



PROTEZIONE CIVILE
 Presidenza del Consiglio dei Ministri
 Dipartimento della Protezione Civile



Regione Emilia Romagna



CONFERENZA DELLE REGIONI
 E DELLE PROVINCE AUTONOME

Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n.77

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione Illustrativa

Regione Emilia-Romagna
 Comune di Castrocaro Terme e Terra del Sole



<p>Regione</p>	<p>Soggetto realizzatore</p>  <p>GeoExploration <small>www.geoexploration.net srl</small></p> <p>Via Costiera n.3/A, 47122 Forlì Tel/Fax (+39) 0543 782462 e-mail: info@geoexploration.net C.F. / P.IVA 03922790401 - R.E.A. 322247</p> <p>Collaboratori: Dr. Geol. Arianna Lazzerini geologia e geotecnica Dr. Daniele Bronzetti elaborazioni cartografiche</p>	<p>Data</p> <p style="text-align: right;">Dicembre 2013</p>
----------------	---	---

Sommario

1 - INTRODUZIONE	3
2 - PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO	4
3 - ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA	12
3.1 - Inquadramento territoriale	12
3.2 - Caratteri morfogeologici e geomorfologici	12
3.3 - Lineamenti tettonici	15
3.4 - inquadramento geologico	16
4 - DATI GEOTECNICI E GEOFISICI	23
5 - MODELLO DEL SOTTOSUOLO	25
6 - INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE	27
7 - METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI	28
8 - ELABORATI CARTOGRAFICI	32
9 - CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI	38
10 - BIBLIOGRAFIA	39
11 - ALLEGATI	40

1 - INTRODUZIONE

Il presente rapporto è stato redatto quale elaborato di sintesi delle principali fasi di studio, delle indagini eseguite dei dati acquisiti nonché delle elaborazioni e dei risultati dello studio eseguito secondo quanto definito nell'allegato C della Delibera della Giunta Regionale 1302/2012 recante gli indirizzi e i criteri di microzonazione sismica per i territori che hanno beneficiato dei contributi di cui all'OPCM 4007/2012.

Gli studi di microzonazione sismica (di seguito MZS), che si realizzano sul territorio regionale si attengono alle procedure e modalità stabilite dalla citata Ordinanza e dalla DAL. n. 112 del 4 aprile 2007 della Regione Emilia Romagna L'O.P.C.M. n. 4007/2012, dispone inoltre che le Regioni individuino, con proprio provvedimento, i territori nei quali è prioritaria la realizzazione degli studi di MZS, definendo, come soglia generale di ammissibilità al finanziamento, il valore di accelerazione orizzontale massima "ag" superiore o uguale a 0,125 g, Il Comune di Castrocaro Terme e Terra del Sole appartiene all'elenco dei comuni con $ag > 0,125$ per il quale è già stato svolto uno studio di Microzonazione Sismica di Livello 1 pertanto è oggetto dello studio di MZS di Livello 2. I risultati delle indagini e i valori dei parametri presentati nella presente relazione sono intesi a solo uso della MZS del territorio comunale di riferimento e pertanto ai soli fini di pianificazione urbanistica. In nessun caso i risultati delle indagini e i valori dei parametri potranno essere impiegati ai fini della progettazione edilizia in zona sismica, per la quale vigono unicamente le Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC 2008). Nessuna responsabilità potrà essere attribuita agli autori del presente studio, per l'uso improprio dei dati in esso presentati.

La MZS si propone l'obiettivo di definire la pericolosità sismica locale attraverso l'individuazione di zone o porzioni di territorio caratterizzate da un comportamento sismico omogeneo. Per il caso specifico ci si è avvalsi dei dati disponibili forniti dall'Ente e dagli studi di MZS di Livello 1 predisposti dalla Provincia di Forlì – Cesena nel corso di redazione del PTCP/PSC territoriale e riportati nella tavola 6 del medesimo studio.

I principali documenti tecnici utilizzati come riferimento per la realizzazione di tale studio sono:

- I. DGR 1302/2012** "Criteri per la realizzazione degli studi di microzonazione sismica e archiviazione informatica di cui all'OPCM 4007/2012 e decreto del 16 marzo 2012 del Capo del Dipartimento della Protezione Civile" con particolare riferimento allegato C e D.
- II. Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica (di seguito I.C.M.S.),** redatti dal Dipartimento della Protezione Civile (in seguito D.P.C.) ed approvati il 13 novembre 2008 dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome;
- III. D.A.L. 112/2007.** Deliberazione dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia Romagna n.112 del 2 maggio 2007: Approvazione dell'Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art.16 comma 1,

della L.R. 20/2000 per "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica"

IV.Standard di rappresentazione e archiviazione informatica . Microzonazione sismica . Versione 2.0

2 - PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO
--

Negli ultimi anni il punto di riferimento per le valutazioni di pericolosità sismica è costituito dalla zonazione sismogenetica ZS9 (Scandone et al. 1996 - 2000) che rappresenta la traduzione operativa del modello sismotettonico riassunto in Meletti et al. (2000). In seguito all'emanazione dell'O.P.C.M. 20/03/2003, n. 3274 è stato redatto a cura di un gruppo di lavoro dell'INGV un documento denominato "Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall' O.P.C.M. 20/03/2003, n. 3274. Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, (aprile 2004).

Tale modello riprende sostanzialmente il retroterra informativo della precedente zonazione, recependo i più recenti avanzamenti delle conoscenze sulla tettonica attiva della penisola anche considerando le indicazioni derivanti da episodi sismici più recenti. La zonizzazione è stata condotta tramite l'analisi cinematica degli elementi geologici, cenozoici e quaternari coinvolti nella dinamica delle strutture litosferiche profonde e della crosta superficiale. Il confronto tra le informazioni che hanno condotto alla costruzione del modello geodinamico e la sismicità osservata ha permesso di costruire la carta nazionale delle zone sismogenetiche.

Per il reperimento dei dati relativi alla sismicità osservata è stato considerato il catalogo storico contenente 2.488 eventi degli ultimi 1.000 anni con intensità epicentrali maggiore o uguale al V – VI grado MCS la cui magnitudo è maggiore o uguale a 4.

La zona che interessa l'area in esame è la 914 "Forlivese". Ogni zonizzazione sismogenetica è caratterizzata da un definito modello cinematico il quale sfrutta una serie di relazioni di attenuazione stimate sulla base di misurazioni accelerometriche effettuate sia sul territorio nazionale che europeo. Sulla base di tali zone, per tutto il territorio italiano, sono state sviluppate le carte della pericolosità sismica. Nella Zona Sismogenetica 914 sono previsti, sulla base dei meccanismi focali, valori di massima magnitudo (M_{wmax}) pari a 6,14. Il risultato, per ogni comune, è rappresentato da una stima del rischio sismico che tiene conto dell'intera storia sismica riportata nel catalogo sismico nazionale e che viene espresso in termini probabilistici. La pericolosità sismica di riferimento ipotizza un substrato omogeneo in roccia ed è espressa in PGA (Peak Ground Acceleration) con associato un periodo di ritorno di 475 anni, valore convenzionale in quanto rappresenta l'accelerazione associata alla probabilità del 90% di non superamento considerando un periodo di ritorno di 50 anni.

La mappa di pericolosità sismica del territorio, riportata in stralcio alla figura 1, tratta dall'allegato 2 punto 3.1 della succitata OPCM 3274, individua per il comune di Castrocaro Terme e Terra del Sole un'accelerazione massima attesa, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni e riferita a suoli rigidi ($V_s > 800$ m/sec), compresa tra 0.200 e 0.225 g.

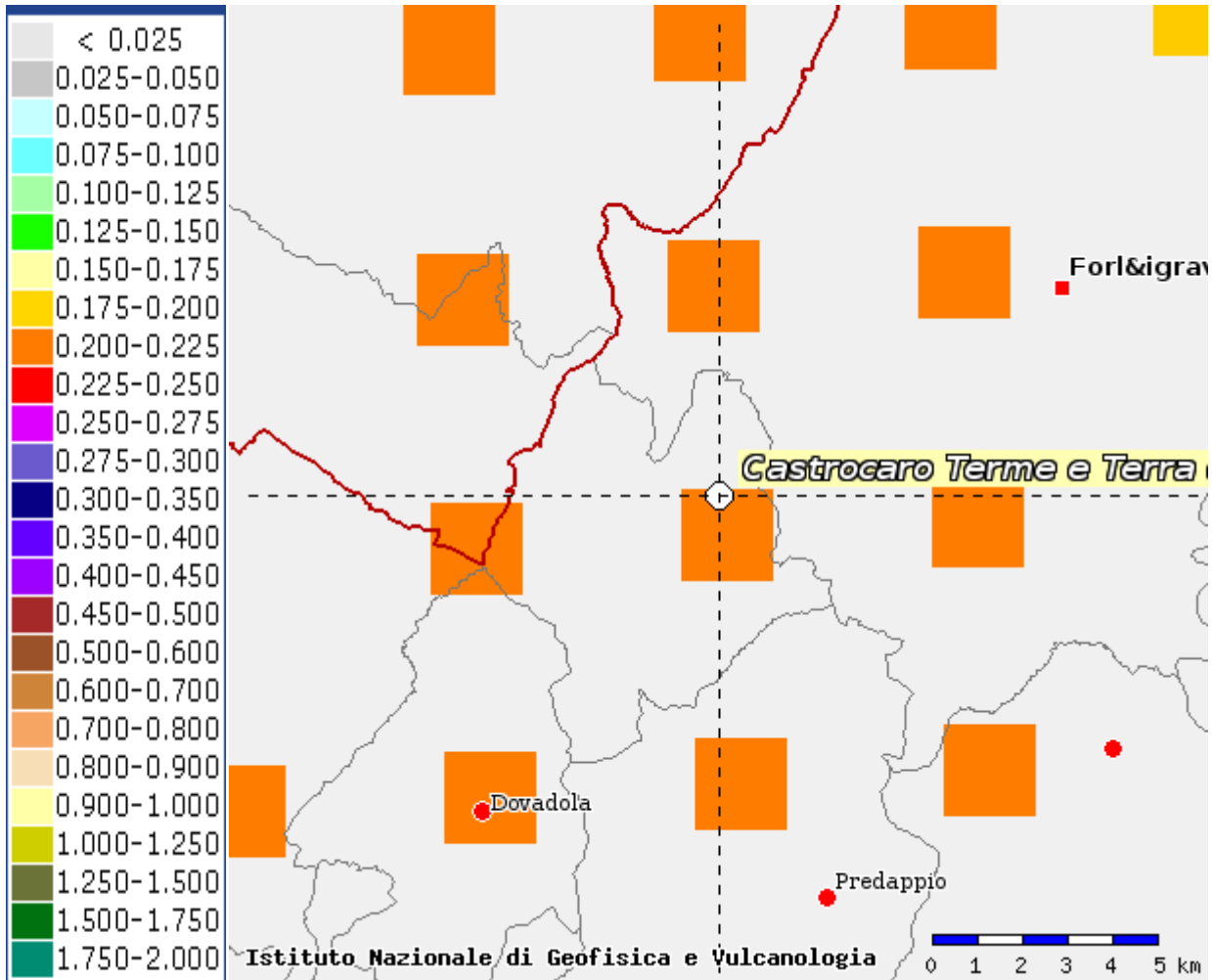
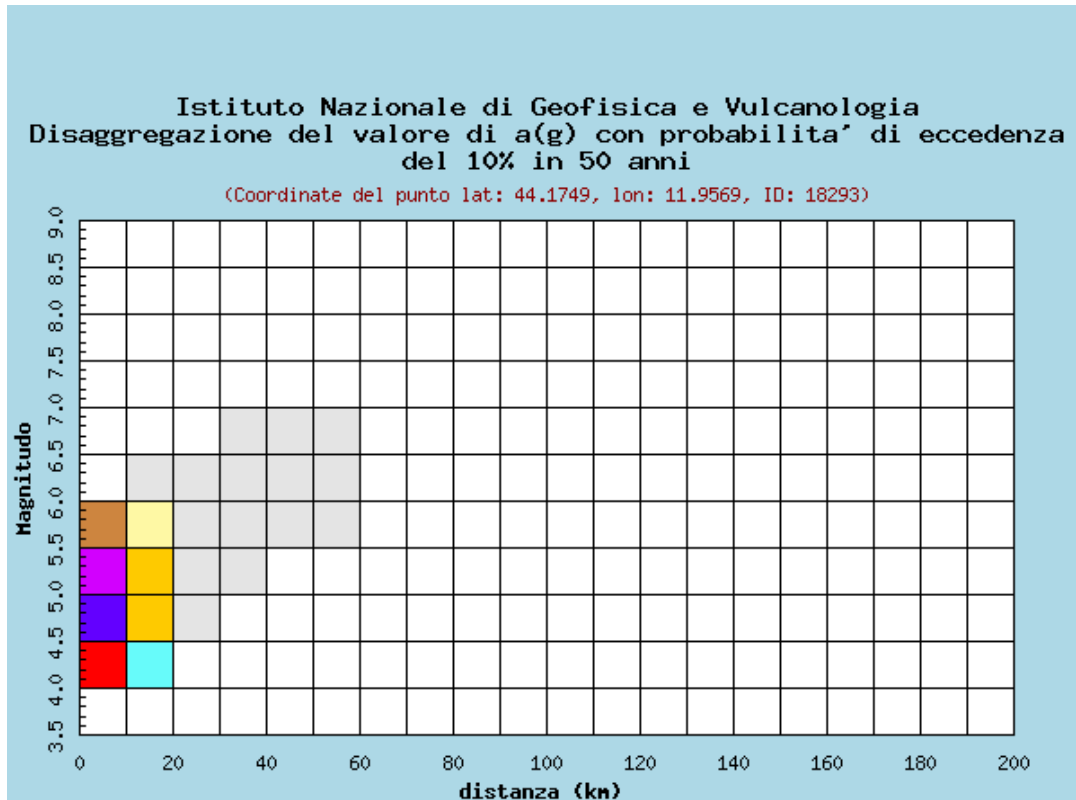


Figura 1 - MAPPA DI PERICOLOSITÀ SISMICA IN VALORI DI PGA con periodo di ritorno di 475 anni (pari alla probabilità di non eccedenza del 90% in 50 anni) Le aree a diverso PGA sono differenziate in base a colorazioni diverse corrispondenti alle diverse classi. (da ingv)

Di seguito si riportano i grafici di disaggregazione del punto evidenziato in fig.1

**COMUNITA' MONTANA DELL'APPENNINO FORLIVESE
 COMUNE DI CASTROCARO TERME E TERRA DEL SOLE (FC)
 Microzonazione sismica di II livello**



Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 44.1749, lon: 11.9569, ID: 18293)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	17.800	34.400	20.300	7.870	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	1.320	5.390	6.510	4.130	0.029	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.000	0.068	0.691	0.969	0.084	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.000	0.018	0.199	0.117	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.021	0.040	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

**COMUNITA' MONTANA DELL'APPENNINO FORLIVESE
 COMUNE DI CASTROCARO TERME E TERRA DEL SOLE (FC)
 Microzonazione sismica di II livello**

100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.940	6.790	1.070

L'intero territorio italiano è stato suddiviso in quattro zone contraddistinte da differenti valori di PGA

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni
1	>0.25
2	0.15 - 0.25
3	0.05 - 0.15
4	<0.05

Tabella 1 - Valori di PGA per le varie zone

Di seguito si riporta la zonizzazione relativa al territorio regionale.

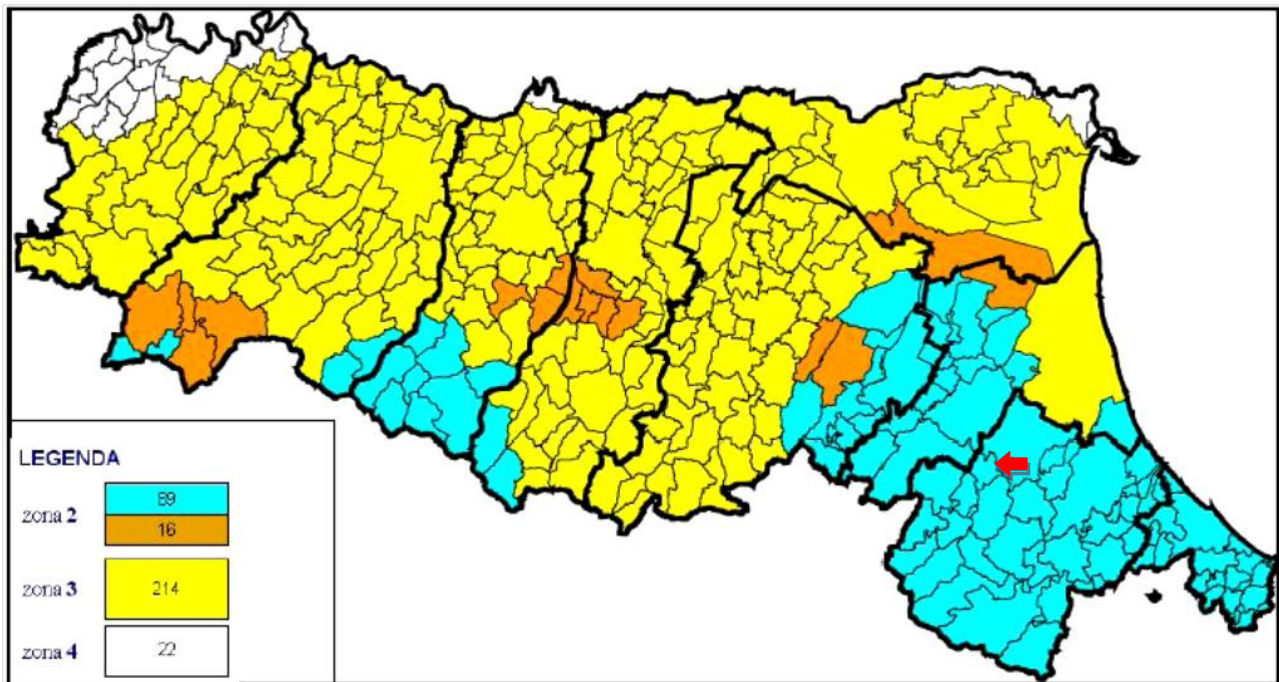


FIG. 2- CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI COMUNI DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA – . (Comune di Castrocaro Terme e Terra del Sole )

Come si può verificare dalla carta di macrozonazione sismica della Regione Emilia Romagna il Comune di Castrocaro Terme e Terra del Sole ricade nella Zona 2, definita come zona a "sismicità media" ($S=9$ secondo la precedente Normativa). L'accelerazione massima di riferimento, per il sito oggetto di studio, raggiunge valori massimi di PGA compresa tra 0,15 e 0,25 g.

