

COMUNE DI CAMPI BISENZIO  
SETTORE LAVORI PUBBLICI - AMBIENTE - MOBILITA'

Progetto definitivo per l'ampliamento del Cimitero del Capoluogo  
1° Lotto - 1° Stralcio

Oggetto:

**FASCICOLO DELLE INDAGINI IN SITO**

Normativa di riferimento: D.M. 17.01.2018 ("*Aggiornamento delle Norme Tecniche sulle Costruzioni*")  
Circ. Min. LL.PP. n°7 del 21.01.2019 ("*Istruzioni per l'applicazione del D.M. 17.01.2018*")  
D.P.G.R. n°01/R del 19.01.2022 ("*Regolamento di attuazione dell'art.181 della L.R. 65/2014. Disciplina sulle modalità di svolgimento delle attività di vigilanza e verifica di opere e costruzioni in zone soggette a rischio sismico*") e collegato **Allegato 1** ("*Linee guida sulla tipologia e classi di indagini geologiche, geofisiche e geotecniche da allegare ai progetti da presentare ai sensi dell'art.3 del Reg. Reg. 01/2022*")

**GEODINAMICA**

STUDIO GEOLOGICO ASSOCIATO  
di Calò J.G., Checcucci R., Scotti A.

GEOLOGIA - GEOTECNICA - IDROGEOLOGIA  
GEOLOGIA AMBIENTALE

Via Giovanni Giolitti n°34, 50136 FIRENZE  
e-mail: [geodinamica3@gmail.com](mailto:geodinamica3@gmail.com)

tel. / fax 055/6505157  
web: <http://geodinamica.weebly.com/>

Data:

OTTOBRE 2022

Codice:

---

Scala:

---

Formato:

A4

Rev:

02

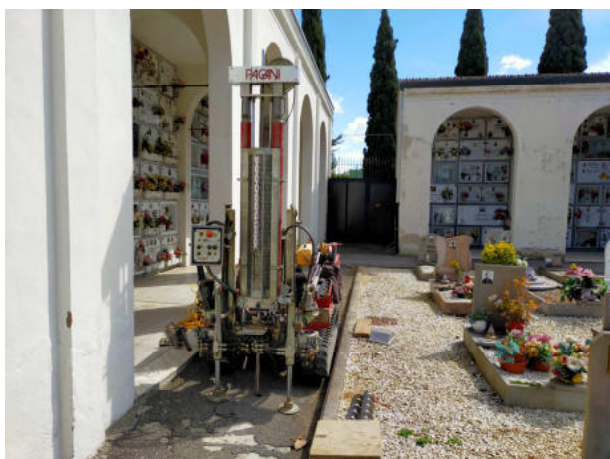
Committente:	COMUNE DI CAMPI BIENZIO		
Rapporto n°:	092-21		
Data:	23/03/2021		
Località:	Cimitero – Campi Bisenzio (FI)		
Coordinate Prova 1:	Latitudine: 43.827207°	Longitudine: 11.126698°	
Coordinate Prova 2:	Latitudine: 43.826856°	Longitudine: 11.127630°	
Coordinate Prova 3:	Latitudine: 43.826971°	Longitudine: 11.127420°	



P 1 (CPT)



P 2 (CPT)



P 3 (DPSH)



Ubicazione prove penetrometriche

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

**CPT****1**

Riferimento

**093-21**Committente **COMUNE DI CAMPI BISENZIO**U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**

Data esec. 23/03/2021

Cantiere **Dott. Geol. Roberto Checcucci**

Pagina 1

Località **Cimitero - Campi Bisenzio (FI)**

Elaborato

Falda

H m	L1 -	L2 -	Tot -	qc kg/cm <sup>2</sup>	fs kg/cm <sup>2</sup>	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Tot -	qc kg/cm <sup>2</sup>	fs kg/cm <sup>2</sup>	F -	Rf %
0,20	0	0		0,0	0,00										
0,40	5	16		5,0	0,73	7	14,6								
0,60	7	14		7,0	0,47	15	6,7								
0,80	7	13		7,0	0,40	18	5,7								
<b>1,00</b>	22	27		22,0	0,33	67	1,5								
1,20	21	36		21,0	1,00	21	4,8								
1,40	15	38		15,0	1,53	10	10,2								
1,60	14	28		14,0	0,93	15	6,6								
1,80	13	24		13,0	0,73	18	5,6								
<b>2,00</b>	13	23		13,0	0,67	19	5,2								
2,20	15	26		15,0	0,73	21	4,9								
2,40	19	36		19,0	1,13	17	5,9								
2,60	23	44		23,0	1,40	16	6,1								
2,80	22	44		22,0	1,47	15	6,7								
<b>3,00</b>	27	45		27,0	1,20	23	4,4								
3,20	27	47		27,0	1,33	20	4,9								
3,40	25	55		25,0	2,00	13	8,0								
3,60	28	52		28,0	1,60	18	5,7								
3,80	37	70		37,0	2,20	17	5,9								
<b>4,00</b>	38	75		38,0	2,47	15	6,5								
4,20	37	72		37,0	2,33	16	6,3								
4,40	35	74		35,0	2,60	13	7,4								
4,60	36	77		36,0	2,73	13	7,6								
4,80	35	63		35,0	1,87	19	5,3								
<b>5,00</b>	37	64		37,0	1,80	21	4,9								
5,20	37	67		37,0	2,00	19	5,4								
5,40	35	70		35,0	2,33	15	6,7								
5,60	30	63		30,0	2,20	14	7,3								
5,80	29	56		29,0	1,80	16	6,2								
<b>6,00</b>	32	56		32,0	1,60	20	5,0								
6,20	29	58		29,0	1,93	15	6,7								
6,40	30	57		30,0	1,80	17	6,0								
6,60	32	70		32,0	2,53	13	7,9								
6,80	30	59		30,0	1,93	16	6,4								
<b>7,00</b>	28	49		28,0	1,40	20	5,0								
7,20	22	45		22,0	1,53	14	7,0								
7,40	22	41		22,0	1,27	17	5,8								
7,60	21	40		21,0	1,27	17	6,0								
7,80	21	38		21,0	1,13	19	5,4								
<b>8,00</b>	27	43		27,0	1,07	25	4,0								
8,20	30	50		30,0	1,33	23	4,4								
8,40	35	64		35,0	1,93	18	5,5								
8,60	33	72		33,0	2,60	13	7,9								
8,80	38	71		38,0	2,20	17	5,8								
<b>9,00</b>	38	71		38,0	2,20	17	5,8								
9,20	32	66		32,0	2,27	14	7,1								
9,40	31	62		31,0	2,07	15	6,7								
9,60	32	70		32,0	2,53	13	7,9								
9,80	34	68		34,0	2,27	15	6,7								
<b>10,00</b>	38	73		38,0	2,33	16	6,1								
10,20	44	82		44,0	2,53	17	5,8								
10,40	44	92		44,0	3,20	14	7,3								
10,60	48	94		48,0	3,07	16	6,4								

H = profondità

L1 = prima lettura (punta)

L2 = seconda lettura (punta + laterale)

L3 = terza lettura (totale)

CT = 10,00 costante di trasformazione

qc = resistenza punta

fs = resistenza laterale

alla stessa quota di qc

F = rapporto Begemann (qc / fs)

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

nota: Piezometro

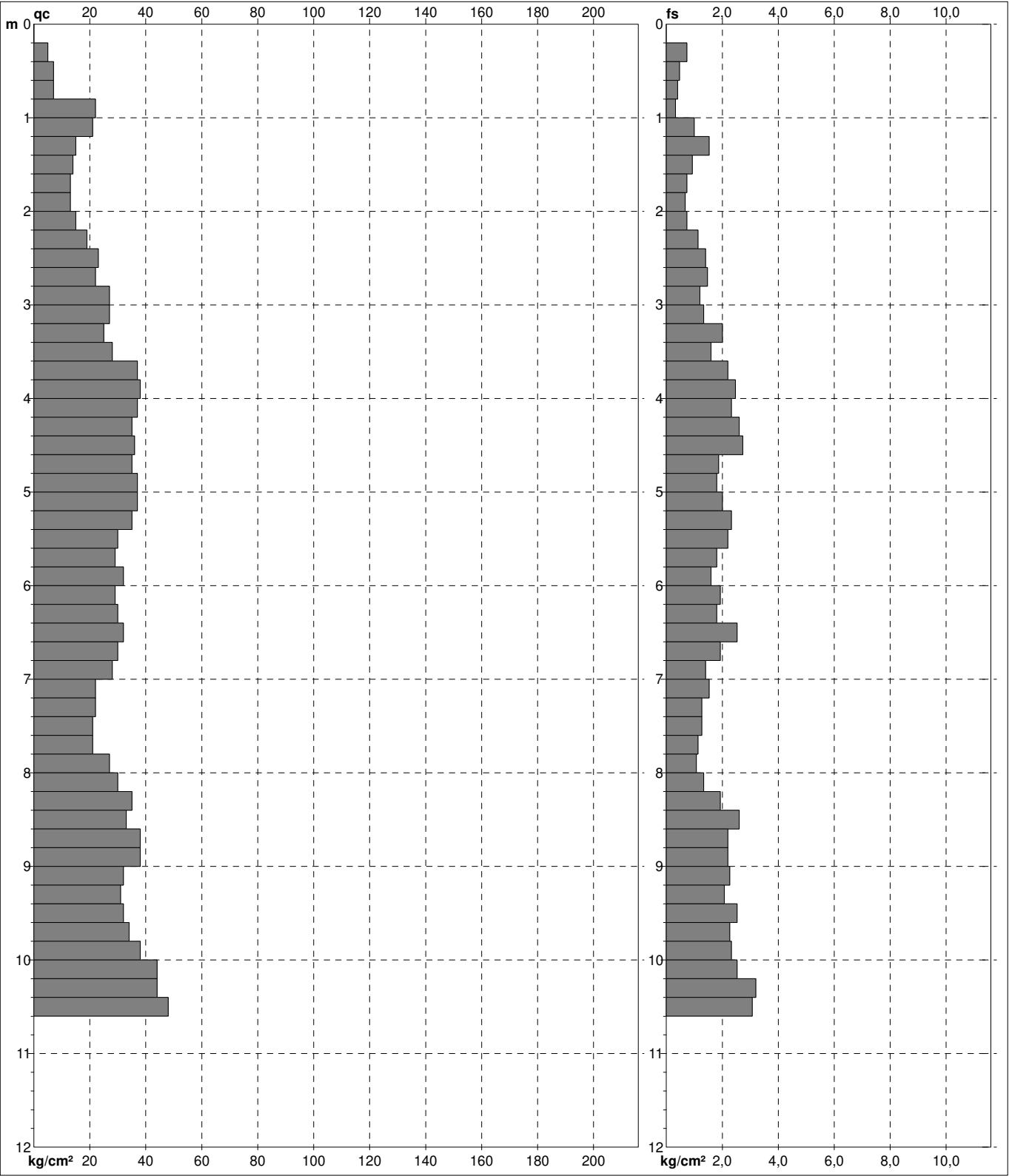
FON130

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

<b>CPT</b>	<b>1</b>
Riferimento	<b>093-21</b>

Committente	<b>COMUNE DI CAMPI BISENZIO</b>	U.M.:	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>	Data exec.	23/03/2021
Cantiere	<b>Dott. Geol. Roberto Checcucci</b>	Scala:	1:60	Quota inizio:	Falda
Località	<b>Cimitero - Campi Bisenzio (FI)</b>	Pagina	1	Elaborato	



