

STUDIO PANICIERI

Geologia Tecnica ed Ambientale

di Dott. Geol. Paolo Panicieri

Via Matteotti n° 9, 43035 FELINO (Parma)

PROVINCIA DI PARMA
COMUNE DI SORBOLO MEZZANI
Località Bogolese

PUA SUB – AMBITO NU11.2 PER NUOVI INSEDIAMENTI

Committenti:

Sigg. Zanichelli Paolo, Claudia e Alessandro e RODOFIL S.r.l.

RELAZIONE GEOLOGICO - SISMICA

C.F.: PNC PLA 62E26 D526M - P. IVA: 02270360346

Tel.: 0521 831116 Fax: 0521 400051 Port.: 336 528528

E-mail: studio@panigeo.it

Iscritto O.G.E.R. n° 530 – Sez. A

INDICE

<i>Premessa</i>	<i>pag. 3</i>
<i>1. Inquadramento geografico</i>	<i>pag. 4</i>
<i>2. Geomorfologia ed idrografia di superficie</i>	<i>pag. 5</i>
<i>3. Inquadramento geologico</i>	<i>pag. 6</i>
<i>4. Riclassificazione sismica del territorio nazionale</i>	<i>pag. 6</i>
<i>5. Macrozonazione sismica regionale</i>	<i>pag. 8</i>
<i>5.1 Inquadramento geologico regionale</i>	<i>pag. 8</i>
<i>5.2 Strutture attive dell'Emilia - Romagna</i>	<i>pag. 10</i>
<i>5.3 Sismicità regionale</i>	<i>pag. 12</i>
<i>5.4 Classificazione dei Comuni dell'Emilia – Romagna e sismicità storica</i>	<i>pag. 13</i>
<i>6. Indagine geognostica</i>	<i>pag. 18</i>
<i>6.1 Prove penetrometriche statiche CPTU</i>	<i>pag. 18</i>
<i>6.2 Acquisizioni MASW</i>	<i>pag. 19</i>
<i>7. Assetto litostratimetrico</i>	<i>pag. 20</i>
<i>8. Modello geologico</i>	<i>pag. 21</i>
<i>9. Risposta sismica locale</i>	<i>pag. 25</i>
<i>10. Verifica liquefazione</i>	<i>pag. 27</i>
<i>11. Conclusioni</i>	<i>pag. 30</i>

Allegati

Premessa

Per incarico dei Committenti, in conformità alla normativa di seguito riportata

- Circolare Regionale n. 5555 del 02/11/72 integrata dalla Circolare n. 3891 del 21/03/74;
- Circolare Regionale Protocollo n. 1288;
- L.R. 07 dicembre 1978 n. 47 “Tutela ed uso del territorio” e s.m.i;
- Circolare Regionale 11 febbraio 1983 n. 1288 “Indicazioni metodologiche sulle indagini geologiche da produrre a corredo dei piani urbanistici comunali”;
- L.R. 24 marzo 2000 n. 20 “Disciplina generale sulla tutela e l’uso del territorio”;
- Ordinanza P.C.M. 20 marzo 2003 n. 3274 “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”;
- Ordinanza P.C.M. 28 aprile 2006 n. 3519 “Criteri generali per l’individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l’aggiornamento degli elenchi delle medesime zone”;
- D.M. 14.01.2008 “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le costruzioni” e ss.mm.ii.;
- L.R. 30 ottobre 2008 n. 19 “Norme per la riduzione del rischio sismico”;
- Legge Regionale n. 6 del 2009 “Governo e riqualificazione solidale del territorio”;
- Circolare Regione Emilia – Romagna Reg. PG/2010/23900 del 01/02/2010 “Indicazioni illustrative delle innovazioni in materia di governo del territorio introdotte dai Titoli I e II della L.R. n. 6 del 2009”;
- D.G.R. 21 Dicembre 2015 n. 2193 “Art. 16, comma 1 della L.R. 20/2000 – Approvazione aggiornamento dell’atto di coordinamento tecnico denominato *Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia – Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica*, di cui alla deliberazione dell’Assemblea Legislativa 2 maggio 2007, n. 112;
- L.R. 21 dicembre 2017, n. 24 “Disciplina regionale sulla tutela e l’uso del territorio”;
- D.M. 17.01.2018 “Aggiornamento delle *Norme Tecniche per le Costruzioni*”;

- D.G.R. 29 Aprile 2019 n. 630 “*Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (Artt. 22 e 49, L.R. n. 24/20017)*”,

sono stati effettuati uno studio geolitologico ed idromorfologico dell'areale interessato dall'attuazione del PUA Sub – Ambito NU11.2 nonché una caratterizzazione sismica dei terreni in esso presenti.

Dopo una prima fase di analisi tendente a definire l'inquadramento geologico e la situazione idromorfologica ed idrogeologica della zona comprendente l'area in esame, lo studio è stato sviluppato in modo da pervenire alla valutazione delle caratteristiche litostratigrafiche dei terreni in esso presenti.

Per quanto concerne la pericolosità sismica che caratterizza l'area oggetto di studio, la valutazione dei possibili effetti attesi e, quindi, di eventuali fenomeni locali di amplificazione sismica è stata effettuata facendo riferimento alla D.G.R. 29 Aprile 2019 n. 630 “*Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (Artt. 22 e 49, L.R. n. 24/20017)*” ed allo Studio di Microzonazione Sismica del Comune di Sorbolo - Mezzani, 2° e 3° livello.

Per la definizione della stratigrafia dei terreni e per valutazioni inerenti la possibile occorrenza del fenomeno della liquefazione ci si è avvalsi delle risultanze di una campagna di indagine geognostica realizzata, sotto la direzione dello scrivente, nel mese di Agosto 2020 e consistita nell'esecuzione di n. 7 prove penetrometriche ad infissione statica con punta elettrica e piezocono (CPTU).

Per quanto riguarda la caratterizzazione sismica sito – specifica dei suoli, sono stati presi in considerazione i dati acquisiti con n. 2 specifiche prove MASW effettuate, sempre sotto la direzione dello scrivente, nell'Agosto 2020.

1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'areale interessato dalla realizzazione del PUA Sub – Ambito NU11.2, ubicato nell'estrema zona sud – occidentale del territorio comunale di Sorbolo, in località Bogolese, ad Ovest di Strada Chiozzola – Bogolese, circa 130 metri a NW dell'intersezione fra quest'ultima e Via R. Pezzani, è inserito, dal punto di vista geografico, nella Sezione 182130 “Parma Nord - Est” della Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000 (Allegato 1).

La planimetria generale dell'Intervento Urbanistico è riportata in allegato 2.

2. GEOMORFOLOGIA ED IDROGRAFIA DI SUPERFICIE

La zona in cui è inserito l'areale sul quale è previsto il PUA Sub – Ambito NU11.2, appartenendo alla fascia di bassa pianura ricompresa fra il T. Enza, ad Est, ed il T. Parma, ad Ovest, presenta caratteristiche morfologiche pianeggianti, con quote degradanti con debolissimo gradiente in direzione NE, ed ottime condizioni di stabilità.

Nello specifico, l'area oggetto del presente studio, posta alla quota media di m. 98.5 s.l.m., è caratterizzata da morfologia del tutto pianeggiante.

Tralasciando il T. Enza ed il T. Parma, i cui alvei sono posti, nell'ordine, circa 4.0 Km ad Est ed oltre 6.0 Km ad Ovest dell'areale oggetto di studio, i corpi idrici principali della zona sono rappresentati dal Canale Naviglia che scorre, localmente con andamento SW - NE, nelle adiacenze orientali del lato Est di Strada Chiozzola – Bogolese, e dal Cavo Formica la cui incisione è posta circa 800 metri ad Est di quest'ultima.

Quanto cartografato nella Tav. C.1.7 "Tutela ambientale, paesistica e storico – culturale" del P.T.C.P. documenta che entrambi i canali in precedenza citati sono da considerarsi "corsi d'acqua meritevoli di tutela" e che nessuno dei predetti torrenti espone a rischio idraulico i terreni in esame i quali risultano ricompresi nella perimetrazione relativa sia a "zone di tutela della struttura centuriata" che a "dossi".

La classificazione del Canale Naviglia e del Cavo Formica quali "corsi d'acqua meritevoli di tutela" trova conferma anche nella Tav. 2.2 Beneceto - Ramoscello "Ambiti e trasformazioni territoriali e Tutele ambientali e storico – culturali" del P.S.C. la quale identifica, inoltre, tali canali quali "corsi d'acqua pubblici" e mostra sia l'assenza di rischio idraulico a carico dell'areale oggetto di studio, evidenza quest'ultima riportata anche nella Tav. C.4.1 "Carta del rischio ambientale e dei principali interventi di difesa" del P.T.C.P., che la sua appartenenza a "perimetro della zona di tutela della struttura centuriata da PSC".

L'idrografia minore della zona è costituita dalle opere idrauliche di urbanizzazione, da fossi / canali posti a lato della viabilità nonché da solchi campestri e/o fossi di scolo quali quelli presenti al limite Nord dell'Intervento Urbanistico e nella zona centrale dello stesso; si precisa che l'incisione di quest'ultimo fosso presenta un'ampiezza di circa m. 1.50 ed una profondità di m. 1.00 circa.

A completamento di quanto in precedenza esposto in merito al rischio idraulico si precisa che all'area in esame non viene attribuito alcuno scenario di pericolosità nella Mappa della pericolosità e degli elementi potenzialmente esposti 182SO

Parma Nord - Est in scala 1:25.000 del P.G.R.A. Distretto Padano della R.E.R (direttiva Alluvioni 2019) riferita all'Ambito: reticolo naturale principale e secondario; nella medesima cartografia riferita, però, all'Ambito: reticolo secondario di pianura (corsi d'acqua secondari di pianura gestiti da Consorzi di bonifica e irrigui nella medio – bassa pianura padana) ai terreni in esame viene, per contro, associato uno scenario di pericolosità P3 – H (alluvioni frequenti: tempo di ritorno fra 20 e 50 anni – elevata probabilità).

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Secondo quanto riportato nella Cartografia Geologica della Regione Emilia – Romagna, della quale si riporta stralcio ridisegnato in scala 1:5.000 (Allegato 3), la zona comprendente il PUA Sub – Ambito NU11.2 è interessata dalla presenza di depositi di piana inondabili ascrivibili al Sistema Emiliano - Romagnolo Superiore e, più in particolare, al Subsistema di Ravenna (Pleistocene Sup. – Olocene) litologicamente costituito, in loco, da sabbie e limi stratificati con copertura discontinua di limi argillosi e / o limi sabbiosi; lo spessore massimo di tale Unità è inferiore a 20 metri, il suo tetto è rappresentato dalla superficie deposizionale, in gran parte relitta, corrispondente con il piano topografico ed il contatto di base è discordante sulle Unità più antiche.

4. RICLASSIFICAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO NAZIONALE

Le mappe riportate nelle figure sottostanti, di cui all'OPCM n° 3274, mostrano

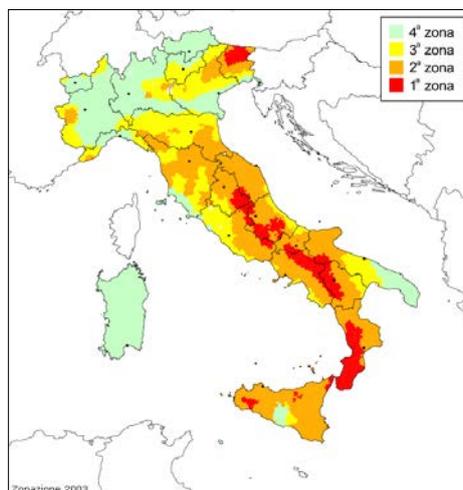


Fig. 1: mappa delle zone sismiche

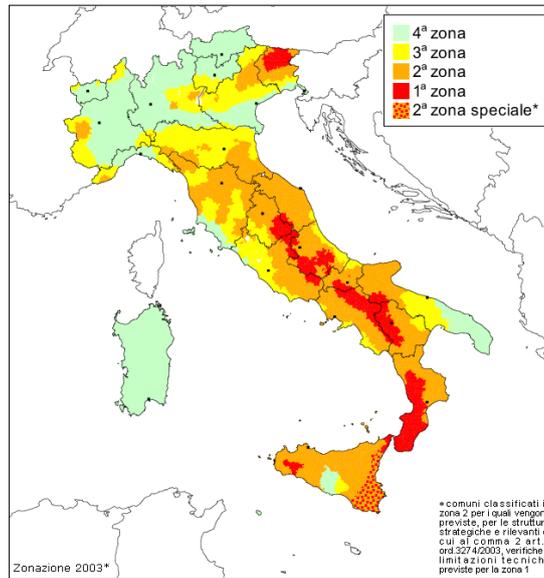


Fig. 2: zone sismiche del territorio italiano con recepimento delle variazioni operate dalle singole Regioni (fino a Marzo 2004)

come il territorio nazionale sia stato suddiviso in quattro “**zone sismiche**” ciascuna individuata da una specifica classe di accelerazione massima del suolo (a_{max}) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni secondo lo schema seguente:

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni (Ag/g)	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Ag/g)
1	$Ag/g > 0,25$	0,35
2	$0,15 < Ag/g \leq 0,25$	0,25
3	$0,05 < Ag/g \leq 0,15$	0,15
4	$< 0,05$	0,05

In figura 3 è riportata la distribuzione sul territorio nazionale del parametro a_{max} con una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

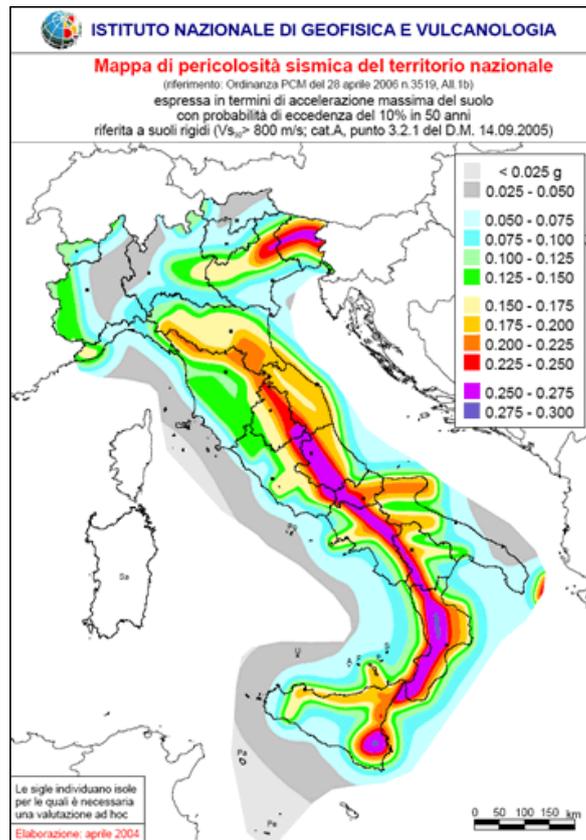


Fig. 3: mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale

Come da bibliografia esistente, la superficie di territorio nazionale attribuibile alla **Zona 4** ($a_{\max} < 0.050g$) è pari al **15% circa** (Sardegna compresa); tale percentuale può raggiungere, al massimo, il 28% circa con il pieno utilizzo della fascia di tolleranza 0.050g – 0.075g.

Viene associato alla **Zona 1** ($a_{\max} > 0.250g$) il **7% circa** della superficie di territorio nazionale che può arrivare al 12% circa con il pieno utilizzo della fascia di tolleranza 0.225g – 0.255g; il rimanente **60%** del territorio è suddiviso fra le **Zone 2 e 3**.

5. MACROZONAZIONE SISMICA REGIONALE

5.1 Inquadramento geologico regionale

Il territorio regionale è formato dal versante padano dell'Appennino settentrionale e dalla Pianura Padana a Sud del fiume Po.

Pur essendo due ambienti geomorfologici ben distinti, l'Appennino settentrionale e la Pianura Padana sono strettamente correlati; il fronte della catena appenninica, infatti, non coincide con il limite morfologico catena – pianura (margine appenninico – padano) ma con gli archi esterni delle pieghe emiliane e ferraresi sottostanti i sedimenti Quaternari padani (si veda la seguente figura 4).

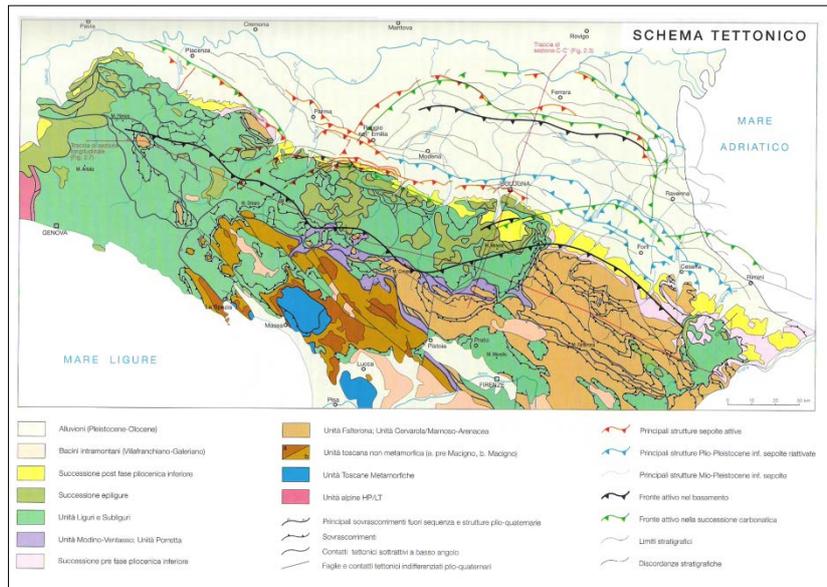


Fig. 4: schema tettonico

Il vero fronte appenninico, quindi, circa all'altezza del fiume Po, sovrascorre verso Nord sulla piattaforma padano –veneta; è possibile, pertanto, asserire che l'evoluzione del territorio dell'Emilia – Romagna coincide con quella del settore esterno della catena nord - appenninica, catena a thrusts facente parte del sistema alpino, formatosi, perlopiù, a spese della placca adriatica per effetto dell'interazione fra la placca Africana e la Placca Euroasiatica.

Si tratta di un edificio costituito da una serie di Unità Tettoniche riferibili a due principali Domini:

- **Dominio Ligure**, i cui sedimenti si sono originariamente depositi su crosta oceanica;
- **Dominio Tosco – Umbro – Marchigiano**, rappresentato da successioni del margine continentale dell'Adria.

APPENNINO EMILIANO ROMAGNOLO

Tale settore appenninico può essere suddiviso in due zone principali:

- **zona assiale;**
- **zona del margine appenninico – padano.**

Zona assiale

Si tratta della parte morfologicamente più elevata della catena esterna che costituisce l'edificio le cui principali strutturazioni arrivano fino al Pliocene Inferiore e le cui Unità Tettoniche sono rappresentate dalle Unità Liguri e Subliguri con la sovrastante Successione Epiligure e dalle Unità Oligo – Mioceniche Toscane nonché dall'Unità Umbro – Marchigiano – Romagnola.

Margine appenninico – padano

Si tratta della zona posta a cavallo del limite morfologico Appennino – Pianura Padana formata dalle colline del basso appennino e dalla fascia pedemontana della pianura padana.

I terreni che affiorano nella zona collinare appartengono, essenzialmente, alla successione post – evaporitica, litologicamente costituita da peliti prevalenti sedimentate sul margine interno dell'avanfossa padano – adriatica (Formazione di Tetto, Formazione a Colombacci, Argille Azzurre) e delimitata da due *unconformities* di importanza regionale; alla base, infatti, essa poggia sulle evaporiti messiniane (Formazione Gessoso - Solfifera) mentre, al tetto, sono presenti i depositi continentali della Pianura Padana.

Localmente, le evaporiti messiniane hanno subito fenomeni di erosione e processi di risedimentazione; in questi casi alla discordanza basale è associata anche una lacuna erosiva ed il substrato della successione post – evaporitica è rappresentato, nell'Appennino Romagnolo, dalle peliti di chiusura dell'avanfossa romagnola o, nell'Appennino Emiliano e nel Montefeltro, dalle peliti sommitali della Successione Epiligure (Marne del Termina, Argille di Casa i Gessi) o dalle Unità Liguri.

5.2 Strutture attive dell'Emilia – Romagna

La convergenza tra le Placche Europea ed Africana è associata, nell'Appennino Settentrionale, ad un pattern deformativo e ad un'attività sismica complessi; il settore tirrenico della catena è, infatti, interessato da un prevalente campo deformativo estensionale mentre nel settore adriatico della medesima prevale una compressione attiva.

In quest'ultimo settore, in cui rientra l'Emilia – Romagna, l'attività tettonica è da ricondursi alla presenza di strutture compressive, quali sovrascorrimenti e piegamenti; nello specifico, risultano attivi i sovrascorrimenti sepolti che danno origine agli archi di Piacenza – Parma, Reggio Emilia e Ferrara.

A tali strutture, in particolare alla Dorsale Ferrarese, possono essere associate le fagliazioni superficiali osservabili in alcune aree della Pianura Padana, nelle Province di Reggio Emilia e Modena.

Lungo il margine, è attivo il thrust pede – appenninico tra Bologna e Parma mentre blind thrust attivi caratterizzano il settore a Sud – Est di Bologna.

Le principali strutture attive in Emilia – Romagna sono sintetizzate nella sottostante figura 5.

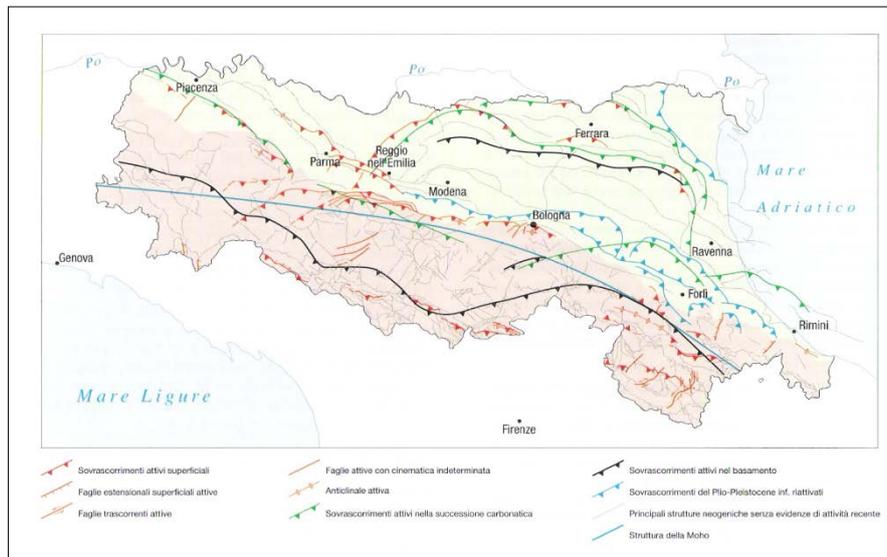


Fig. 5: principali strutture attive in Emilia – Romagna

L'esame di tale rappresentazione cartografica consente di riscontrare come le strutture attive nell'ambito del territorio regionale possano essere raggruppate in tre differenti settori:

- allineamento pressoché continuo in corrispondenza del crinale appenninico, all'incirca coincidente con il fronte di accavallamento delle Unità Tettoniche Cervarola e Falterona sulle Liguridi, in Emilia, e sulla Marnoso – Arenacea, in Romagna;
- allineamento coincidente con gran parte del margine appenninico – padano, a sua volta suddivisibile, procedendo da NW verso SE, in tre ulteriori settori:
settore ad Ovest della Val Taro;

settore compreso tra le valli del Taro e dell'Idice (ad Est di Bologna);
settore ad Est della Valle dell'Idice, corrispondente con il margine romagnolo;

- allineamento coincidente con l'alto delle Pieghe Ferraresi e delle Pieghe Emiliane.

5.3 Sismicità regionale

La Regione Emilia – Romagna è interessata da una sismicità media in rapporto alla sismicità nazionale, con terremoti storici di Magnitudo massima compresa fra 5.5 e 6.0 della scala Richter ed intensità del IX – X grado della scala MCS.

I più intensi terremoti (Magnitudo > 5.5) si sono verificati nel settore sud – orientale, in particolare nell'Appennino Romagnolo e lungo la costa riminese; altri settori interessati da sismicità frequente ma generalmente di minor energia (Magnitudo < 5.5) sono il margine appenninico – padano tra la Val d'Arda e Bologna, l'arco della dorsale ferrarese ed il crinale appenninico.

Quest'ultimo risente della sismicità di due importanti aree sismogenetiche della Toscana, il Mugello e la Garfagnana dove, nell'ordine, nel 1919 e nel 1920, si sono verificati terremoti di Magnitudo superiore a 6.0.

La sismicità legata alle strutture superficiali, con ipocentri mediamente ad una profondità inferiore a 15 km, è molto diffusa in catena e più localizzata in pianura, soprattutto in corrispondenza della dorsale ferrarese.

I meccanismi focali calcolati risultano compressivi e trascorrenti indicando direzioni di compressione sia NE – SW che NW – SE; i meccanismi focali distensivi sono nettamente secondari.

Ne consegue che la cinematica delle principali strutture attive superficiali è di tipo transpressivo.

La sismicità crostale, con ipocentri mediamente compresi fra 15 e 35 km, ha una distribuzione simile a quella più superficiale ma è caratterizzata da una minore densità.

I meccanismi focali sono, anche in questo caso, compressivi e trascorrenti con direzione di compressione sia NW – SE che NE – SW; i meccanismi focali distensivi sono rari e ben localizzati.

La sismicità più profonda, essenzialmente a bassa Magnitudo con ipocentri da 35 km di profondità fin oltre i 50 km, interessa, perlopiù, il settore di catena ed il margine appenninico – padano e, solo raramente, la pianura.

Ne risulta un modello geodinamico attivo in cui le strutture superficiali della copertura, quelle crostali e quelle del mantello, sebbene tra loro distinte, sono tutte

coerenti ed inquadrabili in un sistema transpressivo che rispetto alle zone esterne dell'avampaese padano, relativamente stabili, assume il significato di un sistema di ordine inferiore all'interno di una zona di trascorrenza destra.

5.4 Classificazione dei comuni dell'Emilia - Romagna e sismicità storica

In riferimento alla Nuova classificazione sismica dei Comuni dell'Emilia - Romagna, ai sensi dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 Marzo 2003 n° 3274 (Allegato 1, punto 3, della medesima Ordinanza), **105 Comuni del territorio regionale sono stati inseriti in Zona 2, 214 in Zona 3 e 22 in Zona 4.**

Rientrano in Zona 2, ovvero nell'area a maggior sismicità regionale, l'intero territorio delle Province di Forlì, Cesena e Rimini, quasi tutta la Provincia di Ravenna, ad esclusione del Comune Capoluogo classificato in Zona 3, la parte orientale della Provincia di Bologna, il Comune di Argenta (Ferrara), quasi tutti i Comuni dell'alto Appennino Modenese, Reggiano e Parmense, i Comuni del Margine Appenninico Padano a Sud di Reggio Emilia e Modena.

Sono classificati in Zona 4, cioè nella zona a minor sismicità, le estremità Nord – Ovest e Nord – Est della Regione, ovvero, rispettivamente la parte nord – occidentale della Provincia di Piacenza e la parte nord – orientale della Provincia di Ferrara.

I rimanenti Comuni, tra i quali quello di Sorbolo, sono stati classificati in Zona 3, vale a dire nella zona a sismicità medio – bassa (Figura 6).

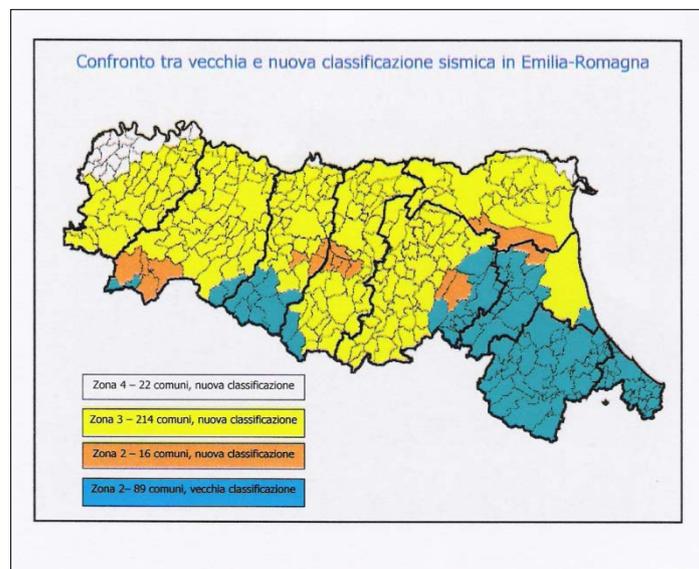


Fig. 6: nuova classificazione sismica regionale

La succitata riclassificazione sismica dei Comuni della R.E.R., secondo la quale il territorio comunale del **Comune di Sorbolo** (Codice ISTAT **8034037**) rientra in **Zona 3**, è stata recepita dal Decreto 14.01.2008 del Ministero delle Infrastrutture recante “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni” pubblicato sulla G.U. n. 29 del 04.02.2008.

Con la Deliberazione della Giunta Regionale 23 Luglio 2018 n. 1164 è stato approvato un aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei Comuni dell’Emilia – Romagna, disposta con propria D.G.R. n. 1435 del 2003 (prime disposizioni di attuazione dell’Ordinanza del P.C.M. n. 3274/2003), con riferimento al passaggio di 20 Comuni dalla zona 4 alla zona 3 (sismicità medio – bassa), al passaggio dei 7 Comuni dell’Alta Val Marecchia dalla Regione Marche (Provincia di Pesaro – Urbino) alla Regione Emilia – Romagna (Provincia di Rimini) ed all’aggiornamento dei nuovi Comuni ottenuti per fusione di più Comuni così come elencati nell’allegato A alla D.G.R. n. 1164 del 23/07/2018 e come rappresentati nella cartografia di cui all’allegato B della succitata deliberazione, riportata nella seguente figura 7.

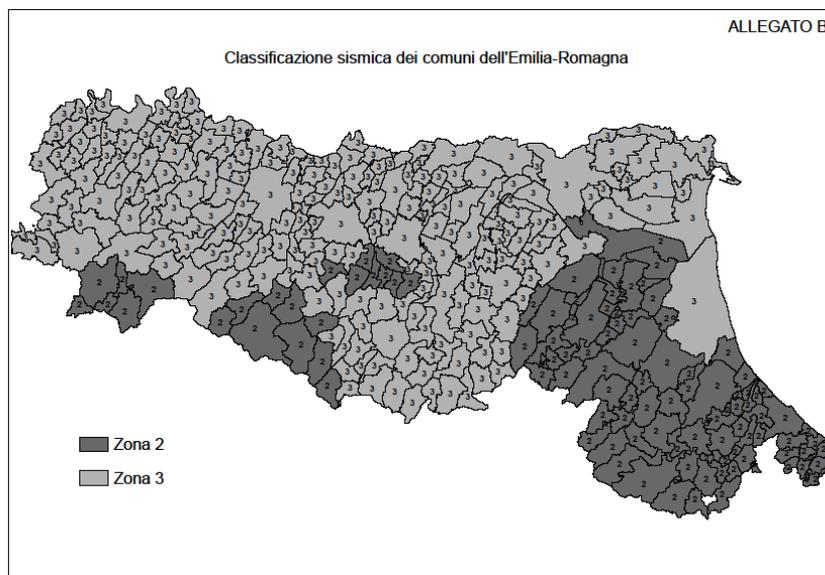


Fig. 7: classificazione sismica regionale dei comuni - Allegato B D.G.R. n. 1164 2 del 23/07/2018

La consultazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 Release v1.5 (Rovida A., Locati M., Camassi R., Loli B., Gasperini P. (eds), 2016. CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) ha consentito la ricostruzione della seguente casistica storica relativamente ai sismi più significativi per il territorio della

provincia parmense nella finestra temporale 1800 - 2014 (terremoti con intensità massima o epicentrale maggiore o pari a 5 e con magnitudo strumentale equivalente, secondo i metodi e le conversioni descritte nel succitato catalogo, a Mw 4.0 o superiore):

Giorno – Mese - Anno	Ora – Minuto - Secondo	Area epicentrale	n. MDP (Macroseismic Data Point)	Intensità epicentrale I ₀	Magnitudo Momento M _w
12.02.1806		Reggiano	28	7	5.21
25.12.1810	00.45	Pianura emiliana	33	6	5.06
15.07.1811	22.44	Modenese - reggiano	19	6 - 7	5.13
09.12.1818	18.55	Parmense	26	7	5.24
11.09.1831	18.15	Pianura emiliana	25	7 - 8	5.48
11.03.1832	06.45	Carpi	14	5	4.51
13.03.1832	03.30	Reggiano	97	7-8	5.51
04.10.1834	19	Bolognese	12	6	4.71
20.04.1835	03	Val di Taro	1	5	4.16
25.04.1835	02.45	Val di Taro	6	5 - 6	4.77
11.04.1837	17.00	Lunigiana	60	9	5.94
28.11.1849	18	Val di Taro	7	6	4.63
01.02.1857		Parmense - Reggiano	22	6 - 7	5.11
16.05.1873	19.35	Reggiano	15	6 - 7	5.01
24.01.1881	16.14	Bolognese	38	7	5.22
25.01.1881	07.06	Bolognese	18	5	4.59
14.02.1881	09.00.30	Appennino bolognese	21	6	4.77
26.02.1885	20.48	Pianura padana	78	6	5.01
15.10.1886	02.20	Collecchio	44	6	4.70
08.03.1889	02.57.04	Bologna	38	5	4.53
20.10.1893	20.20.15	Appennino parmense	25	4 - 5	4.04
07.08.1895	19.49.32	Appennino tosco-emiliano	84	5	4.67
04.03.1898	21.05	Parmense	313	7 - 8	5.37
25.08.1906	03.11	Parmense	31	5	4.25
10.11.1906	17.55	Alta Val di Taro	43	5	4.22
13.01.1909	00.45	Emilia – Romagna orientale	867	6 - 7	5.36
25.11.1913	20.55	Appennino parmense	73	4 - 5	4.65
27.10.1914	09.22	Lucchesia	660	7	5.63
10.10.1915	23.10	Reggiano	30	6	4.87
06.05.1918	08.05	Reggiano	8	5 - 6	4.41
29.06.1919	15.06.13	Mugello	565	10	6.38
07.09.1920	05.55.40	Garfagnana	750	10	6.53
29.11.1921	12.04	Val di Taro	10	4	4.15
28.06.1923	15.12	Modenese	22	6	5.04
13.06.1928	08	Carpi	35	6	4.67
20.07.1928	19.53	Alta Val di taro	13	6	4.39
10.04.1929	05.55	Bolognese	87	6	5.05
19.04.1929	04.16	Bolognese	82	6 - 7	5.13
20.04.1929	01.10	Bolognese	109	7	5.36
22.04.1929	08.26	Bolognese	41	6 - 7	5.10
22.04.1929	14.19	Bolognese	12	5 - 6	4.61
29.04.1929	18.36	Bolognese	45	6	5.20
11.05.1929	19.23	Bolognese	64	6 - 7	5.29
24.05.1930	22.02	Appennino tosco - emiliano	43	5	4.91
10.06.1931	17.02	Modenese	14	4	4.59
13.06.1934	09.06	Val di Taro - Lunigiana	29	6	5.14
17.09.1937	12.19.05	Parmense	34	7	4.77
10.12.1937	18.04	Frignano	28	6	5.30
15.10.1939	14.05	Garfagnana	62	6 - 7	4.96
01.05.1940	09.36.05	Parmense			5.06
12.03.1955	06.57.04	Parmense	15	5	4.15
25.10.1957	23.02.05	Appennino reggiano	79	5 - 6	4.27
26.01.1959	05.35.40	Alta Val di Taro	14	5	4.27
13.08.1961	22.34.18	Parmense	22	5 - 6	4.37
14.08.1961	01.03.02	Parmense	14	5 - 6	4.47
10.05.1965	05.01.54	Appennino reggiano	11	4 - 5	4.29
15.05.1967	10.03.34	Appennino reggiano	2	4	4.07
30.12.1967	04.19	Emilia – Romagna orientale	40	6	5.05
24.06.1969	13.25.18	Parmense	15	5	4.21
03.05.1970	04.17.41	Parmense	3	4	4.08

Giorno – Mese - Anno	Ora – Minuto - Secondo	Area epicentrale	n. MDP (Macroseismic Data Point)	Intensità epicentrale I ₀	Magnitudo Momento M _w
15.07.1971	01.33.23	Parmense	228	8	5.57
25.06.1972	17.10.47	Parmense			4.01
25.10.1972	21.56.11	Appennino settentrionale	198	5	4.87
15.05.1974	21.49.12	Alta Val di Taro	13	5	4.14
16.11.1975	13.04.25	Appennino piacentino	10	4 - 5	4.93
09.11.1983	16.29.52	Parmense	850	6 - 7	5.04
15.08.1985	18.58.03	Appennino parmense	7	7	4.51
01.10.1986	19.53.39	Lunigiana	68	5	4.46
10.02.1987	21.20	Lunigiana	54	5	4.09
02.05.1987	20.43.53	Reggiano	802	6	4.71
08.05.1987	11.10.27	Bassa modenese	24	6	4.44
15.03.1988	12.03.16	Reggiano	160	6	4.57
03.10.1989	09.41.32	Appennino parmense	91	4	4.04
31.10.1991	09.31.18	Emilia occidentale	134	5	4.33
03.03.1995	16.16.40	Lunigiana	43	5	4.20
10.10.1995	6.54.21	Lunigiana	341	7	4.82
31.12.1995	21.29.47	Appennino reggiano	96	4 - 5	4.51
15.10.1996	09.55.59	Pianura emiliana	135	7	5.38
16.12.1996	09.09.53	Pianura emiliana	115	5 - 6	4.06
07.07.1999	17.16.12	Frignano	32	5	4.67
18.06.2000	07.42.07	Pianura emiliana	304	5 - 6	4.40
09.05.2007	06.03.49	Pianura emiliana			4.21
30.07.2007	19.05.43	Pianura emiliana			4.45
28.12.2007	04.05.43	Appennino parmense			4.18
23.12.2008	15.24.21	Parmense	291	6 - 7	5.36
23.12.2008	21.58.26	Parmense			4.81
23.12.2008	23.37.06	Parmense			4.08
25.12.2008	03.08.29	Parmense			4.09
25.01.2012	08.06.37	Pianura emiliana	25	5 - 6	4.98
27.01.2012	14.53.12	Appennino parmense			5.05
20.05.2012	02.03.50	Pianura emiliana	53	7	6.09
20.05.2012	02.07.28	Pianura emiliana			5.17
20.05.2012	03.02.47	Pianura emiliana			5.04
20.05.2012	13.18.01	Pianura emiliana			5.16
29.05.2012	07.00.02	Pianura emiliana	87	7 - 8	5.90
29.05.2012	10.55.56	Pianura emiliana			5.50

Più in dettaglio, nelle seguenti Figure 8 e 9 viene riportata la “storia sismica” del Comune di Sorbolo limitatamente ai terremoti con intensità massima $\geq 2 - 3$ verificatisi tra il 1800 e il 2012 [DBMI15 Release v1.5; Azzaro R., D’Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016) DBMI15, The 2015 version of the Italian Macroseismic Database - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia]:

Effects	Reported earthquakes									
Int.	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
7-8	1831	09	11	18	15		Pianura emiliana	25	7-8	5.48
6-7	1832	03	13	03	30		Reggiano	97	7-8	5.51
4-5	1886	10	15	02	20		Collecchio	44	6	4.70
5	1951	05	15	22	54		Lodigiano	179	6-7	5.17
2	1955	03	12	06	57	0	Parmense	15	5	4.15
2	1961	08	13	22	34	1	Parmense	22	5-6	4.37
5	1967	04	03	16	36	1	Reggiano	45	5	4.44
7-8	1971	07	15	01	33	2	Parmense	228	8	5.51
6	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04
NF	1986	12	06	17	07	1	Ferrarese	604	6	4.43
4-5	1988	03	15	12	03	1	Reggiano	160	6	4.57
3	1995	10	10	06	54	2	Lunigiana	341	7	4.82
5	1996	10	15	09	55	5	Pianura emiliana	135	7	5.38
3	1996	10	26	04	56	5	Pianura emiliana	63	5-6	3.94
NF	1996	10	26	06	50	2	Pianura emiliana	35	5-6	3.63
NF	1996	11	25	19	47	5	Pianura emiliana	65	5-6	4.29
4	1996	12	16	09	09	5	Pianura emiliana	115	5-6	4.06
2-3	1997	05	12	22	13	5	Pianura emiliana	56	4-5	3.68
4-5	1998	02	21	02	21	1	Pianura emiliana	104	5	3.93
4	2000	06	18	07	42	0	Pianura emiliana	304	5-6	4.40
NF	2002	06	18	22	23	3	Frignano	186	4	4.30
NF	2002	11	13	10	48	0	Franciacorta	768	5	4.21
6	2012	01	25	08	06	3	Pianura emiliana	25	5-6	4.98

Fig. 8: storia sismica del comune di Sorbolo

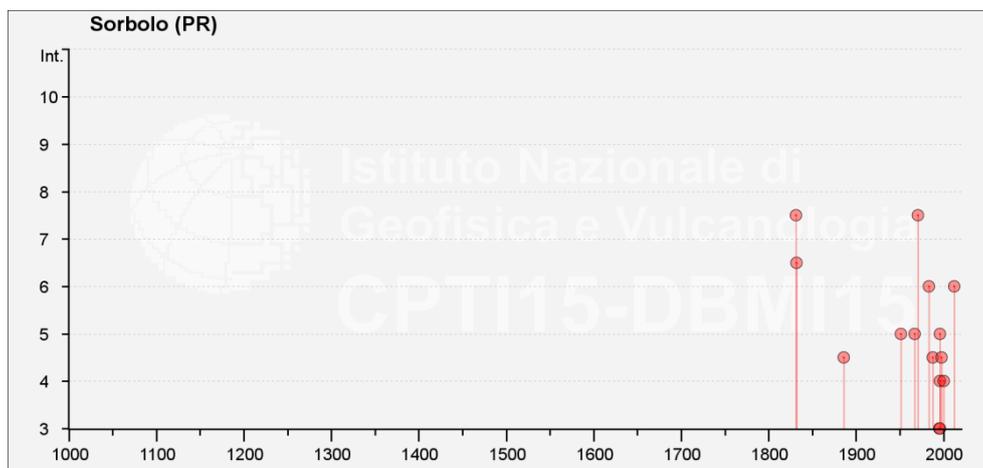


Fig. 9: rappresentazione grafica terremoti Comune di Sorbolo

6. INDAGINE GEOGNOSTICA

La ricostruzione dell'assetto litostratigrafico che caratterizza l'areale sotteso dal PUA Sub – Ambito NU11.2 è stata effettuata, come in precedenza esposto, avvalendosi delle risultanze di n. 7 prove penetrometriche ad infissione statica con punta elettrica e piezocono (CPTU) spinte fino alla profondità massima di m. 20.00 da piano riferimento, rappresentato dal piano campagna, ed ubicate come da planimetria schematica in allegato 4.

Per quanto concerne la definizione delle caratteristiche sismiche sito - specifiche del sito ci si è avvalsi di quanto emerso dall'indagine geofisica svolta, consistita nell'esecuzione di n. 2 acquisizioni MASW finalizzate alla valutazione del profilo delle Vs con la profondità.

6.1 Prove penetrometriche statiche CPTU

Le penetrometrie, denominate da CPTU 1 a CPTU 7, sono state eseguite dalla ditta GEOLOG S.r.l. di Ravenna utilizzando un penetrometro di classe 1 (CPT1) del tipo ad infissione statica da 200 kN, TG73-200 di fabbricazione PAGANI S.r.l., automontato su autocarro a trazione integrale.

La perforazione è stata, quindi, realizzata impiegando un piezocono tipo Torstenson di produzione Pagani fornito di filtro tipo u_2 (si veda Figura 10) e munito di trasduttori per la lettura in continuo dei parametri rilevati, acquisendo i dati attraverso il sistema Pagani Geotechnical Equipment TGAS.

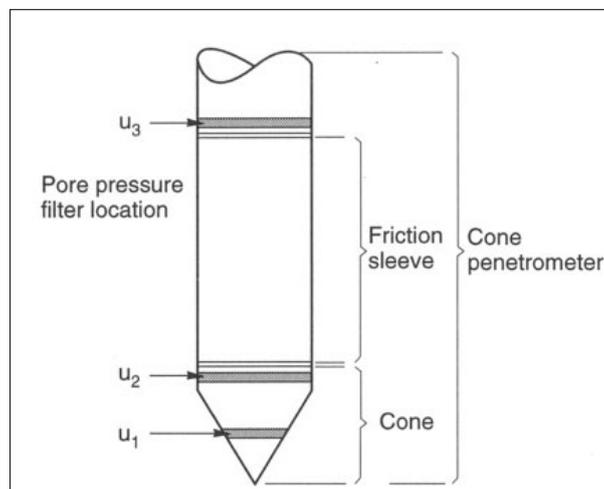


Fig. 10: Terminologia relativa ai coni penetrometrici

Tale sistema di acquisizione dati permette, in fase di avanzamento della punta, di campionare e registrare ogni centimetro di avanzamento:

- Resistenza alla punta Q_c (MPa);
- Attrito laterale F_s (kPa);
- Rapporto delle resistenze (R_f) %;
- Pressione dei pori U_2 (kPa);
- Inclinazione (gradi sessagesimali).

