

ALLEGATO 1

INDAGINI GEOGNOSTICHE

STRATIGRAFIA ARCHIVIO SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE

ALLEGATO 1 - INDAGINI GEOGNOSTICHE

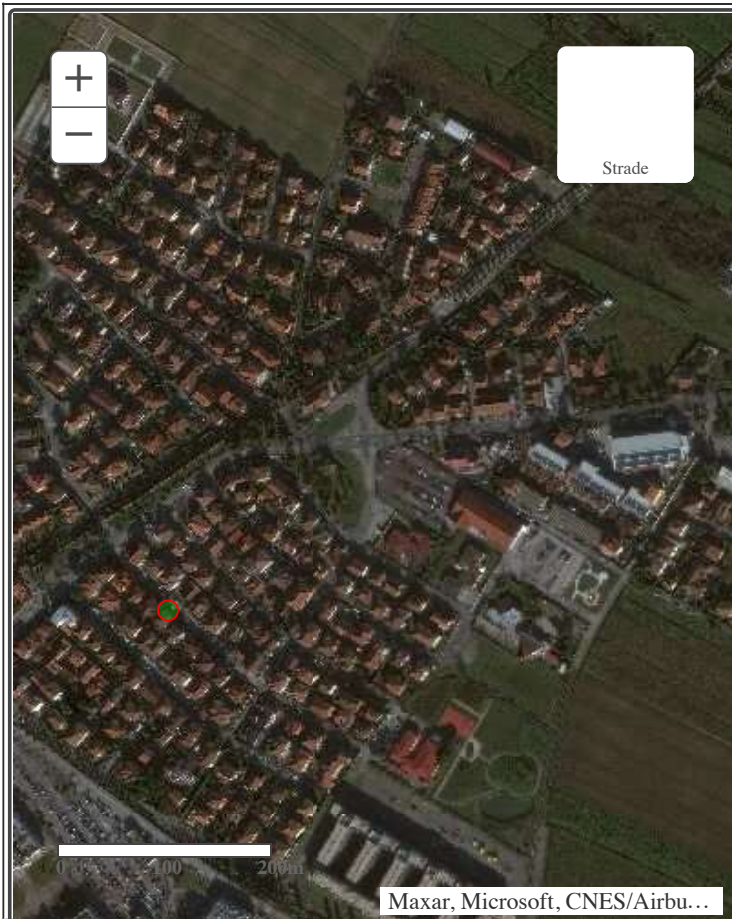
Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/1984)

Dati generali

Codice: 192856
Regione: TOSCANA
Provincia: PISA
Comune: SAN GIULIANO TERME
Tipologia: PERFORAZIONE
Opera: POZZO PER ACQUA
Profondità (m): 58,00
Quota pc slm (m): 3,00
Anno realizzazione: 2005
Numero diametri: 1
Presenza acqua: SI
Portata massima (l/s): 1,200
Portata esercizio (l/s): 1,000
Numero falde: 1
Numero filtri: 1
Numero piezometrie: 1
Stratigrafia: SI
Certificazione(*): NO
Numero strati: 4
Longitudine WGS84 (dd): 10,424311
Latitudine WGS84 (dd): 43,721239
Longitudine WGS84 (dms): 10° 25' 27.52" E
Latitudine WGS84 (dms): 43° 43' 16.47" N

(*)Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia

Ubicazione indicativa dell'area d'indagine



DIAMETRI PERFORAZIONE

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)
1	0,00	58,00	58,00	120

FALDE ACQUIFERE

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)
1	47,00	58,00	11,00

POSIZIONE FILTRI

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)
1	51,00	57,00	6,00	60

MISURE PIEZOMETRICHE

Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)
lug/2005	4,00	6,50	2,50	1,200

STRATIGRAFIA

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0,00	1,00	1,00		TERRENO VEGETALE
2	1,00	33,00	32,00		LIMO
3	33,00	47,00	14,00		ARGILLA
4	47,00	58,00	11,00		SABBIA

ISPRA - Copyright 2018

PROSPEZIONE SISMICA DOWN HOLE

ALLEGATO 1 - INDAGINI GEOGNOSTICHE

INDAGINE SISMICA ATTIVA IN FORO CON METODOLOGIA DOWN-HOLE

Via G. Moruzzi – San Giuliano Terme (PI)



Committente: Scuola Superiore Sant'Anna

RELAZIONE TECNICA

Giugno 2015

S.I.S.M.A. geo
PROSPEZIONI SISMICHE
Studio Associato: via Novelli, 5 - 56124 Pisa
P. IVA: 01961590500

Dott. S. Buttiglieri


Dott. L. Guido


Indice

1 - PREMESSA	3
2 - STRUMENTAZIONE E METODOLOGIA DELLA PROSPEZIONE SISMICA IN FORO	4
4 - ELABORAZIONE DEI DATI	8
5 - INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI.....	10
6 - CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE (D.M. 14/01/2008)	11

1 – PREMESSA

In data 05/06/2015, per conto della Scuola Superiore Sant'Anna, è stata eseguita un'indagine geofisica di sismica in foro con metodologia Down-Hole (DH) in via G. Moruzzi nel Comune di San Giuliano Terme (Pi) (Figg. 1a e 1b).

Scopo dell'indagine è quello di definire il parametro V_{s30} , così come previsto dal O.P.C.M. 3274 e s.m.i, D.M. 14.09.2005 e D.M. 14.01.2008, determinando lo spessore e le velocità sismiche longitudinali (V_p) e trasversali (V_s) dei vari sismostrati incontrati sulla base delle loro proprietà meccaniche elastiche e i relativi parametri (E, G, K e ν) dei terreni presenti.

Il modello sismico monodimensionale (successione stratigrafica delle unità geofisiche) costituisce infatti l'aspetto principale sia nella stima degli effetti sismici di sito che nella definizione dell'azione sismica di progetto, in quanto consente di conoscere l'incidenza delle locali condizioni stratigrafiche nella modifica della pericolosità sismica di base (amplificazioni di natura litologica).

Ciò permette una corretta progettazione strutturale in relazione alle condizioni sitespecifiche, garantendo un adeguato livello di protezione antisismica delle costruzioni (O.P.C.M. 3274 e s.m.i; D.M. 14.09.2005; D.M. 14.01.2008). Nei capitoli successivi verranno descritte le modalità d'esecuzione delle misure sperimentali e l'interpretazione geofisica delle stesse.

Nelle figg. 1a e 1b si riporta l'ubicazione della prospezione sismica eseguita.



Fig. 1a



2 - STRUMENTAZIONE E METODOLOGIA DELLA PROSPEZIONE SISMICA IN FORO

Lo scopo della prova consiste nel determinare direttamente la velocità di propagazione, all'interno del mezzo in esame, delle onde di compressione (onde P), di taglio (onde S) ed indirettamente, utilizzando i valori delle velocità acquisiti (V_P , V_S), fare una stima di massima di alcune proprietà meccaniche delle litologie investigate. Le indagini sismiche che utilizzano i sondaggi sono utili per avere una sismostratigrafia dettagliata del sottosuolo. Si applicano vari metodi di indagine in foro: Up Hole , Down Hole e Cross Hole.

Sistema di acquisizione

Il metodo Down-Hole prevede la sistemazione della sorgente in superficie e la misura delle onde d'arrivo in foro. La sonda, contenente il geofono a 5 componenti (una verticale e 4 orizzontali disposte a $90^\circ/45^\circ$ tra di loro), si fissa pneumaticamente alle pareti del tubo in PVC all'interno del foro di sondaggio (Fig. 2). Tale tubo in PVC viene preventivamente reso solidale con le pareti del

foro a mezzo di cementazione con opportune malte introdotte nell'intercapedine tra le pareti del foro e il tubo stesso.

Le principali caratteristiche tecniche del geofono da foro e del sismografo sono le seguenti.

Caratteristiche tecniche geofono da foro

<ul style="list-style-type: none"> - Geofoni con frequenza di 4,5 Hz - Componente verticale n.1 (S3) - Componente orizzontale n.4 (S5) - Sfasamento delle componenti orizzontali: 90 gradi (S3) 	<ul style="list-style-type: none"> - Sfasamento delle componenti orizzontali: 45 gradi (S5) - Bloccaggio ad aria compressa 1,5 bar - Lunghezza: 300 mm - Cavo in dotazione: 60 mt
---	---

Caratteristiche tecniche sismografo

<ul style="list-style-type: none"> - Risoluzione: 24 bit - Numero canali: 24 - Campioni per canale : 20.000 - Campionamento : da 80 a 13.500 c/s - Analisi del rumore ambientale pre-acquisizione - Test geofoni automatico - Funzioni Trigger e Pre-Trigger - Filtri settabili da software 	<ul style="list-style-type: none"> - Alimentazione: power box esterno 12V - Valigia in copolimeri di polypropylene - Temperatura di funzionamento da 0 a 60°C - Interfaccia USB su pannello interno - Connettore per cavo sismico 1-12 - Connettore per cavo sismico 13-24 - Dimensioni: 30 x 22,5 x 13,2 cm.
---	--

Il geofono da foro a cinque componenti è collegato tramite cavo al sismografo M.A.E., modello SYSMATRACK (Fig. 3), sistema multicanale (24 canali) in grado, insieme ad un pc portatile ed al software di acquisizione, di scaricare, visualizzare ed intervenire sul segnale ricevuto e sul sismogramma risultante dall'energizzazione provocata in superficie.

Sul pannello frontale trovano posto i due connettori 24 poli per i cavi sismici da 12 canali ciascuno, il connettore per lo starter, l'alimentazione esterna 12V e l'interfaccia USB per collegare il notebook necessario alla gestione della strumentazione. Esso è collegato a ciascuno dei trasduttori di velocità al trigger e consente quindi di registrare in forma numerica e visualizzare come tracce su un apposito monitor le vibrazioni a partire dall'impulso inviato dal trigger per il quale è stato utilizzato un geofono verticale a 14Hz posto in prossimità della piastra di energizzazione.

I segnali sismici acquisiti sono stati successivamente elaborati con appositi programmi per la determinazione della sismostratigrafia del sottosuolo.

Sistema di energizzazione

Il sistema consiste in due parti principali: la parte energizzante ed il trigger.

Per la parte energizzante, a seconda della tipologia di onde da generare, si utilizza una mazza battente da 8Kg impattante verticalmente su una piastra metallica di 20 cm di diametro poggiata a terra, per generare onde compressionali (tipo P) ed impattante orizzontalmente su una traversina in legno, per generare onde di taglio.

La traversina viene sovraccaricata da una massa statica e disposta ortogonalmente alla distanza della stessa con il foro superficiale attrezzato (congiungente shot-boccaforo); essa viene percossa alle due estremità al fine di generare onde di taglio (tipo Sh) polarizzate orizzontalmente (destra DX e sinistra SX). I sismogrammi delle onde trasversali generate, in fase di elaborazione, vengono quindi sommate, $DX + (-SX)$, consentendo l'amplificazione del segnale utile.

Il trigger consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui la sorgente viene attivata, consentendo a un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e di produrre un impulso che viene inviato al sensore collegato al sistema di acquisizione dati; questo consente di individuare e visualizzare l'esatto istante in cui la sorgente viene attivata e parte la sollecitazione dinamica (Fig. 4).



Fig. 2 – Geofono da foro a 5 componenti



Fig. 3 - Sismografo: modello Sysmatrack

Metodologia di esecuzione dell'indagine

Definita come profondità da indagare quella della lunghezza complessiva del tubo in PVC, è stato calato il geofono a fondo foro, eseguendo l'indagine dal basso verso l'alto.

I profili sismici delle V_p , V_{sx} e V_{sy} sono stati eseguiti energizzando artificialmente il terreno e rilevando la vibrazione prodotta mediante il geofono tridimensionale da foro collegato al sismografo attraverso un cavo multipolare. Questo geofono è stato posto inizialmente alla profondità di 30 metri, fatto aderire alla parete attraverso un sistema pneumatico e dopo le tre registrazioni necessarie (scoppio verticale V_p , scoppio orizzontale destro V_{sx} e scoppio orizzontale sinistro V_{sy} : la posizione destra o sinistra è valutata guardando il lato anteriore della nostra autovettura) è spostato di 1 metro verso il piano campagna e ripetuta la procedura fino a coprire tutti i 30 metri.

L'offset di scoppio (distanza tra gli scoppi e il centro del foro di misura) è stato scelto di 2,00 metri corrispondente alla somma della larghezza delle ruote posteriori dell'autoveicolo in nostro possesso, con l'aggiunta di 40 cm d'ingombro della traversina in legno per gli scoppi orizzontali (Figg. 4 e 5).

Per ogni registrazione si è intervenuti sulla sensibilità dei geofoni in acquisizione, variando il guadagno degli stessi (generalmente crescente con la profondità), cercando di ottenere il giusto compromesso fra il segnale chiaro e il disturbo dovuto al rumore ambientale.



