



## COSTRUZIONE DI NUOVO IMPIANTO SERRICOLO IN AMPLIAMENTO A QUELLO ESISTENTE

LOCALITÀ:	Via Zoffoli
COMUNE	Gambettola (FC)
COMMITTENTE:	Vitroplant Italia SRL

## RELAZIONE GEOLOGICA

Ottobre 2023

IL COMMITTENTE:  
Vitroplant Italia SRL

IL TECNICO:  
Dottore Geologo Bucci Aride



**E**

COMUNE DI GAMBETTOLA  
 Comune di Gambettola

**COPIA CONFORME ALL'ORIGINALE DIGITALE**

Protocollo N.0002507/2024 del 12/02/2024  
 Firmatario: ARIDE BUCCI, pierpaolo turchi

## INDICE

<b>CAP. I. PREMESSA</b>	pag. 2
<b>CAP. II. NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b>	pag. 3
<b>CAP. III. INQUAD.TO GEOGRAFICO CARTOGRAFICO</b>	pag. 4
<b>CAP. IV. MODELLO GEOLOGICO</b>	pag. 6
<b>CAP. V. MODELLO GEOTECNICO</b>	pag. 11
<b>CAP. VI. CONDIZIONE SISMICA LOCALE</b>	pag. 21
<b>CAP. VII. LIQUEFAZIONE</b>	pag. 27
<b>CAP. VIII. CONCLUSIONI</b>	pag. 30

## **PREMESSA**

La Società Vitroplant SRL, mi ha incaricato di redigere il presente elaborato tecnico relativo al progetto per la realizzazione di un nuovo impianto serricolo in Via Zoffoli, Comune di Gambettola (FC).

L' intervento sarà realizzato ai sensi delle normative tecniche vigenti.

E' stato eseguito un rilevamento preliminare atto a delineare le condizioni geomorfologiche e idrogeologiche dell'area.

Le indagini geotecniche sono state programmate in funzione del tipo di intervento, hanno riguardato il volume significativo, ed hanno permesso la definizione del modello geologico di sottosuolo necessario alla progettazione.

Attraverso la modellazione geologica è stato possibile evidenziare eventuali criticità di tipo idrogeologico e geomorfologico derivante dalla realizzazione delle strutture in progetto.

## NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La stesura della seguente relazione è stata compiuta in ottemperanza alle disposizioni contenute nelle normative di riferimento di seguito elencate:

- AGI: raccomandazione sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche, Giugno 1977;
- "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione". D.M. 11 Marzo 1988;
- Istruzioni relative alle "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione". Circ. Min. LL.PP. n° 30483 24 Settembre 1988;
- Eurocodice 7.1 (1997) Progettazione geotecnica – Parte I : Regole Generali . – UNI;
- Eurocodice 8 (1998) Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture. Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003);
- Decreto del presidente della Repubblica 5 giugno 2001, n. 328 pubblicata nella G.U. n. 190 del 17-8-2001- Suppl. Ordinario n.212);
- Eurocodice 7.2 (2002) Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002). UNI;
- Eurocodice 7.3 (2002).Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita con prove in sito(2002). UNI;

- Ordinanza del Dipartimento della Protezione Civile e del Servizio Sismico Nazionale del 20 marzo 2003: “Nuove disposizioni per le costruzioni in zona sismica” pubblicata nella G.U. del 8 maggio 2003;
- Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti: “Norme tecniche per le costruzioni” del 14 settembre 2005 geotecniche;
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007;
- "Nuove Norme tecniche per le costruzioni ". D.M. 14 Gennaio 2008;
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici Istruzioni per l'applicazione delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008. Circolare 2 febbraio 2009;
- "Nuove Norme tecniche per le costruzioni ". 17/01/2018.
- Circolare esplicativa NTC18 del 11/02/2019.

## **INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E CARTOGRAFICO**

L'area in oggetto si sviluppa in ambito di pianura ad un quota altimetrica di 30 m s.l.m. In termini cartografici, il sito è inquadrato nel Foglio 100 in scala 1:100.000 della Carta Geologica d'Italia e nella porzione nord occidentale della sezione n. 255080 della C.T.R. in scala 1:10.000.

Le coordinate geografiche WGS 84 rilevate tramite strumento GPS rendono:

LATITUDINE: 44.11136498

LONGITUDINE: 12.33186220



Fig. 1 – Inquadramento territoriale

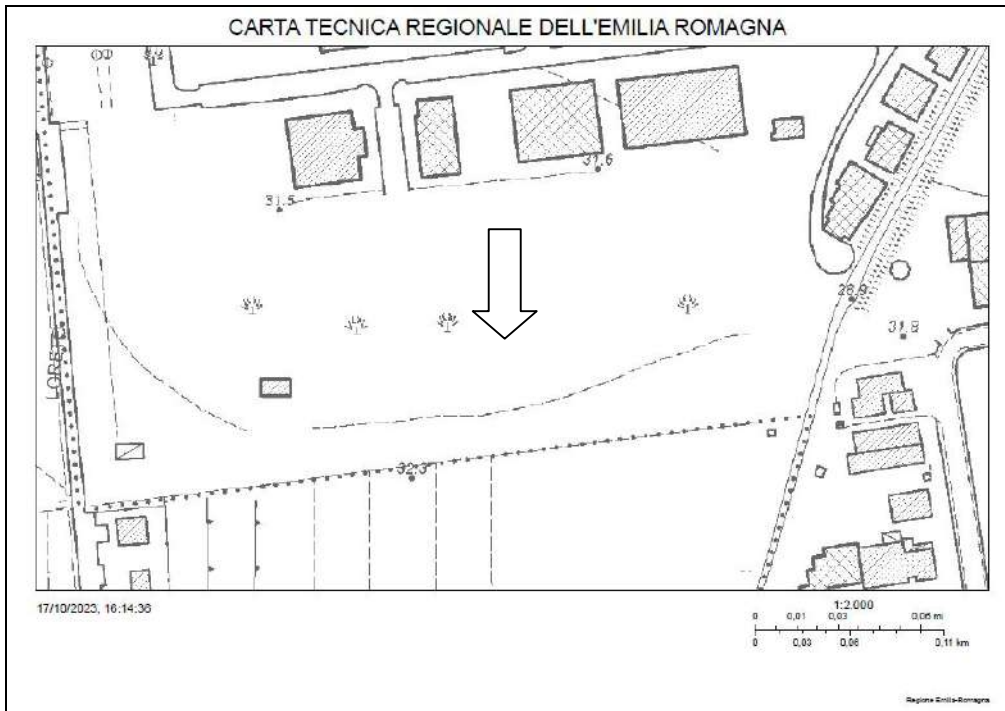


Fig. 2 – Inquadramento cartografico

## **MODELLO GEOLOGICO**

### INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Allo scopo di fornire un inquadramento geologico di dettaglio si descrive la successione quaternaria in cui ricade il sito oggetto di indagine.

Il territorio del Comune di Gambettola è geologicamente caratterizzato da depositi alluvionali quaternari di tipo continentale, costituiti da alternanza di terreni argillosi, argilloso sabbiosi e sabbiosi, dovuti principalmente dall'attività sedimentaria del Rigossa e dei suoi affluenti minori.

Lo spessore complessivo di questi sedimenti alluvionali varia tra i 5 – 6 metri e i 12-13 metri; nel Rigossa i sedimenti sabbiosi sono praticamente in affioramento nella maggior parte del territorio.

Al di sotto dei depositi quaternari, la struttura del sottosuolo definita con un certo dettaglio solo “recentemente”, grazie ai dati ottenuti con le ricerche petrolifere eseguite dall'AGIP, e pubblicate nei lavori di Pieri e Groppi (1981), Dondi (1985), mostra l'immagine di una “catena montuosa in evoluzione, sommersa dai depositi alluvionali”.

La porzione più esterna di questa catena sepolta, rappresenta una sequela di grandi pieghe fagliate, tettonicamente attive fin quasi all'attualità (Pleistocene).

In questo quadro dinamico il territorio del comune di Gambettola, è interessato dalla facies strutturale più esterna alla catena: "pieghe adriatiche", la cui attività è iniziata probabilmente già prima del Pliocene (5 milioni di anni fa) ed è proseguita per quasi tutto il Pliocene superiore, accavallando unità geologiche più antiche (mioceniche ed anche mesozoiche) su termini più giovani (pliocene inferiore e medio).

Questo andamento ad archi di pieghe del “fronte sepolto” dell'Appennino, di messa in posto sempre più recente man mano ci si porti sulle aree più esterne, è, con probabilità, da correlarsi al movimento di rotazione dell'Appennino in senso antiorario che ha

generato i raccorciamenti crostali e probabilmente è il responsabile della tettonica attuale con la conseguente attività sismica.

### GEOMORFOLOGIA

Dal punto di vista morfologico l'area è inserita nel contesto pianeggiante di piana alluvionale.

La morfologia della pianura alluvionale è piuttosto monotona, salvo che in corrispondenza delle principali incisioni fluviali e gli impatti antropici costituiti da opere di mitigazione idraulica e infrastrutture viarie.

Il paesaggio è caratterizzato da una serie ininterrotta di terreni adibiti ad attività agricolturale intensiva e da centri abitati e strade.

Si possono anche distinguere aree consorziali di tutela dalle canalizzazioni di bonifica e delle arginature.

Gli studi eseguiti per la redazione della Cartografia Tecnica Regionale hanno definito l'incidenza d'acclività nel territorio comunale di cui viene mostrata la tabella.

CLASSE DI ACCLIVITÀ	AREA	
	Kmq	%
Pendenze 0,2-5 %	0,7	10
Pendenze < 0,2%	7,0	90

### CONDIZIONE IDROLOGICA E IDROGEOLOGICA

L'idrografia superficiale del territorio di Gambettola è caratterizzata essenzialmente dal passaggio dello Scolo Rigossa il cui bacino imbrifero ha la dimensione di circa 17 kmq; la portata modesta di questo corso d'acqua assume importanti regimi idraulici durante i cicli invernali; il Rigossa si collega a Nord con il Torrente Pisciatello per poi sfociare all'altezza di Cesenatico.

Le arginature di questo corso d'acqua a luoghi raggiungono i 3 – 4 metri di altezza posizionandosi in livello pensile rispetto alla topografia circostante.

Oltre allo Scolo Rigossa, il territorio è attraversato da collettori idrici minori: Rio Rigoncello, Scolo Fossatone, Rio Baldone, Torrente Gambettole e Grillo Talpa.

Nel territorio l'idrogeologia è costituita da un sistema di falde multistrato tipico del territorio emiliano romagnolo, alimentato dai rilievi appenninici.

In superficie, la falda è alimentata dalle acque di precipitazione scese verticalmente nel sottosuolo e separata dalle sottostanti acque artesiane da una potente coltre di sedimenti semi impermeabili. Queste acque in condizioni di massimo ravvenamento si trovano a meno di 2 metri nel sottosuolo, ma spesso come nel presente caso risalgono anche a meno di un metro di profondità.

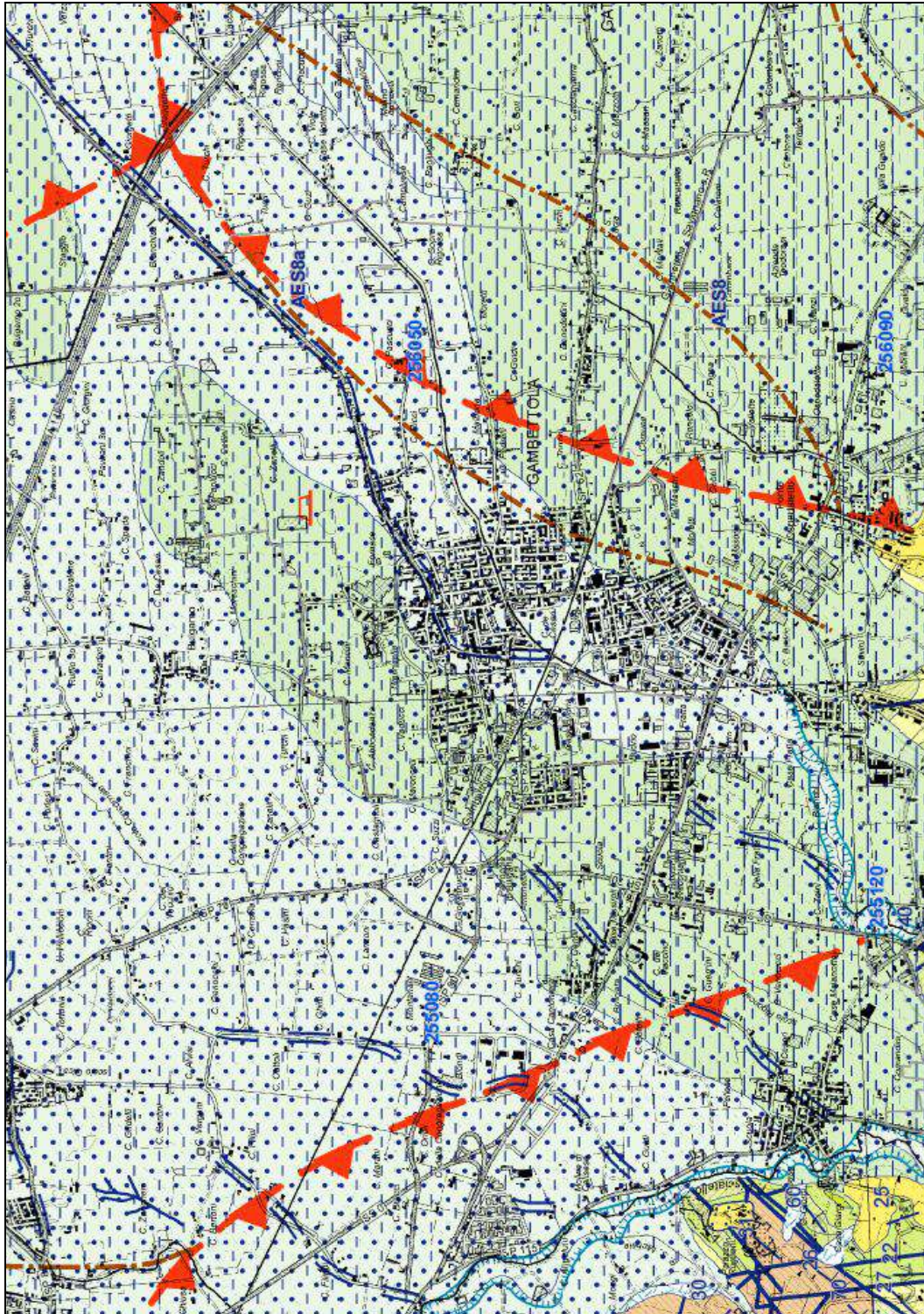
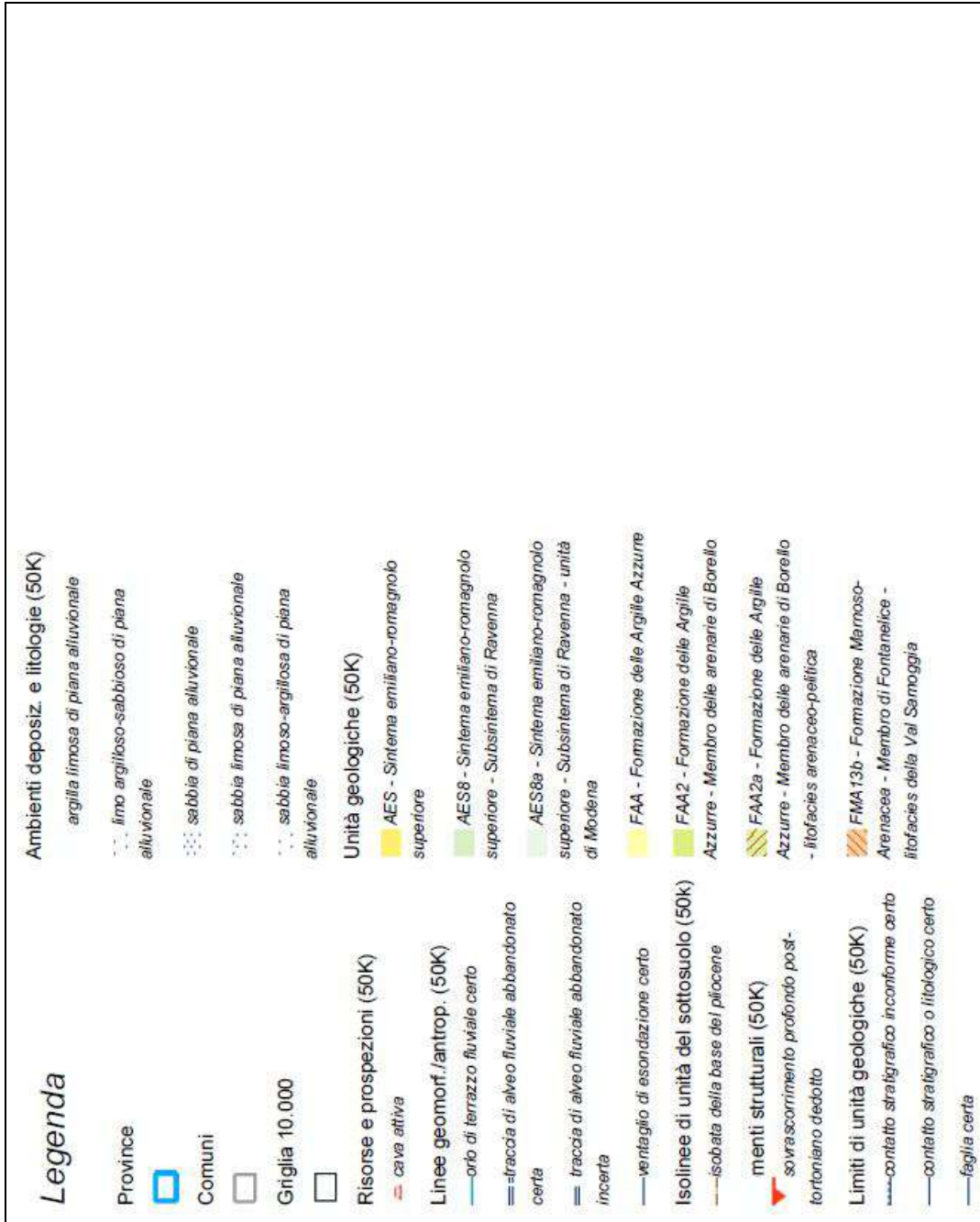


Fig. 3 – Stralcio Carta Geologica dell'ER



## MODELLO GEOTECNICO

### STRATIGRAFIA DEL SOTTOSUOLO

La caratterizzazione litostratigrafica e geotecnica dei terreni indagati è stata determinata attraverso la realizzazione di n. 2 prove penetrometriche statiche elettriche CPTe eseguite con penetrometro PAGANI TG-63 200, ubicate come da planimetria allegata e spinte alla profondità massima di 7 m dal piano campagna.

<b>STRATIGRAFIA CPTe1</b>		
STRATO 1	p.c a – 6,00 m	argille e limi argilloso sabbiosi

Livello **falda** superficiale riscontrata a **-2,20 m** dal p.c.

<b>STRATIGRAFIA CPTe2</b>		
STRATO 1	p.c a – 5,30 m	argille e limi argilloso sabbiosi
STRATO 2	- 5,30 m a – 7,00 m	argille e limi sabbiosi

Livello **falda** superficiale riscontrata a **-2,00 m** dal p.c.

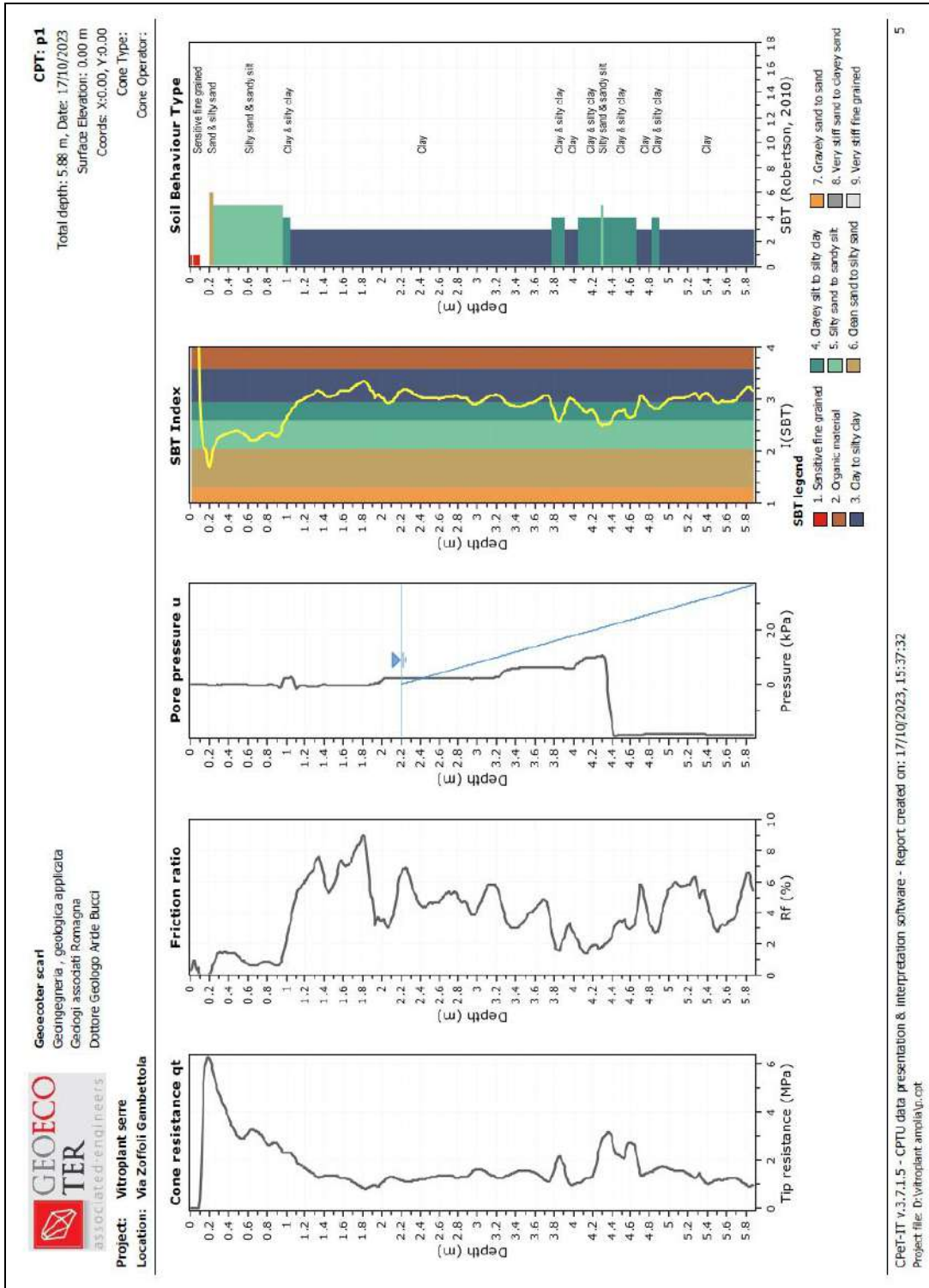


Fig. 5 – Log Stratigrafico CPTe1

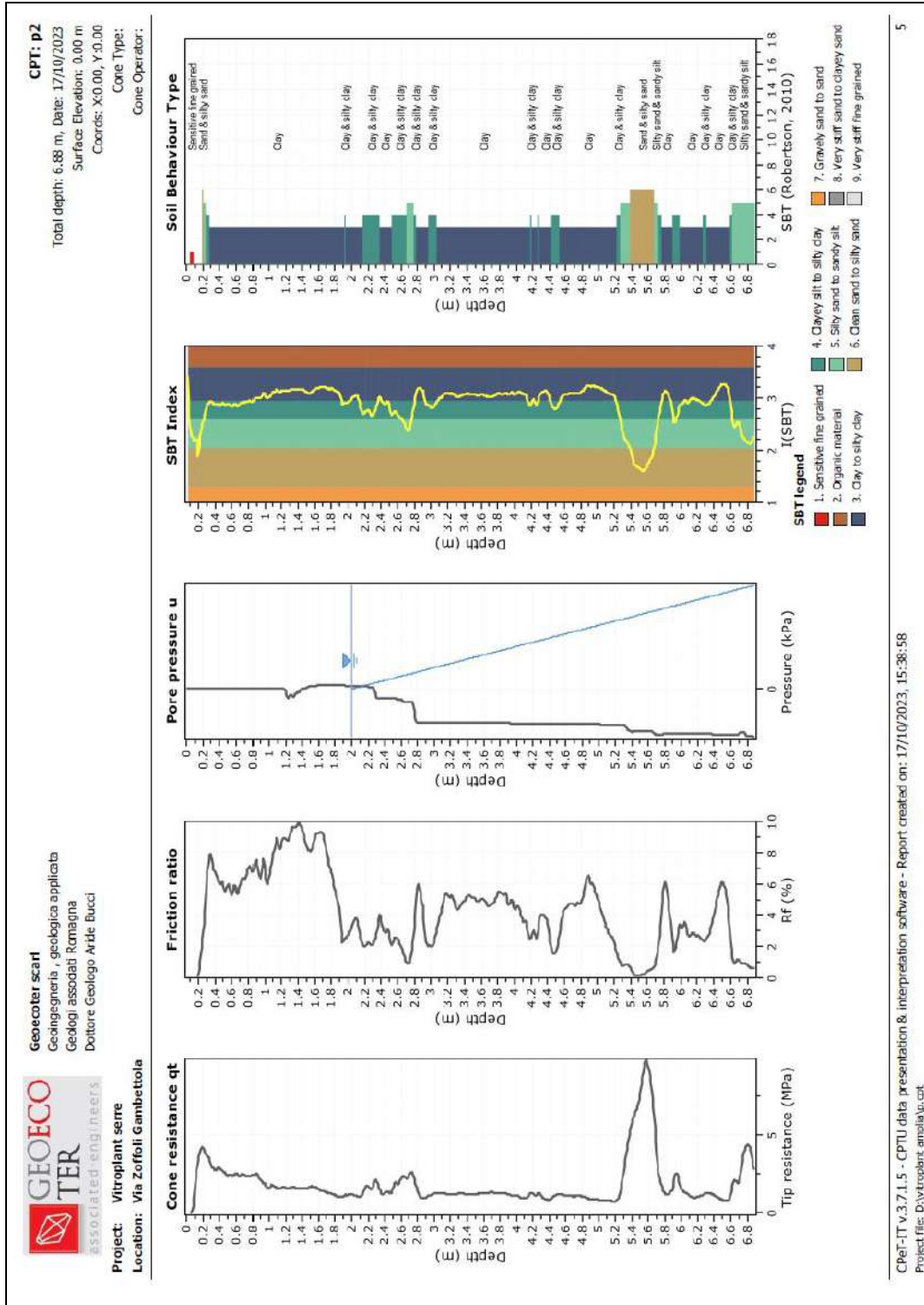


Fig. 6 – Log Stratigrafico CPTe2

### PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI

Si indicano in seguito i valori dei parametri geotecnici caratteristici dei terreni ottenuti grazie alla realizzazione delle prove penetrometriche CPTe e grazie ai numerosi dati presenti in bibliografia tecnica inerente le litologie affioranti.

