

**RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA RELATIVA PER OPERE  
DI RIPARAZIONE, MIGLIORAMENTO SISMICO E  
RESTAURO DELL'EX-SCUOLA ELEMENTARE DI FOSSOLI  
ORA CIRCOLO LA FONTANA, SITA IN VIA MARTINELLI A  
FOSSOLI DI CARPI (MO).**



**TECNICO : DOTT. GEOL. A. FIORI**

Via Radici in Piano, 371 - FORMIGINE fr. Casinalbo (MO)

Tel./Fax :059/550703 - Cell. 338/6190797

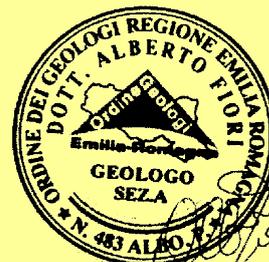
Email: afiori@studiogeologicofiori.191.it

**INCARICO : Città di Carpi**

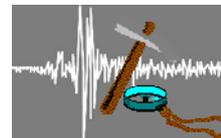
Settore 7

Restauro, Cultura, Commercio e

Promozione economica e Turistica







## **INDICE**

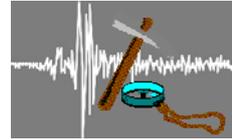
<b>1 - PREMESSA.....</b>	<b>2</b>
2 - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	2
<b>3 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO .....</b>	<b>5</b>
<b>4 - IDROGRAFIA SUPERFICIALE ED IDROGEOLOGIA .....</b>	<b>7</b>
<b>5 - SISMICITA' DEL TERRITORIO.....</b>	<b>9</b>
<b>6 – INDAGINI GEOGNOSTICHE.....</b>	<b>18</b>
6.1 – PROVE PENETROMETRICHE .....	18
6.2 - INDAGINI HVSR.....	22
6.2.1 INTRODUZIONE E BASI TEORICHE SISMICA PASSIVA .....	22
6.2.2 STRUMENTAZIONE IMPIEGATA .....	23
6.2.3 INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI.....	24
6.3 – INDAGINE MASW .....	25
<b>7 – CATEGORIA DI SOTTOSUOLO.....</b>	<b>25</b>
<b>8. ANALISI SISMICA – STUDIO DI RISPOSTA SISMICA LOCALE.....</b>	<b>25</b>
8.1 PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE .....	25
8.2 MODELLO GEOLOGICO DEL SITO .....	27
8.3 DATI INPUT SISMICO.....	28
8.4 RISPOSTA SISMICA LOCALE .....	30
8.5 RIEPILOGO RISULTATI STUDIO DI “RSL” .....	34
<b>9 - VERIFICA DELLA SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE - CEDIMENTI SISMICI.....</b>	<b>34</b>
9.1 - GENERALITA' .....	34
9.2 - LIQUEFAZIONE .....	34
9.3 - CEDIMENTI SISMICI E POST-SISMICI .....	38
<b>10 - CONSIDERAZIONI GEOTECNICHE .....</b>	<b>40</b>
10.1 - STIMA PARAMETRI CARATTERISTICI DEI TERRENI DI SOTTOFONDAZIONE .....	40
10.2 - STIMA PRELIMINARE R <sub>d</sub> .....	40
<b>11 - CONCLUSIONI.....</b>	<b>41</b>

## **ALLEGATI**

1. DIAGRAMMI DELLE PROVE PENETROMETRICHE;
2. ELABORAZIONE DELLE PROVE PENETROMETRICHE;
3. ELABORAZIONI INDAGINI HVSR;
4. PROVA MASW;
5. VERIFICHE LIQUEFAZIONE;
6. VERIFICHE CEDIMENTI SISMICI E POST-SISMICI.

--/--





## **1 - PREMESSA**

Su incarico del Comune di Carpi si è provveduto alla stesura della presente relazione geologica e sismica con esecuzione di indagini geognostiche, per un intervento di riparazione, miglioramento sismico e restauro dell'Ex-scuola elementare di Fossoli ora circolo La Fontana, sito in Via Martinelli a Fossoli di Carpi (MO) (Foto 1).



Foto 1 – Panoramica edificio visto da Sud

Per la caratterizzazione litologica e geotecnica dell'area in esame, in data 26/05/2015, sono state eseguite due prove penetrometriche statiche spinte sino alla profondità massima di 20 m dal p.d.c.

Per la caratterizzazione geofisica dell'area è stata invece eseguita una prospezione sismica di superficie mediante il metodo della sismica a rifrazione e registrazione di microtremiti mediante tomografo digitale (prova HVSR) realizzata sulle verticali delle prove penetrometriche.

## **2 - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO**

L'area indagata si colloca all'interno del territorio comunale di Carpi ed è compresa sulla tavoletta n°183SE, in scala 1:25000; denominata "Novi di Modena" (Fig. 1) e nell'elemento della C.T.R. in scala 1:5.000 n° 183152 denominato "Fossoli" (Fig. 2).

Dal punto di vista altimetrico l'area risulta pianeggiante, con quote medie pari a 22.5 m s.l.m..



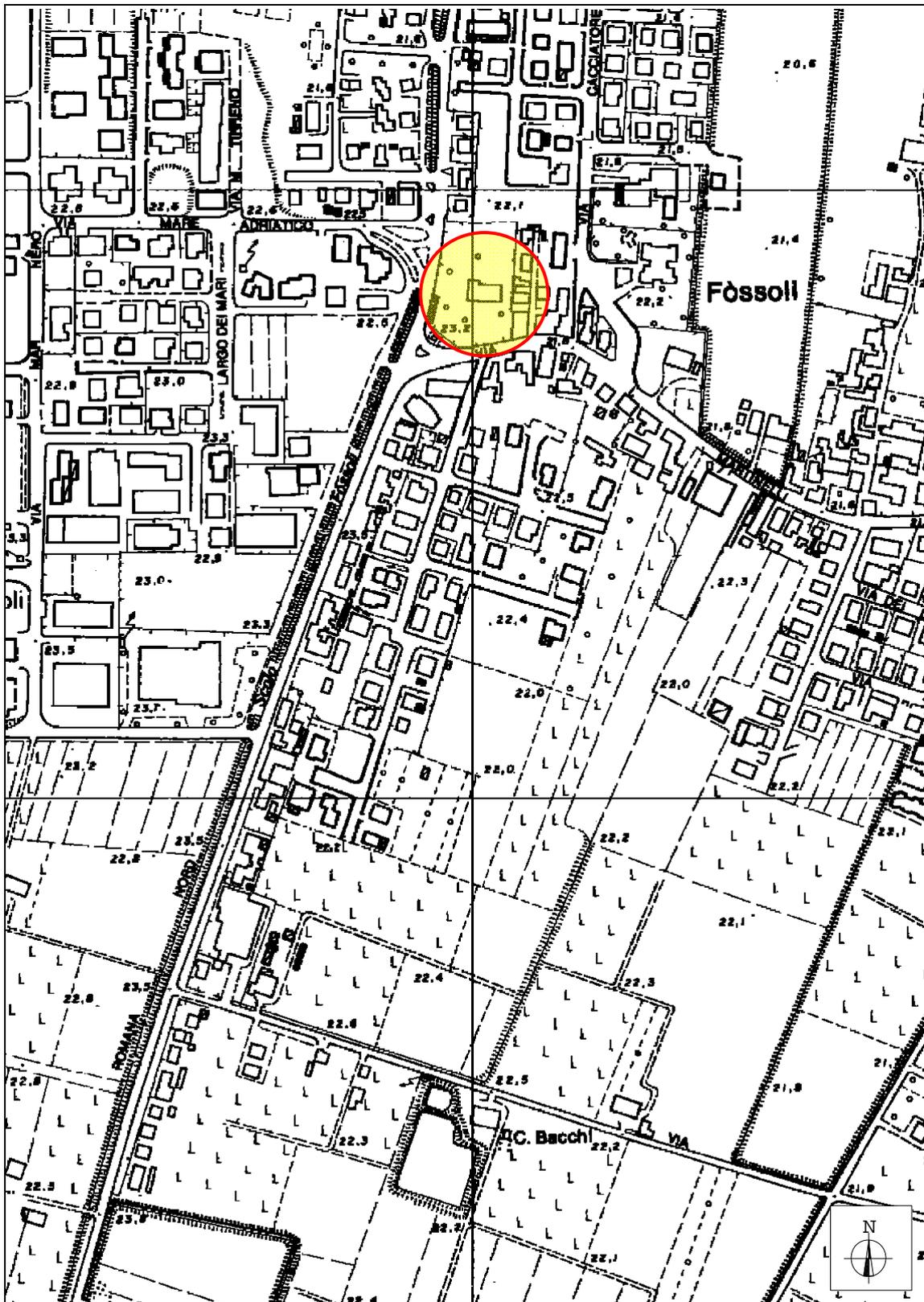
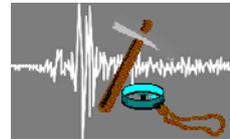
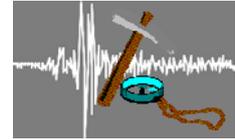


Figura 2 – Inquadramento C.T.R. – Scala 1:5.000



### **3 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO**

Il Comune di Carpi si colloca nella parte centro-meridionale del bacino subsidente Plio-Quaternario Padano, e più in particolare nel settore Appenninico in diretta influenza del Po e dei suoi affluenti di destra. I terreni Olocenici, di origine alluvionale, poggiano sul sottostante Pleistocene continentale e/o marino, strutturalmente caratterizzato da elementi sufficientemente definiti.

In termini generali ed in modo schematico possiamo individuare 3 zone e cioè:

1) "Zona delle pieghe pedeappenniniche", dal margine collinare alla Via Emilia, costituita da una successione di sinclinali ed anticlinali, con esse a vergenza appenninica spesso fagliate e sovrascorse sul fianco Nord;

2) "Zona della Sinclinale di Bologna-Bomporto-Reggio Emilia", dove i depositi quaternari raggiungono il loro massimo spessore per tutta la pianura Padana;

3) "Zona della Dorsale Ferrarese", alto strutturale costituito da una serie di pieghe associate a faglie dove, in talune culminazioni, lo spessore del Quaternario si riduce a poche decine di metri.

L'andamento della "Dorsale Ferrarese" è complessivamente ESE-WNW ma in corrispondenza di Novi e Correggio subisce una decisa inflessione verso Sud assumendo un orientamento NE-SW. Tale anomalia sarebbe imputabile alla presenza di una serie di faglie con direttrice NE-SW a rigetto orizzontale. Non si può escludere che nel mare Padano Pliocenico le culminazioni della Dorsale rappresentassero altrettante isole emergenti.

Si configura un bacino sedimentario che ha subito una notevole azione di subsidenza, controllata dai movimenti tettonici della struttura esaminata; tali movimenti sono stati accertati con fasi preWürm, preRiss ed ipotizzata anche una preMindel. Tali movimenti sarebbero segnalati anche in epoca storica con graduale "sfuggire", da parte della rete idrografica superficiale, alla Dorsale Ferrarese: il Po verso Nord, il Crostolo verso Ovest ed il Secchia verso Est.

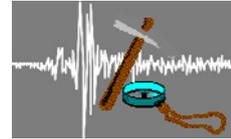
Per quanto riguarda poi il periodo attuale occorre segnalare che è stata rilevata una faglia attiva che attraversa la porzione Est dell'abitato di Correggio con direzione NE-SW e ricollegantesi con la cosiddetta "Faglia del fiume Secchia".

Il substrato marino Pre-Olocenico, oltre a controllare quindi gli spessori dei depositi alluvionali, sembra essere dominante sulla idrografia stessa e quindi sulla morfologia.

La base dei terreni Pliocenici si trova nella parte Sud del territorio a circa 5.000-6.000 m mentre in quella Nord, a confine con Novi, a soli 400-500 m; la base del Quaternario è invece a circa 100 m a Nord e 2.000-2.500 m a Sud.

Per quanto riguarda il passaggio tra i terreni continentali (Olocenici) e marini (Pleistocenici), pur rimarcando la sua variabilissima gradualità, lo si può individuare a circa 400 - 500 m dal piano di campagna.

L'andamento della superficie di separazione fra le acque "dolci" e quelle "salate" è paragonabile all'andamento della base del Pliocene con profondità pari a circa 500 m in corrispondenza di Carpi, 600 m Soliera ed in netta risalita verso Nord fino a 50 m in corrispondenza di Novi, dove tali acque risalgono a volte sino ai pozzi superficiali.



Per quanto riguarda infine il dominio deposizionale dei fiumi alpini occorre ricordare che, per Carpi, si rinvennero sabbie e ciottoli a loro attribuibili ubicati ad una profondità di circa 300 metri.

Il complesso idrogeologico riferibile soprattutto a terreni quaternari, è confinato alla base dal "Pliocene" e terreni Pre-Pleistocenici impermeabili.

La litologia è molto variabile ma complessivamente limo-argillosa, argillosa con intercalazioni sabbiose e, più raramente, ghiaiose e torbose.

Sono distinguibili due zone di dominio deposizionale e cioè: la media pianura, unità idrogeologica dei corsi Appenninici, a Sud della linea corrispondente all'incirca al limite amministrativo Carpi-Novati; la bassa pianura, unità idrogeologica del Po, a Nord di tale linea. Il dominio dei corsi d'acqua appenninici si caratterizza per la prevalenza di limi argillosi ed argille prevalenti con intercalazioni di livelli e lenti sabbiose discontinue, poco spesse, rappresentanti circa il 3-5% del totale. Il dominio del Po, invece, è caratterizzato da potenti livelli sabbiosi intercalati ad argille e limi argillosi.

Da un punto di vista geomorfologico il territorio Carpigiano, come già ricordato, si colloca nella fascia di media e bassa pianura alluvionale, e l'azione morfogenetica dominante è quella determinata dai fiumi, dai corsi d'acqua in genere e dall'uomo

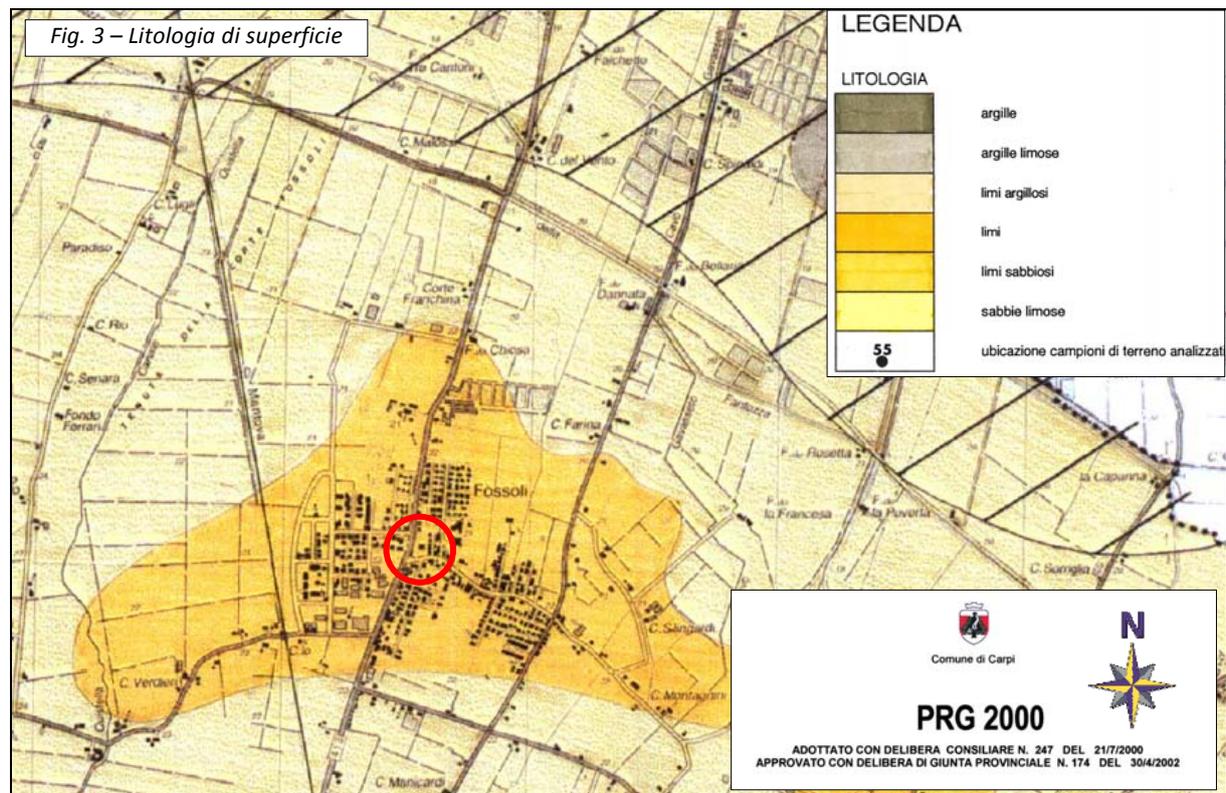
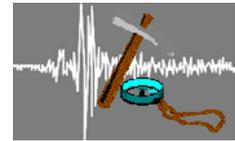
Da un punto di vista morfologico il territorio si presenta sub-pianeggiante con quote che degradano abbastanza regolarmente procedendo da Sud verso Nord, con valori di pendenza molto modesti dell'1 -2%.

L'area è caratterizzata da elementi allungati con direttrice di tipo appenninico, identificati dall'andamento delle isoipse; a luoghi tale regolarità è interrotta dalla presenza di alcuni dossi, che molto probabilmente corrispondono a paleovalle riferibili al fiume Secchia o a corsi d'acqua appenninici minori.

È in tali zone, altimetricamente più rilevate, che compaiono i depositi granulometricamente più grossolani (sabbie) e si distinguono topograficamente da quelle più ribassate (valli) in cui predominano i litotipi più fini.

Tale corrispondenza è da mettere in relazione con i processi di sedimentazione dei corsi d'acqua appenninici nel periodo olocenico, durante il quale, a causa di variazioni climatiche, hanno mutato le proprie caratteristiche idrauliche divagando per la pianura e incidendo i propri stessi depositi.

Come visibile in figura 3, che riporta un estratto della Tavola A4.2 "Carta litologica" del PRG 2000 del Comune di Carpi, nell'area in esame affiorano litotipi prevalentemente limo-sabbiosi.

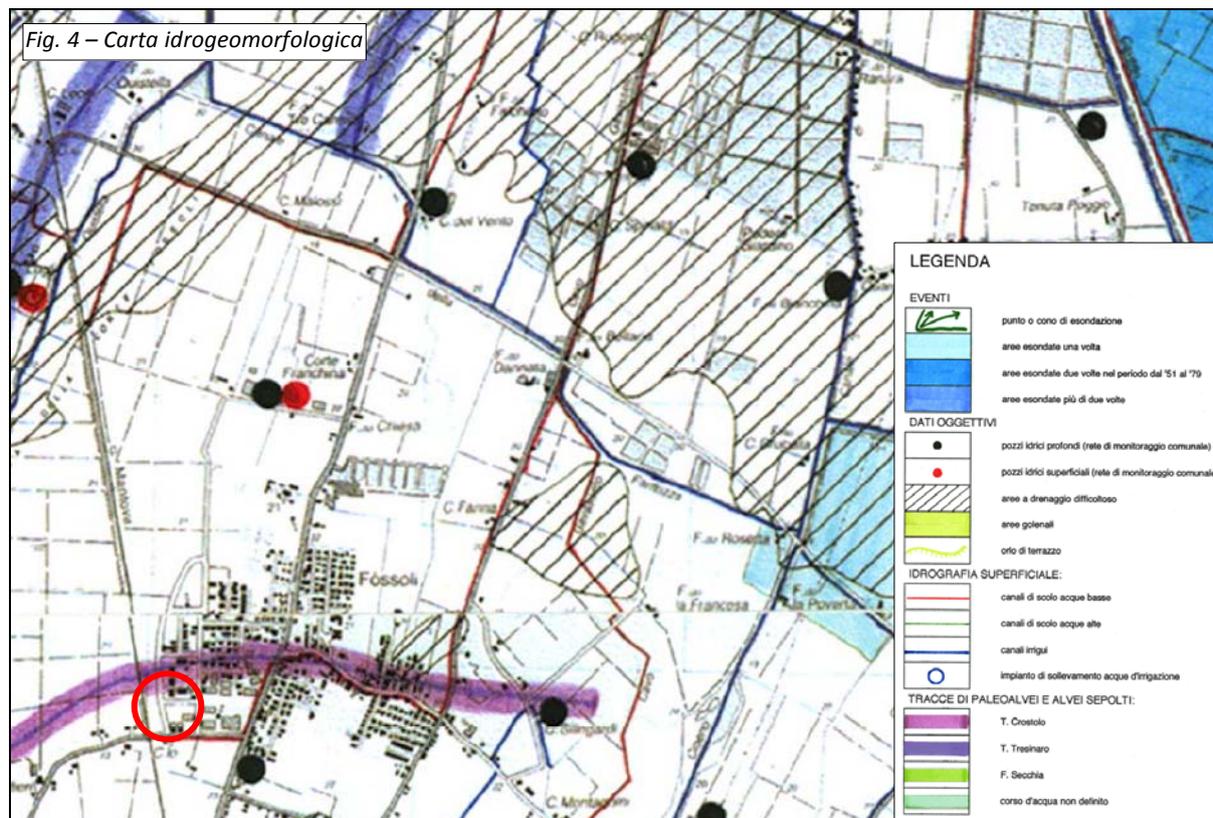
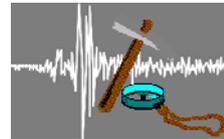


#### **4 - IDROGRAFIA SUPERFICIALE ED IDROGEOLOGIA**

Il territorio comunale di Carpi dal punto di vista idraulico fa parte del Consorzio di Bonifica Parmigiana – Moglia - Secchia. Lo scolo delle acque superficiali è garantito da numerosi cavi e scoline facenti parte, soprattutto nella parte meridionale di tale territorio, della rete di scolo delle acque alte ed in parte di quella delle acque basse. A quest'ultimo gruppo appartengono canali che drenano le ampie zone depresse di bonifica presenti a nord della direttrice Budrione – Fossoli - S. Marino.

L'area in esame ricade all'interno dell'unità geomorfologica delle valli, caratterizzata da depositi prevalenti a tessitura fine, con sottili livelli a tessitura moderatamente grossolana.

Come riportato in figura 4 estratta dalla Tavola “Carta idrogeomorfologica” del PRG 2000 del Comune di Carpi, l'area in esame è collocato immediatamente a ridosso un paleo-alveo sepolto del torrente Crostolo.

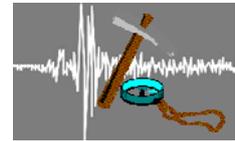


Il territorio comunale di Carpi dal punto di vista idrogeologico appartiene al sistema acquifero della media pianura modenese; quest'ultimo è caratterizzata da una situazione stratigrafica prevalentemente limo-argillosa nella quale i livelli acquiferi sono costituiti da lenti sabbiose che come spessore non superano mai il 10% del totale.

L'alimentazione di tali livelli è da ritenersi remota essendo il loro collegamento con la superficie pressoché annullato dalla litologia superficiale impermeabile.

La piezometria degli orizzonti acquiferi più profondi distribuiti entro i primi 30-40 m di profondità, evidenziano la presenza di una grande depressione incentrata sul capoluogo corrisponde alla zona ove sono ubicati i pozzi soggetti a maggior prelievo di acque dal sottosuolo, presenti sia nella zona industriale che nel capoluogo medesimo. Tale depressione presente nella superficie piezometrica deve interpretarsi pertanto come un "cono di depressione" avente un raggio di alcuni chilometri determinato da un prelievo continuativo da parte dei pozzi che estraggono acqua dal sottosuolo. Questo prelievo condiziona anche la forma della superficie piezometrica nella parte Nord del territorio, modificando il generale senso di flusso che competerebbe alla zona. Una conseguenza di un così elevato abbattimento permanente della falda, in una situazione litostratigrafica di assoluta prevalenza di materiali limo-argillosi compressibili, può determinare, a lungo termine, fenomeni di subsidenza, i quali peraltro potrebbero essere già in atto.

Per quanto riguarda infine la falda freatica superficiale, il livello freatico misurato nei fori dei sondaggi penetrometrici eseguiti ha mostrato come la profondità della falda freatica sia posta ad una profondità pari a circa 1.90-2.10 m dal p.d.c.

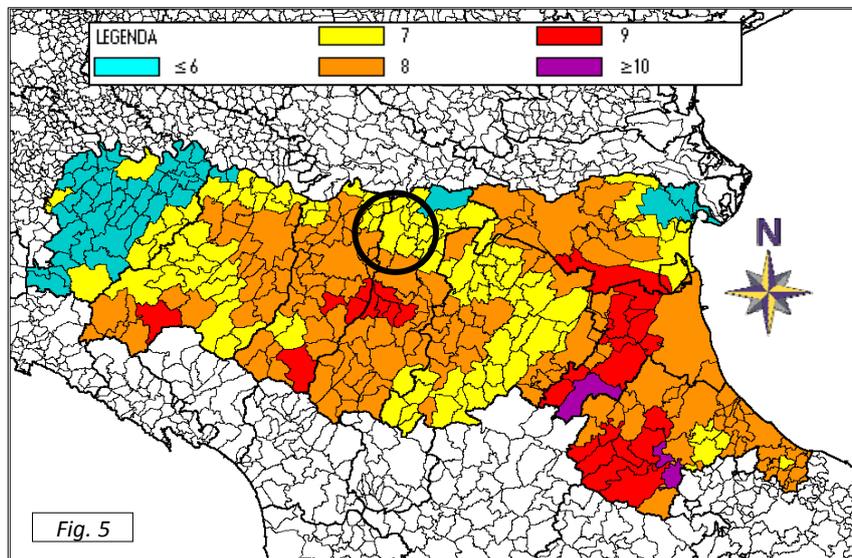


Tale falda, cosiddetta “libera”, e' caratterizzata da bassi valori di trasmissività e da una variabilità del proprio livello in stretta relazione con gli apporti meteorici e con la rete di canalizzazione e viene intercettata con pozzi tradizionali. La sua acqua viene prevalentemente utilizzata, in relazione alla scarsa qualità, per l'irrigazione di orti e giardini, mai comunque per uso idropotabile.

## 5 - SISMICITA' DEL TERRITORIO

Per quanto concerne gli aspetti sismici in termini macrosismici, il catalogo DOM4.1, database di osservazioni macrosismiche di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno, è stato utilizzato, su incarico della Protezione Civile, da Molin et al. (1996) in combinazione con i dati di CFTI (Catalogo dei forti terremoti italiani di ING/SGA - Boschi et al., 1995) per la compilazione della "Mappa delle massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani", di cui in Fig. 5 viene riportato un estratto con la situazione della regione Emilia-Romagna.

Da tale figura si desume che il territorio Comunale di Carpi è caratterizzato da un'intensità macrosismica pari a 7.



Basandosi sul CATALOGO PARAMETRICO DEI TERREMOTI ITALIANI Edizione 2004 denominato CPTI04 e sulla ZONAZIONE SIMOGENETICA ZS9 (2004), sono stati individuati e riportati nella tabella seguente i risentimenti storici che hanno direttamente interessato la zona sismogenetica n° 912 all'interno della quale ricade il Comune di Carpi.

N	Tr	Anno	Me	Gi	AE	Np	Imx	Io	TI	Lat	Lon	TL	Maw	Daw	Mas	Das	Msp	Dsp	T	Ncft	Nnt	Ncp
18	DI	725			Classe-Ravenna	2	85	80		44,400	12,220	A	5,57	0,19	5,40	0,28	5,55	0,28	G	77		18
51	DI	1234	3	20	FERRARA	5	70	70		44,836	11,618	A	5,17	0,30	4,80	0,45	4,99	0,42	G		860	51
53	DI	1249	9	0	Modena	4	75	65	M	44,650	10,930	A	5,03	0,33	4,60	0,49	4,80	0,45	G	115	595	53
66	DI	1285	12	13	FERRARA	2	70	65		44,836	11,618	A	5,03	0,33	4,60	0,49	4,80	0,45	G		861	66
90	DI	1345	1	31	CASTELNUOVO	1	55	55		44,810	10,564	A	4,63	0,13	4,00	0,20	4,25	0,19	A		596	90
93	DI	1346	2	22	Ferrara	14	75	75		44,920	11,020	A	5,81	0,24	5,75	0,35	5,75	0,35	G	149	862	93
131	DI	1410	5	9	FERRARA	3	65	65		44,836	11,618	A	5,03	0,33	4,60	0,49	4,80	0,45	G		863	131
139	CP	1425	8	10	FERRARA SUD			60		44,833	11,667		4,83	0,26	4,30	0,39	4,53	0,36	G		864	139
171	DI	1474	3	11	MODENA	12	60	60		44,647	10,925	A	4,89	0,17	4,39	0,26	4,61	0,24	G		601	171
178	DI	1483	3	3	FERRARA	1	55	55		44,836	11,618	A	4,63	0,13	4,00	0,20	4,25	0,19	G		865	178
179	DI	1483	8	11	Romagna meridionale	14	85	80		44,170	12,230	A	5,67	0,13	5,54	0,20	5,54	0,20	G	197	888	179
207	CP	1508	10	18	FERRARA SUD			60		44,833	11,667		4,83	0,26	4,30	0,39	4,53	0,36	G		866	207
257	DI	1561	11	24	Ferrara	5	65	55	M	44,780	11,450	A	4,63	0,13	4,00	0,20	4,25	0,19	G	229	867	257
262	DI	1570	11	17	Ferrara	60	80	75		44,820	11,630	A	5,48	0,11	5,27	0,17	5,43	0,16	G	231	868	262
266	DI	1574	3	17	FINALE EMILIA	4	70	70		44,833	11,294	A	5,12	0,22	4,73	0,33	4,92	0,31	G		869	266
282	DI	1591	7	10	FORLI'	6	65	65		44,400	12,038	A	5,24	0,22	4,91	0,32	5,09	0,30	G		832	282