Le prove penetrometriche sono state spinte fino alle seguenti profondità da piano riferimento (piano campagna):

CPTU 1	m. 20.05;
CPTU 2	m. 15.06;
CPTU 3	m. 20.06;
CPTU 4	m. 15.08;
CPTU 5	m. 15.05;
CPTU 6	m. 15.21;
CPTU 7	m. 20.13.

I valori ottenuti sono riportati nei diagrammi in allegato 5 nei quali sono proiettate, da sinistra verso destra, le seguenti curve:

- Resistenza di punta Q_c (MPa);
- Attrito laterale F_s (kPa);
- Pressione dei pori U_2 (kPa);
- Friction Ratio R_f (%).

Nel medesimo allegato sono evidenziate le risultanze della rielaborazione dei dati di campagna eseguita dallo scrivente mediante il codice di calcolo CPe-IT 2.0 Ver. 2.3.1.8 prodotto da Geologismiki Ltd al fine di determinare la litostratimetria caratterizzante l'areale in esame.

6.2 Acquisizioni MASW

Le n. 2 prove MASW, denominate **MW_A** e **MW_B**, sono state eseguite utilizzando un sismografo multicanale ad incrementi di segnale **Ras 24** con 24 canali attivi, prodotto dalla Abem-Seistronix, ed impiegando, come ricevitori, 24 geofoni da 4,5 Hz collegati in serie con un cavo di lunghezza pari a m. 65, e, come sorgente impulsiva, una mazza battente da 10 Kg con piastra metallica 15x15 cm su cui battere.

Le acquisizioni sono state realizzate adottando un interasse fra i geofoni pari a 2.0 metri che, con 24 ricevitori, ha consentito di coprire una lunghezza totale pari a

46.0 metri; avendo posto la sorgente di energizzazione ad una distanza di 10.0 metri, la lunghezza complessiva degli stendimenti sismici è risultata essere pari a m. 56.0 (punto di shot compreso).

Le modalità esecutive ed interpretative delle prove geofisiche realizzate e gli esiti delle prospezioni sono descritti nell'allegato rapporto tecnico a cura della Ditta TECNOGEOFISICA S.n.c. nel quale è anche riportata l'orientazione degli stendimenti sismici (Allegato 6).

Si precisa che le acquisizioni MASW eseguite sugli stendimenti sismici realizzati hanno consentito sia la ricostruzione del modello sismico monodimensionale del sottosuolo attraverso la velocità delle onde superficiali di Rayleigh sia la valutazione del parametro $V_{s,30}$ al quale è possibile fare riferimento, secondo quanto riportato nel punto A2.1.2 dell'Allegato 2 della Delibera della Giunta Regionale della Regione Emilia – Romagna 29 Aprile 2019 n. 630 “Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (Artt. 22 e 49, L.R. n. 24/20017)”, per la definizione dei fattori di amplificazione sismica F.A..

7. ASSETTO LITOSTRATIMETRICO

L'esame delle risultanze delle indagini eseguite ha consentito la ricostruzione, per l'areale oggetto di studio, di un assetto litostratimetrico contraddistinto da buona uniformità così schematizzabile:

Unità Litologica 1 da m. 0.00 a m. 0.40 circa da p.c.
terreno vegetale;

Unità Litologica 2 da m. 0.40 a m. 1.00÷1.50 da p.c.
litozona limoso - argillosa;

Unità Litologica 3 da m. 1.00÷1.50 a m. 20.13 ed oltre da p.c.
alternanze di argille ed argille limose inglobanti intercalazioni lenticolari decimetriche / pluridecimetriche argilloso – limose e limoso – argillose; solo in corrispondenza della verticale d'indagine CPTU 6 è stata rilevata, alla profondità di m. 2.70 circa da p.c., la presenza di un'intercalazione di natura limoso – sabbiosa e sabbioso – limosa di spessore pari a m. 0.50 circa. Stratigrafie di pozzi idrici presenti nella zona documentano una netta prevalenza di litologie argilloso – limose fino alla quota di m. 35.0 circa da p.c..

Al momento dell'indagine, Agosto 2020, il livello statico della falda misurato mediante freatimetro all'interno dei fori di prospezione presentava le seguenti soggiacenze, in metri da piano riferimento:

CPTU 1	m. 2.60;
CPTU 2	m. 3.40;
CPTU 3	m. 2.60;
CPTU 4	m. 3.40;
CPTU 5	m. 2.50;
CPTU 6	m. 2.60;
CPTU 7	m. 2.50.

8. MODELLO GEOLOGICO

La zona in cui è inserito l'areale sul quale è previsto il PUA Sub – Ambito NU11.2, appartenendo alla fascia di bassa pianura ricompresa fra il T. Enza, ad Est, ed il T. Parma, ad Ovest, presenta caratteristiche morfologiche pianeggianti, con quote degradanti con debolissimo gradiente in direzione NE, ed ottime condizioni di stabilità.

Nello specifico, l'area oggetto del presente studio, posta alla quota media di m. 98.5 s.l.m., è caratterizzata da morfologia del tutto pianeggiante.

Tralasciando il T. Enza ed il T. Parma, i cui alvei sono posti, nell'ordine, circa 4.0 Km ad Est ed oltre 6.0 Km ad Ovest dell'areale oggetto di studio, i corpi idrici principali della zona sono rappresentati dal Canale Naviglia che scorre, localmente con andamento SW - NE, nelle adiacenze orientali del lato Est di Strada Chiozzola – Bogolese, e dal Cavo Formica la cui incisione è posta circa 800 metri ad Est di quest'ultima.

Quanto cartografato nella Tav. C.1.7 "Tutela ambientale, paesistica e storico – culturale" del P.T.C.P. documenta che entrambi i canali in precedenza citati sono da considerarsi "corsi d'acqua meritevoli di tutela", che nessuno dei predetti torrenti espone a rischio idraulico i terreni in esame i quali risultano ricompresi nella perimetrazione relativa sia a "zone di tutela della struttura centuriata" che a "dossi".

La classificazione del Canale Naviglia e del Cavo Formica quali "corsi d'acqua meritevoli di tutela" trova conferma anche nella Tav. 2.2 Beneceto - Ramoscello "Ambiti e trasformazioni territoriali e Tutele ambientali e storico – culturali" del

P.S.C. la quale identifica, inoltre, tali canali quali “corsi d’acqua pubblici” e mostra sia l’assenza di rischio idraulico a carico dell’areale oggetto di studio, evidenza quest’ultima riportata anche nella Tav. C.4.1 “Carta del rischio ambientale e dei principali interventi di difesa” del P.T.C.P., che la sua appartenenza a “perimetro della zona di tutela della struttura centuriata da PSC”.

L’idrografia minore della zona è costituita dalle opere idrauliche di urbanizzazione, da fossi / canali posti a lato della viabilità nonché da solchi campestri e/o fossi di scolo quali quelli presenti al limite Nord dell’Intervento Urbanistico e nella zona centrale dello stesso; si precisa che l’incisione di quest’ultimo fosso presenta un’ampiezza di circa m. 1.50 ed una profondità di m. 1.20 circa.

A completamento di quanto in precedenza esposto in merito al rischio idraulico si precisa che all’area in esame non viene attribuito alcuno scenario di pericolosità nella Mappa della pericolosità e degli elementi potenzialmente esposti 182SO Parma Nord - Est in scala 1:25.000 del P.G.R.A. Distretto Padano della R.E.R (direttiva Alluvioni 2019) riferita all’Ambito: reticolo naturale principale e secondario; nella medesima cartografia riferita, però, all’Ambito: reticolo secondario di pianura (corsi d’acqua secondari di pianura gestiti da Consorzi di bonifica e irrigui nella medio – bassa pianura padana) ai terreni in esame viene, per contro, associato uno scenario di pericolosità P3 – H (alluvioni frequenti: tempo di ritorno fra 20 e 50 anni – elevata probabilità).

Secondo quanto riportato nella Cartografia Geologica della Regione Emilia – Romagna, la zona comprendente il PUA Sub – Ambito NU11.2 è interessata dalla presenza di depositi di piana inondabili ascrivibili al Sistema Emiliano - Romagnolo Superiore e, più in particolare, al Subsistema di Ravenna (Pleistocene Sup. – Olocene) litologicamente costituito, in loco, da sabbie e limi stratificati con copertura discontinua di limi argillosi e / o limi sabbiosi; lo spessore massimo di tale Unità è inferiore a 20 metri, il suo tetto è rappresentato dalla superficie deposizionale, in gran parte relitta, corrispondente con il piano topografico ed il contatto di base è discordante sulle Unità più antiche.

L’assetto litostratimetrico ricostruito per l’areale oggetto di studio, contraddistinto da buona uniformità, può essere schematizzato secondo quanto di seguito riportato:

Unità Litologica 1 da m. 0.00 a m. 0.40 circa da p.c.
terreno vegetale;

Unità Litologica 2 da m. 0.40 a m. 1.00÷1.50 da p.c.
litozona limoso - argillosa;

Unità Litologica 3 da m. 1.00÷1.50 a m. 20.13 ed oltre da p.c.

alternanze di argille ed argille limose inglobanti intercalazioni lenticolari decimetriche / pluridecimetriche argilloso – limose e limoso – argillose; solo in corrispondenza della verticale d'indagine CPTU 6 è stata rilevata, alla profondità di m. 2.70 circa da p.c., la presenza di un'intercalazione di natura limoso – sabbiosa e sabbioso – limosa di spessore pari a m. 0.50 circa. Stratigrafie di pozzi idrici presenti nella zona documentano una netta prevalenza di litologie argilloso – limose fino alla quota di m. 35.0 circa da p.c..

Al momento dell'indagine, Agosto 2020, il livello statico della falda misurato mediante freatimetro all'interno dei fori di prospezione presentava una soggiacenza variabile da un minimo di m. 3.40 circa ad un massimo di m. 2.50 circa da p.c..

Dal punto di vista idrogeologico, il sistema acquifero della pianura parmense (Bacino Idrografico della Pianura Padana Parmense) è, secondo il modello concettuale dell'acquifero fino ad oggi adottato a scala regionale e ben rappresentato nella specifica bibliografia, pressoché coincidente con l'intero edificio sedimentario alluvionale costituito da corpi geologici a granulometria ghiaiosa e sabbiosa di età Quaternaria.

Il limite inferiore dell'acquifero è rappresentato dalla superficie di interfaccia acque dolci/acque salate la cui conformazione è controllata dai corrugamenti del substrato marino.

L'edificio sedimentario, avente localmente spessore complessivo pari circa a 600 metri, si compone di strutture perlopiù nastriformi e lentiformi interdigitate e giustapposte in modo disordinato, allungate in direzione Sud – Nord nel senso della corrente che le ha deposte, prevalentemente costituite da sedimenti di granulometria eterogenea, variabile da termini grossolani ghiaioso – ciottolosi a termini fini limoso – argillosi, tipici di una sedimentazione fluviale rapida e discontinua nello spazio e nel tempo.

Nello specifico, la bassa pianura parmense è caratterizzata dalla presenza di un acquifero costituito da depositi sabbiosi di apporto padano in potenti bancate che tendono a rastremarsi in corrispondenza dell'allineamento Busseto – San Secondo Parmense – Ravadese – Frassinara – Coenzo, ove si registra la massima ingressione verso Sud dei più recenti stadi della sedimentazione padana.

Con particolare riferimento al tratto Busseto – San Secondo Parmense, le suddette bancate sabbiose sono interdigitate, in profondità, con sedimenti di origine appenninica.

Localmente, il sistema acquifero risulta essere multistrato compartimentato con falde confinate, con livelli freatici sospesi e discontinui, in considerazione dell'estensione e della continuità sia delle coperture di superficie a granulometria fine, che definiscono il limite superiore dell'acquifero, sia delle intercalazioni argillose e limose a permeabilità estremamente ridotta (aquicludes, aquitards).

L'assetto idrogeologico del territorio risulta, quindi, strettamente dipendente dalle litologie presenti e dai loro rapporti stratigrafici; in particolare, nei primi metri al di sotto del piano campagna è localizzata, all'interno di livelli fini limoso - argillosi e/o limoso - sabbiosi aventi, comunque, bassa permeabilità, una falda freatica, talora sospesa, caratterizzata da condizioni di filtrazione lente e da bassi valori di portata.

Detta falda, talvolta assente, presenta livelli variabili stagionalmente, strettamente dipendenti dalle curve delle precipitazioni e dai livelli idrometrici dei canali presenti tanto che, nei periodi siccitosi, essa tende ad esaurirsi mentre, in concomitanza di altezze idrometriche elevate nella rete idrografica o di precipitazioni prolungate, i livelli possono risalire fino ad approssimarsi al piano campagna.

A maggiore profondità, i depositi più grossolani (sabbie fini, medie, grossolane e ghiaie) ospitano una falda generalmente confinata e/o semiconfinata, il cui tetto è rappresentato dai depositi fini del banco superiore.

La consultazione della Carta della Vulnerabilità all'Inquinamento dell'Acquifero Principale in scala 1:50.000, redatta da C.N.R., Amm.ne Prov.le di Parma – Assessorato Ambiente e Difesa del Suolo, A.S.C.A.A.P., Amm.ni Com.li di Colorno, Mezzani, Sissa, Sorbolo, Torrile e Trecasali ha consentito di riscontrare che, nella zona comprendente l'areale in esame, peraltro caratterizzata da un basso grado di vulnerabilità, l'assetto piezometrico presenta una prevalente direzione di deflusso sotterraneo verso NE; localmente, la soggiacenza media del livello statico della falda, dedotta dalle curve isopiezometriche riportate nella predetta cartografia, risulta essere pari a m. 3.00 circa da piano campagna.

A completamento di quanto sopra esposto in merito alla vulnerabilità, si precisa che l'area oggetto di studio è classificata quale "poco vulnerabile" sia nella Tav. 6 "Carta degli indirizzi ed individuazione degli impianti di trattamento delle acque reflue urbane, degli scarichi produttivi che recapitano in CIS, delle località che presentano scaricatori di piena e reti fognarie non trattate dalla pubblica depurazione" in scala 1:100.000 del P.P.T.A. (2007) sia nella "Nuova Carta della Vulnerabilità degli Acquiferi" in scala 1:100.000, redatta da Provincia di Parma, Assessorato Ambiente e Difesa del Suolo – Assessorato Agricoltura, sia nella carta

“Indirizzi per la tutela delle acque” in scala 1:100.000 edita da Provincia di Parma – Assessorato Ambiente e Difesa del Suolo.

Quanto riportato nella Tav. 15 “Le aree di salvaguardia per la tutela delle acque potabili ed emergenze naturali” in scala 1:50.000 del P.P.T.A. (2007) documenta che i terreni in esame non appartengono ad alcuna zona di protezione / settore di ricarica della falda.

9. RISPOSTA SISMICA LOCALE

Ai fini della definizione dei fattori di amplificazione sismica F.A., riferiti, come precisato al punto A2.1 dell'Allegato 2 D.G.R. 29 Aprile 2019 n. 630 “Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (Artt. 22 e 49, L.R. n. 24/20017)”, al Suolo A di cui al D.M. 17.01.2018 “Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni” punto 3.2.2, sono stati presi a riferimento le risultanze dell'indagine geofisica descritta nel paragrafo 6.2 e quanto riportato nello specifico studio di Microzonazione Sismica del Comune di Sorbolo Mezzani - 3° livello di approfondimento.

Si precisa che la necessità di valutare i fattori di amplificazione F.A. è correlata all'inserimento dell'areale oggetto di studio nell'ambito di una zona interessata dalla presenza di prevalenti depositi alluvionali aventi potenza \geq m. 3.0 (si veda allegato A1 alla succitata Delibera).

L'elaborazione delle acquisizioni Masw eseguite sul sito in esame ha consentito la definizione dei diagrammi Shear – Wave Velocity (m/s) vs. Depth riportati in allegato 6 e la valutazione del parametro

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}} \quad (1)$$

da intendersi come **la velocità equivalente** di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 metri di sottosuolo; nella relazione (1) h_i e V_i indicano, nell'ordine, lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma > 10^{-6}$) dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei primi 30.0 metri di profondità.

I valori di $V_{s,30}$ determinati sono pari a:

MW_A **206 m/sec;**
MW_B **200 m/sec.**

Per la stima dei F.A. della P.G.A. e dell'intensità spettrale sono state prese in considerazione le tabelle di cui al punto A2.1.2 della D.G.R. 29 Aprile 2019 n. 630 riferite all'ambito **Pianura Padana e Costa Adriatica** e, più in particolare, al **settore Pianura 1** caratterizzato dalla presenza di "sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza significativo, tale da essere considerato coincidente con il tetto del substrato rigido, a profondità ≤ 100 m. da piano campagna."

In considerazione dei valori definiti di $V_{s,30}$ ed assumendone uno pari a 200 m/sec per le determinazioni da effettuarsi, sono stati definiti i Fattori di Amplificazione per l'areale oggetto di studio:

- **F.A. per P.G.A.** (accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, cioè per $T = 0$): **1.7**;
- **F.A. SA1 per l'intensità spettrale in accelerazione (con $0.1s \leq T \leq 0.5s$):** **1.8**;
- **F.A. SA2 per l'intensità spettrale in accelerazione (con $0.4s \leq T \leq 0.8s$):** **2.5**;
- **F.A. SA3 per l'intensità spettrale in accelerazione (con $0.7s \leq T \leq 1.1s$):** **3.2**;
- **F.A. SA4 per l'intensità spettrale in accelerazione (con $0.5s \leq T \leq 1.5s$):** **3,0**;
- **F.A. SI1 per l'intensità spettrale in velocità (con $0.1s \leq T \leq 0.5s$):** **1.9**;
- **F.A. SI2 per l'intensità spettrale in velocità (con $0.5s \leq T \leq 1.0s$):** **2.9**;
- **F.A. SI3 per l'intensità spettrale in velocità (con $0.5s \leq T \leq 1.5s$):** **3.2**

Il valore locale di P.G.A. (accelerazione massima orizzontale su suolo di riferimento relativo alla categoria di sottosuolo A), calcolato nel baricentro del PUA Sub – Ambito NU11.2 e risultato pari a **0.120 g**, è stato determinato secondo quanto riportato nella D.G.R. n. 2193; nel dettaglio, è stata eseguita una media pesata dei valori di a_{refg} relativi ai punti della griglia con passo 0.05° più prossimi al sito, considerando la seguente formula

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

nella quale:

p è il valore del parametro di interesse nel punto in esame;

p_i è il valore del parametro di interesse nell' i -esimo punto della maglia elementare contenente il punto in esame;

d_i è la distanza del punto in esame dall' i -esimo punto della maglia suddetta.

I punti della succitata griglia regionale sono derivati da quelli della griglia delle mappe interattive della pericolosità sismica dell'I.N.G.V.; i valori di accelerazione

massima orizzontale (a_{refg}) espressa in frazioni di g con il 10% di probabilità di superamento in 50 anni corrispondente al periodo di ritorno $T_R = 475$ anni sono stati elaborati da I.N.G.V..

L'accelerazione massima orizzontale al suolo attesa sul sito in esame, considerando il fattore di amplificazione stratigrafica F.A. della P.G.A. determinato, risulta essere, pertanto, pari a:

$P.G.A. \times F.A. \times S_T = 0.120 g \times 1.7 \times 1 = \mathbf{0.204 g}$; il fattore S_T utilizzato è da intendersi come coefficiente di amplificazione topografica che, date le caratteristiche morfologiche del sito, deve essere considerato pari a 1 poiché, secondo quanto riportato nel paragrafo A2.2 dell'Allegato A.2 della D.G.R. n. 630 del 29.04.2019, gli effetti topografici possono essere trascurati.

Si precisa che il valore del fattore di amplificazione F.A. sopra riportato è confrontabile con quanto definito nello studio di Microzonazione Sismica di 3° Livello del Comune di Sorbolo Mezzani per la zona comprendente l'area oggetto di studio (Carta di Microzonazione Sismica FAPGA: 1.5 – 1.6) nonostante quest'ultimo sia stato redatto seguendo i dettami della precedente normativa (D.G.R. 21 Dicembre 2015 n. 2193 "Art. 16, comma 1 della L.R. 20/2000 – Approvazione aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato *Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia – Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica*, di cui alla deliberazione dell'Assemblea Legislativa 2 maggio 2007, n. 112).

10. VERIFICA LIQUEFAZIONE

In considerazione dell'assetto litostratimetrico ricostruito per l'areale oggetto di studio, con l'assenza, entro i primi m. 20.00 di profondità, di livelli incoerenti sabbiosi o sabbioso – limosi di spessore significativo (metrico o plurimetrico), si sarebbe potuta escludere l'analisi numerica per la verifica della liquefazione nonostante la presenza di falda con soggiacenza minima del livello statico pari a m. 2.50 circa da piano campagna.

Al fine di confermare quanto sopra asserito, è stata, comunque, eseguita un'analisi della suscettibilità alla liquefazione avvalendosi delle risultanze delle prove CPTU 1, 3 e 7, ossia delle verticali spinte fino alle profondità di m. 20.00, nonché di quelle della CPTU 6, unica verticale d'indagine in corrispondenza della quale è stata rilevata la presenza di un orizzonte francamente sabbioso seppur dello spessore pari a m. 0.40 circa localizzato alla profondità di m. 2.70 circa.

L'analisi è stata condotta secondo il metodo deterministico di Idriss & Boulanger (2014) con l'ausilio del codice di calcolo CLiq Ver. 2.3.1.15 prodotto da Geologismiki Ltd.

Le assunzioni effettuate per la verifica sono le seguenti:

- accelerazione massima orizzontale al suolo = 0.204 g;
- magnitudo attesa cautelativamente assunta pari a $M_w = 6.2$ nonostante per l'areale in esame la sorgente sismogenetica più vicina sia la Composite Seismogenic Source ITCS 009 – Busseto Cavriago caratterizzata da un valore di M_w pari a 5.6;
- presenza di falda a m. 2.50 da piano campagna;
- fattore di sicurezza F.S. = 1.25.

Le risultanze della verifica effettuata, riportate nel Report Analisi Liquefazione in allegato 7, denotano l'assenza dell'occorrenza del fenomeno della liquefazione a carico dell'areale in esame in corrispondenza dello shock sismico di progetto, come evidenziato e confermato dai grafici relativi sia al Liquefaction Potential Index LPI (figura 11) che al Liquefaction Severity Number LSN (figura 12), parametri determinati avvalendosi anche dei metodi Robertson - NCEER 2001 e Robertson 2009.

Tali grafici consentono di evidenziare valori di LPI che ricadono al limite inferiore della categoria "Low Risk" e di LSN sempre ricompresi nel campo "Little to no liquefaction".

In figura 13 vengono, poi, riportati i valori determinati dei cedimenti attesi in corrispondenza delle verticali analizzate.

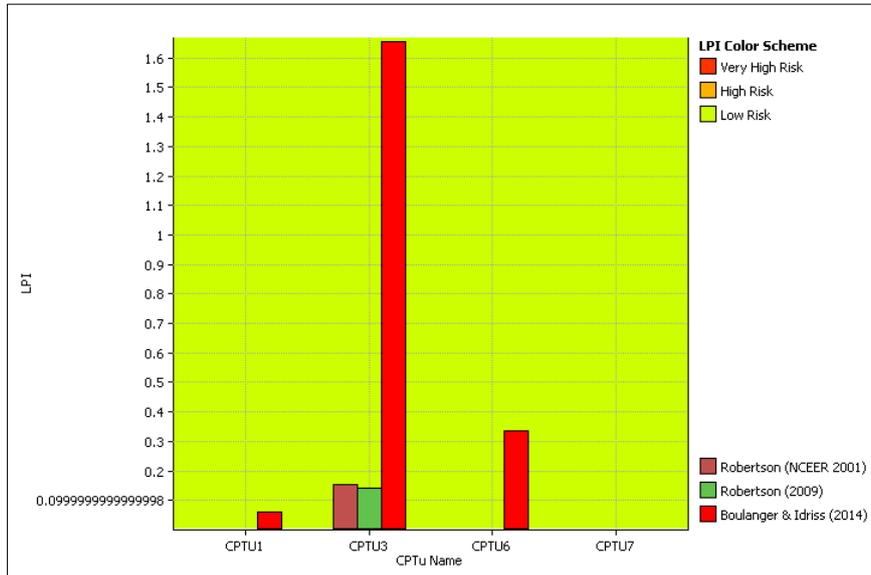


Fig. 11: valori LPI

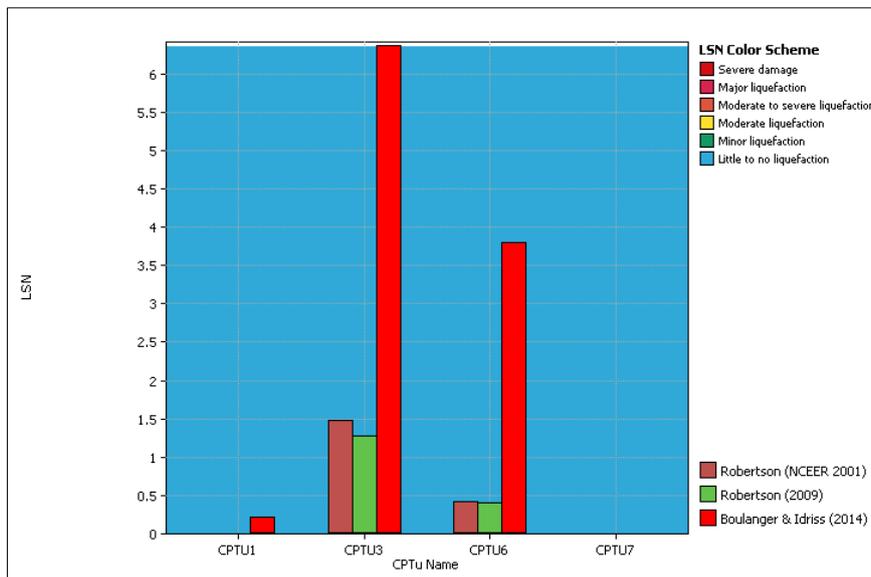


Fig. 12: valori LSN

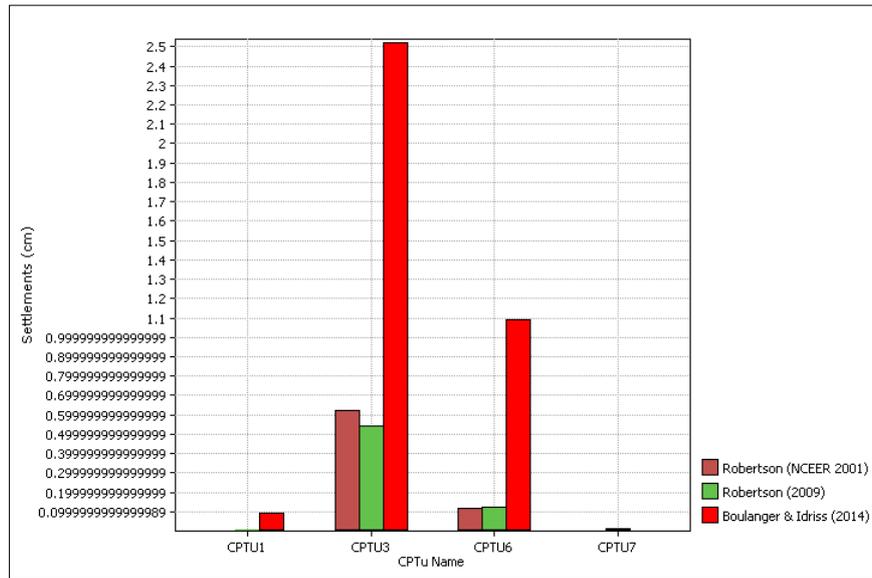


Fig.13: cedimenti attesi

11. CONCLUSIONI

Dalla sintesi delle risultanze dello studio effettuato in rapporto alle problematiche geologiche, geomorfologiche, idrologiche, idrostratigrafiche / idrogeologiche e sismiche inerente l'areale sotteso dal PUA Sub – Ambito NU11.2 emerge che lo stesso è idoneo agli scopi di progetto.

L'assetto litostratimetrico medio caratterizzante i luoghi consentirà di adottare, pressochè ovunque, fondazioni di tipologia diretta poggianti sulla litozona argilloso – limosa ascrivibile all'Unità Litologica 3.

Tali indicazioni dovranno, tuttavia, essere puntualmente verificate in fase progettuale tenendo conto sia delle caratteristiche e peculiarità delle strutture da realizzarsi sia delle risultanze di specifiche indagini geognostiche da eseguirsi per quanto concerne la parametrizzazione geotecnica dei terreni presenti nel sottosuolo.

Si precisa che la presenza, nella zona centrale dell'Intervento Urbanistico, di un fosso con incisione di ampiezza pari a m. 1.50 circa e profondità di m. 1.20 circa, richiederà il ricorso ad interventi di bonifica locale sia in fase di realizzazione delle opere di urbanizzazione che di eventuali edificazioni.

Per quanto concerne l'attribuzione all'areale oggetto di studio di uno scenario di pericolosità P3 – H nella Mappa della pericolosità e degli elementi potenzialmente

esposti 182SO Parma Nord - Est in scala 1:25.000 del P.G.R.A. Distretto Padano della R.E.R (direttiva Alluvioni 2019) riferita all'Ambito: reticolo secondario di pianura, si rimanda ai disposti della D.G.R. 1300/2016 ed alle indicazioni riportate nella relazione geologica di fattibilità – Ambiti a corredo del PSC del Comune di Sorbolo (2001) circa le misure di mitigazione del rischio idraulico.

Sotto il profilo della pericolosità sismica l'area presenta quali potenziali effetti di sito attesi legati alle caratteristiche geologiche, litostratimetriche ed idrogeologiche del sottosuolo unicamente l'amplificazione stratigrafica in quanto, per quel che concerne la liquefazione, l'assenza nel sottosuolo di litologie potenzialmente suscettibili del fenomeno, ne esclude l'occorrenza, come documentato dalle risultanze della specifica verifica numerica effettuata, anche in considerazione delle assunzioni estremamente cautelative adottate nell'esecuzione dell'analisi e dell'adozione del metodo di Idriss e Boulanger (2014) particolarmente conservativo (si vedano figure 11, 12 e 13).

Il valore locale di P.G.A. (accelerazione massima orizzontale su suolo di riferimento relativo alla categoria di sottosuolo A) risulta essere pari a **0.120 g**; **l'accelerazione massima orizzontale al suolo attesa sul sito in esame**, considerando il coefficiente sito - specifico di amplificazione stratigrafica F.A. della P.G.A. ed un coefficiente di amplificazione topografica S_T pari a 1, si attesta su un valore di **0.204 g**.

Dal punto di vista ambientale, si rimarca che l'areale in esame, pur rientrando in una zona di tutela dei corpi idrici superficiali e sotterranei, è classificato, come precisato nel paragrafo 8 della presente relazione, quale "poco vulnerabile".

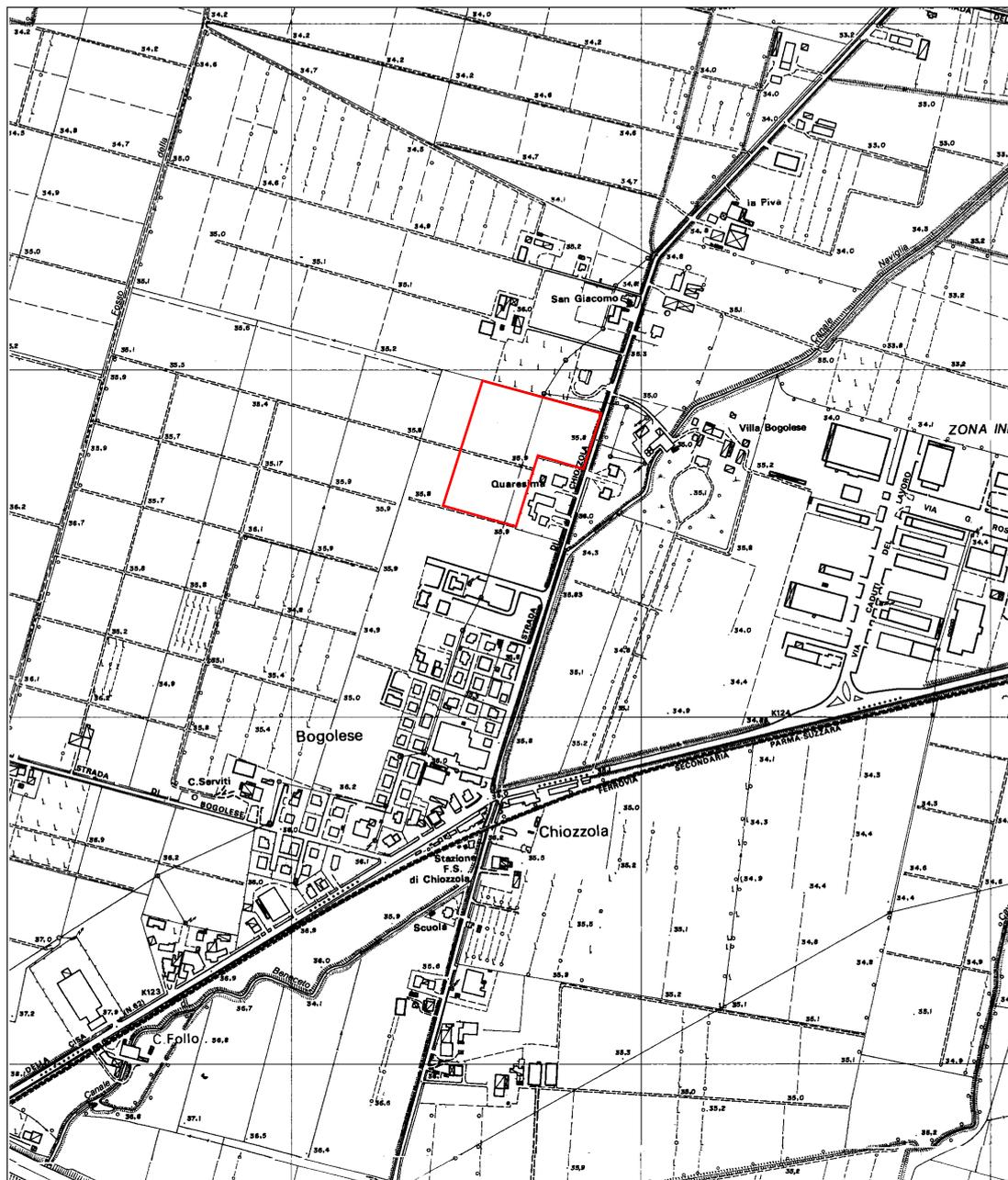
Si ribadisce che la definizione delle caratteristiche geotecniche di dettaglio per il volume significativo dei terreni interessati da futura edificazione nonché la determinazione delle caratteristiche sismiche sito - specifiche dovranno essere eseguite, in conformità a quanto previsto dal D.M. 17/01/2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni", in fase progettuale esecutiva.

Felino, Settembre 2020

Il Geologo:

Dott. Paolo Panicieri

Allegati



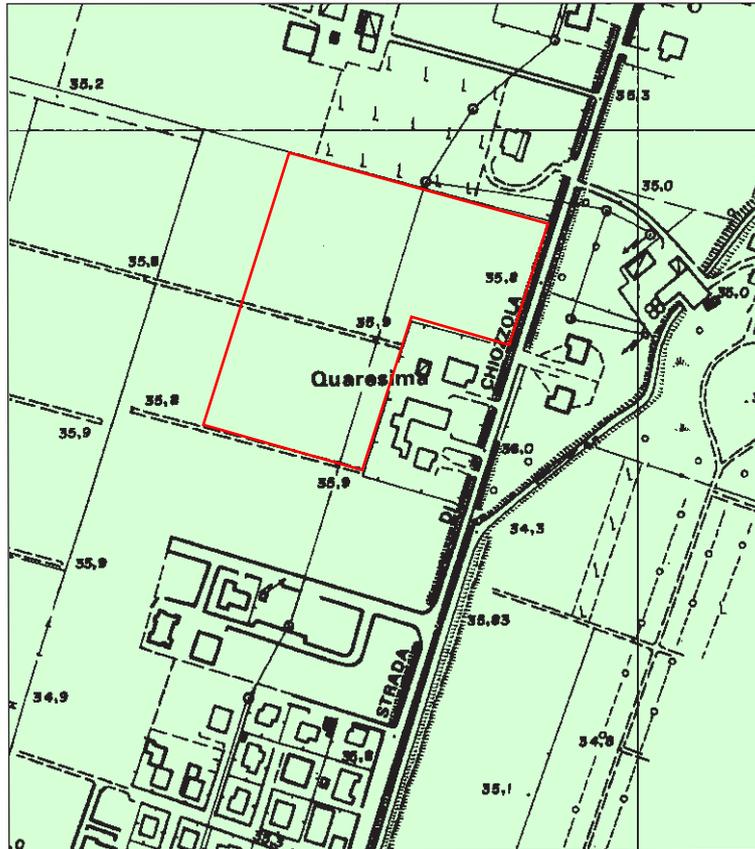
Stralcio C.T.R. Sezione 182130 Parma Nord - Est

scala 1:10.000



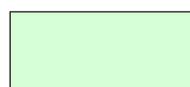
PUA Sub - Ambito NU11.2

Planimetria generale PUA Sub - Ambito NU11.2

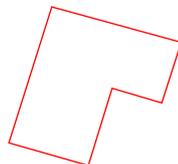


Inquadramento geologico

scala 1:5.000



Subintema di Ravenna



PUA Sub - Ambito NU11.2

Ubicazione schematica prove CPTU

Risultanze prove penetrometriche CPTU e rielaborazione grafica delle stesse

GEOLOG s.r.l.

Cone Penetration Test (CPTU) - Date: 04/08/2020 10:38:46

Site: Cantiere Ambito NU11.2 - Test: CPTU 1

Company information

Name: GEOLOG s.r.l.

Address: Via Cerchio, 57

Zip code: 48121

City: Ravenna

P.IVA: 02194680399

E-Mail: geologsrl@virgilio.it

Phone number: 0544202700

Fax number: 0544202700

Site information

Name: Cantiere Ambito NU11.2

Date: 04/08/2020

Commissioner: Sig.ri Zanichelli Paolo, Claudia, Alessandro e RODOFIL s.r.l.

Locality: Bogolese di Sorbolo (PR)

Test information

Name: CPTU 1

Location: BOGOLESE DI SORBOLO (PR)

Date: 04/08/2020 10:38:46

Prehole mode:

Prehole depth [cm]: 0

Hydrostatic line [cm]: 260

Ground level [m]: 0

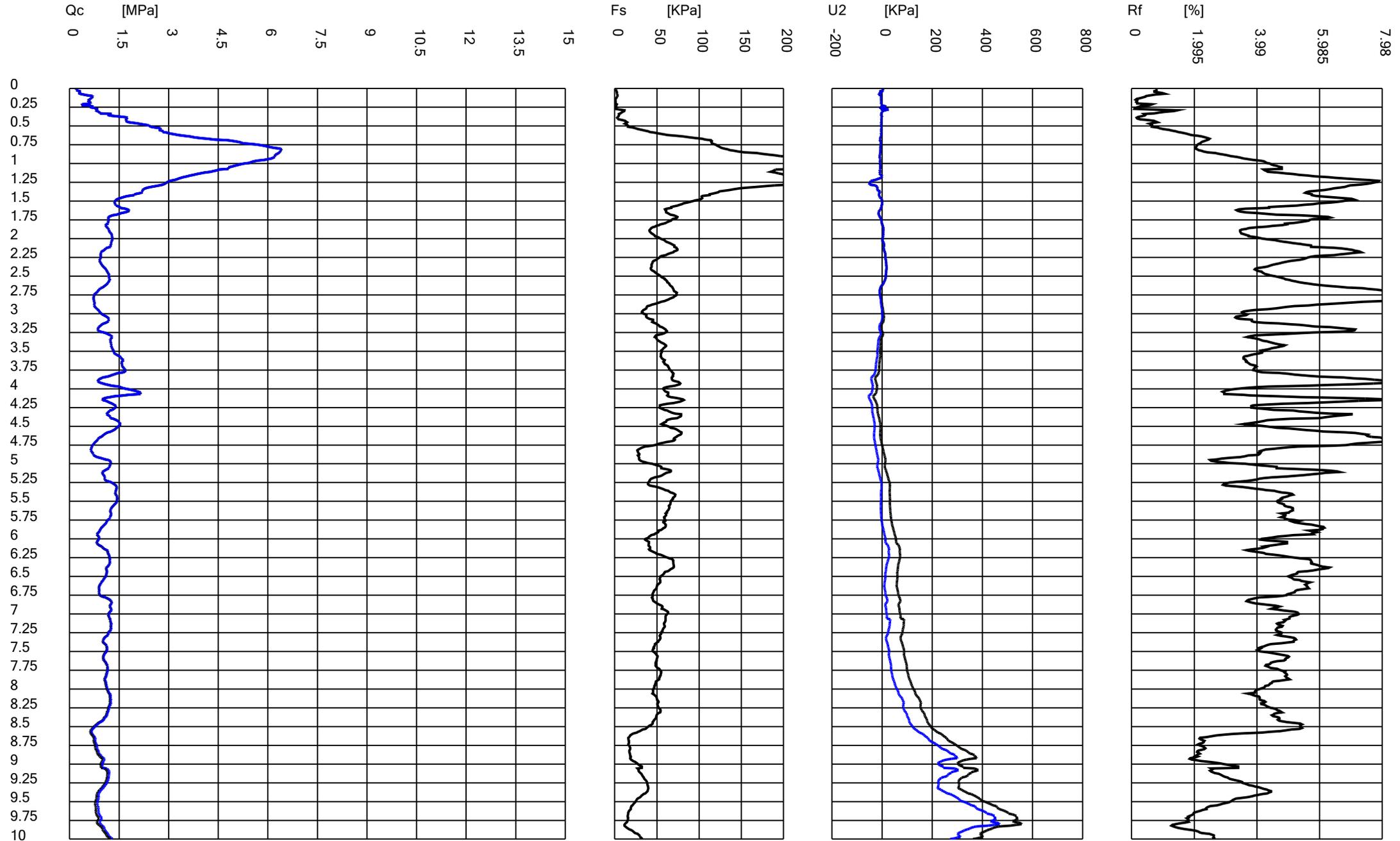
Latitude: 4449.9920N

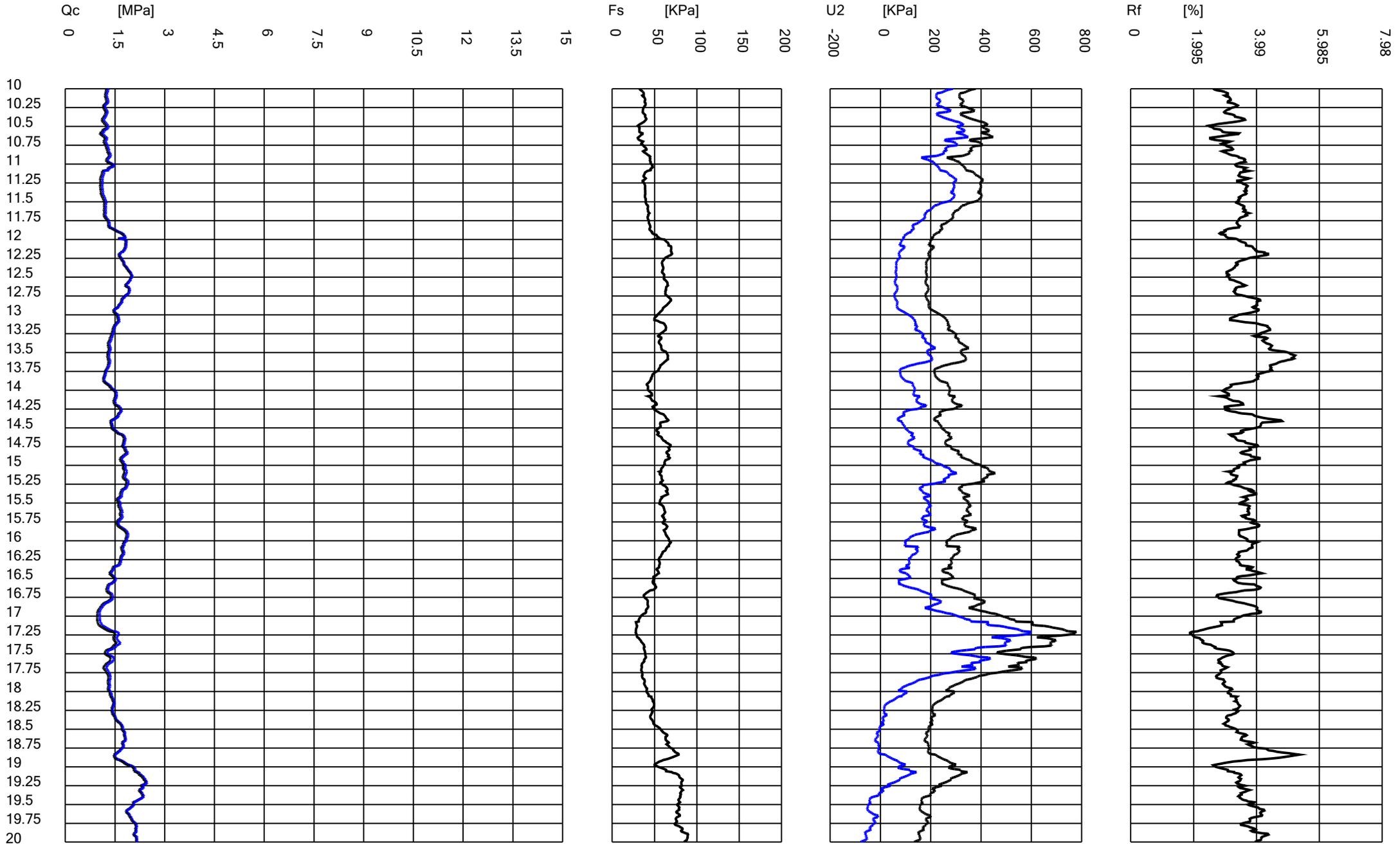
Longitude: 01023.7886E

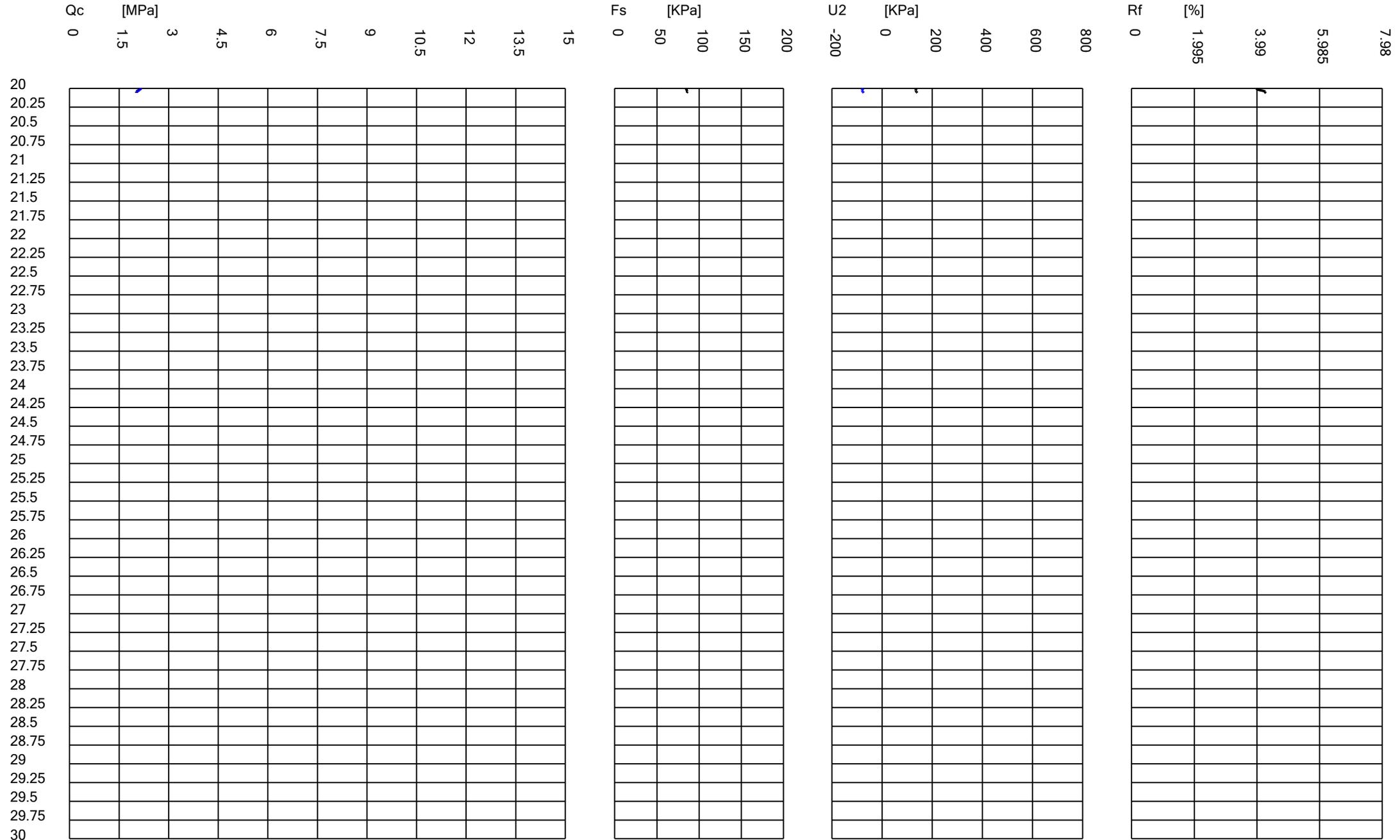
Operator: D_R

Comments:

