



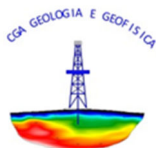
Committente:	COMUNE DI BOLOGNA
Località:	Via Arcoveggio
Comune:	Bologna (BO)
Data:	25 febbraio 2020
Codice lavoro:	A 1370 GA 263
CIG / CUP:	ZE229FF081 / F32G190006000004

Relazione geologica, geotecnica e sismica per la realizzazione della nuova palestra e relativo spogliatoio e della pista di atletica indoor presso il centro sportivo Arcoveggio, in Via dell'Arcoveggio a Bologna (BO).

**CIG: ZE229FF081      CUP: F31B17000200004**

I Geologi :



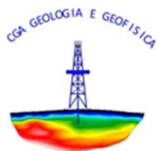


## SOMMARIO

<b>SOMMARIO .....</b>	<b>2</b>
<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>5</b>
<b>REQUISITI PRESTAZIONALI DELL'OPERA IN PROGETTO .....</b>	<b>6</b>
DETERMINAZIONE DEL PERIODO DI RIFERIMENTO .....	6
<b>CAMPAGNA GEOGNOSTICA METODOLOGIA D'INDAGINE .....</b>	<b>7</b>
PROVA PENETROMETRICA STATICA A PUNTA ELETTRICA (CPT) .....	7
<i>Interpretazione</i> .....	8
Determinazione delle stratigrafie .....	8
Calcolo della proprietà geotecniche .....	9
PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO .....	11
INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA MASW .....	12
<i>Modalità esecutive</i> .....	12
<i>Elaborazione dati</i> .....	14
Analisi delle immagini di dispersione .....	14
Interpretazione .....	14
Densità Dinamica: .....	15
Modulo di taglio: .....	15
Modulo di Young: .....	15
INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA HVSR .....	16
<i>Elaborazione dati</i> .....	16
<b>MODELLO GEOLOGICO .....</b>	<b>17</b>
A) CARATTERIZZAZIONE GEOLITOLOGICA DEI TERRENI .....	17
B) CARATTERIZZAZIONE MICROSISMICA DEL SITO .....	17
<i>Prova sismica MASW L1</i> .....	17
<i>Proprietà geofisiche dei terreni</i> .....	18
<i>Determinazione delle categorie di suolo di fondazione</i> .....	19
<i>Prova Sismica Hvsr</i> .....	20
Verifiche SESAME: .....	20
Sismostratigrafia .....	20
Frequenza caratteristica di sito $f_0$ .....	20
Profondità bedrock sismico .....	21



C) CARATTERIZZAZIONE GEOFISICA .....	21
D) CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA E IDROGEOLOGICA DEL SITO .....	21
E) VERIFICA A LIQUEFAZIONE .....	22
<b>ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE .....</b>	<b>25</b>
BASE DATI DI PROGETTO (SPETTRI NTC VER. 1.0.3) .....	25
PROCEDURA DI CALCOLO .....	26
<i>SLV: dati di input</i> .....	27
Accelerogrammi di input .....	27
Modello sismostratigrafico .....	27
Curve di decadimento .....	27
<i>Risultati del calcolo SLV - Output</i> .....	29
<i>Spettri di risposta elastici</i> .....	29
Spettro medio di risposta elastico .....	30
Spettro normalizzato di risposta elastico .....	30
Parametri spettro normalizzato .....	30
Confronto spettro normativa .....	31
Profilo $a_{max}$ .....	31
Fattori di amplificazione su intensità spettrale .....	31
<b>MODELLO GEOTECNICO .....</b>	<b>32</b>
<i>Risultati delle indagini - Parametri non aggregati</i> .....	32
Prova penetrometrica statica a punta elettrica CPTE .....	32
Laboratorio geotecnico .....	32
Parametri geotecnici efficaci .....	32
<i>Determinazione dei parametri caratteristici</i> .....	33
<b>SINTESI NON TECNICA .....</b>	<b>35</b>



**APPENDICE 1 – FIGURE ED ELABORATI GRAFICI**

**APPENDICE 2 – MODELLAZIONE GEOLOGICA**

- GRAFICI INTERPRETATIVI PROVE CPT
- STRATIGRAFIA SONDAGGIO BH1 – CANTIERE PARCHEGGIO EX GIURIOLO
- CERTIFICATO INDAGINE SISMICA MASW
- CERTIFICATO INDAGINE SISMICA HVSR

**APPENDICE 3 – ANALISI RISPOSTA SISMICA LOCALE**

- ACCELEROGRAMMI DI INPUT
- AMPLIFICAZIONE
- ACCELERAZIONI VELOCITÀ SPOSTAMENTI
- TENSIONI DEFORMAZIONI
- SPETTRO ELASTICO - MEDIO E NORMALIZZATO
- PROFILO ACCELERAZIONE

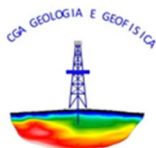
**APPENDICE 4 – MODELLAZIONE GEOTECNICA**

- STORIA TENSIONALE DEI TERRENI
- COLONNE GEOTECNICHE

**ALLEGATO 1** – Certificati prove penetrometriche CPT (GEOPROBE S.R.L.)

**ALLEGATO 2** – Certificati prove LABORATORIO TERRE





## INTRODUZIONE

Su incarico del Comune di Bologna, è stata redatta questa relazione geologica, geotecnica e sismica per la realizzazione della nuova palestra e relativo spogliatoio e della pista di atletica indoor presso il centro sportivo Arcoveggio, in Via dell'Arcoveggio a Bologna (BO).

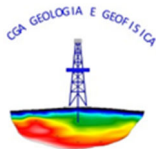
Dal punto di vista cartografico l'area d'indagine è individuabile come segue:

CARTA	SCALA	TIPOLOGIA	NUMERO	TOPONIMO
Topografica	1:25.000	Tavola	221 NO	Bologna Nord-Est
C.T.R	1:5.000	Elementi	221054	Corticella Sud

*Tabella n° 1 - Riferimenti cartografici*

Lo studio, condotto in conformità a quanto previsto dalle Norme tecniche per le costruzioni (D.M. 17.01.2018), si articola nelle seguenti fasi:

- COSTRUZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO: finalizzato alla definizione dei lineamenti geologici, idrogeologici generali ed alla definizione e caratterizzazione delle principali unità litologiche;
- COSTRUZIONE DEL MODELLO GEOTECNICO: finalizzato all'interpretazione critica dei risultati delle indagini geognostiche, modellazione geotecnica del terreno interagente con l'opera, scelta dei parametri numerici di progetto e verifica dei requisiti prestazionali dell'opera.



## REQUISITI PRESTAZIONALI DELL'OPERA IN PROGETTO

### DETERMINAZIONE DEL PERIODO DI RIFERIMENTO

Nel rispetto di quanto previsto dalla norma, l'opera di progetto rientra nelle seguenti categorie:

Tipi di Costruzione		Vita Nominale $V_N$ (in anni)
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali, dighe di dimensioni contenute o importanza normale.	$\geq$ 50

Tabella n° 2 – Vita Nominale  $V_N$

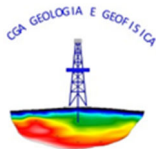
Classi d'uso		Coefficiente $C_U$
Classe III	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso	1.5

Tabella n° 3 – Coefficiente d'uso  $C_U$

Da cui il periodo di riferimento per la valutazione dell'azione sismica è:

$V_r$	$V_N * C_U$	75 anni
-------	-------------	---------

Tabella n° 4 – Vita di riferimento  $V_r$



## **CAMPAGNA GEOGNOSTICA METODOLOGIA D'INDAGINE**

È stata realizzata la seguente campagna geognostica:

- a) indagine geologico-morfologica dell'area in esame;
- b) esecuzione di n° 5 prove penetrometriche a punta elettrica CPTE;
- c) esecuzione di n° 1 prova sismica MASW a 1 shot;
- d) esecuzione di n° 1 acquisizione delle vibrazioni ambientali (HVSr).

L'ubicazione delle prove eseguite è riportata in forma grafica in appendice 1.

Per la caratterizzazione geotecnica in termini di tensioni totali si sono utilizzati i dati di laboratorio geotecnico provenienti dal cantiere limitrofo dell'Ex Parcheggio Giuriolo di proprietà del Comune di Bologna.

### **PROVA PENETROMETRICA STATICA A PUNTA ELETTRICA (CPTE)**

Sono state eseguite n° 5 prove penetrometriche statiche CPTE la cui ubicazione è riportata in appendice 1.

Lo strumento utilizzato è un penetrometro da 200 kN con punta Pagani Mod. MKJ387, installato su camion autolivellante.

Per l'esecuzione della prova si è utilizzata una punta Friction Jacket Cone avente le seguenti caratteristiche:

- diametro di base del cono = 37,5 mm;
- angolo di apertura del cono = 60°;
- area punta = 10,0 cm<sup>2</sup>;

La punta è dotata di trasduttori per il rilievo in continuo di:

- resistenza alla punta (Net Cone Resistance);
- resistenza laterale (Sleeve Friction);
- pressione neutra
- velocità di avanzamento;
- inclinazione.

La punta, collegata via cavo ad un personal computer che campiona le misure ad intervalli di 1 cm, viene infissa alla velocità costante di 2 cm/s.

Le prove realizzate sono sinteticamente riportate nella seguente tabella:

Prova	Profondità (m)	Profondità Falda (m)	Preforo (m)	Ditta Esecutrice	Rapporto di prova	Data esecuzione
CPTE 1	13.62	10.00	-	Geoprobe S.r.l.	19.0496/RSP	28/06/2019
CPTE 2	11.63	10.00	-	Geoprobe S.r.l.	19.0497/RSP	28/06/2019
CPTE 3	13.26	10.00	-	Geoprobe S.r.l.	19.0498/RSP	28/06/2019
CPTE 4	12.53	10.00	-	Geoprobe S.r.l.	19.0499/RSP	28/06/2019
CPTE 5	13.52	10.00	-	Geoprobe S.r.l.	19.0500/RSP	28/06/2019

Tabella n° 5 – Prove penetrometriche eseguite

I certificati delle prove penetrometriche sono riportati in allegato 1.

## INTERPRETAZIONE

### Determinazione delle stratigrafie

La determinazione delle stratigrafie è realizzata con il diagramma di classificazione basato sui dati normalizzati CPT/CPTU (Robertson, 1990), tratto da "Lunne, P.K. Robertson and J.J.M. Powell - Cone Penetration Testing in geotechnical practice - Spon Press, 1997".

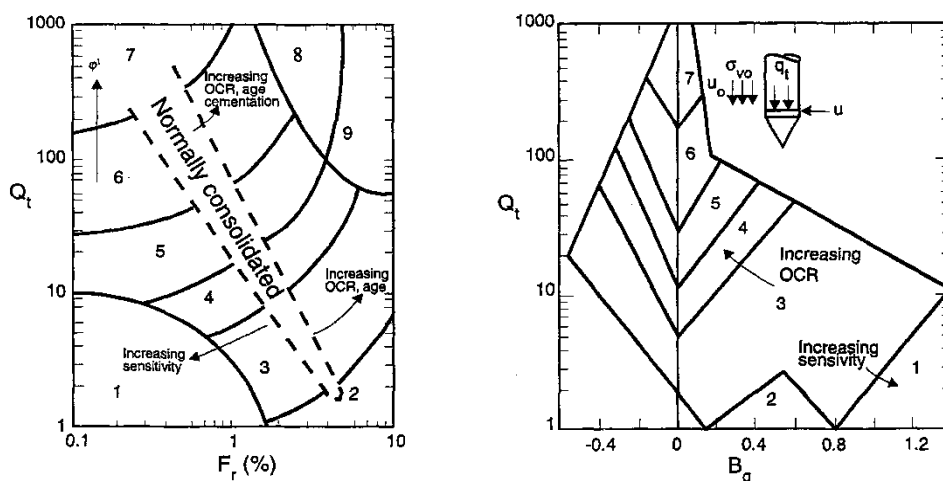
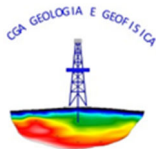


Diagramma n° 1 - Diagramma di interpretazione litologica - Robertson, 1990.

Quando si dispone di prove CPT e CPTE si utilizza il diagramma di interpretazione in cui sono messi in relazione i seguenti parametri:

$$Q_t = \frac{(q_t - \sigma_{v0})}{\sigma'_{v0}}$$

$$F_r = \frac{f_s}{(q_t - \sigma_{v0})} \times 100\%$$



Lo stesso diagramma viene utilizzato per prove CPTU, limitatamente alla porzione sopra falda, mentre per i terreni al di sotto del livello di falda, si utilizza il diagramma di interpretazione in cui sono messi in relazione i seguenti parametri:

$$Q_t = \frac{(q_t - \sigma_{v0})}{\sigma'_{v0}}$$

$$B_q = \frac{u_2 - u_0}{q_t - \sigma_{v0}}$$

L'attendibilità del metodo è stata ampiamente verificata in numerosi studi precedenti con l'utilizzo di sondaggi di taratura e confronto.

#### **Calcolo della proprietà geotecniche**

Le proprietà geotecniche dei terreni sono state definite tramite le prove penetrometriche eseguite, sulla base delle seguenti considerazioni:

- nei terreni coesivi la prova penetrometrica è stata considerata alla stregua di una prova di taglio in condizioni consolidate e non drenate;
- nei terreni non coesivi la penetrometria statica è stata paragonata ad una prova di taglio in condizioni consolidate drenate;
- nei terreni misti si è data prevalenza al comportamento coesivo, ritenendolo caratterizzante.

Sono state determinate le seguenti proprietà geotecniche:

coesione non drenata (**C<sub>u</sub>**) per i terreni coesivi;

angolo di attrito in termini di pressioni efficaci (**ϕ'**), per i terreni granulari;

coefficiente di compressibilità (**m<sub>v</sub>**).

La stima della coesione non drenata **c<sub>u</sub>** è stata ottenuta utilizzando la seguente equazione (Lunne, P.K. Robertson and J.J.M. Powell - Cone Penetration Testing in geotechnical practice - Spon Press, 1997):

$$c_u = \frac{(q_t - \sigma_{v0})}{N_{kt}}$$

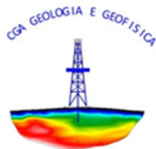
Dove:

**q<sub>t</sub>** = resistenza totale all'avanzamento della punta corretta;

**σ<sub>v0</sub>** = carico litostatico;

Revisione 00

Pagina 9 di 37



$N_{kt}$  = fattore del cono che può variare tra 12 e 18 (*La Rochelle et al., 1998*)

Sulla base di numerosi studi precedenti con l'utilizzo di sondaggi ed analisi di laboratorio su campioni indisturbati, il valore di  $N_{kt}$  che meglio rappresenta l'ambito geologico nel quale generalmente operiamo è:

$$N_{kt} = 14$$

Per la determinazione dell'angolo di attrito  $\phi'$ , nel caso di terreni granulari, si è utilizzata la seguente formula (*Lunne, P.K. Robertson and J.J.M. Powell - Cone Penetration Testing in geotechnical practice - Spon Press, 1997*):

$$\phi = 17,60 + 11 \times \log(Q_t)$$

Dove:

$$Q_t = \frac{(q_t - \sigma_{v0})}{\sigma'_{v0}}$$

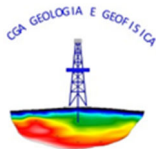
Per la determinazione del coefficiente di compressibilità  $m_v$  si è utilizzata la seguente formula:

$$m_v = 1 / (\alpha Q_t)$$

Dove:

$\alpha$  (coefficiente adimensionale) =  $2,75 \pm 0,55$  (*Jones e Rust 1995*, per argille di origine continentale).

I grafici interpretativi delle prove CPTU / CPTe sono riportati in appendice 2.



## PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO

Per la caratterizzazione geotecnica in termini di tensioni totali si sono utilizzati i dati di laboratorio geotecnico provenienti dal cantiere dell'Ex Parcheggio Giuriolo di proprietà del Comune di Bologna.

In data 30/01/2017-02/02/2017 è stato eseguito, sempre per conto del Comune di Bologna, un sondaggio a carotaggio continuo nel confinante cantiere dell'ex parcheggio Giuriolo, di cui in appendice 2 riportiamo la stratigrafia.

Sono state eseguite le seguenti prove di laboratorio:

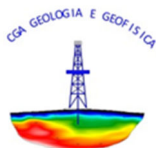
Campione (n°)	DSC	TRX02	V CER
BH1S1	1	1	1
BH1S2	1	1	1

### LEGENDA:

DSC	Estrazione di campioni indisturbati da fustelle, esecuzione di prove di consistenza speditive, descrizione geotecnica e rappresentazione fotografica
TRX02	Prova triassiale CIU, eseguita su tre provini
V CER	Oneri di certificazione, per ogni verbale di accettazione

*Tabella n° 6 - Elenco dei campioni prelevati e delle prove di laboratorio eseguite*

I certificati di Laboratorio Geotecnico sono riportati in Allegato 2.



## INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA MASW

Il metodo MASW (*Multichannel Acquisition Surf Wave*) ha come obiettivo quello di ricostruire il profilo sismostratigrafico di un sito, valutando in particolare la distribuzione della velocità delle onde "S" sia per la ricostruzione del profilo del sottosuolo che per la definizione *in situ* della  $V_{s30}$ . Al fine di migliorare il rapporto segnale disturbo per ogni punto di offset vengono eseguiti, in modalità iterativa, tre shots.

Il metodo MASW prevede la costruzione di una curva di dispersione per le onde di superficie, attraverso l'elaborazione di un'immagine di dispersione derivata dall'analisi della propagazione delle onde di Rayleigh.

La tecnica di prospezione MASW utilizza quindi un'immagine rappresentativa delle frequenze delle onde superficiali, espressa in funzione della velocità di fase delle stesse. Nell'immagine di dispersione (*Over Tone Image*) viene inoltre enfatizzata cromaticamente l'ampiezza delle vibrazioni evidenziando così le aree corrispondenti al miglior rapporto segnale/disturbo.

Una volta individuata la sequenza di frequenze e velocità di fase corrispondenti alla più probabile distribuzione della dispersione nel sottosuolo esaminato (analisi della curva di dispersione) si procede alla ricostruzione delle stratigrafia rappresentativa della distribuzione delle velocità delle onde S tramite l'utilizzo di un algoritmo di inversione.

La tecnica di prospezione MASW può essere così schematizzata:

1. acquisizione delle onde superficiali;
2. costruzione delle curve di dispersione (grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza);
3. inversione delle curve di dispersione per ottenere il profilo verticale delle  $V_s$ .

### MODALITÀ ESECUTIVE

Le indagini MASW vengono eseguite disponendo sul terreno almeno 24 sensori (geofoni) da 4.5 Hz, posti ad intervallo costante, collegati ad un sismografo mediante un cavo multipolare.

Dopo l'allestimento del dispositivo di ricezione si provvede a generare artificialmente vibrazioni impulsive ad alta frequenza in corrispondenza di un punto prestabilito lungo il profilo (*punto di scoppio*): nello stesso istante di partenza della vibrazione viene trasmesso al sismografo il comando di avvio della registrazione (*trigger*). Da questo istante inizia l'acquisizione digitale, con intervallo di campionamento pari a 0.25 ms e tempo di registrazione pari ad almeno 1 secondo.

Lo scoppio e la registrazione, se necessario, vengono ripetuti tre volte.

Nel caso di esecuzione di prova MASW tomografica l'intero array viene spostato di 5.00 m e la prova viene ripetuta con le medesime modalità della prova a shot singolo, per il numero di avanzamenti previsto.





Lo strumento utilizzato è il sismografo digitale A6000-S di produzione M.A.E. s.r.l. caratterizzato da 24 canali di acquisizione digitale con dinamica a 24 bit.

Gli impulsi sismici sono stati generati con l'utilizzo di una massa battente da 10.0 Kg.

Nel caso specifico la geometria degli array di indagine è riassunta nella seguente tabella:

Nel caso specifico la geometria dell'array di indagine è riassunta nella seguente tabella:

Sezione	n° geofoni	Spacing (m)	Offset (m)	Data esecuzione
L1	24	1.00	7.00	09/06/2017

Tabella n° 7 - Array degli stendimenti MASW.

Le caratteristiche del sismografo e dei geofoni utilizzati sono di seguito sinteticamente riassunte:

#### SISMOGRAFO M.A.E. - A6000S

CPU NS Geode GXLV 233MHz
Memoria RAM 128 Mb PC100 Mhz
Hard Disk 512 Mb on Compact Flash Disk Udma/33
Batteria di riserva al Litio
Monitoraggio Hardware Winbond W83781D
Display LCD 10,5" Tft Transflective a colori, touch screen
Controller Fast Ethernet Intel 82559ER 10/100 Base-T
Alimentazione con alimentatore Switching 12 Volt 2Ah
Valigia in copolimeri di polypropylene antischiacciamento
Temperatura di funzionamento da 0 a 60°C
Dimensioni e peso L280 X H220 X P170 mm, 3 Kg

Tabella n° 8 - Tabella delle caratteristiche del sismografo utilizzato.

#### GEOFONI GEOSPACE GS-11D

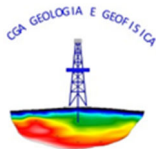
Natural Frequency	4,5 ± 0,75 Hz
Coil Resistance @ 25°C ± 5%	380 Ohms
Intrinsic Voltage Sensitivity with 380 Ohm Coil ± 10%	0,32 V/cm/s
Normalized Transduction Constant (V/in/sec)	0,42 (sq.root of Rc)
Open Circuit Damping	0,34 ± 20%
Damping Constant with 380 Ohm Coil	762
Optional Coil Resistances ± 5%	56,16 Ohms
Moving Mass ± 5%	23,6 g
Typical Case to Coil Motion P-P	0,18 cm
Harmonic Distortion with Driving Velocity of 0.7 in/sec (1.8 cm/sec) P-P	N/S

#### Dimensioni

Height (less terminals*)	3,35 cm
Diameter	3,18 cm
Weight	111 g

\* terminal height is 0,3429 cm

Tabella n° 9 - Tabella delle caratteristiche dei geofoni utilizzati.



## **ELABORAZIONE DATI**

### **Analisi delle immagini di dispersione**

Le immagini di dispersione rappresentano, in forma grafica, lo spettro di dispersione delle onde di Rayleigh che si propagano nel sottosuolo dell'area indagata.

Le immagini illustrano la dispersione vera e propria intesa come variazione della velocità di fase in funzione delle frequenze dello spettro. Evidenziano inoltre l'ampiezza delle vibrazioni (energia associata) utilizzando variazioni di toni di colori.

L'obiettivo dell'analisi dell'immagine di dispersione è l'individuazione del "tono fondamentale" della vibrazione (fundamental mode), distinguendolo da tutti gli ipertoni associati (higher tone) e dai rumori di fondo (noise).

L'individuazione del "tono fondamentale" permette di giungere alla principale chiave di lettura della prospezione cioè all'individuazione della "curva di dispersione" e quindi, tramite inversione, alla ricostruzione della sequenza sismostratigrafica del sito indagato.

### **Interpretazione**

Il profilo delle  $V_s$  è determinato sulla base di un algoritmo iterativo di inversione che utilizza i dati ottenuti dallo studio della curva di dispersione. L'interpretazione è stata effettuata per entrambi i metodi di filtrazione adottati.

L'algoritmo si basa sulle seguenti considerazioni:

- la frequenza è direttamente legata alla profondità di indagine (basse frequenze alte profondità);
- la velocità di fase dipende essenzialmente dalle proprietà elastiche dei materiali interessati dal propagarsi della perturbazione.

L'algoritmo di inversione tiene inoltre conto della necessità di soddisfare la seguente relazione:

$$z_f = a \lambda_f$$

dove:

$z_f$  = profondità di propagazione della frequenza  $f$ ;

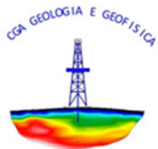
$a$  = coefficiente adimensionale;

$\lambda_f$  = lunghezza d'onda corrispondente alla frequenza  $f$ .

Le iterazioni necessarie per l'elaborazione in precedenza descritta avvengono tramite l'utilizzo di un programma di calcolo specifico (*Surfseis 6.7* del *Kansas Geological Survey*).

In Appendice 1 sono riportati sia i sismogrammi che le immagini di dispersione (*Over Tone Image*) relative alla somma di ogni shot effettuato, con relative curve di dispersione.

Nei calcoli il Coefficiente di Poisson è stato considerato pari 0.4.



Per quanto concerne il calcolo dei parametri elastici sono state utilizzate le seguenti formule:

**Densità Dinamica:**

$$\gamma = 0.51V_p^{0.19}$$

Dove:

$\gamma$  = densità del mezzo attraversato;

$V_p$  = velocità onde di compressione;

**Modulo di taglio:**

$$G = \rho V_s^2$$

Dove:

$\rho$  = massa volumica ( $\gamma/g$ );

$\gamma$  = densità del mezzo attraversato;

$g$  = accelerazione di gravità;

$V_s$  = velocità onde di taglio;

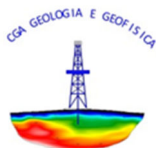
**Modulo di Young:**

$$E = 2G(1 + \nu)$$

Dove:

$G$  = modulo di taglio;

$\nu$  = Coefficiente di Poisson.



## **INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA HVSR**

Il metodo HVSR (Nogoshi e Igarashi 1971; Nakamura 1989) si basa sulla stima del rapporto tra lo spettro di ampiezza delle componenti orizzontali (H) e verticali (V) dei microtermori sismici ambientali registrati contemporaneamente e da una singola stazione.

La registrazione dei microtremori viene effettuato utilizzando un sensore a tre componenti (orientati sugli assi z, x e y di una terna cartesiana con l'asse delle ordinate posto in coincidenza con il Nord del campo magnetico terrestre) con frequenza naturale pari a 2 Hz.

La stazione registrante è un sismografo a 24 bit reali dello stesso tipo di quello utilizzato per la prova MASW.

I tempi di acquisizione sono funzione delle frequenze fondamentali che si intendono campionare, nel caso specifico il campionamento viene eseguito con target frequenze nel range  $0.2 < f_0 < 20$  Hz tempo di registrazione pari a 40' con frequenza di campionamento di 200 Hz.

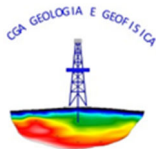
### **ELABORAZIONE DATI**

Il calcolo del rapporto H/V si sviluppa secondo i seguenti step:

1. Scomposizione dei segnali in finestre temporali, nel caso specifico di almeno 40 s ognuna;
2. Scelta delle finestre nelle quali il segnale registrato risulta maggiormente stazionario (almeno 15);
3. Calcolo e smussamento dello spettro di ampiezza ricavato tramite la trasformata di Fourier per ognuna delle finestre selezionate;
4. Calcolo del rapporto H/V per ogni finestra;
5. Calcolo della media dei rapporti H/V delle singole finestre e costruzione della curva H/V definitiva.

Il picco a più elevato rapporto H/V e a frequenza più bassa, individuato sulla curva definitiva, è rappresentativo del salto di impedenza sismica tra la copertura e il bed rock sismico locale.

La frequenza corrispondente a tale picco è la frequenza fondamentale del sito ( $f_0$ ), dalla quale conoscendo il comportamento sismico della copertura e utilizzando la semplice regola matematica del IV d'onda è possibile stimare la profondità del bed rock sismico locale.



## MODELLO GEOLOGICO

Per la definizione del modello geologico si sono utilizzati tutti i dati ottenuti dall'esecuzione delle prove in sito.

### A) CARATTERIZZAZIONE GEOLITOLOGICA DEI TERRENI

La caratterizzazione geolitologica è di seguito riassunta in forma tabellare:

Unità geolitologiche	Litologia	Comportamento
Unità 1	Limi da sabbiosi ad argillosi fortemente essiccati (O.C.)	prevalentemente coesivo
Unità 2a	Argille con rari limi sovraconsolidate (O.C.)	prevalentemente coesivo
Unità 2b	Argille con rari limi normal consolidate (N.C.)	prevalentemente coesivo
Unità 3	Sabbie con limi e sabbie con ghiaie	prevalentemente non coesivo

Tabella n° 10 - Unità geolitologiche

### B) CARATTERIZZAZIONE MICROSISMICA DEL SITO

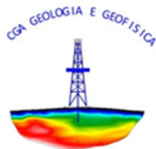
#### PROVA SISMICA MASW L1

Il certificato dell'indagine sismica MASW eseguita è riportato in appendice 2.

La stratigrafia sismica è riportata nella seguente tabella:

Strato	Spessore medio (m)	Vs (m/s)
1	1.03	152.65
2	1.29	154.47
3	1.61	182.43
4	2.01	187.54
5	2.51	203.55
6	3.14	227.59
7	3.93	235.47
8	4.91	234.72
9	6.14	230.02
10	6.64	314.55

Tabella n° 11 – Stratigrafia da prova sismica e velocità di propagazione dell'onda sismica geofono 1012



Utilizzando le metodologie e le formule di cui al paragrafo relativo alla metodologia MASW e seguendo le prescrizioni del D.M. 17.01.2018 la determinazione della  $V_{seq}$  è stata ottenuta utilizzando la formula:

$$V_{seq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

dove:

$h_i$  = spessore dello strato  $i$ esimo;

$V_{s,i}$  = Velocità onde di taglio dello strato  $i$ esimo;

$N$  = numero degli strati;

$H$  = profondità del substrato ( $H = 30$  m nel caso di substrato a profondità maggiore di 30 m)

La  $V_{seq}$ , è calcolata per ogni shot di ogni linea sismica MASW eseguita a partire dal piano di campagna.

<b><math>V_{eq}</math> [m/s]</b>	<b>220.64</b>
----------------------------------	---------------

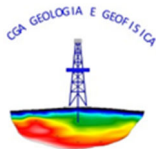
Tabella n° 12 – Valore calcolato di  $V_{s30}$  Linea L1

### PROPRIETÀ GEOFISICHE DEI TERRENI

In Appendice 2 sono rappresentati graficamente le colonne sismostratigrafiche relative ai parametri geofisici, di seguito riassunti in forma tabellare:

Profondità	$V_p$ (m/s)	$V_s$ (m/s)	$\gamma_{din}$ (kN/m <sup>3</sup> )	E (Mpa)	$G_0$ (Mpa)	Spessori
0.00	373.92	152.65	15.41	102.56	36.63	
1.03	373.92	152.65	15.41	102.56	36.63	1.03
2.32	378.37	154.47	15.45	105.25	37.59	1.29
3.93	446.86	182.43	15.94	151.52	54.11	1.61
5.94	459.37	187.54	16.03	160.96	57.48	2.01
8.45	498.60	203.55	16.28	192.60	68.79	2.51
11.59	557.49	227.59	16.63	245.94	87.84	3.14
15.52	576.78	235.47	16.74	264.97	94.63	3.93
20.43	574.95	234.72	16.73	263.13	93.97	4.91
26.57	563.42	230.02	16.66	251.71	89.90	6.14
33.21	770.49	314.55	17.68	499.57	178.42	6.64

Tabella n° 13 – Parametri geofisici Linea L1



### **DETERMINAZIONE DELLE CATEGORIE DI SUOLO DI FONDAZIONE**

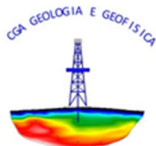
Utilizzando le tabelle di seguito riportate, si è proceduto alla determinazione della Categoria di appartenenza dei terreni:

#### **Categorie di suolo di fondazione:**

<b>A</b>	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3m.
<b>B</b>	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
<b>C</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> 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.
<b>D</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> con profondità del substrato superiore a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
<b>E</b>	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibile a quelli definiti per le categorie C e D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

*Tabella n° 14 – Definizione dei profili stratigrafici*

I terreni del sito appartengono alla Categoria **C**.



## PROVA SISMICA HVSR

Il certificato dell'indagine sismica HVSR eseguita è riportato in appendice 2.

### Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5H$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5H$	
$\exists f^- \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Non superato
$\exists f^+ \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{picco} > [A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Non superato
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

Tabella n° 15 - Esiti delle verifiche SESAME

### Sismostratigrafia

La stratigrafia sismica della prova HVSR è riportata nella seguente tabella:

Strato	Profondità (m)	Vs (m/s)	Spessori (m)
<b>1</b>	9.00	120.00	9.00
<b>2</b>	56.00	235.00	47.00
<b>3</b>	176.00	459.05	120.00
<b>4</b>	BEDROCK	800.00	-

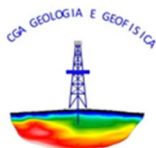
Tabella n° 16 – Dati della sismostratigrafia

### Frequenza caratteristica di sito $f_0$

Frequenza $f_0$ [Hz]
<b>0.74424</b>

Tabella n° 17 – Frequenza caratteristica di sito  $f_0$





#### Ampiezza del picco H/V

Ampiezza del picco [H/V]
2.8

Tabella n° 18 – Ampiezza del picco H/V

#### Profondità bedrock sismico

Profondità del bedrock [m]
176.00

Tabella n° 19 – Profondità del bed rock sismico

### C) CARATTERIZZAZIONE GEOFISICA

La caratterizzazione geofisica è stata effettuata sulla base della velocità delle onde S nei terreni, determinata con l'indagine sismica MASW integrata con la prova HVSr.

Sulla base dei dati geofisici elaborati con le metodologie esposte nei paragrafi precedenti è stato possibile individuare le seguenti unità geofisiche:

Unità geofisica	Profondità letto [m]	$V_s$ [m/s]
Unità 1	2.32	$V_s \leq 180$
Unità 2	33.21	$V_s > 180$

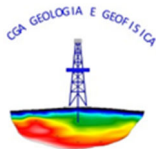
Tabella n° 20 - Unità geofisiche

### D) CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA E IDROGEOLOGICA DEL SITO

L'area di indagine, ubicata all'interno dell'Unità di Paesaggio n° 8 – Pianura bolognese, modenese e reggiana – del Piano Territoriale Paesistico Regionale ed all'interno dell'Unità di Paesaggio n° 5 – Pianura della conurbazione bolognese - del Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale di Bologna, si trova in zona di bassa pianura, ad una quota di 38.00 m sul livello del mare.