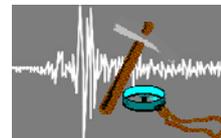
**Dott. Geol. Alberto Fiori**

Via Radici in piano, 371 -

41041 FORMIGINE fr. Casinalbo (MO)

Telefono/Telefax 059/550703 – Cell. 338/6190797

P.I.V.A. 02351210360 - Cod.Fisc. FRI LRT 58C14I462V



N	Tr	Anno	Me	Gi	AE	Np	Imx	Io	TI	Lat	Lon	TL	Maw	Daw	Mas	Das	Msp	Dsp	T	Ncft	Nnt	Ncp
323	DI	1624	3	18	Argenta	17	85	75		44,650	11,850	A	5,43	0,22	5,19	0,32	5,35	0,30	G	243	870	323
362	DI	1660			MODENA	1	55	55		44,647	10,925	A	4,63	0,13	4,00	0,20	4,25	0,19	G		609	362
374	DI	1671	6	20	RUBIERA	13	70	70		44,709	10,814	A	5,34	0,15	5,06	0,22	5,23	0,20	G		610	374
393	DI	1688	4	11	ROMAGNA	36	90	90		44,390	11,942	A	5,88	0,12	5,85	0,18	5,85	0,18	G	266	834	393
395	CP	1688	8	18	FUSIGNANO			70		44,417	12,000		5,17	0,30	4,80	0,45	4,99	0,42	G		835	395
397	CP	1689	3	15	FUSIGNANO			60		44,417	12,000		4,83	0,26	4,30	0,39	4,53	0,36	G		836	397
416	DI	1695	2	28	FERRARA	1	55	55		44,836	11,618	A	4,63	0,13	4,00	0,20	4,25	0,19	G		871	416
521	DI	1743	5	29	FERRARA	1	65	65		44,836	11,618	A	5,03	0,33	4,60	0,49	4,80	0,45	G		872	521
609	DI	1780	2	6	Bolognese	7	65	55	M	44,620	11,320	A	4,85	0,11	4,32	0,16	4,54	0,15	G	323	766	609
612	DI	1780	5	25	RAVENNA	5	65	65		44,417	12,198	A	5,03	0,33	4,60	0,49	4,80	0,45	G		890	612
654	DI	1787	7	16	Ferrara	3	65	55	M	44,830	11,620	A	4,63	0,13	4,00	0,20	4,25	0,19	G	339	873	654
683	DI	1796	10	22	Emilia orientale	26	70	70		44,620	11,670	A	5,63	0,15	5,48	0,23	5,62	0,23	G	352	874	683
703	DI	1806	2	12	NOVELLARA	28	70	70		44,862	10,671	A	5,26	0,16	4,93	0,24	5,11	0,22	A		875	703
717	DI	1810	12	25	NOVELLARA	33	70	70		44,898	10,712	A	5,28	0,10	4,97	0,15	5,15	0,14	A		876	717
791	DI	1831	9	11	Reggiano	24	75	75		44,750	10,550	A	5,48	0,13	5,27	0,19	5,43	0,18	G	378	616	791
803	DI	1834	10	4	Bologna	10	60	55	M	44,600	11,370	A	4,63	0,13	4,00	0,20	4,25	0,19	G	384	768	803
871	DI	1850	9	18	MODENA	7	60	60		44,614	10,965	A	4,83	0,26	4,30	0,39	4,53	0,36	G		618	871
1174	CP	1891	8	1	LUGO			60		44,417	11,933		4,83	0,26	4,30	0,39	4,53	0,36	G		853	1174
1225	DI	1895	3	23	COMACCHIO	37	65	60		44,684	11,987	A	4,83	0,26	4,30	0,39	4,53	0,36	G		877	1225
1233	CP	1895	7	3	COMACCHIO			60		44,700	12,183		4,83	0,26	4,30	0,39	4,53	0,36	A		878	1233
1287	DI	1898	1	16	Romagna settent.	73	70	65		44,650	11,770	A	5,03	0,33	4,60	0,49	4,80	0,45	G	452	879	1287
1482	CP	1908	6	28	FINALE EMILIA SUD			60		44,800	11,300		4,83	0,26	4,30	0,39	4,53	0,36	G		881	1482
1499	DI	1909	1	13	BASSA PADANA	799	65	65		44,579	11,688	A	5,53	0,05	5,33	0,08	5,48	0,07	G		882	1499
1729	DI	1922	5	24	CENTO	6	45	35		44,862	11,517	A	4,50	0,14	3,81	0,21	4,07	0,19	G		883	1729
1808	DI	1928	6	13	CARPI	35	70	65		44,797	10,872	A	4,85	0,09	4,32	0,13	4,54	0,12	G		884	1808
2047	DI	1950	5	6	REGGIANO	4	40	40		44,731	10,670	A	4,46	0,14	3,74	0,21	4,01	0,19	G		635	2047
2220	CP	1965	12	18	RUSSI			55		44,400	12,000		4,95	0,09	4,47	0,13	4,68	0,12	G		857	2220
2230	CP	1967	4	3	CORREGGIO			55		44,800	10,750		4,71	0,08	4,12	0,12	4,36	0,11	G		886	2230
2243	DI	1967	12	30	BASSA PADANA	40	60	60		44,604	11,997	A	5,36	0,08	5,09	0,12	5,26	0,11	G		887	2243
2245	CP	1968	1	11	RUSSI			50		44,400	12,000		4,58	0,20	3,92	0,29	4,17	0,27	G		858	2245
2263	CP	1969	1	10	RUSSI			55		44,383	12,000		4,63	0,09	4,00	0,13	4,25	0,12	G		859	2263
2389	CP	1978	12	5	RAVENNA S.O.					44,383	12,117		4,76	0,13	4,20	0,19	4,43	0,18	G		901	2389
2455	DI	1986	12	6	BONDENO	604	60	60		44,879	11,334	A	4,56	0,09	4,30	0,13	4,53	0,12	G		901	2455
2456	DI	1987	5	2	REGGIANO	803	60	60		44,797	10,697	A	5,05	0,07	4,79	0,08	4,98	0,08	G		902	2456
2509	DI	1996	10	15	CORREGGIO	135	70	70		44,782	10,683	A	5,44	0,18	5,09	0,04	5,26	0,04	G			
2534	CP	2000	6	18	REGGIANO					44,786	10,746		4,46	0,18	4,17	0,18	4,41	0,16	G			

**Legenda:** N = Numero d'ordine del record

AE = Denominazione dell'area dei massimi effetti

Imx = Intensità massima x 10 (scala MCS)

TI = Codice di determinazione di Io

Lat/Lon = Coordinate epicentrali in gradi sessagesimali-decimali

TL = Codice di localizzazione

Daw = Errore associato alla stima di Maw

Das = Errore associato alla stima di Mas

Msp = Magnitudo da utilizzare in combinazione con la relazione di Sabetta e Pugliese (1996)

Dsp = Errore associato alla stima di Msp

Ncft = Numero progressivo dei record nel catalogo CFTI2

Ncpt = Numero d'ordine dei record nel catalogo CPTI99

Tr = Tipo di record

Np = Numero dei dati puntuali di intensità disponibili

Io = Intensità epicentrale x 10 (scala MCS)

Anno; Me; Gi = Tempo di origine

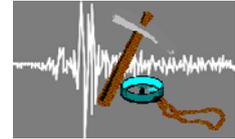
Maw = Magnitudo momento

Mas = Magnitudo calcolata sulle onde di superficie

TZ = Codice di assegnazione alla zona sorgente

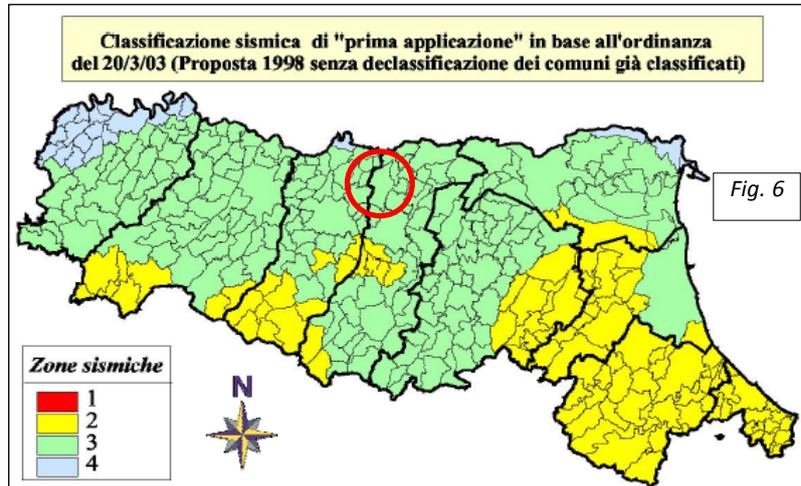
Nnt = Numero d'ordine dei record nel catalogo NT4.1.1

In riferimento all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003, n. 3274 pubblicata sul Supplemento Ordinario della Gazzetta Ufficiale n° 105 del 08/05/2003 (*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*), il Comune di Carpi viene classificato appartenente alla zona sismica 3 (vedi figura 6).

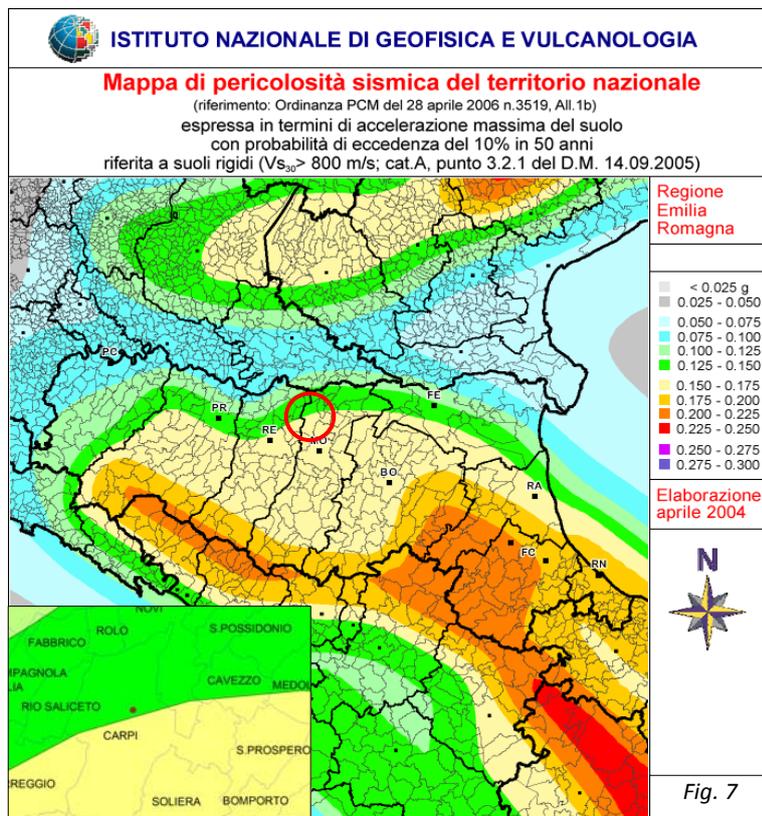


Con l'entrata in vigore del DM 14/09/2005 (GU n. 222 del 23/09/2005 suppl. Ordinario n. 159) trova attuazione la classificazione sismica di cui all'ordinanza precedentemente ricordata.

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 28 aprile 2006, n. 3519 pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n° 108 del 11/05/2006 (Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone), individua i criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e la nuova mappa di



pericolosità sismica di riferimento a scala nazionale, di cui si riporta in figura 7 un estratto relativo alla



Regione Emilia Romagna, che mette in evidenza come per il comune di Carpi sia prevista una accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi, compresa tra 0.150-0.175 g nella porzione meridionale del territorio comunale e compresa tra 0.125-0.150 g nella porzione settentrionale del territorio comunale.

Attualmente dal 30 giugno 2009 sono entrate in vigore le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008 e pertanto, per le analisi successive, si è fatto riferimento a tale normativa. In

riferimento alle elaborazioni effettuate dall'Ufficio sismico e dei suoli della R.E.R., le accelerazioni massime in superficie registrate nell'area in esame a seguito degli eventi sismici del 2012 risultano comprese tra 0.15 e 0.20 g (fig. 8).

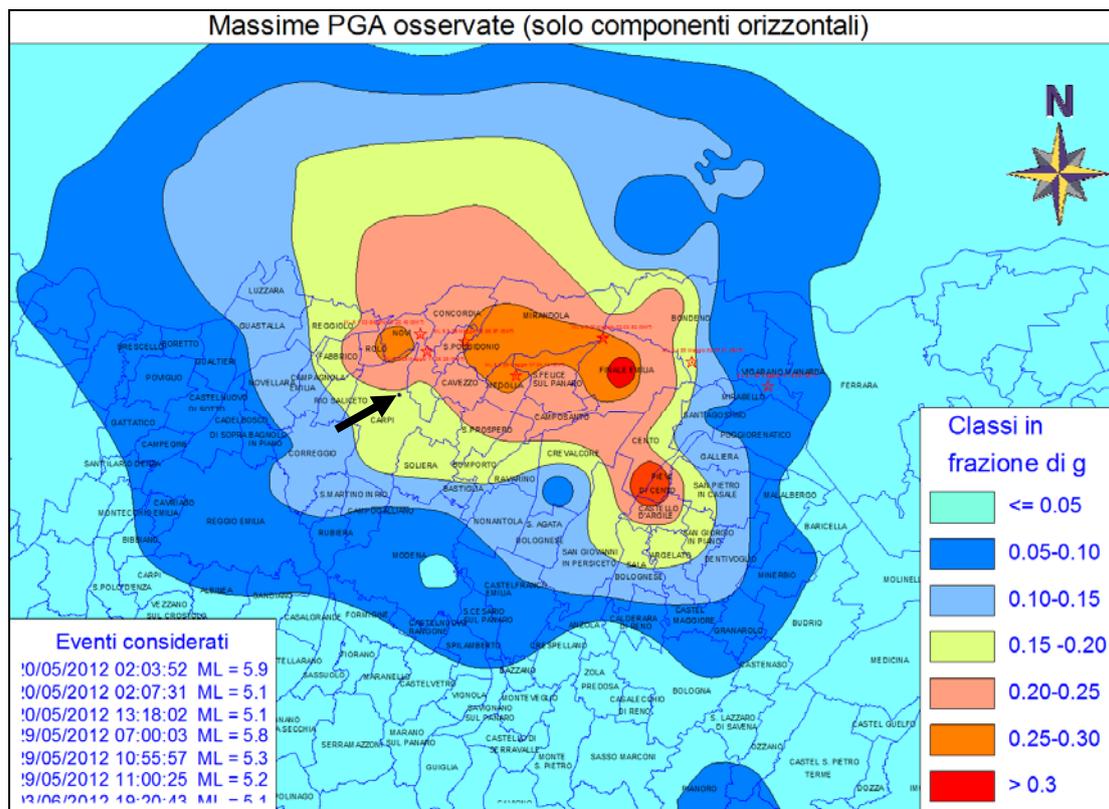
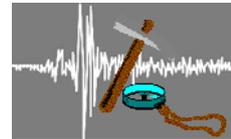


Figura 8 – Mappa delle intensità massime registrate durante i terremoti del 2012

Il territorio del Comune di Carpi è stato oggetto di uno specifico studio di microzonazione sismica di 2° e 3° livello.

L'area in esame ricade all'interno delle zone instabili per il fenomeno della liquefazione (fig. 9).

In termini di fattore di amplificazione del moto sismico FA PGA si prevedono valori di 1.5 -1.6 (Fig. 10), con fattori di amplificazione di Housner nell'intervallo compreso tra 0.1 e 0.5 s pari a 1.7-1.8 (fig. 11), e maggiore di 2.5 nell'intervallo compreso tra 0.5 -1 s (fig. 12).

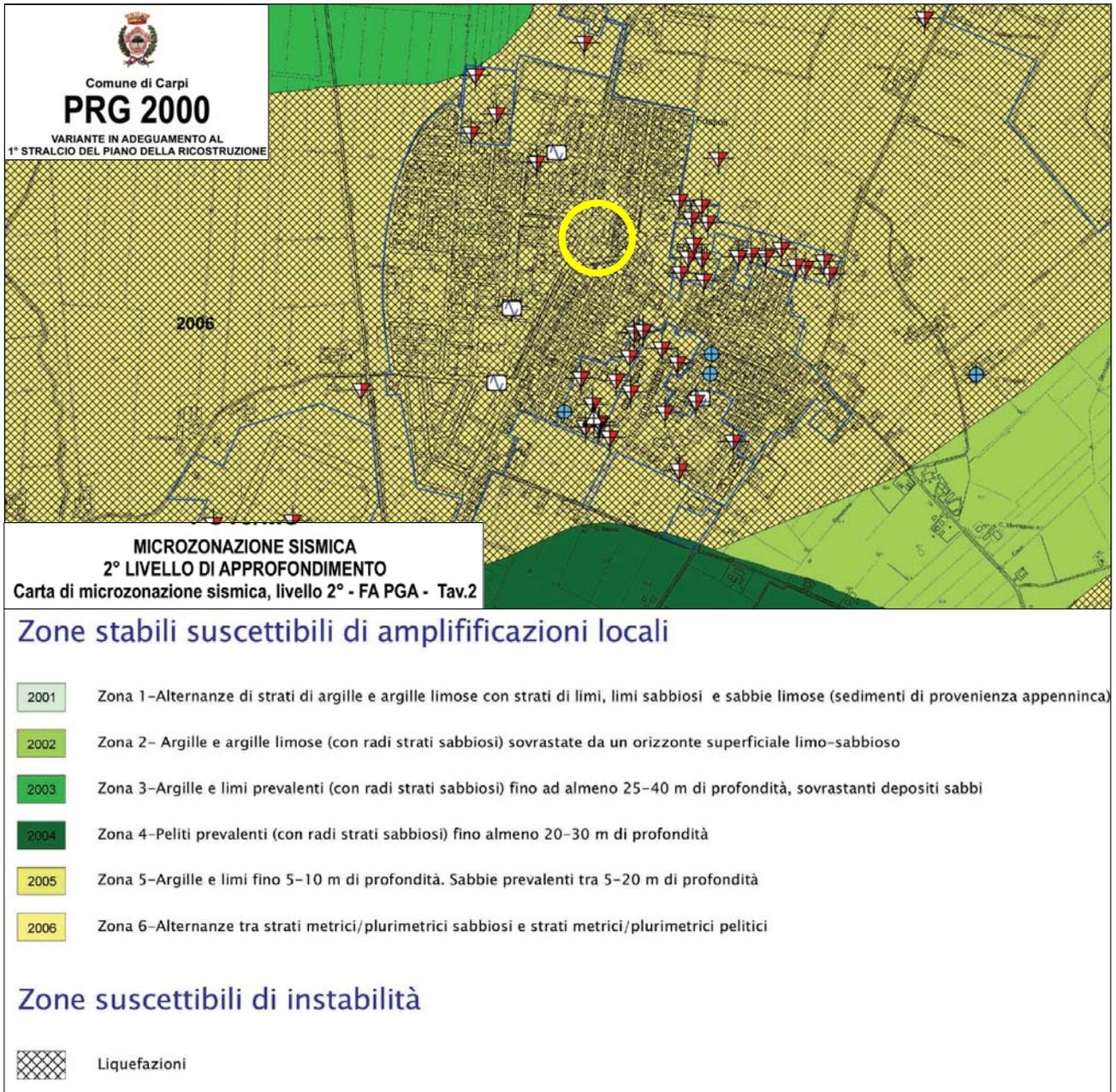
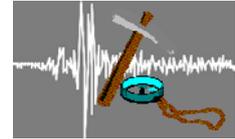


Figura 9 – Estratto cartografia di microzonazione sismica di 2° livello

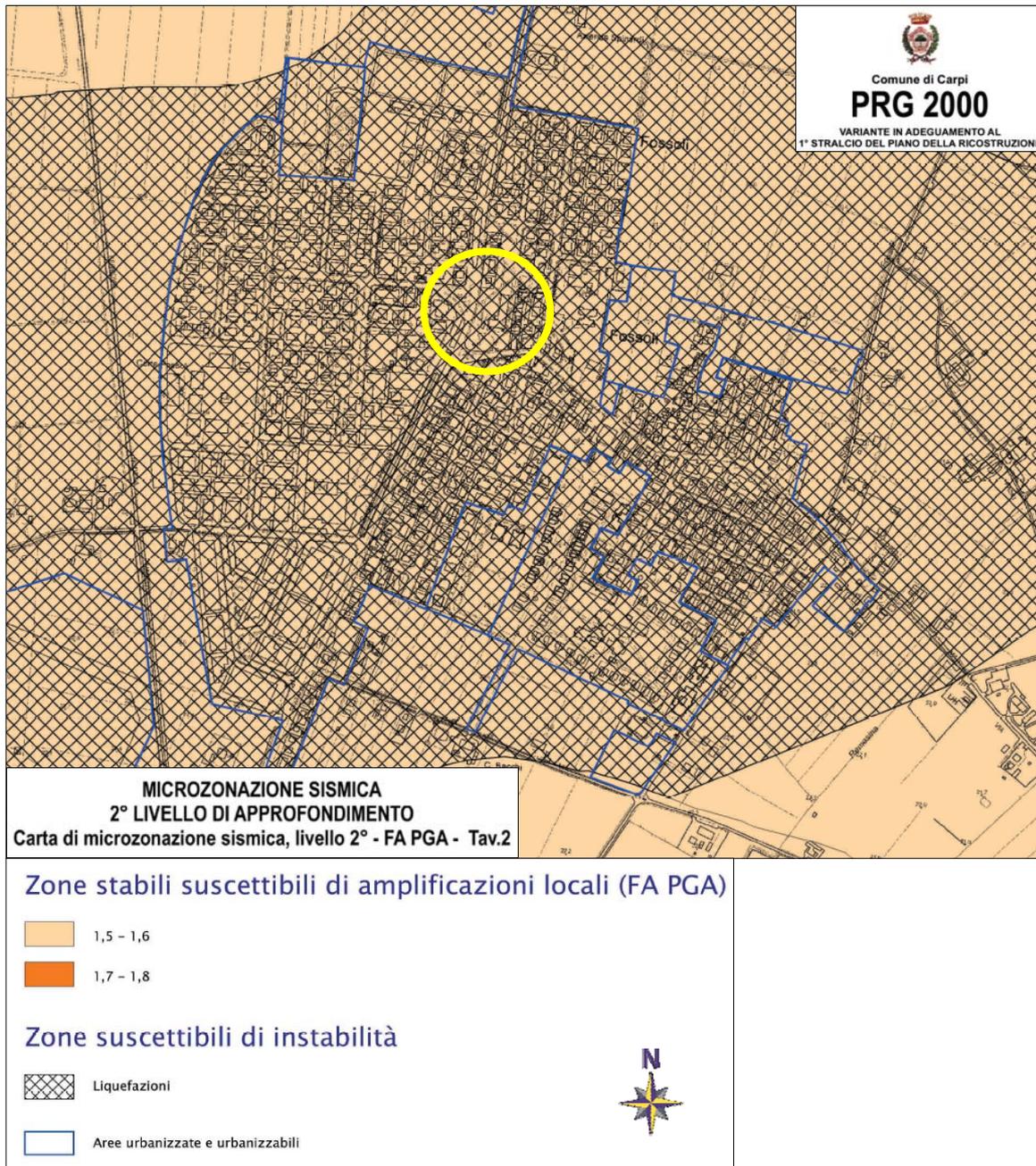
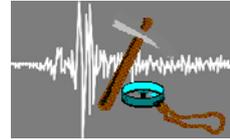


Figura 10 – Estratto cartografia del fattore di amplificazione della PGA

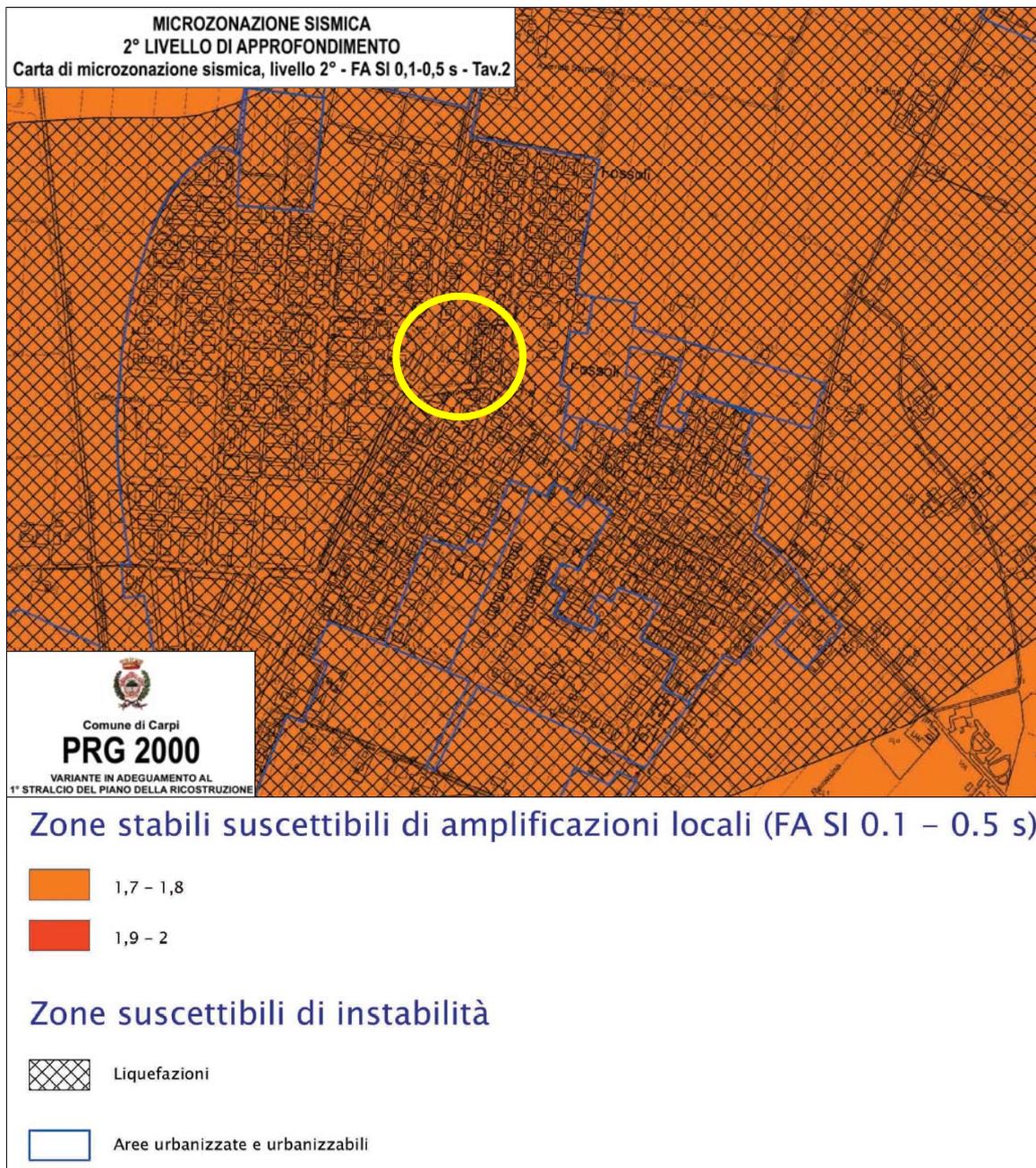
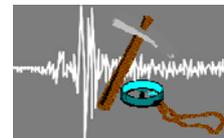


Figura 11 – Estratto cartografia Intensità di Housner tra 0.1 e 0.5 s

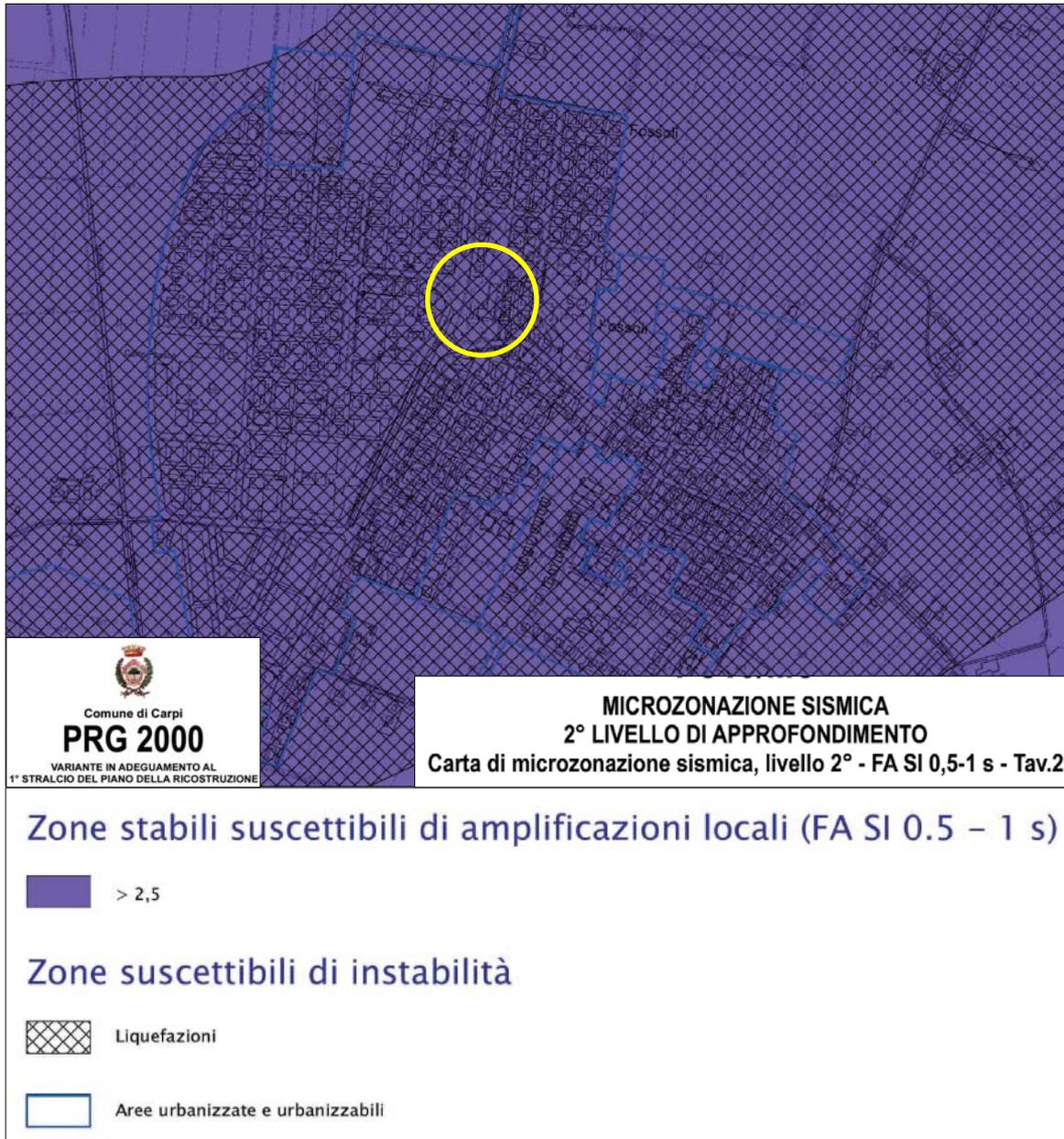
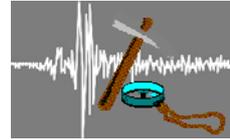
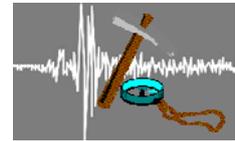


Figura 12 – Estratto cartografia Intensità di Housner tra 0.5 e 1.0 s



Nella Fig. 13 viene riportata la cartografia di microzonazione di 3° livello, che individua sull'area in esame un rischio di liquefazione basso con valori di IPL inferiore a 2.

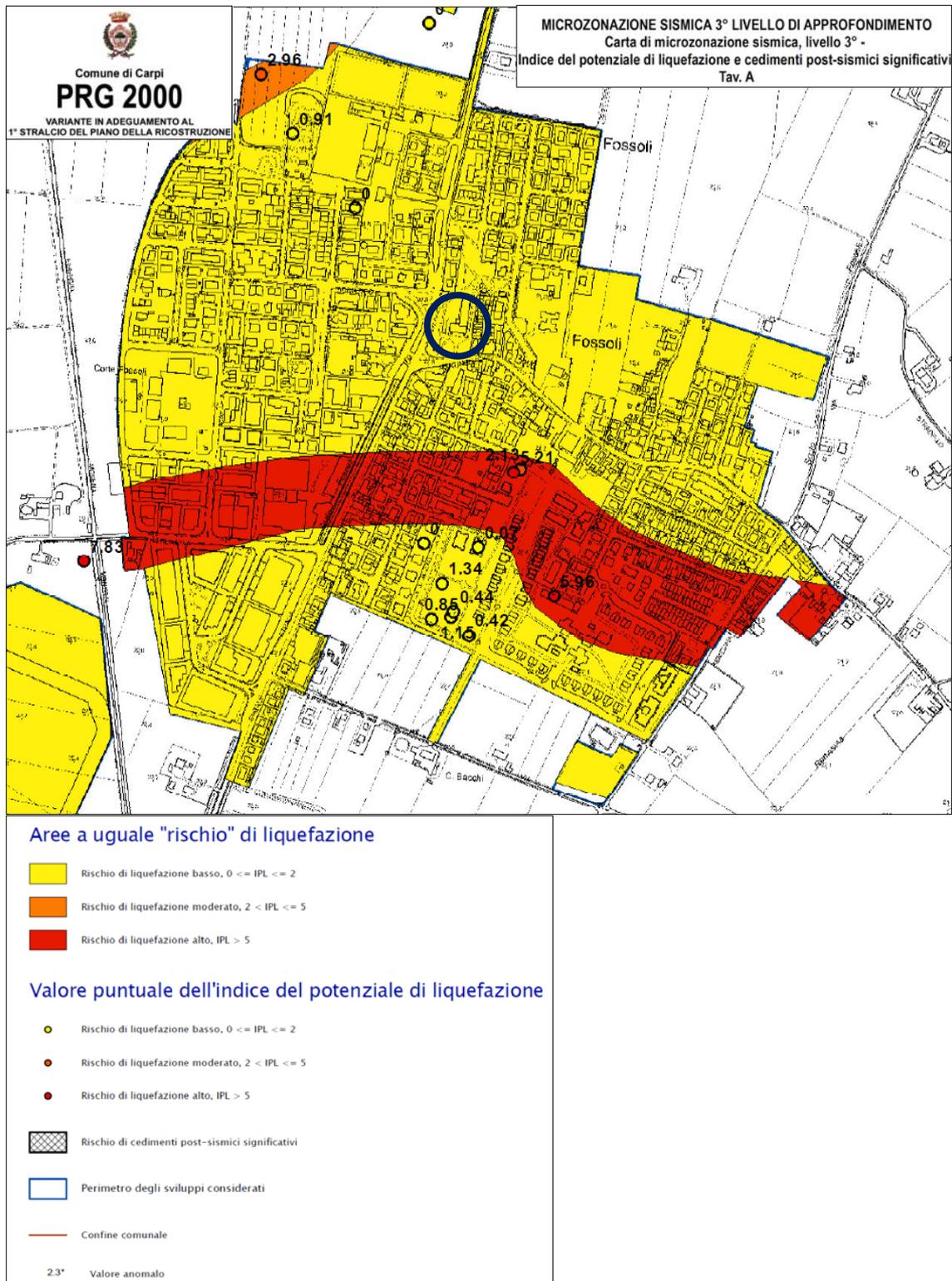
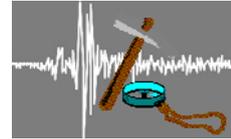


Figura 13 – Estratto cartografia di microzonazione sismica di 3° livello



## **6 – INDAGINI GEOGNOSTICHE**

### **6.1 – PROVE PENETROMETRICHE**

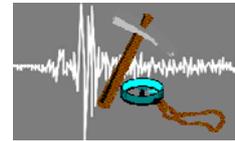
Sul lotto in esame sono state eseguite specifiche indagini geognostiche volte alla caratterizzazione geotecnica e sismica dell'area, in particolare due prove penetrometriche statiche (fig. 14), una prova MASW e n° 2 HVSR, ubicate come da fig. 15.



