

COMUNE DI CARPI

PROVINCIA DI MODENA

CAPO V° Città da trasformare

Art. 61 Zone di trasformazione direzionale-commerciale (tipo F)

(Var. 17 C.C. n°51/2008 - Var. 19 C.C. n°114/2009 - Var. 24 C.C. n°133/2011)

PIANO PARTICOLAREGGIATO DI INIZIATIVA PRIVATA COMPARTO F10

PROPRIETA'

FINIMCAR s.r.l.

Via dei Terrazzieri 2/4 - 41012 Carpi (MO)

P.IVA 01986070363

Legale rappresentante: GUIZZARDI DUILIO

COPERNICO S.r.l.

Via Pisacane 2 - 41012 Carpi (MO)

P.IVA 02895630362

Legale rappresentante: ZACCARINI FAUSTINO

FORONI PAOLO

Via Nuova Ponente 17 - 41012 Carpi (MO)

C.F. FRNPLA57D28B819D

FORONI GIANCARLO

Via San Francesco 17 - 41012 Carpi (MO)

C.F. FRNGCR61E02B819U

FORONI TIZIANA

Via Mozart 6 - 41012 Carpi (MO)

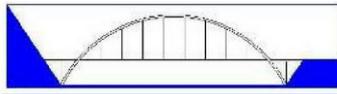
C.F. FRNTZN63M56B819V

BENETTI ALMA

Via Nuova Ponente 17 - 41012 Carpi (MO)

C.F. BNTLMA28M64B819O

(rappresentata da Foroni Paolo con procura Notaio Fiori Aldo del 16/12/2013)



ENSER srl
SOCIETA' DI INGEGNERIA

CONSULENTE

Viale Baccarani, 29 - 48018 Faenza (RA) - Web www.enser.it
email enser@enser.it - Tel. +36.0546.663423 - P.IVA 02058800398

COORDINATORE GENERALE DELLA PROGETTAZIONE

STUDIO TECNICO RIGHETTI Geometra MARCO - Via Arno 34 - 41019 Soliera (MO) - P.IVA 02346930361

3387137142 - email geometrarihettimarco@gmail.com

ELABORATO

G/2

DESCRIZIONE

RELAZIONE SISMICA



DATA

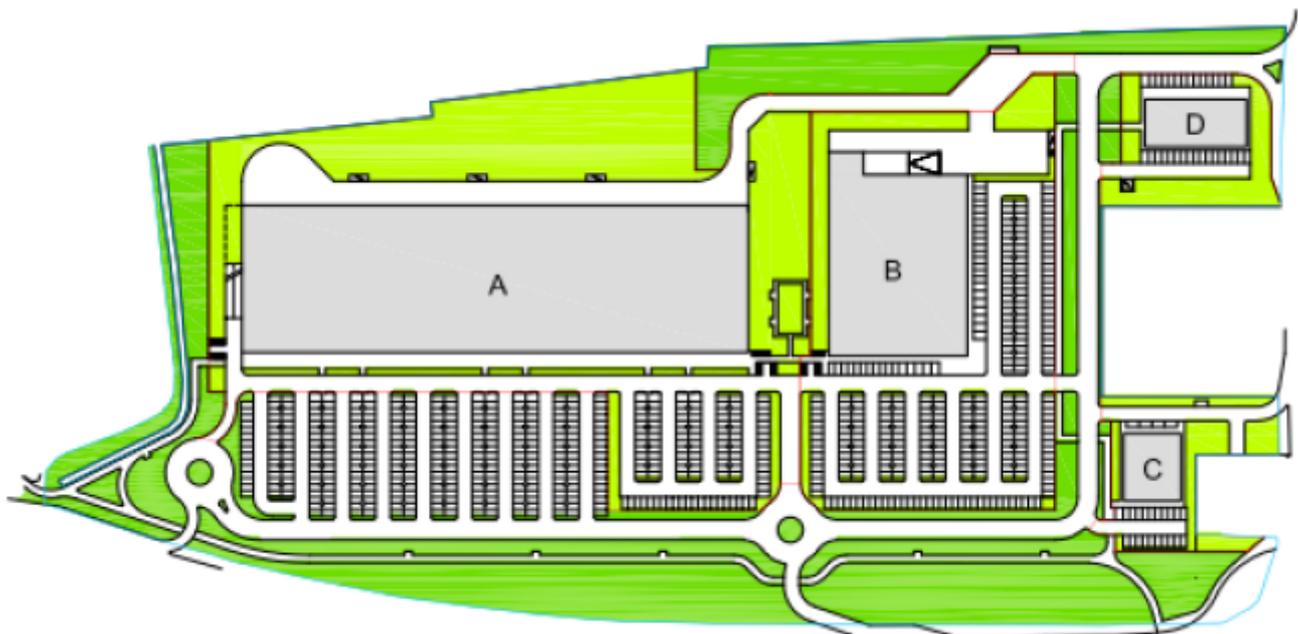
2015.10.20

AGGIORNAMENTO

REV. 0

FINIMCAR S.r.l.

PROGETTO DI URBANIZZAZIONE INDUSTRIALE DEL COMPARTO COMMERCIALE-DIREZIONALE F10 SITO IN CARPI



RELAZIONE SISMICA

Dott. Geol. Stefano Ferro

Dott. Ing. Gianfranco Marchi

Codice S14026-CT-RE-003-1



Rev.	Data	Redatto	Controllato
0	15.06.2015	Stefano Ferro	Gianluca Benedetti
1	02.10.2015	Stefano Ferro	Gianluca Benedetti
2			

Approvato
Gianfranco Marchi
Gianfranco Marchi



Sede Principale:
Viale Baccarini, 29
48018 FAENZA (RA)
Tel. 0546 663423/56
Fax 0546 663428

Sede di Bologna:
Via Zacconi, 16
40127 BOLOGNA (BO)
Tel. 051 245663
Fax 051 242251

Sede di Santarcangelo:
Via Andrea Costa, 115
47822 SANTARCANGELO DI
ROMAGNA (RN)
Tel. 0541 1832933
Fax 0541 1832936

	Committente: FINIMCAR S.r.l.	Documento: Relazione Sismica
	Lavoro: COMPARTO F10 - CARPI (MO)	Codice: S14026-CT-RE-003-1 Data: 02/10/2015

INDICE

1.	PREMESSA	4
2.	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
3.	CLASSIFICAZIONE SISMICA	6
3.1	INDAGINI IN SITO	6
4.	STORIA SISMICA	7
4.1	SEQUENZA SISMICA DEL MAGGIO 2012	10
5.	SORGENTI SISMOGENETICHE	13
6.	MAGNITUDO DI RIFERIMENTO	15
6.1	DISAGGREGAZIONE DEL TERREMOTO DI PROGETTO	15
6.2	MAGNITUDO MASSIMA ATTESA DA ZS9	15
7.	AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO	17
7.1	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	17
7.2	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	18
7.3	VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA	18
8.	VALUTAZIONI IN MERITO AL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE – CRITERI DI CALCOLO	20
8.1	GENERALITÀ	20
8.2	VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE E CEDIMENTO POST-SISMICO DEI LIVELLI GRANULARI SATURI	21
8.2.1	<i>Programma di calcolo utilizzato</i>	21
8.2.2	<i>Valutazione del rapporto di tensione ciclica "CSR"</i>	22
8.2.3	<i>Valutazione del rapporto di resistenza ciclica "CRR"</i>	22
8.2.4	<i>Stima dei cedimenti per effetto del sisma</i>	25
9.	ANALISI DI LIQUEFAZIONE E STIMA DEL CEDIMENTO POST- SISMICO DEI LIVELLI GRANULARI SATURI	26
9.1	FUSI GRANULOMETRICI DEI TERRENI IN SITO	26
9.2	PARAMETRI DI BASE PER LE ANALISI DI LIQUEFAZIONE	29
9.3	RISULTATI DELLE ANALISI DI LIQUEFAZIONE	29
10.	SINTESI CONCLUSIVA	43

TABELLE

TABELLA 4.1.	STORIA SISMICA DEL COMUNE DI CARPI (MO)	9
TABELLA 9.1.	LIMITI DI ATTERBERG DETERMINATI IN LABORATORIO	28
TABELLA 9.2.	INDICE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE E CEDIMENTI POST-SISMICI DEI TERRENI GRANULARI SATURI	30

	Committente: FINIMCAR S.r.l.	Documento: Relazione Sismica
	Lavoro: COMPARTO F10 - CARPI (MO)	Codice: S14026-CT-RE-003-1 Data: 02/10/2015

FIGURE

FIGURA 1.1. LOCALIZZAZIONE DELL'INTERVENTO RELATIVO AL COMPARTO COMMERCIALE- DIREZIONALE F10.....	4
FIGURA 3.1. CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI COMUNI DELL'EMILIA-ROMAGNA	6
FIGURA 4.1. STORIA SISMICA DEL COMUNE DI CARPI (MO).	9
FIGURA 4.2. MAPPA EPICENTRALE DELLA SEQUENZA SISMICA PER IL PERIODO 16/05/2012÷05/11/2012.....	10
FIGURA 4.3. MAPPA INGV E DATI RAN EVENTO SISMICO DEL 20 MAGGIO	11
FIGURA 4.4. MAPPA INGV E DATI RAN EVENTO SISMICO DEL 29 MAGGIO	12
FIGURA 5.1. SORGENTI SIMOGENETICHE CONTENUTE NELLA NUOVA VERSIONE DEL "DATABASE OF POTENTIAL SOURCES FOR EARTHQUAKES LARGER THAN M 5.5 IN ITALY" PER L'AREA IN OGGETTO.	13
FIGURA 6.1. GRAFICO DI DISGREGAZIONE INGV.	16
FIGURA 8.1. DETERMINAZIONE RESISTENZA CICLICA (ROBERTSON & WRIDE MOD._1997).....	24
FIGURA 8.2. DETERMINAZIONE DEFORMAZIONE VOLUMETRICA (ISHIHARA E YOSEMINE_1990)..	25
FIGURA 9.1. CURVE GRANULOMETRICHE RELATIVE AI CAMPIONI PRELEVATI NEL SONDAGGIO S1.	27
FIGURA 9.2. CURVE GRANULOMETRICHE RELATIVE AI CAMPIONI PRELEVATI NEL SONDAGGIO S2.	28
FIGURA 9.3: ANALISI DI LIQUEFAZIONE (CPTU1).	31
FIGURA 9.4: ANALISI DI LIQUEFAZIONE (CPTU2).	32
FIGURA 9.5: ANALISI DI LIQUEFAZIONE (CPTU3).	33
FIGURA 9.6: ANALISI DI LIQUEFAZIONE (CPTU4).	34
FIGURA 9.7: ANALISI DI LIQUEFAZIONE (CPTU5).	35
FIGURA 9.8: ANALISI DI LIQUEFAZIONE (CPTU6).	36
FIGURA 9.9: ANALISI DI LIQUEFAZIONE (CPTU7).	37
FIGURA 9.10: ANALISI DI LIQUEFAZIONE (CPTU8).	38
FIGURA 9.11: ANALISI DI LIQUEFAZIONE (CPTU9).	39
FIGURA 9.12: ANALISI DI LIQUEFAZIONE (CPTU10).....	40
FIGURA 9.13: ANALISI DI LIQUEFAZIONE (CPTU11).	41
FIGURA 9.14: ANALISI DI LIQUEFAZIONE (CPTU12).....	42

APPENDICI

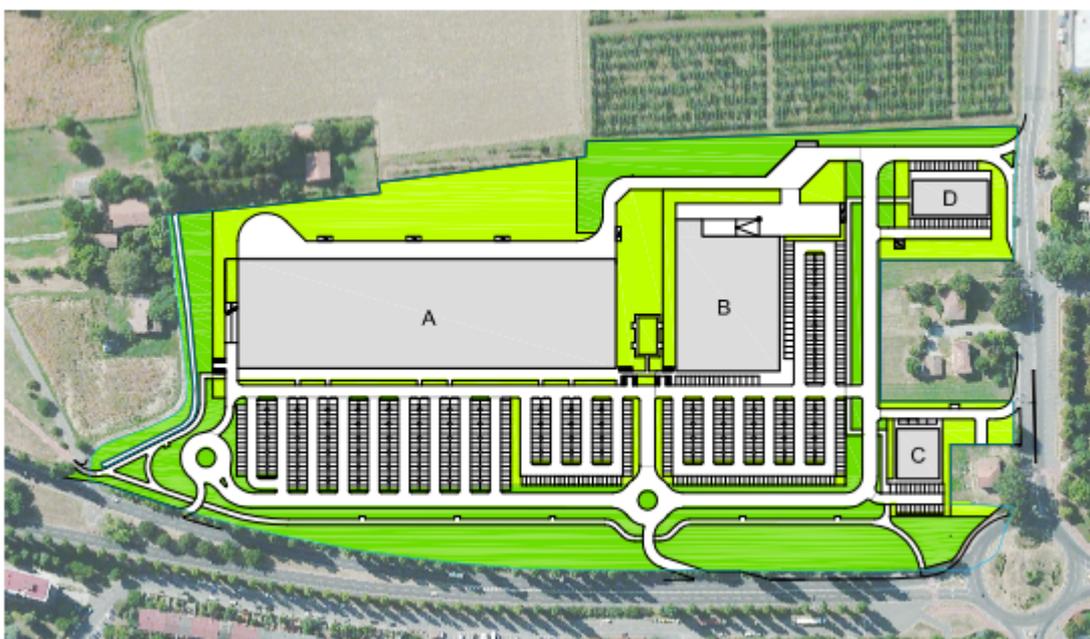
APPENDICE A: INDAGINI GEOFISICHE	44
--	----

 ENSER SOCIETA' DI INGEGNERIA	Committente: FINIMCAR S.r.l.	Documento: Relazione Sismica
	Lavoro: COMPARTO F10 - CARPI (MO)	Codice: S14026-CT-RE-003-1 Data: 02/10/2015

1. PREMESSA

La presente relazione sismica viene redatta nell'ambito dell'incarico conferito agli Scriventi per la consulenza geologica, geotecnica e sismica a supporto del progetto di urbanizzazione industriale del comparto commerciale-direzionale F10 sito in Carpi (MO), angolo via Nuova Ponente – tangenziale Bruno Losi.

Tale intervento urbanistico prevede la realizzazione di diversi fabbricati, tra cui un centro commerciale (A), un edificio commerciale (B), un edificio ad uso ristorazione (C), nonché uno ad uso direzionale/uffici (D).



Lo studio è volto alla definizione degli aspetti sismici del sito e alla valutazione degli effetti di sito secondo Normativa (D.M. 14.01.2008).

In particolare, vengono trattati i seguenti aspetti:

1. normativa di riferimento;
2. classificazione sismica del territorio ai sensi dell'OPCM 3274/2003 e s.m.i.;
3. definizione della sismicità storica;
4. individuazione delle principali strutture sismogenetiche;
5. definizione della magnitudo di riferimento;
6. definizione dei parametri necessari alla definizione dell'azione sismica di riferimento e valutazione dell'azione sismica;
7. valutazione ed analisi in merito alla liquefazione.

	Committente: FINIMCAR S.r.l.	Documento: Relazione Sismica
	Lavoro: COMPARTO F10 - CARPI (MO)	Codice: S14026-CT-RE-003-1 Data: 02/10/2015

2. **NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

La normativa e la documentazione tecnica di riferimento è la seguente:

1. D.M. 14.01.2008, "Norme tecniche per le costruzioni";
2. D.M. 06.05.2008, integrazione al D.M. 14 gennaio 2008;
3. Circ. Min. II.TT. 02.02.2009, n. 617, "Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14.01.2008".
4. OPCM 3274/2003, Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.
5. Delibera dell'Assemblea legislativa progr. n°112 - oggetto n°3121 del 2 maggio 2007: "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica";

La documentazione di riferimento è costituita dai seguenti elaborati:

- Relazione Geologica di progetto (cod. elab. S14026-CT-RE-002-1);
- Relazione Geotecnica di progetto (cod. elab. S13201-PE-RE-004-1).

	Committente: FINIMCAR S.r.l.	Documento: Relazione Sismica
	Lavoro: COMPARTO F10 - CARPI (MO)	Codice: S14026-CT-RE-003-1 Data: 02/10/2015

3. CLASSIFICAZIONE SISMICA

3.1 Indagini in sito

Per quanto concerne la classificazione sismica del territorio in esame, come indicato nella Delibera di Giunta Regionale n.1677/2005, a decorrere dal 23/10/2005 trova attuazione la classificazione sismica dei Comuni della Regione Emilia Romagna (Figura 3.1), stabilita dall'Allegato 1, punto 3 dell'Ordinanza n.3274/2003, la quale ha introdotto una nuova classificazione sismica, suddividendo il territorio nazionale in quattro zone caratterizzate da diverso grado di sismicità e sottoposte alle normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.

Le zone sono definite rispettivamente ad alta sismicità la zona 1, a media sismicità la zona 2 e a bassa sismicità la zona 3, mentre nella zona 4 viene demandata alle regioni la facoltà di imporre o meno l'obbligo della normativa.

Come stabilito dall'allegato B della D.G.R. n.1677/2005, il Comune di Carpi risulta classificato in zona "3", come riportato nella sottostante Figura 3.1.

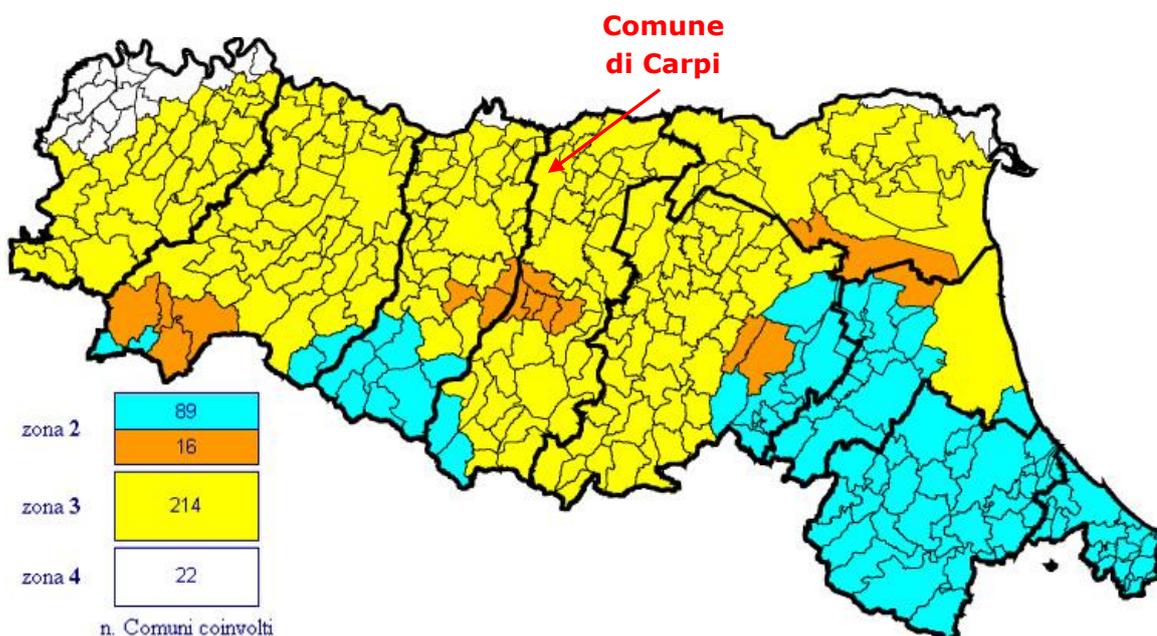


Figura 3.1. Classificazione sismica dei Comuni dell'Emilia-Romagna

	Committente: FINIMCAR S.r.l.	Documento: Relazione Sismica
	Lavoro: COMPARTO F10 - CARPI (MO)	Codice: S14026-CT-RE-003-1 Data: 02/10/2015

4. STORIA SISMICA

Al fine di inquadrare dal punto di vista della sismicità storica l'area in esame, si riporta di seguito un breve riepilogo delle osservazioni macrosismiche di terremoti al di sopra della soglia del danno che hanno interessato storicamente il Comune di Carpi.

Nello specifico, le informazioni riportate di seguito derivano dalla consultazione del DBMI11, il database macrosismico utilizzato per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI11.

