

REGIONE EMILIA ROMAGNA
PROVINCIA DI REGGIO NELL'EMILIA

COMUNE DI REGGIO EMILIA

*PROCEDIMENTO UNICO AI SENSI
DELL'ART. 53 COMMA 1 LETTERA b DELLA L.R. 24/2017
PER L'AMPLIAMENTO DI COMPLESSO INDUSTRIALE
SEDE DELLA DITTA PA S.p.A. IN LOCALITA' BAGNO,
CON INGRESSO DA VIA MILANO n.13 IN COMUNE DI RUBIERA (RE)*

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

Committente:
PA S.p.A.

Progetto:
Antares S.r.l.

Direttore Tecnico:
Arch. Guido Tassoni

Consulente:
dott. Geol. Paolo Melli

REV 02

REGIONE EMILIA ROMAGNA
Provincia di Reggio Emilia
COMUNE DI REGGIO EMILIA

Committente: P.A. spa.
via Milano, 11 RUBIERA (RE)

RELAZIONE GEOLOGICA e SISMICA

AMPLIAMENTO COMPLESSO INDUSTRIALE

Art 53 L.R. 24/2017

Reggio Emilia, 5 luglio 2018

Dott. Geol. Paolo Melli

INDICE

Premessa	pag. n. 3
Cap. 1 - Ubicazione e Morfologia	pag. n. 4
Cap. 2 - Inquadramento Geomorfologico	pag. n. 5
Cap. 3 - Caratteristiche Idrogeologiche	pag. n. 6
Cap. 4 - Prove dirette – Indagini Geognostiche	pag. n. 8
4.1 - CPT	pag. n. 9
Cap. 5 - Pressione ammissibile	pag. n. 32
Cap. 6 - Modellazione Sismo Stratigrafica	
E valutazione degli effetti di sito	pag. n. 32
Cap. 7 - Considerazioni finali e indicazioni	pag. n. 53

PREMESSA.

Lo studio e le relative indagini sono stati eseguiti secondo quanto disposto dal DM 14/1/2008 e dal D.G.R.2193 del 2015.

Per la presente relazione sono stati consultati elementi del PTCP 2010 di Reggio Emilia:

- Rischio sismico. Carta degli effetti locali;
- Rischio sismico. Carta degli effetti attesi;
- Rischio sismico. Carta dei Livelli di approfondimento.

Si è eseguito un rilevamento geologico di campagna e confrontato i dati emersi con altri lavori svolti in zona e con studi ufficiali esistenti; in particolare con la Carta Geologica del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli.

Per la determinazione delle caratteristiche lito-stratigrafiche e geotecniche locali del primo sottosuolo sono stati eseguite tre prove penetrometriche statiche (**CPT1 – CPT2 – CPT3**) spinte a rifiuto al tetto delle ghiaie.

Per la modellazione sismo-stratigrafica sono state utilizzate una indagine geofisica **MASW** e la Registrazione del microtremore sismico (**HVSR**) eseguite in adiacenza all'ampliamento in progetto.

Cap. 1 - UBICAZIONE E MORFOLOGIA

L'area oggetto di studio è in Località Bagno – Comune di Reggio Emilia e il confine est coincide col confine di comune con Rubiera.

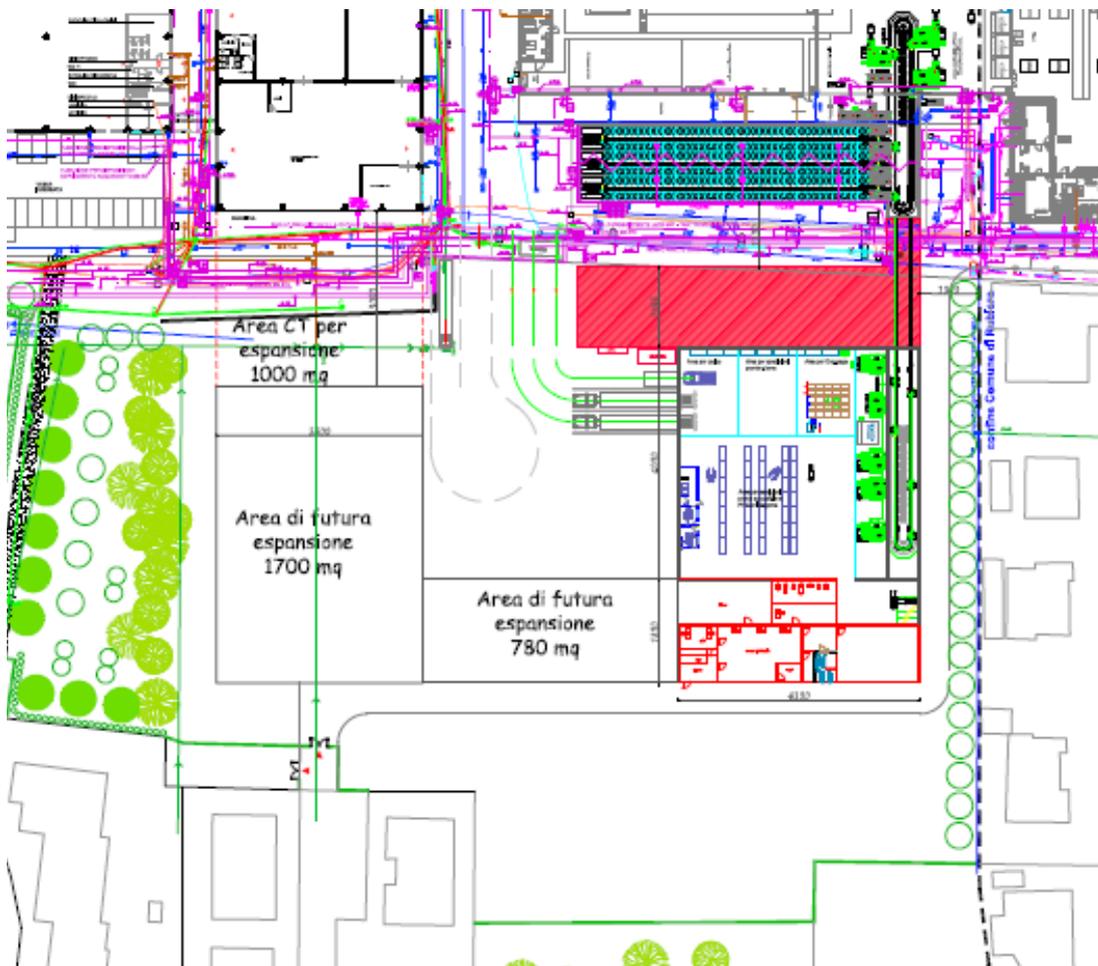
Più in particolare è in adiacenza a nord con lo stabilimento industriale esistente della P.A. S.p.a. (equipaggiamenti tecnici del lavaggio).

Poco più a Nord è presente il tracciato della ferrovia Milano –Bologna.

All'area si accede dalla Via Emilia attraverso via Gentileschi.

Subito a ovest scorre il Cavo Tassarola da sud a nord.

La posizione è di pianura, al margine ovest della conoide del Fiume Secchia che scorre poco più a est.



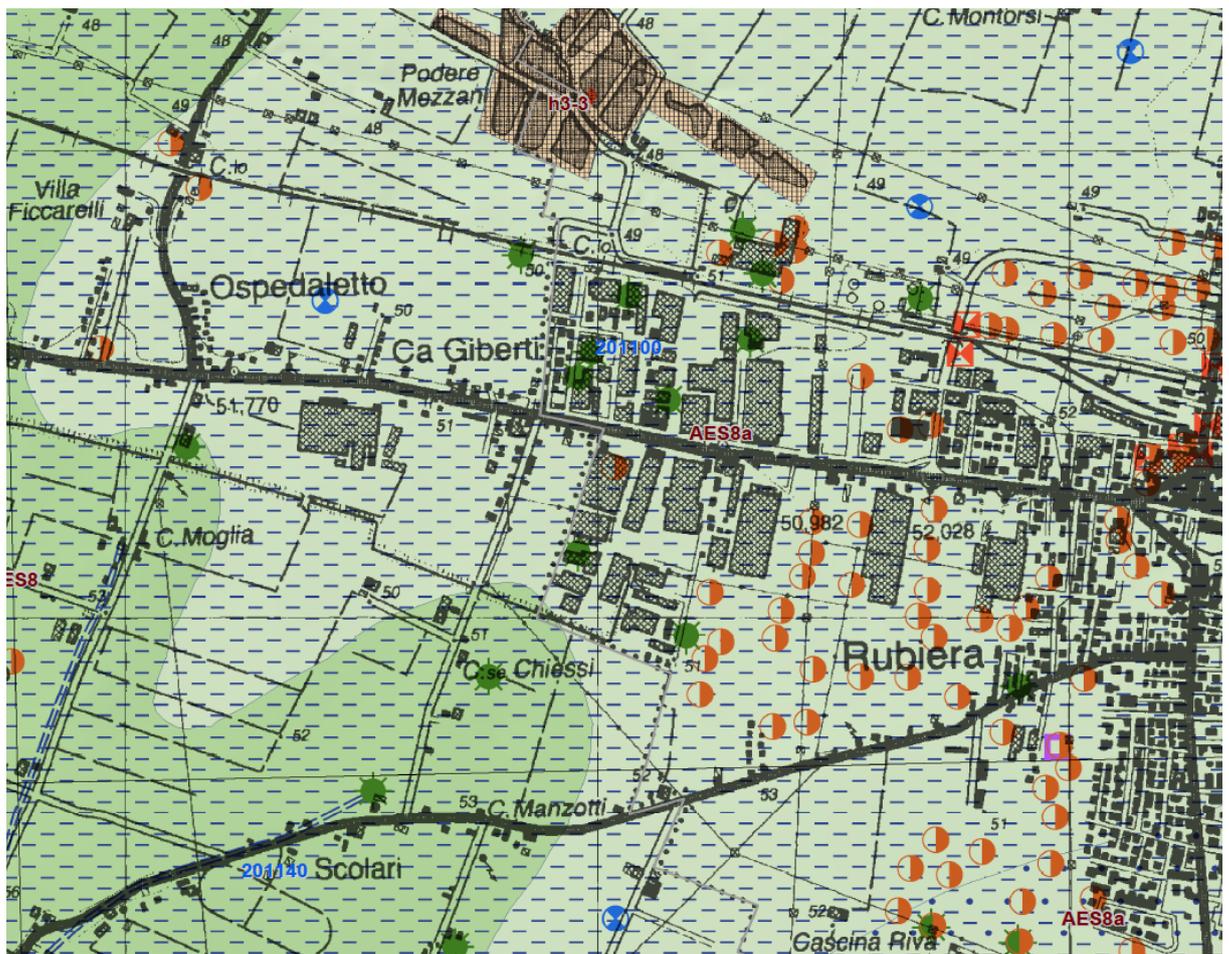
Cap. 2 - INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

La Carta Geologica del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli definisce i terreni interessati dall'ampliamento come depositi appartenenti al **Sistema Emiliano Romagnolo Superiore**.

Più in particolare i depositi appartengono all'-**Unità di Modena (AES8a)**.

Si tratta di argille e argille limose intercalate a terreno misti nei primi venti metri e sino al tetto delle ghiaie, come evidenziato dalle stratigrafie delle prove penetrometriche statiche e dei pozzi.

Stralcio della Carta Geologica del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli



Lo scavo del pozzo della PA spa, esistente presso il margine nord est dell'area, ha evidenziato la seguente stratigrafia:

da 0,00 a 20,00 m argille;

da 20,00 a 30,50 m ghiaia senza acqua;

da 30,50 a 71,50 m argille;

da 71,50 a 76,50 m ghiaia, sabbia e argilla;

da 76,50 a 107,00 m argille;

da 107,00 a 117,00 m ghiaia con acqua;

da 117,00 a 120,00 m argille.

Poco a sud e a ovest affiorano depositi appartenenti al **Subsistema di Ravenna (AES8)**.

Cap. 3 - CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

La zona esaminata è situata al margine ovest della conoide del Fiume Secchia, che scorre immediatamente ad est di Rubiera, come evidenziato dall'estratto della Carta della Vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento relativa all'alta pianura reggiana allegato.

I depositi che interessano l'area appartengono al Gruppo Acquifero A.

La stratigrafia del pozzo della PA spa, esistente all'interno dell'area cortiliva, indica un primo strato di ghiaie spesso una decina di metri da 20,00 a 30,50 m sotto il p.c., un secondo strato di ghiaie, sabbie e argille da 71,50 a 76,50 m e un terzo strato di ghiaie da 107,00 a 117,00 m.

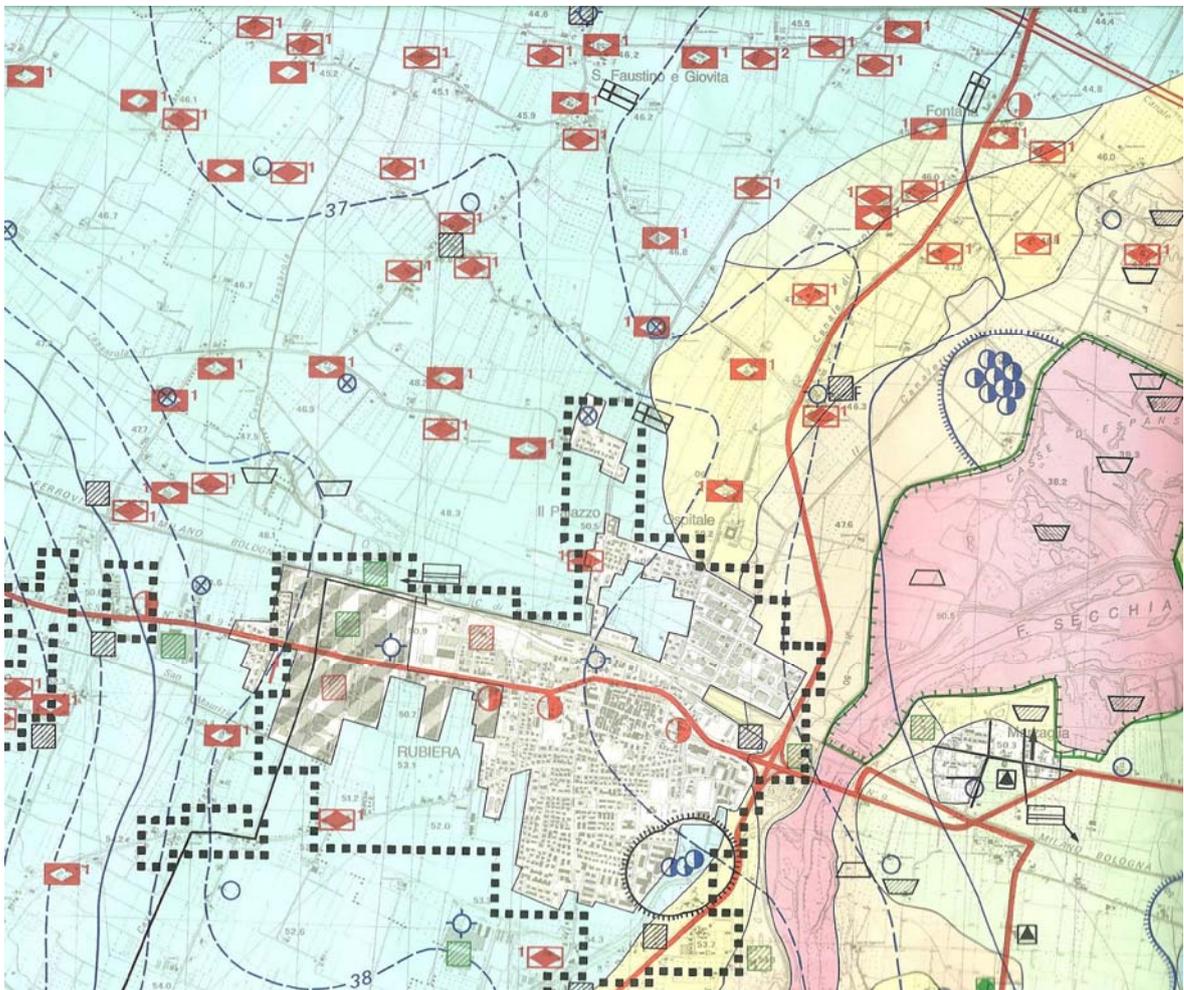
Dati estrapolati dalla Carta Geologica del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli (catasto pozzi) indicano il tetto delle ghiaie in zona a 20 metri sotto il piano campagna.

Le prove penetrometriche statiche hanno confermato il dato relativo al tetto delle ghiaie

A sud dell'area e della via Emilia scorre il T. Tresinaro che si immette da sinistra nel Secchia prima di Rubiera.

L'elemento idrografico locale più importante è il cavo Tassarola subito a ovest che scorre localmente verso Nord Nord Est, come i fossati principali che sono in genere perpendicolari alla via Emilia.

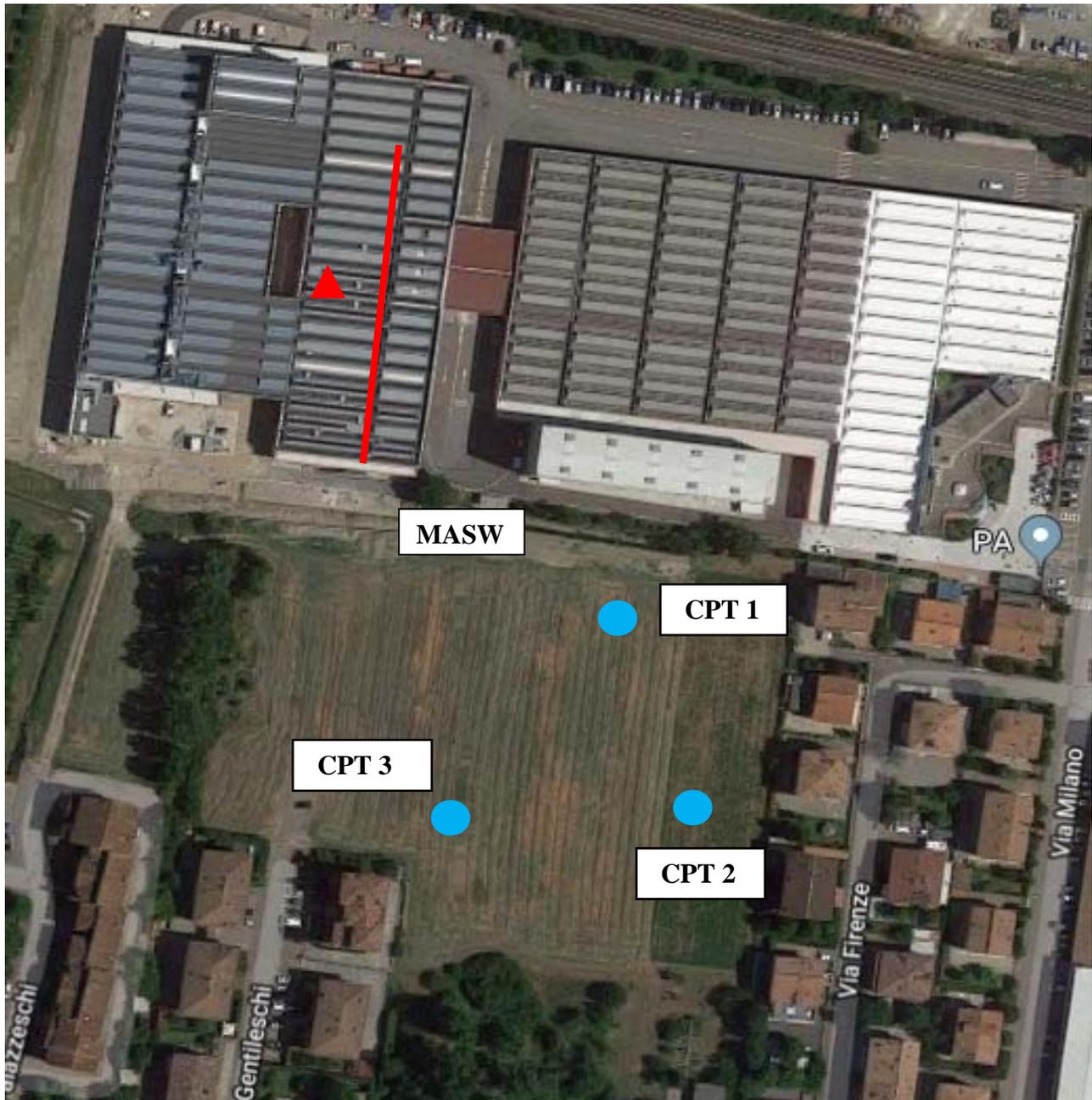
Il 27 giugno livello dell'acqua al termine delle prove statiche era a 1,5 m sotto il p.c. in CPT 1, 1,5 m sotto il p.c. in CPT 2 e 1,7 m sotto il p.c. in CPT 3.



