



**VARIANTE ALLA S.S. N. 14 "DELLA VENEZIA GIULIA"  
A SUD DELLA CITTÀ DI SAN DONÀ DI PIAVE  
DALLA ROTATORIA DI CAPOSILE ALLA ROTATORIA DI PASSARELLA  
E SCAVALCO DELLA ROTATORIA DI CALVECCHIA**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**PROGETTAZIONE: ANAS - COORDINAMENTO TERRITORIALE NORD EST -  
PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI**

<p><b>PROGETTISTI</b></p> <p><i>Ing. Francesco Caobianco</i> <i>Ordine Ing. Padova n. 3983</i></p> <div style="text-align: right;">  </div> <p><i>Ing. Filippo VIARO</i> <i>Ordine Ing. Parma n. 827</i></p> <p><i>Arch. Sergio BECCARELLI</i> <i>Ordine Arch. Parma n. 377</i></p> <div style="text-align: right;">  </div>	<p><b>ACUSTICA</b></p> <p><i>Ing. Giovanni BRIANTI</i> <i>Tecnico competente in Acustica Ambientale</i> <i>ARPA Emilia-Romagna D.D. 3340/17</i></p> <div style="text-align: right;">  </div> <hr/> <p><b>ARCHEOLOGIA</b></p> <p><i>Dott.ssa Barbara SASSI</i></p> <div style="text-align: right;">  </div> <hr/> <p><b>IL GEOLOGO</b></p> <p><i>Dott. Geol. Serena MAIETTA</i> <i>Ordine Geol. Lazio n. 928</i></p>
<p><b>IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO</b></p> <p><i>Dott. Ing. Anna Maria NOSARI</i></p>	<p><b>IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE</b></p> <p><i>Ing. Stefano Muffato</i> <i>Ordine Ing. Venezia n. 2975</i></p> <div style="text-align: right;">  </div>

**GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA E GEOTECNICA**

Documentazione indagini geognostiche e geofisiche

<p><b>CODICE PROGETTO</b></p> <p>PROGETTO      LIV. PROG.      N. PROG.</p> <p style="font-size: 1.2em; border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px;">DPVE04</p> <span style="margin: 0 10px;">D</span> <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px;">0901</span>	<p><b>NOME FILE</b></p> <p style="font-size: 1.2em;">TOOGE00GENRE01_A</p>	<p><b>REVISIONE</b></p>	<p><b>SCALA</b></p>		
<p><b>CODICE ELAB.</b></p> <p style="font-size: 1.2em; border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px;">T O O G E O O G E O R E O 1</p>	<p style="font-size: 1.2em; border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px;">A</p>	<p style="text-align: center;">—</p>			
<p style="font-size: 1.5em; font-weight: bold;">A</p>	<p>Revisione per procedure</p>	<p>APR.2019</p>	<p>ANAS SpA</p>	<p>ANAS SpA</p>	<p>ANAS SpA</p>
<p>REV.</p>	<p>DESCRIZIONE</p>	<p>DATA</p>	<p>REDATTO</p>	<p>VERIFICATO</p>	<p>APPROVATO</p>



*TECNOLAB S.r.l.*

ALLEGATO – A

COLONNE STRATIGRAFICHE









*TECNOLAB S.r.l.*

ALLEGATO – B

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Data: 22/04/2017

**Committente: TECNOLAB s.r.l.**

Variante alla S.S. 14 "Della Venezia Giulia" a sud della città di San Dona di Piave (VE)  
Dalla rotatoria di Caposile alla rotatoria di passerella e scavalco della rotatoria di Calvecchia (VE)

**Sondaggio: S1**

Pagina 1



Cassetta n° 1: da m 0,00 a 5,00 m



Cassetta n° 2: da m 5,00 a 10,00 m



Postazione



Postazione



Piezometro



Piezometro

Data: 19-20-  
21/04/2017

**Committente: TECNOLAB s.r.l.**

Variante alla S.S. 14 "Della Venezia Giulia" a sud della città di San Dona di Piave (VE)  
Dalla rotatoria di Caposile alla rotatoria di passerella e scavalco della rotatoria di Calvecchia (VE)

**Sondaggio: S2**

Pagina 1 di 2



Cassetta n° 1: da m 0,00 a 5,00 m



Cassetta n° 2: da m 5,00 a 10,00 m



Cassetta n° 3: da m 10,00 a 15,00 m



Cassetta n° 4: da m 15,00 a 20,00 m



Cassetta n° 5: da m 20,00 a 25,00 m



Cassetta n° 6: da m 25,00 a 30,00 m

Data: 19-20-  
21/04/2017

**Committente: TECNOLAB s.r.l.**

Variante alla S.S. 14 "Della Venezia Giulia" a sud della città di San Dona di Piave (VE)  
Dalla rotatoria di Caposile alla rotatoria di passerella e scavalco della rotatoria di Calvecchia (VE)

**Sondaggio: S2**

Pagina 2 di 2



Cassetta n° 7: da m 30,00 a 35,00 m



Cassetta n° 8: da m 35,00 a 40,00 m



Postazione



Postazione



Piezometro



Piezometro

Data: 23-24/05/2017

**Committente: TECNOLAB s.r.l.**

Variante alla S.S. 14 "Della Venezia Giulia" a sud della città di San Dona di Piave (VE)  
Dalla rotatoria di Caposile alla rotatoria di passerella e scavalco della rotatoria di Calvecchia (VE)

**FOTO ESECUZIONE SAGGI**

Pagine 1 di 1



Saggio: Località Calvecchia



Saggio: Località Calvecchia



Saggio: Località Calvecchia



Saggio: Località Armellina



Saggio: Località Armellina



Saggio: Località Armellina



*TECNOLAB S.r.l.*

## ALLEGATO – C

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE SPT

**Committente: TECNOLAB s.r.l.**

Variante alla S.S. 14 "Della Venezia Giulia" a sud della città di San Dona di Piave (VE)  
Dalla rotatoria di Caposile alla rotatoria di passerella e scavalco della rotatoria di Calvecchia (VE)

**Sondaggio: S1**

Pagina 1 di 2

## STANDARD PENETRATION TEST (A.G.I. 1977)

PROVA N°: 1	TIPO DI PUNTA: APERTA <input type="checkbox"/>	CHIUSA <input checked="" type="checkbox"/>
Data esecuzione: 22/04/2017	PERFORAZIONE: CAROTAGGIO CONTINUO	

Profondità		NUMERO DI COLPI
da m	a m	
1,00	1,15	3
1,15	1,30	4
1,30	1,45	5

NSPT	9
------	---

PROVA N°: 2	TIPO DI PUNTA: APERTA <input type="checkbox"/>	CHIUSA <input checked="" type="checkbox"/>
Data esecuzione: 07/04/2017	PERFORAZIONE: CAROTAGGIO CONTINUO	

Profondità		NUMERO DI COLPI
da m	a m	
5,60	5,75	6
5,75	5,90	7
5,90	6,50	10

NSPT	17
------	----

NOTE:

**Committente: TECNOLAB s.r.l.**

Variante alla S.S. 14 "Della Venezia Giulia" a sud della città di San Dona di Piave (VE)  
Dalla rotatoria di Caposile alla rotatoria di passerella e scavalco della rotatoria di Calvecchia (VE)

**Sondaggio: S1**

Pagina 2 di 2

**STANDARD PENETRATION TEST  
(A.G.I. 1977)**

PROVA N°: 3	TIPO DI PUNTA: APERTA <input type="checkbox"/>	CHIUSA <input checked="" type="checkbox"/>
Data esecuzione: 22/04/2017		PERFORAZIONE: CAROTAGGIO CONTINUO

Profondità		NUMERO DI COLPI
da m	a m	
9,60		Rifiuto nei primi 15 cm
NSPT		

NOTE:

**Committente: TECNOLAB s.r.l.**

Variante alla S.S. 14 "Della Venezia Giulia" a sud della città di San Dona di Piave (VE)  
Dalla rotatoria di Caposile alla rotatoria di passerella e scavalco della rotatoria di Calvecchia (VE)

**Sondaggio: S2**

Pagina 1 di 5

**STANDARD PENETRATION TEST  
(A.G.I. 1977)**

PROVA N°: 1	TIPO DI PUNTA: APERTA <input type="checkbox"/>	CHIUSA <input checked="" type="checkbox"/>
Data esecuzione: 11/04/2017	PERFORAZIONE: CAROTAGGIO CONTINUO	

Profondità		NUMERO DI COLPI
da m	a m	
2,40	2,55	5
2,55	2,70	6
2,70	2,85	9

NSPT	15
------	----

PROVA N°: 2	TIPO DI PUNTA: APERTA <input type="checkbox"/>	CHIUSA <input checked="" type="checkbox"/>
Data esecuzione: 11/04/2017	PERFORAZIONE: CAROTAGGIO CONTINUO	

Profondità		NUMERO DI COLPI
da m	a m	
5,80	5,95	9
5,95	6,10	10
6,10	6,25	11

NSPT	21
------	----

NOTE:

**Committente: TECNOLAB s.r.l.**

Variante alla S.S. 14 "Della Venezia Giulia" a sud della città di San Dona di Piave (VE)  
Dalla rotatoria di Caposile alla rotatoria di passerella e scavalco della rotatoria di Calvecchia (VE)

**Sondaggio: S2**

Pagina 2 di 5

## STANDARD PENETRATION TEST (A.G.I. 1977)

PROVA N°: 3	TIPO DI PUNTA: APERTA <input type="checkbox"/>	CHIUSA <input checked="" type="checkbox"/>
Data esecuzione: 04/04/2017		PERFORAZIONE: CAROTAGGIO CONTINUO

Profondità		NUMERO DI COLPI
da m	a m	
9,20	9,35	7
9,35	9,50	11
6,50	9,65	13
NSPT		24

PROVA N°: 4	TIPO DI PUNTA: APERTA <input type="checkbox"/>	CHIUSA <input checked="" type="checkbox"/>
Data esecuzione: 04/04/2017		PERFORAZIONE: CAROTAGGIO CONTINUO

Profondità		NUMERO DI COLPI
da m	a m	
13,60	13,75	20
13,75	13,90	20
13,90	14,05	27
NSPT		47

NOTE:

**Committente: TECNOLAB s.r.l.**

Variante alla S.S. 14 "Della Venezia Giulia" a sud della città di San Dona di Piave (VE)  
Dalla rotatoria di Caposile alla rotatoria di passerella e scavalco della rotatoria di Calvecchia (VE)

**Sondaggio: S2**

Pagina 3 di 5

**STANDARD PENETRATION TEST  
(A.G.I. 1977)**

PROVA N°: 5	TIPO DI PUNTA: APERTA <input type="checkbox"/>	CHIUSA <input checked="" type="checkbox"/>
Data esecuzione: 06/04/2017	PERFORAZIONE: CAROTAGGIO CONTINUO	

Profondità		NUMERO DI COLPI
da m	a m	
16,70		Rifiuto nei primi 15 cm

NSPT	22
------	----

PROVA N°: 6	TIPO DI PUNTA: APERTA <input type="checkbox"/>	CHIUSA <input checked="" type="checkbox"/>
Data esecuzione: 06/04/2017	PERFORAZIONE: CAROTAGGIO CONTINUO	

Profondità		NUMERO DI COLPI
da m	a m	
20,80	20,95	12
20,95	21,10	25
21,10	21,25	28

NSPT	43
------	----

NOTE:

**Committente: TECNOLAB s.r.l.**

Variante alla S.S. 14 "Della Venezia Giulia" a sud della città di San Dona di Piave (VE)  
Dalla rotatoria di Caposile alla rotatoria di passerella e scavalco della rotatoria di Calvecchia (VE)

**Sondaggio: S2**

Pagina 4 di 5

**STANDARD PENETRATION TEST  
(A.G.I. 1977)**

PROVA N°: 7	TIPO DI PUNTA: APERTA <input type="checkbox"/>	CHIUSA <input checked="" type="checkbox"/>
Data esecuzione: 04/04/2017		PERFORAZIONE: CAROTAGGIO CONTINUO

Profondità		NUMERO DI COLPI
da m	a m	
24,00	24,15	35
24,15	24,30	Rifiuto nei secondi 15 cm
24,30	24,45	

NSPT	
------	--

PROVA N°: 8	TIPO DI PUNTA: APERTA <input type="checkbox"/>	CHIUSA <input checked="" type="checkbox"/>
Data esecuzione: 04/04/2017		PERFORAZIONE: CAROTAGGIO CONTINUO

Profondità		NUMERO DI COLPI
da m	a m	
27,80	27,95	16
27,95	28,10	26
28,10	28,25	28

NSPT		54
------	--	----

NOTE:

**Committente: TECNOLAB s.r.l.**

Variante alla S.S. 14 "Della Venezia Giulia" a sud della città di San Dona di Piave (VE)  
Dalla rotatoria di Caposile alla rotatoria di passerella e scavalco della rotatoria di Calvecchia (VE)

**Sondaggio: S2**

Pagina 5 di 5

**STANDARD PENETRATION TEST  
(A.G.I. 1977)**

PROVA N°: 9	TIPO DI PUNTA: APERTA	<input type="checkbox"/>	CHIUSA	<input checked="" type="checkbox"/>
Data esecuzione: 31/03/2017		PERFORAZIONE: CAROTAGGIO CONTINUO		

Profondità		NUMERO DI COLPI
da m	a m	
31,80	31,95	21
31,95	32,10	24
32,10	32,25	Rifiuto negli ultimi 15 cm
NSPT		

NOTE:



*TECNOLAB S.r.l.*

ALLEGATO – D

PROVE PENETROMETRICHE STATICHE ELETTRICHE

CON PIEZOCONO CPTU

REGIONE VENETO  
Provincia di Venezia  
**Comune di San Donà di Piave**

**ESECUZIONE DI PROVE PENETROMETRICHE STATICHE  
PRESSO LA ROTATORIA STRADALE AD INCROCIO TRA LE STRADE  
VIA CALVECCHIA-SS 14 TRIESTINA E  
VIA MARTIRI DELLE FOIBE-VIA MARIO DEL MONACO  
SAN DONA' DI PIAVE (VE)**

Committente: **ANAS S.p.a. - Compartimento della viabilità per il Veneto**

**Relazione tecnica**

Giugno 2017

Giovan  
  
ruzzo

## **INDICE**

- 1) Premessa
- 2) Indagine geognostica
  - 2.1 Prove penetrometriche statiche
- 3) Elaborazioni
- 4) Modellazione geotecnica

## **ALLEGATI, ELABORATI GRAFICI**

- |           |   |
|-----------|---|
| TAV. n° 1 | Ubicazione delle indagini geognostiche                          |
| ALL. n° 2 | Documentazione fotografica delle prove penetrometriche statiche |
| ALL. n° 3 | Caratteristiche tecniche della strumentazione utilizzata        |

## 1) **PREMESSA**

Su incarico di **ANAS s.p.a. - Compartimento della viabilità per il Veneto** è stata eseguita un'indagine geognostica presso la rotonda stradale ad incrocio tra le strade via Calvecchia-SS 14 Triestina e Via Martiri delle Foibe-Via Mario Del Monaco in comune di San Donà di Piave (VE), consistita nell'esecuzione di due prove penetrometriche statiche elettriche con piezocono.

Le prove, denominate CPTU 1 e CPTU 2 sono state spinte sino alla profondità di 40.00 metri da piano campagna.

La presente relazione descrive le caratteristiche tecniche della strumentazione impiegata, le modalità esecutive delle prove geotecniche eseguite e le caratteristiche litologiche dei terreni indagati.

Si riporta in allegato (Tavola n° 1) l'ubicazione delle prove eseguite.

## 2) **INDAGINE GEOGNOSTICA**

### 2.1 *PROVE PENETROMETRICHE STATICHE*

Le prove sono state eseguite mediante l'utilizzo di un penetrometro statico autocarrato con dispositivo di spinta di 200 kN il cui funzionamento è basato sull'infissione di una punta nel terreno tramite pistoni idraulici che spingono la batteria di aste, alla cui terminazione è montato il piezocono, ad una velocità costante di 2 cm al secondo.

E' stato utilizzato il piezocono sismico, TECNO PENTA G1 CPLS, che è costituito essenzialmente dal "cono" e dal "manicotto di attrito" per la misura, rispettivamente, della resistenza di punta ( $q_c$ ) e della resistenza di attrito laterale locale ( $f_s$ ) dal cui rapporto è possibile ricostruire la stratigrafia del sottosuolo.

La punta a forma conica, avente angolo di  $60^\circ$ , superficie di  $10 \text{ cm}^2$  e diametro di  $35,7 \text{ mm}$ , ed il manicotto di frizione, posto sopra alla punta conica con superficie di  $150 \text{ cm}^2$ , sono quelli standard previsti dalle normative internazionali.

