

## Appendice

### LA MODELLAZIONE EERA

La modellazione numerica dei dati ottenuti dalle diverse prove dirette e indirette, è stata realizzata tramite l'ausilio del software EERA (1998).

Nel corso dei passati terremoti, si è osservato che il comportamento dei terreni dipende dalle condizioni locali. Le amplificazioni dovute agli effetti locali, sono simulate usando numerosi programmi che assumono condizioni di suolo semplificate, come strati di terreno orizzontali ed estesi infinitamente. Uno dei primi programmi sviluppati per questo scopo è stato SHAKE che è basato sulle soluzioni delle propagazioni delle onde di taglio, dovute a Kanai (1951), Roesset e Whitman (1969) e Tsai e Housner (1970).

Shake assume che il comportamento ciclico del terreno, può essere simulato usando un modello lineare equivalente. SHAKE91 è una delle recenti versioni di Shake.

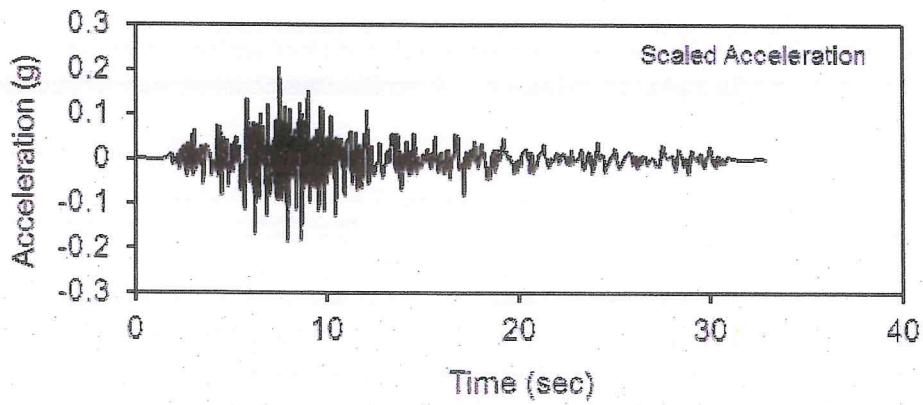
Nel 1998 è stato presentato il programma EERA, sviluppato in Fortran 90 partendo dagli stessi concetti di base di Shake; EERA è una moderna implementazione del concetto di analisi di risposta sismica.

La verifica monodimensionale dell'amplificazione locale, tramite l'utilizzo di EERA si compone di due fasi: elaborazione del modello, simulazione degli effetti indotti dal sisma di progetto. La prima fase consiste nell'inserire i dati (accelerazione, intervalli di tempo), relativi ai segnali di riferimento selezionati dalla banca dati accelerometrica "European Strong Motion database" e forniti dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale.

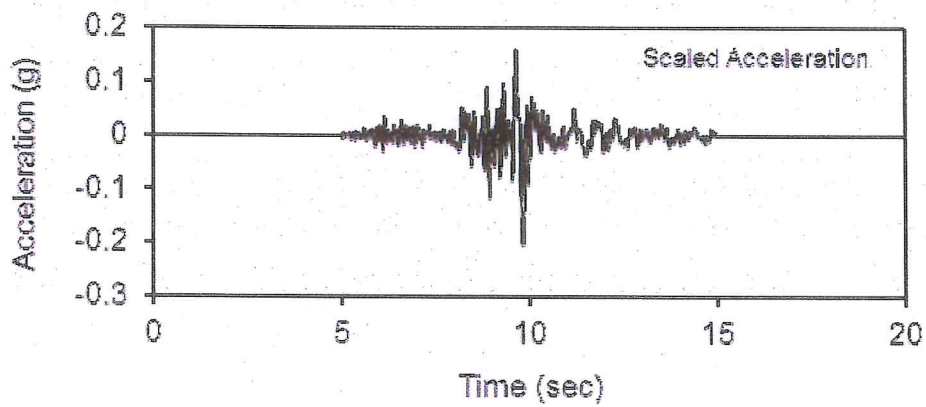
Si tratta di sismi che possono verificarsi nel territorio del comune oggetto di studio. Questi tre segnali sono già "scalati" rispetto al comune a cui si riferiscono, e sono rappresentati da tre differenti accelerogrammi di progetto, riportati nella delibera regionale:

- 1) impulsivo – sisma profondo;
- 2) con componente predominante alle alte frequenze – sisma vicino;
- 3) con ampio contenuto in frequenze – distanza del sisma media.

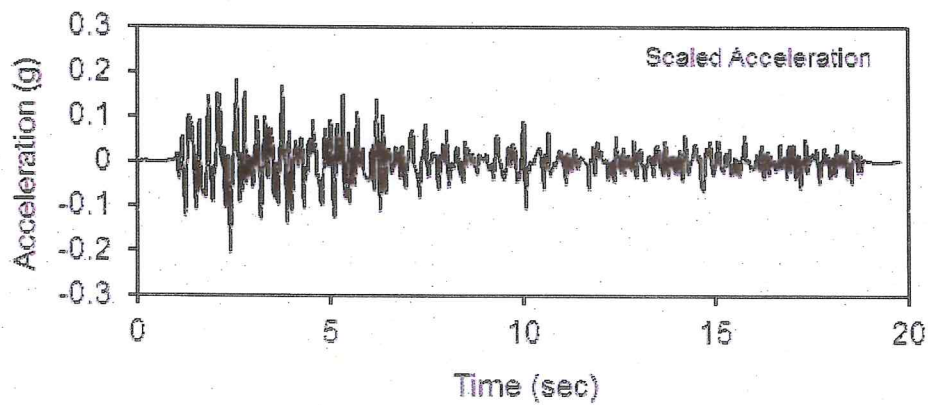
Earthquake: 000354xa\_Faenza



Earthquake: 000126xa\_Faenza



Earthquake: 000046xa\_Faenza

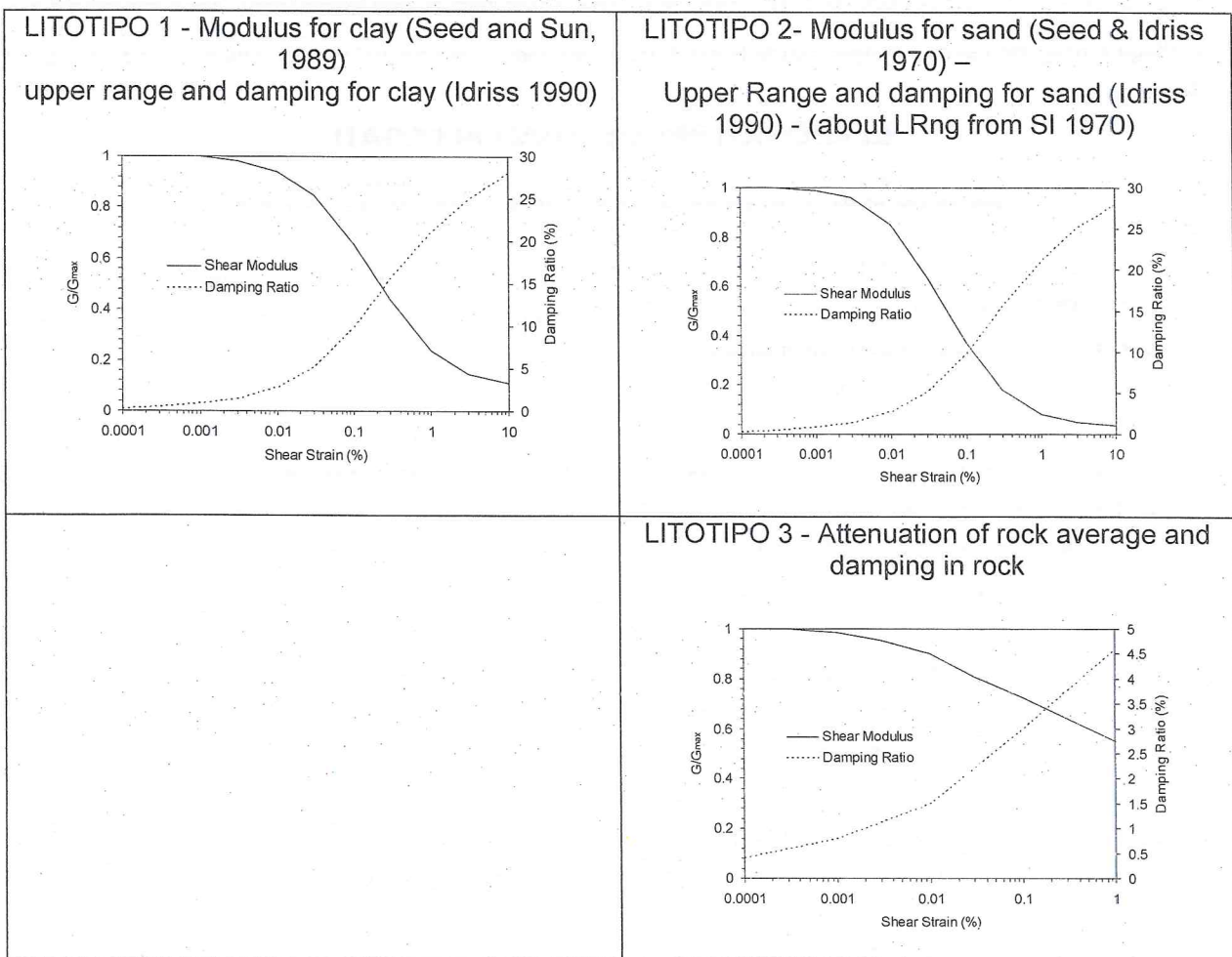


Dopo aver determinato gli input sismici, si è proceduto alla costruzione della colonna di sottosuolo di riferimento rappresentata da strati (layer) a differente tessitura e da diversi valori delle onde di taglio S ( $V_s$ ).

La stratigrafia che caratterizza il profilo stratigrafico è stata derivata dalle indagini geognostiche e geofisiche realizzate nel sito di interesse e nelle zone contermini. **In particolare la modellazione si è basata sulle curve H/V ottenute da tromino. Infatti lo spettro di amplificazione ottenuto dal modello deve essere simile a quello effettivamente misurato direttamente sul terreno, in particolare per il valore delle frequenze.**

Per il comportamento elastico e di smorzamento dei vari strati di terreno o roccia del profilo stratigrafico ci si è riferiti principalmente ai litotipi (granulari, coesivi e rocciosi) proposti da Idriss (1990).

Nel caso specifico, in considerazione delle caratteristiche litologiche delle formazioni della zona di interesse, i litotipi utilizzati più frequentemente sono stati quelli sotto riportati.



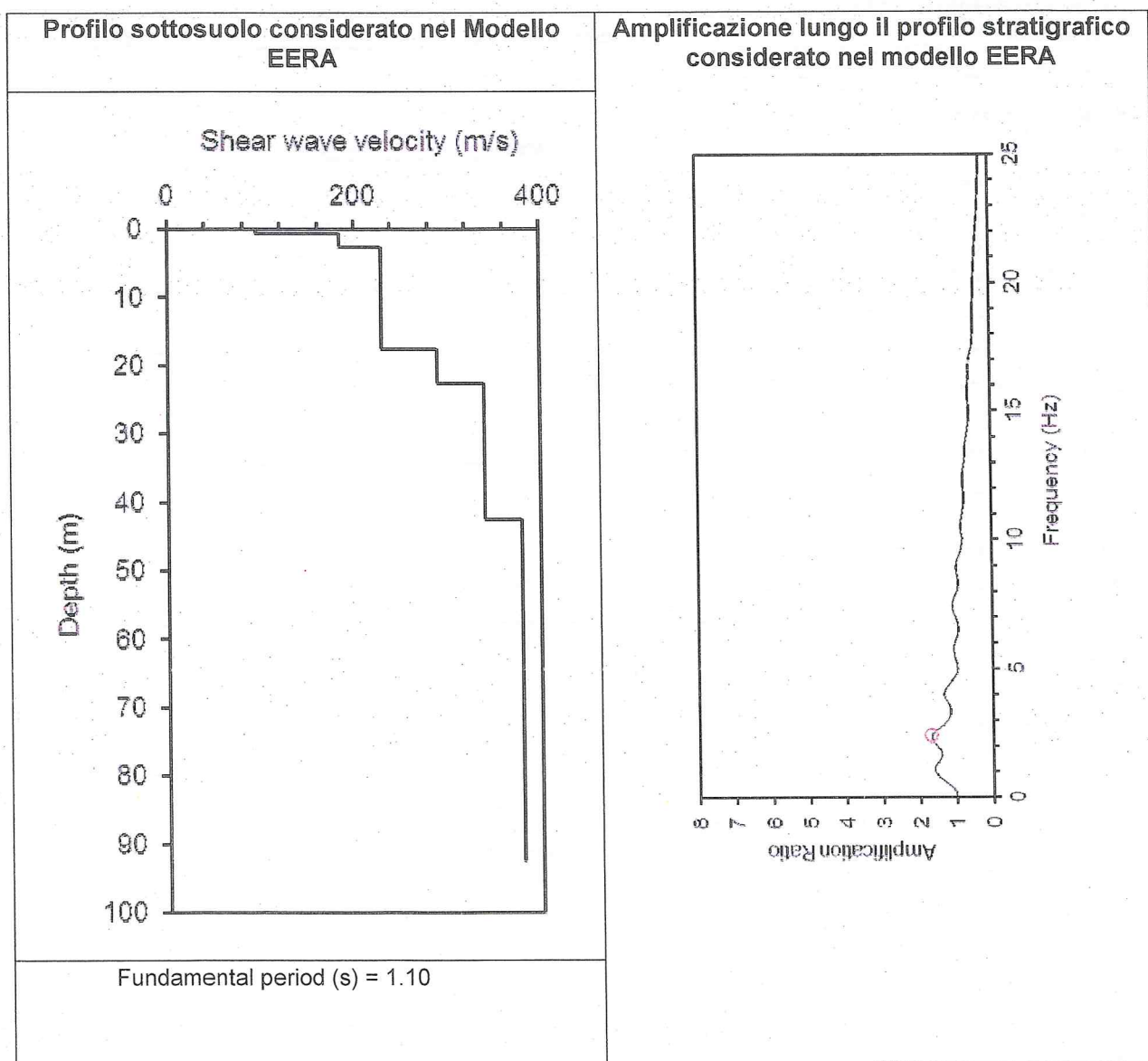
In considerazione dell'assetto litostratigrafico della zona in esame, si è preferito trasferire il moto di un sisma di riferimento lungo tutta la colonna litostratigrafica ricostruita, indipendentemente dalla individuazione di un substrato sismico più o meno riconosciuto dalle indagini eseguite. Questa procedura, per questo tipo di situazione, sembra individuare meglio le frequenze tipiche di amplificazione del suolo più significative.



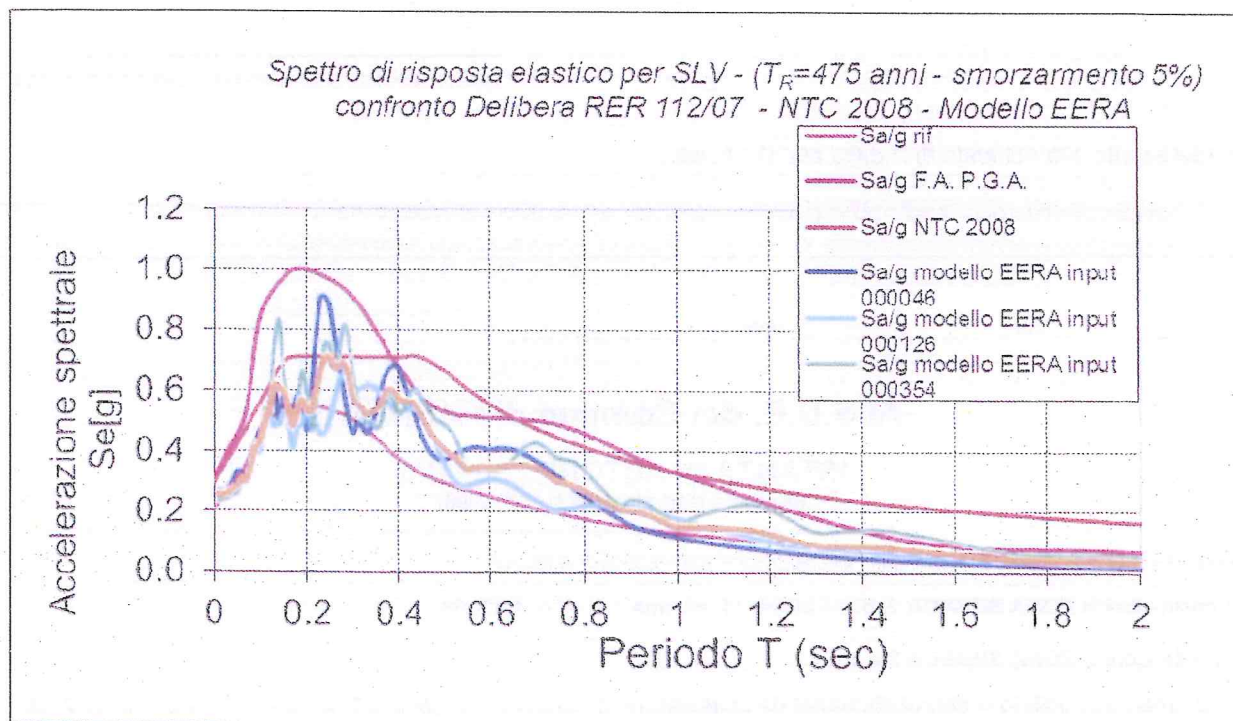
Utilizzando il programma EERA si forniscono i dati ricavati dalla modellazione numerica monodimensionale.

Per ricostruire il modello numerico si è fatto riferimento al profilo Vs ricavato dalle indagini geognostiche dirette e geofisiche ed ai segnali di riferimento per il comune di riferimento scaricabili dal sito della Regione Emilia-Romagna: [www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica](http://www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica).

$a_{max}$ da modello EERA	<i>input 000046</i>	<i>input 000354</i>	<i>input 000126</i>
	0.260g	0.230g	0.270g
Frequenza Fondamentale (Fourier)	2.49 Hz	2.29 Hz	2.29 Hz







Di seguito si valutano i rapporti spettrali PGA/PGAo e SI/SIo in riferimento a quanto proposto dalla DAL 112/07 rispetto al metodo semplificato di II livello ed al III livello con elaborazione delle tracce sismiche fornite dalla RER utilizzando il codice di calcolo EERA e il profilo del suolo emerso dalle indagini geofisiche sull'area per la valutazione degli effetti in superficie.

Dal modello EERA è stato possibile anche ricavare gli spettri delle pseudo velocità relative che sono state utilizzate per la valutazione dell'intensità di Housner, utilizzata dalla RER nella definizione dello spettro elastico, successivamente utile per le considerazioni sulle opere ingegneristiche.

L'intensità di Housner è stata calcolata utilizzando il foglio di calcolo excel implementando l'integrazione differenziale per intervalli di  $dT=0.1$  sec fino a 0.6 e  $dT=0.2$  sec fino a 1 secondo.

I valori sono stati confrontati con  $S_{Io}$  proposti dalla RER. I valori del rapporto sono osservabili nelle sotto riportate tabelle.

Si riporta anche la tabella del rapporto dei valori PGA del modello EERA e quello della DAL 112/2007.

In allegato si riportano i grafici degli spettri elastici di confronto ed il grafico delle amplificazioni  $S_I/S_{Io}$  per ogni intervallo  $dt$  considerato nella sopra citata integrazione differenziale.

<b>Codice</b>	<b>Intervallo considerato</b>	<b>SI/Slo</b>
EERA 000046	(F.A. 0.1s<To<0.5s.) =	1.4
EERA 000126	(F.A. 0.1s<To<0.5s.) =	1.2
EERA 000354	(F.A. 0.1s<To<0.5s.) =	1.3
EERA media	(F.A. 0.1s<To<0.5s.) =	1.3
Il livello	(F.A. 0.1s<To<0.5s.) =	1.8

<b>Codice</b>	<b>Intervallo considerato</b>	<b>SI/Slo</b>
EERA 000046	(F.A. 0.5s<To<1.0s.) =	1.4
EERA 000126	(F.A. 0.5s<To<1.0s.) =	1.3
EERA 000354	(F.A. 0.5s<To<1.0s.) =	1.5
EERA media	(F.A. 0.5s<To<1.0s.) =	1.4
Il livello	(F.A. 0.5s<To<1.0s.) =	2.5

<b>Codice</b>	<b>Intervallo considerato in generale più gravoso come osservabile dagli spettri elastici</b>	<b>SI/Slo</b>
EERA 000046	(F.A. 0.1s<To<0.3.) =	1.2
EERA 000126	(F.A. 0.1s<To<0.3.) =	1.0
EERA 000354	(F.A. 0.1s<To<0.3.) =	1.3
EERA media	(F.A. 0.1s<To<0.3.) =	1.2

#### Legenda

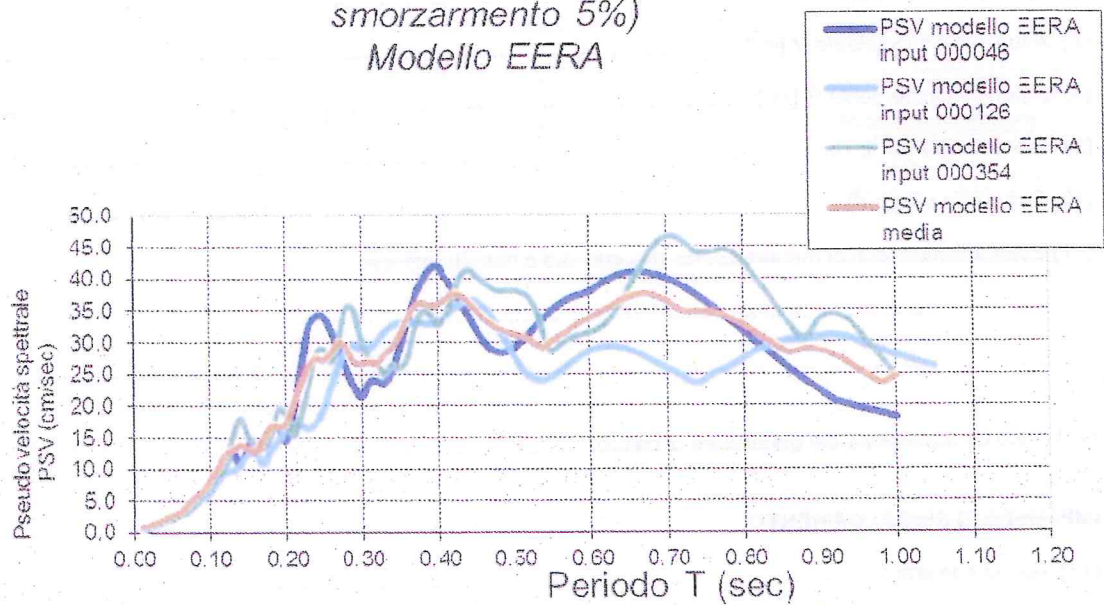
SI = intensità di Housner dello spettro di risposta al suolo

Slo = intensità dello spettro di risposta al substrato per DAL 112/2007

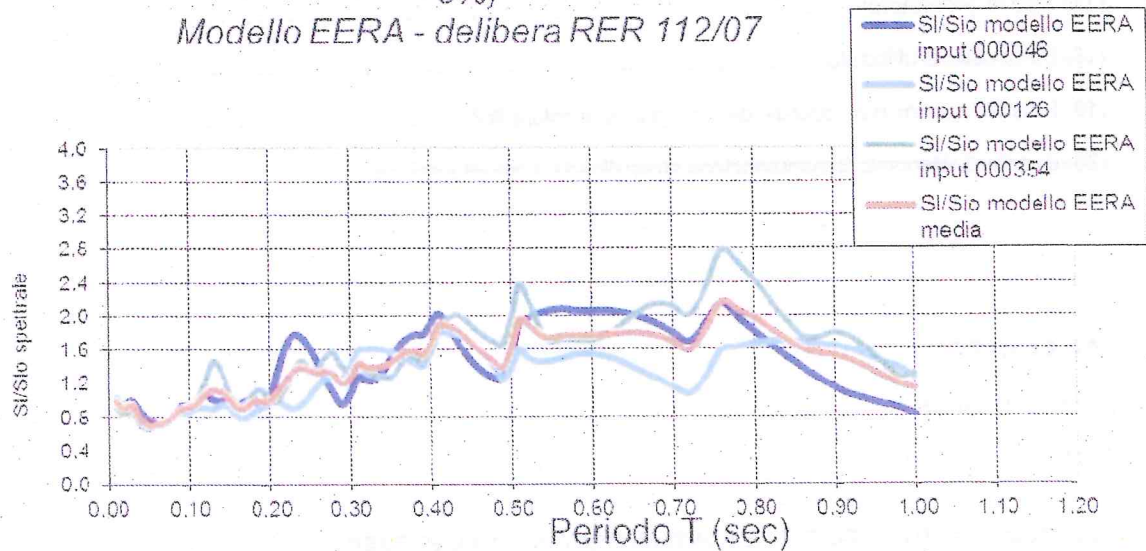
PGA = picco d'accelerazione al suolo

PGAo = picco d'accelerazione al substrato per DAL 112/2007

Spettro di risposta elastico per SLV - ( $T_R=475$  anni -  
smorzamento 5%)  
Modello EERA

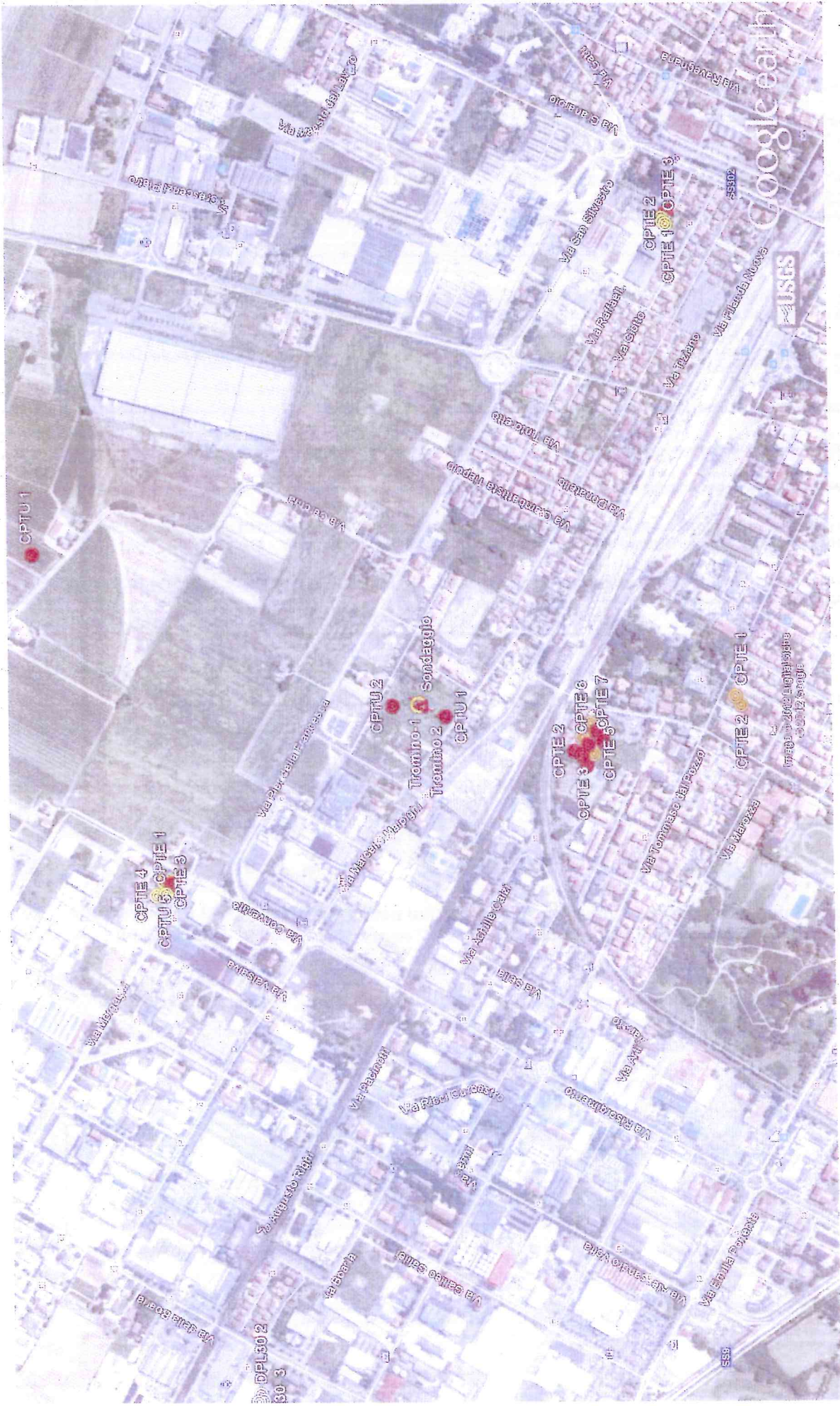


Rapporti spettrali  $S1/S10$  per dt ( $T_R=475$  anni - smorzamento  
5%)  
Modello EERA - delibera RER 112/07





# ALLEGATI

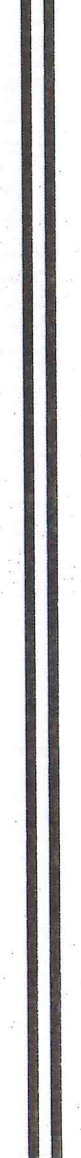


Google earth  
 1 km  
 1  
 1





1000  
300



metri

Google earth





**SOGEO S.p.A.**  
INDAGINI GEOGNOSTICHE ED AMBIENTALI  
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)  
Tel. 054522042 - Fax 054534443 - E-mail: sogeo@sogeo-ati.com  
Concessione Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore C  
Decr. n. 005754 del 05/07/2010

COMMITTENTE: Sig.ri Gaddoni William e Gaddoni Pasquale

SOND.N°: S.1

PROF.(m): 32.00

CANTIERE: Via Piero Della Francesca - Faenza (RA)

QUOTA (m): p.d.c.

