

# 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);

### ANALISI PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

Relativa alla caratterizzazione geofisica del volume significativo di terreno (3.2.2 NTC 2018), valutazione dell'azione sismica di riferimento (3.2.3. NTC 2018), Risposta sismica locale e verifica della stabilità nei confronti della liquefazione (7.11.3. NTC 2018).



### OGGETTO

Caratterizzazione geologica geotecnica e sismica a supporto del progetto di realizzazione del nuovo gattile dell'Unione Terre d'Argine, sito in via I. Martinelli nel Comune di Carpi (Mo).

**Rif. n. 292/2020**

Giugno 2020



Dott. Geol. F.



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)



# 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)

### ANALISI PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

Relativa alla caratterizzazione geofisica del volume significativo di terreno (3.2.2 NTC 2018), valutazione dell'azione sismica di riferimento (3.2.3. NTC 2018), Risposta sismica locale e verifica della stabilità nei confronti della liquefazione (7.11.3. NTC 2018)

### OGGETTO

**Caratterizzazione geologica geotecnica e sismica a supporto del progetto di realizzazione del nuovo gattile dell'Unione Terre d'Argine, sito in via I. Martinelli nel Comune di Carpi (Mo).**

**Rif. n. 292/2020**



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.....	4
2	INQUADRAMENTO GENERALE.....	5
2.1	Inquadramento geografico .....	5
2.1	Elementi geologici e geomorfologici .....	6
2.2	Inquadramento sismico.....	7
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
3.2.2	Indagine sismica attiva con metodo MASW .....	9
4	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO .....	11
4.1	Pericolosità sismica di base .....	11
4.2	Categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 NTC2018).....	13
4.3	Azione sismica e risposta sismica del sito – Approccio semplificato .....	14
5	MODELLAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA DEL SITO.....	15
5.1	Caratteristiche litostratigrafiche del terreno .....	15
5.2	Modello geotecnico del sottosuolo.....	16
5.3	Tipologia di fondazioni e calcolo della capacità portante .....	17
5.3.1	Verifica nei confronti degli SLU (6.4 NTC 2018) .....	18
5.3.2	Verifica dei cedimenti .....	19
5.3.3	Modulo di sottofondo .....	19
5.4	Stabilità nei confronti della liquefazione (§ A2.2. DGR 630/2019) .....	20
6	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE .....	22

## TAVOLE

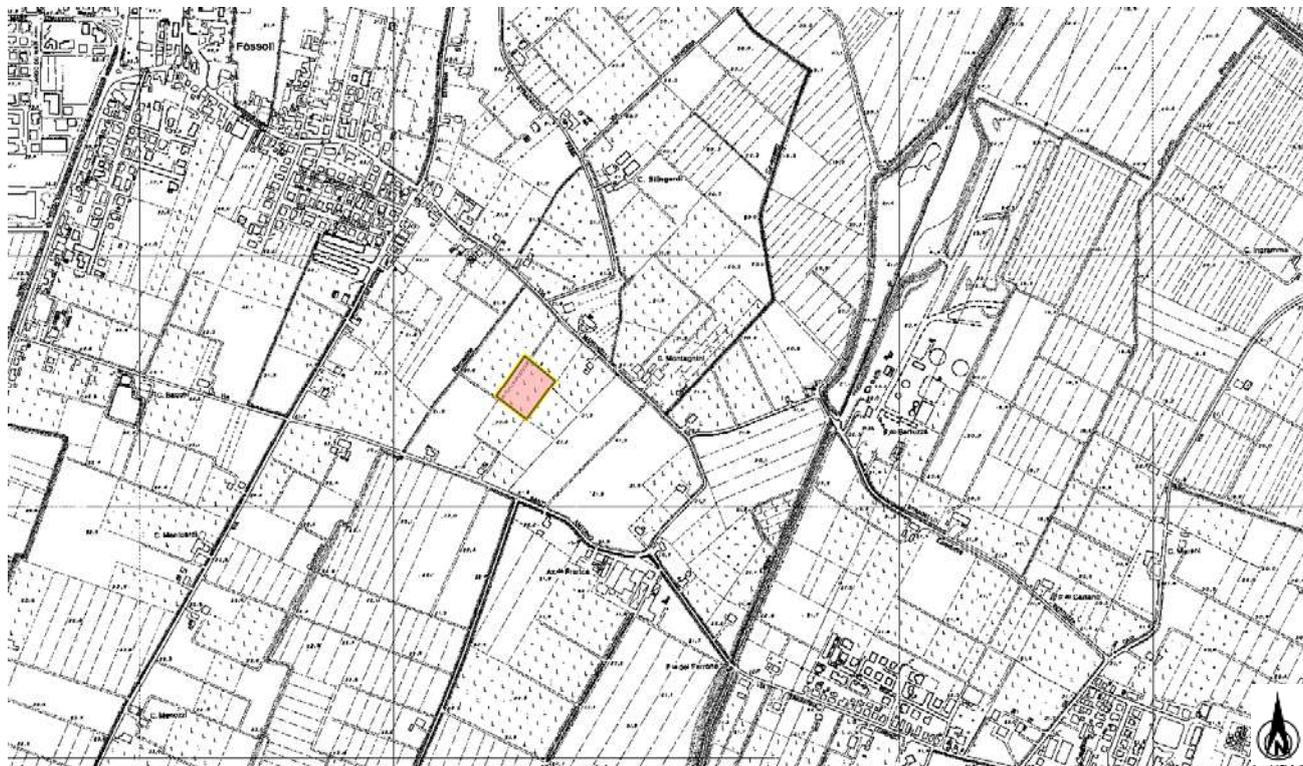
<b>Tav. n. 1:</b> "Carta Corografica"	scala 1: 25.000;
<b>Tav. n. 2:</b> "Carta Topografica"	scala 1: 5.000;
<b>Tav. n. 3:</b> "Ripresa Satellitare"	scala 1: 5.000;
<b>Tav. n. 4:</b> "Ubicazione indagini"	scala 1: 1.000.

## 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 giugno 2020 è stato eseguito il presente studio geologico, geotecnico e sismico inerente al progetto di realizzazione di un nuovo gattile, sito in via I Martinelli, nel Comune di Carpi (MO) (Fig.1.1).



**Fig.1.1 - Ubicazione del sito in studio – Comune di Carpi.**

La presente relazione fa riferimento alle disposizioni normative contenute in:

- Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 – D.M. 17/01/2018;
- DGR 630/2019.

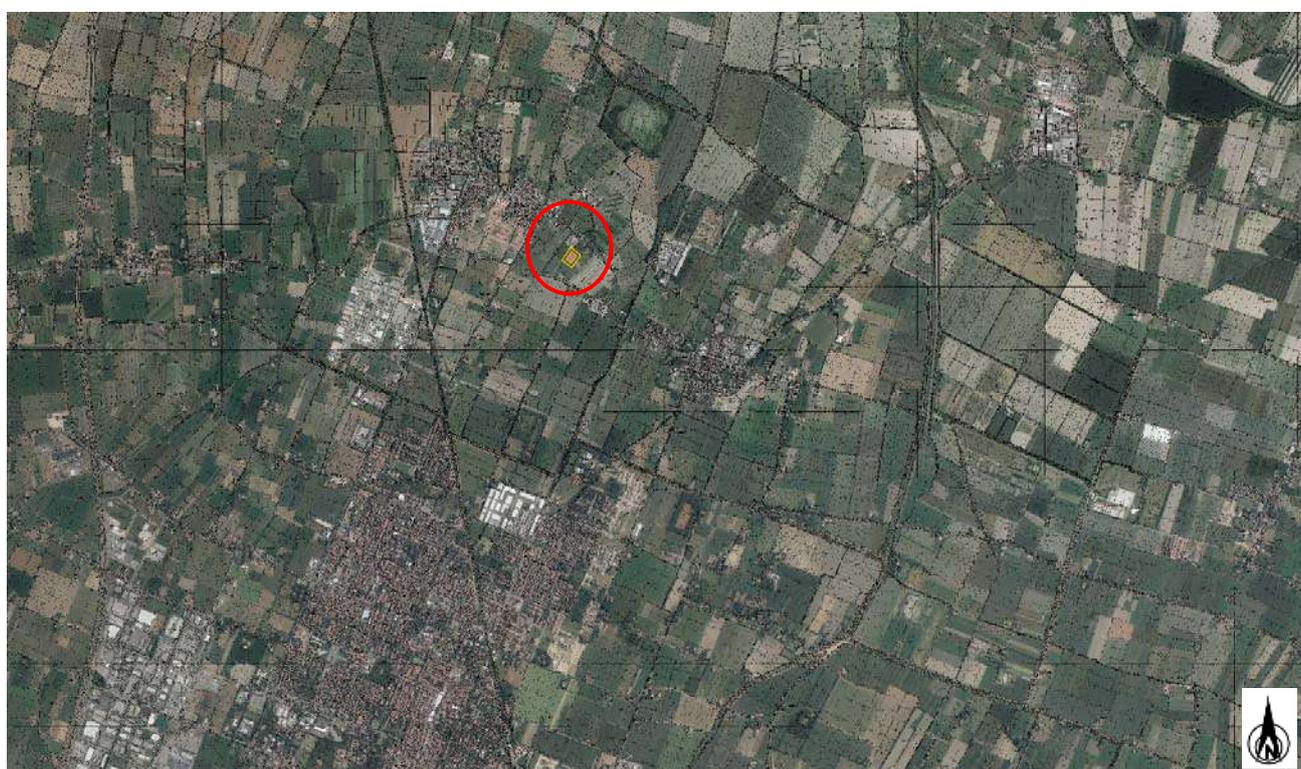
## 2 INQUADRAMENTO GENERALE

### 2.1 Inquadramento geografico

L'area in esame è collocata in ambiente di pianura, all'interno del territorio comunale della città di Carpi (Provincia di Modena) (Fig.2.1). Le coordinate specifiche dell'area sono le seguenti:

SITO IN ESAME	
COORDINATE GEOGRAFICHE	
LATITUDINE	LONGITUDINE
44.816606	10.900969

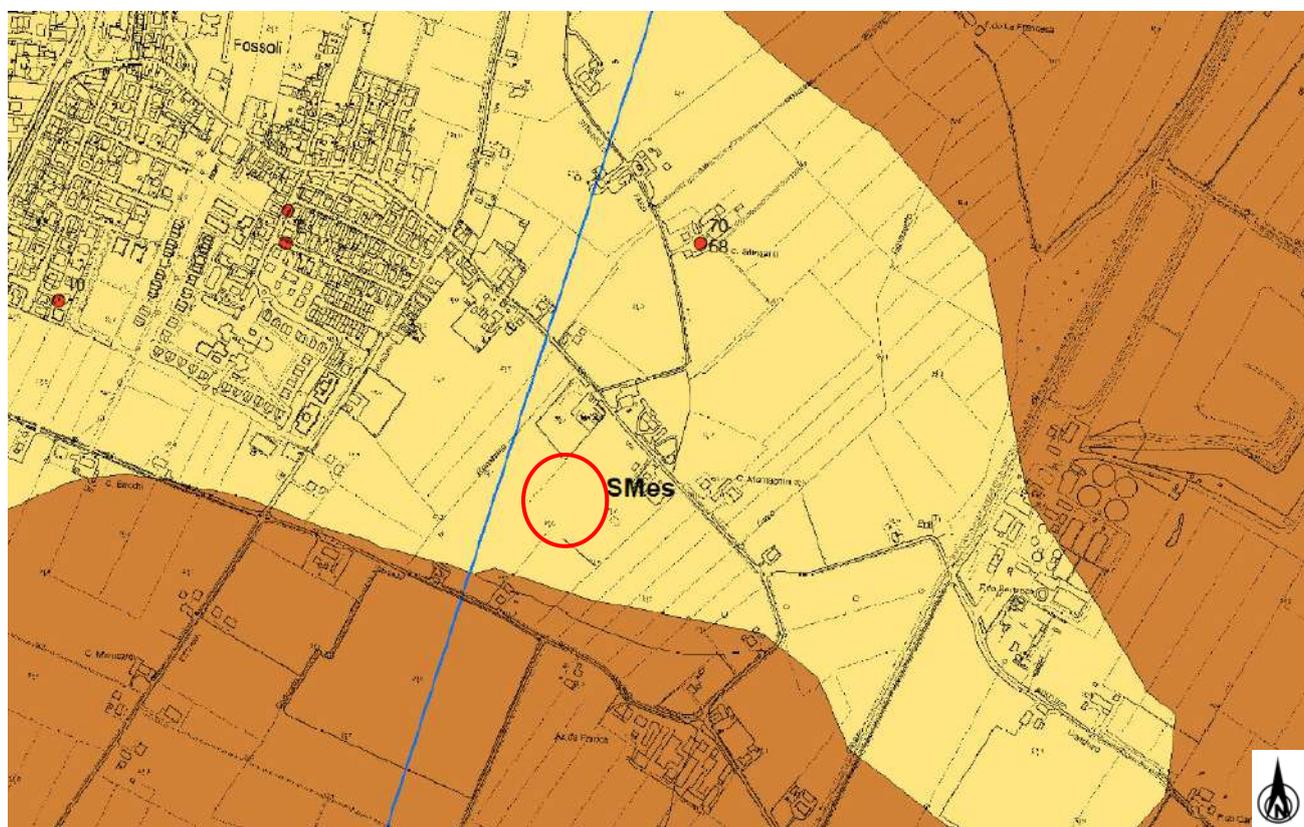
Per un completo inquadramento geografico dell'area si rimanda dalla cartografia allegata alla presente relazione, in particolare alla "Carta corografica", alla scala 1: 25.000 (tav. n. 1), "Carta topografica", alla scala 1: 5.000 (tav. n. 2) e alla "Ripresa satellitare" alla scala 1: 5.000 (tav. n. 3).



**Fig.2.1 - Ubicazione del sito in studio a nord del Comune di Carpi.**

## 2.1 Elementi geologici e geomorfologici

Dalla consultazione della “Carta geologico – tecnica” dello studio di Microzonazione Sismica del Comune di Carpi, si evidenzia come l’area in studio sia caratterizzata da sabbie limose, miscela di sabbia e limo di argine/barre /canali (**SMes**) (Fig. 2.2).



### Terreni di copertura

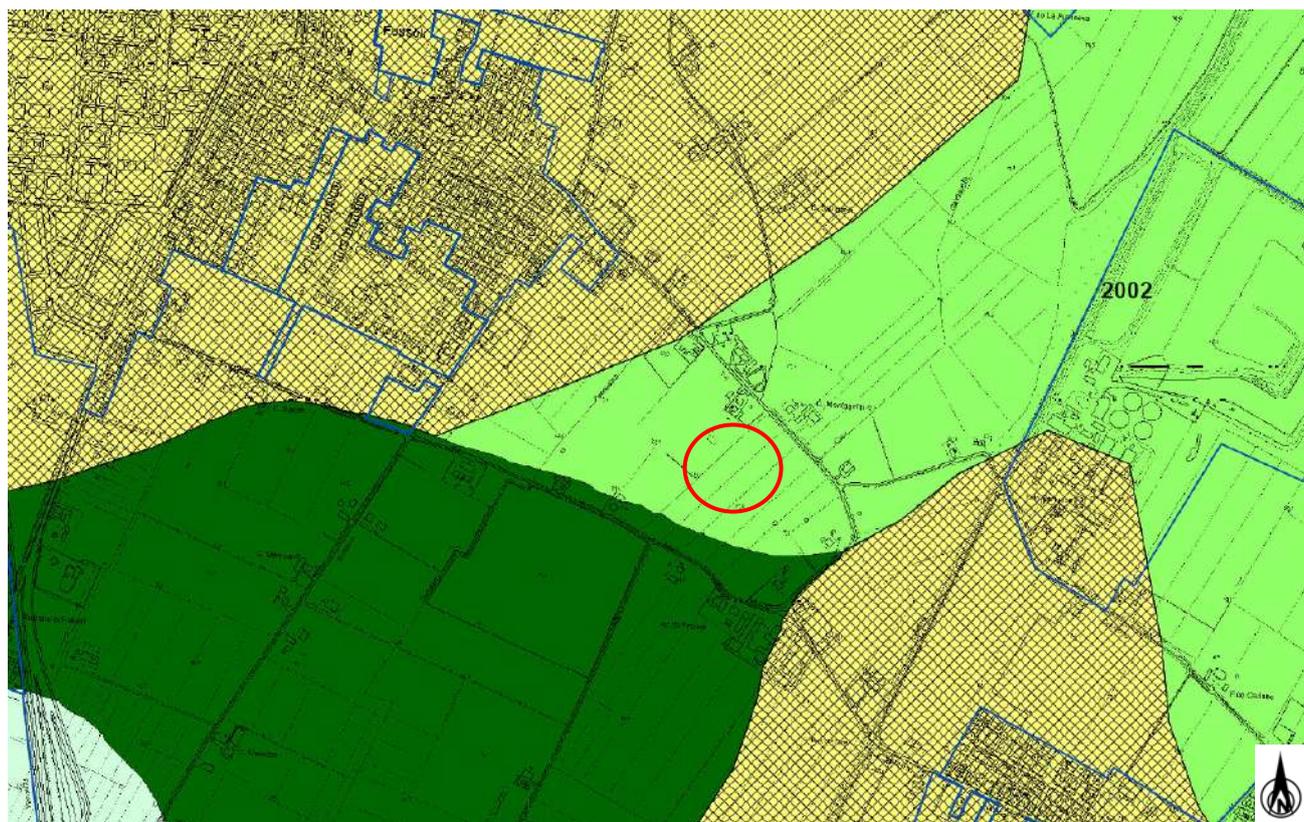
CLpa	Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbie argille limose, argille magre palustri
MLpi	Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità di piana inondabile
SMes	Sabbie limose, miscela di sabbia e limo di argine/barre/canali

**Fig.2.2 – Estratto della “Carta geologico-tecnica” – Microzonazione Sismica del Comune di Carpi – Tav. n. 2.**

## 2.2 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 Crapi.

L'area in studio si colloca in corrispondenza di una microzona stabile suscettibile di amplificazione locale, in particolare ricade nella **zona 2002** caratterizzata da argille e argille limose (con radi strati sabbiosi) sovrastate da un orizzonte superficiale limo-sabbioso (Fig. 2.3).