Sismicità Storica

Il territorio della provincia di Forlì-Cesena è stato sede di una frequente e intensa attività sismica storicamente testimoniata. La figura 3 seguente riporta gli epicentri dei principali terremoti che hanno interessato l'Emilia Romagna e aree limitrofe; le dimensioni dei rettangoli sono proporzionali alla magnitudo (Mw).

COMUNITA' MONTANA DELL'APPENNINO FORLIVESE
 COMUNE DI CASTROCARO TERME E TERRA DEL SOLE (FC)
 Microzonazione sismica di II livello

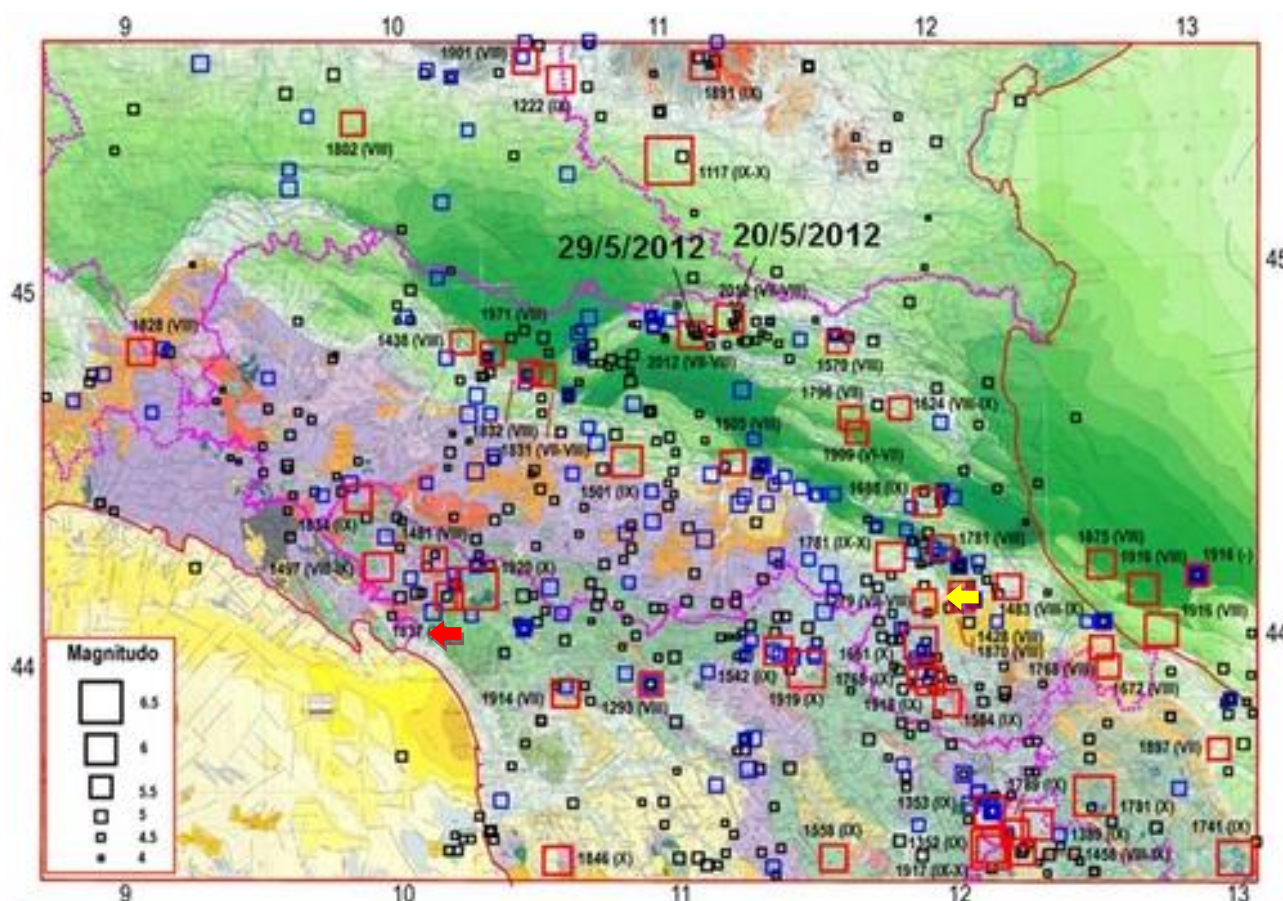


Fig. 3 - Localizzazione degli epicentri dei principali terremoti (magnitudo maggiore di 4) che hanno interessato l'Emilia-Romagna e le aree limitrofe. In azzurro i terremoti di magnitudo compresa tra 5 e 5,5, in rosso i terremoti di magnitudo maggiori di 5,5 (da Mantovani et al., 2013). Sono evidenziati anche i terremoti principali del 20 e 29 maggio 2012 e del 1570. Base cartografica: Structural Model of Italy (CNR,

Dal nuovo database (DBMI11), (<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/>) riporta:

- **Storia sismica di Castrocaro Terme e Terra del Sole (Castrocaro Terme) [44.172, 11.947]**

Numero di eventi: 32

Effetti	In occasione del terremoto del:					
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io	Mw	
8	1428 07 03 05:00	PREDAPPPIO	6	7-8	5.45 ±0.71	
F	1504 12 31 04:00	Bolognese	15			
F	1505 01 03 02:00	Bolognese	31	8	5.57 ±0.25	
5	1505 01 20 23:50	Bolognese	11			
8	1661 03 22 12:50	Appennino romagnolo	79	9	6.09 ±0.16	

**COMUNITA' MONTANA DELL'APPENNINO FORLIVESE
COMUNE DI CASTROCARO TERME E TERRA DEL SOLE (FC)
Microzonazione sismica di II livello**

Effetti	In occasione del terremoto del:				
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw	
7	1688 04 11 12:20	Romagna	39	8-9 5.78 ±0.35	
6	1725 10 29 17:40	Appennino tosco-emiliano	28	8 5.43 ±0.34	
7	1781 04 04 21:20	Romagna	96	9-10 5.94 ±0.17	
6-7	1781 07 17 09:40	Romagna	46	8 5.58 ±0.26	
8	1870 10 30 18:34	Romagna	41	8 5.58 ±0.27	
F	1895 09 04 13:30	Valle del Montone	15	6-7 4.56 ±0.44	
5	1909 01 13 00:45	BASSA PADANA	799	6-7 5.53 ±0.09	
6	1911 02 19 07:18	Romagna meridionale	181	7 5.28 ±0.11	
4-5	1914 10 27 09:22	Garfagnana	618	7 5.76 ±0.09	
5	1915 01 13 06:52	Avezzano	1041	11 7.00 ±0.09	
4	1929 04 10 05:43	Bolognese	87	7 5.03 ±0.13	
6	1935 06 05 11:48	Faentino	27	6 5.16 ±0.25	
5	1952 07 04 20:35	Appennino romagnolo	64	7 4.99 ±0.18	
2-3	1956 04 26 03:00	Appennino tosco-emiliano	75	6 4.77 ±0.14	
5	1956 05 26 18:39	Appennino romagnolo	79	7 4.99 ±0.15	
2	1956 06 03 01:45	Appennino romagnolo	62		
5	1963 08 09 06:05	Faentino	16	4.99 ±0.18	
3-4	1970 02 09 07:39	MERCATO SARACENO	30	5-6 4.63 ±0.29	
4	1971 07 15 01:33	Parmense	229	8 5.64 ±0.09	
NF	1986 12 06 17:07	BONDENO	604	6 4.61 ±0.10	
4	1997 09 26 09:40	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9 6.01 ±0.09	
4	2000 05 06 22:07	Emilia Romagna	84	5 4.17 ±0.09	
5	2000 05 08 12:29	Emilia Romagna	126	5 4.66 ±0.09	
4	2000 05 10 16:52	Emilia Romagna	151	5-6 4.86 ±0.09	
NF	2001 11 26 00:56	Casentino	213	5-6 4.72 ±0.09	
3	2003 01 26 20:15	Forlivese	72	4.56 ±0.09	
4	2003 12 07 10:20	Zona Forlì	172	5 4.22 ±0.09	

COMUNITA' MONTANA DELL'APPENNINO FORLIVESE
COMUNE DI CASTROCARO TERME E TERRA DEL SOLE (FC)
Microzonazione sismica di II livello

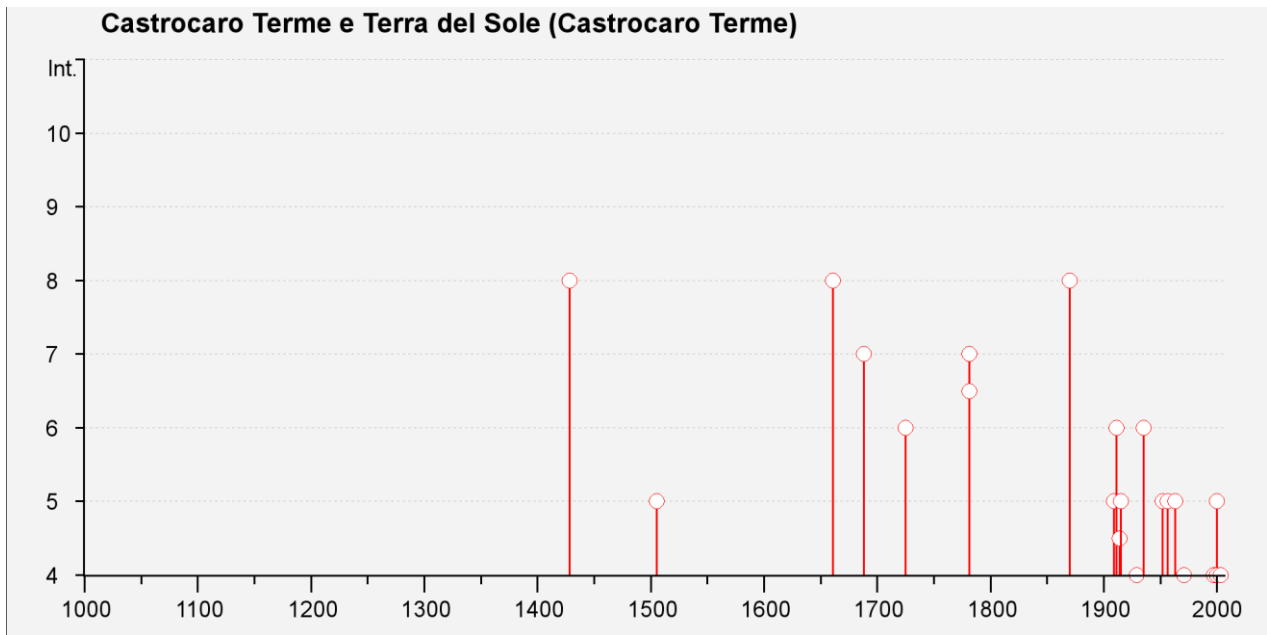


Figura 4 - Distribuzione temporale dei terremoti ed intensità

3 - ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

3.1 - Inquadramento territoriale

In accordo con i Tecnici del Comune e della Comunità Montana dell'Appennino Forlivese sono state individuate le aree oggetto di indagine tra quelle urbanizzate e urbanizzabili. Nel Comune di Castrocaro Terme e Terra del Sole non sono state indicate fasce a cavallo di infrastrutture viarie di notevole interesse. In particolare tali aree comprendono le perimetrazioni dei centri storici, le aree attualmente urbanizzate ed in via di espansione e le strutture ingegneristiche rilevanti in ragione di problematiche geologiche, geomorfologiche e geotecniche individuate nel corso dei sopralluoghi e nella raccolta dei dati geologici e geomorfologici pregressi, inquadrate in un'unica tavola di sintesi.

Da un punto di vista cartografico il territorio interessato dal presente studio è inquadrato nel Foglio 100 "Forlì" in scala 1:100.000, nelle Tavole IGM in scala 1:25.000: 254NE "Predappio"; nella Sezione CTR Emilia Romagna n. 254040 "Castrocaro terme" in scala 1:10.000.

Dal punto di vista amministrativo, il Comune di Castrocaro Terme e Terra del Sole confina a Nord con Faenza, a Nord Ovest con Brisighella, ad Ovest con Modigliana, a Sud Ovest con Dovadola, a Sud e Sud Est con Predappio, ad Est e Nord Est con Forlì.

Il territorio comunale si estende lungo il Fiume Montone, quasi sempre lungo la sponda sinistra.

3.2 - Caratteri morfogeologici e geomorfologici

L'area di indagine appartiene al tipico paesaggio caratterizzato dalle Unità litostratigrafiche del Messiniano e Tortoniano a litologie marnose e arenacee, presenti nel tratto alto del Fiume Montone. Tali Unità danno origine ad ambienti molto particolari dovuti al tipo di elementi morfogenetici attivi operanti sul territorio. L'area naturalistica delle sorgenti termali è inserita in un contesto ambientale definito "calanchivo" tipico delle formazioni prevalentemente argillose, adiacenti ed intercalati alle emergenze dello "Spungone". La formazione dello Spungone, con parte di quella dei Calanchi ad essa adiacenti, rientra in un Sito di Importanza Comunitaria.

Le sorgenti termali di Castrocaro sono localizzate in una valletta detta "della Rupe dei Cozzi" in una zona collinare ad ovest dell'abitato di Castrocaro Terme percorso dall'omonimo rio, un affluente di sinistra del fiume Montone.

Sui rilievi e sui crinali, sono presenti forme con versanti acclivi e boscati che si intercalano ad ampie e meno acclivi aree colluviali caratterizzate da depositi detritici quaternari di ingente spessore e ampiezza areale e da depositi alluvionali terrazzati. I corpi idrici maggiori, promuovono azioni molto più incisive erodendo profondamente anche lungo il profilo longitudinale, il substrato, con marcato controllo strutturale.

Le caratteristiche morfologiche nel territorio in esame, sono riconducibili a diverse tipologie litologiche e alle peculiarità geologiche e strutturali che interessano tutta l'area.

Nelle linee generali, i caratteri morfologici si esprimono essenzialmente con:

Profili con elevata acclività nelle zone di affioramento delle formazioni rocciose. In questo caso, la morfologia è conseguente alle caratteristiche di resistenza della roccia in posto e agli assetti che questa ha assunto nel corso dell'evoluzione geostrutturale del territorio. Caratteristiche della zona sono le falesie di Rio dei Cozzi situate a ridosso della confluenza del Rio Converselle, caratterizzate da imponenti gole calcaree (Formazione dello Spungone) che si impongono sul restante paesaggio tipico collinare argilloso a seguito di erosione selettiva.

A valle della rupe di Rio dei Cozzi sgorgano alcune sorgenti termali che hanno dato ampia notorietà ai luoghi., le argille vengono fatte maturare nell'acqua termale dentro apposite vasche per diventare così i noti fanghi curativi. La natura dello Spungone e soprattutto la sua interazione con le argille che in tempi geologici più recenti lo hanno in larga parte ricoperto, dando vita al paesaggio dei calanchi, ha in qualche maniera favorito nel sottosuolo le particolari caratteristiche delle acque, garantendone l'incorruttibilità da fattori esterni.



Affioramento della Formazione dello Spungone



Affioramento della Formazione dello Spungone alla base della Rocca di Castrocaro.

Versanti con inclinazione da moderata a sensibilmente elevata sono tipici lungo pendici sulle quali si sono imposte le coperture detritiche e al passaggio tra versanti acclivi e fondovalle. Alle medie quote, al passaggio tra la collina e il fondovalle sono riconoscibili corpi sedimentari di conoide detritica dati dall'accumulo di sedimenti clastici ad opera dei torrenti laterali del Fiume Montone.

Il paesaggio in tali ambiti tende ad una morfologia estremamente più dolce rispetto a quelle che si sviluppano in corrispondenza degli affioramenti rocciosi e in alcuni parti del territorio assume alto grado di evoluzione e notevole estensione superficiale. Interessati dall'intercalare talora rapido di ondulazioni e irregolarità della superficie in genere, i versanti sono confinati lateralmente da incisioni prodotte dai corsi d'acqua che immergono conformemente ai vettori di massima pendenza. In questo ambiente la morfologia è diretta espressione dei processi geomorfologici che hanno regolato il modellamento della superficie topografica, compresi quelli di erosione idrica concentrata prodotta dai fossi. Nelle formazioni argillose si denotano altre forme d'erosione che danno luogo ad ampie zone con calanchi.

Nel fondovalle, i gradienti risultano quasi nulli e l'ampia valle del Fiume Montone è caratterizzata da aree debolmente terrazzate caratterizzate da depositi essenzialmente di tipo alluvionale.

L'azione erosiva delle acque correnti e soprattutto quella perturbante delle acque che si infiltrano nel sottosuolo, rappresentano i più incisivi fattori di destabilizzazione dei materiali argillosi. Negli affioramenti rocciosi, la stabilità specialmente delle porzioni corticali, è regolata dai sistemi di fratturazione e dal loro addensamento, nonché dalla consistenza della roccia affiorante e dal suo grado di alterazione.



Panoramica vista da Est. Nella foto sono riconoscibili i particolari caratteri morfologici e geologici della zona. In primo piano il fondovalle del Fiume Montone, sulla sinistra in alto è posizionata la Rocca, sorta sulla Formazione dello Spungone (FAA3b) in elevazione sul restante territorio. A i margini si osservano pendii dolci che degradano con pendenze lievi verso la pianura caratteristici delle formazioni non litoidi e delle coperture. Sullo sfondo si osservano le tipiche forme calanchive in corrispondenza delle formazioni prevalentemente argillose (FAA).

3.3 - Lineamenti tettonici

Le strutture principali osservabili a grande scala sono tipici thrust della che configurano la struttura dell'Appennino Tosco – Romagnolo con pieghe e sovrascorrimenti (fold-and-thrust-belt) spesso complicati da tettonica trasversale. Gli elementi strutturali presenti nelle aree rilevate definiscono nel loro insieme, una tettonica di tipo compressivo che si introduce in un contesto strutturale più generale di un territorio che è stato sottoposto ad un'intensa neotettonica pliocenica. Questa in particolare ha ulteriormente complicato lo schema tettonico caratterizzato sostanzialmente in uno scenario deformativo - dislocativo principale a orientazione appenninica (NW-SE), vicariato da sistemi disgiuntivi trasversali che esercitano anche effetti trascorrenti.

Le faglie dispongono anche diffusi condizionamenti strutturali alle direttrici del drenaggio idrico superficiale, orientando forzatamente tratti dei corsi d'acqua.