*Figura 14 – Esecuzione prove penetrometriche*

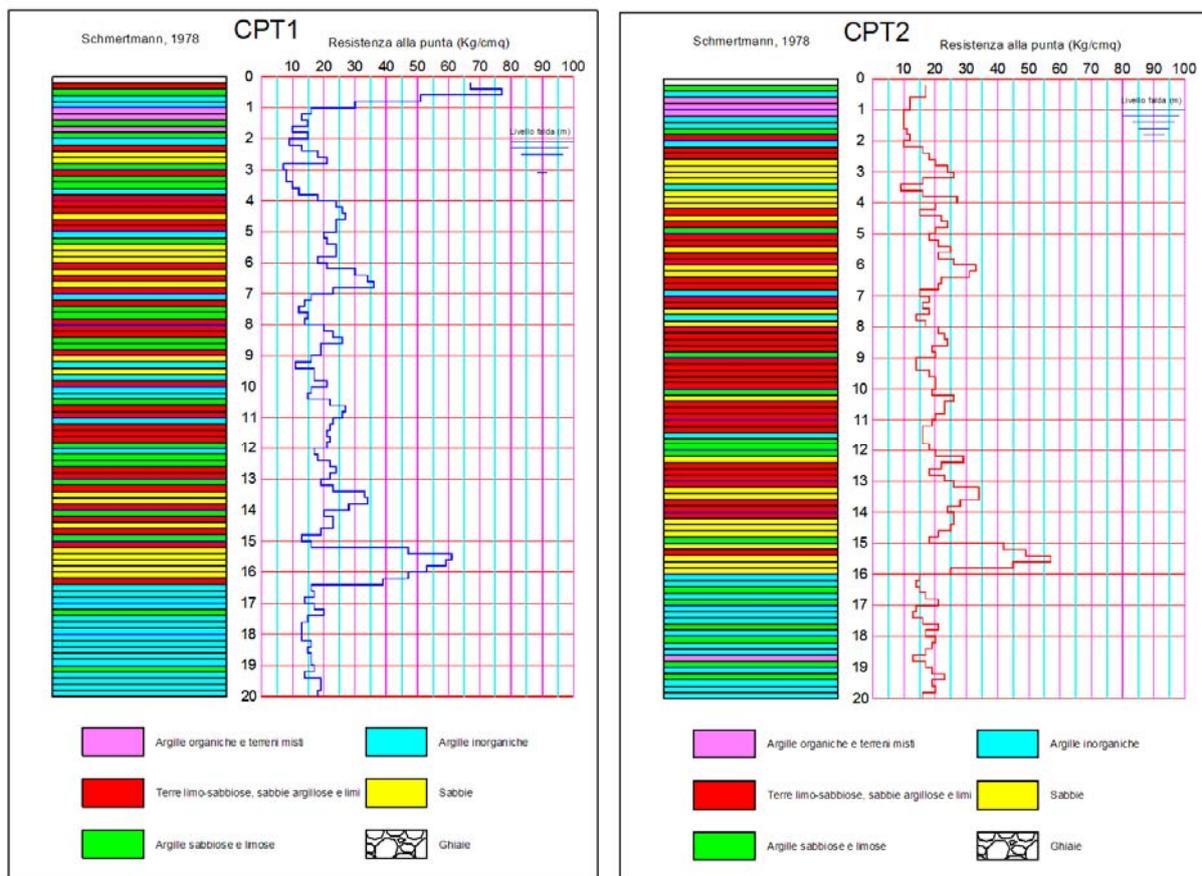


*Figura 15 – Ubicazione indagini geognostiche*



La caratterizzazione litologica e geotecnica dei terreni di sottofondazione è stata eseguita mediante l'esecuzione di due prove penetrometriche statiche, ubicate come da Fig. 15 e spinte sino alla profondità di 20 m dal p.d.c. attuale.

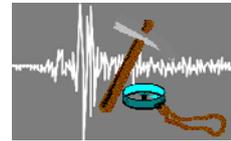
Le caratteristiche litologiche dei terreni presenti sono state evidenziate mediante la teoria di Schmertmann (1978), che lega il rapporto tra la resistenza alla punta ( $R_p$ ) e quella laterale ( $R_l$ ) con la litologia dei terreni attraversati (Fig. 16).



*Figura 16 – Caratteristiche litologiche terreni*

Da un punto di vista litologico le prove realizzate hanno evidenziato, nei primi 16 metri di profondità, la presenza di terreni costituiti da una alternanza irregolare di limi, limi argillosi e sabbie, a cui segue, sino alla massima profondità indagata, un livello prevalentemente argilloso.

Da un punto di vista geotecnico nella prova CPT1 si individua un primo strato prevalentemente fine sino alla profondità di circa 4.00 m dal p.d.c. con valori di resistenza alla punta ( $R_p$ ) mediamente pari a 13  $\text{Kg/cm}^2$ , seguito da un livello di sabbie sciolte di circa 2.80 metri di spessore con valori di  $R_p$  medi pari a circa 25  $\text{Kg/cm}^2$  e valore di densità relativa di circa il 33%. Al di sotto, sino alla profondità di 13.4 m, è presente un livello costituito da limi e limi-sabbiosi con valori di  $R_p$  medi di circa 20  $\text{Kg/cm}^2$ . Si rileva quindi un altro livello sabbioso di circa 0.6 m di spessore con valori di  $R_p$  medi di circa 32  $\text{Kg/cm}^2$  e densità relativa del 28%. Si rinviene quindi un livello prevalentemente fine sino a circa 15.2 m di profondità, a cui segue un livello



sabbioso di circa 1.2 m di spessore con valori di  $R_p$  medi di circa  $50 \text{ Kg/cm}^2$  e valori di densità relativa di circa il 40%. Segue quindi sino alla massima profondità indagata di 20 metri un livello argilloso con valori di  $R_p$  medi di circa  $16 \text{ Kg/cm}^2$

Nella prova CPT2 il livello fine superficiale limoso e limo-argilloso presenta rispetto alla prova CPT1 uno spessore inferiore pari a circa 2.60 m e valori di  $R_p$  paragonabili pari a  $13 \text{ Kg/cm}^2$ . Il livello sottostante prevalentemente sabbioso presenta una spessore di circa 3.80 m, valori di  $R_p$  di circa  $22 \text{ Kg/cm}^2$  e densità relativa pari a 31%. Al di sotto, sino alla profondità di 13.2 m, sono rilevati terreni limosi e limo-sabbiosi con valori di  $R_p$  pari a circa  $20 \text{ Kg/cm}^2$ . Compare quindi un secondo livello sabbioso di circa 0.4 m di spessore, seguito da un livello fine sino a 14 m di profondità con valori di  $R_p$  pari a circa  $26 \text{ Kg/cm}^2$ . Sino a 16 m di profondità è presente un terzo livello sabbioso di spessore quindi pari a circa 2 metri con valori di  $R_p$  pari a circa  $33 \text{ Kg/cm}^2$  e densità relativa pari al 29%. Segue quindi sino alla massima profondità indagata di 20 metri un livello argilloso con valori di  $R_p$  medi di circa  $17 \text{ Kg/cm}^2$ .

Successivamente si è suddiviso il terreno in strati geotecnicamente e litologicamente omogenei, stimando, per ognuno di essi, il valore mediato dei principali parametri geotecnici che sono tabellati di seguito (vedi anche allegato 2).

#### Prova CPT1

Strato n°	Prof. Strato (m)	qc Media ( $\text{Kg/cm}^2$ )	fs media ( $\text{Kg/cm}^2$ )	Gamma medio ( $\text{t/m}^3$ )	Cu media ( $\text{Kg/cm}^2$ )	$\phi'$ media gradi	Dr %	Eed ( $\text{Kg/cm}^2$ )
Strato 1	1.00	56.25	3.03	2.15	2.81	/	/	84.38
Strato 2	4.00	12.87	0.66	1.89	0.62	/	/	64.35
Strato 3	6.80	25.21	0.60	1.80	/	32.32	32.85	75.63
Strato 4	13.40	19.48	0.62	1.96	0.92	/	/	77.92
Strato 5	14.00	31.67	0.56	1.80	/	30.58	28.31	79.18
Strato 6	15.20	19.00	0.51	1.95	0.87	/	/	76.00
Strato 7	16.40	51.00	0.76	1.91	/	32.55	40.16	76.50
Strato 8	20.00	16.00	0.74	1.91	0.71	/	/	64.00

#### Prova CPT2

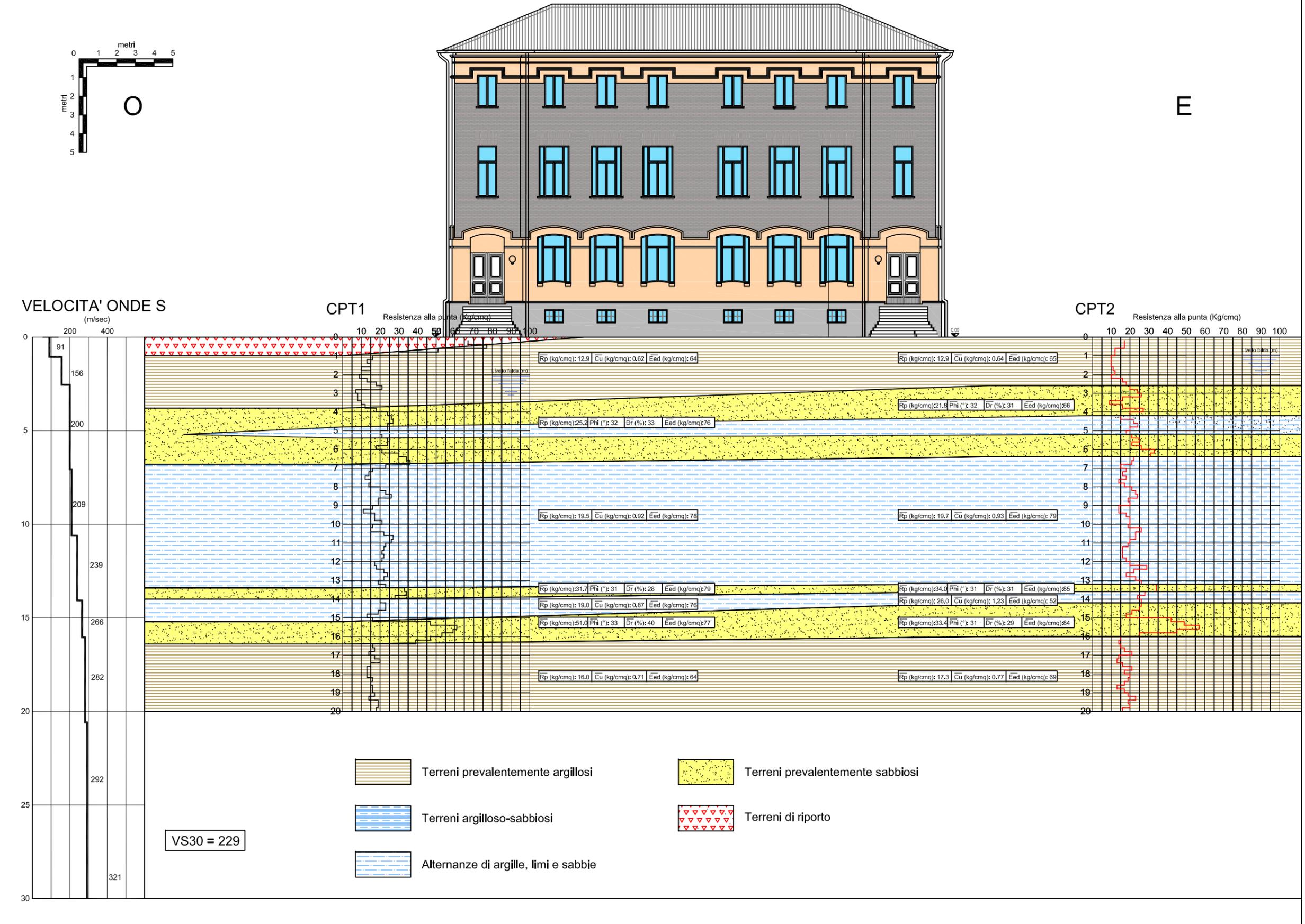
Strato n°	Prof. Strato (m)	qc Media ( $\text{Kg/cm}^2$ )	fs media ( $\text{Kg/cm}^2$ )	Gamma medio ( $\text{t/m}^3$ )	Cu media ( $\text{Kg/cm}^2$ )	$\phi'$ media gradi	Dr %	Eed ( $\text{Kg/cm}^2$ )
Strato 1	2.60	12.92	0.6	1.90	0.63	/	/	64.6
Strato 2	6.40	21.79	0.43	1.80	/	32.31	31.44	65.4
Strato 3	13.20	19.65	0.53	1.96	0.93	/	/	78.6
Strato 4	13.60	34.0	0.60	1.80	/	31.15	31.11	85.0
Strato 5	14.00	26.0	0.64	2.01	1.23	/	/	52.0
Strato 6	16.00	33.4	0.60	1.80	/	30.66	29.11	83.5
Strato 7	20.00	17.3	0.83	1.93	0.77	/	/	69.2

Legenda: qc = Lettura punta ( $\text{kg/cm}^2$ )  
 Gamma = Peso unità di volume ( $\text{t/m}^3$ )  
 $\phi'$  = Angolo di attrito ( $^\circ$ )  
 Eed = Modulo Edometrico ( $\text{kg/cm}^2$ )  
 fs = Lettura laterale ( $\text{kg/cm}^2$ )  
 Cu = Coesione non drenata ( $\text{kg/cm}^2$ )  
 Dr = Densità relativa (%)

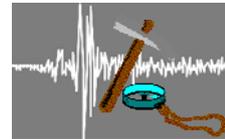
Nella figura 17 seguente viene riportata la situazione litostratigrafica e geotecnica rilevata.



FIGURA 17 - SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA E GEOTECNICA







## **6.2 - INDAGINI HVSR**

### **6.2.1 INTRODUZIONE E BASI TEORICHE SISMICA PASSIVA**

Al fine di determinare le caratteristiche geofisiche dei terreni costituenti il sottosuolo dell'area in esame, oltre alla prospezione sismica utilizzando il metodo della sismica a rifrazione, è stata condotta, sulle verticali delle prove penetrometriche (fig. 15), una registrazione dei microtremori (denominate HVSR1 e HVSR2) mediante il tromografo digitale ( Tromino®) che è uno strumento in grado di acquisire il rumore sismico.



*Foto 2 – Prova HVSR1*

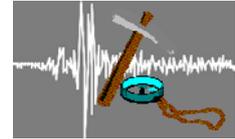


*Foto 3 – Prova HVSR2*

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Il rumore, convenzionalmente suddiviso in microsisma (frequenze < 1Hz, sorgenti naturali lontane) e microtremore (frequenze > 1Hz, sorgenti antropiche locali) è costituito sia da onde di volume (onde P e onde S) sia da onde superficiali in proporzione variabile. Il microsisma è prevalentemente costituito da onde di Rayleigh mentre il microtremore oltre alle onde di volume contiene sia onde di Love sia onde di Rayleigh.

I metodi che si basano sull'acquisizione del rumore sismico si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva.

Nel tragitto dalla sorgente "s" al sito "x" le onde elastiche (sia di terremoto che di microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamento per fenomeni di guida d'onda, attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che se da un lato l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica di "ray tracing", è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni relative al percorso del segnale ed in particolare relative alla struttura locale vicino al sensore. Questa informazione è però "sepolta" all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune.



La tecnica maggiormente sfruttata per lo studio dei microtremori è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale e conosciuta come HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio). In breve la metodologia dei rapporti spettrali H/V permette di valutare la variazione di ellitticità dell'onda di Rayleigh in funzione della frequenza, permettendo così di ricavare la frequenza fondamentale di un sito. Tale parametro risulta essere legato alla presenza di una superficie di discontinuità con un determinato contrasto di impedenza sismica. Il valore del picco rilevabile dalla curva H/V risulta essere inversamente proporzionale alla profondità dell'interfaccia e direttamente proporzionale alla velocità di propagazione delle onde S dei materiali sovrastanti l'interfaccia mediante la relazione:

$$f_0 = \frac{V_s}{4H}$$

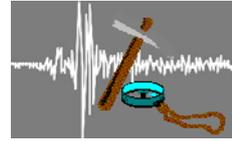
Questo effetto è sommabile cosicché la curva HVSr mostra come massimi relativi le frequenze di risonanza dei vari strati.

Questo, insieme ad una stima delle velocità che è solitamente disponibile almeno a livello di massima, è in grado di fornire previsioni sullo spessore h degli strati.

### **6.2.2 STRUMENTAZIONE IMPIEGATA**

Le registrazioni del rumore sismico ambientale sono state effettuate, come precedentemente affermato, tramite tromografo digitale Tromino della Micromed S.p.A., il quale permette sia l'acquisizione digitale in alta risoluzione in modo passivo e non intrusivo sia il pre-processing dei dati. È costituito da tre sensori elettrodinamici (velocimetri) ortogonali (N-S, E-W e in senso verticale) con autobloccaggio in fase di non acquisizione. Considerando il suolo come un corpo visco-elastico risulta possibile effettuare la misurazione delle frequenze proprie di oscillazione, riconosciute come funzioni delle proprietà meccaniche dei materiali e della morfologia attorno al sito in esame. Le principali note tecniche di questo tromografo digitale presentate dalla ditta costruttrice sono di seguito esposte:

<b>Alimentazione:</b> 2 batterie alcaline x 1.5 VDC AA
<b>Voltaggio interno:</b> +3.3 V, +3.6 V per la sezione analogica
<b>Consumi:</b> 75 mW (GPS disattivato), 450 mW (GPS attivo)
<b>Durata delle batterie:</b> 80 h di misura continua con GPS disattivato
<b>Numero di canali:</b> 3+1 analogici
<b>Amplificatori:</b> tutti canali con input differenziali
<b>Rumore:</b> < 0.5 $\mu$ V r.m.s. @128 Hz sampling
<b>Impedenza dell'input:</b> 106 Ohm
<b>Range di frequenze:</b> DC - 360 Hz
<b>Frequenza di campionamento:</b> 16384 Hz per canale
<b>Frequenze di sovracampionamento:</b> 32x, 64x, 128x
<b>Conversione A/D:</b> equivalente a 24 bit
<b>Massimo input analogico:</b> 51.2 mV (781 nV/digit)
<b>Display grafico:</b> 128 x 64 pixel, retroilluminato
<b>Tastiera:</b> 4 tasti a membrana
<b>Orologio:</b> interno, permanente con datario e allarme, può essere visualizzato anche durante l'acquisizione
<b>Livella:</b> a bolla d'aria, elevata precisione orizzontale, sensibilità 5' d'arco (0.083°)
<b>Conessioni:</b> porta USB, tipo B
<b>Registrazione dati:</b> memoria interna, standard 512 Mb, opzionale fino a 2 Gb
<b>Dimensione e peso:</b> 10 x 14 x 7.7 (altezza) cm, peso 1.1 kg, contenitore di alluminio
<b>Accoppiamento col terreno:</b> su punte e cuscinetto reologico
<b>Condizioni operative:</b> temperatura - 10 / +70°C, umidità 0-90% senza condensa
<b>Impermeabilità</b> indice di protezione IP = 65 (resistente alla polvere, resistente agli spruzzi)
<b>Sensori:</b> 3 velocimetri elettrodinamici ortogonali ad alta risoluzione autobloccaggio quando non in acquisizione



I risultati di ciascuna analisi presentati in questo lavoro sono stati ottenuti col software Grilla in dotazione a TROMINO. In sintesi, il segnale dei velocimetri è acquisito in ciascun sito per un tempo  $t$  (20 min), e digitalizzato a 24 bit.

Il software Grilla, per ciascuna delle 3 componenti del moto:

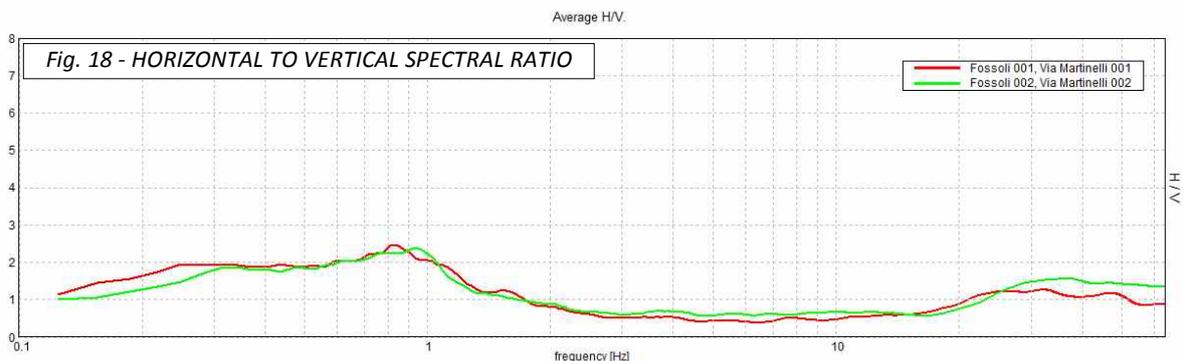
1. divide il tracciato acquisito in finestre di lunghezza  $L$  (in questo lavoro generalmente 30 s),
2. elimina il trend da ciascuna finestra,
3. ne fa il “taper” con una finestra Bartlett,
4. fa il “pad” di ciascuna finestra con degli zero,
5. calcola la trasformata di Fourier (FFT) per ciascuna finestra,
6. calcola lo spettro di ampiezza per ciascuna finestra,

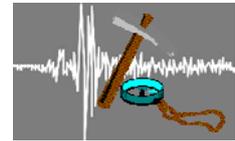
7. liscia lo spettro di ogni finestra secondo la funzione di lisciamo  $f$ , e calcola il rapporto spettrale HVSR ad ogni frequenza, per ciascuna finestra.

La funzione HVSR finale è data dalle media degli HVSR di ciascuna finestra. Per produrre l’HVSR finale le componenti orizzontali sono mediate tra loro con la media quadratica e vengono poi divise per la componente verticale. Tutti i grafici presentati in questo lavoro sono stati ottenuti con lisciamo secondo finestre triangolari con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale.

### 6.2.3 INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI

L’elaborazione eseguita, riportata in allegato 3, ha permesso di individuare la presenza di un picco di risonanza a 0.84-0.94 Hz, come si evidenzia in figura 13 che riporta l’andamento del rapporto H/V su tutto l’intervallo di frequenze analizzate (0-64 Hz). Tale frequenza rappresenta la frequenza fondamentale di vibrazione del terreno, e corrisponde a una discontinuità stratigrafica con un contrasto di impedenza sismica collocato ad una profondità di circa 100 metri dal p.d.c..

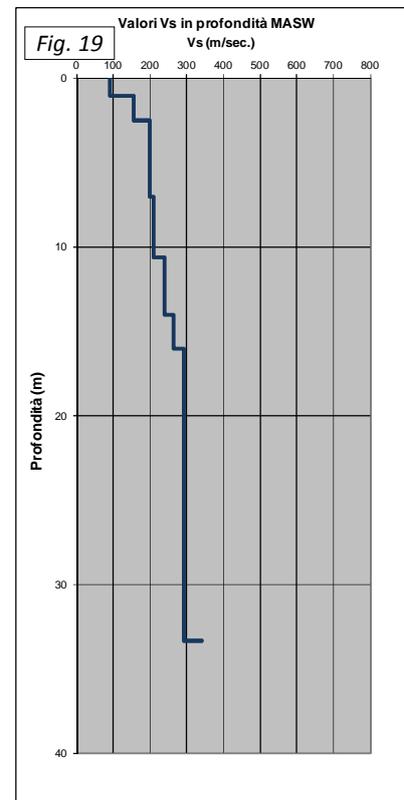




### **6.3 – INDAGINE MASW**

Al fine di determinare le caratteristiche geofisiche dei terreni costituenti sottosuolo dell'area in esame, è stata condotta, dalla Ditta Geo-Xpert Italia di Vignola (MO), un'indagine diretta in sito di tipo sismico a rifrazione con determinazione sperimentale mediante inversione (metodo MASW) del valore della velocità delle onde di taglio Vs (fig. 19), i cui risultati sono riportati in allegato 4.

I risultati dell'indagine sismica hanno evidenziato la presenza di depositi caratterizzati da aumento graduale delle velocità delle onde S passando dalla superficie alla profondità di circa 33 m dal p.d.c. con valori variabili da 91 m/sec a 340 m/sec. L'indagine sismica non ha raggiunto comunque il substrato rigido di riferimento (*bedrock sismico*) a cui la normativa vigente attribuisce velocità delle onde S maggiori o uguali a 800 m/sec..



### **7 – CATEGORIA DI SOTTOSUOLO**

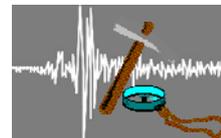
Per la definizione della categoria del suolo del sito in esame ai sensi del DM 14/01/2008 (GU n. 29 del 04/02/2008, Suppl. Ordinario n. 30), oltre alla verifica delle velocità delle onde di taglio nei primi 30 metri di profondità si deve necessariamente tenere in considerazione il rischio che a seguito di un evento sismico si possano verificare fenomeni di liquefazione, e quindi valutare la presenza di condizioni predisponenti tale fenomeno. La successione stratigrafica rilevata dalle indagini evidenzia la presenza di terreni sabbiosi nei primi 20 metri, con un livello di falda freatica che presenta valori di soggiacenza di circa 1.9 m dal p.d.c..

In tali condizioni, come per altro previsto dalla Delibera 70/2013 della RER, la categoria di suolo risulta S2 "Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo", e quindi non è applicabile l'approccio semplificato delle NTC2008 per la definizione dell'azione sismica ma deve essere effettuato uno studio di risposta sismica locale riportato nel paragrafo successivo.

### **8. ANALISI SISMICA – STUDIO DI RISPOSTA SISMICA LOCALE**

#### **8.1 PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE**

La pericolosità sismica di base, intesa in senso probabilistico, rappresenta lo scuotimento del suolo atteso in un dato sito con una certa probabilità di eccedenza in un dato intervallo di tempo, ovvero la probabilità che un certo valore di scuotimento si verifichi in un dato intervallo di tempo. Tale parametro viene valutato dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) in termini di accelerazione orizzontale massima attesa ag (accelerazione massima al suolo - PGA - Pick Ground Acceleration), in condizioni ideali di sito di



riferimento rigido (Suolo di categoria A) con superficie topografica orizzontale, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR, nel periodo di riferimento VR.

Per la valutazione dell'azione sismica di progetto si è fatto riferimento ad una classe d'uso III, con un coefficiente d'uso della costruzione ( $c_u$ ) pari a 1.5, stabilendo una vita nominale della costruzione ( $V_n$ ) pari a 50 anni; pertanto il Periodo di riferimento considerato  $V_R$  ( $V_n \cdot c_u$ ) risulta pari a 75 anni.

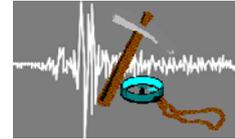
Di seguito viene riportata la tabella che individua, per i diversi stati limite, le probabilità di superamento nel Periodo di riferimento  $V_R$ .

Stati limite		DEFINIZIONE	$P_{VR}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$
Stati limite di esercizio	SLO	Stato Limite di Operatività (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;	81%
	SLD	Stato Limite di Danno (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature	63%
Stati limite ultimi	SLV	Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;	10%
	SLC	Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.	5%

Per il sito in esame sono stati ottenuti, attraverso il software SPETTRI-NTC ver. 1.0.3 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, i seguenti risultati:

- Sito in esame	
Latitudine (ED50): 44.822774	Longitudine (ED50) : 10.891819
Classe: 3	Vita nominale: 50
Siti di riferimento	
Sito 1 ID: 15616	Lat: 44,7594Lon: 11,0272 Distanza: 3727,588
Sito 2 ID: 15617	Lat: 44,7609Lon: 11,0975 Distanza: 3480,117
Sito 3 ID: 15839	Lat: 44,7109Lon: 11,0994 Distanza: 4180,702
Sito 4 ID: 15838	Lat: 44,7095Lon: 11,0292 Distanza: 4395,001
Parametri sismici	
Categoria sottosuolo: A	Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento:	75 anni	Coefficiente $c_u$ :	1.5
Stati limite	Probabilità di superamento		Tempo di ritorno (anni)
SLO	81%		45
SLD	63%		75
SLV	10%		712
SVC	5%		1462



**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLO
$a_g$	0.049 g
$F_0$	2.523
$T_c$	0.262 s
$S_s$	1.000
$C_c$	1.000
$S_T$	1.000
q	1.000

STATO LIMITE	SLD
$a_g$	0.063 g
$F_0$	2.486
$T_c$	0.274 s
$S_s$	1.000
$C_c$	1.000
$S_T$	1.000
q	1.000

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0.178 g
$F_0$	2.551
$T_c$	0.273 s
$S_s$	1.000
$C_c$	1.000
$S_T$	1.000
q	1.000

STATO LIMITE	SLC
$a_g$	0.237 g
$F_0$	2.488
$T_c$	0.282 s
$S_s$	1.000
$C_c$	1.000
$S_T$	1.000
q	1.000

**Parametri dipendenti**

$$S = S_s \cdot S_T$$

(NTC-08 Eq. 3.2.5)

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_c / 3$$

(NTC-07 Eq. 3.2.8)

$$T_c = C_c \cdot T_c^*$$

(NTC-07 Eq. 3.2.7)

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6$$

(NTC-07 Eq. 3.2.9)

STATO LIMITE	SLO
S	1.000
$\eta$	1.000
$T_B$	0.087 s
$T_c$	0.262 s
$T_D$	1.796 s

STATO LIMITE	SLD
S	1.000
$\eta$	1.000
$T_B$	0.091 s
$T_c$	0.274 s
$T_D$	1.850 s

STATO LIMITE	SLV
S	1.000
$\eta$	1.000
$T_B$	0.091 s
$T_c$	0.273 s
$T_D$	2.310 s

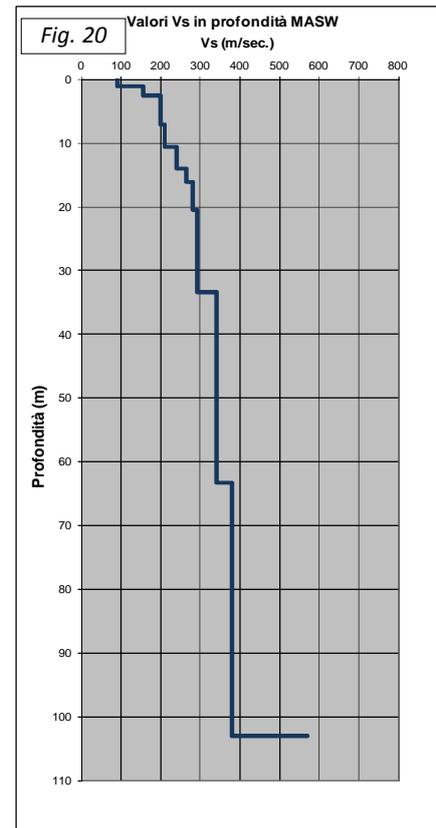
STATO LIMITE	SLC
S	1.000
$\eta$	1.000
$T_B$	0.094 s
$T_c$	0.282 s
$T_D$	2.546 s

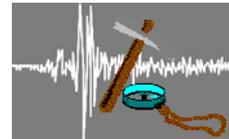
**8.2 MODELLO GEOLOGICO DEL SITO**

Come precedentemente affermato le indagini sismiche effettuate non hanno raggiunto il substrato rigido di riferimento o Bedrock sismico (che secondo la normativa vigente (D.M. 14/01/2008) è caratterizzato da velocità delle onde S maggiori o uguali a 800 m/sec) individuando alla profondità di circa 33 m terreni con velocità sismiche pari a 340 m/s. Il profilo di Vs (fig. 20) è stato pertanto estrapolato in profondità, considerando i risultati delle prove HVSR che individuano un contrasto di impedenza sismica ad una profondità di poco superiore a 100 m dal p.d.c. (103 m).

