

# COMUNE DI SAN GIULIANO TERME-PI

## COMMITTENTE:

Edilizia Dauti Muhadri Srl  
Piazza S. Luigi Gonzaga 4 -San Giuliano Terme (Pi)  
P.Iva-02408160501

EDILIZIA DAUTI MUHADRI SRL  
P.zza SAN LUIGI GONZAGA,4  
56017 SAN GIULIANO TERME(PI)  
P.I.02408160501.Tel.3245363645



## PROGETTO ARCHITETTONICO:

Arch. Gabriele Monaco  
Via Palermo 45 -56127- Pisa  
tel/fax 050552396- cell 3356059629  
E-mail: monaco.gabriele71@gmail.com  
Pec: gabriele.monaco@archiworldpec.it



## TITOLO

**PIANO DI RECUPERO CON CONTESTUALE  
VARIANTE AL POC  
PER LA REALIZZAZIONE DI UNITA'  
IMMOBILIARI A CIVILE ABITAZIONE- VIA  
DELLE SORGENTI N°16- LOC. ASCIANO-SAN  
GIULIANO TERME - PISA.**

## URBANISTICA ED EDITING

Arch. Gabriele Monaco

## GEOLOGIA

Dott. Geol. Monica Laquidara  
via V. Fiorentina, 254-56021  
Loc. Montione di Cascina-PI

## STUDI IDRAULICI

ING. Valentina Altieri  
STUDI DI INGEGNERIA BONACCI & ALTIERI  
Viale Giovanni Pisano n. 67 - 56123 Pisa

## AGRONOMIA

Arch. Gabriele Monaco

## OGGETTO:

**RELAZIONE DI FATTIBILITA' GEOLOGICA  
D.P.G.R. 5/R del 30-01-2020**

## CONSULENTI

DOCUMENTO PRELIMINARE PER LA VERIFICA DI  
ASSOGGETTABILITA' A V.A.S.  
ai sensi dell'artt. 22 e 23 della L.R.T. 10/10 e s.m.i.  
Arch. Martina Maria Lucia Trebbi  
Via Monte Ortigara n°2 -56127- Pisa

## CONSULENZA ENERGETICA:

## CONSULENZA ACUSTICA:

Pratica

-

Scala

-

Formato

A4

Elaborato

B.04

Rev	Data	Motivazione	Redatto	Verificato	Approvato	Autorizzato
	GIUGNO 2023					

## **INDICE**

<b>1- PREMESSA</b>	pag. 4
<b>2- METODOLOGIA DI PIANO</b>	pag. 5
<b>3- CARATTERISTICHE DELLA VARIANTE</b>	pag. 6
<b>4- CARATTERISTICHE GEOLOGICHE, GEOMORFOLOGICHE</b>	pag. 6
<b>5- CARATTERISITICHE LITOTECNICHE</b>	pag. 8
<b>6- CARATTERISTICHE SISMICHE</b>	pag. 9
<b>7- CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE E DI PERMEABILITA'</b>	pag. 11
<b>8- CARATTERISTICHE DI PERICOLOSITA' GEOLOGICA</b>	pag. 14
<b>9- CARATTERISTICHE DI PERICOLOSITA' SISMICA</b>	pag. 15
<b>10- CARATTERISTICHE DI VULNERABILITA'</b>	pag. 16
<b>11- CARATTERISTICHE DI PERICOLOSITA' IDRAULICA</b>	pag. 17
<b>12- CARATTERISTICHE DI FATTIBILITA'</b>	pag. 20

## **INDICE TAVOLE E ALLEGATI**

- TAV.1: Area oggetto d'intervento**
- TAV.2: Estratto catastale**
- TAV.3: Planimetria di Progetto**
- TAV.4: Carta geomorfologica POC**
- TAV.5: Carta della pericolosità geologica POC**
- TAV.6: Carta della pericolosità sismica POC**
- TAV.7: Carta delle Microzone omogenee MOPS POC**
- TAV.8: Carta della pericolosità idraulica POC**
- TAV.9: Carta della pericolosità idraulica ai sensi del PGRA**

- All.1: Ubicazione Dati di base**
- All.2: Indagini geognostiche**

Il presente Studio Geologico è redatto, su incarico della committenza a supporto della richiesta di Piano di Recupero con contestuale variante al POC, per la realizzazione di unità immobiliari a destinazione civile abitazioni; l'area è posta in Via delle Sorgenti 16, Loc. Asciano, Comune di San Giuliano Terme.

L'area in oggetto si colloca nella parte est del territorio comunale, in Via delle Sorgenti, al confine tra l'area collinare e l'inizio della pianura alluvionale (vedi **TAV.1**: Ubicazione area oggetto di PdR).

Da un punto di vista catastale l'area interessata dal Piano, è riconducibile al foglio n.56, particella 290 e una porzione della part., nella part.290 verrà realizzato l'intervento di nuova edificazione e ristrutturazione dell'esistente e nella sub.1 sarà invece realizzato il resede di pertinenza della proprietà, per i dettagli si rimanda alla documentazione di dettaglio allegata dal progettista (vedi **TAV.2**: Estratto Catastale).

Il Piano di Recupero prevede la realizzazione di n.2 UMI di cui la UMI1 bifamiliare tipologia terratetto e la UMI2 unifamiliare, area a verde a comune e area parcheggio e un'area a verde privata delimitata da siepi; verrà realizzata anche una piscina a comune di tutte le proprietà, come verrà meglio descritto di seguito e negli elaborati progettuali.

Le indagini geologiche di supporto al piano sono state consultate dal POC e da studi eseguiti in area limitrofa, in ottemperanza delle vigenti norme in materia di pianificazione urbanistica, in particolare la LR 65/2014, del D.C.R.37/2015 (PIT 2015 con valenza di Piano paesaggistico), DPGR n.5/R/2020 "Regolamento di attuazione dell'articolo 104 della L.R. 10 novembre 2014, n. 65 (Norme per il governo del territorio) contenente disposizioni in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche", PGRA Distretto Appennino Settentrionale, LR 41/2018 "Disposizioni in materia di rischio di alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione del decreto legislativo 23 febbraio 2010, n.49".

La relazione è volta ad accertare le condizioni di fattibilità generale dei nuovi interventi previsti in ordine di caratteristiche geomorfologiche, litostratigrafiche, idrogeologiche, idrauliche, geotecniche e sismiche dei terreni interessati dal Piano di Recupero alla luce dei criteri impartiti dal DPGR 5/R/2020 e sulla base delle indagini geognostiche consultate.

Si rimanda l'esecuzione di indagini in sito alla fase progettuale successiva nella quale saranno certi gli interventi concessi e sarà possibile eseguire indagini geologiche ai sensi del Regolamento DPGR 01/R/2022, Allegato 1 "Linee Guida sulle tipologie e classi di indagini geologiche, geofisiche e geotecniche da allegare ai progetti da presentare ai sensi dell'Art.3 del Reg.1/R/2022", Allegato 1- Art. 5 Paragrafo 3" Classi di indagini geologiche, geofisiche e geotecniche".

## **2 – METODOLOGIA DI STUDIO**

---

Lo studio ha preso in esame la porzione di territorio comunale in Loc. Asciano, oggetto di PdR per la riqualificazione dei manufatti presenti in grave stato di degrado. Lo studio si è articolato secondo le seguenti fasi:

- verifica dell'assetto geologico, geomorfologico ed idrogeologico di un congruo intorno della zona in esame il cui equilibrio potrebbe risultare potenzialmente modificabile dal Piano proposto e redazione di Scheda Norma con l'introduzione di prescrizioni;
- ricostruzione del modello litostratigrafico e geotecnico del sottosuolo in esame sulla base di indagini eseguite in area limitrofa con le stesse caratteristiche geologiche e geomorfologiche;
- ricostruzione del livello della falda freatica dalle caratteristiche dei depositi nel sottosuolo;
- ricostruzione del modello sismico del sottosuolo in esame mediante indagini sismiche eseguite nell'area con le stesse caratteristiche geologiche e geomorfologiche;
- verifica dello stato di pericolosità geomorfologica, idraulica e sismica dell'area oggetto di Piano, attribuzione delle relative classi di pericolosità ed adeguamento delle stesse ai criteri di pericolosità geologica, idraulica e sismica previsti dalle vigenti direttive per indagini geologiche-tecniche ai sensi del DPGR 53/R/2011 e successive modifiche;

- verifica dello stato di vulnerabilità dei luoghi e degli acquiferi a subire inquinamenti da parte di agenti ed elementi immessi in ambiente da una qualsiasi attività dell'uomo (industriale, artigianale, civile..) considerando gli studi geologici allegati al POC 2018-2020;
- confronto tra la pericolosità geomorfologica, idraulica e sismica della porzione di territorio in oggetto e le tipologie di intervento previste dal Piano ed individuazione delle condizioni di fattibilità degli interventi stessi ai sensi del DPGR 5/R/2020.

### **3 – CARATTERISTICHE DEL PIANO**

---

Il Piano di Recupero è finalizzato alla trasformazione dell'attuale area allo scopo di riorganizzare la zona residenziale utilizzando i volumi presenti e usufruendo di modesto ampliamento attraverso la realizzazione di unità immobiliari e resede privato.

L'intervento ha per obiettivo la riqualificazione dell'area attraverso il recupero di fabbricati esistenti la demolizione di alcuni in stato totale di abbandono e parzialmente demoliti dalla vegetazione.

La superficie totale dell'area è **4174 mq**, verranno realizzate **n.2 UMI**, l'area destinata alla **UMI1 è 3.397,5mq**, **quella destinata alla UMI 2 è 776,5 mq**, inoltre l'area a **verde privato è 924,47 mq** (verde privato delle UMI), quella e **verde condominiale è 1839,45 mq**, quella a **parcheggio pertinenziale è 257,00mq**, ed infine quella destinata alla **nuova viabilità interna è 189,43mq**, viabilità tra i fabbricati (**TAV.3**: Parametri di Progetto).

Per ulteriori dettagli tecnici e contenuti della richiesta di piano di recupero, si rimanda comunque agli elaborati urbanistici progettuali.

### **4 – CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E GEOMORFOLOGICHE**

---

L'area in oggetto è facente parte del settore settentrionale della Pianura Pisana che è parte di un più ampio bacino di sedimentazione generatosi a seguito di uno sprofondamento tettonico (Bacino Pisano-Versiliese) di forma grossolanamente triangolare con vertice settentrionale ubicato presso

S.Stefano Magra, la base delimitata dalle Colline Pisane-Terrazzo di Livorno, delimitata ad est dalle faglie di distensione al piede del Monte Pisano e dalle Alpi Apuane e, ad ovest, nel Mare Tirreno, dalle faglie in corrispondenza degli alti morfologici delle secche della Meloria e di Maestra (Della Rocca, Mazzanti e Pranzini, 1987).

Fancelli et Alii, 1986, suddividono il substrato della pianura di Pisa in tre parti distinte:

- substrato profondo comprendente le formazioni litostratigrafiche antiche, al di sotto dei sedimenti del complesso neoautoctono.
- Substrato intermedio, include i sedimenti neoautoctoni, fino a tutto il Pleistocene Inf. la cui deposizione è stata prevalentemente controllata dalla subsidenza di origine tettonica.
- Substrato superiore, costituito da sedimenti di età più recente (post Pleistocene Inf.) la cui deposizione è stata controllata principalmente dalle variazioni eustatiche del livello del mare, dagli apporti fluviali conseguenti alle suddette variazioni e dai cambiamenti climatici.

La porzione di territorio in esame, interessata dal presente Piano Attuativo, ricade nella parte sud del territorio comunale all'interno del sistema pianura confinante a sud con il confine comunale con Pisa.

Questa area in Loc. Asciano è posta lungo la Via delle Sorgenti n.16, la parte iniziale della pianura in prossimità dell'area collinare; la pianura alluvionale è caratterizzata in affioramento, dalle seguenti formazioni geologiche, depositi continentali quaternari (Olocene):

- depositi alluvionali attuali prevalentemente limosi e argillosi;
- depositi alluvionali attuali prevalentemente sabbiosi e limosi;
- depositi alluvionali, palustri e di colmata prevalentemente argillosi;

L'area di Piano è interessata da depositi alluvionali tipici delle aree di fondovalle, nel dettaglio si tratta di **depositi di fondovalle alluvionali attuali e recenti, terreni argillosi organici**: si tratta di depositi che possono presentare anche intercalazioni sabbiose/limose, sono stati generati da ripetute esondazioni verificatesi nella pianura di Pisa, queste

esondazioni depositavano la frazione limosa meno fine prevalentemente nelle aree poste in prossimità del corso fluviale dell'Arno e i depositi argillosi, materiali più fini, nelle aree più lontane dal corso.

Un estratto della "**Carta geomorfologica**" facente parte del vigente POC 2020, in cui sono rappresentati i depositi su descritti ed affioranti nell'ambito della zona di studio, è riportata nell' **TAV.4**.

Da un punto di vista geomorfologico la zona in esame è relativa al margine settentrionale della pianura pisana area di fondovalle prossima all'area collinare ed è caratterizzata dall'assenza di elementi geomorfologici naturali; i pochi presenti sono essenzialmente legati al reticolo idrografico o di origine antropica.

L'andamento clivometrico medio dell'area in esame risulta pianeggiante, la quota altimetrica dell'area si aggira intorno a 2,00 m s.l.m.m.

## **5 – CARATTERISTICHE LITOTECNICHE**

---

L'area oggetto di Piano è interessata prevalentemente da sedimenti alluvionali attuali e recenti.

La definizione delle caratteristiche litologiche dei terreni è stata operata dall'analisi dei risultati dei dati geognostici ricavati da indagini realizzate in area limitrofa con le stesse caratteristiche geologiche e geomorfologiche. L'ubicazione di tali indagini è riportata nell'estratto cartografico dell'**All.1 "Ubicazione Dati geognostici"** ed in sintesi sono relative a:

-n.1 CPT – Sondaggio S1 spinto a 30 m;

-n.1 prova CPTU spinta a 30m;

I risultati di queste indagini sono contenute nell'**All.2 "Indagini geognostiche di riferimento"**.

L'ubicazione di queste indagini, il loro numero e le profondità raggiunte sono sufficienti a garantire una adeguata ricostruzione stratigrafica e



consentono di ricavare una stima dei parametri geotecnici dei terreni attraversati.

Tutte le prove sono state eseguite partendo dal piano di campagna.

L'andamento litostratigrafico del sottosuolo dell'area in esame è il seguente:

#### **Ricostruzione stratigrafica :**

da 0,00 a -3,00 m	Limi argillosi mediamente consistenti
da -3,00 a -20,0 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 installato e si attesta a circa 1,80 m dal pc.

La sequenza individua, dopo uno spessore di terreno vegetale di circa 0,60 m, un livello di limi argillosi di circa 3,00 m di spessore caratterizzato da valori geotecnici medi, valori di resistenza alla punta  $10 < q_c < 16$  kg/cmq; al di sotto è presente un livello di argille e limi caratterizzati da caratteristiche geomeccaniche scadenti con  $q_c < 10$  kg/cmq.

## **6 – CARATTERISTICHE SISMICHE**

---

Nella classificazione sismica della Regione Toscana il territorio comunale di San Giuliano Terme a seguito della pubblicazione della nuova Mappa della Pericolosità Sismica Regionale si colloca in zona sismica **3** attraverso l'approvazione del Del.GRT n. 878 del 08/10/2012, BURT parte Seconda n.43 del 24/10/2012 Supplemento n.136, per la quale è prevista una accelerazione orizzontale massima convenzionale al suolo  $0,100g < a_g < 0,125g$ .

