

Provincia di Modena
Comune di Nonantola

PIANO PARTICOLAREGGIATO DI INIZIATIVA PRIVATA "COMPARTO C.2Z - Zona Sportiva"



COMPARTO NATURA

Proprietà

BORSARI S.p.a.
Via di Mezzo n. 114/E - Nonantola (MO)

Progetto a cura di:



Direttore Tecnico: Ing. Emanuele Gozzi

Coordinatore di Progetto
Ing. Emanuele Gozzi

Progetto Architettonico
Arch. Lorenzo Lipparini
Prof. Giorgio Ascari

Collaboratori al Progetto Architettonico
Ing. Giulia Ansaloni
Arch. Serena Vezzali

Progetto Urbanizzazioni
Ing. Federico Salardi
Collaboratore al Progetto Urbanizzazioni
Ing. Erica Guasconi

Progetto Energetico
Ing. Emilio Lucchese

Progetto Opere a Verde
Dott. in Sc. Agrarie Sara Dallari

Valutazione Clima Acustico
Dott. Geol. Pier Luigi Dallari

Relazione Geologica
Dott. Geol. Pier Luigi Dallari

Relazione Idraulica
Dott. Geol. Pier Luigi Dallari

Relazione sul Traffico
Dott. Geol. Pier Luigi Dallari

Rapporto Preliminare Ambientale
Dott. Geol. Pier Luigi Dallari

Relazione Geologica e Analisi Geotecnica del Terreno

Codice Progetto

1617 EG PR

Scala

-

Codice Elaborato

U-00-A-R-07

b

Febbraio 2023

integrazione

geo

ll

a	Gennaio 2021	emissione	geo	ga
Rev.	Data	Descrizione revisione	Dis.	Contr.

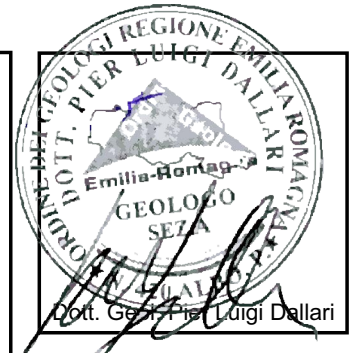
COMUNE DI NONANTOLA

PROVINCIA DI MODENA

Relazione contenente lo studio di “**MICROZONAZIONE SISMICA DEL SITO**”
con verifica del coefficiente di amplificazione del moto
sismico secondo approccio descritto nella normativa della Regione Emilia Romagna,
verifica dei fenomeni di liquefazione e dei cedimenti post-sismici e verifica
della stabilità nei confronti della liquefazione



**Proposta di delocalizzazione della potenzialità
edificatoria derivante dal Comparto “Ex Cantina
Sociale”**



FEBBRAIO 2023
Rif. 55/19

GEO GROUP S.R.L.

UFFICI: via Per Modena, 12 - 41051 Castelnovo R. (MO) SEDE LEGALE: via C.Costa, 182 - 41123 Modena (MO)
tel. 059/3967169; 059/828367 - FAX 059/5960176 p. Iva e C.F.02981500362

Email: info@geogroupmodena.it Pec: geo.group@winpec.it Sito: www.geogroupmodena.it
Operatore APR certificato ENAC per operazioni non critiche – Rif. ENAC 18627

COMUNE DI NONANTOLA

PROVINCIA DI MODENA

Relazione contenente lo studio di “**MICROZONAZIONE SISMICA DEL SITO**” (ai sensi della DGR 2193/2015 RER) con verifica del coefficiente di amplificazione del moto sismico secondo approccio descritto nella normativa della Regione Emilia Romagna, verifica dei fenomeni di liquefazione e dei cedimenti post-sismici.

OGGETTO

Proposta di delocalizzazione della potenzialità edificatoria derivante dal Comparto “Ex Cantina Sociale”

Rif. n. 55/19

LOCALITÀ

Via Provinciale Est
Comune di Nonantola
Provincia Modena

COMMITTENTE

Ingegneri Riuniti Spa



GEO GROUP S.R.L.

UFFICI: via Per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo R. (MO) SEDE LEGALE: via C.Costa, 182 - 41123 Modena (MO)
tel. 059/3967169; 059/828367 - FAX 059/5960176 p. Iva e C.F. 02981500362
Email: info@geogroupmodena.it Pec: geo.group@winpec.it Sito: www.geogroupmodena.it
Operatore APR certificato ENAC per operazioni non critiche – Rif. ENAC 18627

INDICE DEL CONTENUTO

1. PREMESSE	3
1.1 Inquadramento geografico	3
1.2 Riferimenti normativi	4
2. INQUADRAMENTO GENERALE.....	5
2.1 Aspetti geologici generali	5
2.2 Microzonazione sismica Comune di Nonantola	7
3. INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	9
3.1 Campagna geognostica	9
3.2 Metodologie di indagine	10
3.2.1 Prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT e punta elettrica con piezocono CPTU	10
3.2.2 Acquisizione di rumore sismico naturale disperse mediante stazione velocimetrica triassiale (Metodologia HVSR) ...	10
3.2.3 Indagine sismica attiva (MASW);.....	12
3.2.4 Indagine sismica passiva (Re.Mi);.....	12
4. STUDIO MICROZONAZIONE SISMICA (DGR 2193/15 REGIONE EMILIA ROMAGNA)	13
4.1 Primo livello di approfondimento.....	13
4.1.1 Aspetti geologici e geotecnici	13
4.1.2 Frequenze naturali di sito.....	20
4.1.3 Modello idrogeologico di riferimento.....	20
5. TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO	21
5.1 Risultati delle indagini geofisiche e identificazione della categoria di sottosuolo (NTC 2018)	21
5.2 Azione sismica di riferimento secondo specifica analisi di risposta sismica locale RSL.....	22
5.2.1 Modello iniziale	23
5.2.2 Risultati ottenuti	26
6. STABILITÀ DEL SITO NEI CONFRONTI DEI FENOMENI CO-SISMICI.....	31
6.1 Verifica della suscettività del sito ai fenomeni di liquefazione (Approccio DGR 2193/15).....	31
6.2 Verifica dei cedimenti post-sismici (Approccio DGR 2193/15)	33
7. CONCLUSIONI	35

TAVOLE

Tav. n. 1: "Carta topografica"	scala 1: 5000;
Tav. n. 2: "Ripresa satellitare"	scala 1: 3000;
Tav. n. 3: "Carta geologica"	scala 1:5000;
Tav. n. 4: "Ubicazione delle indagini"	scala 1:1500;

ALLEGATI

- ALL. n. 1** Prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono CPTU e con punta meccanica CPT;
- ALL. n. 2** Indagini Geofisiche;
- ALL. n. 3** Verifiche della suscettività del sito al fenomeno di liquefazione;



GEO GROUP S.R.L.

UFFICI: via Per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo R. (MO) SEDE LEGALE: via C.Costa, 182 - 41123 Modena (MO)

tel. 059/3967169; 059/828367 - FAX 059/5960176 p. Iva e C.F. 02981500362

Email: info@geogroupmodena.it Pec: geo.group@winpec.it Sito: www.geogroupmodena.it

Operatore APR certificato ENAC per operazioni non critiche – Rif. ENAC 18627

1. PREMESSE

Nel mese di Febbraio 2019, per incarico dei tecnici progettisti e della proprietà, è stato eseguito il presente studio di Microzonazione Sismica a supporto della proposta di delocalizzazione della potenzialità edificatoria derivante dal Comparto "Ex Cantina Sociale", secondo le disposizioni indicate dalla normativa regionale DGR 2193/15.

La presente analisi geologica è relativa ad un'area agricola sito in corrispondenza di via Provinciale Est all'interno del territorio comunale della città di Nonantola in Provincia di Modena.



Fig. n. 1.1 – Inquadramento satellitare dell'area in oggetto

1.1 Inquadramento geografico

L'area in esame è collocata in corrispondenza di aree agricole, nel settore Est del territorio del Comune di Nonantola (MO). Le coordinate specifiche dell'area in oggetto sono le seguenti:

SITO IN ESAME	
COORDINATE GEOGRAFICHE ED 50	
LATITUDINE	LONGITUDINE
44.675111	11.054736

1.2 Riferimenti normativi

La presente relazione geologica viene redatta ai fini della procedura di variante urbanistica prevista, congiuntamente a supporto della progettazione degli interventi previsti da eseguirsi all'interno dello stabilimento.

Per ottemperare alle richieste della normativa regionale DGR 2193/15 lo studio di microzonazione verrà sviluppato secondo le seguenti fasi:

- Identificazione del modello geologico, idrogeologico, geofisico di riferimento dell'area (I Livello di Approfondimento);
- Identificazione del coefficiente stratigrafico di amplificazione di sito, verifica della suscettività del sito ai fenomeni di liquefazione, analisi dei cedimenti post- sismici (III Livello di approfondimento);



GEO GROUP S.R.L.

UFFICI: via Per Modena, 12 - 41051 Castelnovo R. (MO) SEDE LEGALE: via C.Costa, 182 - 41123 Modena (MO)

tel. 059/3967169; 059/828367 - FAX 059/5960176 p. Iva e C.F. 02981500362

Email: info@geogroupmodena.it Pec: geo.group@winpec.it Sito: www.geogroupmodena.it

Operatore APR certificato ENAC per operazioni non critiche – Rif. ENAC 18627

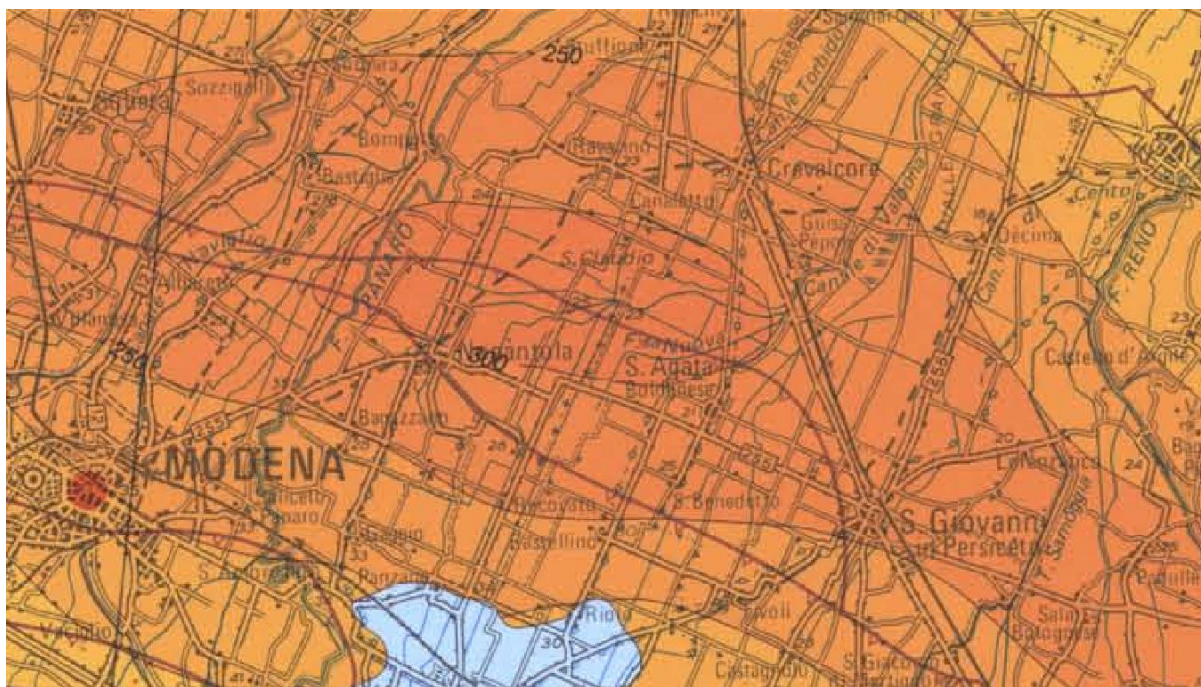


Fig. 2.2 – Estratto della "Carta sismo-tettonica della Regione Emilia Romagna" con indicazione (isolinee) della base del Sintema Emiliano Romagnolo Superiore;

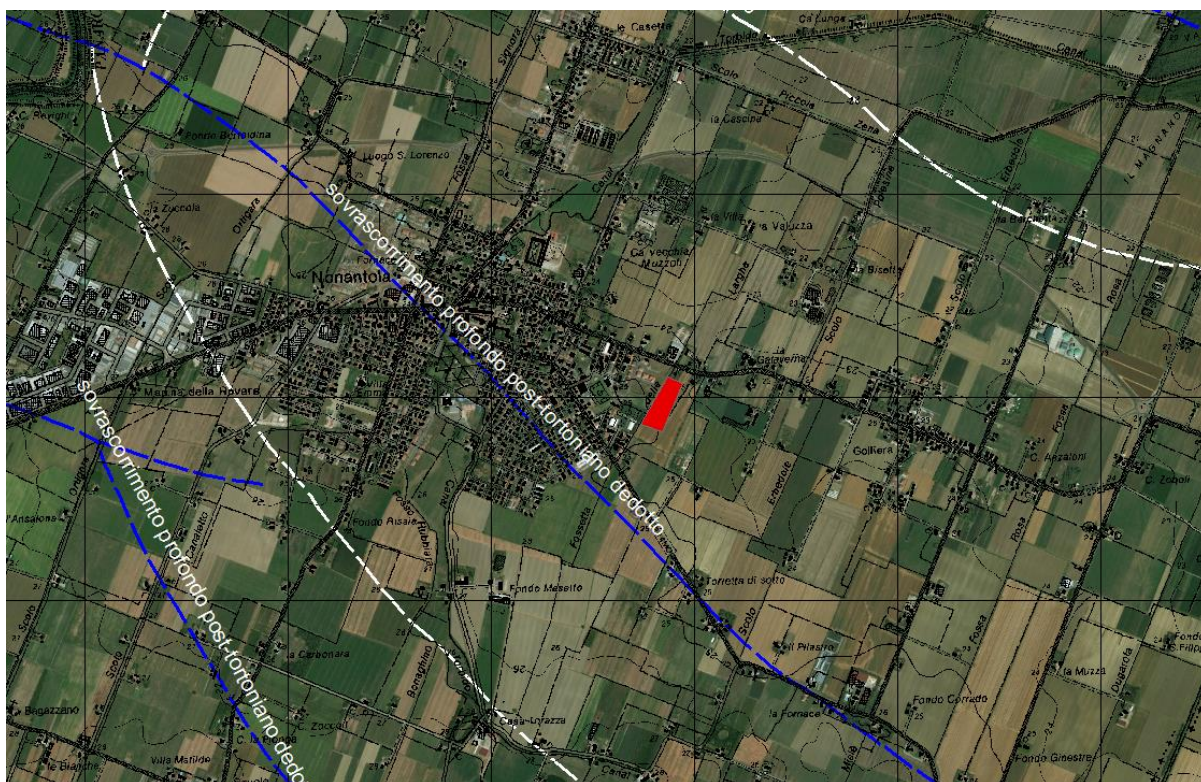


Fig. 2.3 – Interpolazione dei dati geologici profondi RER relativi alla quota del substrato rigido (isolinee bianche) e la configurazione delle deformazioni del substrato rigido;

Consultando la cartografia MOPS di III° livello (F.a. P.G.A.) l'area in esame risulta ricadere in corrispondenza di terreni suscettibili a fenomeni di cedimenti differenziali (Zone suscettibili di instabilità).

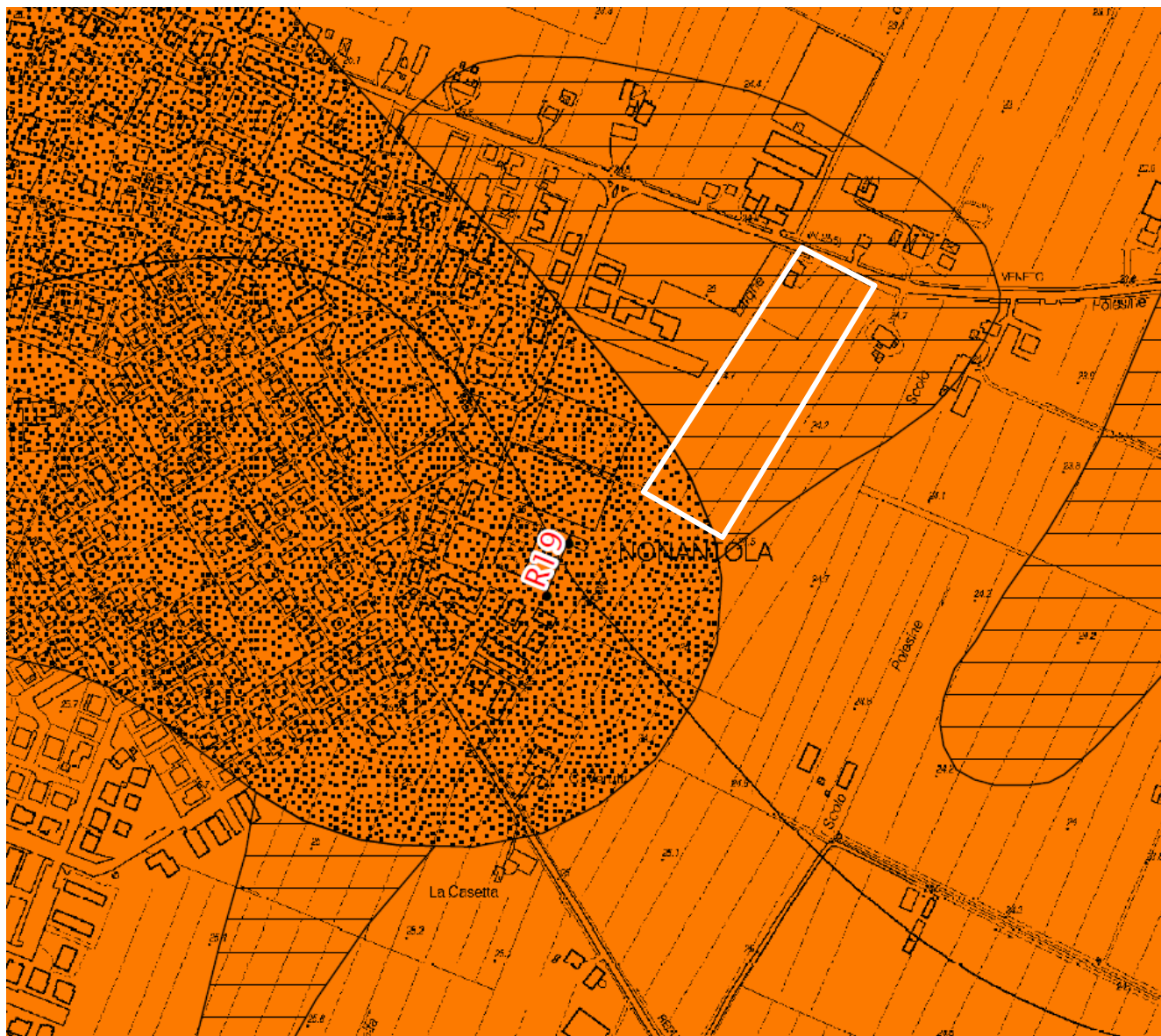


Fig. 2.4 – Estratto della “Carta di microzonazione sismica Livello 3 – F.a. P.G.A.” del Comune di Nonantola



GEO GROUP S.R.L.

tel. 059/3967169; 059/828367 - FAX 059/5960176 p. Iva e C.F. 02981500362

Email: info@geogroupmodena.it Pec: geo.group@winpec.it Sito: www.geogroupmodena.it

Operatore APR certificato ENAC per operazioni non critiche – Rif. ENAC 18627

La cartografia MOPS di I Livello indica la presenza di Argille limose e limi argillosi poco consistenti con intercalati corpi lentiformi sabbioso limosi con spessori tra 1 e 2 metri da moderatamente a poco addensati nei primi 12-13 metri, con l'aumento della profondità argille limose-limi argillosi moderatamente consistenti. Per tali depositi si prevede amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche, potenziali cedimenti differenziali per cedimenti di terreni poco consistenti e densificazione/liquefazione di sottili strati sabbioso limosi.

Per tali aree sono prescritti approfondimenti di III° per stima dei cedimenti. Sulla scorta delle prescrizioni definite dallo studio MS del Comune di Nonantola si procede a sviluppare il presente studio MS secondo approccio di III° livello di approfondimento (DGR 2193/15).



GEO GROUP S.R.L.

UFFICI: via Per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo R. (MO) SEDE LEGALE: via C.Costa, 182 - 41123 Modena (MO)

tel. 059/3967169; 059/828367 - FAX 059/5960176 p. Iva e C.F. 02981500362

Email: info@geogroupmodena.it Pec: geo.group@winpec.it Sito: www.geogroupmodena.it

Operatore APR certificato ENAC per operazioni non critiche – Rif. ENAC 18627

3. INDAGINI GEOGNOSTICHE

3.1 Campagna geognostica

Con la finalità di definire il modello stratigrafico, geotecnico e sismico relativamente all'area oggetto di studi di microzonazione sismica e ottemperare alle richieste della normativa urbanistica regionale DGR 2193/15:

- n° 2 prove penetrometriche statiche con punta elettrica CPTU;
- n° 1 prova penetrometrica statica con punta meccanica CPT;
- n° 1 indagine sismica attiva secondo metodologia MASW;
- n° 1 indagine sismica passiva secondo metodologia Re.Mi;
- n° 1 indagine sismica passiva secondo metodologia HVSR;

Alla tavola n. 4 è illustrata la planimetria di dettaglio relativa al posizionamento planimetrico dei punti di sondaggio. Si procede, nel capitolo successivo, a descrivere le metodologie di indagine e analisi adottate a supporto della redazione del presente documento.



Fig. n. 3.1 – Ubicazione delle indagini geognostiche (Febbraio 2019)

3.2 Metodologie di indagine

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

Per quel che concerne le caratteristiche tecniche delle strumentazioni impiegate per l'esecuzione delle prove penetrometriche CPT e CPTU si faccia riferimento a quanto esposto negli allegati successivi.

3.2.2 Acquisizione di rumore sismico naturale disperso mediante stazione velocimetrica triassiale (Metodologia HVSR)

Per la definizione delle frequenze naturali di vibrazione dei depositi superficiali presenti, è stata svolta una campagna di acquisizione di rumore sismico naturale disperso mediante n. 2 registrazioni a stazione singola velocimetrica triassiale (Strumentazione TROMINO 3G MOHO). La durata delle acquisizioni eseguite è pari a $T = 1200$ s in conformità a quanto esposto nelle linee guida "Guideline for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations" imposte dal SESAME European research project (2004).

La tecnica HVSR è una metodologia di rilievo geofisico che consente di valutare alcune caratteristiche di depositi sedimentari. Tale tecnica è risultata idonea per valutare il periodo fondamentale di depositi sedimentari, in modo particolare quando l'impedenza di questi è in grande contrasto con l'impedenza del bedrock. La principale applicazione della tecnica del rapporto spettrale H/V è quindi quella di consentire in modo semplice e veloce l'identificazione della frequenza fondamentale f_0 del sito.

La tecnica HVSR consente quindi di valutare la frequenza fondamentale di risonanza di uno strato soffici a partire dalle sole registrazioni del rumore in superficie. Se si considera la struttura geologica tipica di un deposito sedimentario, il tremore registrato in superficie è assimilabile alla composizione di onde superficiali e di onde di volume. Tali onde verranno modificate dall'azione filtrante dello strato soffici. Si possono definire due spettri relativi alle misure del moto superficiale orizzontale (H_f) e verticale (V_f); tali spettri sono legati agli spettri delle onde di volume e di quelle di superficie dalle seguenti formule:

$$V_f = A_v * V_h + V_s$$

$$H_f = A_h * H_b + H_s$$

dove A_h e A_v sono i fattori di amplificazione del moto orizzontale e verticale delle onde di volume; H_b e V_b sono gli spettri orizzontale e verticale del moto nel bedrock e H_s e V_s sono gli spettri del moto orizzontale e verticale delle onde di superficie. Nella tecnica HVSR il rapporto H/V è esprimibile come:

$$\frac{H}{V} = \frac{H_f}{V_f} = \frac{H_b}{V_b} * \frac{A_b + \frac{H_s}{H_h}}{A_v + \frac{V_s}{V_b}}$$

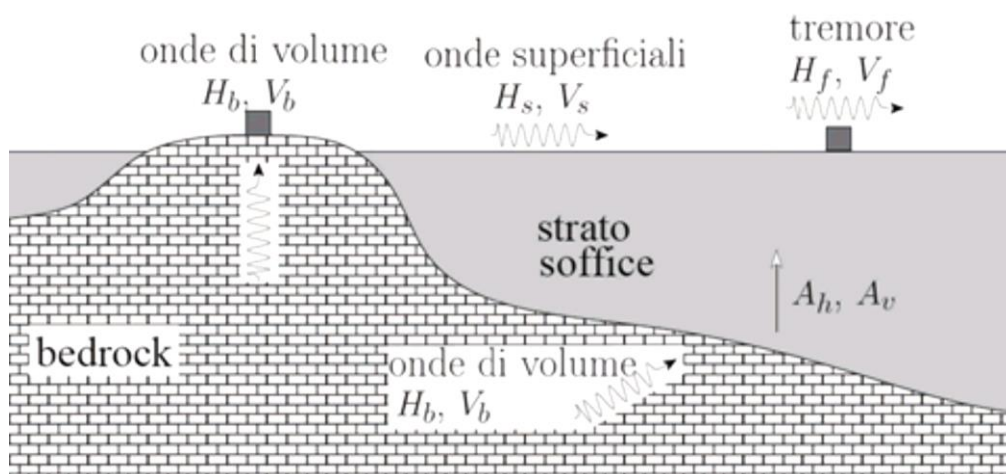


Fig. n. 3.2 – Struttura geologica di un deposito sedimentario

Per basse frequenze ($f < (2-3)f_0$) non c'è amplificazione significativa del moto verticale; inoltre, gli spettri H_b e V_b nel bedrock non hanno ancora ricevuto alcuna rilevante amplificazione. Con l'ulteriore ipotesi di predominanza delle onde provenienti dal bedrock su quelle superficiali si può dimostrare che il rapporto H/V è una approssimazione per difetto del fattore di amplificazione orizzontale A_h cercato

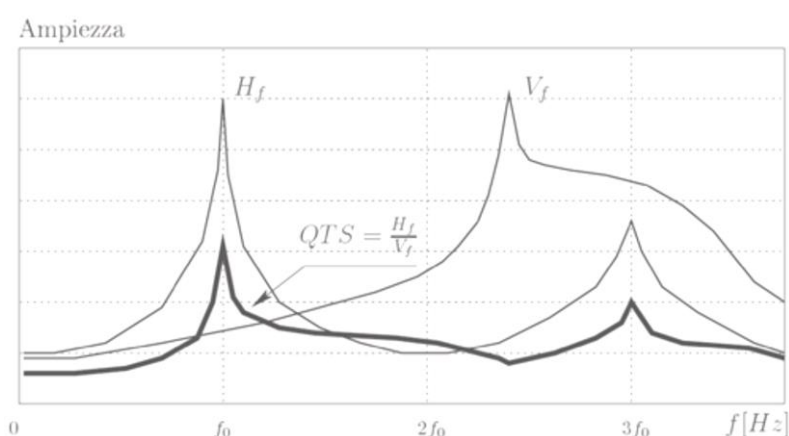


Fig. n. 3.3 – Confronto schematico tra gli spettri orizzontale (H_f) e verticale (V_f), ed il rapporto $H/V = H_f/V_f$

Si consideri ancora il sito ideale caratterizzato dalla presenza di uno strato soffice posto sopra il bedrock (fig. 10). Quando un'onda sismica proveniente dal bedrock passa attraverso lo strato soffice per giungere in superficie, viene modificata in base alle caratteristiche dello strato. Se si suppone che lo strato soffice ideale sia omogeneo ed elastico, risulta possibile calcolare la frequenza fondamentale di risonanza secondo la legge del quarto d'onda:

$$f_0 = \frac{4C_s}{H}$$

dove C_s è la velocità delle onde S e H è la profondità dello strato soffice.

3.2.3 Indagine sismica attiva (MASW);

Per poter caratterizzare il sottosuolo nei confronti della risposta sismica locale 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 lineare. 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-stratigrafico espresso in termini di velocità delle onde di taglio (Vs). 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, spazianti di offset pari a 2.00 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 10.00 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 ...).

3.2.4 Indagine sismica passiva (Re.Mi);

La tecnica di acquisizione conosciuta come *Refraction Microtremors* (Re.Mi.), permette di campionare le frequenze più basse, caratterizzanti le porzioni più profonde del sottosuolo. In generale le tecniche sfruttano la capacità di poter mettere in relazione le velocità di fase e le frequenze, relative alle onde di taglio, con le forme di dispersione delle onde di superficie. I microtremori sismici naturali determinano, in corrispondenza della superficie, la formazione di onde superficiali di Rayleigh. Si utilizzano dunque i microtremori naturali come sorgente sismica, i quali vengono misurati attraverso geofoni verticali disposti secondo array lineari. L'analisi avviene grazie a un passaggio delle registrazioni ottenute, attraverso la trasformata di Fourier, da un dominio spazio/tempo a un dominio frequenza/velocità. Il risultato dell'analisi è l'identificazione dello spettro energetico del segnale, in funzione della frequenza e della velocità. Dato che i livelli energetici possono variare significativamente alle diverse frequenze, lo spettro durante la fase di elaborazione viene normalizzato.

L'indagine sismica Re.Mi. è stata eseguita in sito utilizzando 24 geofoni verticali, distanziati di 2 m, con frequenza naturale di 4.5 Hz. I dati sono stati registrati mediante un sismografo *GEODE Geometrics 24 bit*, con velocità di campionamento (sample rate) di 4 millisecondi e lunghezza delle acquisizioni di 120 secondi.

4. STUDIO MICROZONAZIONE SISMICA (DGR 2193/15 REGIONE EMILIA ROMAGNA)

4.1 Primo livello di approfondimento

La presente fase di analisi, in accordo con le linee guida della Protezione Civile Italiana e la normativa regionale DGR 2193/15 della Regione Emilia Romagna, costituisce lo studio preliminare nel quale vengono definite le caratteristiche geologiche, idrogeologiche e sismiche del sito sulla scorta delle indagini eseguite e dei dati bibliografici precedentemente illustrati. Lo studio di primo livello di approfondimento risulta propedeutico alla seconda fase di analisi, in questo caso eseguita secondo III livello di approfondimento.

4.1.1 Aspetti geologici e geotecnici

Attraverso l'interpretazione stratigrafica delle n. 3 prove penetrometriche (CPT e CPTU) eseguite si è reso possibile definire l'assetto stratigrafico del primo sottosuolo (20 m di profondità). A supporto dell'identificazione del modello stratigrafico sono state redatte sezioni litotecniche e geotecniche relativamente ai principali parametri individuati a seguito dell'elaborazione delle verticali di prova eseguite. Le sezioni realizzate sono illustrate successivamente.

La sezione litostratigrafica illustrata successivamente rappresenta l'andamento delle unità litologiche presenti in relazione all'intera area. Superficialmente, al disotto di circa 1.00 di terreno areato di coltivo, si riscontra la presenza di sottili lenti sabbiose e limose che interessano il sottosuolo da quote di -1.00 m da p.c. fino a raggiungere quote di massimo -4.00 m da p.c.. Tali corpi mostrano un'elevata resistenza alla punta fino a -2.20 m di profondità da p.c. mentre, da tale quota a -4.00 m da p.c. la resistenza alla punta risulta pari a 1.00 MPa.

Oltre tale unità, si rileva la presenza di terreni misti composti da miscele di argille limose e limi-sabbiosi che si estendono dalle quote di circa -4.00 m da p.c. fino a profondità nell'ordine dei -12.00 m da p.c.. Tali depositi sono dotati di consistenza scarsa (resistenza alla punta media inferiore a 1.0 MPa). Al disotto di queste litologie si rinvenivano depositi a connotazione prettamente argillosa e limosa dotati di consistenza media/alta fino a profondità di -20.00 m da p.c..

In corrispondenza della verticale di prova CPTU1, tra le quote relative di -16.00 m da p.c. e -18.80 m da p.c., si rileva la presenza di un corpo sabbioso e limo-sabbioso dotato di addensamento variabile da scarso a medio (30/40%).



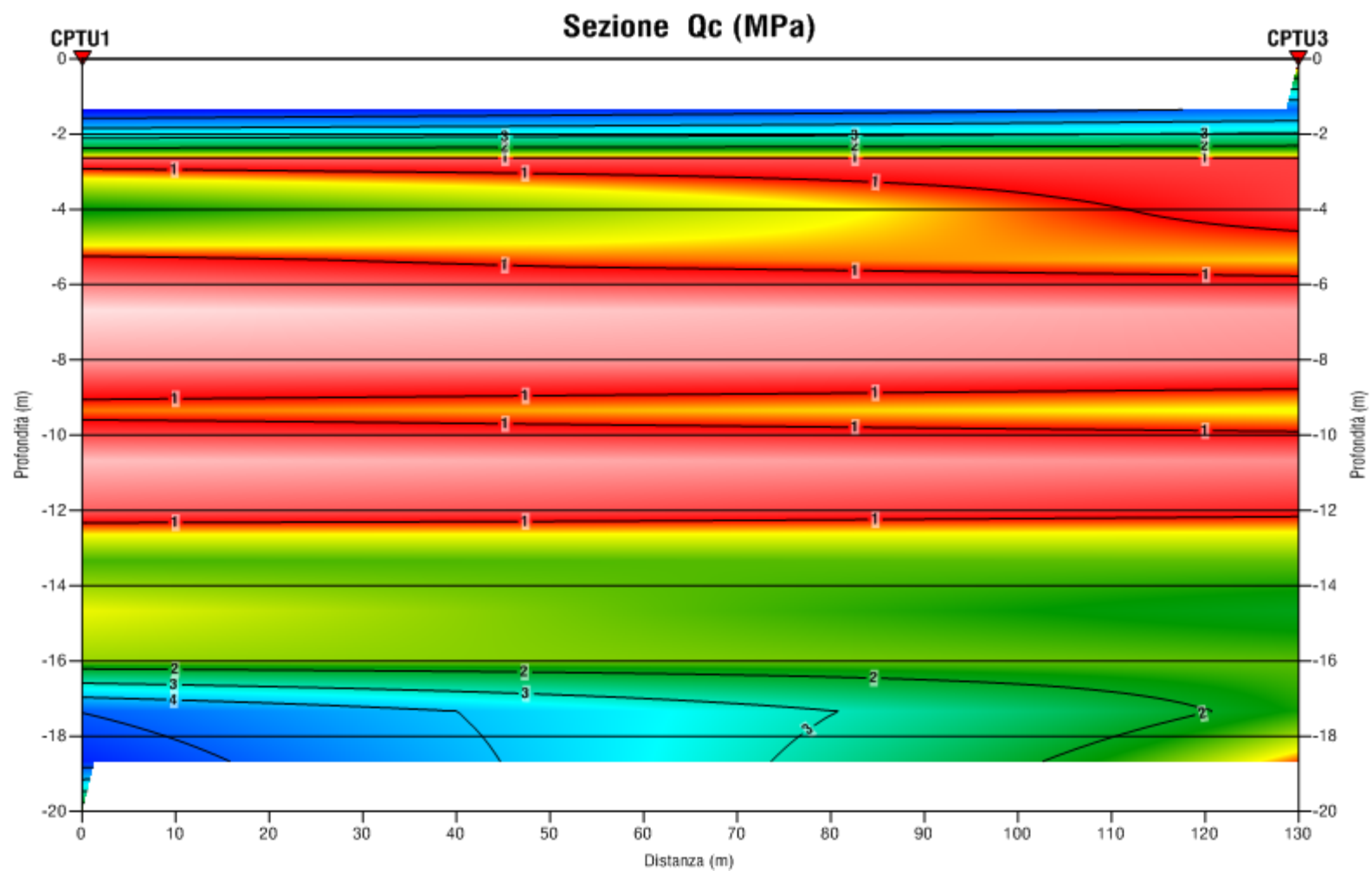
GEO GROUP S.R.L.

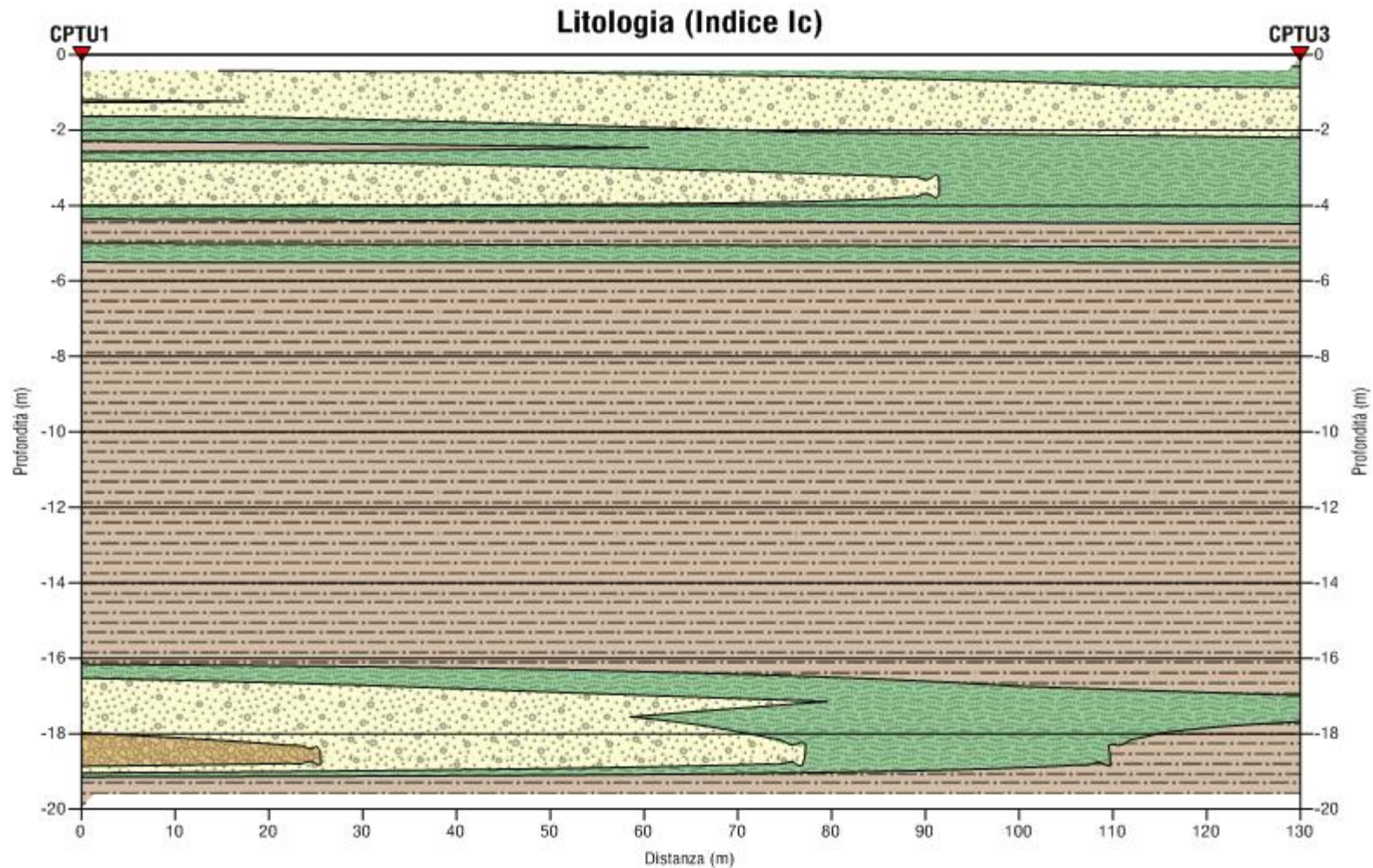
UFFICI: via Per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo R. (MO) SEDE LEGALE: via C. Costa, 182 - 41123 Modena (MO)

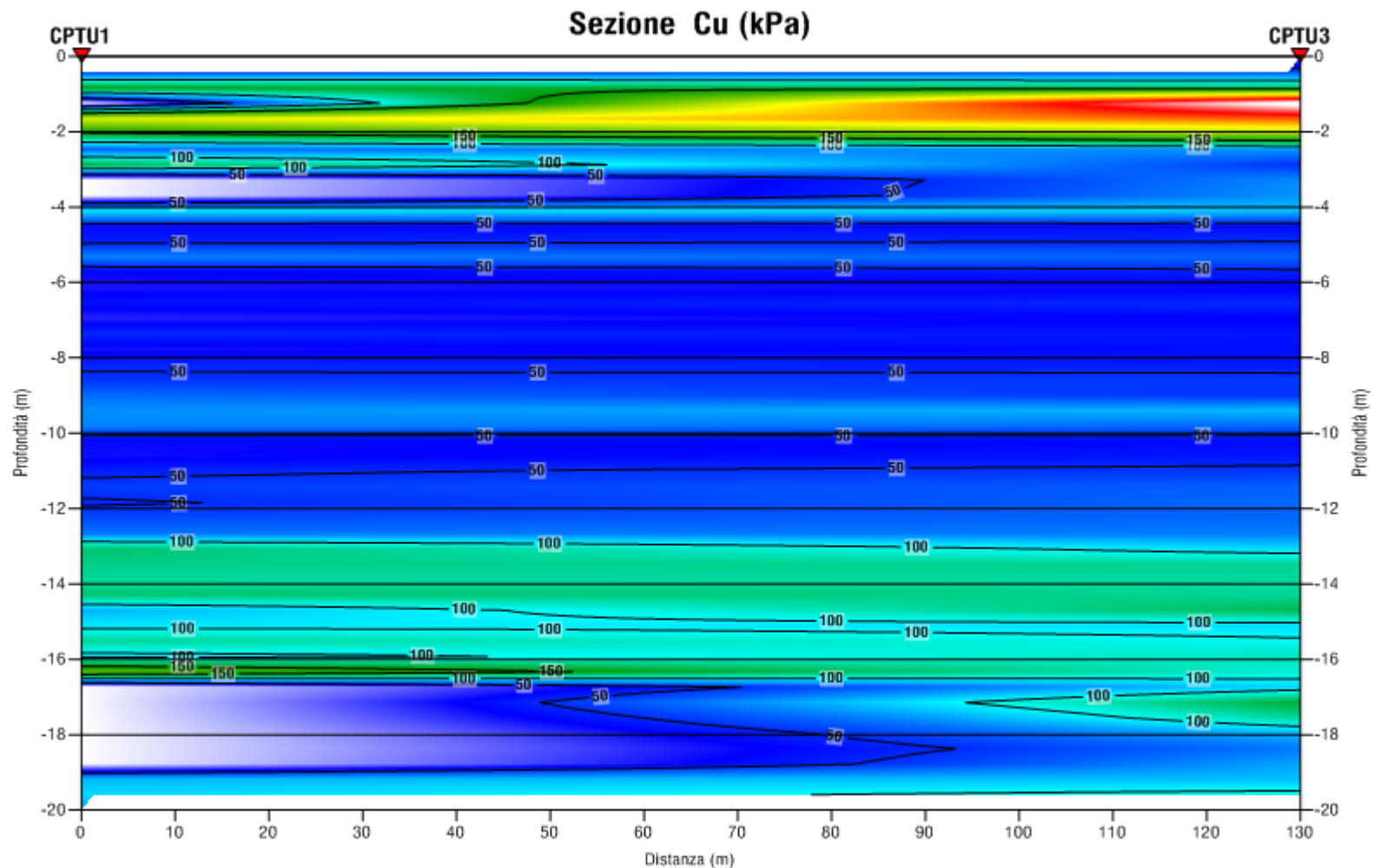
tel. 059/3967169; 059/828367 - FAX 059/5960176 p. Iva e C.F. 02981500362

