



COMUNE DI LUCCA

AMMINISTRAZIONE COMUNALE

Settore Dipartimentale 5 - Lavori Pubblici e Traffico - U.O. 5.4 - Strade - Progettazione

PROGETTO ESECUTIVO

**Realizzazione di nuova rotatoria tra Viale Europa e Via Bandettini
PT 60 - 2024**

CODICE ELABORATO

04_PE_GEN_04

TITOLO ELABORATO

**ALLEGATI ALLA RELAZIONE GEOLOGICA E
SISMICA CON CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA**

SCALA

-

Nr

01

EMISSIONE

Prima emissione PE

DATA

19/12/2025

PROGETTISTA:



Ing. Giuseppe Serrapede

Dott. Matteo Coturri

Dott. Geol. Alessandro Ungari



Responsabile Unico del Procedimento

Dott.ssa Ing. Francesca Guidotti

Il Dirigente

Dott.ssa Ing. Antonella Giannini

- Dicembre 2025 -

Allegati

Allegato A - *Dati delle indagini geognostiche ricavati dal DataBase della Regione Toscana (DB_Geologico di Geoscopio Regione Toscana)*

Allegato B - *Dati ed elaborazione della penetrometria statica svolta dalla Mappo Geognostica S.r.l. di Spianate (Altopascio - LU)*

Allegato C - *Relazioni sulle indagini geofisiche redatta dalla Mappo Geognostica S.r.l. di Spianate (Altopascio - LU)*

Allegato D - *Parametri sismici (da PS Geostru)*

Allegato A

*Dati delle indagini geognostiche ricavati dal DataBase della Regione Toscana (DB_Geologico
di Geoscopio Regione Toscana)*

INDAGINE

57

STRATO	PROF IN (m)	PROF FIN (m)	DESCRIZIONE	Rp	Rd	C	F	G	Nspt	Mv
288	0,0	1,0	Limi argillosi con livelli di sabbie limose	12			28			0,018
289	1,0	3,0	Limi argilloso sabbiosi	7			23			0,029
290	3,0	4,0	Sabbie limose con intercalazioni di sabbie ghiaiose e limi sabbiosi	15			27			0,020
291	4,0	7,0	Limi argilloso sabbiosi	7			25			0,030
292	7,0	9,6	Sabbie e sabbie ghiaiose	20			32			0,023

INDAGINE

104

STRATO	PROF IN (m)	PROF FIN (m)	DESCRIZIONE	Rp	Rd	C	F	G	Nspt	Mv
516	0,0	2,5	Materiale di riporto							
517	2,5	3,8	Limi argillosi debolmente sabbiosi							
518	3,8	5,2	Sabbie limose e limi sabbiosi							
519	5,2	7,8	Argille limose e limi argillosi							
520	7,8	18,5	Ghiaie e sabbie				35		35	

Allegato B

*Dati ed elaborazione della penetrometria statica svolta dalla Mappo Geognostica S.r.l. di
Spianate (Altopascio - LU)*



55010 loc. Biagioni, 60 Spianate (LU)
tel-fax 0583 20799 cell. 335 7215712
P.IVA 02019570460

INDAGINI GEOGNOSTICHE

prove in situ

Autorizzazione Ministero
delle Infrastrutture e dei
Trasporti ad effettuare e
certificare prove
geotecniche sui terreni n.
5021 del 24/05/2011

PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT

Il presente certificato è composto da n. 5 pagine

norma di riferimento: Raccomandazioni AGI 1977
deviazioni dalla norma:

verbale di accettazione n. **162/2024**
certificato di prova n. **287/2024**

del **30/12/2024**
del **30/12/2024**

Comm.te: **Comune di Lucca**
Località: **Viale Europa, Lucca**
prova n. **1**

CARATTERISTICHE DEL SISTEMA

penetrometro: Pagani TG 63-100/200 n. matricola P 001138
sistema di ancoraggio ϕ : 100 x 1000
sistema di misura: selettore con cella di carico e scheda elettronica acquisizione dati manuale
punta: conica meccanica

<i>diametro</i>	3,57	cm
<i>area punta</i>	10	cm ²
<i>angolo di apertura</i>	60	°
<i>area manicotto</i>	150	cm ²

DATI DI PROVA

<i>data inizio lavori:</i> 30/12/2024	<i>prof. inizio prova (m):</i> -	0,00	da p.c.
<i>data fine lavori:</i> 30/12/2024	<i>prof. fine prova (m):</i> -	11,80	da p.c.
Prescavo profondità metri 0,00	<i>totale metri prova:</i>	11,80	m
Installato piezometro metri 0,00	<i>livello di falda (m):</i> -	Non rilev.	da p.c.

Prova interrotta causa rifiuto strumentale ($Q_c > 300,00 \text{ Kg/cm}^2$)

profondità base strato da p.c. (m)	Letture di campagna (kg/cm ²)		Forza assiale (kN)		Resistenza alla punta - q_c (MPa)	Attrito laterale unitario - f_s (kPa)	q_c/f_s	note
	punta	punta + manicotto	punta	punta + manicotto				
0,20								
0,40								
0,60	9,00	15,00	0,88	1,46	0,88	54,38	16,11	
0,80	6,00	14,00	0,58	1,36	0,58	61,18	9,47	
1,00	20,00	29,00	1,95	2,83	1,95	47,59	40,97	
1,20	17,00	24,00	1,65	2,34	1,65	67,98	24,31	

profondità da p.c. (m)	Lecture (kg/cm ²)		Forza assiale (kN)		Resistenza alla punta - q_c (MPa)	Attrito laterale unitario - f_s (kPa)	q_c/f_s	note
	punta	punta + manicotto	punta	punta + manicotto				
1,40	9,00	19,00	0,87	1,85	0,87	47,59	18,19	
1,60	11,00	18,00	1,06	1,75	1,06	61,18	17,31	
1,80	9,00	18,00	0,86	1,74	0,86	54,38	15,81	
2,00	11,00	19,00	1,05	1,84	1,05	61,18	17,22	
2,20	9,00	18,00	0,85	1,74	0,85	61,18	13,97	
2,40	6,00	15,00	0,56	1,44	0,56	40,79	13,68	
2,60	5,00	11,00	0,46	1,05	0,46	54,38	8,41	
2,80	11,00	19,00	1,04	1,83	1,04	67,98	15,34	
3,00	13,00	23,00	1,24	2,22	1,24	95,17	12,99	
3,20	8,00	22,00	0,74	2,12	0,74	67,98	10,94	
3,40	15,00	25,00	1,43	2,41	1,43	74,78	19,09	
3,60	17,00	28,00	1,62	2,70	1,62	101,97	15,89	
3,80	19,00	34,00	1,81	3,29	1,81	122,37	14,83	
4,00	16,00	34,00	1,52	3,28	1,52	81,58	18,60	
4,20	17,00	29,00	1,61	2,79	1,61	81,58	19,77	
4,40	10,00	22,00	0,92	2,10	0,92	54,38	16,99	
4,60	9,00	17,00	0,82	1,61	0,82	47,59	17,30	
4,80	6,00	13,00	0,53	1,21	0,53	40,79	12,90	
5,00	10,00	16,00	0,92	1,50	0,92	33,99	26,94	
5,20	11,00	16,00	1,01	1,50	1,01	40,79	24,79	
5,40	8,00	14,00	0,71	1,30	0,71	40,79	17,51	
5,60	9,00	15,00	0,81	1,40	0,81	47,59	17,02	
5,80	9,00	16,00	0,81	1,49	0,81	61,18	13,19	
6,00	9,00	18,00	0,80	1,69	0,80	54,38	14,79	
6,20	8,00	16,00	0,70	1,49	0,70	40,79	17,25	
6,40	6,00	12,00	0,50	1,09	0,50	40,79	12,38	
6,60	8,00	14,00	0,70	1,29	0,70	47,59	14,68	
6,80	11,00	18,00	0,99	1,68	0,99	74,78	13,24	
7,00	12,00	23,00	1,09	2,16	1,09	74,78	14,52	
7,20	13,00	24,00	1,18	2,26	1,18	74,78	15,79	
7,40	17,00	28,00	1,57	2,65	1,57	135,96	11,55	
7,60	25,00	45,00	2,35	4,31	2,35	265,13	8,87	
7,80	51,00	90,00	4,90	8,72	4,90	237,93	20,59	
8,00	85,00	120,00	8,23	11,66	8,23	122,37	67,27	
8,20	19,00	37,00	1,76	3,52	1,76	95,17	18,45	
8,40	97,00	111,00	9,40	10,78	9,40	203,94	46,10	
8,60	76,00	106,00	7,34	10,28	7,34	169,95	43,19	
8,80	10,00	35,00	0,87	3,32	0,87	122,37	7,07	
9,00	189,00	207,00	18,42	20,18	18,42	278,72	66,08	

profondità da p.c. (m)	Letture (kg/cm ²)		Forza assiale (kN)		Resistenza alla punta - q_c (MPa)	Attrito laterale unitario - f_s (kPa)	q_c/f_s	note
	punta	punta + manicotto	punta	punta + manicotto				
9,20	189,00	230,00	18,41	22,43	18,41	435,08	42,32	
9,40	66,00	130,00	6,35	12,63	6,35	244,73	25,94	
9,60	17,00	53,00	1,54	5,07	1,54	224,34	6,87	
9,80	91,00	124,00	8,80	12,03	8,80	394,29	22,31	
10,00	108,00	166,00	10,46	16,15	10,46	407,89	25,64	
10,20	124,00	184,00	12,03	17,91	12,03	183,55	65,52	
10,40	67,00	94,00	6,43	9,08	6,43	203,94	31,55	
10,60	54,00	84,00	5,16	8,10	5,16	305,91	16,86	
10,80	189,00	234,00	18,39	22,81	18,39	516,66	35,60	
11,00	111,00	187,00	10,74	18,19	10,74	339,91	31,60	
11,20	211,00	261,00	20,55	25,45	20,55	530,25	38,75	
11,40	214,00	292,00	20,84	28,49	20,84	265,13	78,59	
11,60	214,00	253,00	20,83	24,66	20,83			
11,80	> 300,00							
12,00								
12,20								
12,40								
12,60								
12,80								
13,00								
13,20								
13,40								
13,60								
13,80								
14,00								
14,20								
14,40								
14,60								
14,80								
15,00								
15,20								
15,40								
15,60								
15,80								
16,00								
16,20								
16,40								
16,60								
16,80								
17,00								