PERFORATRICE: Elletari EK200/STR

LATITUDINE (°): 44.29910 °

METODO PERFORAZ.: Carotaggio continuo

LONGITUDINE (°): 11.87497°

RIVESTIMENTO: Ø 127 mm

ATTREZZO PERFORAZ.: Carotiere semplice Ø101 mm

DATA INIZ-FINE: 19/07/2012-19/07/2012

PIEZOMETRO:

SCALA: 1:100

RIF.PREV.N°: 077-12

CERTIFICATO N°: C12-070-1

RAPPORTO N°: -----

DATA DI EMISSIONE: 20/07/2012


PAGINA N°: 1 di 2

Scala 1:100	P.P. I [daN/cm <sup>2</sup> ]	Vane Test [daN/cm <sup>2</sup> ]	Profondità [m]	Stratigrafia	Descrizione	Campioni	Campioni Rm.	S.P.T. [n. colpi] P.A.	Falda	Pz. Norton	Pz. Casagrande	Inclinometro	Tubo Down Hole
1	4.8												
2	4.2		1.20		Terreno vegetale limoso di colore bruno scuro								
3	1.4												
4	1.2												
5	1.3	0.80											
6	1.8												
7	0.9	0.40											
8	0.9												
9	1.4												
10	0.8	0.40											
11	1.2				Limo sabbioso di colore nocciola, grigio da -7.5 a -8.6 m, con venature grigie ed ocracee								
12	0.5												
13	0.7												
14	0.8												
15	1.1												
16	0.7		10.10										
17	0.6												
18	0.4												
19	0.6												
20	0.4												
21	0.4												
22	1.4												
23	1.0												
24	1.5												
25	1.0				Alternanza di limo debolmente sabbioso e limo di colore grigio, con presenza, a tratti, di sostanza organica. Tra -14.00 e -15.00 m presenti lenti argillose								
26	0.8	0.30											
27	0.9	0.50											
28	1.4												
29	0.8												
30	1.2												
31	1.2												
32	1.2												
33	1.2												
34	0.8												
35	1.4		17.20										
36	0.60												
37	0.80												
38	1.10												
39	0.9	0.80											
40	1.10												
41	1.5	1.00											
42	1.8	1.00			Limo argilloso di colore grigio con tracce organiche diffuse e rare spalmature biancastre								
43	0.8	0.30											
44	1.2	0.80											
45	2.0	0.40											
46	2.0		22.40										
47	0.9												
48	0.9												
49	0.9												
50	0.9												
51	0.9												
52	3.3	1.10											
53	2.2												
54	2.0	1.00											
55	1.2												
56	2.0												
57	0.9	0.60			Sabbia fine limosa e ghiaia fine - media di colore grigio. Presenza di livelletti limosi								
58	0.9												
59	0.9												
60	0.9												
61	0.9												
62	0.9												
63	0.9												
64	0.9												
65	0.9												
66	0.9												
67	0.9												
68	0.9												
69	0.9												
70	0.9												
71	0.9												
72	0.9												
73	0.9												
74	0.9												
75	0.9												
76	0.9												
77	0.9												
78	0.9												
79	0.9												
80	0.9												
81	0.9												
82	0.9												
83	0.9												
84	0.9												
85	0.9												
86	0.9												
87	0.9												
88	0.9												
89	0.9												
90	0.9												
91	0.9												
92	0.9												
93	0.9												
94	0.9												
95	0.9												
96	0.9												
97	0.9												
98	0.9												
99	0.9												
100	0.9												

Lo Sperimentatore

Il Direttore del Laboratorio

 <b>SOGEO</b> <small>INDAGINI GEOGNOSTICHE ED AMBIENTALI</small> <small>Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)</small> <small>Tel. 054522042 - Fax 054534443 - E-mail: sogeo@sogeo-srl.com</small> <small>Concessione: Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore C</small> <small>Decr. n. 005254 del 05/07/2010</small>	COMMITTENTE: Sig.ri Gaddoni William e Gaddoni Pasquale	SOND.N°: S.1	PROF.(m): 32.00
	CANTIERE: Via Piero Della Francesca - Faenza (RA)	QUOTA (m): p.d.c.	
	PERFORATRICE: Elletari EK200/STR	LATITUDINE (°): 44.29910°	
	METODO PERFORAZ.: Carotaggio continuo	LONGITUDINE (°): 11.87497°	
RIVESTIMENTO: Ø 127 mm	ATTREZZO PERFORAZ.: Carotiere semplice Ø101 mm	DATA INIZ-FINE: 19/07/2012-19/07/2012	
PIEZOMETRO:		SCALA: 1:100	
RIF.PREV.N°: 077-12	CERTIFICATO N°: C12-070-1	RAPPORTO N°: -----	DATA DI EMISSIONE: 20/07/2012
			PAGINA N°: 2 di 2

Scala 1:100	P.P. I [daN/cm²]	Vane Test [daN/cm²]	Profondità [m]	Stratigrafia	Descrizione	Campioni	Campioni Rim.	S.P.T. [n. colpi] P.A.	Falda	Pz-Norton	Pz-Casagrande	Inclinometro	Tubo Down Hole
31	0.8	1.50	32.00		Limo argilloso di colore bruno - grigio con spalmature ocracee e sparse tracce organiche. Presenti calcinelli e lenticelle limose di colore giallastro								32.00
32	2.8												
33	2.5												
34	1.1												
35													
36													
37													
38													
39													
40													

Note:

Lo Sperimentatore

Il Direttore del Laboratorio



COMMITTENTE: Sig.ri Gaddoni Villiam e Gaddoni Pasquale

SONDAGGIO N° S.1

CANTIERE: Via Piero Della Francesca - Faenza (RA)

RIF. PREV. N: 077-12

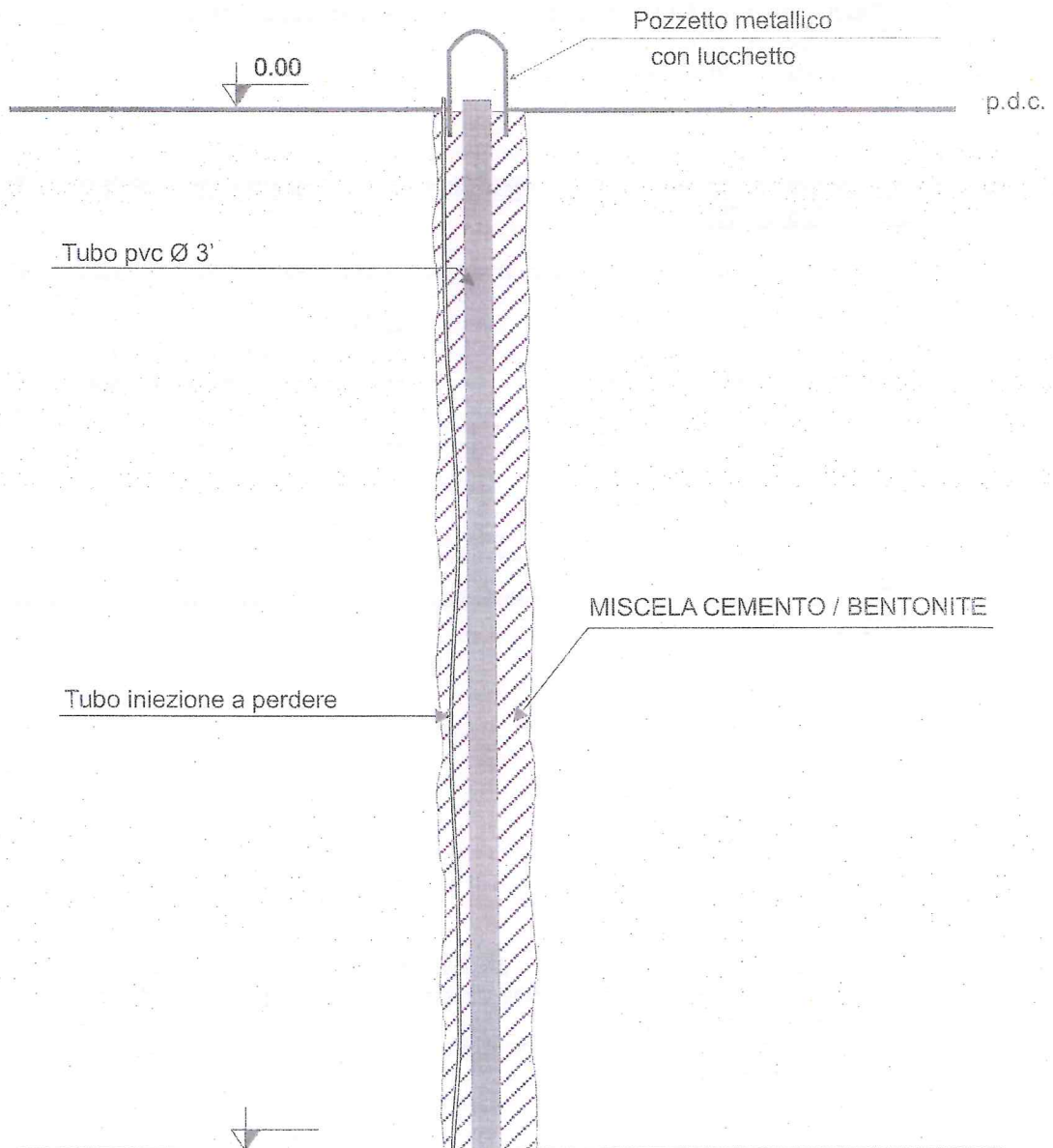
LOCALITA': Via Piero Della Francesca - Faenza (RA)

DATA DI ESECUZIONE: 19/07/2012

N° CERTIFICATO: C12-070-1

N° RAPPORTO: -----

DATA DI EMISSIONE: 20/07/2012



N.B: SCHEMA NON IN SCALA

Lo Sperimentatore	Note ed osservazioni:	Il Direttore del Laboratorio





**SOGEO**  
S.R.L.  
INDAGINI GEOLOGICHE ED AMBIENTALI  
Via Edison 1/1 - 48022 LUCCA (LU)  
Tel. 059/24042 - Fax 059/240415 - E-mail: sogeo@sogeo.it

**COMMITTENTE:** Sign.ri Gaddoni William e Pasquale

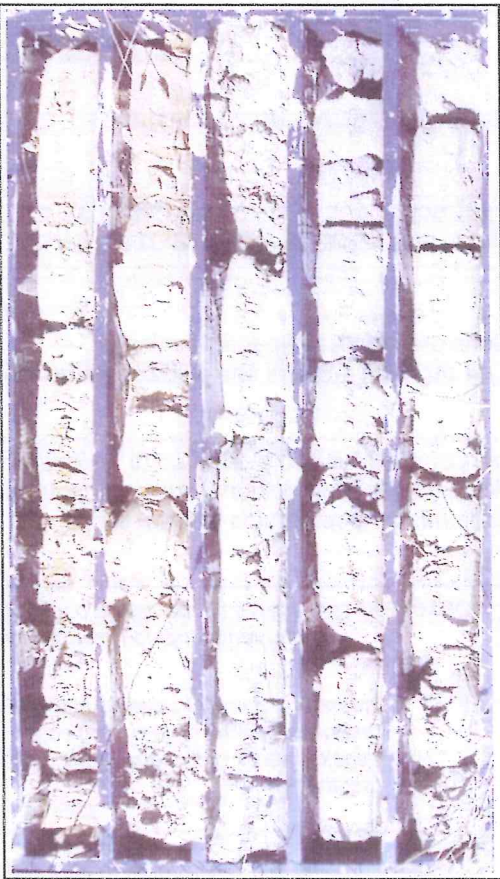
**LOCALITA':** Faenza (RA)

**SONDAGGIO N.:** S.1

**RIF. N°:** 077-12

**ALLEGATO A:** C12-070-1

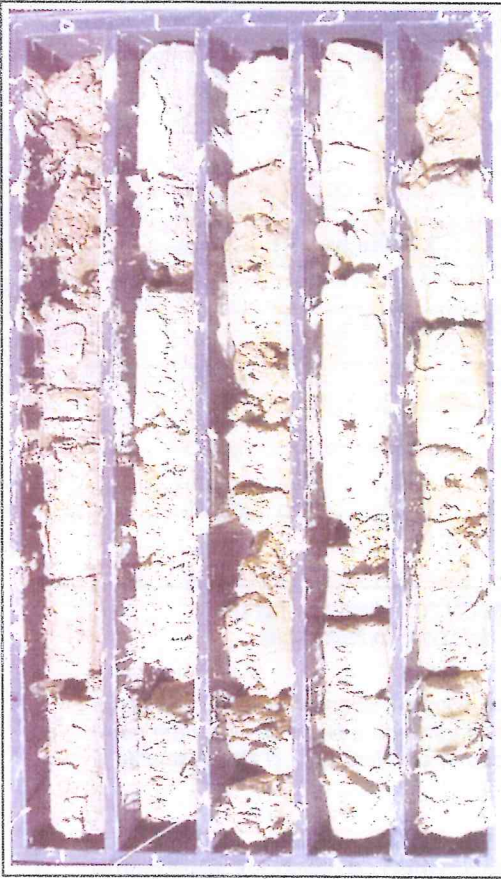
**DATA:** 19/07/2012



Cassa 2 da -5.0 a -10.0 m



Cassa 4 da -15.0 a -20.0 m



Cassa 1 da 0.0 a -5.0 m



Cassa 3 da -10.0 a -15.0 m





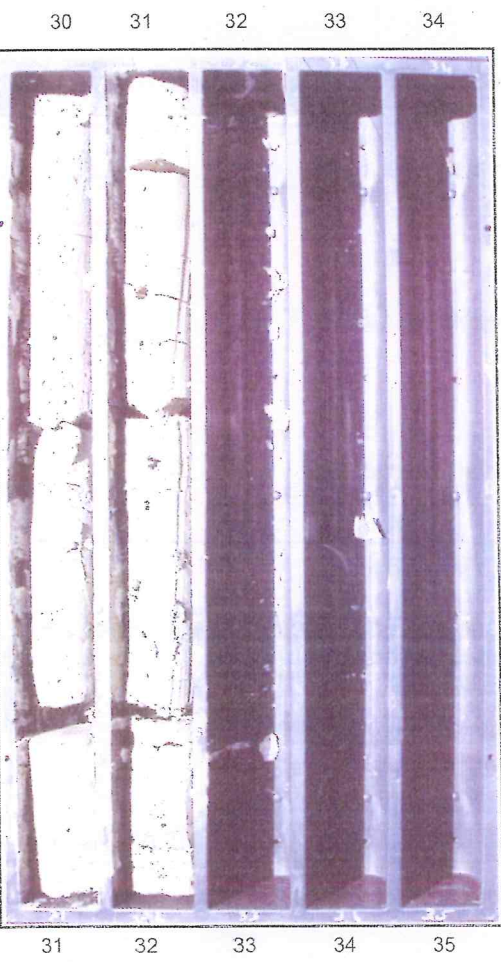
Cassa 6 da -25.0 a -30.0 m



Cassa 5 da -20.0 a -25.0 m

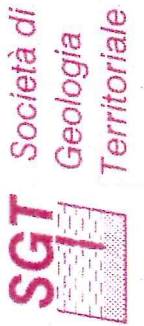


Posizionamento



Cassa 7 da -30.0 a -35.0 m



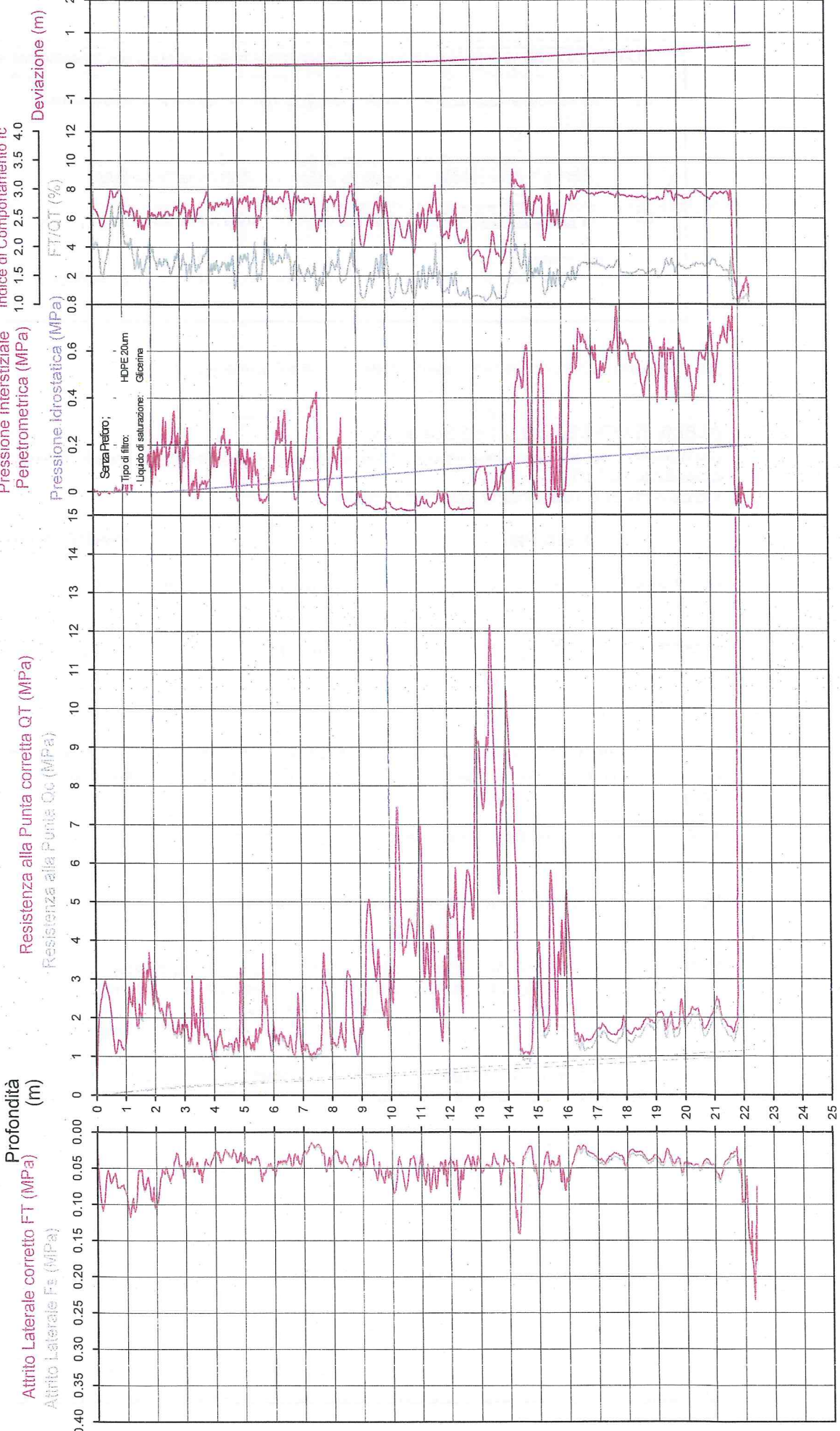


Falda 2.30 m  
 Sigla della Punta Tecnopenta 100707  
 Azzeramento Inizio prova  
 Ultimo taratura guadagno 29-feb-2012  
 Ultimo taratura per deriva termica 29-feb-2012

Comune Feenza  
 Via Biasola  
 Localita' Feenza  
 Committente Geom. Montevocchi  
 Data 17/05/2012

**CPTU**

**1**







CPTU

1

Data 17/05/2012  
Cantiere / Via Biasola  
Località Faenza  
Comune Faenza  
Profondità falda idrica m. 2.30

Vs22
197

QT	Qc1N daN/cm <sup>2</sup>	FT daN/cm <sup>2</sup>	FT/Qnet %	ic Robertson	Litologia Robertson 1990 basato su Ft vs Qc1N	H m	Litologia grafica	Falda idrica	Addensamento (Sabbia) Consistenza (Argilla)	Densità Relativa Tatsuoka 1990 %	Angolo Attrito φ' Robertson °	Coesione Benassi daN/cm <sup>2</sup>	OCR 0.29 Robertson	Modulo Edometrico Benassi daN/cm <sup>2</sup>	Velocità Vs Baldi (sabbie), Mayne & Rix (argille) m/sec
11.8	20.0	0.52	6.0	2.99	argilla-argilla limosa	0.10	==:==	Plastica				0.74	224.84	66.4	148
23.4	39.7	1.00	4.3	2.83	limo argilloso-argilla limosa	0.20	==:==:	Solido-plastica (Duro)			1.18			134.9	227
24.4	41.5	0.71	3.0	2.51	sabbia limosa-limo sabbioso			Mediamente Addensata	38.0	46.2				142.4	197
12.5	21.2	0.75	6.1	2.93	limo argilloso-argilla limosa	0.60	==:==:	Plastica				0.77		70.2	153
21.5	36.5	1.04	5.1	2.72	limo argilloso-argilla limosa	1.00	==:==	Solido-plastica (Duro)			1.12			122.5	211
25.5	43.3	1.02	4.1	2.59	sabbia limosa-limo sabbioso	1.20	==:==:	Mediamente Addensata	39.4	41.0				147.3	237
21.2	36.0	0.70	3.3	2.59	sabbia limosa-limo sabbioso	1.30	==:==:	Sciolta	33.3	39.2				123.6	207
26.0	47.2	0.83	3.1	2.48	sabbia limosa-limo sabbioso	1.60		Mediamente Addensata	42.2	39.2				167.6	222
19.7	32.1	0.51	2.6	2.56	sabbia limosa-limo sabbioso	2.20		Sciolta	29.5	35.8				100.7	197
17.1	27.3	0.53	3.2	2.67	limo argilloso-argilla limosa	2.80	==:==:	Plastica				0.97		100.0	186
18.7	29.1	0.45	2.5	2.58	sabbia limosa-limo sabbioso	3.00	==:==:	Sciolta	26.3	34.9				91.4	194
15.1	23.9	0.45	3.1	2.70	limo argilloso-argilla limosa	3.20	==:==:	Plastica			0.89			88.2	172
20.7	31.1	0.47	2.4	2.55	sabbia limosa-limo sabbioso	3.40	==:==:	Sciolta	28.4	35.3				99.4	203
16.6	25.3	0.52	3.4	2.71	limo argilloso-argilla limosa	3.50	==:==:	Plastica			0.95			96.8	183
23.5	34.0	0.60	2.7	2.55	sabbia limosa-limo sabbioso	3.60	==:==:	Sciolta	31.4	35.8				123.4	219
15.7	23.4	0.45	3.1	2.71	limo argilloso-argilla limosa	3.90	==:==:	Plastica			0.91			94.0	175
9.8	14.9	0.35	3.8	2.92	limo argilloso-argilla limosa	4.00	==:==:	Molle-plastica (Soffice)			0.64			56.6	131
14.2	20.7	0.34	2.5	2.70	limo argilloso-argilla limosa	4.30	==:==:	Plastica			0.85			69.7	165
13.3	18.8	0.32	2.6	2.74	limo argilloso-argilla limosa	4.90	==:==:	Plastica			0.81			68.3	159
24.7	32.3	0.37	1.7	2.44	sabbia limosa-limo sabbioso	5.00	==:==:	Sciolta	29.7	35.0				93.3	210
14.2	18.9	0.42	3.2	2.79	limo argilloso-argilla limosa	5.60	==:==:	Plastica			0.85			82.9	165
22.7	28.4	0.52	2.6	2.59	sabbia limosa-limo sabbioso	5.90	==:==:	Sciolta	25.5	33.9				113.8	213
11.9	15.2	0.49	4.6	2.96	argilla-argilla limosa	6.00	==:==	Plastica			0.74	3.01		68.1	148
14.0	17.2	0.42	3.3	2.83	limo argilloso-argilla limosa	6.80	==:==:	Plastica			0.84			81.6	163
22.1	25.8	0.41	2.0	2.56	sabbia limosa-limo sabbioso	6.90	==:==:	Sciolta	22.3	33.0				91.8	214
12.7	14.7	0.25	2.2	2.79	limo argilloso-argilla limosa	7.70	==:==:	Plastica			0.78			56.7	152
30.1	33.1	0.45	1.6	2.41	sabbia limosa-limo sabbioso	7.90	==:==:	Sciolta	30.5	34.4				111.3	229
14.9	16.3	0.37	2.8	2.81	limo argilloso-argilla limosa	8.70	==:==:	Plastica			0.88			81.0	171
29.6	31.3	0.50	1.8	2.47	sabbia limosa-limo sabbioso	8.80	==:==:	Sciolta	28.6	33.9				115.8	239
15.8	16.7	0.40	2.8	2.80	limo argilloso-argilla limosa	8.90	==:==:	Plastica			0.91			87.1	177
11.1	11.7	0.37	3.9	3.01	argilla-argilla limosa	9.10	==:==	Plastica			0.71	2.03		64.2	142
16.7	17.4	0.46	3.2	2.82	limo argilloso-argilla limosa	9.20	==:==:	Plastica			0.95			97.6	182
28.1	28.9	0.43	1.8	2.49	sabbia limosa-limo sabbioso	9.40	==:==:	Sciolta	26.0	33.3				110.9	237
47.2	46.0	0.31	0.7	2.07	sabbia limosa-limo sabbioso	9.70	==:==:	Mediamente Addensata	42.7	26.4				146.8	190
32.3	32.5	0.57	1.9	2.46	sabbia limosa-limo sabbioso		==:==:	Sciolta	29.9	33.9				131.2	251
23.7	23.4	0.65	3.1	2.71	limo argilloso-argilla limosa		==:==:	Solido-plastica (Duro)			1.19			142.2	228