L'elemento morfologico principale è la presenza del dosso fluviale del paleo Reno, circa coincidente con l'asse attuale del canale Navile, dal cui alveo l'area d'indagine dista circa 600 m in linea d'aria in destra idrografica.

Coerentemente con l'assetto morfologico, le prove penetrometriche eseguite hanno evidenziato la prevalenza di litotipi limo-sabbiosi e limo-argillosi nei primi 15 metri (CPTe 1, 2, 3), con la presenza di livelli centimetrici di argille organiche e torbe, seguite in profondità da alternanze da



prevalenti livelli a geometria lenticolare di ghiaie a matrice da sabbiosa a limosa con alternanze decimetriche a metriche di sabbie limose, limi argillosi ed argille limose.

A fine prova nei fori penetrometrici è stato misurato il livello di falda a profondità di m 10.00 dal piano di campagna.

La falda, principalmente associata ai livelli limoso-sabbiosi, può avere carattere temporaneo ed è direttamente legata alle precipitazioni atmosferiche, con variazioni anche significative in corrispondenza di particolari condizioni meteorologiche.

In considerazione della profondità della falda (10 m dal piano di campagna) non sono state condotte le verifiche HYD ed UPL, in quanto si può escludere l'interferenza della falda con il piano di fondazione.

Il modello geologico, riportato graficamente in appendice 2, è sintetizzato nella seguente tabella:

Unità geologiche	Litologia	Comportamento
Unità 1	Limi da sabbiosi ad argillosi fortemente essiccati (O.C.)	prevalentemente coesivo
Unità 2a	Argille con rari limi sovraconsolidate (O.C.)	prevalentemente coesivo
Unità 2b	Argille con rari limi normal consolidate (N.C.)	prevalentemente coesivo
Unità 3	Sabbie con limi e sabbie con ghiaie	prevalentemente non coesivo

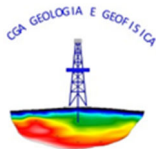
Tabella n° 21 - Unità geologiche

## E) VERIFICA A LIQUEFAZIONE

Con riferimento all'articolo 7.11.3.4.1 delle NTC 2018, la verifica della stabilità nei confronti della liquefazione deve essere condotta per i "terreni saturi prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate. Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione".

Come prescritto dall'articolo 7.11.3.4.2 delle NTC 2018, nel caso siano presenti terreni saturi prevalentemente sabbiosi, la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;



3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1N} > 180$  dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $q_{c1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa, dove:

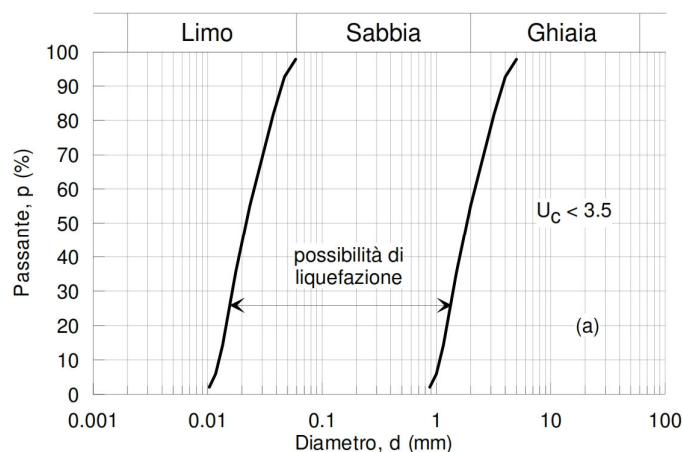
$$Q_{c1N} = C_Q \left( \frac{q_c}{P_a} \right) \text{ con:}$$

$$C_Q = \left( \frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^{0.5} \text{ fattore di normalizzazione;}$$

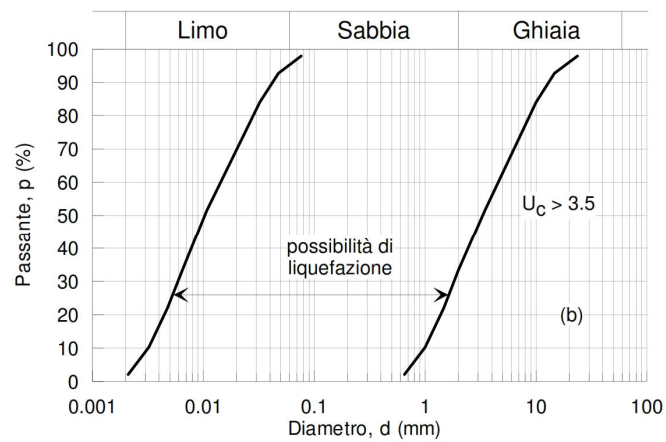
$P_a$  pressione atmosferica;

$q_c$  resistenza alla punta del penetrometro statico.

4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nelle seguenti figure:

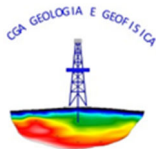


Zona di liquefacibilità per curva granulometrica con terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3.5$



*Zona di liquefacibilità per curva granulometrica con terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3.5$*

In considerazione dell'assenza di terreni in falda potenzialmente liquefacibili, non si è proceduto alla verifica del potenziale di liquefazione.



## ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE

È stata eseguita l'analisi della Risposta Sismica Locale nella condizione SLV (Stato Limite di salvaguardia della Vita) in funzione dei dati stratigrafici e sismico stratigrafici ottenuti dalla prova MASW ad uno shot e dalla registrazione HVSR precedentemente descritte.

In particolare la prova MASW è stata utilizzata per determinare la sismostratigrafia di superficie del sito e la prova HVSR per procedere ad una stima della profondità del bedrock rigido ( $v_s > 800$  m/s).

L'analisi è stata condotta secondo quanto previsto Delibera Giunta regionale n. 2193 del 21 dicembre 2015 della Regione Emilia-Romagna che definisce l'aggiornamento degli "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica", di cui alla deliberazione dell'assemblea legislativa 2 maggio 2007, n. 112.

L'analisi ha seguito il seguente sviluppo:

- Definizione di  $V_n$ ,  $C_u$ , Stati Limite ed ubicazione del sito;
- Determinazione dell'accelerazione massima di riferimento e dei parametri indipendenti, tramite il software SPETTRI NTC ver.1.0.3 al bedrock (per un terreno di tipo A);
- Elaborazione della sismostratigrafia utilizzata nell'analisi (prova MASW + HVSR);
- Definizione della profondità del bedrock sismico (prova HVSR);
- Calcolo degli accelerogrammi di progetto (al suolo ed al bedrock), sulla base degli accelerogrammi di input previsti dalla Delibera Giunta regionale n. 2193 del 21 dicembre 2015;
- Calcolo delle PGA (Peak Ground Acceleration) e degli spettri di risposta elastici e dell'amplificazione locale nel caso SLV.

### BASE DATI DI PROGETTO (SPETTRI NTC VER. 1.0.3)

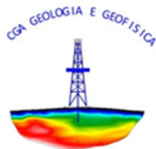
La base dati del progetto S1 – INGV è stata utilizzata per la determinazione dei seguenti parametri:

$a_g$  (accelerazione massima attesa al bedrock di riferimento rigido);

$F_0$  (valore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale);

$T_c^*$  (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale).

I dati sono riferiti ad un sito identificato dalle seguenti coordinate geografiche:



	WGS 84	ED 50
Latitudine	44.5270042	44.5279427
Longitudine	11.3473244	11.3483181

Tabella n° 22- Tabella delle coordinate geografiche del sito

Di seguito si la tabella riassuntiva dei dati:

Stati limite	$T_r$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLO	45	0.062	2.488	0.269
SLD	75	0.077	2.481	0.279
SLV	712	0.192	2.430	0.304
SLC	1462	0.246	2.435	0.309

Tabella n° 23- Parametri in funzione dei tempi di ritorno

## PROCEDURA DI CALCOLO

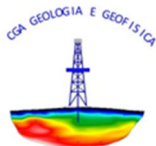
La procedura di calcolo utilizzata per la valutazione della funzione di trasferimento presuppone come base di partenza uno o più accelerogrammi, od uno spettro di risposta in accelerazione, e la conoscenza della stratigrafia del sito attraverso i seguenti parametri geotecnici per ogni strato:

- peso per unità di volume;
- velocità di propagazione delle onde di taglio;
- coefficiente di spinta laterale;
- modulo di taglio iniziale (opzionale);
- spessore;
- indice di plasticità.

La non linearità del calcolo è introdotta dalla dipendenza del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso dalla deformazione.

Schematicamente la procedura è riassumibile nel seguente modo:

1. Valutazione dello spettro di Fourier dell'accelerogramma (omessa nel caso si debba analizzare uno spettro);
2. Ricerca di un errore relativo piccolo seguendo la procedura di:
  - a. Stima della funzione di trasferimento;
  - b. Valutazione della deformazione indotta in ciascuno strato;
  - c. Correzione del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso per ogni strato;



Le operazioni 2.1, 2.2 e 2.3 sono ripetute fino a quando la differenza di deformazione tra un'iterazione e la precedente non rimane al di sotto di una soglia ritenuta accettabile;

3. Trasformazione inversa di Fourier dello spettro precedentemente calcolato ed opportunamente pesato per mezzo della funzione di trasferimento calcolata.

### **SLV: dati di input**

#### **Accelerogrammi di input**

Gli accelerogrammi di input sono quelli previsti dalla Delibera Giunta regionale n. 2193 del 21 dicembre 2015 della Regione Emilia-Romagna, di riportati in forma grafica in appendice 3.

#### **Modello sismostratigrafico**

n.	Descrizione	Profondità letto (m)	Spessore (m)	Curve di degrado	Gmax [MPa]	Peso unità vol. [kN/m³]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1	Argille e limi	9	9	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	27.45	18.7	120	40
2	Sabbie e rare ghiaie	56	47	Seed et al. (1986) Sand - Average	100.77	17.9	235	581.2
3	Alternanze di sabbie, ghiaie e argille	176	120	EPRI Sand (1993) 76,50-152,40 metri	408.05	19	459	1891.1
4	Bedrock	oo	--	EPRI Rock (1993) 152,70-304,80 metri	1435.27	22	800	2699.9

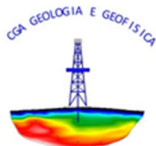
*Tabella n° 24 – Modello sismostratigrafico per l'analisi di Risposta Sismica Locale*

#### **Curve di decadimento**

Le curve di decadimento per i terreni considerati sono riportati di seguito in forma tabellare:

#### **Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)**

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1	0.0001	0.24
0.0003	1	0.0003	0.42
0.001	1	0.001	0.8
0.003	0.986	0.003	1.4
0.01	0.966	0.01	2.8
0.03	0.931	0.03	5.1
0.1	0.9	0.1	9.8
0.3	0.85	0.3	15.5
1	0.779	1	21
3	0.72	3	25
10	0.671	10	28



### Seed et al. (1986) Sand - Average

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1	0.0001	0.5
0.0002	0.998	0.0002	0.8
0.0005	0.98	0.0005	1.3
0.001	0.949	0.001	1.9
0.002	0.917	0.002	2.5
0.005	0.832	0.005	3.7
0.01	0.729	0.01	5.3
0.02	0.6	0.02	7.7
0.05	0.421	0.05	12
0.1	0.291	0.1	15.3
0.2	0.188	0.2	18.7
0.5	0.098	0.5	22.6
1	0.06	1	24.4
2	0.036	2	25.9
5	0.016	5	27.3

### EPRI Sand (1993) 76,50-152,40 metri

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1	0.0001	0.7
0.0003	1	0.0003	0.8
0.001	1	0.001	0.8
0.003	0.988	0.003	1.12
0.01	0.93	0.01	1.8
0.03	0.791	0.03	3.53
0.1	0.57	0.1	7.1
0.3	0.321	0.3	12.78
1	0.15	1	19.3
3	0.09	3	23





### EPRI Rock (1993) 152,70-304,80 metri

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1	0.0001	3.13
0.0003	1	0.0003	3.27
0.001	1	0.001	3.75
0.003	0.988	0.003	5.25
0.01	0.93	0.01	8.25
0.03	0.791	0.03	13.75
0.1	0.57	0.1	19.5
0.3	0.321	0.3	30
1	0.15	1	30
3	0.09	3	30

### Risultati del calcolo SLV - Output

Numero di iterazioni 50  
 Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5  
 Tipo di modulo elastico Shake  
 Massimo errore percentuale di convergenza 1.19 E-05

### Fattori di amplificazione ICMS 2018

Tai	0.150 [s]
Tvi	0.700 [s]
Tao	0.280 [s]
Tvo	1.200 [s]
Sami	4.252 [m/s <sup>2</sup> ]
Svmi	0.227 [m/s]
Samo	4.086 [m/s <sup>2</sup> ]
Svmo	0.287 [m/s]
<b>Fa</b>	<b>0.961 [-]</b>
<b>Fv</b>	<b>1.267 [-]</b>
TB	0.147 [s]
TC	0.442 [s]
TD	2.209 [s]
SA(0)	0.152 [g]
SA(TB)	0.417 [g]

### Spettri di risposta elastici

Di seguito si riportano in forma tabellare lo spettro medio di risposta elastico e quello normalizzato, rappresentati graficamente in appendice 3:



### Spettro medio di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0	0.1702	0.26	0.4722	0.52	0.3454	0.98	0.155	2.25	0.0353
0.01	0.1702	0.27	0.4925	0.53	0.3436	1	0.1556	2.3	0.0341
0.02	0.171	0.28	0.4952	0.54	0.3308	1.05	0.1545	2.35	0.0331
0.03	0.1722	0.29	0.4783	0.55	0.3104	1.1	0.1606	2.4	0.0315
0.04	0.174	0.3	0.4676	0.56	0.3097	1.15	0.1594	2.5	0.0274
0.05	0.176	0.31	0.4579	0.57	0.3053	1.2	0.1493	2.6	0.0238
0.06	0.179	0.32	0.4574	0.58	0.2982	1.25	0.1319	2.7	0.0217
0.07	0.1802	0.33	0.4473	0.6	0.2999	1.3	0.1121	2.8	0.0204
0.08	0.1899	0.34	0.4271	0.62	0.2977	1.35	0.1111	2.9	0.0196
0.09	0.1997	0.35	0.4247	0.64	0.2993	1.4	0.1101	3	0.0198
0.1	0.2131	0.36	0.4318	0.66	0.2982	1.45	0.1065	3.1	0.0189
0.11	0.2255	0.37	0.4428	0.68	0.2923	1.5	0.0978	3.2	0.0172
0.12	0.2436	0.38	0.4551	0.7	0.2807	1.55	0.0877	3.3	0.0161
0.13	0.2402	0.39	0.4494	0.72	0.2633	1.6	0.0741	3.4	0.015
0.14	0.2614	0.4	0.4297	0.74	0.243	1.65	0.0616	3.5	0.0138
0.15	0.2671	0.41	0.425	0.76	0.2219	1.7	0.0524	3.6	0.0126
0.16	0.277	0.42	0.43	0.78	0.2132	1.75	0.0531	3.7	0.0115
0.17	0.2841	0.43	0.4266	0.8	0.2045	1.8	0.0533	3.8	0.0105
0.18	0.3113	0.44	0.4138	0.82	0.194	1.85	0.0519	3.9	0.0096
0.19	0.3483	0.45	0.394	0.84	0.1831	1.9	0.0512	4	0.0088
0.2	0.3481	0.46	0.3754	0.86	0.1726	1.95	0.0497		
0.21	0.3817	0.47	0.3625	0.88	0.1669	2	0.0472		
0.22	0.4281	0.48	0.3525	0.9	0.1676	2.05	0.0444		
0.23	0.472	0.49	0.3455	0.92	0.1647	2.1	0.0415		
0.24	0.4736	0.5	0.3394	0.94	0.1589	2.15	0.0386		
0.25	0.4736	0.51	0.3388	0.96	0.1532	2.2	0.0376		

Tabella n° 25 – Spettro medio di risposta elastico

### Spettro normalizzato di risposta elastico

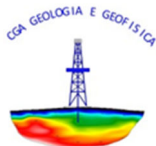
Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0	0.1523	0.26	0.4166	0.52	0.3537	0.98	0.1877	2.25	0.0818
0.01	0.1702	0.27	0.4166	0.53	0.3471	1	0.1839	2.3	0.08
0.02	0.1882	0.28	0.4166	0.54	0.3406	1.05	0.1752	2.35	0.0783
0.03	0.2061	0.29	0.4166	0.55	0.3344	1.1	0.1672	2.4	0.0766
0.04	0.2241	0.3	0.4166	0.56	0.3285	1.15	0.16	2.5	0.0736
0.05	0.2421	0.31	0.4166	0.57	0.3227	1.2	0.1533	2.6	0.0707
0.06	0.26	0.32	0.4166	0.58	0.3171	1.25	0.1472	2.7	0.0681
0.07	0.278	0.33	0.4166	0.6	0.3066	1.3	0.1415	2.8	0.0657
0.08	0.2959	0.34	0.4166	0.62	0.2967	1.35	0.1363	2.9	0.0634
0.09	0.3139	0.35	0.4166	0.64	0.2874	1.4	0.1314	3	0.0613
0.1	0.3318	0.36	0.4166	0.66	0.2787	1.45	0.1269	3.1	0.0593
0.11	0.3498	0.37	0.4166	0.68	0.2705	1.5	0.1226	3.2	0.0575
0.12	0.3677	0.38	0.4166	0.7	0.2628	1.55	0.1187	3.3	0.0557
0.13	0.3857	0.39	0.4166	0.72	0.2555	1.6	0.115	3.4	0.0541
0.14	0.4036	0.4	0.4166	0.74	0.2486	1.65	0.1115	3.5	0.0526
0.15	0.4166	0.41	0.4166	0.76	0.242	1.7	0.1082	3.6	0.0511
0.16	0.4166	0.42	0.4166	0.78	0.2358	1.75	0.1051	3.7	0.0497
0.17	0.4166	0.43	0.4166	0.8	0.2299	1.8	0.1022	3.8	0.0484
0.18	0.4166	0.44	0.4166	0.82	0.2243	1.85	0.0994	3.9	0.0472
0.19	0.4166	0.45	0.4088	0.84	0.219	1.9	0.0968	4	0.046
0.2	0.4166	0.46	0.3999	0.86	0.2139	1.95	0.0943		
0.21	0.4166	0.47	0.3914	0.88	0.209	2	0.092		
0.22	0.4166	0.48	0.3832	0.9	0.2044	2.05	0.0897		
0.23	0.4166	0.49	0.3754	0.92	0.1999	2.1	0.0876		
0.24	0.4166	0.5	0.3679	0.94	0.1957	2.15	0.0856		
0.25	0.4166	0.51	0.3607	0.96	0.1916	2.2	0.0836		

Tabella n° 26 – Spettro normalizzato di risposta elastico

### Parametri spettro normalizzato

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.152	2.735325	--	0.147	0.442	2.209	0.152	0.417	0.793

Tabella n° 27 – Parametri dello spettro normalizzato



### Confronto spettro normativa

	Operatività SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvaguardia vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A	Operatività SLO Cat. C	Danno SLD Cat. C	Salvaguardia vita SLV Cat. C	Prev. collasso SLC Cat. C
Tr [anni]	45	75	712	1462	45	75	712	1462
ag [g]	0.062	0.077	0.192	0.246	0.062	0.077	0.192	0.246
Fo	2.488	2.481	2.43	2.435	2.488	2.481	2.43	2.435
Tc* [s]	0.269	0.279	0.304	0.309	0.269	0.279	0.304	0.309
Ss	1	1	1	1	1.5	1.5	1.42	1.34
St	1	1	1	1	1	1	1	1
Cc	1	1	1	1	1.62	1.6	1.56	1.55
TB [s]	0.09	0.093	0.101	0.103	0.145	0.149	0.158	0.159
TC [s]	0.269	0.279	0.304	0.309	0.436	0.446	0.473	0.478
TD [s]	1.848	1.908	2.368	2.584	1.848	1.908	2.368	2.584
Se(0) [g]	0.062	0.077	0.192	0.246	0.093	0.116	0.273	0.33
Se(TB) [g]	0.154	0.191	0.467	0.599	0.231	0.287	0.663	0.803

Tabella n° 28 - Confronto Spettro normativa

### Profilo $a_{max}$

La variazione della PGA nei vari strati considerati, per gli accelerogrammi di input (con valutazione del valore medio e della deviazione standard) sono di seguito riportati sia in forma numerica che in forma grafica:

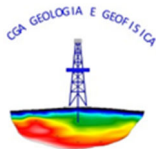
Profondità	0 [m]	9 [m]	56 [m]	176 [m]
000046xa [g]	0.175	0.119	0.160	0.192
000126xa [g]	0.188	0.100	0.172	0.192
000354xa [g]	0.148	0.073	0.149	0.192
media [g]	0.170	0.097	0.160	0.192
Dev. St. [g]	0.020	0.023	0.011	0.000

Tabella n° 29 - Variazione della PGA in profondità

### Fattori di amplificazione su intensità spettrale

Periodo minimo [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
0.147	0.442	0.054	0.054	0.333	1.012

Tabella n° 30 - Fattori di amplificazione su intensità spettrale



## MODELLO GEOTECNICO

La parametrizzazione geotecnica è stata effettuata sulla base delle seguenti prove:

- Prove penetrometriche;
- Prove di laboratorio geotecnico (prova triassiale consolidata isotropicamente non drenata);
- Prova sismica di tipo MASW.

### RISULTATI DELLE INDAGINI - PARAMETRI NON AGGREGATI

#### Prova penetrometrica statica a punta elettrica CPTe

I parametri non aggregati relativi alla campagna di indagine penetrometrica sono rappresentati in forma grafica in appendice 2.

#### Laboratorio geotecnico

Di seguito si riportano in forma tabellare i parametri geotecnici determinati in laboratorio:

Campione	da [m]	a [m]	Tensioni efficaci		Tensioni totali	
			c' [kPa]	φ' [°]	c <sub>u</sub> [kPa]	φ <sub>u</sub> [°]
BH1S1	4.40	4.90	12.91	28.47	57.62	17.70
BH1S2	8.00	8.50	15.99	28.92	40.10	16.22

Dove:

- c' Coesione del terreno in tensioni efficaci espressa in [kPa]
- φ' Angolo di attrito interno del terreno in tensioni efficaci espresso in gradi [°]
- c<sub>u</sub> Coesione del terreno in tensioni totali espressa in [kPa]
- φ<sub>u</sub> Angolo di attrito interno del terreno in tensioni totali espresso in gradi [°]

Tabella n° 31 - Parametri geotecnici determinati in laboratorio

#### Parametri geotecnici efficaci

Per la caratterizzazione geotecnica in termini di tensioni efficaci, oltre al dato di laboratorio, si è utilizzato il dato derivato dalla prova sismica MASW.

Partendo dalla correlazione  $q_c$  e  $V_s$  proposta da Prakoso (2010):

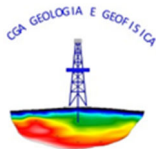
$$q_c = \left( \frac{V_s}{111.21} \right)^{1/0.37}$$

sviluppate per inversione, in modo da calcolare  $q_c$  in funzione di  $V_s$ , tramite le seguenti equazioni logaritmiche (valide nell'intervallo  $V_s$  120 - 300 m/s):

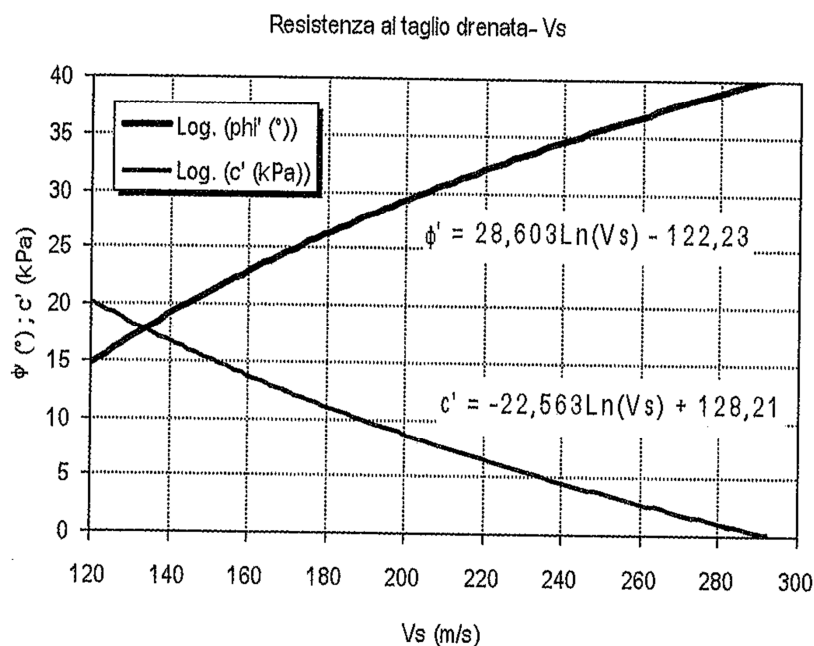
$$\varphi' = 28.603 * \ln(V_s) + 122.23$$

$$c' = 128.21 - 22.563 * \ln(V_s)$$

è possibile correlare la coesione drenata  $c'$  (kPa) e l'angolo d'attrito efficace  $\phi'$  (°) con i valori di  $V_s$  misurati.



Di seguito si riporta l'abaco di correlazione tra  $c'$  e  $\phi'$  con  $V_s$



#### DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI CARATTERISTICI

I parametri geotecnici disaggregati vengono poi trattati al fine di ottenere valori caratteristici per ogni unità geotecnica individuata.

Per valore caratteristico (che sarà indicato con la lettera  $k$ ) si intende la soglia al di sotto della quale si colloca non più del 5% dei valori desumibili da una serie teoricamente illimitata di dati.

I valori caratteristici vengono determinati utilizzando la seguente relazione:

$$a'_k = a'_m(1 + XVa)$$

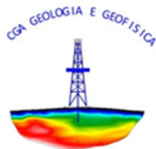
Dove:

$a'_k$  = valore caratteristico di "a" con "a" parametro non aggregato trattato;

$a'_m$  = valore medio di "a";

$Va$  = coefficiente di variazione di "a";

$X$  = parametro dipendente dalla legge di distribuzione della probabilità  
e della probabilità di non superamento (pari a -1.645 Eurocode 7).



Unità geotecniche Parametri K	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c_u$ [kPa]	$\phi_u$ [°]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]	$E_{ed}$ [kPa]
Unità 1	17.29	-	38.94	-	-	28570
Unità 2a	18.66	57.62	17.70	12.91	28.47	10300
Unità 2b	19.11	40.10	16.22	15.99	28.92	10300
Unità 3	17.87	-	-	-	>45	55240

Dove:

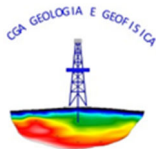
$\gamma$	Peso di volume del terreno espresso in [kN/m <sup>3</sup> ]
$c_u$	Coesione del terreno in tensioni totali espressa in
$\phi_u$	Angolo di attrito interno del terreno in tensioni totali su base penetrometrica espresso in gradi [°]
$c'$	Coesione del terreno in tensioni efficaci espressa
$\phi'$	Angolo di attrito interno del terreno in tensioni efficaci espresso in gradi [°]
$E_{ed}$	Modulo edometrico espresso in [kPa]

*Tabella n° 32 – tabella dei parametri geotecnici caratteristici.*

Dove:

$\gamma$ =	Peso di volume del terreno [kN/m <sup>3</sup> ]
$c_u$ =	Coesione del terreno in tensioni totali [kPa]
$\phi_u$ =	Angolo di attrito interno del terreno in tensioni totali su base penetrometrica [°]
$c'$ =	Coesione del terreno in tensioni efficaci espressa in [kPa]
$\phi'$ =	Angolo di attrito interno del terreno in tensioni efficaci [°]
$E_{ed}$ =	Modulo edometrico [kPa]

In appendice 4 sono rappresentate i diagrammi della storia tensionale dei terreni e le colonne geotecniche di ogni CPTe eseguita.



## SINTESI NON TECNICA

Sulla base dello studio effettuato è possibile affermare quanto segue:

- i terreni dell'area, caratterizzati da proprietà geotecniche da discrete a buone;
- il modello geologico è sintetizzabile nella seguente tabella:

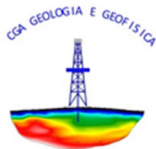
Unità geologiche	Litologia	Comportamento
Unità 1	Limi da sabbiosi ad argillosi fortemente essiccati (O.C.)	prevalentemente coesivo
Unità 2a	Argille con rari limi sovraconsolidate (O.C.)	prevalentemente coesivo
Unità 2b	Argille con rari limi normal consolidate (N.C.)	prevalentemente coesivo
Unità 3	Sabbie con limi e sabbie con ghiaie	prevalentemente non coesivo

- la superficie libera della falda è stata misurata nei fori penetrometrici al termine delle prove a profondità di m 10.00 dal piano di campagna. La falda, principalmente associata ai livelli limoso-sabbiosi, può avere carattere temporaneo ed è direttamente legata alle precipitazioni atmosferiche, con variazioni anche significative in corrispondenza di particolari condizioni meteorologiche;
- In considerazione della profondità della falda (10 m dal piano di campagna) non sono necessarie le verifiche HYD ed UPL;
- da un punto di vista sismico i terreni dell'area appartengono alla categoria di suolo di fondazione "C", con  $V_{seq}$  pari a (per piano di fondazione a profondità sul piano di campagna):

$V_{eq}$ [m/s]	220.64
----------------	--------

- con la prova sismica HVSR si è determinata la frequenza caratteristica di sito  $f_0$  e la profondità del bedrock sismico:

Frequenza $f_0$ [Hz]
0.74424



Profondità del bedrock B [m]
176.00

- il modello geotecnico è sintetizzabile nella seguente tabella (parametri caratteristici):

Unità geotecniche Parametri K	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c_u$ [kPa]	$\phi_u$ [°]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]	$E_{ed}$ [kPa]
Unità 1	17.29	-	38.94	-	-	28570
Unità 2a	18.66	57.62	17.70	12.91	28.47	10300
Unità 2b	19.11	40.10	16.22	15.99	28.92	10300
Unità 3	17.87	-	-	-	>45	55240

Dove:

$\gamma$	Peso di volume del terreno espresso in [kN/m <sup>3</sup> ]
$c_u$	Coesione del terreno in tensioni totali espressa in
$\phi_u$	Angolo di attrito interno del terreno in tensioni totali su base penetrometrica espresso in gradi [°]
$c'$	Coesione del terreno in tensioni efficaci espressa
$\phi'$	Angolo di attrito interno del terreno in tensioni efficaci espresso in gradi [°]
$E_{ed}$	Modulo edometrico espresso in [kPa]

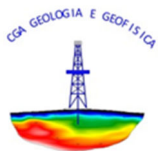
- la PGA massima al suolo, determinata con l'analisi sismica di III livello con il metodo Regione Emilia-Romagna, è sintetizzata nella seguente tabella:

Profondità	0 [m]	9 [m]	56 [m]	176 [m]
000046xa [g]	0.175	0.119	0.160	0.192
000126xa [g]	0.188	0.100	0.172	0.192
000354xa [g]	0.148	0.073	0.149	0.192
media [g]	0.170	0.097	0.160	0.192
Dev. St. [g]	0.020	0.023	0.011	0.000

- i fattori di amplificazione su intensità spettrale sono riportati nella seguente tabella:

Periodo minino [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
0.147	0.442	0.054	0.054	0.333	1.012



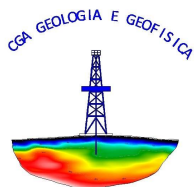


- in considerazione dell'assenza di terreni in falda potenzialmente liquefacibili, non si è proceduto alla verifica del potenziale di liquefazione.