Probe code: MKj584







Qc-U2 [MPa]

-3 -1.5 0 1.5 3 4.5 6 7.5 9 10.5 12 13.5 15

U2/Qc [%]

-2.8 -1.4 0 1.4 2.8 4.2 5.6 7 8.4 9.8 11.2 12.6 14

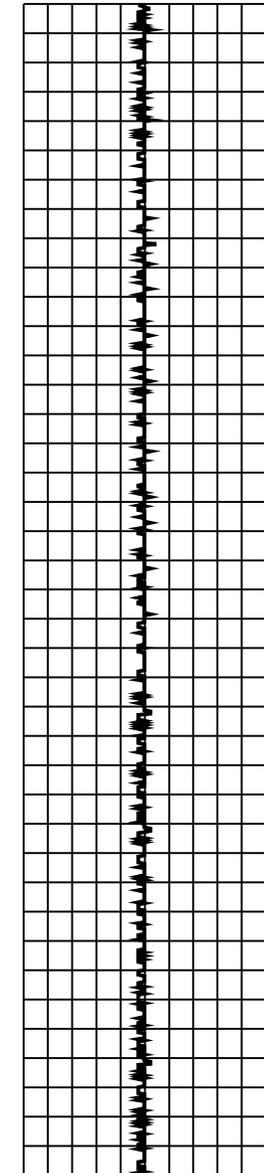
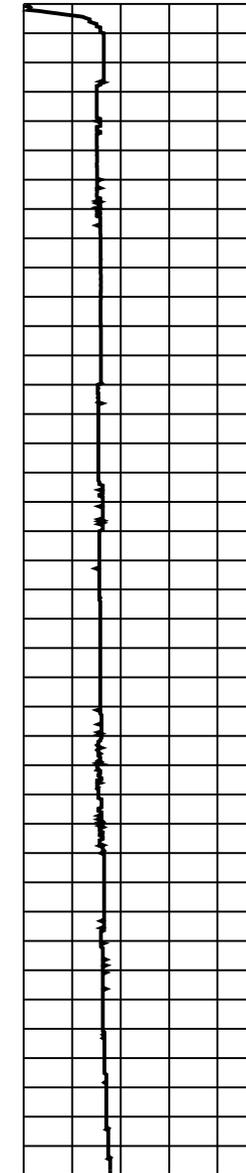
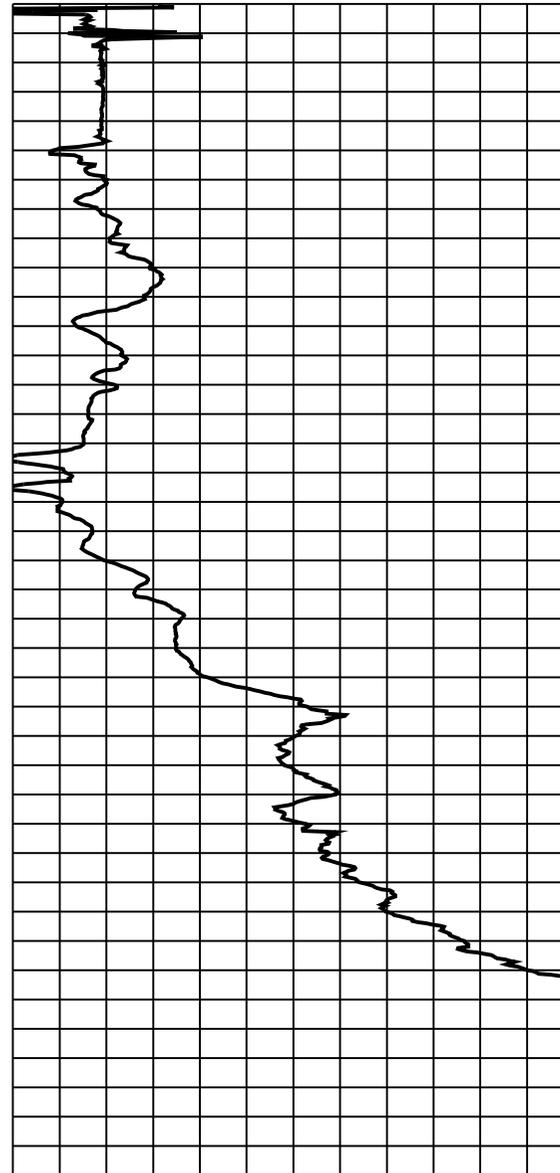
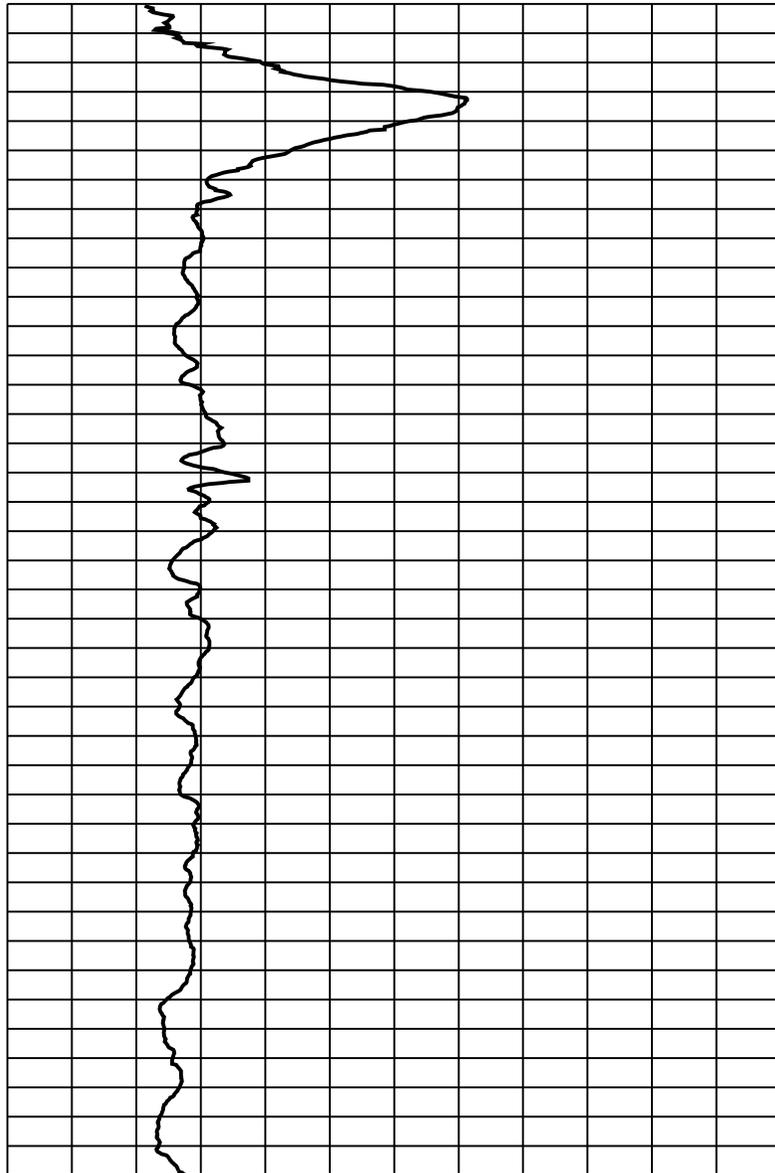
Tilt [°]

0 2 4 6 8 10

Speed [cm/sec]

0 0.402 1.206 2.01 2.814 3.618 4.02

0
0.25
0.5
0.75
1
1.25
1.5
1.75
2
2.25
2.5
2.75
3
3.25
3.5
3.75
4
4.25
4.5
4.75
5
5.25
5.5
5.75
6
6.25
6.5
6.75
7
7.25
7.5
7.75
8
8.25
8.5
8.75
9
9.25
9.5
9.75
10



Qc-U2 [MPa]

-3 -1.5 0 1.5 3 4.5 6 7.5 9 10.5 12 13.5 15

U2/Qc [%]

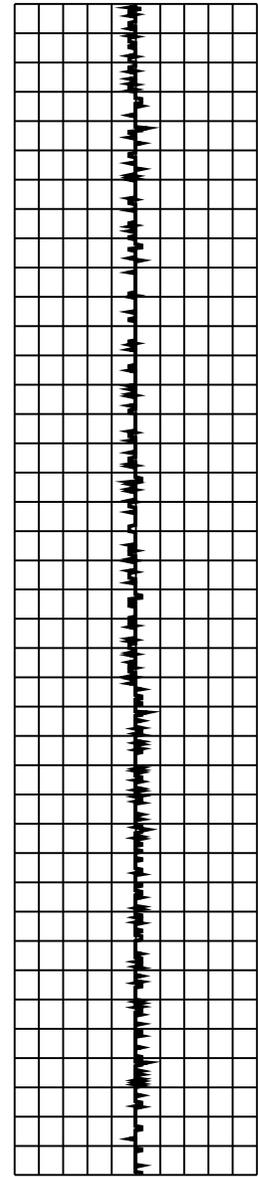
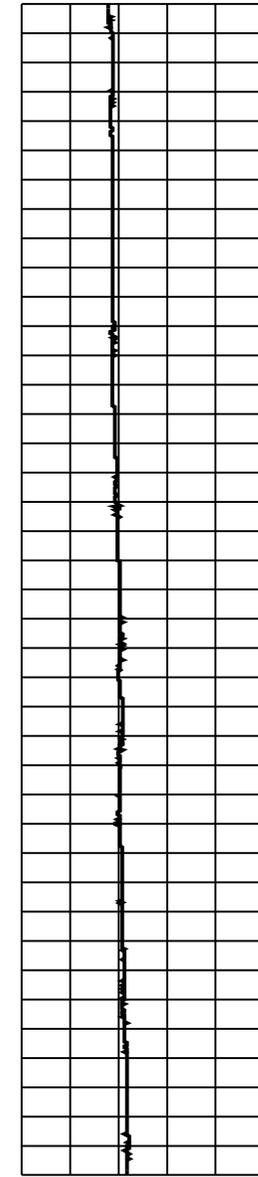
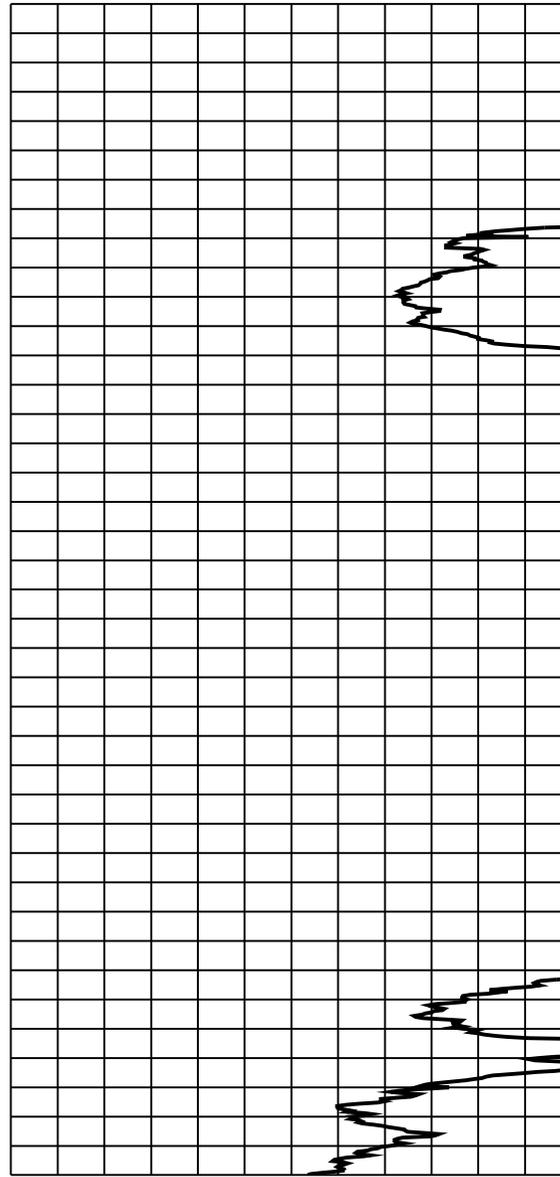
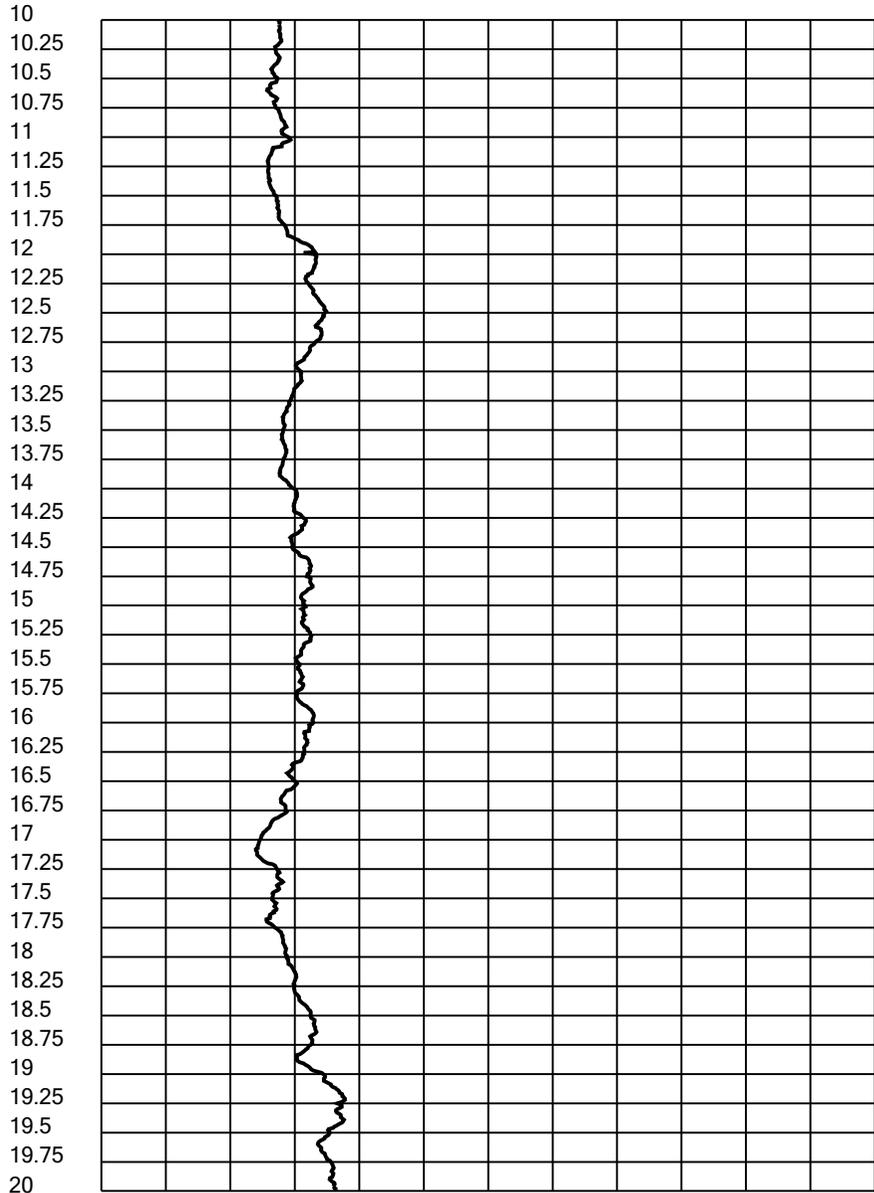
-2.8 -1.4 0 1.4 2.8 4.2 5.6 7 8.4 9.8 11.2 12.6 14

Tilt [°]

0 2 4 6 8 10

Speed [cm/sec]

0 0.402 1.206 2.01 2.814 3.618 4.422



Qc-U2 [MPa]

-3 -1.5 0 1.5 3 4.5 6 7.5 9 10.5 12 13.5 15

U2/Qc [%]

-2.8 -1.4 0 1.4 2.8 4.2 5.6 7 8.4 9.8 11.2 12.6 14

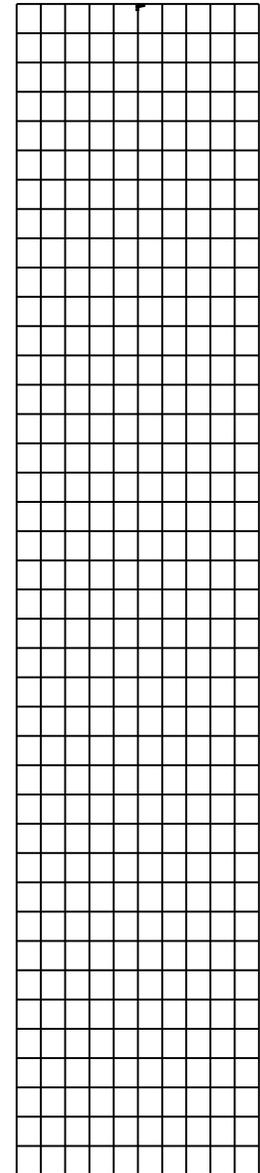
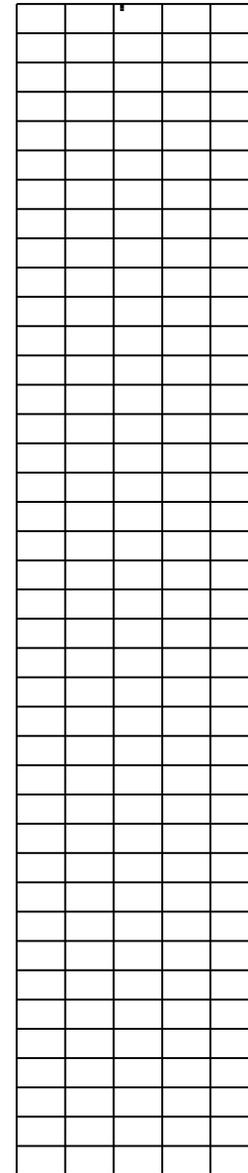
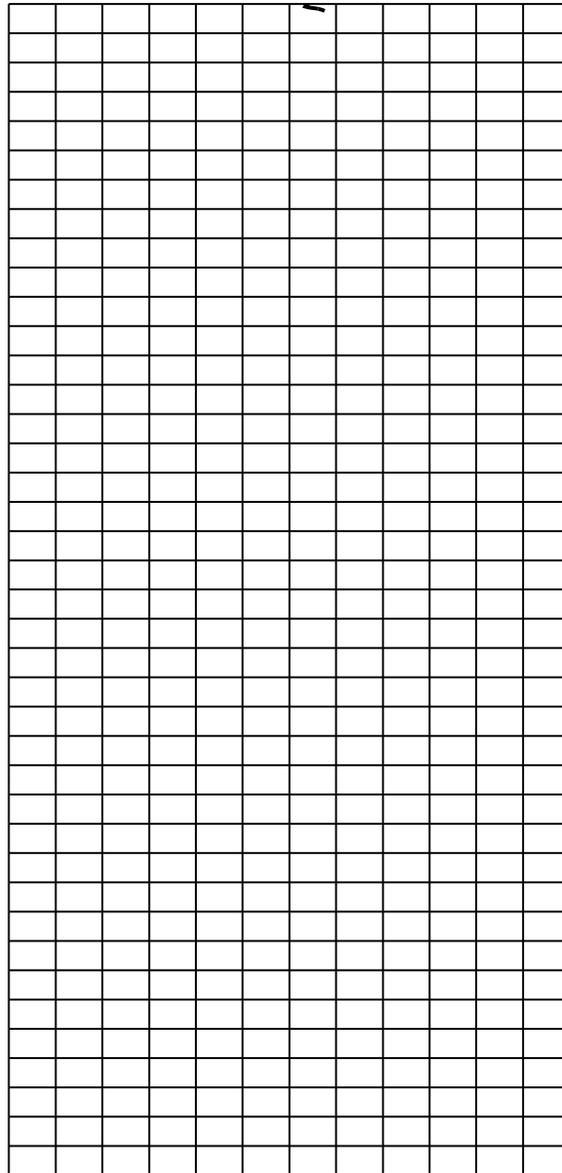
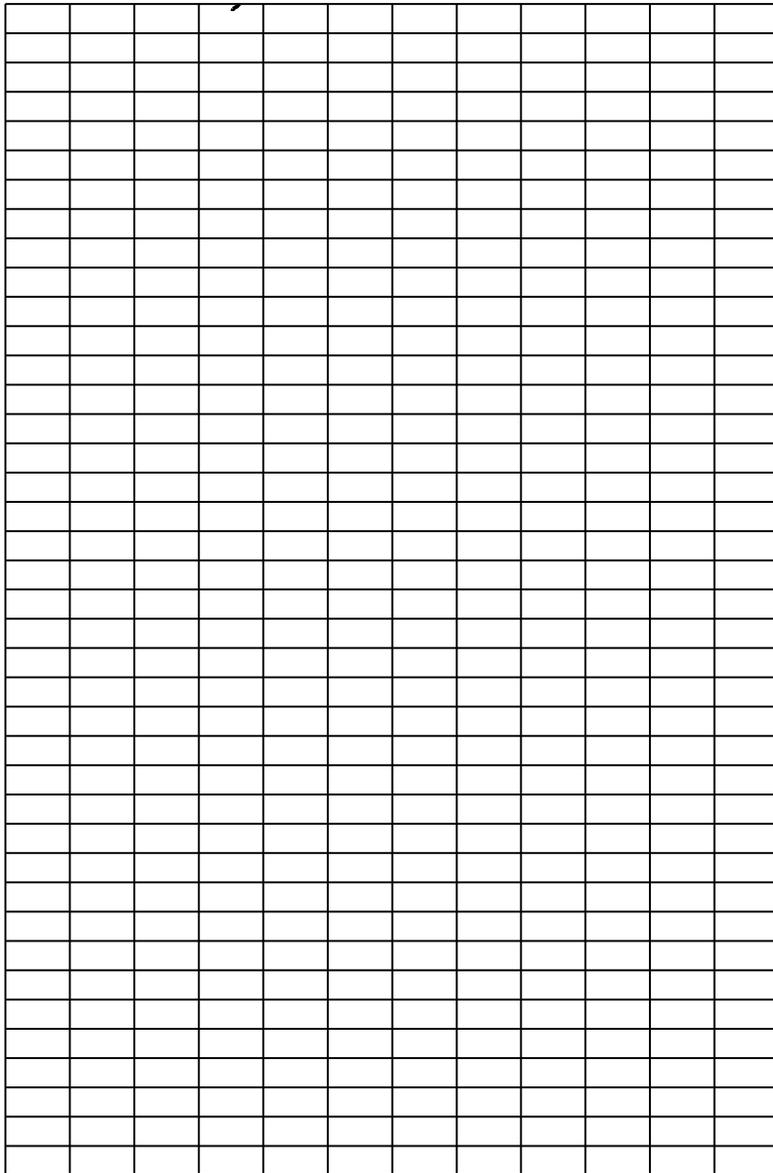
Tilt [°]

0 2 4 6 8 10

Speed [cm/sec]

0 0.402 0.804 1.206 1.608 2.01 2.412 2.814 3.216 3.618 4.02

20
20.25
20.5
20.75
21
21.25
21.5
21.75
22
22.25
22.5
22.75
23
23.25
23.5
23.75
24
24.25
24.5
24.75
25
25.25
25.5
25.75
26
26.25
26.5
26.75
27
27.25
27.5
27.75
28
28.25
28.5
28.75
29
29.25
29.5
29.75
30



GEOLOG s.r.l.

Cone Penetration Test (CPTU) - Date: 04/08/2020 11:51:59

Site: Cantiere Ambito NU11.2 - Test: CPTU 2

Company information

Name: GEOLOG s.r.l.

Address: Via Cerchio, 57

Zip code: 48121

City: Ravenna

P.IVA: 02194680399

E-Mail: geologsrl@virgilio.it

Phone number: 0544202700

Fax number: 0544202700

Site information

Name: Cantiere Ambito NU11.2

Date: 04/08/2020

Commissioner: Sig.ri Zanichelli Paolo, Claudia, Alessandro e RODOFIL s.r.l.

Locality: Bogolese di Sorbolo (PR)

Test information

Name: CPTU 2

Location: BOGOLESE DI SORBOLO (PR)

Date: 04/08/2020 11:51:59

Prehole mode:

Prehole depth [cm]: 0

Hydrostatic line [cm]: 340

Ground level [m]: 0

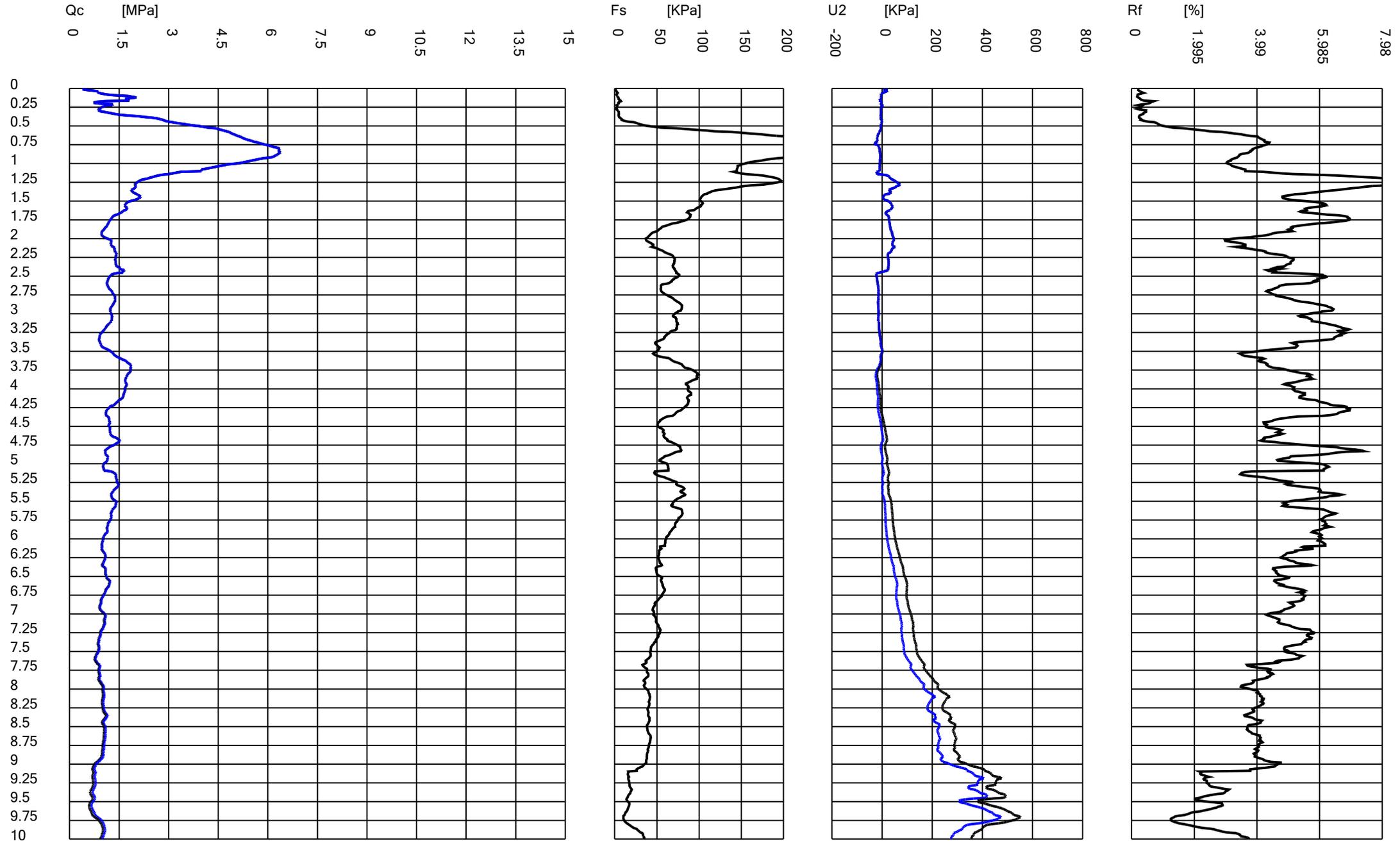
Latitude: 4450.0111N

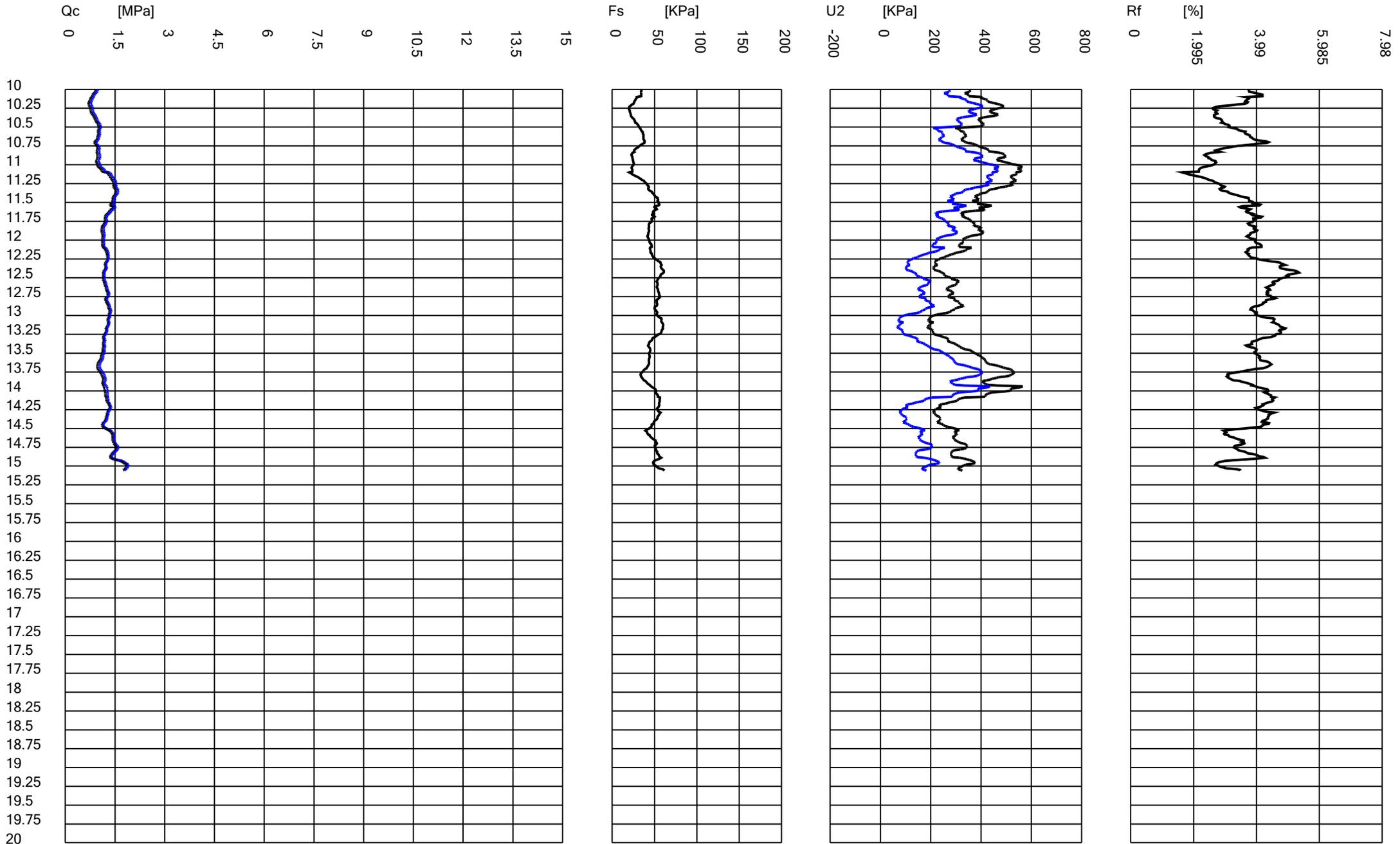
Longitude: 01023.7664E

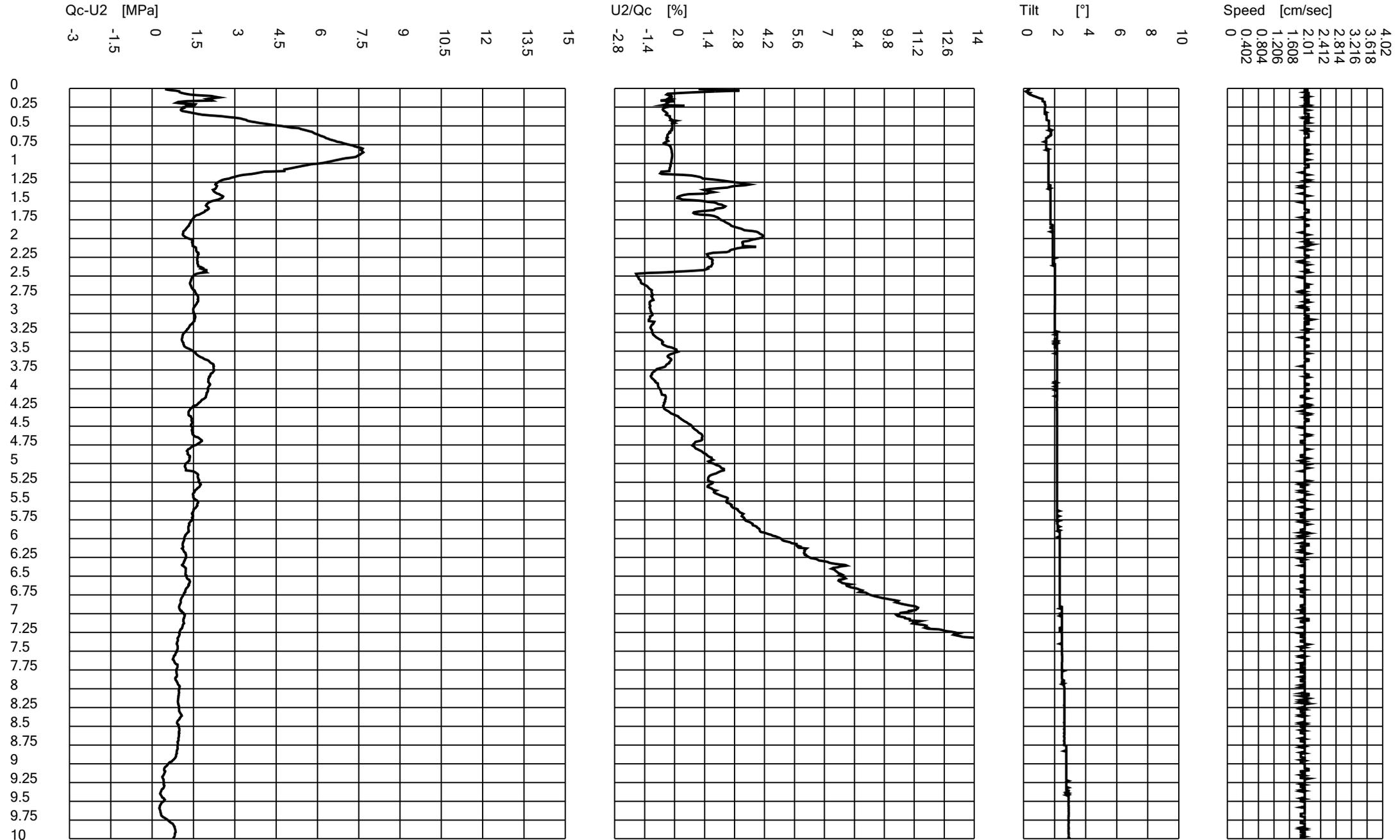
Operator: D_R

Comments:

Probe code: MKj584







Qc-U2 [MPa]

-3 -1.5 0 1.5 3 4.5 6 7.5 9 10.5 12 13.5 15

U2/Qc [%]

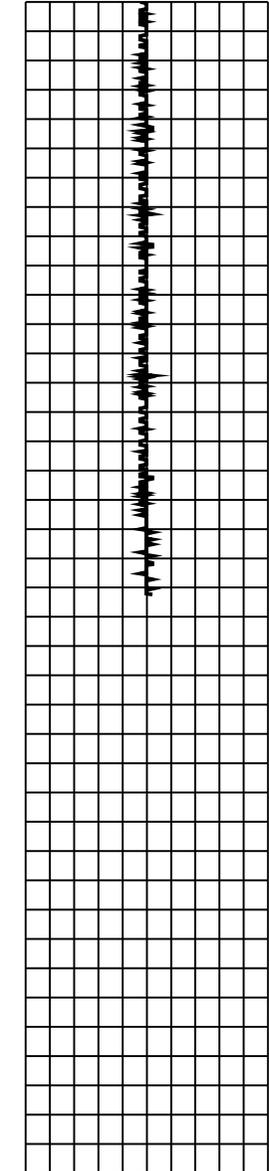
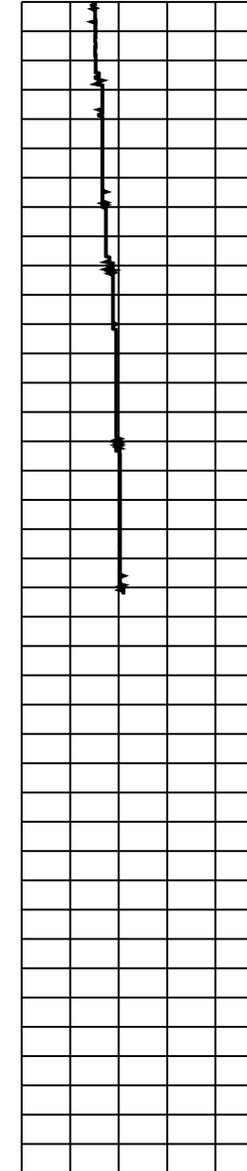
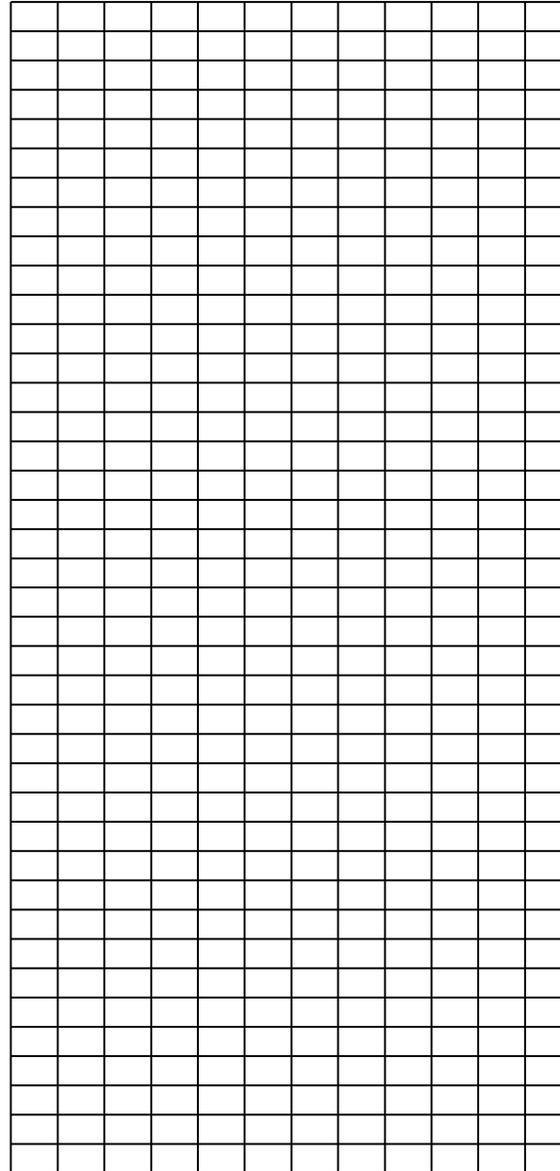
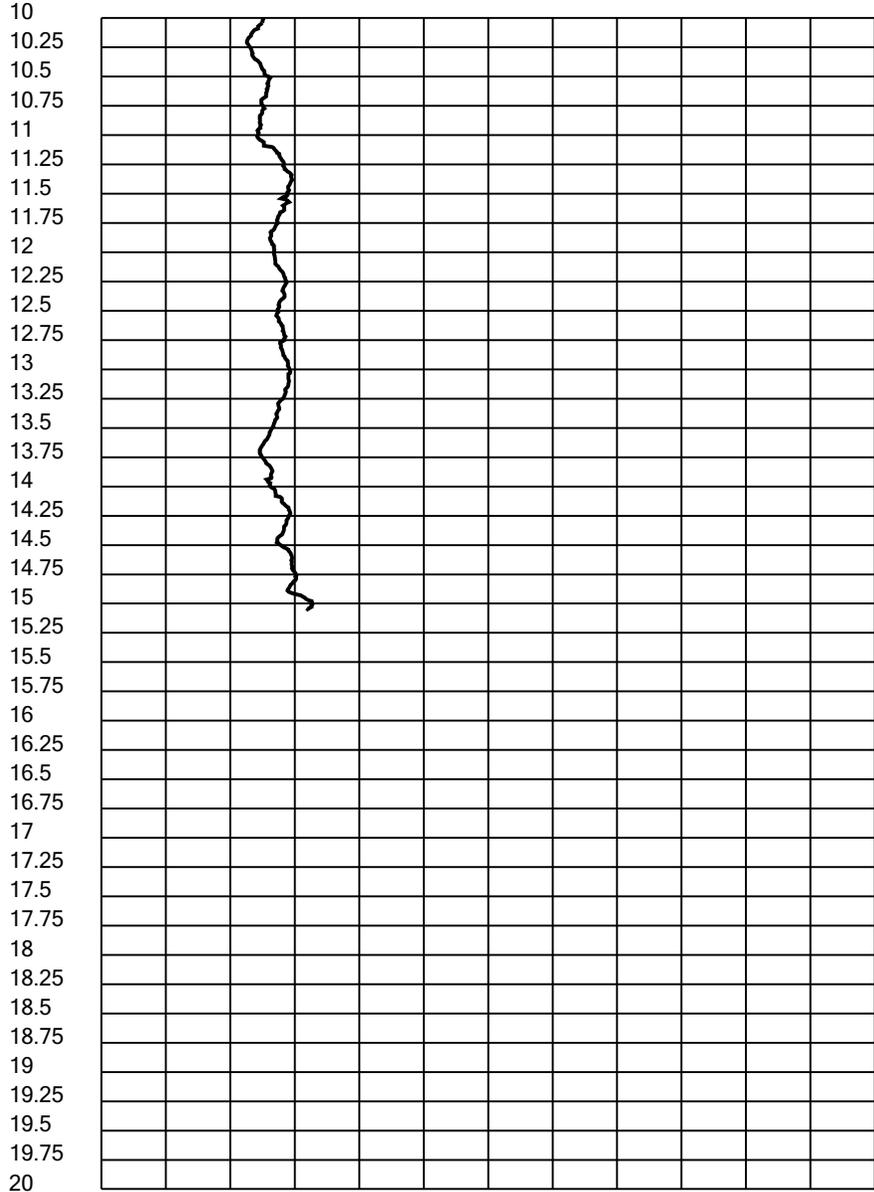
-2.8 -1.4 0 1.4 2.8 4.2 5.6 7 8.4 9.8 11.2 12.6 14

Tilt [°]

0 2 4 6 8 10

Speed [cm/sec]

0 0.402 1.206 1.608 2.01 2.412 2.814 3.216 3.618 4.02



GEOLOG s.r.l.