CPTU

1

Data 17/05/2012  
Cantiere / Via Biasola  
Località Faenza  
Comune Faenza  
Profondità falda idrica m. 2.30

Vs22
197

QT	Qc1N daN/cm <sup>2</sup>	FT daN/cm <sup>2</sup>	FT/Qc1N %	ftc Robertson	Litologia Robertson 1990 basato su Ft vs Qc1N	H m	Litologia grafica	Falda idrica	Addensamento (Sabbia) Consistenza (Argilla)	Densità Relativa Tatsuoka 1990 %	Angolo Attrito φ' Robertson °	Coesione Benassi daN/cm <sup>2</sup>	OCR 0.20 Robertson	Modulo Edometrico Benassi daN/cm <sup>2</sup>	Velocità Vs Baldi (sabbie), Mayne & Rix (argille) m/sec
						20.20	=====								
22.0	13.8	0.48	2.6	2.85	limo argilloso-argilla limosa	20.50	=====		Solido-plastica (Duro)			1.14		112.3	218
18.3	11.1	0.42	2.9	2.95	argilla-argilla limosa	20.80	=====		Plastica			1.01	1.54	103.1	194
22.0	13.4	0.54	3.0	2.89	limo argilloso-argilla limosa	21.30	=====		Solido-plastica (Duro)			1.14		126.0	217
18.0	10.6	0.35	2.5	2.93	limo argilloso-argilla limosa	21.80	=====		Plastica			1.00		86.9	192
186.7	170.3	0.78	0.6	1.65	sabbia-sabbia limosa	22.00	.....		Addensata	84.6	40.2			577.3	258
355.0	371.3	1.19	0.3	1.16	ghiaia-sabbia	22.20	.....		Molto addensato	>90	43.4			1073.1	286
320.9	324.4	1.71	0.5	1.34	sabbia-sabbia limosa		.....		Molto addensato	>90	42.9			983.4	283



Comune Faenza  
 Via Biasola  
 Localita' Faenza  
 Committente Geom. Montevecchi  
 Data 17/05/2012

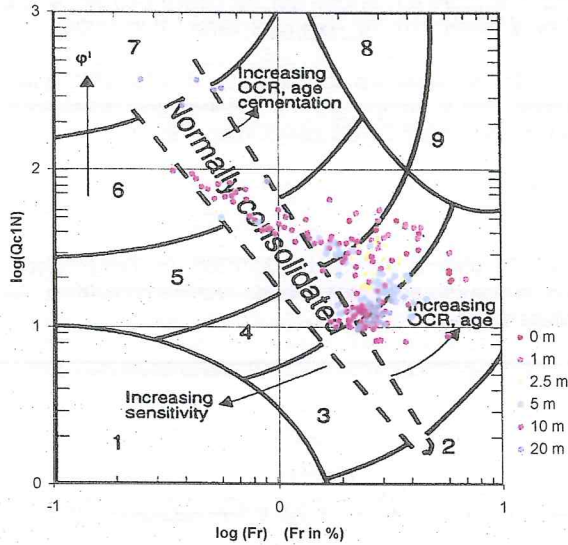
Numero prova 1  
 Quota falda 2.30



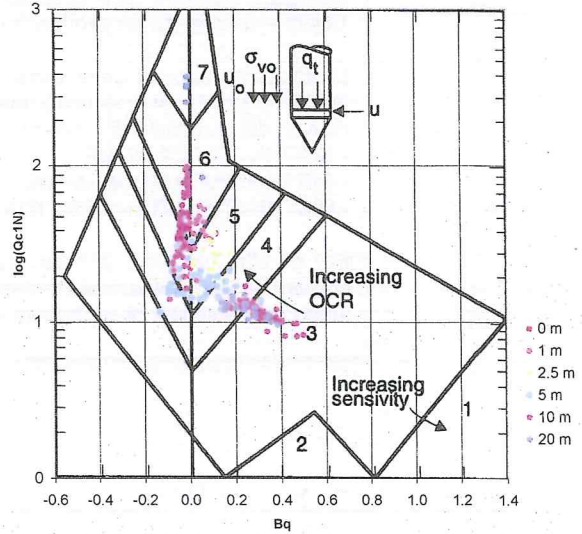
Società di  
 Geologia  
 Territoriale

S.G.T. sas.  
 di Van Zutphen Albert & C.  
 Via Matteotti 50  
 48012 Bagnacavallo (RA)  
 www.geo55.com

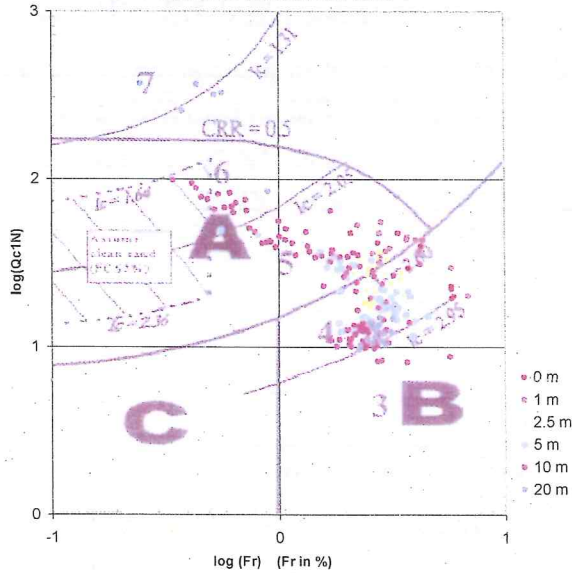
Cross-plot Qc1N verso Fr  
 (Robertson 1990)



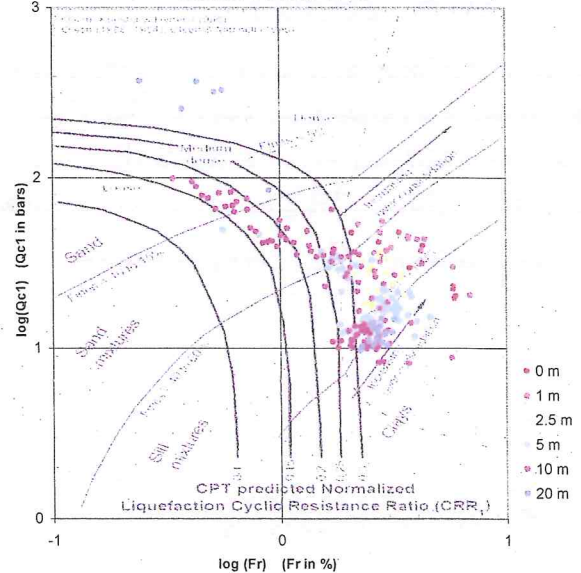
Cross-plot Qc1N verso Bq  
 (Robertson 1990)



Cross-plot Qc1N verso Fr  
 per la verifica della liquefazione  
 secondo Robertson 1996



Cross-plot Qc1N verso Fr  
 per la verifica della liquefazione  
 secondo Olsen 1996



Litotipo secondo Robertson 1990

Zone	Tipo di comportamento
9	Terreni molto duri a grana fine
8	Sabbia molto densa e sabbia argillosa
7	Sabbia ghiaiosa - sabbie dense
6	Sabbia - sabbia limosa
5	Sabbia limosa - limo sabbioso
4	Limo argilloso - argille limosa
3	Argilla limoso - argilla
2	Torba
1	Terreni fini sensitivi

Potenziale di liquefabilità

Zone A	Liquefazione ciclica possibile - dipendente da ampiezza e tempo del carico ciclico.
Zone B	Liquefazione improbabile.
Zone C	Liquefazione fluida e liquefazione ciclica possibile - dipendente da plasticità e sensitività, da ampiezza e tempo del carico ciclico.

Comune  
Via  
Località  
Committente  
Data

Faenza  
Biasola  
Faenza  
Geom. Montevocchi  
17-mag-12

Falda

2.30 m

Sigla della Punta  
Azzeramento  
Ultimo taratura guadagno  
Ultimo taratura per deriva termica

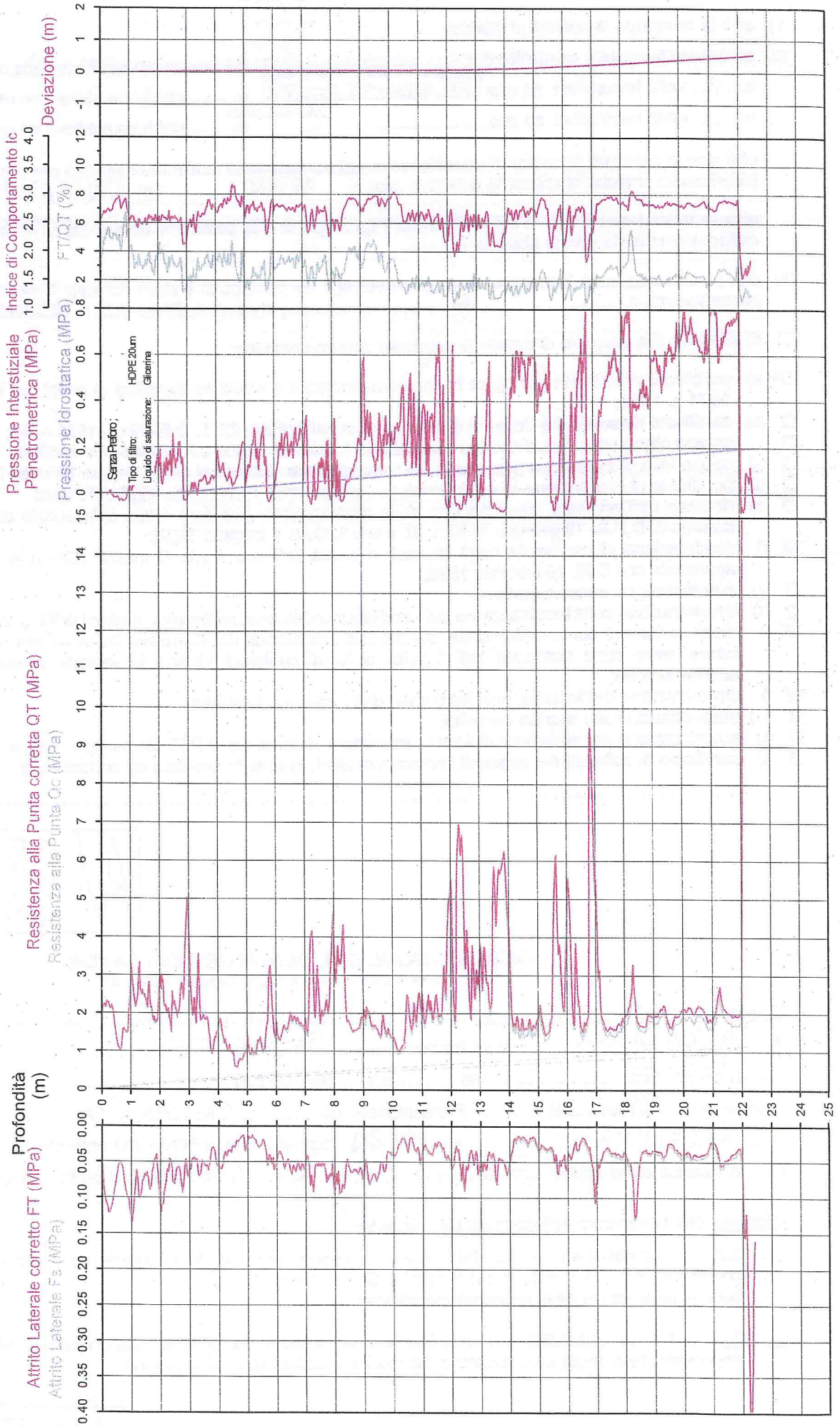
Tecnopenta 100707  
Inizio prova  
29-feb-2012  
29-feb-2012



S.G.T. sas  
di Van Zutphen Albarf & C.  
Via Matteotti 50  
46012 Bagnacavallo (RA)  
www.geo55.com

# CPTU

## 2







CPTU

2

Data 17 maggio 2012  
Cantiere / Via Biasola  
Località Faenza  
Comune Faenza  
Profondità falda idrica m. 2.30

Vs22
199

QT	Qc1N Idriss & E	FT	FT/Qnet	lc Robertson	Litologia Robertson 1990 basato su Fr vs Qc1N	H m	Litologia grafica	Falda idrica	Addensamento (Sabbia) Consistenza (Argilla)	Densità Relativa Tatsuoka 1990 %	Angolo Attrito φ' Robertson °	Coesione Benassi daN/cmq	OCR q <sub>20</sub> Robertson	Modulo Edometrico Benassi daN/cmq	Velocità Vs Baldi (sabbie), Mayne & Rix (argille) m/sec
20.7	35.1	0.98	4.8	2.70	limo argilloso-argilla limosa	0.50	=====					1.09		118.4	208
11.4	19.3	0.57	5.0	2.91	limo argilloso-argilla limosa	0.70	=====					0.72		64.9	144
15.3	26.0	0.84	5.5	2.84	limo argilloso-argilla limosa	0.90	=====					0.90		86.7	174
25.4	43.1	0.91	3.6	2.55	sabbia limosa-limo sabbioso	1.70	=====							147.4	224
18.9	32.1	0.53	2.8	2.58	sabbia limosa-limo sabbioso	1.90	=====							103.3	195
25.2	42.0	0.96	3.9	2.59	sabbia limosa-limo sabbioso	2.20	=====							146.1	233
20.9	33.8	0.84	3.1	2.59	sabbia limosa-limo sabbioso	2.70	=====							122.0	209
33.9	49.1	0.66	2.2	2.35	sabbia limosa-limo sabbioso	3.10	=====							148.8	211
21.5	32.3	0.48	2.3	2.52	sabbia limosa-limo sabbioso	3.30	=====							99.2	204
28.0	40.2	0.68	2.6	2.48	sabbia limosa-limo sabbioso	3.40	=====							143.6	230
18.3	27.2	0.55	3.2	2.66	limo argilloso-argilla limosa	3.70	=====					1.01		106.8	194
11.5	17.5	0.36	3.4	2.83	limo argilloso-argilla limosa	3.90	=====					0.73		67.3	146
15.9	22.9	0.55	3.7	2.76	limo argilloso-argilla limosa	4.20	=====					0.92		92.2	177
11.2	16.2	0.36	3.5	2.87	limo argilloso-argilla limosa	4.50	=====					0.71		64.9	142
7.1	10.3	0.26	4.2	3.07	argilla-argilla limosa	4.70	=====					0.49	2.01	40.8	106
8.7	12.4	0.21	2.6	2.88	limo argilloso-argilla limosa	5.00	=====					0.59		44.7	121
11.2	15.1	0.21	2.0	2.75	limo argilloso-argilla limosa	5.50	=====					0.71		47.0	142
12.6	16.5	0.31	2.6	2.79	limo argilloso-argilla limosa	5.70	=====					0.78		63.3	152
26.0	32.2	0.47	2.0	2.48	sabbia limosa-limo sabbioso	5.90	=====							107.8	222
15.1	18.8	0.48	3.4	2.81	limo argilloso-argilla limosa	6.40	=====					0.89		88.0	172
17.8	21.1	0.56	3.4	2.77	limo argilloso-argilla limosa	7.10	=====					0.99		103.6	191
33.0	37.0	0.74	2.5	2.50	sabbia limosa-limo sabbioso	7.30	=====							159.1	255
22.2	25.1	0.59	2.8	2.66	limo argilloso-argilla limosa	7.40	=====					1.14		122.0	219
28.6	31.8	0.54	2.0	2.49	sabbia limosa-limo sabbioso	7.50	=====							119.2	238
22.0	24.3	0.63	3.1	2.70	limo argilloso-argilla limosa	7.90	=====					1.14		132.8	217
35.5	37.8	0.79	2.4	2.47	sabbia limosa-limo sabbioso	8.40	=====							165.5	263
16.6	17.3	0.60	4.1	2.88	limo argilloso-argilla limosa	8.90	=====					0.95		95.9	182
19.9	20.3	0.64	3.5	2.79	limo argilloso-argilla limosa	9.20	=====					1.07		115.7	204
17.5	17.6	0.72	4.5	2.91	limo argilloso-argilla limosa	9.40	=====					0.98		100.5	189
15.6	15.3	0.53	3.8	2.91	limo argilloso-argilla limosa	10.00	=====					0.91		90.4	175





CPTU

2

Data  
Cantiere / Via  
Località  
Comune  
Profondità falda idrica m.

17 maggio 2012  
Biasola  
Faenza  
Faenza  
2.30

Vs22
199

QT	Qc1N Idris & E daN/cm <sup>2</sup>	FT daN/cm <sup>2</sup>	FT/Qc1N %	lc Robertson	Litologia Robertson 1990 basato su Fr vs Qc1N	H m	Litologia grafica	Falda idrica	Addensamento (Sabbia) Consistenza (Argilla)	Densità Relativa Tatsuoka 1984 %	Angolo Attrito φ' Robertson	Coesione Benassi daN/cm <sup>2</sup>	OCR 0.20 Robertson	Modulo Edometrico Benassi daN/cm <sup>2</sup>	Velocità Vs Baldi (sabbie), Mayne & Rix (argille) m/sec
11.6	11.1	0.32	3.3	2.98	argilla-argilla limosa	10.30	=====		Plastica			0.73	1.83	67.6	145
15.0	14.2	0.22	1.7	2.74	limo argilloso-argilla limosa	10.50	=====		Plastica			0.88		56.9	167
22.1	20.8	0.27	1.3	2.53	sabbia limosa-limo sabbioso	10.60	=====		Sciolta	15.2	30.8			76.1	212
16.6	15.5	0.19	1.3	2.64	limo argilloso-argilla limosa	10.70	=====		Plastica			0.95		57.2	183
21.2	19.5	0.35	1.8	2.64	limo argilloso-argilla limosa	11.40	=====		Solido-plastica (Duro)			1.11		84.2	213
21.9	19.8	0.25	1.3	2.55	sabbia limosa-limo sabbioso	11.60	=====		Molto Sciolta	13.5	30.3			75.3	213
19.7	17.6	0.28	1.6	2.64	limo argilloso-argilla limosa	11.70	=====		Plastica			1.06		72.3	203
30.2	27.1	0.39	1.4	2.46	sabbia limosa-limo sabbioso	11.90	=====		Sciolta	24.0	32.3			107.6	244
45.6	41.3	0.53	1.3	2.28	sabbia limosa-limo sabbioso	12.10	=====		Mediamente Addensata	37.8	34.9			157.1	251
24.4	21.4	0.33	1.7	2.59	sabbia limosa-limo sabbioso	12.20	=====		Sciolta	16.2	30.7			92.3	231
64.4	58.5	0.51	0.8	2.04	sabbia-sabbia limosa	12.40	=====		Mediamente Addensata	49.3	36.9			203.9	209
43.3	38.4	0.67	1.7	2.38	sabbia limosa-limo sabbioso	12.60	=====		Mediamente Addensata	35.4	34.4			165.1	275
23.6	20.2	0.38	1.8	2.62	limo argilloso-argilla limosa	12.70	=====		Solido-plastica (Duro)			1.19		92.5	228
30.8	26.3	0.51	1.8	2.53	sabbia limosa-limo sabbioso	13.30	=====		Sciolta	22.9	31.9			120.7	257
22.2	18.3	0.40	2.0	2.68	limo argilloso-argilla limosa	13.40	=====		Solido-plastica (Duro)			1.15		93.2	219
49.4	42.1	0.53	1.2	2.26	sabbia limosa-limo sabbioso	14.10	=====		Mediamente Addensata	38.4	34.7			166.5	250
17.1	13.2	0.19	1.3	2.70	limo argilloso-argilla limosa	15.00	=====		Plastica			0.97		59.2	186
20.9	16.0	0.31	1.7	2.69	limo argilloso-argilla limosa	15.10	=====		Solido-plastica (Duro)			1.10		80.1	211
16.8	12.6	0.30	2.2	2.84	limo argilloso-argilla limosa	15.50	=====		Plastica			0.96		74.9	183
45.0	35.8	0.52	1.3	2.34	sabbia limosa-limo sabbioso	15.80	=====		Sciolta	33.1	33.4			155.1	269
23.3	17.4	0.44	2.2	2.72	limo argilloso-argilla limosa	15.90	=====		Solido-plastica (Duro)			1.18		102.7	226
39.8	30.9	0.46	1.4	2.41	sabbia limosa-limo sabbioso	16.20	=====		Sciolta	28.3	32.5			140.7	261
22.2	16.4	0.25	1.5	2.65	limo argilloso-argilla limosa	16.30	=====		Solido-plastica (Duro)			1.15		79.5	220
30.6	22.9	0.33	1.2	2.49	sabbia limosa-limo sabbioso	16.40	=====		Sciolta	18.4	30.6			103.9	253
17.6	12.5	0.21	1.4	2.74	limo argilloso-argilla limosa	16.70	=====		Plastica			0.98		62.4	189
34.8	26.6	0.32	1.4	2.49	sabbia limosa-limo sabbioso	16.80	=====		Sciolta	23.2	31.4			121.6	273
75.9	61.4	0.74	1.1	2.09	sabbia limosa-limo sabbioso	17.00	=====		Mediamente Addensata	50.9	36.3			251.9	256
33.5	24.8	0.56	2.0	2.58	sabbia limosa-limo sabbioso	17.20	=====		Sciolta	21.0	31.0			137.4	264
16.8	11.5	0.33	2.5	2.90	limo argilloso-argilla limosa	17.50	=====		Plastica			0.95		80.8	184
16.0	10.9	0.38	3.0	2.96	argilla-argilla limosa	17.70	=====		Plastica			0.92	1.57	91.9	179
17.1	11.5	0.40	2.9	2.94	limo argilloso-argilla limosa	17.90	=====		Plastica			0.96		96.7	186
19.0	12.8	0.40	2.6	2.87	limo argilloso-argilla limosa	18.10	=====		Plastica			1.04		94.7	199
24.6	16.9	0.84	3.9	2.88	limo argilloso-argilla limosa	18.40	=====		Solido-plastica (Duro)			1.22		142.7	233
17.5	11.5	0.54	3.8	3.00	argilla-argilla limosa	18.60	=====		Plastica			0.98	1.65	101.5	189
18.8	12.2	0.35	2.3	2.86	limo argilloso-argilla limosa	19.20	=====		Plastica			1.03		86.5	197
21.5	14.0	0.40	2.2	2.80	limo argilloso-argilla limosa	19.40	=====		Solido-plastica (Duro)			1.12		95.9	215
17.8	11.3	0.27	1.9	2.84	limo argilloso-argilla limosa	19.70	=====		Plastica			0.99		71.5	191
20.8	13.1	0.39	2.3	2.83	limo argilloso-argilla limosa		=====		Solido-plastica (Duro)			1.10		94.9	210



CPTU

2

Data 17 maggio 2012  
Cantiere / Via Biasola  
Località Faenza  
Comune Faenza  
Profondità falda idrica m. 2,30

Vs22
199

QT	Qc1N Idriss & E	FT	FT/Qnet %	ic Robertson	Litologia Robertson 1990 basato su Fr vs Qc1N	H m	Litologia grafica	Falda idrica	Addensamento (Sabbia) Consistenza (Argilla)	Densità Relativa Tatsuoka 199	Angolo Attrito φ° Robertson	Coesione Benassi daN/cm <sup>2</sup>	OCR 0.20 Robertson	Modulo Edometrico Benassi daN/cm <sup>2</sup>	Velocità Vs Baldi (sabbie), Mayne & Rix (argille) m/sec
						20.70									
19.0	11.5	0.29	1.9	2.84	limo argilloso-argilla limosa				Plastica			1.04		76.8	199
						21.10									
22.4	13.6	0.46	2.5	2.84	limo argilloso-argilla limosa				Solido-plastica (Duro)			1.15		109.5	220
						21.60									
19.9	11.8	0.38	2.4	2.88	limo argilloso-argilla limosa				Plastica			1.07		92.8	205
						22.00									
222.4	207.3	2.49	1.2	1.76	sabbia-sabbia limosa				Molto addensato	>90	41.1			746.7	272
						22.40									
203.9	123.9	1.61	1.1	1.86	sabbia-sabbia limosa				Addensata	74.1	40.5			672.6	267

Comune Faenza  
 Via Biasola  
 Localita' Faenza  
 Committente Geom. Montevecchi  
 Data 17-mag-12