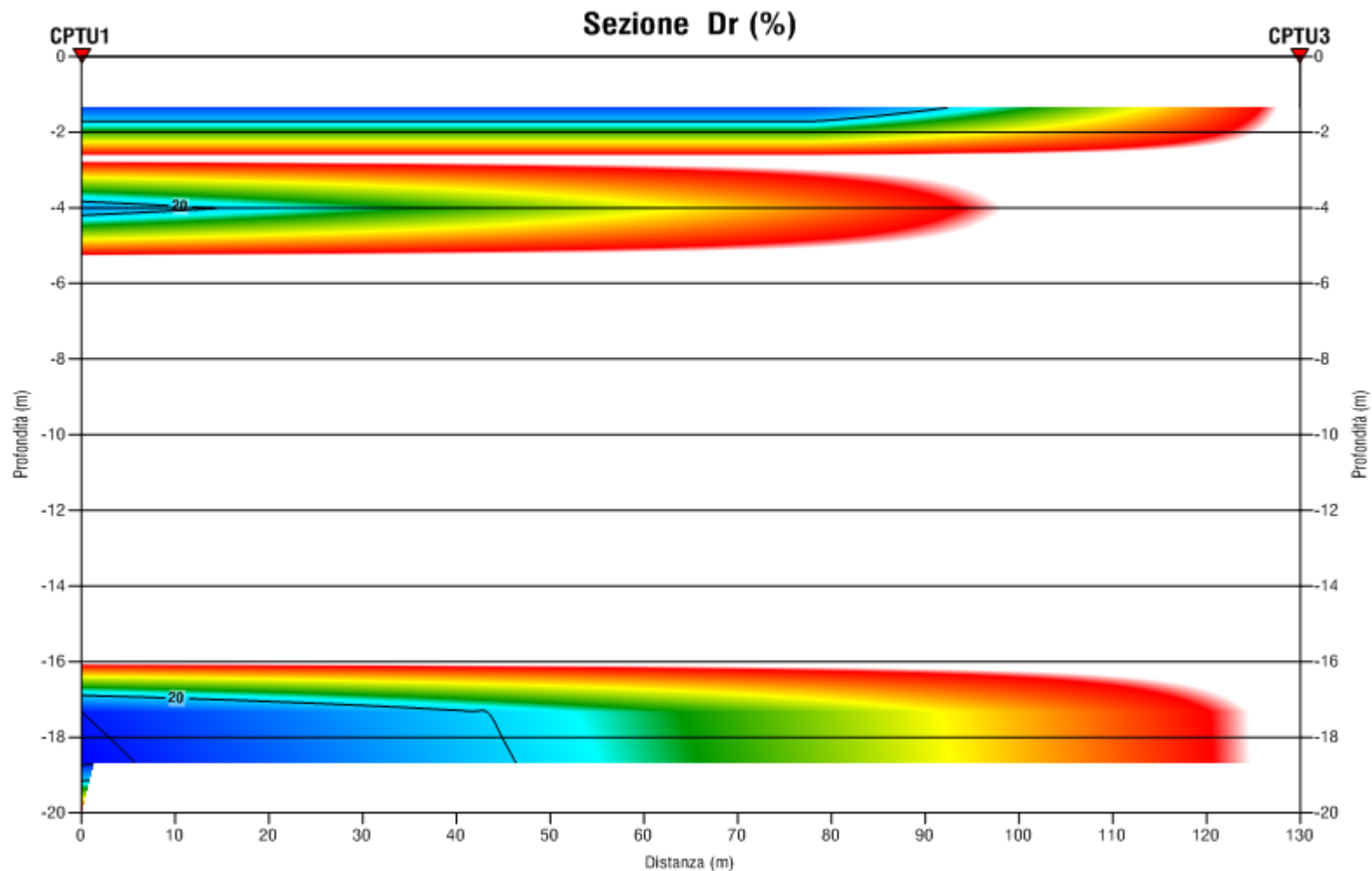
Email: info@geogroupmodena.it Pec: geo.group@winpec.it Sito: www.geogroupmodena.it

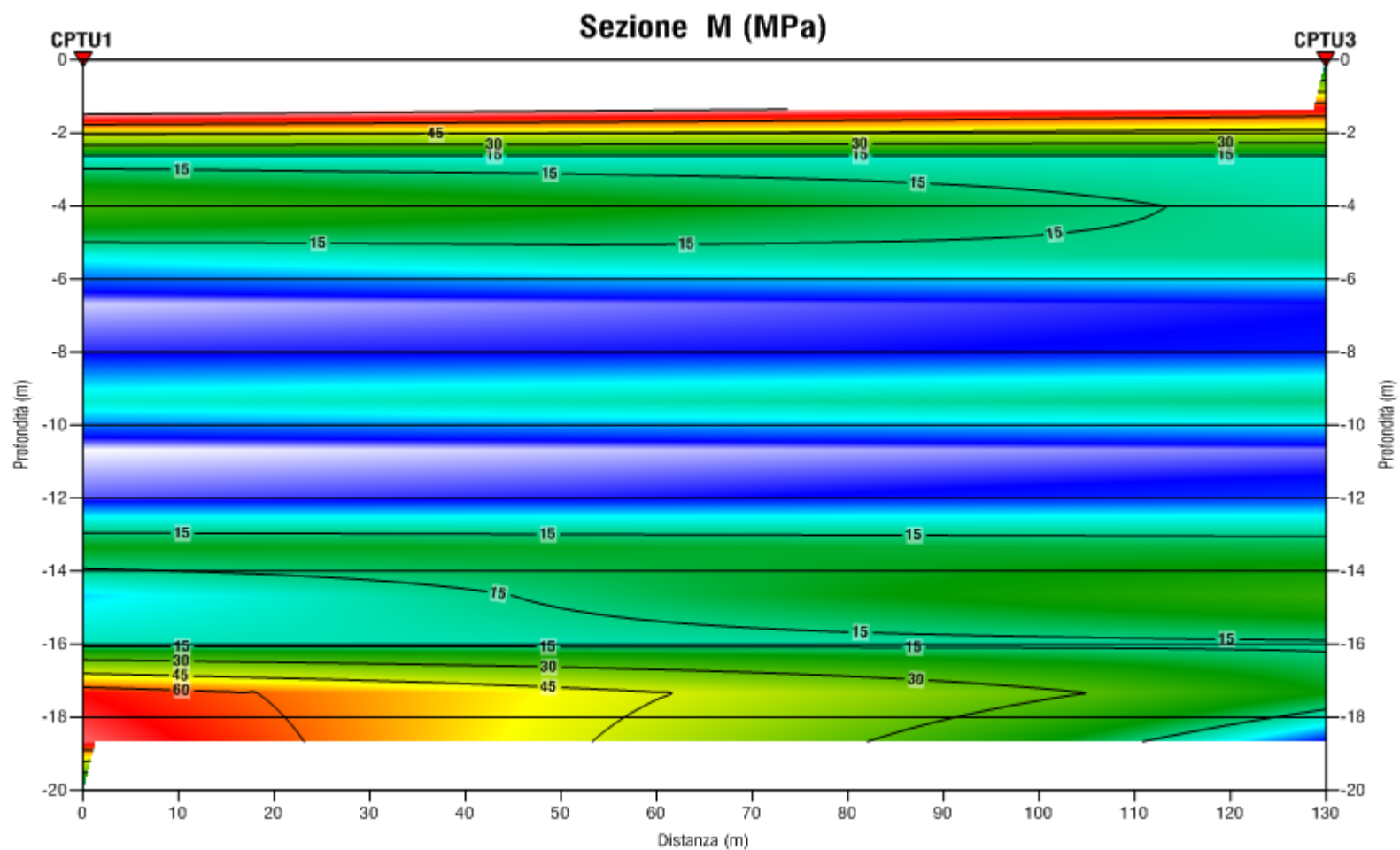
Operatore APR certificato ENAC per operazioni non critiche – Rif. ENAC 18627

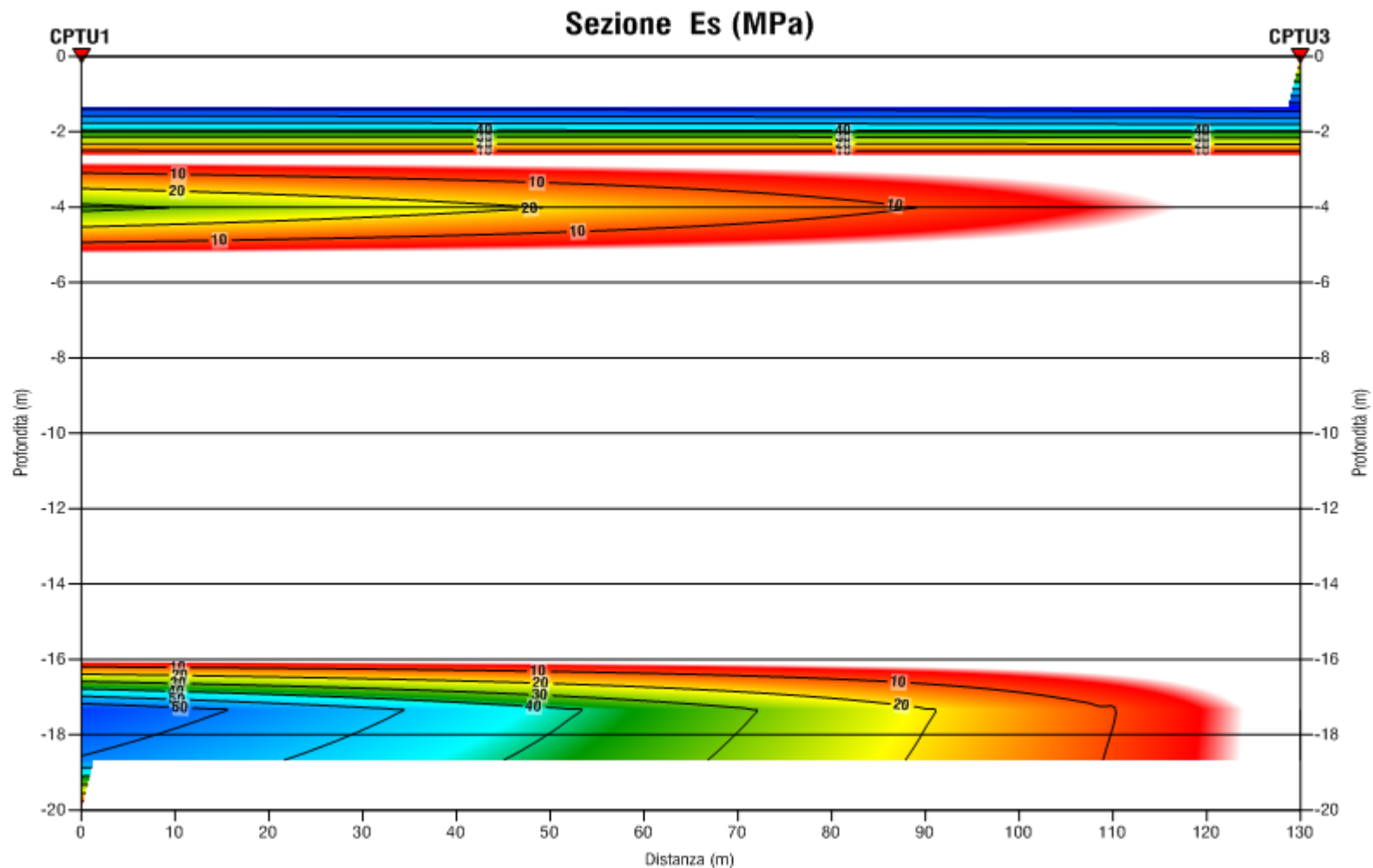












4.1.2 Frequenze naturali di sito

Dall'analisi delle acquisizioni HVSR eseguite è stato possibile determinare le frequenze stratigrafiche che caratterizzano il sito oggetto di studi. Si illustrano successivamente le curve H/V determinate a seguito dell'elaborazione delle n. 2 acquisizioni HVSR eseguite nel mese di Febbraio 2019.

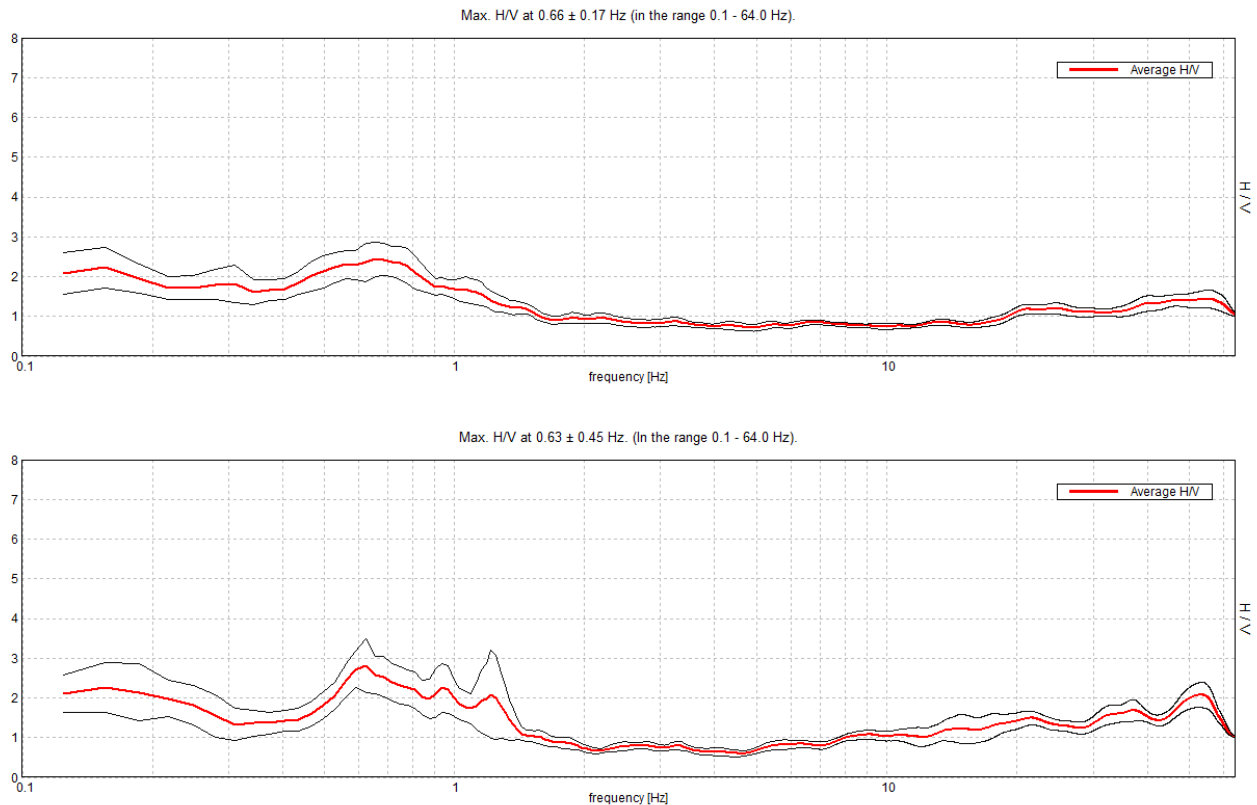


Fig. n. 4.1 – Curve HVSR ottenute dalle acquisizioni HV1 (in alto) e HV2 (in basso)

Per l'areale in oggetto si definisce una frequenza fondamentale di sito variabile da 0.63 Hz a 0.66 Hz. Tale frequenza si relaziona a un periodo di vibrazione di circa 1.50 sec. Le amplificazioni massime attese per il periodo indicato variano da 2 a 3 volte.

4.1.3 Modello idrogeologico di riferimento

Durante l'esecuzione delle indagini geognostiche (febbraio 2019), è stata individuata una soggiacenza variabile da -2.65 m da p.c. (CPTU1) e -3.20 m da p.c. (CPT2). Ai fini dei calcoli successivamente illustrati si considera, in via cautelativa, una soggiacenza massima pari a -2.50 m da p.c. .

5. TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

5.1 Risultati delle indagini geofisiche e identificazione della categoria di sottosuolo (NTC 2018)

Ai fini della caratterizzazione geofisica del sito è stata espletata un'indagine sismica secondo metodologie passive HVSR/Re.MI. e attiva MASW. In allegato al presente elaborato vengono illustrate le elaborazioni delle indagini suddette. L'elaborazione delle tecniche geofisiche è stata svolta mediante il software Grilla (MOHO Srl).

L'elaborazione congiunta delle tecniche ha determinato un valore di V_{s30} di 197 m/s, definendo l'appartenenza del sito a una **categoria di sottosuolo C** (NTC 2018).

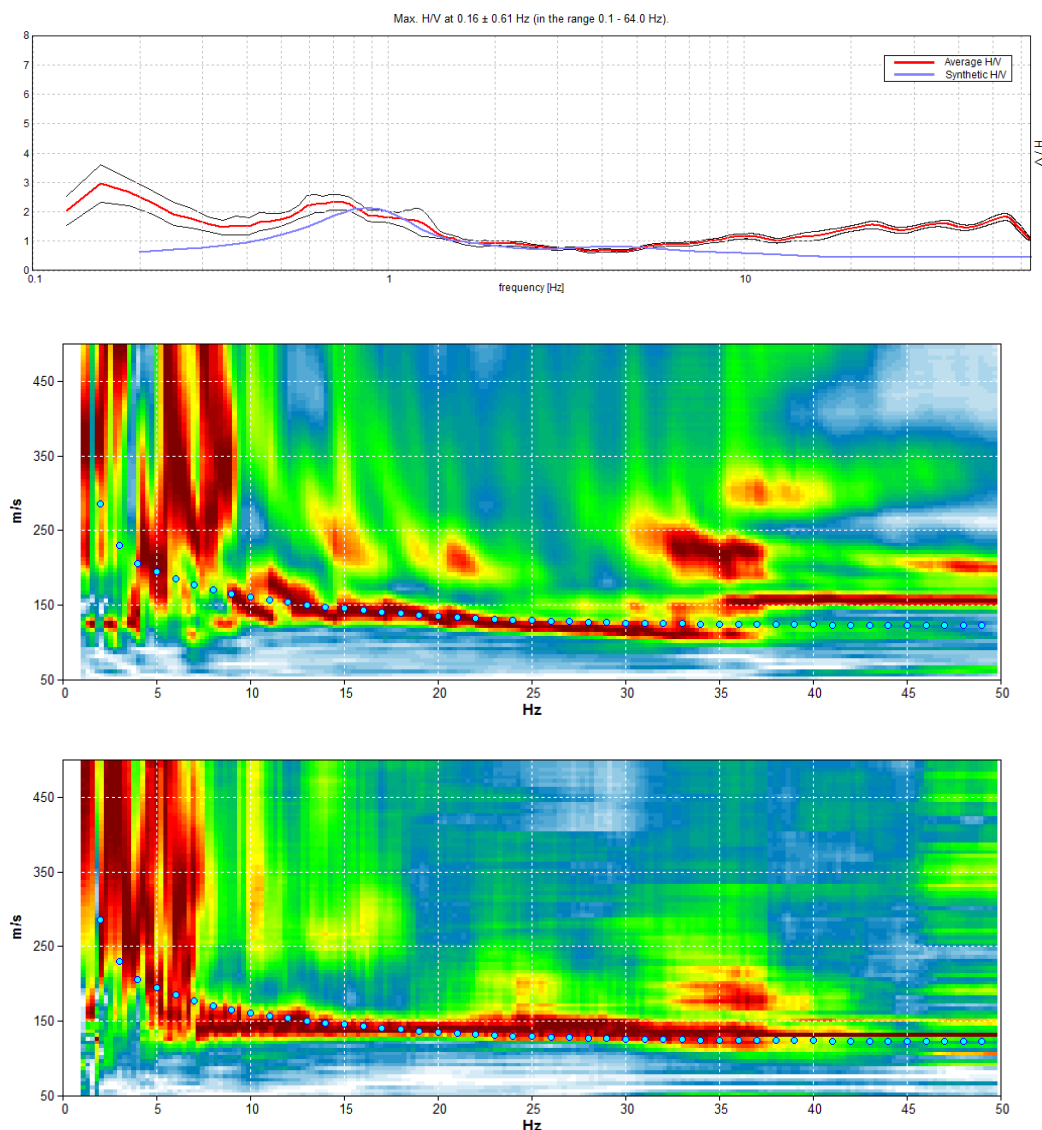


Fig. 5.1: Vincolo del modello sintetico in onde S alla curva H/V, allo spettro MASW e lo spettro Re.Mi.

Il modello in onde S vincolato ottenuto è il seguente:

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
3.00	3.00	130	0.42
8.00	5.00	170	0.42
13.00	5.00	195	0.42
38.00	25.00	230	0.42
98.00	60.00	340	0.35
inf.	inf.	500	0.35

Tab. n. 5.1 – Modello geofisico di riferimento

A seguito dell'elaborazione delle misure HVSR è stata identificata una frequenza fondamentale di sito (valore massimo curva H/V) alla soglia di 0.66 Hz. La frequenza derivata non rispetta completamente i criteri matematici imposti dal progetto SESAME (2006) e, pertanto, non rappresenta un elemento informativo per l'analisi dei fenomeni di "doppia risonanza" sismica.

5.2 Azione sismica di riferimento secondo specifica analisi di risposta sismica locale RSL

Alla luce di quanto esposto nel § 3.2.2 delle NTC 2018 e in accordo con quanto esposto nella DGR 2193/15 della Regione Emilia Romagna, è stata definita l'azione sismica di progetto secondo uno studio di risposta sismica locale, secondo III livello di approfondimento. Per ottemperare ai riferimenti normativi citati l'analisi è stata svolta secondo quanto indicato al § 7.11.3 delle NTC 2018, attraverso analisi numerica monodimensionale in campo lineare equivalente. Per fare ciò è stato utilizzato come strumento di lavoro il software di calcolo STRATA (University of Texas - Austin).

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 rigidità 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 rigidità a taglio normalizzato ($G / G_0 - \gamma$) e le corrispondenti curve dello smorzamento ($D - \gamma$) con la deformazione di taglio γ . Il modello lineare visco-elastico fa riferimento al modello reologico di Kelvin-Voigt, costituito da una molla e uno smorzatore viscoso in parallelo. Tale modello è descritto quindi dalla rigidità (G) e dallo smorzamento (D). L'onda monodimensionale viene descritta dall'equazione in cui lo spostamento provocato (u) è funzione della profondità (z) e del tempo (t):

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

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

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

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

$$G^* = G(1 - 2D^2 + 12D\sqrt{1 - D^2}) \approx G(1 + 12D)$$

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

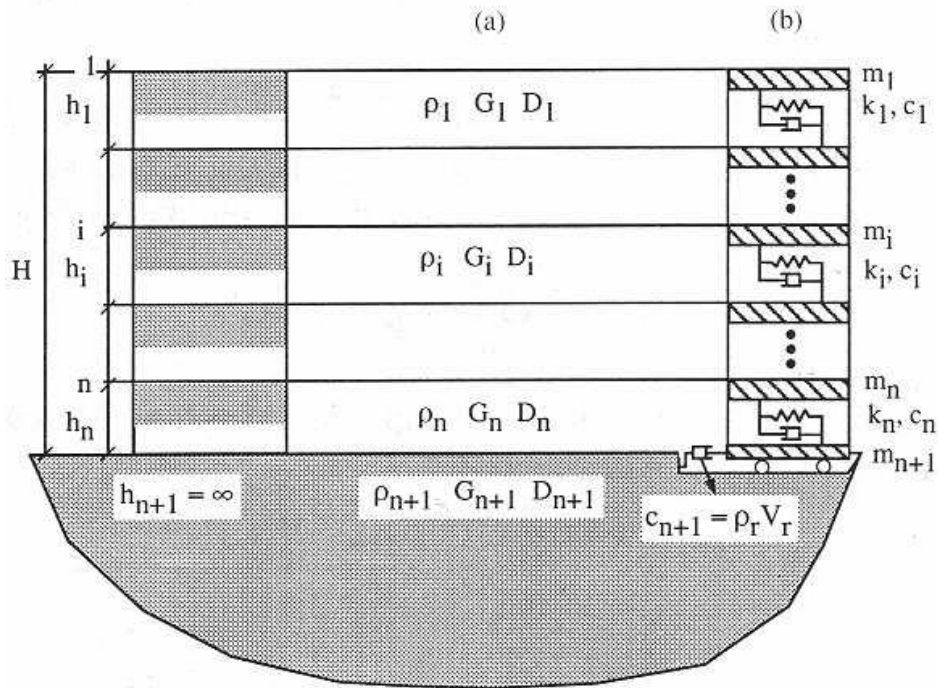


Fig. 6.1 - Modello a strati continui adottato per la simulazione con il codice di calcolo STRATA

5.2.1 Modello iniziale

Il profilo di onde S (modello iniziale o di input) adottato deriva dall'analisi congiunta delle tecniche geofisiche impiegate per la caratterizzazione del sito. I risultati e le procedure operative di elaborazione sono descritte nel precedente paragrafo.

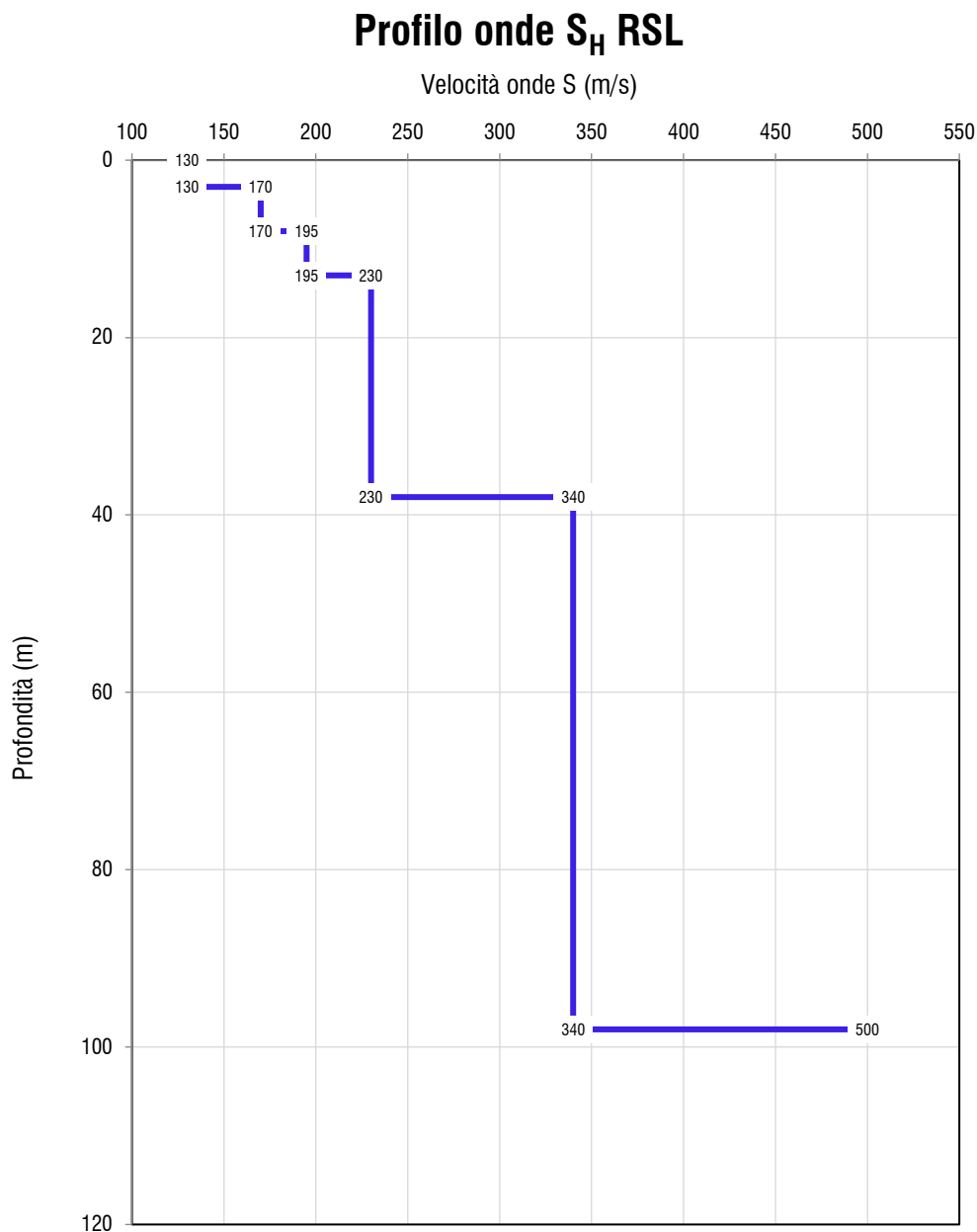


Fig. 6.2 – Modello congiunto tecniche geofisiche

Il modello di input rappresentato nel precedente grafico è il seguente:

z (m)	Vs (m/s)	S (m)	Curva di riferimento
3.0	130.0	3.0	Argilla (Idriss 1990)
8.0	170.0	5.0	Argilla (Idriss 1990)
13.0	195.0	5.0	Argilla (Idriss 1990)
38.0	230.0	25.0	Argilla (Idriss 1990)
98.0	340.0	60.0	Argilla (Idriss 1990)
	550.0	1.0	BEDROCK

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

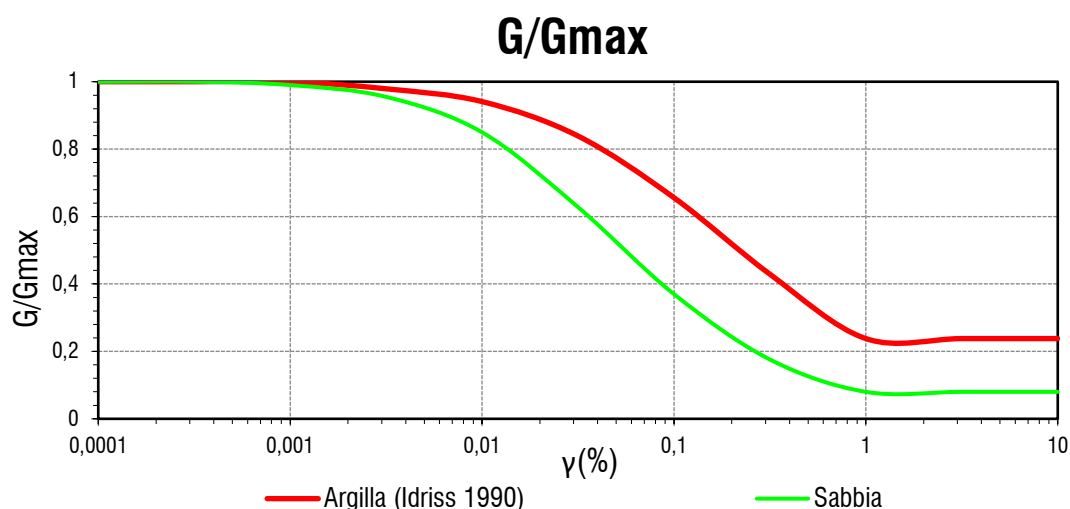


Fig. 6.3 – Curve di decadimento G/G_{max} dei terreni utilizzati per l'analisi

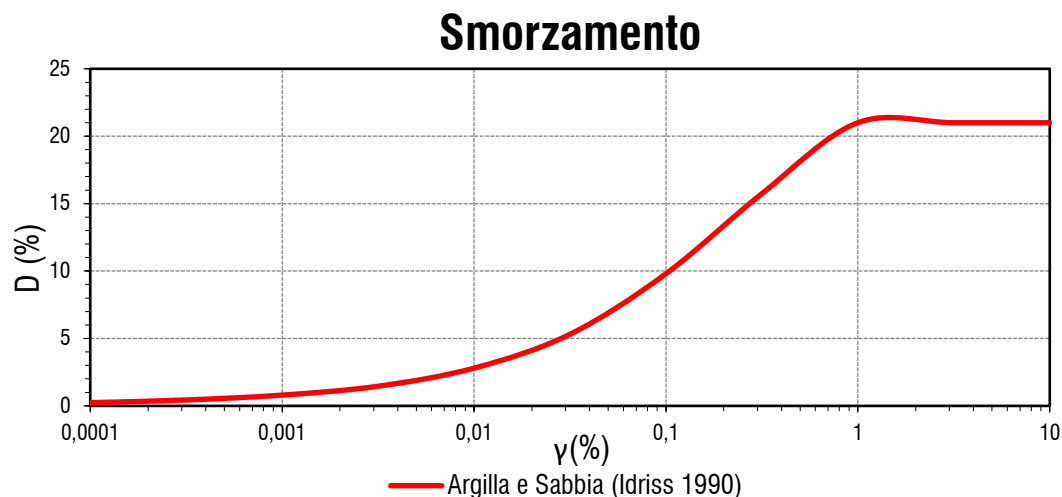
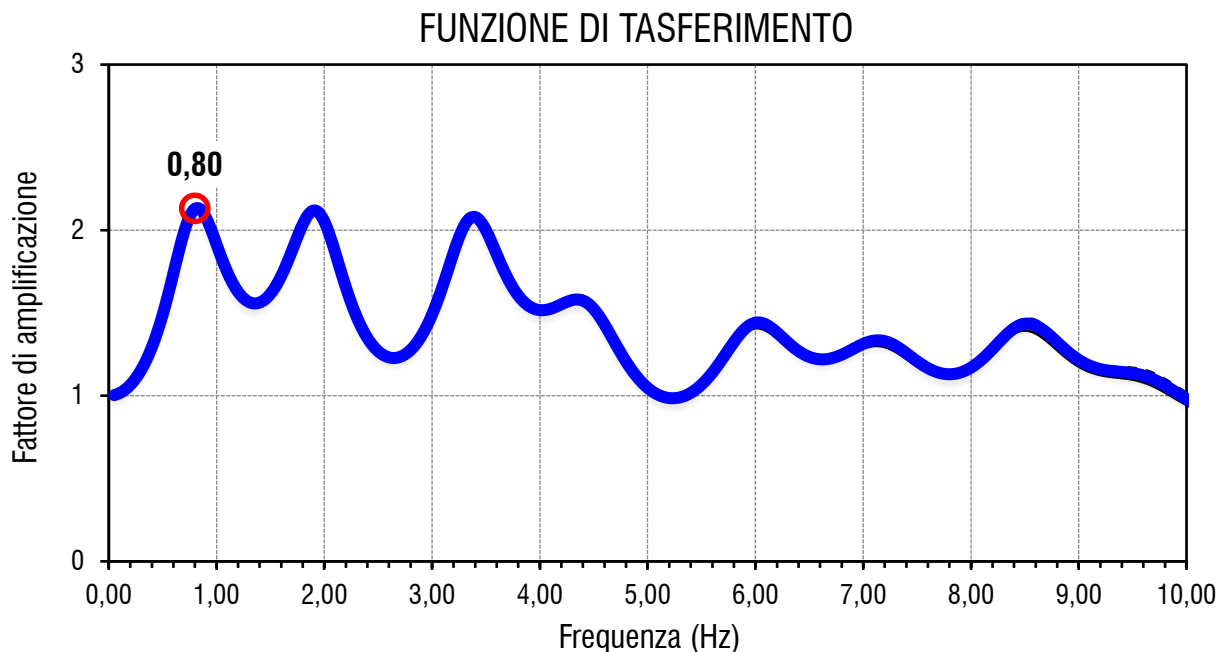


Fig. 6.4 – Curve di decadimento smorzamento (D) dei terreni utilizzati per l'analisi

Trattandosi di una verifica a monte di una fase di verifica urbanistica, in accordo con quanto esposto nella D.G.R. 2193/15, l'analisi RSL in oggetto è stata svolta adottando come input sismico 3 accelerogrammi, corrispondenti allo stato limite SLV. I segnali di riferimento sono stati successivamente scalati per il valore di PGA_0 atteso al suolo rigido in corrispondenza dell'areale oggetto di analisi. Per fare ciò è stata considerata l'interpolazione spaziale dei valori di PGA_0 proposta da INGV per il territorio nazionale e resi disponibili per il territorio regionale sui punti di una griglia con passo 0.05 gradi. Per il sito in oggetto tale valore è pari a **0.160 g**.

5.2.2 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.



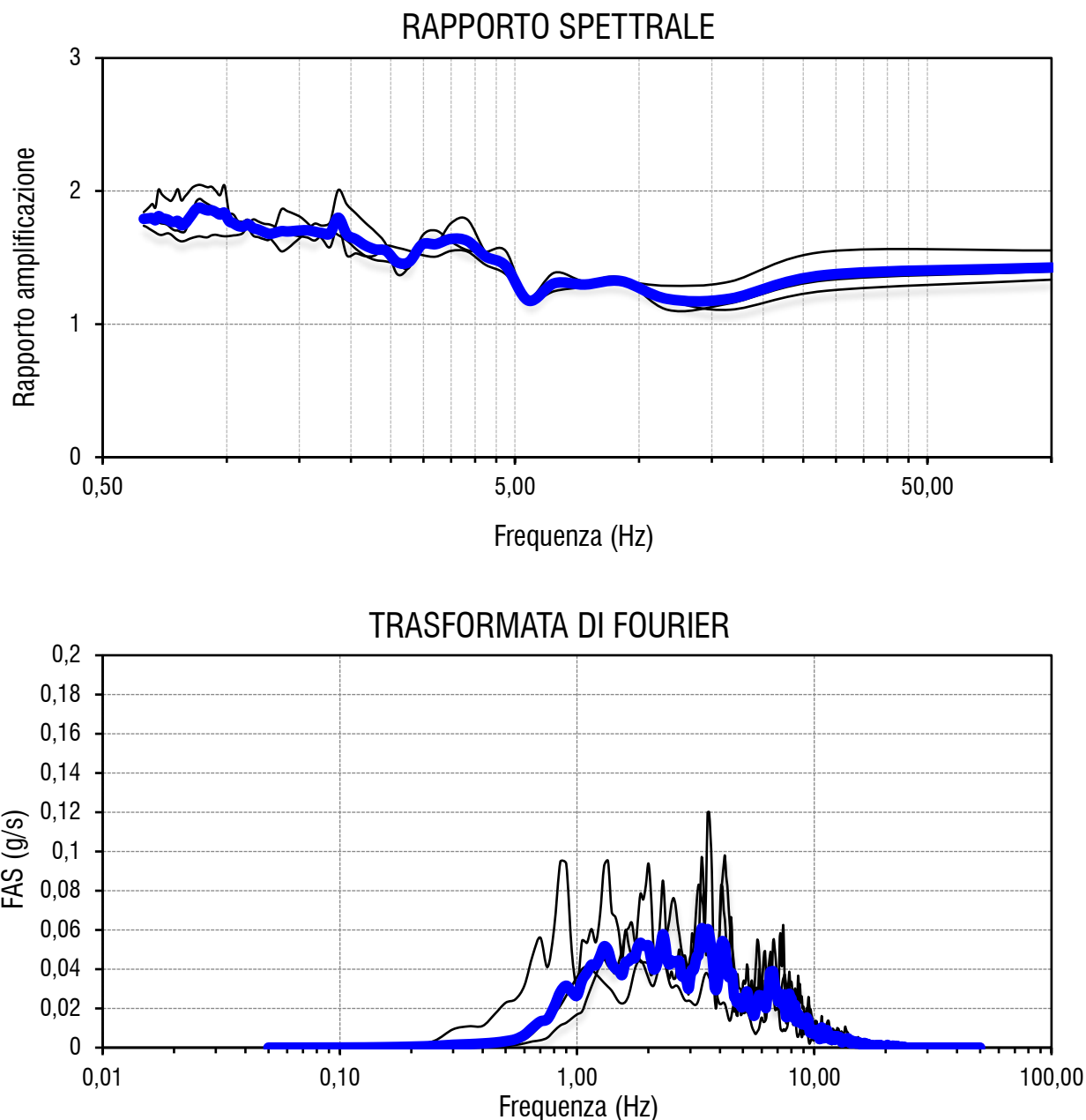


Fig. 6.7 In alto: funzione FTT, funzione FT e rapporto spettrale di amplificazione.

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

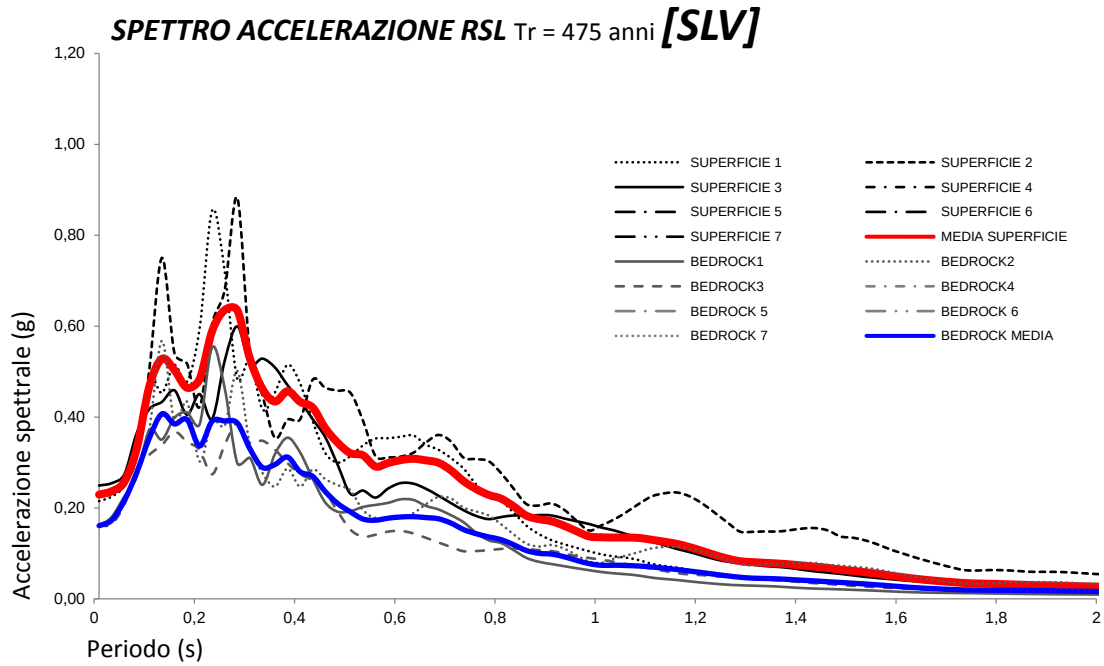


Fig. 6.8 Accelerazioni spettrali relative a un periodo di ritorno pari a 475 anni (SLV)

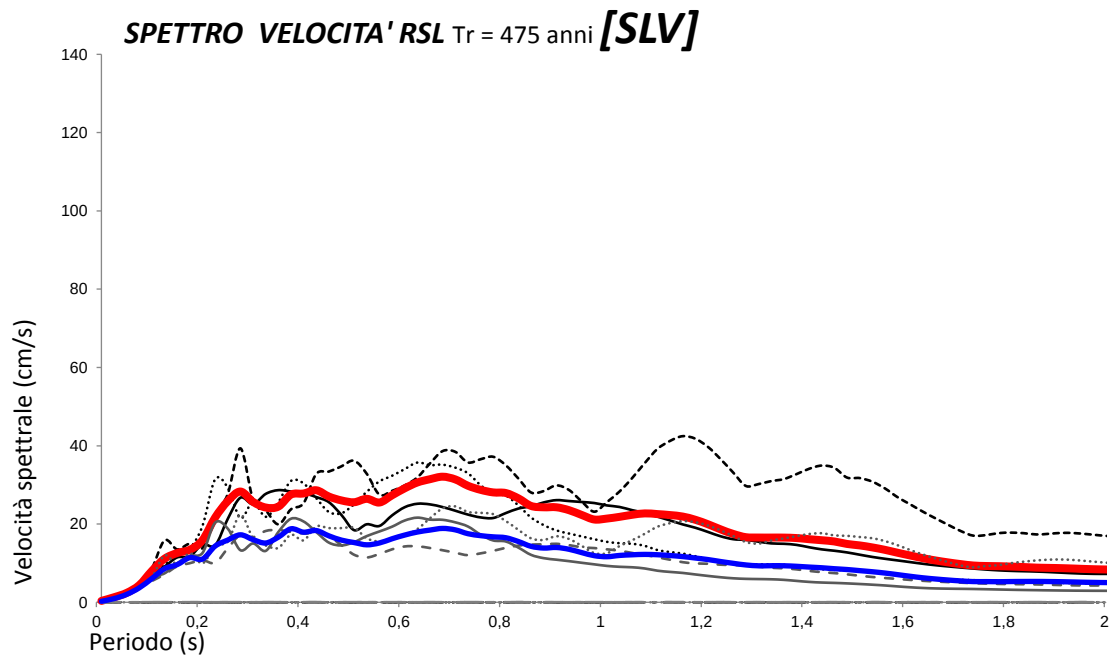


Fig. 6.9 Velocità spettrali relative a un periodo di ritorno pari a 475 anni (SLV)

Dati i valori di accelerazione ottenuti dal calcolo eseguito, è stato definito lo spettro normalizzato per lo stato limite considerato. Così facendo è stato ottenuto lo spettro a probabilità uniforme, sulla base dei risultati ottenuti mediante il software STRATA.

