



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 dalla legge 24 giugno 2009, n.77

# MICROZONAZIONE SISMICA E ANALISI DELLA CONDIZIONE LIMITE PER L'EMERGENZA

Regione Emilia-Romagna  
Comune di Montecreto



Regione	Soggetto realizzatore <i>Dott. Geol. Marco Santi Bortolotti</i> <i>Dott. Geol. Roberto Saloni</i>	Data GENNAIO 2017  FASCICOLO 1  RELAZIONE TECNICA MICROZONAZIONE SISMICA
---------	---	--

---

# INDICE

1.	<b>INTRODUZIONE</b>	Pag. 2
1.1	RIFERIMENTI TECNICI - NORMATIVI	" 2
1.2	METODOLOGIA DI STUDIO	" 3
1.3	FORMATO DEI DATI	" 4
1.4	AREE INDAGATE	" 5
1.5	INDAGINI ESISTENTI E DI NUOVA REALIZZAZIONE	" 5
2.	<b>DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO</b>	" 6
2.1	SISMICITÀ STORICA	" 6
2.2	SISMICA RECENTE	" 11
2.3	SISMOTETTONICA	" 13
2.4	ZONAZIONE SIMOGENETICA	" 16
2.5	STRUTTURE SIMOGENETICHE E NEOTETTONICA	" 18
2.6	NORMATIVA SISMICA DI RIFERIMENTO	" 19
3.	<b>ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA</b>	" 23
3.1	ASSETTO GEOLOGICO	" 23
3.2	ASSETTO GEOMORFOLOGICO	" 32
4.	<b>DATI GEOTECNICI E GEOFISICI E METODOLOGIE DI ELABORAZIONE</b>	" 34
4.1	DATI GEOTECNICI	" 34
4.2	DATI GEOFISICI	" 34
4.2.1	PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE (MASW)	" 35
4.2.2	ANALISI SISMICA PASSIVA DEI MICROTREMORI (HVSR)	" 38
5.	<b>MODELLO DEL SOTTOSUOLO</b>	" 42
6.	<b>INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE</b>	" 44
7.	<b>RISULTATI</b>	" 45
7.1	PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE (MASW)	" 45
7.2	ANALISI SISMICA PASSIVA DEI MICROTREMORI (HVSR)	" 46
8.	<b>ELABORATI CARTOGRAFICI</b>	" 47
9.	<b>CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI</b>	" 64
10.	<b>CONSIDERAZIONI FINALI</b>	" 64
-	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	" 66

---

# *Relazione Illustrativa*

## **1. INTRODUZIONE**

Per microzonazione sismica (MS) si intende la “valutazione della pericolosità sismica locale attraverso l’individuazione di zone del territorio caratterizzate da comportamento sismico omogeneo”.

La MS consiste quindi nella suddivisione dettagliata del territorio in base al comportamento dei terreni durante un evento sismico e ai possibili effetti indotti dallo scuotimento; rappresenta uno strumento di prevenzione e riduzione del rischio sismico particolarmente efficace se realizzato e affiancato alla fase di pianificazione urbanistica.

Questo studio intende fornire un supporto sostanziale agli strumenti di pianificazione comunale per indirizzare le scelte urbanistiche verso quelle aree a minore pericolosità sismica.

Tenuto conto di quanto richiesto dalla DGR 1302/2012 e sulla base dello stato pianificatorio attuale, l’Amministrazione Comunale, ha indicato le aree urbanizzate e quelle suscettibili di trasformazioni urbanistiche dove realizzare la microzonazione sismica.

A corredo dello studio di MS è stata condotta anche l’analisi della Condizione Limite dell’Emergenza (CLE) (allegato al presente Studio), nel rispetto degli standard di rappresentazione e archiviazione informatici, di cui al Decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile 27.4.2012, n° 1755 (standard di rappresentazione e archiviazione informatica – versione 3.0.1 Settembre 2015).

### **1.1 RIFERIMENTI TECNICI - NORMATIVI**

I riferimenti tecnici per la realizzazione di questi studi e per l’elaborazione e la redazione degli elaborati richiesti sono costituiti da:

- ICMS 2008 - “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica” approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome 1 e successive modifiche e integrazioni.
- DAL 112/2007 Allegato A– “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica”.
- DGR 1302/2012 “Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione e concessione dei contributi di cui all’ OPCM 4007/2012 a favore degli Enti Locali.”
- DGR 2193/2015 “Art. 16 della l.r. n.20 del 24/3/2000. approvazione aggiornamento dell’atto di coordinamento tecnico denominato “indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica”, di cui alla deliberazione dell’assemblea legislativa 2 maggio 2007, n. 112”.

## 1.2 METODOLOGIA DI STUDIO

Gli studi di microzonazione sismica prevedono diverse fasi di realizzazione e differenti livelli di approfondimento.

Per il presente studio sono richiesti il primo e il secondo livello di approfondimento.

### PRIMO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

Finalità:

- Individuare le aree suscettibili di effetti locali in cui effettuare le successive indagini di microzonazione sismica.
- Definire il tipo di effetti attesi.
- Indicare, per ogni area, il livello di approfondimento necessario.
- Descrivere le caratteristiche delle unità geologiche del sottosuolo, in termini di litologia, stratigrafia, tettonica e geometria per definire il modello geologico di base per la microzonazione sismica.

### SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

Finalità:

- Conferma delle condizioni di pericolosità indicate dal precedente livello di approfondimento ed eventuale nuova perimetrazione delle aree in cui effettuare la microzonazione sismica.
- Suddivisione dettagliata del territorio, in base all'amplificazione attesa, in aree a maggiore e minore pericolosità sismica.
- Conferma o migliore definizione delle aree, indicate dal livello di approfondimento precedente, in cui si ritengono necessari approfondimenti di terzo livello e indicazione delle indagini e analisi da effettuare.

Sono stati prodotti i seguenti elaborati a scala 1:5.000/10.000:

1.1-1.2) Carta delle Indagini

2.1-2.2) Carta Geologica-Tecnica

3.1-3.2) Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)

4.1-4.2) Carta di microzonazione sismica, Il Livello - Fattori di amplificazione FA P.G.A.

5.1-5.2) Carta di microzonazione sismica, Il Livello - Fattori di amplificazione FA I.S. 0.1-0.5 s

6.1-6.2) Carta di microzonazione sismica, Il Livello - Fattori di amplificazione FA I.S. 0.5-1 s

7.1-7.2) Carta delle frequenze naturali dei terreni

8.1-8.2) Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)

L'approccio metodologico che si è scelto, al fine di ottimizzare le risorse economiche disponibili e anche in funzione delle caratteristiche geologiche del territorio comunale di Montecreto, è fondato sull'impiego concentrato delle risorse messe a disposizione per effettuare indagini geofisiche di buona qualità e ben estrapolabili, anziché disperderle in ulteriori punti di controllo litostratigrafico.

Questo approccio è stato possibile anche grazie alla possibilità di utilizzare due archivi di stratigrafie e prove geognostiche di repertorio, uno comunale, e l'altro regionale (Banca Dati del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna). Ovviamente tra le prove d'archivio non si sono considerate quelle eseguite con attrezzature fuori degli standard consolidati, o quelle non significative o in termini di profondità o per rappresentatività.

L'applicazione efficiente di questo metodo richiede infatti una conoscenza del sottosuolo per una profondità tale da garantire la definizione di un buon modello geologico.

L'attenta interpretazione della carta geologica ed un'accurata ricostruzione del sottosuolo hanno consentito di collocare le nuove indagini geofisiche in posizioni tali da permettere una ragionevole sicurezza nell'estrapolazione dei parametri ottenuti.

Un'analisi più approfondita di terzo livello è invece richiesta nelle aree in cui sono presenti particolari condizioni di pericolosità locale (pendii instabili o potenzialmente instabili) o laddove sono previsti opere e interventi di rilevante interesse pubblici (strutture di protezione civile, edifici pubblici...). Per questo tipo di analisi sono richieste indagini in sito e in laboratorio ed elaborazioni più approfondite e onerose, in termini di tempo e soprattutto di costi.

Le indagini di terzo livello possono essere demandate ad una fase di studio successiva alla presente in aree di particolare interesse che verranno scelte dall'Amministrazione Comunale.

### **1.3 FORMATO DEI DATI**

Tutti gli elaborati vengono forniti in versione cartacea e digitale (pdf).

I dati vengono inoltre forniti in formato vettoriale (shapefile) secondo quanto indicato nell'Allegato D della DGR 1302/2012 e nell'OPCM n. 3907/2010, e s.m.i., e decreto n. 8422 del 10 dicembre 2010 del Capo del Dipartimento della Protezione Civile.

Tutti i dati sono stati archiviati e le Tavole sono state rappresentate secondo gli **“Standard di rappresentazione e archiviazione informatica – Versione 4.0b, Ottobre 2015”**.

#### 1.4 AREE INDAGATE

In accordo con l'Amministrazione Comunale, in considerazione della distribuzione delle aree urbanizzate principali, sono state individuate le seguenti aree d'indagine:

- MONTECRETO - CAPOLUOGO
- ACQUARIA
- MAGRIGNANA
- PONTE DI STRETTARA
- FASCIA RETE INFRASTRUTTURALE: Galleria di Strettara S.P. n° 40
- LE SPIAGGE – CÀ CAMOSCIO
- ROVINELLA
- IL CASELLO
- CÀ DI BUSOTTO
- LA SORBELLA
- CASA BARATTA

Si tratta degli insediamenti principali presenti sul territorio comunale: oltre al capoluogo infatti sono indagate anche le frazioni e gli agglomerati principali. All'interno di questi macro-ambiti sono presenti sia le aree urbanizzate che quelle suscettibili di trasformazioni urbanistiche.

#### 1.5 INDAGINI ESISTENTI E DI NUOVA REALIZZAZIONE

A supporto del presente studio sono state consultate le seguenti indagini di repertorio:

- n° 9 Sondaggi a carotaggio continuo
- n° 49 prove penetrometriche dinamiche (32 superpesanti, 4 pesanti, 13 medie)
- n° 3 trincea o pozzetto esplorativo
- n° 4 Masw
- n° 1 Sismica Rifrazione
- n° 11 Hvsr

Ad integrazione delle indagini pregresse sono state realizzate le seguenti nuove indagini geofisiche:

- **n° 12 Masw**
- **n° 12 Hvsr**

## 2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 SISMICITÀ STORICA

Il catalogo delle massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani, valutate a partire dalla banca dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia di ING/SGA, Elaborato per il Dipartimento della Protezione Civile (D. Molin, M. Stucchi e G. Valensise, 1996), evidenzia quanto riportato nella figura seguente:

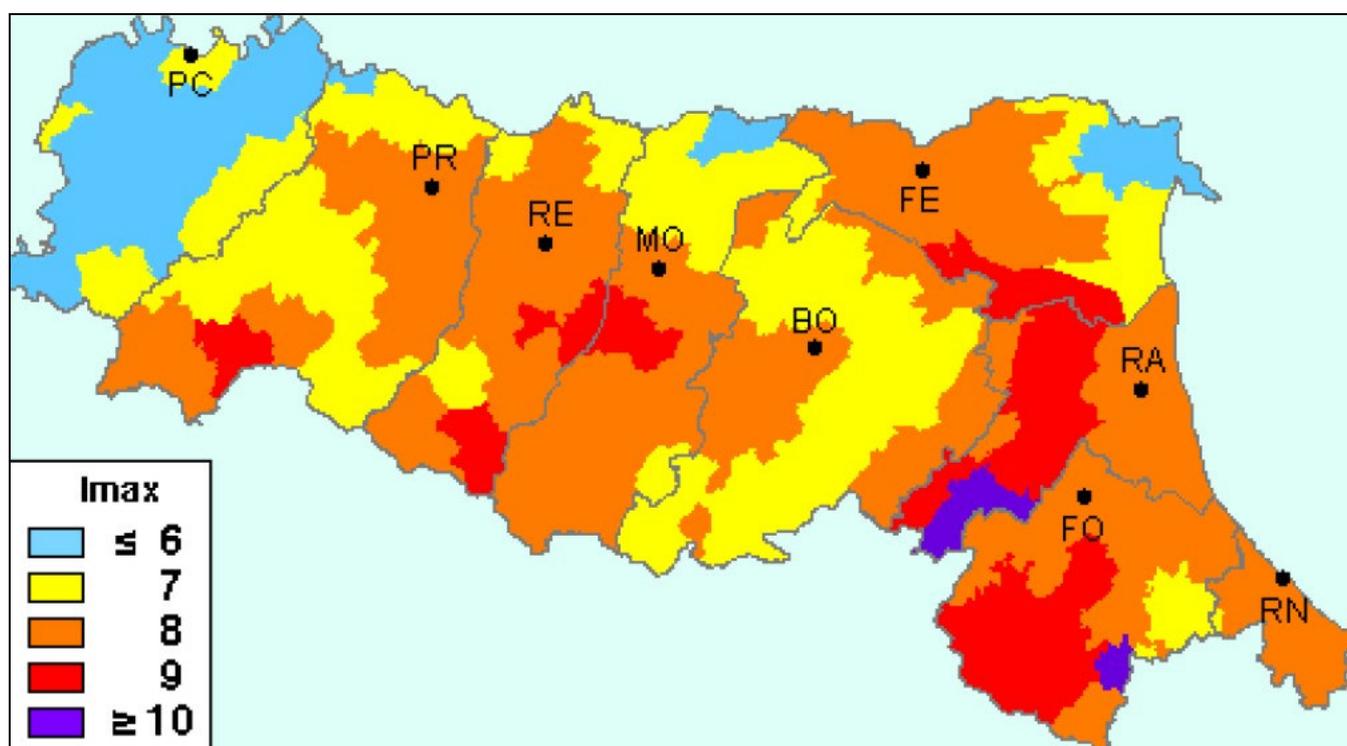


Figura 1 – Intensità Macrosismiche osservate nei comuni italiani – GNDT ING/SGA

L'intensità massima registrata nel Comune di Montecreto è dell'VIII MCS (scala Mercalli-Cancani-Sieberg), corrispondente ad una magnitudo dell'ordine di 5.6 (scala Richter).

L'attività tellurica dell'area è nota e documentata dall'anno 1000, anche se la qualità e la quantità delle informazioni non sono omogenee e si manifesta sia con eventi singoli di media intensità, sia con sequenze sismiche estese nel tempo.

Le revisioni e ricollocazioni degli eventi storici e recenti, ma soprattutto l'attivazione di una rete sismica regionale integrata con quella nazionale, hanno permesso di distinguere, nell'ambito della regione, zone con differente regime sismico, vale a dire frequenza dei fenomeni, intensità e profondità focale.

Il confronto dei dati della sismicità strumentale con quelli storici evidenzia la stabilità nel tempo delle aree sismogenetiche.

La distribuzione della sismicità storica italiana degli ultimi mille anni è consultabile tramite il Catalogo parametrico dei terremoti italiani CPTI11 (a cura di A. Rovida, R. Camassi, P. Gasperini e M. Stucchi, 2011), consultabile al sito <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI11/>.

Il territorio comunale di Montecreto è caratterizzato da una sismicità storica moderata, confrontabile con quella di altri settori del medio-alto Appennino, che negli ultimi anni hanno avuto terremoti relativamente frequenti di magnitudo compresa fra 4.5 e 5.5.

La sismicità storica del Comune di Montecreto è stata desunta dal database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI11. Il database DBMI11, realizzato nell'ambito delle attività del Tema Trasversale Coordinato INGV 5.1 "Banche dati e metodi macrosismici" (a cura di M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi), è consultabile al sito <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>.