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

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

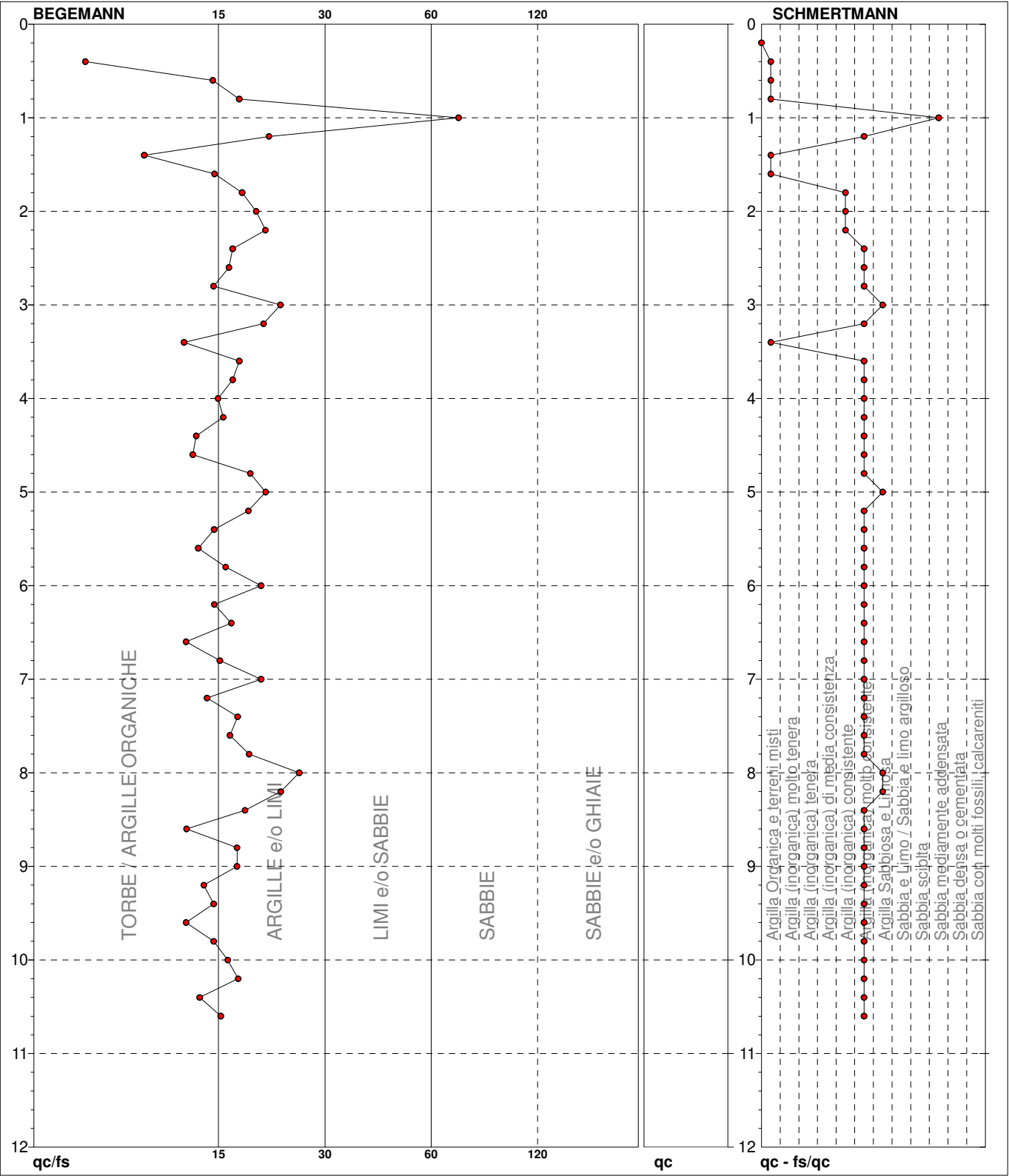
## DIAGRAMMI LITOLOGIA

<b>CPT</b>	<b>1</b>
Riferimento	<b>093-21</b>

Committente **COMUNE DI CAMPI BISENZIO**  
 Cantiere **Dott. Geol. Roberto Checcucci**  
 Località **Cimitero - Campi Bisenzio (FI)**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**  
 Scala: **1:60**  
 Pagina **1**  
 Elaborato

Data exec. **23/03/2021**  
 Falda



● 093-21 [1] : 10,60 m

note: Piezometro

FON130



<b>PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA</b> <b>LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI</b>	<b>CPT</b>	<b>2</b>
	Riferimento	<b>093-21</b>

Committente	<b>COMUNE DI CAMPI BISENZIO</b>	U.M.:	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>	Data exec.	23/03/2021
Cantiere	<b>Dott. Geol. Roberto Checcucci</b>	Pagina	1	Falda	
Località	<b>Cimitero - Campi Bisenzio (FI)</b>	Elaborato			

H m	L1 -	L2 -	Tot -	qc kg/cm <sup>2</sup>	fs kg/cm <sup>2</sup>	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Tot -	qc kg/cm <sup>2</sup>	fs kg/cm <sup>2</sup>	F -	Rf %
0,20	0	0		0,0	0,00										
0,40	45	61		45,0	1,07	42	2,4								
0,60	36	76		36,0	2,67	13	7,4								
0,80	58	99		58,0	2,73	21	4,7								
<b>1,00</b>	<b>59</b>	<b>101</b>		<b>59,0</b>	<b>2,80</b>	<b>21</b>	<b>4,7</b>								
1,20	12	35		12,0	1,53	8	12,8								
1,40	11	21		11,0	0,67	16	6,1								
1,60	11	21		11,0	0,67	16	6,1								
1,80	11	20		11,0	0,60	18	5,5								
<b>2,00</b>	<b>11</b>	<b>23</b>		<b>11,0</b>	<b>0,80</b>	<b>14</b>	<b>7,3</b>								
2,20	13	27		13,0	0,93	14	7,2								
2,40	18	30		18,0	0,80	23	4,4								
2,60	22	41		22,0	1,27	17	5,8								
2,80	24	45		24,0	1,40	17	5,8								
<b>3,00</b>	<b>25</b>	<b>47</b>		<b>25,0</b>	<b>1,47</b>	<b>17</b>	<b>5,9</b>								
3,20	27	46		27,0	1,27	21	4,7								
3,40	20	50		20,0	2,00	10	10,0								
3,60	28	52		28,0	1,60	18	5,7								
3,80	34	54		34,0	1,33	26	3,9								
<b>4,00</b>	<b>33</b>	<b>61</b>		<b>33,0</b>	<b>1,87</b>	<b>18</b>	<b>5,7</b>								
4,20	36	69		36,0	2,20	16	6,1								
4,40	41	85		41,0	2,93	14	7,1								
4,60	47	92		47,0	3,00	16	6,4								
4,80	48	94		48,0	3,07	16	6,4								
<b>5,00</b>	<b>49</b>	<b>100</b>		<b>49,0</b>	<b>3,40</b>	<b>14</b>	<b>6,9</b>								
5,20	44	95		44,0	3,40	13	7,7								
5,40	46	91		46,0	3,00	15	6,5								
5,60	47	94		47,0	3,13	15	6,7								
5,80	45	94		45,0	3,27	14	7,3								
<b>6,00</b>	<b>44</b>	<b>91</b>		<b>44,0</b>	<b>3,13</b>	<b>14</b>	<b>7,1</b>								
6,20	45	92		45,0	3,13	14	7,0								
6,40	49	84		49,0	2,33	21	4,8								
6,60	38	82		38,0	2,93	13	7,7								
6,80	38	80		38,0	2,80	14	7,4								
<b>7,00</b>	<b>38</b>	<b>75</b>		<b>38,0</b>	<b>2,47</b>	<b>15</b>	<b>6,5</b>								
7,20	38	78		38,0	2,67	14	7,0								
7,40	52	91		52,0	2,60	20	5,0								
7,60	41	91		41,0	3,33	12	8,1								
7,80	45	96		45,0	3,40	13	7,6								
<b>8,00</b>	<b>50</b>	<b>102</b>		<b>50,0</b>	<b>3,47</b>	<b>14</b>	<b>6,9</b>								
8,20	46	98		46,0	3,47	13	7,5								
8,40	34	82		34,0	3,20	11	9,4								
8,60	33	82		33,0	3,27	10	9,9								
8,80	30	75		30,0	3,00	10	10,0								
<b>9,00</b>	<b>29</b>	<b>74</b>		<b>29,0</b>	<b>3,00</b>	<b>10</b>	<b>10,3</b>								
9,20	22	63		22,0	2,73	8	12,4								
9,40	24	62		24,0	2,53	9	10,5								
9,60	17	33		17,0	1,07	16	6,3								
9,80	12	28		12,0	1,07	11	8,9								
<b>10,00</b>	<b>13</b>	<b>29</b>		<b>13,0</b>	<b>1,07</b>	<b>12</b>	<b>8,2</b>								
10,20	18	38		18,0	1,33	14	7,4								
10,40	30	70		30,0	2,67	11	8,9								
10,60	41	104		41,0	4,20	10	10,2								
10,80	15	60		15,0	3,00	5	20,0								
<b>11,00</b>	<b>15</b>	<b>64</b>		<b>15,0</b>	<b>3,27</b>	<b>5</b>	<b>21,8</b>								
11,20	31	98		31,0	4,47	7	14,4								
11,40	60	110		60,0	3,33	18	5,6								
11,60	77	120		77,0	2,87	27	3,7								

H = profondità  
L1 = prima lettura (punta)  
L2 = seconda lettura (punta + laterale)  
L3 = terza lettura (totale)  
CT = 10,00 costante di trasformazione

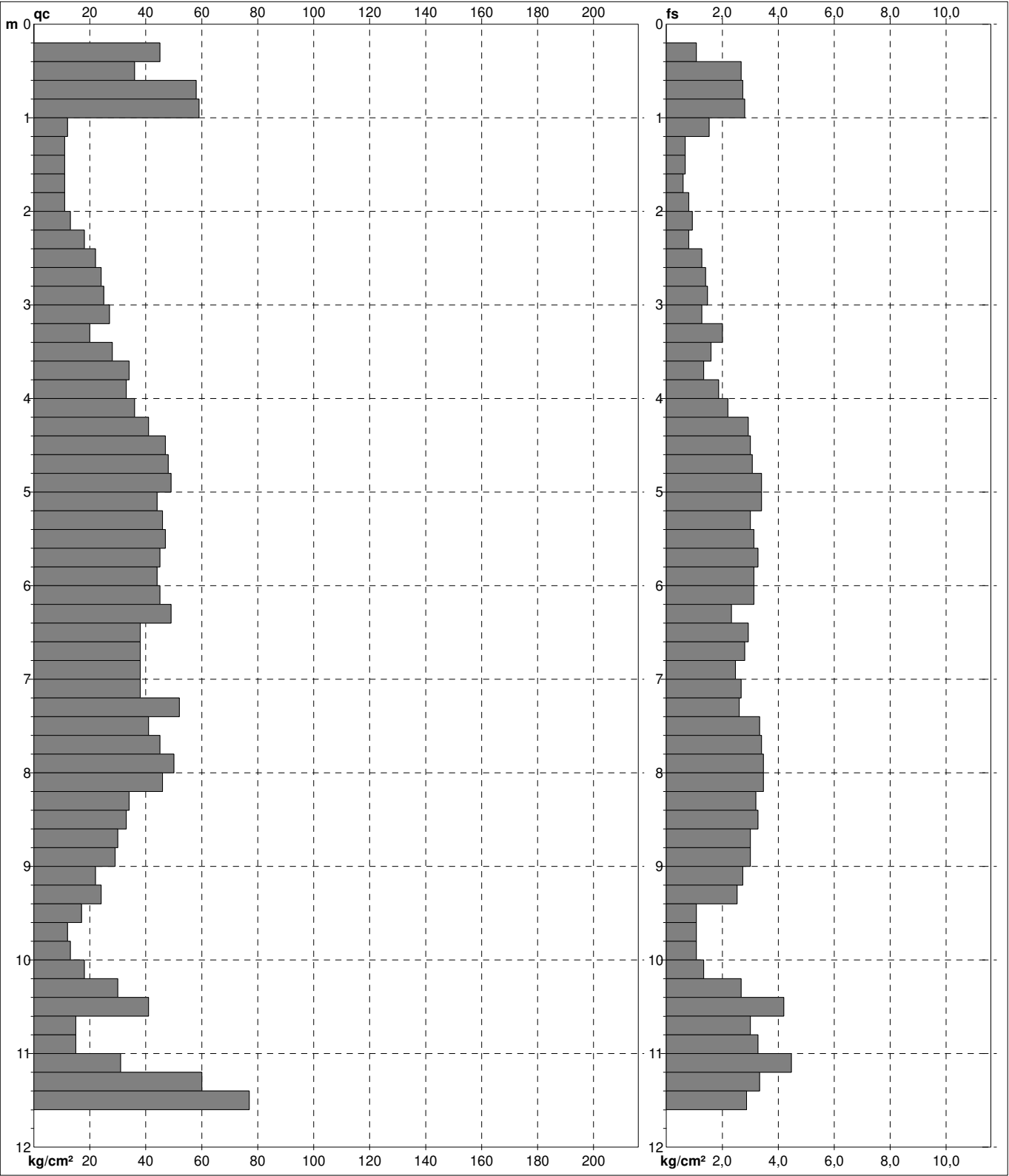
qc = resistenza punta  
fs = resistenza laterale  
alla stessa quota di qc  
F = rapporto Begemann (qc / fs)  
Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)\*100

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

<b>CPT</b>	<b>2</b>
Riferimento	<b>093-21</b>

Committente	<b>COMUNE DI CAMPI BISENZIO</b>	U.M.:	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>	Data exec.	23/03/2021
Cantiere	<b>Dott. Geol. Roberto Checcucci</b>	Scala:	1:60	Quota inizio:	Falda
Località	<b>Cimitero - Campi Bisenzio (FI)</b>	Pagina	1		
		Elaborato			