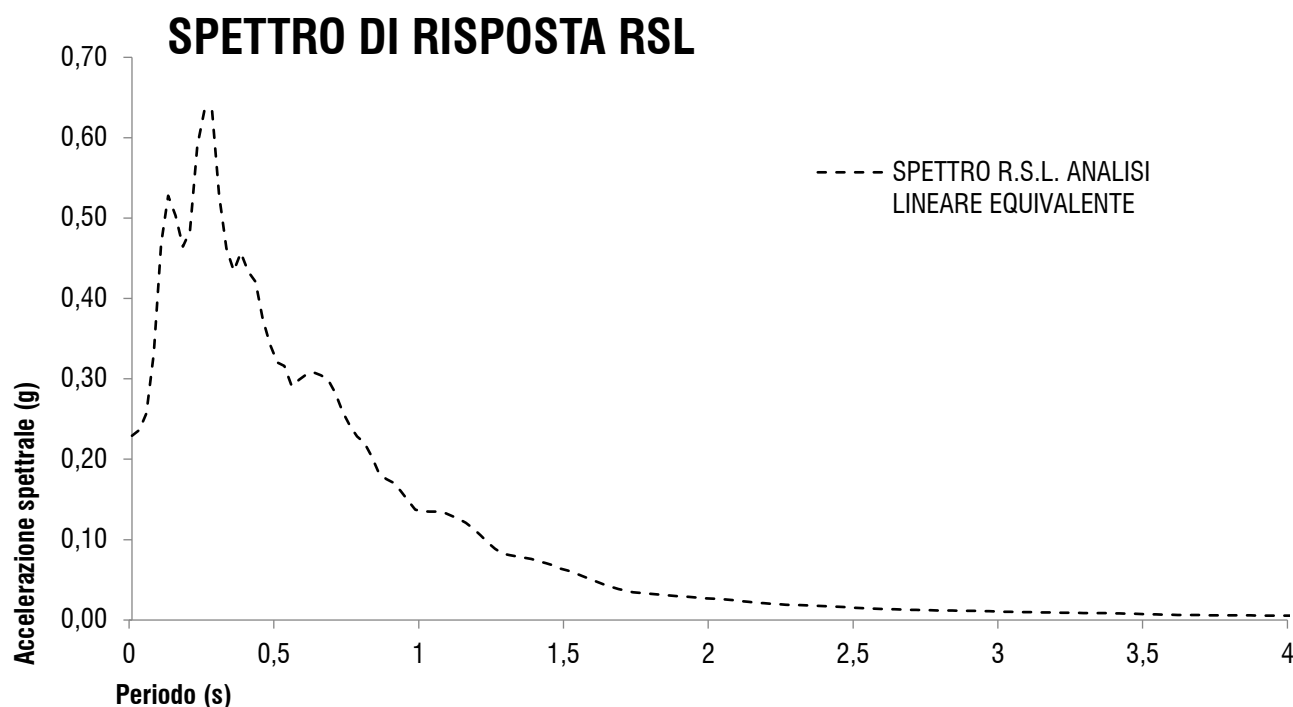


Fig. 6.10 – Spettro RSL per punti ottenuto a seguito dell'analisi eseguita

		F.A. S.I.				
	PGA ₀	F.A. PGA	(0.00 < T(s) < 0.50)	(0.50 < T(s) < 1.00)	(0.50 < T(s) < 1.50)	PGA _{MAX}
SLV	0.160	1.43	1.63	1.69	1.87	0.229

Si illustra successivamente in forma tabellare lo spettro RSL per punti ottenuto per il sito in analisi.

T (s)	Ag	T (s)	Ag	T (s)	Ag	T (s)	Ag	T (s)	Ag
0.01	0.229	1.04	0.135	2.07	0.025	3.09	0.010	4.12	0.005
0.04	0.237	1.06	0.135	2.09	0.024	3.12	0.010	4.15	0.005
0.06	0.257	1.09	0.134	2.12	0.023	3.14	0.010	4.17	0.005
0.09	0.331	1.11	0.130	2.14	0.022	3.17	0.009	4.20	0.005
0.11	0.468	1.14	0.126	2.17	0.022	3.19	0.009	4.22	0.005
0.14	0.528	1.16	0.121	2.19	0.021	3.22	0.009	4.25	0.005
0.16	0.503	1.19	0.114	2.22	0.020	3.24	0.009	4.27	0.005
0.19	0.464	1.21	0.105	2.24	0.020	3.27	0.009	4.30	0.004
0.21	0.484	1.24	0.096	2.27	0.019	3.29	0.009	4.32	0.004
0.24	0.589	1.26	0.089	2.29	0.019	3.32	0.009	4.35	0.004
0.26	0.636	1.29	0.083	2.32	0.018	3.35	0.009	4.37	0.004
0.29	0.635	1.31	0.081	2.34	0.018	3.37	0.008	4.40	0.004
0.31	0.529	1.34	0.079	2.37	0.018	3.40	0.008	4.42	0.004
0.34	0.462	1.36	0.078	2.39	0.017	3.42	0.008	4.45	0.004
0.36	0.434	1.39	0.076	2.42	0.017	3.45	0.008	4.47	0.004
0.39	0.457	1.41	0.073	2.44	0.016	3.47	0.008	4.50	0.004
0.41	0.433	1.44	0.071	2.47	0.016	3.50	0.007	4.52	0.004
0.44	0.421	1.46	0.068	2.49	0.016	3.52	0.007	4.55	0.004
0.46	0.375	1.49	0.064	2.52	0.015	3.55	0.007	4.57	0.004
0.49	0.343	1.51	0.062	2.54	0.015	3.57	0.007	4.60	0.004
0.51	0.320	1.54	0.058	2.57	0.014	3.60	0.007	4.62	0.004
0.54	0.316	1.56	0.055	2.59	0.014	3.62	0.006	4.65	0.004
0.56	0.291	1.59	0.051	2.62	0.014	3.65	0.006	4.67	0.004
0.59	0.299	1.61	0.047	2.64	0.013	3.67	0.006	4.70	0.004
0.61	0.305	1.64	0.044	2.67	0.013	3.70	0.006	4.72	0.004
0.64	0.308	1.66	0.041	2.69	0.013	3.72	0.006	4.75	0.003
0.66	0.305	1.69	0.039	2.72	0.013	3.75	0.006	4.77	0.003
0.69	0.299	1.72	0.036	2.74	0.012	3.77	0.006	4.80	0.003
0.71	0.283	1.74	0.035	2.77	0.012	3.80	0.006	4.82	0.003
0.74	0.259	1.77	0.034	2.79	0.012	3.82	0.006	4.85	0.003
0.76	0.242	1.79	0.033	2.82	0.012	3.85	0.006	4.87	0.003
0.79	0.229	1.82	0.032	2.84	0.012	3.87	0.006	4.90	0.003
0.81	0.220	1.84	0.031	2.87	0.012	3.90	0.006	4.92	0.003
0.84	0.203	1.87	0.030	2.89	0.012	3.92	0.006	4.95	0.003
0.86	0.183	1.89	0.030	2.92	0.011	3.95	0.005	4.97	0.003
0.89	0.175	1.92	0.029	2.94	0.011	3.97	0.005	5.00	0.003
0.91	0.171	1.94	0.028	2.97	0.011	4.00	0.005		
0.94	0.161	1.97	0.028	2.99	0.011	4.02	0.005		
0.96	0.149	1.99	0.027	3.02	0.010	4.05	0.005		
0.99	0.137	2.02	0.027	3.04	0.010	4.07	0.005		
1.01	0.135	2.04	0.026	3.07	0.010	4.10	0.005		

6. STABILITÀ DEL SITO NEI CONFRONTI DEI FENOMENI CO-SISMICI

6.1 Verifica della suscettività del sito ai fenomeni di liquefazione (Approccio DGR 2193/15)

In accordo con la normativa regionale DGR 2391/2015 si è proceduto alla verifica della liquefazione per la totalità delle verticali di prova CPTU eseguite nel mese di Febbraio 2019. Si premette che l'elaborazione delle indagini non ha identificato la presenza di unità sabbiose di sostanziale spessore tali da comportare la verificabilità di fenomeni di liquefazione. Nonostante l'evidenza preliminare, si è proceduto all'esecuzione della verifica a liquefazione. L'analisi della liquefazione non è stata estesa alle verticali di prova CPT in quanto l'approccio Boulanger & Idriss (2014) non risulta applicabile a questa tipologia di indagine.

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:

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

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

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

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

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

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 2391/2015 della Regione Emilia Romagna. Le analisi di liquefazione sono state eseguite entro i -20.00 m rispetto al piano campagna come prescritto dalla normativa di riferimento.

Le verifiche sono state svolte considerando una magnitudo di riferimento **M = 6.14**, una accelerazione massima al suolo **A_{max} = 0.229 g** (Approccio DGR 2391/15 III livello di approfondimento) e con soggiacenza della falda freatica alla profondità di Dw = -2.50 m da p.c., che rappresenta un valore di soggiacenza cautelativo alla luce dei valori di soggiacenza riscontrati durante l'esecuzione delle indagini.

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

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

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

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

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

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

Si illustrano successivamente i valori di LPI derivati per ciascuna verticale di prova CPTU considerata ai fini delle analisi del fenomeno di liquefazione:

INDAGINE	INDICE DI LIQUEFAZIONE LPI	RISCHIO
CPTU 1	1.449	BASSO
CPTU 3	0.000	NULLO

Sulla scorta delle risultanze ottenute dalle verifiche della suscettività del sito al fenomeno di liquefazione emerge che l'areale oggetto di studio risulta esposto a un rischio variabile da "basso" a "nullo".

6.2 Verifica dei cedimenti post-sismici (Approccio DGR 2193/15)

Per ottemperare alla normativa regionale DGR 2391/2015 è stata svolta la verifica quantitativa dei cedimenti post-sismici dei livelli granulari saturi, granulari insaturi e dei livelli coesivi soffici. La verifica dei cedimenti è stata eseguita considerando le verticali di prova CPTU eseguite.

CEDIMENTI POST-SISMICI – TERRENI GRANULARI SATURI

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

CEDIMENTI POST-SISMICI – TERRENI GRANULARI INSATURI

La valutazione della suscettibilità di addensamento dei terreni granulari insaturi e conseguente cedimento è stata calcolata derivando la deformazione volumetrica per un numero di cicli equivalente N_c il cui valore è funzione della magnitudo del terremoto secondo l'equazione $N_c = (M-4)^{2.17}$. La procedura di calcolo completa viene descritta al punto B.2 dell'allegato A2.2 della DGR 2391/2015.

CEDIMENTI POST-SISMICI – TERRENI COESIVI SOFFICI

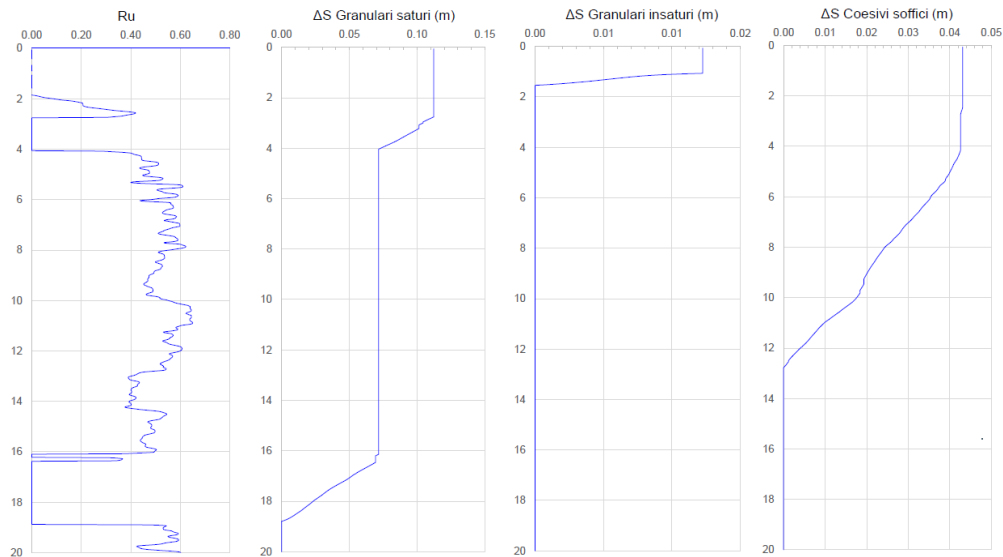
I cedimenti dei livelli coesivi è stata svolta solamente per gli strati dotati di $c_u < 70$ kPa e $I_p > 30$ %. L'entità del cedimento di ri-consolidazione conseguente alla dissipazione delle pressioni interstiziali accumulate durante il terremoto è stata stimata mediante la formulazione proposta da Yasyhara e Andersen (1991). In tale equazione, descritta dettagliatamente al punto B.3 dell'allegato A2.2 della DGR 2391/2015, l'indice di ricomprensione C_r è stato assunto pari all'indice di rigonfiamento C_s , funzione del modulo edometrico. Nel presente caso, sulla scorta dei valori di resistenza alla punta ottenuti a seguito delle prove CPTU eseguite, il modulo edometrico è stato ricavato mediante la relazione proposta da Mitchell & Gardner (1975).

La verifica dei cedimenti sismici è stata svolta considerando una soggiacenza della falda freatica pari a $D_w = -2.50$ m da p.c., il valore di PGA derivante dall'analisi di III livello eseguita e una magnitudo di riferimento pari a 6.14.

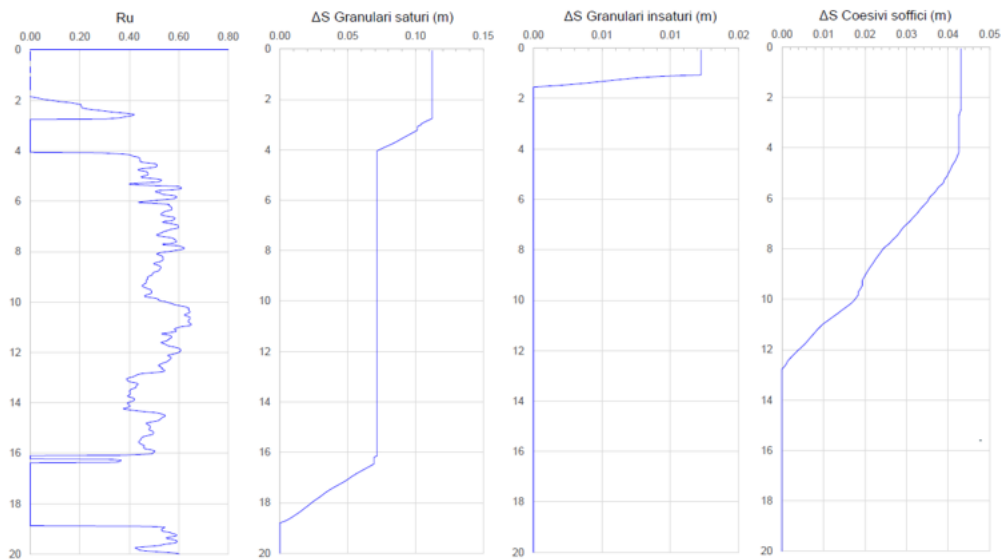
Si illustrano successivamente i valori di cedimenti post-sismici cumulati e differenziali, per ciascuna categoria di terreno:

CEDIMENTI POST SISMICI (DGR 2391/2015)				
INDAGINE	Granulari saturi (cm)	Granulari insaturi (cm)	Coesivi soffici (cm)	Cedimento totale (cm)
CPTU1	11.227	1.225	4.310	16.762
CPTU3	0.00	4.856	4.789	9.645

CPTU1 – DIAGRAMMA CEDIMENTI POST-SISMICI



CPTU3 – DIAGRAMMA CEDIMENTI POST-SISMICI



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

7. CONCLUSIONI

Il presente elaborato contiene lo studio di Microzonazione Sismica a supporto della proposta di delocalizzazione della potenzialità edificatoria derivante dal comparto "Ex Cantina Sociale", sito in Via Provinciale Est nel Comune di Nonantola (Provincia di Modena). Lo studio in oggetto è stato eseguito in ottemperanza alla disposizione regionale DGR 2193/15 che costituisce la linea guida per la redazione di studi di microzonazione sismica a supporto della progettazione urbanistica. Gli esiti dello studio MS sono riassunti ai precedenti capitoli.

In ottemperanza della normativa tecnica nazionale (NTC 2018) e in accordo con i risultati ottenuti a seguito delle indagini geofisiche espletate per il sito in oggetto è possibile classificare il terreno di fondazione come appartenente alla **categoria C**. A seguito della definizione delle caratteristiche geofisiche del sito è stata condotta un'analisi RSL per la definizione dell'azione sismica di riferimento.

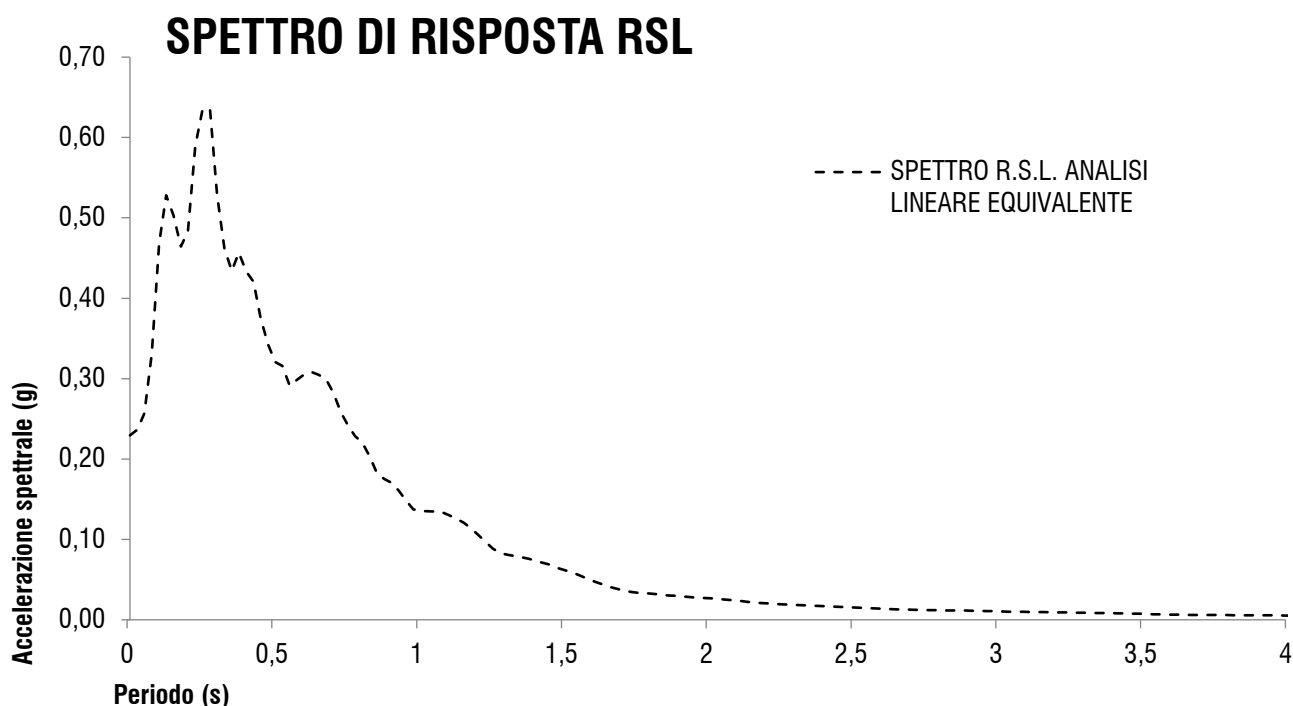


Fig. 6.10 – Spettro RSL per punti ottenuto a seguito dell'analisi eseguita

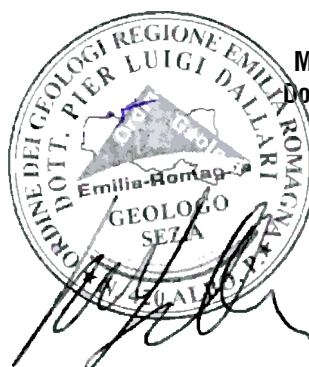
		F.A. S.I.				
	PGA ₀	F.A. PGA	(0.00 < T(s) < 0.50)	(0.50 < T(s) < 1.00)	(0.50 < T(s) < 1.50)	PGA _{MAX}
SLV	0.160	1.43	1.63	1.69	1.87	0.229

Si illustrano successivamente i valori di LPI derivati per ciascuna verticale di prova CPTU considerata ai fini delle analisi del fenomeno di liquefazione:

INDAGINE	INDICE DI LIQUEFAZIONE LPI	RISCHIO
CPTU 1	1.449	BASSO
CPTU 3	0.000	NULLO

Sulla scorta delle risultanze ottenute dalle verifiche della suscettività del sito al fenomeno di liquefazione emerge che l'areale oggetto di studio risulta esposto a un rischio variabile da "basso" a "nullo". La verifica dei cedimenti sismici è stata svolta considerando una soggiacenza della falda freatica pari a $D_w = -2.50$ m da p.c., il valore di PGA derivante dall'analisi di III livello eseguita e una magnitudo di riferimento pari a 6.14. Si illustrano successivamente i valori di cedimenti post-sismici cumulati e differenziali, per ciascuna categoria di terreno:

CEDIMENTI POST SISMICI (DGR 2391/2015)				
INDAGINE	Granulari saturi (cm)	Granulari insaturi (cm)	Coesivi soffici (cm)	Cedimento totale (cm)
CPTU1	11.227	1.225	4.310	16.762
CPTU3	0.00	4.856	4.789	9.645



Modena, 07 Febbraio 2023
Dott. Geol. Pier Luigi Dallari
GEO GROUP S.r.l.



GEO GROUP S.R.L.

UFFICI: via Per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo R. (MO) SEDE LEGALE: via C. Costa, 182 - 41123 Modena (MO)
tel. 059/3967169; 059/828367 - FAX 059/5960176 p. Iva e C.F. 02981500362
Email: info@geogroupmodena.it Pec: geo.group@winpec.it Sito: www.geogroupmodena.it
Operatore APR certificato ENAC per operazioni non critiche – Rif. ENAC 18627

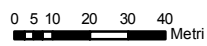
Allegato n.1

TAVOLE





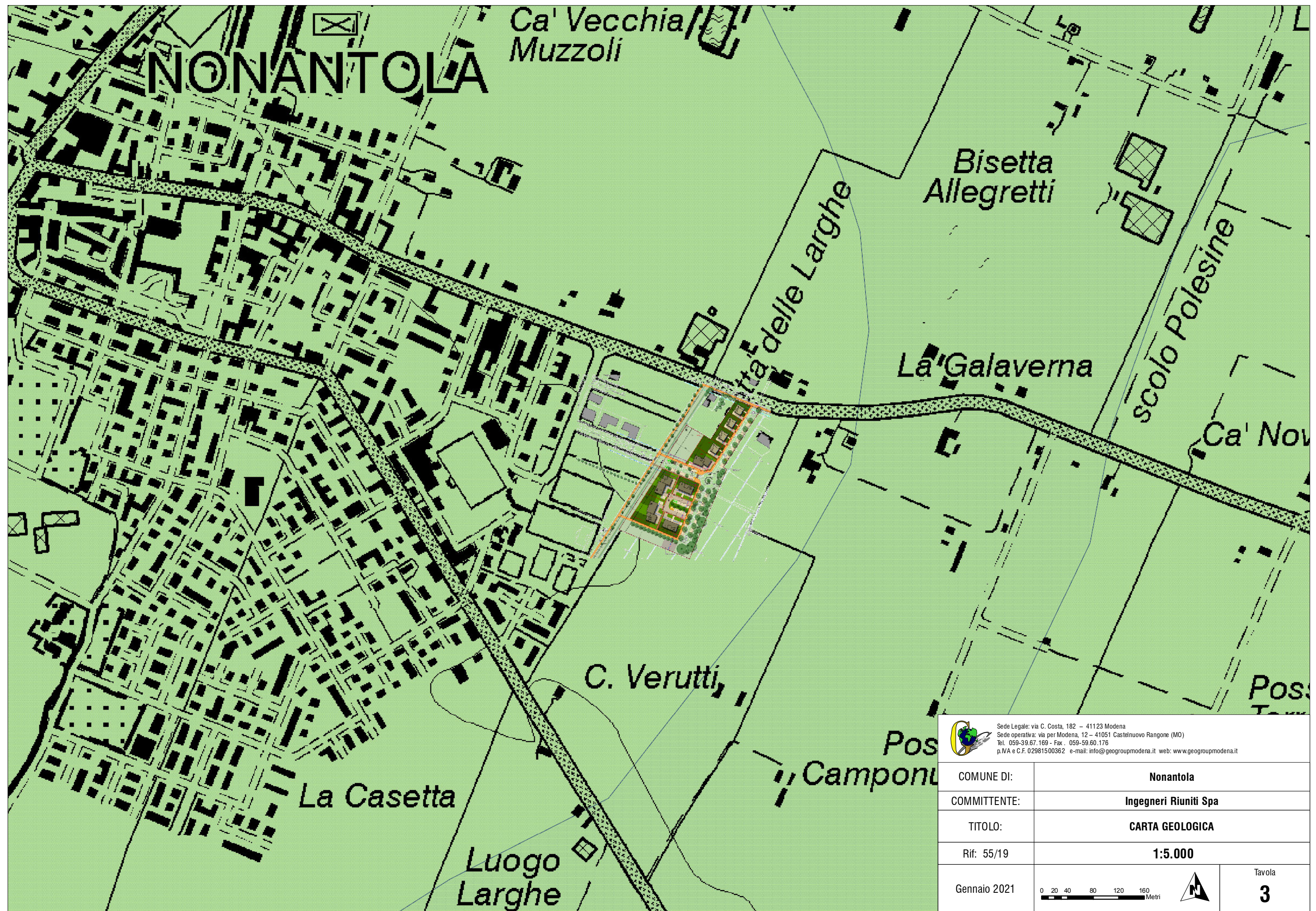
Sede Legale: via C. Costa, 182 - 41123 Modena
Sede operativa: via per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo Rangone (MO)
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-59.60.176
p.IVA e C.F. 02981500362 e-mail: info@geogroupmodena.it web: www.geogroupmodena.it

COMUNE DI:	Nonantola		
COMMITTENTE:	Ingegneri Riuniti Spa		
TITOLO:	CARTA TOPOGRAFICA		
Rif: 55/19	1:2.000		
Gennaio 2021			Tavola 1



Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41123 Modena
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-59.60.176
p.IVA e C.F. 02981500362 e-mail: info@geogroupmodena.it web: www.geogroupmodena.it

COMUNE DI:	Nonantola		
COMMITTENTE:	Ingegneri Riuniti Spa		
TITOLO:	RIPRESA SATELLITARE		
Rif: 55/19	1:2.000		
Gennaio 2021	0 5 10 20 30 40 Metri		Tavola 2



Sede Legale: via C. Costa, 182 - 41123 Modena
Sede operativa: via per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo Rangone (MO)
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-59.60.176
p.IVA e C.F. 02981500362 e-mail: info@geogroupmodena.it web: www.geogroupmodena.it

COMUNE DI:	Nonantola		
COMMITTENTE:	Ingegneri Riuniti Spa		
TITOLO:	CARTA GEOLOGICA		
Rif: 55/19	1:5.000		
Gennaio 2021			Tavola 3



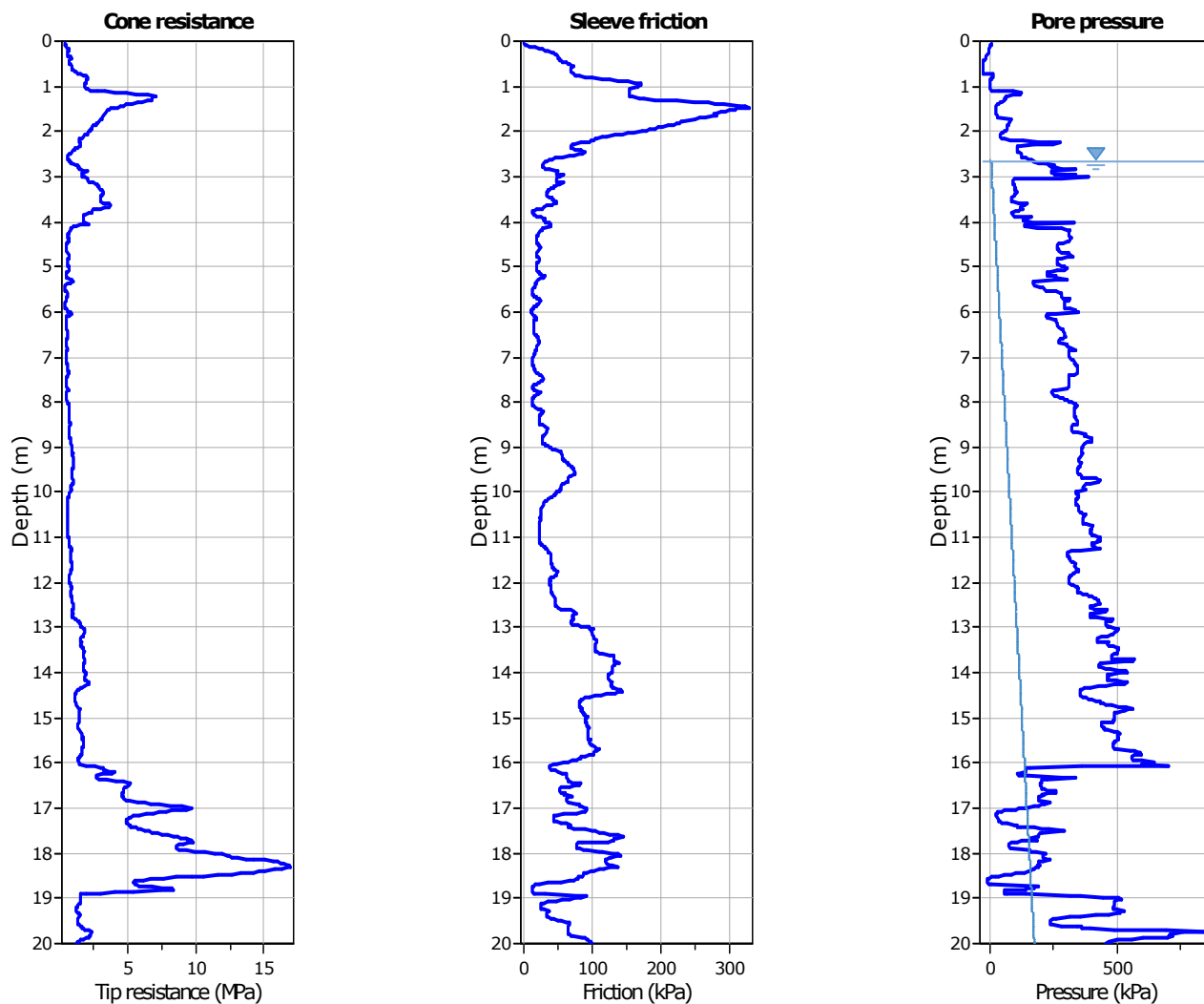


GEO GROUP S.R.L.

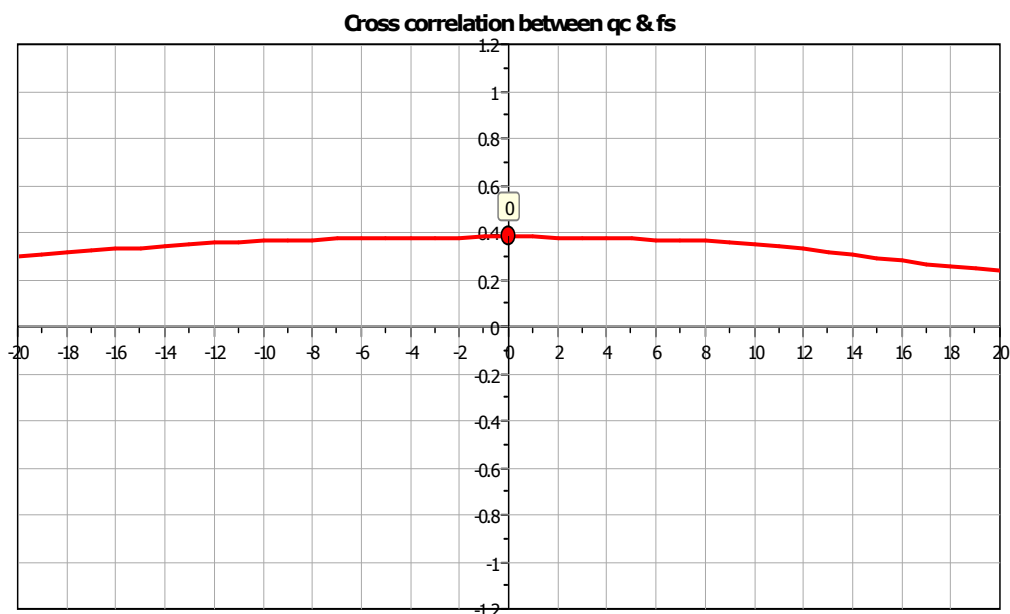
UFFICI: via Per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo R. (MO) SEDE LEGALE: via C. Costa, 182 - 41123 Modena (MO)
tel. 059/3967169; 059/828367 - FAX 059/5960176 p. Iva e C.F. 02981500362
Email: info@geogroupmodena.it Pec: geo.group@winpec.it Sito: www.geogroupmodena.it
Operatore APR certificato ENAC per operazioni non critiche – Rif. ENAC 18627

Allegato n.1

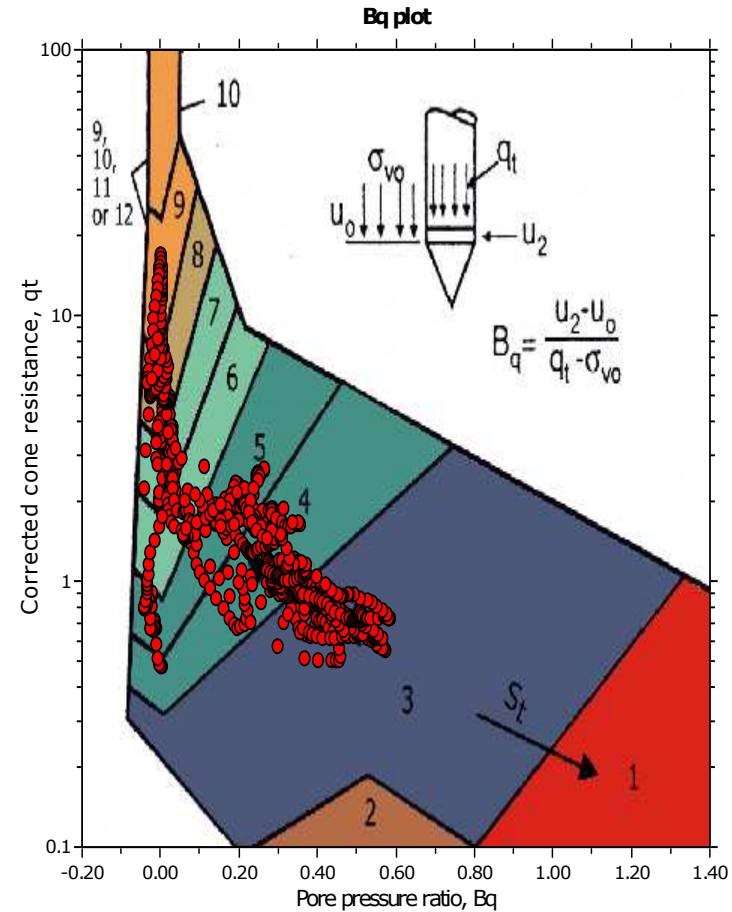
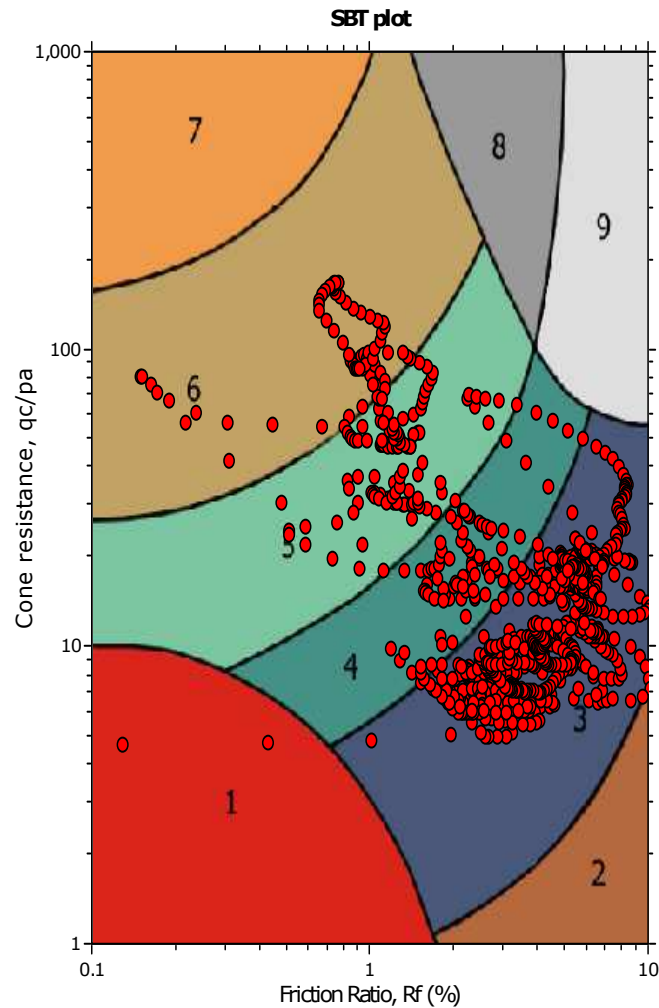
Prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT e punta elettrica CPTU



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



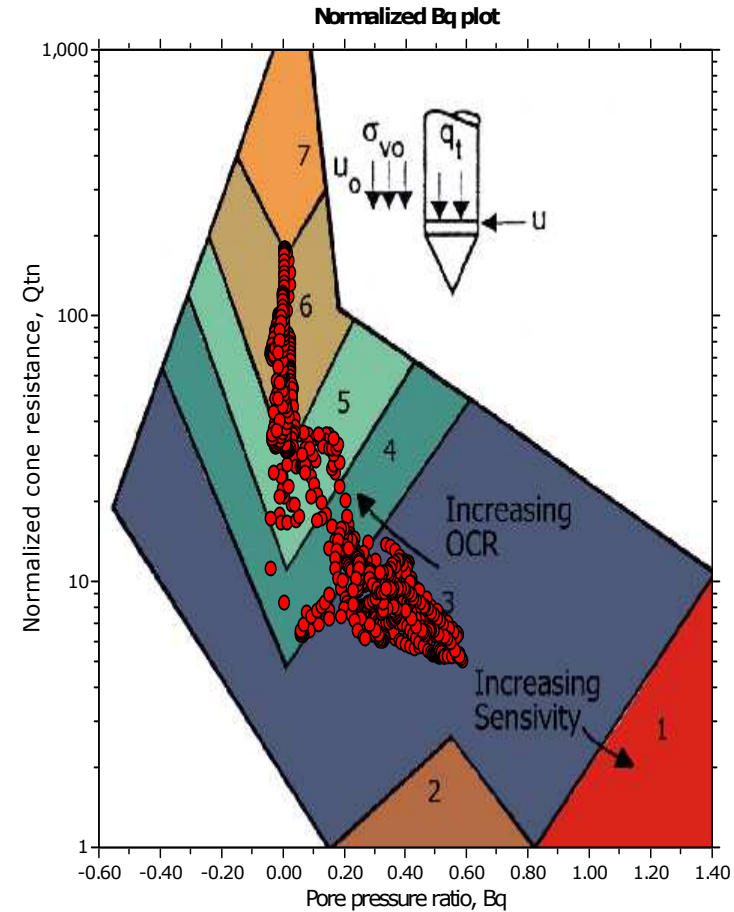
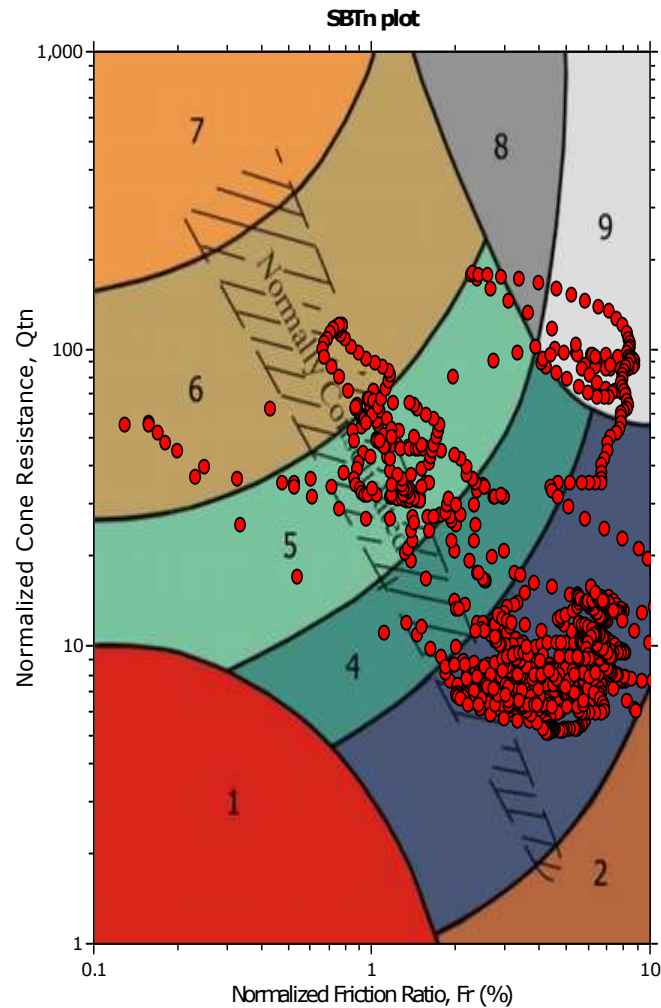
SBT - Bq plots