Cautelativamente si è considerato quest'ultimo come il bedrock di riferimento.

Si riportano inoltre, nella tabella sottostante, i valori di Vs presi come riferimento per le analisi di Risposta Sismica Locale eseguite per il sito in esame e riportate nei paragrafi successivi con le relative litologie, come rilevato dall'analisi dei risultati delle indagini penetrometriche e geofisiche realizzate e da stratigrafie di pozzi desunti da bibliografia per quel che concerne la litologia.





Strato	Profondità (m)	Spessore (m)	Litologia	Vs (m/sec)
1	0 – 1.06	1.06	Argille	91
2	1.06 - 2.55	1.49	Argille	156
3	2.55-7.07	4.52	Argille	200
4	7.07-10.61	3.54	Sabbie	209
5	10.61-14.07	3.46	Argille	239
6	14.07-16.04	1.97	Sabbie	266
7	16.04-20.56	4.52	Argille	282
8	20.56-33.37	12.81	Argille	292
9	33.37-63.37	30	Argille	340
10	63.37-103	40	Argille	380
	<b>100</b>		<b>BEDROCK</b>	<b>800</b>

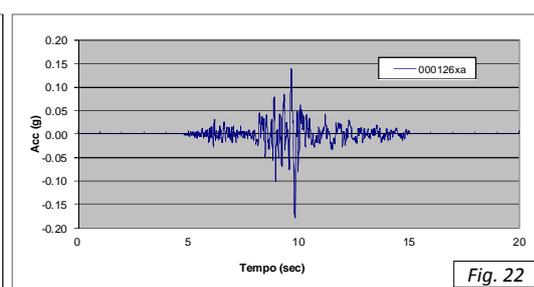
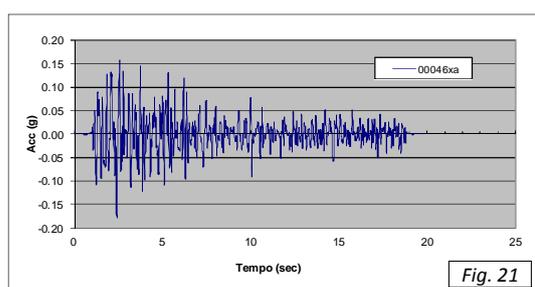
### 8.3 DATI INPUT SISMICO

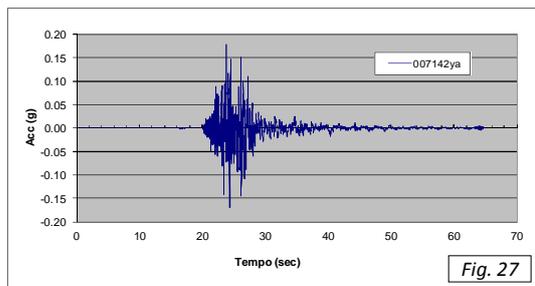
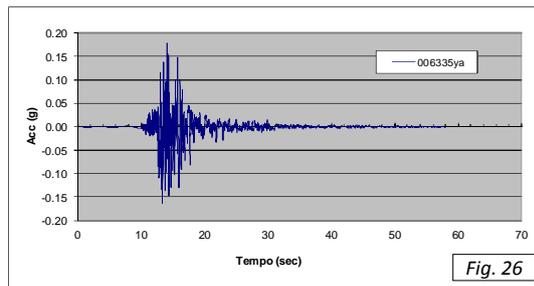
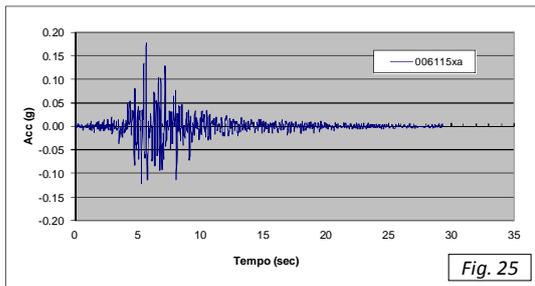
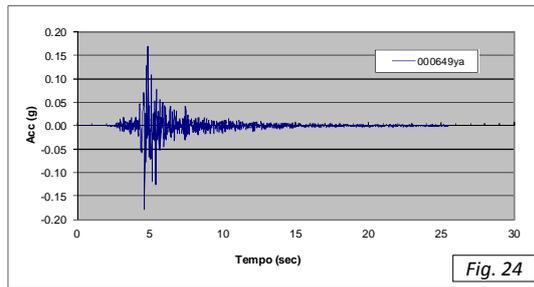
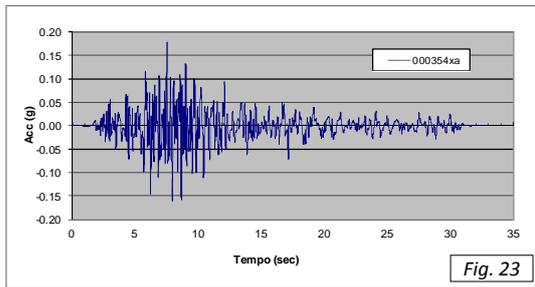
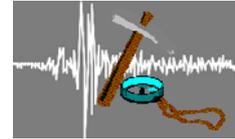
Tra i diversi programmi di calcolo per eseguire modellazioni numeriche ai fini della valutazione della risposta sismica locale, si è utilizzato il programma EERA (Equivalent-linear Earthquake site Response Analysis of Layered Soil Deposits), basato sul codice SHAKE 91 per quanto concerne le soluzioni relative alle propagazioni delle onde di taglio.

Si tratta di un modello monodimensionale applicabile al sito in esame, in cui le cause principali di amplificazione del moto sismico sono il fenomeno di intrappolamento di onde S all'interno del deposito, favorito dal contrasto di impedenza fra terreno e basamento roccioso e la risonanza, determinata dalla prossimità tra le frequenze del moto al substrato e quelle naturali di vibrazione del deposito.

L'analisi è di tipo lineare equivalente che consiste nell'esecuzione di una sequenza di analisi lineari complete con aggiornamento successivo dei parametri di rigidità e smorzamento fino al soddisfacimento di un prefissato criterio di convergenza.

Il calcolo è stato eseguito inserendo come segnale di input n°7 terremoti di cui i tre (figure 21, 22 e 23) forniti dalla Regione Emilia-Romagna per il Comune di Carpi (MO) (Allegato 4 della Delibera dell'Assemblea legislativa della R.E.R. N°112 del 2 maggio 2007), e 4 terremoti (figg. da 24 a 27 - estratti dal software REXEL - Smerzini C., Galasso C., Iervolino I., Paolucci R. (2013) Ground motion record selection based on broadband spectral compatibility. Earthquake Spectra. DOI 10.1193/052312EQS197M), provvedendo al taglio delle frequenze superiori ai 25 Hz, e scalati sulla base di un valore di accelerazione massima orizzontale di picco (PGA) su un suolo di riferimento di tipo A, per T=0, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità (arefg - 10% di probabilità di superamento in 50 anni) pari a **0.178 g**.





L'analisi è stata effettuata inoltre a partire da curve di variazione del modulo di rigidezza a taglio  $G$  e del fattore di smorzamento  $D$  (damping ratio) in funzione della deformazione per le diverse tipologie di materiali tratte da "Gruppo di lavoro MS, 2008 - Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica - Conferenza delle Regioni e delle Province autonome - Dipartimento della protezione civile, Roma, 3 vol. e Dvd" e riportate nelle figure seguenti.

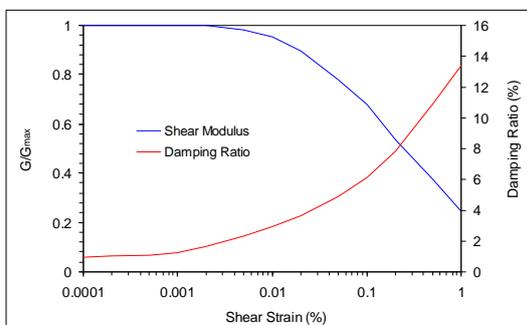


Fig. 28 – Variazione di  $G$  e  $D$  - Argilla - (Vucetic – P.I. 50)

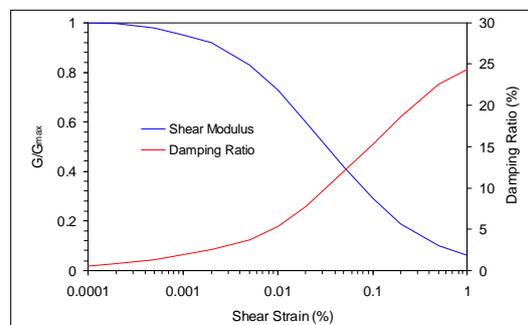


Fig. 29 – Variazione di  $G$  e  $D$  Sabbie. (Seed & Idris - Media)

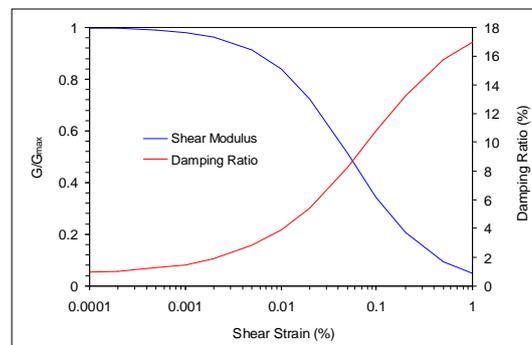
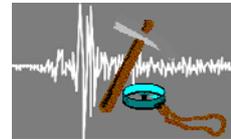
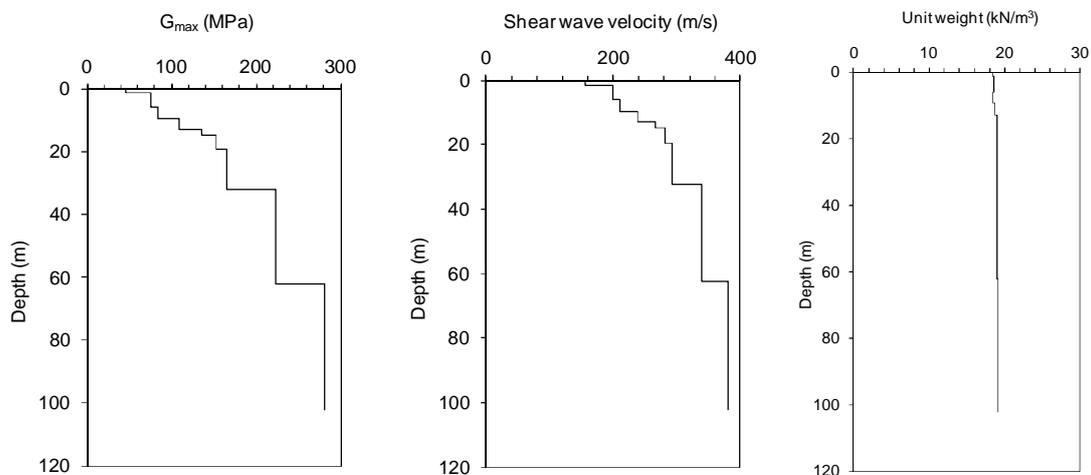


Fig. 30 – Variazione di  $G$  e  $D$  Ghiaie (Rollins et alii (1998)).

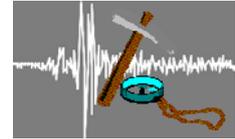
#### 8.4 RISPOSTA SISMICA LOCALE

Per il calcolo di Risposta sismica locale alla profondità di -1.00 m dal p.d.c. attuale (considerata come probabile profondità di posa delle fondazioni esistenti) si è inserito il profilo del terreno sino alla profondità di circa 103 m, che corrisponde al Bedrock sismico considerato come individuato dalle indagini sismiche e descritto nei paragrafi precedenti, secondo lo schema riportato in seguito (fig. 31).

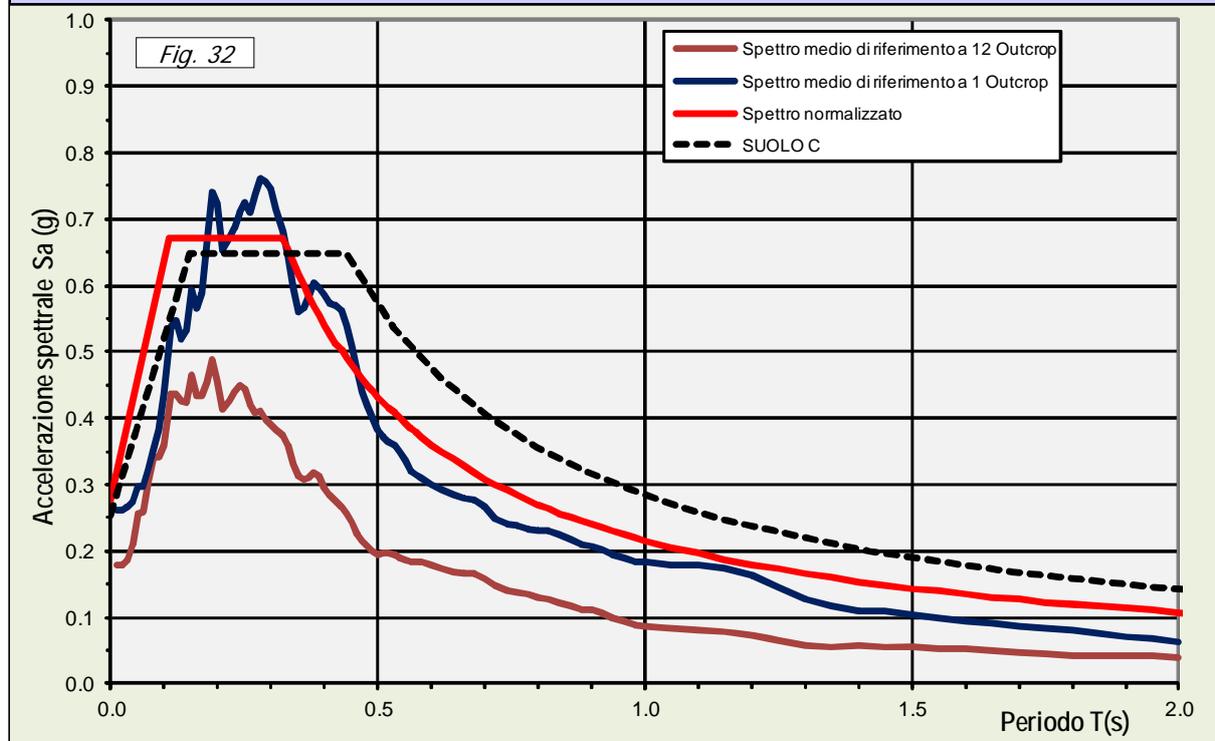
Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus $G_{max}$ (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight ( $kN/m^3$ )	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table
Surface									
1	1	1	1.49	45.89		18.50	156		<i>W</i>
2	2	2	4.52	75.84		18.60	200		
3	1	2	3.54	83.17		18.50	210		
4	2	1	3.46	108.89		18.70	239		
5	1	1	1.97	136.32		18.90	266		
6	1	1	4.52	153.21		18.90	282		
7	1	1	12.81	165.14		19.00	292		
8	1	1	30.00	223.89		19.00	340		
9	1	1	40.00	281.15		19.10	380		
Bedrock	0			1435.27	1	22.00	800	Outcrop	



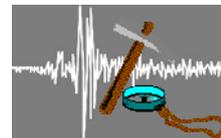
L'elaborazione, svolta su sette terremoti di riferimento, ha fornito i risultati, in termini di spettro di risposta elastico in accelerazione massima orizzontale in superficie, per un valore di smorzamento critico pari al 5%, presentati graficamente in figura 32.



RISPOSTA SISMICA LOCALE - Spettri di risposta (Periodo di ritorno di 712 anni con smorzamento pari a 5%)



T (periodo)	Se (T)						
0.01	0.261*g	0.26	0.710*g	0.51	0.372*g	0.94	0.194*g
0.02	0.262*g	0.27	0.738*g	0.52	0.365*g	0.96	0.189*g
0.03	0.266*g	0.28	0.761*g	0.53	0.360*g	0.98	0.184*g
0.04	0.274*g	0.29	0.757*g	0.54	0.350*g	1.00	0.183*g
0.05	0.297*g	0.30	0.746*g	0.55	0.335*g	1.05	0.179*g
0.06	0.299*g	0.31	0.714*g	0.56	0.322*g	1.10	0.179*g
0.07	0.324*g	0.32	0.681*g	0.57	0.316*g	1.15	0.174*g
0.08	0.354*g	0.33	0.644*g	0.58	0.311*g	1.20	0.163*g
0.09	0.383*g	0.34	0.597*g	0.60	0.301*g	1.25	0.145*g
0.10	0.437*g	0.35	0.561*g	0.62	0.292*g	1.30	0.129*g
0.11	0.538*g	0.36	0.565*g	0.64	0.285*g	1.35	0.118*g
0.12	0.547*g	0.37	0.585*g	0.66	0.281*g	1.40	0.109*g
0.13	0.520*g	0.38	0.604*g	0.68	0.278*g	1.45	0.108*g
0.14	0.532*g	0.39	0.597*g	0.70	0.267*g	1.50	0.104*g
0.15	0.594*g	0.40	0.587*g	0.72	0.248*g	1.55	0.100*g
0.16	0.566*g	0.41	0.574*g	0.74	0.240*g	1.60	0.095*g
0.17	0.589*g	0.42	0.572*g	0.76	0.237*g	1.65	0.091*g
0.18	0.666*g	0.43	0.563*g	0.78	0.233*g	1.70	0.087*g
0.19	0.740*g	0.44	0.539*g	0.80	0.231*g	1.75	0.083*g
0.20	0.723*g	0.45	0.509*g	0.82	0.231*g	1.80	0.080*g
0.21	0.653*g	0.46	0.472*g	0.84	0.225*g	1.85	0.077*g
0.22	0.671*g	0.47	0.440*g	0.86	0.217*g	1.90	0.072*g
0.23	0.687*g	0.48	0.418*g	0.88	0.211*g	1.95	0.068*g
0.24	0.710*g	0.49	0.400*g	0.90	0.208*g	2.00	0.063*g
0.25	0.726*g	0.50	0.382*g	0.92	0.202*g		

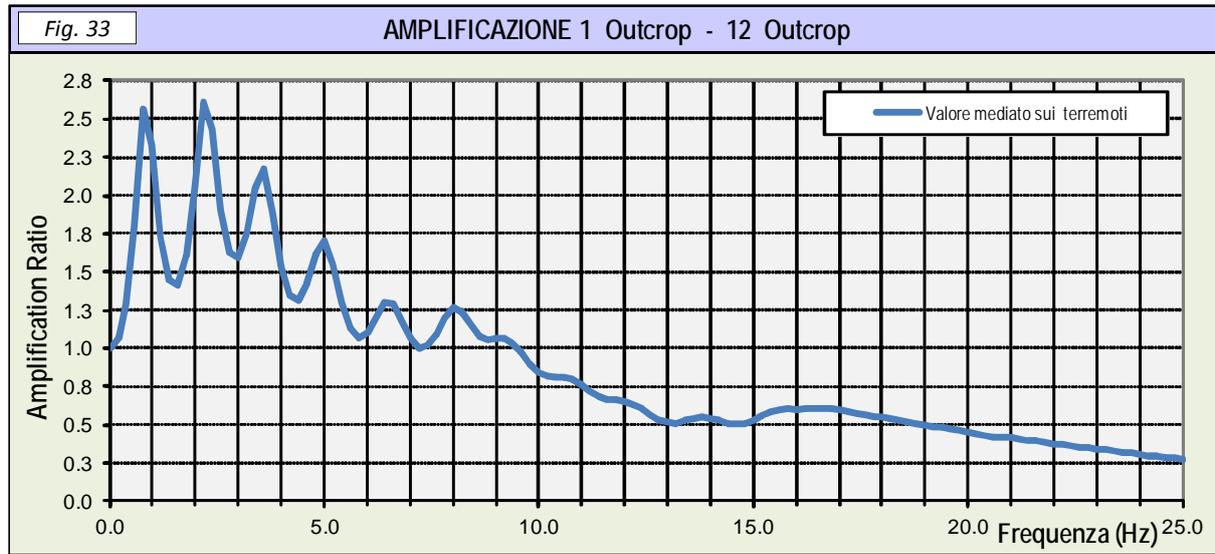
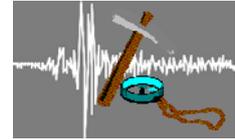


I valore medio della PGA alla profondità di -1.00 m dal p.d.c. è risultato pari a **0.261 g**, con un fattore di amplificazione (PGA/PGA0) pari a **1.46**.

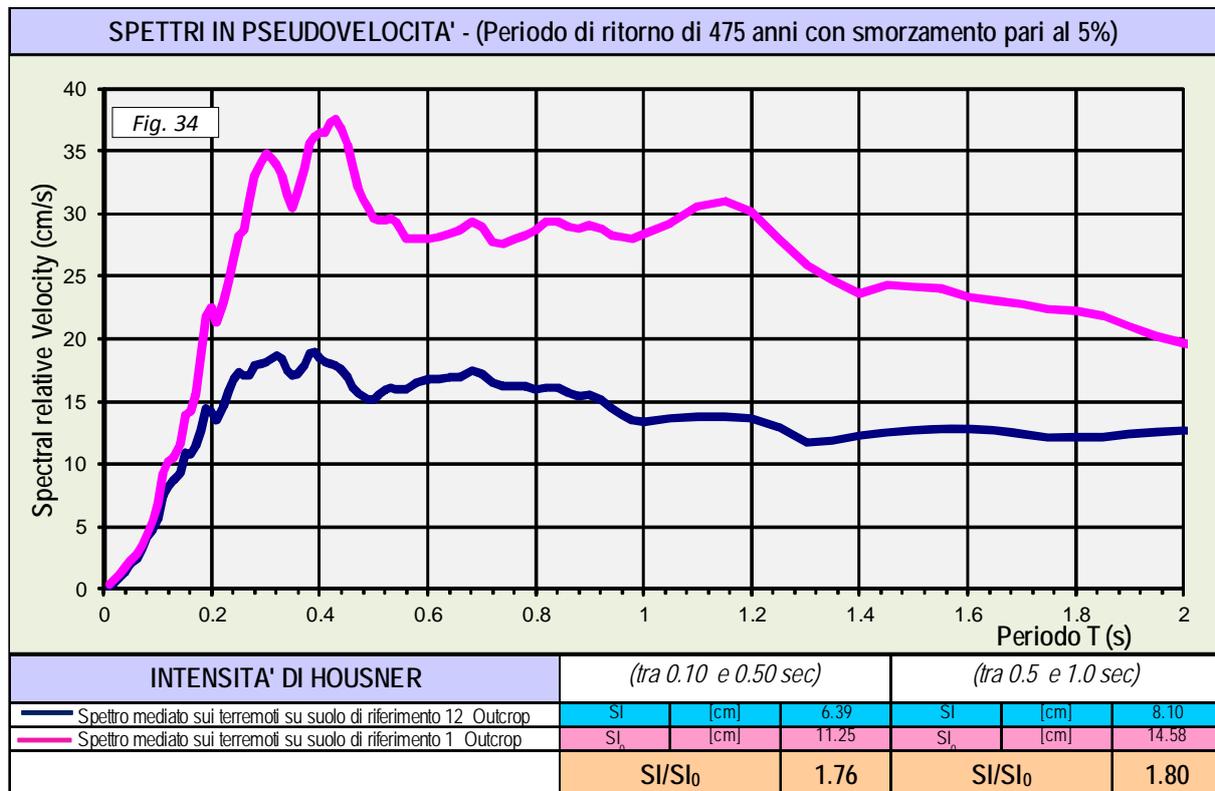
La fig. 32 riporta anche lo spettro di risposta ottenuto normalizzato secondo il metodo proposto negli indirizzi di microzonazione sismica della Protezione civile, i cui valori sono riportati nella tabella seguente.

T (periodo)	Se(T)norm						
0.000	0.278*g	0.680	0.318*g	1.850	0.117*g	4.500	0.029*g
0.107	0.672*g	0.700	0.309*g	1.900	0.114*g	4.600	0.028*g
0.322	0.672*g	0.720	0.300*g	1.950	0.111*g	4.700	0.027*g
0.330	0.655*g	0.740	0.292*g	2.000	0.108*g	4.800	0.025*g
0.340	0.636*g	0.760	0.284*g	2.050	0.105*g	4.900	0.024*g
0.350	0.618*g	0.780	0.277*g	2.100	0.103*g	5.000	0.023*g
0.360	0.601*g	0.800	0.270*g	2.150	0.101*g	5.100	0.023*g
0.370	0.584*g	0.820	0.264*g	2.200	0.098*g	5.200	0.022*g
0.380	0.569*g	0.840	0.257*g	2.250	0.096*g	5.400	0.020*g
0.390	0.554*g	0.860	0.251*g	2.300	0.094*g	5.600	0.019*g
0.400	0.540*g	0.880	0.246*g	2.350	0.092*g	5.800	0.017*g
0.410	0.527*g	0.900	0.240*g	2.400	0.090*g	6.000	0.016*g
0.420	0.515*g	0.920	0.235*g	2.500	0.086*g	6.200	0.015*g
0.430	0.503*g	0.940	0.230*g	2.600	0.083*g	6.400	0.014*g
0.440	0.491*g	0.960	0.225*g	2.700	0.080*g	6.600	0.013*g
0.450	0.480*g	0.980	0.221*g	2.712	0.080*g	6.800	0.013*g
0.460	0.470*g	1.000	0.216*g	2.800	0.075*g	7.000	0.012*g
0.470	0.460*g	1.050	0.206*g	2.900	0.070*g	7.200	0.011*g
0.480	0.450*g	1.100	0.197*g	3.000	0.065*g	7.400	0.011*g
0.490	0.441*g	1.150	0.188*g	3.100	0.061*g	7.600	0.010*g
0.500	0.432*g	1.200	0.180*g	3.200	0.057*g	7.800	0.010*g
0.510	0.424*g	1.250	0.173*g	3.300	0.054*g	8.000	0.009*g
0.520	0.416*g	1.300	0.166*g	3.400	0.051*g	8.500	0.008*g
0.530	0.408*g	1.350	0.160*g	3.500	0.048*g	9.000	0.007*g
0.540	0.400*g	1.400	0.154*g	3.600	0.045*g	9.500	0.006*g
0.550	0.393*g	1.450	0.149*g	3.700	0.043*g		
0.560	0.386*g	1.500	0.144*g	3.800	0.041*g		
0.570	0.379*g	1.550	0.139*g	3.900	0.039*g		
0.580	0.373*g	1.600	0.135*g	4.000	0.037*g		
0.600	0.360*g	1.650	0.131*g	4.100	0.035*g		
0.620	0.349*g	1.700	0.127*g	4.200	0.033*g		
0.640	0.338*g	1.750	0.124*g	4.300	0.032*g		
0.660	0.328*g	1.800	0.120*g	4.400	0.030*g		

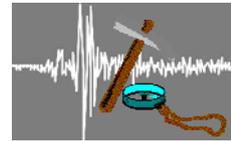
La figura 33 riporta invece la funzione di amplificazione locale ricavata dallo studio eseguito mediata sui 7 input sismici di riferimento, ed identificabile come il rapporto tra l'ampiezza degli spettri di Fourier al sito e l'ampiezza in corrispondenza della formazione rocciosa affiorante utilizzando un valore di smorzamento critico pari al 5%.



L'analisi ha inoltre permesso di ricavare gli spettri in pseudo-velocità medi sia al suolo di riferimento che alla superficie del sito esaminato (fig. 34).



Il fattore di amplificazione in termini di rapporto (SI/SI<sub>0</sub>) di Intensità di Housner negli intervalli di frequenza 0.1 - 0.5 sec e 0.5 - 1.0 sec., risultano pari rispettivamente a 1.76 e 1.80 come visibile in figura 34.



## 8.5 RIEPILOGO RISULTATI STUDIO DI “RSL”

Per il caso in esame è stata eseguito uno studio di Risposta Sismica Locale a partire dal p.d.c. attuale i cui risultati hanno portato ad un valore di PGA pari a **0,261 g** con un fattore di amplificazione (PGA/PGA<sub>0</sub>) pari a **1.47**.

Per quel che concerne il rapporto (**Si/SI<sub>0</sub>**) di Intensità di Housner negli intervalli di frequenza **0.1 - 0.5 sec.** e **0.5 - 1.0 sec.**, i fattori di amplificazione risultano essere rispettivamente pari a **1.76** e **1.80**.

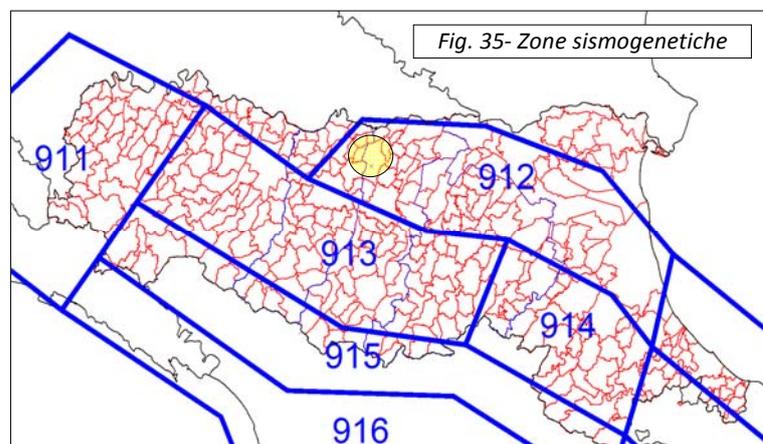
TABELLA RIASSUNTIVA PARAMETRI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE	
Valore della PGA0 di riferimento da Norme Tecniche per la Costruzioni (NTC 2008)	<b>0.178</b>
Valore della PGA rilevata sul sito in esame	<b>0.261</b>
Fattore di Amplificazione (FA <sub>PGA</sub> )	<b>1.47</b>
Coefficiente di amplificazione in termini di Si/SI <sub>0</sub> – intervallo di frequenza 0,10÷0,50s	<b>1.76</b>
Coefficiente di amplificazione in termini di Si/SI <sub>0</sub> – intervallo di frequenza 0,50÷1,00s	<b>1.80</b>
FA, a basso periodo (determinato intorno al periodo proprio per il quale si ha il massimo della risposta in accelerazione)	<b>1.55</b>
FV, a periodo proprio (per il quale si ha la massima risposta in pseudovelocità)	<b>1.90</b>

## 9 - VERIFICA DELLA SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE - CEDIMENTI SISMICI

### 9.1 - GENERALITA'

L'area in esame come individuato in fig. 35 è compresa all'interno della Sismogenetica n°912 denominata “Dorsale Ferrarese” che rappresenta la zona più esterna della fascia in compressione dell'arco appenninico settentrionale.

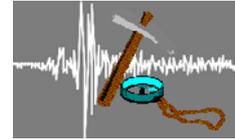
Il Catalogo parametrico dei terremoti italiani Edizione 2004 denominato CPT104 registra per tale zona sismogenetica valori massimi di magnitudo momento Mw pari a 6.14, valore a cui si è fatto riferimento per le verifiche alla liquefazione.



### 9.2 - LIQUEFAZIONE

Litologicamente i terreni del primo sottosuolo in tutta l'area di interesse risultano caratterizzati da una certa omogeneità e tipica di un ambiente di pianura alluvionale nel quale si alternano sia spazialmente che temporalmente ambienti deposizionali tra loro collegati.

La verifica della suscettibilità alla liquefazione è stata eseguita considerando i risultati, sino alla profondità di 20 m dal p.d.c. delle prove penetrometriche eseguite. La falda, sulla base delle considerazioni



fatte in precedenza, è stata considerata alla profondità di 1.90 m dal p.d.c., come direttamente verificato nei fori di sondaggio. Di conseguenza è stata effettuata un'analisi per verificare la possibilità di occorrenza di fenomeni di liquefazione attraverso un'analisi semplificata in condizioni di free-field valutando, ad ogni quota z del deposito compresa nei primi 20 m, la suscettibilità alla liquefazione attraverso un coefficiente di sicurezza FL dato dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione (CRR) e sollecitazione indotta dall'azione sismica (rapporto di tensione ciclica CSR) .

Per quanto concerne la magnitudo, come riportato nei capitoli precedenti, si è fatto riferimento ad un valore massimo pari a 6.14. Per quel che concerne invece l'accelerazione massima attesa in superficie nell'area in esame, è stato utilizzato il valore pari di 0.261 g.

