

*Geognostica*

*Monitoraggio  
idrogeologico*



*Geofisica*

*Indagini  
ambientali*

**Richiedente: Studio Assogeo**

**località d'indagine: Portoferraio (LI)**

**data: 24 / 02 / 2014**



indagine: 1 CPT

strumentazione: Pagani 63/200

software di elaborazione: WinCPT2

per la geOLUK S.r.l.,

l'Amministratore

**geOLUK S.r.l.**  
**GEOGNOSTICA E GEOFISICA**  
www.geoluk.com info@geoluk.com

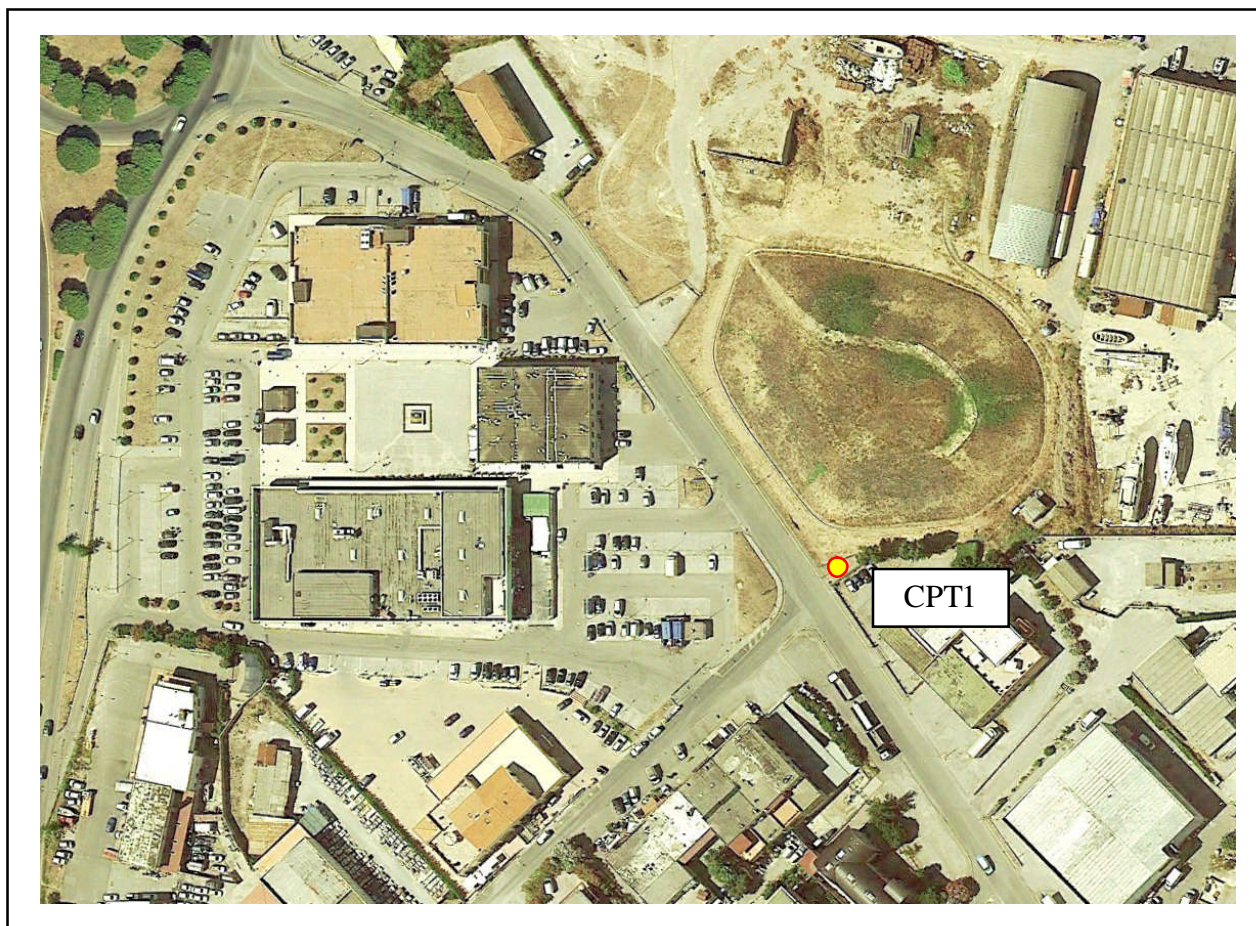
sede operativa: Via Pesciatina, 1560/a - 55100 Lucca - sede legale: Via Nerici, 176 55100 Lucca

codice fiscale e numero di iscrizione al registro delle imprese di Lucca: 02069440465

R.E.A. Lucca n. 194371 - capitale sociale € 10.000,00 i.v.

tel 393 9371580 - fax 0583 469588 - [www.geoluk.com](http://www.geoluk.com) - [info@geoluk.com](mailto:info@geoluk.com)

## ***Ubicazione dell'area indagata***



Legenda:



prova penetrometrica statica di tipo CPT n°1

CPT1

## LEGENDA VALORI DI RESISTENZA

Strumento utilizzato:

### PENETROMETRO STATICO tipo:

Caratteristiche:

- punta conica meccanica  $\varnothing$  35.7 mm, angolo di apertura  $\alpha = 60^\circ$  - ( area punta  $A_p = 10 \text{ cm}^2$  )
- manicotto laterale di attrito tipo 'Begemann' (  $\varnothing$  35.7 mm - h 133 mm - sup. lat. Am. =  $150 \text{ cm}^2$  )
- velocità di avanzamento costante  $V = 2 \text{ cm / sec}$  (  $\pm 0,5 \text{ cm / sec}$  )
- spinta max nominale dello strumento  $S_{\text{max}}$  variabile a seconda del tipo
- costante di trasformazione (lett.  $\Rightarrow$  spinta )  $C_t = \text{spinta (Kg)} / \text{LETTURA al manometro}$

$$\text{fase 1 - resistenza alla punta} \quad q_c \text{ ( Kg / cm}^2 \text{ )} = L_1 \times C_t / 10$$

$$\text{fase 2 - resistenza laterale locale} \quad f_s \text{ ( Kg / cm}^2 \text{ )} = (L_2 - L_1) \times C_t / 150$$

$$\text{fase 3 - resistenza totale} \quad R_t \text{ ( Kg )} = (L_t) \times C_t$$

$$q_c / f_s = \text{rapporto Begemann}$$

- L1. punta = lettura di campagna durante l' infissione della sola punta ( fase 1 )
- L2. totale = lettura di campagna relativa all'infissione di punta e manicotto ( fase 2 )
- Lt. aste = lettura di campagna relativa all'infissione delle aste esterne ( fase 3 )

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

N.B. : causa la distanza intercorrente ( 20 cm circa ) fra il manicotto laterale e la punta conica del penetrometro , la resistenza laterale locale  $f_s$  viene computata 20 cm sopra la punta .

