

COMUNE DI **SAN GIULIANO TERME**

PIANO DI RECUPERO CON CONTESTUALE VARIANTE AL P.O.C.
PER LA REALIZZAZIONE DELLA NUOVA SEDE DELLA SOCIETA' CHIMICA FEDELI s.p.a.
SCHEDA NORMA N.1 - UTOE N. 26 - PALAZZETTO VIA DI PALAZZETTO N. 5,7,9

proponente

SOCIETA' CHIMICA EMILIO FEDELI spa
amministratore unico MATTEO TODISCO

Sede: Via del Brennero, n. 48, 56123 Pisa cod. fisc./p. iva 01339740506
www.chimicafedeli.it - info@chimicafedeli.it

progettazione urbanistica, architettonica e coordinamento

Redbox

LUIGI PIEROTTI ARCHITETTO
MASSIMO DEL SEPPIA ARCHITETTO
MANRICO LOGLI ARCHITETTO

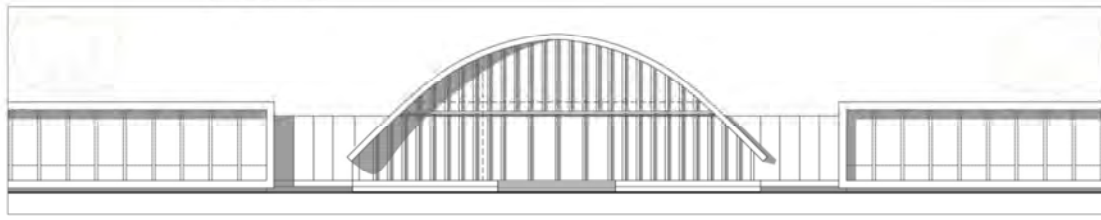
Via Ludovico Muratori 1, 56017 San Giuliano Terme (PISA); tel. 050.541830
e_mail: redboxfuture2021@gmail.com

coordinatore

STUDIO YAWL GEOMETRI ASSOCIATI - PARRINI MICHELE

Via Isidoro Nord 21/g, 56021 Cascina (PISA)
e_mail: geoparrini@yawl.it

coordinatore



consulenza urbanistica e VAS

MARCO MANCINO ARCHITETTURA DEL TERRITORIO

Corso Italia 156, 56125 Pisa

strutture, sostenibilita', impianti, requisiti acustica e sicurezza

BST INGEGNERIA srl

Viale Italia 395, 57128 Livorno

geologia

FABRIZIO ALVARES GEOLOGO

Via Ludovico Muratori 1, 56017 San Giuliano Terme (PI)

studi idraulici

STEFANO PAGLIARA PROF. INGEGNERE

Via Borsellino 14, 56123 Pisa

mobilità

TAGES SOCIETA' COOPERATIVA

Via Giosuè Carducci 64/c, 56010 San Giuliano Terme (PI)

agronomia

ALESSANDRO FARNESI AGRONOMO

Via le Rene 107/c 56017 Pisa

computi metrici e coordinatore sicurezza

CLAUDIO BULLERI PERITO INDUSTRIALE

Via Ravizza 22/b, 56121 Pisa

urbanistica - restituzione grafica

ARIANNA NASSI O DI NASSO

Via Ludovico Muratori 1, 56017 San Giuliano Terme (PI)

collaborazione

ROBERTO DELLA CROCE ARCHITETTO, GIACOMO PETRI INGEGNERE,
LORENZO SPERA INGEGNERE, SANDRO GHEZZANI ARCHITETTO

Urbanistica

Architettonico

Strutture

Impianti

Acustica

DATA
2021
GIUGNO

REV.
00

RELAZIONE GEOLOGICA DI FATTIBILITA'

PROGETTO
DEFINITIVO

RELAZIONE
B.04

1. PREMESSA

La seguente relazione di fattibilità geologica viene redatta a supporto del Piano di recupero con contestuale variante alla scheda norma comparto 1 – UTOE 26 Palazzetto, per la realizzazione della nuova sede della Chimica Fedeli S.p.A., in via Palazzetto n. 5, 7, 9 e 11, comune di San Giuliano Terme (vedi corografia di Fig.1).

Le indagini geologiche sono state condotte ai sensi del regolamento di cui al D.P.G.R. n.5/R/2020 e delle direttive di cui alla Delibera n.31 del 20/01/2020, facendo riferimento alle indagini geologiche a supporto del P.O.C., nonché di una campagna di indagini eseguite in situ.



Fig. 1 – corografia dell'area

2. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

L'intervento edilizio riguarda un comparto urbanistico di tipo produttivo attualmente in disuso, che sulla base della variante alla scheda norma è suddiviso in due UMI (UMI 1 e UMI 2) con le seguenti funzioni:

UMI 1 – sono previsti interventi di ristrutturazione urbanistica ad uso uffici, senza incremento di volume.

UMI 2 - sono previsti interventi di ristrutturazione urbanistica ad uso struttura polifunzionale, senza incremento di volume.

Sono inoltre previsti parcheggi di superficie sia pubblici che privati.

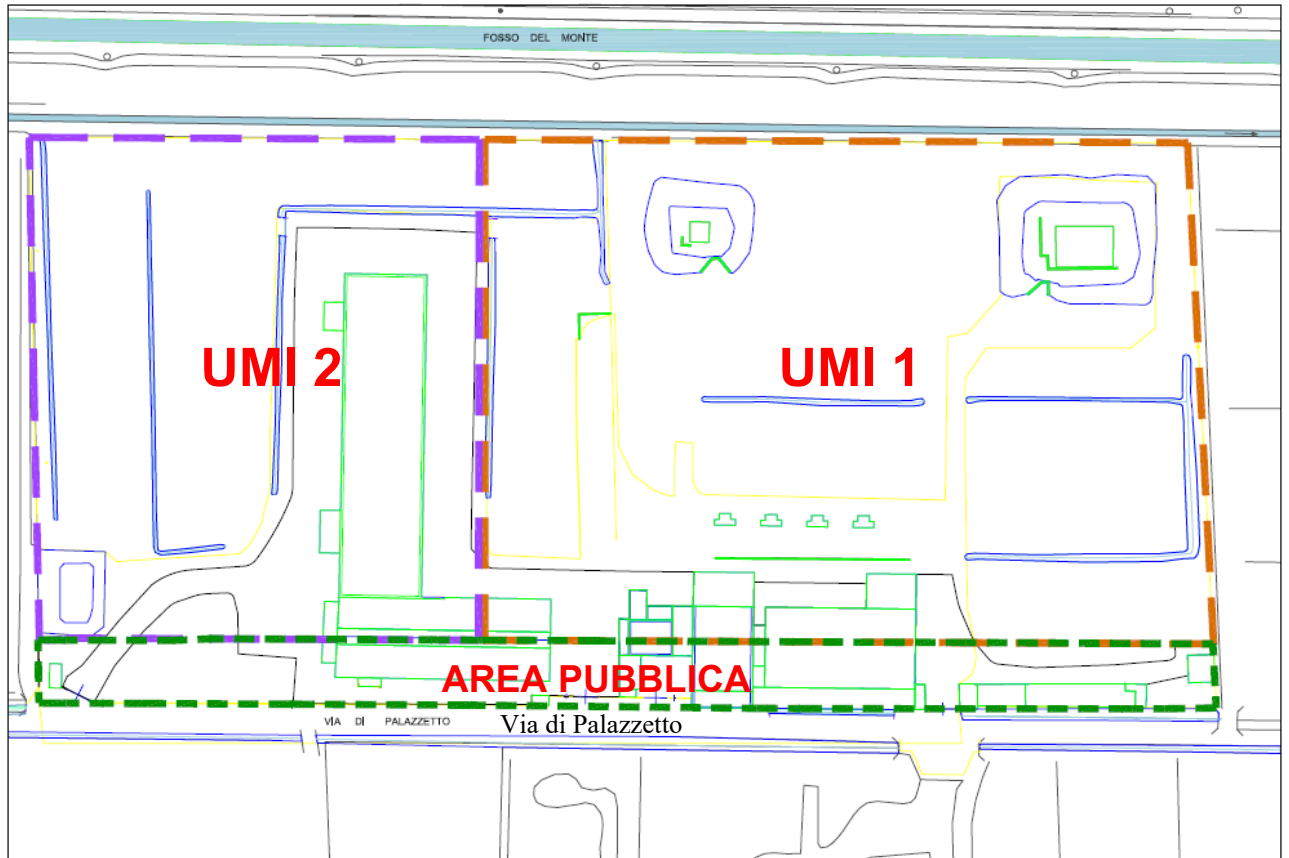


Fig.2 – delimitazione e zonizzazione del comparto del piano di recupero

5. APPROFONDIMENTO DEL QUADRO CONOSCITIVO – METODOLOGIA D'INDAGINE

Scopo dello studio è quello di aggiornare l'attuale quadro conoscitivo, al fine di giungere ad una corretta definizione delle condizioni di pericolosità geologica, sismica e idraulica. A tal fine, sul sito di progetto è stata eseguita una campagna di indagini geognostiche, geotecniche e sismiche in conformità anche alle disposizioni di cui al regolamento regionale DPGR 36/R, che si è espletata mediante n.2 sondaggi a carotaggio continuo, prove geotecniche di laboratorio, prove penetrometriche CPTU e prospezione sismica Down-Hole.

5.1 LINEAMENTI GEOLOGICI E GEOMORFOLOGICI

Il complesso immobiliare oggetto d'intervento è ubicato poco a sud del centro di San Giuliano Terme e comprende una vasta area a destinazione produttiva, attualmente abbandonata.

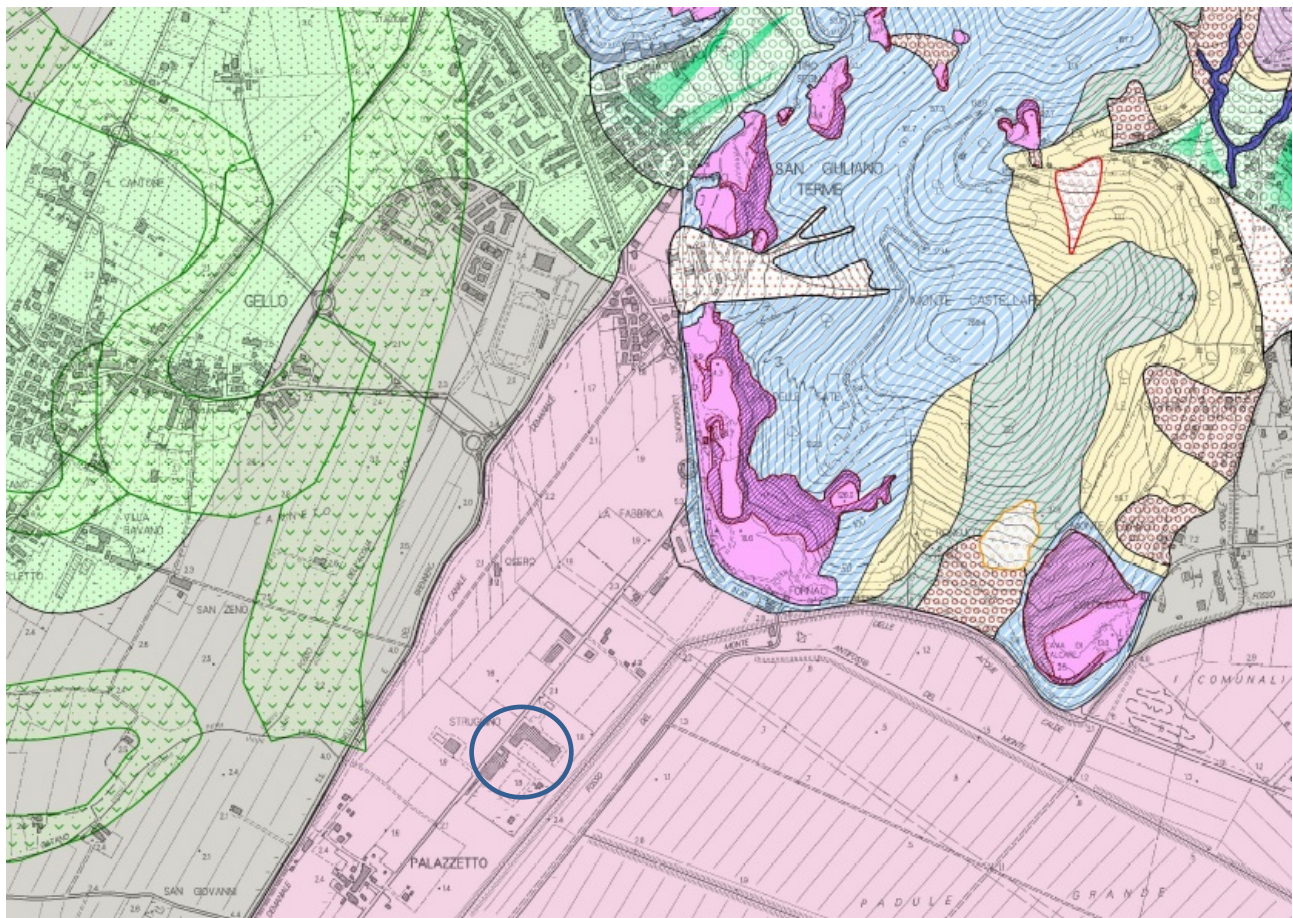
Il complesso immobiliare produttivo oggi dismesso, si sviluppa su un'area di poco più di 42.000 mq, sulla quale insistono più edifici, che si sviluppano in parte su uno ed in parte su due piani fuori terra.