Storicamente il territorio del comune non è stato interessato da epicentri sismici significativi ed è stato classificato sismico nell'Ordinanza del Presidente del consiglio dei Ministri n.3274/2003, aggiornata con la Delibera della giunta Regionale Toscana n.421 del 2014. Il territorio risente però della sismicità di aree circostanti tra cui si segnalano:

-La Garfagnana/Lunigiana e Val di Lima con eventi sismici frequenti di magnitudo elevata (rovinosa 7°-8° MCS) talora disastrosa (distruttrice 9°-10° MCS)

-Le depressioni tettoniche al margine meridionale della Pianura di Pisa (val di Fine, val d'Era, ecc) con eventi sismici più rari, talora disastrosi (vedi il terremoto del 1846 con epicentro a Orciano Pisano classificato come 9° grado MCS);

-Aree sismiche in mare (dorsali Meloria e Maestra) anch'esse con eventi sismici frequenti ma di magnitudo contenuta. L'ultimo evento segnalato risale all'Ottobre 2005.

Effetti registrati a seguito di sismi storicamente registrati in altre località, fanno emergere come la sismicità della vicina Garfagnana/Lunigiana e della dorsale Meloria/Maestra abbiano una forte influenza sul territorio.

Di seguito un diagramma riferito a Pisa che illustra le intensità documentate e/o ricostruite per i sismi di maggior rilievo dal 1200 a fine 1980:

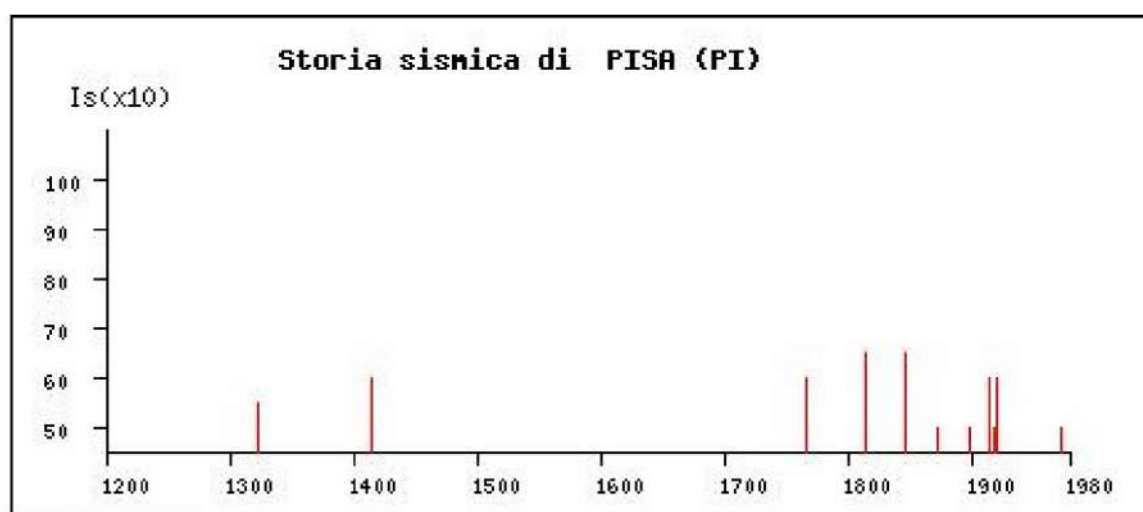


FIG. 2 – Massime intensità sismiche (da Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani)

Per approfondire il quadro conoscitivo degli aspetti di risposta sismica locale, anche in ottemperanza dei criteri di classificazione della pericolosità sismica stabiliti dal DPGR 53/R/2011, e per redigere una ricostruzione

preliminare delle caratteristiche sismiche dei terreni in esame sono state consultate le indagini sismiche eseguite in area limitrofa e contenute nei Dati di base allegati al POC, indagini sismiche eseguite mediante metodologia MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves).

In questa sede riportiamo solo che ai fini della classificazione del profilo stratigrafico del suolo di fondazione ai sensi delle normative sismiche si ricava dalle indagini, in base al parametro  $V_{s30}$  pari a 220/230 m/s risultato come modello medio, una categoria di fondazione di tipo "C".

*CATEGORIA "C": Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*

Tali risultati vengono ottenuti in un contesto di depositi alluvionali recenti prossimi all'area collinare, caratterizzata da depositi con caratteristiche che possono portarci ad ipotizzare che l'area in esame può essere interessata da fenomeni di amplificazione locali e/o amplificazioni stratigrafiche, come verrà descritto più avanti nel paragrafo della pericolosità sismica.

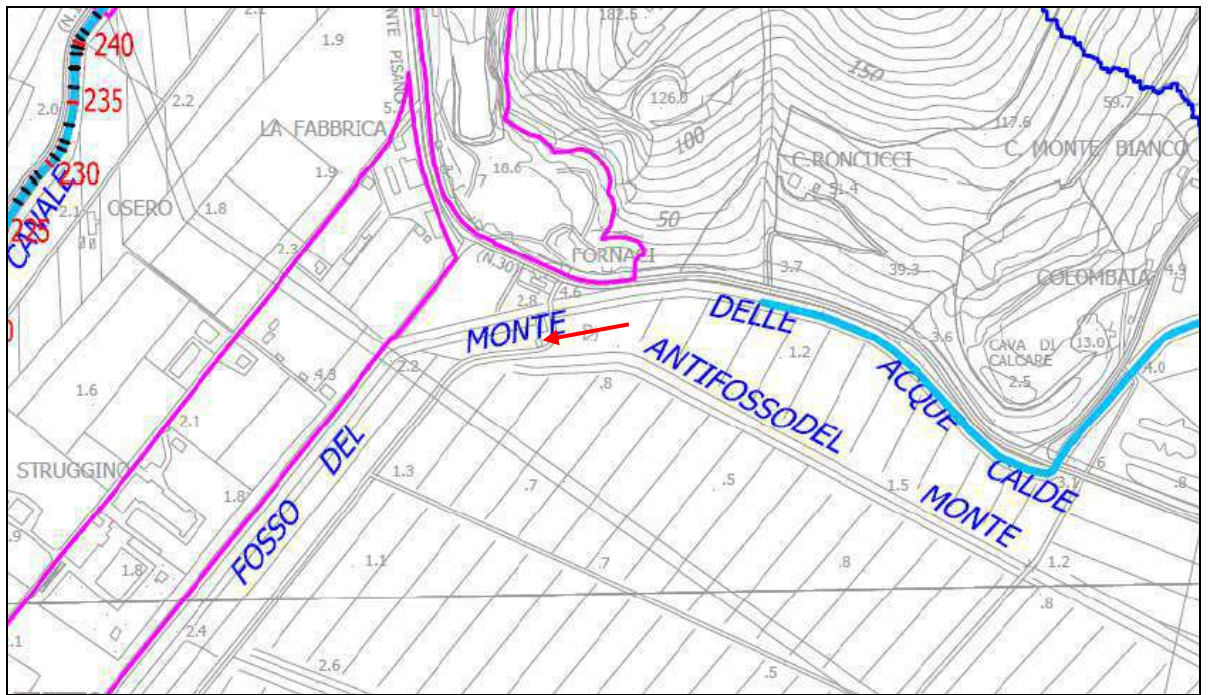
## **7 – CARATTERISTICHE IDRAULICHE, IDROGEOLOGICHE E DI PERMEABILITA'**

---

L'area oggetto di Piano è facente parte della porzione terminale del Bacino Idrografico del Fiume Arno (Basso Valdarno); in particolare nel settore settentrionale del territorio comunale al confine con la parte collinare.

Da un punto di vista idrografico, la zona in esame è situata a sud del Fosso del Monte delle Acque calde e a nord dell'Antifosso del Monte, appartenenti entrambi al Reticolo Idrografico Regionale LRT 79/2012, entrambi sono aperti e porzioni dei fabbricati esistenti ricadono nella fascia di rispetto (10m).

Il Fosso del Monte delle Acque Calde è facente parte del bacino idrografico che raccoglie tutti i corsi d'acqua delle colline di Asciano:



Reticolo Idrografico studiato nello Studio Idraulico del POC



Reticolo Idrografico di gestione Regione Toscana

Da un punto di vista idrogeologico la zona in esame si colloca nella zona settentrionale della piana pisana, risulta essere caratterizzata da vene acquifere nei primi metri che caratterizzano un acquifero freatico o semi-freatico multistrato.

Il sistema di scorrimento sotterraneo è da considerarsi in rapporto di ricarica principalmente dai rilievi collinari a nord e poi per infiltrazione diretta delle acque meteoriche.

Dai certificati non risulta registrata la quota della falda però in base alle caratteristiche dei depositi registrati il livello può essere stimato a - 1,80/2,00 m considerando livelli di argille e limi sovrastanti a quelli argillosi pressoché impermeabili.

Da un punto di vista idrogeologico la distinzione dei vari terreni affioranti viene valutata in funzione della loro capacità di contenere acqua (porosità) e di far defluire l'acqua (permeabilità e trasmissività).

Se queste caratteristiche sono proprie si parla di porosità e permeabilità primaria, se invece queste caratteristiche sono state acquisite per eventi successivi alla loro formazione ( ad esempio per fratture, fenomeni tettonici o dissoluzione chimica) si parla di porosità e permeabilità secondaria.

I terreni e le formazioni affioranti sono caratterizzati dalla Classe di permeabilità bassa, dovuta alla presenza in affioramento di argille riscontrata dalle prove eseguite in area limitrofa per i primi 1/1,20m a conferma dei depositi rappresentati nella Carta geomorfologica, vedi cartografia allegata.

In particolare le caratteristiche del sito individuano uno strato sotto il terreno vegetale spesso 0,60 m di argille e al di sotto sono presenti depositi di argille e limi di 3,00 m di spessore, passanti nuovamente ad argille, queste caratteristiche sono alla base della classificazione in permeabilità bassa, in ragione di queste caratteristiche dovrà essere adottato un sistema di regimazione delle acque meteoriche che arrivano nell'area e stabilito un recapito idoneo che non aggravi la situazione idraulica dell'area, per la trattazione di dettaglio si rimanda alla Relazione idraulica.

Gli strumenti di governo del territorio attuali sono sia il POC 2018-2020.

Negli elaborati geologici di supporto al **POC**, redatti ai sensi del DPGR 53/R/2011, il territorio comunale viene suddiviso nelle seguenti classi di pericolosità geomorfologica:

### **Aree a pericolosità geologica molto elevata (G4)**

Aree in cui sono presenti fenomeni attivi e relative aree di influenza.

Si riferisce alla perimetrazione delle aree arginali con indizi di cedimento

### **Aree a pericolosità geologica elevata (G3)**

Aree caratterizzate da terreni con scadenti caratteristiche geotecniche, le zone di scarpata, le aree di golena, le aree in subsidenza.

### **Aree a pericolosità geologica media (G2)**

Aree in cui sono presenti fenomeni geomorfologici inattivi e stabilizzati (naturalmente o artificialmente); aree con elementi geomorfologici, litologici, e giaciturali dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto; corpi detritici su versanti con pendenze inferiori al 15%. In queste aree non sussistono limitazioni o particolari prescrizioni alla trasformabilità.

### **Aree a pericolosità geologica bassa (G1)**

Aree in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche, giaciturali non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfoevolutivi.

L'area oggetto di Piano Attuativo risulta compresa, come evidenziato dall'estratto cartografico dell'**TAV.5 "Carta della pericolosità geologica"**, in classe **G3** pericolosità geologica elevata, è caratterizzata da terreni con scadenti caratteristiche geotecniche.

L'area oggetto di Piano ai sensi del **DPGR 5/R/2020** è classificata in classe **G3**, il nuovo DPGR comprende oltre agli elementi geologici anche gli elementi geomorfologici e quelli relativi alla dinamica costiera.

La classe G3 pericolosità elevata comprende: aree in cui sono presenti fenomeni franosi quiescenti e relative aree di evoluzione, aree con potenziale instabilità connessa a giacitura, ad acclività, a litologia, alla presenza di acque superficiali e sotterranee e relativi processi di morfodinamica fluviale, nonché a processi di degrado di carattere antropico; aree interessate da fenomeni di soliflusso, fenomeni erosivi; **aree caratterizzate da terreni con scadenti caratteristiche geomeccaniche.**

## **9 – CARATTERISTICHE DI PERICOLOSITA' SISMICA**

---

Negli elaborati geologici di supporto al POC, redatti ai sensi del DPGR 53/R/2011, basati su studi di microzonazione sismica di livelli 1 e dalle singole carte MOPS, il territorio comunale viene suddiviso nelle seguenti classi di pericolosità sismica:

### **Aree pericolosità sismica locale molto elevata (S.4)**

Corrispondono ai perimetri delle aree G4.

### **Aree pericolosità sismica locale elevata (S3)**

Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti che possono dar luogo a cedimenti diffusi; terreni suscettibili di liquefazione dinamica; aree con amplificazione locale caratterizzate da alto contrasto di impedenza.

### **Aree pericolosità sismica locale media (S2)**

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali che non rientrano tra quelli previsti per la classe di pericolosità S.3.

L'area oggetto di Piano risulta compresa, come evidenziato dall'estratto cartografico dell'**TAV.6 "Carta della pericolosità sismica"**, all'interno della classe **S3** pericolosità sismica locale elevata ai sensi del DPGR 53/R, in quanto zona suscettibile di instabilità per amplificazioni locali e/o amplificazioni stratigrafiche, analizzando la **"Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica MOPS e frequenze fondamentali"** l'intervento è sito in area caratterizzato da depositi alluvionali attuali e recenti caratterizzati da subsidenza diffusa evidenziata da fenomeni

interferometrici, zone suscettibili di instabilità per Cedimenti differenziali CD  
**TAV.7.**

L'area oggetto di Piano ai sensi del **DPGR 5/R/2020** è classificata in classe **S3**: pericolosità sismica locale elevata, questa caratterizza:

- aree con terreni di fondazione particolarmente scadenti che possono dar luogo a cedimenti rilevanti;
- aree potenzialmente suscettibili di liquefazione dinamica, caratterizzati da terreni per i quali, sulla base delle informazioni disponibili, non è possibile escludere a priori il rischio di liquefazione;
- zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse;
- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, connesse con un alto contrasto di impedenza sismica atteso-entro alcune decine di metri dal piano di campagna.

## **10 – CARATTERISTICHE DI VULNERABILITA'**

---

Le aree sensibili di vulnerabilità sono quelle propense a subire inquinamenti dei suoli e degli acquiferi da parte di agenti ed elementi immessi in ambiente da attività antropiche, la loro classificazione deriva dalle caratteristiche della permeabilità dei depositi affioranti, generalmente la vulnerabilità viene suddivisa nelle seguenti classi in funzione dei diversi gradi di sensibilità alla vulnerabilità stessa:

**-Vulnerabilità bassa:** ne fanno parte i complessi argillosi, marnosi e flyschoidi, vulnerabili a seconda della pendenza del terreno e della complessità del reticolo drenante che possono determinare il fenomeno del ristagno idrico;

**-Vulnerabilità media:** ne fanno parte gli acquiferi impostati in complessi con granulometria bassa o medio-bassa, posti su un substrato generalmente impermeabile, non connessi agli acquiferi maggiori;

**-Vulnerabilità elevata:** ne fanno parte i sistemi acquiferi liberi in depositi alluvionali medio-fini connessi strettamente con la rete idrografica.



L'area oggetto di Piano presenta **vulnerabilità bassa**, tale classe di pericolosità è dovuta dai depositi in affioramenti verificati con le indagini, i livelli superficiali di argille.