Il piezocono è altresì dotato di un trasduttore di pressione che permette di acquisire il valore della pressione neutra interstiziale ( $u$ ) che si genera nell'intorno della punta durante l'infissione nel terreno. Tale parametro costituisce un'ulteriore dato per la definizione delle caratteristiche geotecniche dei terreni.

L'acquisizione dati avviene ogni  $2 \text{ cm}$  tramite centralina elettronica ed i grafici dei valori di  $q_c$ ,  $f_s$  ed  $u$  in funzione della profondità vengono visualizzati direttamente durante l'esecuzione della prova sullo schermo di un personal computer.

Al termine delle prove, ad estrazione aste, è stato rilevato il livello della superficie della falda freatica.

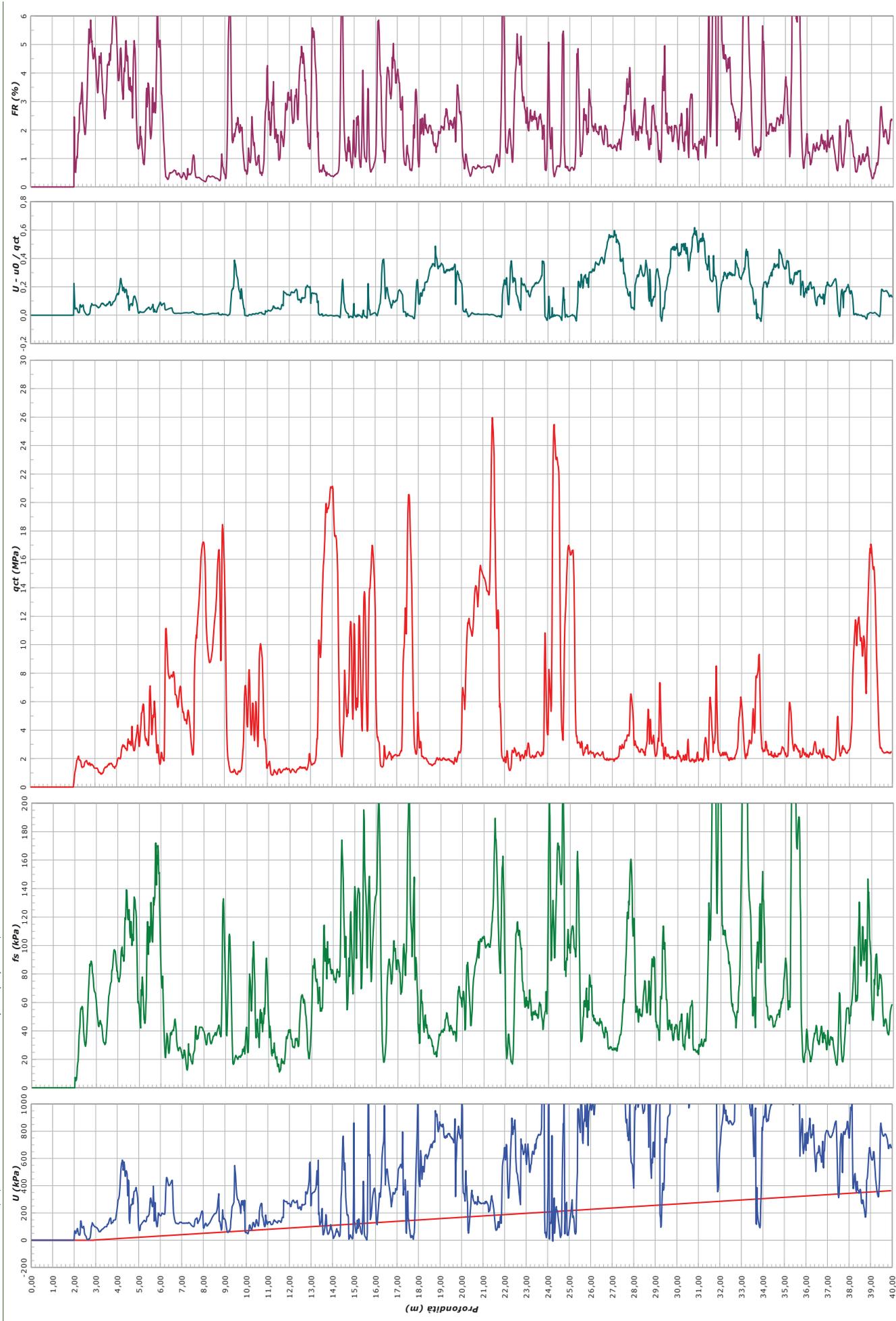
### 3) **ELABORAZIONI**

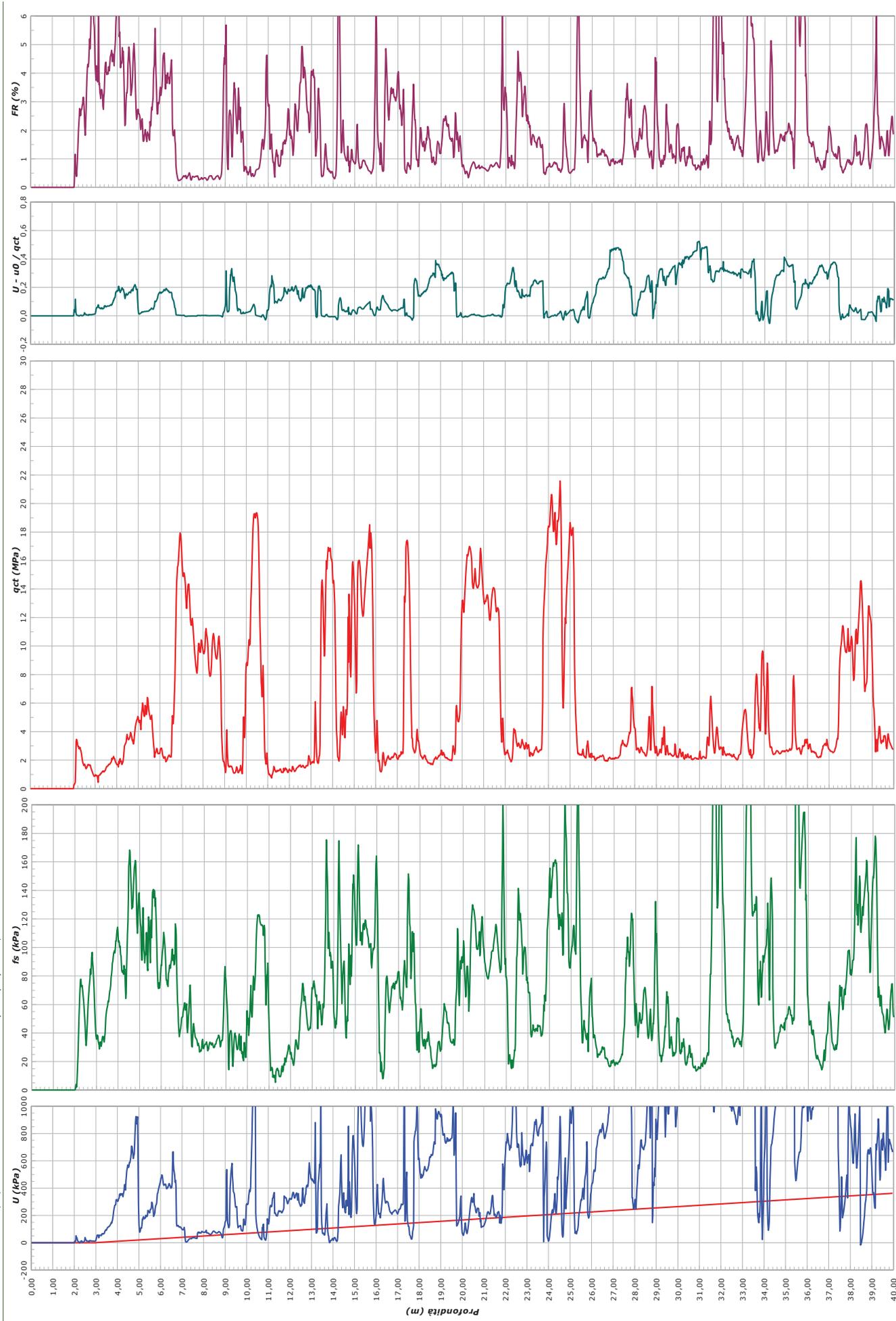
Per le prove penetrometriche eseguite sono stati redatti i seguenti elaborati:

- diagrammi, in funzione della profondità, della resistenza di punta  $q_t$  (MPa), dell'attrito laterale locale  $f_s$  (Mpa), della pressione neutra  $u$  (MPa);
- abachi e diagrammi delle valutazioni litologiche e dei parametri geotecnici ottenibili dai valori di resistenza misurati;
- legenda.

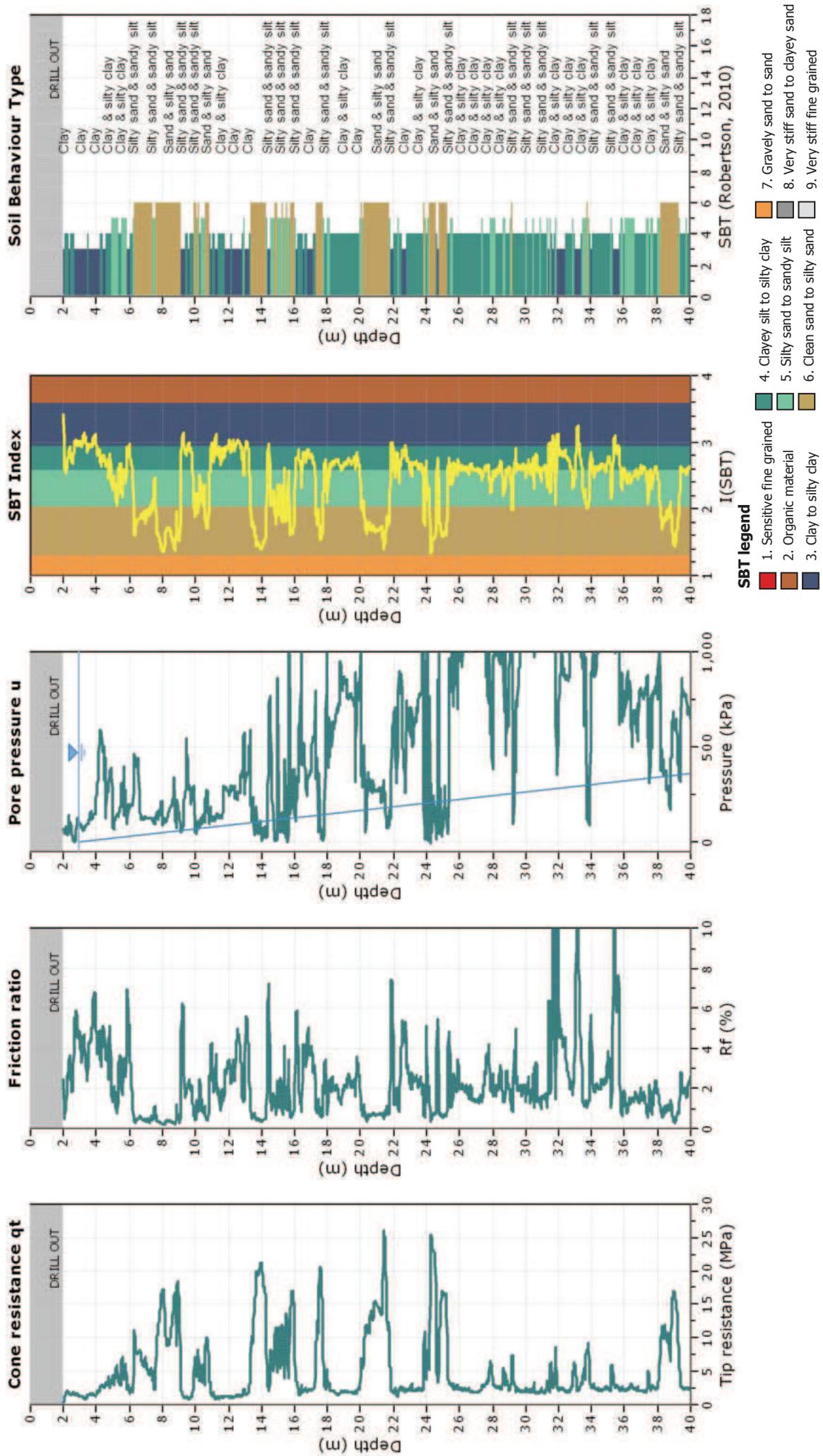
Nelle pagine seguenti si riportano i diagrammi e gli elaborati appena descritti per le prove penetrometriche eseguite.

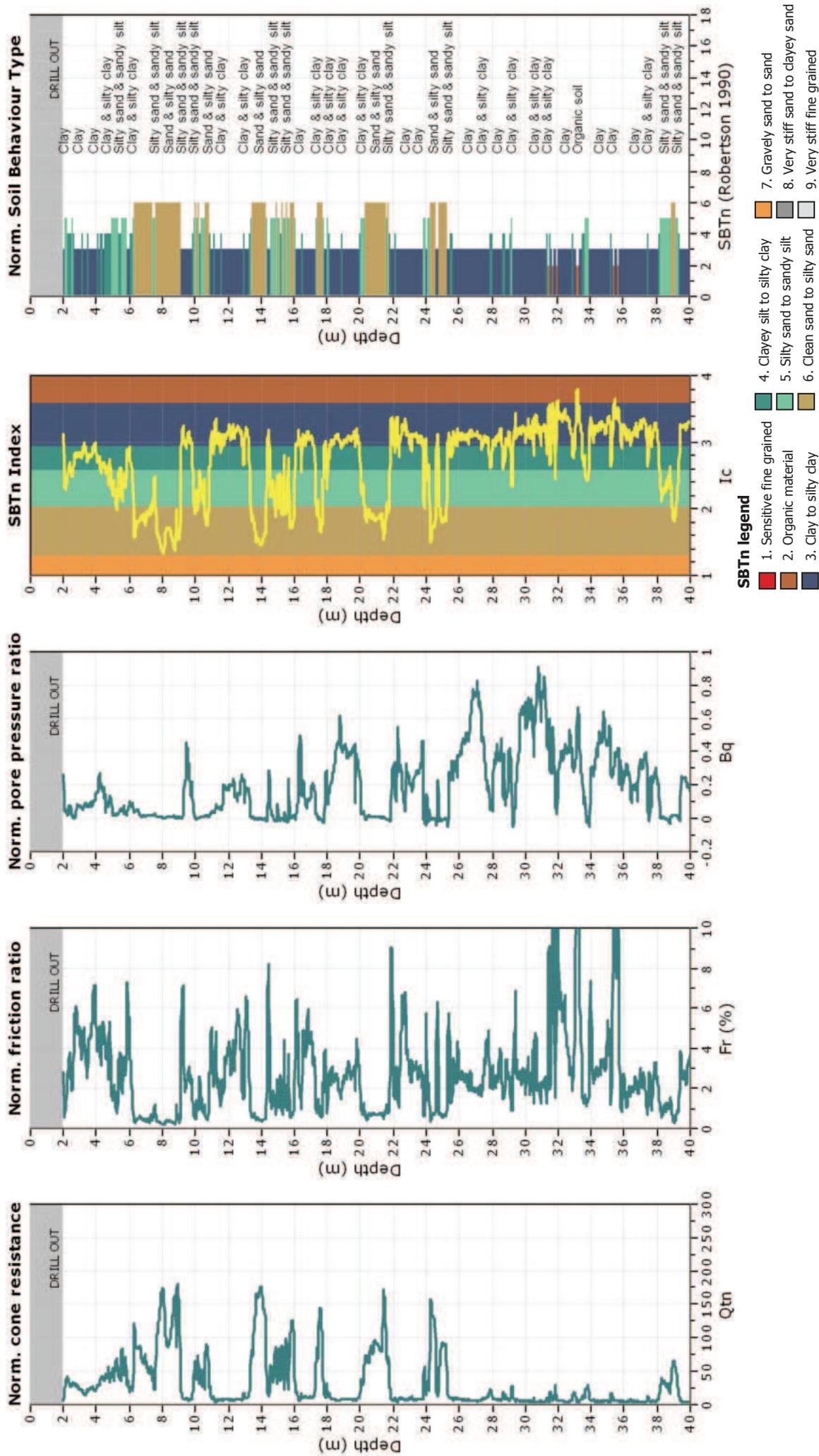
***DIAGRAMMI DELLE PROVE PENETROMETRICHE CPTU***