<b>Legenda</b>	
<b>Nr:</b>	<b>Numero progressivo strato</b>
<b>Prof:</b>	<b>Profondità strato (m)</b>
<b>Tipo:</b>	<b>C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente</b>
<b>Cu:</b>	<b>Coesione non drenata (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>C':</b>	<b>Coesione efficace (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>Mo:</b>	<b>Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>K:</b>	<b>Costante di winkler</b>
<b>Puv:</b>	<b>Peso unità di volume (t/m<sup>3</sup>)</b>
<b>PuvS:</b>	<b>Peso unità di volume saturo (t/m<sup>3</sup>)</b>
<b>Fi:</b>	<b>Angolo di resistenza al taglio (°)</b>
<b>Dr</b>	<b>Densità relativa (%)</b>

<b>Nr.</b>	<b>Prof.</b>	<b>Tipo</b>	<b>Cu</b>	<b>c'</b>	<b>Mo</b>	<b>K</b>	<b>Puv</b>	<b>PuvS</b>	<b>Fi</b>	<b>Dr</b>
1		C	0.80	0.05	50		1.80	1.90	18°	
2		C	1.30	0.07	70		1.85	1.95	20/22°	

### INDICAZIONI PROGETTUALI

La scelta del tipo di fondazione, il suo dimensionamento e le verifiche geotecniche, secondo quanto definito nelle NTC18, sono prerogativa del progettista.

Il progetto prevede la realizzazione di un nuovo impianto serricolo come indicato nella planimetria generale.

Saranno realizzate n. 3 nuove serre per una superficie complessiva coperta pari a circa 6200 mq, un lago di accumulo acque piovane ed una vasca di laminazione come previsto dal dispositivo tecnico normativo.

Oltre alla nuova infrastruttura saranno realizzati due piccoli manufatti delle dimensioni 8 \*20 m , adibito a servizi e 6\*10 adibito a locali tecnici.

Per le condizioni stratigrafiche riscontrate si consiglia di dotare in manufatti di fondazioni superficiali tipo platea poste a contatto con lo STRATO 1 ad una profondità di – 0.70 m dall'attuale piano campagna e di preparare il sistema terreno struttura secondo i punti sottoesposti:

- Scavo e asporto del terreno superficiale o di riporto per uno spessore idoneo al raggiungimento dello strato argilloso inorganico,
- Posa in opera di uno spessore idoneo di materiale di cava lavata pezzatura 40/70 mm compattato alla massima densità con rullo meccanico vibro compattatore di medie dimensioni ovvero misto stabilizzato naturale, 20/40 mm, di prima scelta o seconda scelta tipo macinato di cls,
- Posa in opera di una soletta di calcestruzzo magro “magrone” ovvero realizzato con quantitativi ridotti di cemento (meno di 150kg/m<sup>3</sup>), e una curva granulometrica degli inerti a dimensione abbastanza grossa,
- Posa in opera della fondazione,



Fig. 7 – Planimetria generale nuovo impianto serricolo

Per fondazioni superficiali la capacità portante limite può essere determinata dalla relazione di Brich Hansen che in generale è espressa dalla seguente pressione di contatto limite critica  $P_{crit}$ :

$$P_{crit} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot g_c \cdot b_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot g_q \cdot b_q + 0,5 \cdot B \cdot \gamma \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot g_\gamma \cdot b_\gamma$$

Peso specifico del terreno sotto il piano di posa = kg/mc 1900.00

Il calcolo sarà eseguito secondo l'approccio n. 2.

Coefficiente parziale per angolo resistenza a taglio: 1

Coefficiente parziale per coesione: 1

Coefficiente parziale per resistenza non drenata: 1

Coefficiente parziale per capacità portante: 2.3

Nuovo angolo di attrito: 17

Nuova coesione: 500.00

Larghezza fondazione: 6.00

Lunghezza fondazione: 10.00

Profondità di posa: 0.70

Falda: -2.00

Fattori di capacità portante:

$$N_g = 4.07$$

$$N_c = 13.10$$

$$N_q = 5.26$$

Fattori di forma:

$$S_g = 0.76$$

$$S_c = 1.24$$

$$S_q = 1.19$$

Fattori di inclinazione carico:

$$I_g = 1.00$$

$$I_c = 1.00$$

$$I_q = 1.00$$

Fattori di inclinazione fondazione:

$$B_g = 1.00$$

$$B_c = 1.00$$

$$B_q = 1.00$$

Fattori di inclinazione piano di campagna:

$$G_g = 1.00$$

$$G_c = 1.00$$

$$G_q = 1.00$$

Fattori di profondità piano di posa:

$$D_c = 1.03$$

$$D_q = 1.03$$

Indice di rigidezza  $I_r = 81.061$

Indice di rigidezza critico  $I_{rc} = 32.372$

Essendo  $I_r > I_{rc}$  vale l'ipotesi di terreno incompressibile

I fattori correttivi di compressibilità sono unitari.

Capacità portante limite ultima = kg/mq 19600.308

Capacità portante limite ultima = kg/cmq 1.960

Resistenza di calcolo del terreno = kg/cmq 0.85

VERIFICA SECONDO LE NTC DM 17-01-2018 – CONDIZIONI CONSOLIDATE  
DRENATE CD

Le verifiche Geotecniche agli stati limite ultimi SLU devono soddisfare la relazione

$$R_d > E_d$$

**Fondazione diretta – Platea.**

APPROCCIO 1 COMBINAZIONE 1 (STR) – A1 + M1 + R1

APPROCCIO 2 COMBINAZIONE 1 (STR) – A1 + M1 + R3

$$- \mathbf{Rd1-1} = P_{crit} / \gamma_r1 = 1,952 / 1 = 1,952 \text{ kg/cmq}$$

$$R3 = R1 = \gamma_r = 1$$

APPROCCIO 2 COMBINAZIONE 1 (GEO) – A1 + M1 + R3

$$\mathbf{Rd2-1} = P_{crit} / \gamma_r3 = 1,952 / 2,3 = 0,85 \text{ kg/cmq}$$

Per il calcolo della resistenza di progetto in condizioni non drenate di seguito è ipotizzata la capacità portante dei terreni si è utilizzata sempre attraverso la formulazione di Brinch Hansen la coesione non drenata dello strato 1 con angolo di attrito efficace pari a zero.

Peso specifico del terreno sotto il piano di posa = kg/mc 1900.00

Il calcolo sarà eseguito secondo l'approccio n. 2.

Coefficiente parziale per angolo resistenza a taglio: 1

Coefficiente parziale per coesione: 1

Coefficiente parziale per resistenza non drenata: 1

Coefficiente parziale per capacità portante: 2.3

Nuovo angolo di attrito:

Nuova coesione: 8000.00

Fattori di forma:

$S_g = 0.76$

$S_c = 1.12$

Fattore di inclinazione carico  $I_c = 1.00$

Fattore di inclinazione fondazione  $B_c = 1.00$

Fattore di inclinazione piano di campagna  $G_c = 1.00$

Fattore di profondità piano di posa  $D_c = 1.02$

Capacità portante limite ultima = kg/mq 47440.019

Capacità portante limite ultima = kg/cmq 4.744

Resistenza di calcolo del terreno = kg/cmq 2.06

VERIFICA SECONDO LE NTC DM 17-01-2018 - CONDIZIONI NON DRENATE  
CU

Le verifiche Geotecniche agli stati limite ultimi SLU devono soddisfare la relazione

$R_d > E_d$
-------------

**Fondazione diretta – platea.**

APPROCCIO 1 COMBINAZIONE 1 (STR) – A1 + M1 + R1

APPROCCIO 2 COMBINAZIONE 1 (STR) – A1 + M1 + R3

$$- \mathbf{Rd1-1} = P_{crit} / \gamma_r1 = 4,744 / 1 = 4,744 \text{ kg/cmq}$$

$$R3 = R1 = \gamma_r = 1$$

APPROCCIO 2 COMBINAZIONE 1 (GEO) – A1 + M1 + R3

$$\mathbf{Rd2-1} = P_{crit} / \gamma_r3 = 4,744 / 2,3 = 2,06 \text{ kg/cmq}$$

## CONDIZIONE SISMICA LOCALE

In base alle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, nella fattispecie il recente D.M. del 17/01/2018, la definizione dell'azione sismica fa riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di Categorie di sottosuolo e Condizioni Topografiche.

### CATEGORIE DI SOTTOSUOLO

**A** - *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di  $V_{s,30}$  superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.*

**B** - *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s*

**C** - *Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s*

**D** - Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  tra 100 e 180 m/s

**E** - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D con profondità del substrato non superiore a 30 m.

### **CONDIZIONI TOPOGRAFICHE**

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre di specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare invece la seguente classificazione:

**T1** - Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ .

**T2** - Pendii con inclinazione media  $i > 15^\circ$ .

**T3** - Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media  $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$ .

**T4** - Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media  $i > 30^\circ$ .

Nel caso in oggetto la categoria di sottosuolo è stata rilevata attraverso la realizzazione di una analisi sismica passiva a stazione singola HVSR che ha restituito una  $v_{seq} = 210$  m/s a cui viene fatta corrispondere categoria C.

Per quanto concerne la condizione topografica invece, l'area investigata si sviluppa in ambito di pianura rispecchiando il caso T1.

I coefficienti sismici necessari per le verifiche strutturali di progettazione sono invece ricavati dalle tabelle inserite nelle paragrafo 7.11.3.5.2 delle NTC del D.M. 14.01.2008 e confermate nelle NTC del 17/01/2018.

Innanzitutto occorre inquadrare l'area in esame sul Reticolo Geografico Nazionale in termini di Longitudine e Latitudine. Il sito oggetto del presente studio ricade nel Comune di Gambettola, avente nel dettaglio come Coordinate Geografiche WGS84:

LATITUDINE: 44.11136498

LONGITUDINE: 12.33186220

Ipotizzando un'Opera Ordinaria con "vita nominale maggiore uguale di 50 anni", Classe d'uso I – "Edifici Ordinari ed industrie non pericolose, ponti secondari..." e in condizioni di Stato Limite SLV "a Salvaguardia della Vita" e per un Tempo di Ritorno  $T_r = 332$  anni, i parametri di Pericolosità Sismica sono secondo, il Software EDILUS MS di ACCA softwares:

Parametri di pericolosità Sismica				
Stato Limite	$T_r$ [anni]	$a_g/g[-]$	$F_o[-]$	$T^*_c[s]$
Operatività	30	0.056	2.450	0.270
Danno	35	0.060	2.450	0.274
Salvaguardia Vita	332	0.164	2.428	0.307
Prevenzione Collasso	682	0.217	2.445	0.313

## INDAGINE HVSR VITROPLANT,

Instrument: TRZ-0194/01-12

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: n.a.

Start recording: 17/10/23 08:15:18 End recording: 17/10/23 08:27:18

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h12'00". Analysis performed on the entire trace.

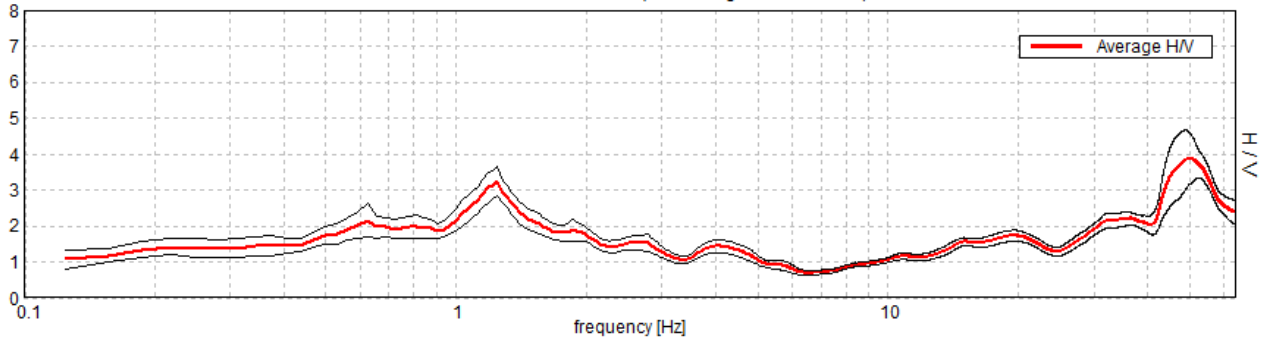
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

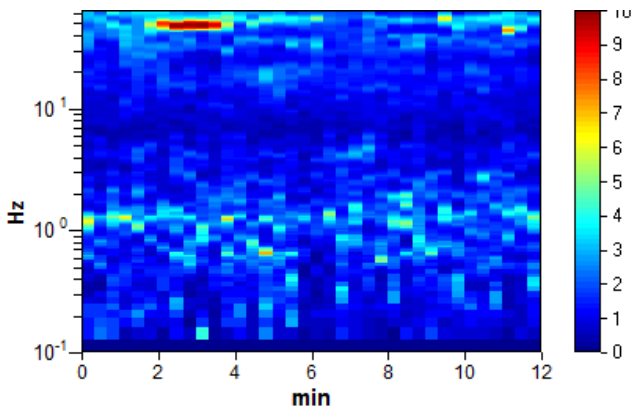
Smoothing type: Triangular window  
Smoothing: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

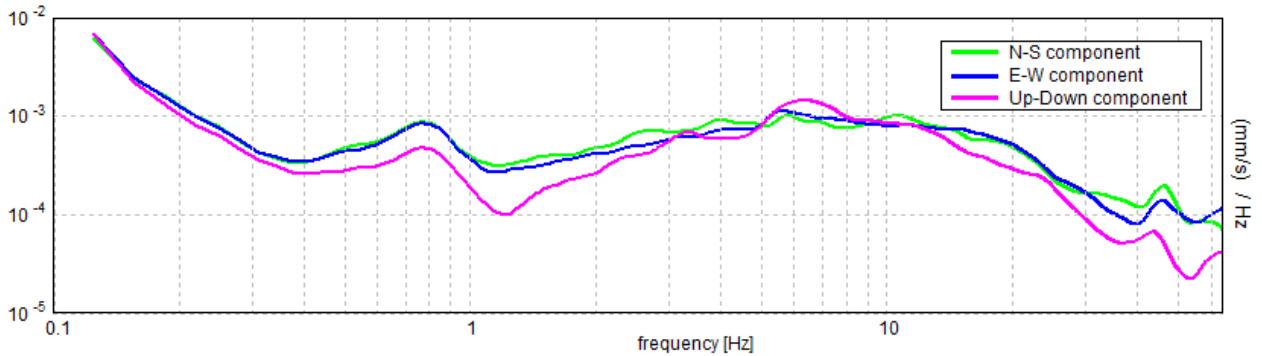
Max. H/V at  $49.69 \pm 21.4$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



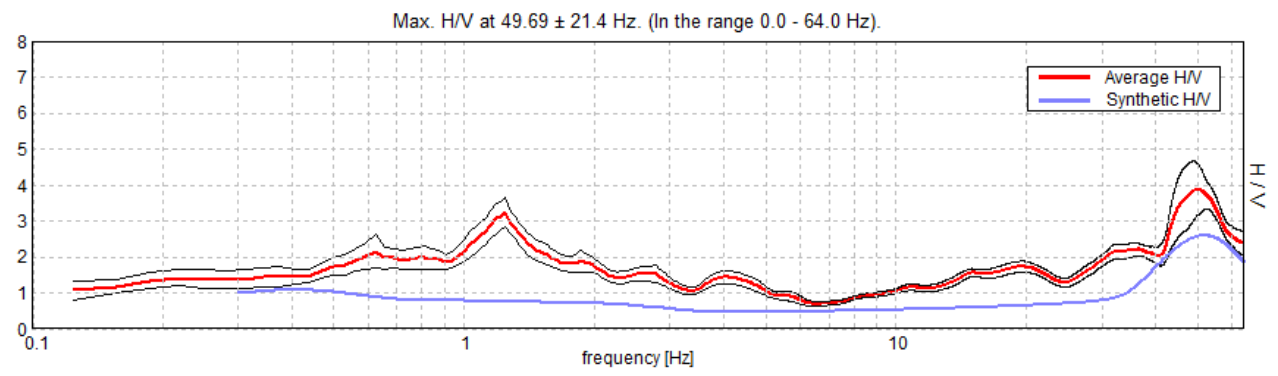
### H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA

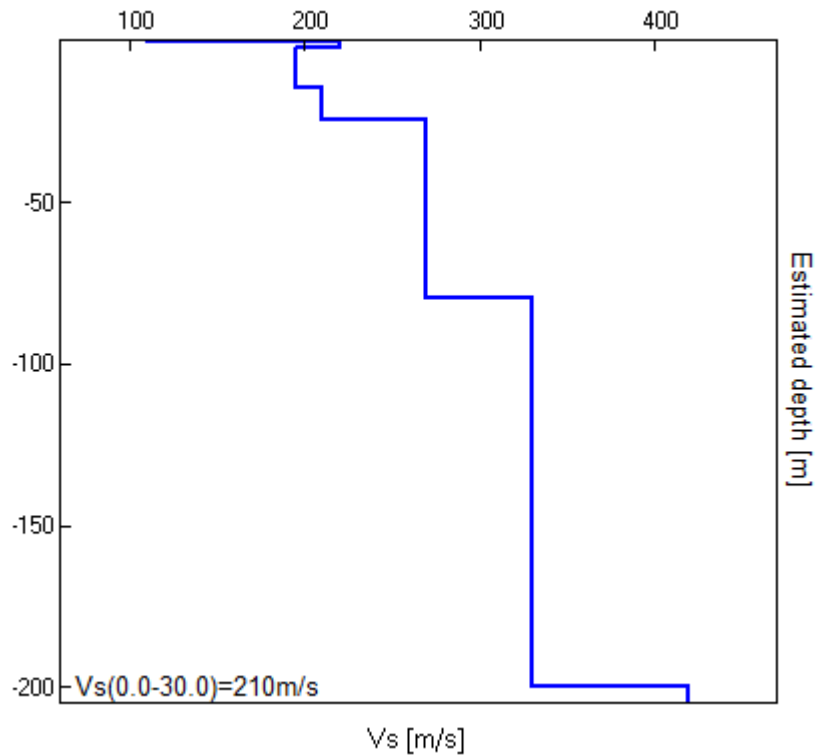


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.50	0.50	110	0.42
2.50	2.00	220	0.42
14.50	12.00	195	0.42
24.50	10.00	210	0.42
79.50	55.00	270	0.42
199.50	120.00	330	0.42
inf.	inf.	420	0.42

Vs(0.0-30.0)=210m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.**]

**Max. H/V at 49.69 ± 21.4 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteria for a reliable H/V curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	49.69 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	35775.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1254 times	OK	

**Criteria for a clear H/V peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^*$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^*) < A_0 / 2$	30.313 Hz	OK	
---	-----------	----	--

<b>Exists <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>					
<b><math>A_0 &gt; 2</math></b>		3.88 > 2		<b>OK</b>	<b>NO</b>
<b><math>f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%</math></b>		0.43077  < 0.05			<b>NO</b>
<b><math>\sigma_f &lt; \varepsilon(f_0)</math></b>		21.40377 < 2.48438			<b>NO</b>
<b><math>\sigma_A(f_0) &lt; \theta(f_0)</math></b>		0.7465 < 1.58		<b>OK</b>	
$L_w$	window length				
$n_w$	number of windows used in the analysis				
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles				
$f$	current frequency				
$f_0$	H/V peak frequency				
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency				
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$				
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$				
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$				
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$				
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$				
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided				
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve				
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$				
Threshold values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

## VERIFICA LIQUEFAZIONE

Con il termine liquefazione si intende la perdita di resistenza al taglio di un mezzo granulare sotto falda determinata da un aumento della pressione dell'acqua nei pori. Tale incremento può essere dovuto da varie cause, il D.M. del 17/01/2018, contiene al punto 7.11.3.4.2 le linee guida per valutare la suscettibilità alla liquefazione dei terreni.