Dal Catalogo parametrico CPTI11 dell'INGV si evince che storicamente i terremoti più forti entro una distanza di 30-40 km risultano:

periodo dal 1000 al 1899:

- Anno 1501 – Appennino modenese – Mw 5.98
- Anno 1837 – Alpi Apuane – Mw 5.81

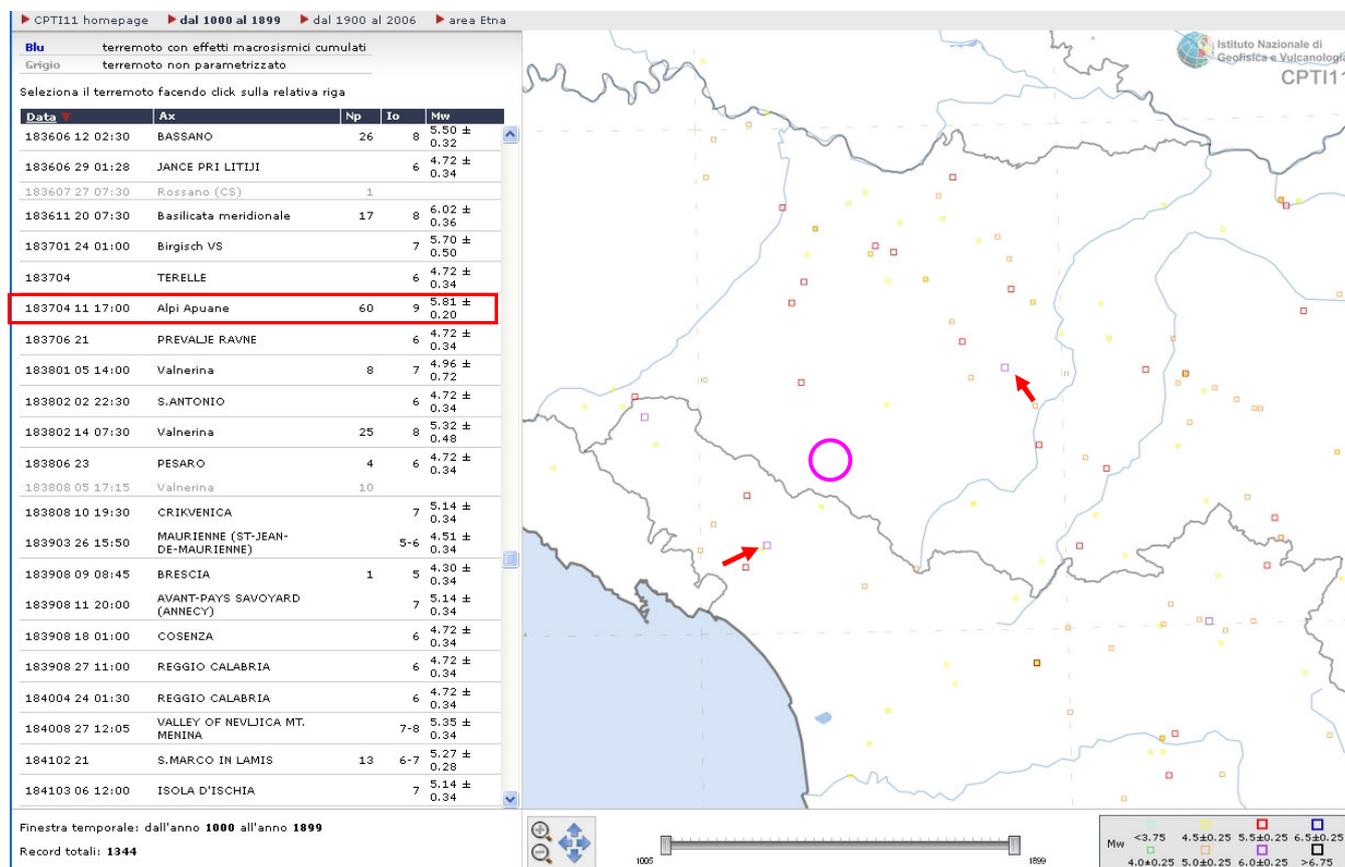


Figura 2 – Tratto da INGV CPTI11 (Catalogo parametrico dei terremoti italiani – 2011) – Dal 1000 al 1899.

○ Area in studio

Nel periodo dal 1900 al 2006, si segnalano:

- Anno 1904 – Reggiano – Mw 5.05
- Anno 1920 – Garfagnana – Mw 6.48

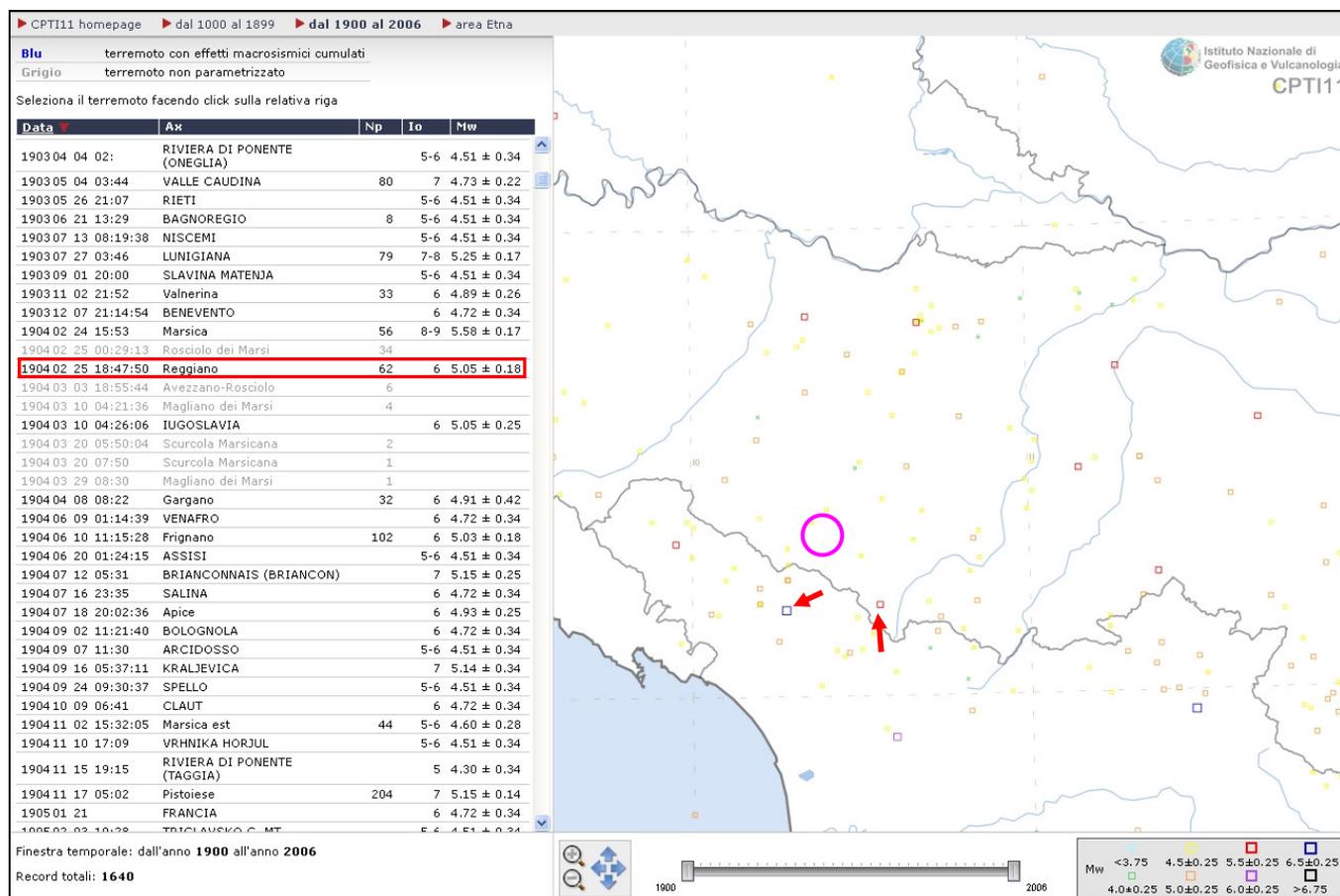


Figura 3 – Tratto da INGV CPTI11 (Catalogo parametrico dei terremoti italiani – 2011) – Dal 1900-2006

 Area in studio

Nella Figura 4 successiva sono elencate le osservazioni, aventi la maggiore intensità al sito, disponibili per il territorio comunale. Nella tabella sono indicate:

Is: intensità al sito

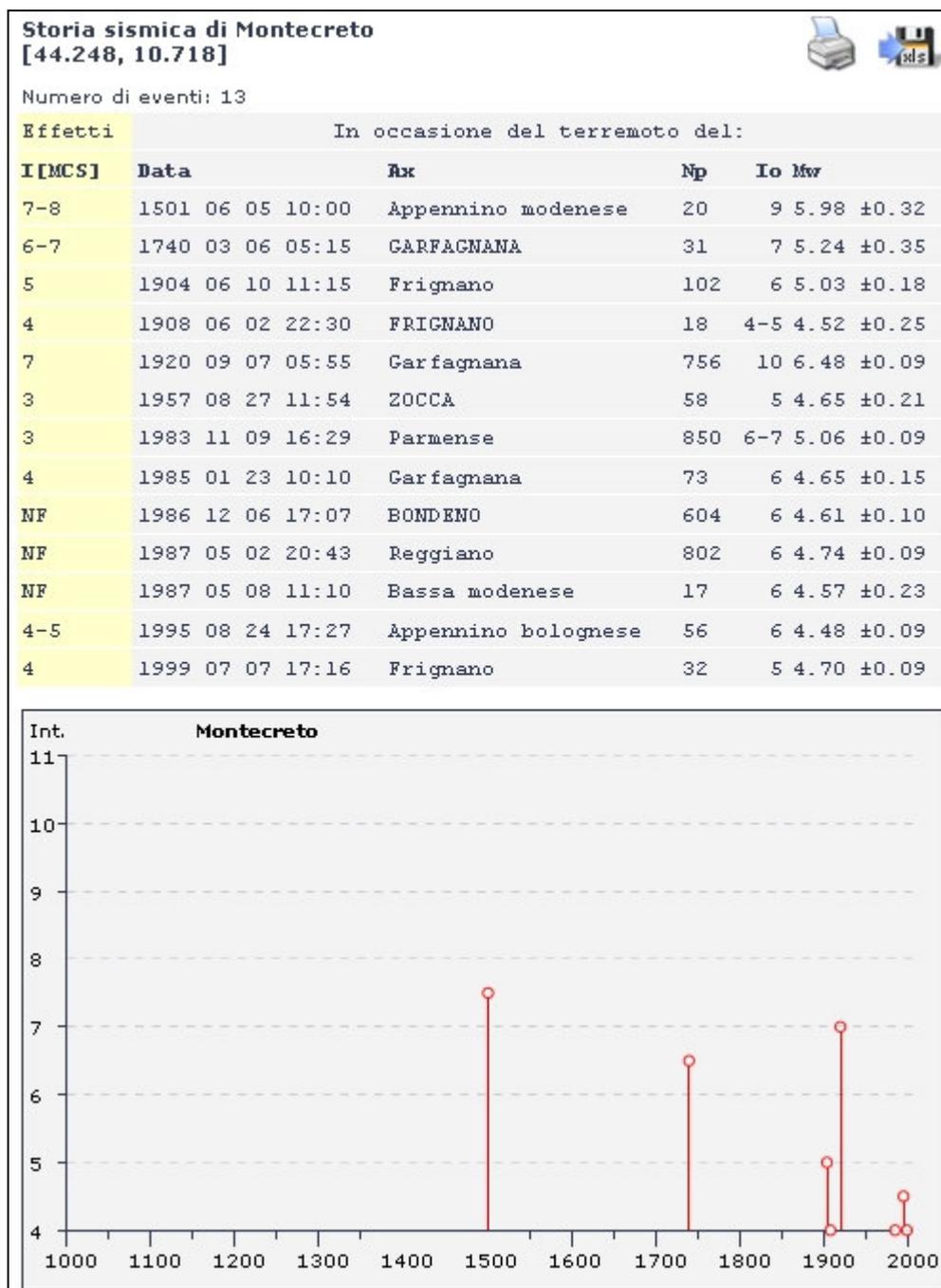
Anno Me Gi: anno mese giorno dell'evento

AE: località

Io: l'intensità massima epicentrale in scala MCS

Mw: magnitudo momento

Dalla consultazione del Database Macrosismico Italiano 2011 DBMI11 per la località Montecreto si ottiene il seguente elenco di eventi sismici:



Dall'esame del diagramma sopra riportato, gli episodi più significativi per il Comune di Montecreto sono presumibilmente quelli del 1501 e del 1920, che produssero effetti del VII-VIII grado MCS (Scala Mercalli-Cancani-Sieberg).

### 2.1.1 Frequenza di accadimento in Emilia Romagna

La frequenza con cui si sono verificati in passato i terremoti capaci di produrre danni significativi agli edifici consente di valutare con quale frequenza si manifesteranno in futuro, dal momento che questa presumibilmente non cambia.

Nella tabella sono riportati, per varie soglie di magnitudo, il numero di eventi per intervalli di tempo crescenti di 100 anni, partendo dall'ultimo secolo, registrati in Emilia Romagna.

CLASSI DI MAGNITUDO	INTERVALLO DI 100 ANNI		INTERVALLO DI 200 ANNI		INTERVALLO DI 300 ANNI		INTERVALLO DI 400 ANNI	
	Numero di terremoti	Tempo in anni di ripetizione	Numero di terremoti	Tempo in anni di ripetizione	Numero di terremoti	Tempo in anni di ripetizione	Numero di terremoti	Tempo in anni di ripetizione
4,5 < Ma < 5,0	28	3,6	56	3,6	67	4,5	75	5,3
5,0 < Ma < 5,5	10	10,0	16	12,5	22	13,6	27	14,8
5,5 < Ma < 6,0	3	33,3	4	50,0	6	50,0	8	50,0
Ma > 6,0	-	-	-	-	-	-	-	-
Tutte*	76	1,3	129	1,5	147	2,0	173	2,3

\* tutti gli eventi che hanno prodotto danni (intensità epicentrale massima osservata maggiore di V-VI grado MCS)

Come si può osservare le frequenze che si ottengono nei primi due intervalli, più attendibili perché andando indietro nel tempo il catalogo dei terremoti diventa più incompleto, è di un evento ogni 1.3-1.5 anni. Valori di magnitudo maggiori di 5.0, che corrispondono ad intensità epicentrali di VII-VIII grado MCS indicano un evento ogni 10-12 anni, mentre terremoti con Ma>5.5 (VIII-IX grado MCS) si ripetono con una frequenza di un evento ogni 50 anni, che si mantiene costante indicando una buona completezza del catalogo.