### 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 sabbiosi
- 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–Altenanze tra strati metrici/plurimetrici sabbiosi e strati metrici/plurimetrici pelitici

### Zone suscettibili di instabilità

- Liquefazioni

**Fig.2.3 – Estratto della “Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica” – Microzonazione Sismica del Comune di Crapi - Tavola n 2.**

## 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 le seguenti indagini geognostiche:

- **n. 2 prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT, eseguite in data 05/06/2020.**

I risultati delle suddette indagini sono riportati nell'**allegato n. 1**, mentre l'ubicazione è illustrata nella **tav. n. 4**.

#### 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) *Cu*

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

Modulo di deformazione non drenato *Eu*

DUNCAN-BUCHIGANI 1976

Modulo edometrico *Mo*

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

Peso unità di volume *ysat (saturo sotto falda) –  $\gamma$  (umido sopra falda)*

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

Velocità delle onde di taglio *Vs*

YOSHIDAMOTONORI 1988

## 3.2 Indagini Geofisiche

Per la caratterizzazione sismica dell'area di studio, sono state eseguite le seguenti indagini geofisiche:

- **n. 1 indagine sismica passiva HVSR, eseguita in data 05/06/2020;**
- **n. 1 indagine sismica attiva MASW, eseguita in data 05/06/2020.**

I risultati delle indagini sismiche sopra citate sono riportati integralmente nell'allegato n. 3.

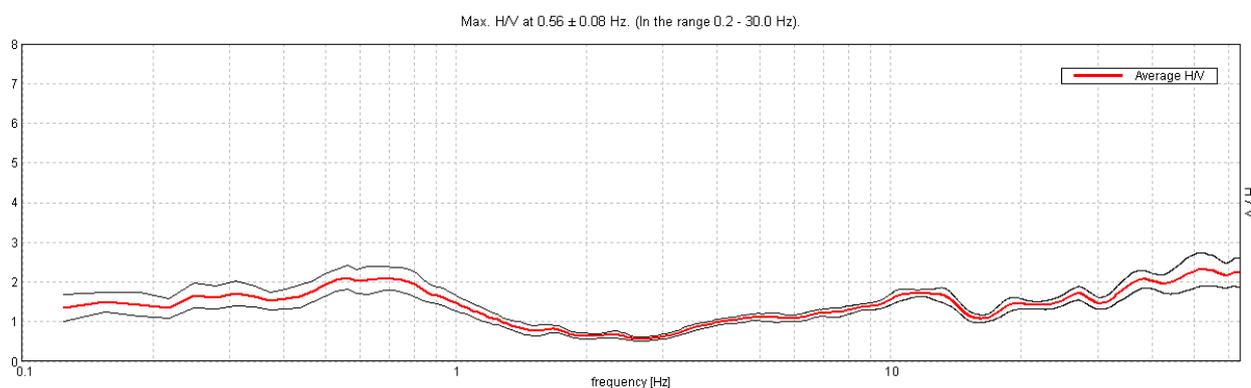
### 3.2.1 Indagine sismica passiva a stazione singola (*analisi HVSR*)

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.

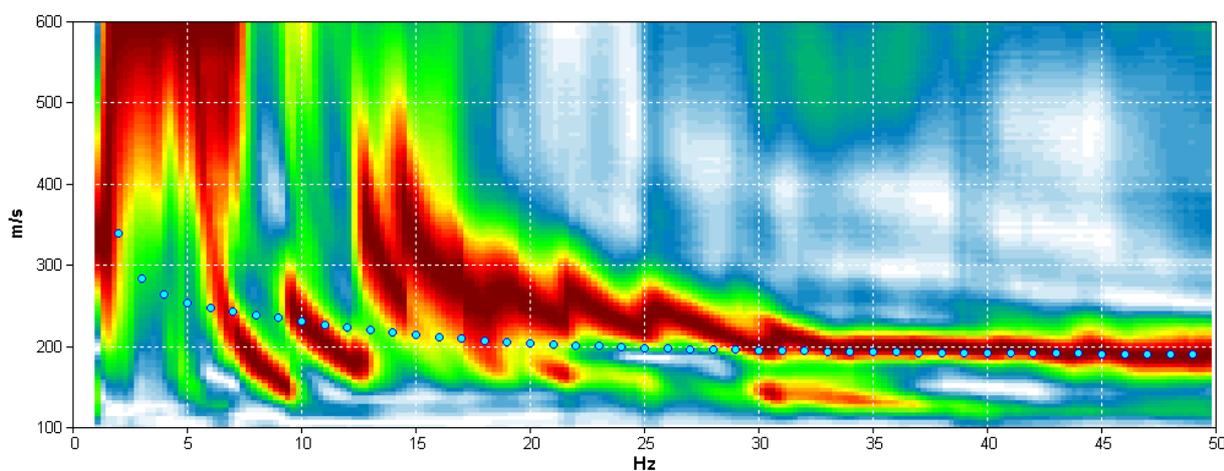


**Fig.3.1 - Curva HVSR che identifica un picco a 0.56 Hz.**

### 3.2.2 Indagine sismica attiva con metodo MASW

Per misurare le velocità delle onde di taglio si possono eseguire prospezioni sismiche mediante stendimenti superficiali, utilizzando geofoni verticali da 4,5 Hz ed acquisendo attivamente i segnali delle onde rifratte alla superficie mediante una sorgente artificialmente provocata. Questa tecnica, nota con la sigla **MASW** (Multichannel Analysis of Surface Waves), permette di ricostruire il profilo verticale delle  $V_s$  con procedimenti di modellazione diretta delle velocità di fase delle onde, rifratte alla superficie. Partendo dal sismogramma registrato mediante sorgente energizzante in asse con lo stendimento, viene eseguita un'analisi spettrale che ha consentito di elaborare un'immagine della distribuzione del segnale di velocità sismica in funzione delle diverse frequenze che lo compongono. Da tale elaborazione, tramite una fase di

“picking” del segnale ad elevata intensità è stata ottenuta la “**curva di dispersione**”, dalla cui inversione è stato calcolato il **modello sismo-stratigrafico** espresso in termini di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ). I dati sono stati registrati mediante un sismografo *Geode Geometrics* 24 bit con filtri disinseriti, velocità di campionamento (sample rate) di 0.25 millisecondi e lunghezza delle acquisizioni di 2 secondi. Si effettuano battute poste ad offset diversi (10 m e 15 m di distanza dal primo geofono) mediante grave da 8,0 kg di massa. Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh,  $V(\text{fase})/\text{freq.}$ , può essere convertito nel profilo  $V_s/\text{profondità}$ . Tale metodo non è univoco e quindi il modello che ne scaturisce è un modello teorico; per questo motivo è preferibile operare in presenza di dati di taratura (come nel caso specifico) onde ricavare il modello reale (Fig.3.2).

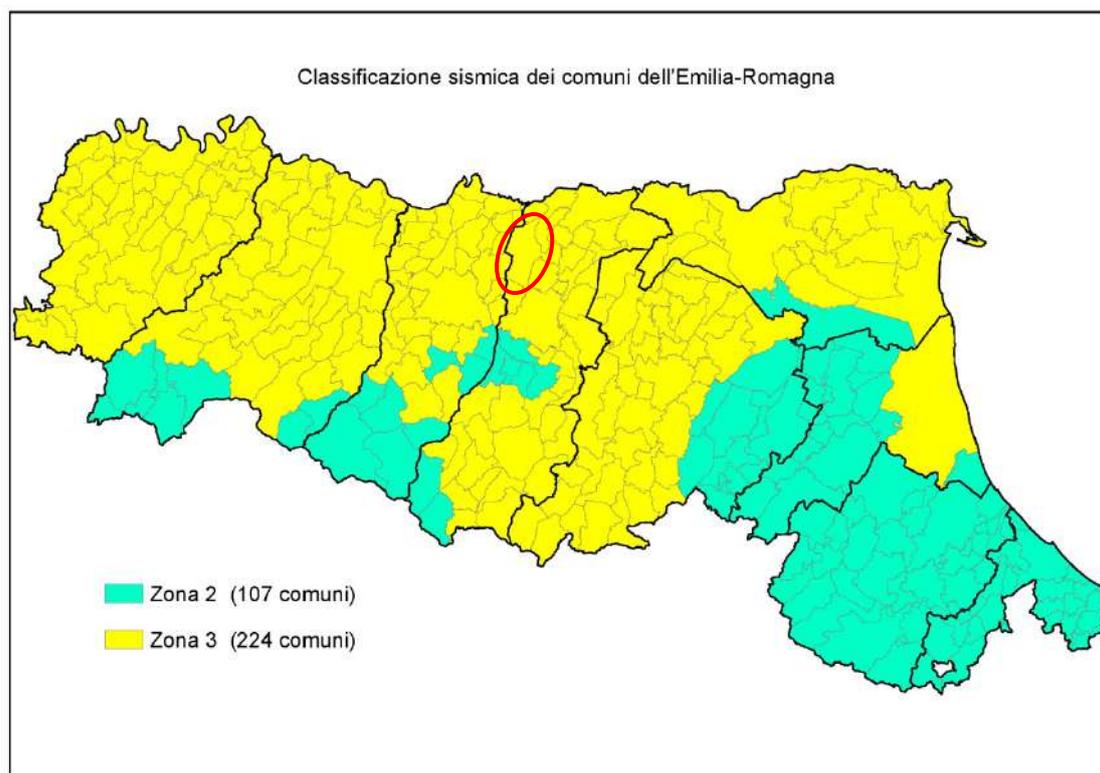


**Fig.3.2 - Curva di dispersione MASW**

## 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 e dei comuni della regione Emilia-Romagna a partire dall'O.P.C.M. n. 3274/2003 e successive modifiche (aggiornamento luglio 2018) e ubicazione del territorio comunale di Carpi (MO).**

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					Coefficienti sismici																													
Classe Edificio II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...					Tipo Stabilità dei pendii e fondazioni <input type="checkbox"/> Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.																													
Vita Nominale 50					H (m) us (m) 1 0.1																													
Interpolazione Media ponderata					Cat. Sottosuolo C Cat. Topografica T1																													
<b>CU = 1</b>																																		
Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	Fo	Tc [s]		SLO	SLD	SLV	SLC																									
Operatività (SLO)	30	0.041	2.546	0.248																														
Danno (SLD)	50	0.051	2.516	0.265																														
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.151	2.583	0.269																														
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.203	2.529	0.276																														
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50																																	
					<input type="checkbox"/> Acc.ne massima attesa al sito [m/s <sup>2</sup> ] 0.6																													
					<table border="1"> <thead> <tr> <th>Coefficienti</th> <th>SLO</th> <th>SLD</th> <th>SLV</th> <th>SLC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SS Amplificazione stratigrafica</td> <td>1,50</td> <td>1,50</td> <td>1,47</td> <td>1,39</td> </tr> <tr> <td>CC Coeff. funz categoria</td> <td>1,66</td> <td>1,63</td> <td>1,62</td> <td>1,61</td> </tr> <tr> <td>ST Amplificazione topografica</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> </tr> </tbody> </table>					Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC	SS Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,47	1,39	CC Coeff. funz categoria	1,66	1,63	1,62	1,61	ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00					
Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC																														
SS Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,47	1,39																														
CC Coeff. funz categoria	1,66	1,63	1,62	1,61																														
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00																														
					<table border="1"> <thead> <tr> <th>Coefficienti</th> <th>SLO</th> <th>SLD</th> <th>SLV</th> <th>SLC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>kh</td> <td>0.012</td> <td>0.015</td> <td>0.053</td> <td>0.079</td> </tr> <tr> <td>kv</td> <td>0.006</td> <td>0.008</td> <td>0.027</td> <td>0.039</td> </tr> <tr> <td>Amax [m/s<sup>2</sup>]</td> <td>0.597</td> <td>0.755</td> <td>2.171</td> <td>2.761</td> </tr> <tr> <td>Beta</td> <td>0.200</td> <td>0.200</td> <td>0.240</td> <td>0.280</td> </tr> </tbody> </table>					Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC	kh	0.012	0.015	0.053	0.079	kv	0.006	0.008	0.027	0.039	Amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.597	0.755	2.171	2.761	Beta	0.200	0.200	0.240	0.280
Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC																														
kh	0.012	0.015	0.053	0.079																														
kv	0.006	0.008	0.027	0.039																														
Amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.597	0.755	2.171	2.761																														
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) sono state eseguite in sito le indagini sismiche sopra descritte nel paragrafo precedente. Il valore di  $V_{30}$  si calcola attraverso la formula 3.2.1 delle NTC 2018:

$$V_{sEq} = \frac{H}{\sum_i \frac{h_i}{V_{si}}}$$

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 delle indagini sismiche MASW e HVSR si sono ottenuti i valori di  $V_{s,30}$  e di frequenza naturale del terreno  $f_0$  riportati nelle seguenti tabelle:

MASW	$V_{s30}$	251 m/s
------	-----------	---------

HVSR	$0.56 \pm 0.08$ HZ	NON RISPETTA I CRITERI SESAME
------	--------------------	-------------------------------

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; per il sito oggetto di studio tale valore è pari a **2.583**;
- $a_g/g$  = 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 le aree studiate si considera una categoria topografica **T1**, a cui corrisponde un fattore topografico  $S_T$  pari a **1.0**.

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

$$A_{max} = S_s \cdot S_T \cdot a_g = 1.47 \cdot 1.0 \cdot 0.151g = 0.222g$$

## 5 MODELLAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA DEL SITO

### 5.1 Caratteristiche litostratigrafiche del terreno

L'interpretazione congiunta dei risultati ottenuti dalla campagna di indagini geofisiche e geotecniche eseguite in sito ha permesso di ricostruire la stratigrafia del sottosuolo del sito in studio.

Dalle indagini geotecniche CPT è stato possibile ricavare i parametri meccanici del terreno nei primi 20.0 m di profondità. Le prove evidenziano la presenza di terreni coesivi argillosi, fino alla massima profondità investigata, con la presenza di alcuni livelli sabbiosi limosi, in particolare nella prova CPT1.

Dall'elaborazione delle prove penetrometriche è possibile individuare le seguenti unità litostratigrafiche:

**Unità 1:** *Depositi argillosi a media consistenza, aventi valori di coesione non drenata  $C_u$  pari a 50 kN/m<sup>2</sup> e valori di  $V_{s30}$  pari a 200 m/s. Spessore indicativo 4.00 m.*

**Unità 2:** *Depositi prevalentemente coesivi argillosi e limosi a media elevata consistenza, aventi valori di coesione non drenata  $C_u$  pari a 70 kN/m<sup>2</sup> e valori di  $V_{s30}$  pari a 230 m/s. Spessore indicativo 10.00 m.*

**Unità 3:** *Depositi prevalentemente sabbiosi o sabbiosi limosi mediamente addensati, aventi valori di densità relativa  $D_r$  pari a 49% e valori di  $V_{s30}$  compresi tra 230 m/s e 270 m/s. Spessore indicativo 4.00 m.*

**Unità 4:** *Depositi prevalentemente coesivi argillosi e limosi a elevata consistenza, aventi valori di coesione non drenata  $C_u$  pari a 75 kN/m<sup>2</sup> e valori di  $V_{s30}$  pari a 270 m/s. Profondità indicativa da -16.80 m da p.c..*

Al termine delle prove penetrometriche, in data 05/06/2020 è stato misurato il livello della falda freatica pari a -2.20 m da p.c..

La misura sismica passiva a stazione singola ha permesso di indagare il sottosuolo oltre la profondità raggiunta dalle indagini geotecniche. Dalla modellazione e dall'interpretazione della curva HVSR si è individuata un'unità stratigrafica alla profondità indicativamente di circa -154 m da p.c. che determina una frequenza di risonanza del terreno a 0.56 Hz (§ 3.2.1 della presente relazione), plausibilmente rappresentativa di un substrato alterato.

In generale si può osservare che l'area indagata risulta discretamente omogenea dal punto di vista litostratigrafico.