Fig. 4 – Sistema di energizzazione: mazza battente, piastra metallica e traversina in legno

L'acquisizione è stata effettuata utilizzando come durata del sismogramma un tempo di 512 millisecondi e come tempo di campionamento 250 microsecondi per un totale di 2.048 campioni per ogni traccia. Attraverso lo studio dei tempi di percorso delle onde di compressione e di taglio e quindi delle velocità, si può risalire alla disposizione geometrica e alle caratteristiche meccanico-elastiche dei litotipi presenti nell'area di indagine.

Le onde di volume P ed S, che attraversano un mezzo omogeneo e isotropo (condizioni ideali) hanno ben definite equazioni di moto. Note le velocità V_p e V_s che vengono ottenute tramite misure dirette, possono essere ricavate alcune proprietà meccaniche, quali il modulo di Young o modulo elastico E, il modulo di taglio G o modulo di rigidità μ , il coefficiente di Poisson ν , la densità ρ e il modulo di incompressibilità o bulk k.

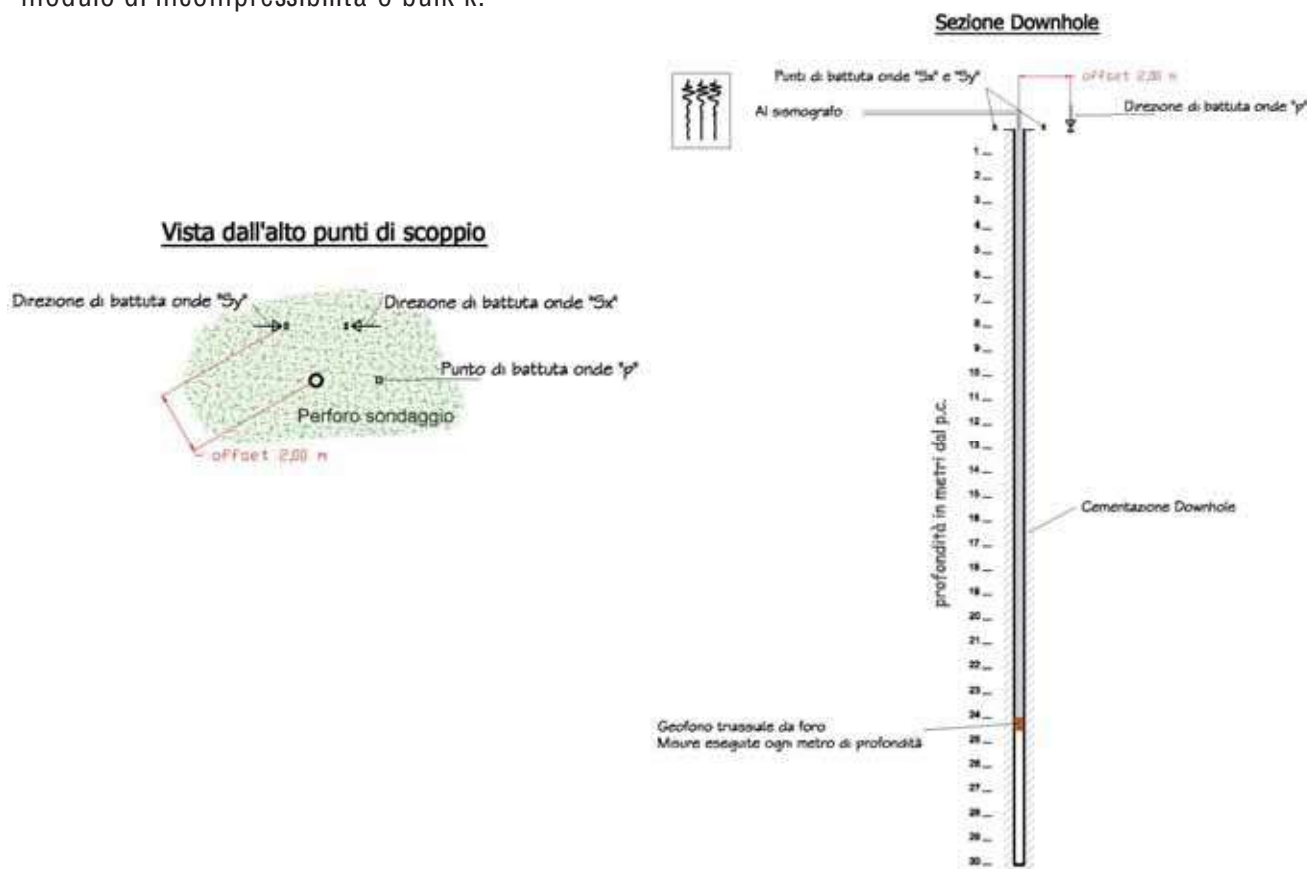


Fig. 5 - Geometria schematica della strumentazione necessaria all'indagine Down-Hole

4 - ELABORAZIONE DEI DATI

Una volta visualizzate le tracce abbiamo effettuato, con l'ausilio del software "Intersism v. 2.1" della Geo&Soft International, il picking dei primi arrivi delle onde P, delle onde S_x e delle onde S_y per ciascuna postazione effettuata (Allegato A - Figg. 6a, 6b e 6c).

I dati relativi ai tempi dei primi arrivi sono stati utilizzati per tracciare le dromocrone su grafici profondità/tempo (Allegato B - Fig. 7a).

Tracciate le dromocrone è stato individuato il numero dei possibili rifrattori (nel nostro caso 3) e quindi il numero di strati (nel nostro caso 4) caratterizzati da una differente velocità di propagazione delle onde sismiche (Allegato B - Fig. 7b). Infine attraverso la valutazione dello spazio intercorrente tra i punti di scoppio e di rilevazione, ed il tempo impiegato dall'onda a percorrerlo, sono state valutate le velocità sismiche delle onde P e delle onde S (sia dello scoppio destro che sinistro). Le velocità così ricavate sono state utilizzate per calcolare alcuni moduli elastici e il parametro Vs30 della successione sismica in esame (Tab. 1).

TABELLA 1
PROFONDITÀ DEI VARI RIFRATTORI INDIVIDUATI E LE RELATIVE VELOCITÀ SISMICHE
DISTANZA DELLO SPARO DA BOCCA FORO = 2.00 [m]

N° Geof.	Profondità [m]	Onde P [ms]	Onde S (X) [ms]	Onde S (Y) [ms]	Onde P (corretti) [ms]	Onde S (X) (corretti) [ms]	Onde S (Y) (corretti) [ms]
1	1.00	3.50	7.30	9.70	1.57	3.26	4.34
2	2.00	4.50	11.60	13.90	3.18	8.20	9.83
3	3.00	5.50	15.30	17.70	4.58	12.73	14.73
4	4.00	6.50	19.10	21.20	5.81	17.08	18.96
5	5.00	8.00	23.50	25.10	7.43	21.82	23.30
6	6.00	10.30	26.80	30.30	9.77	25.42	28.75
7	7.00	11.70	34.50	39.90	11.25	33.17	38.36
8	8.00	13.20	44.10	47.20	12.81	42.78	45.79
9	9.00	14.40	52.80	53.90	14.06	51.54	52.62
10	10.00	15.60	62.40	64.40	15.30	61.19	63.15
11	11.00	16.80	70.70	72.00	16.53	69.56	70.84
12	12.00	18.00	81.40	81.30	17.76	80.29	80.19
13	13.00	19.20	89.40	88.40	18.98	88.36	87.37
14	14.00	19.60	99.20	96.30	19.40	98.20	95.33
15	15.00	20.90	107.00	104.80	20.72	106.06	103.88
16	16.00	22.70	113.20	112.40	22.52	112.33	111.53
17	17.00	23.70	126.30	120.30	23.54	125.43	119.48
18	18.00	24.50	136.40	129.60	24.35	135.57	128.81
19	19.00	25.60	143.20	137.50	25.46	142.41	136.74
20	20.00	26.50	149.50	144.70	26.37	148.76	143.98
21	21.00	27.30	157.20	150.30	27.18	156.49	149.62
22	22.00	28.50	164.60	155.10	28.38	163.92	154.46
23	23.00	29.30	168.90	159.10	29.19	168.27	158.50
24	24.00	29.70	171.30	163.40	29.60	170.71	162.84
25	25.00	30.30	174.50	167.40	30.20	173.94	166.87
26	26.00	31.20	176.90	170.00	31.11	176.38	169.50
27	27.00	31.60	181.30	172.80	31.51	180.80	172.33
28	28.00	32.10	184.70	176.00	32.02	184.23	175.55
29	29.00	32.90	186.20	179.40	32.82	185.76	178.97
30	30.00	33.60	189.00	182.00	33.53	188.58	181.60

VELOCITA' ONDE P

Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]
1	6	613
2	16	786
3	22	1028
4	30	1565

PARAMETRI ONDE SX

Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]	Poisson [-]	Shear [kPa]	Young [kPa]	Bulk [kPa]
1	6	239	0.37	114242..	313023..	401311
2	16	111	0.48	24642.0	72940.0	607833
3	22	120	0.48	28800.0	85247.0	710391
4	30	334	0.46	223112..	651487..	2714529

PARAMETRI ONDE SY

Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]	Poisson [-]	Shear [kPa]	Young [kPa]	Bulk [kPa]
1	6	208	0.40	86528.0	242278..	403796
2	16	119	0.48	28322.0	83833.0	698607
3	22	138	0.48	38088.0	112740..	939499
4	30	310	0.46	192200..	561224..	2338433

VELOCITA' MEDIE VS30

Geofono	VS30 [m/s]
orizzontale Sx	158.6
orizzontale Sy	164.7

5 - INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI

Sono stati individuati quattro sismostrati caratterizzati da velocità di propagazione delle onde sismiche (P ed S) diverse (Tab. 1). La visualizzazione dei sismogrammi in onde P e onde S fornisce un trend dei sismostrati sostanzialmente in accordo con i risultati della stratigrafia restituita dal sondaggio.

L'interpretazione sismostratigrafica effettuata con le dromocrone delle onde P denota un primo strato di circa 6 metri di spessore, con velocità di 613 m/sec, seguito da un secondo strato con velocità di 786 m/sec fino alla profondità di circa 16 metri, un terzo con velocità di 1028 m/sec fino alla profondità di 22 metri e un quarto con velocità di 1565 m/sec fino alla profondità indagata di 30 metri dal p.c. attuale.

L'analisi delle dromocrone delle onde Sx è in linea con quella delle onde P mettendo in evidenza un primo strato di circa 6 metri di spessore con V_{sx} di 239m/sec, un secondo strato con V_{sx} di 111 m/sec fino alla profondità di 16 metri, un terzo strato con V_{sx} di 120 m/sec fino alla profondità di 22 metri ed infine un quarto strato con V_{sx} di 334 m/sec fino a 30 metri dal p.c. attuale. Anche le velocità delle onde Sy sono simili alle velocità delle onde Sx con valori che si attestano intorno a 208 m/sec per il primo strato, 119 m/sec per il secondo, 138 m/sec per il terzo e 310 m/sec per il quarto.

Questo riscontro è molto importante poiché mette in luce l'omogenea risposta del terreno alle onde di taglio S, la buona esecuzione delle misure di campagna e del foro di sondaggio.

6 - CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE (D.M. 14/01/2008)

A partire dal modello sismico riportato nel capitolo precedente, è possibile calcolare il valore delle V_{s30} , che rappresenta la "velocità equivalente" di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio. Le Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008), coerentemente con quanto indicato nell'Eurocodice 8, propongono l'adozione di un sistema di caratterizzazione geofisica e geotecnica del profilo stratigrafico del sottosuolo, mediante cinque tipologie di suoli (A - B - C - D - E più altri due speciali: S1 e S2), da individuare attraverso la stima dei valori della velocità media delle onde sismiche di taglio mediate, ovvero sul numero di colpi N_{spt} ottenuti in una prova penetrometrica dinamica, ovvero sulla coesione non drenata media C_u .

Dal punto di vista strettamente normativo si fa riferimento al punto 3.2.2 del D.M. 14/01/2008 (Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche).

In base alle grandezze sopra definite si identificano le seguenti Categorie di Sottosuolo:

categoria	descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{spt, 30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $C_{u, 30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina)
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{spt, 30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 \text{ kPa} < C_{u, 30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina)
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{spt, 30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $C_{u, 30} < 70$ kPa nei terreni a grana fine)
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_{s30} > 800$ m/s).
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di V_{s30} inferiori a 100 m/s (ovvero $10 \text{ kPa} < C_{u, 30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Tabella 3.2.II (NTC) – Categorie di sottosuolo

In base ai risultati dell'indagine sismica eseguita è stato calcolato il parametro Vs30 utilizzando la seguente formula (D.M. 14.09.2005 e nel D.M. 14.01.2008: "Norme Tecniche per le Costruzioni").