Pertanto, nella successiva tabella si intende:

Is	Intensità al sito (scala MCS)
Anno	Tempo origine: anno
Me	Tempo origine: mese
Gi	Tempo origine: giorno
Or	Tempo origine: ora
Mi	Tempo origine: minuti
Se	Tempo origine: secondi
Io	Intensità epicentrale nella scala MCS
Mw	Magnitudo momento

Storia sismica di Carpi [44.784, 10.885] Numero di eventi disponibili: 63

Effetti	In occasione del terremoto del:			
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
D	<u>1117 01 03 15:15</u>	Veronese	55	9-10 6.69 ±0.20
F	<u>1474 03 11 20:30</u>	MODENA	12	5 4.30 ±0.34
NR	<u>1547 02 10 13:20</u>	Reggio Emilia	13	7 5.14 ±0.34
5	<u>1624 03 19 19:45</u>	Argenta	18	7-8 5.47 ±0.49
6-7	<u>1661 03 21 23:00</u>	Modenese	4	6-7 4.93 ±0.34
5	<u>1666 04 14 18:58</u>	Bolognese	3	5 4.30 ±0.34
5-6	<u>1671 06 20 10:00</u>	Modena-Reggio Emilia	8	7 5.25 ±0.72
4	<u>1672 04 14 15:45</u>	Riminense	92	8 5.61 ±0.21
4-5	<u>1695 02 25 05:30</u>	Asolano	82	10 6.48 ±0.18
6-7	<u>1806 02 12</u>	NOVELLARA	28	7 5.19 ±0.39
4-5	<u>1811 07 15 22:44</u>	SASSUOLO	21	6-7 5.25 ±0.40
6	<u>1818 12 09 18:55</u>	Parmense	26	7 5.28 ±0.35
F	<u>1828 10 09 02:20</u>	Valle Staffora	114	8 5.76 ±0.15
F	<u>1831 07 14 15:30</u>	Reggiano	8	5-6 4.69 ±0.44

	Committente: FINIMCAR S.r.l.	Documento: Relazione Sismica
	Lavoro: COMPARTO F10 - CARPI (MO)	Codice: S14026-CT-RE-003-1 Data: 02/10/2015

Effetti	In occasione del terremoto del:				
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw	
6	<u>1831 09 11 18:15</u>	Reggiano	25	7-8	5.54 ±0.32
3-4	<u>1831 09 13 05:30</u>	Reggiano	7		
6	<u>1832 03 11 06:45</u>	Carpi (MO)	14	5	4.80 ±0.37
5	<u>1832 03 11 08:45</u>	Reggiano	14		
7	<u>1832 03 13 03:30</u>	Reggiano	98	7-8	5.53 ±0.18
3	<u>1834 02 14 13:15</u>	Valle del Taro-Lunigiana	112	9	5.83 ±0.15
4	<u>1834 07 04 00:45</u>	Lunigiana-Parmense	24		
3	<u>1834 10 04 19:00</u>	Bolognese	12	6	4.85 ±0.43
3	<u>1837 04 11 17:00</u>	Alpi Apuane	60	9	5.81 ±0.20
3	<u>1846 08 14 12:00</u>	Toscana settentrionale	122	9	5.91 ±0.13
F	<u>1850 09 18 06:20</u>	Modenese	7	5	4.30 ±0.34
4-5	<u>1887 02 23 05:21:50</u>	Liguria occidentale	1516		6.97 ±0.15
3	<u>1889 03 08 02:57:04</u>	Bolognese	38	5	4.73 ±0.22
NF	<u>1898 01 16 12:10:05</u>	Romagna settentrionale	73	6-7	4.79 ±0.33
NF	<u>1908 06 28 03:19:58</u>	Finale Emilia	15	5	4.27 ±0.53
5	<u>1909 01 13 00:45</u>	BASSA PADANA	799	6-7	5.53 ±0.09
NF	<u>1909 08 25 00:22</u>	MURLO	283	7-8	5.37 ±0.10
NF	<u>1910 03 22 23:29</u>	Bassa modenese	15	5	4.30 ±0.34
6	<u>1914 10 27 09:22:36</u>	Garfagnana	618	7	5.76 ±0.09
4	<u>1915 10 10 23:08</u>	REGGIO EMILIA	30	6	5.02 ±0.22
3	<u>1916 08 16 07:06</u>	Alto Adriatico	257		6.14 ±0.14
4-5	<u>1918 05 06 08:05</u>	Reggiano	8	5-6	4.52 ±0.69
6	<u>1919 06 29 15:06:12</u>	Mugello	566	10	6.29 ±0.09
6	<u>1920 09 07 05:55:40</u>	Garfagnana	756	10	6.48 ±0.09
3-4	<u>1923 06 28 15:11:30</u>	FORMIGINE	22	6	4.88 ±0.24
7	<u>1928 06 13 08:00</u>	CARPI	35	6	4.78 ±0.23
3	<u>1929 04 10 05:43:12</u>	Bolognese	87	7	5.03 ±0.13
5	<u>1929 04 19 04:15:22</u>	Bolognese	82		
5	<u>1929 04 20 01:09:46</u>	Bolognese	109	7	5.34 ±0.13
4-5	<u>1929 04 22 08:25:33</u>	Bolognese	41		
4	<u>1929 05 11 19:22:48</u>	Bolognese	64		
4	<u>1936 10 18 03:10:12</u>	BOSCO CANSIGLIO	267	9	6.12 ±0.09

	Committente: FINIMCAR S.r.l.	Documento: Relazione Sismica
	Lavoro: COMPARTO F10 - CARPI (MO)	Codice: S14026-CT-RE-003-1 Data: 02/10/2015

Effetti	In occasione del terremoto del:						
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io	Mw		
3-4	<u>1937 12 10 18:03:46</u>	APP. MODENESE	28	6	5.17	±0.25	
4	<u>1939 10 15 14:05</u>	Garfagnana	62	6-7	5.08	±0.16	
2	<u>1957 08 27 11:54:40</u>	ZOCCA	58	5	4.65	±0.21	
4	<u>1967 04 03 16:36:18</u>	Reggiano	47	5-6	4.69	±0.19	
6	<u>1971 07 15 01:33:23</u>	Parmense	229	8	5.64	±0.09	
5	<u>1971 09 11 23:18:12</u>	Correggio	15	5	4.23	±0.31	
5	<u>1978 12 25 22:53:42</u>	Bassa mantovana	28	5	4.22	±0.22	
3-4	<u>1980 12 23 12:01:06</u>	Piacentino	38	6-7	4.60	±0.09	
4	<u>1983 11 09 16:29:52</u>	Parmense	850	6-7	5.06	±0.09	
2	<u>1986 12 06 17:07:20</u>	BONDENO	604	6	4.61	±0.10	
6	<u>1987 05 02 20:43:53</u>	Reggiano	802	6	4.74	±0.09	
5	<u>1988 03 15 12:03:18</u>	Reggiano	160	6	4.66	±0.12	
4	<u>1989 09 13 21:54:01</u>	PASUBIO	779	6-7	4.88	±0.09	
6-7	<u>1996 10 15 09:56:02</u>	Correggio	135	7	5.41	±0.09	
4	<u>1997 05 12 22:13:51</u>	Reggiano	56	4-5	4.22	±0.27	
5	<u>2000 06 18 07:42:08</u>	Parmense	300	5-6	4.43	±0.09	
4	<u>2003 09 14 21:42:53</u>	Appennino bolognese	133	6	5.29	±0.09	

Tabella 4.1. Storia sismica del comune di Carpi (MO).

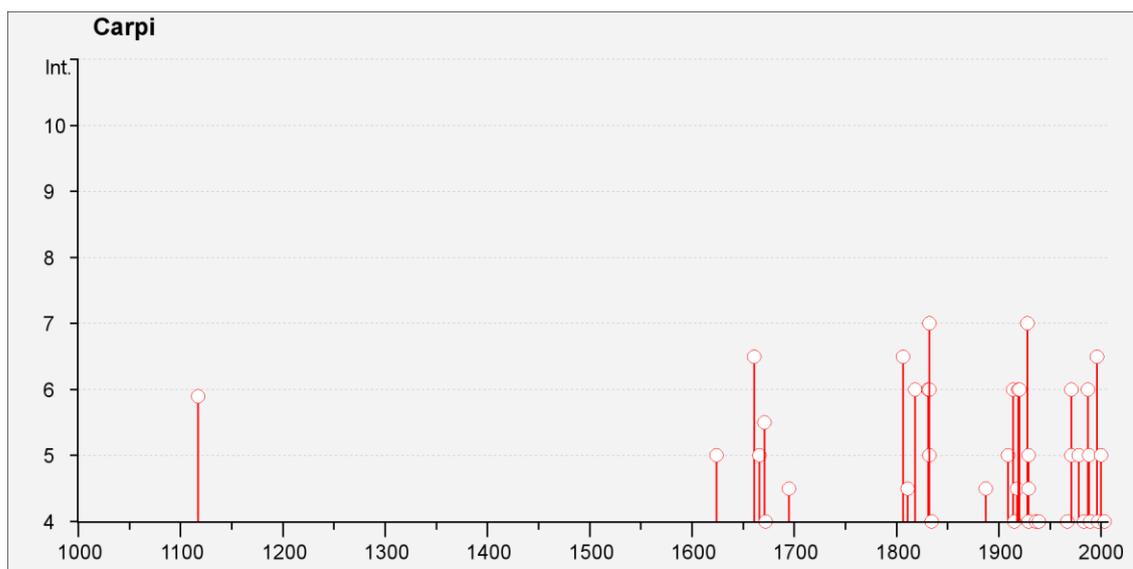


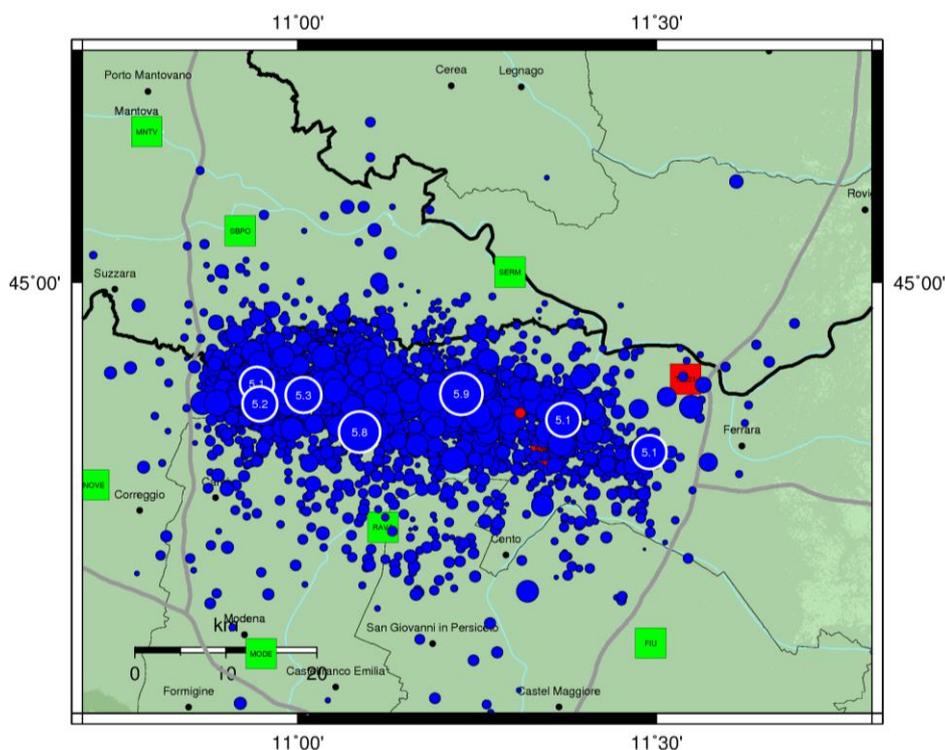
Figura 4.1. Storia sismica del comune di Carpi (MO).

 ENSER SOCIETA' DI INGEGNERIA	Committente: FINIMCAR S.r.l.	Documento: Relazione Sismica
	Lavoro: COMPARTO F10 - CARPI (MO)	Codice: S14026-CT-RE-003-1 Data: 02/10/2015

4.1 Sequenza sismica del maggio 2012

In data 20 maggio 2012, ore 04:03, nel distretto sismico denominato "Pianura Padana Emiliana", è avvenuto un sisma di magnitudo (MI) pari a 5.9 della scala Richter. Tale sisma, localizzato dalla Rete Sismica Nazionale INGV, ha un epicentro posto a nord di Mirandola. La profondità ipocentrale è stimata a 6.3 Km dalla superficie.

In seguito a questo evento si è instaurata una lunga sequenza sismica, tuttora in atto, sebbene in attenuazione, che ha interessato l'intera Dorsale Ferrarese, con frequenti eventi di magnitudo superiore a 4.0 gradi e ben 7 eventi in totale con magnitudo superiore a 5.0.



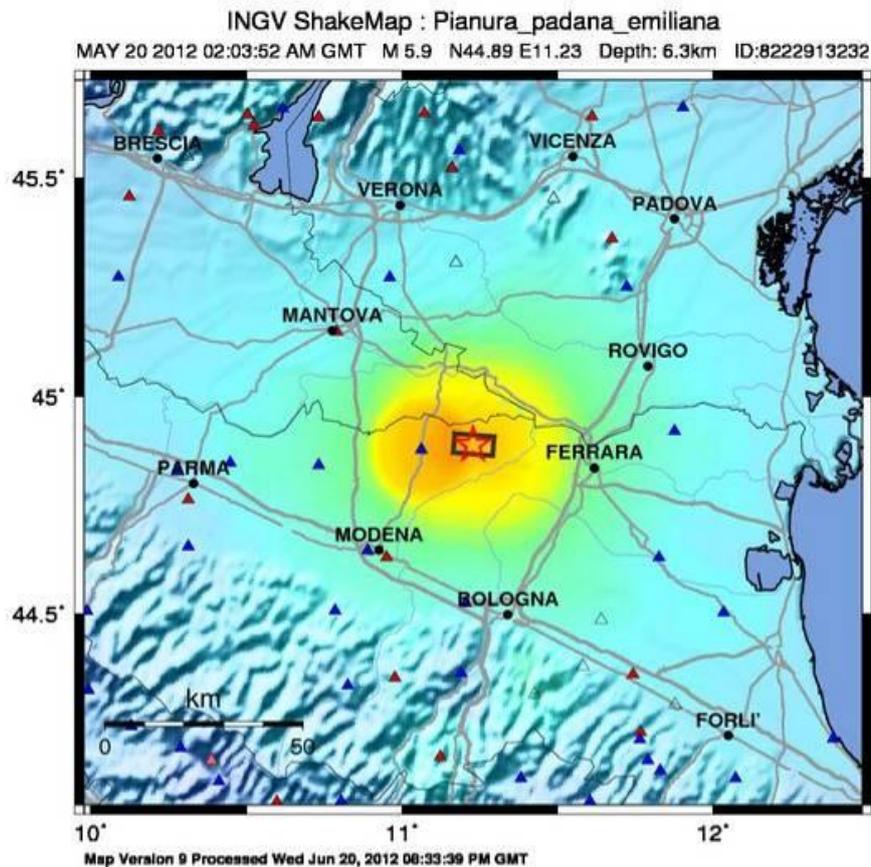
Aggiornata al 2012-11-05,13:00:09 UTC, numero di eventi 2494

Figura 4.2. Mappa epicentrale della sequenza sismica per il periodo 16/05/2012÷05/11/2012.

Le figure che seguono riportano le mappe di scuotimento redatte dall'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) e i dati accelerometrici RAN (Rete Accelerometrica Nazionale) della stazione di Mirandola (MRN) per gli eventi sismici maggiormente intensi e significativi del maggio 2012.

La prima figura fa riferimento alla scossa della domenica 20 maggio, ore 02:03 GMT (4:03 locali), magnitudo locale (ML) pari a 5.9 e durata di 20 s, con epicentro a Finale Emilia e ipocentro a profondità pari a 6.3 km.

 ENSER SOCIETA' DI INGEGNERIA	Committente: FINIMCAR S.r.l.	Documento: Relazione Sismica
	Lavoro: COMPARTO F10 - CARPI (MO)	Codice: S14026-CT-RE-003-1 Data: 02/10/2015



PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Mod./Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC.(%g)	<0.1	0.5	2.4	6.7	13	24	44	83	>156
PEAK VEL.(cm/s)	<0.07	0.4	1.9	5.8	11	22	43	83	>160
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

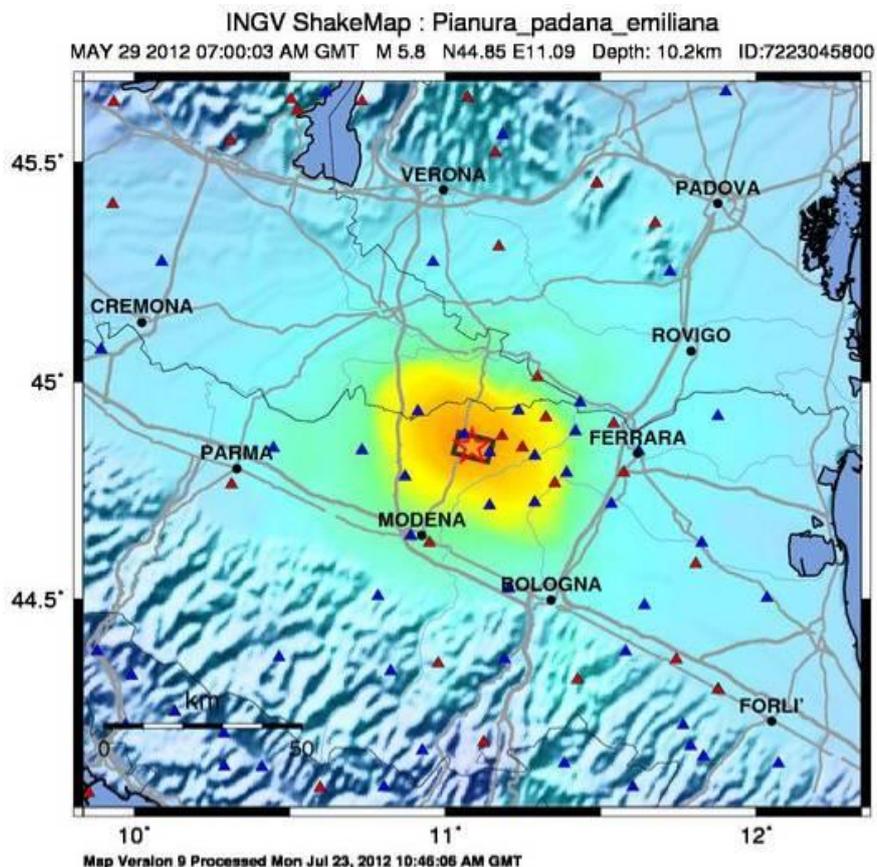
Scale based upon Wald, et al.; 1999

MRN:		Agency: RAN			
Lat: 44.8782 Lon: 11.0617 Distance: 8.1 km from epicenter					
Intensity: 8.2					
Station Comp	Max Vel (cm/s)	Max Acc (%g)	PSA: 0.3 sec (%g)	1.0 sec (%g)	3.0 sec (%g)
HGN	47.0000	26.5036	74.4139	56.0652	7.7472
HGZ	5.9000	30.5810	19.3680	4.3833	1.3252
HGE	30.0000	26.5036	84.6075	28.5423	4.9949

Figura 4.3. Mappa INGV e dati RAN evento sismico del 20 maggio

La seconda figura fa riferimento alla scossa del martedì 29 maggio, ore 07:00 GMT (9:00 locali) di magnitudo locale (ML) pari a 5.8 e con durata di 30 s, con epicentro a Medolla-Cavezzo e ipocentro a profondità pari a 9.6 km:

 ENSER SOCIETA' DI INGEGNERIA	Committente: FINIMCAR S.r.l.	Documento: Relazione Sismica
	Lavoro: COMPARTO F10 - CARPI (MO)	Codice: S14026-CT-RE-003-1 Data: 02/10/2015



PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Mod./Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC.(%g)	<0.1	0.5	2.4	6.7	13	24	44	83	>156
PEAK VEL.(cm/s)	<0.07	0.4	1.9	5.8	11	22	43	83	>160
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

Scale based upon Wald, et al., 1999

MRN:		Agency: RAN			
Lat: 44.8780	Lon: 11.0620	Distance: 0.0 km from epicenter			
Intensity: 8.4					
Station Comp	Max Vel (cm/s)	Max Acc (%g)	PSA: 0.3 sec (%g)	1.0 sec (%g)	3.0 sec (%g)
HGN	57.0000	29.5617	71.3558	37.7166	15.2905
HGZ	28.0000	91.7431	37.7166	9.2762	3.0581
HGE	29.0000	22.4261	50.9684	17.3293	8.2569

Figura 4.4. Mappa INGV e dati RAN evento sismico del 29 maggio

La vicina stazione di rilevamento RAN di Mirandola (MRN) ha registrato in occasione dei due eventi le seguenti accelerazioni massime al suolo (PGA):

- evento del 20 Maggio 2012: accelerazione massima pari a 0.265g;
- evento del 29 Maggio 2012: accelerazione massima pari a 0.296g.

 ENSER SOCIETA' DI INGEGNERIA	Committente: FINIMCAR S.r.l.	Documento: Relazione Sismica
	Lavoro: COMPARTO F10 - CARPI (MO)	Codice: S14026-CT-RE-003-1 Data: 02/10/2015

5. SORGENTI SISMOGENETICHE

Recentemente è stata presentata la nuova versione (vers. 3.1) del "Database of Potential Sources for Earthquakes larger than $M 5.5$ in Italy", inizialmente divulgato in forma preliminare nel luglio 2000 come versione 1.0 e quindi pubblicato nel 2001 come versione 2.0 (Valensise e Pantosti, 2001).

Il Database contiene sorgenti sismogenetiche individuali e composite ritenute in grado di generare grandi terremoti. La nuova versione del Database contiene oltre 100 sorgenti sismogenetiche identificate attraverso studi geologico-geofisici (70% in più rispetto alla precedente versione). Tali sorgenti ricadono sull'intero territorio italiano e su alcune regioni confinanti.

Dall'esame del Database (Figura 5.1) si osserva che il centro abitato di Carpi risulta prossimo a due sorgenti sismogenetiche costituenti la cosiddetta Dorsale Ferrarese: le sorgenti sismogenetiche composite Reggio Emilia-Rolo (cod. ITCS049) e Novi-Poggio Renatico (cod. ITCS051).