### CONVERSIONI

$$1 \text{ kN ( kiloNewton )} = 1000 \text{ N} \approx 100 \text{ kg} = 0,1 \text{ t} - 1 \text{ MN ( megaNewton )} = 1000 \text{ kN} = 1000000 \text{ N} \approx 100 \text{ t}$$

$$1 \text{ kPa ( kiloPascal )} = 1 \text{ kN/m}^2 = 0,001 \text{ MN/m}^2 = 0,001 \text{ MPa} \approx 0,1 \text{ t/m}^2 = 0,01 \text{ kg/cm}^2$$

$$1 \text{ MPa ( MegaPascal )} = 1 \text{ MN/m}^2 = 1000 \text{ kN/m}^2 = 1000 \text{ kPa} \approx 100 \text{ t / m}^2 = 10 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{kg/cm}^2 = 10 \text{ t/m}^2 \approx 100 \text{ kN/m}^2 = 100 \text{ kPa} = 0,1 \text{ MN/m}^2 = 0,1 \text{ Mpa}$$

$$1 \text{ t} = 1000 \text{ kg} \approx 10 \text{ kN}$$

## LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

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'
$F < 15$	TORBE ED ARGILLE ORGANICHE	COESIVE
$15 < F \leq 30$	LIMI ED ARGILLE	COESIVE
$30 < F \leq 60$	LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE	GRANULARI
$F > 60$	SABBIE E SABBIE CON GHIAIA	GRANULARI

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

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

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

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

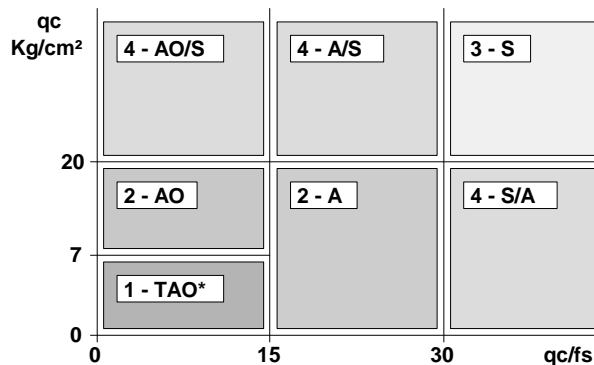
## LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI

### SCELTE LITOLOGICHE ( validità orientativa )

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

$q_c \leq 20 \text{ kg/cm}^2$  : possibili terreni COESIVI      anche se  $( q_c / f_s ) > 30$

$q_c \geq 20 \text{ kg/cm}^2$  : possibili terreni GRANULARI      anche se  $( q_c / f_s ) < 30$



### NATURA LITOLOGICA

- 1 - COESIVA (TORBOSA) ALTA COMPRIMIBILITA'
- 2 - COESIVA IN GENERE
- 3 - GRANULARE
- 4 - COESIVA / GRANULARE

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

- $\gamma'$  = peso dell' unità di volume (efficace) del terreno [ correlazioni :  $\gamma'$  -  $q_c$  - natura ]  
( Terzaghi & Peck 1967 -Bowles 1982 )
- $\sigma'_{vo}$  = tensione verticale geostatica (efficace) del terreno ( valutata in base ai valori di  $\gamma'$  )
- $C_u$  = coesione non drenata (terreni coesivi ) [ correlazioni :  $C_u$  -  $q_c$  ]
- OCR = grado di sovra consolidazione (terreni coesivi ) [ correlazioni : OCR -  $C_u$  -  $\sigma'_{vo}$  ]  
( Ladd et al. 1972 / 1974 / 1977 - Lancellotta 1983 )
- $E_u$  = modulo di deformazione non drenato (terr.coes.) [ correl. :  $E_u$  -  $C_u$  - OCR -  $I_p$   $I_p$ = indice plastico]  
 $E_{u50}$  -  $E_{u25}$  corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico corrisp. al 50-25% (Duncan & Buchigani 1976 )
- $E'$  = modulo di deformazione drenato (terreni granulari) [ correlazioni :  $E'$  -  $q_c$  ]  
 $E'_{50}$  -  $E'_{25}$  corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico corrisp. al 50-25% (coefficiente di sicurezza  $F = 2 - 4$  rispettivamente )  
(Schmertmann 1970 / 1978 - Jamiolkowski et al. 1983 )
- $M_o$  = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [ correl. :  $M_o$  -  $q_c$  - natura]  
(Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973 )
- $D_r$  = densità relativa (terreni granulari N. C. - normalmente consolidati)  
[ correlazioni :  $D_r$  -  $q_c$  -  $\sigma'_{vo}$  ] (Schmertmann 1976 )
- $\phi'$  = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari N.C. ) [ correl. :  $\phi'$  -  $D_r$  -  $q_c$  -  $\sigma'_{vo}$  ]  
(Schmertmann 1978 - Durgunoglu & Mitchell 1975 - Meyerhof 1956 / 1976)  
 $\phi'_{1s}$  - (Schmertmann) sabbia fine uniforme       $\phi'_{2s}$  - sabbia media uniforme/ fine ben gradata  
 $\phi'_{3s}$  - sabbia grossa uniforme/ media ben gradata  
 $\phi'_{4s}$  - sabbia-ghiaia poco limosa/ ghiaietto uniorme
- $\phi'_{dm}$  - ( Durgunoglu & Mitchell ) sabbie N.C.       $\phi'_{my}$  - (Meyerhof) sabbie limose
- $A_{max}$  = accelerazione al suolo che può causare liquefazione ( terreni granulari )  
(  $g$  = acc.gravità)(Seed & Idriss 1971 - Sirio 1976 ) [ correlazioni :  $(A_{max}/g)$  -  $D_r$  ]

# PROVA PENETROMETRICA STATICA

## LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

**CPT 1**

2.0105-PG076

- committente : Studio Assogeo  
- lavoro : indagine geognostica  
- località : Portoferraio (LI)  
- assist. cantiere :

- data : 24/02/2014  
- quota inizio : Piano Campagna  
- falda : 0,00 da quota inizio  
- data di emissione : 03/03/2014

- note : falda -3.2m da p.c.