San Giovanni in Persiceto, 25 febbraio 2020

I Geologi :





**Studio Tecnico Associato Consulenze di Geologia e Ambiente del Dott. Geol. F. Barbieri e del Dott. Geol. M. Ropa**  
Via E. Fermi n° 11/A - 40017 SAN GIOVANNI IN PERSICETO (BO) Tel. +39 051 - 6871113 Fax +39 051 6874328  
C.F. e Partita IVA 04112290376  
Email: cgastudio@cgstudio.eu

## APPENDICE 1

- Figure ed elaborati grafici

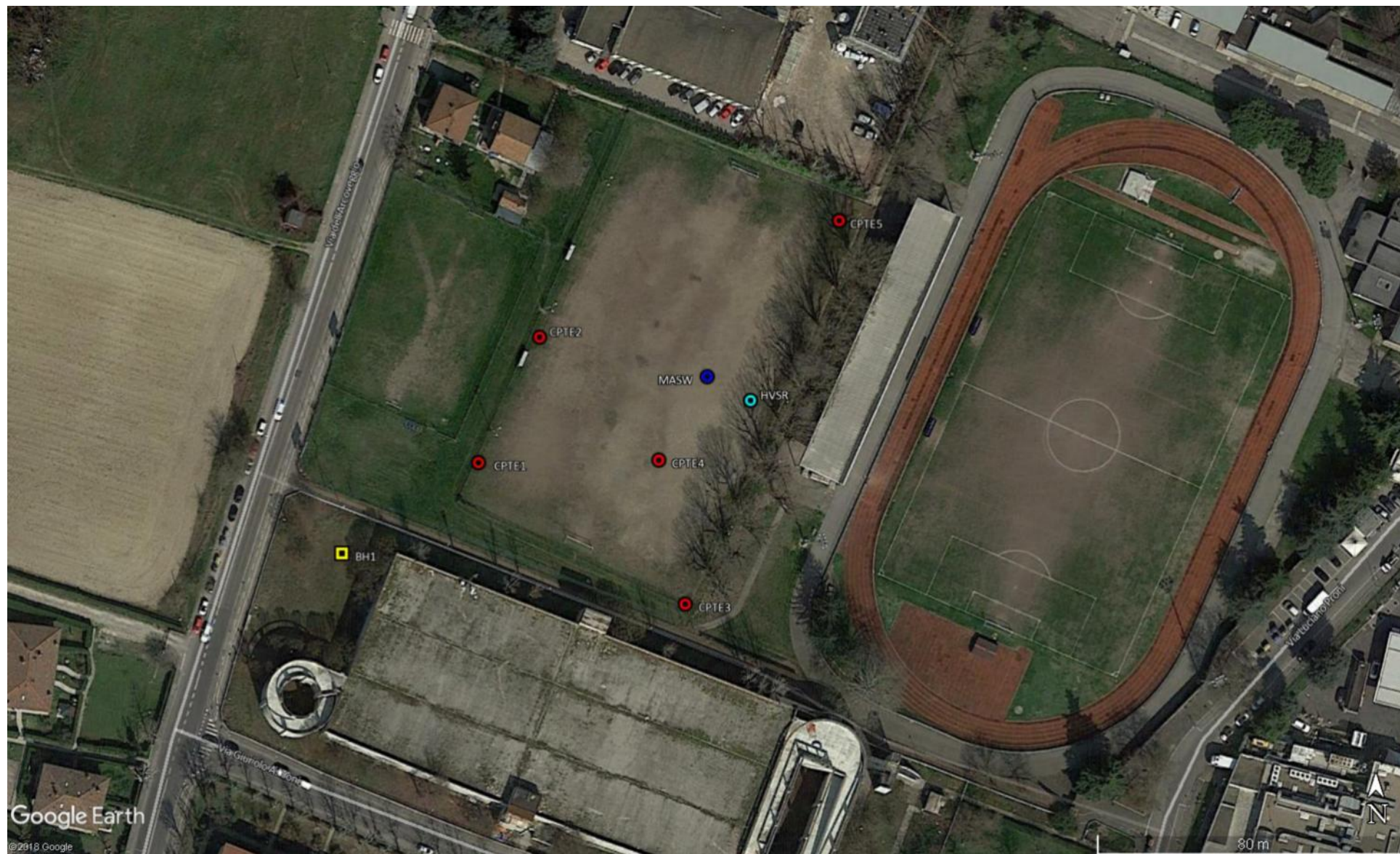


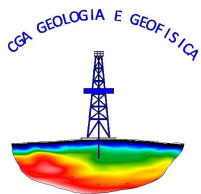
COMMITTENTE: Comune di Bologna

CANTIERE: Via dell'Arcoveggio - Bologna

CONSULENZA GEOLOGICA: Studio Tecnico Associato C.G.A.

#### UBICAZIONE PROVE





**Studio Tecnico Associato Consulenze di Geologia e Ambiente del Dott. Geol. F. Barbieri e del Dott. Geol. M. Ropa**  
Via E. Fermi n° 11/A - 40017 SAN GIOVANNI IN PERSICETO (BO) Tel. +39 051 - 6871113 Fax +39 051 6874328  
C.F. e Partita IVA 04112290376  
Email: cgastudio@cgstudio.eu

## APPENDICE 2

### - MODELLAZIONE GEOLOGICA

- Grafici interpretativi prove CPTe
- Stratigrafia sondaggio BH1 - Parcheggio ex Giuriolo
- Certificato indagine sismica MASW
- Certificato indagine sismica HVSR



PROGETTO: Nuova Palestra

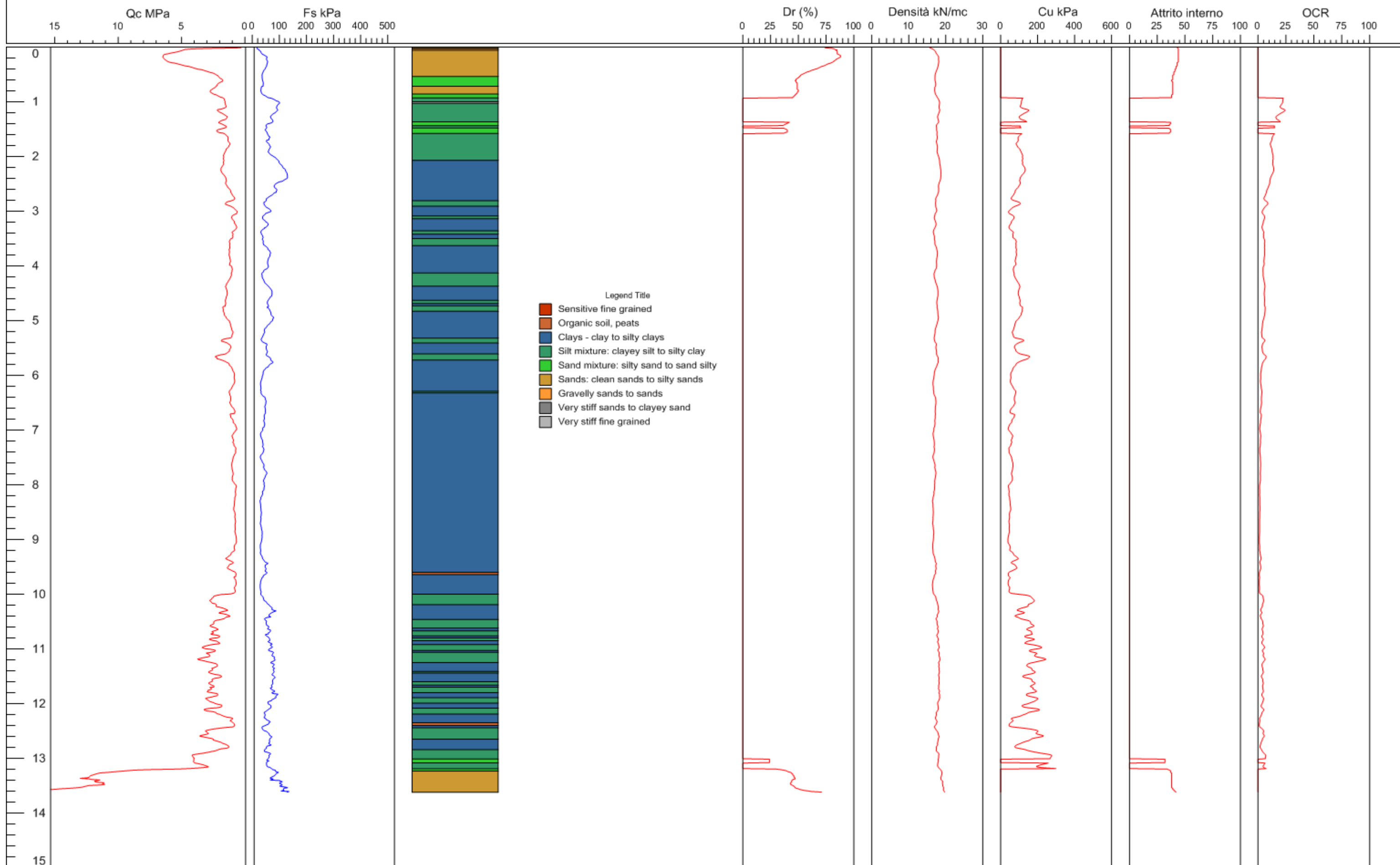
COMMITTENTE: Comune di Bologna

CONSULENZA GEOLOGICA: CGA

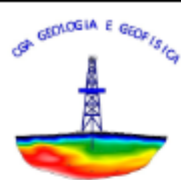
PROVA: Prova penetrometrica statica CPTE n° 1

PROFONDITA' FALDA: 10.00 m

DATA DI ESECUZIONE: 28 giugno 2019







PROGETTO: Nuova Palestra

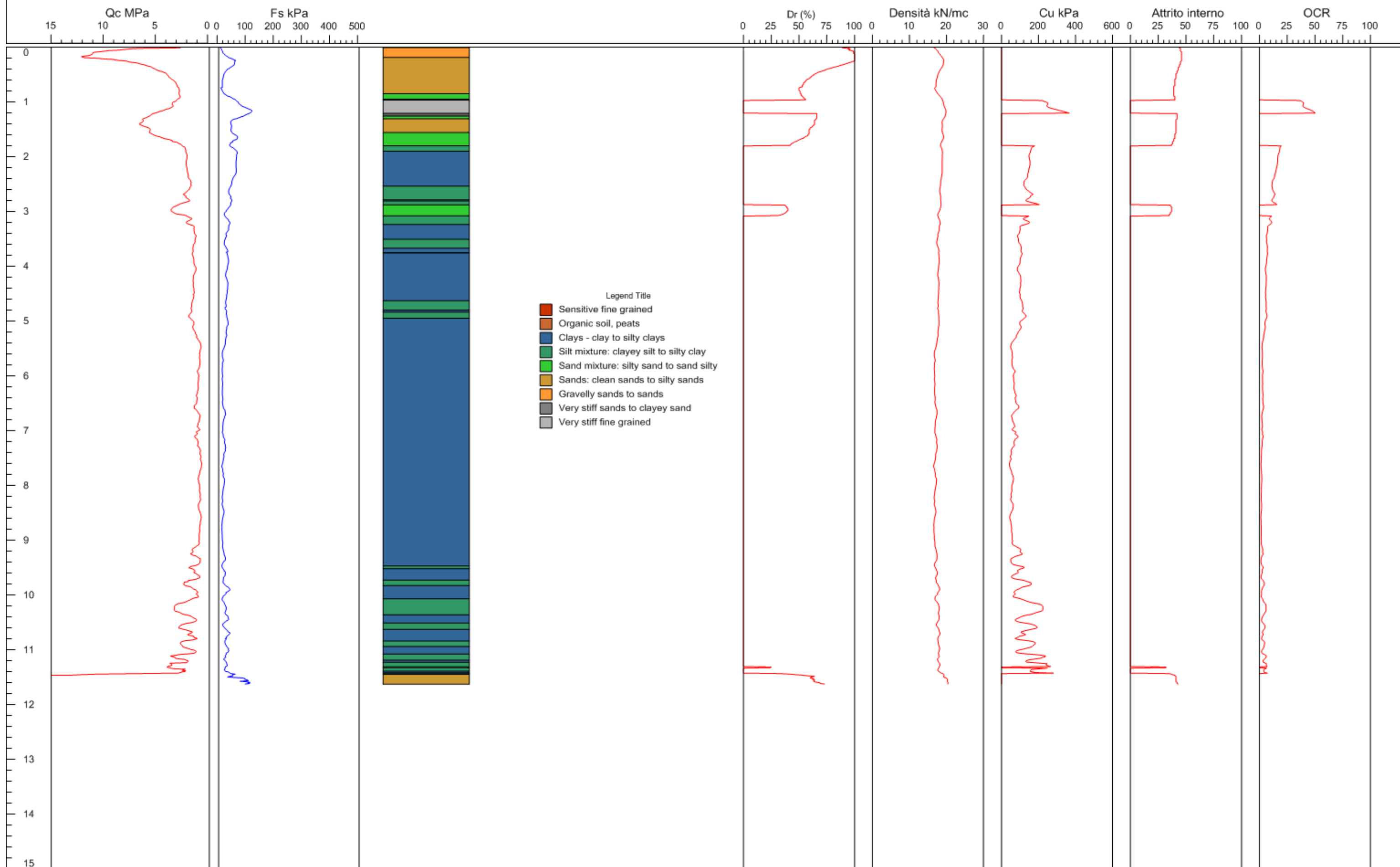
COMMITTENTE: Comune di Bologna

CONSULENZA GEOLOGICA: CGA

PROVA: Prova penetrometrica statica CPTe n° 2

PROFONDITA' FALDA: 10.00 m

DATA DI ESECUZIONE: 28 giugno 2019





PROGETTO: Nuova Palestra

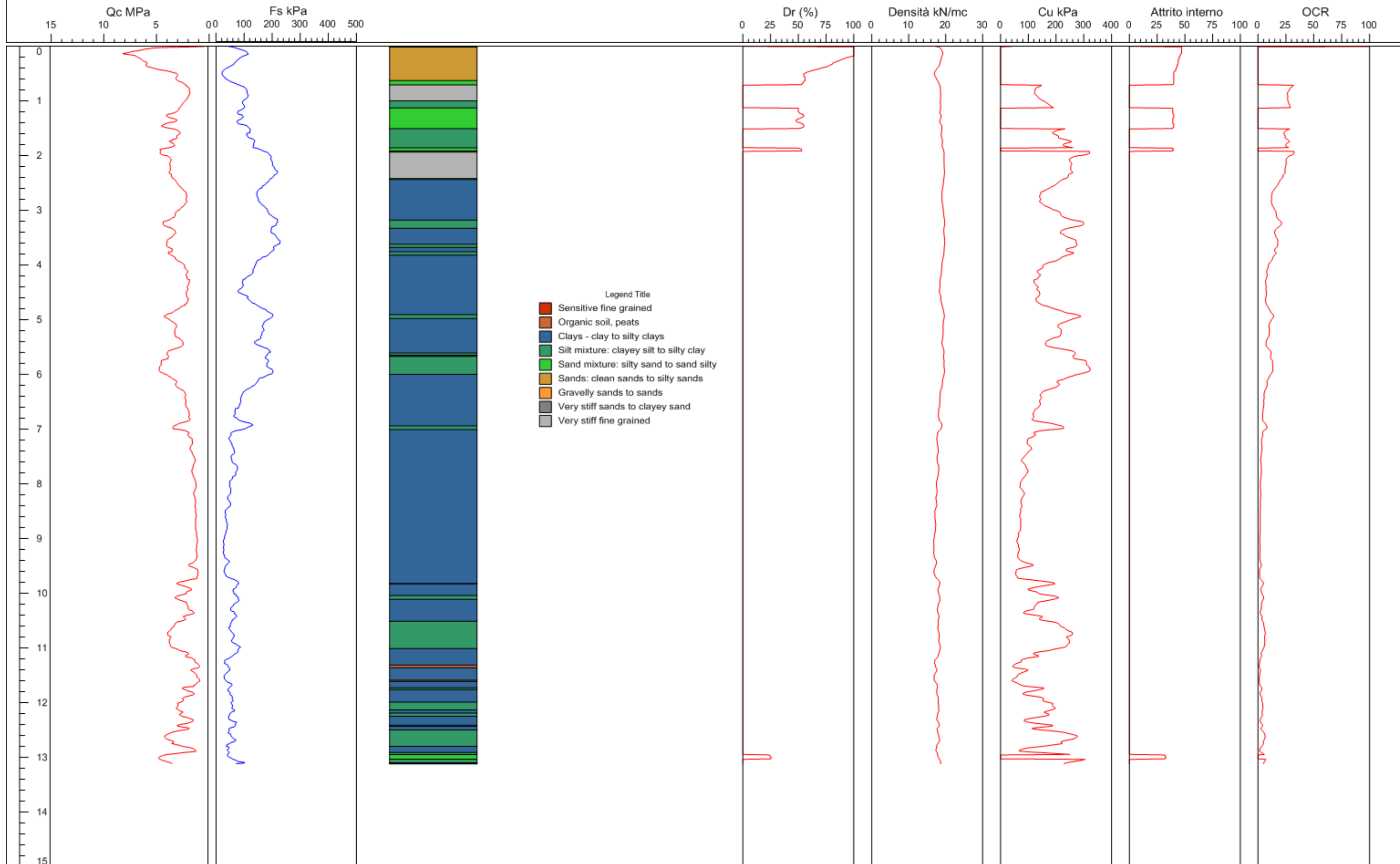
COMMITTENTE: Comune di Bologna

CONSULENZA GEOLOGICA: CGA

PROVA: Prova penetrometrica statica CPTE n° 3

PROFONDITA' FALDA: 10.00 m

DATA DI ESECUZIONE: 28 giugno 2019





PROGETTO: Nuova Palestra

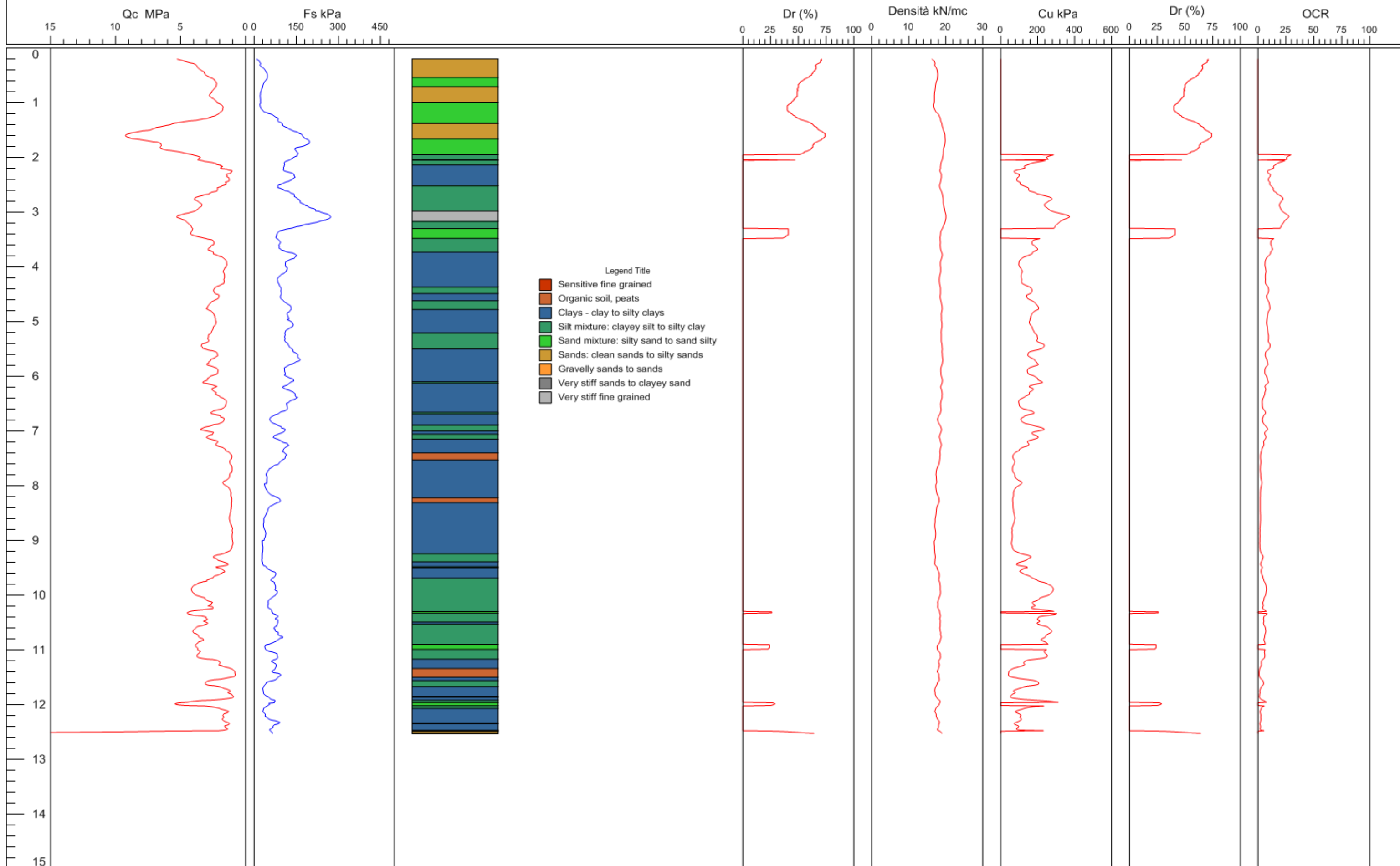
COMMITTENTE: Comune di Bologna

CONSULENZA GEOLOGICA: CGA

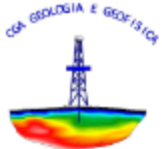
PROVA: Prova penetrometrica statica CPTE n° 4

PROFONDITA' FALDA: 10.00 m

DATA DI ESECUZIONE: 28 giugno 2019



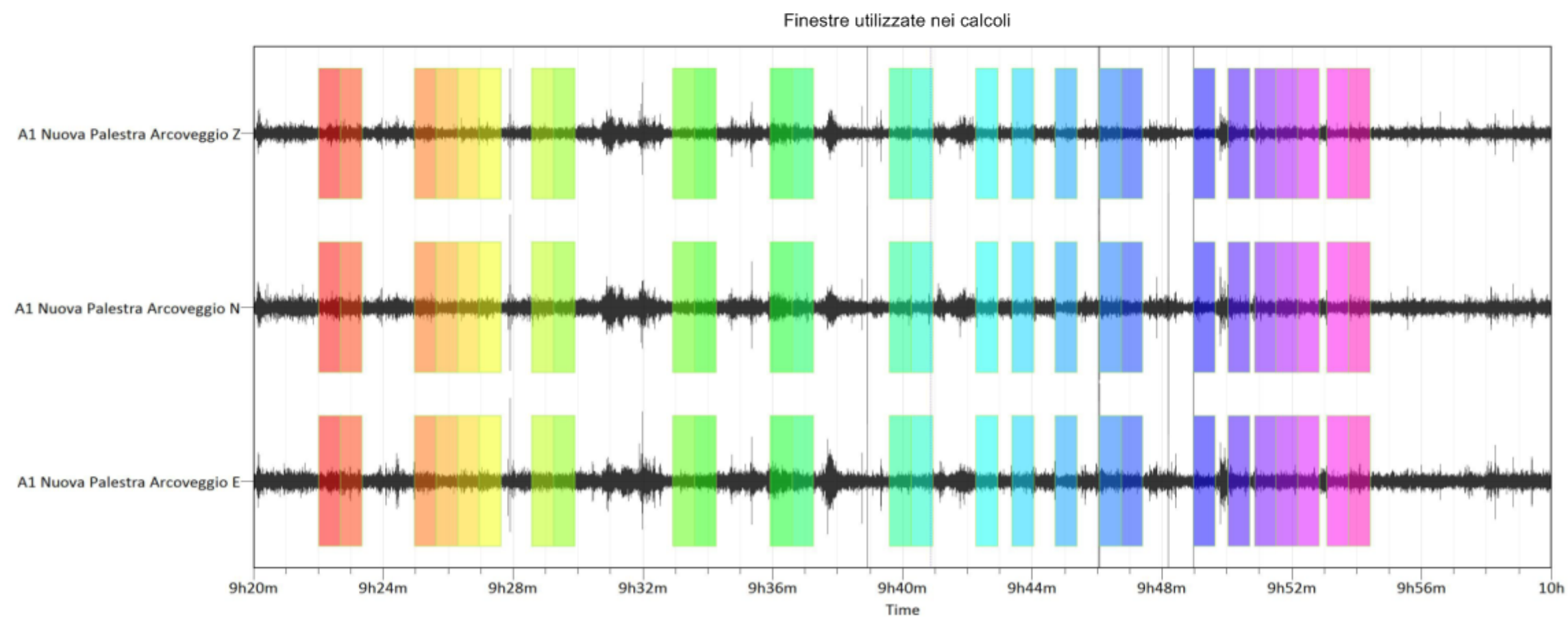
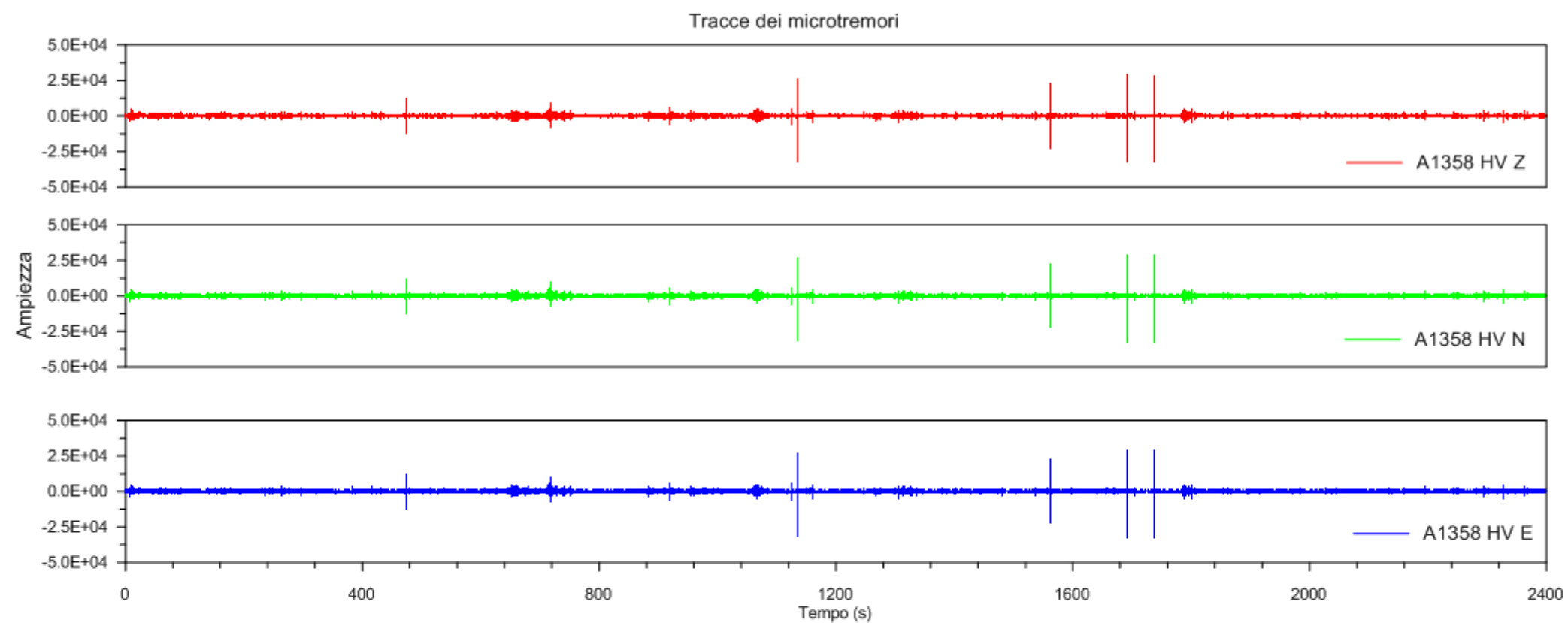




Committente: Comune di Bologna - Nuova Palestra Arcoveggio

Prova: HVSR A1 Località: Via Arcoveggio - Bologna Data: Friday, June 28, 2019

Segnale acquisito e "finestre" utilizzate nei calcoli





PROGETTO: Nuova Palestra

COMMITTENTE: Comune di Bologna

CONSULENZA GEOLOGICA: CGA

PROVA: Prova penetrometrica statica CPTe n° 5

PROFONDITA' FALDA: 10.00 m

DATA DI ESECUZIONE: 28 giugno 2019

Qc MPa

Fs kPa

Dr (%)

Densità kN/mc

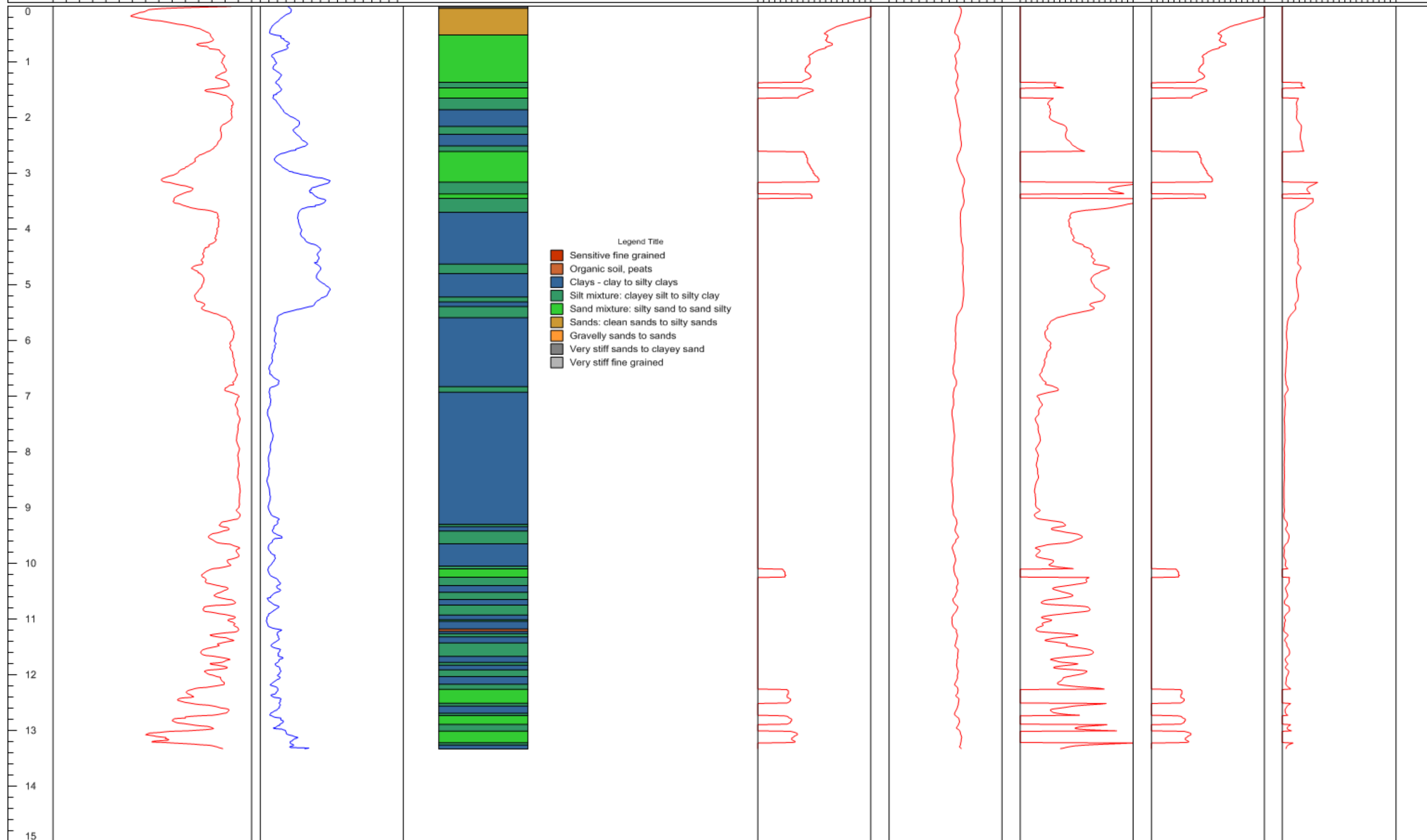
Cu kPa

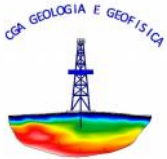
Dr (%)

OCR

15 10 5 0 0 150 300 450

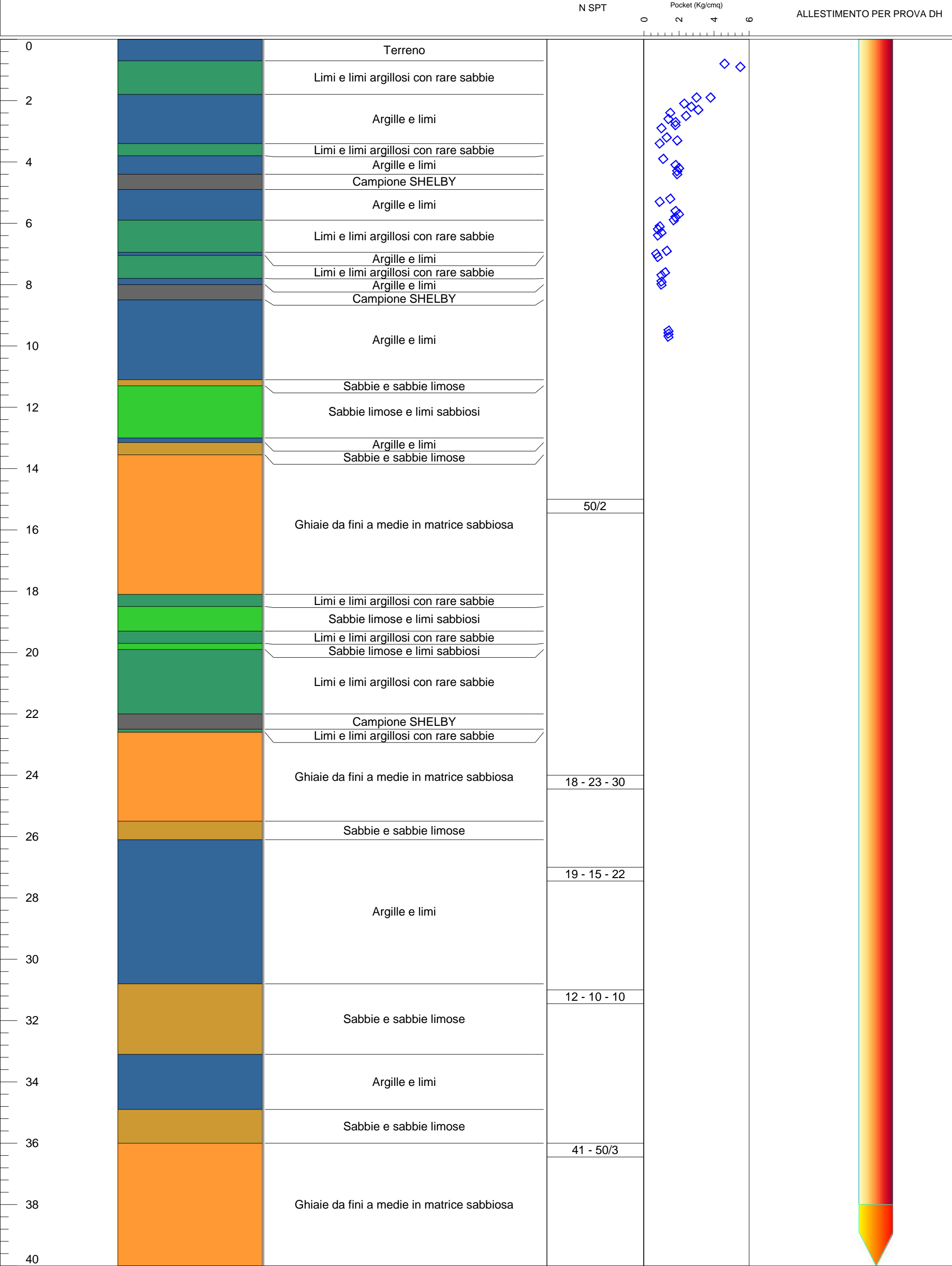
0 25 50 75 100 0 10 20 30 0 100 200 300 400 0 25 50 75 100 0 25 50 75 100