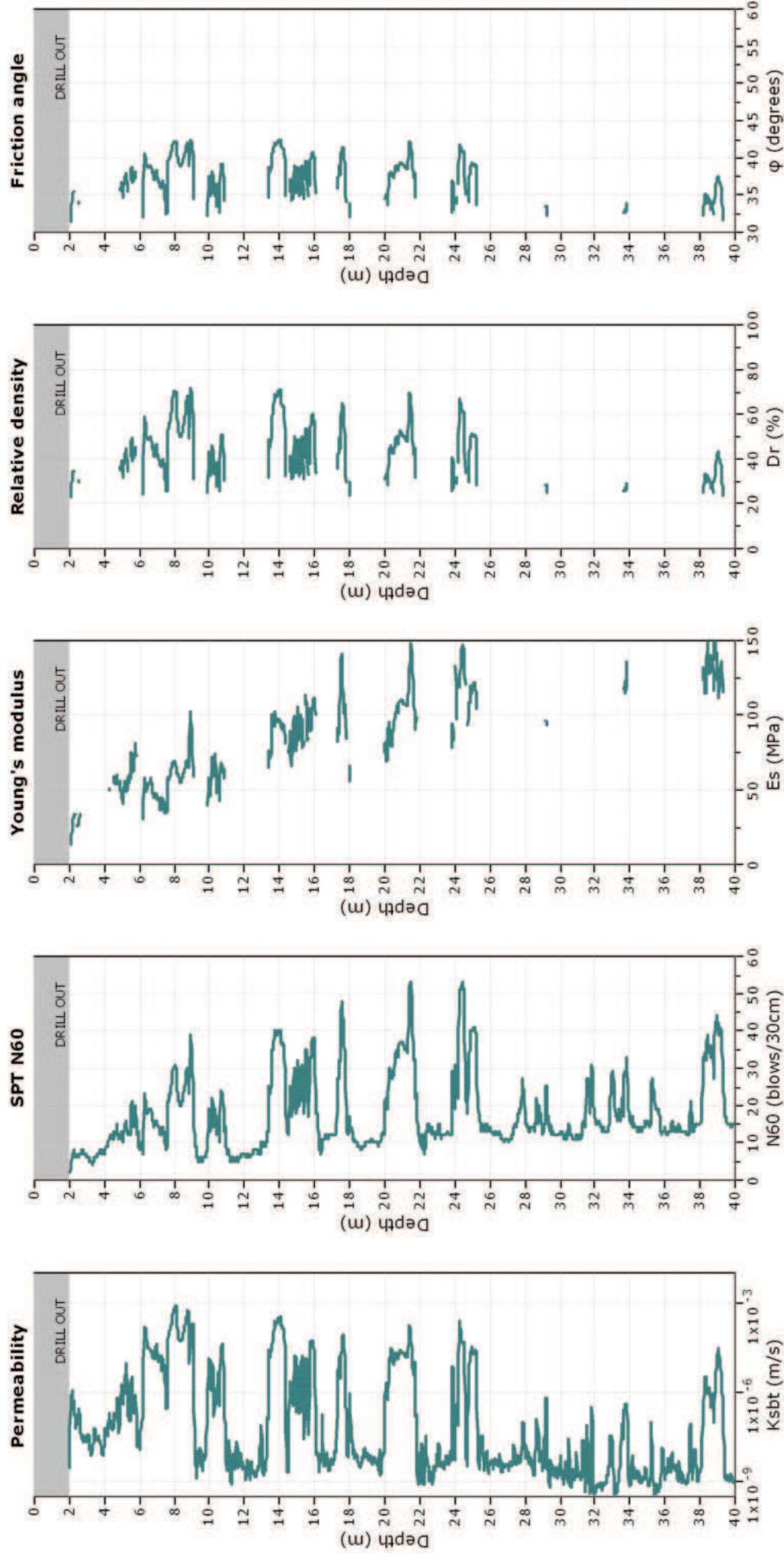




***ELABORAZIONE DELLA PROVA PENETROMETRICA STATICA CPTU 1***







**Calculation parameters**

Permeability: Based on SBT<sub>n</sub>

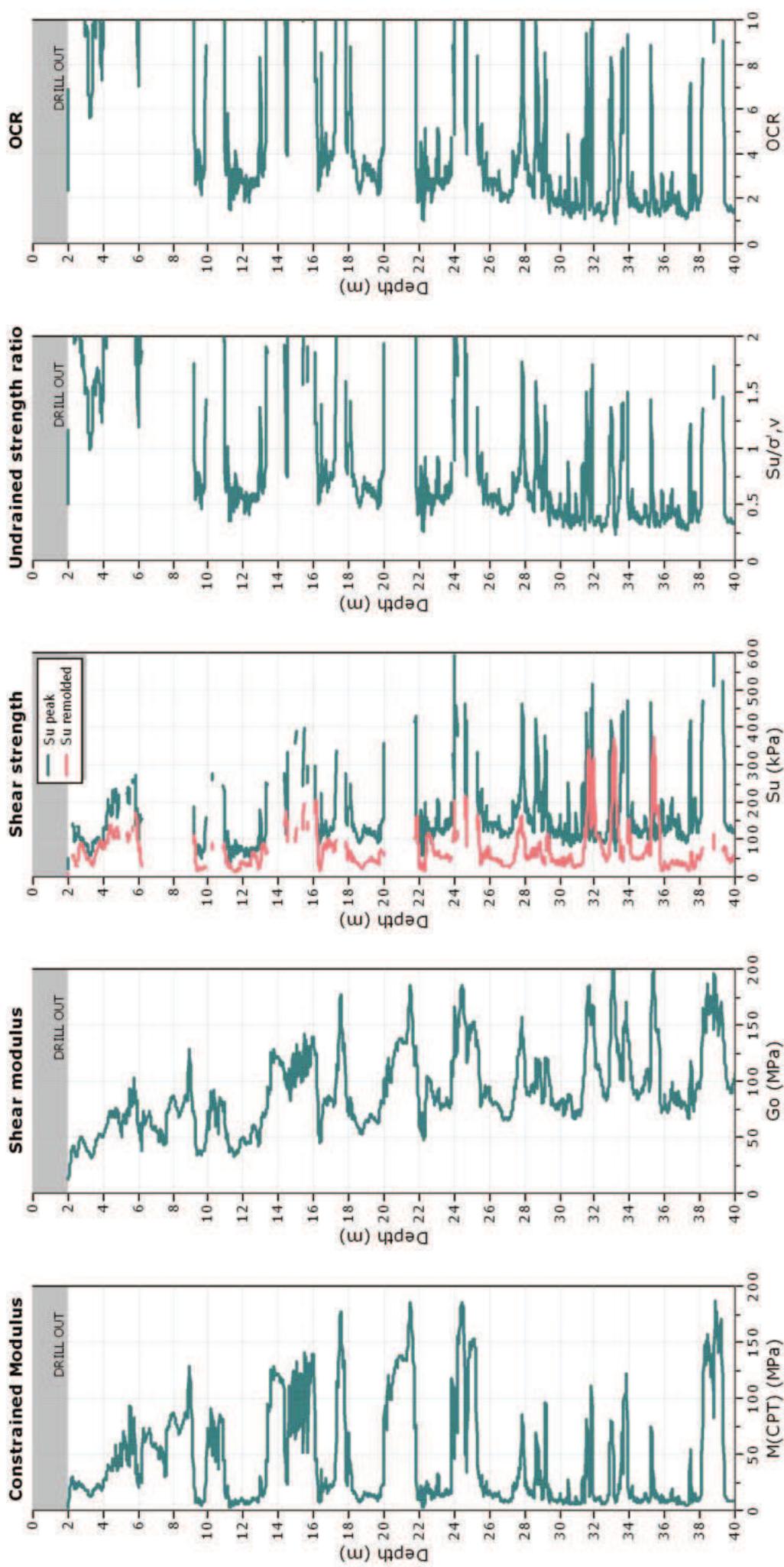
SPT N<sub>60</sub>: Based on I<sub>c</sub> and q<sub>t</sub>

Young's modulus: Based on variable alpha using I<sub>c</sub> (Robertson, 2009)

Relative density constant, C<sub>Dr</sub>: 350.0

Phi: Based on Kulhawy & Mayne (1990)

—●— User defined estimation data



**Calculation parameters**

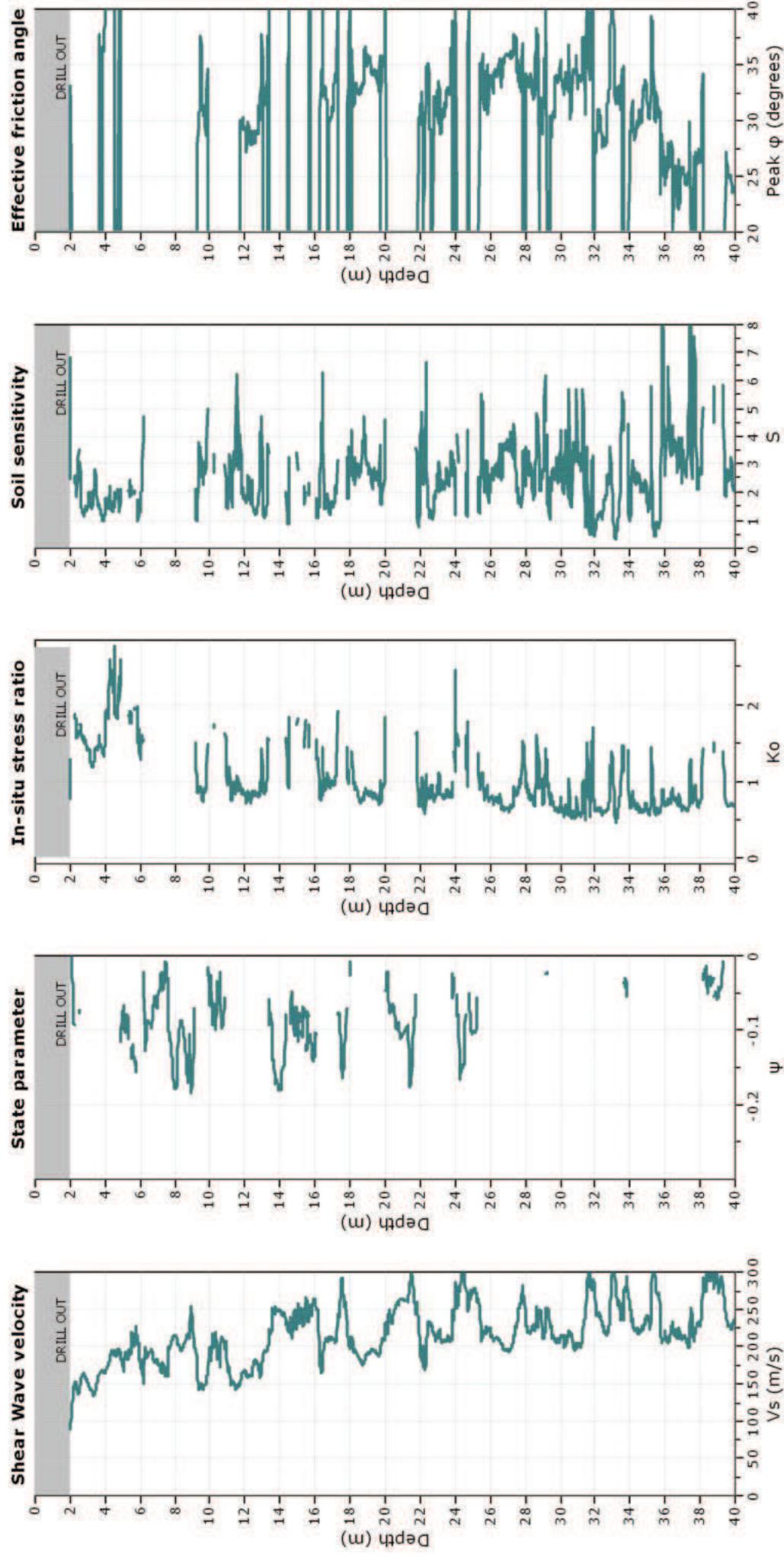
Constrained modulus: Based on variable  $\alpha/\beta$  using  $I_c$  and  $Q_{b1}$  (Robertson, 2009)

Go: Based on variable  $\alpha/\beta$  using  $I_c$  (Robertson, 2009)

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

OCR factor for clays,  $N_{cr}$ : Auto

—●— User defined estimation data



**Calculation parameters**

Soil Sensitivity factor,  $N_s$ : 7.00

● — User defined estimation data

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

**:: Unit Weight,  $g$  (kN/m<sup>3</sup>) ::**

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

where  $g_w$  = water unit weight

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

$$I_c < 3.27 \text{ and } I_c > 1.00 \text{ then } k = 10^{0.952 - 3.041 I_c}$$

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

**:: N<sub>SPT</sub> (blows per 30 cm) ::**

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

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

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

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

(applicable only to  $I_c < I_{c\_cutoff}$ )

**:: Relative Density,  $Dr$  (%) ::**

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

**:: State Parameter,  $\psi$  ::**

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

**:: Peak drained friction angle,  $\phi$  (°) ::**

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

(applicable only to SBT<sub>n</sub>: 5, 6, 7 and 8)

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

If  $I_c > 2.20$   
 $\alpha = 14$  for  $Q_{tn} > 14$   
 $\alpha = Q_{tn}$  for  $Q_{tn} \leq 14$   
 $M_{CPT} = \alpha \cdot (q_t - \sigma_v)$

If  $I_c \leq 2.20$   
 $M_{CPT} = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 I_c + 1.68}$

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

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

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

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

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

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

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

(applicable only to SBT<sub>n</sub>: 1, 2, 3, 4 and 9 or  $I_c > I_{c\_cutoff}$ )

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

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

**:: Overconsolidation Ratio, OCR ::**

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

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

(applicable only to SBT<sub>n</sub>: 1, 2, 3, 4 and 9 or  $I_c > I_{c\_cutoff}$ )

**:: In situ Stress Ratio,  $K_0$  ::**

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

(applicable only to SBT<sub>n</sub>: 1, 2, 3, 4 and 9 or  $I_c > I_{c\_cutoff}$ )

**:: Soil Sensitivity,  $S_t$  ::**

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

(applicable only to SBT<sub>n</sub>: 1, 2, 3, 4 and 9 or  $I_c > I_{c\_cutoff}$ )

**:: Effective Stress Friction Angle,  $\phi'$  (°) ::**

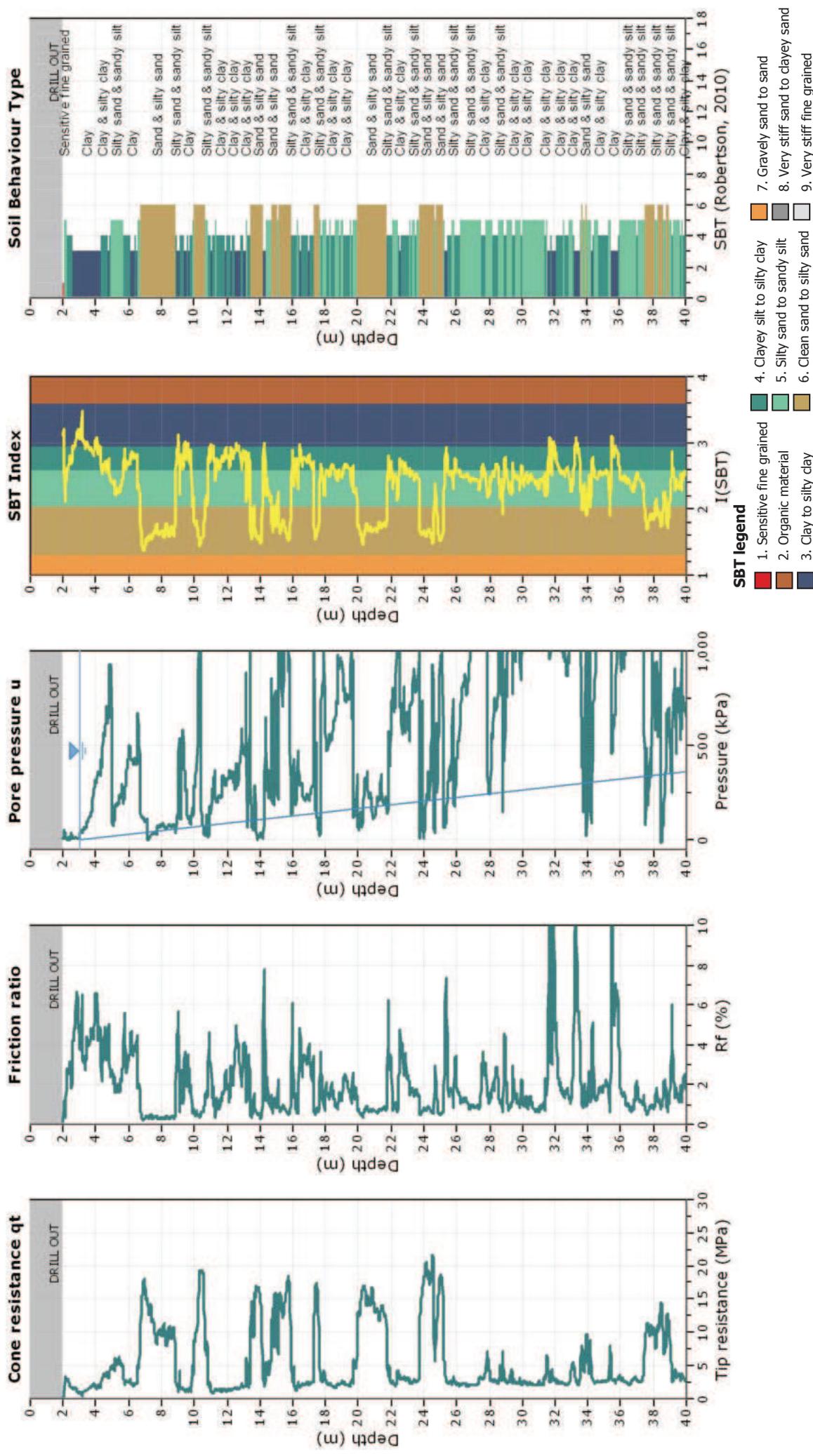
$$\phi' = 29.5^\circ \cdot B_q^{0.121} \cdot (0.256 + 0.336 \cdot B_q + \log Q_t)$$