## 5.2 Modello geotecnico del sottosuolo

Il modello geotecnico è finalizzato a fornire tutti i dati geotecnici necessari l'intervento in oggetto. Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione geotecnica e litostratigrafica dell'indagine geotecnica eseguita in sito e in relazione all'intervento in progetto, si può riassumere il seguente modello geotecnico schematico del terreno investigato:

### Parametri di resistenza e deformabilità:

Strato	Profondità	falda	Litotipo	Parametri geotecnici	
1	Da p.c. a - 3.60 m da p.c.	- 2.20 m da p.c.	Argilla o argilla limosa a media consistenza	$\gamma$	1800 kg/m <sup>3</sup> $\approx$ 18.00 kN/m <sup>3</sup>
				$\gamma'$	2100 kg/m <sup>3</sup> $\approx$ 21.00 kN/m <sup>3</sup>
				$C_{uk}$	0.50 kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 50.0 kN/m <sup>2</sup>
				$C'_k$	0.05 kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 5.0 kN/m <sup>2</sup>
				$M_o$	40.0 kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 4000 kN/m <sup>2</sup>
				$E$	70.0 kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 7000 kN/m <sup>2</sup>
				$\nu$	0.40
				$\phi_k$	22°
2	3.60 - 12.60 m da p.c.		Argilla o argilla limosa a media elevata consistenza	$\gamma$	1800 kg/m <sup>3</sup> $\approx$ 18.00 kN/m <sup>3</sup>
				$\gamma'$	2100 kg/m <sup>3</sup> $\approx$ 21.00 kN/m <sup>3</sup>
				$C_{uk}$	0.70 kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 70.0 kN/m <sup>2</sup>
				$C'_k$	0.07 kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 7.0 kN/m <sup>2</sup>
				$M_o$	55.0 kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 5500 kN/m <sup>2</sup>
				$E$	98.0 kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 9800 kN/m <sup>2</sup>
				$\nu$	0.38
				$\phi_k$	24°
3	12.60 - 16.80 m da p.c.		Sabbia o sabbia limosa mediamente addensata	$\gamma$	1850 kg/m <sup>3</sup> $\approx$ 18.50 kN/m <sup>3</sup>
				$\gamma'$	2150 kg/m <sup>3</sup> $\approx$ 21.50 kN/m <sup>3</sup>
				$Dr$	49%
				$E$	140.0 kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 14000 kN/m <sup>2</sup>
				$\nu$	0.35
				$\phi_k$	30°
4	16.80 - 20.00 m da p.c.		Argilla o argilla limosa consistente	$\gamma$	1850 kg/m <sup>3</sup> $\approx$ 18.50 kN/m <sup>3</sup>
				$\gamma'$	2150 kg/m <sup>3</sup> $\approx$ 21.50 kN/m <sup>3</sup>
				$C_{uk}$	0.75 kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 75.0 kN/m <sup>2</sup>
				$C'_k$	0.075 kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 7.5 kN/m <sup>2</sup>
				$M_o$	57.0 kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 5700 kN/m <sup>2</sup>
				$E$	105.0 kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 10500 kN/m <sup>2</sup>
				$\nu$	0.38
				$\phi_k$	25°
Legenda			$\gamma$	=	peso specifico terreno naturale
			$\gamma'$	=	peso specifico terreno saturo
			$C_{uk}$	=	coesione non drenata caratteristica
			$C'_k$	=	coesione efficace caratteristica
			$M_{ok}$	=	modulo di deformazione edometrico caratteristico
			$E_s$	=	modulo elastico
			$\phi_k$	=	angolo d'attrito caratteristico
			$Dr$	=	densità relativa
$\nu$	=	coefficiente di Poisson			



### 5.3.1 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  $R_d$  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:

$$z_q = 1 - 0.32 \cdot K_h \qquad z_q = \left(1 - \frac{K_h}{150 \cdot \varphi}\right)^{0.95} \qquad z_y = z_q$$

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

- $a_{MAX}$  (ag/g): **0.222g** (calcolata con approccio semplificato NTC18, relativa a SLV ;  $T_r = 475$  anni);
- coefficiente intensità sismica del terreno  $K_h$ : 0.053

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=-0.80 m da p.c.	B= 8.00 m X L= 10.00 m	1.30 kg/cm2 $\approx$ 130 kN/m2

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=-0.80 m da p.c.	B= 8.00 m X L= 10.00 m	3.04 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 304 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=-0.80 m da p.c.	B= 8.00 m X L= 10.00 m	2.91 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 291 kN/m <sup>2</sup>

### 5.3.2 Verifica dei cedimenti

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

È stato **considerato** un carico applicato al terreno di fondazione pari a  $P = 50 \text{ kN/m}^2 \approx 0.50 \text{ kg/cm}^2$ ; per una quota di imposta delle fondazioni pari a  $D = -0.80 \text{ m da p.c.}$ , e si è ottenuto un valore di cedimento del terreno pari a:

Profondità di imposta	B x L	Carico considerato	Cedimento per consolidazione
D=-0.80 m da p.c.	B= 8.00 m X L= 10.00 m	50 kN/m <sup>2</sup>	1.559 cm

### 5.3.3 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  $S = 1.559 \text{ cm}$  ed un carico applicato al terreno di fondazione pari a  $P = 0.50 \text{ kg/cm}^2 \approx 50 \text{ kN/m}^2$ , il modulo di sottofondo o costante di Winkler è risultato pari a  $K = 0.98 \text{ kg/cm}^3 \approx 9769 \text{ kN/m}^3$ .

## 5.4 Stabilità nei confronti della liquefazione (§ A2.2. DGR 630/2019)

In accordo con la normativa regionale DGR 630/19 si è proceduto alla verifica della liquefazione per la verticale di prova CPT1.

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:

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

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:

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

I termini che compongono la seguente relazione sono rappresentati da  $a_{max}/g$  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 630/2019 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  $A_{max} = 0.223g$  (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)

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

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 **Sonmez 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 dalla verticale di prova CPT1 considerando un'accelerazione massima al suolo  $A_{max} = 0.222g$  (calcolata secondo approccio semplificato NTC2018), la soggiacenza della falda freatica è stata considerata alla profondità  $D_w = -2.20$  m (in data 05/06/2020) e una magnitudo di riferimento pari a  $M = 6.14$ .

A seguito della verifica, in riferimento alla verticale CPT1, è stato ottenuto il seguente valore di LPI:

INDAGINE	INDICE DI LIQUEFAZIONE	RISCHIO
CPT1	0.4	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 del nuovo gattile, sito in via I. Martinelli, nel 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 § 5.2 della presente relazione.

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 § 5.3.1.

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.



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, sulla base di quanto previsto dalle NTC18, si può fare riferimento all'approccio semplificato. Dall'analisi così eseguita si sono ottenuti i seguenti risultati:

	Approccio semplificato NTC	
	F.A.	A <sub>max</sub>
ag	1.47	0.222
0.151g		

È stata eseguita la verifica della suscettibilità al fenomeno della liquefazione sulla base della prova penetrometrica CPT1, eseguita in sito, considerando una accelerazione massima al suolo  $A_{max} = 0.222g$  (calcolata secondo approccio semplificato NTC 2018), la soggiacenza della falda freatica alle profondità  $Dw = -2.20$  m da p.c (in data 05/06/2020), e una magnitudo di riferimento pari a  $M = 6.14$ . Tutto ciò premesso, dall'analisi della suscettibilità nei confronti del fenomeno della liquefazione con il metodo *Boulanger&Idriss 2014*, si è ottenuto il valore di **Indice di Liquefazione  $IL = 0.4$** , corrispondente a un **rischio di liquefazione basso**.

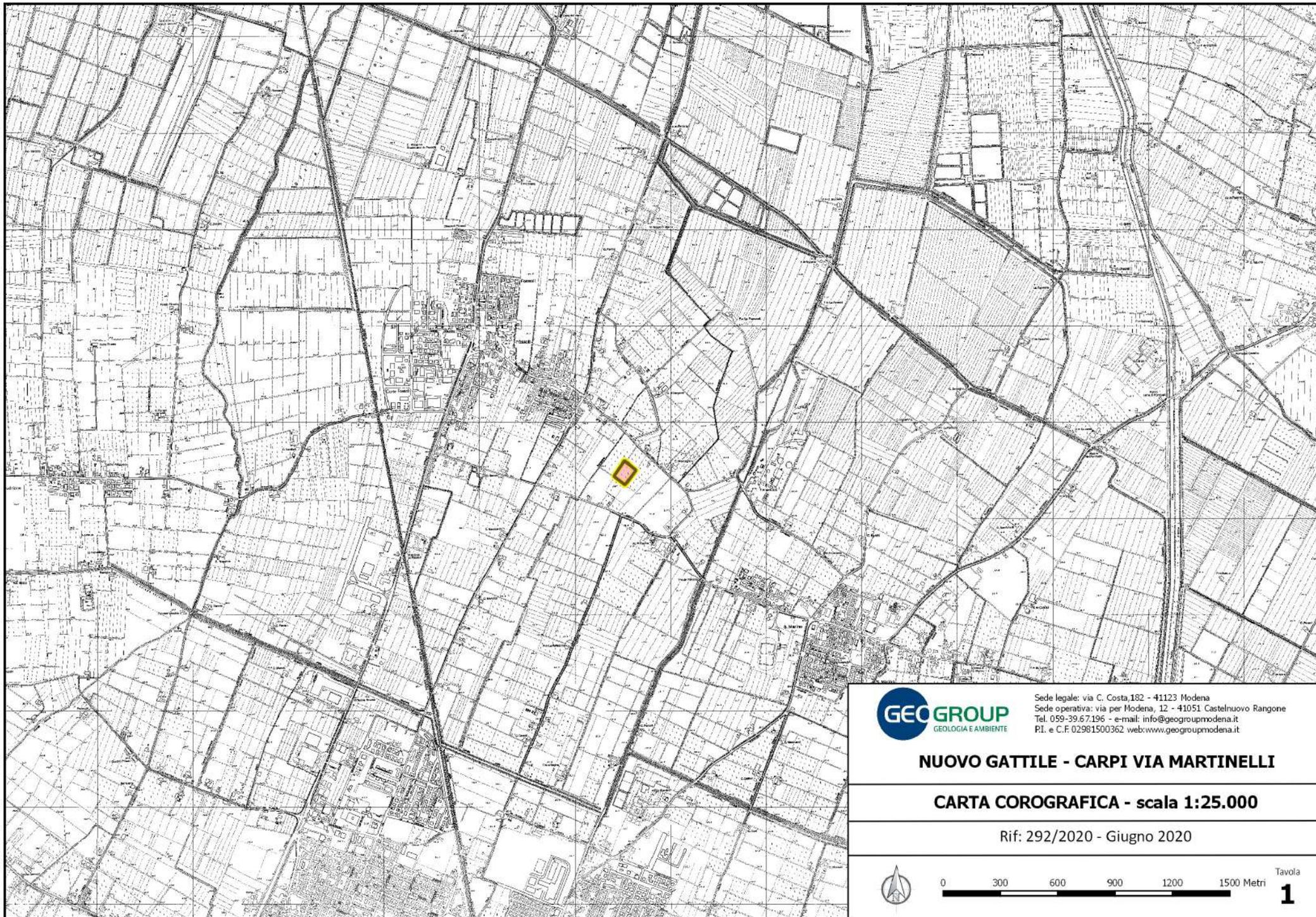
A disposizione per ulteriori chiarimenti, cogliamo l'occasione per porgere cordiali saluti.

Modena, 11 giugno 2020

**Dott. Geol. Pier Luigi Dallari**



# TAVOLE



Sede legale: via C. Costa, 182 - 41123 Modena  
Sede operativa: via per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo Rangone  
Tel. 059-39.67.196 - e-mail: [info@geogroupmodena.it](mailto:info@geogroupmodena.it)  
P.I. e C.F. 02981500362 web: [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it)

**NUOVO GATTILE - CARPI VIA MARTINELLI**

**CARTA COROGRAFICA - scala 1:25.000**

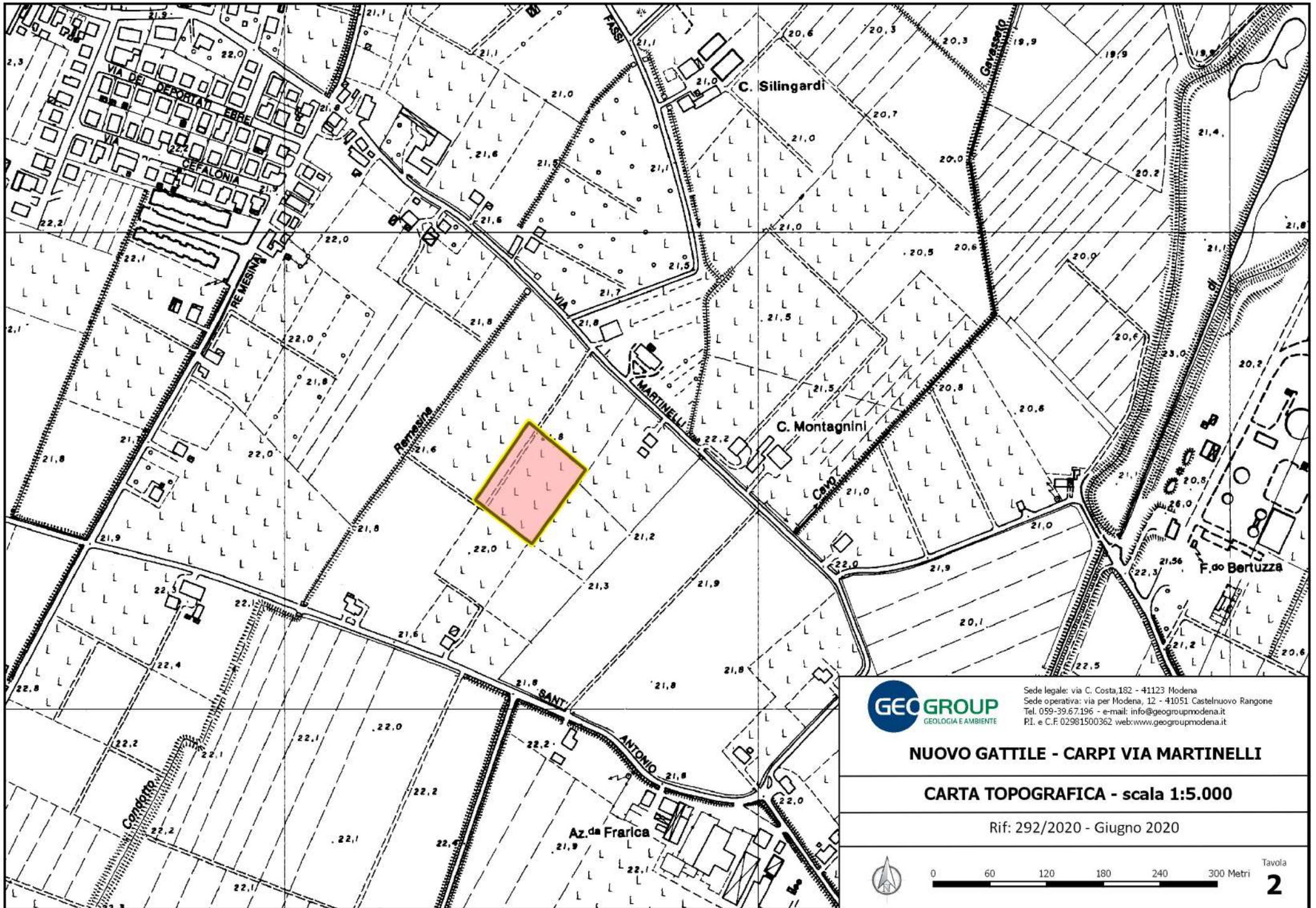
Rif: 292/2020 - Giugno 2020

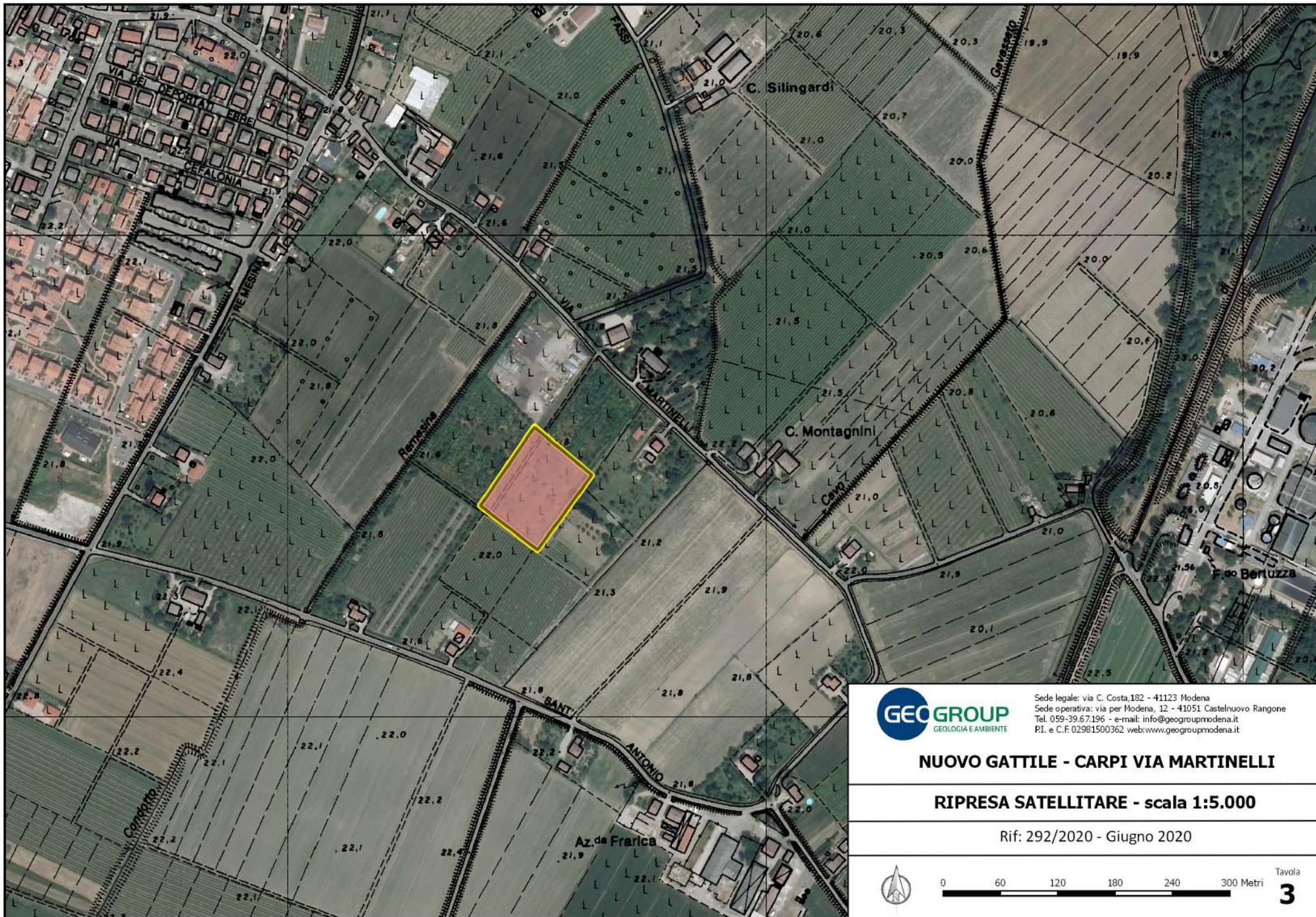


0 300 600 900 1200 1500 Metri

Tavola

**1**





Sede legale: via C. Costa,182 - 41123 Modena  
Sede operativa: via per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo Rangone  
Tel. 059-39.67.196 - e-mail: info@geogroupmodena.it  
P.I. e C.F. 02981500362 web:www.geogroupmodena.it