Estratto Carta della Vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento relativa all'alta pianura reggiana – Unità idrogeologica conoide F.Secchia

Cap. 4 - PROVE DIRETTE – Indagini Geognostiche

Per la determinazione delle caratteristiche lito-stratigrafiche e geotecniche locali del sottosuolo sono stati eseguite tre prove penetrometriche statiche: (CPT1 – CPT2 – CPT3) spinte a rifiuto al tetto delle ghiaie e di seguito ubicate.



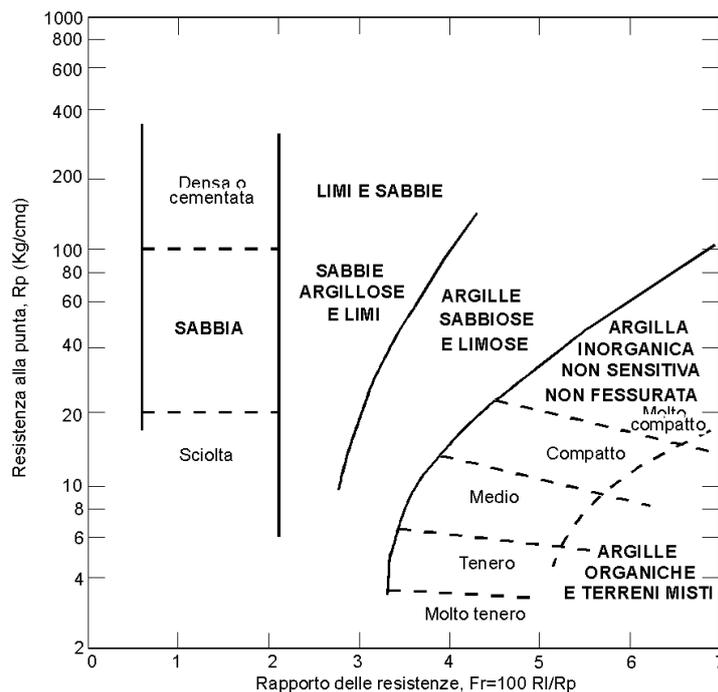
▲ HVSR

4.1 – CPT

L'interpretazione della CPT avviene generalmente in cinque fasi distinte:

- discretizzazione del terreno indagato in livelli caratterizzati da valori di q_c e f_s relativamente costanti per tutto lo spessore dello strato;
- stima della litologia del livello attraverso la metodologia di Schmertmann;
- calcolo dei parametri geotecnici associati agli strati;
- riepilogo della stratigrafia e dei parametri geotecnici dei singoli strati.

Il metodo di SCHMERTMANN considera come indicativo della litologia della verticale indagata il rapporto delle resistenze Fr (con $Fr\%=100 f_s/q_c$), secondo il grafico seguente:



Le cinque prove penetrometriche statiche (**CPT1 – CPT2 – CPT3**) hanno consentito di ricavare la litologia e i parametri geotecnici.

Esse sono state spinte a rifiuto sul tetto delle sabbie e ghiaie rispettivamente a 18,8 m, a 19,2 m , a 20,0 m.

CPT1

Dal punto di vista litologico sono presenti argille prevalenti con intercalazioni argilloso limose e di terreni misti. Si segnalano sottili livelli sabbiosi nel secondo metro a 17.8 e a 19 metri. Il tetto delle ghiaie è a 19,8 metri

ANALISI PROVE STATICHE CON PENETROMETRO MECCANICO [CPT]

Committente: dott Melli

Localita': Rubiera

Data: 27/06/2018

Passo delle misure = 20.00 cm.

Profondità della falda = 1,5 m.

PROVA PENETROMETRICA STATICA n. 1

VALORI DI RESISTENZE MISURATI

z	Rp	Rl
0,4	33	41
0,6	26	48
0,8	15	34
1,0	12	28
1,2	7	17
1,4	9	15
1,6	8	14
1,8	17	27
2,0	14	26
2,2	18	23
2,4	11	21
2,6	14	20
2,8	16	25
3,0	18	38
3,2	11	17
3,4	11	17
3,6	12	18
3,8	14	22
4,0	12	23
4,2	12	23
4,4	13	26

4,6	16	27
4,8	23	40
5,0	22	40
5,2	24	42
5,4	23	44
5,6	18	38
5,8	18	36
6,0	18	35
6,2	22	34
6,4	15	32
6,6	13	26
6,8	17	31
7,0	22	41
7,2	23	45
7,4	24	49
7,6	22	45
7,8	29	47
8,0	26	48
8,2	25	46
8,4	22	45
8,6	18	38
8,8	17	33
9,0	21	28
9,2	17	34
9,4	15	36
9,6	20	35
9,8	24	46
10,0	29	51
10,2	32	55
10,4	30	56
10,6	28	50
10,8	37	65
11,0	37	68
11,2	38	76
11,4	41	73
11,6	33	66
11,8	31	62
12,0	27	54
12,2	23	46
12,4	30	50
12,6	29	53
12,8	19	43
13,0	21	40
13,2	15	31
13,4	16	30
13,6	15	28
13,8	18	30
14,0	20	33
14,2	23	40
14,4	28	47
14,6	27	52
14,8	25	51
15,0	22	43
15,2	19	39
15,4	18	39
15,6	18	33
15,8	23	41
16,0	24	48
16,2	27	50

16,4	23	48
16,6	24	49
16,8	27	50
17,0	27	49
17,2	21	43
17,4	38	50
17,6	30	52
17,8	33	41
18,0	19	39
18,2	23	33
18,4	30	43
18,6	21	37
18,8	23	43
19,0	38	45
19,2	33	53
19,4	40	66
19,6	38	69
19,8	250	299

z = profondità

Rp = resistenza di punta (bar)

RI = resistenza d'attrito (bar)

VALORI CALCOLATI

z	Qc	Fs	Rf	L	g	sv	sv'	Uo
0,4	3,3	53,3	1,62	Sabbia	20,0	7,8	7,8	0,0
0,6	2,6	146,7	5,64	Argilla	18,0	11,4	11,4	0,0
0,8	1,5	126,7	8,44	Torba	17,5	14,9	14,9	0,0
1,0	1,2	106,7	8,89	Torba	17,5	18,4	18,4	0,0
1,2	0,7	66,7	9,52	Torba	17,5	21,9	21,9	0,0
1,4	0,9	40,0	4,44	Argilla	18,0	25,5	25,5	0,0
1,6	0,8	40,0	5,00	Argilla	18,0	29,1	28,1	1,0
1,8	1,7	66,7	3,92	Argilla limosa	18,5	32,8	29,9	2,9
2,0	1,4	80,0	5,71	Argilla	18,0	36,4	31,5	4,9
2,2	1,8	33,3	1,85	Sabbia	20,0	40,4	33,5	6,9
2,4	1,1	66,7	6,06	Torba	17,5	43,9	35,1	8,8
2,6	1,4	40,0	2,86	Sabbia limosa	19,5	47,8	37,0	10,8
2,8	1,6	60,0	3,75	Argilla limosa	18,5	51,5	38,7	12,8
3,0	1,8	133,3	7,41	Torba	17,5	55,0	40,3	14,7
3,2	1,1	40,0	3,64	Argilla limosa	18,5	58,7	42,0	16,7
3,4	1,1	40,0	3,64	Argilla limosa	18,5	62,4	43,8	18,6
3,6	1,2	40,0	3,33	Argilla limosa	18,5	66,1	45,5	20,6
3,8	1,4	53,3	3,81	Argilla limosa	18,5	69,8	47,2	22,6
4,0	1,2	73,3	6,11	Torba	17,5	73,3	48,8	24,5
4,2	1,2	73,3	6,11	Torba	17,5	76,8	50,3	26,5
4,4	1,3	86,7	6,67	Torba	17,5	80,3	51,9	28,4
4,6	1,6	73,3	4,58	Argilla	18,0	83,9	53,5	30,4
4,8	2,3	113,3	4,93	Argilla	18,0	87,5	55,1	32,4
5,0	2,2	120,0	5,45	Argilla	18,0	91,1	56,8	34,3
5,2	2,4	120,0	5,00	Argilla	18,0	94,7	58,4	36,3
5,4	2,3	140,0	6,09	Argilla	18,0	98,3	60,0	38,3
5,6	1,8	133,3	7,41	Torba	17,5	101,8	61,6	40,2
5,8	1,8	120,0	6,67	Argilla	18,0	105,4	63,2	42,2
6,0	1,8	113,3	6,30	Argilla	18,0	109,0	64,9	44,1
6,2	2,2	80,0	3,64	Argilla limosa	18,5	112,7	66,6	46,1
6,4	1,5	113,3	7,56	Torba	17,5	116,2	68,1	48,1
6,6	1,3	86,7	6,67	Torba	17,5	119,7	69,7	50,0
6,8	1,7	93,3	5,49	Argilla	18,0	123,3	71,3	52,0
7,0	2,2	126,7	5,76	Argilla	18,0	126,9	72,9	54,0
7,2	2,3	146,7	6,38	Argilla	18,0	130,5	74,6	55,9

7,4	2,4	166,7	6,94	Argilla	18,0	134,1	76,2	57,9
7,6	2,2	153,3	6,97	Argilla	18,0	137,7	77,9	59,8
7,8	2,9	120,0	4,14	Argilla limosa	18,5	141,4	79,6	61,8
8,0	2,6	146,7	5,64	Argilla	18,0	145,0	81,2	63,8
8,2	2,5	140,0	5,60	Argilla	18,0	148,6	82,9	65,7
8,4	2,2	153,3	6,97	Argilla	18,0	152,2	84,5	67,7
8,6	1,8	133,3	7,41	Torba	17,5	155,7	86,0	69,7
8,8	1,7	106,7	6,27	Argilla	18,0	159,3	87,7	71,6
9,0	2,1	46,7	2,22	Sabbia limosa	19,5	163,2	89,6	73,6
9,2	1,7	113,3	6,67	Torba	17,5	166,7	91,2	75,5
9,4	1,5	140,0	9,33	Torba	17,5	170,2	92,7	77,5
9,6	2,0	100,0	5,00	Argilla	18,0	173,8	94,3	79,5
9,8	2,4	146,7	6,11	Argilla	18,0	177,4	96,0	81,4
10,0	2,9	146,7	5,06	Argilla	18,0	181,0	97,6	83,4
10,2	3,2	153,3	4,79	Argilla limosa	18,5	184,7	99,4	85,3
10,4	3,0	173,3	5,78	Argilla	18,0	188,3	101,0	87,3
10,6	2,8	146,7	5,24	Argilla	18,0	191,9	102,6	89,3
10,8	3,7	186,7	5,05	Argilla limosa	18,5	195,6	104,4	91,2
11,0	3,7	206,7	5,59	Argilla	18,0	199,2	106,0	93,2
11,2	3,8	253,3	6,67	Argilla	18,0	202,8	107,6	95,2
11,4	4,1	213,3	5,20	Argilla limosa	18,5	206,5	109,4	97,1
11,6	3,3	220,0	6,67	Argilla	18,0	210,1	111,0	99,1
11,8	3,1	206,7	6,67	Argilla	18,0	213,7	112,7	101,0
12,0	2,7	180,0	6,67	Argilla	18,0	217,3	114,3	103,0
12,2	2,3	153,3	6,67	Argilla	18,0	220,9	115,9	105,0
12,4	3,0	133,3	4,44	Argilla limosa	18,5	224,6	117,7	106,9
12,6	2,9	160,0	5,52	Argilla	18,0	228,2	119,3	108,9
12,8	1,9	160,0	8,42	Torba	17,5	231,7	120,8	110,9
13,0	2,1	126,7	6,03	Argilla	18,0	235,3	122,5	112,8
13,2	1,5	106,7	7,11	Torba	17,5	238,8	124,0	114,8
13,4	1,6	93,3	5,83	Argilla	18,0	242,4	125,7	116,7
13,6	1,5	86,7	5,78	Argilla	18,0	246,0	127,3	118,7
13,8	1,8	80,0	4,44	Argilla	18,0	249,6	128,9	120,7
14,0	2,0	86,7	4,33	Argilla limosa	18,5	253,3	130,7	122,6
14,2	2,3	113,3	4,93	Argilla	18,0	256,9	132,3	124,6
14,4	2,8	126,7	4,52	Argilla limosa	18,5	260,6	134,1	126,5
14,6	2,7	166,7	6,17	Argilla	18,0	264,2	135,7	128,5
14,8	2,5	173,3	6,93	Argilla	18,0	267,8	137,3	130,5
15,0	2,2	140,0	6,36	Argilla	18,0	271,4	139,0	132,4
15,2	1,9	133,3	7,02	Torba	17,5	274,9	140,5	134,4
15,4	1,8	140,0	7,78	Torba	17,5	278,4	142,0	136,4
15,6	1,8	100,0	5,56	Argilla	18,0	282,0	143,7	138,3
15,8	2,3	120,0	5,22	Argilla	18,0	285,6	145,3	140,3
16,0	2,4	160,0	6,67	Argilla	18,0	289,2	147,0	142,2
16,2	2,7	153,3	5,68	Argilla	18,0	292,8	148,6	144,2
16,4	2,3	166,7	7,25	Argilla	18,0	296,4	150,2	146,2
16,6	2,4	166,7	6,94	Argilla	18,0	300,0	151,9	148,1
16,8	2,7	153,3	5,68	Argilla	18,0	303,6	153,5	150,1
17,0	2,7	146,7	5,43	Argilla	18,0	307,2	155,1	152,1
17,2	2,1	146,7	6,98	Argilla	18,0	310,8	156,8	154,0
17,4	3,8	80,0	2,11	Sabbia limosa	19,5	314,7	158,7	156,0
17,6	3,0	146,7	4,89	Argilla	18,0	318,3	160,4	157,9
17,8	3,3	53,3	1,62	Sabbia	20,0	322,3	162,4	159,9
18,0	1,9	133,3	7,02	Torba	17,5	325,8	163,9	161,9
18,2	2,3	66,7	2,90	Sabbia limosa	19,5	329,7	165,9	163,8
18,4	3,0	86,7	2,89	Sabbia limosa	19,5	333,6	167,8	165,8
18,6	2,1	106,7	5,08	Argilla	18,0	337,2	169,4	167,8
18,8	2,3	133,3	5,80	Argilla	18,0	340,8	171,1	169,7
19,0	3,8	46,7	1,23	Sabbia	20,0	344,8	173,1	171,7

19,2	3,3	133,3	4,04	Argilla limosa	18,5	348,5	174,9	173,6
19,4	4,0	173,3	4,33	Argilla limosa	18,5	352,2	176,6	175,6
19,6	3,8	206,7	5,44	Argilla	18,0	355,8	178,2	177,6
19,8	25,0	326,7	1,31	Sabbia	20,0	359,8	180,3	179,5

z = profondità (m)

Qc = resistenza alla punta (MPa)

Fs = resistenza d'attrito (kPa)

Rf = rapporto delle resistenze (%)

L = litologia (criterio di Schmertmann, 1976)

g = peso di volume (kN/mc)

sv = tensione litostatica totale (kPa)

sv' = tensione litostatica effettiva (kPa)

Uo = pressione nei pori (kPa)

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

z	L	CF	Id	f	Su	OCR	M	Cc	Go	Vs
0,4	Sabbia	4	46	43,6		13,1	12,1		50,0	278
0,6	Argilla	16			103,5	30	21,3	0,142	320,0	263
0,8	Torba	27			59,4	30	12,2	0,179	183,0	232
1,0	Torba	32			47,3	19,5	9,7	0,185	146,0	220
1,2	Torba	42			27,1	9,4	5,5	0,193	83,0	194
1,4	Argilla	30			35	10,4	7,2	0,126	108,0	206
1,6	Argilla	34			30,8	8,3	6,3	0,133	95,0	200
1,8	Argilla limosa	23			66,7	17	13,7	0,119	206,0	238
2,0	Argilla	30			54,5	13,2	11,2	0,143	168,0	228
2,2	Sabbia	17	28	35,5		1,8	9		116,0	242
2,4	Torba	36			42,2	9,1	8,7	0,147	131,0	216
2,6	Sabbia limosa	25	25	33,9		1,2	7,3		116,0	228
2,8	Argilla limosa	27			61,9	12,1	12,8	0,116	192,0	235
3,0	Torba	34			69,8	13,2	14,5	0,165	218,0	242
3,2	Argilla limosa	32			41,7	7,5	8,7	0,115	131,0	216
3,4	Argilla limosa	33			41,5	7,2	8,7	0,115	131,0	216
3,6	Argilla limosa	31			45,4	7,6	9,5	0,111	143,0	220
3,8	Argilla limosa	31			53,2	8,5	11,1	0,117	167,0	228
4,0	Torba	40			45,1	7	9,4	0,148	141,0	220
4,2	Torba	40			44,9	6,8	9,4	0,148	141,0	220
4,4	Torba	41			48,8	7,1	10,2	0,155	153,0	224
4,6	Argilla	33			60,6	8,6	12,7	0,127	191,0	235
4,8	Argilla	30			88,5	12,2	18,5	0,132	278,0	256
5,0	Argilla	32			84,4	11,3	17,6	0,139	264,0	253
5,2	Argilla	30			92,2	12	19,3	0,133	290,0	258
5,4	Argilla	33			88,1	11,1	18,4	0,147	276,0	256
5,6	Torba	40			67,9	8,4	14,3	0,165	215,0	242
5,8	Argilla	39			67,8	8,1	14,3	0,155	215,0	242
6,0	Argilla	38			67,59	7,9	14,3	0,150	215,0	242
6,2	Argilla limosa	29			83,5	9,5	17,6	0,115	264,0	253
6,4	Torba	45			55,4	6,1	11,8	0,167	177,0	232
6,6	Torba	46			47,2	5,1	10,1	0,155	152,0	224
6,8	Argilla	39			63,1	6,7	13,4	0,140	201,0	238
7,0	Argilla	36			82,9	8,6	17,5	0,143	263,0	253
7,2	Argilla	37			86,8	8,8	18,3	0,151	275,0	256
7,4	Argilla	38			90,6	9	19,1	0,159	287,0	258