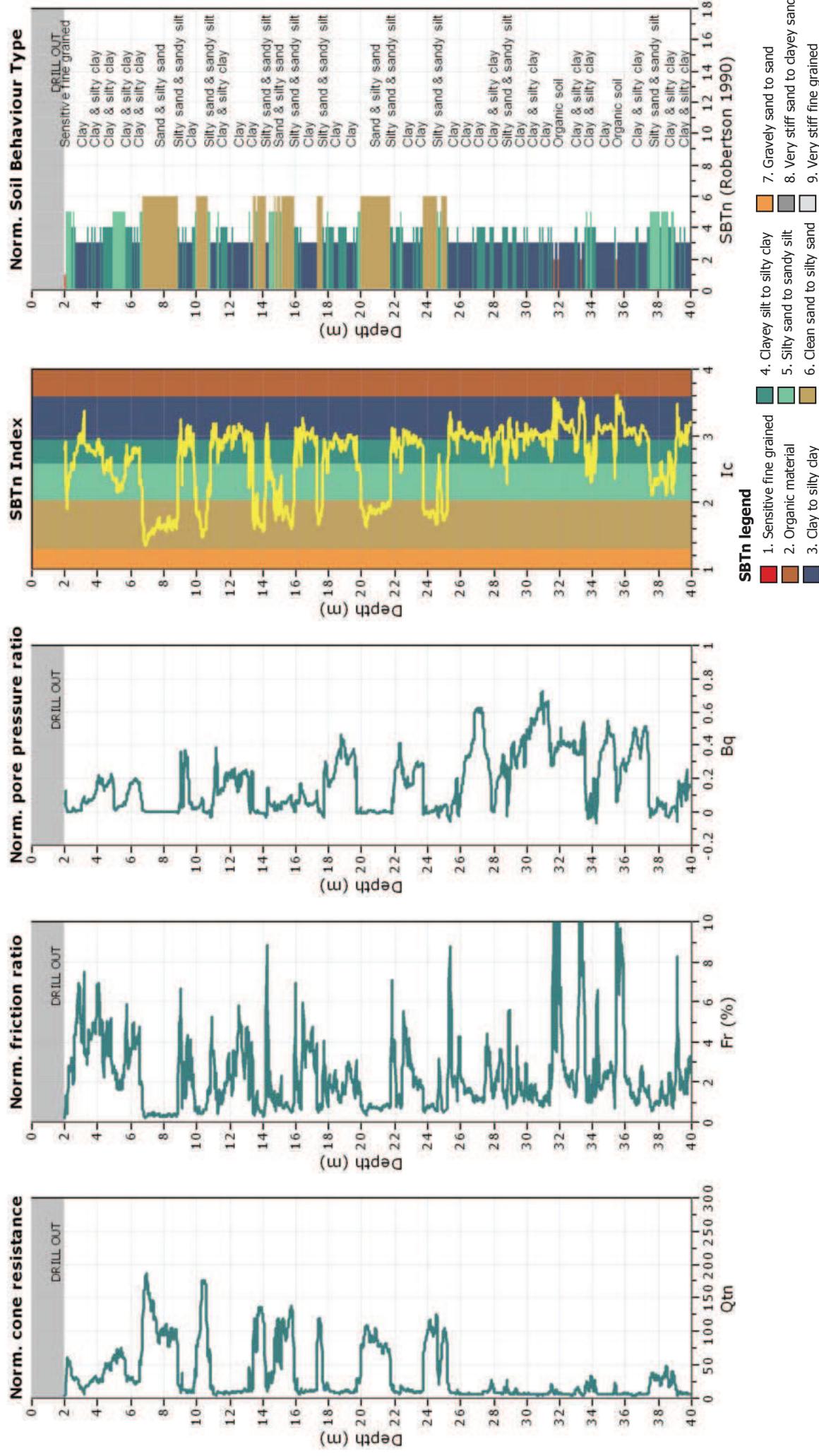
(applicable for  $0.10 < B_q < 1.00$ )

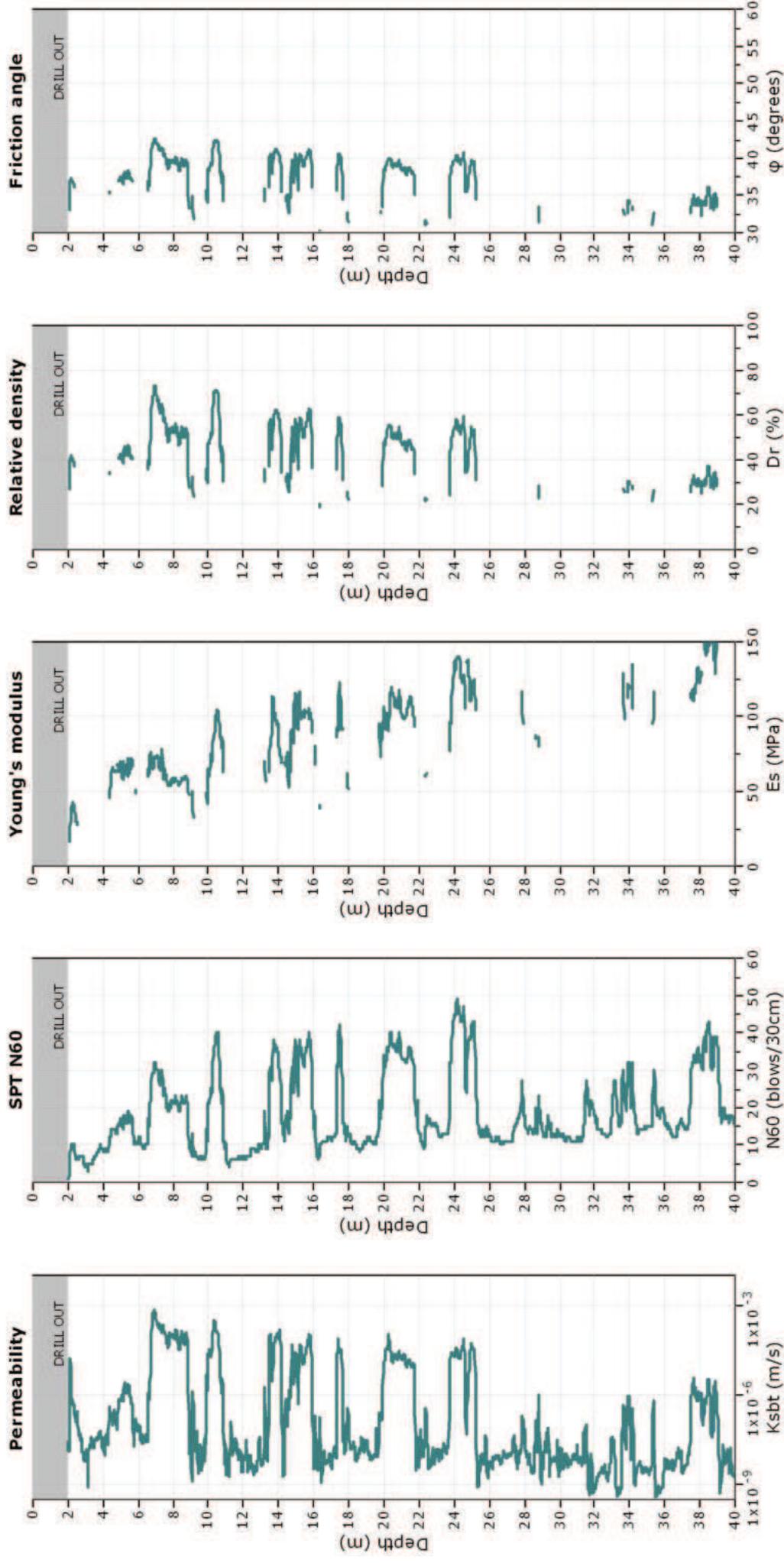
**References**

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

***ELABORAZIONE DELLA PROVA PENETROMETRICA STATICA CPTU 2***







**Calculation parameters**

Permeability: Based on  $SBT_n$

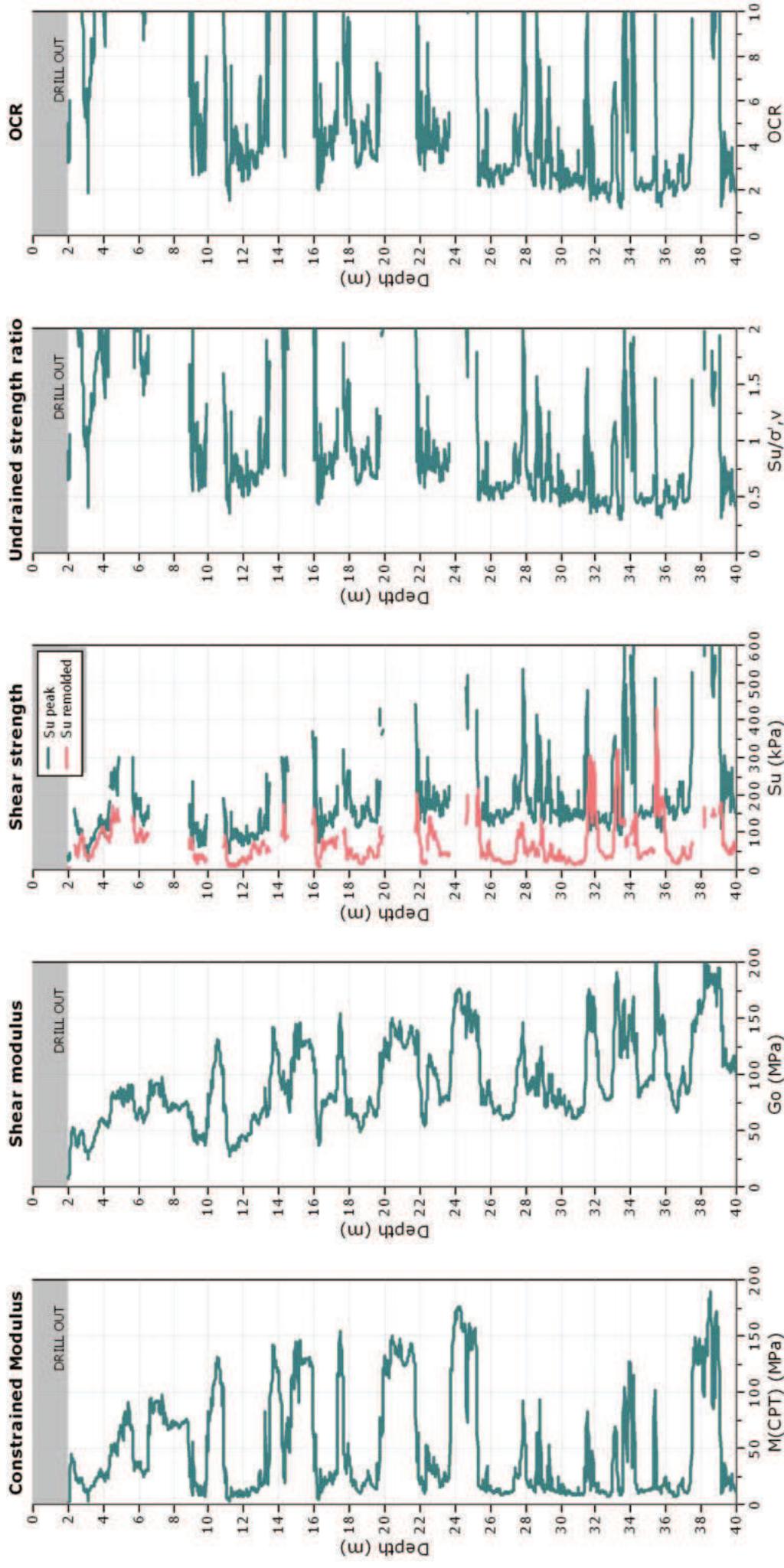
SPT  $N_{60}$ : Based on  $I_c$  and  $q_t$

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

Relative density constant,  $C_{Dr}$ : 350.0

Phi: Based on Kulhawy & Mayne (1990)

—●— User defined estimation data



**Calculation parameters**

Constrained modulus: Based on variable  $\alpha/\beta$  using  $I_c$  and  $Q_{b1}$  (Robertson, 2009)

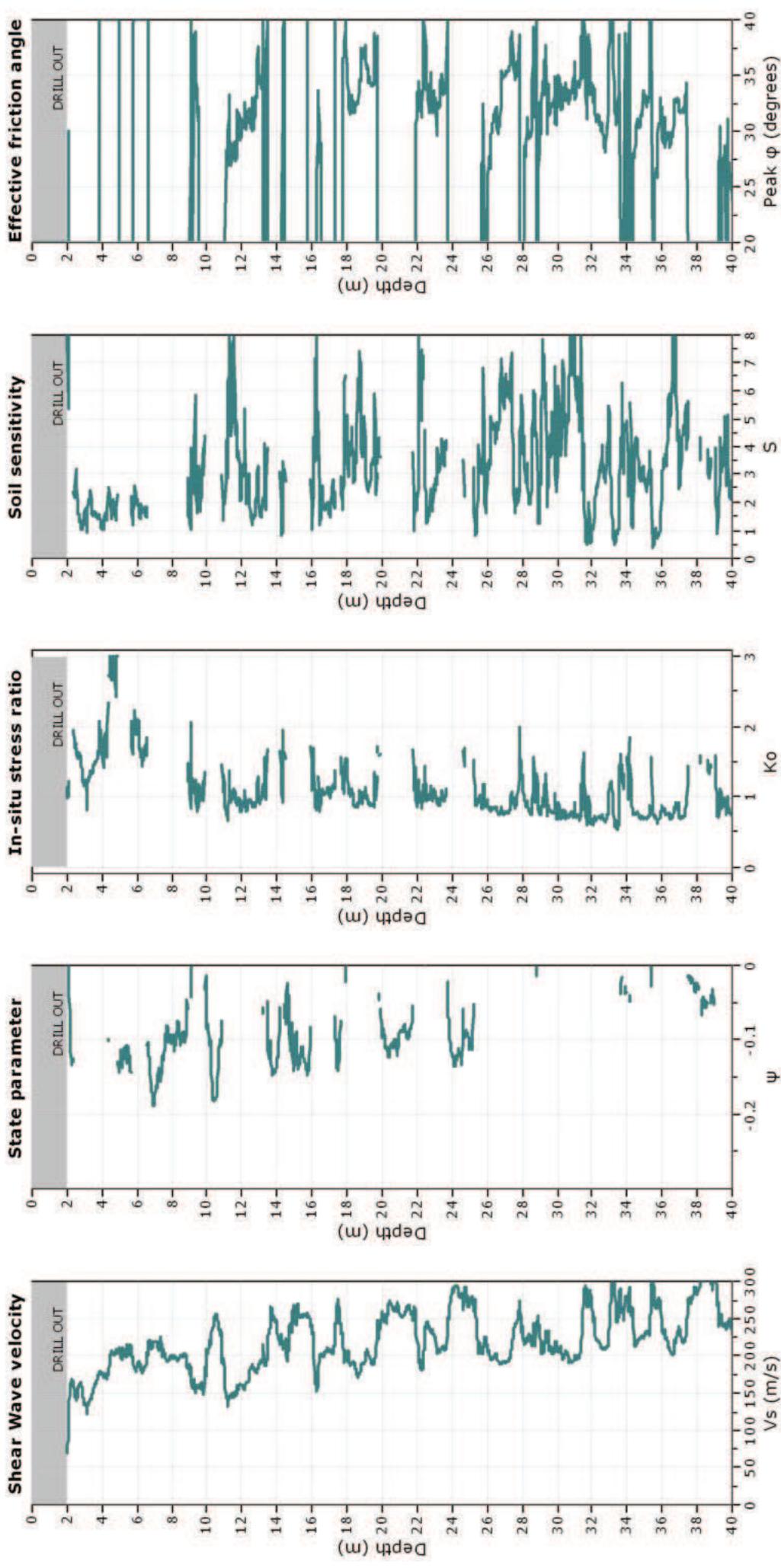
Go: Based on variable  $\alpha/\beta$  using  $I_c$  (Robertson, 2009)