**NUOVO GATTILE - CARPI VIA MARTINELLI**

**RIPRESA SATELLITARE - scala 1:5.000**

Rif: 292/2020 - Giugno 2020



Tavola  
**3**



Sede legale: via C. Costa,182 - 41123 Modena  
Sede operativa: via per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo Rangone  
Tel. 059-39.67.196 - e-mail: info@geogroupmodena.it  
P.I. e C.F. 02981500362 web:www.geogroupmodena.it

**NUOVO GATTILE - CARPI VIA MARTINELLI**

**UBICAZIONE INDAGINI - scala 1:1.000**

Rif: 292/2020 - Giugno 2020



Tavola  
**4**

# 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. : causa 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 20 cm sopra la 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'
$F \leq 1470$ kPa	TORBE ED ARGILLE ORGANICHE	COESIVE
$1470$ kPa < $F \leq 2940$ kPa	LIMI ED ARGILLE	COESIVE
$2940$ kPa < $F \leq 5880$ kPa	LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE	GRANULARI
$F > 5880$ 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.



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

**CPT**

**1**

Riferimento

**105-2020**

Committente **STUDIO TECNICO**  
Cantiere **STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE**  
Località **CARPI - VIA MARTINELLI - NUOVO GATTILE**

U.M.: **MPa** Data esec. **05/06/2020**  
Pagina **1**  
Elaborato **Falda -2.30 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	20.0	25.0		1.96	53.00	38	2.7	15.20	70.0	80.0		6.86	100.00	70	1.4
0.40	18.0	26.0		1.76	93.00	19	5.2	15.40	105.0	120.0		10.29	33.00	318	0.3
0.60	20.0	34.0		1.96	127.00	16	6.4	15.60	125.0	130.0		12.25	67.00	187	0.5
0.80	26.0	45.0		2.55	133.00	20	5.1	15.80	140.0	150.0		13.72	33.00	424	0.2
<b>1.00</b>	<b>25.0</b>	<b>45.0</b>		<b>2.45</b>	<b>40.00</b>	<b>63</b>	<b>1.6</b>	<b>16.00</b>	<b>165.0</b>	<b>170.0</b>		<b>16.17</b>	<b>67.00</b>	<b>246</b>	<b>0.4</b>
1.20	24.0	30.0		2.35	53.00	45	2.2	16.20	200.0	210.0		19.60	67.00	299	0.3
1.40	24.0	32.0		2.35	60.00	40	2.5	16.40	170.0	180.0		16.66	67.00	254	0.4
1.60	36.0	45.0		3.53	53.00	68	1.5	16.60	180.0	190.0		17.64	33.00	545	0.2
1.80	27.0	35.0		2.65	40.00	68	1.5	16.80	140.0	145.0		13.72	200.00	70	1.4
<b>2.00</b>	<b>38.0</b>	<b>44.0</b>		<b>3.72</b>	<b>33.00</b>	<b>115</b>	<b>0.9</b>	<b>17.00</b>	<b>20.0</b>	<b>50.0</b>		<b>1.96</b>	<b>113.00</b>	<b>18</b>	<b>5.7</b>
2.20	40.0	45.0		3.92	13.00	308	0.3	17.20	17.0	34.0		1.67	67.00	25	3.9
2.40	34.0	36.0		3.33	67.00	51	2.0	17.40	16.0	26.0		1.57	60.00	27	3.8
2.60	24.0	34.0		2.35	60.00	40	2.5	17.60	16.0	25.0		1.57	67.00	24	4.2
2.80	35.0	44.0		3.43	87.00	40	2.5	17.80	15.0	25.0		1.47	80.00	19	5.3
<b>3.00</b>	<b>11.0</b>	<b>24.0</b>		<b>1.08</b>	<b>53.00</b>	<b>21</b>	<b>4.8</b>	<b>18.00</b>	<b>14.0</b>	<b>26.0</b>		<b>1.37</b>	<b>87.00</b>	<b>16</b>	<b>6.2</b>
3.20	12.0	20.0		1.18	67.00	18	5.6	18.20	17.0	30.0		1.67	87.00	20	5.1
3.40	15.0	25.0		1.47	67.00	22	4.5	18.40	16.0	29.0		1.57	100.00	16	6.3
3.60	20.0	30.0		1.96	93.00	22	4.7	18.60	15.0	30.0		1.47	60.00	25	4.0
3.80	20.0	34.0		1.96	100.00	20	5.0	18.80	26.0	35.0		2.55	107.00	24	4.1
<b>4.00</b>	<b>20.0</b>	<b>35.0</b>		<b>1.96</b>	<b>67.00</b>	<b>30</b>	<b>3.4</b>	<b>19.00</b>	<b>20.0</b>	<b>36.0</b>		<b>1.96</b>	<b>133.00</b>	<b>15</b>	<b>6.7</b>
4.20	16.0	26.0		1.57	73.00	22	4.6	19.20	19.0	39.0		1.86	127.00	15	6.7
4.40	19.0	30.0		1.86	60.00	32	3.2	19.40	21.0	40.0		2.06	133.00	16	6.3
4.60	25.0	34.0		2.45	67.00	37	2.7	19.60	24.0	44.0		2.35	120.00	20	5.0
4.80	24.0	34.0		2.35	73.00	33	3.0	19.80	20.0	38.0		1.96	127.00	16	6.4
<b>5.00</b>	<b>17.0</b>	<b>28.0</b>		<b>1.67</b>	<b>47.00</b>	<b>36</b>	<b>2.8</b>	<b>20.00</b>	<b>21.0</b>	<b>40.0</b>		<b>2.06</b>			
5.20	19.0	26.0		1.86	67.00	28	3.5								
5.40	15.0	25.0		1.47	53.00	28	3.5								
5.60	10.0	18.0		0.98	33.00	30	3.3								
5.80	7.0	12.0		0.69	40.00	18	5.7								
<b>6.00</b>	<b>4.0</b>	<b>10.0</b>		<b>0.39</b>	<b>40.00</b>	<b>10</b>	<b>10.0</b>								
6.20	9.0	15.0		0.88	33.00	27	3.7								
6.40	10.0	15.0		0.98	60.00	17	6.0								
6.60	17.0	26.0		1.67	53.00	32	3.1								
6.80	17.0	25.0		1.67	33.00	52	1.9								
<b>7.00</b>	<b>17.0</b>	<b>22.0</b>		<b>1.67</b>	<b>73.00</b>	<b>23</b>	<b>4.3</b>								
7.20	25.0	36.0		2.45	100.00	25	4.0								
7.40	25.0	40.0		2.45	107.00	23	4.3								
7.60	25.0	41.0		2.45	93.00	27	3.7								
7.80	24.0	38.0		2.35	107.00	22	4.5								
<b>8.00</b>	<b>24.0</b>	<b>40.0</b>		<b>2.35</b>	<b>87.00</b>	<b>28</b>	<b>3.6</b>								
8.20	24.0	37.0		2.35	100.00	24	4.2								
8.40	25.0	40.0		2.45	87.00	29	3.5								
8.60	22.0	35.0		2.16	73.00	30	3.3								
8.80	27.0	38.0		2.65	93.00	29	3.4								
<b>9.00</b>	<b>24.0</b>	<b>38.0</b>		<b>2.35</b>	<b>93.00</b>	<b>26</b>	<b>3.9</b>								
9.20	23.0	37.0		2.25	113.00	20	4.9								
9.40	23.0	40.0		2.25	93.00	25	4.0								
9.60	24.0	38.0		2.35	120.00	20	5.0								
9.80	24.0	42.0		2.35	127.00	19	5.3								
<b>10.00</b>	<b>25.0</b>	<b>44.0</b>		<b>2.45</b>	<b>113.00</b>	<b>22</b>	<b>4.5</b>								
10.20	21.0	38.0		2.06	113.00	19	5.4								
10.40	23.0	40.0		2.25	100.00	23	4.3								
10.60	20.0	35.0		1.96	87.00	23	4.4								
10.80	19.0	32.0		1.86	80.00	24	4.2								
<b>11.00</b>	<b>15.0</b>	<b>27.0</b>		<b>1.47</b>	<b>7.00</b>	<b>214</b>	<b>0.5</b>								
11.20	19.0	20.0		1.86	53.00	36	2.8								
11.40	14.0	22.0		1.37	80.00	18	5.7								
11.60	20.0	32.0		1.96	127.00	16	6.4								
11.80	13.0	32.0		1.27	93.00	14	7.2								
<b>12.00</b>	<b>20.0</b>	<b>34.0</b>		<b>1.96</b>	<b>93.00</b>	<b>22</b>	<b>4.7</b>								
12.20	12.0	26.0		1.18	60.00	20	5.0								
12.40	6.0	15.0		0.59	27.00	22	4.5								
12.60	8.0	12.0		0.78	33.00	24	4.1								
12.80	7.0	12.0		0.69	7.00	100	1.0								
<b>13.00</b>	<b>19.0</b>	<b>20.0</b>		<b>1.86</b>	<b>40.00</b>	<b>48</b>	<b>2.1</b>								
13.20	20.0	26.0		1.96	93.00	22	4.7								
13.40	11.0	25.0		1.08	27.00	41	2.5								
13.60	26.0	30.0		2.55	33.00	79	1.3								
13.80	40.0	45.0		3.92	93.00	43	2.3								
<b>14.00</b>	<b>26.0</b>	<b>40.0</b>		<b>2.55</b>	<b>40.00</b>	<b>65</b>	<b>1.5</b>								
14.20	70.0	76.0		6.86	53.00	132	0.8								
14.40	60.0	68.0		5.88	200.00	30	3.3								
14.60	40.0	70.0		3.92	93.00	43	2.3								
14.80	80.0	94.0		7.84	67.00	119	0.8								
<b>15.00</b>	<b>75.0</b>	<b>85.0</b>		<b>7.35</b>	<b>67.00</b>	<b>112</b>	<b>0.9</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

**CPT**

**1**

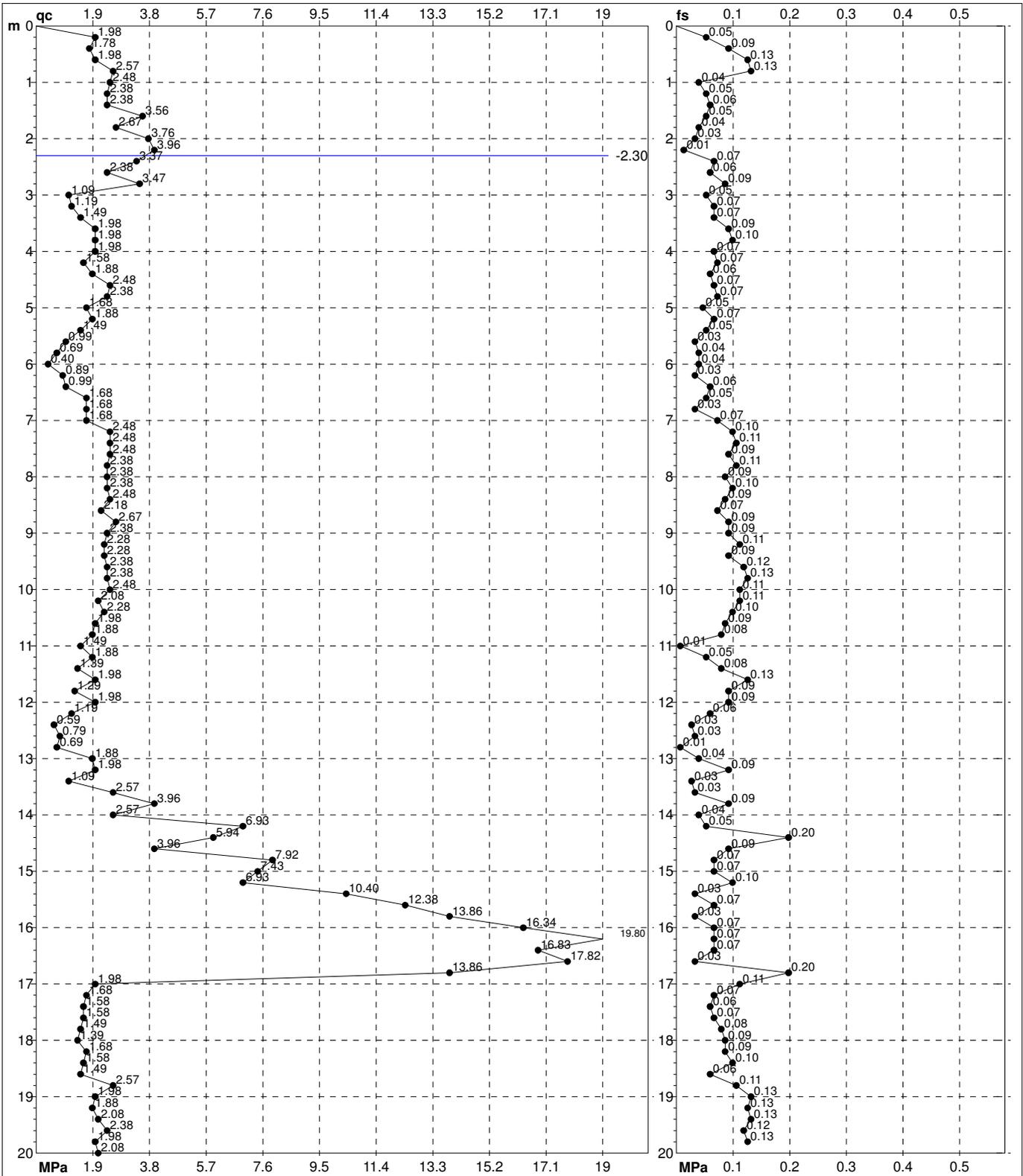
Riferimento

**105-2020**

Committente **STUDIO TECNICO**  
Cantiere **STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE**  
Località **CARPI - VIA MARTINELLI - NUOVO GATTILE**

U.M.: **MPa**  
Scala: **1:100**  
Pagina **1**  
Elaborato

Data esec. **05/06/2020**  
Quota inizio:  
Falda **-2.30 m**



Penetrometro: TG63-200Stat  
Responsabile:  
Assistente:

preforo m  
Corr.astine: kN/ml  
Cod. tip:

FON111

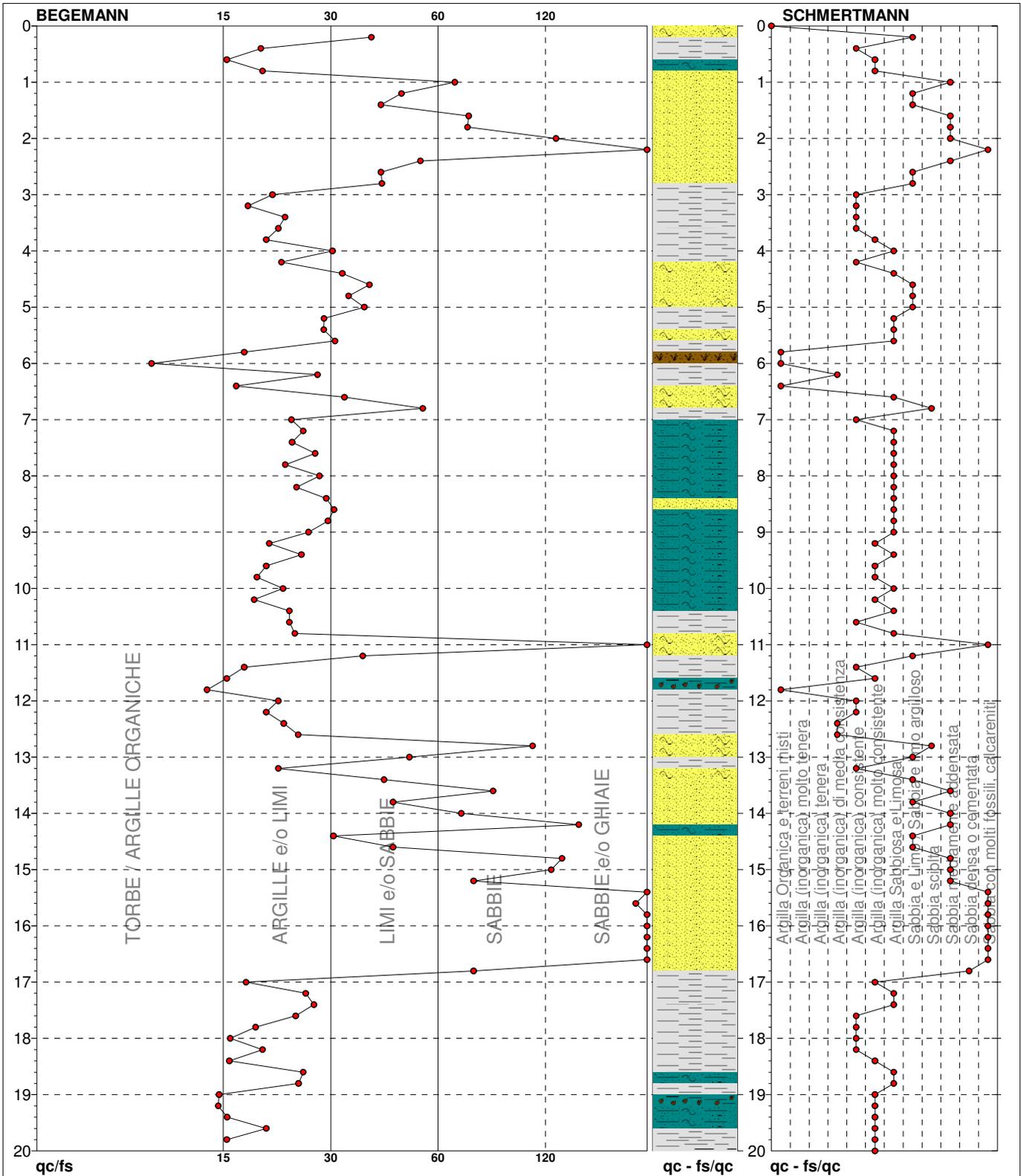
# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI LITOLOGIA

<b>CPT</b>	<b>1</b>
Riferimento	<b>105-2020</b>

Committente **STUDIO TECNICO**  
Cantiere **STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE**  
Località **CARPI - VIA MARTINELLI - NUOVO GATTILE**

U.M.: **MPa**      Data esec. **05/06/2020**  
Scala: **1:100**  
Pagina **1**  
Elaborato **Falda -2.30 m**



TORBE / ARGILLE OR	3 punti, 3.00%	Argilla Organica e terreni misti	4 punti, 4.00%	Argilla Sabbiosa e Limosa	24 punti, 24.00%
ARGILLE e/o LIMI	56 punti, 56.00%	Argilla (inorganica) di media consistenza	3 punti, 3.00%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo argilloso	14 punti, 14.00%
LIMI e/o SABBIE	19 punti, 19.00%	Argilla (inorganica) consistente	16 punti, 16.00%	Sabbia sciolta	2 punti, 2.00%
SABBIE	11 punti, 11.00%	Argilla (inorganica) molto consistente	15 punti, 15.00%	Sabbia mediamente addensata	11 punti, 11.00%
SABBIE e/o GHIAIE	10 punti, 10.00%			Sabbia densa o cementata	1 punti, 1.00%
				Sabbia con molti fossili, calcareniti	9 punti, 9.00%

FON111



# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

**CPT****2**

Riferimento

**105-2020**Committente **STUDIO TECNICO**U.M.: **MPa**Data esec. **05/06/2020**Cantiere **STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE**Pagina **1**Località **CARPI - VIA MARTINELLI - NUOVO GATTILE**

Elaborato

Falda **-2.20 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	20.0	40.0		1.96	40.00	50	2.0	15.20	61.0	68.0		5.98	160.00	38	2.6
0.40	20.0	26.0		1.96	107.00	19	5.4	15.40	41.0	65.0		4.02	293.00	14	7.1
0.60	16.0	32.0		1.57	133.00	12	8.3	15.60	50.0	94.0		4.90	100.00	50	2.0
0.80	15.0	35.0		1.47	67.00	22	4.5	15.80	70.0	85.0		6.86	67.00	104	1.0
<b>1.00</b>	<b>10.0</b>	<b>20.0</b>		<b>0.98</b>	<b>100.00</b>	<b>10</b>	<b>10.0</b>	<b>16.00</b>	<b>70.0</b>	<b>80.0</b>		<b>6.86</b>	<b>133.00</b>	<b>53</b>	<b>1.9</b>
1.20	10.0	25.0		0.98	47.00	21	4.7	16.20	100.0	120.0		9.80	100.00	100	1.0
1.40	8.0	15.0		0.78	27.00	30	3.4	16.40	120.0	135.0		11.76	93.00	129	0.8
1.60	11.0	15.0		1.08	60.00	18	5.5	16.60	141.0	155.0		13.82	73.00	193	0.5
1.80	11.0	20.0		1.08	27.00	41	2.5	16.80	160.0	171.0		15.68	200.00	80	1.3
<b>2.00</b>	<b>20.0</b>	<b>24.0</b>		<b>1.96</b>	<b>47.00</b>	<b>43</b>	<b>2.4</b>	<b>17.00</b>	<b>200.0</b>	<b>230.0</b>		<b>19.60</b>	<b>200.00</b>	<b>100</b>	<b>1.0</b>
2.20	16.0	23.0		1.57	120.00	13	7.5	17.20	160.0	190.0		15.68	200.00	80	1.3
2.40	12.0	30.0		1.18	40.00	30	3.3	17.40	160.0	190.0		15.68	33.00	485	0.2
2.60	14.0	20.0		1.37	27.00	52	1.9	17.60	140.0	145.0		13.72	200.00	70	1.4
2.80	12.0	16.0		1.18	40.00	30	3.3	17.80	20.0	50.0		1.96	133.00	15	6.7
<b>3.00</b>	<b>11.0</b>	<b>17.0</b>		<b>1.08</b>	<b>47.00</b>	<b>23</b>	<b>4.3</b>	<b>18.00</b>	<b>15.0</b>	<b>35.0</b>		<b>1.47</b>	<b>73.00</b>	<b>21</b>	<b>4.9</b>
3.20	13.0	20.0		1.27	33.00	39	2.5	18.20	15.0	26.0		1.47	67.00	22	4.5
3.40	20.0	25.0		1.96	127.00	16	6.4	18.40	16.0	26.0		1.57	73.00	22	4.6
3.60	13.0	32.0		1.27	93.00	14	7.2	18.60	16.0	27.0		1.57	87.00	18	5.4
3.80	20.0	34.0		1.96	93.00	22	4.7	18.80	17.0	30.0		1.67	87.00	20	5.1
<b>4.00</b>	<b>20.0</b>	<b>34.0</b>		<b>1.96</b>	<b>60.00</b>	<b>33</b>	<b>3.0</b>	<b>19.00</b>	<b>16.0</b>	<b>29.0</b>		<b>1.57</b>	<b>100.00</b>	<b>16</b>	<b>6.3</b>
4.20	20.0	29.0		1.96	93.00	22	4.7	19.20	20.0	35.0		1.96	120.00	17	6.0
4.40	16.0	30.0		1.57	67.00	24	4.2	19.40	22.0	40.0		2.16	120.00	18	5.5
4.60	20.0	30.0		1.96	93.00	22	4.7	19.60	20.0	38.0		1.96	127.00	16	6.4
4.80	16.0	30.0		1.57	73.00	22	4.6	19.80	21.0	40.0		2.06	133.00	16	6.3
<b>5.00</b>	<b>16.0</b>	<b>27.0</b>		<b>1.57</b>	<b>60.00</b>	<b>27</b>	<b>3.8</b>	<b>20.00</b>	<b>24.0</b>	<b>44.0</b>		<b>2.35</b>			
5.20	16.0	25.0		1.57	60.00	27	3.8								
5.40	17.0	26.0		1.67	67.00	25	3.9								
5.60	10.0	20.0		0.98	60.00	17	6.0								
5.80	5.0	14.0		0.49	33.00	15	6.6								
<b>6.00</b>	<b>12.0</b>	<b>17.0</b>		<b>1.18</b>	<b>80.00</b>	<b>15</b>	<b>6.7</b>								
6.20	16.0	28.0		1.57	20.00	80	1.3								
6.40	19.0	22.0		1.86	67.00	28	3.5								
6.60	17.0	27.0		1.67	73.00	23	4.3								
6.80	19.0	30.0		1.86	80.00	24	4.2								
<b>7.00</b>	<b>14.0</b>	<b>26.0</b>		<b>1.37</b>	<b>87.00</b>	<b>16</b>	<b>6.2</b>								
7.20	21.0	34.0		2.06	93.00	23	4.4								
7.40	24.0	38.0		2.35	120.00	20	5.0								
7.60	27.0	45.0		2.65	127.00	21	4.7								
7.80	26.0	45.0		2.55	133.00	20	5.1								
<b>8.00</b>	<b>24.0</b>	<b>44.0</b>		<b>2.35</b>	<b>147.00</b>	<b>16</b>	<b>6.1</b>								
8.20	22.0	44.0		2.16	133.00	17	6.0								
8.40	20.0	40.0		1.96	140.00	14	7.0								
8.60	21.0	42.0		2.06	40.00	53	1.9								
8.80	26.0	32.0		2.55	153.00	17	5.9								
<b>9.00</b>	<b>25.0</b>	<b>48.0</b>		<b>2.45</b>	<b>167.00</b>	<b>15</b>	<b>6.7</b>								
9.20	25.0	50.0		2.45	133.00	19	5.3								
9.40	25.0	45.0		2.45	153.00	16	6.1								
9.60	28.0	51.0		2.74	153.00	18	5.5								
9.80	25.0	48.0		2.45	93.00	27	3.7								
<b>10.00</b>	<b>20.0</b>	<b>34.0</b>		<b>1.96</b>	<b>53.00</b>	<b>38</b>	<b>2.7</b>								
10.20	20.0	28.0		1.96	127.00	16	6.4								
10.40	21.0	40.0		2.06	107.00	20	5.1								
10.60	24.0	40.0		2.35	87.00	28	3.6								
10.80	22.0	35.0		2.16	113.00	19	5.1								
<b>11.00</b>	<b>22.0</b>	<b>39.0</b>		<b>2.16</b>	<b>100.00</b>	<b>22</b>	<b>4.5</b>								
11.20	21.0	36.0		2.06	67.00	31	3.2								
11.40	20.0	30.0		1.96	93.00	22	4.7								
11.60	16.0	30.0		1.57	93.00	17	5.8								
11.80	15.0	29.0		1.47	60.00	25	4.0								
<b>12.00</b>	<b>12.0</b>	<b>21.0</b>		<b>1.18</b>	<b>67.00</b>	<b>18</b>	<b>5.6</b>								
12.20	15.0	25.0		1.47	80.00	19	5.3								
12.40	20.0	32.0		1.96	100.00	20	5.0								
12.60	15.0	30.0		1.47	87.00	17	5.8								
12.80	21.0	34.0		2.06	93.00	23	4.4								
<b>13.00</b>	<b>12.0</b>	<b>26.0</b>		<b>1.18</b>	<b>40.00</b>	<b>30</b>	<b>3.3</b>								
13.20	10.0	16.0		0.98	20.00	50	2.0								
13.40	9.0	12.0		0.88	47.00	19	5.2								
13.60	8.0	15.0		0.78	13.00	62	1.6								
13.80	20.0	22.0		1.96	47.00	43	2.4								
<b>14.00</b>	<b>20.0</b>	<b>27.0</b>		<b>1.96</b>	<b>107.00</b>	<b>19</b>	<b>5.4</b>								
14.20	10.0	26.0		0.98	20.00	50	2.0								
14.40	27.0	30.0		2.65	47.00	57	1.7								
14.60	41.0	48.0		4.02	100.00	41	2.4								
14.80	25.0	40.0		2.45	73.00	34	2.9								
<b>15.00</b>	<b>65.0</b>	<b>76.0</b>		<b>6.37</b>	<b>47.00</b>	<b>138</b>	<b>0.7</b>								

H = profondità

qc = resistenza punta

L1 = prima lettura (punta)

fs = resistenza laterale

L2 = seconda lettura (punta + laterale)

alla stessa quota di qc

Lt = terza lettura (totale)

F = rapporto Begemann (qc / fs)

CT = 10.00 costante di trasformazione

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

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

**CPT**

**2**

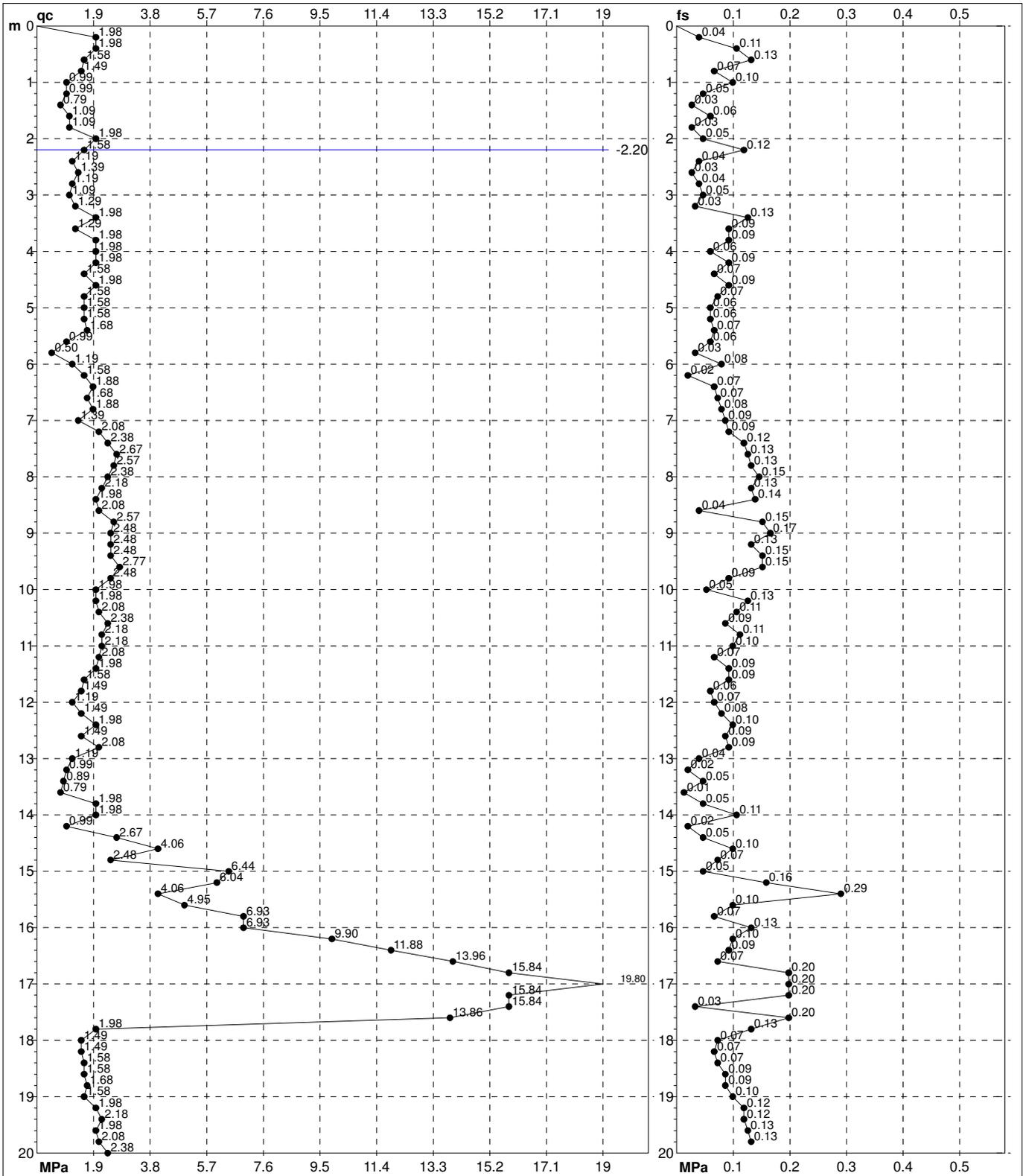
Riferimento

**105-2020**

Committente **STUDIO TECNICO**  
Cantiere **STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE**  
Località **CARPI - VIA MARTINELLI - NUOVO GATTILE**

U.M.: **MPa**  
Scala: **1:100**  
Pagina **1**  
Elaborato

Data esec. **05/06/2020**  
Quota inizio:  
Falda **-2.20 m**



Penetrometro: TG63-200Stat  
Responsabile:  
Assistente:

preforo m  
Corr.astine: kN/ml  
Cod. tip:

FON111

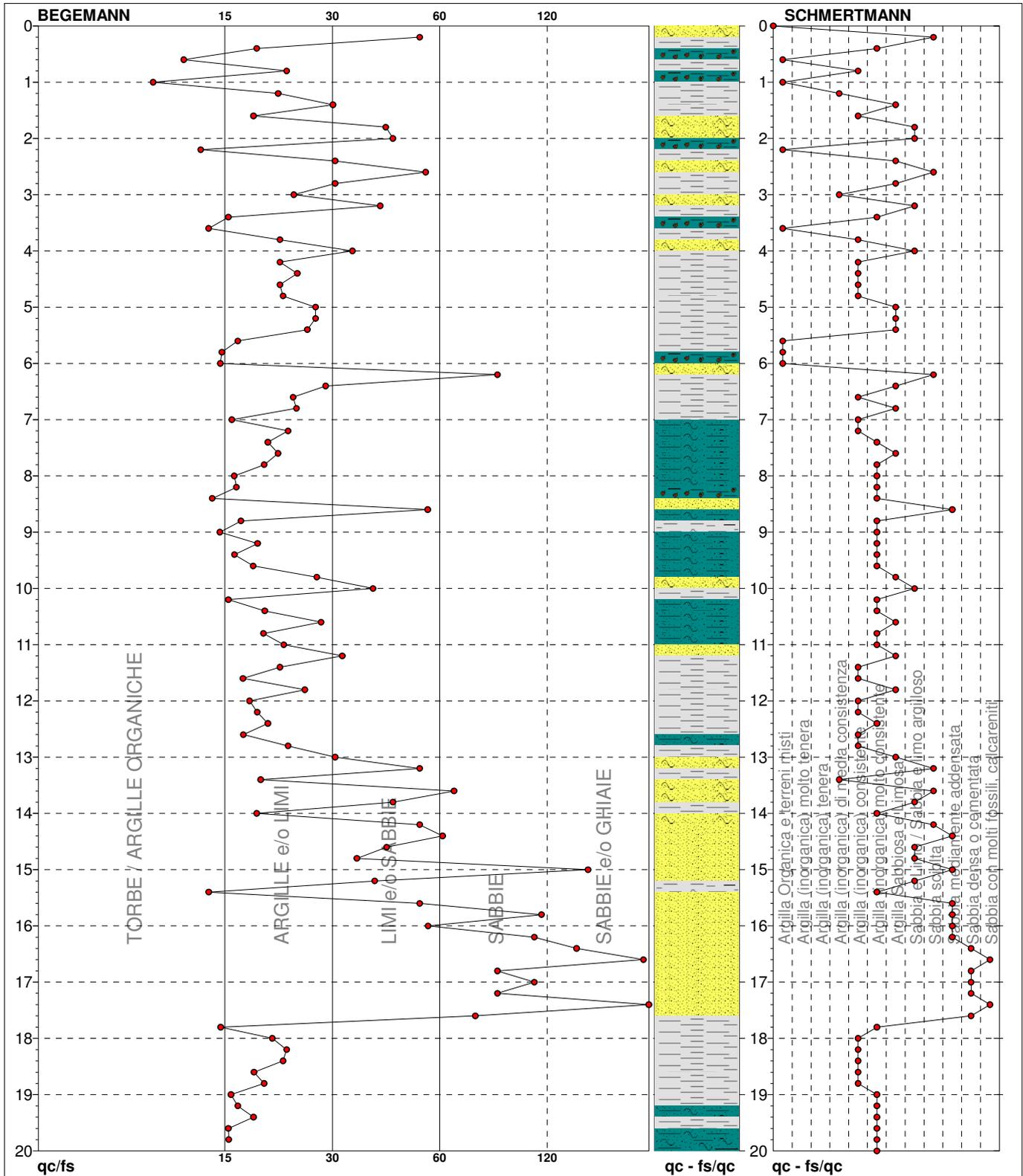
# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI LITOLOGIA

<b>CPT</b>	<b>2</b>
Riferimento	<b>105-2020</b>

Committente **STUDIO TECNICO**  
Cantiere **STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE**  
Località **CARPI - VIA MARTINELLI - NUOVO GATTILE**

U.M.: **MPa**      Data esec. **05/06/2020**  
Scala: **1:100**  
Pagina **1**  
Elaborato **Falda -2.20 m**



TORBE / ARGILLE OR	8 punti, 8.00%	Argilla Organica e terreni misti	7 punti, 7.00%	Argilla Sabbiosa e Limosa	14 punti, 14.00%
ARGILLE e/o LIMI	61 punti, 61.00%	Argilla (inorganica) di media consistenza	3 punti, 3.00%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo argilloso	9 punti, 9.00%
LIMI e/o SABBIE	18 punti, 18.00%	Argilla (inorganica) consistente	21 punti, 21.00%	Sabbia sciolta	6 punti, 6.00%
SABBIE	8 punti, 8.00%	Argilla (inorganica) molto consistente	25 punti, 25.00%	Sabbia mediamente addensata	7 punti, 7.00%
SABBIE e/o GHIAIE	4 punti, 4.00%			Sabbia densa o cementata	5 punti, 5.00%
				Sabbia con molti fossili, calcareniti	2 punti, 2.00%

FON111

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## PARAMETRI GEOTECNICI

<b>CPT</b>	<b>2</b>
Riferimento	<b>105-2020</b>

Committente	<b>STUDIO TECNICO</b>	U.M.:	<b>MPa</b>	Data esec.	<b>05/06/2020</b>
Cantiere	<b>STUDIO DEL TERRENO DI FONDAZIONE</b>	Pagina	<b>1</b>	Falda	<b>-2.20 m</b>
Località	<b>CARPI - VIA MARTINELLI - NUOVO GATTILE</b>	Elaborato			

H m	qc U.M.	qc/fs	zone	γ' t/m³	σ'vo kPa	Vs m/s	NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE											
							Cu kPa	OCR %	Eu50 U.M.	Eu25 U.M.	Mo U.M.	Dr %	Sc (°)	Ca (°)	Ko (°)	DB (°)	DM (°)	Me (°)	E'50 U.M.	E'25 U.M.	Mo U.M.	FL1	FL2
0.20	1.96	50.00	4	1.85	3.6	171	78.4	99.9	13.3	20.0	5.9	97	43	41	39	36	44	27	3.3	4.9	5.9	--	--
0.40	1.96	18.69	4	1.85	7.3	171	78.4	99.9	13.3	20.0	5.9	80	41	38	35	33	41	27	3.3	4.9	5.9	--	--
0.60	1.47	12.03	2	1.85	10.9	157	68.2	62.3	11.6	17.4	5.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.80	1.57	22.39	2	1.85	14.5	154	65.3	41.2	11.1	16.7	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.00	0.98	10.00	2	1.85	18.1	132	49.0	21.8	8.3	12.5	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.20	0.98	21.28	2	1.85	21.8	132	49.0	17.3	8.3	12.5	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.40	0.78	29.63	2	1.85	25.4	121	39.2	10.8	6.7	10.0	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.60	1.08	18.33	2	1.85	29.0	137	52.6	13.2	8.9	13.4	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.80	1.08	40.74	4	1.85	32.6	137	52.6	11.4	8.9	13.4	4.2	23	34	27	24	23	31	26	1.8	2.7	3.2	--	--
2.00	1.96	42.55	4	1.85	36.3	171	78.4	16.5	13.3	20.0	5.9	41	36	30	27	25	34	27	3.3	4.9	5.9	--	--
2.20	1.57	13.33	2	0.96	38.1	157	68.2	13.0	11.6	17.4	5.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.40	1.18	30.00	4	0.88	39.9	141	56.0	9.6	9.6	14.4	4.4	21	34	27	23	22	30	26	2.0	2.9	3.5	--	--
2.60	1.37	51.85	4	0.89	41.6	150	62.4	10.4	10.6	15.9	4.7	25	34	27	24	23	31	26	2.3	3.4	4.1	--	--
2.80	1.18	30.00	4	0.88	43.3	141	56.0	8.7	10.3	15.4	4.4	19	34	26	23	22	30	26	2.0	2.9	3.5	--	--
3.00	1.08	23.40	2	0.91	45.1	137	52.6	7.6	11.0	16.5	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.20	1.27	39.39	4	0.88	46.8	145	59.3	8.4	11.1	16.7	4.6	20	34	26	23	22	30	26	2.1	3.2	3.8	--	--
3.40	1.96	15.75	2	0.93	48.6	171	78.4	11.4	13.3	20.0	5.9	34	35	28	25	23	32	27	3.3	4.9	5.9	--	--
3.60	1.27	13.98	2	0.93	50.5	145	59.3	7.7	12.3	18.4	4.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.80	1.96	21.51	4	0.93	52.3	171	78.4	10.4	13.3	20.0	5.9	32	35	28	25	23	32	27	3.3	4.9	5.9	--	--
4.00	1.96	33.33	4	0.93	54.1	171	78.4	10.0	13.3	20.0	5.9	31	35	28	24	23	31	27	3.3	4.9	5.9	--	--
4.20	1.96	21.51	4	0.93	55.9	171	78.4	9.6	13.5	20.2	5.9	30	35	27	24	23	31	27	3.3	4.9	5.9	--	--
4.40	1.57	23.88	2	0.96	57.8	157	68.2	7.7	14.0	21.0	5.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.60	1.96	21.51	4	0.93	59.6	171	78.4	8.8	14.1	21.2	5.9	29	35	27	24	23	31	27	3.3	4.9	5.9	--	--
4.80	1.57	21.92	2	0.96	61.5	157	68.2	7.1	15.3	23.0	5.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.00	1.57	26.67	2	0.96	63.3	157	68.2	6.9	16.0	24.0	5.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.20	1.57	26.67	2	0.96	65.2	157	68.2	6.6	16.7	25.0	5.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.40	1.67	25.37	2	0.97	67.1	161	70.9	6.7	17.1	25.6	5.3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.60	0.98	16.67	2	0.90	68.9	132	49.0	4.1	19.2	28.8	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.80	0.49	15.15	2	0.80	70.5	101	24.5	1.7	14.1	21.2	2.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.00	1.18	15.00	2	0.92	72.3	141	56.0	4.6	20.1	30.2	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.20	1.57	80.00	4	0.90	74.0	157	68.2	5.7	19.9	29.9	5.1	16	33	25	22	20	28	27	2.6	3.9	4.7	--	--
6.40	1.86	28.36	2	0.99	76.0	168	76.0	6.3	19.8	29.7	5.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.60	1.67	23.29	2	0.97	77.9	161	70.9	5.6	21.0	31.5	5.3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.80	1.86	23.75	2	0.99	79.8	168	76.0	5.9	21.2	31.8	5.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.00	1.37	16.09	2	0.94	81.7	150	62.4	4.5	22.8	34.2	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.20	2.06	22.58	4	0.93	83.5	174	80.7	6.0	22.1	33.1	6.2	22	34	26	22	21	29	27	3.4	5.1	6.2	--	--
7.40	2.35	20.00	4	0.94	85.3	183	87.1	6.4	22.1	33.1	7.1	26	34	26	23	22	30	28	3.9	5.9	7.1	--	--
7.60	2.65	21.26	4	0.95	87.2	192	92.8	6.8	22.1	33.2	7.9	30	35	27	24	22	30	28	4.4	6.6	7.9	--	--
7.80	2.55	19.55	4	0.95	89.0	189	91.0	6.5	23.0	34.5	7.6	28	35	26	23	22	30	28	4.2	6.4	7.6	--	--
8.00	2.35	16.33	4	0.94	90.9	183	87.1	6.0	24.1	36.2	7.1	25	34	26	23	21	29	28	3.9	5.9	7.1	--	--
8.20	2.16	16.54	4	0.93	92.7	177	82.9	5.5	25.2	37.8	6.5	21	34	25	22	21	29	28	3.6	5.4	6.5	--	--
8.40	1.96	14.29	4	0.93	94.5	171	78.4	5.0	26.1	39.2	5.9	18	33	25	22	20	28	27	3.3	4.9	5.9	--	--
8.60	2.06	52.50	3	0.85	96.2	174	--	--	--	--	--	19	34	25	22	20	28	27	3.4	5.1	6.2	--	--
8.80	2.55	16.99	4	0.95	98.1	189	91.0	5.7	26.3	39.5	7.6	26	34	26	23	21	29	28	4.2	6.4	7.6	--	--
9.00	2.45	14.97	4	0.94	99.9	186	89.1	5.4	27.1	40.7	7.4	24	34	26	22	21	29	28	4.1	6.1	7.4	--	--
9.20	2.45	18.80	4	0.94	101.8	186	89.1	5.3	27.8	41.7	7.4	23	34	26	22	21	29	28	4.1	6.1	7.4	--	--
9.40	2.45	16.34	4	0.94	103.6	186	89.1	5.2	28.4	42.6	7.4	23	34	25	22	21	29	28	4.1	6.1	7.4	--	--
9.60	2.74	18.30	4	0.96	105.5	194	94.6	5.5	28.6	42.9	8.2	26	34	26	23	21	29	28	4.6	6.9	8.2	--	--
9.80	2.45	26.88	4	0.94	107.3	186	89.1	5.0	29.6	44.5	7.4	22	34	25	22	21	29	28	4.1	6.1	7.4	--	--
10.00	1.96	37.74	4	0.93	109.2	171	78.4	4.2	30.5	45.7	5.9	14	33	24	21	20	27	27	3.3	4.9	5.9	--	--
10.20	1.96	15.75	4	0.93	111.0	171	78.4	4.1	31.0	46.5	5.9	14	33	24	21	20	27	27	3.3	4.9	5.9	--	--
10.40	2.06	19.63	4	0.93	112.8	174	80.7	4.1	31.5	47.2	6.2	15	33	24	21	20	27	27	3.4	5.1	6.2	--	--
10.60	2.35	27.59	4	0.94	114.6	183	87.1	4.5	32.0	48.0	7.1	19	34	25	22	20	28	28	3.9	5.9	7.1	--	--
10.80	2.16	19.47	4	0.93	116.5	177	82.9	4.1	32.5	48.8	6.5	16	33	24	21	20	28	28	3.6	5.4	6.5	--	--
11.00	2.16	22.00	4	0.93	118.3	177	82.9	4.0	33.0	49.5	6.5	15	33	24	21	20	28	28	3.6	5.4	6.5	--	--
11.20	2.06	31.34	3	0.85	120.0	174	--	--	--	--	--	13	33	24	21	19	27	27	3.4	5.1	6.2	--	--
11.40	1.96	21.51	4	0.93	121.8	171	78.4	3.6	34.4	51.6	5.9	11	33	24	20	19	27	27	3.3	4.9	5.9	--	--
11.60	1.57	17.20	2	0.96	123.7	157	68.2	3.0	33.7	50.6	5.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11.80	1.47	25.00	2	0.95	125.5	154	65.3	2.8	33.4	50.0	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
12.00	1.18	17.91	2	0.92	127.3	141	56.0	2.2	30.6	45.9	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
12.20	1.47	18.75	2	0.95	129.2	154	65.3	2.7	33.8	50.7	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
12.40	1.96	20.00	4	0.93	131.0	171	78.4	3.3	36.7	55.0	5.9	10	32	23	20	19	26	27	3.3	4.9	5.9	--	--
12.60	1.47	17.24	2	0.95	132.9	154	65.3	2.6	34.3	51.4	4.9	--	--	--	--	--							

# ALLEGATO 2

## VERIFICHE GEOTECNICHE

## DATI GENERALI

Larghezza fondazione	8.0 m
Lunghezza fondazione	10.0 m
Profondità piano di posa	0.8 m
Profondità falda	2.2

## 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
3.6	18.0	21.0	22.0	5.0	50.0	7000.0	4000.0	ARGILLA MEDIA
9.0	18.0	21.0	24.0	7.0	70.0	9800.0	5500.0	ARGILLA MEDIA ELEVATA
4.2	18.5	21.5	30.0	0.0	0.0	14000.0	0.0	SABBIA
3.2	18.5	21.5	25.0	7.5	75.0	10500.0	5700.0	ARGILLA CONSISTENTE