prf	L1	L2	qc	fs	qc/fs	prf	L1	L2	qc	fs	qc/fs
m	-	-	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	-	m	-	-	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	-
0,20	----	----	--	-----	----	5,20	28,0	68,0	28,0	2,00	14,0
0,40	----	----	--	-----	----	5,40	8,0	38,0	8,0	0,60	13,0
0,60	88,0	----	88,0	5,73	15,0	5,60	6,0	15,0	6,0	0,27	22,0
0,80	91,0	177,0	91,0	5,53	16,0	5,80	8,0	12,0	8,0	0,33	24,0
<b>1,00</b>	51,0	134,0	51,0	4,20	12,0	<b>6,00</b>	7,0	12,0	7,0	0,33	21,0
1,20	37,0	100,0	37,0	2,07	18,0	6,20	6,0	11,0	6,0	0,33	18,0
1,40	8,0	39,0	8,0	0,40	20,0	6,40	6,0	11,0	6,0	0,33	18,0
1,60	8,0	14,0	8,0	0,33	24,0	6,60	6,0	11,0	6,0	0,33	18,0
1,80	11,0	16,0	11,0	0,47	24,0	6,80	6,0	11,0	6,0	0,33	18,0
<b>2,00</b>	7,0	14,0	7,0	0,47	15,0	<b>7,00</b>	7,0	12,0	7,0	0,40	17,0
2,20	5,0	12,0	5,0	0,33	15,0	7,20	7,0	13,0	7,0	0,33	21,0
2,40	6,0	11,0	6,0	0,33	18,0	7,40	6,0	11,0	6,0	0,27	22,0
2,60	6,0	11,0	6,0	0,40	15,0	7,60	8,0	12,0	8,0	0,33	24,0
2,80	4,0	10,0	4,0	0,20	20,0	7,80	8,0	13,0	8,0	0,53	15,0
<b>3,00</b>	8,0	11,0	8,0	0,53	15,0	<b>8,00</b>	8,0	16,0	8,0	0,53	15,0
3,20	6,0	14,0	6,0	0,53	11,0	8,20	36,0	44,0	36,0	1,27	28,0
3,40	5,0	13,0	5,0	0,73	7,0	8,40	48,0	67,0	48,0	1,60	30,0
3,60	5,0	16,0	5,0	0,47	11,0	8,60	47,0	71,0	47,0	1,67	28,0
3,80	11,0	18,0	11,0	0,40	27,0	8,80	39,0	64,0	39,0	1,27	31,0
<b>4,00</b>	5,0	11,0	5,0	0,27	19,0	<b>9,00</b>	46,0	65,0	46,0	1,73	27,0
4,20	5,0	9,0	5,0	1,40	4,0	9,20	53,0	79,0	53,0	1,87	28,0
4,40	23,0	44,0	23,0	0,33	69,0	9,40	47,0	75,0	47,0	2,40	20,0
4,60	88,0	93,0	88,0	2,20	40,0	9,60	8,0	44,0	8,0	0,47	17,0
4,80	92,0	125,0	92,0	2,73	34,0	9,80	13,0	20,0	13,0	0,80	16,0
<b>5,00</b>	82,0	123,0	82,0	2,67	31,0	<b>10,00</b>	12,0	24,0	12,0	-----	----

- PENETROMETRO STATICO tipo da 20 t - (con anello allargatore) -  
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità avanzamento punta 2 cm/s  
- punta meccanica tipo Begemann  $\phi$  = 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

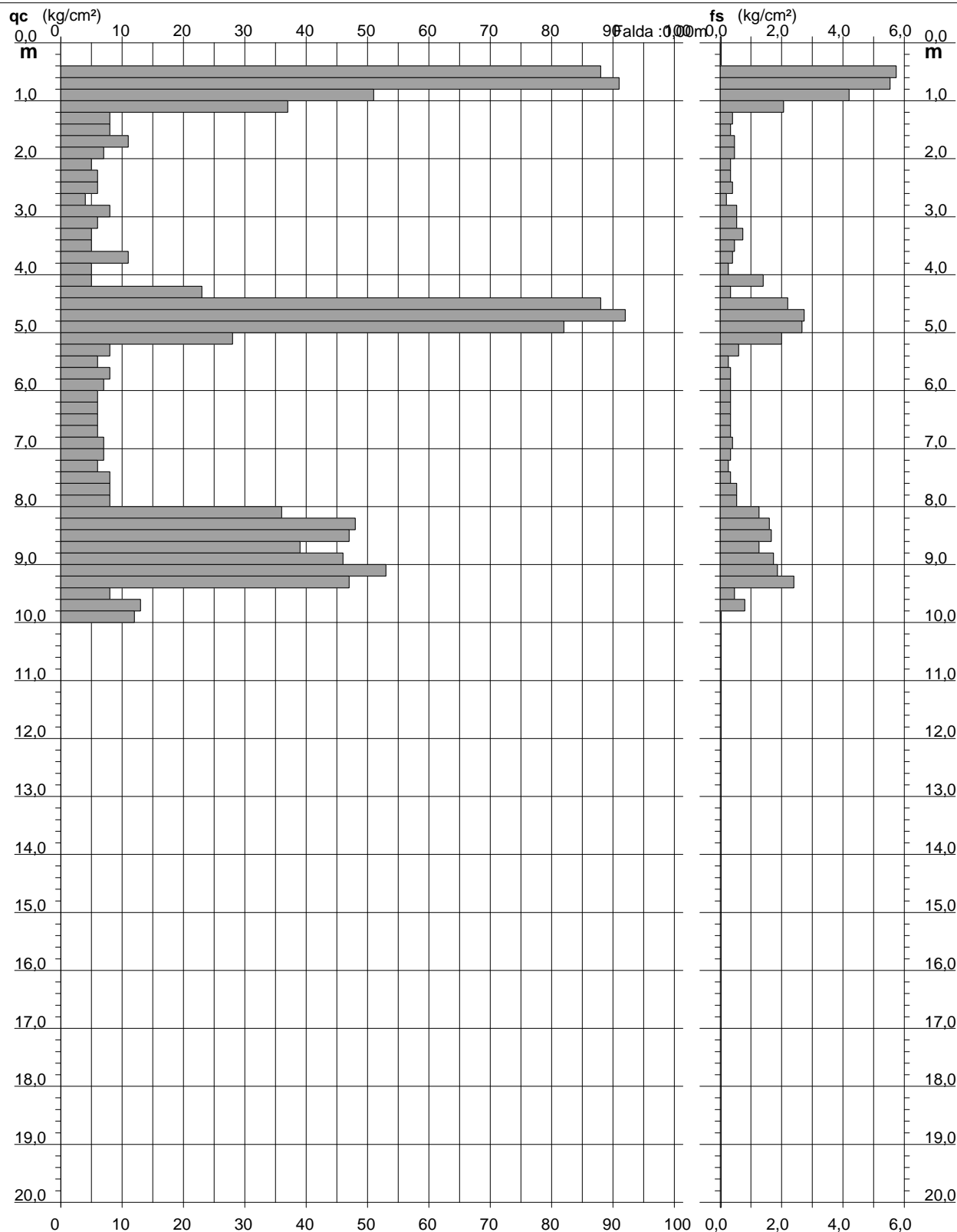
**CPT 1**

2.0105-PG076

- committente : Studio Assogeo  
- lavoro : indagine geognostica  
- località : Portoferraio (LI)  
- assist. cantiere :