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $qc_{1N} > 180$  dove  $(N1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $qc_{1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

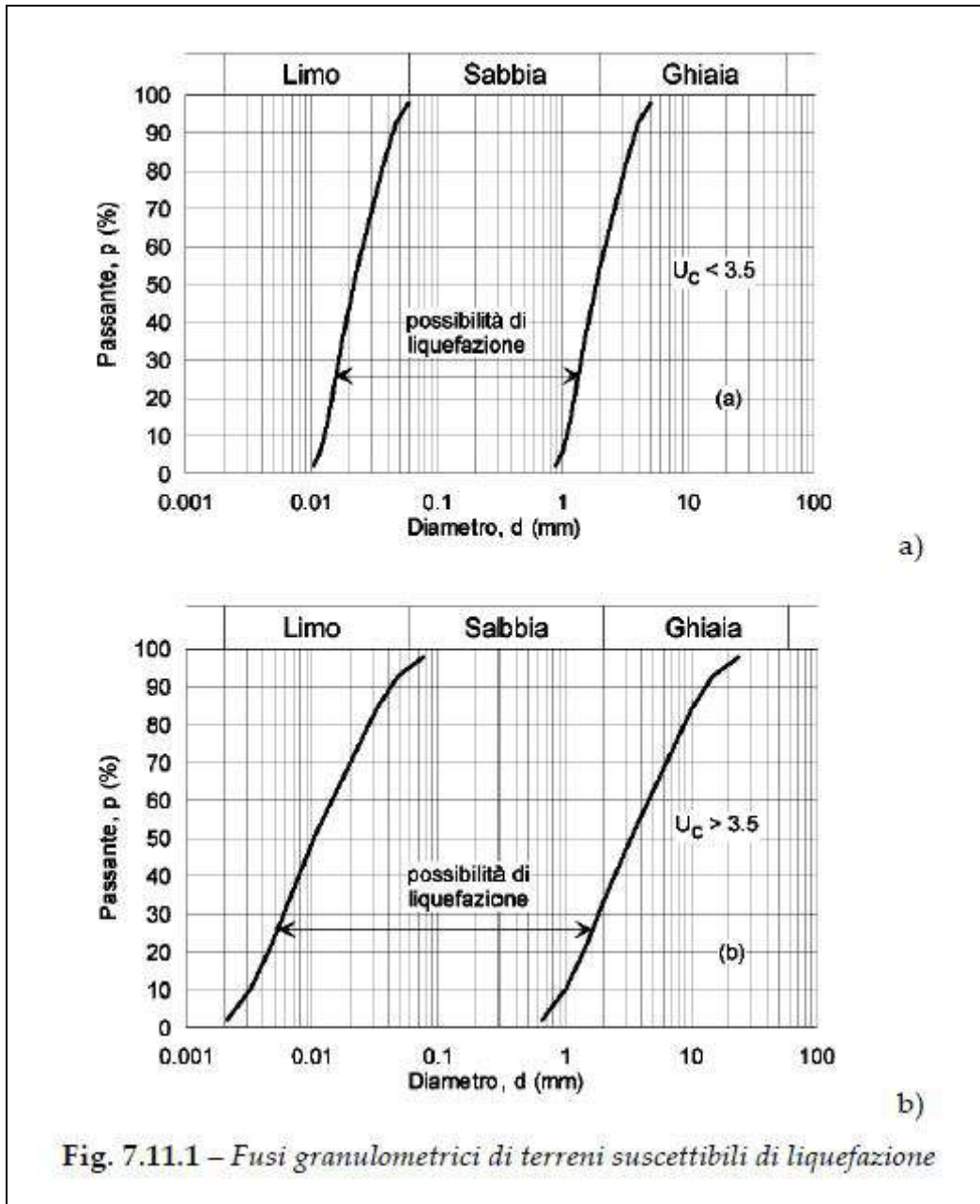


Fig. 7.11.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

Nello studio in oggetto può essere utilizzata la procedura semplificata essendo le circostanze all'interno del perimetro dei punti sovraesposti, essendo la granulometria al di fuori delle fasce granulometriche critiche suscettibili di liquefazione, pertanto il presente caso risulta rientrante nei casi non liquefacibili.

## CONCLUSIONI

Lo studio geologico, ottenuto con il supporto di n. 2 prove penetrometriche statiche elettriche CPTe ed una analisi sismica passiva a stazione singola HVSR, ha permesso la definizione del modello geologico e del modello geofisico del sito.

I risultati dello studio escludono problematiche di tipo idrogeologico e geomorfologico.

Secondo quanto prescritto nella normativa in materia sismica NTC18, si sono analizzate le condizioni sismiche del sito, attraverso l'esecuzione di una prova sismica passiva a stazione singola, il quale è risultato appartenente alla categoria di sottosuolo C, mentre la condizione topografica rispecchia il caso T1.

Per la tipologia di intervento e le caratteristiche geotecniche dei terreni indagati si ritiene sufficiente l'utilizzo di fondazioni superficiali come indicato nel modello geotecnico.

Il volume di terreno considerato è risultato dall'analisi non liquefacibile.

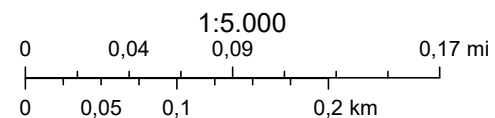
Secondo quanto esposto si fornisce parere geologico favorevole sulla fattibilità degli interventi.

Qualora durante i lavori di scavo delle fondazioni emergessero situazioni non previste nel presente elaborato, occorrerà avvisare lo scrivente, il quale a seguito di ispezione visiva, deciderà sugli eventuali interventi da eseguire, si consiglia comunque la presenza del geologo in cantiere.

# CARTA GEOLOGICA DELL'EMILIA ROMAGNA



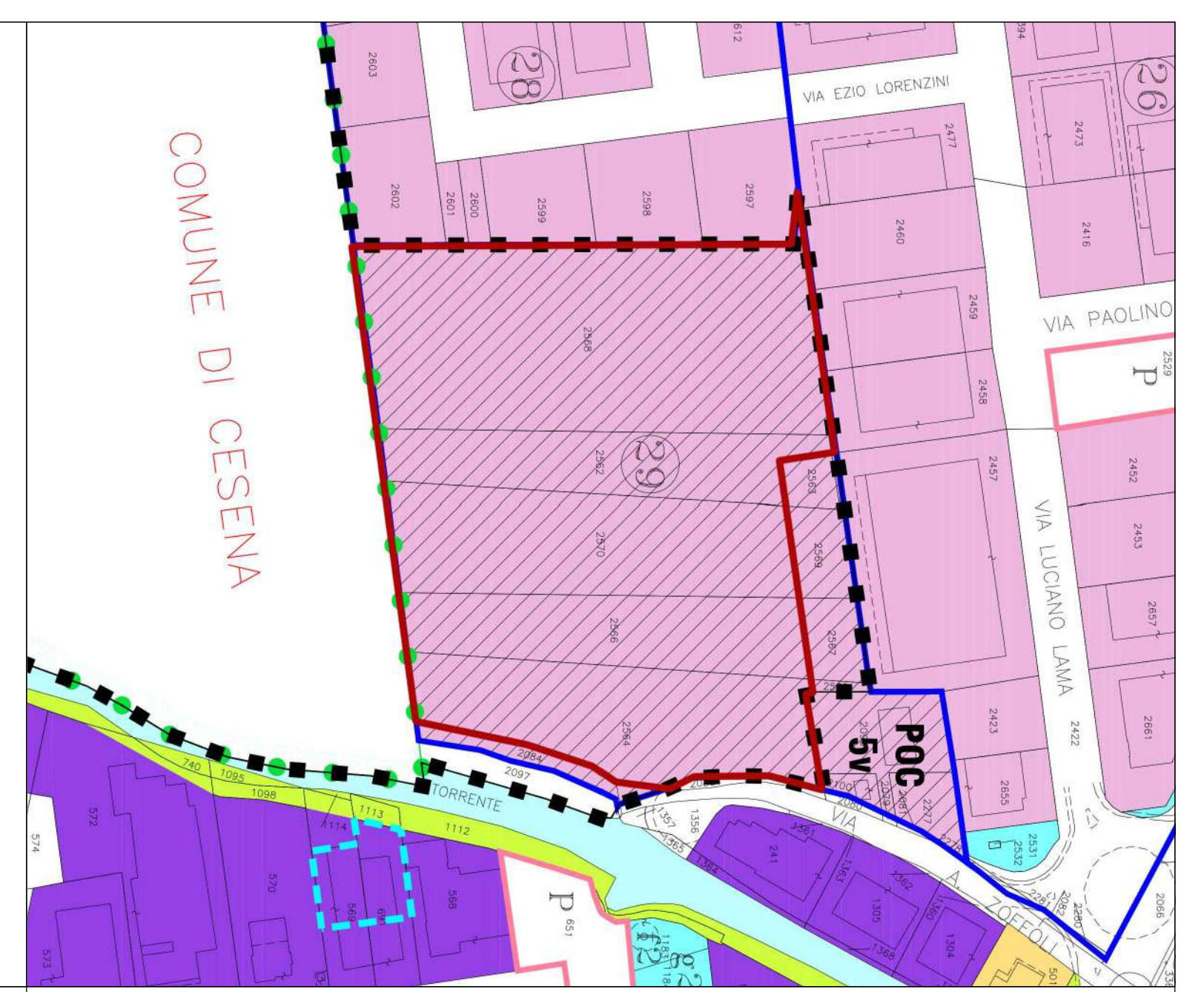
17/10/2023, 16:11:28



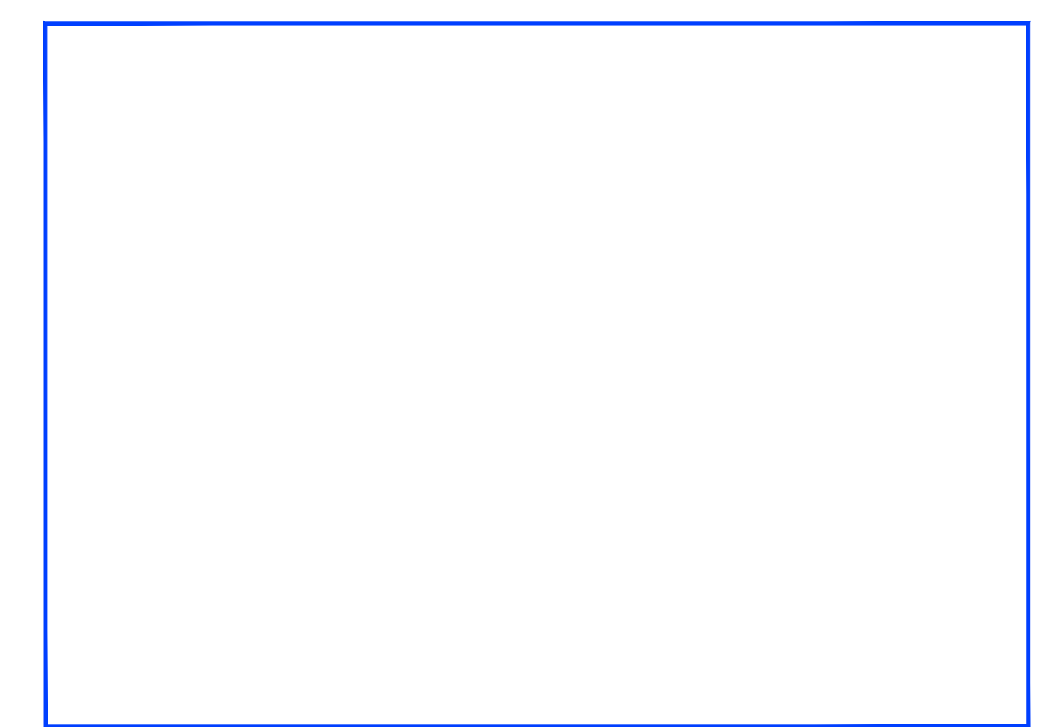


ESTRATTO MAPPA \_ Scala 1:2000

STRALCIO RUE \_ Scala 1:2000



**COMUNE DI GAMBETTOLA**  
**PROGETTO PER LA COSTRUZIONE DI NUOVO**  
**IMPIANTO SERRICOLA IN AMPLIAMENTO A QUELLO ESISTENTE**  
**ISTANZA PROCEDIMENTO UNICO AI SENSI art. 53 L.R. 24/17**



Progetto:  
**VITROPLANT ITALIA S.r.l. SOCIETA' AGRICOLA**  
 con Sede legale in Budrio di Cesena (FC), Via Loreto n.170, p.l. 03437480407

Laborato:  
**INQUADRAMENTO PLANIMETRICO**  
**PROPRIETA' OROGEL E VITROPLANT**  
**IN CESENA E GAMBETTOLA**

Scala: 1:1000  
 Data: AGOSTO 2023

Tecnico:  
**Arch. STEFANO ROSSI**  
 Via Plaudo, 50  
 47521 Cesena (FC)  
 tel. 054725912  
 e-mail: s.rossi.architetto@gmail.com

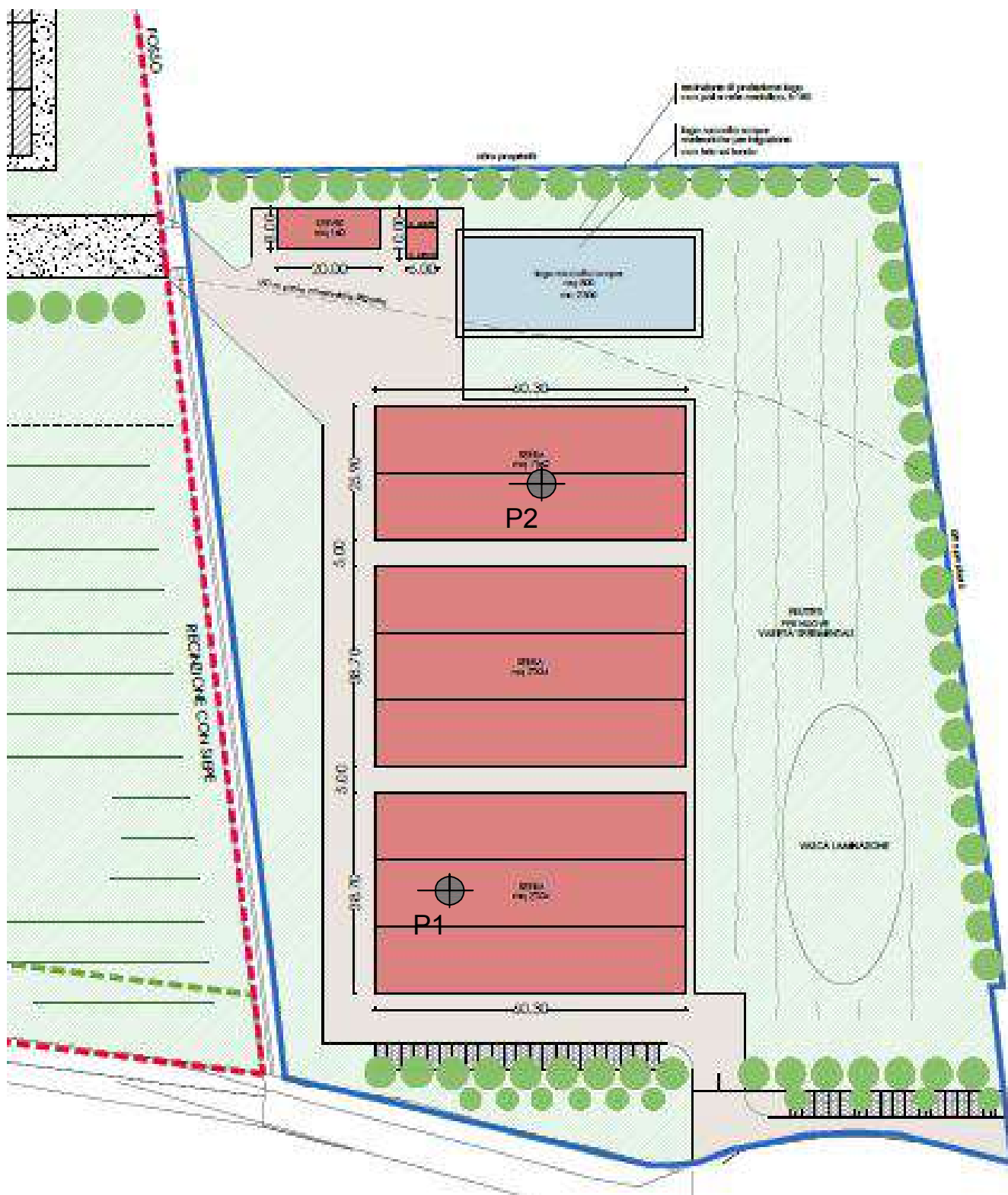
STUDIO STEFANO ROSSI architetto  
 Via Plaudo, 50 - 47521 Cesena - tel 054725912 - e-mail: s.rossi.architetto@gmail.com - www.studiostefanorossi.com

PLANIMETRIA \_ Scala 1:1000

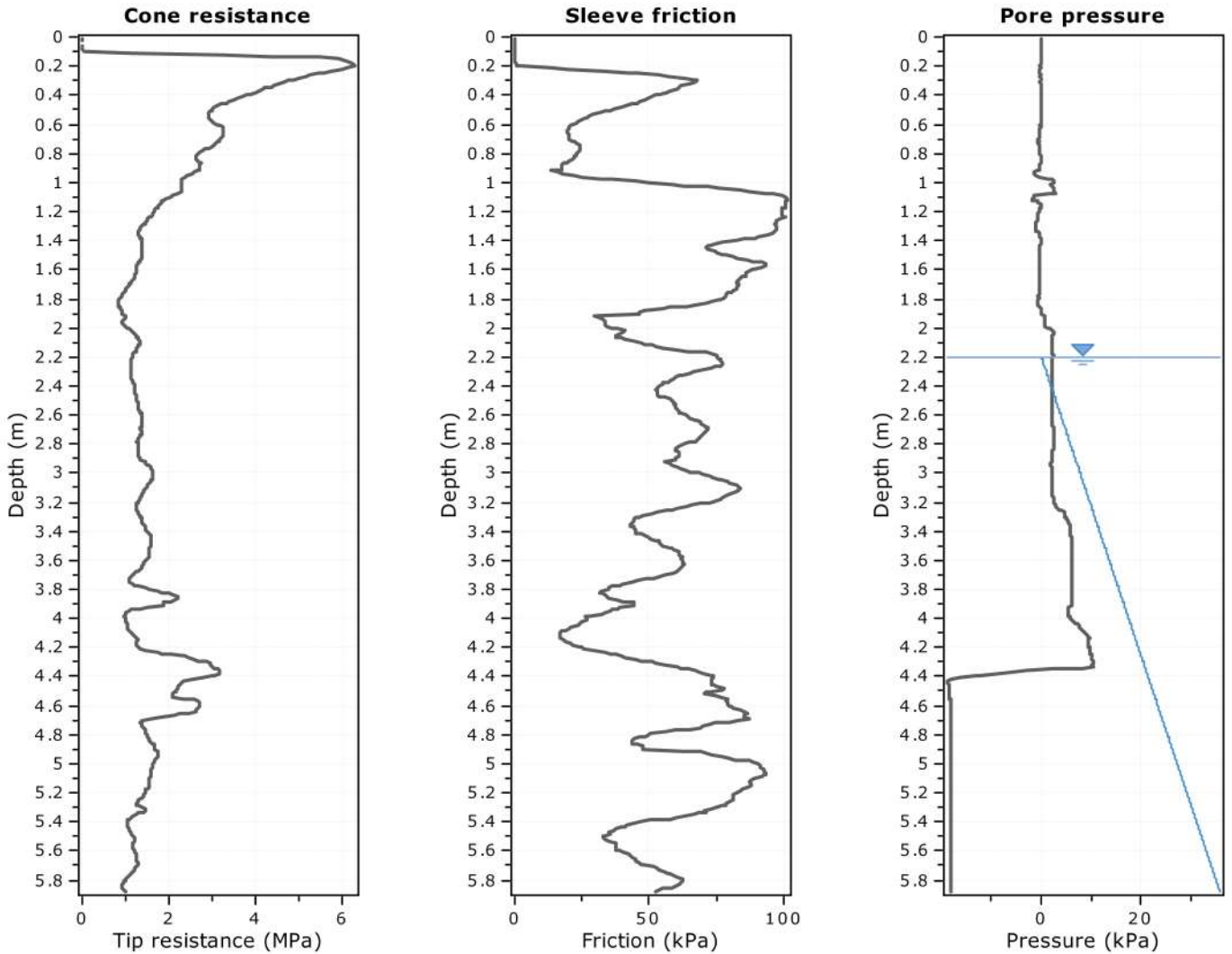
Questo disegno è di esclusiva proprietà dello Studio dell'Arch. Stefano Rossi. È vietata espressamente la ristampa, l'uso non autorizzato, la diffusione o l'uso non autorizzato senza permesso scritto dallo Studio dell'Arch. Stefano Rossi.