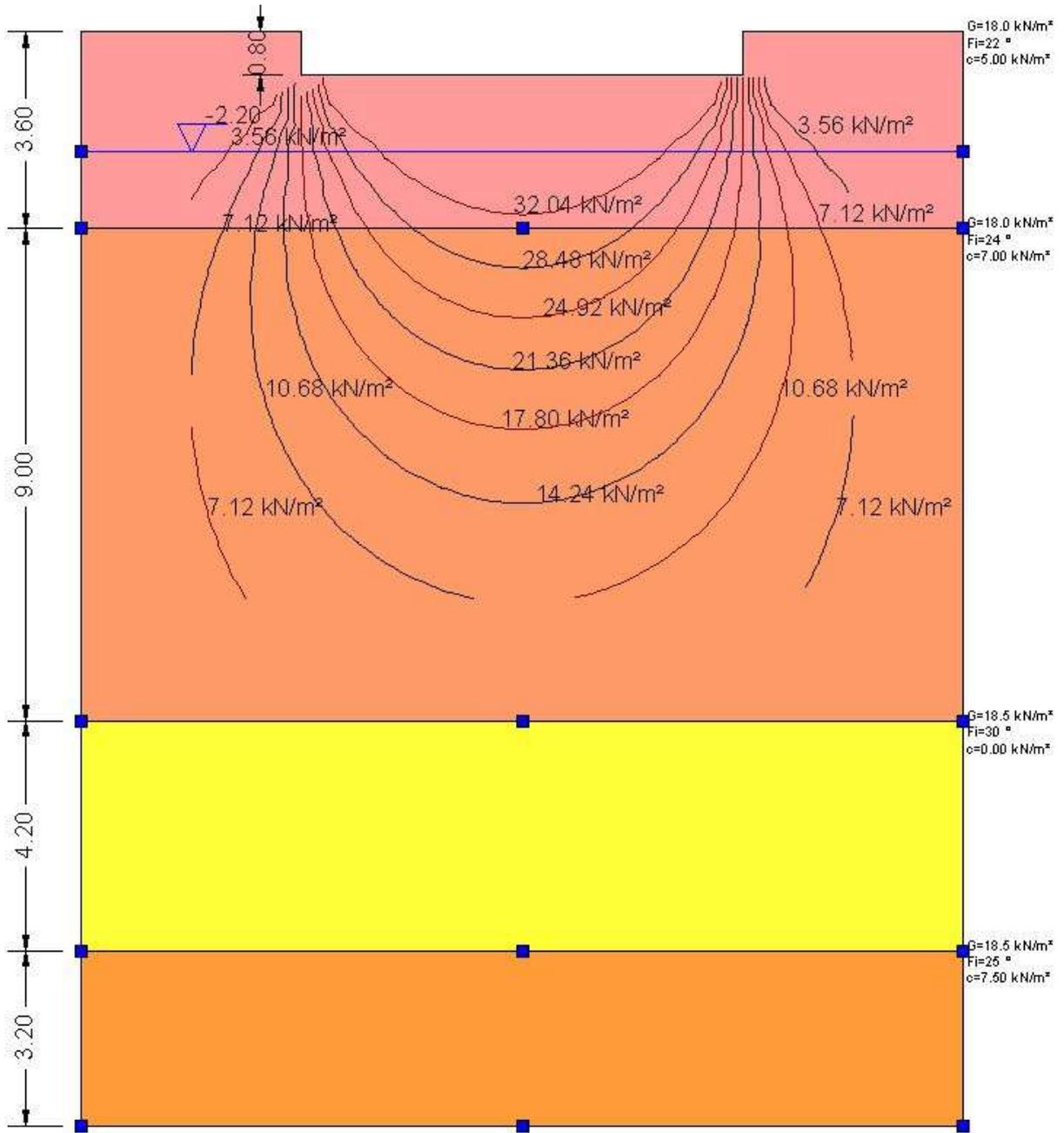
### CEDIMENTI PER OGNI STRATO

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

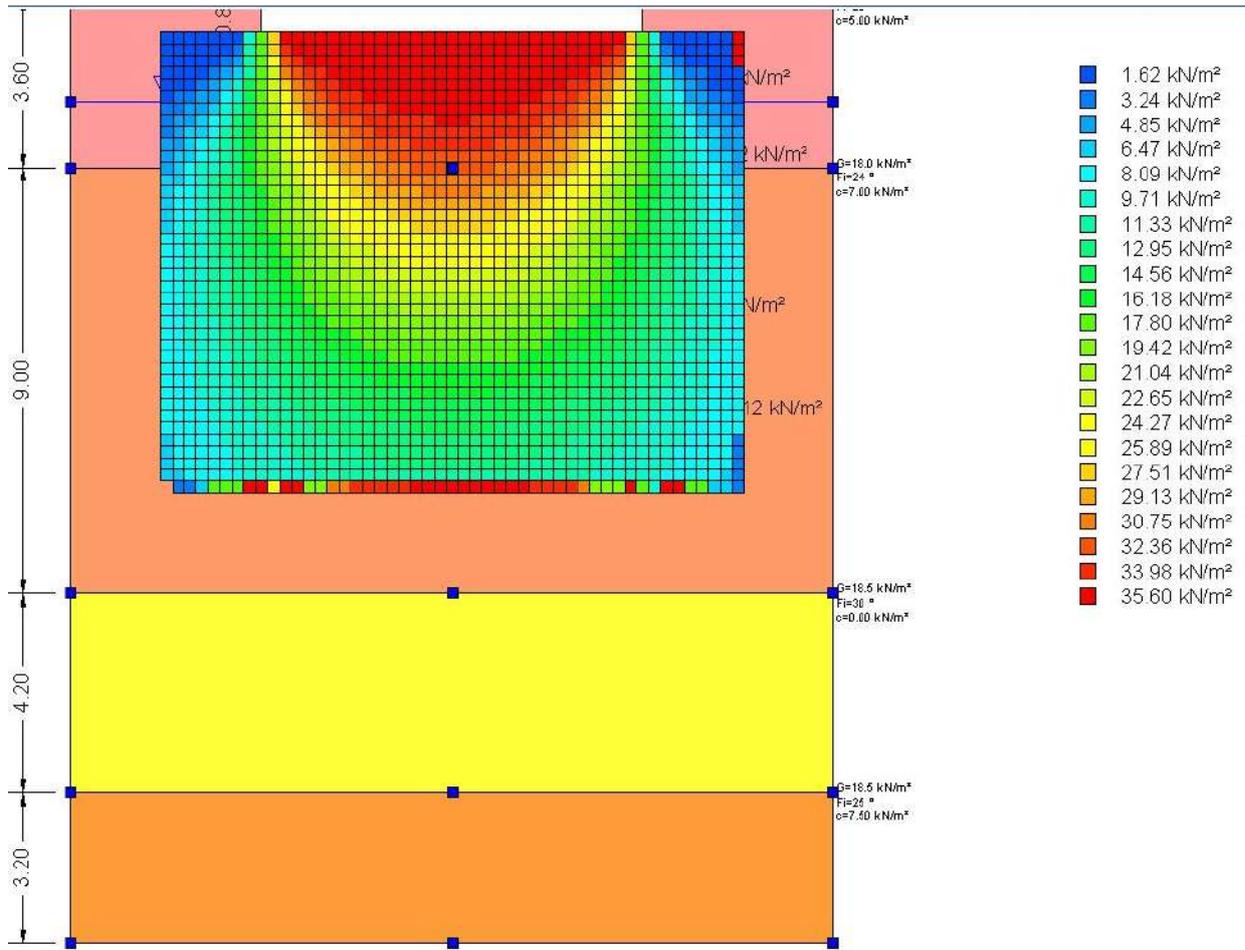
Pressione normale di progetto	50.0 kN/m <sup>2</sup>
Cedimento totale	<b>1.559 cm</b>

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)
1	2.2	39.6	4.152	Edometrico	0.2906	--	0.2906
2	8.1	105.639	6.197	Edometrico	1.0141	--	1.0141
3	14.7	0	0	Schmertman	0.09	--	0.09
4	18.4	223.827	2.933	Edometrico	0.1647	--	0.1647



Bulbo dei cedimenti



**Mapa delle tensioni**

# ALLEGATO 3

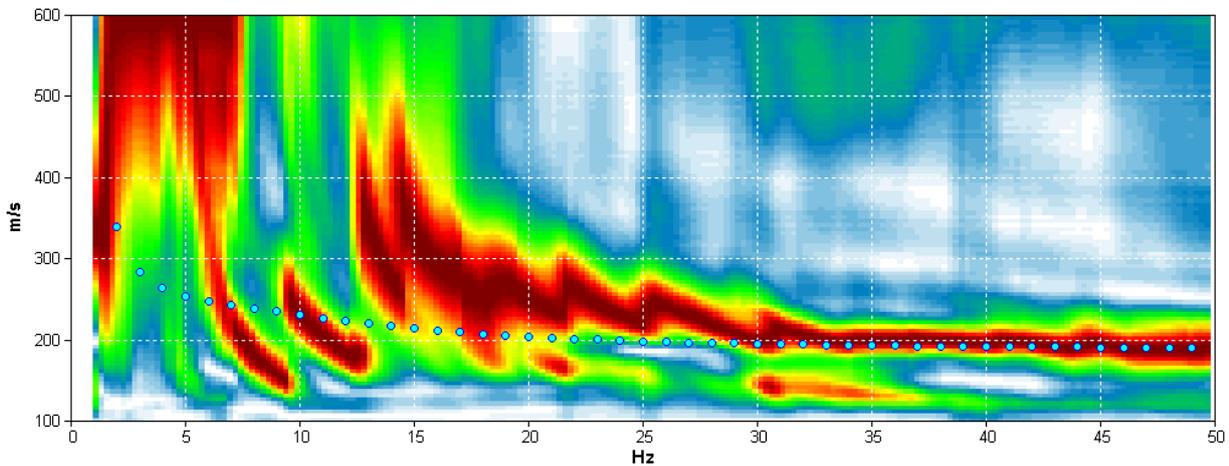
## INDAGINI SISMICHE

# Indagine sismica MASW

## INFORMAZIONI GENERALI

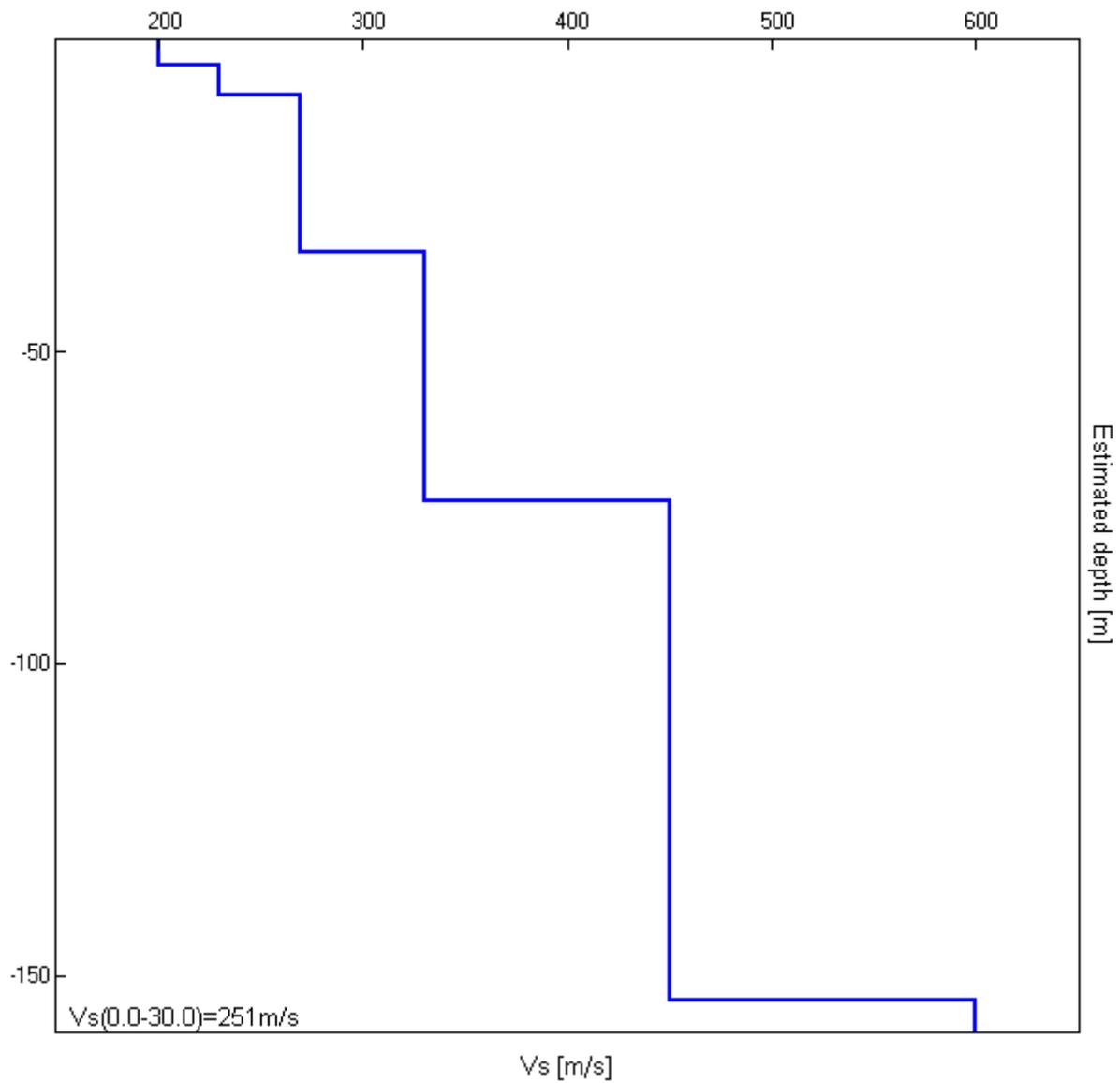
Cantiere: **NUOVO GATILE DI CARPI - Comune di Carpi (Mo)**  
 Data esecuzione: **05/06/2020**  
 Strumentazione utilizzata: **GEODE GEOMETRICS 24bit/24ch** - Energizzazione: **Massa battente da 10 kg**  
 - Sensoristica: **Geofoni verticali 4.5 Hz**  
 Responsabile: **Dott. Geol. Pier Luigi Dallari**  
 Elaborazione: **Dott.ssa Lisa Gasparini**

## MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
4.00	4.00	200	0.45
9.00	5.00	230	0.45
34.00	25.00	270	0.43
74.00	40.00	330	0.43
154.00	80.00	450	0.43
inf.	inf.	600	0.43

**Vs (0.0-30.0) = 251 m/s**



# Indagine sismica HVSr

## INFORMAZIONI GENERALI

Cantiere: **NUOVO GATILE DI CARPI - Comune di Carpi (Mo)**

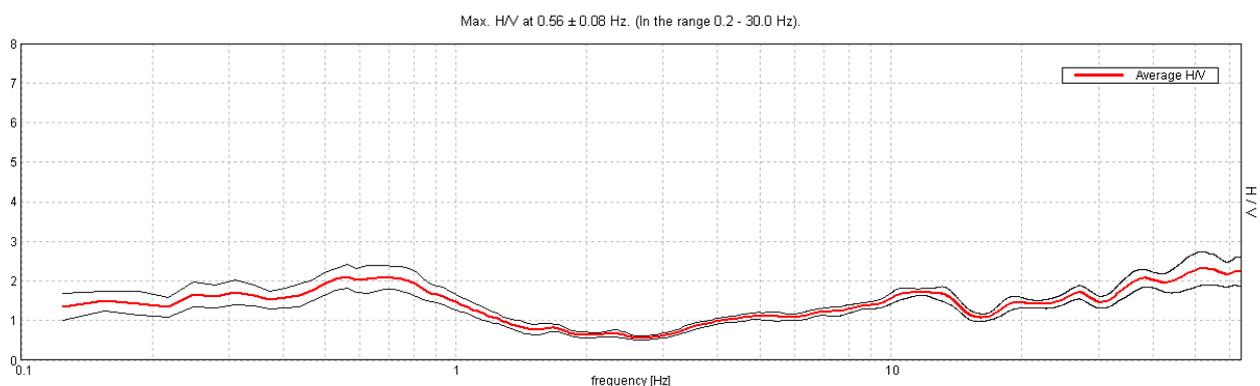
Data esecuzione: **05/06/2020**

Strumentazione utilizzata: **TROMINO - MOHO - Sensoristica: 3 canali velocimetrici per l'acquisizione del micro-tremore sismico ambientale (fino a  $\pm 1.5$  mm/s ~)**

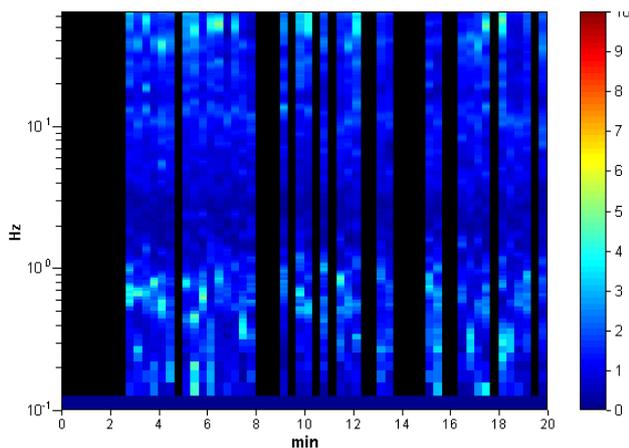
Responsabile: **Dott. Geol. Pier Luigi Dallari**

Elaborazione: **Dott.ssa Lisa Gasparini**

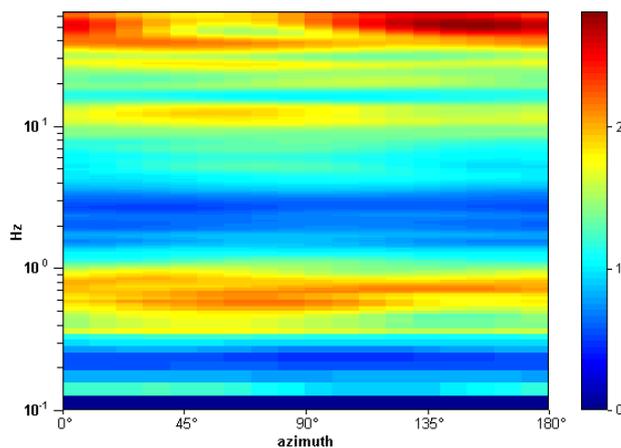
## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