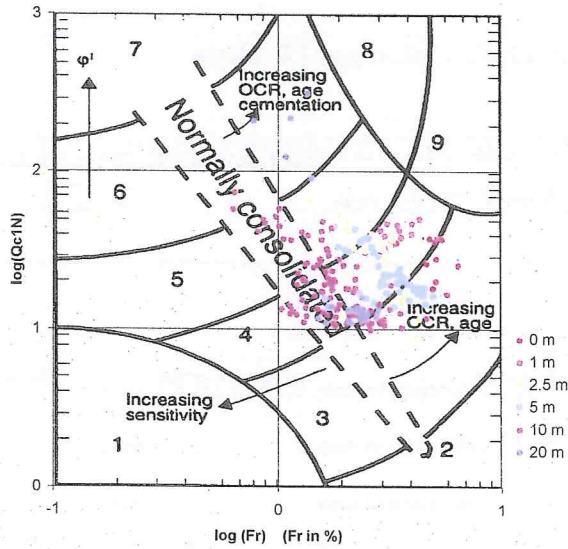
Numero prova 2  
 Quota falda 2.30



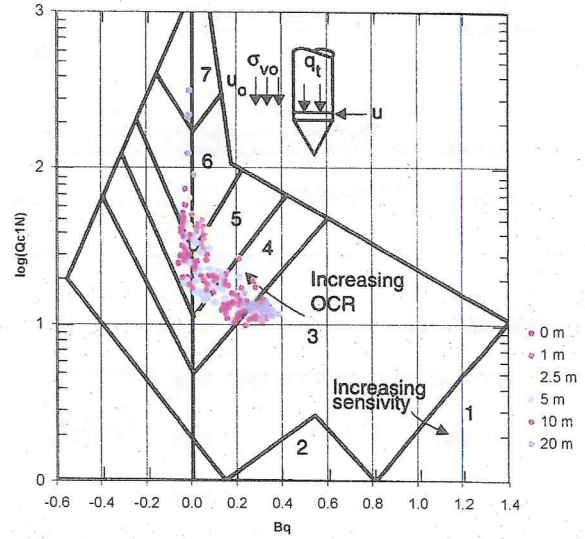
Società di  
 Geologia  
 Territoriale

S.C.T. sas.  
 di Van Zutphen Albert & C  
 Via Matteotti 50  
 48012 Bagnacavallo (RA)  
 www.geo55.com

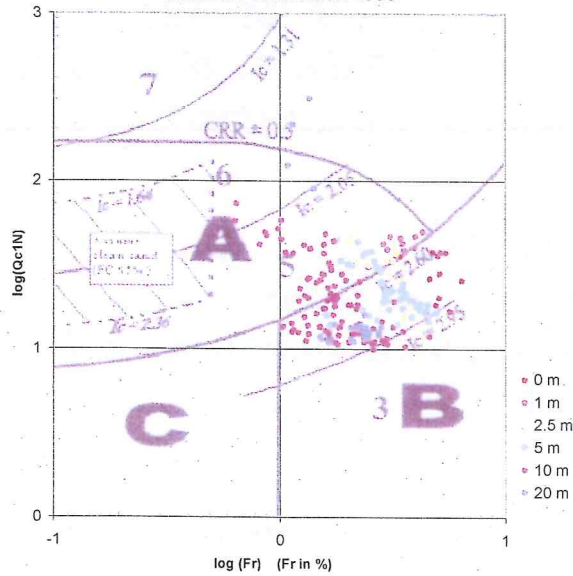
Cross-plot Qc1N verso Fr  
 (Robertson 1990)



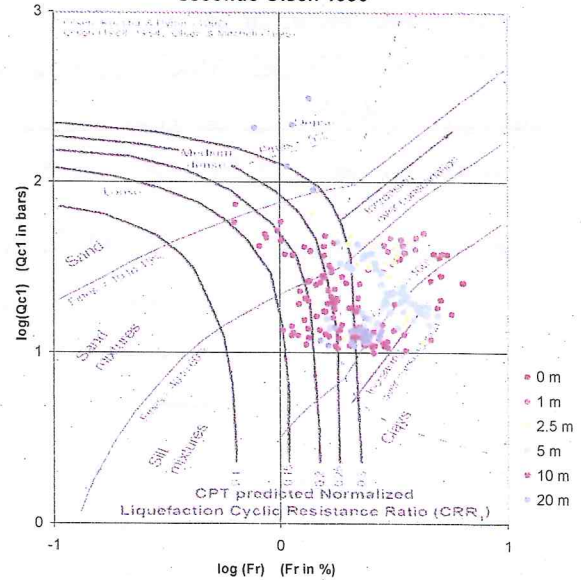
Cross-plot Qc1N verso Bq  
 (Robertson 1990)



Cross-plot Qc1N verso Fr  
 per la verifica della liquefazione  
 secondo Robertson 1996



Cross-plot Qc1N verso Fr  
 per la verifica della liquefazione  
 secondo Olsen 1996



Litotipo secondo Robertson 1990

Zone	Tipo di comportamento
9	Terreni molto duri a grana fine
8	Sabbia molto densa e sabbia argillosa
7	Sabbia ghiaiosa - sabbia densa
6	Sabbia - sabbia limosa
5	Sabbia limosa - limo sabbioso
4	Limo argilloso - argilla limosa
3	Argilla limoso - argilla
2	Torba
1	Terreni fini sensibili

Potenziale di liquefacibilita

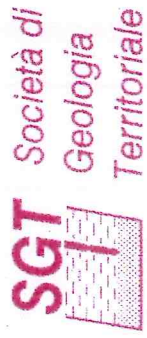
Zone A	Liquefazione ciclica possibile - dipendente da ampiezza e tempo del carico ciclico.
Zone B	Liquefazione improbabile.
Zone C	Liquefazione fluida e liquefazione ciclica possibile - dipendente da plasticità e sensibilità, da ampiezza e tempo del carico ciclico.



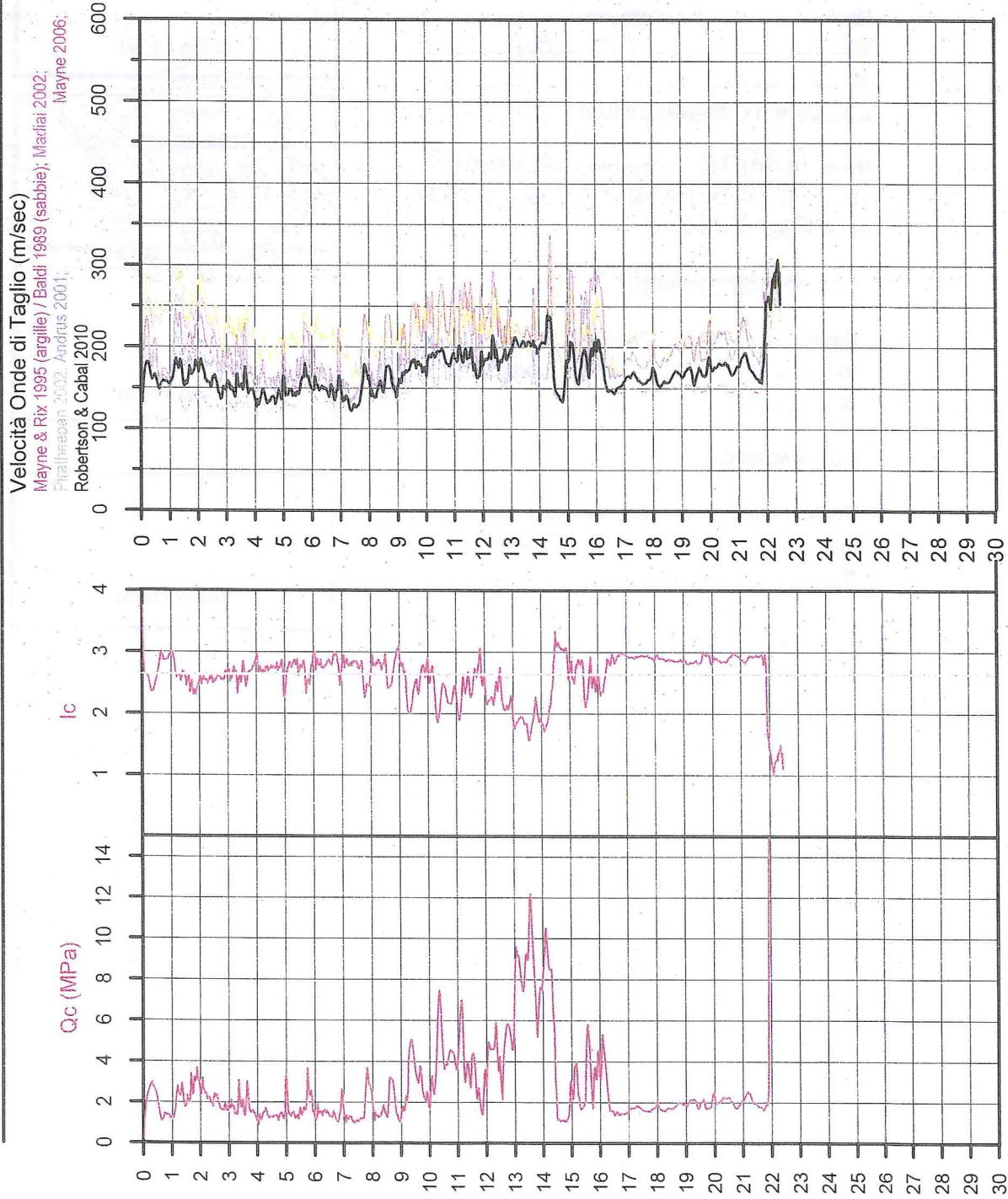
Comune Faenza  
 Via Biasola  
 Localita' Faenza  
 Data 17/05/2012

# CPT 1

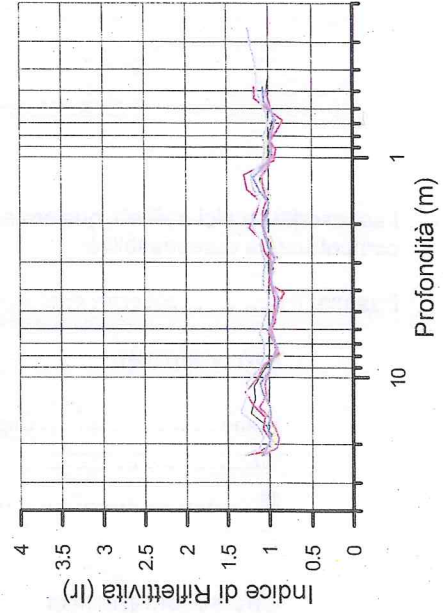
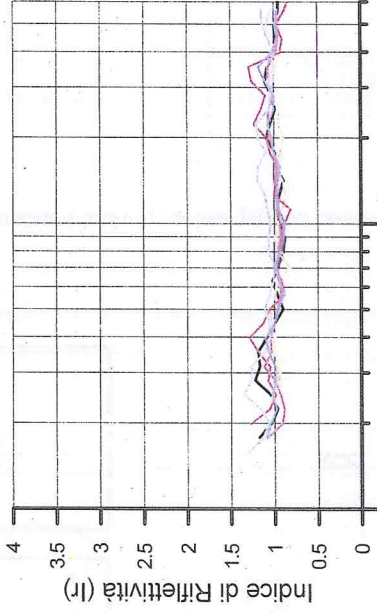
Falda 2.3 metri



S.G.T. sas  
 di Van Zulphen Albert & C.  
 Via Matteotti 50  
 48012 Bagnacavallo (RA)  
 www.geo55.com



Autore	Vs22
A ndrus et. al. 2001	171
P iratheepan 2002	152
M adiai 2002	167
M ayne & Rix 1995 (clays) / Baldi 1989 (sands)	195
H egazy & Mayne 1995	214
M ayne 2006	219
R obertson Cabal 2010	167



Comune Faenza  
 Via Biasola  
 Localita' Faenza  
 Data 17-mag-12

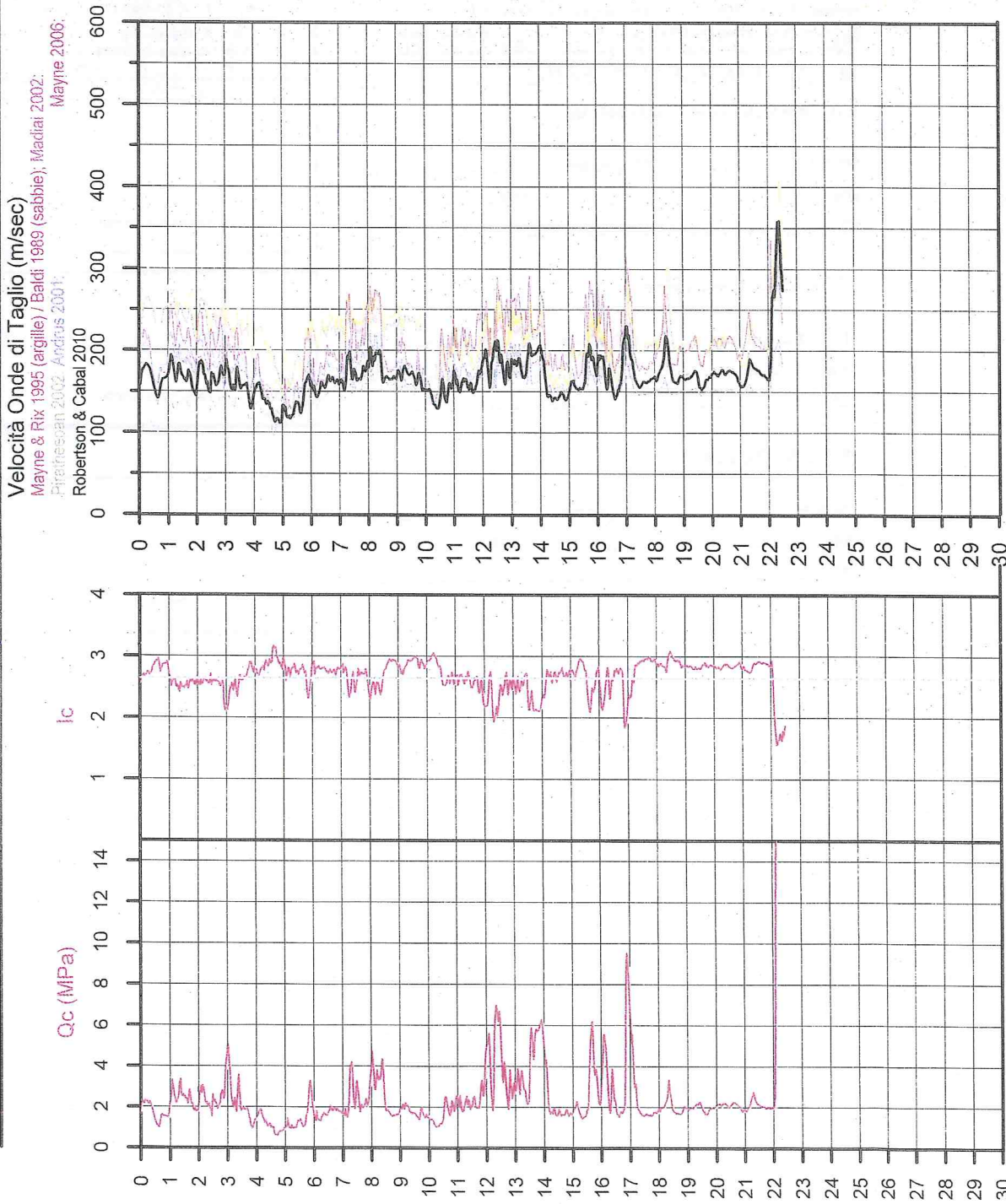
# CPT 2

Falda 2.3 metri

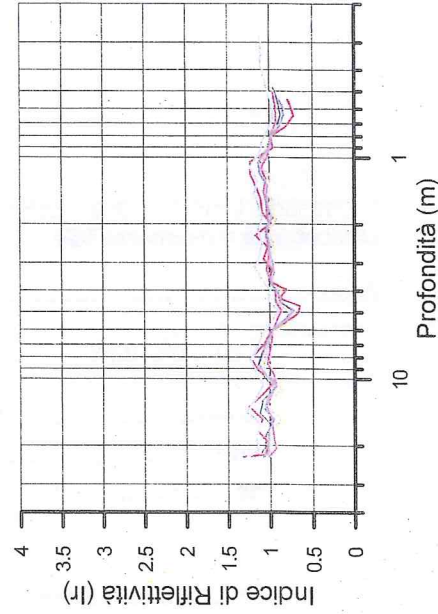
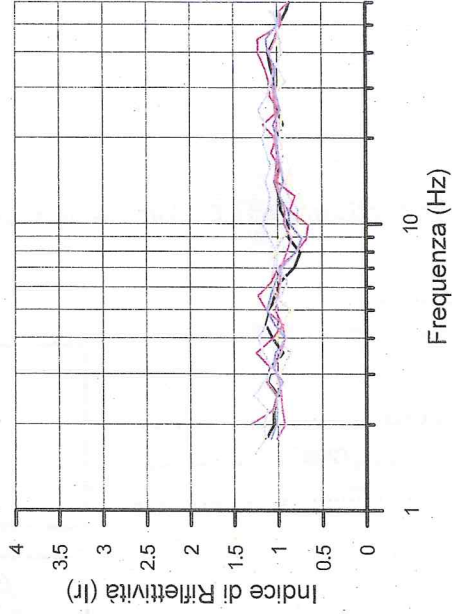


S.G.T. sas  
 di Van Zuijphen Albert & C.  
 Via Matteotti 50  
 48012 Bagnacavallo (RA)  
 www.geo35.com

**Società di Geologia Territoriale**



Autore	Vs22
Andrus et.al. 2001	173
Piratheepan 2002	151
Madiai 2002	165
Mayne & Rix 1995 (clays) / Baldi 1989 (sands)	197
Hegazy & Mayne 1995	212
Mayne 2006	218
Robertson Cabal 2010	165



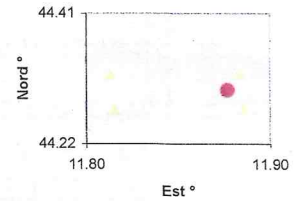


**VALUTAZIONE PARAMETRI SISMICI DEL SITO**  
**CON RIFERIMENTO AL PROGETTO**  
**SECONDO DECRETO MINISTERIALE DEL 14-01-2008**



**Ubicazione del sito**

Comune	Faenza		
Località	Faenza		
	Google Earth (WGS84)	NTC2008 (ED50)	
Longitudine (° decimali)	11.8750	11.8768	
Latitudine (° decimali)	44.2992	44.3002	



**I 4 nodi del reticolo di riferimento per l'azione sismica intorno il punto di interesse**

ID	Distanza al punta di interesse di (m)	Longitudine	Latitudine
17626	2.692	11.883	44.324
17848	2.985	11.885	44.274
17625	5.672	11.813	44.323
17847	5.775	11.815	44.273

**Tipi di Costruzione**

Tipi di Costruzione	Descrizione	Coefficiente	Progetto
1	Opere provvisorie - Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva	<= 10	50
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	>= 50	
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali ed dighe di grande dimensioni o di importanza strategica	>= 100	

**Classe d'uso**

Classe d'uso	Descrizione	Coefficiente Cu	Progetto
1	Occasionali presenza di persone	0.7	1
2	Normali affollamenti	1	
3	Affollamenti significativi	1.5	
4	Edifici confunzioni pubbliche o strategiche importanti	2	

**Periodo di riferimento per l'azione sismica  $V_r = V_n * C_u = 50$  anni**

Stati Limiti	Descrizione	Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_r = 50$ anni $P_{vr}$	Periodo di ritorno dell'azione sismica $T_r$ (anni)
SLO	Stato Limite di Operatività	81%	30
SLD	Stato Limite di Danno	63%	50
SLV	Stato Limite di salvaguardia della Vita	10%	475
SLC	Stato Limite di prevenzione del Colasso	5%	975

**Valori sismici Decreto Ministeriale 14-01-2008**

	$a_g$ (m/sec <sup>2</sup> )	$a_g/g$	$F_0$	$T_c^*$
1. Stato Limite di Operatività	0.668	0.068	2.402	0.260
2. Stato Limite di Danno	0.853	0.087	2.393	0.270
3. Stato Limite di salvaguardia della Vita	2.048	0.209	2.448	0.300
4. Stato Limite di prevenzione del Colasso	2.565	0.261	2.501	0.314

**Valori sismici DELIBERA 112 del 2007 REGIONE EMILIA-ROMAGNA**

Per periodo di ritorno = 475 anni in comune di	$a_g$ (m/sec <sup>2</sup> )	$a_g/g$	M
Faenza	2.011	0.205	5.663

**Valori applicati**

	$a_g$	$a_g/g$	$F_0$	$T_c^*$
3. Stato Limite di salvaguardia della Vita	2.048	0.209	2.448	0.300

**VALUTAZIONE DEL TIPO DI SUOLO BASATO SU CPT 1**

Rapporto terreno coesivo / terreno granulare (m/m)	13.91 / 8.37
Massimo profondità indagato (m)	22.40

		TIPO DI SUOLO SUGGERITO
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Andrus 2001) (m/sec)	171	D o S1
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Piratheepan 2002) (m/sec)	152	D o S1
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Madial 2002) (m/sec)	167	D o S1
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Mayne & Riv 1995 (argille) / Baldi 1989 (sabbie) (m/sec)	195	C
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Hegazy & Mayne 1995) (m/sec)	219	C
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Mayne 2006) (m/sec)	214	C
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Robertson Cabal 2009) (m/sec)	167	D o S1

Resistenza penetrometrica equivalente Nsp (Norme AGI per terreni granulari) (N)	9.4	D o S1
Resistenza al taglio non drenata equivalente Cu (Norme AGI per terreni coesivi) (kPa)	91	C

TIPO DI SUOLO STIMATO  
C

**ACCELERAZIONE ED AMPLIFICAZIONE D.M. 14-01-2008**

Stato Limite di salvaguardia della Vita  $T_r = 475$

Accelerazione massima al substrato sismico	amax al substrato sismico	2.048 m/sec <sup>2</sup>	0.209 g
Amplificazione per tipo di suolo	C	Ss	1.39
Amplificazione topografica		ST	1.00
S totale		Ss * ST	1.39
Accelerazione massima in superficie	amax in superficie	2.854 m/sec <sup>2</sup>	0.291 g

$\xi$ (%) coefficiente di smorzamento viscoso	5	fattore $\eta$	1.00
---	---	----------------	------

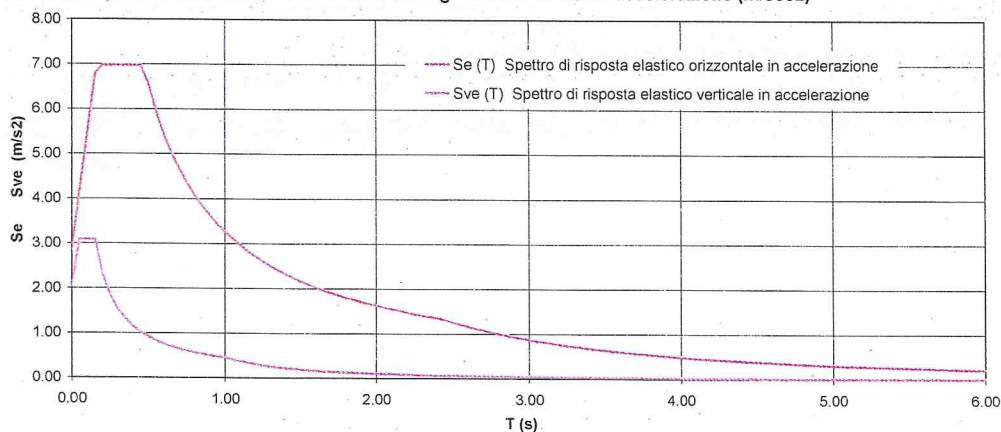
**PERIODI DI SEPARAZIONI DEI RAMI DELLO SPETTRO**

Tipo di suolo	C	ORIZZONTALE	VERTECALE
Tb		0.16	0.05
Tc		0.47	0.15
Td		2.44	1.00
Te		6.00	
Tf		10.00	

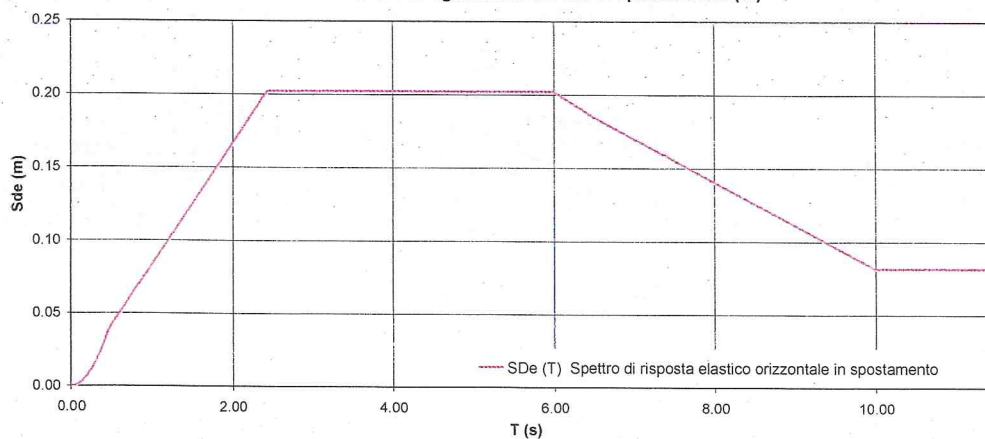
**PARAMETRI DI PICCO**

Accelerazione orizzontale massima	ag	2.854 m/sec <sup>2</sup>
Velocità orizzontale massima	vg	0.21 m/sec
Spostamento orizzontale massimo	dg	0.08 m

**Spettro di risposta elastico allo Stato Limite di salvaguardia della Vita in accelerazione (m/sec<sup>2</sup>)**



**Spettro di risposta elastico allo Stato Limite di salvaguardia della Vita in spostamento (m)**



DATI SISMICI DERIVATI DEL TERRENO		FONDAZIONI E PENDI	OPERE DI SOSTEGNO
$a_{max}/g$	Accelerazione orizzontale massima atteso al sito	0.291	
$\beta_s$	Coefficiente di riduzione $a_g/g$	0.280	0.310
$K_h$ terreno	Coefficiente sismico orizzontale	0.081	0.090
$K_v$ terreno	Coefficiente sismico verticale	0.041	0.045



**VALUTAZIONE DEL TIPO DI SUOLO BASATO SU CPT 2**

Rapporto terreno coesivo / terreno granulare (m/m)	15.48 / 6.82
Massimo profondità indagato (m)	22.42

		TIPO DI SUOLO SUGGERITO
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Andrus 2001) (m/sec)	173	D o S1
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Piratheepan 2002) (m/sec)	151	D o S1
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Madiari 2002) (m/sec)	165	D o S1
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Mayne & Rix 1995 (argille) / Baldi 1989 (sabbie) (m/sec)	197	C
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Hegazy & Mayne 1995) (m/sec)	218	C
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Mayne 2006) (m/sec)	212	C
Velocità di propagazione onde di taglio Vs (Robertson Cabal 2009) (m/sec)	165	D o S1