# UBICAZIONE PROVE

⊕ P - CPTE

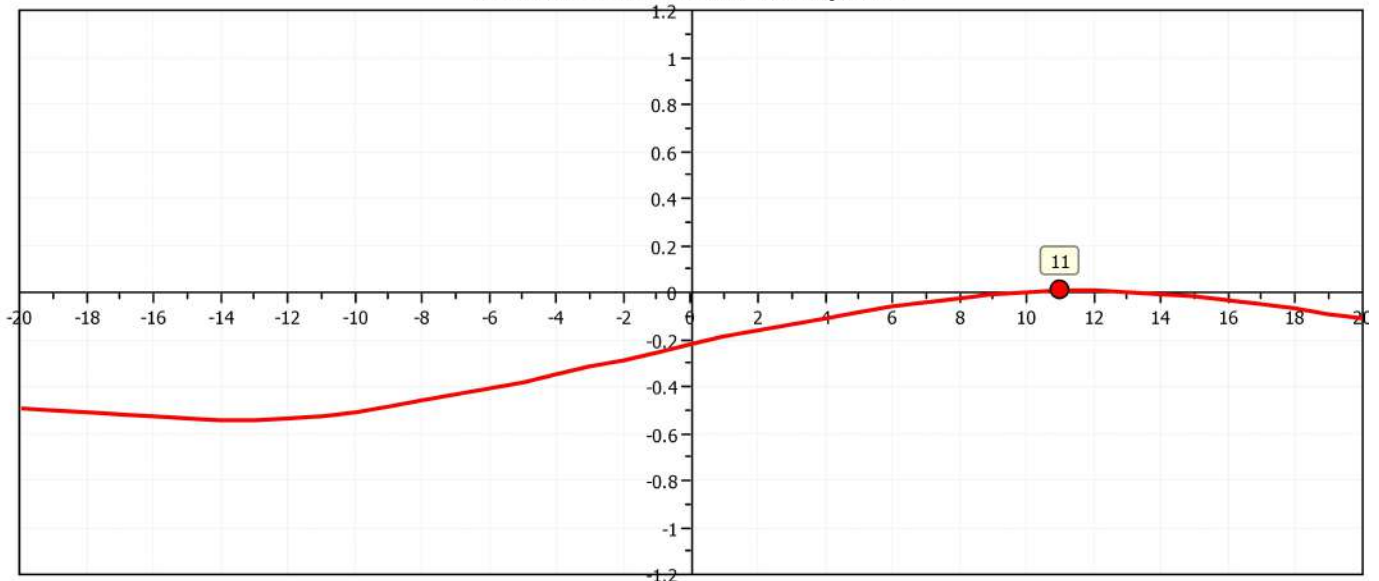


**Project: Vitroplant serre**  
**Location: Via Zoffoli Gambettola**

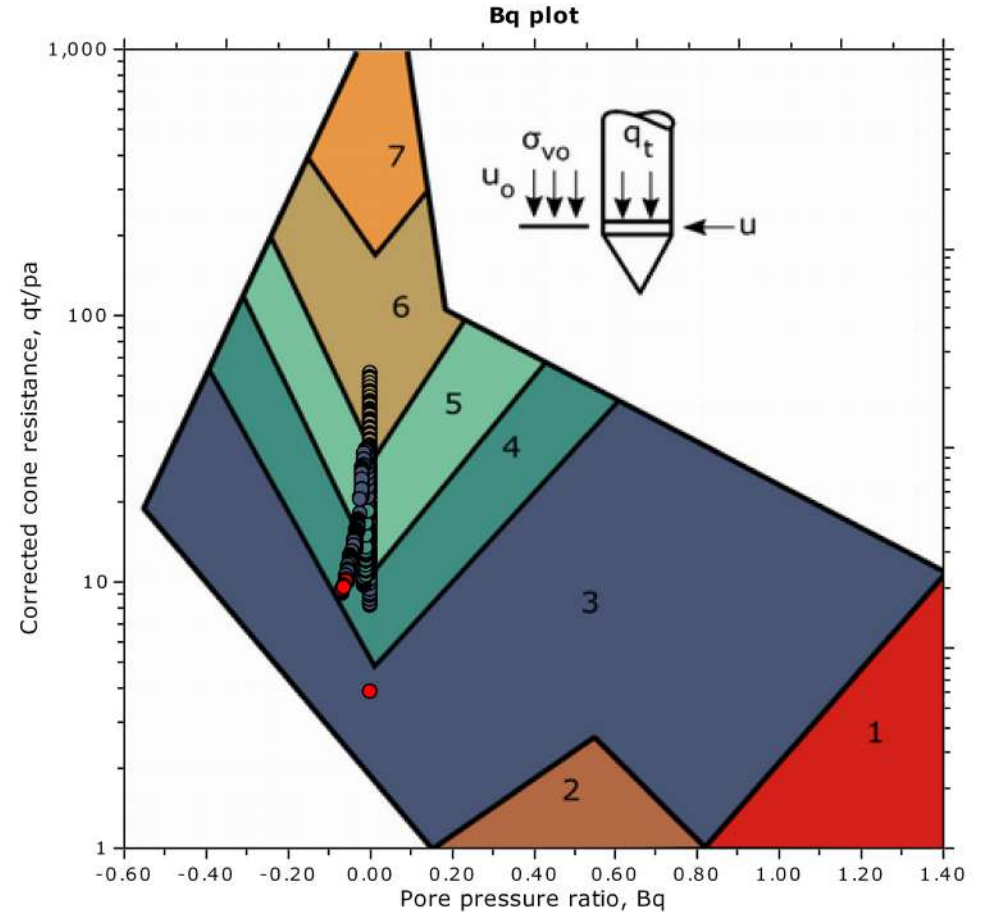
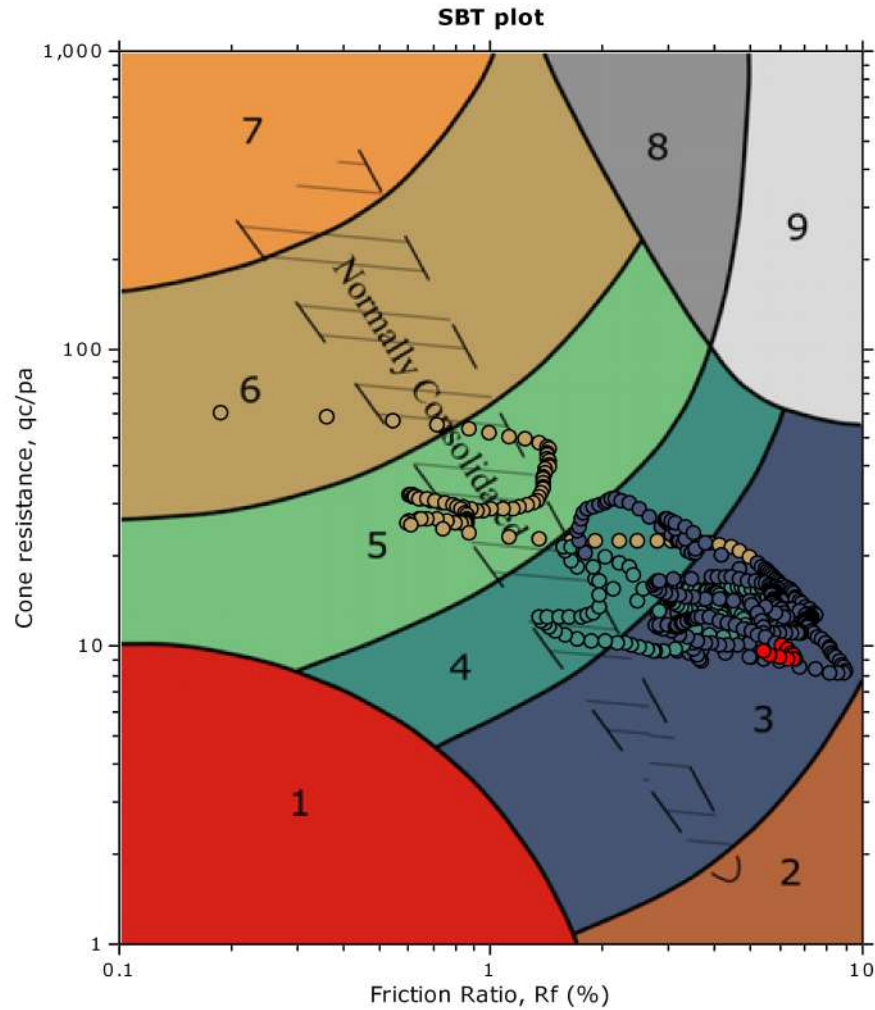


The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw  $q_c$  and  $f_s$  values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).

**Cross correlation between  $q_c$  &  $f_s$**



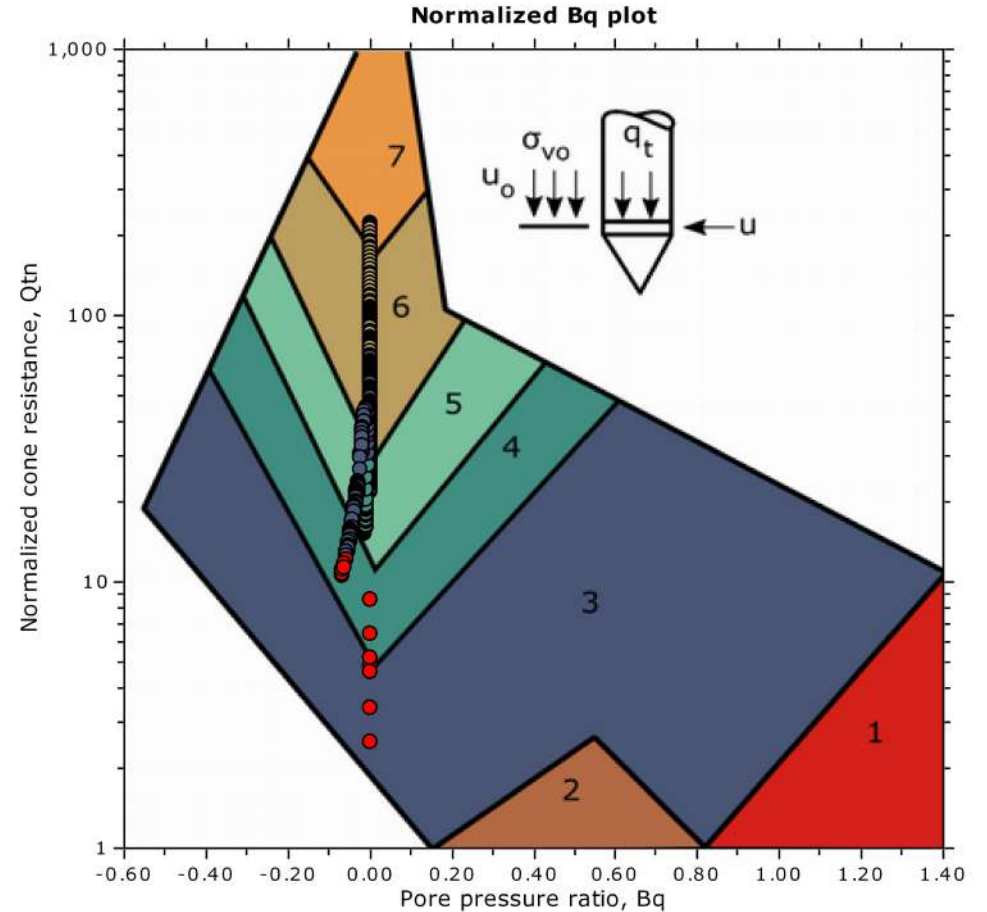
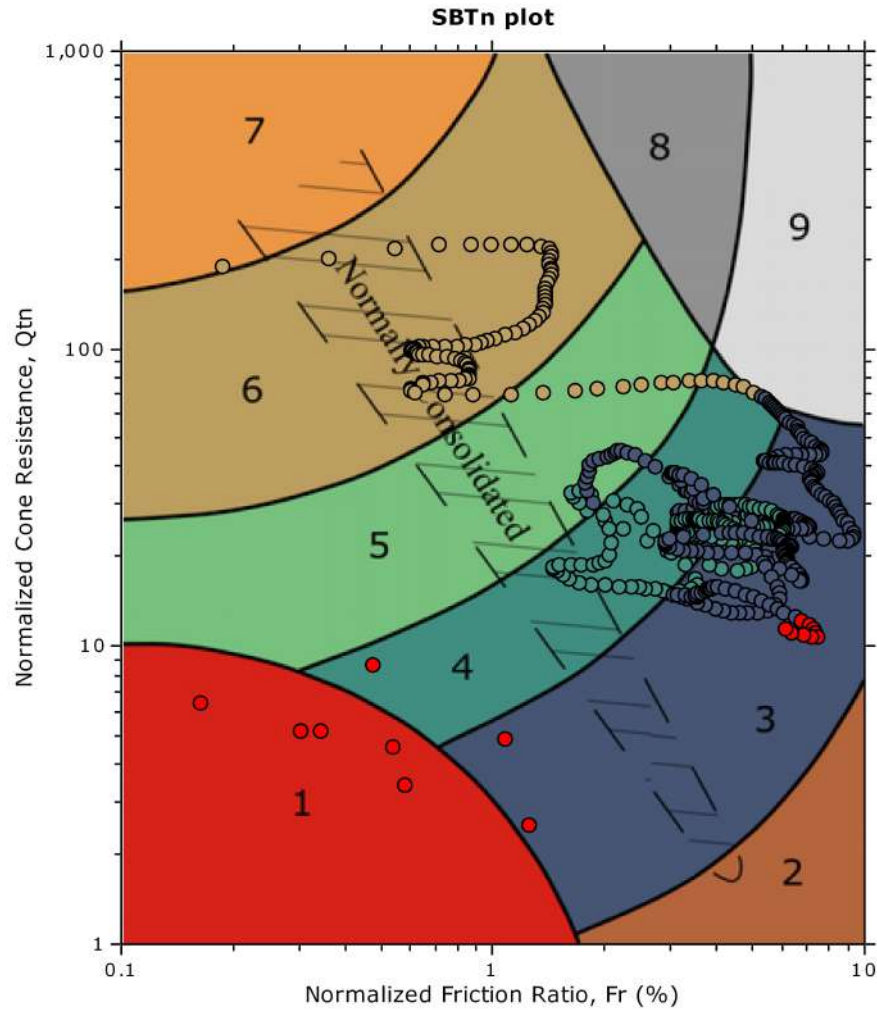
**SBT - Bq plots**



**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. 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   |

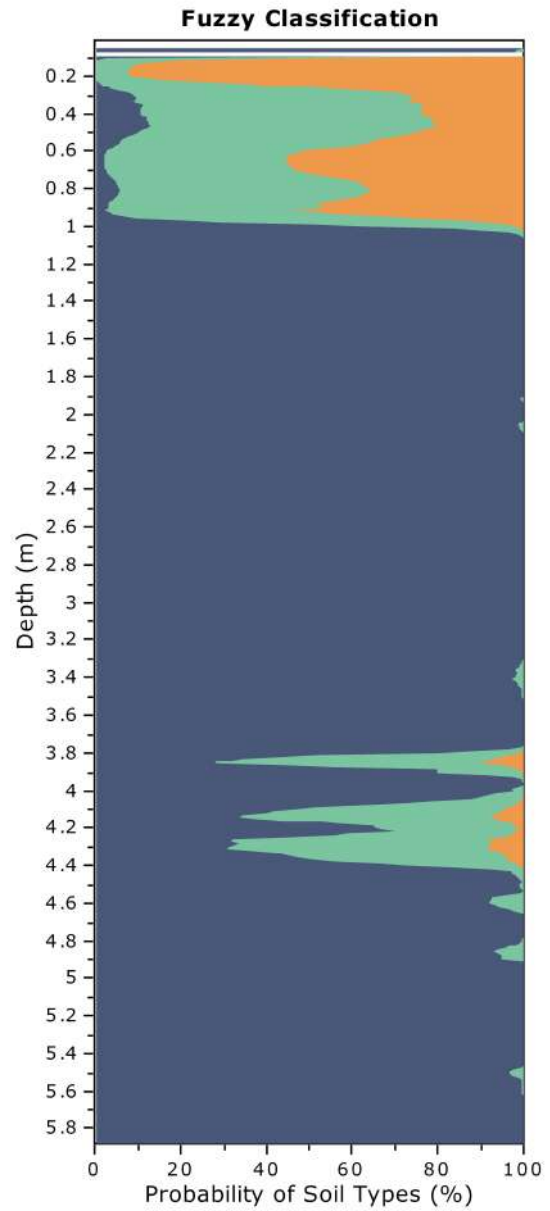
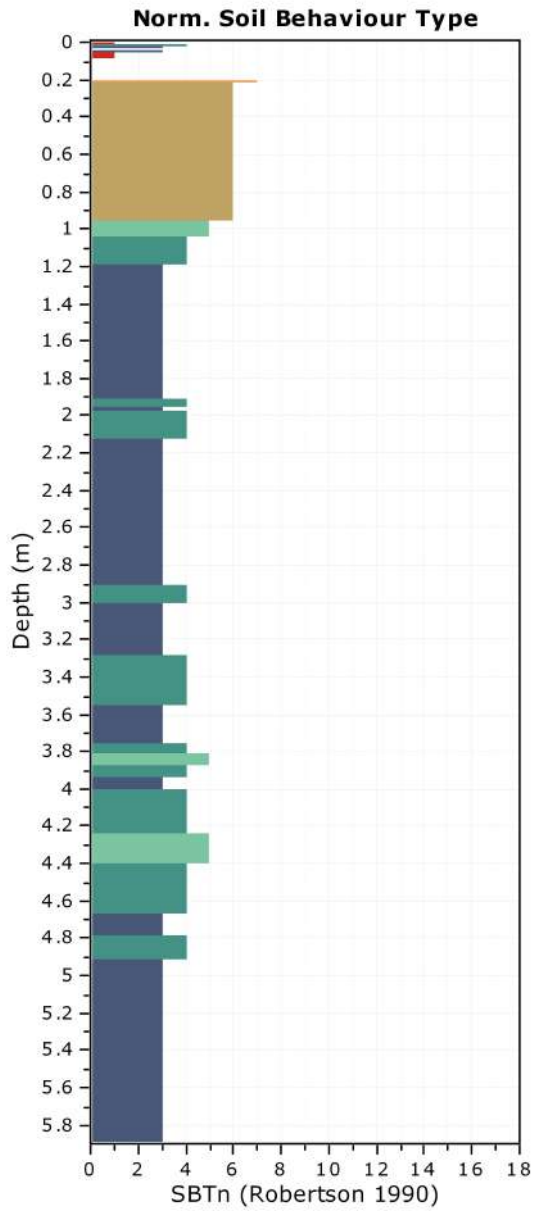
**SBT - Bq plots (normalized)**



**SBTn legend**

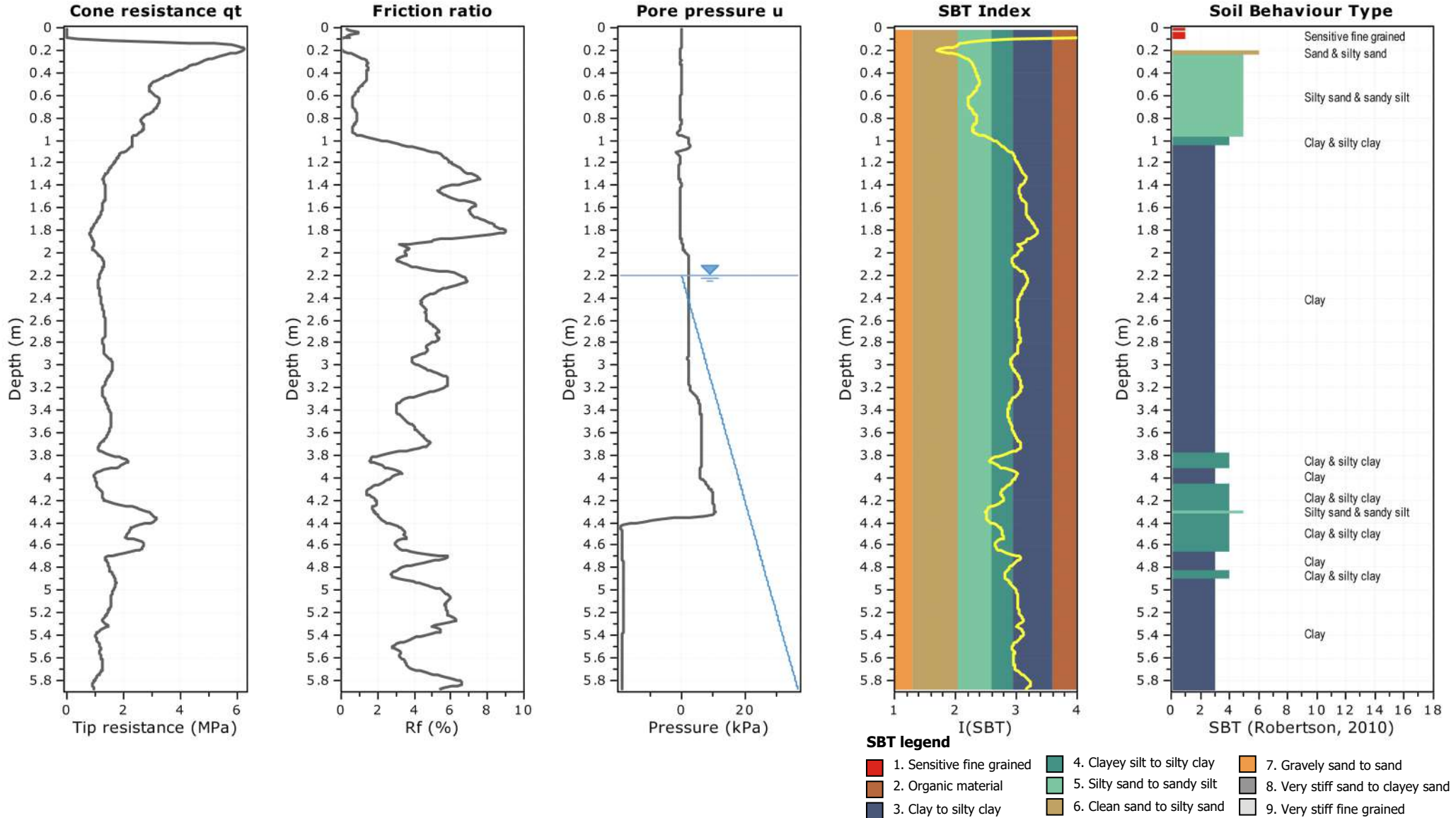
- |  |   |   |
|--|---|---|
| <span style="color: red;">■</span> 1. Sensitive fine grained | <span style="color: teal;">■</span> 4. Clayey silt to silty clay      | <span style="color: orange;">■</span> 7. Gravelly sand to sand        |
| <span style="color: brown;">■</span> 2. Organic material     | <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   |

**Project: Vitroplant serre**  
**Location: Via Zoffoli Gambettola**

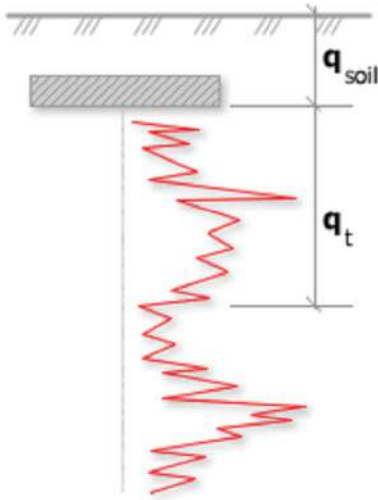


**Fuzzy classification legend**

- Highly probable clayey soil
- Highly probable mixture soil
- Highly probable sandy soil



**Project: Vitroplant serre**  
**Location: Via Zoffoli Gambettola**

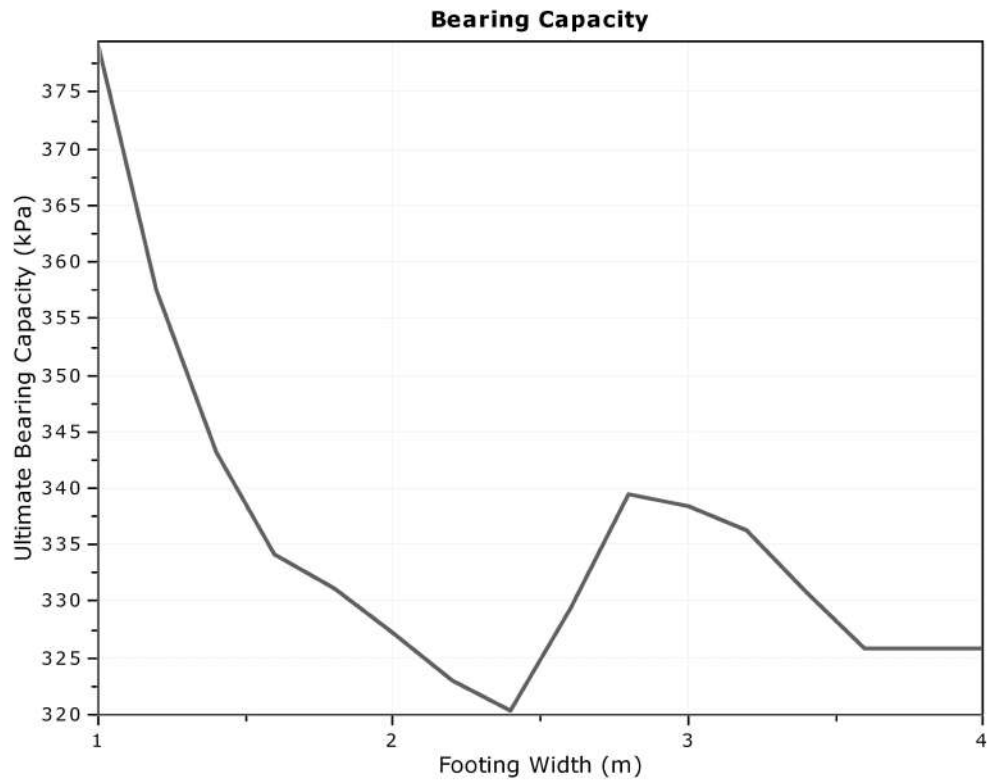


Bearing Capacity calculation is performed based on the formula:

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

where:

