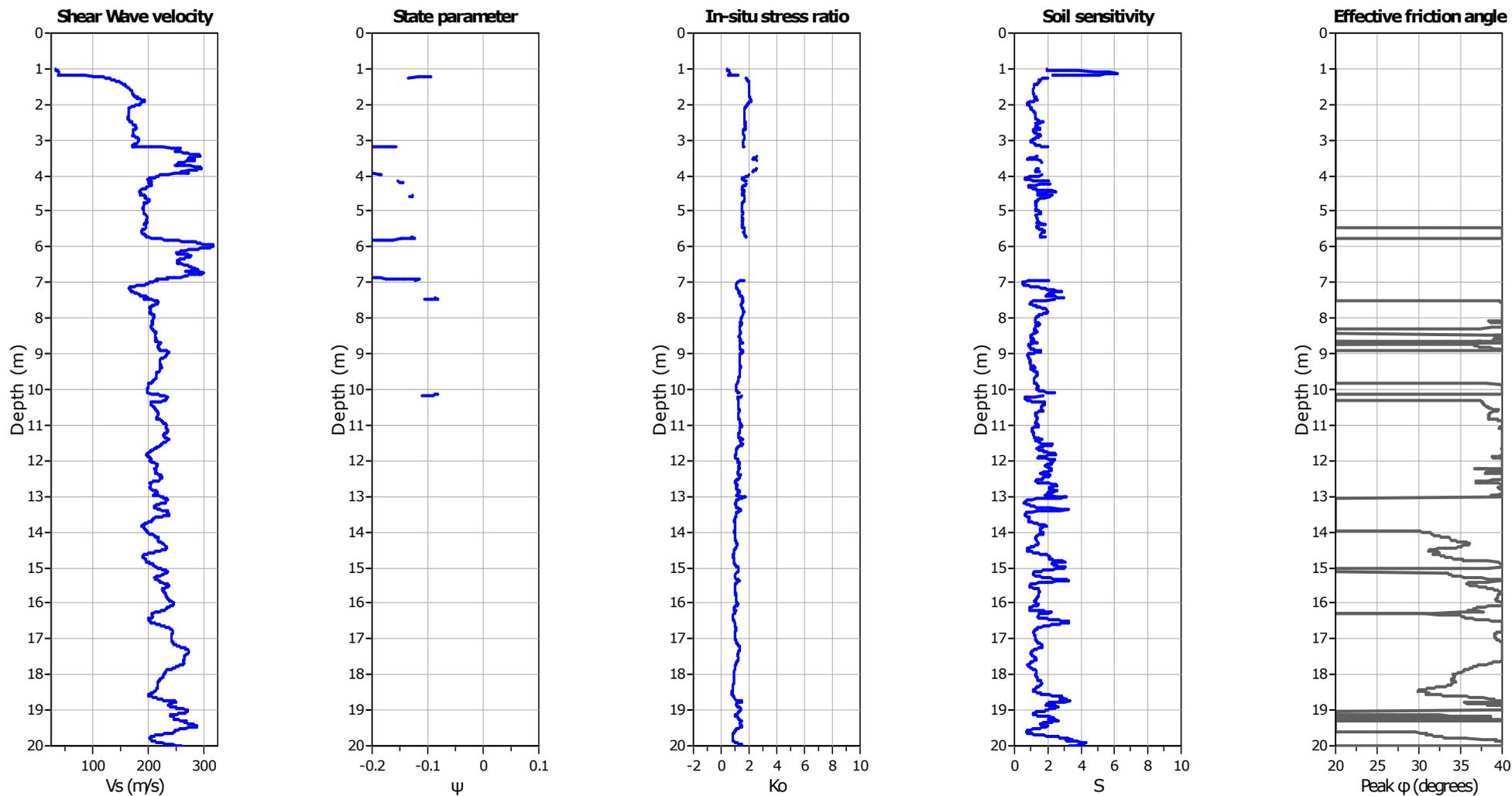
Go: Based on variable *alpha* using I_c (Robertson, 2009)

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

OCR factor for clays, N_{kt} : 0.33

● User defined estimation data

● Flat Dilatometer Test data



Calculation parameters

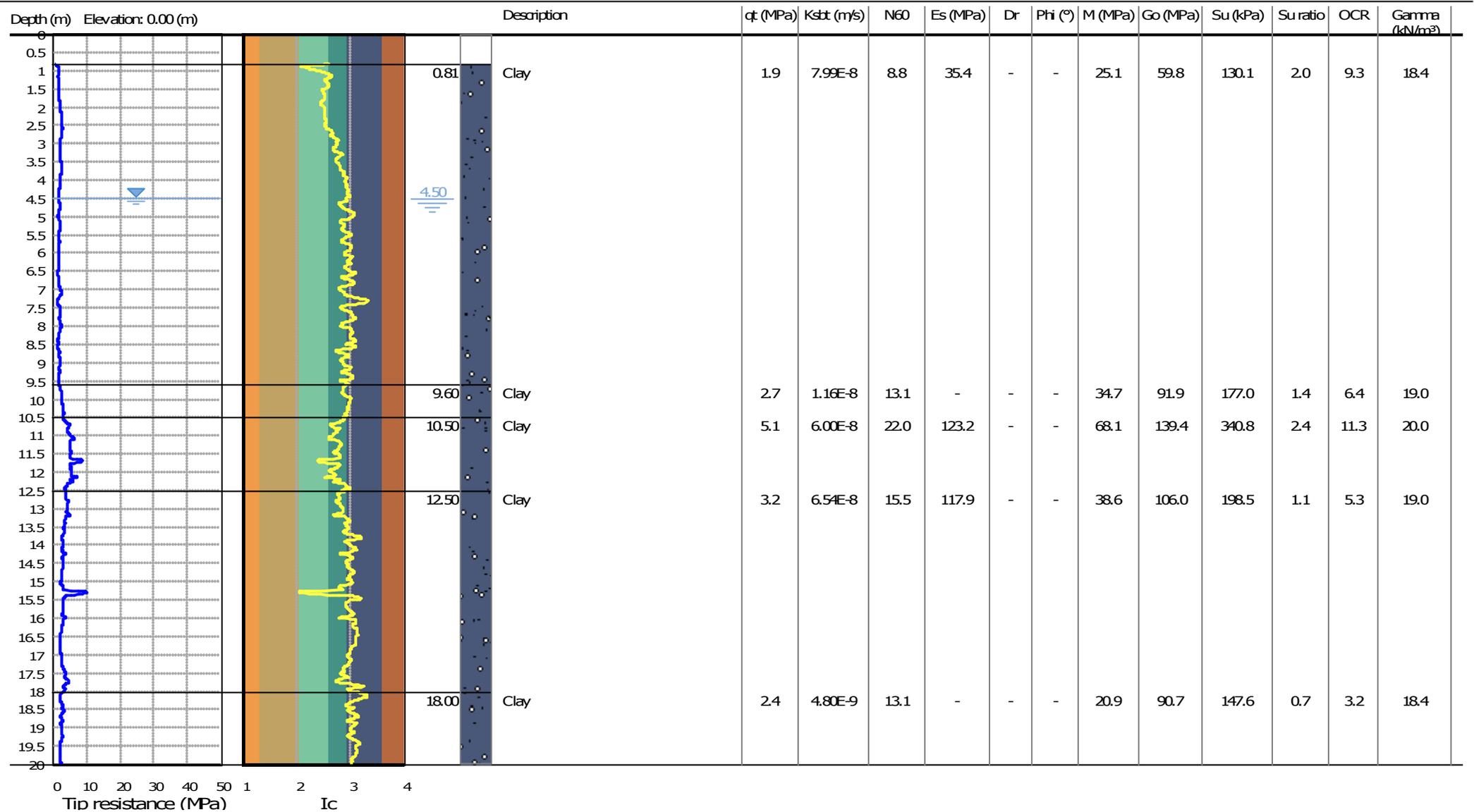
Soil Sensitivity factor, N_s : 7.00

—●— User defined estimation data

Project: STUDI DEL TERRENO DI FONDAZIONE
Location: FIORANO M. (MO) - MAGAZZINO COMUNALE

CPT: CPTu1

Total depth: 20.00 m, Date: 10/06/2022



Summary table of mean values

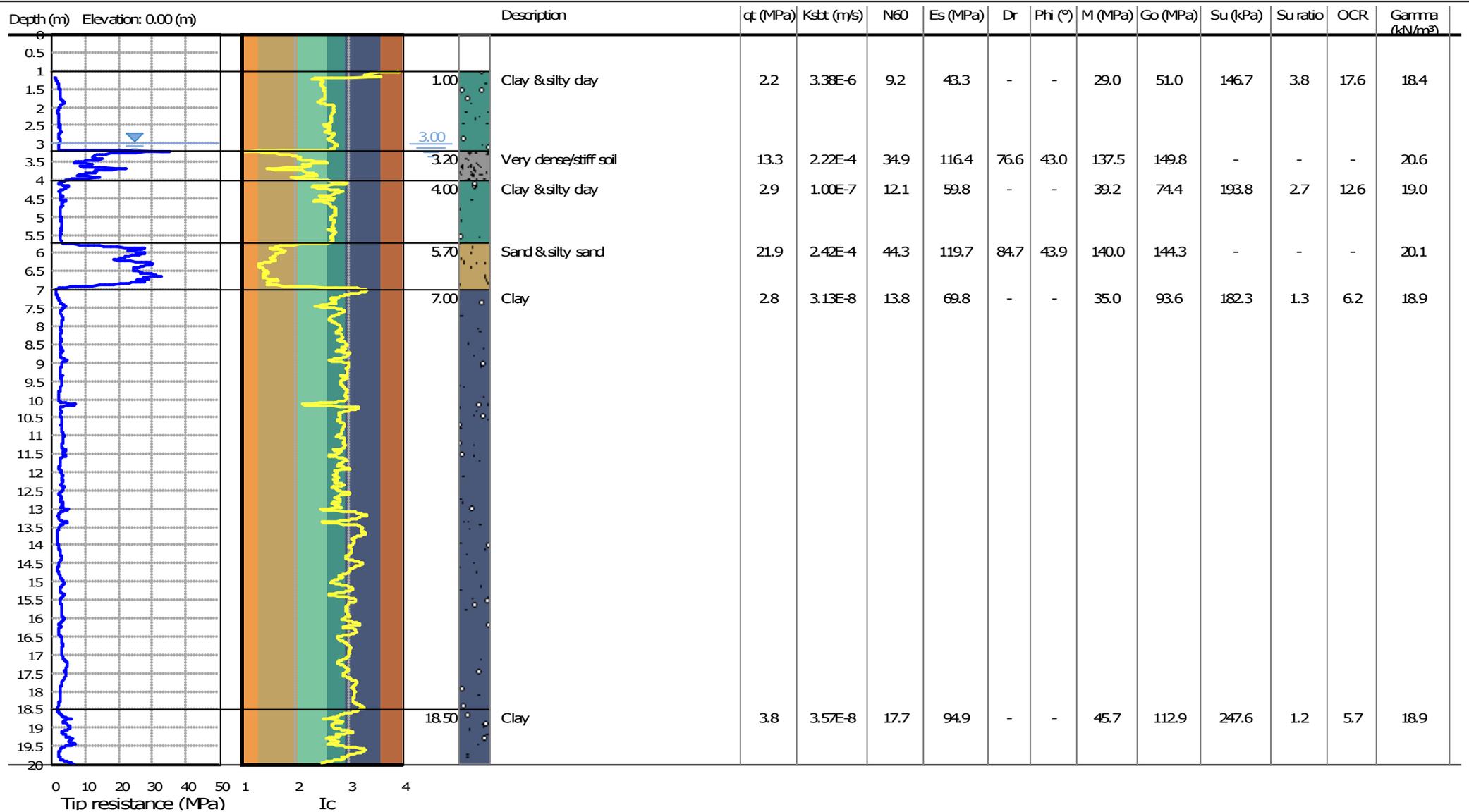
From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT _{N60} (blows/30cm)	E _s (MPa)	D _r	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G _o (MPa)	Undrained strength, S _u (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m ³)
0.81	8.79	7.99E-08	8.8	35.4	0.0	0.0	25.1	59.8	130.1	2.0	9.3	18.4
9.60		(±2.83E-07)	(±1.6)	(±6.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±5.5)	(±12.7)	(±24.7)	(±1.2)	(±5.5)	(±0.6)
9.60	0.90	1.16E-08	13.1	0.0	0.0	0.0	34.7	91.9	177.0	1.4	6.4	19.0
10.50		(±4.18E-09)	(±2.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±5.3)	(±16.1)	(±26.6)	(±0.2)	(±0.9)	(±0.5)
10.50	2.00	6.00E-08	22.0	123.2	0.0	0.0	68.1	139.4	340.8	2.4	11.3	20.0
12.50		(±7.74E-08)	(±3.2)	(±4.3)	(±0.0)	(±0.0)	(±14.9)	(±16.4)	(±65.0)	(±0.5)	(±2.2)	(±0.3)
12.50	5.50	6.54E-08	15.5	117.9	0.0	0.0	38.6	106.0	198.5	1.1	5.3	19.0
18.00		(±4.57E-07)	(±3.0)	(±117.9)	(±0.0)	(±0.0)	(±15.6)	(±17.6)	(±49.7)	(±0.3)	(±1.6)	(±0.5)
18.00	2.00	4.80E-09	13.1	0.0	0.0	0.0	20.9	90.7	147.6	0.7	3.2	18.4
20.00		(±2.61E-09)	(±1.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±7.2)	(±10.4)	(±23.8)	(±0.1)	(±0.6)	(±0.4)

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

Project: STUDI DEL TERRENO DI FONDAZIONE
Location: FIORANO M. (MO) - MAGAZZINO COMUNALE

CPT: CPTu2

Total depth: 20.00 m, Date: 10/06/2022



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)
1.00	2.20	3.38E-06	9.2	43.3	0.0	0.0	29.0	51.0	146.7	3.8	17.6	18.4
3.20		(±4.61E-05)	(±2.8)	(±8.9)	(±0.0)	(±0.0)	(±12.2)	(±18.2)	(±53.7)	(±1.6)	(±7.6)	(±1.5)
3.20	0.80	2.22E-04	34.9	116.4	76.6	43.0	137.5	149.8	0.0	0.0	0.0	20.6
4.00		(±9.42E-04)	(±6.7)	(±18.5)	(±10.9)	(±1.5)	(±26.8)	(±23.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.5)
4.00	1.70	1.00E-07	12.1	59.8	0.0	0.0	39.2	74.4	193.8	2.7	12.6	19.0
5.70		(±1.44E-07)	(±1.3)	(±8.1)	(±0.0)	(±0.0)	(±7.6)	(±6.0)	(±28.6)	(±0.5)	(±2.1)	(±0.3)
5.70	1.30	2.42E-04	44.3	119.7	84.7	43.9	140.0	144.3	0.0	0.0	0.0	20.1
7.00		(±2.36E-04)	(±13.9)	(±24.6)	(±12.5)	(±1.7)	(±44.3)	(±35.2)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.6)
7.00	11.50	3.13E-08	13.8	69.8	0.0	0.0	35.0	93.6	182.3	1.3	6.2	18.9
18.50		(±1.67E-07)	(±2.6)	(±9.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±11.1)	(±17.6)	(±44.9)	(±0.4)	(±2.0)	(±0.5)
18.50	1.50	3.57E-08	17.7	94.9	0.0	0.0	45.7	112.9	247.6	1.2	5.7	18.9
20.00		(±4.39E-08)	(±4.7)	(±9.9)	(±0.0)	(±0.0)	(±22.8)	(±26.8)	(±99.7)	(±0.5)	(±2.4)	(±0.7)