Coerentemente allo schema evolutivo della catena appenninica, i lineamenti tettonici del territorio propongono quindi il tendenziale impilamento di scaglie tettoniche e di piegamenti sequenziali, che ribadiscono i meccanismi attivi di progradazione delle tensioni orogenetiche in senso Adriatico.

L'accentuata attività tettonica (tuttora agente) associata ai fenomeni di subsidenza del bacino di avanfossa al suo margine, hanno favorito per tutto il quaternario un grande apporto di detriti, derivanti dallo smantellamento della catena appenninica emersa a spese prevalentemente delle unità caotiche (argille scagliose s.l), che oggi nei bacini dei fiumi Forlivesi non si rinvengono in affioramento perché totalmente erose.

I corpi sedimentari compresi tra superfici di erosione o lacuna stratigrafica (discontinuità) sono stati distinti in unità stratigrafiche a limiti inconformi (supersintemi, sintemi e subsintemi) e comprendono al loro interno, sedimenti di ambiente deposizionale e litologie diverse delle quali si riporterà nel successivo capitolo.

Localmente, la tettonica del territorio comunale è caratterizzata da un complesso sistema di pieghe, pieghe faglie e sovrascorrimenti. Le principali strutture hanno andamento NO-SE e procedendo da monte verso valle, nei territori di più specifico interesse, danno luogo a faglie dirette e a faglie trascorrenti locali.

Lo schema strutturale locale ha inoltre fortemente influenzato i rapporti stratigrafici soprattutto tra i diversi membri della Formazione Marnoso-Arenacea affioranti in tutto il territorio comunale.

La banca dati ISPRA non individua faglie attive e capaci in corrispondenza del territorio comunale.

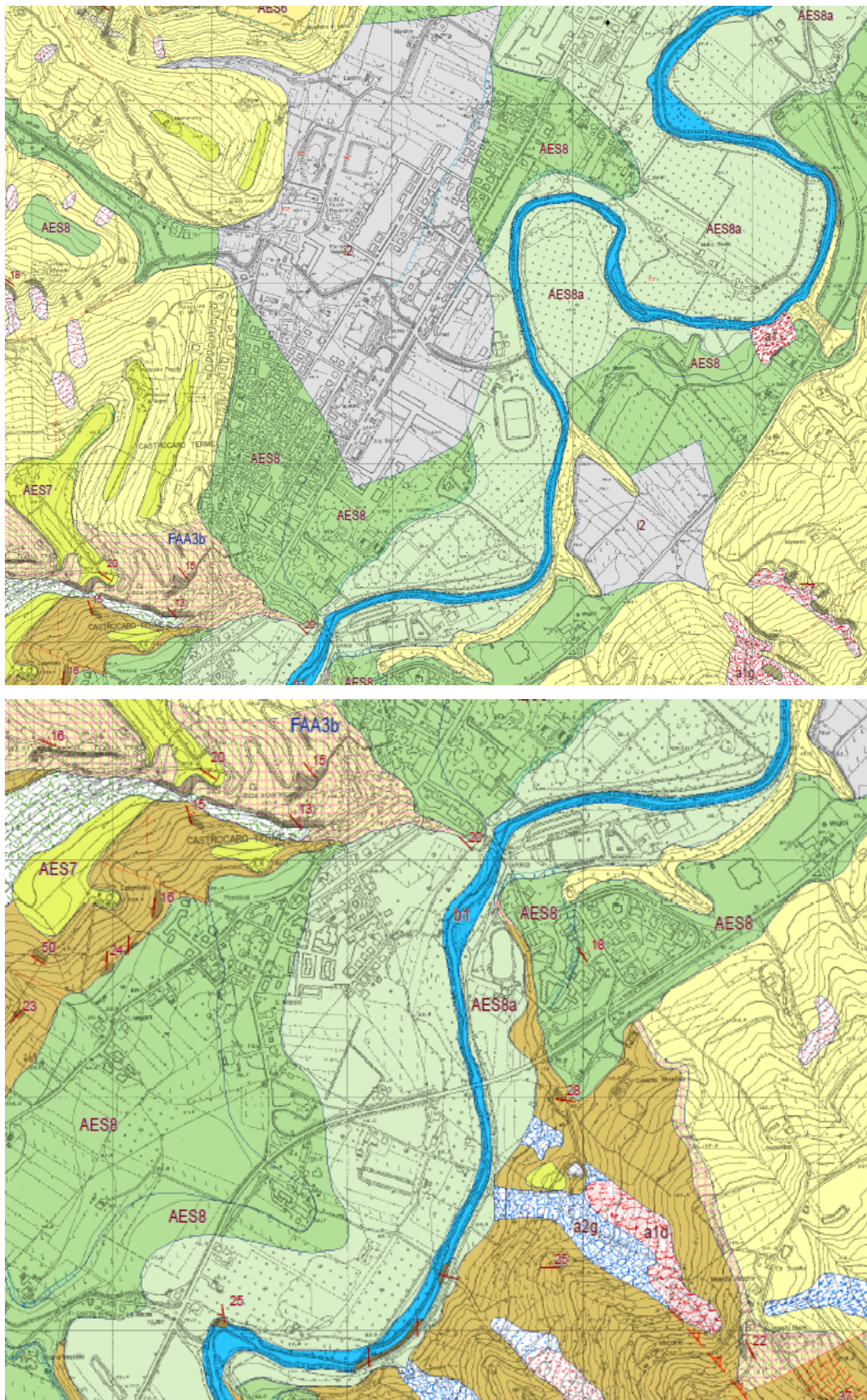
3.4 - inquadramento geologico

La Successione sedimentaria che interessa le aree caratteristiche del presente studio appartiene al Dominio Umbro – Marchigiano- Romagnolo e si estende dalle Unità più antiche quali quelle dalla Formazione Marnoso – Arenacea del Tortoniano inferiore a quelle del Quaternario.

Nella cartografia ufficiale della Regione Emilia Romagna le aree di pianura sono caratterizzate da depositi alluvionali indifferenziati dell'alloformazione Emiliano – Romagnola superiore (AES) costituita da depositi alluvionali, deltizi, litorali e marini del Pleistocene medio - Olocene del quale localmente affiora la parte stratigraficamente più superficiale.

Di seguito si riportano gli stralci di riferimento per ciascuna zona indagata, della carta Geologica della RER alla scala 1:10.000.

COMUNITA' MONTANA DELL'APPENNINO FORLIVESE
COMUNE DI CASTROCARO TERME E TERRA DEL SOLE (FC)
Microzonazione sismica di II livello



Stralcio della carta geologica regionale, elemento 254040 Castrocaro

In maniera schematica nei territori esaminati è stato possibile riconoscere:

- **depositi quaternari continentali**

b1 - Deposito alluvionale in evoluzione

Deposito costituito da materiale detritico generalmente non consolidato (ghiaie, talora embriciate, sabbie e limi argillosi) di origine fluviale, attualmente soggetto a variazioni dovute alla dinamica fluviale. Può essere talora fissato da vegetazione (b1a).

i1 - Conoide torrentizia in evoluzione

Depositi alluvionali, prevalentemente ghiaiosi, a forma di ventaglio aperto verso valle, in corrispondenza dello sbocco di valli e vallette trasversali ai corsi d'acqua principali ove la diminuzione di pendenza provoca la sedimentazione del materiale trasportato dall'acqua, soggetti ad evoluzione dovuta alla dinamica torrentizia.

i2 - Conoide torrentizia inattiva

Depositi alluvionali, prevalentemente ghiaiosi, a forma di ventaglio aperto verso valle, in corrispondenza dello sbocco di valli e vallette trasversali ai corsi d'acqua principali ove la diminuzione di pendenza provoca la sedimentazione del materiale trasportato dall'acqua, attualmente non soggetti ad evoluzione.

a3 - Deposito di versante s.l.

Accumulo di detrito su versante sulla cui attribuzione genetica permane un grado di incertezza, non escludendo che sia dovuto a fenomeni franosi, mancando spesso i caratteri di forma tipici delle frane stesse. Solo una indagine più approfondita del semplice rilevamento sul terreno potrebbe chiarire la natura dei processi che hanno generato il deposito. Generalmente l'accumulo si presenta con una tessitura costituita da clasti di dimensioni variabili immersi e sostenuti da una matrice pelitica e/o sabbiosa (che può essere alterata per ossidazione e pedogenesi), solo localmente stratificato e/o cementato. Come indicato sopra la genesi può essere gravitativa, da ruscellamento superficiale, da soliflusso.

b1 - Deposito alluvionale in evoluzione

Deposito costituito da materiale detritico generalmente non consolidato (ghiaie, talora embriciate, sabbie e limi argillosi) di origine fluviale, attualmente soggetto a variazioni dovute alla dinamica fluviale. Può essere talora fissato da vegetazione (b1a).

- **Successione neogenico - quaternaria del margine appenninico padano**

I depositi del settore di pianura sono rappresentati dalla successione quaternaria continentale del Pleistocene medio-Olocene (ciclo Qc). I sedimenti alluvionali sono costituiti da cicli deposizionali grossolani alla base (ghiaie e sabbie) e fini al tetto (peliti). Nel sottosuolo il limite inferiore dei depositi alluvionali è discordante sui depositi marini e tende ad approfondirsi allontanandosi dal margine pedecollinare.

La successione quaternaria dell'area romagnola è interpretata come deposta all'interno di un bacino di forma allungata, parallelamente alla catena appenninica, confinato a nord, in questo settore, proprio dalle Pieghe Adriatiche.

I sedimenti che costituiscono il sottosuolo e che affiorano nell'area di studio, in accordo con le gerarchie delle unità stratigrafiche, costituiscono il tetto stratigrafico del Supersistema Emiliano Romagnolo (AE) che raggruppa tutti i depositi quaternari alluvionali, per uno spessore che raggiunge circa 300 metri di profondità dal piano campagna, i quali poggiano in discordanza sui depositi marini del Gruppo del Santerno e Sabbie di Imola.

Localmente sono presenti sedimenti che appartengono al Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES), parte alta del Sistema Emiliano Romagnolo (AE), in particolare sono state inquadrare nel Subsistema di Ravenna (AES8), tetto stratigrafico di (AES), e all'unità di rango gerarchico inferiore definita Unità di Modena (AES8a), quest'ultima costituisce il tetto stratigrafico del Subsistema di Ravenna.

Dal punto di vista delle caratteristiche litostratigrafiche le unità sopra dette sono costituite nel modo seguente:

- Subsistema di Ravenna (AES8)

In affioramento: depositi fluviali intravallivi e di piana alluvionale. Nei settori intravallivi sono costituiti prevalentemente da ghiaie e sabbie di canale fluviale spesse da 2 a 5 m ricoperti da spessori variabili di sabbie, limi ed argille di tracimazione; sono organizzati in 4-5 ordini di terrazzo) con inclinazione variabile, nei tratti terminali delle valli, dal 4 al 7 per mille (corrispondente a c.a. 0,3 gradi). Nel settore di piana alluvionale l'unità è costituita da sabbie, limi ed argille di canale e di tracimazione fluviale. Limite superiore coincidente con il piano topografico, dato da suoli variabili da non calcarei a calcarei. I suoli non calcarei e scarsamente calcarei hanno, al tetto, colore bruno scuro e bruno scuro giallastro, spessore dell'orizzonte decarbonatato da 0,5 ad 1 m e contengono frequenti reperti archeologici di età dal Neolitico al Romano. I suoli calcarei appartengono all'unità AES8a.

Nel sottosuolo della pianura: depositi argillosi grigi e grigio scuri arricchiti in sostanza organica di piana inondabile non drenata e palude passanti, verso l'alto, a limi-sabbiosi, limi ed argille bruni e giallastri di piana alluvionale ben drenata con suoli calcarei e non calcarei al tetto. I depositi di piana alluvionale includono ghiaie di canale fluviale a geometria nastriforme. Limite inferiore nel sottosuolo dato dal contatto netto tra depositi fini, scuri, spesso palustri di base unità con i depositi grossolani di canale e argine fluviale al tetto di AES7. Subsistema contenente un'unità di rango gerarchico inferiore (AES8a) che, dove presente, ne costituisce il tetto stratigrafico. Spessore massimo di 25-30 metri

Pleistocene sup.- Olocene (c.a. 14.000 anni BP - attuale).

- Unita' di Modena (AES8a)

Depositi fluviali intravallivi e di piana alluvionale, costituiti da ghiaie, sabbie, limi ed argille di canale fluviale, argine e, localmente, di piana inondabile. Limite superiore sempre affiorante e coincidente con il piano topografico dato da un suolo calcareo di colore bruno olivastro e bruno grigiastro al tetto, privo di reperti archeologici romani, o più antichi, non rimaneggiati e caratterizzato da una buona preservazione delle forme deposizionali originarie (argini e bacini interfluviali). Limite inferiore dato da una superficie di erosione fluviale nelle aree intravallive, dove l'unità è organizzata in alcuni ordini di terrazzo, e dal contatto delle tracimazioni fluviali sul suolo non calcareo (o scarsamente calcareo) di epoca romana (o più antica) nelle aree di pianura. Spessore massimo 3-4 metri.

(Olocene; datazione archeologica: IV-VI sec. d.C. – Attuale)

AES7 - Subsistema di Villa Verucchio

Ghiaie, sabbie, limi ed argille di origine fluviale, piana intravalliva e conoide alluvionale. Depositi organizzati in diversi ordini di terrazzo. Il tetto dell'unità è generalmente rappresentato da suoli non calcarei molto evoluti di colore bruno scuro. Il limite inferiore è erosivo e discordante sui depositi sottostanti. Nel sottosuolo di pianura l'unità corrisponde ad un ciclo trasgressivo-regressivo costituito da una porzione basale, di pochi metri, di sabbie litorali (Tirreniano Auct.) e argille e limi palustri; una porzione intermedia contenente limi-sabbiosi, limi ed Lo spessore massimo è di 10 m circa.

(Pleistocene medio - sup.)

AES6 - Subsistema di Bazzano

Depositi ghiaiosi, sabbiosi e limo-argillosi di terrazzo intravallivo e di conoide alluvionale. Al tetto suoli decarbonatati con fronte di alterazione fino a 5-7 m, colore variabile da rosso bruno a giallo bruno. Contatto inferiore in discontinuità su unità più antiche. Nel sottosuolo di pianura unità correlata, su base geometrica, ad un ciclo trasgressivo-regressivo costituito da: una porzione basale di argille e limi palustri;

una porzione intermedia contenente limi sabbiosi, limi ed argille di argine. Potenza inferiore ai 20 m in affioramento e circa 60 m nel sottosuolo della pianura.

(Pleistocene medio)

FAA - Argille Azzurre

Argille, argille marnose, localmente siltose, marne argillose e siltose, grigie e grigio-azzurre, talora grigio plumbeo, a stratificazione mal distinguibile per bioturbazione; locali intercalazioni di sabbie fini in strati sottili o medi. Talora livelli a slump. Nella parte inferiore della formazione localmente sono presenti sottili livelli discontinui di biocalcareni fini e siltiti giallo, o ocra se alterate, sottilmente laminate. Frequenti microfossili; variabile la concentrazione di malacofaune a Gasteropodi e Lamellibranchi, sia come biosomi che come bioclasti. Presenti anche blocchi di (AQV-Formazione di Acquaviva), costituita da torbiditi arenaceo-marnoso-pelitiche con marne a forte componente carbonatica. L'ambiente di sedimentazione varia da piattaforma, localmente litorale, a scarpata. Foraminiferi planctonici appartenenti nei vari livelli alle zone a *Globorotalia margaritae*, *G. punctulata*, *G. bononiensis*, *G. crassaformis*, *G. inflata* e *Hyalinea baltica*. Contatto inferiore graduale rapido su CEA, paraconcordante o marcato da una lieve discordanza angolare su FCO, discordante su unità più antiche. Potenza fino a 1000 m circa.

(Pliocene inf. - Pleistocene inf.)

FAAps - Argille Azzurre - litofacies pelitico-sabbiosa

Alternanza di: arenarie e siltiti, in strati da molto sottili a medi; argille siltoso-sabbiose, argille marnose, marne argillose grigioverdastre, in strati sottili e molto sottili, lenticolari, con laminazione piano-parallela, ondulata e incrociata (vi compaiono livelli di concentrazione di biosomi, bioclasti e frustoli carboniosi); arenarie e siltiti con alta componente argilloso-siltosa; argille e siltiti, con subordinate sabbie e siltiti argillose, mal stratificate; argille grigio-scure, un po' sabbiose, in lenti di potenza metrica; arenarie in lenti di potenza metrica. Vi si intercalano lenti decimetriche di argille massive (FAA). Potenza affiorante oltre 600 m. Talora costituisce la parte superiore della formazione.

(Pliocene sup. - Pleistocene inf.)

FAA3b - Argille Azzurre - membro di Spungone - litofacies di Castrocaro

Lenti variamente alternate composte da: biocalcareni in strati spessi e banchi; fitte alternanze di biocalcareni in strati da sottili a medi e arenarie calcaree bioclastiche, in strati medi, con rari inclusi pelitici e ciottoli; biocalcareni e biocalciruditi più o meno arenacee, ben cementate, in strati da medi a spessi;

arenarie bioclastiche fini e medie, marnose, e peliti arenacee, talora gradate o con ciottoli.
Potenza massima circa 60 m.

(Pliocene inf. - medio)

- **Successione umbro-marchigiano-romagnola**

FMA12 - Formazione Marnoso-Arenacea - membro di Castel del Rio

Torbiditi arenaceo-siltitico-marnose; A/P decrescente verso il basso da 2/1 a 5/1. Arenarie medie e fini. Siltiti e marne spesso siltose e sabbiose. Rare emipelagiti. Alla sommità possono abbondare talora i letti arenacei spessi, per il resto prevalgono quelli medi e sottili. Saltuari orizzonti (~ 10 m) di strati arenacei spessi, a continuità areale su scala chilometrica. Localmente presenti orizzonti arenacei canalizzati (ar) e riempimenti di canali arenacei (rc). Foraminiferi planctonici della zona a *G.acostaensis* e *G.menardi*. Limite inferiore su FMA11 (o su FMA10 in parziale eteropia) graduale rapido, posto in corrispondenza di un pacco (15 m) di strati arenacei spessi, alternati a torbiditi sottili. Potenza massima circa 850 m.