## **11 – CARATTERISTICHE DI PERICOLOSITA' IDRAULICA**

---

Gli elaborati geologici di supporto al POC, redatti ai sensi del DPGR 53/R/2011, sono stati realizzati tenendo conto delle disposizioni e dei condizionamenti della LR 41/2018, *Disposizioni in materia di rischio di alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione del Decreto Legislativo 23 febbraio 2010, n.49 e Modifiche alla LR 80/2015 a alla LR 65/2014.*

Lo studio ha aggiornato il quadro della pericolosità idraulica considerando il reticolo principale (Fiume Arno e Canale Scolmatore) e i principali corsi d'acqua facenti parte del reticolo idrografico individuato dalla Regione Toscana ai sensi della LR 79/2012.

il territorio comunale viene suddiviso nelle seguenti classi di pericolosità idraulica:

### **Pericolosità idraulica molto elevata (I4)**

Rientrano in questa classe le aree di fondovalle studiate che risultano inondabili al verificarsi dell'evento con portata al colmo di piena corrispondente al periodo di ritorno  $Tr \leq 30$  anni;

### **Pericolosità idraulica elevata (I3)**

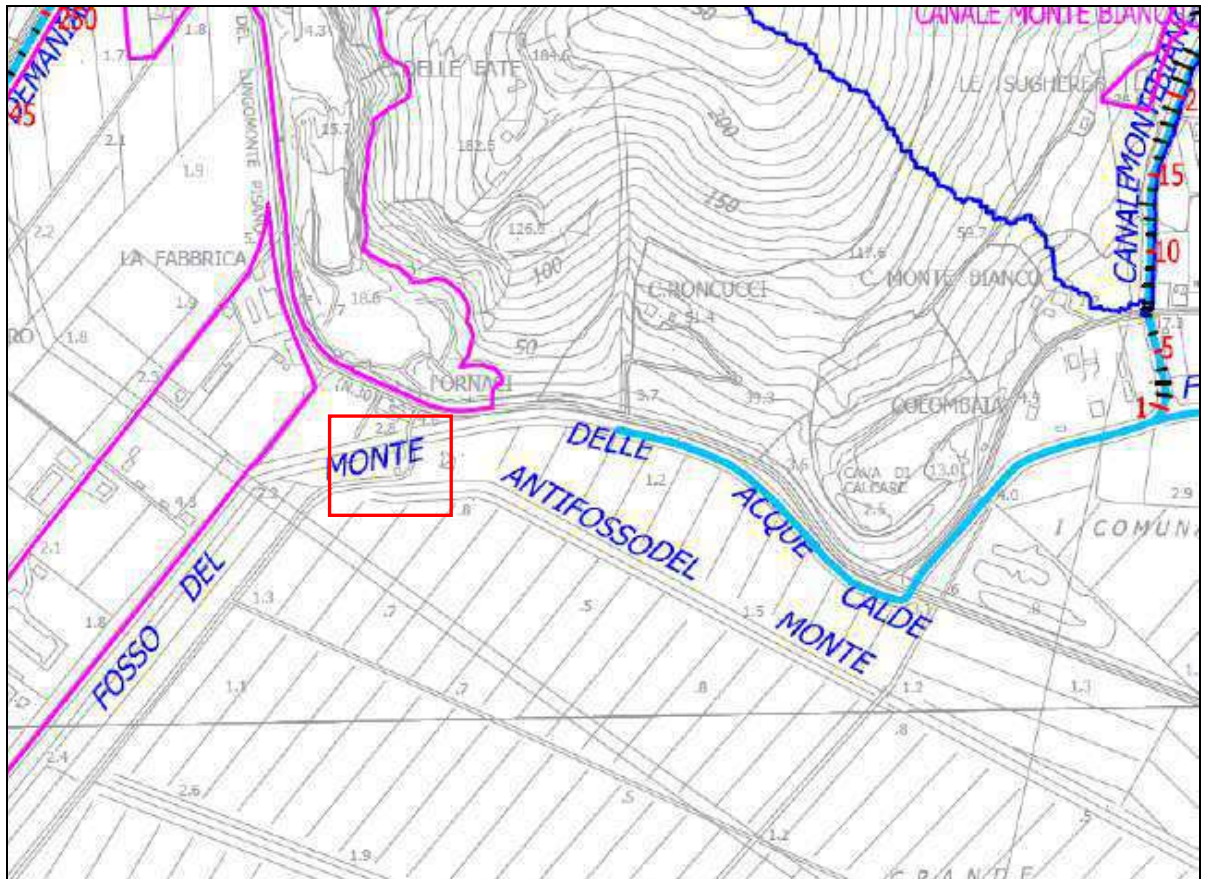
Rientrano in questa classe le aree di fondovalle studiate che risultano inondabili al verificarsi dell'evento con portata al colmo di piena corrispondente al periodo di ritorno  $30 < Tr \leq 200$  anni;

L'area oggetto di Piano risulta essere compresa nella classe **I3** pericolosità idraulica elevata alluvione poco frequenti ai sensi della LRT 41/2018, come evidenziato dall'estratto cartografico dell'**TAV.8 "Carta della pericolosità idraulica"** redatto ai sensi del DPGR 53/R/2011.

Per quanto riguarda il "Distretto di Appennino Settentrionale" nella cartografia relativa alla perimetrazione delle aree con pericolosità idraulica a livello di dettaglio l'area in oggetto è classificata a **pericolosità idraulica da alluvioni media P2**, aree inondabile da eventi con tempi di ritorno  $30 < tr < 200$  anni, corrispondenti al fondovalle alluvionale; l'estratto della **"Carta della pericolosità idraulica da alluvioni PGRA" TAV.9** rappresenta il recepimento e la definizione delle suddette classi.

Gli interventi nelle aree P2 sono regolamentati dalla LR 41/2018 "Disposizioni in materia di rischio da alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione del decreto Lgs 23 febbraio 2010, n.49 (Attuazione delle direttive 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni)", l'area in oggetto in particolare è caratterizzata da **pericolosità per alluvioni poco frequenti**.

Consultando la cartografia del battenti per  $Tr < 200$  anni l'area non rientra tra quelle studiate all'interno dello Studio Idraulico legato alla presentazione del POC ed a seguito di richiesta all'autorità competente, l'area non è compresa nel modello connesso agli scenari di esondazione del reticolo principale e si rimanda ad eventuali studi contenuti nello strumento urbanistico legati ai corsi d'acqua minori del reticolo secondario, ma come riportato l'area non è stata indagata:



- ▭ Perimetro UTOE
- ▭ Perimetri bacini idraulici
- Corsi d'acqua indagati
- Immissioni localizzate degli idrogrammi
- Immissioni distribuite degli idrogrammi

Per questa ragione è stato commissionato uno Studio Idraulico di dettaglio in primo luogo per il calcolo del battente atteso e in secondo luogo per lo studio delle misure di salvaguardia idraulica da adottare, lo studio è stato eseguito dall'Ing. Idraulico Valentina Altieri.

Il progetto prevede sulla part.290 la realizzazione di unità immobiliari residenziali con verde privato; l'intervento ai sensi della LR 41/2018 è inquadrato all'**Art.12: "Interventi sul patrimonio edilizio esistente in aree a pericolosità per alluvioni frequenti o poco frequenti"**, comma 2: **"Nelle aree a pericolosità per alluvioni frequenti e poco frequenti, indipendentemente dalla magnitudo, per la realizzazione di interventi edilizi che comportano incrementi volumetrici, anche attraverso demolizioni con parziale o totale ricostruzione, è**

**realizzata almeno una delle opere di cui all'art.8, comma 1 lettera a),b) e c)";** la mitigazione del rischio viene attuata ottemperando alla lettera c) *opere di sopraelevazione, senza aggravio delle condizioni di rischio in altre aree.*

**Le unità immobiliari verranno realizzate con il piano di calpestio interno a quota di sicurezza idraulica +30 cm, per i dettagli si rimanda alla Relazione Idraulica dell'Ing. Valentina Altieri.**

## **12 – CARATTERISTICHE DI FATTIBILITA'**

---

Le classi di fattibilità dell'intervento vengono attribuite considerando le classi di pericolosità assegnate dagli elaborati allegati al POC, redatti ai sensi del DPGR 53/R/2011, le condizioni di attuazione delle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali sono differenziate secondo le seguenti categorie di fattibilità:

### FATTIBILITA' 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.

La classe F.1 indica situazioni di rischio da irrilevante a molto basso, dove per l'intervento non si richiedono specifiche prescrizioni; le indagini possono essere limitate ad un inquadramento generale servendosi, ove presenti, di dati già esistenti all'interno del medesimo contesto litostratigrafico.

### FATTIBILITA' CON NORMALI VINCOLI (F2)

Si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali è necessario indicare la tipologia di indagini e/o specifiche prescrizioni ai fini della valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia.

La Classe F.2 indica situazioni di rischio basso, dove per l'intervento sono richieste indagini geognostiche preliminari in situ senza particolari prescrizioni ad integrazione dei dati esistenti.

### FATTIBILITA' CONDIZIONATA (F3)

Si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali, ai fini dell'individuazione delle condizioni di compatibilità degli interventi con le situazioni di pericolosità riscontrate, è necessario definire la tipologia di 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.

La Classe F.3 indica situazioni di rischio da medio a medio elevato, dove per l'intervento si richiedono specifiche relativamente al progetto di indagini in situ, le quali devono essere estese all'interno lotto.

### FATTIBILITA' 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, verifiche atte a determinare gli elementi di base utili per la predisposizione della relativa progettazione.

La Classe F.4 indica situazioni di rischio da elevato a molto-elevato, dove per l'intervento si richiede che siano state eseguite a livello di Regolamento Urbanistico studi, indagini di dettaglio in situ e/o monitoraggi, anche in aree adiacenti e/o limitrofe, per definire il progetto di massima per la messa in sicurezza, in caso contrario gli interventi inseriti in classe di fattibilità 4 devono essere, al momento, considerati non fattibili/attuabili.

L'area in oggetto può essere quindi suddivisa nelle categorie di Fattibilità:

Destinazione Urbanistica	Pericol. Idraul.	Pericol. Geol.	Pericol. Simica	Fattib. Idraul.	Fatt. Geom	Fatt. Sism.
Residenziale	I3	G3	S3	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>3</b>

L'area oggetto di Piano di Recupero risulta essere perimetrata nelle seguenti classi di pericolosità:

- **Pericolosità geologica G3;**

- **Peri**  
**colosità idraulica I3, PGRA P2;**

- **Peri**  
**colosità simica locale S3;**

a cui vengono assegnate le rispettive categorie di Fattibilità in funzione delle classi di pericolosità riscontrate; secondo quanto disposto dal **DPGR 05/R/2020** vengono assegnanti **criteri di fattibilità**.

Le prescrizioni di Fattibilità per i vari aspetti di pericolosità riscontrati in relazione alla destinazione residenziale per l'area oggetto di Piano sono descritte di seguito, il Piano prevede ristrutturazione, demolizione e ricostruzione con ampliamento:

**1) Fattibilità in relazione agli aspetti geologici** (geomorfologici): per l'area del Piano di Recupero la Fattibilità da **pericolosità geologica elevata** (G3) necessita che siano rispettati i criteri di seguito elencati, secondo quanto definito al punto 3.2.2. delle direttive di cui all'Allegato A del DPGR 5/R/2020 del 30/03/2020:

La Fattibilità degli interventi di ristrutturazione, ricostruzione e ampliamento dell'edificato esistente è subordinata all'esito di studi, rilievi e indagini geognostiche finalizzate alla ricostruzione di un modello geologico e geotecnico secondo quanto previsto dal DPGR 1/R/2022 in funzione dell'entità degli interventi da realizzare.

Le condizioni di attuazioni sono finalizzate a non modificare negativamente la situazione presente.

**2) Fattibilità in relazione agli aspetti idraulici:**

nelle aree caratterizzate da pericolosità per alluvioni frequenti e poco frequenti la fattibilità degli interventi è perseguita secondo quanto disposto dalla LR 41/2018, oltre a quanto già previsto dalla pianificazione di bacino, secondo quanto definito al punto 3.3. delle direttive di cui all'Allegato A del DPGR 5/R/2020 del 30/03/2020.

**La Fattibilità degli interventi è subordinata alla gestione del rischio di alluvioni rispetto allo scenario per alluvioni poco frequenti, con opere idrauliche, opere di sopraelevazione,**

**interventi di difesa locale, ai sensi dell'art.8, comma 1 della LR 41/2018.**

L'area oggetto di Piano è caratterizzata da **pericolosità per alluvioni poco frequente** la **Fattibilità degli interventi oggetto di Piano** sono di seguito brevemente descritti:

La realizzazione delle unità immobiliari viene inquadrata della LR 41/2018 all'Art.12 comma 2: "*Nelle aree a pericolosità per alluvioni frequenti e poco frequenti, indipendentemente dalla magnitudo, per la realizzazione di interventi edilizi che comportano incrementi volumetrici, anche attraverso demolizioni con parziale o totale ricostruzione, è realizzata almeno una delle opere di cui all'art.8, comma 1 lettera a),b) e c)*"; la mitigazione del rischio viene attuata ottemperando alla lettera c) *opere di sopraelevazione , senza aggravio delle condizioni di rischio in altre aree.*

Per i dettagli si rimanda allo Studio Idraulico realizzato dall'Ing.Valentina Altieri.

### **3) Fattibilità in relazione agli aspetti sismici:**

nelle aree interessate dal Piano la Fattibilità da **pericolosità sismica locale elevata** (S3) necessita che siano rispettati i criteri riportati di seguito secondo quanto definito al punto 3.6.3. delle direttive di cui all'Allegato A del DPGR 5/R/2020 del 30/03/2020:

**a) nel caso di terreni di fondazione particolarmente scadenti, sono da effettuare adeguate indagini geognostiche e verifiche geotecniche finalizzate alle verifiche dei cedimenti;**

**b) nel caso di zone stabili suscettibili di amplificazione locale, caratterizzate da un alto contrasto di impedenza sismica**

La Fattibilità degli interventi è subordinata all'esito di studi specifici, quali profili sismici a riflessione o rifrazione, prove sismiche in foro, profili MASW secondo anche quanto previsto dal DPGR 1/R/2022 in funzione dell'entità dell'opera da realizzare e tenendo conto quanto descritto al punto 3.6 delle Direttive tecniche per lo svolgimento delle indagini geologiche, idrauliche e sismiche Allegato A, DPGR 5/R/2020.