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

ALLEGATO N° 2

SONDAGGIO A CAROTAGGIO S1 E ALLEGATO FOTOGRAFICO



Sede Legale: Via C. Costa, 182 - 41123 Modena
Uffici: Via Per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo R. (MO)
Tel. 059 3967169 - Fax. 059 5960176
info@geogroupmodena.it
www.geogroupmodena.it
P.IVA 02981500362



Committente: Rif.to 519/22 - S01-22	Sondaggio: S1
Riferimento: Fiorano Modenese (MO) - v. Circondariale S. Francesco	Data: 10/06/2022
Coordinate:	Quota: Piano campagna attuale
Perforazione:	
SCALA 1 :100	STRATIGRAFIA - S1
	Pagina 1/1

metri batt.	A	Campioni	LITOLOGIA	RP	VT	R V	Quota m	Spess. m	DESCRIZIONE	Standard Penetration Test			DATI TECNICI	Pz
										m	S.P.T.	N		
1							-0.7	0.7	Asfalto in conglomerato bituminoso e sottofondo del piazzale in terreno granulare in matrice asbbiosa argillosa; umido alla base				Sondaggio eseguito a carotaggio continuo. Sonda idraulica ATLAS A66 - CB - T Carotiere tipo T1 - corona al widiam Diametro carotiere 101 mm Diametro rivestimento 127 mm	
2		C1) Shec 2.30 2.90							Argille limose - limi argillosi nocciola da consistenti a molto consistenti; poco umide; inclusioni di calcinoli e rari ciottoli e frustoli carboniosi					
3														
4														
5														
6							-6.0	5.3	Argille limose e limi, nocciola; poco umide					
7		C2) Shec 7.20 7.60												
8														
9														
10														
11														
12														
13														
14		C3) Shec 14.20 14.60					-14.0	8.0	Argille limose e limi colore nocciola - ocre, con presenza diffusa di calcinoli e alternanze limoso sabbiose; poco umide					
15														
16														
17														
18							18.0	4.0	Argille limose e limi nocciola consistenti, con rari ciottoli					
19														
20							-20.0	2.0						



Località : Fiorano Modenese (MO) - v. Circondariale S. Francesco

Data : 10/06/2022

Sondaggio 1 Cassetta 1 (Piano Campagna - -5.00 m da p.c.)



Località : Fiorano Modenese (MO) - v. Circondariale S. Francesco

Data : 10/06/2022

Sondaggio 1 Cassetta 2 (-5.00 m/-10.00 m da p.c.)



Località : Fiorano Modenese (MO) - v. Circondariale S. Francesco

Data : 10/06/2022

Sondaggio 1 Cassetta 3 (-10.00/-15.00 m da p.c.)



Località : Fiorano Modenese (MO) - v. Circondariale S. Francesco

Data : 10/06/2022

Sondaggio 1 Cassetta 4 (-15.00/-20.00 m da p.c.)

ALLEGATO N° 3

PROVE DI LABORATORIO DI GEOTECNICA



Sede Legale: Via C. Costa, 182 - 41123 Modena
Uffici: Via Per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo R. (MO)
Tel. 059 3967169 - Fax. 059 5960176
info@geogroupmodena.it
www.geogroupmodena.it
P.IVA 02981500362



DESCRIZIONE PRELIMINARE DEL CAMPIONE

ASTM D1558-10, ASTM D2488-17, ASTM D2573-18, ASTM D4648-16, Raviolo P.L. (1993)

RAPPORTO DI PROVA N. P03240

Pagina 1/1

Committente: **Geo Group srl**

Località: **Fiorano Modenese (MO)**

Cantiere: **via Circondariale San Francesco n. 45**

Data apertura e descrizione: **23/06/2022**

Data emissione rapporto: **24/06/2022**

Sondaggio n. **1** Campione: **1**

Profondità di prelievo: **2.20 – 2.70 m**

Qualità campione: **AGI Q5**

Dimensioni campione: L = 0.50 cm

Prof. di prelievo - Alto: 2.20 m	Prof. reale (m)	P.P. (Kg/cm ²)	T.V. (Kg/cm ²)	Descrizione del campione	Prove eseguite
	2.20	3.1	1.2	Limo argilloso, bruno chiaro (2,5y 4/4), con inclusi eterogenei, molto consistente, umido.	TGD
		3.4	1.8		
	2.70	3.2	1.2		
Prof. di prelievo - Basso: 2.70 m					

Note:

Legenda: (tra parentesi): sigla Munsell Soil Color Charts; **APE:** aperture e descrizione; **UMD:** umidità; **PDV:** peso di volume; **PSP:** peso specifico; **LLP:** limite liquido e plastico; **LLR:** limite di ritiro; **GRA:** granulometria; **CLS:** classificazione; **PRM:** permeabilità (ED edometro; TRX in cella triassiale); **EDO:** edometria; **TCU:** triassiale CIU; **TCD:** triassiale CID; **TUU:** triassiale UU; **ELL:** Espansione laterale libera; **TGD:** taglio diretto; **TGR:** taglio residuo; **PRT:** proctor (ST standard; MD: modificata).

COMMITTENTE: Geo Group srl

RIFERIMENTO: Fiorano Modenese (MO), via Circondariale San Francesco 45

SONDAGGIO: 1

CAMPIONE: 1

PROFONDITA': m 2.20 - 2.70

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma AGI(1999), ASTM D3080-03

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	Indisturbato	Indisturbato
Pressione verticale (kPa):	49	98	147
Tensione a rottura (kPa):	45	50	85
Deformazione orizzontale a rottura (mm):	4,89	1,85	3,30
Deformazione verticale a rottura (mm):	0,22	0,11	0,35
Umidità iniziale e umidità finale (%):	22,6 28,3	22,4 27,4	22,1 27,2
Peso di volume iniziale e finale (kN/m³):	18,2 22,6	19,5 21,6	18,3 21,7

DIAGRAMMA Tensione - Pressione verticale

Coesione: 17,5 kPa
Angolo di attrito interno: 22,2 °

Tipo di prova: Consolidata - lenta
Velocità di deformazione: 0,004 mm / min
Tempo di consolidazione (ore): 24

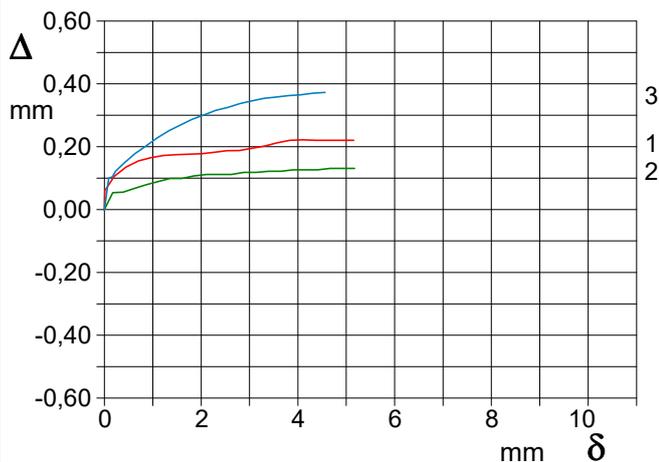
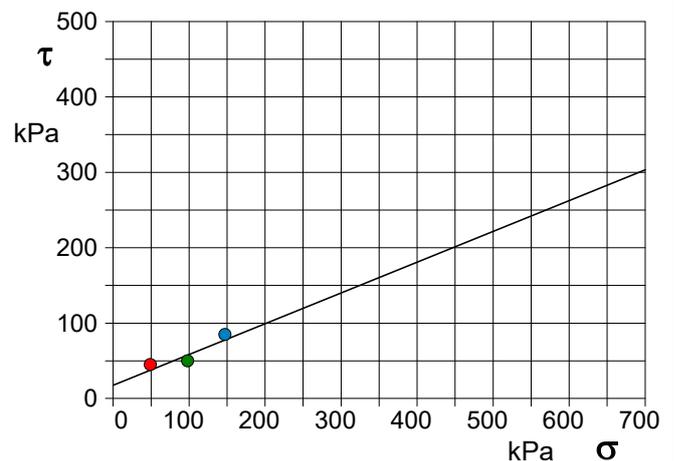


DIAGRAMMA Deform. vert. - Deform. orizz.

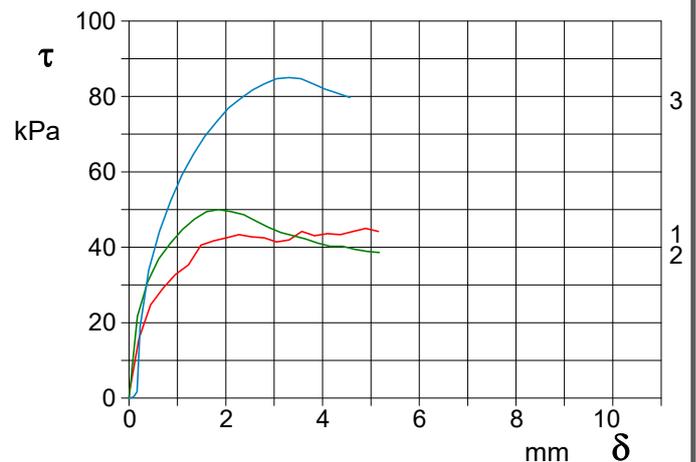


DIAGRAMMA Tensione - Deformaz. orizz.

DESCRIZIONE PRELIMINARE DEL CAMPIONE

ASTM D1558-10, ASTM D2488-17, ASTM D2573-18, ASTM D4648-16, Raviolo P.L. (1993)

RAPPORTO DI PROVA N. P03241

Pagina 1/1

Committente: **Geo Group srl**

Località: **Fiorano Modenese (MO)**

Cantiere: **via Circondariale San Francesco n. 45**

Data apertura e descrizione: **23/06/2022**

Data emissione rapporto: **24/06/2022**

Sondaggio n. **1** Campione: **2**

Profondità di prelievo: **7.20 – 7.60 m**

Qualità campione: **AGI Q5**

Dimensioni campione: L = 0.40 cm

Prof. di prelievo - Alto: 7.20 m	Prof. reale (m)	P.P. (Kg/cm ²)	T.V. (Kg/cm ²)	Descrizione del campione	Prove eseguite
	7.20	3.2	1.1	Limo debolmente argilloso, bruno chiaro (2,5y 4/4), molto consistente, umido.	TGD
		3.3	0.9		
		1.9	0.6		
Prof. di prelievo - Basso: 7.60 m	7.60				

Note:

Legenda: (tra parentesi): sigla Munsell Soil Color Charts; **APE:** aperture e descrizione; **UMD:** umidità; **PDV:** peso di volume; **PSP:** peso specifico; **LLP:** limite liquido e plastico; **LLR:** limite di ritiro; **GRA:** granulometria; **CLS:** classificazione; **PRM:** permeabilità (ED edometro; TRX in cella triassiale); **EDO:** edometria; **TCU:** triassiale CIU; **TCD:** triassiale CID; **TUU:** triassiale UU; **ELL:** Espansione laterale libera; **TGD:** taglio diretto; **TGR:** taglio residuo; **PRT:** proctor (ST standard; MD: modificata).

COMMITTENTE: Geo Group srl

RIFERIMENTO: Fiorano Modenese (MO), via Circondariale San Francesco 45

SONDAGGIO: 1

CAMPIONE: 2

PROFONDITA': m 7.20 - 7.60

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma AGI(1999), ASTM D3080-03

Provino n°:	1		2		3	
Condizione del provino:	Indisturbato		Indisturbato		Indisturbato	
Pressione verticale (kPa):	98		147		196	
Tensione a rottura (kPa):	72		86		121	
Deformazione orizzontale e verticale a rottura (mm):	3,92	0,57	2,63	0,63	3,08	0,68
Umidità iniziale e umidità finale (%):	26,4	28,7	24,8	28,5	26,7	28,4
Peso di volume iniziale e finale (kN/m³):	19,1	19,4	19,2	19,7	18,2	18,4
Grado di saturazione iniziale e finale (%):	91,0	98,8	88,8	100,0	82,3	87,6

DIAGRAMMA Tensione - Pressione verticale

Coesione: 18,1 kPa
Angolo di attrito interno: 26,5 °

Tipo di prova: Consolidata - lenta
Velocità di deformazione: 0,004 mm / min
Tempo di consolidazione (ore): 24

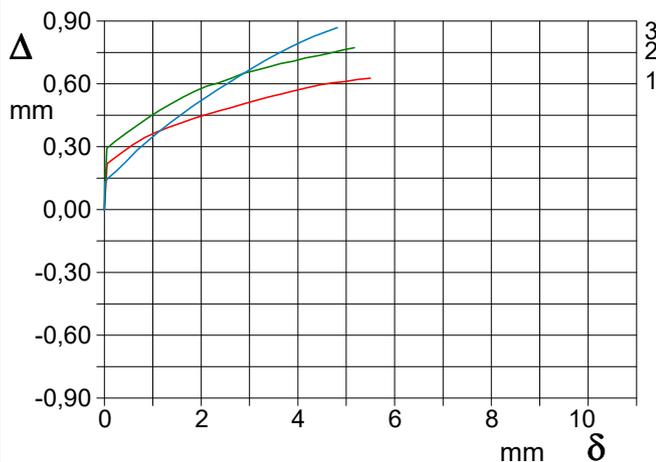
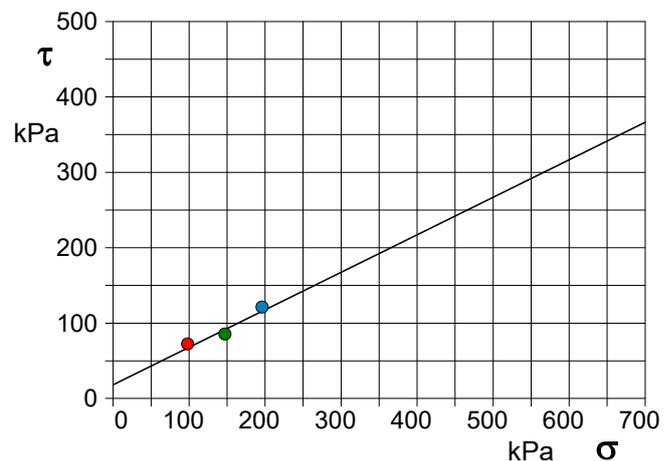


DIAGRAMMA Deform. vert. - Deform. orizz.