PROGETTO: Programma straordinario per la riqualificazione urbana      CANTIERE: Parcheggio Giuriolo - Bologna      COMMITTENTE: Comune di Bologna

PROVA:   Sondaggio a carotaggio continuo BH1





COMMITTENTE: Comune di Bologna

CANTIERE: Nuova palestra - Via Dell'Arcoveggio - Bologna

PROVA: MASW a 1 Shot

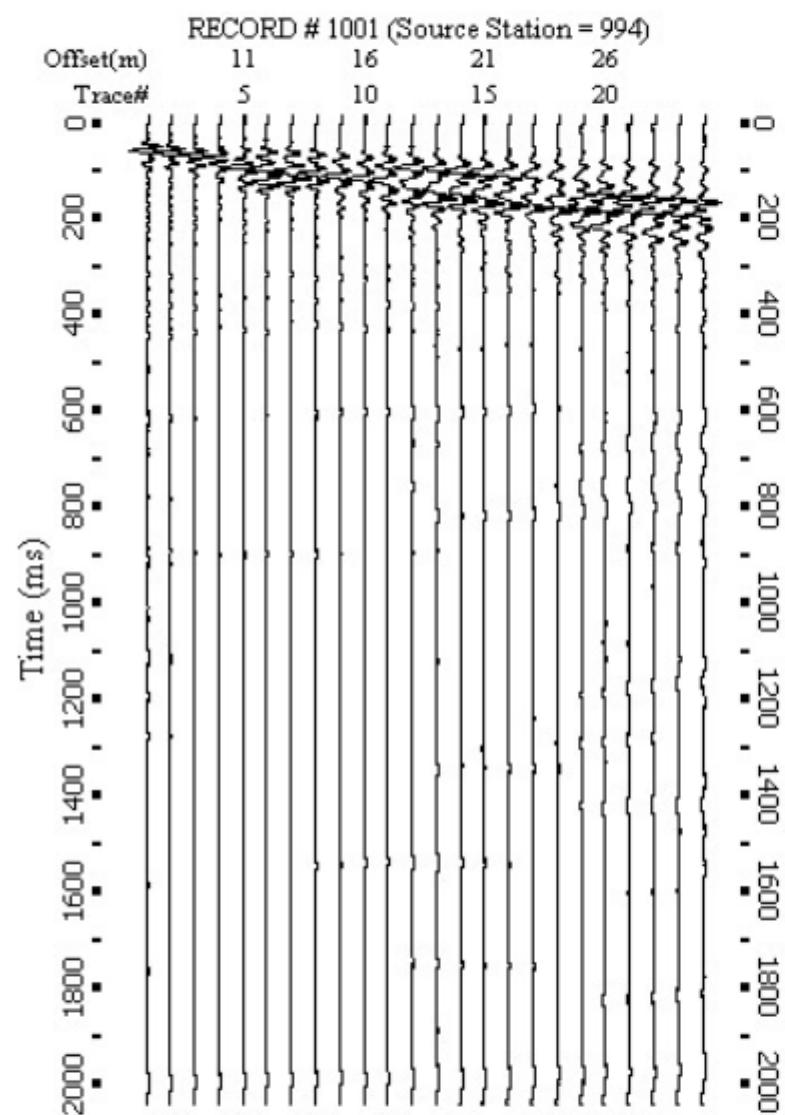
CONSULENZA GEOFISICA: Studio Tec. Ass. CGA

DATA DI ESECUZIONE: 28/06/2019

CERTIFICATO N°: A1370GA263 L1 MASW

0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1 0 5 10 15 20 25 0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200

Vs e Vp (m/s) Poisson  $\gamma$  din. (kN/mc) E (MPa) G0 (MPa)



Sismogrammi A1370GA263 L1 MASW

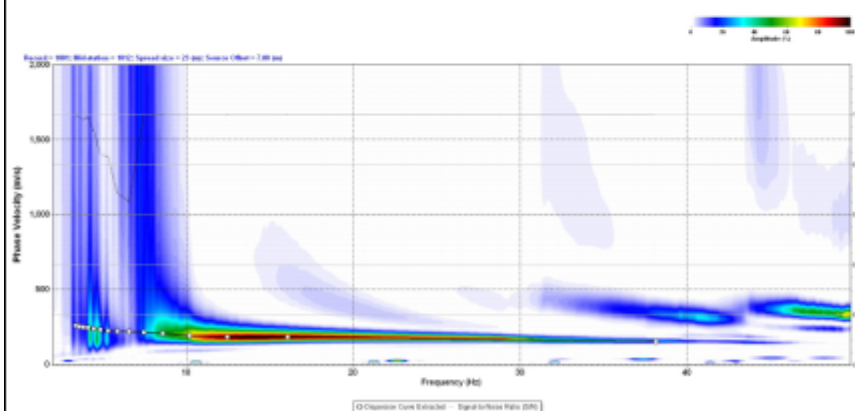


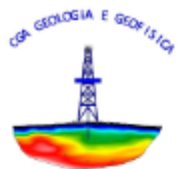
Immagine di dispersione A1370GA263 L1 MASW

0

10

20

30



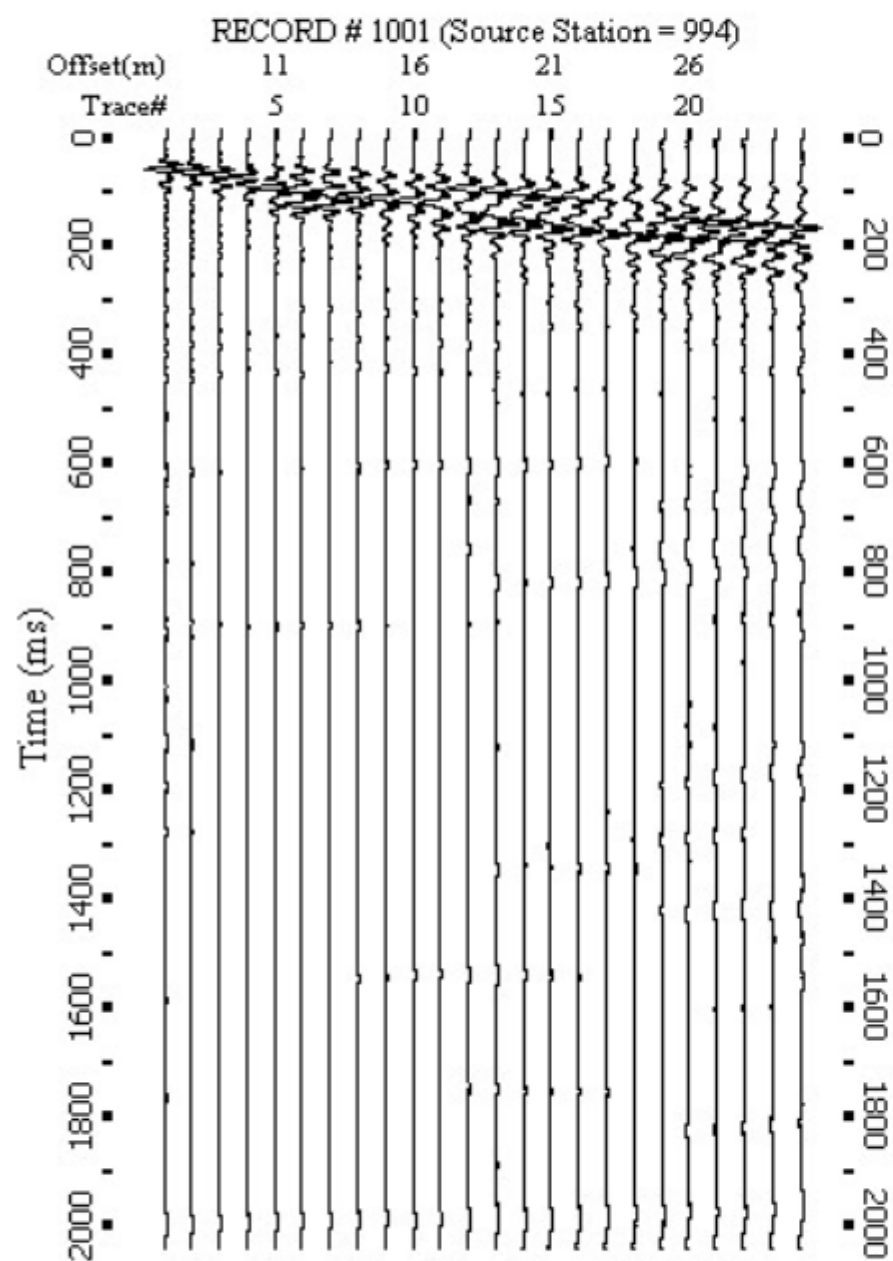
COMMITTENTE: Comune di Bologna

CANTIERE: Nuova palestra - Via Dell'Arcoveggio - Bologna

PROVA: MASW a 1 Shot

CONSULENZA GEOFISICA: Studio Tec. Ass. CGA

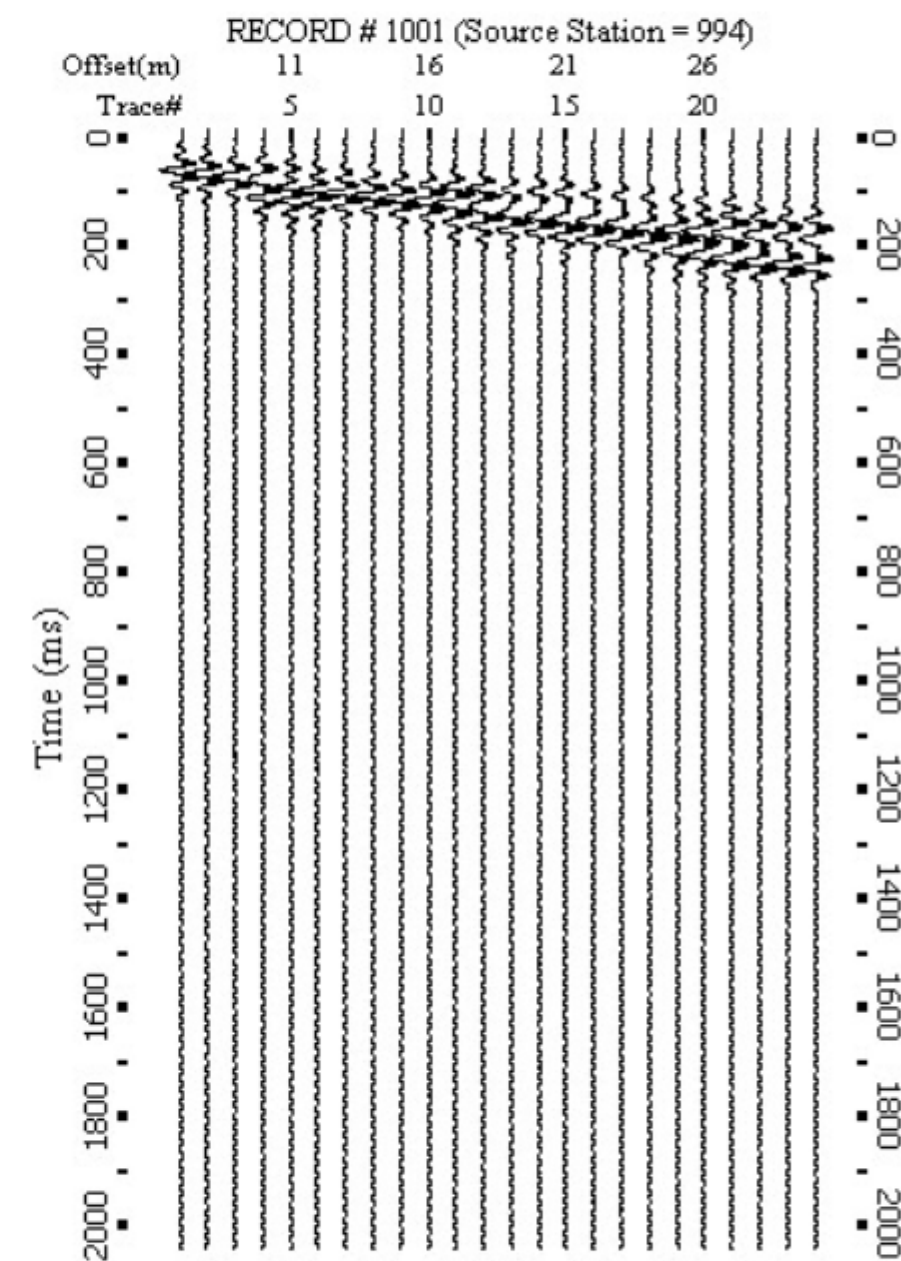
## RAPPORTO DI FILTRAZIONE



Sismogrammi come acquisiti

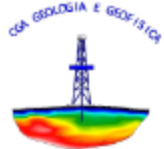
Mute Top (L:\2019\A 1370 - GA 263 - Comune di Bologna  
Palestra Arcoveggio\A137Geofisica\A1370IntMasw\F1\A1370MaswLine1.dat)  
Mute Velocity: 186 m/s  
Tapering (ms): 102.147  
Mute Start: Trace No.1 at time67.879 ms  
Mute End: Trace No.24 at time532.102 ms  
Mute Bottom (L:\2019\A 1370 - GA 263 - Comune di Bologna  
Palestra Arcoveggio\A137Geofisica\A1370IntMasw\F1\A1370MaswLine1.dat)  
Mute Velocity: 154 m/s  
Tapering (ms): 102.147  
Mute Start: Trace No.1 at time88.813 ms  
Mute End: Trace No.24 at time650.694 ms  
Filtering: Band Pass (L:\2019\A 1370 - GA 263 - Comune di Bologna  
Palestra Arcoveggio\A137Geofisica\A1370IntMasw\F1\A1370MaswLine1.dat)  
2 Hz-30 Hz-45 Hz-50 Hz

Filtro utilizzato



Sismogrammi filtrati

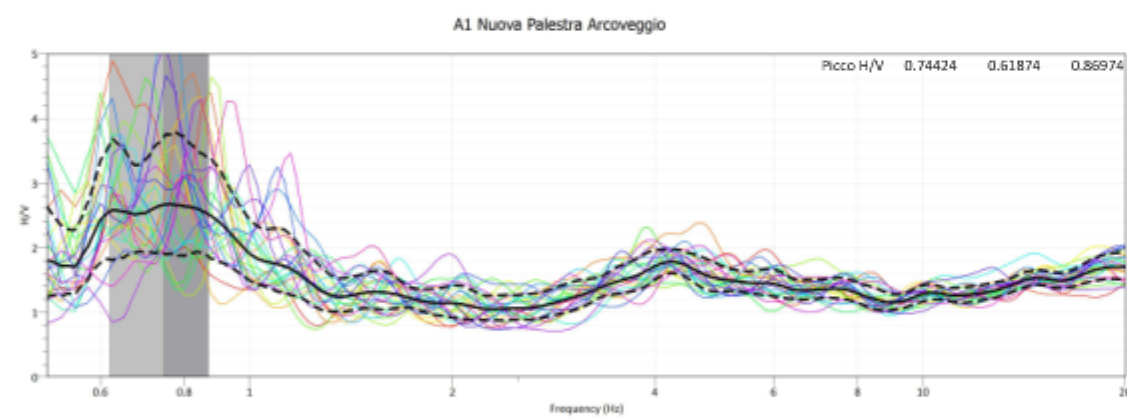
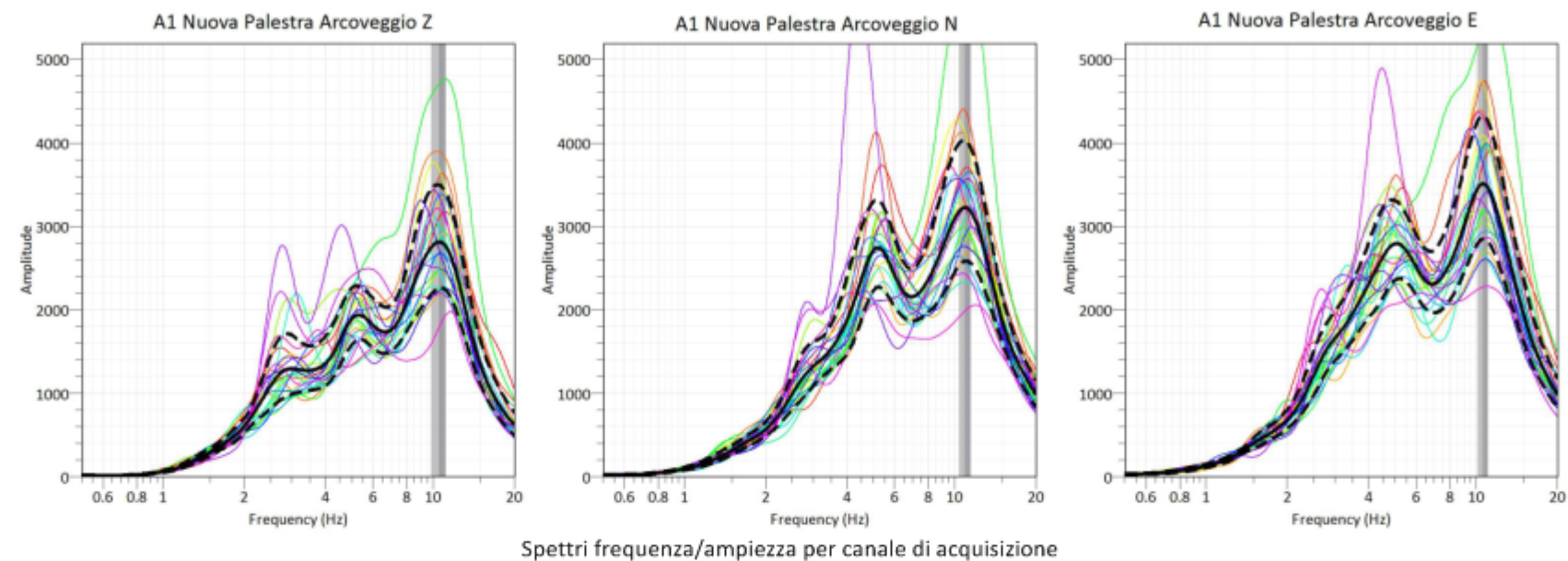




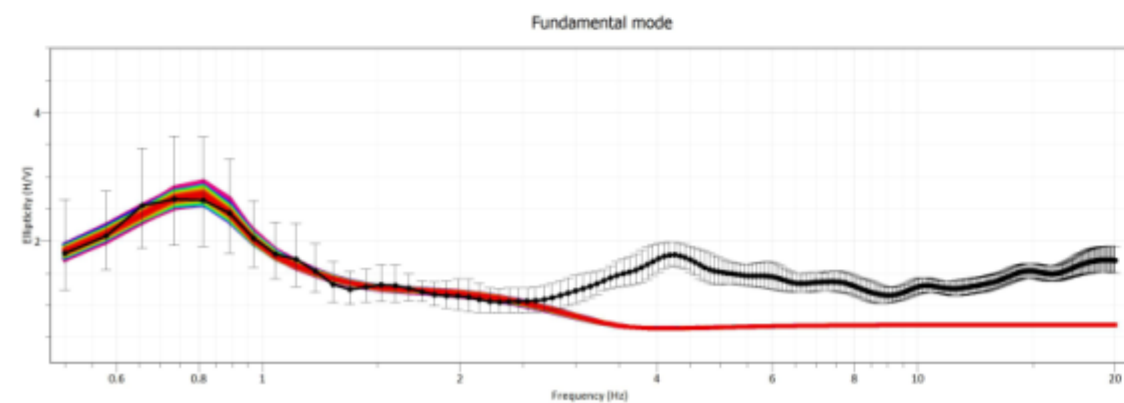
Committente: Comune di Bologna - Nuova Palestra Arcoveggio

Prova: HVSr A1 Località: Via Arcoveggio - Bologna Data: Friday, June 28, 2019

### Analisi del segnale

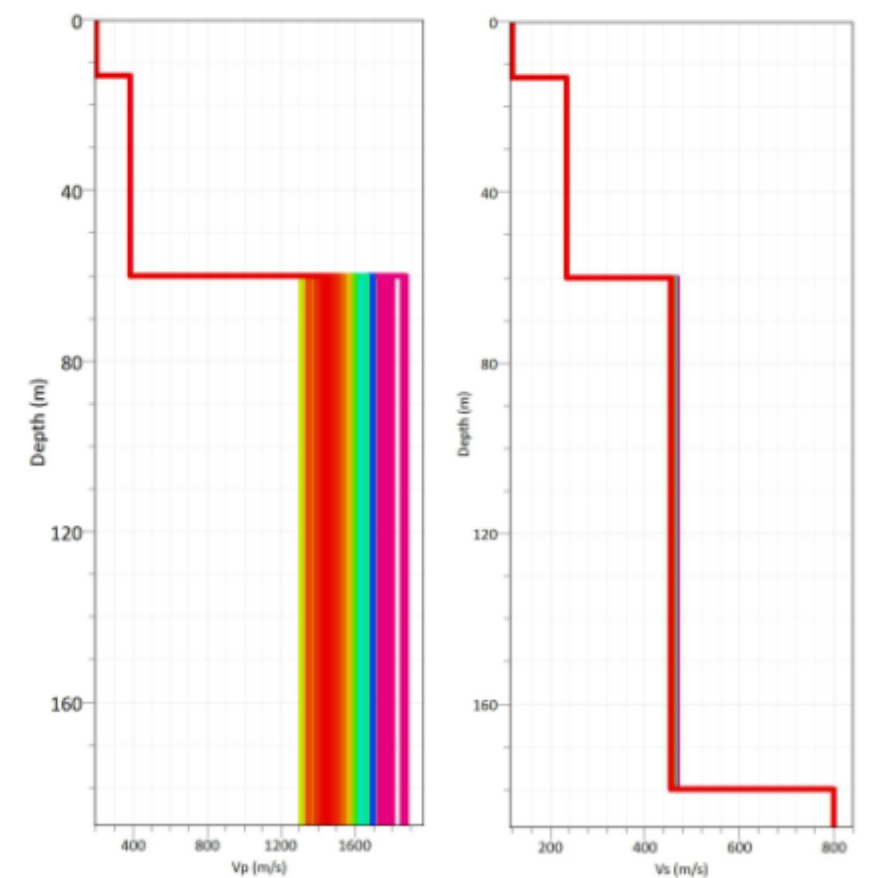


### Curva HVSr



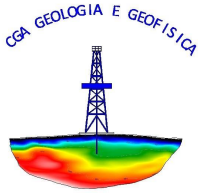
Misfit value

### Interpretazione



Misfit value

### Interpretazione sismostratigrafica



**Studio Tecnico Associato Consulenze di Geologia e Ambiente del Dott. Geol. F. Barbieri e del Dott. Geol. M. Ropa**  
Via E. Fermi n° 11/A - 40017 SAN GIOVANNI IN PERSICETO (BO) Tel. +39 051 - 6871113 Fax +39 051 6874328  
C.F. e Partita IVA 04112290376  
Email: cgastudio@cgstudio.eu

## APPENDICE 3

### - ANALISI RISPOSTA SISMICA LOCALE

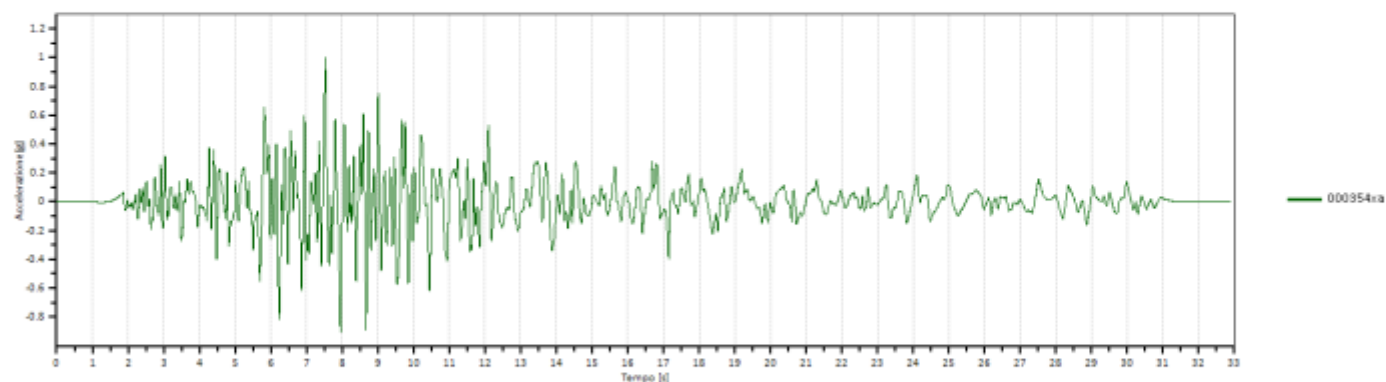
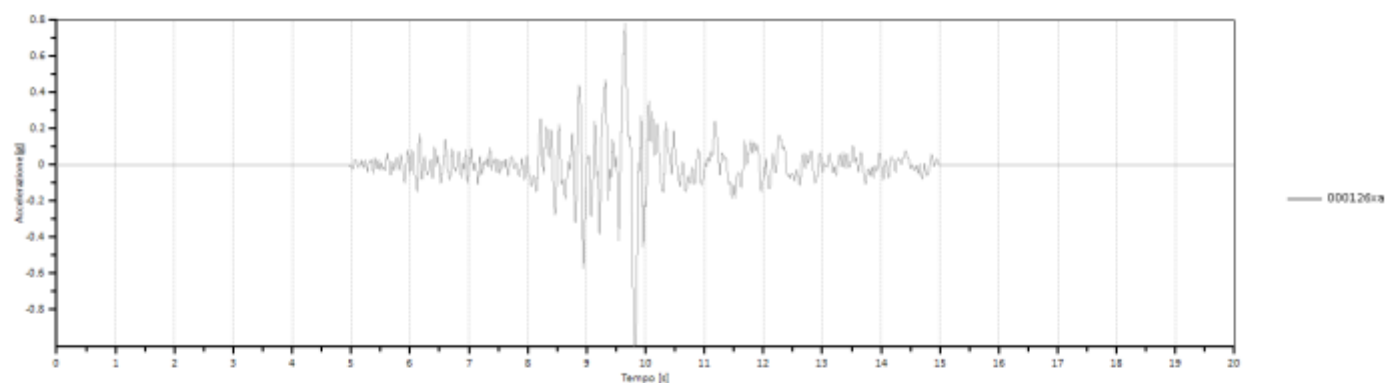
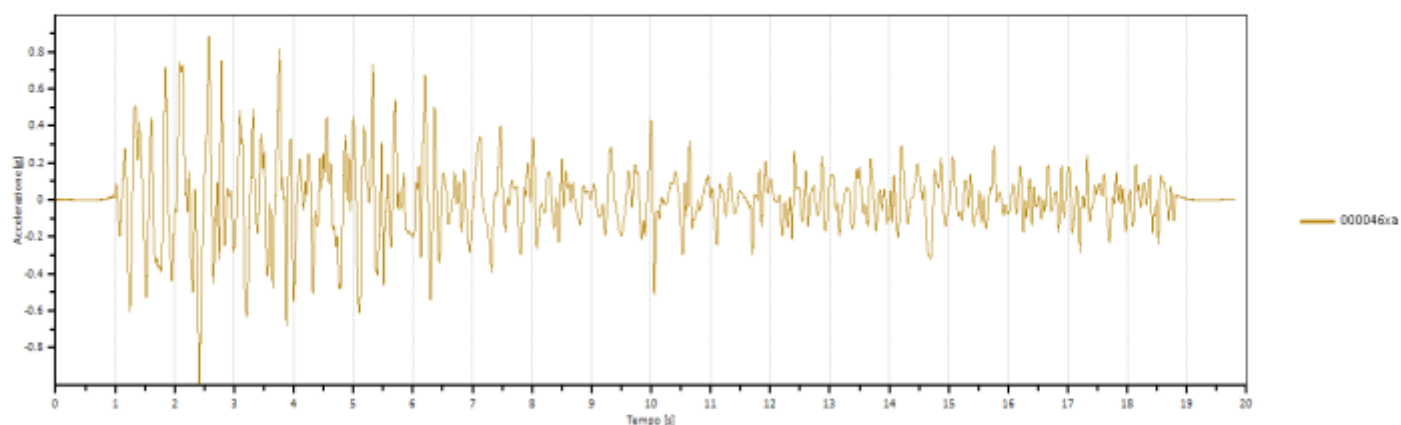
- accelerogrammi di input
- amplificazione
- accelerazioni velocita' spostamenti
- tensioni deformazioni
- spettri accelerazione, velocita' e spostamento
- profilo accelerazione



PROGETTO: Nuova Palestra  
COMMITTENTE: Comune di Bologna

APPENDICE 3: ANALISI RSL  
CONSULENZA GEOLOGICA: CGA

### INPUT - ACCELEROGRAMMI



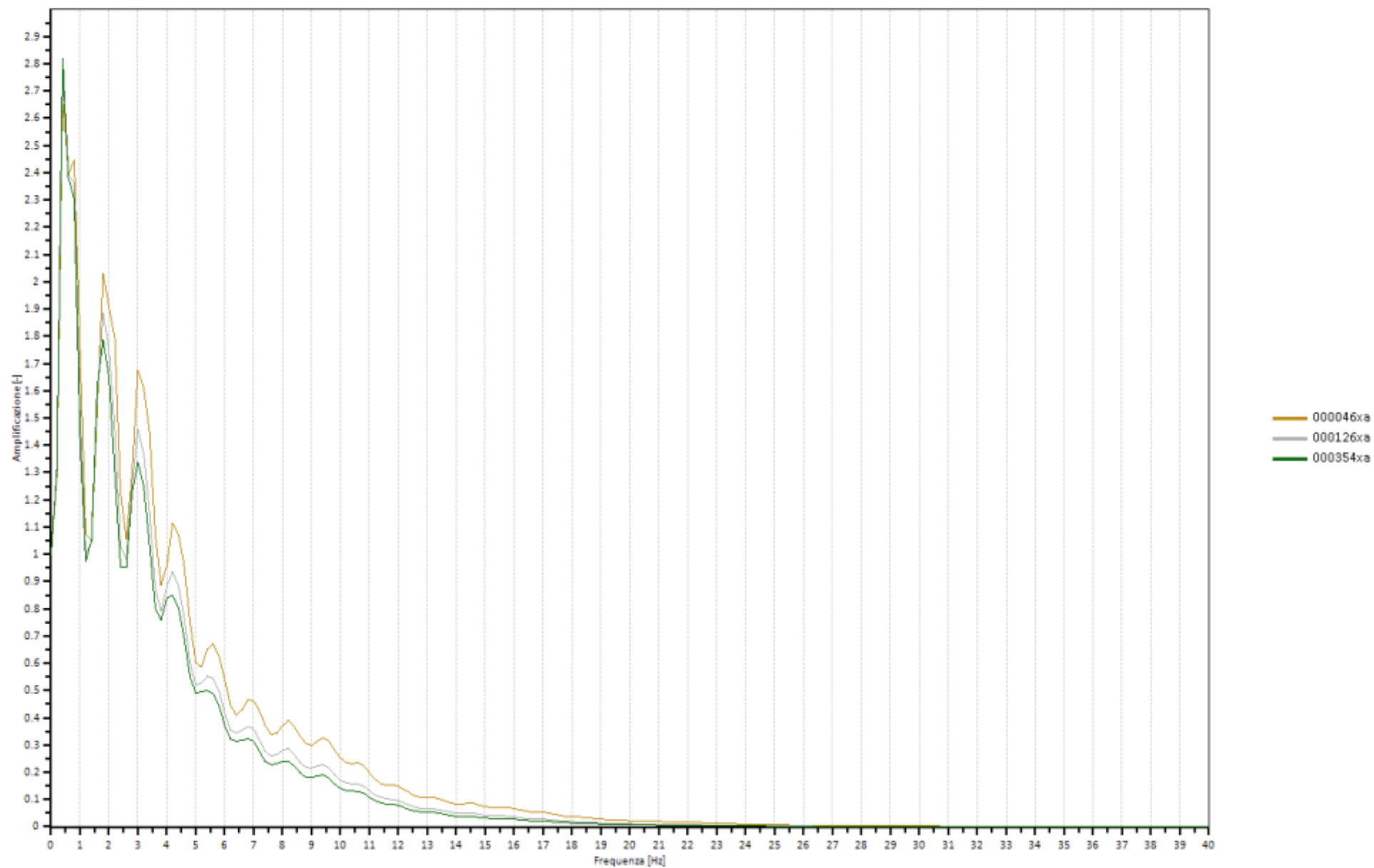




PROGETTO: Nuova Palestra  
COMMITTENTE: Comune di Bologna

APPENDICE 3: ANALISI RSL  
CONSULENZA GEOLOGICA: CGA

### OUTPUT - AMPLIFICAZIONE

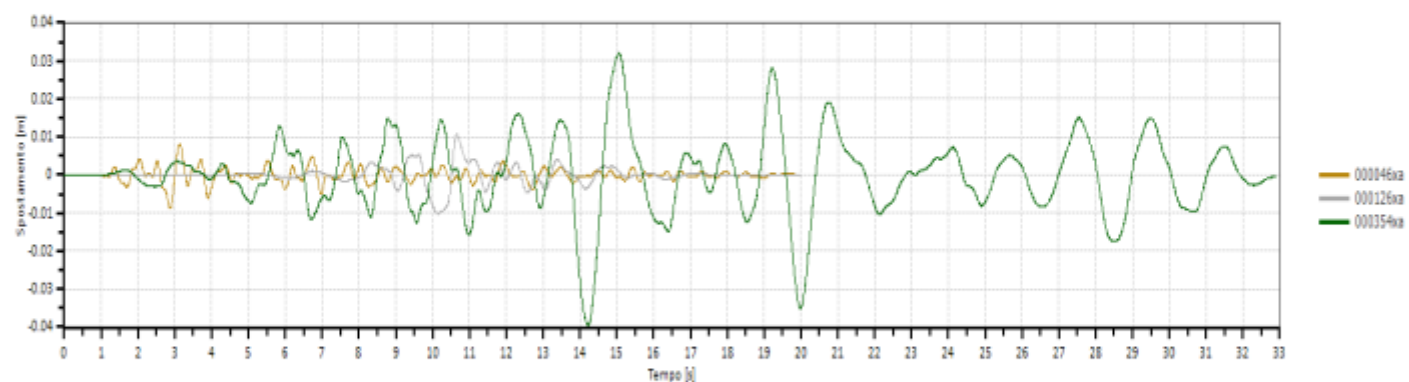
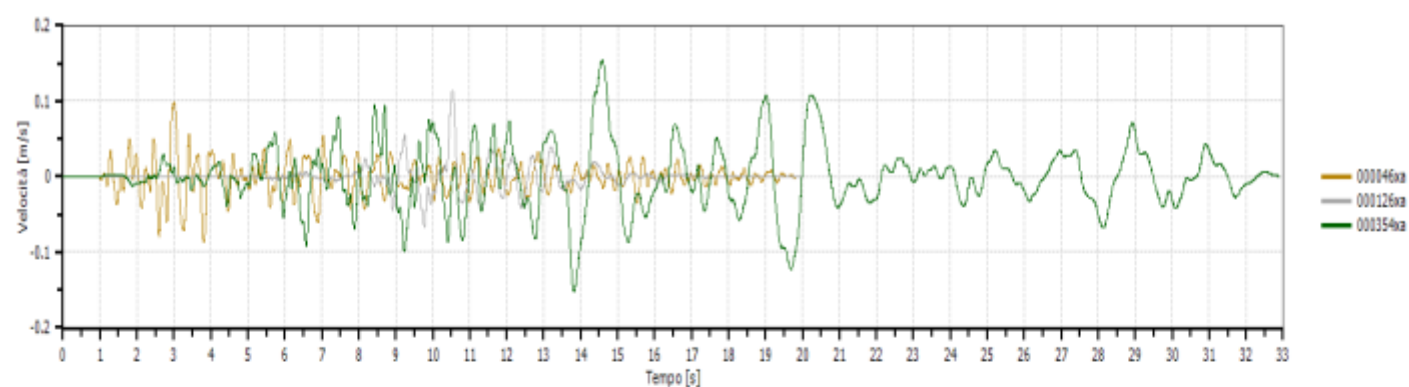
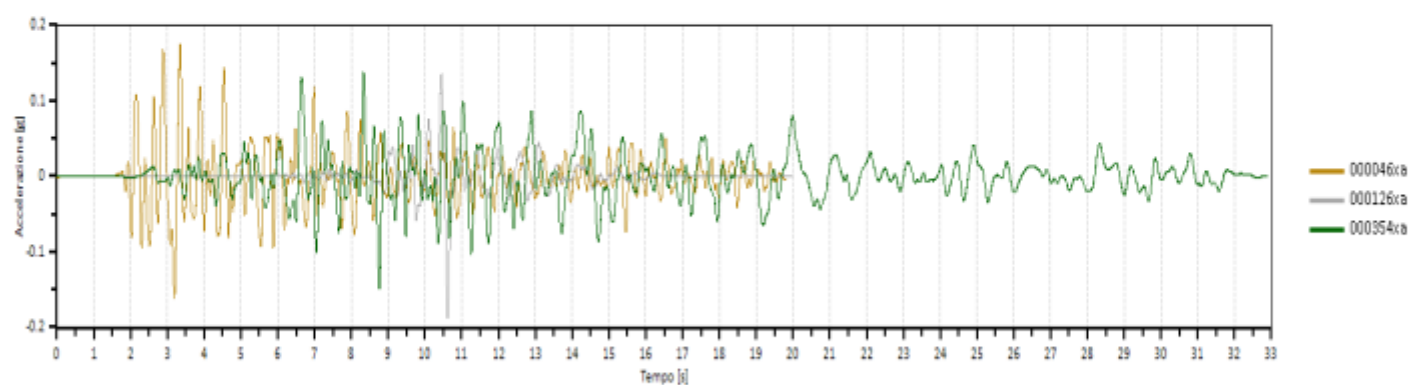