A scala regionale, l'area fa parte della piana alluvionale pisana ed è pertanto caratterizzata da una morfologia del tutto pianeggiante.

La pianura pisana si estende dal piede dei rilievi collinari dei Monti Pisani fino al mare ed è caratterizzata da depositi alluvionali prevalentemente argillosi, limi e limi sabbiosi olocenici con granulometria crescente verso l'alveo attuale del Fiume Arno in prossimità del quale prevalgono le sabbie depositatesi durante le frequenti esondazioni del passato.

La frazione più fine caratterizza le zone più lontane dai corsi d'acqua; essa è rappresentata da argille e limi all'interno dei quali sono intercalati livelli sabbiosi e ghiaiosi di spessore variabile caratterizzando così quella che rappresenta la stratigrafia tipica della Pianura Pisana.

In particolare, come possiamo osservare dalla carta geomorfologica di Fig. 3, l'area di studio è localizzata sui depositi alluvionali argillosi organici.



Sedimenti alluvionali attuali e recenti




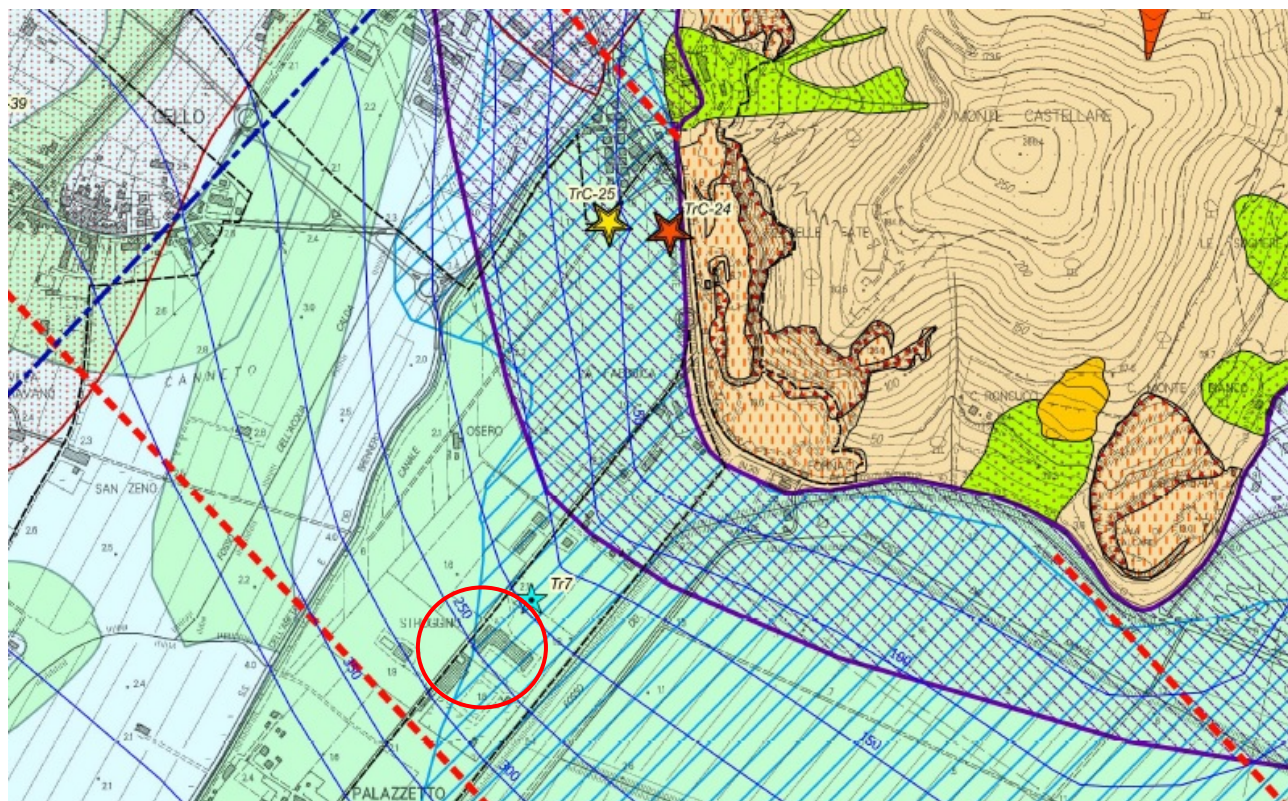
-  Terreni prevalentemente sabbiosi-limosi
-  Terreni prevalentemente argillosi
-  Terreni argillosi organici

Fig. 3 – Carta geomorfologica (tratta dal P.O.C.)

5.2 CARTA DELLE MOPS

Facendo riferimento alla carta delle MOPS di Fig. 4 estratta dal P.O.C., il sito di progetto ricade nelle zone suscettibili di instabilità per cedimenti differenziali (CD9 e subsidenza diffusa).



ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITA'

- - - Faglie attive e capaci di quadro conoscitivo "FA" (database ITHACA)
- Liquefazione "L"
- Amplificazione stratigrafica
- Cedimenti differenziali "CD" (aree golenali, terreni alluvionali organici, paleoalvei)
- Subsidenza diffusa constatata da misure interferometriche

Fig. 4 – Carta delle MOPS (tratta dal P.O.C)

5.3 CONDIZIONI LITO-STRATIGRAFICHE E GEOLOGICO-TECNICHE LOCALI

La campagna di indagini geognostiche condotta sull'area di studio (vedi ubicazione indagini di Fig. 5) ha consentito di definire in dettaglio le caratteristiche lito-stratigrafiche e geotecniche del sottosuolo.

In particolare, come possiamo osservare dal log stratigrafico del sondaggio S1 e dall'elaborazione della prova CPTU 2 (Fig. 6), spinti fino alla profondità di 30 m dal p.c., per il sottosuolo in esame è stata rilevata la seguente situazione lito-stratigrafica e litotecnica.

p.c. – 3.0 m : limi argillosi mediamente consistenti

3.0 m – 20 m : alternanze di argille limose organiche poco consistenti e limi sabbiosi, con livelli di torba, caratterizzati da proprietà geotecniche piuttosto scadenti.

La falda è stata misurata in un piezometro presente sull'area, alla profondità di 1.8 m dal p.c.

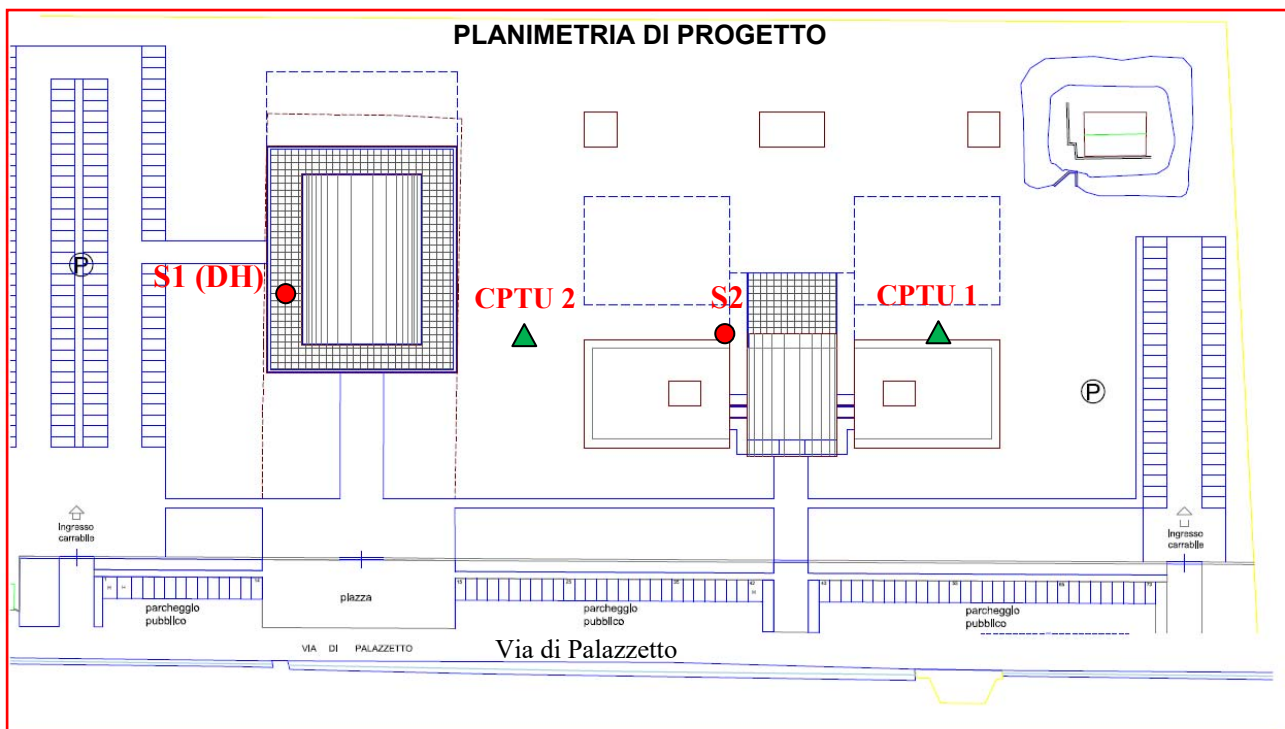


Fig. 5 - Ubicazione indagini

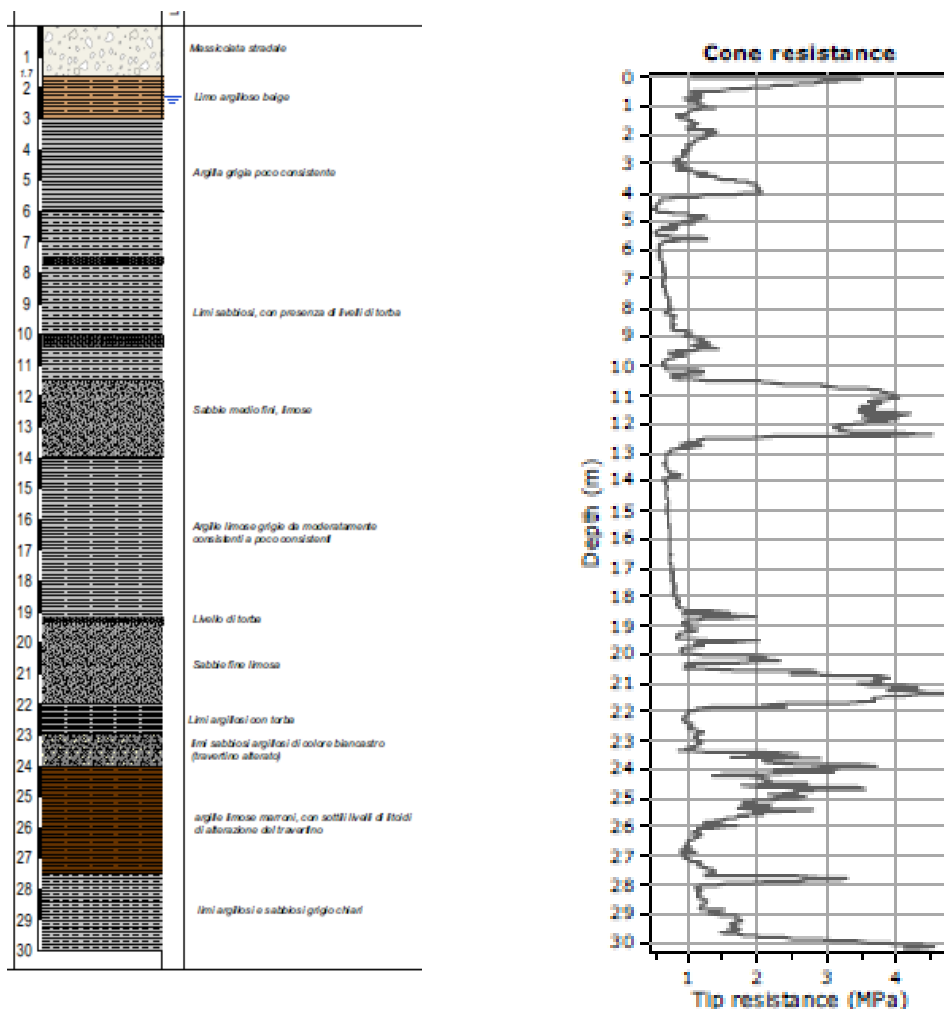


Fig. 6 – log stratigrafico S1 e profilo CPTU 2

6. CRITERI GENERALI PER LA DEFINIZIONE DELLE CONDIZIONI DI PERICOLOSITÀ

Aspetti geologici e sismici

Come visto, il sottosuolo in esame risulta costituito da litotipi prevalentemente argillosi, organici, caratterizzati comunque da proprietà geotecniche piuttosto scadenti.