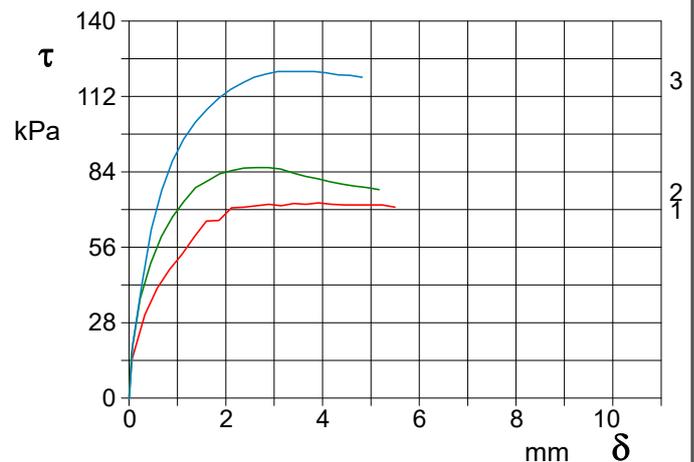


DIAGRAMMA Tensione - Deformaz. orizz.

DESCRIZIONE PRELIMINARE DEL CAMPIONE

ASTM D1558-10, ASTM D2488-17, ASTM D2573-18, ASTM D4648-16, Raviolo P.L. (1993)

RAPPORTO DI PROVA N. P03242

Pagina 1/1

Committente: **Geo Group srl**

Località: **Fiorano Modenese (MO)**

Cantiere: **via Circondariale San Francesco n. 45**

Data apertura e descrizione: **23/06/2022**

Data emissione rapporto: **24/06/2022**

Sondaggio n. **1** Campione: **3**

Profondità di prelievo: **14.20 – 14.60**

Qualità campione: **AGI Q5**

m Dimensioni campione: L = 0.40 cm

Prof. di prelievo - Alto: 14.20 m	Prof. reale (m)	P.P. (Kg/cm ²)	T.V. (Kg/cm ²)	Descrizione del campione	Prove eseguite
	14.20	3.8	1.4	Limo argilloso, bruno chiaro (2,5y 5/4), molto consistente, umido.	TGD
		3.8	1.3		
		3	1.1		
Prof. di prelievo - Basso: 14.60 m	14.60				

Note:

Legenda: (tra parentesi): sigla Munsell Soil Color Charts; **APE:** aperture e descrizione; **UMD:** umidità; **PDV:** peso di volume; **PSP:** peso specifico; **LLP:** limite liquido e plastico; **LLR:** limite di ritiro; **GRA:** granulometria; **CLS:** classificazione; **PRM:** permeabilità (ED edometro; TRX in cella triassiale); **EDO:** edometria; **TCU:** triassiale CIU; **TCD:** triassiale CID; **TUU:** triassiale UU; **ELL:** Espansione laterale libera; **TGD:** taglio diretto; **TGR:** taglio residuo; **PRT:** proctor (ST standard; MD: modificata).

COMMITTENTE: Geo Group srl

RIFERIMENTO: Fiorano Modenese (MO), via Circondariale San Francesco 45

SONDAGGIO: 1

CAMPIONE: 3

PROFONDITA': m 14.20 - 14.60

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma AGI(1999), ASTM D3080-03

Provino n°:	1		2		3	
Condizione del provino:	Indisturbato		Indisturbato		Indisturbato	
Pressione verticale (kPa):	147		196		245	
Tensione a rottura (kPa):	98		114		147	
Deformazione orizzontale e verticale a rottura (mm):	1,62	0,56	2,47	0,56	2,42	0,90
Umidità iniziale e umidità finale (%):	25,2	0,0	25,4	0,0	25,6	0,0
Peso di volume iniziale e finale (kN/m³):	19,1	19,4	19,0	19,7	19,0	18,4
Grado di saturazione iniziale e finale (%):	91,0	98,8	88,8	100,0	82,3	87,6

DIAGRAMMA Tensione - Pressione verticale

Coesione: 19,6 kPa
Angolo di attrito interno: 26,6 °

Tipo di prova: Consolidata - lenta
Velocità di deformazione: 0,003 mm / min
Tempo di consolidazione (ore): 24

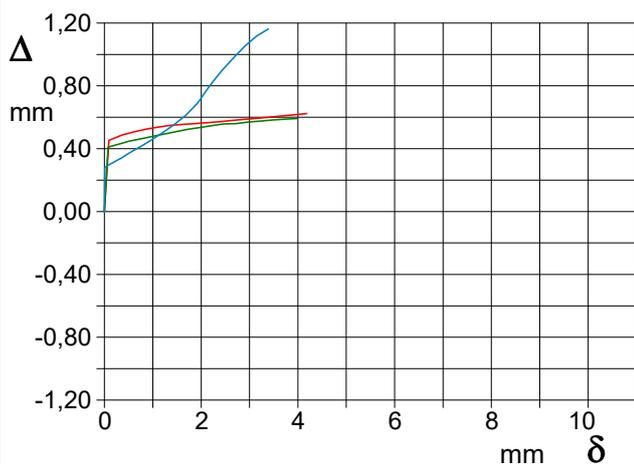
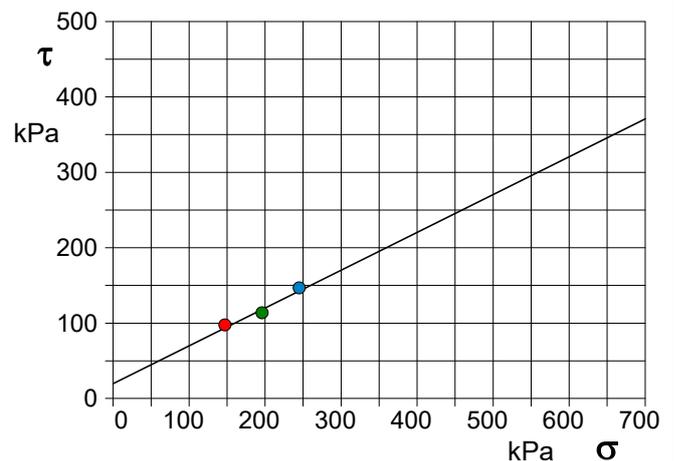


DIAGRAMMA Deform. vert. - Deform. orizz.

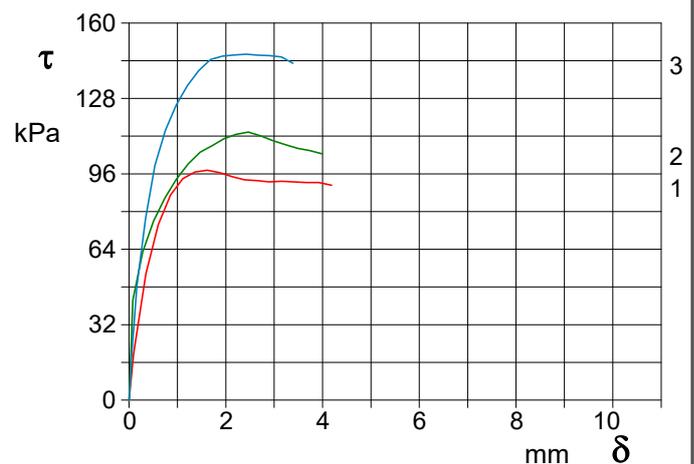


DIAGRAMMA Tensione - Deformaz. orizz.

ALLEGATO N° 4

INDAGINI GEOFISICHE



Sede Legale: Via C. Costa, 182 - 41123 Modena
Uffici: Via Per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo R. (MO)
Tel. 059 3967169 - Fax. 059 5960176
info@geogroupmodena.it
www.geogroupmodena.it
P.IVA 02981500362



ANALISI SISMICA DI SITO SECONDO METODOLOGIA MASW

Cantiere: Fiorano Modenese (MO), via Circondariale S. Francesco – magazzini comunali

Data: 10/06/2022

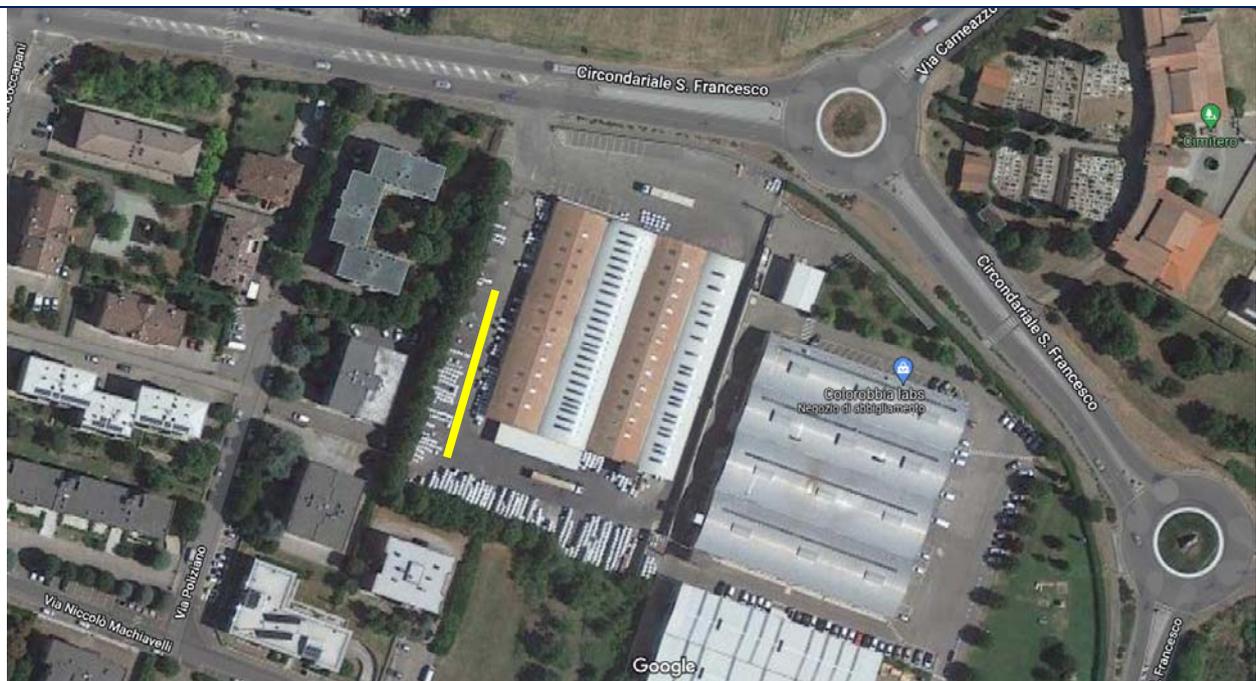
Lavoro: Studio terreno di fondazione

Operatori: Dott. Cristiano Casarini, Dott.ssa Silvia Sernesi

Elaborazione: Dott. Cristiano Casarini

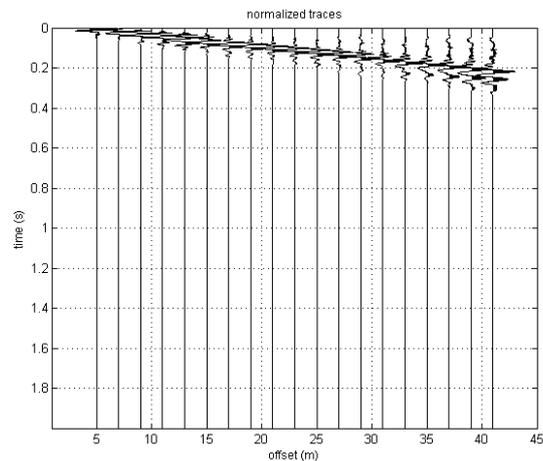
Responsabile: Dott. Geol. Pier Luigi Dallari

MASW
RIF. 519/22

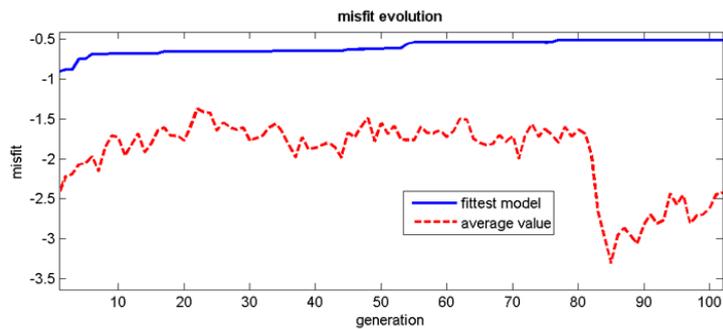
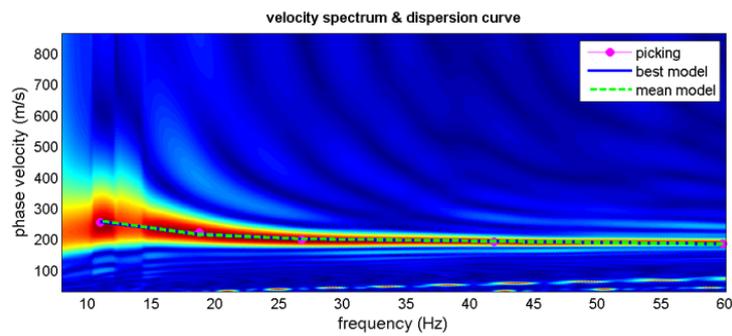
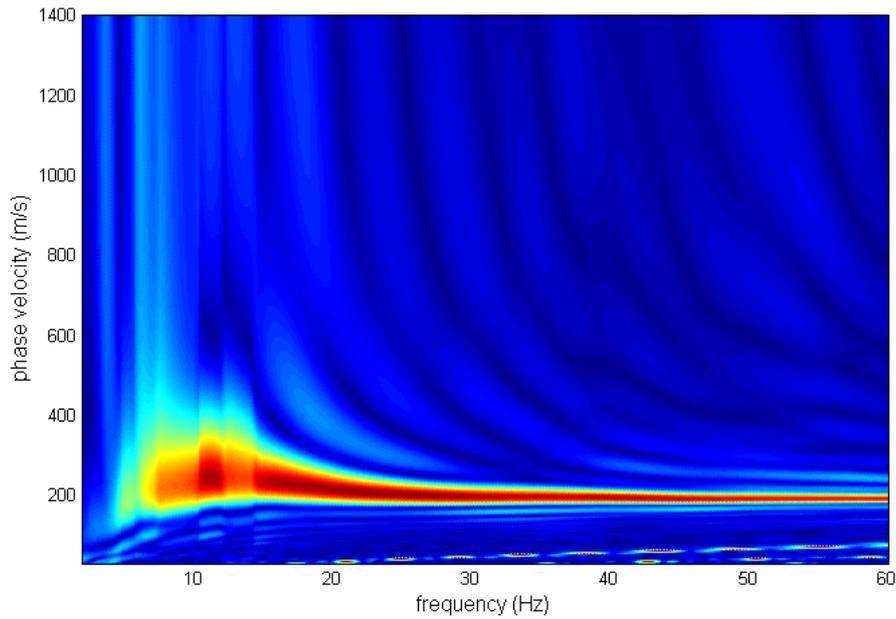


