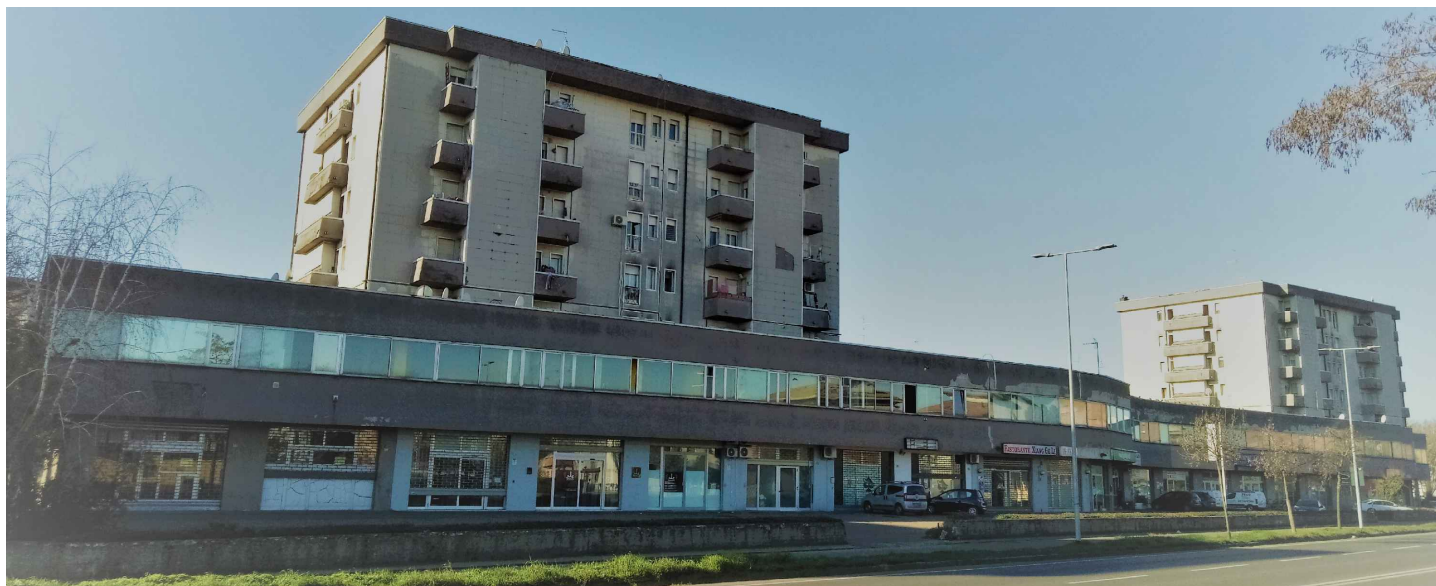


COMMITTENTE:

Comune di Carpi



# PIANO DI RECUPERO DEL BISCIONE Via Unione Sovietica, Carpi (MO)



Comune di Carpi



SINDACO  
Alberto Bellelli

ASSESSORE URBANISTICA - EDILIZIA  
PRIVATA - RICOSTRUZIONE - AMBIENTE -  
SMART CITY  
Riccardo Righi

DIRIGENTE DEL SETTORE S4 -  
PIANIFICAZIONE E SOSTENIBILITA'  
URBANA - EDILIZIA PRIVATA  
Renzo Pavignani

RESPONSABILE SERVIZIO  
RIGENERAZIONE URBANA  
Attilio Palladino

ISTRUTTORI TECNICI E AMMINISTRATIVI  
Sara Marri  
Donatella Dotti



SEDE LEGALE  
Via Galileo Galilei 220 - 41126 Modena - Italy  
Tel. +39 059 35 65 27 Fax. +39 059 35 60 87  
info@politecnica.it www.politecnica.it

TECNICO PROGETTISTA  
arch. Maria Cristina Fregni

PROGETTISTA INFRASTRUTTURE  
ing. Stefano Ripari

TEAM DI PROGETTO  
arch. Anna Giusti  
ing. Arianna Guerrini

ELABORATO

## RELAZIONE GEOLOGICA - SISMICA E VALUTAZIONE VULNERABILITA' STRUTTURALE

01

XX

RT01

1 0

Cartella	File name	Prot.	Scala	Formato
01	001_XXRT01_10_5125	5125	-	A4

5

3

1

EMISSIONE

30/11/2022

REV.	DESCRIZIONE	Data	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
------	-------------	------	---------	------------	-----------

# COMUNE DI CARPI

## PROVINCIA DI MODENA

### RELAZIONE GEOLOGICA

inerente alla caratterizzazione e modellazione geologica del sito (6.2.1 NTC 2018);

### RELAZIONE GEOTECNICA

Relativa alle indagini, alla caratterizzazione e alla modellazione geotecnica a supporto della progettazione strutturale (6.2.2. NTC 2018) nonché relativa alla verifica delle opere di fondazione (6.4.NTC 2018);

### RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA

Relativa alla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione (NTC 2018, DGR RER 1373/2011).



### OGGETTO

**Caratterizzazione geologica geotecnica e sismica  
inerente al progetto di ristrutturazione del  
Condominio IL BISCIONE**

Via Unione Sovietica  
**COMUNE DI CARPI (MO).**

Febbraio 2022  
Rif. 151/2022



Dott. Geol. Pier Luigi Dallari



GEO GROUP s.r.l.  
UFFICI: via Per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo R. (MO)  
SEDE LEGALE: via C. Costa, 182 - 41123 Modena (MO)  
tel. 059/3967169; 059/828367 - p. Iva e C.F. 02981500362  
Email: [info@geogroupmodena.it](mailto:info@geogroupmodena.it) Pec: [geo.group@winpec.it](mailto:geo.group@winpec.it) Sito:  
[www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it)



# RELAZIONE TECNICA

## RELAZIONE GEOLOGICA

inerente alla caratterizzazione e modellazione geologica del sito (6.2.1 NTC 2018)

## RELAZIONE GEOTECNICA

Relativa alle indagini, alla caratterizzazione e alla modellazione geotecnica a supporto della progettazione strutturale (6.2.2. NTC 2018) nonché relativa alla verifica delle opere di fondazione (6.4.NTC 2018)

## RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA

Relativa alla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione (NTC 2018, DGR RER 1373/2011)

## OGGETTO

### **Caratterizzazione geologica geotecnica e sismica inerente al progetto di ristrutturazione del Condominio IL BISCIONE**

---

Via Unione Sovietica  
**COMUNE DI CARPI (MO).**

Rif. n. 151/2022



UFFICI: via Per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo R. (MO)

SEDE LEGALE: via C.Costa,182 - 41123 Modena (MO)

tel. 059/3967169; 059/828367 - p. Iva e C.F.02981500362

Email: [info@geogroupmodena.it](mailto:info@geogroupmodena.it) Pec: [geo.group@winpec.it](mailto:geo.group@winpec.it) Sito: [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it)



## INDICE DEL CONTENUTO

1	PREMESSE.....	3
2	INQUADRAMENTO GENERALE.....	4
2.1	Inquadramento geografico.....	4
2.2	Elementi geologici e geomorfologici .....	5
2.3	Inquadramento sismico.....	6
3	INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	8
3.1	Indagini Geotecniche .....	8
3.1.1	Prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT.....	8
3.2	Indagini Geofisiche .....	9
3.2.1	Indagine sismica passiva a stazione singola (analisi HVSR) .....	9
4	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO.....	10
4.1	Pericolosità sismica di base.....	10
4.2	Categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 NTC2018) .....	12
4.3	Azione sismica e risposta sismica del sito – Approccio semplificato .....	13
4.4	Azione sismica e risposta sismica del sito – Analisi di risposta sismica locale.....	14
5	MODELLAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA DEL SITO .....	22
5.1	Modello geotecnico del sottosuolo.....	22
5.2	Tipologia di fondazioni e calcolo della capacità portante .....	22
5.2.1	Verifica nei confronti degli SLU (6.4 NTC 2018) .....	23
5.2.2	Verifica dei cedimenti .....	24
5.2.3	Modulo di sottofondo .....	24
5.3	Stabilità nei confronti della liquefazione (§ A2.2. DGR 476/2021).....	24
6	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	27

## TAVOLE

Tav. n. 1: "Carta Topografica"  
Tav. n. 2: "Ripresa Satellitare"  
Tav. n. 3: "Ubicazione indagini"

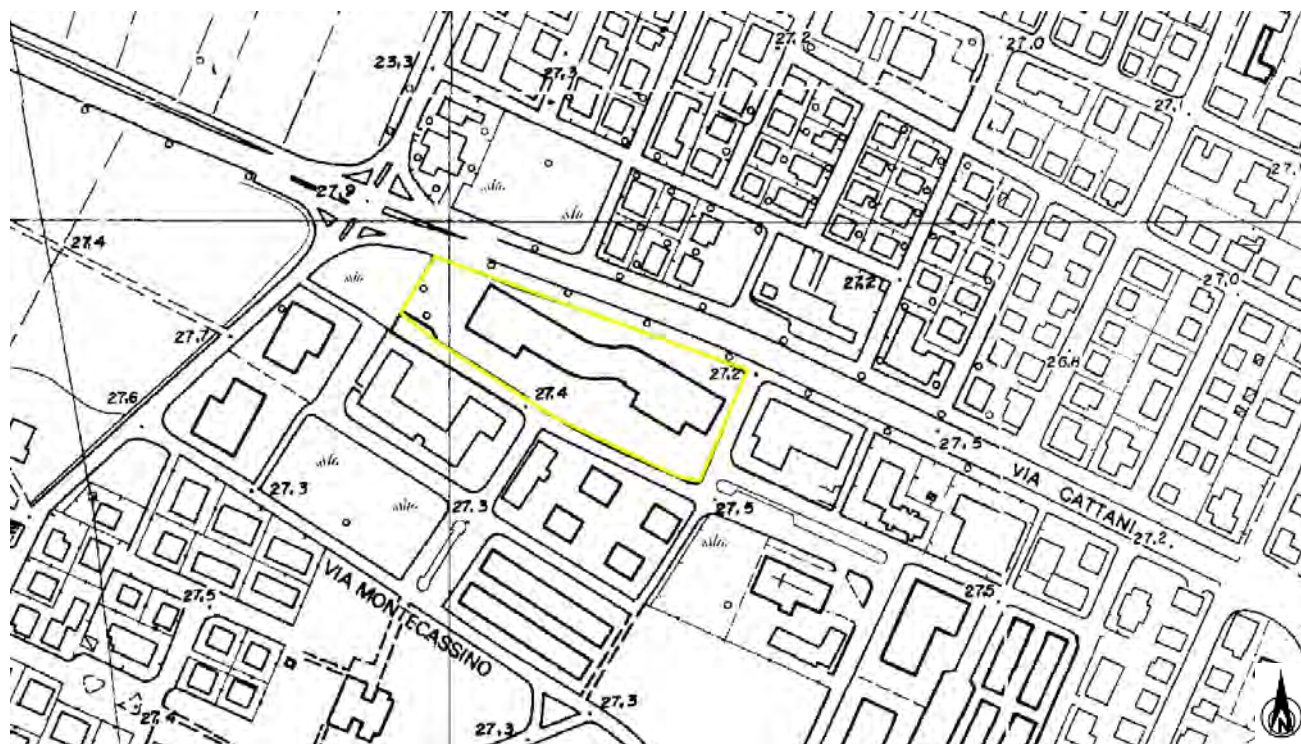
scala 1: 5.000;  
scala 1: 5.000;  
scala 1: 1.000.

## ALLEGATI

ALL. n. 1 Prove penetrometriche statiche CPT;  
ALL. n. 2 Verifiche geotecniche;  
ALL. n. 3 Indagini sismiche;  
ALL. n. 4 Verifica alla liquefazione.

# 1 PREMESSE

Nel mese di febbraio 2022 è stato eseguito il presente studio geologico, geotecnico e sismico inerente al progetto di ristrutturazione del condominio “IL BISCIONE” – via Unione Sovietica - Comune di Carpi (MO).



**Fig.1.1 - Ubicazione del sito in studio.**

La presente relazione fa riferimento alle disposizioni normative contenute in:

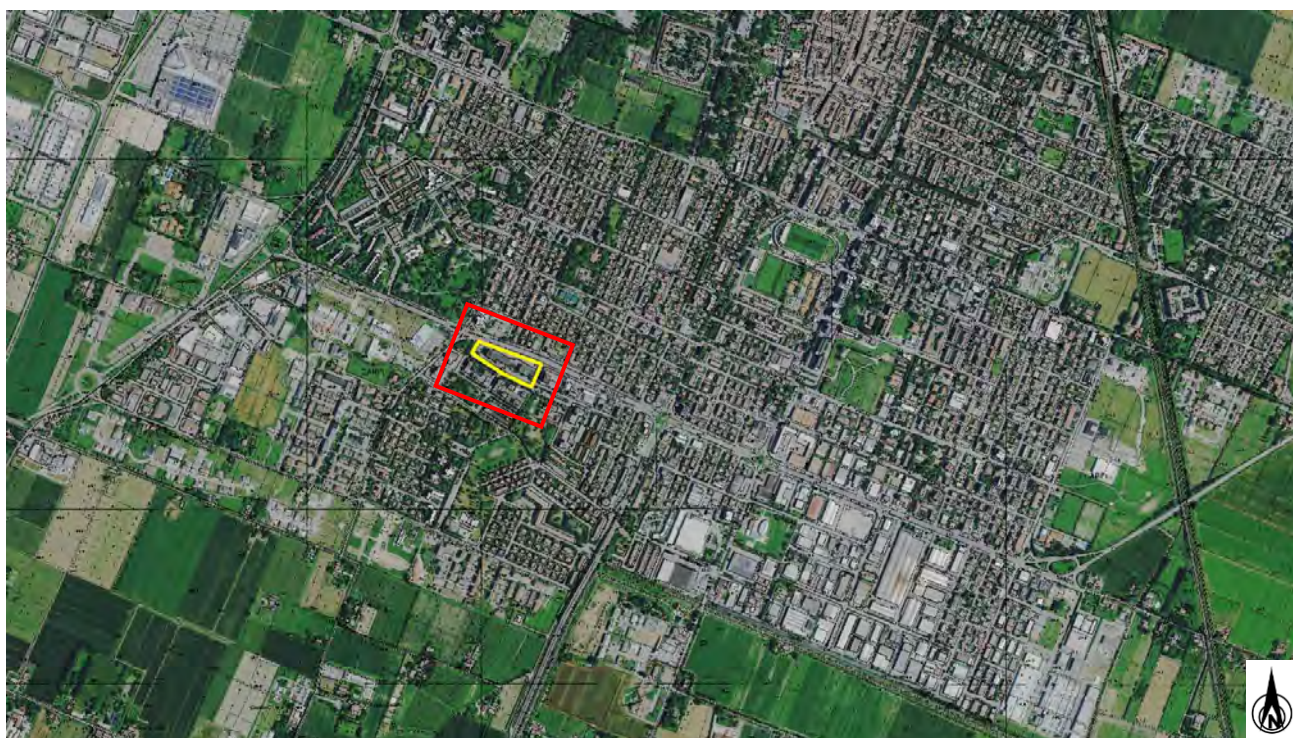
- Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 – D.M. 17/01/2018;
- DGR 476/2021.

## 2 INQUADRAMENTO GENERALE

### 2.1 Inquadramento geografico

L'area in esame è collocata in ambiente di pianura, in prossimità del centro del Comune di Carpi (Fig.2.1). Le coordinate specifiche dell'area sono le seguenti:

SITO IN ESAME	
COORDINATE GEOGRAFICHE	
LATITUDINE	LONGITUDINE
44.773727	10.872004



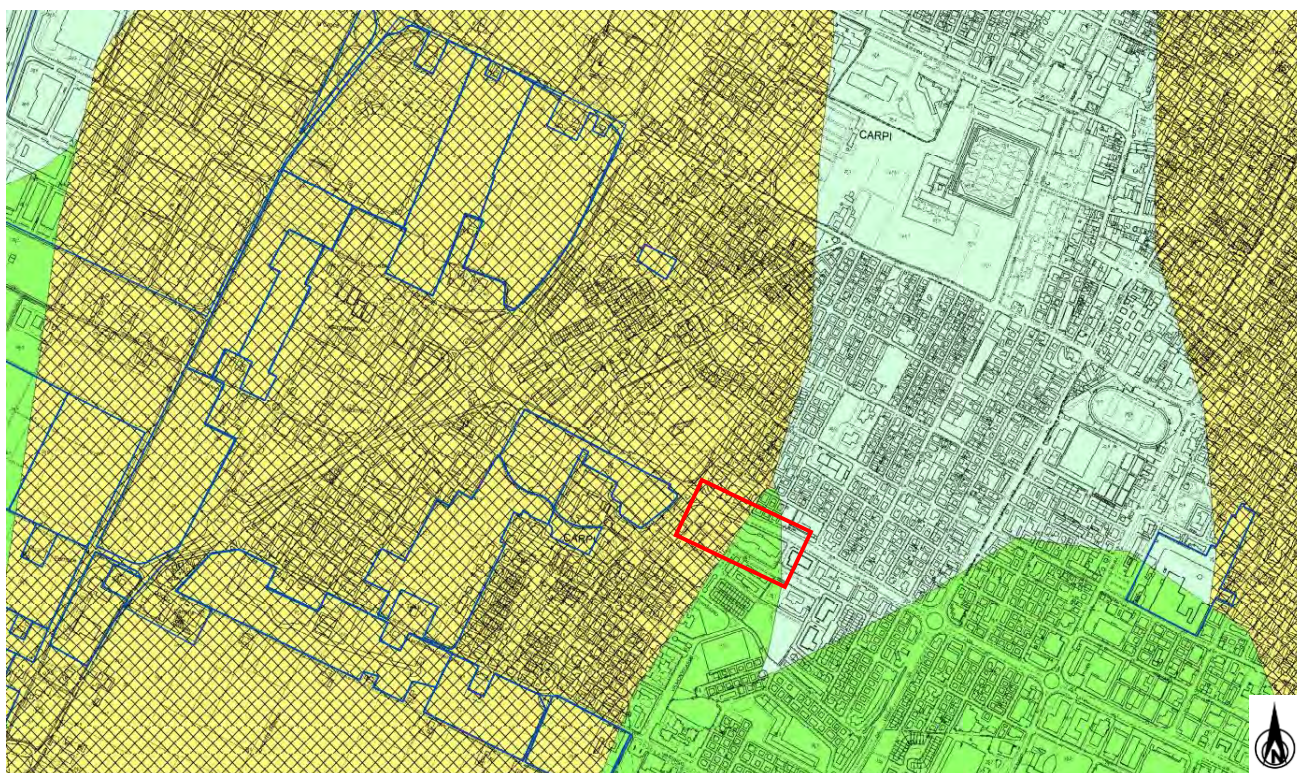
**Fig.2.1 – Ubicazione geografica del sito in studio.**

Per un completo inquadramento geografico dell'area si rimanda dalla cartografia allegata alla presente relazione, in particolare alla "Carta topografica", alla scala 1: 5.000 (tav. n. 1) e alla "Ripresa satellitare" alla scala 1: 5.000 (tav. n. 2).



## 2.3 Inquadramento sismico



A supporto dell'analisi sismica e della valutazione della stabilità del sito, successivamente descritta nei paragrafi seguenti, per quel che concerne i fenomeni co-sismici è stata preliminarmente consultata la cartografia relativa allo studio di Microzonazione Sismica del Comune di Carpi (MO), ed in particolare dalla "Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica", un cui estratto è riportato in figura (Fig. 2.3), si nota come l'area in studio ricade in parte nella zona 2002 "stabile suscettibile di amplificazione locale" e in parte nella zona 2006 soggetta a instabilità per liquefazione.



### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

- 2001 Zona 1-Alternanze di strati di argille e argille limose con strati di limi, limi sabbiosi e sabbie limose (sedimenti di provenienza appenninca)
- 2002 Zona 2- Argille e argille limose (con radi strati sabbiosi) sovrastate da un orizzonte superficiale limo-sabbioso
- 2003 Zona 3-Argille e limi prevalenti (con radi strati sabbiosi) fino ad almeno 25-40 m di profondità, sovrastanti depositi sabbia
- 2004 Zona 4-Peliti prevalenti (con radi strati sabbiosi) fino almeno 20-30 m di profondità
- 2005 Zona 5-Argille e limi fino 5-10 m di profondità. Sabbie prevalenti tra 5-20 m di profondità
- 2006 Zona 6-Alternanze tra strati metrici/plurimetrici sabbiosi e strati metrici/plurimetrici pelitici

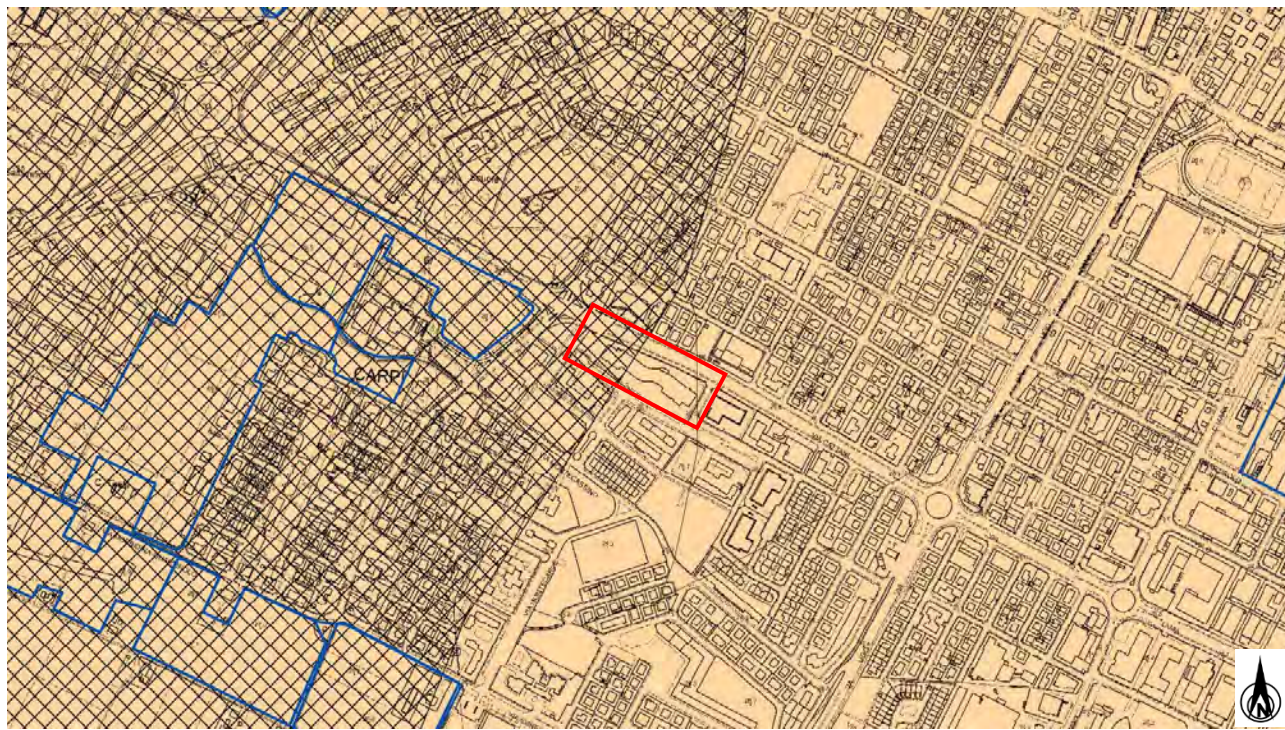
### Zone suscettibili di instabilità

-  Liquefazioni
-  Aree urbanizzate e urbanizzabili


**Fig.2.3 – Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica – Comune di Carpi (MO) – Tav. 3.**




Dalla consultazione della "Carta di microzonazione sismica FPGA" (Microzonazione Sismica del Comune di Carpi (MO)), un cui estratto è riportato in figura (Fig. 2.4), si nota come l'area in studio ricade in parte in zona instabile suscettibile di liquefazione, pertanto al fine di derivare la pericolosità sismica risulta ragionevole eseguire lo studio di risposta sismica locale di terzo livello di approfondimento §4.4.





#### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (FA PGA)

 Fa = 1,5 - 1,6

 Fa = 1,7 - 1,8

#### Zone suscettibili di instabilità

 Liquefazioni

 Aree urbanizzate e urbanizzabili

**Fig.2.4 – Estratto della "Carta delle microzonazione sismica FPGA" – Microzonazione Sismica del Comune di Carpi (MO) – Tav.3.**

## 3 INDAGINI GEOGNOSTICHE

### 3.1 Indagini Geotecniche

In relazione alla litologia presente nell'area e in base alla tipologia di intervento in progetto, sono state eseguite nell'area in studio le seguenti indagini geognostiche:

- **n. 2 prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT.**

I risultati delle suddette indagini sono riportati nell'**allegato n. 1**.

#### 3.1.1 Prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT

Nell'**Allegato n. 1** sono riportati i grafici e le tabelle riguardanti le prove eseguite, corredate dall'elaborazione geotecnica e litostratigrafica. Le prove sono state eseguite con un penetrometro Pagani dotato di punta Begemann. Le caratteristiche tecniche dello strumento impiegato sono le seguenti:

<b>Spinta</b>	S	200 kN
<b>Punta conica meccanica</b>		
Diametro	$\Phi$	35.7 mm
Area punta	A	10 cm <sup>2</sup>
Angolo di apertura	$\alpha$	60°
<b>Manicotto laterale di attrito</b>		
Diametro	$\Phi$	35.7 mm
Altezza	h	133 mm
Area	A	150 cm <sup>2</sup>
<b>Velocità di avanzamento costante</b>	V	2 cm/sec
<b>Intervallo di misura</b>		20 cm

Le prove sono state elaborate mediante un software che restituisce l'interpretazione litologica dei terreni indagati effettuata sulla base del rapporto qc/fs (Begemann, 1965; A.G.I. 1977) e la stima dei parametri geotecnici in condizioni non drenate tramite correlazioni.

#### **Correlazioni utilizzate per la stima dei parametri geotecnici**

Coesione non drenata (terreni coesivi)  $C_u$

RACCOMANDAZIONI AGI 1977 – RICCI ET AL. 1974 – MARSLAND ET AL. 1974/1979

Modulo di deformazione non drenato  $E_u$

DUNCAN-BUCHIGANI 1976

Modulo edometrico  $M_o$

SANGLERAT 1972 – MITCHELL/GARDNER 1975 – RICCI ET AL. 1974 – HOLDEN 1973)

Peso unità di volume  $\gamma_{sat}$  (saturo sotto falda) –  $\gamma$  (umido sopra falda)

IN BASE ALLA NATURA LITOLOGICA TERZAGHI-PECK 1967 – BOWELS 1982

Velocità delle onde di taglio  $V_s$

YOSHIDA MOTONORI 1988

## 3.2 Indagini Geofisiche

Per la caratterizzazione sismica dell'area in studio, è stata eseguita la seguente indagine geofisica:

- **n. 1 indagine sismica passiva HVSR.**

I risultati dell'indagine sismica sopra citata sono riportati integralmente nell'allegato n. 3.

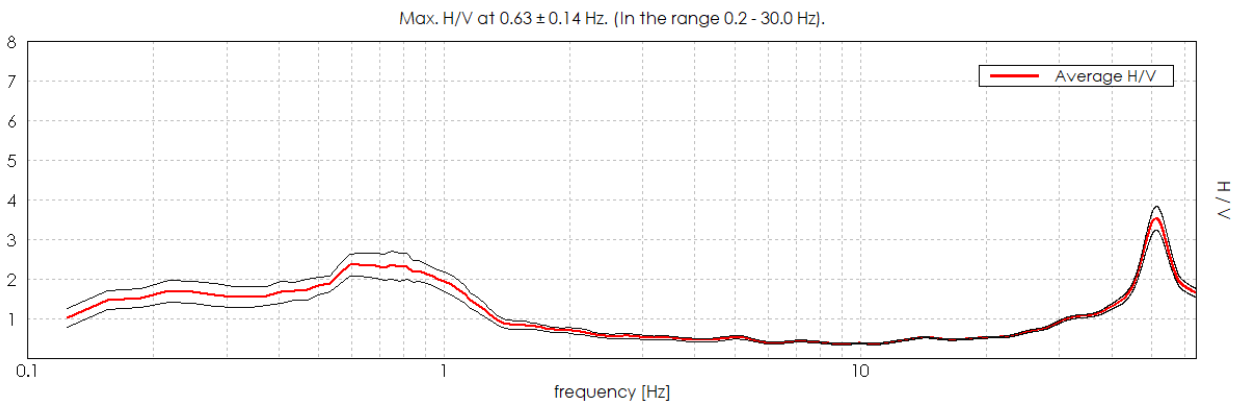
### 3.2.1 Indagine sismica passiva a stazione singola (analisi HVSR)

La misura sismica passiva a stazione singola è stata eseguita mediante un tomografo digitale dotato di tre canali velocimetrici, modello Tromino® prodotto da Moho srl (Marghera (VE), Italia). Per l'acquisizione è stata adottata una frequenza di campionamento di 128 Hz per una durata totale di 20 minuti (Fig. 3.1).

Lo scopo dell'indagine è la misura della frequenza di risonanza del terreno, la quale è legata alla velocità delle onde di taglio  $V_s$  nel terreno dalla formula:

$$f = \frac{V_s}{4h}$$

dove  $h$  è lo spessore dello strato.

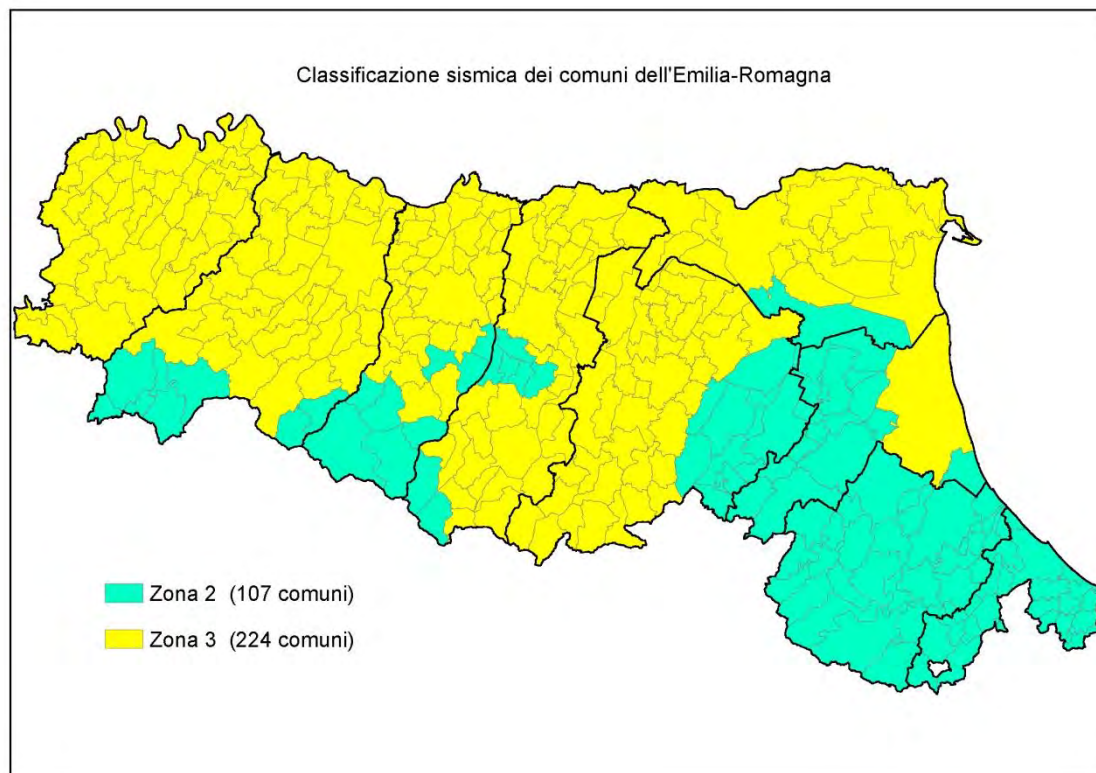


**Fig.3.1 - Curva HVSR che identifica un picco a 0.63 Hz.**

## 4 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

### 4.1 Pericolosità sismica di base

Secondo la classificazione sismica del territorio nazionale proposta a partire dall'O.P.C.M. n. 3274/2003 e successive modifiche, il **Comune di Carpi (MO)** risulta appartenente alla **classe di sismicità 3** (Fig. 4.1).





**Fig.4.1 - Classificazione sismica dei comuni della Regione Emilia-Romagna (DGR 1164/18).**


La suddivisione del territorio nazionale in zone a diversa classe di sismicità, caratterizzate da un valore di accelerazione di picco ed un corrispondente spettro di risposta elastico da utilizzare nella progettazione, risulta in realtà superata dall'entrata in vigore del D.M. 14/01/2008. Sulla base dei contenuti delle NNTC 2008 e delle successive NTC 2018, per ogni costruzione deve essere definita un'accelerazione di riferimento propria, in funzione delle coordinate geografiche dell'area e della vita nominale dell'opera.

Per ciascuna area in oggetto, in relazione a un periodo di riferimento  $T_R$  stimato di 475 anni, è stato definito un parametro di accelerazione massima attesa  $a_g$  definita in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido e con superficie topografica orizzontale. L'accelerazione  $a_g$  rappresenta uno dei parametri principali che definisce la **pericolosità sismica di base**, insieme ai parametri  $F_0$  e  $T_c^*$  dello spettro di risposta elastico, desumibili nelle tabelle riportate sotto (Tab. 4.1).

### Stati limite

 Classe Edificio  
 II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...

 Vita Nominale 50

 Interpolazione Media ponderata

**CU = 1**

Stato Limite	Tr [anni]	a <sub>g</sub> [g]	F <sub>o</sub>	T <sub>c</sub> * [s]
Operatività (SLO)	30	0.043	2.509	0.249
Danno (SLD)	50	0.054	2.505	0.265
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.154	2.577	0.271
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.206	2.526	0.278
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

### Coefficienti sismici

 Tipo Stabilità dei pendii e fondazioni

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m) us (m)  
 1 0.1

 Cat. Sottosuolo C

 Cat. Topografica T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,46	1,39
CC Coeff. funz categoria	1,66	1,63	1,62	1,60
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Acc.ne massima attesa al sito [m/s<sup>2</sup>] 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.013	0.016	0.054	0.080
kv	0.006	0.008	0.027	0.040
Amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.633	0.799	2.204	2.806
Beta	0.200	0.200	0.240	0.280

**Tab.4.1 - Tabella riassuntiva dei parametri sismici del sito in esame secondo NTC18.**

## 4.2 Categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 NTC2018)

Per determinare il parametro  $V_{30}$  e definire quindi la categoria di sottosuolo dell'area indagata (§ 3.2.2 NTC 2018) è stata eseguita in sito l'indagine sismica sopra descritta nel paragrafo precedente. Il valore di  $V_{30}$  si calcola attraverso la formula 3.2.1 delle NTC 2018:

$$V_{s,Eq} = \frac{H}{\sum_i \frac{h_i}{V_{si}}}$$

dove H è la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

Dall'elaborazione dell'indagine sismica HVSR, si è ottenuto il valore di  $V_{s,30}$  e di frequenza naturale del terreno  $f_0$  riportati nelle seguenti tabelle:

HVSR	<b>0.63 ± 0.14 HZ</b>	NON RISPETTA I CRITERI SESAME
	<b>Vs30</b>	<b>219 m/s</b>

Pertanto, secondo la classificazione del sottosuolo imposta dal NTC 2018, si definisce il sottosuolo indagato come appartenente alla appartenente alla **categoria C**, corrispondente a

DEPOSITI DI TERRENI A GRANA GROSSA MEDIAMENTE ADDENSATI O TERRENI A GRANA FINA MEDIAMENTE CONSISTENTI CON PROFONDITÀ DEL SUBSTRATO SUPERIORI A 30 m, CARATTERIZZATI DA UN MIGLIORAMENTO DELLE PROPRIETÀ MECCANICHE CON LA PROFONDITÀ E DA VALORI DI VELOCITÀ EQUIVALENTE COMPRESI TRA **180 m/s** E **360 m/s**.

### 4.3 Azione sismica e risposta sismica del sito – Approccio semplificato

Per la definizione dell'azione sismica, sulla base di quanto previsto dalle NTC si può fare riferimento ad un approccio semplificato che **si basa sull'individuazione della categoria di sottosuolo e le condizioni topografiche del sito**, in funzione delle quali si definiscono l'entità dell'amplificazione stratigrafica e topografica. Sulla base delle NTC 2018, e tenendo conto dei dati ottenuti **dalle indagini geofisiche eseguite in sito**, si **classifica** il terreno di fondazione in oggetto, come appartenente alla **categoria C**.

Si ricava quindi il **fattore stratigrafico  $S_s$** , mediante la seguente relazione, valida suoli in classe C:

$$1.00 \leq S_s = 1.70 - (0.60 \cdot F_o \cdot a_g/g) \leq 1.50 \quad (4.1.1)$$

dove:

- $F_o$  = fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2.2;
- $a_g/g$  = accelerazione orizzontale del sito, con tempo di ritorno pari a **475 anni**/accelerazione di gravità;
- $S_s$  = coefficiente di amplificazione stratigrafica o fattore stratigrafico, calcolato tramite la relazione sopra riportata.

Successivamente, sulla base delle condizioni topografiche del sito studiato, si considera un valore di un fattore topografico  $S_T$  sulla base della seguente tabella:

Categoria topografica	Ubicazione opera/intervento	$S_T$
<b>T1</b>	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$	<b>1.0</b>
<b>T2</b>	Pendii con inclinazione media $> 15^\circ$	<b>1.2</b>
<b>T3</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	<b>1.2</b>
<b>T4</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $> 30^\circ$	<b>1.4</b>

Per l'area studiata si riportano in tabella i parametri della pericolosità di base.

PARAMETRI PERICOLOSITÀ DI BASE			
Tr (anni)	$a_g(g)$	$F_o$	$T_c^*(s)$
475	0.154	2.577	0.271

PARAMETRI PERICOLOSITÀ DI SITO	
$S_s$	$S_T$
1.46	1.00

Si calcola infine per ciascuna area l'accelerazione massima orizzontale  $A_{max}$  con la seguente formula:

$$A_{max} = S_s \cdot S_T \cdot a_g = 1.46 \cdot 1.0 \cdot 0.154 = 0.225g$$

#### 4.4 Azione sismica e risposta sismica del sito – Analisi di risposta sismica locale

Dato che l'area in studio ricade in parte in una zona soggetta a liquefazione §2.3, è stata definita l'azione sismica di progetto secondo uno studio di **risposta sismica locale**, secondo III livello di approfondimento.

Per ottemperare ai riferimenti normativi citati l'analisi è stata svolta secondo quanto indicato al § 7.11.3 delle NTC 2018, attraverso analisi numerica monodimensionale in campo lineare equivalente. Per fare ciò è stato utilizzato come strumento di lavoro il software di calcolo STRATA (University of Texas - Austin).

Ai fini della restituzione degli spettri di accelerazione, relativi allo stato limite SLV, è stata svolta la verifica dell'amplificazione del sito mediante l'utilizzo di un modello simulato in campo lineare equivalente.

Utilizzando un modello lineare equivalente è possibile ottenere una soluzione di un modello non lineare, attraverso analisi lineari complete nelle quali al termine di ogni interazione vengono aggiornati i parametri di **rigidezza** e **smorzamento** che sono dipendenti dallo stato di deformazione del terreno. Attraverso un'iterazione di calcoli si raggiunge una convergenza prefissata a monte della fase di computazione.

Il software STRATA è in grado di valutare la risposta sismica di un deposito di terreno, considerando un profilo monodimensionale in cui si propagano linearmente le onde sismiche, in funzione dei parametri dinamici attribuiti al terreno. Il terreno viene schematizzato come un sistema di N strati orizzontali omogenei, isotropi e visco-elastici, sovrastanti un semispazio uniforme, attraversati da un treno di onde di taglio che incidono verticalmente le superfici. Ogni strato è descritto per mezzo dello spessore  $H$ , del modulo di taglio massimo  $G_{max}$  o dalla corrispondente velocità massima  $V_{max}$ , dal valore dello smorzamento  $D$ , dal peso dell'unità di volume  $\gamma$  e dalle curve di decadimento del modulo di rigidezza a taglio normalizzato ( $G / G_0 - \gamma$ ) e le corrispondenti curve dello smorzamento ( $D - \gamma$ ) con la deformazione di taglio  $\gamma$ . Il modello lineare visco-elastico fa riferimento al modello reologico di Kelvin-Voigt, costituito da una molla e uno smorzatore viscoso in parallelo. Tale modello è descritto quindi dalla rigidezza (**G**) e dallo smorzamento (**D**). L'onda monodimensionale viene descritta dall'equazione in cui lo spostamento provocato ( $u$ ) è funzione della profondità ( $z$ ) e del tempo ( $t$ ):

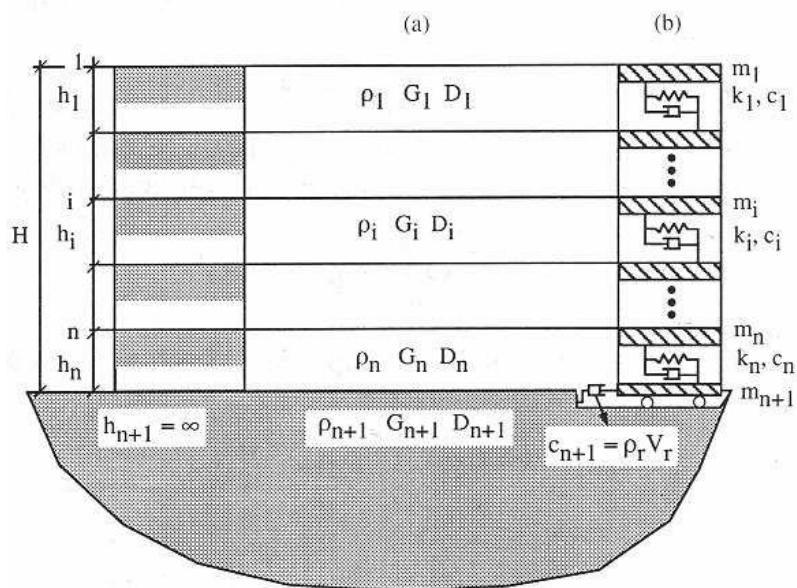
$$u(z,t)=A\exp[i(\omega t+k^*z)]+B\exp[i(\omega t-k^*z)]$$

Nell'equazione appena presentata A e B rappresentano le corrispettive amplificazioni del tetto e della base dello strato considerato. Il fattore  $k^*$  risulta dipendente dal modulo di taglio ( $G$ ), dal grado di smorzamento ( $D$ ) e dalla densità del terreno ( $\rho$ ). Le relazioni sono le seguenti:

$$k^* = \frac{\omega}{v_s^*}$$
$$v_s^* = \sqrt{\frac{G^*}{\rho}} \quad G^* = G \left( 1 - 2D^2 + i2D \sqrt{1 - D^2} \right) \approx G(1 + i2D)$$

Dove  $G^*$  e  $v_s^*$  rappresentano il modulo di taglio e la velocità di taglio.





**Fig.4.2 - Modello a strati continui adottato per la simulazione con il codice di calcolo STRATA.**

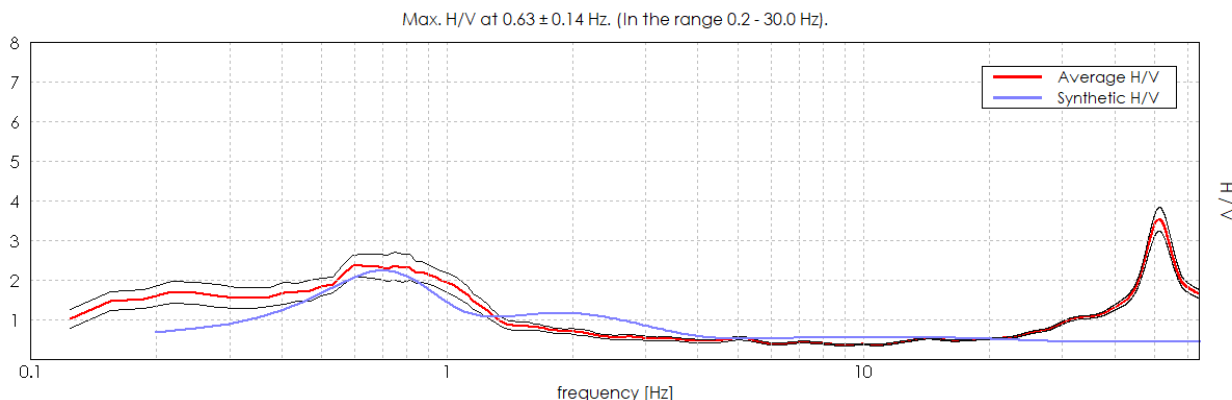
### MODELLO SIMULATO

Il modello simulato deriva dai dati ottenuti dalle prove che compongono la campagna geognostica eseguita in sito. Tale profilo approssima il comportamento del sottosuolo, dal punto di vista sismico, in corrispondenza dell'area studiata. Il profilo considerato deriva dall'interpolazione dei dati provenienti dalle indagini geofisiche eseguite, e i dati, di natura bibliografica, disponibili per il sito di riferimento.