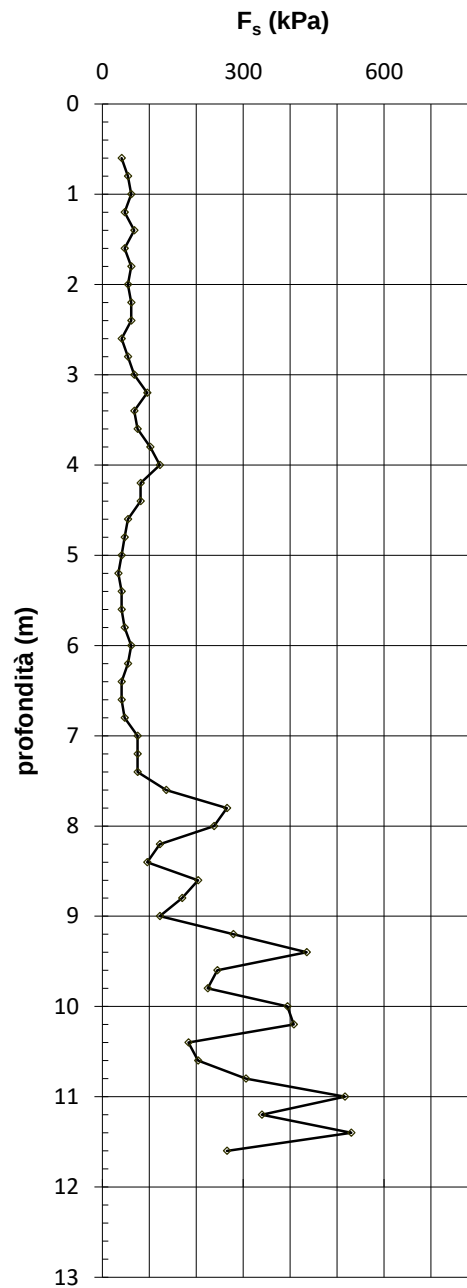
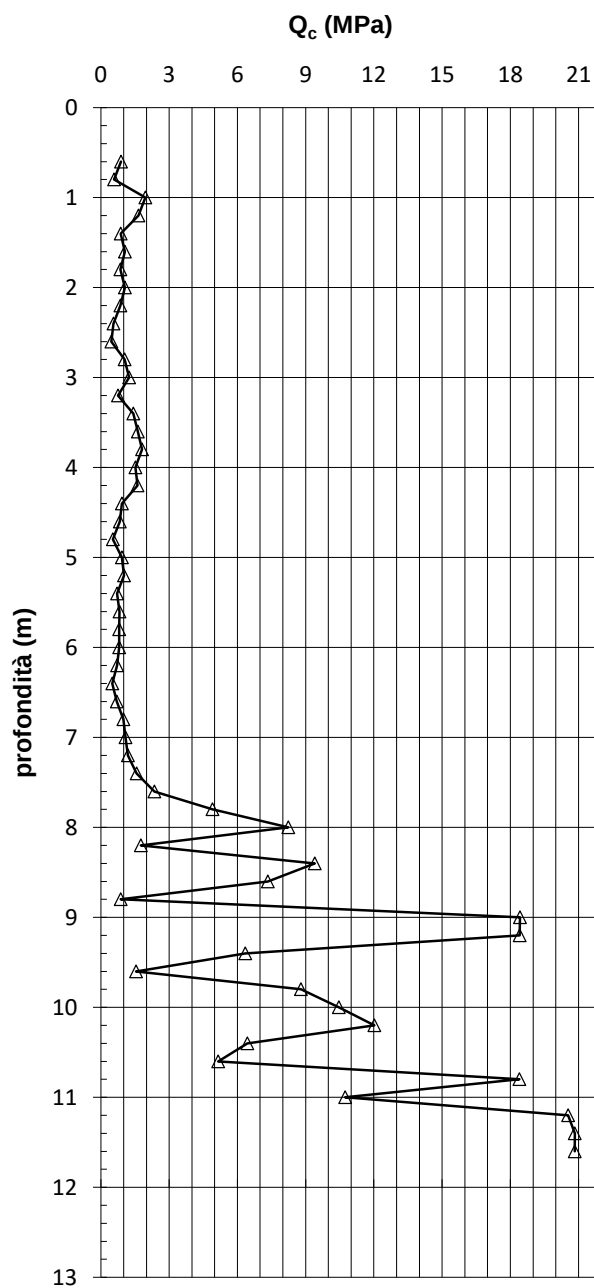


55010 loc. Biagioni, 60 Spianate (LU)
tel-fax 0583 20799 cell. 335 7215712
P.IVA 02019570460

Autorizzazione Ministero
delle Infrastrutture e dei
Trasporti ad effettuare e
certificare prove
geotecniche sui terreni n.
5021 del 24/05/2011

profondità da p.c. (m)	Letture (kg/cm ²)		Forza assiale (kN)		Resistenza alla punta - q_c (MPa)	Attrito laterale unitario - f_s (kPa)	q_c/f_s	note
	punta	punta + manicotto	punta	punta + manicotto				
17,20								
17,40								
17,60								
17,80								
18,00								
18,20								
18,40								
18,60								
18,80								
19,00								
19,20								
19,40								
19,60								
19,80								
20,00								
20,20								
20,40								
20,60								
20,80								
21,00								
21,20								
21,40								
21,60								
21,80								
22,00								
22,20								
22,40								
22,60								
22,80								
23,00								
23,20								
23,40								
23,60								
23,80								
24,00								
24,20								
24,40								
24,60								
24,80								
25,00								

DIAGRAMMI



UBICAZIONE DELLA PROVA



PROVA PENETROMETRICA STATICA

LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

CPT 1

2.01PG05-077

- committente : Comune di Lucca
 - lavoro :
 - località : Viale Europa, Lucca
 - note : Prova non conclusa causa rifiuto qc $\pm$: 300 kg/cm²

- data : 30/12/2024
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : Falda non rilevata
 - pagina : 1

Prof. m	Letture di campagna		qc	fs	qc/fs	Prof. m	Letture di campagna		qc	fs	qc/fs
	punta	laterale	kg/cm ²				punta	laterale	kg/cm ²		
0,20	----	----	--	-----	----	6,00	9,0	18,0	9,0	0,53	17,0
0,40	----	----	--	0,40	----	6,20	8,0	16,0	8,0	0,40	20,0
0,60	9,0	15,0	9,0	0,53	17,0	6,40	6,0	12,0	6,0	0,40	15,0
0,80	6,0	14,0	6,0	0,60	10,0	6,60	8,0	14,0	8,0	0,47	17,0
1,00	20,0	29,0	20,0	0,47	43,0	6,80	11,0	18,0	11,0	0,73	15,0
1,20	17,0	24,0	17,0	0,67	25,0	7,00	12,0	23,0	12,0	0,73	16,0
1,40	9,0	19,0	9,0	0,47	19,0	7,20	13,0	24,0	13,0	0,73	18,0
1,60	11,0	18,0	11,0	0,60	18,0	7,40	17,0	28,0	17,0	1,33	13,0
1,80	9,0	18,0	9,0	0,53	17,0	7,60	25,0	45,0	25,0	2,60	10,0
2,00	11,0	19,0	11,0	0,60	18,0	7,80	51,0	90,0	51,0	2,33	22,0
2,20	9,0	18,0	9,0	0,60	15,0	8,00	85,0	120,0	85,0	1,20	71,0
2,40	6,0	15,0	6,0	0,40	15,0	8,20	19,0	37,0	19,0	0,93	20,0
2,60	5,0	11,0	5,0	0,53	9,0	8,40	97,0	111,0	97,0	2,00	48,0
2,80	11,0	19,0	11,0	0,67	16,0	8,60	76,0	106,0	76,0	1,67	46,0
3,00	13,0	23,0	13,0	0,93	14,0	8,80	10,0	35,0	10,0	1,20	8,0
3,20	8,0	22,0	8,0	0,67	12,0	9,00	189,0	207,0	189,0	2,73	69,0
3,40	15,0	25,0	15,0	0,73	20,0	9,20	189,0	230,0	189,0	4,27	44,0
3,60	17,0	28,0	17,0	1,00	17,0	9,40	66,0	130,0	66,0	2,40	27,0
3,80	19,0	34,0	19,0	1,20	16,0	9,60	17,0	53,0	17,0	2,20	8,0
4,00	16,0	34,0	16,0	0,80	20,0	9,80	91,0	124,0	91,0	3,87	24,0
4,20	17,0	29,0	17,0	0,80	21,0	10,00	108,0	166,0	108,0	4,00	27,0
4,40	10,0	22,0	10,0	0,53	19,0	10,20	124,0	184,0	124,0	1,80	69,0
4,60	9,0	17,0	9,0	0,47	19,0	10,40	67,0	94,0	67,0	2,00	34,0
4,80	6,0	13,0	6,0	0,40	15,0	10,60	54,0	84,0	54,0	3,00	18,0
5,00	10,0	16,0	10,0	0,33	30,0	10,80	189,0	234,0	189,0	5,07	37,0
5,20	11,0	16,0	11,0	0,40	27,0	11,00	111,0	187,0	111,0	3,33	33,0
5,40	8,0	14,0	8,0	0,40	20,0	11,20	211,0	261,0	211,0	5,20	41,0
5,60	9,0	15,0	9,0	0,47	19,0	11,40	214,0	292,0	214,0	2,60	82,0
5,80	9,0	16,0	9,0	0,60	15,0	11,60	214,0	253,0	214,0	-----	----

- 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 cm² - apertura 60°)
 - manicotto laterale (superficie 150 cm²)

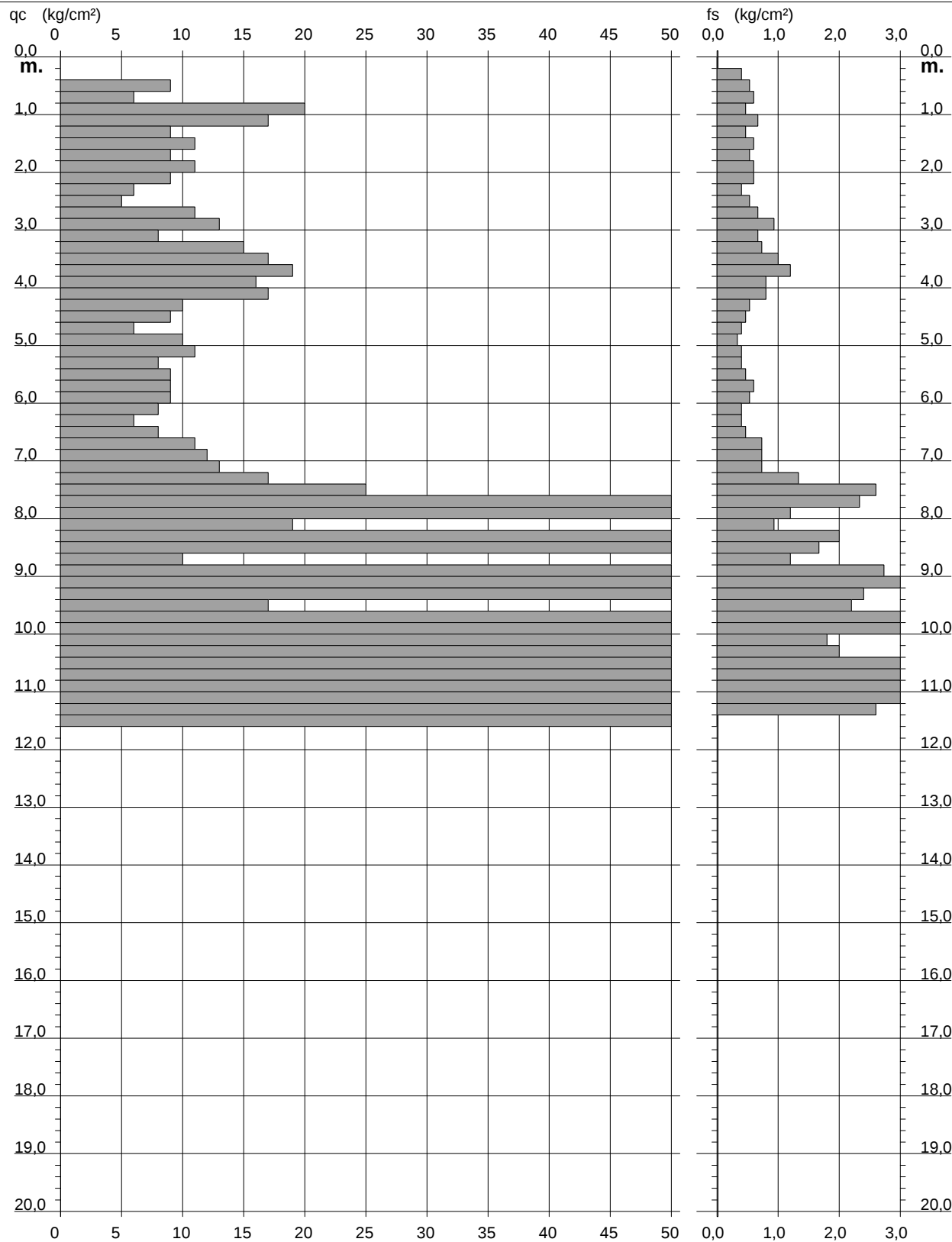
PROVA PENETROMETRICA STATICA
DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 1