UBICAZIONE DELLO STENDIMENTO SISMICO IMPIEGATO

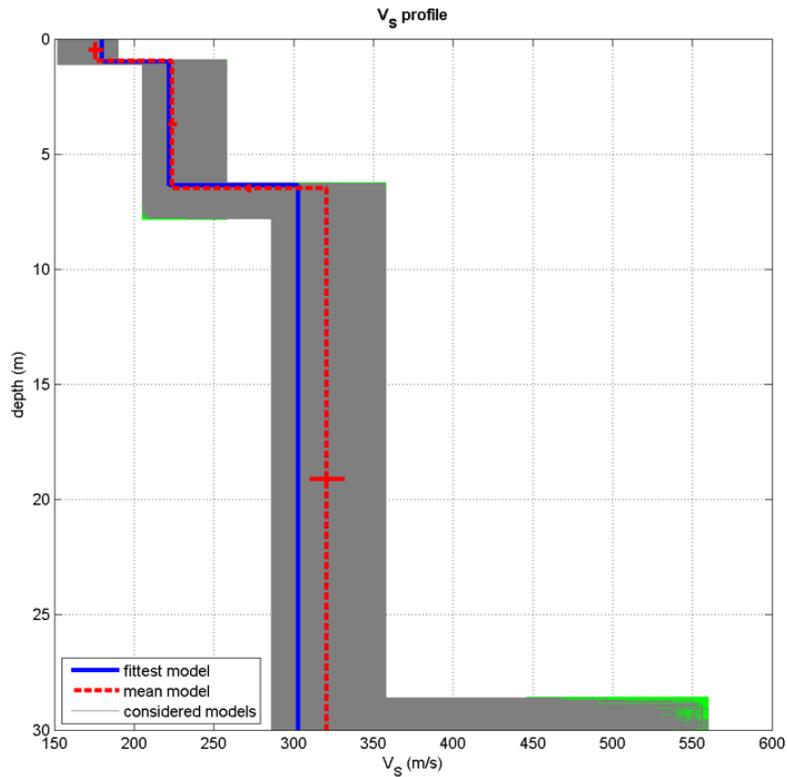
dataset: 1137.dat
sampling: 0.25ms [4000Hz] - 8000 samples
minimum offset: 5 m
geophone spacing: 2 m



SPETTRO RELATIVO ALLE VELOCITÀ DI FASE REGISTRATE NEL DOMINIO DELLE FREQUENZE



MODELLO V_S30 DERIVATO DALL'INDAGINE MASW ESEGUITA



dataset: 1137.dat
 dispersion curve: pick.cdp
 V_S30 (best model): 279 m/s
 V_S30 (mean model): 290 m/s

half-space

Modello geofisico utilizzato		
Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	V_S [m/s]
1.00	1.00	170
7.00	6.00	230
32.00	25.00	320
inf.	inf.	500

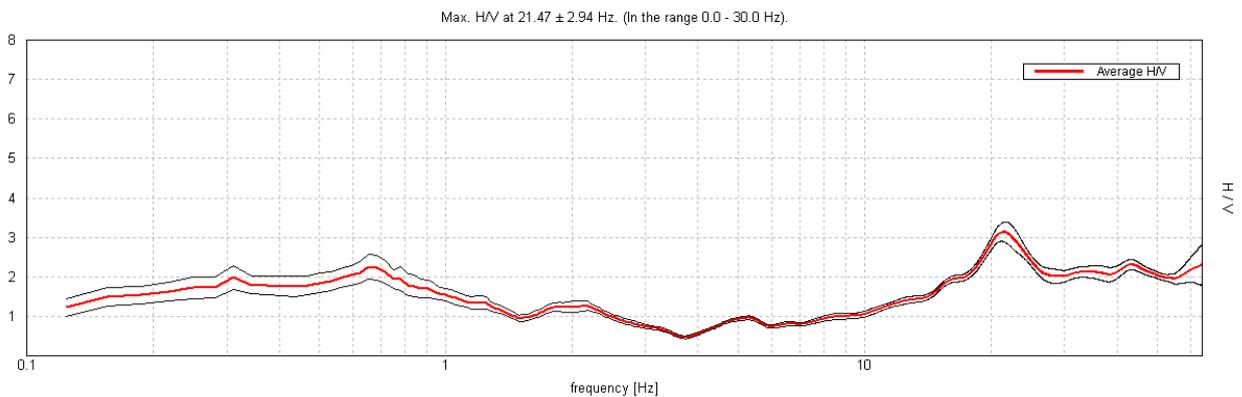
BEST MODEL
 $V_S30 = 279$ m/s

FIORANO - V_S_FRANCESCO, HVSr 1

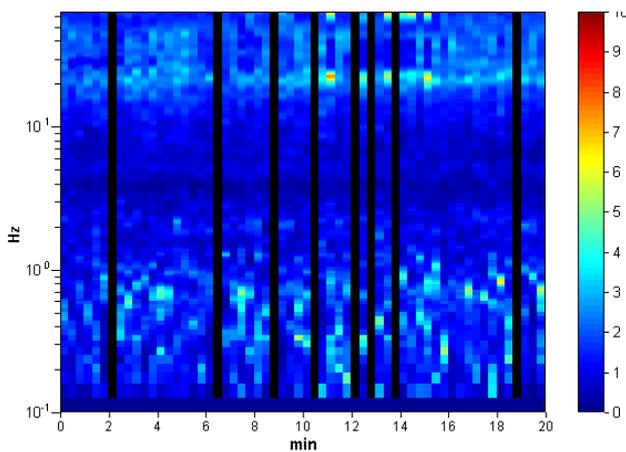
Instrument: TE3-0303/01-17
 Data format: 32 bit
 Full scale [mV]: 51
 Start recording: 10/06/2022 16:11:19 End recording: 10/06/2022 16:31:19
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
 GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 87% trace (manual window selection)
 Sampling rate: 128 Hz
 Window size: 20 s
 Smoothing type: Triangular window
 Smoothing: 10%

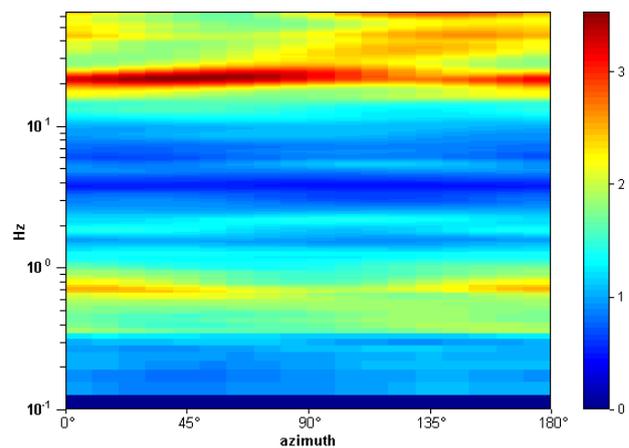
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



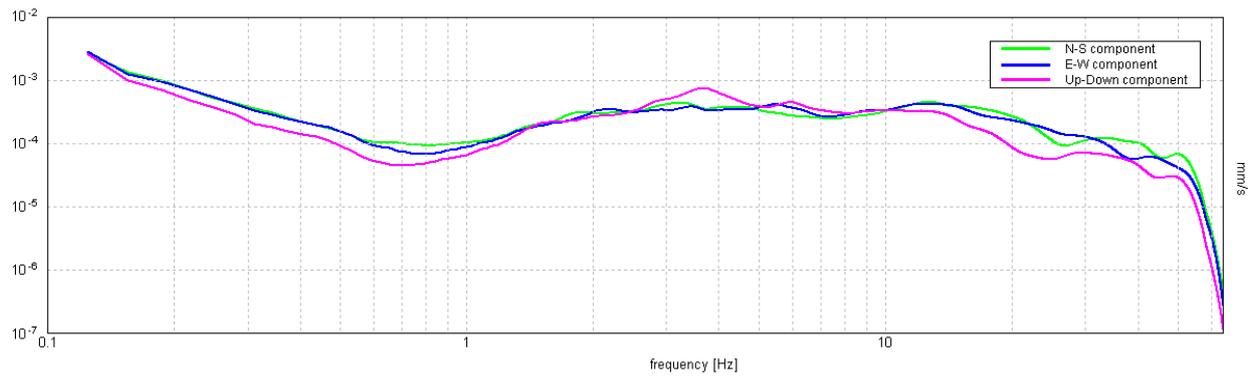
H/V TIME HISTORY



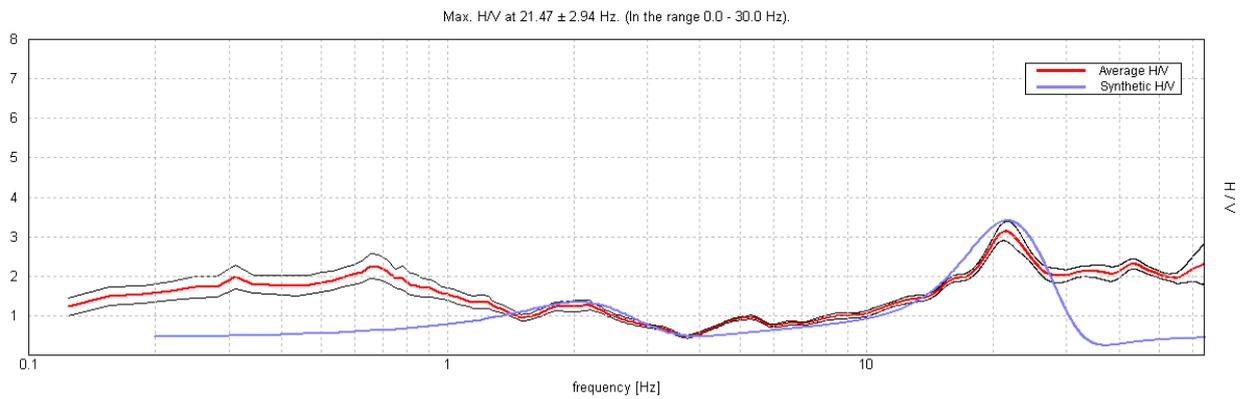
DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA

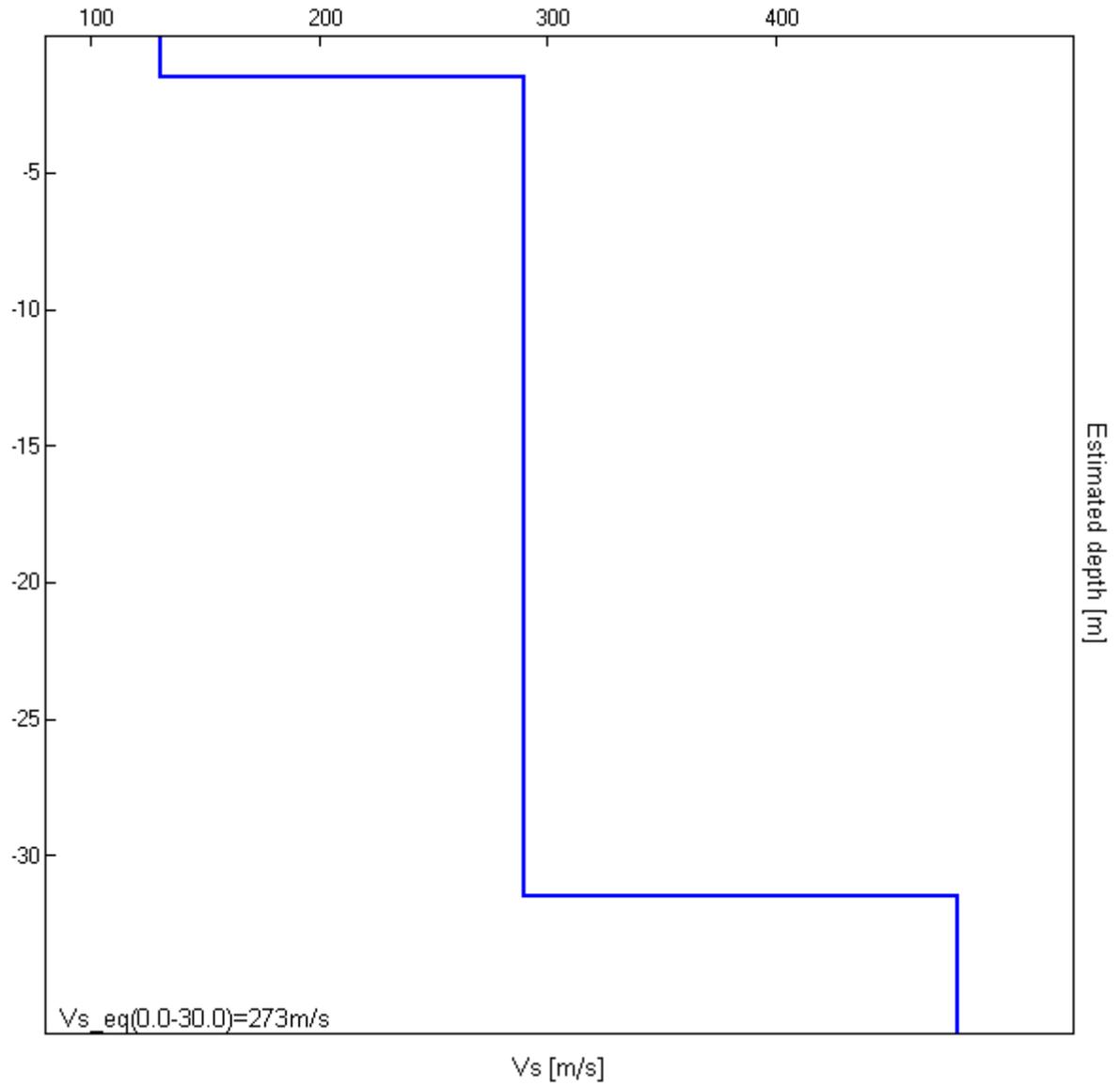


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.50	1.50	130	0.42
31.50	30.00	290	0.42
inf.	inf.	480	0.42

Vs_eq(0.0-30.0)=273m/s



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

Max. H/V at 21.47 ± 2.94 Hz (in the range 0.0 - 30.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	21.47 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	22327.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1032 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	14.5 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	3.14 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.13709 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	2.94312 < 1.07344		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.2463 < 1.58	OK	

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

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

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

ALLEGATO N° 5

VERIFICHE A LIQUEFAZIONE



Sede Legale: Via C. Costa, 182 - 41123 Modena
Uffici: Via Per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo R. (MO)