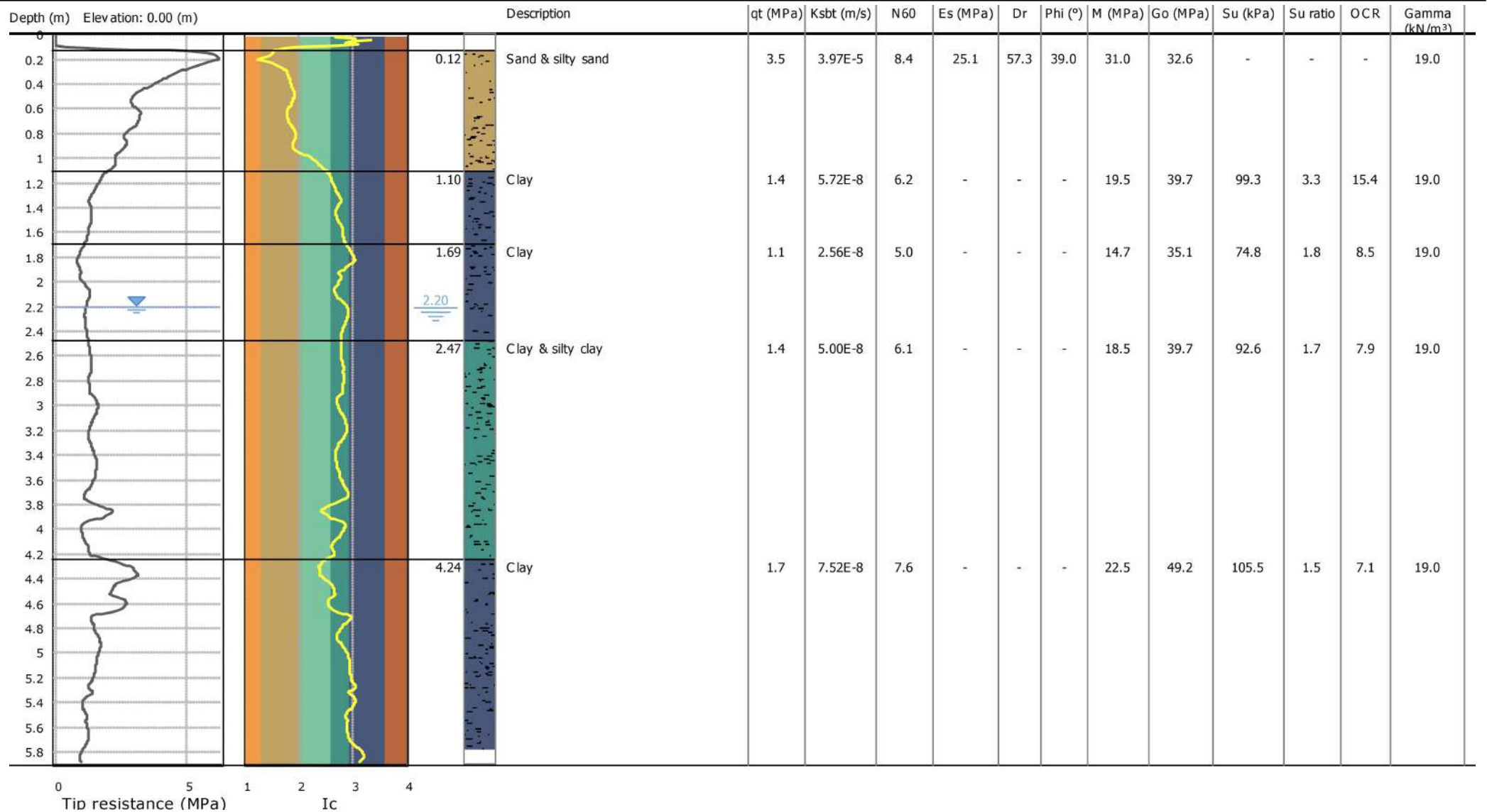
- R<sub>k</sub>: Bearing capacity factor
- q<sub>t</sub>: Average corrected cone resistance over calculation depth
- q<sub>soil</sub>: Pressure applied by soil above footing

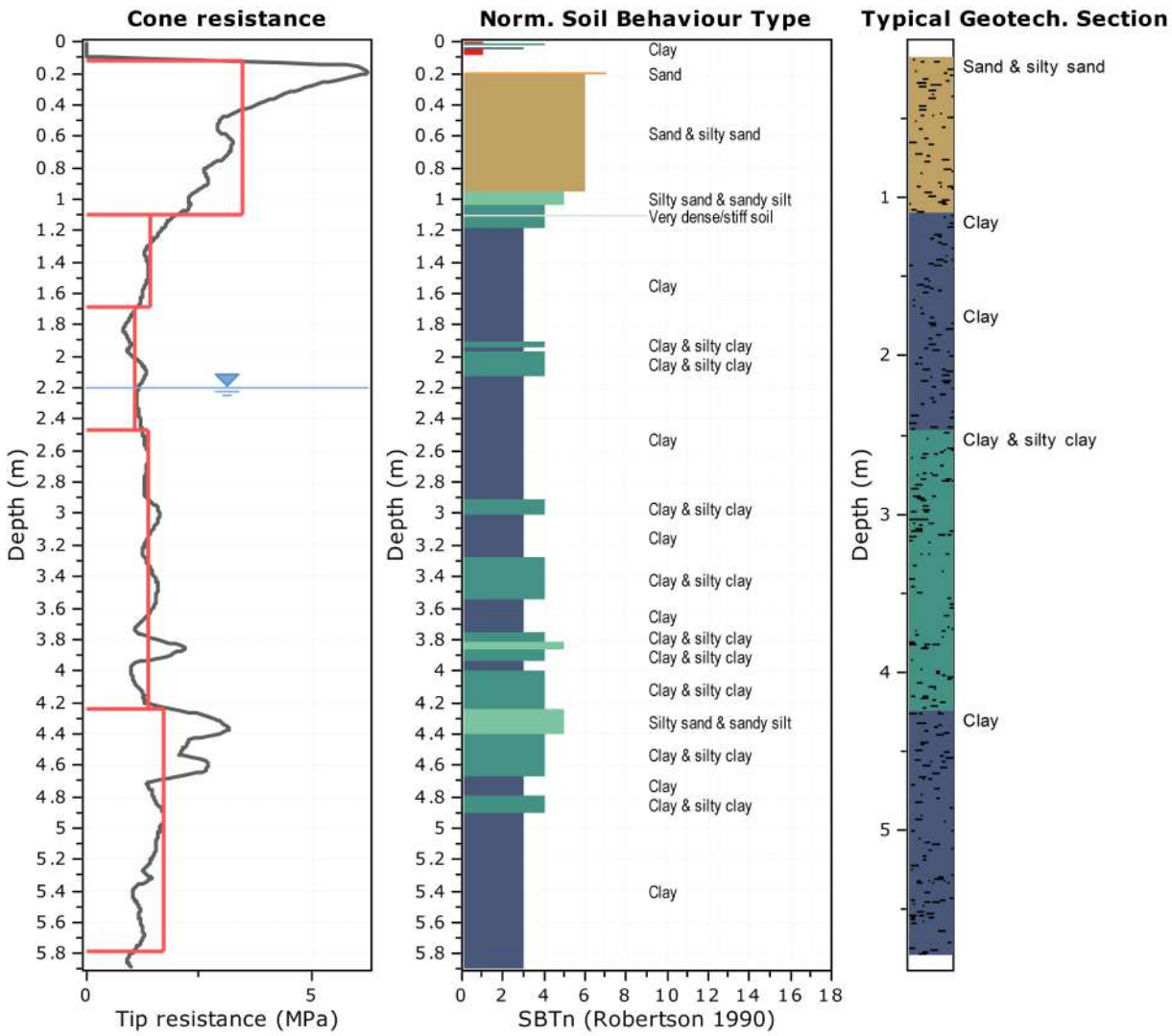


**:: Tabular results ::**

No	B (m)	Start Depth (m)	End Depth (m)	Ave. q <sub>t</sub> (MPa)	R <sub>k</sub>	Soil Press. (kPa)	Ult. bearing cap. (kPa)
1	1.00	0.50	2.00	1.85	0.20	9.50	379.13
2	1.20	0.50	2.30	1.74	0.20	9.50	357.45
3	1.40	0.50	2.60	1.67	0.20	9.50	343.21
4	1.60	0.50	2.90	1.62	0.20	9.50	334.24
5	1.80	0.50	3.20	1.61	0.20	9.50	331.07
6	2.00	0.50	3.50	1.59	0.20	9.50	327.31
7	2.20	0.50	3.80	1.57	0.20	9.50	323.04
8	2.40	0.50	4.10	1.55	0.20	9.50	320.34
9	2.60	0.50	4.40	1.60	0.20	9.50	329.40
10	2.80	0.50	4.70	1.65	0.20	9.50	339.50
11	3.00	0.50	5.00	1.64	0.20	9.50	338.42
12	3.20	0.50	5.30	1.63	0.20	9.50	336.25
13	3.40	0.50	5.60	1.61	0.20	9.50	330.70
14	3.60	0.50	5.90	1.58	0.20	9.50	325.79
15	3.80	0.50	6.20	1.58	0.20	9.50	325.79
16	4.00	0.50	6.50	1.58	0.20	9.50	325.79

**Project: Vitroplant serre**  
**Location: Via Zoffoli Gambettola**





**Tabular results**

::: Layer No: 1 :::		
<b>Code:</b> Layer_1	<b>Start depth:</b> 0.12 (m), <b>End depth:</b> 1.10 (m)	
<b>Description:</b> Sand & silty sand		
<b>Basic results</b>		
Total cone resistance:	3.45 ±1.16 MPa	
Sleeve friction:	35.48 ±24.02 kPa	
Ic:	1.87 ±0.25	
SBT <sub>n</sub> :	6	
SBTn description:	Sand & silty sand	
<b>Estimation results</b>		
Permeability:	3.97E-05 ±1.20E-04 m/s	Constrained Mod.: 30.99 ±4.31 MPa
N <sub>60</sub> :	8.38 ±1.55 blows	Go: 32.62 ±5.42 MPa
Es:	25.11 ±3.72 MPa	Su: 0.00 ±0.00 kPa
Dr (%):	57.31 ±11.42	Su ratio: 0.00 ±0.00
φ (degrees):	38.98 ±2.18 °	O.C.R.: 0.00 ±0.00
Unit weight:	19.00 ±0.00 kN/m <sup>3</sup>	

**::: Layer No: 2 :::****Code:** Layer\_2 **Start depth:** 1.10 (m), **End depth:** 1.69 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.42 ±0.21 MPa

Sleeve friction: 90.23 ±9.35 kPa

Ic: 2.72 ±0.09

SBT<sub>n</sub>: 3

SBTn description: Clay

**Estimation results**

Permeability: 5.72E-08 ±4.08E-08 m/s

N<sub>60</sub>: 6.20 ±0.55 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 19.47 ±3.02 MPa

Go: 39.70 ±1.86 MPa

Su: 99.35 ±15.42 kPa

Su ratio: 3.33 ±0.73

O.C.R.: 15.38 ±3.35

**::: Layer No: 3 :::****Code:** Layer\_3 **Start depth:** 1.69 (m), **End depth:** 2.47 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.09 ±0.14 MPa

Sleeve friction: 58.91 ±16.23 kPa

Ic: 2.85 ±0.10

SBT<sub>n</sub>: 3

SBTn description: Clay

**Estimation results**

Permeability: 2.56E-08 ±1.83E-08 m/s

N<sub>60</sub>: 4.97 ±0.70 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 14.66 ±1.95 MPa

Go: 35.09 ±3.82 MPa

Su: 74.80 ±9.94 kPa

Su ratio: 1.83 ±0.16

O.C.R.: 8.45 ±0.75

**::: Layer No: 4 :::****Code:** Layer\_4 **Start depth:** 2.47 (m), **End depth:** 4.24 (m)**Description:** Clay & silty clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.38 ±0.22 MPa

Sleeve friction: 52.79 ±17.54 kPa

Ic: 2.76 ±0.10

SBT<sub>n</sub>: 4

SBTn description: Clay &amp; silty clay

**Estimation results**

Permeability: 5.00E-08 ±5.96E-08 m/s

N<sub>60</sub>: 6.15 ±0.74 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 18.48 ±3.14 MPa

Go: 39.73 ±4.84 MPa

Su: 92.62 ±13.44 kPa

Su ratio: 1.71 ±0.28

O.C.R.: 7.91 ±1.30

**::: Layer No: 5 :::****Code:** Layer\_5 **Start depth:** 4.24 (m), **End depth:** 5.78 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.70 ±0.59 MPa

Sleeve friction: 64.76 ±18.53 kPa

Ic: 2.81 ±0.20

SBT<sub>n</sub>: 3

SBTn description: Clay

**Estimation results**

Permeability: 7.52E-08 ±1.30E-07 m/s

N<sub>60</sub>: 7.57 ±1.57 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 22.46 ±8.41 MPa

Go: 49.23 ±6.99 MPa

Su: 105.51 ±33.02 kPa

Su ratio: 1.53 ±0.52

O.C.R.: 7.08 ±2.39

**Project: Vitroplant serre**

**Location: Via Zoffoli Gambettola**

**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>o</sub> (MPa)	Undrained strength, S <sub>u</sub> (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
0.12	0.98	3.97E-05	8.4	25.1	57.3	39.0	31.0	32.6	0.0	0.0	0.0	19.0
1.10		(±1.20E-04)	(±1.5)	(±3.7)	(±11.4)	(±2.2)	(±4.3)	(±5.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)
1.10	0.59	5.72E-08	6.2	0.0	0.0	0.0	19.5	39.7	99.3	3.3	15.4	19.0
1.69		(±4.08E-08)	(±0.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±3.0)	(±1.9)	(±15.4)	(±0.7)	(±3.4)	(±0.0)
1.69	0.78	2.56E-08	5.0	0.0	0.0	0.0	14.7	35.1	74.8	1.8	8.5	19.0
2.47		(±1.83E-08)	(±0.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.9)	(±3.8)	(±9.9)	(±0.2)	(±0.7)	(±0.0)
2.47	1.77	5.00E-08	6.1	0.0	0.0	0.0	18.5	39.7	92.6	1.7	7.9	19.0
4.24		(±5.96E-08)	(±0.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±3.1)	(±4.8)	(±13.4)	(±0.3)	(±1.3)	(±0.0)
4.24	1.54	7.52E-08	7.6	0.0	0.0	0.0	22.5	49.2	105.5	1.5	7.1	19.0
5.78		(±1.30E-07)	(±1.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±8.4)	(±7.0)	(±33.0)	(±0.5)	(±2.4)	(±0.0)

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

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

**:: Unit Weight,  $g$  (kN/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) ::**

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

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

**::  $N_{sPT}$  (blows per 30 cm) ::**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

(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  $I_c \geq 2.20$

**:: 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,  $S_{u(rem)}$  (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  $I_c > I_{c\_cutoff}$ )

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

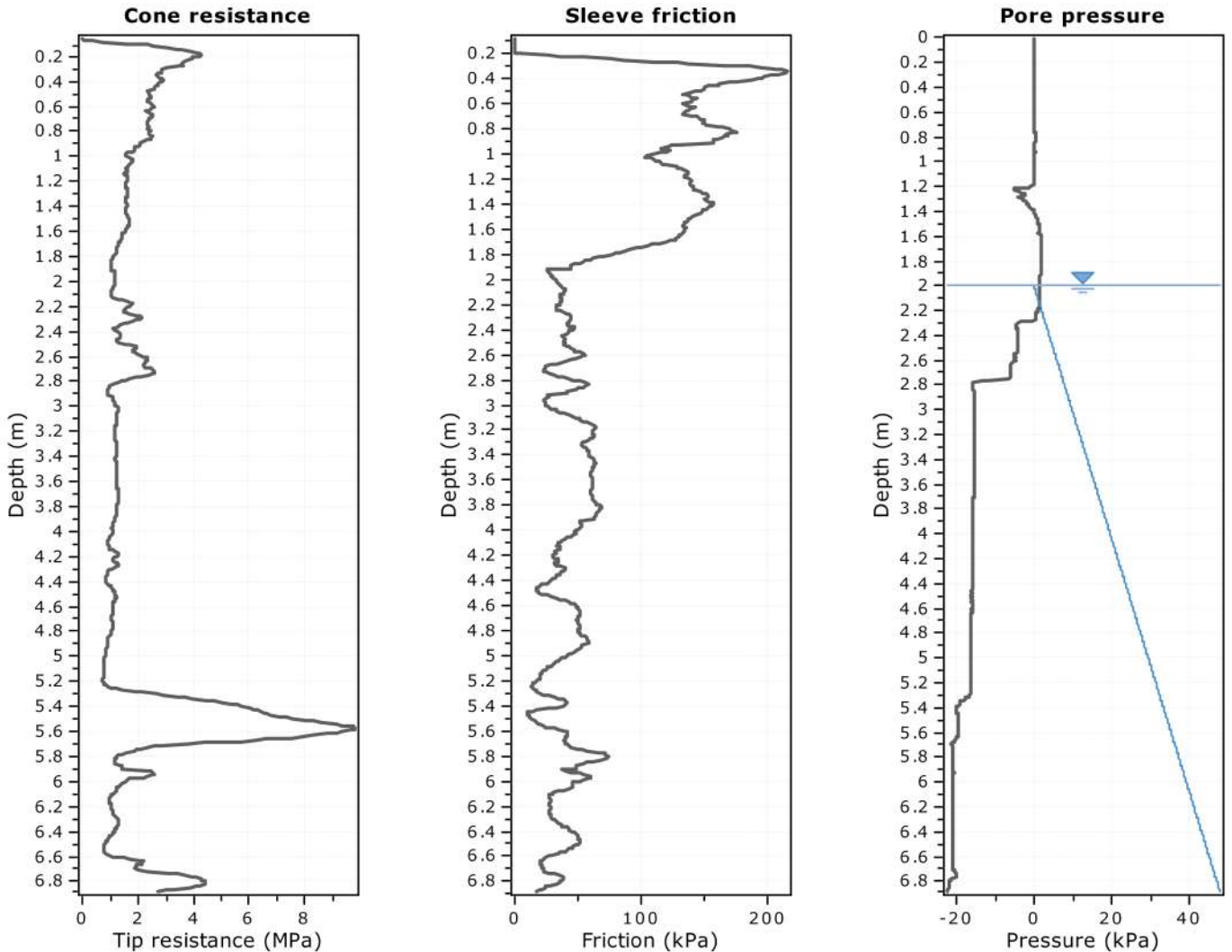
$$\phi' = 29.5^\circ \cdot B_q^{0.121} \cdot (0.256 + 0.336 \cdot B_q + \log Q_t)$$

(applicable for  $0.10 < B_q < 1.00$ )

**References**

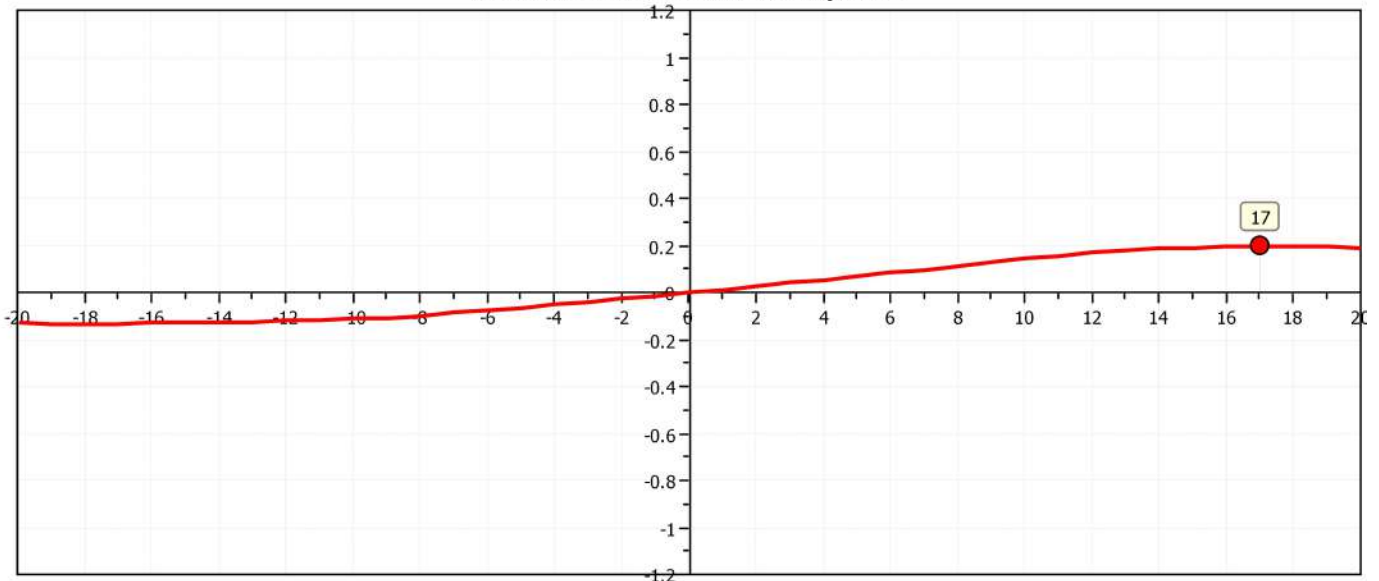
- Robertson, P.K., Cabal K.L., Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering, Gregg Drilling & Testing, Inc., 5<sup>th</sup> Edition, November 2012
- Robertson, P.K., Interpretation of Cone Penetration Tests - a unified approach., Can. Geotech. J. 46(11): 1337–1355 (2009)
- N Barounis, J Philpot, Estimation of in-situ water content, void ratio, dry unit weight and porosity using CPT for saturated sands, Proc. 20th NZGS Geotechnical Symposium

**Project: Vitroplant serre**  
**Location: Via Zoffoli Gambettola**

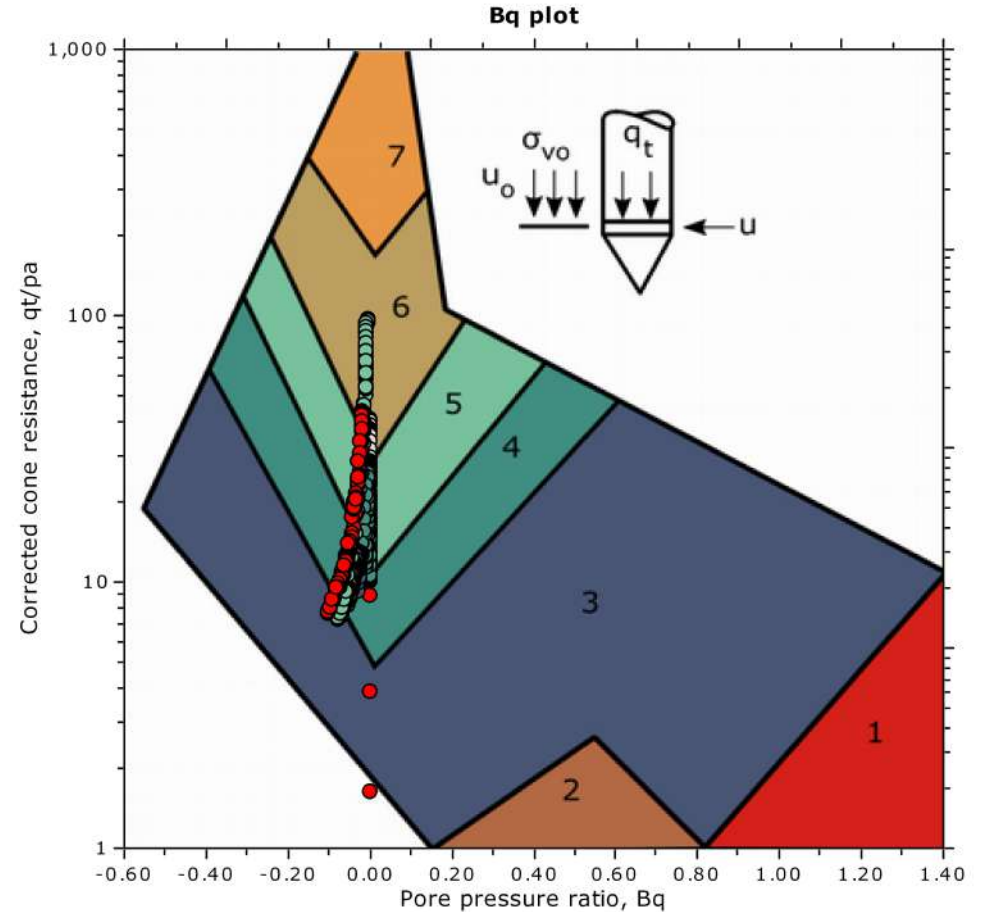
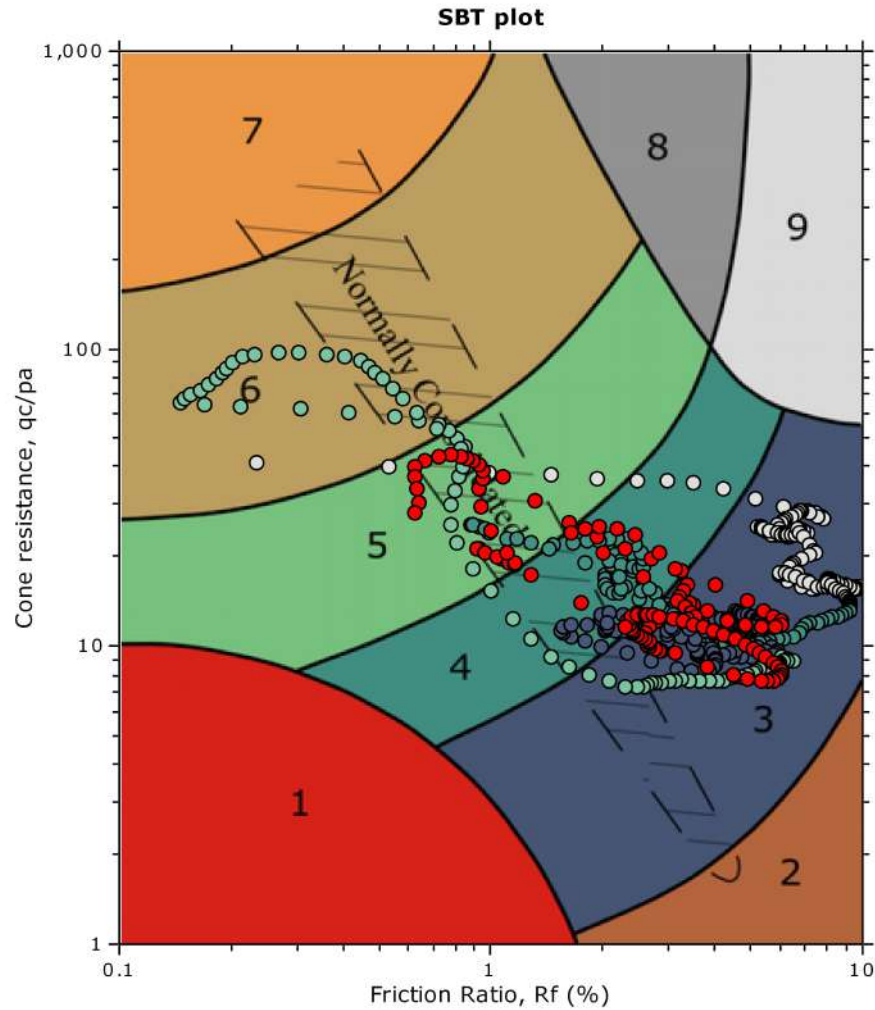


The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw  $q_c$  and  $f_s$  values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).