In ragione di ciò, facendo riferimento alle carte di pericolosità geologica e sismica locale tratte dal P.O.C., ai terreni in esame viene confermata la classe di pericolosità geologica G3 e sismica S3 (Fig. 7 e 8), stabilite dal P.O.C. *per subsidenza e possibili cedimenti differenziali*.

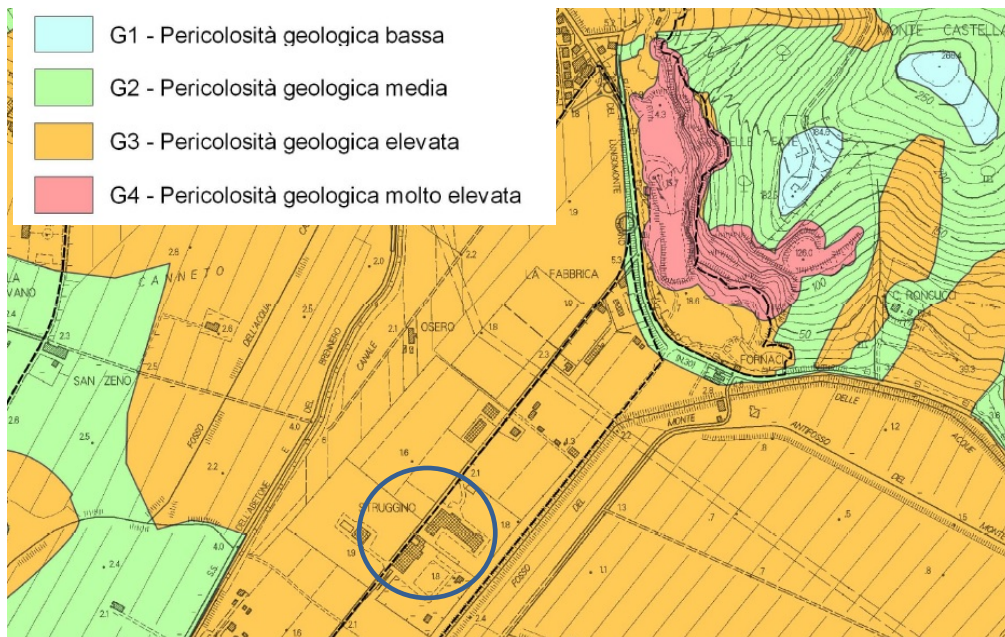


Fig. 7 – carta della pericolosità sismica (tratta dal P.O.C.)

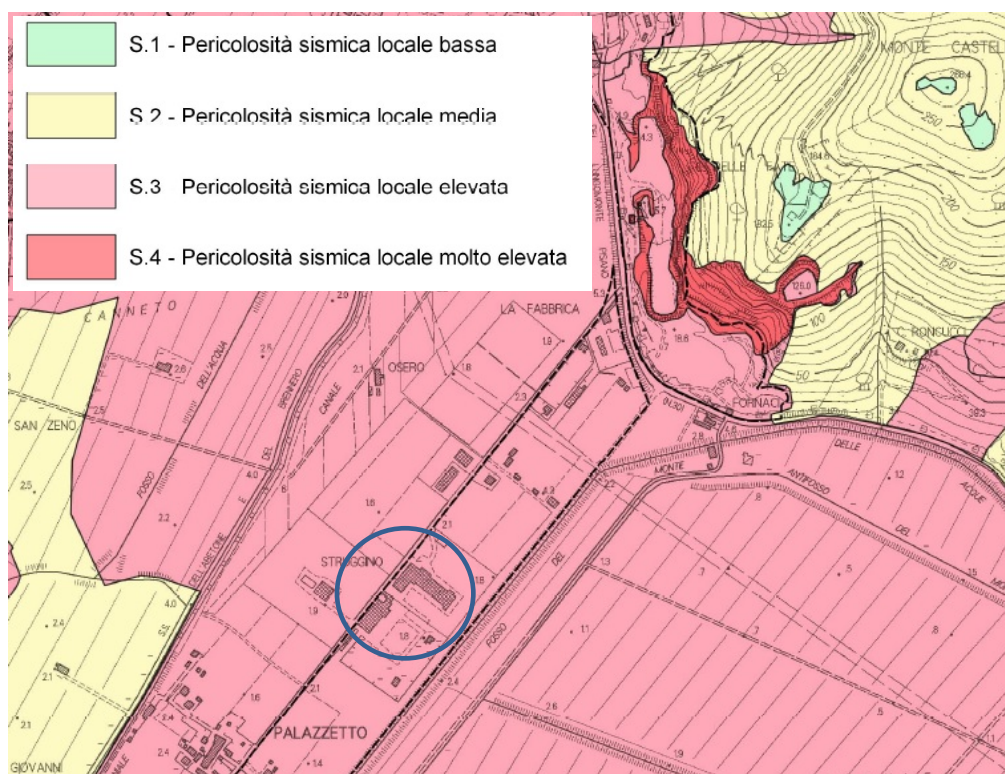
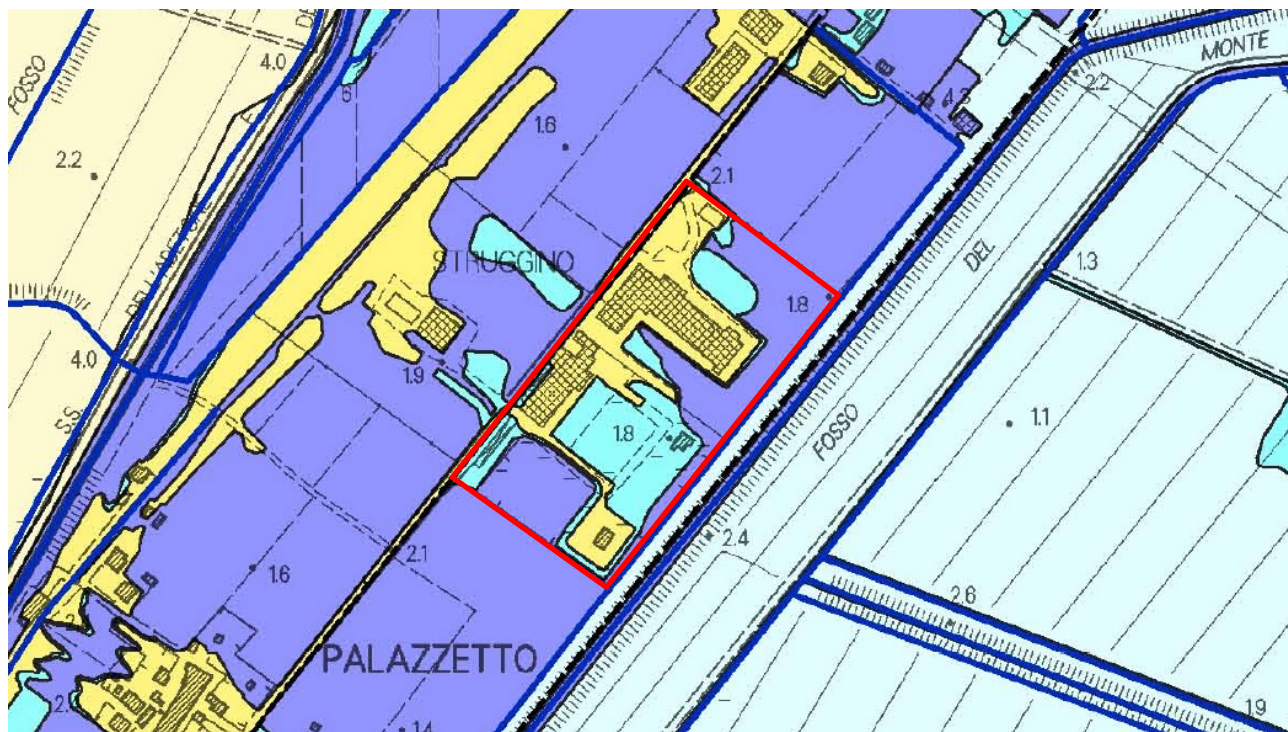


Fig. 8 – carta della pericolosità sismica (tratta dal P.O.C.)

Aspetti idraulici

La gran parte dell'attuale comparto edificato interessato dal piano di recupero ricade in classe di pericolosità bassa P1, mentre le zone non edificate ricadono in aree a pericolosità per alluvioni frequenti e poco frequenti, così come definite dalla L.R. 41/2018 (Fig. 9)



I.2 - Pericolosità idraulica media

Aree interessate da allagamenti con $200 < Tr \leq 500$ anni

Da studio idraulico eseguito nella presente indagine

I.3 - Pericolosità idraulica elevata

Alluvioni poco frequenti ai sensi della L.R.41/2018

Aree interessate da allagamenti con $30 < Tr \leq 200$ anni

Da studio idraulico eseguito nella presente indagine

I.4 - Pericolosità idraulica molto elevata

Alluvioni frequenti ai sensi della L.R.41/2018

Aree interessate da allagamenti con $0 < Tr \leq 30$ anni

Da studio idraulico eseguito nella presente indagine

Fig. 9 – carta della pericolosità idraulica sullo stato di fatto (tratta dal P.O.C.)

Come indicato in Fig. 10, dalla sovrapposizione della carta della pericolosità idraulica con la planimetria di progetto, si evince che gran parte degli edifici in progetto ricadono in aree a pericolosità idraulica bassa e solo una parte di essi, compresi i futuri potenziali ampliamenti e una parte dei parcheggi pubblici e privati, vanno ad interessare aree a pericolosità per alluvioni poco frequente; i rimanenti parcheggi pertinenziali, ricadono su aree a pericolosità per alluvioni frequenti.

La quota assoluta del battente per un $Tr=200$ anni è pari a circa 2.10 m s.l.m. come emerge dallo studio idraulico condotto dall'Ing. Stefano Pagliara.