Cone Penetration Test (CPTU) - Date: 04/08/2020 12:58:43

Site: Cantiere Ambito NU11.2 - Test: CPTU 3

Company information

Name: GEOLOG s.r.l.

Address: Via Cerchio, 57

Zip code: 48121

City: Ravenna

P.IVA: 02194680399

E-Mail: geologsrl@virgilio.it

Phone number: 0544202700

Fax number: 0544202700

Site information

Name: Cantiere Ambito NU11.2

Date: 04/08/2020

Commissioner: Sig.ri Zanichelli Paolo, Claudia, Alessandro e RODOFIL s.r.l.

Locality: Bogolese di Sorbolo (PR)

Test information

Name: CPTU 3

Location: BOGOLESE DI SORBOLO (PR)

Date: 04/08/2020 12:58:43

Prehole mode: y

Prehole depth [cm]: 10

Hydrostatic line [cm]: 260

Ground level [m]: 0

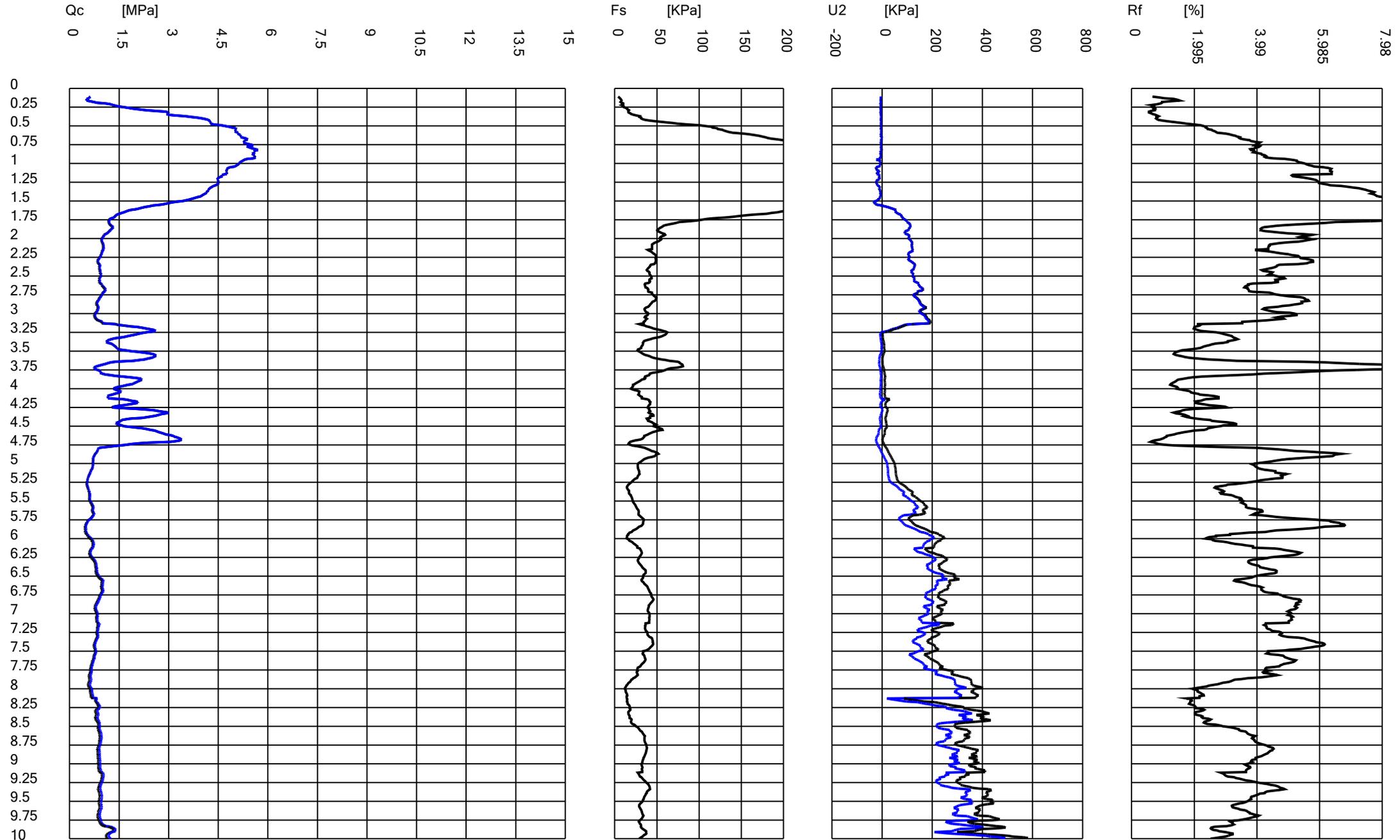
Latitude: 4450.0252N

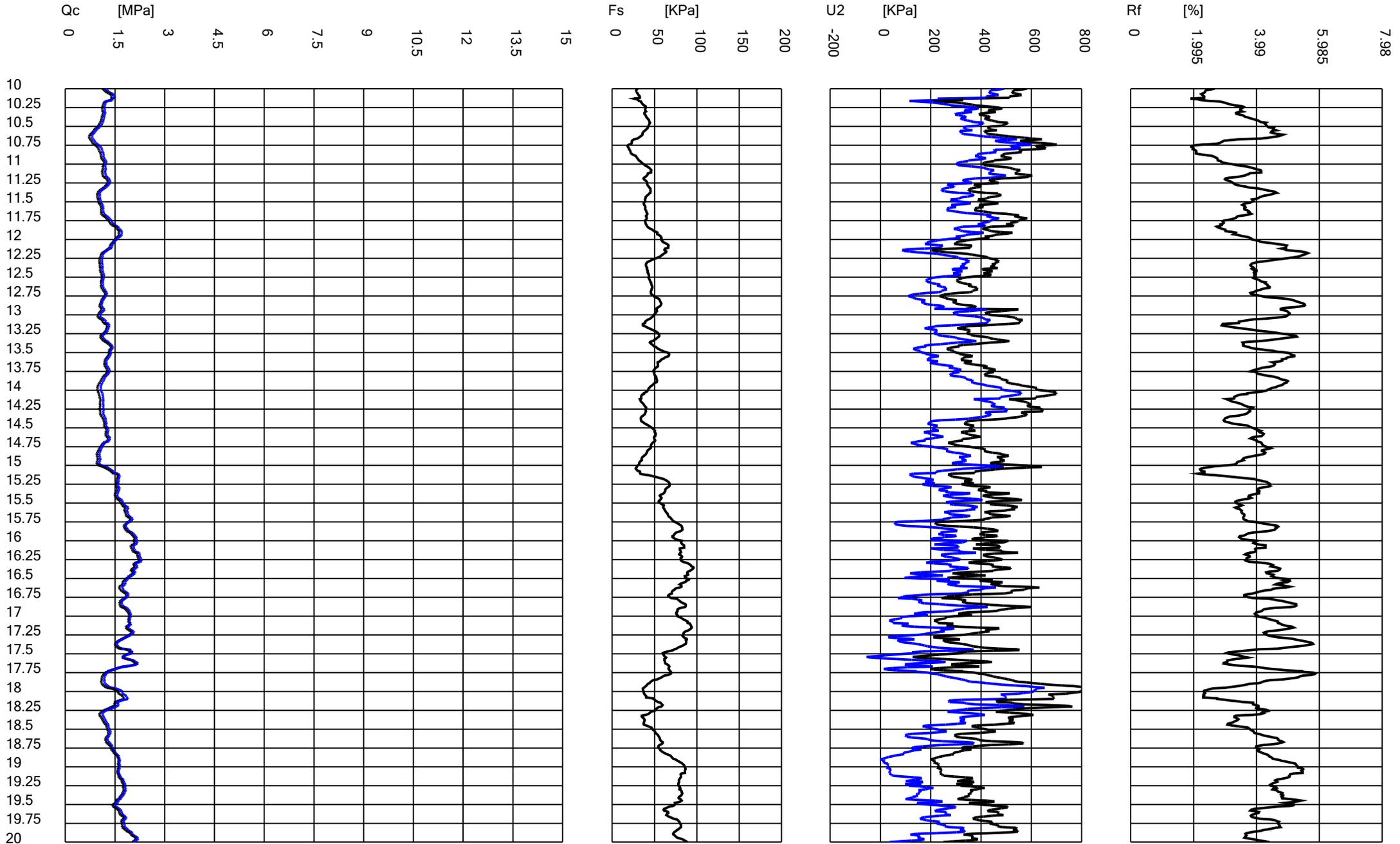
Longitude: 01023.6887E

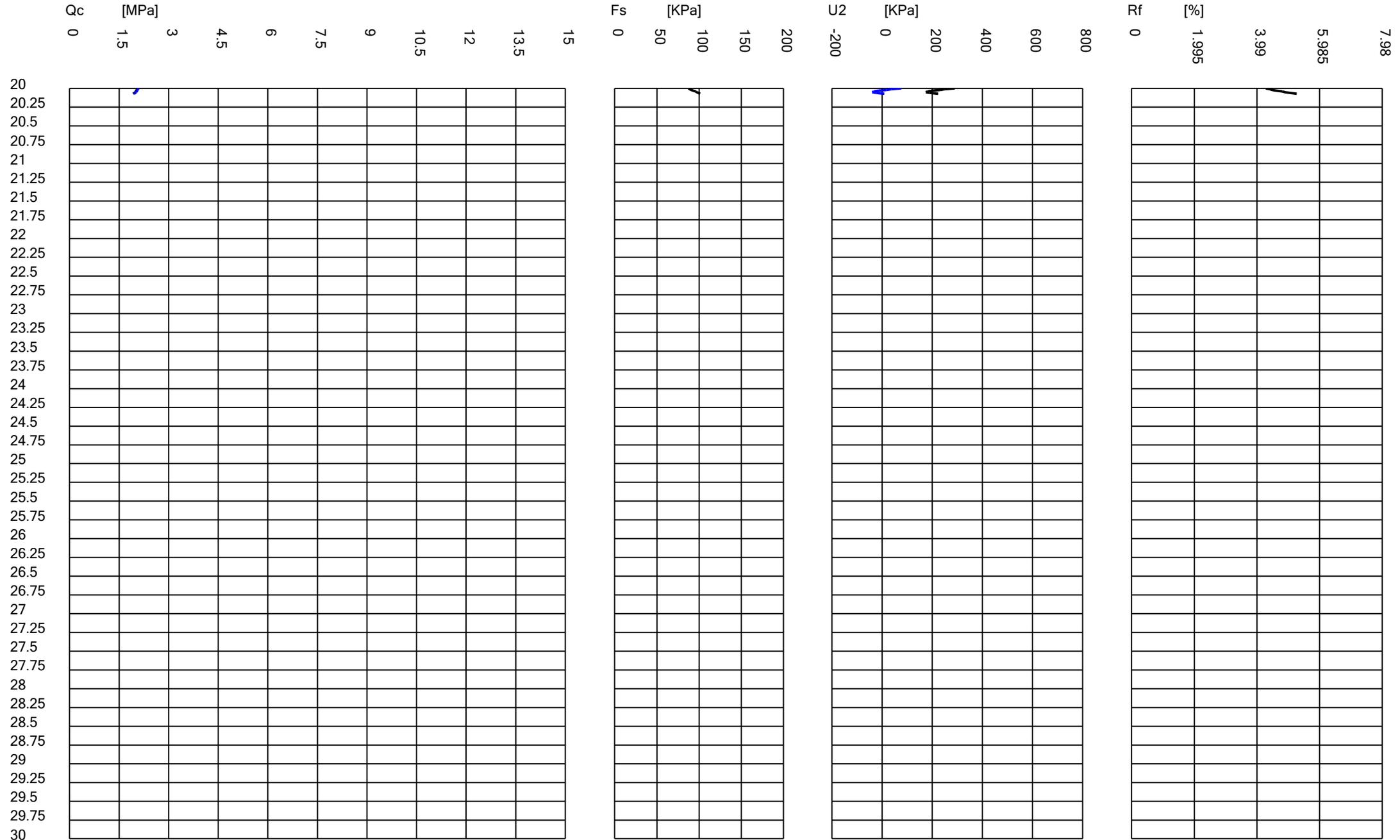
Operator: D_R

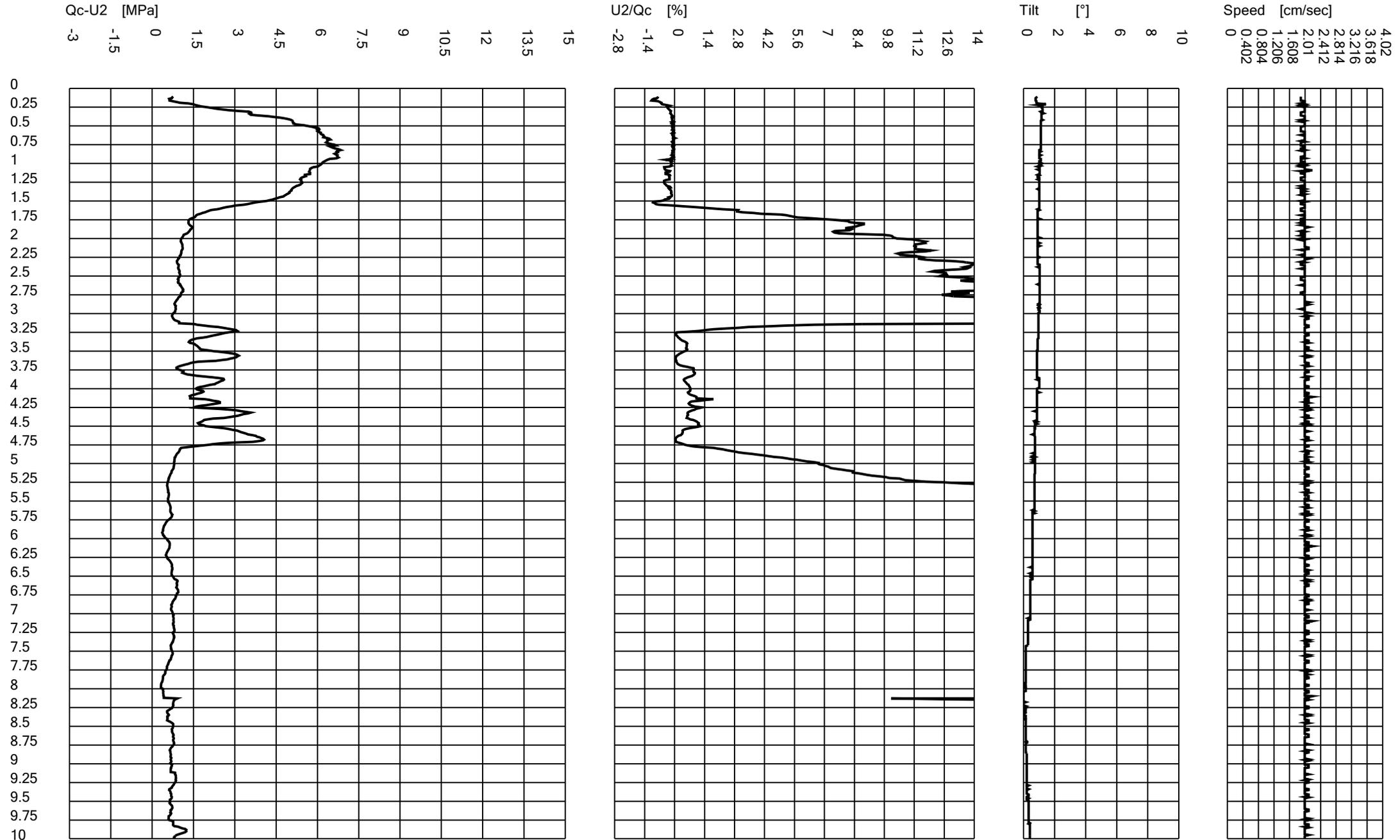
Comments:

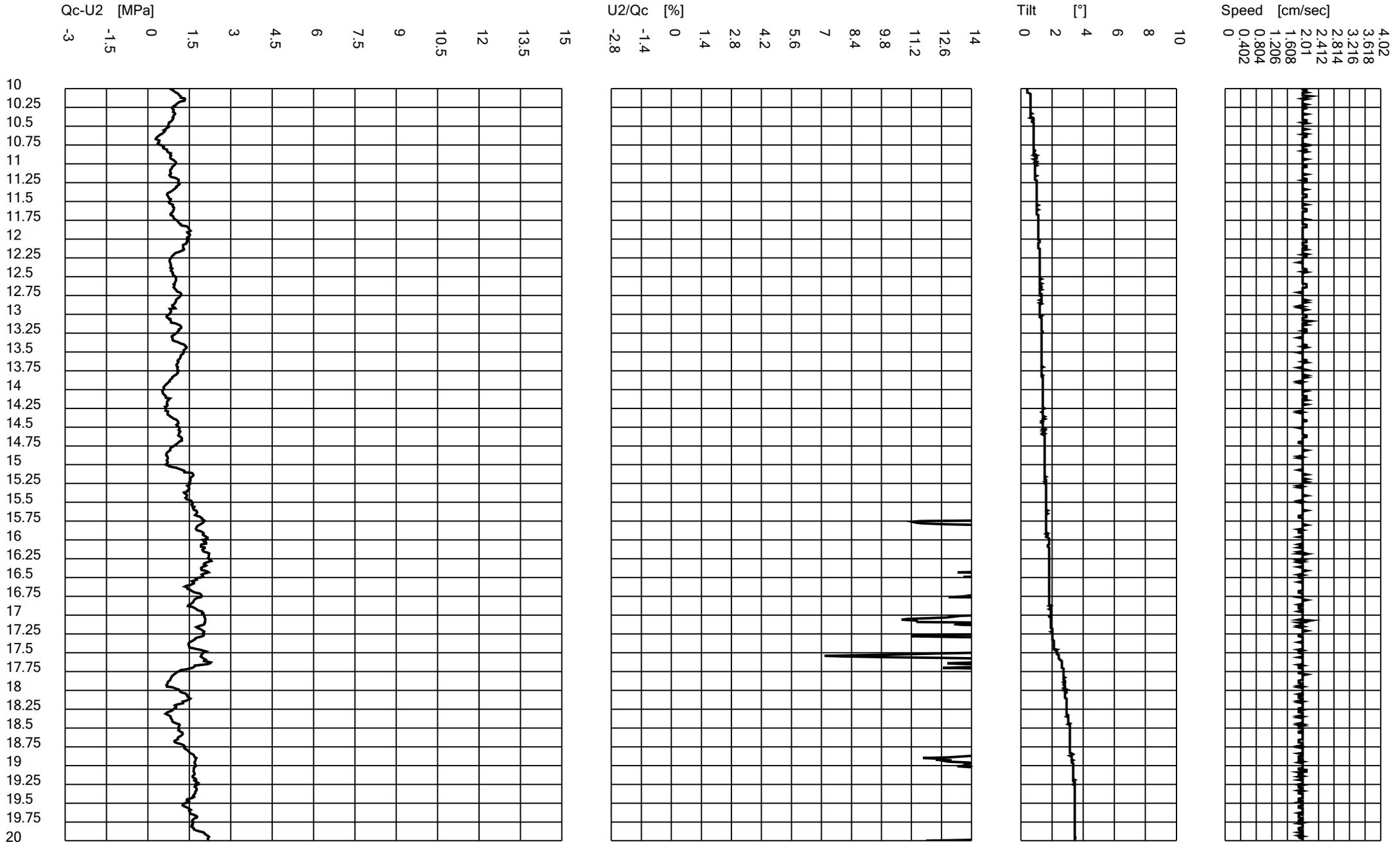
Probe code: MKj584











Qc-U2 [MPa]

-3 -1.5 0 1.5 3 4.5 6 7.5 9 10.5 12 13.5 15

U2/Qc [%]

-2.8 -1.4 0 1.4 2.8 4.2 5.6 7 8.4 9.8 11.2 12.6 14

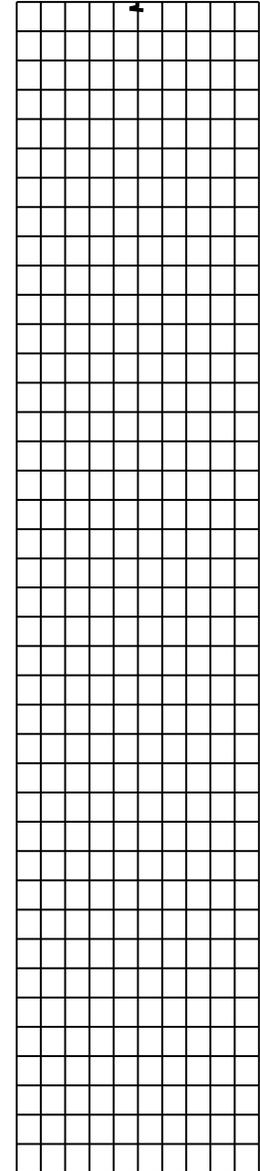
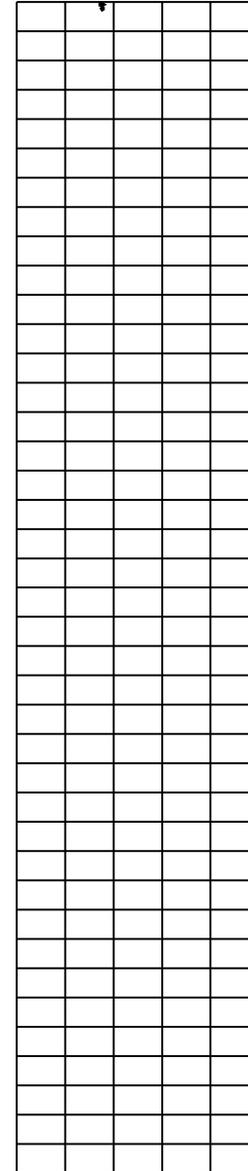
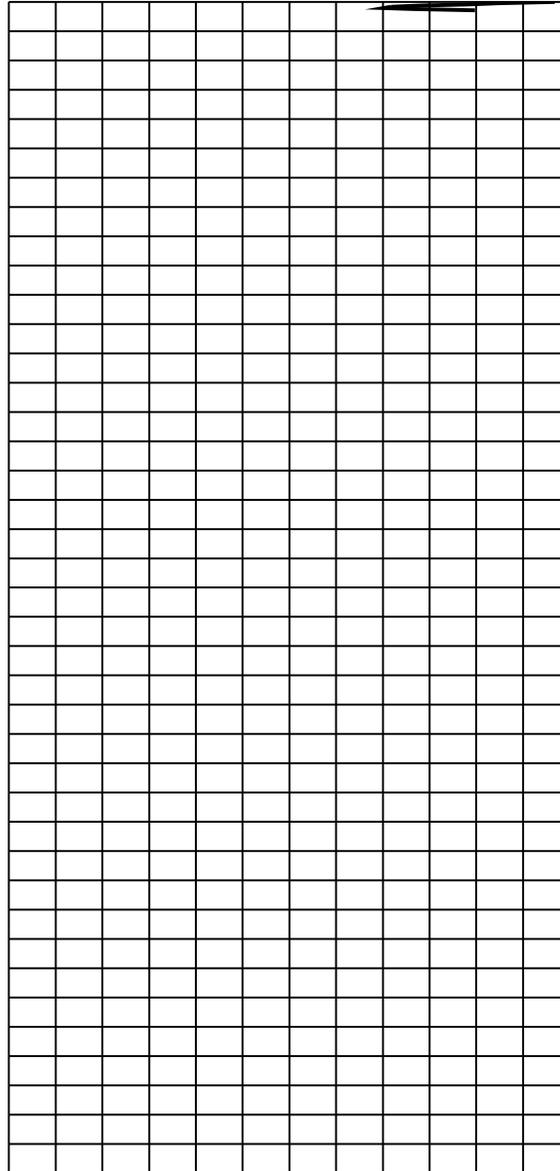
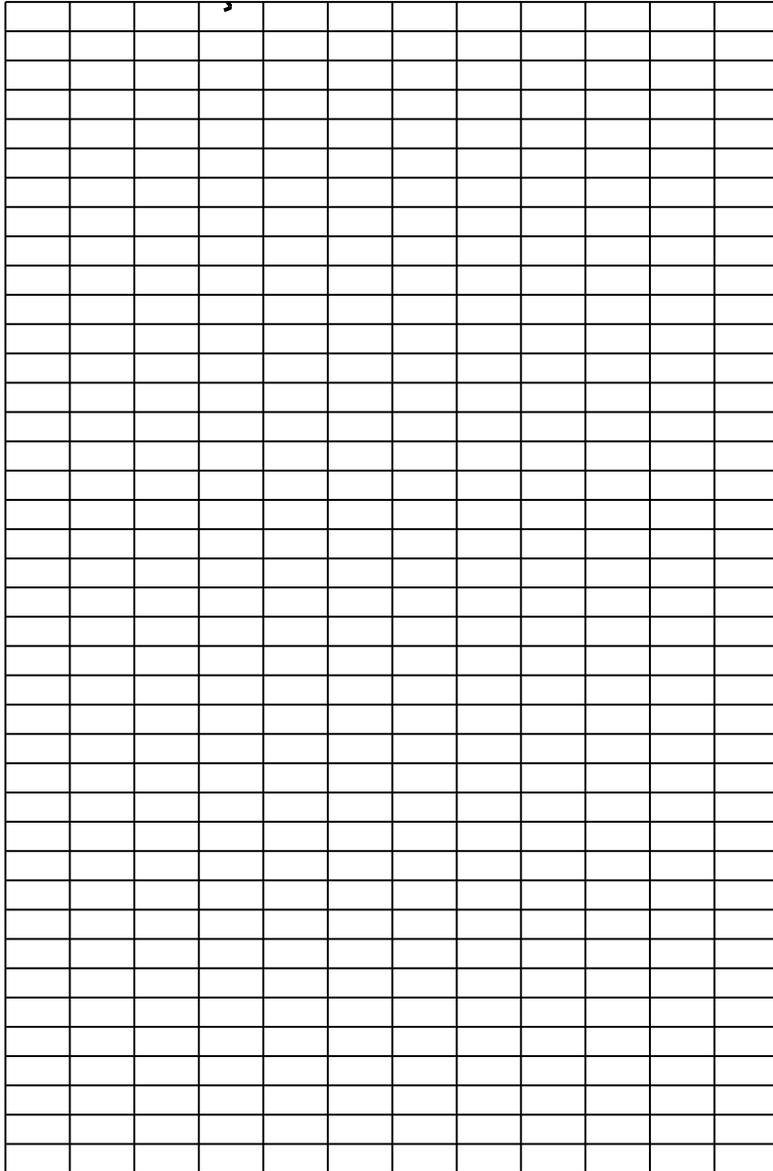
Tilt [°]

0 2 4 6 8 10

Speed [cm/sec]

0 0.402 0.804 1.206 1.608 2.01 2.412 2.814 3.216 3.618 4.02

20
20.25
20.5
20.75
21
21.25
21.5
21.75
22
22.25
22.5
22.75
23
23.25
23.5
23.75
24
24.25
24.5
24.75
25
25.25
25.5
25.75
26
26.25
26.5
26.75
27
27.25
27.5
27.75
28
28.25
28.5
28.75
29
29.25
29.5
29.75
30



GEOLOG s.r.l.

Cone Penetration Test (CPTU) - Date: 04/08/2020 14:24:10

Site: Cantiere Ambito NU11.2 - Test: CPTU 4

Company information

Name: GEOLOG s.r.l.

Address: Via Cerchio, 57

Zip code: 48121

City: Ravenna

P.IVA: 02194680399

E-Mail: geologsrl@virgilio.it

Phone number: 0544202700

Fax number: 0544202700

Site information

Name: Cantiere Ambito NU11.2

Date: 04/08/2020

Commissioner: Sig.ri Zanichelli Paolo, Claudia, Alessandro e RODOFIL s.r.l.

Locality: Bogolese di Sorbolo (PR)

Test information

Name: CPTU 4

Location: BOGOLESE DI SORBOLO (PR)

Date: 04/08/2020 14:24:10

Prehole mode:

Prehole depth [cm]: 0

Hydrostatic line [cm]: 340

Ground level [m]: 0

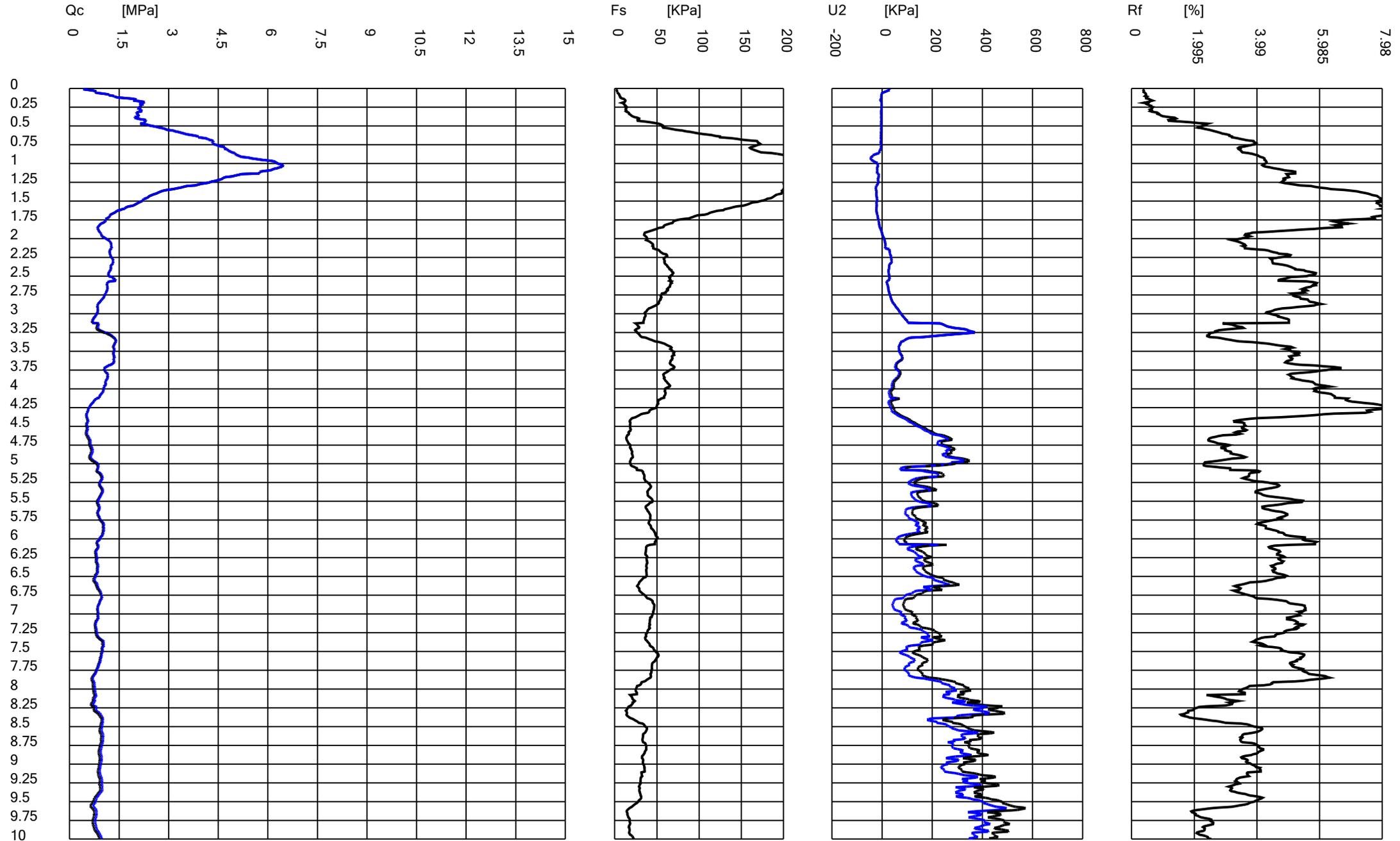
Latitude: 4450.0013N

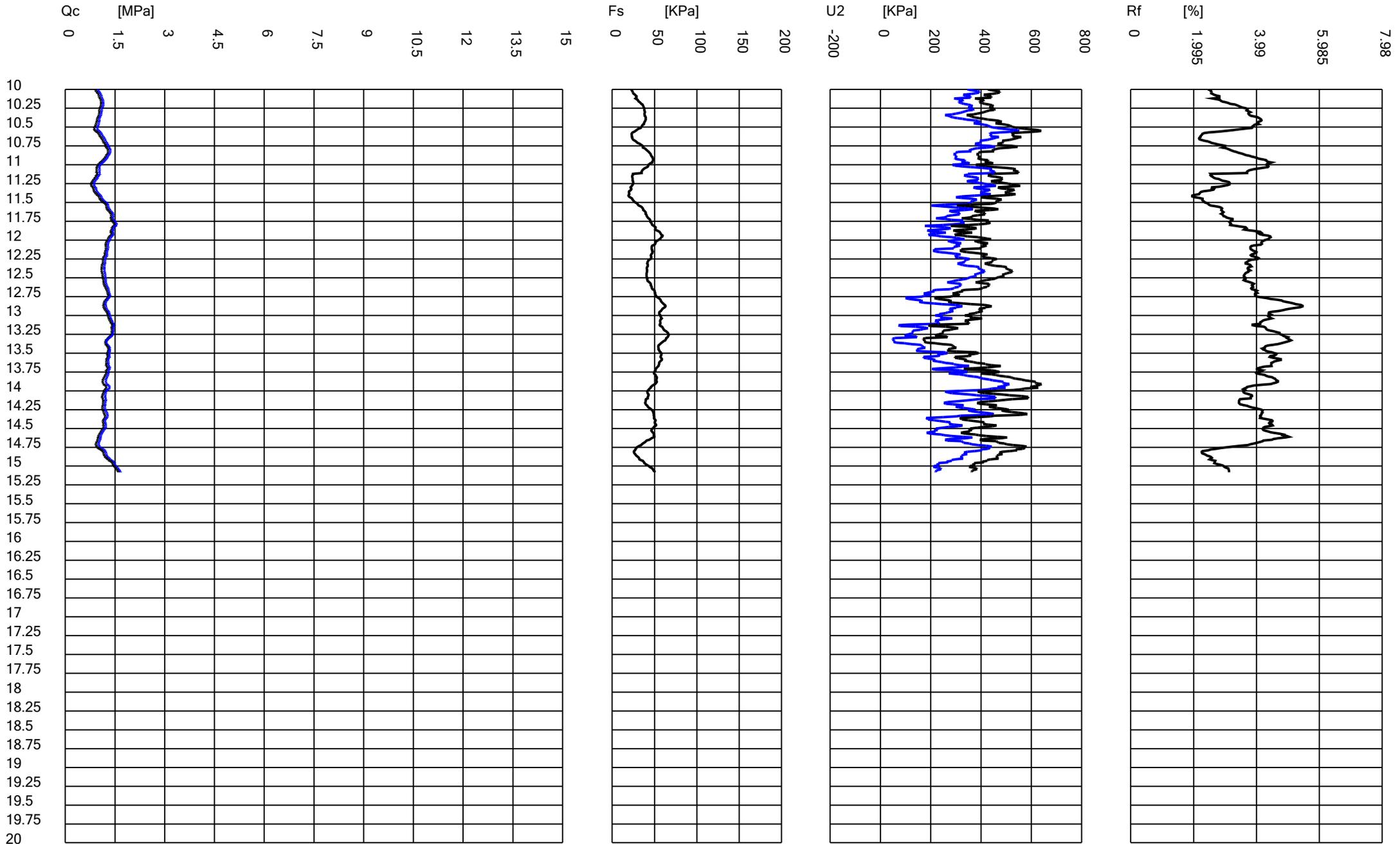
Longitude: 01023.7196E

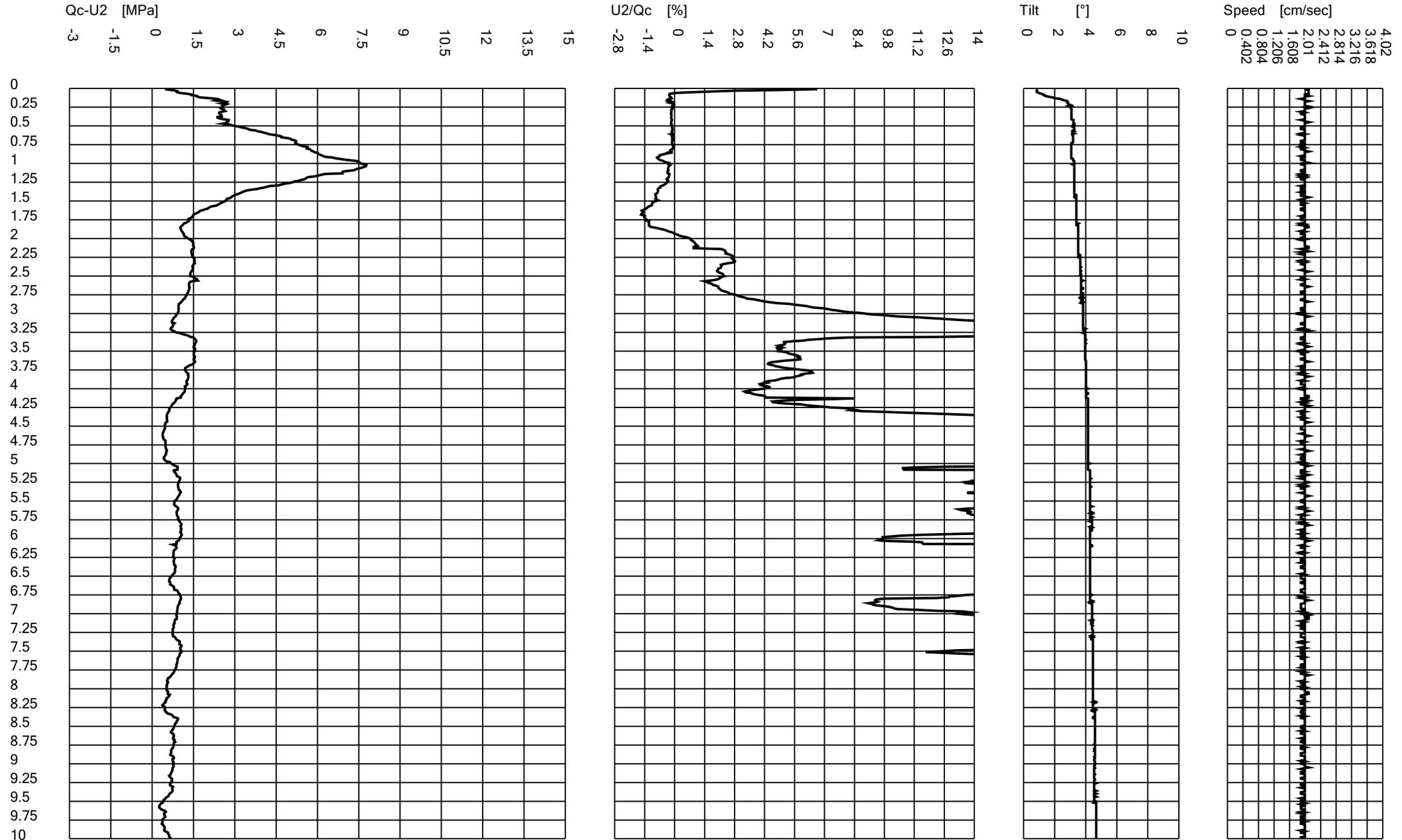
Operator: D_R

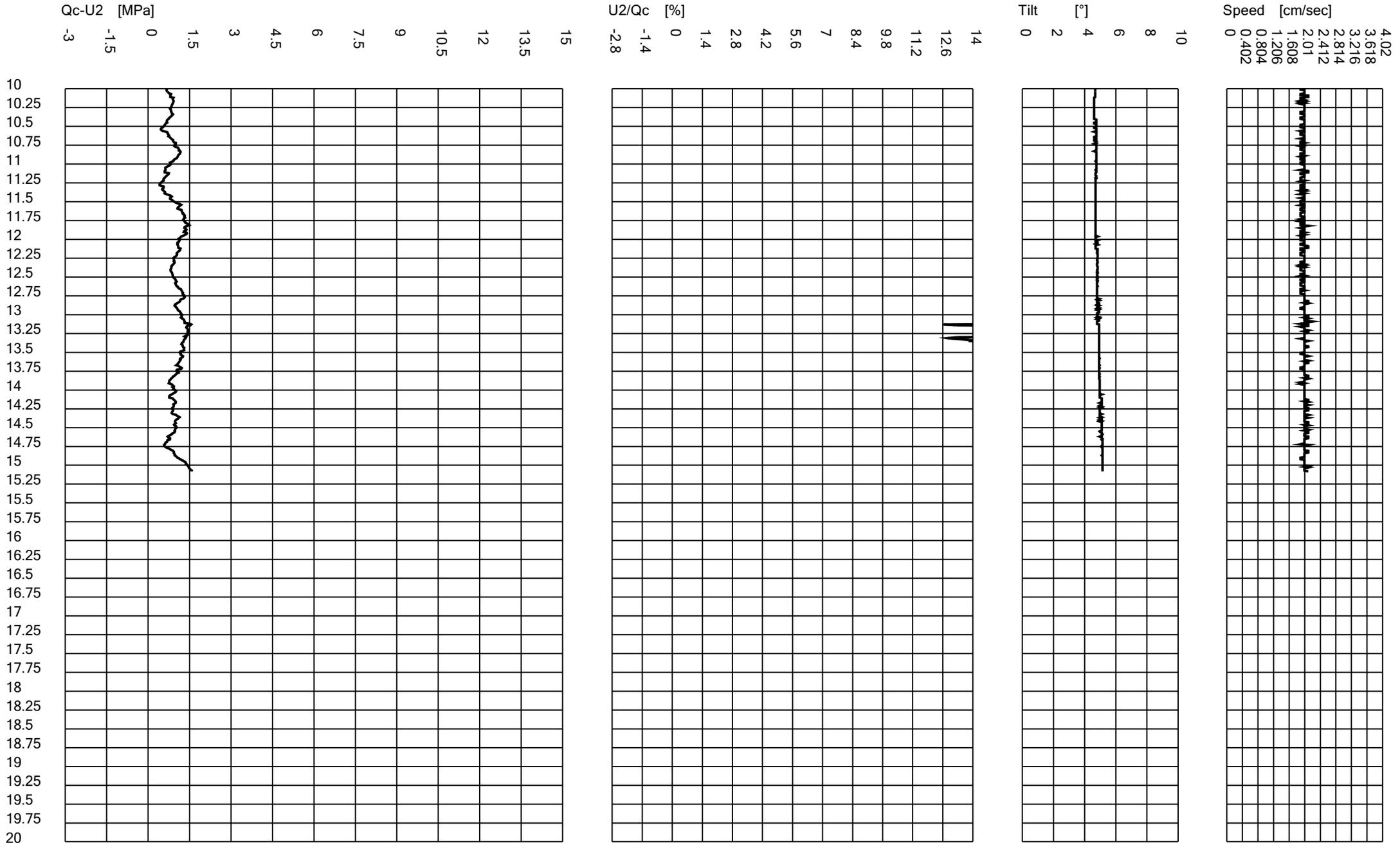
Comments:

Probe code: MKj584









GEOLOG s.r.l.

Cone Penetration Test (CPTU) - Date: 04/08/2020 17:25:14

Site: Cantiere Ambito NU11.2 - Test: CPTU 5

Company information

Name: GEOLOG s.r.l.