PROGETTO: Nuova Palestra  
COMMITTENTE: Comune di Bologna

APPENDICE 3: ANALISI RSL  
CONSULENZA GEOLOGICA: CGA

### OUTPUT - ACCELERAZIONI VELOCITA' E SPOSTAMENTI

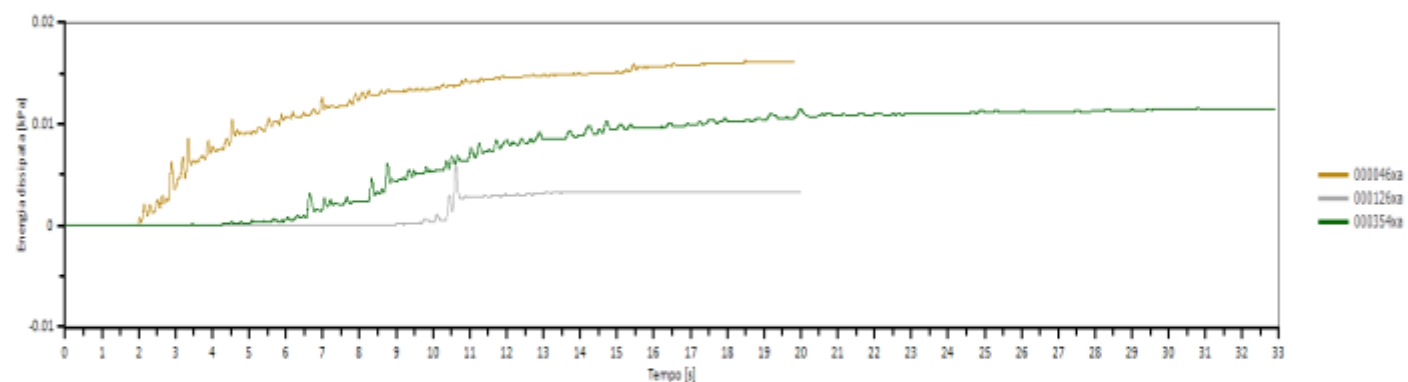
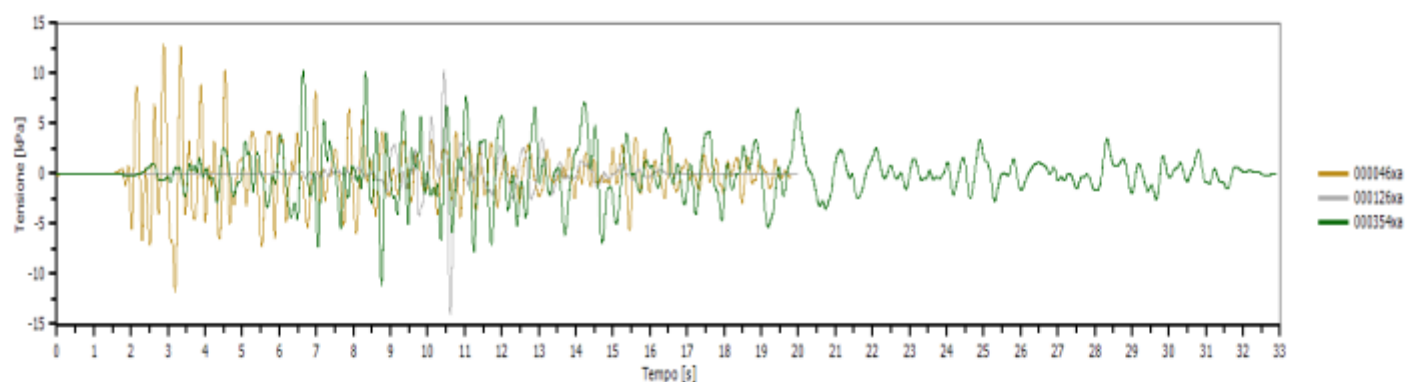
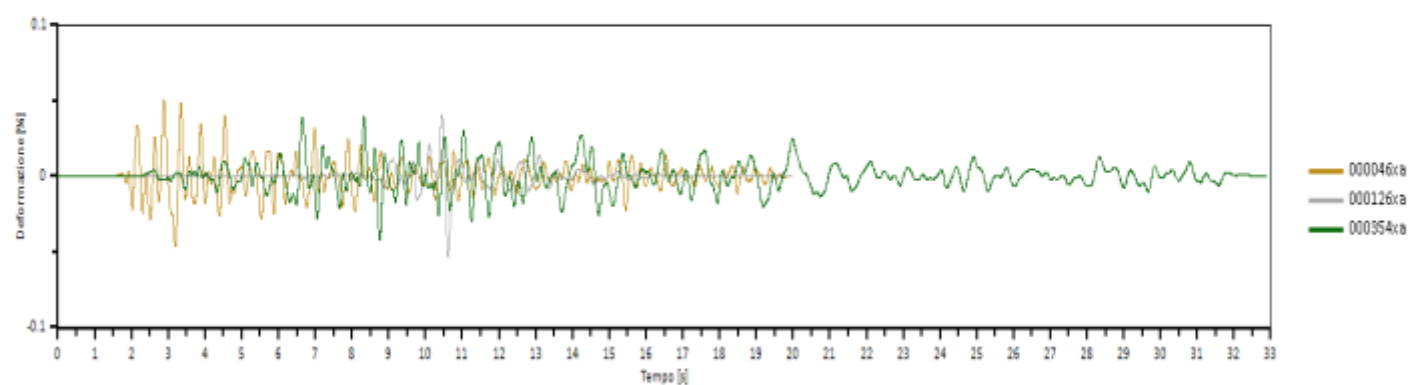




PROGETTO: Nuova Palestra  
COMMITTENTE: Comune di Bologna

APPENDICE 3: ANALISI RSL  
CONSULENZA GEOLOGICA: CGA

### OUTPUT -TENSIONI E DEFORMAZIONI

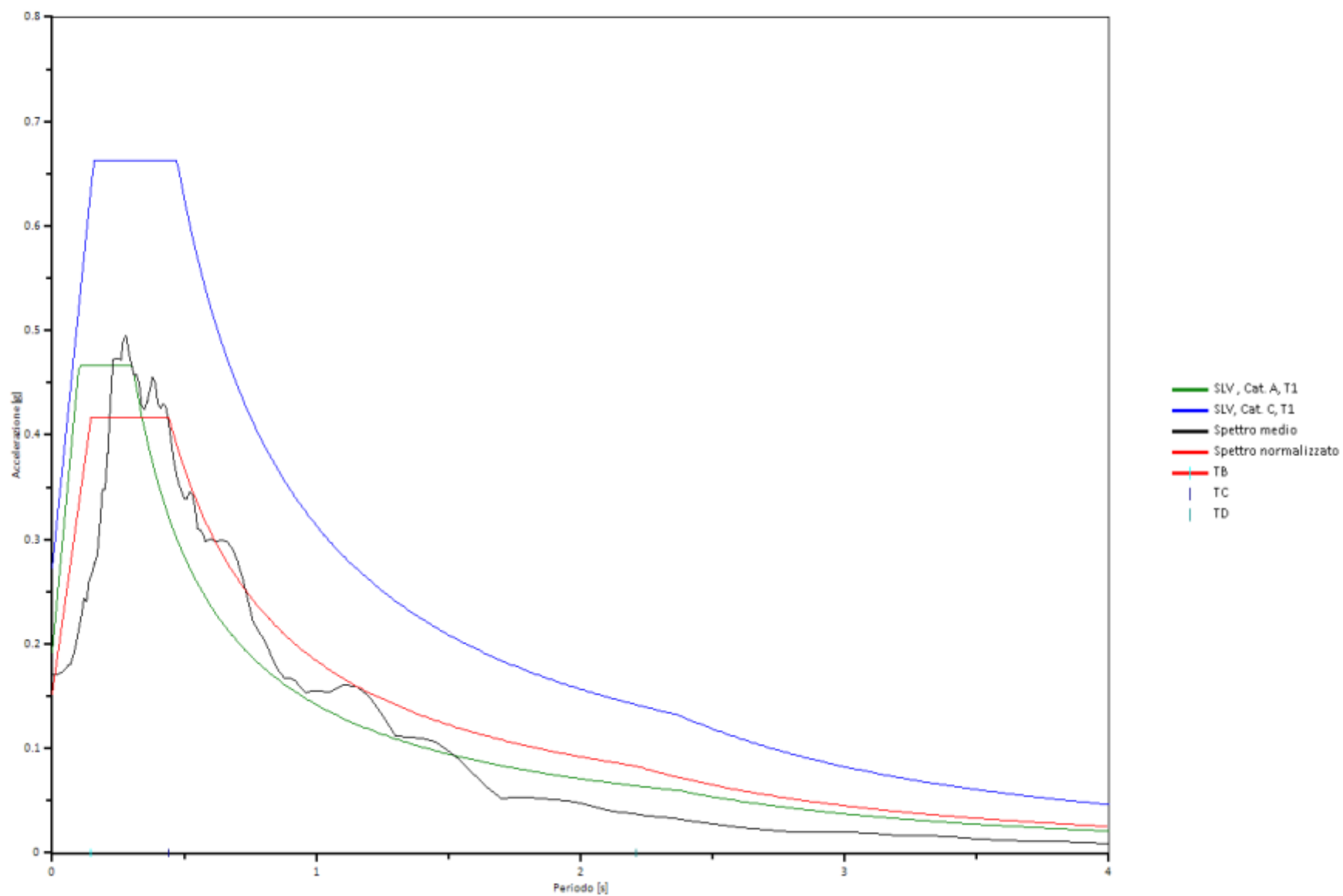




PROGETTO: Nuova Palestra  
COMMITTENTE: Comune di Bologna

APPENDICE 3: ANALISI RSL  
CONSULENZA GEOLOGICA: CGA

### OUTPUT - SPETTRO ELASTICO

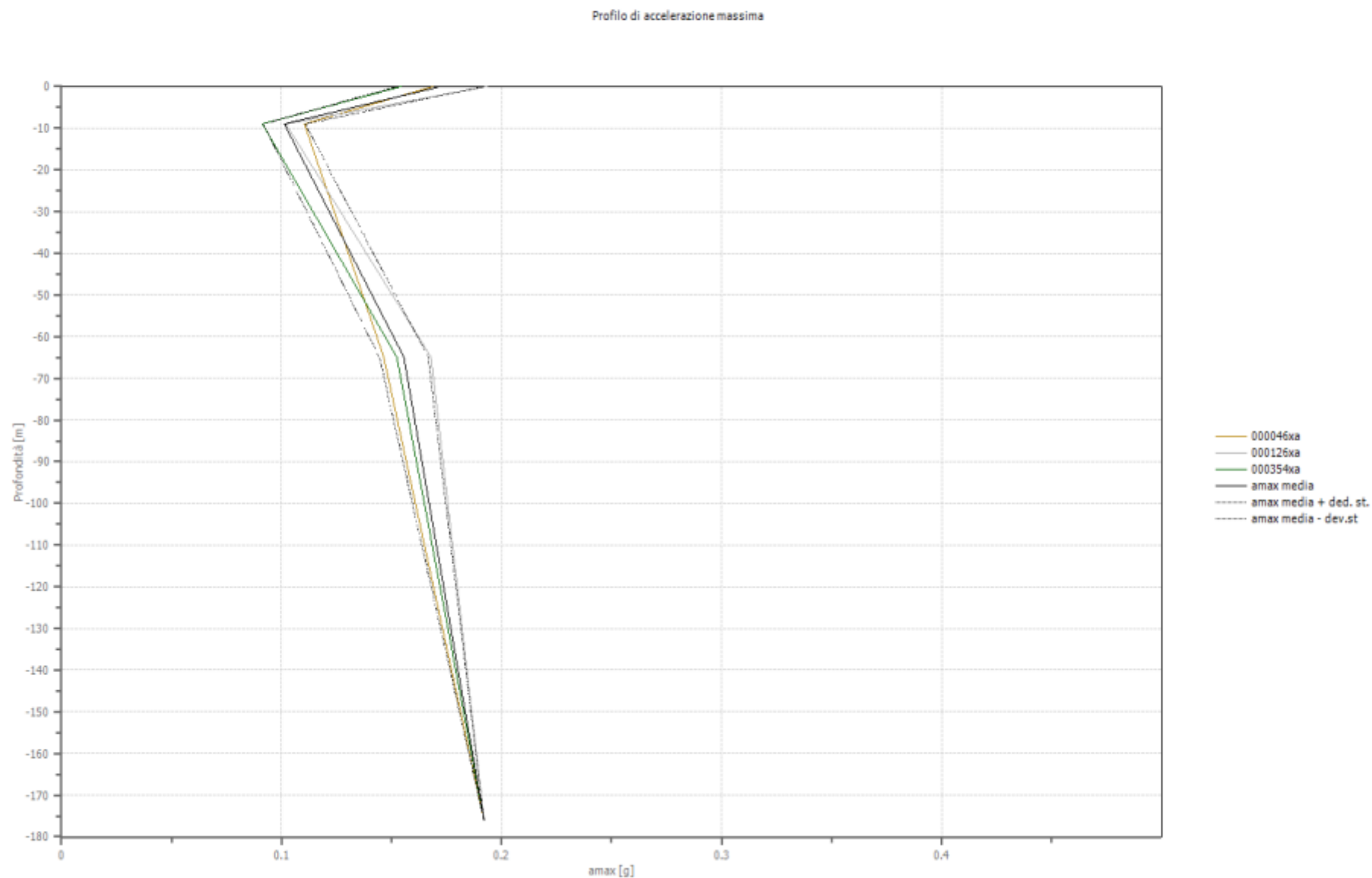


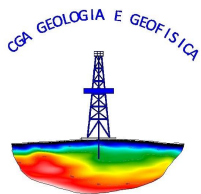


PROGETTO: Nuova Palestra  
COMMITTENTE: Comune di Bologna

APPENDICE 3: ANALISI RSL  
CONSULENZA GEOLOGICA: CGA

## OUTPUT - PROFILO ACCELERAZIONE





**Studio Tecnico Associato Consulenze di Geologia e Ambiente del Dott. Geol. F. Barbieri e del Dott. Geol. M. Ropa**  
Via E. Fermi n° 11/A - 40017 SAN GIOVANNI IN PERSICETO (BO) Tel. +39 051 - 6871113 Fax +39 051 6874328  
C.F. e Partita IVA 04112290376  
Email: cgastudio@cgstudio.eu

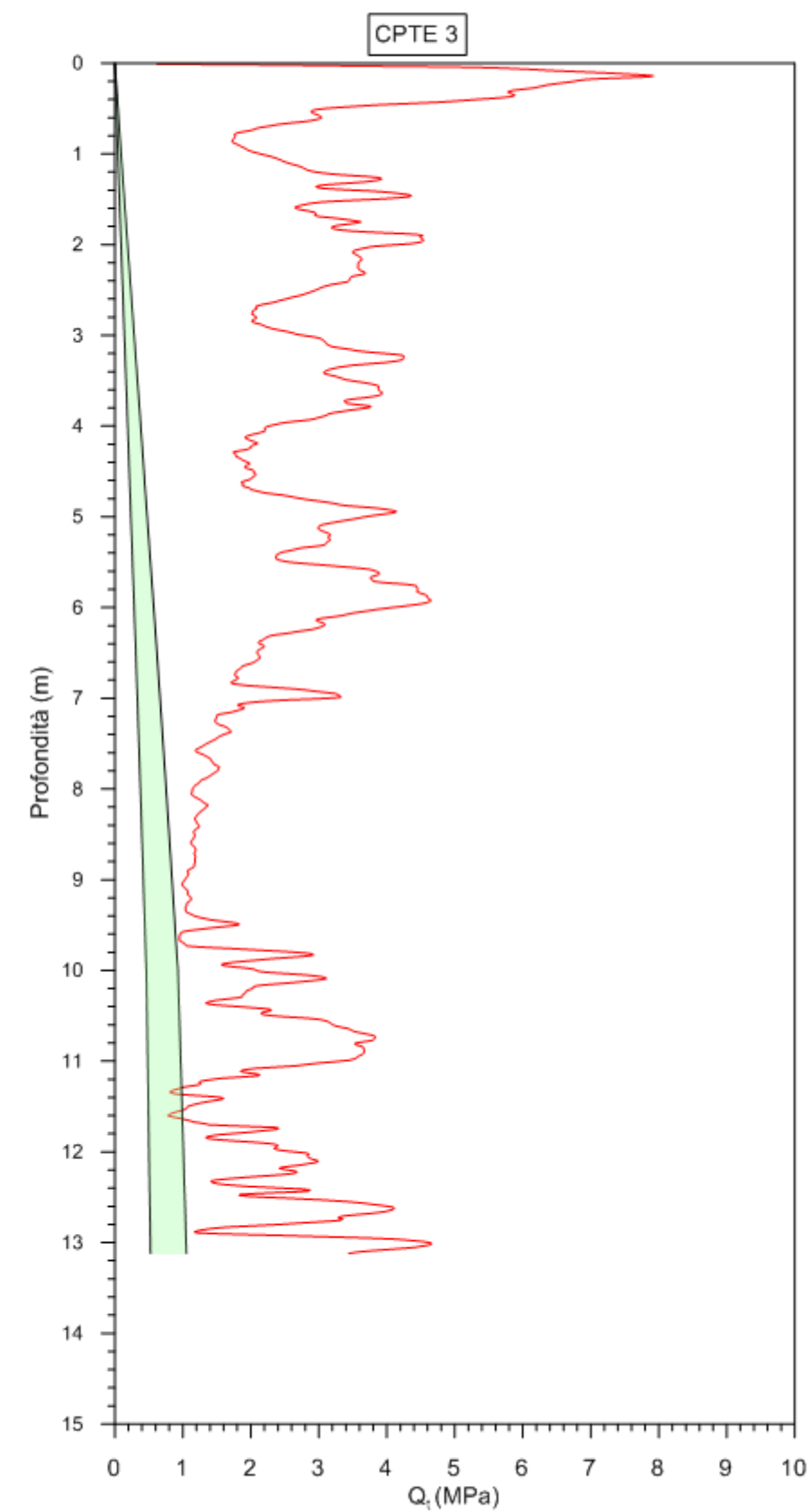
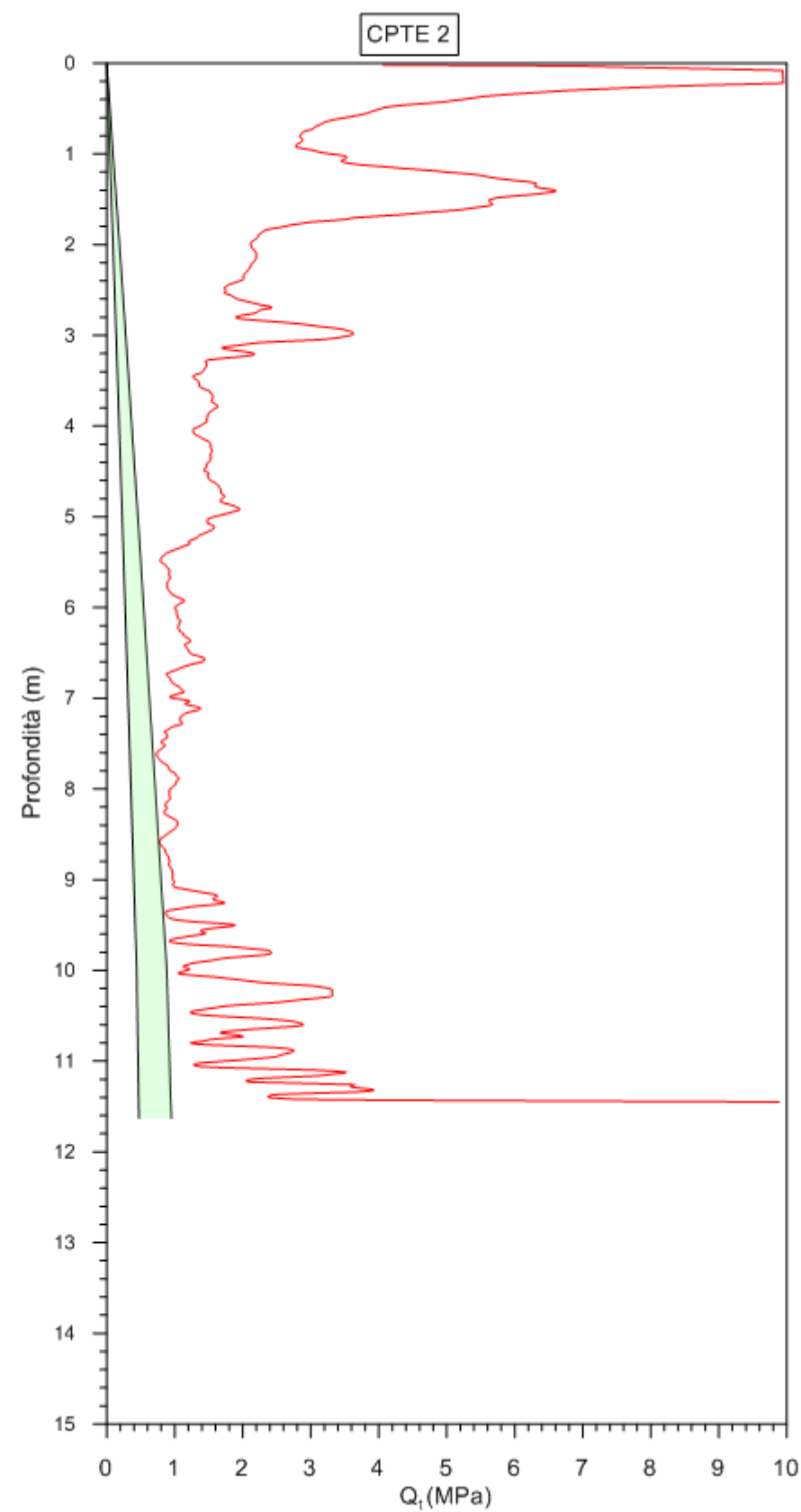
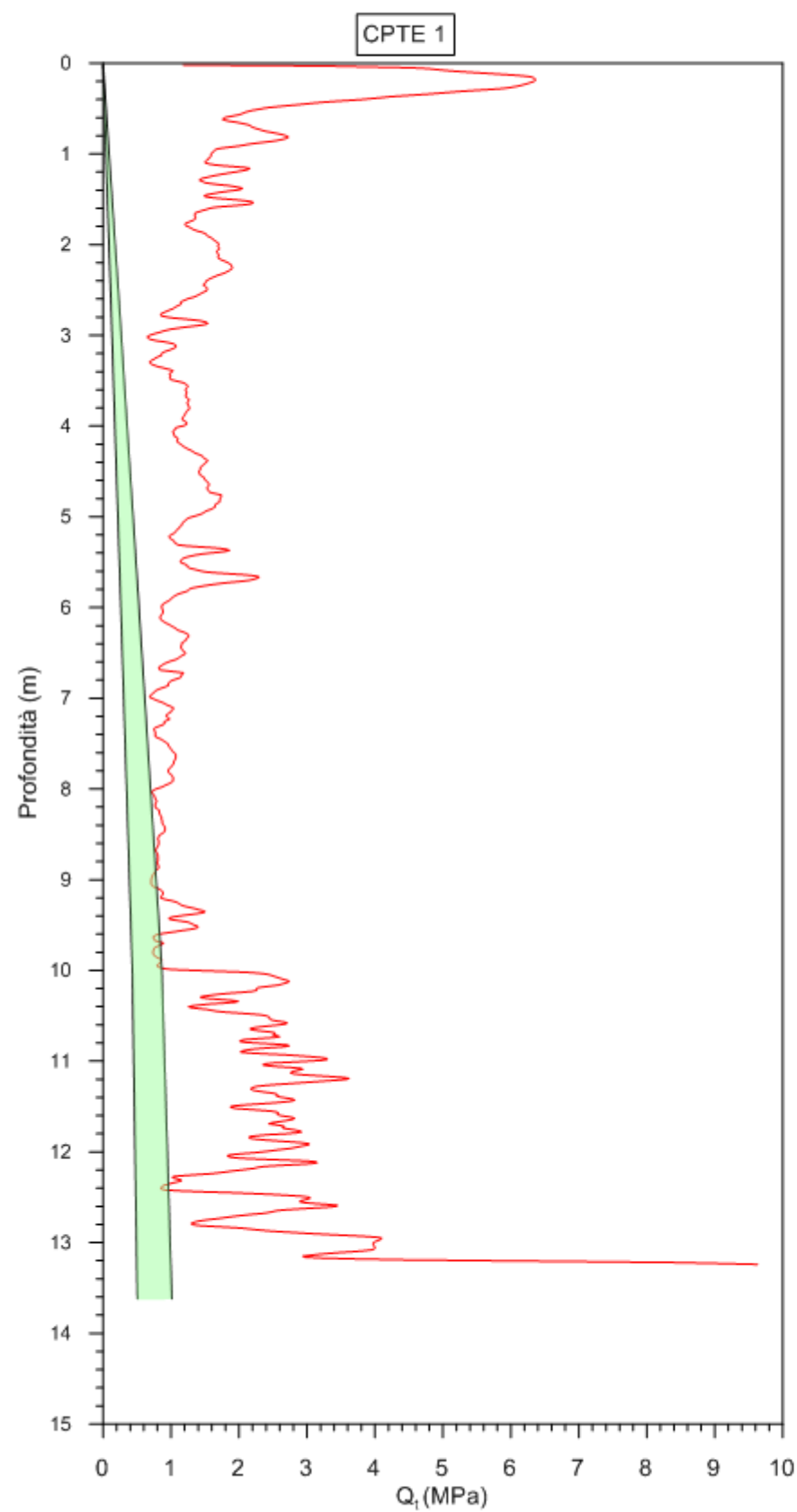
## APPENDICE 4

### - MODELLAZIONE GEOTECNICA

- Storia tensionale dei terreni
- Colonne geotecniche



### Storia tensionale dei terreni



(T.Lunne, P.K. Robertson, J.J.M. Powell 1984)

Legenda

—  $Q_t$  (MPa)