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

OCR factor for clays,  $N_{sk}$ : Auto

—●— User defined estimation data

**Project:** ANAS S.p.a. - Compartimento della viabilità per il Veneto  
**Location:** San Donà di Piave (VE)



**Calculation parameters**

Soil Sensitivity factor,  $N_s$ : 7.00

—●— User defined estimation data

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

**:: Unit Weight,  $g$  (kN/m<sup>3</sup>) ::**

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

where  $g_w$  = water unit weight

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

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

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

**:: N<sub>SPT</sub> (blows per 30 cm) ::**

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

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

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

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

(applicable only to  $I_c < I_{c\_cutoff}$ )

**:: Relative Density,  $Dr$  (%) ::**

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

**:: State Parameter,  $\psi$  ::**

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

**:: Peak drained friction angle,  $\phi$  (°) ::**

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

(applicable only to SBT<sub>n</sub>: 5, 6, 7 and 8)

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

If  $I_c > 2.20$   
 $\alpha = 14$  for  $Q_{tn} > 14$   
 $\alpha = Q_{tn}$  for  $Q_{tn} \leq 14$   
 $M_{CPT} = \alpha \cdot (q_t - \sigma_v)$

If  $I_c \leq 2.20$   
 $M_{CPT} = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 I_c + 1.68}$

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

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

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

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

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

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

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

(applicable only to SBT<sub>n</sub>: 1, 2, 3, 4 and 9 or  $I_c > I_{c\_cutoff}$ )

**:: Remolded undrained shear strength,  $S_{u(rem)}$  (kPa) ::**

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

**:: Overconsolidation Ratio, OCR ::**

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

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

(applicable only to SBT<sub>n</sub>: 1, 2, 3, 4 and 9 or  $I_c > I_{c\_cutoff}$ )

**:: In situ Stress Ratio,  $K_0$  ::**

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

(applicable only to SBT<sub>n</sub>: 1, 2, 3, 4 and 9 or  $I_c > I_{c\_cutoff}$ )

**:: Soil Sensitivity,  $S_t$  ::**

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

(applicable only to SBT<sub>n</sub>: 1, 2, 3, 4 and 9 or  $I_c > I_{c\_cutoff}$ )

**:: Effective Stress Friction Angle,  $\phi'$  (°) ::**

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

(applicable for  $0.10 < B_q < 1.00$ )

**References**

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

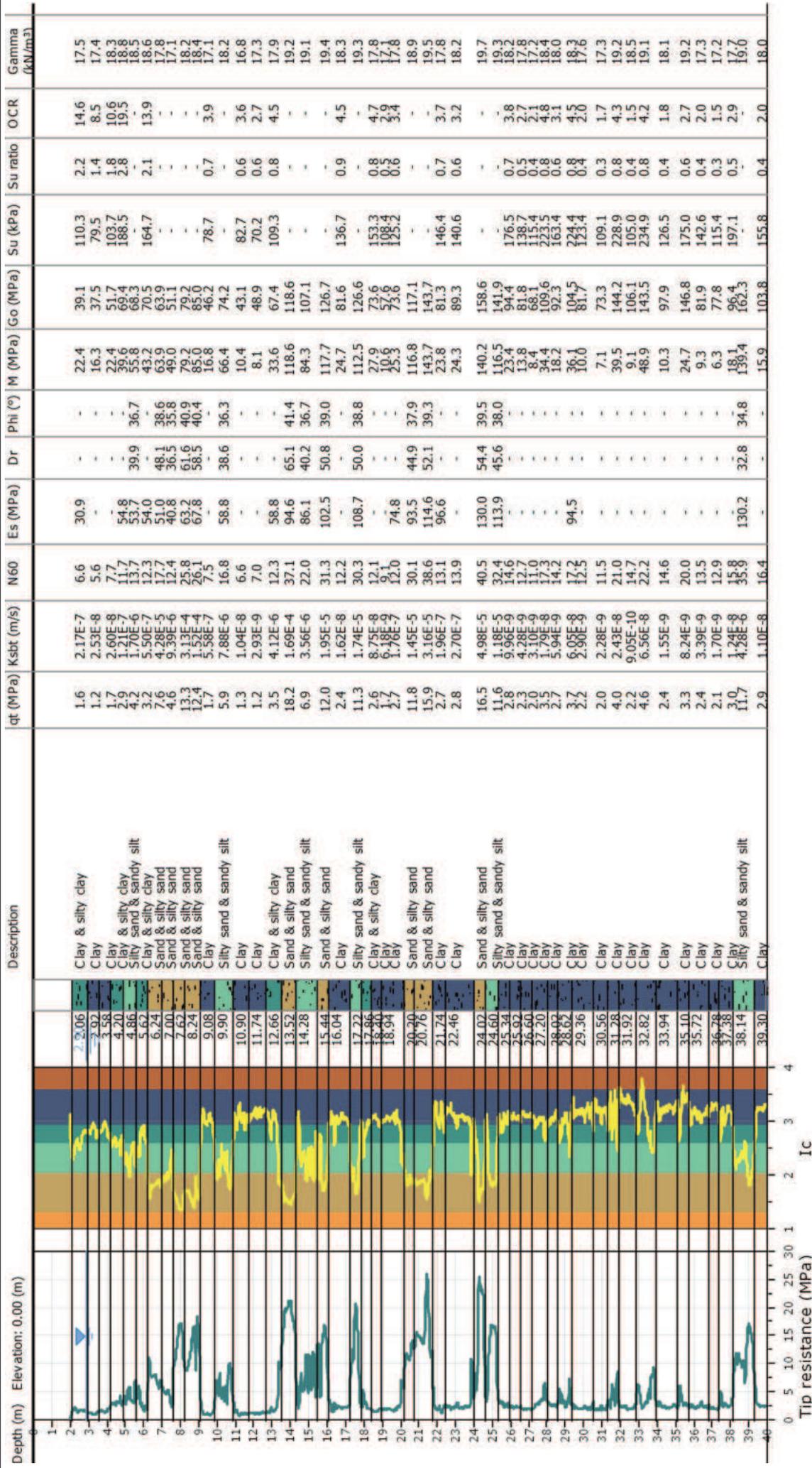
#### 4) **MODELLAZIONE GEOTECNICA**

Dai valori di resistenza misurati dalla prova penetrometrica è stato possibile definire, dei terreni indagati (elaborati sopra riportati), le caratteristiche litologiche e le proprietà fisico-meccaniche utili per la progettazione geotecnica (nelle legende annesse sono riportati diagrammi, abachi e formule di correlazione che permettono tali elaborazioni).

Inoltre, con un'ulteriore elaborazione, i livelli di terreno di 2 centimetri così definiti dall'acquisizione dati del penetrometro che presentano caratteristiche litologiche e fisico-meccaniche simili, possono essere accorpati in "macro-strati".

Gli strati così discretizzati determinano una modellazione geotecnica del sottosuolo che viene riportata nelle pagine seguenti per le prove penetrometriche eseguite e che consiste quindi in una sezione litostratigrafica di dettaglio a fini geotecnici per ogni strato della quale vengono definiti i principali parametri geotecnici.

***MODELLAZIONE GEOTECNICA DELLA PROVA CPTU 1***



**Summary table of mean values**

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT <sub>N60</sub> (blows/30cm)	E <sub>s</sub> (MPa)	D <sub>r</sub>	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G <sub>0</sub> (MPa)	Undrained strength, S <sub>u</sub> (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
2.06	0.86	2.17E-07 (±2.51E-07)	6.6 (±1.0)	30.9 (±3.3)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	22.4 (±3.5)	39.1 (±8.5)	110.3 (±15.4)	2.2 (±0.3)	14.6 (±2.9)	17.5 (±0.8)
2.92	0.66	2.53E-08 (±1.30E-08)	5.6 (±0.7)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	16.3 (±2.6)	37.5 (±4.3)	79.5 (±13.5)	1.4 (±0.2)	8.5 (±1.6)	17.4 (±0.3)
3.58	0.62	2.60E-08 (±1.49E-08)	7.7 (±0.8)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	22.4 (±3.3)	51.7 (±3.4)	103.7 (±18.3)	1.8 (±0.2)	10.6 (±2.0)	18.3 (±0.2)
4.20	0.66	1.21E-07 (±9.81E-08)	11.7 (±1.0)	54.8 (±3.4)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	39.6 (±5.2)	69.4 (±4.1)	188.5 (±23.6)	2.8 (±0.3)	19.5 (±2.7)	18.8 (±0.2)
4.86	0.76	1.70E-06 (±2.22E-06)	13.7 (±2.5)	53.7 (±8.7)	39.9 (±4.5)	36.7 (±1.1)	55.8 (±14.3)	68.3 (±9.5)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	18.5 (±0.4)
5.62	0.62	5.50E-07 (±1.86E-06)	12.3 (±3.9)	54.0 (±18.3)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	43.2 (±18.8)	70.5 (±18.5)	164.7 (±49.2)	2.1 (±0.7)	13.9 (±5.3)	18.6 (±0.8)
6.24	0.76	4.28E-05 (±3.85E-05)	17.7 (±2.3)	51.0 (±4.5)	48.1 (±4.6)	38.6 (±0.9)	63.9 (±5.6)	63.9 (±5.6)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	17.8 (±0.3)
7.00	0.62	9.39E-06 (±7.14E-06)	12.4 (±2.4)	40.8 (±5.0)	36.5 (±5.5)	35.8 (±1.5)	49.0 (±9.3)	51.1 (±6.3)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	17.1 (±0.4)
7.62	0.62	3.13E-04 (±2.47E-04)	25.8 (±3.6)	63.2 (±4.2)	61.6 (±6.8)	40.9 (±1.1)	79.2 (±5.2)	79.2 (±5.2)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	18.2 (±0.1)
8.24	0.84	1.52E-04 (±1.40E-04)	26.1 (±5.5)	67.8 (±13.2)	58.5 (±7.5)	40.4 (±1.2)	85.0 (±16.5)	85.0 (±16.5)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	18.4 (±0.6)
9.08	0.82	5.58E-07 (±3.02E-06)	7.5 (±3.3)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	16.8 (±16.9)	46.2 (±14.1)	78.7 (±28.2)	0.7 (±0.3)	3.9 (±1.9)	17.1 (±0.8)

**Summary table of mean values**

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT <sub>N60</sub> (blows/30cm)	E <sub>s</sub> (MPa)	D <sub>r</sub>	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G <sub>0</sub> (MPa)	Undrained strength, S <sub>u</sub> (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
9.90	1.00	7.88E-06 (±1.14E-05)	16.8 (±3.7)	58.8 (±8.8)	38.6 (±7.0)	36.3 (±1.8)	66.4 (±15.0)	74.2 (±10.6)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	18.2 (±0.5)
10.90												
10.90	0.84	1.04E-08 (±1.46E-08)	6.6 (±2.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	10.4 (±9.1)	43.1 (±11.6)	82.7 (±38.1)	0.6 (±0.3)	3.6 (±2.3)	16.8 (±0.7)
11.74												
11.74	0.92	2.93E-09 (±1.67E-09)	7.0 (±0.7)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	8.1 (±1.6)	48.9 (±6.0)	70.2 (±7.3)	0.6 (±0.1)	2.7 (±0.4)	17.3 (±0.4)
12.66												
12.66	0.86	4.12E-06 (±8.80E-06)	12.3 (±6.5)	58.8 (±58.8)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	33.6 (±32.2)	67.4 (±16.2)	109.3 (±48.5)	0.8 (±0.3)	4.5 (±2.6)	17.9 (±0.6)
13.52												
13.52	0.76	1.69E-04 (±9.27E-05)	37.1 (±3.0)	94.6 (±3.8)	65.1 (±5.1)	41.4 (±0.8)	118.6 (±4.8)	118.6 (±4.8)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	19.2 (±0.1)
14.28												
14.28	1.16	3.56E-06 (±6.11E-06)	22.0 (±5.3)	86.1 (±10.9)	40.2 (±6.7)	36.7 (±1.6)	84.3 (±28.6)	107.1 (±12.8)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	19.1 (±0.3)
15.44												
15.44	0.60	1.95E-05 (±1.93E-05)	31.3 (±6.3)	102.5 (±8.9)	50.8 (±7.8)	39.0 (±1.6)	117.7 (±25.9)	126.7 (±11.9)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	19.4 (±0.3)
16.04												
16.04	1.18	1.62E-08 (±4.47E-08)	12.2 (±3.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	24.7 (±13.4)	81.6 (±19.7)	136.7 (±38.2)	0.9 (±0.3)	4.5 (±1.7)	18.3 (±0.8)
17.22												
17.22	0.64	1.74E-05 (±2.41E-05)	30.3 (±10.9)	108.7 (±16.8)	50.0 (±10.2)	38.8 (±2.0)	112.5 (±45.5)	126.6 (±26.5)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	19.3 (±0.6)
17.86												
17.86	0.54	8.75E-08 (±2.07E-07)	12.1 (±1.8)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	27.9 (±14.7)	73.6 (±7.3)	153.3 (±36.9)	0.8 (±0.2)	4.7 (±1.5)	17.8 (±0.3)
18.40												
18.40	0.54	6.18E-09 (±3.01E-09)	9.1 (±0.7)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	10.6 (±2.5)	57.6 (±3.7)	108.4 (±15.1)	0.5 (±0.1)	2.9 (±0.5)	17.1 (±0.2)
18.94												

**Summary table of mean values**

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT <sub>N60</sub> (blows/30cm)	E <sub>s</sub> (MPa)	D <sub>r</sub>	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G <sub>0</sub> (MPa)	Undrained strength, S <sub>u</sub> (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
18.94	1.26	1.76E-07 (±4.47E-07)	12.0 (±3.8)	74.8 (±74.8)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	25.3 (±26.1)	73.6 (±12.5)	125.2 (±37.9)	0.6 (±0.2)	3.4 (±1.5)	17.8 (±0.4)
20.20	0.56	1.45E-05 (±6.96E-06)	30.1 (±3.1)	93.5 (±8.2)	44.9 (±3.5)	37.9 (±0.8)	116.8 (±10.6)	117.1 (±10.3)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	18.9 (±0.3)
20.76	0.98	3.16E-05 (±3.92E-05)	38.6 (±6.4)	114.6 (±12.5)	52.1 (±7.4)	39.3 (±1.3)	143.7 (±15.6)	143.7 (±15.6)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	19.5 (±0.3)
21.74	0.72	1.96E-07 (±9.65E-07)	13.1 (±5.2)	96.6 (±2.9)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	23.8 (±27.6)	81.3 (±26.6)	146.4 (±90.0)	0.7 (±0.4)	3.7 (±3.2)	17.8 (±1.0)
22.46	1.56	2.70E-07 (±1.20E-06)	13.9 (±3.6)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	24.3 (±23.3)	89.3 (±13.7)	140.6 (±35.0)	0.6 (±0.1)	3.2 (±1.0)	18.2 (±0.4)
24.02	0.58	4.98E-05 (±6.61E-05)	40.5 (±12.0)	130.0 (±13.6)	54.4 (±12.6)	39.5 (±2.6)	140.2 (±42.6)	158.6 (±19.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	19.7 (±0.4)
24.60	0.74	1.18E-05 (±1.10E-05)	32.4 (±8.2)	113.9 (±6.9)	45.6 (±7.0)	38.0 (±1.6)	116.5 (±41.3)	141.9 (±9.5)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	19.3 (±0.2)
25.34	0.58	9.96E-09 (±8.75E-09)	14.6 (±1.7)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	23.4 (±7.2)	94.4 (±15.6)	176.5 (±32.9)	0.7 (±0.1)	3.8 (±0.9)	18.2 (±0.5)
25.92	0.68	4.28E-09 (±1.34E-09)	12.7 (±0.7)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	13.8 (±1.7)	81.8 (±5.4)	138.7 (±9.5)	0.5 (±0.0)	2.7 (±0.2)	17.8 (±0.2)
26.60	0.60	3.10E-09 (±7.22E-10)	11.0 (±0.4)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	8.4 (±0.7)	68.1 (±3.2)	115.4 (±6.3)	0.4 (±0.0)	2.1 (±0.1)	17.2 (±0.2)
27.20	0.82	1.79E-08 (±2.60E-08)	17.3 (±4.5)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	34.4 (±22.7)	109.6 (±27.1)	223.5 (±98.6)	0.8 (±0.4)	4.8 (±2.7)	18.4 (±0.8)