2.01PG05-077

- committente : Comune di Lucca
- lavoro :
- località : Viale Europa, Lucca
- note : Prova non conclusa causa rifiuto qc ± : 300 kg/cm²

- data : 30/12/2024
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 100



PROVA PENETROMETRICA STATICA

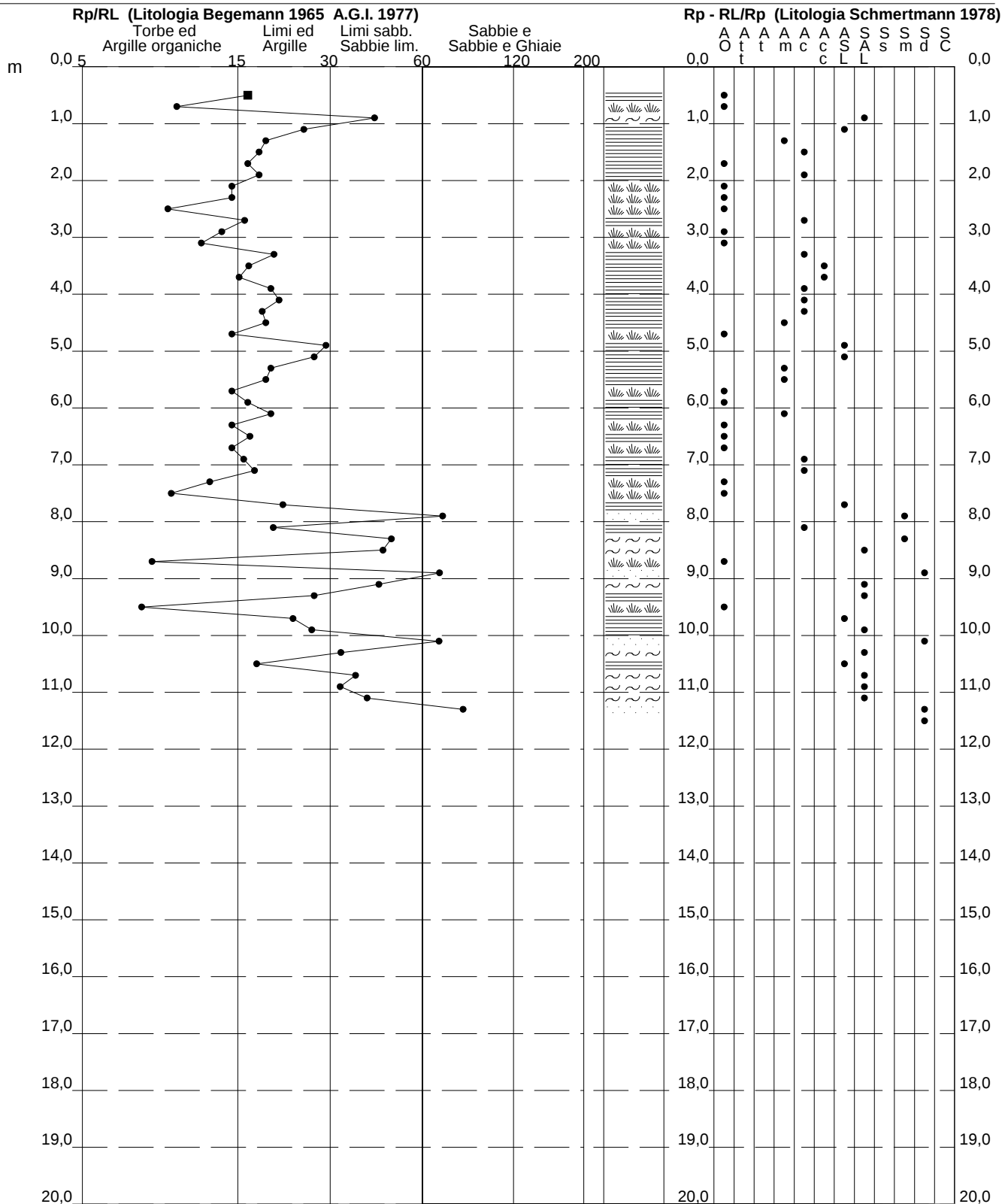
VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 1

2.01PG05-077

- committente : Comune di Lucca
 - lavoro :
 - località : Viale Europa, Lucca
 - note : Prova non conclusa causa rifiuto qc $\pm$: 300 kg/cm²

- data : 30/12/2024
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : Falda non rilevata
 - scala vert.: 1 : 100



PROVA PENETROMETRICA STATICA

TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 1

2.01PG05-077

- committente : Comune di Lucca
 - lavoro :
 - località : Viale Europa, Lucca
 - note : Prova non conclusa causa rifiuto qc $\pm$: 300 kg/cm²

- data : 30/12/2024
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : Falda non rilevata
 - pagina : 1

NATURA COESIVA											NATURA GRANULARE										
Prof. m	qc kg/cm²	qc/fs (-)	Natura Litol.	Y' t/m³	d'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	--	--	???	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	--	--	???	1,85	0,07	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,60	9	17	2////	1,85	0,11	0,45	36,1	77	115	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,80	6	10	1***	1,85	0,15	0,30	15,2	12	18	9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,00	20	43	4/./.	1,85	0,19	0,80	39,2	136	204	60	58	36	38	40	43	37	27	0,125	33	50	60
1,20	17	25	2////	1,85	0,22	0,72	27,5	123	184	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,40	9	19	2////	1,85	0,26	0,45	12,5	77	115	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,60	11	18	2////	1,85	0,30	0,54	13,2	91	137	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,80	9	17	2////	1,85	0,33	0,45	9,1	79	119	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,00	11	18	2////	1,85	0,37	0,54	10,0	91	137	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,20	9	15	2////	1,85	0,41	0,45	7,1	102	152	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,40	6	15	1***	1,85	0,44	0,30	3,8	23	34	9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,60	5	9	1***	1,85	0,48	0,25	2,8	26	40	8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,80	11	16	2////	1,85	0,52	0,54	6,6	133	200	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,00	13	14	2////	1,85	0,55	0,60	7,0	139	209	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,20	8	12	2////	1,85	0,59	0,40	3,8	166	250	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,40	15	20	2////	1,85	0,63	0,67	6,8	160	240	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,60	17	17	2////	1,85	0,67	0,72	7,0	167	251	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,80	19	16	2////	1,85	0,70	0,78	7,1	176	263	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4,00	16	20	2////	1,85	0,74	0,70	5,8	198	297	52	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4,20	17	21	2////	1,85	0,78	0,72	5,7	208	312	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4,40	10	19	2////	1,85	0,81	0,50	3,4	229	343	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4,60	9	19	2////	1,85	0,85	0,45	2,8	228	342	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4,80	6	15	1***	1,85	0,89	0,30	1,6	38	56	9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5,00	10	30	4/./.	1,85	0,93	0,50	2,9	250	375	40	--	28	31	35	38	25	26	--	17	25	30
5,20	11	27	2////	1,85	0,96	0,54	3,0	264	395	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5,40	8	20	2////	1,85	1,00	0,40	2,0	224	336	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5,60	9	19	2////	1,85	1,04	0,45	2,2	247	370	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5,80	9	15	2////	1,85	1,07	0,45	2,1	249	374	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6,00	9	17	2////	1,85	1,11	0,45	2,0	251	377	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6,20	8	20	2////	1,85	1,15	0,40	1,7	230	345	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6,40	6	15	1***	1,85	1,18	0,30	1,1	39	58	9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6,60	8	17	2////	1,85	1,22	0,40	1,6	232	349	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6,80	11	15	2////	1,85	1,26	0,54	2,2	296	443	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,00	12	16	2////	1,85	1,30	0,57	2,3	312	467	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,20	13	18	2////	1,85	1,33	0,60	2,3	327	490	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,40	17	13	2////	1,85	1,37	0,72	2,8	367	550	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,60	25	10	4/./.	1,85	1,41	0,91	3,6	397	595	75	16	30	33	36	39	27	28	0,031	42	63	75
7,80	51	22	4/./.	1,85	1,44	1,70	7,7	350	525	153	40	34	36	39	41	31	31	0,080	85	128	153
8,00	85	71	3....	1,85	1,48	--	--	--	--	--	57	36	38	40	43	34	33	0,122	142	213	255
8,20	19	20	2////	1,85	1,52	0,78	2,7	399	599	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8,40	97	48	3....	1,85	1,55	--	--	--	--	--	60	36	38	41	43	34	34	0,131	162	243	291
8,60	76	46	3....	1,85	1,59	--	--	--	--	--	51	35	37	40	42	33	33	0,107	127	190	228
8,80	10	8	2////	1,85	1,63	0,50	1,4	293	439	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9,00	189	69	3....	1,85	1,66	--	--	--	--	--	81	39	41	43	45	38	37	0,195	315	473	567
9,20	189	44	3....	1,85	1,70	--	--	--	--	--	81	39	41	43	44	38	37	0,193	315	473	567
9,40	66	27	4/./.	1,85	1,74	2,20	8,4	413	620	198	44	34	37	39	42	32	32	0,090	110	165	198
9,60	17	8	2////	1,85	1,78	0,72	2,0	403	605	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9,80	91	24	4/./.	1,85	1,81	3,03	11,9	516	774	273	54	36	38	40	42	33	33	0,115	152	228	273
10,00	108	27	4/./.	1,85	1,85	3,60	14,4	612	918	324	60	36	38	41	43	34	34	0,129	180	270	324
10,20	124	69	3....	1,85	1,89	--	--	--	--	--	64	37	39	41	43	35	35	0,141	207	310	372
10,40	67	34	3....	1,85	1,92	--	--	--	--	--	42	34	36	39	41	31	32	0,085	112	168	201
10,60	54	18	4/./.	1,85	1,96	1,80	5,6	528	792	162	34	33	35	38	41	30	31	0,067	90	135	162
10,80	189	37	3....	1,85	2,00	--	--	--	--	--	77	39	40	42	44	37	37	0,180	315	473	567
11,00	111	33	3....	1,85	2,03	--	--	--	--	--	58	36	38	40	43	34	34	0,126	185	278	333
11,20	211	41	3....	1,85	2,07	--	--	--	--	--	80	39	41	43	44	37	38	0,190	352	528	633
11,40	214	82	3....	1,85	2,11	--	--	--	--	--	80	39	41	43	44	37	38	0,190	357	535	642
11,60	214	--	3....	1,85	2,15	--	--	--	--	--	79	39	41	43	44	37	38	0,188	357	535	642

LEGENDA VALORI DI RESISTENZA

Strumento utilizzato:

PENETROMETRO STATICO OLANDESE tipo GOUDA (tipo meccanico).