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



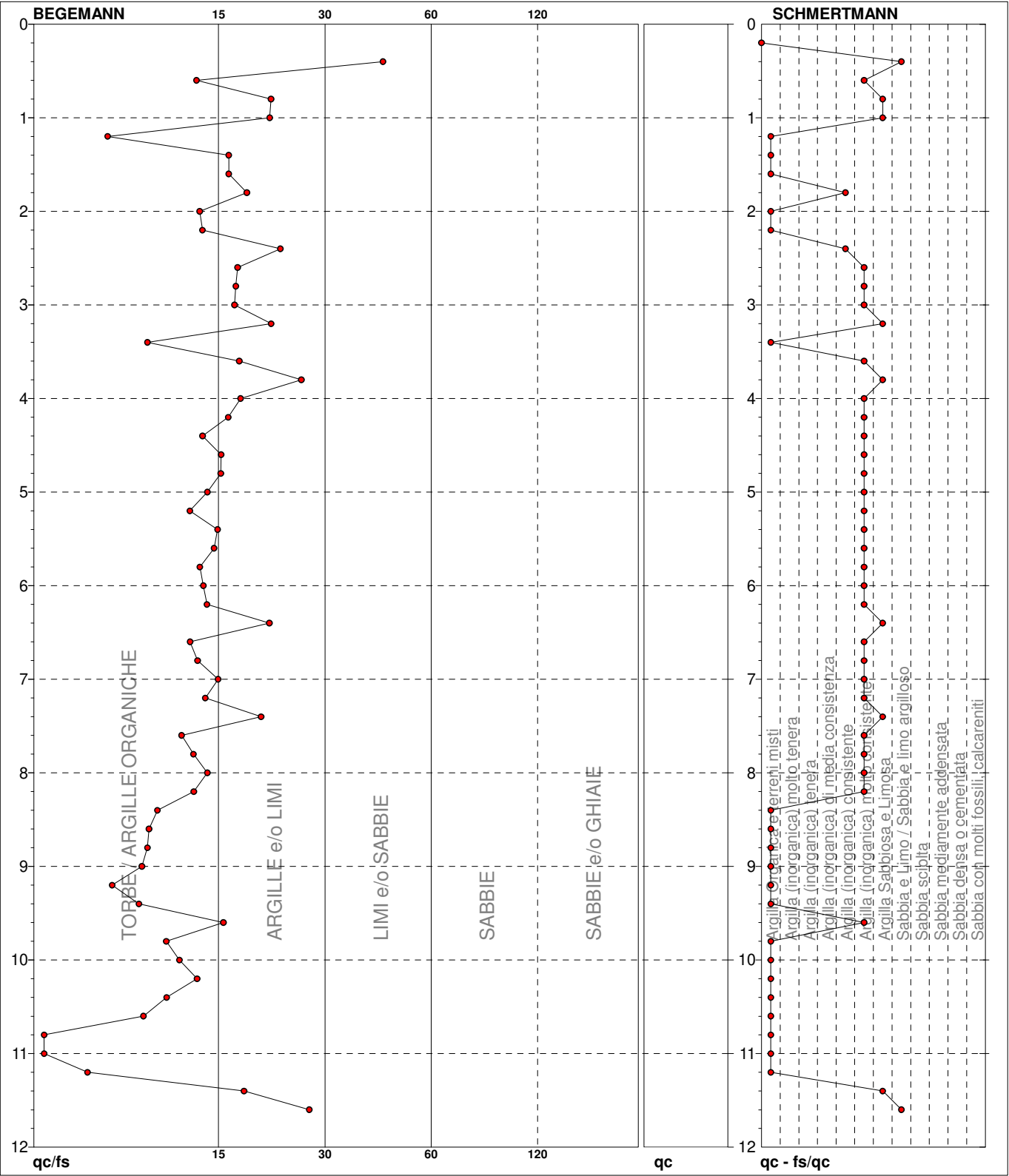
# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI LITOLOGIA

<b>CPT</b>	<b>2</b>
Riferimento	<b>093-21</b>

Committente **COMUNE DI CAMPI BISENZIO**  
 Cantiere **Dott. Geol. Roberto Checcucci**  
 Località **Cimitero - Campi Bisenzio (FI)**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**  
 Scala: **1:60**  
 Pagina **1**  
 Elaborato **Falda**  
 Data eseg. **23/03/2021**



● 093-21 [2] : 11,60 m

note: Piezometro

FON130



## LEGENDA VALORI DI RESISTENZA FATTORI DI CONVERSIONE

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

Caratteristiche:

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

fase 1 - resistenza alla punta:  $q_c \text{ ( kg/cm}^2 \text{ )} = ( L_1 ) \times CT / 10$

fase 2 - resistenza laterale locale:  $f_s \text{ ( kg/cm}^2 \text{ )} = [( L_2 ) - ( L_1 )] \times CT / 150$

fase 3 - resistenza totale :  $R_t \text{ ( kg/cm}^2 \text{ )} = ( L_t ) \times CT$

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

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

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

### CONVERSIONI

1 kN (kiloNewton) = 1000 N  $\approx$  100 kg = 0,1 t

1 MN (megaNewton) = 1.000 kN = 1.000.000 N  $\approx$  100 t

1 kPa (kiloPascal) = 1 kN/m<sup>2</sup> = 0,001 MN/m<sup>2</sup> = 0,001 MPa  $\approx$  0,1 t/m<sup>2</sup> = 0,01 kg/cm<sup>2</sup>

1 MPa (megaPascal) = 1 MN/m<sup>2</sup> = 1.000 kN/m<sup>2</sup> = 1000 kPa  $\approx$  100 t/m<sup>2</sup> = 10 kg/cm<sup>2</sup>

1 kg/cm<sup>2</sup> = 10 t/m<sup>2</sup>  $\approx$  100 kN/m<sup>2</sup> = 100 kPa = 0,1 MN/m<sup>2</sup> = 0,1 MPa

1 t = 1000 kg  $\approx$  10 kN

## LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE CORRELAZIONI GENERALI

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

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

Valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

$F = q_c / f_s$	NATURA LITOLOGICA	PROPRIETA'
$F \leq 15 \text{ kg/cm}^2$	TORBE ED ARGILLE ORGANICHE	COESIVE
$15 \text{ kg/cm}^2 < F \leq 30 \text{ kg/cm}^2$	LIMI ED ARGILLE	COESIVE
$30 \text{ kg/cm}^2 < F \leq 60 \text{ kg/cm}^2$	LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE	GRANULARI
$F > 60 \text{ kg/cm}^2$	SABBIE E SABBIE CON GHIAIA	GRANULARI

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

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

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

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



# PROVE PENETROMETRICHE MECCANICHE / ELETTRICHE

## SCHEMA PENETROMETRO

Riferimento

093-21

Committente **COMUNE DI CAMPI BISENZIO**  
 Cantiere **Dott. Geol. Roberto Checcucci**  
 Località **Cimitero - Campi Bisenzio (FI)**

TG63-200Stat

Pagani - Piacenza

<b>Sigla</b>	<b>TG63-200Stat</b>	Nominativo o sigla dello strumento
<b>Beta eff.</b>	<b>1,12</b>	Coefficiente Effettivo suggerito dal costruttore del penetrometro
<b>M(massa)</b>	<b>63,0 kg</b>	Massa del Maglio Battente agente sulla batteria di aste
<b>H(maglio)</b>	<b>0,75 m</b>	Altezza di caduta o corsa del maglio (toll. da 0.01m a 0.02m)
<b>L(aste)</b>	<b>1,00 m</b>	Lunghezza delle aste utilizzabili, variabile da 1.00m a 2.00m (toll. da 0.1% a 0.2%)
<b>M(aste)</b>	<b>6,00 kg</b>	Peso al metro lineare delle aste (N.B. indipendente dalla lunghezza delle aste)
<b>M(sistema)</b>		Massa del complesso asta di guida - testa di battuta
<b>A(punta)</b>	<b>20,00 cm<sup>2</sup></b>	Area della superficie laterale del cono della punta
<b>Alfa(punta)</b>	<b>90 °</b>	Angolo di apertura della punta conica variabile tra 60° e 90°
<b>Prf.(1°asta)</b>	<b>0,40 m</b>	Profondità di giunzione della prima asta infissa
<b>N</b>	<b>0,20 m</b>	Penetrazione standard, tratto di penetrazione per quale sono necessari Nx colpi
<b>Rivest.</b>	<b>Sì</b>	Previsto uso di rivestimento delle aste o uso di fanghi
<b>ø(punta)</b>		Diametro della punta conica integra, cioè non soggetta ad usura (toll. da 0.3 a 0.5mm)
<b>MaxCE%</b>		Massima compressione elastica consentita rispetto alla penetrazione
<b>L/DM</b>		Rapporto tra la lunghezza e il diametro del maglio di battuta
<b>D(tb)</b>		Diametro della testa di battuta.
<b>DEV(a)[&lt;5m]</b>		Deviazione massima delle aste dalla verticale nei primi 5.00 metri
<b>DEV(a)[&gt;5m]</b>		Deviazione massima delle aste dalla verticale oltre i 5.00 metri
<b>ECCmax(a)</b>		Massima eccentricità consentita alle aste
<b>Dest(aste)</b>		Diametro esterno delle aste (toll. max 0.2mm)
<b>Dint(aste)</b>		Diametro interno delle aste cave (toll. da 0.2mm a 0.3mm)
<b>Dmin(punta)</b>		Minimo diametro consentito per la punta conica usurata
<b>hcl(punta)</b>		Altezza del cilindro alla base del cono della punta (toll. da 1.00mm a 2.00mm)
<b>Ras(punta)</b>		Rastremazione del cono nella parte alta
<b>Hc(punta)</b>		Altezza della parte conica della punta non soggetta ad usura (toll. da 0.1mm a 0.4mm)
<b>RangeCP</b>		Massimo numero di colpi utile
<b>Spinta</b>	<b>20 t</b>	Spinta nominale strumento

# PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

## LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

**DIN****3**

Riferimento

**093-21**Committente **COMUNE DI CAMPI BISENZIO**U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**Data esec. **23/03/2021**Cantiere **Dott. Geol. Roberto Checcucci**Pagina **1**Località **Cimitero - Campi Bisenzio (FI)**

Elaborato

Falda

H m	asta n°	punta colpi	riv colpi	qcd kg/cm <sup>2</sup>	H m	asta n°	punta colpi	riv colpi	qcd kg/cm <sup>2</sup>
0,20	1	1		10,6					
0,40	2	1		9,5					
0,60	2	1		9,5					
0,80	2	1		9,5					
<b>1,00</b>	2	1		9,5					
1,20	2	1		9,5					
1,40	3	1		8,6					
1,60	3	1		8,6					
1,80	3	2		17,3					
<b>2,00</b>	3	2		17,3					
2,20	3	2		17,3					
2,40	4	2		15,8					
2,60	4	2		15,8					
2,80	4	2		15,8					
<b>3,00</b>	4	3		23,8					
3,20	4	2		15,8					
3,40	5	2		14,6					
3,60	5	2		14,6					
3,80	5	3		21,9					
<b>4,00</b>	5	2		14,6					
4,20	5	3		21,9					
4,40	6	4		27,1					
4,60	6	5		33,9					
4,80	6	4		27,1					
<b>5,00</b>	6	5		33,9					
5,20	6	4		27,1					
5,40	7	3		19,0					
5,60	7	4		25,3					
5,80	7	4		25,3					
<b>6,00</b>	7	5		31,6					
6,20	7	4		25,3					
6,40	8	4		23,7					
6,60	8	5		29,6					
6,80	8	5		29,6					
<b>7,00</b>	8	5		29,6					
7,20	8	6		35,6					
7,40	9	7		39,1					
7,60	9	7		39,1					
7,80	9	8		44,6					
<b>8,00</b>	9	8		44,6					
8,20	9	9		50,2					
8,40	10	9		47,4					
8,60	10	10		52,7					
8,80	10	11		58,0					
<b>9,00</b>	10	12		63,2					
9,20	10	14		73,8					
9,40	11	15		74,9					
9,60	11	16		79,8					
9,80	11	18		89,8					
<b>10,00</b>	11	22		109,8					