Address: Via Cerchio, 57

Zip code: 48121

City: Ravenna

P.IVA: 02194680399

E-Mail: geologsrl@virgilio.it

Phone number: 0544202700

Fax number: 0544202700

Site information

Name: Cantiere Ambito NU11.2

Date: 04/08/2020

Commissioner: Sig.ri Zanichelli Paolo, Claudia, Alessandro e RODOFIL s.r.l.

Locality: Bogolese di Sorbolo (PR)

Test information

Name: CPTU 5

Location: BOGOLESE DI SORBOLO (PR)

Date: 04/08/2020 17:25:14

Prehole mode: Y

Prehole depth [cm]: 10

Hydrostatic line [cm]: 250

Ground level [m]: 0

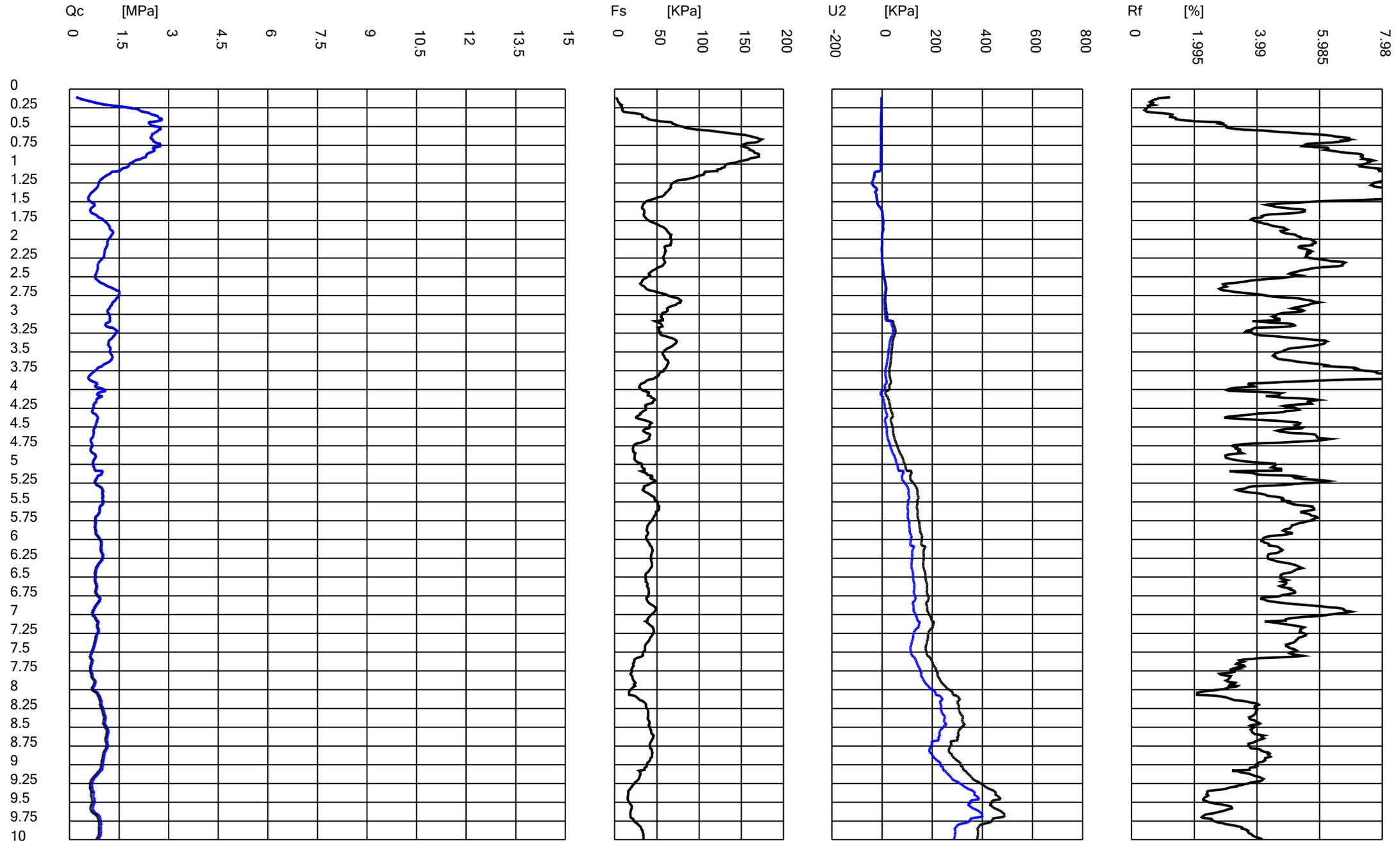
Latitude: 4449.9892N

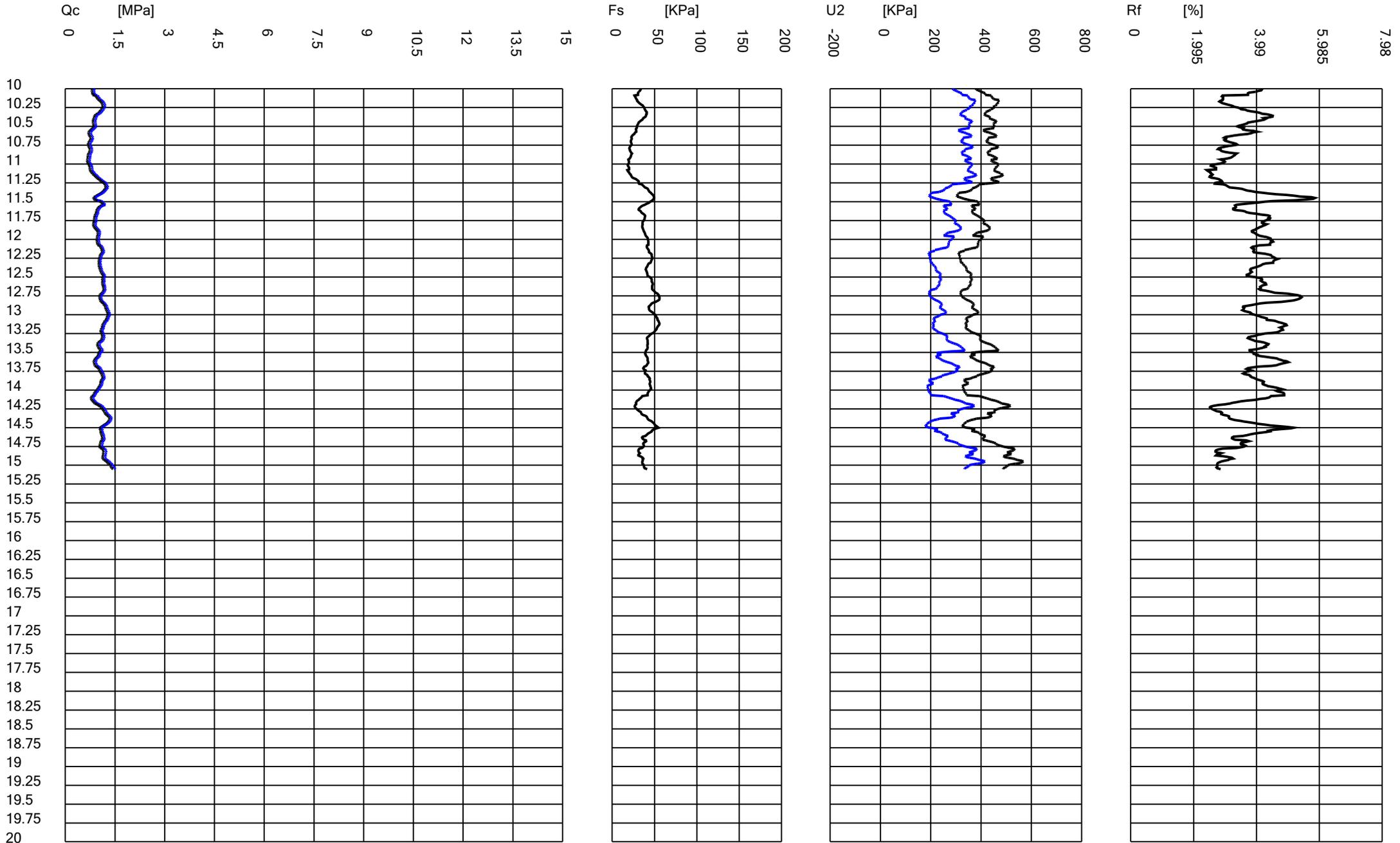
Longitude: 01023.6756E

Operator: D_R

Comments:

Probe code: MKj584





Qc-U2 [MPa]

-3 -1.5 0 1.5 3 4.5 6 7.5 9 10.5 12 13.5 15

U2/Qc [%]

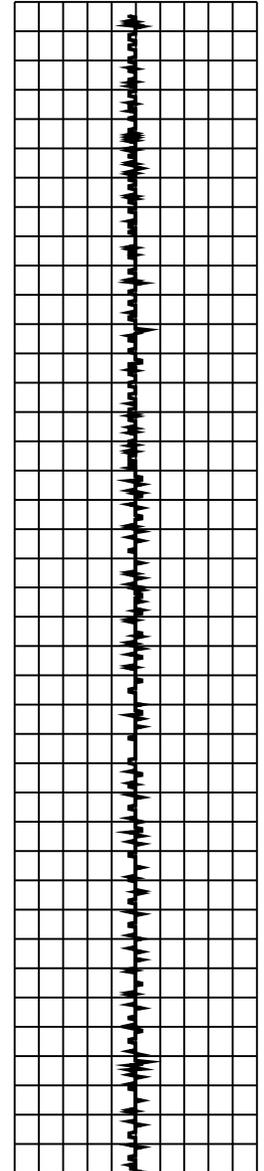
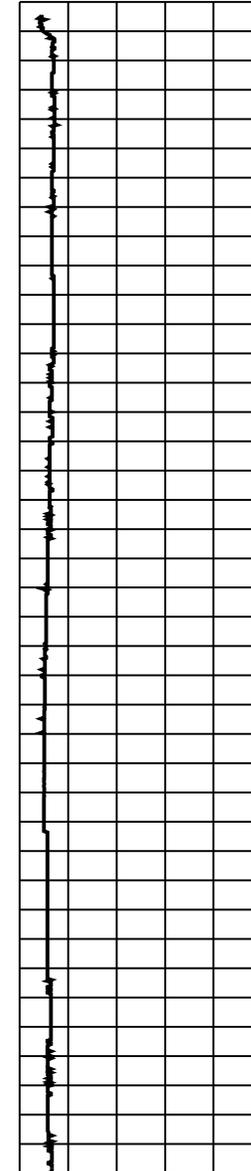
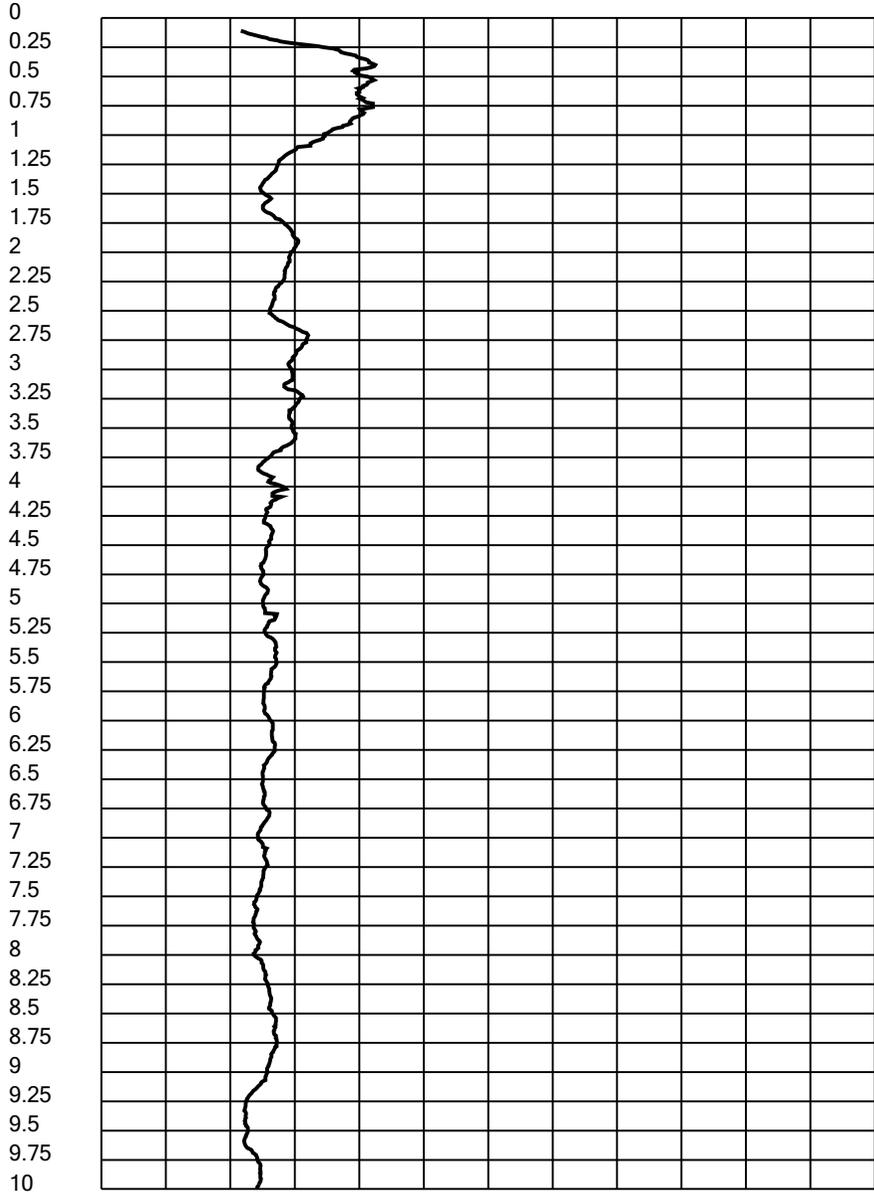
-2.8 -1.4 0 1.4 2.8 4.2 5.6 7 8.4 9.8 11.2 12.6 14

Tilt [°]

0 2 4 6 8 10

Speed [cm/sec]

0 0.402 0.804 1.206 1.608 2.01 2.412 2.814 3.216 3.618 4.02



Qc-U2 [MPa]

-3 -1.5 0 1.5 3 4.5 6 7.5 9 10.5 12 13.5 15

U2/Qc [%]

-2.8 -1.4 0 1.4 2.8 4.2 5.6 7 8.4 9.8 11.2 12.6 14

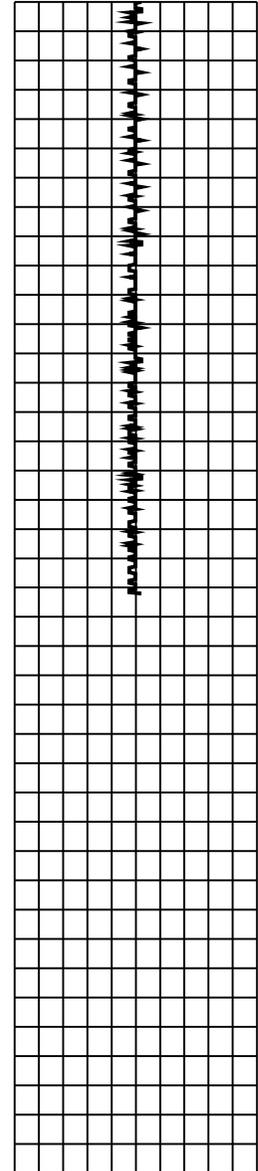
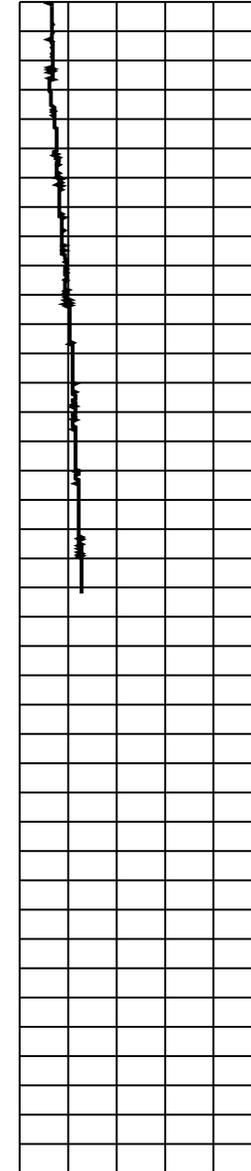
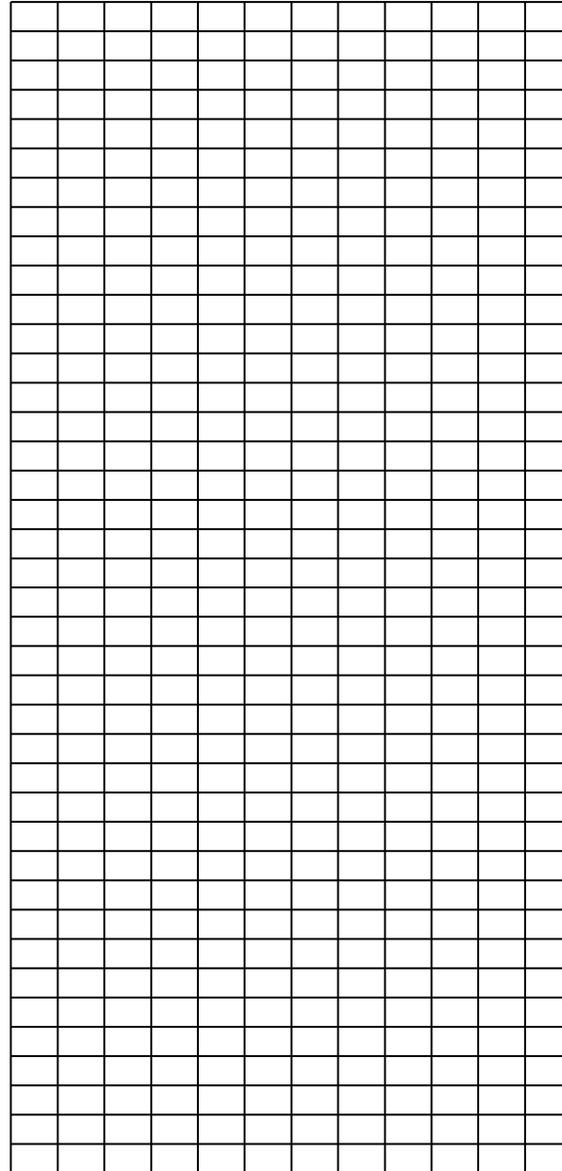
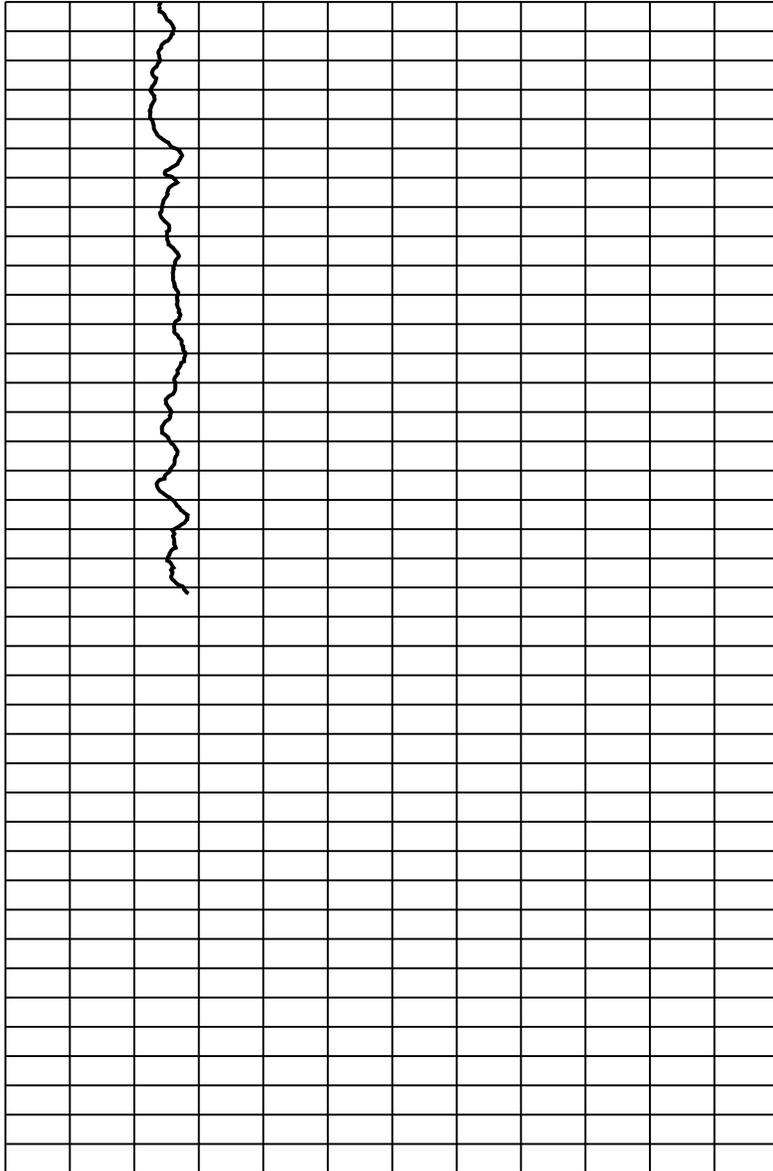
Tilt [°]

0 2 4 6 8 10

Speed [cm/sec]

0 0.402 1.206 2.01 2.814 3.618 4.02

10
10.25
10.5
10.75
11
11.25
11.5
11.75
12
12.25
12.5
12.75
13
13.25
13.5
13.75
14
14.25
14.5
14.75
15
15.25
15.5
15.75
16
16.25
16.5
16.75
17
17.25
17.5
17.75
18
18.25
18.5
18.75
19
19.25
19.5
19.75
20



GEOLOG s.r.l.

Cone Penetration Test (CPTU) - Date: 04/08/2020 16:31:05

Site: Cantiere Ambito NU11.2 - Test: CPTU 6

Company information

Name: GEOLOG s.r.l.

Address: Via Cerchio, 57

Zip code: 48121

City: Ravenna

P.IVA: 02194680399

E-Mail: geologsrl@virgilio.it

Phone number: 0544202700

Fax number: 0544202700

Site information

Name: Cantiere Ambito NU11.2

Date: 04/08/2020

Commissioner: Sig.ri Zanichelli Paolo, Claudia, Alessandro e RODOFIL s.r.l.

Locality: Bogolese di Sorbolo (PR)

Test information

Name: CPTU 6

Location: BOGOLESE DI SORBOLO (PR)

Date: 04/08/2020 16:31:05

Prehole mode:

Prehole depth [cm]: 0

Hydrostatic line [cm]: 260

Ground level [m]: 0

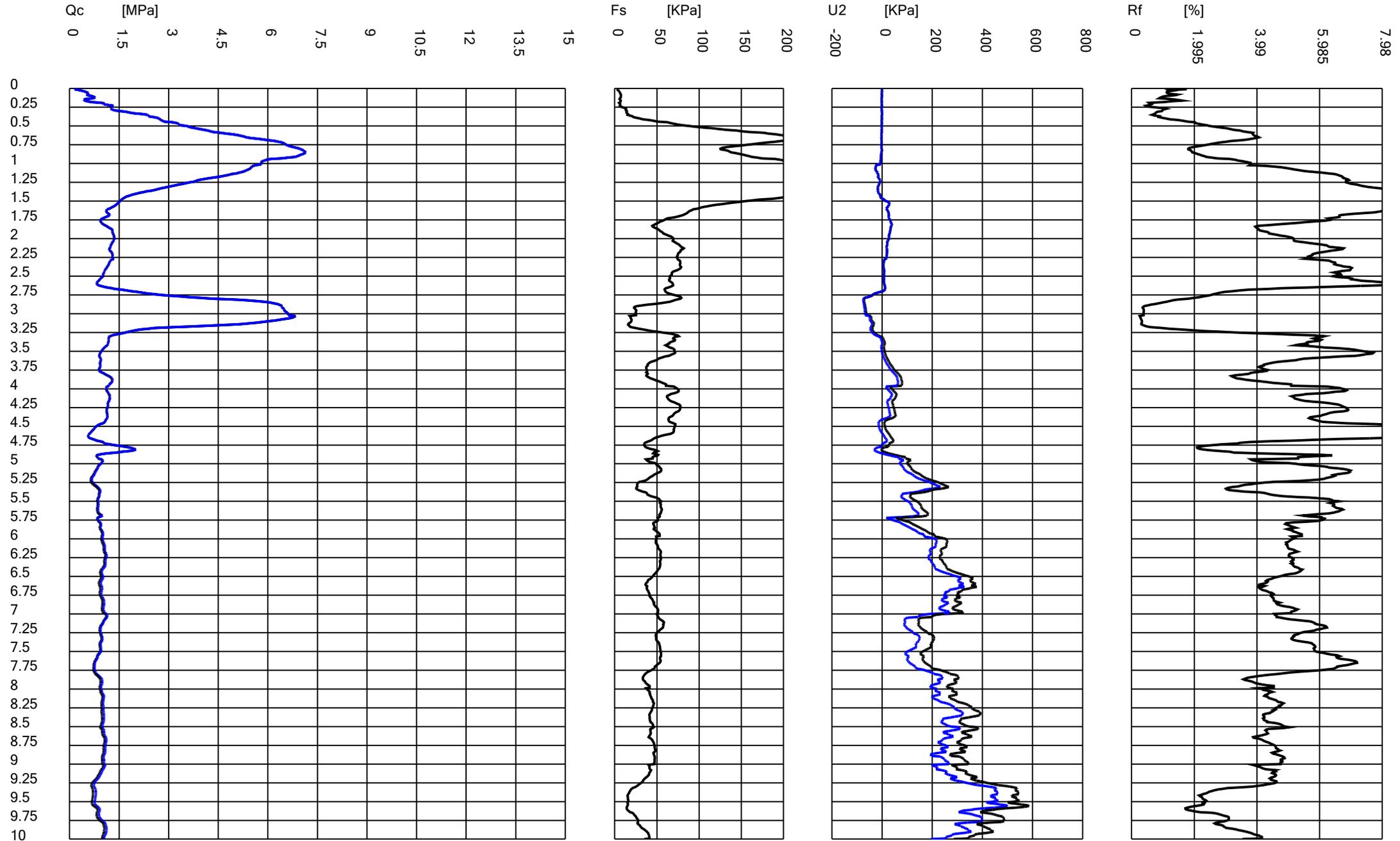
Latitude: 4449.9611N

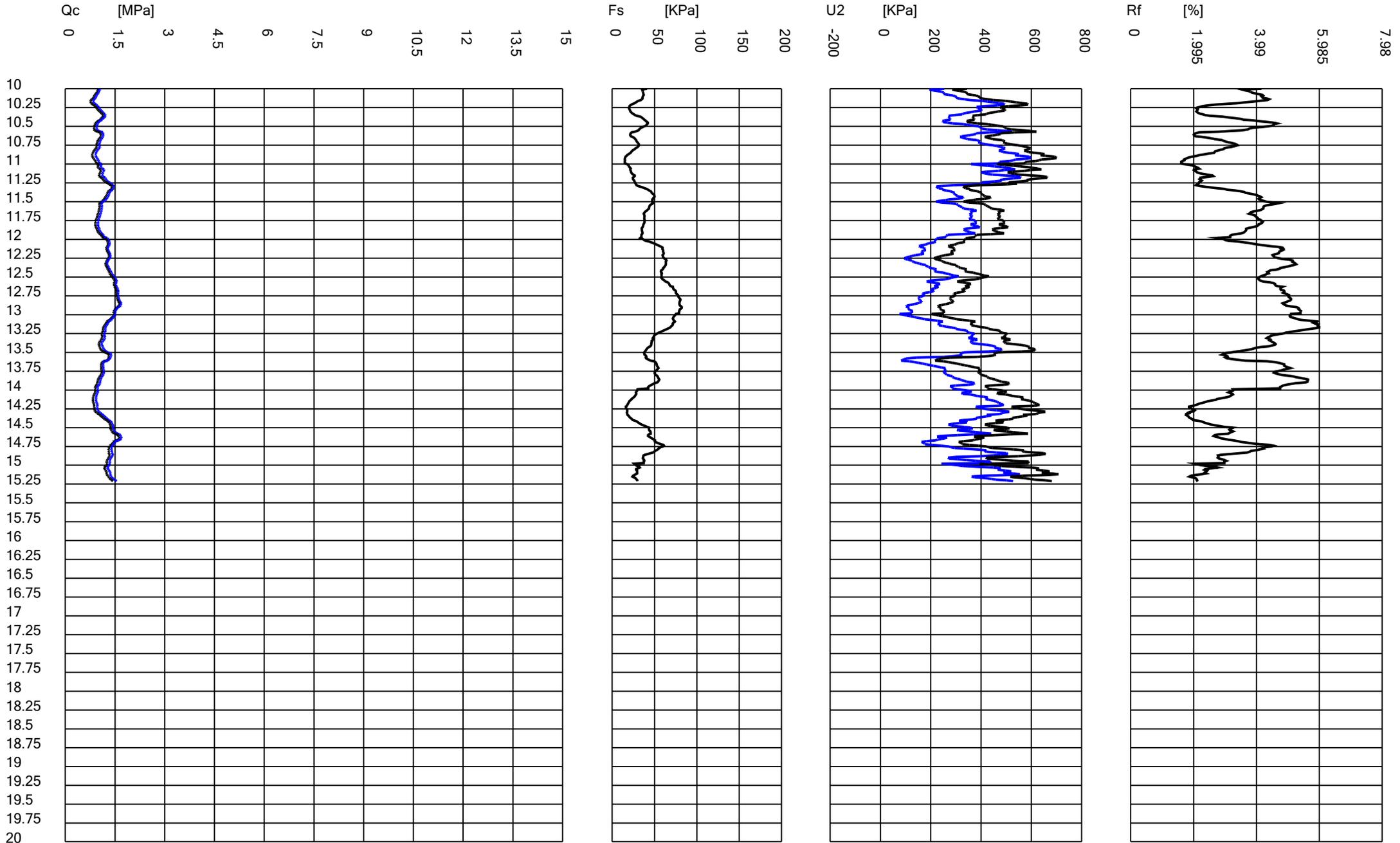
Longitude: 01023.7029E

Operator: D_R

Comments:

Probe code: MKj584





Qc-U2 [MPa]

-3 -1.5 0 1.5 3 4.5 6 7.5 9 10.5 12 13.5 15

U2/Qc [%]

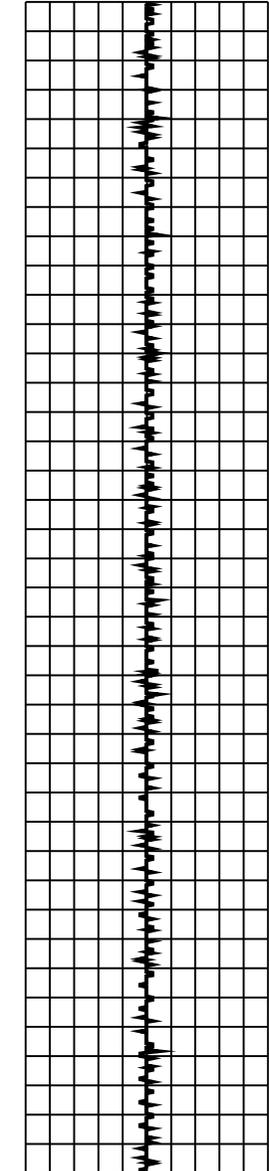
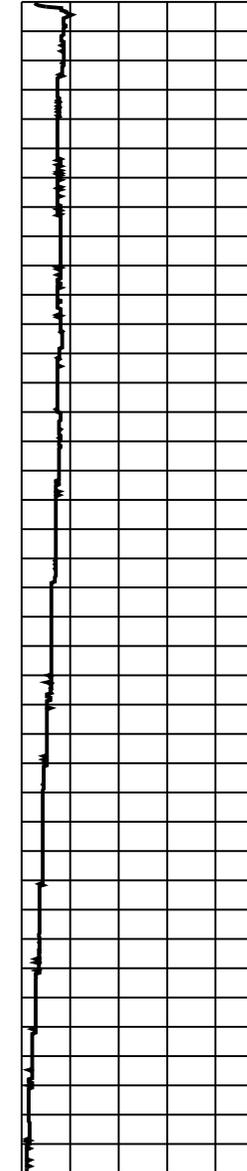
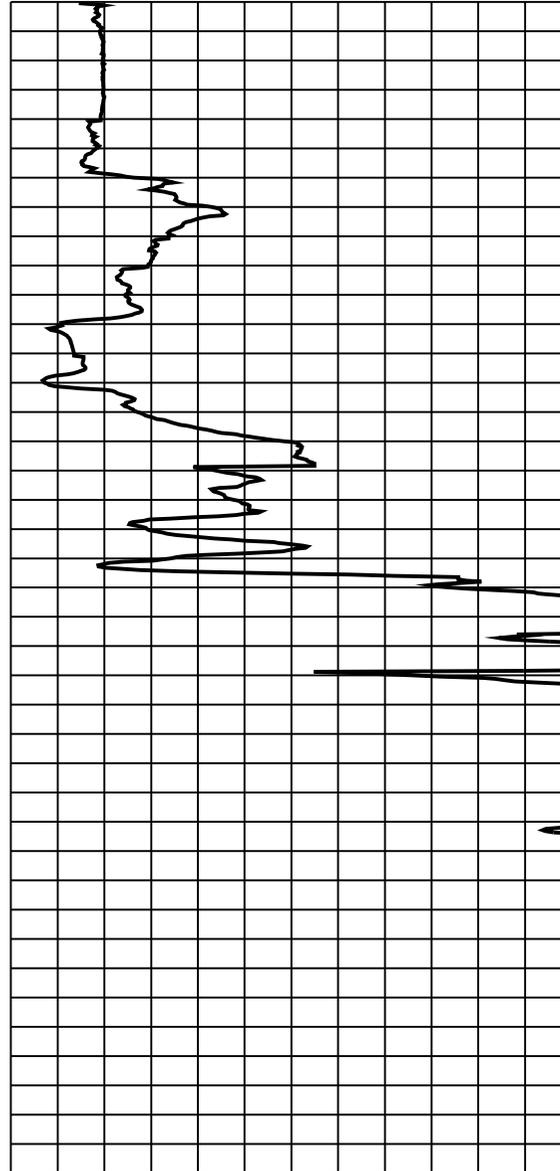
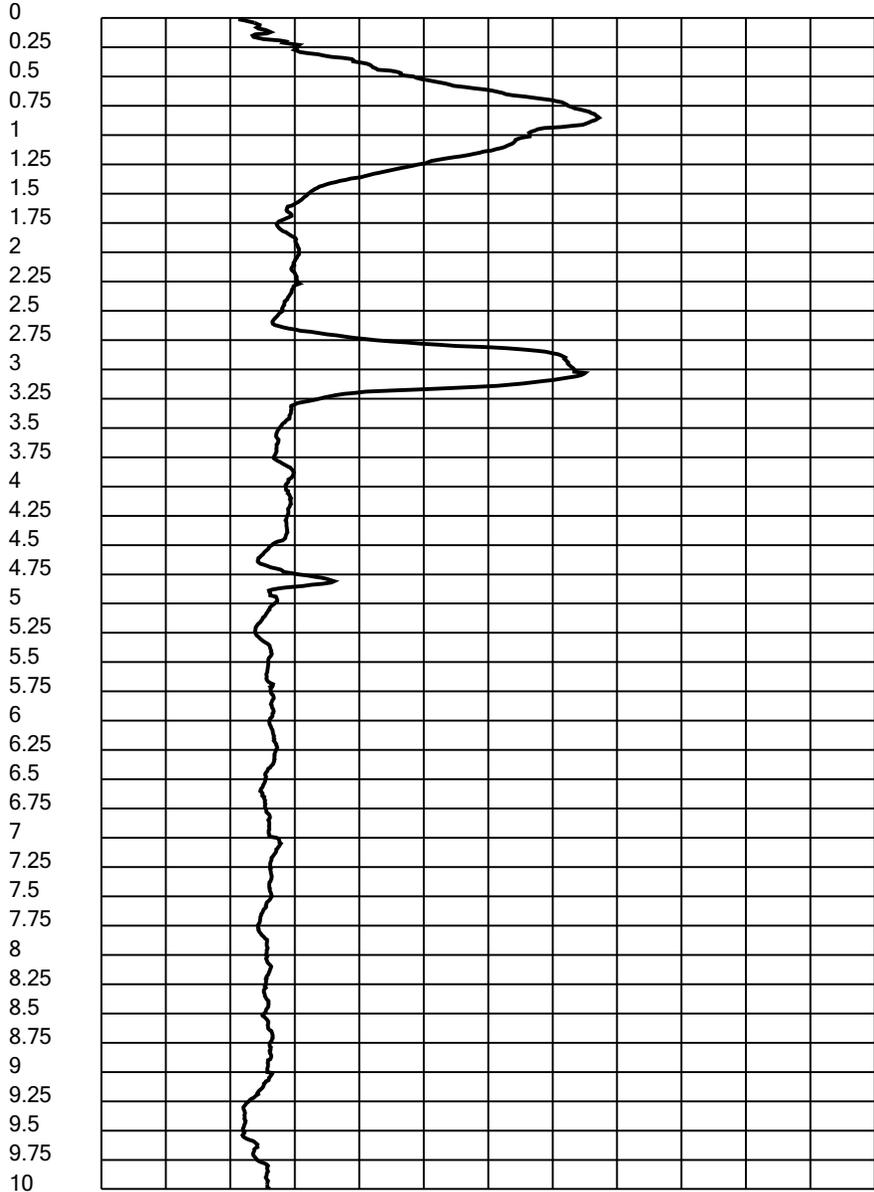
-2.8 -1.4 0 1.4 2.8 4.2 5.6 7 8.4 9.8 11.2 12.6 14

Tilt [°]

0 2 4 6 8 10

Speed [cm/sec]

0 0.402 0.804 1.206 1.608 2.01 2.412 2.814 3.216 3.618 4.02



Qc-U2 [MPa]

-3 -1.5 0 1.5 3 4.5 6 7.5 9 10.5 12 13.5 15

U2/Qc [%]

-2.8 -1.4 0 1.4 2.8 4.2 5.6 7 8.4 9.8 11.2 12.6 14

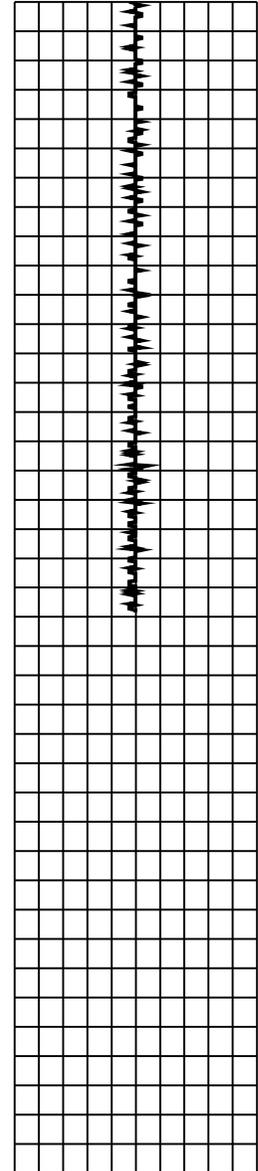
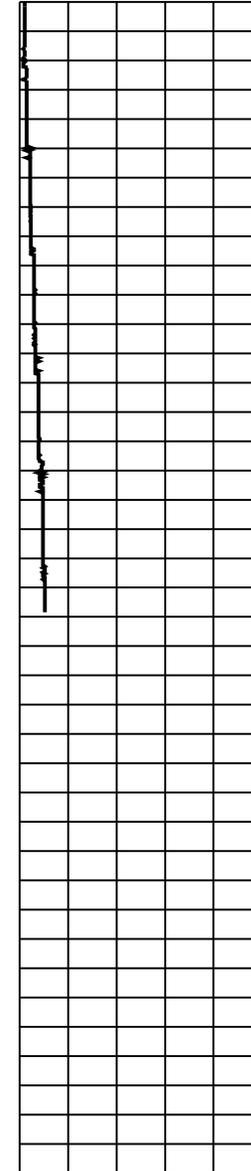
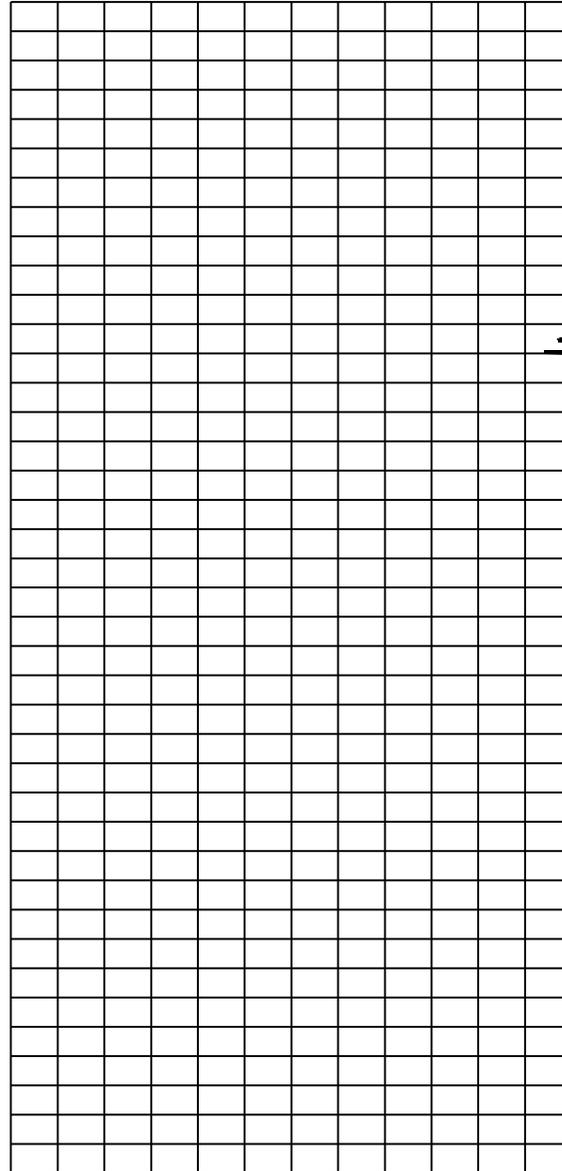
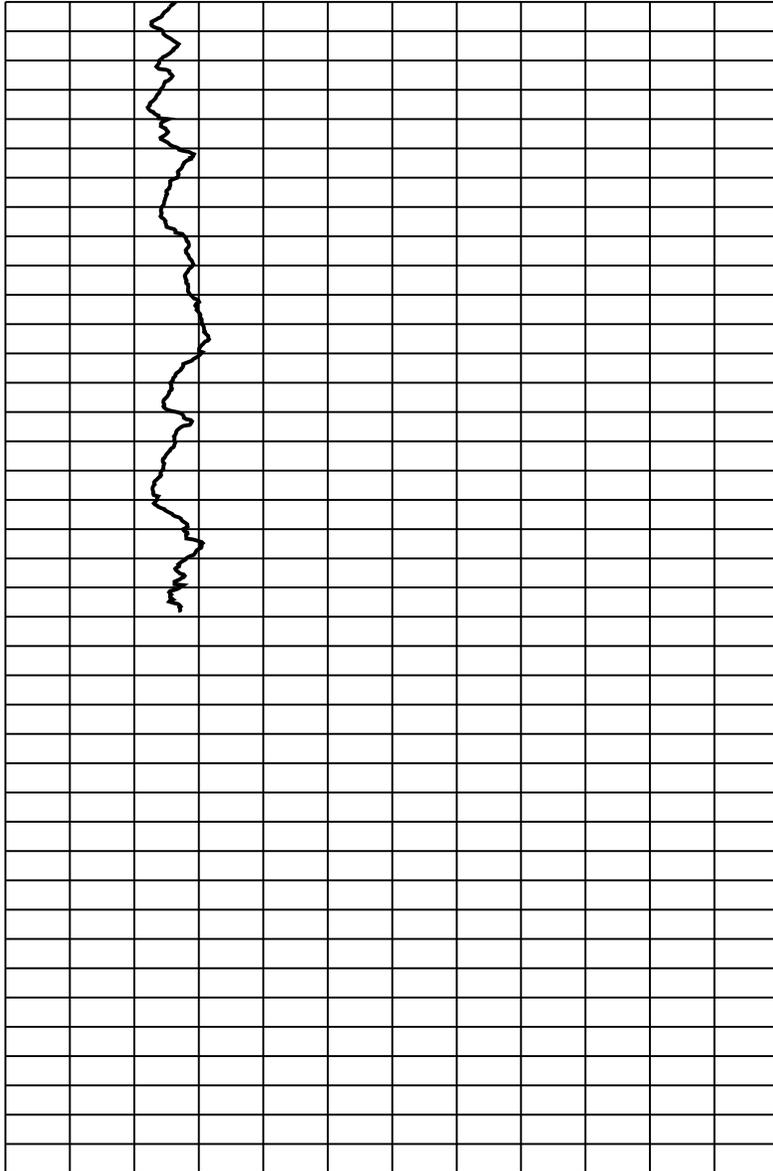
Tilt [°]

0 2 4 6 8 10

Speed [cm/sec]

0 0.402 0.804 1.206 1.608 2.01 2.412 2.814 3.216 3.618 4.02

10
10.25
10.5
10.75
11
11.25
11.5
11.75
12
12.25
12.5
12.75
13
13.25
13.5
13.75
14
14.25
14.5
14.75
15
15.25
15.5
15.75
16
16.25
16.5
16.75
17
17.25
17.5
17.75
18
18.25
18.5
18.75
19
19.25
19.5
19.75
20



GEOLOG s.r.l.