(Tortoniano)

4 – DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

Nell'ambito del presente studio, per quanto riguarda l'acquisizione dei dati si è fatto riferimento in primo luogo, al materiale in disposizione alla P.A. e a dati acquisiti ex novo ritenuti utili ai fini della MZS di II livello. In particolare sono stati estrapolati i dati relativi alle seguenti indagini:

Prove penetrometriche statiche(CPT) attraverso le quali è stato possibile estrapolare informazioni in merito allo spessore delle coperture e correlazioni di tipo litologico. Tra le prove esaminate alcune hanno raggiunto il substrato geologico, altre sono state invece terebrate fino a profondità comprese quasi sempre entro i 10 m, compatibilmente all'analisi del volume significativo per la progettazione di edifici in zona sismica e con i massimi spessori nonché la tipologia di dei depositi, raggiungibili dal penetrometro con capacità di 20 ton (il più utilizzato).

In totale sono state analizzate n 8 CPT della banca dati Comunale.

Sondaggi a carotaggio continuo

Sono stati consultati alcuni sondaggi profondi e molto profondi, relativi agli studi eseguiti ai fini delle concessioni per lo sfruttamento delle acque termali e per la ricerca di idrocarburi, i quali tuttavia non forniscono dati significativi ai fini della MZS.

Prove sismiche a stazione singola con tecnica HVSR

sono state reperite nel Data Base del Comune n. 3 prove reputate significative per il presente studio.

Prove sismiche multicanale RE.MI

Non sono state reperite nel Data Base del Comune.

Nell'ambito del presente studio, ad integrazione dei dati reperiti, dati sono state eseguite:

- n. 15 misure H/V ex novo utilizzando il tomografo Pasi Gemini 2 utilizzando, in fase di acquisizione, i parametri di riferimento del progetto di ricerca SESAME (tempo di acquisizione 1200 secondi, frequenza di campionamento 1Khz). Tali misure sono state finalizzate ad acquisire utili elementi di valutazione riguardanti l'aspetto litostratigrafico ricostruito nonché di definire la frequenza propria naturale dei depositi utile alla definizione della risposta sismica locale. Attraverso tale misura è inoltre possibile individuare, analizzando il picco di frequenza principale H/V (f_0), discontinuità sismiche e profondità del bedrock sismico nonché stimare la velocità di propagazione delle onde di taglio (V_s). Talvolta, in base alle evidenze risultanti da prove geognostiche limitrofe ed alle

informazioni reperite dalla cartografia geologica, la stima della profondità del bedrock sismico e relativo calcolo Vs è stata effettuata individuando un picco H/V secondario (a frequenza maggiore rispetto a quello principale), relativo con tutta probabilità al tetto del substrato roccioso alterato. In questi casi il picco principale H/V è da attribuirsi al substrato roccioso non alterato o a un membro più consistente all'interno di una formazione flyschoidale. Per l'analisi dei dati e per la stima della frequenza fondamentale di sito è stato utilizzato il software dedicato Geopsy, mentre è stato utilizzato il modulo GeoExplorer HVSR per la stima delle velocità Vs relative ai picchi di frequenza fondamentale di sito."

- N.3 Prove sismiche multicanale basate su onde di superficie (RE.MI; MASW ecc)

Sono state eseguite misure ex novo con tecnica integrata MASW + Re.Mi. utilizzando un sismografo Geometrics Geode a 24 canali con geofoni a frequenza naturale di 4,5 Hz posti ad interdistanza di 3 m (per un totale di 69 metri di stendimento sismico). Per l'analisi dei microtremori rifratti è stato utilizzato il software dedicato SeisOpt Re.Mi. mentre per l'analisi delle onde sismiche di superficie MASW è stato utilizzato il software RadEx Pro. La tecnica MASW è considerata un 'metodo attivo': le onde di superficie sono prodotte da una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e vengono registrate da uno stendimento lineare composto da 24 geofoni (con frequenza naturale 4,5 Hz) posti a distanza intergeofonica pari a 3 metri (lunghezza totale stendimento 69 m). La tecnica Re.Mi. invece è considerata un 'metodo passivo': lo stendimento presenta le stesse caratteristiche geometriche del metodo attivo ma i ricevitori non registrano le onde superficiali prodotte da una sorgente impulsiva, bensì il rumore di fondo (detto anche "microtremori") prodotto da sorgenti naturali (vento) e antropiche (traffico, attività industriali) Le due tecniche indagano bande spettrali differenti. Il metodo attivo consente di ottenere, in modo ottimale, una curva di dispersione nel range di frequenza compreso tra 10 e 40 Hz fornendo informazioni sulla parte più superficiale di sottosuolo (fino a circa 10- 20 m di profondità in funzione della rigidità del suolo). Il metodo passivo consente di determinare una curva di dispersione, in modo ottimale, nella banda di frequenza tra 4 e 20 Hz e fornisce informazioni sugli strati più profondi (generalmente fino a 30-40 m). La combinazione delle due tecniche consente di ottenere uno spettro completo nella banda di frequenza comprese tra 4 e 40 Hz e permette una dettagliata ricostruzione dell'andamento della velocità delle onde di taglio con la profondità (sempre in funzione della rigidità degli strati).

5 – MODELLO DEL SOTTOSUOLO

La caratterizzazione stratigrafica e la ricostruzione del modello di sottosuolo, è stata ricostruita dall'analisi dei dati raccolti messi a disposizione dalla Pubblica Amministrazione, nonché in base ai risultati ottenuti dalle prove geofisiche effettuate. La ricostruzione della successione e la natura dei litotipi identificati sono rappresentativi esclusivamente della porzione di territorio indagata ai fini della MZS.

il territorio indagato può essere descritto attraverso il seguente modello:

- **un primo strato di copertura da 3 a 23 m**

Questo orizzonte può presentare caratteristiche differenti litologiche e diversa genesi. Nelle aree prossime al fondovalle, a ridosso del centro abitato questo è generalmente costituito da depositi alluvionali terrazzati di diverso ordine (anche AES6 e AES7), costituiti prevalentemente da ghiaie, sabbie, limi ed argille di canale fluviale, argine e, localmente, di piana inondabile (AES8 e AS8a) il cui spessore è quasi sempre superiore a 5m. Al passaggio tra il fondovalle e i versanti le coperture sono caratterizzate in genere, da coperture i cui caratteri litostratigrafici sono eterogenei ed eterometrici diversificati in base alle diverse genesi (a3, i1, i2) le quali possono anche essere giustapposte alle coperture precedenti e dar luogo a potenti spessori.

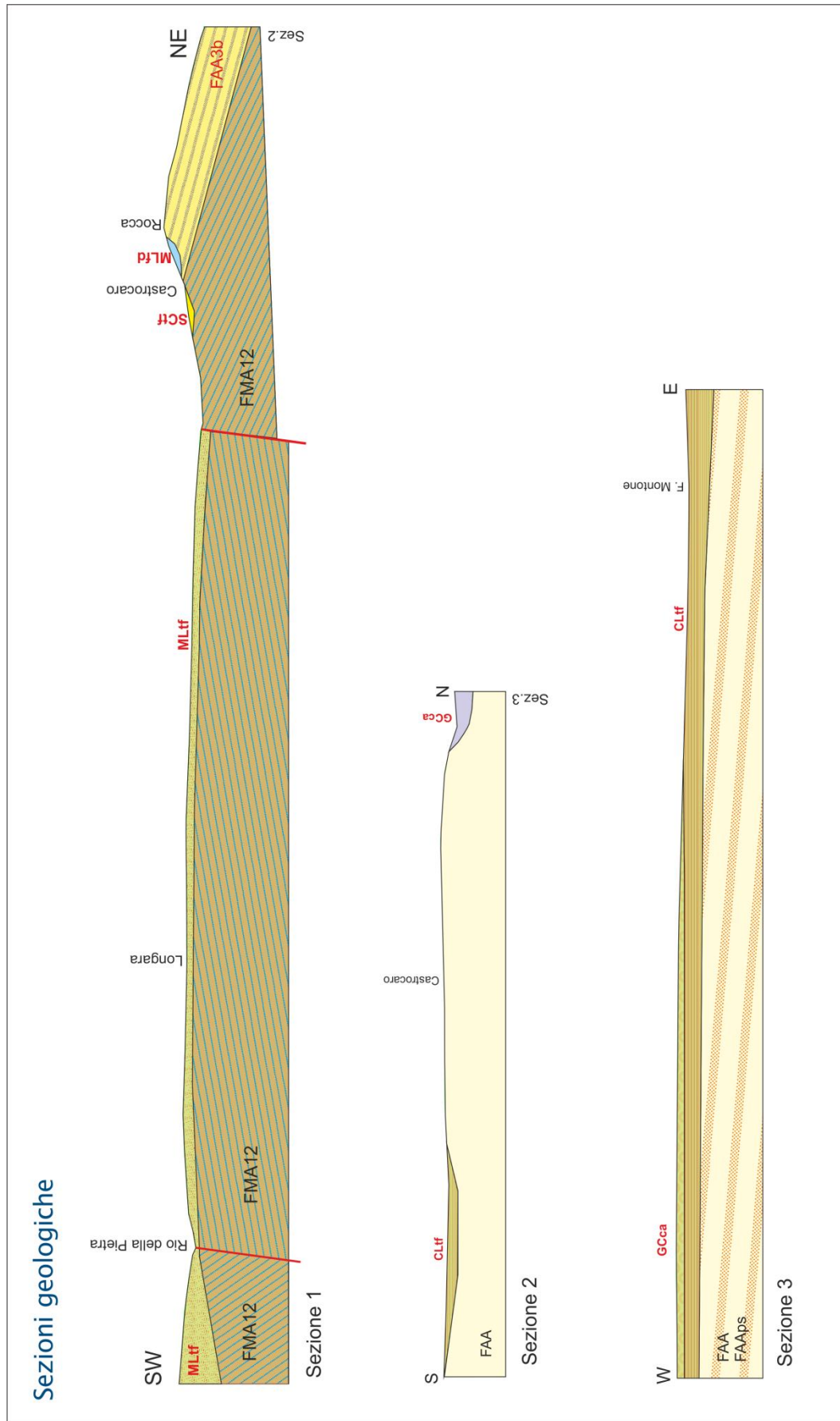
In tale livello superficiale è compreso anche l'orizzonte di alterazione superficiale del substrato formazionale, il cui spessore può essere variabile da pochi decimetri a qualche metro. Gli spessori più considerevoli si verificano in corrispondenza delle formazioni i con orizzonti pelitici preponderanti.

- **un orizzonte profondo**

Caratterizzato dal substrato Formazionale Marnoso Arenaceo (FMA, FAA) caratterizzato da $V_s < 800$ m/s.

Nella carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) sono state individuate n. 4 zone, distinte in base allo spessore dello strato superficiale e all'andamento della V_s con la profondità.

Si riportano le sezioni geologiche interpretative, inserite nella tavola cartografica Carta Geologico-Tecnica.



6 – INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE

Le principali incertezze derivano dalla scarsa disponibilità di indagini geognostiche e dalla scarsa adeguatezza delle stesse rispetto alle nuove normative sismiche e ai fini del presente studio. La maggior parte delle indagini geognostiche reperite risultano eseguite ai fini edificatori e non raggiungono mai profondità idonee ad indagare oltre allo strato di copertura superficiale. Altre, come i sondaggi profondi e molto profondi, non sono sufficientemente descrittivi degli orizzonti più superficiali e forniscono solo dati di massima sulle caratteristiche dei terreni indagati poiché finalizzati solo alla ricerca di determinati livelli litologici.

Tali dati sono serviti tuttavia ad integrare e a meglio interpretare le indagini geofisiche eseguite ex novo le quali hanno permesso la ricostruzione del modello del sottosuolo e la elaborazione dei risultati necessari alla microzonazione sismica locale di II livello.

Inoltre, poiché i fattori di amplificazione stratigrafica FA e FV vengono stimati attraverso abachi che fanno riferimento a configurazioni stratigrafiche “tipo” non assimilabili a quelle delle aree di specifico interesse, la determinazione dei fattori di amplificazione secondo i criteri generali ICMS, così come richiesto nell’Allegato C della Delibera della Giunta Regionale 1302/2012, non ha trovato applicabilità ai fini del presente studio, sono stati pertanto utilizzati esclusivamente gli abachi relativi della Regione Emilia Romagna.

Non sono state riscontrate aree che necessitano di approfondimenti di III livello, anche se una valutazione complessiva sull’area degli stabilimenti termali dovrà essere considerata in ragione dell’elevato numero di persone presenti (sia negli stabilimenti, sia nelle strutture ricettive) sia della necessità di un maggiore dettaglio delle conoscenze del primo sottosuolo con un numero maggiore di indagini.

7 – METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

Lo studio di MZS di livello 2, che prende come riferimento i criteri e le metodologie operative definite ed illustrate nelle Istruzioni Tecniche Regionali, è articolato nelle seguenti fasi:

FASE 1 – Come già accennato nei precedenti paragrafi, in accordo con i Tecnici del Comune e della Comunità Montana dell'Appennino Forlivese sono state individuate le aree oggetto di indagine tra quelle urbanizzate e urbanizzabili. Nel territorio oggetto del presente studio, non sono state indicate fasce a cavallo di infrastrutture viarie di notevole interesse. In particolare tali aree comprendono le perimetrazioni dei centri storici, le aree attualmente urbanizzate ed in via di espansione e le strutture ingegneristiche rilevanti in ragione di problematiche geologiche, geomorfologiche e geotecniche individuate nel corso dei sopralluoghi e nella raccolta dei dati geologici e geomorfologici pregressi.

FASE 2 Ha previsto l'acquisizione e analisi critica dei dati pregressi esistenti nelle aree (rilievi geologici, geomorfologici, geologico-tecnici, indagini geofisiche, sondaggi e stratigrafie desunte da pozzi, ecc.) e realizzazione della Carta delle Indagini. Il recupero dei dati pregressi esistenti nel territorio in esame è risultato di fondamentale importanza. Tale attività è stata realizzata prioritariamente all'impostazione delle nuove campagne di indagini in modo tale che è stato possibile effettuare una programmazione nelle aree meno indagate.

I dati esistenti sul territorio e presenti sia nell'ambito della carta dei dati di base degli strumenti urbanistici, soprattutto nell'ambito della Banche Dati realizzate dalle Amministrazioni Comunali.

Di seguito si riporta un elenco, relativo alle banche dati consultate e disponibili per la consultazione in rete:

- **Portale Servizio Geologico d'Italia.** Il portale è contenuto nel sito WEB dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) ed include, i seguenti archivi di particolare interesse ai fini della microzonazione:

- **Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli dell'Emilia Romagna:**

1. Carta geologica regionale: la carta geologica di base alla scala 1:10.000

- **Indagini a corredo degli strumenti urbanistici Comunali (PRG, PSC e POC ecc.)** e dati in disposizione dell'amministrazione Comunale, di privati.

- **Banca dati frane e coperture:** Carta dell'inventario del Dissesto della Regione Emilia Romagna e cartografia del PAI Bacini Romagnoli.

FASE 3 - Raffronto tra le indagini geognostiche, cartografie geologiche esistenti, e controllo sul terreno ai fini della realizzazione della Carta Geologico – Tecnica per la Microzonazione sismica in scala 1:5000.

FASE 4 ha previsto la redazione della Carta delle Frequenze naturali del terreno e la Carta delle Velocità delle onde di taglio S (Vs).

FASE 5: ha previsto la redazione della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) in scala 1:5000. Sono state rappresentate le microzone omogenee, individuate sulla base di osservazioni geologiche e geomorfologiche e in relazione all'acquisizione, valutazione ed analisi dei dati geognostici e geofisici. Tali zone sono state differenziate in base alle caratteristiche lito-stratigrafiche, correlate a differenti tipologie di effetti prodotti dall'azione sismica (amplificazioni, instabilità di versante, ecc.).

Di particolare importanza a questo scopo è risultata la ricostruzione del modello geologico tecnico dell'area e l'individuazione dei litotipi costituenti il substrato.

Il presente studio ha identificato n. 4 microzone differenziate in base alla presenza o meno di coperture; ove fossero presenti in base alle dimensioni granulometriche, alle loro alternanze, allo spessore, al grado di consistenza o al grado di addensamento, in rapporto alla presenza di un bedrock sismico o non sismico, valutabile anche dalla presenza di impedenza sismica.

FASE 6 - Redazione Carta dei fattori di amplificazione delle aree - carta di micro zonazione sismica (secondo livello di approfondimento).

Poiché i fattori di amplificazione stratigrafica FA e FV vengono stimati attraverso abachi che fanno riferimento a configurazioni stratigrafiche "tipo" non assimilabili a quelle delle aree di specifico interesse, la determinazione dei fattori di amplificazione secondo i criteri generali ICMS, così come richiesto nell'Allegato C della Delibera della Giunta Regionale 1302/2012, non ha trovato applicabilità ai fini del presente studio.

La micro zonazione sismica è stato pertanto realizzata secondo quanto previsto dagli indirizzi regionali (DAL 112/2007), per le parti del territorio comunale urbanizzate ed urbanizzabili definite in accordo con l'amministrazione, nelle quali, nella cartografia di primo livello sono state individuate quelle zone suscettibili di amplificazione e prive di particolari elementi di instabilità. Tale livello di approfondimento ha richiesto la realizzazione di indagini suppletive per la stima dei fattori di amplificazione attraverso le tabelle e gli abachi forniti dalla stessa normativa. I risultati di questa analisi sono sintetizzati attraverso le specifiche mappe di dettaglio nelle quali vengono identificate aree a diversa pericolosità in termini di fattori

di amplificazione stratigrafica espressi sia in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale FA_{PGA} ; sia di rapporto di Intensità Spettrale di Housner (FA_{SI}) quest'ultimo per intervalli di periodi T tra 0,1s e 0,5s e 0,5s e 1,0s ($FA_{0,1-0,5s}$; $FA_{0,5-1,0s}$) secondo i criteri dell'Allegato A2 punto A2.2. della D.A.L. 112/2007, incrementati dove ne sussistono le condizioni dal fattore di amplificazione topografico.

Al fine dell'utilizzo degli abachi sono state definite le stratigrafie del sottosuolo con particolare riferimento allo spessore delle coperture (H) e dei rispettivi valori di V_s , nonché in base al tipo di substrato e alla profondità dello stesso, tenendo conto della carta delle MOPS, della carta delle V_s e delle Frequenze già elaborate.

Per quanto concerne i dati pregressi si specifica che i profili di V_s analizzati riportano sempre i valori del parametro relativo ai 30 m poiché mirate alla caratterizzazione del tipo di sottosuolo secondo la normativa tecnica sulle costruzioni (NTC 2008 e s.m.i.) e non finalizzate allo scopo oggetto del presente studio. Dagli stessi profili sono stati comunque estrapolati i dati di V_s riferiti allo spessore H delle coperture effettivamente presenti e/o stimate.