**Summary table of mean values**

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT <sub>N60</sub> (blows/30cm)	E <sub>s</sub> (MPa)	D <sub>r</sub>	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G <sub>0</sub> (MPa)	Undrained strength, S <sub>u</sub> (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
28.02	0.60	5.94E-09 (±3.41E-09)	14.2 (±0.7)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	18.2 (±4.6)	92.3 (±4.2)	163.4 (±25.8)	0.6 (±0.1)	3.1 (±0.6)	18.0 (±0.2)
28.62	0.74	6.05E-08 (±1.45E-07)	17.2 (±3.3)	94.5 (±94.5)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	36.1 (±23.0)	104.5 (±14.4)	224.4 (±83.4)	0.8 (±0.2)	4.5 (±2.2)	18.3 (±0.4)
29.36	1.20	2.90E-09 (±3.94E-09)	12.5 (±1.1)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	10.0 (±4.1)	81.7 (±8.4)	123.4 (±28.4)	0.4 (±0.1)	2.0 (±0.6)	17.6 (±0.3)
30.56	0.72	2.28E-09 (±2.58E-09)	11.5 (±0.7)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	7.1 (±2.6)	73.3 (±6.2)	109.1 (±24.6)	0.3 (±0.1)	1.7 (±0.5)	17.3 (±0.3)
31.28	0.64	2.43E-08 (±5.58E-08)	21.0 (±4.9)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	39.5 (±28.5)	144.2 (±32.2)	228.9 (±120.0)	0.8 (±0.3)	4.3 (±2.8)	19.2 (±0.8)
31.92	0.90	9.05E-10 (±6.38E-10)	14.7 (±1.7)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	9.1 (±2.6)	106.1 (±21.9)	105.0 (±17.0)	0.4 (±0.1)	1.5 (±0.3)	18.5 (±0.6)
32.82	1.12	6.56E-08 (±1.12E-07)	22.2 (±5.2)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	48.9 (±34.7)	143.5 (±28.2)	234.9 (±114.9)	0.8 (±0.3)	4.2 (±2.5)	19.1 (±0.7)
33.94	1.16	1.55E-09 (±1.14E-09)	14.6 (±1.3)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	10.3 (±3.1)	97.9 (±11.6)	126.5 (±20.7)	0.4 (±0.1)	1.8 (±0.4)	18.1 (±0.4)
35.10	0.62	8.24E-09 (±2.11E-08)	20.0 (±3.9)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	24.7 (±22.3)	146.8 (±32.5)	175.0 (±105.4)	0.6 (±0.3)	2.7 (±2.1)	19.2 (±0.7)
35.72	1.06	3.39E-09 (±2.47E-09)	13.5 (±1.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	9.3 (±3.1)	81.9 (±7.2)	142.6 (±27.3)	0.4 (±0.1)	2.0 (±0.5)	17.3 (±0.3)
36.78	0.60	1.70E-09 (±1.40E-09)	12.9 (±0.8)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	6.3 (±2.0)	77.8 (±5.8)	115.4 (±21.6)	0.3 (±0.0)	1.5 (±0.4)	17.2 (±0.3)

### Summary table of mean values

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT <sub>N60</sub> (blows/30cm)	E <sub>s</sub> (MPa)	D <sub>r</sub>	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G <sub>0</sub> (MPa)	Undrained strength, S <sub>u</sub> (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
37.38	0.76	1.24E-08 (±2.10E-08)	15.8 (±2.7)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	18.1 (±15.4)	96.4 (±15.8)	197.1 (±90.6)	0.5 (±0.2)	2.9 (±1.7)	17.7 (±0.6)
38.14												
38.14	1.16	4.28E-06 (±7.01E-06)	35.9 (±4.5)	130.2 (±11.4)	32.8 (±5.3)	34.8 (±1.5)	139.4 (±24.2)	162.3 (±14.4)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	19.0 (±0.3)
39.30												
39.30	0.76	1.10E-08 (±3.73E-08)	16.4 (±3.3)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	15.9 (±20.3)	103.8 (±15.4)	155.8 (±84.0)	0.4 (±0.2)	2.0 (±1.6)	18.0 (±0.3)
40.06												

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

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

**:: Unit Weight,  $g$  (kN/m<sup>3</sup>) ::**

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

where  $g_w$  = water unit weight

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

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

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

**:: N<sub>SPT</sub> (blows per 30 cm) ::**

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

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

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

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

(applicable only to  $I_c < I_{c\_cutoff}$ )

**:: Relative Density,  $Dr$  (%) ::**

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

**:: State Parameter,  $\psi$  ::**

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

**:: Peak drained friction angle,  $\phi$  (°) ::**

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

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

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

If  $I_c > 2.20$   
 $\alpha = 14$  for  $Q_{tn} > 14$   
 $\alpha = Q_{tn}$  for  $Q_{tn} \leq 14$   
 $M_{CPT} = \alpha \cdot (q_t - \sigma_v)$

If  $I_c \leq 2.20$   
 $M_{CPT} = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 I_c + 1.68}$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**:: Overconsolidation Ratio, OCR ::**

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

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

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

**:: In situ Stress Ratio,  $K_0$  ::**

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

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

**:: Soil Sensitivity,  $S_t$  ::**

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

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

**:: Effective Stress Friction Angle,  $\phi'$  (°) ::**

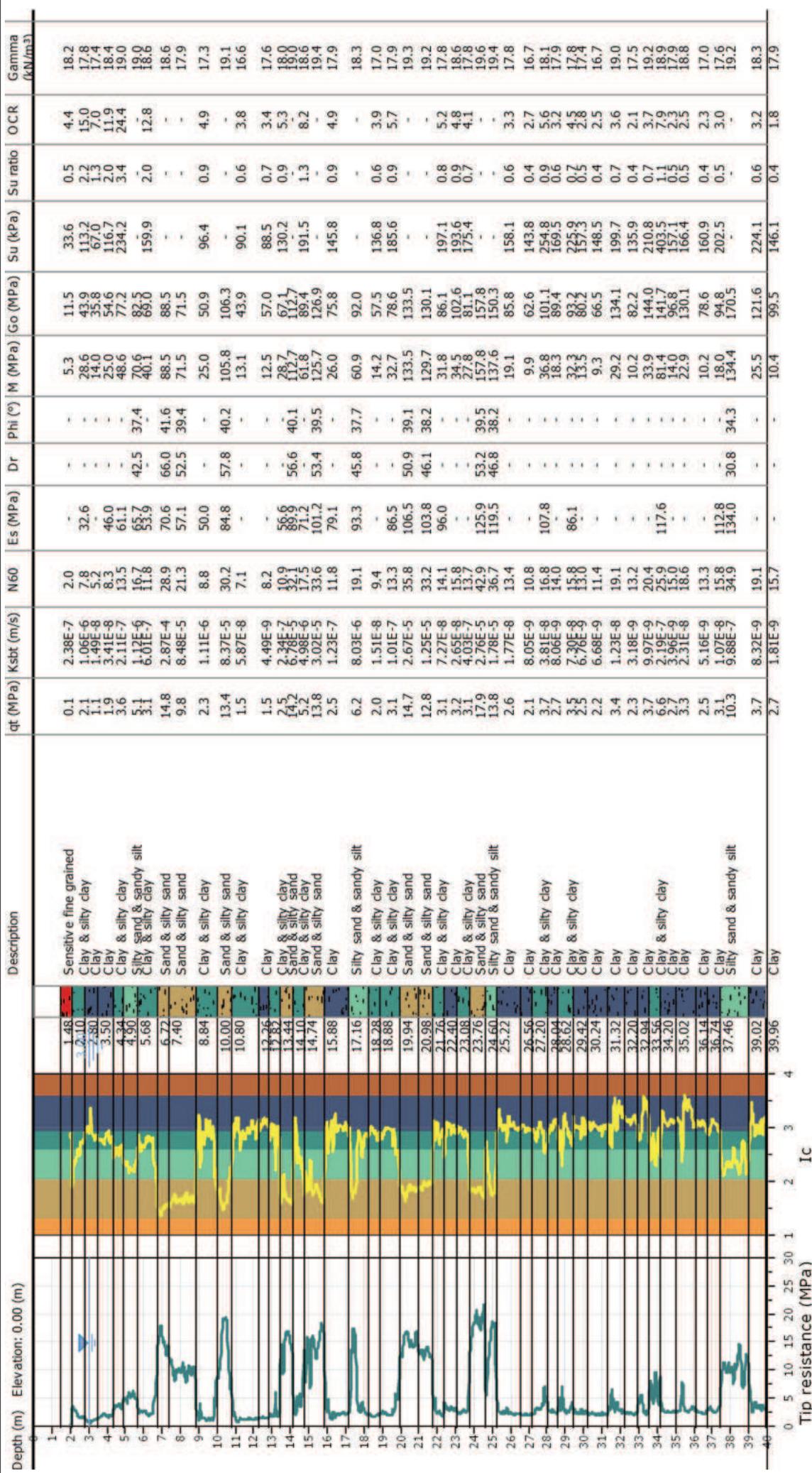
$$\phi' = 29.5^\circ \cdot B_q^{0.121} \cdot (0.256 + 0.336 \cdot B_q + \log Q_t)$$

(applicable for  $0.10 < B_q < 1.00$ )

**References**

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

***MODELLAZIONE GEOTECNICA DELLA PROVA CPTU 2***



**Summary table of mean values**

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT <sub>N60</sub> (blows/30cm)	E <sub>s</sub> (MPa)	D <sub>r</sub>	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G <sub>0</sub> (MPa)	Undrained strength, S <sub>u</sub> (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
1.48	0.62	2.38E-07 (±4.70E-07)	2.0 (±1.2)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	5.3 (±7.0)	11.5 (±5.2)	33.6 (±9.4)	0.5 (±0.1)	4.4 (±1.3)	18.2 (±1.8)
2.10	0.70	1.06E-06 (±2.85E-06)	7.8 (±1.7)	32.6 (±3.6)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	28.6 (±8.6)	43.9 (±7.1)	113.2 (±19.2)	2.2 (±0.3)	15.0 (±3.4)	17.8 (±0.6)
2.80	0.70	1.49E-08 (±8.33E-09)	5.2 (±0.9)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	14.0 (±3.3)	35.8 (±5.8)	67.0 (±14.1)	1.3 (±0.3)	7.0 (±1.7)	17.4 (±0.4)
3.50	0.84	3.41E-08 (±2.23E-08)	8.3 (±0.9)	46.0 (±46.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	25.0 (±3.4)	54.6 (±4.9)	116.7 (±18.1)	2.0 (±0.2)	11.9 (±2.0)	18.4 (±0.2)
4.34	0.56	2.11E-07 (±1.43E-07)	13.5 (±1.4)	61.1 (±6.1)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	48.6 (±6.1)	77.2 (±8.4)	234.2 (±26.1)	3.4 (±0.3)	24.4 (±3.0)	19.0 (±0.3)
4.90	0.78	1.12E-06 (±6.25E-07)	16.7 (±1.1)	65.7 (±3.8)	42.5 (±1.9)	37.4 (±0.4)	70.6 (±8.3)	82.5 (±4.7)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	19.0 (±0.2)
5.68	1.04	6.01E-07 (±2.38E-06)	11.8 (±3.4)	53.9 (±8.5)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	40.1 (±17.9)	69.0 (±9.4)	159.9 (±26.7)	2.0 (±0.3)	12.8 (±2.9)	18.6 (±0.3)
6.72	0.68	2.87E-04 (±1.79E-04)	28.9 (±2.0)	70.6 (±3.7)	66.0 (±4.2)	41.6 (±0.6)	88.5 (±4.6)	88.5 (±4.6)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	18.6 (±0.2)
7.40	1.44	8.48E-05 (±3.98E-05)	21.3 (±1.6)	57.1 (±2.5)	52.5 (±3.4)	39.4 (±0.6)	71.5 (±3.1)	71.5 (±3.1)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	17.9 (±0.1)
8.84	1.16	1.11E-06 (±3.60E-06)	8.8 (±3.5)	50.0 (±50.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	25.0 (±19.9)	50.9 (±10.3)	96.4 (±32.9)	0.9 (±0.3)	4.9 (±2.3)	17.3 (±0.5)
10.00	0.80	8.37E-05 (±8.36E-05)	30.2 (±7.1)	84.8 (±13.6)	57.8 (±10.9)	40.2 (±1.9)	105.8 (±17.4)	106.3 (±17.1)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	19.1 (±0.5)

**Summary table of mean values**

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT <sub>N60</sub> (blows/30cm)	E <sub>s</sub> (MPa)	D <sub>r</sub>	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G <sub>0</sub> (MPa)	Undrained strength, S <sub>u</sub> (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
10.80	1.46	5.87E-08 (±2.62E-07)	7.1 (±2.9)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	13.1 (±15.4)	43.9 (±14.2)	90.1 (±25.0)	0.6 (±0.2)	3.8 (±1.4)	16.6 (±0.9)
12.26	0.56	4.49E-09 (±2.10E-09)	8.2 (±0.8)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	12.5 (±2.0)	57.0 (±6.4)	88.5 (±7.6)	0.7 (±0.1)	3.4 (±0.4)	17.6 (±0.4)
12.82	0.62	2.34E-07 (±7.70E-07)	10.9 (±2.7)	56.6 (±56.6)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	28.7 (±18.2)	67.1 (±7.3)	130.2 (±39.3)	0.9 (±0.2)	5.3 (±2.2)	18.0 (±0.3)
13.44	0.66	6.78E-05 (±4.09E-05)	32.1 (±4.4)	89.9 (±12.9)	56.6 (±5.9)	40.1 (±1.1)	112.7 (±16.1)	112.7 (±16.1)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	19.0 (±0.5)
14.10	0.64	4.98E-06 (±1.50E-05)	17.5 (±4.8)	71.2 (±2.1)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	61.8 (±25.5)	89.4 (±10.8)	191.5 (±82.9)	1.3 (±0.5)	8.2 (±4.5)	18.6 (±0.4)
14.74	1.14	3.02E-05 (±2.66E-05)	33.6 (±4.4)	101.2 (±7.5)	53.4 (±6.7)	39.5 (±1.3)	125.7 (±11.3)	126.9 (±9.4)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	19.4 (±0.2)
15.88	1.28	1.23E-07 (±6.95E-07)	11.8 (±3.8)	79.1 (±10.7)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	26.0 (±19.5)	75.8 (±19.3)	145.8 (±58.8)	0.9 (±0.4)	4.9 (±2.9)	17.9 (±0.9)
17.16	1.12	8.03E-06 (±1.52E-05)	19.1 (±10.6)	93.3 (±21.1)	45.8 (±13.0)	37.7 (±3.2)	60.9 (±45.7)	92.0 (±27.6)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	18.3 (±0.8)
18.28	0.60	1.51E-08 (±8.23E-09)	9.4 (±0.8)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	14.2 (±3.3)	57.5 (±5.9)	136.8 (±18.9)	0.6 (±0.1)	3.9 (±0.7)	17.0 (±0.4)
18.88	1.06	1.01E-07 (±3.11E-07)	13.3 (±4.1)	86.5 (±6.3)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	32.7 (±23.9)	78.6 (±17.2)	185.6 (±82.4)	0.9 (±0.4)	5.7 (±3.5)	17.9 (±0.6)
19.94	1.04	2.67E-05 (±1.99E-05)	35.8 (±2.8)	106.5 (±8.1)	50.9 (±3.4)	39.1 (±0.7)	133.5 (±10.2)	133.5 (±10.2)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	19.3 (±0.2)