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{si}}}$$

Sulla base delle indicazioni fornite del progettista, il valore di Vs30 è stato calcolato a partire dal p.c. fino alla profondità di 30 m.

La Vs30 è risultata essere pari a 158 m/s e a 164 m/s rispettivamente per le onde Sx e per le onde Sy.

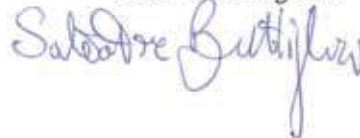
Il parametro Vs30 deve essere accuratamente definito, oltre che sulla base dei dati contenuti nel presente rapporto, anche sulla scorta di ulteriori informazioni quali, in particolare, le caratteristiche geometriche delle opere di fondazione in progetto così da potere determinare l'effettiva categoria di suolo.

Concludendo si ribadisce che i modelli ottenuti dai risultati geofisici non invasivi, in generale, sono utilizzabili ai fini di valutazioni semiquantitative della risposta sismica locale e devono essere accertati mediante indagini dirette di tipo geologico, geotecnico e/o idrogeologico; infatti, le indagini geofisiche non invasive devono considerarsi conoscitive e non esaustive per la definizione della reale situazione litostratigrafica del sottosuolo. In ragione di ciò, la S.I.S.M.A. geo declina ogni responsabilità relativamente alle attività che si basano esclusivamente sui risultati geofisici e poste in essere dal committente o da terzi incaricati sui luoghi oggetto dell'indagine.

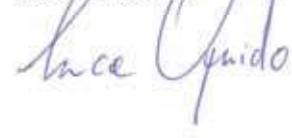
Pisa, Giugno 2015

S.I.S.M.A. geo
PROSPEZIONI SISMICHE
Studio Associato: via Novelli, 5 - 56124 Pisa
P. IVA: 01961590500

Dott. S. Buttiglieri



Dott. L. Guido



ALLEGATO A

PICKING DEI PRIMI ARRIVI DELLE ONDE P, Sx e Sy

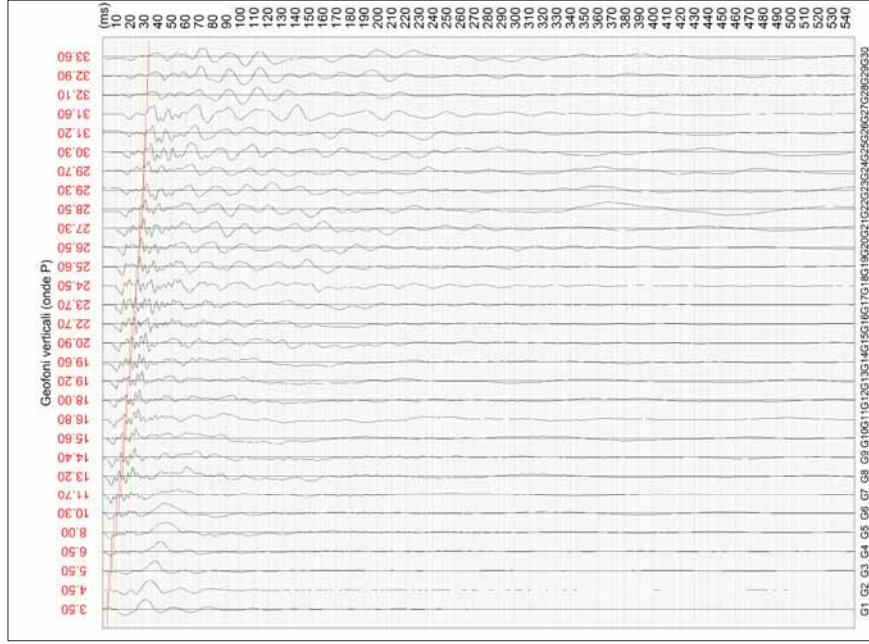


Fig. 6a - Ricerca dei primi arrivi delle onde P

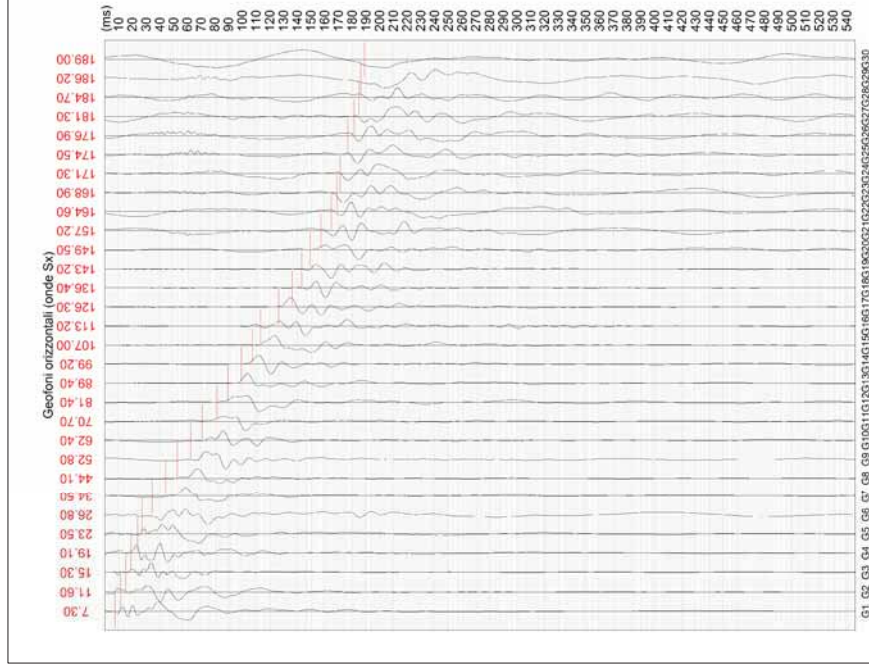


Fig. 6b - Ricerca dei primi arrivi delle onde Sx

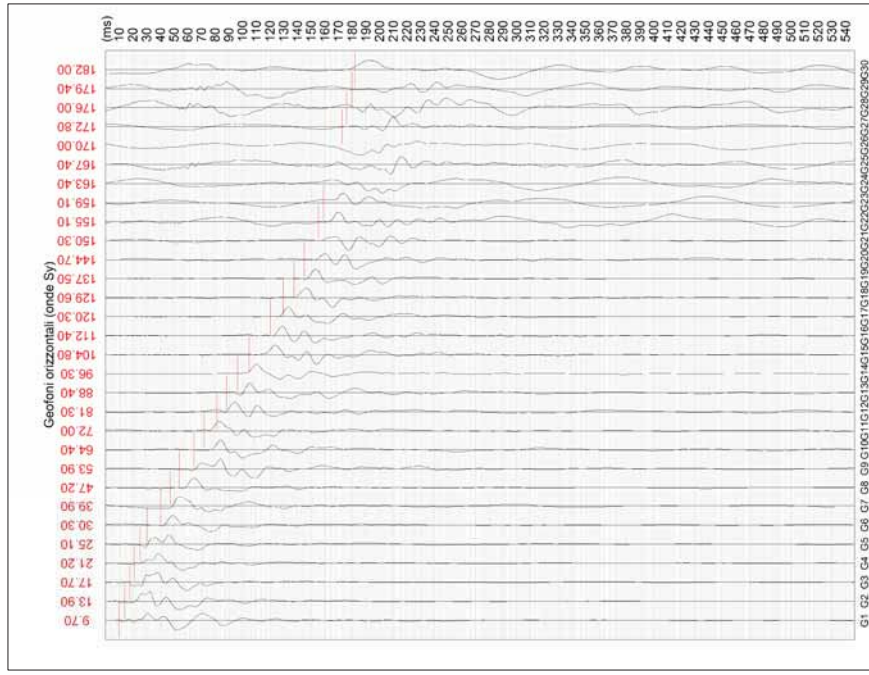


Fig. 6c - Ricerca dei primi arrivi delle onde Sy

ALLEGATO B

Rifrattori
 caratterizzati da una differente
 velocità di propagazione delle onde sismiche

Dromocrone (grafici profondità/tempo) delle onde P, Sx e Sy

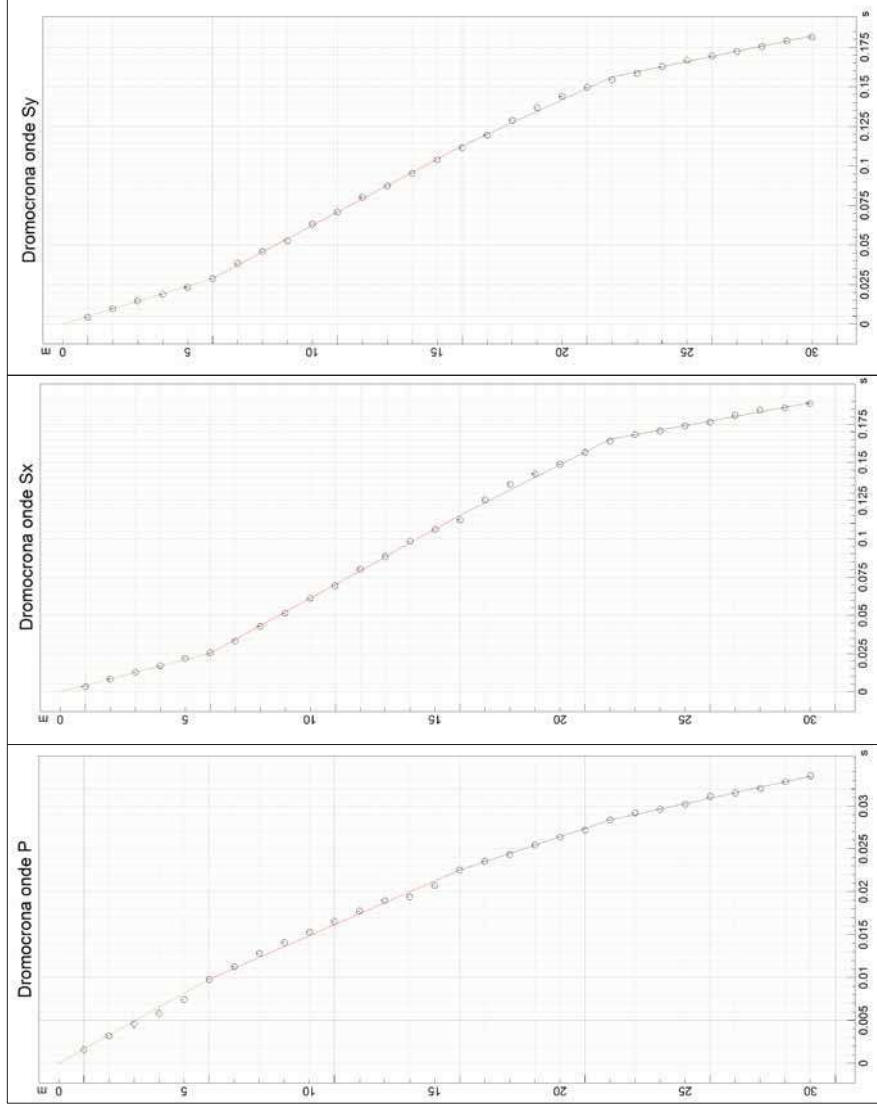
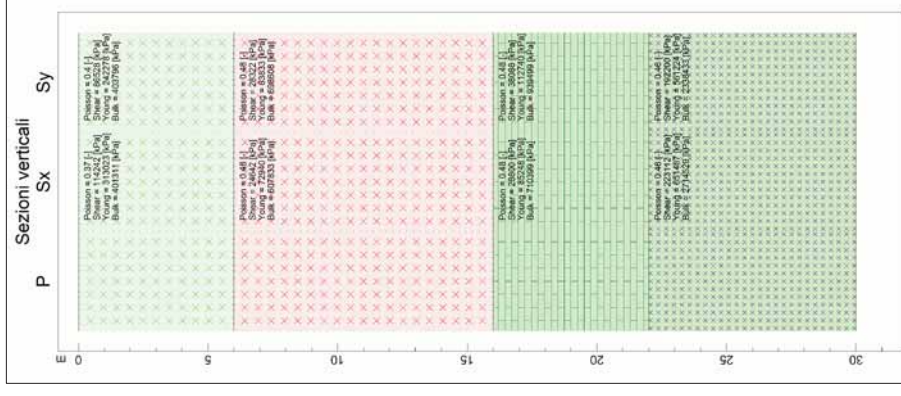