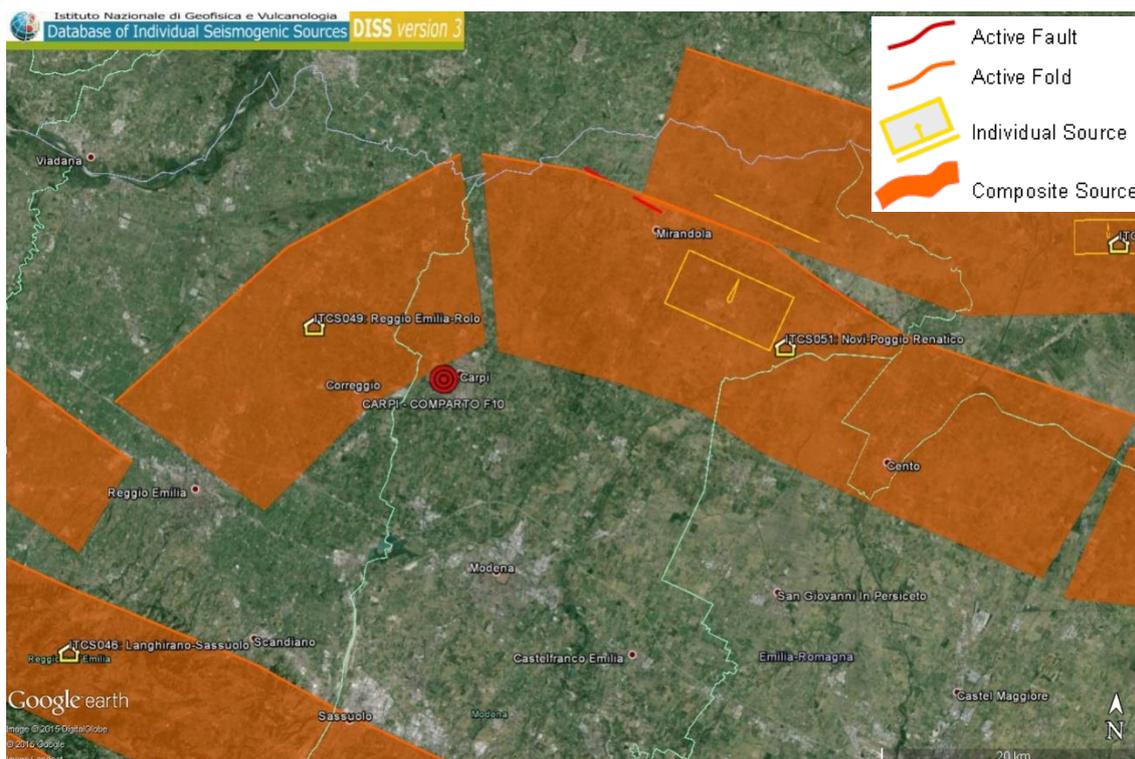


Figura 5.1. Sorgenti sismogenetiche contenute nella nuova versione del "Database of Potential Sources for Earthquakes larger than $M 5.5$ in Italy" per l'area in oggetto.

Nel seguito si fornisce una breve descrizione delle sorgenti sismogenetiche descritte.

- *Sorgente sismogenetica Reggio Emilia-Rolo (cod. ITCS049)*

	Committente: FINIMCAR S.r.l.	Documento: Relazione Sismica
	Lavoro: COMPARTO F10 - CARPI (MO)	Codice: S14026-CT-RE-003-1 Data: 02/10/2015

Questa sorgente composita è stata riconosciuta nell'area a nord-est della città di Reggio Emilia e costituisce il fronte esterno del thrust dell'arco ferrarese. I cataloghi storici e strumentali mostrano una serie di terremoti da intermedi a dannosi che hanno interessato l'area, con magnitudo M_w da 5.2 a 5.5. La magnitudo massima associata a tale sorgente è stata basata sui dati regionali di sismicità (M_w 5.5).

- *Sorgente sismogenetica Novi-Poggio Renatico (cod. ITCS051)*

Questa sorgente composita risulta ubicata nella regione della bassa valle del Reno e del Secchia e costituisce il fronte esterno del thrust dell'arco ferrarese. Questo sistema di faglie, NE vergente (verso l'esterno dell'arco), rappresenta il thrust più avanzato in direzione nord-est della catena appenninica, ben all'interno della piana del Po, con potenziali sorgenti sismogenetiche dannose.

Questa sorgente sismogenetica rappresenta la porzione principale del più esterno thrust cieco dell'Appennino Romagnolo e può spiegare l'elevata sismicità della regione. In realtà, i dati di sottosuolo (ad esempio, Cassano et al., 1986) mostrano anticlinali sepolte ben sviluppate, compresa quella di Mirandola. Inoltre, ci sono anomalie di drenaggio ben note in questo settore (es., Castaldini et al., 1979), per i quali Burrato et al. (2003) ipotizzano un'origine tettonica. Questi ultimi autori propongono che questi segmenti dei thrust ciechi, valutati da dati di sottosuolo, possono essere potenziali sorgenti di rari terremoti di $M_w > 5.5$ in questa zona.

La magnitudo massima è stata valutata in similitudine alla più grande sorgente singola associata a tale struttura composita (M_w 5,9).

	Committente: FINIMCAR S.r.l.	Documento: Relazione Sismica
	Lavoro: COMPARTO F10 - CARPI (MO)	Codice: S14026-CT-RE-003-1 Data: 02/10/2015

6. MAGNITUDO DI RIFERIMENTO

6.1 Disaggregazione del terremoto di progetto

Al fine di definire la Magnitudo (M) di riferimento, ci si può riferire alla disaggregazione sismica del terremoto di progetto.

La disaggregazione della pericolosità sismica consente di valutare i contributi di diverse sorgenti sismiche alla pericolosità di un sito. La forma più comune di disaggregazione è quella bidimensionale in magnitudo e distanza (M-R) che permette di definire il contributo di sorgenti sismogenetiche a distanza R capaci di generare terremoti di magnitudo M.

Espresso in altri termini, il processo di disaggregazione in M-R fornisce il terremoto che domina lo scenario di pericolosità (terremoto di scenario) inteso come l'evento, di magnitudo M a distanza R dal sito oggetto di studio, che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica del sito stesso.

Per la definizione del terremoto di progetto, l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV – sito: <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>) fornisce:

- i contributi, espressi in termine di percentuale alla pericolosità, delle sorgenti sismogenetiche a distanza R capaci di generare terremoti di magnitudo M;
- il valore medio, corrispondente al terremoto di scenario.

In Figura 6.1 è riportato il grafico di disaggregazione della magnitudo con probabilità di eccedenza del 2% in 50 anni, in riferimento al comune di Carpi.

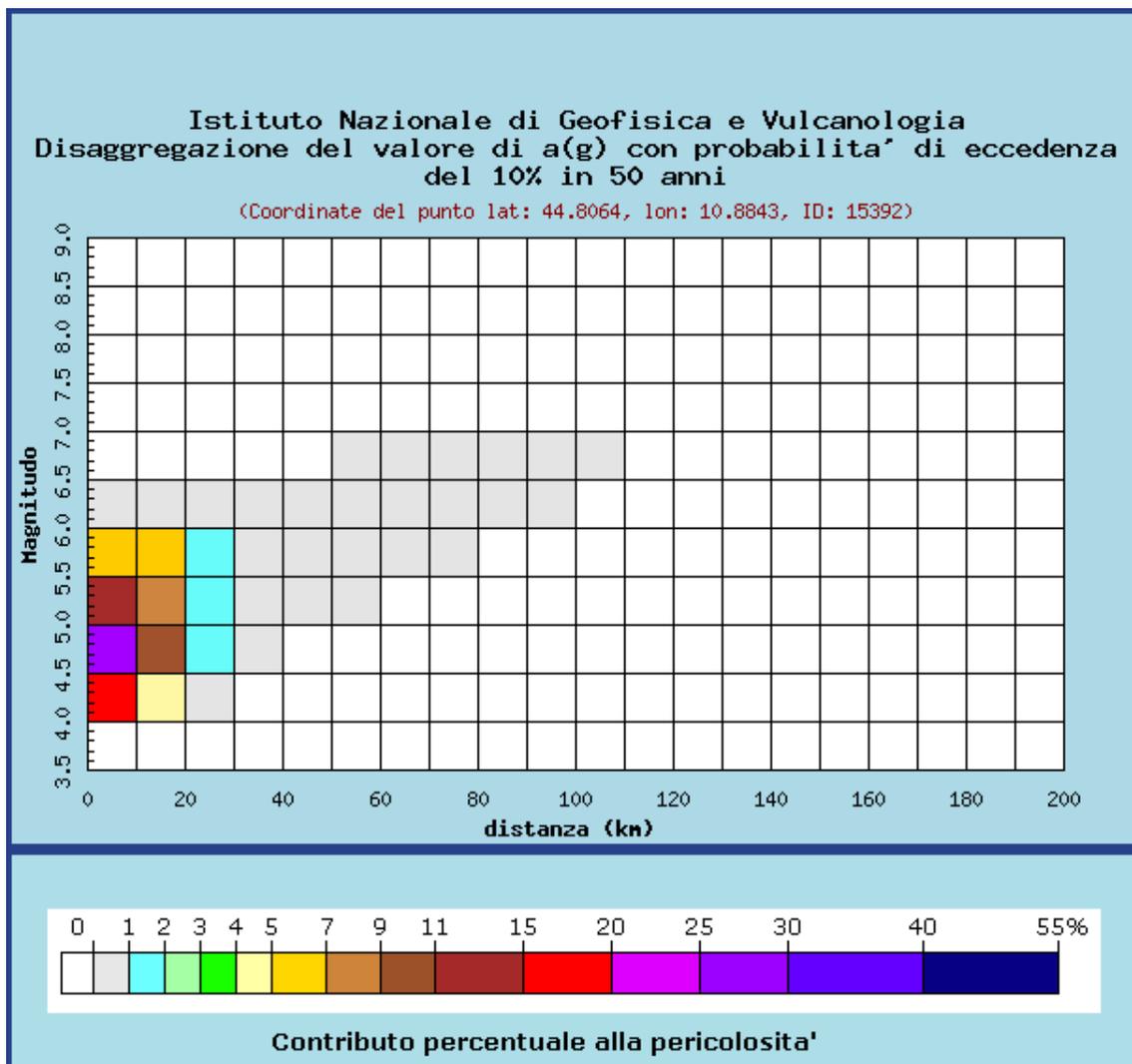
Il grafico mostra che il contributo percentuale massimo alla pericolosità (25%÷30%) è fornito da terremoti con magnitudo tra 4.5÷5.0 e secondariamente (15%÷20%) da terremoti di magnitudo tra 4.0÷4.5. I valori medi sono invece caratterizzati da una magnitudo $M=4,95$ e da una distanza $R=9,16$ km.

6.2 Magnitudo massima attesa da ZS9

In base alla zonazione sismogenetica ZS9 del territorio nazionale (Rapporto conclusivo INGV, 2004), la sismicità in Italia può essere distribuita in 36 zone, a ciascuna delle quali è associata una legge di ricorrenza della magnitudo, espressa in termini di magnitudo momento M_w .

Secondo la ZS9, che sostituisce la precedente zonazione sismogenetica ZS4, il territorio del comune di Carpi (MO) ricade entro la zona identificata come 912, per la quale gli studi indicano una **magnitudo massima attesa $M_w = 6.14$** .

 ENSER SOCIETA' DI INGEGNERIA	Committente: FINIMCAR S.r.l.	Documento: Relazione Sismica
	Lavoro: COMPARTO F10 - CARPI (MO)	Codice: S14026-CT-RE-003-1 Data: 02/10/2015



Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.950	9.160	0.638

Figura 6.1. Grafico di disaggregazione INGV.

	Committente: FINIMCAR S.r.l.	Documento: Relazione Sismica
	Lavoro: COMPARTO F10 - CARPI (MO)	Codice: S14026-CT-RE-003-1 Data: 02/10/2015

7. AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO

Ai sensi del D.M. 14.01.2008 ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, deve essere valutata l'influenza delle condizioni litologiche e geomorfologiche locali, determinando quindi la corrispondente categoria (o tipo) di suolo nonché le condizioni topografiche del sito di interesse.

7.1 Categoria di sottosuolo

Il DM 14/01/2008 introduce molte e significative novità inerenti la definizione dell'azione sismica.

L'azione sismica viene valutata in condizioni di campo libero (cioè in assenza di manufatti), su sito di riferimento rigido (di categoria A), a superficie orizzontale (superficie topografica di categoria T1), riferendosi alla definizione di "pericolosità sismica di base", fornita dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

L'azione sismica viene valutata sito per sito e costruzione per costruzione. In particolare i caratteri del moto sismico su sito di riferimento rigido orizzontale sono descritti dalla distribuzione sul territorio nazionale delle seguenti grandezze, sulla base delle quali sono compiutamente definite le forme spettrali per la generica "probabilità di superamento nel periodo di riferimento" P_{VR} :

a_g : accelerazione massima su suolo tipo A (allegato B alle NTC)

F_0 : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale (allegato B alle NTC)

T_C^* : periodo di riferimento che consente di calcolare il periodo T_c corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro (Allegato B alle NTC)

La determinazione del tipo di suolo, secondo normativa, può essere basata sulla stima dei valori della velocità media di propagazione delle onde di taglio $v_{s,30}$ entro i primi 30 metri di profondità.

Poiché la misura diretta in sito delle $v_{s,30}$ è fortemente raccomandata, nell'ambito della campagna geognostica in sito si è provveduto a realizzare n.2 misure di rumore ambientale mediante sismica passiva (tipo H/V o HVSR) e n.2 profili a sismici a rifrazione di tipo MASW (si veda in Appendice) dalle quali risulta quanto segue:

- H/V 1 - MASW 1: $v_{s,30} = 188\text{m/s}$
- H/V 2 - MASW 2: $v_{s,30} = 185\text{m/s}$

Pertanto, il sito in oggetto risulta caratterizzato da valori medi di $v_{s,30}$ **pari a 187 m/s**, classificando i terreni come **suolo di tipo "C"**, ovvero "Depositati 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

	Committente: FINIMCAR S.r.l.	Documento: Relazione Sismica
	Lavoro: COMPARTO F10 - CARPI (MO)	Codice: S14026-CT-RE-003-1 Data: 02/10/2015

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)".

7.2 Categoria di sottosuolo

Per quanto concerne le caratteristiche della superficie topografica, essendo l'area in oggetto localizzata in ambito di pianura e non essendovi particolari emergenze topografiche che possano dar luogo ad effetti di amplificazione sismica locale, la morfologia dell'area può essere ricondotta ad una delle configurazioni superficiali semplici previste nel D.M. 14/01/2008 in Tabella 3.2.IV.

In particolare, l'area in oggetto può essere classificata di **categoria T1, "Superficie pianeggiante**, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$, caratterizzata da un coefficiente di amplificazione topografica $S_T = 1.0$.

7.3 Valutazione dell'azione sismica

L'azione sismica di riferimento è individuata in termini di:

- a_g = accelerazione massima su suolo tipo A;
- S = fattore di amplificazione che dipende dalla categoria del suolo e dalla superficie topografica;
- F_0 = fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima;
- T_{c^*} = periodo di riferimento che consente di calcolare il periodo T_c corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro.

Prendendo in considerazione l'area in oggetto di studio, individuabile all'incirca alle coordinate **ED50 Lat = 44,780841°** e **Long = 10,865923°**, nel seguito si riportano i parametri dell'azione sismica di riferimento in relazione allo Stato limite di Salvaguardi della vita (SLV).

In particolare, posto:

Vita nominale, V_N	50 anni
Classe d'uso	III
Coefficiente d'uso, C_u	1.5
Periodo di riferimento, V_R	75 anni

Stato limite di Salvaguardi della vita (SLV)

Accelerazione massima (sito A)	0.181g
Coefficiente di suolo	1.423

	Committente: FINIMCAR S.r.l.	Documento: Relazione Sismica
	Lavoro: COMPARTO F10 - CARPI (MO)	Codice: S14026-CT-RE-003-1 Data: 02/10/2015

Coefficiente topografico	1.000
Accelerazione massima attesa al sito	0.258g
Fattore F_0	2.549
Periodo T_c^*	0.274 s

	Committente: FINIMCAR S.r.l.	Documento: Relazione Sismica
	Lavoro: COMPARTO F10 - CARPI (MO)	Codice: S14026-CT-RE-003-1 Data: 02/10/2015

8. VALUTAZIONI IN MERITO AL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE – CRITERI DI CALCOLO

Come evidenziato in Relazione Geologica, i terreni in sito sono a connotazione prevalentemente coesiva, non soggetti quindi a problematiche di liquefazione. Localmente si rinvencono tuttavia alcune lenti limoso-sabbiose entro i primi 20 m di profondità, per le quali di seguito viene valutato il rischio liquefazione, in riferimento ai dati delle prove penetrometriche statiche elettriche e con piezocono eseguite.

8.1 Generalità

In terreni saturi sabbiosi sollecitati, in condizioni non drenate, da azioni cicliche dinamiche, il termine liquefazione comprende una serie di fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche. L'avvenuta liquefazione si manifesta, in presenza di manufatti, attraverso la perdita di capacità portante e/o lo sviluppo di elevati cedimenti e rotazioni.

In base al D.M. 14/01/2008, la verifica di liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle circostanze indicate al paragrafo 7.11.3.4.2 della norma.

Nel caso in esame, non essendo nelle condizioni sopra elencate, verrà valutato il coefficiente di sicurezza alla liquefazione (F_L) alle profondità in cui sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili, adottando metodi di analisi semplificata in termini di tensioni totali.

Tali metodi sono basati sulle prove penetrometriche statiche disponibili e sulla valutazione, ad ogni profondità z del deposito compreso nei primi 20 m, del coefficiente di sicurezza:

$$F_L = \frac{CRR}{CSR}$$

dove:

$$CRR = \frac{\tau_{ult}}{\sigma'_v},$$

è la resistenza normalizzata alla pressione verticale efficace iniziale;

$$CSR = \frac{\tau_{media}}{\sigma'_v} = \frac{0,65 \times \tau_{max}}{\sigma'_v},$$

è la tensione normalizzata indotta dal terremoto.

I risultati delle analisi saranno presentati riportando l'andamento con la profondità del fattore di sicurezza alla liquefazione per ciascuna delle verticali indagate e determinando anche l'indice del potenziale di liquefazione I_L definito dalla seguente relazione:

	Committente: FINIMCAR S.r.l.	Documento: Relazione Sismica
	Lavoro: COMPARTO F10 - CARPI (MO)	Codice: S14026-CT-RE-003-1 Data: 02/10/2015

$$I_L = \int_0^{20} F(z) \cdot w(z) \cdot dz$$

in cui:

- z è la profondità dal piano campagna, variabile tra 0 e 20 metri; l'analisi di liquefazione considera i terreni presenti nei primi 20 m di profondità, in accordo alle indicazioni di letteratura tecnica secondo la quale, oltre questa profondità, sono poco probabili fenomeni di liquefazione significativi;
- $w(z) = 10 - 0,5z$;
- $F = 1 - F_L$ se $F_L \leq 1$ ovvero $F = 0$ se $F_L > 1$

Il potenziale di liquefazione I_L fornisce una valutazione "integrale" degli effetti della liquefazione. Con riferimento alla D.G.R. n.112 del 2007 "Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio", in merito a "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica", il rischio di liquefazione può essere stimato come segue:

- $I_L = 0$ il rischio di liquefazione è molto basso
- $0 < I_L \leq 5$ il rischio di liquefazione è basso
- $5 < I_L \leq 15$ il rischio di liquefazione è elevato
- $I_L > 15$ il rischio di liquefazione è estremamente elevato

Operativamente, le analisi di liquefazione sono state sviluppate con il programma di calcolo LiquefyPro della CivilTech Software, Washington State (USA).

8.2 Valutazione del potenziale di liquefazione e cedimento post-sismico dei livelli granulari saturi

8.2.1 Programma di calcolo utilizzato

Operativamente, le analisi di liquefazione volte alla definizione del fattore di sicurezza alle diverse profondità lungo la verticale penetrometrica considerata ed alla stima dei cedimenti post-sismici dei livelli granulari saturi sono state sviluppate con il programma di calcolo LiquefyPro della CivilTech Software, Washington State (USA).