STIMA DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE (D.A.L. 112/2007)

Per ciò che riguarda la stima dei fattori di amplificazione stratigrafica, viste le caratteristiche geologico – stratigrafiche del contesto esaminato, si è fatto riferimento, alle tabelle relative a:

- **Appennino e margine appenninico - padano (A2.1.1):** dove lo spessore dei depositi di copertura non supera i 40 m, nel cui ambito sono state utilizzate tabelle relative al substrato marino caratterizzato da $V_s < 800$ m/s

I valori dei **fattori di amplificazione stratigrafica** sono stati selezionati in funzione dello spessore dei depositi e del valore della velocità media equivalente delle onde S nello spessore stesso. Per depositi con spessore inferiore ai 30 m è stato assunto il valore di $V_s H$ relativo allo spessore del deposito.

I fattori di amplificazione stratigrafica sono espressi sia in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (FA_{PGA}) sia di rapporto di Intensità Spettrale di Housner (FA_{SI}) quest'ultimo per intervalli di periodi T tra 0,1s e 0,5s e 0,5s e 1,0s.

Non si è proceduto alla determinazione dell'amplificazione topografica in quanto il territorio comunale nell'ambito di indagine considerato, non presenta caratteristiche tali da richiedere determinazioni o approfondimenti specifici (assenza di condizioni morfologiche tali da intervenire su di una potenziale amplificazione del moto sismico per caratteristiche topografiche).

COMUNITA' MONTANA DELL'APPENNINO FORLIVESE
COMUNE DI CASTROCARO TERME E TERRA DEL SOLE (FC)
Microzonazione sismica di II livello

Di seguito si riporta la tabella riassuntiva dei Fattori di Amplificazione determinati secondo la D.A.L. 112/2007 ai quali si è fatto riferimento per la redazione della carta. La stima è sempre stata eseguita considerando il dato più gravoso.

In particolare:

RIFERIMENTO ZONE MOPS	V_{sH}/V_{S30}	TAB	F_A_{PGA}	F_A_{SI (0.1s-0.5s)}	F_A_{SI (0.5s-1,0s)}
1	VS30=500	A2.1.1<800	1,3	1,4	1,4
2	VS5=250	A2.1.1<800	1,7	1,5	1,4
3	VS10=250	A2.1.1<800	2,0	1,9	1,5
4	VS20=250	A2.1.1<800	2,2	2,5	1,9

FASE 7 – Informatizzazione mediante tecnologia GIS dei dati acquisiti e delle cartografie elaborate nell’ambito dello studio di MZS, secondo gli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica” redatti dalla Commissione Tecnica per il monitoraggio degli studi di Microzonazione Sismica versione 2.0.

FASE 8 - Redazione della Relazione tecnica illustrativa dei risultati ottenuti dallo studio eseguito.

8 – ELABORATI CARTOGRAFICI

Carta delle Indagini (in scala 1:5.000)

Nella carta sono state rappresentate sia le indagini reperite che quelle di nuova esecuzione.

In particolare tra i dati reperiti sono stati cartografati:

n.8 CPT

n.3 indagini sismiche HVSR

Sono state cartografate inoltre:

n.15 indagini sismiche HVSR;

n.3 RE.MI

realizzate ex novo.

Carta Geologico – Tecnica per la Microzonazione sismica in scala 1:5000

Nella carta geologico - tecnica per la MZ vengono rappresentate le informazioni riguardanti i litotipi affioranti, distinti in primis per tipologia litotipi in base alla cartografia geologica (fondata su criteri litostratigrafici) a disposizione, e successivamente distinti i copertura e substrato geologico. Il substrato geologico è stato classificato localmente sempre rigido intendendo come rigidi quei materiali caratterizzati da valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio S significativamente maggiori di quelli relativi alle coperture localmente presenti e dalla una stima del contrasto di impedenza sismica atteso. Si è inoltre associata al substrato una descrizione sulla tipologia tessiturale, contraddistinta da una sigla codificata così come previsto dalle linee guida IMCS.

Lo spessore minimo per le coperture rappresentate è 3 m; la litologia dei terreni è stata descritta tramite sistema di classificazione *Unified Soil Classification System* (leggermente modificato, ASTM,1985). Inoltre è stata aggiunta una sigla che descrive l'ambiente deposizionale del litotipo.

Tra le forme di superficie ritenute significative si evidenzia l'orlo di scarpata morfologica con altezza compresa tra 10 e 20 metri a ridosso della Rocca di Castrocaro. Sono state inoltre evidenziate le forme date dalle conoidi alluvionali e non si evidenziano orli di terrazzi fluviali con altezze comprese tra 10 e 20 m oltre ad elementi tettonico-strutturali quali faglie attive e capaci, faglie trascorrenti attive e faglie trascorrenti inferite non attive e assi di sinclinali.

Vengono altresì rappresentati i seguenti elementi geologici ed idrogeologici:

- giaciture degli strati;

In carta sono inoltre riportate le tracce della sezioni litotecniche, rappresentative del modello di sottosuolo.

Tale carta è stata realizzata dal raffronto della cartografia geologica esistente, dell'analisi dei dati geognostici esistenti, con particolare riguardo ai logs stratigrafici e da rilievo di campagna.

La **Carta delle frequenze naturali scala 1:5.000 (Tavola Unica in scala 1:5000)** è stata redatta sulla base delle indagini di sismica passiva a stazione singola (HVSR) eseguite ex-novo. Gli elaborati e i grafici relativi alle elaborazioni dei dati sono riportati nel database di archiviazione in formato PDF. Tutte le zone indagate hanno presentato fenomeni di risonanza nell'intervallo 0,1 – 20 Hz più o meno evidenti. Il territorio è stato suddiviso in diverse classi di frequenza basate al valore di picco significativo a più bassa frequenza, rappresentativo della frequenza fondamentale di sito (f_0), alle quali è possibile anche associare un valore stimato della profondità del bedrock (cfr. criteri SESAME).

Zona	Valori di f_0 (Hz)	Spessori attesi (m)
1	fino a 1	>100
2	da 1 a 2	>30 <100
3	da 2 a 8	>10<30
4	oltre 8	<10

Sono stati inoltre individuate le aree caratterizzate da alti contrasti di impedenza alla base delle coperture (ampiezza massima della curva $H/V > 3$).

Non sono state registrate frequenze relative alle zone 1 e 2.

La zona 3 è caratteristica delle fasce a mezza costa e pedecollinari e lungo il fondovalle, dove si concentrano la maggior parte dei depositi di versante e i depositi eluvio - colluviali nonché quelli alluvionali terrazzati e recenti. La zona 4 è riscontrabile in una piccola porzione del territorio, in corrispondenza delle zone in affioramento e sub – affioramento del substrato formazionale lapideo.

La **Carta delle Velocità (Tavola Unica in scala 1:5000)** è stata redatta sulla scorta di indagine eseguite ex novo, multicanale in array. Sono state ubicati tutti i punti di misura e i valori di V_s (m/s) equivalenti al valore dello spessore H (m), nelle aree caratterizzate da spessori delle coperture superiori a 3 m, mentre nelle zone caratterizzate da spessori delle coperture inferiori a 3 m il valore di V_s riportato corrisponde al parametro V_{s30} .

La **Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) in scala 1:5000**, nello specifico individua e caratterizza:

- le **Zone Stabili**, cioè quelle nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura (i litotipi sono assimilabili al substrato sismico in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata) e pertanto gli scuotimenti attesi sono equivalenti a quelli forniti dagli studi di pericolosità di base;
- le **Zone stabili suscettibili di amplificazione sismica**, cioè quelle in cui il moto sismico viene modificato a causa delle caratteristiche litostratigrafiche e/o geomorfologiche del territorio.

Segue la descrizione nel dettaglio di ogni singola Zona individuata, inserita nella Carta MOPS del presente studio. In riferimento allo stato di addensamento o di consistenza delle coperture, rispettivamente riferito a materiali esclusivamente granulari e coesivi, si specifica che la valutazione con prove manuali come specificato negli standard ICMS non è stato possibile effettuarle dato che le indagini non sono state eseguite direttamente dal soggetto attuatore. Valutazioni in merito sono state eseguite sulla scorta di analisi di laboratorio laddove eseguite o sulla correlazione empirica da prove penetrometriche (correlazioni con resistenza statica o dinamica alla penetrazione).

• **ZONE STABILI**

Non sono state individuate nell'area oggetto del presente studio, zone stabili, come definite nei criteri di classificazione e rappresentazione ICMS.

• **ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONE SISMICA**

- **Zona 1:** è rappresentata da substrato non rigido stratificato, avente velocità media delle onde di taglio V_s di circa 500 m/sec ($V_s < 800$ m/s) con copertura di spessore < 3 , su superfici topografiche aventi inclinazione $< 15^\circ$. Nelle aree di studio il substrato geologico è rappresentato dalla Formazione Marnoso Arenacea Membro di Castel del Rio (FMA12) che Formazione delle argille Azzurre (FAA3b) con grado di addensamento 11. Le coperture, corrispondenti al substrato alterato e/o fratturato e a coperture di origine eluvio – colluviale variabili: argille a medio basso grado di plasticità ad argille ghiaioso- sabbiose.

- **Zona 2:** è rappresentata da substrato non rigido stratificato, avente velocità media delle onde di taglio $V_s < 800$ m/s con copertura di spessore > 3 fino ad un massimo di 5 metri caratterizzate da V_s medio di 250 m/s, su superfici topografiche aventi inclinazione $< 15^\circ$. Nelle aree di studio il substrato geologico è rappresentato dalla Formazione Marnoso Arenacea Membro di Castel del Rio (FMA12) che Formazione delle argille Azzurre (FAA e FAA3b) con grado di addensamento 11. Le coperture, corrispondenti al substrato alterato e/o fratturato e a coperture di origine eluvio – colluviale nonché da depositi di origine

alluvionale hanno litologie variabili: da limo – argilloso e limo – sabbioso, con grado di addensamento medio riconducibile a 24. Tale zona caratterizza le aree pedecollinari in corrispondenza dei depositi eluvio colluviali e sui terrazzi di più alto ordine e di pianura in corrispondenza dei depositi alluvionali terrazzati. Questa zona è riscontrabile nel capoluogo nella zona a sud e a ridosso della Rocca.

- *Zona 3* rappresentata da substrato non rigido stratificato avente velocità media delle onde di taglio $V_s < 800$ m/s con copertura di spessore compreso tra 5 fino ad un massimo di 10 metri caratterizzate da V_s medio di 250 m/s, su superfici topografiche aventi inclinazione $< 15^\circ$. Nelle aree di studio il substrato geologico è rappresentato dalla Formazione delle Argille Azzurre (FAA) e gli altri Membri, che dalla Formazione della Marnoso Arenacea con grado di addensamento variabile da 24 a 11. Le coperture possono essere di natura differente, caratteristiche dei terrazzi fluviali: da ghiaie argillose con miscela di ghiaia sabbia e argilla, a miscele di sabbie argille limoso – argillosa e talvolta caratterizzati da livelli sabbiosi centimetrici, con grado di addensamento medio riconducibile a 24. Questa zona è riconducibile ad aree di pianura caratterizzate da terrazzo ambiti fluviali terrazzati che nelle aree di fondovalle in corrispondenza dei depositi eluvio colluviali o di conoide.

- *Zona 4* rappresentata da substrato non rigido stratificato avente velocità media delle onde di taglio $V_s < 800$ m/s con copertura di spessore compreso tra 15 fino ad un massimo di 23 metri caratterizzate da V_s medio di 250 m/s, su superfici topografiche aventi inclinazione $< 15^\circ$. Nelle aree di studio il substrato geologico è rappresentato dalla Formazione delle Argille Azzurre (FAA) e Formazione delle Argille Azzurre Membro delle sabbie pelitiche (FAAps) con grado di addensamento rispettivamente 24 e 11, dalla Formazione Marnoso Arenacea nel margine Sud dell'ambito di studio e per una ridotta porzione da FAA3b a ridosso degli stabilimenti termali. Questa zona è riconducibile ad aree di pianura caratterizzate da ambiti fluviali terrazzati. Le coperture presentano litologie variabili da sabbie argillose a limi e sabbie limose fini, con grado di addensamento medio riconducibile a 24. Anche questa zona caratterizza parte del Capoluogo, in particolare in corrispondenza delle concessioni e degli stabilimenti termali e gran parte di Terra del Sole.

Nell'area indagata non sono state riscontrate zone suscettibili di amplificazione sismica per effetti dovuti alla topografia.

All'interno dell'area di studio non è stata riscontrata la presenza di zone suscettibili di instabilità, cartografate nella carta geologica regionale o presenti nell'inventario del dissesto regionale. Il rilievo di campagna ha quindi confermato l'assenza, nel territorio di approfondimento, di fenomeni di dissesto attivi, quiescenti o incipienti.

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

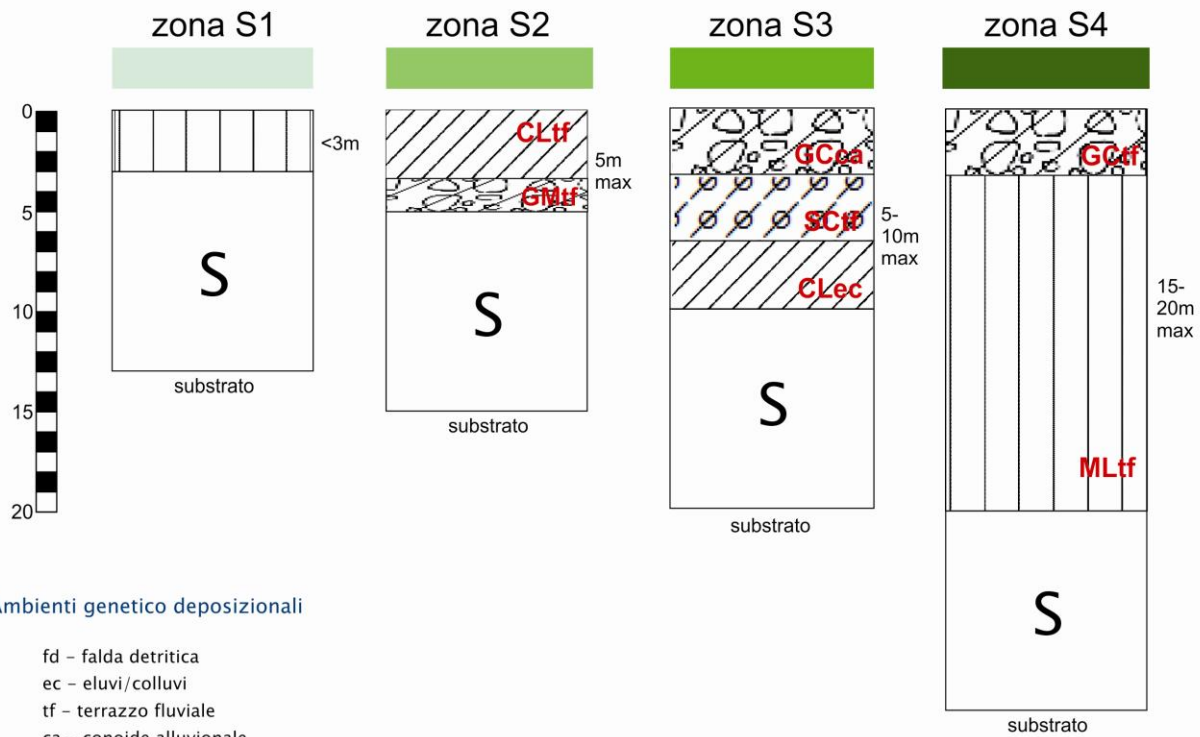


Fig. 5 - Microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)

Carte di micro zonazione sismica (secondo livello di approfondimento) in scala 1:5000.

Quale sintesi dei risultati ottenuti è stata redatta la carta di **Microzonazione sismica** tenendo conto dei Fattori di Amplificazione stratigrafica FA secondo la normativa della Regione Emilia Romagna, suddivisa per intervalli compresi tra un range di 1,1 e 2,5, per un totale di 8 intervalli con incremento di 0,2. Per mancanza dei requisiti di applicabilità degli abachi ICMS non sono state quindi prodotte carte di MZS di II

livello elaborate sui fattori FA ed FV definiti dagli abachi stessi, riferendosi esclusivamente alla normativa regionale.

Sono state redatte n. 3 carte relative all' accelerazione massima orizzontale (FA_{PGA}) sia di rapporto di Intensità Spettrale di Housner (FA_{SI}) quest'ultimo per intervalli di periodi T tra 0,1s e 0,5s e 0,5s e 1,0s, come previsto dalla normativa regionale dell'Emilia-Romagna (DAL 112/07).