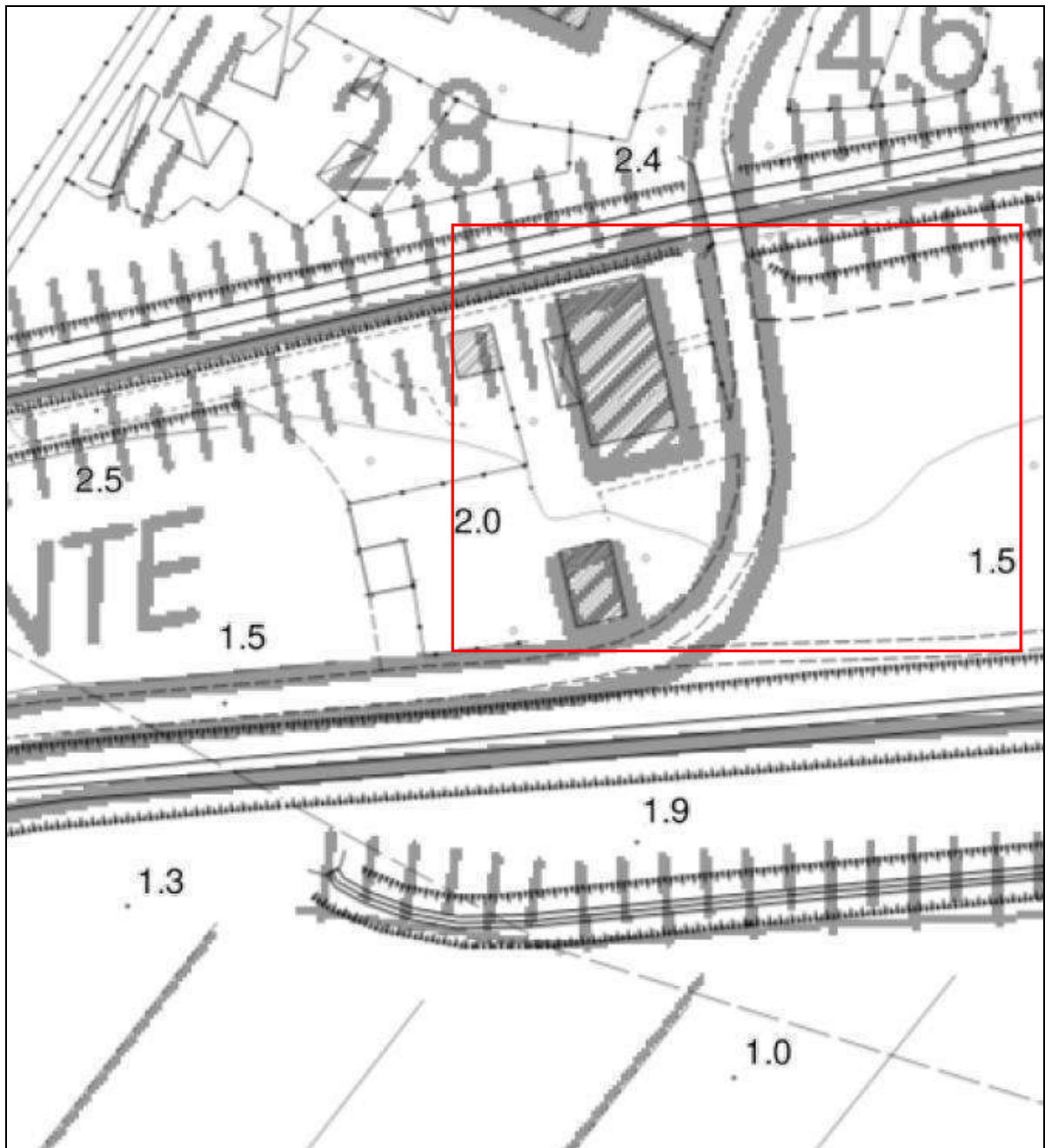
Pisa, giugno 2023

Geol. Monica Laquidara

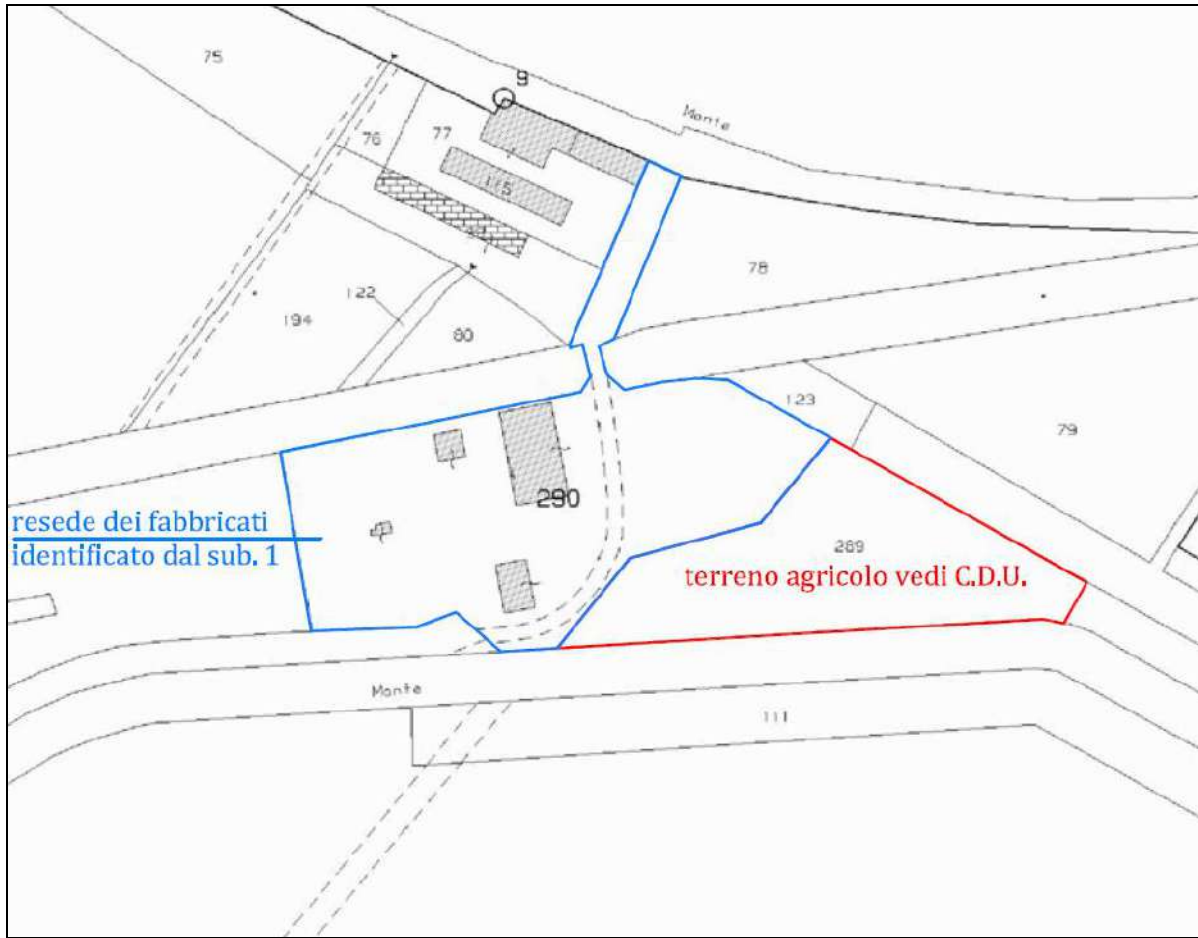




## TAVOLE



**TAV.1:** Ubicazione area oggetto di PA

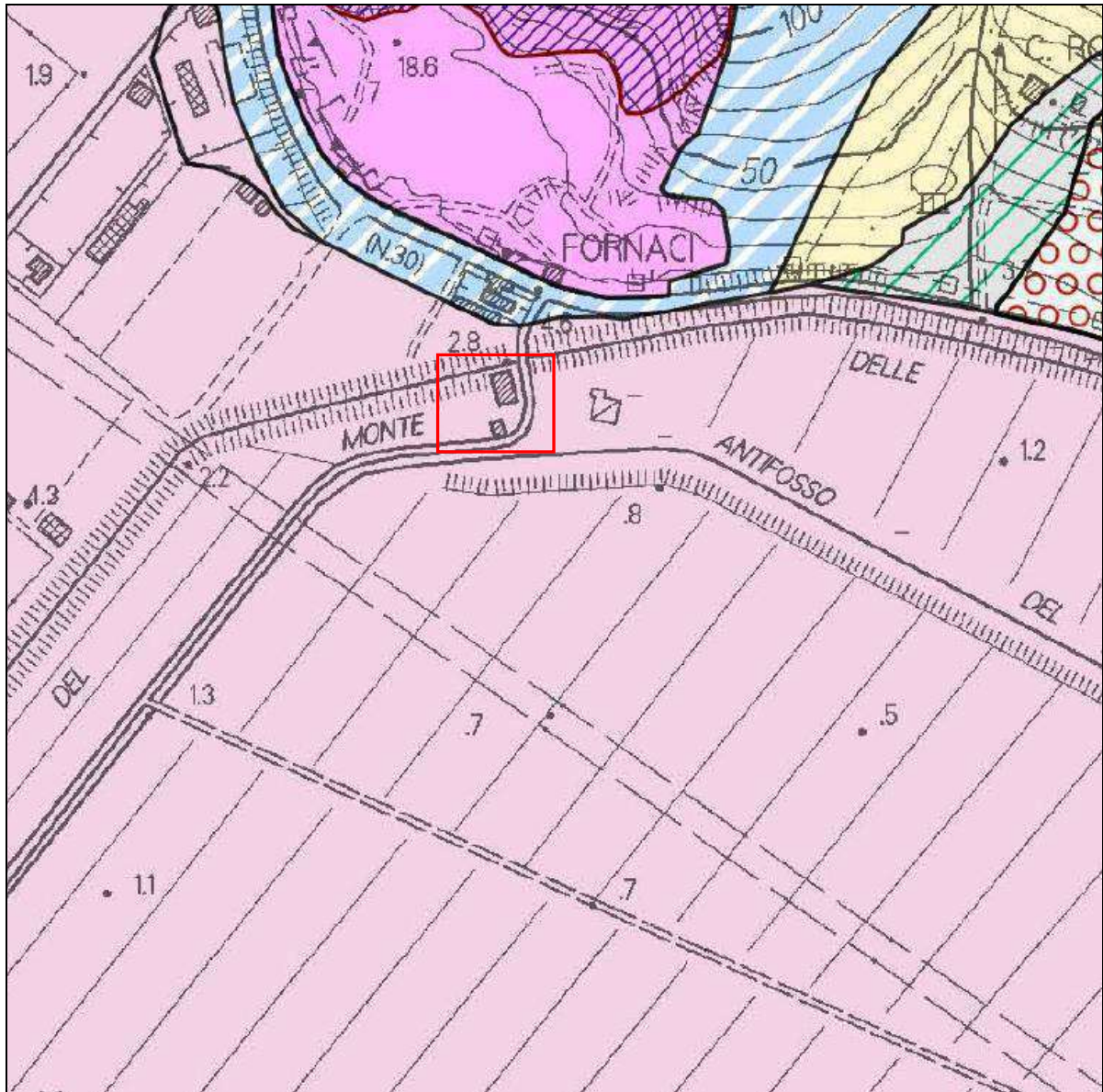


**TAV.2:** ESTRATTO MAPPA CATASTALE FOGLIO 56 PART.290






- VERDE PRIVATO SUP 924,47 MQ
- VERDE CONDOMINIALE SUP 1.839,45 MQ
  
- UMI 1- 3.397,5 MQ
- UMI 2- 776,50 MQ

**TAV.3:** Parametri di Progetto

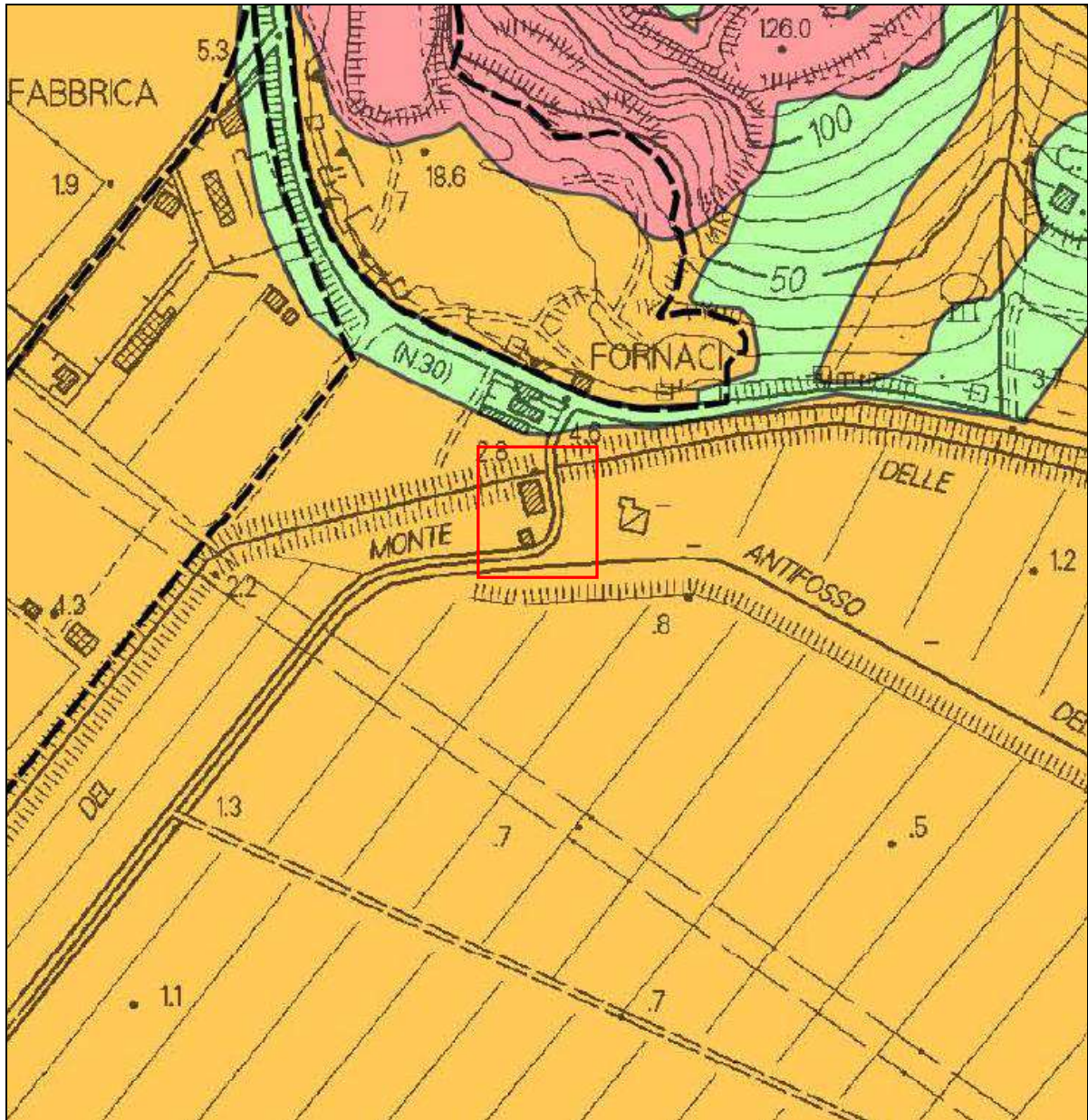


*Aree di fondovalle*

Sedimenti alluvionali attuali e recenti

-  Terreni prevalentemente sabbioso-limosi
-  Terreni prevalentemente argillosi
-  Terreni argillosi organici