SBT legend

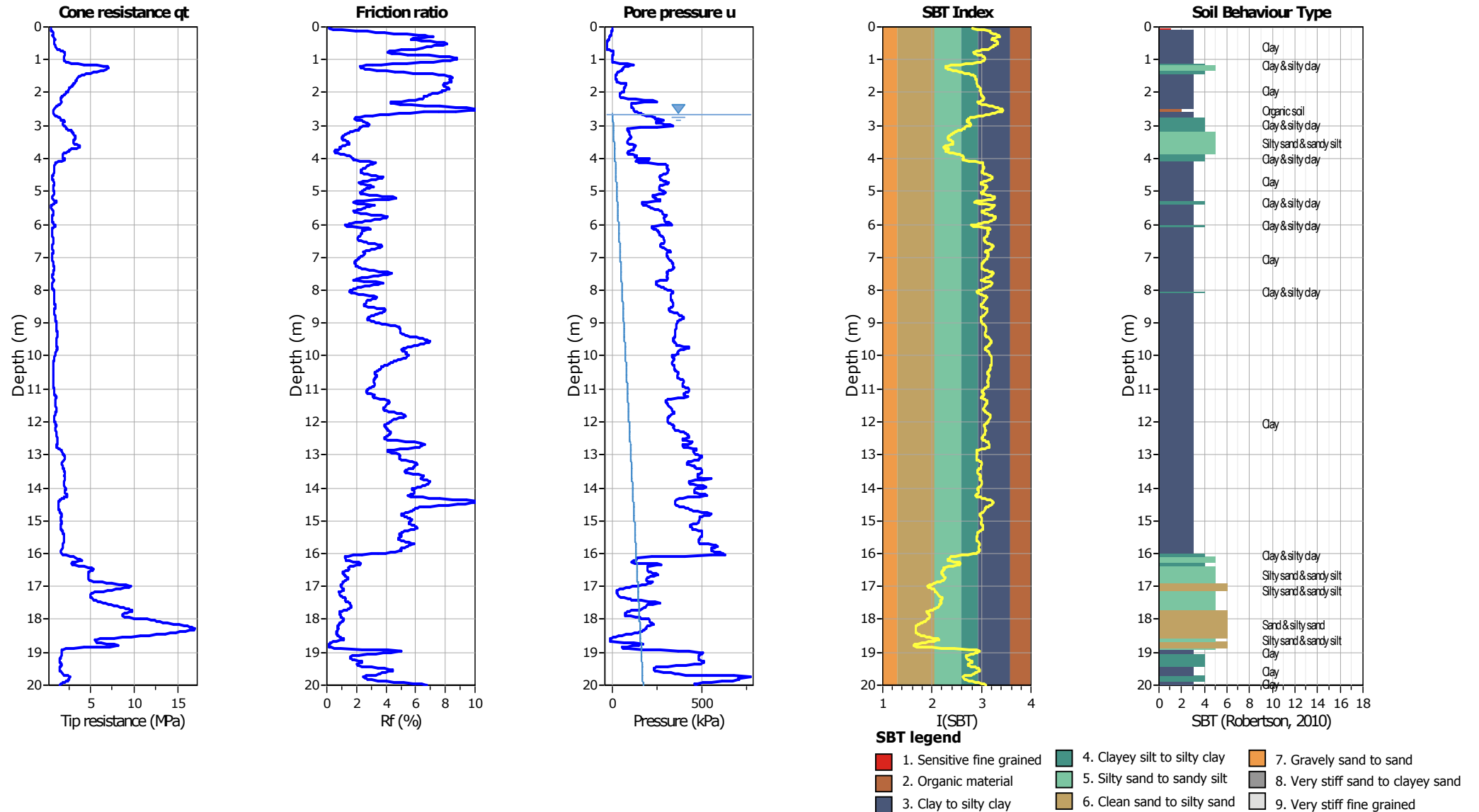
- | | | |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty clay | 7. Gravely sand to sand |
| 2. Organic material | 5. Silty sand to sandy silt | 8. Very stiff sand to clayey sand |
| 3. Clay to silty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

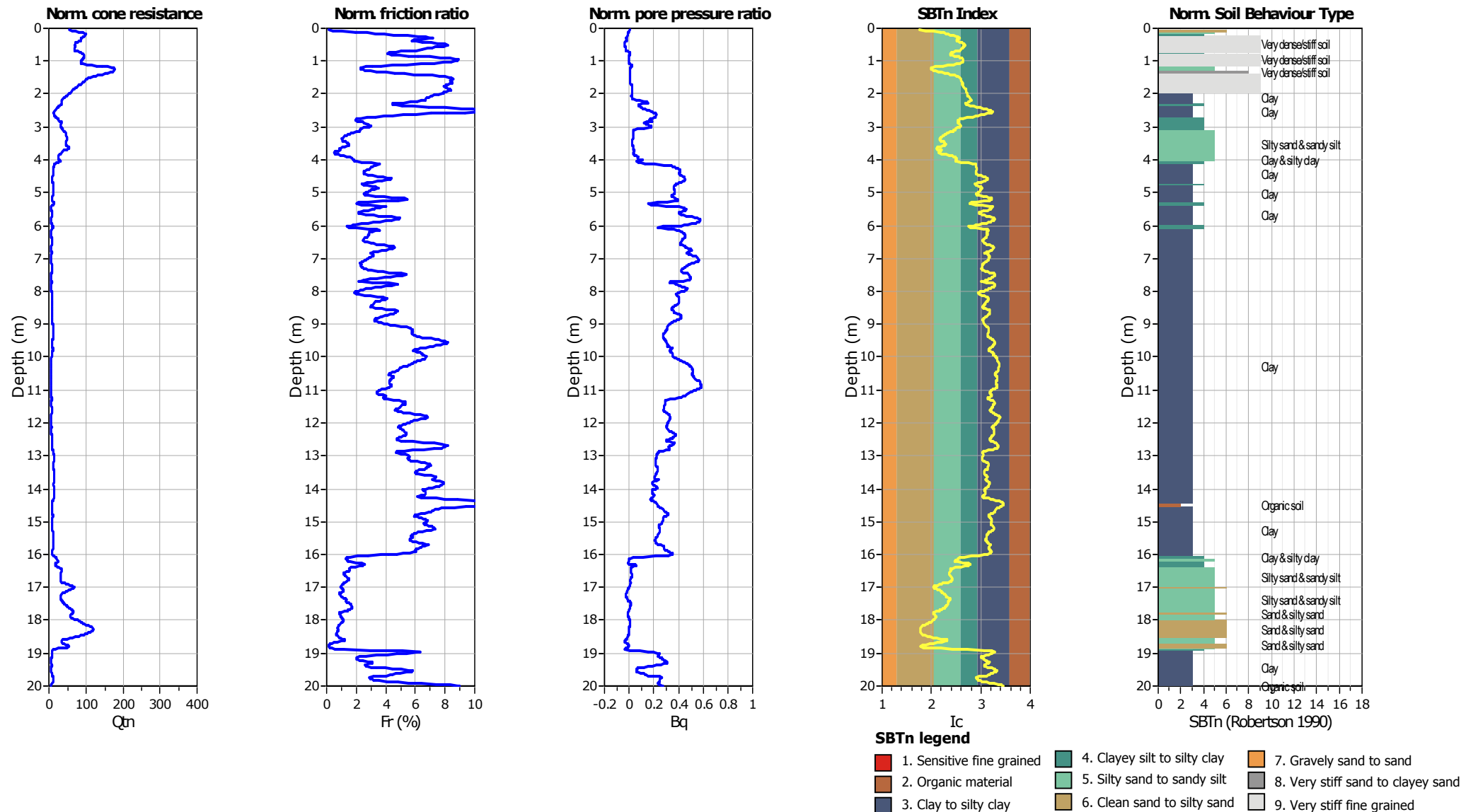
SBT - Bq plots (normalized)

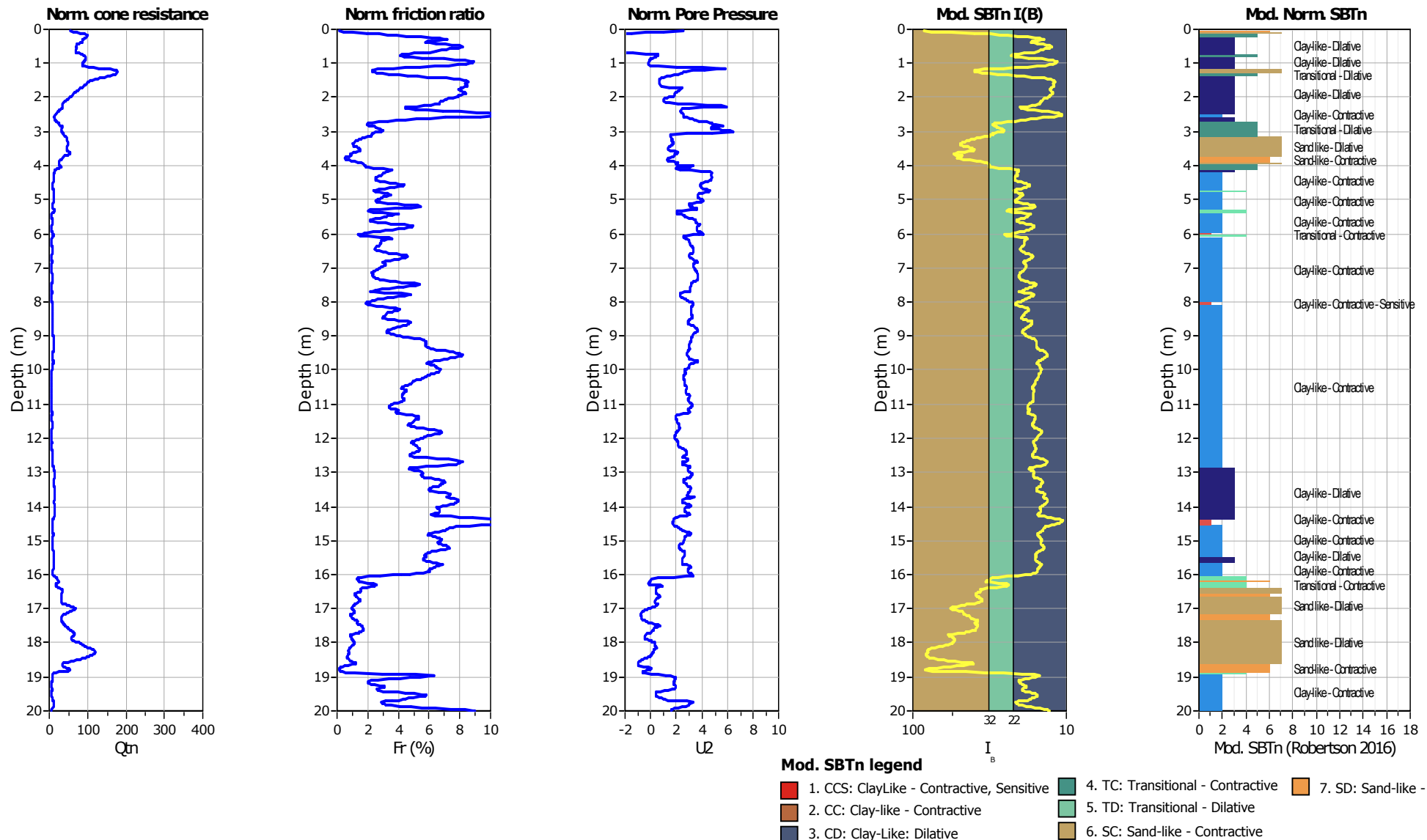


SBTn legend

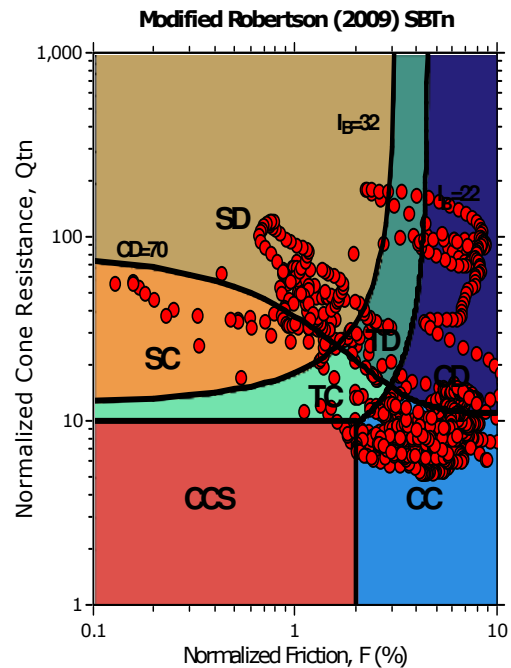
- | | | |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty clay | 7. Gravely sand to sand |
| 2. Organic material | 5. Silty sand to sandy silt | 8. Very stiff sand to clayey sand |
| 3. Clay to silty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



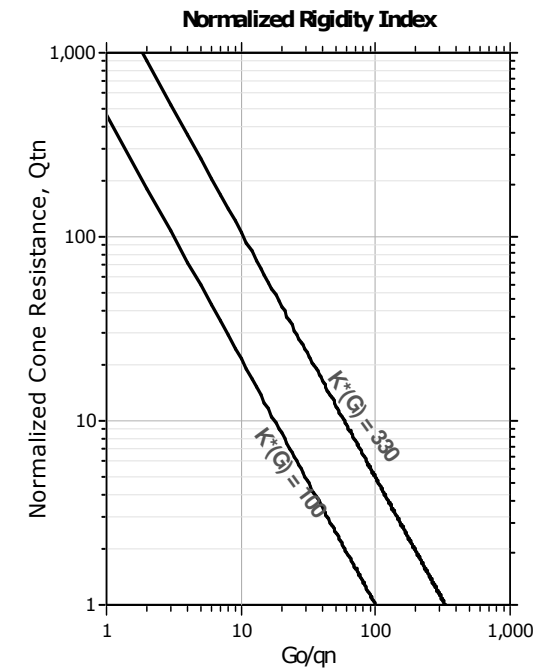
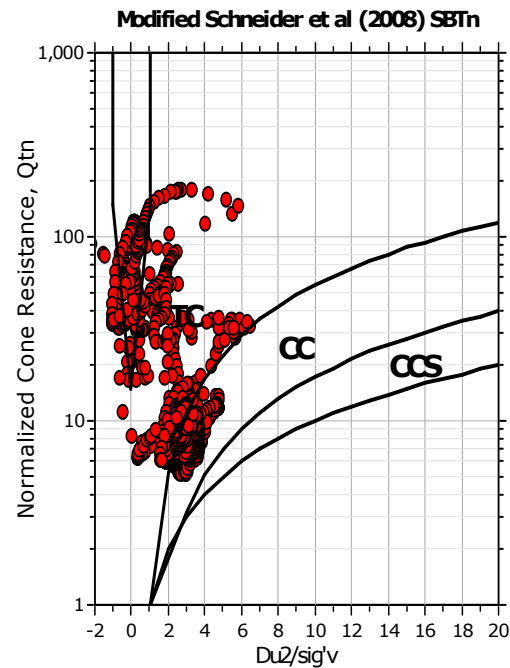




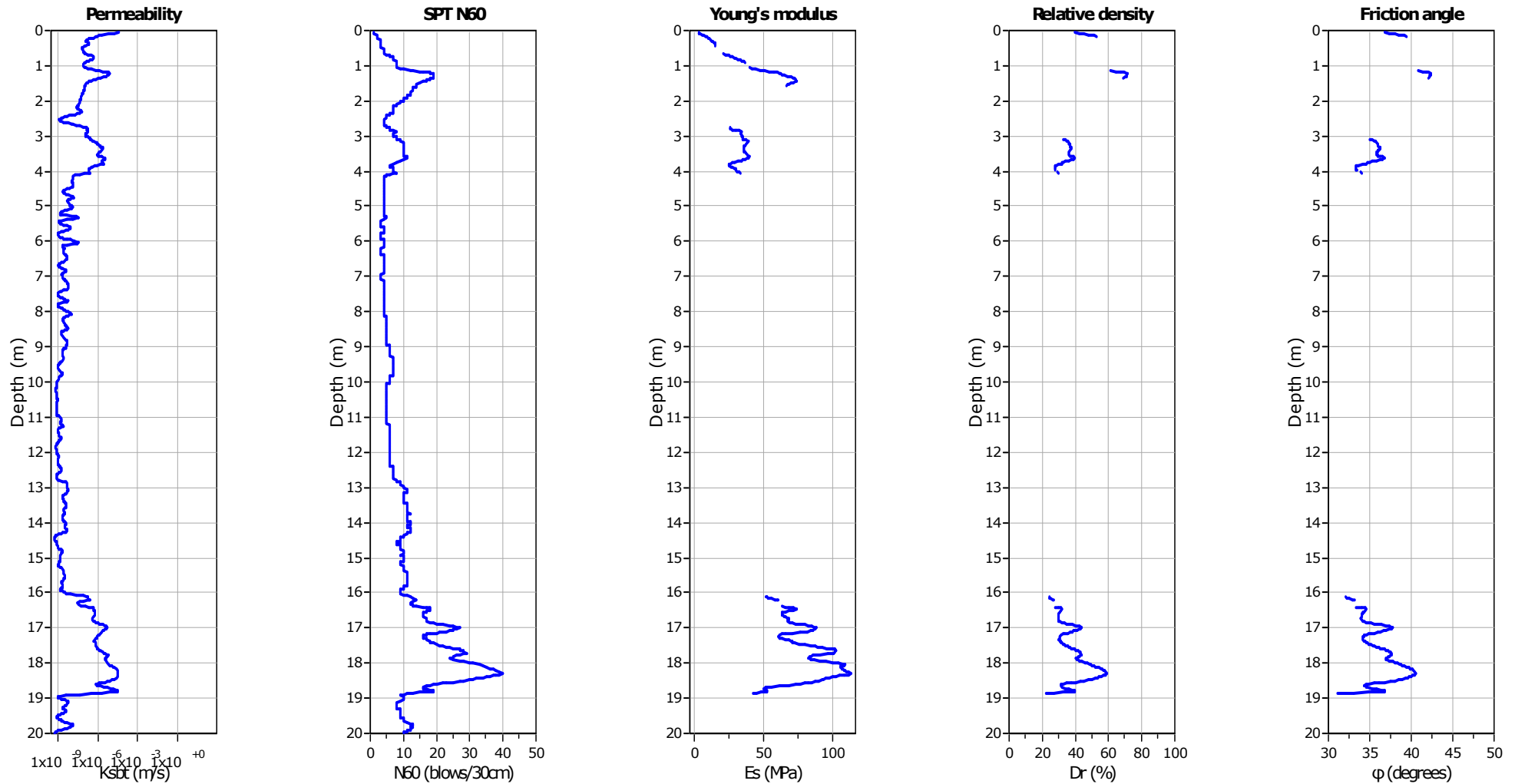
Updated SBTn plots



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



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



Calculation parameters

Permeability: Based on SBT_n

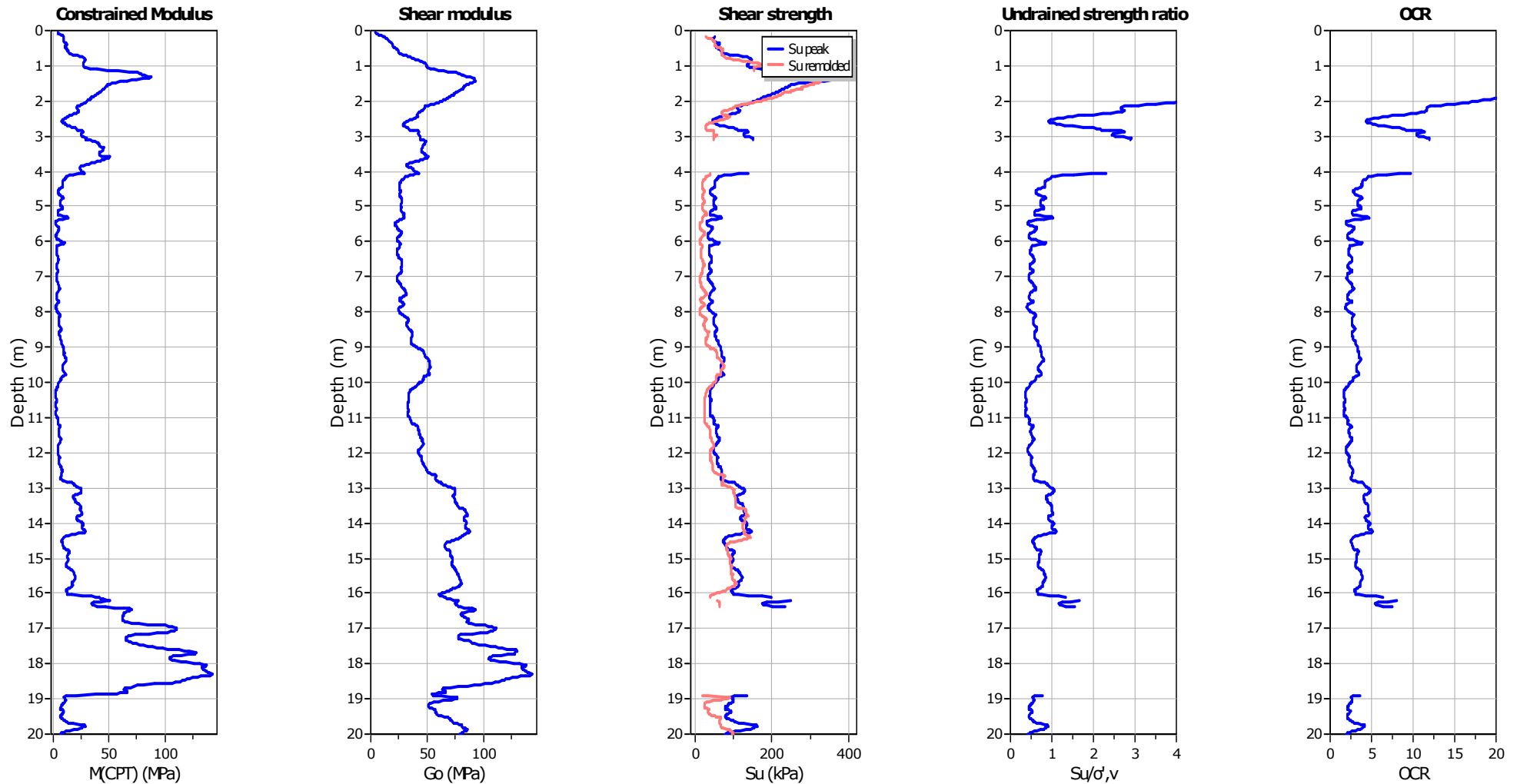
SPT N_{60} : Based on I_c and q_t

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

Relative density constant, C_{Dr} : 350.0

Phi: Based on Kulhavy & Mayne (1990)

—●— User defined estimation data



Calculation parameters

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

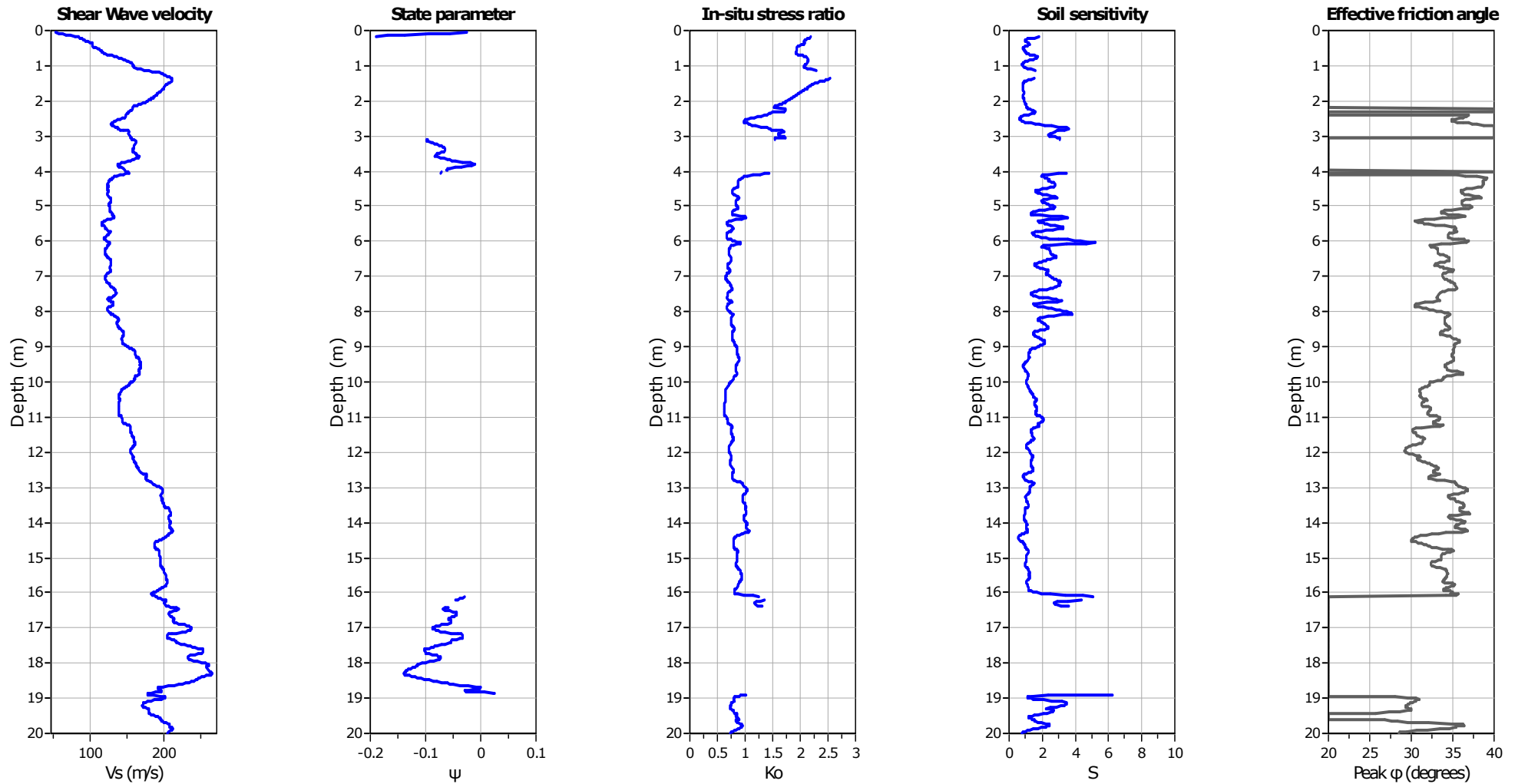
Go: Based on variable α using I_c (Robertson, 2009)

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

OCR factor for clays, N_{kt} : 0.33

—●— User defined estimation data

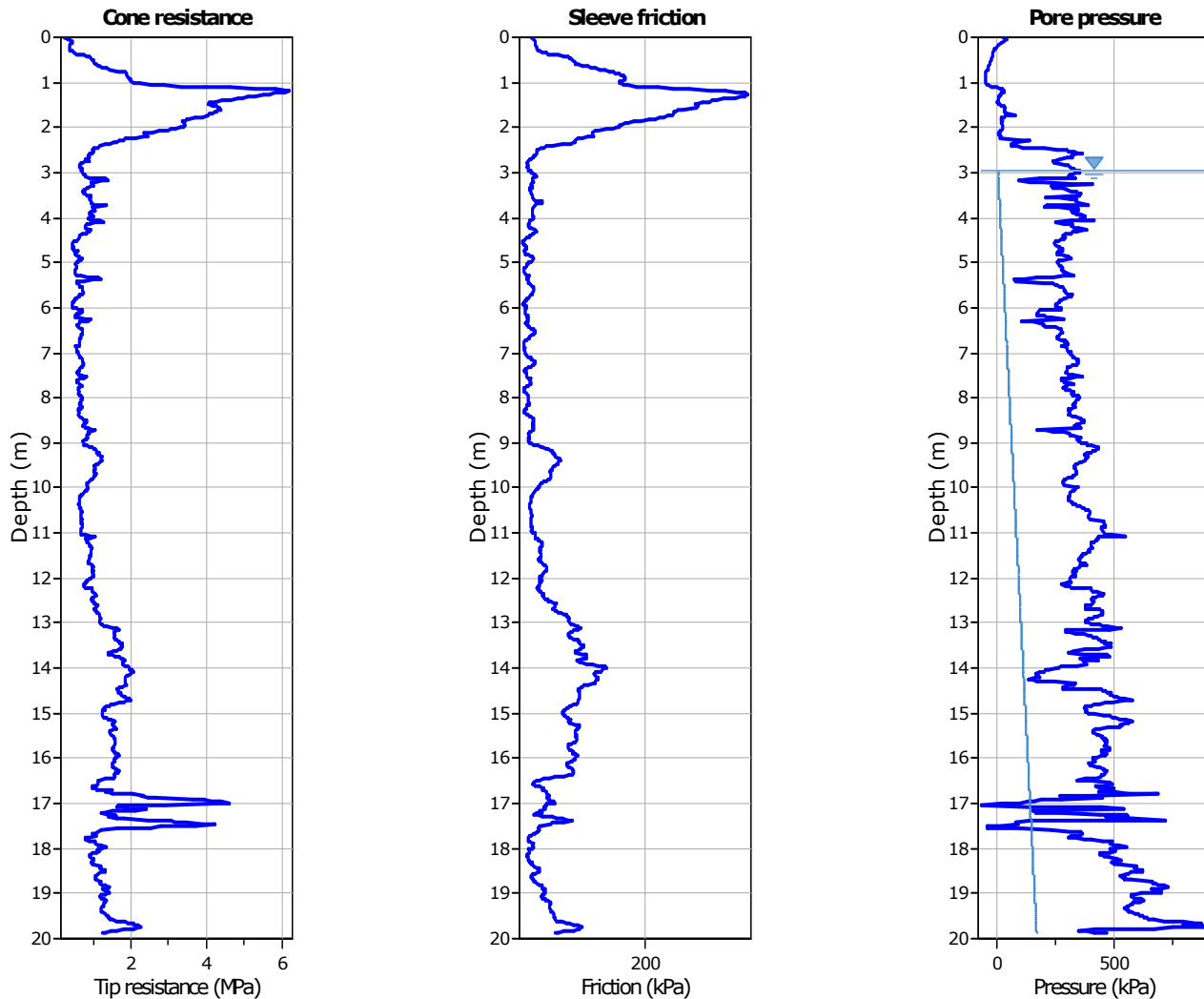
—●— Flat Dilatometer Test data



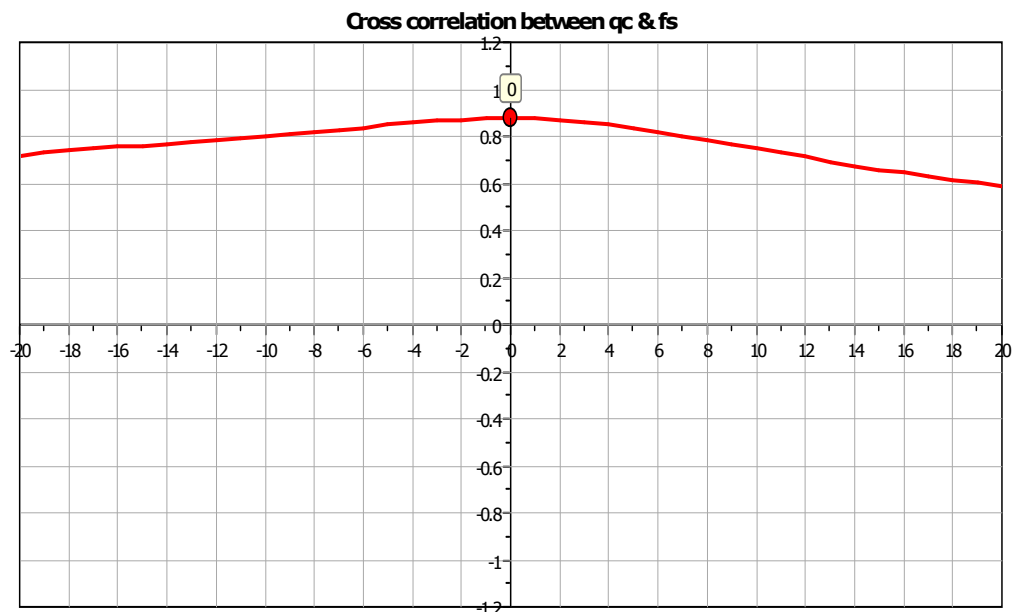
Calculation parameters

Soil Sensitivity factor, N_s : 7.00

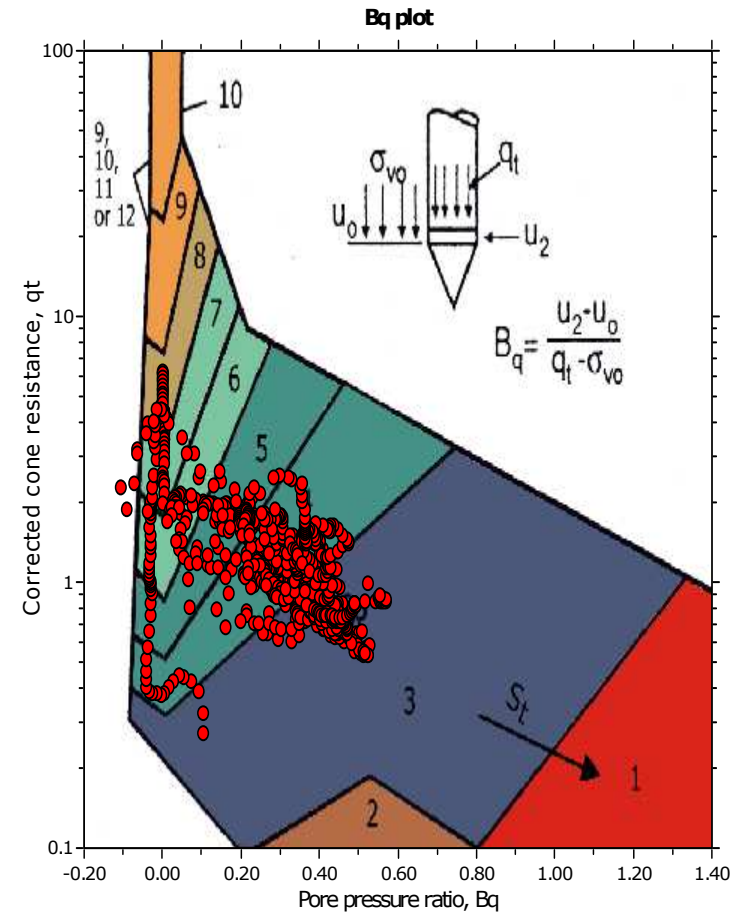
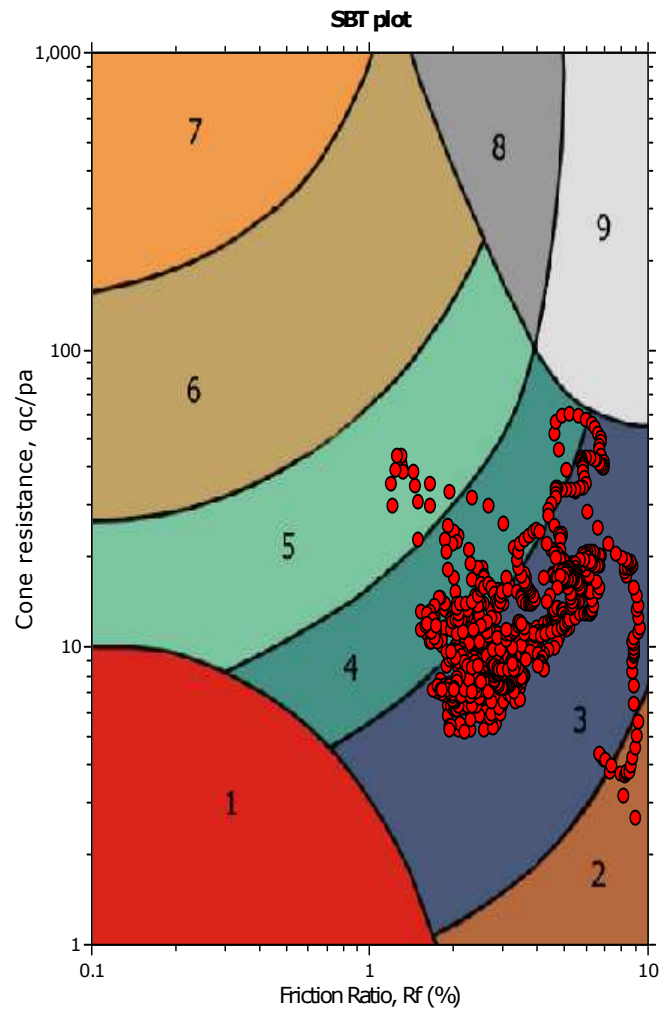
—●— User defined estimation data



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).



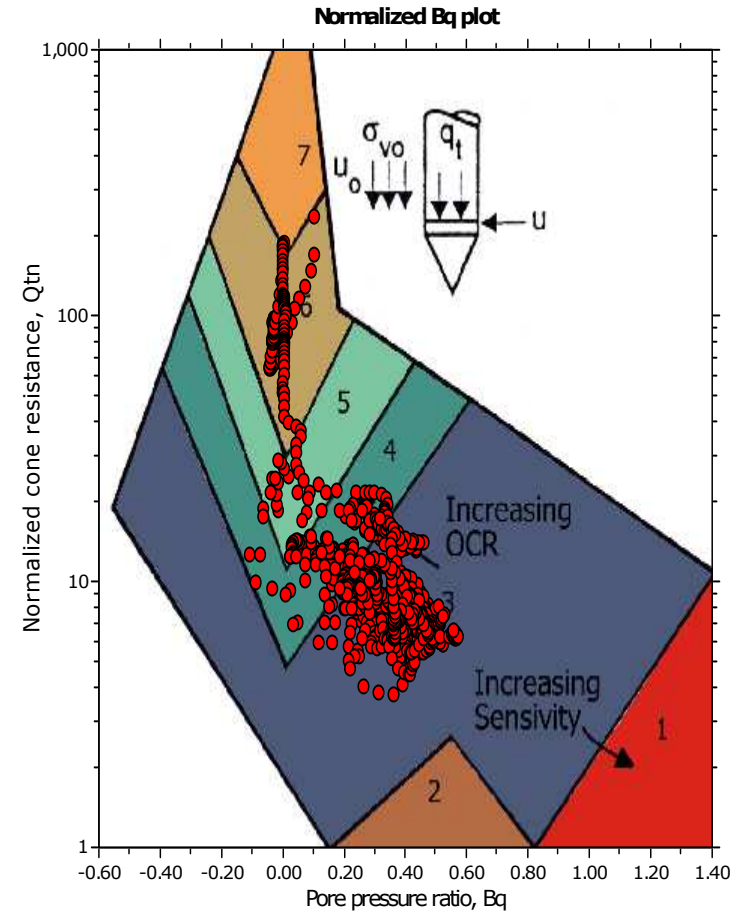
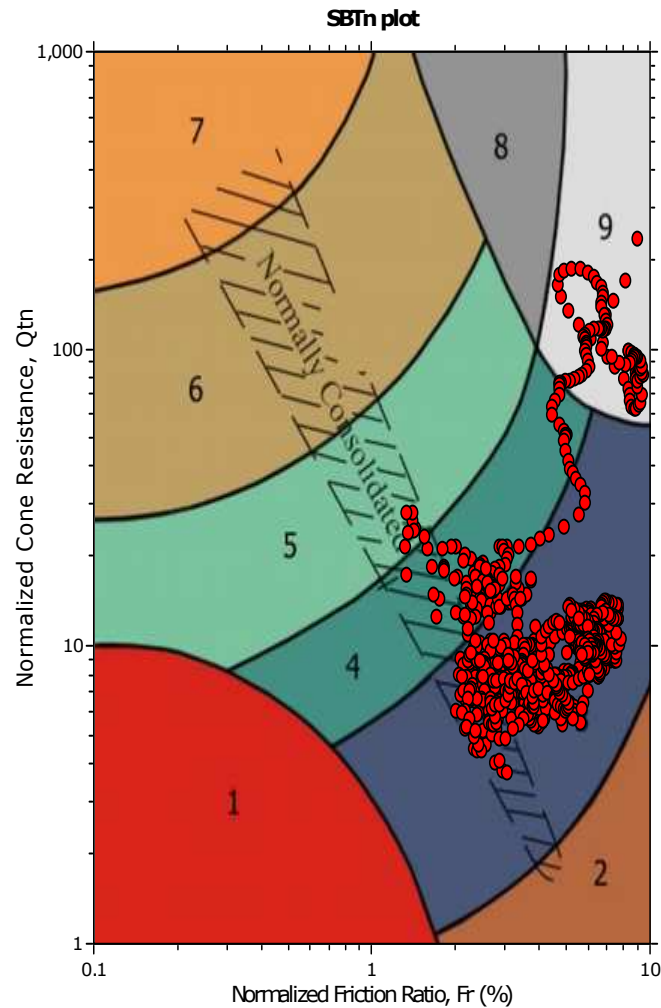
SBT - Bq plots



SBT legend

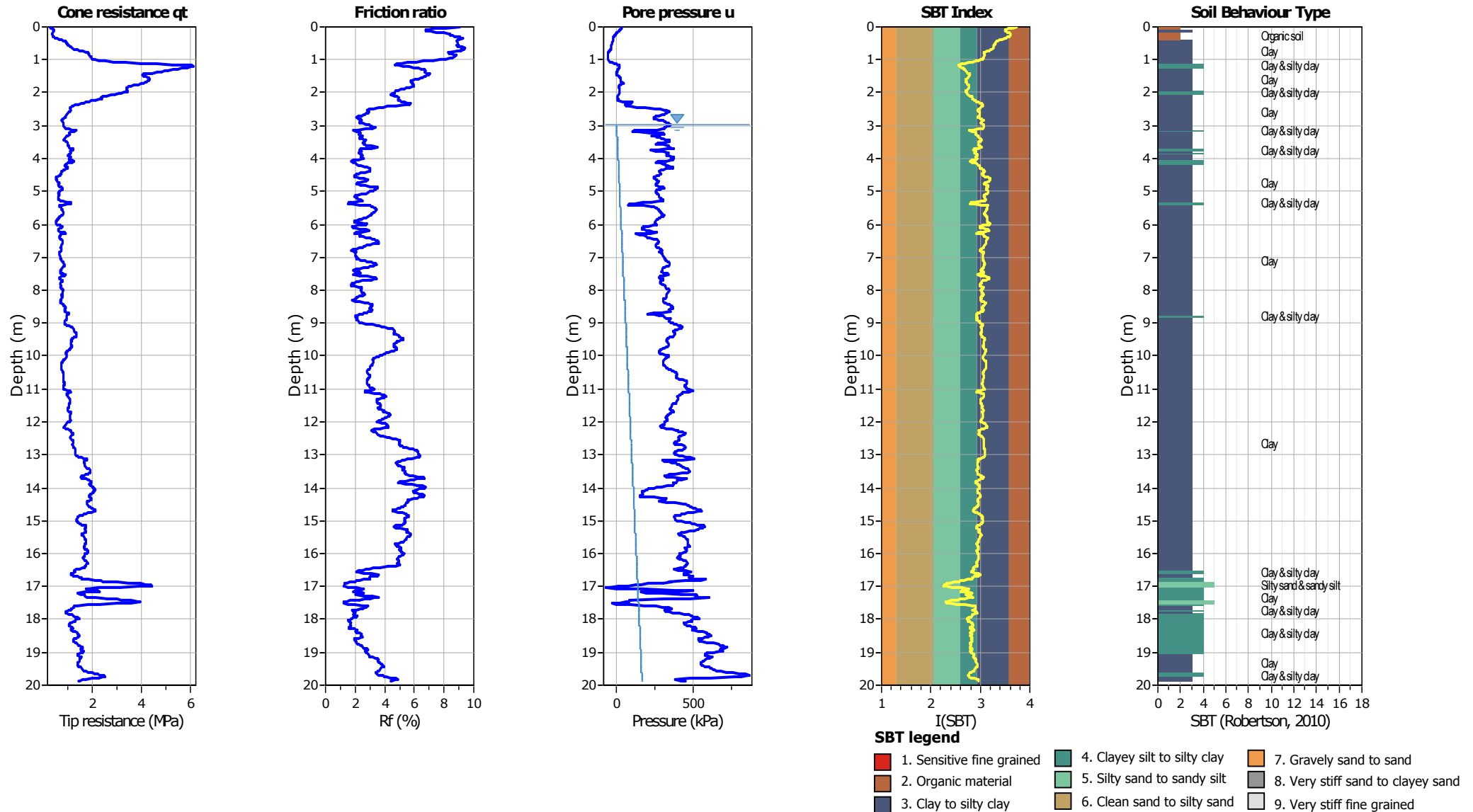
- | | | |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty clay | 7. Gravely sand to sand |
| 2. Organic material | 5. Silty sand to sandy silt | 8. Very stiff sand to clayey sand |
| 3. Clay to silty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