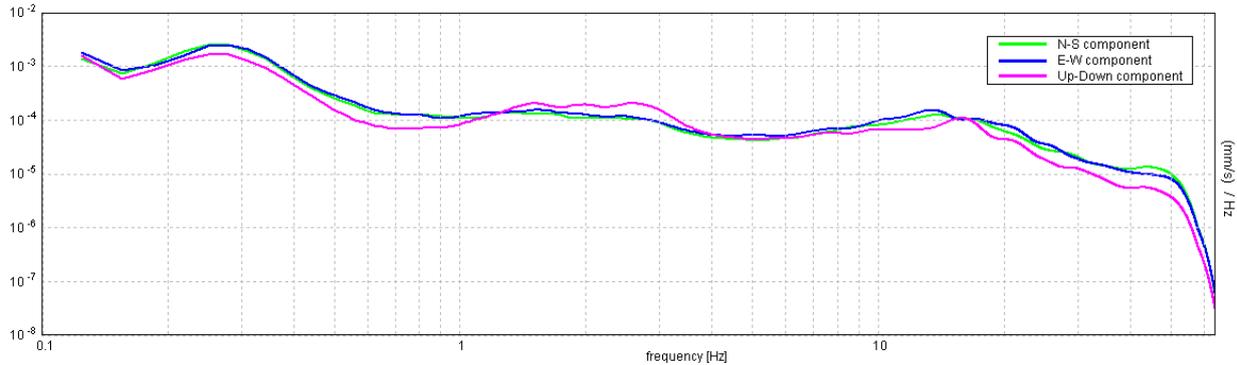
## H/V TIME HISTORY



## DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA



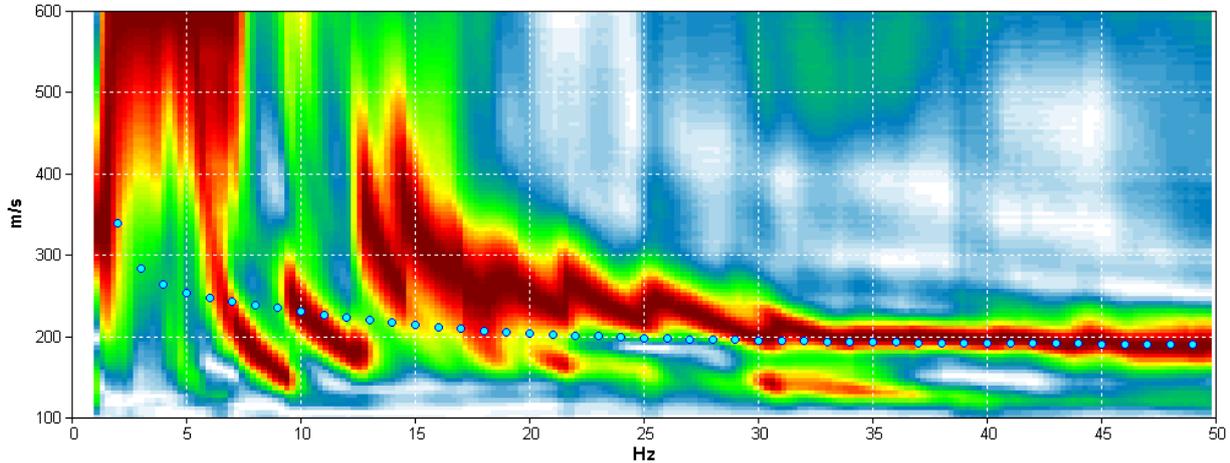
[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at 0.56 ± 0.08 Hz (in the range 0.2 - 30.0 Hz).**

<b>Criteria for a reliable H/V curve</b> [All 3 should be fulfilled]					
$f_0 > 10 / L_w$	0.56 > 0.50	<b>OK</b>			
$n_c(f_0) > 200$	393.8 > 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 28 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>			<b>NO</b>		
<b>Exists <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	1.25 Hz	<b>OK</b>			
<b><math>A_0 &gt; 2</math></b>	2.12 > 2	<b>OK</b>			
<b><math>f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%</math></b>	0.13929  < 0.05		<b>NO</b>		
<b><math>\sigma_f &lt; \varepsilon(f_0)</math></b>	0.07835 < 0.08438	<b>OK</b>			
<b><math>\sigma_A(f_0) &lt; \theta(f_0)</math></b>	0.2905 < 2.0	<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

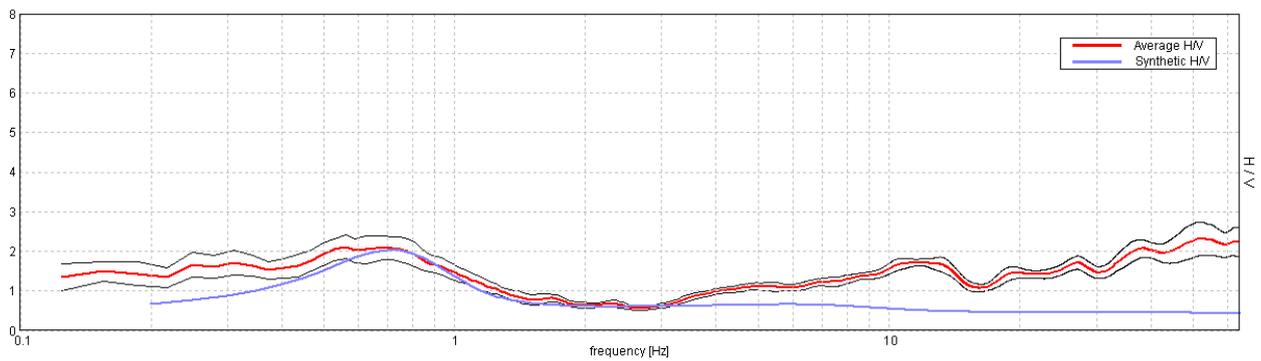
# Elaborazione congiunta MASW – HVSr

## MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at  $0.56 \pm 0.08$  Hz. (In the range 0.2 - 30.0 Hz).



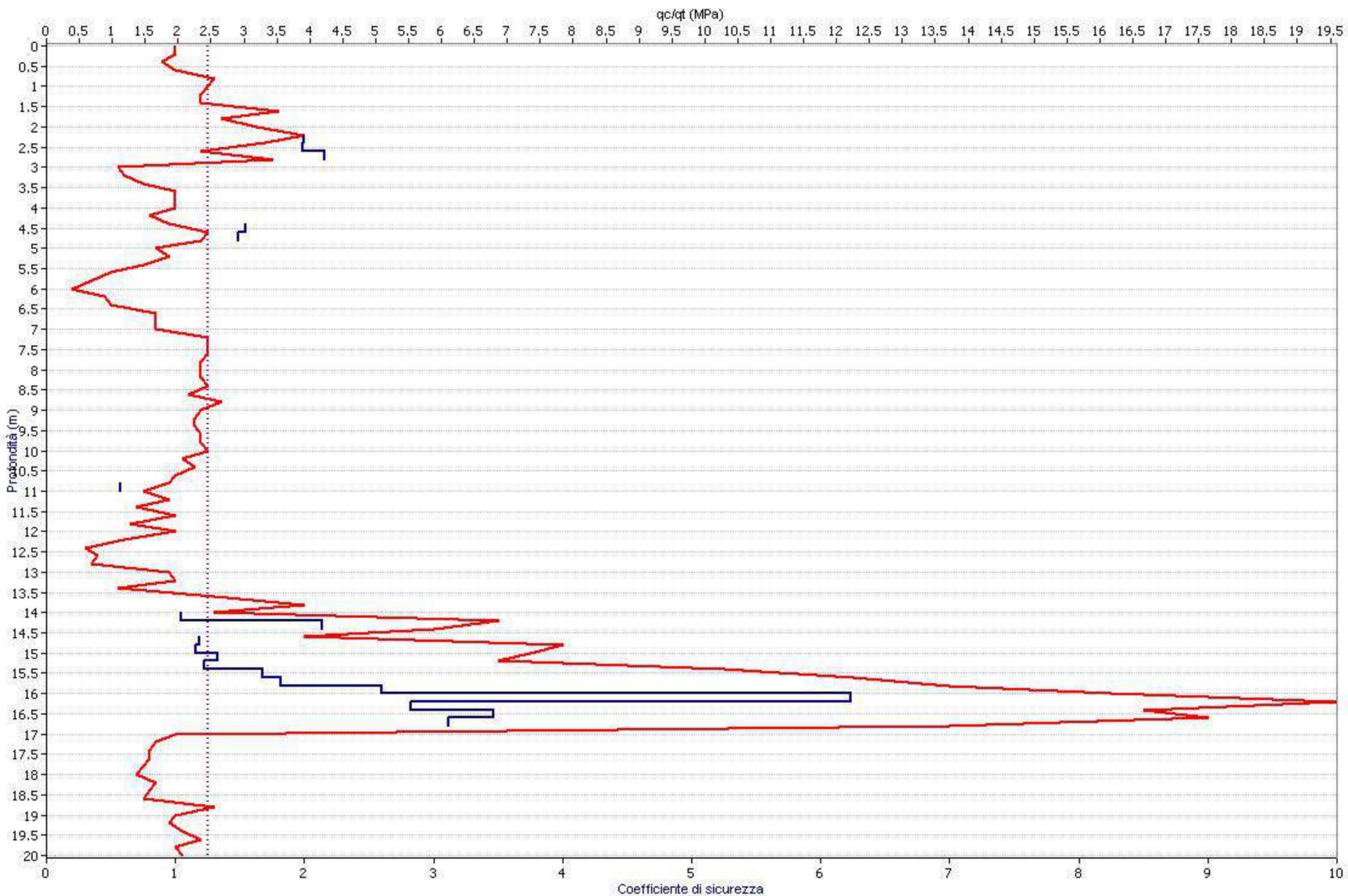
Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
4.00	4.00	200	0.45
9.00	5.00	230	0.45
34.00	25.00	270	0.43
74.00	40.00	330	0.43
154.00	80.00	450	0.43
inf.	inf.	600	0.43

**Vs (0.0-30.0) = 251m/s**

# ALLEGATO 4

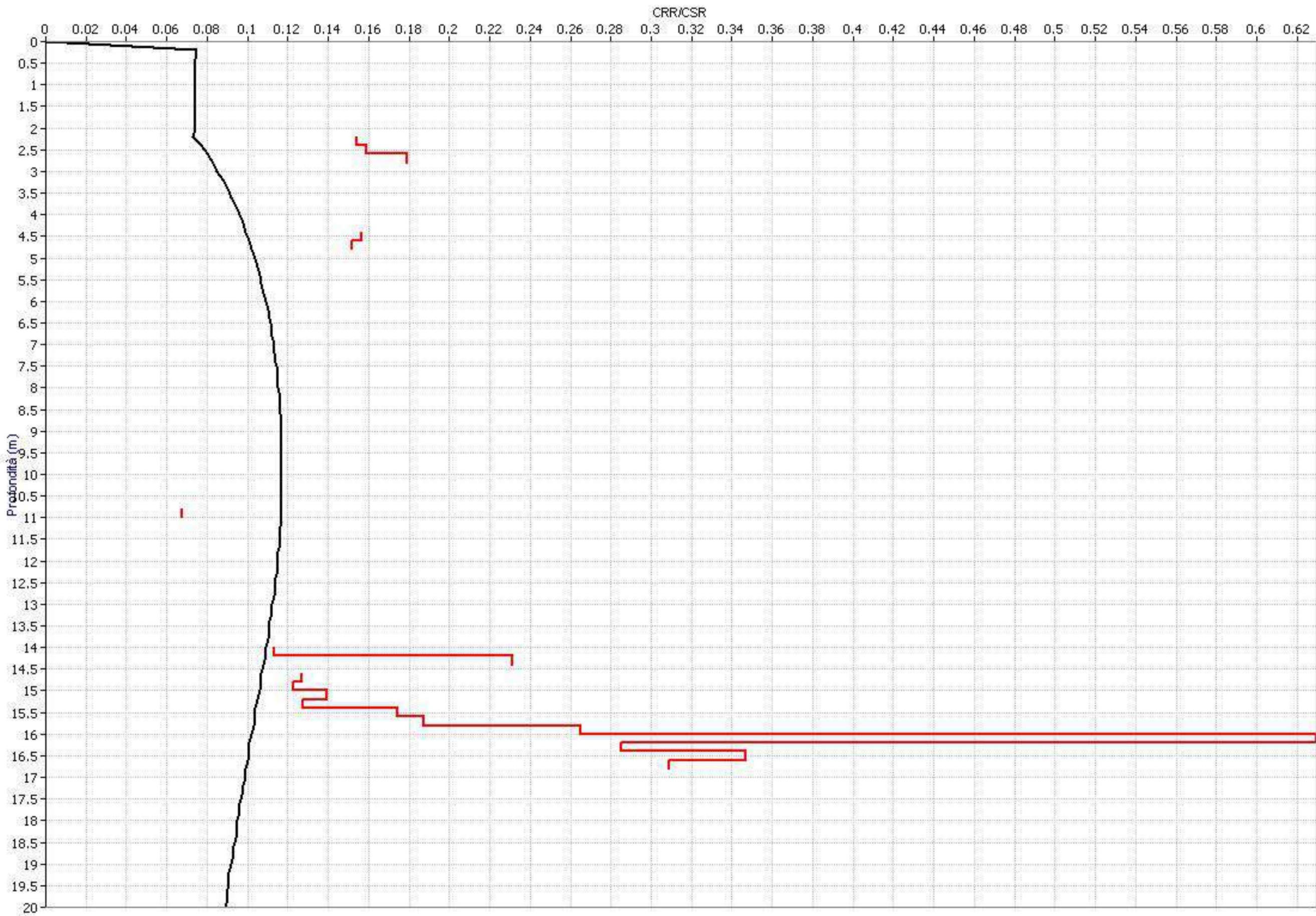
VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

☑ - Profilo qc/qt ☑ - Fs ☑ - Fs limite



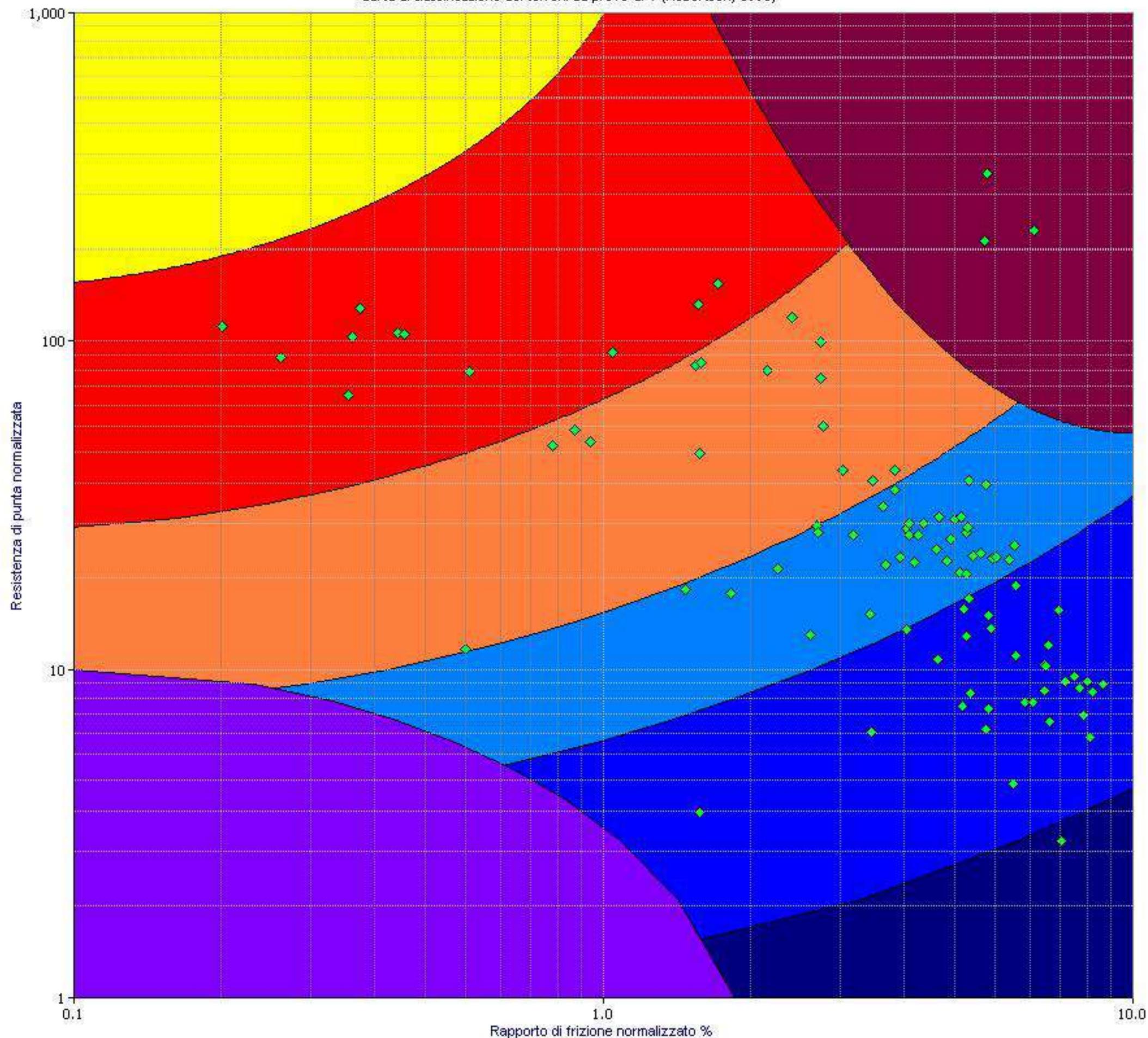
Indice di liquefazione=0.4 rischio basso

✓ - CRR ✓ - CSR



Carta di classificazione dei terreni da prove CPT (Robertson, 1990)

- Terreni con  $OCR > 5$
- Da sabbie ghiaiose a sabbie
- Da sabbie a sabbie limose
- Da sabbie limose a limi sabbiosi
- Da limi argillosi a argille limose
- Da argille a argille limose
- Torbe
- Terreni fini sensitivi
- misura



Andamento di Ic e Fs

Ic     Fs     Falda     Ic limite     Fs limite