7,6	Argilla	40			82,5	8	17,5	0,159	263,0	253
7,8	Argilla limosa	29			110,3	10,5	23,2	0,122	348,0	270
8,0	Argilla	35			98,2	9,2	20,7	0,142	311,0	263
8,2	Argilla	36			94,1	8,6	19,9	0,141	299,0	261
8,4	Argilla	41			81,9	7,3	17,4	0,159	261,0	253
8,6	Torba	46			65,8	5,8	14,1	0,165	212,0	242
8,8	Argilla	45			61,6	5,3	13,3	0,150	200,0	238
9,0	Sabbia limosa	29	26	31,3		1	10,8		235,0	250
9,2	Torba	46			61,3	5,1	13,2	0,155	198,0	238
9,4	Torba	54			53,2	4,3	11,6	0,191	174,0	232
9,6	Argilla	40			73	5,9	15,7	0,133	236,0	247
9,8	Argilla	40			88,9	7	19	0,148	285,0	258
10,0	Argilla	35			108,8	8,4	23,1	0,134	347,0	270
10,2	Argilla limosa	33			120,6	9,2	25,5	0,130	383,0	276
10,4	Argilla	36			112,5	8,4	23,9	0,143	359,0	272
10,6	Argilla	36			104,3	7,7	22,2	0,136	333,0	267
10,8	Argilla limosa	32			140,19	10,2	29,6	0,134	444,0	285
11,0	Argilla	34			140	10	29,6	0,141	444,0	285
11,2	Argilla	36			143,9	10,1	30,4	0,155	456,0	287
11,4	Argilla limosa	32			155,69	10,8	32,9	0,136	494,0	292
11,6	Argilla	38			123,6	8,4	26,3	0,155	395,0	278
11,8	Argilla	40			115,5	7,8	24,6	0,155	369,0	274
12,0	Argilla	42			99,3	6,6	21,3	0,155	320,0	265
12,2	Argilla	45			83,2	5,4	18	0,155	270,0	256
12,4	Argilla limosa	36			111	7,1	23,7	0,126	356,0	272
12,6	Argilla	39			106,9	6,8	22,9	0,140	344,0	270
12,8	Torba	53			66,7	4,2	14,6	0,179	219,0	245
13,0	Argilla	47			74,59	4,6	16,3	0,147	245,0	250
13,2	Torba	57			50,4	3,1	11,3	0,161	170,0	232
13,4	Argilla	53			54,3	3,2	12,1	0,144	182,0	235
13,6	Argilla	54			69,7	3	11,3	0,143	170,0	232
13,8	Argilla	47			62	3,6	13,7	0,126	206,0	242
14,0	Argilla limosa	44			69,9	4	15,4	0,124	231,0	247
14,2	Argilla	44			81,7	4,7	17,8	0,132	267,0	256
14,4	Argilla limosa	39			101,6	5,7	21,9	0,127	329,0	267
14,6	Argilla	44			97,4	5,4	21,1	0,149	317,0	265
14,8	Argilla	47			89,3	4,9	19,4	0,159	291,0	261
15,0	Argilla	49			77,09	4,2	17	0,151	255,0	253
15,2	Torba	54			65	3,5	14,5	0,160	218,0	245
15,4	Torba	57			60,9	3,2	13,6	0,170	204,0	242
15,6	Argilla	52			60,7	3,2	13,6	0,140	204,0	242
15,8	Argilla	46			80,59	4,2	17,7	0,136	266,0	256
16,0	Argilla	49			84,4	4,3	18,5	0,155	278,0	258
16,2	Argilla	45			96,3	4,9	21	0,142	315,0	265
16,4	Argilla	52			80,09	4	17,7	0,163	266,0	256
16,6	Argilla	50			84	4,2	18,5	0,159	278,0	258
16,8	Argilla	45			95,9	4,7	21	0,142	315,0	265
17,0	Argilla	45			95,7	4,7	20,9	0,139	314,0	265
17,2	Argilla	54			71,59	3,4	16	0,159	240,0	250
17,4	Sabbia limosa	28	31	31,3		1	18		402,0	287

17,6	Argilla	42			107,3	5,1	23,4	0,132	351,0	272
17,8	Sabbia	28	29	30,4		1	16,2		395,0	278
18,0	Torba	58			87,5	2,9	14,3	0,160	215,0	245
18,2	Sabbia limosa	41	25	28,4		1	12,1		366,0	256
18,4	Sabbia limosa	36	28	29,8		1	15		394,0	272
18,6	Argilla	51			70,5	3,1	15,9	0,134	239,0	250
18,8	Argilla	51			78,4	3,4	17,5	0,144	263,0	256
19,0	Sabbia	25	30	30,8		1	18,3		427,0	287
19,2	Argilla limosa	40			118,1	5,1	25,7	0,120	386,0	278
19,4	Argilla limosa	37			145,9	6,2	31,5	0,124	473,0	290
19,6	Argilla	41			137,8	5,8	29,8	0,139	447,0	287
19,8	Sabbia	8	64	38,0		2,6	67,2		703,0	442

z = profondità (m)

CF = contenuto di fine [passante al 200] (%)

Id = indice di densità (%)

f = angolo d'attrito (°)

Su = resistenza al taglio non drenata (kPa)

OCR = grado di sovraconsolidamento

M = modulo confinato (MPa)

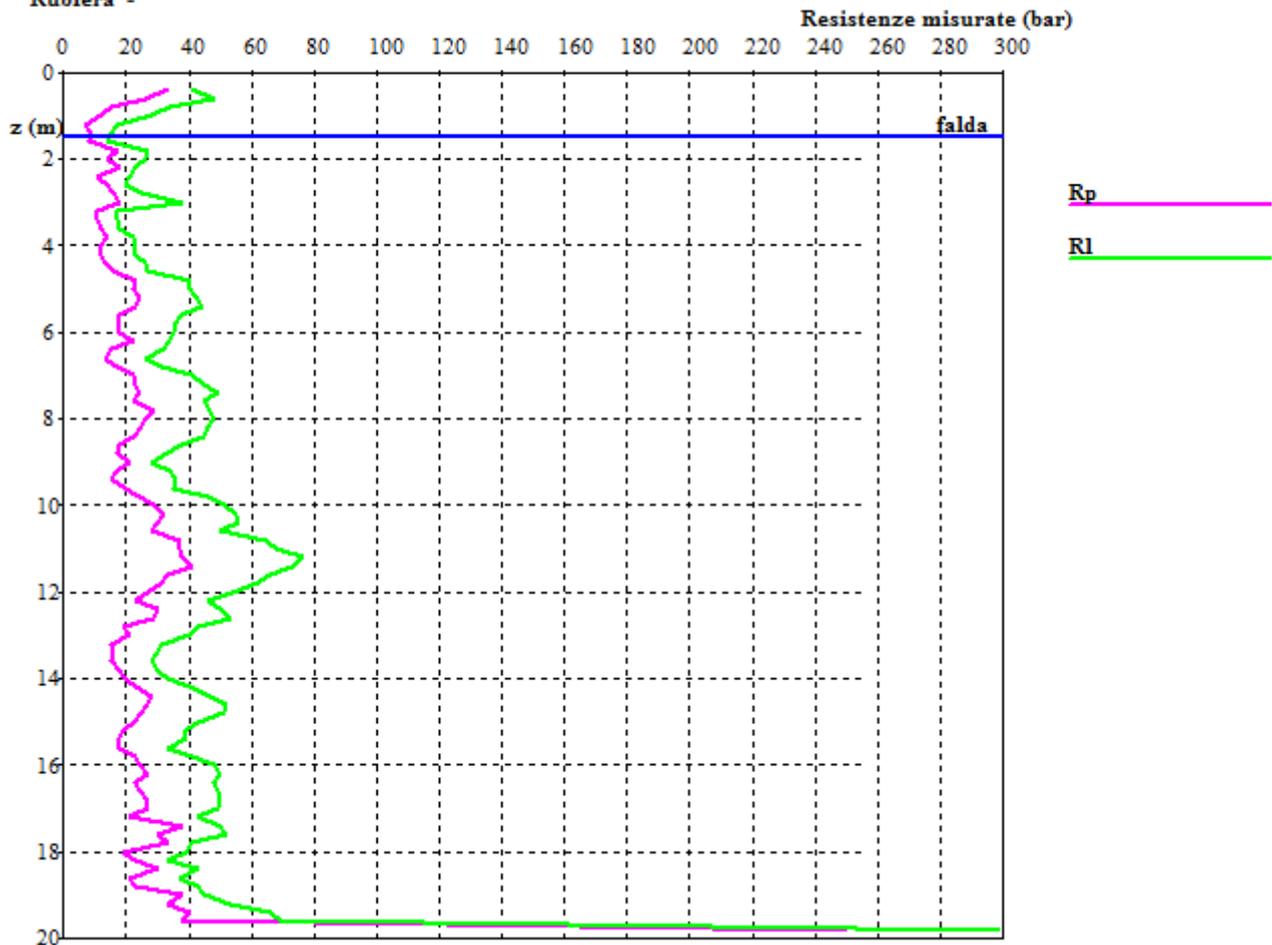
Cc = indice di compressibilità (-)

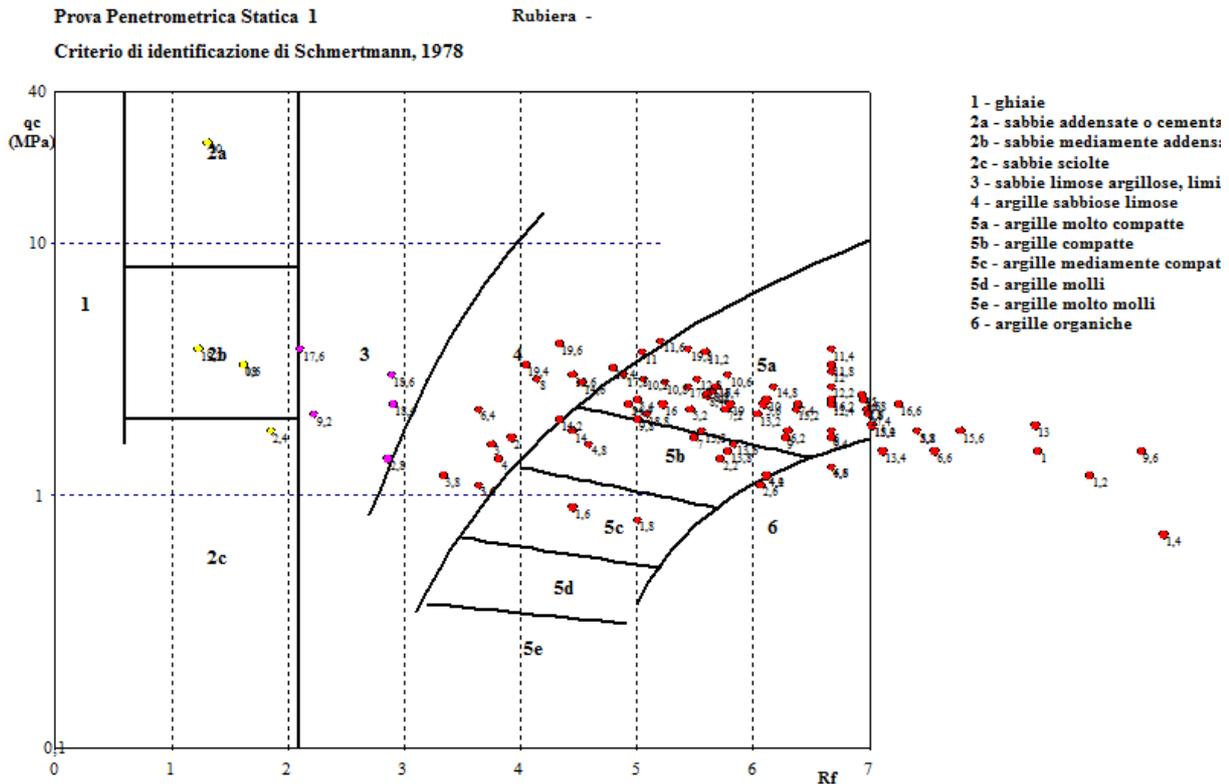
Go = modulo di taglio (MPa)

Vs = velocità onde di taglio (m/s)

Prova Penetrometrica Statica 1

Rubiera -





CPT2

Dal punto di vista litologico sono presenti argille prevalenti con intercalazioni di terreni misti con spessori consistenti nei primi due metri e da 14,4 a 16,8 m.

Si segnalano sottili livelli sabbiosi a 4,4 e a 12,6 metri.

Il tetto delle ghiaie è a 19,2 metri

ANALISI PROVE STATICHE CON PENETROMETRO MECCANICO [CPT]

Committente: dott Melli

Località: Rubiera

Data: 27/06/2018

Passo delle misure = 20.00 cm.

Profondità della falda = 1,5 m.

PROVA PENETROMETRICA STATICA n. 2

VALORI DI RESISTENZE MISURATI

z	Rp	Rl
0,4	32	48
0,6	22	45
0,8	19	43
1,0	15	40
1,2	12	34
1,4	7	21
1,6	7	15
1,8	7	16
2,0	7	14
2,2	8	13
2,4	8	16
2,6	12	18
2,8	10	20
3,0	6	11
3,2	8	12
3,4	7	13
3,6	7	11
3,8	9	14
4,0	7	13
4,2	7	13
4,4	11	15
4,6	12	20
4,8	11	23
5,0	12	31
5,2	18	36
5,4	12	33
5,6	22	33
5,8	22	36
6,0	13	31
6,2	12	23
6,4	18	32
6,6	20	37
6,8	19	39
7,0	20	40
7,2	19	38
7,4	30	60
7,6	29	58
7,8	28	58
8,0	28	56
8,2	25	52
8,4	25	51
8,6	22	44
8,8	19	41
9,0	17	31
9,2	22	37
9,4	19	40
9,6	24	37
9,8	34	54
10,0	34	64
10,2	26	56
10,4	31	55
10,6	32	58
10,8	24	48

11,0	21	40
11,2	20	37
11,4	13	35
11,6	11	30
11,8	14	24
12,0	10	22
12,2	11	22
12,4	15	26
12,6	25	31
12,8	13	28
13,0	13	25
13,2	10	24
13,4	12	26
13,6	14	30
13,8	15	29
14,0	10	24
14,2	11	24
14,4	16	28
14,6	16	36
14,8	17	35
15,0	19	39
15,2	17	35
15,4	11	28
15,6	12	26
15,8	18	30
16,0	18	35
16,2	16	33
16,4	15	32
16,6	15	31
16,8	14	29
17,0	15	26
17,2	17	34
17,4	15	28
17,6	14	30
17,8	19	32
18,0	16	32
18,2	17	31
18,4	17	29
18,6	15	28
18,8	21	37
19,0	29	49
19,2	250	299

z = profondità

Rp = resistenza di punta (bar)

Rl = resistenza d'attrito (bar)

VALORI CALCOLATI

z	Qc	Fs	Rf	L	g	sv	sv'	Uo
0,4	3,2	106,7	3,33	Argilla limosa	18,5	7,5	7,5	0,0
0,6	2,2	153,3	6,97	Argilla	18,0	11,1	11,1	0,0
0,8	1,9	160,0	8,42	Torba	17,5	14,6	14,6	0,0
1,0	1,5	166,7	11,11	Torba	17,5	18,1	18,1	0,0
1,2	1,2	146,7	12,22	Torba	17,5	21,6	21,6	0,0
1,4	0,7	93,3	13,33	Torba	17,5	25,1	25,1	0,0
1,6	0,7	53,3	7,62	Torba	17,5	28,6	27,6	1,0
1,8	0,7	60,0	8,57	Torba	17,5	32,1	29,2	2,9
2,0	0,7	46,7	6,67	Torba	17,5	35,6	30,7	4,9

2,2	0,8	33,3	4,17	Argilla	18,0	39,2	32,3	6,9
2,4	0,8	53,3	6,67	Torba	17,5	42,7	33,9	8,8
2,6	1,2	40,0	3,33	Argilla limosa	18,5	46,4	35,6	10,8
2,8	1,0	66,7	6,67	Torba	17,5	49,9	37,1	12,8
3,0	0,6	33,3	5,56	Torba	17,5	53,4	38,7	14,7
3,2	0,8	26,7	3,33	Argilla limosa	18,5	57,1	40,4	16,7
3,4	0,7	40,0	5,71	Torba	17,5	60,6	42,0	18,6
3,6	0,7	26,7	3,81	Argilla	18,0	64,2	43,6	20,6
3,8	0,9	33,3	3,70	Argilla	18,0	67,8	45,2	22,6
4,0	0,7	40,0	5,71	Torba	17,5	71,3	46,8	24,5
4,2	0,7	40,0	5,71	Torba	17,5	74,8	48,3	26,5
4,4	1,1	26,7	2,42	Sabbia limosa	19,5	78,7	50,3	28,4
4,6	1,2	53,3	4,44	Argilla	18,0	82,3	51,9	30,4
4,8	1,1	80,0	7,27	Torba	17,5	85,8	53,4	32,4
5,0	1,2	126,7	10,56	Torba	17,5	89,3	55,0	34,3
5,2	1,8	120,0	6,67	Argilla	18,0	92,9	56,6	36,3
5,4	1,2	140,0	11,67	Torba	17,5	96,4	58,1	38,3
5,6	2,2	73,3	3,33	Argilla limosa	18,5	100,1	59,9	40,2
5,8	2,2	93,3	4,24	Argilla limosa	18,5	103,8	61,6	42,2
6,0	1,3	120,0	9,23	Torba	17,5	107,3	63,2	44,1
6,2	1,2	73,3	6,11	Torba	17,5	110,8	64,7	46,1
6,4	1,8	93,3	5,19	Argilla	18,0	114,4	66,3	48,1
6,6	2,0	113,3	5,67	Argilla	18,0	118,0	68,0	50,0
6,8	1,9	133,3	7,02	Torba	17,5	121,5	69,5	52,0
7,0	2,0	133,3	6,67	Argilla	18,0	125,1	71,1	54,0
7,2	1,9	126,7	6,67	Argilla	18,0	128,7	72,8	55,9
7,4	3,0	200,0	6,67	Argilla	18,0	132,3	74,4	57,9
7,6	2,9	193,3	6,67	Argilla	18,0	135,9	76,1	59,8
7,8	2,8	200,0	7,14	Argilla	18,0	139,5	77,7	61,8
8,0	2,8	186,7	6,67	Argilla	18,0	143,1	79,3	63,8
8,2	2,5	180,0	7,20	Argilla	18,0	146,7	81,0	65,7
8,4	2,5	173,3	6,93	Argilla	18,0	150,3	82,6	67,7
8,6	2,2	146,7	6,67	Argilla	18,0	153,9	84,2	69,7
8,8	1,9	146,7	7,72	Torba	17,5	157,4	85,8	71,6
9,0	1,7	93,3	5,49	Argilla	18,0	161,0	87,4	73,6
9,2	2,2	100,0	4,55	Argilla	18,0	164,6	89,1	75,5
9,4	1,9	140,0	7,37	Torba	17,5	168,1	90,6	77,5
9,6	2,4	86,7	3,61	Argilla limosa	18,5	171,8	92,3	79,5
9,8	3,4	133,3	3,92	Argilla limosa	18,5	175,5	94,1	81,4
10,0	3,4	200,0	5,88	Argilla	18,0	179,1	95,7	83,4
10,2	2,6	200,0	7,69	Argilla	18,0	182,7	97,4	85,3
10,4	3,1	160,0	5,16	Argilla	18,0	186,3	99,0	87,3
10,6	3,2	173,3	5,42	Argilla	18,0	189,9	100,6	89,3
10,8	2,4	160,0	6,67	Argilla	18,0	193,5	102,3	91,2
11,0	2,1	126,7	6,03	Argilla	18,0	197,1	103,9	93,2
11,2	2,0	113,3	5,67	Argilla	18,0	200,7	105,5	95,2
11,4	1,3	146,7	11,28	Torba	17,5	204,2	107,1	97,1
11,6	1,1	126,7	11,52	Torba	17,5	207,7	108,6	99,1
11,8	1,4	66,7	4,76	Argilla	18,0	211,3	110,3	101,0
12,0	1,0	80,0	8,00	Torba	17,5	214,8	111,8	103,0
12,2	1,1	73,3	6,67	Torba	17,5	218,3	113,3	105,0
12,4	1,5	73,3	4,89	Argilla	18,0	221,9	115,0	106,9
12,6	2,5	40,0	1,60	Sabbia	20,0	225,9	117,0	108,9
12,8	1,3	100,0	7,69	Torba	17,5	229,4	118,5	110,9
13,0	1,3	80,0	6,15	Torba	17,5	232,9	120,1	112,8
13,2	1,0	93,3	9,33	Torba	17,5	236,4	121,6	114,8
13,4	1,2	93,3	7,78	Torba	17,5	239,9	123,2	116,7
13,6	1,4	106,7	7,62	Torba	17,5	243,4	124,7	118,7
13,8	1,5	93,3	6,22	Argilla	18,0	247,0	126,3	120,7