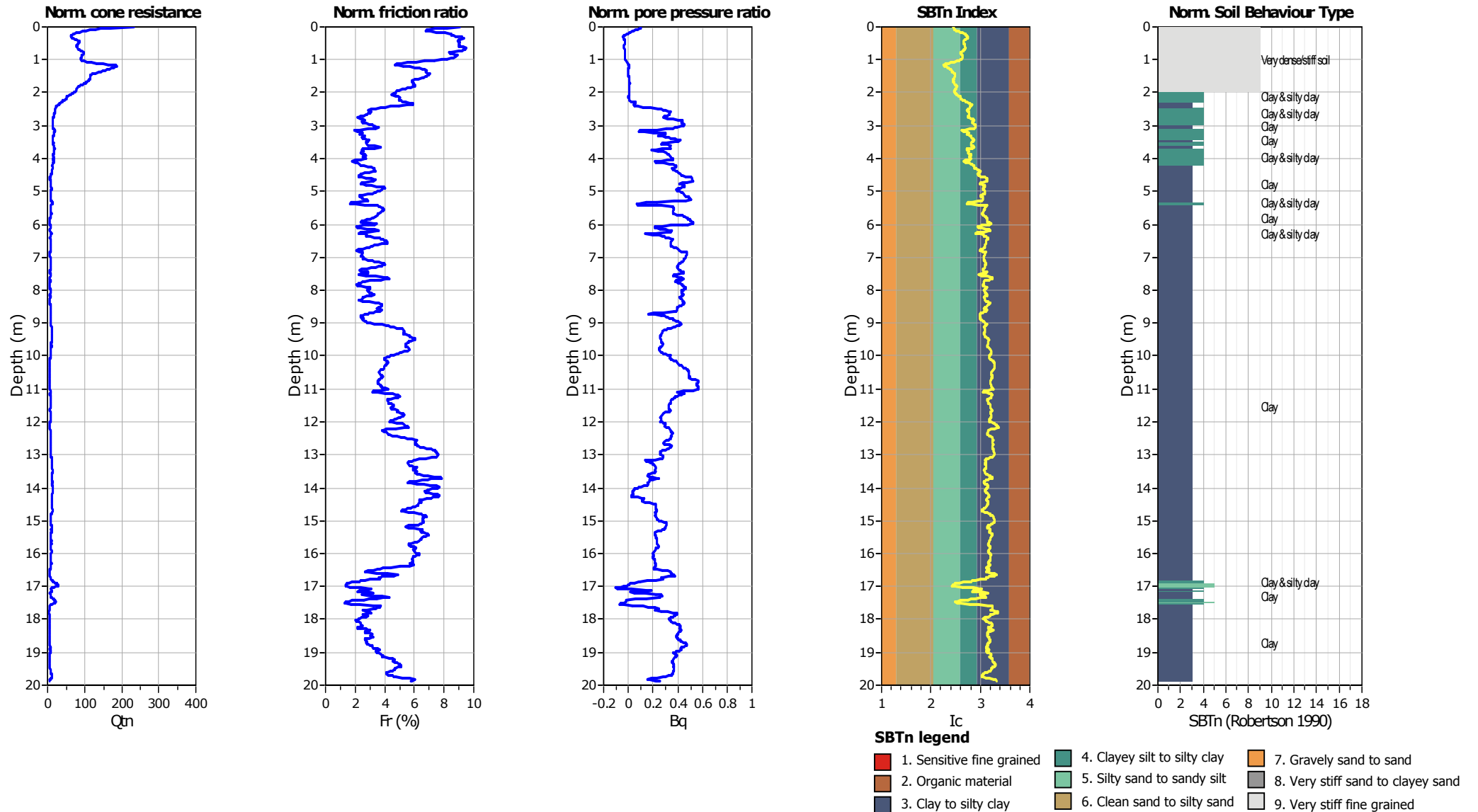
SBT - Bq plots (normalized)

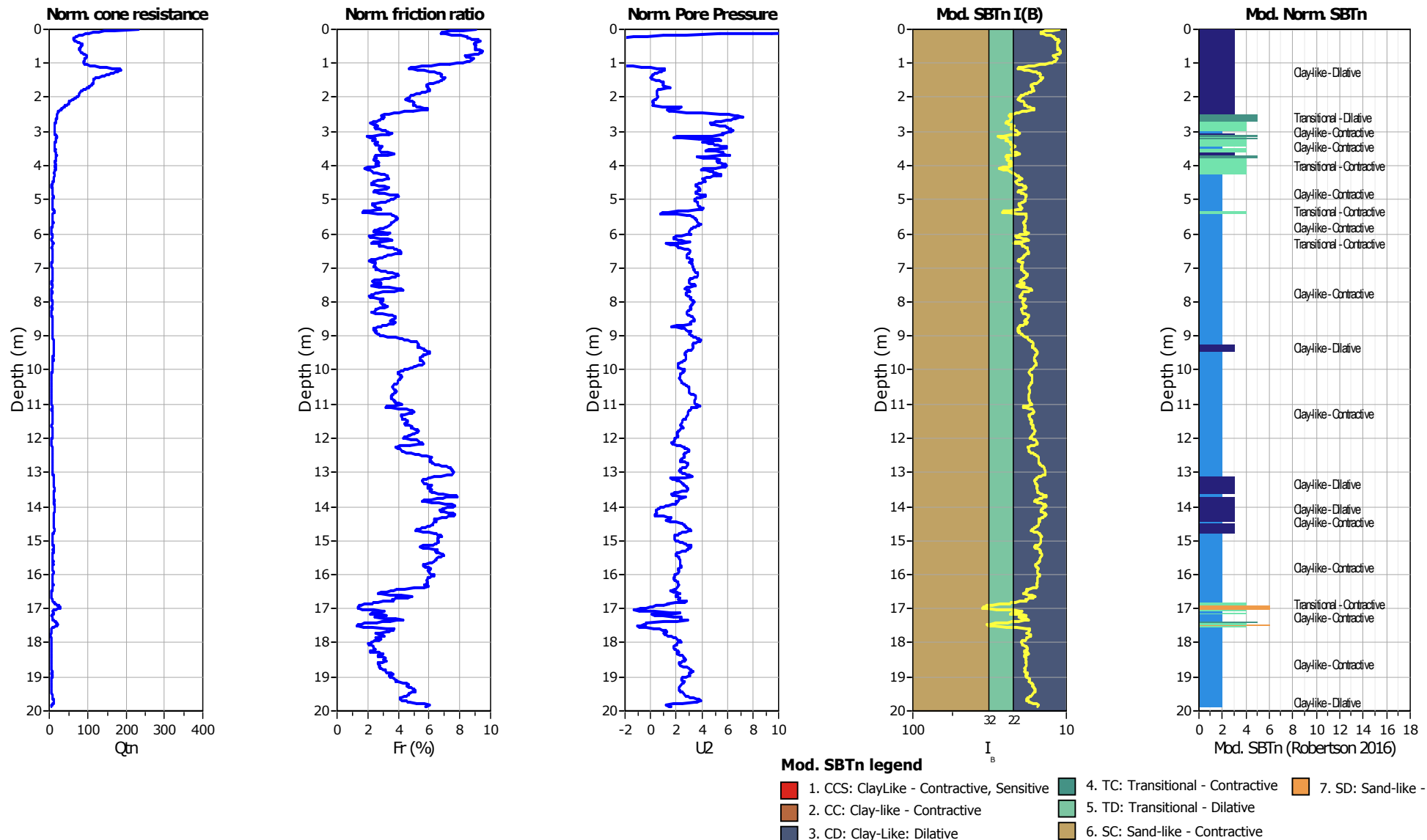


SBTn legend

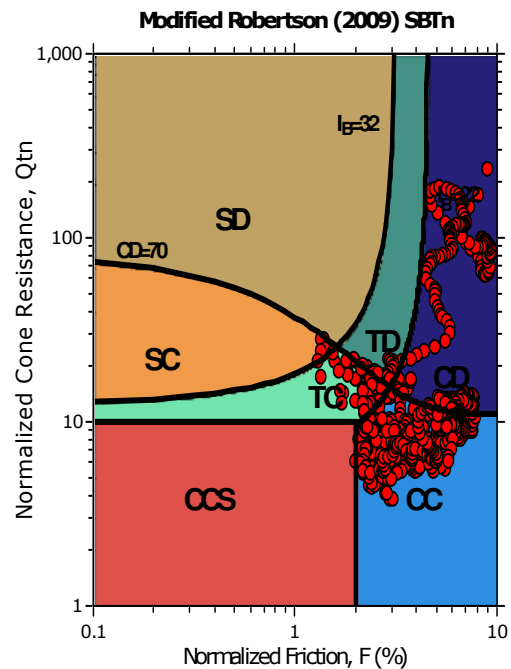
- | | | |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty clay | 7. Gravely sand to sand |
| 2. Organic material | 5. Silty sand to sandy silt | 8. Very stiff sand to clayey sand |
| 3. Clay to silty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



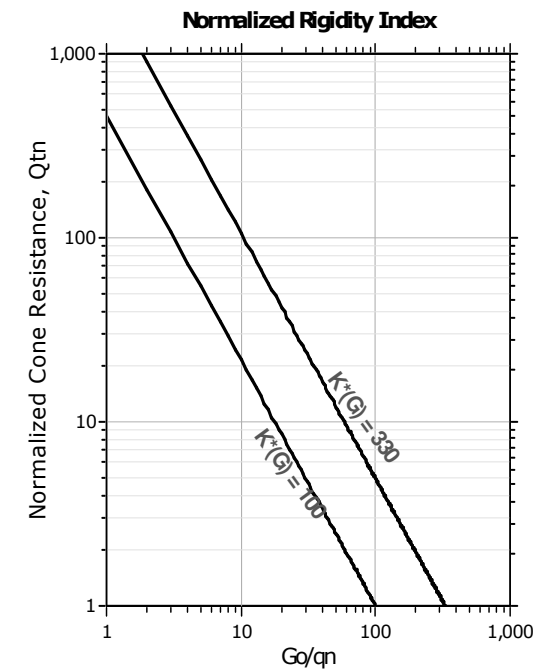
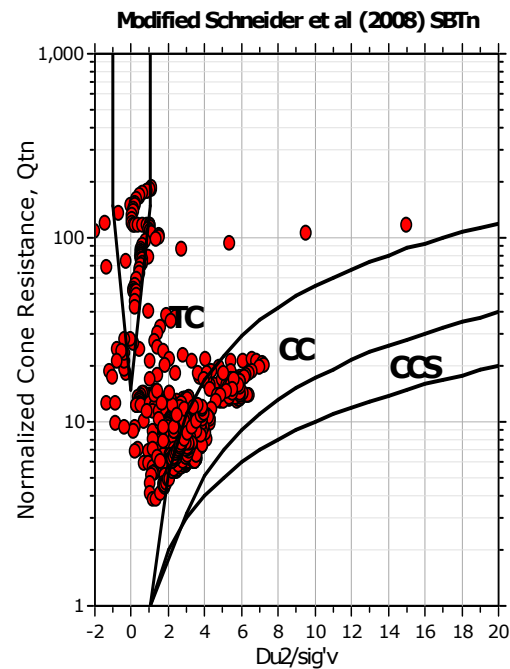




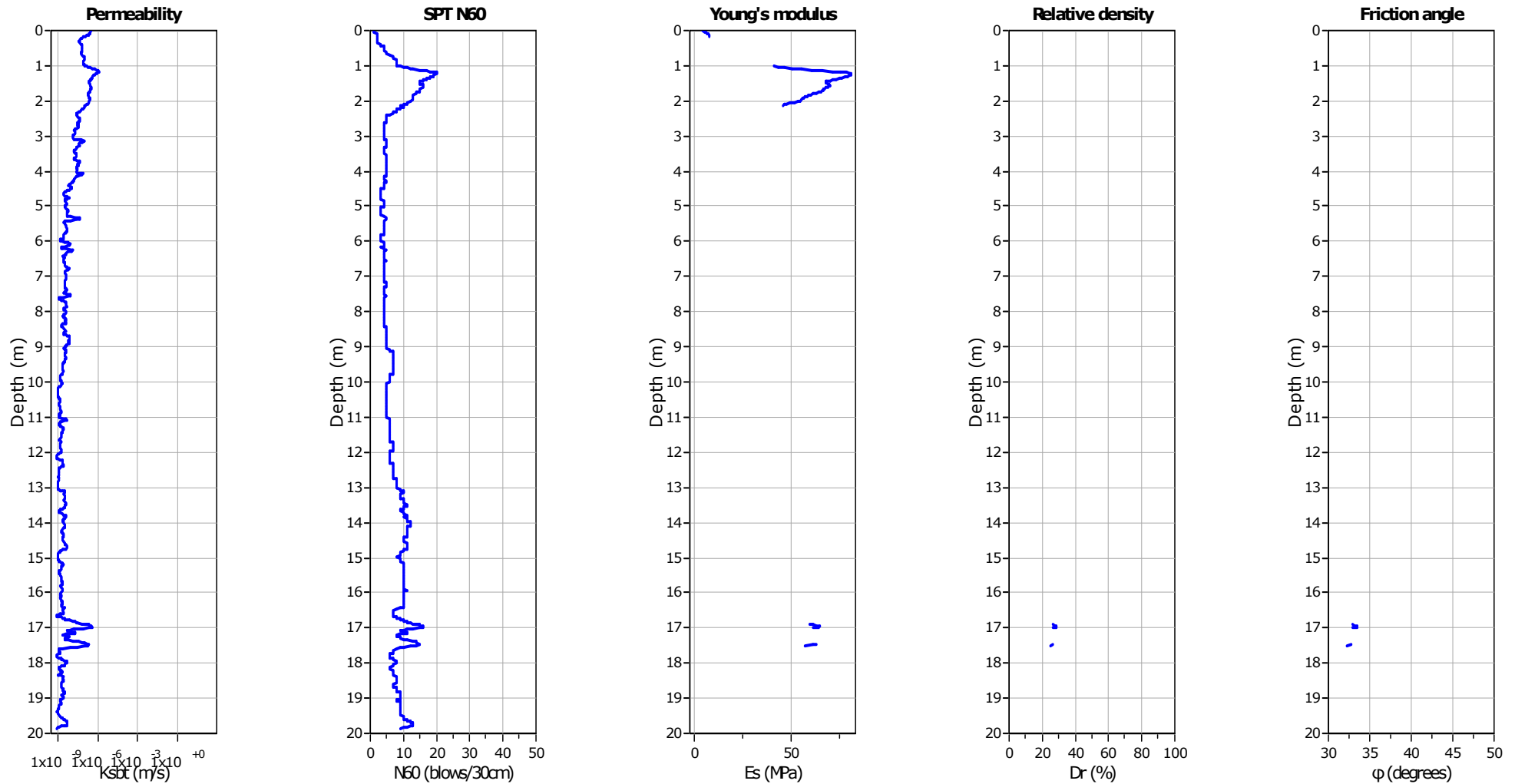
Updated SBTn plots



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



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



Calculation parameters

Permeability: Based on SBT_n

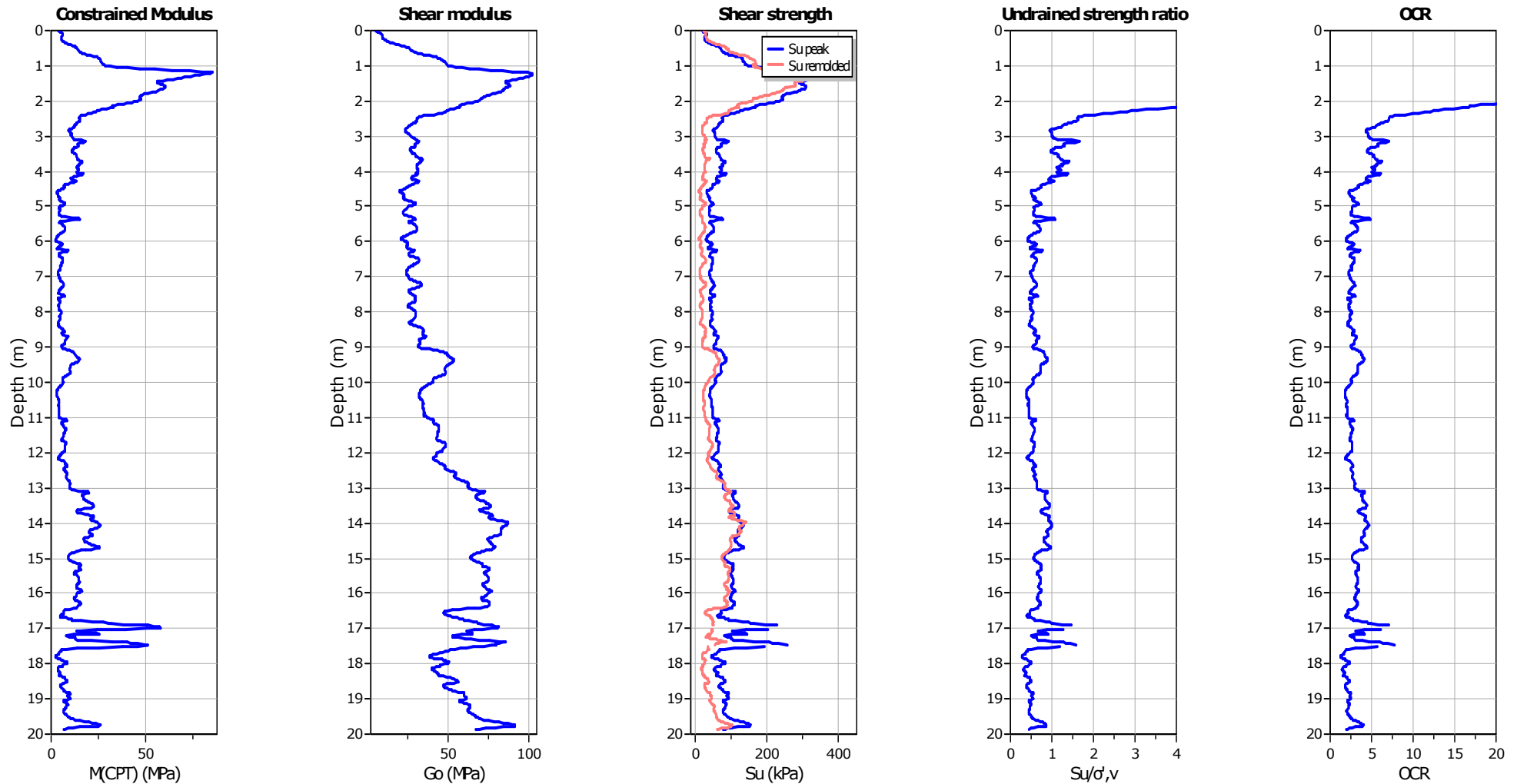
SPT N_{60} : Based on I_c and q_t

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

Relative density constant, C_{Dr} : 350.0

Phi: Based on Kulhavy & Mayne (1990)

● — User defined estimation data



Calculation parameters

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

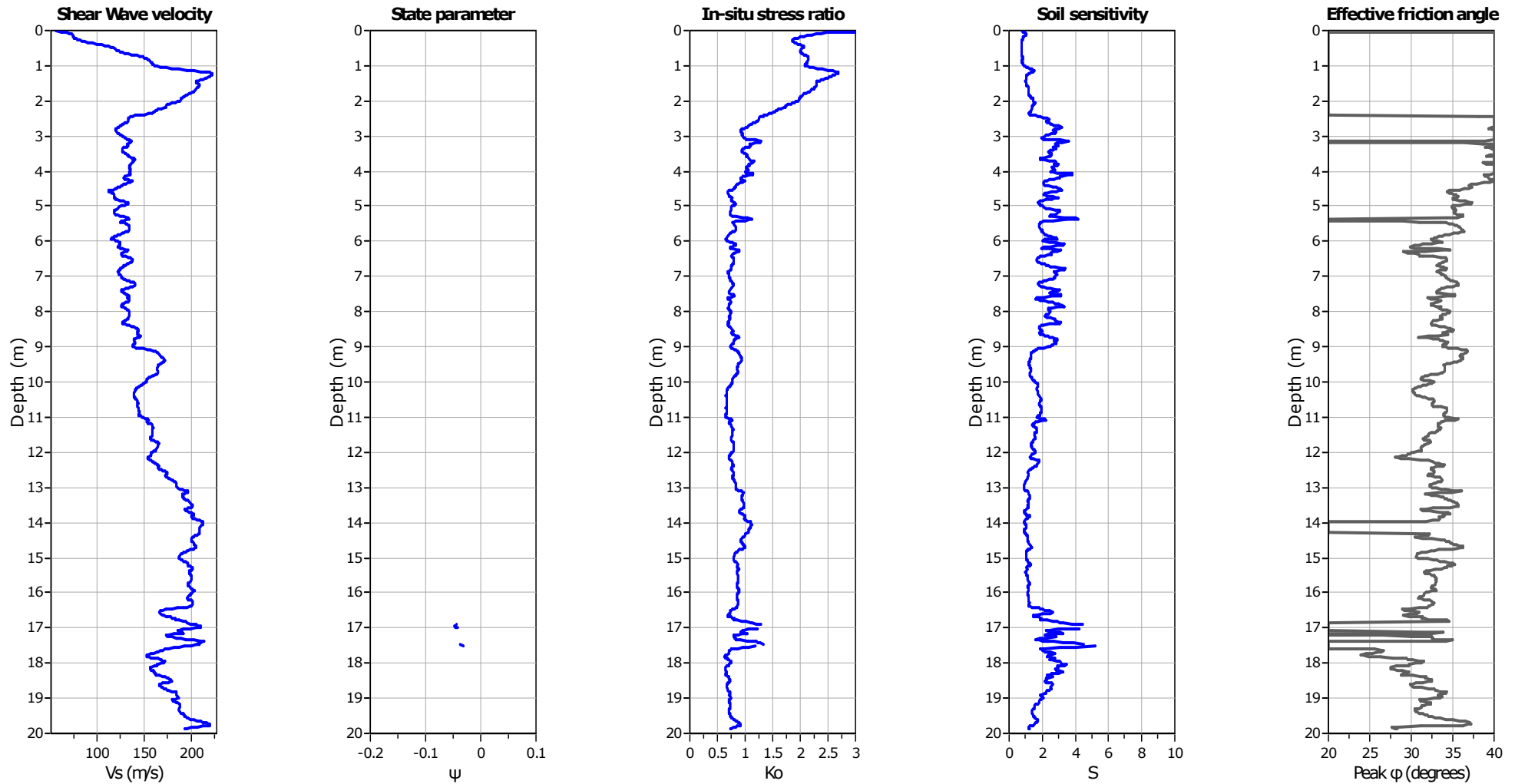
G_0 : Based on variable α using I_c (Robertson, 2009)

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

OCR factor for clays, N_{kt} : 0.33

—●— User defined estimation data

—●— Flat Dilatometer Test data



Calculation parameters

Soil Sensitivity factor, N_s : 7.00

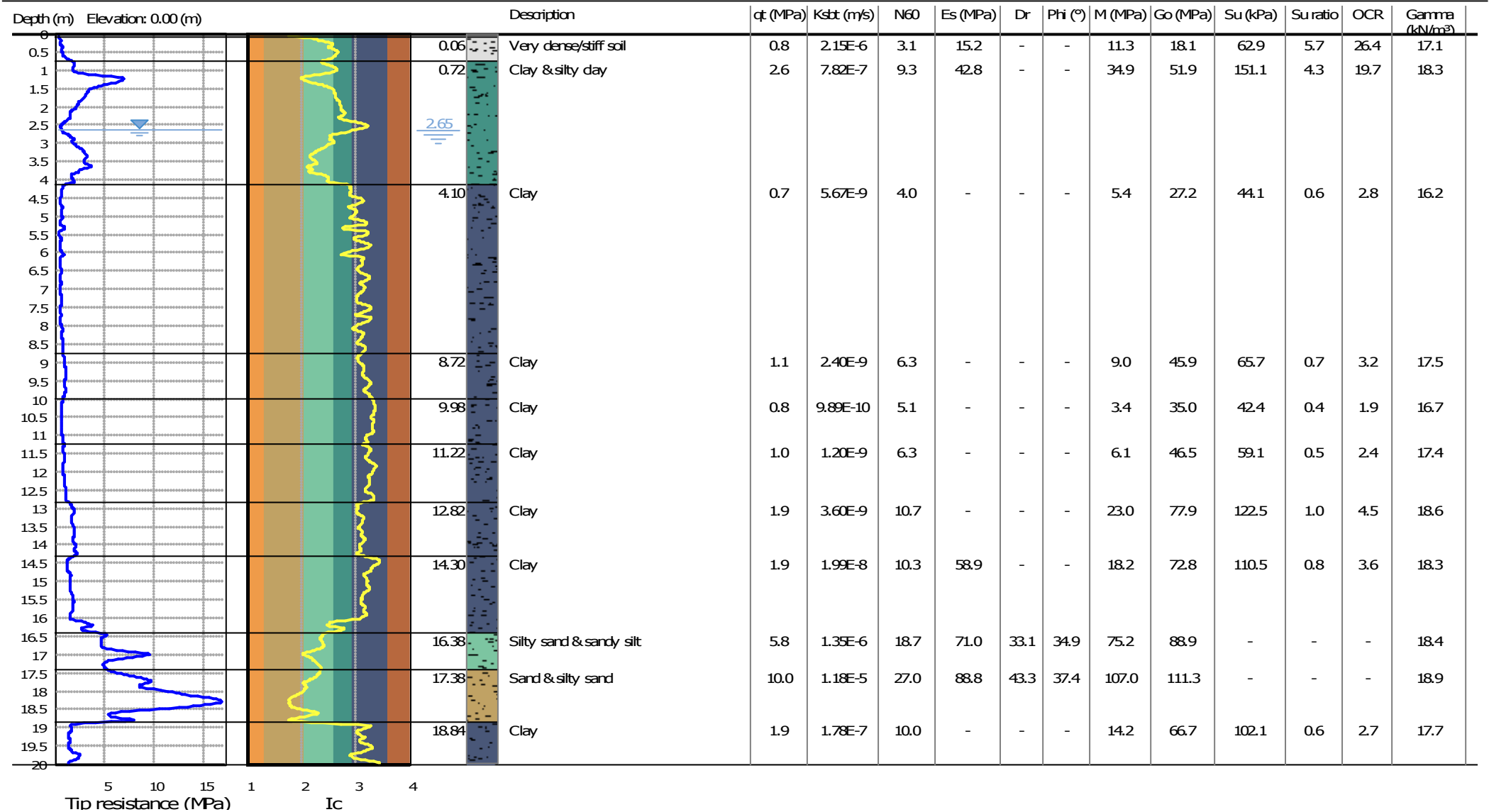
—●— User defined estimation data

Project: Studio del terreno di fondazione

Location: Nonantola, Variante PUA

CPT: CPTU 1

Total depth: 20.00 m, Date: 07/02/2019





O.C.R.: 26.41 $\pm$ 3.33

::: Layer No: 2 :::**Code:** Layer_2 **Start depth:** 0.72 (m), **End depth:** 4.10 (m)**Description:** Clay & silty clay**Basic results**

Total cone resistance: 2.59 ±1.35 MPa

Sleeve friction: 109.53 ±87.93 kPa

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

Permeability: 7.82E-07 ±1.38E-06 m/s

N60: 9.34 ±3.69 blows

Es: 42.76 ±17.33 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 18.32 ±1.07 kN/m³

Constrained Mod.: 34.93 ±17.20 MPa

Go: 51.86 ±17.71 MPa

Su: 151.15 ±73.62 kPa

Su ratio: 4.26 ±2.61

O.C.R.: 19.68 ±12.05

::: Layer No: 3 :::**Code:** Layer_3 **Start depth:** 4.10 (m), **End depth:** 8.72 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 0.73 ±0.12 MPa

Sleeve friction: 19.67 ±5.70 kPa

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

Permeability: 5.67E-09 ±6.19E-09 m/s

N60: 4.00 ±0.57 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.24 ±0.34 kN/m³

Constrained Mod.: 5.36 ±2.43 MPa

Go: 27.20 ±3.41 MPa

Su: 44.10 ±8.88 kPa

Su ratio: 0.60 ±0.16

O.C.R.: 2.77 ±0.72

::: Layer No: 4 :::**Code:** Layer_4 **Start depth:** 8.72 (m), **End depth:** 9.98 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.08 ±0.09 MPa

Sleeve friction: 53.41 ±15.38 kPa

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

Permeability: 2.40E-09 ±1.24E-09 m/s

N60: 6.25 ±0.76 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.54 ±0.41 kN/m³

Constrained Mod.: 9.04 ±1.57 MPa

Go: 45.91 ±5.90 MPa

Su: 65.72 ±6.03 kPa

Su ratio: 0.70 ±0.06

O.C.R.: 3.22 ±0.29

::: Layer No: 5 :::**Code:** Layer_5 **Start depth:** 9.98 (m), **End depth:** 11.22 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 0.77 ±0.07 MPa

Sleeve friction: 27.98 ±7.45 kPa

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

Permeability: 9.89E-10 ±3.46E-10 m/s

N60: 5.08 ±0.27 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.69 ±0.28 kN/m³

Constrained Mod.: 3.44 ±0.86 MPa

Go: 35.02 ±3.12 MPa

Su: 42.36 ±5.13 kPa

Su ratio: 0.41 ±0.05

O.C.R.: 1.89 ±0.23

::: Layer No: 6 :::**Code:** Layer_6 **Start depth:** 11.22 (m), **End depth:** 12.82 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.03 ±0.11 MPa

Sleeve friction: 46.36 ±11.53 kPa

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

Permeability: 1.20E-09 ±4.29E-10 m/s

N60: 6.31 ±0.54 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.38 ±0.28 kN/m³

Constrained Mod.: 6.09 ±1.45 MPa

Go: 46.49 ±5.10 MPa

Su: 59.12 ±7.41 kPa

Su ratio: 0.52 ±0.06

O.C.R.: 2.40 ±0.26

::: Layer No: 7 :::**Code:** Layer_7 **Start depth:** 12.82 (m), **End depth:** 14.30 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.95 ±0.17 MPa

Sleeve friction: 111.74 ±18.67 kPa

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

Permeability: 3.60E-09 ±1.10E-09 m/s

N60: 10.72 ±0.89 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 18.65 ±0.24 kN/m³

Constrained Mod.: 23.04 ±3.36 MPa

Go: 77.94 ±6.98 MPa

Su: 122.50 ±11.50 kPa

Su ratio: 0.97 ±0.07

O.C.R.: 4.47 ±0.34

::: Layer No: 8 :::**Code:** Layer_8 **Start depth:** 14.30 (m), **End depth:** 16.38 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.89 ±0.61 MPa

Sleeve friction: 87.71 ±22.83 kPa

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

Permeability: 1.99E-08 ±5.21E-08 m/s

N60: 10.30 ±1.38 blows

Es: 58.85 ±6.32 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 18.32 ±0.28 kN/m³

Constrained Mod.: 18.18 ±10.54 MPa

Go: 72.83 ±5.32 MPa

Su: 110.49 ±34.81 kPa

Su ratio: 0.78 ±0.23

O.C.R.: 3.60 ±1.06

::: Layer No: 9 :::**Code:** Layer_9 **Start depth:** 16.38 (m), **End depth:** 17.38 (m)**Description:** Silty sand & sandy silt**Basic results**

Total cone resistance: 5.79 ±1.53 MPa

Sleeve friction: 65.73 ±14.84 kPa

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

Permeability: 1.35E-06 ±1.41E-06 m/s

N60: 18.67 ±3.33 blows

Es: 71.04 ±8.08 MPa

Dr (%): 33.13 ±4.53

φ (degrees): 34.95 ±1.22 °

Unit weight: 18.44 ±0.32 kN/m³

Constrained Mod.: 75.18 ±17.58 MPa

Go: 88.85 ±10.11 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

:: Layer No: 10 ::**Code:** Layer_10 **Start depth:** 17.38 (m), **End depth:** 18.84 (m)**Description:** Sand & silty sand**Basic results**

Total cone resistance: 10.02 ±3.65 MPa

Sleeve friction: 91.58 ±37.97 kPa

SBT_n: 6SBT_n description: Sand & silty sand**Estimation results**

Permeability: 1.18E-05 ±1.28E-05 m/s

N60: 27.03 ±7.24 blows

Es: 88.78 ±18.64 MPa

Dr (%): 43.33 ±8.76

φ (degrees): 37.40 ±1.92 °

Unit weight: 18.86 ±0.88 kN/m³

Constrained Mod.: 107.01 ±25.81 MPa

Go: 111.28 ±23.36 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

:: Layer No: 11 ::**Code:** Layer_11 **Start depth:** 18.84 (m), **End depth:** 20.00 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.90 ±0.71 MPa

Sleeve friction: 53.21 ±24.58 kPa

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

Permeability: 1.78E-07 ±1.05E-06 m/s

N60: 10.03 ±1.63 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.65 ±0.59 kN/m³

Constrained Mod.: 14.24 ±11.06 MPa

Go: 66.66 ±11.14 MPa

Su: 102.12 ±25.29 kPa

Su ratio: 0.58 ±0.14

O.C.R.: 2.66 ±0.64

Summary table of mean values

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT _{N60} (blows/30cm)	E _s (MPa)	D _r	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G ₀ (MPa)	Undrained strength, S _u (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m ³)
0.06	0.66	2.15E-06	3.1	15.2	0.0	0.0	11.3	18.1	62.9	5.7	26.4	17.1
0.72		(±7.40E-06)	(±1.2)	(±4.9)	(±0.0)	(±0.0)	(±3.8)	(±7.1)	(±16.4)	(±0.7)	(±3.3)	(±1.1)
0.72	3.38	7.82E-07	9.3	42.8	0.0	0.0	34.9	51.9	151.1	4.3	19.7	18.3
4.10		(±1.38E-06)	(±3.7)	(±17.3)	(±0.0)	(±0.0)	(±17.2)	(±17.7)	(±73.6)	(±2.6)	(±12.1)	(±1.1)
4.10	4.62	5.67E-09	4.0	0.0	0.0	0.0	5.4	27.2	44.1	0.6	2.8	16.2
8.72		(±6.19E-09)	(±0.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±2.4)	(±3.4)	(±8.9)	(±0.2)	(±0.7)	(±0.3)
8.72	1.26	2.40E-09	6.3	0.0	0.0	0.0	9.0	45.9	65.7	0.7	3.2	17.5
9.98		(±1.24E-09)	(±0.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.6)	(±5.9)	(±6.0)	(±0.1)	(±0.3)	(±0.4)
9.98	1.24	9.89E-10	5.1	0.0	0.0	0.0	3.4	35.0	42.4	0.4	1.9	16.7
11.22		(±3.46E-10)	(±0.3)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.9)	(±3.1)	(±5.1)	(±0.0)	(±0.2)	(±0.3)
11.22	1.60	1.20E-09	6.3	0.0	0.0	0.0	6.1	46.5	59.1	0.5	2.4	17.4
12.82		(±4.29E-10)	(±0.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.4)	(±5.1)	(±7.4)	(±0.1)	(±0.3)	(±0.3)
12.82	1.48	3.60E-09	10.7	0.0	0.0	0.0	23.0	77.9	122.5	1.0	4.5	18.6
14.30		(±1.10E-09)	(±0.9)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±3.4)	(±7.0)	(±11.5)	(±0.1)	(±0.3)	(±0.2)
14.30	2.08	1.99E-08	10.3	58.9	0.0	0.0	18.2	72.8	110.5	0.8	3.6	18.3
16.38		(±5.21E-08)	(±1.4)	(±6.3)	(±0.0)	(±0.0)	(±10.5)	(±5.3)	(±34.8)	(±0.2)	(±1.1)	(±0.3)
16.38	1.00	1.35E-06	18.7	71.0	33.1	34.9	75.2	88.9	0.0	0.0	0.0	18.4
17.38		(±1.41E-06)	(±3.3)	(±8.1)	(±4.5)	(±1.2)	(±17.6)	(±10.1)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.3)
17.38	1.46	1.18E-05	27.0	88.8	43.3	37.4	107.0	111.3	0.0	0.0	0.0	18.9
18.84		(±1.28E-05)	(±7.2)	(±18.6)	(±8.8)	(±1.9)	(±25.8)	(±23.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.9)
18.84	1.16	1.78E-07	10.0	0.0	0.0	0.0	14.2	66.7	102.1	0.6	2.7	17.7
20.00		(±1.05E-06)	(±1.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±11.1)	(±11.1)	(±25.3)	(±0.1)	(±0.6)	(±0.6)

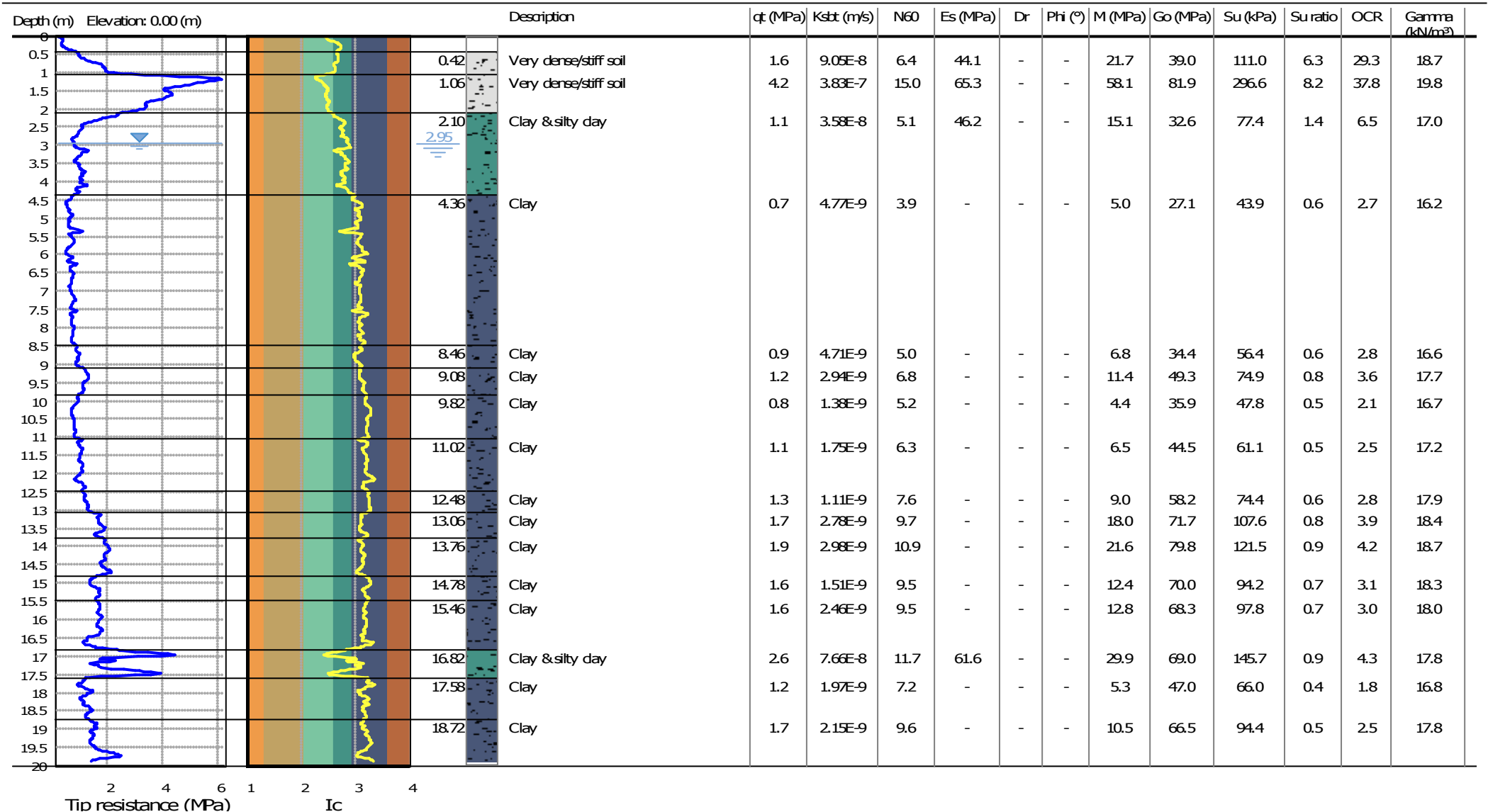
Depth values presented in this table are measured from free ground surface

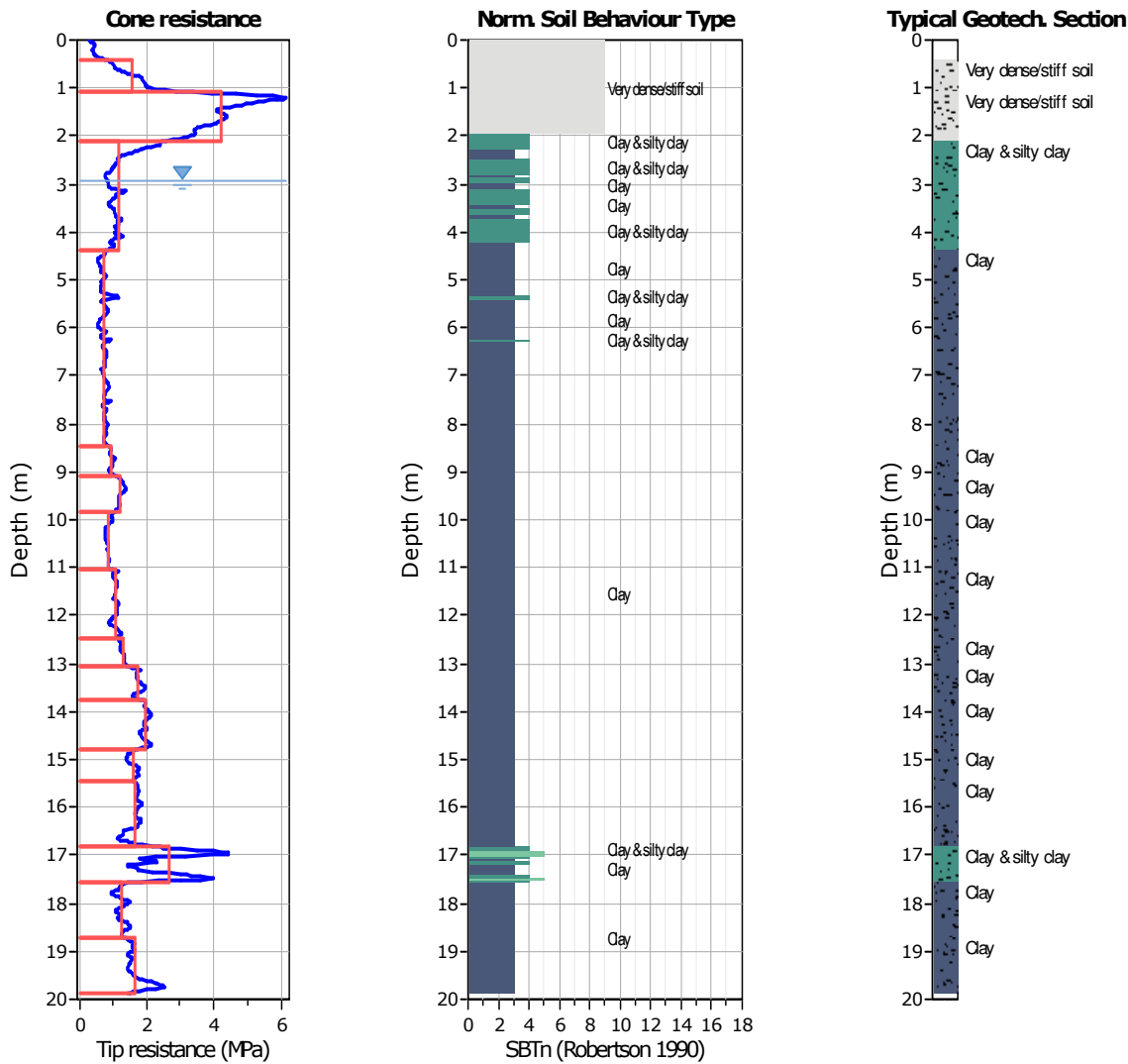
Project: Studio del terreno di fondazione

Location: Nonantola, Variante PUA

CPT: CPTU 3

Total depth: 19.88 m, Date: 07/02/2019





Tabular results

::: Layer No: 1 :::

Code: Layer_1 **Start depth:** 0.42 (m), **End depth:** 1.06 (m)