- data : 24/02/2014  
- quota inizio : Piano Campagna  
- falda : 0,00 da quota inizio  
- data di emissione : 03/03/2014

- note : falda -3.2m da p.c.



# PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

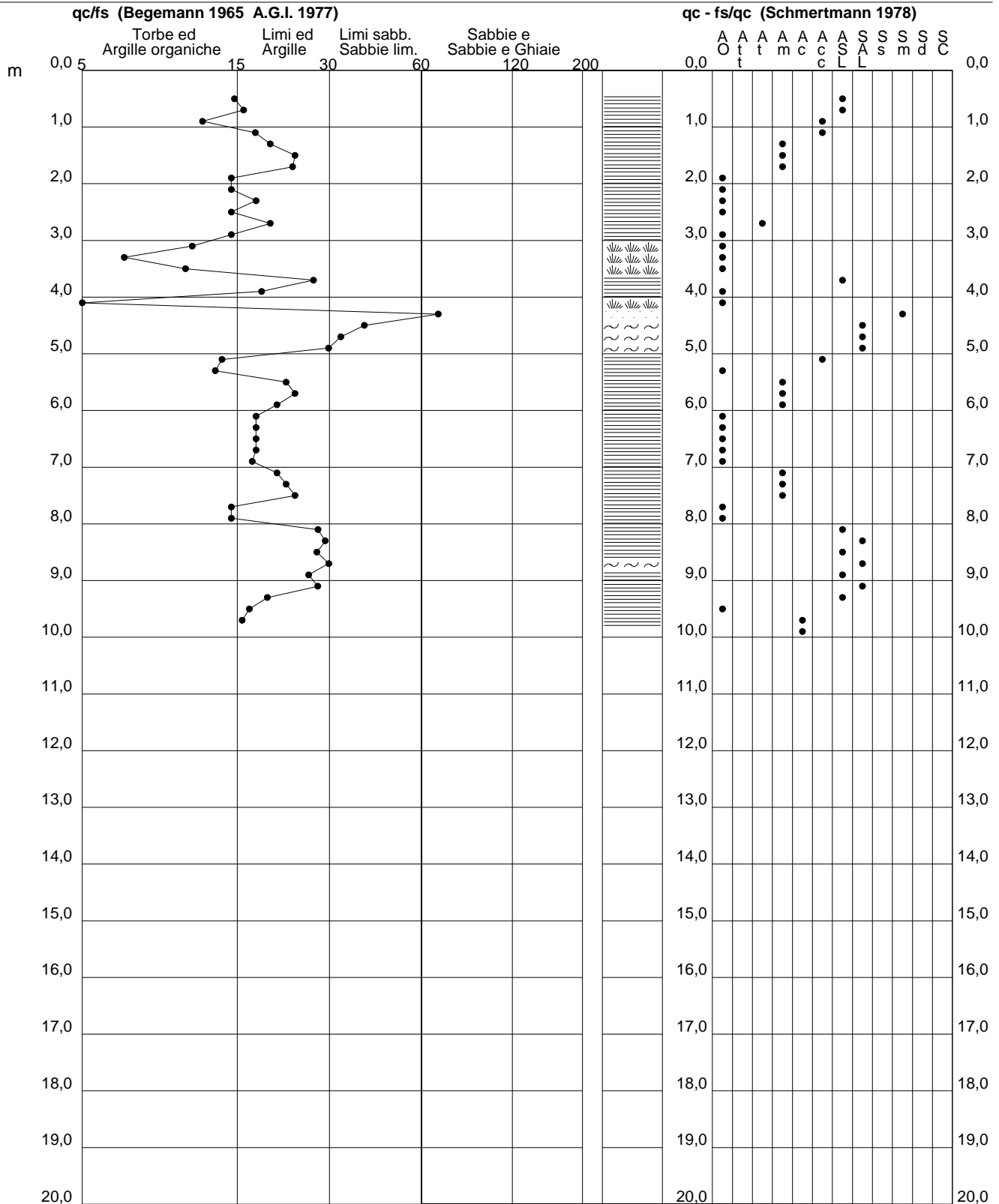
## CPT 1

2.0105-PG076

- committente : Studio Assogeo
- lavoro : indagine geognostica
- località : Portoferraio (LI)
- assist. cantiere :

- data : 24/02/2014  
- quota inizio : Piano Campagna  
- falda : 0,00 da quota inizio  
- data di emissione : 03/03/2014

- note :                      falda -3.2m da p.c.



# PROVA PENETROMETRICA STATICA TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 1

2.0105-PG076

- committente : Studio Assogeo  
- lavoro : indagine geognostica  
- località : Portoferraio (LI)  
- assist. cantiere :

- data : 24/02/2014  
- quota inizio : Piano Campagna  
- falda : 0,00 da quota inizio  
- data di emissione : 03/03/2014

- note : falda -3.2m da p.c.