14,0	1,0	93,3	9,33	Torba	17,5	250,5	127,9	122,6
14,2	1,1	86,7	7,88	Torba	17,5	254,0	129,4	124,6
14,4	1,6	80,0	5,00	Argilla	18,0	257,6	131,1	126,5
14,6	1,6	133,3	8,33	Torba	17,5	261,1	132,6	128,5
14,8	1,7	120,0	7,06	Torba	17,5	264,6	134,1	130,5
15,0	1,9	133,3	7,02	Torba	17,5	268,1	135,7	132,4
15,2	1,7	120,0	7,06	Torba	17,5	271,6	137,2	134,4
15,4	1,1	113,3	10,30	Torba	17,5	275,1	138,7	136,4
15,6	1,2	93,3	7,78	Torba	17,5	278,6	140,3	138,3
15,8	1,8	80,0	4,44	Argilla	18,0	282,2	141,9	140,3
16,0	1,8	113,3	6,30	Argilla	18,0	285,8	143,6	142,2
16,2	1,6	113,3	7,08	Torba	17,5	289,3	145,1	144,2
16,4	1,5	113,3	7,56	Torba	17,5	292,8	146,6	146,2
16,6	1,5	106,7	7,11	Torba	17,5	296,3	148,2	148,1
16,8	1,4	100,0	7,14	Torba	17,5	299,8	149,7	150,1
17,0	1,5	73,3	4,89	Argilla	18,0	303,4	151,3	152,1
17,2	1,7	113,3	6,67	Torba	17,5	306,9	152,9	154,0
17,4	1,5	86,7	5,78	Argilla	18,0	310,5	154,5	156,0
17,6	1,4	106,7	7,62	Torba	17,5	314,0	156,1	157,9
17,8	1,9	86,7	4,56	Argilla	18,0	317,6	157,7	159,9
18,0	1,6	106,7	6,67	Torba	17,5	321,1	159,2	161,9
18,2	1,7	93,3	5,49	Argilla	18,0	324,7	160,9	163,8
18,4	1,7	80,0	4,71	Argilla	18,0	328,3	162,5	165,8
18,6	1,5	86,7	5,78	Argilla	18,0	331,9	164,1	167,8
18,8	2,1	106,7	5,08	Argilla	18,0	335,5	165,8	169,7
19,0	2,9	133,3	4,60	Argilla limosa	18,5	339,2	167,5	171,7
19,2	25,0	326,7	1,31	Sabbia	20,0	343,2	169,6	173,6

z = profondità (m)

Qc = resistenza alla punta (MPa)

Fs = resistenza d'attrito (kPa)

Rf = rapporto delle resistenze (%)

L = litologia (criterio di Schmertmann, 1976)

g = peso di volume (kN/mc)

sv = tensione litostatica totale (kPa)

sv' = tensione litostatica effettiva (kPa)

Uo = pressione nei pori (kPa)

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

z	L	CF	Id	f	Su	OCR	M	Cc	Go	Vs
0,4	Argilla limosa	8			127,7	30	26,3	0,111	395,0	276
0,6	Argilla	19			87,6	30	18	0,159	270,0	253
0,8	Torba	25			75,4	30	15,5	0,179	233,0	245
1,0	Torba	32			59,3	24,9	12,2	0,214	183,0	232
1,2	Torba	38			47,1	16,6	9,7	0,229	146,0	220
1,4	Torba	49			27	8,2	5,5	0,244	83,0	194
1,6	Torba	42			26,9	7,4	5,5	0,168	83,0	194
1,8	Torba	44			26,7	6,9	5,5	0,181	83,0	194
2,0	Torba	42			26,6	6,6	5,5	0,155	83,0	194
2,2	Argilla	34			30,4	7,1	6,3	0,122	95,0	200
2,4	Torba	41			30,3	6,8	6,3	0,155	95,0	200
2,6	Argilla limosa	28			46,1	9,8	9,6	0,111	144,0	220
2,8	Torba	39			38	7,8	7,9	0,155	119,0	211
3,0	Torba	46			21,9	4,3	4,6	0,140	69,0	188
3,2	Argilla limosa	36			29,7	5,6	6,2	0,111	93,0	200
3,4	Torba	45			25,6	4,6	5,4	0,143	81,0	194

3,6	Argilla	41			25,4	4,4	5,4	0,117	81,0	194
3,8	Argilla	37			33,29	5,6	7	0,116	105,0	206
4,0	Torba	48			25,1	4	5,3	0,143	80,0	194
4,2	Torba	48			25	3,9	5,3	0,143	80,0	194
4,4	Sabbia limosa	31	22	31,1		1	6,1		135,0	216
4,6	Argilla	37			44,7	6,5	9,4	0,126	141,0	220
4,8	Torba	45			40,6	5,7	8,6	0,163	129,0	216
5,0	Torba	50			44,4	6,1	9,4	0,207	141,0	220
5,2	Argilla	37			68,3	9,1	14,3	0,155	215,0	242
5,4	Torba	53			44,1	5,7	9,4	0,222	141,0	220
5,6	Argilla limosa	27			84	10,6	17,6	0,111	264,0	253
5,8	Argilla limosa	30			83,8	10,3	17,6	0,123	264,0	253
6,0	Torba	49			47,7	5,7	10,2	0,189	153,0	224
6,2	Torba	45			43,6	5,1	9,3	0,148	140,0	220
6,4	Argilla	36			67,4	7,7	14,3	0,135	215,0	242
6,6	Argilla	36			75,3	8,4	15,9	0,142	239,0	247
6,8	Torba	40			71,09	7,8	15,1	0,160	227,0	245
7,0	Argilla	39			75	8	15,9	0,155	239,0	247
7,2	Argilla	40			70,9	7,4	15	0,155	225,0	245
7,4	Argilla	34			114,7	11,7	24,1	0,155	362,0	272
7,6	Argilla	35			110,6	11	23,2	0,155	348,0	270
7,8	Argilla	36			106,4	10,4	22,4	0,162	336,0	267
8,0	Argilla	36			106,3	10,2	22,4	0,155	336,0	267
8,2	Argilla	39			94,1	8,8	19,9	0,162	299,0	261
8,4	Argilla	39			94	8,6	19,9	0,159	299,0	261
8,6	Argilla	40			81,8	7,4	17,4	0,155	261,0	253
8,8	Torba	45			69,7	6,1	14,9	0,169	224,0	245
9,0	Argilla	43			61,6	5,3	13,3	0,140	200,0	238
9,2	Argilla	36			81,4	6,9	17,4	0,127	261,0	253
9,4	Torba	46			69,3	5,8	14,9	0,165	224,0	245
9,6	Argilla limosa	33			89,1	7,3	19	0,115	285,0	258
9,8	Argilla limosa	29			129	10,4	27,2	0,119	408,0	280
10,0	Argilla	34			128,8	10,2	27,2	0,145	408,0	280
10,2	Argilla	42			96,7	7,5	20,6	0,169	309,0	263
10,4	Argilla	34			116,5	8,9	24,7	0,135	371,0	274
10,6	Argilla	35			120,4	9,1	25,5	0,139	383,0	276
10,8	Argilla	42			88,3	6,5	18,9	0,155	284,0	258
11,0	Argilla	43			76,09	5,5	16,4	0,147	246,0	250
11,2	Argilla	44			72	5,1	15,6	0,142	234,0	247
11,4	Torba	65			43,8	3,1	9,8	0,217	147,0	224
11,6	Torba	70			49,6	2,5	8,1	0,220	122,0	216
11,8	Argilla	50			47,5	3,2	10,6	0,130	159,0	228
12,0	Torba	67			43,6	2,1	7,3	0,173	110,0	211
12,2	Torba	62			49	2,3	8,1	0,155	122,0	216
12,4	Argilla	49			51,1	3,3	11,4	0,132	171,0	232
12,6	Sabbia	28	27	30,8		1	12,7		295,0	261
12,8	Torba	61			59,5	2,7	9,7	0,169	146,0	224
13,0	Torba	57			59,3	2,7	9,7	0,148	146,0	224
13,2	Torba	73			42,4	1,9	7,2	0,191	108,0	211
13,4	Torba	64			53,3	2,3	8,8	0,170	132,0	220
13,6	Torba	60			64,3	2,8	10,5	0,168	158,0	228
13,8	Argilla	55			69,59	3	11,3	0,149	170,0	232
14,0	Torba	75			41,6	1,7	7,1	0,191	107,0	211
14,2	Torba	69			47	1,9	8	0,171	120,0	216

14,4	Argilla	51			53,7	3,1	12,1	0,133	182,0	235
14,6	Torba	60			74,4	3	12,1	0,177	182,0	235
14,8	Torba	56			57,4	3,2	12,9	0,160	194,0	238
15,0	Torba	53			65,3	3,6	14,5	0,160	218,0	245
15,2	Torba	56			57,1	3,1	12,8	0,160	192,0	238
15,4	Torba	76			45,8	1,8	7,9	0,204	119,0	216
15,6	Torba	68			51,2	2	8,7	0,170	131,0	220
15,8	Argilla	49			60,7	3,2	13,6	0,126	204,0	242
16,0	Argilla	54			60,6	3,2	13,6	0,150	204,0	242
16,2	Torba	59			72,8	2,7	12	0,161	180,0	235
16,4	Torba	63			67,09	2,5	11,1	0,167	167,0	232
16,6	Torba	62			66,9	2,4	11,1	0,161	167,0	232
16,8	Torba	64			61,1	2,2	10,3	0,162	155,0	228
17,0	Argilla	57			66,5	2,4	11,1	0,132	167,0	232
17,2	Torba	58			77,4	2,7	12,7	0,155	191,0	238
17,4	Argilla	60			66,09	2,3	11,1	0,143	167,0	232
17,6	Torba	67			60,3	2,1	10,2	0,168	153,0	228
17,8	Argilla	51			87,9	3	14,3	0,127	215,0	245
18,0	Torba	61			71,09	2,4	11,8	0,155	177,0	235
18,2	Argilla	57			76,4	2,6	12,6	0,140	189,0	238
18,4	Argilla	55			76,2	2,5	12,6	0,129	189,0	238
18,6	Argilla	62			64,9	2,1	11	0,143	165,0	232
18,8	Argilla	51			70,59	3,2	15,9	0,134	239,0	250
19,0	Argilla limosa	43			102,4	4,6	22,5	0,128	338,0	270
19,2	Sabbia	7	65	38,1		2,8	66,1		674,0	442

z = profondità (m)

CF = contenuto di fine [passante al 200] (%)

Id = indice di densità (%)

f = angolo d'attrito (°)

Su = resistenza al taglio non drenata (kPa)

OCR = grado di sovraconsolidamento

M = modulo confinato (MPa)

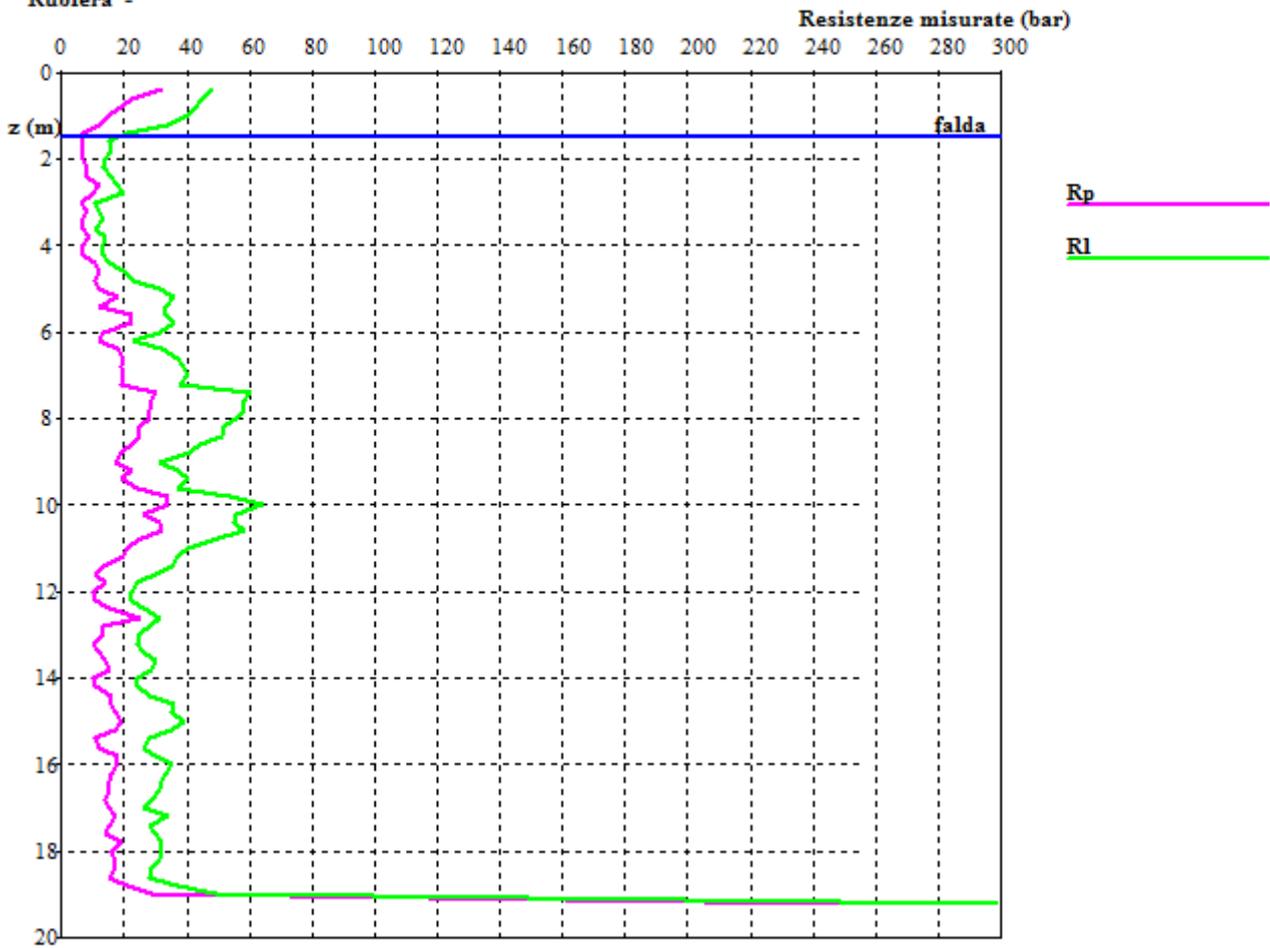
Cc = indice di compressibilità (-)

Go = modulo di taglio (MPa)

Vs = velocità onde di taglio (m/s)

Prova Penetrometrica Statica 2

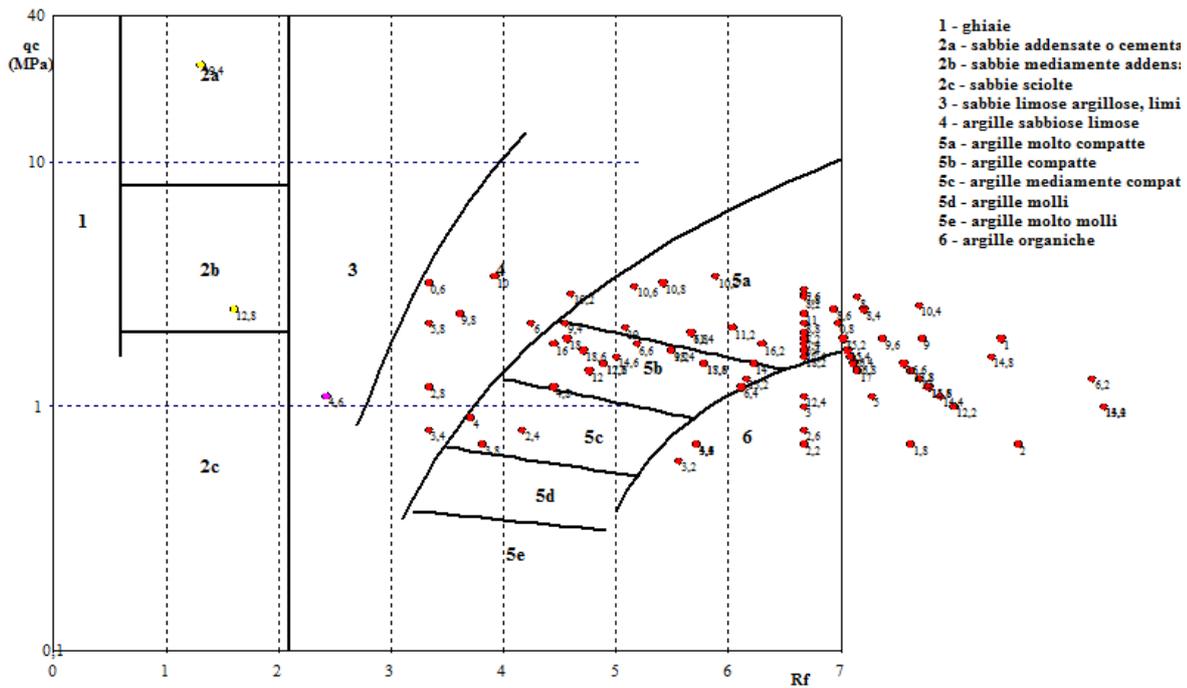
Rubiera -



Prova Penetrometrica Statica 2

Rubiera -

Criterio di identificazione di Schmertmann, 1978



CPT3

Dal punto di vista litologico sono presenti argille prevalenti con intercalazioni di terreni misti e argille limose.

Si segnalano sottili livelli sabbiosi, sabbioso limosi e ghiaiosi da 2,2 a 2,6 m., da 3,8 a 4,2 m. e da 11,6 a 12,4 m., Il tetto delle ghiaie è a 20,0 metri

ANALISI PROVE STATICHE CON PENETROMETRO MECCANICO [CPT]

Committente: dott Melli

Localita': Rubiera

Data: 27/06/2018

Passo delle misure = 20.00 cm.

Profondità della falda = 1,7 m.