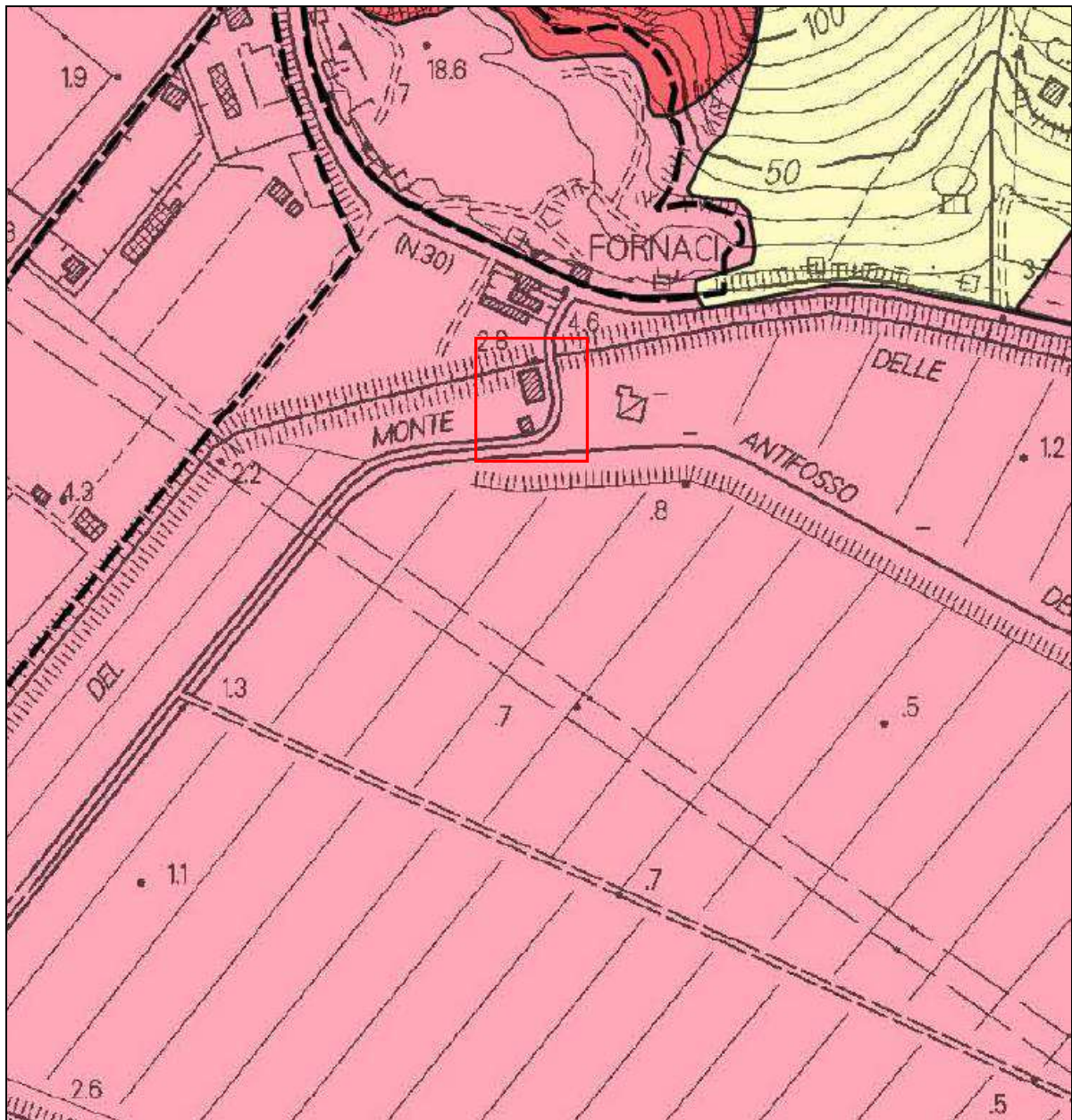
**TAV.4:** Estratto Carta Geomorfológica POC



**PERICOLOSITA' GEOLOGICA D.P.G.R. 53/R/2011**

- G1 - Pericolosità geologica bassa
- G2 - Pericolosità geologica media
- G3 - Pericolosità geologica elevata
- G4 - Pericolosità geologica molto elevata

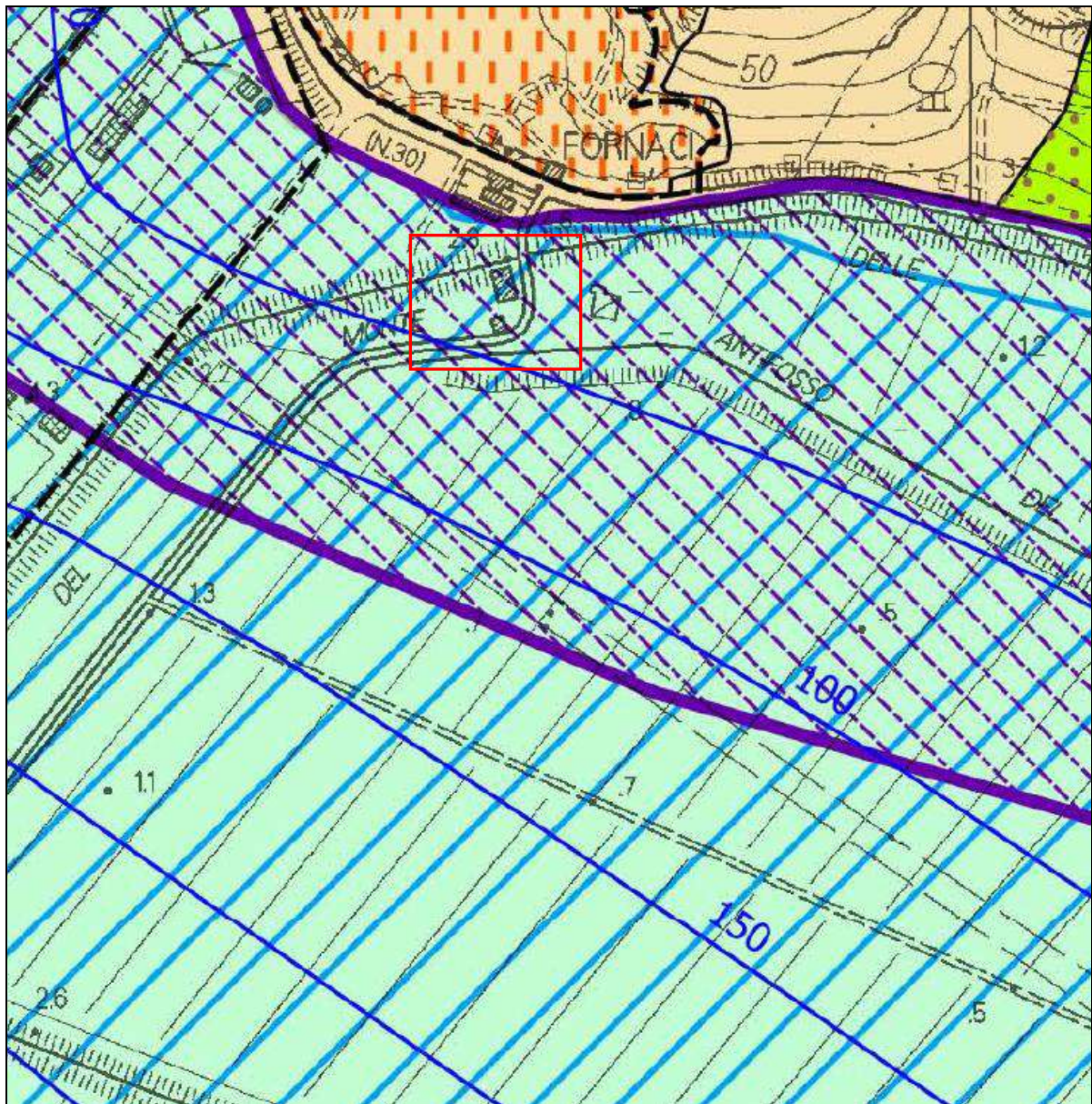
**TAV.5:** Estratto Carta della pericolosità geologica POC



PERICOLOSITA SISMICA D.P.G.R. 53/R/2011

- S.1 - Pericolosità sismica locale bassa
- S.2 - Pericolosità sismica locale media
- S.3 - Pericolosità sismica locale elevata
- S.4 - Pericolosità sismica locale molto elevata

**TAV.6:** Estratto Carta della pericolosità sismica locale POC

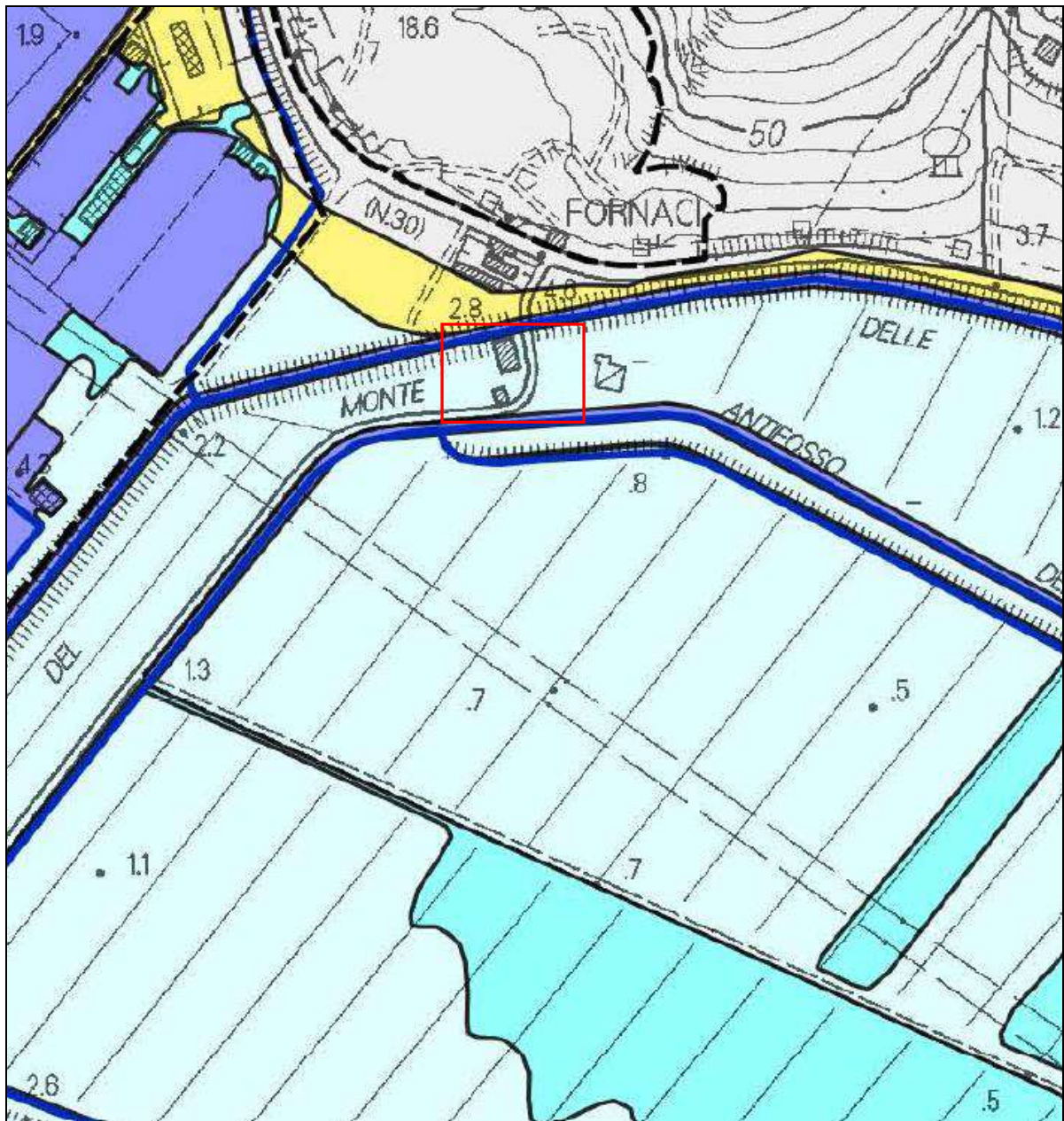


**ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITA'**

- - - 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

**TAV.7:** Estratto Carta della Microzone omogenee in Prospettiva Sismica MOPS POC





*1.2 - Pericolosità idraulica media*

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

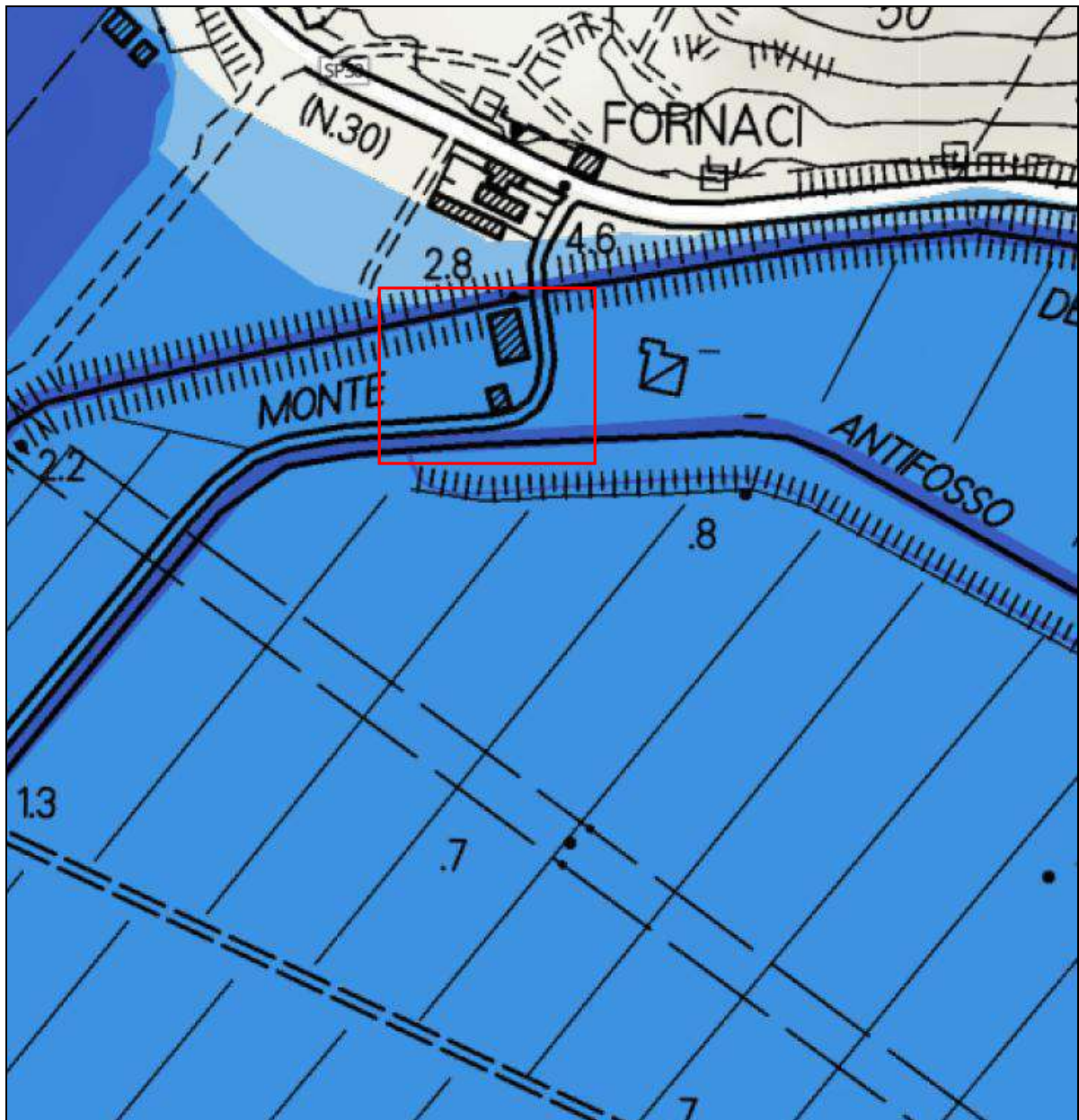
- Da studio idraulico eseguito nella presente indagine
- Da strumenti sovraordinati (PGRA - PAI Serchio)

*1.3 - Pericolosità idraulica elevata*

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

- Da studio idraulico eseguito nella presente indagine
- Da strumenti sovraordinati (PGRA - PAI Serchio)