Il profilo sismico del sottosuolo utilizzato per la modellazione della RSL deriva dall'elaborazione dell'indagine HVSR eseguita in sito, integrato con dati bibliografici. Si illustra successivamente il modello utilizzato:

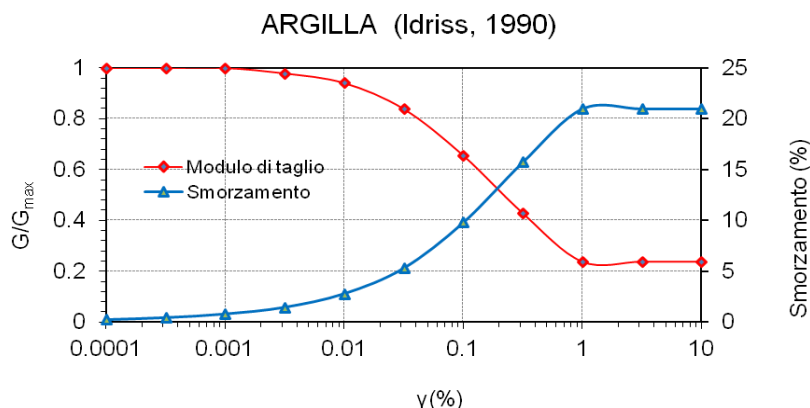
Modello geofisico medio			
Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
2.00	2.00	150	0.45
7.00	5.00	180	0.45
15.00	8.00	200	0.44
25.00	10.00	250	0.44
55.00	30.00	320	0.43
95.00	40.00	390	0.43
155.00	60.00	440	0.43
inf.	inf.	600	0.42

### EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



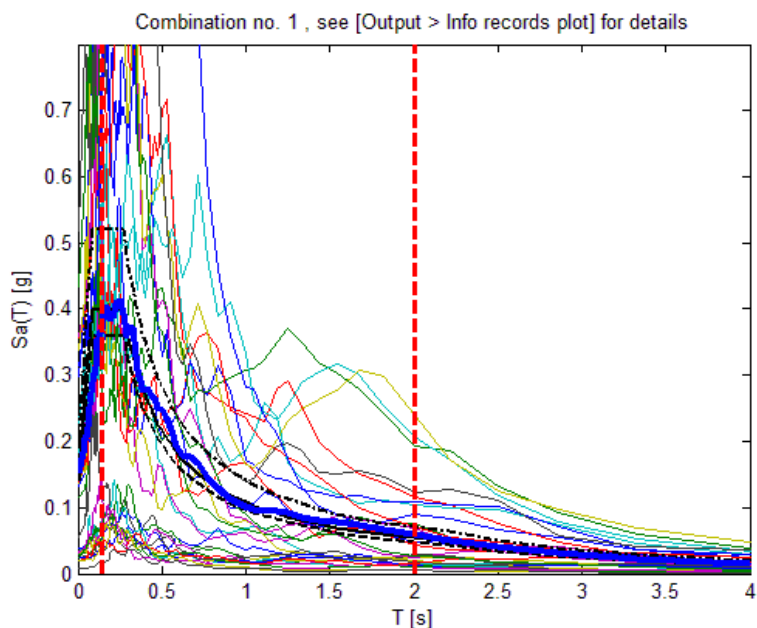
**Fig.4.3 – Elaborazione HVSR.**

Per descrivere il comportamento dinamico dei terreni costituenti il modello sono state considerate curve di decadimento dei moduli di rigidità e smorzamento, al variare della deformazione percentuale  $\gamma(\%)$ . Si riportano successivamente le curve di decadimento considerate per l'esecuzione del calcolo di risposta sismica locale:



**Fig.4.4 - Curve di decadimento dei moduli  $G/G_{max}$  e  $D$ , utilizzate per descrivere il comportamento dei materiali coesivi e incoerenti che compongono il sottosuolo in oggetto.**

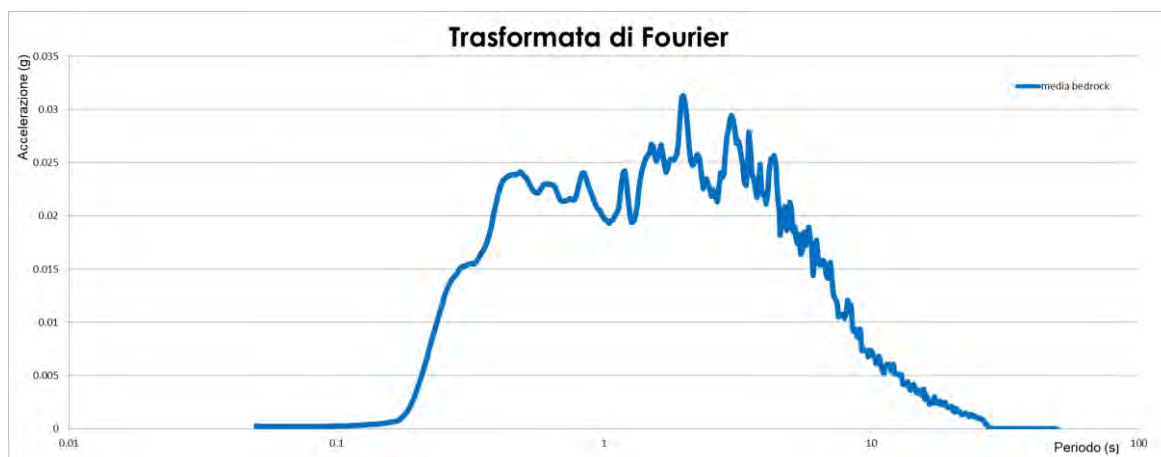
Trattandosi di una verifica diretta ai fini progettuali, in accordo con quanto esposto nel § 7.3 delle NTC 2018, l'analisi RSL in oggetto è stata svolta adottando come input sismico 30 accelerogrammi, corrispondenti allo stato limite SLV. Gli accelerogrammi reali e misurati, sono stati individuati mediante l'utilizzo del software REXEL v. 3.5 (Computer aided code-based real record selection for seismic analysis of structures) realizzato dal Dipartimento di Strutture per l'ingegneria e l'architettura dell'Università degli Studi di Napoli Federico II. Utilizzando le coordinate relative al sito di riferimento, considerando una categoria di sottosuolo A e una classe d'uso pari a II e una vita nominale pari a 50 anni, sono stati definiti n. 30 accelerogrammi per lo stato limite SLV. Gli accelerogrammi sono stati prelevati dal "European Strong-motion Database".



## **RISULTATI OTTENUTI**

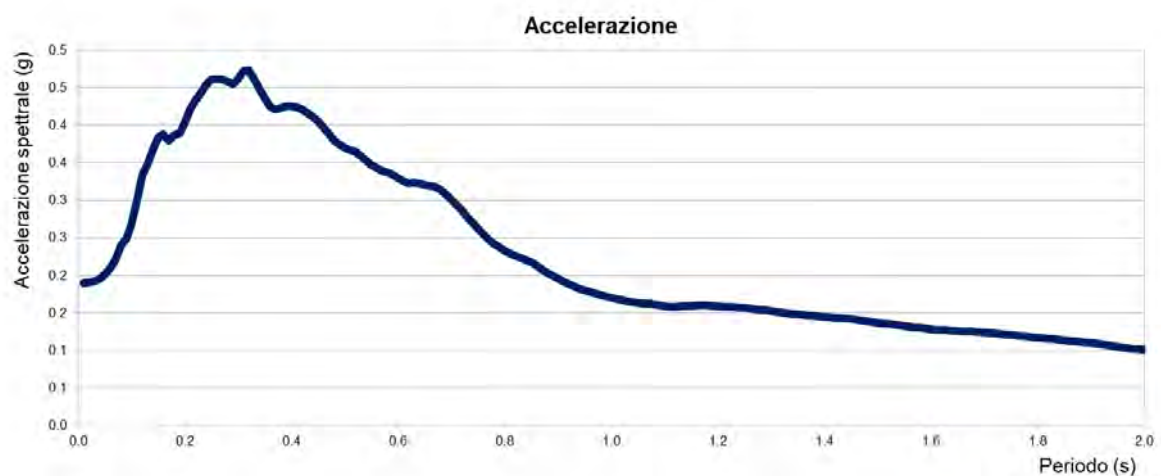
Sulla scorta delle verifiche svolte mediante software STRATA, in riferimento al modello considerato, è stato possibile definire, nel dominio delle frequenze, la funzione TF (Funzione di trasferimento) e rapporto spettrale di amplificazione associato. Per via grafica si inserisce successivamente la funzione di trasferimento TF ottenuta a seguito dell'analisi RSL in oggetto. Attraverso tale funzione è possibile definire il campo di frequenze entro il quale il sottosuolo, in corrispondenza del sito in oggetto, amplifica il segnale sismico, oltre che a quantificare l'amplificazione stessa.



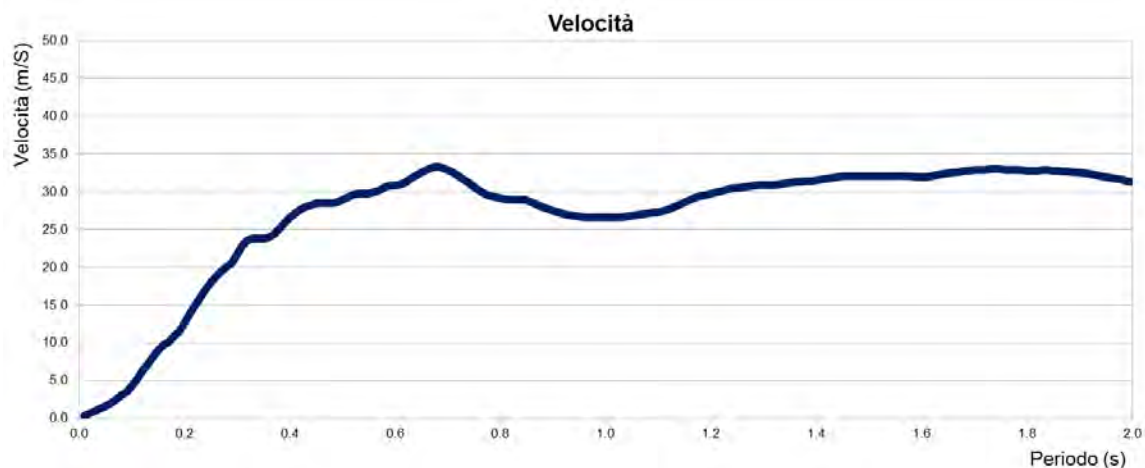


***In alto Funzione di Trasferimento e in basso funzione FT.***

Definiti i parametri che descrivono il comportamento del sottosuolo nel campo elastico lineare equivalente e descritti gli accelerogrammi su suolo rigido validi per il sito in oggetto, attraverso il software STRATA sono state definite le seguenti forme spettrali, in termini accelerazione e velocità alla superficie:

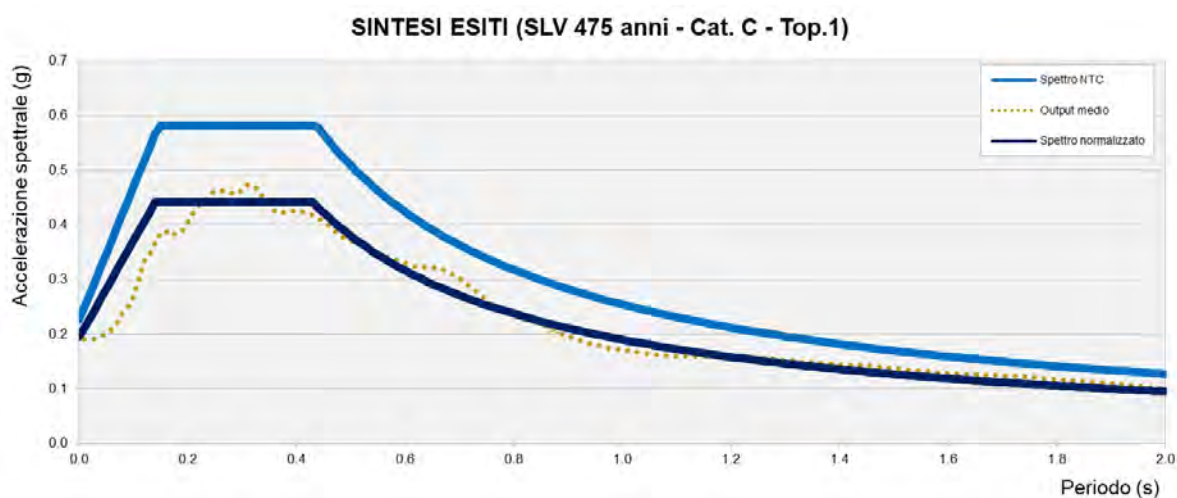


***Accelerazioni spettrali relative a un periodo di ritorno pari a 475 anni (SLV)***



**Velocità spettrali relative a un periodo di ritorno pari a 475 anni (SLV).**

Dati i valori di accelerazione ottenuti dal calcolo eseguito, è stato definito lo spettro normalizzato per lo stato limite considerato. Così facendo è stato ottenuto lo spettro a probabilità uniforme, sulla base dei risultati ottenuti mediante il software STRATA. Lo spettro normalizzato RSL è stato derivato attraverso le indicazioni contenute nell'ordinanza n.55 del 24 aprile 2018 "Disciplina per la delocalizzazione temporanea delle attività economiche o produttive e dei servizi pubblici danneggiati dal sisma eseguiti e conclusi in data anteriore a quella di entrata in vigore del decreto legge n. 189 del 2016".



**Sintesi esiti RSL e confronto con spettro NTC2018 (SLV) derivato secondo approccio semplificato**

Lo spettro RSL, sia nella forma per punti, sia nella forma normalizzata, definito sulla base di 30 simulazioni definisce un'azione sismica **inferiore** rispetto a quanto derivabile secondo approccio semplificato NTC2018 per una categoria di sottosuolo di tipo C. In forza di ciò **risulta ragionevole e cautelativo adottare, ai fini di progettazione, l'azione sismica derivabile secondo approccio semplificato (categorie di sottosuolo) come esplicitato da normativa tecnica NTC2018**. Si illustra successivamente, in forma tabellare, lo spettro RSL per punti e il suo corrispettivo normalizzato.

SLV – PARAMETRI SPETTRO NORMALIZZATO - RSL

ag (g)	Fo	Tc*	TB(s)	TC(s)	Ss	Amax (g)
0.154	2.273	0.271	0.14	0.43	1.26	<b>0.194</b>

## RSL NORMALIZZATO SLV

T [s]	Ag				
0.00	0.19404	0.5	0.37926	1.01	0.187752475
0.01	0.21168	0.51	0.371823529	1.02	0.185911765
0.02	0.22932	0.52	0.364673077	1.03	0.184106796
0.03	0.24696	0.53	0.357792453	1.04	0.182336538
0.04	0.2646	0.54	0.351166667	1.05	0.1806
0.05	0.28224	0.55	0.344781818	1.06	0.178896226
0.06	0.29988	0.56	0.338625	1.07	0.177224299
0.07	0.31752	0.57	0.332684211	1.08	0.175583333
0.08	0.33516	0.58	0.326948276	1.09	0.173972477
0.09	0.3528	0.59	0.32140678	1.1	0.172390909
0.1	0.37044	0.6	0.31605	1.11	0.170837838
0.11	0.38808	0.61	0.310868852	1.12	0.1693125
0.12	0.40572	0.62	0.305854839	1.13	0.167814159
0.13	0.42336	0.63	0.301	1.14	0.166342105
0.14	0.441	0.64	0.296296875	1.15	0.164895652
0.15	0.441	0.65	0.291738462	1.16	0.163474138
0.16	0.441	0.66	0.287318182	1.17	0.162076923
0.17	0.441	0.67	0.283029851	1.18	0.16070339
0.18	0.441	0.68	0.278867647	1.19	0.159352941
0.19	0.441	0.69	0.274826087	1.2	0.158025
0.2	0.441	0.7	0.2709	1.21	0.156719008
0.21	0.441	0.71	0.267084507	1.22	0.155434426
0.22	0.441	0.72	0.263375	1.23	0.154170732
0.23	0.441	0.73	0.259767123	1.24	0.152927419
0.24	0.441	0.74	0.256256757	1.25	0.151704
0.25	0.441	0.75	0.25284	1.26	0.1505
0.26	0.441	0.76	0.249513158	1.27	0.149314961
0.27	0.441	0.77	0.246272727	1.28	0.148148438
0.28	0.441	0.78	0.243115385	1.29	0.147
0.29	0.441	0.79	0.240037975	1.3	0.145869231
0.3	0.441	0.8	0.2370375	1.31	0.144755725
0.31	0.441	0.81	0.234111111	1.32	0.143659091
0.32	0.441	0.82	0.231256098	1.33	0.142578947
0.33	0.441	0.83	0.22846988	1.34	0.141514925
0.34	0.441	0.84	0.22575	1.35	0.140466667
0.35	0.441	0.85	0.223094118	1.36	0.139433824
0.36	0.441	0.86	0.2205	1.37	0.138416058
0.37	0.441	0.87	0.217965517	1.38	0.137413043
0.38	0.441	0.88	0.215488636	1.39	0.13642446
0.39	0.441	0.89	0.213067416	1.4	0.13545
0.4	0.441	0.9	0.2107	1.41	0.134489362
0.41	0.441	0.91	0.208384615	1.42	0.133542254
0.42	0.441	0.92	0.206119565	1.43	0.132608392
0.43	0.441	0.93	0.203903226	1.44	0.1316875
0.44	0.430977273	0.94	0.201734043	1.45	0.13077931
0.45	0.4214	0.95	0.199610526	1.46	0.129883562
0.46	0.41223913	0.96	0.19753125	1.47	0.129
0.47	0.403468085	0.97	0.195494845	1.48	0.128128378
0.48	0.3950625	0.98	0.1935	1.49	0.127268456
0.49	0.387	0.99	0.191545455	1.5	0.12642
		1	0.18963	1.51	0.125582781
				1.52	0.124756579
				1.53	0.123941176
				1.54	0.123136364
				1.55	0.122341935
				1.56	0.121557692
				1.57	0.120783439
				1.58	0.120018987
				1.59	0.119264151
				1.6	0.11851875
				1.61	0.117782609
				1.62	0.117055556
				1.63	0.116337423
				1.64	0.115628049
				1.65	0.114927273
				1.66	0.11423494
				1.67	0.113550898
				1.68	0.112875
				1.69	0.112207101
				1.7	0.111547059
				1.71	0.110894737
				1.72	0.11025
				1.73	0.109612717
				1.74	0.108982759
				1.75	0.10836
				1.76	0.107744318
				1.77	0.107135593
				1.78	0.106533708
				1.79	0.105938547
				1.8	0.10535
				1.81	0.104767956
				1.82	0.104192308
				1.83	0.103622951
				1.84	0.103059783
				1.85	0.102502703
				1.86	0.101951613
				1.87	0.101406417
				1.88	0.100867021
				1.89	0.100333333
				1.9	0.099805263
				1.91	0.099282723
				1.92	0.098765625
				1.93	0.098253886
				1.94	0.097747423
				1.95	0.097246154
				1.96	0.09675
				1.97	0.096258883
				1.98	0.095772727
				1.99	0.095291457
				2	0.094815

## 5 MODELLAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA DEL SITO

### 5.1 Modello geotecnico del sottosuolo

Sulla base dei dati emersi dalle elaborazioni delle indagini geotecniche e litostratigrafiche, si può riassumere il seguente modello geotecnico schematico del terreno investigato.

Modello geotecnico medio										
Profondità	Deposito	$\gamma_{\text{NAT}} / \gamma_{\text{SAT}}$	$c'$	$C_u$	$D_r$	$\phi'$	$E_s$	$M$	$D_w$	
A	0.0 – 1.8	Argilla limosa sovraconsolidata	18.5/21.5	10.0	100.0	/	25	14000	10000	
B	1.8 – 7.4	Argilla limosa a media consistenza	18.0/21.0	5.8	58.0	/	23	8120	4500	-1.8
C	7.4 – 13.4	Argilla limosa a media elevata consistenza	18.0/21.0	7.0	70.0	/	24	9800	5000	
D	13.4 – 16.8	Argilla limosa a media consistenza	18.0/21.0	6.5	65.0	/	23	9100	5000	
E	16.8 – 20.0	Argilla limosa a elevata consistenza	18.5/21.5	8.0	80.0	/	25	11200	6000	
M da p.c.		Descrizione litologica	Peso di volume naturale e saturo (kN/m <sup>3</sup> )	Coesione efficace (kN/m <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kN/m <sup>2</sup> )	Densità relativa (%)	Angolo d'attrito efficace di picco (°)	Modulo di Young (kN/m <sup>2</sup> )	Modulo edometrico (kN/m <sup>2</sup> )	Soggiacenza (m da p.c.)

La quota zero del presente modello corrisponde al piano campagna, dove sono state eseguite le prove penetrometriche.

Pertanto, se la quota zero di progetto differisce sostanzialmente dalla quota del piano campagna (quota 0.0 m di riferimento delle prove geologiche) occorre prestare attenzione agli spessori e alle quote indicati nei modelli e nelle analisi del presente elaborato.

### 5.2 Tipologia di fondazioni e calcolo della capacità portante

Per il calcolo della capacità portante del terreno si sono utilizzati i parametri geotecnici emersi dall'elaborazione delle prove penetrometriche eseguite nel sito in studio. Al fine di calcolare la capacità portante del terreno si sono ipotizzate fondazioni superficiali **nastriiformi**.

larghezza della fondazione	B	=	1.5 m
lunghezza della fondazione	B'	=	5.0 m
profondità della quota di imposta	D	=	-3.5 m da p.c.

#### Parametri di resistenza e deformabilità:

Profondità	Deposito	$\gamma_{\text{NAT}} / \gamma_{\text{SAT}}$	$c'$	$C_u$	$D_r$	$\phi'$	$E_s$	$M$	$D_w$	
B	1.8 – 7.4	Argilla limosa a media consistenza	18.0/21.0	5.8	58.0	/	23	8120	4500	-1.8
M da p.c.		Descrizione litologica	Peso di volume naturale e saturo (kN/m <sup>3</sup> )	Coesione efficace (kN/m <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kN/m <sup>2</sup> )	Densità relativa (%)	Angolo d'attrito efficace di picco (°)	Modulo di Young (kN/m <sup>2</sup> )	Modulo edometrico (kN/m <sup>2</sup> )	Soggiacenza (m da p.c.)