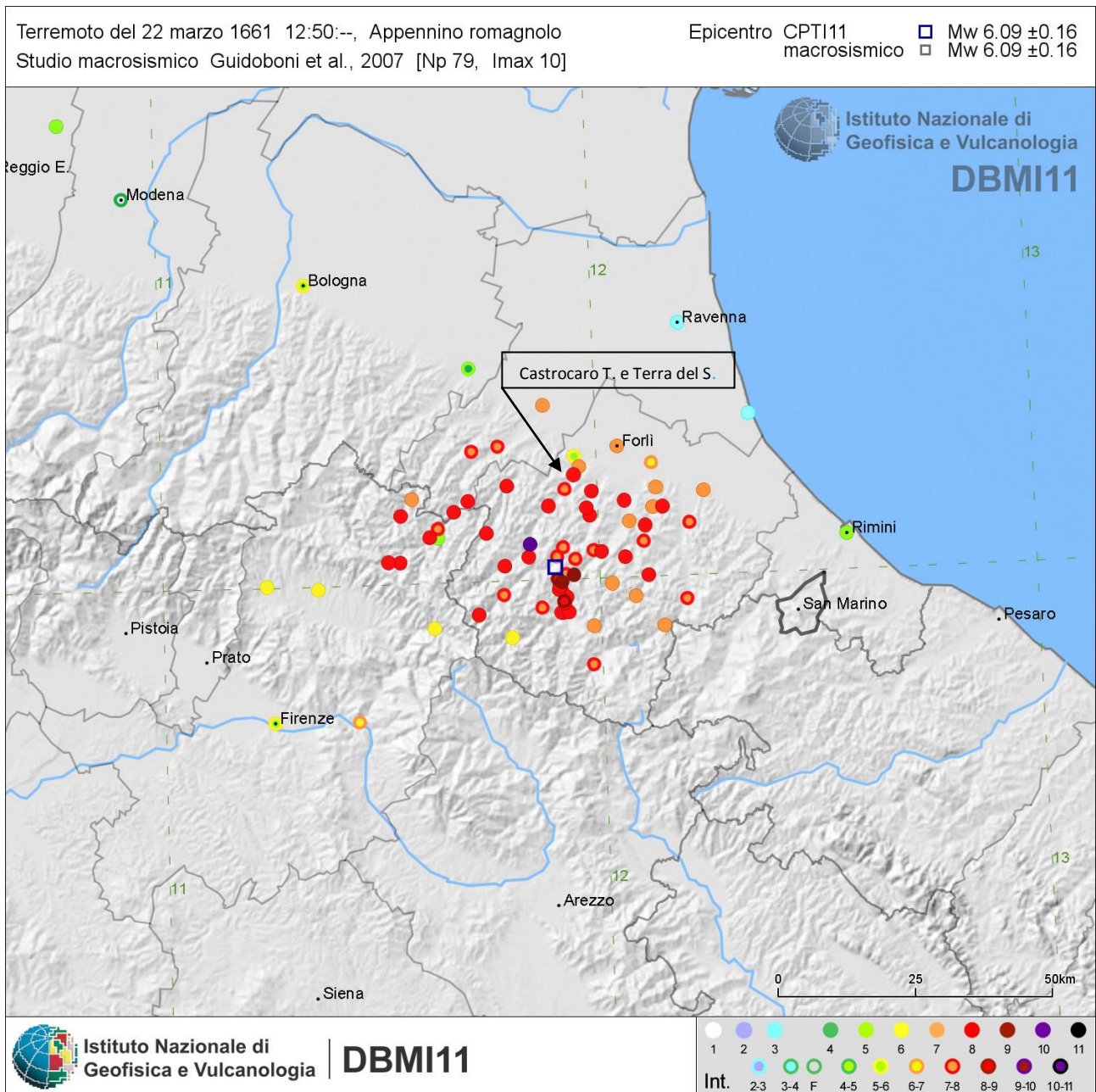
Sono state pertanto perimetrate zone caratterizzate da fattori di amplificazione appartenenti ai diversi intervalli individuati.

I parametri di amplificazione sono quelli descritti negli standards di rappresentazione e archiviazione informatica v. 2.0

9 – CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI

Uno degli eventi significativi che hanno interessato il territorio comunale, desunto dal catalogo dell'INGV è il seguente:

22.03.1661. ROMAGNA, Magnitudo 5.8. Epicentro a nord di Galeata. Maggiormente colpita Civitella. Gravi danni a Galeata, Bagno, Pianetto, Santa Sofia, Montano, S.Piero, Rocca San Casciano. Crolli e danni, sia pur minori, anche in pianura. Predappio, Fiumana, Dovadola, Bertinoro, Forli, Castrocaro. Almeno 250 vittime.



10 – BIBLIOGRAFIA

AA. VV. –Supplemento alla rivista “ *Ingegneria sismica*” Anno XXVIII n. 2 – 2011

AA.VV.(2008), Gruppo di lavoro MS 2008. *Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica.* Conferenza delle Regioni e delle Provincie autonome- Dipartimento della Protezione Civile . Roma.

AA.VV. (2008), *Indirizzi per studi di microzonazione sismica.* AMRA S.c.a.r.l. Sezione Early Warning e Rischio Sismico.

AA.VV. (2012) *Microzonazione Sismica . Uno strumento consolidato per la riduzione del rischio, L'esperienza della Regione Emilia Romagna.* A cura del Servizio Geologico sismico dei suoli RER.

AGI, (1977), Associazione Geotecnica Italiana. *Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche.*

AGI,(2005), Associazione Geotecnica Italiana. *Linee Guida su aspetti geotecnici della progettazione in zone sismiche.*

Albarelo Dario (2013), *Corso di micro zonazione sismica e valutazione della risposta locale per la ricostruzione post terremoto.* Slide

Martelli Luca (2007), *Finalità e struttura dell'atto di indirizzo della Regione –Atto della Giornata informativa “Applicazione del nuovo atto di indirizzo in materia di microzonazione sismica della Regione Emilia Romagna. Esempi nella pianificazione territoriale e urbanistica”. Bologna 14 Dicembre 2007.*

Riga G.(2008), *Microzonazione sismica. Procedure per elaborare una carta di microzonazione sismica . Dario Flaccovio Editore. Palermo 2008.*

Stucchi M.; Camassi R. Rovida A.; Locati M.; Ercolani E., Meletti C. Migliavacca P.; Bernardini F. e Azzaro R, (2011). *DBMI11, il database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico. Quaderni di geofisica, INGV.*

11 – ALLEGATI

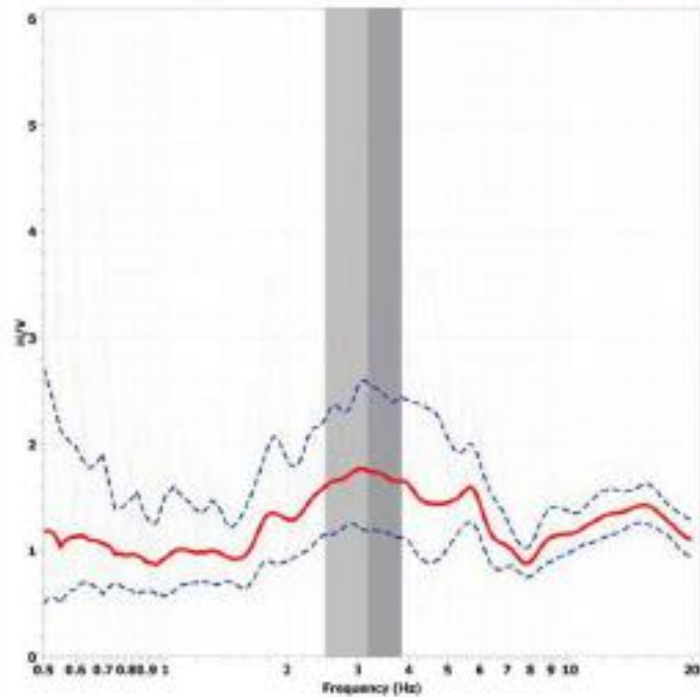
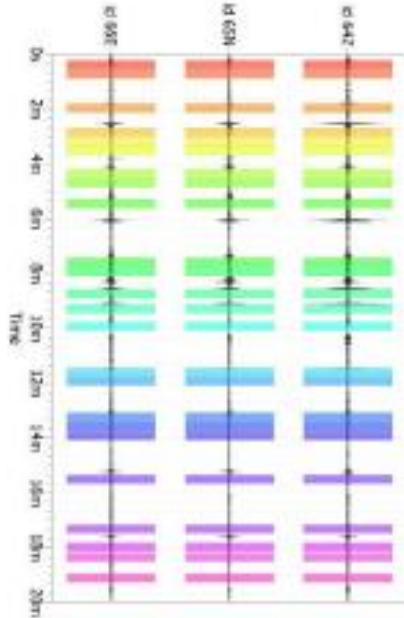
Alla presente relazione illustrativa si allegano i seguenti report per le indagini geofisiche eseguite ex-novo per il presente studio:

1. report PROVE SISMICHE HVSR – CASTROCARO TERME E TERRA DEL SOLE (FC)
2. report prove MASW-REMI

Prova HVSR - CASHVI

Dati generali

Committente:
 Comunità Montana Appennino Forlivese
 Cantiere: Microzonazione Sismica
 Località: Castrocaro (FC)
 Zona: Castrocaro
 Operatore: GeoExploration srl
 Data: 29-Nov-13



Dati riepilogativi

Frequenza massima: 20.00 Hz
 Frequenza minima: 0.50 Hz
 Frequenza campionamento: 1000 Hz
 Tipo lisciamento: Konno & Ohmachi
 Costante: 40.00
 Taper: 5.0%

Frequenza di picco H/V (fo): 3.2 Hz ± 0.7 Hz
 Ampiezza di picco H/V (A0): 1.7

Verifiche SESAME

Esito

$f_0 > 10/l_w$ OK
 $n_c(f_0) > 200$ OK
 $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5 \text{ Hz}$ OK
 $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5 \text{ Hz}$ OK
 $\exists f^- \in [f_0/4, f_0] | A_{H/V}(f^-) < A_0/2$ OK
 $\exists f^+ \in [f_0 \cdot 4, f_0] | A_{H/V}(f^+) < A_0/2$ OK
 $A_0 > 2$ OK
 $f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ OK
 $\sigma_f < \sigma(f)$ OK
 $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ OK

Per profilo Vs e valore Vsh/Vs30 fare riferimento alla prova ReMi-MASW denominata CASRM1

Prova HVSR - CASHV2

Dati generali

Committente:
 Comunità Montana Appennino Forlivese

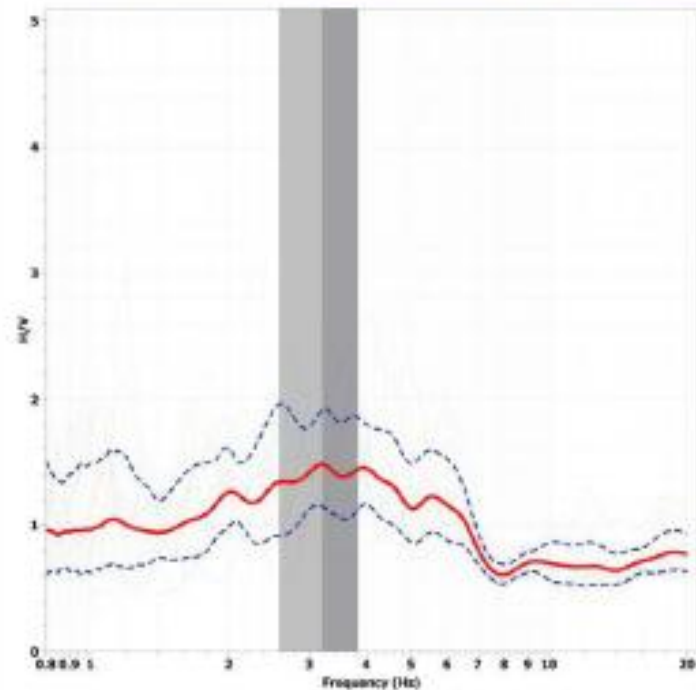
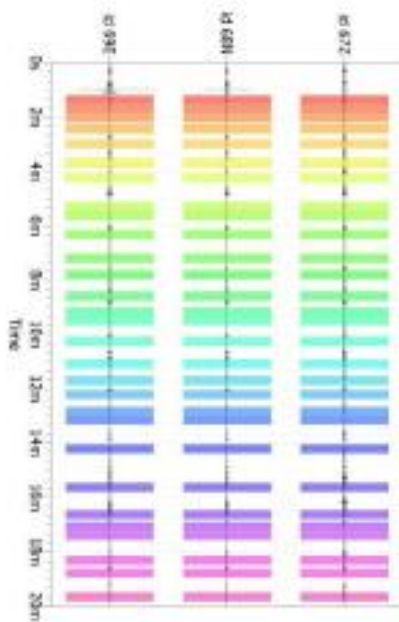
Cantiere: Microzonazione Sismica

Località: Castrocaro (FC)

Zona: Castrocaro

Operatore: GeoExploration srl

Data: 29-Nov-13



Dati riepilogativi

Frequenza massima: 20.00 Hz

Frequenza minima: 0.50 Hz

Frequenza campionamento: 1000 Hz

Tipo lisciamo: Konno & Ohmachi

Costante: 40.00

Taper: 5.0%

Frequenza di picco H/V (f₀): 3.2 Hz ± 0.6 Hz

Ampiezza di picco H/V (A₀): 1.5

Verifiche SESAME

$f_0 > 10/l_{sv}$ OK

$N_z(f_0) > 200$ OK

$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ or $f_0 > 0.5 \text{ Hz}$ OK

$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ or $f_0 < 0.5 \text{ Hz}$ OK

$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] | A_{H/V}(f^-) < A_0/2$ OK

$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] | A_{H/V}(f^+) < A_0/2$ OK

$A_0 > 2$ OK

$f_{\text{picco}} [A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ OK

$\sigma_f < \sigma(f)$ OK

$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ OK

Esito

Per profilo Vs e valore Vsh/Vs30 fare riferimento alla prova ReMi-MASW denominata CASRM2

Prova HVSR - CASHV3

Dati generali

Committente:

Comunità Montana Appennino Forlivese

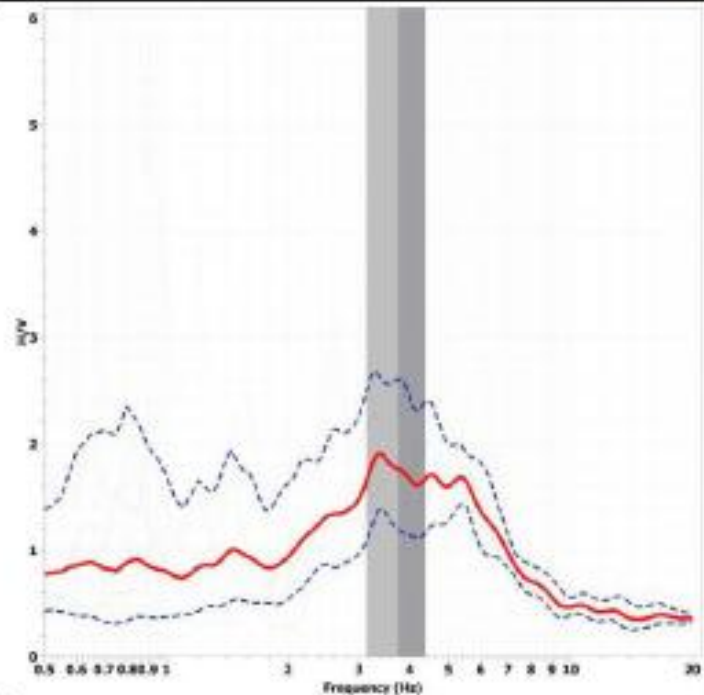
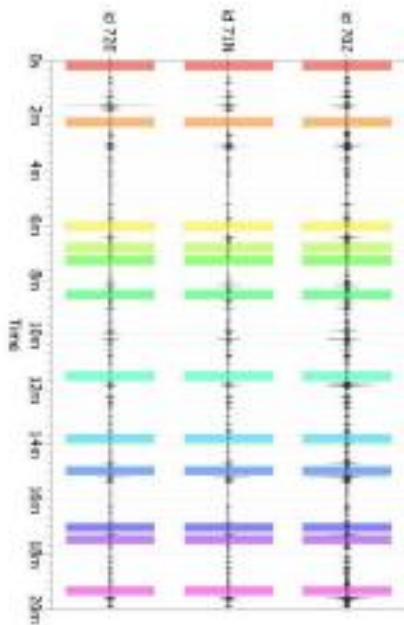
Cantiere: Microzonazione Sismica

Località: Castrocaro (FC)

Zona: Castrocaro

Operatore: GeoExploration srl

Data: 29-Nov-13



Dati riepilogativi

Frequenza massima: 20.00 Hz

Frequenza minima: 0.50 Hz

Frequenza campionamento: 1000 Hz

Tipo lisciamento: Konno & Ohmachi

Costante: 40.00

Taper: 5.0%

Frequenza di picco H/V (f₀): 3.7 Hz ± 0.7 Hz

Ampiezza di picco H/V (A₀): 1.8

Verifiche SESAME

Esito

$f_0 > 10/f_{av}$	Ok
$n_z(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{\pm 10\%} [A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \sigma(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

Per profilo Vs e valore Vsh/Vs30 fare riferimento alla prova ReMi-MASW denominata CASRM3

Prova HVSR - CASHV4

Dati generali

Committente:
 Comunità Montana Appennino Forlivese

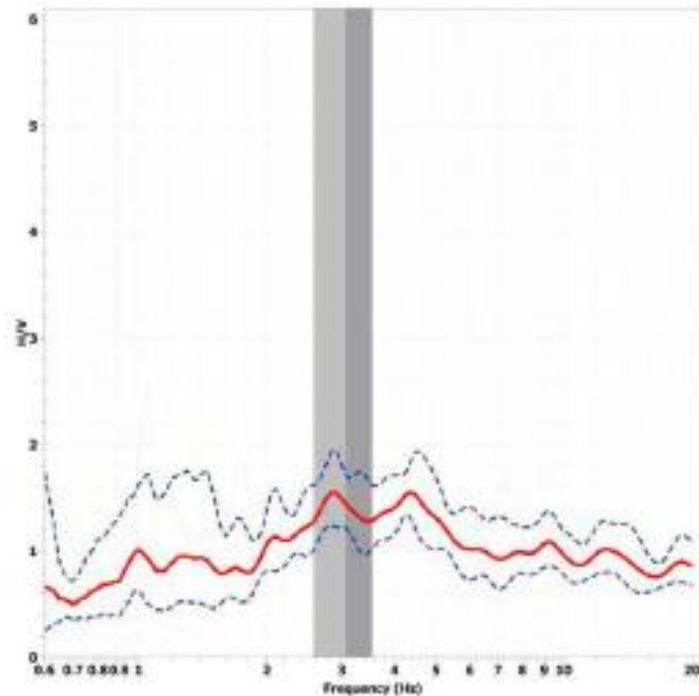
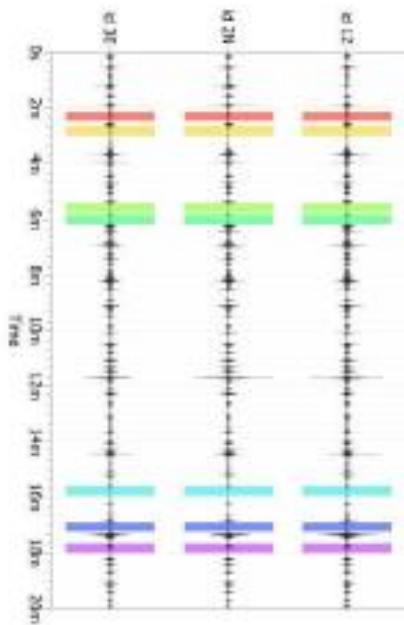
Cantiere: Microzonazione Sismica

Località: Castrocaro (FC)

Zona: Castrocaro

Operatore: GeoExploration srl

Data: 03-Dic-13



Dati riepilogativi

Frequenza massima: 20.00 Hz

Frequenza minima: 0.50 Hz

Frequenza campionamento: 1000 Hz

Tipo lisciamento: Konno & Ohmachi

Costante: 40.00

Taper: 5.0%

Frequenza di picco H/V (f_0): 3.1 Hz \pm 0.5 Hz

Ampiezza di picco H/V (A_0): 1.4

Verifiche SESAME

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$N_c(f_0) > 200$	Ok
$\alpha_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz	Ok
$\alpha_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \alpha_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\alpha_f < \alpha(f)$	Ok
$\alpha_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