**TAV.8:** Estratto Carta della pericolosità idraulica POC



Pericolosità Dominio Fluviale

- P1
- P2
- P3

**TAV.9:** Estratto Carta della pericolosità idraulica ai sensi del PGRA

**ALLEGATI**



**ALL.1:** Ubicazione indagini e intervento



## 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](mailto:info@gaiaservizi.com)

p. IVA 01966780502

Data elaborazione: 13/05/2021

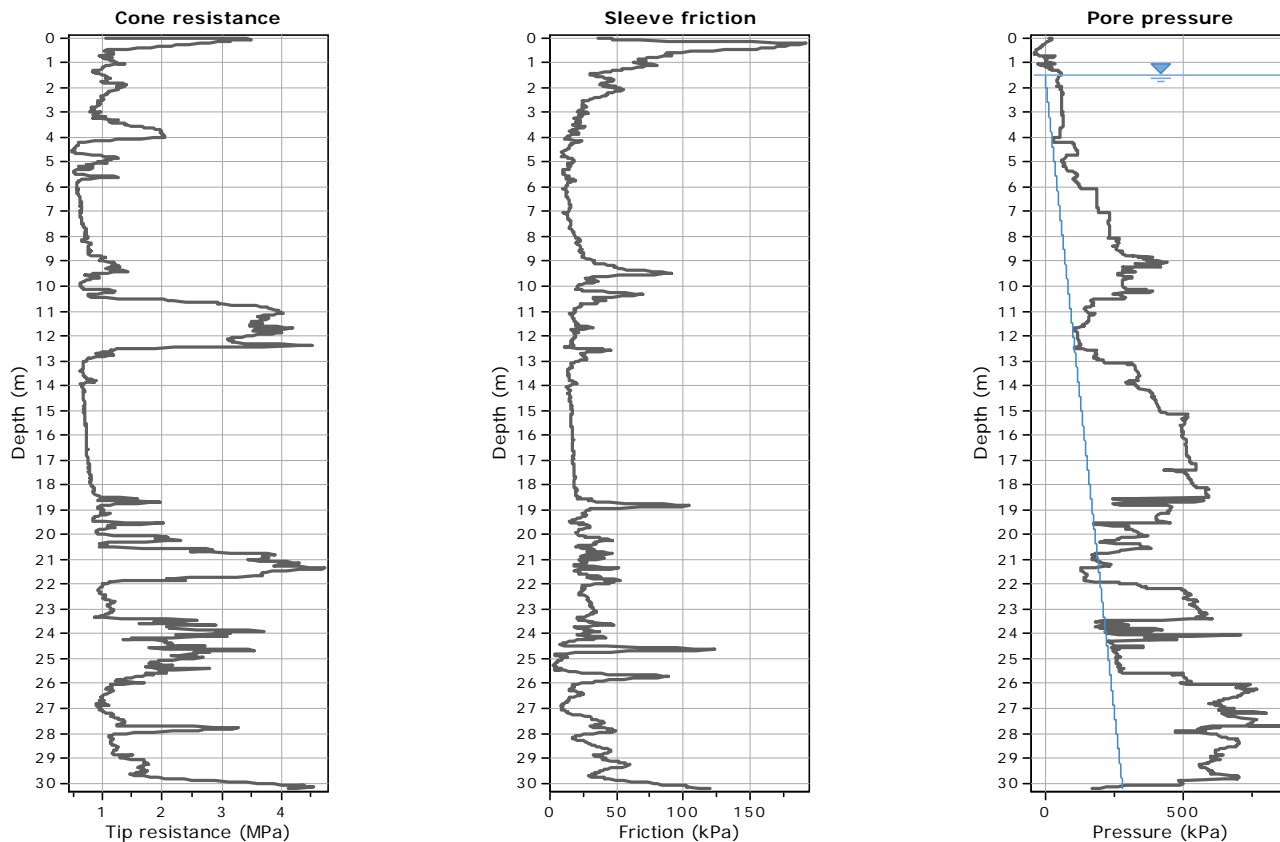
## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



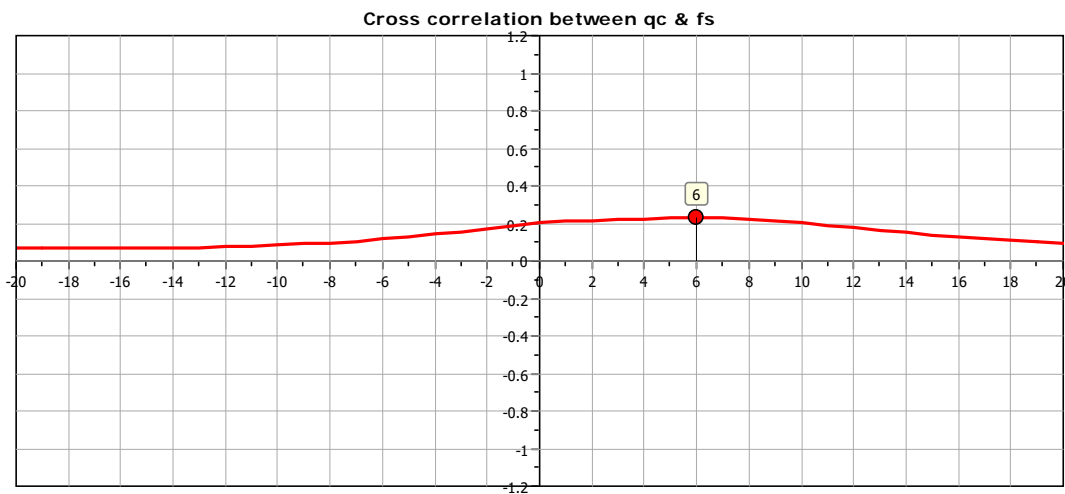
Figura 1: Prova penetrometrica CPTU 01



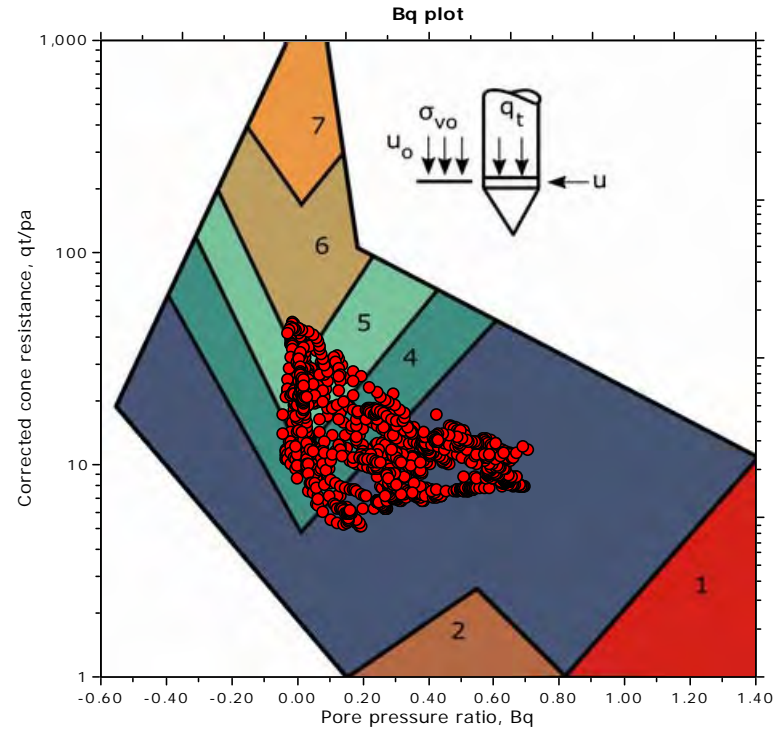
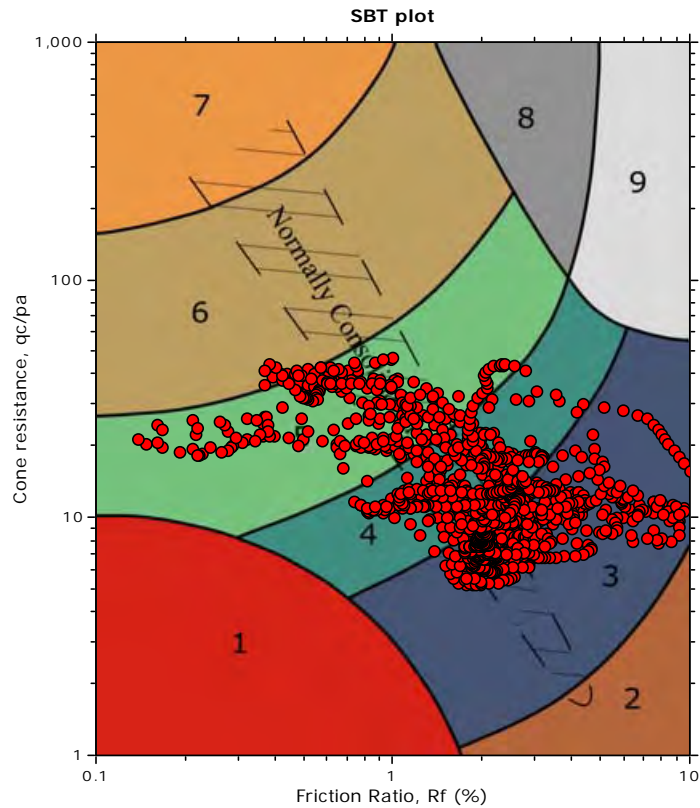
Figura 2: Prova penetrometrica CPTU 02



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

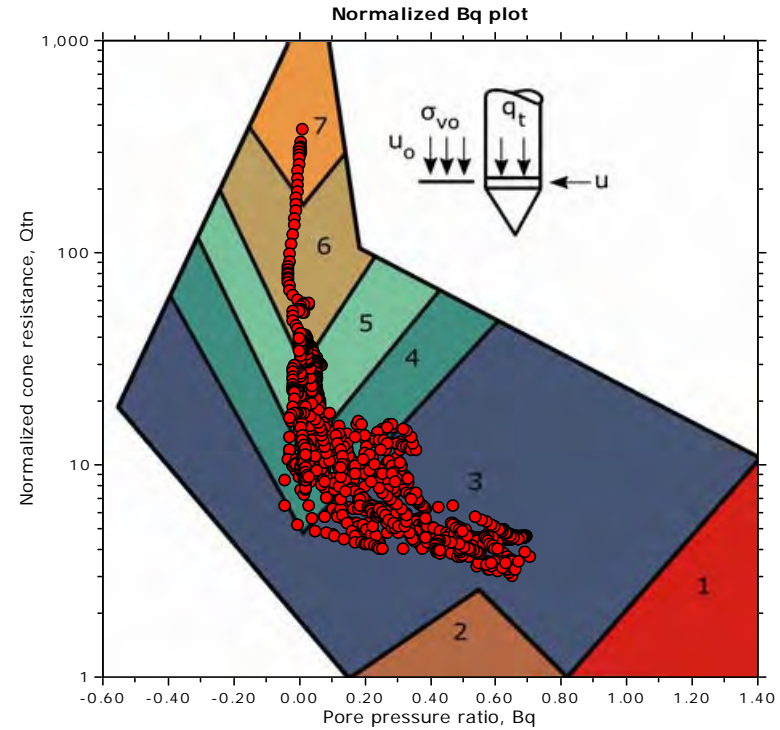
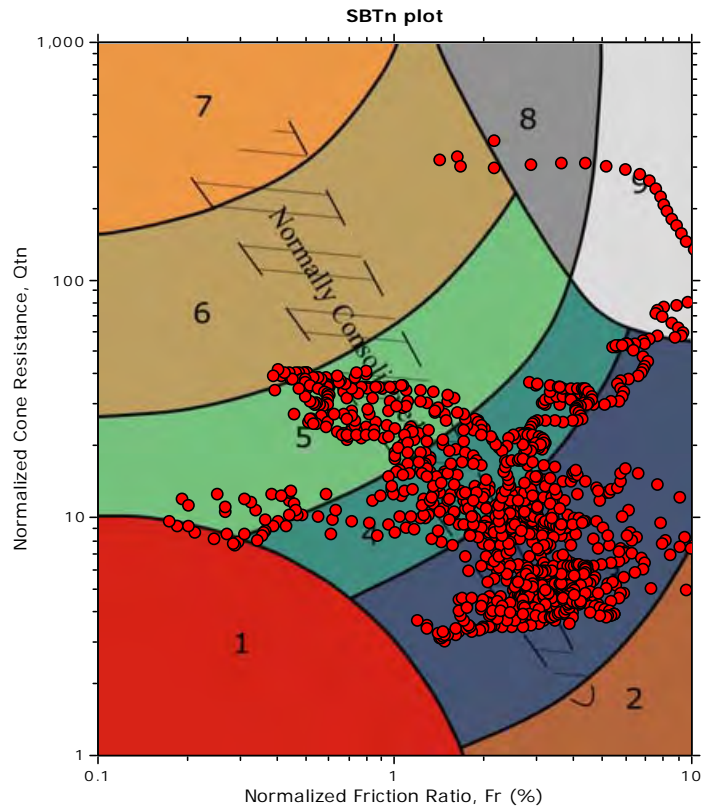


SBT legend

- |                           |                              |                                   |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 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        |



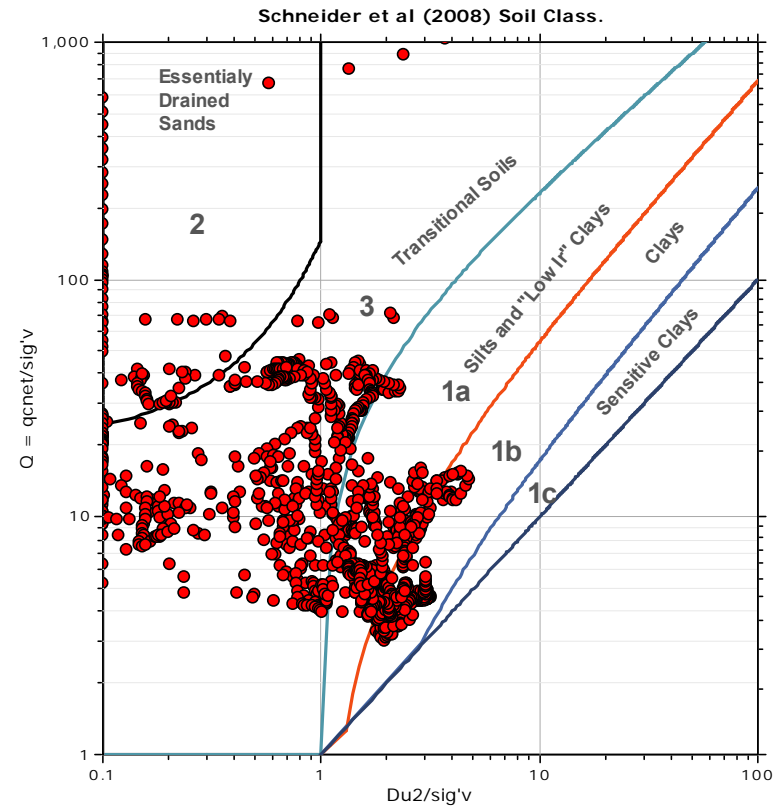
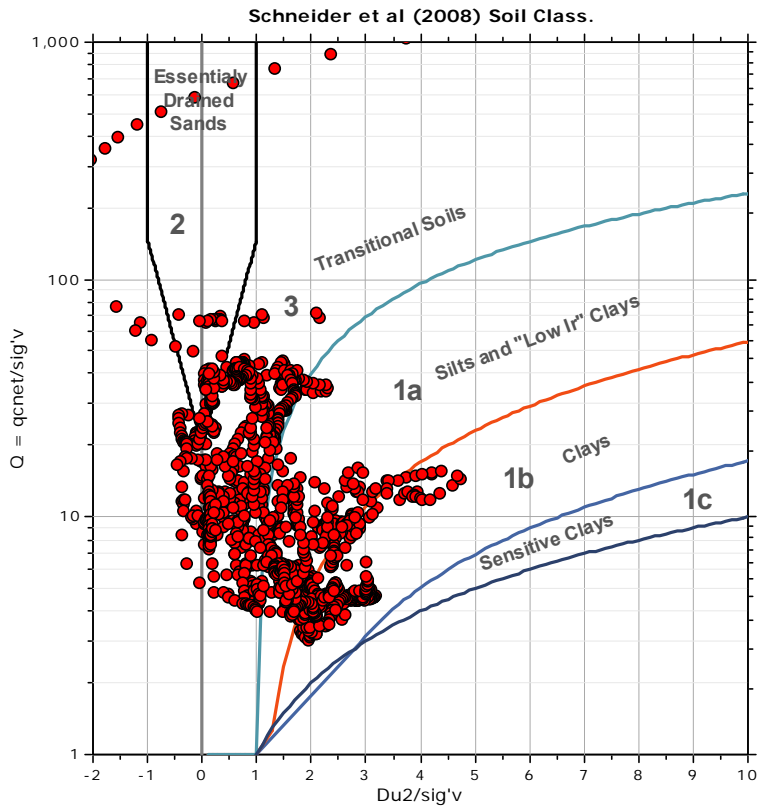
SBT - Bq plots (normalized)