Description: Very dense/stiff soil

Basic results

Total cone resistance: 1.57 ± 0.52 MPa

Sleeve friction: 131.72 ± 34.53 kPa

SBT_n: 9

SBT_n description: Very dense/stiff soil

Estimation results

Permeability: $9.05E-08 \pm 4.32E-08$ m/s

N₆₀: 6.39 ± 2.05 blows

Es: 44.12 ± 2.68 MPa

Dr (%): 0.00 ± 0.00

ϕ (degrees): 0.00 ± 0.00 °

Unit weight: 18.71 ± 0.46 kN/m³

Constrained Mod.: 21.75 ± 7.28 MPa

Go: 38.97 ± 10.78 MPa

Su: 110.96 ± 37.16 kPa

Su ratio: 6.34 ± 0.51

O.C.R.: 29.31 ± 2.35

::: Layer No: 2 :::**Code:** Layer_2 **Start depth:** 1.06 (m), **End depth:** 2.10 (m)**Description:** Very dense/stiff soil**Basic results**

Total cone resistance: 4.18 ±0.90 MPa

Sleeve friction: 243.12 ±68.42 kPa

SBT_n: 9SBT_n description: Very dense/stiff soil**Estimation results**

Permeability: 3.83E-07 ±2.71E-07 m/s

N60: 15.00 ±2.57 blows

Es: 65.35 ±9.62 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 19.80 ±0.42 kN/m³

Constrained Mod.: 58.14 ±12.70 MPa

Go: 81.90 ±12.05 MPa

Su: 296.63 ±64.80 kPa

Su ratio: 8.17 ±2.60

O.C.R.: 37.77 ±11.99

::: Layer No: 3 :::**Code:** Layer_3 **Start depth:** 2.10 (m), **End depth:** 4.36 (m)**Description:** Clay & silty clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.14 ±0.39 MPa

Sleeve friction: 36.24 ±26.80 kPa

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

Permeability: 3.58E-08 ±2.51E-08 m/s

N60: 5.11 ±1.45 blows

Es: 46.25 ±0.57 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.96 ±0.68 kN/m³

Constrained Mod.: 15.08 ±5.57 MPa

Go: 32.56 ±8.19 MPa

Su: 77.42 ±28.01 kPa

Su ratio: 1.42 ±0.69

O.C.R.: 6.54 ±3.20

::: Layer No: 4 :::**Code:** Layer_4 **Start depth:** 4.36 (m), **End depth:** 8.46 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 0.73 ±0.10 MPa

Sleeve friction: 18.47 ±4.94 kPa

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

Permeability: 4.77E-09 ±4.92E-09 m/s

N60: 3.89 ±0.52 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.18 ±0.32 kN/m³

Constrained Mod.: 5.04 ±1.69 MPa

Go: 27.14 ±3.12 MPa

Su: 43.94 ±6.61 kPa

Su ratio: 0.57 ±0.10

O.C.R.: 2.65 ±0.46

::: Layer No: 5 :::**Code:** Layer_5 **Start depth:** 8.46 (m), **End depth:** 9.08 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 0.94 ±0.06 MPa

Sleeve friction: 24.85 ±4.68 kPa

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

Permeability: 4.71E-09 ±1.85E-09 m/s

N60: 5.03 ±0.18 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.64 ±0.21 kN/m³

Constrained Mod.: 6.79 ±0.99 MPa

Go: 34.36 ±2.06 MPa

Su: 56.43 ±4.11 kPa

Su ratio: 0.61 ±0.04

O.C.R.: 2.82 ±0.20

::: Layer No: 6 :::**Code:** Layer_6 **Start depth:** 9.08 (m), **End depth:** 9.82 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.21 ±0.09 MPa

Sleeve friction: 56.95 ±6.57 kPa

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

Permeability: 2.94E-09 ±7.81E-10 m/s

N60: 6.84 ±0.37 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.70 ±0.16 kN/m³

Constrained Mod.: 11.40 ±2.06 MPa

Go: 49.28 ±2.75 MPa

Su: 74.91 ±6.42 kPa

Su ratio: 0.77 ±0.07

O.C.R.: 3.56 ±0.34

::: Layer No: 7 :::**Code:** Layer_7 **Start depth:** 9.82 (m), **End depth:** 11.02 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 0.85 ±0.08 MPa

Sleeve friction: 27.35 ±6.51 kPa

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

Permeability: 1.38E-09 ±2.97E-10 m/s

N60: 5.18 ±0.39 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.70 ±0.27 kN/m³

Constrained Mod.: 4.36 ±1.13 MPa

Go: 35.94 ±3.17 MPa

Su: 47.78 ±5.66 kPa

Su ratio: 0.46 ±0.06

O.C.R.: 2.12 ±0.28

::: Layer No: 8 :::**Code:** Layer_8 **Start depth:** 11.02 (m), **End depth:** 12.48 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.06 ±0.08 MPa

Sleeve friction: 39.09 ±4.81 kPa

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

Permeability: 1.75E-09 ±6.48E-10 m/s

N60: 6.27 ±0.48 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.22 ±0.16 kN/m³

Constrained Mod.: 6.49 ±1.18 MPa

Go: 44.45 ±2.60 MPa

Su: 61.12 ±5.92 kPa

Su ratio: 0.54 ±0.05

O.C.R.: 2.48 ±0.24

::: Layer No: 9 :::**Code:** Layer_9 **Start depth:** 12.48 (m), **End depth:** 13.06 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.26 ±0.08 MPa

Sleeve friction: 70.29 ±12.66 kPa

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

Permeability: 1.11E-09 ±9.90E-11 m/s

N60: 7.60 ±0.62 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.95 ±0.23 kN/m³

Constrained Mod.: 8.96 ±1.26 MPa

Go: 58.19 ±4.89 MPa

Su: 74.44 ±5.62 kPa

Su ratio: 0.61 ±0.04

O.C.R.: 2.82 ±0.18

:: Layer No: 10 ::**Code:** Layer_10 **Start depth:** 13.06 (m), **End depth:** 13.76 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.74 ±0.12 MPa

Sleeve friction: 95.18 ±8.76 kPa

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

Permeability: 2.78E-09 ±8.11E-10 m/s

N60: 9.72 ±0.61 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 18.43 ±0.11 kN/m³

Constrained Mod.: 17.97 ±2.84 MPa

Go: 71.70 ±3.19 MPa

Su: 107.63 ±8.72 kPa

Su ratio: 0.85 ±0.07

O.C.R.: 3.91 ±0.31

:: Layer No: 11 ::**Code:** Layer_11 **Start depth:** 13.76 (m), **End depth:** 14.78 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.95 ±0.10 MPa

Sleeve friction: 111.44 ±14.67 kPa

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

Permeability: 2.98E-09 ±8.51E-10 m/s

N60: 10.90 ±0.60 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 18.66 ±0.16 kN/m³

Constrained Mod.: 21.58 ±2.70 MPa

Go: 79.81 ±3.98 MPa

Su: 121.54 ±7.41 kPa

Su ratio: 0.90 ±0.06

O.C.R.: 4.17 ±0.28

:: Layer No: 12 ::**Code:** Layer_12 **Start depth:** 14.78 (m), **End depth:** 15.46 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.58 ±0.14 MPa

Sleeve friction: 84.65 ±8.00 kPa

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

Permeability: 1.51E-09 ±5.23E-10 m/s

N60: 9.51 ±0.61 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 18.26 ±0.14 kN/m³

Constrained Mod.: 12.37 ±2.50 MPa

Go: 70.02 ±3.90 MPa

Su: 94.23 ±9.93 kPa

Su ratio: 0.66 ±0.07

O.C.R.: 3.06 ±0.31

:: Layer No: 13 ::**Code:** Layer_13 **Start depth:** 15.46 (m), **End depth:** 16.82 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.65 ±0.22 MPa

Sleeve friction: 73.31 ±22.74 kPa

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

Permeability: 2.46E-09 ±2.77E-09 m/s

N60: 9.46 ±1.13 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 18.04 ±0.49 kN/m³

Constrained Mod.: 12.81 ±3.92 MPa

Go: 68.28 ±9.41 MPa

Su: 97.84 ±15.82 kPa

Su ratio: 0.65 ±0.11

O.C.R.: 3.01 ±0.50

:: Layer No: 14 ::**Code:** Layer_14 **Start depth:** 16.82 (m), **End depth:** 17.58 (m)**Description:** Clay & silty clay**Basic results**

Total cone resistance: 2.65 ±0.93 MPa

Sleeve friction: 49.74 ±13.28 kPa

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

Permeability: 7.66E-08 ±1.04E-07 m/s

N60: 11.69 ±2.54 blows

Es: 61.58 ±2.79 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.80 ±0.37 kN/m³

Constrained Mod.: 29.93 ±16.02 MPa

Go: 69.03 ±9.63 MPa

Su: 145.73 ±50.18 kPa

Su ratio: 0.93 ±0.33

O.C.R.: 4.28 ±1.53

:: Layer No: 15 ::**Code:** Layer_15 **Start depth:** 17.58 (m), **End depth:** 18.72 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.24 ±0.15 MPa

Sleeve friction: 25.28 ±6.05 kPa

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

Permeability: 1.97E-09 ±8.68E-10 m/s

N60: 7.17 ±0.70 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.75 ±0.30 kN/m³

Constrained Mod.: 5.26 ±1.59 MPa

Go: 46.97 ±4.70 MPa

Su: 66.00 ±10.39 kPa

Su ratio: 0.40 ±0.06

O.C.R.: 1.83 ±0.28

:: Layer No: 16 ::**Code:** Layer_16 **Start depth:** 18.72 (m), **End depth:** 19.88 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.66 ±0.31 MPa

Sleeve friction: 56.50 ±18.61 kPa

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

Permeability: 2.15E-09 ±1.22E-09 m/s

N60: 9.59 ±1.41 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.76 ±0.41 kN/m³

Constrained Mod.: 10.50 ±5.36 MPa

Go: 66.51 ±10.20 MPa

Su: 94.43 ±21.97 kPa

Su ratio: 0.54 ±0.12

O.C.R.: 2.50 ±0.55

Summary table of mean values

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT _{N60} (blows/30cm)	E _s (MPa)	D _r	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G ₀ (MPa)	Undrained strength, S _u (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m ³)
0.42	0.64	9.05E-08	6.4	44.1	0.0	0.0	21.7	39.0	111.0	6.3	29.3	18.7
1.06		(±4.32E-08)	(±2.0)	(±2.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±7.3)	(±10.8)	(±37.2)	(±0.5)	(±2.4)	(±0.5)
1.06	1.04	3.83E-07	15.0	65.3	0.0	0.0	58.1	81.9	296.6	8.2	37.8	19.8
2.10		(±2.71E-07)	(±2.6)	(±9.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±12.7)	(±12.1)	(±64.8)	(±2.6)	(±12.0)	(±0.4)
2.10	2.26	3.58E-08	5.1	46.2	0.0	0.0	15.1	32.6	77.4	1.4	6.5	17.0
4.36		(±2.51E-08)	(±1.4)	(±0.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±5.6)	(±8.2)	(±28.0)	(±0.7)	(±3.2)	(±0.7)
4.36	4.10	4.77E-09	3.9	0.0	0.0	0.0	5.0	27.1	43.9	0.6	2.7	16.2
8.46		(±4.92E-09)	(±0.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.7)	(±3.1)	(±6.6)	(±0.1)	(±0.5)	(±0.3)
8.46	0.62	4.71E-09	5.0	0.0	0.0	0.0	6.8	34.4	56.4	0.6	2.8	16.6
9.08		(±1.85E-09)	(±0.2)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.0)	(±2.1)	(±4.1)	(±0.0)	(±0.2)	(±0.2)
9.08	0.74	2.94E-09	6.8	0.0	0.0	0.0	11.4	49.3	74.9	0.8	3.6	17.7
9.82		(±7.81E-10)	(±0.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±2.1)	(±2.8)	(±6.4)	(±0.1)	(±0.3)	(±0.2)
9.82	1.20	1.38E-09	5.2	0.0	0.0	0.0	4.4	35.9	47.8	0.5	2.1	16.7
11.02		(±2.97E-10)	(±0.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.1)	(±3.2)	(±5.7)	(±0.1)	(±0.3)	(±0.3)
11.02	1.46	1.75E-09	6.3	0.0	0.0	0.0	6.5	44.5	61.1	0.5	2.5	17.2
12.48		(±6.48E-10)	(±0.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.2)	(±2.6)	(±5.9)	(±0.1)	(±0.2)	(±0.2)
12.48	0.58	1.11E-09	7.6	0.0	0.0	0.0	9.0	58.2	74.4	0.6	2.8	17.9
13.06		(±9.90E-11)	(±0.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.3)	(±4.9)	(±5.6)	(±0.0)	(±0.2)	(±0.2)
13.06	0.70	2.78E-09	9.7	0.0	0.0	0.0	18.0	71.7	107.6	0.8	3.9	18.4
13.76		(±8.11E-10)	(±0.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±2.8)	(±3.2)	(±8.7)	(±0.1)	(±0.3)	(±0.1)
13.76	1.02	2.98E-09	10.9	0.0	0.0	0.0	21.6	79.8	121.5	0.9	4.2	18.7
14.78		(±8.51E-10)	(±0.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±2.7)	(±4.0)	(±7.4)	(±0.1)	(±0.3)	(±0.2)

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)
14.78	0.68	1.51E-09	9.5	0.0	0.0	0.0	12.4	70.0	94.2	0.7	3.1	18.3
15.46		(±5.23E-10)	(±0.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±2.5)	(±3.9)	(±9.9)	(±0.1)	(±0.3)	(±0.1)
15.46	1.36	2.46E-09	9.5	0.0	0.0	0.0	12.8	68.3	97.8	0.7	3.0	18.0
16.82		(±2.77E-09)	(±1.1)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±3.9)	(±9.4)	(±15.8)	(±0.1)	(±0.5)	(±0.5)
16.82	0.76	7.66E-08	11.7	61.6	0.0	0.0	29.9	69.0	145.7	0.9	4.3	17.8
17.58		(±1.04E-07)	(±2.5)	(±2.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±16.0)	(±9.6)	(±50.2)	(±0.3)	(±1.5)	(±0.4)
17.58	1.14	1.97E-09	7.2	0.0	0.0	0.0	5.3	47.0	66.0	0.4	1.8	16.8
18.72		(±8.68E-10)	(±0.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.6)	(±4.7)	(±10.4)	(±0.1)	(±0.3)	(±0.3)
18.72	1.16	2.15E-09	9.6	0.0	0.0	0.0	10.5	66.5	94.4	0.5	2.5	17.8
19.88		(±1.22E-09)	(±1.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±5.4)	(±10.2)	(±22.0)	(±0.1)	(±0.6)	(±0.4)

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

LEGENDA VALORI DI RESISTENZA FATTORI DI CONVERSIONE

Strumento utilizzato:
SP100 - GeoDeepDrill

Caratteristiche:

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

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

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

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

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

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

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

CONVERSIONI

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

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

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

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

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

1 t = 1000 kg $\approx$ 10 kN

LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE CORRELAZIONI GENERALI

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

Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977

Valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

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

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

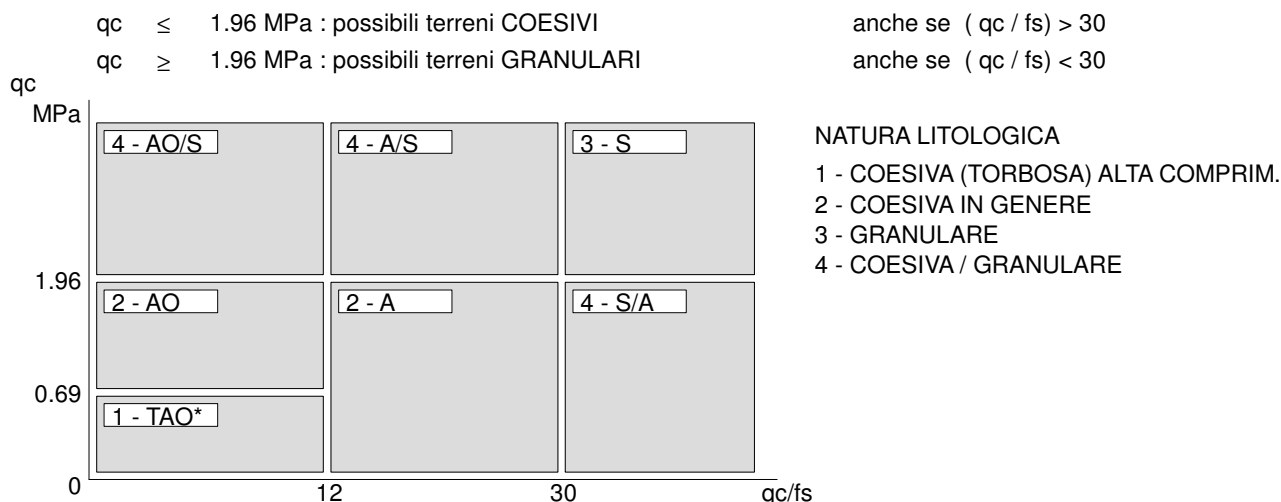
- AO	=	argilla organica e terreni misti
- Att	=	argilla (inorganica) molto tenera
- At	=	argilla (inorganica) tenera
- Am	=	argilla (inorganica) di media consistenza
- Ac	=	argilla (inorganica) consistente
- Acc	=	argilla (inorganica) molto consistente
- ASL	=	argilla sabbiosa e limosa
- SAL	=	sabbia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

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

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

LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI SPECIFICHE TECNICHE

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



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

- γ' = peso dell' unità di volume (efficace) del terreno [correlazioni : γ' - q_c - natura]
 (Terzaghi & Peck 1967 - Bowles 1982)
- σ'_{vo} = tensione verticale geostatica (efficace) del terreno (valutata in base ai valori di γ')
- C_u = coesione non drenata (terreni coesivi) [correlazioni : C_u - q_c]
- OCR = grado di sovra consolidazione (terreni coesivi) [correlazioni : OCR - C_u - σ'_{vo}]
 (Ladd et al. 1972 / 1974 / 1977 - Lancellotta 1983)
- E_u = modulo di deformazione non drenato (terreni coesivi) [correl. : E_u - C_u - OCR - I_p I_p = ind.plast.]
 E_{u50} - E_{u25} corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (Duncan & Buchigani 1976)
- E' = modulo di deformazione drenato (terreni granulari) [correlazioni : E' - q_c]
 E'_{50} - E'_{25} corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (coeff. di sicurezza $F = 2 - 4$ rispettivamente)
 Schmertmann 1970 / 1978 - Jamiolkowski ed altri 1983)
- M_o = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [correl. : M_o - q_c - natura]
 Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973)
- D_r = densità relativa (terreni granulari N. C. - normalmente consolidati)
 [correlazioni : D_r - R_p - σ'_{vo} (Schmertmann 1976)]
- $\emptyset'$ = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari N.C.) [correl. : $\emptyset'$ - D_r - q_c - σ'_{vo})
 $\emptyset'_{Ca}$ - Caquot (1948) $\emptyset'_{Ko}$ - Koppejan (1948)
 $\emptyset'_{DB}$ - De Beer (1965) $\emptyset'_{Sc}$ - Schmertmann (1978)
 $\emptyset'_{DM}$ - Durgunoglu & Mitchell (1975) (sabbie N.C.) $\emptyset'_{Me}$ - Meyerhof (1956 / 1976) (sabbie limose)
- $F.L.$ = fattore di liquefazione ($F.L.1$ = Sabbie Pulite, $F.L.2$ = Sabbie Limose)
- V_s = velocità di propagazione delle onde sismiche (Iyisan 1996)

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

CPT**2**

Riferimento

027-2019

Committente **Studio tecnico**
 Cantiere **Studio del terreno di fondazione**
 Località **Nonantola**

U.M.: **MPa**Data esec. **06/02/2019**
 Pagina **1**
 Elaborato
Falda **-3.20 m** da p.c.

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %
0.20	0.0	0.0		0.00	47.00	0		15.20	22.0	45.0		2.16	180.00	12	8.2
0.40	6.0	13.0		0.59	53.00	11	8.8	15.40	27.0	54.0		2.65	160.00	17	5.9
0.60	7.0	15.0		0.69	113.00	6	16.1	15.60	25.0	49.0		2.45	147.00	17	5.9
0.80	17.0	34.0		1.67	153.00	11	9.0	15.80	23.0	45.0		2.25	167.00	14	7.3
1.00	23.0	46.0		2.25	213.00	11	9.3	16.00	26.0	51.0		2.55	173.00	15	6.7
1.20	47.0	79.0		4.61	207.00	23	4.4	16.20	28.0	54.0		2.74	160.00	18	5.7
1.40	61.0	92.0		5.98	260.00	23	4.3	16.40	25.0	49.0		2.45	147.00	17	5.9
1.60	41.0	80.0		4.02	227.00	18	5.5	16.60	24.0	46.0		2.35	180.00	13	7.5
1.80	38.0	72.0		3.72	167.00	23	4.4	16.80	28.0	55.0		2.74	147.00	19	5.3
2.00	27.0	52.0		2.65	133.00	20	4.9	17.00	24.0	46.0		2.35	113.00	21	4.7
2.20	19.0	39.0		1.86	120.00	16	6.3	17.20	19.0	36.0		1.86	107.00	18	5.6
2.40	16.0	34.0		1.57	100.00	16	6.3	17.40	18.0	34.0		1.76	100.00	18	5.6
2.60	14.0	29.0		1.37	67.00	21	4.8	17.60	17.0	32.0		1.67	120.00	14	7.1
2.80	9.0	19.0		0.88	53.00	17	5.9	17.80	21.0	39.0		2.06	100.00	21	4.8
3.00	8.0	16.0		0.78	53.00	15	6.6	18.00	18.0	33.0		1.76	107.00	17	5.9
3.20	8.0	16.0		0.78	60.00	13	7.5	18.20	18.0	34.0		1.76	100.00	18	5.6
3.40	8.0	17.0		0.78	73.00	11	9.1	18.40	18.0	33.0		1.76	113.00	16	6.3
3.60	9.0	20.0		0.88	73.00	12	8.1	18.60	19.0	36.0		1.86	80.00	24	4.2
3.80	11.0	22.0		1.08	53.00	21	4.8	18.80	14.0	26.0		1.37	93.00	15	6.6
4.00	8.0	16.0		0.78	40.00	20	5.0	19.00	15.0	29.0		1.47	107.00	14	7.1
4.20	7.0	13.0		0.69	27.00	26	3.9	19.20	17.0	33.0		1.67	87.00	20	5.1
4.40	5.0	9.0		0.49	27.00	19	5.4	19.40	14.0	27.0		1.37	107.00	13	7.6
4.60	5.0	9.0		0.49	27.00	19	5.4	19.60	15.0	31.0		1.47	100.00	15	6.7
4.80	5.0	9.0		0.49	27.00	19	5.4	19.80	14.0	29.0		1.37	140.00	10	10.0
5.00	4.0	8.0		0.39	53.00	8	13.3	20.00	19.0	40.0		1.86			
5.20	7.0	15.0		0.69	33.00	21	4.7								
5.40	5.0	10.0		0.49	60.00	8	12.0								
5.60	7.0	16.0		0.69	53.00	13	7.6								
5.80	7.0	15.0		0.69	47.00	15	6.7								
6.00	5.0	12.0		0.49	40.00	13	8.0								
6.20	5.0	11.0		0.49	47.00	11	9.4								
6.40	7.0	14.0		0.69	40.00	18	5.7								
6.60	6.0	12.0		0.59	40.00	15	6.7								
6.80	5.0	11.0		0.49	40.00	13	8.0								
7.00	5.0	11.0		0.49	33.00	15	6.6								
7.20	5.0	10.0		0.49	47.00	11	9.4								
7.40	7.0	14.0		0.69	60.00	12	8.6								
7.60	9.0	18.0		0.88	47.00	19	5.2								
7.80	8.0	15.0		0.78	60.00	13	7.5								
8.00	10.0	19.0		0.98	47.00	21	4.7								
8.20	9.0	16.0		0.88	47.00	19	5.2								
8.40	7.0	14.0		0.69	60.00	12	8.6								
8.60	8.0	17.0		0.78	60.00	13	7.5								
8.80	9.0	18.0		0.88	67.00	13	7.4								
9.00	9.0	19.0		0.88	93.00	10	10.3								
9.20	15.0	29.0		1.47	100.00	15	6.7								
9.40	17.0	32.0		1.67	113.00	15	6.6								
9.60	21.0	38.0		2.06	120.00	18	5.7								
9.80	19.0	37.0		1.86	113.00	17	5.9								
10.00	19.0	36.0		1.86	113.00	17	5.9								
10.20	19.0	36.0		1.86	67.00	28	3.5								
10.40	11.0	21.0		1.08	60.00	18	5.5								
10.60	9.0	18.0		0.88	53.00	17	5.9								
10.80	8.0	16.0		0.78	53.00	15	6.6								
11.00	8.0	16.0		0.78	60.00	13	7.5								
11.20	8.0	17.0		0.78	53.00	15	6.6								
11.40	8.0	16.0		0.78	67.00	12	8.4								
11.60	10.0	20.0		0.98	73.00	14	7.3								
11.80	11.0	22.0		1.08	93.00	12	8.5								
12.00	13.0	27.0		1.27	87.00	15	6.7								
12.20	13.0	26.0		1.27	80.00	16	6.2								
12.40	13.0	25.0		1.27	93.00	14	7.2								
12.60	16.0	30.0		1.57	107.00	15	6.7								
12.80	17.0	33.0		1.67	113.00	15	6.6								
13.00	19.0	36.0		1.86	147.00	13	7.7								
13.20	25.0	47.0		2.45	187.00	13	7.5								
13.40	31.0	59.0		3.04	207.00	15	6.7								
13.60	34.0	65.0		3.33	187.00	18	5.5								
13.80	30.0	58.0		2.94	207.00	14	6.9								
14.00	32.0	63.0		3.14	193.00	17	6.0								
14.20	31.0	60.0		3.04	180.00	17	5.8								
14.40	29.0	56.0		2.84	207.00	14	7.1								
14.60	32.0	63.0		3.14	160.00	20	5.0								
14.80	25.0	49.0		2.45	173.00	14	6.9								
15.00	26.0	52.0		2.55	153.00	17	5.9								

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

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

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

CPT

Riferimento

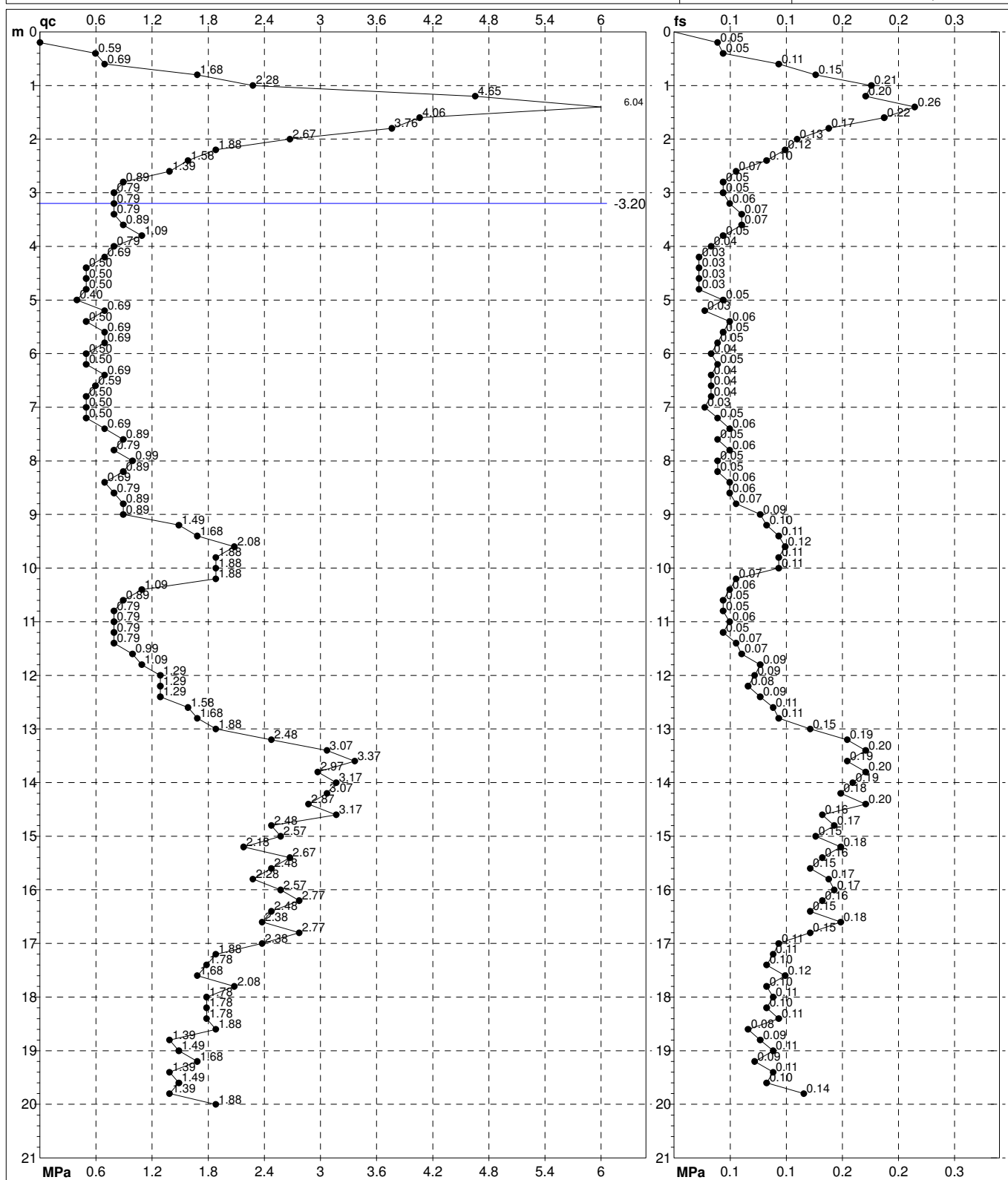
2**027-2019**

Committente **Studio tecnico**
 Cantiere **Studio del terreno di fondazione**
 Località **Nonantola**

U.M.: **MPa**
 Scala: 1:105
 Pagina 1
 Elaborato

Data eseg. 06/02/2019

Quota inizio:
 Falda -3.20 m da p.c.



Penetrometro: SP100

Responsabile:

Assistente:

preforo m

Corr.astine: kN/ml

Cod. tip:

FON111

Software by dott. Geol. Diego Merlin +39 0425-840820

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT

Riferimento

2

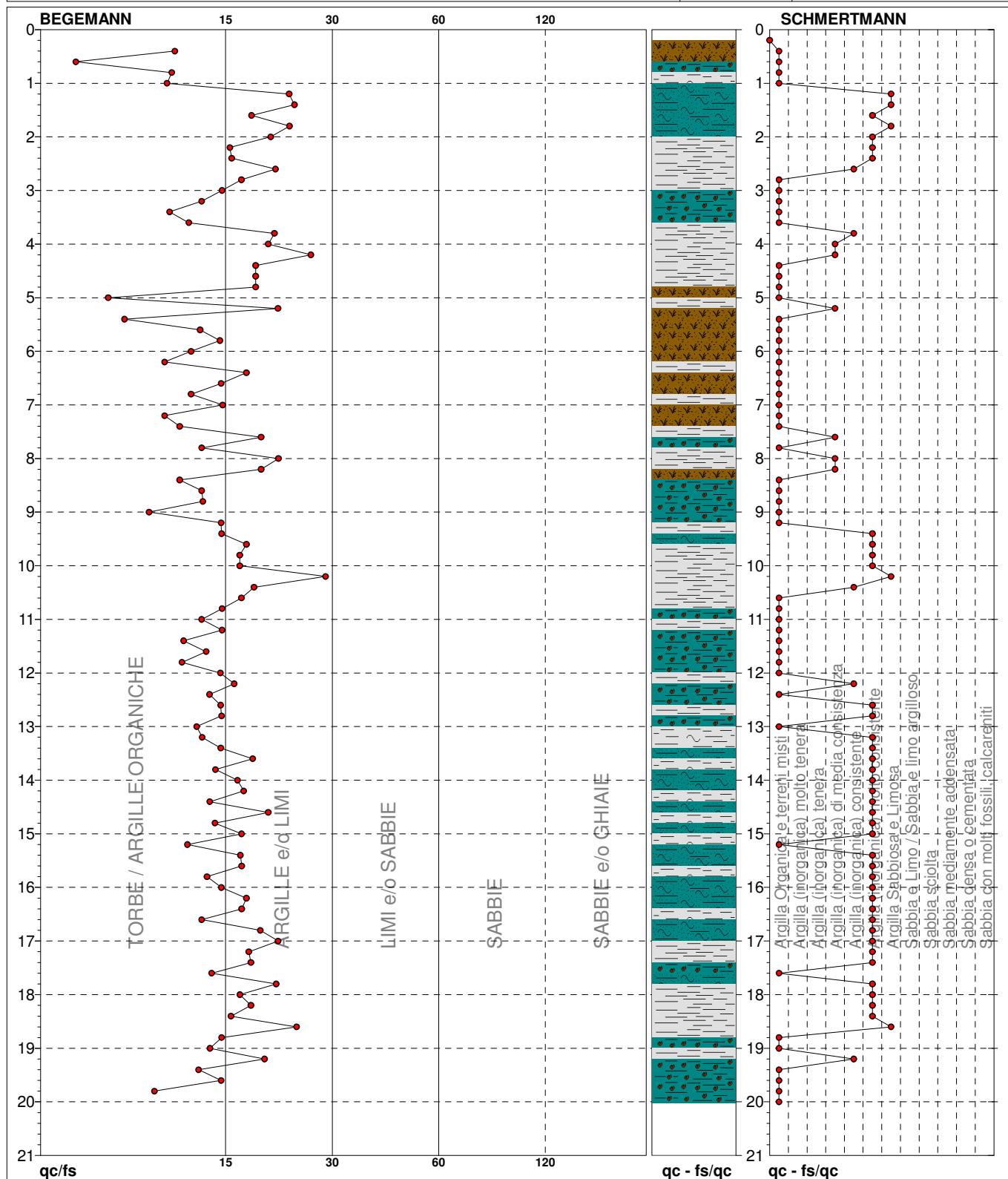
027-2019

Committente **Studio tecnico**
Cantiere **Studio del terreno di fondazione**
Località **Nonantola**

U.M.: **MPa**
Scala: **1:105**
Pagina **1**
Elaborato

Data esec. **06/02/2019**

Falda **-3.20 m** da p.c.



TORBE / ARGILLE OR	45 punti, 45.00%	Argilla Organica e terreni misti	47 punti, 47.00%	Argilla Sabbiosa e Limosa	5 punti, 5.00%
ARGILLE e/o LIMI	54 punti, 54.00%	Argilla (inorganica) di media consistenza	6 punti, 6.00%		
		Argilla (inorganica) consistente	5 punti, 5.00%		
		Argilla (inorganica) molto consistente	35 punti, 35.00%		

FON111

Software by dott. Geol. Diego Merlin +39 0425-840820

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA PARAMETRI GEOTECNICI						CPT	2
						Riferimento	027-2019

Committente	Studio tecnico	U.M.:	MPa	Data esec.	06/02/2019
Cantiere	Studio del terreno di fondazione	Pagina	1		
Località	Nonantola	Elaborato		Falda	-3.20 m da p.c.

							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE											
H	qc	qc/fs	zone	γ'	σ'vo	Vs	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	Sc	Ca	Ko	DB	DM	Me	E'50	E'25	Mo	FL1	FL2
m	U.M.			t/m³	kPa	m/s	kPa	%	U.M.	U.M.	U.M.	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	U.M.	U.M.	U.M.		
0.20	--	--	1	1.85	3.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.40	0.59	11.32	1	1.85	7.3	109	29.4	36.1	1.2	1.8	0.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.60	0.69	6.19	1	1.85	10.9	115	34.3	26.4	1.4	2.1	1.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.80	1.67	11.11	2	1.85	14.5	161	70.9	45.6	12.1	18.1	5.3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.00	2.25	10.80	4	1.85	18.1	180	85.1	43.3	14.5	21.7	6.8	63	39	34	31	29	38	28	3.8	5.6	6.8	--	--
1.20	4.61	22.71	4	1.85	21.8	236	153.5	72.2	26.1	39.2	13.8	83	41	36	34	31	40	31	7.7	11.5	13.8	--	--
1.40	5.98	23.46	4	1.85	25.4	260	199.3	82.5	33.9	50.8	17.9	88	42	37	34	32	41	32	10.0	14.9	17.9	--	--
1.60	4.02	18.06	4	1.85	29.0	224	133.9	42.5	22.8	34.2	12.1	71	40	34	31	29	39	30	6.7	10.0	12.1	--	--
1.80	3.72	22.75	4	1.85	32.6	218	124.1	33.4	21.1	31.7	11.2	66	39	33	30	28	38	30	6.2	9.3	11.2	--	--
2.00	2.65	20.30	4	1.85	36.3	192	92.8	20.3	15.8	23.7	7.9	51	37	31	28	26	35	28	4.4	6.6	7.9	--	--
2.20	1.86	15.83	2	1.85	39.9	168	76.0	14.1	12.9	19.4	5.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.40	1.57	16.00	2	1.85	43.5	157	68.2	11.0	11.6	17.4	5.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.60	1.37	20.90	2	1.85	47.1	150	62.4	8.9	11.2	16.8	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.80	0.88	16.98	2	1.85	50.8	127	44.1	5.3	13.9	20.8	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.00	0.78	15.09	2	1.85	54.4	121	39.2	4.2	15.2	22.8	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.20	0.78	13.33	2	0.86	56.1	121	39.2	4.0	15.6	23.5	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.40	0.78	10.96	2	0.86	57.8	121	39.2	3.9	16.2	24.3	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.60	0.88	12.33	2	0.88	59.5	127	44.1	4.3	16.6	24.9	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.80	1.08	20.75	2	0.91	61.3	137	52.6	5.2	16.8	25.2	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.00	0.78	20.00	2	0.86	63.0	121	39.2	3.5	17.7	26.6	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.20	0.69	25.93	2	0.84	64.6	115	34.3	2.8	17.3	26.0	3.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.40	0.49	18.52	2	0.80	66.2	101	24.5	1.8	14.0	20.9	2.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.60	0.49	18.52	2	0.80	67.7	101	24.5	1.8	14.0	21.0	2.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.80	0.49	18.52	2	0.80	69.3	101	24.5	1.7	14.1	21.1	2.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.00	0.39	7.55	1	0.46	70.2	93	19.6	1.3	2.5	3.8	0.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.20	0.69	21.21	2	0.84	71.9	115	34.3	2.5	18.2	27.3	3.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.40	0.49	8.33	1	0.46	72.8	101	24.5	1.6	3.1	4.6	0.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.60	0.69	13.21	1	0.46	73.7	115	34.3	2.4	3.9	5.8	1.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.80	0.69	14.89	1	0.46	74.6	115	34.3	2.4	3.9	5.8	1.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.00	0.49	12.50	1	0.46	75.5	101	24.5	1.5	3.1	4.6	0.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.20	0.49	10.64	1	0.46	76.4	101	24.5	1.5	3.1	4.6	0.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.40	0.69	17.50	2	0.84	78.0	115	34.3	2.2	18.7	28.1	3.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.60	0.59	15.00	1	0.46	78.9	109	29.4	1.8	3.6	5.4	0.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.80	0.49	12.50	1	0.46	79.8	101	24.5	1.4	3.1	4.7	0.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.00	0.49	15.15	2	0.80	81.4	101	24.5	1.4	14.4	21.6	2.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.20	0.49	10.64	1	0.46	82.3	101	24.5	1.4	3.1	4.7	0.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.40	0.69	11.67	1	0.46	83.2	115	34.3	2.1	4.1	6.1	1.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.60	0.88	19.15	2	0.88	84.9	127	44.1	2.8	22.5	33.8	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.80	0.78	13.33	2	0.86	86.6	121	39.2	2.3	21.2	31.8	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.00	0.98	21.28	2	0.90	88.4	132	49.0	3.0	24.2	36.2	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.20	0.88	19.15	2	0.88	90.1	127	44.1	2.6	23.2	34.7	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.40	0.69	11.67	1	0.46	91.0	115	34.3	1.9	4.2	6.3	1.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.60	0.78	13.33	2	0.86	92.7	121	39.2	2.1	21.6	32.5	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.80	0.88	13.43	2	0.88	94.4	127	44.1	2.4	23.6	35.4	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.00	0.88	9.68	2	0.88	96.1	127	44.1	2.4	23.7	35.6	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.20	1.47	15.00	2	0.95	98.0	154	65.3	3.8	27.6	41.4	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.40	1.67	15.04	2	0.97	99.9	161	70.9	4.1	27.9	41.8	5.3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.60	2.06	17.50	4	0.93	101.7	174	80.7	4.7	28.3	42.4	6.2	17	33	25	21	20	28	27	3.4	5.1	6.2	--	--
9.80	1.86	16.81	2	0.99	103.6	168	76.0	4.3	28.9	43.4	5.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.00	1.86	16.81	2	0.99	105.6	168	76.0	4.2	29.5	44.2	5.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.20	1.86	28.36	2	0.99	107.5	168	76.0	4.1	30.0	45.0	5.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.40	1.08	18.33	2	0.91	109.3	137	52.6	2.5	27.8	41.7	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.60	0.88	16.98	2	0.88	111.0	127	44.1	2.0	24.7	37.1	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.80	0.78	15.09	2	0.86	112.7	121	39.2	1.7	22.6	33.9	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11.00	0.78	13.33	2	0.86	114.4	121	39.2	1.6	22.6	33.9	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11.20	0.78	15.09	2	0.86	116.1	121	39.2	1.6	22.7	34.0	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11.40	0.78	11.94	2	0.86	117.8	121	39.2	1.6	22.7	34.1	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11.60	0.98	13.70	2	0.90	119.5	132	49.0	2.1	27.3	40.9	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11.80	1.08	11.83	2	0.91	121.3	137	52.6	2.2	28.8	43.3	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
12.00	1.27	14.94	2	0.93	123.1	145	59.3	2.5	31.3	47.0	4.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
12.20																							



GEO GROUP S.R.L.