Prova HVSR - CASHV5

Dati generali

Committente:
 Comunità Montana Appennino Forlivese

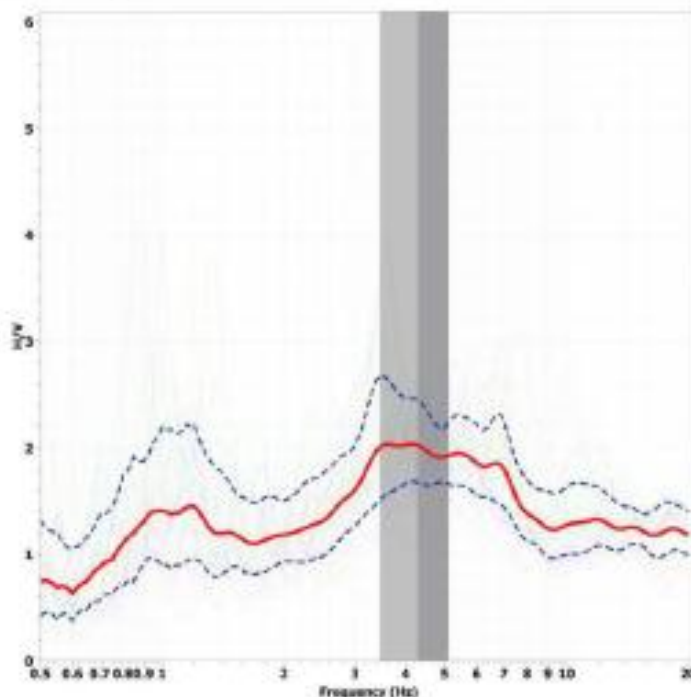
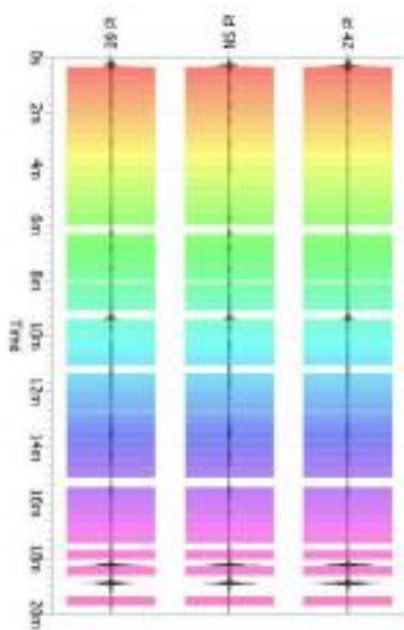
Cantiere: Microzonazione Sismica

Località: Castrocaro (FC)

Zona: Castrocaro

Operatore: GeoExploration srl

Data: 03-Dic-13



Dati riepilogativi

Frequenza massima: 20.00 Hz

Frequenza minima: 0.50 Hz

Frequenza campionamento: 1000 Hz

Tipo lisciamento: Konno & Ohmachi

Costante: 40.00

Taper: 5.0%

Frequenza di picco H/V (f_0): 4.3 Hz \pm 0.8 Hz

Ampiezza di picco H/V (A_0): 2.0

Verifiche SESAME

$f_0 > 10/l_w$ Ok

$n_z(f_0) > 200$ Ok

$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz Ok

$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz Ok

$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] | A_{H/V}(f^-) < A_0/2$ Ok

$\exists f^+ \in [f_0 \cdot 4, f_0] | A_{H/V}(f^+) < A_0/2$ Ok

$A_0 > 2$ Ok

$f_{picco} [A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ Ok

$\sigma_f < \sigma(f)$ Ok

$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ Ok

Esito

Prova HVSR - CASHV6

Dati generali

Committente:
 Comunità Montana Appennino Forlivese

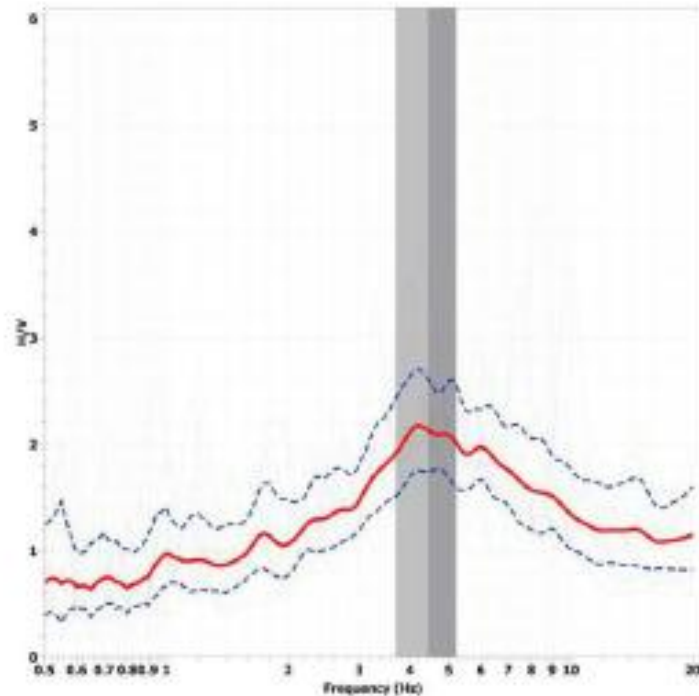
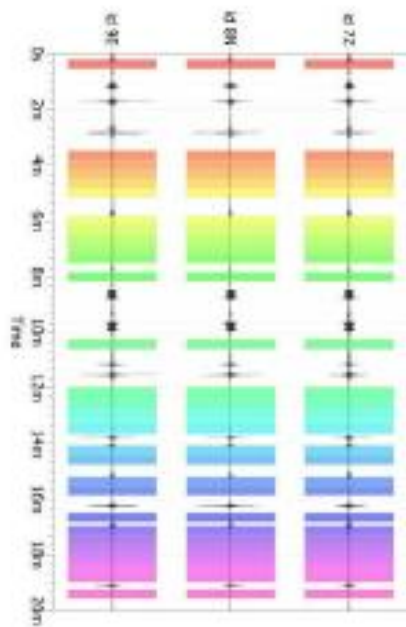
Cantiere: Microzonazione Sismica

Località: Castrocaro (FC)

Zona: Castrocaro

Operatore: GeoExploration srl

Data: 03-Dic-13



Dati riepilogativi

Frequenza massima: 20.00 Hz

Frequenza minima: 0.50 Hz

Frequenza campionamento: 1000 Hz

Tipo lisciamento: Konno & Ohmachi

Costante: 40.00

Taper: 5.0%

Frequenza di picco H/V (f_0): 4.5 Hz \pm 0.8 Hz

Ampiezza di picco H/V (A_0): 2.1

Verifiche SESAME

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$N_c(f_0) > 200$	Ok
$\alpha_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz	Ok
$\alpha_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \alpha_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \sigma(f)$	Ok
$\alpha_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

Prova HVSR - CASHV7

Dati generali

Committente:
 Comunità Montana Appennino Forlivese

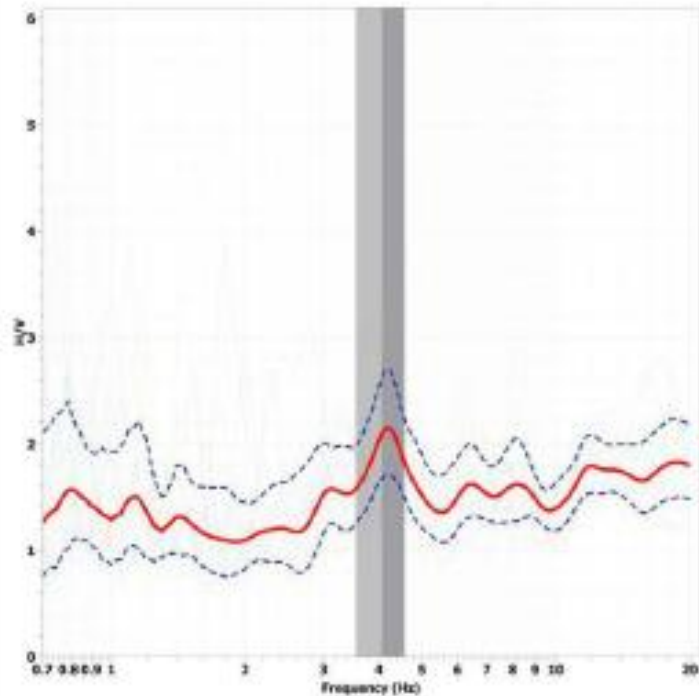
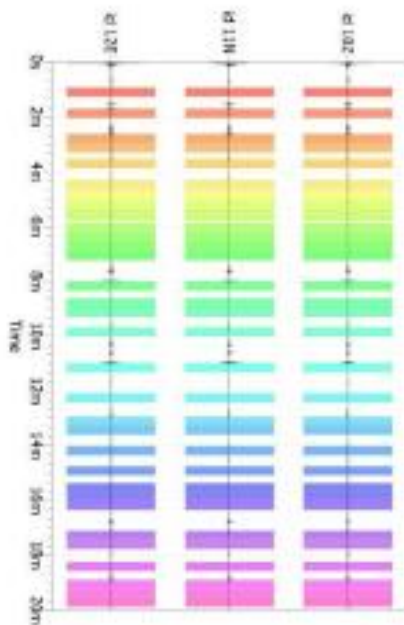
Cantiere: Microzonazione Sismica

Località: Castrocaro (FC)

Zona: Castrocaro

Operatore: GeoExploration srl

Data: 03-Dic-13



Dati riepilogativi

Frequenza massima: 20.00 Hz

Frequenza minima: 0.50 Hz

Frequenza campionamento: 1000 Hz

Tipo lisciamento: Konno & Ohmachi

Costante: 40.00

Taper: 5.0%

Frequenza di picco H/V (f_0): 4.1 Hz \pm 0.5 Hz

Ampiezza di picco H/V (A_0): 2.1

Verifiche SESAME

Verifica	Esito
$f_0 > 10/T_{eq}$	OK
$N_c(f_0) > 200$	OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz	OK
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz	OK
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	OK
$\exists f^+ \in [f_0 \cdot 4, f_0] A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	OK
$A_0 > 2$	OK
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	OK
$\sigma_f < \sigma(f)$	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	OK

Prova HVSR - CASHV8

Dati generali

Committente:
 Comunità Montana Appennino Forlivese

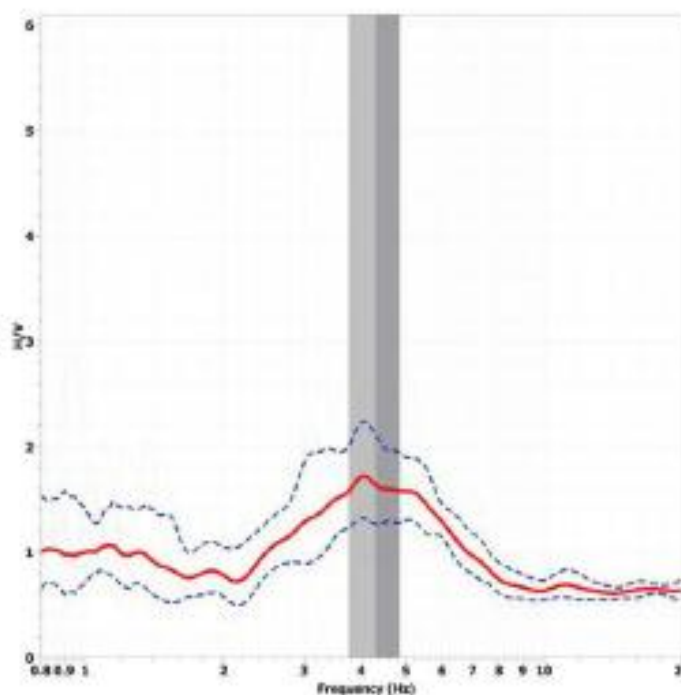
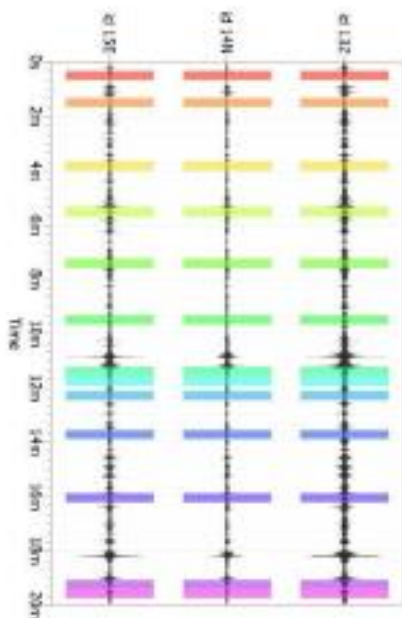
Cantiere: Microzonazione Sismica

Località: Castrocaro (FC)

Zona: Castrocaro

Operatore: GeoExploration srl

Data: 03-Dic-13



Dati riepilogativi

Frequenza massima: 20.00 Hz

Frequenza minima: 0.50 Hz

Frequenza campionamento: 1000 Hz

Tipo liscio: Konno & Ohmachi

Costante: 40.00

Taper: 5.0%

Frequenza di picco H/V (f_0): 4.3 Hz \pm 0.6 Hz

Ampiezza di picco H/V (A_0): 1.6

Verifiche SESAME

$f_0 > 10/f_w$ OK

$N_z(f_0) > 200$ OK

$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz OK

$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz OK

$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] | A_{M/V}(f^-) < A_0/2$ OK

$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] | A_{M/V}(f^+) < A_0/2$ OK

$A_0 > 2$ OK

$f_{picco} [A_{M/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ OK

$\sigma_f < \sigma(f)$ OK

$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ OK

Esito

Prova HVSR - CASHV9

Dati generali

Committente:
 Comunità Montana Appennino Forlivese

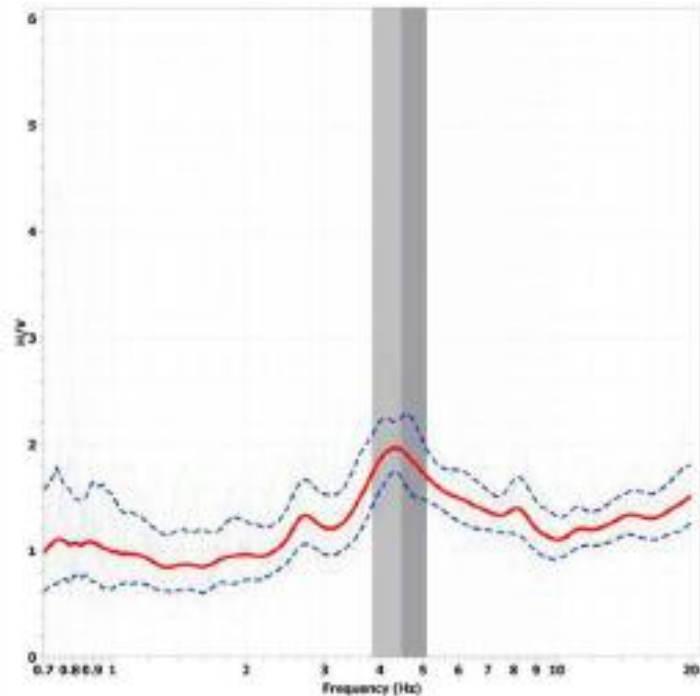
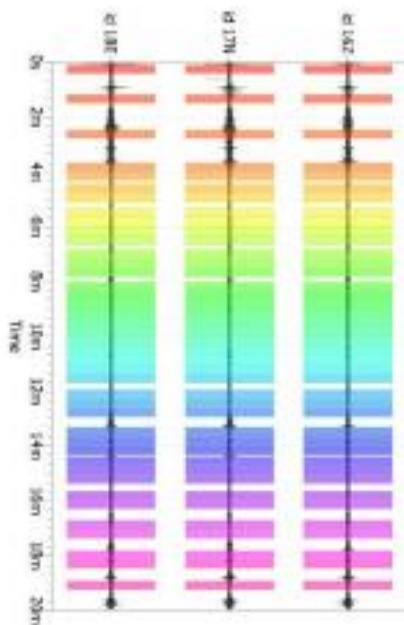
Cantiere: Microzonazione Sismica

Località: Castrocaro (FC)

Zona: Castrocaro

Operatore: GeoExploration srl

Data: 03-Dic-13



Dati riepilogativi

Frequenza massima: 20.00 Hz

Frequenza minima: 0.50 Hz

Frequenza campionamento: 1000 Hz

Tipo lisciamento: Konno & Ohmachi

Costante: 40.00

Taper: 5.0%

Frequenza di picco H/V (f_0): 4.5 Hz \pm 0.7 Hz

Ampiezza di picco H/V (A_0): 1.9

Verifiche SESAME

Verifica	Esito
$f_0 > 10/T_{eq}$	OK
$N_c(f_0) > 200$	OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5 \text{ Hz}$	OK
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5 \text{ Hz}$	OK
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	OK
$\exists f^+ \in [f_0 \cdot 4, f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	OK
$A_0 > 2$	OK
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	OK
$\sigma_f < \sigma(f)$	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	OK

Prova HVSR - CASHV10

Dati generali

Committente:
 Comunità Montana Appennino Forlivese

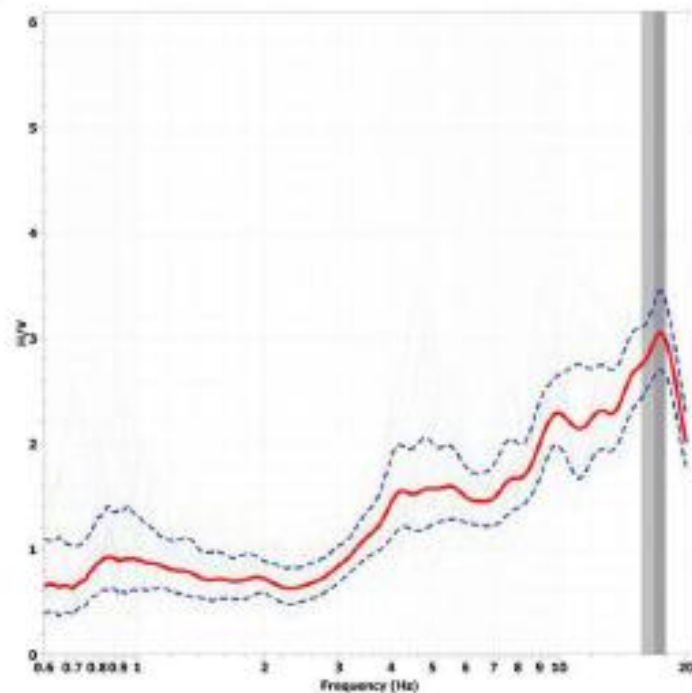
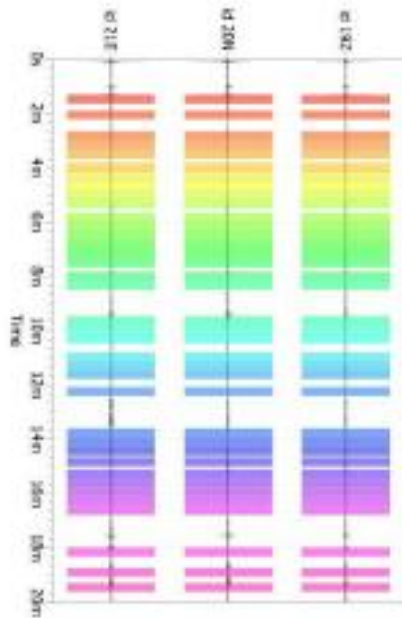
Cantiere: Microzonazione Sismica