NATURA COESIVA											NATURA GRANULARE										
Prof. m	qc kg/cm²	qc/fs (-)	Natura Litol.	Y' t/m³	p'vo kg/cm²	Cu kg/cm²	OCR (-)	Eu50 kg/cm²	Eu25 kg/cm²	Mo kg/cm²	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	ømy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm²	E'25 kg/cm²	Mo kg/cm²
0,20	--	--	???	0,85	0,02	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	--	--	???	0,85	0,03	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,60	88	15	4/:	1,04	0,05	2,93	99,9	499	748	264	100	42	43	45	46	45	33	0,258	147	220	264
0,80	91	16	4/:	1,04	0,08	3,03	99,9	516	774	273	100	42	43	45	46	45	33	0,258	152	228	273
1,00	51	12	4/:	1,01	0,10	1,70	99,9	289	434	153	100	42	43	45	46	44	31	0,258	85	128	153
1,20	37	18	4/:	0,99	0,12	1,23	99,9	210	315	111	90	41	42	44	45	42	30	0,225	62	93	111
1,40	8	20	2////	0,86	0,13	0,40	24,9	68	102	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,60	8	24	2////	0,86	0,15	0,40	21,4	68	102	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,80	11	24	2////	0,91	0,17	0,54	26,8	91	137	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,00	7	15	1***	0,46	0,18	0,35	14,7	14	21	11	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,20	5	15	1***	0,46	0,19	0,25	9,0	11	16	8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,40	6	18	2////	0,82	0,20	0,30	10,2	51	77	29	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,60	6	15	1***	0,46	0,21	0,30	9,7	12	18	9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,80	4	20	2////	0,78	0,23	0,20	5,3	62	93	20	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,00	8	15	2////	0,86	0,25	0,40	11,6	68	102	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,20	6	11	1***	0,46	0,25	0,30	7,7	14	21	9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,40	5	7	1***	0,46	0,26	0,25	5,9	14	21	8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,60	5	11	1***	0,46	0,27	0,25	5,6	14	22	8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,80	11	27	2////	0,91	0,29	0,54	13,5	91	137	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4,00	5	19	2////	0,80	0,31	0,25	4,9	85	127	25	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4,20	5	4	1***	0,46	0,32	0,25	4,7	16	24	8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4,40	23	69	3:::	0,86	0,33	--	--	--	--	--	48	35	37	39	42	35	28	0,100	38	58	69
4,60	88	40	3:::	0,98	0,35	--	--	--	--	--	93	41	42	44	45	41	33	0,234	147	220	264
4,80	92	34	3:::	0,99	0,37	--	--	--	--	--	93	41	42	44	45	41	33	0,234	153	230	276
5,00	82	31	3:::	0,97	0,39	--	--	--	--	--	88	40	42	43	45	40	33	0,216	137	205	246
5,20	28	14	4/:	0,96	0,41	0,97	18,3	164	246	84	50	35	37	40	42	35	28	0,104	47	70	84
5,40	8	13	2////	0,86	0,43	0,40	5,8	115	172	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5,60	6	22	2////	0,82	0,44	0,30	3,8	125	188	29	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5,80	8	24	2////	0,86	0,46	0,40	5,2	126	190	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6,00	7	21	2////	0,84	0,48	0,35	4,2	134	201	32	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6,20	6	18	2////	0,82	0,49	0,30	3,4	139	208	29	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6,40	6	18	2////	0,82	0,51	0,30	3,2	142	214	29	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6,60	6	18	2////	0,82	0,53	0,30	3,1	146	218	29	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6,80	6	18	2////	0,82	0,54	0,30	3,0	148	223	29	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,00	7	17	2////	0,84	0,56	0,35	3,5	158	237	32	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,20	7	21	2////	0,84	0,58	0,35	3,4	162	243	32	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,40	6	22	2////	0,82	0,59	0,30	2,7	155	233	29	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,60	8	24	2////	0,86	0,61	0,40	3,7	173	259	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,80	25	25	2/:	0,86	0,63	0,40	3,6	177	266	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8,00	8	15	2////	0,86	0,65	0,40	3,4	182	273	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8,20	36	28	4/:	0,99	0,67	1,20	13,1	204	306	108	47	35	37	39	42	34	30	0,096	60	90	108
8,40	48	30	4/:	1,01	0,69	1,60	18,1	272	408	144	56	36	38	40	42	35	31	0,120	80	120	144
8,60	47	28	4/:	1,01	0,71	1,57	17,0	266	400	141	55	36	38	40	42	35	31	0,116	78	118	141
8,80	39	31	3:::	0,90	0,72	--	--	--	--	--	48	35	37	39	42	34	30	0,098	65	98	117
9,00	46	27	4/:	1,01	0,74	1,53	15,5	261	391	138	53	35	38	40	42	34	31	0,110	77	115	138
9,20	53	28	4/:	1,01	0,76	1,77	17,9	300	451	159	57	36	38	40	43	35	31	0,122	88	133	159
9,40	47	20	4/:	1,01	0,78	1,57	14,9	266	400	141	52	35	37	40	42	34	31	0,109	78	118	141
9,60	8	17	2////	0,86	0,80	0,40	2,6	208	312	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9,80	13	16	2////	0,93	0,82	0,60	4,3	229	344	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10,00	12	--	2////	0,92	0,84	0,57	3,9	235	353	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

*Geognostica*

*Monitoraggio  
idrogeologico*



*Geofisica*

*Indagini  
ambientali*

**Committente: Studio Assogeo**

**Località d'indagine: Portoferraio (LI)**

**data: 24 / 02 / 2014**



indagine: M.A.S.W.

strumentazione: Ambrogeo Echo 12/24 2002  
software di acquisizione: Ambrogeo v. 7.1.1 Segy  
software di elaborazione: WinMASW 4.1 std

per la geOLUK s.r.l.,

l'Amministratore

**geOLUK s.r.l.**  
**GEOGNOSTICA E GEOFISICA**  
www.geoluk.com info@geoluk.com

sede operativa: Via Pesciatina, 1560/A - 55100 Lucca - sede legale: Via Nerici, 176 55100 Lucca  
codice fiscale e numero di iscrizione al registro delle imprese di Lucca: 02069440465  
R.E.A. Lucca n. 194371 - capitale sociale € 10.000,00 i.v.  
tel 393 9371580 - fax 0583 469588 - [www.geoluk.com](http://www.geoluk.com) - [info@geoluk.com](mailto:info@geoluk.com)

## **INDICE**

1. Premessa.....	3
1.1. Introduzione al metodo.....	3
2. Acquisizione.....	4
2.1.1. Strumentazione impiegata .....	4
3. Elaborazione.....	5
4. Conclusioni.....	7
5. Ubicazione dell'area indagata.....	8

## **ALLEGATI e FIGURE**

Sismogramma acquisito in campagna

Spettro di velocità e curva di dispersione e picking

Profilo verticale delle Vs

Determinazione parametro  $V_{s30}$

Esempio di modello stratigrafico

Ubicazione dell'area indagata (fuori scala)