Fig. 7a - Dromocrone delle onde P, delle onde Sx e delle onde Sy



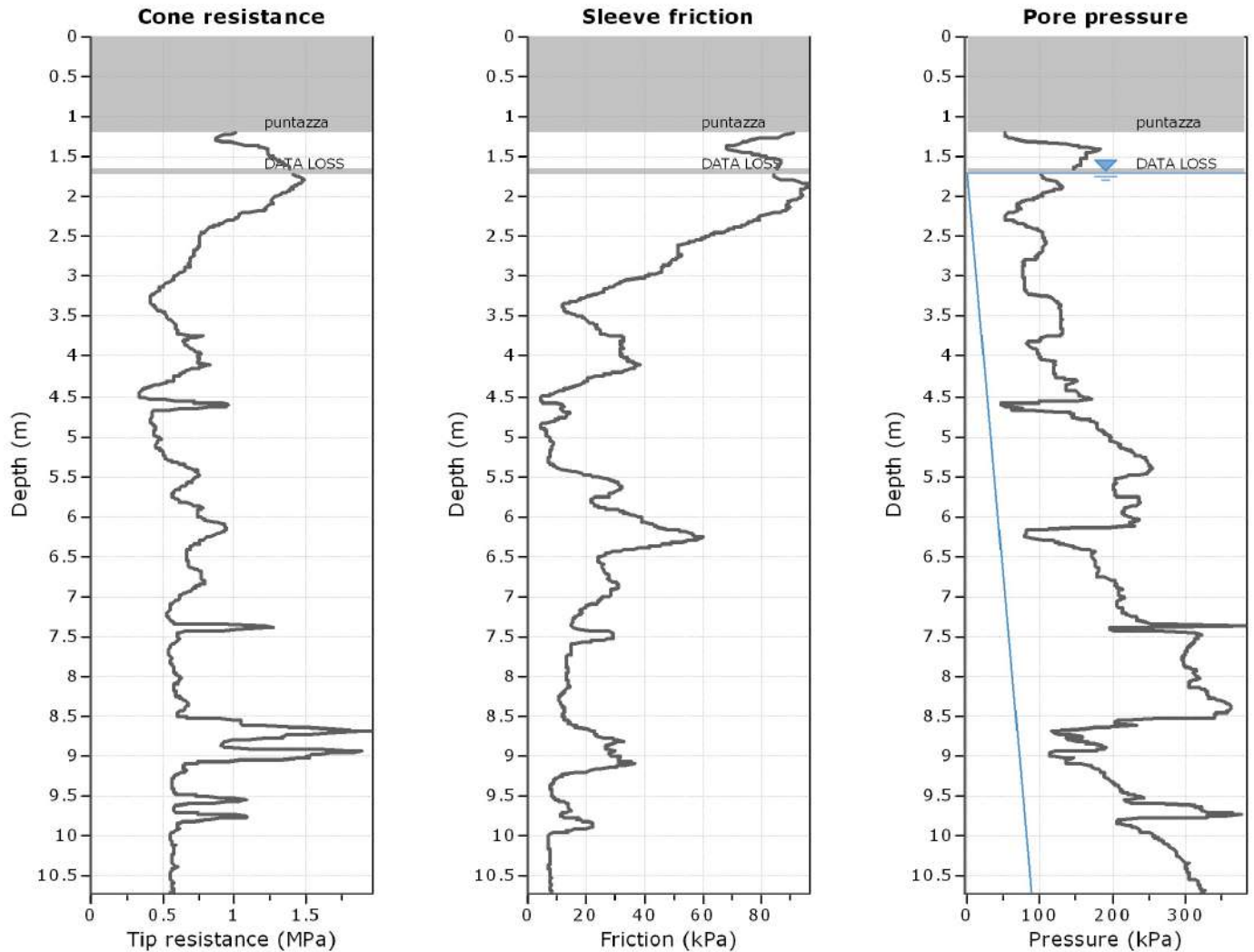
P	613 m/s	786 m/s	1028 m/s	1565 m/s	Vs30
Sx	239 m/s	111 m/s	120 m/s	334 m/s	158.6 m/s
Sy	208 m/s	119 m/s	138 m/s	310 m/s	164.7 m/s

Fig. 7b - Sezioni verticali delle onde P, Sx e Sy

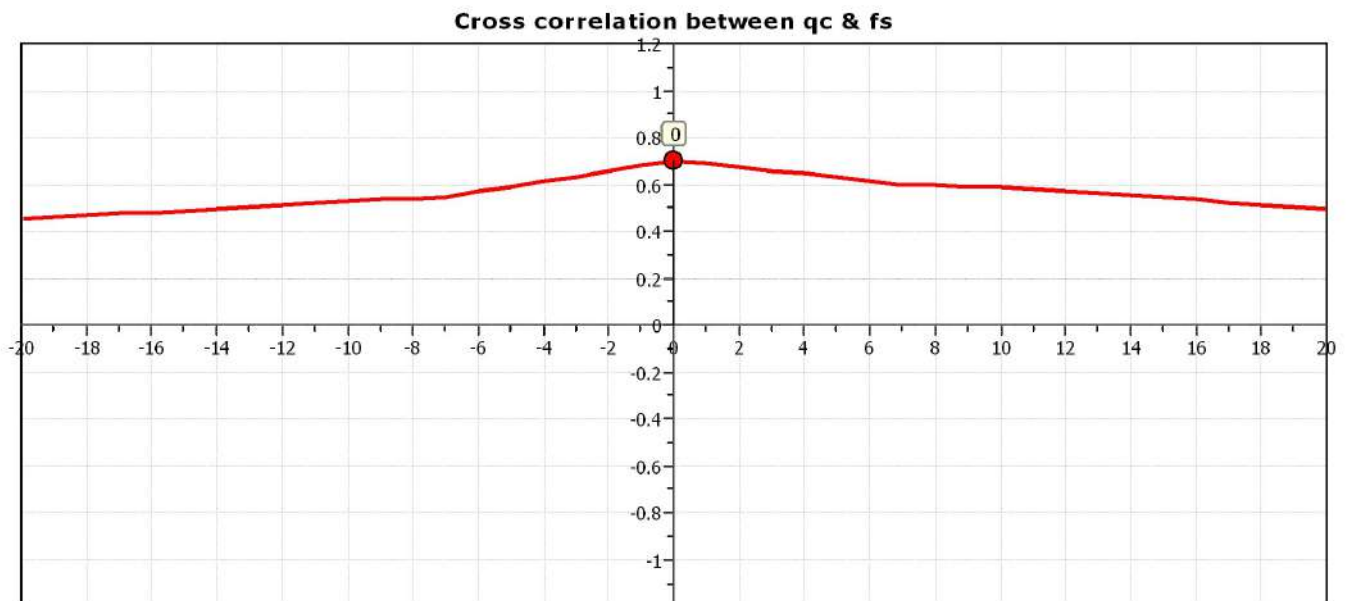
PENETROMETRIA CPTU
ALLEGATO 1 - INDAGINI GEOGNOSTICHE

Project: Addizione volumetrica Enrico Parenti

Location: Via G. D'Annunzio, 6, loc. La Fontina, fraz. Ghezzano, San Giuliano Terme (PI)



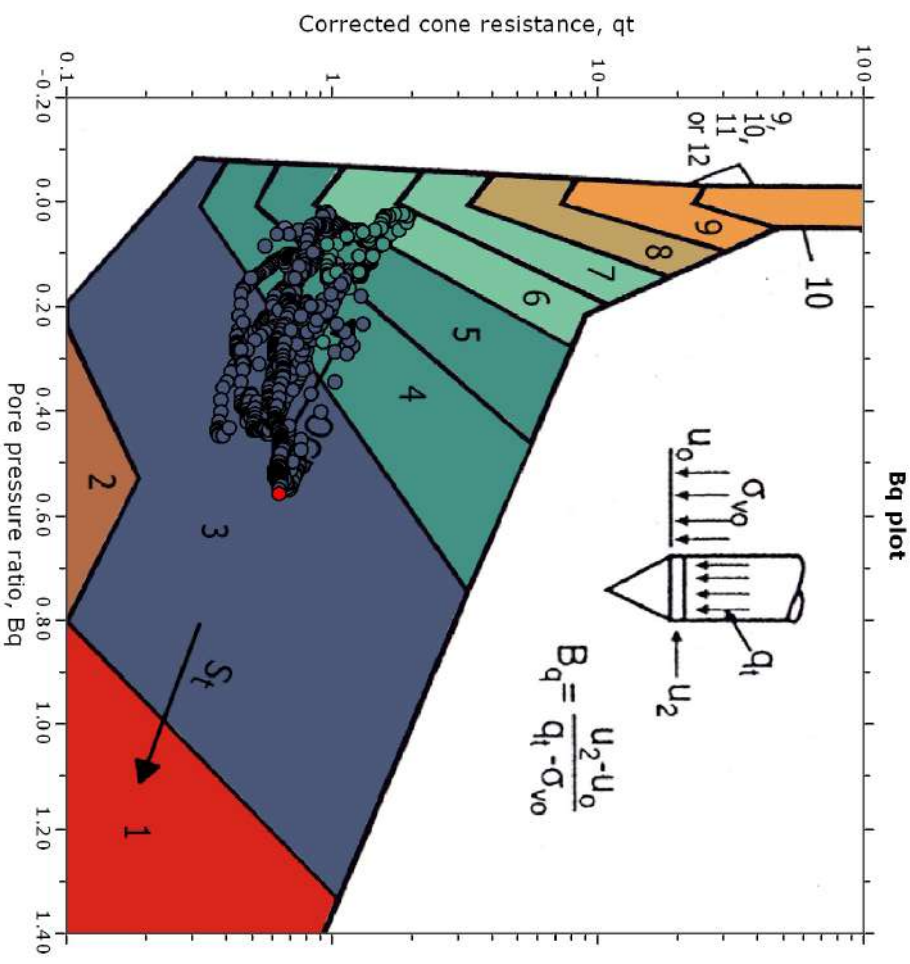
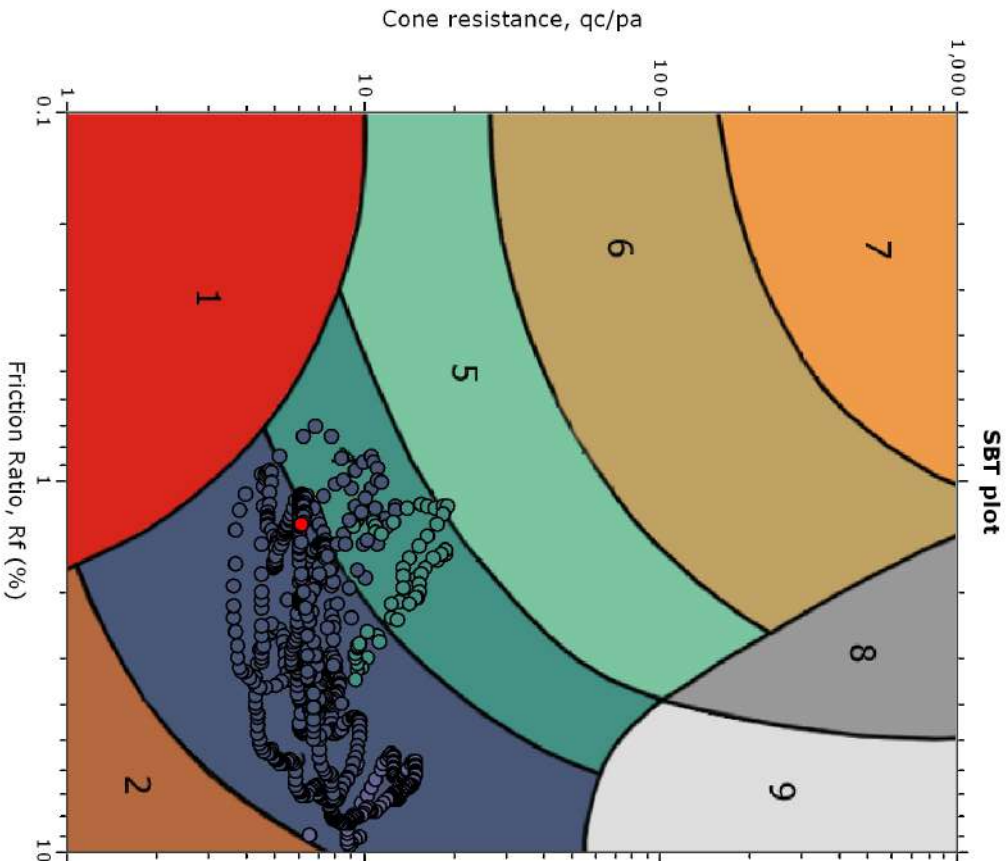
The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw q_c and f_s values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).