## 5.2.1 Verifica nei confronti degli SLU (6.4 NTC 2018)

In relazione a quanto esposto nella normativa tecnica nazionale NTC 2018, si procede alla verifica nei confronti degli stati limite ultimi (**SLU**) di resistenza del terreno (GEO) relativamente alle opere di fondazione in oggetto, di **tipo superficiale**, fornendo il valore di resistenza offerta dal sistema geotecnico ( $R_{d\ GEO}$ ). Il valore di progetto della resistenza **Rd** può essere determinato:

- in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, diviso per il valore del coefficiente parziale  $\gamma_M$  specificato nella Tab. 6.2.II (NTC 2018) e tenendo conto, ove necessario, dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  specificati nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera;
- in modo analitico, con riferimento a correlazioni con i risultati di prove in sito, tenendo conto dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera;
- sulla base di misure dirette su prototipi, tenendo conto dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera.

Le verifiche sono effettuate applicando la combinazione (A1+M1+R3) di coefficienti parziali prevista dall'approccio 2, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.4.I.

### Fattori correttivi sismici: Paolucci e Pecker (1997)

Per tener conto degli effetti inerziali indotti dal sisma nei riguardi della determinazione del  $q_{lim}$  vengono introdotti, all'interno della formula di Terzaghi, i fattori correttivi z:

$$z_c = 1 - 0.32 \cdot K_h \quad z_q = \left(1 - \frac{k_h}{\tan \varphi}\right)^{0.35} \quad z_\gamma = z_q$$

Dove il  $K_h$  è il coefficiente sismico orizzontale. Le verifiche sono state effettuate considerando quindi i seguenti parametri sismici:

- $a_{MAX}$  (ag/g): **0.225g** (calcolata con l'approccio semplificato NTC18, relativa a SLV ;  $T_r = 475$  anni);
- coefficiente intensità sismica del terreno  $K_h$ : 0.054.

La determinazione della resistenza  $R_d$  GEO è stata svolta nella condizione sia a breve che a lungo termine per l'intervento in progetto.

La resistenza  $R_d$  calcolata in condizioni **"non drenate"** dove  **$C_u \neq 0$  e  $\phi = 0$** , applicando il coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata secondo la seguente relazione  **$C_{ud} = C_{uk} / 1.0$** , per cui si avrà  **$C_{ud} = C_{uk}$** , dove  **$C_{ud}$  = coesione non drenata di progetto** e  **$C_{uk}$  = coesione non drenata caratteristica**, sarà pari a:

CONDIZIONE STATICA – CONDIZIONI NON DRENATE – A1+M1+R3		
Profondità di imposta	Larghezza della fondazione	Carico limite ultimo SLU - F.S. = 2.3
D=- 3.5 m da p.c.	B= 1.5 m X L= 5.0 m	1.63 kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 163 kN/m <sup>2</sup>

La resistenza  $R_d$  calcolata in condizioni **"drenate"** seguendo l'**Approccio 2**, combinazione (**A1 + M1 + R3**), applicando il coefficiente di riduzione parziale per la tangente dell'angolo di attrito secondo la relazione:  **$t_g$**

$\phi'd = \text{tg } \phi'k / 1,0$ , dove  $\phi'd$  è l'angolo d'attrito di progetto, ne deriva, essendo  $\phi'k = \phi'd$ . Quindi secondo la formula di Terzaghi si ottiene, per l'intervento in progetto uno stato limite ultimo pari a:

CONDIZIONE STATICA – CONDIZIONI DRENATE – A1+M1+R3		
Profondità di imposta	Larghezza della fondazione	Carico limite ultimo SLU F.S. = 2.3
D=- 3.5 m da p.c.	B= 1.5 m X L= 5.0 m	2.74 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 274 kN/m <sup>2</sup>

CONDIZIONE PSEUDO-STATICA – CONDIZIONI DRENATE – A1+M1+R3		
Profondità di imposta	Larghezza della fondazione	Carico limite ultimo SLU F.S. = 2.3
D=- 3.5 m da p.c.	B= 1.5 m X L= 5.0 m	2.64 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 264 kN/m <sup>2</sup>

## 5.2.2 Verifica dei cedimenti

È stato eseguito il calcolo del cedimento edometrico del terreno di fondazione mediante il metodo di consolidazione monodimensionale di Terzaghi.

Profondità di imposta	B x L	Carico considerato	Cedimento per consolidazione
D=- 3.5 m da p.c.	B= 1.5 m X L= 5.0 m	150 kN/m <sup>2</sup>	2.365 cm

## 5.2.3 Modulo di sottofondo

Il modello di Winkler considera il terreno come formato da una distribuzione di vincoli semplici bilaterali elastici. La relazione che ne regola il comportamento è di tipo lineare tra il cedimento (w) e la pressione di contatto (p):  $p = kw$ .

Il parametro k è detto costante di sottofondo. Come è noto, k non dipende solo dal terreno ma anche dai carichi applicati, dalle proprietà del terreno, dalla forma e le dimensioni della fondazione.

Utilizzando la Formula di Bowles (1974):

$$k \text{ (kN/mc)} = 40 * Q_{lim} * F_c,$$

dove  $F_c = 2.54/\text{cedimento della fondazione (cm)}$ ; è stato considerato un cedimento di riferimento pari a  $S = 2.365 \text{ cm}$  ed un carico applicato al terreno di fondazione pari a  $P = 1.50 \text{ kg/cm}^2 \approx 150 \text{ kN/m}^2$ , il modulo di sottofondo o costante di Winkler è risultato pari a  $K = 1.93 \text{ kg/cm}^3 \approx 19332 \text{ kN/m}^3$ .

## 5.3 Stabilità nei confronti della liquefazione (§ A2.2. DGR 476/2021)

In accordo con la normativa regionale DGR 476/21 si è proceduto alla verifica della liquefazione per le verticali di prova CPT1 – CPT2.

La valutazione del fenomeno della liquefazione viene svolta attraverso il calcolo del fattore di sicurezza di ciascun livello che compone il sottosuolo analizzato nei confronti del fenomeno stesso. Il fattore di sicurezza è derivato secondo la seguente formulazione:

$$F_L(z) = \frac{CRR_{M=7.5; \sigma'_v=1\text{atm}}}{CSR} \cdot MSF \cdot K_\sigma$$

Dove:

**CRR** è rappresentato dal rapporto di resistenza ciclica

**MSF** rappresenta il fattore di scala della magnitudo che è funzione della magnitudo stessa, della PGA e del valore di CRR

**K<sub>σ</sub>** è il fattore di correzione che tiene conto della pressione efficace alla profondità a cui la resistenza viene valutata

**CSR** è il rapporto di tensione ciclica, ovvero la tensione di taglio indotta dall'azione sismica, normalizzata rispetto alla tensione verticale efficace. Tale parametro è derivabile secondo la seguente formulazione:

$$CSR = \frac{\tau_{\text{media}}}{\sigma'_{v0}} = 0.65 \cdot \frac{a_{\text{maxs}}}{g} \cdot \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \cdot r_d$$

I termini che compongono la seguente relazione sono rappresentati da  $a_{\text{max}}/g$  che descrive il valore dell'accelerazione orizzontale a  $T = 0.00$  s, il rapporto della tensione litostatica totale ed efficace, e il coefficiente riduttivo  $r_d$ . Quest'ultimo, in accordo con la predetta normativa è stato stimato secondo la seguente formulazione:

$$r_d = \exp[\alpha(z) + \beta(z) \cdot M]$$
$$\alpha(z) = -1.012 - 1.126 \cdot \text{sen}\left(\frac{z}{11.73} + 5.133\right)$$
$$\beta(z) = 0.106 + 0.118 \cdot \text{sen}\left(\frac{z}{11.28} + 5.142\right)$$

dove  $M$  rappresenta il valore di magnitudo di riferimento per il sito in analisi.

Il valore **CRR** è stato ricavato attraverso la metodologia di calcolo proposta da **Boulanger&Idriss 2014**. Per le specifiche della procedura di calcolo adottata si faccia riferimento all'allegato **A2.2** della DGR 476/2021 della Regione Emilia-Romagna. L'analisi di liquefazione è stata eseguita entro i -20.00 m rispetto al piano campagna come prescritto dalla normativa di riferimento.

Le verifiche sono state svolte considerando una magnitudo di riferimento **M = 6.14** (derivante dalla zonazione sismogenetica) e una accelerazione massima al suolo **A<sub>max</sub> = 0.225g** (NTC18).

A seguito dell'identificazione del fattore di sicurezza  $F_L$  è stato determinato l'indice potenziale di liquefazione IL (LPI) attraverso il quale è possibile definire l'esposizione del sito al rischio di liquefazione. Il potenziale di liquefazione LPI è stato determinato secondo la seguente formulazione:

$$I_L = \int_0^{z_{crit}} F(z) \cdot w(z) \cdot dz \quad \text{in cui} \quad w(z) = \frac{200}{z_{crit}} \cdot \left(1 - \frac{z}{z_{crit}}\right)$$

Dove  $F(z)$  viene determinato secondo le formulazioni proposte da Somnez (2003)

$$\begin{array}{ll} F(z) = 0 & \text{per } F_L \geq 1.2 \\ F(z) = 2 \cdot 10^6 \cdot \exp(-18.427 \cdot F_L) & \text{per } 1.2 > F_L \geq 0.95 \\ F(z) = 1 - F_L & \text{per } F_L \leq 0.95 \end{array}$$

In base al valore di LPI ottenuto è possibile fornire un'indicazione del rischio di liquefazione. In considerazione delle linee guida emesse dalla Regione Emilia-Romagna, a seguito degli eventi sismici di Maggio e Giugno 2012, si considera la classificazione di rischio definita da **Somnez 2003**:

INDICE DI LIQUEFAZIONE	Rischio di liquefazione
LPI=0	Nulla
0 < LPI ≤ 2	Basso
2 < LPI ≤ 5	Moderato
5 < LPI ≤ 10	Alto
15 > LPI	Molto alto

Si illustra successivamente il valore di LPI derivato dalle verticali di prove CPT1 – CPT2 considerando un'accelerazione massima al suolo  $A_{max} = 0.225g$  (calcolata secondo l'approccio semplificato NTC18), la soggiacenza della falda freatica è stata ipotizzata in condizioni sismiche alla profondità  $D_w = -1.00$  m e una magnitudo di riferimento pari a  $M = 6.14$ .

A seguito delle verifiche, in riferimento delle verticali CPT1-CPT2, sono stati ottenuti i seguenti valori di LPI:

INDAGINE	INDICE DI LIQUEFAZIONE	RISCHIO
CPT1	0.0	NULLO
CPT2	0.8	BASSO

## 6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il presente elaborato riassume e illustra le caratteristiche geologico-stratigrafiche, geotecniche e sismiche relative al volume significativo di sottosuolo indagato a supporto del progetto di ristrutturazione del condominio “IL BISCIONE” – via Unione Sovietica - Comune di Carpi (MO).

Sulla base dei dati emersi dalle indagini geotecniche eseguite (§ 3.1), si fornisce per il terreno di fondazione indagato, il modello geotecnico medio riportato nel § 5.1 della presente relazione.

La quota zero del modello geotecnico corrisponde al piano campagna, dove sono state eseguite le prove penetrometriche. Pertanto, se la quota zero di progetto differisce sostanzialmente dalla quota del piano campagna (quota 0.0 m di riferimento delle prove geologiche) occorre prestare attenzione agli spessori e alle quote indicati nei modelli e nelle analisi del presente elaborato.

In relazione a quanto esposto nelle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni in zona sismica del 2018, si è proceduto alla verifica nei confronti degli stati limite ultimi (SLU). Nel nostro caso specifico, per quanto riguarda le opere di fondazione, nelle verifiche di sicurezza agli stati limite ultimi è stato calcolato lo SLU sia a breve che a lungo termine per l'intervento in progetto, utilizzando il seguente approccio di calcolo:

**a) Approccio 2 combinazione (A1 + M1 + R3).**

I risultati sono visibili nel § 5.2.1.

Si riassumono nella seguente tabella i valori di portanza del terreno di fondazione calcolati agli stati limite ultimi SLU relativamente alle fondazioni ipotizzate e sopra descritte.

Verifica nei confronti degli SLU		
APPROCCIO 2 – COMBINAZIONE 1		
CONDIZIONE NON DRENATE	CONDIZIONI DRENATE	CONDIZIONI SISMICHE DRENATE Paolucci & Pecker
1.63 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 163 kN/m <sup>2</sup>	2.74 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 274 kN/m <sup>2</sup>	2.64 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 264 kN/m <sup>2</sup>

In ottemperanza della normativa tecnica nazionale (NTC 2018) e in accordo con i risultati ottenuti a seguito delle indagini geofisiche espletate per il sito in oggetto è possibile classificare il terreno di fondazione come appartenente alla **categoria C**, depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o a terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalentemente compresi tra **180 m/s** e **360 m/s**.

Per la definizione dell'azione sismica, è stato eseguito l'approfondimento di terzo livello della risposta sismica locale, che risulta **minore** rispetto al valore ottenuto mediante l'utilizzo dell'approccio semplificato delle NTC 2018. Dall'analisi così eseguita si sono ottenuti i seguenti risultati:

Parametri sismici				
	Approccio semplificato NTC18		RSL	
ag	FA	Amax	FA	Amax
0.154	1.46	0.225	1.26	0.194

È stata eseguita la verifica della suscettibilità al fenomeno della liquefazione sulla base delle prove penetrometriche CPT eseguite in sito, considerando una accelerazione massima al suolo  $A_{max} = 0.225g$  (approccio semplificato -NTC18), la soggiacenza della falda freatica è stata ipotizzata in condizioni sismiche è stata ipotizzata alla profondità  $D_w = -1.00$  m e una magnitudo di riferimento pari a  $M=6.14$ . Dall'analisi della suscettibilità nei confronti del fenomeno della liquefazione così eseguita si è ottenuto un valore di LPI corrispondente a un rischio di liquefazione basso per la prova CPT2 e nullo per la prova CPT1 (§ 5.4).

A disposizione per ulteriori chiarimenti, cogliamo l'occasione per porgere cordiali saluti.

Modena, 25 febbraio 2021

**Dott. Geol. Pier Luigi Dallari**

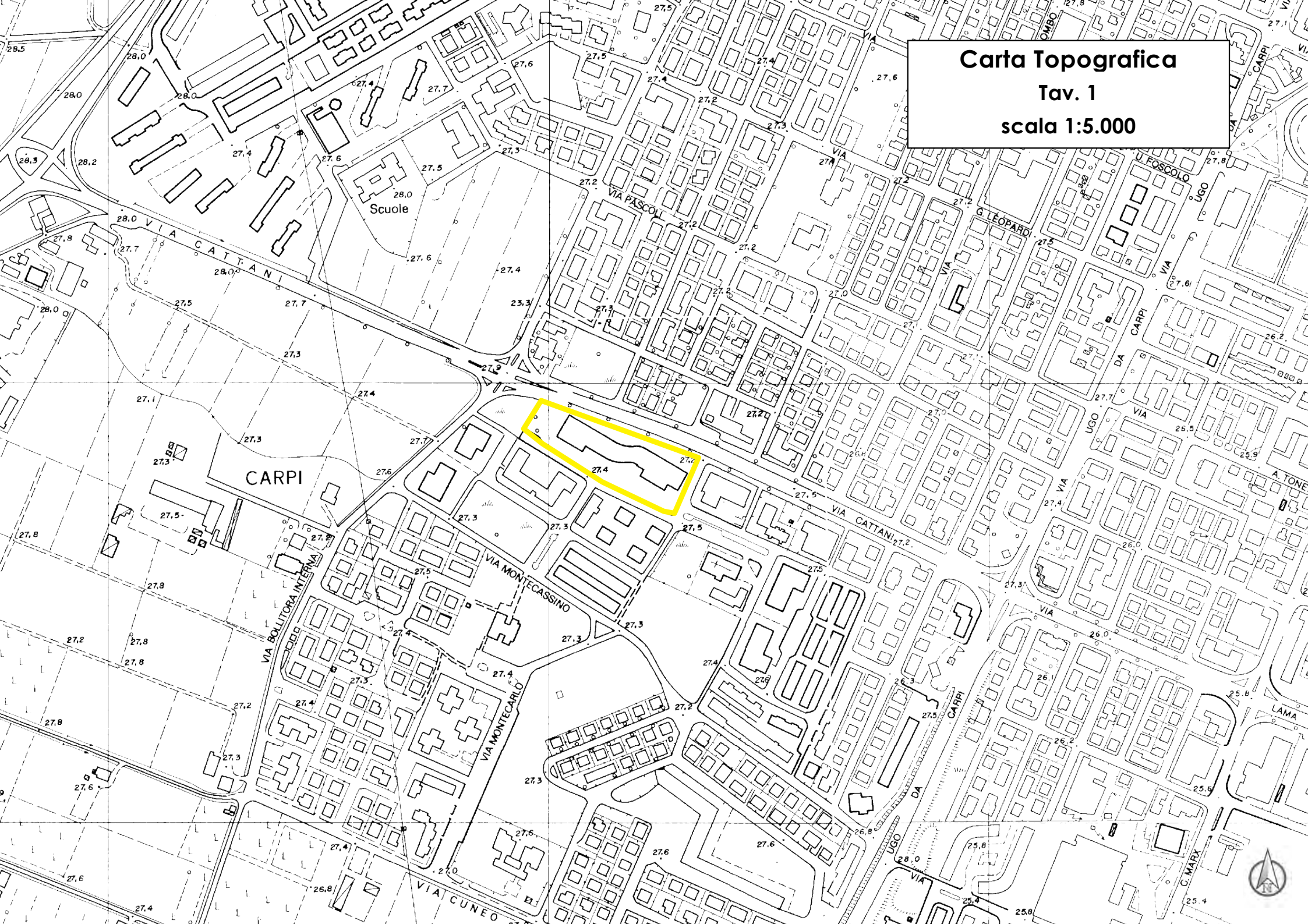


# TAVOLE

# Carta Topografica

Tav. 1

scala 1:5.000





# Ripresa Satellitare

Tav. 2

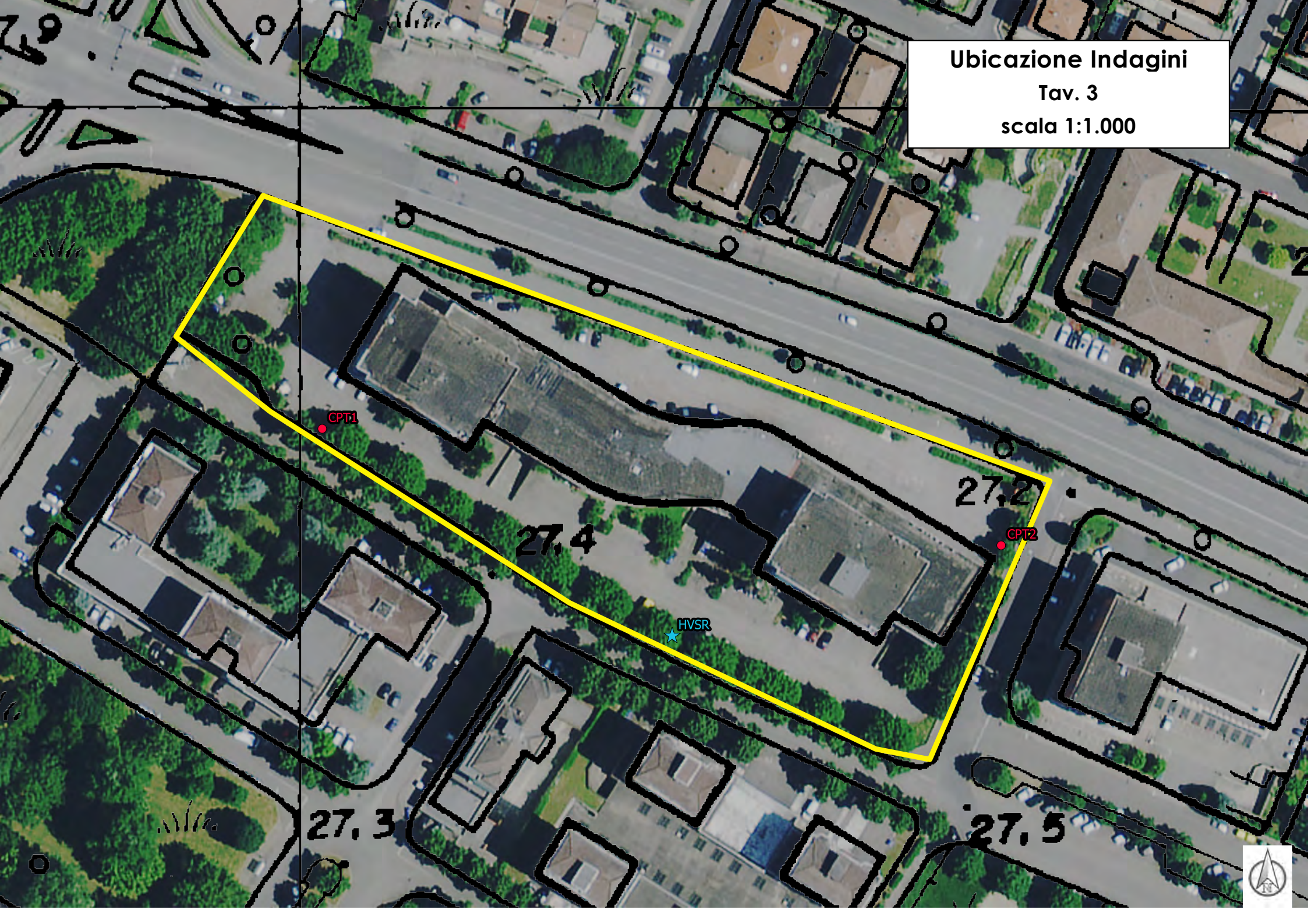
scala 1:5.000



Ubicazione Indagini

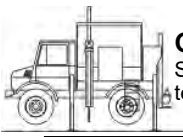
Tav. 3

scala 1:1.000



# ALLEGATO 1

PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT



## LEGENDA VALORI DI RESISTENZA FATTORI DI CONVERSIONE

**Strumento utilizzato:****TG63-200Stat - Pagani - Piacenza**

## Caratteristiche:

- punta conica meccanica  $\varnothing$  35.7 mm, area punta  $A_p = 10 \text{ cm}^2$
- punta conica meccanica angolo di apertura:  $\alpha = 60^\circ$
- manicotto laterale di attrito tipo 'Begemann' ( $\varnothing = 35.7 \text{ mm} - h = 133 \text{ mm} - A_m = 150 \text{ cm}^2$ )
- velocità di avanzamento costante  $V = 2 \text{ cm/sec}$  ( $\pm 0,5 \text{ cm / sec}$ )
- spinta max nominale dello strumento  $S_{max}$  variabile a seconda del tipo
- costante di trasformazione  $CT = \text{SPINTA (Kg)} / \text{LETTURA DI CAMPAGNA}$   
(dato tecnico legato alle caratteristiche del penetrometro utilizzato, fornito dal costruttore)

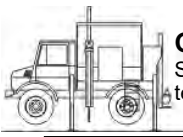
fase 1 - resistenza alla punta:  $q_c \text{ (MPa)} = (L_1) \times CT / 10$ fase 2 - resistenza laterale locale:  $f_s \text{ (kPa)} = [(L_2) - (L_1)] \times CT / 150$ fase 3 - resistenza totale :  $R_t \text{ (kPa)} = (L_t) \times CT$ 

- Prima lettura = lettura di campagna durante l' infissione della sola punta ( fase 1 )
- Seconda lettura = lettura di campagna relativa all'infissione di punta e manicotto ( fase 2 )
- Terza lettura = lettura di campagna relativa all'infissione delle aste esterne ( fase 3 )

N.B. : la spinta  $S \text{ (Kg)}$ , corrispondente a ciascuna fase, si ottiene moltiplicando la corrispondente lettura di campagna  $L$  per la costante di trasformazione  $CT$ .