Area della Normal Consolidazione

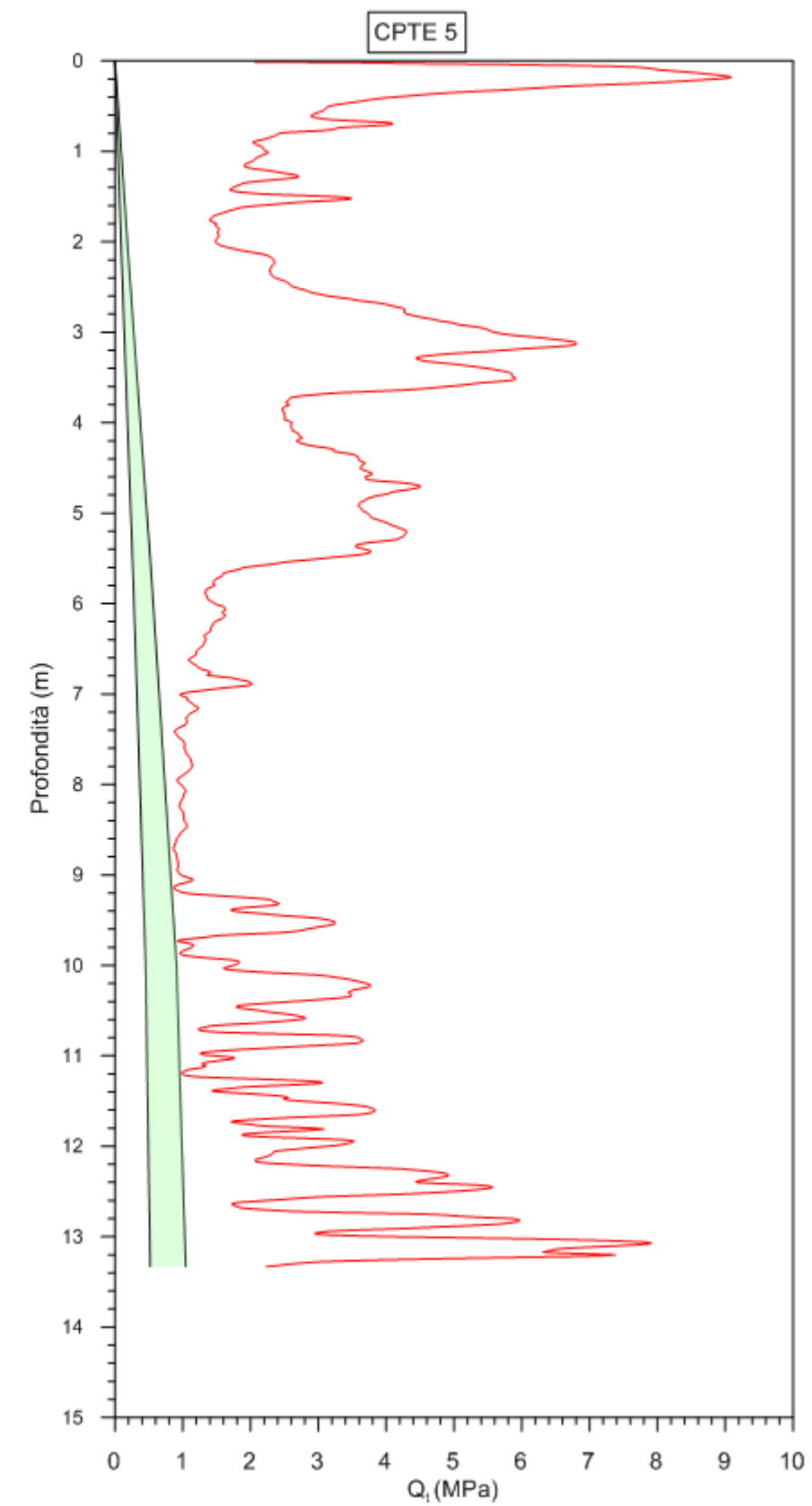
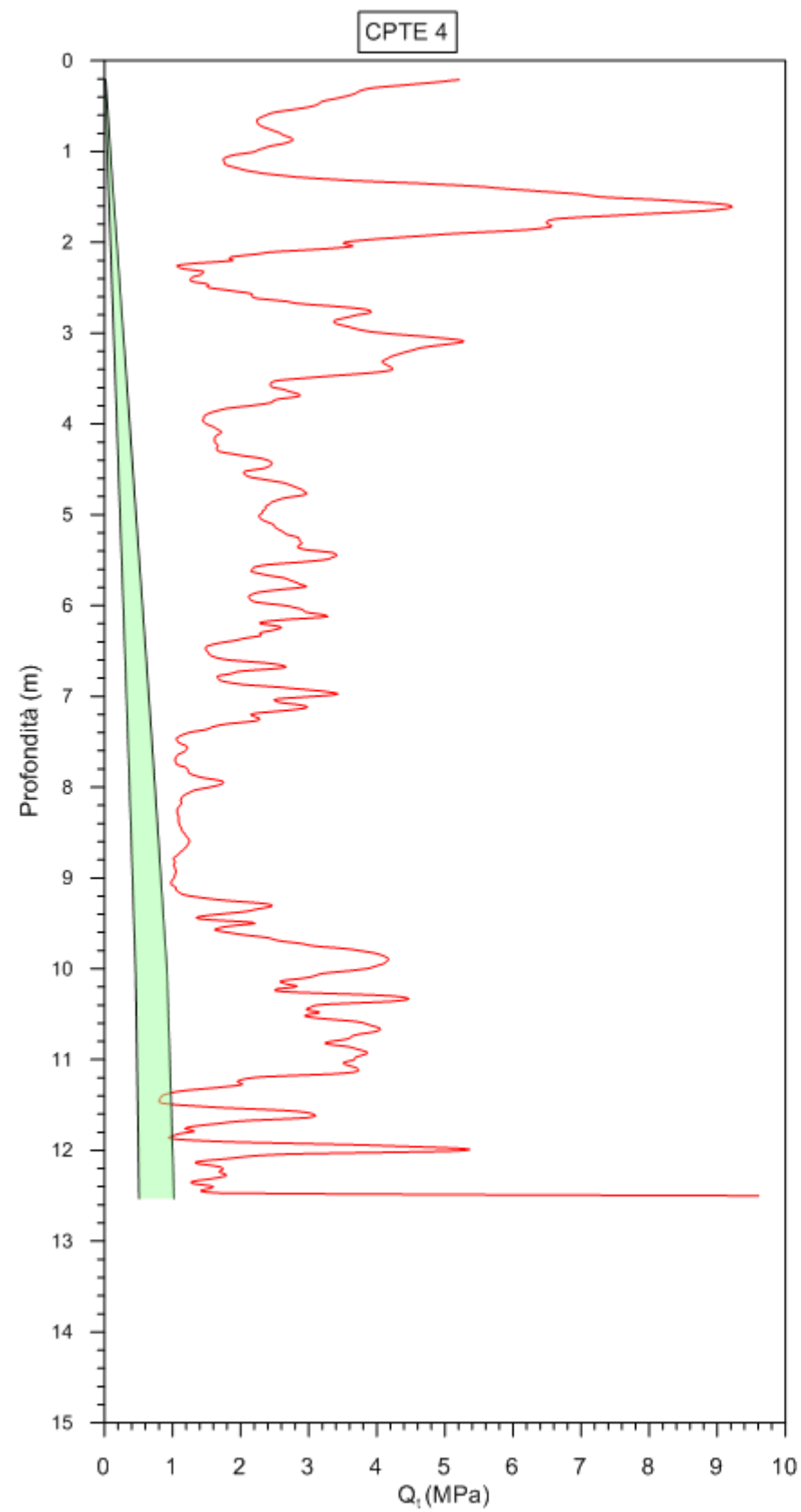


**Committente:** Comune di Bologna - Nuova palestra Arcoveggio

**Località:** Via dell'Arcoveggio - Bologna

**Data:** 28-giu-19

### Storia tensionale dei terreni



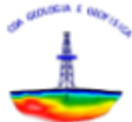
(T.Lunne, P.K. Robertson, J.J.M. Powell 1984)

#### Legenda

—  $Q_t$  (MPa)

Area della Normal Consolidazione





PROGETTO: Nuova Palestra  
COMMITTENTE: Comune di Bologna

CONSULENZA GEOLOGICA: CGA

### COLONNA GEOTECNICA CPT E 1

Descrizione geotecnica		$\phi'$ (°)	C' (kPa)	$\phi_u$ (°)	C <sub>u</sub> (kPa)	$\gamma'$ (kN)	E (kPa)
0	Unità 1 : Limi da sabbiosi ad argillosi fortemente essiccati (O.C.)	-	-	38.94	-	17.29	28570
0.93							
1							
2							
3							
4	Unità 2 A : Argille con rari limi sovraconsolidate (O.C.)	28.47	12.91	17.7	57.62	18.66	10300
5							
6							
6.00							
7							
8							
9							
10	Unità 2 B : Argille con rari limi normal consolidate (N.C.)	28.92	15.99	16.22	40.1	19.11	10300
11							
12							
13							
13.20							
14	Unità 3 : Sabbie con limi e sabbie con ghiaie	> 45	-	-	-	17.87	55240
15							
15.00							



PROGETTO: Nuova Palestra  
COMMITTENTE: Comune di Bologna

CONSULENZA GEOLOGICA: CGA

### COLONNA GEOTECNICA CPT E 2

Descrizione geotecnica		$\phi'$ (°)	C' (kPa)	$\phi_u$ (°)	C <sub>v</sub> (kPa)	$\gamma'$ (kN)	E (kPa)
0	Unità 1 : Limi da sabbiosi ad argillosi fortemente essiccati O.C.	-	-	38.94	-	17.29	28570
1							
1.79	Unità 2 A : Argille con rari limi sovraconsolidate (O.C.)	28.47	12.91	17.7	57.62	18.66	10300
2							
3							
4							
5	Unità 2 B : Argille con rari limi normal consolidate (N.C.)	28.92	15.99	16.22	40.1	19.11	10300
5.60							
6							
7							
8							
9							
10	Unità 3 : Sabbie con limi e sabbie con ghiaie	> 45	-	-	-	17.87	55240
11							
11.44							
12							
13							
14							
15							
15.00							

## COLONNA GEOTECNICA CPTE 3

Descrizione geotecnica		$\phi'$ (°)	C' (kPa)	$\phi_u$ (°)	C <sub>u</sub> (kPa)	$\gamma'$ (kN)	E (kPa)
0	Unità 1 : Limi da sabbiosi ad argillosi fortemente essiccati O.C.	-	-	38.94	-	17.29	28570
2							
2.50	Unità 2 A : Argille con rari limi sovraconsolidate (O.C.)	28.47	12.91	17.7	57.62	18.66	10300
4							
6							
6.40	Unità 2 B : Argille con rari limi normal consolidate (N.C.)	28.92	15.99	16.22	40.1	19.11	10300
8							
10							
12							
13.00	Unità 3 :Sabbie con limi e sabbie con ghiaie	> 45	-	-	-	17.87	55240
14							
15.00							



PROGETTO: Nuova Palestra  
 COMMITTENTE: Comune di Bologna

CONSULENZA GEOLOGICA: CGA

# COLONNA GEOTECNICA CPTÉ 4

Descrizione geotecnica		$\phi'$ (°)	C' (kPa)	$\phi_u$ (°)	C <sub>u</sub> (kPa)	$\gamma'$ (kN)	E (kPa)
0	Unità 1 : Limi da sabbiosi ad argillosi fortemente essiccati O.C.	-	-	38.94	-	17.29	28570
1.95							
2	Unità 2 A : Argille con rari limi sovraconsolidate (O.C.)	28.47	12.91	17.7	57.62	18.66	10300
4							
6							
7.40							
8	Unità 2 B : Argille con rari limi normal consolidate (N.C.)	28.92	15.99	16.22	40.1	19.11	10300
10							
12							
12.49							
14	Unità 3 : Sabbie con limi e sabbie con ghiaie	> 45	-	-	-	17.87	55240
15.00							

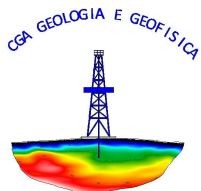


PROGETTO: Nuova Palestra  
COMMITTENTE: Comune di Bologna

CONSULENZA GEOLOGICA: CGA

### COLONNA GEOTECNICA CPT E 5

Descrizione geotecnica		$\phi'$ (°)	C' (kPa)	$\phi_u$ (°)	C <sub>u</sub> (kPa)	$\gamma'$ (kN)	E (kPa)
0	Unità 1 : Limi da sabbiosi ad argillosi fortemente essiccati O.C.	28570	-	38.94	-	17.29	28570
1.70							
2	Unità 2 A : Argille con rari limi sovraconsolidate (O.C.)	10300	12.91	17.7	57.62	18.66	10300
4							
5.80							
6	Unità 2 B : Argille con rari limi normal consolidate (N.C.)	10300	15.99	16.22	40.1	19.11	10300
8							
10							
12							
12.30							
14	Unità 3 : Sabbie con limi e sabbie con ghiaie	55240	-	-	-	17.87	55240
15.00							



**Studio Tecnico Associato Consulenze di Geologia e Ambiente del Dott. Geol. F. Barbieri e del Dott. Geol. M. Ropa**  
Via E. Fermi n° 11/A - 40017 SAN GIOVANNI IN PERSICETO (BO) Tel. +39 051 - 6871113 Fax +39 051 6874328  
C.F. e Partita IVA 04112290376  
Email: cgastudio@cgstudio.eu

## ALLEGATO 1

- Certificati prove penetrometriche CPT

**GEO-PROBE** S.r.l.

Indagini Geognostiche

40033 Casalecchio di Reno (BO)  
Via Cimarosa, 119 - Tel. 051/61.33.072**C P T E (electric cone penetration test) N. 1**

Committente : Studio CGA

Località : Bologna

Attrezzatura: Punta Pagani Mod. MKJ386 - Penetrometro da 200 kN

Note: ---

Cantiere: via dell'Arcoveggio

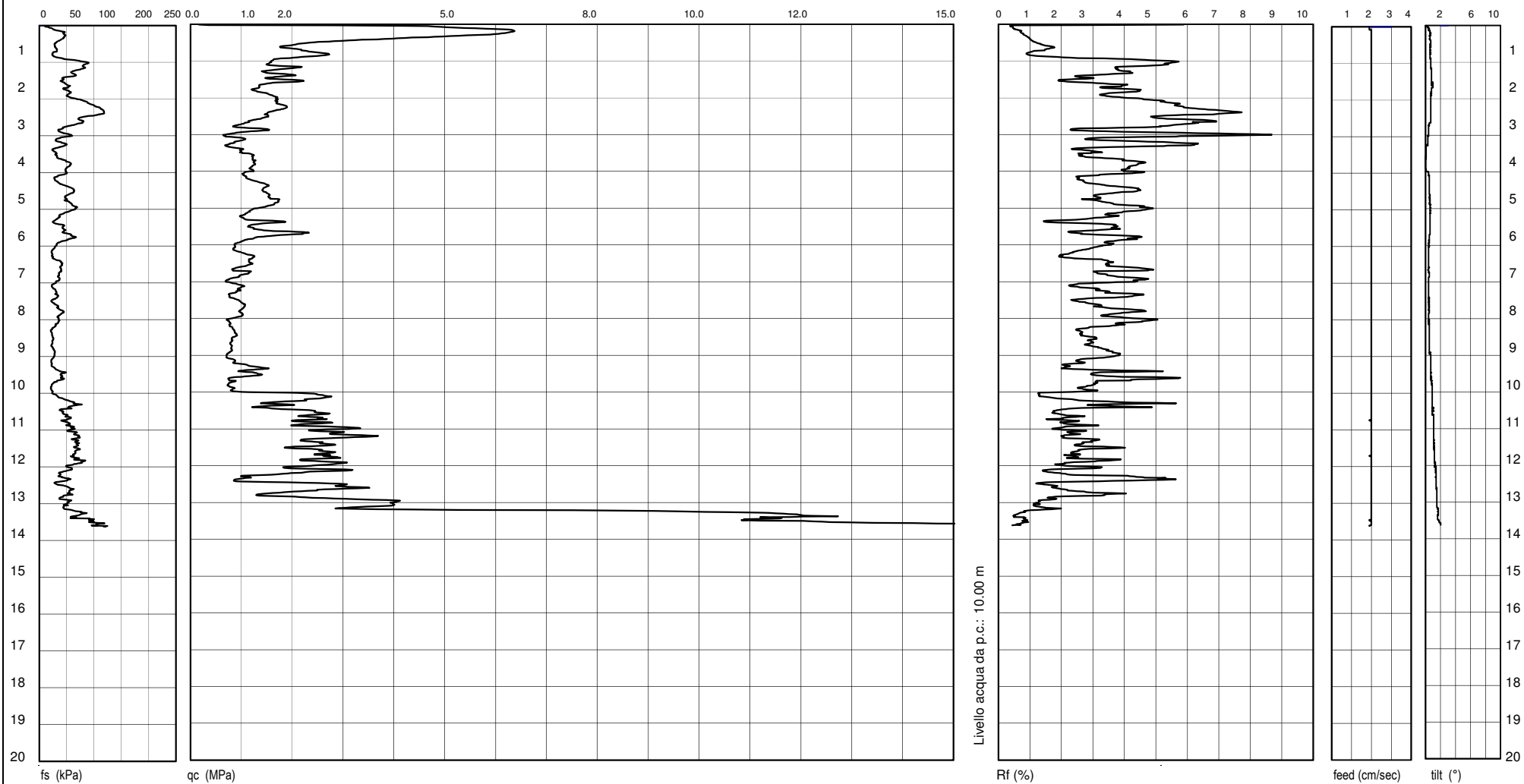
**Rapporto di Prova N. 19.0496/RSP**

Quota : ---

Preforo : 0,00 cm

Data Prova : 28/06/2019

Codice Lavoro : 2019.088



Livello acqua da p.c.: 10.00 m

Rf (%)

feed (cm/sec)

tilt (°)

Procedura di Prova	Normativa di riferimento	Rapporto di Prova N°	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
IO_004	ASTM D 3441-05	19.0496/RSP	0	28/06/2019	Dr. Conti	Dr. Luca Conti

**GEO-PROBE** S.r.l.

Indagini Geognostiche

40033 Casalecchio di Reno (BO)  
Via Cimarosa, 119 - Tel. 051/61.33.072**C P T E (electric cone penetration test) N. 2**

Committente : Studio CGA

Località : Bologna

Cantiere: via dell'Arcoveggio

Attrezzatura: Punta Pagani Mod. MKJ387 - Penetrometro da 200 kN

Note: ---

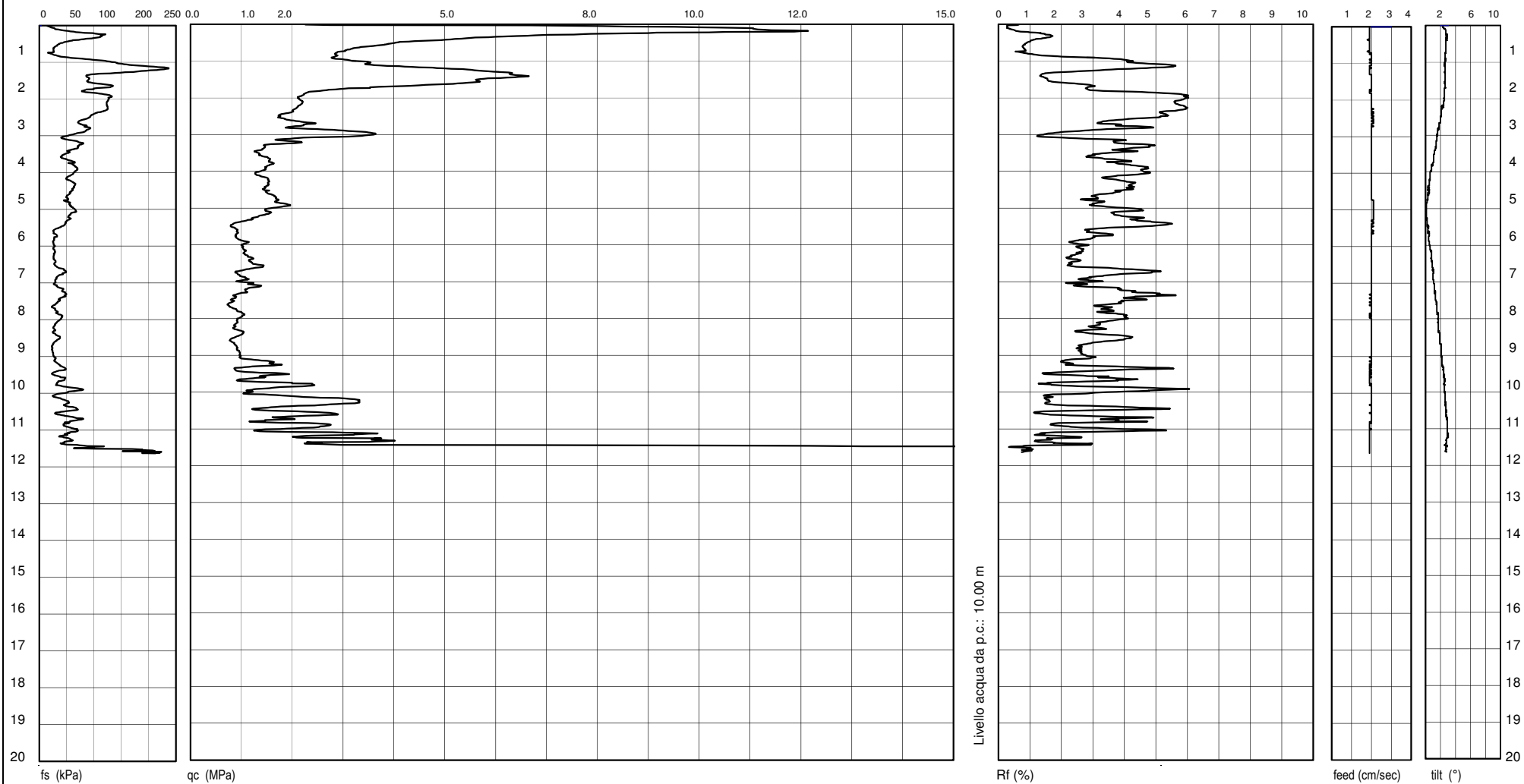
**Rapporto di Prova N. 19.0497/RSP**

Quota : ---

Preforo : 0,00 cm

Data Prova : 28/06/2019

Codice Lavoro : 2019.088



Procedura di Prova	Normativa di riferimento	Rapporto di Prova N°	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
IO_004	ASTM D 3441-05	19.0497/RSP	0	28/06/2019	Dr. Conti	Dr. Luca Conti



**GEO-PROBE** S.r.l.

Indagini Geognostiche

40033 Casalecchio di Reno (BO)  
Via Cimarosa, 119 - Tel. 051/61.33.072**C P T E (electric cone penetration test) N. 3**

Committente : Studio CGA

Località : Bologna

Cantiere: via dell'Arcoveggio

Attrezzatura: Punta Pagani Mod. MKJ386 - Penetrometro da 200 kN

Note: ---

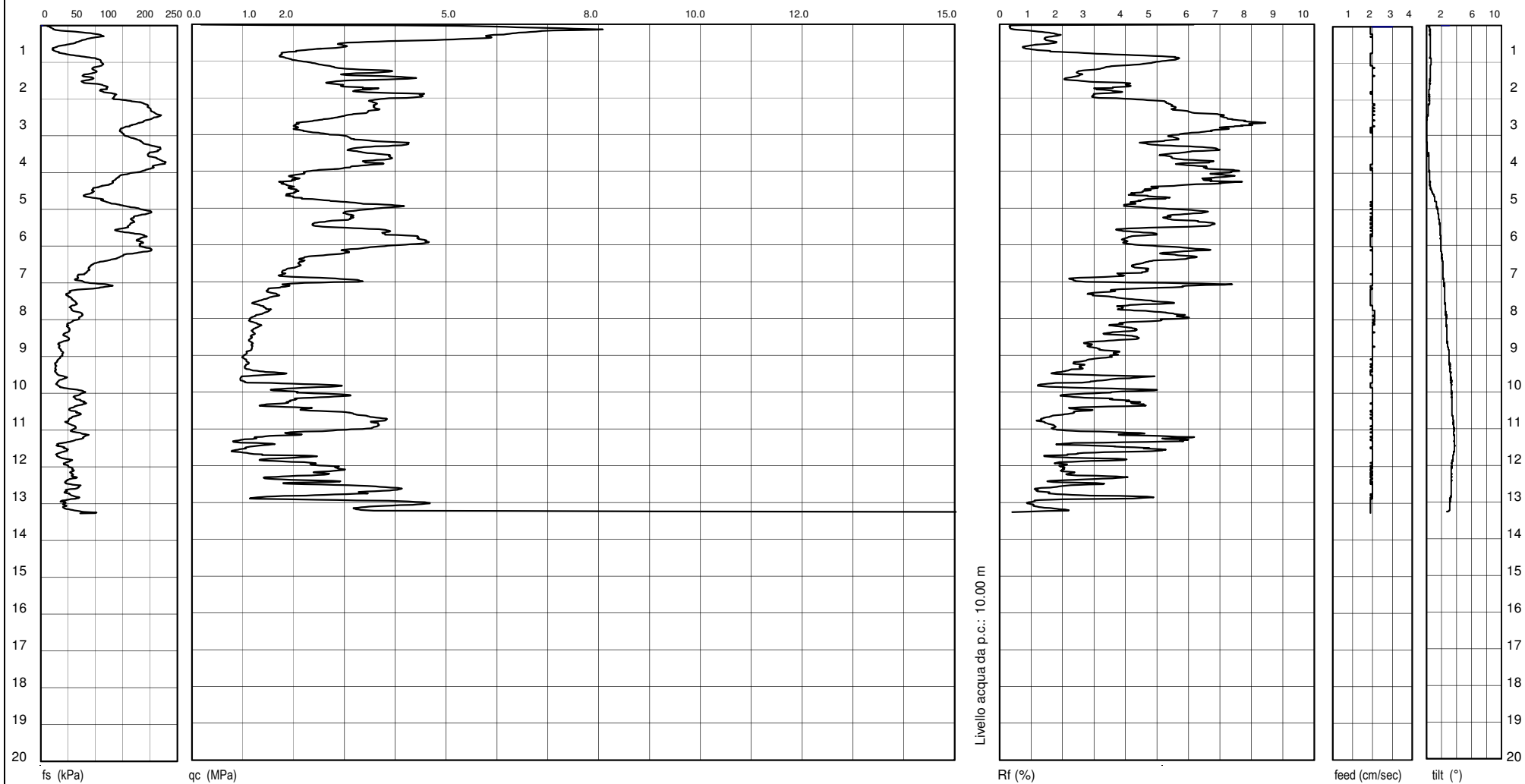
**Rapporto di Prova N. 19.0498/RSP**

Quota : ---

Preforo : 0,00 cm

Data Prova : 28/06/2019

Codice Lavoro : 2019.088



Procedura di Prova	Normativa di riferimento	Rapporto di Prova N°	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
IO_004	ASTM D 3441-05	19.0498/RSP	0	28/06/2019	Dr. Conti	Dr. Luca Conti

**GEO-PROBE** S.r.l.

Indagini Geognostiche

40033 Casalecchio di Reno (BO)  
Via Cimarosa, 119 - Tel. 051/61.33.072**C P T E (electric cone penetration test) N. 4**

Committente : Studio CGA

Località : Bologna

Cantiere: via dell'Arcoveggio

Attrezzatura: Punta Pagani Mod. MKJ387 - Penetrometro da 200 kN

Note: ---

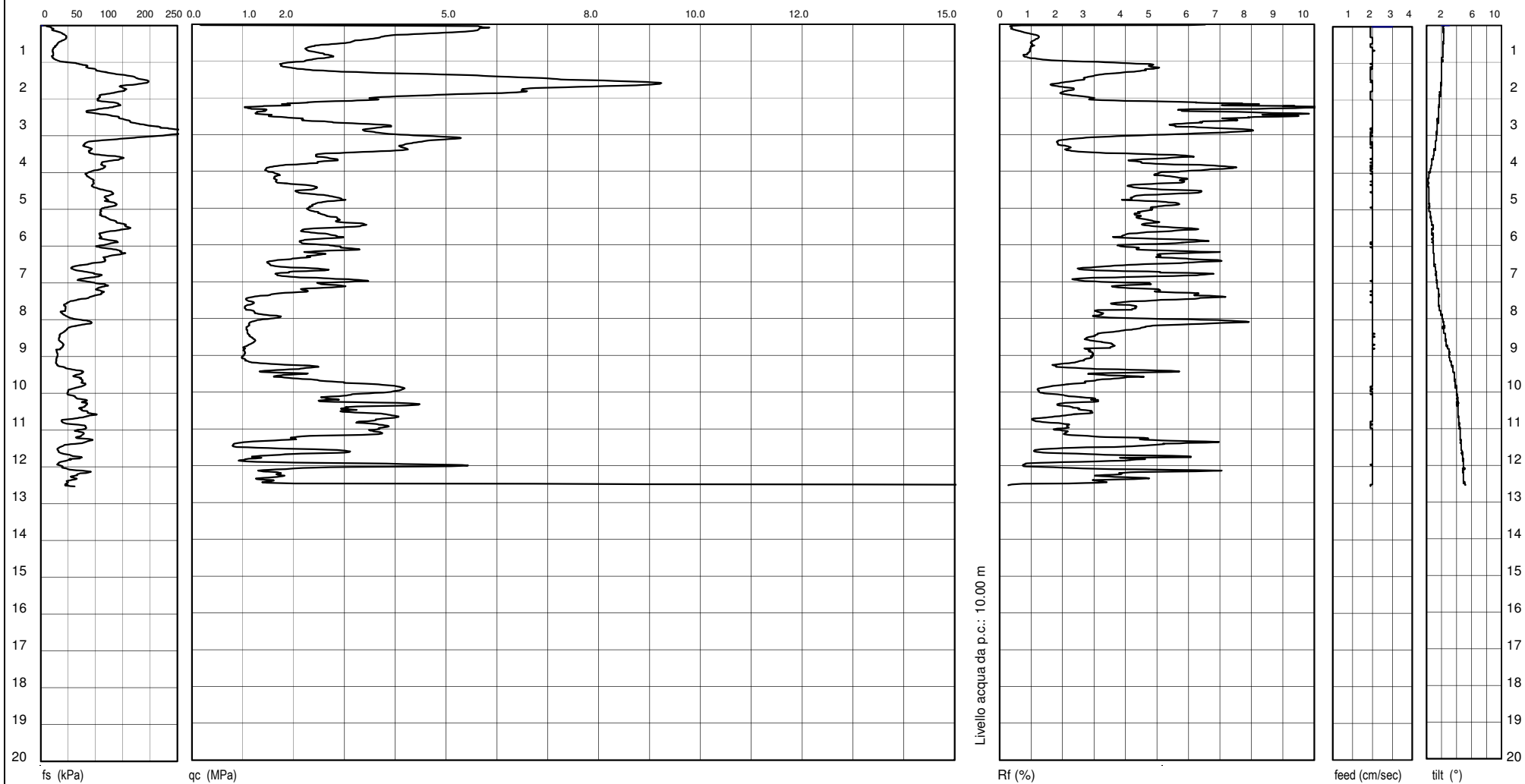
**Rapporto di Prova N. 19.0499/RSP**

Quota : ---

Preforo : 0,00 cm

Data Prova : 28/06/2019

Codice Lavoro : 2019.088



Procedura di Prova	Normativa di riferimento	Rapporto di Prova N°	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
IO_004	ASTM D 3441-05	19.0499/RSP	0	28/06/2019	Dr. Conti	Dr. Luca Conti

**GEO-PROBE** S.r.l.

Indagini Geognostiche

40033 Casalecchio di Reno (BO)  
Via Cimarosa, 119 - Tel. 051/61.33.072**C P T E (electric cone penetration test) N. 5**

Committente : Studio CGA

Località : Bologna

Cantiere: via dell'Arcoveggio

Attrezzatura: Punta Pagani Mod. MKJ386 - Penetrometro da 200 kN

Note: ---

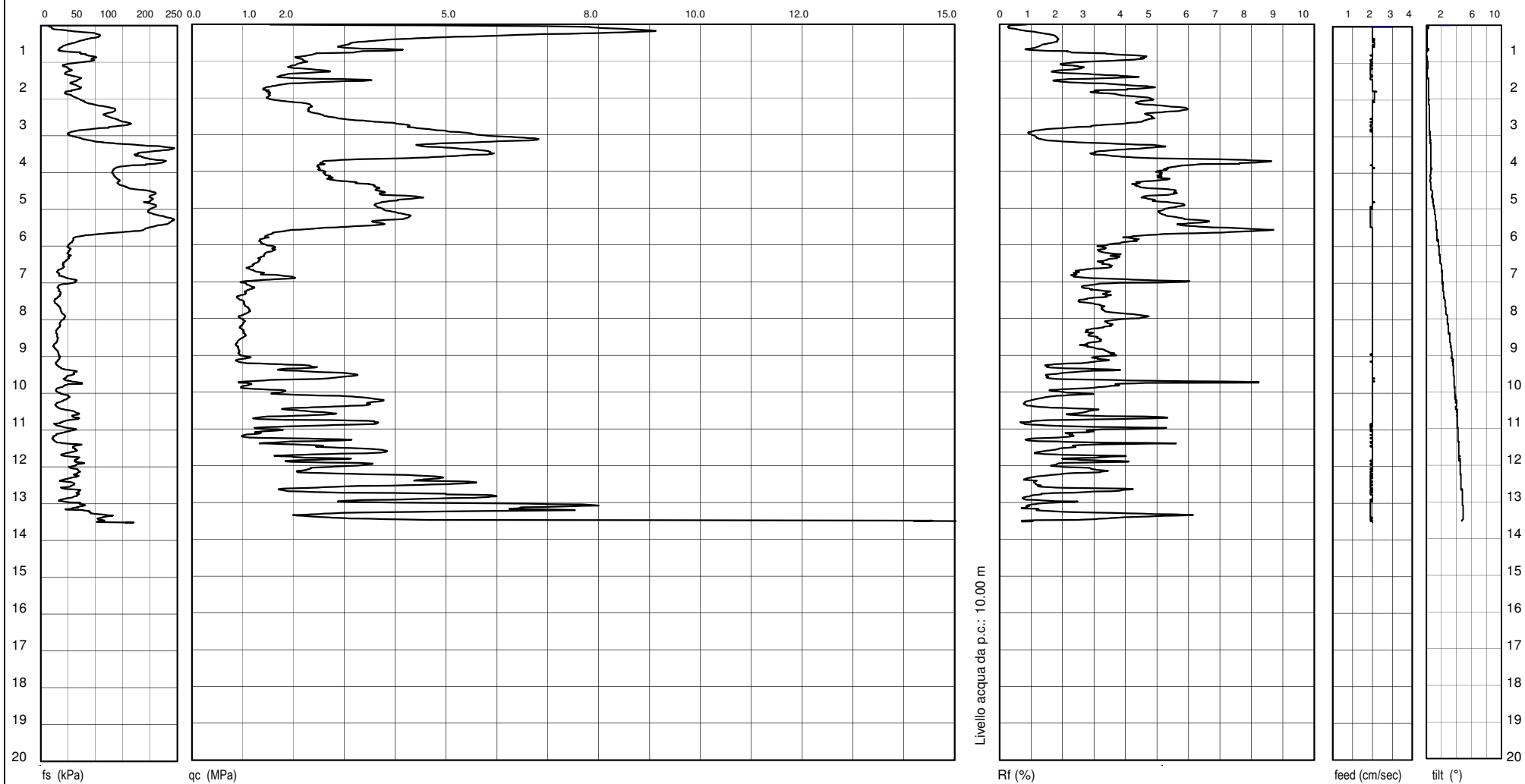
**Rapporto di Prova N. 19.0500/RSP**

Quota : ---

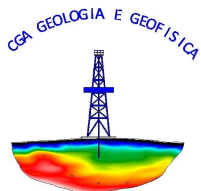
Preforo : 0,00 cm

Data Prova : 28/06/2019

Codice Lavoro : 2019.088



Procedura di Prova	Normativa di riferimento	Rapporto di Prova N°	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
IO_004	ASTM D 3441-05	19.0500/RSP	0	28/06/2019	Dr. Conti	Dr. Luca Conti



**Studio Tecnico Associato Consulenze di Geologia e Ambiente del Dott. Geol. F. Barbieri e del Dott. Geol. M. Ropa**  
Via E. Fermi n° 11/A - 40017 SAN GIOVANNI IN PERSICETO (BO) Tel. +39 051 - 6871113 Fax +39 051 6874328  
C.F. e Partita IVA 04112290376  
Email: [cgastudio@cgstudio.eu](mailto:cgastudio@cgstudio.eu)

## ALLEGATO 2

- Certificati prove laboratorio terre

## RIEPILOGO RAPPORTI DI PROVA

DATA DI EMISSIONE **28/02/2017**

COMMESSA: **17/018** VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: **17/0073** **SP** DATA ACCETTAZIONE: **14/02/2017**

**RICHIEDENTE:** Dott. Geol. Maurizio ROPA

**CONSEGNATARIO:** Dott. Geol. Maurizio ROPA

COMMITTENTE: C.G.A. Studio Associato

LOCALITA': BOLOGNA

CANTIERE: PARCHEGGIO GIURIOLO

SONDAGGIO: BH1 CAMPIONE: -

**PROFONDITA':** 4.40-4.90 **CONTENITORE CAMPIONE:** fustella acciaio

PRELIEVO ESEGUITO DA: GEO-PROBE srl

PROVE IN SITO ESEGUITE DA:

DATA ESECUZIONE PROVE IN SITO o PRELIEVO CAMPIONE:

OSSERVAZIONI:

**PROVE e/o DETERMINAZIONI ESEGUITE SUL CAMPIONE o FUORI STAZIONE**

CODICE PROVA	DESCRIZIONE SINTETICA	Q.tà	RIFERIMENTO	RAPPORTO DI PROVA
DSC01a	Estrazione, descrizione geotecnica di campioni da fustelle e rappresentazione fotografica	1	ASTM D 2488-84	RSP 17/0073-01
TRX02a.1	Prova triassiale CIU , eseguita su tre provini, compresi saturazione degli stessi e rilievo	1	ASTM D 4767	RSP 17/0073-02

per SINERGIA srl

**RAPPORTO di PROVA n° :****RSP\_17/0073-01****COMMESSA :** 17/018**VERBALE DI ACCETTAZIONE n° :****17/0073\_SP****RICHIEDENTE :** Dott. Geol. Maurizio ROPA**CONSEGNATARIO :** Dott. Geol. Maurizio ROPA**COMMITTENTE :** C.G.A. Studio Associato**LOCALITA' :** BOLOGNA**CANTIERE :** PARCHEGGIO GIURIOLO**DATA DI ACCETTAZIONE :** 14/02/2017**DATA DI EMISSIONE :** 28/02/2017**DESCRIZIONE CONTENITORE DEL CAMPIONE :** fustella di acciaio

<b>Sondaggio :</b> BH1	<b>Campione :</b> -	<b>Profondità :</b> 4.40 - 4.90	m
------------------------	---------------------	---------------------------------	---

**DATA PRELIEVO :** -**PRELIEVO EFFETTUATO :** da GEO-PROBE srl**DATI FORNITI da :** Committente**OSSERVAZIONI :** -**IL PRESENTE RAPPORTO DI PROVA HA PER OGGETTO LE SEGUENTI PROVE e/o DETERMINAZIONI :**

CODICE	DESCRIZIONE PROVA	n° prove	NORMATIVA DI RIFERIMENTO
DSC	Descrizione geotecnica del campione	1	ASTM D 2488-84

SPERIMENTATORE  
Dott. Enrico BERTOCCHIIl Direttore di Laboratorio  
Dott. Geol. Dario GRUNDLER

RAPPORTO DI PROVA n°: RSP\_17/0073-01

DATA EMISSIONE: 28/02/17

Pagina 2 di 3

**DESCRIZIONE GEOTECNICA DEL CAMPIONE - ASTM D2488**
**SONDAGGIO :** BH1 **CAMPIONE :** - **PROFONDITA' :** 4.40 ÷ 4.90 m

 Data descrizione : 20/02/17 Forma del campione : cilindrica  
 Qualità del campione (AGI) : **Q.5.** Dimensioni del campione : L = 52 cm;  $\phi$  = 8,4 cm

Profondità		Descrizione
da m	a m	
4.38	4.90	AL di colore grigio (10YR 5/1) con macchie e striature giallo brunastre (10YR 5/6)  Presenza di macchie brunastre di sostanza organica e di macropori  Media reazione a contatto con HCl al 5%.