Cone Penetration Test (CPTU) - Date: 04/08/2020 15:20:21

Site: Cantiere Ambito NU11.2 - Test: CPTU 7

Company information

Name: GEOLOG s.r.l.

Address: Via Cerchio, 57

Zip code: 48121

City: Ravenna

P.IVA: 02194680399

E-Mail: geologsrl@virgilio.it

Phone number: 0544202700

Fax number: 0544202700

Site information

Name: Cantiere Ambito NU11.2

Date: 04/08/2020

Commissioner: Sig.ri Zanichelli Paolo, Claudia, Alessandro e RODOFIL s.r.l.

Locality: Bogolese di Sorbolo (PR)

Test information

Name: CPTU 7

Location: BOGOLESE DI SORBOLO (PR)

Date: 04/08/2020 15:20:21

Prehole mode:

Prehole depth [cm]: 0

Hydrostatic line [cm]: 250

Ground level [m]: 0

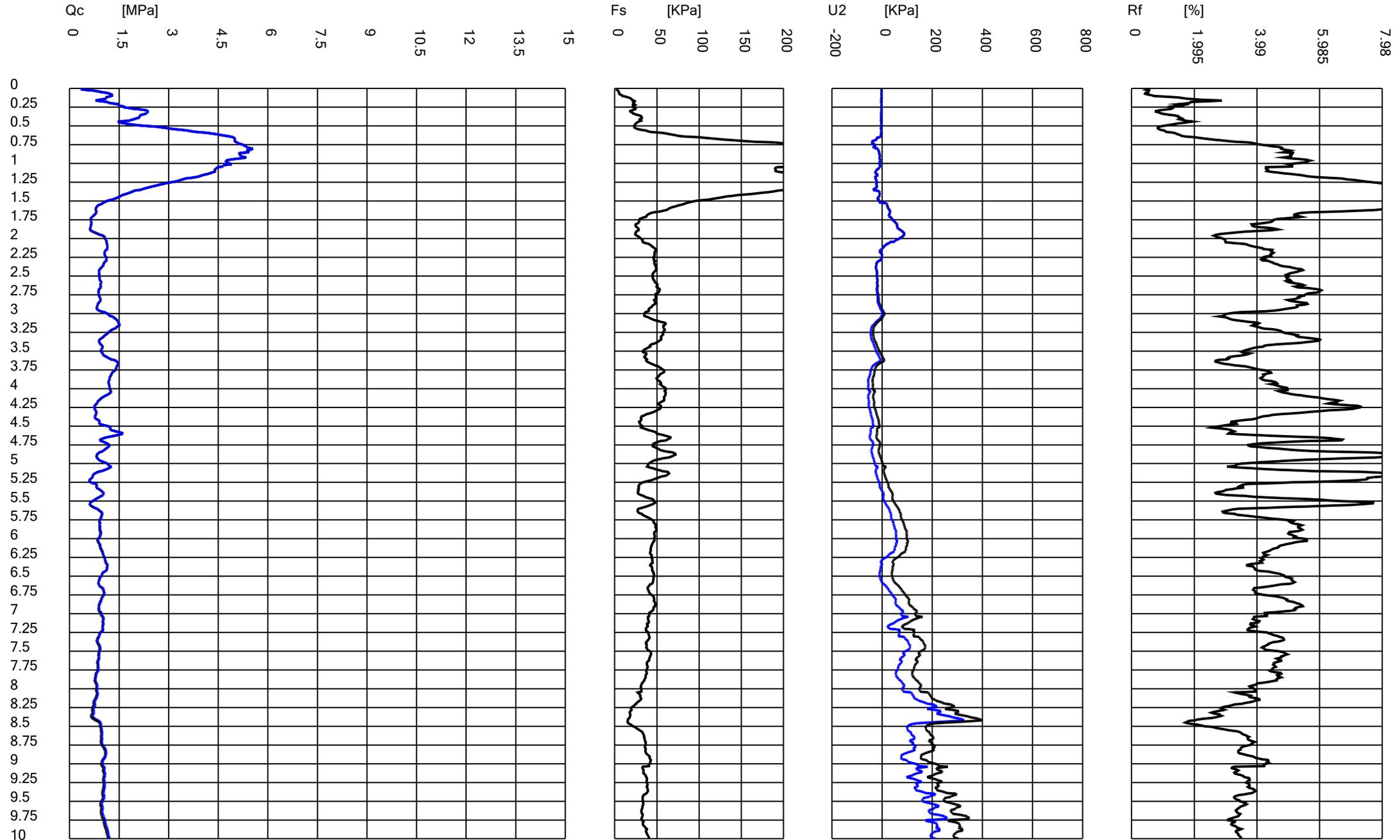
Latitude: 4449.9588N

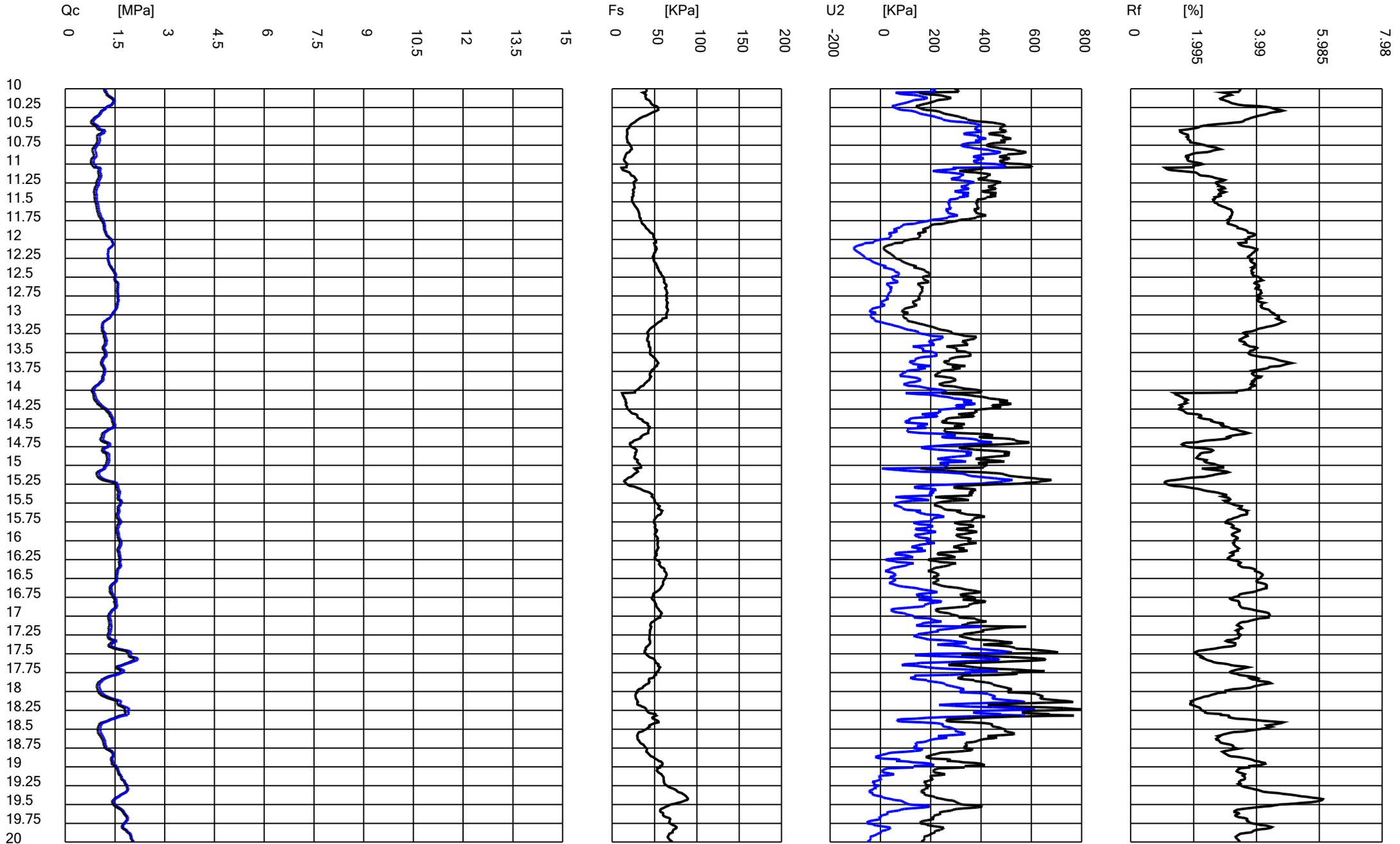
Longitude: 01023.6583E

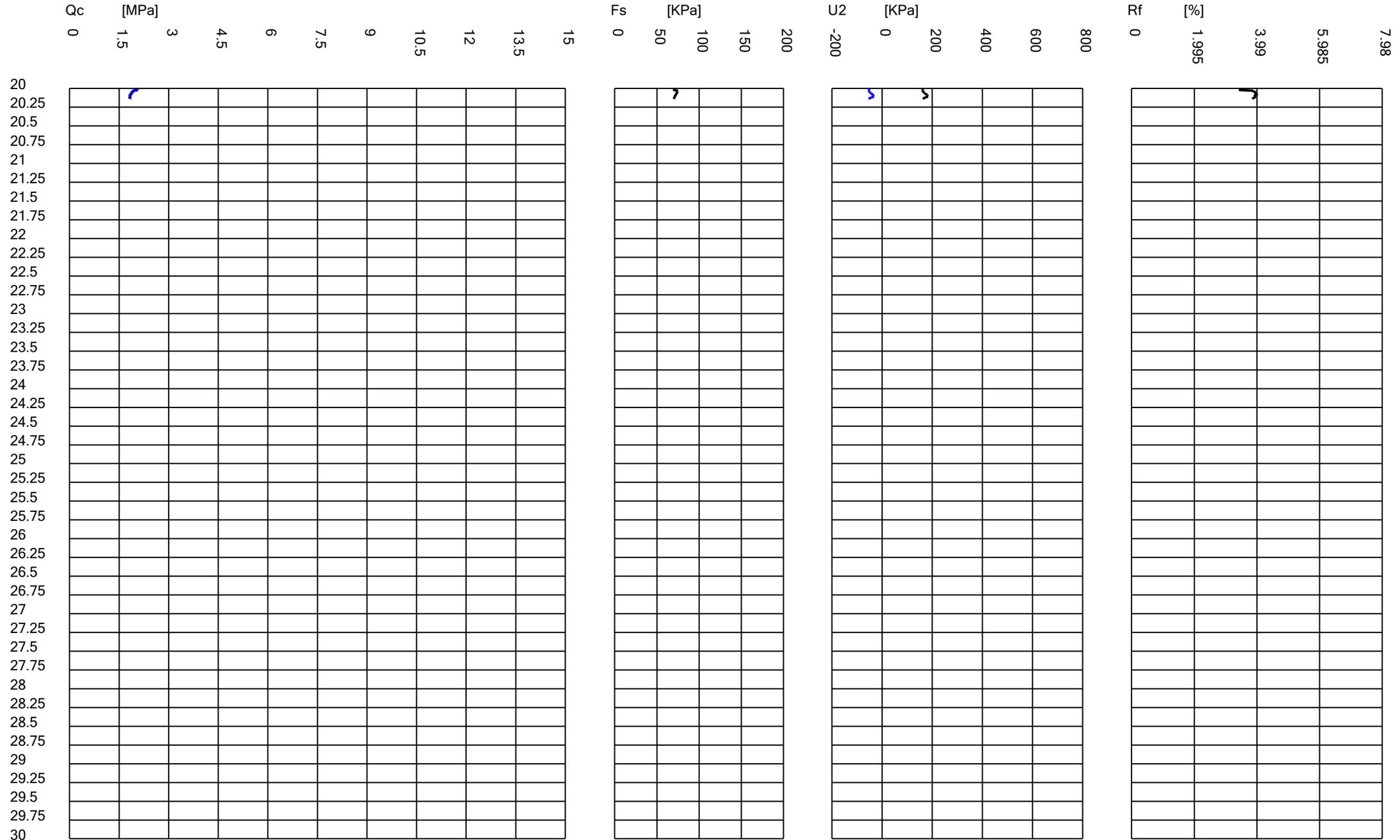
Operator: D_R

Comments:

Probe code: MKj584







Qc-U2 [MPa]

-3 -1.5 0 1.5 3 4.5 6 7.5 9 10.5 12 13.5 15

U2/Qc [%]

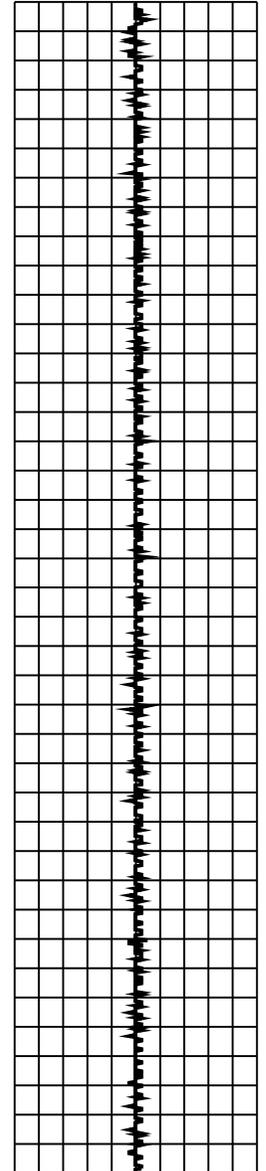
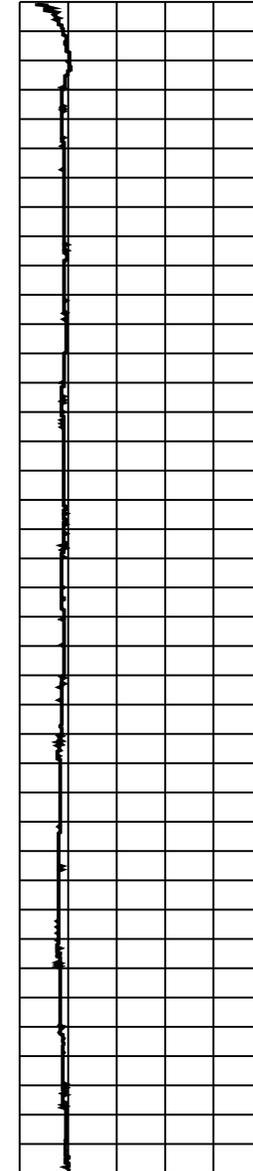
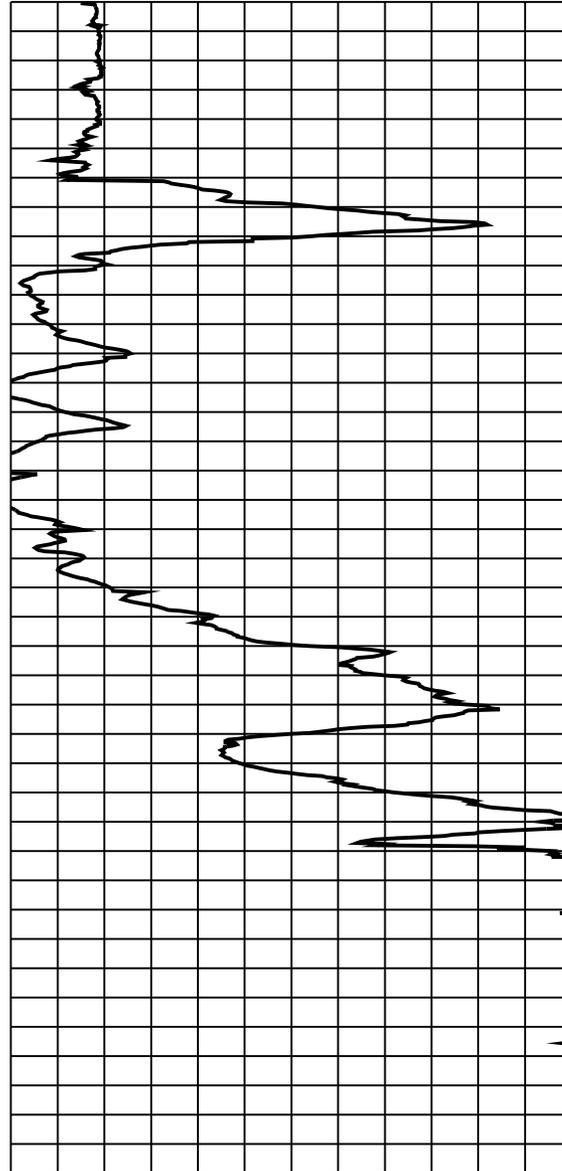
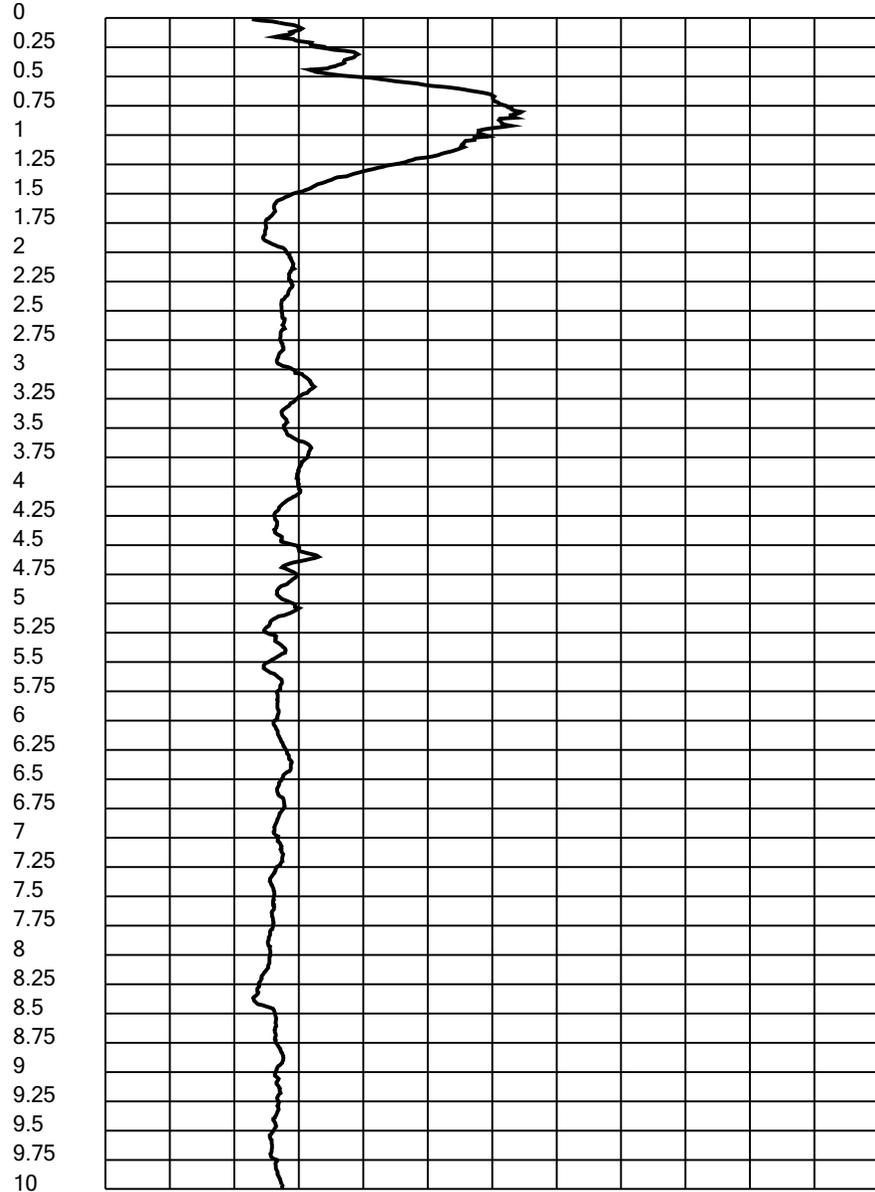
-2.8 -1.4 0 1.4 2.8 4.2 5.6 7 8.4 9.8 11.2 12.6 14

Tilt [°]

0 2 4 6 8 10

Speed [cm/sec]

0 0.402 1.206 2.01 2.814 3.618 4.02



Qc-U2 [MPa]

-3 -1.5 0 1.5 3 4.5 6 7.5 9 10.5 12 13.5 15

U2/Qc [%]

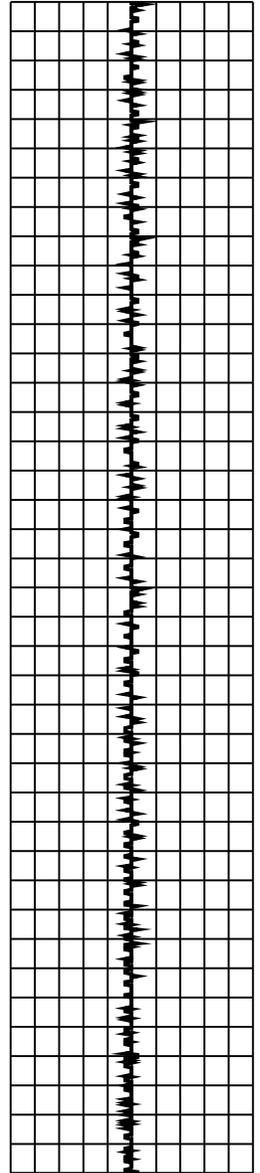
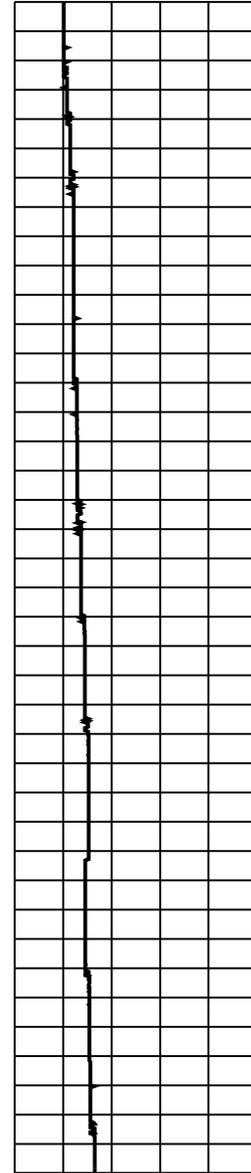
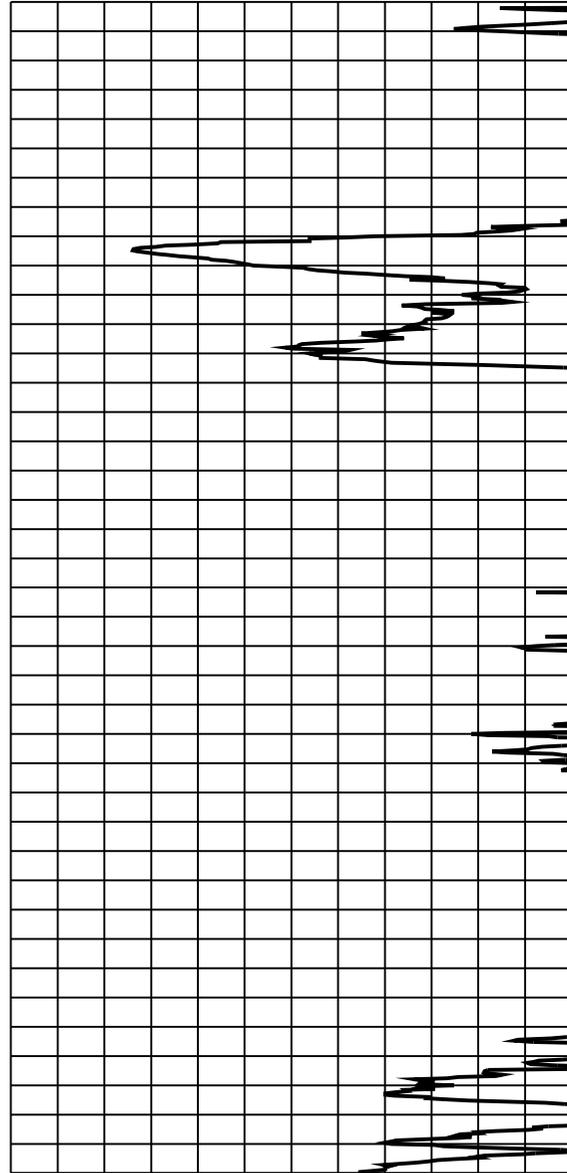
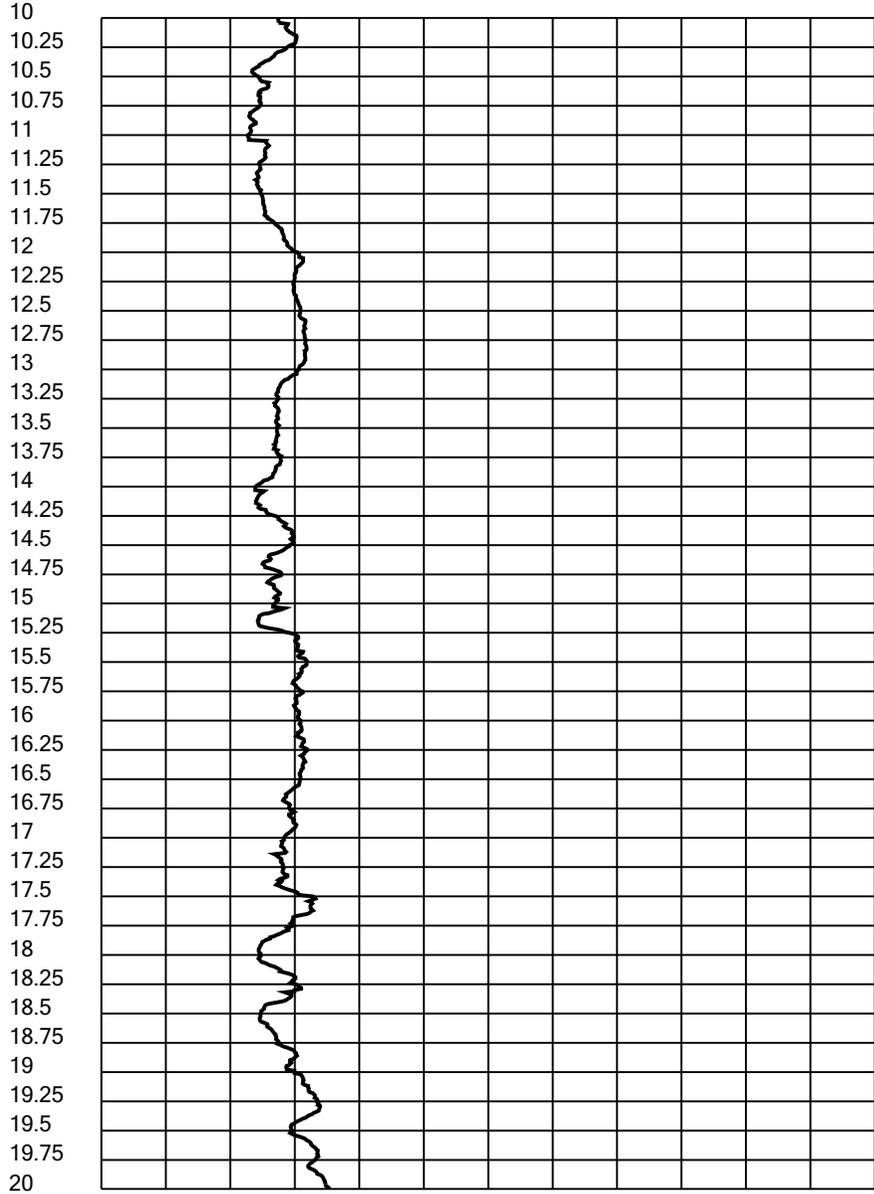
-2.8 -1.4 0 1.4 2.8 4.2 5.6 7 8.4 9.8 11.2 12.6 14

Tilt [°]

0 2 4 6 8 10

Speed [cm/sec]

0 0.402 1.206 2.01 2.814 3.618 4.02



Qc-U2 [MPa]

-3 -1.5 0 1.5 3 4.5 6 7.5 9 10.5 12 13.5 15

U2/Qc [%]

-2.8 -1.4 0 1.4 2.8 4.2 5.6 7 8.4 9.8 11.2 12.6 14

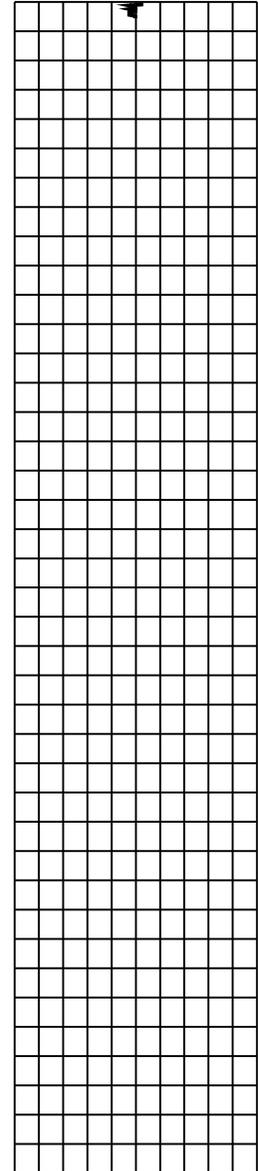
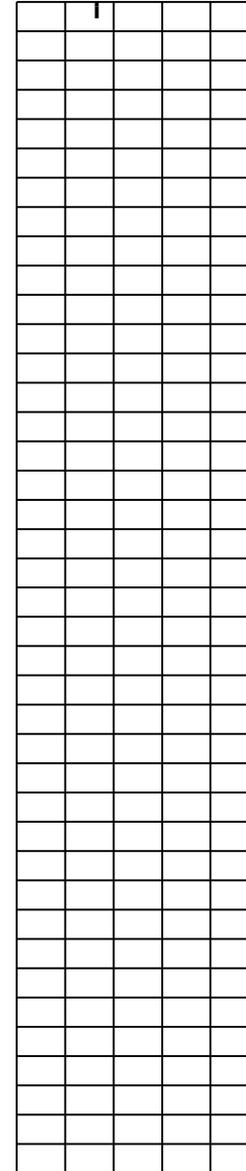
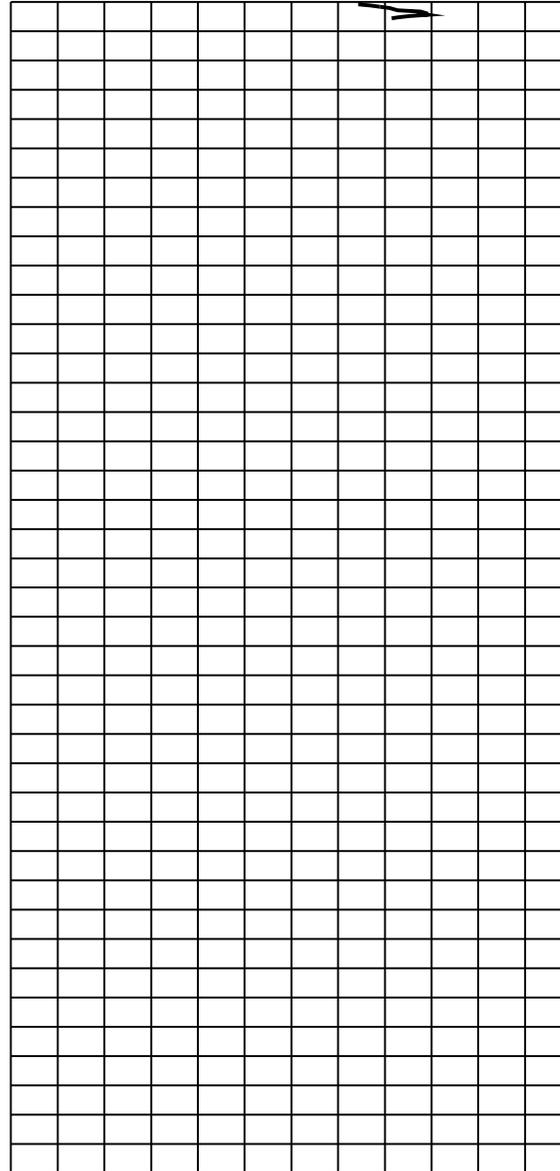
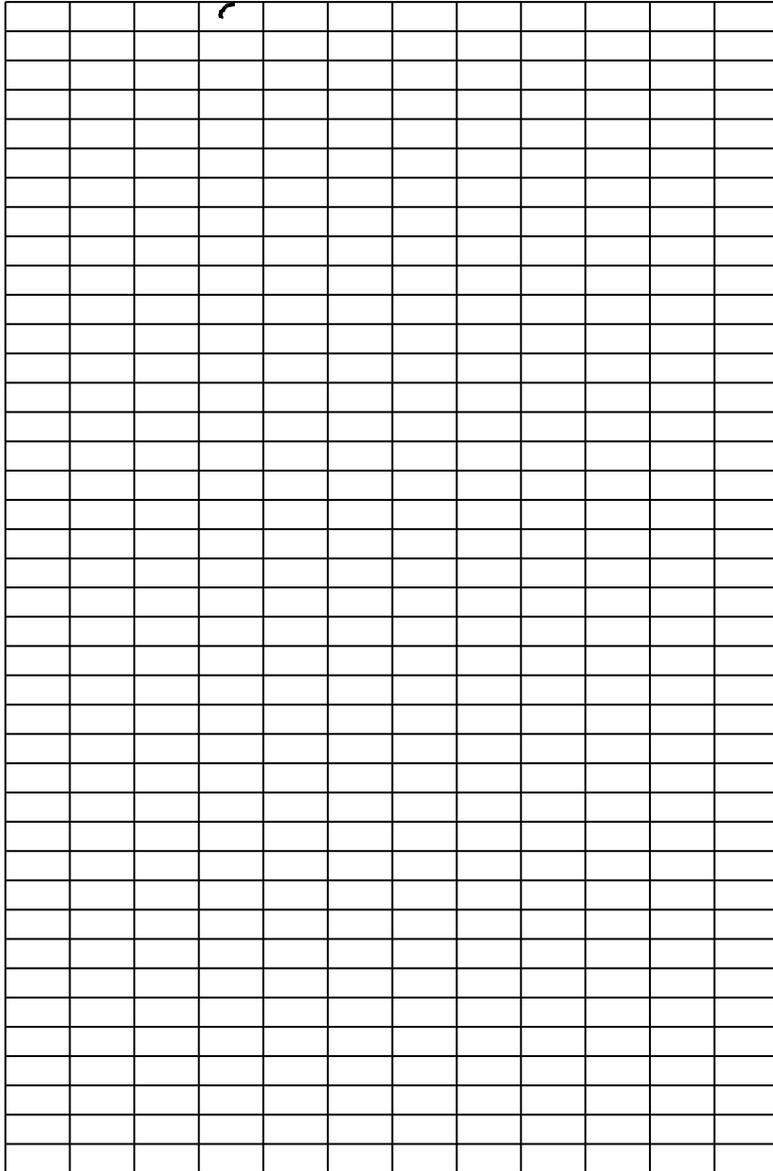
Tilt [°]

0 2 4 6 8 10

Speed [cm/sec]

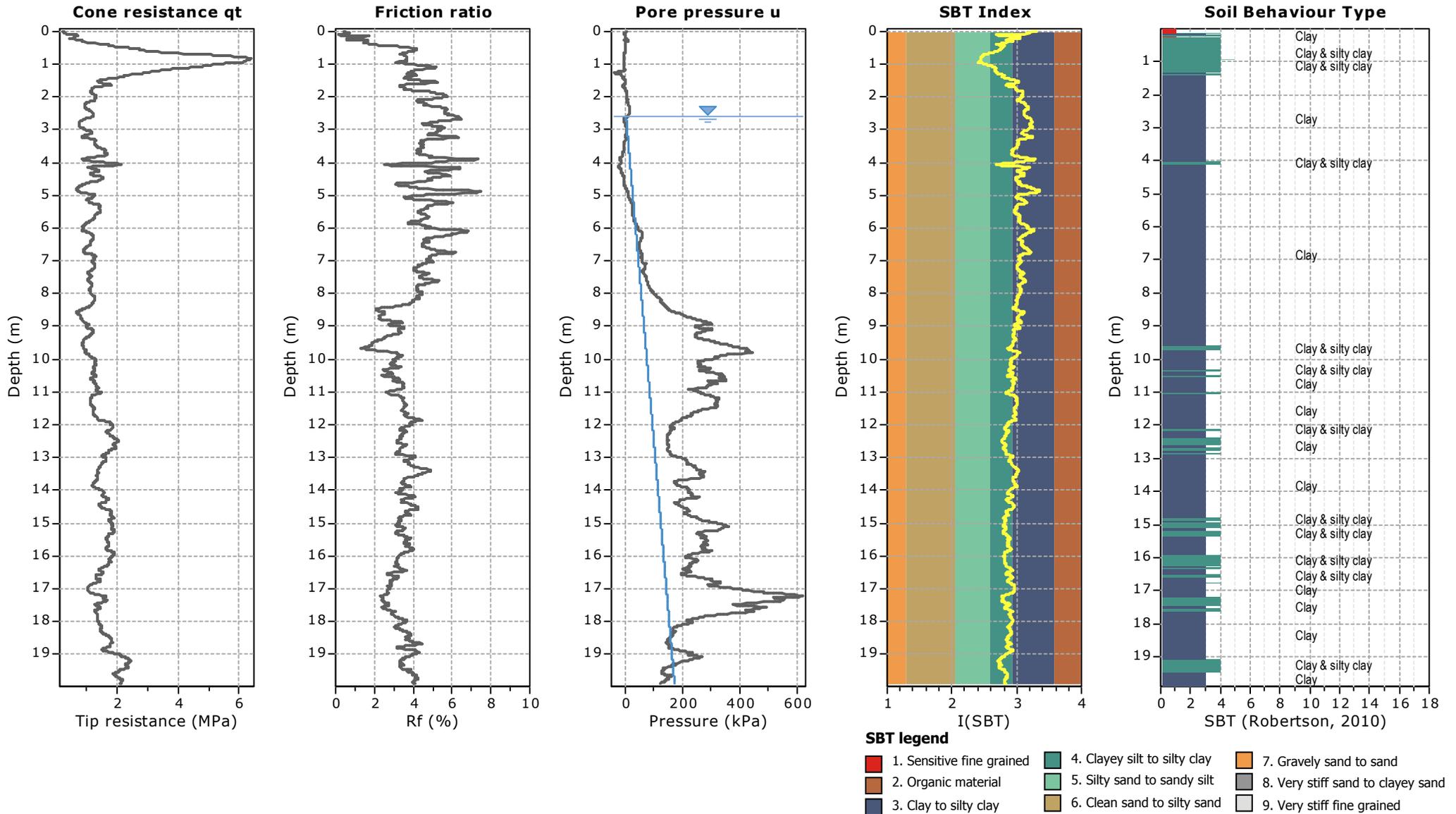
0 0.402 0.804 1.206 1.608 2.01 2.412 2.814 3.216 3.618 4.02

20
20.25
20.5
20.75
21
21.25
21.5
21.75
22
22.25
22.5
22.75
23
23.25
23.5
23.75
24
24.25
24.5
24.75
25
25.25
25.5
25.75
26
26.25
26.5
26.75
27
27.25
27.5
27.75
28
28.25
28.5
28.75
29
29.25
29.5
29.75
30



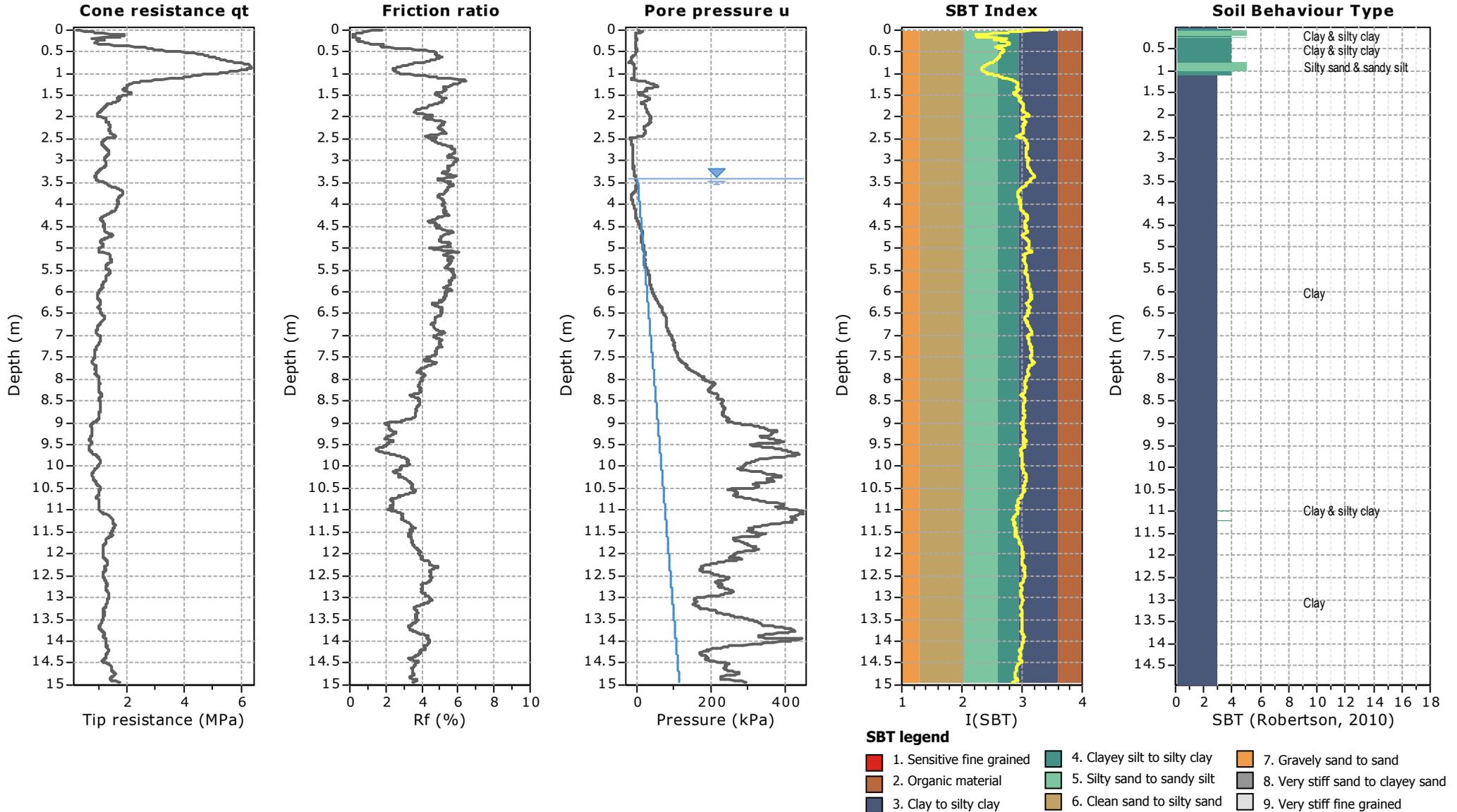
Project: Ambito NU11.2 - Sigg. Zanichelli - Rodofil s.r.l.

Location: Bogolese - Sorbolo - (Pr)



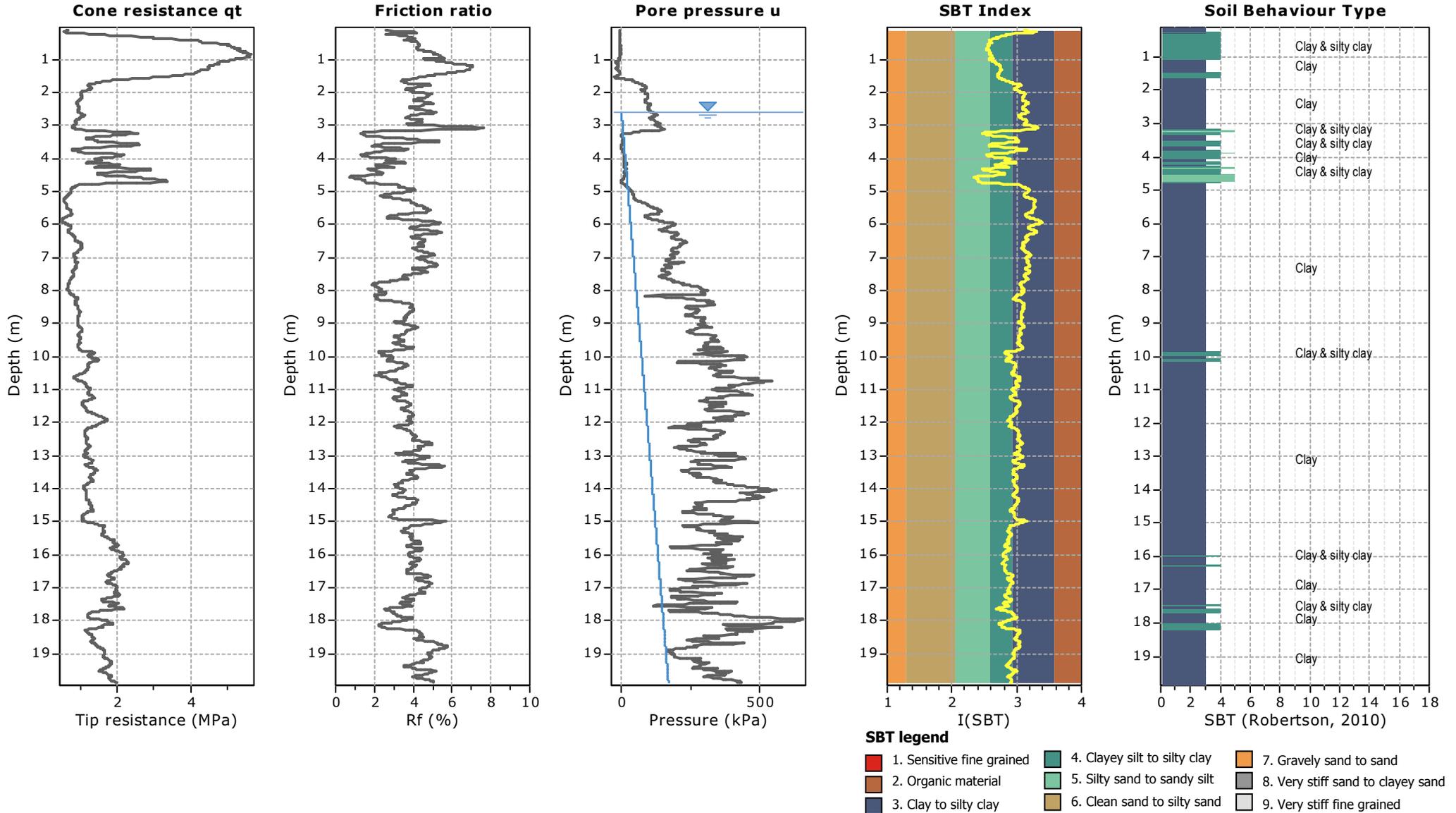
Project: Ambito NU11.2 - Sigg. Zanichelli - Rodofil s.r.l.