PROVA PENETROMETRICA STATICA n. 3

VALORI DI RESISTENZE MISURATI

z	Rp	Rl
0,4	14	23
0,6	14	23
0,8	13	30
1,0	14	30
1,2	11	31
1,4	9	20
1,6	10	15
1,8	9	17
2,0	8	13
2,2	8	14
2,4	11	15
2,6	13	18
2,8	9	16
3,0	7	13
3,2	11	16
3,4	11	16
3,6	7	14
3,8	10	20
4,0	90	110
4,2	85	130
4,4	10	40
4,6	10	20
4,8	19	30
5,0	18	32
5,2	21	34
5,4	19	32
5,6	16	29
5,8	13	23
6,0	12	24

6,2	15	26
6,4	15	26
6,6	18	32
6,8	23	37
7,0	24	47
7,2	28	52
7,4	29	54
7,6	25	55
7,8	28	54
8,0	26	49
8,2	22	48
8,4	21	42
8,6	21	41
8,8	22	44
9,0	19	34
9,2	19	38
9,4	20	36
9,6	24	48
9,8	31	53
10,0	23	53
10,2	30	52
10,4	18	45
10,6	17	35
10,8	26	49
11,0	34	55
11,2	22	54
11,4	21	44
11,6	19	42
11,8	46	83
12,0	78	83
12,2	83	90
12,4	23	32
12,6	16	30
12,8	16	27
13,0	15	23
13,2	11	22
13,4	17	33
13,6	15	32
13,8	9	20
14,0	11	22
14,2	15	33
14,4	18	33
14,6	23	41
14,8	20	40
15,0	16	35
15,2	17	34
15,4	12	27
15,6	17	33
15,8	18	35
16,0	17	34
16,2	17	34
16,4	18	35
16,6	17	33
16,8	14	28
17,0	15	26
17,2	16	34
17,4	20	31
17,6	12	27
17,8	16	32

18,0	14	29
18,2	15	30
18,4	19	40
18,6	23	44
18,8	24	43
19,0	22	44
19,2	20	40
19,4	18	36
19,6	20	36
19,8	19	28
20,0	250	299

z = profondità

Rp = resistenza di punta (bar)

RI = resistenza d'attrito (bar)

VALORI CALCOLATI

z	Qc	Fs	Rf	L	g	sv	sv'	Uo
0,4	1,4	60,0	4,29	Argilla	18,0	7,4	7,4	0,0
0,6	1,4	60,0	4,29	Argilla	18,0	11,0	11,0	0,0
0,8	1,3	113,3	8,72	Torba	17,5	14,5	14,5	0,0
1,0	1,4	106,7	7,62	Torba	17,5	18,0	18,0	0,0
1,2	1,1	133,3	12,12	Torba	17,5	21,5	21,5	0,0
1,4	0,9	73,3	8,15	Torba	17,5	25,0	25,0	0,0
1,6	1,0	33,3	3,33	Argilla limosa	18,5	28,7	28,7	0,0
1,8	0,9	53,3	5,93	Torba	17,5	32,2	31,2	1,0
2,0	0,8	33,3	4,17	Argilla	18,0	35,8	32,9	2,9
2,2	0,8	40,0	5,00	Argilla	18,0	39,4	34,5	4,9
2,4	1,1	26,7	2,42	Sabbia limosa	19,5	43,3	36,4	6,9
2,6	1,3	33,3	2,56	Sabbia limosa	19,5	47,2	38,4	8,8
2,8	0,9	46,7	5,19	Argilla	18,0	50,8	40,0	10,8
3,0	0,7	40,0	5,71	Torba	17,5	54,3	41,5	12,8
3,2	1,1	33,3	3,03	Argilla limosa	18,5	58,0	43,3	14,7
3,4	1,1	33,3	3,03	Argilla limosa	18,5	61,7	45,0	16,7
3,6	0,7	46,7	6,67	Torba	17,5	65,2	46,6	18,6
3,8	1,0	66,7	6,67	Torba	17,5	68,7	48,1	20,6
4,0	9,0	133,3	1,48	Sabbia	20,0	72,7	50,1	22,6
4,2	8,5	300,0	3,53	Sabbia limosa	19,5	76,6	52,1	24,5
4,4	1,0	200,0	20,00	Argilla	18,0	80,2	53,7	26,5
4,6	1,0	66,7	6,67	Torba	17,5	83,7	55,3	28,4
4,8	1,9	73,3	3,86	Argilla limosa	18,5	87,4	57,0	30,4
5,0	1,8	93,3	5,19	Argilla	18,0	91,0	58,6	32,4
5,2	2,1	86,7	4,13	Argilla limosa	18,5	94,7	60,4	34,3
5,4	1,9	86,7	4,56	Argilla	18,0	98,3	62,0	36,3
5,6	1,6	86,7	5,42	Argilla	18,0	101,9	63,6	38,3
5,8	1,3	66,7	5,13	Argilla	18,0	105,5	65,3	40,2
6,0	1,2	80,0	6,67	Torba	17,5	109,0	66,8	42,2
6,2	1,5	73,3	4,89	Argilla	18,0	112,6	68,5	44,1
6,4	1,5	73,3	4,89	Argilla	18,0	116,2	70,1	46,1
6,6	1,8	93,3	5,19	Argilla	18,0	119,8	71,7	48,1
6,8	2,3	93,3	4,06	Argilla limosa	18,5	123,5	73,5	50,0
7,0	2,4	153,3	6,39	Argilla	18,0	127,1	75,1	52,0
7,2	2,8	160,0	5,71	Argilla	18,0	130,7	76,7	54,0
7,4	2,9	166,7	5,75	Argilla	18,0	134,3	78,4	55,9
7,6	2,5	200,0	8,00	Argilla	18,0	137,9	80,0	57,9
7,8	2,8	173,3	6,19	Argilla	18,0	141,5	81,7	59,8
8,0	2,6	153,3	5,90	Argilla	18,0	145,1	83,3	61,8
8,2	2,2	173,3	7,88	Torba	17,5	148,6	84,8	63,8
8,4	2,1	140,0	6,67	Argilla	18,0	152,2	86,5	65,7
8,6	2,1	133,3	6,35	Argilla	18,0	155,8	88,1	67,7

8,8	2,2	146,7	6,67	Argilla	18,0	159,4	89,7	69,7
9,0	1,9	100,0	5,26	Argilla	18,0	163,0	91,4	71,6
9,2	1,9	126,7	6,67	Argilla	18,0	166,6	93,0	73,6
9,4	2,0	106,7	5,33	Argilla	18,0	170,2	94,7	75,5
9,6	2,4	160,0	6,67	Argilla	18,0	173,8	96,3	77,5
9,8	3,1	146,7	4,73	Argilla limosa	18,5	177,5	98,0	79,5
10,0	2,3	200,0	8,70	Torba	17,5	181,0	99,6	81,4
10,2	3,0	146,7	4,89	Argilla	18,0	184,6	101,2	83,4
10,4	1,8	180,0	10,00	Torba	17,5	188,1	102,8	85,3
10,6	1,7	120,0	7,06	Torba	17,5	191,6	104,3	87,3
10,8	2,6	153,3	5,90	Argilla	18,0	195,2	105,9	89,3
11,0	3,4	140,0	4,12	Argilla limosa	18,5	198,9	107,7	91,2
11,2	2,2	213,3	9,70	Torba	17,5	202,4	109,2	93,2
11,4	2,1	153,3	7,30	Argilla	18,0	206,0	110,8	95,2
11,6	1,9	153,3	8,07	Torba	17,5	209,5	112,4	97,1
11,8	4,6	246,7	5,36	Argilla limosa	18,5	213,2	114,1	99,1
12,0	7,8	33,3	0,43	Ghiaia	20,5	217,3	116,3	101,0
12,2	8,3	46,7	0,56	Ghiaia	20,5	221,4	118,4	103,0
12,4	2,3	60,0	2,61	Sabbia limosa	19,5	225,3	120,3	105,0
12,6	1,6	93,3	5,83	Argilla	18,0	228,9	122,0	106,9
12,8	1,6	73,3	4,58	Argilla	18,0	232,5	123,6	108,9
13,0	1,5	53,3	3,56	Argilla limosa	18,5	236,2	125,3	110,9
13,2	1,1	73,3	6,67	Torba	17,5	239,7	126,9	112,8
13,4	1,7	106,7	6,27	Argilla	18,0	243,3	128,5	114,8
13,6	1,5	113,3	7,56	Torba	17,5	246,8	130,1	116,7
13,8	0,9	73,3	8,15	Torba	17,5	250,3	131,6	118,7
14,0	1,1	73,3	6,67	Torba	17,5	253,8	133,1	120,7
14,2	1,5	120,0	8,00	Torba	17,5	257,3	134,7	122,6
14,4	1,8	100,0	5,56	Argilla	18,0	260,9	136,3	124,6
14,6	2,3	120,0	5,22	Argilla	18,0	264,5	138,0	126,5
14,8	2,0	133,3	6,67	Argilla	18,0	268,1	139,6	128,5
15,0	1,6	126,7	7,92	Torba	17,5	271,6	141,1	130,5
15,2	1,7	113,3	6,67	Torba	17,5	275,1	142,7	132,4
15,4	1,2	100,0	8,33	Torba	17,5	278,6	144,2	134,4
15,6	1,7	106,7	6,27	Argilla	18,0	282,2	145,8	136,4
15,8	1,8	113,3	6,30	Argilla	18,0	285,8	147,5	138,3
16,0	1,7	113,3	6,67	Torba	17,5	289,3	149,0	140,3
16,2	1,7	113,3	6,67	Torba	17,5	292,8	150,6	142,2
16,4	1,8	113,3	6,30	Argilla	18,0	296,4	152,2	144,2
16,6	1,7	106,7	6,27	Argilla	18,0	300,0	153,8	146,2
16,8	1,4	93,3	6,67	Torba	17,5	303,5	155,4	148,1
17,0	1,5	73,3	4,89	Argilla	18,0	307,1	157,0	150,1
17,2	1,6	120,0	7,50	Torba	17,5	310,6	158,5	152,1
17,4	2,0	73,3	3,67	Argilla limosa	18,5	314,3	160,3	154,0
17,6	1,2	100,0	8,33	Torba	17,5	317,8	161,8	156,0
17,8	1,6	106,7	6,67	Torba	17,5	321,3	163,4	157,9
18,0	1,4	100,0	7,14	Torba	17,5	324,8	164,9	159,9
18,2	1,5	100,0	6,67	Torba	17,5	328,3	166,4	161,9
18,4	1,9	140,0	7,37	Torba	17,5	331,8	168,0	163,8
18,6	2,3	140,0	6,09	Argilla	18,0	335,4	169,6	165,8
18,8	2,4	126,7	5,28	Argilla	18,0	339,0	171,2	167,8
19,0	2,2	146,7	6,67	Argilla	18,0	342,6	172,9	169,7
19,2	2,0	133,3	6,67	Argilla	18,0	346,2	174,5	171,7
19,4	1,8	120,0	6,67	Argilla	18,0	349,8	176,2	173,6
19,6	2,0	106,7	5,33	Argilla	18,0	353,4	177,8	175,6
19,8	1,9	60,0	3,16	Argilla limosa	18,5	357,1	179,5	177,6
20,0	25,0	326,7	1,31	Sabbia	20,0	361,1	181,6	179,5

z = profondità (m)

Qc = resistenza alla punta (MPa)

Fs = resistenza d'attrito (kPa)
 Rf = rapporto delle resistenza (%)
 L = litologia (criterio di Schmertmann, 1976)
 g = peso di volume (kN/mc)
 sv = tensione litostatica totale (kPa)
 sv' = tensione litostatica effettiva (kPa)
 Uo = pressione nei pori (kPa)

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

z	L	CF	Id	f	Su	OCR	M	Cc	Go	Vs
0,4	Argilla	15			55,7	30	11,4	0,124	171,0	228
0,6	Argilla	17			55,6	30	11,4	0,124	171,0	228
0,8	Torba	28			51,4	27	10,6	0,182	159,0	224
1,0	Torba	28			55,3	23,4	11,4	0,168	171,0	228
1,2	Torba	39			43,1	15,2	8,8	0,228	132,0	216
1,4	Torba	38			35	10,6	7,2	0,175	108,0	206
1,6	Argilla limosa	27			38,9	10,3	8	0,111	120,0	211
1,8	Torba	36			34,7	8,4	7,1	0,145	107,0	206
2,0	Argilla	35			30,6	7	6,3	0,122	95,0	200
2,2	Argilla	38			30,4	6,7	6,3	0,133	95,0	200
2,4	Sabbia limosa	26	23	32,7		1	6		108,0	216
2,6	Sabbia limosa	25	24	33,3		1	6,9		117,0	224
2,8	Argilla	39			34	6,4	7	0,135	105,0	206
3,0	Torba	45			25,8	4,7	5,4	0,143	81,0	194
3,2	Argilla limosa	31			41,7	7,3	8,7	0,107	131,0	216
3,4	Argilla limosa	31			41,5	7	8,7	0,107	131,0	216
3,6	Torba	50			25,4	4,1	5,3	0,155	80,0	194
3,8	Torba	44			37,29	5,9	7,8	0,155	117,0	211
4,0	Sabbia	7	51	40,0		4,7	30,3		228,0	350
4,2	Sabbia limosa	14	50	39,6		4,4	29,1		231,0	345
4,4	Argilla	64			36,79	5,2	7,8	0,333	117,0	211
4,6	Torba	46			36,7	5	7,7	0,155	116,0	211
4,8	Argilla limosa	30			72,5	9,7	15,2	0,118	228,0	245
5,0	Argilla	34			68,4	8,8	14,3	0,135	215,0	242
5,2	Argilla limosa	30			80,2	10,1	16,8	0,121	252,0	250
5,4	Argilla	33			72,09	8,8	15,1	0,127	227,0	245
5,6	Argilla	38			59,9	7,1	12,6	0,139	189,0	235
5,8	Argilla	41			47,8	5,5	10,1	0,135	152,0	224
6,0	Torba	47			43,6	4,9	9,3	0,155	140,0	220
6,2	Argilla	39			55,5	6,1	11,8	0,132	177,0	232
6,4	Argilla	39			55,4	6	11,7	0,132	176,0	232
6,6	Argilla	37			67,2	7,1	14,2	0,135	213,0	242
6,8	Argilla limosa	31			87,1	9	18,3	0,120	275,0	256
7,0	Argilla	37			90,9	9,2	19,1	0,151	287,0	258
7,2	Argilla	33			106,8	10,6	22,4	0,143	336,0	267
7,4	Argilla	33			110,6	10,7	23,2	0,143	348,0	270
7,6	Argilla	40			94,5	9	19,9	0,173	299,0	261
7,8	Argilla	35			106,3	9,9	22,4	0,149	336,0	267
8,0	Argilla	36			98,2	8,9	20,7	0,145	311,0	263
8,2	Torba	43			82,1	7,3	17,4	0,171	261,0	253
8,4	Argilla	41			77,9	6,8	16,6	0,155	249,0	250
8,6	Argilla	41			77,8	6,7	16,5	0,151	248,0	250
8,8	Argilla	41			81,59	6,9	17,4	0,155	261,0	253
9,0	Argilla	41			69,5	5,7	14,9	0,137	224,0	245
9,2	Argilla	44			69,3	5,6	14,9	0,155	224,0	245
9,4	Argilla	41			73,2	5,8	15,7	0,137	236,0	247
9,6	Argilla	41			89	7	19	0,155	285,0	258
9,8	Argilla limosa	33			116,9	9	24,7	0,129	371,0	274
10,0	Torba	46			84,8	6,4	18,1	0,182	272,0	256

10,2	Argilla	34			112,6	8,4	23,9	0,132	359,0	272
10,4	Torba	54			64,5	4,7	14	0,200	210,0	242
10,6	Torba	50			60,3	4,4	13,1	0,160	197,0	238
10,8	Argilla	40			96,2	6,9	20,5	0,145	308,0	263
11,0	Argilla limosa	31			128	9	27,1	0,121	407,0	280
11,2	Torba	51			79,9	5,5	17,2	0,195	258,0	253
11,4	Argilla	47			75,8	5,2	16,4	0,164	246,0	250
11,6	Torba	51			67,59	4,5	14,7	0,174	221,0	245
11,8	Argilla limosa	31			175,5	11,7	37	0,138	555,0	300
12,0	Ghiaia	7	40	36,1		1,6	31,7		390,0	338
12,2	Ghiaia	8	41	36,3		1,6	33,2		401,0	343
12,4	Sabbia limosa	34	26	30,2		1	11,9		294,0	256
12,6	Argilla	52			54,8	3,4	12,1	0,144	182,0	235
12,8	Argilla	49			54,7	3,3	12,1	0,127	182,0	235
13,0	Argilla limosa	47			70,2	3	11,3	0,114	170,0	232
13,2	Torba	65			47,8	2	8	0,155	120,0	216
13,4	Argilla	53			58,3	3,4	12,9	0,150	194,0	238
13,6	Torba	59			69,59	2,9	11,3	0,167	170,0	232
13,8	Torba	77			36,1	1,5	6,3	0,175	95,0	206
14,0	Torba	66			47	1,9	7,9	0,155	119,0	216
14,2	Torba	61			69	2,8	11,2	0,173	168,0	232
14,4	Argilla	51			61,6	3,4	13,7	0,140	206,0	242
14,6	Argilla	45			81,4	4,5	17,8	0,136	267,0	256
14,8	Argilla	52			69,3	3,7	15,3	0,155	230,0	247
15,0	Torba	60			73,8	2,8	12	0,172	180,0	235
15,2	Torba	56			79,2	3	12,8	0,155	192,0	238
15,4	Torba	70			51,2	1,9	8,7	0,177	131,0	220
15,6	Argilla	56			78,8	2,9	12,8	0,150	192,0	238
15,8	Argilla	55			60,6	3,1	13,6	0,150	204,0	242
16,0	Torba	57			78,4	2,8	12,7	0,155	191,0	238
16,2	Torba	58			78,2	2,8	12,7	0,155	191,0	238
16,4	Argilla	56			83,5	3	13,5	0,150	203,0	242
16,6	Argilla	57			77,8	2,7	12,7	0,150	191,0	238
16,8	Torba	64			60,9	2,1	10,2	0,155	153,0	228
17,0	Argilla	57			66,3	2,3	11	0,132	165,0	232
17,2	Torba	63			71,59	2,4	11,8	0,166	177,0	235
17,4	Argilla limosa	47			67,4	3,2	15,1	0,115	227,0	247
17,6	Torba	74			49	1,6	8,5	0,177	128,0	220
17,8	Torba	62			71	2,3	11,8	0,155	177,0	235
18,0	Torba	67			59,7	1,9	10,1	0,162	152,0	228
18,2	Torba	64			65,09	2,1	11	0,155	165,0	232
18,4	Torba	59			87,1	2,8	14,2	0,165	213,0	245
18,6	Argilla	52			78,59	3,5	17,5	0,147	263,0	256
18,8	Argilla	49			82,4	3,6	18,3	0,137	275,0	258
19,0	Argilla	55			74,3	3,2	16,7	0,155	251,0	253
19,2	Argilla	57			91,9	2,8	15	0,155	225,0	247
19,4	Argilla	60			80,59	2,5	13,3	0,155	200,0	242
19,6	Argilla	54			91,5	2,8	15	0,137	225,0	247
19,8	Argilla limosa	49			85,7	2,6	14,1	0,109	212,0	245
20,0	Sabbia	8	64	37,9		2,6	67,2		706,0	442

z = profondità (m)

CF = contenuto di fine [passante al 200] (%)

Id = indice di densità (%)

f = angolo d'attrito (°)

Su = resistenza al taglio non drenata (kPa)

OCR = grado di sovraconsolidamento

M = modulo confinato (MPa)