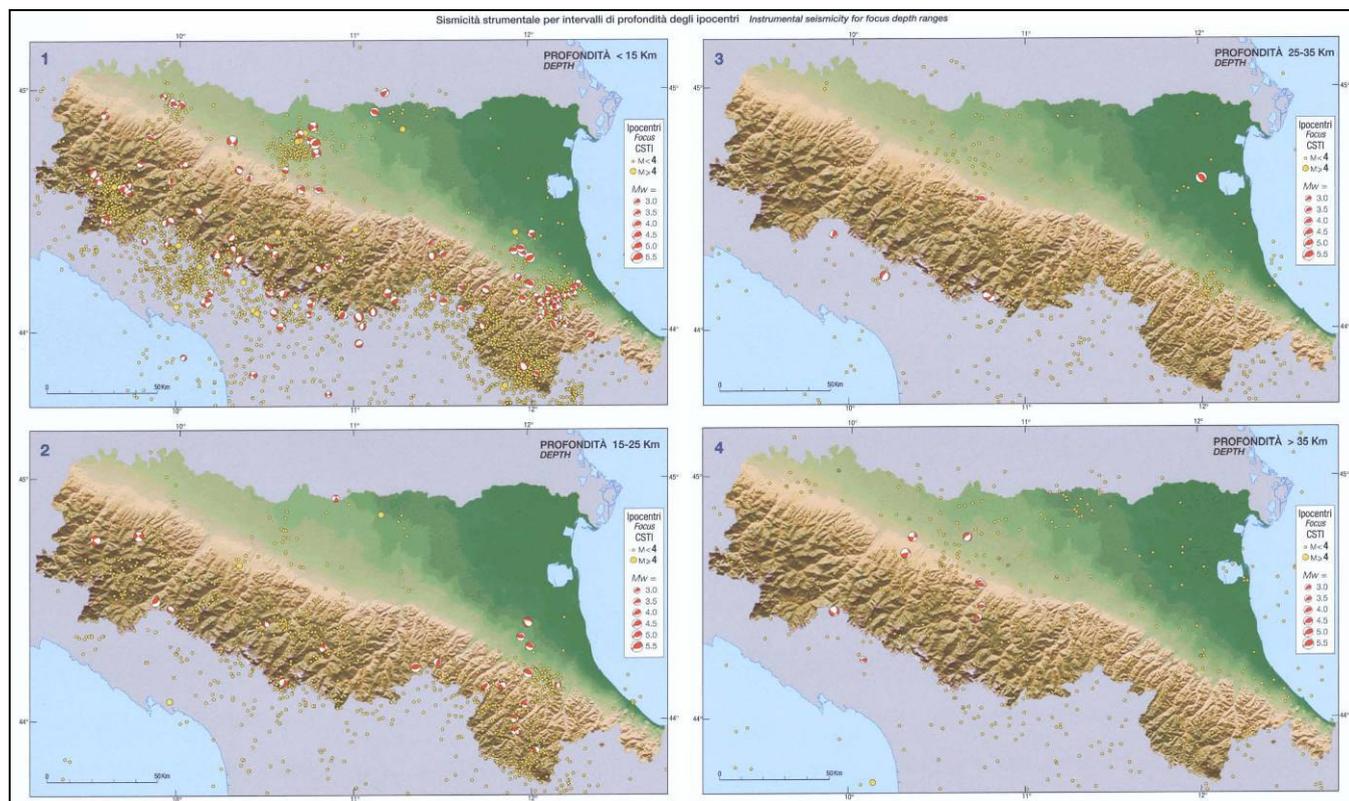
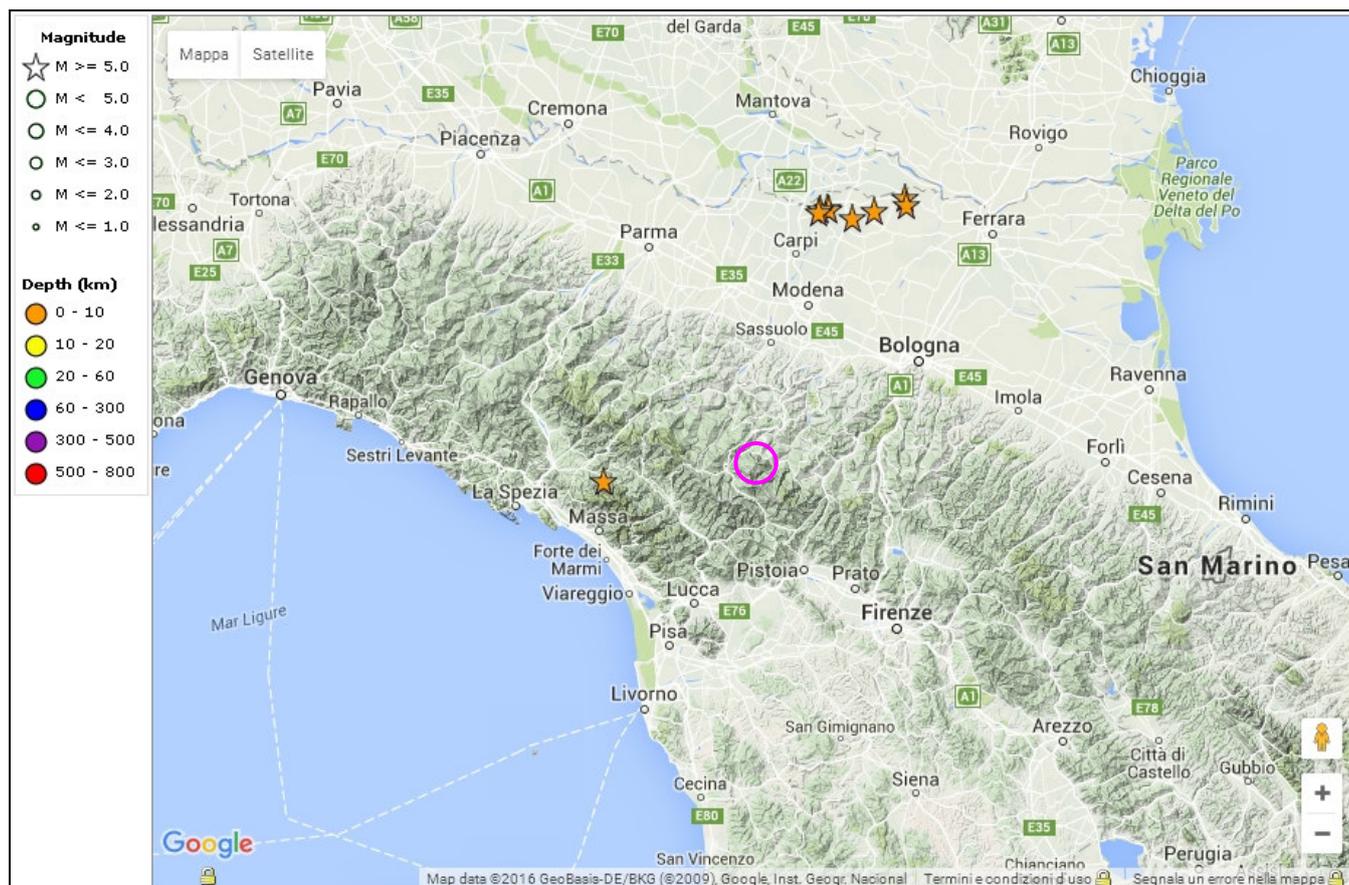


Figura 5 – Sismicità strumentale per intervalli di profondità degli ipocentri.

## 2.2 SISMICITÀ RECENTE

La sismicità recente che ha interessato il territorio comunale di Montecreto è stata desunta dal Bollettino Sismico Italiano elaborato da ISIDe Working Group (INGV, 2010), Italian Seismological instrumental and parametric database: <http://iside.rm.ingv.it>.

Nello specifico sono stati ricercati i terremoti, registrati nell'intervallo di tempo tra il 01/01/2007 e il 31/12/2014, aventi una magnitudo maggiore di 5 in un raggio di 100 km e maggiore di 4.5 nel raggio di 50 Km dal Comune di Montecreto.



**Figura 6:** Eventi sismici recenti registrati con  $M > 5$  in un raggio di 100 Km dal Comune di Montecreto

Data: 01/01/2007 → 11/05/2016  
 Distanza: 100 km da Montecreto  
 Magnitudo: > 5  
 Terremoti totali: 9

Tempo Origine (UTC)	Latitudine	Longitudine	Profondità	Magnitudo	Fonte
2013-06-21 10:33:56.980	44.131	10.136	7	5.1--Mw	BULLETIN
2012-05-29 11:00:22.990	44.866	10.976	7.2	5.1--ML	BULLETIN
2012-05-29 11:00:01.680	44.856	10.941	8.7	5.0--ML	REMO
2012-05-29 10:55:56.550	44.865	10.98	4.4	5.3--Mw	REMO
2012-05-29 08:25:51.480	44.865	10.948	7.9	5.0--ML	REMO
2012-05-29 07:00:02.880	44.842	11.066	8.1	5.6--Mw	REMO
2012-05-20 03:02:47.090	44.86	11.152	9.1	5.0--ML	BULLETIN
2012-05-20 02:07:28.950	44.874	11.27	6.1	5.0--ML	BULLETIN
2012-05-20 02:03:50.170	44.896	11.264	9.5	5.8--Mw	BULLETIN

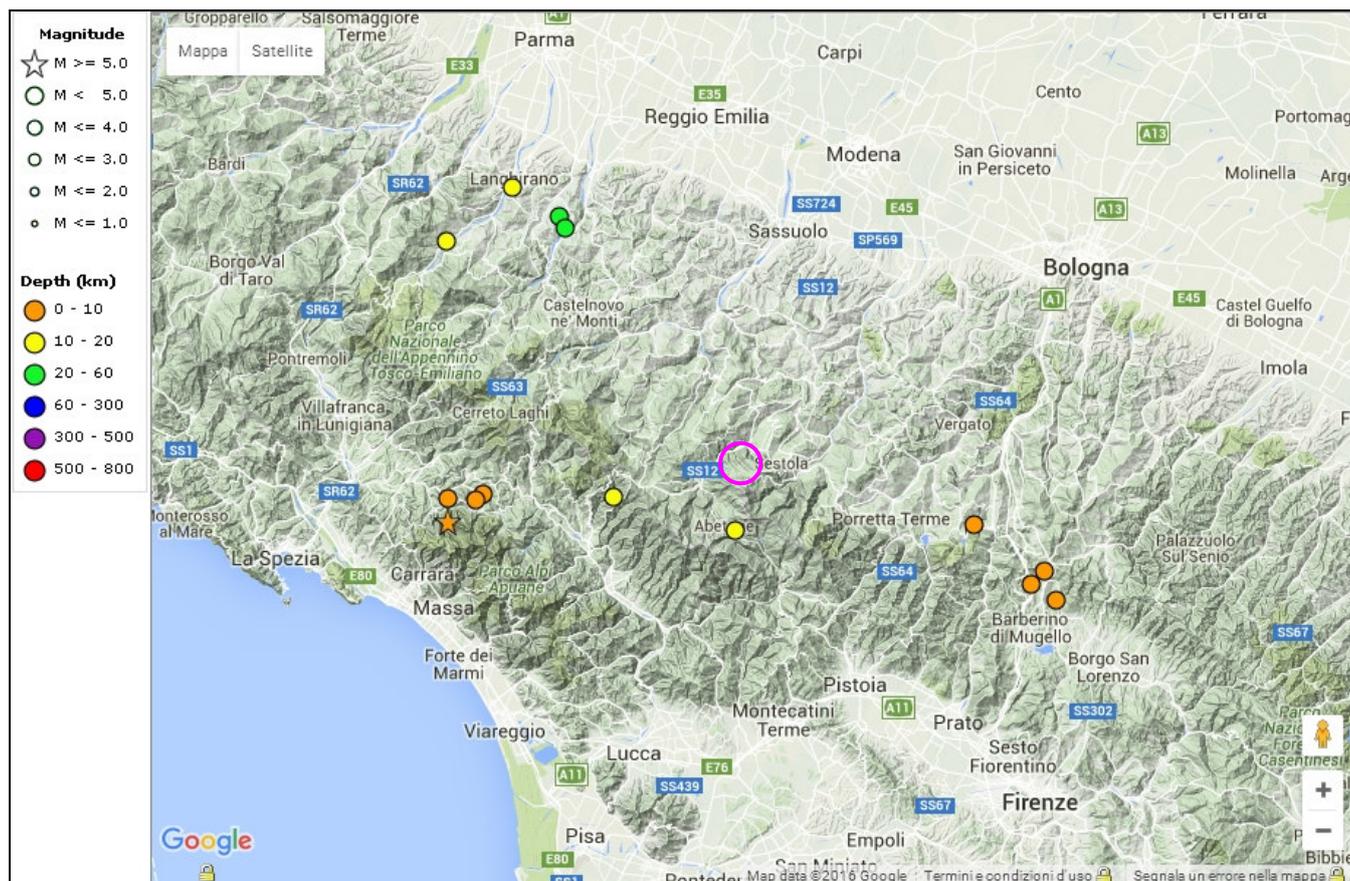


Figura 7: Eventi sismici recenti registrati con M > 4 in un raggio di 50 Km dal Comune di Montecreto

Data: 01/01/2007 → 11/05/2016  
 Distanza: 50 km da Montecreto  
 Magnitudo: > 4  
 Terremoti totali: 14

Tempo Origine (UTC)	Latitudine	Longitudine	Profondità	Magnitudo	Fonte
2015-01-23 06:51:20.340	44.128	11.121	9.64.3	--Mw	BULLETIN
2014-09-07 10:45:01.120	44.119	10.672	17.54.1	--Mw	BULLETIN
2013-06-30 14:40:08.480	44.16	10.187	6.14.5	--Mw	BULLETIN
2013-06-23 15:01:33.860	44.168	10.201	9.24.4	--Mw	BULLETIN
2013-06-21 12:12:39.660	44.162	10.135	8.14.0	--Mw	BULLETIN
2013-06-21 10:33:56.980	44.131	10.136	7.5.1	--Mw	BULLETIN
2013-01-25 14:48:18.270	44.164	10.446	19.84.8	--Mw	BULLETIN
2009-09-14 20:04:31.030	44.025	11.275	7.4.2	--Mw	BULLETIN
2008-12-23 23:37:06.000	44.582	10.256	19.44.0	--ML	BULLETIN
2008-12-23 21:58:26.570	44.527	10.355	23.74.4	--Mw	BULLETIN
2008-12-23 15:24:21.770	44.544	10.345	22.94.9	--Mw	BULLETIN
2008-03-01 08:43:46.600	44.046	11.227	5.24.0	--Mw	BULLETIN
2008-03-01 07:43:13.080	44.063	11.253	3.84.5	--Mw	BULLETIN
2007-12-28 04:05:43.550	44.51	10.133	19.54.1	--ML	BULLETIN

Come si evince dalle Tabelle sopra riportate, gli eventi principali (M>5) registrati nel raggio di 100 Km da Montecreto sono i terremoti del maggio-giugno 2012 della bassa pianura modenese/ ferrarese e quello di giugno 2013 della Lunigiana in Toscana; con M>4 entro i 50 km si rilevano gli eventi della fascia dell'Alto Appennino Tosco-Emiliano dalla Garfagnana-Lunigiana fino a Barberino del Mugello.

### 2.3 SISMOTETTONICA

Di seguito si riporta uno stralcio della Carta Sismotettonica dell'Emilia Romagna. Dall'analisi della stessa si evince che l'area del Comune di Montecreto si colloca in prossimità del crinale appenninico (10-20 km), (zona Garfagnana-Lunigiana), caratterizzata da sorgenti attivate da meccanismi focali distensivi (faglie dirette e trascorrenti distensive), mentre più lontana (35 km) è la fascia pedeappenninica a nord, composta dalle strutture sepolte (sovrascorrimenti attivi con direzione circa W-E o NW-SE).