Resistenza penetrometrica equivalente Nspt (Norme AGI per terreni granulari) (N)	8.3	D o S1
Resistenza al taglio non drenata equivalente Cu (Norme AGI per terreni coesivi) (kPa)	95	C

TIPO DI SUOLO STIMATO	C
-----------------------	---

**ACCELERAZIONE ED AMPLIFICAZIONE D.M. 14-01-2008**

Stato Limite di salvaguardia della Vita  $T_r = 475$

Accelerazione massima al substrato sismico	amax al substrato sismico	2.048 m/sec <sup>2</sup>	0.209 g
Amplificazione per tipo di suolo C	Ss	1.39	
Amplificazione topografica	ST	1.00	
S totale	Ss * ST	1.39	
Accelerazione massima in superficie	amax in superficie	2.854 m/sec <sup>2</sup>	0.291 g

z (%) coefficiente di smorzamento viscoso	5	fattore $\eta$	1.00
---	---	----------------	------

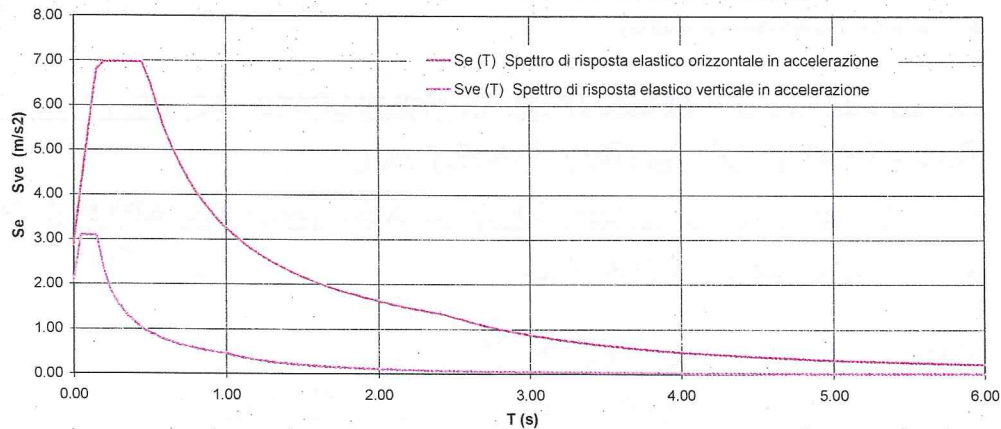
**PERIODI DI SEPARAZIONI DEI RAMI DELLO SPETTRO**

Tipo di suolo C	ORIZZONTALE	VERTICALE
Tb	0.16	0.05
Tc	0.47	0.15
Td	2.44	1.00
Te	6.00	
Tf	10.00	

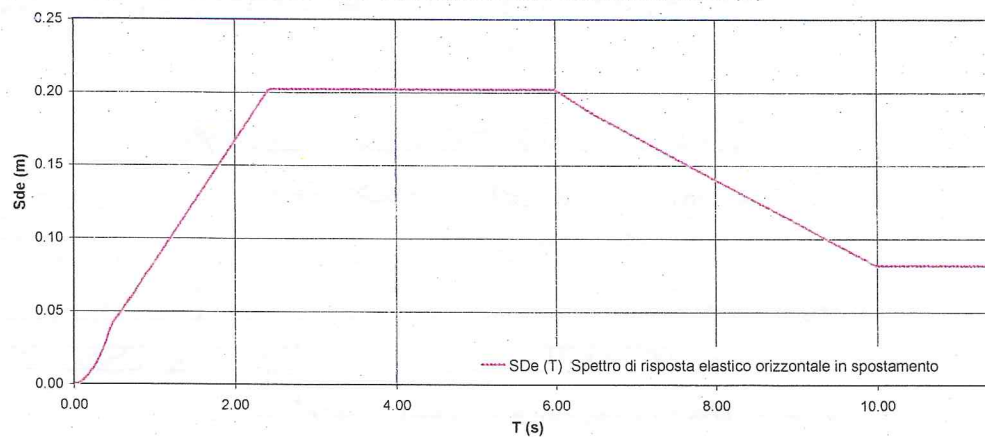
**PARAMETRI DI PICCO**

Accelerazione orizzontale massima	ag	2.854 m/sec <sup>2</sup>
Velocità orizzontale massima	vg	0.21 m/sec
Spostamento orizzontale massimo	dg	0.08 m

**Spettro di risposta elastico allo Stato Limite di salvaguardia della Vita in accelerazione (m/sec<sup>2</sup>)**



**Spettro di risposta elastico allo Stato Limite di salvaguardia della Vita in spostamento (m)**



DATI SISMICI DERIVATI DEL TERRENO		FONDAZIONI E PENDI	OPERE DI SOSTEGNO
$a_{max}/g$	Accelerazione orizzontale massima atteso al sito	0.291	
$\beta_s$	Coefficiente di riduzione $a_g/g$	0.280	0.310
$K_{H,terreno}$	Coefficiente sismico orizzontale	0.081	0.090
$K_{V,terreno}$	Coefficiente sismico verticale	0.041	0.045

Comune  
Via  
Localita'  
Committente  
Data

Faenza  
Biasola  
Faenza  
Geom. Montecocchi  
17/05/2012

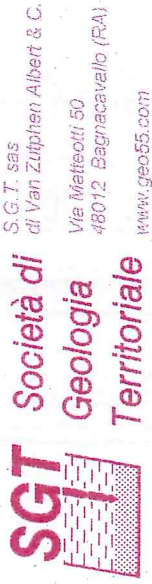
**CPT 1**

Falda 2.3 metri

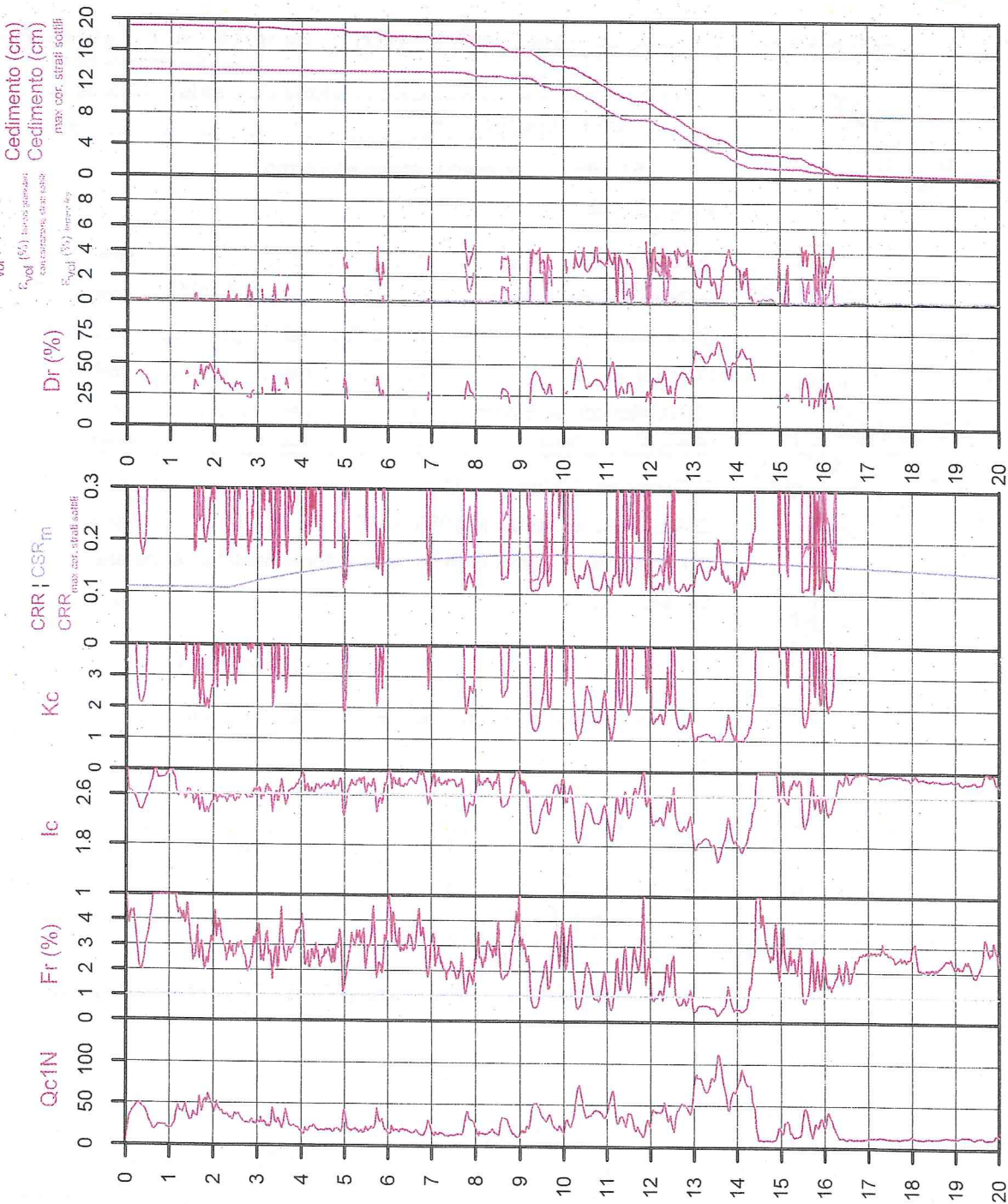
DECRETO MINISTERIALE 14-01-2008

latitudine	44.3002°	amax substrato (m/sec <sup>2</sup> )	2.048
longitudine	11.8769°	fattore amplificazione	1.303
tipo di suolo	C	amax al p.c. (m/sec <sup>2</sup> )	2.854
amplificazione topografica	1.000	magnitudo	5.500

coltura	coltura	area coltivata (m <sup>2</sup> )	2.814
fruttifera	coltura	coltura amplificazione	1.500
amplificazione topografica	1.000	area coltivata (m <sup>2</sup> )	3.017
magnitudo	5.500		



S.G.T. sas  
di Van Zutphen Albert & C.  
Via Matteotti 50  
48012 Bagnacavallo (RA)  
www.geo55.com



**PROCEDURA**

**VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERSTON & CABAL 2009**

- amax e fattore di amplificazione secondo DECRETO MINISTERIALE 14-01-2008
- CSR 5.5 secondo Idriss & Boulanger 2004 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine)
- CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con:
  - Cc1N secondo Idriss & Boulanger 2004
  - Fattore Kc per la correzione di Cc1N to Cc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
  - Fattore Kh per la correzione di Cc1Ncs per strati sottili di sabbia in mezzo argilla
- Fattore di sicurezza per liquefazione: Fslq = CRR 7.5 / CSR 5.5

**CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)**

- Parametri utilizzati:
- Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
  - Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento ed indice di spostamento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Indice di spostamento laterale LDI (cm)
Cedimento totale	18	179
Cedimento totale considerando strati sottili	13	162

**CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)**

- Parametri utilizzati:
- Cc1N secondo Idriss & Boulanger 2004
  - Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fin+granulari (cm)
Cedimento totale	1	19
Cedimento totale considerando strati sottili	1	14

**VALUTAZIONE DELL' INDICE I DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (IWASAKI 1982) (Ritirmento Linee Guida AGI 2005; pagina 105)**

- Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fslq e la profondità.
- Parametri utilizzati:
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
  - Profondità

INDICE I DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE		POTENZIALE DI ROTTURA
senza correzione per strati sottili	1.5	BASSO
con correzione per strati sottili	1.5	ELEVATO
	IL <= 5	BASSO
	5 < IL <= 15	ELEVATO
	IL > 15	ESTREMAMENTE ELEVATO



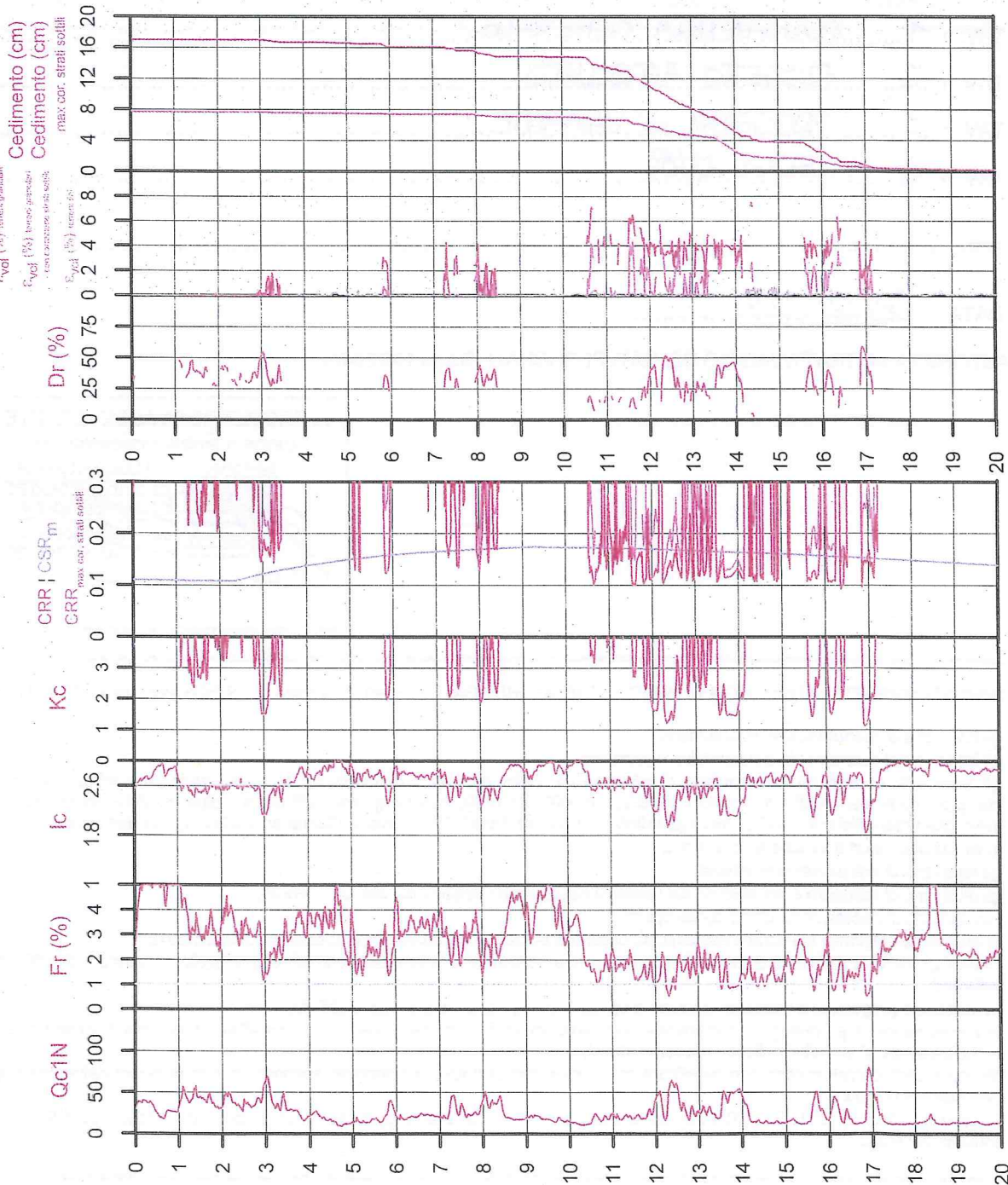
DECRETO MINISTERIALE 14-01-2008

latitudine	44.3002°	amax substrato (m/sec <sup>2</sup> )	2.048
longitudine	11.8768°	fattore amplificazione	1.393
tipo di suolo	C	amax al p.c. (m/sec <sup>2</sup> )	2.054
amplificazione topografica	1.000	magnitudo	5.500

Comune Faenza  
 Via Biasola  
 Localita' Faenza  
 Committente Geom. Montecocchi  
 Data 17-mag-12

CPT 2

Falda 2.3 metri



**PROCEDURA**

- VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO ROBERSTON & CABAL 2009**
- amax e fattore di amplificazione secondo DECRETO MINISTERIALE 14-01-2008
  - CSR 5.5 secondo Idriss & Boulanger 2004 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine)
  - CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con:
    - Qc1N secondo Idriss & Boulanger 2004
    - Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic secondo Robertson & Cabal 2009
    - Fattore Kh per la correzione di Qc1Ncs per strati sottili di sabbia in mezzo argilla
  - Fattore di sicurezza per liquefazione: Fslq = CRR 7.5 / CSR 5.5

**CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE PER TERRENI GRANULARI (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)**

Parametri utilizzati:

- Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento ed indice di spostamento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova per terreni granulari	Cedimento terreni granulari (cm)	Indice di spostamento laterale LDi (cm)
Cedimento totale	16	110
Cedimento totale considerando strati sottili	7	51

**CALCOLO DEL CEDIMENTO PER TERRENI FINI (ROBERTSON 2009)**

Parametri utilizzati:

- Qc1N secondo Idriss & Boulanger 2004
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova per terreni fini	Cedimento terreni fini (cm)	Cedimento totale fin + granulari (cm)
Cedimento totale	1	17
Cedimento totale considerando strati sottili	1	8

**VALUTAZIONE DELL' INDICE I, DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (IWASAKI 1982) (Riferimento Linee Guida AGI 2005; pagina 105)**

Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fslq e la profondità.

- Parametri utilizzati:
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
  - Profondità

INDICE I, DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (con correzione per strati sottili)	POTENZIALE DI ROTTURA
I <= 5	BASSO
5 < I <= 15	ELEVATO
I > 15	ESTREMAMENTE ELEVATO

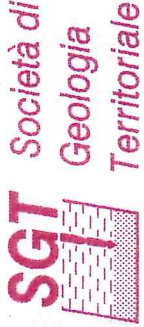


Comune Faenza  
 Via Biasola  
 Localita' Faenza  
 Committente Geom. Montevicchi  
 Data 17/05/2012

# CPT 1

Falda 2.3 metri

latitudine 44.3002°	amax substrato (m/sec <sup>2</sup> )	Scurezza	max. sabbia (m/sec <sup>2</sup> )
longitudine 11.8768°	fattore amplificazione	500-200	2.046
tipo di suolo C	amax al p.c. (m/sec <sup>2</sup> )	1.303	1.990
inclinazione topografica 1.000	magnitudo	3.012	5.500
		2.854	



S.G.T. sas  
 di Van Zulphen Albert & C.  
 Via Matteotti 50  
 48012 Bagnacavallo (FA)  
 www.geo55.com

## PROCEDURA

- VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO LE LINEE GUIDA AGI 2005**
- amax e fattore di amplificazione secondo DECRETO MINISTERIALE 14-01-2008
  - CSR 5.5 secondo Idriss & Boulanger 2004 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudin
  - CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
    - Qc1N secondo Idriss 2004
    - Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic e Qc1N secondo Idriss 2004
    - Fattore Kh per la correzione di Qc1Ncs per strati sottili di sabbia in mezzo argilla
  - Applicazione di criteri di esclusione di liquefazione secondo Robertson & Wride 1998:
    - lc > 2.60 e Fr > 1%
  - Fattore di sicurezza per liquefazione: Fslmq = CRR 7.5 / CSR 5.5

## CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATER

(ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

- Parametri utilizzati:
- Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
  - Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

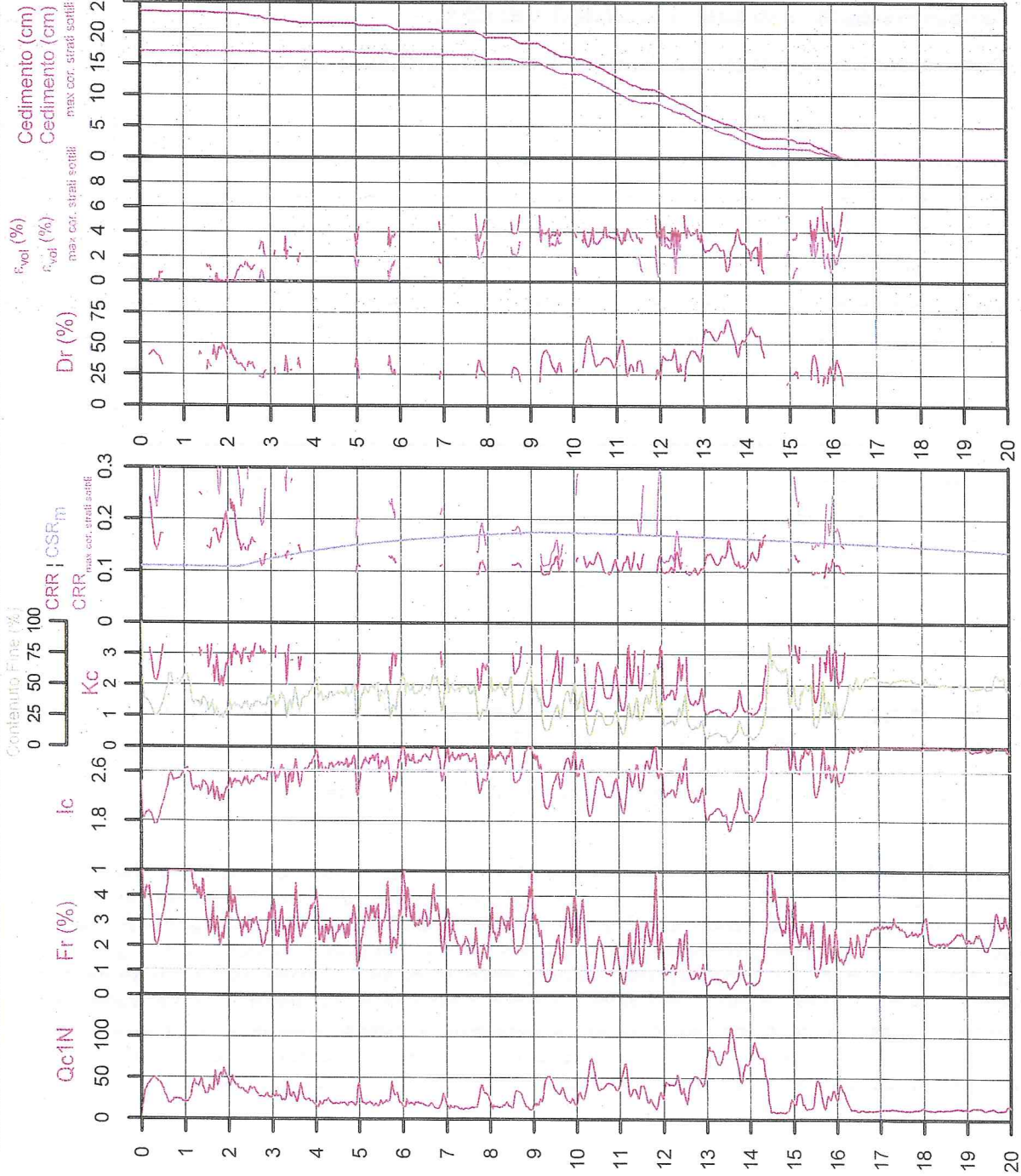
Cedimento ed indice di spostamento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova	Cedimento (cm)	Indice di spostamento laterale LI (cm)
	24	210
Cedimento totale considerando strati sottili	17	192

## VALUTAZIONE DELL' INDICE L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (IWASAKI 1982)

(Riferimento Linee Guida AGI 2005; pagina 105)

- Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fslmq e la profondità.
- Parametri utilizzati:
- Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
  - Profondità

INDICE L DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE senza correzione per strati sottili	POTENZIALE ROTTURA	
	con correzione per strati sottili	
1.1	IL <= 5	BASSO
1.1	5 < IL <= 15	ELEVATO
1.1	IL > 15	ESTREMAMENTE ELEVATO





DECRETO MINISTERIALE 14-01-2008

latitudine	44.3002°	amax substrato (m/sec2)	2.048
longitudine	11.8768°	fattore amplificazione	1.335
tipo di suolo	C	amax al p.c. (m/sec2)	2.854
amplificazione sismologica	1.000	magnitudine	5.500

sp. tipo	Esploraz.	PROVA LABORATORIO (MONTAGNA)	2.0711
sp. data		Misure di liquefazione	1.5000
sp. luogo		amplificazione sismologica	3.8117
sp. stato		magnitudine	5.5000

Comune Faenza  
 Via Biasola  
 Localita' Faenza  
 Committente Geom. Montevocchi  
 Data 17-mag-12

# CPT 2

Falda 2.3 metri



S.G.T. sas  
 di Van Zupphen Albert & C.  
 Via Matteotti 50  
 48012 Bagnacavallo (RA)  
 www.geo55.com

## PROCEDURA

### VERIFICA DI LIQUEFAZIONE SECONDO LE LINEE GUIDA AGI 2005

- \* amax e fattore di amplificazione secondo DECRETO MINISTERIALE 14-01-2008
- \* CSR 5.5 secondo Idriss & Boulanger 2004 (Cyclic Stress Ratio corretto per magnitudine)
- \* CRR (Cyclic Resistance Ratio) calcolato con
  - Qc1N secondo Idriss 2004
  - Fattore Kc per la correzione di Qc1N to Qc1Ncs per granulometria calcolato da Ic e Qc1N secondo Idriss 2004
  - Fattore Kh per la correzione di Qc1Ncs per strati sottili di sabbia in mezzo argilla
- \* Applicazione di criteri di esclusione di liquefazione secondo Robertson & Wride 1998:
  - lc > 2.60 e Fr > 1%
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione: Fslq = CRR 7.5 / CSR 5.5

### CALCOLO DEL CEDIMENTO E DELL' INDICE DI SPOSTAMENTO LATERALE (ISHIHARA & YOSEMINE 1993)

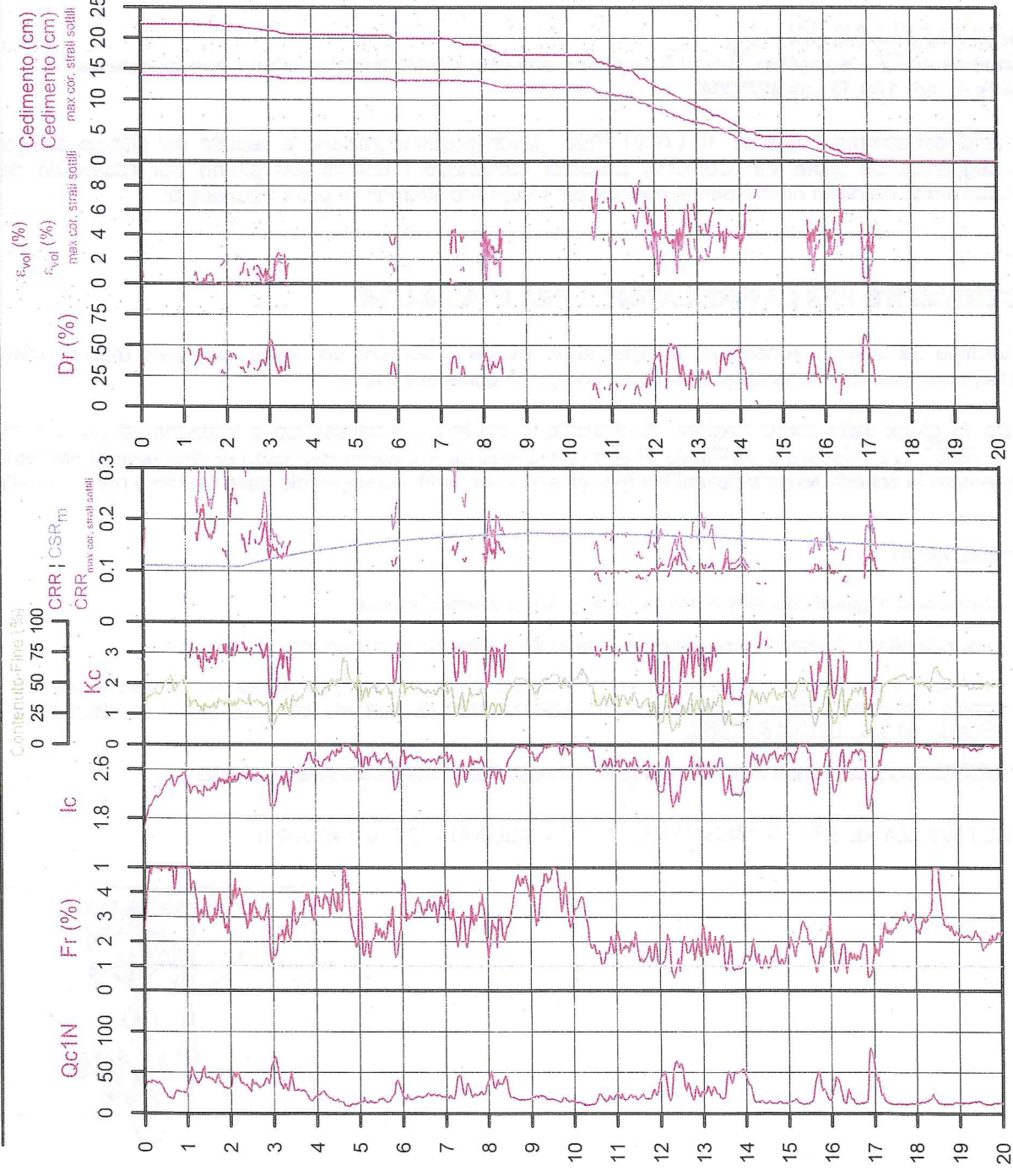
- Parametri utilizzati:
- \* Densità Relativa Dr secondo Tutsaoki 1990
  - \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra

Cedimento ed indice di spostamento laterale calcolato tra piano campagna e massima profondità della prova	Cedimento (cm)	Indice di spostamenti laterale LD (cm)
Cedimento totale	22	144
Cedimento totale considerando strati sottili	14	85

### VALUTAZIONE DELL' INDICE I, DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (IWASAKI 1982) (Riferimento Lines Guida AGI 2005; pagina 105)

- Metodo di valutazione degli effetti di liquefazione basato su Fslq e la profondità.
- Parametri utilizzati:
- \* Fattore di sicurezza per liquefazione come sopra
  - \* Profondità

INDICE I, DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE		POTENZIALE ROITURA
senza correzione per strati sottili	con correzione per strati sottili	
1.0	1.0	BASSO
		ELEVATO
		ESTREMAMENTE ELEVATO



## FAENZA VIA BIASOLA, VAR PRG MONTEVECCHI T1

Strumento: TEN-0017/01-07

Inizio registrazione: 18/05/12 17:40:49 Fine registrazione: 18/05/12 17:56:50

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h16'00".