Project: Addizione volumetrica Enrico Parenti
Location: Via G. D'Annunzio, 6, loc. La Fontina, fraz. Ghezzeno, San Giuliano Terme (PI)

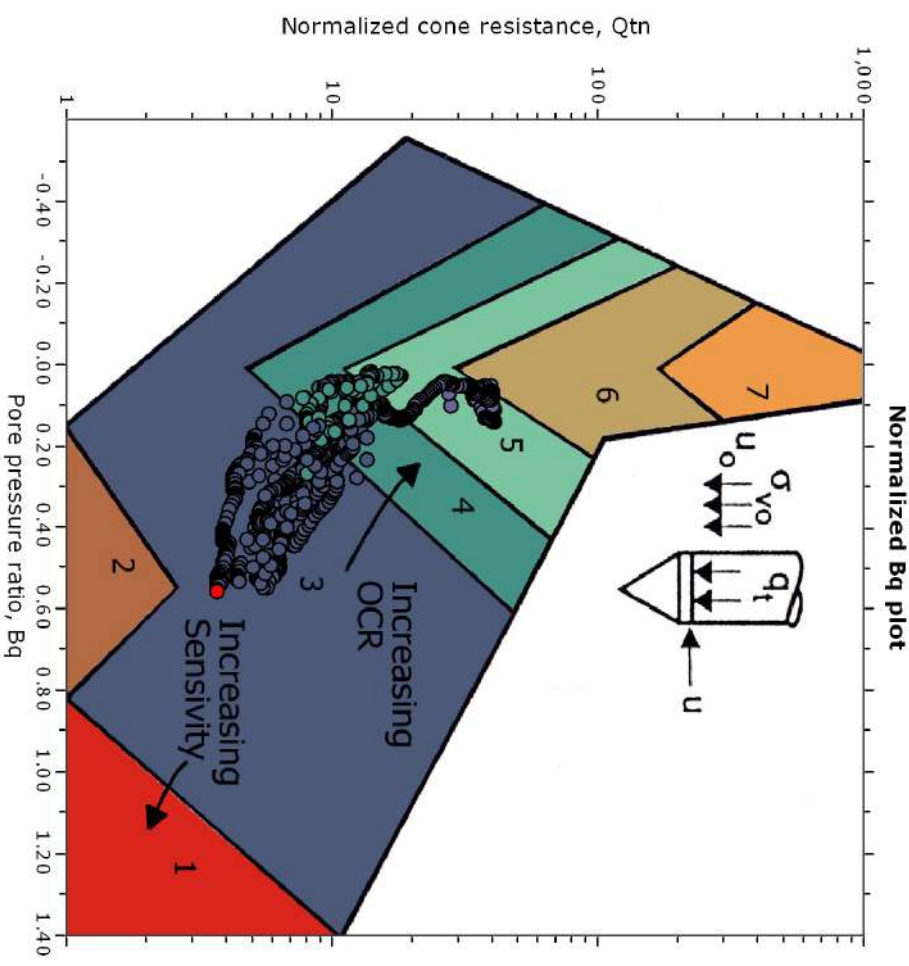
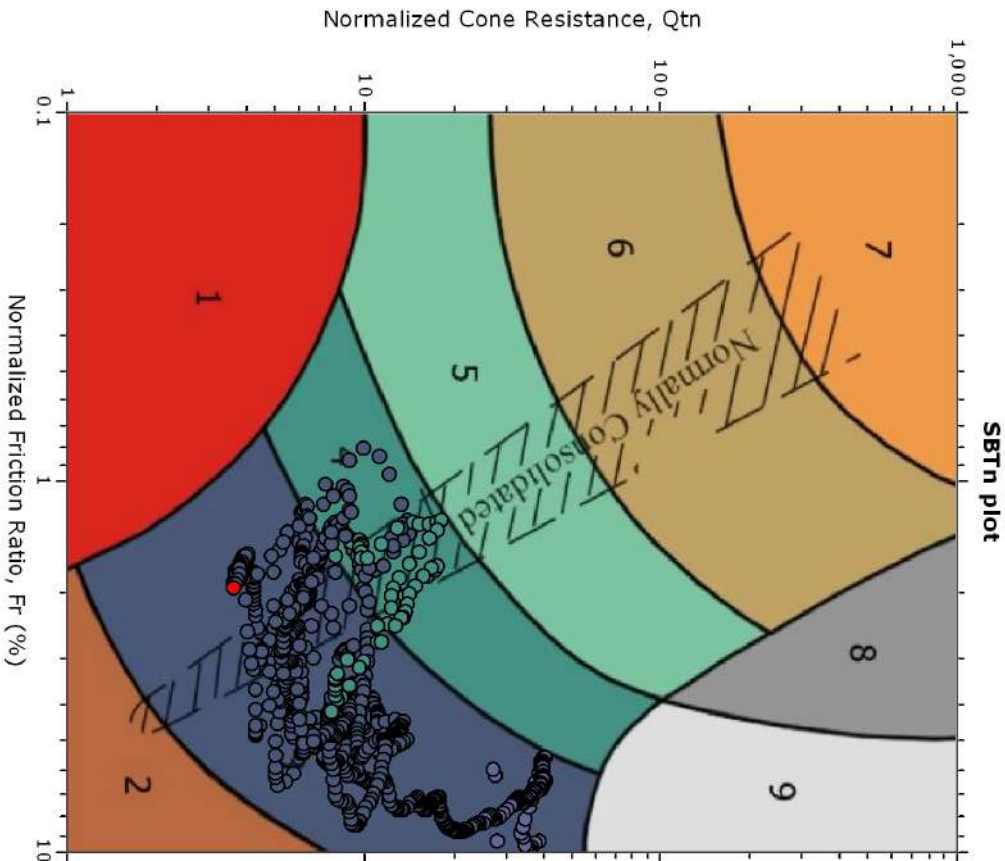
CPT: CPTU 1 GHEZZANO
Total depth: 10.72 m, Date: 5/6/2017
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: lat 43.722162° lon 10.422779°
Cone Type: Pagani Mkj434

SBT - Bq plots



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

SBT - Bq plots (normalized)



SBTrn legend

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

Project: Addizione volumetrica Enrico Parenti

Location: Via G. D'Annunzio, 6, loc. La Fontina, fraz. Ghezzeno, San Giuliano Terme (PI)

CPT: CPTU 1 GHEZZANO

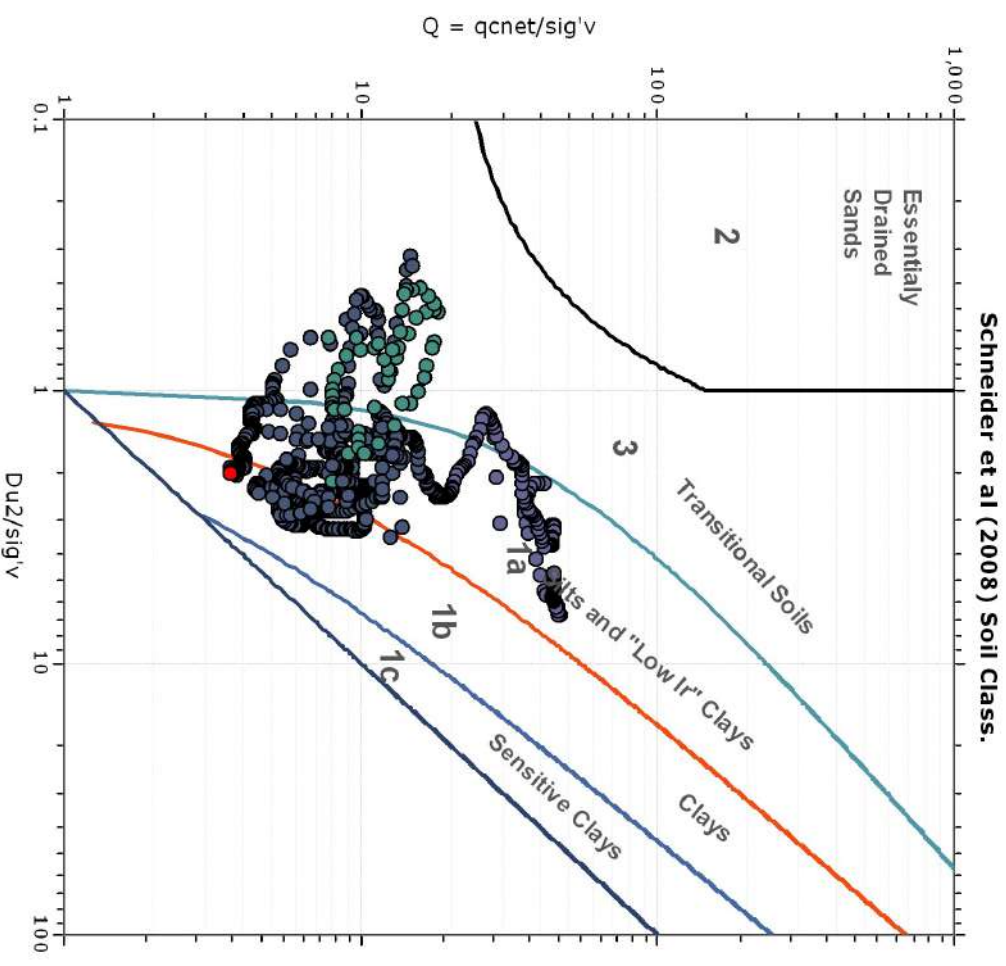
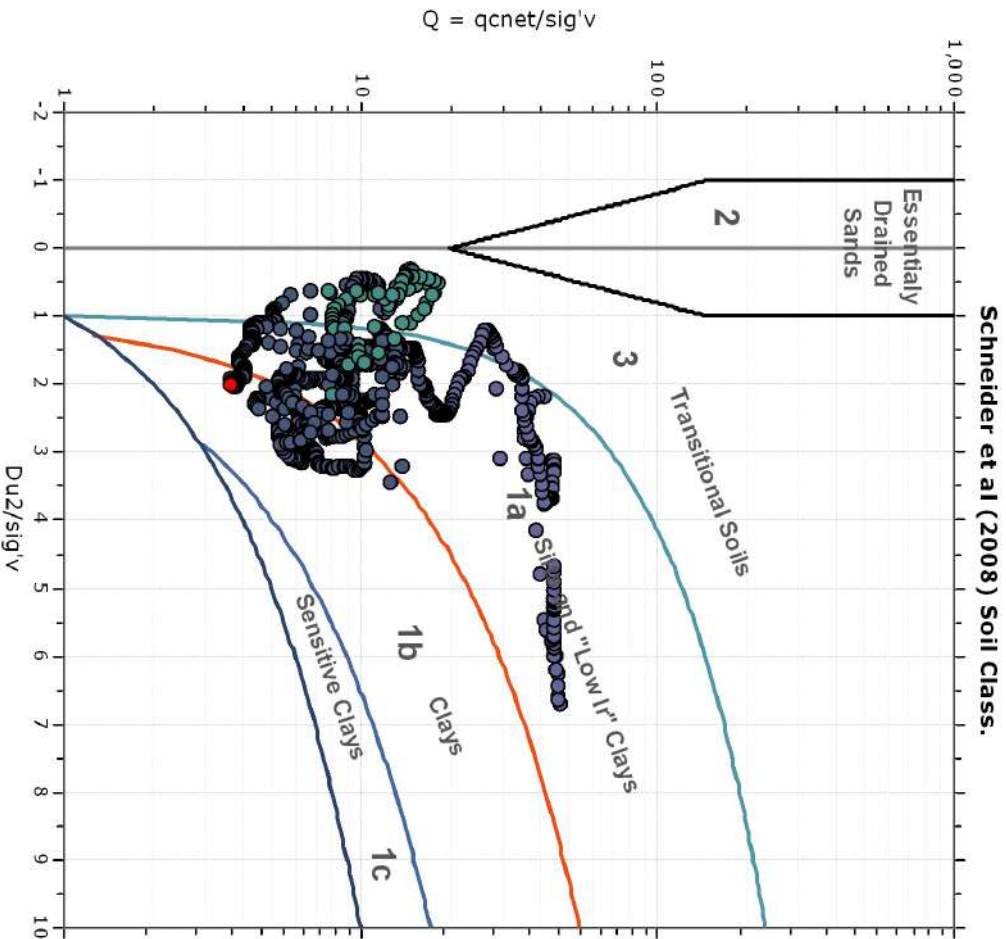
Total depth: 10.72 m, Date: 5/6/2017