N.B. : nonostante la distanza intercorrente ( 20 cm circa ) fra il centro del manicotto laterale e la punta conica del penetrometro, la resistenza laterale locale  $f_s$  viene computata alla stessa quota della punta.

**CONVERSIONI**1 kN (kiloNewton) = 1000 N  $\approx$  100 kg = 0,1 t1 MN (megaNewton) = 1.000 kN = 1.000.000 N  $\approx$  100 t1 kPa (kiloPascal) = 1 kN/m<sup>2</sup> = 0,001 MN/m<sup>2</sup> = 0,001 MPa  $\approx$  0,1 t/m<sup>2</sup> = 0,01 kg/cm<sup>2</sup>1 MPa (megaPascal) = 1 MN/m<sup>2</sup> = 1.000 kN/m<sup>2</sup> = 1000 kPa  $\approx$  100 t/m<sup>2</sup> = 10 kg/cm<sup>2</sup>1 kg/cm<sup>2</sup> = 10 t/m<sup>2</sup>  $\approx$  100 kN/m<sup>2</sup> = 100 kPa = 0,1 MN/m<sup>2</sup> = 0,1 MPa1 t = 1000 kg  $\approx$  10 kN



## LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE CORRELAZIONI GENERALI

**Valutazioni in base al rapporto:  $F = (q_c / f_s)$**

**Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977**

Valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

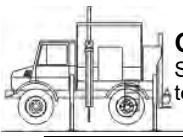
$F = q_c / f_s$	NATURA LITOLOGICA	PROPRIETA'
$F \leq 1470 \text{ kPa}$	TORBE ED ARGILLE ORGANICHE	COESIVE
$1470 \text{ kPa} < F \leq 2940 \text{ kPa}$	LIMI ED ARGILLE	COESIVE
$2940 \text{ kPa} < F \leq 5880 \text{ kPa}$	LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE	GRANULARI
$F > 5880 \text{ kPa}$	SABBIE E SABBIE CON GHIAIA	GRANULARI

**Vengono inoltre riportate le valutazioni stratigrafiche fornite da Schmertmann (1978),  
ricavabili in base ai valori di  $q_c$  e di  $FR = (f_s / q_c) \%$  :**

- AO = argilla organica e terreni misti
- Att = argilla (inorganica) molto tenera
- At = argilla (inorganica) tenera
- Am = argilla (inorganica) di media consistenza
- Ac = argilla (inorganica) consistente
- Acc = argilla (inorganica) molto consistente
- ASL = argilla sabbiosa e limosa
- SAL = sabbia e limo / sabbia e limo argilloso
- Ss = sabbia sciolta
- Sm = sabbia mediamente addensata
- Sd = sabbia densa o cementata
- SC = sabbia con molti fossili, calcareniti

Secondo Schmertmann il valore della resistenza laterale da usarsi, dovrebbe essere pari a:

- $1/3 \pm 1/2$  di quello misurato , per depositi sabbiosi
- quello misurato ( inalterato ) , per depositi coesivi.

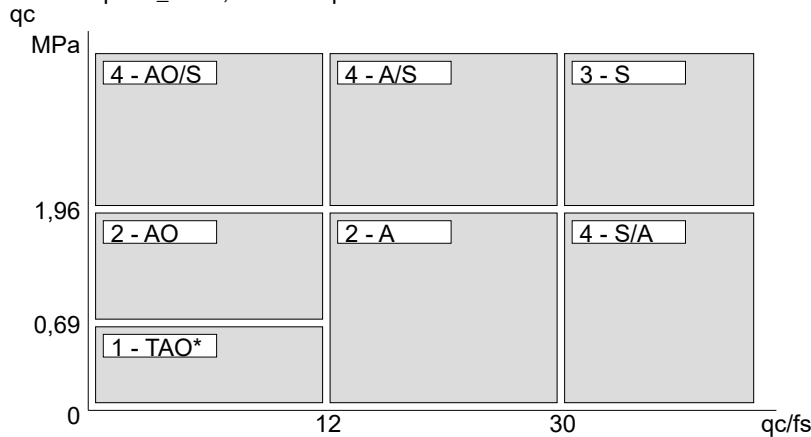


# LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI SPECIFICHE TECNICHE

Le scelte litologiche vengono effettuate in base al rapporto  $qc / fs$  (Begemann 1965 - A.G.I. 1977) prevedendo altresì la possibilità di casi dubbi :

$qc \leq 1,96$  MPa : possibili terreni COESIVI anche se  $( qc / fs ) > 30$

$qc \geq 1,96$  MPa : possibili terreni GRANULARI anche se  $( qc / fs ) < 30$

**NATURA LITOLOGICA**

1 - COESIVA (TORBOSA) ALTA COMPRIM.

2 - COESIVA IN GENERE

3 - GRANULARE

4 - COESIVA / GRANULARE

**PARAMETRI GEOTECNICI ( validità orientativa ) - simboli - correlazioni - bibliografia**

$\gamma'$  = peso dell' unità di volume (efficace) del terreno immerso in falda [ correlaz.:  $\gamma'$  - qc - natura ]  
( Terzaghi & Peck 1967 - Bowles 1982 )

$\sigma'_{vo}$  = tensione verticale geostatica (efficace) del terreno ( valutata in base ai valori di  $\gamma'$  )

$C_u$  = coesione non drenata (terreni coesivi ) [ correlazioni :  $C_u$  - qc ]

OCR = grado di sovra consolidazione (terreni coesivi ) [ correlazioni : OCR -  $C_u$  -  $\sigma'_{vo}$  ]  
( Ladd et al. 1972 / 1974 / 1977 - Lancellotta 1983 )

$E_u$  = modulo di deformazione non drenato (terreni coesivi) [ correl. :  $E_u$  -  $C_u$  - OCR -  $I_p$   $I_p$ = ind.plast.]  
 $E_{u50}$  -  $E_{u25}$  corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (Duncan & Buchigani 1976 )

$E'$  = modulo di deformazione drenato (terreni granulari) [ correlazioni :  $E'$  - qc ]  
 $E'_{50}$  -  $E'_{25}$  corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (coeff. di sicurezza  $F = 2 - 4$  rispettivamente )  
Schmertmann 1970 / 1978 - Jamiolkowski ed altri 1983 )

$M_o$  = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [ correl. :  $M_o$  - qc - natura ]  
Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973 )

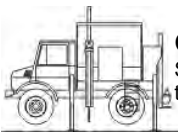
$D_r$  = densità relativa (terreni granulari N. C. - normalmente consolidati)  
[ correlazioni :  $D_r$  -  $R_p$  -  $\sigma'_{vo}$  (Schmertmann 1976 )]

$\emptyset'$  = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari N.C. ) [ correl. :  $\emptyset'$  -  $D_r$  - qc  $\sigma'_{vo}$  )

 $\emptyset_{Ca}$  - Caquot (1948) $\emptyset_{Ko}$  - Koppejan (1948) $\emptyset_{DB}$  - De Beer (1965) $\emptyset_{Sc}$  - Schmertmann (1978) $\emptyset_{DM}$  - Durgunoglu & Mitchell (1975) (sabbie N.C.) $\emptyset_{Me}$  - Meyerhof (1956 / 1976) (sabbie limose)

F.L. = fattore di liquefazione (F.L.1 = Sabbie Pulite, F.L.2 = Sabbie Limose)

$V_s$  = velocità di propagazione delle onde sismiche ( Iyisan 1996 )

**PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA**  
**LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI****CPT****1**

Riferimento

**022-2022**Committente **STUDIO TECNICO**  
Cantiere **STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE**  
Località **CARPI - VIA UNIONE SOVIETICA**U.M.: **MPa** Data eseg. **14/02/2022**  
Pagina **1/17**  
Elaborato Falda **-1,80 m**

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %
0,20	0,00	0,00		0,00	0,00			15,20	19,00	32,00		1,86	87,00	22	4,6
0,40	13,00	18,00		1,27	33,00	39	2,5	15,40	17,00	29,00		1,67	80,00	21	4,7
0,60	12,00	17,00		1,18	33,00	36	2,8	15,60	17,00	29,00		1,67	80,00	21	4,7
0,80	200,00	400,00		19,60	1333,00	15	6,7	15,80	16,00	29,00		1,57	87,00	18	5,4
<b>1,00</b>	<b>200,00</b>	<b>400,00</b>		<b>19,60</b>	<b>1333,00</b>	<b>15</b>	<b>6,7</b>	<b>16,00</b>	<b>16,00</b>	<b>27,00</b>		<b>1,57</b>	<b>73,00</b>	<b>22</b>	<b>4,6</b>
1,20	20,00	37,00		1,96	113,00	18	5,7	16,20	17,00	29,00		1,67	80,00	21	4,7
1,40	30,00	60,00		2,94	200,00	15	6,7	16,40	14,00	24,00		1,37	67,00	21	4,8
1,60	23,00	51,00		2,25	187,00	12	8,1	16,60	15,00	25,00		1,47	67,00	22	4,5
1,80	21,00	49,00		2,06	187,00	11	8,9	16,80	16,00	26,00		1,57	67,00	24	4,2
<b>2,00</b>	<b>16,00</b>	<b>31,00</b>		<b>1,57</b>	<b>100,00</b>	<b>16</b>	<b>6,3</b>	<b>17,00</b>	<b>22,00</b>	<b>33,00</b>		<b>2,16</b>	<b>73,00</b>	<b>30</b>	<b>3,3</b>
2,20	14,00	24,00		1,37	67,00	21	4,8	17,20	25,00	43,00		2,45	120,00	21	4,8
2,40	16,00	23,00		1,57	47,00	34	2,9	17,40	24,00	46,00		2,35	147,00	16	6,1
2,60	14,00	25,00		1,37	73,00	19	5,2	17,60	16,00	33,00		1,57	113,00	14	7,1
2,80	15,00	22,00		1,47	47,00	32	3,1	17,80	26,00	37,00		2,55	73,00	36	2,8
<b>3,00</b>	<b>10,00</b>	<b>17,00</b>		<b>0,98</b>	<b>47,00</b>	<b>21</b>	<b>4,7</b>	<b>18,00</b>	<b>26,00</b>	<b>45,00</b>		<b>2,55</b>	<b>127,00</b>	<b>20</b>	<b>4,9</b>
3,20	8,00	17,00		0,78	60,00	13	7,5	18,20	22,00	40,00		2,16	120,00	18	5,5
3,40	10,00	15,00		0,98	33,00	30	3,3	18,40	23,00	36,00		2,25	87,00	26	3,8
3,60	15,00	21,00		1,47	40,00	38	2,7	18,60	22,00	40,00		2,16	120,00	18	5,5
3,80	17,00	27,00		1,67	67,00	25	3,9	18,80	22,00	38,00		2,16	107,00	21	4,9
<b>4,00</b>	<b>14,00</b>	<b>22,00</b>		<b>1,37</b>	<b>53,00</b>	<b>26</b>	<b>3,8</b>	<b>19,00</b>	<b>22,00</b>	<b>37,00</b>		<b>2,16</b>	<b>100,00</b>	<b>22</b>	<b>4,5</b>
4,20	10,00	15,00		0,98	33,00	30	3,3	19,20	21,00	35,00		2,06	93,00	23	4,4
4,40	13,00	19,00		1,27	40,00	33	3,1	19,40	19,00	28,00		1,86	60,00	32	3,2
4,60	13,00	19,00		1,27	40,00	33	3,1	19,60	19,00	32,00		1,86	87,00	22	4,6
4,80	16,00	23,00		1,57	47,00	34	2,9	19,80	19,00	33,00		1,86	93,00	20	4,9
<b>5,00</b>	<b>16,00</b>	<b>24,00</b>		<b>1,57</b>	<b>53,00</b>	<b>30</b>	<b>3,3</b>	<b>20,00</b>	<b>17,00</b>	<b>31,00</b>		<b>1,67</b>	<b>93,00</b>	<b>18</b>	<b>5,5</b>
5,20	12,00	23,00		1,18	73,00	16	6,1								
5,40	14,00	22,00		1,37	53,00	26	3,8								
5,60	17,00	26,00		1,67	60,00	28	3,5								
5,80	17,00	28,00		1,67	73,00	23	4,3								
<b>6,00</b>	<b>21,00</b>	<b>34,00</b>		<b>2,06</b>	<b>87,00</b>	<b>24</b>	<b>4,1</b>								
6,20	14,00	27,00		1,37	87,00	16	6,2								
6,40	13,00	23,00		1,27	67,00	19	5,2								
6,60	13,00	18,00		1,27	33,00	39	2,5								
6,80	10,00	21,00		0,98	73,00	14	7,3								
<b>7,00</b>	<b>13,00</b>	<b>22,00</b>		<b>1,27</b>	<b>60,00</b>	<b>22</b>	<b>4,6</b>								
7,20	13,00	23,00		1,27	67,00	19	5,2								
7,40	12,00	23,00		1,18	73,00	16	6,1								
7,60	16,00	29,00		1,57	87,00	18	5,4								
7,80	17,00	33,00		1,67	107,00	16	6,3								
<b>8,00</b>	<b>16,00</b>	<b>31,00</b>		<b>1,57</b>	<b>100,00</b>	<b>16</b>	<b>6,3</b>								
8,20	17,00	34,00		1,67	113,00	15	6,6								
8,40	17,00	35,00		1,67	120,00	14	7,1								
8,60	17,00	34,00		1,67	113,00	15	6,6								
8,80	16,00	33,00		1,57	113,00	14	7,1								
<b>9,00</b>	<b>16,00</b>	<b>31,00</b>		<b>1,57</b>	<b>100,00</b>	<b>16</b>	<b>6,3</b>								
9,20	17,00	33,00		1,67	107,00	16	6,3								
9,40	17,00	32,00		1,67	100,00	17	5,9								
9,60	21,00	33,00		2,06	80,00	26	3,8								
9,80	17,00	33,00		1,67	107,00	16	6,3								
<b>10,00</b>	<b>14,00</b>	<b>27,00</b>		<b>1,37</b>	<b>87,00</b>	<b>16</b>	<b>6,2</b>								
10,20	15,00	24,00		1,47	60,00	25	4,0								
10,40	13,00	22,00		1,27	60,00	22	4,6								
10,60	11,00	19,00		1,08	53,00	21	4,8								
10,80	15,00	23,00		1,47	53,00	28	3,5								
<b>11,00</b>	<b>23,00</b>	<b>35,00</b>		<b>2,25</b>	<b>80,00</b>	<b>29</b>	<b>3,5</b>								
11,20	23,00	40,00		2,25	113,00	20	4,9								
11,40	17,00	32,00		1,67	100,00	17	5,9								
11,60	9,00	20,00		0,88	73,00	12	8,1								
11,80	8,00	16,00		0,78	53,00	15	6,6								
<b>12,00</b>	<b>12,00</b>	<b>20,00</b>		<b>1,18</b>	<b>53,00</b>	<b>23</b>	<b>4,4</b>								
12,20	16,00	25,00		1,57	60,00	27	3,8								
12,40	22,00	34,00		2,16	80,00	28	3,6								
12,60	29,00	41,00		2,84	80,00	36	2,8								
12,80	31,00	50,00		3,04	127,00	24	4,1								
<b>13,00</b>	<b>26,00</b>	<b>47,00</b>		<b>2,55</b>	<b>140,00</b>	<b>19</b>	<b>5,4</b>								
13,20	27,00	46,00		2,65	127,00	21	4,7								
13,40	25,00	42,00		2,45	113,00	22	4,5								
13,60	16,00	33,00		1,57	113,00	14	7,1								
13,80	10,00	20,00		0,98	67,00	15	6,7								
<b>14,00</b>	<b>15,00</b>	<b>24,00</b>		<b>1,47</b>	<b>60,00</b>	<b>25</b>	<b>4,0</b>								
14,20	10,00	21,00		0,98	73,00	14	7,3								
14,40	13,00	22,00		1,27	60,00	22	4,6								
14,60	15,00	27,00		1,47	80,00	19	5,3								
14,80	22,00	34,00		2,16	80,00	28	3,6								
<b>15,00</b>	<b>21,00</b>	<b>35,00</b>		<b>2,06</b>	<b>93,00</b>	<b>23</b>	<b>4,4</b>								

H = profondità

L1 = prima lettura (punta)

L2 = seconda lettura (punta + laterale)

Lt = terza lettura (totale)

CT = 10,00 costante di trasformazione

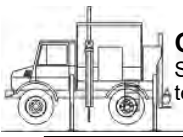
qc = resistenza punta

fs = resistenza laterale

alla stessa quota di qc

F = rapporto Begemann (qc / fs)

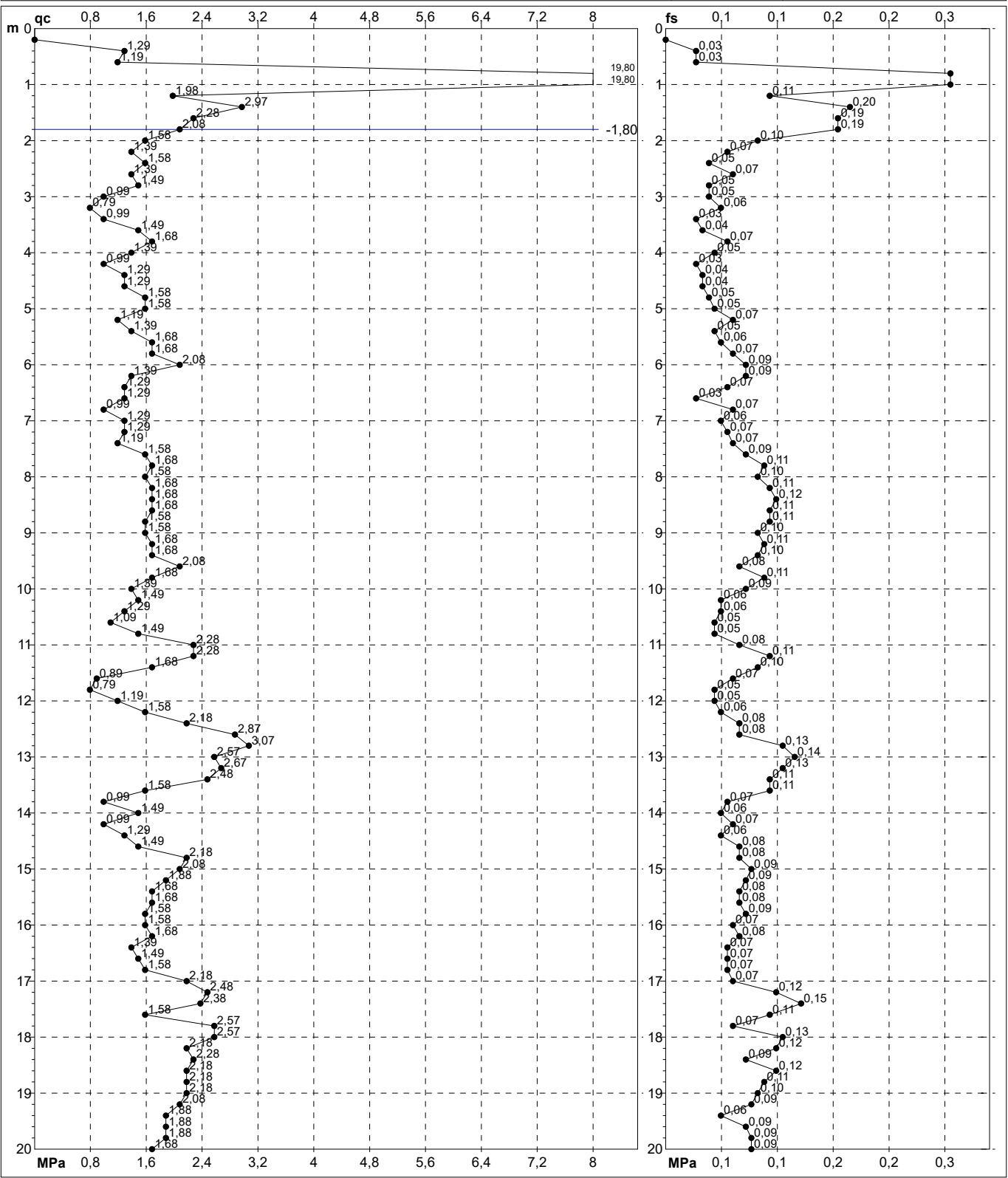
Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)\*100



# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

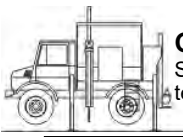
<b>CPT</b>	<b>1</b>
Riferimento	<b>022-2022</b>

Committente	<b>STUDIO TECNICO</b>	U.M.:	<b>MPa</b>	Data exec.	14/02/2022
Cantiere	<b>STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE</b>	Scala:	1:100		
Località	<b>CARPI - VIA UNIONE SOVIETICA</b>	Pagina	2/17	Quota inizio:	Falda -1,80 m
		Elaborato		Falda	-1,80 m



		Penetrometro:	TG63-200Stat	preforo	m
		Responsabile:		Corr.astine:	kN/ml
		Assistente:		Cod. tip:	