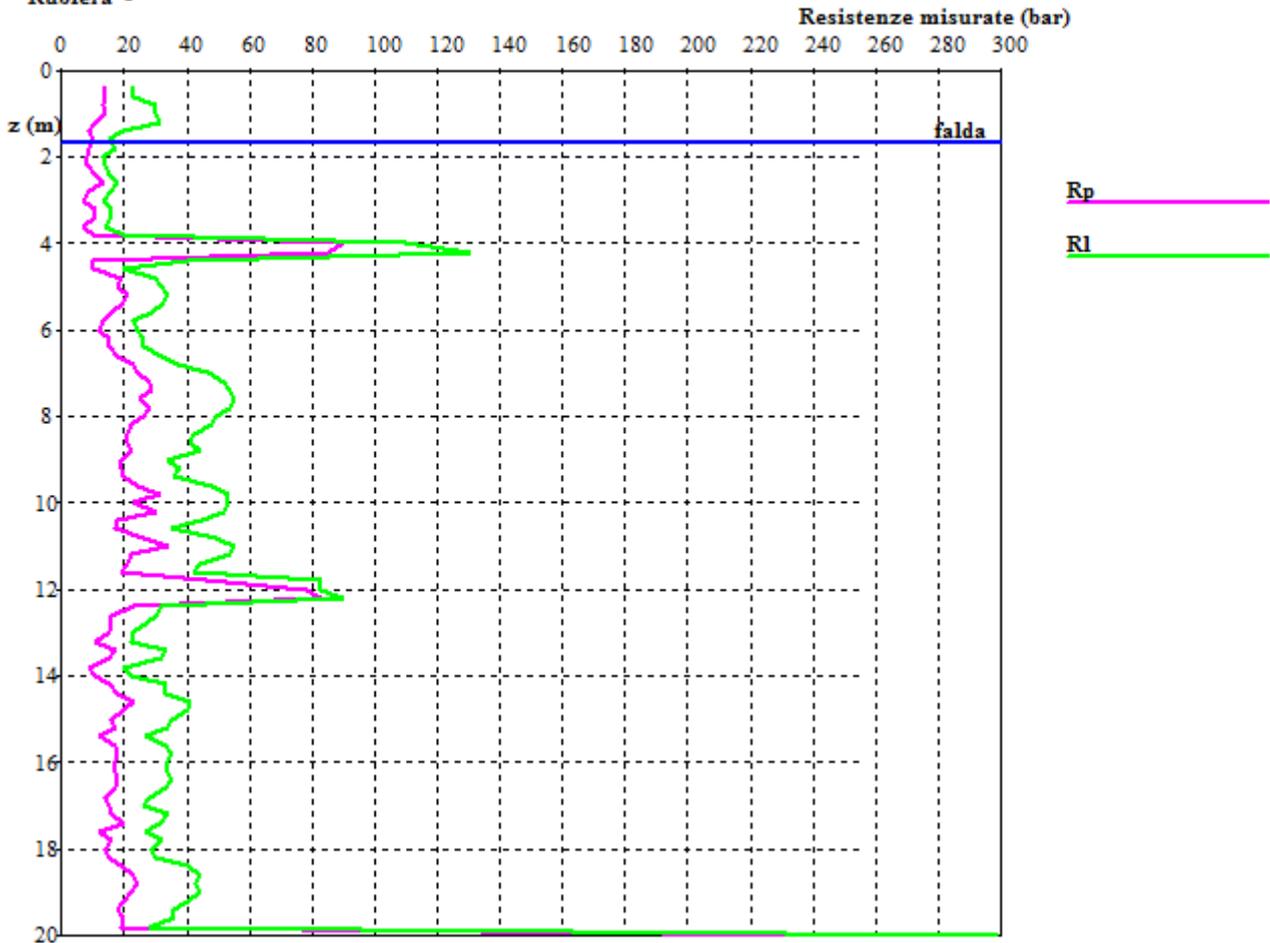
Cc = indice di compressibilità (-)

Go = modulo di taglio (MPa)

Vs = velocità onde di taglio (m/s)

Prova Penetrometrica Statica 3

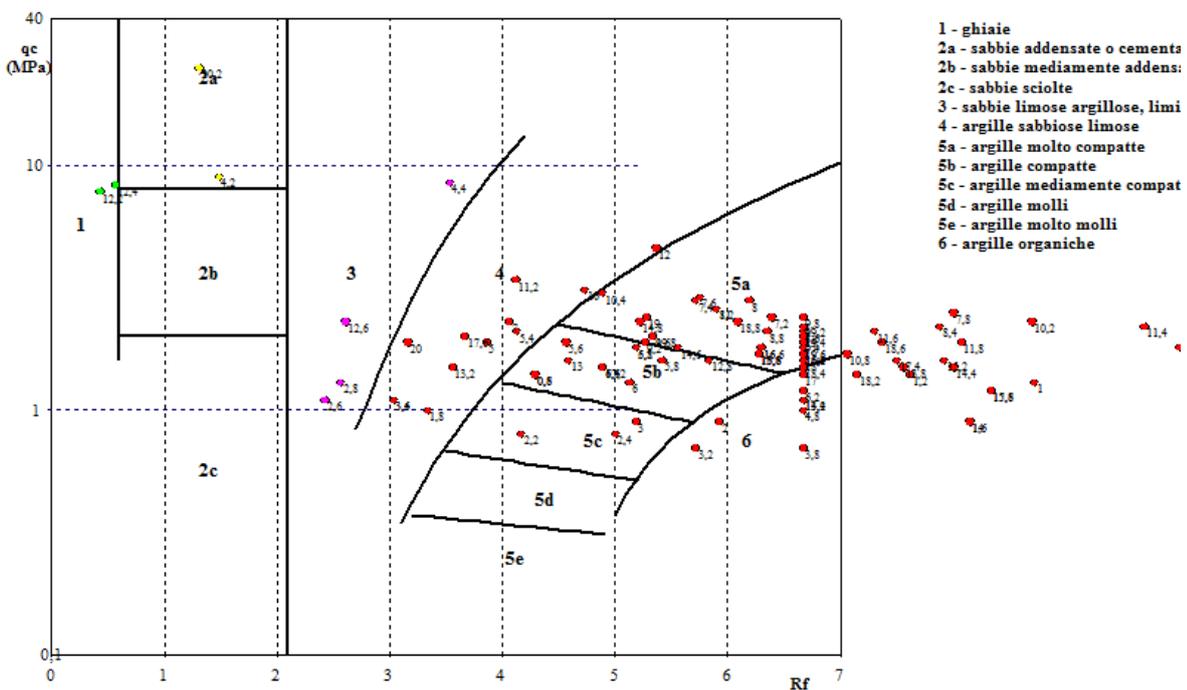
Rubiera -



Prova Penetrometrica Statica 3

Rubiera -

Critero di identificazione di Schmertmann, 1978



Cap. 5 – PRESSIONE AMMISSIBILE

Il calcolo della pressione ammissibile è stato effettuato con la formula generale di Brinch-Hansen (1970).

Considerando una ipotetica fondazione a plinto alla profondità di 1,5 metri dal piano di campagna originario risulta una Q . amm. di $0,5 \text{ kg/cm}^2$.

Ulteriori determinazioni nel terzo metro sotto il piano originario indicano pressioni ammissibili simili.

Cap. 6- MODELLAZIONE SISMO STRATIGRAFICA E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SISMICI DI SITO

Per la modellazione sismica del terreno di fondazione sono state eseguite indagini geofisiche:

- Prova sismica tipo MASW per la valutazione della VS_{30}
- Prospezione sismica HVSR per la determinazione della **frequenza fondamentale** di vibrazione del sottosuolo (Hz).

Il comune di Reggio Emilia ricade in zona sismica 3.

In base alla Tab.2 dell'allegato A4 D.A.L. 112/2007, l'accelerazione massima orizzontale di picco al suolo per $T=0$ (ag) = 0,157.

Le indagini sono state effettuate in adiacenza all'area in oggetto come da ubicazione sondaggi allegata.

6.1 MASW

INDAGINE GEOFISICA

*Misura del parametro Vs_{30}
con il metodo MASW*

Committente: Dott. Geol. Paolo Melli

Intervento: edificazione fabbricati uso industriale

Località: via Caravaggio – comune di Rubiera (RE)

INDICE

Premessa	64
Caratteristiche attrezzatura	345
Metodologia d'indagine	345
Interpretazione dati acquisiti	378
Categorie di suolo di fondazione (Azione sismica di progetto V_{s30})	7140

Premessa

Nel mese di Novembre 2011, su commissione di:

Dott. Geol. Paolo Melli

è stata effettuata una prova sismica tipo MASW (Multichannel Spectral Analysis of Waves) per la classificazione sismica del tipo di suolo in merito allo studio per l'edificazione di edifici ad uso industriale, in via Caravaggio – comune di Rubiera (RE).

Lo scopo dell'indagine è di misurare le velocità sismiche (V_s) del sottosuolo e la valutazione della V_{s30} come prescritto da:

- *Ordinanza del P.C.M. n° 3274 del 20 marzo 2003*
- *D.M. 14 gennaio 2008 "Norme tecniche per le Costruzioni".*

Si ricorda che la normativa richiede l'azione sismica di progetto sulla base della zona sismica di appartenenza del sito e la categoria sismica di suolo su cui sarà realizzata l'opera. All'interno del territorio nazionale sono state individuate 4 zone sismiche, contraddistinte dal valore a_g dell'accelerazione di picco al suolo, normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità (v. Allegato 1 ord. 3274 del 2003 e succ. modifiche). La classificazione del suolo (tabella 1) è invece convenzionalmente eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio entro 30 m di profondità

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

dove V_{s_i} e h_i sono la velocità delle onde di taglio e lo spessore dello stato i -esimo.

Suolo	Descrizione geotecnica	V_{s30} (m/sec)
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3m	>800
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{spt} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_u > 250$ kPa nei terreni a grana fina)	360-800 ($N_{spt} > 50$) ($C_u > 250$ KPa)
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente</i>	180-360

	consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{spt} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_u < 250$ kPa nei terreni a grana fina)	($15 < N_{spt} < 50$) ($70 < C_u < 250$ KPa)
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{spt} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_u < 70$ kPa nei terreni a grana fina)	< 180 ($N_{spt} < 15$) ($C_u < 70$ KPa)
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_{s30} > 800$ m/s)	
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di V_{s30} inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < C_{u30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.	< 100 ($10 < C_u < 20$ KPa)
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti	

Tabella 1: classificazione del tipo di suolo secondo le "Nuove norme tecniche per le costruzioni" D.M. 14/01/2008 Tabelle 3.2.II (categorie di suolo) e 3.2.III (categorie di suolo aggiuntive) mod.

Caratteristiche attrezzatura

La prova MASW in sito è stata eseguita utilizzando un sismografo multicanale ad incrementi di segnale, della P.A.S.I. mod. 16SG24 a 24 canali,

Le specifiche tecniche dello strumento sono:

-processore:	Pentium 200 MMx Intel,
-Trattamento dati:	Floating Point 32-Bit,
-Ambiente operativo:	Windows 3.11,
-Canali:	24
-Display:	VGA colori LCD_TFT 10,4"
-Supporto memorizz.:	Hard Disk 2,1 Gb
-Risoluzione acquisizione:	6/24 bit
-Sonde ambiente interne:	temperatura, umidità relativa
-Formato dati:	Pasi (.osv) e SEG-2 (.dat),
-Durata acquisizioni:	Rifrazione, 32÷2048 ms Riflessione, 32÷16384 ms,
-Tempi campionamento:	da 16 µs a 2 ms
-Filtri digitali:	Passa alto (25÷400 Hz) Passa Basso (100÷250 Hz) Notch (50÷180 Hz)
-Attivazione filtri:	in acquisizione o manualmente
-Trigger:	inibizione impulsi dovuti a rimbalzi

- Ricevitori – 24 geofoni da 4,5 Hz collegati in serie da due cavi con lunghezza 33 m l'uno.
- Sorgente impulsiva: mazza battente da 10 Kg con piastra metallica 15x15 cm su cui battere, da disporre sul terreno.
- Bindella metrica per posizionare i ricevitori

Metodologia d'indagine

L'indagine sismica di tipo MASW, consente la determinazione diretta della velocità delle onde trasversali (Onde di taglio - onde Sh/Sv) dei terreni del sottosuolo in esame in modo da ottenere una corretta caratterizzazione della categoria sismica, del sottosuolo dell'area in oggetto.

L'indagine sismica adottata, Masw (in sismica attiva) è stata scelta in funzione delle limitazioni che affliggono in genere misure di onde Sh in metodi a rifrazione tradizionali (come ad es. difficoltà di generazione di onde polarizzate Sh o inversioni di velocità identificabili con difficoltà e/o valutabili con costosi lunghi ed impegnativi metodi sismici in foro es. Cross-Hole e Down-Hole).

La tecnica sismica Masw, è stata ampiamente testata (perfezionata già dal 1999) ed è contemplata fra le indagini per la definizione rigorosa del profilo di Vs per caratterizzazione sismica del sito (*NTC-08 e ad es. Lai, Foti e Rota "Input sismico e stabilità geotecnica dei siti di costruzione - IUSS Press Eucentre 2009*) e risulta migliore per la caratterizzazione del primo sottosuolo; le tecniche basate su utilizzo di registrazioni di microtremiti di origine naturale e/o antropica (tecniche passive) possono caratterizzare infatti il sottosuolo più in profondità, da diverse decine, sino alle volte, anche a centinaia di metri (*Lai et alii - IUSS Press Eucentre 2009*) ma con minor risoluzione per la zona prossima alla superficie che invece più ci interessa.

Inoltre diversi autori (*Lachet e Bard 94, Bard 99, De Ferrari et alii - Università studi di Genova 2008*), segnalano che sistemi d'acquisizione in sismica passiva sono poco idonei per terreni alluvionali, in quanto l'utilizzo di tecniche passive, è possibile o consigliabile nel caso di:

- intenso "rumore antropico" (che impedisce o maschera l'acquisizione dei dati in sismica attiva)
- discreto contrasto di impedenza sismica ($>2,5-3$) fra il substrato (sismico) ed il materasso alluvionale sovrastante
- è importante l'interramento del sensore sismico passivo (per migliorare l'accoppiamento sensore-terreno), quindi altri autori (*Konno e Ohmachi 98, Bard 99, Bindi et alii 2000, Parolai et alii 2002*) consigliano di evitare terreni caratterizzati da: erba, fango, terreno saturo, neve, ghiaccio, materiali incoerenti in superficie (ghiaia, ciottoli, quindi piazzali rilevati ecc.), coperture artificiali con piastrelle, superfici sintetiche, ecc.

Valutando le sopracitate motivazioni per caratterizzare il sottosuolo dal punto di vista del profilo Vs/profondità è stata realizzata una prospezione Masw, (rilevazione onde di Rayleigh - tecnica in sismica attiva).

La Base Masw eseguita, per le possibilità operative presenti in corrispondenza del sito di intervento, presenta (Compreso il punto di shot) la con geometria come sotto indicato:

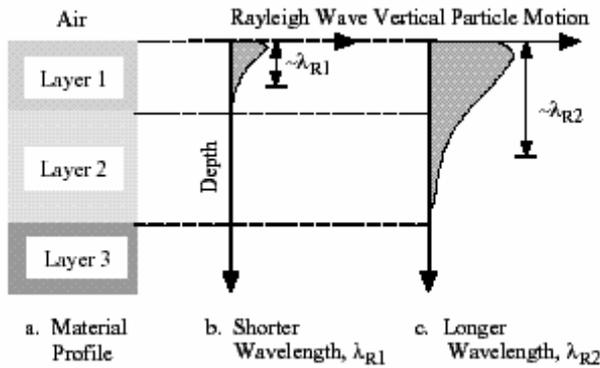
➤ Numero geofoni	24
➤ Spaziatura geofoni	1,5 m
➤ Lunghezza stendimento geofonico	34,5 m
➤ Distanza punto di shot da ultimo geofono	15 m
➤ Lunghezza complessiva	49,5 m

Si ricorda che data la necessità di analizzare con elevato dettaglio le basse frequenze (tipicamente anche al di sotto dei 20 Hz), la tecnica di acquisizione per onde di superficie necessita di geofoni (ad asse verticale) con frequenza di taglio non superiore a 4,5 Hz.

Quindi le basi teoriche della tecnica di Acquisizione delle Masw, (analisi ed elaborazione delle onde di superficie di Rayleigh) sono completamente diverse dalle onde P od S degli stendimenti di sismica a riflessione o rifrazione). Perciò nell'acquisizione con tecnica Masw, non è possibile caratterizzare la tecnica con un classico coefficiente geometrico che esprime la profondità di investigazione in funzione della lunghezza della stesa sismica, (come nella riflessione o nella rifrazione), ove infatti le metodiche di interpretazione si basano sui tempi di arrivo ai geofoni delle onde riflesse o rifratte (quindi si misurano dei tempi). Nella tecnica Masw non si misurano dei tempi, ma viene eseguita una trattazione spettrale dei sismogrammi e mediante trasformata di Fourier si restituisce lo spettro del segnale sismico nel dominio

frequenza (f) n° d'onda (k) detto anche dominio f-k. La lunghezza dello stendimento dipende sia dal numero di ricevitori utilizzabili, sia dallo spazio disponibile.

Normalmente si dispongono i ricevitori ad interasse costante compreso tra 0,5 m e 3,0 m. (con array a parità di numero di ricevitori un interasse di 3,0m consente di avere uno stendimento di ricevitori più lungo e quindi una maggiore risoluzione della curva di dispersione lungo la coordinata numero d'onda k; tuttavia si riduce il numero d'onda di Nyquist oltre cui non si ha certezza sull'affidabilità del segnale misurato. Viceversa un interasse piccolo può essere necessario in piccoli spazi e consente un intervallo più ampio di numeri d'onda, ma comporta una minore risoluzione della curva di dispersione lungo i numeri d'onda.



La profondità investigata dalle onde di Rayleigh dipende più propriamente dalla lunghezza d'onda, dalla velocità delle onde di taglio V_s e dalla frequenza. (Stokoe II and Santamarina, 2000).

La relazione quindi che meglio consente di valutare la profondità di indagine di un'indagine masw, è legata più che alla dimensione dello stendimento, al valore della V_s assegnata ad una determinata profondità z dal piano campagna, calcolata in funzione della lunghezza d'onda, cioè :

$$Z = \frac{\lambda}{(1,5 / 2,0)}$$

Inoltre si evidenzia che:

Con la tecnica Masw (indagine sismica non invasiva di superficie) si ottiene una modellazione del sottosuolo, basandosi sulla propagazione delle onde di Rayleigh, oggi realizzata mediante approcci multi stazioni, che risultano robusti ed efficienti (Foti, 2000; Lai e Wilmanski, 2005) rispetto ai primi approcci del metodo, che si basavano essenzialmente su 2 ricevitori (Prova Sasw - Stoke et al., 1994).

Queste prove (masw-sasw) sfruttano la proprietà della dispersione geometrica, che rende la velocità di propagazione delle onde di Rayleigh (V_R) dipendente dalla frequenza di eccitazione in mezzi verticalmente eterogenei.

L'onda di Rayleigh, costituisce un particolare tipo d'onda sismica ed è facilmente individuabile in quanto ha una velocità differente dai treni d'onda delle onde P ed S risultando più lenta anche di queste ultime, con una velocità di propagazione $V_R \approx 0,9 \div 0,96 V_s$ (da V. Socco Lab. Geofisica Appl. Dip. Ing. Territorio Politecnico di TORINO)

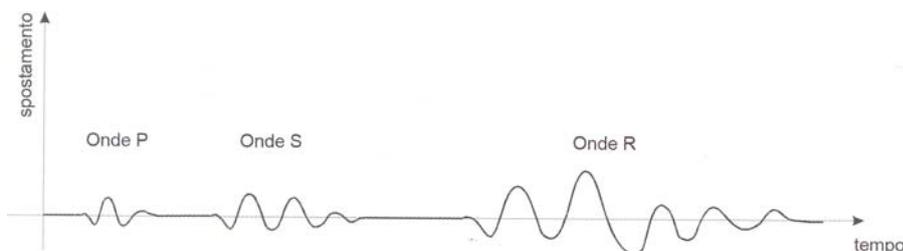


Fig. 1 : sismogramma che evidenzia l'arrivo distinto di onde P, S e di Rayleigh (da Crespellani e Facciorusso "Dinamica dei terreni")

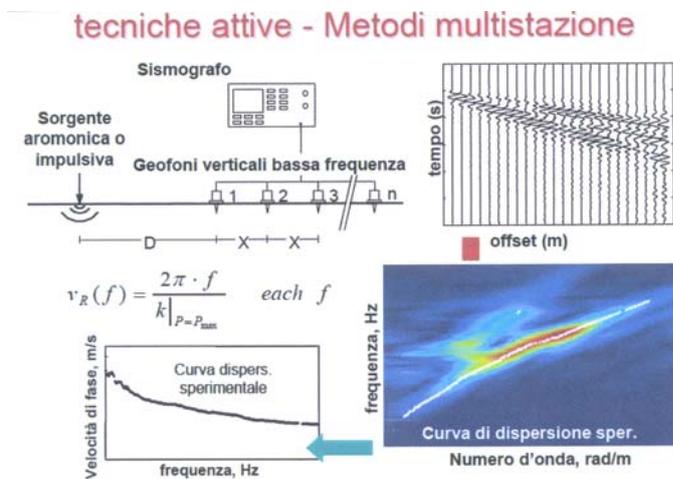
L'onda di Rayleigh si trasmette infatti sulla superficie libera di un mezzo isotropo e omogeneo ed è il risultato dell'interferenza e della combinazione d'onde sismiche di pressione (P-waves) e onde di taglio polarizzate verticalmente (Sv-waves).