Tel. 059 3967169 - Fax. 059 5960176
info@geogroupmodena.it
www.geogroupmodena.it

P.IVA 02981500362



LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

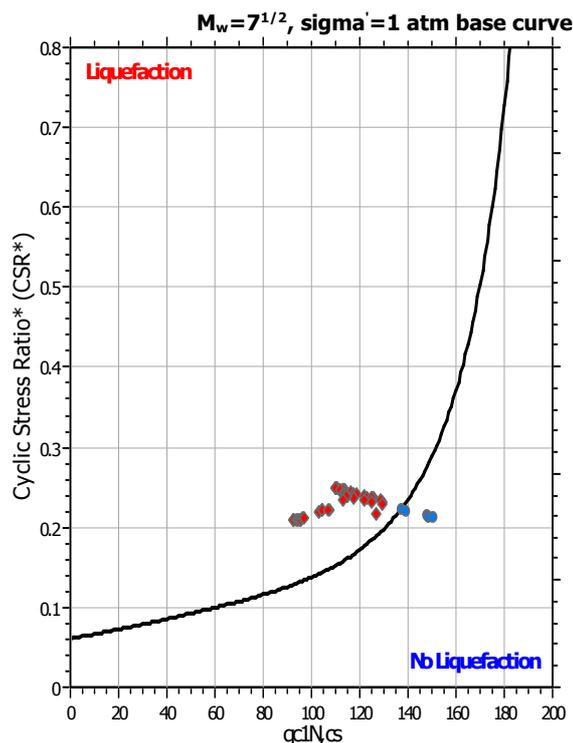
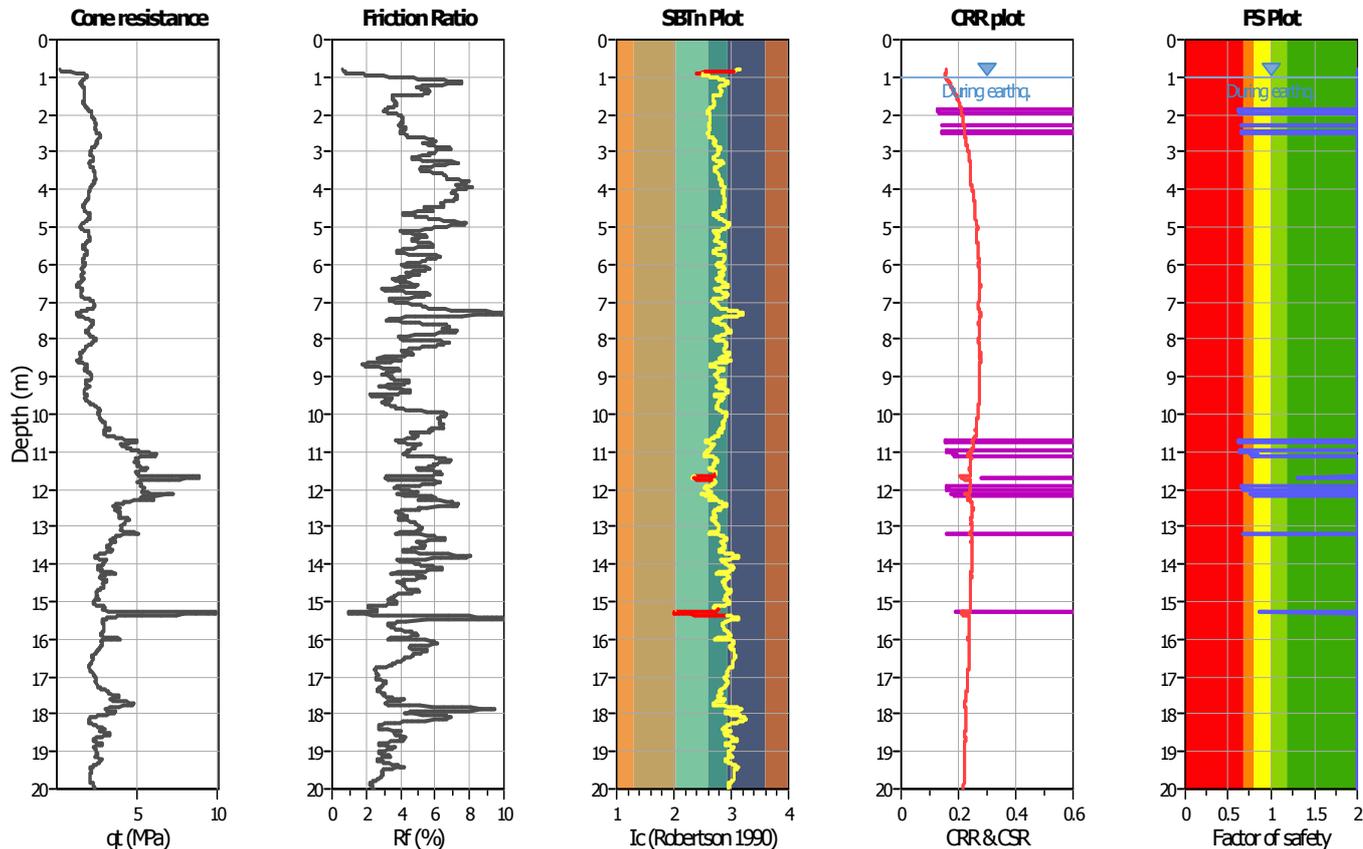
Project title : STUDI DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Location : FIORANO M. (MO) - MAGAZZINO COMUNALE

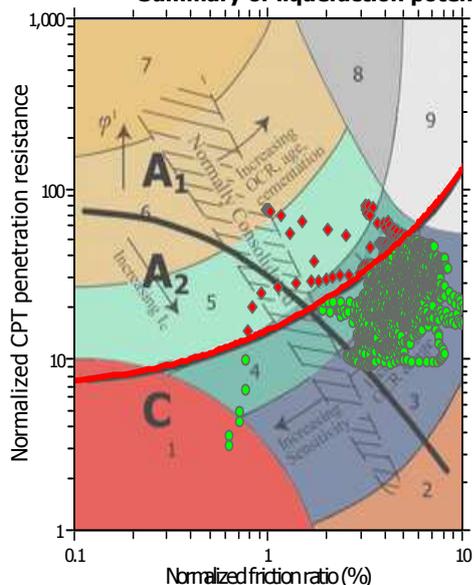
CPT file : CPTu1

Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	1.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	1.00 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	No
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.29	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_σ applied:	Yes	MSF method:	Method

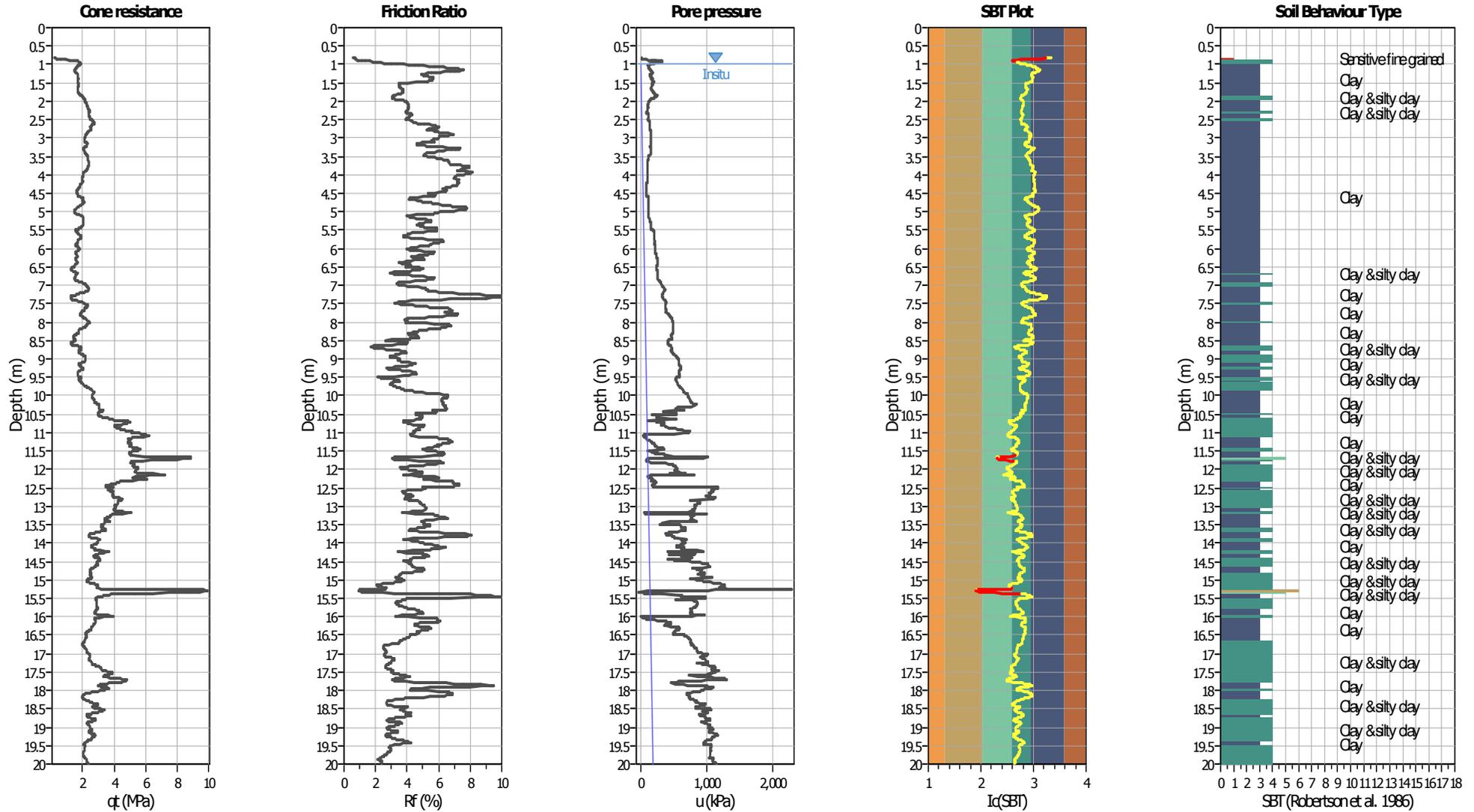


Summary of liquefaction potential



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

CPT basic interpretation plots



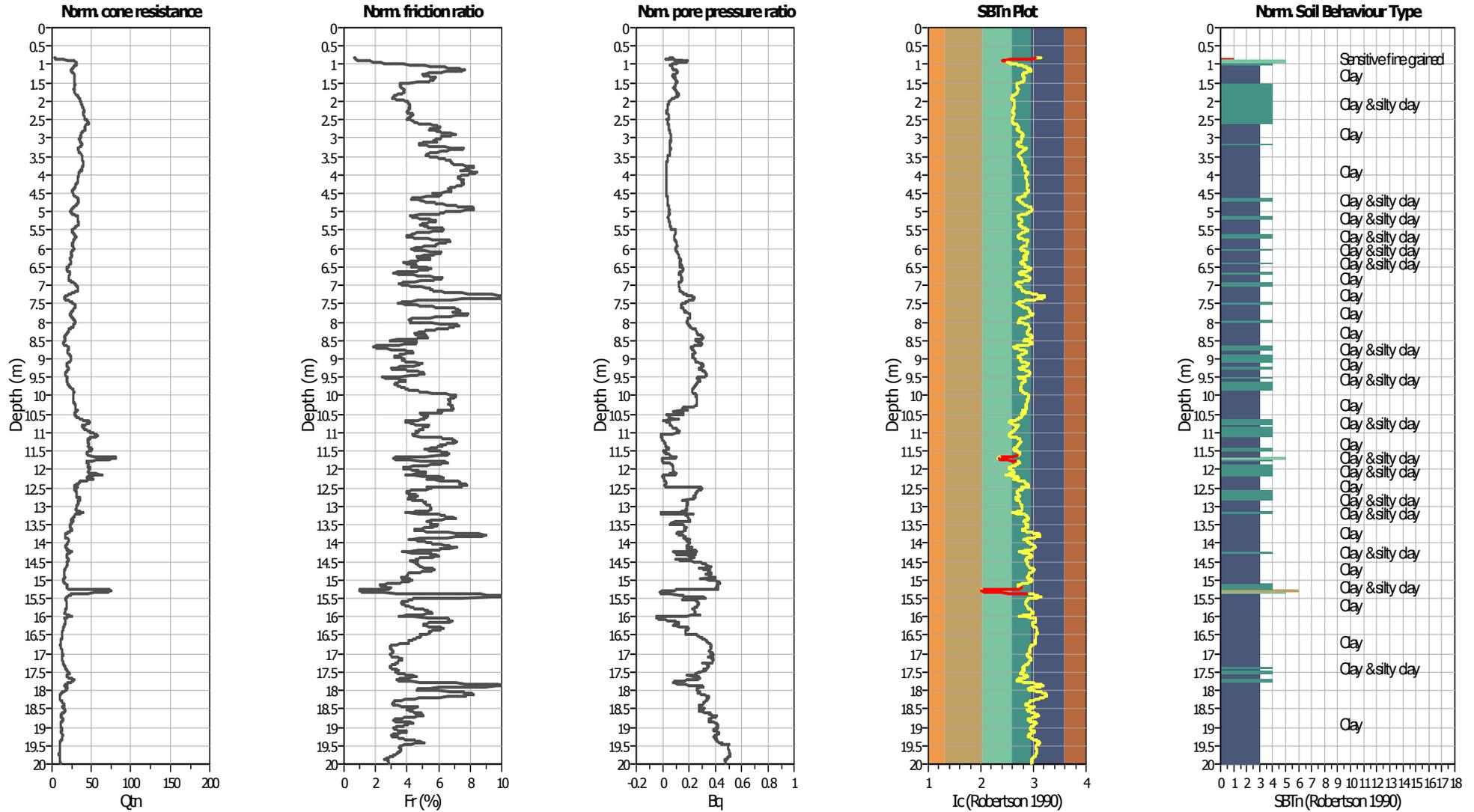
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on I_c value	I_c cut-off value:	2.60	K_p applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.29	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBT legend

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

CPT basic interpretation plots (normalized)