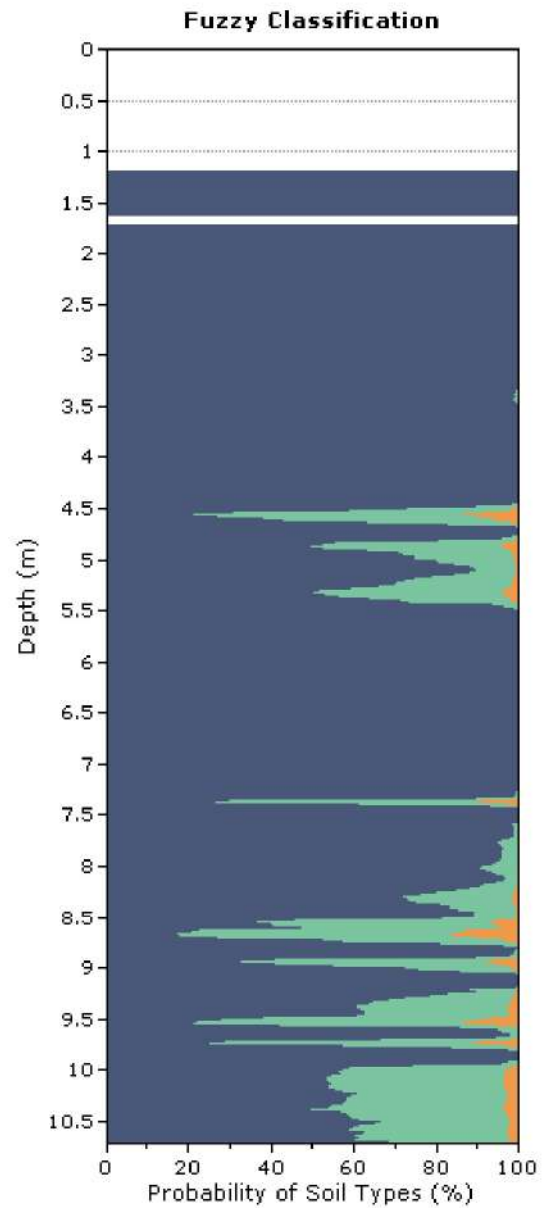
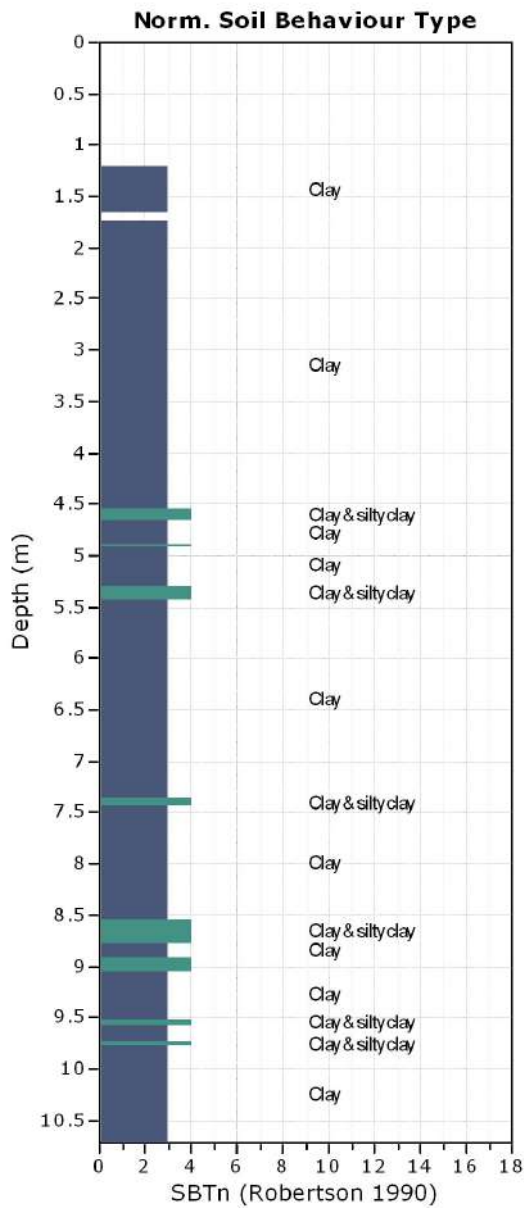
Surface Elevation: 0.00 m

Coords: lat 43.722162° lon 10.422779°

Cone Type: Pagani Mk434

Bq plots (Schneider)





Project: Addizione volumetrica Enrico Parenti

Location: Via G. D'Annunzio, 6, loc. La Fontina, fraz. Ghezzeno, San Giuliano Terme (PI)