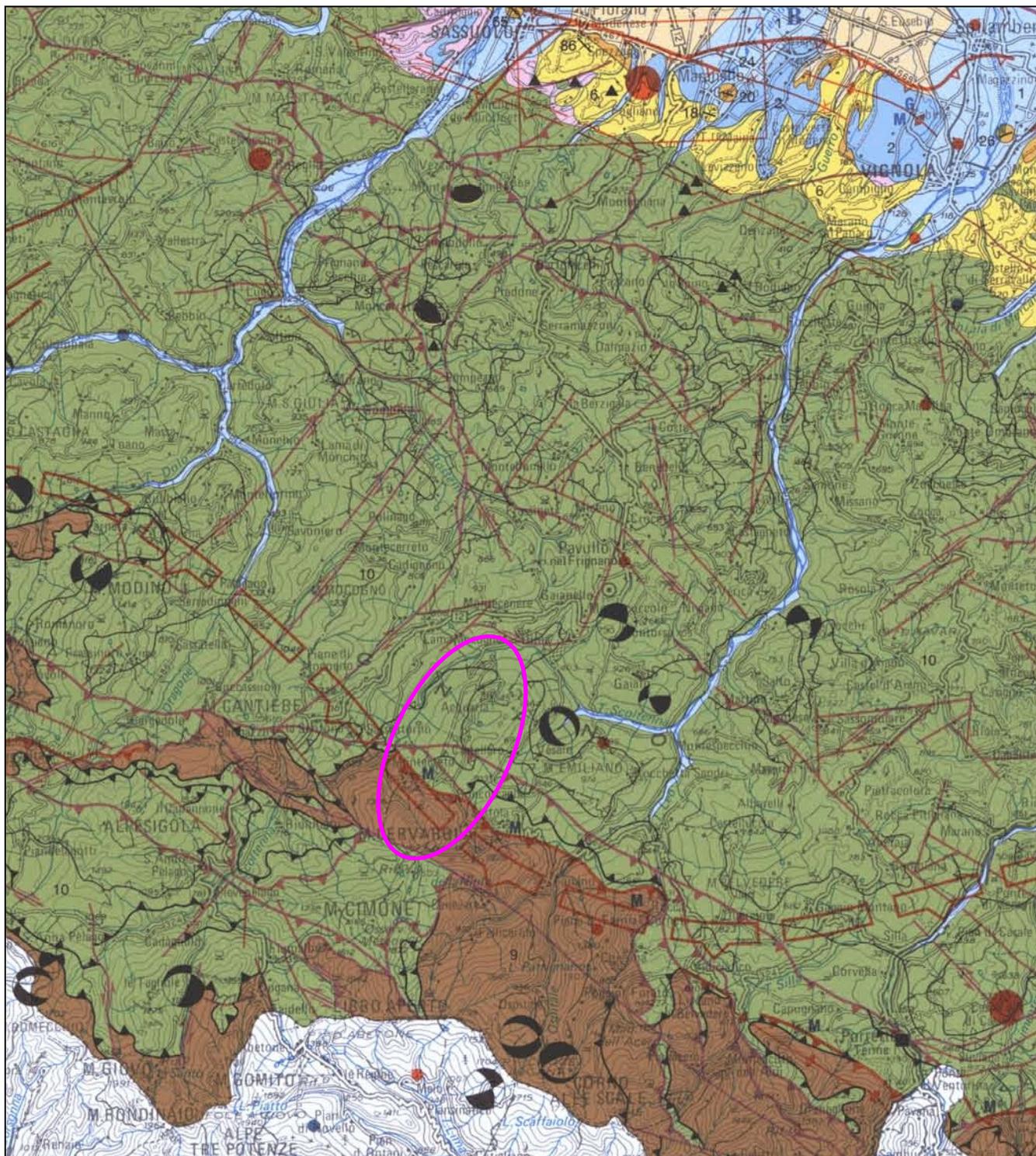
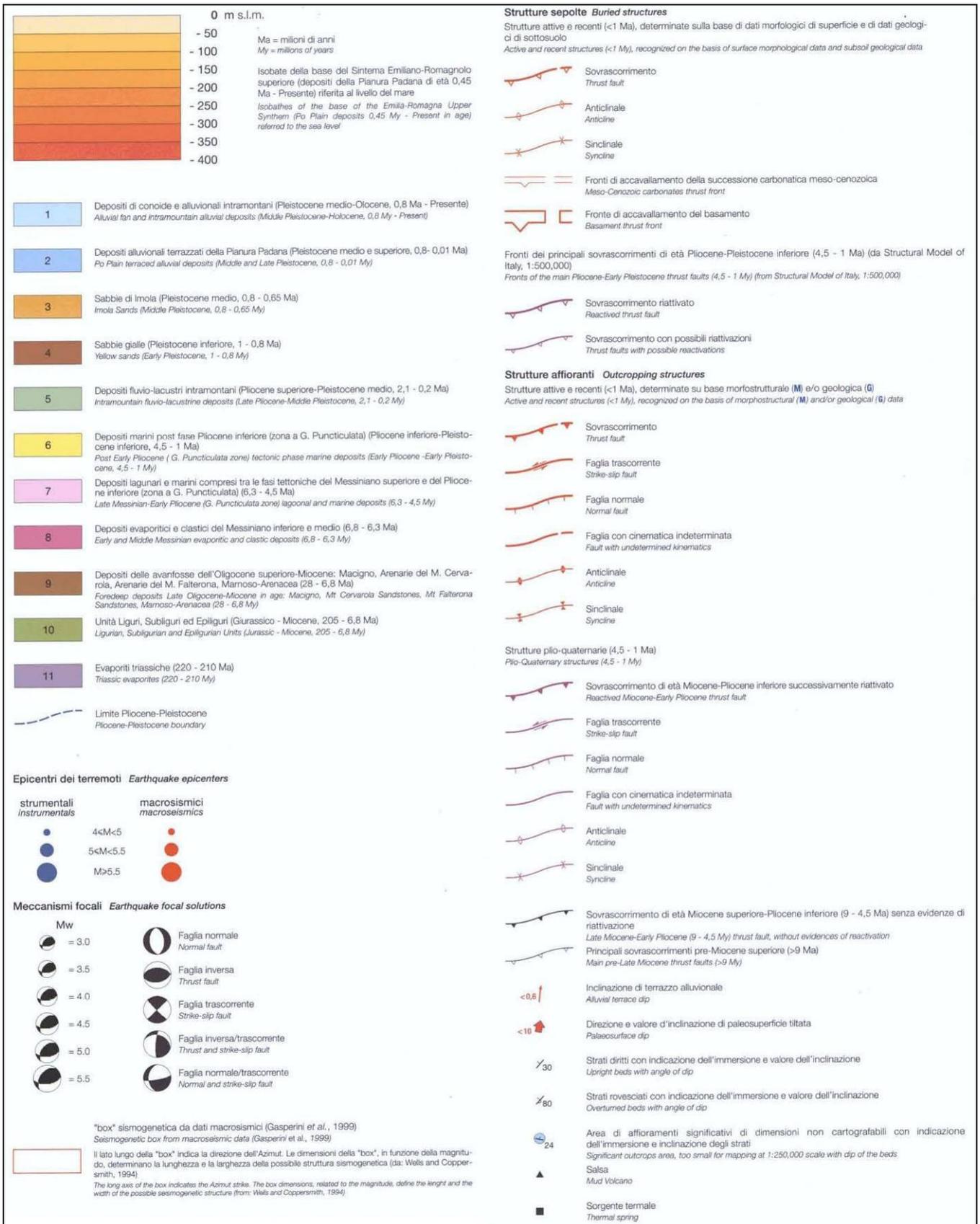


Figura 8 – Carta Sismotettonica dell'Emilia Romagna (RER – CNR, 2004)



Il territorio comunale di Montecreto si pone nell'alto Appennino modenese e si sviluppa trasversalmente rispetto alle principali strutture tettoniche dell'Appennino settentrionale. Da un punto di vista sismotettonico si colloca tra una zona di strutture compressive che si collegano con il thrust superiore nella parte alta della placca Padano-Adriatica (a nord) e le strutture estensionali formatesi sul dorso del thrust (a sud).

La prima è una zona in compressione con meccanismi di rottura attesi tipo thrust e strike-slip: si tratta di strutture prevalentemente compressive, corrispondenti alle "Pieghe Emiliane"; in quest'area i terremoti sono particolarmente numerosi ed intensi e ricadono in una zona ristretta che corrisponde con la fascia pedemontana di bassa collina al passaggio con l'alta pianura.

La seconda è una zona di notevole interesse sismologico (Garfagnana), caratterizzata da strutture estensionali e sede di epicentri i cui terremoti, spesso di notevole intensità, provocano risentimenti anche nel territorio in studio.

Il Comune di Montecreto si colloca in zona intermedia, con meccanismi di rottura attesi di tipo misto, con prevalenza di dip-slip (strutture di tipo estensionale) corrispondente alla più bassa porzione di sismicità della sinforme crostale.

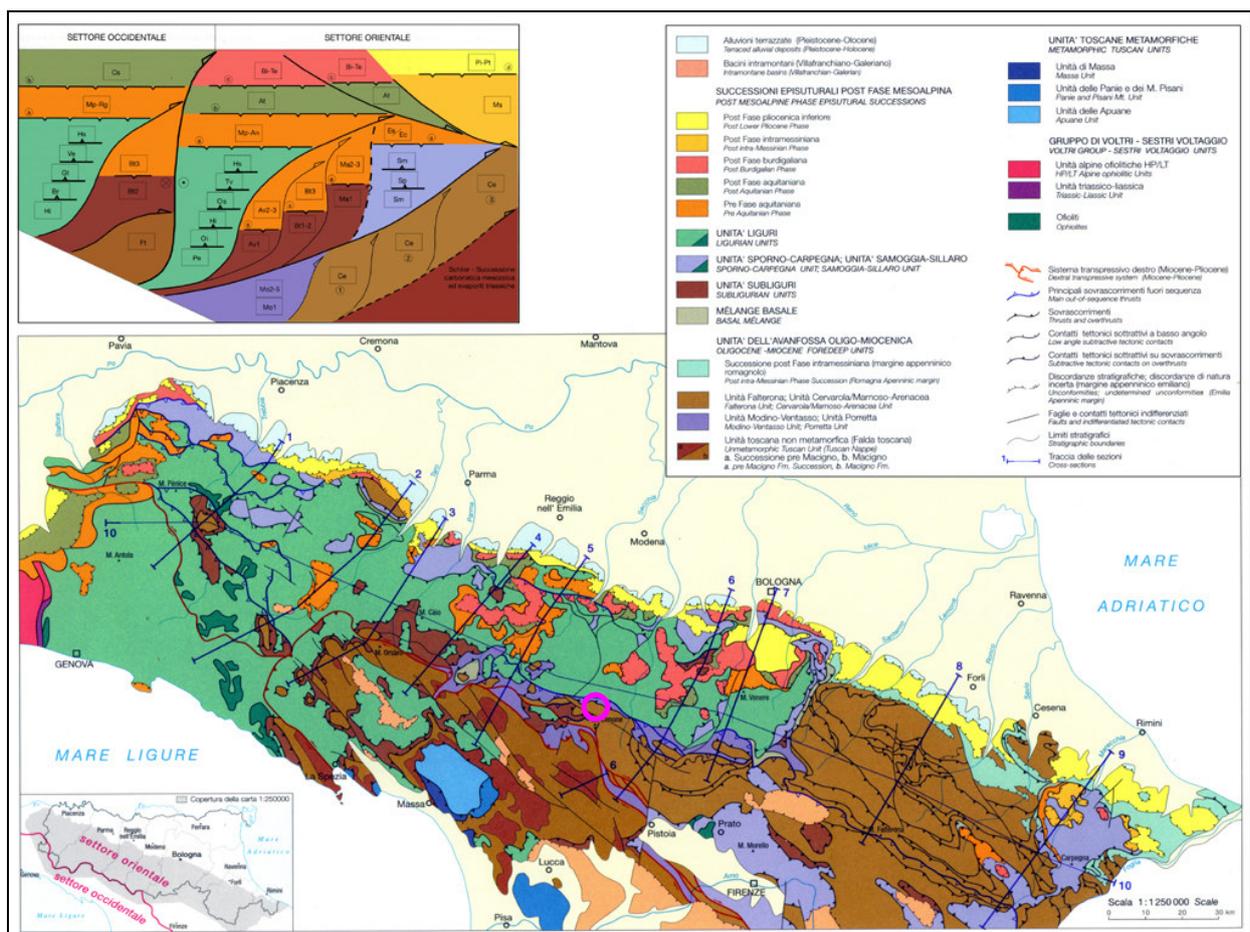


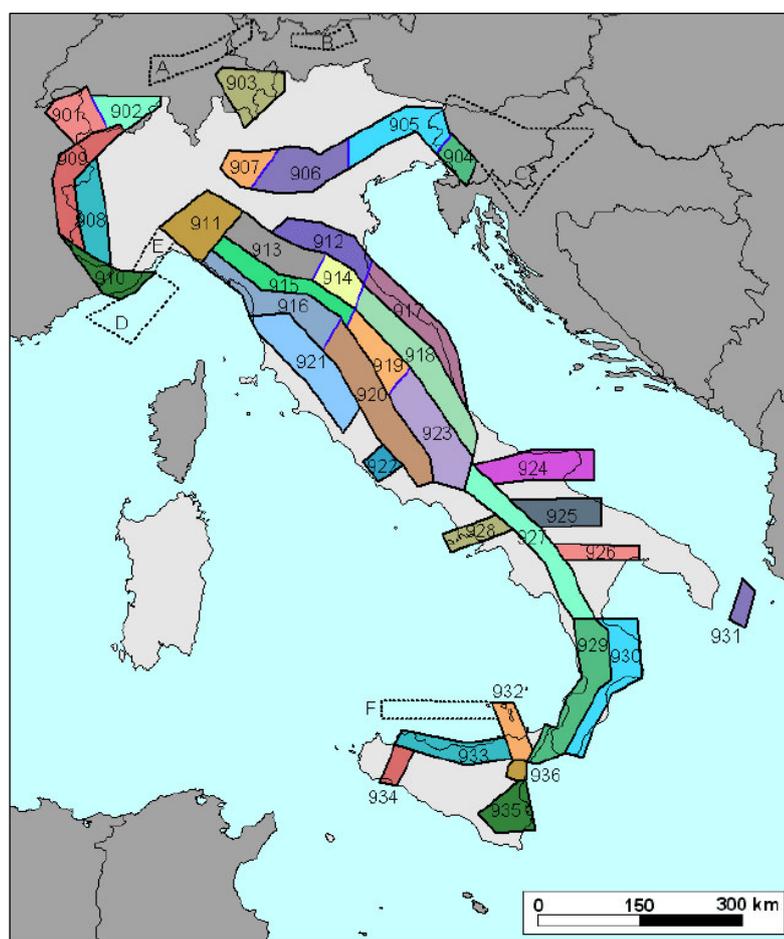
Figura 9 – Schema tettonico.

Il Territorio di Montecreto risulta essere caratterizzato da movimenti tettonici attivi anche marcati, che scaricano gradualmente l'energia accumulata lungo le principali dislocazioni attraverso episodi sismici di entità limitata e solo con frequenza molto bassa si hanno eventi di intensità elevata.