**Cross correlation between  $q_c$  &  $f_s$**



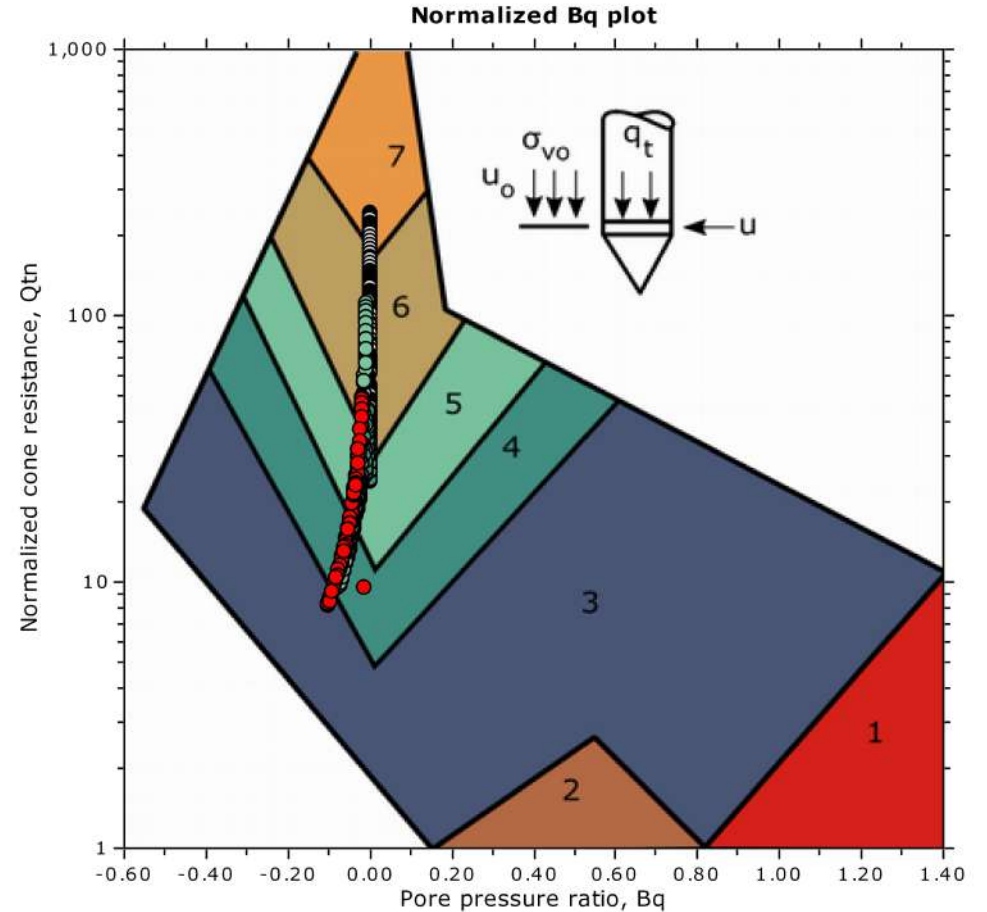
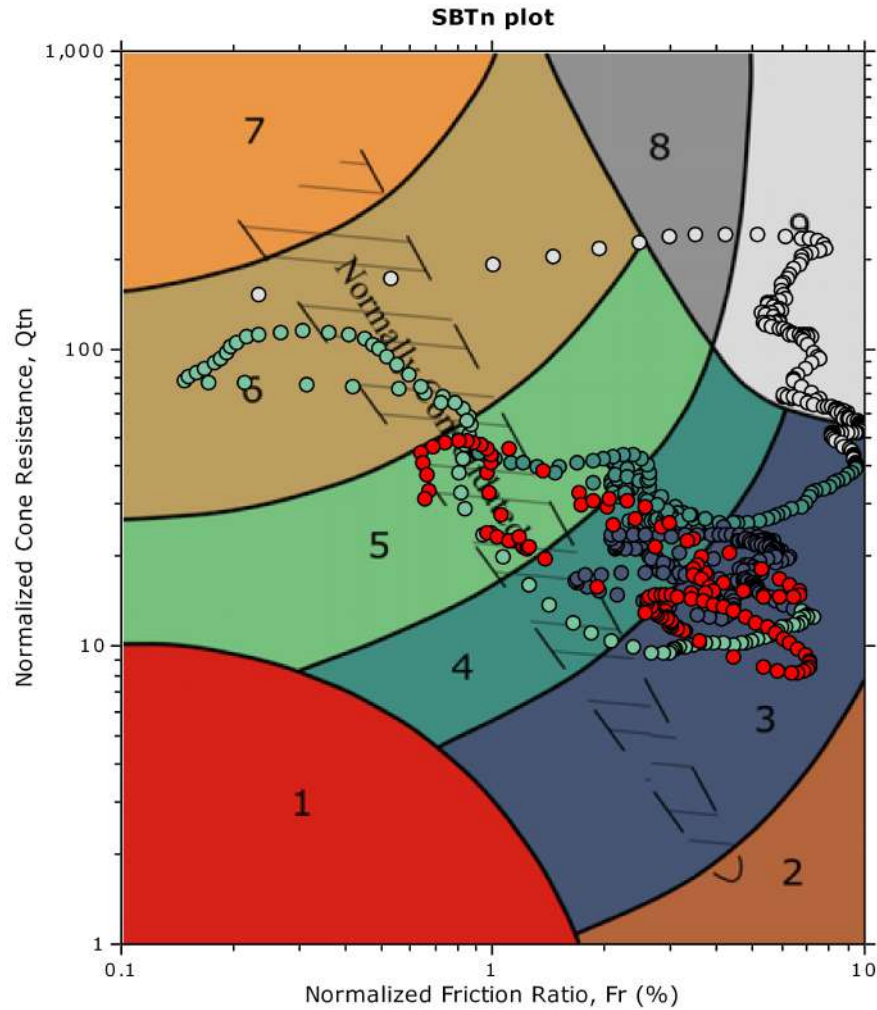
**SBT - Bq plots**



**SBT legend**

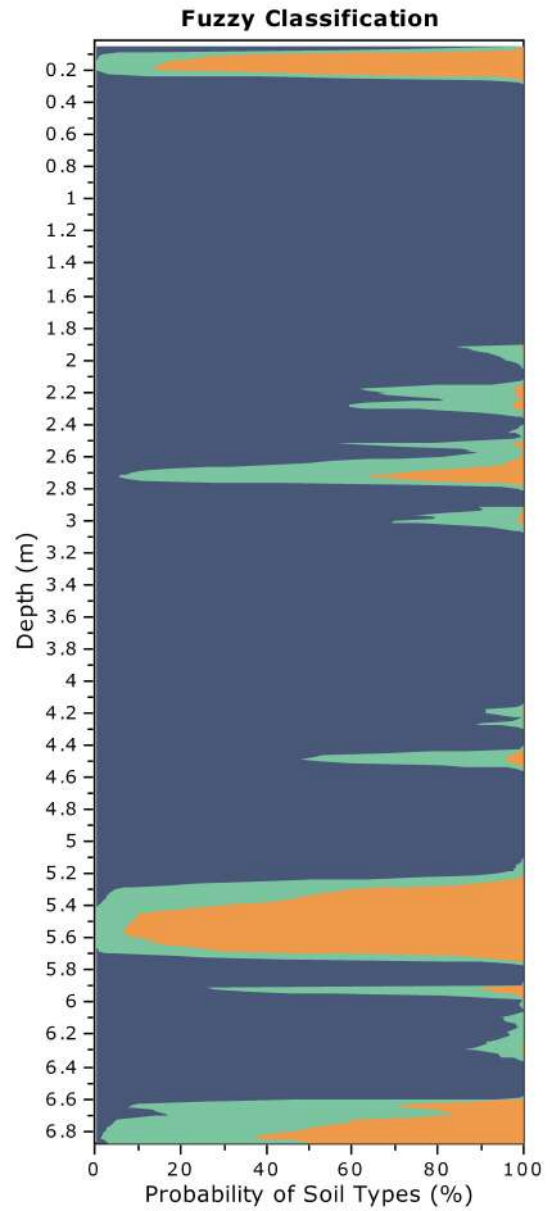
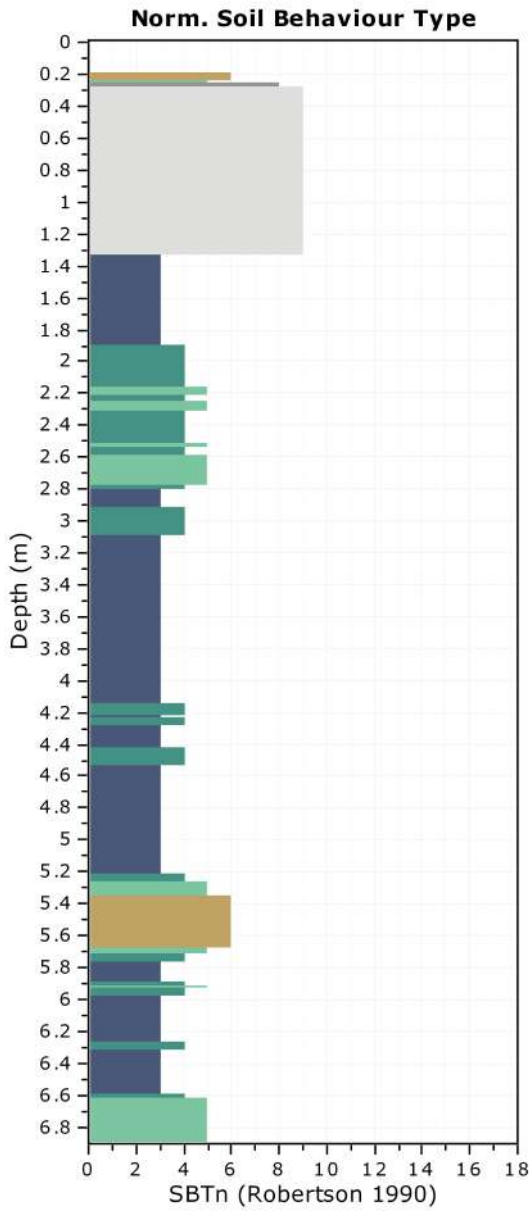
- |  |   |   |
|--|---|---|
| <span style="color: red;">■</span> 1. Sensitive fine grained | <span style="color: teal;">■</span> 4. Clayey silt to silty clay      | <span style="color: orange;">■</span> 7. Gravelly sand to sand        |
| <span style="color: brown;">■</span> 2. Organic material     | <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   |

**SBT - Bq plots (normalized)**



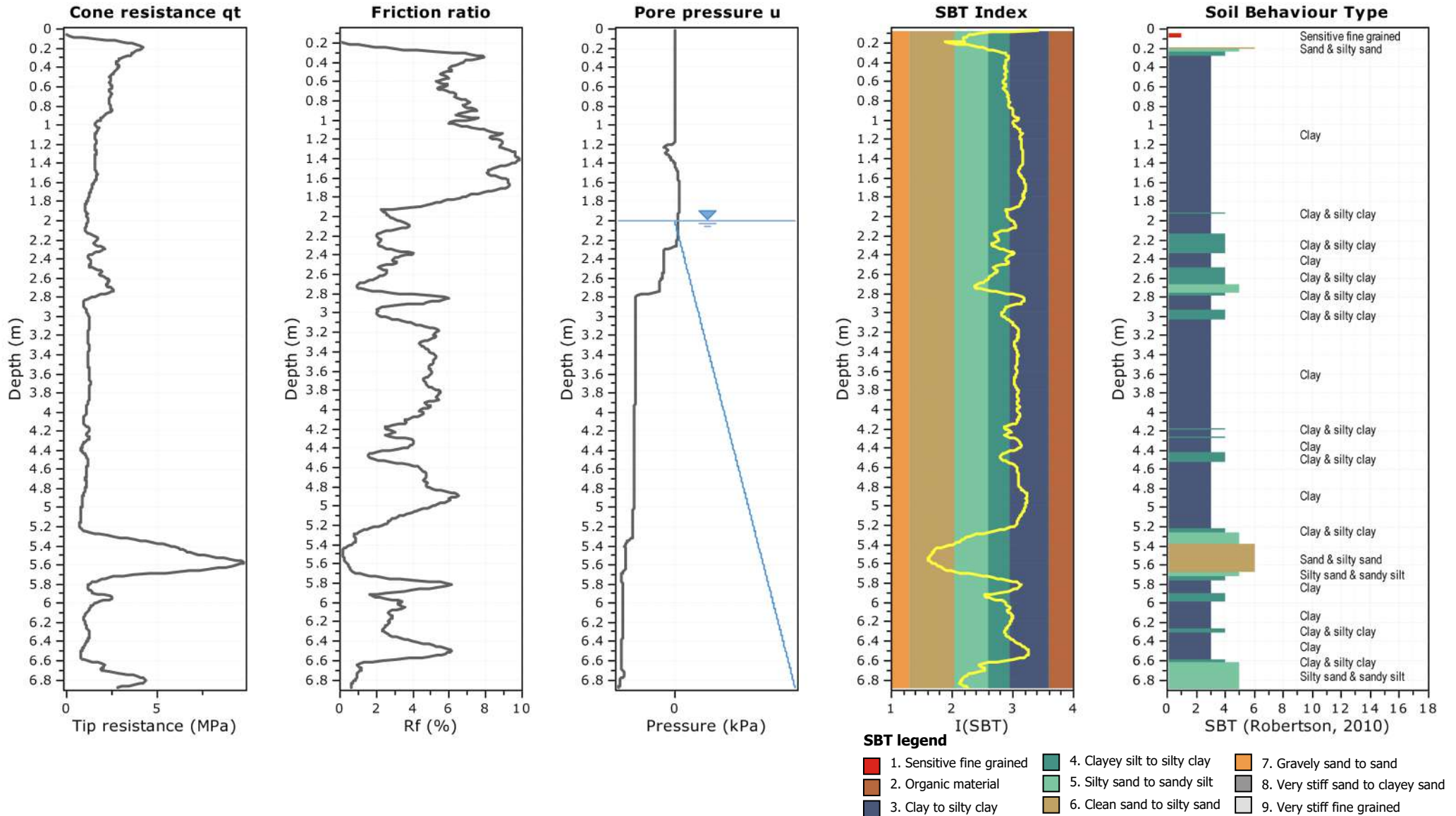
**SBTn legend**

- |  |   |   |
|--|---|---|
| <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   |

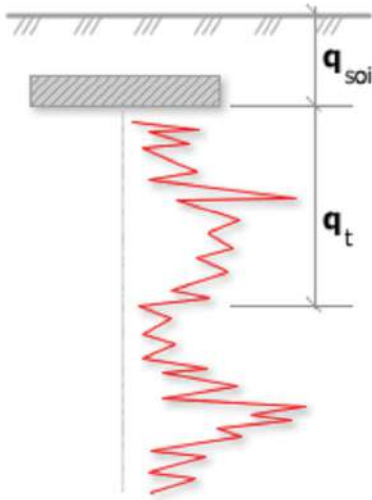


**Fuzzy classification legend**

- Highly probable clayey soil
- Highly probable mixture soil
- Highly probable sandy soil



**Project: Vitroplant serre**  
**Location: Via Zoffoli Gambettola**

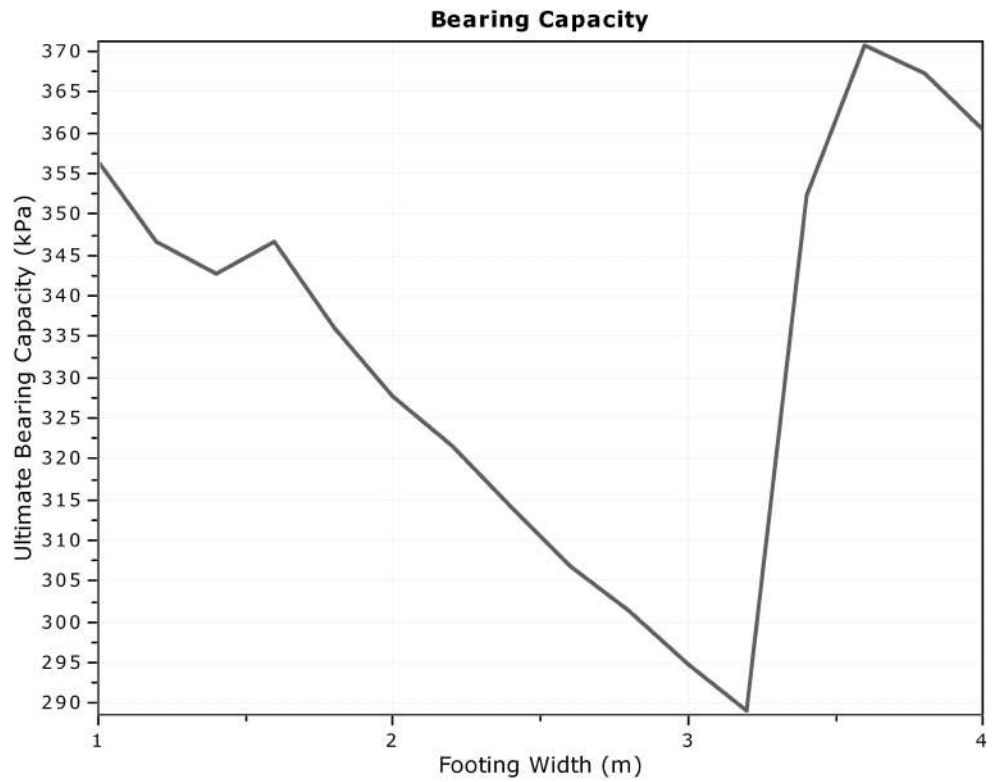


Bearing Capacity calculation is performed based on the formula:

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

where:

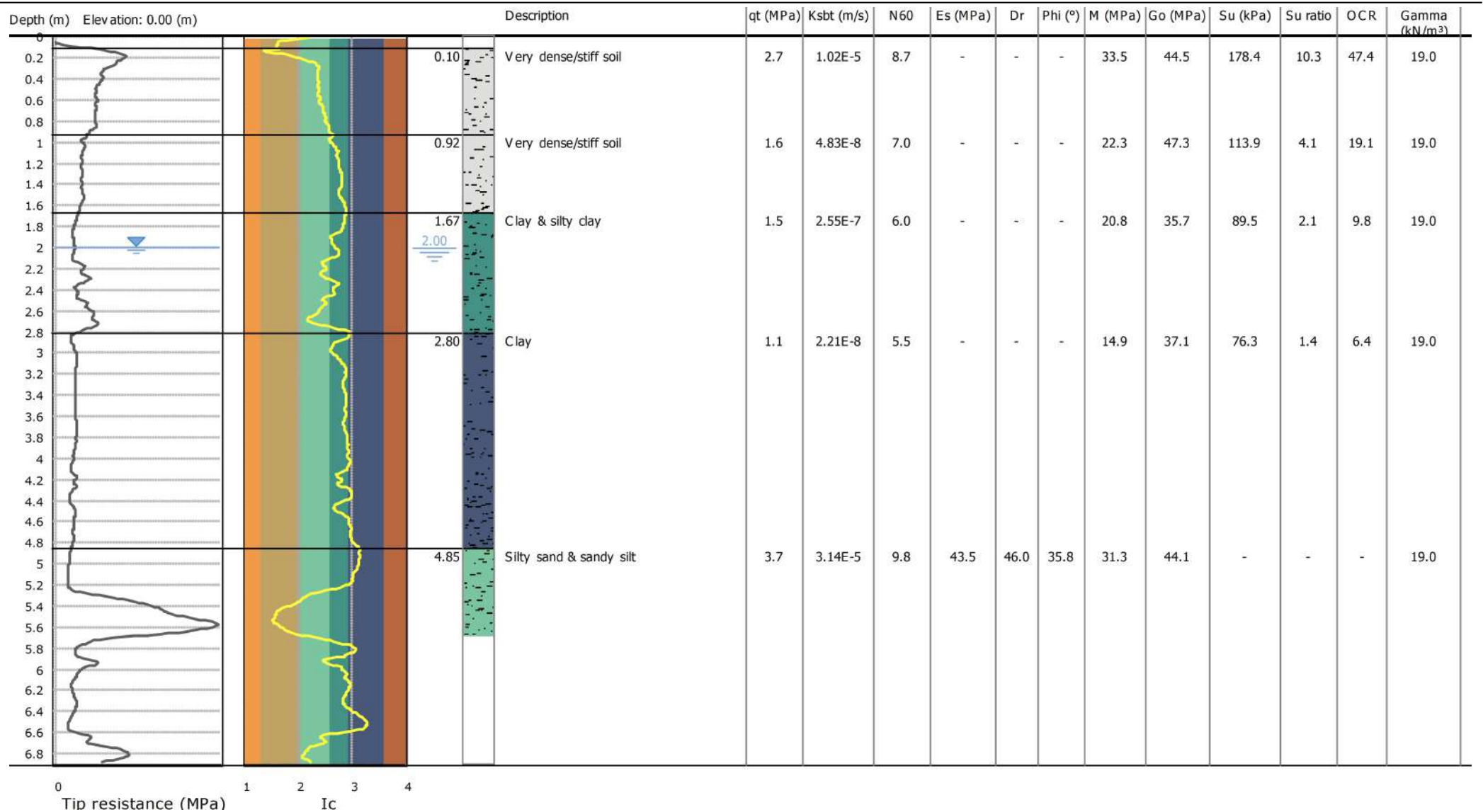
- R<sub>k</sub>: Bearing capacity factor
- q<sub>t</sub>: Average corrected cone resistance over calculation depth
- q<sub>soil</sub>: Pressure applied by soil above footing