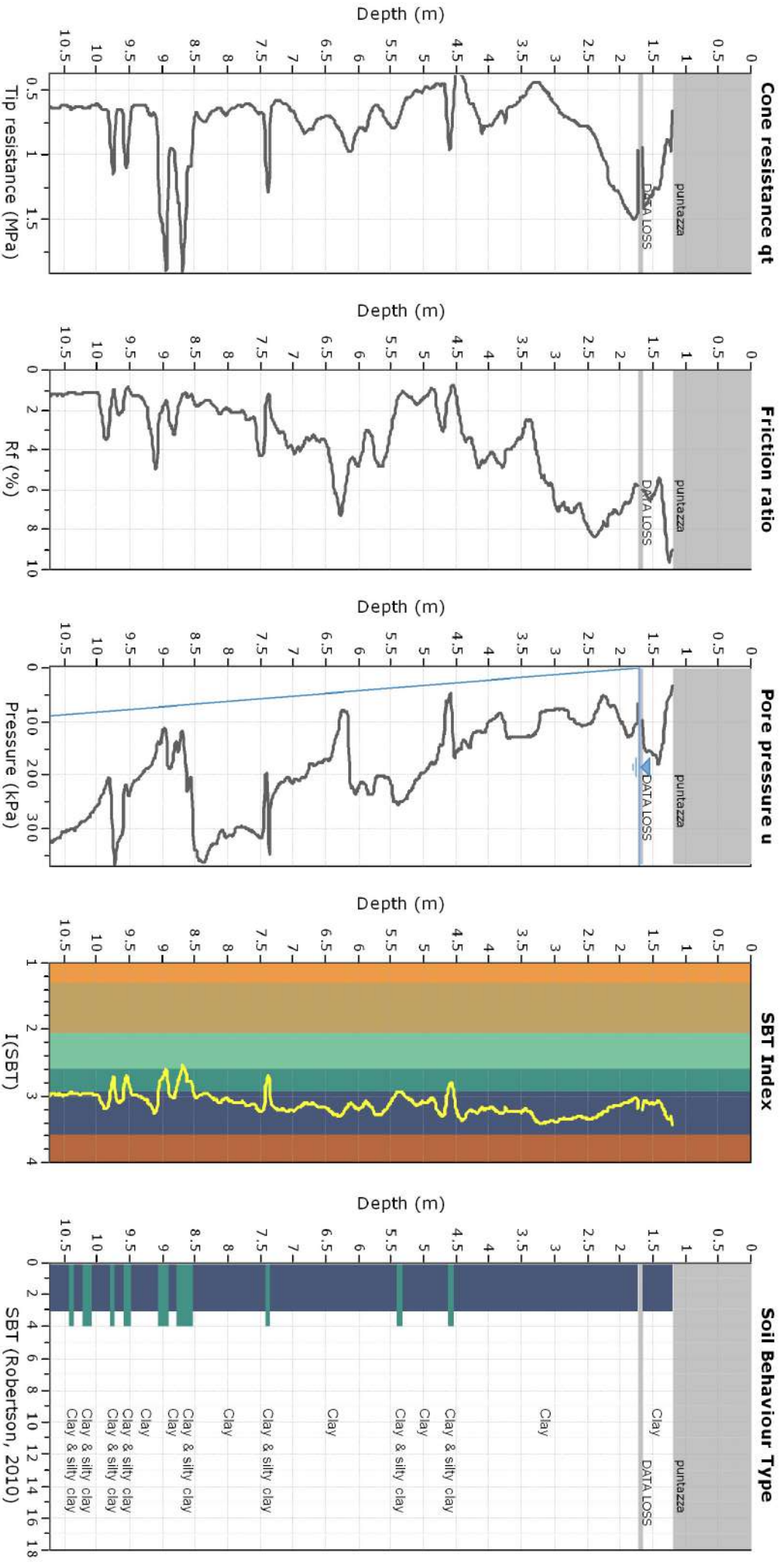
CPT: CPTU 1 GHEZZANO

Total depth: 10.72 m, Date: 5/6/2017

Surface Elevation: 0.00 m

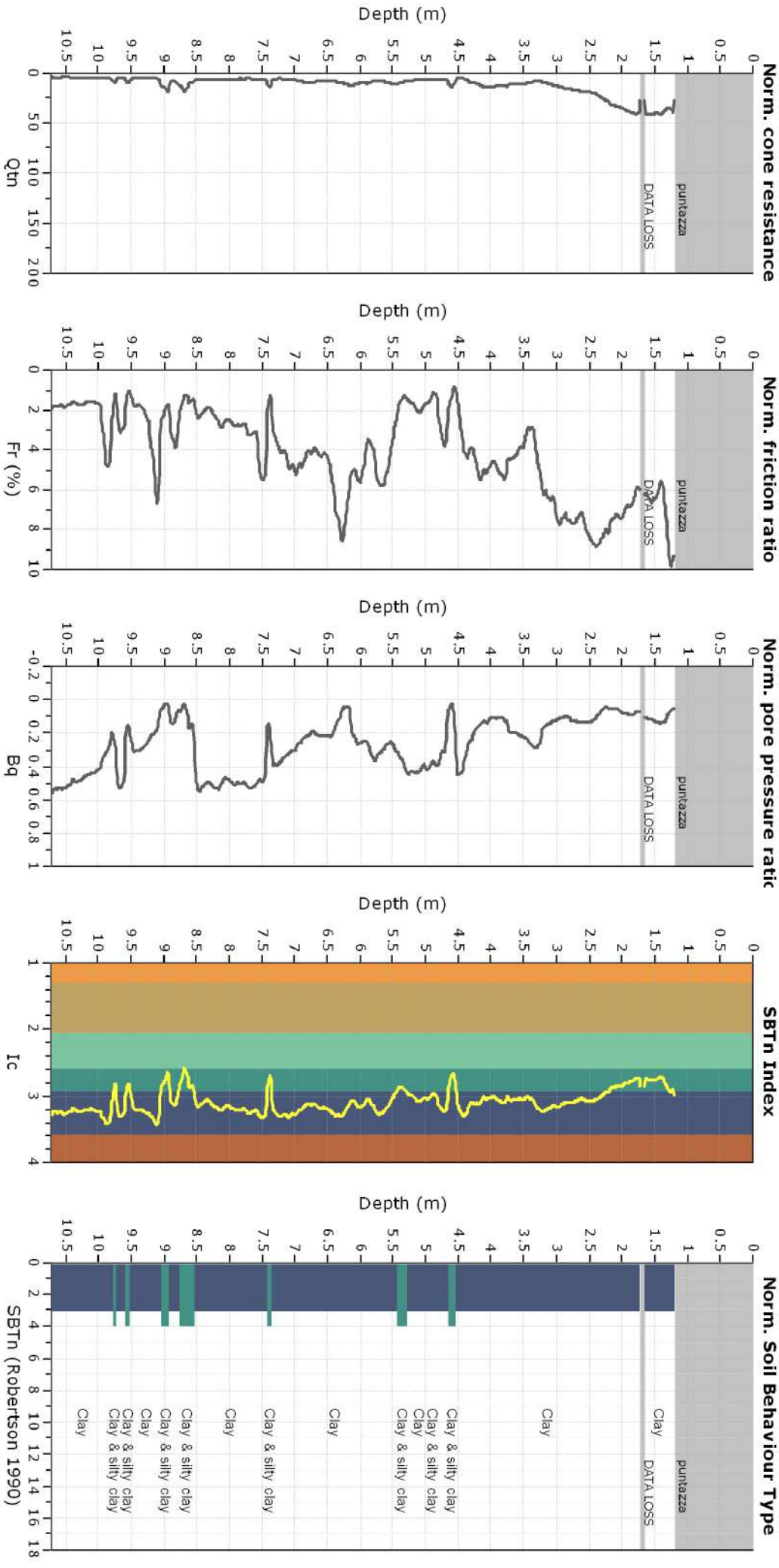
Coords: lat 43.722162° lon 10.422779°

Cone Type: Pagani Mkj434



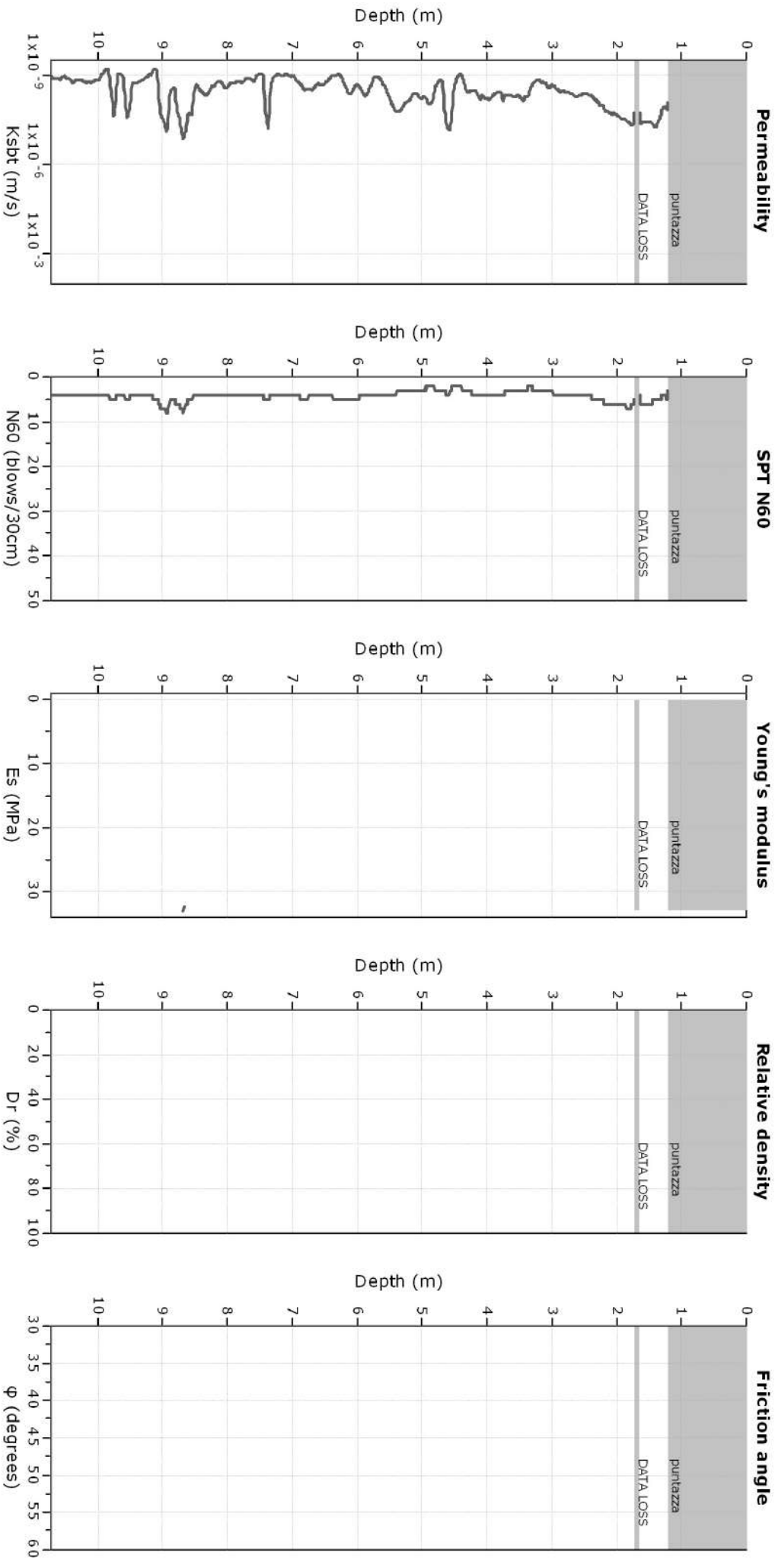
Project: Addizione volumetrica Enrico Parenti
Location: Via G. D'Annunzio, 6, loc. La Fontina, fraz. Ghezzeno, San Giuliano Terme (PI)

CPT: CPTU 1 GHEZZANO
Total depth: 10.72 m, Date: 5/6/2017
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: lat 43.722162° lon 10.422779°
Cone Type: Pagani Mkj434



Project: Addizione volumetrica Enrico Parenti
Location: Via G. D'Annunzio, 6, loc. La Fontina, fraz. Ghezzeno, San Giuliano Terme (PI)

CPT: CPTU 1 GHEZZANO
Total depth: 10.72 m, Date: 5/6/2017
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: lat 43.722162° lon 10.422779°
Cone Type: Pagani Mkj434



Calculation parameters

Permeability: Based on SBT_{60}

SPT N_{60} : Based on I_c and q_c

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

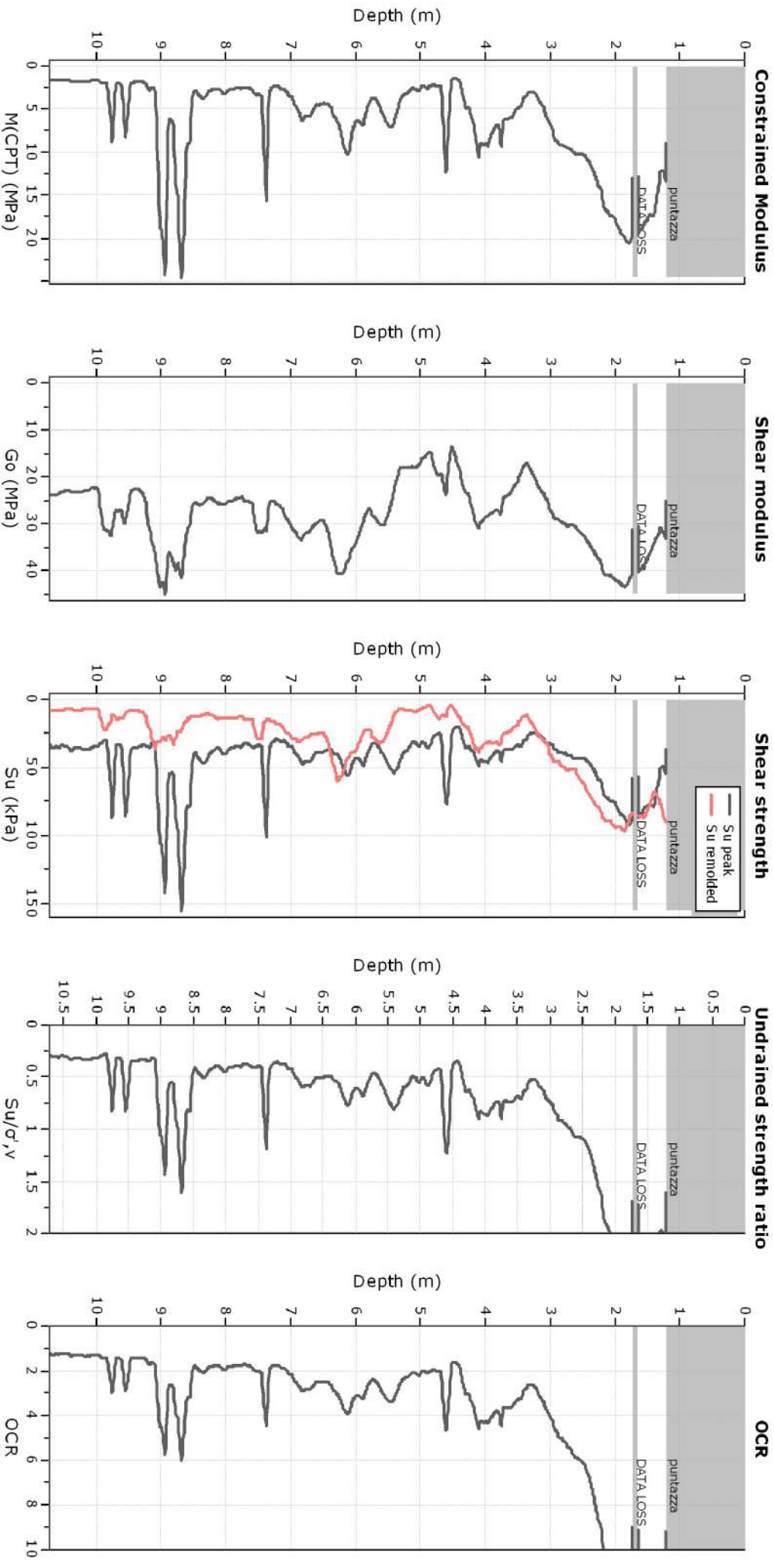
Relative desnisty constant, C_r : 350.0

Phi: Based on Kulhawy & Mayne (1990)

—●— User defined estimation data

Project: Addizione volumetrica Enrico Parenti
Location: Via G. D'Annunzio, 6, loc. La Fontina, fraz. Ghezzeno, San Giuliano Terme (PI)

CPT: CPTU 1 GHEZZANO
Total depth: 10.72 m, Date: 5/6/2017
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: lat 43.722162° lon 10.422779°
Cone Type: Pagani Mkj434



Calculation parameters

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

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

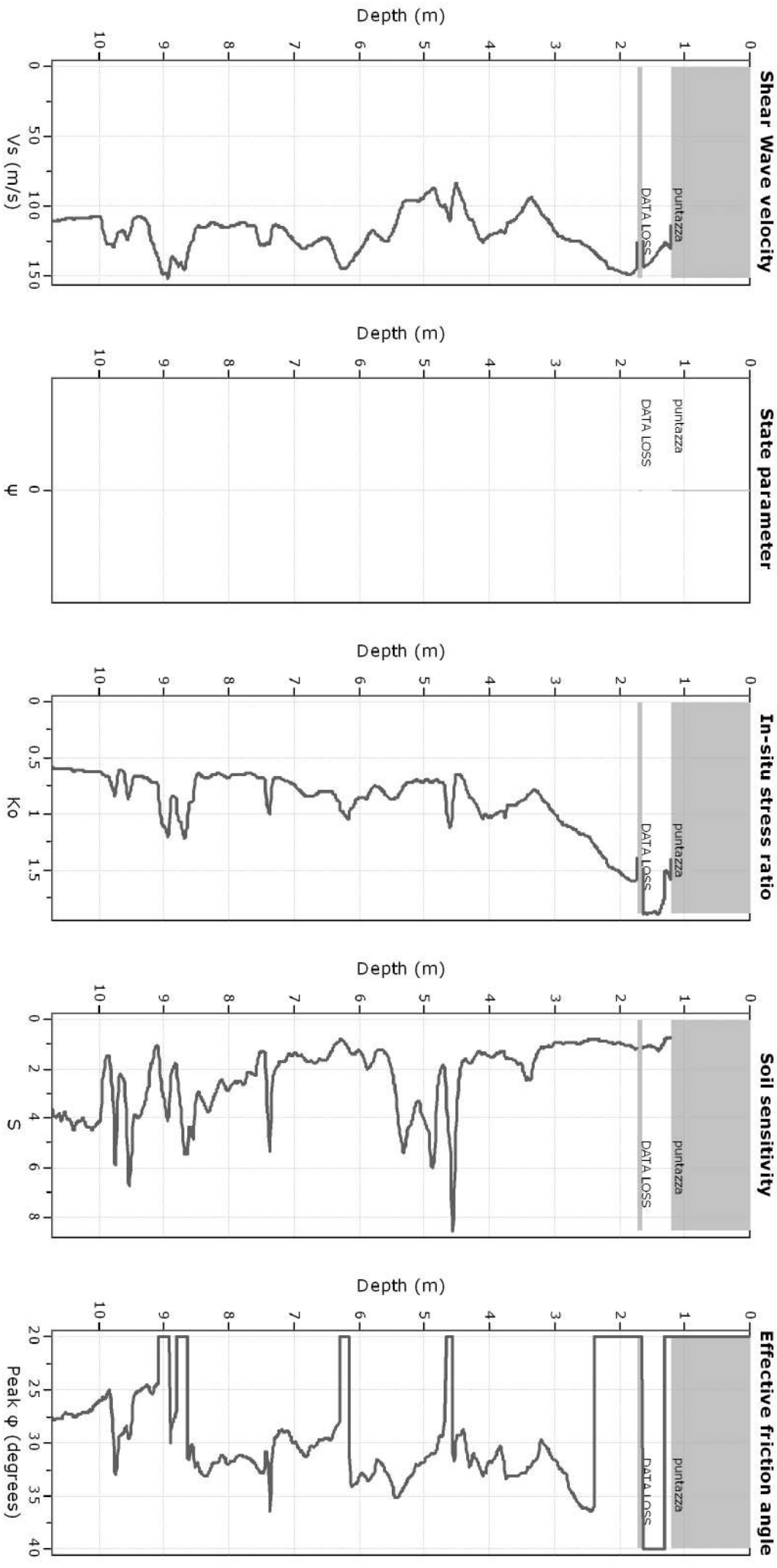
Undrained shear strength cone factor for clays, N_{kt} : Auto

OCR factor for clays, N_{kt} : 0.33

● — User defined estimation data

Project: Addizione volumetrica Enrico Parenti
Location: Via G. D'Annunzio, 6, loc. La Fontina, fraz. Ghezzeno, San Giuliano Terme (PI)

CPT: CPTU 1 GHEZZANO
Total depth: 10.72 m, Date: 5/6/2017
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: lat 43.722162° lon 10.422779°
Cone Type: Pagani Mkj434