## 2.4 ZONAZIONE SISMOGENETICA

È stata utilizzata la zonazione sismogenetica dell'INGV, chiamata ufficialmente ZS9, che tiene conto dell'analisi cinematica degli elementi geologici, cenozoici e quaternari coinvolti nella dinamica delle strutture litosferiche profonde e della crosta superficiale. Rispetto alle zonazioni precedenti, in questo caso le zone sorgente sono state disegnate più vincolate rispetto alle sorgenti sismogenetiche e alla sismicità storica e strumentale e le aree circostanti sono state cautate attraverso i normali effetti di propagazione della pericolosità sismica al di fuori delle zone sorgente.

La zonizzazione ZS9 risulta basata prevalentemente sulle informazioni di ZS4; recepisce le informazioni sulle sorgenti sismogenetiche italiane messe a disposizione da DISS 2.0 (Database of



**Figura 10** - Zonazione sismogenetica ZS9 (INGV).

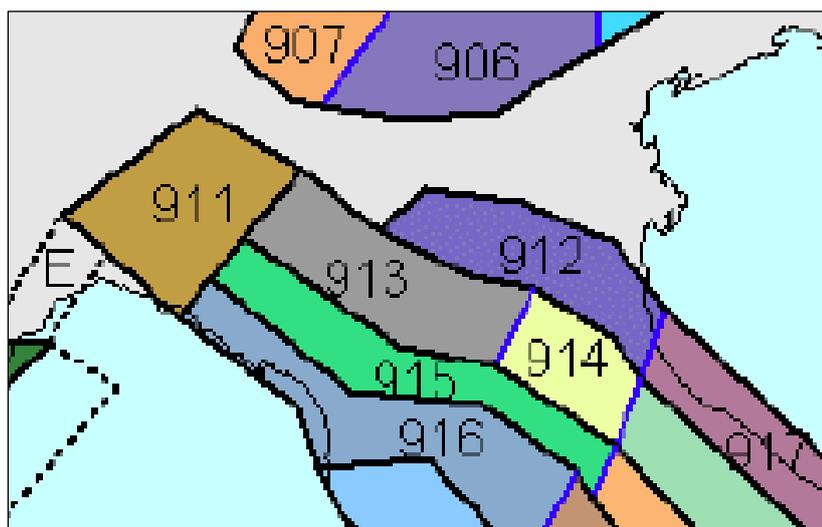
Potential Sources for Earthquake Larger than M5.5 in Italy, 2001) e da altre compilazioni regionali di faglie attive; considera inoltre le indicazioni che derivano dall'analisi dei dati relativi ai terremoti più importanti verificatisi successivamente alla predisposizione di ZS4, alcuni dei quali localizzati al di fuori delle zone sorgente in essa definite; supera il problema delle ridotte dimensioni delle zone sorgente e della conseguente limitatezza del campione di terremoti che ricade in ciascuna di esse.

La ZS9 può essere utilizzata in congiunzione con il catalogo CPTI2, e fornisce inoltre una stima della "profondità efficace", cioè dell'intervallo di profondità nel quale è rilasciato il maggior numero di terremoti in ogni zona sorgente, utilizzabile in combinazione con le relazioni di attenuazione determinate su base regionale, e fornisce per ogni zona un meccanismo di fagliazione prevalente, utilizzabile in combinazione con le relazioni di attenuazione modulate sulla base dei coefficienti proposti da Bommer et al. (2003).

Il modello sismogenetico suddivide il territorio italiano in 36 diverse zone, numerate da 901 a 936, più altre 6 zone, identificate con le lettere da "A" a "F" fuori dal territorio nazionale (A-C) o ritenute di scarsa influenza (D-F). 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.

I limiti tra le zone sono neri e blu, i limiti neri definiscono limiti il cui tracciamento dipende esclusivamente da informazioni tettoniche e geologico-strutturali, il colore blu invece definisce suddivisioni di zone con uno stesso stile deformativo ma con differenti caratteristiche della sismicità. Come ad es. distribuzione spaziale degli eventi o la massima magnitudo rilasciata, ecc.



**Figura 11** – Zoom sulla zonazione sismogenetica ZS9 RER.

### ***Sismicità delle zone sorgenti***

Il territorio del Comune di Montecreto si colloca sulla successione carbonatica meso-cenozoica in sovrascorrimento verso NE. In passato sono stati risentiti gli effetti di numerosi terremoti dovuti ad una sismicità naturale localizzata nelle zone 913 e 915.

Le zone 913 e 915 sono quelle con un potenziale sismico tale da generare effetti non trascurabili nel

territorio del Comune di Montecreto, mentre le altre vengono considerate poco influenti per generando terremoti con magnitudo a volte anche elevata (ad es. la zona 912).

La zona 915 determina una sismicità riconducibile a sorgenti attivate da meccanismi focali distensivi (faglie dirette e trascorrenti distensive) con massimi storici che hanno raggiunto intensità del X° MCS (Magnitudo  $M_a=6-6.5$ ). In particolare il terremoto del 1920 della Garfagnana, con intensità epicentrale del IX-X° MCS ha determinato, in base alla ricostruzione macrosismica, intensità del VII° MCS a Montecreto.

Nella zona 913 si verificano terremoti prevalentemente compressivi che sono causa di una sensibile attività come documentato dagli eventi del bolognese, del reggiano e del parmense (anno 2000) risentiti nell'area in studio. Questi eventi sono riconducibili a sorgenti superficiali attivate da meccanismi focali per compressione (faglie inverse e trascorrenti compressive) se si escludono eventi la cui origine è ancora incerta. Fra questi figura il terremoto di Castelvetro del 1501 che avrebbe prodotto, in base alla ricostruzione macrosismica, effetti del IX° MCS. Se confermato, la fascia pedappenninica sarebbe quella potenzialmente più pericolosa per il territorio modenese.

L'intera fascia è caratterizzata da terremoti che raramente hanno raggiunto valori molto elevati di magnitudo. Le profondità ipocentrali sono mediamente maggiori rispetto alla fascia esterna 912.

La fascia del fronte appenninico sepolto determina infatti una sismicità rappresentata da terremoti a intensità medio-bassa, ma con una discreta frequenza di accadimento.

## **2.5 STRUTTURE SIMOGENETICHE E NEOTETTONICA**

La Dorsale Appenninica è stata in sollevamento durante tutto il Plio-Quaternario con probabile accentuazione, dato il notevole spessore di sedimenti accumulato su entrambe le fasce pedappenniniche, nel Pliocene superiore e nel Pleistocene medio-superiore. Questa fase di sollevamento è stata accompagnata da numerosi elementi tettonici lineari (faglie, flessure, fasce di deformazione).

Il territorio di Montecreto è compreso tra lo spartiacque principale, a sud, e un sistema di faglie “en echelon”, a nord, che si delinea a sud di Vetto, Castelnovo ne’ Monti e Toano, nell’Appennino Reggiano, e si suddivide in due subsistemi di faglie normali, che passano a sud di Montefiorino, Palagano e Lama Mocogno, nell’Appennino Modenese, ed è caratterizzato (dal punto di vista neotettonico) dalla presenza di sistemi di faglie normali (neotettoniche), ad alto angolo, ad andamento appenninico (NO-SE), che attraversano per una lunghezza di diverse decine di chilometri i due territori provinciali.

Un primo sistema di faglie, che va dall’Alpe di Succiso al M. Maggiore, è caratterizzato da faglie “en echelon” immergenti generalmente verso sud ovest, che comportano l’abbassamento relativo del blocco sud occidentale, nel territorio toscano.

Un secondo sistema di faglie normali è presente a sud di Vetto, Castelnovo ne’ Monti, Toano, Montefiorino, Palagano, Lama Mocogno, Pavullo. Esso è formato da faglie con inclinazioni molto elevate (70-80°) generalmente immergenti però verso NE. Nel modenese questo allineamento è suddiviso in due allineamenti sostanzialmente subparalleli che distano circa 5-8 km l’uno dall’altro.

Un altro sistema di faglie normali, la cui cinematica sarebbe testimoniata da evidenze mesostrutturali, ma che non appare chiaramente definito lungo tutta la propria lunghezza, sembra avere determinato il ribassamento del settore tra Riolunato e Fanano rispetto al settore Monte Cimone-Alpesigola con evidenze anche di tipo morfologico (zona di Piancavallaro). La presenza di due sistemi di faglie normali ad immersione opposta comporta poi la delimitazione di una fascia di alto strutturale, una sorta di horst, coincidente con l’allineamento M. Cusna - M. Cimone, fatto che potrebbe spiegare il motivo per cui le cime più alte dell’Appennino Settentrionale si collocano più a nord rispetto allo spartiacque appenninico.

Questo settore sarebbe quindi stato soggetto ad una neotettonica di tipo distensivo.

I pochi dati disponibili relativi alla risoluzione del meccanismo focale di terremoti avvenuti nell’area dell’alto Appennino reggiano e modenese (Eva & Solarino, 1992; Boccaletti et alii, 1985; Frepoli & Amato, 1997), si accordano abbastanza con questa osservazione. Si tratta infatti di terremoti che si collocano a profondità relativamente variabile, da superficiali fino a mediamente profondi (2/3 – 18 km) e a cinematica generalmente distensiva, transtensiva, o non chiaramente definita (con assi cinematici P e T inclinati) che tuttavia presenta direzione degli assi T variabile e spesso obliqua rispetto alle faglie normali.

## 2.6 NORMATIVA SISMICA DI RIFERIMENTO

### Ordinanza P.C.M. 3274/2003

A seguito della nuova classificazione sismica (Ordinanza P.C.M. 3274 del 20/3/2003 e s.m), il territorio nazionale è diviso in quattro zone sismiche caratterizzate da differenti valori dell'accelerazione orizzontale massima ( $a_g/g$ ) su suolo di categoria A.

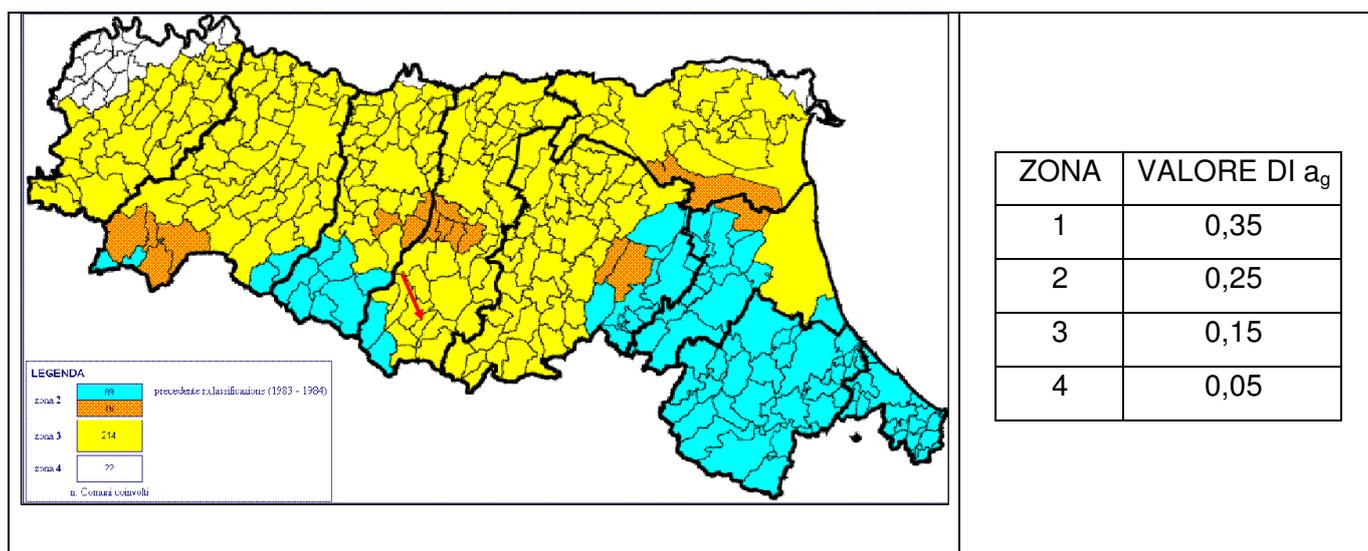


Fig. 12 - Classificazione sismica attuale di riferimento - Ordinanza PCM del 20 marzo 2003 n. 2374 All. 1.

Il Comune di Montecreto ricade in “zona sismica 3” a cui corrisponde un'accelerazione orizzontale massima convenzionale su suolo di categoria A, riferita ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni, ed espressa come frazione dell'accelerazione di gravità  $g$ , pari a  $a_g = 0,15g$ .

### Ordinanza P.C.M. 3519/2006

Successivamente, l'Ordinanza PCM 3519/2006 ha indicato i *Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone.*

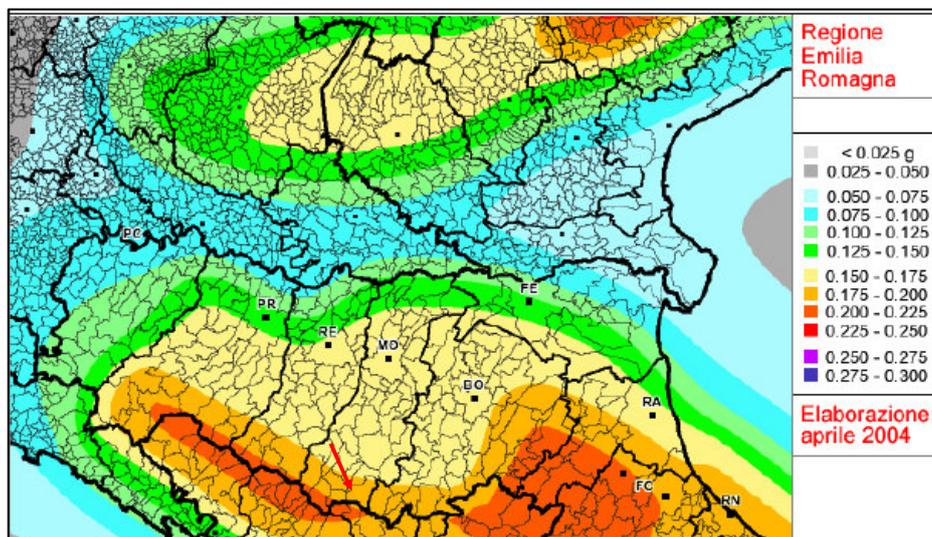


Fig. 13 - Mappa di pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima al suolo ( $a_{max}$ ) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita ai suoli molto rigidi ( $V_{s30} > 800$  m/s; cat. A) allegata all'Ordinanza PCM n. 3519 del 28 aprile 2006. (Fonte: Sito web della Regione Emilia-Romagna).

A tale ordinanza è allegata la *Mappa di Pericolosità sismica di riferimento a scala nazionale* nella quale è possibile verificare che il territorio del Comune di Montecreto è compreso nell'area caratterizzata da **valori dell'accelerazione massima al suolo (amax)**, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita ai suoli molto rigidi ( $V_{s30} > 800$  m/s; cat. A), **compresi tra 0,150 e 0,175** l'accelerazione di gravità **g**.

### **Del. Rer. 112/2007**

La RER ha poi approvato la Del. n. 112 del 02-05-2007 “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica.”; in All. A4 sono riportati i valori di accelerazione max, espressa sempre in frazione dell'accelerazione di gravità  $g$  ( $a_{refg}$ ), per ogni comune della Regione.