Il metodo applicato, come previsto dal disciplinare di incarico, fa riferimento alla metodologia contenuta in "AGI, Associazione Geotecnica Italiana, 2005. Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica. Linee Guida. Pàtron Editore".

Con tale metodo il coefficiente di sicurezza  $F_L$  viene calcolato a partire dalla seguente formula:

$$F_L = \frac{CRR_{7.5}}{CSR} \cdot MSF \cdot K_\sigma = \frac{CRR_{7.5}}{CSR_{7.5}} \cdot K_\sigma$$

$CRR_{7.5}$  : Rapporto di resistenza ciclica per magnitudo  $M = 7.5$

$MSF$  : Fattore di scala della Magnitudo (Magnitude Scale Factor)

$K_\sigma$ : Fattore di correzione per la pressione di confinamento (Overburden Correction Factor)

$CSR$  : Rapporto di Tensione Ciclica (Cyclic Stress Ratio)

Il rapporto di tensione ciclica CSR, ad una determinata profondità, è valutato attraverso l'espressione di Seed e Idriss (1971) riportata di seguito:

$$CSR_{M;\sigma_v} = 0.65 \cdot \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot r_d$$

Dove:

$a_{max}$  : accelerazione di picco al piano campagna del terremoto di progetto;

$g$  : accelerazione di gravità;

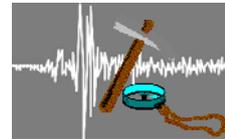
$\sigma_{v0}$  : tensione totale verticale alla profondità considerata;

$\sigma'_{v0}$  : tensione efficace verticale alla profondità considerata;

$R_d$  : coefficiente riduttivo dell'azione sismica per valutare la deformabilità del sottosuolo;

Il coefficiente riduttivo dell'azione sismica  $R_d$  è ricavato, per profondità del piano campagna inferiori a 20 m, mediante la seguente espressione (Idriss (1999) in estensione dei lavori di Golesorkhi, 1989):

$$5. CSR_{M;\sigma_v} = 0.65 \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \cdot r_d$$
$$r_d = \exp[\alpha(z) + \beta(z) \cdot M]$$
$$\alpha(z) = -1.012 - 1.126 \cdot \text{sen}\left(\frac{z}{11.73} + 5.133\right)$$
$$\beta(z) = 0.106 + 0.118 \cdot \text{sen}\left(\frac{z}{11.28} + 5.142\right)$$



Essendo  $z$  la profondità dal piano campagna espressa in metri ed  $M$  la magnitudo di momento dell'evento sismico atteso.

Poiché le procedure semplificate sono state elaborate sulla base di osservazioni sul comportamento dei depositi durante eventi sismici con magnitudo di momento  $M$  pari a 7.5, per eventi di magnitudo diversa occorre ridurre il carico sismico a quello equivalente di un terremoto di magnitudo 7.5 (CSR) $M=7.5$  attraverso la seguente relazione:

$$CSR_{M=7.5} = \frac{CSR}{MSF}$$

In cui  $MSF$  è un fattore di scala per la magnitudo che è ricavato dall'espressione riportata di seguito (Idriss, 1999):

$$MSF = 6.9 \exp\left(\frac{-M}{4}\right) - 0.058 \leq 1.8$$

Il Fattore di correzione per la pressione di confinamento (Overburden Correction Factor)  $K_\sigma$  viene valutato sulla base dei valori del carico efficace e  $q_{c1N}$  (determinato come descritto in seguito) con la seguente espressione di Boulanger & Idriss, 2004:

$$K_\sigma = 1 - C_\sigma \cdot \ln\left(\frac{\sigma'_{v0}}{P_a}\right) \leq 1$$

$$C_\sigma = \frac{1}{37.3 - 8.27 \cdot (q_{c1N})^{0.264}} \leq 0.3$$

Per quel che concerne invece la valutazione del rapporto di resistenza ciclica CRR, la resistenza penetrometrica,  $q_c$ , ricavata dalle indagine penetrometriche statiche CPT, deve essere ricondotta ad un valore normalizzato,  $q_{c1N}$ , attraverso la seguente espressione:

$$q_{c1N} = C_Q \cdot \left(\frac{q_c}{P_a}\right)$$

Dove  $P_a$  (pressione atmosferica pari a 100kPa) e  $q_c$  espressa nella stessa unità di misura.

Il coefficiente  $C_Q$  (fattore correttivo per tener conto dell'influenza della pressione verticale efficace) è ricavato dalla seguente espressione (Boulanger e Idriss, 2004):

$$C_Q = \left(\frac{P_a}{\sigma'_v}\right)^n \leq 1.7$$

Il valore dell'esponente  $n$  viene calcolato con la seguente procedura:

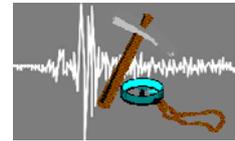
Si assume come valore iniziale  $n = 1$  e si calcolano  $Q_{n=1}$ ,  $I_{c,n=1}$

Se  $I_{c,n=1} > 2.6$  si assume  $n = 1$

Se  $I_{c,n=1} < 2.6$  si assume  $n = 0.5$  e si calcolano  $Q_{n=0.5}$ ,  $I_{c,n=0.5}$

Se  $I_{c,n=0.5} < 2.6$  si assume  $n = 0.5$

Se  $I_{c,n=0.5} > 2.6$  si assume  $n = 0.75$



Dal valore di  $q_{c1N}$  è possibile ottenere la resistenza alla liquefazione, per eventi sismici di magnitudo di momento pari a  $M=7.5$ , mediante la seguente espressione valida per sabbie pulite (Idriss e Boulanger, 2004).

$$CRR_{7.5} = \exp \left[ \frac{q_{c1N,cs}}{540} + \left( \frac{q_{c1N,cs}}{67} \right)^2 - \left( \frac{q_{c1N,cs}}{80} \right)^3 + \left( \frac{q_{c1N,cs}}{114} \right)^4 - 3 \right]$$

il parametro  $q_{c1N,cs}$  per materiali con frazione fine non trascurabile è determinato con la seguente espressione

$$q_{c1N,cs} = k_c \cdot q_{c1N}$$

$$K_c = 1 \text{ se } I_c \leq 1.64$$

$$k_c = -0.403 \cdot I_c^4 + 5.581 \cdot I_c^3 - 21.63 \cdot I_c^2 + 33.75 \cdot I_c - 17.88 \text{ se } 1.64 < I_c < 2.60$$

non liquefacibile se  $I_c \geq 2.60$  e  $FC > 1\%$

$$K_c = 1 \text{ se } 1.64 < I_c < 2.36 \text{ e } FC < 0.5\%$$

il valore del contenuto di fine (FC) viene calcolato con la seguente formula

$$FC = 1.75 \cdot I_c^{-3.25} - 3.7 \text{ FC}=0 \text{ per } I_c \leq 1.26; \text{ FC}=100 \text{ per } I_c \geq 3.5$$

Il parametro di comportamento del terreno  $I_c$  da inserire nelle equazioni sopra riportate è una funzione della resistenza alla punta  $q_c$  e della resistenza laterale del manicotto  $f_s$  misurate dalle prove penetrometriche CPT.

In particolare:

$$I_c = \left[ (3.47 - \log Q_n)^2 + (1.22 + \log F)^2 \right]^{0.5}$$

con:

$$Q_n = \left[ \left( \frac{q_c - \sigma_{vo}}{P_a} \right) \right] \left[ \left( \frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^n \right] \quad \text{resistenza penetrometrica normalizzata}$$

$$F = \left[ \frac{f_s}{(q_c - \sigma_{vo})} \right] * 100\% \quad \text{resistenza laterale normalizzata}$$

L'esponente  $n$  di normalizzazione viene determinato per via iterativa.

Dal parametro  $F_L$  viene quindi calcolato il rischio di liquefazione attraverso la valutazione dell'Indice  $IL$  con la seguente l'espressione

$$IL = \int_0^{z_{crit}} F(z) \cdot w(z) \cdot dz$$

in cui il valore di  $F(z)$  assume i seguenti valori (Iwasaki et al., 1982):

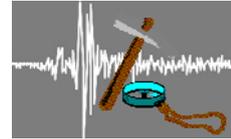
$$F(z) = 0 \quad \text{per } FSL > 1.2$$

$$F(z) = 2 \cdot 10^6 \cdot \exp(-18.427 \cdot F_L) \quad \text{per } 0.95 \leq FSL \leq 1.2$$

$$F(z) = 1 - FSL \quad \text{per } FSL \leq 0.95$$

e il valore di profondità critica è assunta pari a 20 metri.

La scala di riferimento del rischio di liquefazione utilizzata in questo caso è quella di Sonmez (2003):



Indice del potenziale di liquefazione $I_L$ SONMEZ, 2003	Pericolosità di liquefazione
$I_L = 0$	Nulla
$0 < I_L < 2$	Bassa
$2 < I_L < 5$	Moderata
$5 < I_L < 15$	Alta
$I_L > 15$	Molto alta

Si è ottenuto (Allegato 5) un valore dell'indice di potenziale di liquefazione  $I_L$  con il rischio di liquefazione che può essere considerato moderato.

Prova	Indice di potenziale liquefazione $I_L$	Rischio di liquefazione
CPT1	4.63	moderato
CPT2	4.81	moderato

### 9.3 - CEDIMENTI SISMICI E POST-SISMICI

L'analisi è stata completata con la verifica dei cedimenti post-sismici sulla base dei risultati delle prove penetrometriche.

Per i terreni granulari è stata effettuata attraverso la metodologia di Zhang et All (2002), in accordo a Robertson (2009), con il cedimento ( $s$ ) ottenuto mediante la valutazione della deformazione volumetrica post-sismica indotta ( $\epsilon_v$ ), con la seguente espressione:

Per i terreni granulari saturi

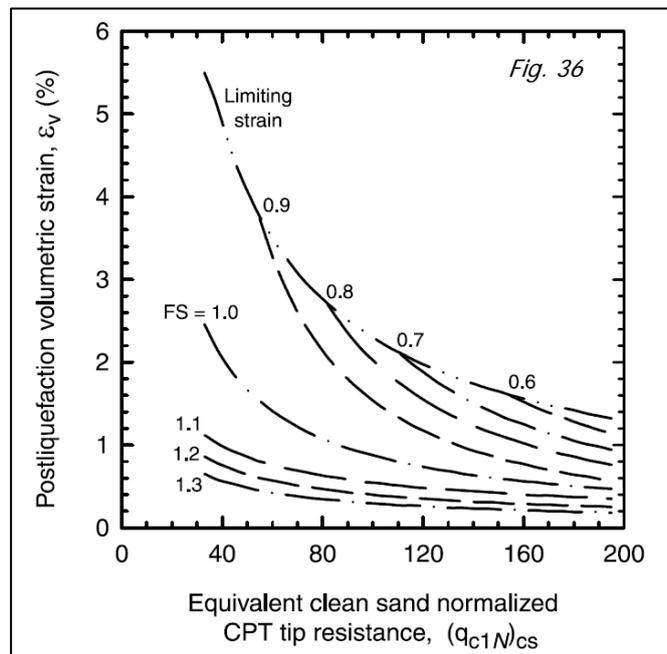
$$S = \epsilon_v \cdot \Delta H$$

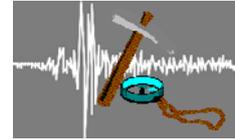
Dove  $\epsilon_v$  viene calcolato in funzione della resistenza penetrometrica normalizzata e del fattore di sicurezza a liquefazione riportata nelle figura a lato (fig. 18).

Per i terreni fini il cedimento post-sismico,

dovuto sia a fenomeni di riconsolidazione che a deformazioni di taglio indotte dalle sollecitazioni sismiche, è stato stimato sulla base del metodo proposto da Robertson (2009), che si basa sulla valutazione del fattore di sicurezza alla deformazione post-sismica, considerando il rapporto di resistenza ciclica del terreno ( $CRR_{v=3\%M=7.5}$ ) corrispondente al raggiungimento di una deformazione di taglio pari al 3% per un terremoto di riferimento di magnitudo pari a 7.5.

La deformazione  $\epsilon_v$  viene quindi valutata con le seguenti espressioni (Robertson, 2009):



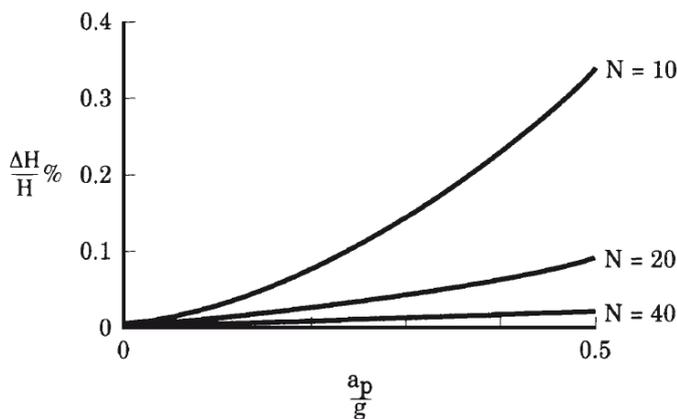


$$\text{se } FS_{\gamma=3\%M=7.5} > 0.84 \quad \varepsilon_{vol} = \frac{[0.8 \cdot 2.66 \log(FS_{\gamma=3\%})]}{[0.33 \cdot (10 - 9 \log(0.33 \cdot Q_{tn})) \cdot (Q_{tn})^2]}$$

$$\text{se } FS_{\gamma=3\%M=7.5} \leq 0.84 \quad \varepsilon_{vol} = \frac{1}{Q_{tn}^2} \leq 1\%$$

dove  $Q_{tn}$  = resistenza alla punta penetrometrica normalizzata e corretta in base alla procedura di Robertson (2009).

Per i terreni granulari non saturi la deformazione volumetrica di taglio dovuta alla compattazione è stata determinata attraverso il metodo di Krinitzsky et al. 1993, che per calcolare il cedimento  $\Delta H$  in un generico strato di altezza  $H$  ( rapporto di compressione volumetrica  $\varepsilon_v = \Delta H/H$ , espresso in percentuale) utilizza il valore del numero di colpi corretto dello Standard Penetration Test ( $(N_1)_{60}$ ) e il picco di accelerazione  $a_{max}$  secondo il grafico riportato in fig. 37 e relativa tabella 1.



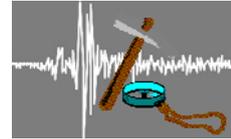
$a_{max}$ [g]	$\varepsilon_v$		
	$(N_1)_{60}=10$	$(N_1)_{60}=20$	$(N_1)_{60}=40$
0.05	0.02	0.01	-
0.10	0.03	0.015	-
0.15	0.05	0.02	-
0.20	0.07	0.03	0.005
0.25	0.12	0.04	0.007
0.30	0.15	0.05	0.010
0.35	0.18	0.06	0.015
0.40	0.23	0.075	0.02

Fig. 37 - Figura per il calcolo dei cedimenti in terreni granulari non saturi (Krinitzsky et al. 1993)

Tab. 1 - Valori del rapporto  $\varepsilon_v = \Delta H/H$  in funzione dell'accelerazione  $a_{max}$  e del numero di colpi corretto  $(N_1)_{60}$  (Del. 112/2007)

Nella tabella e in allegato 6 sono riassunti i valori dei cedimenti sismici calcolati.

Prova	Cedimento terreni granulari saturi (Zhang et al, 2002) (cm)	Cedimento terreni fini saturi (Robertson, 2009) (cm)	Cedimento terreni granulari non saturi (Krinitzsky, 1993) (cm)	Cedimento totale (cm)
CPT1	5.96	0.15	0.00	6.11
CPT2	6.28	0.08	0.00	6.36



## **10 - CONSIDERAZIONI GEOTECNICHE**

### **10.1 - STIMA PARAMETRI CARATTERISTICI DEI TERRENI DI SOTTOFONDAZIONE**

Vengono di seguito fornite una stima dei parametri di resistenza a taglio dei terreni (in termini di coesione non drenata) per le verifiche nei confronti degli stati limiti ultimi (SLU).

La normativa vigente per le costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008) al punto 6.2.2 definisce che *“i valori caratteristici delle grandezze fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni devono essere ottenuti mediante specifiche prove di laboratorio su campioni indisturbati di terreno e attraverso l’interpretazione dei risultati di prove e misure in sito”* e che per *“valore caratteristico di un parametro geotecnico deve intendersi una stima ragionata e cautelativa del parametro nello stato limite considerato”*. Al punto 2.3 definisce inoltre che *“nel metodo semiprobabilistico agli stati limite, la sicurezza strutturale deve essere verificata tramite il confronto tra la resistenza e l’effetto delle azioni. Per la sicurezza strutturale, la resistenza dei materiali e le azioni sono rappresentate dai valori caratteristici,  $R_k$  e  $F_{kj}$  definiti, rispettivamente, come il frattile inferiore delle resistenze e il frattile (superiore o inferiore) delle azioni che minimizzano la sicurezza. In genere, i frattili sono assunti pari al 5%. Per le grandezze con piccoli coefficienti di variazione, ovvero per grandezze che non riguardino univocamente resistenze o azioni, si possono considerare frattili al 50% (valori mediani)”*.

Il calcolo di tale parametro è stato eseguito sulla base dei valori di resistenza assunti all’interno della zona di influenza della fondazione, che raggiunge una profondità stimabile in 1,5 volte la larghezza della fondazione stessa.

Facendo riferimento ai risultati delle indagini penetrometriche eseguite sull’area in esame, che ha mostrato la presenza di terreni di sottofondazione a comportamento geotecnico prevalentemente coesivo e caratterizzato da medio elevati valori di resistenza a taglio, e considerando fondazioni superficiali si è stimato, ogni strato di 20 cm, il valore di coesione non drenata  $C_u$  all’interno dello spessore del bulbo di rottura ed utilizzando l’analisi statistica mediante la distribuzione normale è stato ricavato il valore di coesione non drenata  $C_{u,k}$ , che è risultato pari a  $0.35 \text{ Kg/cm}^2$  da utilizzare per le verifiche nei confronti degli stati limite per fondazioni superficiali, plinti e travi isolate.

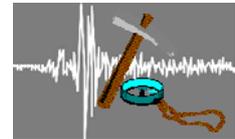
In relazione alla superficialità della falda freatica presente ed alla variazione stagionale del suo livello, le fondazioni degli edifici oggetto di intervento sono da considerare direttamente interferenti con il livello statico della falda freatica superficiale.

### **10.2 - STIMA PRELIMINARE $R_d$**

Si è quindi proceduto a una stima preliminare della  $Q_{lim}$  statica in condizioni non drenate facendo riferimento alla normativa sismica di cui al D.M. 14/01/2008.

Le verifiche sono state effettuate utilizzando i metodi riconosciuti dal mondo accademico in campo statico (Hansen 1970, Vesic 1973, Brinch-Hansen 1970/74, Brinch-Hansen EC7 e Meyerhof 1963).

I risultati delle verifiche eseguite per la stima della resistenza  $R_d$  (espressa in  $\text{kg/cm}^2$ ), considerando una fondazione superficiale continua di larghezza pari a 1.00 m e profondità di posa pari a 1.0 m ed utilizzando il valore di  $C_{u,k}$  calcolato in precedenza e pari a  $0.35 \text{ kg/cm}^2$ , sono riportati nella tabella seguente.



<i>Rd (kg/cm<sup>2</sup>) - Fondazioni superficiali continue</i>					
<i>Larghezza fondazione (m)</i>	<i>MEYERHOF (1963)</i>	<i>HANSEN (1970)</i>	<i>VESIC (1973)</i>	<i>BRINCH - HANSEN (1970 - 1974)</i>	<i>BRINCH - HANSEN (EC7)</i>
1.00	2.39	2.74	2.74	2.75	2.75

## **11 - CONCLUSIONI**

Nella presente relazione sono stati approfonditi gli aspetti geologici, geotecnici e sismici di un lotto di terreno ubicato in Via Martinelli a Fossoli di Carpi (MO) su cui è un intervento di riparazione, miglioramento sismico e restauro dell'Ex - scuola elementare di Fossoli ora circolo La Fontana.

Le analisi effettuate hanno comportato la definizione di una categoria di sottosuolo S2 ai sensi delle normative vigenti, e quindi è stato necessario effettuare uno studio di risposta sismica locale per la definizione del moto sismico atteso. Tale studio, per il fabbricato in progetto, ha fornito un valore medio della **PGA** in superficie, per un tempo di ritorno pari a 712 anni, pari a **0.261 g** che, in considerazione dell'accelerazione di riferimento su suolo di tipo A considerata e pari a 0.178 g, comporta un fattore di amplificazione (PGA/PGA<sub>0</sub>) pari a **1.47**.

La presente relazione geologica e sismica è stata redatta ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008.

Dott. Geol. A. Fiori



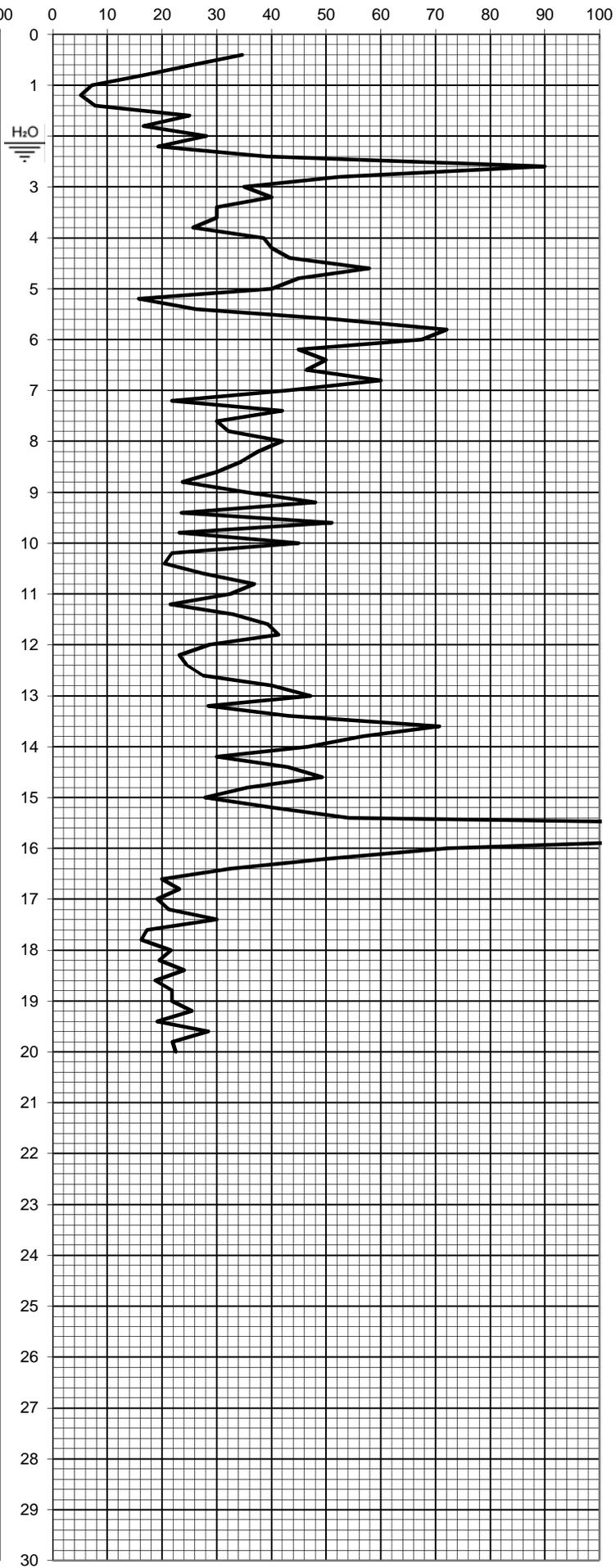
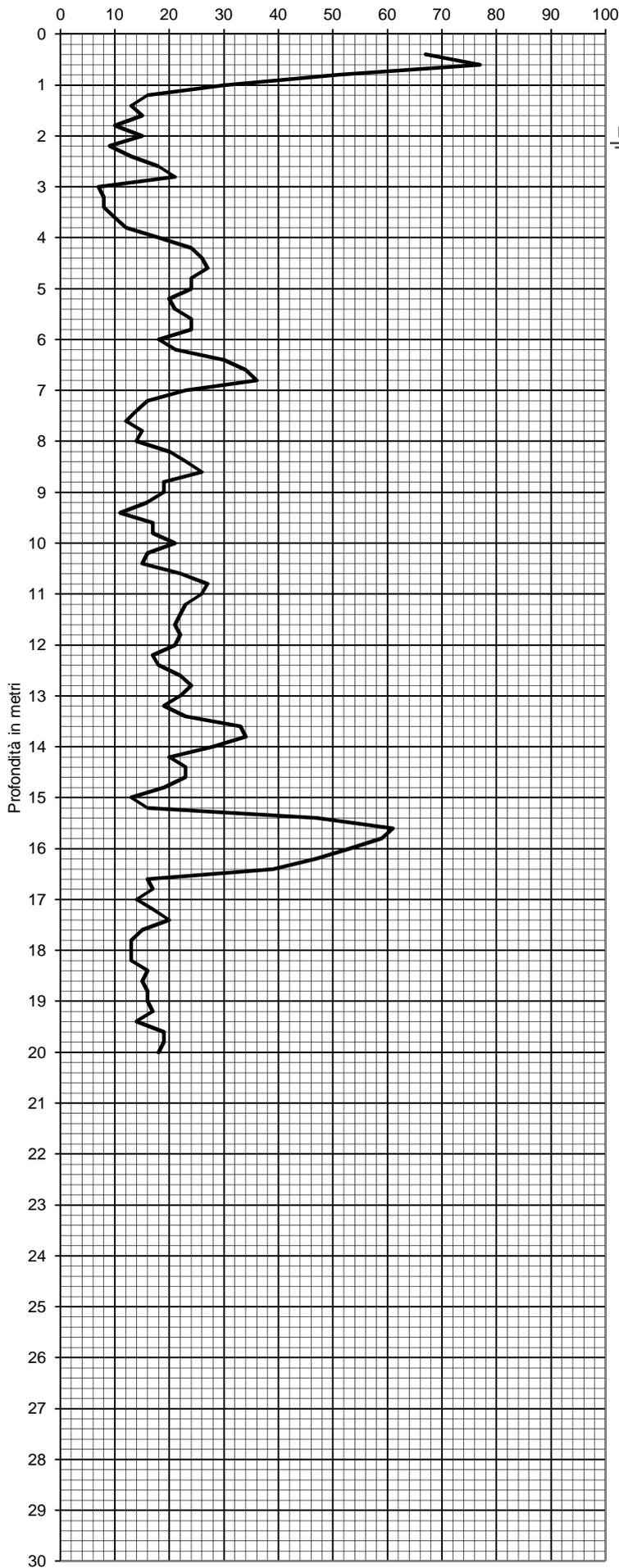
Formigine, lì 17/06/2016

**ALLEGATO N° 1**  
**DIAGRAMMI PROVE PENETROMETRICHE**



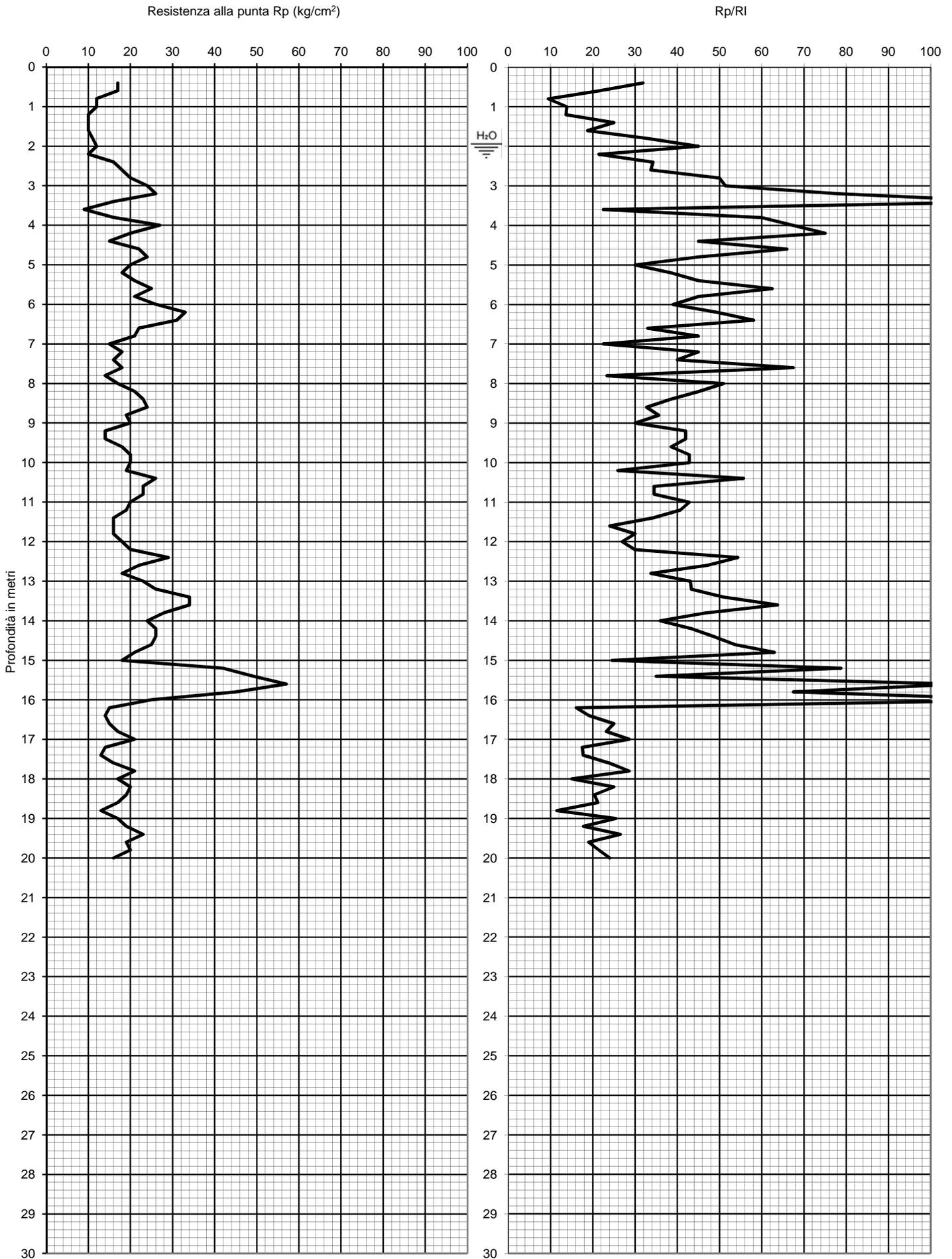
Resistenza alla punta Rp (kg/cm<sup>2</sup>)

Rp/RI



PROF. (M)	P (KG/GM2)	P + L (KG/GM2)	RP (KG/GM2)	RL (KG/GM2)	RP/RL [ - ]
0.20					
0.40	67	96	67	1.93	34.66
0.60	77	122	77	3.00	25.67
0.80	51	96	51	3.00	17.00
1.00	30	93	30	4.20	7.14
1.20	16	63	16	3.13	5.11
1.40	13	38	13	1.67	7.80
1.60	15	24	15	0.60	25.00
1.80	10	19	10	0.60	16.67
2.00	15	23	15	0.53	28.13
2.20	9	16	9	0.47	19.29
2.40	13	18	13	0.33	39.00
2.60	18	21	18	0.20	90.00
2.80	21	27	21	0.40	52.50
3.00	7	10	7	0.20	35.00
3.20	8	11	8	0.20	40.00
3.40	8	12	8	0.27	30.00
3.60	10	15	10	0.33	30.00
3.80	12	19	12	0.47	25.71
4.00	18	25	18	0.47	38.57
4.20	24	33	24	0.60	40.00
4.40	26	35	26	0.60	43.33
4.60	27	34	27	0.47	57.86
4.80	24	32	24	0.53	45.00
5.00	24	33	24	0.60	40.00
5.20	20	39	20	1.27	15.79
5.40	21	33	21	0.80	26.25
5.60	24	31	24	0.47	51.43
5.80	24	29	24	0.33	72.00
6.00	18	22	18	0.27	67.50
6.20	21	28	21	0.47	45.00
6.40	30	39	30	0.60	50.00
6.60	34	45	34	0.73	46.36
6.80	36	45	36	0.60	60.00
7.00	23	31	23	0.53	43.13
7.20	16	27	16	0.73	21.82
7.40	14	19	14	0.33	42.00
7.60	12	18	12	0.40	30.00
7.80	15	22	15	0.47	32.14
8.00	14	19	14	0.33	42.00
8.20	20	28	20	0.53	37.50
8.40	23	33	23	0.67	34.50
8.60	26	39	26	0.87	30.00
8.80	19	31	19	0.80	23.75
9.00	19	27	19	0.53	35.63
9.20	16	21	16	0.33	48.00
9.40	11	18	11	0.47	23.57
9.60	17	22	17	0.33	51.00
9.80	17	28	17	0.73	23.18
10.00	21	28	21	0.47	45.00
10.20	16	27	16	0.73	21.82
10.40	15	26	15	0.73	20.45
10.60	22	34	22	0.80	27.50
10.80	27	38	27	0.73	36.82
11.00	26	38	26	0.80	32.50
11.20	23	39	23	1.07	21.56
11.40	22	32	22	0.67	33.00
11.60	21	29	21	0.53	39.38
11.80	22	30	22	0.53	41.25
12.00	21	32	21	0.73	28.64
12.20	17	28	17	0.73	23.18
12.40	18	29	18	0.73	24.55
12.60	22	34	22	0.80	27.50
12.80	24	33	24	0.60	40.00
13.00	22	29	22	0.47	47.14
13.20	19	29	19	0.67	28.50
13.40	23	31	23	0.53	43.13
13.60	33	40	33	0.47	70.71
13.80	34	43	34	0.60	56.67
14.00	28	37	28	0.60	46.67
14.20	20	30	20	0.67	30.00
14.40	23	31	23	0.53	43.13
14.60	23	30	23	0.47	49.29
14.80	19	27	19	0.53	35.63
15.00	13	20	13	0.47	27.86