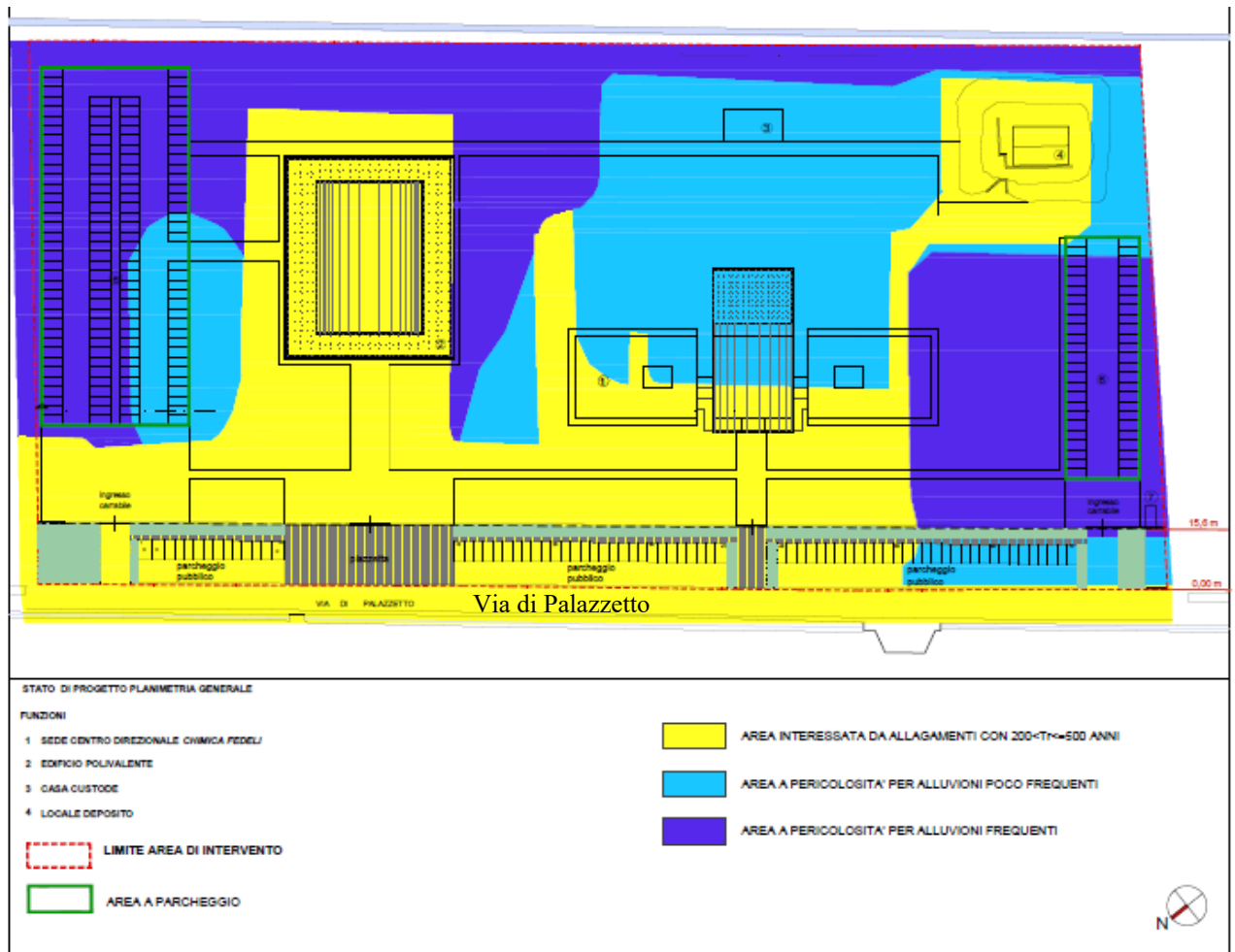


Fig. 10 – pericolosità idraulica su stato di progetto

6. CONDIZIONI DI FATTIBILITA'

Facendo riferimento alla scheda *Limitazioni e prescrizioni di fattibilità geologica Comparto 1 Palazzetto* (tratto dal P.O.C.), per quanto concerne le condizioni di attuazione delle trasformazioni in progetto, sono definite le seguenti categorie di fattibilità:

Fattibilità senza particolari limitazioni (F1): si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali non sono necessarie prescrizioni specifiche ai fini della valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia.

Fattibilità condizionata (F3): si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali, ai fini della individuazione delle condizioni di compatibilità degli interventi con le situazioni di pericolosità riscontrate, è necessario definire la tipologia degli approfondimenti di indagine da svolgersi in sede di predisposizione dei piani complessi di intervento o dei piani attuativi o, in loro assenza, in sede di predisposizione dei progetti edilizi.

Fattibilità limitata (F4): si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali la cui attuazione è subordinata alla realizzazione di interventi di messa in sicurezza che vanno individuati e definiti in sede di redazione del medesimo regolamento urbanistico, sulla base di studi, dati da attività di monitoraggio e verifiche atte a determinare gli elementi di base utili per la predisposizione della relativa progettazione.

Ai fini della valida formazione dei titoli abilitativi all'attività edilizia, sulla base delle classi di pericolosità sopra descritte, per gli interventi in progetto vengono definite le seguenti condizioni di fattibilità:

6.1 ASPETTI GEOLOGICI E SISMICI

| PERICOLOSITA' GEOLOGICA E SISMICA LOCALE | G.3 | S.3 |
|--|-----|-----|
| Ristrutturazione urbanistica , senza incrementi volumetrici | F3 | F3 |

F3 – Fattibilità condizionata

Viste le scadenti caratteristiche geotecniche dei terreni argillosi e limo-sabbiosi, organici, che caratterizzano il sottosuolo dalla profondità di circa 3 m fino a quella indagata di 30 m, al fine di contenere cedimenti sia assoluti che differenziali, in alternativa all'utilizzo di fondazioni profonde, soluzione peraltro poco praticabile in considerazione dell'assenza di strati con caratteristiche geotecniche e spessori idonei su cui poterla attestare, sarà da prevedersi una fondazione superficiale dotata di adeguata rigidità, che, superato lo strato superficiale di terreno vegetale, si attesti sui terreni limo-argillosi dotati di discrete proprietà geotecniche, presenti fino alla profondità di circa 3 m.

A supporto del progetto definitivo/strutturale, una volta acquisiti i risultati delle prove geotecniche di laboratorio e della prospezione sismica Down-Hole, congiuntamente alle prove CPTU, verrà redatta una relazione geologico-tecnica nella quale saranno definiti il modello geotecnico del sottosuolo e l'azione sismica locale, ai fini dei calcoli strutturali e delle verifiche geotecniche delle fondazioni.

6.2 ASPETTI IDRAULICI

Essendo un intervento edilizio con totale demolizione e ricostruzione senza incrementi di volume, ai sensi dell'art. 12, comma 4, della L.R. 41/2018 l'intervento potrebbe essere attuato ricorrendo ad interventi di difesa locale di cui all'Art. 8, comma1, lettera d).

In realtà, la scelta progettuale è stata quella più cautelativa di prevedere interventi di sopraelevazione di cui alla lettera d) dello stesso art. 8, comma 1.

Per quanto riguarda la realizzazione dei parcheggi di superficie ricadenti in area a pericolosità per alluvioni frequenti e poco frequenti, si fa riferimento all'art. 13, comma 4, lettera b) della L.R. 41/2018, dove sono prescritte le seguenti condizioni: *.....che sia assicurato il non aggravio delle condizioni di rischio in altre aree, che non sia superato il rischio medio R2 e che siano previste le misure preventive atte a regolarne l'utilizzo in caso di eventi alluvionali.*

Sono quindi definite le seguenti condizioni di fattibilità.

| PERICOLOSITA' IDRAULICA | P1 | Alluvioni poco frequenti | Alluvioni frequenti |
|--|-----------|--------------------------|---------------------|
| Ristrutturazione urbanistica , senza incrementi volumetrici | F1 | F4 | F4 |
| Parcheggi di superficie | F1 | F4 | F4 |

Fattibilità senza particolari limitazioni (F1)

Essendo le strutture in progetto allo stato di fatto già in condizione di sicurezza idraulica, non sono necessarie specifiche prescrizioni.

Fattibilità limitata (F4)

Ristrutturazione urbanistica

L'intervento di ristrutturazione urbanistica è subordinato alla realizzazione di opere di sopraelevazione senza aggravio delle condizioni di rischio in altre aree. Tale condizione di fattibilità trova applicazione anche nel caso in cui l'incremento volumetrico comporti la realizzazione di nuovi manufatti connessi e funzionali ad un intervento sul patrimonio edilizio esistente.

Nella fattispecie, come indicato nella TAV B.25 - Opere di messa in sicurezza idraulica e mitigazione del rischio in altre aree, per le nuove strutture ricadenti in aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti il primo piano di calpestio sarà posizionato alla quota assoluta di 2.30 m s.l.m., corrispondente a circa 30 cm di battente + 20 cm di franco di sicurezza come da NTC del POC.

Parcheggi di superficie

La condizione per poter assicurare un rischio medio R2 per queste tipologie di infrastrutture, è quella di prevedere i parcheggi ad una quota di - 20 cm al di sotto del battente, in modo da limitare l'evento alluvionale entro una quota di ragionevole sicurezza, corrispondente a circa metà ruota di un'autovettura.

Per soddisfare tale condizione, per quanto concerne i parcheggi ricadenti nelle aree con battente compreso tra 30 cm e 60 cm, si dovrà quindi prevedere il rialzamento della quota di progetto, mentre per quanto riguarda i parcheggi ricadenti nelle aree con battenti dell'ordine dei 20 cm, tale condizione è già soddisfatta nello stato di fatto.

Interventi di mitigazione delle condizioni di rischio nella aree circostanti

Il non aggravio delle condizioni di rischio in altre aree è garantito dalla realizzazione della vasca di compensazione prevista dal progetto e verificata con lo studio idraulico eseguito dall'Ing. Stefano Pagliara.

SONDAGGIO S1



COMMITTENTE: Chimica Fedeli S.p.A.

DATA: Maggio 2020

CANTIERE: Via di Palazzetto

SONDAGGIO N°

1

Fabrizio Alvares
geologo

I = CAMPIONE INDISTURBATO (Shelby)

R = CAMPIONE RIMANEGGIATO

| METODO DI PERFORAZIONE | TIPO DI CORONA | ATTREZZO DI PERFORAZIONE | PROFONDITA' (metri dal p.c.) | COLONNA STRATIGRAFICA | LIVELLO FALDA | DESCRIZIONE STRATIGRAFICA | CAROTAGGIO % | POKET PENETROMETER (kg/cmq) | S.P.T (N. colpi) | CAMPIONI | | | STRUMENTAZIONE INSTALLATA | | |
|--|----------------|--------------------------|------------------------------|-----------------------|---|--|--------------|-----------------------------|------------------|----------|-------------|------|---------------------------|---------------------------------|---|
| | | | | | | | | | | NUMERO | PROFONDITA' | TIPO | | | |
| CAROTAGGIO CONTINUO AD INSERTI DI WIDIA CAROTIERE SEMPLICE | | | 1 | | | Massicciata stradale | 1 | | | | | | | | |
| | | | 1.7 | | | | | | | | | | | | |
| | | | 2 | | | Limo argilloso beige | 2 | | | | C1 | 2 | I | tTubazione in PVC per Down Hole | |
| | | | 3 | | | Argilla grigia poco consistente | 3 | | | | | | | | |
| | | | 4 | | | Argilla grigia poco consistente | 4 | | | | | | | | |
| | | | 5 | | | Argilla grigia poco consistente | 5 | | | | | | | | |
| | | | 6 | | | Argilla grigia poco consistente | 6 | | | | | | | | |
| | | | 7 | | | Argilla grigia poco consistente | 7 | | | | | | | | |
| | | | 8 | | | Argilla grigia poco consistente | 8 | | | | | | | | |
| | | | 9 | | | Limi sabbiosi, con presenza di livelli di torba | 9 | | | | | | | | R |
| | | | 10 | | | Limi sabbiosi, con presenza di livelli di torba | 10 | | | | | | | | |
| | | | 11 | | | Sabbie medio fini, limose | 11 | | | | | | | | |
| | | | 12 | | | Sabbie medio fini, limose | 12 | | | | | | | | |
| | | | 13 | | | Sabbie medio fini, limose | 13 | | | | | | | | R |
| | | | 14 | | | Argille limose grigie da moderatamente consistenti a poco consistenti | 14 | | | | 3-4-5 | | | | |
| | | | 15 | | | Argille limose grigie da moderatamente consistenti a poco consistenti | 15 | | | | | | | | |
| | | | 16 | | | Argille limose grigie da moderatamente consistenti a poco consistenti | 16 | | | | | | | | |
| | | | 17 | | | Argille limose grigie da moderatamente consistenti a poco consistenti | 17 | | | | | | | | |
| | | | 18 | | | Argille limose grigie da moderatamente consistenti a poco consistenti | 18 | | | | | | | | |
| | | | 19 | | | Livello di torba | 19 | | | | | | | | |
| | | | 20 | | | Sabbie fine limosa | 20 | | | | | | | | |
| | | | 21 | | | Sabbie fine limosa | 21 | | | | | | | | |
| | | | 22 | | | Limi argillosi con torba | 22 | | | | | | | | |
| | | | 23 | | | limi sabbiosi argillosi di colore biancastro (travertino alterato) | 23 | | | | | | | | |
| | | | 24 | | | limi sabbiosi argillosi di colore biancastro (travertino alterato) | 24 | | | | | | | | |
| | | | 25 | | | argille limose marroni, con sottili livelli di litoidi di alterazione del travertino | 25 | | | | | | | | |
| | | | 26 | | | argille limose marroni, con sottili livelli di litoidi di alterazione del travertino | 26 | | | | | | | | |
| | | | 27 | | | argille limose marroni, con sottili livelli di litoidi di alterazione del travertino | 27 | | | | | | | | |
| | | | 28 | | | limi argillosi e sabbiosi grigio chiari | 28 | | | | | | | | |
| | | | 29 | | | limi argillosi e sabbiosi grigio chiari | 29 | | | | | | | | |
| | | 30 | | | limi argillosi e sabbiosi grigio chiari | 30 | | | | | | | | | |









RELAZIONE TECNICA

Committente: Società Chimica
Fedeli S.p.A

Location: Via di Palazzetto –
San Giuliano Terme

Data Indagine: 04/05/2021

Codice lavoro: 210504a

PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CON PUNTA ELETTRICA E PIEZOCONO CPTU

Dott. Jacopo Martini

GAIA Servizi S.r.l.