**LEGENDA :** A = Argilla/Argilloso L = Limo/Limoso S = Sabbia/Sabbioso T = Torba/Torboso  
 G = Ghiaia/Ghiaioso F = Fine M = Medio C = Grossolano  
 Per i colori si fa riferimento a: "Munsell Soil Color Charts" (sigla tra parentesi)  
 ⊥ = perpendicolare all'asse del campione = parallelo all'asse del campione

SCHEMA DEL CAMPIONE			P.P. (MPa)	T.V. (MPa)	PROVE ESEGUITE
Prof. Nominale (m)	Profondità reale (m)				
4.40		4.38	0.25 =		
			0.22 ⊥		
			0.22 ⊥		
			0.20 ⊥		CNW, MVT, TCU (provino 3)
4.90			0.22 ⊥		CNW, MVT, TCU (provino 2)
		4.90	0.19 =		CNW, MVT, TCU (provino 1)

**LEGENDA :** CNW = contenuto in acqua  
 MVT = massa volumica

il significato degli altri codici, è riportato sulla prima pagina dei rapporti di prova

SPERIMENTATORE



RAPPORTO DI PROVA n°: RSP\_17/0073-01

DATA EMISSIONE: 28/02/17

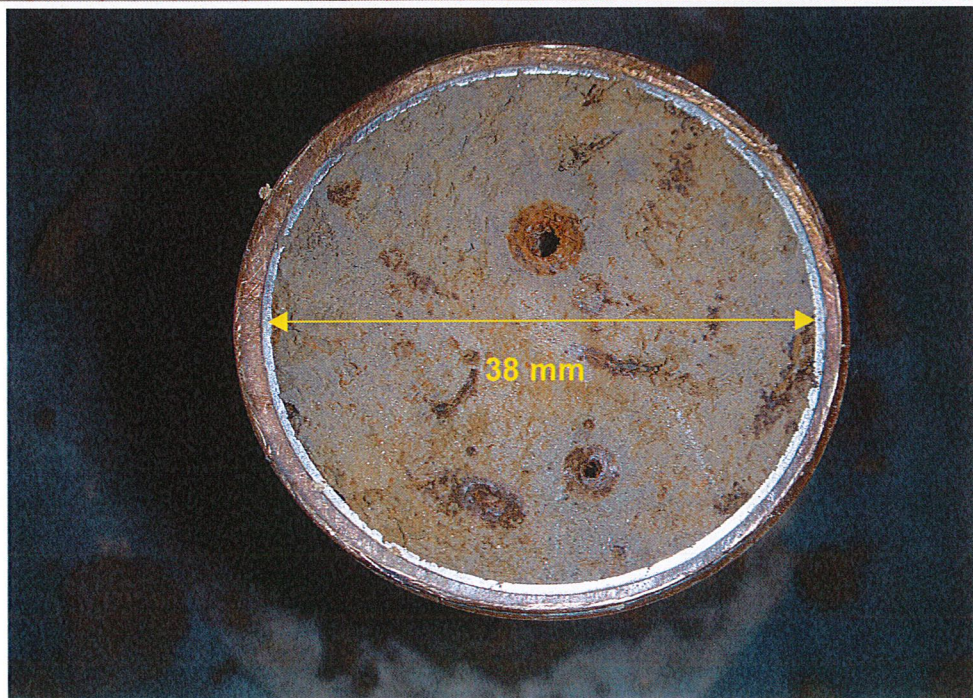
Pagina 3 di 3

## RAPPRESENTAZIONE FOTOGRAFICA DEL CAMPIONE - ASTM D2488

SONDAGGIO n°: BH1

CAMPIONE: -

PROFONDITA': 4.40 - 4.90 m



SPERIMENTATORE



**RAPPORTO di PROVA n° : RSP\_17/0073-02****COMMESSA : 17/018                      VERBALE DI ACCETTAZIONE n° : 17/0073\_SP****RICHIEDENTE :** Dott. Geol. Maurizio ROPA**CONSEGNATARIO :** Dott. Geol. Maurizio ROPA**COMMITTENTE :** C.G.A. Studio Associato**LOCALITA' :** BOLOGNA**CANTIERE :** PARCHEGGIO GIURIOLO**DATA DI ACCETTAZIONE :** 14/02/2017                      **DATA DI EMISSIONE :** 28/02/2017**DESCRIZIONE CONTENITORE DEL CAMPIONE :** fustella di acciaio

<b>Sondaggio :</b> BH1	<b>Campione :</b> -	<b>Profondità :</b> 4.40 - 4.90 m
------------------------	---------------------	-----------------------------------

**DATA PRELIEVO :** -**PRELIEVO EFFETTUATO :** da GEO-PROBE srl**DATI FORNITI da :** Committente**OSSERVAZIONI :** -**IL PRESENTE RAPPORTO DI PROVA HA PER OGGETTO LE SEGUENTI PROVE e/o DETERMINAZIONI :**


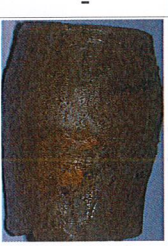


CODICE	DESCRIZIONE PROVA	n° prove	NORMATIVA DI RIFERIMENTO
TCU	Prova triassiale consolidata isotropicamente non drenata	3	ASTM D 4767
CTX	Calcolo tempi di consolidazione su provini per prova triassiale	1	ASTM D 2435

**DATA INIZIO PROVA:** 20/02/2017**DATA TERMINE PROVA:** 25/02/2017SPERIMENTATORE  
Dott. Enrico BERTOCCHIIl Direttore di Laboratorio  
Dott. Geol. Dario GRUNDLER

**RAPPORTO di PROVA n° RSP\_17/0073-02**
**DATA EMISSIONE: 28/02/2017**

Pag. 2 di 5

**PROVA TRIASSIALE C.I.U.**
**ASTM D 4767**
**SONDAGGIO : BH1      CAMPIONE : -      PROFONDITA': 4.40 ÷ 4.90 m**

PROVINO	n°	1	2	3	-
Profondità provino	da m	4.80	4.70	4.60	-
Profondità provino	a m	4.90	4.80	4.70	-
Condizione del provino	-	indisturbato	indisturbato	indisturbato	-
Diametro iniziale provino	mm	38.10	38.10	38.10	-
Altezza iniziale provino	mm	76.20	76.20	76.20	-
$\sigma'_3$ iniziale	kPa	95.90	49.70	199.80	-
massimo valore ( $\sigma_1 - \sigma_3$ )	kN/m²	240.58	201.83	332.60	-
Correzione per filtro e membrana su ( $\sigma_1 - \sigma_3$ ) max	kN/m²	5	5	4	-
massimo valore $\sigma'_1/\sigma'_3$	kN/m²	3.73	3.99	3.31	-
Correzione per filtro e membrana su ( $\sigma'_1/\sigma'_3$ ) max	kN/m²	1	1	2	-
<b>MODALITA' DI ROTTURA</b>					
Inclinazione sup. di rottura	°sess.		-		-
Foto o rappresentazione schematica del provino					

■ provino 1 (t. efficaci)

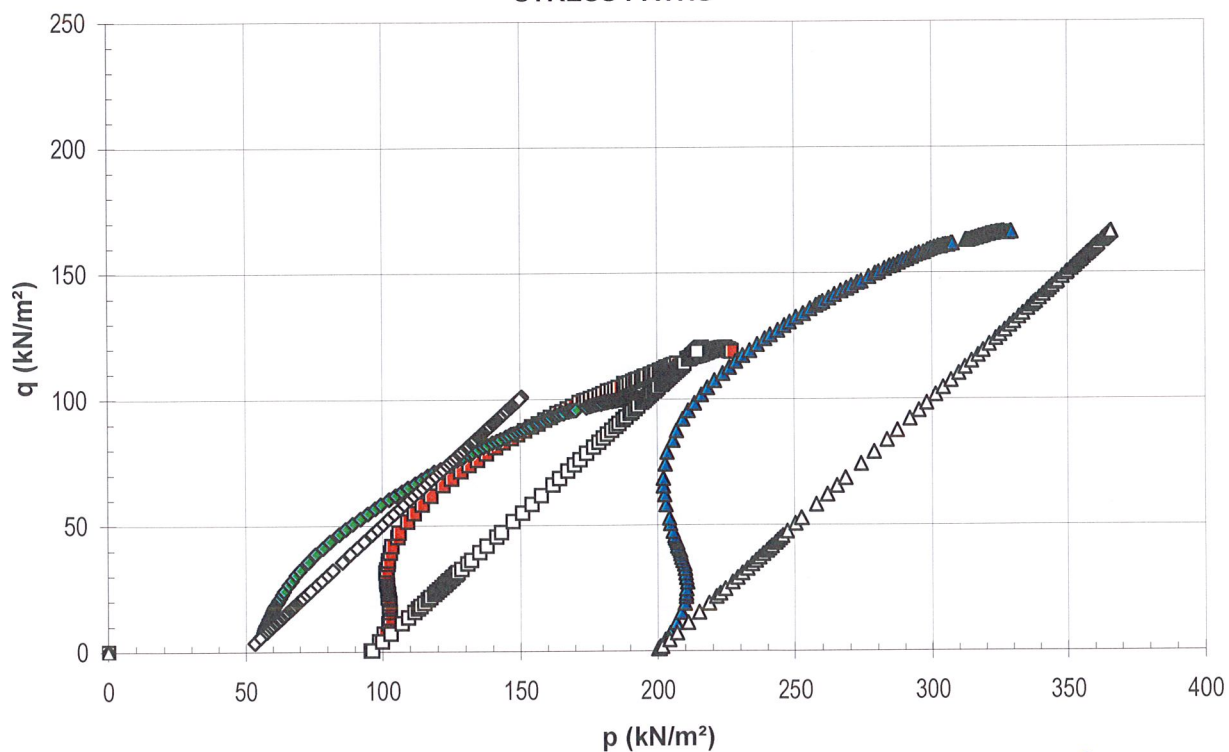
◆ provino 2 (t. efficaci)

▲ provino 3 (t. efficaci)

□ provino 1 (t. totali)

◇ provino 2 (t. totali)

△ provino 3 (t. totali)

**STRESS PATHS**


SPERIMENTATORE

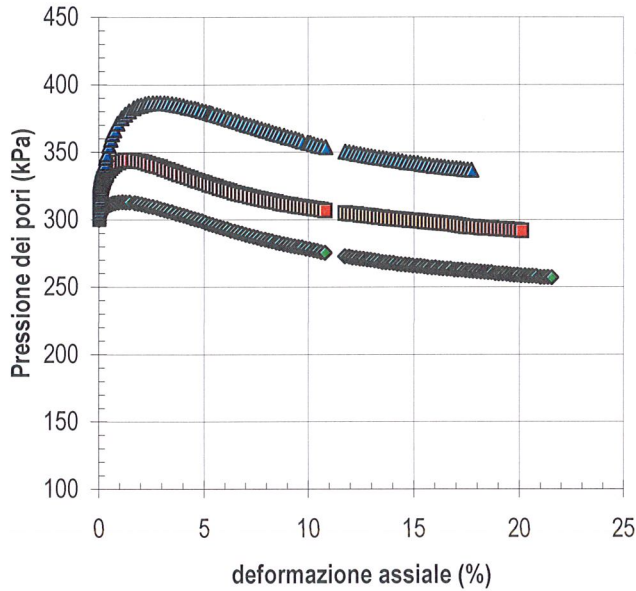
PROVA TRIASSIALE C.I.U.

ASTM D 4767

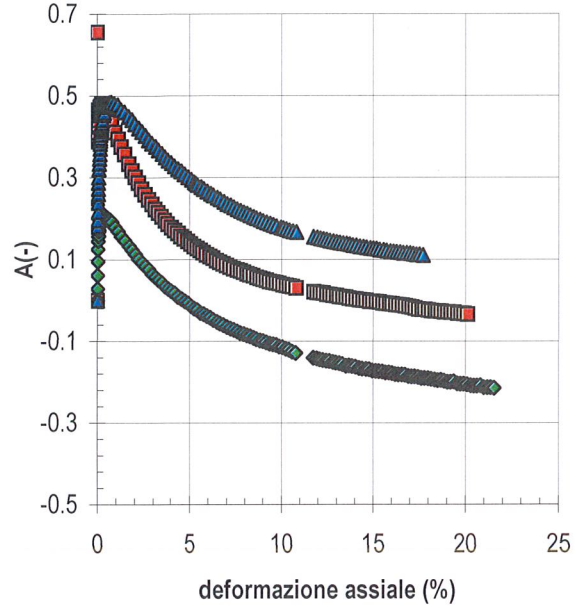
SONDAGGIO : BH1 CAMPIONE : -

PROFONDITA': 4.40 ÷ 4.90 m

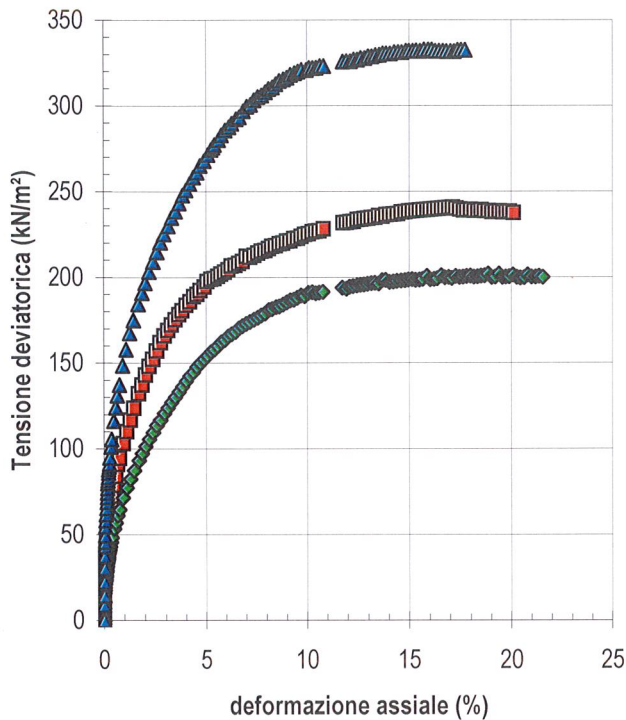
PRESSIONE DEI PORI/DEFORMAZIONE ASSIALE



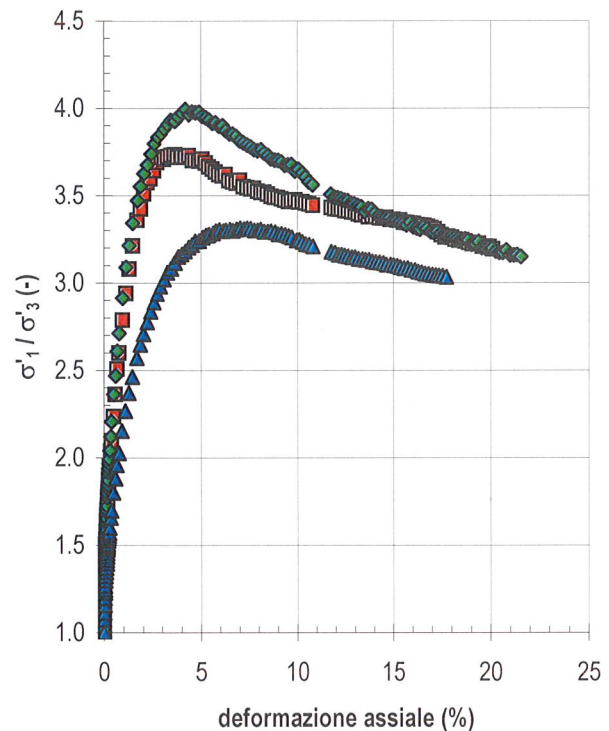
PARAMETRO "A"/DEFORMAZIONE ASSIALE



TENSIONE DEVIATORICA/DEFORMAZIONE ASSIALE



RAPPORTO TENSIONI PRINCIPALI/DEFORMAZIONE ASSIALE



provino 1 provino 2 provino 3

SPERIMENTATORE



**PROVA TRIASSIALE C.I.U.**
**ASTM D 4767**
**SONDAGGIO : BH1 CAMPIONE : - PROFONDITA': 4.40 ÷ 4.90 m**

PROVINO		n°	1	2	3	-
Profondità provino	da m		4.80	4.70	4.60	-
Profondità provino	a m		4.90	4.80	4.70	-
Condizione del provino	-		indisturbato	indisturbato	indisturbato	-
Diametro iniziale provino	mm		38.10	38.10	38.10	-
Altezza iniziale provino	mm		76.20	76.20	76.20	-
Massa volumica totale	kN/m³		19.20	18.66	18.97	-
<i>Riferimento Certificato</i>						
Contenuto in acqua iniziale	%		25.39	30.03	27.58	-
<i>Riferimento Certificato</i>						
Massa volumica secca	kN/m³		15.32	14.35	14.87	-
Peso sp. dei grani	(assunto)	-	2.750	2.750	2.750	-
<i>Riferimento Certificato</i>						
Indice dei vuoti iniziale	-		0.759	0.876	0.811	-
Grado di saturazione iniziale	%		91.91	94.09	93.38	-
<b>INIZIO PROVA</b>						
Pressione pori iniziale	kPa		-4.3	-3.9	-1.2	-
Valore di B iniziale	-		0.62	0.56	0.66	-
Pressione pori a saturazione	kPa		347	348	444	-
Pressione in cella finale	kPa		400	400	500	-
Valore di B a saturazione	-		0.94	0.96	0.96	-
<b>SATURAZIONE</b>						
Durata consolidazione	min		791	-	1208	-
Pressione in cella	kPa		400	350	500	-
Contropressione	kPa		300	300	300	-
Pressione pori iniziale	kPa		347	300	444	-
Pressione pori finale	kPa		304.1	300	300	-
Variazione altezza provino	mm		0.26	0.09	0.67	-
Variazione volume provino	cm³		2.45	0.55	2.85	-
t <sub>100</sub>	min		-	-	110.3	-
Tempo di rottura stimato	min		-	-	194.6	-
<b>CONSOLIDAZIONE</b>						
Pressione in cella	kPa		400	350	500	-
Pressione pori iniziale	kPa		304.1	300	300	-
σ <sub>3</sub> iniziale	kPa		95.9	49.7	199.8	-
Velocità pressa	mm/min		0.0100	0.0100	0.0100	-
massimo valore (σ <sub>1</sub> - σ <sub>3</sub> )	kN/m²		241	202	333	-
Deformaz. assiale percentuale a (σ <sub>1</sub> -σ <sub>3</sub> )max	%		17.12	18.84	15.74	-
Tempo per il raggiungimento di (σ <sub>1</sub> -σ <sub>3</sub> )max	min		1305	1440	1197	-
Correzione per filtro e membrana su (σ <sub>1</sub> -σ <sub>3</sub> )max	kN/m²		5	5	4	-
Pressione pori a rottura a (σ <sub>1</sub> -σ <sub>3</sub> )max	kPa		296	260	340	-
Valore di A a rottura a (σ <sub>1</sub> -σ <sub>3</sub> )max	-		-0.02	-0.20	0.12	-
p' a rottura a (σ <sub>1</sub> -σ <sub>3</sub> )max	kN/m²		225	191	326	-
q a rottura a (σ <sub>1</sub> -σ <sub>3</sub> )max	kN/m²		120	101	166	-
massimo valore σ <sub>1</sub> /σ <sub>3</sub>	kN/m²		4	4	3	-
Deformaz. assiale percentuale a (σ <sub>1</sub> /σ <sub>3</sub> )max	%		3.66	4.19	7.40	-
Correzione per filtro e membrana su (σ <sub>1</sub> /σ <sub>3</sub> )max	kN/m²		1	1	2	-
Pressione pori a rottura a (σ <sub>1</sub> /σ <sub>3</sub> )max	kPa		335	302	369	-
Valore di A a rottura a (σ <sub>1</sub> /σ <sub>3</sub> )max	-		0.20	0.02	0.23	-
p' a rottura a (σ <sub>1</sub> /σ <sub>3</sub> )max	kN/m²		154	119	283	-
q a rottura a (σ <sub>1</sub> /σ <sub>3</sub> )max	kN/m²		89	71	152	-
<b>COMPRESSIONE</b>						
Massa volumica totale finale	kN/m³		19.76	18.98	19.57	-
Contenuto in acqua finale	%		25.44	31.40	27.37	-
<i>Riferimento Certificato</i>						
Massa volumica secca finale	kN/m³		15.76	14.45	15.37	-
Indice dei vuoti finale	-		0.709	0.864	0.753	-
Grado di saturazione finale	%		98.48	99.77	99.90	-
<b>FINE PROVA</b>						

SPERIMENTATORE

**RAPPORTO di PROVA n° RSP\_17/0073-02**
**DATA EMISSIONE: 28/02/2017**

Pag. 5 di 5

**PROVA TRIASSIALE CIU**
**SONDAGGIO :** BH1 **CAMPIONE :** - **PROFONDITA':** 4.40 ÷ 4.90 m

**DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI DI CONSOLIDAZIONE (ASTM D2435-96)**
**RELATIVI ALL' INCREMENTO DI  $\sigma'_3$**  da **50** kPa a **200** kPa

**PROVINO n. 3** **PROFONDITA'** da 4.60 m a 4.70 m

**Condizioni di drenaggio del provino:** 2 estremità e radiale

**VALORI MISURATI**

Tempo (min)	$\Delta V$ (mm <sup>3</sup> )	$\Delta H$ (mm)	Tempo (min)	$\Delta V$ (mm <sup>3</sup> )	$\Delta H$ (mm)
0.1	430	0.084	960	2520	1.454
0.25	480	0.103	1440	2530	1.458
0.4	510	0.120	-	-	-
0.5	520	0.125	-	-	-
1	610	0.151	-	-	-
2	710	0.179	-	-	-
4	870	0.221	-	-	-
8	1070	0.274	-	-	-
15	1370	0.326	-	-	-
30	1690	0.387	-	-	-
60	2030	0.454	-	-	-
120	2330	0.501	-	-	-
240	2460	0.528	-	-	-
480	2500	0.541	-	-	-

**VALORI CALCOLATI**

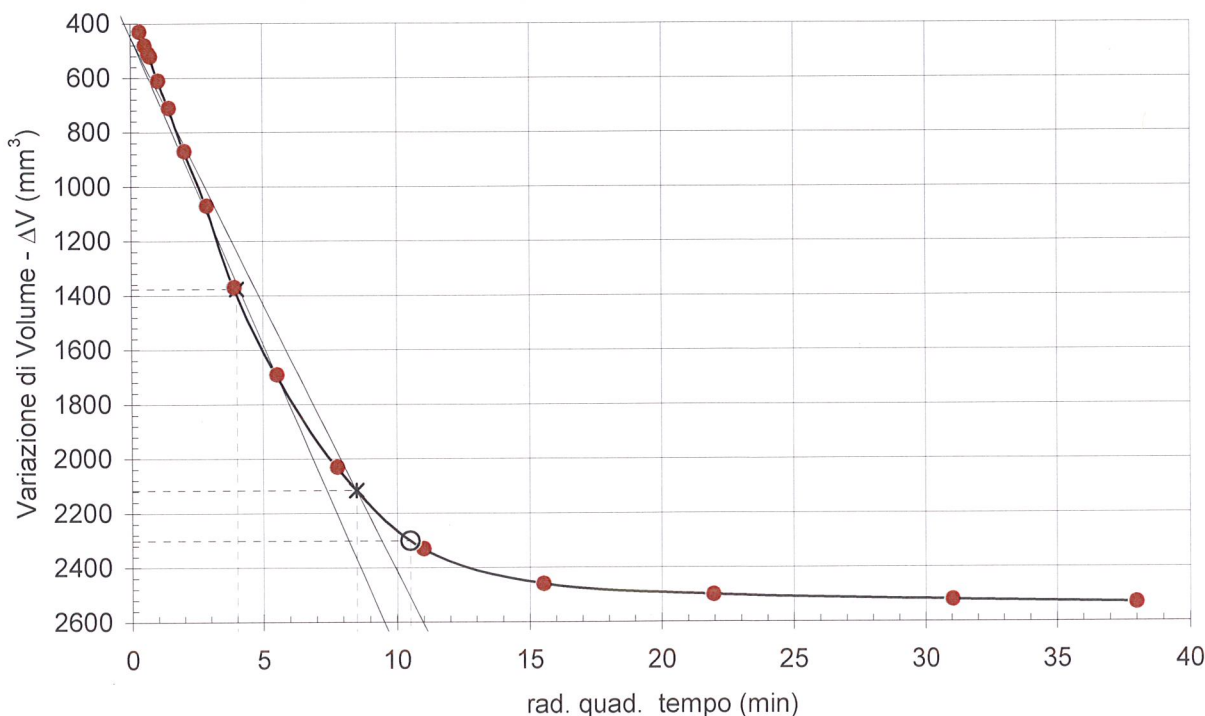
$t_{90}$	(min)	=	72.3
$a_{vi90}$	(mm)	=	2117
$t_{50}$	(min)	=	16.0
$a_{vi50}$	(mm)	=	1376
$t_{100}$	(min)	=	110.3
$d_{vi100}$	(mm)	=	2302

Tempo per il raggiungimento della rottura  
 **$t_r$  (min) = 194.6**

deformazione a rottura ipotizzata

**def. (mm) = 6.0**

velocità di rottura calcolata

 **$v$  (mm/min) = 0.03083**
 **$m_{vi}$  (m<sup>2</sup>/MN) = 0.2265**


SPERIMENTATORE



# **PROVA TRIASSIALE CIU (ASTM D 4767) - INTERPOLAZIONE DATI**

COMMITTENTE: C.G.A. Studio Associato

Pag. 1 di 1

LOCALITA': BOLOGNA

CANTIERE: PARCHEGGIO GIURIOLO

DATA EMISSIONE: 28/02/2017

SONDAGGIO: BH1

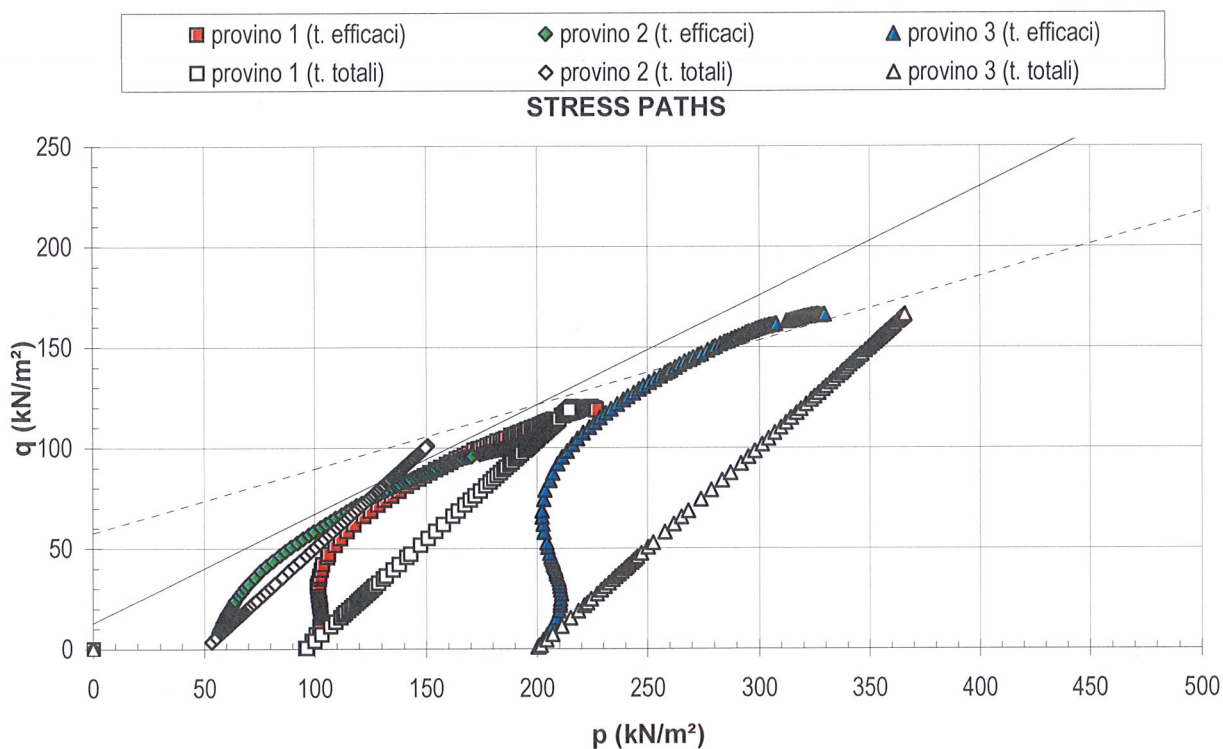
CAMPIONE: - PROFONDITA': da m 4.40 a m 4.90

*L'interpretazione sotto riportata è frutto di una regressione lineare operata sulle tensioni massime determinate in laboratorio: la scelta dei parametri della resistenza al taglio più opportuni rispetto alle finalità prefissate spetta al Progettista o Professionista incaricato.*

## **Risultati della regressione lineare**

Tensioni efficaci	Tensioni totali		
		Intercetta asse y	inclinaz. retta
		(kN/m <sup>2</sup> )	(° sess.)
		12.91	28.47
		57.62	17.70

Regressione lineare eseguita utilizzando tutti i provini



## **NOTE:**

Regressione lineare eseguita utilizzando il valore massimo della tensione deviatorica

## RIEPILOGO RAPPORTI DI PROVA

DATA DI EMISSIONE **28/02/2017**

COMMESSA: **17/018** VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: **17/0074** **SP** DATA ACCETTAZIONE: **14/02/2017**

**RICHIEDENTE:** Dott. Geol. Maurizio ROPA

**CONSEGNATARIO:** Dott. Geol. Maurizio ROPA

COMMITTENTE: C.G.A. Studio Associato

LOCALITA': BOLOGNA

CANTIERE: PARCHEGGIO GIURIOLO

SONDAGGIO: BH1 CAMPIONE: -

**PROFONDITA':** 8.00-8.50 **CONTENITORE CAMPIONE:** fustella acciaio

PRELIEVO ESEGUITO DA: GEO-PROBE srl

PROVE IN SITO ESEGUITE DA:

DATA ESECUZIONE PROVE IN SITO o PRELIEVO CAMPIONE:

**OSSERVAZIONI:**

**PROVE e/o DETERMINAZIONI ESEGUITE SUL CAMPIONE o FUORI STAZIONE**

CODICE PROVA	DESCRIZIONE SINTETICA	Q.tà	RIFERIMENTO	RAPPORTO DI PROVA
DSC01a TRX02a.1	Estrazione, descrizione geotecnica di campioni da fustelle e rappresentazione fotografica Prova triassiale CIU , eseguita su tre provini, compresi saturazione degli stessi e rilievo	1 1	ASTM D 2488-84 ASTM D 4767	RSP 17/0074-01 RSP 17/0074-02

per SINERGEA srl

**RAPPORTO di PROVA n° :****RSP\_17/0074-01****COMMESSA :** 17/018**VERBALE DI ACCETTAZIONE n° :****17/0074\_SP****RICHIEDENTE :** Dott. Geol. Maurizio ROPA**CONSEGNATARIO :** Dott. Geol. Maurizio ROPA**COMMITTENTE :** C.G.A. Studio Associato**LOCALITA' :** BOLOGNA**CANTIERE :** PARCHEGGIO GIURIOLO**DATA DI ACCETTAZIONE :** 14/02/2017**DATA DI EMISSIONE :** 28/02/2017**DESCRIZIONE CONTENITORE DEL CAMPIONE :** fustella di acciaio

<b>Sondaggio :</b> BH1	<b>Campione :</b> -	<b>Profondità :</b> 8.00 - 8.50 m
------------------------	---------------------	-----------------------------------

**DATA PRELIEVO :** -**PRELIEVO EFFETTUATO :** da GEO-PROBE srl**DATI FORNITI da :** Committente**OSSERVAZIONI :** -**IL PRESENTE RAPPORTO DI PROVA HA PER OGGETTO LE SEGUENTI PROVE e/o DETERMINAZIONI :**

CODICE	DESCRIZIONE PROVA	n° prove	NORMATIVA DI RIFERIMENTO
DSC	Descrizione geotecnica del campione	1	ASTM D 2488-84

SPERIMENTATORE  
Dott. Enrico BERTOCCHI

Il Direttore di Laboratorio  
Dott. Geol. Dario GRUNDLER



RAPPORTO DI PROVA n°: RSP\_17/0074-01

DATA EMISSIONE: 28/02/17

Pagina 2 di 3

**DESCRIZIONE GEOTECNICA DEL CAMPIONE - ASTM D2488**
**SONDAGGIO :** BH1 **CAMPIONE :** - **PROFONDITA' :** 8.00 ÷ 8.50 m

Data descrizione : 20/02/17 Forma del campione : cilindrica  
Qualità del campione (AGI) : **Q.5.** Dimensioni del campione : L = 53 cm;  $\phi$  = 8,4 cm

Profondità		Descrizione
da m	a m	
7.97	8.13	Campione rimaneggiato.
8.13	8.50	AL di colore grigio verdastro (5GY 5/1)
		Medio/forte reazione a contatto con HCl al 5%.