PROF. (M)	P (KG/GM2)	P + L (KG/GM2)	RP (KG/GM2)	RL (KG/GM2)	RP/RL [ - ]
15.20	16	22	16	0.40	40.00
15.40	47	60	47	0.87	54.23
15.60	61	66	61	0.33	183.00
15.80	59	66	59	0.47	126.43
16.00	53	64	53	0.73	72.27
16.20	47	61	47	0.93	50.36
16.40	39	57	39	1.20	32.50
16.60	16	28	16	0.80	20.00
16.80	17	28	17	0.73	23.18
17.00	14	25	14	0.73	19.09
17.20	17	29	17	0.80	21.25
17.40	20	30	20	0.67	30.00
17.60	15	28	15	0.87	17.31
17.80	13	25	13	0.80	16.25
18.00	13	22	13	0.60	21.67
18.20	13	23	13	0.67	19.50
18.40	16	26	16	0.67	24.00
18.60	15	27	15	0.80	18.75
18.80	16	27	16	0.73	21.82
19.00	16	27	16	0.73	21.82
19.20	17	27	17	0.67	25.50
19.40	14	25	14	0.73	19.09
19.60	19	29	19	0.67	28.50
19.80	19	32	19	0.87	21.92
20.00	18	30	18	0.80	22.50
20.20					
20.40					
20.60					
20.80					
21.00					
21.20					
21.40					
21.60					
21.80					
22.00					
22.20					
22.40					
22.60					
22.80					
23.00					
23.20					
23.40					
23.60					
23.80					
24.00					
24.20					
24.40					
24.60					
24.80					
25.00					
25.20					
25.40					
25.60					
25.80					
26.00					
26.20					
26.40					
26.60					
26.80					
27.00					
27.20					
27.40					
27.60					
27.80					
28.00					
28.20					
28.40					
28.60					
28.80					
29.00					
29.20					
29.40					
29.60					
29.80					
30.00					



PROF. (M)	P (KG/CM2)	P + L (KG/CM2)	RP (KG/CM2)	RL (KG/CM2)	RP/RL [ - ]
0.20					
0.40	17	25	17	0.53	31.88
0.60	17	29	17	0.80	21.25
0.80	12	31	12	1.27	9.47
1.00	12	25	12	0.87	13.85
1.20	10	21	10	0.73	13.64
1.40	10	16	10	0.40	25.00
1.60	10	18	10	0.53	18.75
1.80	11	16	11	0.33	33.00
2.00	12	16	12	0.27	45.00
2.20	10	17	10	0.47	21.43
2.40	16	23	16	0.47	34.29
2.60	18	26	18	0.53	33.75
2.80	20	26	20	0.40	50.00
3.00	24	31	24	0.47	51.43
3.20	26	31	26	0.33	78.00
3.40	16	18	16	0.13	120.00
3.60	9	15	9	0.40	22.50
3.80	16	20	16	0.27	60.00
4.00	27	33	27	0.40	67.50
4.20	20	24	20	0.27	75.00
4.40	15	20	15	0.33	45.00
4.60	22	27	22	0.33	66.00
4.80	24	32	24	0.53	45.00
5.00	20	30	20	0.67	30.00
5.20	18	25	18	0.47	38.57
5.40	21	28	21	0.47	45.00
5.60	25	31	25	0.40	62.50
5.80	21	28	21	0.47	45.00
6.00	26	36	26	0.67	39.00
6.20	33	43	33	0.67	49.50
6.40	31	39	31	0.53	58.13
6.60	22	32	22	0.67	33.00
6.80	21	28	21	0.47	45.00
7.00	15	25	15	0.67	22.50
7.20	18	24	18	0.40	45.00
7.40	16	22	16	0.40	40.00
7.60	18	22	18	0.27	67.50
7.80	14	23	14	0.60	23.33
8.00	17	22	17	0.33	51.00
8.20	21	28	21	0.47	45.00
8.40	23	32	23	0.60	38.33
8.60	24	35	24	0.73	32.73
8.80	19	27	19	0.53	35.63
9.00	20	30	20	0.67	30.00
9.20	14	19	14	0.33	42.00
9.40	14	19	14	0.33	42.00
9.60	18	25	18	0.47	38.57
9.80	20	27	20	0.47	42.86
10.00	20	27	20	0.47	42.86
10.20	19	30	19	0.73	25.91
10.40	26	33	26	0.47	55.71
10.60	23	33	23	0.67	34.50
10.80	23	33	23	0.67	34.50
11.00	20	27	20	0.47	42.86
11.20	19	26	19	0.47	40.71
11.40	16	23	16	0.47	34.29
11.60	16	26	16	0.67	24.00
11.80	16	24	16	0.53	30.00
12.00	18	28	18	0.67	27.00
12.20	20	30	20	0.67	30.00
12.40	29	37	29	0.53	54.38
12.60	22	29	22	0.47	47.14
12.80	18	26	18	0.53	33.75
13.00	23	31	23	0.53	43.13
13.20	26	35	26	0.60	43.33
13.40	34	44	34	0.67	51.00
13.60	34	42	34	0.53	63.75
13.80	28	37	28	0.60	46.67
14.00	24	34	24	0.67	36.00
14.20	26	35	26	0.60	43.33
14.40	26	34	26	0.53	48.75
14.60	25	32	25	0.47	53.57
14.80	21	26	21	0.33	63.00
15.00	18	29	18	0.73	24.55

PROF. (M)	P (KG/CM2)	P + L (KG/CM2)	RP (KG/CM2)	RL (KG/CM2)	RP/RL [ - ]
15.20	42	50	42	0.53	78.75
15.40	49	70	49	1.40	35.00
15.60	57	65	57	0.53	106.88
15.80	45	55	45	0.67	67.50
16.00	25	28	25	0.20	125.00
16.20	15	29	15	0.93	16.07
16.40	14	25	14	0.73	19.09
16.60	15	24	15	0.60	25.00
16.80	17	28	17	0.73	23.18
17.00	21	32	21	0.73	28.64
17.20	14	26	14	0.80	17.50
17.40	13	24	13	0.73	17.73
17.60	16	26	16	0.67	24.00
17.80	21	32	21	0.73	28.64
18.00	17	34	17	1.13	15.00
18.20	20	32	20	0.80	25.00
18.40	19	33	19	0.93	20.36
18.60	17	29	17	0.80	21.25
18.80	13	30	13	1.13	11.47
19.00	17	27	17	0.67	25.50
19.20	19	35	19	1.07	17.81
19.40	23	36	23	0.87	26.54
19.60	19	34	19	1.00	19.00
19.80	20	34	20	0.93	21.43
20.00	16	26	16	0.67	24.00
20.20					
20.40					
20.60					
20.80					
21.00					
21.20					
21.40					
21.60					
21.80					
22.00					
22.20					
22.40					
22.60					
22.80					
23.00					
23.20					
23.40					
23.60					
23.80					
24.00					
24.20					
24.40					
24.60					
24.80					
25.00					
25.20					
25.40					
25.60					
25.80					
26.00					
26.20					
26.40					
26.60					
26.80					
27.00					
27.20					
27.40					
27.60					
27.80					
28.00					
28.20					
28.40					
28.60					
28.80					
29.00					
29.20					
29.40					
29.60					
29.80					
30.00					

**ALLEGATO N° 2**  
**ELABORAZIONE PROVE PENETROMETRICHE**



## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI – CPT1 -

### TERRENI COESIVI

#### Coesione non drenata

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	1.00	56.25	3.03	0.09	0.09	Baligh ed altri 1980 Nk=20	2.81
Strato 2	4.00	12.87	0.66	0.45	0.41	Baligh ed altri 1980 Nk=20	0.62
Strato 4	13.40	19.48	0.62	1.92	1.12	Baligh ed altri 1980 Nk=20	0.92
Strato 6	15.20	19.0	0.51	2.8	1.55	Baligh ed altri 1980 Nk=20	0.87
Strato 8	20.00	16.0	0.74	3.49	1.88	Baligh ed altri 1980 Nk=20	0.71

#### Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	1.00	56.25	3.03	0.09	0.09	Valore medio autori	84.38
Strato 2	4.00	12.87	0.66	0.45	0.41	Valore medio autori	64.35
Strato 4	13.40	19.48	0.62	1.92	1.12	Valore medio autori	77.92
Strato 6	15.20	19.0	0.51	2.8	1.55	Valore medio autori	76.0
Strato 8	20.00	16.0	0.74	3.49	1.88	Valore medio autori	64.0

#### Modulo di deformazione non drenato Eu

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Eu (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	1.00	56.25	3.03	0.09	0.09	Cancelli 1980	2106.16
Strato 2	4.00	12.87	0.66	0.45	0.41	Cancelli 1980	467.19
Strato 4	13.40	19.48	0.62	1.92	1.12	Cancelli 1980	688.44
Strato 6	15.20	19.0	0.51	2.8	1.55	Cancelli 1980	654.47
Strato 8	20.00	16.0	0.74	3.49	1.88	Cancelli 1980	529.49

#### Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	1.00	56.25	3.03	0.09	0.09	Imai & Tomauchi	328.46
Strato 2	4.00	12.87	0.66	0.45	0.41	Imai & Tomauchi	133.39
Strato 4	13.40	19.48	0.62	1.92	1.12	Imai & Tomauchi	171.83
Strato 6	15.20	19.0	0.51	2.8	1.55	Imai & Tomauchi	169.23
Strato 8	20.00	16.0	0.74	3.49	1.88	Imai & Tomauchi	152.36

#### Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Ocr
Strato 1	1.00	56.25	3.03	0.09	0.09	P.W.Mayne 1991	9
Strato 2	4.00	12.87	0.66	0.45	0.41	P.W.Mayne 1991	6.46
Strato 4	13.40	19.48	0.62	1.92	1.12	P.W.Mayne 1991	9
Strato 6	15.20	19.0	0.51	2.8	1.55	P.W.Mayne 1991	9
Strato 8	20.00	16.0	0.74	3.49	1.88	P.W.Mayne 1991	9

**Peso unità di volume**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	1.00	56.25	3.03	0.09	0.09	Meyerhof	2.15
Strato 2	4.00	12.87	0.66	0.45	0.41	Meyerhof	1.89
Strato 4	13.40	19.48	0.62	1.92	1.12	Meyerhof	1.96
Strato 6	15.20	19.0	0.51	2.8	1.55	Meyerhof	1.95
Strato 8	20.00	16.0	0.74	3.49	1.88	Meyerhof	1.91

**Peso unità di volume saturo**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	1.00	56.25	3.03	0.09	0.09	Meyerhof	2.23
Strato 2	4.00	12.87	0.66	0.45	0.41	Meyerhof	1.97
Strato 4	13.40	19.48	0.62	1.92	1.12	Meyerhof	2.04
Strato 6	15.20	19.0	0.51	2.8	1.55	Meyerhof	2.03
Strato 8	20.00	16.0	0.74	3.49	1.88	Meyerhof	1.99

**TERRENI INCOERENTI****Densità relativa**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 3	6.80	25.21	0.6	1.01	0.68	Lancellotta 1983	32.85
Strato 5	14.00	31.67	0.56	2.62	1.46	Lancellotta 1983	28.31
Strato 7	16.40	51.0	0.76	3.03	1.66	Lancellotta 1983	40.16

**Angolo di resistenza al taglio**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 3	6.80	25.21	0.6	1.01	0.68	Schmertmann	32.32
Strato 5	14.00	31.67	0.56	2.62	1.46	Schmertmann	30.58
Strato 7	16.40	51.0	0.76	3.03	1.66	Schmertmann	32.55

**Modulo di Young**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 3	6.80	25.21	0.6	1.01	0.68	Rob. & Campanella 1983	50.42
Strato 5	14.00	31.67	0.56	2.62	1.46	Rob. & Campanella 1983	63.34
Strato 7	16.40	51.0	0.76	3.03	1.66	Rob. & Campanella 1983	102.0

**Modulo Edometrico**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 3	6.80	25.21	0.6	1.01	0.68	Buisman - Sanglerat	75.63
Strato 5	14.00	31.67	0.56	2.62	1.46	Buisman - Sanglerat	79.18
Strato 7	16.40	51.0	0.76	3.03	1.66	Buisman - Sanglerat	76.5

**Modulo di deformazione a taglio**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	G (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 3	6.80	25.21	0.6	1.01	0.68	Imai & Tomauchi	201.15
Strato 5	14.00	31.67	0.56	2.62	1.46	Imai & Tomauchi	231.24
Strato 7	16.40	51.0	0.76	3.03	1.66	Imai & Tomauchi	309.37

**Grado di sovraconsolidazione**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Ocr
Strato 3	6.80	25.21	0.6	1.01	0.68	Stress-History	0.87
Strato 5	14.00	31.67	0.56	2.62	1.46	Stress-History	0.5
Strato 7	16.40	51.0	0.76	3.03	1.66	Stress-History	0.71

**Modulo di reazione Ko**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Ko
Strato 3	6.80	25.21	0.6	1.01	0.68	Kulhawy-Mayne (1990)	0.32
Strato 5	14.00	31.67	0.56	2.62	1.46	Kulhawy-Mayne (1990)	0.22
Strato 7	16.40	51.0	0.76	3.03	1.66	Kulhawy-Mayne (1990)	0.28

**Fattori di compressibilità C Crm**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	C	Crn
Strato 3	6.80	25.21	0.6	1.01	0.68	0.11976	0.01557
Strato 5	14.00	31.67	0.56	2.62	1.46	0.11969	0.01556
Strato 7	16.40	51.0	0.76	3.03	1.66	0.1052	0.01368

**Peso unità di volume**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato 3	6.80	25.21	0.6	1.01	0.68	Meyerhof	1.8
Strato 5	14.00	31.67	0.56	2.62	1.46	Meyerhof	1.8
Strato 7	16.40	51.0	0.76	3.03	1.66	Meyerhof	1.9

**Peso unità di volume saturo**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 3	6.80	25.21	0.6	1.01	0.68	Meyerhof	2.1
Strato 5	14.00	31.67	0.56	2.62	1.46	Meyerhof	2.1
Strato 7	16.40	51.0	0.76	3.03	1.66	Meyerhof	2.2

**Permeabilità**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	K (cm/s)
Strato 1	1.00	56.25	3.03	0.09	0.09	Piacentini-Righi 1988	1.00E-11
Strato 2	4.00	12.87	0.66	0.45	0.41	Piacentini-Righi 1988	8.12E-10
Strato 3	6.80	25.21	0.6	1.01	0.68	Piacentini-Righi 1988	9.75E-05
Strato 4	13.40	19.48	0.62	1.92	1.12	Piacentini-Righi 1988	3.71E-06
Strato 5	14.00	31.67	0.56	2.62	1.46	Piacentini-Righi 1988	1.11E-03
Strato 6	15.20	19.0	0.51	2.8	1.55	Piacentini-Righi 1988	2.98E-05
Strato 7	16.40	51.0	0.76	3.03	1.66	Piacentini-Righi 1988	3.22E-03
Strato 8	20.00	16.0	0.74	3.49	1.88	Piacentini-Righi 1988	6.67E-09

**Coefficiente di consolidazione**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Coefficiente di consolidazione (cm <sup>2</sup> /s)
Strato 1	1.00	56.25	3.03	0.09	0.09	Piacentini-Righi 1988	1.6875E-06
Strato 2	4.00	12.87	0.66	0.45	0.41	Piacentini-Righi 1988	3.135216E-05
Strato 3	6.80	25.21	0.6	1.01	0.68	Piacentini-Righi 1988	7.375462
Strato 4	13.40	19.48	0.62	1.92	1.12	Piacentini-Righi 1988	0.2167182
Strato 5	14.00	31.67	0.56	2.62	1.46	Piacentini-Righi 1988	0
Strato 6	15.20	19.0	0.51	2.8	1.55	Piacentini-Righi 1988	1.700608
Strato 7	16.40	51.0	0.76	3.03	1.66	Piacentini-Righi 1988	0
Strato 8	20.00	16.0	0.74	3.49	1.88	Piacentini-Righi 1988	3.201286E-04

**STIMA PARAMETRI GEOTECNICI - CPT2 -**

**TERRENI COESIVI**

**Coesione non drenata**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	2.60	12.92	0.6	0.23	0.23	Baligh ed altri 1980 Nk=20	0.63
Strato 3	13.20	19.65	0.53	1.84	1.05	Baligh ed altri 1980 Nk=20	0.93
Strato 5	14.00	26.0	0.64	2.61	1.42	Baligh ed altri 1980 Nk=20	1.23
Strato 7	20.00	17.3	0.83	3.43	1.82	Baligh ed altri 1980 Nk=20	0.77

**Modulo Edometrico**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	2.60	12.92	0.6	0.23	0.23	Valore medio autori	64.6
Strato 3	13.20	19.65	0.53	1.84	1.05	Valore medio autori	78.6
Strato 5	14.00	26.0	0.64	2.61	1.42	Valore medio autori	52.0
Strato 7	20.00	17.3	0.83	3.43	1.82	Valore medio autori	69.2

**Modulo di deformazione non drenato Eu**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Eu (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	2.60	12.92	0.6	0.23	0.23	Cancelli 1980	476.0
Strato 3	13.20	19.65	0.53	1.84	1.05	Cancelli 1980	697.54
Strato 5	14.00	26.0	0.64	2.61	1.42	Cancelli 1980	921.57
Strato 7	20.00	17.3	0.83	3.43	1.82	Cancelli 1980	580.54

**Modulo di deformazione a taglio**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	2.60	12.92	0.6	0.23	0.23	Imai & Tomauchi	133.7
Strato 3	13.20	19.65	0.53	1.84	1.05	Imai & Tomauchi	172.74
Strato 5	14.00	26.0	0.64	2.61	1.42	Imai & Tomauchi	204.98
Strato 7	20.00	17.3	0.83	3.43	1.82	Imai & Tomauchi	159.81

**Grado di sovraconsolidazione**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Ocr
Strato 1	2.60	12.92	0.6	0.23	0.23	P.W.Mayne 1991	5.96
Strato 3	13.20	19.65	0.53	1.84	1.05	P.W.Mayne 1991	9
Strato 5	14.00	26.0	0.64	2.61	1.42	P.W.Mayne 1991	9
Strato 7	20.00	17.3	0.83	3.43	1.82	P.W.Mayne 1991	9

**Peso unità di volume**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	2.60	12.92	0.6	0.23	0.23	Meyerhof	1.9
Strato 3	13.20	19.65	0.53	1.84	1.05	Meyerhof	1.96
Strato 5	14.00	26.0	0.64	2.61	1.42	Meyerhof	2.01
Strato 7	20.00	17.3	0.83	3.43	1.82	Meyerhof	1.93

**Peso unità di volume saturo**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	2.60	12.92	0.6	0.23	0.23	Meyerhof	1.98
Strato 3	13.20	19.65	0.53	1.84	1.05	Meyerhof	2.04
Strato 5	14.00	26.0	0.64	2.61	1.42	Meyerhof	2.09
Strato 7	20.00	17.3	0.83	3.43	1.82	Meyerhof	2.01

**TERRENI INCOERENTI****Densità relativa**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 2	6.40	21.79	0.43	0.82	0.56	Lancellotta 1983	31.44
Strato 4	13.60	34.0	0.6	2.54	1.39	Lancellotta 1983	31.11
Strato 6	16.00	33.4	0.6	2.85	1.54	Lancellotta 1983	29.11

**Angolo di resistenza al taglio**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 2	6.40	21.79	0.43	0.82	0.56	Schmertmann	32.31
Strato 4	13.60	34.0	0.6	2.54	1.39	Schmertmann	31.15
Strato 6	16.00	33.4	0.6	2.85	1.54	Schmertmann	30.66

**Modulo di Young**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 2	6.40	21.79	0.43	0.82	0.56	Rob. & Campanella 1983	43.58
Strato 4	13.60	34.0	0.6	2.54	1.39	Rob. & Campanella 1983	68.0
Strato 6	16.00	33.4	0.6	2.85	1.54	Rob. & Campanella 1983	66.8

**Modulo Edometrico**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 2	6.40	21.79	0.43	0.82	0.56	Buisman - Sanglerat	65.37
Strato 4	13.60	34.0	0.6	2.54	1.39	Buisman - Sanglerat	85.0
Strato 6	16.00	33.4	0.6	2.85	1.54	Buisman - Sanglerat	83.5

**Modulo di deformazione a taglio**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	G (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 2	6.40	21.79	0.43	0.82	0.56	Imai & Tomauchi	184.01
Strato 4	13.60	34.0	0.6	2.54	1.39	Imai & Tomauchi	241.49
Strato 6	16.00	33.4	0.6	2.85	1.54	Imai & Tomauchi	238.87

**Grado di sovraconsolidazione**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Ocr
Strato 2	6.40	21.79	0.43	0.82	0.56	Stress-History	0.91
Strato 4	13.60	34.0	0.6	2.54	1.39	Stress-History	0.57
Strato 6	16.00	33.4	0.6	2.85	1.54	Stress-History	0.5

**Modulo di reazione Ko**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Ko
Strato 2	6.40	21.79	0.43	0.82	0.56	Kulhawy-Mayne (1990)	0.33
Strato 4	13.60	34.0	0.6	2.54	1.39	Kulhawy-Mayne (1990)	0.24
Strato 6	16.00	33.4	0.6	2.85	1.54	Kulhawy-Mayne (1990)	0.22

**Fattori di compressibilità C Crm**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	C	Crn
Strato 2	6.40	21.79	0.43	0.82	0.56	0.12804	0.01664
Strato 4	13.60	34.0	0.6	2.54	1.39	0.11715	0.01523
Strato 6	16.00	33.4	0.6	2.85	1.54	0.11777	0.01531

**Peso unità di volume**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato 2	6.40	21.79	0.43	0.82	0.56	Meyerhof	1.8
Strato 4	13.60	34.0	0.6	2.54	1.39	Meyerhof	1.8
Strato 6	16.00	33.4	0.6	2.85	1.54	Meyerhof	1.8

**Peso unità di volume saturo**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 2	6.40	21.79	0.43	0.82	0.56	Meyerhof	2.1
Strato 4	13.60	34.0	0.6	2.54	1.39	Meyerhof	2.1
Strato 6	16.00	33.4	0.6	2.85	1.54	Meyerhof	2.1

**Permeabilità**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	K (cm/s)
Strato 1	2.60	12.92	0.6	0.23	0.23	Piacentini-Righi 1988	7.79E-09
Strato 2	6.40	21.79	0.43	0.82	0.56	Piacentini-Righi 1988	5.08E-04
Strato 3	13.20	19.65	0.53	1.84	1.05	Piacentini-Righi 1988	2.81E-05
Strato 4	13.60	34.0	0.6	2.54	1.39	Piacentini-Righi 1988	1.12E-03
Strato 5	14.00	26.0	0.64	2.61	1.42	Piacentini-Righi 1988	6.94E-05
Strato 6	16.00	33.4	0.6	2.85	1.54	Piacentini-Righi 1988	9.87E-04
Strato 7	20.00	17.3	0.83	3.43	1.82	Piacentini-Righi 1988	2.60E-09

**Coefficiente di consolidazione**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica totale (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tensione litostatica efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Correlazione	Coefficiente di consolidazione (cm <sup>2</sup> /s)
Strato 1	2.60	12.92	0.6	0.23	0.23	Piacentini-Righi 1988	3.017744E-04
Strato 2	6.40	21.79	0.43	0.82	0.56	Piacentini-Righi 1988	0
Strato 3	13.20	19.65	0.53	1.84	1.05	Piacentini-Righi 1988	1.654955
Strato 4	13.60	34.0	0.6	2.54	1.39	Piacentini-Righi 1988	0
Strato 5	14.00	26.0	0.64	2.61	1.42	Piacentini-Righi 1988	5.410165
Strato 6	16.00	33.4	0.6	2.85	1.54	Piacentini-Righi 1988	0
Strato 7	20.00	17.3	0.83	3.43	1.82	Piacentini-Righi 1988	1.347223E-04

**ALLEGATO N° 3**  
**ELABORAZIONE INDAGINE HVSR**



# FOSSOLI, VIA MARTINELLI - HVSR1

Instrument: TRZ-0010/01-09

Data format: 16 byte

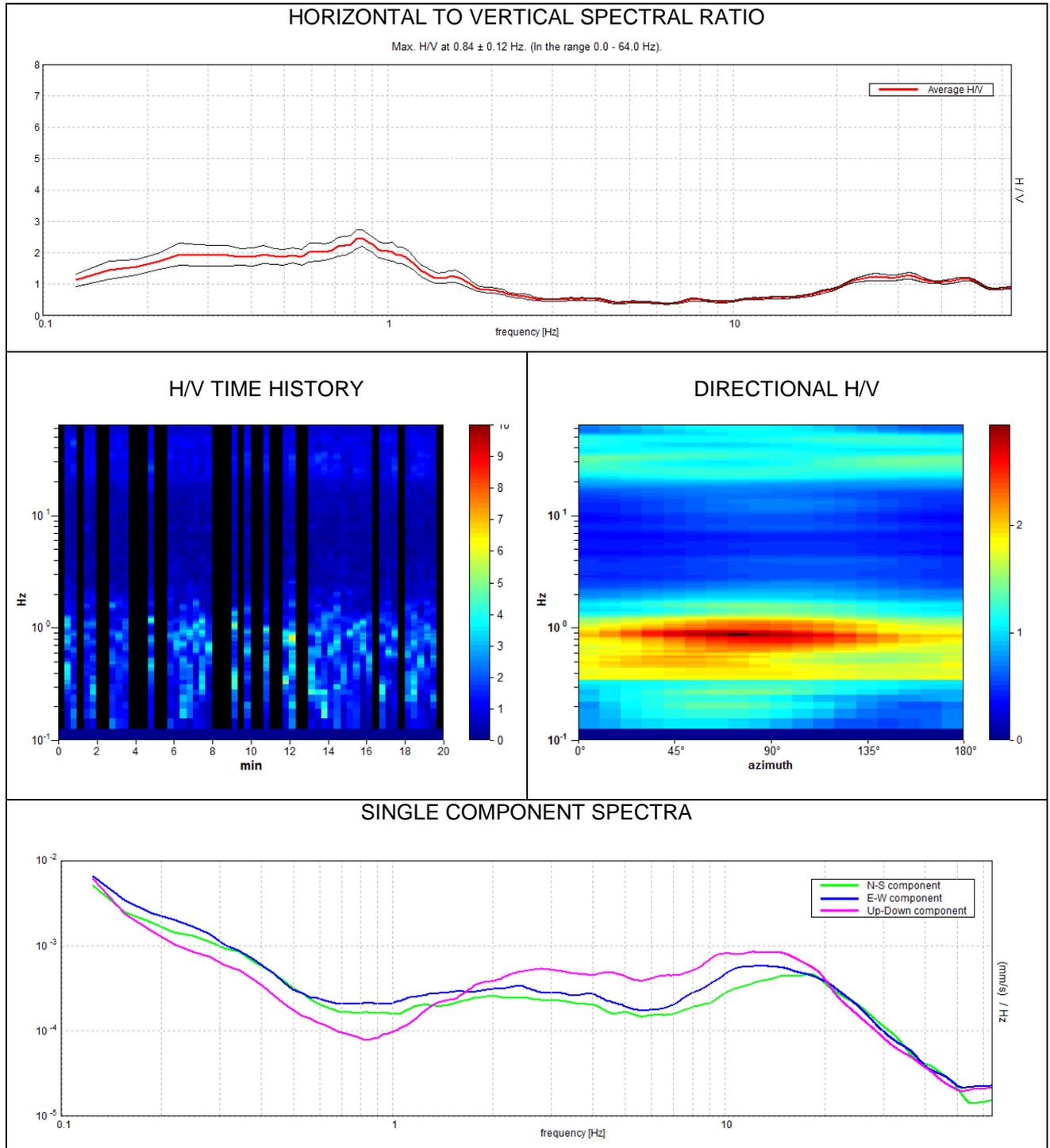
Full scale [mV]: n.a.

Start recording: 24/05/16 11:56:44 End recording: 24/05/16 12:16:45

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Trace length: 0h20'00". Analyzed 63% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz - Window size: 20 s - Smoothing type: Triangular window - Smoothing: 10%



# FOSSOLI 002, VIA MARTINELLI - HVSR2

Instrument: TRZ-0010/01-09

Data format: 16 byte

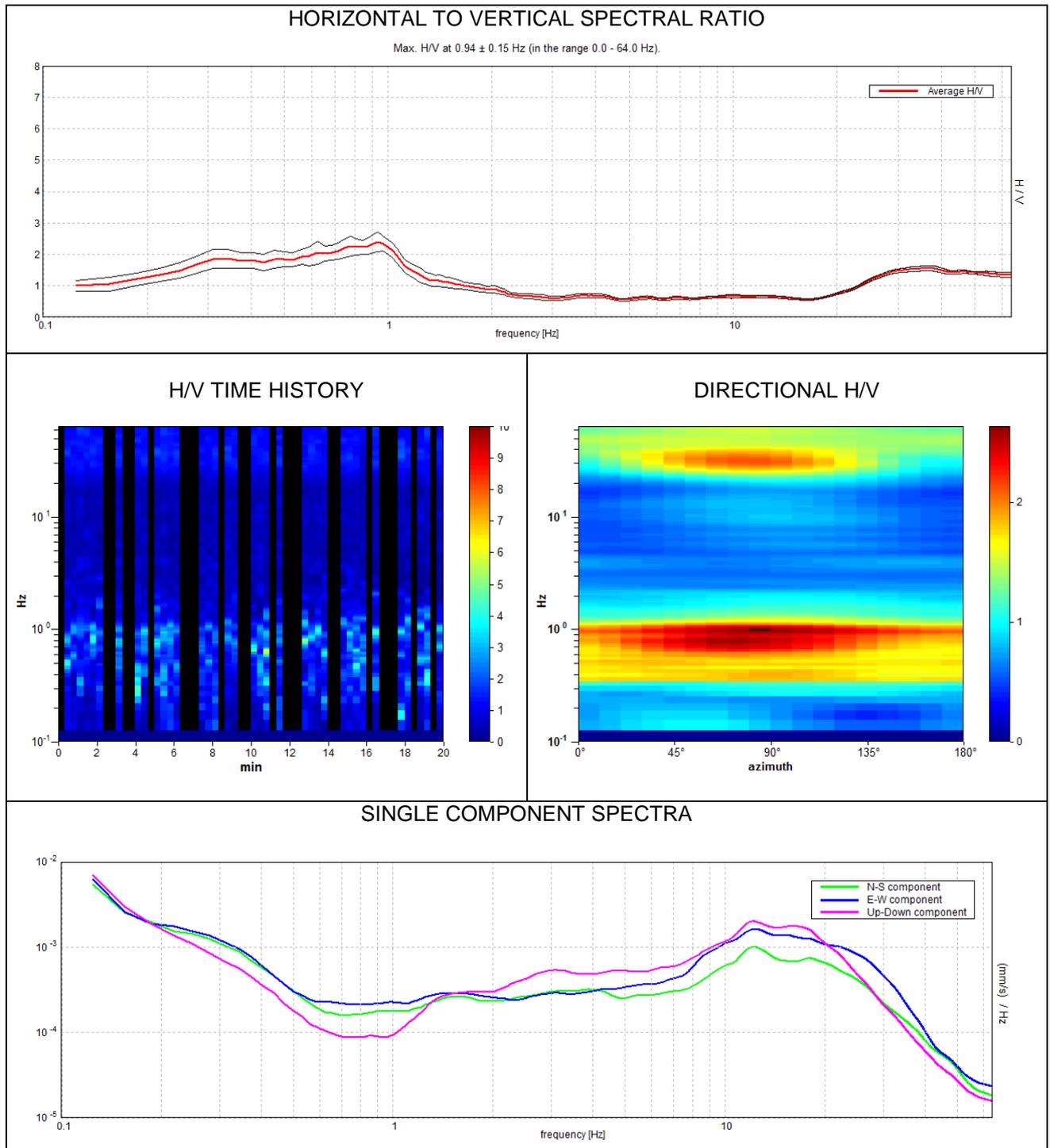
Full scale [mV]: n.a.