Via Lenin, 132 - 56017 - San Giuliano
Terme (PI)

Tel./Fax: 050 9910582

e-mail: info@gaiaservizi.com

p. IVA 01966780502

Data elaborazione: 13/05/2021

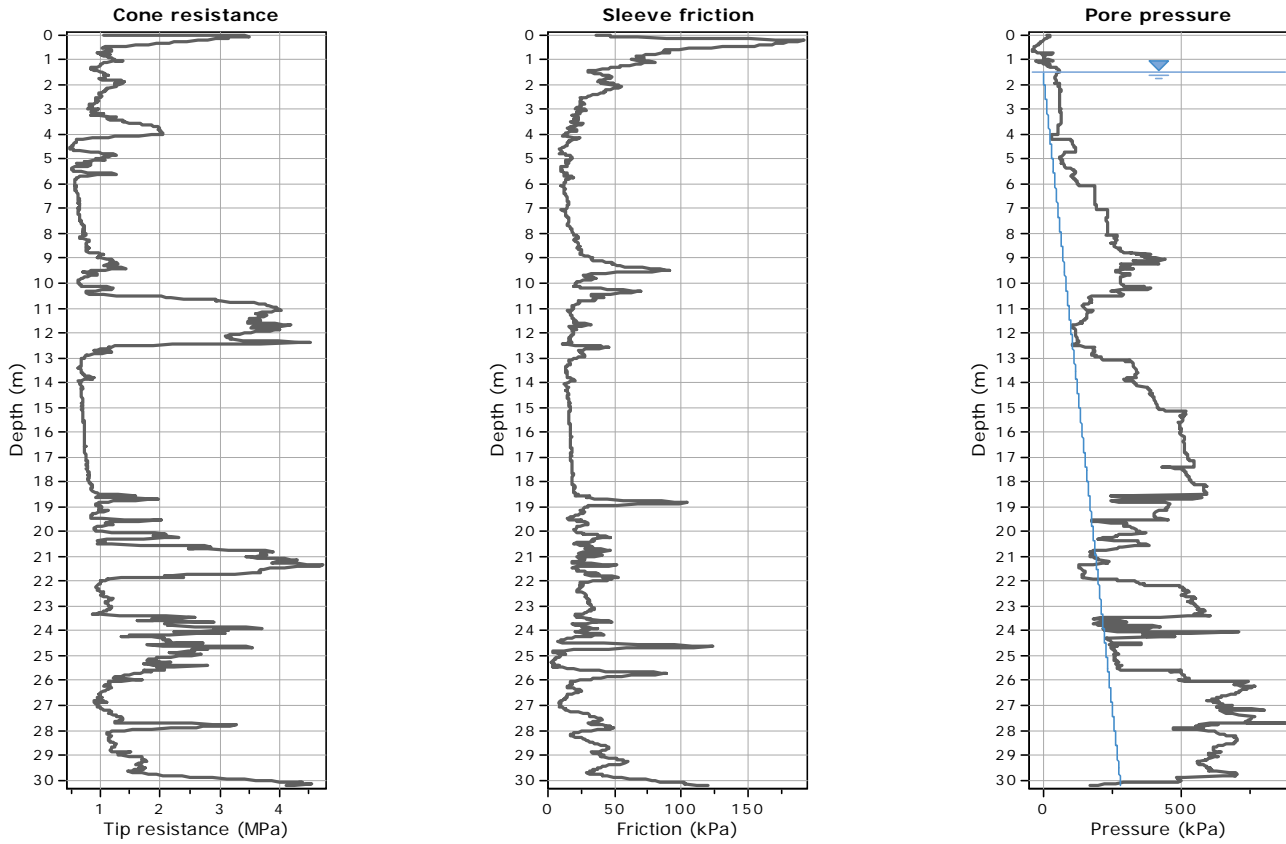
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



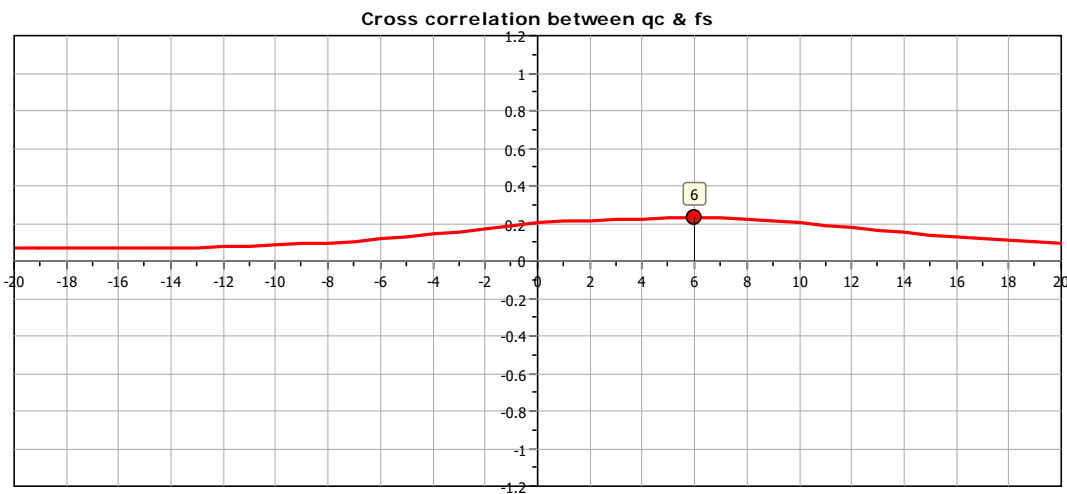
Figura 1: Prova penetrometrica CPTU 01



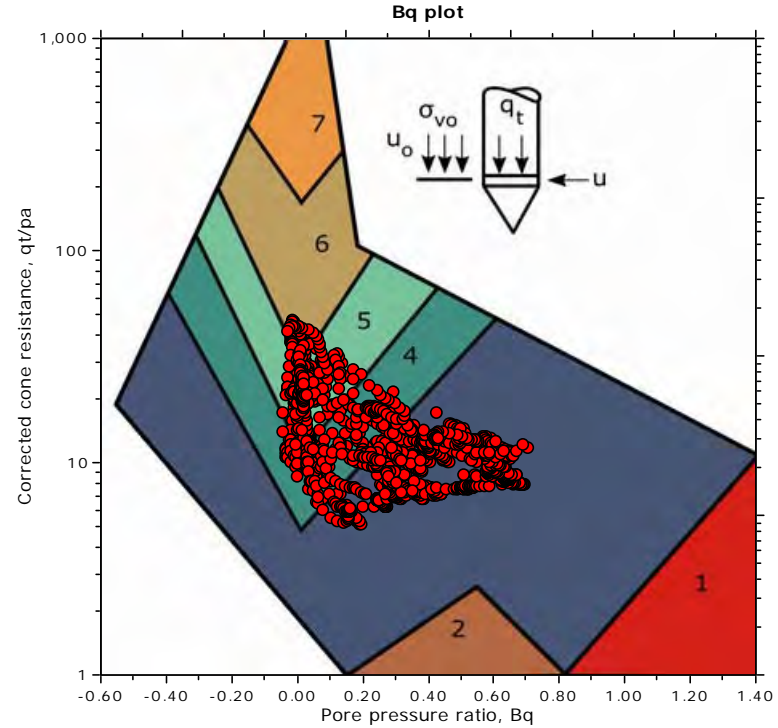
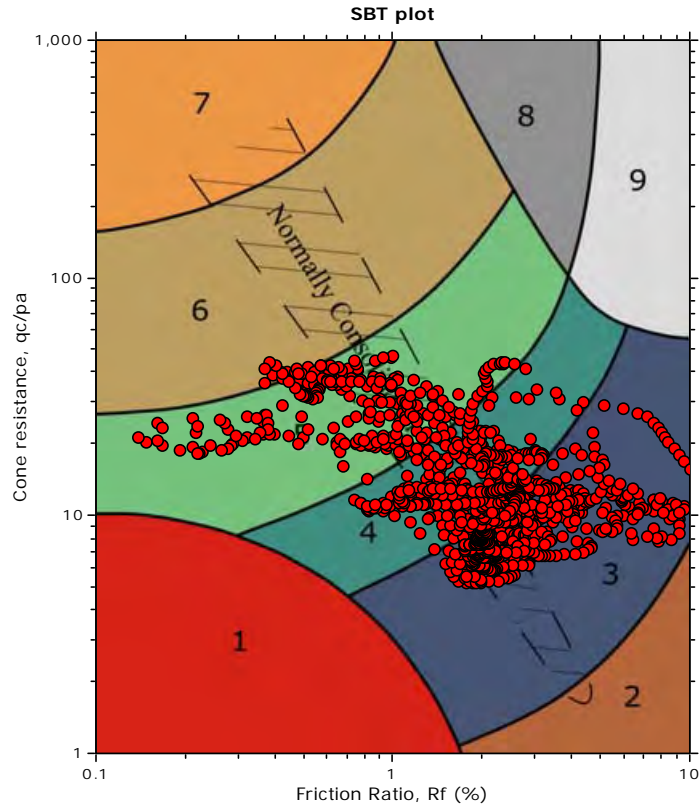
Figura 2: Prova penetrometrica CPTU 02



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



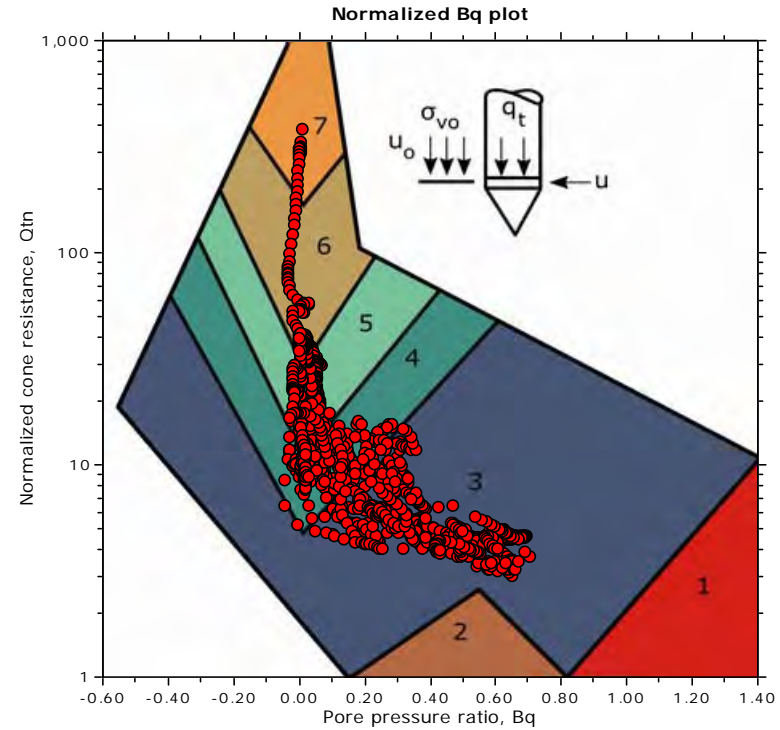
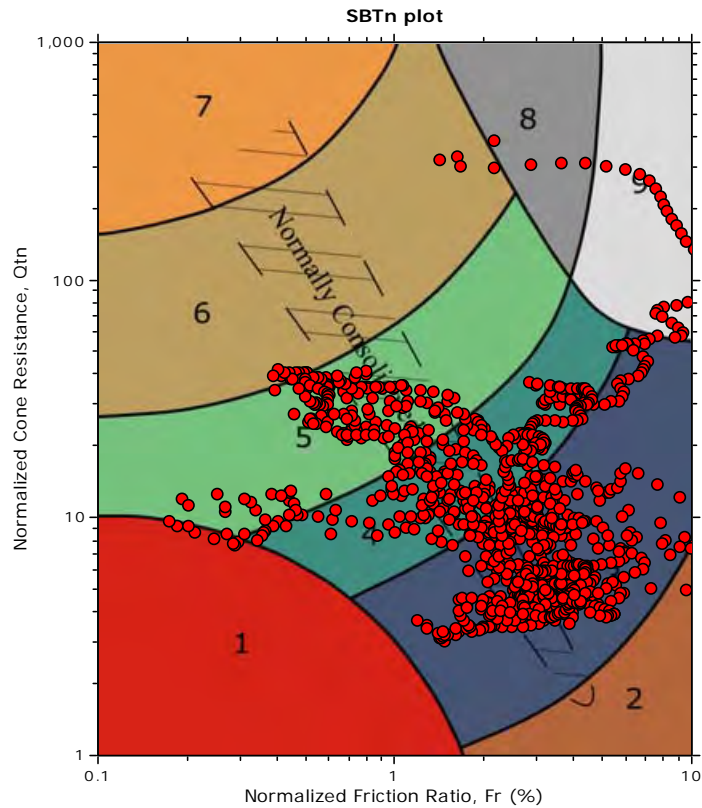
SBT - Bq plots