	Committente: FINIMCAR S.r.l.	Documento: Relazione Sismica
	Lavoro: COMPARTO F10 - CARPI (MO)	Codice: S14026-CT-RE-003-1 Data: 02/10/2015

8.2.2 Valutazione del rapporto di tensione ciclica "CSR"

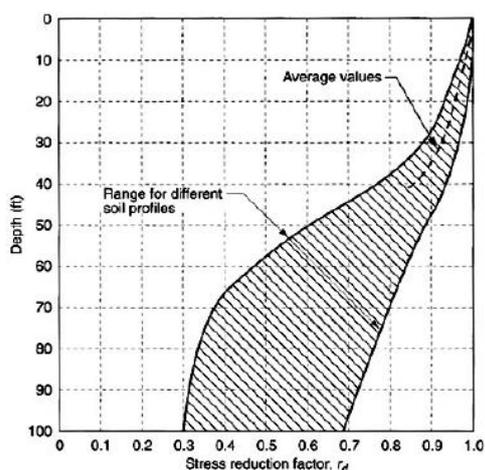
Il rapporto di tensione ciclica, ad una determinata profondità, può essere valutato attraverso la seguente espressione (Seed e Idriss, 1971):

$$CSR = 0.65 \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot r_d$$

dove:

- a_{max} è l'accelerazione massima del terremoto di progetto;
- σ_v e σ'_v sono rispettivamente la tensione totale verticale e la tensione efficace verticale;

r_d è un coefficiente correttivo che tiene conto della deformabilità del sottosuolo che può essere assunto pari a:



$$r_d = 1.0 - 0.00765 \cdot z \quad \text{for } z \leq 9.15 \text{ m}$$

$$r_d = 1.174 - 0.0267 \cdot z \quad \text{for } 9.15 \text{ m} < z \leq 23 \text{ m}$$

$$r_d = 0.744 - 0.008 \cdot z \quad \text{for } 23 \text{ m} < z \leq 30 \text{ m}$$

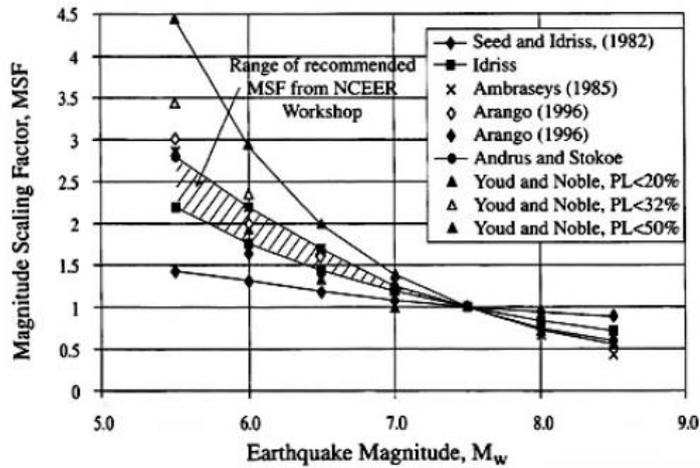
$$r_d = 0.5 \quad \text{for } z > 30 \text{ m}$$

8.2.3 Valutazione del rapporto di resistenza ciclica "CRR"

Il rapporto di resistenza ciclica può essere stimato sulla base delle prove CPT.

Poiché le procedure semplificate sono state elaborate sulla base di osservazioni sul comportamento dei depositi durante eventi sismici con magnitudo $M=7.5$, per eventi di magnitudo diversa si introduce un coefficiente correttivo MSF così definito:

	Committente: FINIMCAR S.r.l.	Documento: Relazione Sismica
	Lavoro: COMPARTO F10 - CARPI (MO)	Codice: S14026-CT-RE-003-1 Data: 02/10/2015



$$MSF = \frac{10^{2.24}}{M^{2.56}}$$

La tensione ciclica CRR in corrispondenza della magnitudo di interesse si ottiene pertanto dalla relazione:

$$CRR_M = CRR_{7.5} \cdot MSF$$

La stima del rapporto di resistenza CRR da prove CPT viene effettuata utilizzando il metodo di Robertson e Wride modificato (1997).

- STEP 1: PROCEDURA ITERATIVA PER LA STIMA DEL PARAMETRO I_c DI COMPORTAMENTO DEL TERRENO**

Il parametro di comportamento del terreno I_c è definito in funzione di Q e dell'esponente n come risulta dalle relazioni seguenti.

$$I_c = [(3.47 - \log Q)^2 + (1.22 + \log R_f)^2]^{0.5}$$

dove:

$$Q = \frac{q_c - \sigma_v}{100} \cdot \left(\frac{100}{\sigma_v}\right)^n \quad \text{e} \quad R_f = \frac{f_s}{(q_c - \sigma_v)} \cdot 100\%$$

L'esponente n varia tra 0.5 per sabbie pulite ed 1.0 per terreni argillosi; Robertson e Wride suggeriscono di considerare in prima approssimazione $n=1.0$ e calcolare l'indice I_c .

Se il risultato I_c è maggiore di 2.6 il materiale è classificato come argilloso, con scarsa probabilità di liquefare.

Se il valore di I_c è minore di 2.6 il terreno è probabilmente di tipo a grana grossa e il parametro Q deve essere ricalcolato assumendo $n=0.5$.

Se il nuovo valore I_c è maggiore di 2.6 il terreno è probabilmente di tipo limoso e plastico e l'analisi va ripetuta per $n=0.7$.

- STEP 2: NORMALIZZAZIONE DELLA RESISTENZA DI PUNTA**

La resistenza di punta q_c viene normalizzata con la relazione:

$$q_{cIN} = \frac{q_c}{100} \cdot \left(\frac{100}{\sigma_v}\right)^n$$

 ENSER SOCIETA' DI INGEGNERIA	Committente: FINIMCAR S.r.l.	Documento: Relazione Sismica
	Lavoro: COMPARTO F10 - CARPI (MO)	Codice: S14026-CT-RE-003-1 Data: 02/10/2015

dove:

- n è uguale all'esponente di I_c ricavato nello step 1;
- q_c è la resistenza di punta della prova penetrometrica;
- σ'_v è la tensione efficace verticale;

• **STEP 3: CORREZIONE DELLA RESISTENZA DI PUNTA IN BASE AL CONTENUTO DI FINE**

La resistenza di punta viene corretta sulla base della relazione:

$$(q_{c1N})_f = q_{c1N} + \Delta q_{c1N}$$

dove:

$$\Delta q_{c1N} = k_c / (1 - k_c) q_{c1N}$$

in cui K_c è una funzione del contenuto di fine:

$$\begin{aligned}
 K_c &= 0 && \text{for } FC \leq 5\% \\
 K_c &= 0.0267(FC-5) && \text{for } 5 < FC < 35\% \\
 K_c &= 0.8 && \text{for } FC \geq 35\%
 \end{aligned}$$

Il contenuto di fine è correlato a I_c dalla relazione:

$$FC = 1.75 \cdot I_c^{3.25} - 3.7$$

• **STEP 4: CALCOLO DI $CRR_{7.5}$**

La resistenza ciclica viene determinata in riferimento al grafico seguente:

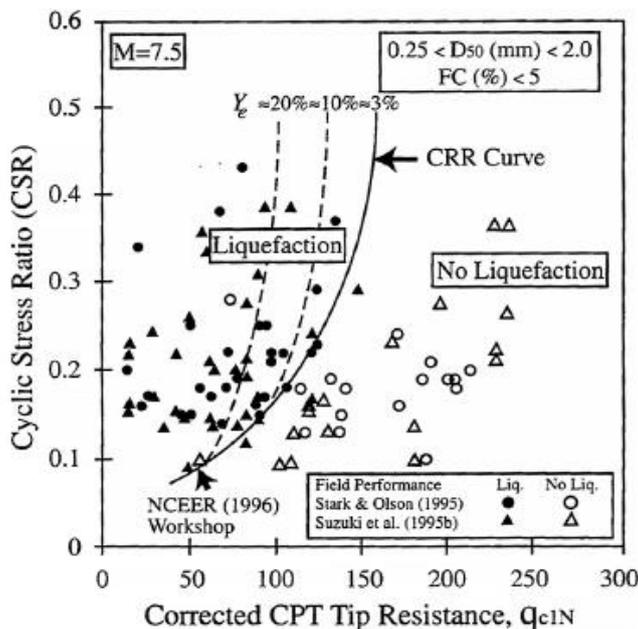


Figura 8.1. Determinazione resistenza ciclica (Robertson & Wride mod._1997).

	Committente: FINIMCAR S.r.l.	Documento: Relazione Sismica
	Lavoro: COMPARTO F10 - CARPI (MO)	Codice: S14026-CT-RE-003-1 Data: 02/10/2015

Se $(q_{c1N})_f < 50$:

$$CRR_{7.5} = 0.833 \cdot \left[\frac{(q_{c1N})_f}{1000} \right] + 0.05 ;$$

se $50 \leq (q_{c1N})_f < 160$:

$$CRR_{7.5} = 93 \cdot \left[\frac{(q_{c1N})_f}{1000} \right]^3 + 0.08$$

8.2.4 Stima dei cedimenti per effetto del sisma

In letteratura tecnica esistono diversi metodi per la stima dei cedimenti dovuti al sisma per le unità a comportamento prevalentemente incoerente sotto falda.

Nelle valutazioni effettuate si è fatto riferimento al metodo proposto da *Ishihara e Yosemite (1990)*.

Tale metodo considera i fattori di sicurezza alla liquefazione alla varie profondità per stimare, sulla base del grafico seguente, la deformazione volumetrica di ogni strato.

Dalla deformazione volumetrica è possibile passare ai cedimenti S_{sat} .

$$S_{sat} = \frac{\epsilon_v}{100} \cdot dz$$

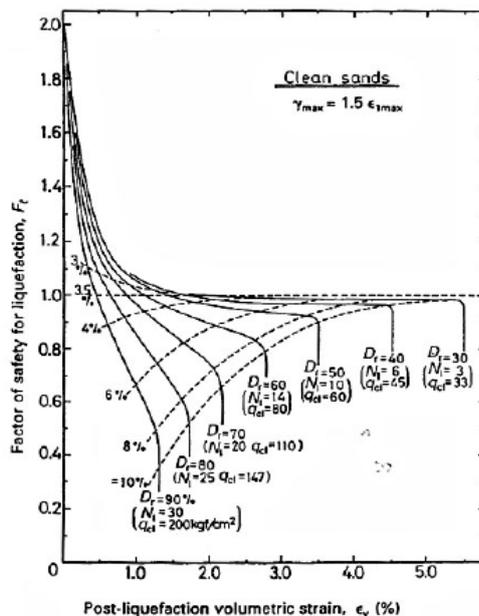


Figura 8.2. Determinazione deformazione volumetrica (Ishihara e Yosemite_1990).

	Committente: FINIMCAR S.r.l.	Documento: Relazione Sismica
	Lavoro: COMPARTO F10 - CARPI (MO)	Codice: S14026-CT-RE-003-1 Data: 02/10/2015

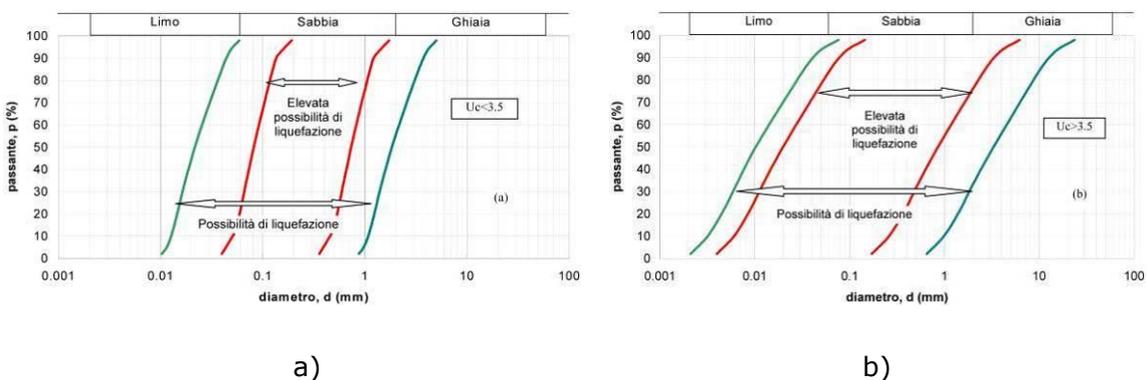
9. ANALISI DI LIQUEFAZIONE E STIMA DEL CEDIMENTO POST-SISMICO DEI LIVELLI GRANULARI SATURI

La suscettibilità a liquefazione dei terreni in sito è stata preliminarmente valutata sulla base dei fusi granulometrici dei terreni in sito, ricostruiti a partire dai risultati delle analisi granulometriche sui campioni prelevati in fase di indagine geognostica.

Sono poi state condotte analisi numeriche di liquefazione in riferimento ai dati acquisiti mediante le prove penetrometriche realizzate nell'ambito della campagna di indagini in sito (CPTU1÷CPT12).

9.1 Fusi granulometrici dei terreni in sito

Secondo Normativa, la verifica a liquefazione può essere omessa qualora i terreni in sito siano caratterizzati da una distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nel grafico a), nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ e nel grafico b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$.



La curva granulometrica è una rappresentazione grafica delle quantità relative delle diverse classi di dimensioni delle particelle presenti in un campione di terreno. Se una significativa parte di essa è esterna alla fascia liquefacibile di Normativa, questo comporta delle proprietà significativamente diverse che escludono il fenomeno della liquefazione.

Dato che la frazione fine è molto efficace nell'ostacolare l'insorgenza del fenomeno, già un 10° percentile di materiale al di fuori della fascia liquefacibile può essere definito significativo e tale da escludere l'insorgenza del fenomeno.

Tuttavia, nella cosiddetta frazione fine rientrano sia i limi plastici, sia i limi non plastici, assimilabili alle sabbie. Occorre quindi verificare non solo la presenza di una significativa parte fine, ma anche il comportamento (coesivo o incoerente) di tale frazione fine attraverso la determinazione dei limiti di Atterberg.

	Committente: FINIMCAR S.r.l.	Documento: Relazione Sismica
	Lavoro: COMPARTO F10 - CARPI (MO)	Codice: S14026-CT-RE-003-1 Data: 02/10/2015

Le recenti esperienze di Idriss e Boulanger identificano infatti i terreni limosi con Indice Plastico $IP < 7$ come liquefacibili (*sand-like behavior*), mentre per $IP \geq 7$ il comportamento è prettamente coesivo (*clay-like behavior*).

Al fine di verificare la distribuzione granulometrica dei terreni in sito rispetto le distribuzioni di Normativa, sono state plottate le curve granulometriche ottenute mediante le analisi di laboratorio sui campioni prelevati nei sondaggi stratigrafici eseguiti in sito (Figura 9.1 e Figura 9.2).

In Tabella 4.1 sono inoltre riportati i valori dei limiti di Atterberg, ed in particolare i valori di Indice Plastico, determinati in laboratorio.

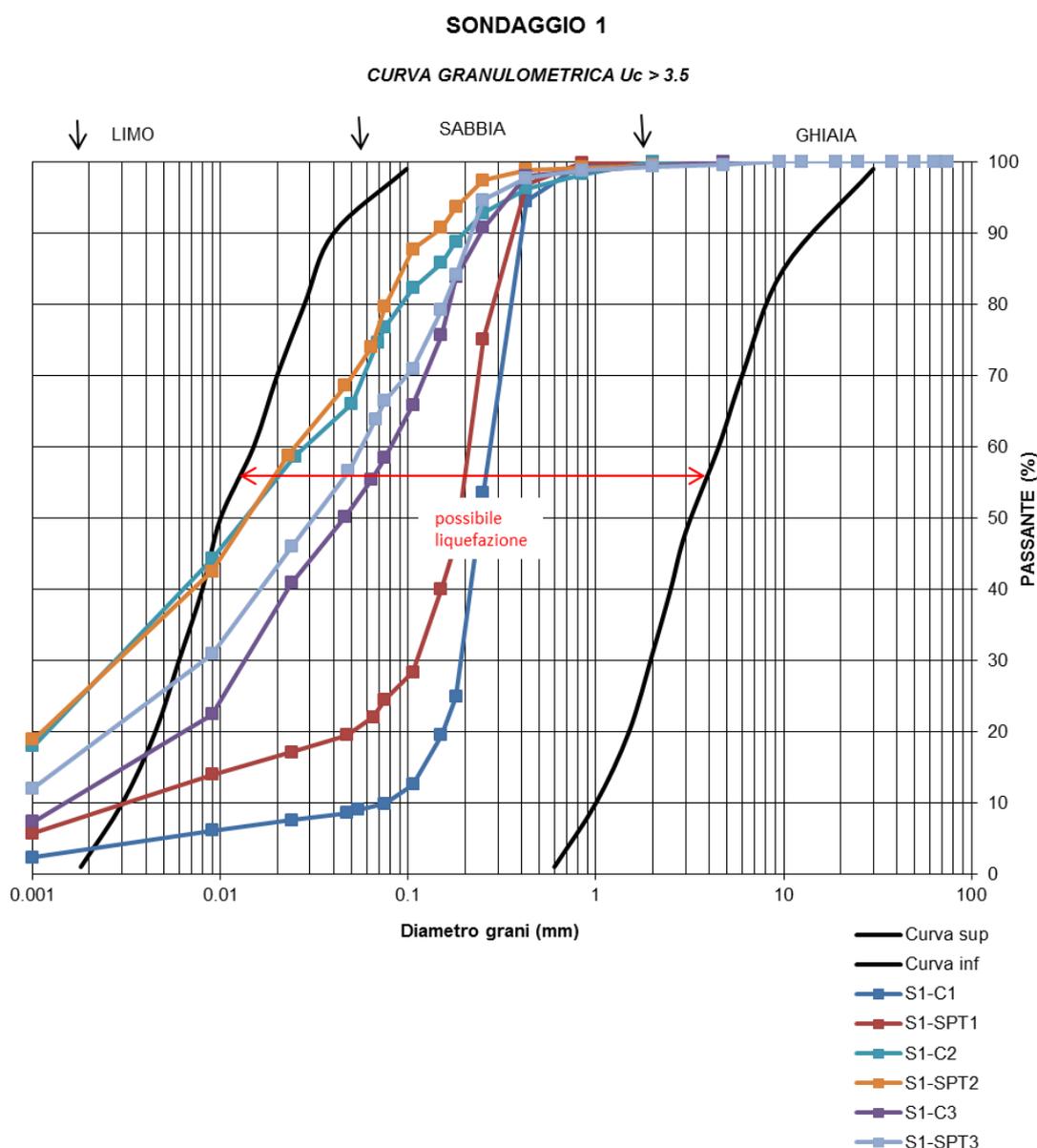


Figura 9.1. Curve granulometriche relative ai campioni prelevati nel sondaggio S1.

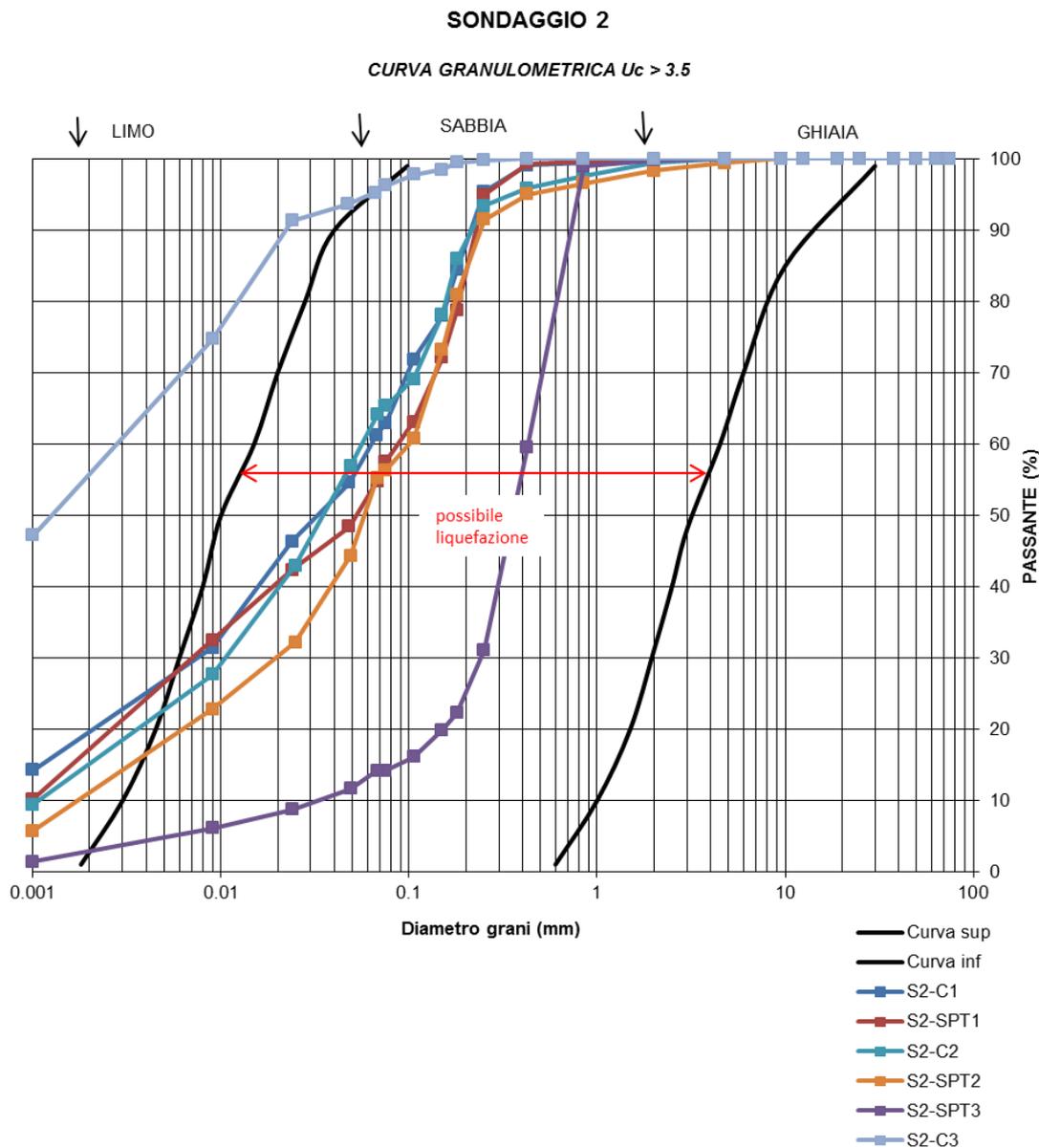


Figura 9.2. Curve granulometriche relative ai campioni prelevati nel sondaggio S2.

Tabella 9.1. Limiti di Atterberg determinati in laboratorio.