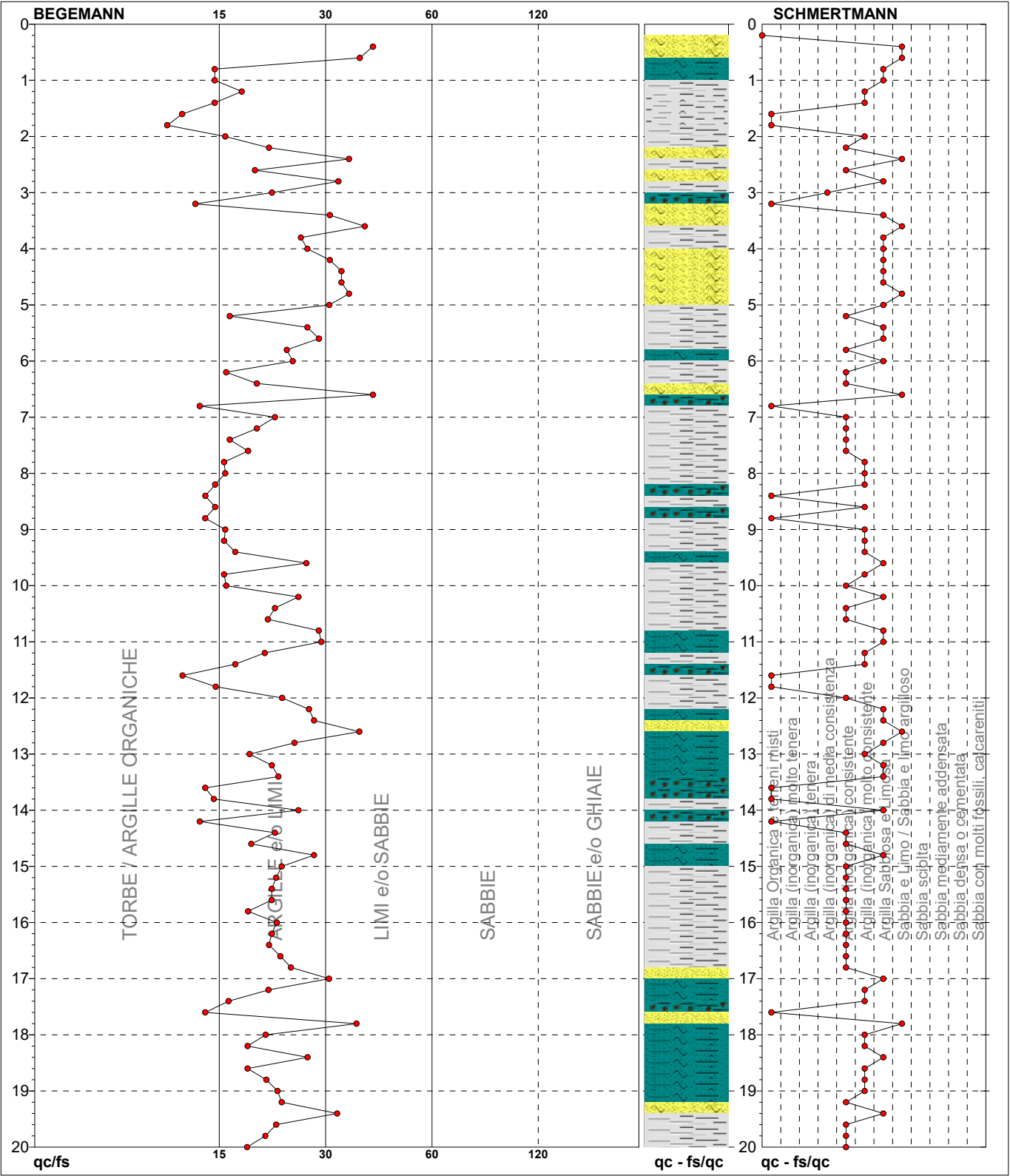


**PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA**  
**DIAGRAMMI LITOLOGIA**

<b>CPT</b>	<b>1</b>
Riferimento	<b>022-2022</b>

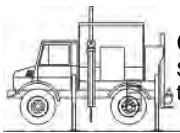
Committente **STUDIO TECNICO**  
Cantiere **STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE**  
Località **CARPI - VIA UNIONE SOVIETICA**

U.M.: **MPa**  
Scala: **1:100**  
Pagina **3/17**  
Elaborato  
Data eseg. **14/02/2022**  
Falda **-1,80 m**



TORBE / ARGILLE OR	13 punti, 13,00%	Argilla Organica e terreni misti	12 punti, 12,00%	Argilla Sabbiosa e Limosa	27 punti, 27,00%
ARGILLE e/o LIMI	71 punti, 71,00%	Argilla (inorganica) di media consistenza	1 punti, 1,00%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo argilloso	8 punti, 8,00%
LIMI e/o SABBIE	16 punti, 16,00%	Argilla (inorganica) consistente	30 punti, 30,00%		
		Argilla (inorganica) molto consistente	21 punti, 21,00%		



**PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA**  
**LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI****CPT****2**

Riferimento

**022-2022**Committente **STUDIO TECNICO**  
Cantiere **STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE**  
Località **CARPI - VIA UNIONE SOVIETICA**U.M.: **MPa**

Data esec. 14/02/2022

Pagina 1/17  
Elaborato

Falda -1,80 m

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %
0,20	0,00	0,00		0,00	0,00			15,20	14,00	25,00		1,37	73,00	19	5,2
0,40	129,00	140,00		12,64	73,00	177	0,6	15,40	15,00	23,00		1,47	53,00	28	3,5
0,60	76,00	137,00		7,45	407,00	19	5,4	15,60	15,00	27,00		1,47	80,00	19	5,3
0,80	76,00	124,00		7,45	320,00	24	4,2	15,80	15,00	26,00		1,47	73,00	21	4,9
<b>1,00</b>	<b>62,00</b>	<b>96,00</b>		<b>6,08</b>	<b>227,00</b>	<b>27</b>	<b>3,7</b>	<b>16,00</b>	<b>16,00</b>	<b>28,00</b>		<b>1,57</b>	<b>80,00</b>	<b>20</b>	<b>5,0</b>
1,20	26,00	69,00		2,55	287,00	9	11,0	16,20	16,00	28,00		1,57	80,00	20	5,0
1,40	12,00	30,00		1,18	120,00	10	10,0	16,40	15,00	25,00		1,47	67,00	22	4,5
1,60	10,00	19,00		0,98	60,00	17	6,0	16,60	17,00	25,00		1,67	53,00	32	3,1
1,80	7,00	12,00		0,69	33,00	21	4,7	16,80	21,00	33,00		2,06	80,00	26	3,8
<b>2,00</b>	<b>14,00</b>	<b>17,00</b>		<b>1,37</b>	<b>20,00</b>	<b>70</b>	<b>1,4</b>	<b>17,00</b>	<b>23,00</b>	<b>37,00</b>		<b>2,25</b>	<b>93,00</b>	<b>25</b>	<b>4,0</b>
2,20	11,00	16,00		1,08	33,00	33	3,0	17,20	22,00	38,00		2,16	107,00	21	4,9
2,40	13,00	18,00		1,27	33,00	39	2,5	17,40	16,00	29,00		1,57	87,00	18	5,4
2,60	13,00	20,00		1,27	47,00	28	3,6	17,60	16,00	27,00		1,57	73,00	22	4,6
2,80	16,00	23,00		1,57	47,00	34	2,9	17,80	27,00	33,00		2,65	40,00	68	1,5
<b>3,00</b>	<b>13,00</b>	<b>22,00</b>		<b>1,27</b>	<b>60,00</b>	<b>22</b>	<b>4,6</b>	<b>18,00</b>	<b>27,00</b>	<b>42,00</b>		<b>2,65</b>	<b>100,00</b>	<b>27</b>	<b>3,7</b>
3,20	12,00	19,00		1,18	47,00	26	3,9	18,20	17,00	37,00		1,67	133,00	13	7,8
3,40	11,00	19,00		1,08	53,00	21	4,8	18,40	20,00	33,00		1,96	87,00	23	4,4
3,60	10,00	18,00		0,98	53,00	19	5,3	18,60	18,00	30,00		1,76	80,00	23	4,4
3,80	10,00	17,00		0,98	47,00	21	4,7	18,80	21,00	35,00		2,06	93,00	23	4,4
<b>4,00</b>	<b>16,00</b>	<b>23,00</b>		<b>1,57</b>	<b>47,00</b>	<b>34</b>	<b>2,9</b>	<b>19,00</b>	<b>19,00</b>	<b>34,00</b>		<b>1,86</b>	<b>100,00</b>	<b>19</b>	<b>5,3</b>
4,20	14,00	23,00		1,37	60,00	23	4,3	19,20	19,00	32,00		1,86	87,00	22	4,6
4,40	12,00	21,00		1,18	60,00	20	5,0	19,40	20,00	35,00		1,96	100,00	20	5,0
4,60	10,00	16,00		0,98	40,00	25	4,0	19,60	22,00	33,00		2,16	73,00	30	3,3
4,80	12,00	17,00		1,18	33,00	36	2,8	19,80	21,00	34,00		2,06	87,00	24	4,1
<b>5,00</b>	<b>14,00</b>	<b>21,00</b>		<b>1,37</b>	<b>47,00</b>	<b>30</b>	<b>3,4</b>	<b>20,00</b>	<b>23,00</b>	<b>37,00</b>		<b>2,25</b>	<b>93,00</b>	<b>25</b>	<b>4,0</b>
5,20	16,00	24,00		1,57	53,00	30	3,3								
5,40	14,00	21,00		1,37	47,00	30	3,4								
5,60	15,00	24,00		1,47	60,00	25	4,0								
5,80	17,00	27,00		1,67	67,00	25	3,9								
<b>6,00</b>	<b>22,00</b>	<b>35,00</b>		<b>2,16</b>	<b>87,00</b>	<b>25</b>	<b>4,0</b>								
6,20	23,00	35,00		2,25	80,00	29	3,5								
6,40	16,00	29,00		1,57	87,00	18	5,4								
6,60	17,00	31,00		1,67	93,00	18	5,5								
6,80	14,00	27,00		1,37	87,00	16	6,2								
<b>7,00</b>	<b>11,00</b>	<b>25,00</b>		<b>1,08</b>	<b>93,00</b>	<b>12</b>	<b>8,5</b>								
7,20	12,00	20,00		1,18	53,00	23	4,4								
7,40	11,00	19,00		1,08	53,00	21	4,8								
7,60	14,00	23,00		1,37	60,00	23	4,3								
7,80	16,00	26,00		1,57	67,00	24	4,2								
<b>8,00</b>	<b>14,00</b>	<b>25,00</b>		<b>1,37</b>	<b>73,00</b>	<b>19</b>	<b>5,2</b>								
8,20	14,00	24,00		1,37	67,00	21	4,8								
8,40	14,00	24,00		1,37	67,00	21	4,8								
8,60	14,00	25,00		1,37	73,00	19	5,2								
8,80	12,00	23,00		1,18	73,00	16	6,1								
<b>9,00</b>	<b>12,00</b>	<b>20,00</b>		<b>1,18</b>	<b>53,00</b>	<b>23</b>	<b>4,4</b>								
9,20	10,00	19,00		0,98	60,00	17	6,0								
9,40	9,00	17,00		0,88	53,00	17	5,9								
9,60	13,00	25,00		1,27	80,00	16	6,2								
9,80	9,00	23,00		0,88	93,00	10	10,3								
<b>10,00</b>	<b>16,00</b>	<b>25,00</b>		<b>1,57</b>	<b>60,00</b>	<b>27</b>	<b>3,8</b>								
10,20	13,00	23,00		1,27	67,00	19	5,2								
10,40	16,00	26,00		1,57	67,00	24	4,2								
10,60	19,00	30,00		1,86	73,00	26	3,8								
10,80	21,00	36,00		2,06	100,00	21	4,8								
<b>11,00</b>	<b>19,00</b>	<b>33,00</b>		<b>1,86</b>	<b>93,00</b>	<b>20</b>	<b>4,9</b>								
11,20	15,00	31,00		1,47	107,00	14	7,1								
11,40	19,00	31,00		1,86	80,00	24	4,2								
11,60	20,00	32,00		1,96	80,00	25	4,0								
11,80	19,00	35,00		1,86	107,00	18	5,6								
<b>12,00</b>	<b>21,00</b>	<b>34,00</b>		<b>2,06</b>	<b>87,00</b>	<b>24</b>	<b>4,1</b>								
12,20	14,00	27,00		1,37	87,00	16	6,2								
12,40	15,00	25,00		1,47	67,00	22	4,5								
12,60	15,00	29,00		1,47	93,00	16	6,2								
12,80	22,00	33,00		2,16	73,00	30	3,3								
<b>13,00</b>	<b>26,00</b>	<b>39,00</b>		<b>2,55</b>	<b>87,00</b>	<b>30</b>	<b>3,3</b>								
13,20	23,00	45,00		2,25	147,00	16	6,4								
13,40	23,00	41,00		2,25	120,00	19	5,2								
13,60	19,00	37,00		1,86	120,00	16	6,3								
13,80	14,00	30,00		1,37	107,00	13	7,6								
<b>14,00</b>	<b>13,00</b>	<b>26,00</b>		<b>1,27</b>	<b>87,00</b>	<b>15</b>	<b>6,7</b>								
14,20	13,00	21,00		1,27	53,00	25	4,1								
14,40	13,00	19,00		1,27	40,00	33	3,1								
14,60	16,00	24,00		1,57	53,00	30	3,3								
14,80	17,00	29,00		1,67	80,00	21	4,7								
<b>15,00</b>	<b>15,00</b>	<b>31,00</b>		<b>1,47</b>	<b>107,00</b>	<b>14</b>	<b>7,1</b>								

H = profondità

L1 = prima lettura (punta)

L2 = seconda lettura (punta + laterale)

Lt = terza lettura (totale)

CT = 10,00 costante di trasformazione

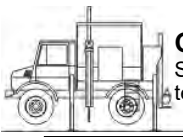
qc = resistenza punta

fs = resistenza laterale

alla stessa quota di qc

F = rapporto Begemann (qc / fs)

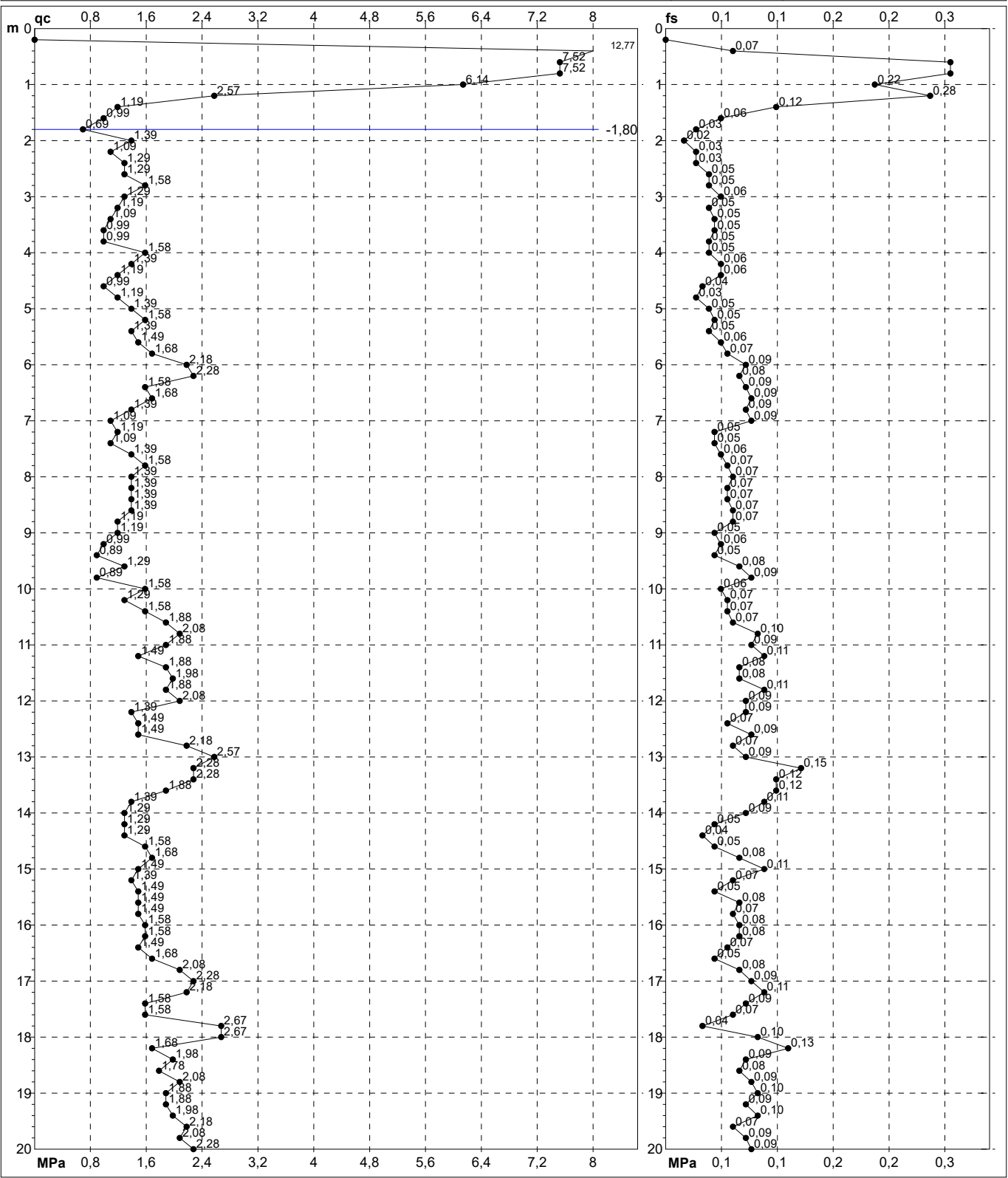
Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)\*100



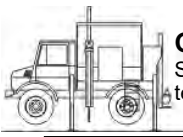
# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

<b>CPT</b>	<b>2</b>
Riferimento	<b>022-2022</b>

Committente	<b>STUDIO TECNICO</b>	U.M.:	<b>MPa</b>	Data exec.	14/02/2022
Cantiere	<b>STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE</b>	Scala:	1:100	Quota inizio:	Falda -1,80 m
Località	<b>CARPI - VIA UNIONE SOVIETICA</b>	Pagina	2/17	Elaborato	



Penetrometro:	TG63-200Stat	preforo	m
Responsabile:		Corr.astine:	kN/ml
Assistente:		Cod. tip:	

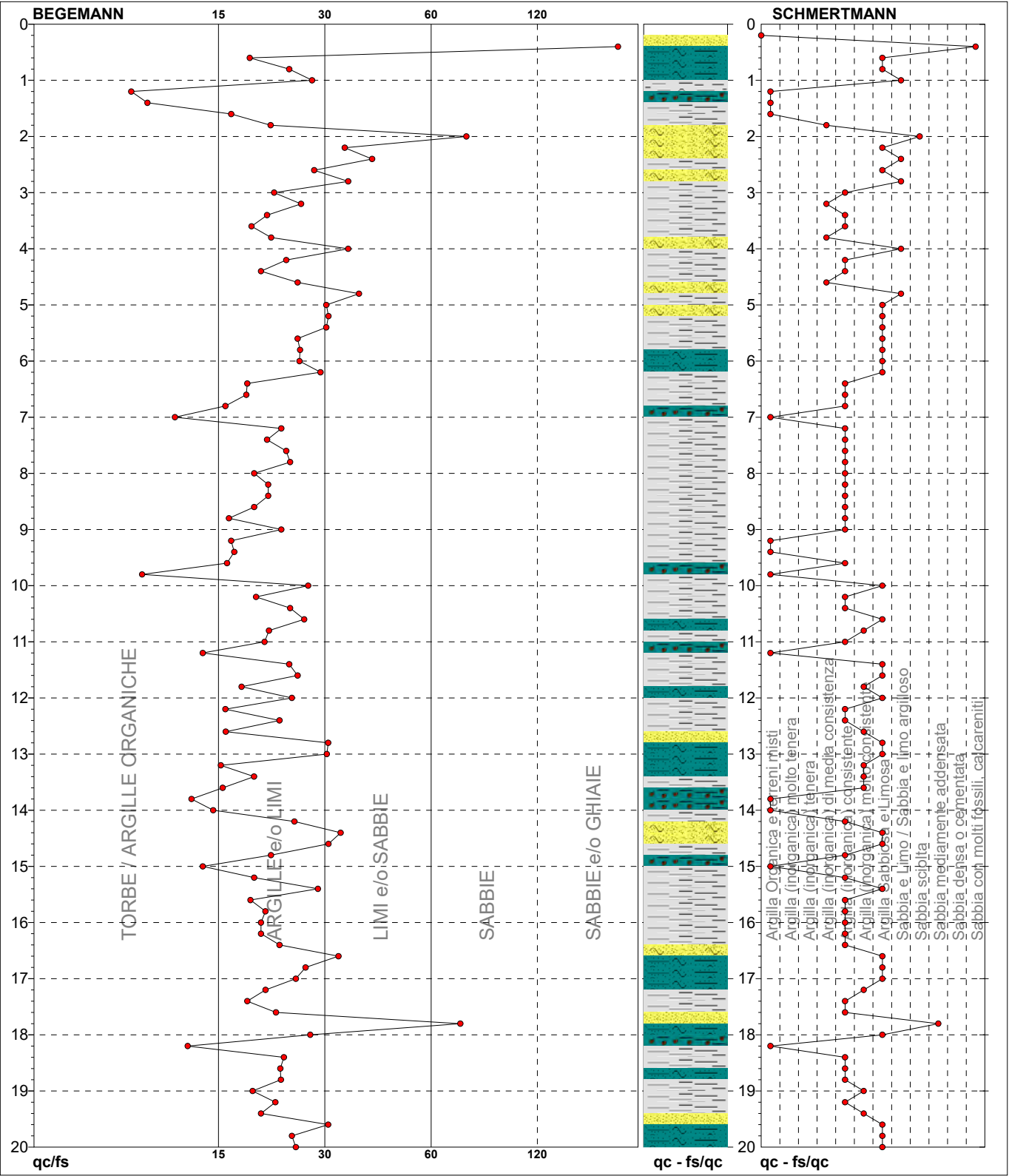


**PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA**  
**DIAGRAMMI LITOLOGIA**

<b>CPT</b>	<b>2</b>
Riferimento	<b>022-2022</b>

Committente **STUDIO TECNICO**  
Cantiere **STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE**  
Località **CARPI - VIA UNIONE SOVIETICA**

U.M.: **MPa**  
Scala: **1:100**  
Pagina **3/17**  
Elaborato  
Data exec. **14/02/2022**  
Falda **-1,80 m**