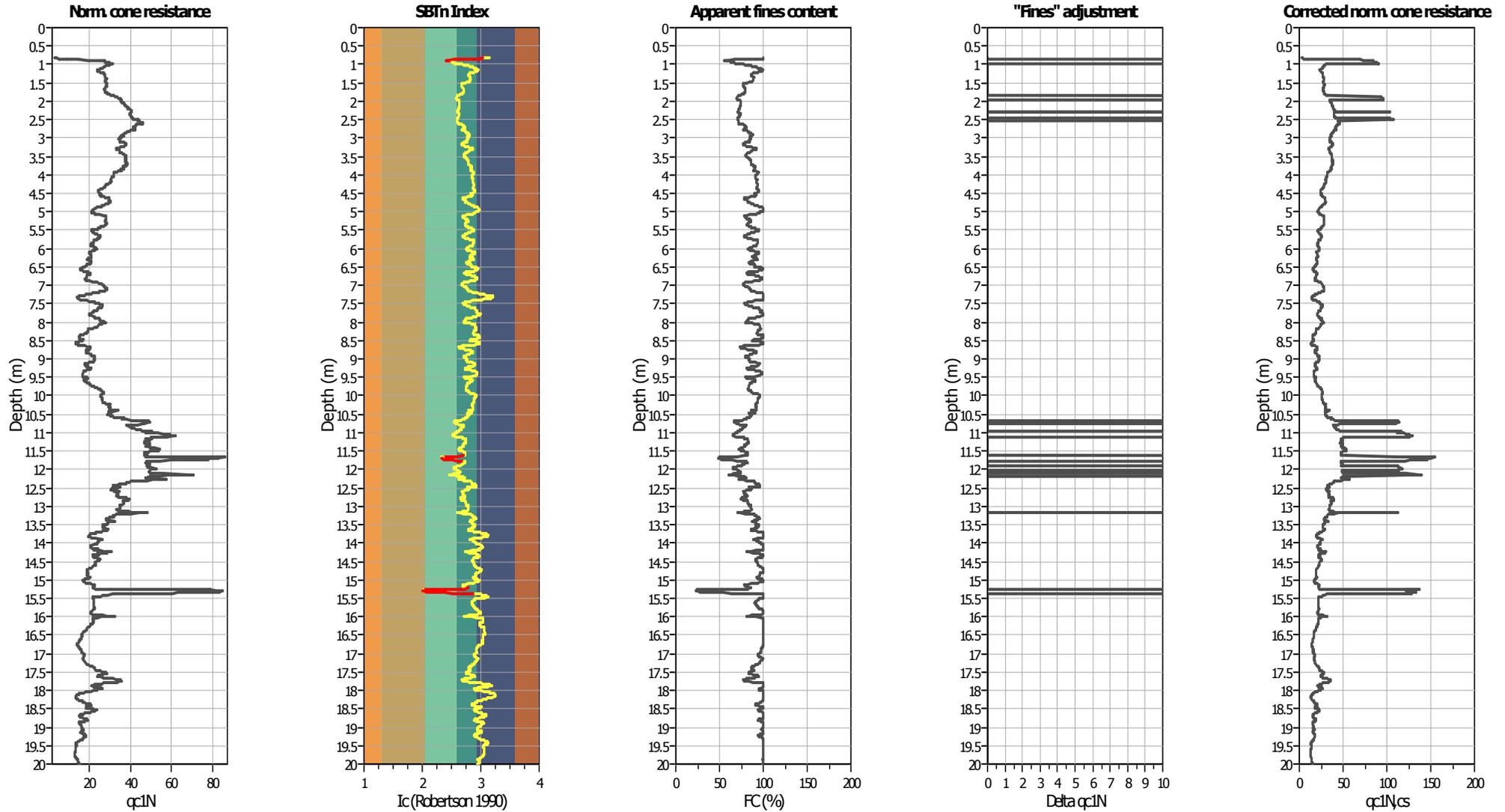
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _q applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.29	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBTn legend

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

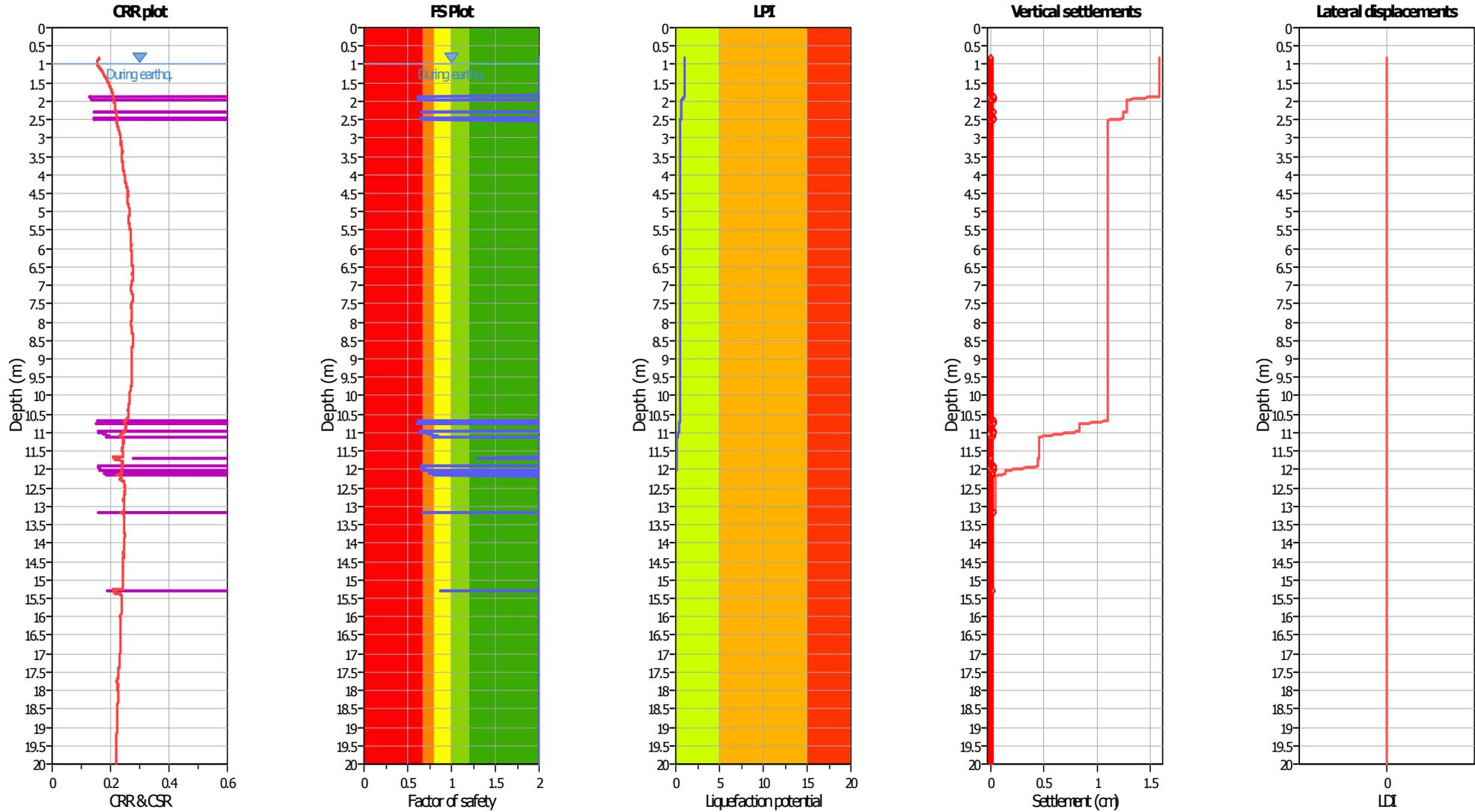
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _q applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.29	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K_{σ} applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.29	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

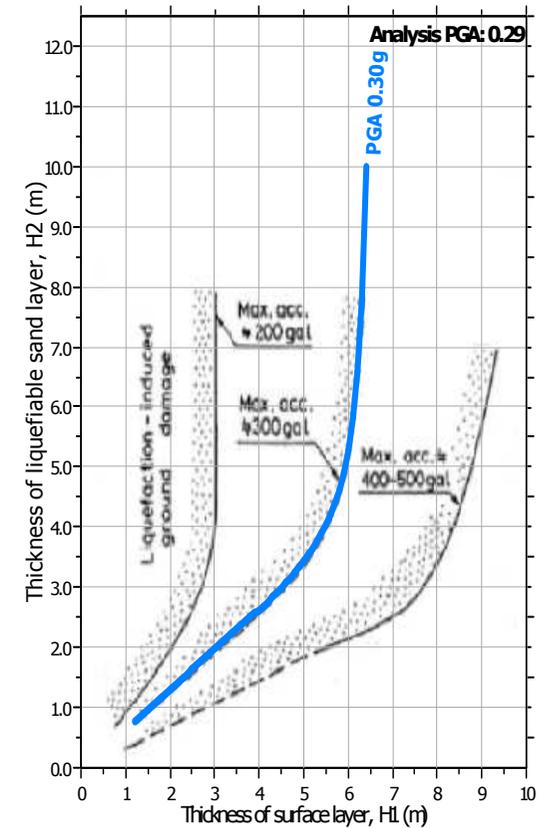
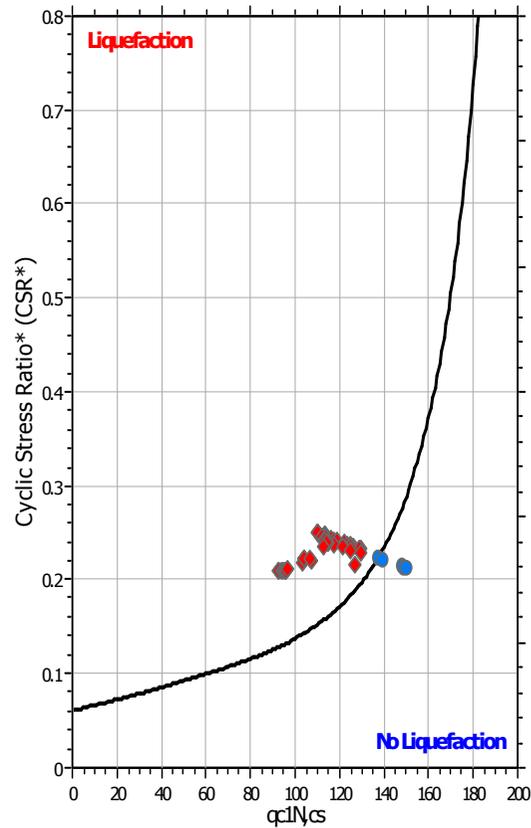
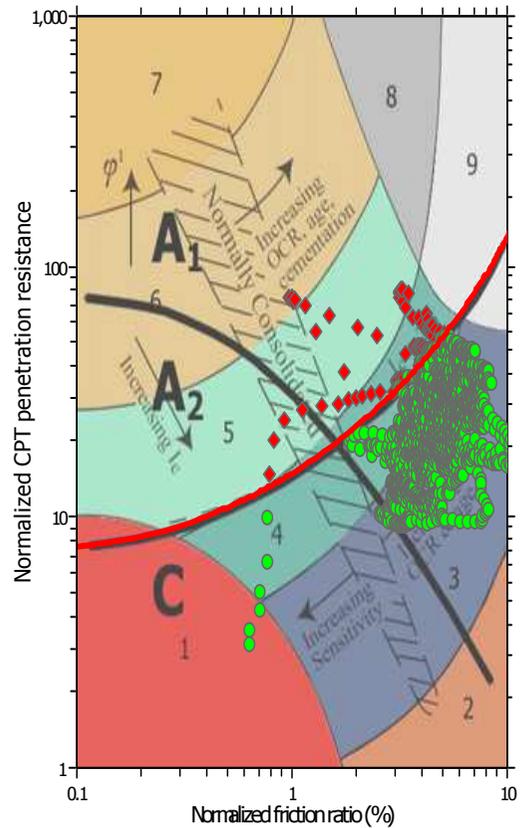
F.S. color scheme

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

LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

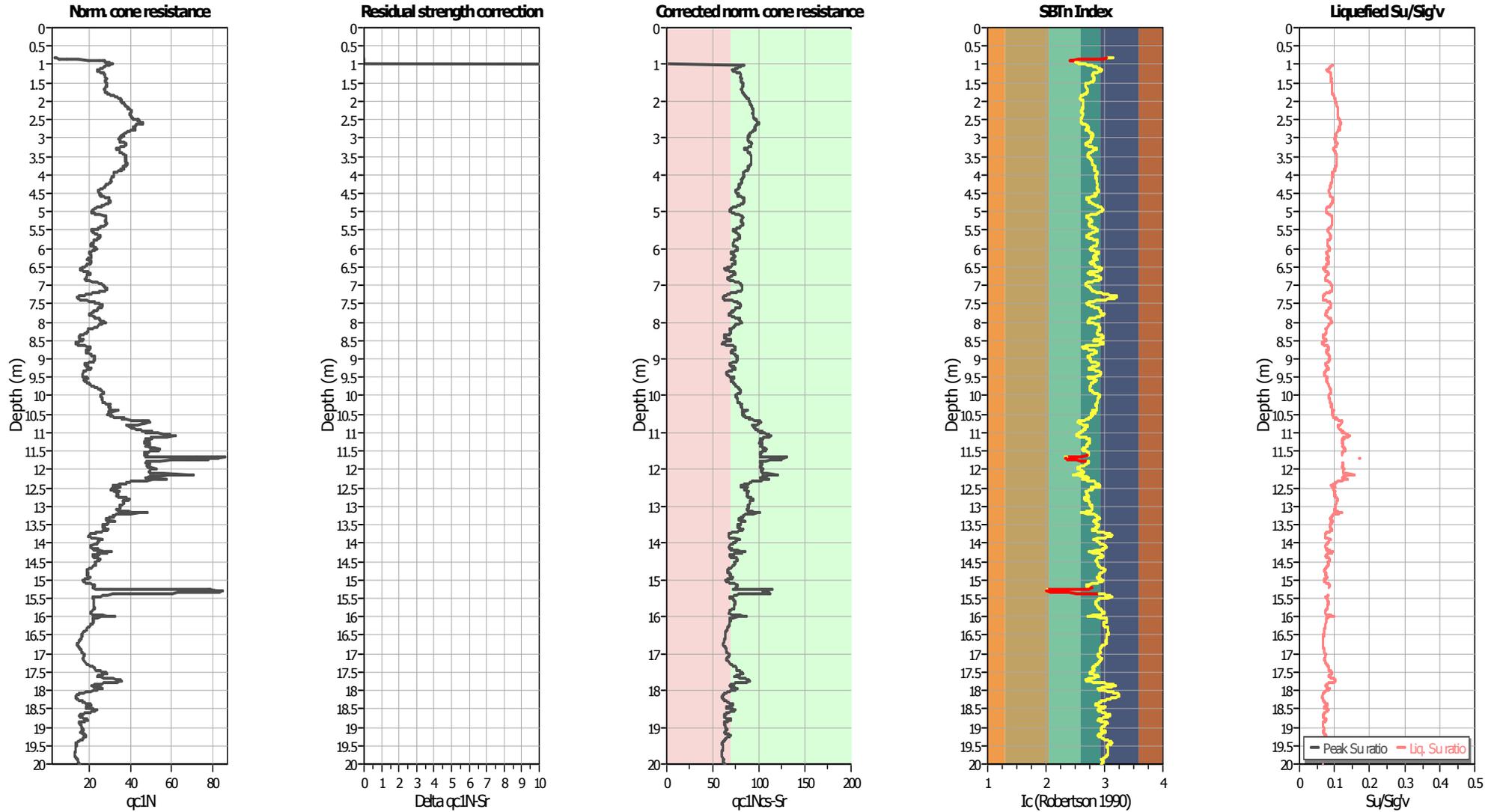
Liquefaction analysis summary plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on I_c value	I_c cut-off value:	2.60	K_{ϕ} applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.29	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

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



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _q applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.29	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