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 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 (lett. $\Rightarrow$ Spinta) $C_t = \text{SPINTA (Kg)} / \text{LETTURA DI CAMPAGNA}$

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

fase 2 - resistenza laterale locale $f_s \text{ (Kg / cm}^2\text{)} = [(\text{L. laterale}) - (\text{L. punta})] C_t / 150$

fase 3 - resistenza totale $R_t \text{ (Kg)} = (\text{L. totale}) C_t$

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

- L. punta = lettura di campagna durante l'infissione della sola punta (fase 1)

- L. laterale = lettura di campagna relativa all'infissione di punta e manicotto (fase 2)

- L. totale = 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 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.

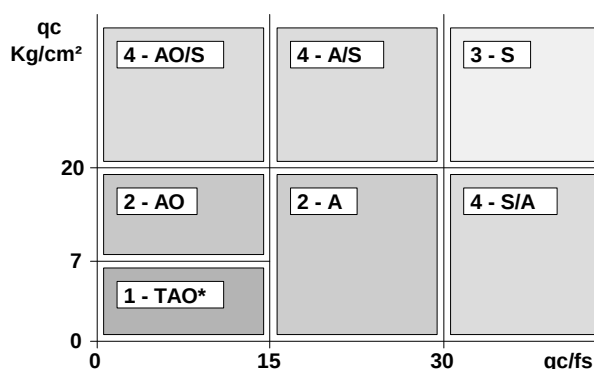
LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI

SCELTE LITOLOGICHE (validità orientativa)

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

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

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



NATURA LITOLOGICA

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

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

- γ' = peso dell' unità di volume (efficace) del terreno [correlazioni : γ' - qc - natura]
(Terzaghi & Peck 1967 -Bowles 1982)
- σ'_{vo} = tensione verticale geostatica (efficace) del terreno (valutata in base ai valori di γ')
- C_u = coesione non drenata (terreni coesivi) [correlazioni : C_u - qc]
- OCR = grado di sovra consolidazione (terreni coesivi) [correlazioni : OCR - C_u - σ'_{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 = ind.plast.]
 E_{u50} - E_{u25} corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (Duncan & Buchigani 1976)
- E' = modulo di deformazione drenato (terreni granulari) [correlazioni : E' - qc]
 E'_{50} - E'_{25} corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (coeff. di sicurezza $F = 2 - 4$ rispettivamente)
(Schmertmann 1970 / 1978 - Jamiolkowski et al. 1983)
- M_o = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [correl. : M_o - qc - natura]
(Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973)
- D_r = densità relativa (terreni gran. N. C. - normalmente consolidati)
[correlazioni : D_r - qc - σ'_{vo}] (Schmertmann 1976)
- ϕ' = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari N.C.) [correl. : ϕ' - D_r - qc - σ'_{vo}]
(Schmertmann 1978 - Durgunoglu & Mitchell 1975 - Meyerhof 1956 / 1976)
 ϕ'_{1s} - (Schmertmann) sabbia fine uniforme ϕ'_{2s} - sabbia media unif./ fine ben gradata
 ϕ'_{3s} - sabbia grossa unif./ media ben gradata ϕ'_{4s} - sabbia-ghiaia poco lim./ ghiaietto unif.
 ϕ'_{dm} - (Durgunoglu & Mitchell) sabbie N.C. ϕ'_{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]

Allegato C

*Relazioni sulle indagini geofisiche redatta dalla Mappo Geognostica S.r.l. di Spianate
(Altopascio - LU)*

COMUNE DI LUCCA



Indagine sismica M.A.S.W. in Viale Europa a Lucca

Comm.te:
Comune di Lucca

Gennaio 2025

Mappo Geognostica Srl

Loc. Biagioni, 60

55010 Spianate (LU)

Tel. 0583.20799 Fax 0572.930069

P.IVA 02019570460

www.mappogeognostica.it

PREMESSE

La presente relazione sintetizza e illustra i risultati di n. 1 indagine sismica effettuata, mediante il metodo MASW, in Viale Europa a Lucca.

L'indagine MASW è stata effettuata per la caratterizzazione della velocità delle onde Sh dei terreni presenti, per determinare il parametro VS30, necessario al fine della classificazione dei suoli per la definizione dell'azione sismica di progetto, come richiesto dalle "Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. 2018).

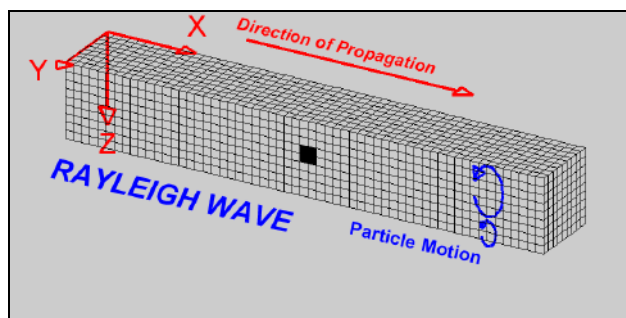
L'interpretazione dei dati acquisiti in campagna ha consentito di ricavare una sequenza sismo-stratigrafica relativamente all'area di indagine, con suddivisione in strati aventi analoghe caratteristiche delle velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali.

E' stato possibile, per ottimizzare l'interpretazione, riferirsi al locale assetto geolitologico.

GENERALITÀ SUL METODO MASW

Le onde sismiche che si propagano in un mezzo si dividono, principalmente, in Onde di corpo e onde di superficie. Fra queste ultime si hanno le onde di Rayleigh, le onde di Love e le onde di Lamb.

Le onde di Rayleigh, in particolare, sono originate dall'interazione fra le onde di pressione e le onde di taglio verticali quando esista una superficie libera in un mezzo omogeneo e isotropo.

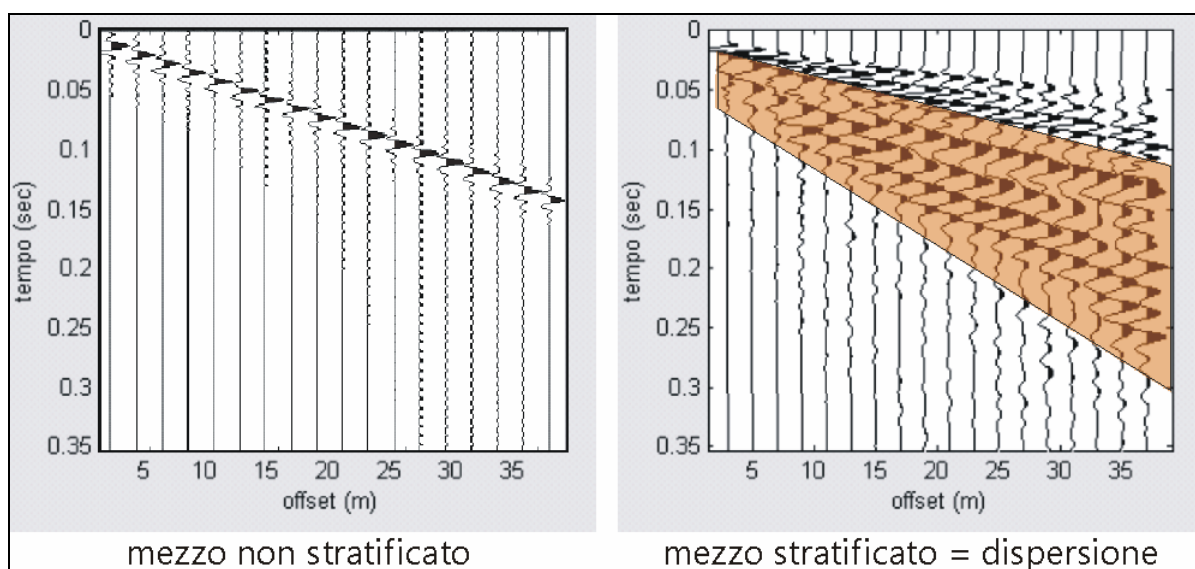


Il moto delle particelle è di tipo ellittico retrogrado, il quale si inverte a una profondità di $\lambda/2\pi$. L'ampiezza dello spostamento decresce secondo una legge esponenziale.

L'energia convertita in onde di Rayleigh è, in percentuale, molto maggiore rispetto a quella

coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P ed S. Inoltre l'ampiezza delle onde di superficie varia con la radice quadrata di r , e non con r come avviene per le onde di corpo. Le onde di Rayleigh presentano una velocità del 90% circa rispetto a quella delle onde di taglio.

In presenza di un semispazio omogeneo, la velocità di tali onde non varia in funzione della frequenza, non si ha cioè *dispersione*, la deformazione di un treno di onde dovuta alla variazione della velocità di propagazione in funzione della frequenza. Questa deformazione si manifesta invece quando il terreno presenti una stratificazione; la velocità di propagazione per una certa lunghezza d'onda viene influenzata dalle proprietà che il mezzo possiede fino a una profondità dell'ordine di $\lambda/2$ circa.



Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Quindi una metodologia che utilizzi le onde superficiali è in grado di rilevare variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità.

Nel caso che l'obiettivo sia di verificare le caratteristiche delle velocità delle onde S nel terreno, questo tipo di indagine è molto utile, in quanto la V_s è il fattore che governa le caratteristiche della dispersione.

Inoltre il metodo non è limitato dalla presenza di inversioni di velocità, e presenta una buona risoluzione.

L'indagine secondo la tecnica MASW (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*) prevede l'energizzazione mediante sorgente attiva, con registrazione simultanea su 12 o più canali. Vengono utilizzati geofoni a componente verticale sensibili alle basse frequenze (un valore tipico sono 4,5 Hz).