Dati campione			Limiti di Atterberg		
Sond.	ID	Prof. [m]	LL [%]	LP [%]	IP [%]
S1	C2	6.00÷6.60	28.6	17.3	11.3
S2	C1	4.30÷4.90	27.3	17.6	9.7
S2	C2	7.50÷8.10	28.4	17.4	11.0
S2	C3	18.00÷18.60	75.5	25.4	51.0

I grafici delle distribuzioni granulometriche mostrano curve granulometriche che quasi sempre tagliano ed escono dalle "zone potenzialmente liquefacibili" di norma-

	Committente: FINIMCAR S.r.l.	Documento: Relazione Sismica
	Lavoro: COMPARTO F10 - CARPI (MO)	Codice: S14026-CT-RE-003-1 Data: 02/10/2015

tiva con percentuali di fine "significative", ovvero superiori al 10%. Al tempo stesso tali materiali fini possono essere connotati da un comportamento *clay-like*, essendo stati determinati in laboratorio valori di indice plastico IP sempre superiori a 7 (si veda Tabella 4.1).

Solamente in due casi isolati (S1-C1 e S2-SPT3) la percentuale di fine risulta inferiore al 10% e la curva granulometrica è ricompresa quasi interamente entro la zona di possibile liquefazione.

In generale, quindi, i terreni in sito sono caratterizzati da percentuali di fine tali da poter escludere l'insorgenza di fenomeni di liquefazione, fatta salva la presenza di sottili e locali interstrati prettamente incoerenti, per i quali non è possibile escludere tale eventualità. Si tratta tuttavia di situazioni puntuali, di limitata estensione laterale e con coinvolgimento di modesti spessori di terreno, tali da far ritenere comunque il rischio di liquefazione per l'area basso.

Tale approccio qualitativo è del resto in linea, come si vedrà più avanti, con gli esiti delle analisi numeriche di liquefazione condotte a partire dai risultati delle prove penetrometriche disponibili (par 9.3).

9.2 Parametri di base per le analisi di liquefazione

Nelle analisi di liquefazione intervengono i parametri nel seguito descritti:

a. Peso di volume del terreno

In tutte le analisi si è assunto il peso di volume medio del terreno pari a $\gamma = 19,0 \text{ kN/m}^3$;

b. Falda

La falda è stata posta alla profondità di -1,0 m dal piano di campagna;

c. Accelerazione massima

L'accelerazione massima è stata assunta pari a:

$$a_{\max} = 0.258 \text{ g (cap. 7.3);}$$

d. Magnitudo

I calcoli sono stati eseguiti in riferimento al massimo valore di magnitudo attesa per il sito, ovvero:

$$M_w = 6.14 \text{ (da ZS9, zona 912)}$$

9.3 Risultati delle analisi di liquefazione

La valutazione del rischio di liquefazione in termini integrali (potenziale di liquefazione I_L) è riportata nella seguente Tabella 9.2, dalla quale risultano valori di I_L sempre inferiori a 2, ad eccezione della verticale CPTU1 ($I_L = 2.42$), e mediamente inferiori a 1.

	Committente: FINIMCAR S.r.l.	Documento: Relazione Sismica
	Lavoro: COMPARTO F10 - CARPI (MO)	Codice: S14026-CT-RE-003-1 Data: 02/10/2015

Di conseguenza il rischio di liquefazione per l'area risulta basso (vedi paragrafo 8.1). Anche i valori di cedimento post-sismico calcolati per i terreni granulari saturi (Figura 9.3÷Figura 9.14, valutati in riferimento ai metodi di "Ishihara e Yosemine", risultano modesti.

In base ai risultati ottenuti, non si ritiene necessario predisporre interventi di mitigazione in relazione al rischio liquefazione.

Tabella 9.2. Indice del potenziale di liquefazione e cedimenti post-sismici dei terreni granulari saturi.

Prova	I_L	Cedimento (cm)
CPTU1	2.42	2.66
CPTU2	0.91	1.04
CPTU3	0.66	1.49
CPTU4	0.67	1.43
CPTU5	1.34	1.63
CPTU6	0.70	0.86
CPTU7 (I_{L16})	0.96	1.13
CPTU8 (I_{L18})	0.12	0.17
CPTU9	0.30	0.36
CPTE10	1.68	2.12
CPTE11	0.10	0.17
CPTU12	0.03	0.06



ENSER
SOCIETA' DI INGEGNERIA

Committente:
FINIMCAR S.r.l.

Documento:
Relazione Sismica

Lavoro:
COMPARTO F10 - CARPI (MO)

Codice: S14026-CT-RE-003-1
Data: 02/10/2015

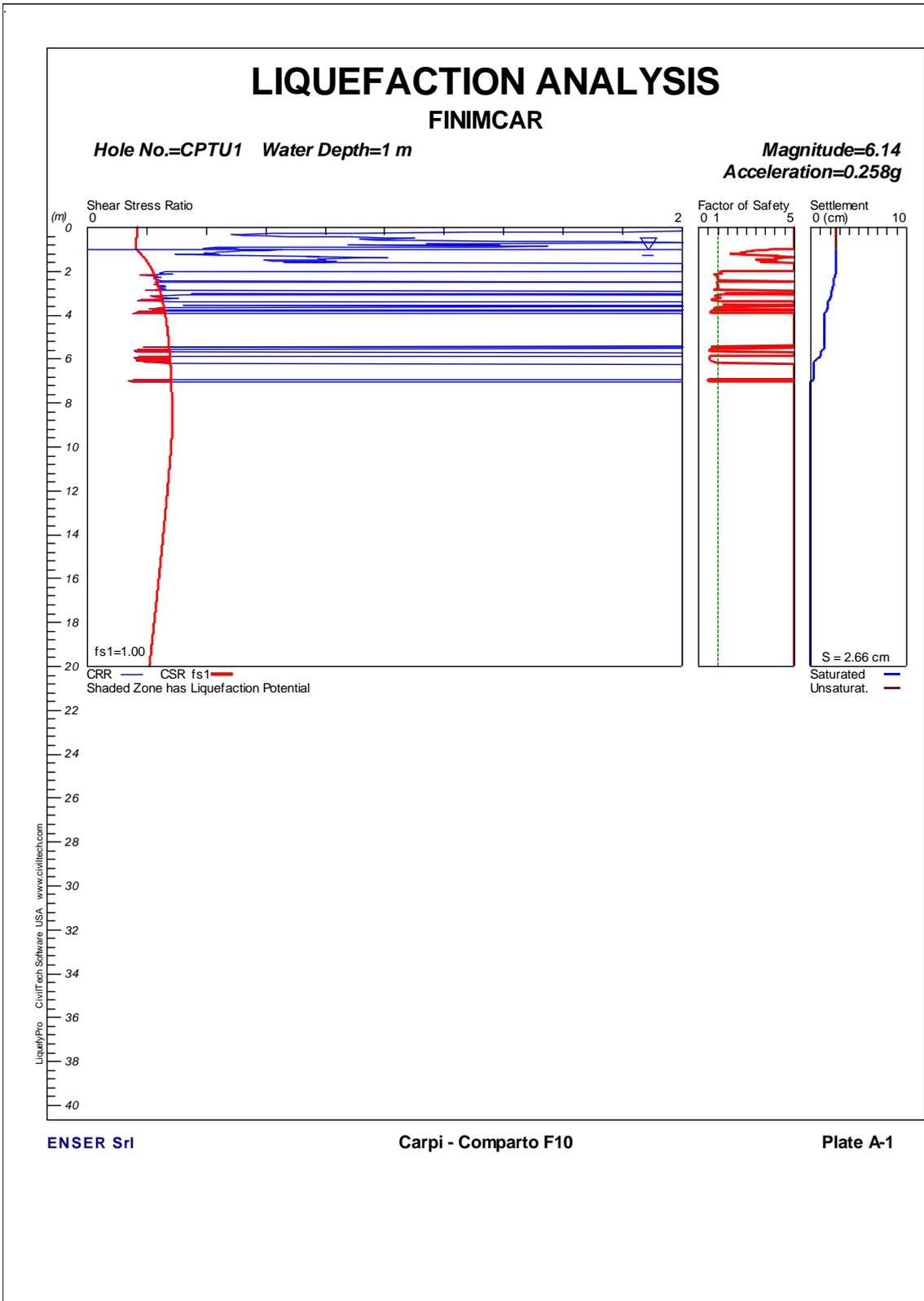


Figura 9.3: Analisi di liquefazione (CPTU1).



ENSER
SOCIETA' DI INGEGNERIA

Committente:
FINIMCAR S.r.l.

Documento:
Relazione Sismica

Lavoro:
COMPARTO F10 - CARPI (MO)

Codice: S14026-CT-RE-003-1
Data: 02/10/2015

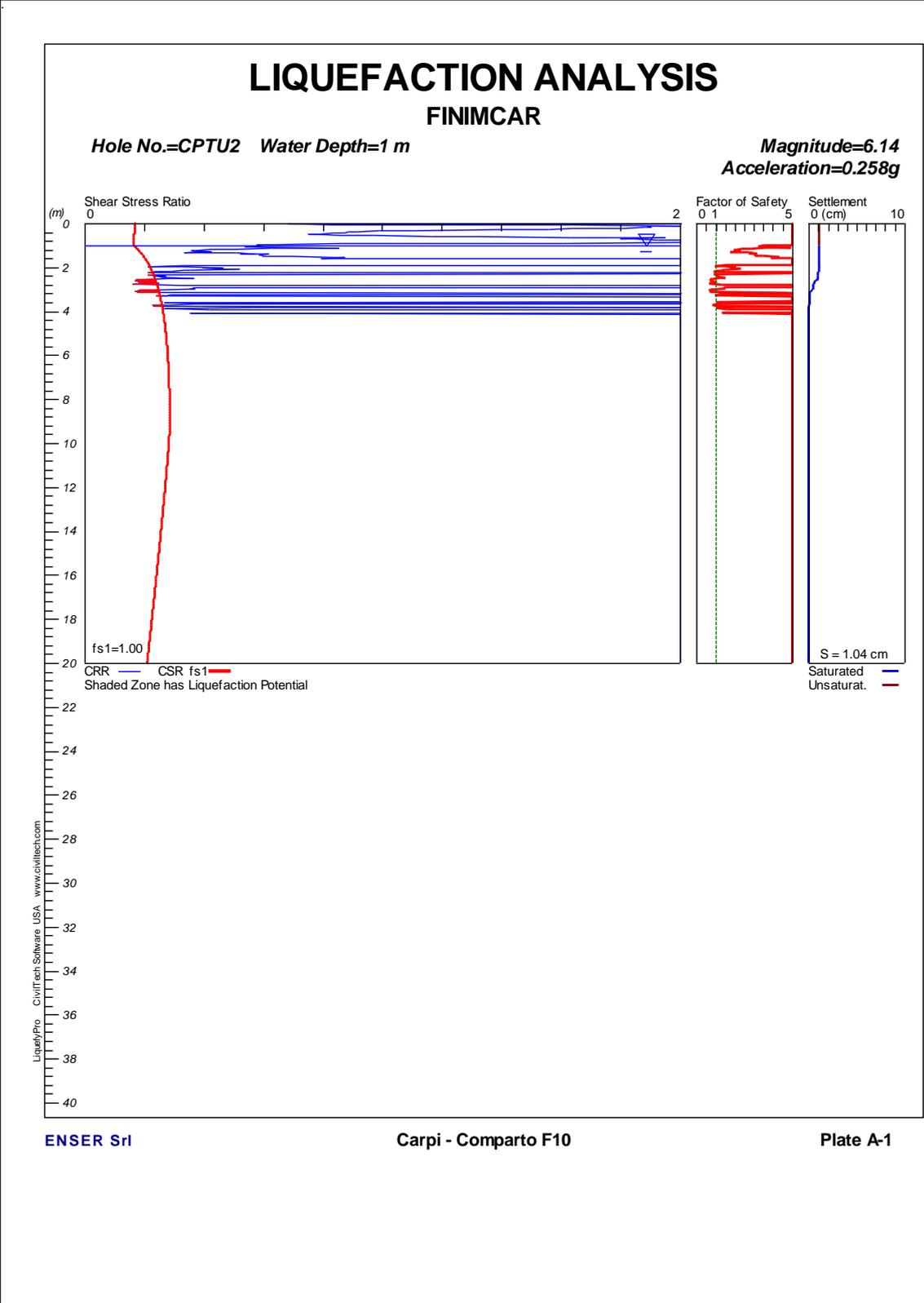


Figura 9.4: Analisi di liquefazione (CPTU2).



ENSER
SOCIETA' DI INGEGNERIA

Committente:
FINIMCAR S.r.l.

Documento:
Relazione Sismica

Lavoro:
COMPARTO F10 - CARPI (MO)

Codice: S14026-CT-RE-003-1
Data: 02/10/2015

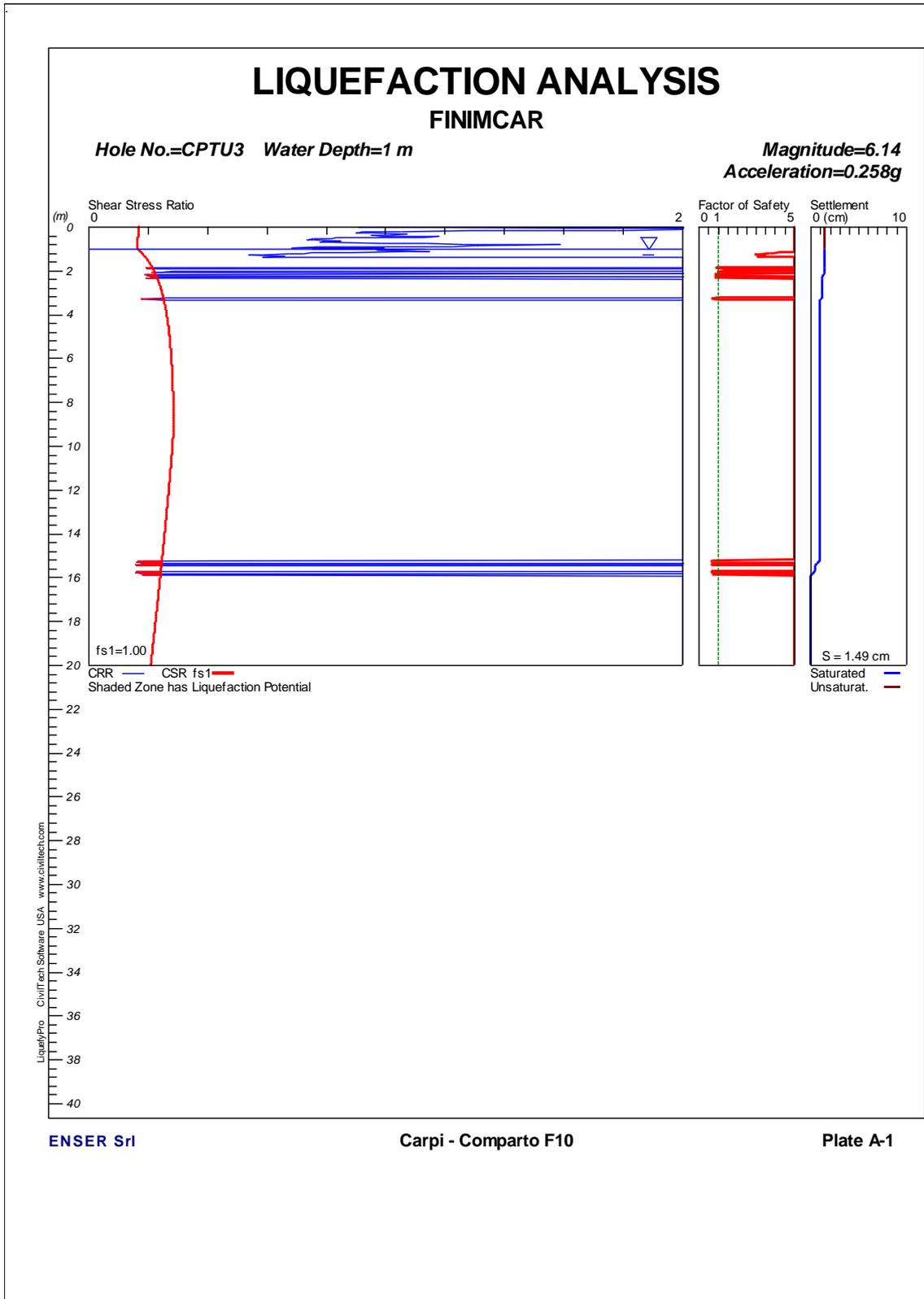


Figura 9.5: Analisi di liquefazione (CPTU3).



ENSER
SOCIETA' DI INGEGNERIA

Committente:
FINIMCAR S.r.l.

Documento:
Relazione Sismica

Lavoro:
COMPARTO F10 - CARPI (MO)

Codice: S14026-CT-RE-003-1
Data: 02/10/2015

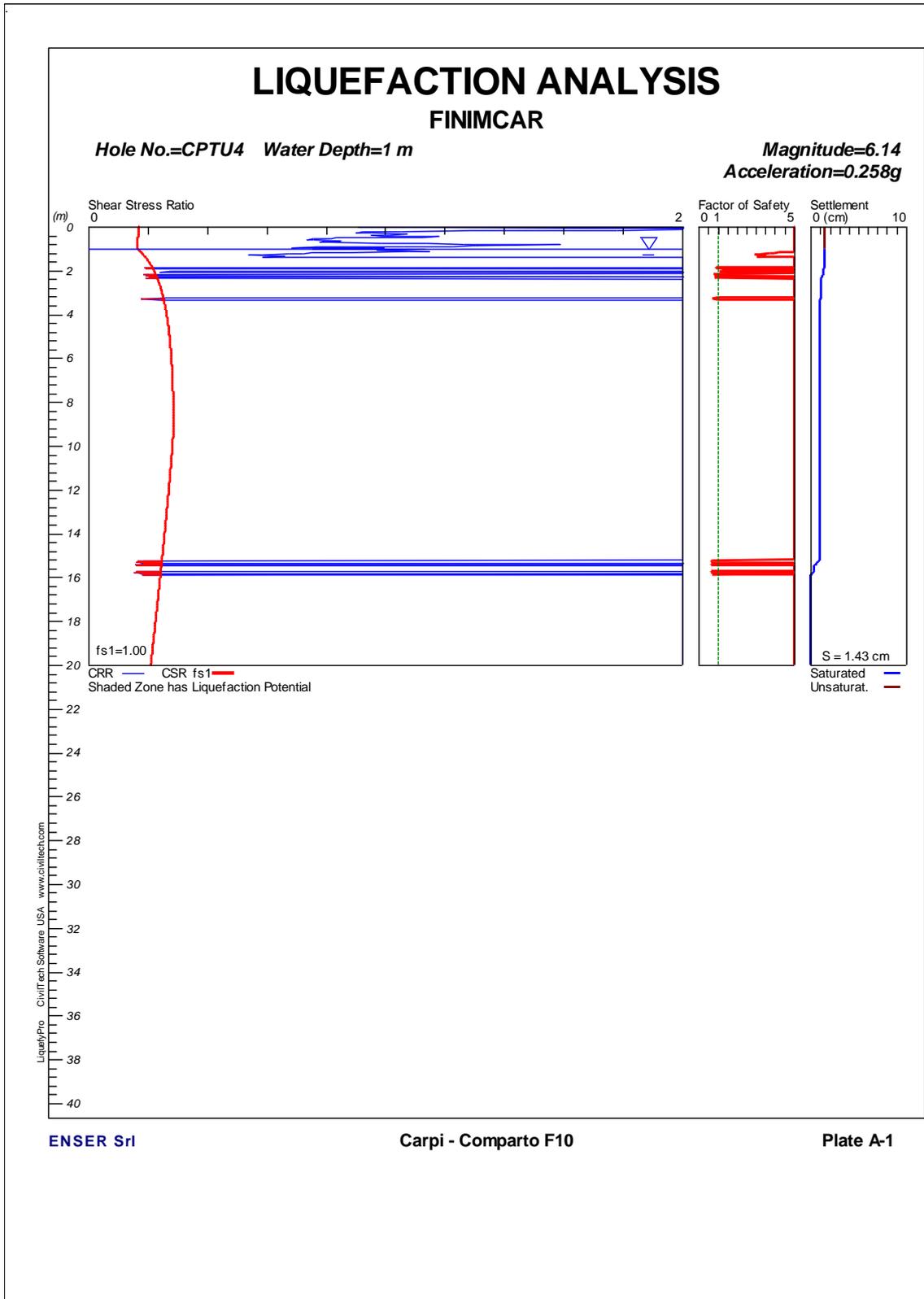


Figura 9.6: Analisi di liquefazione (CPTU4).



ENSER
SOCIETA' DI INGEGNERIA

Committente:
FINIMCAR S.r.l.