SBT legend

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

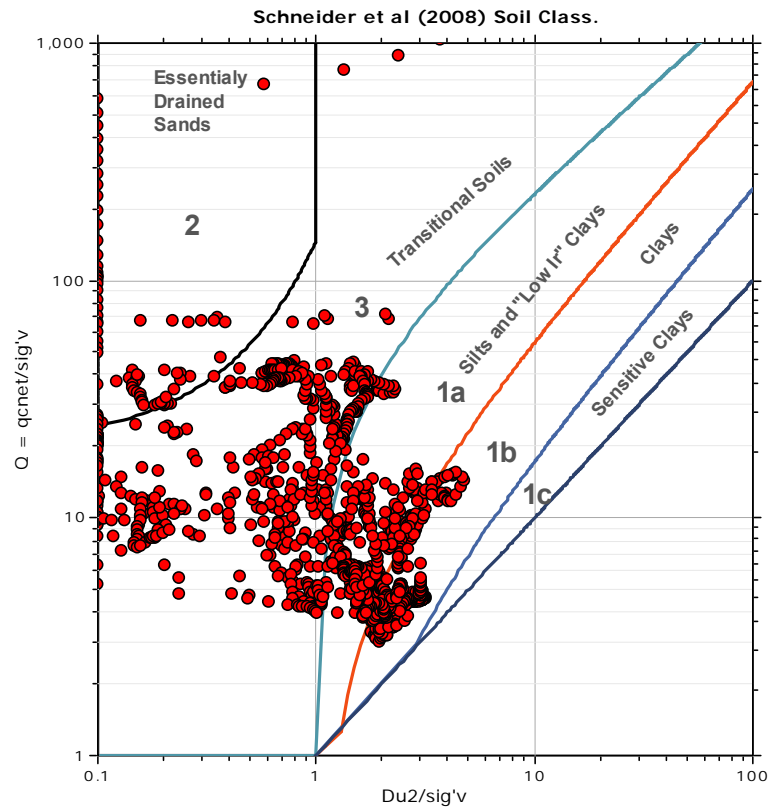
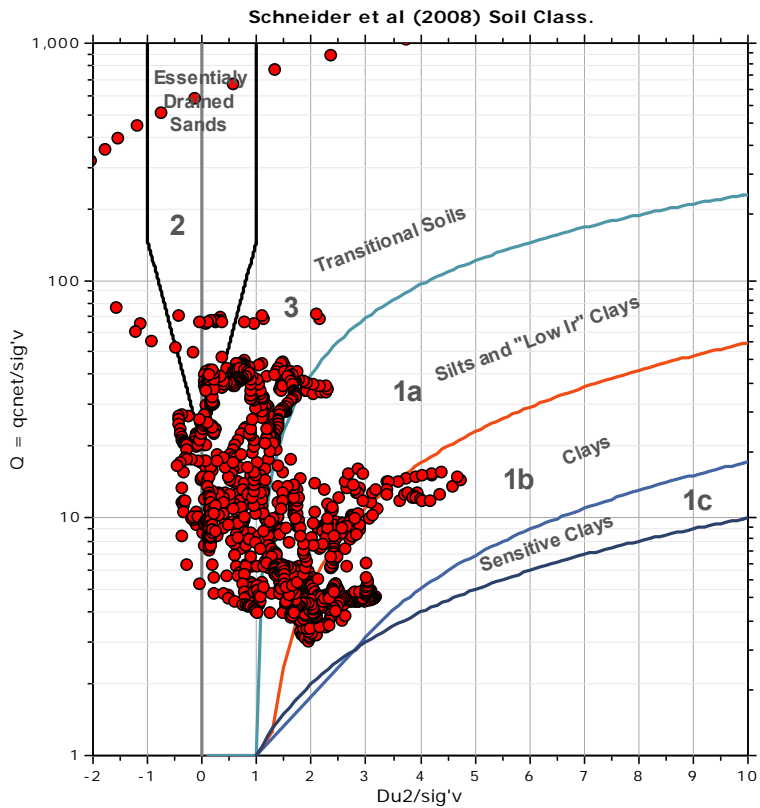
SBT - Bq plots (normalized)

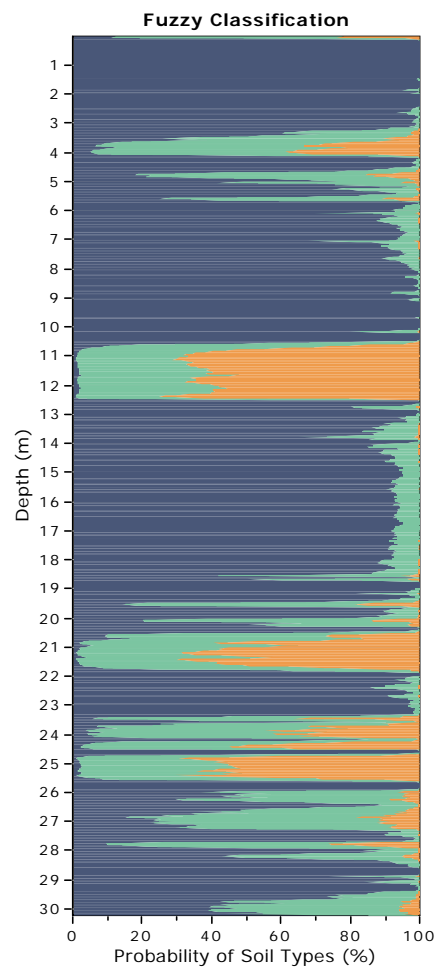
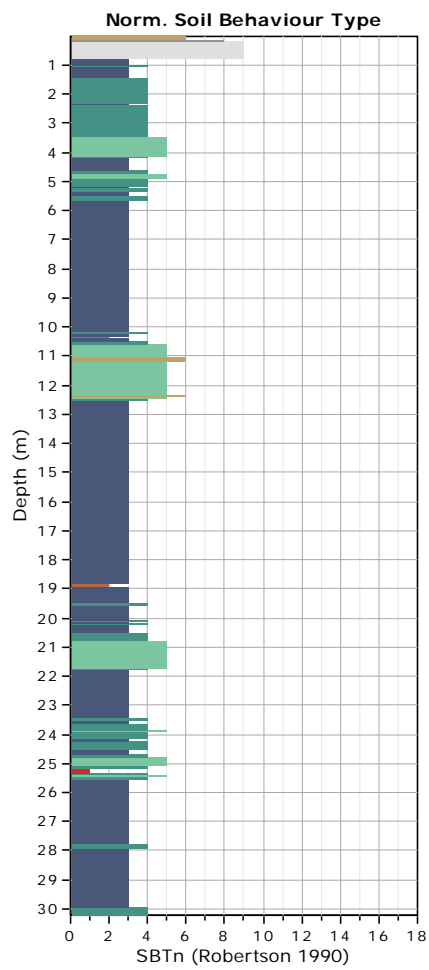


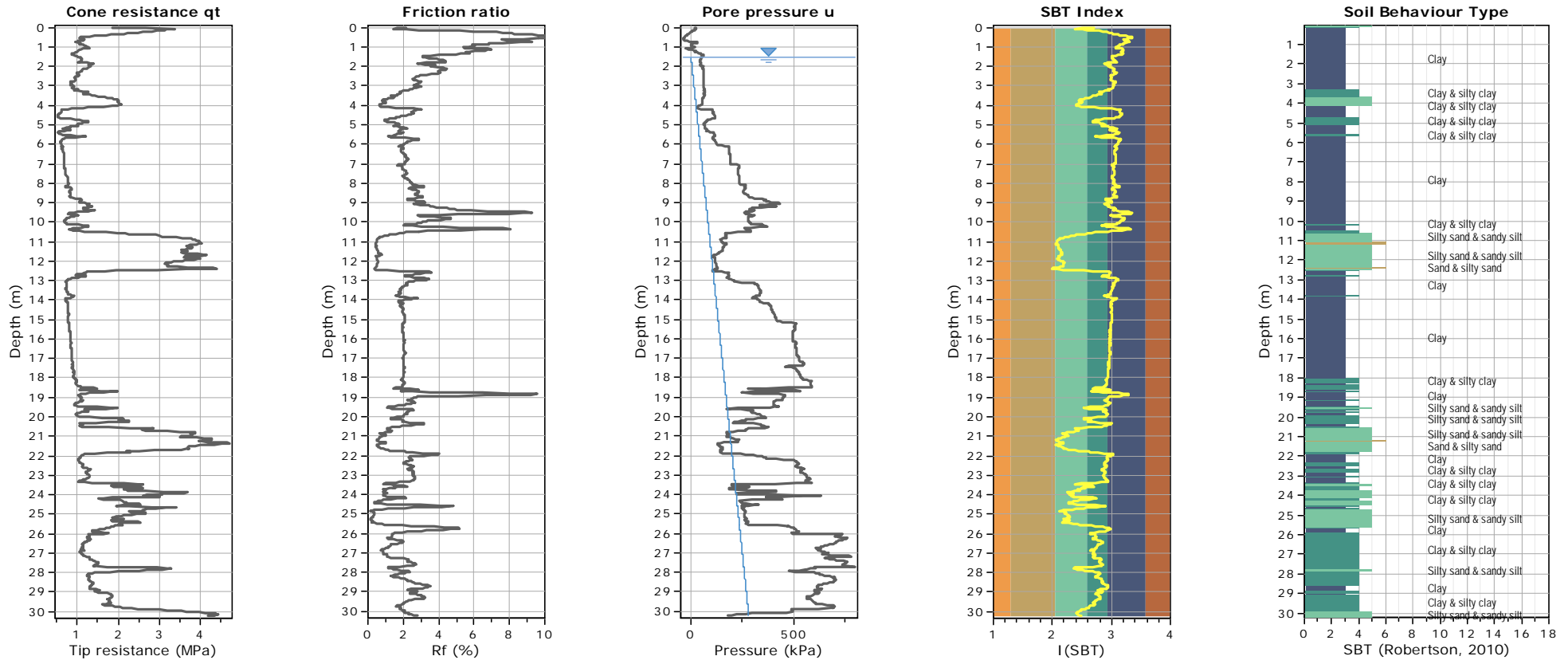
SBTn legend

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

Bq plots (Schneider)