La distanza dalla sorgente di energizzazione e il primo ricevitore condiziona λ max, e quindi la profondità di indagine; anche la lunghezza dello stendimento geofonico è in relazione alla profondità di indagine, mentre la distanza intergeofonica condiziona lo spessore dello strato più sottile rilevabile.

E' importante osservare che nel sismogramma possono comparire diversi tipi di onde: onde di corpo, onde superficiali non piane, onde riverberate dalle disomogeneità superficiali, oltre al rumore ambientale e quello imputabile alle attività umane. Questo comporta una difficoltà aggiuntiva nella "lettura" dello spettro di velocità e quindi nella successiva individuazione della curva di dispersione.

Le onde di corpo sono di solito riconoscibili; le onde superficiali riverberate (back scattered) possono risultare prevalenti in un sismogramma quando siano presenti discontinuità orizzontali. Le ampiezze relative di ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza e la distanza dalla sorgente. Ciascun rumore, inoltre, ha diverse velocità e proprietà di attenuazione che possono essere identificate sulla registrazione multicanale grazie all'utilizzo di modelli di coerenza e in base ai tempi di arrivo e all'ampiezza di ciascuno.

In sintesi l'indagine comporta:

- l'acquisizione delle onde superficiali (*ground roll*);
- la determinazione di uno spettro di velocità, con velocità di fase in funzione della frequenza;
- l'identificazione della curva di dispersione, cioè la determinazione dei punti che, sullo spettro di velocità, appartengono a un certo modo di propagazione dell'onda superficiale di Rayleigh;
- l'inversione della curva di dispersione, al fine di ottenere il profilo verticale delle Vs.

L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando come riferimento la curva di dispersione precedentemente ottenuta. Per ottenere il profilo verticale Vs dalla curva di dispersione è necessaria l'assunzione di valori approssimati per il rapporto di Poisson e per la densità.

La procedura di inversione utilizzata dal software *winMASW* è legata agli “algoritmi genetici”, il quale approccio consente di ottenere risultati più affidabili rispetto ai metodi di inversione basati sulla matrice Jacobiana.

E' estremamente utile, per una interpretazione affidabile, poter disporre di dati di riferimento, sia per fornire uno spazio di ricerca iniziale al processo di inversione, sia per effettuare una “modellazione diretta” di ausilio a un corretto “picking” della curva di dispersione.

ATTREZZATURA E METODOLOGIE IMPIEGATE

Per l'indagine in oggetto si è impiegata un'attrezzatura *AMBROGEO “ECHO 12-24/2002 Sismic Unit”*, avente le seguenti caratteristiche:

- . numero di canali: 24
- . sampler interval: 0,296 msec
- . A/D conversion: 16 bit
- . input impedance: 1KOhm
- . Gain: 10 dB – 100 dB (step 1 dB)
- . saturation tension: +/- 2,3 V
- . saturation level: 100 dB
- . distorsion: 0,01%
- . sampler:
 - 25 msec (191 punti)
 - 50 msec (383 punti)
 - 100 msec (756 punti)
 - 200 msec (1530 punti)
 - 400 msec (3060 punti)
 - 1000 msec (7560 punti)
- . sampling: 130 microsec
- . filter low pass: 50/950 Hz, step 1 Hz
- . digital filter low pass: 1000-50
- . digital filter high pass: 0-250
- . frequency response: 7-950 Hz, filter at 950 Hz
- . dynamic range: 93 dB
- . noise: 0,66 uV RMS, gain = 55 dB
- . crosstalk: 52 dB, gain = 55 dB
- . power: 12 V.

Il software di acquisizione dati è “ECHO 12-24” vers. 7.00. L'attrezzatura è completata da 1 cavo sismico a 12 takes out spaziati a 5 m, con connettori *cannon*, montati su rullo, geofoni “Geospace” a 4,5 Hz, cannoncino per cartucce industriali, mazza di battuta da 8 Kg con interruttore starter, geofono starter, cavo trigger da 200 m montato su rullo.

Gli stendimenti impiegati per i profili MASW in oggetto hanno le seguenti caratteristiche, in particolare:

- n. geofoni: 12
- spaziatura fra i geofoni: 3 m
- n. shots: sono state effettuate 3 rilevazioni, impiegando esclusivamente la mazza di battuta, a distanze di 6, 7,5 e 9 metri dalla linea geofonica.
- tempo di acquisizione: 1.000 msec.

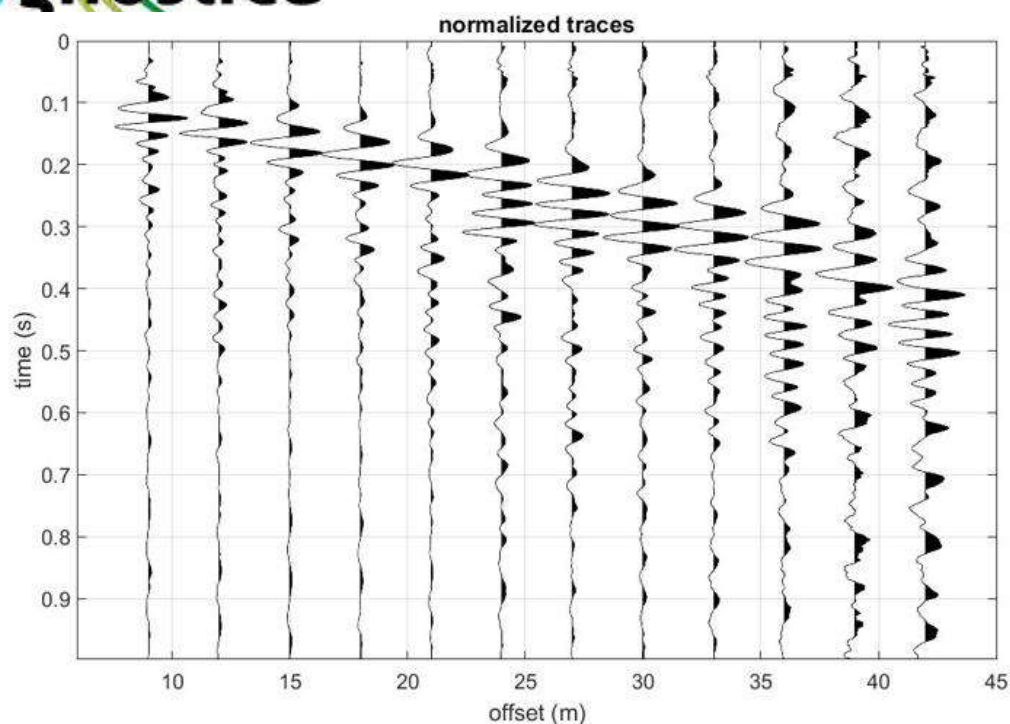
I profili sono da considerare orizzontali, in quanto i dislivelli massimi lungo lo stendimento sono modesti (nell'ordine dei centimetri).

INTERPRETAZIONE MASW

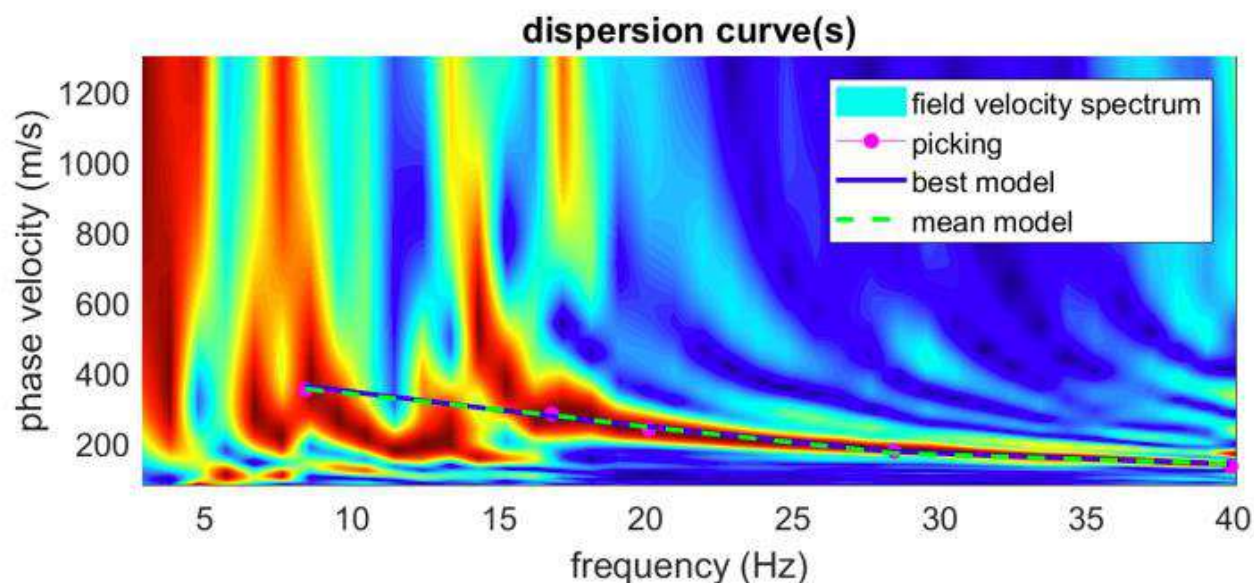
Per il processo di interpretazione è stata utilizzata la curva di dispersione relativa allo "shot" posto a un offset di 7,5 m dalla linea geofonica.

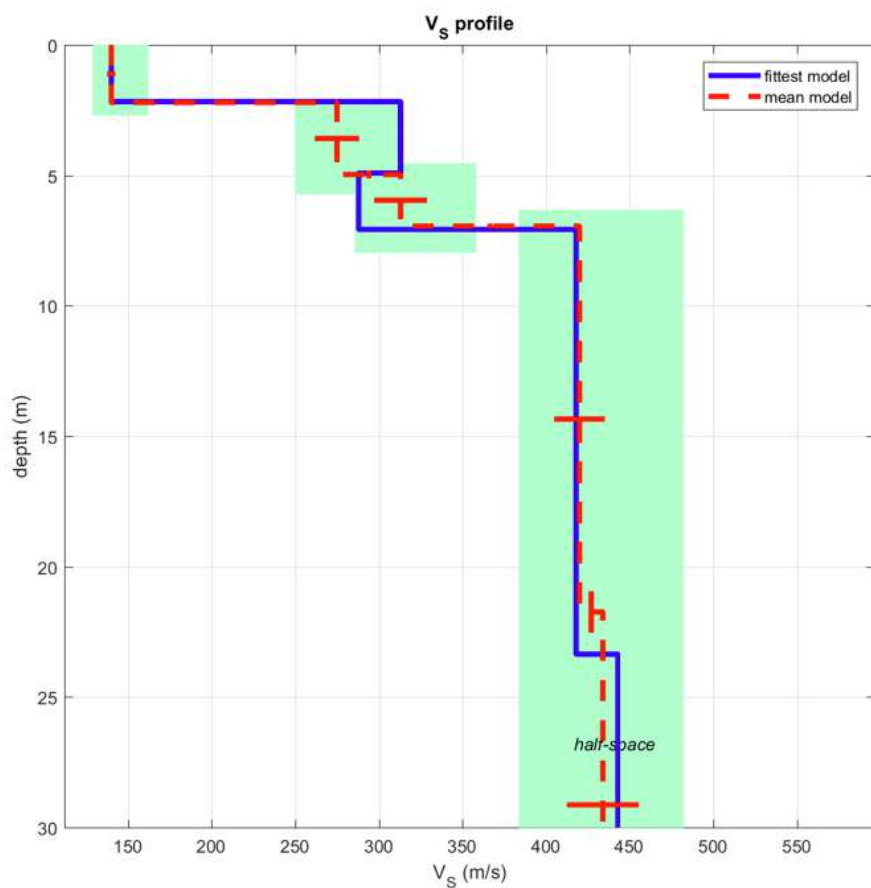
Per l'interpretazione dei dati è stato impiegato il software winMASW, il quale consente la determinazione di profili verticali della velocità delle onde di taglio Vs tramite l'inversione delle curve di dispersione ottenute, effettuata con algoritmi "genetici". Tale programma è in grado di operare sui records in formato SGY prodotti dalla strumentazione Ambrogeo secondo la procedura specifica descritta nel capitolo introduttivo.