UFFICI: via Per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo R. (MO) SEDE LEGALE: via C. Costa, 182 - 41123 Modena (MO)
tel. 059/3967169; 059/828367 - FAX 059/5960176 p. Iva e C.F. 02981500362
Email: info@geogroupmodena.it Pec: geo.group@winpec.it Sito: www.geogroupmodena.it
Operatore APR certificato ENAC per operazioni non critiche – Rif. ENAC 18627

Allegato n.2

Indagini geofisiche

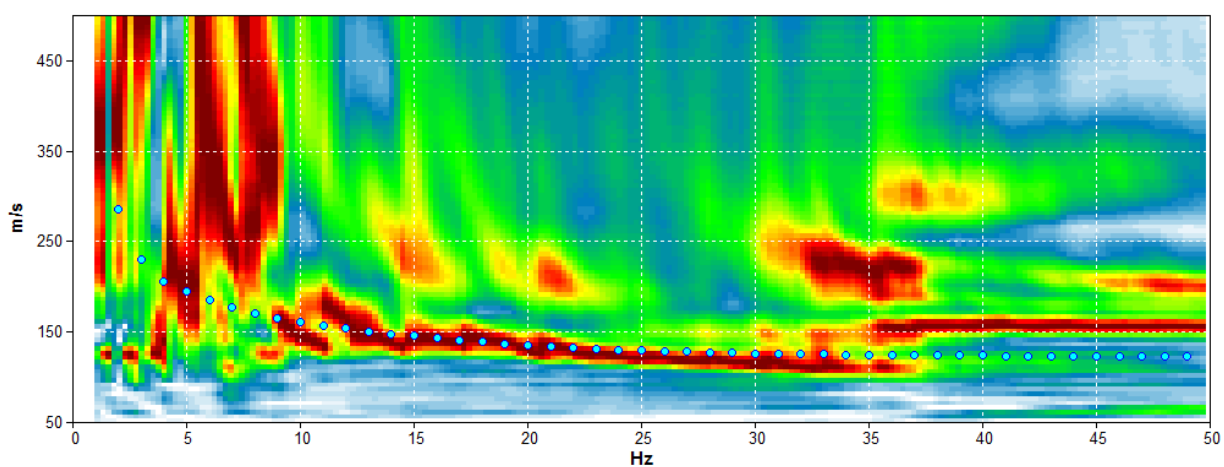
NONANTOLA PUA, NONATOLA PUA 0003

Start recording: 04/02/19 12:02:49 End recording: 04/02/19 12:22:49
Trace length: 0h20'00". Analyzed 93% trace (automatic window selection)
Sampling rate: 128 Hz

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

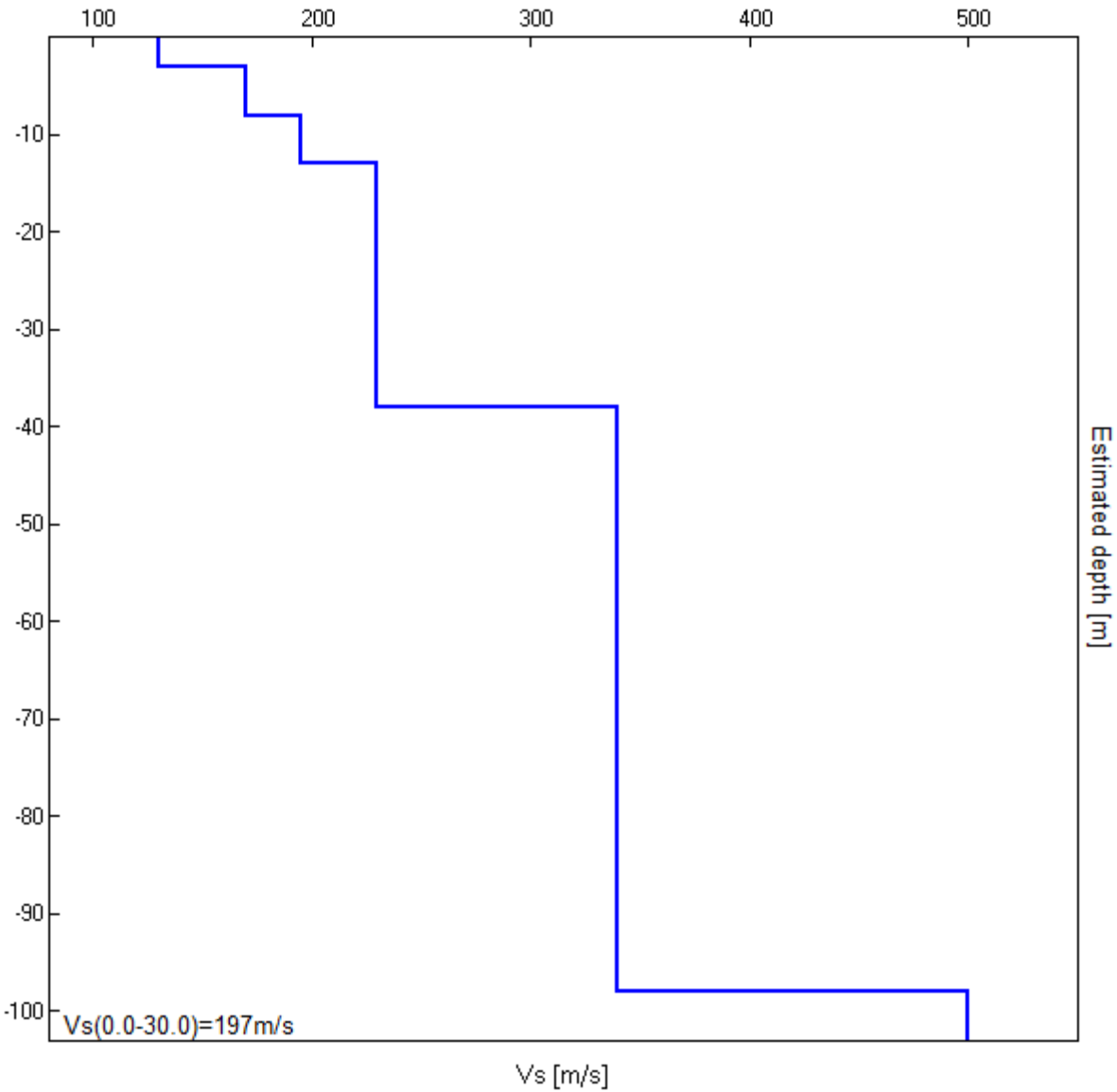
Array geometry (x): 0.0 2.0 4.0 6.0 8.0 10.0 12.0 14.0 16.0 18.0 20.0 22.0 24.0 26.0 28.0 30.0 32.0 34.0 36.0
38.0 40.0 42.0 44.0 46.0 m.

MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
3.00	3.00	130	0.42
8.00	5.00	170	0.42
13.00	5.00	195	0.42
38.00	25.00	230	0.42
98.00	60.00	340	0.35
inf.	inf.	500	0.35

Vs(0.0-30.0)=197m/s



NONANTOLA, 2 1

Start recording: 04/02/19 11:44:36 End recording: 04/02/19 11:45:06

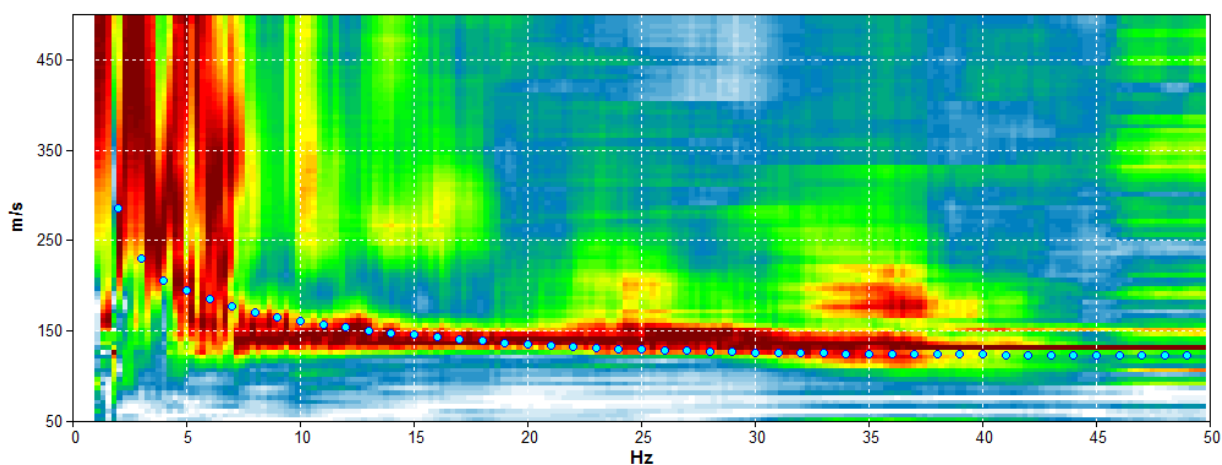
Trace length: 0h00'30".

Sampling rate: 250 Hz

Channel labels: CH01 ; CH02 ; CH03 ; CH04 ; CH05 ; CH06 ; CH07 ;
CH08 ; CH09 ; CH10 ; CH11 ; CH12 ; CH13 ; CH14 ; CH15 ; CH16
; CH17 ; CH18 ; CH19 ; CH20 ; CH21 ; CH22 ; CH23 ; CH24

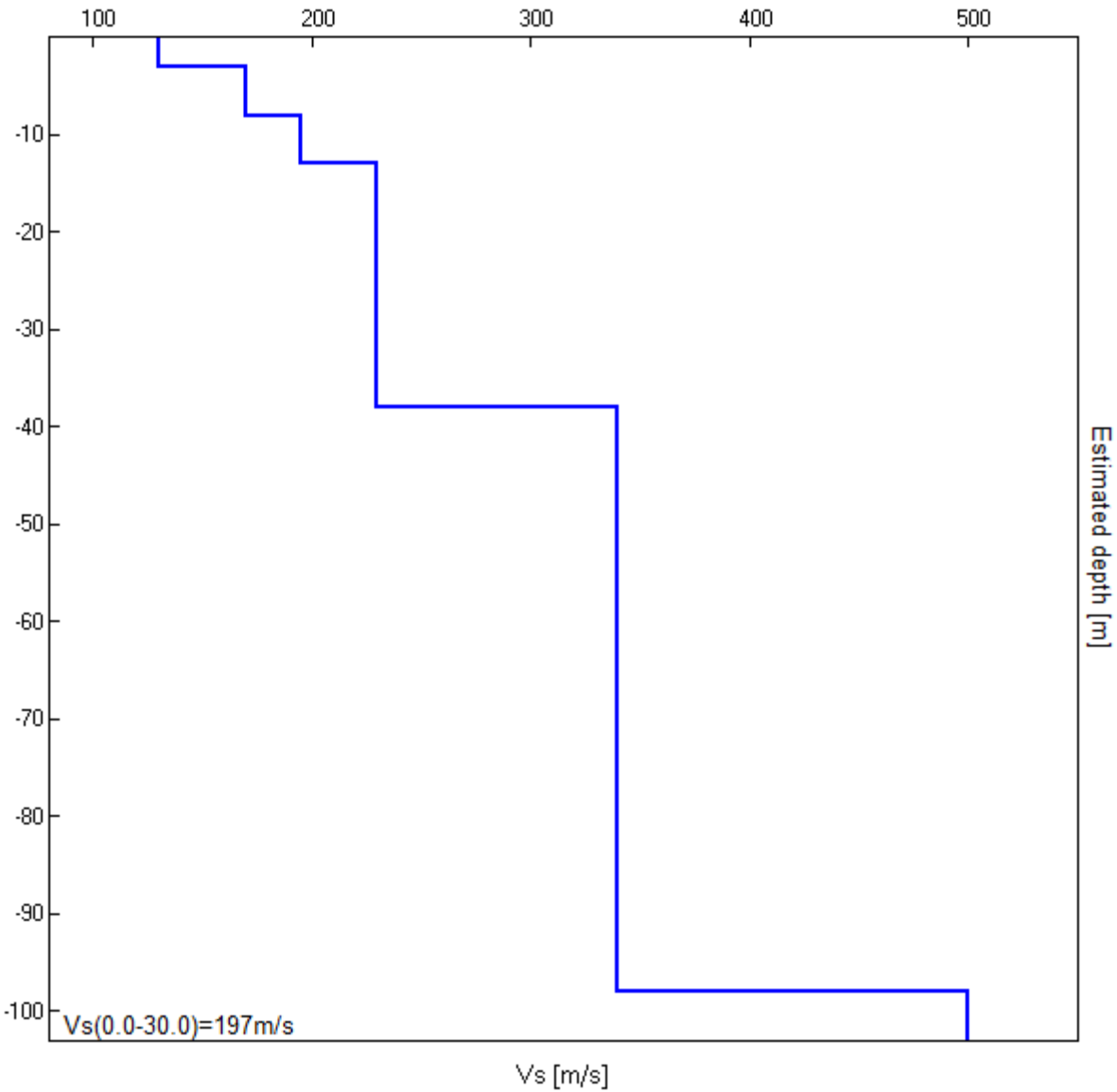
Array geometry (x): 0.0 2.0 4.0 6.0 8.0 10.0 12.0 14.0 16.0 18.0 20.0 22.0 24.0 26.0 28.0 30.0 32.0 34.0 36.0
38.0 40.0 42.0 44.0 46.0 m.

MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
3.00	3.00	130	0.42
8.00	5.00	170	0.42
13.00	5.00	195	0.42
38.00	25.00	230	0.42
98.00	60.00	340	0.35
inf.	inf.	500	0.35

Vs(0.0-30.0)=197m/s



NONANTOLA PUA, HVSR1

Instrument: TE3-0303/01-17

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: 51

Start recording: 04/02/19 11:41:10 End recording: 04/02/19 12:01:10

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 58% trace (manual window selection)

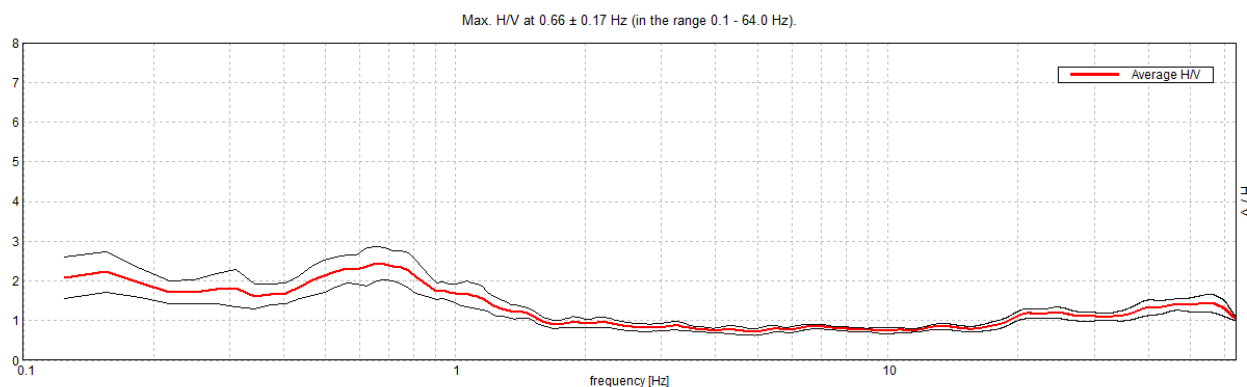
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 30 s

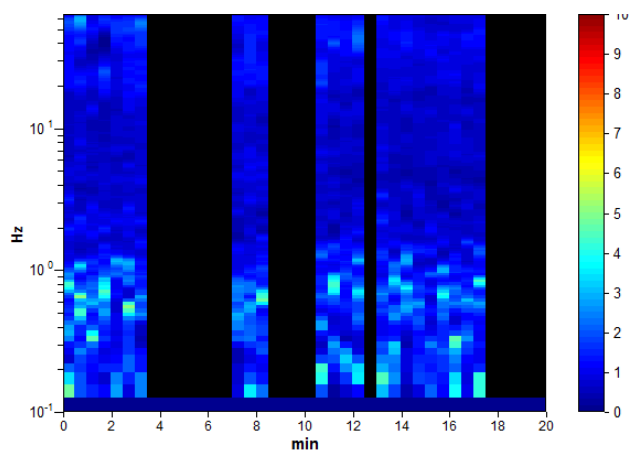
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

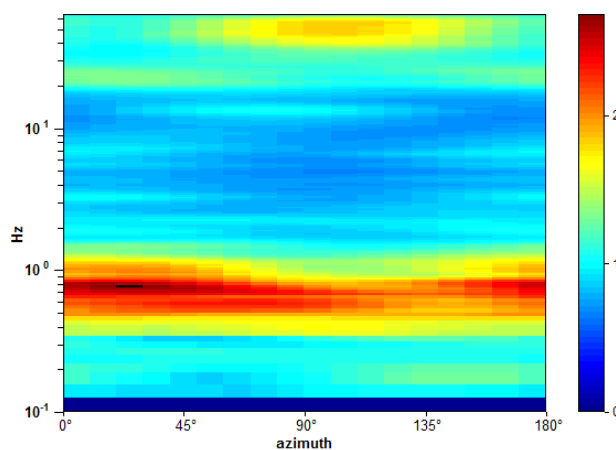
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



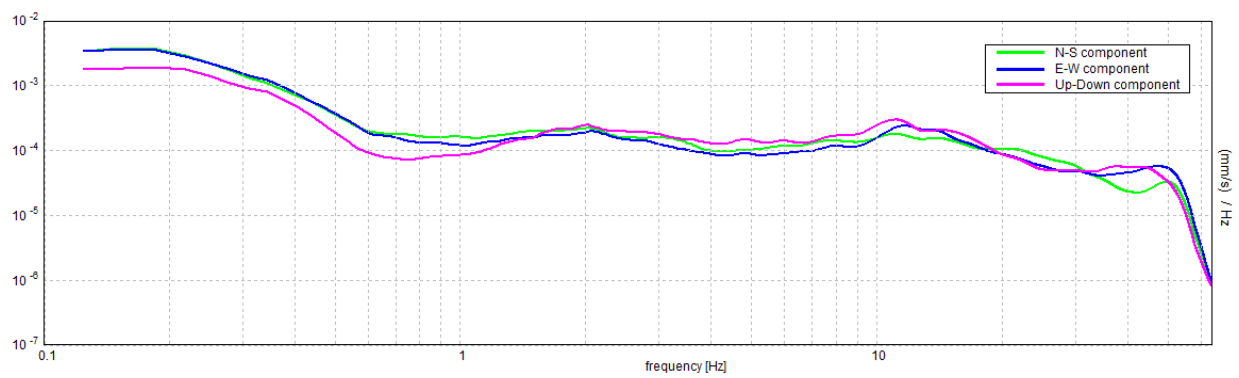
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



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

Max. H/V at 0.66 ± 0.17 Hz (in the range 0.1 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.66 > 0.33$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$452.8 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 32 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.438 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.44 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.26044 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.17092 < 0.09844$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4379 < 2.0$	OK	

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

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

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

NONANTOLA PUA, HVSR2

Instrument: TE3-0303/01-17

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: 51

Start recording: 04/02/19 12:02:49 End recording: 04/02/19 12:22:49

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 38% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

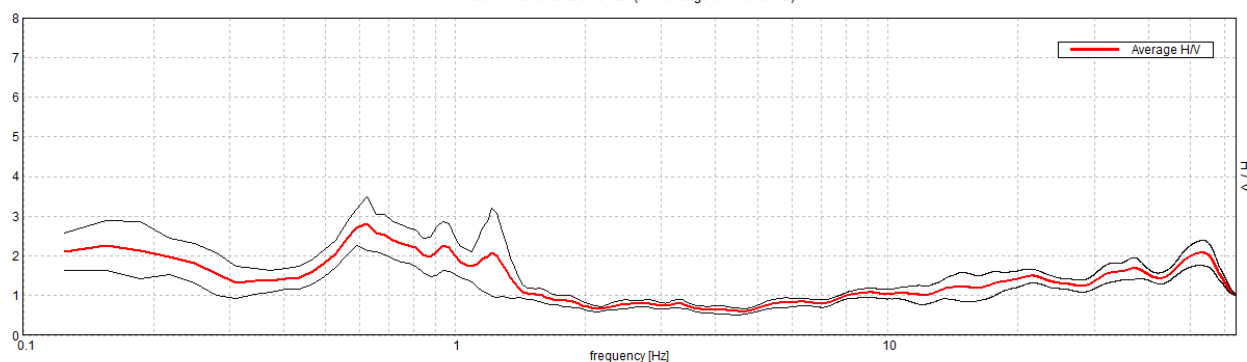
Window size: 30 s

Smoothing type: Triangular window

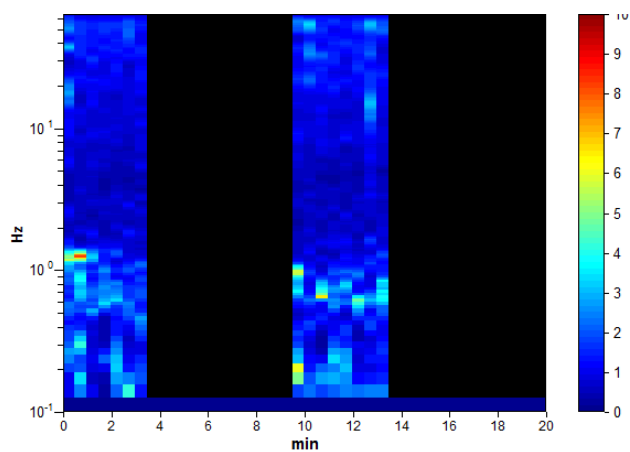
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

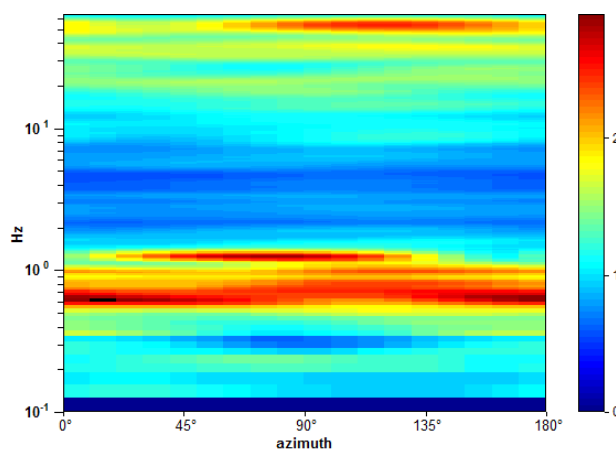
Max. H/V at 0.63 ± 0.45 Hz. (In the range 0.1 - 64.0 Hz).



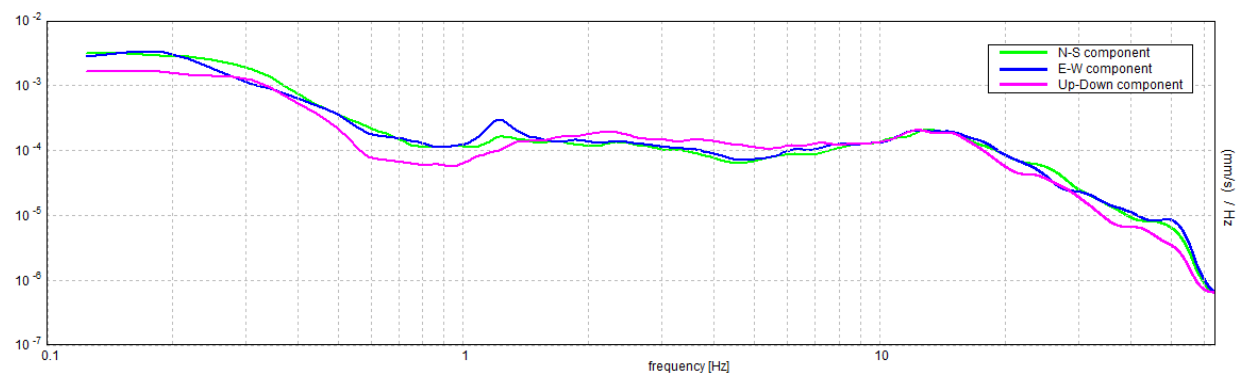
H/V TIME HISTORY



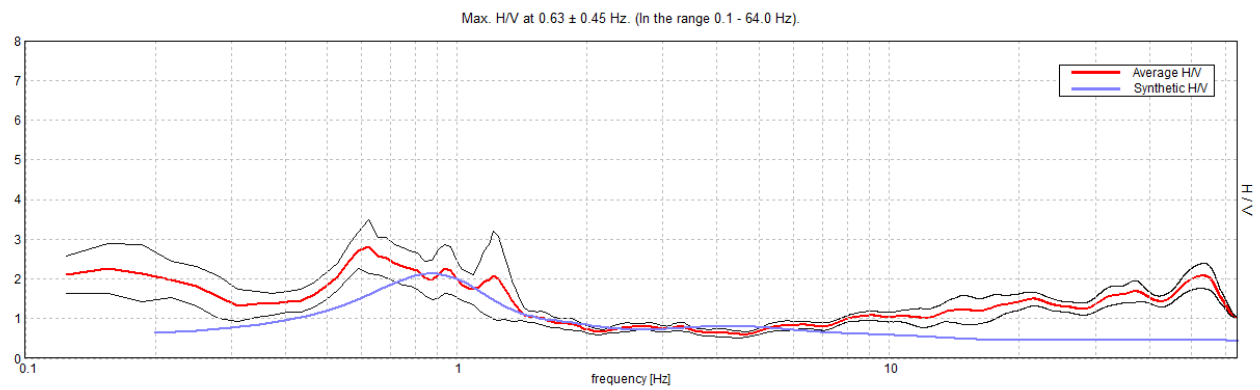
DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA

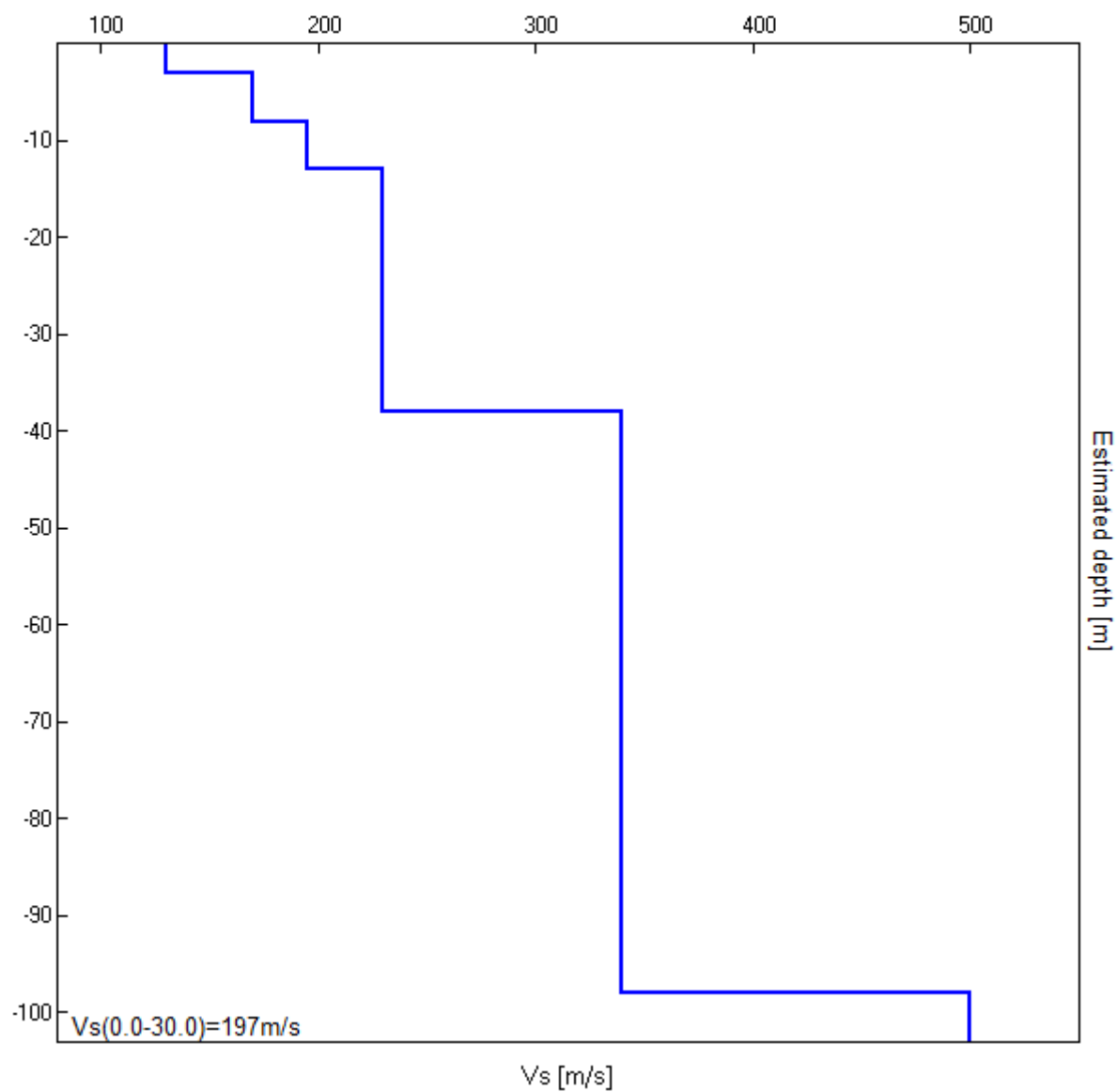


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
3.00	3.00	130	0.42
8.00	5.00	170	0.42
13.00	5.00	195	0.42
38.00	25.00	230	0.42
98.00	60.00	340	0.35
inf.	inf.	500	0.35

Vs(0.0-30.0)=197m/s



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

Max. H/V at 0.63 ± 0.45 Hz (in the range 0.1 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.63 > 0.33$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$281.3 > 200$	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 31 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.375 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.375 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.82 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.72767 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.45479 < 0.09375$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.679 < 2.0$	OK	

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

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

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



GEO GROUP S.R.L.

UFFICI: via Per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo R. (MO) SEDE LEGALE: via C. Costa, 182 - 41123 Modena (MO)
tel. 059/3967169; 059/828367 - FAX 059/5960176 p. Iva e C.F. 02981500362
Email: info@geogroupmodena.it Pec: geo.group@winpec.it Sito: www.geogroupmodena.it
Operatore APR certificato ENAC per operazioni non critiche – Rif. ENAC 18627

Allegato n.3

Verifica della suscettività del sito al fenomeno di liquefazione

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

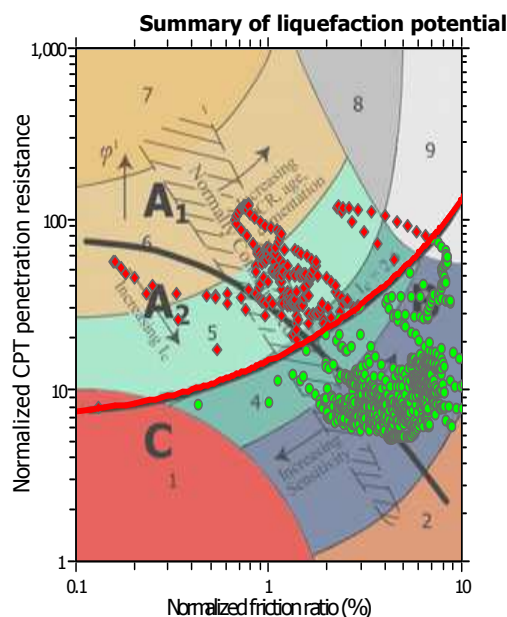
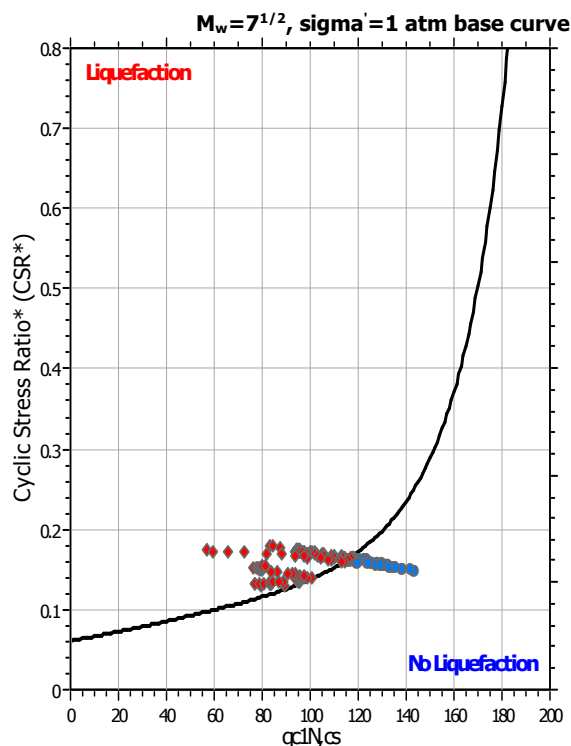
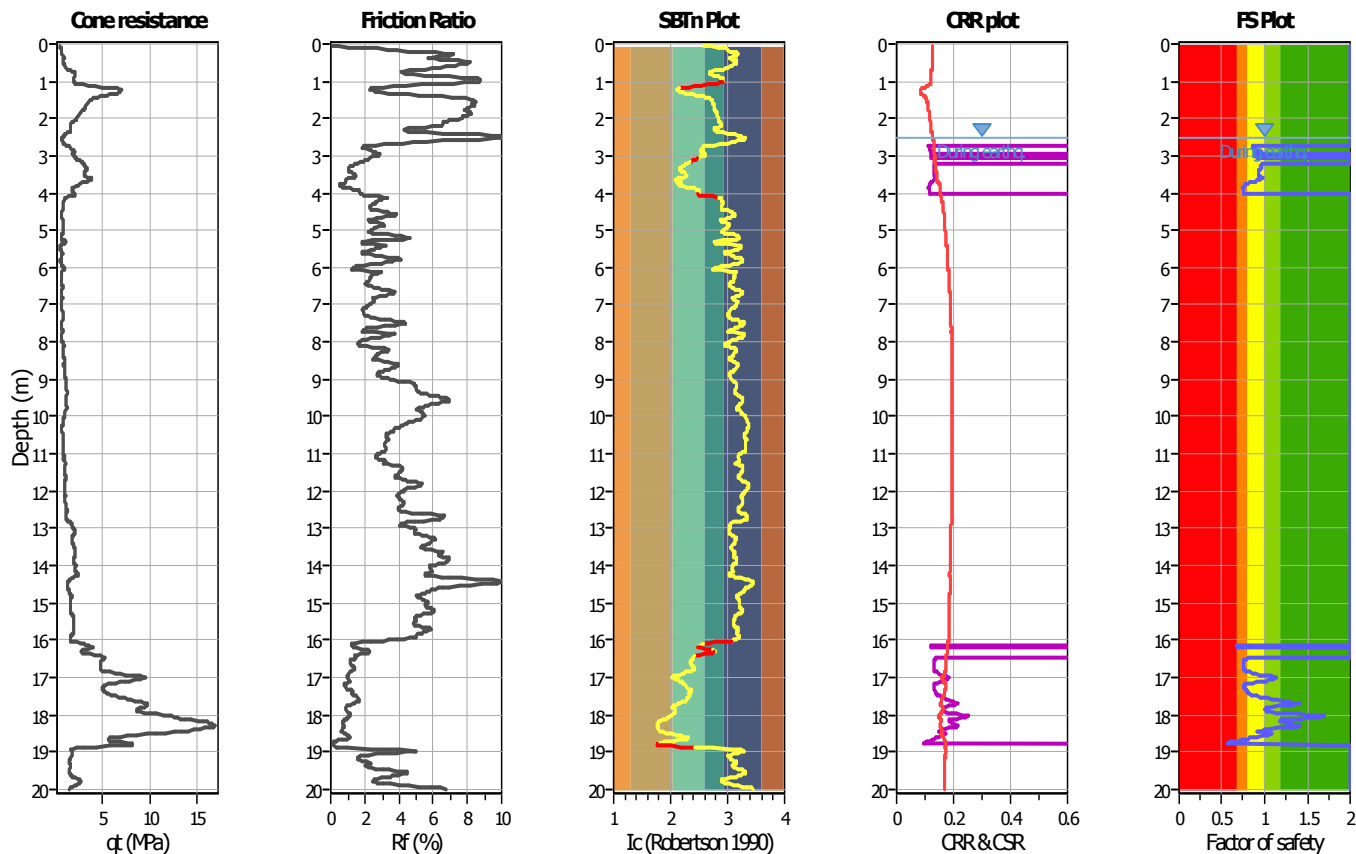
Project title : Studio del terreno di fondazione

Location : Nonantola, Variante PUA

CPT file : CPTU 1

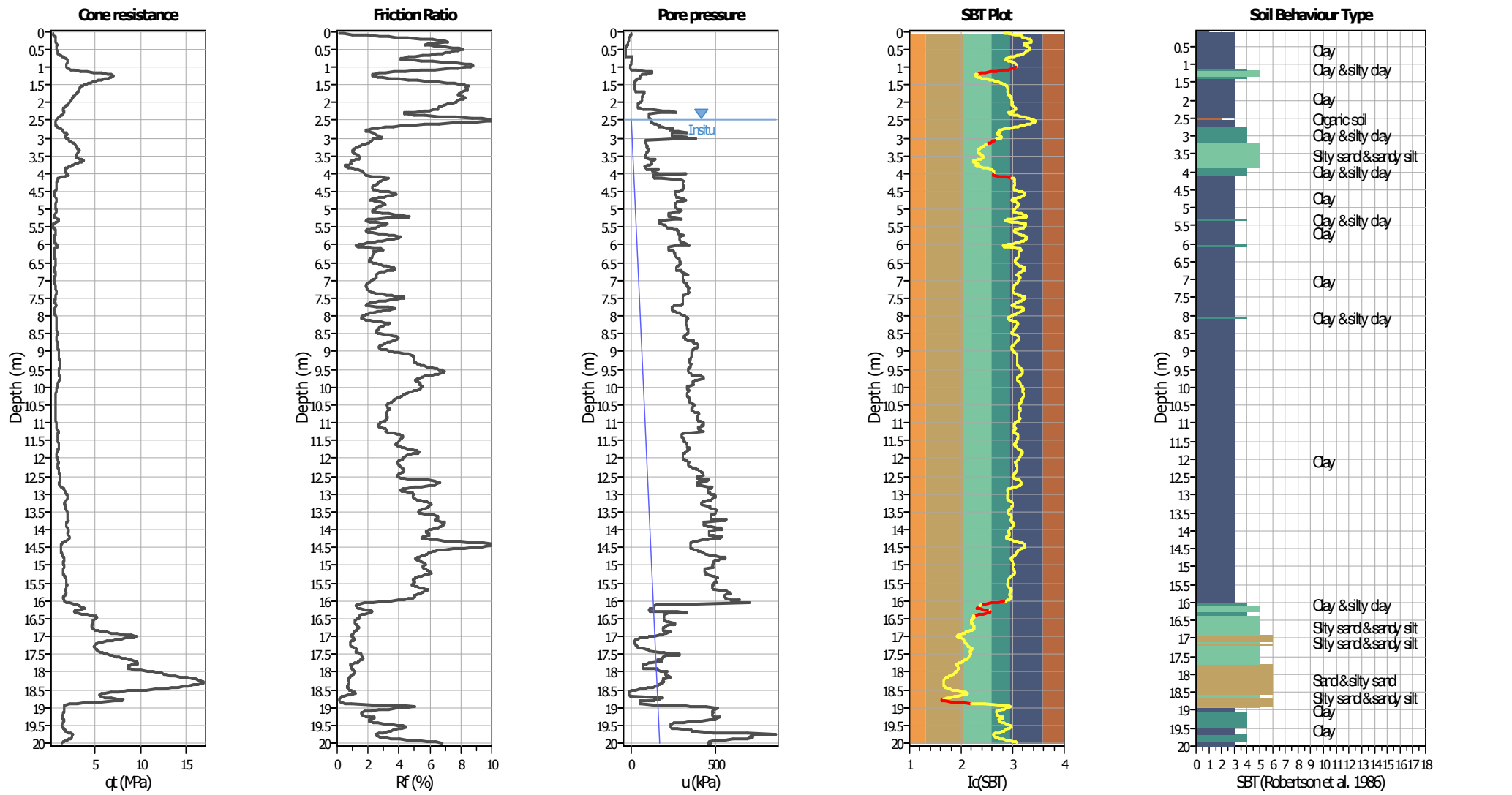
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	2.50 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	2.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth:	20.00 m
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	MSF method:	Method
Peak ground acceleration:	0.23	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_σ applied:	Yes		



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

CPT basic interpretation plots



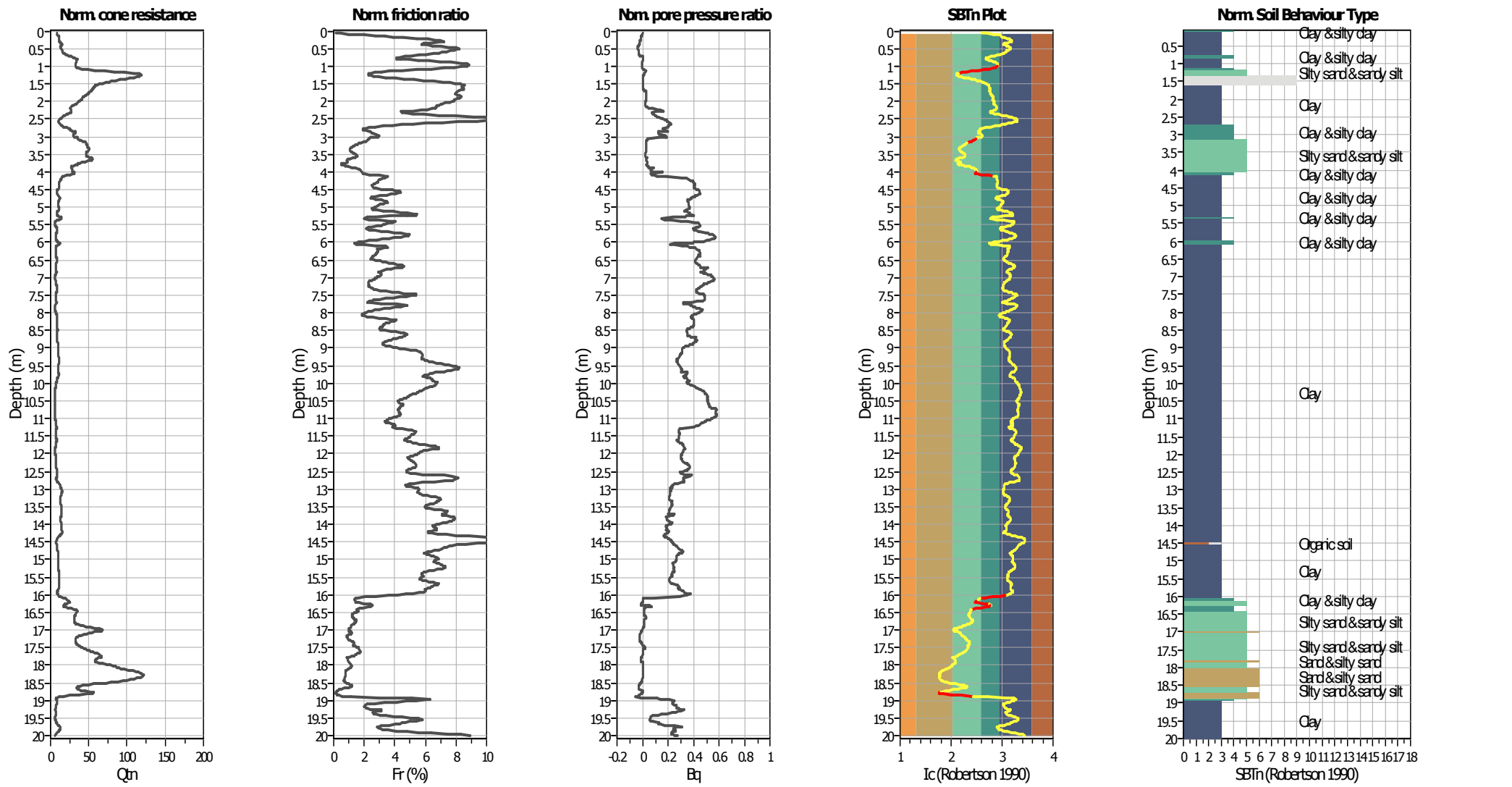
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.50 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_{σ} applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	2.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

SBT legend

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

CPT basic interpretation plots (normalized)