**Summary table of mean values**

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT <sub>N60</sub> (blows/30cm)	E <sub>s</sub> (MPa)	D <sub>r</sub>	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G <sub>0</sub> (MPa)	Undrained strength, S <sub>u</sub> (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
20.98	0.78	1.25E-05 (±4.56E-06)	33.2 (±2.0)	103.8 (±5.1)	46.1 (±2.7)	38.2 (±0.6)	129.7 (±7.4)	130.1 (±6.4)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	19.2 (±0.2)
21.76												
21.76	0.64	7.27E-08 (±2.02E-07)	14.1 (±4.5)	96.0 (±96.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	31.8 (±22.4)	86.1 (±28.6)	197.1 (±70.4)	0.8 (±0.4)	5.2 (±2.6)	17.8 (±1.1)
22.40												
22.40	0.68	2.65E-08 (±6.19E-08)	15.8 (±0.8)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	34.5 (±7.8)	102.6 (±9.6)	193.6 (±33.6)	0.9 (±0.1)	4.8 (±1.1)	18.6 (±0.4)
23.08												
23.08	0.68	4.03E-07 (±1.89E-06)	13.7 (±3.5)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	27.8 (±22.1)	81.1 (±8.8)	175.4 (±19.8)	0.7 (±0.1)	4.1 (±0.6)	17.8 (±0.3)
23.76												
23.76	0.84	2.76E-05 (±1.27E-05)	42.9 (±4.8)	125.9 (±13.7)	53.2 (±3.9)	39.5 (±0.7)	157.8 (±17.2)	157.8 (±17.2)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	19.6 (±0.4)
24.60												
24.60	0.62	1.78E-05 (±1.66E-05)	36.7 (±5.8)	119.5 (±9.2)	46.8 (±6.9)	38.2 (±1.5)	137.6 (±23.9)	150.3 (±11.7)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	19.4 (±0.2)
25.22												
25.22	1.34	1.77E-08 (±7.46E-08)	13.4 (±3.3)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	19.1 (±16.6)	85.8 (±23.2)	158.1 (±53.0)	0.6 (±0.2)	3.3 (±1.6)	17.8 (±0.8)
26.56												
26.56	0.64	8.05E-09 (±2.07E-09)	10.8 (±0.4)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	9.9 (±1.0)	62.6 (±1.7)	143.8 (±10.8)	0.4 (±0.0)	2.7 (±0.2)	16.7 (±0.1)
27.20												
27.20	0.84	3.81E-08 (±5.02E-08)	16.8 (±4.1)	107.8 (±8.8)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	36.8 (±22.1)	101.1 (±23.7)	254.8 (±105.7)	0.9 (±0.4)	5.6 (±3.1)	18.1 (±0.8)
28.04												
28.04	0.58	8.06E-09 (±6.95E-09)	14.0 (±0.8)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	18.3 (±5.7)	89.4 (±5.2)	169.5 (±34.0)	0.6 (±0.1)	3.2 (±0.8)	17.9 (±0.2)
28.62												
28.62	0.80	7.30E-08 (±1.74E-07)	15.8 (±2.9)	86.1 (±1.5)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	32.3 (±21.3)	93.2 (±15.5)	225.9 (±78.5)	0.7 (±0.2)	4.5 (±2.0)	17.8 (±0.6)
29.42												

**Summary table of mean values**

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT <sub>N60</sub> (blows/30cm)	E <sub>s</sub> (MPa)	D <sub>r</sub>	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G <sub>0</sub> (MPa)	Undrained strength, S <sub>u</sub> (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
29.42	0.82	6.76E-09 (±5.05E-09)	13.0 (±0.9)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	13.5 (±3.5)	80.2 (±8.0)	157.3 (±25.4)	0.5 (±0.1)	2.8 (±0.6)	17.4 (±0.4)
30.24	1.08	6.68E-09 (±2.77E-09)	11.4 (±0.5)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	9.3 (±1.5)	66.5 (±4.3)	148.5 (±14.5)	0.4 (±0.0)	2.5 (±0.3)	16.7 (±0.3)
31.32	0.88	1.23E-08 (±2.35E-08)	19.1 (±3.6)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	29.2 (±19.9)	134.1 (±29.4)	199.7 (±95.8)	0.7 (±0.3)	3.6 (±2.3)	19.0 (±0.8)
32.20	0.74	3.18E-09 (±2.58E-09)	13.2 (±0.9)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	10.2 (±2.8)	82.2 (±4.8)	135.9 (±21.4)	0.4 (±0.1)	2.1 (±0.4)	17.5 (±0.2)
32.94	0.62	9.97E-09 (±1.25E-08)	20.4 (±4.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	33.9 (±23.1)	144.0 (±28.9)	210.8 (±100.8)	0.7 (±0.3)	3.7 (±2.1)	19.2 (±0.7)
33.56	0.64	2.19E-07 (±2.59E-07)	25.9 (±4.3)	117.6 (±13.6)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	81.4 (±28.5)	141.7 (±14.8)	403.5 (±119.1)	1.1 (±0.3)	7.9 (±3.0)	18.9 (±0.3)
34.20	0.82	3.96E-09 (±5.76E-09)	15.0 (±1.9)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	14.0 (±7.2)	96.8 (±17.3)	157.1 (±33.2)	0.5 (±0.1)	2.3 (±0.7)	17.9 (±0.6)
35.02	1.12	2.31E-08 (±9.25E-08)	18.6 (±4.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	22.9 (±21.7)	130.1 (±33.9)	166.4 (±66.9)	0.5 (±0.2)	2.5 (±1.4)	18.8 (±0.8)
36.14	0.60	5.16E-09 (±2.66E-09)	13.3 (±1.1)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	10.2 (±2.7)	78.6 (±8.4)	160.9 (±22.5)	0.4 (±0.1)	2.3 (±0.4)	17.0 (±0.4)
36.74	0.72	1.07E-08 (±1.86E-08)	15.8 (±2.3)	112.8 (±112.8)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	18.0 (±12.7)	94.8 (±12.5)	202.5 (±67.6)	0.5 (±0.2)	3.0 (±1.3)	17.6 (±0.4)
37.46	1.56	9.88E-07 (±8.75E-07)	34.9 (±3.7)	134.0 (±14.4)	30.8 (±2.6)	34.3 (±0.8)	134.4 (±25.1)	170.5 (±18.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	19.2 (±0.3)

**Summary table of mean values**

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT <sub>N60</sub> (blows/30cm)	E <sub>s</sub> (MPa)	D <sub>r</sub>	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G <sub>0</sub> (MPa)	Undrained strength, S <sub>u</sub> (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
39.02	0.94	8.32E-09 (±1.11E-08)	19.1 (±3.6)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	25.5 (±18.4)	121.6 (±23.8)	224.1 (±78.3)	0.6 (±0.2)	3.2 (±1.5)	18.3 (±0.6)
39.96	0.06	1.81E-09 (±1.24E-10)	15.7 (±0.6)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	10.4 (±0.6)	99.5 (±1.8)	146.1 (±3.8)	0.4 (±0.0)	1.8 (±0.1)	17.9 (±0.1)

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

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

**:: Unit Weight,  $g$  (kN/m<sup>3</sup>) ::**

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

where  $g_w$  = water unit weight

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

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

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

**:: N<sub>SPT</sub> (blows per 30 cm) ::**

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

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

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

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

(applicable only to  $I_c < I_{c\_cutoff}$ )

**:: Relative Density,  $Dr$  (%) ::**

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

**:: State Parameter,  $\psi$  ::**

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

**:: Peak drained friction angle,  $\phi$  (°) ::**

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

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

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

If  $I_c > 2.20$   
 $\alpha = 14$  for  $Q_{tn} > 14$   
 $\alpha = Q_{tn}$  for  $Q_{tn} \leq 14$   
 $M_{CPT} = \alpha \cdot (q_t - \sigma_v)$

If  $I_c \leq 2.20$   
 $M_{CPT} = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 I_c + 1.68}$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**:: Overconsolidation Ratio, OCR ::**

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

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

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

**:: In situ Stress Ratio,  $K_0$  ::**

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

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

**:: Soil Sensitivity,  $S_t$  ::**

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

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

**:: Effective Stress Friction Angle,  $\phi'$  (°) ::**

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

(applicable for  $0.10 < B_q < 1.00$ )

**References**

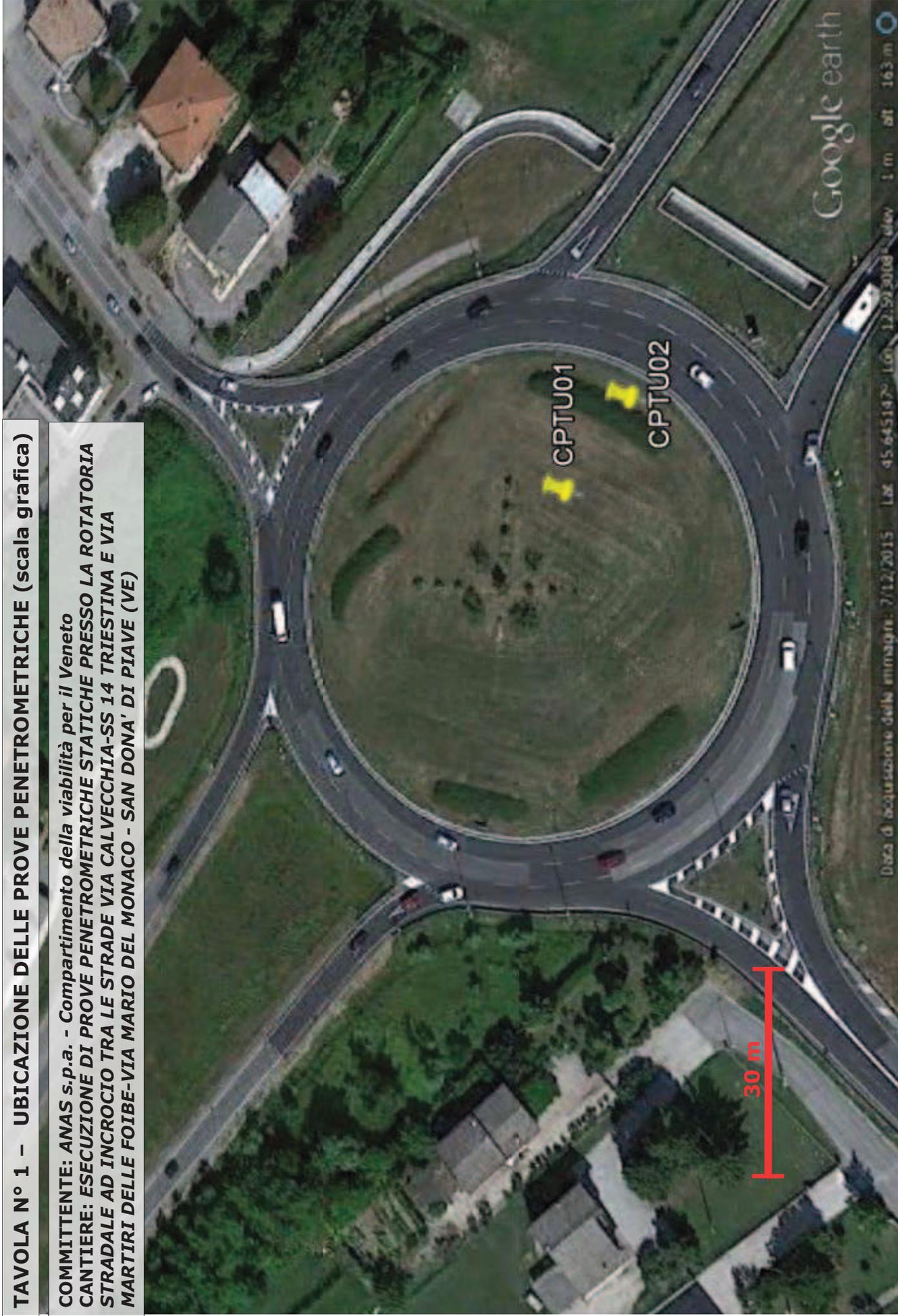
- Robertson, P.K., Cabal K.L., Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering, Gregg Drilling & Testing, Inc., 5<sup>th</sup> Edition, November 2012
- Robertson, P.K., Interpretation of Cone Penetration Tests - a unified approach., Can. Geotech. J. 46(11): 1337–1355 (2009)

***ALLEGATI***

***Tavola n° 1***  
***Ubicazione delle indagini geognostiche***

**TAVOLA N° 1 – UBICAZIONE DELLE PROVE PENETROMETRICHE (scala grafica)**

**COMMITTENTE:** ANAS s.p.a. - *Compartimento della viabilità per il Veneto*  
**CANTIERE:** ESECUZIONE DI PROVE PENETROMETRICHE STATICHE PRESSO LA ROTATORIA STRADALE AD INCROCIO TRA LE STRADE VIA CALVECCHIA-SS 14 TRIESTINA E VIA MARTIRI DELLE FOIBE-VIA MARIO DEL MONACO - SAN DONA' DI PIAVE (VE)



***Allegato n° 2***  
***Documentazione fotografica***  
***delle prove penetrometriche statiche***

**COMMITTENTE: ANAS s.p.a. - Compartimento della viabilità per il Veneto**

**CANTIERE: ESECUZIONE DI PROVE PENETROMETRICHE STATICHE PRESSO LA ROTATORIA STRADALE AD INCROCIO TRA LE STRADE VIA CALVECCHIA-SS 14 TRIESTINA E VIA MARTIRI DELLE FOIBE-VIA MARIO DEL MONACO - SAN DONA' DI PIAVE (VE)**

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

PROVE PENETROMETRICHE STATICHE

CPTU 1



CPTU 2



***Allegato n° 3***  
***Caratteristiche tecniche della strumentazione utilizzata***

### PIEZOCONO: TP - CPL2IN

#### Punta conica:

Diametro 35.70 mm  
Altezza nominale 30.90 mm  
Angolo di apertura 60°  
Area nominale 1000.00 mm<sup>2</sup>  
Altezza filtro 6.00 mm  
Diametro interno filtro 24.00 mm  
Distanza tra filtro e base cono 5.00 mm  
Altezza quandring 3.50 mm

#### Piezocono:

Area di punta 10.00 cm<sup>2</sup>  
Diametro 35.70 mm  
Area netta (AN) 6.60 cm<sup>2</sup>  
Superficie manicotto 150.00 cm<sup>2</sup>  
Lunghezza manicotto 133.70 mm  
Area superiore manicotto (F sup.) 2.22 cm<sup>2</sup>  
Area inferiore manicotto (F inf.) 3.31 cm<sup>2</sup>  
Lunghezza totale punta elettrica 600.00 mm  
Peso complessivo 3.00 Kg  
Lunghezza raccordo punta - aste 250.00 mm

Ogni punta elettrica e' inscindibile dal proprio amplificatore dei segnali che permette di effettuare lo zero elettrico dei valori di Rp,RI, Pn.

I trasduttori di forza per la misura di Rp e RI sono stati realizzati con 4 coppie di estensimetri al fine di ridurre gli effetti di eccentricita' del carico.

#### Misura della resistenza alla punta:

Sensori: estensimetri da 350 ohm a ponte completo con bilanciamento di zero  
F.S. 50 MPa  
Risoluzione 0.1 Kg/cm<sup>2</sup>  
Precisione < ± 1% F.S.  
Deriva termica di zero < 0.05% F.S./°C  
Valore minimo misurabile -1.3 MPa  
Campo di temperatura -10°C/+ 80°C

#### Misura della resistenza laterale:

Sensori: estensimetri da 350 ohm a ponte completo con bilanciamento di zero  
F.S. 500 KPa  
Risoluzione 1 kPa  
Precisione < ±2% della misura  
Deriva termica di zero < 0.05% F.S./°C  
Influenza su RI del carico di punta <1.5% del F.S. di RI  
Valore minimo misurabile -55 kPa  
Campo di temperatura -10°C/+ 80°C

#### Misura della pressione neutrale:

Trasduttore di pressione assoluto in cui il valore di zero corrisponde a un bar di pressione  
Filtro: bronzo poroso con porosità 50 micronmetri  
F.S. 2000 kPa  
Risoluzione 0.01 bar  
Precisione < ± 1% F.S.  
Deriva termica di zero < 0.05% F.S./°C  
Campo di temperatura -10°C/+ 80°C  
Valore minimo misurabile -200 kPa

#### Misura dell'inclinazione:

Inclinometro biassiale (n. 2) di tipo magnetoresistivo  
F.S. ± 10 gradi  
Risoluzione 0.1 gradi  
Deriva termica di zero < 0.05% F.S./°C  
Precisione < ±2.5% della misura

### CENTRALINA DI INTERFACCIA: TP - PENS

CPU 82C552 a 22.118 Mhz clock  
Memoria 128 Kbyte per programmi e dati; 64 Kbyte per dati (espandibile)  
Orologio Datario Accuratezza 1 minuto / mese; Risoluzione 1 secondo  
I/O 8 canali analogici 12 bit; (segnale in ingresso: 0/-5V o +/- 2.5V)  
8 canali digitali on/off (TTL); 1 counter (TTL); 1 interrupt (contatto pulito)  
Watchdog timer reset: esso resetta la CPU quando viene abilitato.  
Il tempo fra i resets e' di 380 ms o di 2.8 secondi.  
Porte Seriali n. 2 RS232  
Baud Rates da 300 fino a 38400 programmabile  
Temperatura d'esercizio -20°C/+ 70°C  
Assorbimento Centralina 156 mA in acquisizione.  
Assorbimento Piezocono 67 mA  
Assorbimento Amplificatore 32 mA  
Assorbimento Totale 256 mA (compreso il piezocono)  
Tensione Critica di Funzionamento 11 Vdc  
Batteria Alimentazione int. 4 Ah, 12 Vdc  
Autonomia Funzionamento 8 ore al 50% della capacità nominale della batteria  
Tempo per Ricarica tot. di Batteria 8 ore

### AMPLIFICATORE: CPT AMP

Ogni punta elettrica-piezocono e' dotata di un dispositivo a scheda per l'amplificazione dei segnali costituito da due amplificatori estensimetrici e da un amplificatore del segnale proveniente dal trasduttore delle pressioni neutrali.