TORBE / ARGILLE OR	10 punti, 10,00%	Argilla Organica e terreni misti	12 punti, 12,00%	Argilla Sabbiosa e Limosa	28 punti, 28,00%
ARGILLE e/o LIMI	76 punti, 76,00%	Argilla (inorganica) di media consistenza	4 punti, 4,00%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo argilloso	5 punti, 5,00%
LIMI e/o SABBIE	11 punti, 11,00%	Argilla (inorganica) consistente	38 punti, 38,00%	Sabbia sciolta	1 punto, 1,00%
SABBIE	2 punti, 2,00%	Argilla (inorganica) molto consistente	9 punti, 9,00%	Sabbia mediamente addensata	1 punto, 1,00%
SABBIE e/o GHIAIE	1 punti, 1,00%			Sabbia con molti fossili, calcareniti	1 punto, 1,00%



# ALLEGATO 2

## VERIFICHE GEOTECNICHE

## DATI GENERALI

Larghezza fondazione	1.5 m
Lunghezza fondazione	5.0 m
Profondità piano di posa	3.5 m
Profondità falda	1.8

## STRATIGRAFIA TERRENO

Spessore strato [m]	Peso unità di volume [kN/m <sup>3</sup> ]	Peso unità di volume saturo [kN/m <sup>3</sup> ]	Angolo di attrito [°]	Coesione [kN/m <sup>2</sup> ]	Coesione non drenata [kN/m <sup>2</sup> ]	Modulo Elastico [kN/m <sup>2</sup> ]	Modulo Edometrico [kN/m <sup>2</sup> ]	Descrizione
1.8	18.5	21.5	25.0	10.0	100.0	14000.0	10000.0	A
5.6	18.0	21.0	23.0	5.8	58.0	8120.0	4500.0	B
6.0	18.0	21.0	24.0	7.0	70.0	9800.0	5000.0	C
3.4	18.0	21.0	23.0	6.5	65.0	9100.0	5000.0	D
3.2	18.5	21.5	25.0	8.0	80.0	11200.0	6000.0	E

## CEDIMENTI PER OGNI STRATO

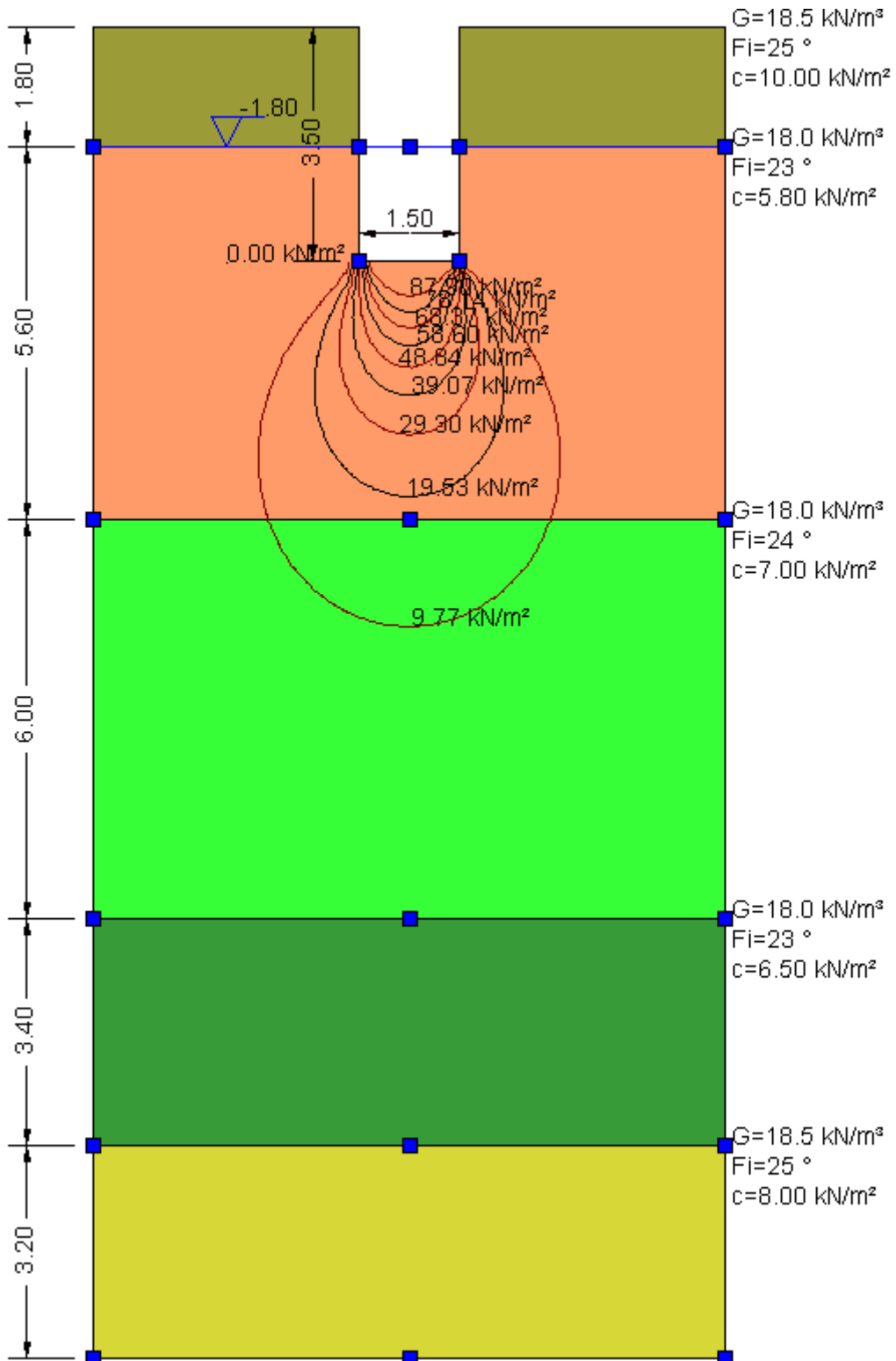
\*Cedimento edometrico calcolato con: Metodo consolidazione monodimensionale di Terzaghi

Pressione normale di progetto	150.0 kN/m <sup>2</sup>
Cedimento totale	<b>2.365 cm</b>

Z: Profondità media dello strato; Dp: Incremento di tensione; Wc: Cedimento consolidazione; Ws: Cedimento secondario; Wt: Cedimento totale.

Strato	Z (m)	Tensione (kN/m <sup>2</sup> )	Dp (kN/m <sup>2</sup> )	Metodo	Wc (cm)	Ws (cm)	Wt (cm)
2	5.45	74.154	17.629	Edometrico	1.5279	--	1.5279
3	10.4	129.56	5.077	Edometrico	0.6092	--	0.6092
4	15.1	182.167	2.23	Edometrico	0.1517	--	0.1517
5	18.4	219.904	1.43	Edometrico	0.0763	--	0.0763





*Bulbo dei cedimenti*

# ALLEGATO 3

## INDAGINI SISMICHE

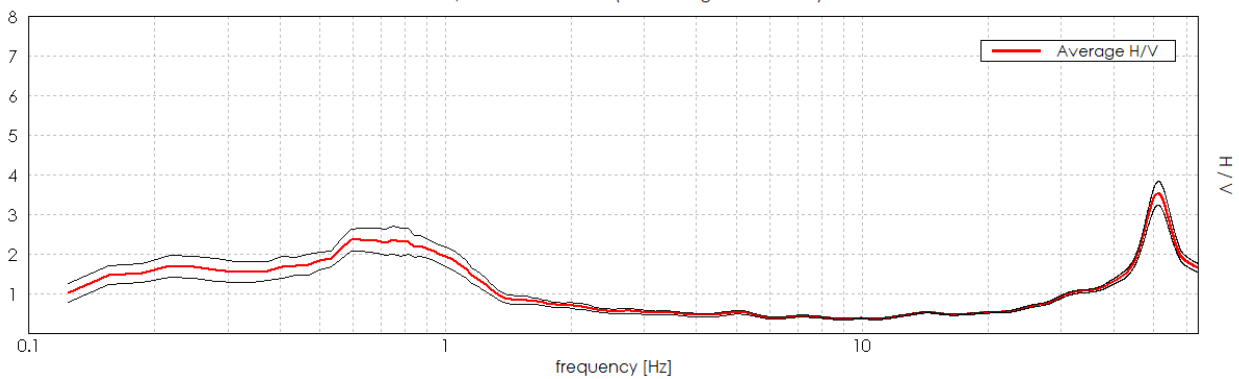
## CARPI - VIA UNIONE SOVIETICA

Instrument: TZB-0123/01-20  
 Data format: 32 bit  
 Full scale [mV]: 179  
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 GPS data not available

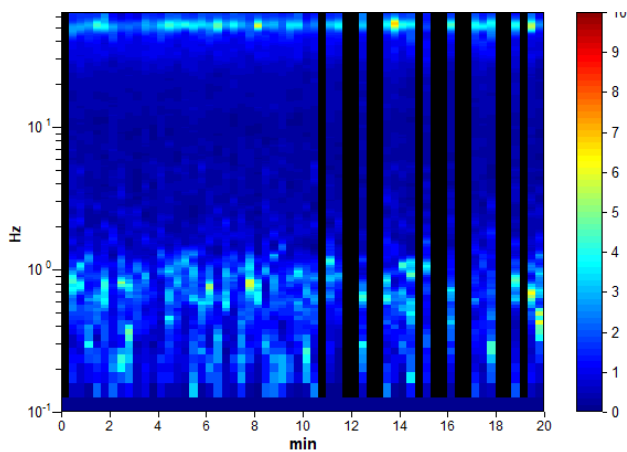
Trace length: 0h20'00". Analyzed 77% trace (manual window selection)  
 Sampling rate: 128 Hz  
 Window size: 20 s  
 Smoothing type: Triangular window  
 Smoothing: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

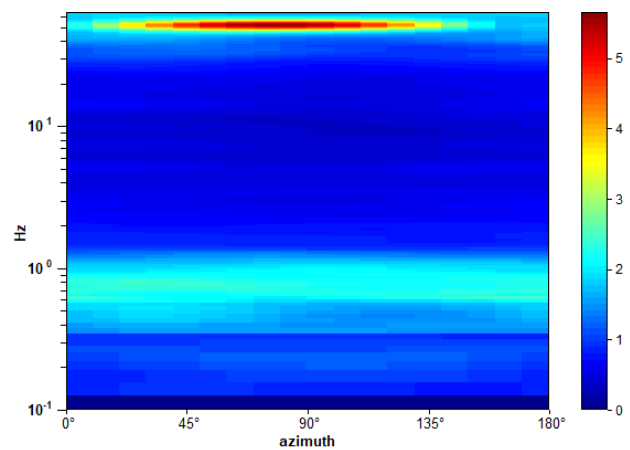
Max. H/V at  $0.63 \pm 0.14$  Hz. (In the range 0.2 - 30.0 Hz).



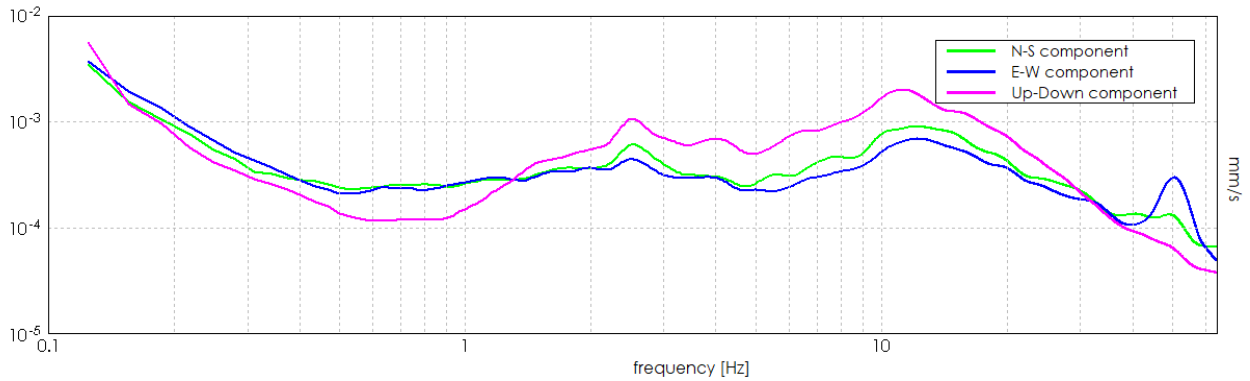
### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V

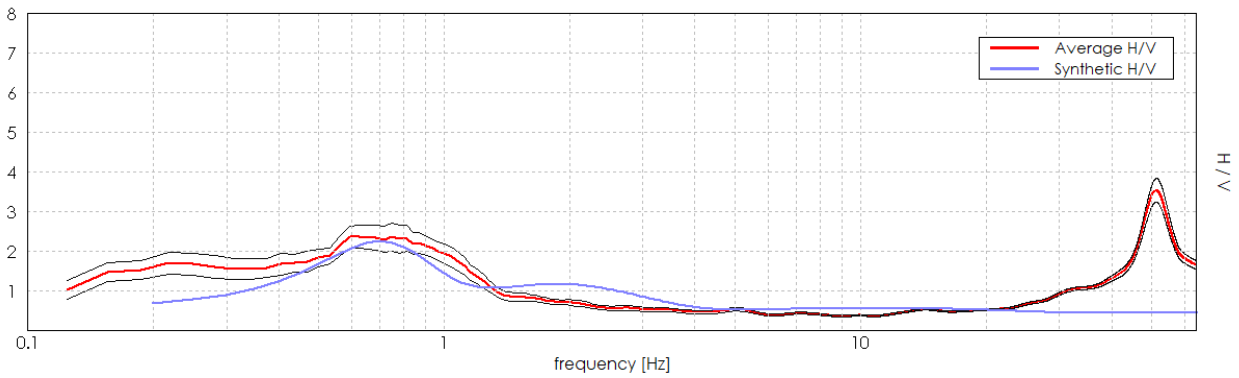


### SINGLE COMPONENT SPECTRA



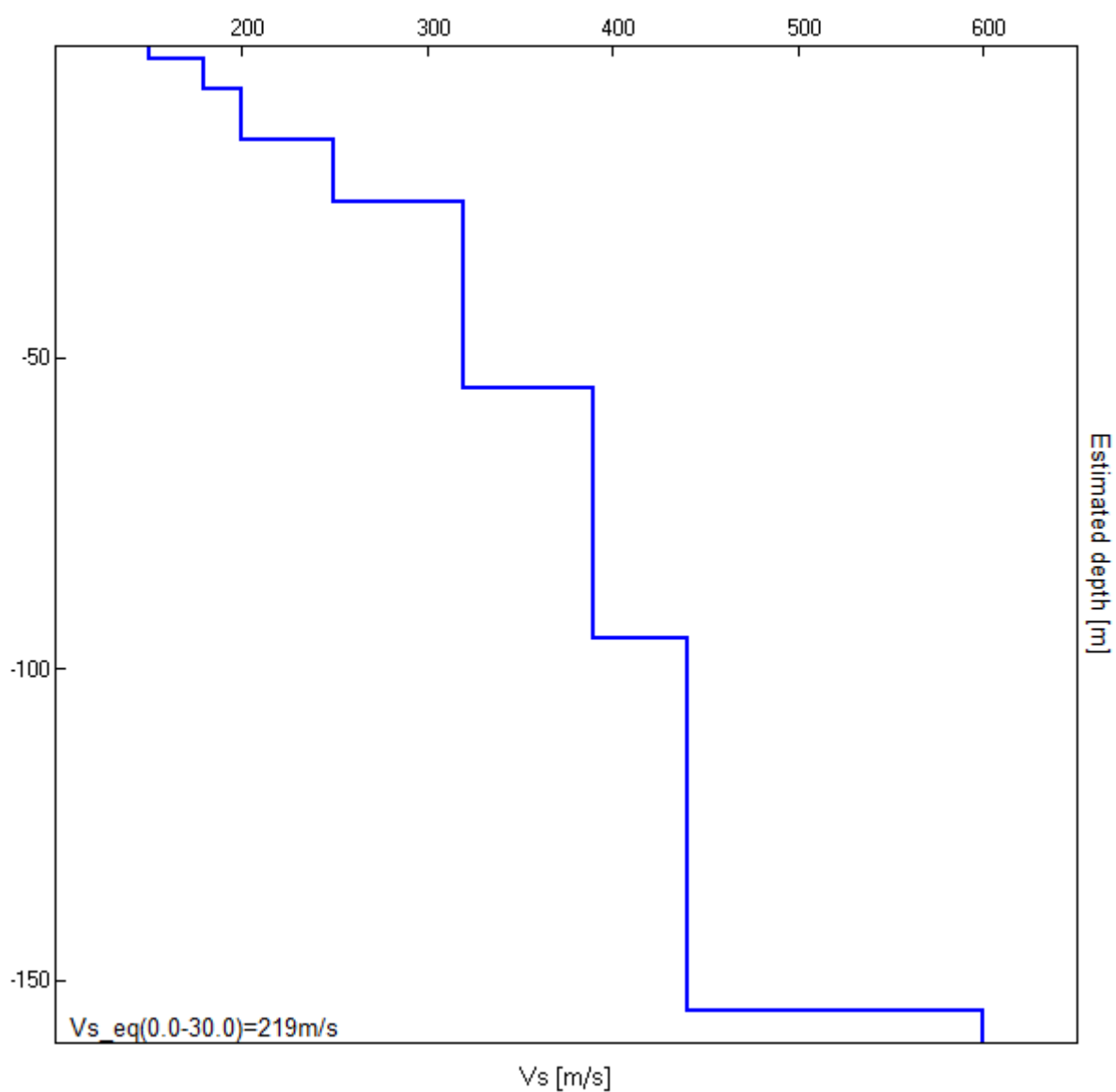
### EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at  $0.63 \pm 0.14$  Hz. (In the range 0.2 - 30.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
2.00	2.00	150	0.45
7.00	5.00	180	0.45
15.00	8.00	200	0.44
25.00	10.00	250	0.44
55.00	30.00	320	0.43
95.00	40.00	390	0.43
155.00	60.00	440	0.43
inf.	inf.	600	0.42

**Vs\_eq (0.0-30.0) = 219 m/s**



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

**Max. H/V at 0.63 ± 0.14 Hz (in the range 0.2 - 30.0 Hz).**

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

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	0.63 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	575.0 > 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 31 times	OK	

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

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			<b>NO</b>
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.281 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.37 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.21682  < 0.05$		<b>NO</b>
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.13551 < 0.09375		<b>NO</b>
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.2909 < 2.0	OK	