**LEGENDA :** A = Argilla/Argilloso L = Limo/Limoso S = Sabbia/Sabbioso T = Torba/Torboso  
G = Ghiaia/Ghiaioso F = Fine M = Medio C = Grossolano  
Per i colori si fa riferimento a: "Munsell Soil Color Charts" (sigla tra parentesi)  
⊥ = perpendicolare all'asse del campione = parallelo all'asse del campione

SCHEMA DEL CAMPIONE		P.P. (MPa)	T.V. (MPa)	PROVE ESEGUITE
Prof. Nominale (m)	Profondità reale (m)			
8.00	7.97	0.11 = 0.14 ⊥		
		0.12 ⊥		
		0.15 ⊥		CNW, MVT, TCU (provino 3)
8.50	8.50	0.1 =		CNW, MVT, TCU (provini 1 e 2)

**LEGENDA :** CNW = contenuto in acqua  
MVT = massa volumica

il significato degli altri codici, è riportato sulla prima pagina dei rapporti di prova

SPERIMENTATORE

RAPPORTO DI PROVA n°: RSP\_17/0074-01

DATA EMISSIONE: 28/02/17

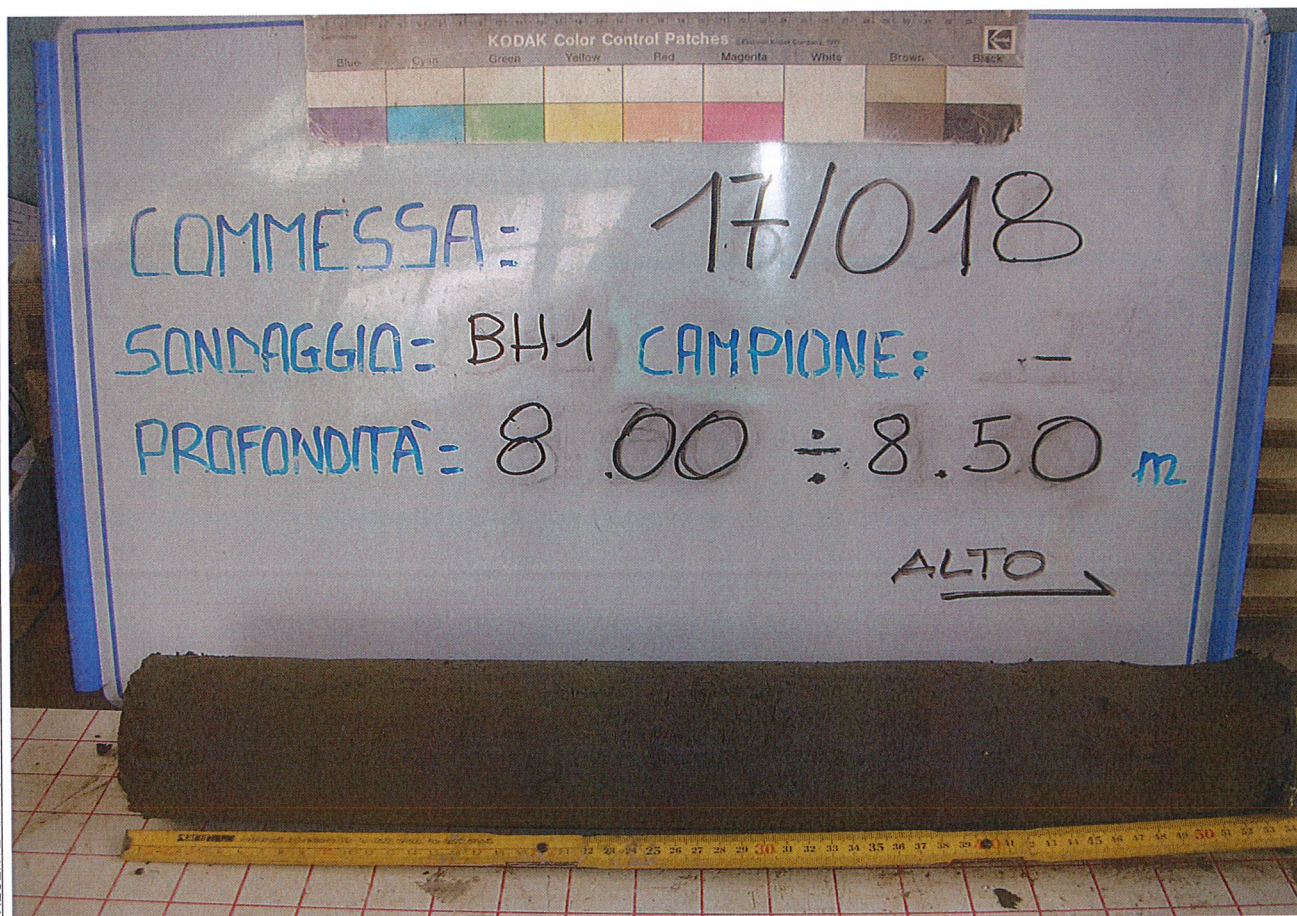
Pagina 3 di 3

## RAPPRESENTAZIONE FOTOGRAFICA DEL CAMPIONE - ASTM D2488

SONDAGGIO n°: BH1

CAMPIONE: -

PROFONDITA': 8.00 - 8.50 m



SPERIMENTATORE



**RAPPORTO di PROVA n° :****RSP\_17/0074-02****COMMESSA :** 17/018**VERBALE DI ACCETTAZIONE n° :****17/0074\_SP****RICHIEDENTE :** Dott. Geol. Maurizio ROPA**CONSEGNATARIO :** Dott. Geol. Maurizio ROPA**COMMITTENTE :** C.G.A. Studio Associato**LOCALITA' :** BOLOGNA**CANTIERE :** PARCHEGGIO GIURIOLO**DATA DI ACCETTAZIONE :** 14/02/2017**DATA DI EMISSIONE :** 28/02/2017**DESCRIZIONE CONTENITORE DEL CAMPIONE :** fustella di acciaio

<b>Sondaggio :</b> BH1	<b>Campione :</b> -	<b>Profondità :</b> 8.00 - 8.50 m
------------------------	---------------------	-----------------------------------

**DATA PRELIEVO :** -**PRELIEVO EFFETTUATO :** da GEO-PROBE srl**DATI FORNITI da :** Committente**OSSERVAZIONI :** -**IL PRESENTE RAPPORTO DI PROVA HA PER OGGETTO LE SEGUENTI PROVE e/o DETERMINAZIONI :**


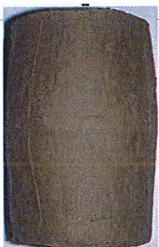
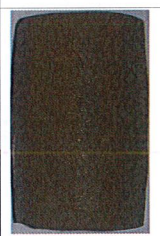

CODICE	DESCRIZIONE PROVA	n° prove	NORMATIVA DI RIFERIMENTO
TCU	Prova triassiale consolidata isotropicamente non drenata	3	ASTM D 4767
CTX	Calcolo tempi di consolidazione su provini per prova triassiale	1	ASTM D 2435

**DATA INIZIO PROVA:** 18/02/2017**DATA TERMINE PROVA:** 21/02/2017SPERIMENTATORE  
Dott. Enrico BERTOCCHIIl Direttore di Laboratorio  
Dott. Geol. Dario GRUNDLER

**RAPPORTO di PROVA n° RSP\_17/0074-02**
**DATA EMISSIONE: 28/02/2017**

Pag. 2 di 5

**PROVA TRIASSIALE C.I.U.**
**ASTM D 4767**
**SONDAGGIO : BH1 CAMPIONE : - PROFONDITA': 8.00 ÷ 8.50 m**

PROVINO	n°	1	2	3	-
Profondità provino	da m	8.40	8.40	8.30	-
Profondità provino	a m	8.50	8.50	8.40	-
Condizione del provino	-	indisturbato	indisturbato	indisturbato	-
Diametro iniziale provino	mm	38.10	38.10	38.10	-
Altezza iniziale provino	mm	76.20	76.20	76.20	-
$\sigma'_3$ iniziale	kPa	95.30	50.20	197.30	-
massimo valore ( $\sigma'_1 - \sigma'_3$ )	kN/m²	192.01	151.08	264.10	-
Correzione per filtro e membrana su ( $\sigma'_1 - \sigma'_3$ ) max	kN/m²	5	3	4	-
massimo valore $\sigma'_1/\sigma'_3$	kN/m²	3.54	4.13	3.39	-
Correzione per filtro e membrana su ( $\sigma'_1/\sigma'_3$ ) max	kN/m²	2	3	4	-
<b>MODALITA' DI ROTTURA</b>					
Inclinazione sup. di rottura	°sess.	-	-	-	-
Foto o rappresentazione schematica del provino					

■ provino 1 (t. efficaci)

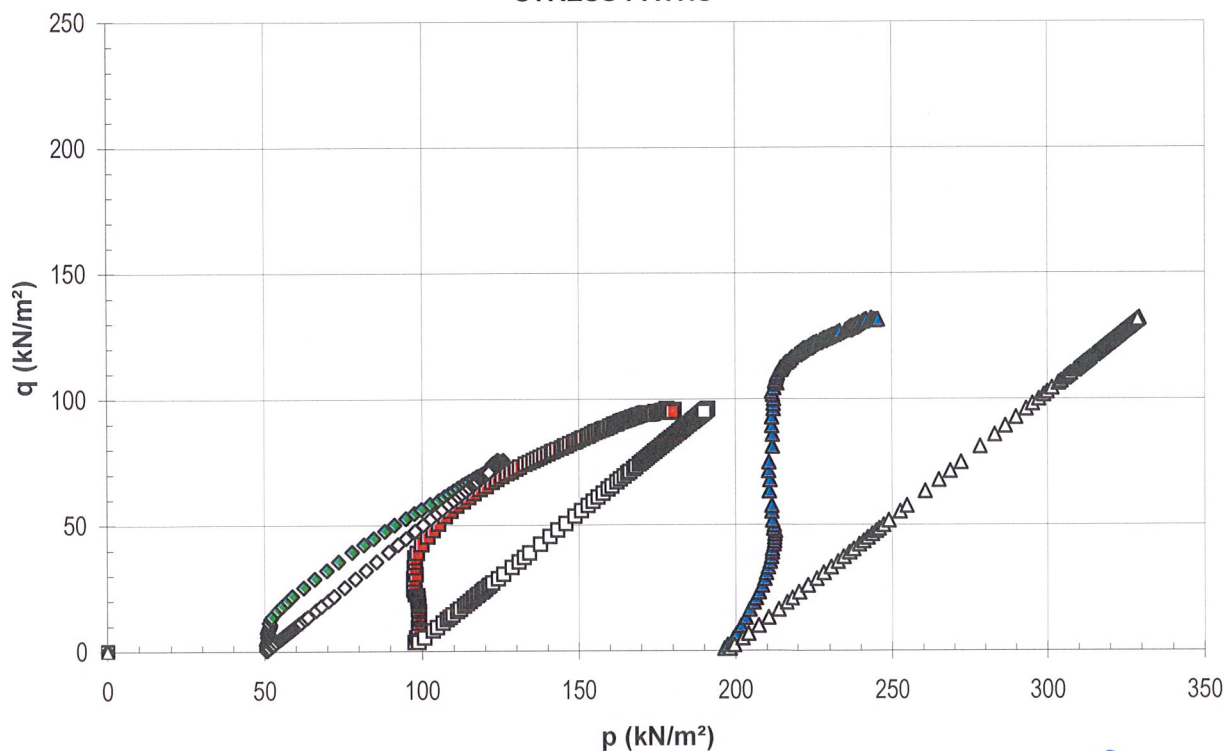
◆ provino 2 (t. efficaci)

▲ provino 3 (t. efficaci)

□ provino 1 (t. totali)

◇ provino 2 (t. totali)

△ provino 3 (t. totali)

**STRESS PATHS**


SPERIMENTATORE

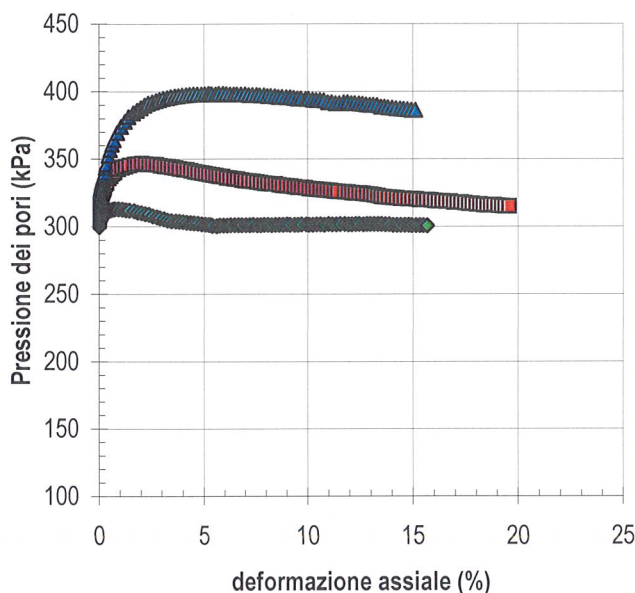
PROVA TRIASSIALE C.I.U.

ASTM D 4767

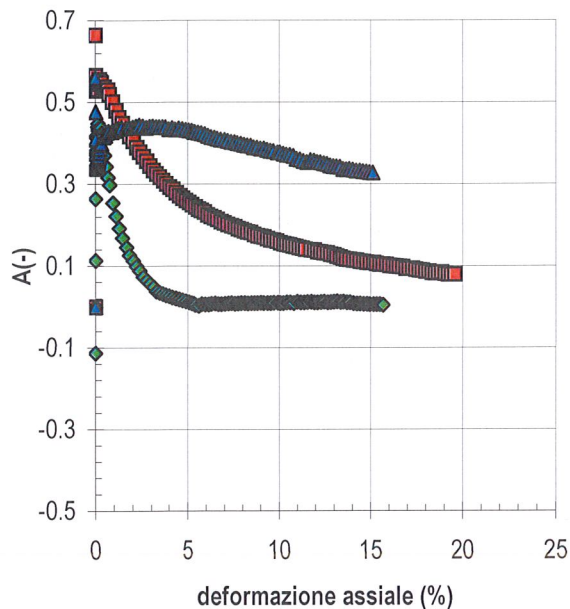
SONDAGGIO : BH1 CAMPIONE : -

PROFONDITA': 8.00 ÷ 8.50 m

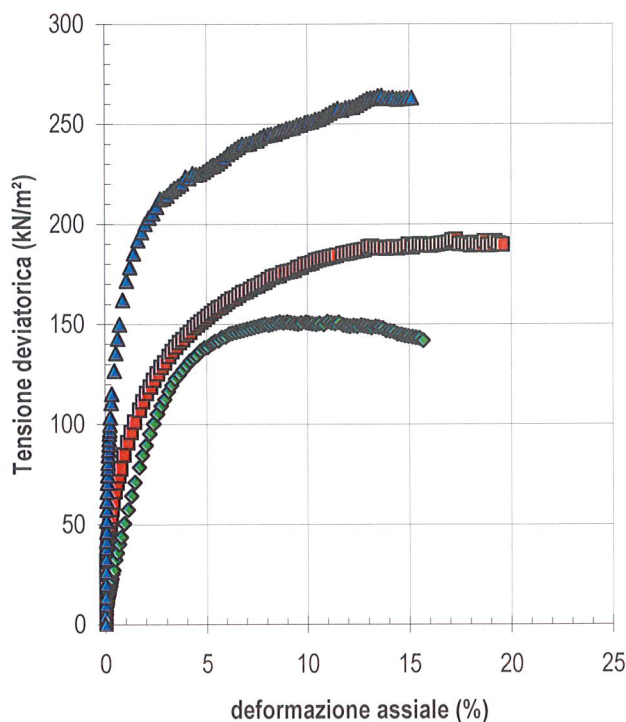
PRESSIONE DEI PORI/DEFORMAZIONE ASSIALE



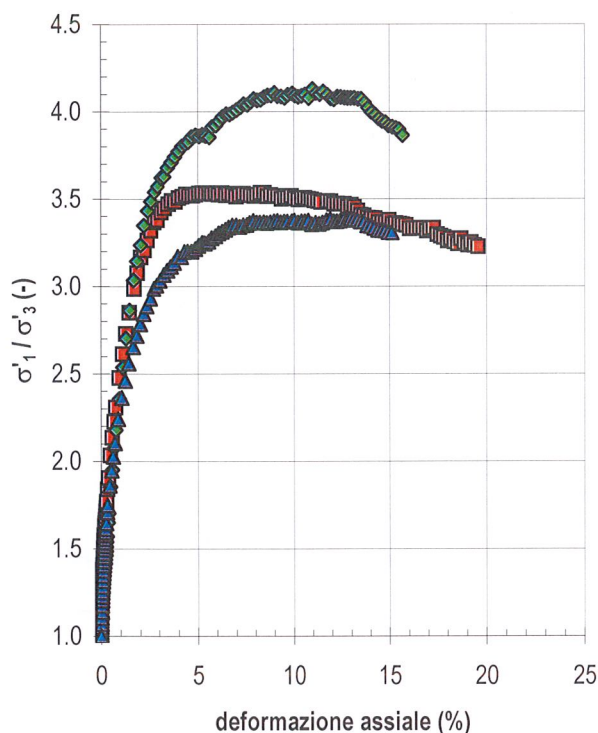
PARAMETRO "A"/DEFORMAZIONE ASSIALE



TENSIONE DEVIATORICA/DEFORMAZIONE ASSIALE



RAPPORTO TENSIONI PRINCIPALI/DEFORMAZIONE ASSIALE



provino 1 provino 2 provino 3

SPERIMENTATORE



**PROVA TRIASSIALE C.I.U.**
**ASTM D 4767**
**SONDAGGIO : BH1 CAMPIONE : - PROFONDITA': 8.00 ÷ 8.50 m**

PROVINO		n°	1	2	3	-
Profondità provino	da m		8.40	8.40	8.30	-
Profondità provino	a m		8.50	8.50	8.40	-
Condizione del provino	-		indisturbato	indisturbato	indisturbato	-
Diametro iniziale provino	mm		38.10	38.10	38.10	-
Altezza iniziale provino	mm		76.20	76.20	76.20	-
Massa volumica totale	kN/m³		19.11	19.11	19.34	-
<i>Riferimento Certificato</i>						
Contenuto in acqua iniziale	%		24.71	24.34	25.65	-
<i>Riferimento Certificato</i>						
Massa volumica secca	kN/m³		15.32	15.37	15.39	-
Peso sp. dei grani	(assunto)	-	2.750	2.750	2.750	-
<i>Riferimento Certificato</i>						
Indice dei vuoti iniziale	-		0.757	0.753	0.750	-
Grado di saturazione iniziale	%		89.58	88.84	93.93	-
<b>INIZIO PROVA</b>						
Pressione pori iniziale	kPa		-2.3	1.8	0.3	-
Valore di B iniziale	-		0.60	0.42	0.68	-
Pressione pori a saturazione	kPa		349	348	445	-
Pressione in cella finale	kPa		400	400	500	-
Valore di B a saturazione	-		0.98	0.96	0.97	-
<b>SATURAZIONE</b>						
Durata consolidazione	min		1210	-	1208	-
Pressione in cella	kPa		400	350	500	-
Contropressione	kPa		300	300	300	-
Pressione pori iniziale	kPa		349	300	445	-
Pressione pori finale	kPa		303.4	300	300	-
Variazione altezza provino	mm		0.22	0.30	0.29	-
Variazione volume provino	cm³		2.85	0.97	3.44	-
t <sub>100</sub>	min		-	-	79.2	-
Tempo di rottura stimato	min		-	-	139.8	-
<b>CONSOLIDAZIONE</b>						
Pressione in cella	kPa		400	350	500	-
Pressione pori iniziale	kPa		304.7	300	303	-
σ'3 iniziale	kPa		95.3	50.2	197.3	-
Velocità pressa	mm/min		0.0100	0.0100	0.0100	-
massimo valore (σ <sub>1</sub> - σ <sub>3</sub> )	kN/m²		192	151	264	-
Deformaz. assiale percentuale a (σ <sub>1</sub> -σ <sub>3</sub> )max	%		17.28	10.98	13.66	-
Tempo per il raggiungimento di (σ <sub>1</sub> -σ <sub>3</sub> )max	min		1318	838	1045	-
Correzione per filtro e membrana su (σ <sub>1</sub> -σ <sub>3</sub> )max	kN/m²		5	3	4	-
Pressione pori a rottura a (σ <sub>1</sub> -σ <sub>3</sub> )max	kPa		318	302	389	-
Valore di A a rottura a (σ <sub>1</sub> -σ <sub>3</sub> )max	-		0.09	0.01	0.34	-
p' a rottura a (σ <sub>1</sub> -σ <sub>3</sub> )max	kN/m²		178	124	244	-
q a rottura a (σ <sub>1</sub> -σ <sub>3</sub> )max	kN/m²		96	76	132	-
massimo valore σ' <sub>1</sub> /σ' <sub>3</sub>	kN/m²		4	4	3	-
Deformaz. assiale percentuale a (σ' <sub>1</sub> /σ' <sub>3</sub> )max	%		8.28	10.98	12.96	-
Correzione per filtro e membrana su (σ' <sub>1</sub> /σ' <sub>3</sub> )max	kN/m²		2	3	4	-
Pressione pori a rottura a (σ' <sub>1</sub> /σ' <sub>3</sub> )max	kPa		332	302	390	-
Valore di A a rottura a (σ' <sub>1</sub> /σ' <sub>3</sub> )max	-		0.18	0.01	0.34	-
p' a rottura a (σ' <sub>1</sub> /σ' <sub>3</sub> )max	kN/m²		155	124	241	-
q a rottura a (σ' <sub>1</sub> /σ' <sub>3</sub> )max	kN/m²		87	76	131	-
<b>COMPRESSIONE</b>						
Massa volumica totale finale	kN/m³		19.73	19.50	19.82	-
Contenuto in acqua finale	%		24.52	25.53	23.65	-
<i>Riferimento Certificato</i>						
Massa volumica secca finale	kN/m³		15.84	15.54	16.03	-
Indice dei vuoti finale	-		0.700	0.733	0.680	-
Grado di saturazione finale	%		96.21	95.60	95.45	-
<b>FINE PROVA</b>						

SPERIMENTATORE

**RAPPORTO di PROVA n° RSP\_17/0074-02**
**DATA EMISSIONE: 28/02/2017**

Pag. 5 di 5

**PROVA TRIASSIALE CIU**
**SONDAGGIO :** BH1 **CAMPIONE :** - **PROFONDITA' :** 8.00 ÷ 8.50 m

**DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI DI CONSOLIDAZIONE (ASTM D2435-96)**
**RELATIVI ALL' INCREMENTO DI  $\sigma'_3$**  da **50** kPa a **200** kPa

**PROVINO n. 3** **PROFONDITA'** da 8.30 m a 8.40 m

**Condizioni di drenaggio del provino:** 2 estremità e radiale

**VALORI MISURATI**

Tempo (min)	$\Delta V$ (mm <sup>3</sup> )	$\Delta H$ (mm)	Tempo (min)	$\Delta V$ (mm <sup>3</sup> )	$\Delta H$ (mm)
0.1	440	0.087	960	2620	1.261
0.25	520	0.114	-	-	-
0.4	570	0.124	-	-	-
0.5	600	0.127	-	-	-
1	740	0.143	-	-	-
2	940	0.161	-	-	-
4	1140	0.181	-	-	-
8	1450	0.201	-	-	-
15	1880	0.220	-	-	-
30	2240	0.239	-	-	-
60	2420	0.248	-	-	-
120	2520	0.254	-	-	-
240	2580	0.256	-	-	-
480	2600	0.257	-	-	-

**VALORI CALCOLATI**

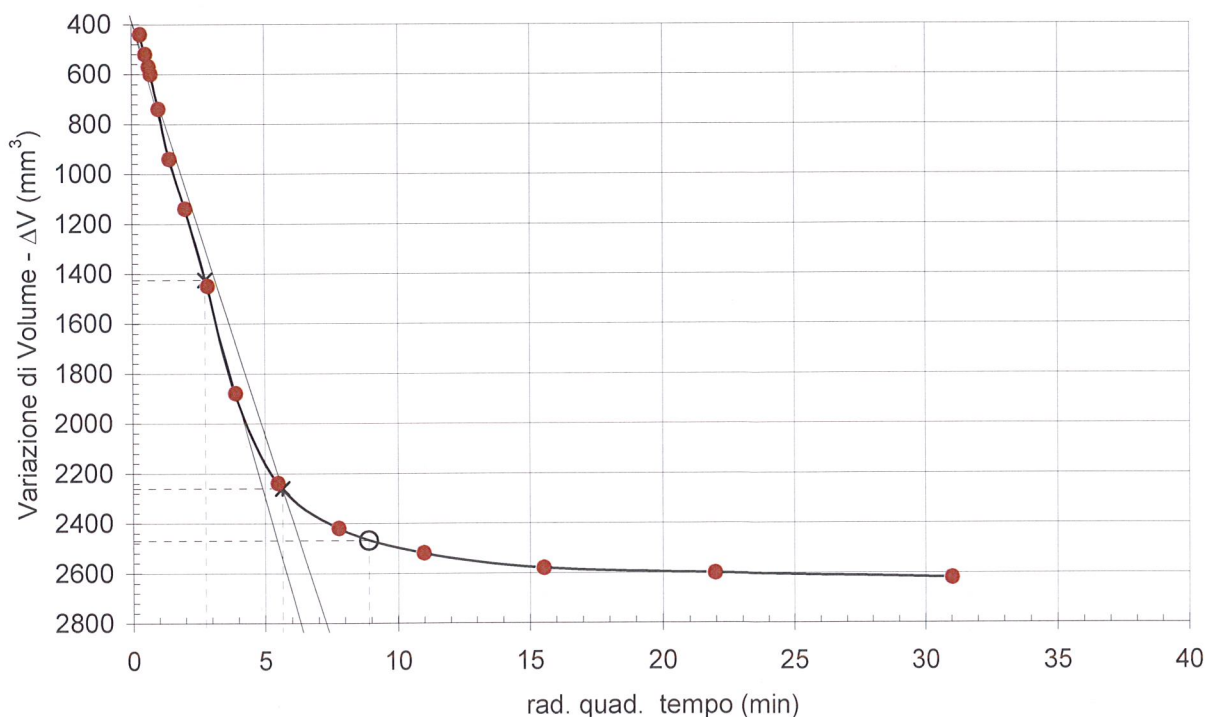
$t_{90}$	(min)	=	31.9
$a_{vi90}$	(mm)	=	2260
$t_{50}$	(min)	=	7.6
$a_{vi50}$	(mm)	=	1426
$t_{100}$	(min)	=	79.2
$d_{vi100}$	(mm)	=	2469

Tempo per il raggiungimento della rottura  
 **$t_r$  (min) = 139.8**

deformazione a rottura ipotizzata

**def. (mm) = 6.0**

velocità di rottura calcolata

 **$v$  (mm/min) = 0.04291**
 **$m_{vi}$  (m<sup>2</sup>/MN) = 0.2641**


SPERIMENTATORE



# PROVA TRIASSIALE CIU (ASTM D 4767) - INTERPOLAZIONE DATI

Pag. 1 di 1

COMMITTENTE: C.G.A. Studio Associato

LOCALITA': BOLOGNA

CANTIERE: PARCHEGGIO GIURIOLO

DATA EMISSIONE: 28/02/2017

SONDAGGIO: BH1

CAMPIONE: -

PROFONDITA': da m 8.00 a m 8.50

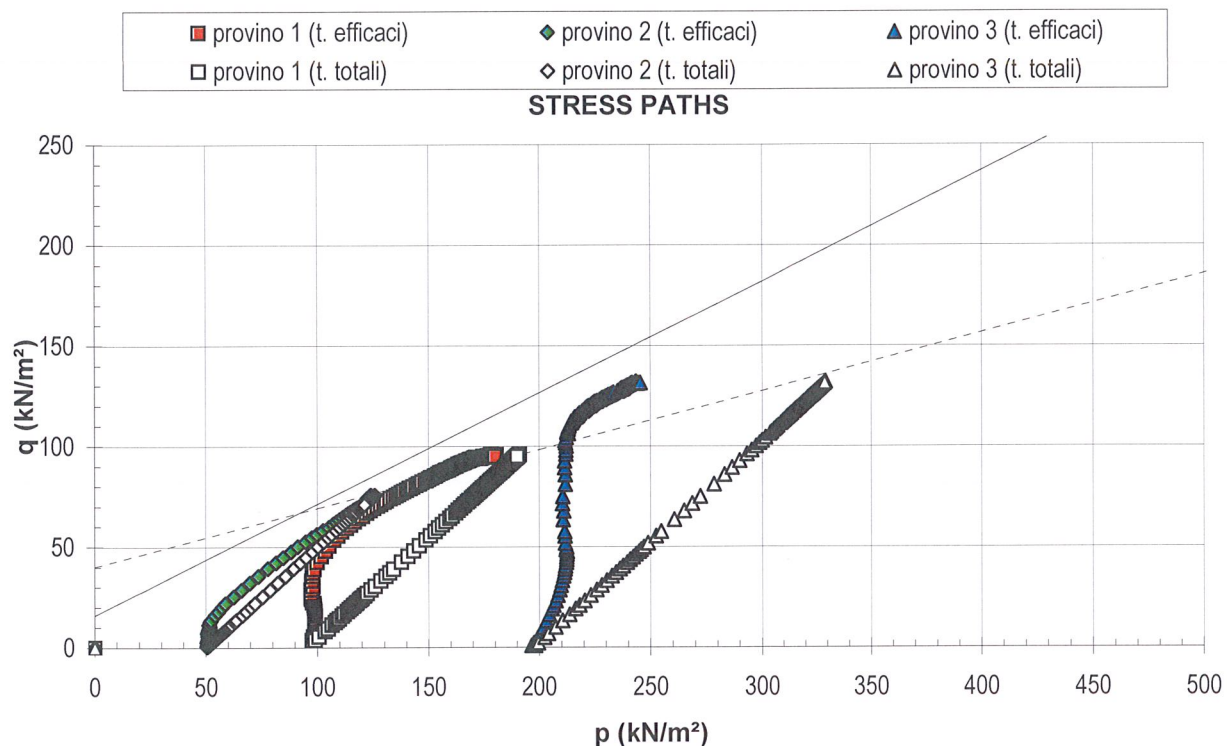
L'interpretazione sotto riportata è frutto di una regressione lineare operata sulle tensioni massime determinate in laboratorio: la scelta dei parametri della resistenza al taglio più opportuni rispetto alle finalità prefissate spetta al Progettista o Professionista incaricato.

## Risultati della regressione lineare

Tensioni efficaci	Tensioni totali
Intercetta asse y	Intercetta asse y
inclinaz. retta	inclinaz. retta
(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )
(° sess.)	(° sess.)
15.99	40.10
28.92	16.22

Regressione lineare eseguita utilizzando tutti i provini

z:



## NOTE:

Regressione lineare eseguita utilizzando il valore massimo del rapporto tra le tensioni principali