Location: Bogolese - Sorbolo - (Pr)



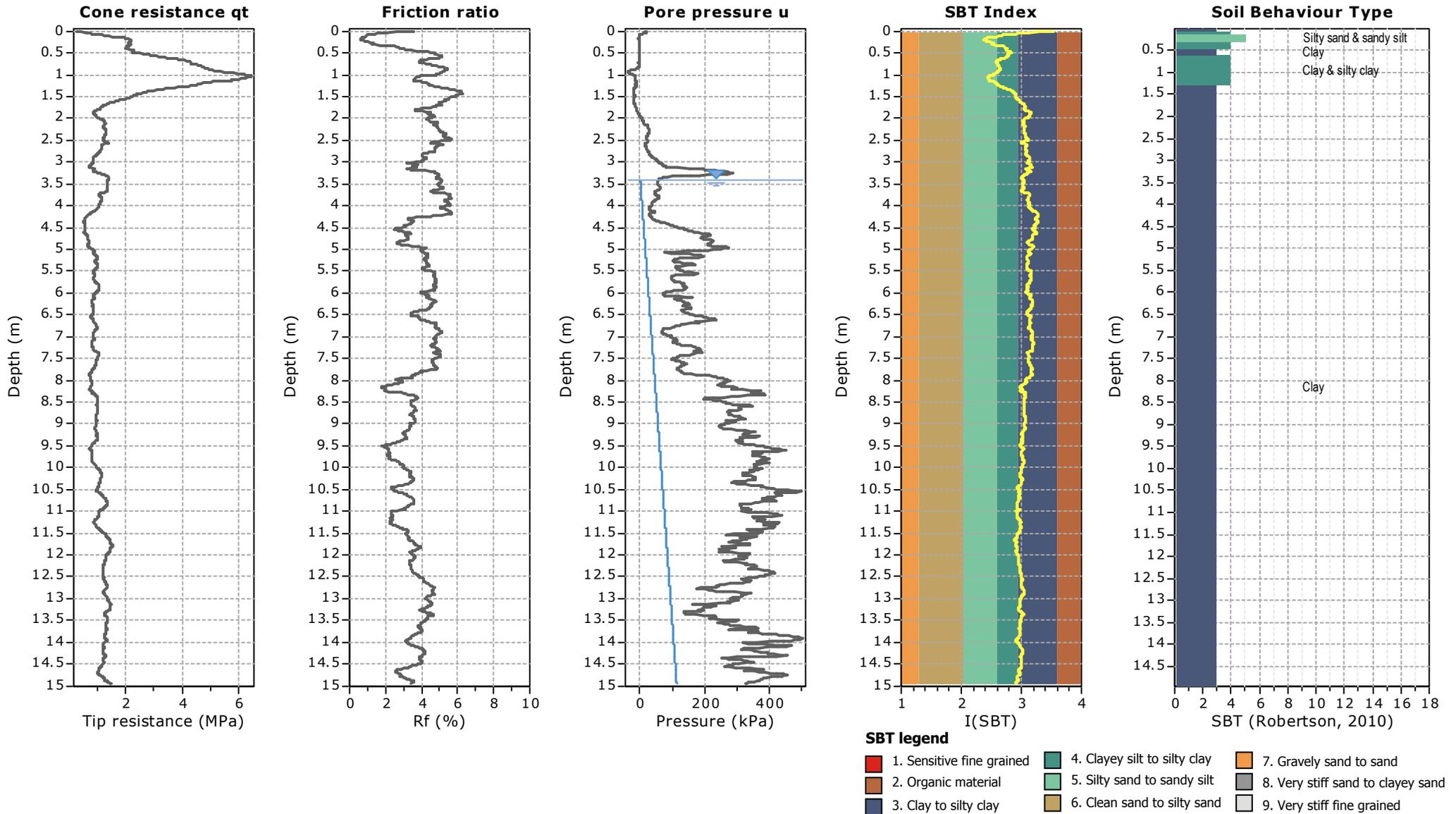
Project: Ambito NU11.2 - Sigg. Zanichelli - Rodofil s.r.l.

Location: Bogolese - Sorbolo - (Pr)



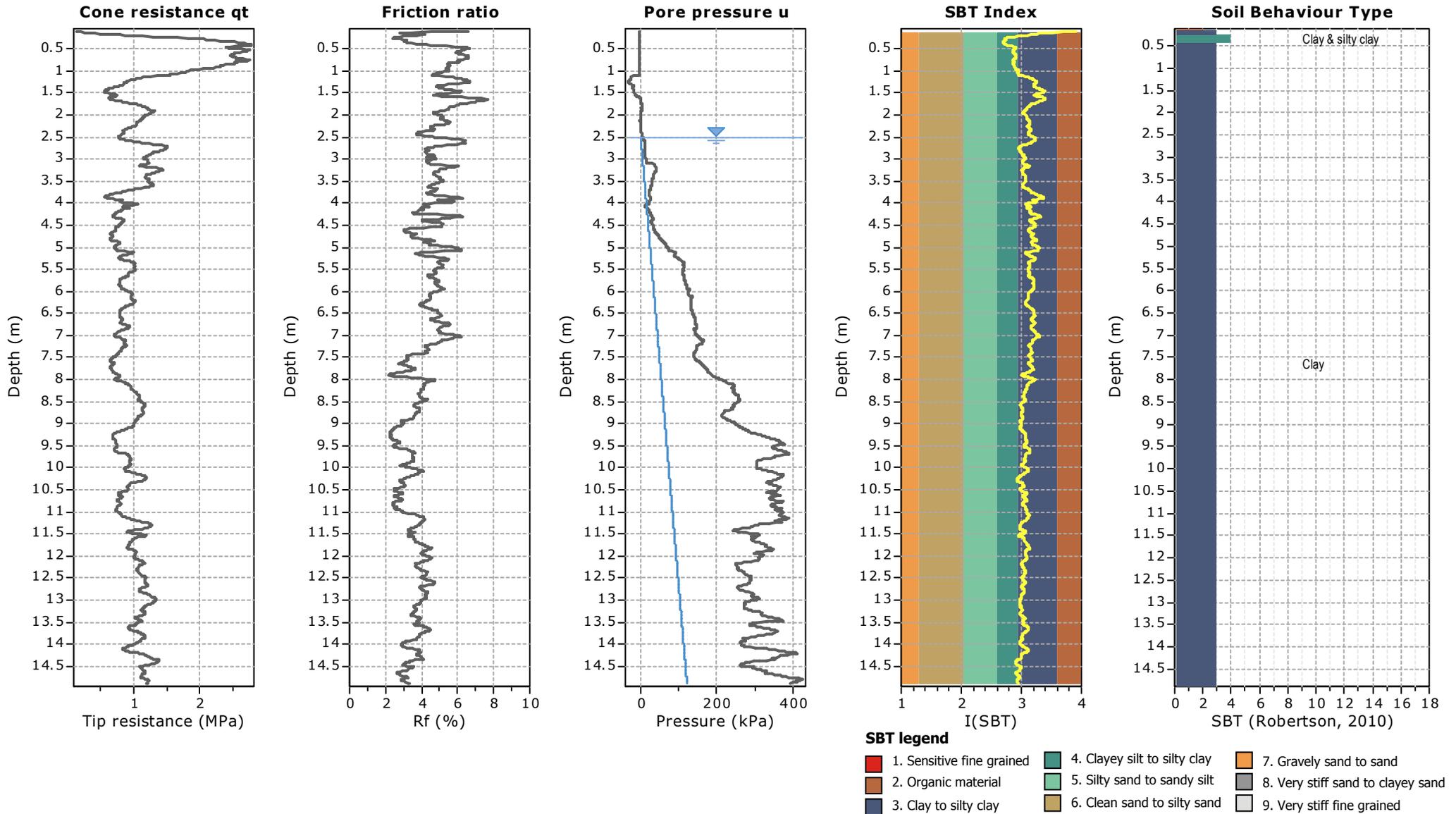
Project: Ambito NU11.2 - Sigg. Zanichelli - Rodofil s.r.l.

Location: Bogolese - Sorbolo - (Pr)



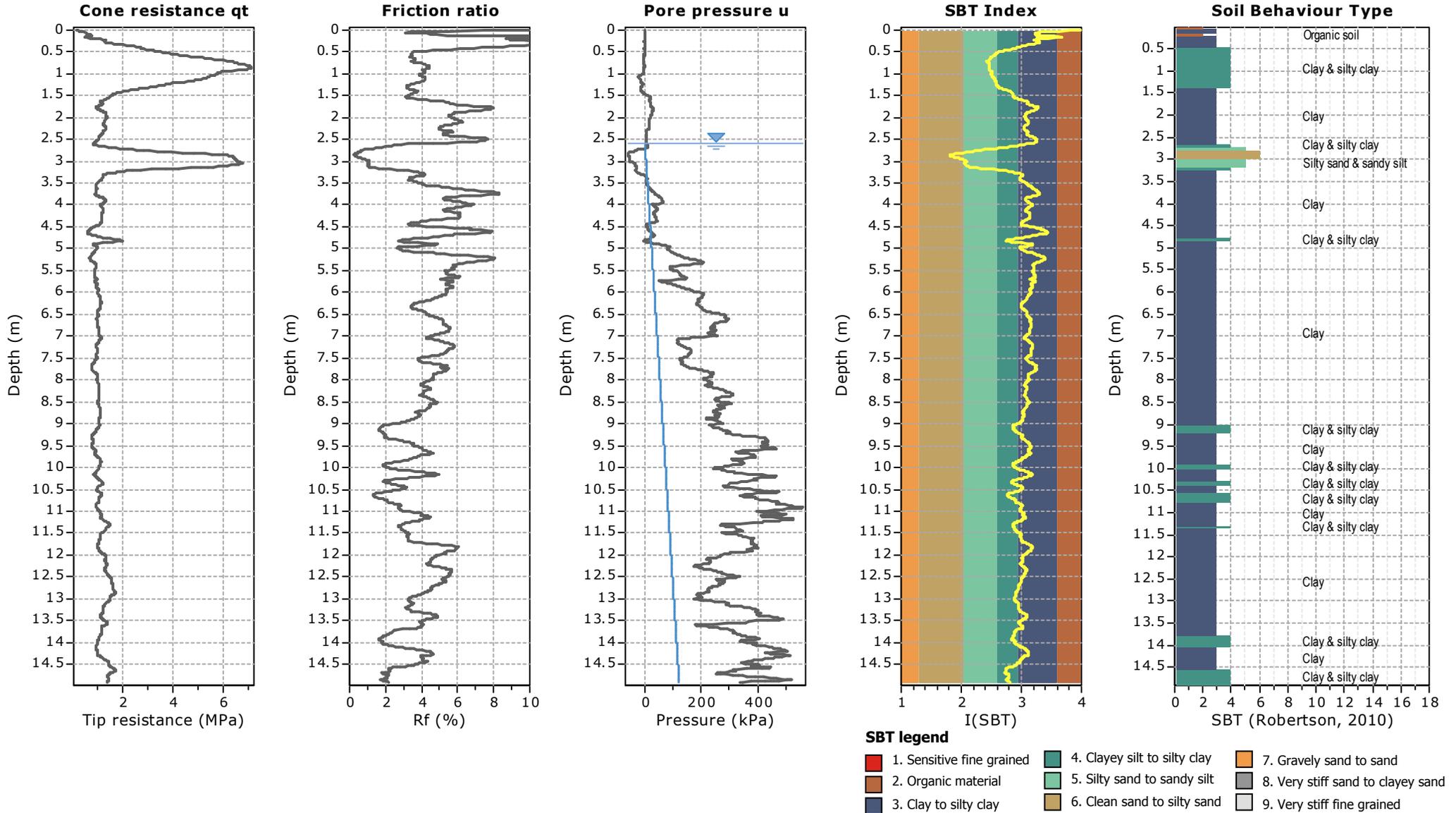
Project: Ambito NU11.2 - Sigg. Zanichelli - Rodofil s.r.l.

Location: Bogolese - Sorbolo - (Pr)



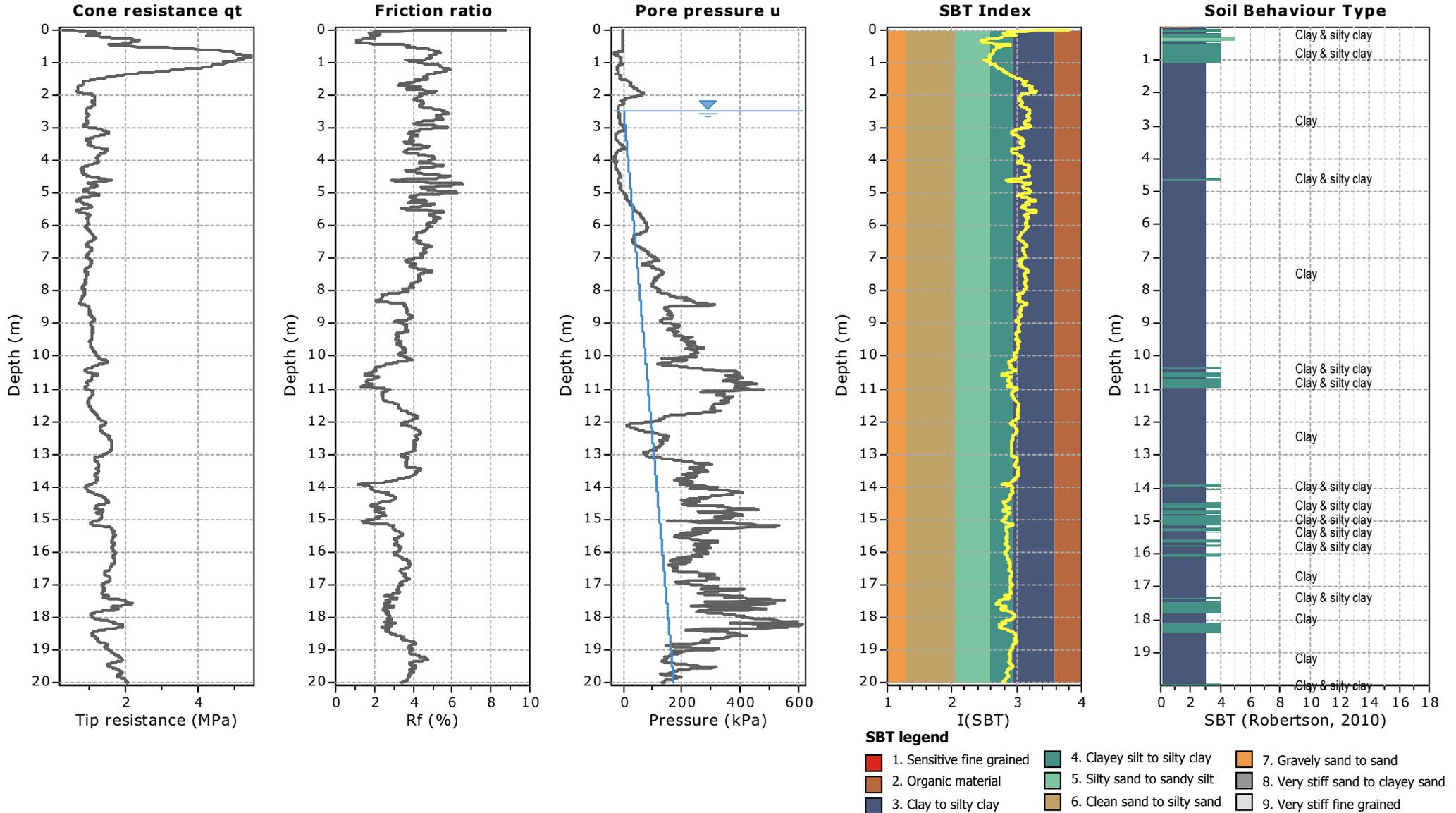
Project: Ambito NU11.2 - Sigg. Zanichelli - Rodofil s.r.l.

Location: Bogolese - Sorbolo - (Pr)



Project: Ambito NU11.2 - Sigg. Zanichelli - Rodofil s.r.l.

Location: Bogolese - Sorbolo - (Pr)



Acquisizioni MASW

COMMITTENTI:

Sigg. Zanichelli Paolo, Claudia e Alessandro e RODOFIL S.r.l.

COMMESSA:

Indagine geofisica
Valutazione V_{s_n} con metodologia MASW
Programma Integrato di Intervento C8

LOCALITA':

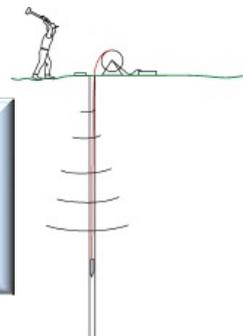
Comune di Sorbolo Mezzani (PR)
Località Bogolese
PUA Sub – Ambito NU11.2

DATA:

Agosto 2020

Via S. Cattania, 1/a
41012 Carpi (MO)

info@tecnogeofisica.com
www.tecnogeofisica.com



INDAGINE GEOFISICA

Committenti:

Sigg. Zanichelli Paolo, Claudia e Alessndro e RODOFIL S.r.l.

Intervento:

Indagine MASW

Località:

Comune di Sorbolo Mezzani (PR)

Località Bogolese

PUA SUB – Ambito NU11.2

INDICE

Premessa	1
Caratteristiche attrezzatura	2
Indagine MASW	3
Interpretazione dati acquisiti	Errore. Il segnalibro non è definito.
Categorie di suolo di fondazione (Azione sismica di progetto V_{sh} o per il caso in esame V_{s30})	8
Allegati Intervento	10
Ubicazione indagini	10
Scheda Masw Area A	11
Scheda Masw Area B	12
Documentazione fotografica	13

Premessa

Nel mese di agosto 2020, su commissione dei Sigg. Zanichelli Paolo, Claudia e Alessandro e RODOFIL S.r.l. e sotto la direzione del Dott. Geol. Paolo Panicieri, sono state effettuate due indagini sismiche tipo MASW (Multichannel Spectral Analysis of Waves), in località Bogolese - Comune di Sorbolo Mezzani (PR) in merito allo studio geologico per PUA Sub - Ambito NU 11.2.

Le prove sono state ubicate come da scheda allegata a fine testo.



Fig.1 Ubicazione area di indagine

Caratteristiche delle indagini geofisiche eseguite:

Area	Nome file	Ubicazione indicativa	Interdistanza geofonica m	Lunghezza linea m	Offset m	Lunghezza complessiva Linea m
Ambito NU 11.2	MW A	N44,833338 – E10,396181	2,0	46	10	56
Ambito NU 11.2	MW B	N44,832865 – E10,395325	2,0	46	10	56

Le indagini MASW sono indirizzate a misurare le velocità delle onde sismiche (V_s) del sottosuolo e la valutazione del parametro $V_{s,eq}$ come prescritto da:

- *Ordinanza del P.C.M. n° 3274 del 20 marzo 2003*
- *D.M. 17 gennaio 2018 "Norme tecniche per le Costruzioni".*
- *Successiva Circolare Ministeriale n°7 del 21/01/2019 recante Istruzioni per l'applicazione.*

Si ricorda che la normativa (par. 3.2.2 NTC18) richiede che l'effetto della risposta sismica locale sia valutato mediante specifiche analisi da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3; in alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento ad un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_s per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2. dell'NTC18.

All'interno del territorio nazionale sono state individuate 4 zone sismiche, contraddistinte dal valore a_g dell'accelerazione di picco al suolo, normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità (v. Allegato 1 ord. 3274 del 2003 e succ. modifiche). La classificazione del suolo (tabella 3.2.II) è invece convenzionalmente eseguita sulla base delle condizioni stratigrafiche e della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con:

- h_i spessore dell'i-esimo strato;
- $V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato
- N numero di strati;
- H per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro V_{s30} ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Caratteristiche attrezzatura

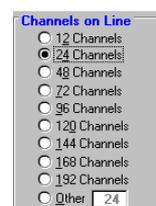
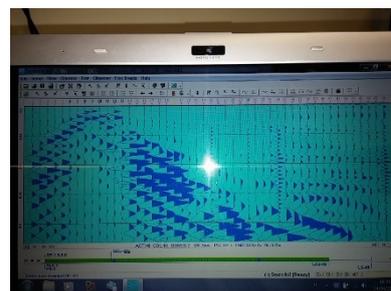
Le indagini MASW sono state eseguite utilizzando un sismografo multicanale ad incrementi di segnale, della Abem-Seistronix mod. **Ras 24** con 24 canali attivi (sistema ampliabile sino a 240 canali).

Sismografo (ch 1-24)



Le specifiche tecniche dello strumento sono:

- | | |
|-----------------------------|--|
| - processore: | Pentium 200 MMx Intel; |
| - trattamento dati: | Floating Point 48-Bit; |
| - ambiente operativo: | Windows7 32 bit; |
| - display: | VGA colori LCD_TFT 15"; |
| - supporto memorizz.: | Hard Disk; |
| - risoluzione acquisizione: | 12/48 bit; |
| - sonde ambiente interne: | temperatura, umidità relativa; |
| - formato dati: | SEG-2 (.dat); |
| - durata acquisizioni: | Rifrazione, 32÷4000 ms; |
| - tempi campionamento: | da 12 µs a 4 ms; |
| - filtri digitali: | Passa alto (25÷400 Hz);
Passa Basso (100÷250 Hz);
Notch (50÷180 Hz); |
| - attivazione filtri: | in acquisizione o manualmente; |
| - trigger: | inibizione impulsi dovuti a rimbalzi; |
| - canali: | 24/48 (max 240). |



Altra strumentazione

- Un cavo con lunghezza 65 m per collegare in serie i geofoni.
- 24 geofoni da 4,5 Hz.
- Sorgente impulsiva: mazza battente da 10 Kg con piastra di battuta in alluminio 15x15 cm, da disporre sul terreno.
- Bindella metrica per posizionare i ricevitori.

Indagine MASW

Lo scopo di un'indagine sismica di tipo MASW appositamente eseguita consente la determinazione diretta, nel sito d'intervento, della velocità delle onde trasversali (Onde di taglio - onde Sh/Sv) dei terreni presenti nel sottosuolo dell'area in oggetto dalla quale si ottiene la corretta definizione della categoria sismica dello stesso ($V_{s,30}$).

L'indagine sismica realizzata, Masw (in sismica attiva), è stata scelta in funzione delle limitazioni che affliggono in genere misure di onde Sh con metodi a rifrazione tradizionali (come ad es. difficoltà di generazione di onde polarizzate Sh o inversioni di velocità identificabili con difficoltà o valutabili con costosi, lunghi ed impegnativi metodi sismici in foro Cross-Hole e/o Down-Hole).

La tecnica sismica Masw è stata ampiamente testata (perfezionata già dal 1999) ed è contemplata fra le indagini per la definizione rigorosa del profilo di V_s per la caratterizzazione sismica del sito (NTC-2018 e ad es. Lai, Foti e Rota "Input sismico e stabilità geotecnica dei siti di costruzione - IUSS Press Eucentre 2009) ed è particolarmente indicata per la caratterizzazione del primo sottosuolo; tecniche basate sull'utilizzo di registrazioni di microtremiti di origine naturale e/o antropica (tecniche passive) possono, infatti, caratterizzare il sottosuolo più in profondità, da diverse decine sino, alle volte, anche a centinaia di metri (Lai et alii - IUSS Press Eucentre 2009), ma con minor risoluzione per la zona prossima alla superficie che, invece, ci interessa maggiormente.

Diversi autori (Lachet e Bard 94, Bard 99, De Ferrari et alii - Università studi di Genova 2008) segnalano, inoltre, che per i terreni alluvionali i sistemi d'acquisizione in sismica passiva sono poco idonei in quanto l'utilizzo di tecniche passive è possibile o consigliabile nel caso di:

- intenso "rumore antropico" (che impedisce o maschera l'acquisizione dei dati in sismica attiva);
- discreto contrasto di impedenza sismica ($>2,5-3$) fra il substrato (sismico) ed il materasso alluvionale sovrastante;
- interrimento del sensore sismico passivo per migliorare l'accoppiamento sensore-terreno; altri autori (Konno e Ohmachi 98, Bard 99, Bindi et alii 2000, Parolai et alii 2002) consigliano, quindi, di evitare aree caratterizzate dalla presenza di erba, fango, terreno saturo, neve, ghiaccio, materiali incoerenti in superficie (ghiaia, ciottoli, quindi piazzali rilevati ecc.), coperture artificiali con piastrelle, superfici sintetiche ecc.

Valutando le sopraccitate motivazioni per caratterizzare il sottosuolo dal punto di vista del profilo V_s /profondità è stata realizzata una prospezione Masw (rilevazione onde di Rayleigh - tecnica in sismica attiva).

Dal punto di vista operativo l'indagine è stata eseguita stendendo lungo una linea 24 ricevitori (geofoni) con una distanza intergeofonica costante ed energizzando ad un'estremità dello stendimento battendo con una mazza su una piastra di alluminio; la distanza tra il punto di energizzazione ed il primo geofono è denominata "offset".

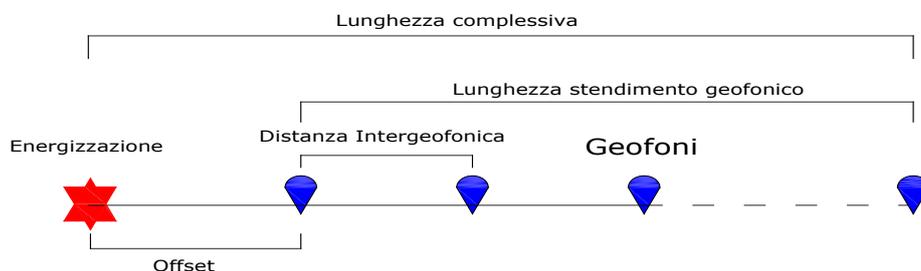


Fig.2 Schema illustrativo prova Masw

Le Basi Masw eseguite, per le possibilità operative presenti in corrispondenza del sito di intervento, presentano (Compreso il punto di shot) la seguente geometria:

- | | |
|--|---------|
| ➤ numero geofoni | 24; |
| ➤ distanza intergeofonica | m. 2,0; |
| ➤ lunghezza stendimento geofonico | m. 46; |
| ➤ distanza punto di shot da primo geofono "offset" | m. 10; |
| ➤ lunghezza complessiva | m. 56. |

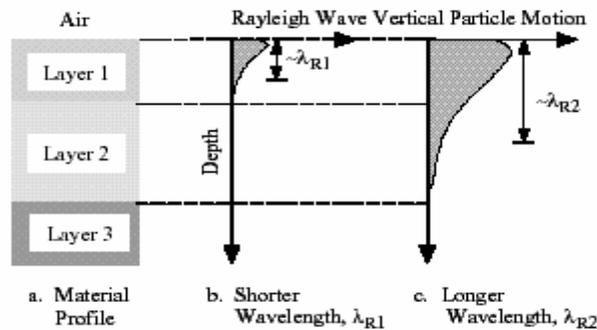
Si ricorda che data la necessità di analizzare con elevato dettaglio le basse frequenze (anche inferiori a 20 Hz), la tecnica di acquisizione per onde di superficie necessita di geofoni ad asse verticale con frequenza di taglio non superiore a 4,5 Hz.

Le basi teoriche della tecnica di Acquisizione Masw (analisi ed elaborazione delle onde di superficie di Rayleigh) sono completamente diverse da quelle della sismica a riflessione o rifrazione (onde P o S).

A differenza della riflessione o della rifrazione, le cui metodiche di interpretazione si basano sui tempi di arrivo ai geofoni delle onde riflesse o rifratte (si misurano, quindi, dei tempi), nell'acquisizione con metodo Masw non è possibile caratterizzare la tecnica con un classico coefficiente geometrico che esprime la profondità di investigazione in funzione della lunghezza della stesa sismica.

Nella tecnica Masw non si misurano, infatti, dei tempi ma viene eseguita una trattazione spettrale dei sismogrammi e, mediante trasformata di Fourier, si restituisce lo spettro del segnale sismico nel dominio frequenza (f) n. d'onda (k) detto anche dominio f-k. La lunghezza dello stendimento dipende sia dal numero di ricevitori utilizzabili sia dallo spazio disponibile.

Normalmente si dispongono i ricevitori ad interasse costante compreso tra m. 0,5 e m. 3,0 (con array a parità di numero di ricevitori, un interasse di m. 3,0 consente di avere uno stendimento di ricevitori più lungo e, quindi, una maggiore risoluzione della curva di dispersione lungo la coordinata numero d'onda k; in questo modo, però, si riduce il numero d'onda di Nyquist oltre cui non si ha certezza sull'affidabilità del segnale misurato. Un interasse piccolo può essere necessario in piccoli spazi; esso consente un intervallo più ampio di numeri d'onda ma comporta una minore risoluzione della curva di dispersione lungo i numeri d'onda).



La profondità investigata dalle onde di Rayleigh dipende dalla lunghezza d'onda, dalla velocità delle onde di taglio V_s e dalla frequenza. (Stokoe II and Santamarina, 2000).

La relazione che meglio consente di valutare la profondità di investigazione di un'indagine MASW è legata, più che alla dimensione dello stendimento, al valore della V_s assegnata ad una determinata profondità z dal piano campagna, calcolata in funzione della lunghezza d'onda, cioè :

$$z = \frac{\lambda}{1.5/2.0}$$

Dalle tecniche di analisi - interpretazione (analisi spettrale) mediante utilizzo del software (**SWAN**® vers. 2008) in seguito descritte più in dettaglio, è possibile ottenere, dal grafico "Experimental Dispersion Curve" (nel dominio Frequenza-Velocità), la lunghezza d'onda delle onde di Rayleigh caratteristiche dell'indagine eseguita; risultando, per il sito in esame:

MASW A una $\lambda \approx 78$ m, si può dedurre, a partire dalla formula sopra indicata, una profondità di investigazione pari a m. 52.0 / 39.0 circa;

MASW B una $\lambda \approx 87$ m, si può dedurre, a partire dalla formula sopra indicata, una profondità di investigazione pari a m. 58.0 / 43.0 circa.

Si evidenzia, inoltre, che con la tecnica Masw (indagine sismica non invasiva di superficie) si ottiene una modellazione del sottosuolo basandosi sulla propagazione delle onde di Rayleigh; tale tecnica viene attualmente realizzata mediante approcci multi stazioni che risultano robusti ed efficienti (Foti, 2000; Lai e Wilmanski, 2005) rispetto ai primi approcci del metodo i quali si basavano essenzialmente su 2 ricevitori (Prova Sasw - Stoke et al., 1994).

Queste prove (masw-sasw) sfruttano la proprietà della dispersione geometrica che rende la velocità di propagazione delle onde di Rayleigh (V_R) dipendente dalla frequenza di eccitazione in mezzi verticalmente eterogenei.

L'onda di R. è un particolare tipo d'onda sismica ed è facilmente individuabile in quanto ha una velocità differente dai treni d'onda delle onde P ed S risultando più lenta anche di queste ultime, con una velocità di propagazione $V_R \approx 0,9 \div 0,96 V_s$ (da V. Socco Lab. Geofisica Appl. Dip. Ing Territorio Politecnico TORINO).

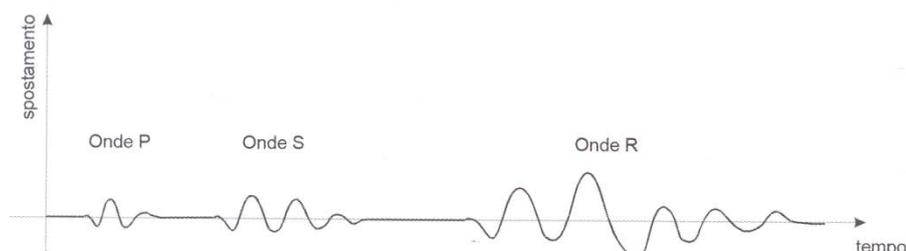
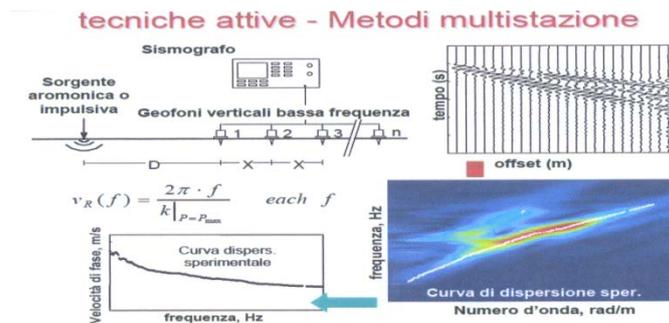


Fig. 3: sismogramma che evidenzia l'arrivo distinto di onde P, S e di Rayleigh (da Crespellani e Facciorusso "Dinamica dei terreni")

L'onda di Rayleigh si trasmette, infatti, sulla superficie libera di un mezzo isotropo ed omogeneo ed è il risultato dell'interferenza e della combinazione di onde sismiche di pressione (P-waves) e di onde di taglio polarizzate verticalmente (Sv-waves). La prova consiste nel produrre sulla superficie del terreno, in corrispondenza del sito da investigare, una sollecitazione (piccolo sisma) e nel registrare le vibrazioni prodotte sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate. Il profilo di Vs viene determinato attraverso la soluzione di un problema matematico di inversione della curva di dispersione (V_R in funzione della frequenza).

In un mezzo reale stratificato avviene una dispersione delle onde prodotte; in altre parole, si verifica una deformazione del treno d'onda dovuto alla variazione della velocità di propagazione con la frequenza che muta in relazione alle caratteristiche di "rigidezza" di ogni singolo strato.

Nella figura sotto riportata (da V. Socco Lab. Geofisica Appl. Dip. Ing Territorio Politecnico di TORINO) è ben riassunto il processo di acquisizione ed il passaggio alla curva di dispersione:



Gli elementi a bassa frequenza penetrano più in profondità con velocità di fase in genere più alta rispetto alle componenti ad alta frequenza.

Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh, visualizzato dai grafici $V(\text{fase})/f(\text{frequenza})$ è convertito in profili V_s / profondità tramite elaborazioni e programmi dedicati.

Interpretazione dati acquisiti

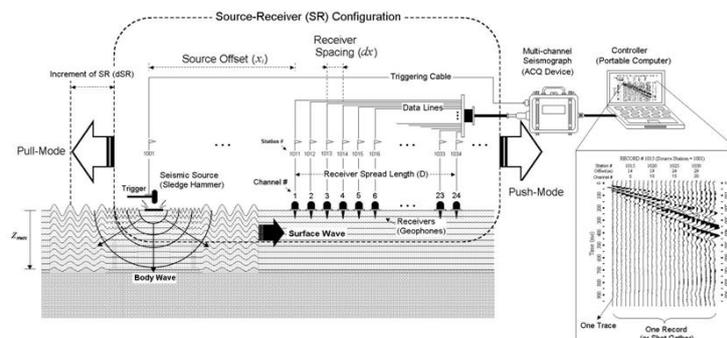
L'interpretazione delle tecniche di rilievo sismico MASW traggono spunto, come in precedenza accennato, dalle tecniche studiate da Nazarian e Stokoe (1984-94) che per primi hanno presentato il metodo SASW che utilizzava una sorgente d'impulso e 2 soli sismometri di rilevazione (1 Hz).

Tale tecnica, come d'altronde anche la Masw, è basata sul fatto che, osservando il segnale che si propaga nel suolo a seguito di una energizzazione, la quasi totalità dell'energia (circa 2/3 o più) si propaga tramite onde superficiali (onde di Rayleigh).

Per sopperire alle difficoltà d'applicazione della tecnica Sasw in diverse situazioni, Park et Alii (1999) hanno studiato e sviluppato il metodo MASW il quale si differenzia dalla succitata tecnica principalmente per l'utilizzo simultaneo di 24 o più geofoni (sismometri polarizzati verticalmente - frequenza max 4.5 Hz) per consentire di ricavare numerosi profili di velocità Vs ottenuti dallo studio delle velocità di fase dei numerosi treni d'onda di Rayleigh che sono registrati ai sismometri.

I geofoni possono essere spazati da 0,5 sino ad un massimo di circa 2 - 3 metri e forniscono una ridondanza statistica delle misure delle velocità di fase, avvalorandone quindi la veridicità (rispetto al metodo Sasw che si basava solo su un'unica misura).

Le tracce dei sismogrammi possono essere salvate nel dominio temporale; questo consente di distinguere ed evidenziare (nel record di registrazione) le onde di Rayleigh, caratterizzate da elevata ampiezza di segnale (la quasi totalità dell'energia prodotta si ripartisce nelle onde di Rayleigh).



Dal sismogramma, tramite una trasformata nel dominio **frequenza (f) – numero d'onda (k)** dalle tracce cui corrispondono i massimi spettrali (senza trascurare i modi superiori se presenti) si può risalire alla curva di dispersione, ossia ad un grafico ampiezza/frequenza, mediante la relazione:

$$V_R(f)=f/k.$$

che consente di individuare il segnale proprio, relativo alle onde superficiali che interessano tale metodologia.

Il processo iniziale di individuazione della curva di dispersione caratteristica del sito in esame è ottenuto tramite il software (**SWAN**® vers. 2008); a questo fa seguito una fase di elaborazione - interpretazione basata su di una "analisi spettrale". Si procede sostanzialmente nella risoluzione del cosiddetto problema inverso: a partire dalla curva di dispersione misurata in situ si arriva al modello di stratificazione del terreno con i relativi parametri sismici secondo il seguente schema:

- concatenazione dei file contenenti i record di registrazione in situ;
- fase di pre-processing per "ottimizzare" i record stessi in modo da migliorare la qualità dell'interpretazione cioè eventuale filtraggio o "pulizia" dei dati grezzi;
- passaggio dal sismogramma al dominio spettrale mediante trasformata FK;
- picking dei punti dello spettro per ottenere la curva di dispersione sperimentale; la procedura consiste nel trovare, per ogni frequenza, dei massimi assoluti/relativi dello spettro FK per individuare il modo fondamentale di propagazione dell'onda (ovvero quello a velocità minore), senza trascurare (analisi multimodale) di ricercare anche eventuali modi superiori;
- estrazione curva di dispersione sperimentale mediante la procedura sopra indicata dallo spettro FK;
- inversione: tale procedura è avviata allo scopo di ottimizzare un modello stratigrafico che sia relativo e sovrapponibile alla curva di dispersione sperimentale propria del sito; in tale procedura il programma **SWAN**® utilizza una tecnica di inversione lineare tipo OCCAM che presenta il vantaggio di minimizzare l'errore quadratico medio tra dati sperimentali e dati teorici. In linea generale, come in gran parte dei processi di inversione (definiti "try and error"), l'inversione viene fermata quando un determinato parametro, definito ϵ (cioè la differenza fra dato osservato e dato calcolato), è in genere $< 2-3\%$. L'inversione OCCAM, utilizzando differenze quadratiche medie, fornisce risultati migliori di un'inversione lineare classica dato che quando si raggiunge lo stop dell'inversione (ϵ_{MIN}), cioè un valore percentualmente molto piccolo, la sovrapposizione delle curve è davvero buona.
- fase di ottimizzazione e di taratura della curva teorica, realizzata contestualmente alla procedura d'inversione, con inserimento (eventuale) di strati sino ad un massimo di 30, assegnazione dei moduli di Poisson e taratura dello spessore degli strati mediante confronto con prove dirette (prove penetrometriche, stratigrafie di sondaggio, colonne di perforazioni di pozzi ecc.) ed eseguendo ulteriori processi di inversione allo scopo di raffinare il risultato ottenuto, cioè una curva di dispersione teorica finale molto ben sovrapposta a quella sperimentale.

L'obiettivo finale è l'ottenimento di un profilo verticale delle V_s minimizzando le imprecisioni (risultati random), definendo, quindi, un modello finale ad elevata attendibilità e fortemente rappresentativo, mediante le tarature, del reale profilo V_s /profondità del sito in analisi, come d'altronde suggerito anche da ricercatori in ambito geofisico (es. Dal Moro et alii Gruppo Esplor. Geofisica - Dip. Geol e Scienze Marine Univ. Trieste "*cosa migliore è confrontare lo spettro di velocità osservato, con le curve teoriche di dispersione di un modello che riteniamo plausibile per l'area sotto esame.*").

Considerazioni sulle tecniche di inversione:

- le tecniche d'inversione possono fornire soluzioni non univoche ma, proprio per ovviare a questa possibilità, si eseguono TARATURE con dati reali del sito (prove cpt, stratigrafie ecc) utilizzando anche parametri che esprimono la "rigidezza" degli strati individuati (es. coeff. Poisson) al fine di indirizzare l'inversione verso un modello molto vicino a quello reale;
- la funzione obiettivo (il misfit tra dato osservato e dato calcolato) è prossima a zero solo in un caso ideale di assenza di rumore; per questo motivo il sismogramma può essere trattato o filtrato per ridurre al minimo od eliminare eventuali rumori o disturbi esterni che non hanno nulla a che fare con l'onda sismica che stiamo analizzando;
- è fuorviante e sbagliato attribuire una percentuale di errore eseguendo un'operazione di alterazione delle velocità sismiche ottenute dall'esecuzione dei dettagliati processi di inversione sopra esposti (esempio attribuendo un errore globale del $\pm 10\%$, quindi alterando ad es. le velocità sismiche ottenute moltiplicando *0,9 le V_s dei singoli strati) perché in tal modo si **vanificherebbe** completamente l'elaborazione Masw che è stata fatta con cura ed esperienza secondo principi codificati e consolidati. Ipotizzando, infatti, che possa esistere un modello V_s /profondità analogo a quello definito con l'interpretazione corretta della prova Masw ma con velocità alterate (cioè diminuite/aumentate del 10%) si otterrebbe un $Mach$ fra curva sperimentale e teorica **completamente non attendibile**. A titolo di esempio si allegano alcune figure che illustrano tale erronea operazione di alterazione delle V_s calcolate:

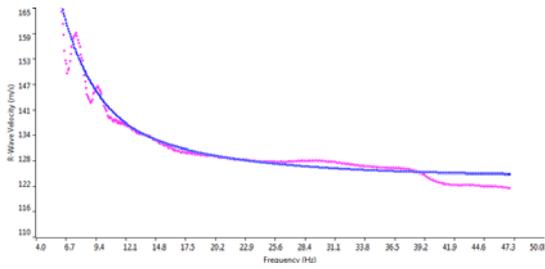


Grafico con sovrapposizione fra curva dispersione sperimentale (magenta) e curva teorica (blu) ottenuta dal processo inversione Masw dominio frequenza/velocità.
 Si noti la quasi perfetta corrispondenza del fitting fra le due curve

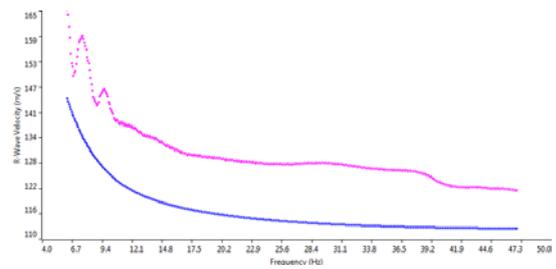


Grafico con sovrapposizione fra curva dispersione sperimentale (magenta) e curva teorica "alterata" modificando le Vs diminuendole erroneamente del 10% (blu) dominio frequenza/velocità.
 Si noti la completa "sfasatura" della curva teorica sinonimo di un allontanamento dalla reale stratigrafia sismica che caratterizza il sito quindi un modello **NON ACCETTABILE**

Le curve di dispersione sopra esposte sono da considerarsi indicative e non riferite alla indagine Masw della presente relazione: sono riferite ad un generico sito con una stratificazione di 5 strati, mantenuti identici nelle 2 simulazioni, con analoghi coefficienti di Poisson assegnati (variabili fra 0.45-0.48) e $V_{S30} \approx 190$ m/sec (grafico a sinistra) e $V_{S30} \approx 170$ m/sec (grafico a destra).