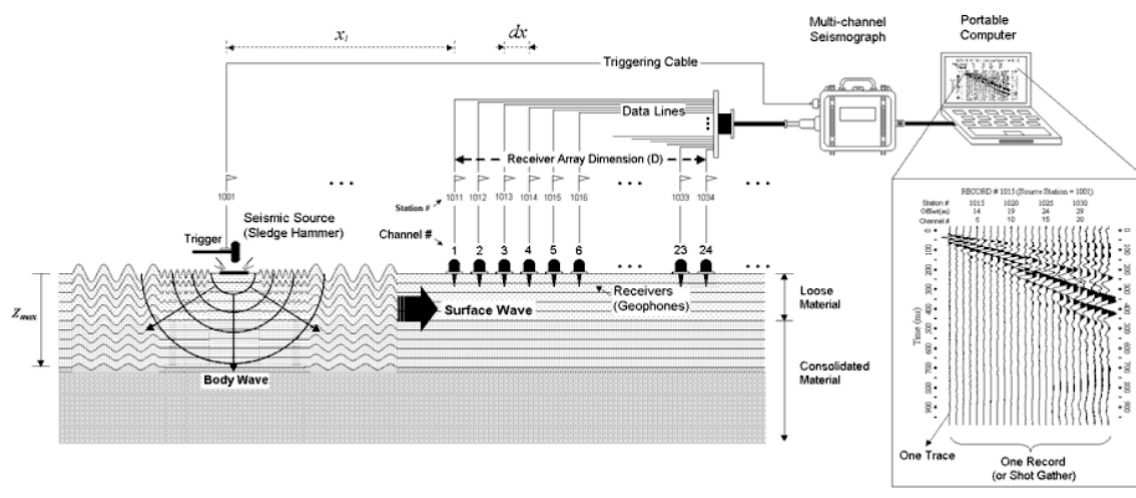
## 1. Premessa

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto del sito in esame, ubicato in Loc. Portoferraio (LI), è stata effettuata una serie di acquisizioni con la metodologia M.A.S.W., utili a definire il profilo verticale della  $V_s$  (velocità di propagazione delle onde di taglio).

Nel loro insieme, le procedure adottate sono state eseguite in accordo a quanto riportato nelle Norme Tecniche per le Costruzioni del DM 14 gennaio 2008 (ex DM 14/09/2005); queste, in buona misura, fanno risalire la stima dell'effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) entro i primi 30m di profondità.

### 1.1. Introduzione al metodo

La Metodologia M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) adottata per il presente lavoro è una tecnica di investigazione sismica non invasiva del sottosuolo di tipo attivo, presentata nel 1999 in seguito agli studi effettuati dal Kansas Geological Survey (Park et al., 1999). Attraverso l'analisi delle onde superficiali di Rayleigh questa tecnica mira a ricostruire un profilo sismostratigrafico in onde di taglio lungo la verticale al di sotto dello stendimento (profilo  $V_s$ -z).



**Figura 1.** Illustrazione della tecnica di indagine eseguita (SurfSeis – Active Masw, 2006)

La propagazione delle onde nel caso di mezzi stratificati e trasversalmente isotropi avviene in maniera diversa rispetto ai mezzi omogenei; non esiste più una unica velocità ma ogni frequenza è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione a sua volta legata alle varie lunghezze d'onda (fenomeno detto della dispersione in frequenza). Queste interessano il terreno a

diverse profondità e risultano influenzate dalle caratteristiche elastiche, appunto variabili con la profondità. Le lunghezze d'onda più grandi corrispondono alle frequenze più basse e vanno ad interessare il terreno più in profondità; al contrario le lunghezze d'onda più piccole, poiché sono associate alle frequenze più alte, rimangono nelle immediate vicinanze della superficie.

Come tutte le tecniche di investigazione del sottosuolo, anche la M.A.S.W. presenta dei limiti nella sua applicabilità e dei vantaggi che devono essere tenuti ben presenti nel momento in cui si pianifica e commissiona una campagna di investigazione geofisica. Brevemente i principali limiti della metodologia sono la necessità di operare in condizioni geologiche particolari (strati circa piano paralleli e lateralmente isotropi), la necessità di disporre di una taratura stratigrafica di riferimento fino alla profondità di interesse per ottimizzare il modello finale e la necessità di effettuare lo stendimento su superfici che non presentino brusche irregolarità morfologiche (salti, scalini...)

Per contro, i principali vantaggi della metodologia sono per esempio, a parità di profondità di investigazione, la possibilità di lavorare in ambienti con ingombri limitati, oppure al fine di poter ottimizzare il modello sismostratigrafico finale la possibilità di intervenire attivamente nel software di elaborazione in virtù delle conoscenze geologiche/geotecniche dell'area indagata. Inoltre, la tecnica M.A.S.W riesce, come ad es. il downhole, a rilevare il fenomeno dell'inversione di velocità.

## **2. Acquisizione**

### **2.1.1. Strumentazione impiegata**

#### *Hardware*

L'acquisizione è avvenuta tramite sismografo a 24 canali modello "Echo 12-24" (della *Ambrogeo* di Piacenza), collegato a geofoni verticali a frequenza propria di 4.5Hz.

Di seguito vengono brevemente elencate le caratteristiche tecniche del sismografo:

- Registrazione a 24 canali
- Impedenza di ingresso 20 Kohm
- Range dinamico: 93 dB
- Conversione A/D a 16 bit
- Intervallo di campionamento selezionabile a: 25, 50, 100, 200, 400, 800, 1000, 30000 ms
- Guadagno 10 dB – 100 dB, passo 1 dB
- Tensione di saturazione +/- 2,3 V
- Distorsione 0,01%