Documento:
Relazione Sismica

Lavoro:
COMPARTO F10 - CARPI (MO)

Codice: S14026-CT-RE-003-1
Data: 02/10/2015

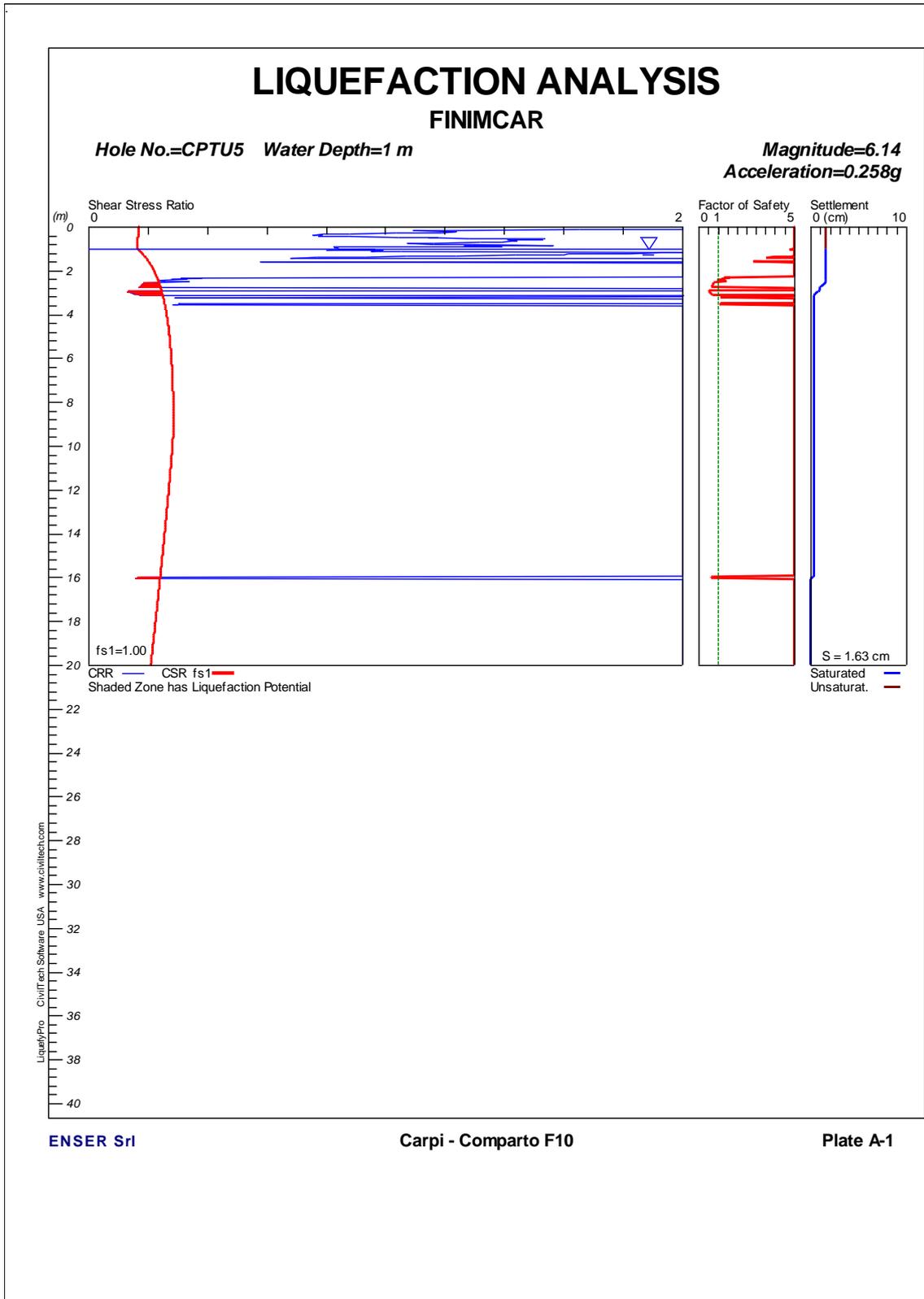


Figura 9.7: Analisi di liquefazione (CPTU5).



ENSER
SOCIETA' DI INGEGNERIA

Committente:
FINIMCAR S.r.l.

Documento:
Relazione Sismica

Lavoro:
COMPARTO F10 - CARPI (MO)

Codice: S14026-CT-RE-003-1
Data: 02/10/2015

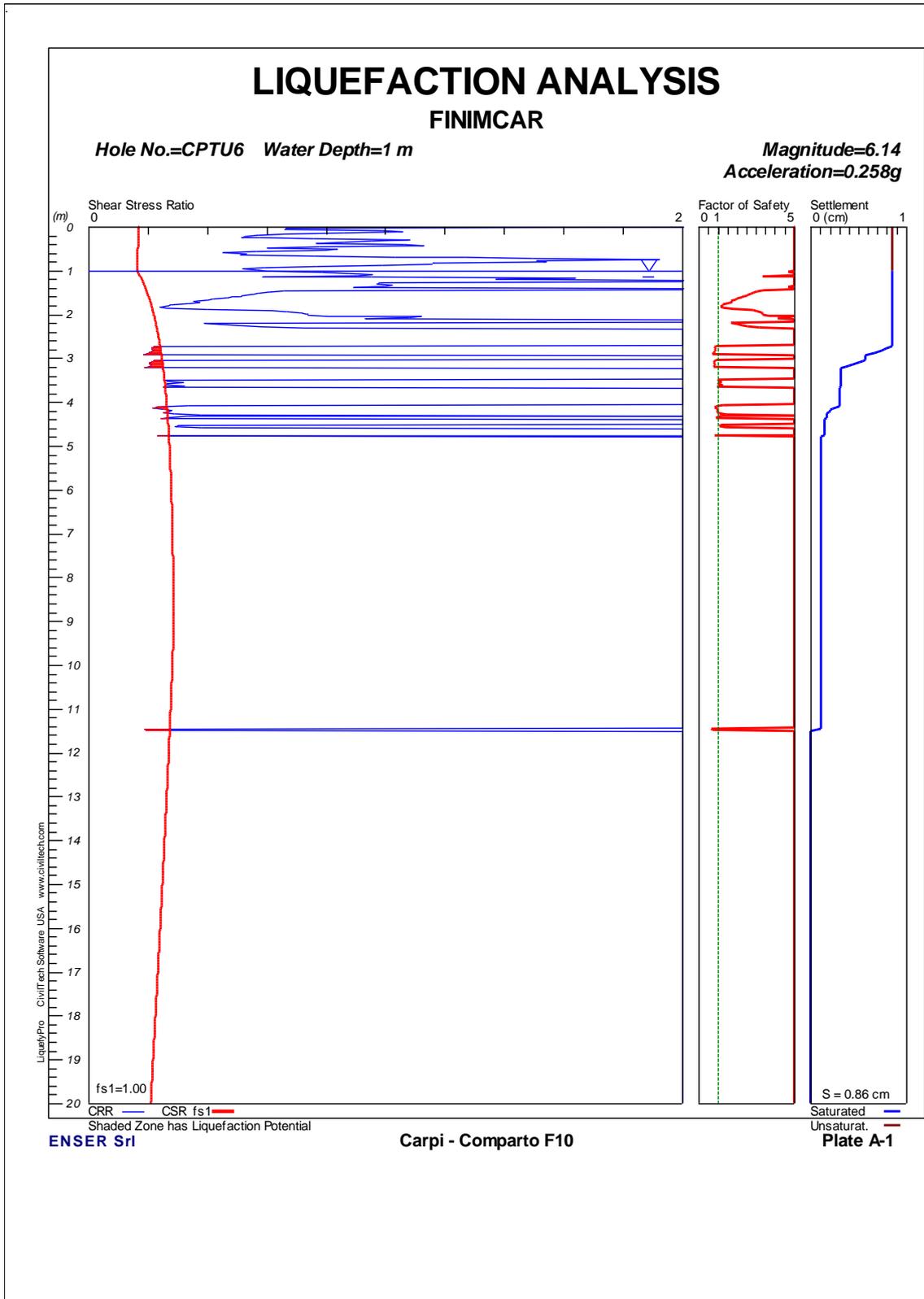


Figura 9.8: Analisi di liquefazione (CPTU6).



ENSER
SOCIETA' DI INGEGNERIA

Committente:
FINIMCAR S.r.l.

Documento:
Relazione Sismica

Lavoro:
COMPARTO F10 - CARPI (MO)

Codice: S14026-CT-RE-003-1
Data: 02/10/2015

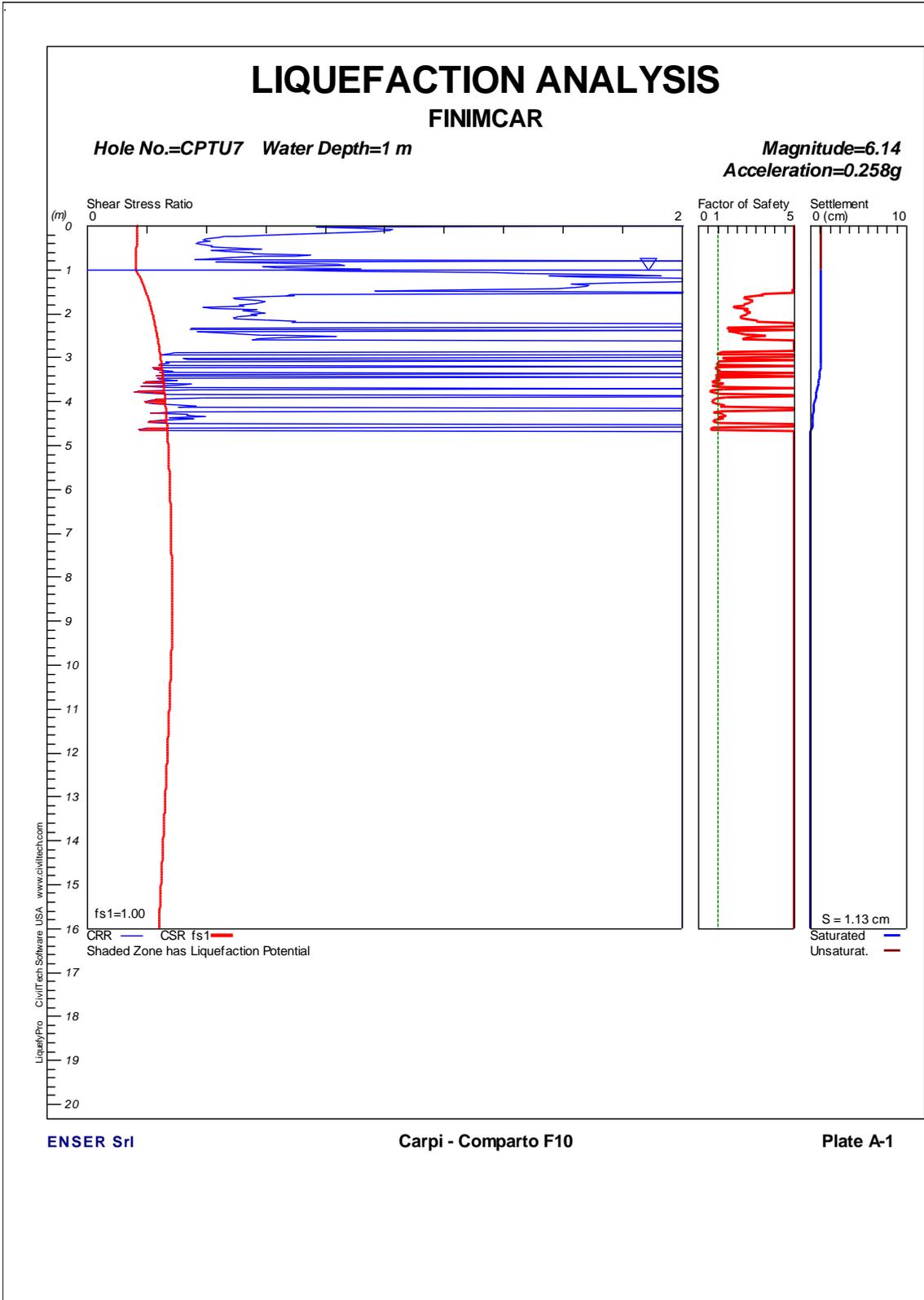


Figura 9.9: Analisi di liquefazione (CPTU7).



ENSER
SOCIETA' DI INGEGNERIA

Committente:
FINIMCAR S.r.l.

Documento:
Relazione Sismica

Lavoro:
COMPARTO F10 - CARPI (MO)

Codice: S14026-CT-RE-003-1
Data: 02/10/2015

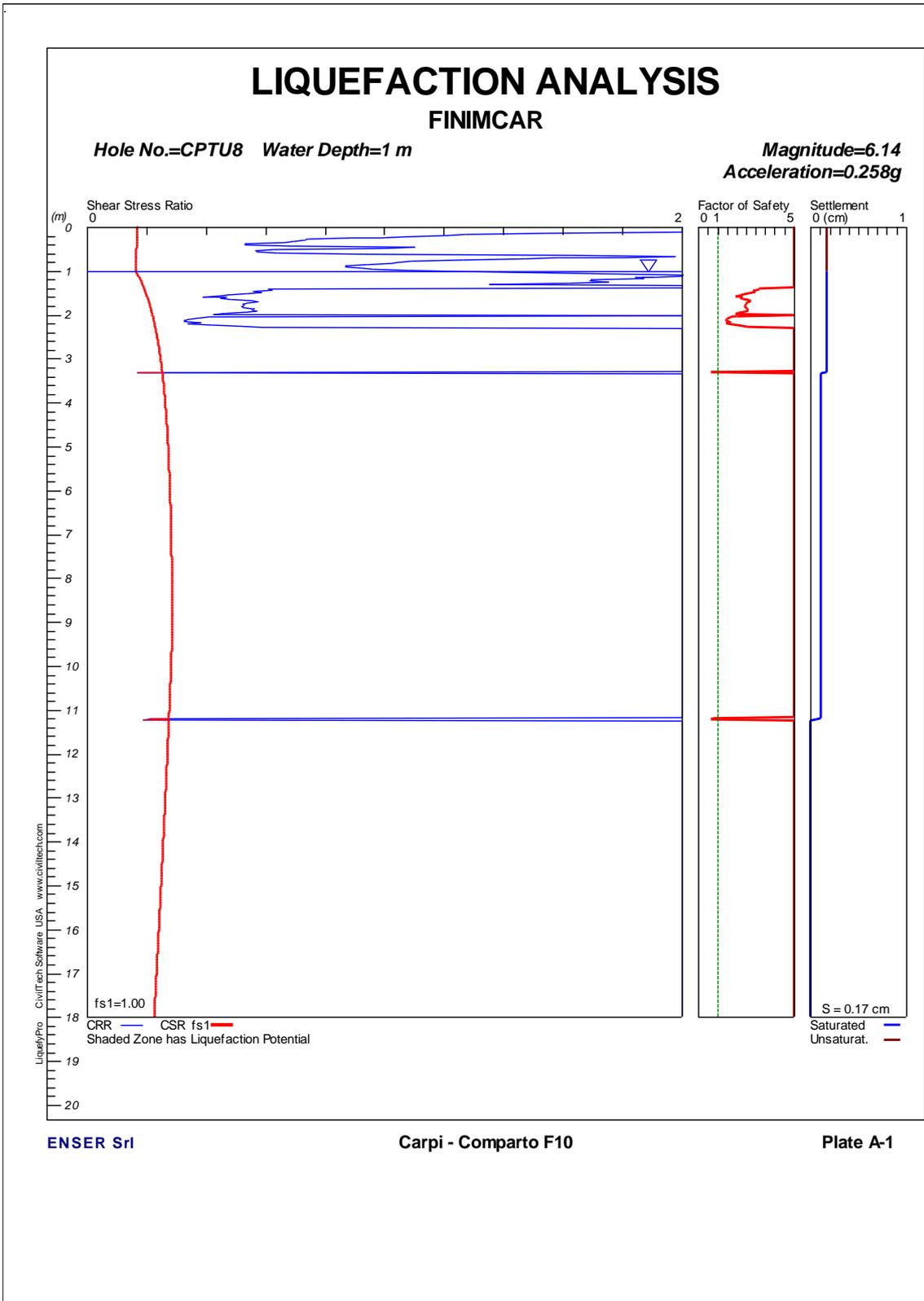


Figura 9.10: Analisi di liquefazione (CPTU8).



ENSER
SOCIETA' DI INGEGNERIA

Committente:
FINIMCAR S.r.l.

Documento:
Relazione Sismica

Lavoro:
COMPARTO F10 - CARPI (MO)

Codice: S14026-CT-RE-003-1
Data: 02/10/2015

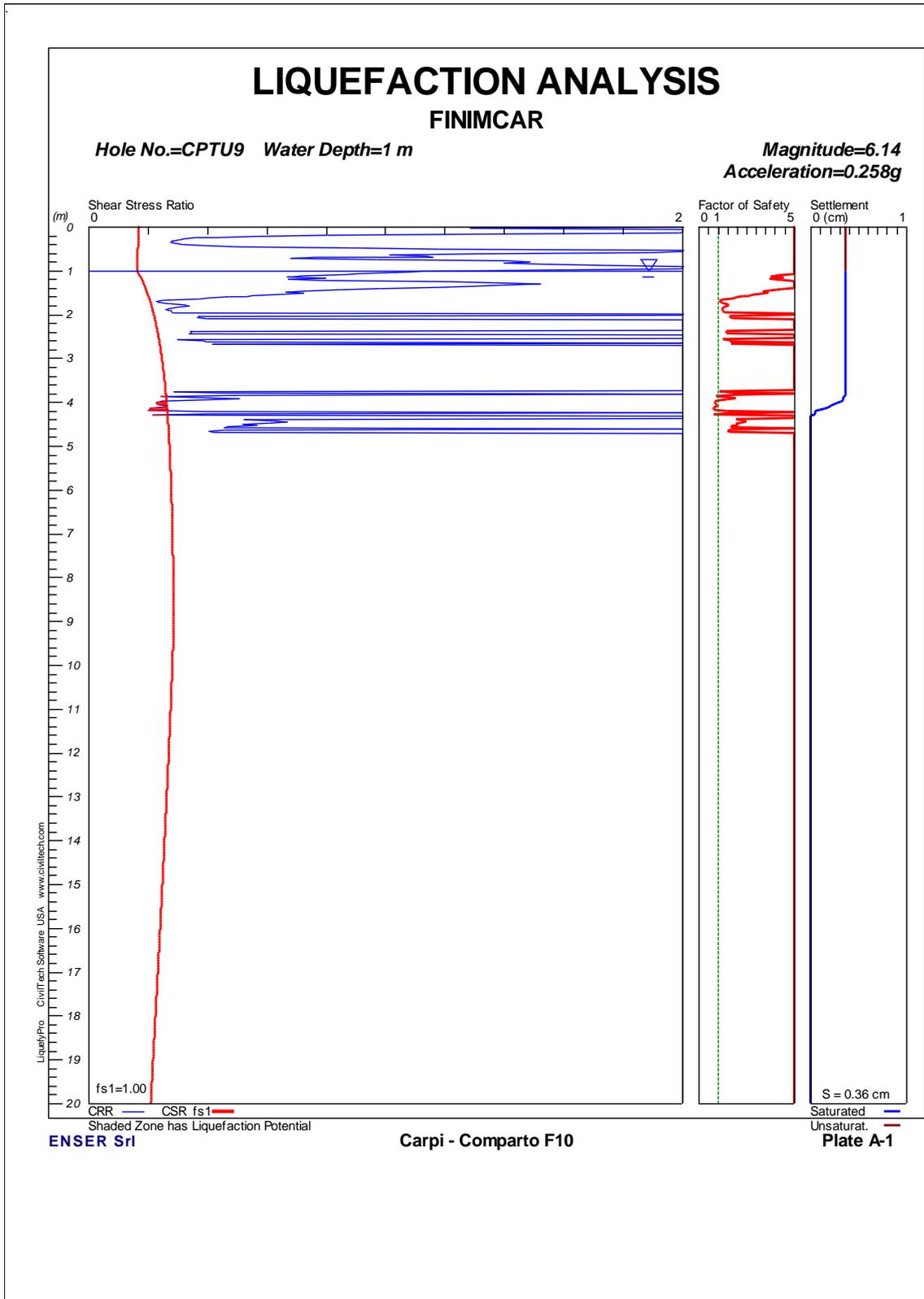


Figura 9.11: Analisi di liquefazione (CPTU9).



ENSER
SOCIETA' DI INGEGNERIA

Committente:
FINIMCAR S.r.l.