La rappresentazione del file dei dati acquisiti ("common-shot gather" – segnale per i vari geofoni nel tempo di acquisizione di 1000 msec) è la seguente:



Quello che segue è lo *spettro di velocità* (velocità di fase in funzione della frequenza), con relativo picking della curva di dispersione delle onde di superficie, cioè la determinazione dei punti che si ritengono appartenere, in questo caso, al *modo fondamentale* di propagazione dell'onda superficiale di Rayleigh:





Sono stati perciò individuati 5 strati a diversa velocità Vsh, e precisamente:

- secondo il MODELLO MEDIO:

strato	1	2	3	4	5
VSh (m/sec)	140	313	288	418	443
Spessore(m)	2.17	2.74	2.15	16.28	

Si rimanda alla valutazione del progettista circa la definizione della categoria di suolo di fondazione in funzione della tipologia e delle caratteristiche dell'opera prevista.



Allegati:

- Risultato elaborazione masw

Altopascio, gennaio 2025

MAPPO GEOGNOSTICA s.r.l.
Loc. Biagioni, 60 - 55010 SPIANATE (LU)
Tel. 0583.20799 - 337.7215712
Mappo Geognostica
Geol. Giorgio Seghieri

Mappo Geognostica Srl

Loc. Biagioni, 60

55010 Spianate (LU)

Tel. 0583.20799 Fax 0572.930069

P.IVA 02019570460

www.mappogeognostica.it

Indagine sismica M.A.S.W. in Viale Europa nel comune di Lucca



Comm.te:

Comune di Lucca

Gennaio 2025

Mappo Geognostica Srl

Loc. Biagioni, 60

55011 Spianate (LU)

Tel. 0583.20799 Fax 0572.930069

www.mappogeognostica.it

P.Iva 02019570460

Reg. Imprese di Lucca 02019570460

Capitale versato € 12.000,00



dataset: 01.sgy

sampling (ms): 0.256

minimum offset (m): 6

geophone spacing (m): 3

Dispersion curve: 6pick.cdp

Number of individuals: 32

Number of generations: 33

Rayleigh-wave dispersion analysis

Analyzing phase velocities

Adopted search space (minimum Vs): 129 250 286 384 384

Adopted search space (maximum Vs): 162 314 358 482 482

Adopted search space (minimum Poisson): 0.16511 0.17504 0.17496 0.17497 0.17497

Adopted search space (maximum Poisson): 0.49533 0.499 0.499 0.499 0.499

Mappo Geognostica Srl

Loc. Biagioni, 60
55011 Spianate (LU)

Tel. 0583.20799 Fax 0572.930069

www.mappogeognostica.it

P.Iva 02019570460

Reg. Imprese di Lucca 02019570460

Capitale versato € 12.000,00

===== SECTION#2

Rayleigh-wave analysis

Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits: -4.0385	-1.6474
Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits: -3.6016	-1.6474
Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits: -3.4355	-1.6381
Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits: -3.2489	-1.6381
Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits: -3.2043	-1.6301
Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits: -3.2982	-1.6301
Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits: -3.3647	-1.5581
Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits: -3.1111	-1.5581
Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits: -3.6228	-1.5581

Model after the Vs & Thickness optimization (fixed Poisson values):

Vs (m/s): 140 313 288 418 443

Thickness (m): 2.2 2.7 2.2 16

Number of models considered to calculate the average model: 371

#####

RESULTS

#####

Mappo Geognostica Srl

Loc. Biagioni, 60
55011 Spianate (LU)
Tel. 0583.20799 Fax 0572.930069
www.mappogeognostica.it
P.Iva 02019570460
Reg. Imprese di Lucca 02019570460
Capitale versato € 12.000,00

Dataset: 01.sgy

Analyzed curve/spectrum: 6pick.cdp

===== SECTION#3

Vs (m/s): 140 275 313 420 434

Standard deviations (m/s): 2 13 16 15 21

Thickness (m): 2.2 2.8 2.0 14.8

Standard deviations (m): 0.1 0.1 0.1 0.8

Approximate values for Vp, density, Poisson & Shear modulus

Vp (m/s): 284 518 614 903 865

Density (gr/cm3): 1.75 1.89 1.94 2.03 2.02

Vp/Vs ratio: 2.03 1.88 1.96 2.15 1.99

Poisson: 0.34 0.30 0.32 0.36 0.33

Shear modulus (MPa): 34 143 190 358 380

Estimated static shear modulus (MPa): 0 0 0 0 0

Fundamental mode

Mean model

f(Hz)	VR(m/s)
8.41718	352.8502
16.7943	278.0068
20.1019	244.1867
28.4431	169.9854
39.9121	139.4763

Mappo Geognostica Srl

Loc. Biagioni, 60
55011 Spianate (LU)
Tel. 0583.20799 Fax 0572.930069
www.mappogeognostica.it
P.Iva 02019570460
Reg. Imprese di Lucca 02019570460
Capitale versato € 12.000,00

BEST MODEL

Vs (m/s): 140 313 288 418 443

thickness (m): 2.17019 2.74401 2.15569 16.2855

Approximate values for Vp, density, Poisson & Shear modulus

Vp (m/s): 260 579 655 1026 1016

Density (gr/cm3): 1.73 1.92 1.95 2.06 2.06

Vp/Vs ratio: 1.86 1.85 2.27 2.45 2.29

Poisson: 0.30 0.29 0.38 0.40 0.38

Shear modulus (MPa): 34 188 162 360 404

dispersion curve (frequency - velocity)

Fundamental mode)

best model

F(Hz) VR(m/s)

8.41718 361.1495

16.7943 274.5294

20.1019 245.3229

28.4431 174.3885

39.9121 138.8973

Maximum penetration depth according to the "Steady State Rayleigh Method": 30 m

Mappo Geognostica Srl

Loc. Biagioni, 60
55011 Spianate (LU)

Tel. 0583.20799 Fax 0572.930069

www.mappogeognostica.it

P.Iva 02019570460

Reg. Imprese di Lucca 02019570460

Capitale versato € 12.000,00

**ESECUZIONE DI N. 1 INDAGINE GEOFISICA HVSR ESEGUITE IN
VIALE EUROPA NEL COMUNE DI LUCCA**



Committente:

AMM. COMUNALE DI LUCCA

Gennaio 2025

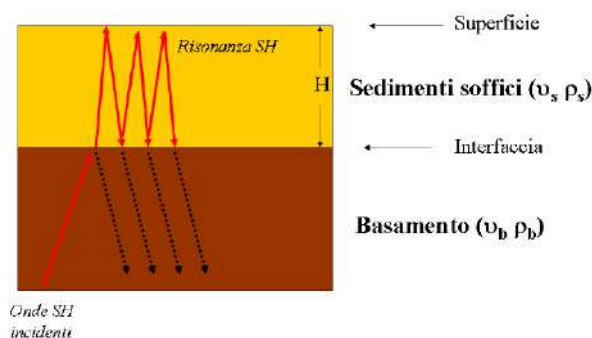
GENERALITÀ

La sismica passiva studia il *microtremore sismico ambientale* (rumore sismico); questa sfrutta il fatto che il “rumore”, pur non recando l’informazione relativa alla sua sorgente, risulta sensibile alla locale struttura presso la stazione di misura.

La strumentazione per eseguire misure di sismica passiva può operare in spazi ridotti, non necessita di energizzazioni e permette di indagare profondità molto elevate. I tempi di esecuzione sono relativamente bassi.

Il rumore sismico ambientale deriva dalla composizione di molte sorgenti che agiscono in tempi diversi e in zone diverse nel campo del rumore sono rappresentate sia *onde di volume* (fronte d’onda sferico) sia *onde di superficie* (fronte d’onda cilindrico), ma le onde di superficie hanno carattere dominante, perché caratterizzate da minore attenuazione.

Quando fra 2 superfici esiste una variazione significativa dell’impedenza acustica si ha il fenomeno della *risonanza*, che deriva dall’intrappolamento di energia sismica (essenzialmente delle fasi SH) all’interno delle coperture ovvero fra la superficie e un basamento rigido qui inteso come una formazione “caratterizzata da valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio S significativamente maggiori di quelli relativi alle coperture localmente presenti” delle onde.



L’equazione della risonanza è la seguente:

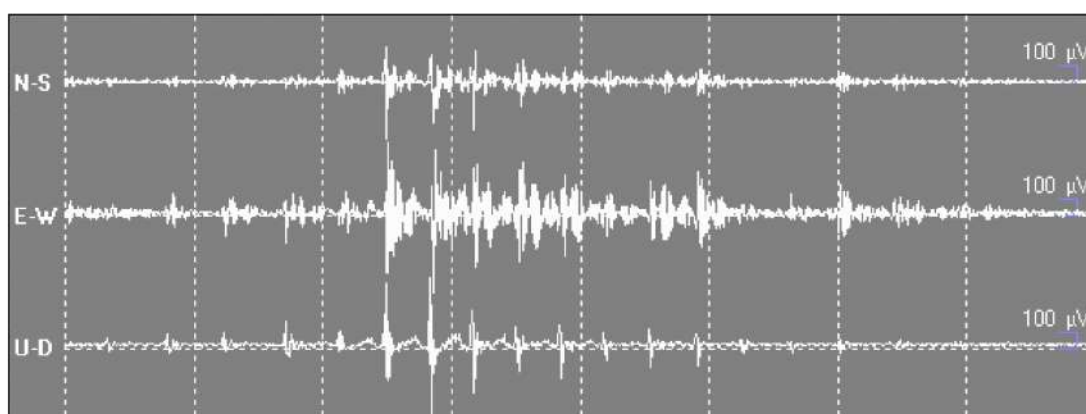
$$f = n \frac{V_s}{4H} \quad n=1,3,5,\dots$$

dove n indica l'ordine del modo di vibrare (fondamentale, primo superiore ecc.), V_s è la velocità delle onde di taglio nello strato oggetto di risonanza e H è lo spessore di detto strato.