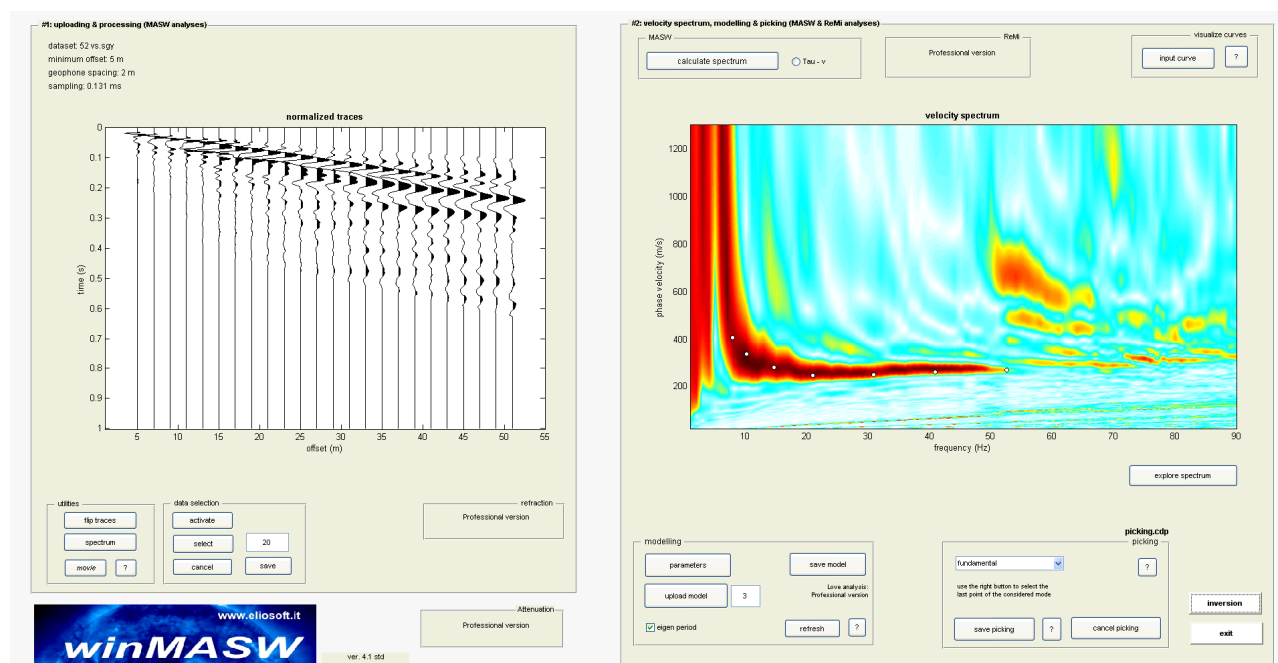
- Campionamento 130 ms
- Filtro passa basso da 50 a 950 Hz, passo 1 Hz
- Alimentazione 12V

## Software

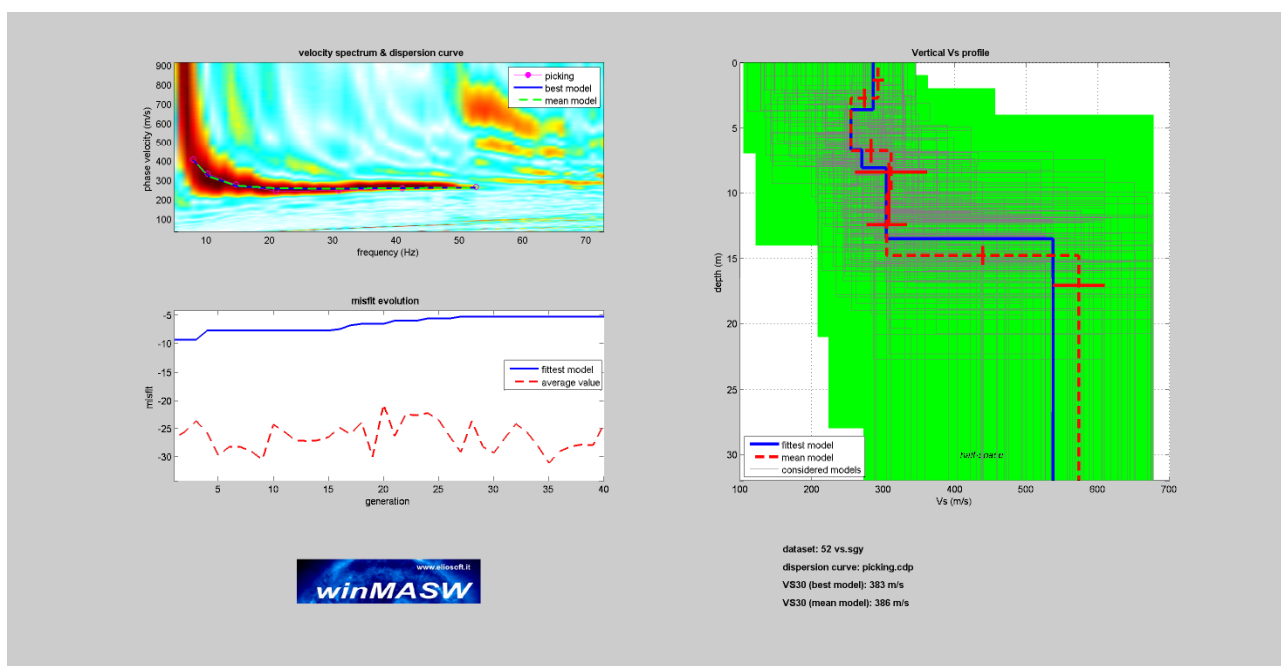
Per la registrazione in campagna del segnale sismico è stato utilizzato il software Ambrogeo v 7.1.1 Segy (della *Ambrogeo* di Piacenza) mentre, per le analisi dei dati acquisiti, è stato adottato il software *winMASW* 4.1.1 Std (della *Eliosoft* di Udine).

## 3. Elaborazione

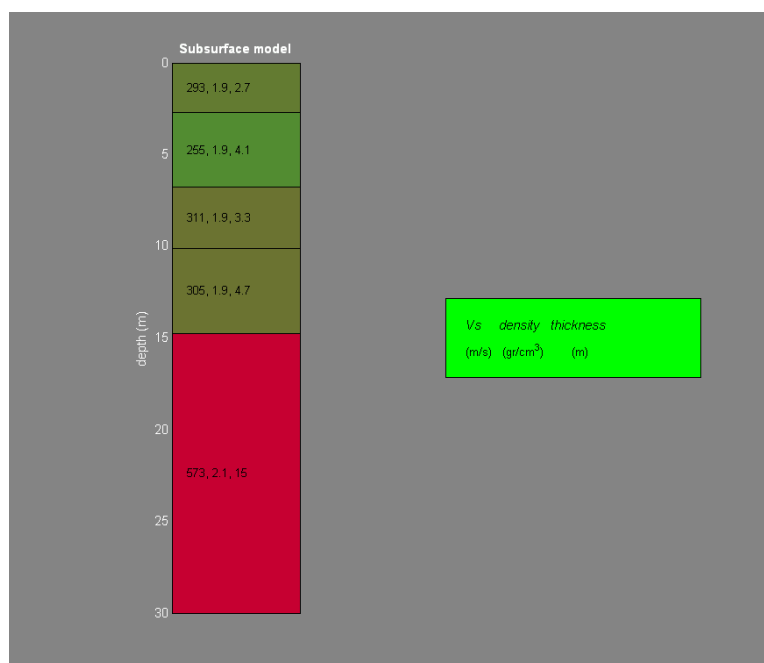
I dati acquisiti sono stati elaborati (determinazione spettro di velocità, identificazione curve di dispersione, inversione/modellazione di queste ultime) per ricostruire un profilo verticale di massima della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) e stimare quindi il valore del parametro  $V_{s30}$  utile alla classificazione del terreno (determinazione della categoria di sottosuolo).