Analisi effettuata sull'intera traccia.

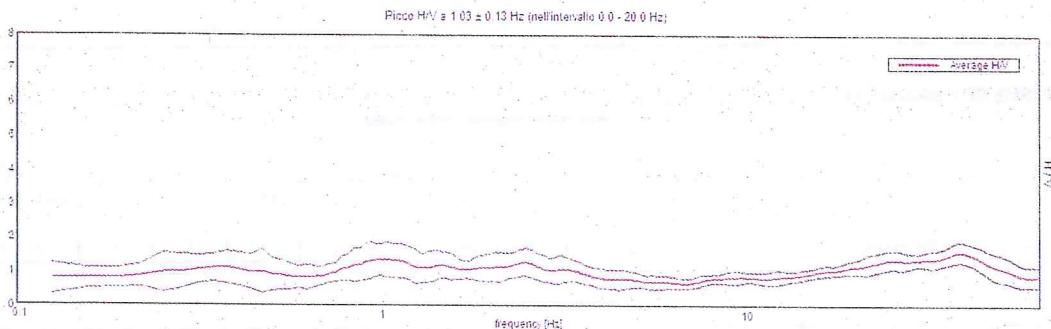
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

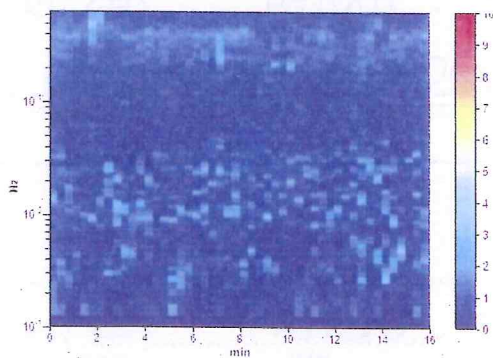
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

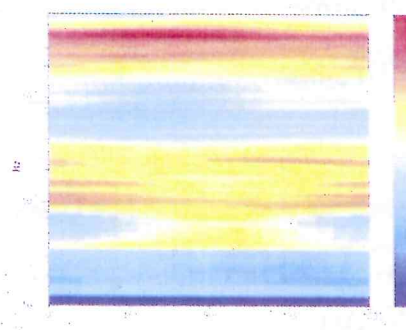
### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



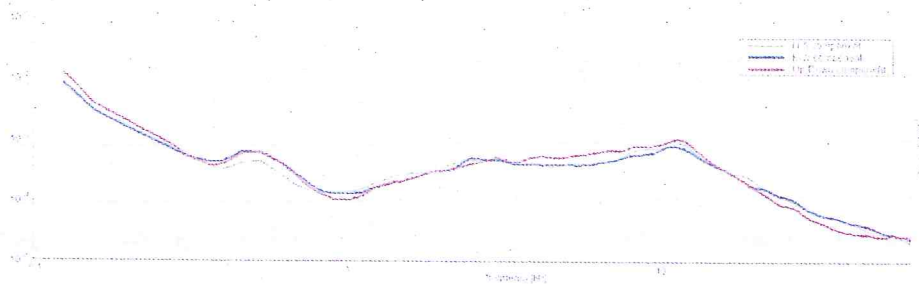
### SERIE TEMPORALE H/V



### DIREZIONALITA' H/V

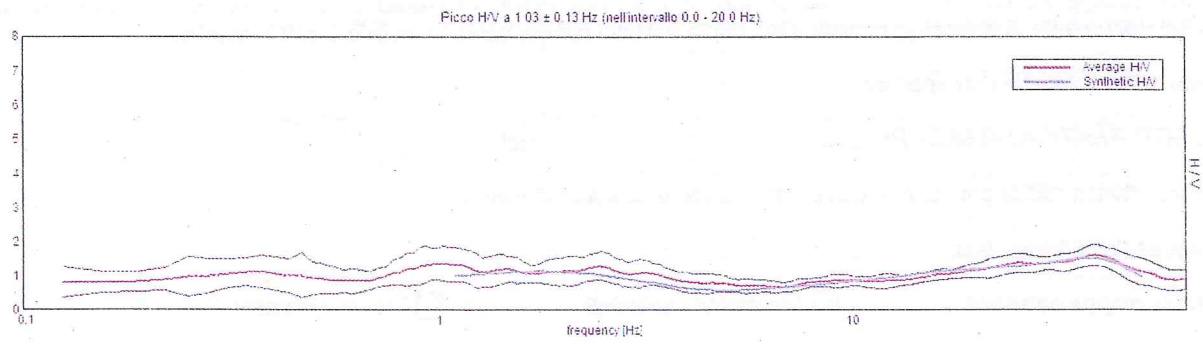


### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



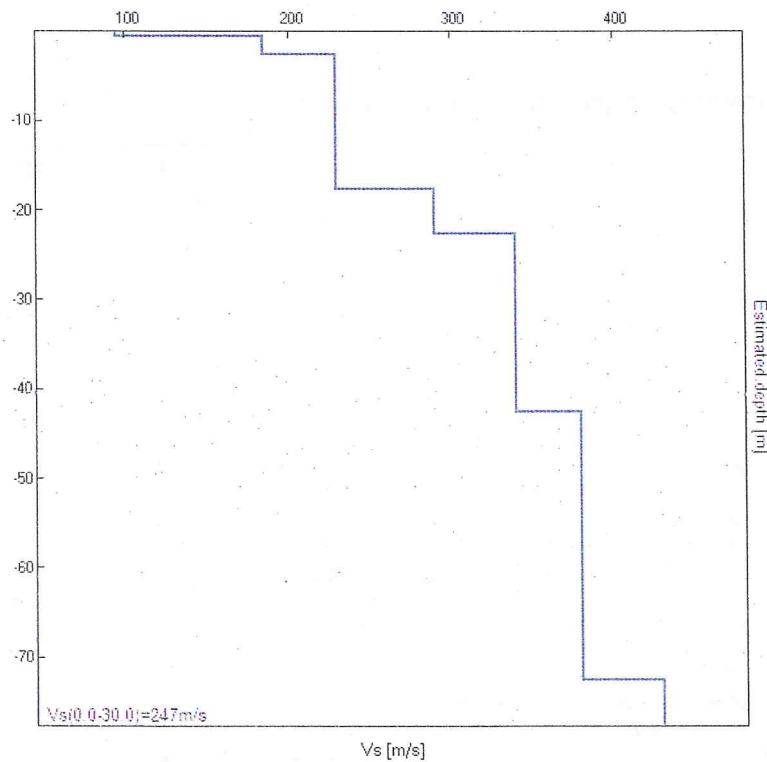


### H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.60	0.60	95	0.40
2.60	2.00	185	0.40
17.60	15.00	230	0.40
22.60	5.00	290	0.40
42.60	20.00	340	0.35
72.60	30.00	380	0.35
inf.	inf.	430	0.35

Vs(0.0-30.0)=247m/s



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente].

Picco H/V a  $1.03 \pm 0.13$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 20.0 Hz).

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$1.03 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$990.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 50	OK	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$1.37 > 2$		NO
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.06188  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.06381 < 0.10313$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2572 < 1.78$	OK	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

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



## FAENZA VIA BIASOLA, VAR PRG MONTEVECCHI T2

Strumento: TEN-0017/01-07

Inizio registrazione: 18/05/12 17:59:11 Fine registrazione: 18/05/12 18:15:12

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h16'00".

Analizzato 77% tracciato (selezione manuale)

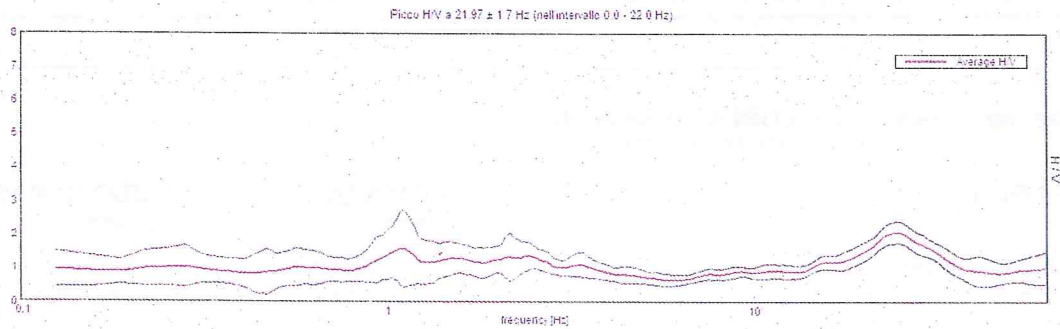
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

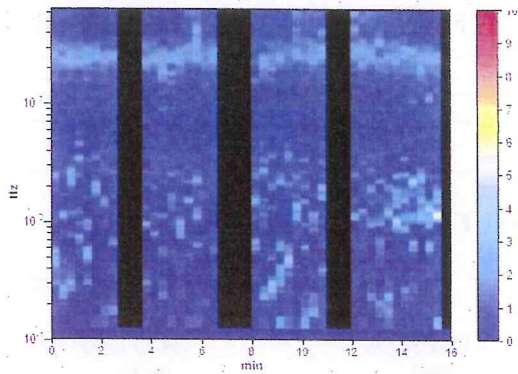
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

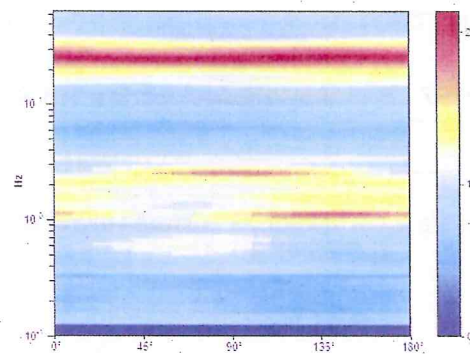
### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



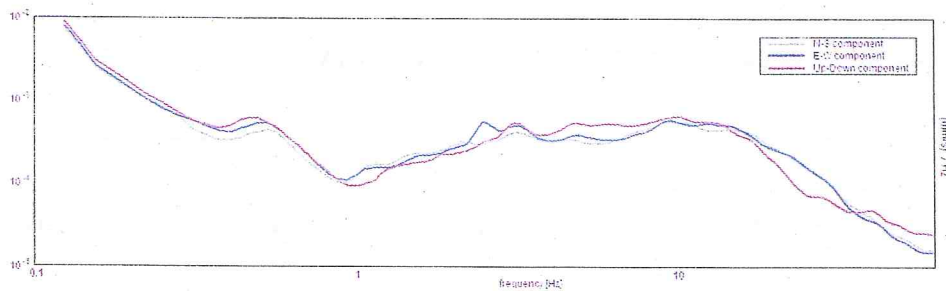
### SERIE TEMPORALE H/V



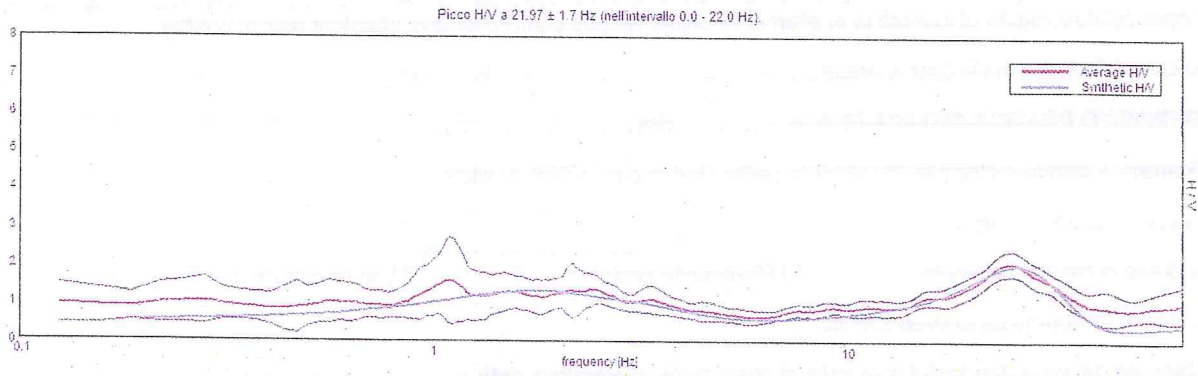
### DIREZIONALITA' H/V



### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

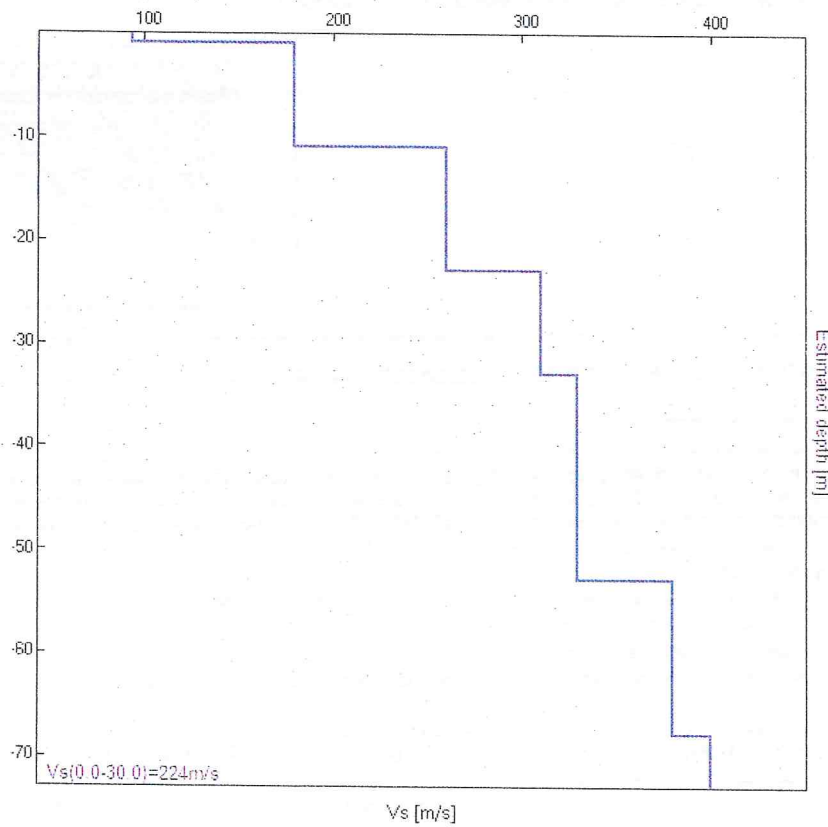


### H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.88	0.88	94	0.40
10.88	10.00	180	0.40
22.88	12.00	260	0.40
32.88	10.00	310	0.35
52.88	20.00	330	0.35
67.88	15.00	380	0.35
inf.	inf.	400	0.35

Vs(0.0-30.0)=224m/s





[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente].

Picco H/V a  $21.97 \pm 1.7$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 22.0 Hz).

### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$21.97 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$16256.9 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 1056	OK	

### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	10.438 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	44.281 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$1.78 > 2$		NO
$f_{\text{picco}} [A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0376  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.82597 < 1.09844$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1255 < 1.58$	OK	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

### Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$

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

## FAENZA VIA BIASOLA, [Z] VAR PRG-MONTEVECCH MASW

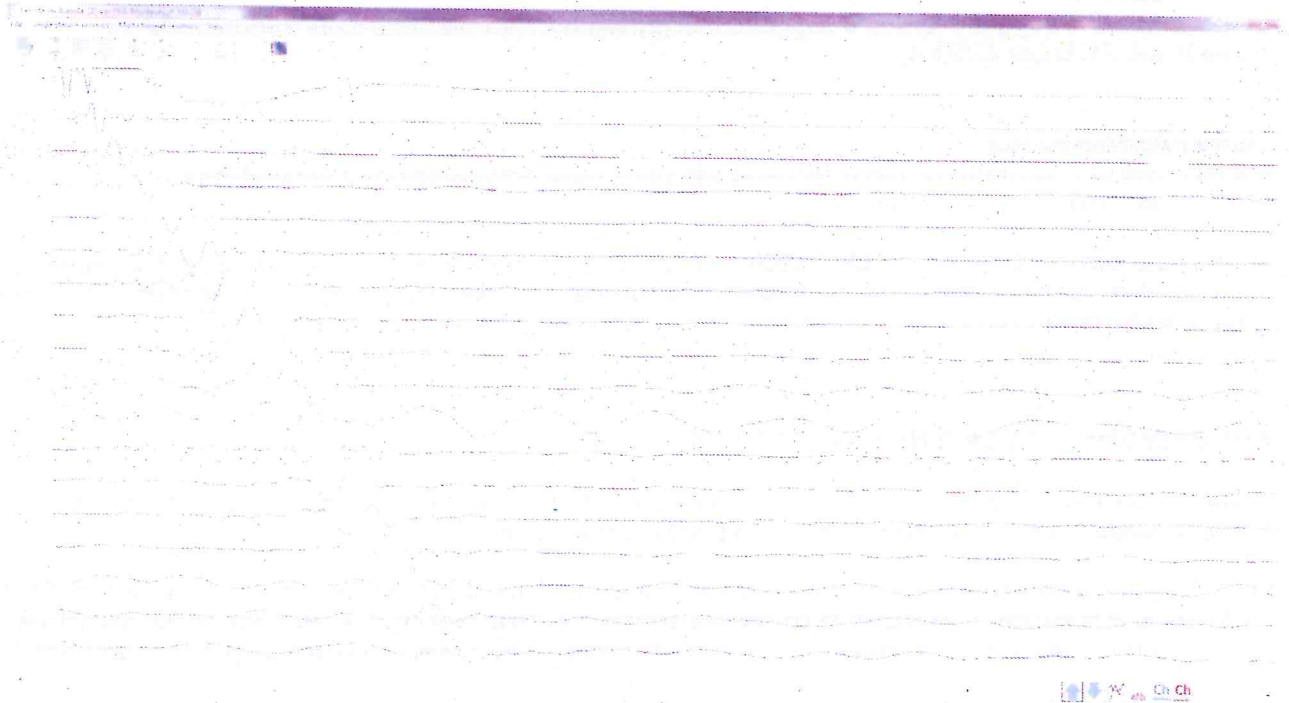
Inizio registrazione: 18/05/12 17:26:26 Fine registrazione: 18/05/12 17:38:24

Durata registrazione: 0h02'37"

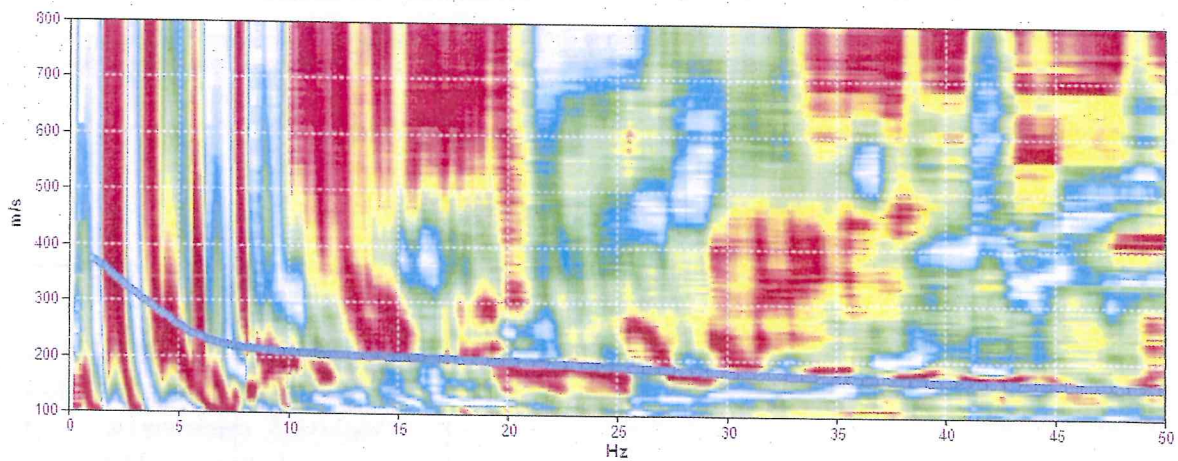
Freq. campionamento: 512 Hz

Nomi canali: B1 ; B2 ; B3 ; B4 ; B5 ; B6 ; B7 ; B8 ; B9  
; B10 ; B11 ; B12 ; B13 ; B14 ; B15 ; B16 ; B17 ; B18

Array geometry (x): 0.0 3.0 6.0 9.0 12.0 15.0 18.0 21.0 24.0 27.0 30.0 33.0 36.0 39.0 42.0 45.0 48.0 51.0 m.