Start recording: 24/05/16 12:29:45 End recording: 24/05/16 12:49:46

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Trace length: 0h20'00". Analyzed 60% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz - Window size: 20 s - Smoothing type: Triangular window - Smoothing: 10%



**ALLEGATO N° 4**  
**INDAGINE MASW**



**COMMITTENZA**

Dott. Geol. Fiori Alberto  
 Via Radici in Piano, 371  
 41051 FORMIGINE Fraz. CASINALBO (MO)

**TIPOLOGIA DELL'INTERVENTO**

RILIEVO SISMICO A RIFRAZIONE PER LA DETERMINAZIONE DEL PARAMETRO  $V_{s,30}$  AI SENSI DEL DM 14/01/2008

**OGGETTO DELL'ELABORATO**

**RELAZIONE DI INDAGINE GEOFISICA TRAMITE TECNICA M.A.S.W.**

**LOCALIZZAZIONE**

ITALIA  
 REGIONE EMILIA ROMAGNA  
 PROVINCIA DI MODENA  
 COMUNE DI CARPI  
 FRAZ. FOSSOLI - VIA MARTINELLI

**CODIFICA GENERALE ELABORATO**

CODICE INTERNO	LOTTO	SETTORE DI ATTIVITA'	AREA DI PROGETTAZIONE	TIPO DOCUMENTO	N. ELABORATO
<b>3737</b>	<b>0</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>REL</b>	<b>1</b>

**VERSIONE**

**DATA**

**OGGETTO**

VERSIONE	DATA	OGGETTO
0	30/05/2016	1° EMISSIONE

**DATI PROGETTISTA**

**PROPRIETA'**

Dott. Geol. Giorgio Masotti  
 Via di Mezzo, 90  
 41058 Vignola (MO) – Italy



## INDICE

1	PREMESSA .....	2
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO .....	2
3	NORMATIVA D.M. 14/01/2008 .....	4
4	INDAGINI GEOFISICHE DI TIPO SISMICO A RIFRAZIONE .....	5
5	ELABORAZIONE ONDE SISMICHE – VS – METODO M.A.S.W. ....	7
6	NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI (D.M. 14.01.2008).....	12

## INDICE DEGLI ALLEGATI

FIGURA 1: ESTRATTO DI CARTA TOPOGRAFICA R.E.R. N. 183-SE "NOVI DI MODENA" - SCALA 1:25.000 .....	3
FIGURA 2: ESTRATTO DI CARTA TECNICA REGIONALE N. 183150 - "BUDRIONE" - SCALA 1:10.000 .....	3
FIGURA 3: ESTRATTO DI CARTA TECNICA REGIONALE N. 183152 "FOSSOLI" - SCALA 1:5.000 .....	4
FIGURA 4: UBICAZIONE BASE SISMICA A RIFRAZIONE .....	6
FIGURA 5: DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA .....	6
FIGURA 6: ANDAMENTO TRACCE SISMICHE RILEVATE .....	8
FIGURA 7: ANDAMENTO DELL'ANALISI SPETTRALE .....	8
FIGURA 8: TABELLA RIPIANTE I VALORI DELLA CURVA DI DISPERSIONE .....	9
FIGURA 9: ANDAMENTO DELLA CURVA DI DISPERSIONE .....	9
FIGURA 10: ANDAMENTO DELLA CURVA OTTENUTA CON IL PROCESSO DI INVERSIONE .....	10
FIGURA 11: ANDAMENTO DELLA FUNZIONE DI TRASFERIMENTO .....	10
FIGURA 12: ANDAMENTO DEL FATTORE DI DISADATTAMENTO .....	11
FIGURA 13: ANDAMENTO IN PROFONDITA' DELLA VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO .....	11
FIGURA 14: TABELLA DELLA VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO E CARATTERISTICHE DEGLI STRATI IN PROFONDITA' .....	12

---/---

---

## 1 PREMESSA

---

Su incarico del Dott. Geol. Fiori Alberto con sede in Formigine, Via Radici in Piano, 371 il sottoscritto:

- Dott. Giorgio Masotti, Geologo libero professionista, regolarmente iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione Emilia Romagna con il numero 588 – Sez. A, in qualità di consulente tecnico della ditta Geo-Xpert Italia – Servizi – Tecnologie e Ambiente snc, con sede in Vignola (MO) – Via di Mezzo, 90,

ha provveduto alla stesura della presente relazione, finalizzata all'elaborazione delle indagini geofisiche effettuate con il metodo sismico a rifrazione ai fini della determinazione della caratterizzazione sismica del terreno di fondazione ai sensi del testo unitario "Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. 14.01.2008).

L'area interessata dall'indagine geofisica è ubicata a Carpi (MO) – Fraz. Fossoli – Via Martinelli.

Allo scopo di determinare le caratteristiche litologiche e stratigrafiche dei terreni presenti, è stata condotta un'indagine diretta in sito, di tipo sismico a rifrazione, eseguita in data 27/05/2016, con determinazione sperimentale mediante inversione (Metodo MASW) del valore di  $V_{s,30}$ .

---

## 2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

---

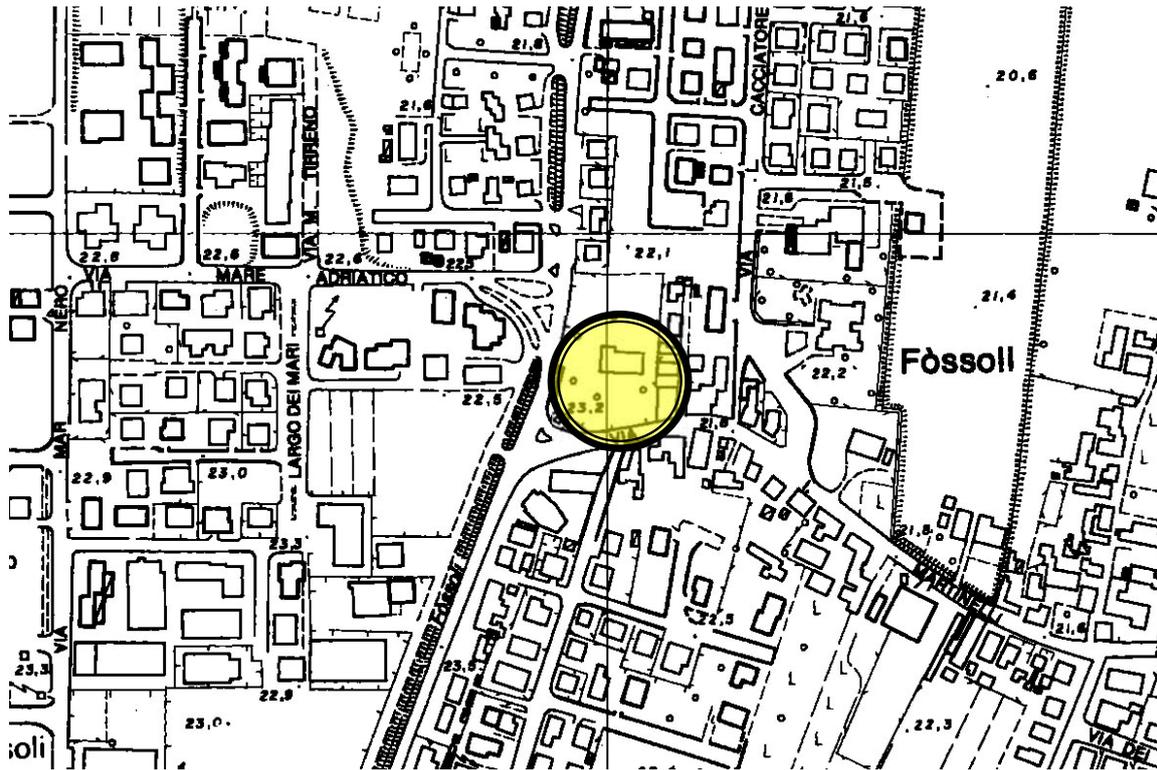
Geograficamente l'area in esame risulta compresa all'interno della seguente documentazione cartografica:

### Cartografia Regionale

- Carta Topografica n. 183-SE denominata "NOVI DI MODENA" – scala 1:25.000
- Sezione n.183150 denominata "BUDRIONE" – scala 1:10.000
- Elemento n.183152 denominata "FOSSOLI" – scala 1:5.000



Figura 3: ESTRATTO DI CARTA TECNICA REGIONALE N. 183152 "FOSSOLI" - SCALA 1:5.000



### 3 NORMATIVA D.M. 14/01/2008

Il D.M. 14.01.2008 prevede una classificazione dei terreni in base alla loro condizione topografica che deve essere considerata nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

Il D.M. del 14.01.2008 prescrive che le azioni sismiche su ciascuna struttura sono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_r$ , ricavato moltiplicando la vita nominale dell'opera  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ , definito al variare della classe d'uso dell'opera stessa. La presente normativa stabilisce che gli stati limite, sia di esercizio sia ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso. Gli stati limite di esercizio sono lo Stato Limite di Operatività (SLO) e lo Stato Limite di Danno (SLD), mentre gli stati limite ultimi sono lo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV) e lo Stato Limite di Collasso (SLC).

Il D.M. 14.01.2008 stabilisce che ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulle categorie di sottosuolo di riferimento e sulle condizioni topografiche del sito.

Ai fini dell'identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si essere effettua in base ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio  $V_{s,30}$  entro i primi 30 m di profondità. Nei casi in cui tale determinazione non sia possibile, la classificazione può essere effettua in base ai valori del numero equivalente di colpi della prova penetrometrica dinamica (Standard Penetration Test)  $N_{SPT,30}$  nei terreni prevalentemente a grana grossa e della resistenza non drenata equivalente  $c_{u,30}$  nei terreni prevalentemente a grana fina.

La velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,30}$  è definita dall'espressione:

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

la resistenza penetrometrica dinamica equivalente  $N_{SPT,30}$  è definita dall'espressione:

$$N_{SPT,30} = \frac{\sum_{i=1,M} h_i}{\sum_{i=1,M} \frac{h_i}{N_{SPT,i}}}$$

la resistenza non drenata equivalente  $c_{u,30}$  è definita dall'espressione:

$$C_{u,30} = \frac{\sum_{i=1,K} h_i}{\sum_{i=1,K} \frac{h_i}{C_{u,i}}}$$

dove  $h_i$ ,  $V_{s,i}$ ,  $N_{SPT,i}$  e  $C_{u,i}$  sono rispettivamente lo spessore, la velocità delle onde di taglio  $V_s$ , il numero di colpi  $N_{SPT}$  e la resistenza non drenata  $c_u$  nell' $i$ -esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità.

Le categorie di sottosuolo di riferimento sono:

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

La normativa prevede due categorie aggiuntive di sottosuolo per le quali 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:

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

Per quanto riguarda le condizioni topografiche, per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

#### 4 INDAGINI GEOFISICHE DI TIPO SISMICO A RIFRAZIONE

Al fine di determinare le caratteristiche geotecniche dei terreni interessati dalle opere di progetto è stata eseguita in data 27/05/2016, nr. 1 base sismica a rifrazione con sistema di acquisizione a 24 canali.

Si riporta di seguito l'elaborazione condotta e le caratteristiche dello stendimento sismico effettuato.

Figura 4: UBICAZIONE BASE SISMICA A RIFRAZIONE



Figura 5: DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



## 5 ELABORAZIONE ONDE SISMICHE – Vs – METODO M.A.S.W.

La determinazione della velocità delle onde sismiche di taglio ( $V_s$ ) è stata effettuata mediante elaborazione con il metodo MASW, allo scopo di determinare la categoria sismica del terreno (A, B, C, D, E, S1, S2) secondo quanto indicato dalla Nuova Normativa Sismica (Ordinanza P.C.M. 2003 e s.m.i.) e dagli Eurocodici 7 e 8.

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

### Modellizzazione

Con riferimento al modello geotecnico sintetico determinato con le indagini in sito, è stata tracciata una curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times v$$

In seguito i parametri del modello geotecnico preliminare si sono apportate le modifiche necessarie al fine di ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale. Questa fase definita come processo di inversione consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi caratterizzati da valori di rigidità differenti.

### Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

### Profondità di indagine

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

L'elaborazione ha riguardato l'intero campionamento della registrazione avente durata 1024 mS e una frequenza di campionamento di 500 microS, per la quale si è tenuta in considerazione la traccia sismica rilevata a seguito dell'energizzazione effettuata mediante mazza battente a ml. 6,00 dal geofono n. 1 in posizione di sparo estremo SINISTRO rispetto alla base sismica, con uno stendimento avente un interasse geofonico pari a 1,0 ml.

N. tracce	24
Durata acquisizione [ms]	1024.0
Interdistanza geofoni [m]	1.0
Periodo di campionamento [ms]	0.50

Figura 6: ANDAMENTO TRACCE SISMICHE RILEVATE

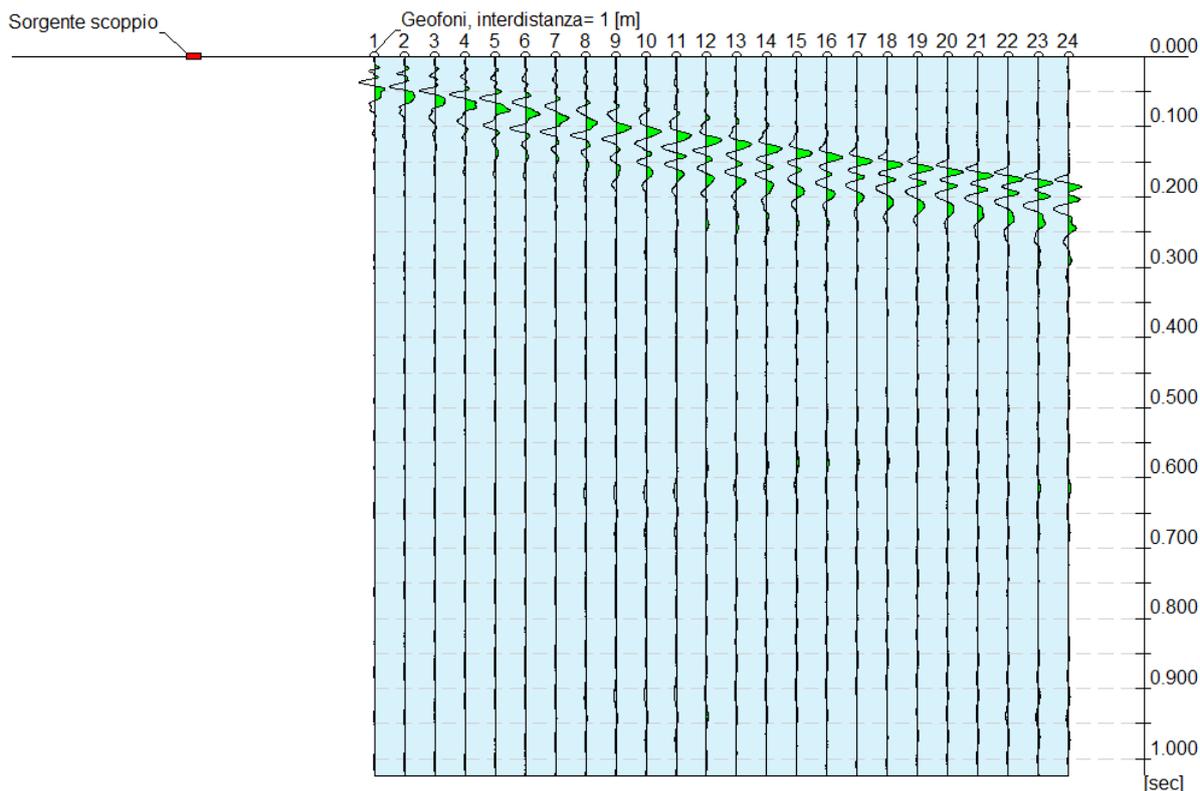


Figura 7: ANDAMENTO DELL'ANALISI SPETTRALE

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1

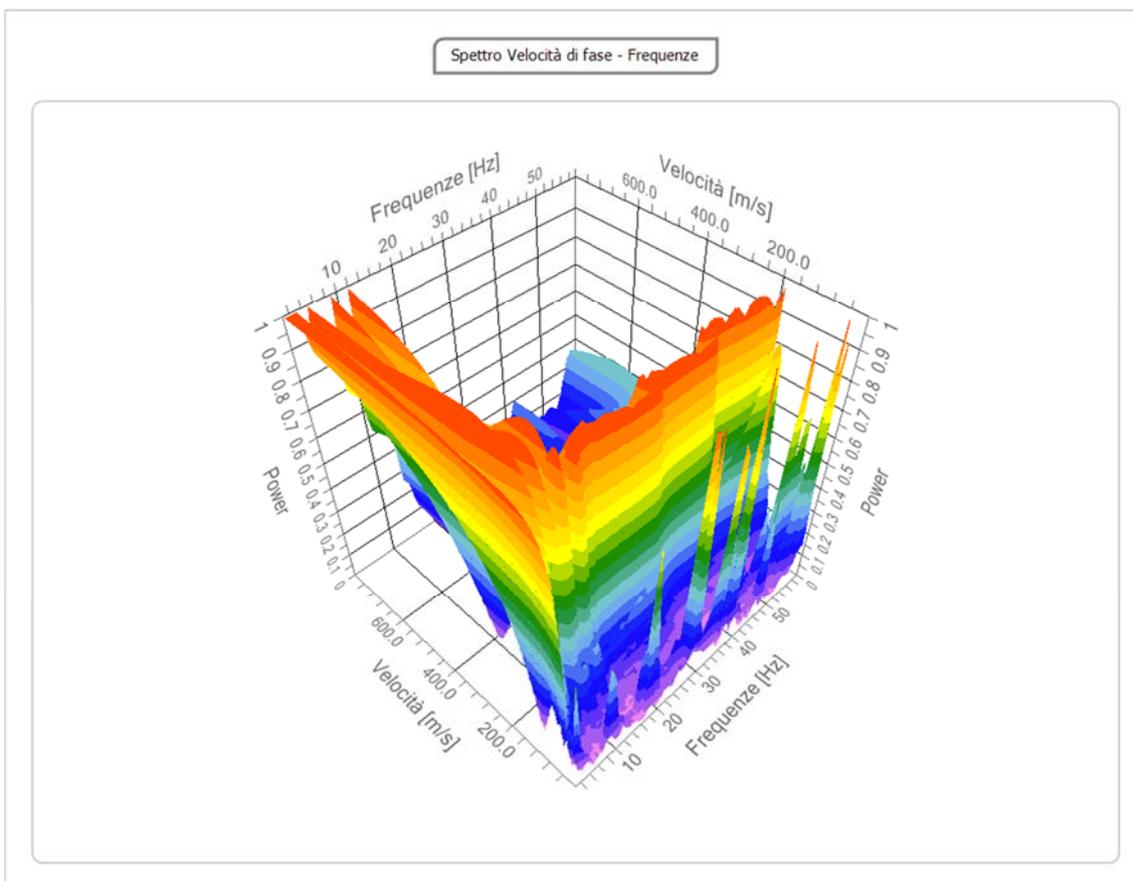


Figura 8: TABELLA RIPORTANTE I VALORI DELLA CURVA DI DISPERSIONE

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	4.5	247.1	0
2	5.8	222.5	0
3	7.6	202.8	0
4	9.8	186.4	0
5	12.9	176.6	0
6	15.8	170.0	0
7	18.4	165.1	0
8	20.6	158.5	0
9	24.1	150.3	0
10	29.0	186.4	1
11	31.1	179.8	1
12	33.2	174.9	1
13	35.2	171.6	1
14	37.3	170.0	1
15	39.3	165.1	1
16	41.0	161.8	1
17	43.1	204.4	2
18	44.9	199.5	2
19	48.1	197.9	2
20	51.1	191.3	2
21	53.8	191.3	2
22	56.5	188.0	2
23	58.6	186.4	2

Figura 9: ANDAMENTO DELLA CURVA DI DISPERSIONE

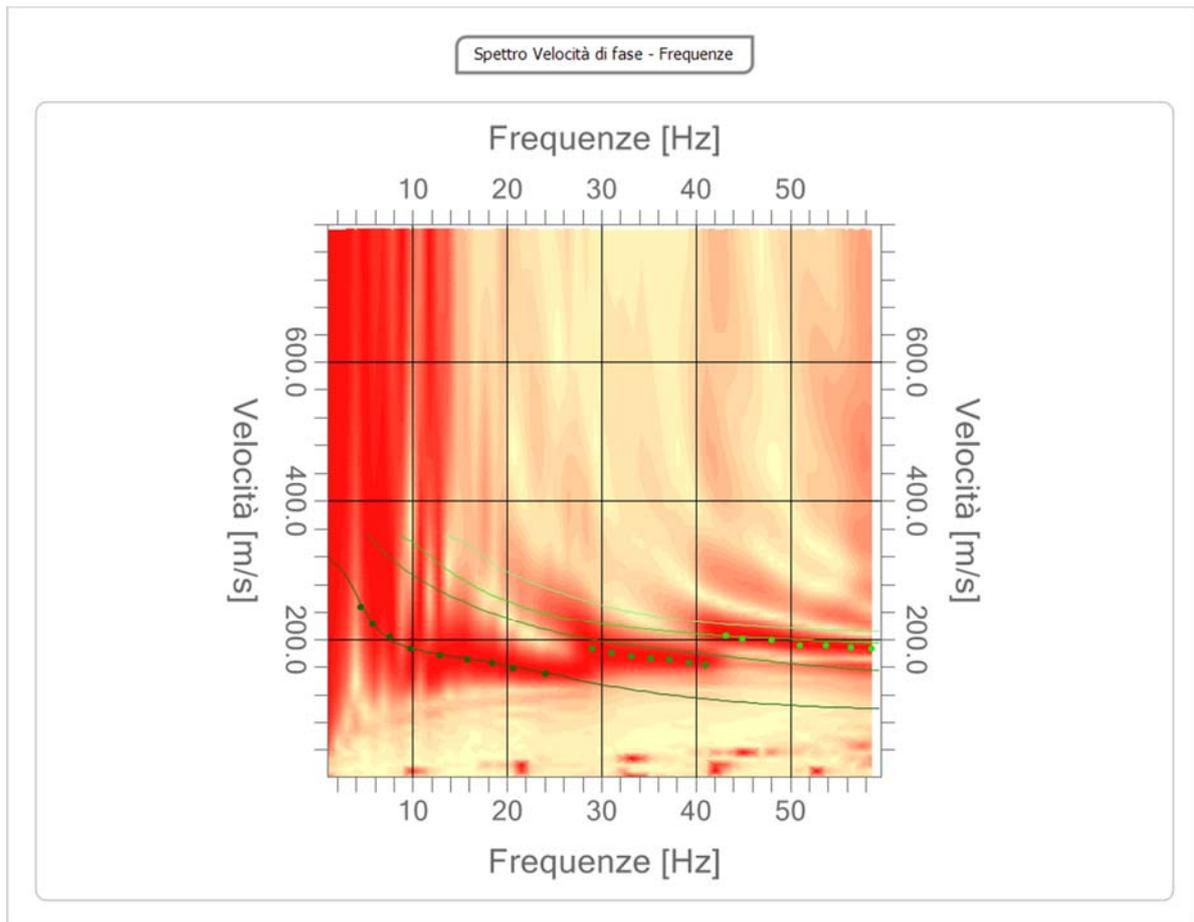


Figura 10: ANDAMENTO DELLA CURVA OTTENUTA CON IL PROCESSO DI INVERSIONE

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	1.06	1.06	1850.0	0.4	No	188.7	90.6
2	2.55	1.49	1800.0	0.5	Si	518.2	156.2
3	7.07	4.52	1820.0	0.3	Si	374.8	200.3
4	10.61	3.54	1830.0	0.4	Si	436.8	209.8
5	14.07	3.46	1840.0	0.4	Si	497.6	239.0
6	16.04	1.97	1880.0	0.3	Si	497.7	266.1
7	20.56	4.52	1850.0	0.5	Si	934.6	281.8
8	33.37	12.81	1860.0	0.5	Si	969.7	292.4
	∞	∞	1870.0	0.5	Si	1129.2	340.5

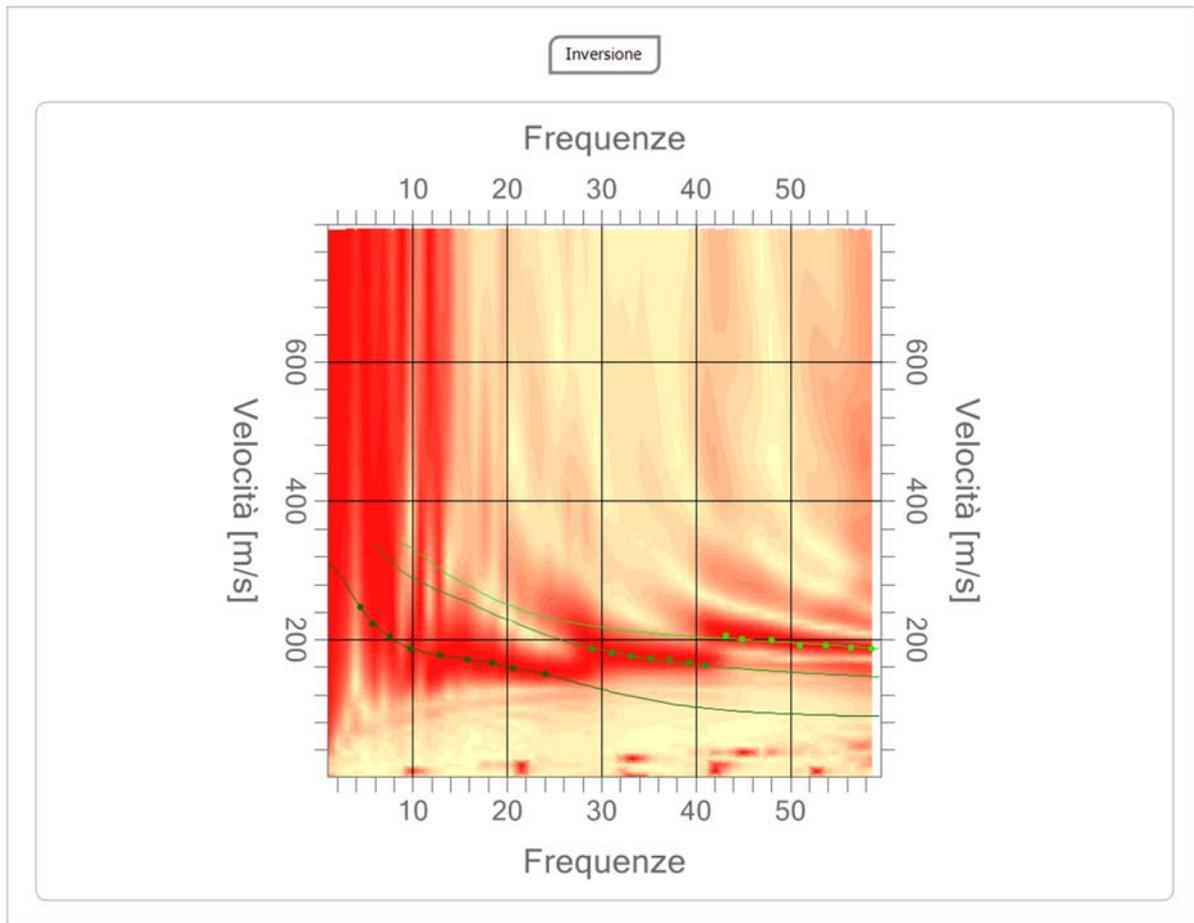


Figura 11: ANDAMENTO DELLA FUNZIONE DI TRASFERIMENTO

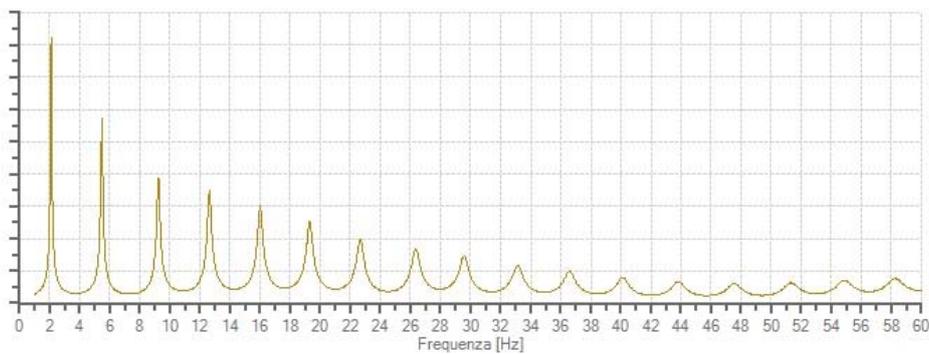


Figura 12: ANDAMENTO DEL FATTORE DI DISADATTAMENTO

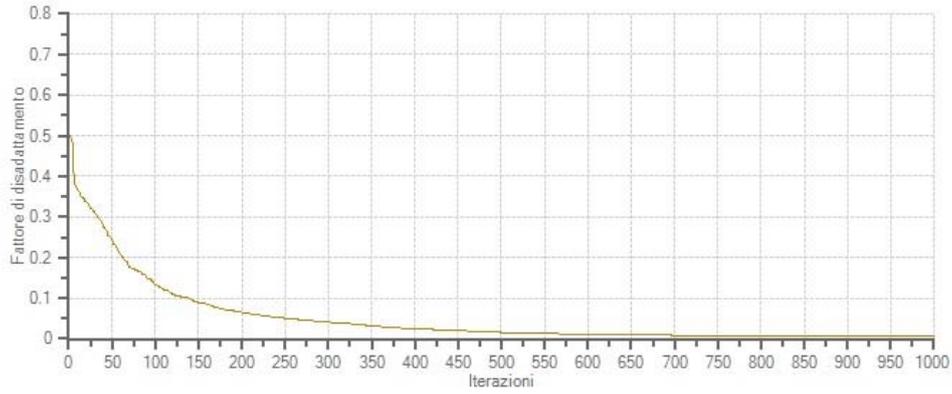
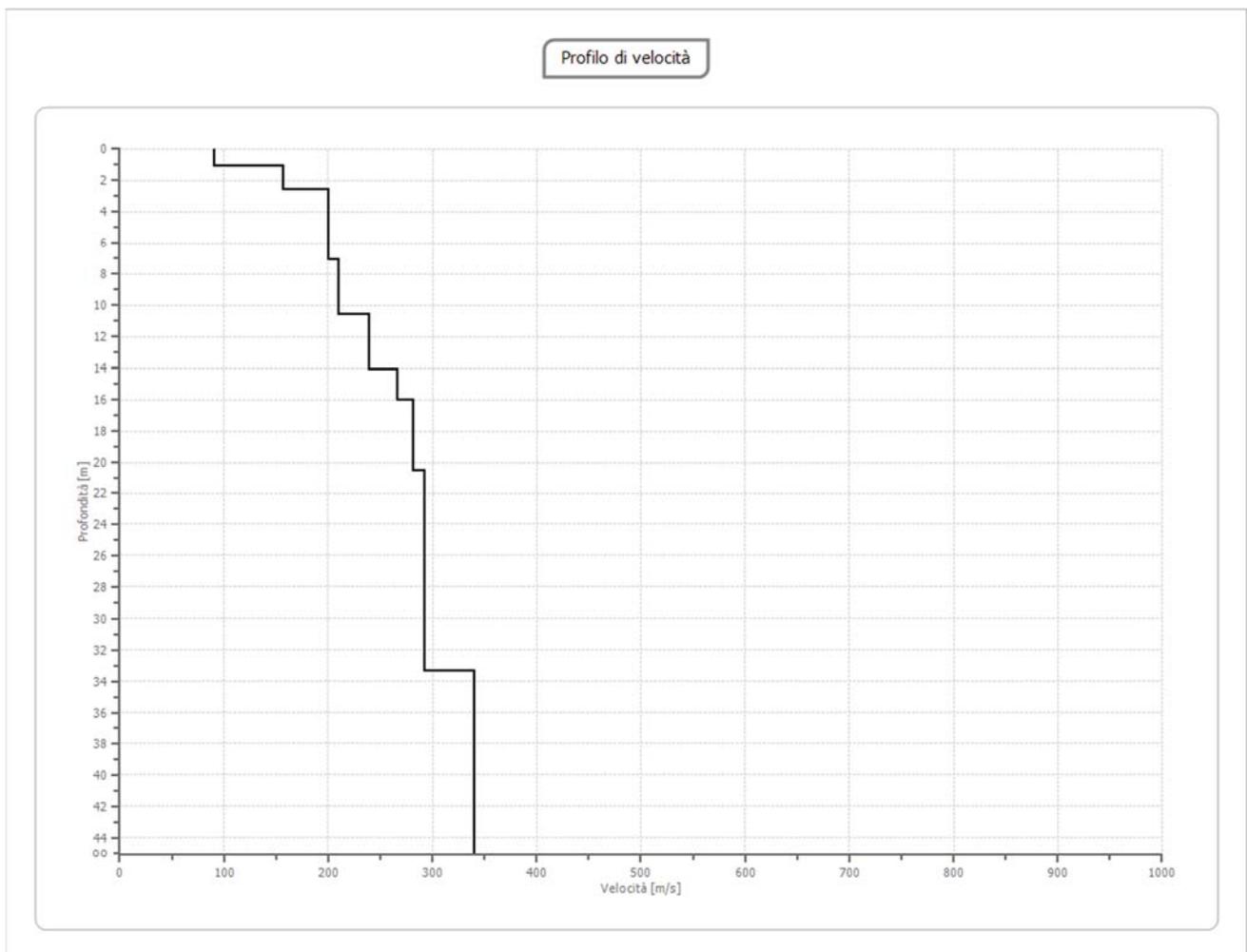


Figura 13: ANDAMENTO IN PROFONDITA' DELLA VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO



Al termine della elaborazione si è riscontrata una convergenza dei valori (Errore dell'elaborazione) pari a 0,005%, con un fattore di disadattamento della soluzione pari a 0,007.