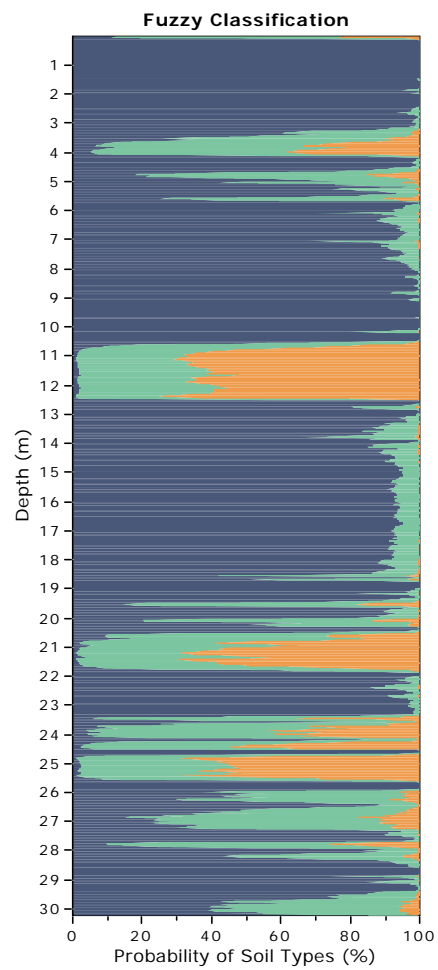
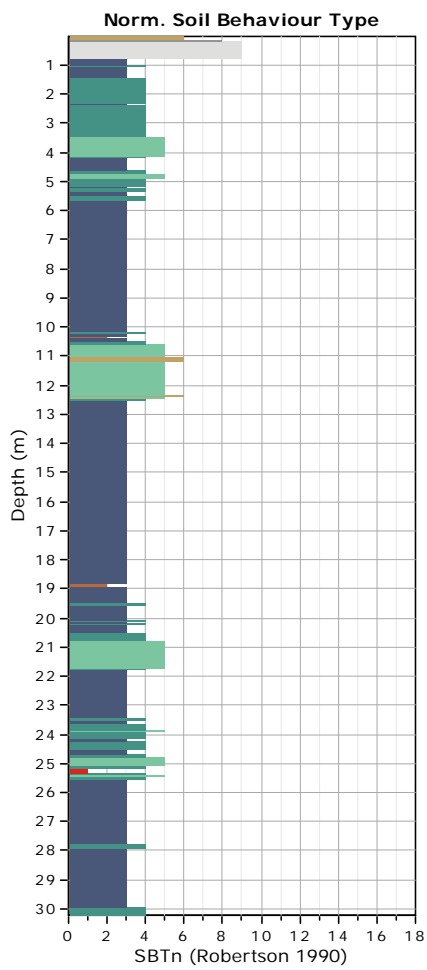


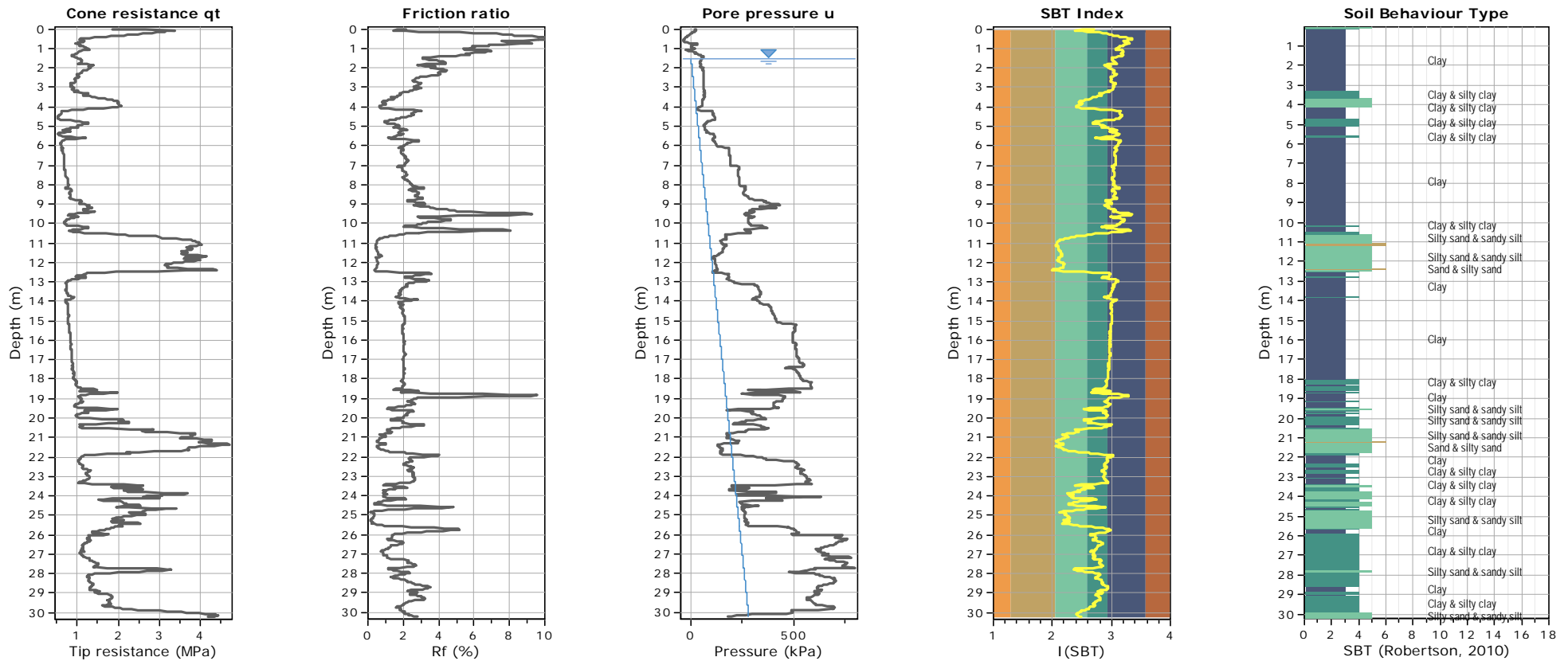
SBTn legend

- |  |   |   |
|--|---|---|
| <span style="color: red;">■</span> 1. Sensitive fine grained | <span style="color: teal;">■</span> 4. Clayey silt to silty clay      | <span style="color: orange;">■</span> 7. Gravelly sand to sand        |
| <span style="color: brown;">■</span> 2. Organic material     | <span style="color: lightgreen;">■</span> 5. Silty sand to sandy silt | <span style="color: grey;">■</span> 8. Very stiff sand to clayey sand |
| <span style="color: blue;">■</span> 3. Clay to silty clay    | <span style="color: tan;">■</span> 6. Clean sand to silty sand        | <span style="color: lightgrey;">■</span> 9. Very stiff fine grained   |

### Bq plots (Schneider)

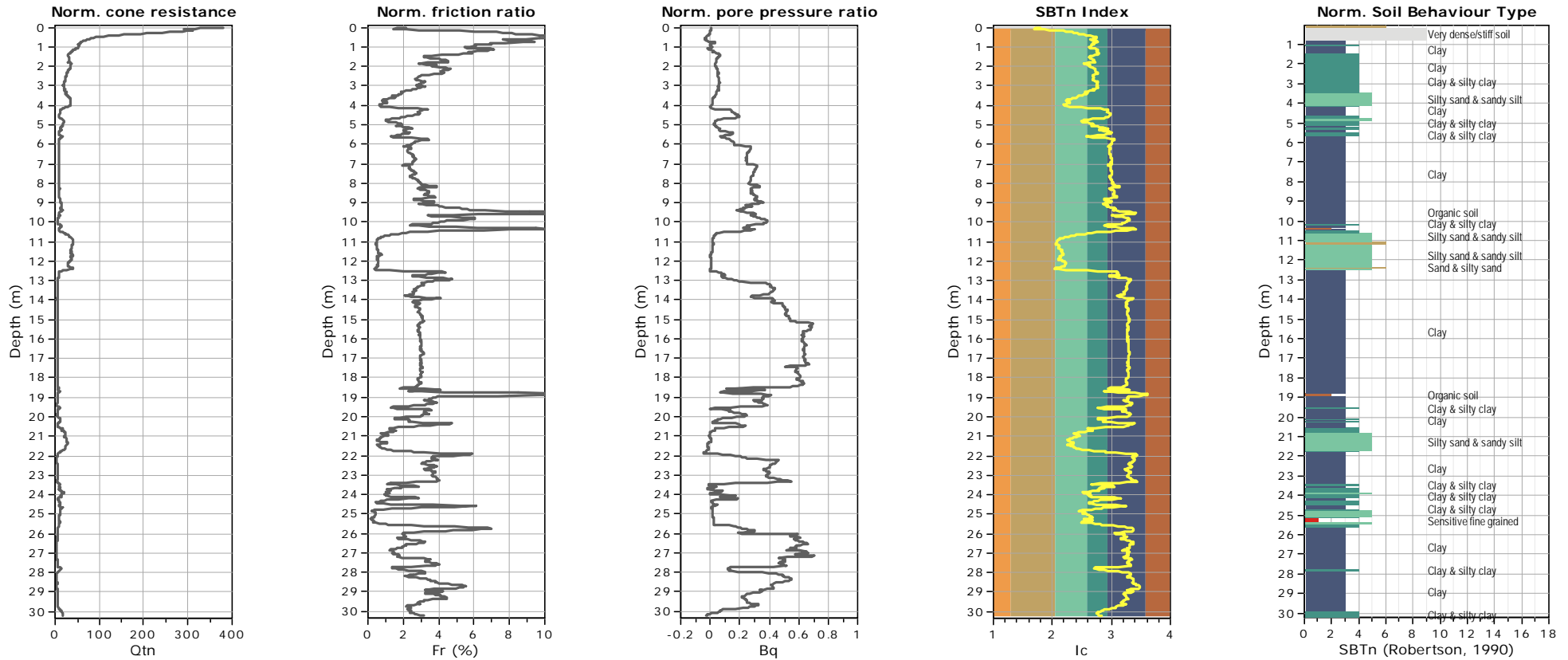






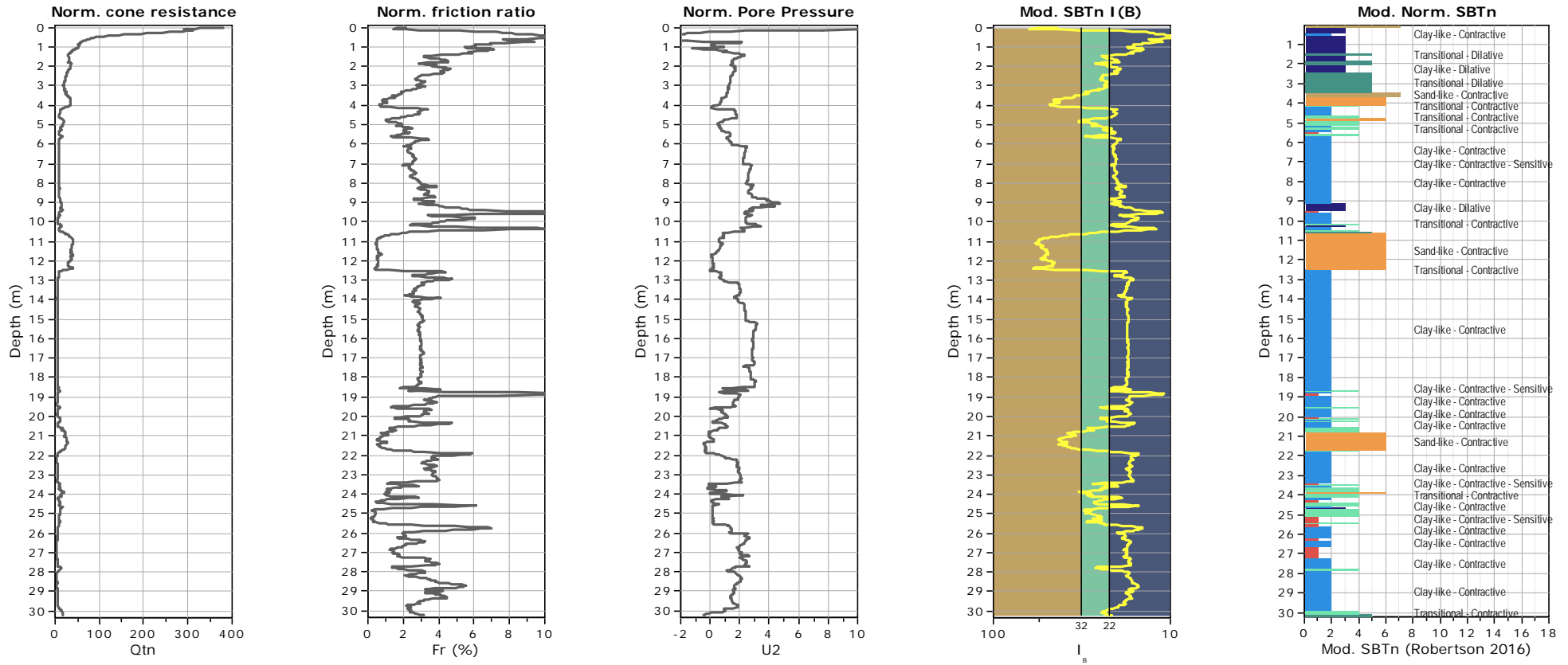
**SBT legend**

- |   |   |   |
|---|---|---|
| <span style="color: red;">■</span> 1. Sensitive fine grained  | <span style="color: teal;">■</span> 4. Clayey silt to silty clay      | <span style="color: orange;">■</span> 7. Gravely sand to sand         |
| <span style="color: brown;">■</span> 2. Organic material      | <span style="color: lightgreen;">■</span> 5. Silty sand to sandy silt | <span style="color: grey;">■</span> 8. Very stiff sand to clayey sand |
| <span style="color: darkblue;">■</span> 3. Clay to silty clay | <span style="color: tan;">■</span> 6. Clean sand to silty sand        | <span style="color: lightgrey;">■</span> 9. Very stiff fine grained   |