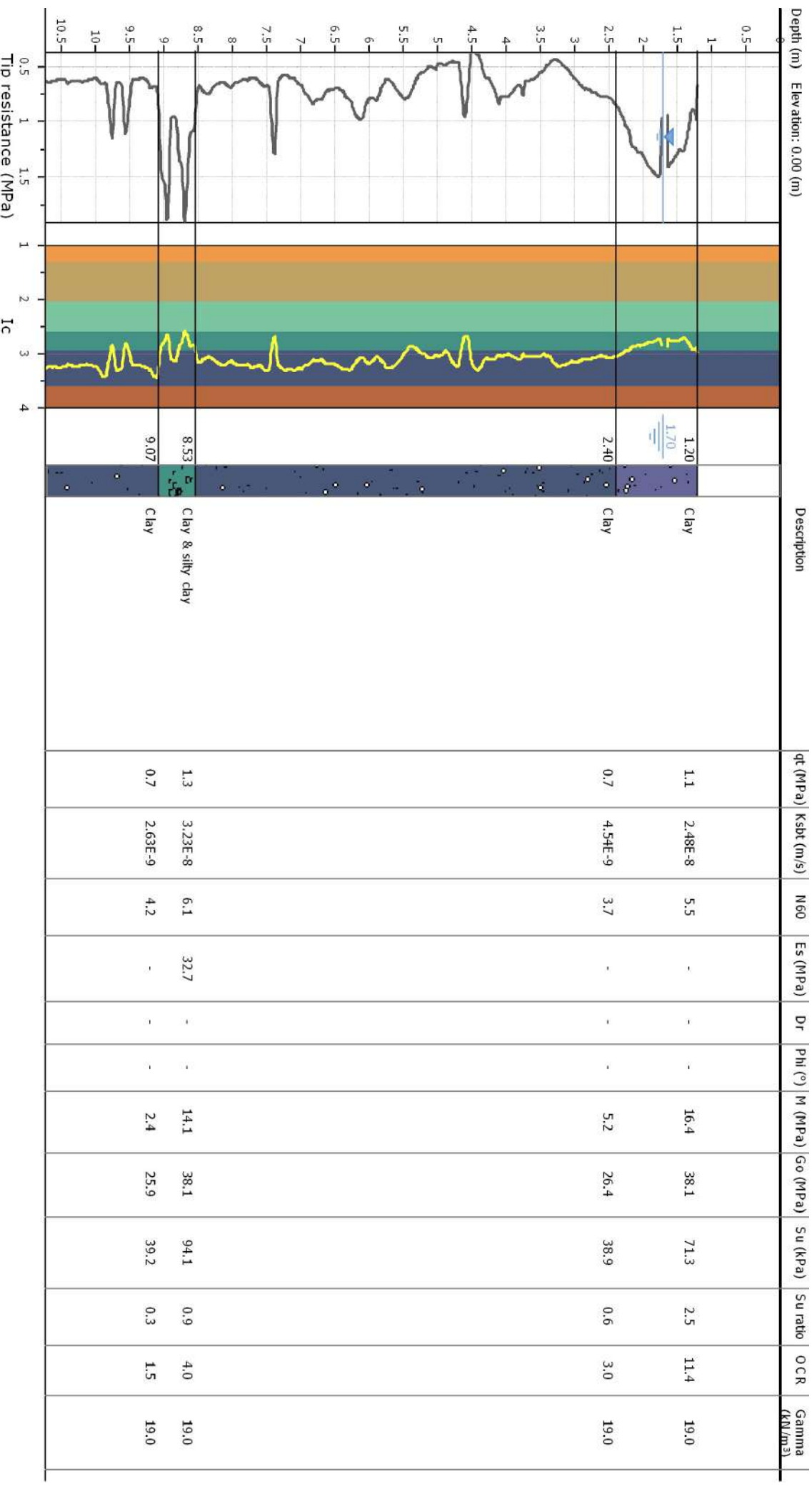
Calculation parameters

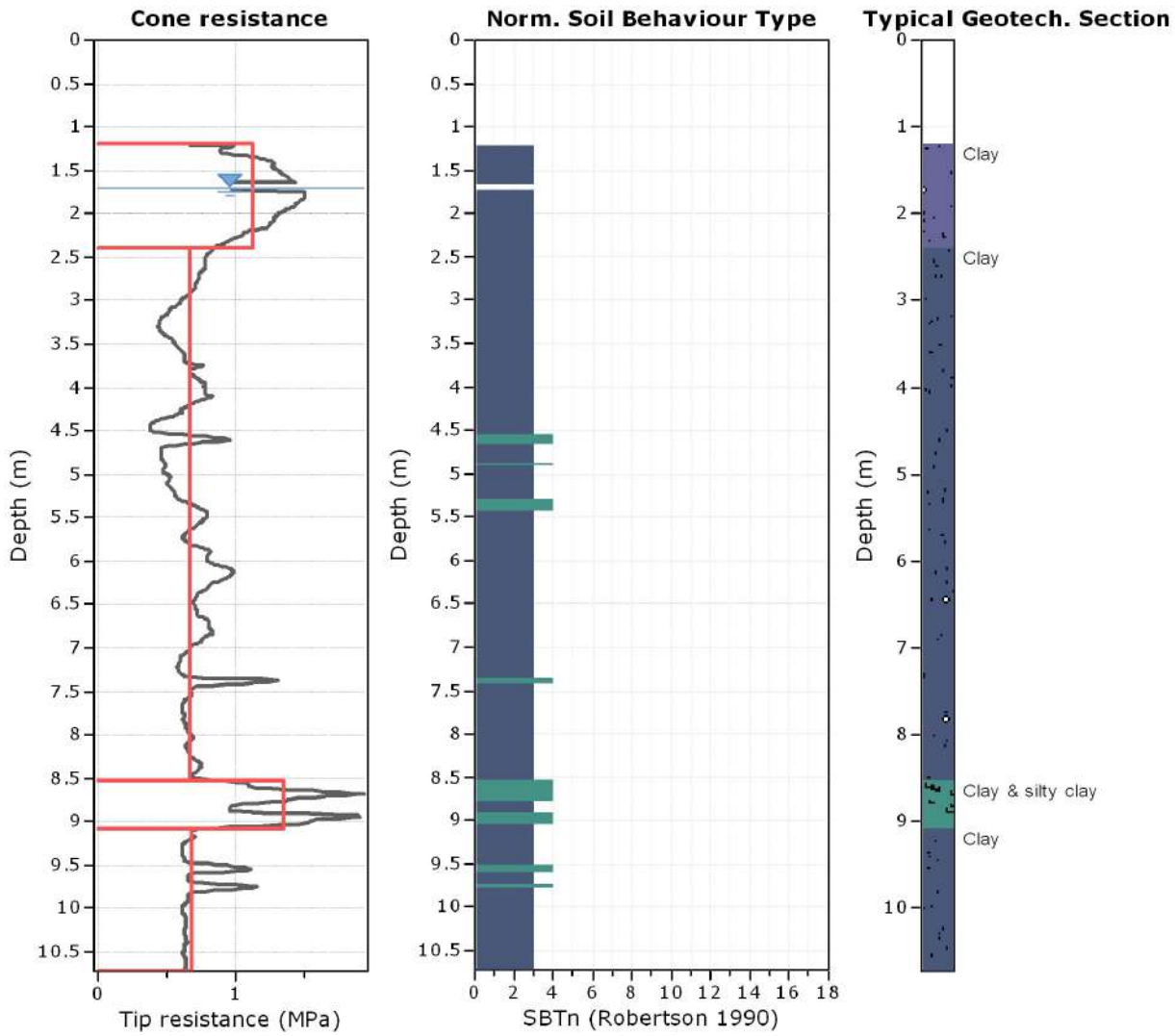
Soil Sensitivity/ Factor, N_s : 7.00

—●— User defined estimation data

Project: Addizione volumetrica Enrico Parenti
Location: Via G. D'Annunzio, 6, loc. La Fontina, fraz. Ghezzano, San Giuliano Terme (PI)

CPT: CPTU 1 GHEZZANO
Total depth: 10.72 m, Date: 5/6/2017
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: lat 43.722162° lon 10.422779°
Cone Type: Pagani Mkj434





Tabular results

::: Layer No: 1 :::		
Code: 1	Start depth: 1.20 (m), End depth: 2.40 (m)	
Description: Clay		
Basic results		
Total cone resistance:	1.13 ±0.36 MPa	
Sleeve friction:	-453.13 ±2034.84 kPa	
SBT _n :	3	
SBT _n description:	Clay	
Estimation results		
Permeability:	2.48E-08 ±1.35E-08 m/s	Constrained Mod.: 16.39 ±2.87 MPa
N60:	5.55 ±0.80 blows	Go: 38.09 ±3.98 MPa
Es:	0.00 ±0.00 MPa	Su: 71.32 ±13.81 kPa
Dr (%):	0.00 ±0.00	Su ratio: 2.46 ±0.42
ö (degrees):	0.00 ±0.00 °	O.C.R.: 11.37 ±1.95
Unit weight:	19.00 ±0.00 kN/m ³	

::: Layer No: 2 :::**Code:** 2 **Start depth:** 2.40 (m), **End depth:** 8.53 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 0.67 ±0.13 MPa

Sleeve friction: 24.76 ±14.59 kPa

SBT_n: 3

SBTn description: Clay

Estimation results

Permeability: 4.54E-09 ±7.82E-09 m/s

N60: 3.75 ±0.71 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

ö (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 5.17 ±2.67 MPa

Go: 26.38 ±5.77 MPa

Su: 38.89 ±9.59 kPa

Su ratio: 0.64 ±0.24

O.C.R.: 2.97 ±1.13

::: Layer No: 3 :::**Code:** 3 **Start depth:** 8.53 (m), **End depth:** 9.07 (m)**Description:** Clay & silty clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.34 ±0.32 MPa

Sleeve friction: 24.28 ±6.35 kPa

SBT_n: 4

SBTn description: Clay & silty clay

Estimation results

Permeability: 3.23E-08 ±3.21E-08 m/s

N60: 6.11 ±1.03 blows

Es: 32.72 ±0.48 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

ö (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 14.09 ±6.43 MPa

Go: 38.13 ±4.60 MPa

Su: 94.05 ±30.69 kPa

Su ratio: 0.86 ±0.23

O.C.R.: 3.96 ±1.08

::: Layer No: 4 :::**Code:** 4 **Start depth:** 9.07 (m), **End depth:** 10.71 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 0.68 ±0.12 MPa

Sleeve friction: 11.55 ±6.76 kPa

SBT_n: 3

SBTn description: Clay

Estimation results

Permeability: 2.63E-09 ±4.51E-09 m/s

N60: 4.16 ±0.37 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

ö (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m³

Constrained Mod.: 2.44 ±1.56 MPa

Go: 25.85 ±3.94 MPa

Su: 39.17 ±12.21 kPa

Su ratio: 0.33 ±0.09

O.C.R.: 1.53 ±0.42

Project: Addizione volumetrica Enrico Parenti
Location: Via G. D'Annunzio, 6, loc. La Fontina, fraz. Ghezzeno, San Giuliano Terme (PI)
Summary table of mean values

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT ₆₀ (blows/30cm)	E _s (MPa)	D _r	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G ₀ (MPa)	Undrained strength, S _u (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m ³)
1.20	1.20	2.48E-08	5.5	0.0	0.0	0.0	16.4	38.1	71.3	2.5	11.4	19.0
2.40		(±1.35E-08)	(±0.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±2.9)	(±4.0)	(±13.8)	(±0.4)	(±2.0)	(±0.0)
2.40	6.13	4.54E-09	3.7	0.0	0.0	0.0	5.2	26.4	38.9	0.6	3.0	19.0
8.53		(±7.82E-09)	(±0.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±2.7)	(±5.8)	(±9.6)	(±0.2)	(±1.1)	(±0.0)
8.53	0.54	3.23E-08	6.1	32.7	0.0	0.0	14.1	38.1	94.1	0.9	4.0	19.0
9.07		(±3.21E-08)	(±1.0)	(±0.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±6.4)	(±4.6)	(±30.7)	(±0.2)	(±1.1)	(±0.0)
9.07	1.64	2.63E-09	4.2	0.0	0.0	0.0	2.4	25.9	39.2	0.3	1.5	19.0
10.71		(±4.51E-09)	(±0.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.6)	(±3.9)	(±12.2)	(±0.1)	(±0.4)	(±0.0)

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

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

:: Unit Weight, g (kN/m³) ::

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

where g_w = water unit weight

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

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

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

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

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

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

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

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

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

:: Relative Density, Dr (%) ::

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

:: State Parameter, ψ ::

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

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

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

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

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

If $I_c > 2.20$

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

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

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

If $I_c \leq 2.20$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

:: Overconsolidation Ratio, OCR ::

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

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

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

:: In situ Stress Ratio, K_0 ::

$$K_0 = (1 - \sin \phi') \cdot OCR^{\sin \phi'}$$

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

:: Soil Sensitivity, S_t ::

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

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

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

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

(applicable for $0.10 < B_q < 1.00$)

References

- Robertson, P.K., Cabal K.L., Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering, Gregg Drilling & Testing, Inc., 5th Edition, November 2012
- Robertson, P.K., Interpretation of Cone Penetration Tests - a unified approach., Can. Geotech. J. 46(11): 1337–1355 (2009)