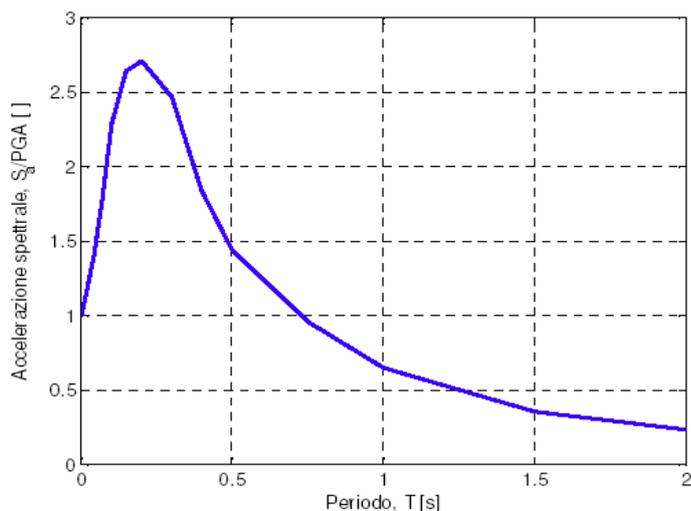
MO	Mirandola	0.141	Per il Comune di Montecreto risulta $a_{refg}=0,178$
MO	Modena	0.163	
<b>MO</b>	<b>Montecreto</b>	<b>0.178</b>	
MO	Montefiorino	0.161	
MO	Montese	0.162	

### **Definizione del moto di riferimento**

La PGA per un periodo di ritorno di 475 anni riportata nelle mappe di pericolosità sismica di INGV (Meletti C., Montaldo V., 2007. Stime di pericolosità sismica per diverse probabilità di superamento in 50 anni: valori di  $a_g$ . Progetto DPC-INGV S1, Deliverable D2, <http://esse1.mi.ingv.it/d2.html>) varia nell'intervallo  $0,150 \div 0,175$  g. Tali dati sono anche stati utilizzati anche dalla Regione Emilia Romagna nella redazione della Delibera dell'Assemblea Legislativa n° 112 - 2007 “ Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica” dove viene indicata una PGA corrispondente a 0,178 g per l'intero territorio comunale.

La RER fornisce lo spettro di risposta normalizzato, dal quale è possibile ottenere, moltiplicando i valori della tabella seguente per il valore di  $a_{refg}$  di ogni comune (vedi sopra), lo spettro di risposta a probabilità uniforme che descrive le caratteristiche del moto sismico atteso per ogni comune dell'Emilia-Romagna.

Lo spettro di risposta di riferimento del bedrock sismico o suolo A nel comune di Montecreto per il valore di  $a_g = 0,178g$  con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, è visualizzato nella seguente figura.



T (s)	Sa/a <sub>ref</sub>
0,00000	1,00000
0,04000	1,38865
0,07000	1,75927
0,10000	2,28349
0,15000	2,63726
0,20000	2,70745
0,30000	2,46642
0,40000	1,84047
0,50000	1,44476
0,75000	0,95494
1,00000	0,64546
1,50000	0,35479
2,00000	0,23070

Spettro di risposta normalizzato ( $T_R = 475$  anni, smorzamento = 5%) per l'Emilia-Romagna, e valori che lo definiscono.

Nella prima colonna sono riportati i valori del periodo proprio T, espresso in secondi, nella seconda i valori di accelerazione spettrale normalizzata al valore di accelerazione massima orizzontale (PGA), espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g (pari a  $9.81\text{m/s}^2$ ), al corrispondente periodo T.

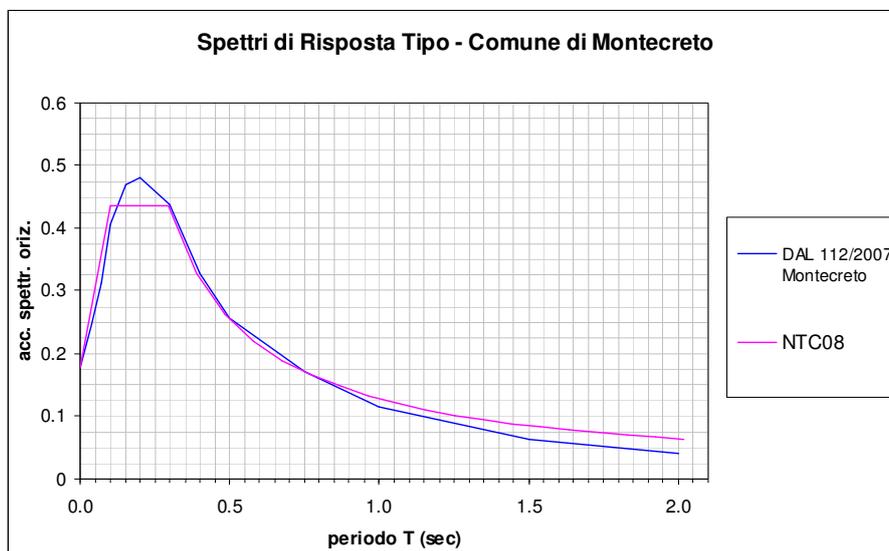
**DM 14/01/2008 – Azione Sismica di riferimento**

Il D.M. 2008 richiede di definire lo spettro di risposta elastico in accelerazione per il sito in esame.

Tale spettro indica, per ciascuna frequenza, la risposta allo scuotimento massimo (da terremoto) di un oscillatore elastico smorzato semplice (struttura teorica tipo) con frequenza propria pari alla frequenza considerata.

Con T si intende il periodo fondamentale di risonanza dell'edificio (in secondi) e con  $a_g$  l'accelerazione massima di picco del sottosuolo (pga) in caso di terremoto ( $\text{m/s}^2$ ).

Per un immediato confronto con gli spettri della DAL 112/2007 si può paragonare lo spettro SLV del D.M 08 (linea fucsia) con la linea blu della DAL (bedrock sismico o suolo A Comune di Montecreto)



Il D.M. 14/01/2008 stabilisce che l'accelerazione orizzontale massima del sito di riferimento non è più riferita ad una classificazione comunale ma viene calcolata considerando le proprietà del sito in esame, utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (NTC , TAB.1 allegato "B" del D.M.).

Il suolo viene ancora suddiviso in 5 classi principali (A,B,C,D,E) più due categorie aggiuntive S1 e S2.

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

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

Tabella 3.2.III – Categorie aggiuntive di sottosuolo.

Categoria	Descrizione
S1	Depositati di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente  $V_{s30}$  di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità.

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{Si}}} \text{ m/s}$$

$h_i$  = spessore dello strato i-esimo

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

N = numero strati considerati

Nei casi in cui la misura diretta della  $V_{s30}$  non sia disponibile, la classificazione può essere effettuata in base ai valori del numero equivalente di colpi della prova penetrometrica dinamica  $N_{spt30}$  nei terreni prevalentemente a grana grossa e della resistenza non drenata equivalente  $C_{u30}$  nei terreni prevalentemente a grana fina.

### **3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA**

#### **3.1 ASSETTO GEOLOGICO**

L'evoluzione geologica del territorio in esame va necessariamente inquadrata in un contesto regionale. L'Appennino è una catena a falde, originata dall'impilamento di terreni di diversa origine paleogeografica, in seguito alla collisione tra la zolla europea e la microplacca apula, connessa alla zolla africana. Tale chiusura è stata preceduta dalla chiusura di un'area oceanica (paleocene ligure), interposta tra le due zolle.

Le formazioni appartenenti all'unità tettonica della Falda Toscana affiorano diffusamente in corrispondenza del crinale appenninico, ricoprendo l'Autoctono Apuano con vergenza verso nord est.

Dette formazioni, a loro volta, si immergono al di sotto delle unità alloctone Sub-Liguridi e Liguridi, che contraddistinguono la parte media e medio - alta dell'appennino modenese. Quest'ultimo è caratterizzato dall'affioramento di formazioni a prevalenza argillosa contenenti ofioliti ed estesi lembi di flysch calcarei ed arenacei fortemente tettonizzati.

Al di sopra delle Unità Liguri e Sub Liguri, affiora in modo discontinuo la serie Epiligure con assetto strutturale complesso e talvolta di difficile interpretazione.

Dal punto di vista geologico-strutturale l'elemento di maggior risalto del territorio in studio è costituito dal sovrascorrimento del fronte delle Arenarie di M. Cervarola sulla Sotto-Unità di Sestola-Vidiciatico, (che dapprima si erano accavallate sulle stesse Arenarie di M. Cervarola), lungo l'allineamento Sestola-Montecreto. Nella zona di Montecreto le Arenarie di M. Cervarola sovra scorrono in posizione normale la Sotto-Unità di Sestola-Vidiciatico. La Sotto-Unità di Sestola-Vidiciatico è costituita dagli stessi terreni che compaiono nella parte basale della successione di M. Modino, anche se la massa principale è costituita dalle unità argillose e calcaree cretaceo-eoceniche, mentre le Argille di Fiumalbo e le Marne di Marmoreto, sono presenti nell'area solo a luoghi e sotto forma di scaglie tettoniche di limitata estensione.

Inoltre contiene lembi di marne (Marne di Monte S. Michele) affioranti nei pressi di Montecreto.

I domini paleogeografici coinvolti sono di seguito riportati, dal basso verso l'alto:

- *Dominio Toscano*, di pertinenza africana;
- *Dominio Ligure Esterno*, coincidente con l'area oceanica. Il Dominio Ligure è, inoltre, tradizionalmente diviso in Dominio ligure esterno e Dominio ligure interno, i cui caratteri rispecchiano la differente posizione all'interno del paleoceanico Ligure;
- *Dominio Epiligure*, formato da sedimenti depositi a partire dall'Eocene Medio sulle unità Liguri già deformate.
- *Depositi Quaternari*

**STRATIGRAFIA DEL SUBSTRATO**

Vengono di seguito descritte le unità litostratigrafiche presenti nell'ambito comunale, a partire dai domini geometricamente superiori, e, nell'ambito di questi ultimi, dai termini più recenti ai più antichi.

<b>DOMINIO EPIIGURE – UNITA' SEMIAUTOCTONA</b>	
<p>La Successione epiligure (Eocene medio-Messiniano inf.) è rappresentata da formazioni sedimentate in bacini impostati alla sommità delle unità liguri tettonizzate (bacini episuturali). La sedimentazione avviene, fino al Miocene inferiore, in un contesto ambientale di mare profondo, con depositi di colata e sedimenti torbiditico-emipelagici; successivamente si imposta una sedimentazione di piattaforma, con apporti terrigeni extrabacinali e carbonatici intrabacinali.</p>	
<b>Formazione di Cigarellò (CIG)</b>	<p>Rappresenta l'insieme di litosomi superiore del Gruppo di Bismantova, si tratta di un'unità di ambiente tra piattaforma esterna e scarpata. La formazione del Cigarellò è composta da peliti e peliti a frazione arenitica, grigie, in genere sottilmente stratificata ma localmente bioturbate. Età compresa tra il Langhiano ed il Serravalliano. Si distinguono nel territorio comunale di Montecreto quattro differenti litofacies:</p> <p><b>CIG - Formazione di Cigarellò</b>            Marne siltoso-sabbiose, talora argillose, grigie, grigio scure o beiges se alterate, bioturbate e fossilifere. Stratificazione generalmente poco evidente per l'assenza di livelli grossolani e per la bioturbazione. Localmente affiorano intervalli di strati sottili arenaceo-pelitici tabulari con A/P &lt; 1 o litofacies marnose franche. Ambiente di sedimentazione di piattaforma esterna e scarpata-bacino. Il limite inferiore è per alternanza o sfumato con PAT. La potenza varia da qualche decina di metri a circa 200 m. Langhiano – Serravalliano.</p> <p><b>CIG1 - Membro di Montalto Nuovo</b>            Alternanze di arenarie finissime bioturbate e siltiti o peliti marnoso-sabbiose in strati da sottilissimi a medi; verso l'alto arenarie bioturbate in strati metrici e peliti marnose. Potenza massima di poche decine di metri. Ambiente di piattaforma esterna. Passaggio sfumato su PAT. Langhiano - Serravalliano</p>
<b>Formazione di Pantano (PAT)</b>	<p>La formazione è costituita da areniti, areniti marnose e peliti sabbiose a stratificazione difficilmente distinguibile a causa di bioturbazione, con locali ricche malacofaune di Lamellibranchi, Gasteropodi e Coralli. Si possono distinguere nel territorio:</p> <p><b>PAT - Formazione di Pantano</b>            Areniti siltose fini e finissime, grigie (beige se alterate), alternate a peliti marnose e siltose grigio-chiare; stratificazione generalmente poco marcata o addirittura impercettibile a causa dell'intensa bioturbazione; sono presenti resti di Echinidi, Gasteropodi e Lamellibranchi. Alla base talora affiorano delle areniti glauconitiche. Localmente si intercalano strati arenacei risedimentati medi, mal strutturati, di colore nocciola. Verso l'alto affiorano livelli di marne siltose grigio-azzurre laminate. Il limite inferiore è netto, discordante, su CTG e su ANT. Sedimentazione in ambiente da litorale a piattaforma esterna. La potenza è fino a circa 500 m. Burdigaliano sup. - Langhiano inf.</p> <p><b>PAT2 - Formazione di Pantano - membro di Montecuccolo</b>            Biocalcareni ed areniti ibride giallastre da fini a grossolane, localmente microconglomeratiche, con stratificazione prevalentemente obliqua a grande scala; verso l'alto e verso nord areniti più fini e più bioturbate. Alla base può essere talora presente una lente di spessore massimo di circa 10m costituita da brecce in prevalenza calcaree (bc1) a stratificazione mal visibile. Contatto inferiore su PAT1, localmente su CTG. Ambiente di piattaforma interna con influssi di marea. Potenza da 0 a 150 m.</p> <p><b>PAT1 - Formazione di Pantano - membro di Sassoguidano</b>            Areniti ibride prevalentemente finissime e fini, a luoghi bioturbate, con stratificazione da media a molto spessa, tabulare ed obliqua a piccola scala, a luoghi poco evidente. Verso l'alto areniti più grossolane e strutture sedimentarie più evidenti. Contatto inferiore discontinuo su CTG. Ambiente di piattaforma interna e di battigia. Potenza variabile da pochissimi metri a 300 m circa.</p>
<b>Formazione di Contignaco (CTG)</b>	<p><b>CTG - Formazione di Contignaco</b>            Torbiditi sottili ed emipelagiti marnose, spesso selciose, grigio biancastre; talora siltiti o arenarie fini o finissime risedimentate con patine superficiali nerastre. Marne carbonatiche e selciose, più o meno siltose, di colore grigio-verdognolo o grigio azzurro. Gli strati sono generalmente di spessore medio, spesso poco evidenti; sono presenti intervalli arenacei biancastri, gradati, da sottili a spessi, con base netta. Presenti orizzonti cineritici da</p>