La prova consiste nel produrre sulla superficie del terreno, in corrispondenza del sito da investigare, una sollecitazione (piccolo sisma) e nel registrare le vibrazioni prodotte sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate.

Il profilo di V_s viene determinato attraverso la soluzione di un problema matematico di inversione della curva di dispersione (V_R in funzione della frequenza).

In un mezzo reale stratificato avviene una dispersione delle onde prodotte; in altre parole, una deformazione del treno d'onda, dovuto alla variazione della velocità di propagazione, con la frequenza, che varia in relazione alle caratteristiche di "rigidezza" di ogni singolo strato.

Nella figura sotto esposta (da V. Socco Lab. Geofisica Appl. Dip. Ing Territorio Politecnico di TORINO) è ben riassunto il processo di acquisizione ed il passaggio alla curva di dispersione:



Gli elementi a bassa frequenza penetrano quindi più in profondità, con velocità di fase in genere più alta, rispetto alle componenti ad alta frequenza.

Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh, visualizzato dai grafici $V(fase)/f(frequenza)$, tramite elaborazioni e programmi dedicati, è convertito in profili V_s / profondità.

Interpretazione dati acquisiti

L'interpretazione delle tecniche di rilievo sismico MASW traggono spunto come sopra accennato dalle prime tecniche studiate da Nazarian e Stokoe (1984-94) che per primi hanno presentato il metodo SASW che utilizzava una sorgente d'impulso e 2 soli sismometri di rilevazione (1 Hz).

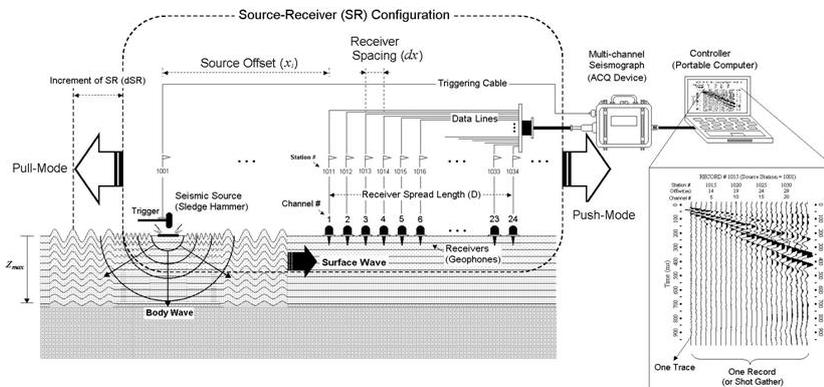
Tale tecnica come d'altronde anche la Masw, è basata sul fatto che osservando il segnale che si propaga nel suolo a seguito di una energizzazione, è notorio che la quasi totalità dell'energia (circa 2/3 o più) si propaga tramite onde superficiali (onde di Rayleigh).

A tale scopo Park et Alii (1999) hanno studiato e sviluppato il metodo MASW, per sopperire alle difficoltà d'applicazione, della tecnica Sasw in diverse situazioni.

La differenza principale è l'utilizzo simultaneo di 24 (o più) geofoni (sismometri polarizzati verticalmente - frequenza max 4,5 Hz) per consentire di ricavare numerosi profili di velocità Vs, ricavati dallo studio delle velocità di fase, dei numerosi treni d'onda di Rayleigh che sono registrati ai sismometri.

I geofoni possono essere spazati da 0,5 sino ad un max di circa 8-10 m e forniscono una ridondanza statistica delle misure delle velocità di fase, avvalorandone quindi la veridicità (rispetto al metodo Sasw che si basava solo su di un'unica misura).

Le tracce dei sismogrammi, possono essere salvate nel dominio temporale, permettendo quindi di distinguere ed evidenziare (nel record di registrazione) le onde di Rayleigh, caratterizzate da elevata ampiezza di segnale (la quasi totalità dell'energia prodotta si ripartisce nelle onde di Rayleigh).



Dal sismogramma tramite una trasformata nel dominio, frequenza (f) – numero d'onda (k), le tracce cui corrispondono i massimi spettrali (senza trascurare i modi superiori se presenti) si può così risalire alla curva di dispersione (cioè un grafico ampiezza/frequenza) mediante la relazione:

$$V_R(f) = f/k.$$

che consente di individuare il segnale proprio, relativo alle onde superficiali che interessano tale metodologia.

Il processo iniziale di individuazione della curva di dispersione caratteristica del sito in esame, è ottenuto tramite il software (*SWAN*[®] vers. 2008) seguito poi da una fase di elaborazione-interpretazione, eseguendo una "analisi spettrale" si procede sostanzialmente nella risoluzione del cosiddetto problema inverso: a partire dalla curva di dispersione misurata in situ, si arriva al modello di stratificazione del terreno con i relativi parametri sismici, secondo il seguente schema:

- Concatenazione dei file contenenti i record di registrazione in situ.

- fase di pre-processing per “ottimizzare” i record stessi in modo da migliorare la qualità dell’interpretazione cioè eventuale filtraggio o “pulizia” dei dati grezzi.
- Passaggio dal sismogramma al dominio spettrale mediante trasformata FK.
- Picking dei punti dello spettro per ottenere la curva di dispersione sperimentale; la procedura consiste nel trovare per ogni frequenza dei massimi assoluti/relativi dello spettro FK, finalizzata alla individuazione del modo fondamentale di propagazione dell’onda (ovvero quello a velocità minore), senza trascurare (analisi multimodale) di ricercare anche eventuali modi superiori.
- Estrazione curva di dispersione sperimentale mediante la procedura sopra indicata dallo spettro FK.
- Inversione: tale procedura è avviata allo scopo di ottimizzare un modello stratigrafico che sia relativo e sovrapponibile alla curva di dispersione sperimentale propria del sito; in tale procedura il programma SWAN® utilizza una tecnica di inversione lineare tipo OCCAM che presenta il vantaggio di minimizzare l’errore quadratico medio tra dati sperimentali e dati teorici. In linea generale come in gran parte dei processi di inversione (definiti “try and error”) l’inversione viene fermata quando un determinato parametro, definito ϵ (cioè la differenza fra dato osservato e dato calcolato) è in genere $< 2-3\%$. L’inversione OCCAM, utilizzando differenze quadratiche medie, da risultati ancora migliori, di un’inversione lineare classica, dato che quando si raggiunge lo stop dell’inversione (ϵ_{MIN}) cioè un valore percentualmente molto piccolo, la sovrapposizione delle curve è davvero buona.
- Fase di ottimizzazione e di taratura della curva teorica, realizzata contestualmente alla procedura d’inversione, con inserimento (eventuale) di strati sino ad un max di 30, assegnazione di moduli di Poisson e taratura dello spessore degli strati mediante confronto con prove dirette (prove penetrometriche, stratigrafie di sondaggio, colonne di perforazioni di pozzi ecc.) ed eseguendo ulteriori processi di inversione allo scopo di raffinare il risultato ottenuto, cioè una curva di dispersione teorica finale molto ben sovrapposta a quella sperimentale.

L’obiettivo finale cioè l’ottenimento di un profilo verticale delle Vs, minimizzando le imprecisioni (risultati random), ottenendo quindi un modello finale ad elevata attendibilità e fortemente rappresentativo, mediante le tarature, del reale profilo Vs/profondità del sito in analisi, come d’altronde suggerito anche da ricercatori in ambito geofisico (es. Dal Moro et alii Gruppo Esplor. Geofisica - Dip. Geol e Scienze Marine Univ. Trieste *“cosa migliore è confrontare lo spettro di velocità osservato, con le curve teoriche di dispersione di un modello che riteniamo plausibile per l’area sotto esame.”*).

I dati della prospezione Masw ed in particolare il grafico “velocità sismica Vs – profondità”, è contenuto nella allegata scheda:

Prospezione Sismica di Superficie – Metodologia MASW MW_via Caravaggio

Nella scheda sono riportati:

- Committente, cantiere, località, nome del file, strumentazione utilizzata e caratteristiche dell’indagine, data, direttore lavori e i risultati dell’elaborazione
- Sismogramma misurato in campagna rappresentato nel dominio spazio/tempo
- Spettro FK - Frequenza (Hz) / Numero d’onda (rad/m)
- Sovrapposizione tra la curva di dispersione e curva teorica - Frequenza (Hz) / Velocità di Fase (m/s)
- Grafico del modello della velocità – Velocità (m/s) / Profondità (m)

Considerazioni sulle tecniche di inversione:

- Le tecniche d’inversione possono fornire soluzioni non univoche, ma proprio ovviare a questa possibilità, si eseguono TARATURE, con dati reali del sito (prove cpt, stratigrafie ecc) utilizzando

2° strato:	velocità media onde Vs 131 m/sec	spessore
	medio 4,13 m	
3° strato:	velocità media onde Vs 179 m/sec	spessore
	medio 2,92 m	
4° strato:	velocità media onde Vs 239 m/sec	spessore
	medio 5,02 m	
5° strato:	velocità media onde Vs 305 m/sec	spessore
	medio 3,51 m	
6° strato:	velocità media onde Vs 345 m/sec	spessore medio
	>13,97 m	

In base a quanto sopra, la classificazione delle categorie dei suoli di fondazione, come da All. 2 (cfr. Ord. Pres. Consiglio dei Ministri 3274 del 20-3-2003 e art. 3.2.2 DM 14-1-08), ai vari strati sismo stratigrafici individuati, è stato associato il valore della velocità Vs direttamente misurate, consentendo di ottenere la Vs30, cioè la velocità media di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m di sottosuolo, dall'espressione:

$$V_{S_{30}} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{S_i}}}$$

dove

h_i = spessore dello strato i-esimo

V_{Si} = velocità onde S nello stato i-esimo

N = numero strati considerati

Ottenendo in base ai dati sopra esposti, ed in base a quanto previsto da art. 3.2.2 NTC08, "Per le fondazioni superficiali tale profondità è riferita al piano di imposta delle stesse,..", quindi considerando il piano di posa fondale previsto a -1,5 m da pc:

Prospezione MASW

V_{s30}= 244 m/sec (da p.c. a -30 m)

V_{s30}= 256 m/sec (da -1,5 a - 31,5 m)

Da cui si evince che entrambi i valori ottenuti, corrispondono alla categoria del suolo di fondazione di tipo C (Depositii di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs₃₀ compresi tra 180 m/s e 360 m/s)

Strato	Profondità da	Spessore a	Vel m/sec
Strato1	0,00	0,45	200
Strato2	0,45	4,06	131
Strato3	4,58	7,50	179
Strato4	7,00	12,02	239
Strato5	12,52	16,03	305
Strato6	16,03	30,00	345

$$V_{30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_i}}$$

$$V_{30} = 244 \text{ m/sec}$$
 velocità calcolata dal p.c. naturale

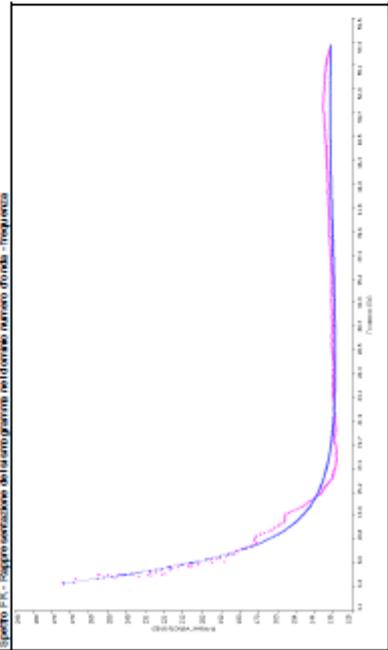
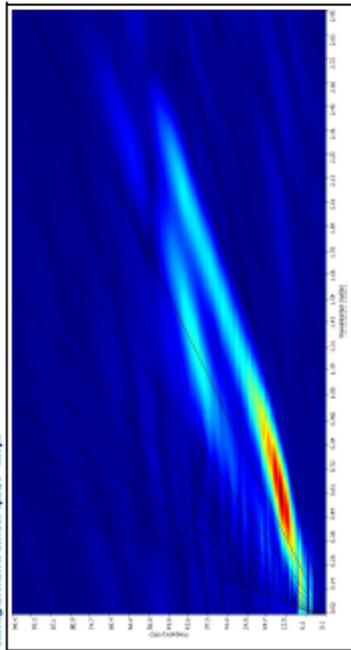
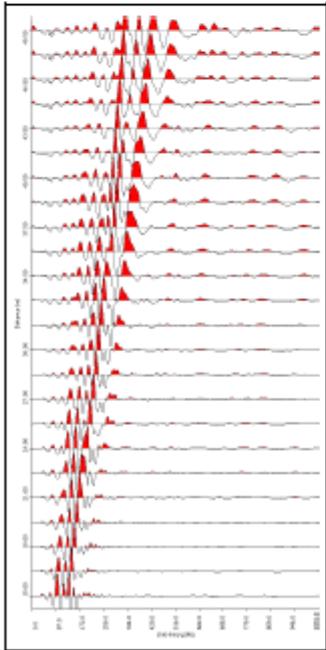
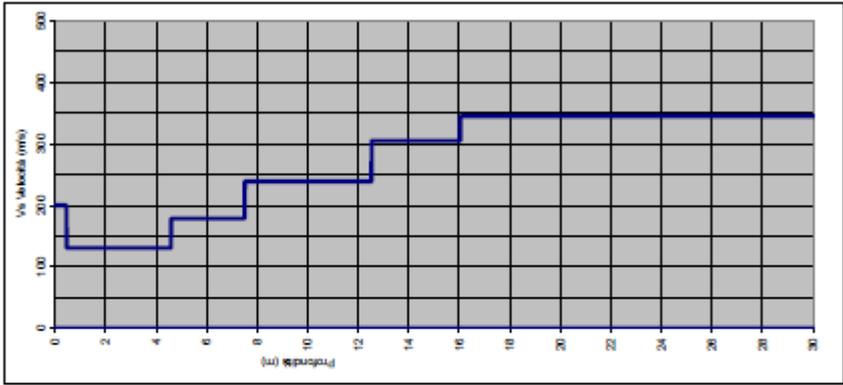
Si accreditò in base all'art.3.2.2 del DM 14 gennaio 2008
 al. 30. di accreditamento a carico di TECNICA SISMICA
 Accreditamento alla scala del sito di base di
 Accreditamento di classe di rischio di livello naturale

Caratteristiche indagini
 Straniero PASI S02.4
 Geofoni Geospace
 N° geofoni a 4 Hz 24
 Spazio geofoni 1,5 m
 Lunghezza strumento geofonico 34,5 m
 Energie sismiche 15 m
 Lunghezza cavo sismometro 40,5 m

PROSPERIONE SISMICA DI SUPERFICIE METODOLOGIA MASW	
COMMITTENTE	Dott. Geol. Melli Paolo
LOCALITÀ:	Rubiera (RE)
CANTIERE:	Via Caravaggio
DATA: Novembre 2011	TECNOGEOFISICA snc
FILE: MW_04 Caravaggio	Via Milla, 2 - 41012 Corpi (MO)
Dr. La Vori	Tel. 059/5481 CELL. 347146774
Dr. Giac. Paolo Melli	m.tecno@tecnogeoitalia.com

Vaso calcolata in base al art. 3.2.2. del NTC08
 Prof. posa fondazione in m da pc= 1,5

$$V_s \ 1,5 \cdot 31,5 = 256 \text{ m/sec}$$
 PROFONDIITA' FONDAZIONE COMUNICATA DAL
 PROGETTISTA COMMITTENTE



6.2 HVSR

INDAGINE GEOFISICA PROSPEZIONE SISMICA HVSR

Committente: Dott. Geol. Paolo Melli

Località: via Caravaggio – Comune di Rubiera (RE)

Lavoro: Edificazione fabbricati a uso industriale/artigianale

Premessa

Nel mese di novembre 2011, su commissione del *Dott. Geol. Paolo Melli*

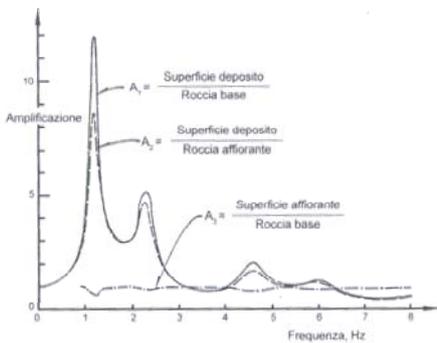
è stata effettuata una misura di rumore sismico mediante tromografo digitale denominato commercialmente TROMINO® ed analisi dei dati misurati con software Grilla® in via Caravaggio, comune di Rubiera (RE).

Metodologia di indagine per il calcolo del moto sismico in superficie

Nel caso semplificato di un terreno omogeneo, di spessore H , che poggia su di un substrato roccioso soggetto ad onde di taglio con direzione di propagazione verticale, è possibile assumere che il terreno del deposito che ricopre il bedrock abbia un comportamento elastico lineare con densità (ρ), velocità delle onde di taglio (V_s) e fattore di smorzamento D indipendenti dal livello di deformazione. Mentre i rispettivi parametri, riferiti al basamento (bedrock o bedrock like), siano ρ_B e V_B e per semplicità si assume $D_B=0$.

In tal caso durante un'eccitazione sismica si generano onde di taglio sinusoidali, con frequenza " f " differente a seconda che quest'ultima venga misurata al basamento od alla superficie del deposito e con accelerazione la cui ampiezza max è anch'essa differente se misurata al bedrock a_{MAXR} .oppure in superficie a_{MAXS} .

Il rapporto fra a_{MAXS} / a_{MAXR} prende il nome di fattore di amplificazione A e dipende dalla frequenza (f) dell'eccitazione armonica, dal fattore di smorzamento del terreno e dal rapporto tra impedenza sismica del basamento ($\rho_B V_B$) e del deposito di copertura ($\rho_S V_S$)
La variazione del fattore di amplificazione con la frequenza definisce la funzione di amplificazione $A(f)$ del deposito.



Come indicato in figura (che rappresenta il caso di un deposito ad 8 strati con spessore totale di circa 40 m) il moto sismico può essere amplificato, in corrispondenza di determinate frequenze, che corrispondono alle frequenze naturali f_N (o dei periodi naturali T_N) di vibrazione del deposito in oggetto, che nel caso esemplificato di uno strato omogeneo di spessore H poggiate sul substrato la f , può essere assunta:

$$f = \frac{1}{T_1} = \frac{V_s}{4H}$$

Ove

f_1 = prima frequenza naturale di vibrazione del deposito denominata “*frequenza fondamentale*”

T_1 = primo periodo naturale di vibrazione del deposito o “*periodo fondamentale*”

Importante è comunque sottolineare che quando si considerano eccitazioni intense (come in caso di sisma) e si voglia tenere conto in maniera realistica del comportamento non lineare del terreno, i valori max della funzione di amplificazione e le frequenze di risonanza, possono risultare frequentemente anche notevolmente inferiori a quelle determinate in base alle supposizioni semplicistiche che tengono conto di ipotesi di comportamento lineare, poiché l’energia di eccitazione del suolo viene in parte spesa in attrito interno e in deformazioni permanenti.