**SBTn legend**

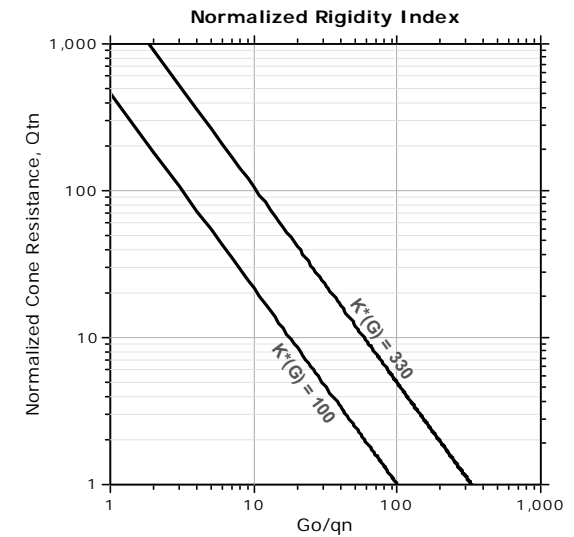
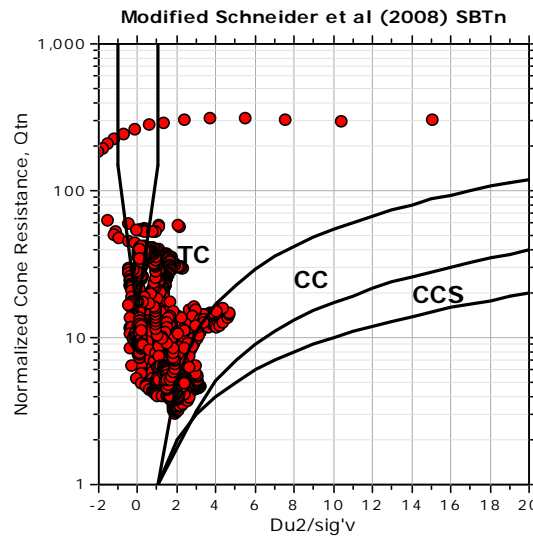
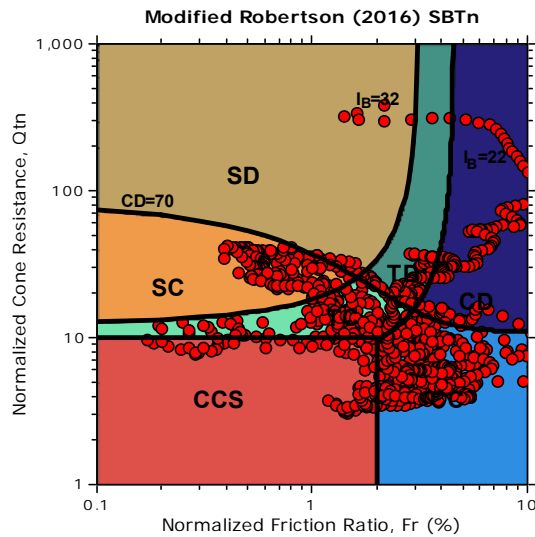
- |  |   |   |
|--|---|---|
| <span style="color: red;">■</span> 1. Sensitive fine grained | <span style="color: teal;">■</span> 4. Clayey silt to silty clay      | <span style="color: orange;">■</span> 7. Gravely sand to sand         |
| <span style="color: brown;">■</span> 2. Organic material     | <span style="color: lightgreen;">■</span> 5. Silty sand to sandy silt | <span style="color: grey;">■</span> 8. Very stiff sand to clayey sand |
| <span style="color: blue;">■</span> 3. Clay to silty clay    | <span style="color: tan;">■</span> 6. Clean sand to silty sand        | <span style="color: lightgrey;">■</span> 9. Very stiff fine grained   |



**Mod. SBTn legend**

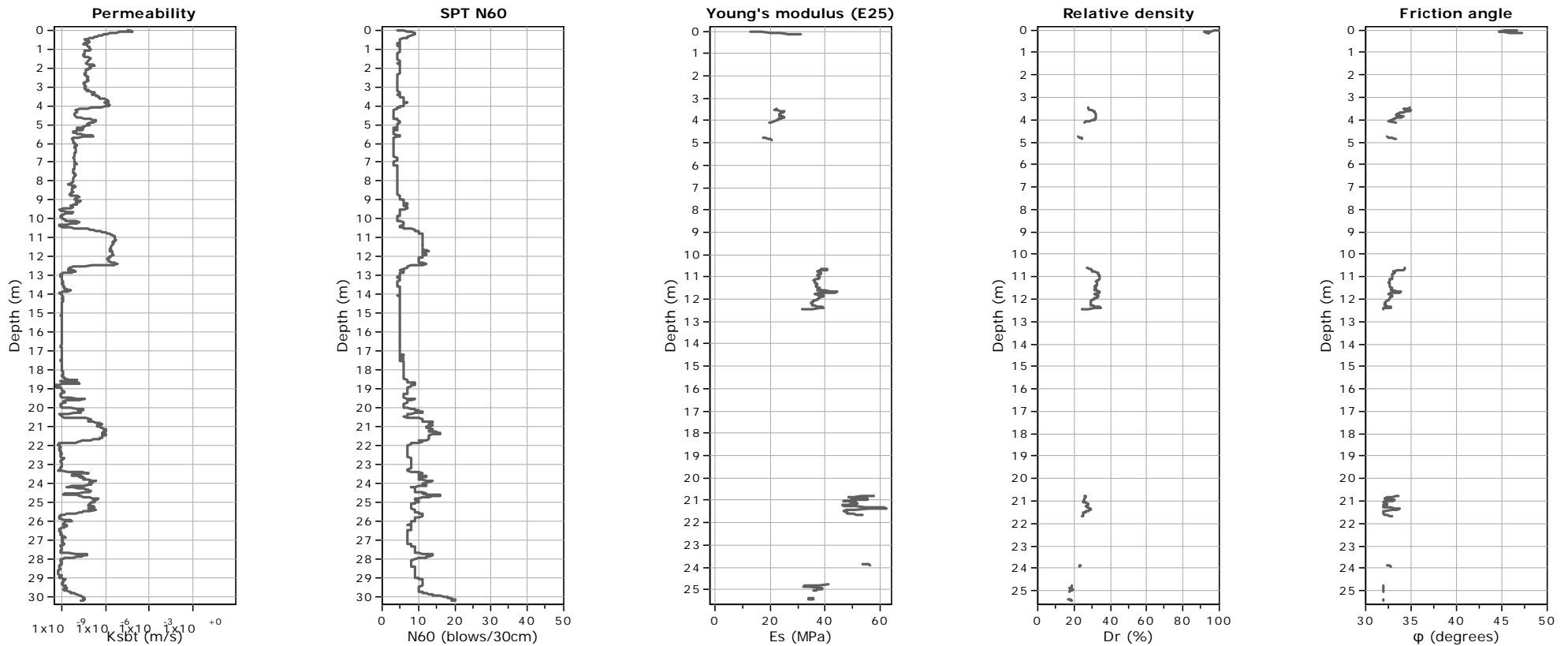
- 1. CCS: ClayLike - Contractive, Sensitive
- 2. CC: Clay-like - Contractive
- 3. CD: Clay-Like: Dilative
- 4. TC: Transitional - Contractive
- 5. TD: Transitional - Dilative
- 6. SC: Sand-like - Contractive
- 7. SD: Sand-like - Dilative

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<sub>n</sub>

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

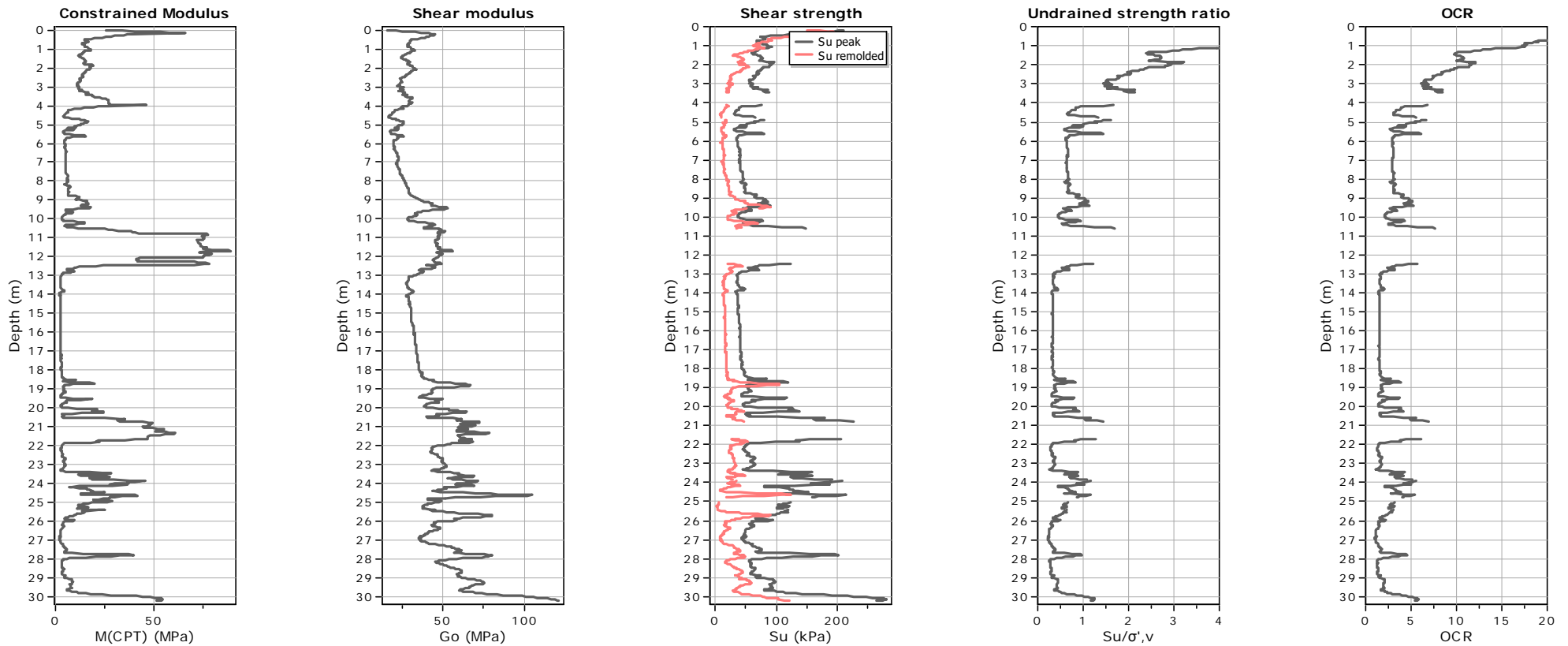
Young's modulus: Based on variable alpha using I<sub>c</sub> (Robertson, 2009)

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* using  $I_c$  and  $Q_m$  (Robertson, 2009)

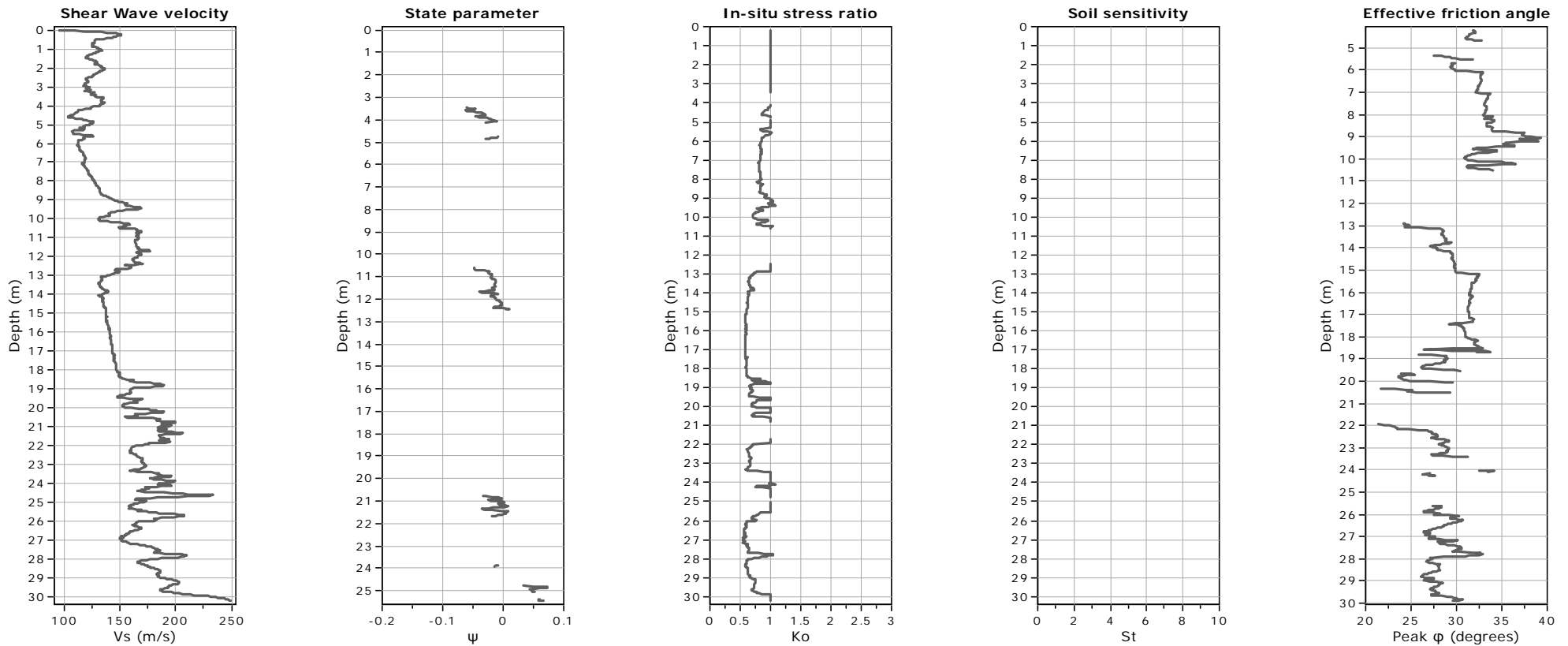
Go: Based on variable *alpha* using  $I_c$  (Robertson, 2009)

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

OCR factor for clays,  $N_{kt}$ : 0.33

● User defined estimation data

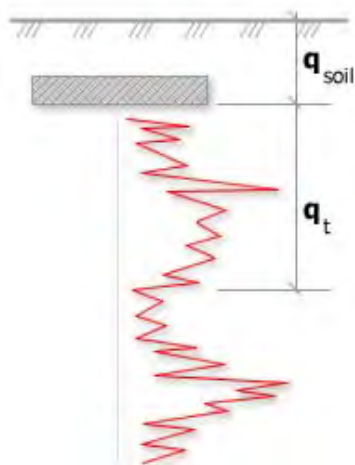
● Flat Dilatometer Test data



Calculation parameters

Soil Sensitivity factor,  $N_s$ : 350.00

—●— User defined estimation data



Bearing Capacity calculation is performed based on the formula:

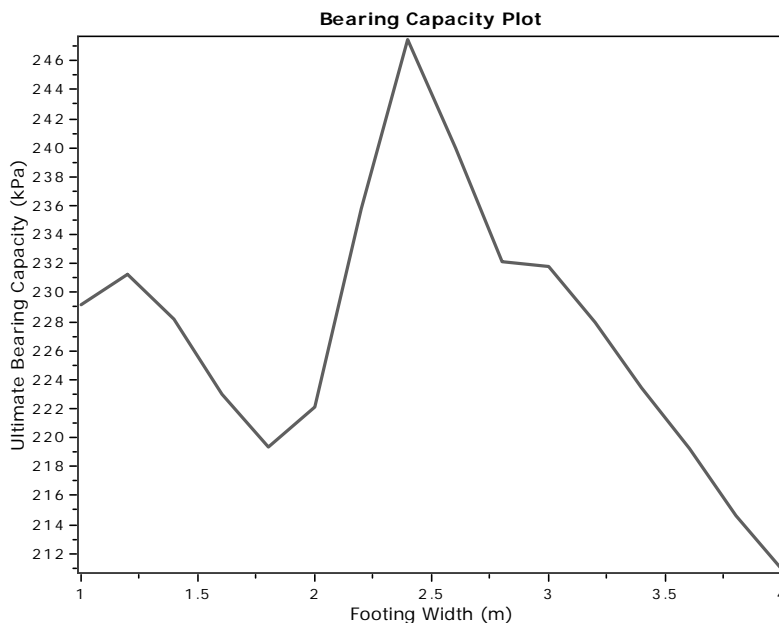
$$Q_{ult} = R_k \times q_t + q_{soil}$$

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/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) ::**

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

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

**:: N<sub>SPT</sub> (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,  $\psi$  ::**

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

**:: Drained Friction Angle,  $\phi$  (°) ::**

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

(applicable only to SBT<sub>n</sub>: 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<sub>n</sub>: 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<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  $I_c > I_{c\_cutoff}$ )

**:: Peak 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)