H = profondità

qcd = Resistenza dinamica punta

L1 = asta

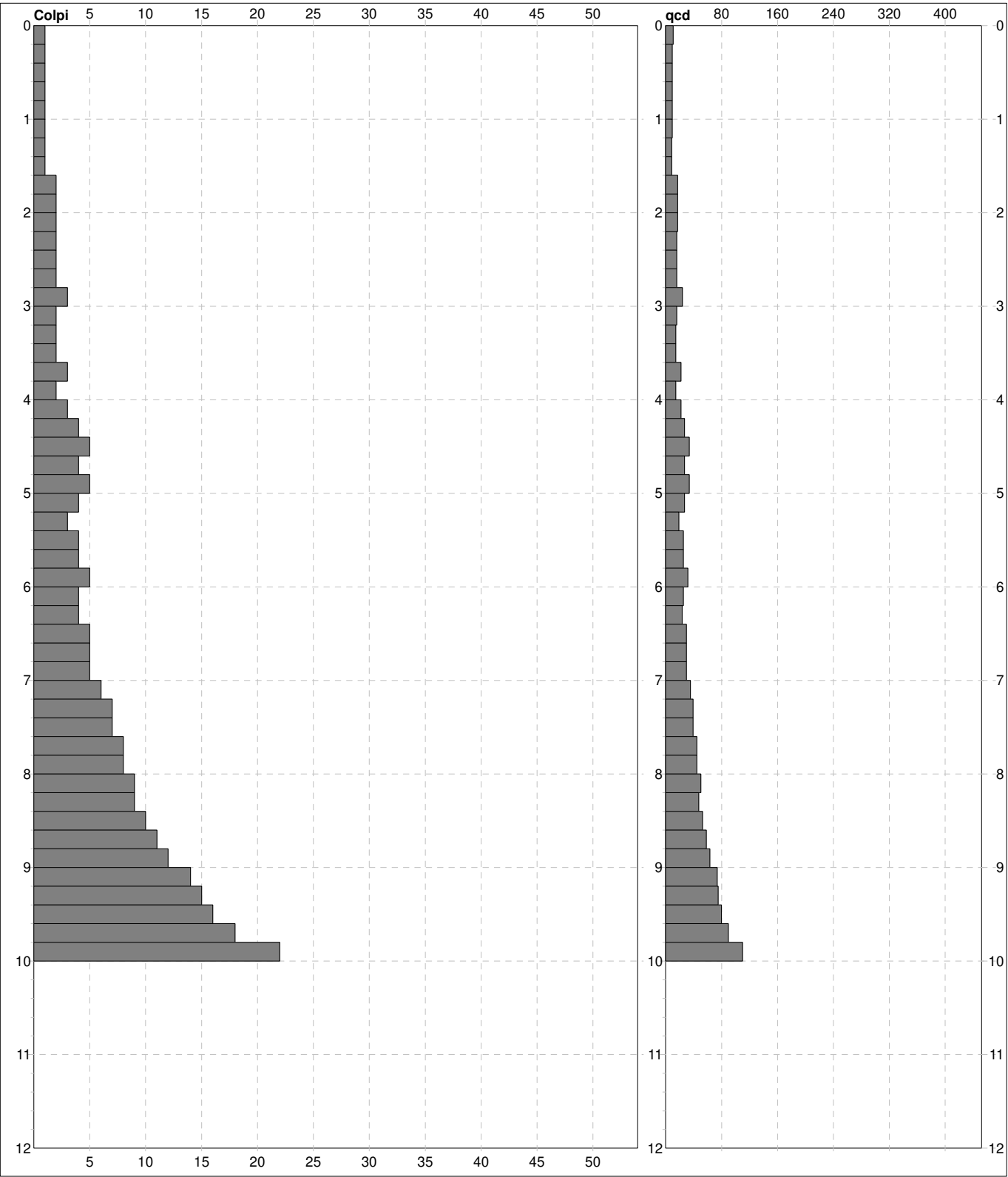
L2 = punta

L3 = riv

# PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

<b>DIN</b>	<b>3</b>
Riferimento	<b>093-21</b>

Committente	<b>COMUNE DI CAMPI BISENZIO</b>	U.M.:	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>	Data exec.	23/03/2021
Cantiere	<b>Dott. Geol. Roberto Checcucci</b>	Scala:	1:60	Quota inizio: :	Falda
Località	<b>Cimitero - Campi Bisenzio (FI)</b>	Pagina	1		
		Elaborato			



<b>Penetrometro:</b>	TG63-200Din 63,50 kg 0,75 m 0,20 m	<b>Responsabile::</b>		<b>preforo</b>	m
		<b>Assistente::</b>		<b>Corr.astine:</b>	kg/ml
				<b>Cod.ISTAT:</b>	0



# PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

## SUDDIVISIONE GEOTECNICA

**DIN****3**

Riferimento

**093-21**Committente **COMUNE DI CAMPI BISENZIO**U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**

Data esec. 23/03/2021

Cantiere **Dott. Geol. Roberto Checcucci**

Pagina 1

Località **Cimitero - Campi Bisenzio (FI)**

Elaborato

Falda

**PARAMETRI GENERALI**

n°	profondità m	statistica	VCA colpi	$\beta$ -	Nspt colpi	qcd kg/cm <sup>2</sup>	qc kg/cm <sup>2</sup>	Vs m/sec	G kg/cm <sup>2</sup>	Q kg/cm <sup>2</sup>	natura	descrizione
1	0,00 : 1,60	Media	1	1,52	2	9	9	81	21	0,47	Coes./Gran.	
2	1,60 : 4,20	Media	2	1,52	3	17	16	111	29	0,87	Coes./Gran.	
3	4,20 : 7,00	Media	4	1,52	7	28	25	146	57	1,39	Coes./Gran.	
4	7,00 : 8,40	Media	8	1,52	12	43	39	170	88	2,15	Coes./Gran.	
5	8,40 : 9,00	Media	11	1,52	17	58	52	185	116	2,90	Coes./Gran.	
6	9,00 : 10,00	Media	17	1,52	26	86	76	202	163	4,28	Coes./Gran.	

**NATURA COESIVA****NATURA GRANULARE**

n°	profondità m	Nspt colpi	Cu kg/cm <sup>2</sup>	Ysat t/m <sup>3</sup>	W %	e -	Mo kg/cm <sup>2</sup>	Dr %	$\phi$ °	E' kg/cm <sup>2</sup>	Ysat t/m <sup>3</sup>	Yd t/m <sup>3</sup>	Mo kg/cm <sup>2</sup>	Liq. -
1	0,00 : 1,60	2	0,13	1,75	46,91	1,27	25	8	27	207	1,85	1,36	93	---
2	1,60 : 4,20	3	0,19	1,78	44,21	1,19	28	11	27	214	1,86	1,38	105	---
3	4,20 : 7,00	7	0,44	1,86	36,00	0,97	39	25	29	245	1,90	1,45	150	---
4	7,00 : 8,40	12	0,75	1,92	31,20	0,84	52	38	31	284	1,94	1,52	207	---
5	8,40 : 9,00	17	1,06	1,98	26,99	0,73	63	46	32	322	1,97	1,56	264	---
6	9,00 : 10,00	26	1,63	2,09	20,60	0,56	81	59	35	392	2,03	1,65	343	---

## LEGENDA SPECIFICHE TECNICHE PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

### DIVERSE TIPOLOGIE DI PENETROMETRI DINAMICI

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi  $\delta$ , misurando il numero di colpi N necessari.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti :

- peso massa battente M
- altezza libera caduta H
- punta conica : diametro base cono D , area base A (angolo di apertura  $\alpha$ )
- avanzamento (penetrazione  $\delta$ )
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici) .

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella più sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente) :

### DIVERSE TIPOLOGIE DI PENETROMETRI DINAMICI Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici

Tipo	Sigla di riferimento	massa battente	prof.max indagine
Leggero	DPL (Light)	$M \div 10$	8 m
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25 m
Pesante	DPH (Heavy)	$40 < M < 60$	25 m
Super pesante	DPSH (Super Heavy)	$M > 60$	> 25 m

Per la visione delle caratteristiche tecniche dei penetrometri, si rimanda alla sezione EDITOR PENETROMETRI.

I PENETROMETRI dinamici in uso in Italia risultano essere i seguenti (non rientranti però nello Standard ISSMFE) :

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)  
massa battente M = 30 kg, altezza di caduta H = 0.20 m, avanzamento  $\delta \approx 10$  cm, punta conica (  $\alpha \approx 60-90^\circ$ ),  
diametro D = 35.7 mm, area base cono A = 10 cm<sup>2</sup> rivestimento / fango bentonitico : talora previsto
- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)  
massa battente M = 20 kg, altezza di caduta H = 0.20 m, avanzamento  $\delta \approx 10$  cm, punta conica (  $\alpha \approx 60-90^\circ$ ),  
diametro D = 35.7 mm, area base cono A = 10 cm<sup>2</sup> rivestimento / fango bentonitico : talora previsto
- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SCPT) (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)  
massa battente M = 73 kg, altezza di caduta H = 0.75 m, avanzamento  $\delta \approx 30$  cm, punta conica (  $\alpha \approx 60^\circ$ ),  
diametro D = 50.8 mm, area base cono A = 20.27 cm<sup>2</sup> rivestimento : previsto secondo precise indicazioni
- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)  
massa battente M = 63.5 kg, altezza caduta H = 0.75 m, avanzamento  $\delta \approx 20-30$  cm, punta conica (  $\alpha \approx 60^\circ$ ),  
diametro D = 50.5 mm , area base cono A = 20 cm<sup>2</sup>, rivestimento / fango bentonitico : talora previsto .

## LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI SPECIFICHE TECNICHE

### VALUTAZIONI STATISTICHE - CORRELAZIONI N / N<sub>spt</sub>

Il sottosuolo indagato viene suddiviso in strati .

Prima definizione della profondità di ciascuno strato , il programma effettua (con riferimento al numero di colpi N) una serie di elaborazioni statistiche dei dati in memoria, valutando :

valore minimo m , massimo Max , media M, scarto quadratico medio s, valore medio/minimo  $(M+m)/2$   
media-scarto quadratico medio (M-s)

Ciò considerato , si potrà adottare il valore caratteristico VCA per N più adatto , a seconda delle esigenze, impostando uno dei valori elaborati sopra citati o un valore a scelta.

Successivamente , con riferimento al valore caratteristico assunto per il numero di colpi N , si potrà avviare un tentativo di correlazione con il numero di colpi N<sub>spt</sub> della prova SPT :  $N_{spt} = \beta N$  [ove per il coefficiente  $\beta$  si potrà introdurre un valore sperimentale a piacere (vedi note illustrative), ovvero il coefficiente teorico di energia  $\beta_t$  fornito dal programma] .

### VALUTAZIONE RESISTENZA DINAMICA E COEFFICIENTE DI ENERGIA

La resistenza alla punta dinamica qcd viene comunemente valutata in base alla formula Olandese :

$$qcd = (M^2 H) / [A e (M + P)] \text{ ove :}$$

N = n. colpi per avanzamento  $\delta$  qcd = resist.dinam.punta [area A] M = massa battente [altezza caduta H]

e = avanzamento per colpo =  $\delta/N$  P = peso tot. sistema battente e aste ,

ovvero in base alla formula semplificata :

$$qcd = (M H) / (A e) = (M H) N / (A \delta) = Q N ,$$

ove :  $Q = (M H) / (A \delta) =$  energia specifica teorica per colpo .

Ciò considerato, volendo riferire la prova in esame (N,Q) alla prova SPT (N<sub>spt</sub>,Q<sub>spt</sub>),

dall'uguaglianza dei valori di resistenza dinamica relativi alle due prove, si ricava teoricamente :

$$qcd = Q N = Q_{spt} N_{spt} \Rightarrow N_{spt} = N [Q/Q_{spt}] = \beta N ,$$

ove il rapporto  $\beta_t = Q/Q_{spt}$  viene definito coefficiente teorico di energia della prova in esame ,

relativamente alla prova SPT (Q<sub>spt</sub> = 7.83 kg/cm<sup>2</sup> = 0.768 MPa ) per M = 63.5 kg, H = 0.75 m, D = 50.8 mm,

A = 20.27 cm<sup>2</sup>, d = 0.30 m) .

Le scelte litologiche vengono effettuate in base al valore del numero dei colpi SPT equivalente

prevedendo altresì la possibilità di casi dubbi :

N<sub>spt</sub> -> Dr DENSITA' RELATIVA (Terreni granulari) - TERZAGHI & PECK (1948-1967)

N<sub>spt</sub> ->  $\phi'$  ANGOLO DI ATTRITO EFFICACE (Terreni granulari) - PECK-HANSON-THORBURN (1953-1974)

N<sub>spt</sub> -> E' MODULO DI DEFORMAZIONE DRENATO (Terreni granulari) - D'APPOLONIA e altri (1970)

N<sub>spt</sub> -> Cu COESIONE NON DRENATA (Terreni coesivi) - TERZAGHI & PECK (1948-1967)

N<sub>spt</sub> -> Y PESO DI VOLUME

TERRENI GRANULARI (Terzaghi-Peck 1948/1967) [e.max = 1 e.min = 1/3 G = 2.65]

TERRENI COESIVI (Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967) [p.specifico G = 2.70]

qcd -> Qd CAPACITA' PORTANTE DINAMICA Herminier, Tchong & Lebegue(1965)

F.L. = accelerazione al suolo che può causare liquefazione ( terreni granulari )

( g = accelerazione gravità)(Seed & Idriss 1971 - Sirio 1976 ) [ correlazioni : (Amax/g) ]

Vs = velocità di propagazione delle onde sismiche ( Iyisan 1996 )

<b>PROVE PENETROMETRICHE MECCANICHE / ELETTRICHE</b> <b>SCHEMA PENETROMETRO</b>	Riferimento	<b>093-21</b>

Committente	<b>COMUNE DI CAMPI BISENZIO</b>	
Cantiere	<b>Dott. Geol. Roberto Checcucci</b>	
Località	<b>Cimitero - Campi Bisenzio (FI)</b>	

**TG63-200Din****Pagani - Piacenza**

<b>Sigla</b>	<b>TG63-200Din</b>	Nominativo o sigla dello strumento
<b>Beta eff.</b>	<b>1,15</b>	Coefficiente Effettivo suggerito dal costruttore del penetrometro
<b>M(massa)</b>	<b>63,5 kg</b>	Massa del Maglio Battente agente sulla batteria di aste
<b>H(maglio)</b>	<b>0,75 m</b>	Altezza di caduta o corsa del maglio (toll. da 0.01m a 0.02m)
<b>L(aste)</b>	<b>1,00 m</b>	Lunghezza delle aste utilizzabili, variabile da 1.00m a 2.00m (toll. da 0.1% a 0.2%)
<b>M(aste)</b>	<b>8,00 kg</b>	Peso al metro lineare delle aste (N.B. indipendente dalla lunghezza delle aste)
<b>M(sistema)</b>		Massa del complesso asta di guida - testa di battuta
<b>A(punta)</b>	<b>20,00 cm<sup>2</sup></b>	Area della superficie laterale del cono della punta
<b>Alfa(punta)</b>	<b>60 °</b>	Angolo di apertura della punta conica variabile tra 60° e 90°
<b>Prf.(1°asta)</b>	<b>0,20 m</b>	Profondità di giunzione della prima asta infissa
<b>N</b>	<b>0,20 m</b>	Penetrazione standard, tratto di penetrazione per quale sono necessari Nx colpi
<b>Rivest.</b>	<b>Sì</b>	Previsto uso di rivestimento delle aste o uso di fanghi
<b>ø(punta)</b>	<b>51,00 mm</b>	Diametro della punta conica integra, cioè non soggetta ad usura (toll. da 0.3 a 0.5mm)
<b>MaxCE%</b>		Massima compressione elastica consentita rispetto alla penetrazione
<b>L/DM</b>		Rapporto tra la lunghezza e il diametro del maglio di battuta
<b>D(tb)</b>		Diametro della testa di battuta.
<b>DEV(a)[&lt;5m]</b>		Deviazione massima delle aste dalla verticale nei primi 5.00 metri
<b>DEV(a)[&gt;5m]</b>		Deviazione massima delle aste dalla verticale oltre i 5.00 metri
<b>ECCmax(a)</b>		Massima eccentricità consentita alle aste
<b>Dest(aste)</b>	<b>34,00 mm</b>	Diametro esterno delle aste (toll. max 0.2mm)
<b>Dint(aste)</b>		Diametro interno delle aste cave (toll. da 0.2mm a 0.3mm)
<b>Dmin(punta)</b>		Minimo diametro consentito per la punta conica usurata
<b>hcl(punta)</b>		Altezza del cilindro alla base del cono della punta (toll. da 1.00mm a 2.00mm)
<b>Ras(punta)</b>		Rastremazione del cono nella parte alta
<b>Hc(punta)</b>		Altezza della parte conica della punta non soggetta ad usura (toll. da 0.1mm a 0.4mm)
<b>RangeCP</b>		Massimo numero di colpi utile
<b>Spinta</b>	<b>20 t</b>	Spinta nominale strumento