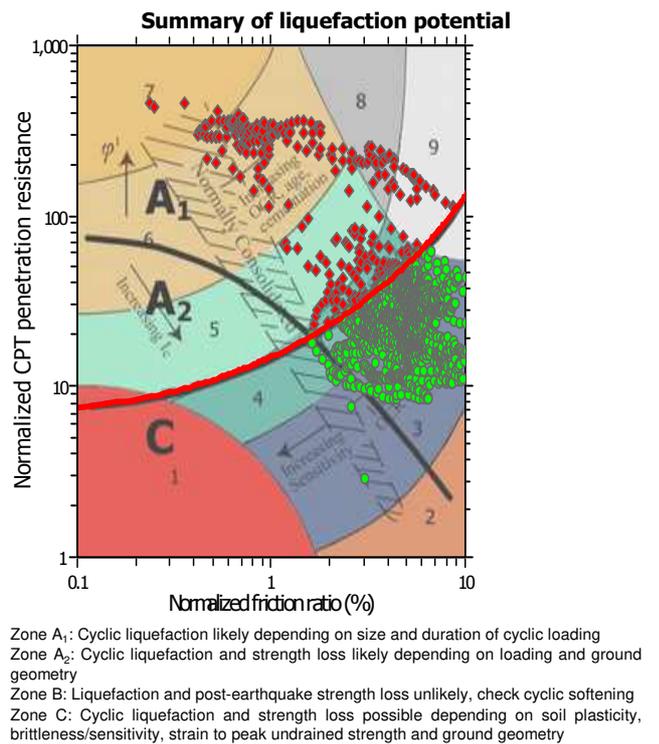
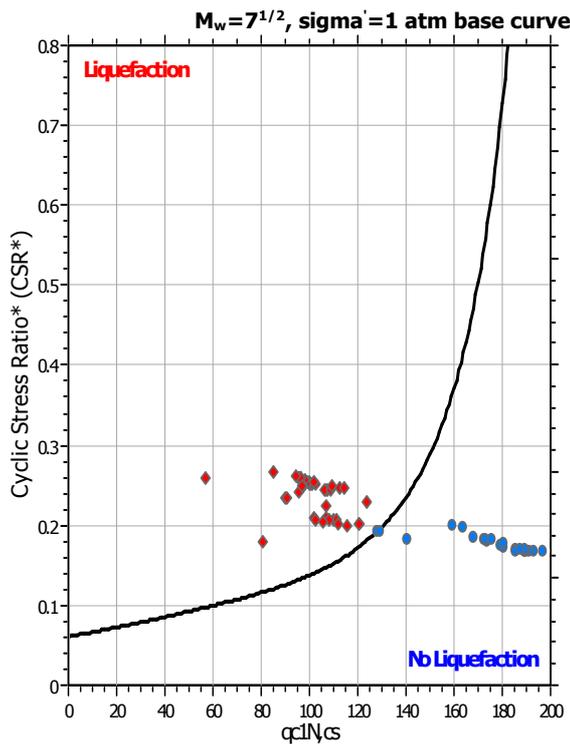
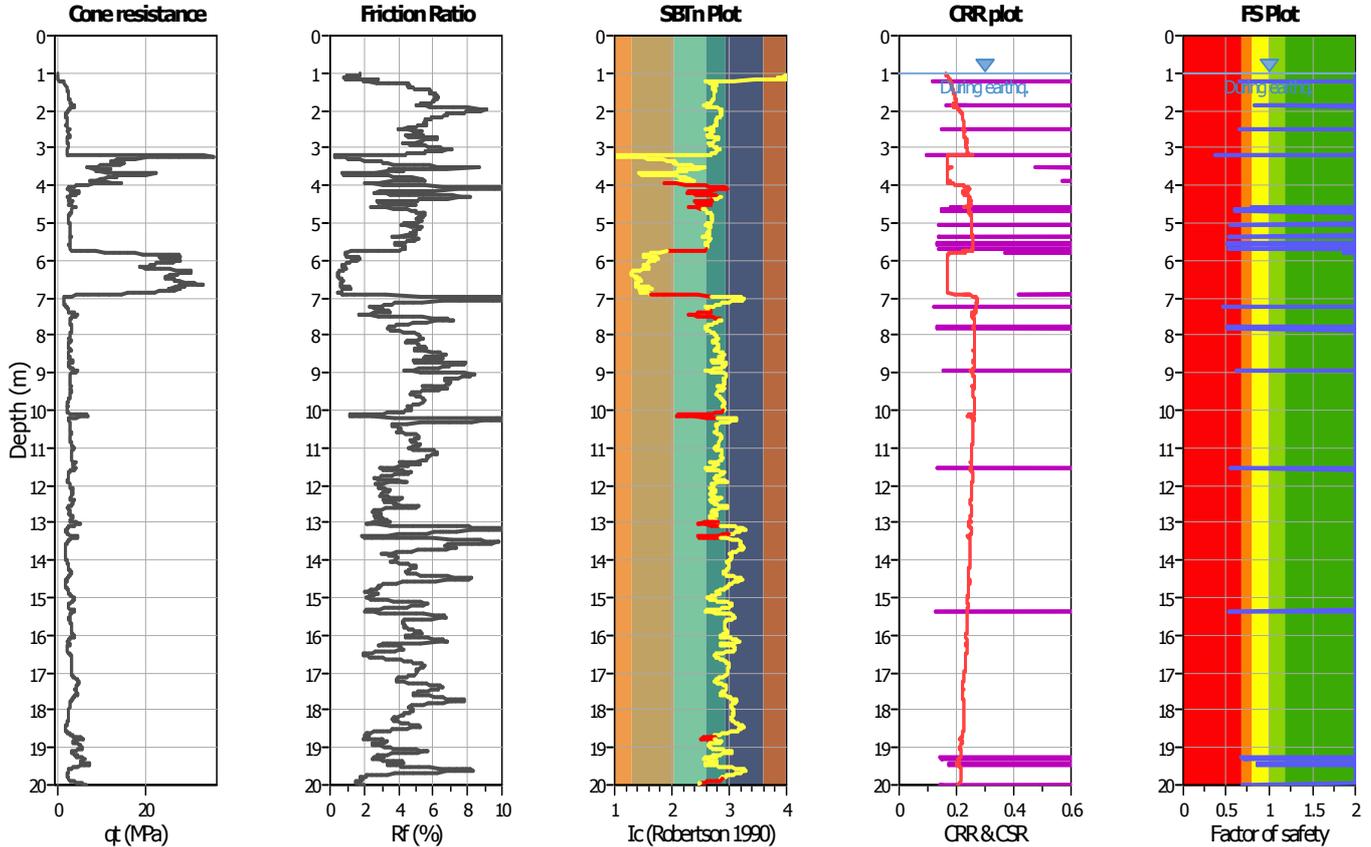
LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

Project title : STUDI DEL TERRENO DI FONDAZIONE
CPT file : CPTu2

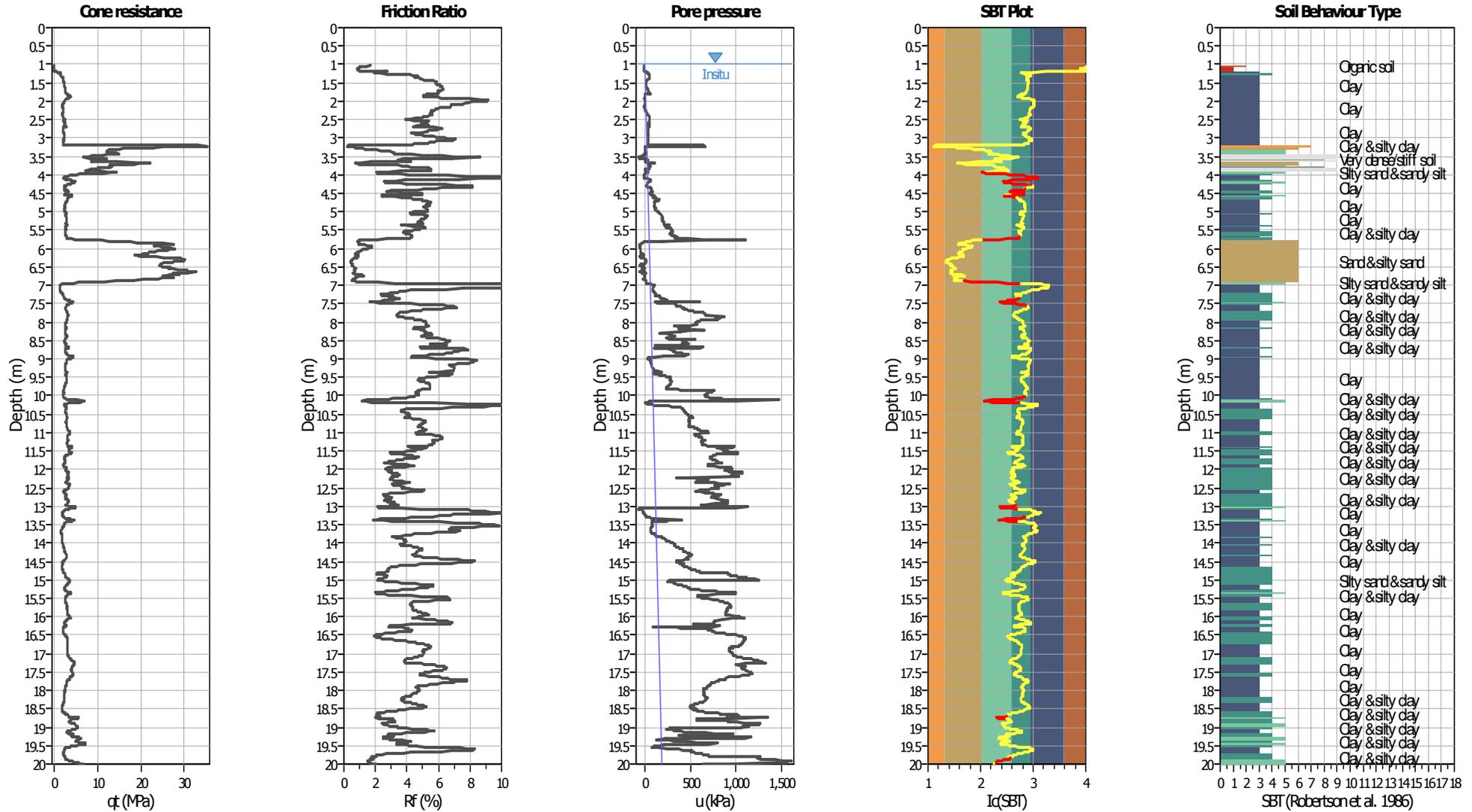
Location : FIORANO M. (MO) - MAGAZZINO COMUNALE

Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	1.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	1.00 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	No
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	Limit depth:	N/A
Peak ground acceleration:	0.29	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_σ applied:	Yes	MSF method:	Method



CPT basic interpretation plots



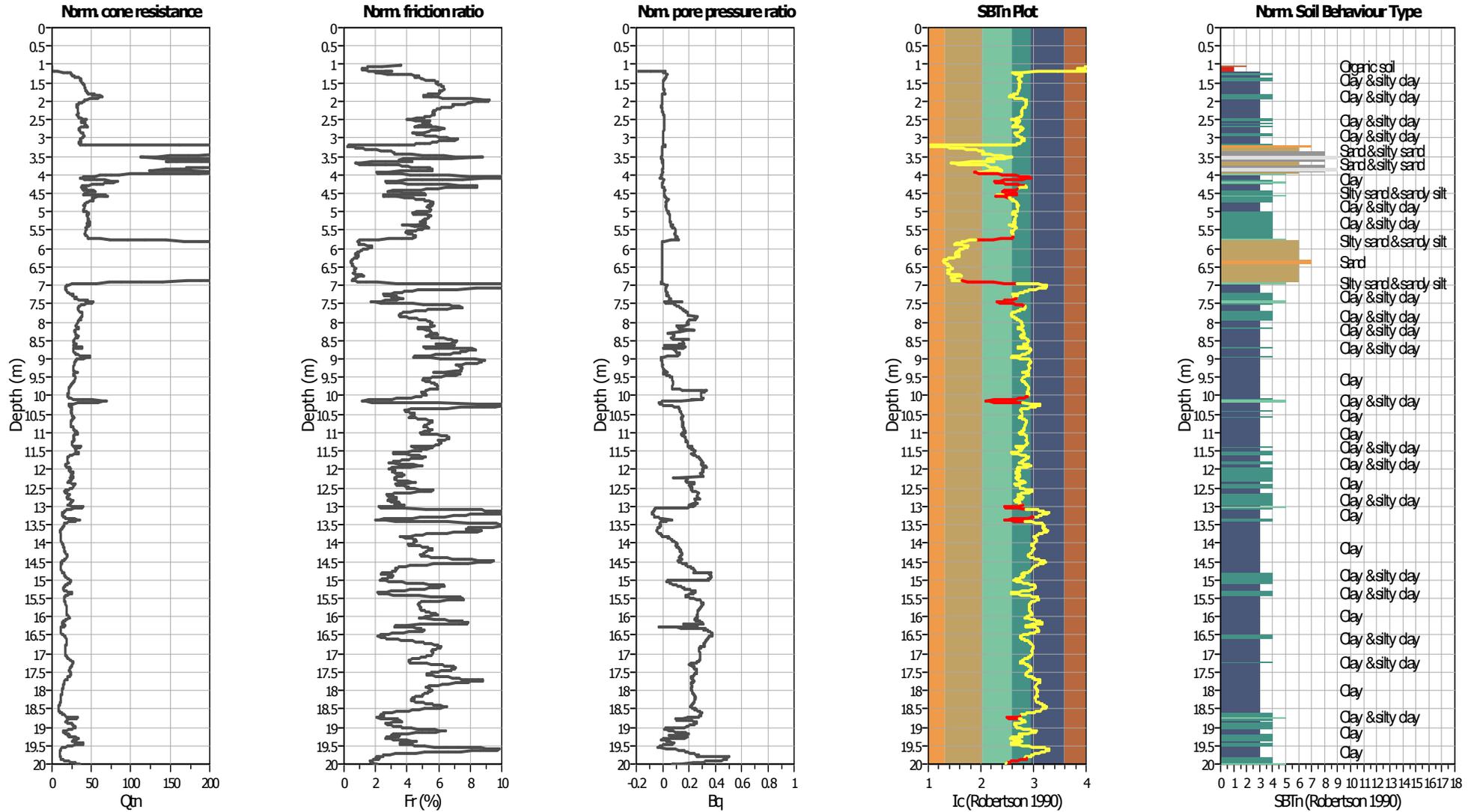
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _q applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.29	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBT legend

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

CPT basic interpretation plots (normalized)