	centimetrici a plurimetrici biancastri o grigio scuri. Nella parte alta, localmente, aumenta la frequenza delle areniti e si può osservare una stratificazione tabulare. Talora sono presenti torbiditi vulcanoclastiche, grigie e verdi, o nerastre in strati medi gradati. Torbiditi distali ed emipelagiti deposte in un generico ambiente di scarpata-bacino. Il limite inferiore è sfumato per alternanza con ANT. La potenza varia da qualche decina di metri a circa 150 m. Aquitaniano - Burdigaliano inf.
<b>Brecce argillose della Val Tiepido-Canossa (MVT)</b>	<b>MVT - Brecce argillose della Val Tiepido-Canossa</b> Brecce a matrice argillosa grigia o grigio-scura, talora varicolore, con clasti decimetrici o di dimensioni maggiori di prevalenti calcilutiti biancastre tipo "palombino", calcari marnosi, marne, siltiti e arenarie, e inclusi da decametrici ad ettometrici di formazioni liguri o epiliguri. Il limite inferiore è netto, su MMP o graduale rapido su AVS, spesso meccanico; questa unità presenta evidenti rapporti di eteropia con ANT. Depositi di colata gravitativa (mud e debris flow). La potenza massima varia da qualche decina ad oltre 500 m. Chattiano? – Aquitaniano.
<b>Formazione di Antognola (ANT)</b>	La Formazione è costituita da marne argillose grigie, talora con sfumature verdognole e con frequenti patine manganesifere; e si caratterizza per un alto contenuto in organismi planctonici calcarei. L'ambiente di sedimentazione è di scarpata, base scarpata ed emipelagico. Nel territorio si distinguono: <b>ANT - Marne di Antognola</b> Marne argillose e marne siltose verdognole o grigie con patine manganesifere; fratturazione concoide o con tipiche superfici concentriche; frequenti i microfossili e talora i bioclasti. Stratificazione da molto sottile a media, talora difficilmente percepibile, sia per scarsa classazione granulometrica che per bioturbazione. Sono presenti rari livelli torbiditici, da sottili a medi, di arenarie vulcanoclastiche, arcose e quarzoso-feldspatiche, e strati sottili e sottilissimi, discontinui, di cineriti biancastre, tipicamente alterate in giallo o giallo oca, localmente cartografati (ta). Il limite inferiore è netto, discordante, su MMP, sfumato su RAN; in eteropia con MVT. Ambiente di sedimentazione di piattaforma esterna, scarpata e base scarpata con apporti torbiditici relativamente frequenti. La potenza totale della formazione varia da pochi metri a oltre 600 m. Rupeliano sup. - Burdigaliano inf. <b>ANT4 - Marne di Antognola - membro di Anconella</b> Prevalenti torbiditi arenaceo-pelitiche; arenarie quarzoso-feldspatiche, generalmente poco cementate, gradate con grana da grossolana a fine, di colore grigio chiaro alterate in giallastro; marne argillose, argille siltose grigie, grigio verdi, grigio scuro o nerastre; A/P sempre > 1, fino a >>10. Gli strati variano da sottili a spessi, talvolta banchi, anche amalgamati. E' stata distinta una litofacies arenaceo-pelitica (ANT4a) costituita da torbiditi pelitico-arenacee in strati sottili o sottilissimi, oppure da medi a molto spessi tabulari e con $1 < A/P < 10$ . La geometria del membro è complessa, interdigitato a scala regionale ad ANT, con base erosiva localmente a contatto con il substrato ligure, con spessore che da poche decine di metri che può raggiungere i 600 m. Chattiano - Burdigaliano inf.?
<b>Formazione di Loiano (LOI)</b>	Arenarie arcose, da fini a molto grossolane, a luoghi microconglomeratiche, in genere scarsamente cementate, con subordinati conglomerati, in strati medi e banchi frequentemente amalgamati, di colore biancastro o grigio chiaro (marrone chiaro se alterate); A/P sempre >1. Nella porzione basale brecce argillose a matrice nerastra. Sedimentazione torbiditica in bacino confinato profondo. A scala regionale si interdigita a MMP o vi è inclusa sotto forma di lenti. Il limite inferiore è per alternanza su BA13. La potenza affiorante raggiunge 400 m. Luteziano sup. - Bartoniano?

### DOMINIO LIGURE ESTERNO – UNITA' ALLOCTONE

Le Liguridi sono rappresentate dalle cosiddette unità "pre-flysch" (Complessi di base) e dalle successive unità torbiditiche calcareo-marnose o arenaceo-pelitiche del Cretacico terminale e del Paleocene, note come "Flysch ad Elmintoidi". Durante la fase ligure queste unità, prevalentemente argillose, sono state deformate in modo così intenso e pervasivo, da obliterare spesso l'originario ordine stratigrafico.

<b>Formazione di Monghidoro (MOH)</b>	<b>MOH - Formazione di Monghidoro</b> Torbiditi arenaceo-pelitiche in strati spessi, raramente molto spessi, con rapporto A/P generalmente intorno a 2/1 cui si intercalano intervalli metrici di strati sottili e medi con rapporto A/P circa 1/2. Le arenarie sono gradate con base a granulometria da media a grossolana, talora microconglomeratica, localmente poco cementate, di colore grigio scuro ma generalmente marroni o giallastre per alterazione ed ossidazione dei minerali femici; passano ad argilliti più o meno siltose di colore nerastro. Nella parte bassa della formazione sono presenti rari strati sottili calcareo-marnosi o calcarei con abbondanti
---------------------------------------	--

	tracce di fucoidi. Localmente distinte: la litofacies arenacea (MOHa), caratterizzata da $A/P >> 1$ ; la litofacies pelitico-arenacea (MOHb), caratterizzata da strati sottili pelitico-arenacei con rapporto $A/P < 1$ ; la litofacies pelitica (MOHc) con $A/P < 1/10$ . Torbiditi di piana bacinale. Limite inferiore graduale su MOV. La potenza geometrica è di qualche centinaio di metri. Maastrichtiano sup. - Paleocene sup.
<b>Formazione di Monte Venere (MOV)</b>	<b>MOV - Formazione di Monte Venere</b> Torbiditi arenaceo-marnose con base fine grigio-chiaro, in strati da medi a molto spessi, al tetto intervalli sottili o medi di argille scure o nerastre. Intercalazioni metriche di strati arenaceo-pelitici da sottili a spessi grigio brunastri, con rapporto $A/P > 1$ , a luoghi prevalenti sugli strati calcareo-marnosi. Regolari intercalazioni di megatorbiditi calcareo-marnose in strati spessi fino a 15 m. Contatto inferiore non preservato. Torbiditi di ambiente marino profondo. Potenza fino a 900 m. Campaniano sup. - Maastrichtiano sup.
<b>Flysch di Monte Caio (CAO)</b>	<b>CAO - Flysch di Monte Caio</b> Torbiditi calcareo-marnose, grigio-scure, in strati da medi a molto spessi con una base arenitica media o fine passante a marna; a tetto intervalli sottili e medi di argilla nerastra fissile. Si alternano a pacchi di torbiditi arenaceo-pelitiche da sottili a medie e a torbiditi calcareo-pelitiche chiare in strati medi. Torbiditi di piana abissale. Contatto inferiore non affiorante. Potenza fino ad alcune centinaia di metri. Campaniano sup. - Maastrichtiano
<b>Argille variegata di Grizzana Morandi (AVT)</b>	<b>AVT - Argille variegata di Grizzana Morandi</b> Argilliti e argille rosso violacee, verdastre, grigio-scure e grigio azzurrognole, con subordinate siltiti grigio-scure o nere mangesifere, in strati sottili o molto sottili e calcilutiti grigio-verdi in strati sottili e medi. Formazione intensamente deformata con perdita dell'originario ordine stratigrafico alla scala dell'affioramento. Contatto inferiore non preservato. Pelagiti e torbiditi distali di ambiente di piana abissale. Potenza fino a 200 m circa. Cenomaniano sup.? - Santoniano sup.? <b>AVTa - Argille variegata di Grizzana Morandi - litozona argillitica</b> Argilliti fissili varicolori, totalmente silicizzate, caratterizzate da diagenesi spinta fino al limite dell'anchimetamorfismo; sottili intercalazioni di calcilutiti grigiastre con patine di alterazione nere, e areniti fini grigie con frequenti sostituzioni di ossidi di ferro di color rosso ruggine, di consistenza pulverulenta. Potenza geometrica di pochi metri. Cenomaniano sup.? - Santoniano sup.?
<b>Arenarie di Scabiazza (SCB)</b>	<b>SCB - Arenarie di Scabiazza</b> Torbiditi arenaceo-pelitiche con arenarie da molto sottili a medie, mal strutturate e poco cementate, talora gradate, con granulometria da fine a finissima, di colore grigio, grigio-scure o grigio-verdastre (beige o rossastro se alterate) in strati molto sottili e sottili, e argille o argille marnose verdastre o grigio scuro molto sporche; rapporto $A/P < 1$ o uguale a 1. Presenza saltuaria di calcilutiti marnose verdi o biancastre e marne calcaree grigio-chiare in strati da sottili a spessi e argilliti varicolorate. Presenti localmente intercalazioni lenticolari metriche di brecce sedimentarie poligeniche (bp) e livelli di marne scheggiose grigio-chiare (SCBms - litofacies marnoso-siltosa). E' stata localmente distinta una litofacies arenaceo-pelitica (SCBb). Ambiente deposizionale di piana bacinale con frequenti apporti torbiditici. Potenza geometrica affiorante che può raggiungere alcune centinaia di metri. Turoniano sup.? - Campaniano inf.
<b>Argille a Palombini (APA)</b>	<b>APA - Argille a Palombini</b> Argilliti ed argilliti siltose grigio scure, più raramente verdi, rossastre o grigio-azzurrognole, fissili (nella pelite è spesso presente un clivaggio scaglioso a carattere pervasivo), alternate a calcilutiti silicizzate grigio chiare e grigio-verdi, biancastre in superficie alterata, talvolta con base arenitica da fine a grossolana, in strati da medi a spessi (molto spesso discontinui per motivi tettonici) e più rari calcari marnosi grigi e verdi in strati spessi. Rapporto Argilla/Calcare quasi sempre $> 1$ . Frequenti intercalazioni di siltiti ed arenarie torbiditiche fini (talora mangesifere) a tetto pelitico in letti molto sottili e sottili di colore grigio scuro (o beige se alterate). La formazione in genere è intensamente deformata con perdita dell'originario ordine stratigrafico alla scala dell'affioramento; gli strati calcilutitici sono spesso "boudinati". Nei Fogli 219 -236 all'interno della formazione sono talora presenti lembi di ofioliti (of) giurassiche, spesso distinte in: arenarie ofiolitiche (ao), brecce ofiolitiche (bo), brecce poligeniche a elementi magmatici, calcarei e diasprigni: (bp1), basalti. Contatti ovunque tettonici o non affioranti. Sedimentazione pelagica argillosa, intervallata da risedimentazione di fanghi carbonatici. Potenza geometrica variabile da alcune decine ad alcune centinaia di metri. Barremiano - Turoniano? <b>APAA - Argille a palombini - litozona argillitica</b> Argilliti grigie e a luoghi verdognole, con fissilità spesso molto evidente e in qualche caso silicizzate; sono alternate a calcilutiti grigie in strati medi e spessi con subordinati pacchi di

	strati sottili arenaceo-pelitici giallastri e nocciola, e rari calcari marnosi. La litozona può essere caratterizzata da diagenesi spinta fino al limite dell'anchimetamorfismo. Potenza non bene valutabile, stimata in oltre 200 m. Barremiano - Turoniano? <b>APAc - Argille a palombini - litofacies calcarea</b> Caratterizzata da un rapporto C/A>1. Barremiano - Turoniano?
<b>Brecce poligeniche bp1</b>	
<b>gamma - Gabbri</b>	
<b>sigma Serpentine</b>	<b>sigma – Serpentine</b> Peridotiti lherzolitiche serpentizzate, di colore scuro, verde chiaro all'alterazione, talora brecciate

### DOMINIO TOSCANO

Il Dominio Toscano affiorante nel territorio comunale è rappresentato da tre unità tettoniche che presentano una strutturazione a scaglie sovrapposte, vergenti a NE con piani immergentesi a SO: l'Unità del Macigno, costituisce il crinale e presenta sul fronte nord-orientale un'anticlinale rovesciata, laminata e sovra scorsa verso NE sull'Unità di M. Modino e su quella di Cervarola. A sua volta l'Unità delle Arenarie di M. Modino si rovescia e sovrascorre sulle Arenarie di M. Cervarola, sempre con piani poco o mediamente inclinati a SO. Infine l'Unità delle Arenarie di M. Cervarola, che è quella che affiora con maggior ampiezza, presenta il sovrascorrimento frontale sull'Unità Sestola-Vidiciatico.

<b>Arenarie di Monte Cervarola (CEV)</b>	<p><b>CEV5 - Arenarie di Monte Cervarola - membro del Torrente Scoltenna</b> Torbiditi sottili siltitico-pelitiche con intercalati strati, spessi 15-20 cm, di colore bianco sporco-giallo, ad abbondante componente carbonatica. Nella parte bassa sono presenti due livelli vulcanoclastici di spessore decimetrico. In prossimità del contatto con il membro sottostante sono presenti strati pluridecimetrici con base a grana arenitica medio-grossolana. Spessore circa 150 m. Burdigaliano</p> <p><b>CEV4 - Arenarie di Monte Cervarola - membro del Rio Becco</b> Torbiditi a grana arenitica grossolana, talvolta conglomeratica, di spessore da decimetrico a plurimetrico, passanti verso l'alto ad intervalli più fini, fino ad un tetto siltitico spesso pochi centimetri e raramente associato ad un intervallo marnoso. Frequenti episodi di amalgamazione e bioturbazione. Agli strati grossolani si intercalano intervalli di torbiditi sottili siltitico-marnose talora di spessore plurimetrico. Presenti livelli a grossi intraclasti marnosi immersi in matrice pelitico-marnosa. Burdigaliano</p> <p><b>CEV3b - Arenarie di Monte Cervarola - membro del Rio Carnale - litofacies pelitico-arenacea</b> Torbiditi sottili siltitico-marnose con rapporto A/P&lt;&lt;1, cui si intercalano nella parte alta intervalli di torbiditi relativamente più spesse (fino a 1 m) e grossolane. Spessore massimo di circa 40 metri, che tende a ridursi verso NE fino a scomparire sopra l'abitato di Magrignana. Burdigaliano</p> <p><b>CEV3a - Arenarie di Monte Cervarola - membro del Rio Carnale - litofacies arenaceo-pelitica</b> Strati torbiditici spessi circa 50 cm, a base arenitico fine-siltitica e tetto marnoso ben sviluppato; nella parte alta strati metrici a base arenitica grossolana e sottile tetto marnoso. Al tetto è presente un deposito da slumping (sl), spesso circa 30-40 m, caratterizzato, nella parte medio-bassa dalla presenza di un livello a ciottoli poligenici (calcari, marne, graniti e rocce metamorfiche) in matrice sabbioso-marnosa. Burdigaliano</p> <p><b>CEV2 - Arenarie di Monte Cervarola - membro del Torrente Fellicarolo</b> Torbiditi siltitico-pelitiche con rapporto A/P generalmente &lt;1 in strati sottili e medi cui si intercalano megatorbiditi, di spessore variabile da alcuni metri alle decine metri, a base arenitica medio-fine e tetto marnoso plurimetrico. A diverse altezze sono presenti intervalli ricchi di liste di selce nera e orizzonti da centimetrici a decimetrici di argilliti scure. In prossimità del contatto con CEV1 è presente lo strato guida gp (spesso circa 8 m) con base a grana da ruditica ad arenitica ricca di bioclasti, rip-up marnosi e frustoli carboniosi, e tetto marnoso-sabbioso. A circa 100m dalla base è presente la coppia di megatorbiditi "Elisa" ed "Sandra" (es). A circa 450 m, 650 m e 730 m dalla base sono stati cartografati rispettivamente gli strati guida Fellicarolo1 (fe1), Fellicarolo2 (fe2) e Fellicarolo3 (fe3). Nella parte bassa del membro è localmente presente un deposito da slumping talora associato a un deposito da debris flow a elementi argilloso-calcarei di origine ligure e subligure (litofacies caotica CEV2a). Al tetto sono presenti marne e marne siltose laminate di colore grigio chiaro, con intercalati quattro strati calcsiltitici e siltitici di spessore centimetrico (CEV2b - litofacies pelitica); nella parte bassa di CEV2a è presente una vulcanoclastite di</p>
--	--