**Geognostica Fiorentina srl**  
Via di Porto, 11-13 • 50018 • Scandicci (FI)  
C.F./P.IVA • 05256260489  
Tel. e Fax • 055 3897865  
E-mail • info@geognosticafiorentina.com  
Web • www.geognosticafiorentina.com

COMUNE DI CAMPI BISENZIO  
Provincia di Firenze



Oggetto:

Indagine geofisica di superficie mediante  
analisi MASW + HVSR  
per Calcolo Vs, eq - D.M. 17/01/2018

RELAZIONE TECNICA



Località:

Cimitero – Campi Bisenzio (FI)



Committente:

COMUNE DI CAMPI BISENZIO

## Introduzione

La presente relazione tecnica riferisce sui risultati dell'indagine sismica eseguita mediante metodologia MASW e HVSR in data 23 Marzo 2021, propedeutica alla progettazione dei "lavori di adeguamento e ampliamento Cimitero del Capoluogo".

E' stata eseguita una campagna geofisica con analisi della dispersione delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves), al fine di caratterizzare la risposta sismica del sito in esame, ed in particolare i valori di velocità delle onde di taglio, così come previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018. La classificazione dei terreni è ottenuta sulla base del valore della  $V_{s,eq}$  (velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio), definita dalla relazione:

$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$	$h_i$ spessore dell'i-esimo strato; $V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato; $N$ numero di strati; $H$ profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzato da $V_s$ non inferiore a 800 m/s.
---	---

Insieme all'indagine MASW è stato effettuato un rilievo di microtremori (vibrazioni ambientali) con stazione singola HVSR (Horizontal Vertical Spectral Ratio).

Di seguito vengono descritte: la metodologia d'indagine, lo schema operativo, le operazioni di campagna, le strumentazioni e le modalità di analisi dei dati, ed infine l'interpretazione dei dati elaborati.

### **MASW: metodologia d'indagine**

L'analisi MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), attraverso la registrazione della propagazione delle onde di superficie (Rayleigh), permette di risalire alla velocità di propagazione delle onde di taglio S nel sottosuolo, portando quindi a determinare anche il parametro  $V_{s,eq}$  (velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio).

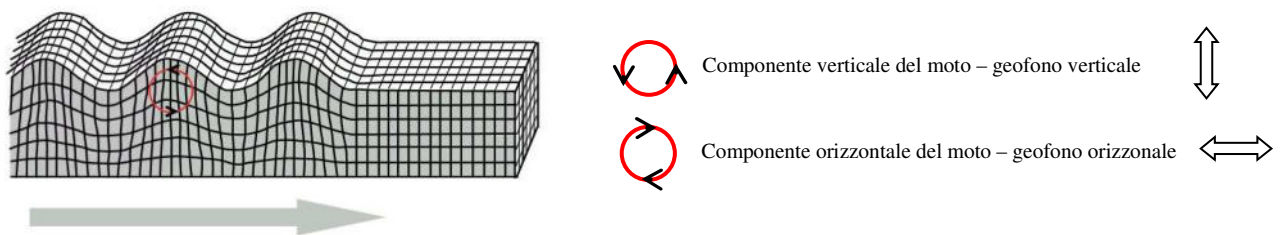
In un mezzo stratificato le onde di superficie (Rayleigh) danno vita al fenomeno della dispersione, cioè lunghezze d'onda diverse si propagano con diverse velocità di fase e gruppo: le componenti ad alta frequenza (con piccola lunghezza d'onda) "sentono" solamente gli strati più superficiali del suolo, mentre le componenti a più bassa frequenza "sentono" anche gli strati più profondi consentendo quindi di determinarne le caratteristiche.

Il metodo si sviluppa attraverso la determinazione delle proprietà dispersive del mezzo individuabili dall'analisi dello spettro di velocità dei dati. Il range di frequenza si sviluppa comunemente tra i 5Hz e i 70Hz, fornendo informazioni sino a profondità di circa 30 m a seconda della rigidezza del suolo: la profondità massima di penetrazione è determinata dalla relazione fra velocità di propagazione dell'onda e più bassa frequenza identificabile.

Questa tipologia di prospezione si realizza con uno stendimento sismico costituito da 12/24 o più geofoni allineati a distanza intergeofonica variabile tipicamente fra 1 e 5 m (la lunghezza dello stendimento incide sulla focalizzazione del segnale nello spettro di velocità) che registrano le onde sismiche generate in corrispondenza di X punti di energizzazione effettuati tipicamente ad una distanza compresa fra 2 e 20 m dal primo geofono.

L'obiettivo della registrazione è quindi l'individuazione del treno di onde superficiali (Rayleigh), che a causa della stratificazione del mezzo subisce una dispersione le cui modalità sono direttamente correlate alla velocità delle onde di taglio S.

L'acquisizione delle onde di Rayleigh può essere fatta mediante geofoni verticali, intercettando nel moto delle particelle lo spostamento verticale; oppure mediante geofoni orizzontali con asse posto parallelo (radiale) allo stendimento, intercettando lo spostamento orizzontale. In entrambi i casi si utilizza una sorgente verticale - piastra-martello.

**Rayleigh Wave**

L'analisi **HVSR (Horizontal Vertical Spectral Ratio)**, è un'analisi di sismica "passiva" che si basa sulla misura delle vibrazioni del terreno indotte da sorgenti non controllate, attraverso un apparato di registrazione dotato di 3 velocimetri disposti nelle tre direzioni dello spazio, e sull'analisi del rapporto spettrale tra le componenti orizzontali (H) e verticali (V) di quello che viene definito "rumore sismico", "vibrazione ambientale" o "microtremore", costituito da piccole vibrazioni del

terreno dell'ordine di  $10^{-4}$ - $10^{-2}$  cm. Gli spettri verticali e orizzontali variano in funzione dell'anisotropia del mezzo attraversato e dei gradienti di impedenza presenti nel sottosuolo:

$$\text{Rapporto di impedenza sismica } I = \rho r V_r / \rho s V_s$$

Dove  $\rho r$  è la densità del substrato e  $\rho s$  del terreno soprastante;  $V_r$  la velocità delle onde di taglio del substrato e  $V_s$  del terreno.

Gli effetti stratigrafici di amplificazione sismica sono influenzati dal rapporto d'impedenza, e le frequenze corrispondenti ai massimi della funzione di amplificazione si chiamano frequenze (periodi) naturali di vibrazioni del deposito. Il periodo proprio di sito è indicato dalla seguente formula:

$$T_0 = 4H/V_s$$

Dove:  $V_s$  è la velocità delle onde di taglio fino al bedrock (inteso come un orizzonte con forte contrasto di  $V_s$  che dà origine ad un picco dell'H/V); H lo spessore dei sedimenti sovrastanti il bedrock. Di fondamentale importanza risulta la conoscenza della frequenza di sito per il fenomeno della "doppia risonanza", cioè la corrispondenza tra la frequenza fondamentale del segnale sismico trasmesso in superficie e la frequenza delle strutture in progetto o dei manufatti già esistenti.

### **Schema operativo**

In Tavola 1, è stato riportato un inquadramento dell'area con inserita la traccia della sezione sismica eseguita. Dopo una prima analisi dell'area ed in considerazione degli spazi a disposizione è stato deciso di adottare la seguente configurazione:

#### MASW:

- n° geofoni: 12
- distanza intergeofonica di 3.0 m per complessivi 33 ml di rilievo (G1-G12)
- Coordinate linea sismica: G1 = 43.826656°, 11.127443°; G12 = 43.826913°, 11.127640°; punto medio = 43.826802°; 11.127553°.
- n° 2 offset (distanza tra il punto di energizzazione e il geofono più vicino ad esso) a 2.0 m dal primo e dall'ultimo geofono.

Per quando riguarda l'acquisizione sono state utilizzate le seguenti impostazioni:

- tempo di acquisizione: 1.5 s
- frequenza di campionamento 2000 Hz
- periodo di campionamento 500  $\mu$ s.



**HVSR:**

- Coordinate: 43.826769°; 11.127541°

**Acquisizione:**

- registrazione: 15 minuti
- frequenza di campionamento: 300 Hz (ricampionato a 64 Hz in fase di elaborazione)

**Elaborazione:**

- finestra: 20 secondi
- tapering: 5%
- lisciamento: finestra triangolare (15%)

**Strumentazione impiegata**

**MASW** Un sistema digitale di acquisizione dati in sismica, è costituito sostanzialmente da geofoni, amplificatori, filtri, convertitori A/D e supporti per la memorizzazione dei dati digitali. Nel nostro caso è stato utilizzato un sismografo costituito da un sistema a più canali a conversione digitale tra loro in catena, ciascuno con un proprio ID, e pilotati da PC. Il modello è denominato DOREMI (della SARA electronic instruments), con risoluzione di acquisizione pari a 16 bit. Per quel che riguarda i sensori, sono stati utilizzati 12 geofoni del tipo elettromagnetico a bobina mobile, con frequenza caratteristica di 4.5 Hz.

Come sorgente di energia sismica per le onde di Rayleigh si è fatto uso di una mazza con maglio da 6 kg battente su una piastra di alluminio posta sul suolo in linea con lo stendimento.

L'inizio della registrazione è stato dato tramite un *trigger* che consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui la massa battente colpisce la piastra (nel nostro caso si è usato quello un geofono starter) e l'impulso generato, inviato al sistema di acquisizione, consente di fissare il tempo zero di riferimento per il calcolo dei tempi di percorso delle onde generate.

**HVSR** L'acquisizione HVSR è stata effettuata tramite sismografo triassiale SR04C3 - SARA electronic instruments, con geofoni da 4.5 Hz dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, collegato ad un Notebook ASUS TP200SA. I dati acquisiti mediante software SEISMOLOG-MT, della SARA electronic instruments, ed analizzati mediante WINMASW 2019 Academy della EliaSoft.

## Analisi e risultati dell'indagine

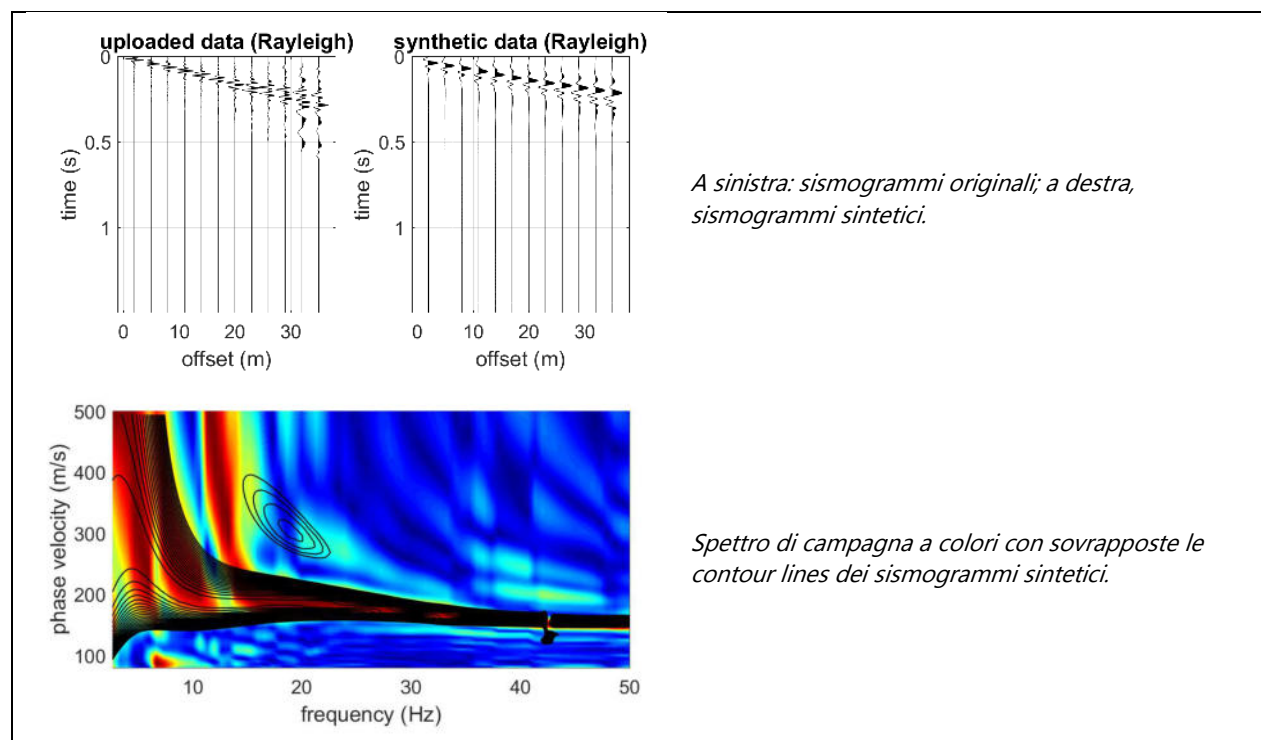
Per quanto riguarda le analisi dei dati **HVSR**, individuati eventuali transienti (eventi con eccessiva ampiezza) da rimuovere, viene creato lo spettro di frequenza delle tre componenti (le due orizzontali e quella verticale) ed il rapporto spettrale H/V, dividendo la serie temporale in n finestre da 20 secondi, in parziale sovrapposizione (Tavola 2).