Ogni amplificatore viene tarato per fornire segnali di 5Vdc per i corrispondenti valori di fondo scala di Rp, RI, Pn.

La configurazione di taratura e' quindi costituita da punta elettrica-piezocono, cavo, amplificatore.

La sostituzione del cavo in dotazione con altri di lunghezza diversa (maggiore o minore) non comporta variazioni del segnale rispetto ai valori di taratura.

### TRASDUTTORE DI SPOSTAMENTO: EST - CPL

Il trasduttore di spostamento e' costituito da un elipot (potenziometro multigiro) 10 giri alimentato con una tensione di riferimento (2.5dc) stabile. Il sistema meccanico consente una corsa del cavo di 1200 mm.

### Misura dell'avanzamento:

Elipot 10 giri da 10 Kohm  
Risoluzione 1.0 mm  
Precisione 0.5 mm/m  
Corsa 1200 mm

### ACCELEROMETRO

Accelerometro 3D  
Range di accelerazione  
Segnale in frequenza  
Sensibilità

Sensore MEMS inerziale a 3 assi /accelerometro lineare  
+/-2g  
0 -300Hz ( presenza di filtro passa basso a 300 Hz)  
0.66 V/g (+/-2g)



*TECNOLAB S.r.l.*

ALLEGATO – E

RILIEVO PLANO-ALTIMETRICO



*Progetto:*

**VARIANTE DI SAN DONA' DI PIAVE (VE) - 3° LOTTO**  
SERVIZI DI INDAGINE GEOGNOSTICA E GEOFISICA

*Area:*

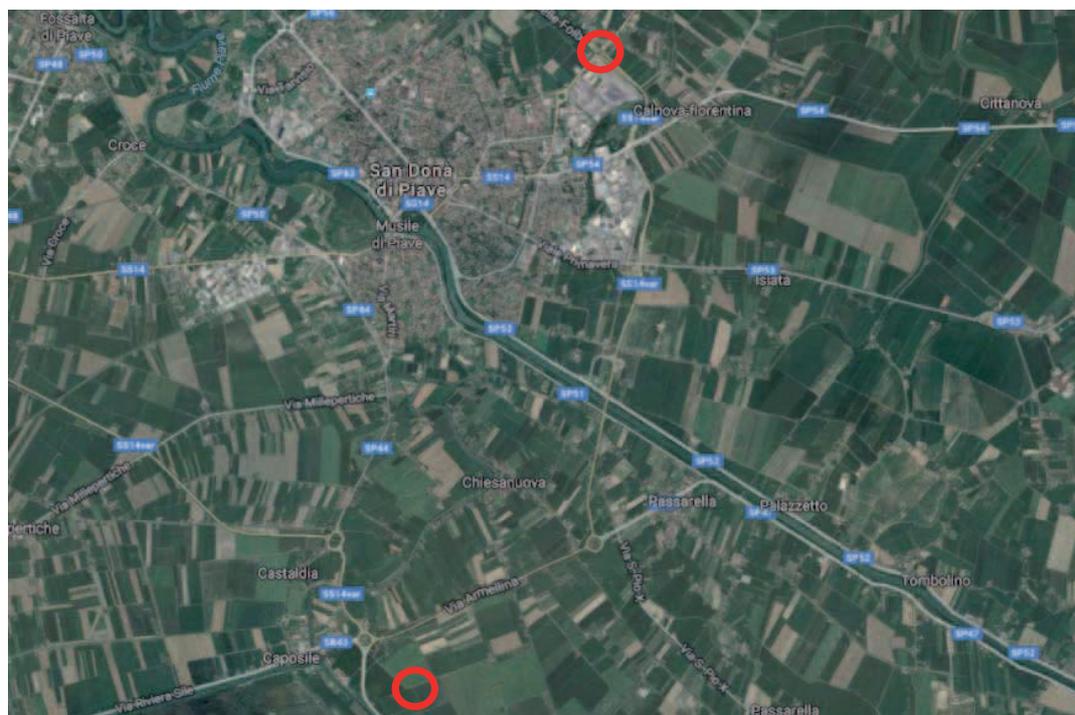
VENETO - San Donà di Piave (VE)

*Committente:*

ANAS S.P.A.

*Oggetto:*

**RILIEVO PLANO-ALTIMETRICO**



*Inquadramento (estratto da Google Earth)*

## INDICE

<b>1 - PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>2- DESCRIZIONE DELLE ATTIVITA' DI RILIEVO .....</b>	<b>3</b>
2.1 – DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA DI RILIEVO .....	3
2.2 – DESCRIZIONE DEL RILIEVO PLANO-ALTIMETRICO DI DETTAGLIO .....	3
<b>3- ELABORAZIONE DEL RILIEVO .....</b>	<b>4</b>
<b>4 – SPECIFICHE TECNICHE STRUMENTAZIONE .....</b>	<b>5</b>

Allegati:  
Schede monografiche

## 1 - PREMESSA

Nell'ambito dell'incarico ricevuto dalla società **ANAS S.p.A.** per l'esecuzione di una campagna di indagini geognostiche in comune di San Donà di Piave (VE), la **TecnoLab S.r.l.** ha eseguito il rilievo plano-altimetrico di dettaglio dei punti di indagine, ed ha previsto le seguenti attività:

- individuazione dei caposaldi e trigonometrici di coordinate note al fine di inquadrare il rilievo topografico nell'ambito del sistema di riferimento nazionale *Roma40 e WGS84*;
- rilievo plano-altimetrico delle indagini geologiche eseguite sulla rotonda via Martiri delle Foibe SS14Var km 27+750 e in Località Musile di Piave in comune di San Donà di Piave;
- restituzione dei risultati.

Il rilievo plano-altimetrico è stato eseguito adoperando una Total Station Pentax r-326 XN e relativi accessori a corredo ed inquadrato nel sistema di riferimento geografico *Roma40 e WGS84*.

Per l'elaborazione dei dati e la restituzione del rilievo sono stati adoperati i seguenti software specialistici: PowerTopoLite ,DL-02 SierraSoft, ConveRGO CISIS, Meridiana .

Le attività di cantiere sono state effettuate da una squadra di tecnici specializzati.

## 2- DESCRIZIONE DELLE ATTIVITA' DI RILIEVO

### 2.1 – DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA DI RILIEVO

Le operazioni topografiche hanno avuto oggetto il rilievo dell'area interessata dall'intervento delle indagini geognostiche e geofisiche contestualizzandole ai manufatti esistenti di riferimento.

Lo scopo è stato quindi quello di geolocalizzare, mediante coordinate e quote altimetriche, i punti relativi alla posizione dei sondaggi S1 e S2 e delle prove penetrometriche CPTU 1 e CPTU 2 eseguite sul terreno appoggiando il singolo rilievo ad una rete di capisaldi e trigonometrici di coordinate note.

I dati memorizzati sono stati successivamente immessi nel PC per essere trattati con i tradizionali software e per la conversione nei sistemi di riferimento nazionali.

## 2.2 – DESCRIZIONE DEL RILIEVO PLANO-ALTIMETRICO DI DETTAGLIO

Il rilievo è stato quindi eseguito mediante l'ausilio di strumentazione elettro-ottica, quale una stazione totale a lettura infrarossi/laser, per l'esecuzione delle misure plano-altimetriche. L'area d'intervento ed i manufatti presenti sono state misurate mediante l'uso combinato di un operatore alla stazione totale e uno o due porta-mira. Questi ultimi hanno percorso l'area posizionandosi con i rispettivi prismi montati su aste telescopiche, sui punti notevoli oggetto di rilievo.

Mediante l'impiego di radio trasmettenti hanno comunicato all'operatore posto allo strumento, le indicazioni di altezza del prisma da terra e nota del particolare dell'oggetto rilevato.

L'operatore alla stazione ha proceduto alla registrazione del punto nell'apposita memoria interna dello strumento dotato del software PowerTopoLite, per la successiva elaborazione.

Al fine di evitare errori di misurazione altimetrica, è stata applicata al punteruolo dell'asta telescopica un'apposita basetta piana che evita l'infissione dell'asta nel terreno qualora lo stesso sia di consistenza troppo morbida.

I punti inaccessibili, qualora presenti, sono stati rilevati mediante lettura laser direttamente con la medesima stazione totale. La stessa infatti, è dotata di misurazione ad infrarossi per le letture con il prisma e lettura laser per letture dirette sugli oggetti.

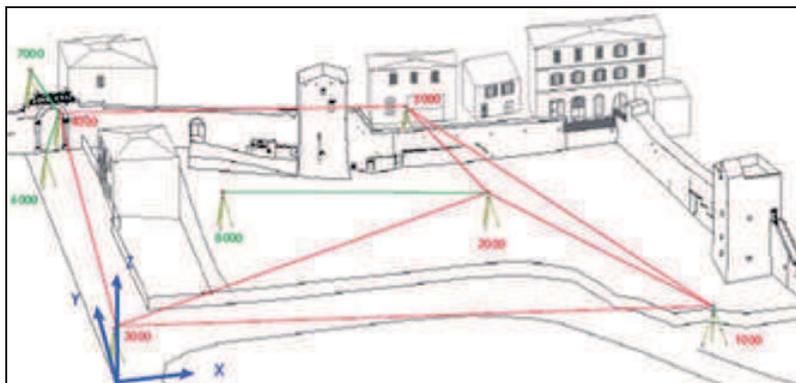
Per la misurazione dell'intera area e dei punti d'appoggio è stato necessario spostare su più vertici la stazione totale, al fine di collimare tutti i punti interessati dalle misurazioni.

Su ogni punto di stazione, è stato collocato un segnale amovibile tale da permettere in futuro il riposizionamento dello strumento qualora si rendesse necessario un infittimento dei punti di rilievo. Sono stati quindi infissi nel terreno opportuni picchetti in ferro e o chiodi miniati, a seconda della consistenza della pavimentazione.

## **3- ELABORAZIONE DEL RILIEVO**

Al termine delle operazioni di rilievo, si è proceduto allo scarico sul PC dei dati presenti nella memoria della stazione totale mediante l'applicativo DL-02 SierraSoft proseguendo poi all'elaborazione automatizzata dei dati di rilievo e alla conversione delle informazioni di campagna, in formato di libretto delle misure. Lo stesso conterrà coordinate e quote altimetriche nonché la nota descrittiva del punto. Sempre mediante apposito applicativo, si procederà alla trasposizione delle coordinate in ambiente grafico Autocad. Ogni punto, manterrà le informazioni X,Y,Z e sarà inoltre corredato da nota e quota altimetrica.

Successivamente tutti i dati sono stati trasformati dal sistema di coordinate Gauss-Boaga Roma40 in coordinate WGS84 con l'ausilio del programma ConveRgo distribuito CISIS per la conversione tra sistemi di coordinate .



Schema Tipo del rilievo



Rilievo georeferenziato



Fase del rilievo plano-altimetrico

I punti oggetto delle indagini sono stati opportunamente documentati con monografie allegate alla presente.

Le stesse contengono la descrizione dell'ubicazione toponomastica oggetto di indagine, la posizione dei punti di indagine rispetto ad essa, coordinate, quote e opportune fotografie.

## 4 – SPECIFICHE TECNICHE STRUMENTAZIONE

### **Total Station PENTAX R-326 NX**

Stazione totale di ultima generazione dotata di software interno PowerTopoLite per la memorizzazione ed elaborazione dei dati.

<i>Lettura senza prisma</i>	: 200 mt
<i>Lettura con prisma singolo</i>	: 1.5m-2800mt
<i>Lettura con 3 prismi</i>	: 3500mt
<i>Piombino laser visibile</i>	: +/- 0.8 mm
<i>Compensatore</i>	: Dual Axis
<i>Precisione</i>	: 2"
<i>Impermeabilità</i>	: IPx6
<i>Batterie</i>	: n° 2 DC6V 4200mAh
<i>Autonomia batterie</i>	: 5 ore/cad utilizzo continuo
<i>Memoria interna</i>	: 7500 punti (Misurati e dati coordinate ingresso)
<i>Schermo digitale</i>	: n° 1
<i>Interfaccia scarico dati</i>	: n° 1 con cavo seriale
<i>Prisma</i>	: n°2 posti su asta telescopica 1.30mt-2.80mt
<i>Ricetrasmittenti radio</i>	: n°2



Stazione Totale



Prisma



Data : Giugno 2017

### SCHEDA MONOGRAFICA

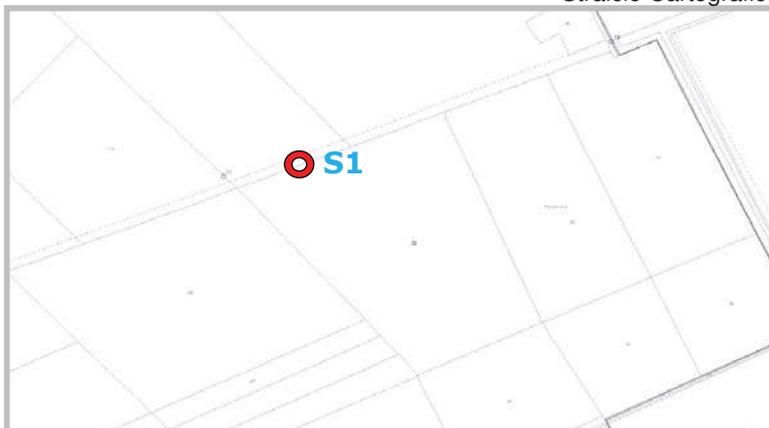


Località Musile di Piave  
Comune di San Donà di Piave (VE)

Inquadramento



Stralcio Cartografico



### SONDAGGIO S1



<b>COORDINATE GAUSS-BOAGA con quota ortometrica</b>			Quota
<b>S1</b>	EST	NORD	s.l.m.
	2330135,486	5049809,388	-0,309
<b>COORDINATE WGS84</b>			Quota ellissoidica
<b>S1</b>	Latitude	Longitude	
	45°34'32,696"	12°33'59,169"	43,382



# Variante San Donà di Piave (VE) 3° LOTTO

Servizi di indagine geognostica e geofisica



Data : Giugno 2017

## SCHEDA MONOGRAFICA



Rotonda Via Martiri Delle Foibe  
SS 14 Var km 27+750, Comune di San Donà di Piave (VE)

Inquadramento



Stralcio Cartografico

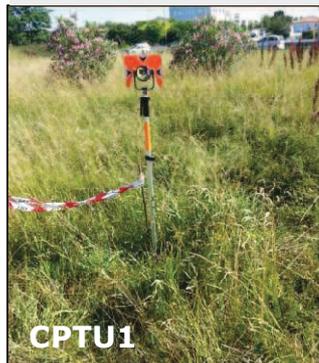


### SONDAGGIO S2



COORDINATE GAUSS-BOAGA con quota ortometrica			Quota s.l.m.
S2	EST	NORD	
	2332568,488	5057362,904	1,999
COORDINATE WGS84			Quota ellissoidica
S2	Latitude	Longitude	
	45°38'39,615"	12°35'40,877"	45,545

### PROVE PENETROMETRICHE



COORDINATE GAUSS-BOAGA con quota ortometrica			Quota s.l.m.
CPT1	EST	NORD	
	2332599,573	5057324,776	2,089
COORDINATE WGS84			Quota ellissoidica
CPT1	Latitude	Longitude	
	45°38'38,410"	12°35'42,365"	45,635

COORDINATE GAUSS-BOAGA con quota ortometrica			Quota s.l.m.
CPT2	EST	NORD	
	2332612,696	5057310,238	1,909
COORDINATE WGS84			Quota ellissoidica
CPT2	Latitude	Longitude	
	45°38'37,952"	12°35'42,990"	45,455