**Figura 14: TABELLA DELLA VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO E CARATTERISTICHE DEGLI STRATI IN PROFONDITA'**

G0: Modulo di deformazione al taglio (\*);

Ed: Modulo edometrico (\*);

M0: Modulo di compressibilità volumetrica (\*);

Ey: Modulo di Young (\*);

\*) Valori validi per piccolissime deformazioni comprese nel tratto lineare elastico del legame costitutivo dei materiali (deformazioni tangenziali inferiori alla soglia elastica).

N.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	densità [Kg/cm <sup>3</sup> ]	Coefficiente di Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	1.06	1.06	90.63	188.66	1800	0.35	14.78	64.07	44.35	39.92	10	14.24
2	2.55	1.49	156.24	518.2	1840	0.45	44.92	494.09	434.2	130.26	61	219.9
3	7.07	4.52	200.33	374.79	1870	0.3	75.05	262.67	162.61	195.13	86	766.85
4	10.61	3.54	209.84	436.82	1880	0.35	82.78	358.73	248.35	223.51	57	968.1
5	14.07	3.46	239.04	497.6	1890	0.35	107.99	467.97	323.98	291.58	84	1863
6	16.04	1.97	266.05	497.73	1930	0.3	136.61	478.14	295.99	355.19	N/A	3190.57
7	20.56	4.52	281.8	934.61	1900	0.45	150.88	1659.64	1458.47	437.54	N/A	4259.39
8	33.37	12.81	292.36	969.65	1910	0.45	163.26	1795.83	1578.15	473.45	N/A	N/A
9	oo	oo	340.48	1129.24	1920	0.45	222.58	2448.34	2151.57	645.47	0	N/A

## 6 NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI (D.M. 14.01.2008)

L'analisi dei risultati ottenuti dall'indagine MASW ha portato alla determinazione degli strati e delle velocità delle onde sismiche trasversali ( $V_s$ ) fino a una profondità di 33,37 ml. dal piano campagna.

Ai sensi del DM 14.01.2008 (GU del 04.02.2008, n. 29 – S.O. n. 30), punto 3.2.2. "Categoria di suolo e condizioni topografiche", il valore della velocità media delle onde sismiche di taglio nei primi 30 metri ( $V_{s,30}$ ) ottenuto mediante l'indagine M.A.S.W. è risultato pari a 229,23 m/s, il quale, tenuto in considerazione l'errore derivante dall'elaborazione dei dati, risulta essere compreso tra 229,22 e 229,24 m/s come evidenziato nella tabella di seguito allegata:

Velocità onde $V_s$ da elaborazione MASW				
Strato	Base strato [m]	$h_i$ [m]	$V_{s,i}$ [m/s]	$h_i / V_{s,i}$ [s]
1	1.06	1.06	90.63	0.011696
2	2.55	1.49	156.24	0.009537
3	7.07	4.52	200.33	0.022563
4	10.61	3.54	209.84	0.016870
5	14.07	3.46	239.04	0.014475
6	16.04	1.97	266.05	0.007405
7	20.56	4.52	281.80	0.016040
8	33.37	9.44	292.36	0.032289

$V_{s,30}$ calcolato	229.23	[m/s]
Errore strumentale	0.005	[%]
$V_{s,30}$ - Max	229.24	[m/s]
$V_{s,30}$ - Min	229.22	[m/s]

Suolo di tipo C: 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  $V_{s,30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < NSPT_{,30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < cu_{,30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina).

Si precisa che sulla base delle caratteristiche litotecniche dei terreni presenti nel sottosuolo, il tecnico deve valutare l'eventuale classificazione dei suoli di fondazione come di tipo S1 e/o S2.

Vignola, 30/05/2016

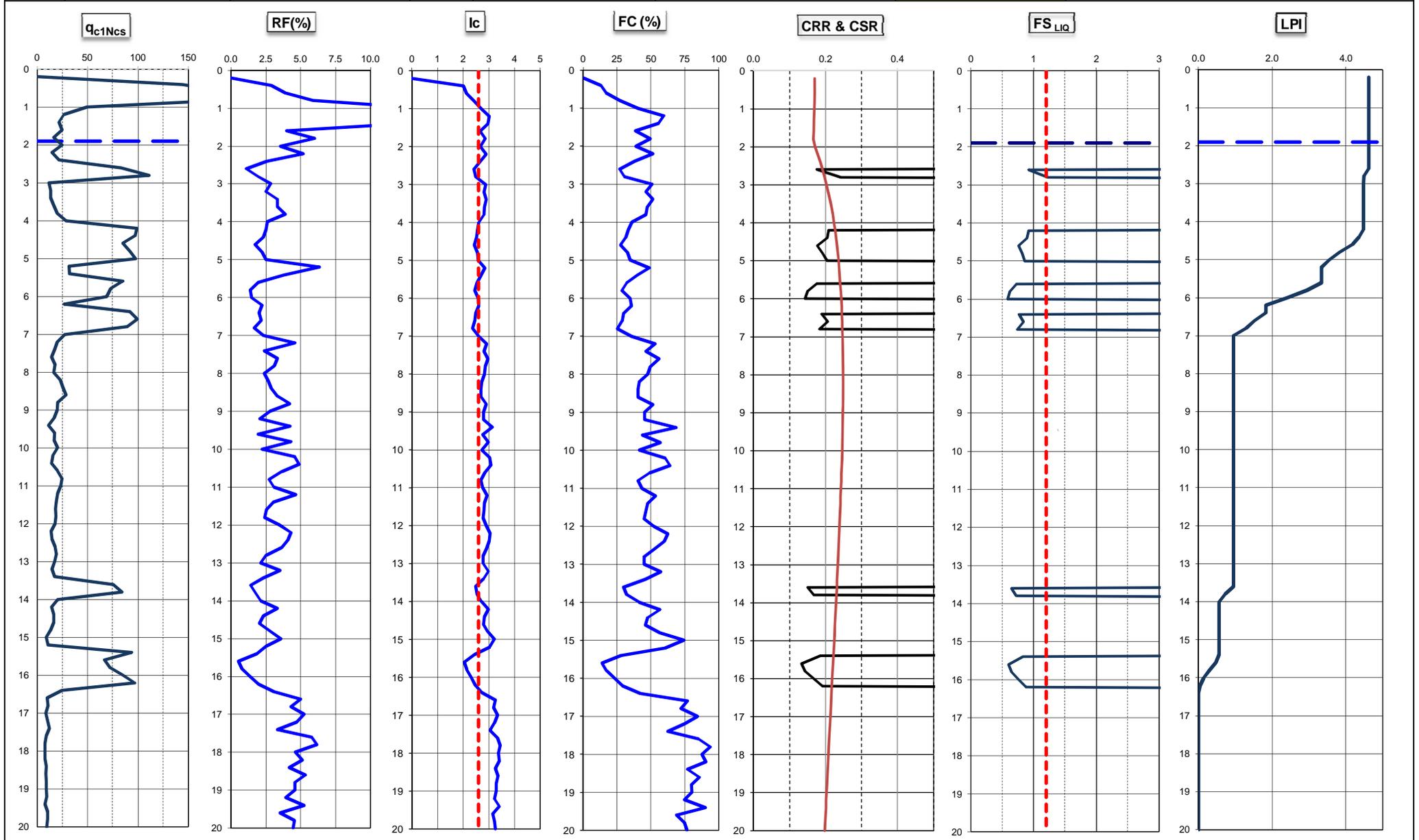
Dott. Geol. Giorgio Masotti



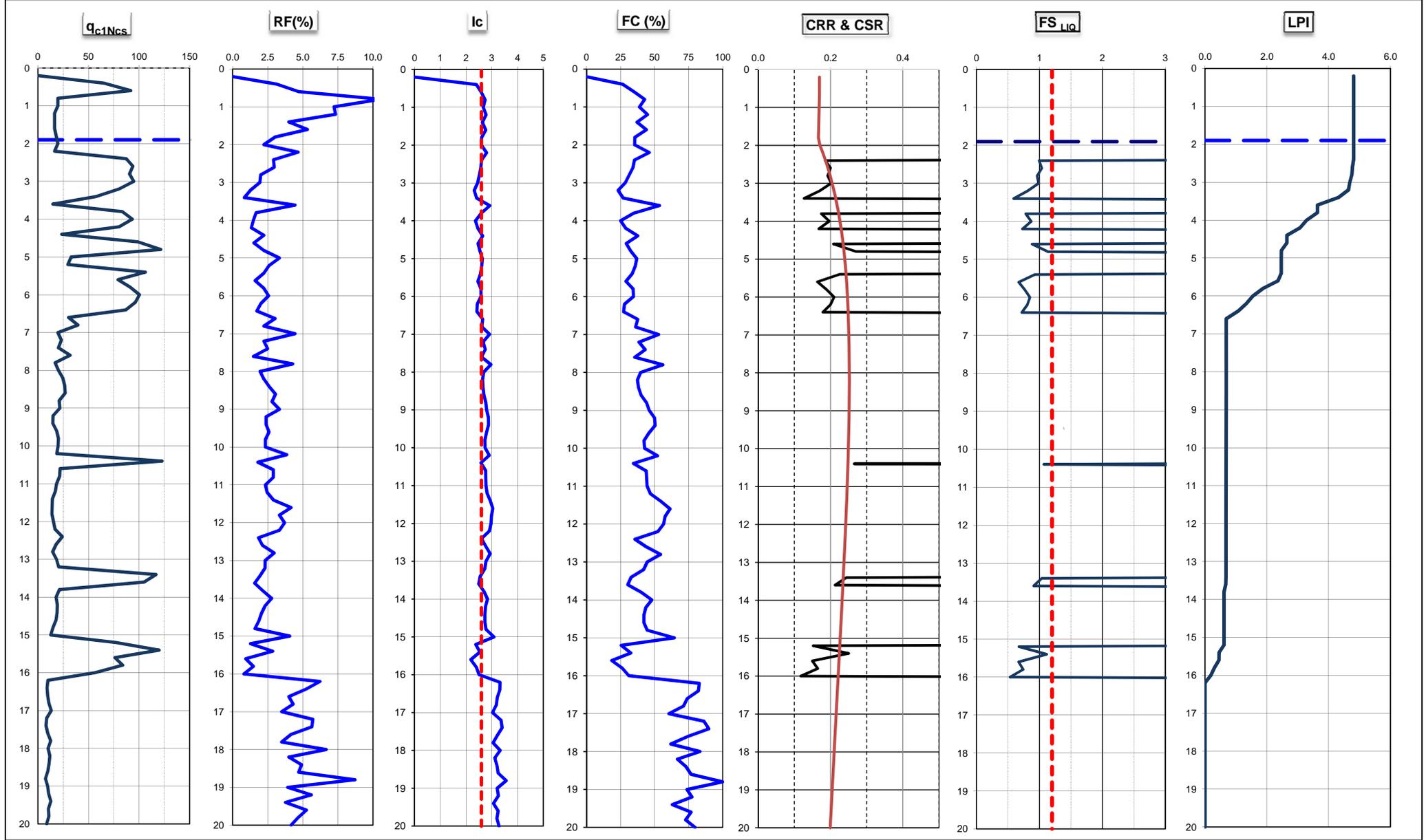
**ALLEGATO N° 5**  
**VERIFICHE LIQUEFAZIONE**



Informazioni generali		Informazioni di input		Software by Dott. Geol. A. Fiori	Informazioni e Risultati analisi		
Comune	Carpi	data	26/05/2016		AGI, Associazione Geotecnica Italiana, 2005. Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica. Linee Guida.	STUDIO GEOLOGICO FIORI ALBERTO	
Via	Martinelli	Profondita falda da pdc (m) =	1.90	Via Radici in Piano, 371 - Formigine (MO)			
Lat.	/	Magnitudo $M_w$ :	6.14	$I_L$ (indice del potenziale liquefazione) =	4.63	tel 059.550703 - cell. 338.6190797	
Long	/	accelerazione $a_{max}$ (g) :	0.261	Rischio di liquefazione =	<b>moderato</b>		
Prova	CPT1			SONMEZ, 2003			



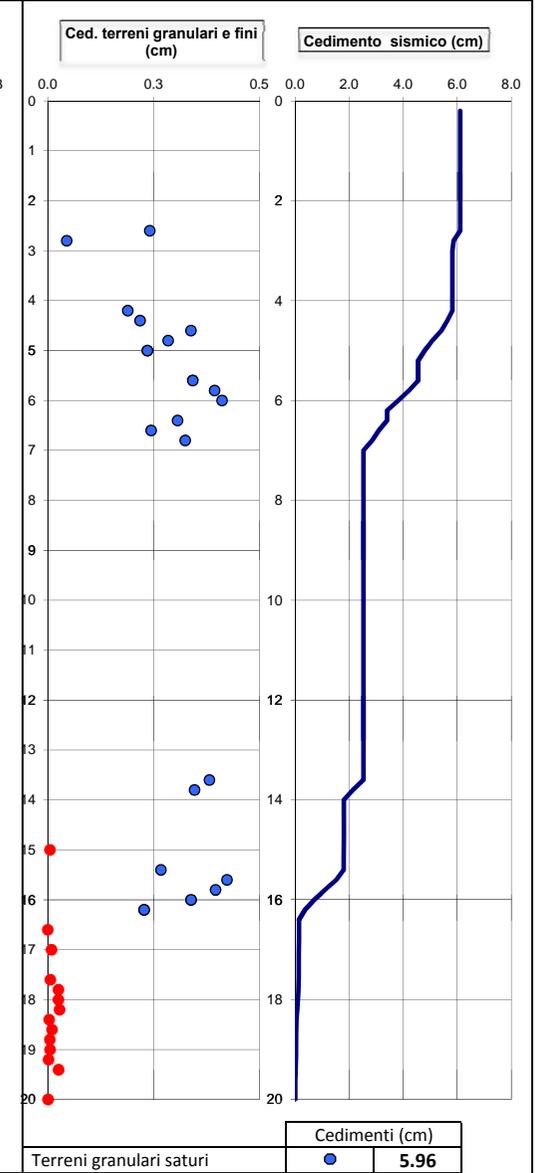
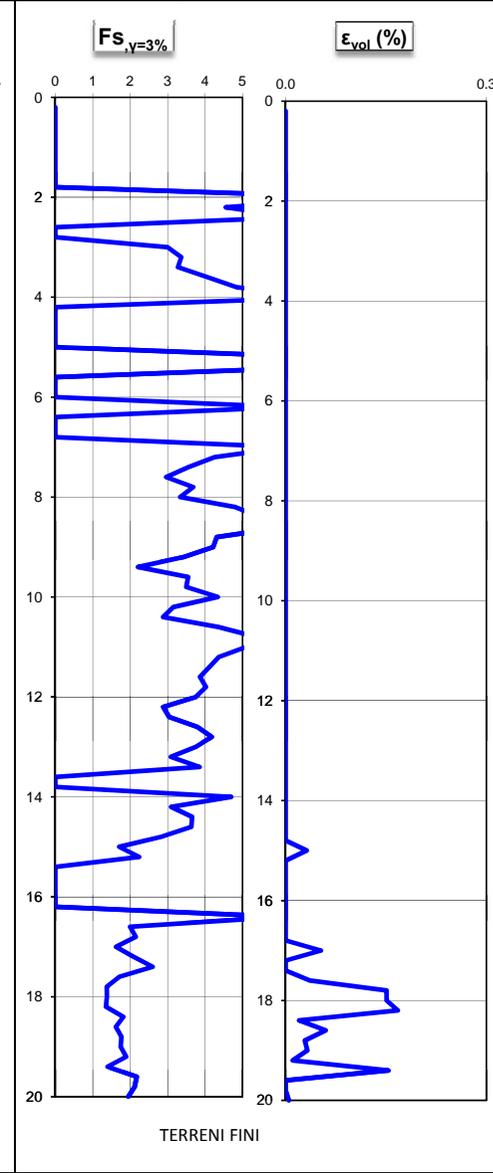
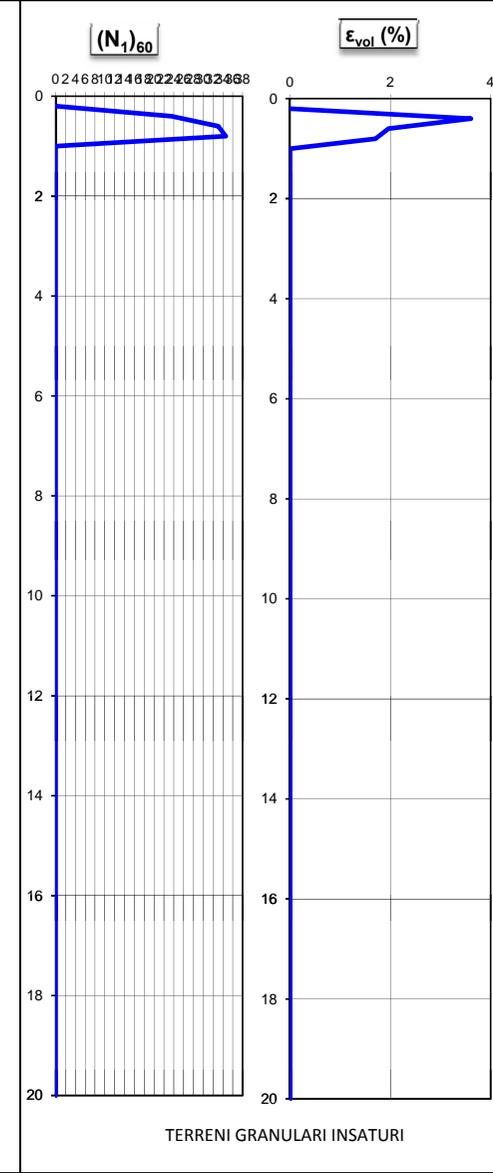
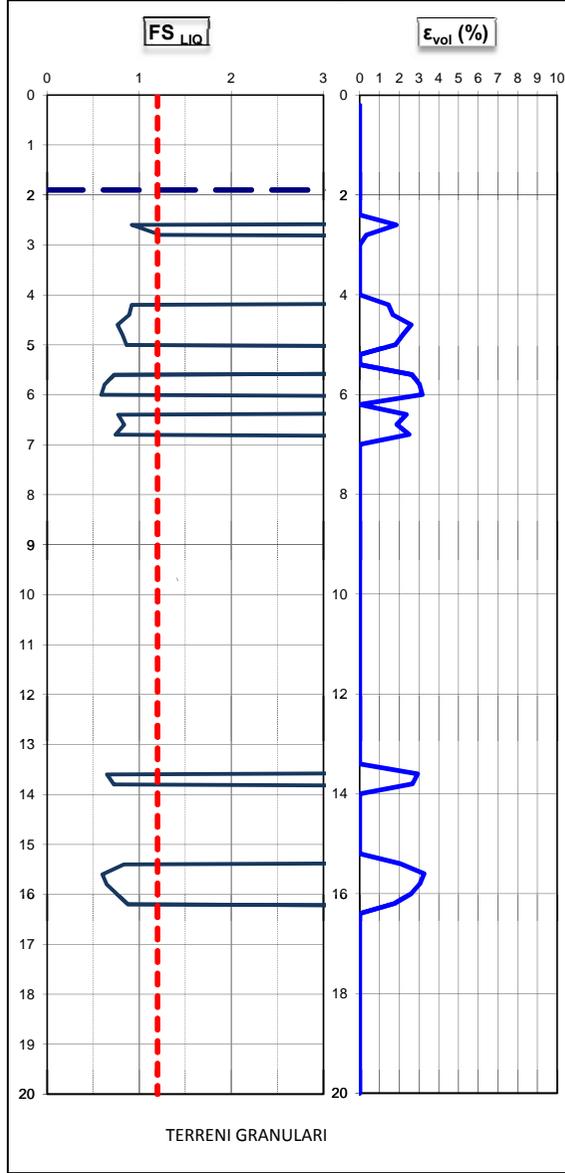
Informazioni generali		Informazioni di input		 Software by Dott.Geol.A.Fiori	Informazioni e Risultati analisi		
Comune	Carpi	data	26/05/2016		AGI, Associazione Geotecnica Italiana, 2005. Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica. Linee Guida.	STUDIO GEOLOGICO FIORI ALBERTO	
Via	Martinelli	Profondita falda da pdc (m) =	1.90	Via Radici in Piano, 371 - Formigine (MO)			
Lat.	/	Magnitudo $M_w$ :	6.14	tel 059.550703 - cell. 338.6190797			
Long	/	accelerazione $a_{max}$ (g) :	0.261	$I_L$ (indice del potenziale liquefazione) =		4.81	
Prova	CPT2			Rischio di liquefazione =		<b>moderato</b>	



**ALLEGATO N° 6**  
**CEDIMENTI SISMICI E POSTSISMICI**



Informazioni generali		Informazioni di input		Informazioni e Risultati analisi		
Comune	Carpi	data	26/05/2016	<b>CALCOLO CEDIMENTI SISMICI E POST-SISMICI</b>		
Via	Martinelli	Profondita falda da pdc (m) =	1.90			
Lat.	/	Magnitudo $M_w$ :	6.14	<b>STUDIO GEOLOGICO FIORI ALBERTO</b>		
Long	/	accelerazione $a_{max}$ (g) :	0.261	<b>Via Radici in Piano, 371 - Formigine (MO)</b>		
Prova	CPT1			Metodologia verifica liquefazione		AGI 2005
				<b>tel 059.550703 - cell. 338.6190797</b>		

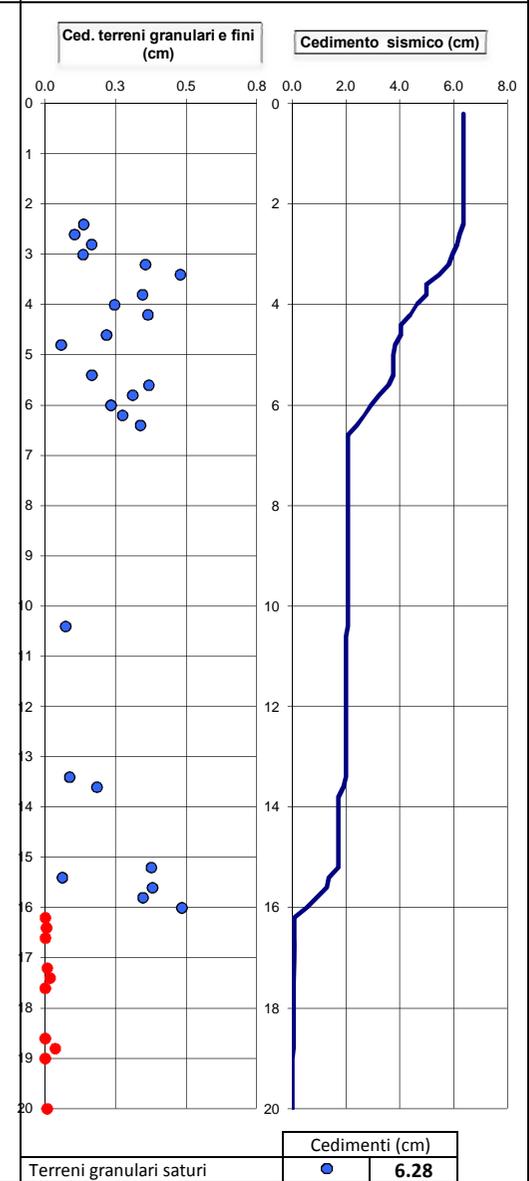
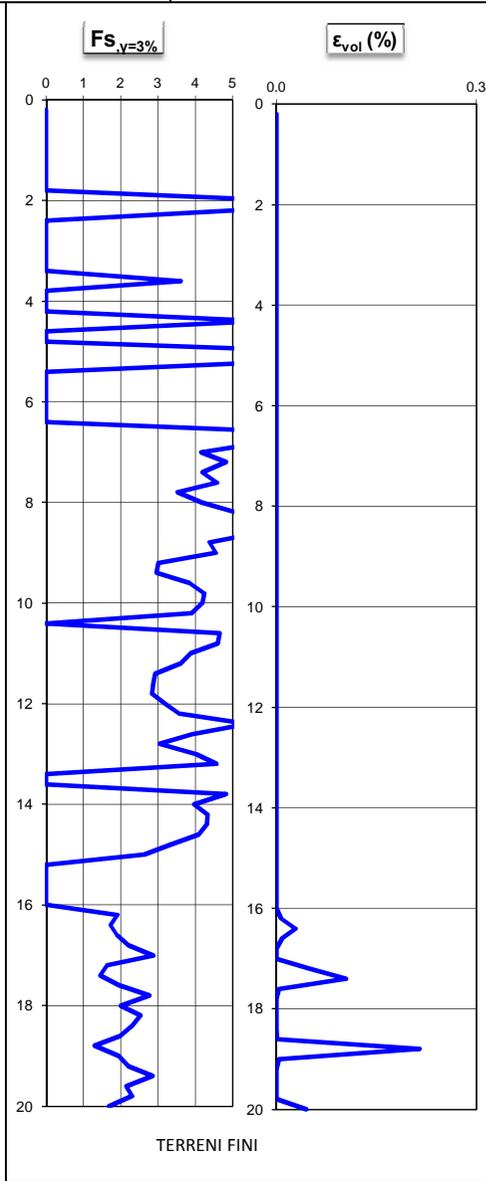
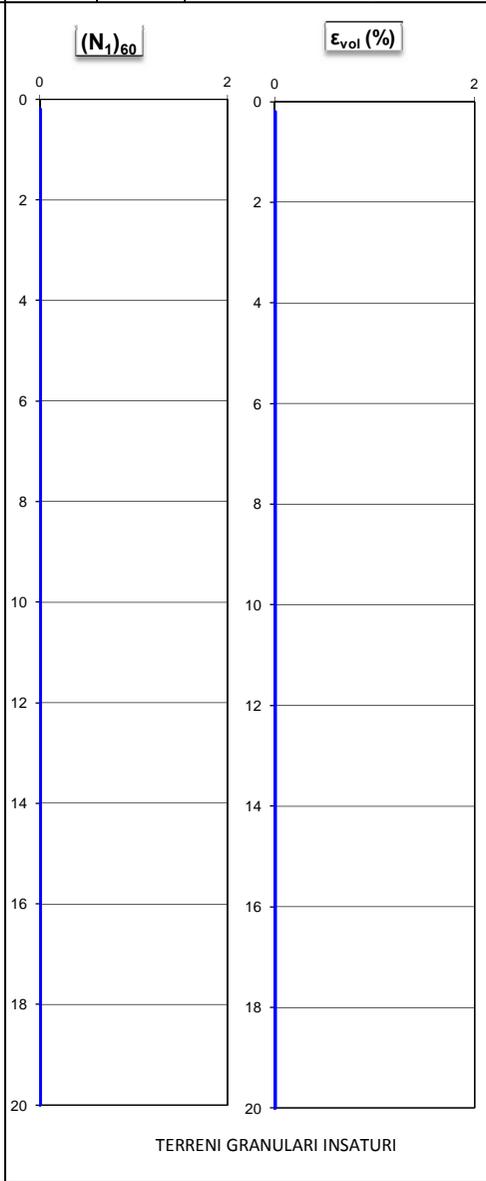
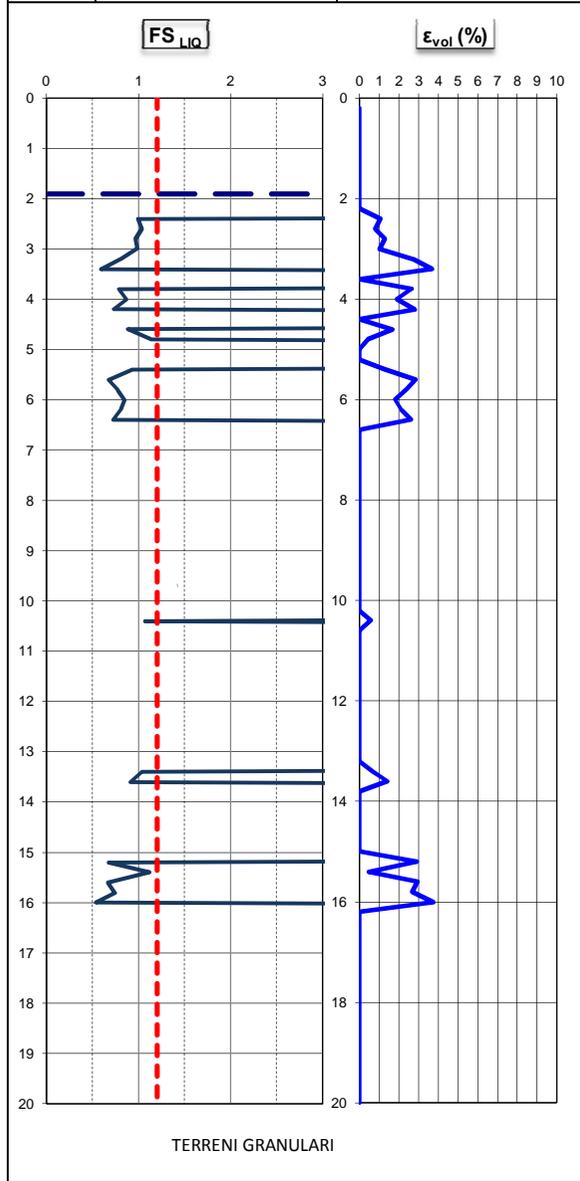


G. Zhang, P.K. Robertson, and R.W.I. Brachman, 2002 - Estimating liquefaction-induced ground settlements from CPT for level ground

Metodo di Krinitzsky et al, 1993  
 (N1)60 ----> Idriss & Boulanger, 2004  
 DR ----> Fred (Feng) Yi, 2010

P.K. Robertson (2009) - Performance based earthquake design using the CPT

Informazioni generali		Informazioni di input		Informazioni e Risultati analisi		
Comune	Carpì	data	26/05/2016	<b>CALCOLO CEDIMENTI SISMICI E POST-SISMICI</b> STUDIO GEOLOGICO FIORI ALBERTO Via Radici in Piano, 371 - Formigine (MO) tel 059.550703 - cell. 338.6190797		
Via	Martinelli	Profondità falda da pdc (m) =	1.90			
Lat.	/	Magnitudo $M_w$ :	6.14			
Long	/	accelerazione $a_{max}$ (g) :	0.261			
Prova	CPT2			Metodologia verifica liquefazione	AGI 2005	



	Cedimenti (cm)	
Terreni granulari saturi	●	<b>6.28</b>
Terreni fini	●	<b>0.08</b>
Terreni granulari insaturi	●	<b>0.00</b>
Totale		<b>6.36</b>

G. Zhang, P.K. Robertson, and R.W.I. Brachman, 2002 - Estimating liquefaction-induced ground settlements from CPT for level ground

Metodo di Krinitzsky et al, 1993  
 (N1)60 ----> Idriss & Boulanger, 2004  
 DR ----> Fred (Feng) Yi, 2010

P.K. Robertson (2009) - Performance based earthquake design using the CPT