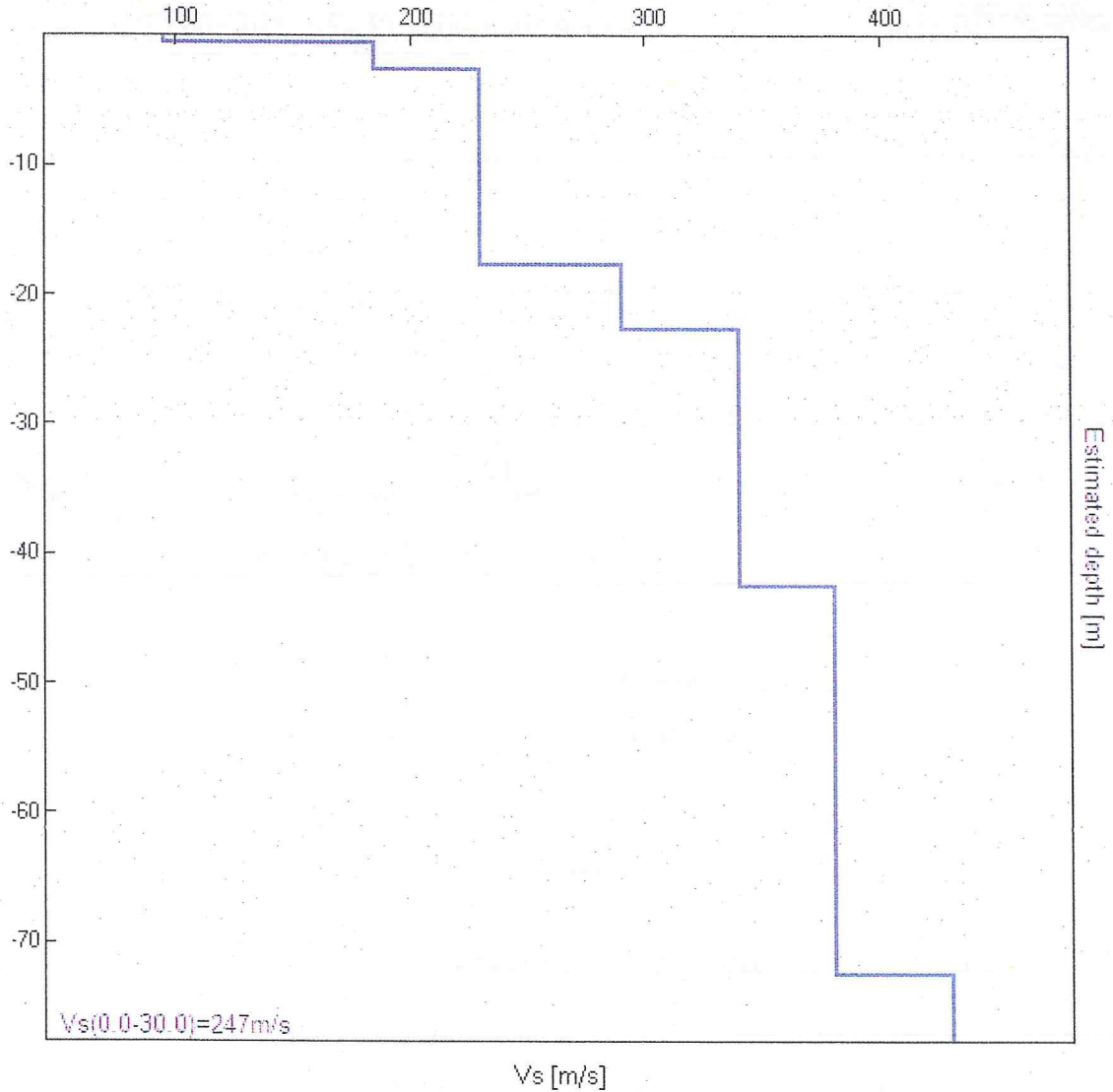
### MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE





Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.60	0.60	95	0.40
2.60	2.00	185	0.40
17.60	15.00	230	0.40
22.60	5.00	290	0.40
42.60	20.00	340	0.35
72.60	30.00	380	0.35
inf.	inf.	430	0.35

$V_s(0.0-30.0)=247\text{m/s}$



# COMUNE DI FAENZA

---

## PROVE DOWN-HOLE

## RELAZIONE TECNICA

LOCALITA': *Area Via Piero della Francesca 2 - sub  
ambito A2, del Prg del Comune di Faenza".*



**Società di  
Geologia  
Territoriale**

S.G.T. sas.  
di Van Zutphen Albert & C.  
Via Matteotti 50  
48012 Bagnacavallo (RA)  
[www.geo55.com](http://www.geo55.com)



---

02-08-2012



## INDICE

1.	INDICAZIONI GENERALI.....	3
2.	NORMATIVA ANTISISMICA .....	3
3.	AZIONE SISMICA .....	4
4.	RISPOSTA SISMICA LOCALE.....	6
4.1.	<i>Indicazioni sui livelli di analisi</i> .....	6
5.	PROSPEZIONE SISMICA IN FORO CON TECNICA DOWN HOLE .....	8
5.1.	<i>Modalità operative</i> .....	8
5.1.1.	Sorgente di energia .....	8
5.1.2.	Apparato di ricezione.....	8
5.1.3.	Operazioni di campagna .....	9
5.1.4.	Acquisizione dati .....	9
5.2.	<i>Elaborazione dati</i> .....	10
5.2.1.	Down hole tomografico .....	10
5.2.2.	Down hole differenziale (cross correlazione) .....	12
5.3.	<i>Elaborazione dei log di Vs, Vp e dei Moduli Elastici Dinamici</i> .....	15
5.4.	<i>Elaborati prove down hole</i> .....	18
6.	CONCLUSIONI .....	19

# INDAGINE GEOFISICA IN FORO CON TECNICA DOWN HOLE Faenza (Ra)

## 1. INDICAZIONI GENERALI

Allo scopo di caratterizzare dal punto di vista elastico i materiali sedimentari su cui si dovranno erigere delle nuove strutture per un insediamento residenziale a Faenza- è stata realizzata una indagine geofisica in foro con tecnica down hole.

L' indagine down hole è stata effettuata, fino alla profondità accessibile alla strumentazione (32 m), nel foro di sondaggio denominato S1.

Per la prova in foro con tecnica down hole è stata utilizzata una sonda Progeo realizzata in materiale plastico nella quale sono inseriti, ed opportunamente isolati dal corpo della sonda stessa, due triplette di ricevitori (uno verticale e due orizzontali ortogonali fra loro) interspaziate di 1 metro l'una dall'altra (totale 6 ricevitori) determinando così ad ogni step di misura e tipologia di energizzazione, per differenza tra i tempi sismici di propagazione fra i due ricevitori posti alle estremità opposte della sonda, i singoli valori di velocità sia dell'onda di compressione (per i ricevitori verticali) sia dell'onda di taglio (per i ricevitori orizzontali).

Le indagini geofisiche sono state finalizzate quindi, in funzione della classificazione del suolo di fondazione della struttura, alla determinazione in dettaglio delle variazioni verticali di velocità sismica delle onde di compressione ( $V_p$ ) e delle onde di taglio ( $V_{sh}$ ) per ricavare moduli e parametri elastici dinamici (Elasticità  $E_{din}$ , Taglio  $G_{din}$ , Compressibilità  $K_{din}$ , Coefficiente di Poisson  $\nu$ ).

## 2. NORMATIVA ANTISISMICA

La caratterizzazione dei materiali in oggetto, vista l'elaborazione su tutta la profondità delle onde di taglio S, può quindi soddisfare anche i requisiti relativi all'entrata in vigore della nuova normativa antisismica (P.C.M. – Ordinanza n° 3341 del 14 settembre 2005 e successive modifiche fino al recente D.M. 14 gennaio 2008)) come classificazione dei terreni locali.

Nel particolare, l'oggetto della norma qui di seguito riportata, disciplina la progettazione e la costruzione di opere d'arte soggette ad azioni sismiche, nonché la valutazione della sicurezza e gli interventi di adeguamento su opere esistenti soggette al medesimo tipo di azioni sismiche.

Al § "Categorie di suolo di fondazione" si fa espresso riferimento ad indagini sismiche allo scopo di classificare il suolo di fondazione sulla base del valore di  $V_{s30}$  cioè del valore medio della velocità delle onde di taglio fino a 30 metri di profondità e comunque fino alla profondità significativa.

Riportiamo di seguito il paragrafo 5 d'interesse dell'ordinanza suindicata riferito ai ponti (analogo paragrafo è quello al cap. 3 riferito agli edifici).



### 3. AZIONE SISMICA

#### Categorie di suolo di fondazione

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel § 7.11.3. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II e 3.2.III).

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di <math>V_{s,30}</math> superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero <math>N_{SPT,30} \geq 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>c_{u,30} \geq 250</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
C	<i>Depositi 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 <math>V_{s,30}</math> compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero <math>15 \leq N_{SPT,30} \leq 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>70 \leq c_{u,30} \leq 250</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
D	<i>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 <math>V_{s,30}</math> inferiori a 180 m/s (ovvero <math>N_{SPT,30} \leq 15</math> nei terreni a grana grossa e <math>c_{u,30} \leq 70</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con <math>V_s \geq 800</math> m/s).</i>

Fatta salva la necessità della caratterizzazione geotecnica dei terreni nel volume significativo, ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente  $V_{s,30}$  di propagazione delle onde di taglio (definita successivamente) entro i primi 30 m di profondità.

Per le fondazioni superficiali, tale profondità è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

La misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio è fortemente raccomandata. Nei casi in cui tale determinazione non sia disponibile, la classificazione può essere effettuata in base ai valori del numero equivalente di colpi della prova penetrometrica dinamica (Standard Penetration Test) SPT 30N (definito successivamente) nei terreni prevalentemente a grana grossa e della resistenza non drenata equivalente  $c_{u,30}$  (definita successivamente) nei terreni prevalentemente a grana fina.

Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definite al § 3.2.3 delle presenti norme. Per sottosuoli appartenenti alle ulteriori categorie S1 ed S2 di seguito indicate (Tab. 3.2.III), è necessario predisporre specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche, particolarmente nei casi in cui la presenza di terreni suscettibili di liquefazione e/o di argille d'elevata sensibilità possa comportare fenomeni di collasso del terreno.

Tabella 3.2.III – *Categorie aggiuntive di sottosuolo.*

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{v,30} < 20$ 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.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

La velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s30}$  è definita dall'espressione

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_i}}$$

dove  $h_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio  $\gamma < 10^{-6}$ ) dello strato  $i$ -esimo, per un totale di  $N$  strati presenti nei 30 m superiori.

Il sito verrà classificato sulla base del valore di  $V_{s30}$ , se disponibile, altrimenti sulla base del valore di NSPT.



## 4. RISPOSTA SISMICA LOCALE

Con il termine di risposta sismica locale si intende quell'insieme di modifiche che un moto sismico generato ad una determinata profondità subisce attraversando gli strati sovrastanti fino alla superficie (fig. 1).

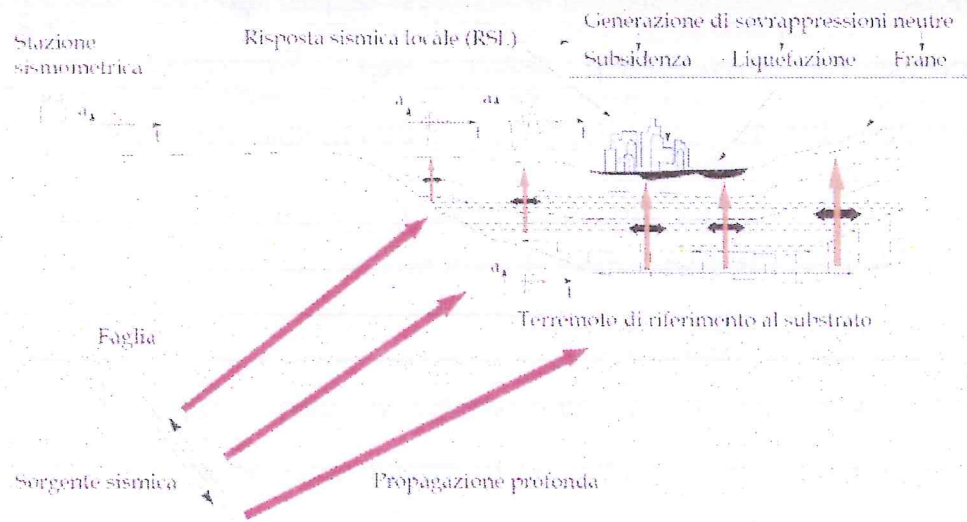


Fig. 1 Propagazione di un evento sismico con le problematiche geotecniche di sito.

Per giungere alla determinazione della risposta sismica locale (caratterizzazione di 2° - 3° livello) un sito deve essere sottoposto a specifiche indagini di dettaglio finalizzate alla definizione di tutte le proprietà puntuali che lo caratterizzano.

Queste indagini riguardano in particolare la definizione dei seguente aspetti:

1. stratigrafia delle formazioni superficiali con dettagliata definizione dei contatti tra di esse;
2. profili di velocità delle onde sismiche;
3. caratteristiche meccaniche dei terreni delle formazioni superficiali con particolare riferimento al loro comportamento sotto l'azione di carichi ciclici e dinamici;
4. morfologia di dettaglio dell'area.

### 4.1. Indicazioni sui livelli di analisi

Per lo studio del sito in esame con finalità di microzonazione, sinteticamente, la legislazione vigente prevede tre livelli di approfondimento con grado di dettaglio in ordine crescente.

Il **1° livello** consiste in un approccio di tipo qualitativo e costituisce lo studio propedeutico ai successivi livelli di analisi e trova le sue fondamenta nell'osservazione diretta degli effetti prodotti dai terremoti.

Il metodo di natura empirica permette di localizzare quelle zone dove gli effetti prodotti dall'azione sismica sono prevedibili con sufficiente attendibilità sulla base di osservazioni geologiche e sulla raccolta di dati e indagini ivi realizzate.

Queste sono, oltre alla cartografia topografica e geologica, anche le risultanze di indagini geognostiche, di laboratorio e geofisiche già svolte che risulteranno poi utili alla definizione delle condizioni locali.

Il **2° livello** permette la caratterizzazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi e l'individuazione, nell'ambito degli scenari qualitativi suscettibili di amplificazione, di aree nelle quali la Normativa Nazionale risulta appena sufficiente o insufficiente a tenere in considerazione gli effetti sismici.

Tali analisi richiedono, rispetto alle precedenti, la disponibilità di una documentazione più specifica e di maggiore dettaglio per la caratterizzazione geologico-tecnica e geomorfologica dell'area oggetto di studio; è necessario inoltre caratterizzare il sottosuolo attraverso prove geotecniche (perforazioni, trincee esplorative e prelievo di campionamenti rappresentativi e indisturbati) e indagini geofisiche.

Tale livello di approfondimento è obbligatorio per legge qualora, sulla base delle previste condizioni progettuali e urbanistiche dell'area con previsione di costruzione di manufatti e/o tipologie di fabbricati particolari, siano previsti "edifici ed opere strategiche e rilevanti" quali edifici amministrativi, ospedali, ecc.

Per le analisi di 2° livello si distinguono 3 tipi di approccio geofisico:

- **metodi basati sulla distinzione delle velocità delle onde di taglio:** relazioni empiriche che permettono di quantificare l'amplificazione generata da un deposito in funzione delle sue proprietà geofisiche, in cui vengono proposte diverse relazioni tra le quali quella di Shima (1978), quella di Midorikawa (1987), quella di Joyner and Fumal (1984) e quella di Borchardt et alii (1991);
- **metodi basati sulla classificazione dei depositi:** determinazione degli spessori, della successione degli strati e del relativo stato di addensamento o di consistenza;
- **metodi basati sulla misura dei microtremori:** utilizzo dei metodi di Konai e Tanaka (1961) e di Nakamura (1989).

Il **3° livello** permette la caratterizzazione quantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi.

Tali analisi richiedono, rispetto alle precedenti, una caratterizzazione più approfondita ed accurata dell'area in esame, ottenuta per mezzo di specifiche indagini geologiche e geotecniche in sito ed in laboratorio.

La differenza sostanziale con i precedenti livelli di approfondimento consiste nella diretta definizione dei parametri meccanici dei terreni.

Il metodo permette la valutazione degli effetti di sito per una determinata area, indipendentemente dalla geometria superficiale e profonda presente.



## 5. PROSPEZIONE SISMICA IN FORO CON TECNICA DOWN HOLE

### 5.1. Modalità operative

La tecnica down-hole prevede la misura dei tempi di propagazione delle onde di compressione (P) e di taglio (S) tra il punto di energizzazione in superficie (shot) ed il punto di ricezione mobile in profondità entro il foro di sondaggio.

#### 5.1.1. Sorgente di energia

Per effettuare tali operazioni è necessario utilizzare una sorgente di energia a polarizzazione verticale ed orizzontale: con la prima si generano onde di compressione P mentre con la seconda onde di taglio Sh.

Nel caso in esame si è scelta una sorgente di energia che potesse garantire una buona risposta sismica in alta frequenza oltre a caratteristiche dinamiche ripetitive simili; il generatore usato e denominato "Hammer Blow" è rappresentato da un maglio di 8 Kg usato da un operatore lasciato cadere con forza da circa 2 m su una piastra di acciaio per la generazione delle onde di compressione ed orizzontalmente, colpendo un supporto solidale per attrito radente al terreno, (trave in legno con sopra un autocarro) per quelle di taglio.

#### 5.1.2. Apparato di ricezione



L'apparato di ricezione è provvisto di un apposito meccanismo di ancoraggio alle pareti del foro durante la registrazione dell'impulso e di disancoraggio per essere mobilizzato lungo la verticale del sondaggio stesso; tale apparato ha la possibilità di essere orientato sul piano orizzontale mediante l'utilizzo di "aste in alluminio" (vedasi foto allegata a fianco).

Tale apparato (sonda 3D) è formato da due gruppi di sensori composti ciascuno da tre geofoni da 14 Hz smorzati del 70%, dei quali uno con l'asse funzionale verticale (V) e due orizzontali (H1 e H2) fra loro ortogonali; l'interdistanza fra i due gruppi è di 1 m. (vedasi foto a lato).

Oltre alla sonda calettata entro il foro si utilizza in superficie un interruttore piezoelettrico applicato all'apparato energizzatore, il quale costituisce il dispositivo di trigger per l'inizio della registrazione ed alcuni geofoni di riferimento posizionati nelle vicinanze della bocca del foro che rimangono fissi per tutte le misure effettuate nel sondaggio e che costituiscono il dispositivo di controllo affinché tutti gli impulsi sismici siano in fase ed utilizzabili per le correzioni nella fase di preprocessing nel caso in cui si opti per una elaborazione di tipo tomografico.

Tali geofoni risultano superflui nel caso in cui si intraprenda l'iter elaborativo di tipo differenziale, cioè per ogni ordinata o step di misura, in quanto è sufficiente determinare, per differenza tra i tempi sismici di propagazione ( $\Delta t$ ) fra i due ricevitori posti alle estremità opposte della sonda, i singoli valori di velocità sia dell'onda di compressione (per i ricevitori verticali) sia dell'onda di taglio (per i ricevitori orizzontali).

### 5.1.3. Operazioni di campagna

Dopo aver eseguito il collegamento al sismografo del cavo elettrico per i 6 canali della sonda 3D, dell'interruttore piezoelettrico solidale all'apparato di energizzazione e dei geofoni di riferimento si è effettuato il posizionamento della sonda 3D a fondo foro e si sono realizzati alcuni shot di prova allo scopo di tarare i parametri di acquisizione dello strumento di registrazione dati.

Effettuata la taratura della strumentazione si è proceduto alla prospezione down-hole a partire da fondo foro.

### 5.1.4. Acquisizione dati

Gli impulsi sismici ricevuti dalla sonda in foro sono stati acquisiti utilizzando l'apparecchiatura EG&G Geometrics Geode dotata di estremo dettaglio di campionatura (0.02 millisecc) tramite la quale, dopo amplificazione, conversione analogico/digitale e filtraggio, sono trasferiti e registrati su P.C.

I files dei dati sono così realizzati:

canale 1	-	segnale del geofono orizzontale superiore direzione ortogonale	(H2)
canale 2	-	segnale del geofono orizzontale inferiore direzione ortogonale	(H2)
canale 3	-	segnale del geofono orizzontale superiore direzione parallela	(H1)
canale 4	-	segnale del geofono orizzontale inferiore direzione parallela	(H1)
canale 5	-	segnale del geofono verticale superiore	(V)
canale 6	-	segnale del geofono verticale inferiore	(V)

In tal modo, per ogni step di misura di un metro in profondità, si possono analizzare i first break imputabili all'arrivo dell'onda di compressione (P) sia sul geofono del canale 5 sia sul geofono del canale 6 e per differenza si ottiene il valore della differenza di tempo di percorrenza relativa all'intervallo in oggetto.

Analogamente per ogni step di misura di un metro di profondità, si possono analizzare i first break imputabili all'arrivo dell'onda di taglio (S) sia sul geofono del canale 3 sia sul geofono del canale 4 e per differenza si ottiene il valore della differenza di tempo di percorrenza relativa all'intervallo in oggetto.



## 5.2. Elaborazione dati

Il procedimento elaborativo dei dati down hole può essere sviluppato secondo due differenti modalità:

- down hole tomografico,
- down hole differenziale.

### 5.2.1. Down hole tomografico

Si sviluppa fondamentalmente in due fasi.

#### 1) Elaborazione sismogrammi:

- display sismogrammi,
- convoluzione,
- lettura first break (realizzazione dromocrone per analisi down hole).

#### 2) Elaborazione delle sezioni down-hole:

- analisi delle velocità – generalizzazione tempo-profondità,
- routine di ottimizzazione,
- routine per trasferimento dati in un sistema C.A.D.

Esprimendo in parole i punti sopraindicati si può affermare che una volta ottenute le velocità delle onde di compressione ( $V_p$ ) e di taglio ( $V_s$ ) entro i fori vengono calcolate tramite programmi all'elaboratore le distribuzioni areali di  $V_p$  e  $V_s$  ottimizzando l'elaborazione mediante assemblaggio delle risultanze di una molteplicità di registrazioni sismiche e tramite trasformazioni dei dati da valori numerici ad informazioni grafiche per plot delle risultanze.

Come si è visto il procedimento elaborativo si sviluppa fondamentalmente in due fasi: la prima è relativa allo studio delle tracce sismiche, la seconda riguarda lo studio delle velocità  $V_p$  e  $V_s$  lungo la verticale del foro.

Vengono riportati qui di seguito i principali step dell'elaborazione dove viene fatta una differenziazione del materiale in celle unitarie (una cella per ogni sensore).

### Preprocessing

In questa fase si utilizzano sia programmi originali all'elaboratore sia routine sviluppate dalla I.C.I. (Interactive Concepts Incorporated) distribuite dal Kansas Geological Survey.

#### a) Traduzione tracce sismiche

Questa fase di preprocessing permette di convertire il formato con cui i dati sismici sono registrati dal sismografo EG&G GEOMETRICS GEODE in quello dei programmi elaborativi.

#### b) Gathering dei canali 1, 2, 3 e 4

Fase di preprocessing nella quale vengono riunite le tracce omologhe dei sismogrammi acquisiti in un unico file di dati: si realizzano pertanto n° 4 file, ognuno dei quali rappresenta la raccolta di tutte le tracce corrispondenti.

- |          |   |
|----------|---|
| Gather 1 | traccia 1 (onda di compressione P ricevuta dal geofono verticale in superficie=riferimento " $T_0$ " per correzioni time break) |
| Gather 2 | traccia 2 (onda di compressione P ricevuta dal geofono verticale V nella sonda 3D alle varie profondità nel foro)               |
| Gather 3 | traccia 3 (onda di taglio S ricevuta dal geofono orizzontale H1 nella sonda 3D alle varie profondità nel foro)                  |



Gather 4 traccia 4 (onda di taglio S ricevuta dal geofono orizzontale H2, ortogonale all'H1 nella sonda 3D, alle varie profondità nel foro)

**c) Analisi dei singoli gather**

Viene effettuata l'analisi del gather 1 onde ricavare, traccia per traccia, la correzione da apportare, in millisecondi alle corrispondenti tracce 2, 3 e 4 (della stessa profondità) relative ai diversi shot effettuati in ciascun foro per investigare l'intera profondità.

L'analisi, che si sviluppa con criteri statistici, definisce un termine di riferimento 0 e gli spostamenti positivi o negativi di ciascuna traccia.

**d) Analisi spettrale (F.F.T.)**

Vengono realizzate le analisi spettrali in frequenza (Fast Fourier Transform) di alcune tracce campione relative ai gather 2, 3 e 4 a finestre sia nei settori con rumore di fondo sia in quelli con segnale utile (onda P e onda S).

Note queste frequenze fondamentali si procede alla costruzione di appositi filtri digitali per ridurre il rumore di fondo ed esaltare i segnali utili.

**e) Stacking canali 3 e 4**

Somma dei canali 3 e 4 (orizzontali) con rotazione dell'asse di vibrazione lungo la direzione della massima fase coerente.

Il procedimento viene realizzato mediante elaborazioni statistiche con ricerca automatica delle massime fasi coerenti delle onde di taglio (S).

Si ottiene pertanto un nuovo file di dati (canale 5) delle onde di taglio.

**f) First break peak canali 2 e 5**

Lettura dei primi arrivi dell'onda di compressione P e di taglio S. Nei nuovi files di dati creati al punto b) e al punto e) dall'assemblaggio delle varie tracce sismiche vengono considerati i files dei canali 2 (assemblaggio onde P) e dei canali 5 (assemblaggio onde S).

**g) Muting**

Operazione che riduce il segnale sismico dal tempo 0 al time break letto sulle singole tracce al passo (f) e che accentua visivamente i primi arrivi. Viene così ridotto il disturbo aleatorio costituito da rumore di fondo non eliminabile dall'operatore in fase di filtraggio (punto c) in quanto caratterizzato dalle stesse frequenze del segnale utile.

**h) Plot**

Stampa finale delle tracce sismiche relative alle onde di compressione e di taglio.

### Processing tomografico

Questo consiste nell'interpretazione dei tempi di arrivo delle onde di compressione P e di taglio S. Per l'analisi di questi dati vengono utilizzati programmi al calcolatore di utilità, originali della Progeo.

Il procedimento di calcolo si sviluppa secondo i seguenti ulteriori step.

**i) Definizione della geometria della ricerca**

- coordinate del sensore in pozzo (3D),
- posizionamento punto di shot.

**l) Input tempi di arrivo onde P e onde S**

Realizzazione dei file dei dati relativi ai tempi di arrivo delle onde P ed S associate alle coordinate spaziali delle stazioni di misura.





#### **m) Input modello di velocità**

In base alle conoscenze stratigrafiche e sismiche vengono definiti degli intervalli a velocità costante lungo l'asse del foro in funzione dei quali viene realizzato il ray tracing (step n).

#### **n) Ray tracing**

Vengono create le traiettorie dei raggi sismici in base ai modelli di velocità definiti allo step m).

Per il calcolo si sono utilizzati i seguenti parametri:

- anisotropia ellittica (massima velocità in senso verticale)
- tolleranza lineare (.05%)
- tolleranza angolare (1")
- numero di iterazioni (500)
- multi pathing (on)
- plane layer (on)

#### **o) Definizione dei parametri di calcolo**

Il programma utilizzato necessita, per il calcolo della sezione in profondità lungo la verticale del foro e in funzione dei valori di velocità, dei seguenti parametri di calcolo:

- definizione tipo di griglia (1 cella ogni m)
- tipo di anisotropia del mezzo investigato (verticale)
- numero di iterazioni (500)
- algoritmo di calcolo (S.I.R.T.)

L'algoritmo S.I.R.T. (Simultaneous Iterative Reconstruction Technique) crea un'immagine di velocità apprezzabile, sufficientemente stabile e che converge velocemente verso i valori sperimentali.

#### **p) Analisi delle risultanze**

Queste vengono inizialmente valutate dal punto di vista statistico attraverso gli scarti quadratici e le varianze dei tempi calcolati rispetto a quelli definiti in input. In base a tali valori possono essere modificati i parametri di calcolo per una migliore ottimizzazione. Si passa in seguito all'analisi delle velocità intergeofoniche relative alle onde P ed S dalla quale si ricava un modello di velocità più adeguato (a tale modello si farà riferimento in seguito come velocità intervallari). Il calcolo riprende perciò dallo step m) con l'input del nuovo modello di velocità e si procede fino a quando gli scarti e le varianze divengono minimi.

#### **q) Predisposizione tabelle e grafici dei dati**

I dati calcolati al punto p) vengono riportati in un foglio elettronico appositamente predisposto allo scopo di calcolare i moduli elastici relativi e graficizzare le risultanze.

#### **r) Conversione in immagini computerizzate**

La prospezione down hole con elaborazione tomografica si concretizza nella definizione di celle analitiche elementari; per ogni cella il valore della velocità tomografica rappresenta il valore medio risultante dei valori differenziali relativi a tutti i tragitti elementari dei raggi di investigazione che attraversano la cella considerata. La determinazione delle celle elementari che definiscono la rappresentazione tomografica deriva dalle variazioni dei parametri cinematici  $V_p$  e  $V_s$  in funzione del grado di consistenza differenziata del materiale.