Categorie di suolo di fondazione (Azione sismica di progetto V_{sh} o per il caso in esame V_{s30})

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto (come previsto dal D.M. 17/01/2018) sono stati esaminati i dati ottenuti dalle prospezioni sismiche di superficie, opportunamente tarati con dati stratigrafici e litologici presenti in bibliografia (pozzi, sezioni stratigrafiche ecc.) e con le risultanze delle prove penetrometriche eseguite in sito; i valori della velocità media delle onde di taglio V_s , ottenuti mediante specifica prova Masw, risultano essere:

metodo sismico attivo-MASW onde Rayleigh:

MW_A

1° strato:	da m. 0,0 a m. 1,10	spessore medio m. 1,10	velocità media onde V_s 130 m/sec
2° strato:	da m. 1,10 a m. 3,25	spessore medio m. 2,15	velocità media onde V_s 120 m/sec
3° strato:	da m. 3,25 a m. 6,50	spessore medio m. 3,25	velocità media onde V_s 167 m/sec
4° strato:	da m. 6,50 a m. 9,90	spessore medio m. 3,40	velocità media onde V_s 191 m/sec
5° strato:	da m. 9,90 a m. 16,00	spessore medio m. 6,10	velocità media onde V_s 215 m/sec
6° strato:	da m. 16,00 a m. 26,30	spessore medio m. 10,30	velocità media onde V_s 255 m/sec
7° strato:	da m. 26,30 a \geq m. 30,00	spessore medio \geq m. 3,70	velocità media onde V_s 285 m/sec

In base a quanto sopra, per la classificazione delle categorie dei suoli di fondazione, come da All. 2 (cfr. Ord. Pres. Consiglio dei Ministri 3274 del 20-03-2003 e art. 3.2.2 DM 17-01-2018), ai vari strati sismo - stratigrafici individuati è stato associato il valore della velocità V_s direttamente misurata, ottenendo così la $V_{s,30}$, cioè la velocità media di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m di sottosuolo, dall'espressione:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

dove

h_i = spessore dello strato i -esimo
 V_{s_i} = velocità onde S nello stato i -esimo
 N = numero strati considerati

Sulla base dei dati sopra esposti:

Prospezione MASW

$V_{s30} = 206$ m/sec (da p.c. a m. - 30.0 da p.c.)

Tale valore consente di ipotizzare che, in base alla misura delle onde di taglio V_{s30} , il terreno possa corrispondere alla categoria del suolo di fondazione di tipo **C** (*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*)

Si ricorda che, in base a quanto previsto dall'art. 3.2.2 NTC 2018, "per le fondazioni superficiali, la profondità del calcolo delle V_s è riferita al piano di imposta delle stesse mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione".

metodo sismico attivo-MASW onde Rayleigh:

MW_B

1° strato:	da m. 0,0 a m. 1,00	spessore medio m. 1,00	velocità media onde V_s 125 m/sec
2° strato:	da m. 1,00 a m. 3,00	spessore medio m. 2,00	velocità media onde V_s 115 m/sec
3° strato:	da m. 3,00 a m. 7,50	spessore medio m. 4,50	velocità media onde V_s 166 m/sec
4° strato:	da m. 7,50 a m. 10,50	spessore medio m. 3,00	velocità media onde V_s 195 m/sec
5° strato:	da m. 10,50 a m. 17,40	spessore medio m. 6,90	velocità media onde V_s 390 m/sec
6° strato:	da m. 17,40 a m. 24,00	spessore medio m. 6,60	velocità media onde V_s 245 m/sec
7° strato:	da m. 24,00 a \geq m. 30,00	spessore medio \geq m. 6,00	velocità media onde V_s 278 m/sec

In base a quanto sopra, per la classificazione delle categorie dei suoli di fondazione, come da All. 2 (cfr. Ord. Pres. Consiglio dei Ministri 3274 del 20-03-2003 e art. 3.2.2 DM 17-01-2018), ai vari strati sismo - stratigrafici individuati è stato associato il valore della velocità V_s direttamente misurata, ottenendo così la $V_{s,30}$, cioè la velocità media di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m di sottosuolo, dall'espressione:

$$V_{s0} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{si}}}$$

dove

h_i = spessore dello strato i-esimo

V_{si} = velocità onde S nello strato i-esimo

N = numero strati considerati

Sulla base dei dati sopra esposti:

Prospezione MASW $V_{s30} = 200$ m/sec (da p.c. a m. - 30 da p.c.)

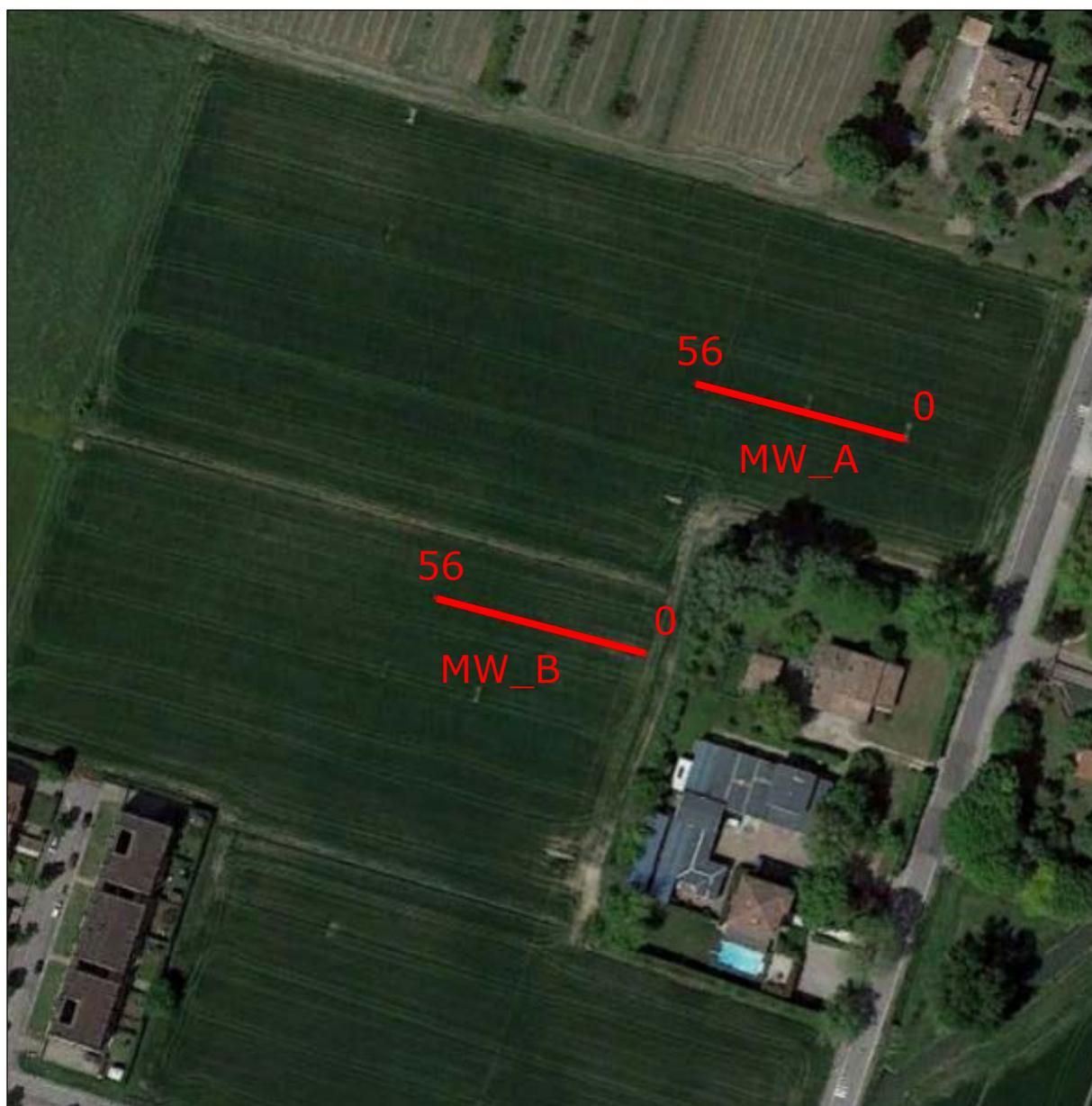
Tale valore consente di ipotizzare che, in base alla misura delle onde di taglio V_{s30} , il terreno possa corrispondere alla categoria del suolo di fondazione di tipo **C** (*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.)

Si ricorda che, in base a quanto previsto dall'art. 3.2.2 NTC 2018, "per le fondazioni superficiali, la profondità del calcolo delle V_s è riferita al piano di imposta delle stesse mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione".

TECNOGEOFISICA SNC

Allegati Intervento

Ubicazione indagini



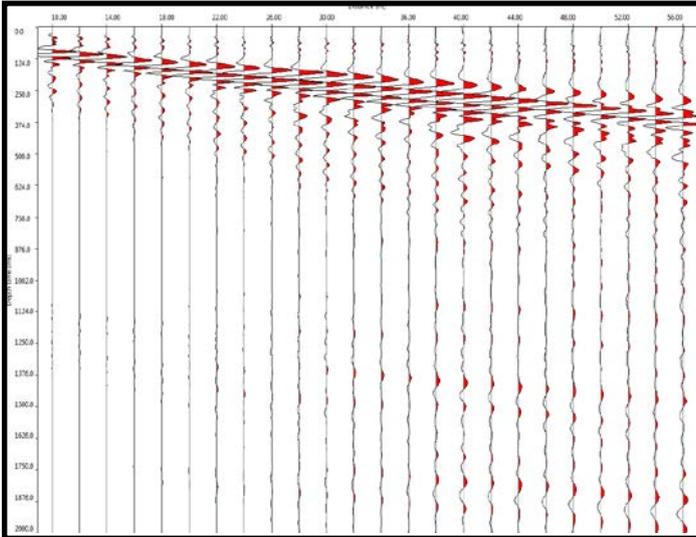
- Traccia linea sismica MASW
0 Ubicazione energizzazione
56 Ubicazione geofono 24



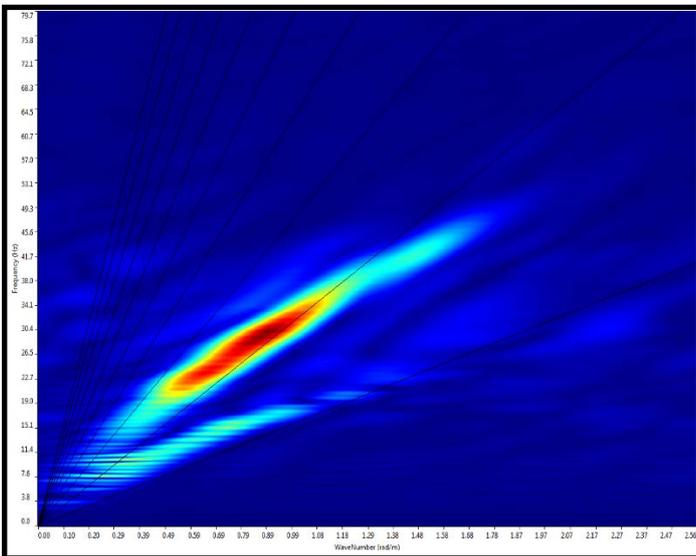
Caratteristiche delle indagini geofisiche eseguite:

Area	Nome file	Ubicazione indicativa	Interdistanza geofonica m	Lunghezza linea m	Offset m	Lunghezza complessiva Linea m
Ambito NU 11.2	MW_A	N44,833338 – E10,396181	2,0	46	10	56
Ambito NU 11.2	MW_B	N44,832865 – E10,395325	2,0	46	10	56

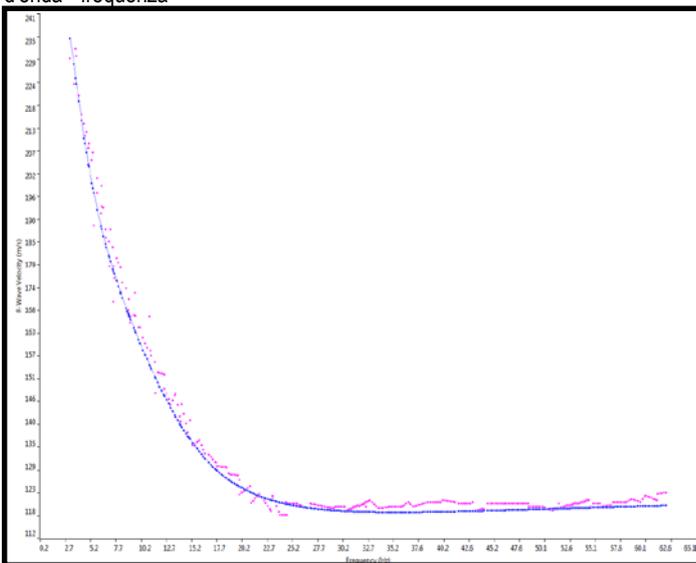
Scheda Masw A



Sismogramma nel dominio spazio/tempo



Spettro FK - Rappresentazione del sismogramma nel dominio numero d'onda - frequenza



Sovrapposizione curva di dispersione calcolata / curva teorica rappresentata nel dominio Frequenza/Velocità

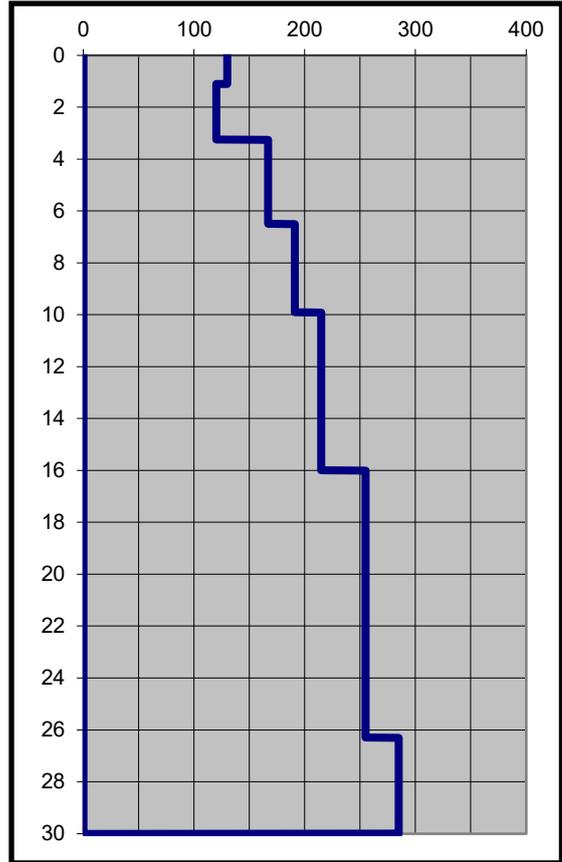


Grafico velocità/profondità onde di taglio Vs

Risultati Elaborazione MASW				
Strato	profondità		Spessore m	Vel. m/sec
	da	a		
Strato1	0.00	1.10	1.10	130
Strato2	1.10	3.25	2.15	120
Strato3	3.25	6.50	3.25	167
Strato4	6.50	9.90	3.40	191
Strato5	9.90	16.00	6.10	215
Strato6	16.00	26.30	10.30	255
Strato7	26.30	≥30.00	≥3.70	285

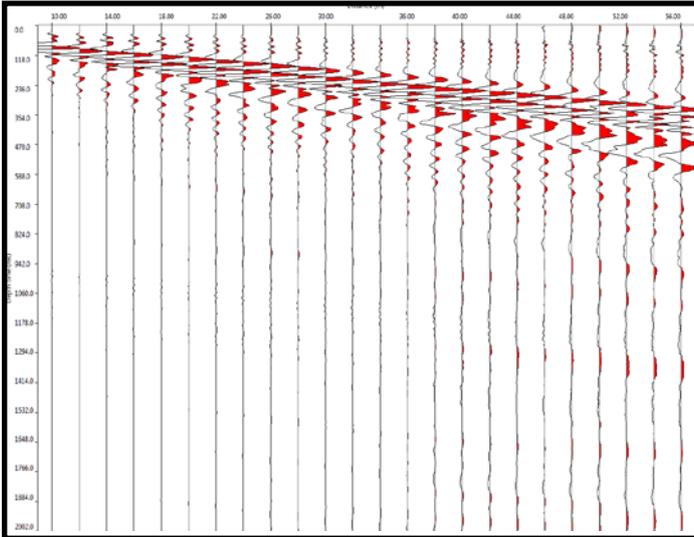
$$V_{s0} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{si}}}$$

Dove:

- hi** = spessore dello strato i-esimo
- V_{si}** = velocità onde S nello stato i-esimo
- N** = numero strati considerati

V_{s30} da p.c. a – 30 m = 206 m/sec

Scheda Masw B



Sismogramma nel dominio spazio/tempo

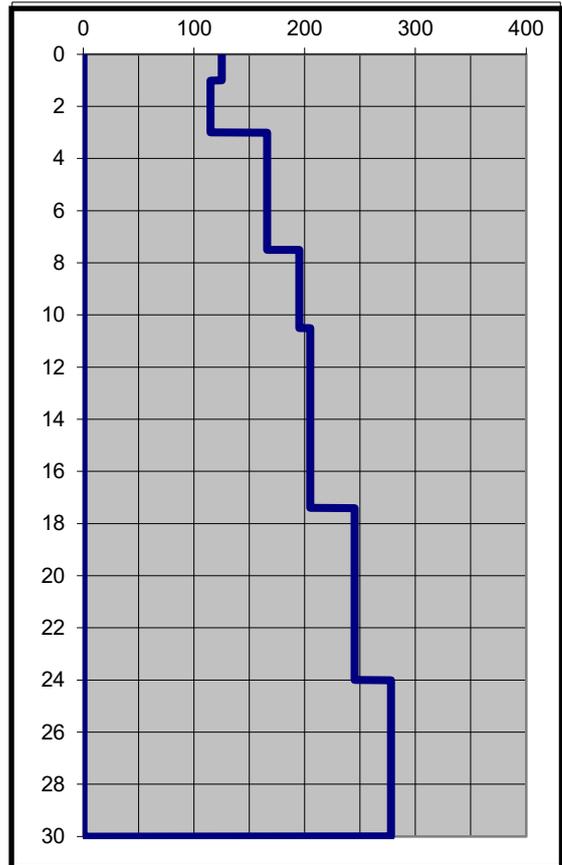
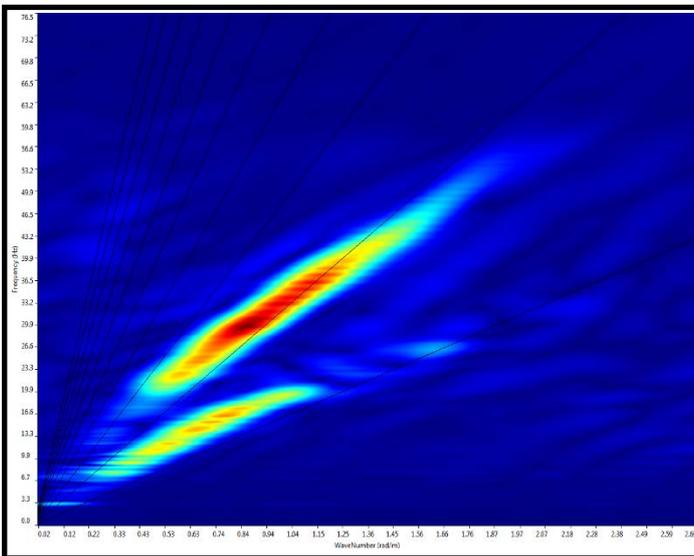
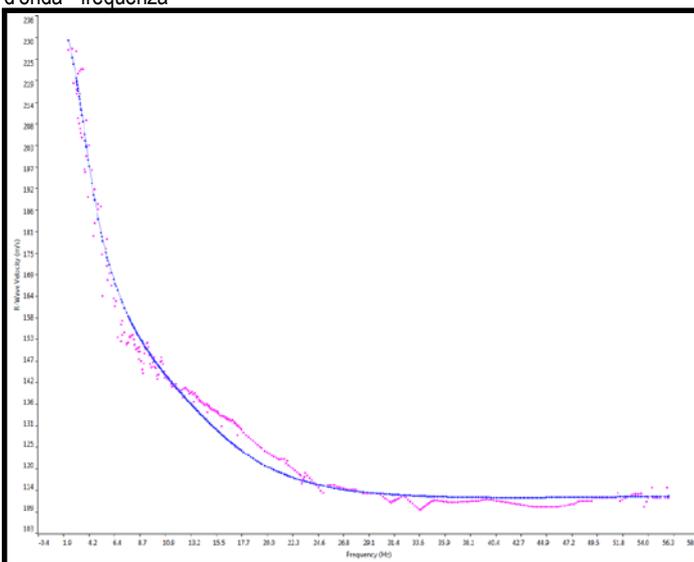


Grafico velocità/profondità onde di taglio Vs



Spettro FK - Rappresentazione del sismogramma nel dominio numero d'onda - frequenza



Sovrapposizione curva di dispersione calcolata / curva teorica rappresentata nel dominio Frequenza/Velocità

Risultati Elaborazione MASW				
Strato	profondità		Spessore m	Vel. m/sec
	da	a		
Strato1	0.00	1.00	1.00	125
Strato2	1.00	3.00	2.00	115
Strato3	3.00	7.50	4.50	166
Strato4	7.50	10.50	3.00	195
Strato5	10.50	17.40	6.90	205
Strato6	17.40	24.00	6.60	245
Strato7	24.00	≥30.00	≥6.00	278

$$V_{s0} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{si}}}$$

Dove:

- hi** = spessore dello strato i-esimo
- V_{si}** = velocità onde S nello stato i-esimo
- N** = numero strati considerati

V_{s30} da p.c. a – 30 m = 200 m/sec

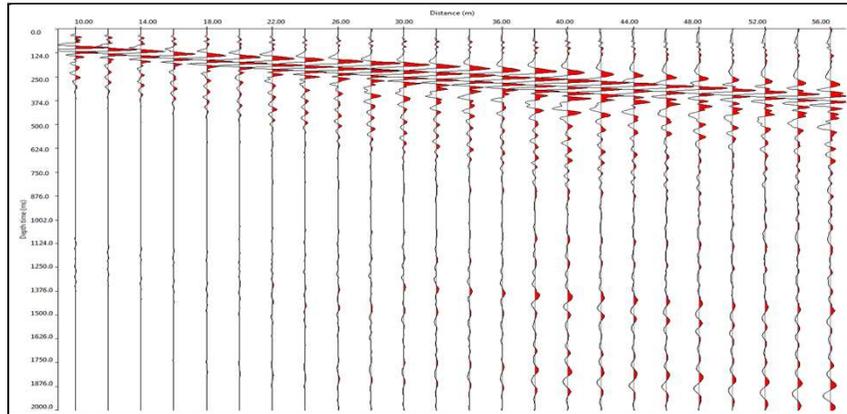
Documentazione fotografica



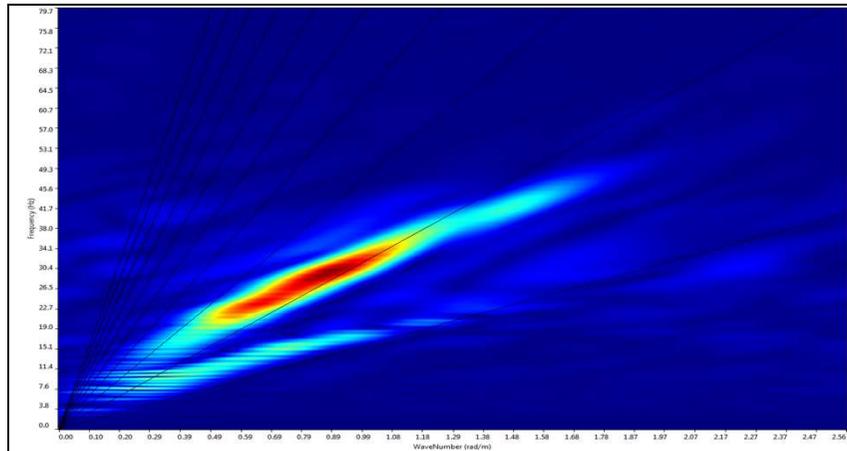
Piazzamento indagine MASW_A



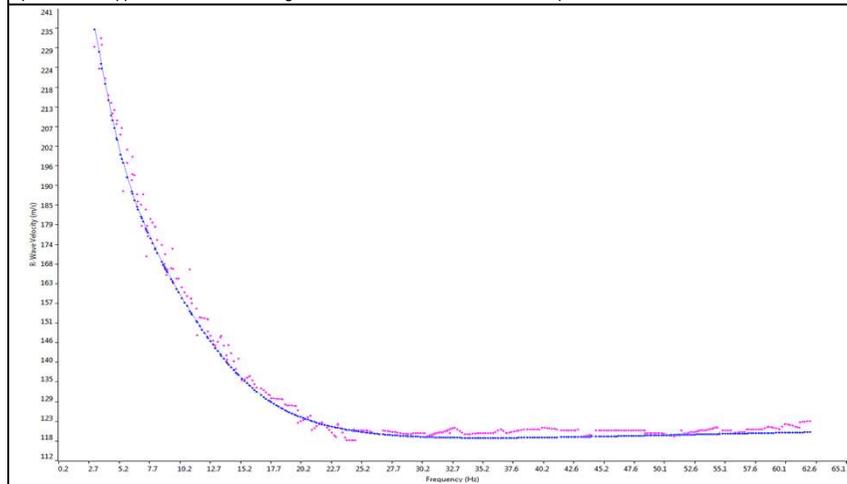
Piazzamento indagine MASW_B



Sismogramma nel dominio spazio - tempo



Spettro FK - Rappresentazione del sismogramma nel dominio numero d'onda - frequenza



Sovrapposizione curva di dispersione calcolata / curva teorica rappresentata nel dominio Frequenza/Velocità

V_{S30} calcolata in base al art. 3.2.2. del NTC18

Prof. posa fondazione in m da pc= 0

$$V_s \text{ a } 30 = 206 \text{ m/sec}$$

PROFONDITA' FONDAZIONE COMUNICATA DAL PROGETTISTA/COMMITTENTE

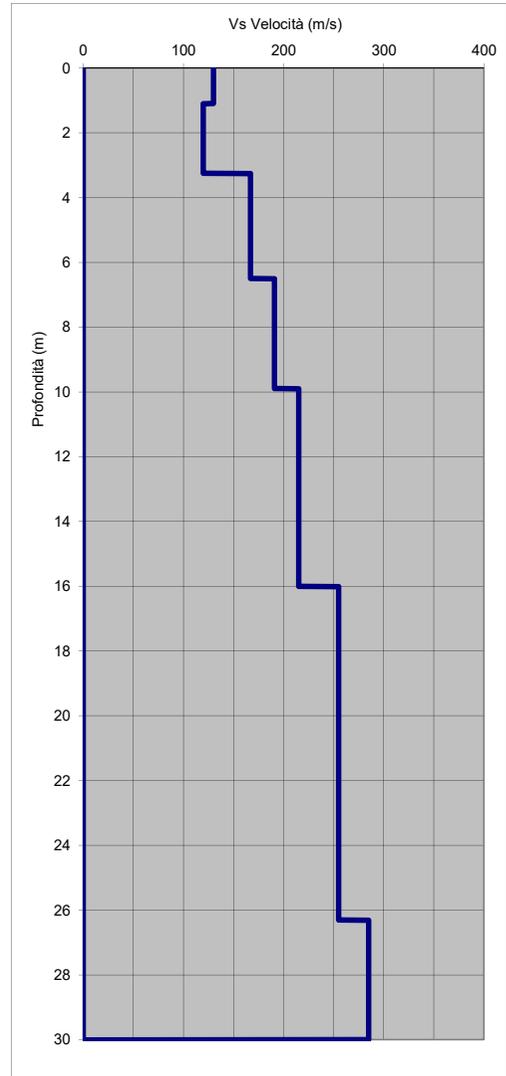


Grafico velocità/profondità onde di taglio Vs

Risultati elaborazione

Strato	Profondità	Spessore	Vel
	da	a	m/sec
Strato1	0,00	1,10	130
Strato2	1,10	3,25	120
Strato3	3,25	6,50	167
Strato4	6,50	9,90	191
Strato5	9,90	16,00	215
Strato6	16,00	26,30	255
Strato7	26,30	30,00	285

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{S_i}}}$$

$V_{S30} = 206 \text{ m/sec}$
velocità calcolata dal p.c. naturale

Si ricorda che in base all'art 3.2.2 del DM 17 gennaio 2018 la V_s 30 di progetto è riferita al piano di imposta delle fondazioni superficiali o alla testa dei pali in caso di fondazioni profonde od opere di sostegno di terreni naturali.

Caratteristiche Indagine

Ubicazione indagine

Sismografo	PASI SG24
Geofoni	Geospace
N° geofoni a 4,5Hz	24
Spaziatura geofoni	2,0 m
Lunghezza stendimento geofonico	46 m
Energizzazione	10 m
Lunghezza totale stendimento	56 m

**PROSPEZIONE SISMICA DI SUPERFICIE
METODOLOGIA MASW**

COMMITTENTE:

Sigg. Zanichelli Paolo, Claudia e Alessandro e
RODOFIL S.r.l.

LOCALITA':

Comune di Sorbolo Mezzani (PR)
Località Bogolese

CANTIERE:

PUA Sub - Ambito NU11.2

DATA: agosto 2020

FILE: Bogolese A

Dir. Lavori:

Dr. Geol. Paolo Panici

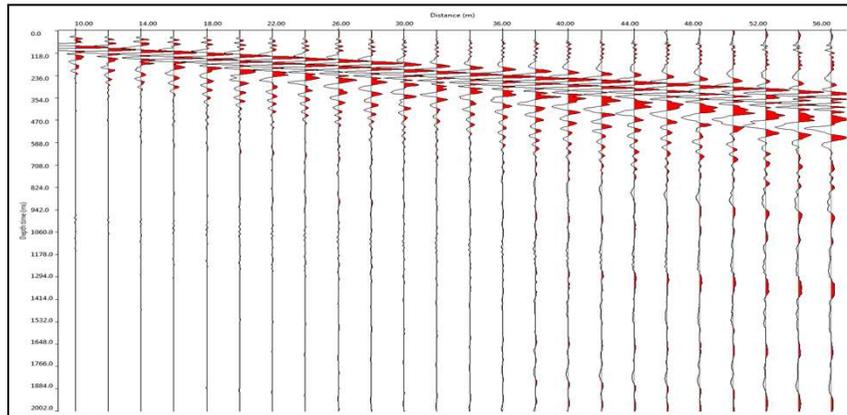
Rif. 054_20

TECNOGEOFISICA snc

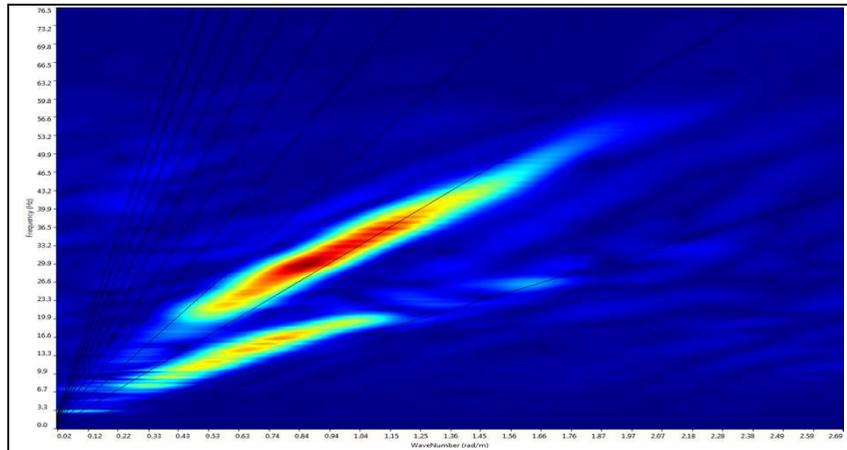
Via Cattania, 1/a - 41012 Carpi (MO)

info@tecnogeo fisica.com

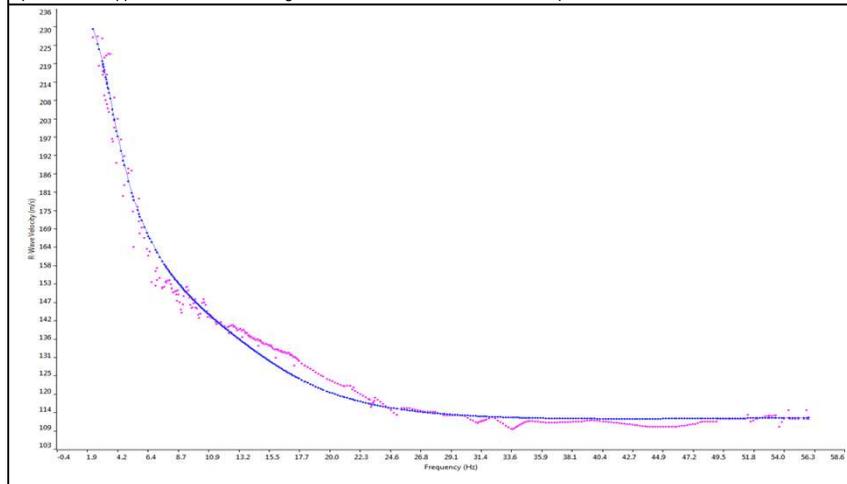
www.tecnogeo fisica.com



Sismogramma nel dominio spazio - tempo



Spettro FK - Rappresentazione del sismogramma nel dominio numero d'onda - frequenza



Sovrapposizione curva di dispersione calcolata / curva teorica rappresentata nel dominio Frequenza/Velocità

V_{S30} calcolata in base al art. 3.2.2. del NTC18

Prof. posa fondazione in m da pc= 0

$$V_S \text{ a } 30 = 200 \text{ m/sec}$$

PROFONDITA' FONDAZIONE COMUNICATA DAL
PROGETTISTA/COMMITTENTE

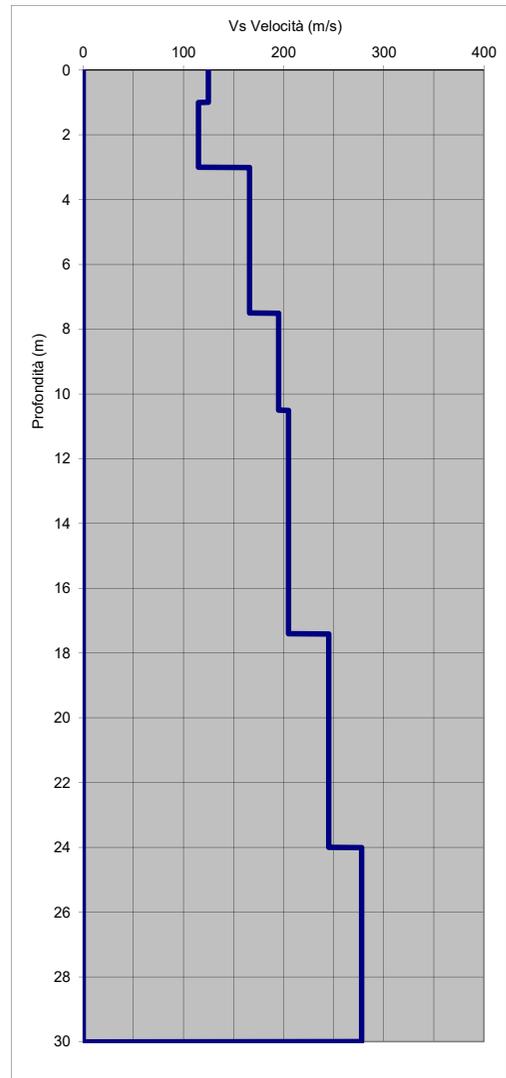


Grafico velocità/profondità onde di taglio Vs

Risultati elaborazione

Strato	Profondità	Spessore	Vel
	da	a	m
			m/sec
Strato1	0,00	1,00	125
Strato2	1,00	3,00	115
Strato3	3,00	7,50	166
Strato4	7,50	10,50	195
Strato5	10,50	17,40	205
Strato6	17,40	24,00	245
Strato7	24,00	30,00	278

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{S_i}}}$$

$V_{S30} = 200 \text{ m/sec}$
velocità calcolata dal p.c. naturale

Si ricorda che in base all'art 3.2.2 del DM 17 gennaio 2018 la V_{S30} di progetto è riferita al piano di imposta delle fondazioni superficiali o alla testa dei pali in caso di fondazioni profonde od opere di sostegno di terreni naturali.

Caratteristiche Indagine

Ubicazione indagine

Sismografo	PASI SG24
Geofoni	Geospace
N° geofoni a 4,5Hz	24
Spaziatura geofoni	2,0 m
Lunghezza stendimento geofonico	46 m
Energizzazione	10 m
Lunghezza totale stendimento	56 m

**PROSPEZIONE SISMICA DI SUPERFICIE
METODOLOGIA MASW**

COMMITTENTE:

Sigg. Zanichelli Paolo, Claudia e Alessandro e
RODOFIL S.r.l.

LOCALITA':

Comune di Sorbolo Mezzani (PR)
Località Bogolese

CANTIERE:

PUA Sub - Ambito NU 11.2

DATA: agosto 2020

FILE: Bogolese B

Dir. Lavori:

Dr. Geol. Paolo Panici

Rif. 055_20

TECNOGEOFISICA snc

Via Catania, 1/a - 41012 Carpi (MO)

info@tecnogEOFISICA.com

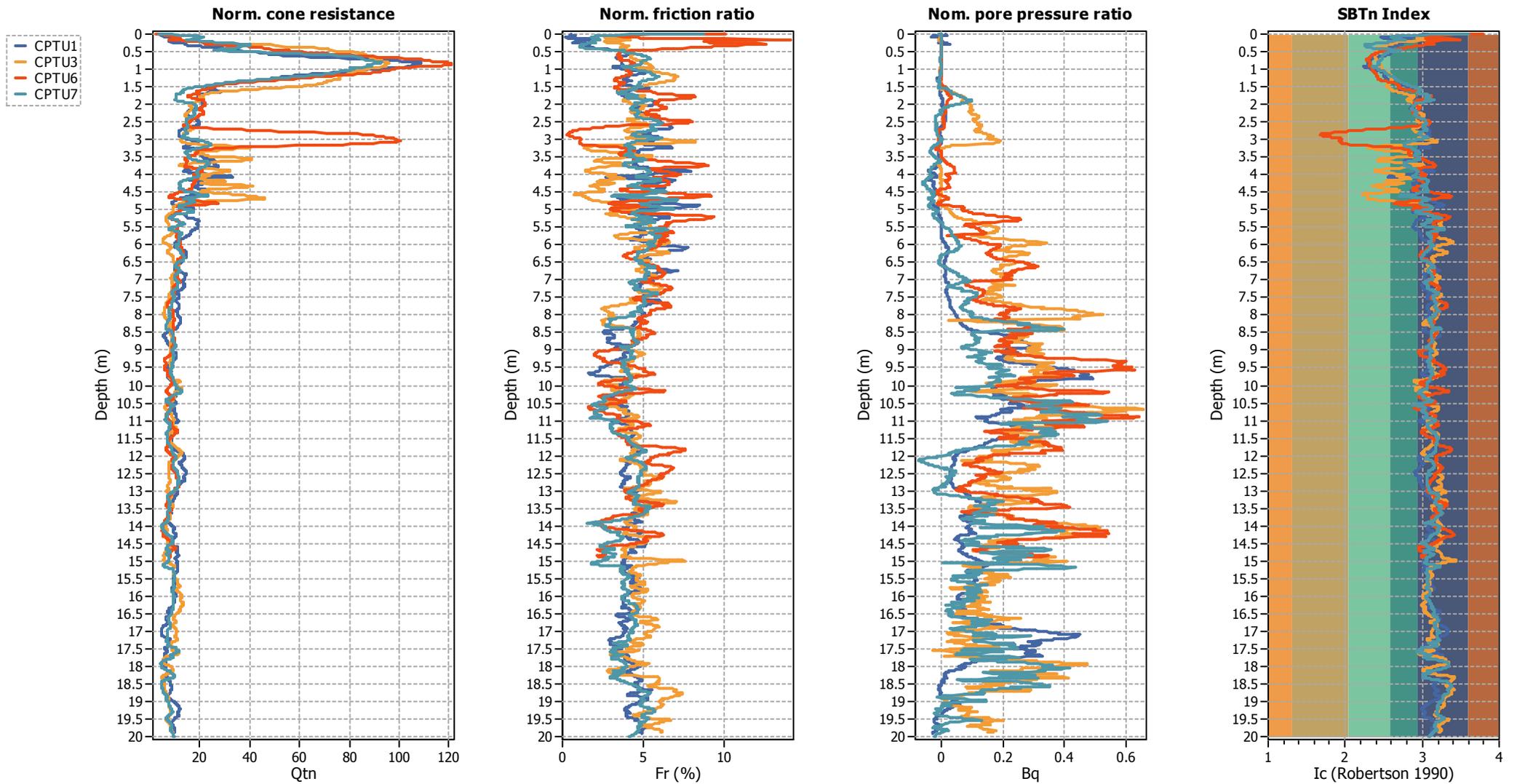
www.tecnogEOFISICA.com

Report analisi liquefazione



Project: Ambito NU11.2 - Sigg. Zanichelli - Rodofil s.r.l.

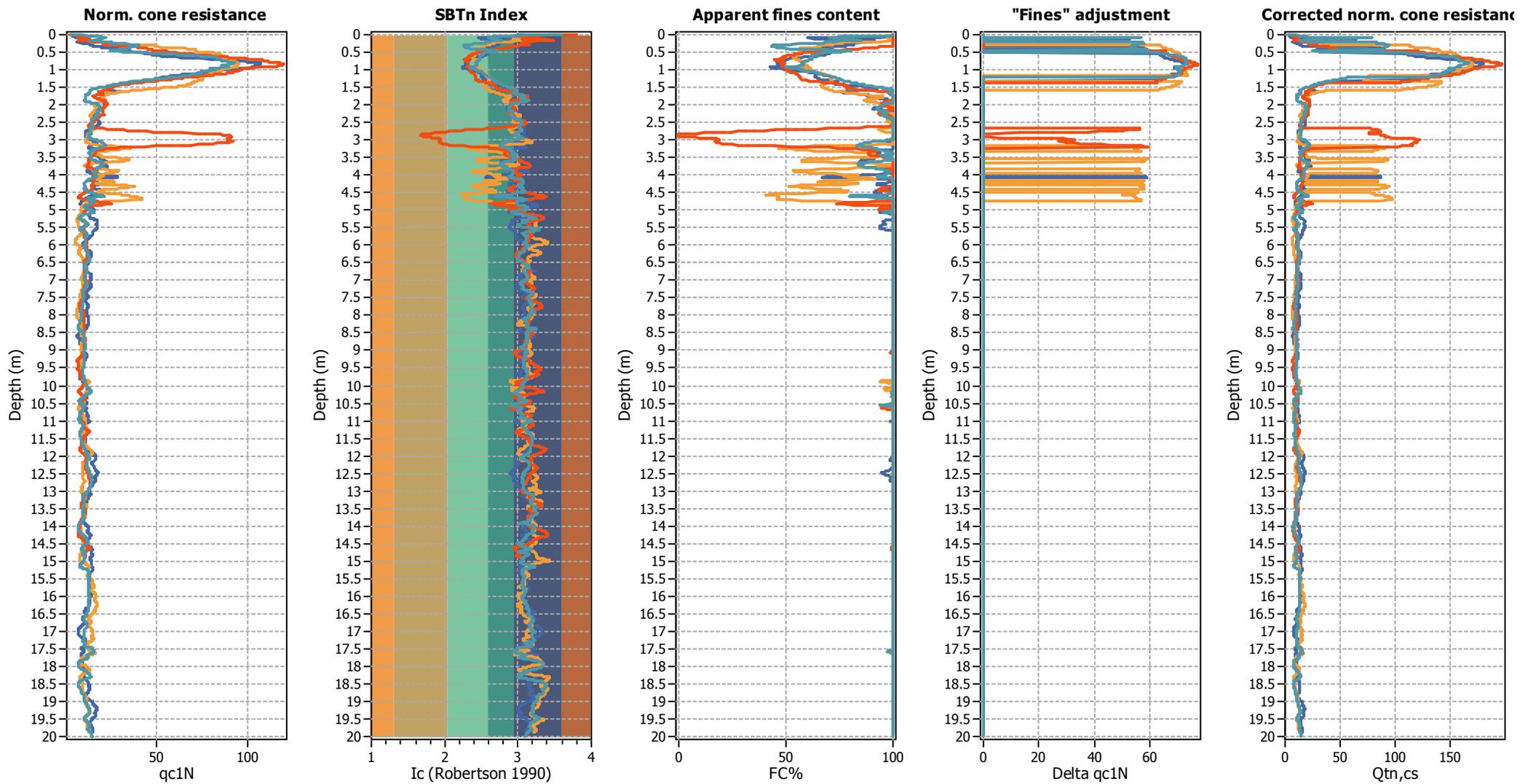
Overlay Normalized Plots





Project: Ambito NU11.2 - Sigg. Zanichelli - Rodofil s.r.l.

Overlay Intermediate Results





Project: Ambito NU11.2 - Sigg. Zanichelli - Rodofil s.r.l.

Overlay Cyclic Liquefaction Plots