Dai risultati ottenuti non risultano evidenti picchi di frequenza statisticamente significativi, per cui si potrebbe escludere un effetto di amplificazione sismica per motivi stratigrafici, per lo meno nel range di interesse ingegneristico. La curva HVSR è stata utilizzata congiuntamente all'analisi MASW, per la modellazione sismostratigrafica.

L'analisi dei dati acquisiti dalla metodologia **MASW**, con onde di Rayleigh, avviene attraverso le seguenti fasi:

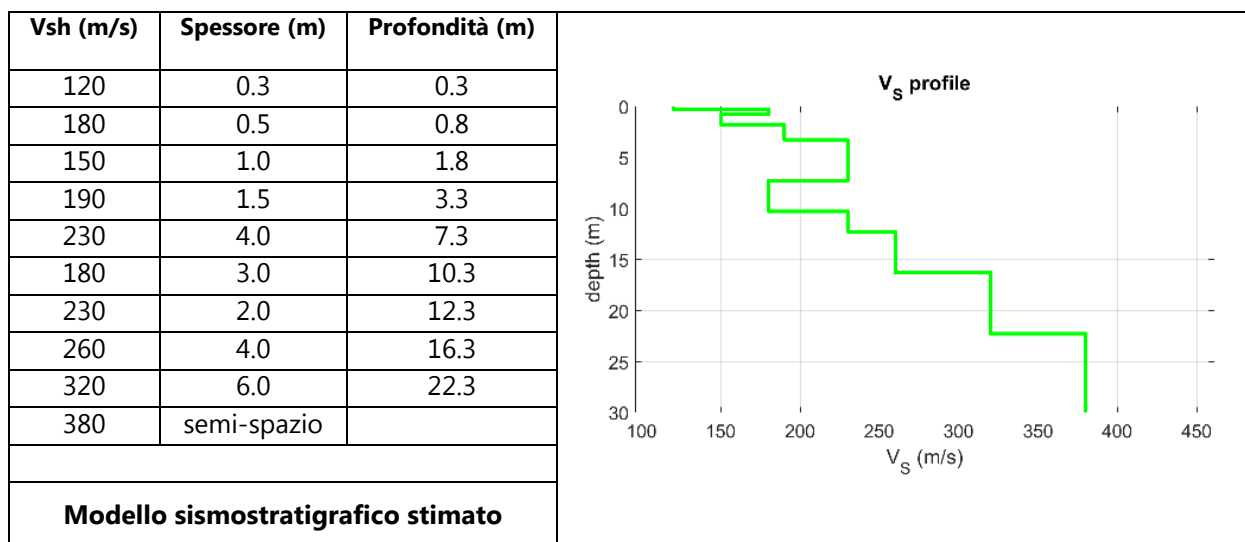
1. Calcolo dello spettro di velocità; 2. Individuazione del *modo fondamentale* e degli eventuali superiori; 3. Calcolo della curva di dispersione mediante modellazione diretta, cioè attribuzione degli spessori e delle velocità relative, sulla base di dati riguardanti il sito acquisiti precedentemente tramite indagini dirette o bibliografia; 4. Inversione della curva di dispersione e conseguente individuazione del profilo di velocità Vs tramite analisi congiunta con HVSR.

In alternativa (figura sotto): inversione dell'intero spettro di velocità tramite generazione di sismogrammi sintetici secondo il metodo della *Modal Summation* (Herman 2003).



**Analisi congiunta MASW-HVSR:** Per analisi congiunta si intende l'utilizzo di tutti i dati a disposizione all'interno dello stesso strumento di analisi. Questo tipo di analisi offre numerosi vantaggi, primo fra tutti quello di diminuire il numero dei possibili modelli sismostratigrafici (spessori/velocità) determinati dal problema della non-univocità (cioè dell'equivalenza di modelli diversi per una data curva di dispersione) che in effetti tocca tutti i metodi geofisici di superficie.

Dai dati acquisiti mediante MASW si è effettuato il calcolo della curva di dispersione (con attribuzione degli spessori e delle velocità relative), ed a partire da questo la creazione, mediante il software utilizzato, di una "curva teorica" H/V. Infine confrontando tale curva con quella misurata empiricamente, si è cercato di affinare il modello sismostratigrafico in modo da ottenerne uno che rappresenti al meglio la curva di dispersione e che faccia sovrapporre le curve H/V ed in particolare la frequenza del principale picco, tipicamente legato al più profondo contatto litologico "significativo". Tale operazione consente di vincolare il modello Vs specialmente in profondità dove il margine di incertezza è maggiore. I risultati sono riportati nella Tavola 3. Nella Tabella e nella figura sottostanti vengono riportati gli spessori e le relative velocità Vs, ricordando che, come in tutti i metodi geofisici, può essere ottenuta solo una stima del modello sismostratigrafico a causa del problema della non univocità.



L'analisi della dispersione delle onde superficiali ha consentito di stimare il profilo verticale della Vs e di conseguenza del parametro  $V_{s,eq}$  (in questo caso corrispondente con  $V_{s30}$ ) che risulta essere pari a 256 m/s, considerando come riferimento il piano campagna.

Sulla base del profilo sismostratigrafico ottenuto, il sito risulta compatibile con la categoria di sottosuolo C secondo le NTC 2018 - Tabella 3.2.II riportata sotto.

Sarà comunque cura del progettista, in base alle caratteristiche dell'opera da realizzare, alla effettiva profondità di imposta delle fondazioni, al modello sismostratigrafico riportato con il conseguente profilo verticale della  $V_s$ , ed a tutte le considerazioni del caso che riterrà opportune, attribuire il definitivo valore di  $V_{s,eq}$  e conseguentemente la categoria di suolo.

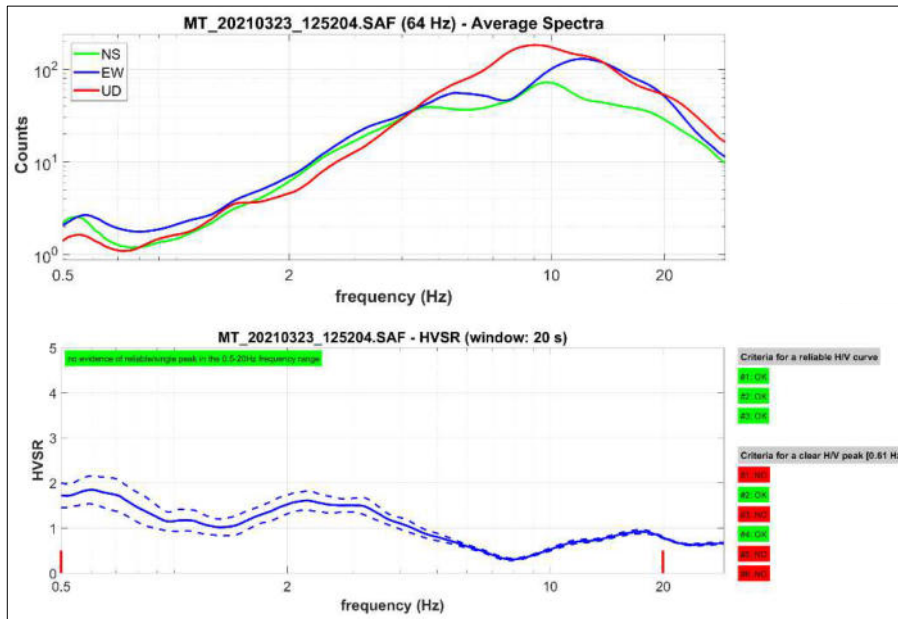
Categorie di sottosuolo (NTC 2018 - Tabella 3.2.II)	
Categoria	Descrizione
<b>A</b>	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
<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 di terreni a grana fina scarsamente 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 100 e 180 m/s.
<b>E</b>	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Scandicci, lì 29/03/2021



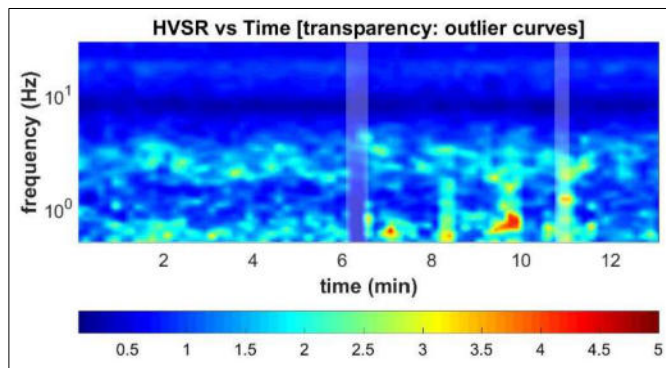
TAVOLA 1

## HVSr

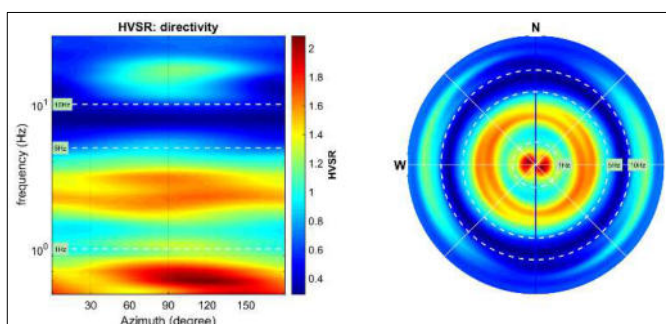


Spettri d'ampiezza delle tre componenti (orizzontali NS-EW e verticali UD)