$L_w$	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

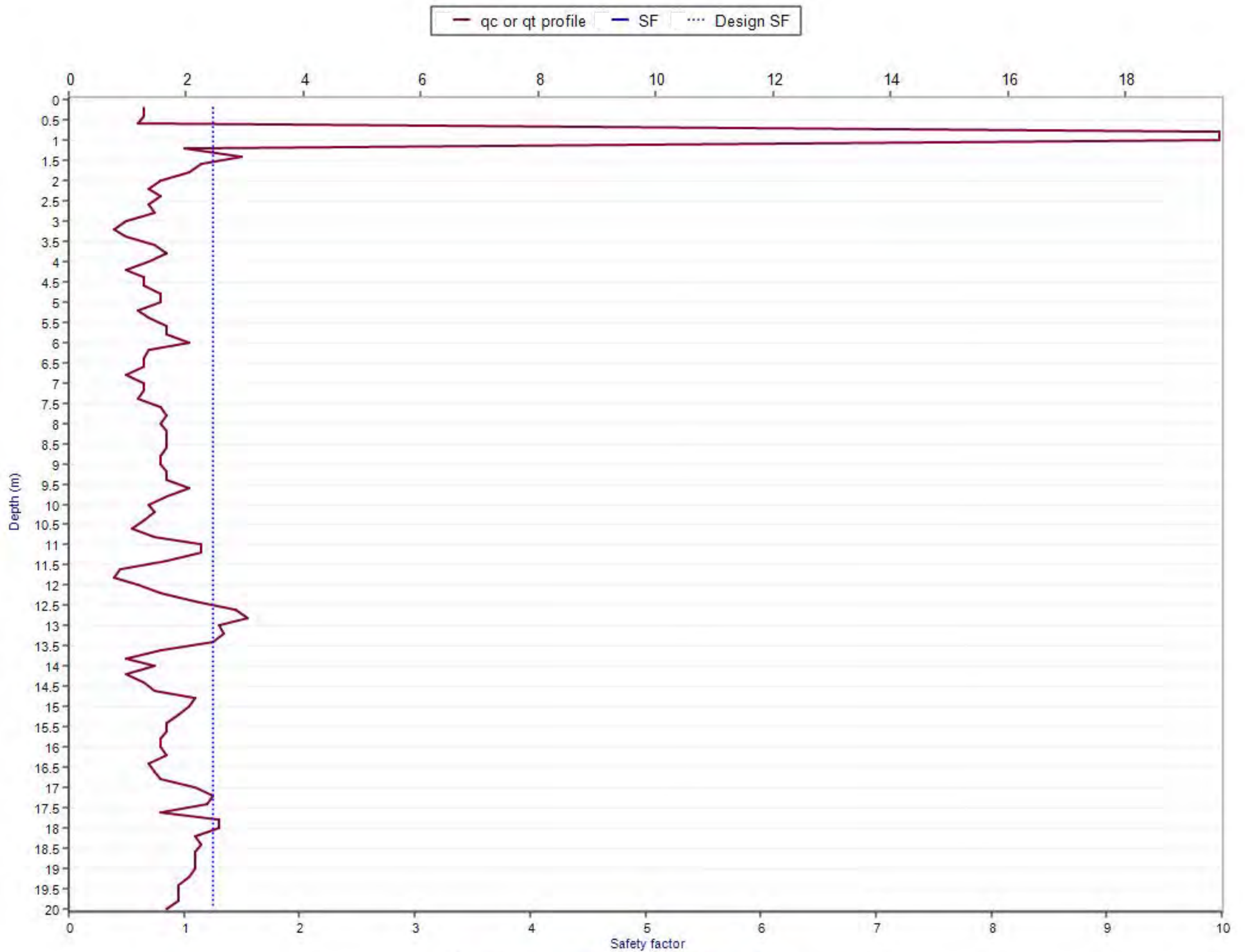
# ALLEGATO 4

VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

# CPT1

VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

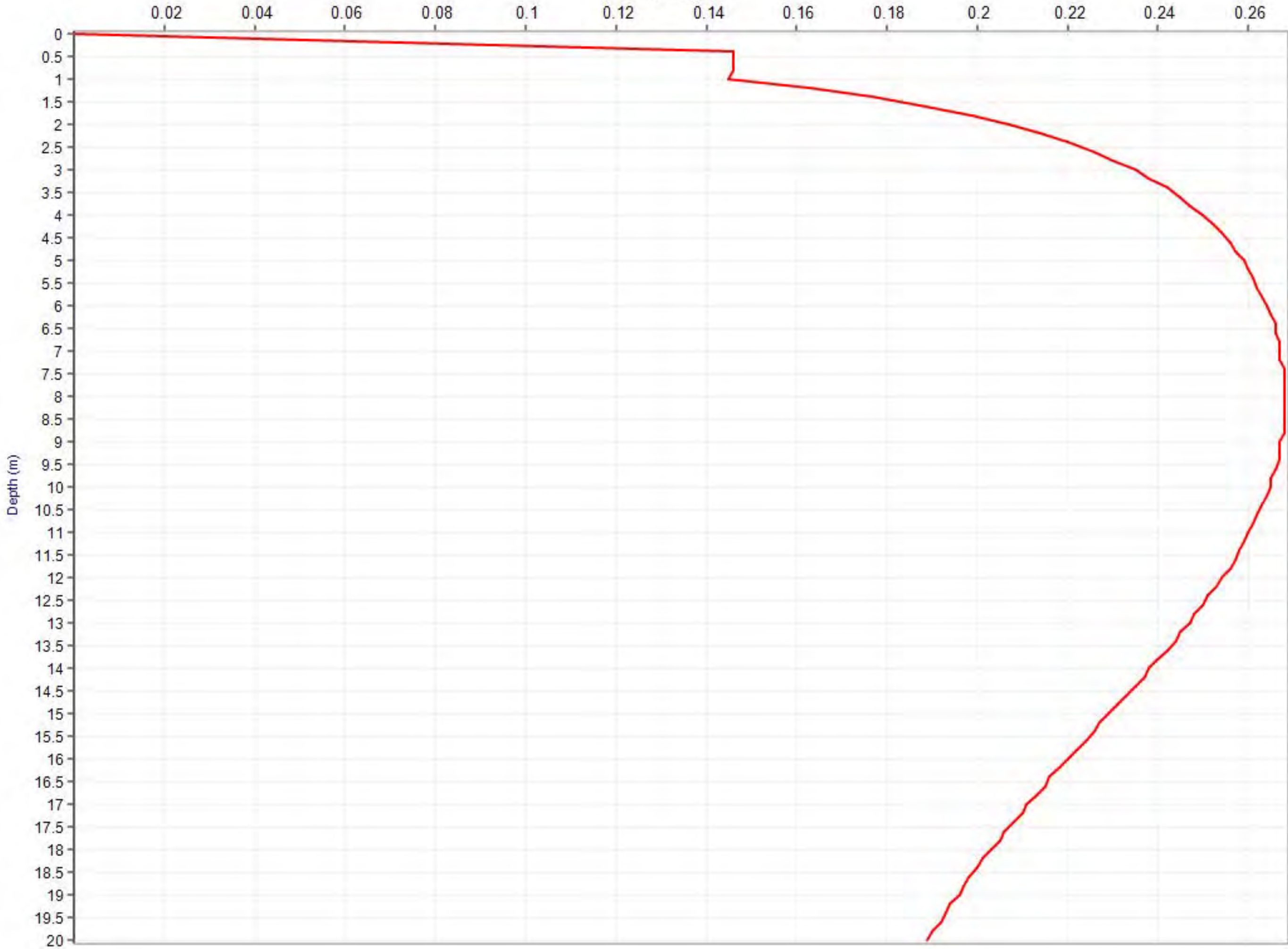




Liquefaction potential index=0.0 risk: very low

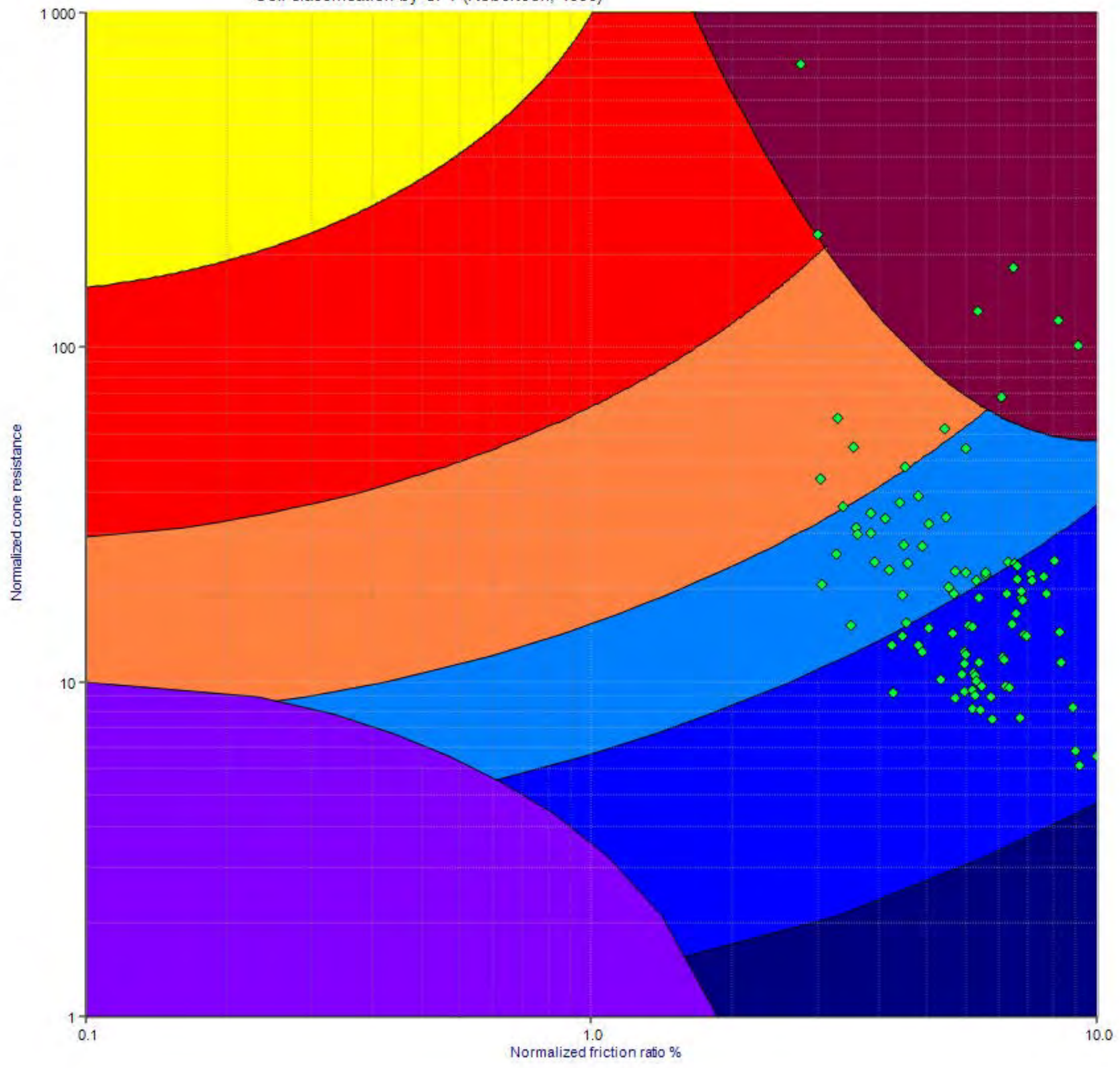
CRR CSR

CRR/CSR

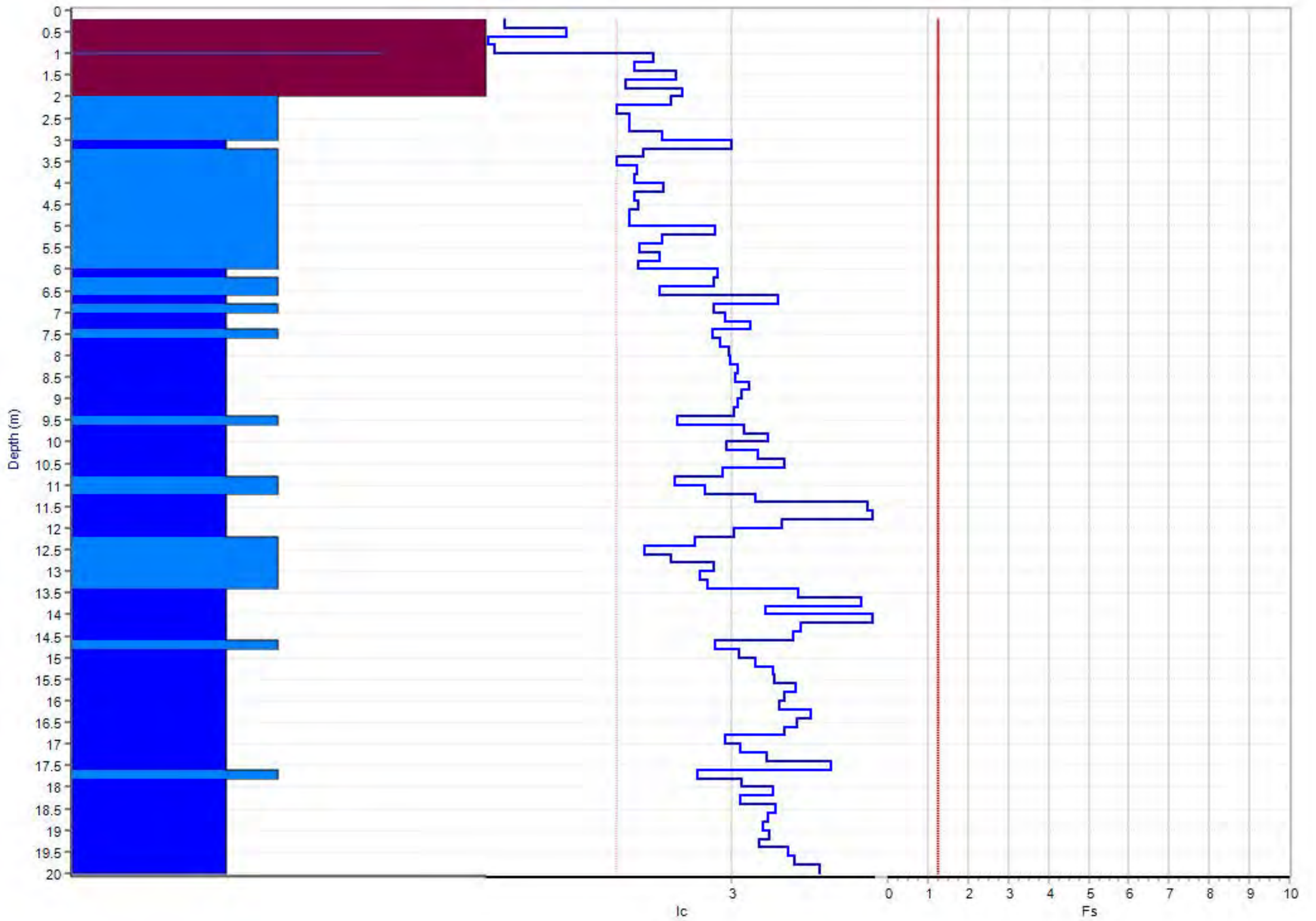


Soil classification by CPT (Robertson, 1990)

- Soils with OCR>5
- From gravelly sand to sand
- From sand to silty sand
- From silty sand to sandy silt
- From clayey silt to silty clay
- From clay to silty clay
- Peat
- Sensitive fine-grained soil
- CPT data

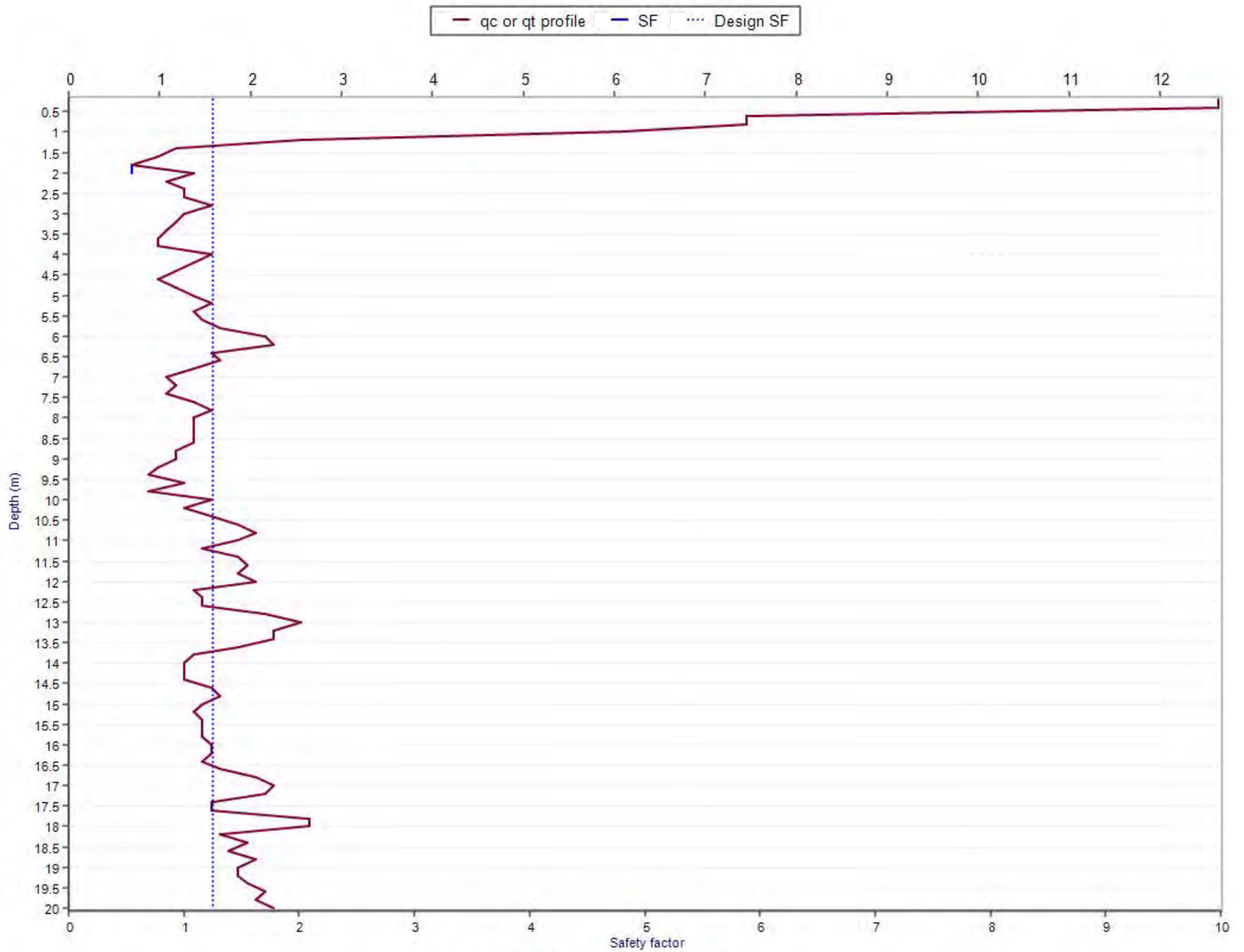


Ic and SF profile

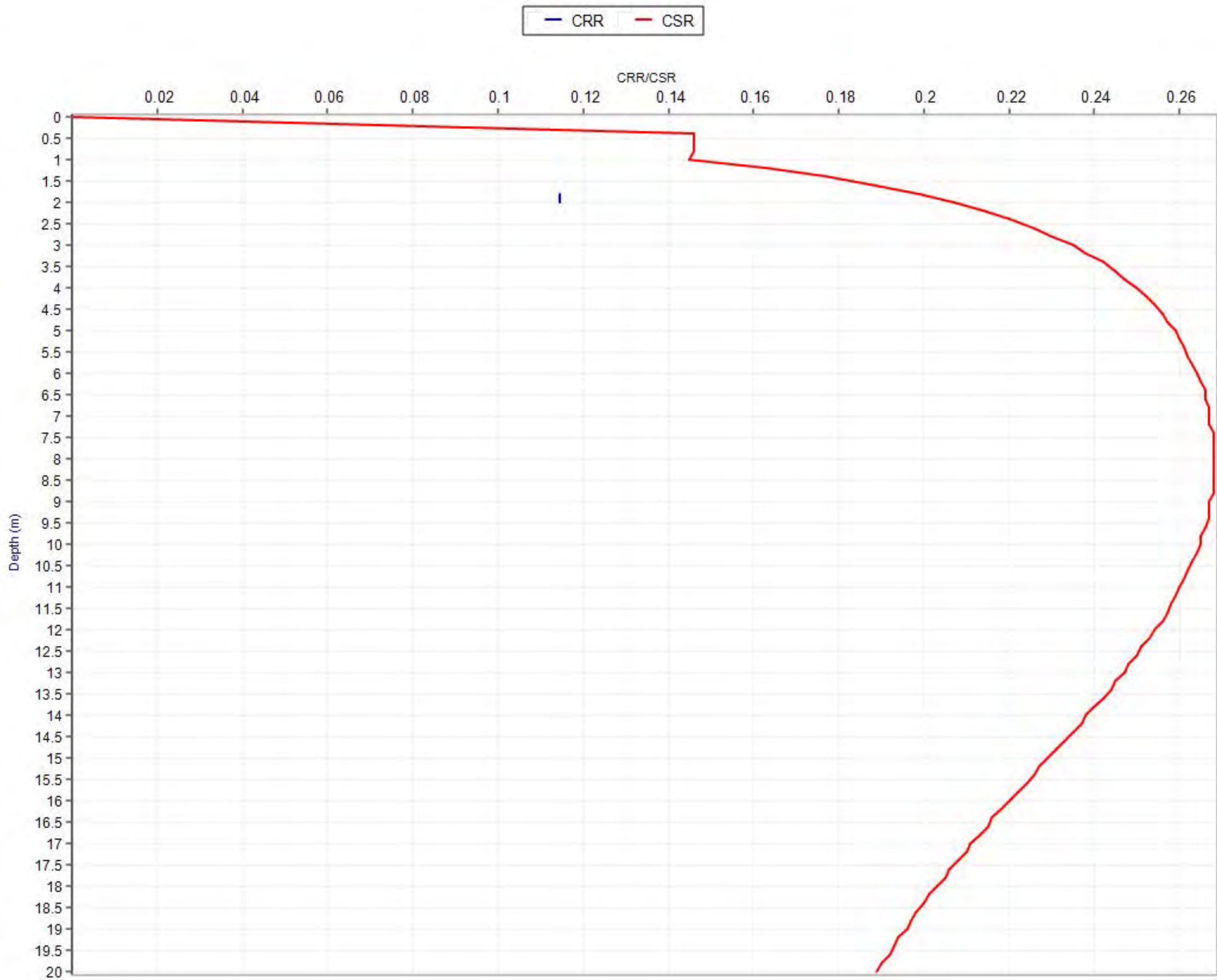


# CPT2

VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

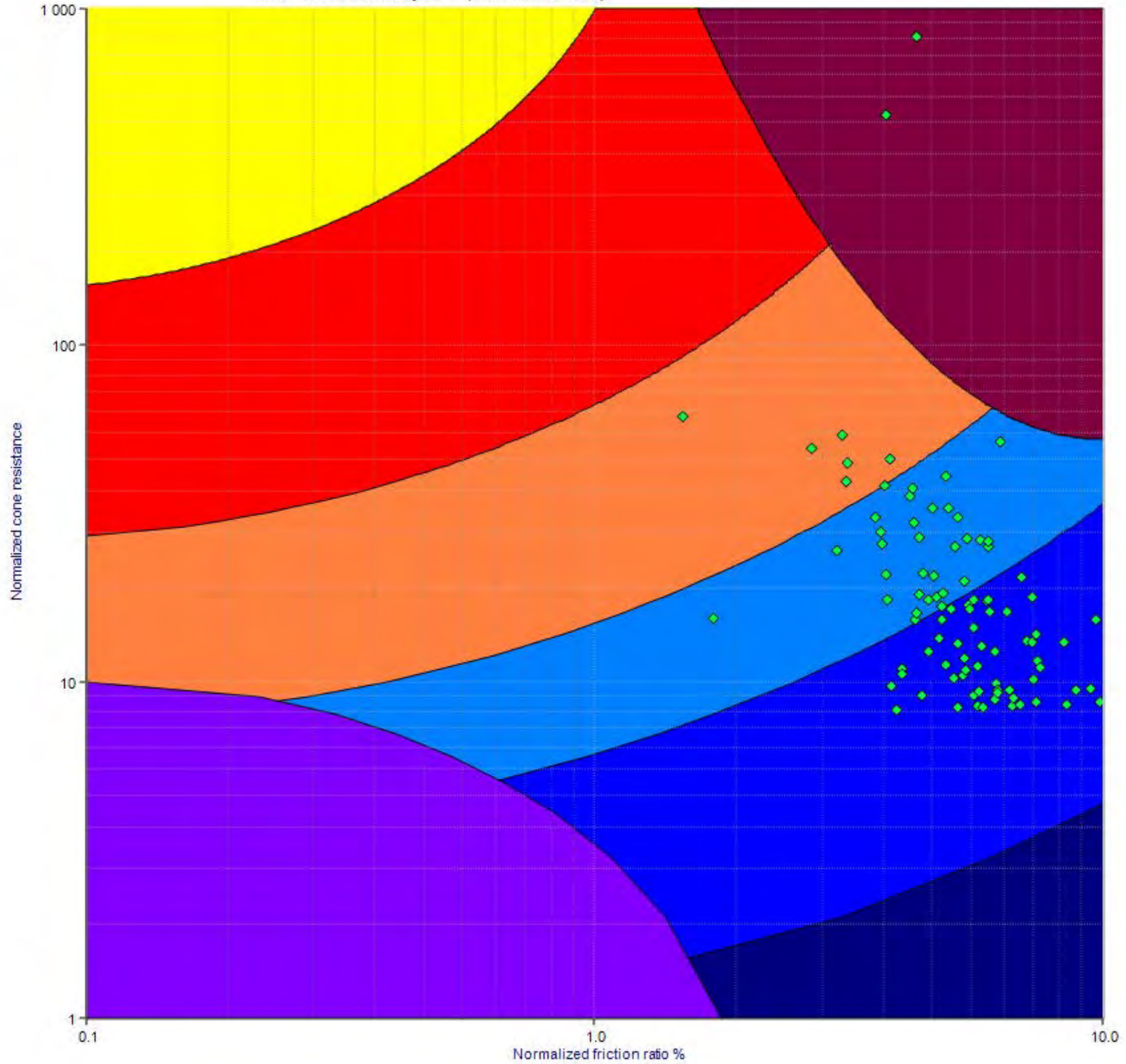


Liquefaction potential index=0.8 risk: low



Soil classification by CPT (Robertson, 1990)

- Soils with OCR>5
- From gravelly sand to sand
- From sand to silty sand
- From silty sand to sandy silt
- From clayey silt to silty clay
- From clay to silty clay
- Peat
- Sensitive fine-grained soil
- CPT data





Ic and SF profile