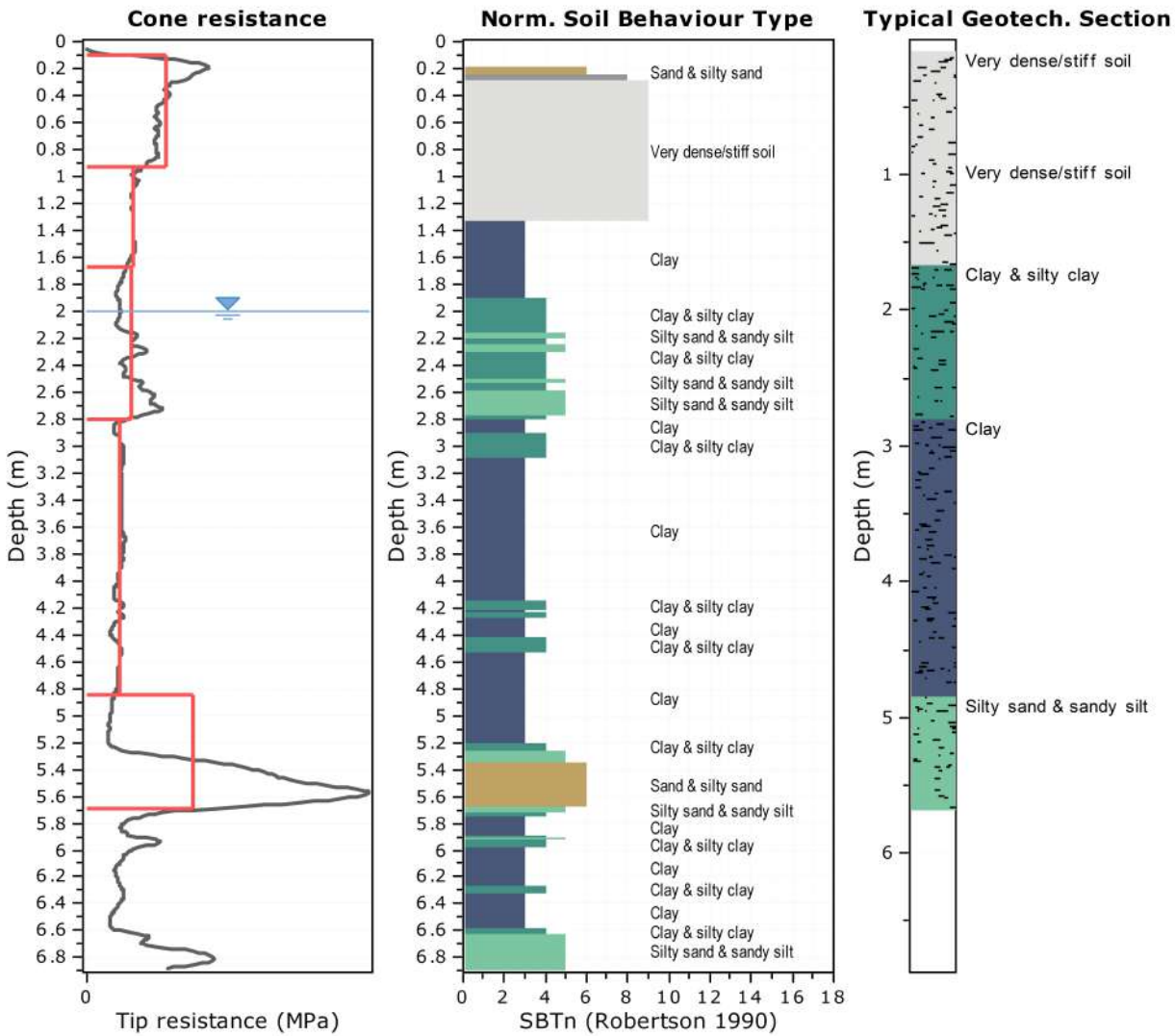


**:: Tabular results ::**

No	B (m)	Start Depth (m)	End Depth (m)	Ave. q <sub>t</sub> (MPa)	R <sub>k</sub>	Soil Press. (kPa)	Ult. bearing cap. (kPa)
1	1.00	0.50	2.00	1.73	0.20	9.50	356.39
2	1.20	0.50	2.30	1.69	0.20	9.50	346.54
3	1.40	0.50	2.60	1.67	0.20	9.50	342.79
4	1.60	0.50	2.90	1.69	0.20	9.50	346.74
5	1.80	0.50	3.20	1.63	0.20	9.50	336.07
6	2.00	0.50	3.50	1.59	0.20	9.50	327.65
7	2.20	0.50	3.80	1.56	0.20	9.50	321.65
8	2.40	0.50	4.10	1.52	0.20	9.50	314.08
9	2.60	0.50	4.40	1.49	0.20	9.50	306.94
10	2.80	0.50	4.70	1.46	0.20	9.50	301.41
11	3.00	0.50	5.00	1.43	0.20	9.50	294.78
12	3.20	0.50	5.30	1.40	0.20	9.50	289.13
13	3.40	0.50	5.60	1.71	0.20	9.50	352.42
14	3.60	0.50	5.90	1.81	0.20	9.50	370.75
15	3.80	0.50	6.20	1.79	0.20	9.50	367.31
16	4.00	0.50	6.50	1.76	0.20	9.50	360.50

**Project: Vitroplant serre**  
**Location: Via Zoffoli Gambettola**





**Tabular results**

::: Layer No: 1 :::		
<b>Code:</b> Layer_1	<b>Start depth:</b> 0.10 (m), <b>End depth:</b> 0.92 (m)	
<b>Description:</b> Very dense/stiff soil		
<b>Basic results</b>		
Total cone resistance: 2.74 ±0.57 MPa	<b>Estimation results</b>	
Sleeve friction: 131.42 ±61.39 kPa	Permeability: 1.02E-05 ±5.34E-05 m/s	Constrained Mod.: 33.52 ±5.94 MPa
Ic: 2.26 ±0.32	N <sub>60</sub> : 8.71 ±1.13 blows	Go: 44.53 ±9.93 MPa
SBT <sub>n</sub> : 9	Es: 0.00 ±0.00 MPa	Su: 178.43 ±15.95 kPa
SBTn description: Very dense/stiff soil	Dr (%): 0.00 ±0.00	Su ratio: 10.27 ±3.08
	φ (degrees): 0.00 ±0.00 °	O.C.R.: 47.45 ±14.24
	Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m <sup>3</sup>	

**::: Layer No: 2 :::****Code:** Layer\_2 **Start depth:** 0.92 (m), **End depth:** 1.67 (m)**Description:** Very dense/stiff soil**Basic results**

Total cone resistance: 1.62 ±0.11 MPa

Sleeve friction: 135.20 ±13.48 kPa

Ic: 2.75 ±0.08

SBT<sub>n</sub>: 9

SBTn description: Very dense/stiff soil

**Estimation results**

Permeability: 4.83E-08 ±3.40E-08 m/s

N<sub>60</sub>: 7.03 ±0.23 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 22.31 ±1.52 MPa

Go: 47.27 ±2.99 MPa

Su: 113.85 ±7.74 kPa

Su ratio: 4.14 ±0.66

O.C.R.: 19.13 ±3.07

**::: Layer No: 3 :::****Code:** Layer\_3 **Start depth:** 1.67 (m), **End depth:** 2.80 (m)**Description:** Clay & silty clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.53 ±0.45 MPa

Sleeve friction: 47.49 ±23.40 kPa

Ic: 2.61 ±0.19

SBT<sub>n</sub>: 4

SBTn description: Clay &amp; silty clay

**Estimation results**

Permeability: 2.55E-07 ±4.32E-07 m/s

N<sub>60</sub>: 6.02 ±1.03 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 20.78 ±6.31 MPa

Go: 35.74 ±4.78 MPa

Su: 89.50 ±17.57 kPa

Su ratio: 2.11 ±0.33

O.C.R.: 9.75 ±1.52

**::: Layer No: 4 :::****Code:** Layer\_4 **Start depth:** 2.80 (m), **End depth:** 4.85 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.14 ±0.12 MPa

Sleeve friction: 48.01 ±13.89 kPa

Ic: 2.87 ±0.10

SBT<sub>n</sub>: 3

SBTn description: Clay

**Estimation results**

Permeability: 2.21E-08 ±2.04E-08 m/s

N<sub>60</sub>: 5.46 ±0.58 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 14.92 ±1.88 MPa

Go: 37.11 ±4.19 MPa

Su: 76.35 ±9.02 kPa

Su ratio: 1.38 ±0.23

O.C.R.: 6.38 ±1.08

**::: Layer No: 5 :::****Code:** Layer\_5 **Start depth:** 4.85 (m), **End depth:** 5.69 (m)**Description:** Silty sand & sandy silt**Basic results**

Total cone resistance: 3.67 ±3.26 MPa

Sleeve friction: 30.99 ±14.18 kPa

Ic: 2.44 ±0.64

SBT<sub>n</sub>: 5

SBTn description: Silty sand &amp; sandy silt

**Estimation results**

Permeability: 3.14E-05 ±5.44E-05 m/s

N<sub>60</sub>: 9.75 ±5.93 blows

Es: 43.48 ±7.48 MPa

Dr (%): 45.96 ±8.69

φ (degrees): 35.79 ±1.35 °

Unit weight: 19.00 ±0.00 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 31.30 ±24.22 MPa

Go: 44.05 ±13.88 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

**Project: Vitroplant serre**

**Location: Via Zoffoli Gambettola**

**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>o</sub> (MPa)	Undrained strength, S <sub>u</sub> (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
0.10	0.82	1.02E-05	8.7	0.0	0.0	0.0	33.5	44.5	178.4	10.3	47.4	19.0
0.92		(±5.34E-05)	(±1.1)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±5.9)	(±9.9)	(±16.0)	(±3.1)	(±14.2)	(±0.0)
0.92	0.75	4.83E-08	7.0	0.0	0.0	0.0	22.3	47.3	113.9	4.1	19.1	19.0
1.67		(±3.40E-08)	(±0.2)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.5)	(±3.0)	(±7.7)	(±0.7)	(±3.1)	(±0.0)
1.67	1.13	2.55E-07	6.0	0.0	0.0	0.0	20.8	35.7	89.5	2.1	9.8	19.0
2.80		(±4.32E-07)	(±1.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±6.3)	(±4.8)	(±17.6)	(±0.3)	(±1.5)	(±0.0)
2.80	2.05	2.21E-08	5.5	0.0	0.0	0.0	14.9	37.1	76.3	1.4	6.4	19.0
4.85		(±2.04E-08)	(±0.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.9)	(±4.2)	(±9.0)	(±0.2)	(±1.1)	(±0.0)
4.85	0.84	3.14E-05	9.8	43.5	46.0	35.8	31.3	44.1	0.0	0.0	0.0	19.0
5.69		(±5.44E-05)	(±5.9)	(±7.5)	(±8.7)	(±1.3)	(±24.2)	(±13.9)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)

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

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

**:: Unit Weight,  $g$  (kN/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) ::**

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

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

**::  $N_{sPT}$  (blows per 30 cm) ::**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

(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  $I_c \geq 2.20$

**:: 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,  $S_u(rem)$  (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  $I_c > I_{c\_cutoff}$ )

**:: 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)
- N Barounis, J Philpot, Estimation of in-situ water content, void ratio, dry unit weight and porosity using CPT for saturated sands, Proc. 20th NZGS Geotechnical Symposium

**Località:**

Via Loreto, 170

**Comune:**

Cesena (FC)

**RELAZIONE GEOFISICA**

**OGGETTO:**

INDAGINE SISMICA PASSIVA MEDIANTE TROMOGRAFO  
DIGITALE “TROMINO”® (METODO NAKAMURA)

STIMA DELLA VS CON MISURA DIRETTA DELLE FREQUENZE DI  
RISONANZA DA STAZIONE SINGOLA - METODO H/V

**Data:**

Ottobre 2023

Impresa esecutrice

	GEOECOTER s.c.a.r.l. – Ingegneria Civile e Geologia Applicata
	Località Trabocchi, Montepetrabassa - 47030 Sogliano al Rubicone (FC) Tel/Fax: 0547/95080
www.geocoter.com	P.IVA Registro Imprese Forlì-Cesena 02669250405 R.E.A. 284299 Iscr. Albo Soc. Coop.ve A106613

## **PREMESSA E GENERALITA'**

### **MISURA DIRETTA DELLE FREQUENZE DI RISONANZA**

In linea di principio, visto che il suolo è assimilabile ad un corpo viscoelastico, è possibile misurarne le frequenze proprie di oscillazione in ogni punto. Queste frequenze dipendono dalle proprietà meccaniche e dalla morfologia attorno al punto di misura. Per la misura delle frequenze di risonanza solitamente viene applicato al corpo una sollecitazione nota (un impulso), misurando poi la risposta del corpo in termini di spostamenti o accelerazioni. La risposta del suolo può essere studiata in questa maniera utilizzando come funzione di eccitazione le onde di un terremoto o di una sorgente artificiale (sismica attiva). In alternativa si può utilizzare come funzione di eccitazione il rumore sismico di fondo. (sismica passiva).

Il rumore sismico ambientale viene generato da fenomeni atmosferici (onde oceaniche o vento) e dall'attività antropica. Viene detto anche "microtremore" perché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti. Al rumore di fondo, sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali antropiche e naturali. I microtremori sono in parte costituiti da onde di volume P ed S, in parte da onde di superficiali che hanno velocità prossime a quelle delle onde S.

Il rumore sismico può essere misurato con il tromografo digitale Tromino ed analizzato con il software Grilla.

	GEOECOTER s.c.a.r.l. – Ingegneria Civile e Geologia Applicata
	Località Trabocchi, Montepetrabassa - 47030 Sogliano al Rubicone (FC) Tel/Fax: 0547/95080
www.geocoter.com	P.IVA Registro Imprese Forlì-Cesena 02669250405 R.E.A. 284299 Iscr. Albo Soc. Coop.ve A106613



## METODO H/V

Dopo i primi studi di Kanai (1957), diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito. La tecnica maggiormente consolidata, proposta da Nogoshi & Igarashi (1970), prende in esame i rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectra Ratio HVSR o H/V). La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire la frequenza di risonanza fondamentale del sottosuolo.

L'ampiezza del picco del rapporto H/V, pur essendo legata all'entità del contrasto di impedenza tra gli strati, non è correlabile all'amplificazione sismica in modo semplice.

In un mezzo "semplice", per es. coltre alterazione + bedrock (o strato assimilabile al bedrock; ad es. argille su ghiaie), dove i parametri sono costanti in ciascuno strato (1-D), i due strati hanno rispettivamente diverse densità  $\rho_1$  e  $\rho_2$  e diverse velocità delle onde sismiche  $V_1$  e  $V_2$ . Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene parzialmente riflessa dall'interfaccia che separa i due strati. L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e

	GEOECOTER s.c.a.r.l. – Ingegneria Civile e Geologia Applicata
	Località Trabocchi, Montepetrabassa - 47030 Sogliano al Rubicone (FC) Tel/Fax: 0547/95080
www.geocoter.com	P.IVA Registro Imprese Forlì-Cesena 02669250405 R.E.A. 284299 Iscr. Albo Soc. Coop.ve A106613

raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidenti ( $\lambda$ ) è 4 volte (o i suoi multipli dispari) lo spessore H del primo strato. Quindi la frequenza fondamentale di risonanza ( $f_r$ ) dello strato 1 relativa alle onde S è pari a:

$$f_r = V_s / 4H \quad (1)$$

Questo effetto è sommabile, anche se non in modo lineare e senza una corrispondenza 1:1. Ciò significa che la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi allo spessore) di ciascuno di essi, ma non risulta interpretabile applicando semplicemente l'equazione (1). E' necessario applicare il processo di inversione che richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto H/V, che fornisce un'importante normalizzazione del segnale per:

- a) contenuto in frequenza
- b) risposta strumentale
- c) ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

I valori assoluti degli spettri orizzontali (H) e verticali (V) variano con il livello assoluto del rumore ambientale (alte frequenze, disturbi "antropici" tipo mezzi in movimento, lavorazioni, calpestio ecc.). Nella pratica si usa H/V perché è un buon normalizzatore e, come ampiamente riconosciuto nella letteratura scientifica internazionale, H/V misura direttamente le frequenze di risonanza dei terreni.

	GEOECOTER s.c.a.r.l. – Ingegneria Civile e Geologia Applicata
	Località Trabocchi, Montepetrabassa - 47030 Sogliano al Rubicone (FC) Tel/Fax: 0547/95080
www.geocoter.com	P.IVA Registro Imprese Forlì-Cesena 02669250405 R.E.A. 284299 Iscr. Albo Soc. Coop.ve A106613

## STIMA DI VS A PARTIRE DA MISURE A STAZIONE SINGOLA

L'analisi H/V permette di identificare i contrasti di impedenza tra gli strati. Una coltre di sedimenti sovrastanti un substrato roccioso (bedrock) darà un picco nella funzione H/V. Però anche una coltre di sedimenti fini sopra uno strato di ghiaia può generare un massimo nella funzione H/V. In questo caso lo strato di ghiaia viene in genere indicato come bedrock-like (strato assimilabile al bedrock) anche se la sua velocità è inferiore agli 800 m/s previsti dalla normativa. Anche questi strati bedrock-like sono in grado di creare fenomeni di intrappolamento d'onde e quindi fenomeni di risonanza, se la discontinuità nelle Vs è netta.

In base alla precedente equazione, il segnale, una volta pulito dagli effetti antropici ad alta frequenza ( $>30\text{Hz}$ ), si può risolvere o conoscendo la Vs del materiale per determinare gli spessori oppure, conoscendo gli spessori, per determinare la Vs.

Quindi risulta indispensabile avere a disposizione dei vincoli da prove dirette del sottosuolo (penetrometrie, carotaggi) per poter associare ai picchi rilevati dalle misure di microtremore dei contrasti di impedenza adeguati, cioè modellare il mezzo geologico affinché rappresenti in maniera attendibile il sottosuolo, cioè strati con spessori e velocità associabili alla curva misurata delle frequenze di risonanza con il rapporto spettrale H/V.

Nel caso semplice di strato omogeneo sopra un bedrock, se da misure dirette è nota la profondità H del bedrock (o bedrock-like) si può calcolare il Vs30 attraverso le misure di fr. Se  $H > 30$  m, il valore di Vs30 viene calcolato direttamente dalla [1].

Se  $H \leq 30$  m, allora:

$$V_{s30} = \frac{30}{t_h + t_{30-H}} = \frac{30}{(1/f_r) + (30-H)/V_B} \quad [2]$$

dove  $V_B$  è la velocità delle onde S nel bedrock o bedrock-like.

Valori orientativi di velocità delle onde S sono riportati nella Tabella 1.

Tabella 1. Valori caratteristici delle onde S nei vari tipi di suolo (Borcherdt,1994).

Tipi di suolo	Vs min. (m/s)	Vs med. (m/s)	Vs max. (m/s)
Rocce molto dure (rocce metamorfiche poco fratturate)	1400	1620	-
Rocce dure (graniti, rocce ignee, conglomerati, arenarie ed argilliti da poco a mediamente fratturati)	700	1050	1400
Suoli ghiaiosi e rocce da tenere a dure (rocce sedimentarie tenere, arenarie, argilliti, ghiaie e suoli con più del 20% di ghiaia)	375	540	700
argille compatte e suoli sabbiosi (sabbie da sciolte a molto compatte, limi e argille sabbiose o limose, argille da medie a compatte)	200	290	375
Terreni teneri (terreno di riporto sotto falda, argille da tenere a molto tenere)	100	150	200

	GEOECOTER s.c.a.r.l. – Ingegneria Civile e Geologia Applicata
	Località Trabocchi, Montepetrabassa - 47030 Sogliano al Rubicone (FC) Tel/Fax: 0547/95080
www.geocoter.com	P.IVA Registro Imprese Forlì-Cesena 02669250405 R.E.A. 284299 Iscr. Albo Soc. Coop.ve A106613

## MODI DI VIBRARE

Come il sottosuolo, eccitato dalle onde che lo attraversano, presenta più modi di vibrare anche le strutture e gli edifici in c.a. presenta a loro volta delle frequenze di risonanza proprie dell'edificio.

E' indispensabile evitare i fenomeni di doppia risonanza cioè quei casi in cui la frequenza propria del terreno ha picchi con frequenze di risonanza simili o leggermente inferiori a quelle dell'edificio.

Condizione ideale sarebbe data da una risonanza dell'edificio a frequenze minori di quelle del sottosuolo. Se le risonanze suolo-struttura coincidono la situazione è problematica dal punto di vista della vulnerabilità sismica, così come se la risonanza della struttura è a frequenze di poco superiore a quelle del sottosuolo la situazione è ugualmente problematica perché :

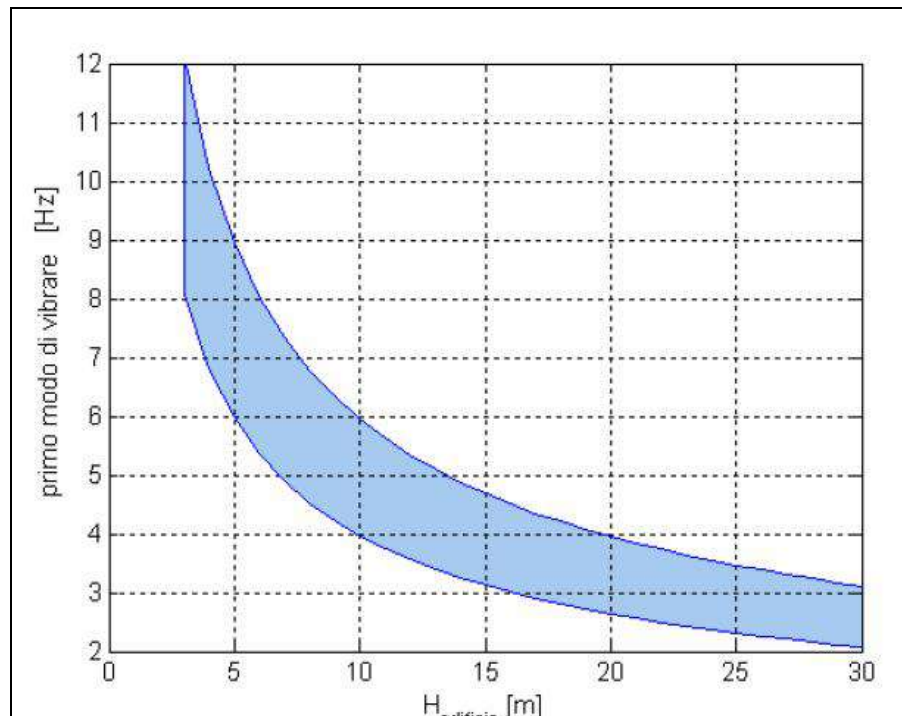
gli edifici con il proprio danneggiamento diminuiscono la loro frequenza di risonanza propria,

il sottosuolo può manifestare modi di vibrare di ampiezza maggiore e a frequenza maggiore rispetto a quella visibile con i microtremori.