Documento:
Relazione Sismica

Lavoro:
COMPARTO F10 - CARPI (MO)

Codice: S14026-CT-RE-003-1
Data: 02/10/2015

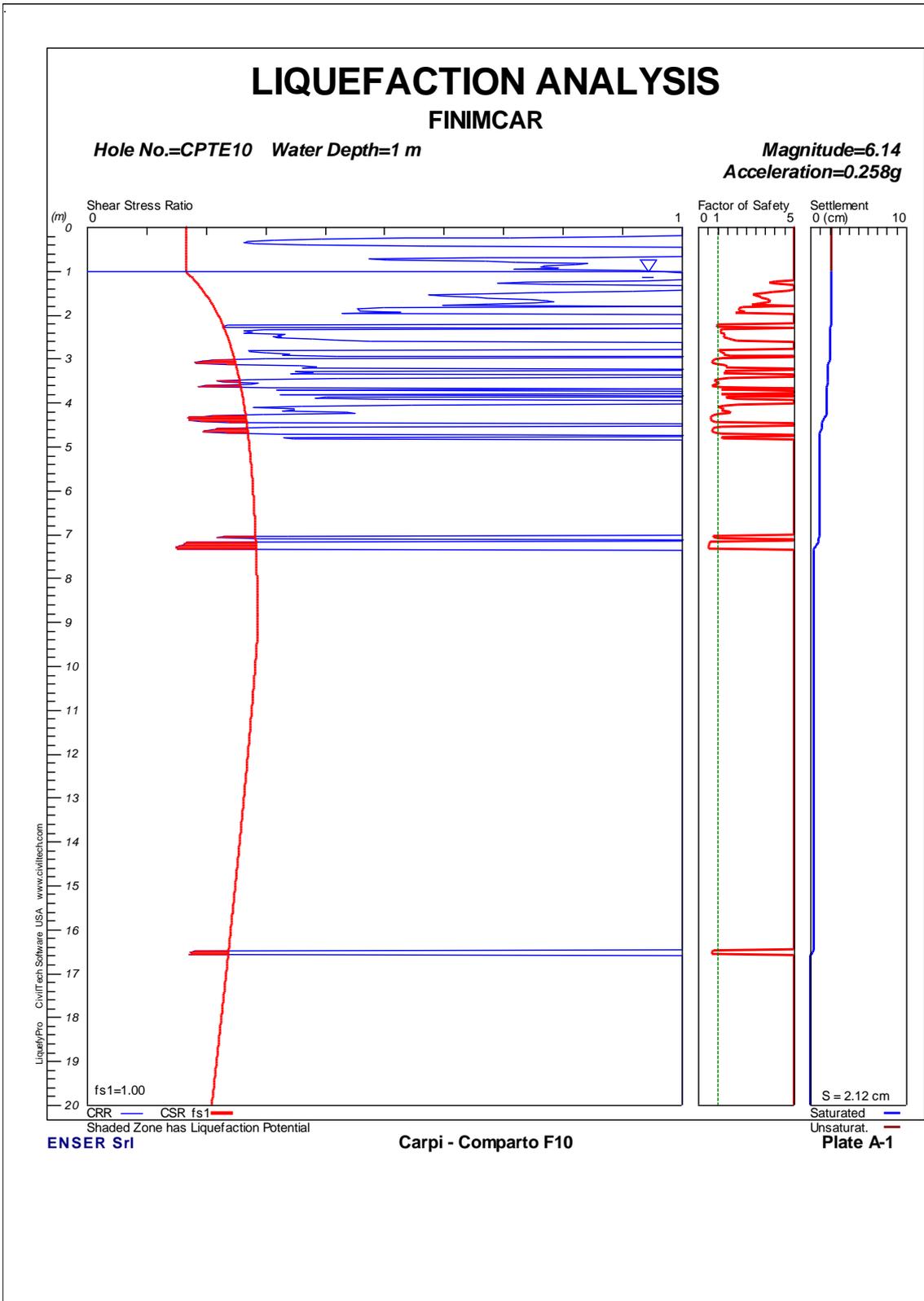


Figura 9.12: Analisi di liquefazione (CPTU10).



ENSER
SOCIETA' DI INGEGNERIA

Committente:
FINIMCAR S.r.l.

Documento:
Relazione Sismica

Lavoro:
COMPARTO F10 - CARPI (MO)

Codice: S14026-CT-RE-003-1
Data: 02/10/2015

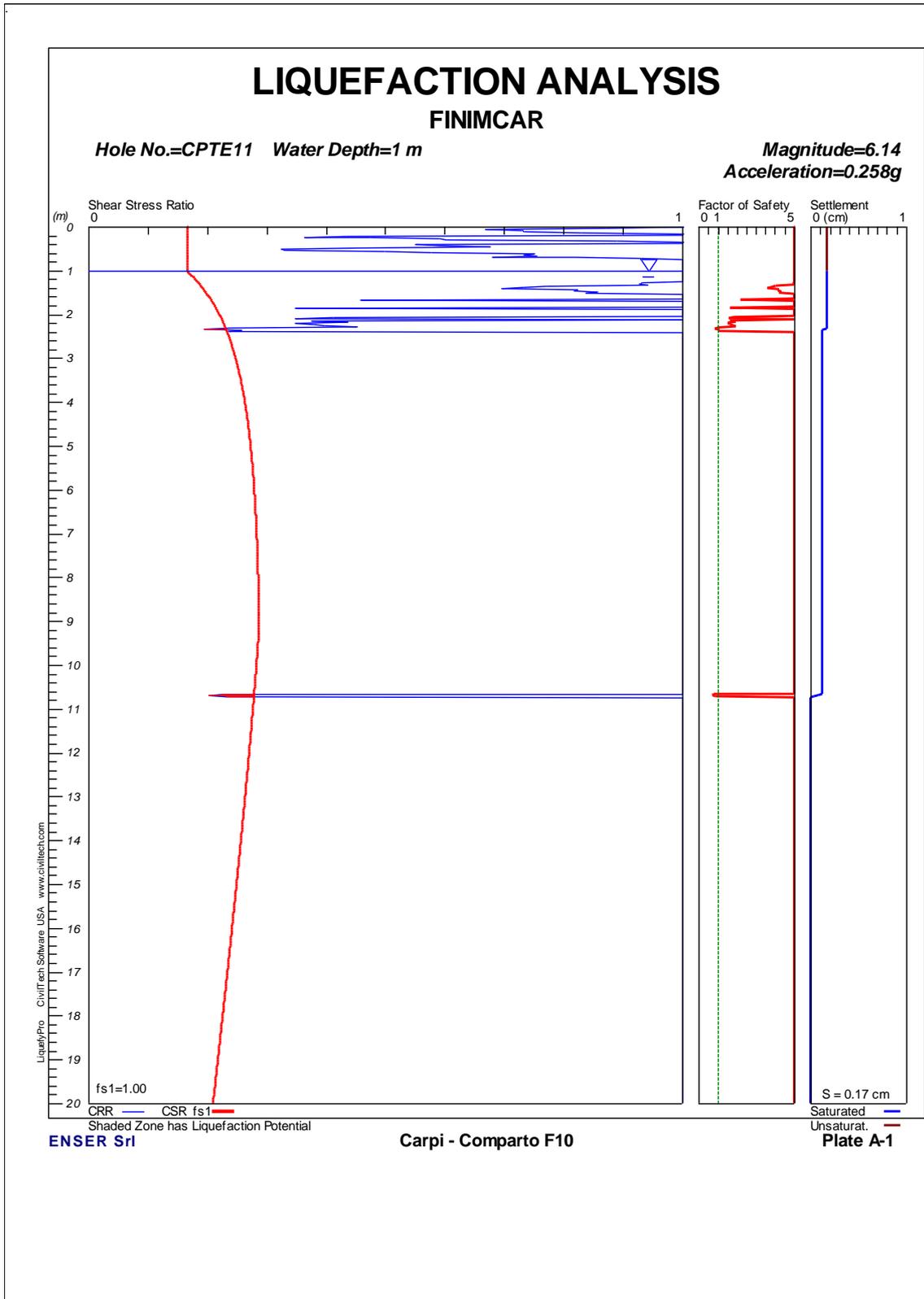


Figura 9.13: Analisi di liquefazione (CPTE11).



ENSER
SOCIETA' DI INGEGNERIA

Committente:
FINIMCAR S.r.l.

Documento:
Relazione Sismica

Lavoro:
COMPARTO F10 - CARPI (MO)

Codice: S14026-CT-RE-003-1
Data: 02/10/2015

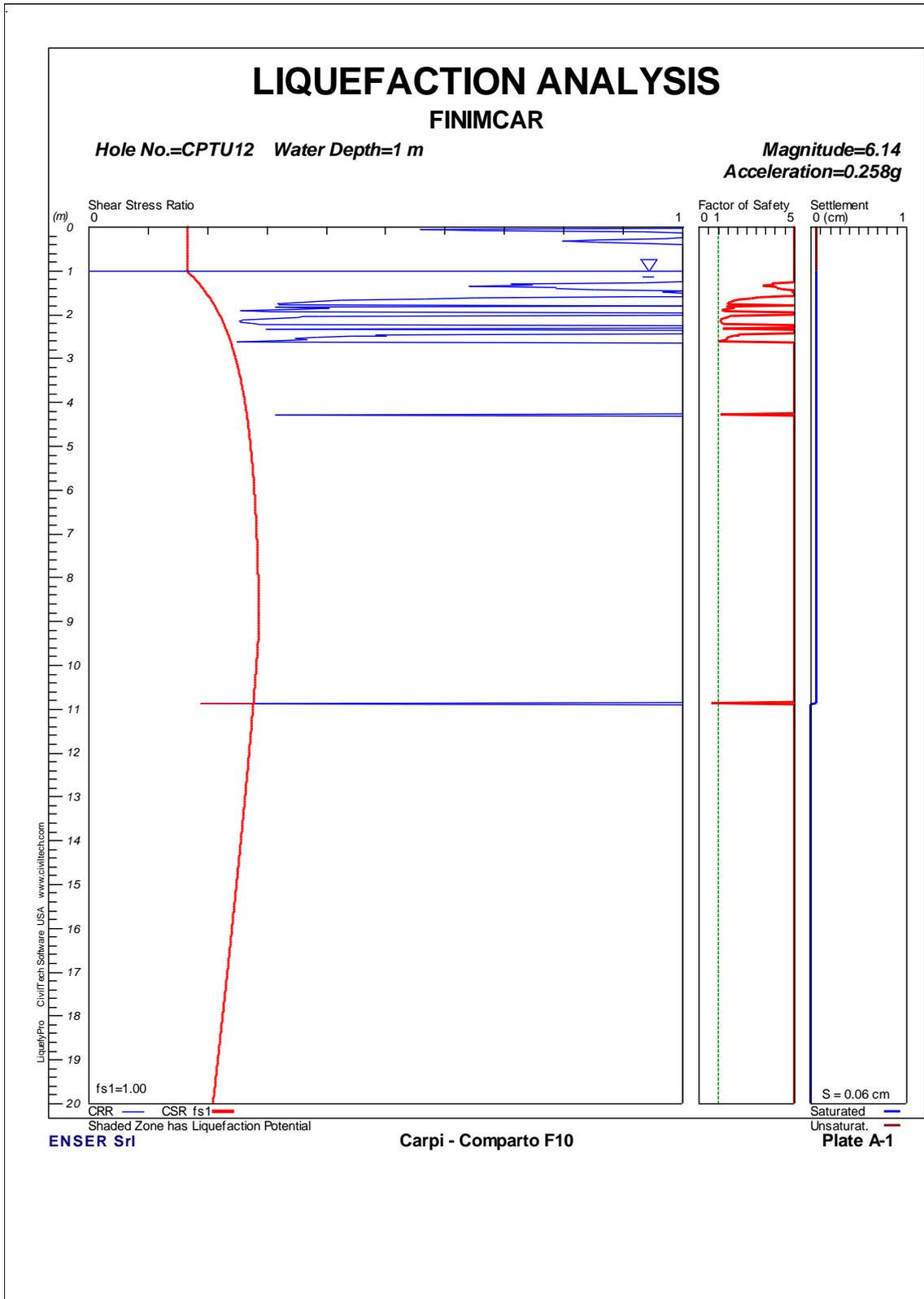


Figura 9.14: Analisi di liquefazione (CPTU12).

	Committente: FINIMCAR S.r.l.	Documento: Relazione Sismica
	Lavoro: COMPARTO F10 - CARPI (MO)	Codice: S14026-CT-RE-003-1 Data: 02/10/2015

10. SINTESI CONCLUSIVA

La presente relazione sismica è stata redatta nell'ambito del progetto di urbanizzazione industriale del comparto commerciale-direzionale F10 sito in Carpi (MO), angolo via Nuova Ponente – tangenziale Bruno Losi.

In riferimento alla vigente classificazione sismica dei Comuni della Regione Emilia-Romagna, **il Comune di Carpi risulta classificato in zona 3**, presentando pertanto una bassa pericolosità per quanto concerne il rischio sismico.

In riferimento ai valori di disaggregazione della pericolosità sismica del sito fornita dall'INGV, espressa in termini bidimensionali di magnitudo e distanza (M-R), ed in considerazione del potenziale sismogenetico associato alle sorgenti afferenti l'area, **uno scenario medio di progetto può essere caratterizzato da un sima di magnitudo $M_w = 4.95$** .

Occorre però sottolineare che, dal punto di vista sismo-tettonico, l'area si trova al margine di importanti sorgenti sismogenetiche associate al fronte sepolto dell'Appennino settentrionale ed in particolare alla cosiddetta "Dorsale Ferrarese", la cui attività è storicamente documentata da numerosi eventi sismici e più recentemente dalla sequenza sismica emiliana del maggio 2012.

In particolare, in base alla zonazione sismogenetica ZS9 del territorio nazionale tale struttura sismica è inserita all'interno della zona sismogenetica 912, alla quale è associata una **magnitudo massima attesa $M_w = 6.14$** .

Per quanto concerne gli aspetti sismici dell'area e la definizione dell'azione sismica di riferimento ai sensi del D.M. 14.01.2008, i terreni in sito sono classificabili come **suolo di categoria C**, mentre la **superficie topografica** può essere classificata di **categoria T1**, con coefficiente di amplificazione topografica $S_T = 1.0$.

In relazione alla presenza nel sottosuolo di terreni granulari saturi, sono stati valutati inoltre gli effetti di sito in termini di valutazione del potenziale di liquefazione e cedimenti post-sismici dei terreni granulari.

Dalle analisi effettuate, condotte in riferimento ad un valore di magnitudo $M_w = 6.14$, la valutazione del rischio di liquefazione in termini integrali (potenziale di liquefazione I_L) indica valori di I_L sempre inferiori a 2, ad eccezione della verticale CPTU1 ($I_L = 2.42$), e mediamente inferiori a 1.

Di conseguenza **il rischio di liquefazione risulta basso**, né si ritengono necessari interventi di mitigazione inerenti il rischio di liquefazione.

Dott. Geol. Stefano Ferro

Dott. Ing. Gianfranco Marchi



	Committente: FINIMCAR S.r.l.	Documento: Relazione Sismica
	Lavoro: COMPARTO F10 - CARPI (MO)	Codice: S14026-CT-RE-003-1 Data: 02/10/2015

APPENDICE A: Indagini geofisiche

CARPI VIANUOVAPONENTE23, ENSER T1

Strumento: TEN-0017/01-07

Inizio registrazione: 09/06/14 15:36:35 Fine registrazione: 09/06/14 15:56:36

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN ; TRIG+ TRIG-

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

Analizzato 45% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

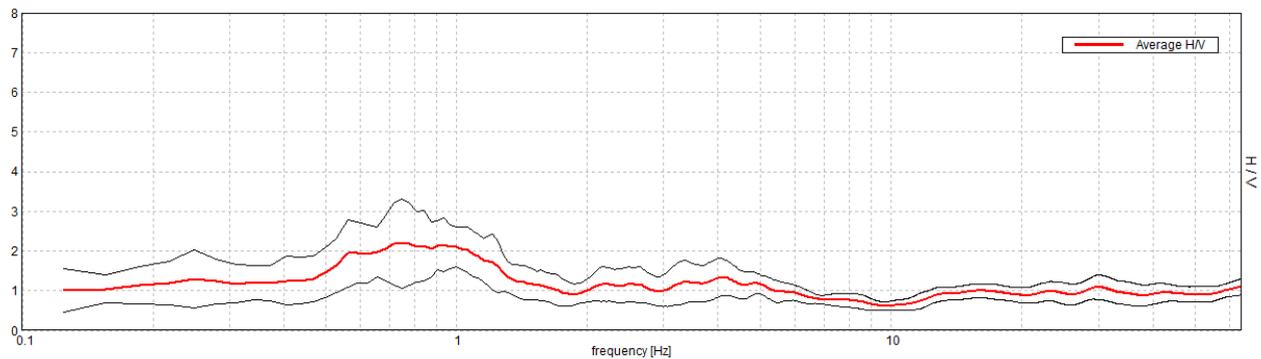
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

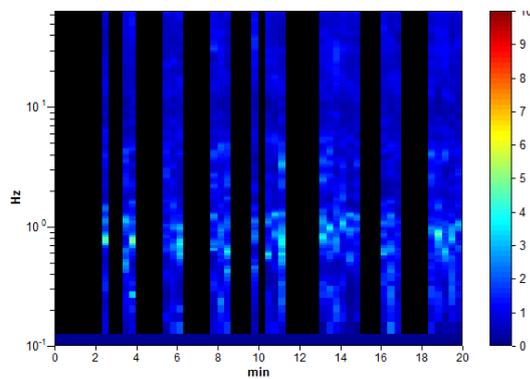
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

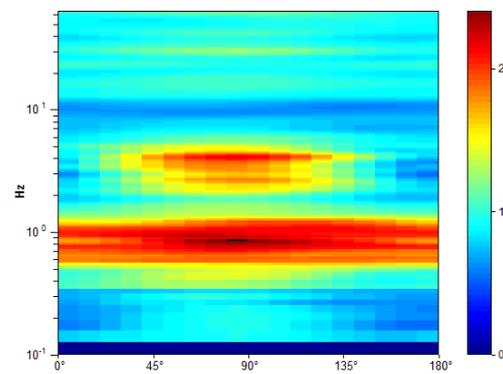
Picco H/V a 0.75 ± 0.03 Hz (nell'intervallo 0.0 - 20.0 Hz).



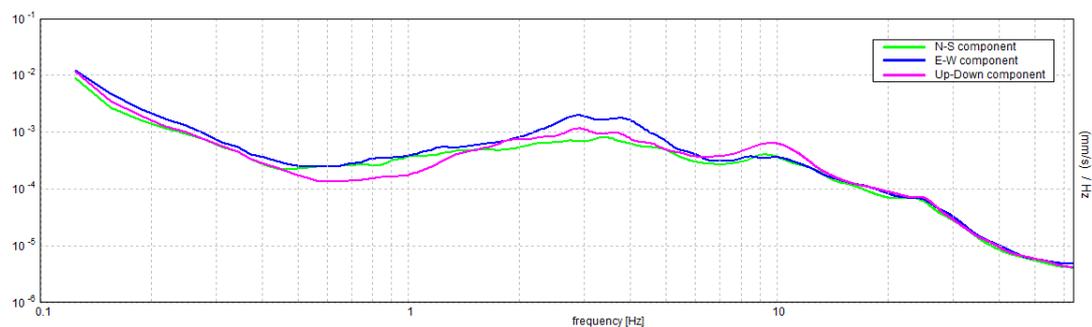
SERIE TEMPORALE H/V



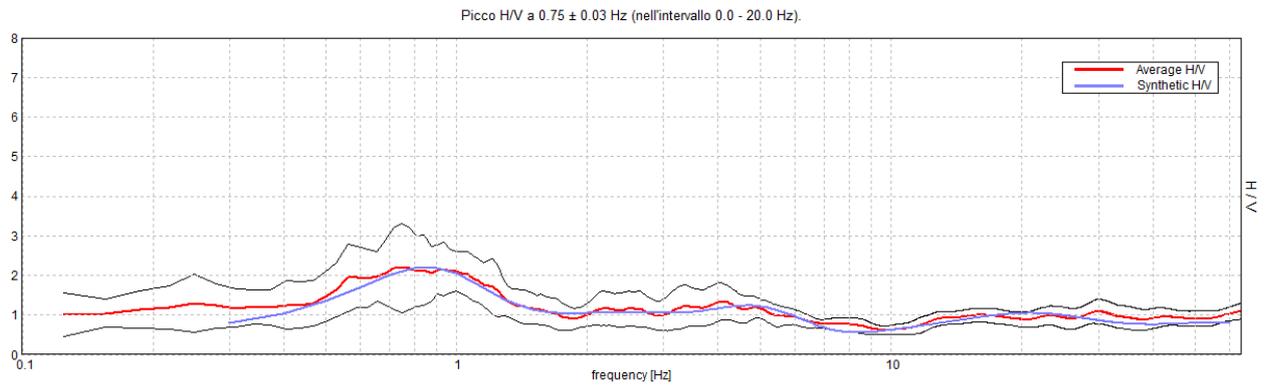
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

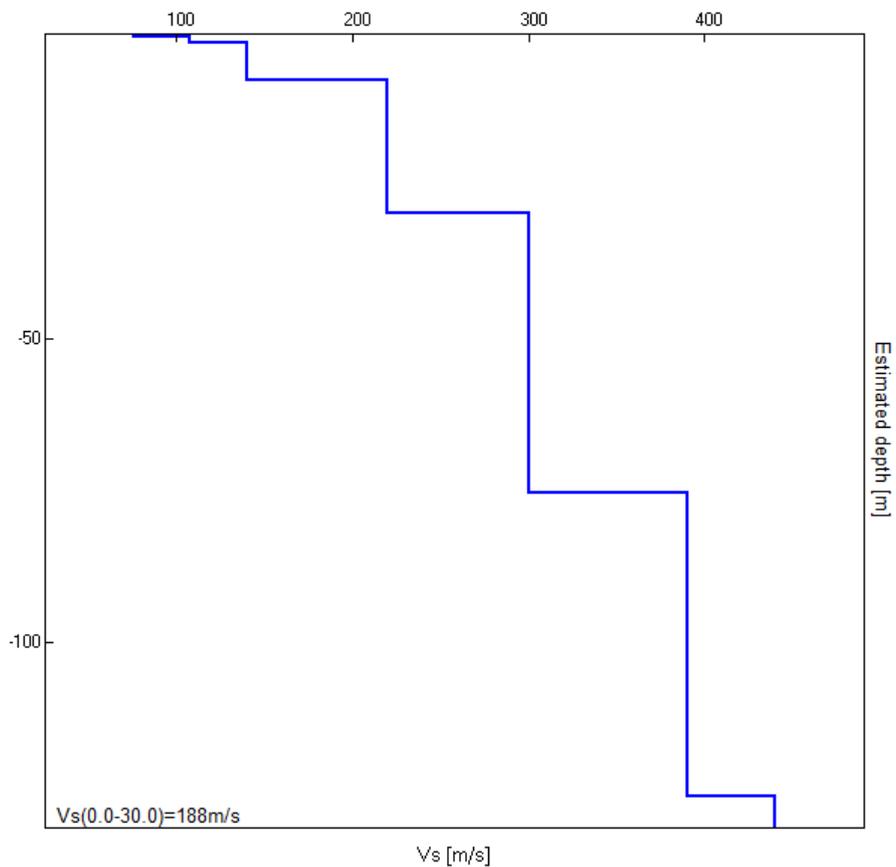


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.30	0.30	76	0.49
1.30	1.00	108	0.49
7.50	6.20	140	0.49
29.50	22.00	220	0.48
75.50	46.00	300	0.48
125.50	50.00	390	0.45
inf.	inf.	440	0.45