**Fig. 2.** Sulla sinistra i dati di campagna e, sulla destra, lo spettro di velocità calcolato.



**Fig. 3.** Risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite l'analisi dei dati. In alto a sinistra: spettro osservato, curve di dispersione "piccate" e curve del modello individuato dall'inversione. Sulla destra il profilo verticale  $V_s$  identificato. In basso a sinistra l'evolversi del modello al passare delle "generazioni" (l'algoritmo utilizzato per l'inversione delle curve di dispersione appartiene alla classe degli *Algoritmi Genetici* – Dal Moro et al., 2007).



**Fig. 4.** Colonnina sismo-stratigrafica di massima del sito. Per ciascun strato indicate VS, densità (stimate) e spessori.

#### 4. Conclusioni

Dall'analisi della dispersione delle onde di Rayleigh, a partire dai dati di sismica attiva raccolti con la tecnica M.A.S.W. e in riferimento alla ricostruzione stratigrafica (modello di partenza) ricavabile dalle informazioni/indagini puntuali a taratura messe a disposizione dalla Committenza, è stato elaborato un profilo sismostratigrafico della  $V_s$  monodimensionale al di sotto dello stendimento effettuato.

Sulla base dei dati disponibili viene pertanto fornito il calcolo della  $V_{s,30}$  - a partire dal piano campagna attuale - secondo le modalità di calcolo indicate nella Normativa vigente (D.M. 14/1/2008) "*Norme Tecniche per le Costruzioni*":

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}} \text{ [m/s]}.$$

dove:

$h_i$  = spessore (in metri) dell'  $i$ -esimo strato compreso nei primi 30m di profondità;

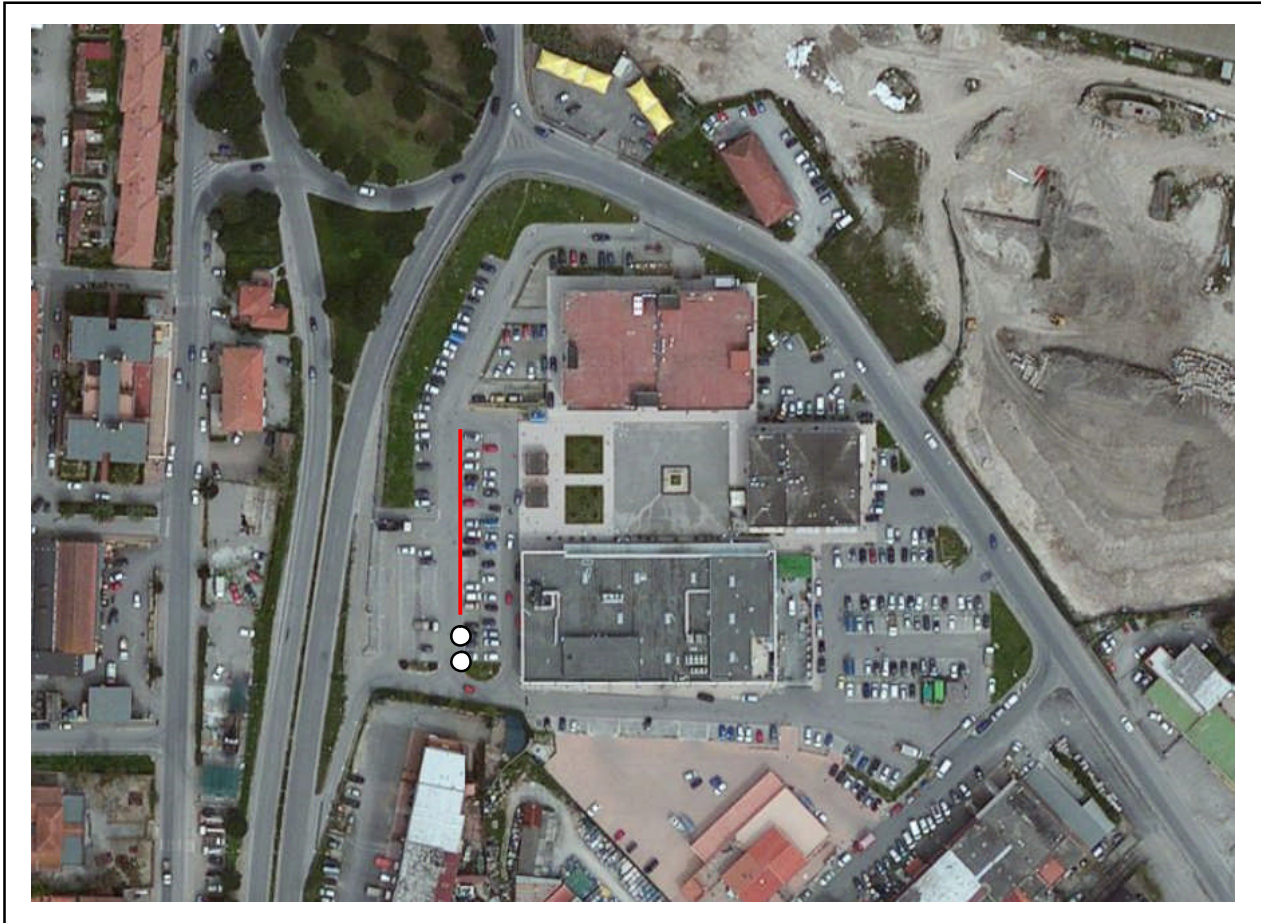
$V_{s,i}$  = velocità delle onde di taglio nell'  $i$ -esimo strato;

$N$  = numero di strati compresi nei 30m di profondità.

$$V_{s,30} = 386 \text{ m/s}$$


Tuttavia si ricorda che, sempre in ottemperanza alla Normativa, per la determinazione della  $V_{s,30}$  si deve far riferimento alla profondità di imposta delle fondazioni previste nel progetto: per le fondazioni superficiali, tale profondità è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

## 5. Ubicazione dell'area indagata



(fuori scala)

Legenda:

 Traccia della linea sismica

 Shots eseguiti