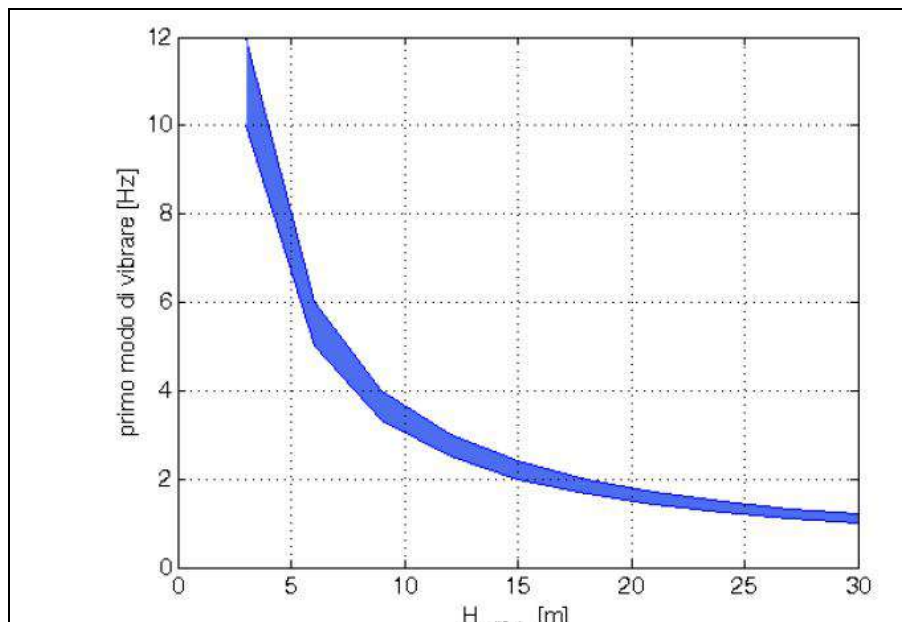
Quindi è opportuno che la frequenza di risonanza della struttura risulti sempre inferiore al picco di risonanza del terreno od almeno al di fuori del 40% dell'ampiezza del picco di risonanza del terreno.

Si allega di seguito il grafico semplificato che mette in relazione la frequenza di risonanza teorica per edifici in relazione alla loro altezza in metri, in modo da poter confrontare in maniera speditiva se sono possibili fenomeni di doppia risonanza (da "Tecniche di sismica passiva e attiva", Silvia Castellaro, 2010).

## RELAZIONE TIPICA ALTEZZA EDIFICIO - I MODO FLESSIONALE



I modo vibrare edifici c.a. in funzione h



I modo vibrare edifici muratura in funzione h

## INDAGINE HVSR

Instrument: TRZ-0194/01-12

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: n.a.

Start recording: 17/10/23 08:15:18 End recording: 17/10/23 08:27:18

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h12'00". Analysis performed on the entire trace.

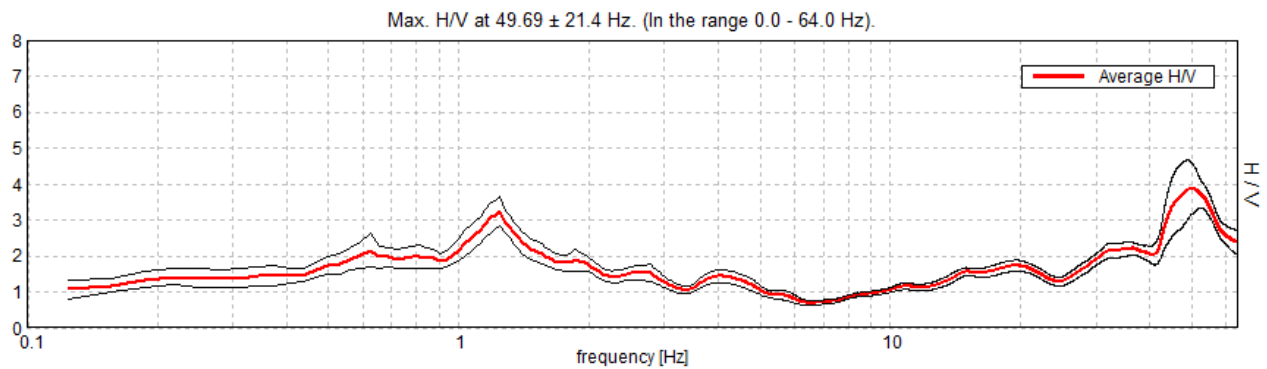
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

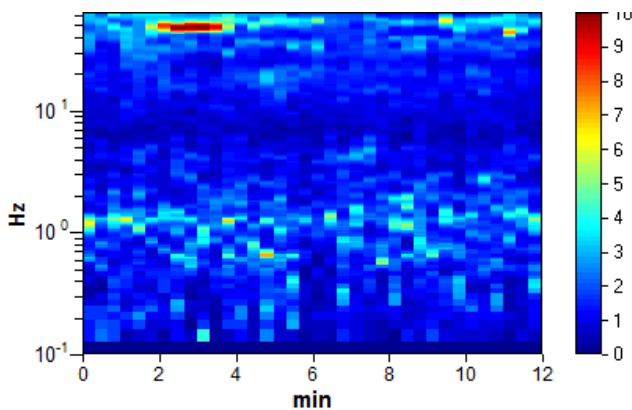
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

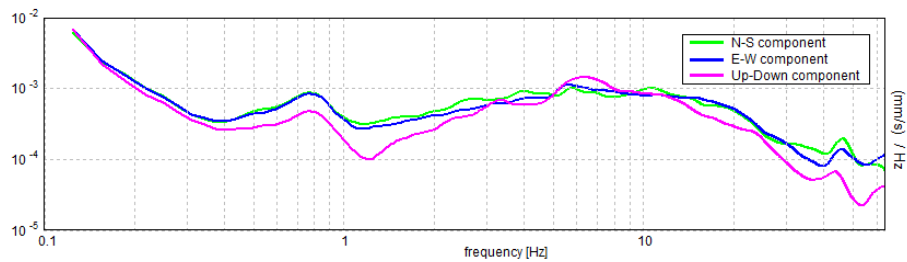
### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



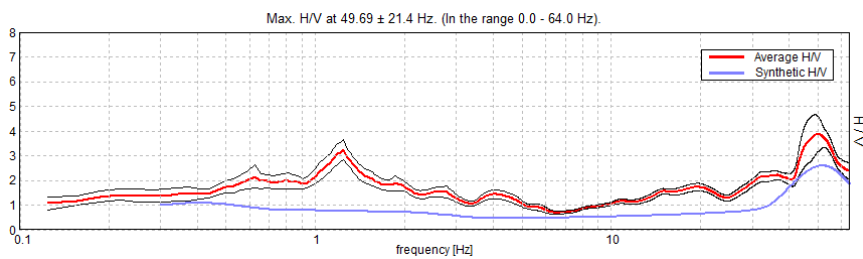
### H/V TIME HISTORY



### SINGLE COMPONENT SPECTRA

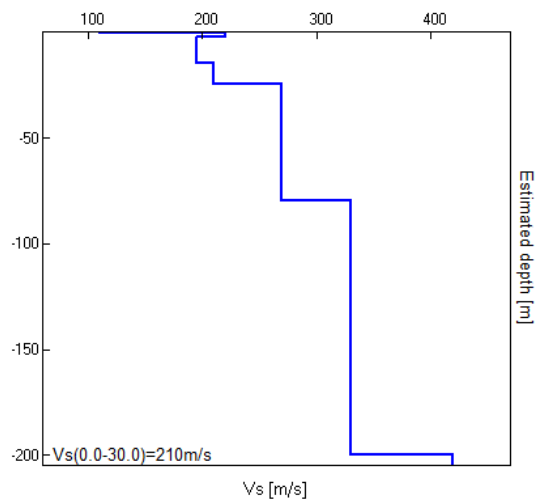



### EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.50	0.50	110	0.42
2.50	2.00	220	0.42
14.50	12.00	195	0.42
24.50	10.00	210	0.42
79.50	55.00	270	0.42
199.50	120.00	330	0.42
inf.	inf.	420	0.42

Vs(0.0-30.0)=210m/s



	GEOECOTER s.c.a.r.l. – Ingegneria Civile e Geologia Applicata
	Località Trabocchi, Montepetrabassa - 47030 Sogliano al Rubicone (FC) Tel/Fax: 0547/95080
www.geocoter.com	P.IVA Registro Imprese Forlì-Cesena 02669250405 R.E.A. 284299 Iscr. Albo Soc. Coop.ve A106613

[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.**]

**Max. H/V at 49.69 ± 21.4 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

<b>Criteria for a reliable H/V curve</b> [All 3 should be fulfilled]					
$f_0 > 10 / L_w$	$49.69 > 0.50$	<b>OK</b>			
$n_c(f_0) > 200$	$35775.0 > 200$	<b>OK</b>			
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1254 times	<b>OK</b>			
<b>Criteria for a clear H/V peak</b> [At least 5 out of 6 should be fulfilled]					
<b>Exists <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>	30.313 Hz	<b>OK</b>			
<b>Exists <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>					<b>NO</b>
$A_0 > 2$	$3.88 > 2$	<b>OK</b>			
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.43077  < 0.05$				<b>NO</b>
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$21.40377 < 2.48438$				<b>NO</b>
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.7465 < 1.58$	<b>OK</b>			
$L_w$ $n_w$ $n_c = L_w n_w f_0$ $f$ $f_0$ $\sigma_f$ $\varepsilon(f_0)$ $A_0$ $A_{H/V}(f)$ $f^-$ $f^+$ $\sigma_A(f)$ $\sigma_{\log H/V}(f)$ $\theta(f_0)$	window length number of windows used in the analysis number of significant cycles current frequency H/V peak frequency standard deviation of H/V peak frequency threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ H/V peak amplitude at frequency $f_0$ H/V curve amplitude at frequency $f$ frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$ frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$ standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$				
Threshold values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

	GEOECOTER s.c.a.r.l. – Ingegneria Civile e Geologia Applicata
	Località Trabocchi, Montepetrabassa - 47030 Sogliano al Rubicone (FC) Tel/Fax: 0547/95080
www.geocoter.com	P.IVA Registro Imprese Forlì-Cesena 02669250405 R.E.A. 284299 Iscr. Albo Soc. Coop.ve A106613

Con la determinazione delle onde di taglio vs i terreni indagati vengono inseriti in una delle seguenti categorie di sottosuolo (N.T.C. 2018 \_ Tabella 3.2.II e Tabella 3.2.III):

### **CATEGORIE DI SOTTOSUOLO**

<b>A</b> - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
<b>B</b> - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s
<b>C</b> - Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s
<b>D</b> - Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ tra 100 e 180 m/s
<b>E</b> - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D con profondità del substrato non superiore a 30 m.

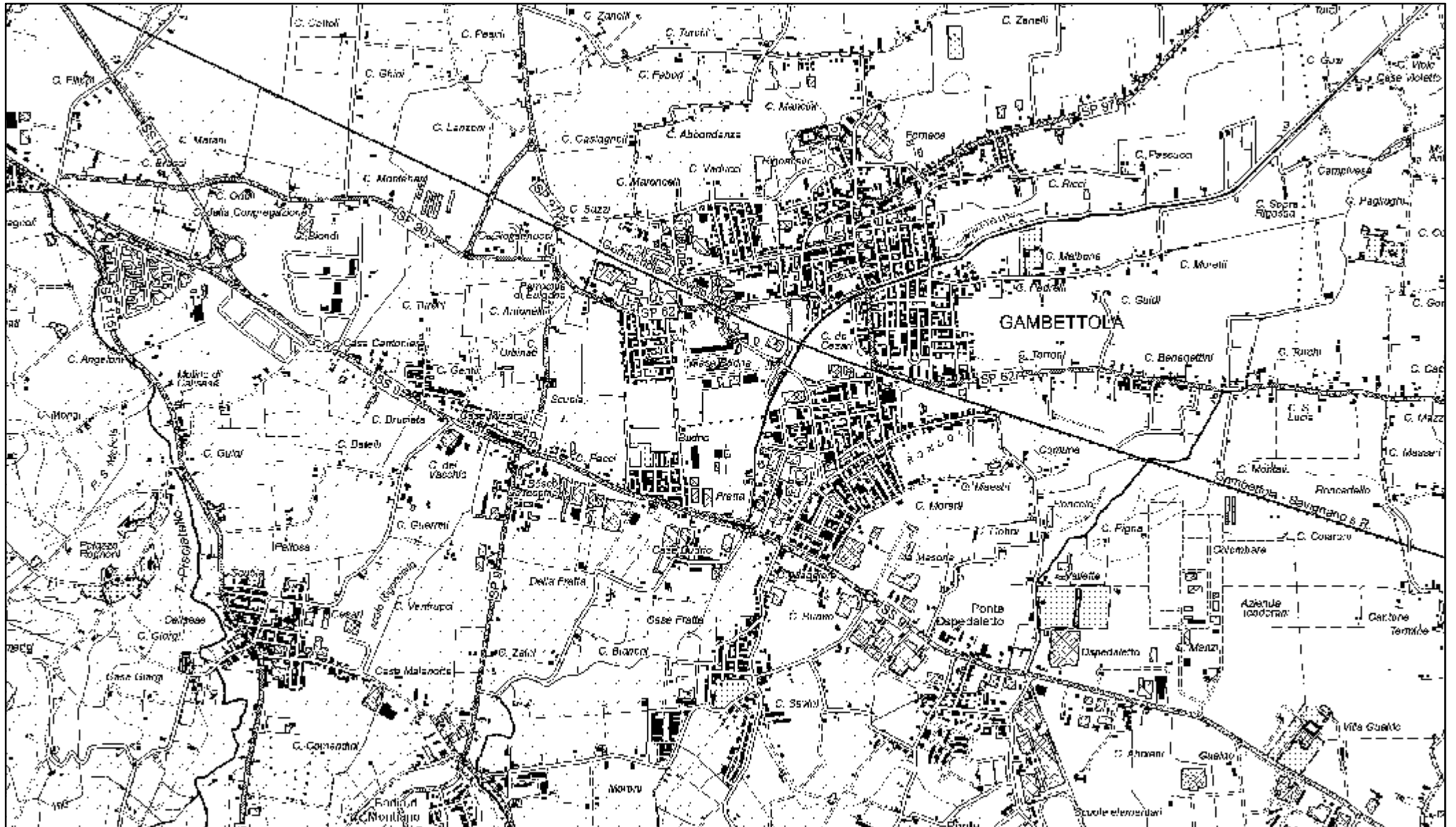
### **CONFIZIONI TOPOGRAFICHE**

<b>T1</b> - Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ .
<b>T2</b> - Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$ .
<b>T3</b> - Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$ .
<b>T4</b> - Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$ .

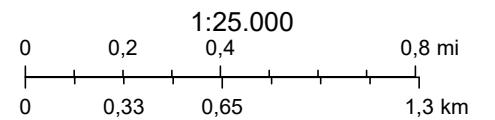
### **RISULTATI INDAGINE**

Dall'analisi si può affermare che il sito è caratterizzato da una velocità equivalente delle onde di  $V_{seq} = 210$  m/sec, calcolata dalla profondità di 0,00mt. ÷ 30,00 mt., corrispondente ad un terreno di tipo C ed il picco di risonanza principale posizionato a circa 1 Hz.

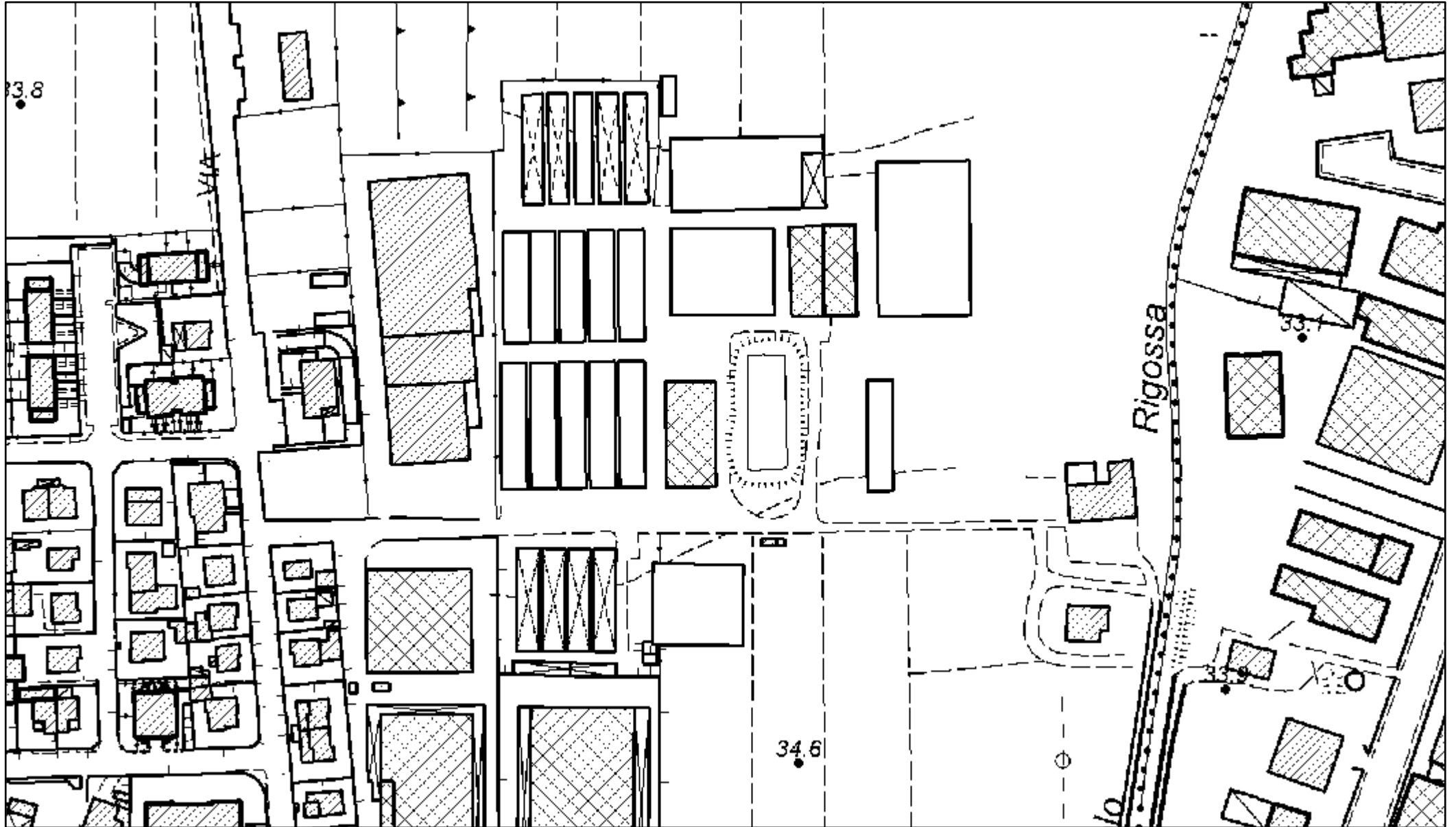
# COROGRAFIA



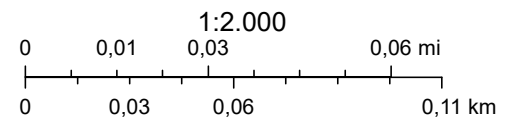
17/10/2023, 16:10:31



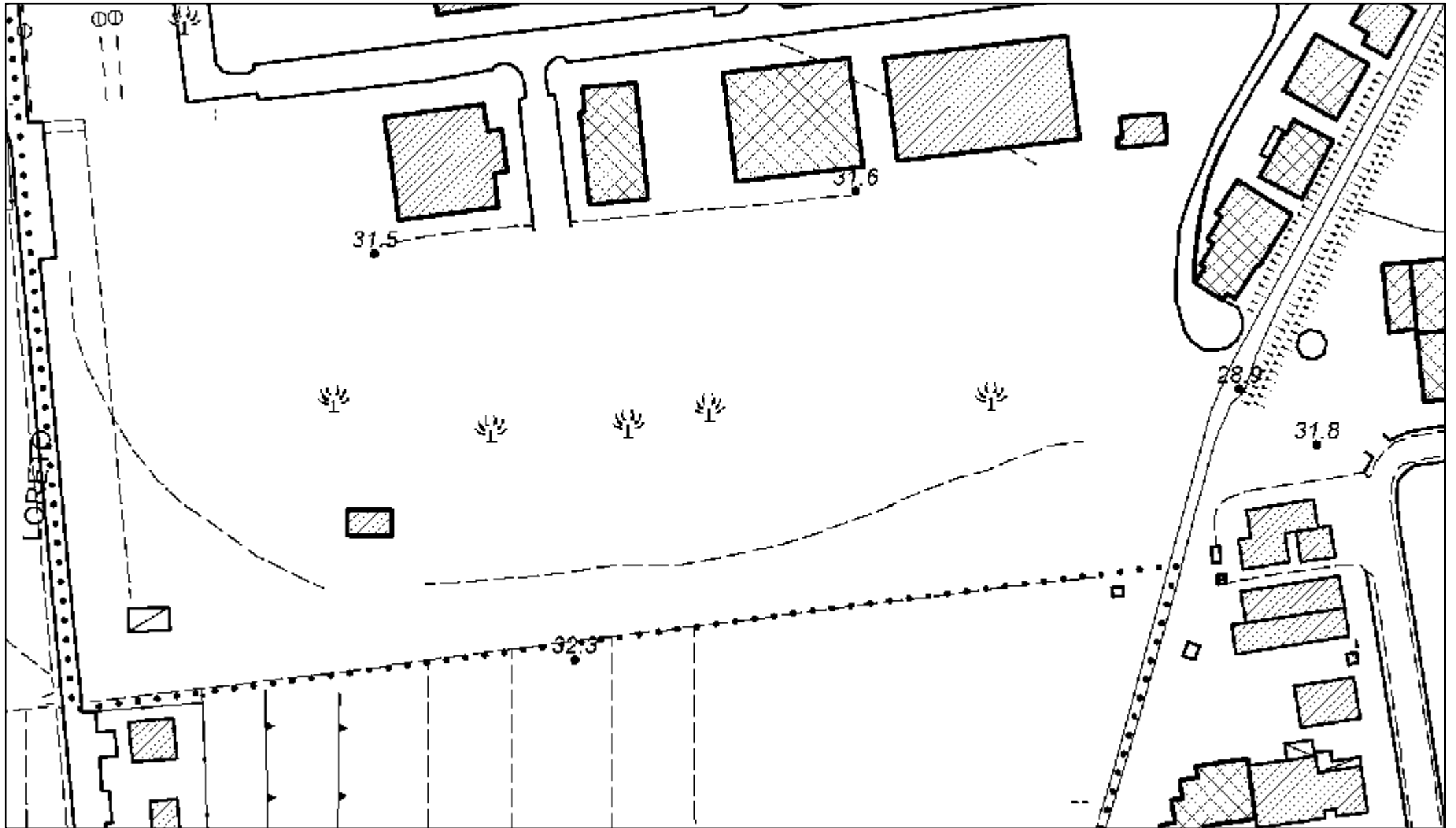
# CARTA TECNICA REGIONALE DELL'EMILIA ROMAGNA



17/10/2023, 16:14:01



# CARTA TECNICA REGIONALE DELL'EMILIA ROMAGNA



17/10/2023, 16:14:36