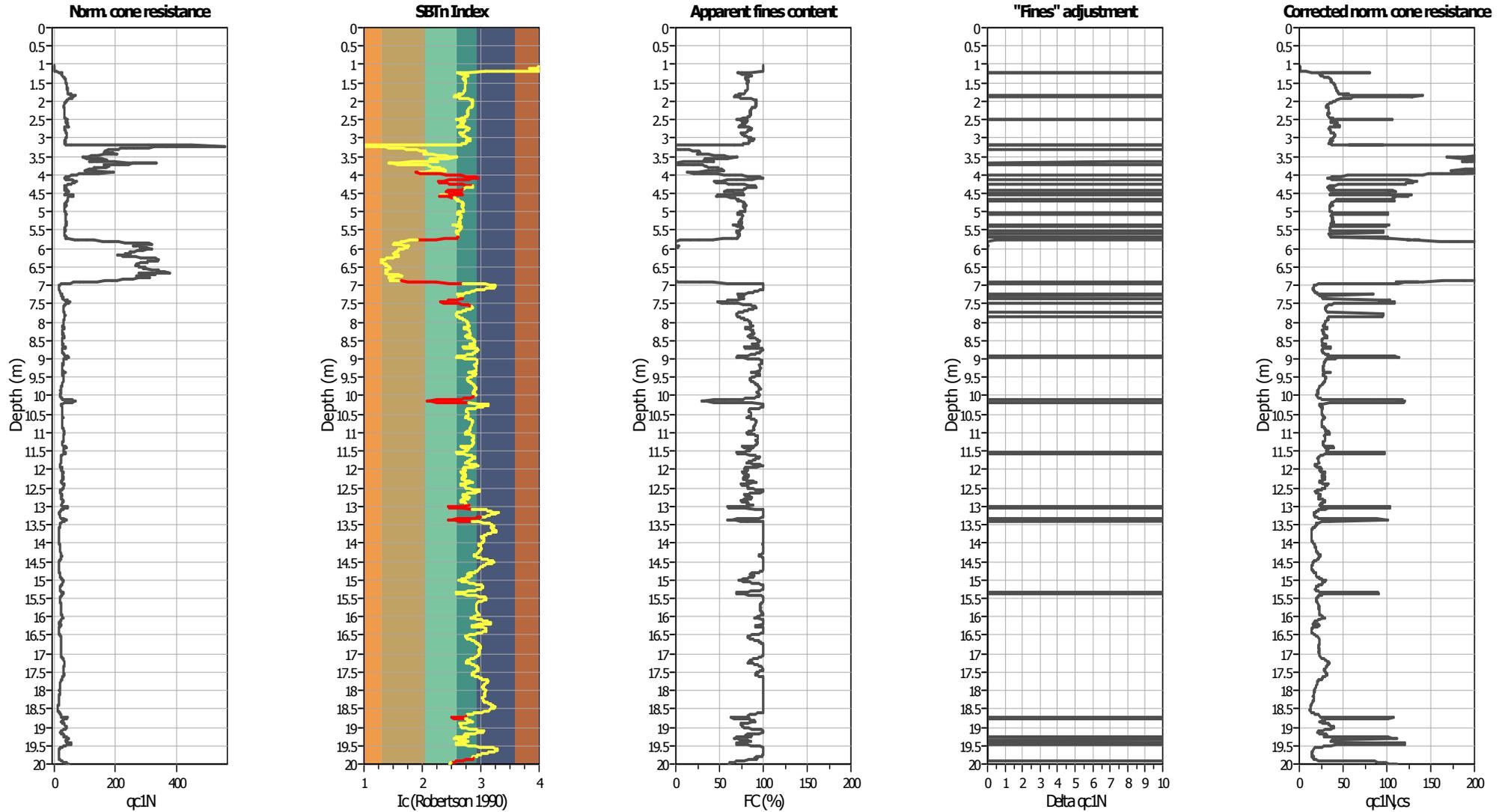
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _q applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.29	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

SBTn legend

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

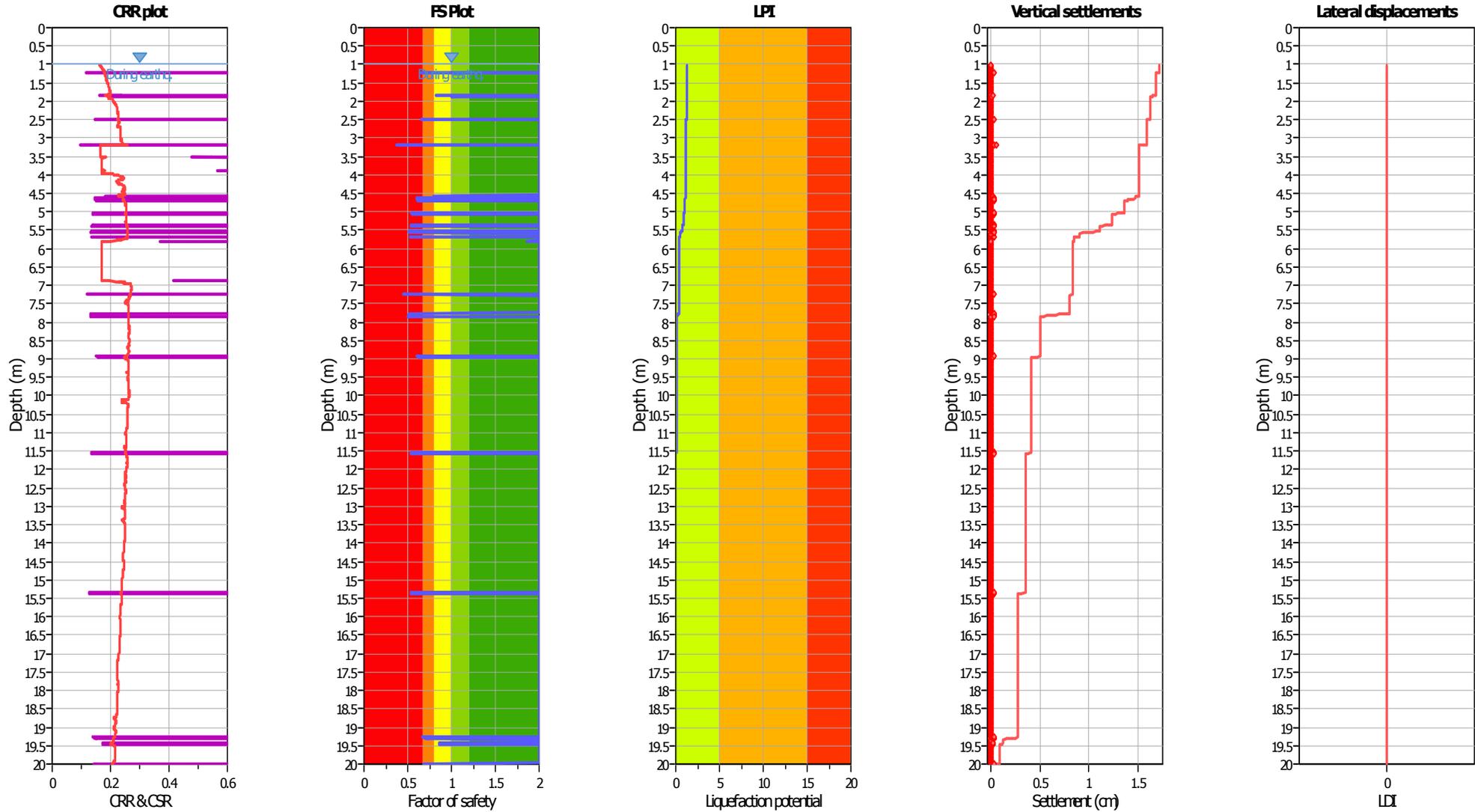
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _q applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.29	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K_{σ} applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.29	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

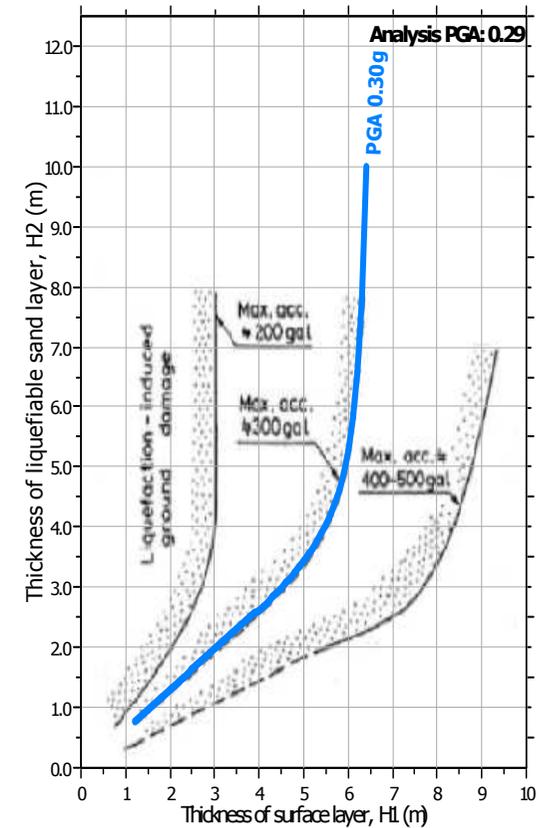
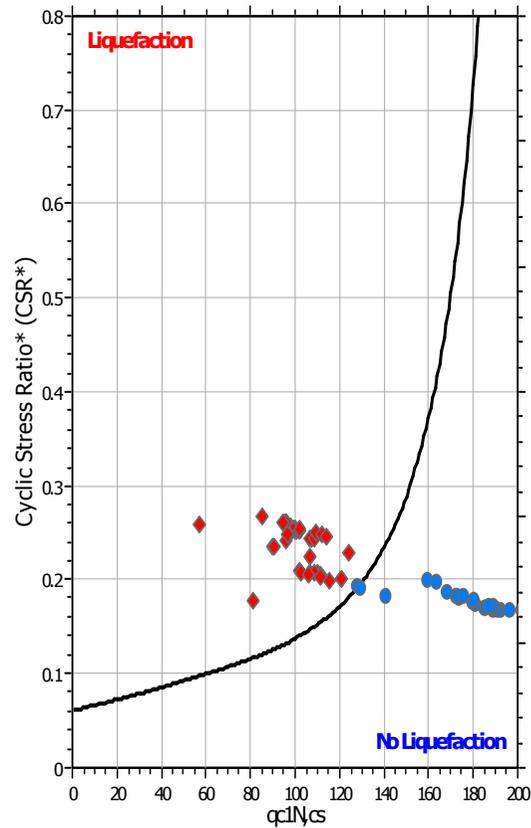
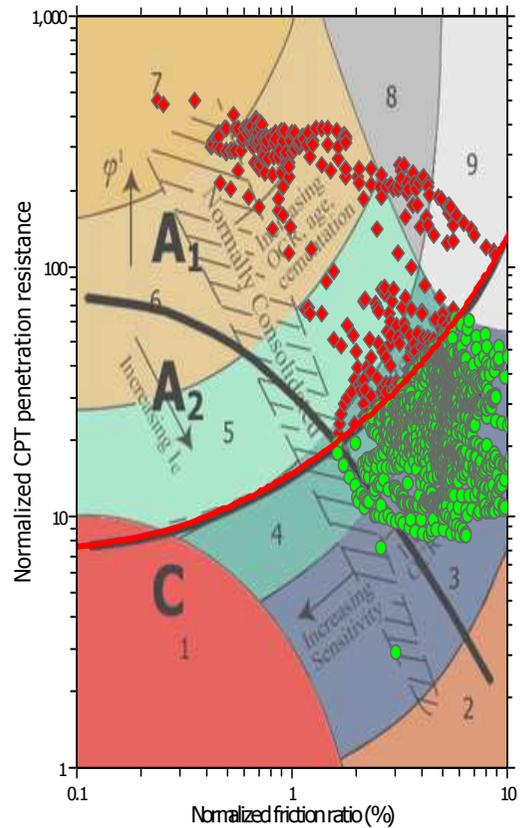
F.S. color scheme

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

LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

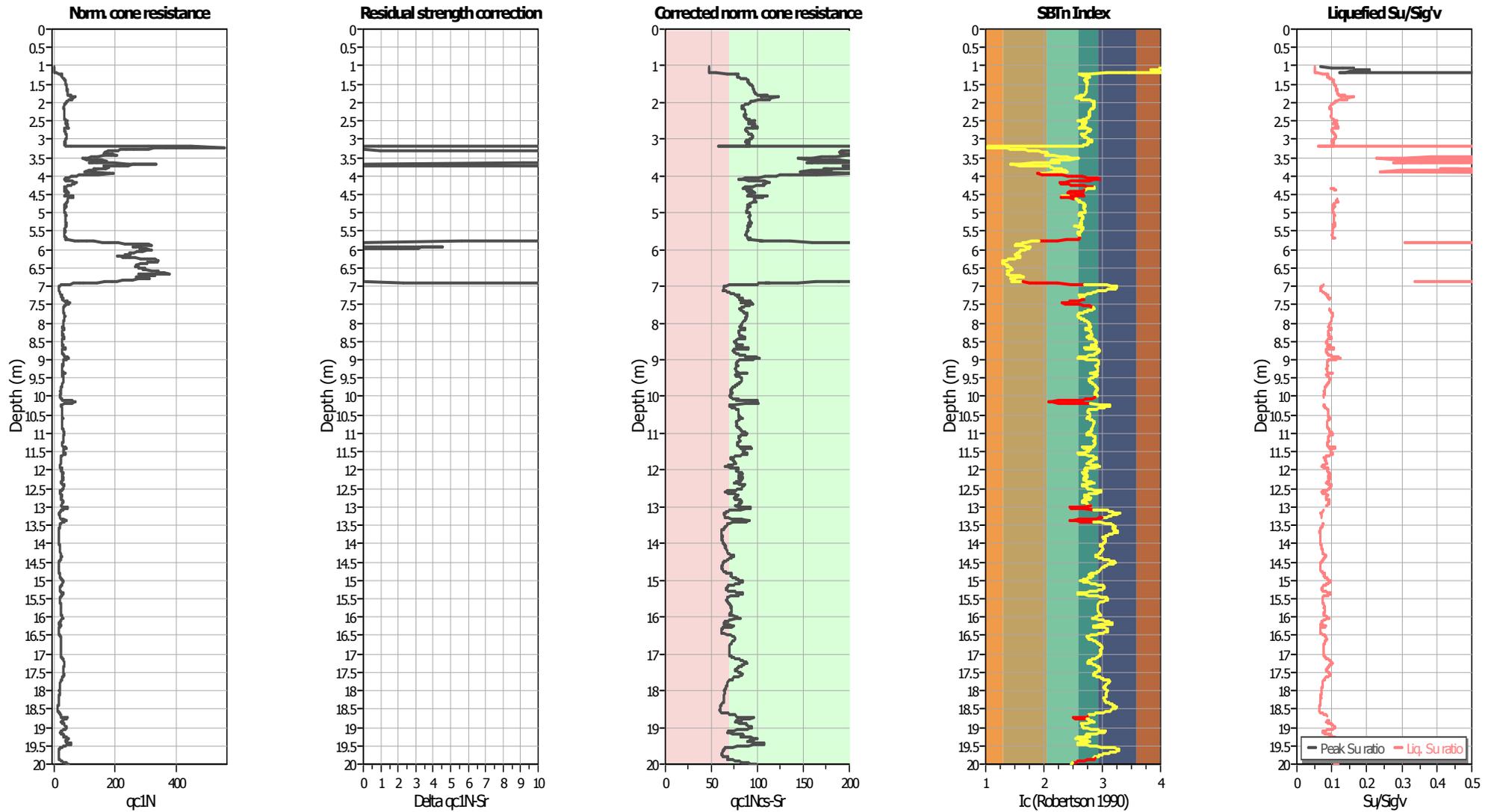
Liquefaction analysis summary plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K_v applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.29	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A

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



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	1.00 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	B&I (2014)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K _q applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.29	Use fill:	No	Limit depth applied:	No
Depth to water table (insitu):	1.00 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	N/A