TECNICHE D’ACQUISIZIONE IN SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA

In occasione della scossa principale del terremoto abruzzese sia a L’Aquila città sia in numerosi centri minori della valle del F. Aterno nel 2009, ma anche in occasione delle scosse sismiche del Molise (S. Giuliano di Puglia 2002) ed ancora in precedenza nel terremoto di Città del Messico (1985), si sono osservate sensibili disomogeneità nel danneggiamento di edifici posti anche a breve distanza.

Tale aspetto, di non secondaria importanza, da allora ed ancora attualmente molto studiato, è imputabile al verificarsi in alcune zone colpite dal sisma (caratterizzate ad es. da una stessa classe di categoria di suolo – A, B, C, D, E secondo NTC08) di fenomeni di amplificazione sismica locale dovuti a particolari condizioni geologiche e/o topografiche presenti nel sottosuolo del sito d’interesse e/o al verificarsi dei cosiddetti fenomeni di “doppia risonanza”, cioè quella situazione particolare e molto pericolosa in cui la FREQUENZA FONDAMENTALE (f_1) propria di ogni sottosuolo si avvicina o corrisponde al 1° modo di vibrare di ogni singolo edificio.

La Frequenza Fondamentale del suolo è definibile in base alle caratteristiche proprie (spessore degli strati e valore di V_s di ogni singolo strato sino al raggiungimento del bedrock sismico) e si misura mediante indagini sismiche con tecnica passiva (cioè senza energizzare il suolo) sfruttando il “rumore sismico” ambientale sempre presente in natura (onde oceaniche, onde di battaglia, vento - variazioni atmosferiche ed attività antropiche)

che alle volte può disturbare le normali acquisizioni in sismica attiva (cioè quelle ove si energizza artificialmente il suolo nel punto di misura).

La misura diretta di f_1 può consentire quindi, di rilevare eventuali picchi di frequenza propri del sottosuolo in esame, cioè individuare le frequenze cui può vibrare il suolo in caso di sisma, quindi sapere a priori (prima dell'evento) se la struttura in progetto (caratterizzata a sua volta da una frequenza propria data dalla geometria e morfologia strutturale) è caratterizzata da frequenze che sono vicine o uguali a quelle fondamentali del suolo.

Per contro se l'edificio è preesistente, se ne può verificare la frequenza, mediante misure strutturali di frequenza dirette, che comparate a quelle del suolo, possono indicare se sono eventualmente possibili fenomeni di “doppia risonanza”, che in caso di sisma, possono determinare danni strutturali anche rilevanti.

Fisicamente si misura l'amplificazione delle onde sismiche dovuta alla risonanza delle coltri sedimentarie.

Sono comunque sempre necessari studi integrativi ed aggiuntivi per consentire di valutare gli eventuali effetti topografici e/o di amplificazione di tipo bidimensionale.

Il metodo in sintesi si basa sull'analisi delle curve H/V che all'approssimarsi del PERIODO FONDAMENTALE (di un deposito) per le onde S, la componente verticale (V) del moto si annulla, così il rapporto fra componente orizzontale e verticale del moto (H/V ratio) diventa molto grande (teoricamente tende a ∞).

In tal modo individuando il maggior rapporto H/V, dai grafici di acquisizione in sismica passiva, si desume il PERIODO FONDAMENTALE del sottosuolo da misure di Rumore sismico.

ACQUISIZIONE E ANALISI DEI DATI

Per l'acquisizione dei dati di rumore sismico o microtremore sismico, è stato utilizzato uno degli strumenti più diffusi e certificati per l'acquisizione di dati in sismica passiva a stazione singola, denominato “TROMINO”® coperto da brevetto internazionale.

Tale strumentazione appositamente progettata e costruita da *Micromed s.p.a.*, rappresenta la nuova generazione di strumenti digitali per la misura al alta risoluzione del rumore sismico ambientale ed anche per la misura delle vibrazioni su strutture (norma Din4150 e UNI 9916).

Tecnicamente è un sismografo appositamente studiato per il rilievo del microtremore sismico, nell'intervallo di frequenze fra 0,1 e 512 Hz, mediante l'impiego di masse strumentali molto ridotte, con una struttura rigida non risonante e costruita con materiali non diffrangenti.

I sensori sono costituiti da una terna di velocimetri smorzati che trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore e dinamica ≥ 23 bit. Queste caratteristiche strumentali consentono una elevata accuratezza nella misura dei dati, maggiore di 10^{-4} , sulle componenti spettrali maggiori/uguali a 0,1 Hz.

Praticamente si tratta di installare solidalmente al suolo il Tromino® e di misurare il tremore sismico, con durata di registrazione adeguata alla frequenza minima di interesse per il sito in analisi.

Per l'area in esame si ipotizza di misurare la frequenza della coltre sedimentaria, di copertura del bedrock sismico (quindi con spessore max ipotizzabile non superiore a 300 m), da ciò ne deriva una stima (in prima approssimazione) della frequenza dell'ordine di circa 0.5 Hz, che equivale ad un periodo $T = 2$ sec.

Pertanto per poter "osservare" e registrare con Tromino® queste frequenze, si tratta di mantenere in acquisizione lo strumento per una durata minima teorica di almeno 2 sec. Poiché poi il metodo si basa su tecniche di risoluzione spettrale elevata, il segnale viene acquisito su finestre temporali di almeno 10 volte più lunghe.

E' opportuna, ed indispensabile, anche una ridondanza statistica (30-40 ripetizioni), che consente di mediare opportunamente le registrazioni, per evitare di interpretare rumori "locali" random.

In sintesi, per ottenere un'acquisizione di rumore sismico (microtremore) a scopi stratigrafici anche profondi, si devono quindi analizzare dati con durata di acquisizione > 15-20 min.

Il risultato della acquisizione eseguita nel sito in esame è quindi analizzato mediante il codice di calcolo 'Grilla' (appositamente sviluppato da Micromed), che consente di archiviare, analizzare e permettere la revisione del segnale misurato in sito.

Tale software consente di realizzare approfondite analisi spettrali di base e procedure per analisi HVSR secondo procedure codificate dal progetto di ricerca SESAME (2004).

I passi principali sono:

- uso di strumentazione certificata e/o verificata da opportune commissioni (tecnico - scientifiche).
- analisi dettagliata dello spettro di Fourier delle componenti verticali del segnale per individuare ed eliminare componenti "monocromatiche" (possibile rumore antropico)
- eliminare (in genere la sequenza completa è di suddividere l'acquisizione in sottofinestre di 20 sec) le sottofinestre con contenuti TRANSIENTI, cioè le porzioni di segnale contenenti transienti legati a sorgenti vicine al sensore (cioè passi o passaggi di autoveicoli).

calcolo H/V per ogni sottofinestra selezionata mediante:

- eliminazione segnale di eventuali offset
- calcolo spettri di Fourier
- Smoothing degli spettri Fourier per minimizzare effetti d'instabilità numerica del computo dei rapporti, ottimizzando caso x caso la % di smoothing, per evitare di alterare le caratteristiche dello spettro intrinseco e quindi della curva H/V che ne deriva.
- Calcolo delle curve H/V in componente N-S - E-O – verticale

- Stima del valore medio dei rapporti spettrali per ciascuna sottofinestra e definizione deviazione standard
- Identificazione curve H/V dei picchi statisticamente più significativi e stima indice di affidabilità da opportuni test statistici che permettono di definire l'affidabilità della curva H/V ed identificare il picco più significativo su criteri quantitativi.
- Se l'acquisizione viene eseguita in diverse condizioni d'acquisizione: es. esecuzione in diverse ore del giorno, diverso processing dei dati, diverse condizioni atmosferiche ecc., i risultati della curva H/V devono risultare paragonabili.

Il risultato dell'elaborazione è il grafico dei Rapporti spettrali, la serie temporale H/V e le curve dello spettro di velocità delle tre componenti del moto.

Nel caso in esame si tratta di una registrazione che rispetta i criteri di validazione SESAME come evidenziato nella tabella a pag. 5.

La registrazione mostra un, seppur debole, picco di frequenza (f) a circa $0,8 \pm 0,05$ Hz. che corrisponde ad un periodo di oscillazione caratteristico del sito desumibile dallo spettro HVSR pari a $T = 1,13$. Questo picco può essere messo in relazione a una transizione litologica intorno ai 75/80 m da p.c., che passa da un pacco di terreni sostanzialmente argillosi e limoso sabbiosi, a materiale di maggior consistenza e probabilmente litificati.

MELLI, via Caravaggio Rubiera

Instrument: TRZ-0099/01-10

Start recording: 10/11/11 13:06:14 End recording: 10/11/11 13:26:15

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 97% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

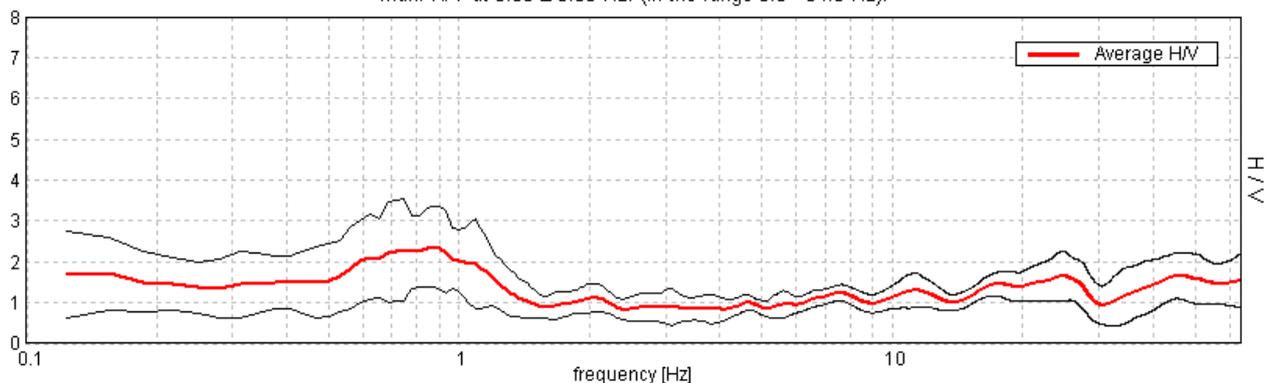
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

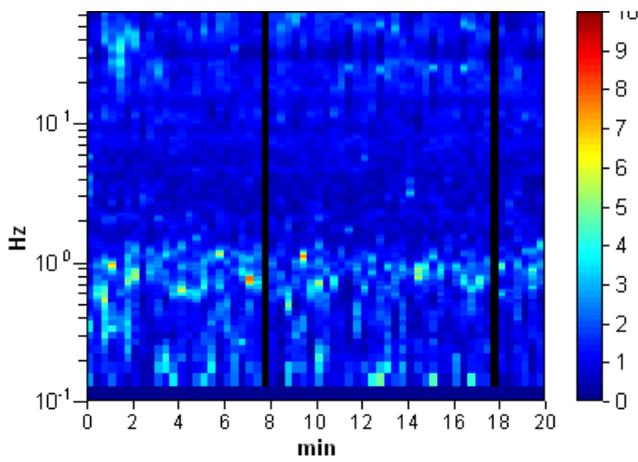
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

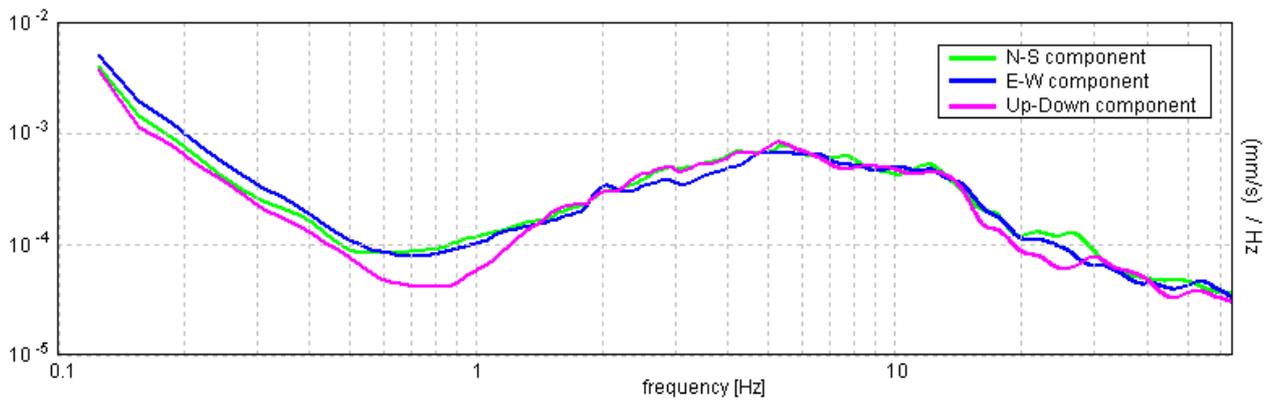
Max. H/V at 0.88 ± 0.05 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA



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

Max. H/V at 0.88 ± 0.05 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.88 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$1015.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 43 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.344 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.37 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.02602 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.02276 < 0.13125$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4832 < 2.0$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

6.3 – Risultati ottenuti

Il valore di velocità ottenuto è pari a $VS_{30} = 244 \text{ m/sec}$ e l'osservazione del dato stratigrafico, hanno permesso di classificare il sottosuolo nella categoria **C**, ovvero costituito da *Depositi di sabbie o ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di Vs_{30} compresi tra 180 m/sec e 360 m/sec., ($15 < NSPT < 50$, $<70 Cu < 250 \text{ kPa}$).*

La registrazione HVSR mostra un, seppur debole, picco di frequenza (f) a circa **$0,8 \pm 0,05 \text{ Hz}$** . che corrisponde ad un periodo di oscillazione caratteristico del sito desumibile dallo spettro HVSR pari a $T = 1,13$.

6.4 - Livello di approfondimento

PTCP 2010

La tavola QC6 – 201SO – Rischio sismico Carta degli effetti locali – evidenzia limi e argille (peliti) di piana alluvionale. Assenza di elementi morfologici (area pianeggiante). Assenza di elementi tettonici.

La tavola 9a (201SO) - Rischio sismico. Carta degli effetti attesi – pone l'area in classe G (amplificazione stratigrafica – cedimenti potenziali).

La tavola 9b (201SO) - Rischio sismico. Carta dei Livelli di approfondimento indica che si debba effettuare un'analisi semplificata (secondo livello di approfondimento).

6.5-Analisi semplificata di secondo livello

Il D.A.L. n.112/2007 al Cap. 4 definisce i criteri per eseguire un'analisi semplificata di secondo livello.

Amplificazione stratigrafica

In base all'Allegato A2 della D.A.L. 112/2007 per il calcolo dei coefficienti di amplificazione sismica, si è applicata la seguente formula:

$$V_{S_{MEDI A}} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{V_{S_i}}}$$

dove

H = spessore totale (in metri) dei terreni di copertura o profondità del bedrock

h_i = spessore (in metri) dello strato i-esimo (fino al bedrock)

V_{si} = velocità (in m/s) dello strato i-esimo (fino al bedrock).

Lo spessore dei terreni di copertura o profondità del bedrock è maggiore di 100

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto (come previsto da art. 3.2 del DM 14-1-08) sono stati esaminati i dati ottenuti dalle prospezioni sismiche di superficie opportunamente tarati con dati stratigrafici e litologici presenti in bibliografia (pozzi, sezioni stratigrafiche, ecc.), e delle prove penetrometriche eseguite in sito. I valori della velocità media delle onde di taglio V_s risultano pertanto col metodo sismico attivo-MASW onde Rayleigh:

1° strato: velocità media onde V_s 200 m/sec spessore medio 0,45 m

2° strato: velocità media onde V_s 131 m/sec spessore medio 4,13 m

3° strato: velocità media onde V_s 179 m/sec spessore medio 2,92 m

4° strato: velocità media onde V_s 239 m/sec spessore medio 5,02 m

5° strato: velocità media onde V_s 305 m/sec spessore medio 3,51 m

6° strato: velocità media onde V_s 345 m/sec spessore medio >13,97 m

V_{S30} = 244 m/sec.

6.6 - Analisi semplificata di secondo livello

Il D.G.R. n.2193/2015 al Cap. 4 definisce i criteri per eseguire un'analisi semplificata di secondo livello.

Amplificazione stratigrafica

Dall'esame dei pozzi risulta che il substrato è ad una profondità superiore a 100 metri.

La VS30 è di 244 m/sec.

Utilizzando le seguenti tabelle dell'Allegato A2.1.2 – PIANURA 3 (D.G.R. 2193/2015):

PIANURA 3: settore di pianura caratterizzato da elevati spessori di sedimenti prevalentemente fini e poco consolidati, alternanze di limi, argille e sabbie di ambiente alluvionale e transizionale, con substrato rigido a profondità non inferiori a 300 m da p.c.;

$V_{s30}(m/s) \rightarrow$	150	200	250	300	350	400
F.A. PGA	1.3	1.3	1.3			
F.A. SI1	1.5	1.5	1.5			
F.A. SI2	2.3	2.3	2.2			
F.A. SI3	2.6	2.6	2.4			

Pianura 3. Tabella dei Fattori di Amplificazione **PGA**, **SI1**, **SI2** e **SI3**.

Risultano i seguenti fattori di amplificazione sismica:

F.A. P.G.A. = 1,3

F.A. SI1 = 1,5

F.A. SI2 = 2,2

F.A. SI3 = 2,4

6.7 Suscettibilità a liquefazione

Non sono presenti terreni granulari saturi (depositi sabbioso limosi) di spessore significativo nei primi 15 metri dal p.c. Si esclude pertanto l'occorrenza di fenomeni di liquefazione.

Cap. 7 CONSIDERAZIONI FINALI E INDICAZIONI

I depositi sui quali insiste l'ambito ASP N1-20 appartengono all' **-Unità di Modena (AES8a)**. Si tratta di argille e argille limose intercalate a terreni misti nei primi venti metri e sino al tetto delle ghiaie.

I depositi che interessano l'area appartengono al Gruppo Acquifero A.
Il pozzo della P.A. S.p.a., esistente all'interno dell'area cortiliva, indica un primo strato di ghiaie spesso una decina di metri da 20,00 a 30,50 m sotto il p.c., un secondo strato di ghiaie, sabbie e argille da 71,50 a 76,50 m e un terzo strato di ghiaie da 107,00 a 117,00 m.

Le prove penetrometriche statiche hanno confermato il dato relativo al tetto delle sabbie e ghiaie; si è infatti ottenuto rifiuto a 18,8 m in CPT 1, a 19,2 m CPT 2, a 20,0 m CPT 3.

Per la classificazione sismica del terreno di fondazione sono state eseguite indagini geofisiche tipo MASW e Prospezione sismica HVSR.

Il valore di velocità ottenuto è pari a **$VS_{30} = 244 \text{ m/sec}$** . (categoria del terreno di fondazione C).

La frequenza fondamentale di vibrazione del sottosuolo risulta pari a circa **$0,8 \pm 0,05 \text{ Hz}$** .

Dall'analisi della risposta sismica locale risultano i seguenti fattori di amplificazione sismica:

F.A. P.G.A. = 1,3

F.A. SI1 = 1,5

F.A. SI2 = 2,2

F.A. SI3 = 2,4

Fondazioni

Nel caso si considerino fondazioni superficiali si consiglia di considerare una Q_{amm} di $0,5 \text{ kg/cm}^2$ sia nel secondo che nel terzo metro.

Va però evidenziata la variabilità areale e stratigrafica della litologia e di conseguenza dei parametri geotecnici che consiglia di cercare altre soluzioni.

Si segnala la possibilità di fondare in tutto o in parte su pali data la presenza a circa 20 metri di uno strato di ghiaie la cui potenza, misurata durante la perforazione del pozzo aziendale, è di circa 10 metri.

La fondazione su pali è consigliata.

Reggio Emilia, 5 luglio 2018

Dott. Geol. Paolo Melli