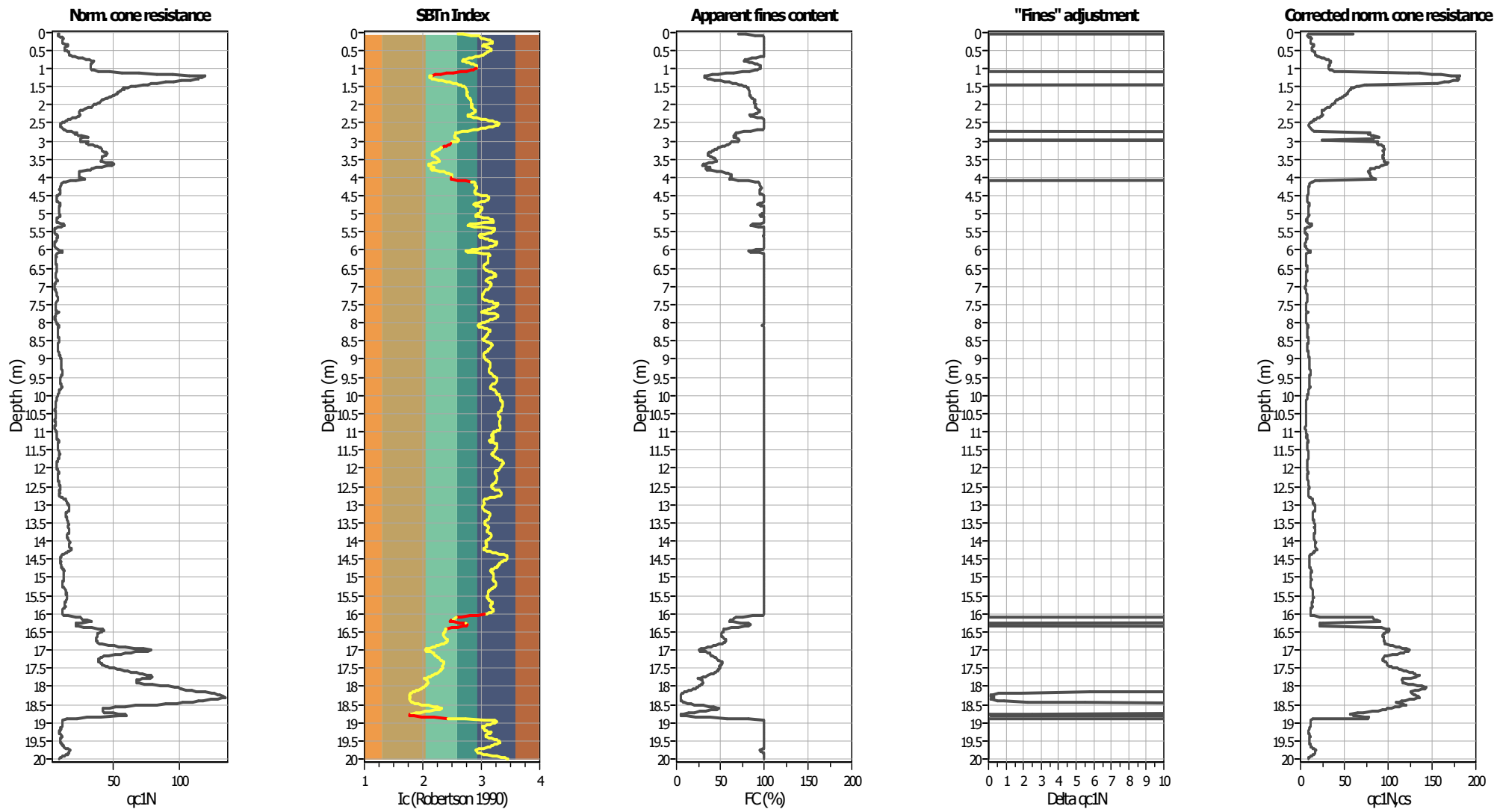
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.50 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:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	2.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

SBTn legend

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

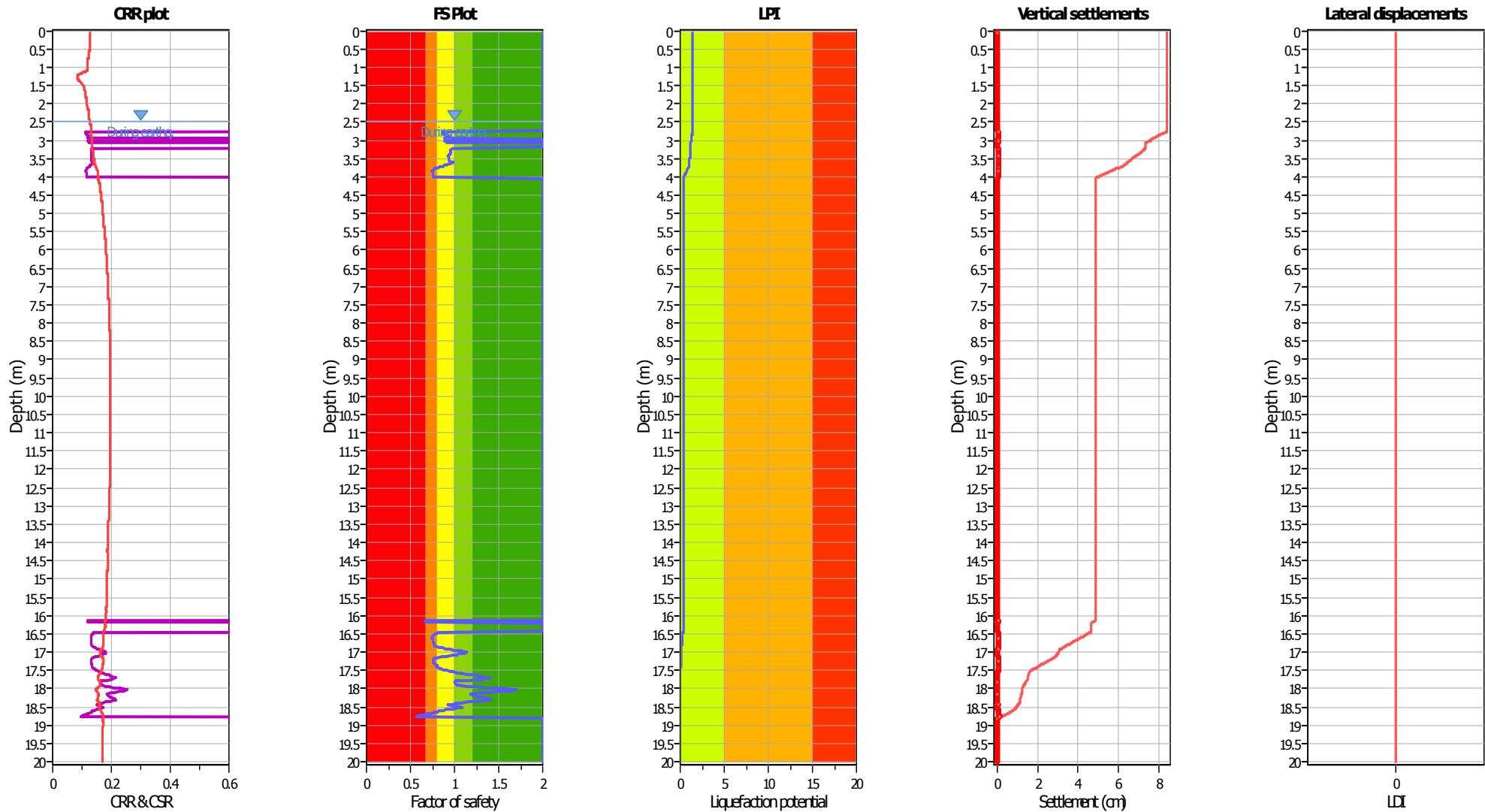
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.50 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 _g applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	2.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.50 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 _s applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	2.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

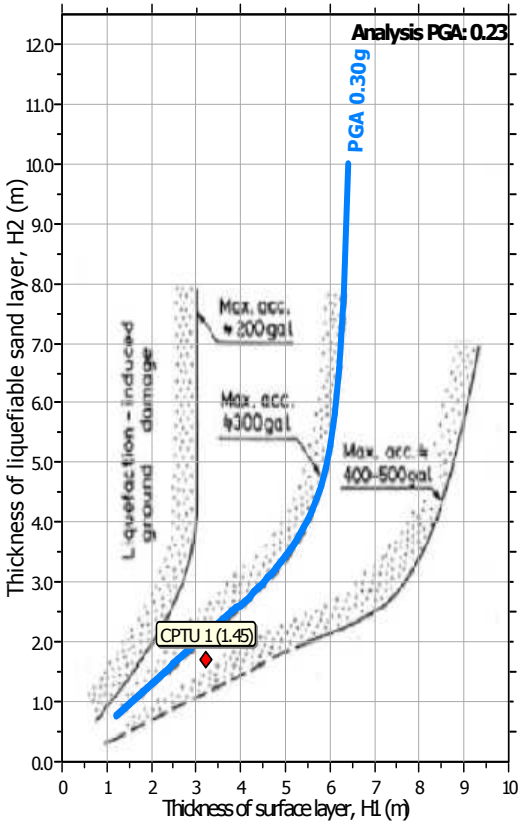
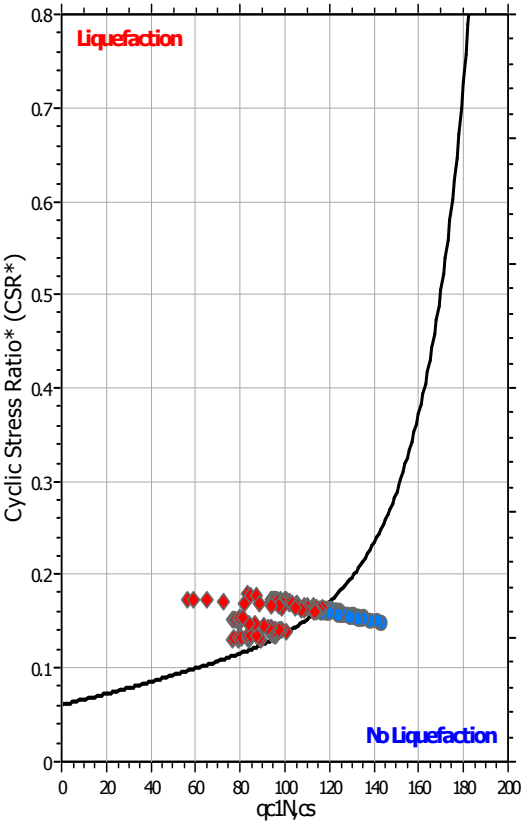
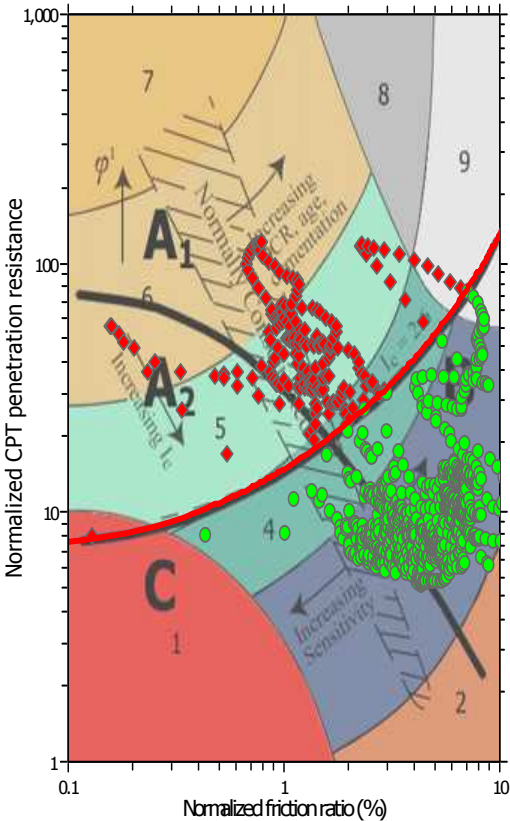
F.S. color scheme

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

LPI color scheme

Red	Very high risk
Orange	High risk
Yellow	Low risk

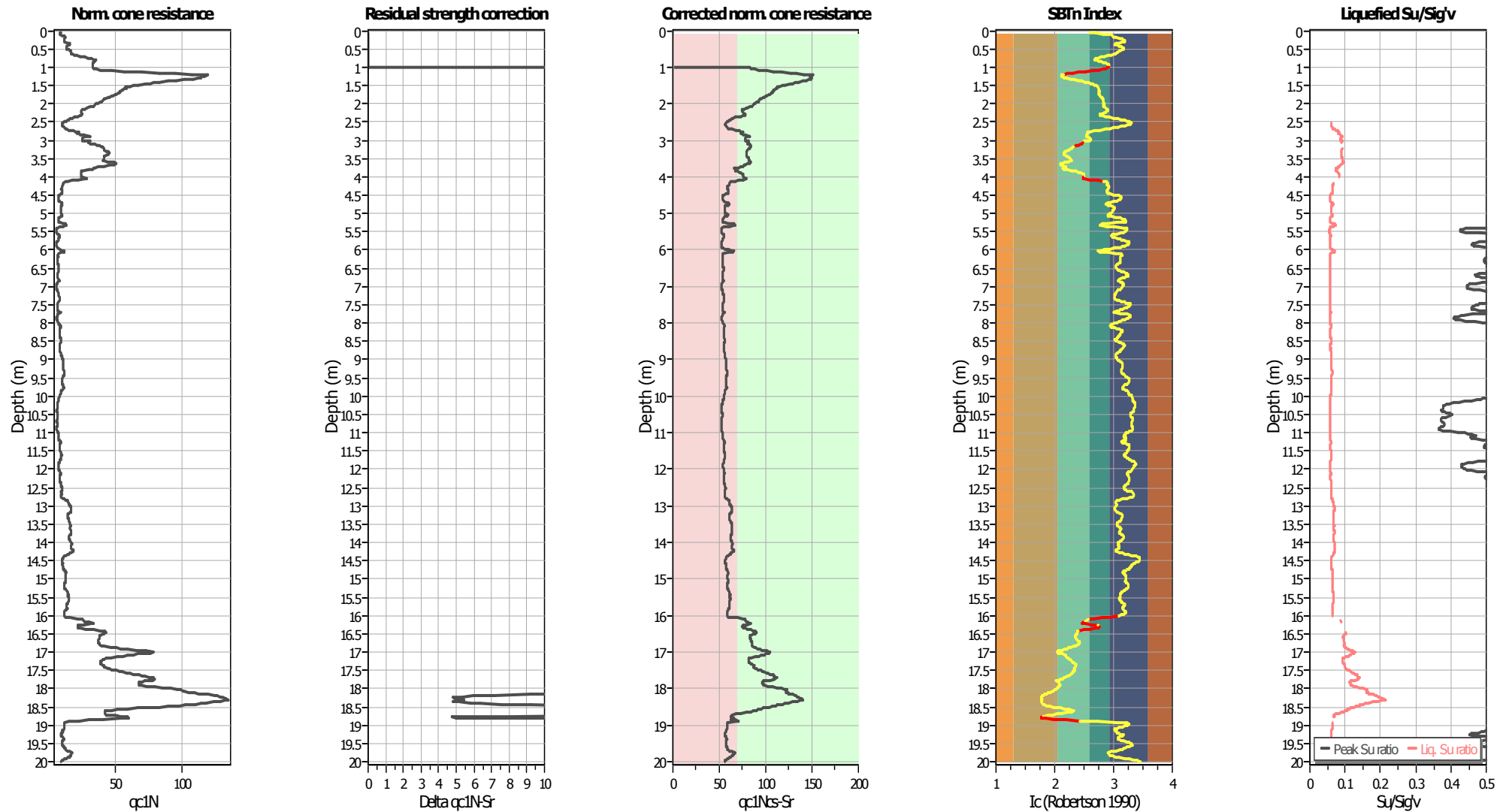
Liquefaction analysis summary plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.50 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 ₀ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	2.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

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



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.50 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_σ applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	2.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

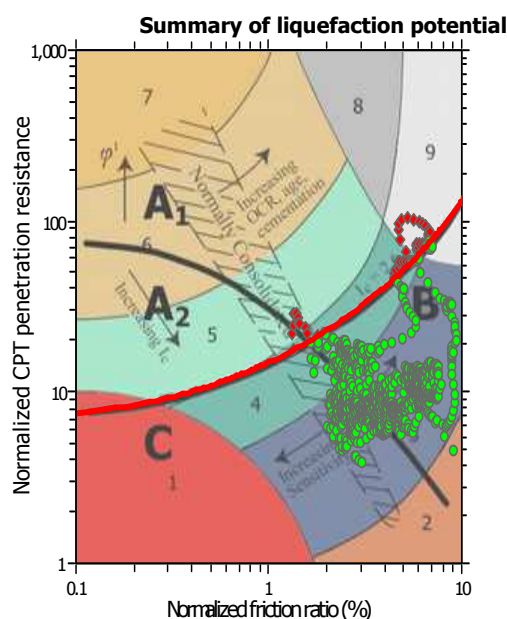
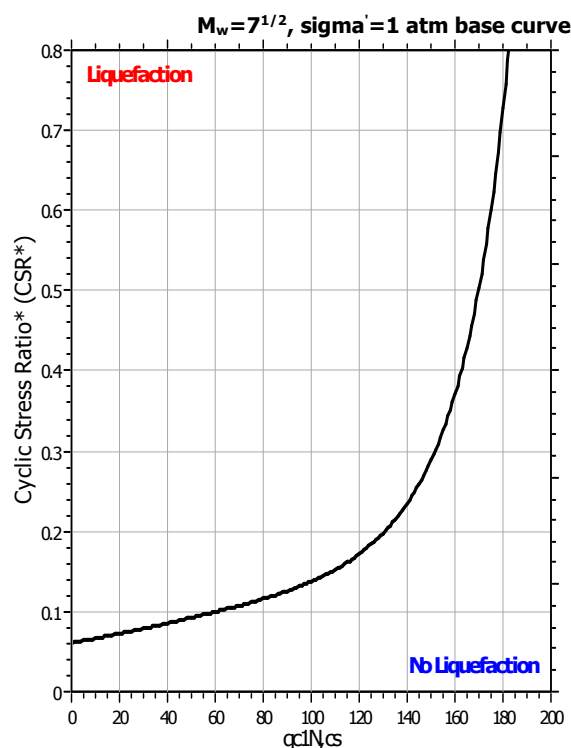
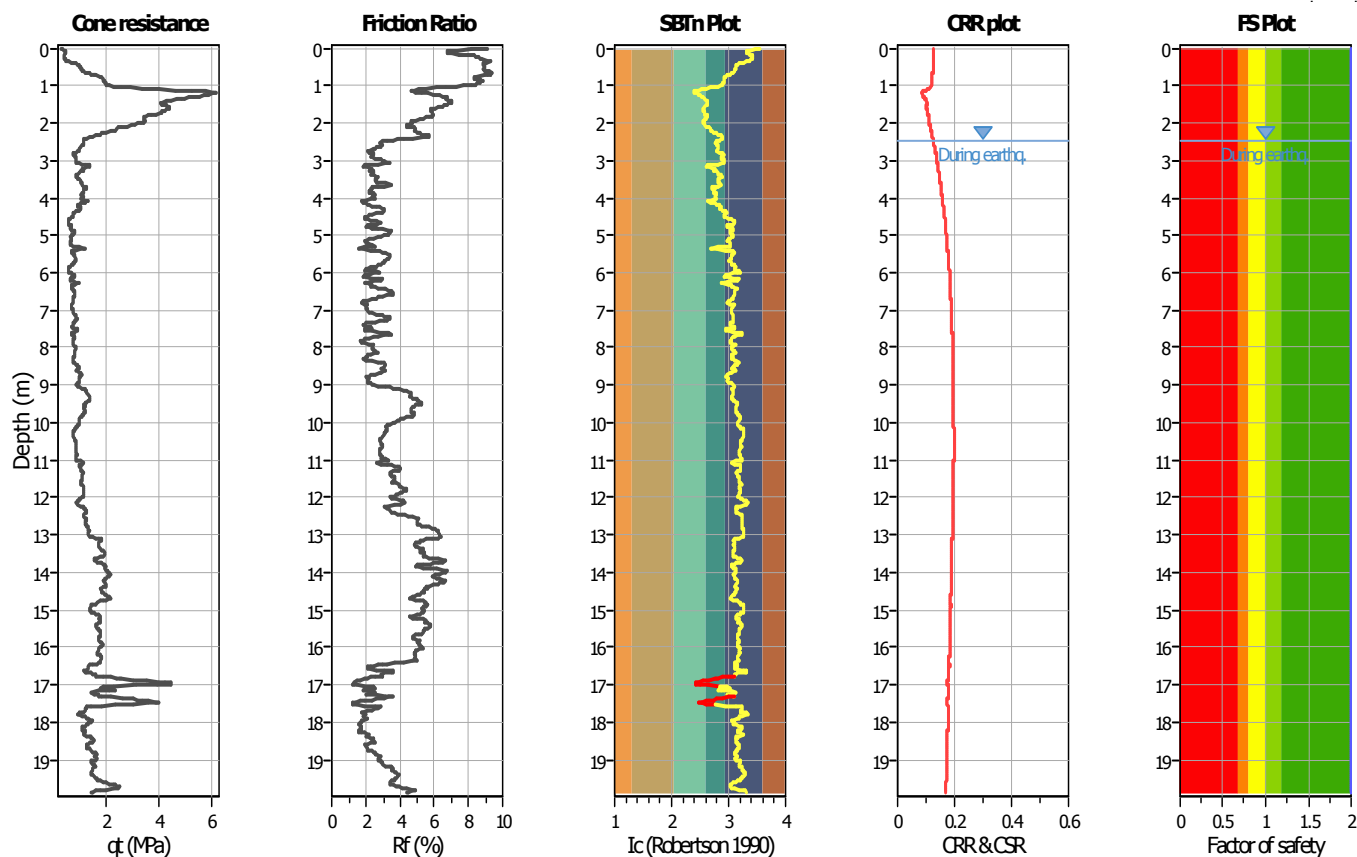
Project title : Studio del terreno di fondazione

Location : Nonantola, Variante PUA

CPT file : CPTU 3

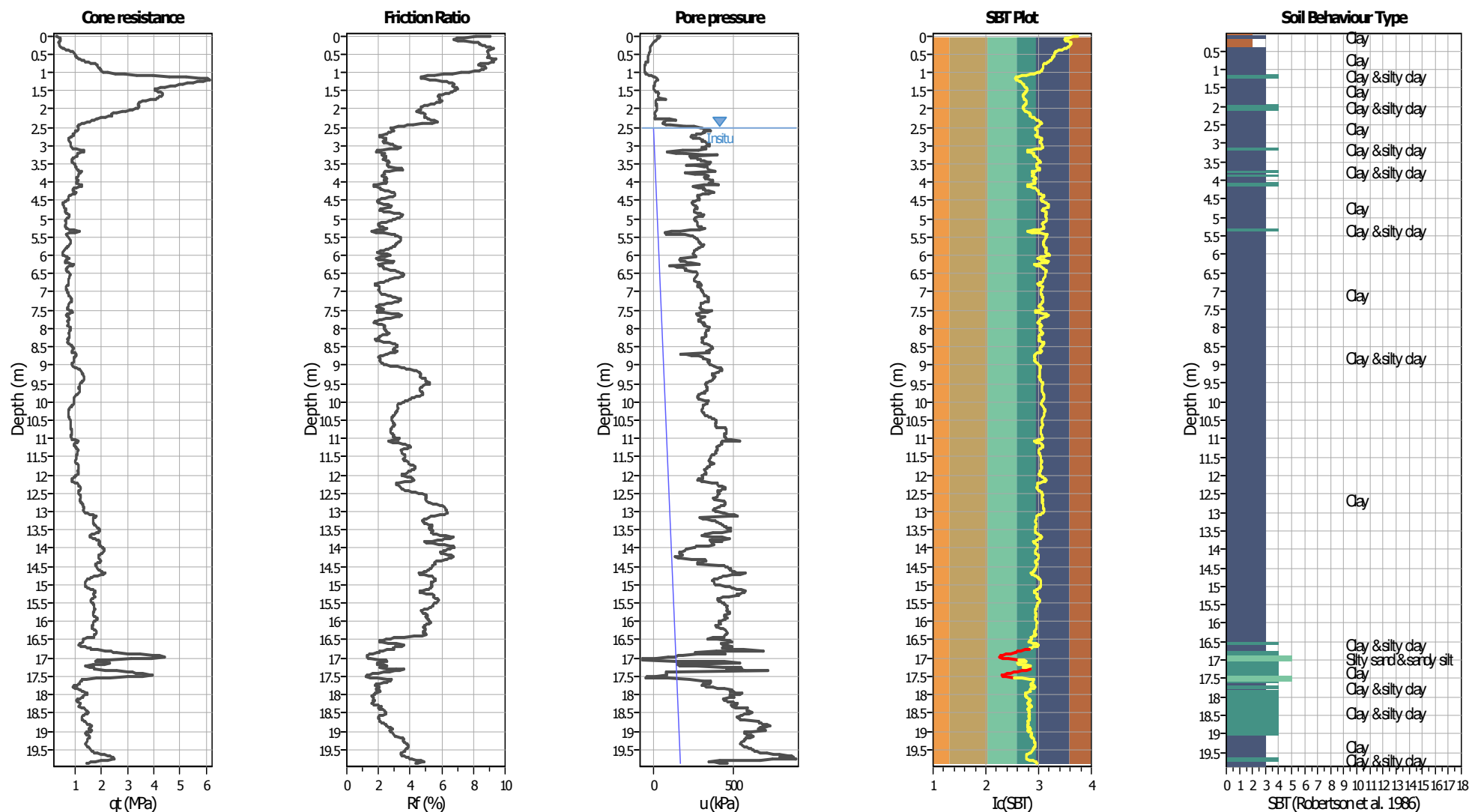
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	2.50 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	2.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth:	20.00 m
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	MSF method:	Method
Peak ground acceleration:	0.23	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_σ applied:	Yes		



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

CPT basic interpretation plots



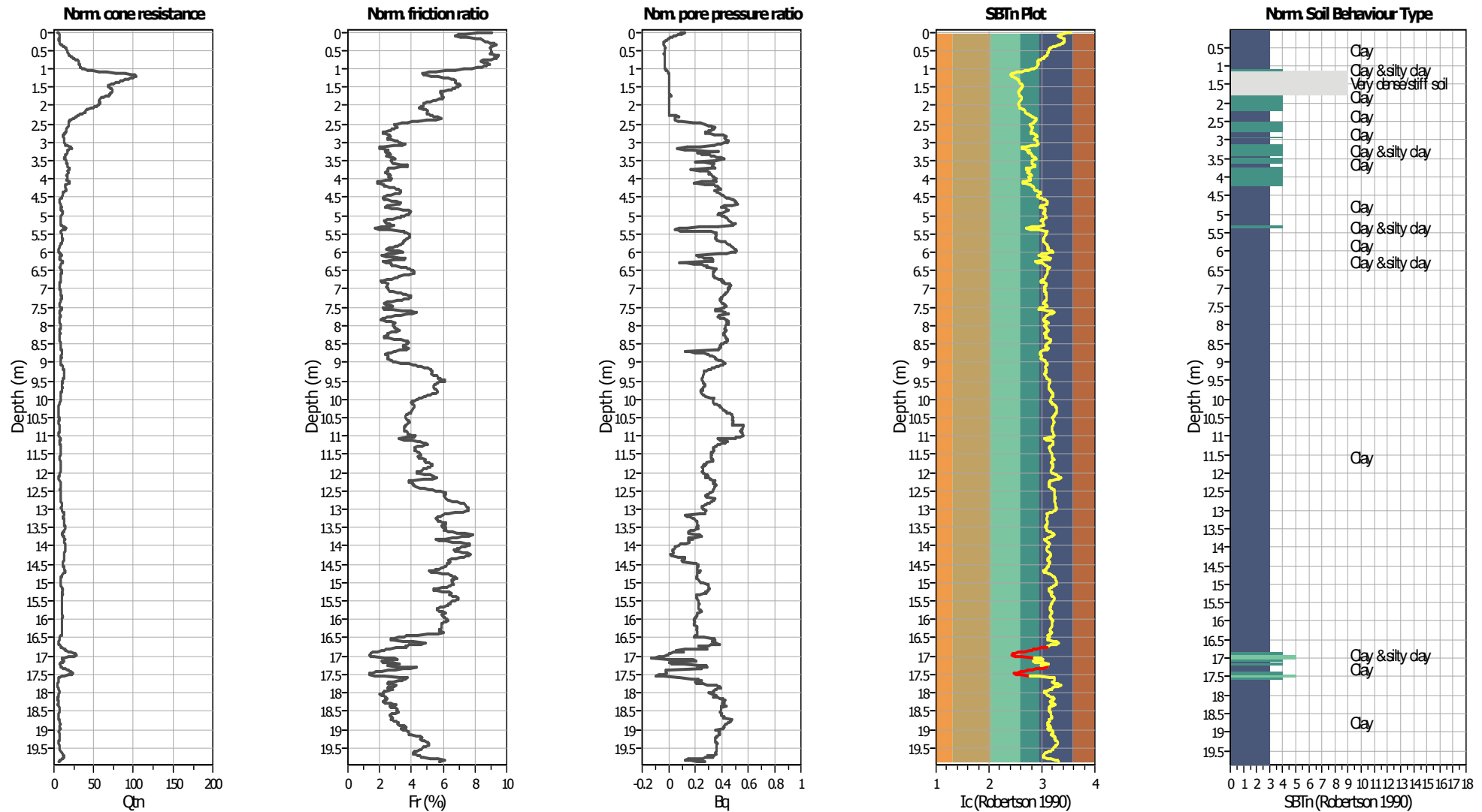
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.50 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 _g applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	2.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

SBT legend

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

CPT basic interpretation plots (normalized)



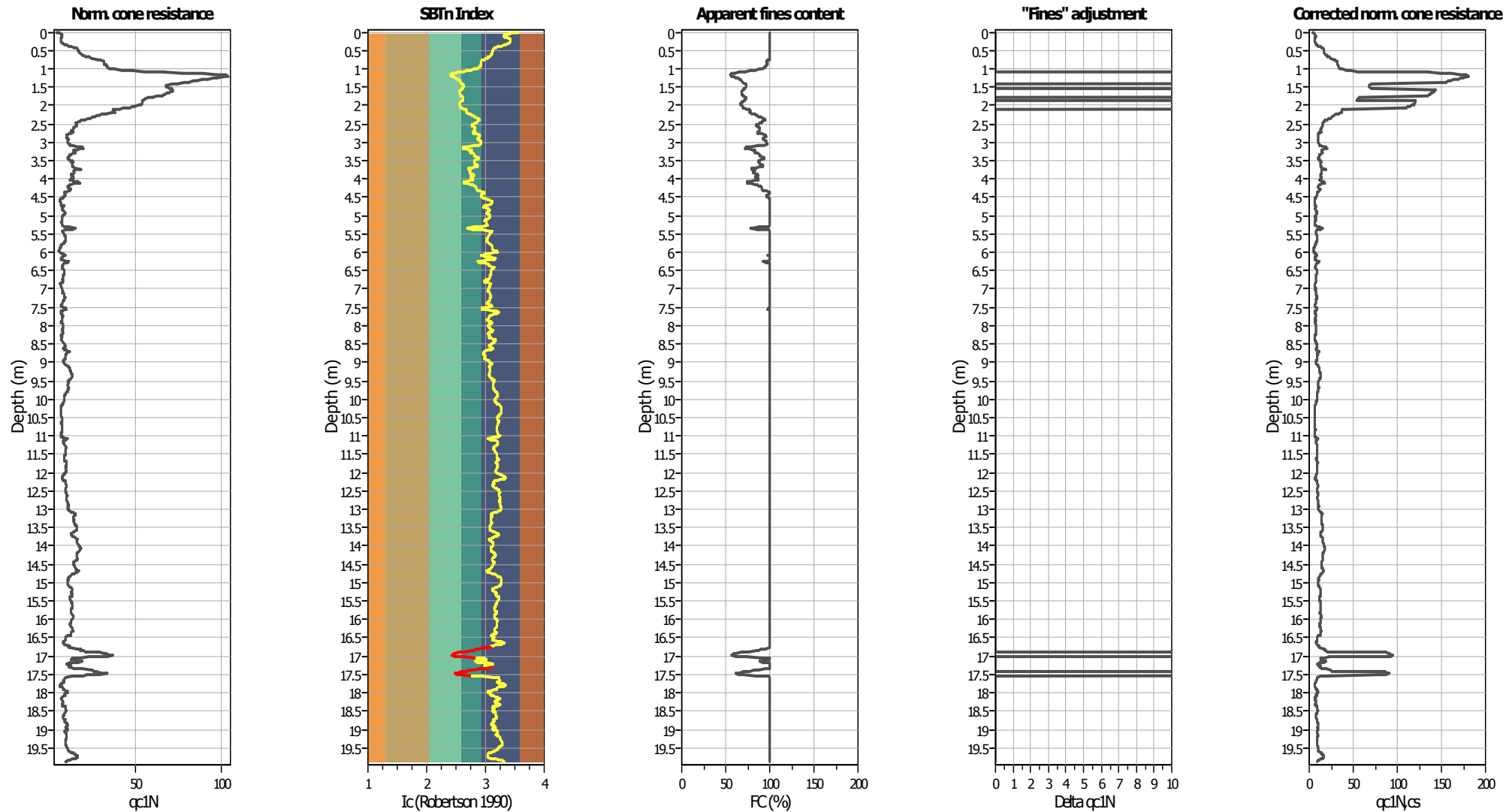
Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.50 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_{σ} applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	2.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

SBTn legend

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

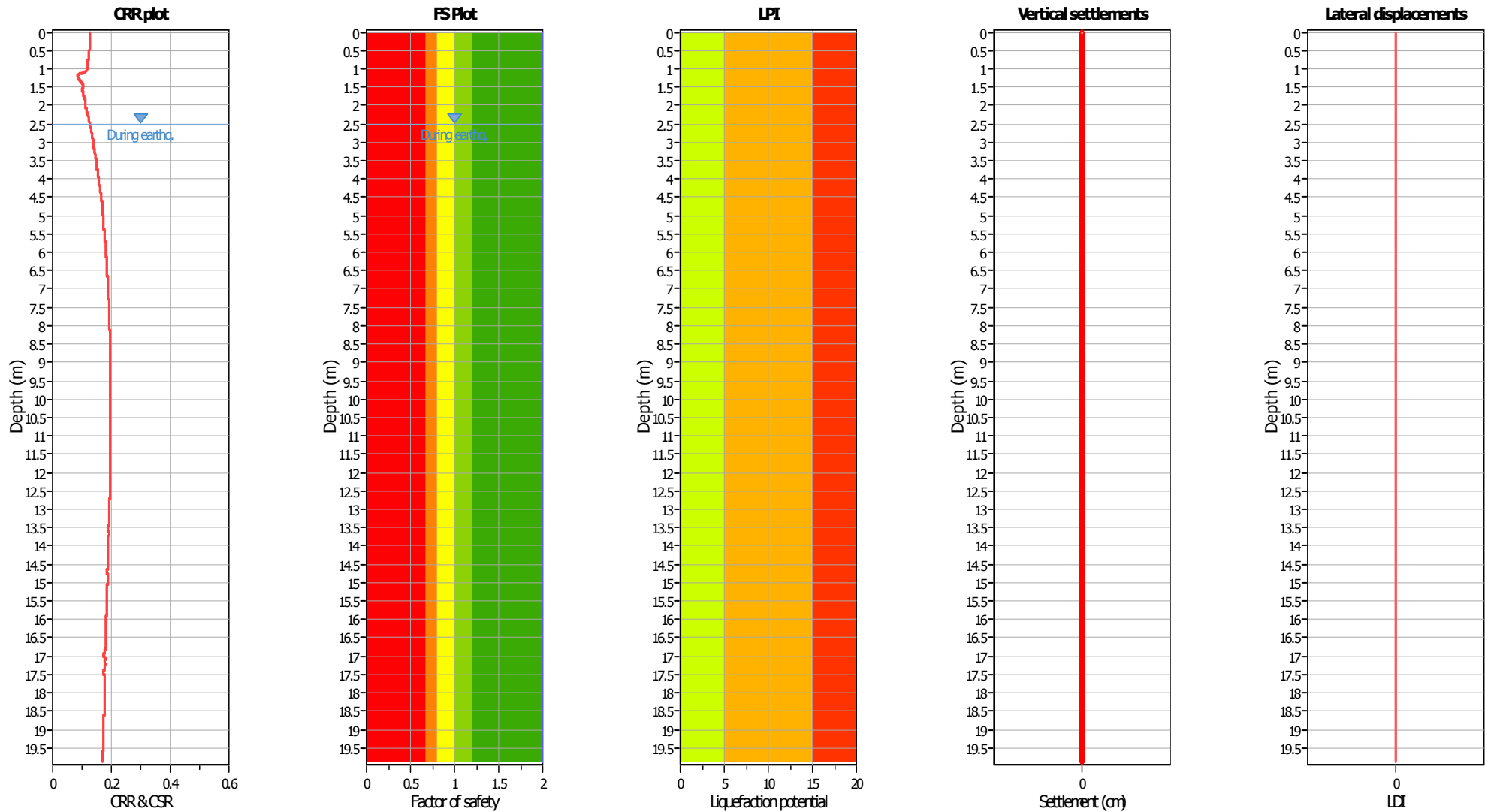
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.50 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:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	2.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (earthq.):	2.50 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 ₀ applied:	Yes
Earthquake magnitude M _w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	2.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

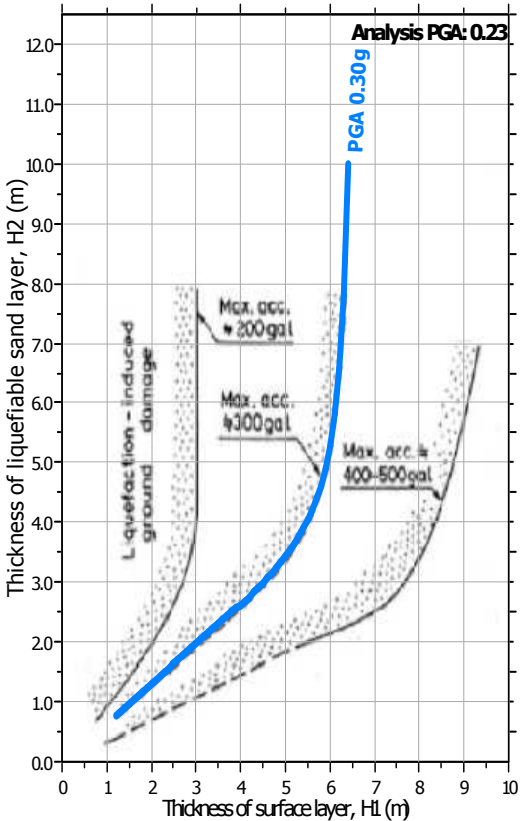
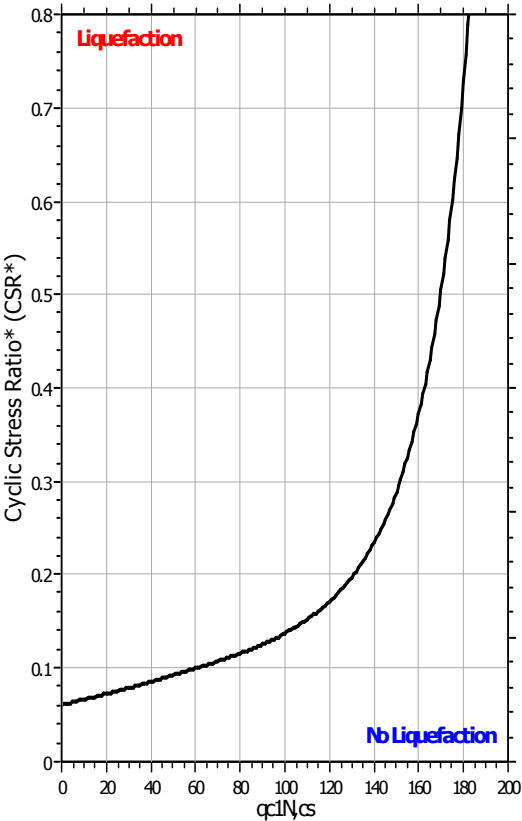
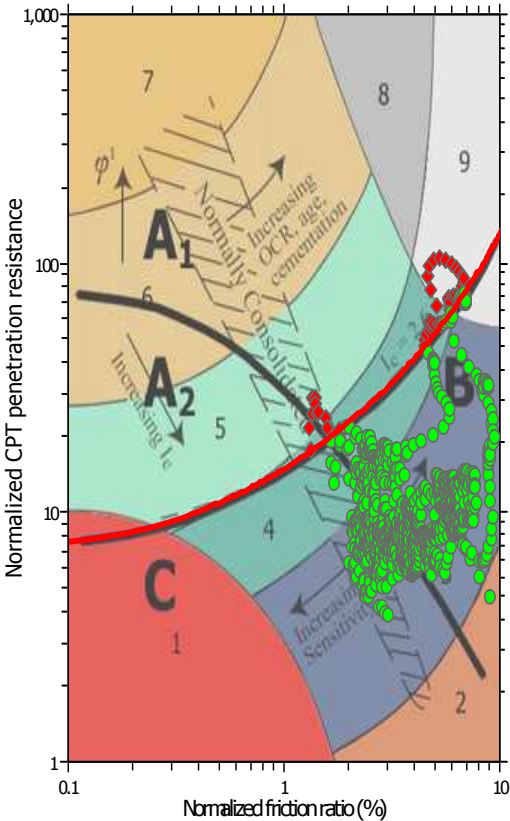
F.S. color scheme

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

LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

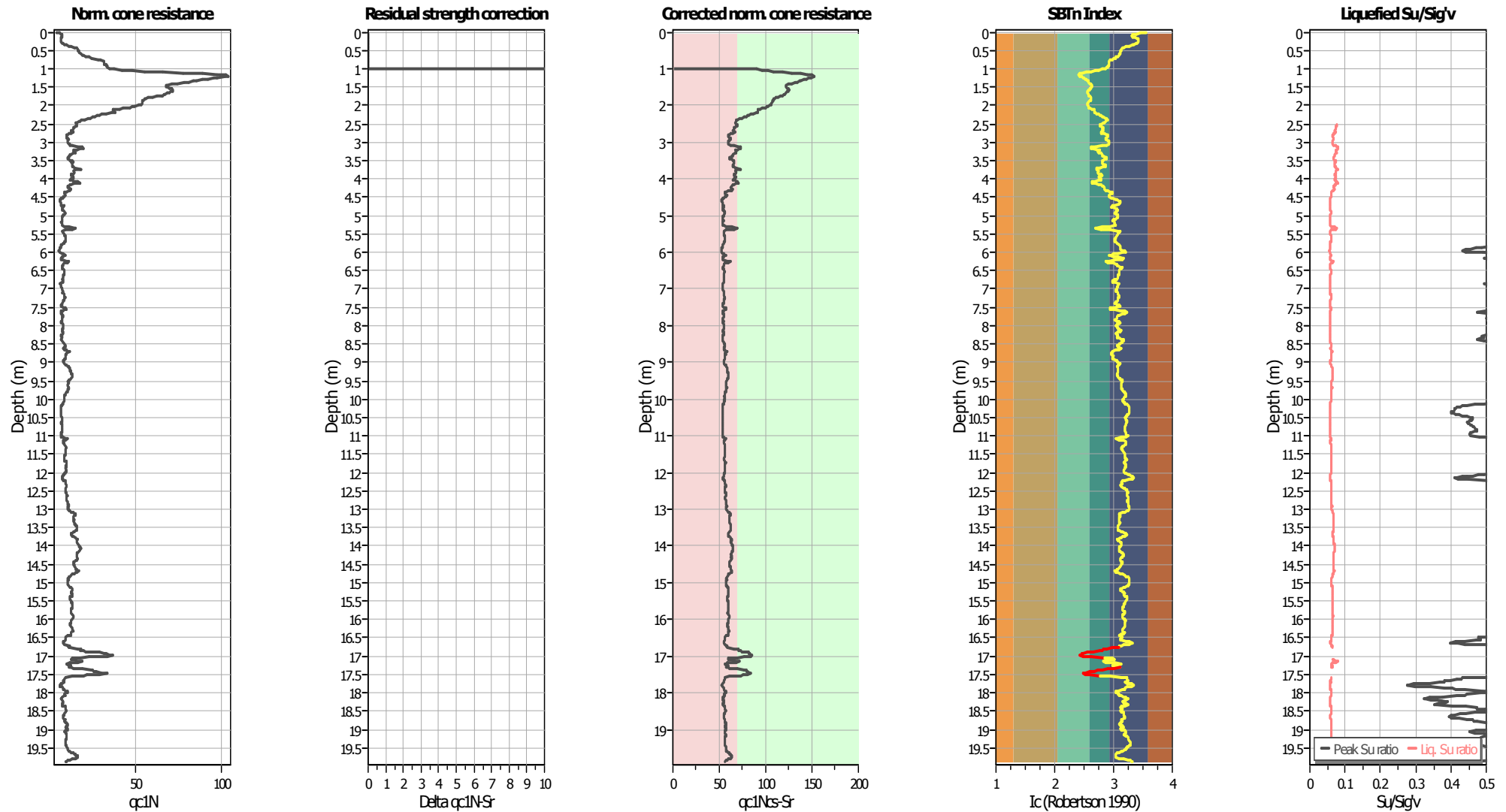
Liquefaction analysis summary plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.50 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_σ applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	2.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

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



Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	Depth to GWT (erthq.):	2.50 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_σ applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	2.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

Project title : Studio del terreno di fondazione
Location : Nonantola, Variante PUA