Nella maggior parte dei casi, a causa dell'attenuazione delle coperture, il solo modo visibile è il fondamentale.

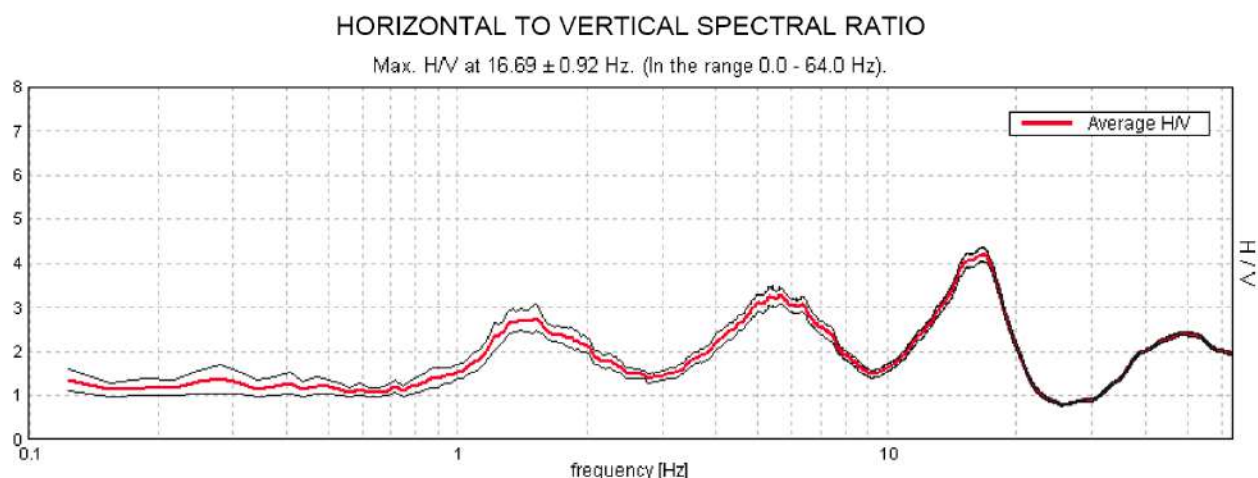
Le registrazioni in campagna vengono effettuate mediante un *tromografo*, che consiste in un'apparecchiatura che riunisce una terna di sensori velocimetrici orientati su tre direzioni ortogonali:

- 2 nella componente orizzontale dello spostamento (tra loro ortogonali) per misure su suoli ordinariamente corrispondenti alle direzioni NS ed EW;
- 1 nella componente verticale (up-down).



I diagrammi relativi a tali registrazioni vengono elaborati attraverso la determinazione dell'intensità del segnale in sottofinestre di determinata durata, e trasformati in *spettri H/V*. nella pratica si utilizza il rapporto H/V perché è un buon *normalizzatore* e un buon estimatore delle frequenze di risonanza dei terreni; i valori assoluti degli spettri orizzontali e verticali variano infatti con il livello assoluto del rumore ambientale, mentre la forma dello spettro e in particolare il rapporto tra le ampiezze orizzontale e verticale si mantiene più stabile, e per il suo carattere stocastico mostra caratteristiche correlabili con la struttura locale del suolo. Alle frequenze caratteristiche di vibrazione dei suoli corrisponde infatti un decremento del

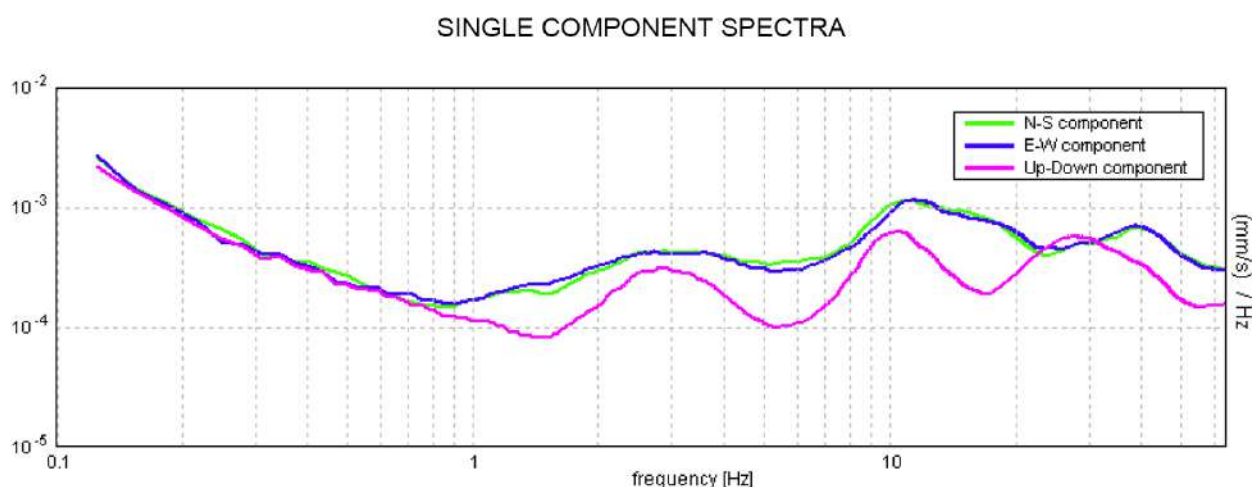
segnale della componente verticale, che determina un picco nel rapporto spettrale rappresentato dal grafico seguente.



In un mezzo senza contrasti di impedenza (per esempio un ammasso roccioso sano) la curva H/V risulta teoricamente piatta e con valore medio tra 0,7 e 1,0 (in funzione del modulo μ).

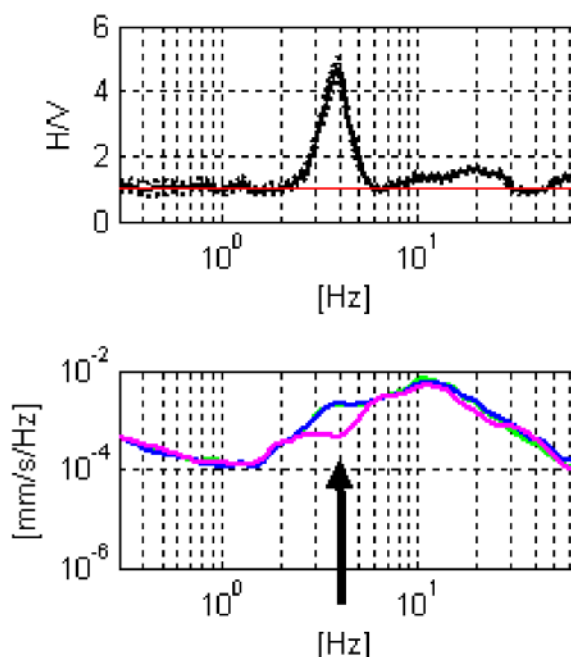
La presenza di un picco nella curva H/V può essere data da un fenomeno di *risonanza*, causato da una variazione di velocità delle onde sismiche nel terreno, e quindi di passaggi stratigrafici caratterizzati da un notevole contrasto tra le velocità sismiche stesse.

Dato che tali picchi su H/V possono essere dovuti anche ad *artefatti* e *transienti*, H/V deve essere sempre analizzato alla luce degli spettri delle singole componenti.

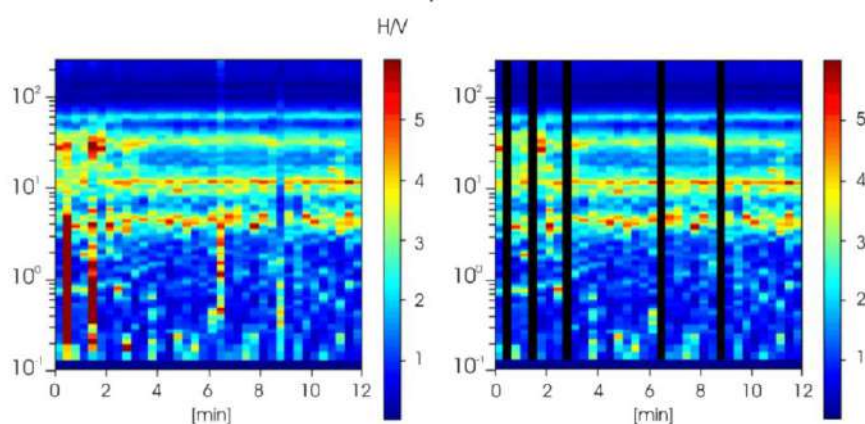


Un picco di natura stratigrafica (e non artefattuale) presenta un minimo locale della

componente spettrale verticale, mentre picchi spettrali (di solito aguzzi) su tutte le 3 componenti del moto sono di origine antropica.



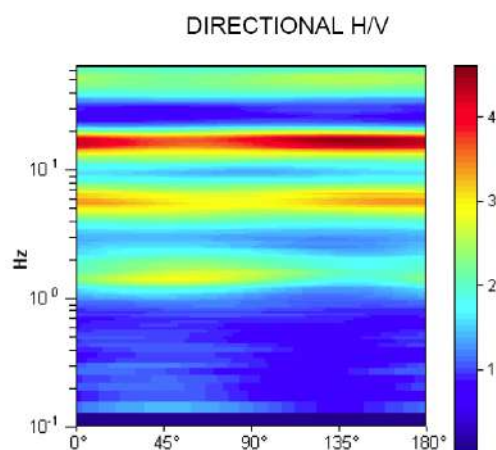
L'elaborazione degli spettri H/V comporta quindi un'analisi ragionata dei vari picchi, uno *smoothing* (nel nostro caso triangolare al 10%) e una valutazione sugli spettri nelle varie "finestre" di tempo in cui è stata suddivisa l'acquisizione, in modo da poter eventualmente rimuovere gli intervalli di misura caratterizzati da disturbi.



Di solito è consigliabile effettuare le correzioni nel dominio delle frequenze, e non operare nel dominio del tempo, in quanto in tale contesto non è agevole identificare quali

siano artefatti e transienti.

Altro aspetto importante da considerare è la *stabilità direzionale* del segnale, che è un elemento a favore della valenza stratigrafica del picco analizzato.



CAMPAGNA DI PROSPEZIONI IN OGGETTO

Le prospezioni sono state eseguite mediante l'utilizzo di uno strumento TROMINO® della Società *Micromed Geophysics* di Mogliano Veneto (TV), espressamente progettato per misure di microtremore.



TROMINO® è uno strumento efficiente per la misura del rumore sismico; presenta ridotte dimensioni e peso, e bassissimo consumo di energia.

L'alta risoluzione dell'elettronica digitale impiegata consente di ottimizzare la misura

del microtremore nell'intervallo di frequenze compreso fra 0.1 e 200 Hz; i sensori sono costituiti da una terna di velocimetri smorzati criticamente che trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore a dinamica non inferiore a 23 bit. Le caratteristiche progettuali consentono una accuratezza relativa maggiore di 10^{-4} sulle componenti spettrali al di sopra di 0.1 Hz.