Rapporto spettrale H/V

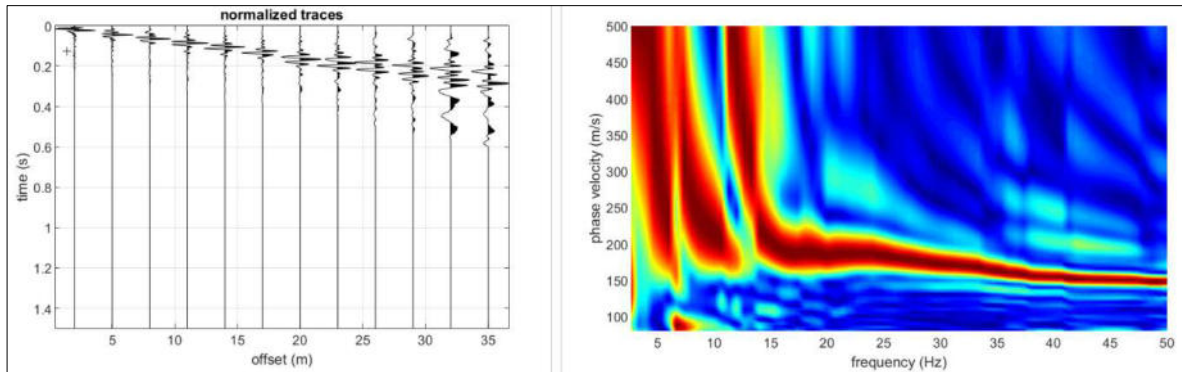


Persistenza del segnale

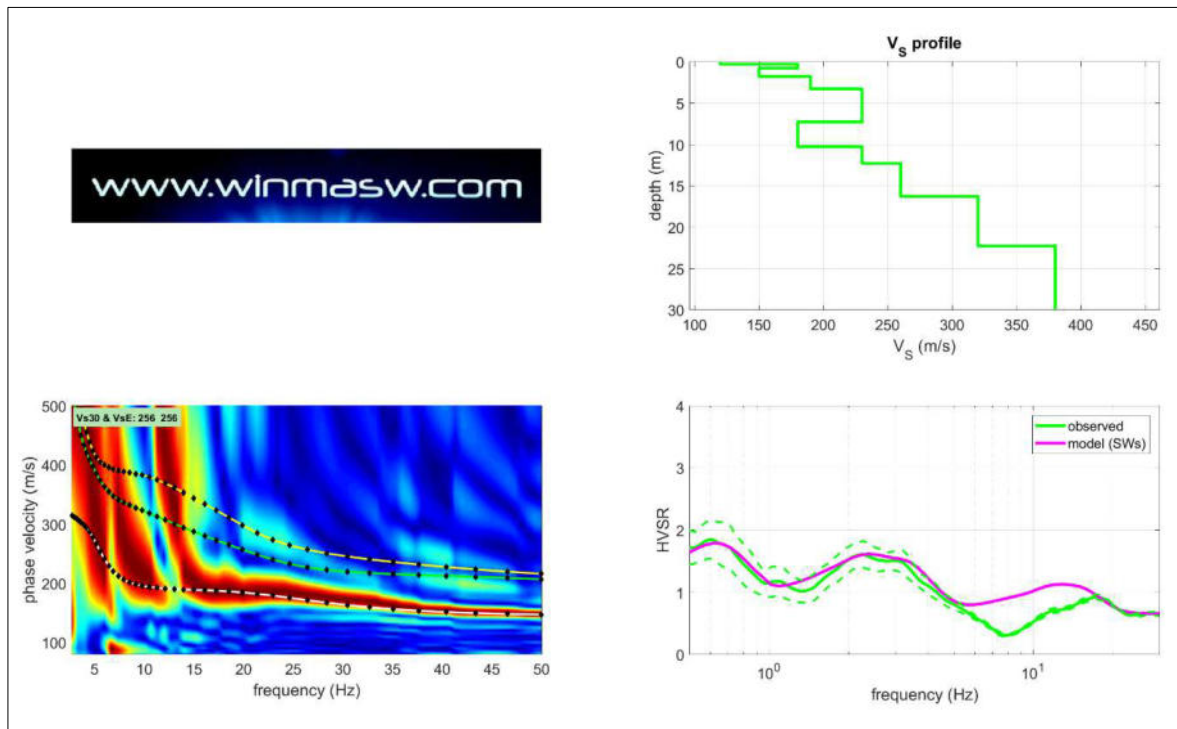


Direttività

TAVOLA 2



**Componente di Rayleigh** - dati acquisiti (a sinistra), spettro di velocità calcolato (a destra).



**Risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite analisi congiunta di dati MASW-HVSR.**

In alto: profilo verticale  $V_s$  identificato dall'inversione.

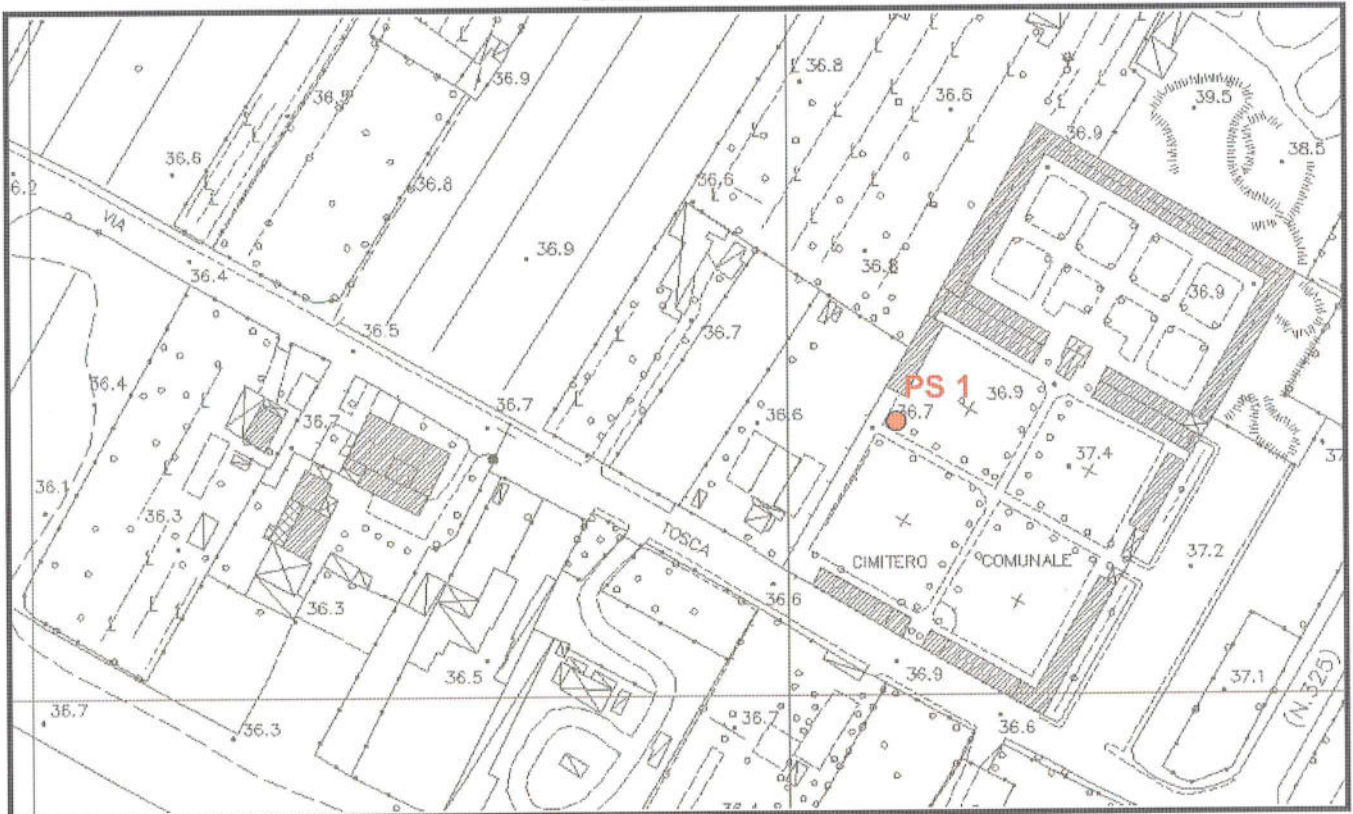
In basso a sinistra: spettro di velocità osservato con sovrapposte le curve di dispersione (componente di Rayleigh);

In basso a destra: Risultati dell'analisi congiunta MASW – HVSR a partire dal modello di  $V_s$  utilizzato per la dispersione delle onde di superficie, secondo la formulazione basata sulle onde di superficie (Albarello & Lunedei, 2009). La curva magenta ottenuta dalla modellazione approssima quella misurata empiricamente (curva verde).

TAVOLA 3

## UBICAZIONE DELLA VERTICALE D'INDAGINE

Scala 1 : 2.000



● PS prova penetrometrica statica attrezzata con tubo freaticometrico fessurato in PVC

FIG. 6



## PROVA PENETROMETRICA STATICA LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

CPT 1

2.01PG05-172

- committente : COMUNE di CAMPI BISENZIO  
- lavoro : Ampliamento Cimitero Capoluogo  
- località : CAMPI BISENZIO  
- note :

- data : 20/03/2008  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : -1,30 m da quota inizio  
- pagina : 1

Prof. m	Letture di campagna		qc	fs	qc/fs	Prof. m	Letture di campagna		qc	fs	qc/fs
	punta	laterale	kg/cm <sup>2</sup>				punta	laterale	kg/cm <sup>2</sup>		
0,20	---	---	--	1,80	---	5,20	29,0	55,0	29,0	1,53	19,0
0,40	91,0	118,0	91,0	4,60	20,0	5,40	41,0	64,0	41,0	2,33	18,0
0,60	52,0	121,0	52,0	3,47	15,0	5,60	33,0	68,0	33,0	2,20	15,0
0,80	29,0	81,0	29,0	2,27	13,0	5,80	34,0	67,0	34,0	2,00	17,0
1,00	19,0	53,0	19,0	1,80	11,0	6,00	25,0	55,0	25,0	2,13	12,0
1,20	7,0	34,0	7,0	0,80	9,0	6,20	26,0	58,0	26,0	1,67	16,0
1,40	15,0	27,0	15,0	0,93	16,0	6,40	26,0	51,0	26,0	2,00	13,0
1,60	14,0	28,0	14,0	0,93	15,0	6,60	27,0	57,0	27,0	1,93	14,0
1,80	7,0	21,0	7,0	1,47	5,0	6,80	30,0	59,0	30,0	2,07	15,0
2,00	12,0	34,0	12,0	0,87	14,0	7,00	38,0	69,0	38,0	2,20	17,0
2,20	15,0	28,0	15,0	1,13	13,0	7,20	28,0	61,0	28,0	2,40	12,0
2,40	17,0	34,0	17,0	2,00	8,0	7,40	27,0	63,0	27,0	1,73	16,0
2,60	19,0	49,0	19,0	1,80	11,0	7,60	24,0	50,0	24,0	1,60	15,0
2,80	22,0	49,0	22,0	2,00	11,0	7,80	23,0	47,0	23,0	1,47	16,0
3,00	26,0	56,0	26,0	3,93	7,0	8,00	25,0	47,0	25,0	1,73	14,0
3,20	3,0	62,0	3,0	2,40	1,0	8,20	30,0	56,0	30,0	1,40	21,0
3,40	30,0	66,0	30,0	2,33	13,0	8,40	36,0	57,0	36,0	2,07	17,0
3,60	32,0	67,0	32,0	2,33	14,0	8,60	28,0	59,0	28,0	1,80	16,0
3,80	31,0	66,0	31,0	2,40	13,0	8,80	33,0	60,0	33,0	2,13	15,0
4,00	34,0	70,0	34,0	2,73	12,0	9,00	33,0	65,0	33,0	2,33	14,0
4,20	38,0	79,0	38,0	2,53	15,0	9,20	40,0	75,0	40,0	2,20	18,0
4,40	38,0	76,0	38,0	2,93	13,0	9,40	35,0	68,0	35,0	2,60	13,0
4,60	32,0	76,0	32,0	2,13	15,0	9,60	34,0	73,0	34,0	2,13	16,0
4,80	32,0	64,0	32,0	1,73	18,0	9,80	37,0	69,0	37,0	2,67	14,0
5,00	28,0	54,0	28,0	1,73	16,0	10,00	30,0	70,0	30,0	---	---

- PENETROMETRO STATICO tipo PAGANI da 10/20t  
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s  
- punta meccanica tipo Begemann  $\varnothing = 35.7$  mm (area punta 10 cm<sup>2</sup> - apertura 60°)  
- manicotto laterale (superficie 150 cm<sup>2</sup>)

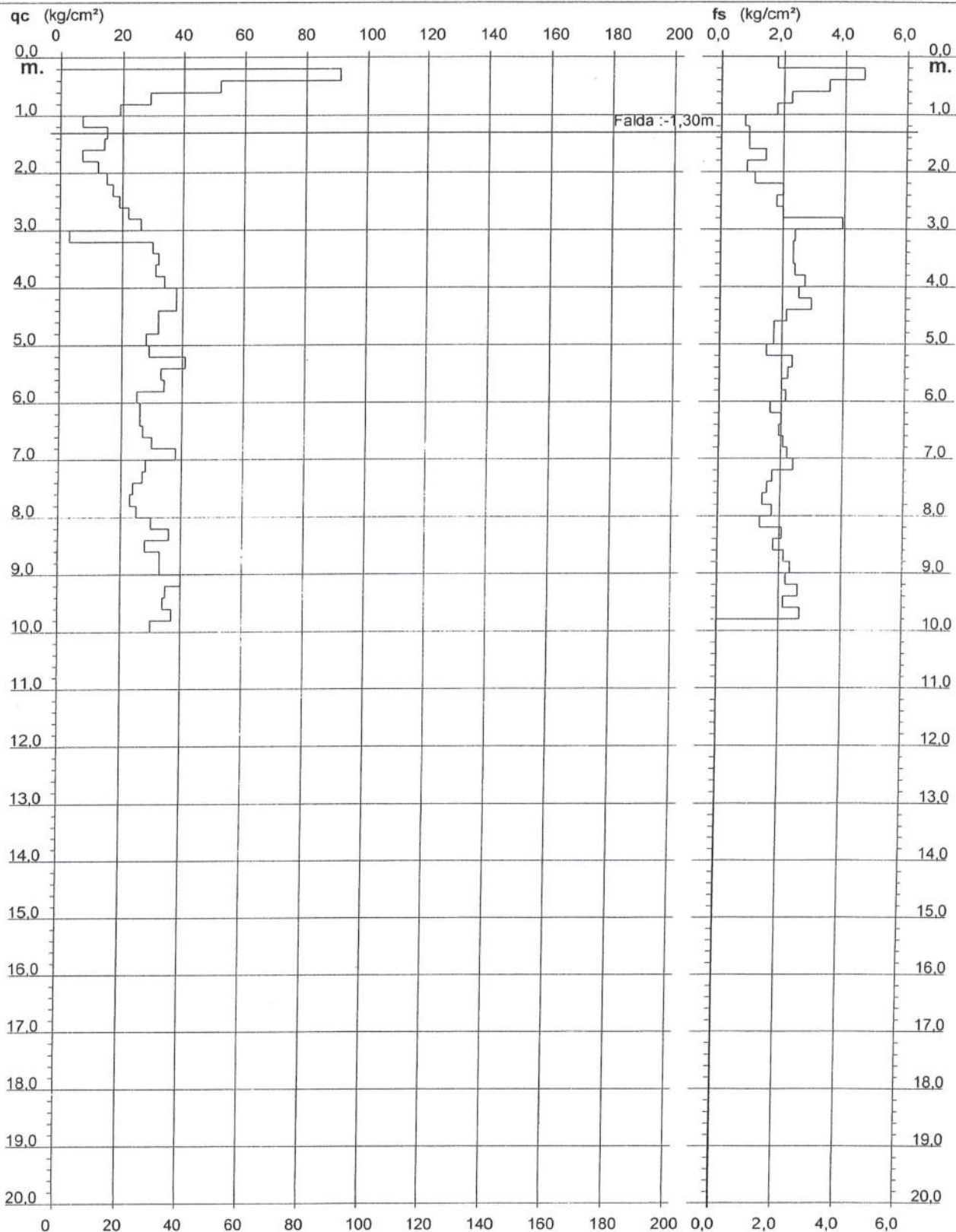
# PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