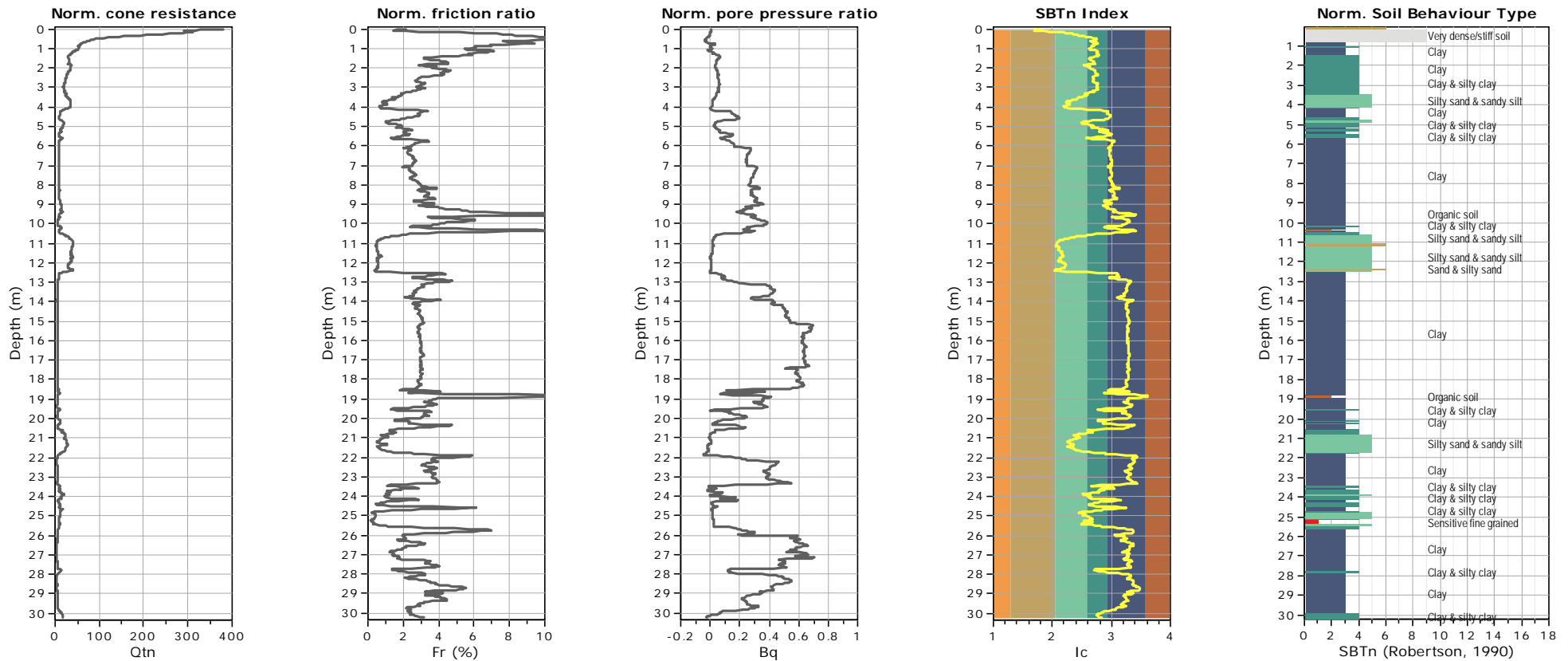






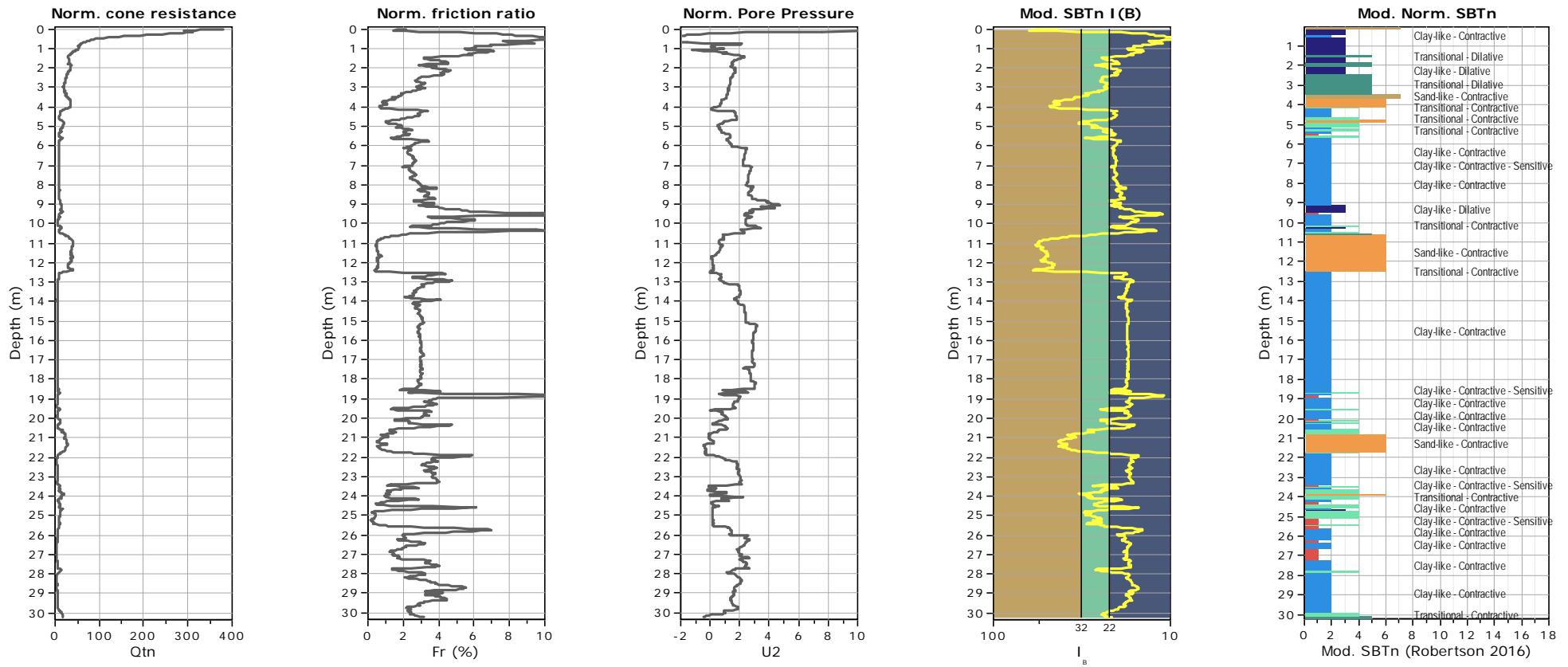
SBT legend

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



SBTn legend

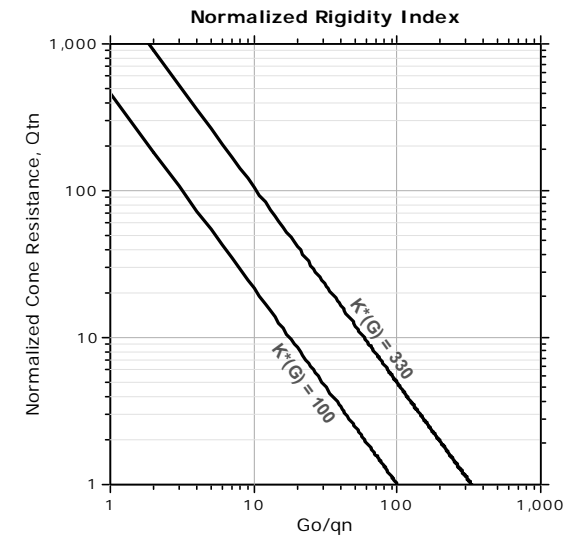
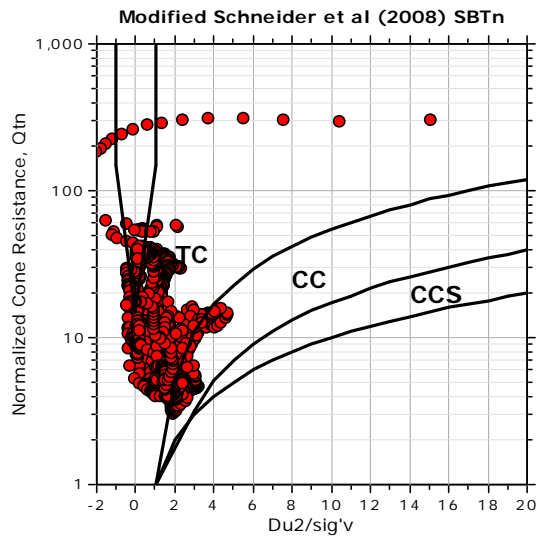
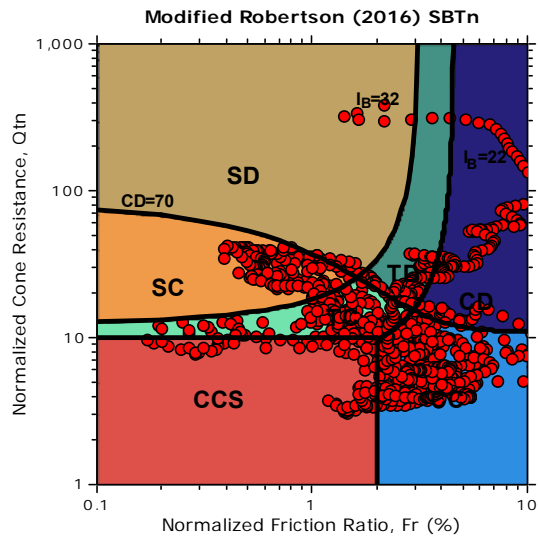
- | | | |
|--|---|---|
| ■ 1. Sensitive fine grained | ■ 4. Clayey silt to silty clay | ■ 7. Gravely sand to sand |
| ■ 2. Organic material | ■ 5. Silty sand to sandy silt | ■ 8. Very stiff sand to clayey sand |
| ■ 3. Clay to silty clay | ■ 6. Clean sand to silty sand | ■ 9. Very stiff fine grained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



Mod. SBTn legend

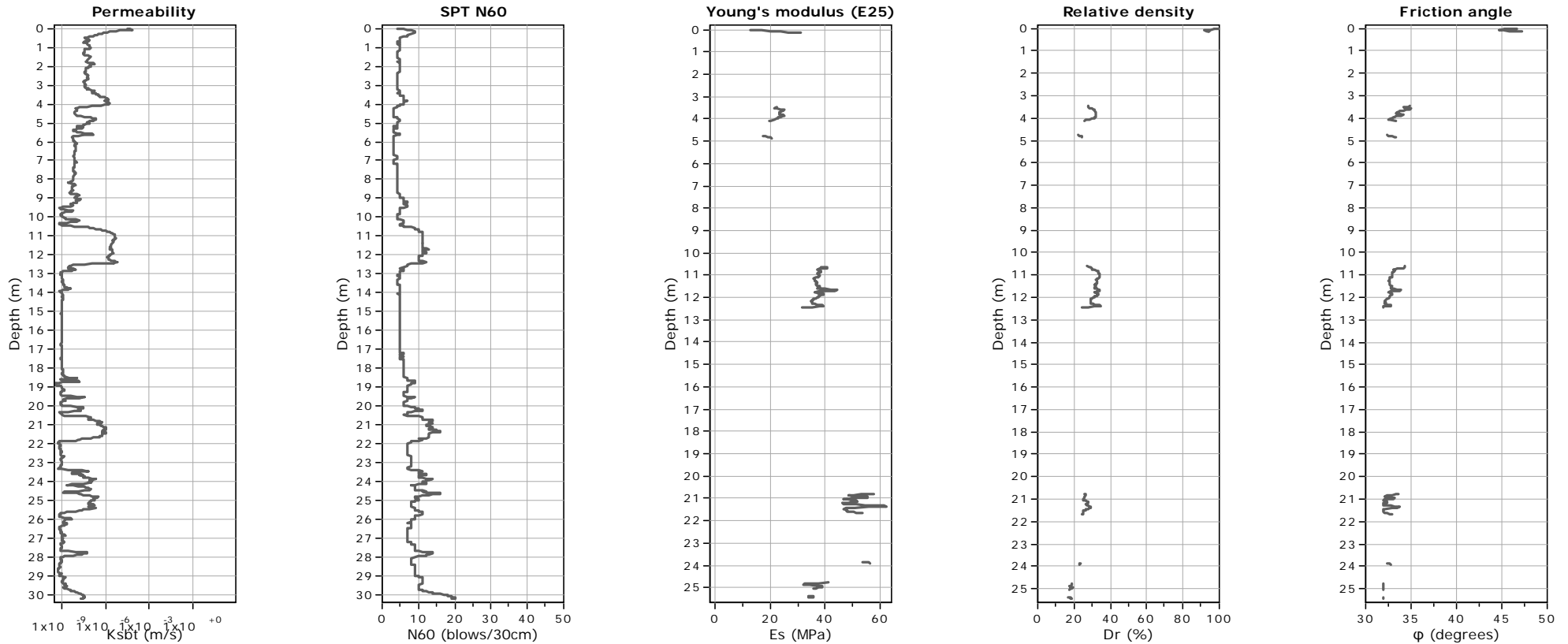
- | | | |
|---|-----------------------------------|-----------------------------|
| 1. CCS: ClayLike - Contractive, Sensitive | 4. TC: Transitional - Contractive | 7. SD: Sand-like - Dilative |
| 2. CC: Clay-like - Contractive | 5. TD: Transitional - Dilative | |
| 3. CD: Clay-Like: Dilative | 6. SC: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