L'assenza di cavi esterni consente inoltre di lasciare virtualmente imperturbato il campo d'onda presente nell'ambiente.

Lo strumento dispone di tre canali analogici connessi a tre velocimetri elettrodinamici ad alta risoluzione disposti secondo tre direzioni ortogonali. Il moto del terreno viene amplificato, convertito in forma digitale, organizzato e salvato su una memoria digitale di tipo Flash.

I dati registrati da TROMINO® possono essere scaricati, organizzati, archiviati, visualizzati e analizzati tramite il programma *Grilla* fornito assieme allo strumento. Esso include inoltre procedure per l'analisi spettrale di base e per l'analisi *HVSR* e la classificazione anche secondo le direttive fornite dal progetto di ricerca europeo *SESAME*.

* * * * *

Nel caso in oggetto, su incarico della committenza, è stata realizzata n. 1 postazione di misura in un area a verde posta in Viale Europa nel comune di Lucca. La misurazione è stata eseguita con durata dell'acquisizione pari a 30' suddivisa nella successiva analisi in "finestre" temporali di 10".

Le allegate schede-report illustrano le varie stazioni di misura, riportandone le note identificative. Per ciascuna postazione è riportata l'analisi effettuata sul picco di H/V ritenuto più significativo, oltre alle osservazioni generali che ne descrivono i risultati.

CRITERI DI ANALISI DELLE MISURE

I dati di campagna sono stati in primo luogo trattati con una procedura di analisi o

trattamento consistente in:

- ❖ lisciatura triangolare al 10%;
- ❖ analisi temporale dell'intero spettro (0-64 Hz) in sottofinestre di 10 s;
- ❖ analisi direzionale con step di 10°.

Successivamente sono stati analizzati i dati ottenuti, scelto il dataset della stazione di misura, ed effettuata se necessario la pulizia tramite eliminazione delle sottofinestre temporali contenenti sollecitazioni transienti, ed eventuale nuova analisi sulle sole finestre selezionate, fino al raggiungimento di un risultato il più possibile chiaro.

Spianate, gennaio 2025

ALLEGATI

MAPPO GEOGNOSTICA srl
MAPPO GEOGNOSTICA s.r.l.
Geol. Giorgio Segneri
S.p.A. 6015010 SPANATE (LU)
Tel. 0583 99799 - 0583 7215712
C.F. e P. IVA 02019570460
-Reg. Imprese di Luc. 02019570460
Capitale versato € 12.000,00

- ❖ *Report elaborazioni acquisizioni con ubicazione postazioni*

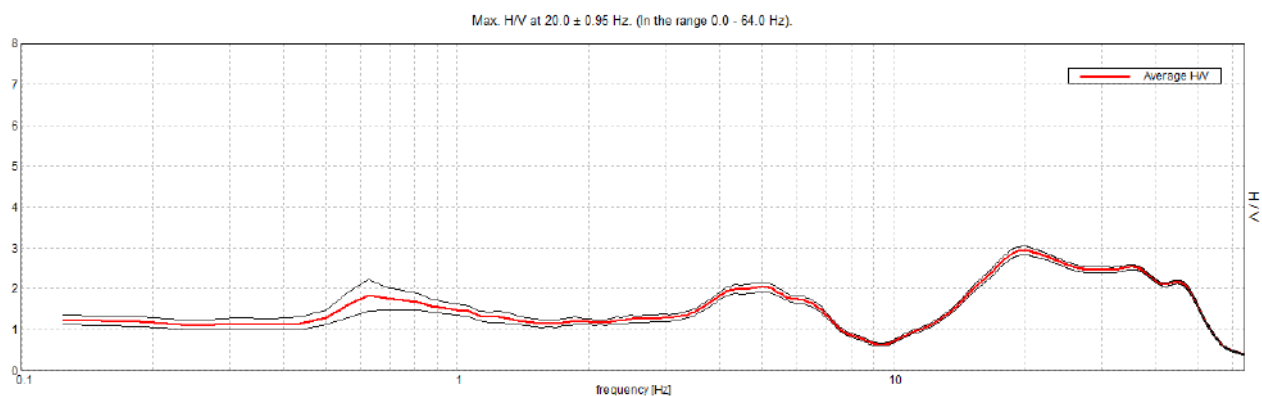
INDAGINE HVSR



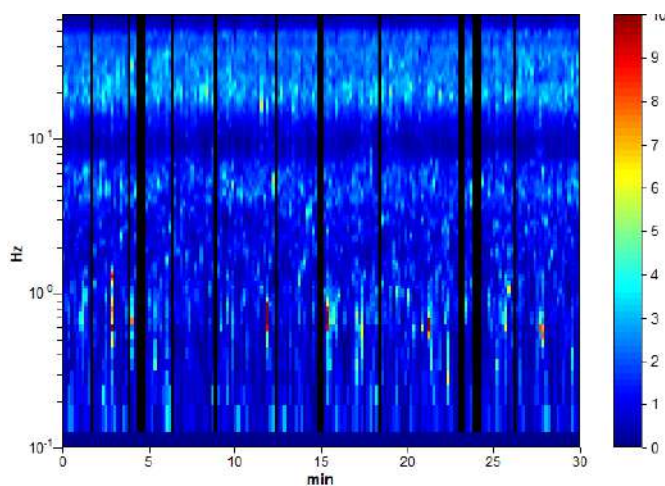
Instrument: TRZ-0158/01-11
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: 51
Start recording: 10/01/25 10:46:52 End recording: 10/01/25 11:16:51
Smoothing type: Triangular window
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h30'00". Analyzed 91% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 10 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

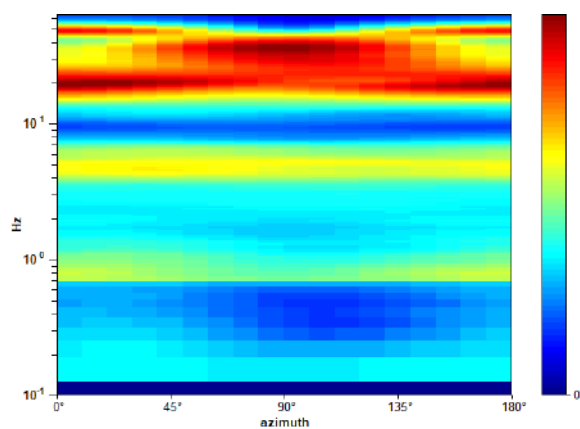
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE SERIE TEMPORALE H/V



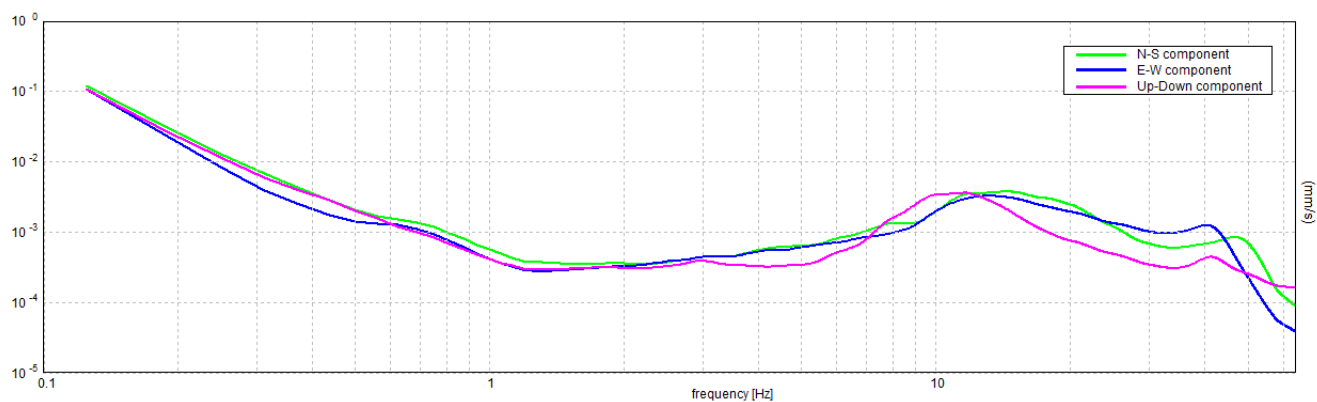
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Secondo le linee guida SESAME (2005).

Picco H/V a **20.0 ± 0.95 Hz** (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

$f_0 > 10 / L_w$: **$20.00 > 1.00$ [OK]**

$n_c(f_0) > 200$ **$32600.0 > 200$ [OK]**

$s_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz

$s_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz **Superato 0 volte su 481 [OK]**

.....

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ **13.625 Hz [OK]**

Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ **50.438 Hz [OK]**

$A_0 > 2$: **$2.93 > 2.00$ Hz [OK]**

$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \odot_{\otimes}(f)] = f_0 \pm 5\%$ **$|0.0473| < 0.05$ [OK]**

$\odot_f < \odot(f_0)$ **$0.94609 < 1.0$ [OK]**

$\odot_A(f_0) < \odot(f_0)$: **$0.1047 < 1.58$ [OK]**

Allegato D

Parametri sismici (da PS Geostru)

Parametri sismici

Tipo di elaborazione: Fronti di scavo e rilevati
Muro rigido: 0

Sito in esame.

latitudine: 43,837134
longitudine: 10,495833
Classe: 2
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 19603	Lat: 43,8453	Lon: 10,4400	Distanza:
4570,899				
Sito 2	ID: 19604	Lat: 43,8471	Lon: 10,5092	Distanza:
1536,974				
Sito 3	ID: 19826	Lat: 43,7971	Lon: 10,5117	Distanza:
4630,223				
Sito 4	ID: 19825	Lat: 43,7953	Lon: 10,4425	Distanza:
6321,923				

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 50anni
Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 30 [anni]
ag: 0,042 g
Fo: 2,554
Tc*: 0,236 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 50 [anni]
ag: 0,052 g
Fo: 2,555
Tc*: 0,251 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 475 [anni]
ag: 0,127 g
Fo: 2,366
Tc*: 0,289 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 975 [anni]
ag: 0,162 g
Fo: 2,386
Tc*: 0,293 [s]

Coefficienti Sismici Fronti di scavo e rilevati

SLO:

Ss: 1,500
Cc: 1,690
St: 1,000
Kh: 0,000
Kv: 0,000
Amax: 0,619
Beta: 0,000

SLD:

Ss: 1,500
Cc: 1,660
St: 1,000
Kh: 0,037
Kv: 0,018
Amax: 0,764
Beta: 0,470

SLV:

Ss: 1,500
Cc: 1,580
St: 1,000
Kh: 0,072
Kv: 0,036
Amax: 1,869
Beta: 0,380

SLC:

Ss: 1,470
Cc: 1,570
St: 1,000
Kh: 0,000
Kv: 0,000
Amax: 2,333
Beta: 0,000

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50
Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 43.836171
longitudine: 10.494832