## CPT 1

2.01PG05-172

- committente : COMUNE di CAMPI BISENZIO  
- lavoro : Ampliamento Cimitero Capoluogo  
- località : CAMPI BISENZIO

- data : 20/03/2008  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : -1,30 m da quota inizio  
- scala vert.: 1 : 100



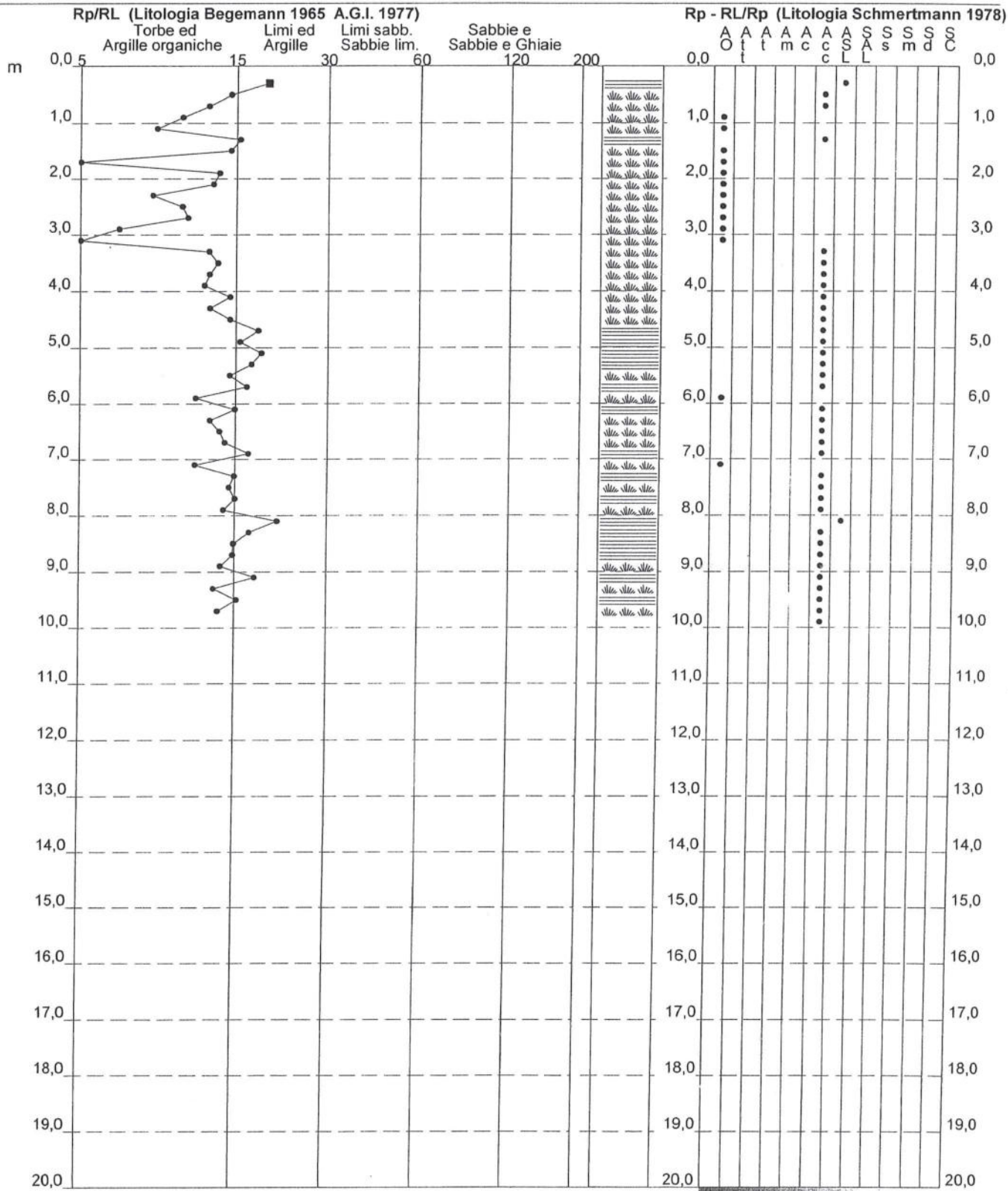
**PROVA PENETROMETRICA STATICA  
VALUTAZIONI LITOLOGICHE**

**CPT 1**

2.01PG05-172

- committente : COMUNE di CAMPI BISENZIO  
- lavoro : Ampliamento Cimitero Capoluogo  
- località : CAMPI BISENZIO  
- note :

- data : 20/03/2008  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : -1,30 m da quota inizio  
- scala vert.: 1 : 100



**PROVA PENETROMETRICA STATICA  
TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI**

**CPT 1**

2.01PG05-172

- committente : COMUNE di CAMPI BISENZIO  
- lavoro : Ampliamento Cimitero Capoluogo  
- località : CAMPI BISENZIO  
- note :

- data : 20/03/2008  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : -1,30 m da quota inizio  
- pagina : 1

Prof. m	qc kg/cm²	qc/fs (-)	Natura Litol.	Y' t/m²	d'vo kg/cm²	Cu kg/cm²	OCR (-)	Eu50 kg/cm²	Eu25 kg/cm²	Mo kg/cm²	Dr %	NATURA COESIVA				NATURA GRANULARE				Amax/g (-)	E'50 kg/cm²	E'25 kg/cm²	Mo kg/cm²		
												ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	ømy (°)								
0,20	--	--	???	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	91	20	4:f:f	1,85	0,07	3,03	99,9	516	774	273	100	42	43	45	46	45	33	0,258	152	228	273	--	--	--	
0,60	52	15	4:f:f	1,85	0,11	1,73	99,9	295	442	156	100	42	43	45	46	44	31	0,258	87	130	156	--	--	--	
0,80	29	13	4:f:f	1,85	0,15	0,98	66,9	167	251	87	76	39	40	42	44	40	29	0,178	48	73	87	--	--	--	
1,00	19	11	2:ll:l	1,85	0,19	0,78	37,7	132	198	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,20	7	9	1:***	1,85	0,22	0,35	11,1	14	21	11	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,40	15	16	2:ll:l	0,95	0,24	0,67	22,4	113	170	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,60	14	15	2:ll:l	0,94	0,26	0,64	19,2	108	162	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,80	7	5	1:***	0,46	0,27	0,35	8,7	15	23	11	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,00	12	14	2:ll:l	0,92	0,29	0,57	14,8	97	146	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,20	15	13	2:ll:l	0,95	0,31	0,67	16,6	113	170	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,40	17	8	2:ll:l	0,97	0,33	0,72	17,0	123	184	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,60	19	11	2:ll:l	0,99	0,35	0,78	17,2	132	198	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,80	22	11	4:f:f	0,93	0,36	0,85	18,0	144	216	66	45	34	37	39	42	34	28	0,091	37	55	66	--	--	--	
3,00	26	7	4:f:f	0,95	0,38	0,93	19,0	158	237	78	49	35	37	39	42	35	28	0,102	43	65	78	--	--	--	
3,20	3	1	1:***	0,46	0,39	0,15	1,9	18	27	5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,40	30	13	4:f:f	0,96	0,41	1,00	19,0	170	255	90	52	35	38	40	42	35	29	0,110	50	75	90	--	--	--	
3,60	32	14	4:f:f	0,97	0,43	1,07	19,5	181	272	96	53	35	38	40	42	35	29	0,113	53	80	96	--	--	--	
3,80	31	13	4:f:f	0,97	0,45	1,03	17,7	176	264	93	51	35	37	40	42	35	29	0,107	52	78	93	--	--	--	
4,00	34	12	4:f:f	0,98	0,47	1,13	18,9	193	289	102	53	35	38	40	42	35	29	0,113	57	85	102	--	--	--	
4,20	38	15	4:f:f	0,99	0,49	1,27	20,6	215	323	114	56	36	38	40	42	36	30	0,120	63	95	114	--	--	--	
4,40	38	13	4:f:f	0,99	0,51	1,27	19,6	215	323	114	55	36	38	40	42	35	30	0,117	63	95	114	--	--	--	
4,60	32	15	4:f:f	0,97	0,53	1,07	15,1	181	272	96	48	35	37	39	42	34	29	0,100	53	80	96	--	--	--	
4,80	32	18	4:f:f	0,97	0,55	1,07	14,4	181	272	96	47	35	37	39	42	34	29	0,098	53	80	96	--	--	--	
5,00	28	16	4:f:f	0,96	0,57	0,97	12,2	164	246	84	42	34	36	39	41	33	28	0,085	47	70	84	--	--	--	
5,20	29	19	4:f:f	0,96	0,59	0,98	12,0	167	251	87	42	34	36	39	41	33	29	0,086	48	73	87	--	--	--	
5,40	41	18	4:f:f	1,00	0,61	1,37	17,3	232	349	123	54	35	38	40	42	35	30	0,113	68	103	123	--	--	--	
5,60	33	15	4:f:f	0,97	0,63	1,10	12,7	187	281	99	45	34	37	39	42	33	29	0,092	55	83	99	--	--	--	
5,80	34	17	4:f:f	0,98	0,65	1,13	12,7	193	289	102	46	34	37	39	42	33	29	0,093	57	85	102	--	--	--	
6,00	25	12	4:f:f	0,94	0,66	0,91	9,3	158	238	75	34	33	35	38	41	32	28	0,067	42	63	75	--	--	--	
6,20	26	16	4:f:f	0,95	0,68	0,93	9,2	163	244	78	35	33	35	38	41	32	28	0,068	43	65	78	--	--	--	
6,40	26	13	4:f:f	0,95	0,70	0,93	8,9	166	250	78	34	33	35	38	41	31	28	0,067	43	65	78	--	--	--	
6,60	27	14	4:f:f	0,95	0,72	0,95	8,8	171	256	81	35	33	35	38	41	31	28	0,068	45	68	81	--	--	--	
6,80	30	15	4:f:f	0,96	0,74	1,00	9,1	176	264	90	38	33	36	38	41	32	29	0,075	50	75	90	--	--	--	
7,00	38	17	4:f:f	0,99	0,76	1,27	11,9	215	323	114	45	34	37	39	42	33	30	0,093	63	95	114	--	--	--	
7,20	28	12	4:f:f	0,96	0,78	0,97	8,2	186	279	84	34	33	35	38	41	31	28	0,067	47	70	84	--	--	--	
7,40	27	16	4:f:f	0,95	0,80	0,95	7,8	193	290	81	32	33	35	38	41	31	28	0,063	45	68	81	--	--	--	
7,60	24	15	4:f:f	0,94	0,82	0,89	7,0	205	308	72	28	32	35	37	40	30	28	0,054	40	60	72	--	--	--	
7,80	23	16	4:f:f	0,94	0,84	0,87	6,6	215	322	69	26	32	34	37	40	30	28	0,049	38	58	69	--	--	--	
8,00	25	14	4:f:f	0,94	0,86	0,91	6,8	217	326	75	28	32	35	37	40	30	28	0,054	42	63	75	--	--	--	
8,20	30	21	4:f:f	0,96	0,87	1,00	7,4	215	322	90	34	33	35	38	41	31	29	0,066	50	75	90	--	--	--	
8,40	36	17	4:f:f	0,99	0,89	1,20	9,1	212	318	108	40	34	36	39	41	32	30	0,079	60	90	108	--	--	--	
8,60	28	16	4:f:f	0,96	0,91	0,97	6,7	232	349	84	30	32	35	38	40	30	28	0,059	47	70	84	--	--	--	
8,80	33	15	4:f:f	0,97	0,93	1,10	7,7	226	339	99	36	33	36	38	41	31	29	0,070	55	83	99	--	--	--	
9,00	33	14	4:f:f	0,97	0,95	1,10	7,5	233	349	99	35	33	35	38	41	31	29	0,069	55	83	99	--	--	--	
9,20	40	18	4:f:f	1,00	0,97	1,33	9,3	232	348	120	41	34	36	39	41	32	30	0,083	67	100	120	--	--	--	
9,40	35	13	4:f:f	0,98	0,99	1,17	7,7	241	361	105	36	33	36	38	41	31	29	0,071	58	88	105	--	--	--	
9,60	34	16	4:f:f	0,98	1,01	1,13	7,2	251	376	102	35	33	35	38	41	31	29	0,068	57	85	102	--	--	--	
9,80	37	14	4:f:f	0,99	1,03	1,23	7,9	249	373	111	37	33	36	38	41	31	30	0,073	62	93	111	--	--	--	
10,00	30	--	3:***	0,88	1,05	--	--	--	--	--	29	32	35	37	40	30	29	0,057	50	75	90	--	--	--	