Vs(0.0-30.0)=188m/s



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

Picco H/V a 0.75 ± 0.03 Hz (nell'intervallo 0.0 - 20.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.75 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$405.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 37	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.625 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.19 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01832 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.01374 < 0.1125$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.538 < 2.0$	OK	

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

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

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

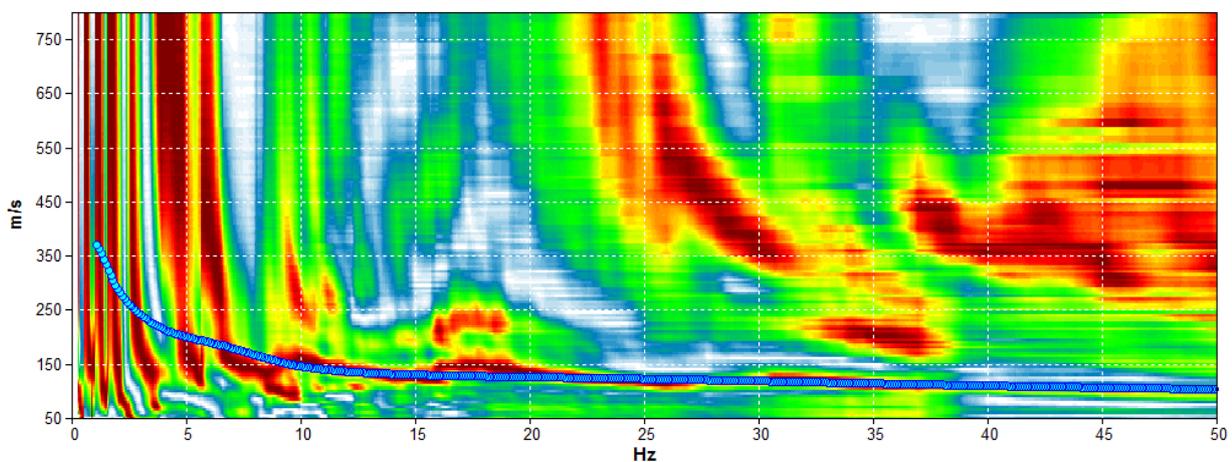
CARPI VIANUOVAPONENTE23, ENSER T1

Inizio registrazione: 09/06/14 15:36:35 Fine registrazione: 09/06/14 15:56:36
 Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 45% tracciato (selezione manuale)
 Freq. campionamento: 128 Hz

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN ; TRIG+ TRIG-

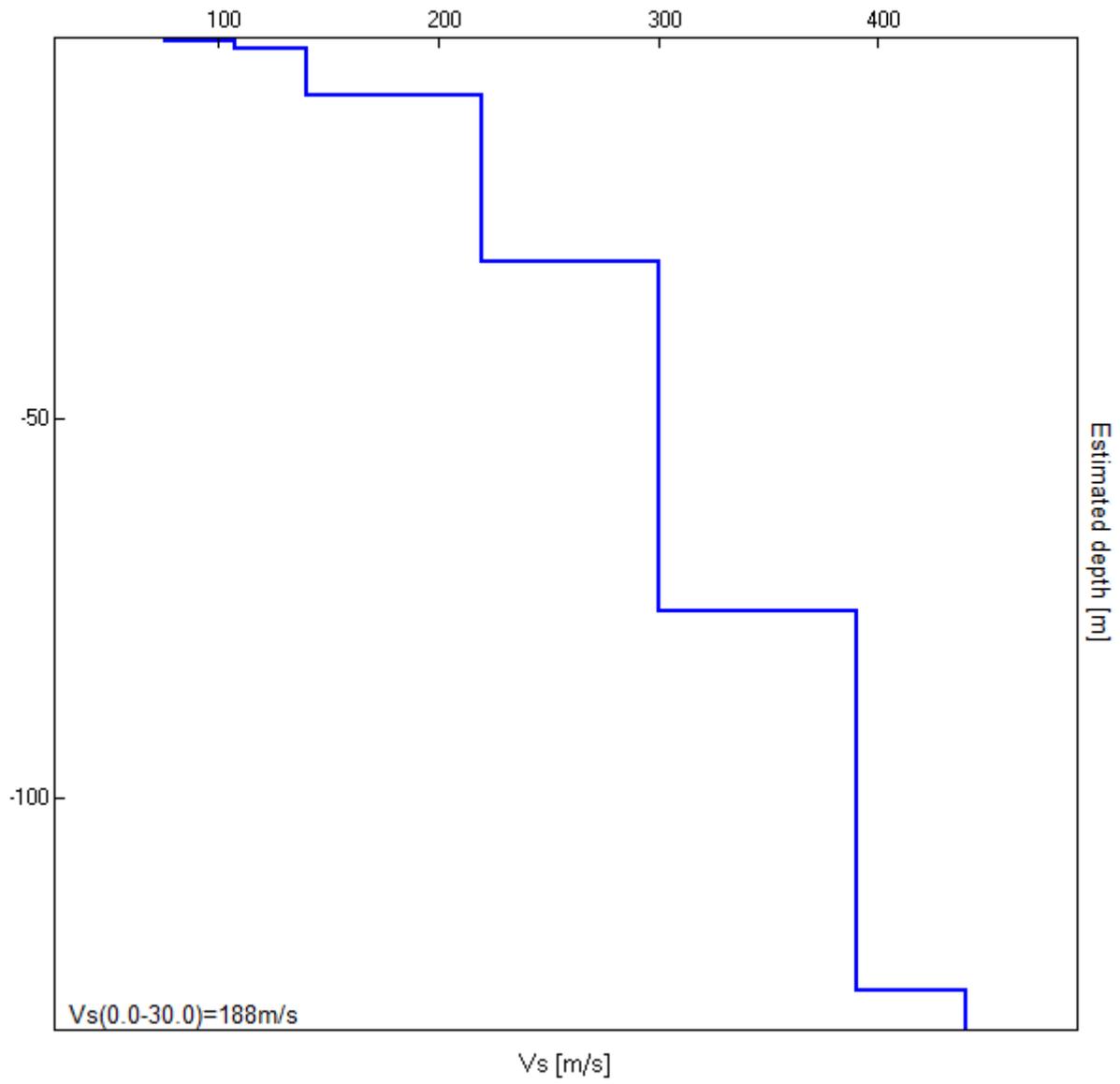
Array geometry (x): 0.0 2.0 4.0 6.0 8.0 10.0 12.0 14.0 16.0 18.0 20.0 22.0 24.0 26.0 28.0 30.0 32.0 34.0 36.0
 38.0 40.0 42.0 44.0 46.0 48.0 50.0 52.0 54.0 56.0 58.0 60.0 m.

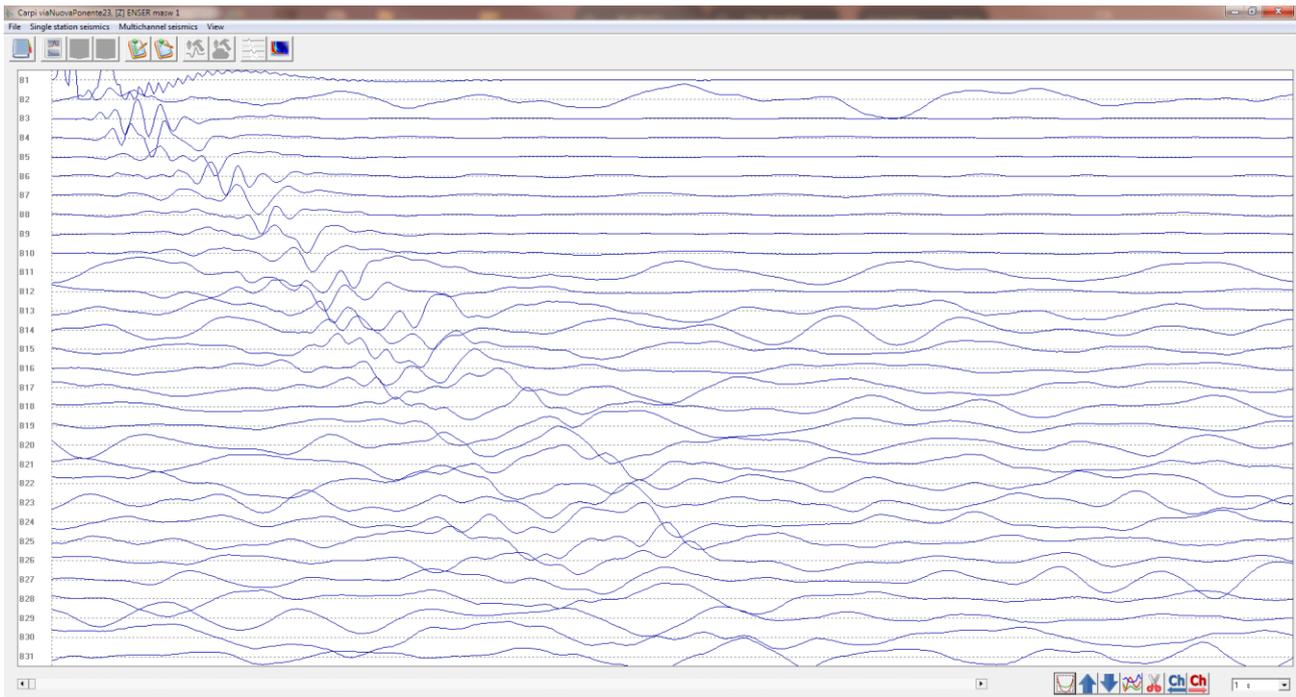
MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.30	0.30	76	0.49
1.30	1.00	108	0.49
7.50	6.20	140	0.49
29.50	22.00	220	0.48
75.50	46.00	300	0.48
125.50	50.00	390	0.45
inf.	inf.	440	0.45

Vs(0.0-30.0)=188m/s





CARPI VIANUOVAPONENTE23, ENSER T2

Strumento: TEN-0017/01-07

Inizio registrazione: 09/06/14 16:18:23 Fine registrazione: 09/06/14 16:38:24

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

Analizzato 57% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

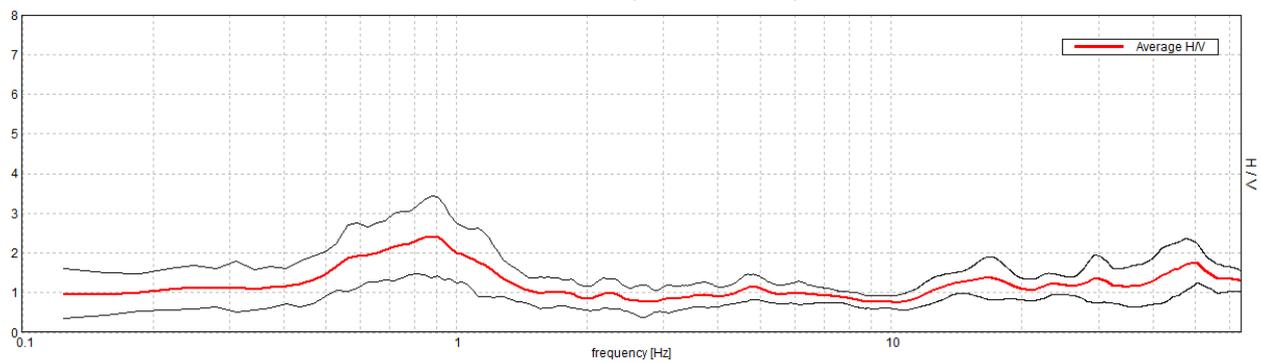
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

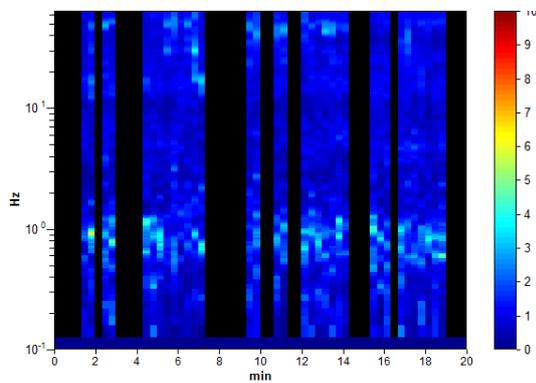
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

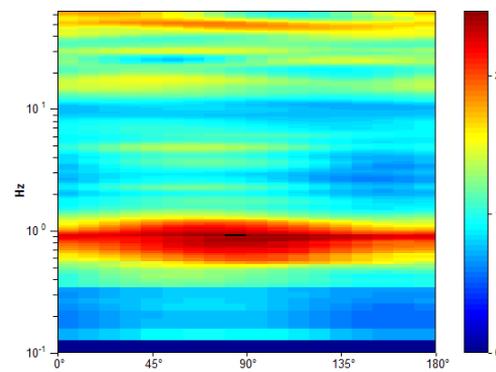
Picco H/V a 0.91 ± 0.01 Hz (nell'intervallo 0.0 - 20.0 Hz).



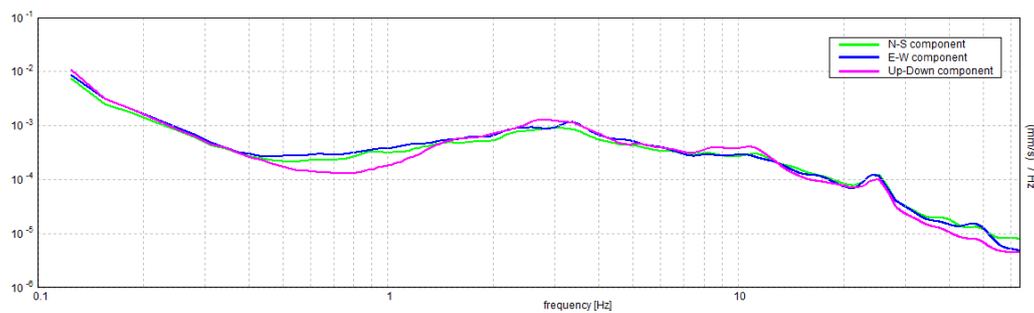
SERIE TEMPORALE H/V



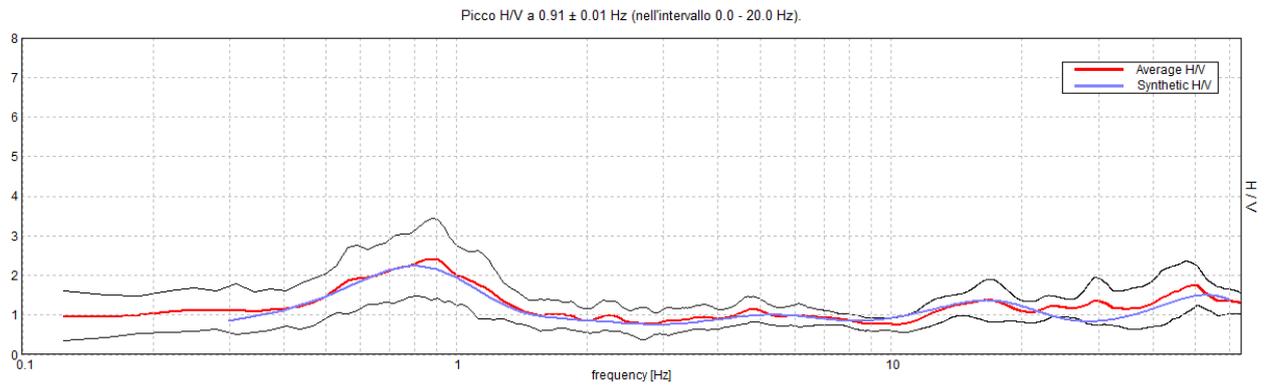
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

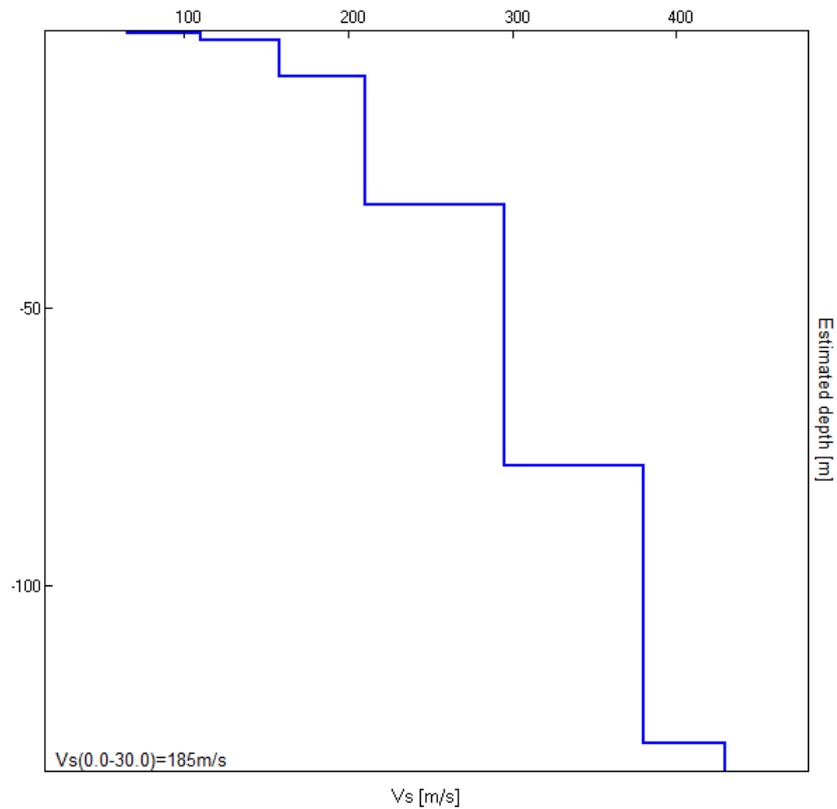


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.30	0.30	65	0.49
1.70	1.40	110	0.49
8.20	6.50	158	0.49
31.20	23.00	210	0.48
78.20	47.00	295	0.48
128.20	50.00	380	0.45
inf.	inf.	430	0.45

Vs(0.0-30.0)=185m/s



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

Picco H/V a 0.91 ± 0.01 Hz (nell'intervallo 0.0 - 20.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.91 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$616.3 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 44	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.406 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.375 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.42 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00591 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.00536 < 0.13594$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4806 < 2.0$	OK	

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

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

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

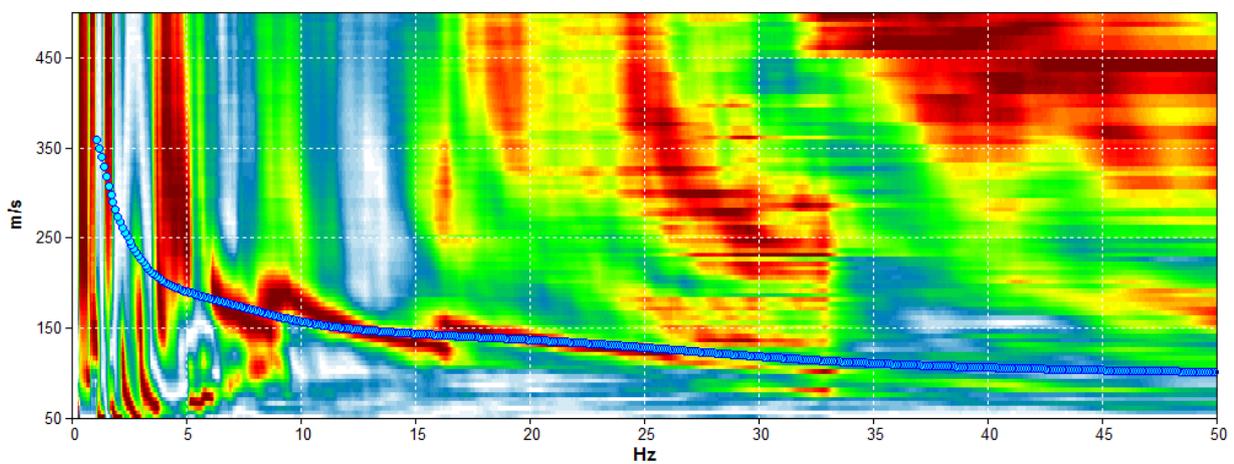
CARPI VIANUOVAPONENTE23, ENSER T2

Inizio registrazione: 09/06/14 16:18:23 Fine registrazione: 09/06/14 16:38:24
 Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 57% tracciato (selezione manuale)
 Freq. campionamento: 128 Hz

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Array geometry (x): 0.0 2.0 4.0 6.0 8.0 10.0 12.0 14.0 16.0 18.0 20.0 22.0 24.0 26.0 28.0 30.0 32.0 34.0 36.0
 38.0 40.0 42.0 44.0 46.0 48.0 50.0 52.0 54.0 56.0 58.0 60.0 m.

MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.30	0.30	65	0.49
1.70	1.40	110	0.49
8.20	6.50	158	0.49
31.20	23.00	210	0.48
78.20	47.00	295	0.48
128.20	50.00	380	0.45
inf.	inf.	430	0.45

Vs(0.0-30.0)=185m/s