### **5.2.2. Down hole differenziale (cross correlazione)**

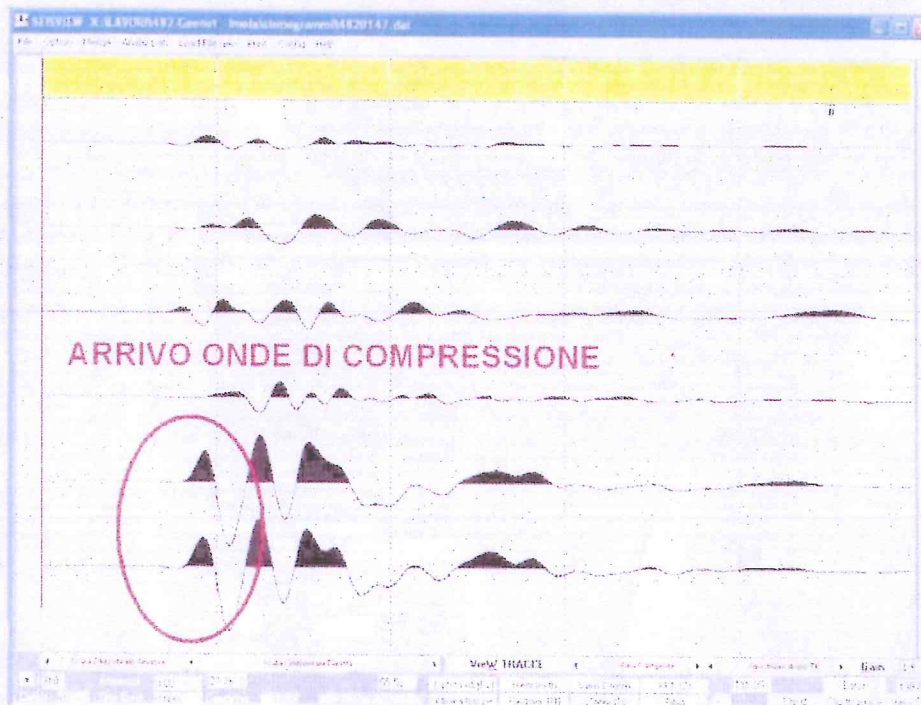
In questo caso specifico si è utilizzata questa tecnica elaborativa perché è stato possibile utilizzare in foro una sonda ricevente con spaziatura intergeofonica di 1 metro la quale, grazie anche al ridotto intervallo di campionamento (0.020 millisecondi) consentito dal sismografo EG&G GEOMETRICS GEODE consente di determinare per partizioni discrete direttamente nel tratto interessato i valori cinematici differenziali.



La valutazione dei tempi di arrivo delle onde di compressione e di taglio è stata effettuata mediante Cross Correlazione di cui si riporta un esempio alla pagina successiva.

Tale tecnica viene normalmente impiegata allo scopo di aumentare il grado di affidabilità dei tempi.

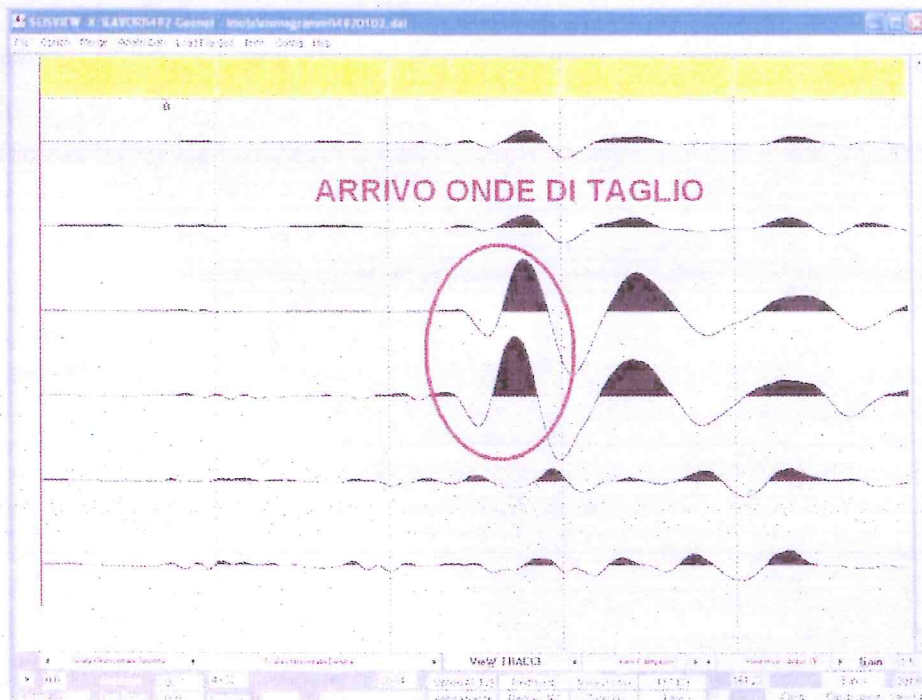
Questa metodologia è indicata e sufficientemente precisa per la valutazione dei tempi di arrivo delle onde di compressione P; nell'immagine sottostante si ha un esempio di quanto indicato.



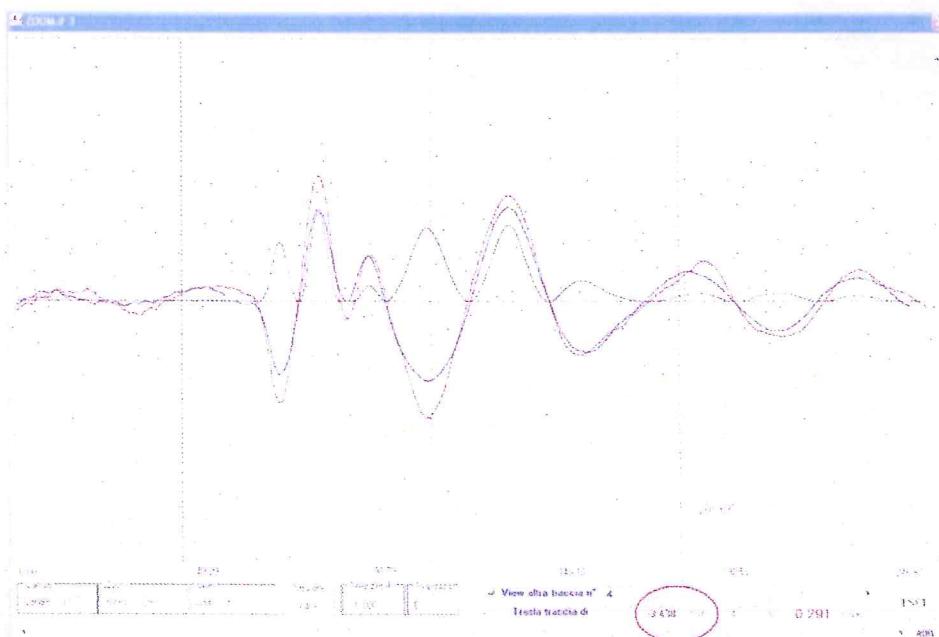
Per le onde di taglio S si procede all'analisi dell'inversione delle tracce sismografiche individuando quale sia il primo arrivo dell'onda di taglio (inversione di polarità), poi si affina la ricerca mediante Cross Correlazione (applicando la metodologia proposta da Willis e Toksoz - 1983-) e si determina così il valore del tempo differenziale fra le due tracce omologhe.



Nell'immagine sottostante si evidenzia il primo arrivo delle onde di taglio fra le tracce sismografiche relative ai geofoni dei canali 3 e 4.



Una volta individuato il primo arrivo dell'onda di taglio (con procedura analoga per le onde di compressione) si procede con una serie di passaggi di Cross Correlazione a finestre variabili tra le varie tracce allo scopo di individuare la massima rassomiglianza tra gli arrivi omologhi e determinare la massima verosimiglianza tra le tracce dei canali indicati nelle tabelle dei down hole riportate alle pagine precedenti. Tale tecnica in pratica consiste nel valutare il "ritardo" di arrivo dell'onda di compressione e/o di taglio fra il geofono inferiore e quello superiore valutando unicamente su base sismografica il valore di tempo che intercorre fra i due arrivi; qui di seguito è riportato un esempio di tale tecnica elaborativa.



Differenziale tempi onde di taglio fra canale 3 e canale 4

### 5.3. Elaborazione dei log di Vs, Vp e dei Moduli Elastici Dinamici

Dopo aver inserito nel programma elaborativo le geometrie di ricerca (distanza punto di energizzazione in superficie, coordinate della sonda in profondità) ed elaborato per ciascun canale di ricezione i tempi di arrivo dell'energia sismica prodotta dalla superficie topografica e registrata sulla verticale del punto di indagine secondo la tecnica down hole differenziale (cross correlazione), sono state realizzate tabelle e diagrafie (per step di misura di metro) relative ai parametri sismici cinematici Vp e Vs ed ai corrispondenti moduli elastici dinamici che si possono ottenere dalle interrelazioni che collegano le velocità delle onde di compressione e quelle di taglio.

Infatti, per la caratterizzazione del sito e del terreno in esame, specialmente in termini di deformabilità dei materiali in associazione ai dati geotecnici e/o di prove di laboratorio su campioni prelevati nei sondaggi geognostici, può essere opportuno fornire al Committente altri parametri (oltre ai singoli valori di velocità sismica) che la prova down hole è in grado di fornire contemporaneamente alla rilevazione delle velocità di propagazione delle onde sismiche (Vp e Vs) nel sottosuolo.

Si tratta dei Moduli elastici dinamici del terreno i quali possono contribuire ad una migliore definizione dei carichi e delle spinte da parte del manufatto sul terreno di fondazione.

Attraverso la determinazione sia delle velocità delle onde di compressione sia delle velocità delle onde di taglio è possibile ricavare i seguenti parametri (per ulteriori dettagli si veda, tra i più recenti, "The rock physics handbook – tools for seismic analysis in porous media" di G. Mavko, T. Mukerji e J. Dvorkin, Cambridge University Press, UK, pp. 1-329, 1998):

- Coefficiente di Poisson	( $\nu$ )	
- Peso di volume	( $\gamma_{din}$ )	in t/m <sup>3</sup>
- Modulo di Elasticità dinamico	( $E_{din}$ )	in Kg/cm <sup>2</sup>
- Modulo di Taglio dinamico	( $G_{din}$ )	in Kgcm <sup>2</sup>
- Modulo di Compressibilità dinamico	( $K_{din}$ )	in Kgcm <sup>2</sup>

Il *Coefficiente di Poisson* ( $\nu$ ), noto come la costante che lega le deformazioni in un corpo, può essere collegato, da un punto di vista bidimensionale, ad uno sforzo di trazione, che causa nel corpo stesso un allungamento in una direzione e un raccorciamento nell'altra, o ad uno sforzo di compressione che, analogamente, determina una contrazione in una direzione e una dilatazione nella direzione opposta.

Tale parametro può presentare un range di variazione compreso tra un massimo di 0.5 ed un minimo di 0; il valore di 0.5 è caratteristico di materiali che si deformano senza cambiamenti di volume (es. acqua), valori leggermente inferiori (0.47 - 0.49) sono tipici di argille o materiali molto saturi; valori inferiori sono indicativi di materiali da poco consolidati a sovraconsolidati.

Per le rocce si presentano range di variazioni molto ampi collegati in particolare sia al grado di fratturazione sia alla presenza di cavità, stratificazioni e litologie e comunque tra (0.46 e 0.20).

In funzione di Vp e di Vs il parametro è definito dalla seguente relazione:

$$\text{Coefficiente di Poisson} \quad \nu = \frac{V_p^2 - 2 \cdot V_s^2}{2 \cdot (V_p^2 - V_s^2)}$$

Il *Peso di volume* ( $\gamma_{din}$ ) del terreno può essere indicativamente ricavato, in via empirica, anche dalla velocità delle onde di compressione sulla base della seguente relazione:



Peso di volume

$$\gamma_{din} = 0.51 \cdot V_p^{0.19} \quad (\gamma_{din} \text{ in T/m}^3)$$

Da tale relazione si può ottenere anche la densità geofisica, intesa come:

$$\delta_{din} = \frac{\gamma}{g} \quad (g = 9.8 - \text{accelerazione di gravità m/sec}),$$

la quale viene utilizzata come parametro nelle formule per ricavare i moduli di elasticità e di taglio.

Il *Modulo di Young* o di *Elasticità normale*  $E_{din}$ , definisce la *deformazione longitudinale* di un corpo, intesa come il rapporto tra l'allungamento (o l'accorciamento) e la lunghezza originale del corpo stesso; in funzione dei valori della velocità delle onde di compressione  $V_p$ , della densità geofisica e del coefficiente di Poisson il parametro è definito dalla seguente relazione:

$$E_{din} = V_p^2 \cdot \delta_{din} \cdot \frac{(1 + \nu) \cdot (1 - 2\nu)}{(1 - \nu)} \quad (E_{din} \text{ in Kg/cm}^2)$$

Il *Modulo di Taglio* o di *Rigidità*  $G_{din}$  definisce invece la *deformazione tangenziale* di un corpo, intesa come l'angolo di cui ruota il corpo stesso in seguito ad uno sforzo di taglio; in funzione dei valori della velocità delle onde di taglio  $V_s$  e della densità geofisica il parametro è definito dalla seguente relazione:

$$G_{din} = \delta_{din} \cdot V_s^2 \quad (G_{din} \text{ in Kg/cm}^2)$$

Infine, il *Modulo di Compressibilità* o *Modulo di Volume* è quel parametro ottenibile se lo sforzo viene applicato tridimensionalmente (lungo tutti i tre assi cartesiani) generando una pressione idrostatica uniforme con la quale si avranno componenti dello sforzo uguali e con deformazione rappresentata da una variazione di volume la quale può essere indicata numericamente dall'inverso del coefficiente di compressibilità; utilizzando i valori del modulo di elasticità e del coefficiente di Poisson il parametro è definito dalla seguente relazione:

$$K_{din} = \frac{E_{din}}{3 \cdot (1 - 2 \cdot \nu)} \quad (K_{din} \text{ in Kg/cm}^2)$$

I moduli dinamici così calcolati risultano comunque sempre più elevati di quelli statici forniti da prove di carico in situ in quanto gli impulsi sismici sono di breve durata e le sollecitazioni ad essi associate sono relativamente modeste e rientrano nel campo delle deformazioni istantanee.

Il modulo di taglio  $G_{din}$ , oltre ad essere utilizzato nel campo geotecnico per lo studio delle resistenze al taglio dei materiali detritici e lapidei, viene impiegato nello studio di microzonazioni sismiche in particolare nel calcolo delle seguenti relazioni relative alla valutazione dei parametri caratteristici sia di spessori (H) sia di interfacce stratigrafiche (nel qual caso vengono utilizzati i parametri elastici di  $G_{din}$  dei due strati):



Rigidità sismica

$$R = \delta_{din} \sqrt{\frac{G_{din}}{\delta_{din}}} \quad (\mathbf{R \text{ in } t/(m^2 \cdot sec)})$$

Periodo proprio

$$T = \frac{4H}{\sqrt{\frac{G_{din}}{\delta_{din}}}} \quad (\mathbf{T \text{ in } sec})$$

Rapporto di Impedenza

$$\lambda = \frac{\delta_{din1} \cdot G_{din1}}{\delta_{din2} \cdot G_{din2}} \quad (\lambda \text{ adimensionale})$$

Il modulo di compressibilità  $K_{din}$  o di deformabilità volumetrica è confrontabile con quello ottenuto da prove di compressione idrostatica realizzabili mediante prove triassiali non drenate nella fase iniziale del carico (fase elastica) e quindi è comparabile al modulo idrostatico di compressibilità geotecnico  $B_o$ , inversamente, al coefficiente o indice di compressibilità  $C_c$ .

Tutti questi parametri elastici infine possono essere utilizzati per l'applicazione del metodo degli elementi finiti a problemi geotecnici.

Tali metodi offrono notevoli vantaggi rispetto ai metodi di calcolo tradizionali come ad esempio:

- \* l'opera geotecnica può avere una forma qualsiasi;
- \* nel calcolo si può tener conto del comportamento non lineare sia del terreno sia della struttura;
- \* è possibile effettuare simulazioni per ottimizzare la costruzione dell'opera d'arte anche in condizioni sismiche.

Mediante la prova down hole potrà altresì essere caratterizzato il sito d'indagine in corrispondenza del sondaggio meccanico secondo le classi di terreno previste dalla nuova normativa sismica (P.C.M. - Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003 e successive modifiche, vedasi precedente paragrafo 2) fino alle profondità raggiunte dalla prova stessa ( $V_{s30}$  solo se la prova raggiungerà tale profondità).



## 5.4. Elaborati prove down hole

Nella documentazione down hole riportata al termine della presente relazione sono presentate in 2 tavole distinte le tabelle numeriche e i grafici (log) relativi ai parametri geosismici e moduli elastici dinamici analizzati. Nell'ordine e in dettaglio sono riportati in ciascuna delle 2 tavole:

### Tabella

Nella prima tavola è rappresentata la tabella numerica dei parametri geofisici intergeofonici rilevati ogni metro di profondità mediante tecnica down hole differenziale (cross correlazione).

Più in dettaglio, sono riportati in tabella numerica i seguenti dati distinti per colonna:

1. Profondità (m);
2.  $V_p$       velocità onde di compressione (m/sec);
3.  $V_s$       velocità onde di taglio (m/sec);
4.  $\mu$  □      coefficiente di Poisson;
5.  $\gamma$  □      peso di volume ( $t/m^3$ );
6.  $E_{din}$       modulo di elasticità dinamico -Young- ( $kg/cm^2$ );
7.  $G_{din}$       modulo di taglio dinamico ( $kg/cm^2$ );
8.  $K_{din}$       modulo di compressibilità dinamico ( $kg/cm^2$ )

A lato della tabella numerica sono riportati i log di velocità delle onde di taglio (in rosso) e delle onde di compressione (in verde); le scale delle diagrafie sono in m/sec.

### Grafici

Nella seconda tavola sono rappresentati i grafici dei parametri elastici dinamici relativi ai valori di velocità delle onde di compressione (P) e di taglio (S) nonché ai valori dei moduli elastici dinamici (elasticità o di Young, taglio, compressibilità) e del coefficiente di Poisson; i log dei valori rilevati ogni metro di profondità lungo la verticale del foro sono riportati nel seguente ordine:

- velocità onde P e onde S;
- coefficiente di Poisson;
- modulo di elasticità  $E_{din}$ ;
- modulo di taglio  $G_{din}$ ;
- modulo di compressibilità  $K_{din}$ .

## 6. CONCLUSIONI

Per il progetto di un nuovo insediamento residenziale a Faenza, a seguito della entrata in vigore della nuova normativa antisismica (NTC 2008 – D.M. del 14 gennaio 2008 [http://www.ingegneriasoft.com/NTC2008\\_Norme\\_tecniche\\_per\\_le\\_costruzioni.htm](http://www.ingegneriasoft.com/NTC2008_Norme_tecniche_per_le_costruzioni.htm)) si sono eseguite indagini geofisiche per valutare le caratteristiche elastiche e di consistenza del sottosuolo in esame.

Le indagini geofisiche sono consistite nella realizzazione di una prova in foro eseguita con tecnica down hole e spinta fino alla profondità massima raggiungibile dalla strumentazione (32 m) nel sondaggio geognostico S1 realizzato allo scopo. L'indagine in oggetto ha consentito di ottenere una distribuzione nel sottosuolo, con partizioni ogni metro, delle velocità delle onde di taglio S nei primi 31 metri di profondità dal piano campagna.

E' stato determinato il valore di  $V_{s30}$  a partire da un metro dal piano campagna fino a fondo foro da cui si ricava:

**$V_{s30} = 233$  m/sec      Categoria suolo **C****

La caratterizzazione dei materiali in oggetto può quindi soddisfare i requisiti relativi alla entrata in vigore del nuovo decreto ministeriale.

---

02-08-2012





COMMITTENTE	SGT S.r.l.
DOWN HOLE	S1
Località	Faenza
Data acquisizione	03/08/2012

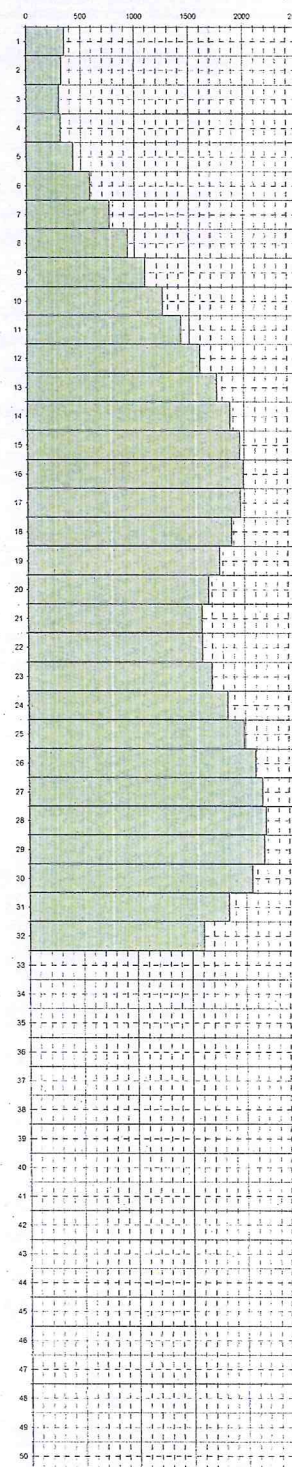
Codice lavoro **1253**



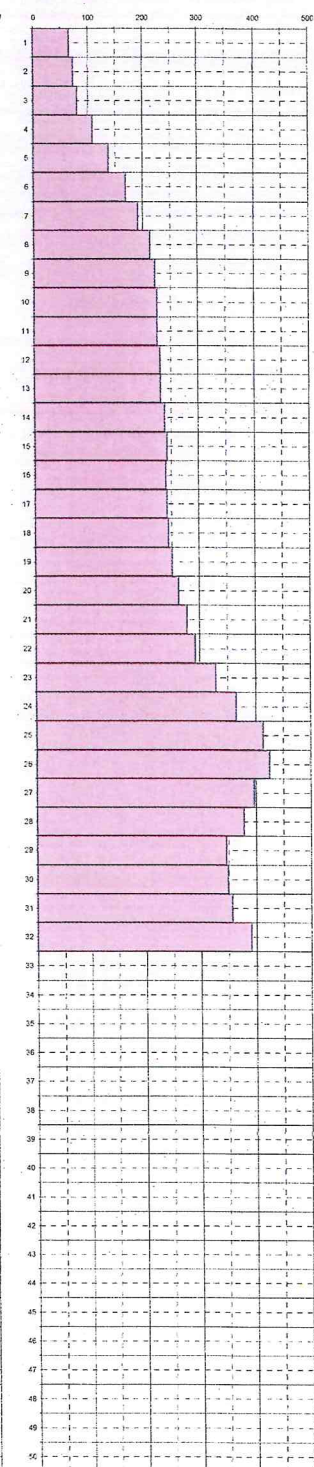
Profondità	Vp m/sec	Vs m/sec	v	γ T/m³	E <sub>din</sub> Kg/cm²	G <sub>din</sub> Kg/cm²	K <sub>din</sub> Kg/cm²
------------	-------------	-------------	---	-----------	----------------------------	----------------------------	----------------------------

0							
1	350	66	0.48	1.55	206	70	1839
2	325	74	0.47	1.53	249	84	1533
3	300	81	0.46	1.51	293	100	1249
4	317	109	0.43	1.52	526	183	1315
5	431	138	0.44	1.61	909	315	2631
6	586	170	0.45	1.71	1463	503	5311
7	762	192	0.47	1.80	1992	679	9757
8	935	214	0.47	1.87	2566	871	15497
9	1094	223	0.48	1.93	2877	973	22211
10	1254	227	0.48	1.98	3069	1035	30353
11	1426	226	0.49	2.03	3150	1059	40628
12	1598	231	0.49	2.07	3368	1131	52396
13	1752	232	0.49	2.11	3457	1159	64414
14	1875	239	0.49	2.14	3709	1243	74853
15	1960	243	0.49	2.15	3867	1296	82586
16	1993	241	0.49	2.16	3807	1275	85775
17	1963	242	0.49	2.15	3842	1287	82886
18	1881	245	0.49	2.14	3898	1307	75311
19	1771	251	0.49	2.11	4043	1357	65687
20	1671	262	0.49	2.09	4346	1461	57521
21	1607	278	0.48	2.07	4836	1629	52380
22	1611	293	0.48	2.07	5372	1811	52481
23	1697	331	0.48	2.10	6927	2340	58355
24	1840	365	0.48	2.13	8532	2883	69560
25	1987	413	0.48	2.16	11115	3762	81872
26	2092	425	0.48	2.18	11859	4011	91914
27	2153	397	0.48	2.19	10432	3518	98887
28	2186	379	0.48	2.20	9544	3214	102749
29	2167	347	0.49	2.19	8002	2691	101434
30	2055	349	0.49	2.17	8006	2695	89954
31	1840	357	0.48	2.13	8180	2763	69709
32	1611	391	0.47	2.07	9496	3233	50554
33							
34							
35							
36							
37							
38							
39							
40							
41							
42							
43							
44							
45							
46							
47							
48							
49							
50							

VELOCITA' ONDE DI COMPRESIONE  
m/sec



VELOCITA' ONDE DI TAGLIO  
m/sec



Legenda parametri dinamici

Tp	Tempi onde di compressione	millisecondi	γ	Peso di volume	T/m³
Ts	Tempi onde di taglio	millisecondi	E <sub>din</sub>	Modulo di Elasticità dinamica	Kg/cm²
Vp	Velocità onde di compressione	m/sec	G <sub>din</sub>	Modulo di Taglio dinamico	Kg/cm²
Vs	Velocità onde di taglio	m/sec	K <sub>din</sub>	Modulo di Compressibilità dinamica	Kg/cm²
v	Coefficiente di Poisson				

CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI SUOLI  
(NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI - D.M. del 14/09/2008)

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1, N} \frac{h_i}{V_i}} \quad V_{s30} = 233 \text{ m/sec}$$

CATEGORIA SUOLO = **C**



COMMITTENTE  
 DOWN HOLE  
 Località  
 Data acquisizione

SGT S.r.l.  
 S1  
 Faenza  
 03/08/2012



**PROGEO S.r.l.**  
 Via Talese 10/B - 47100 Forlì  
 tel. 0543/722598  
 fax 0543/721488  
 e-mail proggeo@unit

**GRAFICI DEI PARAMETRI ELASTICI DINAMICI**