Updated SBTn plots



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

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



Calculation parameters

Permeability: Based on SBT_n

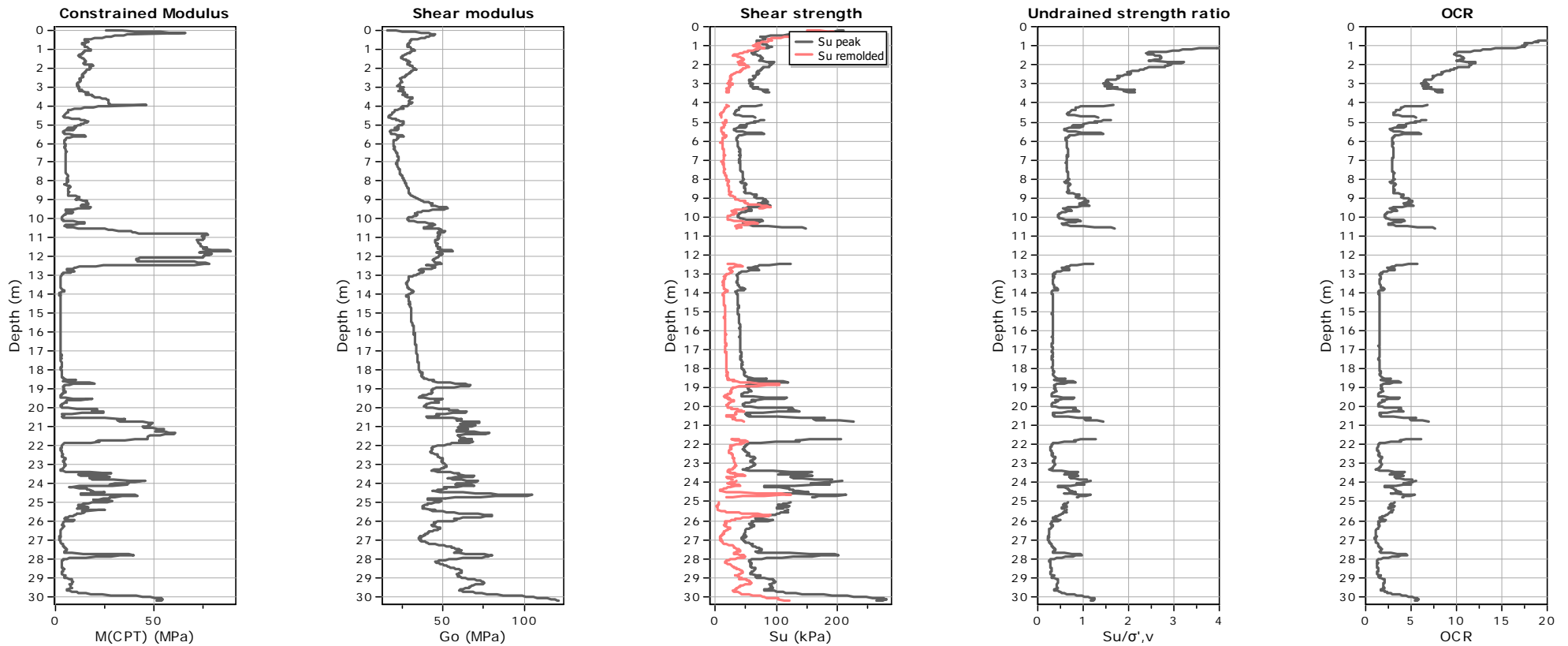
SPT N_{60} : Based on I_c and q_t

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

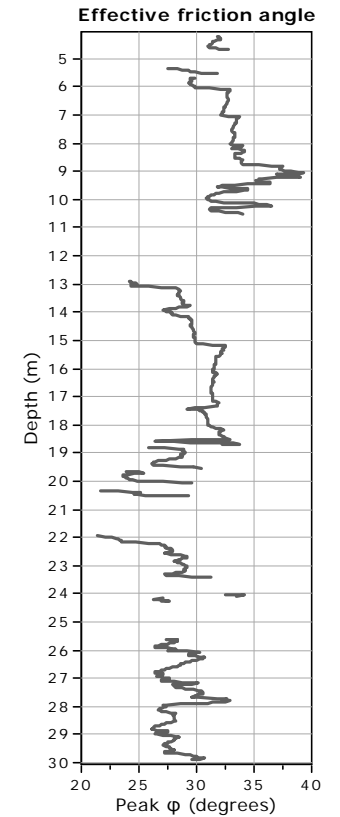
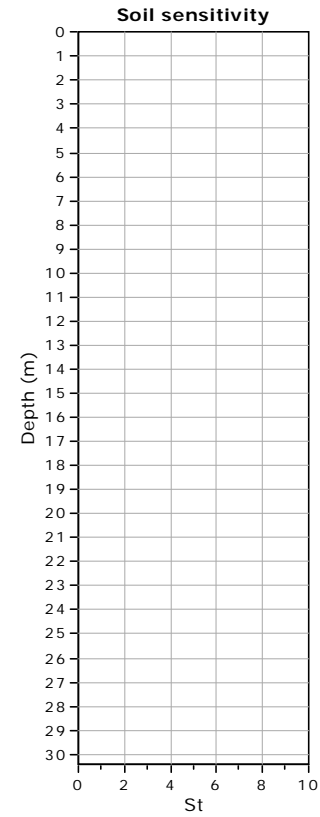
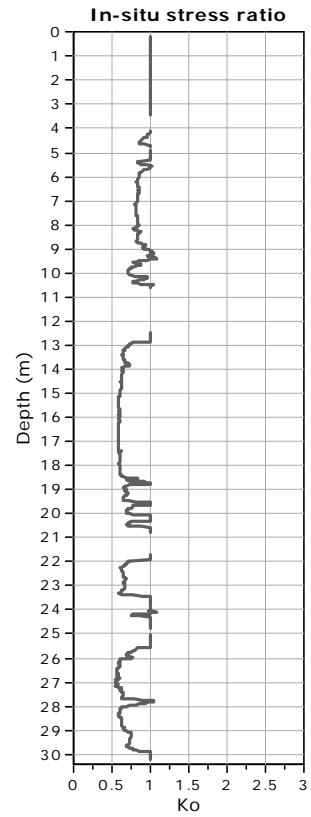
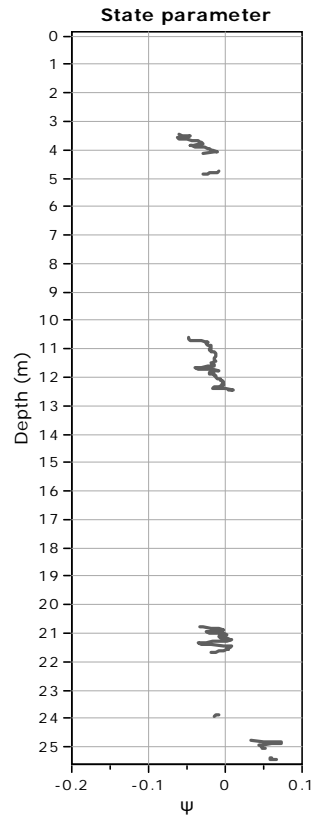
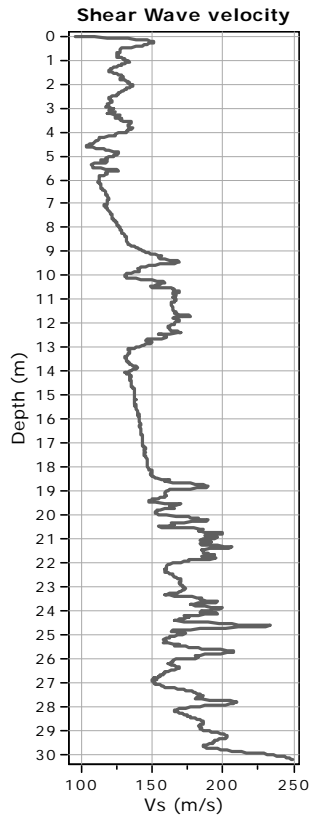
Go: Based on variable *alpha* using I_c (Robertson, 2009)

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

OCR factor for clays, N_{kt} : 0.33

● User defined estimation data

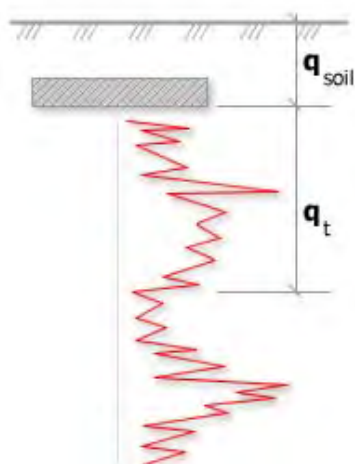
● Flat Dilatometer Test data



Calculation parameters

Soil Sensitivity factor, N_s : 350.00

—●— User defined estimation data



Bearing Capacity calculation is performed based on the formula:

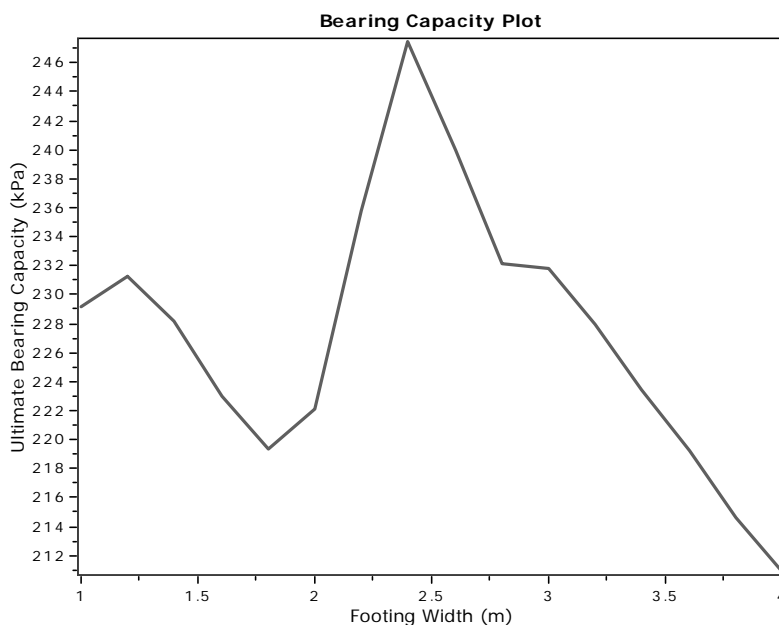
$$Q_{ult} = R_k \times q_t + q_{soil}$$

where:

R_k : Bearing capacity factor

q_t : Average corrected cone resistance over calculation depth

q_{soil} : Pressure applied by soil above footing



:: Tabular results ::

| No | B (m) | Start Depth (m) | End Depth (m) | Ave. q_t (MPa) | R_k | Soil Press. (kPa) | Ult. bearing cap. (kPa) |
|----|-------|-----------------|---------------|------------------|-------|-------------------|-------------------------|
| 1 | 1.00 | 0.50 | 2.00 | 1.10 | 0.20 | 9.50 | 229.13 |
| 2 | 1.20 | 0.50 | 2.30 | 1.11 | 0.20 | 9.50 | 231.27 |
| 3 | 1.40 | 0.50 | 2.60 | 1.09 | 0.20 | 9.50 | 228.15 |
| 4 | 1.60 | 0.50 | 2.90 | 1.07 | 0.20 | 9.50 | 222.99 |
| 5 | 1.80 | 0.50 | 3.20 | 1.05 | 0.20 | 9.50 | 219.34 |
| 6 | 2.00 | 0.50 | 3.50 | 1.06 | 0.20 | 9.50 | 222.13 |
| 7 | 2.20 | 0.50 | 3.80 | 1.13 | 0.20 | 9.50 | 235.78 |
| 8 | 2.40 | 0.50 | 4.10 | 1.19 | 0.20 | 9.50 | 247.47 |
| 9 | 2.60 | 0.50 | 4.40 | 1.15 | 0.20 | 9.50 | 240.00 |
| 10 | 2.80 | 0.50 | 4.70 | 1.11 | 0.20 | 9.50 | 232.10 |
| 11 | 3.00 | 0.50 | 5.00 | 1.11 | 0.20 | 9.50 | 231.85 |
| 12 | 3.20 | 0.50 | 5.30 | 1.09 | 0.20 | 9.50 | 227.99 |
| 13 | 3.40 | 0.50 | 5.60 | 1.07 | 0.20 | 9.50 | 223.39 |
| 14 | 3.60 | 0.50 | 5.90 | 1.05 | 0.20 | 9.50 | 219.21 |
| 15 | 3.80 | 0.50 | 6.20 | 1.03 | 0.20 | 9.50 | 214.64 |
| 16 | 4.00 | 0.50 | 6.50 | 1.01 | 0.20 | 9.50 | 210.86 |

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

:: Unit Weight, g (kN/m³) ::

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

where g_w = water unit weight

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

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

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

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

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

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

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

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

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

:: Relative Density, D_r (%) ::

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

:: State Parameter, ψ ::

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

:: Drained Friction Angle, ϕ (°) ::

$$\phi = \phi'_{cv} + 15.94 \cdot \log(Q_{tn,cs}) - 26.88$$

(applicable only to SBT_n: 5, 6, 7 and 8 or $I_c < I_{c_cutoff}$)

:: 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 $I_c \geq 2.20$

$$M_{CPT} = 0.03 \cdot (q_t - \sigma_v) \cdot 10^{0.55 \cdot I_c + 1.68}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

:: Remolded undrained shear strength, $S_u(\text{rem})$ (kPa) ::

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

:: 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_n: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c_cutoff}$)

:: In situ Stress Ratio, K_0 ::

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

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

:: Soil Sensitivity, S_t ::

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

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

:: Peak Friction Angle, ϕ' (°) ::

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

(applicable for $0.10 < B_q < 1.00$)

References

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