Località: Castrocaro (FC)

Zona: Castrocaro

Operatore: GeoExploration srl

Data: 03-Dic-13



Dati riepilogativi

Frequenza massima: 20.00 Hz

Frequenza minima: 0.50 Hz

Frequenza campionamento: 1000 Hz

Tipo lisciamento: Konno & Ohmachi

Costante: 40.00

Taper: 5.0%

Frequenza di picco H/V (f_0): 16.8 Hz \pm 1.1 Hz

Ampiezza di picco H/V (A_0): 3.0

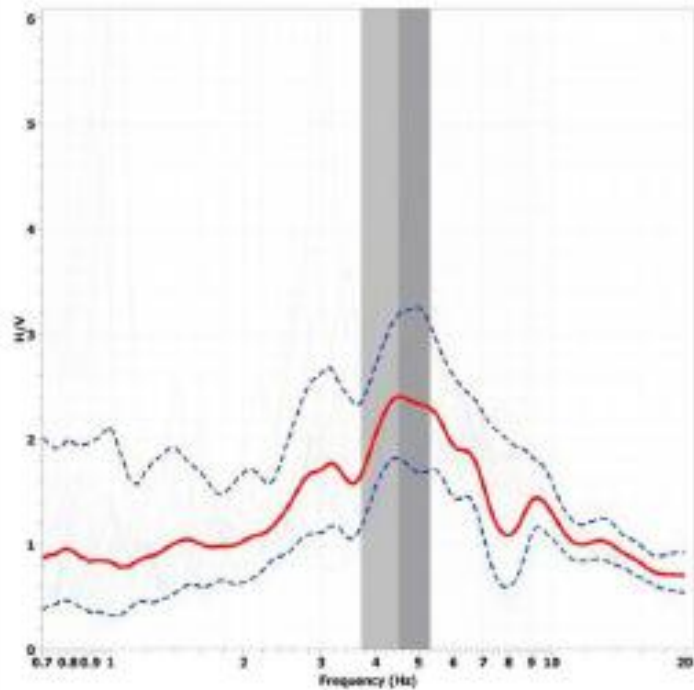
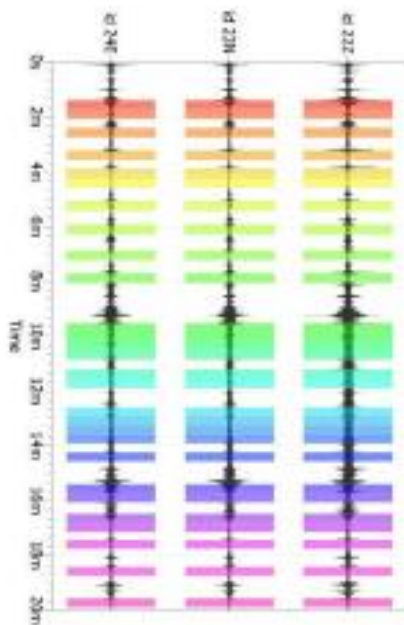
Verifiche SESAME

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$N_z(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0 \cdot 4, f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{p1000} [A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \sigma(f)$	Ok
$\varphi_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

Prova HVSR - CASHV11

Dati generali

Committente:
 Comunità Montana Appennino Forlivese
 Cantiere: Microzonazione Sismica
 Località: Castrocaro (FC)
 Zona: Castrocaro
 Operatore: GeoExploration srl
 Data: 03-Dic-13



Dati riepilogativi

Frequenza massima: 20.00 Hz
 Frequenza minima: 0.50 Hz
 Frequenza campionamento: 1000 Hz
 Tipo lisciamento: Konno & Ohmachi
 Costante: 40.00
 Taper: 5.0%

Frequenza di picco H/V (f_0): 4.5 Hz \pm 0.8 Hz
 Ampiezza di picco H/V (A_0): 2.4

Verifiche SESAME

Verifica	Esito
$f_0 > 10/T_{eq}$	OK
$N_c(f_0) > 200$	OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5 \text{ Hz}$	OK
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5 \text{ Hz}$	OK
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	OK
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	OK
$A_0 > 2$	OK
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	OK
$\sigma_f < \sigma(f)$	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	OK

Prova HVSR - CASHV12

Dati generali

Committente:

Comunità Montana Appennino Forlivese

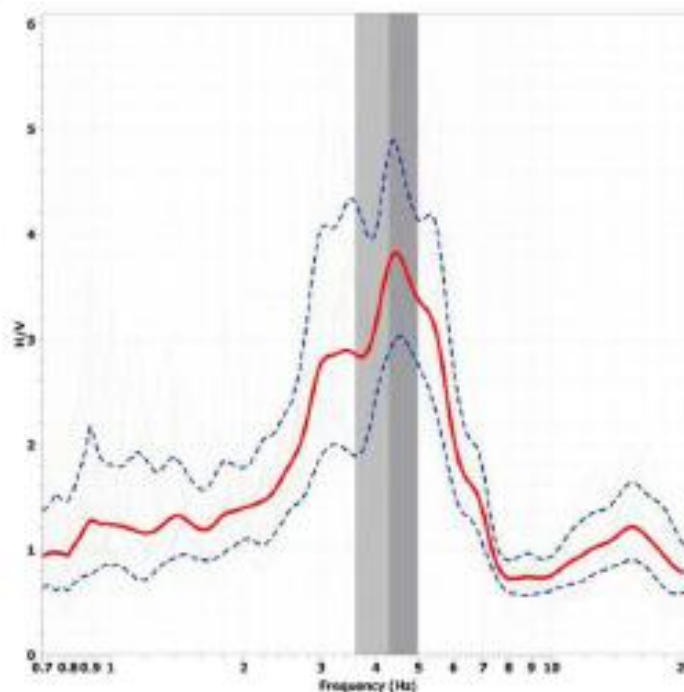
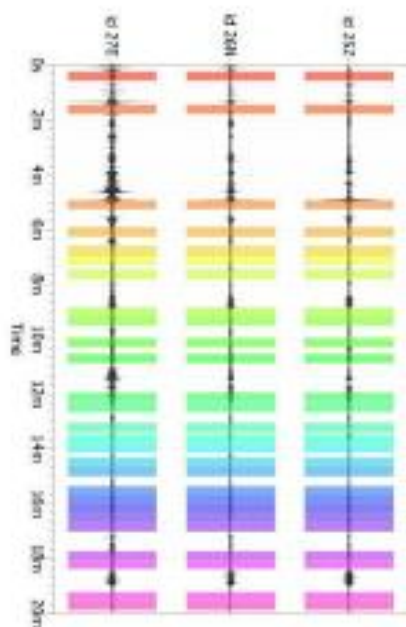
Cantiere: Microzonazione Sismica

Località: Castrocaro (FC)

Zona: Castrocaro

Operatore: GeoExploration srl

Data: 03-Dic-13



Dati riepilogativi

Frequenza massima: 20.00 Hz

Frequenza minima: 0.50 Hz

Frequenza campionamento: 1000 Hz

Tipo lisciamo: Konno & Ohmachi

Costante: 40.00

Taper: 5.0%

Frequenza di picco H/V (f_0): 4.3 Hz \pm 0.7 Hz

Ampiezza di picco H/V (A_0): 3.7

Verifiche SESAME

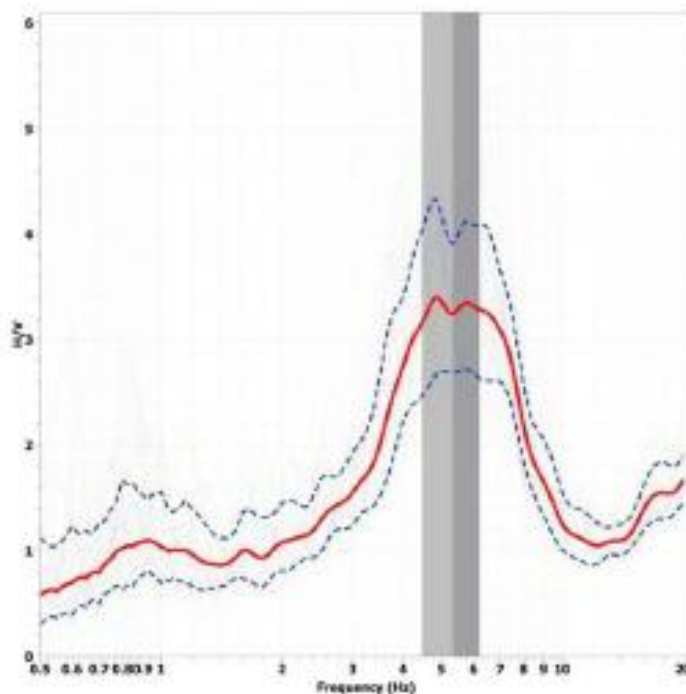
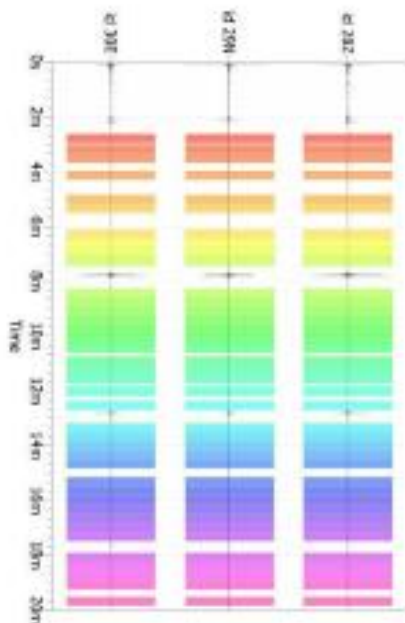
Esito

$f_0 > 10/\xi_w$	Ok
$M_2(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{0.1000} [A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \sigma(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

Prova HVSR - CASHV13

Dati generali

Committente:
 Comunità Montana Appennino Forlivese
 Cantiere: Microzonazione Sismica
 Località: Castrocaro (FC)
 Zona: Castrocaro
 Operatore: GeoExploration srl
 Data: 03-Dic-13



Dati riepilogativi

Frequenza massima: 20.00 Hz
 Frequenza minima: 0.50 Hz
 Frequenza campionamento: 1000 Hz
 Tipo lisciamento: Konno & Ohmachi
 Costante: 40.00
 Taper: 5.0%

Frequenza di picco H/V (f_0): 5.3 Hz \pm 0.9 Hz
 Ampiezza di picco H/V (A_0): 3.2

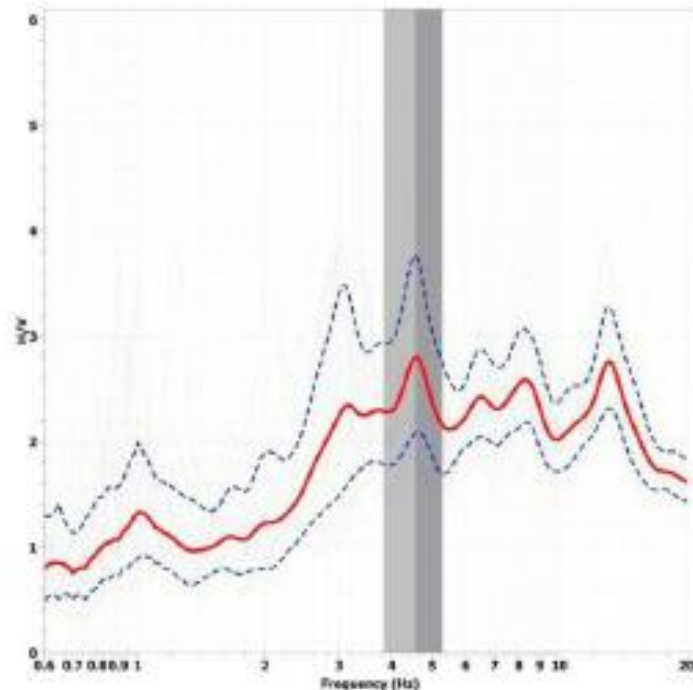
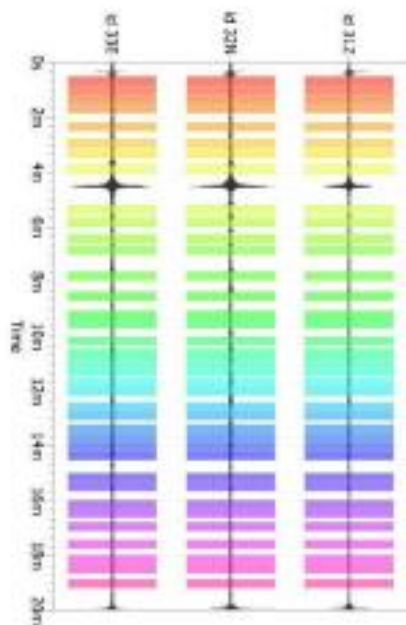
Verifiche SESAME

Verifica	Esito
$f_0 > 10/T_{eq}$	OK
$N_c(f_0) > 200$	OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz	OK
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz	OK
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	OK
$\exists f^+ \in [f_0 \cdot 4, f_0] A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	OK
$A_0 > 2$	OK
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	OK
$\sigma_f < \sigma(f)$	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	OK

Prova HVSR - CASHV14

Dati generali

Committente:
 Comunità Montana Appennino Forlivese
 Cantiere: Microzonazione Sismica
 Località: Castrocaro (FC)
 Zona: Castrocaro
 Operatore: GeoExploration srl
 Data: 03-Dic-13



Dati riepilogativi

Frequenza massima: 20.00 Hz
 Frequenza minima: 0.50 Hz
 Frequenza campionamento: 1000 Hz
 Tipo lisciamento: Konno & Ohmachi
 Costante: 40.00
 Taper: 5.0%

Frequenza di picco H/V (f_0): 4.6 Hz \pm 0.8 Hz
 Ampiezza di picco H/V (A_0): 2.8

Verifiche SESAME

$f_0 > 10/l_{av}$
 $N_c(f_0) > 200$
 $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz
 $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz
 $\exists f^- \in [f_0/4, f_0] | A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
 $\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] | A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
 $A_0 > 2$
 $f_{picco} [A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$
 $\sigma_f < \sigma(f)$
 $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$

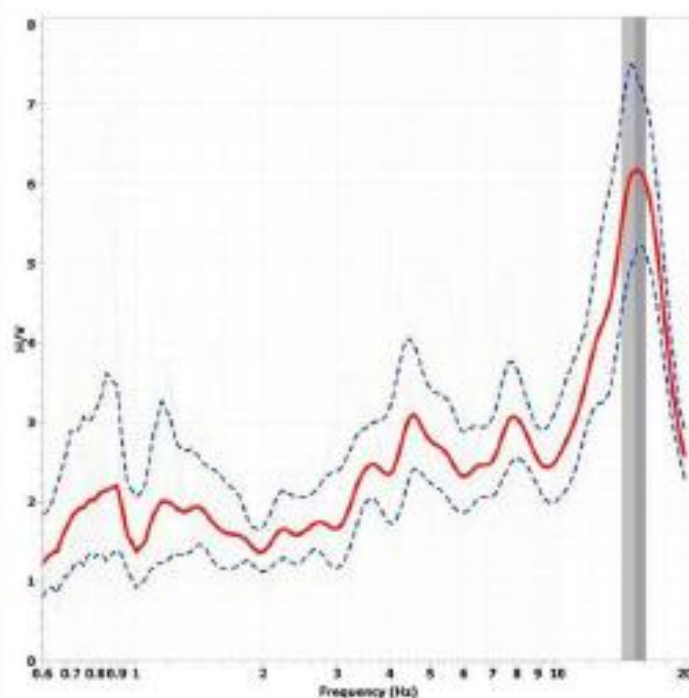
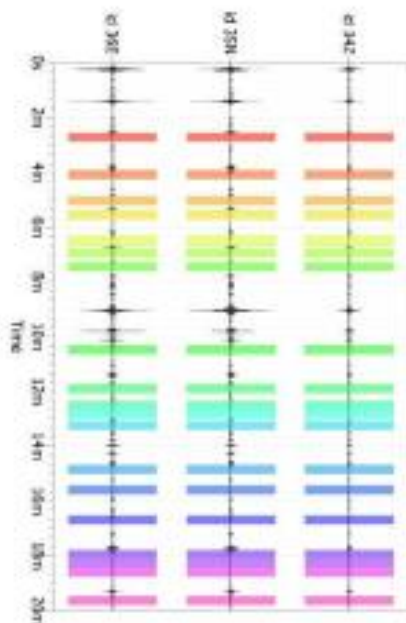
Esito

Ok
 Ok
 Ok
 Ok
 Ok
 Ok
 Ok
 Ok
 Ok

Prova HVSR - CASHV15

Dati generali

Committente:
 Comunità Montana Appennino Forlivese
Cantiere: Microzonazione Sismica
Località: Castrocaro (FC)
Zona: Castrocaro
Operatore: GeoExploration srl
Data: 03-Dic-13



Dati riepilogativi

Frequenza massima: 20.00 Hz
 Frequenza minima: 0.50 Hz
 Frequenza campionamento: 1000 Hz
 Tipo lisciamento: Konno & Ohmachi
 Costante: 40.00
 Taper: 5.0%

Frequenza di picco H/V (f_0): 15.2 Hz \pm 1.0 Hz
 Ampiezza di picco H/V (A_0): 6.2

Verifiche SESAME

Verifica	Esito
$f_0 > 10/f_w$	Ok
$N_z(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{picco} [A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \sigma(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