	<p>spessore centimetrico. Contatto inferiore non affiorante. Potenza parziale di oltre 1000 m. Burdigaliano</p> <p><b>CEV1 - Arenarie di Monte Cervarola - membro del Torrente Dardagna</b> Torbiditi grossolane in strati spessi e molto spessi alternati con torbiditi siltitico-pelitiche in strati sottili e medi, depositi da slumping e debris flow spessi anche diversi metri. Spessore di alcune centinaia di metri. (Burdigaliano)</p>
<b>Formazione di Serpiano (SRP)</b>	<p><b>SRP2 - Formazione di Serpiano - membro di Castellino</b> Arenarie torbiditiche a grana fine o molto fine in strati sottili e medi intercalati a siltiti e peliti marnose relativamente spesse con A/P&lt;1. Locale presenza di liste di selce nera. Passaggio graduale con le sottostanti siltiti del membro dei Poggi di Fontanaluccia. Aquitaniano</p> <p><b>SRP1 - Formazione di Serpiano - membro dei poggi di Fontanaluccia</b> Torbiditi siltitico-pelitiche e marnoso-pelitiche in strati sottili e medi. Livelli di selce nera in liste, frequenti soprattutto nella parte inferiore. Nella parte bassa localmente presenti breccie argillitico-calcaree a elementi liguri e sub-liguri, originate da debris flow (litofacies a breccie- SRPa). (Aquitaniano)</p> <p><b>SRPa - Formazione di Serpiano - litofacies a breccie</b> Breccie argillitico-calcaree a elementi liguri e subliguri, originate da debris flow, presenti localmente nella parte bassa di SRP1. (Aquitaniano)</p>
<b>Marne di Civago (CIV)</b>	<p><b>CIV - Marne di Civago</b> Marne grigio-cenere, spesso siltose, a stratificazione mal distinguibile. Localmente livelli di selce nera. Intercalazioni di sottili strati arenacei discontinui anche di origine vulcanoclastica, di livelli arenitici grossolani a matrice marnosa con abbondante glauconite risedimentata, di breccie argillose. Deposito di scarpata. Contatto inferiore discordante sulle successioni sottostanti. Spessore di 50-100 m. Aquitaniano</p> <p><b>CIVa - Marne di Civago - litofacies a breccie del Rio Rumale</b> Orizzonti plurimetri di breccie grossolane poligeniche ad elementi per lo più argillitici e calcarei. Intercalate nella parte bassa delle Marne di Civago. (Aquitaniano)</p>
<b>Marne del Monte San Michele (MSM)</b>	<p><b>MSM - Marne del Monte San Michele</b> Marne grigie, giallastre all'alterazione, a stratificazione spesso mal distinguibile, scheggie, con diffusi arricchimenti in silice. A luoghi intercalazioni di siltiti e arenarie fini, talora glauconitiche, in strati da sottili a medi. La formazione risulta notevolmente tettonizzata, frequentemente interessata da fratture. Contatto inferiore non affiorante. Potenza parziale di 150 m circa. Aquitaniano - Burdigaliano</p>
<b>Arenarie del Monte Modino (MOD)</b>	<p><b>MOD - Arenarie del Monte Modino</b> Torbiditi arenaceo-pelitiche, grigie, in strati da sottili a spessi, costituiti da una base arenacea fine passante a pelite con rapporto A/P ~ 1. Si alternano pacchi di strati da medi a spessi costituiti di arenarie medie o grossolane con al tetto, a luoghi, peliti spesse pochi centimetri. Rapporto A/P generalmente &gt;1. Le torbiditi a composizione mista o calcarenitico-marnose sono piuttosto rare. Contatto inferiore per alternanze su MMA nell'area tipo. Potenza di alcune centinaia di metri. Chattiano p.p. - Aquitaniano</p>
<b>Arenarie di Vallorsara (VLR)</b>	<p><b>VLR - Arenarie di Vallorsara</b> Torbiditi arenaceo-pelitiche in strati da sottili a medi, raramente spessi, con arenarie fini e finissime grigie, o siltiti, passanti a marne grigiastre. Rapporto A/P generalmente &lt;1. Intercalazione di intervalli relativamente spessi di torbiditi pelitico-marnose grigio-rosate. Frequenti depositi da slumping di spessore non elevato. Torbiditi di margine di bacino. Passaggio per alternanza su MMA con cui l'unità nell'area del Foglio 236 e' anche eteropica. Potenza parziale massima di 200 m circa. Chattiano p.p. - Aquitaniano</p>
<b>Marne di Marmoreto (MMA)</b>	<p><b>MMA - Marne di Marmoreto</b> Marne, marne siltose e marne calcaree, grigie, a stratificazione mal visibile con rare intercalazioni di siltiti ed arenarie fini grigio-chiare, giallastre per alterazione, anche di origine vulcanoclastica. Nella parte basale è talora presente un livello spesso pochi metri costituito da torbiditi a base arenacea molto fine e tetto marnoso. Contatto inferiore discordante su FIU e su AVC. Deposito di scarpata. Nell'area del Foglio 236 interdigitazione con BAP. Spessore massimo di circa 100 m. Rupeliano p.p. - Chattiano p.p.</p> <p><b>MMAa - Marne di Marmoreto - litofacies a breccie del Rifugio Battisti</b> Nella parte basale delle Marne di Marmoreto. Breccie grossolane originate da debris flow talora grossolanamente stratificate. Clasti argillitici e calcarei di origine ligure-subligure in matrice argillitica scura. (Rupeliano p.p. - Chattiano p.p.)</p>
<b>Argille di Fiumalbo (FIU)</b>	<p><b>FIU - Argille di Fiumalbo</b> Argille, argilliti e argilliti-marnose grigio-scure, verdastre e rosse con stratificazione poco evidente, con intercalazioni di sottili strati gradati di siltiti e areniti finissime e fini, grigio-</p>

	<p>verdastre, o di straterelli calcarenitico-marnosi nella parte bassa. Nella parte alta argilliti marnose grigio-cenere con intercalazioni di siltiti e areniti fini in strati sottili. Localmente è stato distinto un membro prevalentemente arenaceo (FIU1). Depositi pelagici emipelagici e torbiditici fini distali. Contatto stratigrafico discordante sulle successioni sottostanti o tettonizzato. Spessore massimo 200-300m. Bartoniano - Rupeliano</p> <p><b>FIUa - Argille di Fiumalbo - litofacies a breccie di Riccovolto</b> Breccie argillitico-calcaree ad elementi liguri (calcarei micritici, calcareniti, areniti fini e siltiti) originate da debris flow al contatto fra le Argille di Fiumalbo e le successioni liguri sottostanti. Matrice argilloso-marnosa scura, localmente rossastra. (Bartoniano - Rupeliano)</p> <p><b>FIU1 - Argille di Fiumalbo - membro del Monte Sassolera</b> Arenarie litiche da medie a grossolane, localmente microconglomeratiche, in strati da medi a molto spessi, spesso amalgamati, di colore grigio-verdastro, alimentate da successioni granitico-gneissiche e da successioni di tipo ligure. Talora al tetto degli strati intervallo centimetrico di argilla grigio-verde. Rapporto A/P stimato &gt;&gt;1. Potenza geometrica massima fino a 200 metri. Depositi torbiditici prossimali. Priaboniano - Rupeliano</p>
<b>Breccie argillose poligeniche (BAP)</b>	<p><b>BAP - Breccie argillose poligeniche</b> Breccie poligeniche a matrice argillosa nerastre o grigiastre, con clasti di calcari micritici grigio-giallastri, talora selciferi, siltiti nerastre, calcareniti, calcari marnosi grigi, areniti e marne calcaree grigie. Stratificazione indistinta. Depositi di colate miste di fango e detrito (debris flow) in ambiente marino profondo. Interdigitazione con AVC, FIU e MMA. Potenza variabile da 0 a 100 m. Cretaceo inf. - Oligocene</p>
<b>Formazione dell'Abetina Reale (ABT)</b>	<p><b>ABT - Formazione dell'Abetina Reale</b> Torbiditi a base calcilutitica o calcarenitica grigia, passanti a marne calcaree biancastre, in strati da spessi a molto spessi, localmente plurimetrici, alternate a torbiditi a base arenitica fine e siltitica e tetto argilloso grigio-scuro in strati sottili e medi. Subordinate calcilutiti silicee in strati da medi a spessi grigio-bluastri. Locali intercalazioni di breccie poligeniche e arenarie silicoclastiche e ofiolitiche. Torbiditi di ambiente marino profondo. Passaggio discordante alla formazione sottostante; contatti tettonici prevalentemente con AVC. Potenza di 200-300 m circa. Campaniano sup. - Paleocene inf.?</p>
<b>Formazione del Fosso della Cà (AFC)</b>	<p><b>AFC - Formazione del Fosso della Cà</b> Alternanze di torbiditi arenaceo-pelitiche e marnoso-pelitiche in strati sottili e di breccie poligeniche (clasti di basalti, serpentiniti, calcari, argilliti selci e diaspri), in banchi spessi fino a qualche metro, intercalate a peliti grigio scure o nerastre mangesifere. Localmente distinta una litofacies a breccie ofiolitiche (AFCa). Discordanti sulla successione sottostante. Depositi di ambiente marino profondo. Spessore massimo di circa 200 m. (Campaniano sup.)</p>
<b>Argilliti variegiate con calcari (AVC)</b>	<p><b>AVC - Argilliti variegiate con calcari</b> Argilliti, bruno verdastre, grigio-verdi o grigio piombo, talora in bande blu, in strati sottili con intercalate calcilutiti grigie, in strati da sottili a molto spessi, a volte marnose al tetto, e siltiti e arenarie fini in strati sottili. Argilliti brune o verdine più raramente varicolori intercalate a strati siltoso-calcarei o arenarie fini gradate. Breccie argillitico-calcaree a prevalenti clasti di calcari tipo palombini. Rapporto A/C &gt;1. Localmente presenti arenarie grigio-verdi da fini a grossolane, talora decementate, in strati prevalentemente sottili, che localmente costituiscono la litologia prevalente (ar). Deposito di ambiente marino profondo. Contatto inferiore generalmente non affiorante; nell'area del Foglio 235 in contatto tettonico col flysch di Sorba; nell'area del Foglio 236 interdigitazioni con BAP. Potenza fino a circa 300 m. Hauteriviano - Cenomaniano inf. (Localmente Eocene)</p> <p><b>AVCa - Argilliti variegiate con calcari - litofacies a breccie ofiolitiche</b> Lenti di breccie poligeniche con clasti ofiolitici e subordinatamente calcarei e diaspri; presente nella parte bassa della formazione. (Hauteriviano - Cenomaniano inf. (Localmente Eocene).</p>
<b>Macigno (MAC)</b>	<p><b>MAC2 - Macigno - Membro arenaceo-pelitico</b> Torbiditi arenaceo-pelitiche in strati da medi a spessi, più frequenti nella parte bassa del membro, cui si intercalano intervalli metrici e decametrici di torbiditi sottili per lo più siltitico-pelitiche. In prossimità del contatto con il membro arenaceo sottostante sono inoltre presenti alcune torbiditi a base arenacea e tetto marnoso piuttosto sviluppato (A/P"1). Il tetto stratigrafico di questo membro è tagliato da contatti tettonici. Depositi torbiditici. Spessore massimo di circa 250 m. (Chattiano - Aquitaniano?)</p> <p><b>MAC1 - Macigno - Membro arenaceo</b> Arenarie torbiditiche quarzoso-feldspatiche organizzate in banchi spessi e molto spessi,</p>

frequentemente amalgamati, a grana per lo più grossolana, di colore grigio alla frattura fresca, giallo-ocraceo all'alterazione, cui si intercalano strati arenaceo-pelitici di spessore medio e sporadici intervalli decimetrici di torbiditi sottili siltitico-pelitiche. Il passaggio al membro sovrastante è contraddistinto dalla presenza di almeno 5 torbiditi arenacee amalgamate spesse complessivamente circa 50 m. Depositi torbiditici. Spessore massimo di circa 1100 m. (Chattiano)

## DEPOSITI E COPERTURE QUATERNARIE

**Depositi  
quaternari  
continentali privi  
di una formale  
connotazione  
stratigrafica**

Si distinguono:

**a1b/a2b - Deposito di frana attiva/quiescente per scivolamento**

Deposito originato dal movimento verso la base del versante di una massa di terra o roccia, che avviene in gran parte lungo una superficie di rottura o entro una fascia, relativamente sottile, di intensa deformazione di taglio.

**a1d/a2d - Deposito di frana attiva/quiescente per colamento lento**

Deposito messo in posto da movimento distribuito in maniera continuata all'interno della massa spostata. Le superfici di taglio all'interno di questa sono multiple, temporanee e generalmente non vengono conservate. I materiali coinvolti sono per lo più coesivi. I depositi più frequenti sono costituiti in prevalenza da una matrice pelitica e/o pelitico-sabbiosa che include clasti di dimensioni variabili.

**a1g/a2g - Deposito di frana attiva/quiescente complessa**

Deposito messo in posto in seguito alla combinazione nello spazio e nel tempo di due o più tipi di movimento.

La maggior parte dei depositi di frana del territorio appenninico è di tipo complesso ed è il risultato di più tipi di movimento sovrapposti nello spazio e nel tempo (tipicamente scorrimenti/colamenti). La tessitura prevalente risulta costituita da clasti di dimensioni variabili immersi in una abbondante matrice pelitica e/o sabbiosa.

**a2h - Deposito di frana quiescente per scivolamento in blocco o DGPV**

Movimento gravitativo in massa complesso e profondo che interessa grandi ammassi rocciosi, talora con relative coperture superficiali, e si attua attraverso una deformazione per lo più lenta e progressiva della massa rocciosa, senza una superficie di scorrimento ben determinabile.

**a2 - Deposito di frana quiescente di tipo indeterminato**

Deposito gravitativo senza evidenze di movimenti in atto o recenti ma con possibilità di riattivazione, costituito da litotipi eterogenei, raramente monogenici, ed eterometrici, più o meno caotici. La tessitura dei depositi è condizionata dalla litologia del substrato e dal tipo di movimento prevalente, che è stato generalmente indicato (dove non specificato, il tipo movimento è indeterminato). La maggior parte dei depositi di frana del territorio appenninico è comunque di tipo complesso ed è il risultato di più tipi di movimento sovrapposti nello spazio e nel tempo (tipicamente scorrimenti/colamenti). La tessitura prevalente risulta costituita da clasti di dimensioni variabili immersi in una abbondante matrice pelitica e/o sabbiosa.

**a3 - Deposito di versante s.l.**

Deposito costituito da litotipi eterogenei ed eterometrici più o meno caotici. Frequentemente 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), a luoghi stratificato e/o cementato. La genesi può essere dubitativamente gravitativa, da ruscellamento superficiale e/o da soliflusso.

**a4 - Deposito eluvio-colluviale**

Coltre di materiale detritico, generalmente fine (sabbie, limi e peliti) prodotto da alterazione "in situ" o selezionato dall'azione mista delle acque di ruscellamento e della gravità, con a luoghi clasti a spigoli vivi o leggermente arrotondati.

	<p><b>a6 - Detrito di falda</b>          Accumulo detritico costituito da materiale eterogeneo ed eterometrico, generalmente a quote elevate o molto elevate, con frammenti litoidi di dimensioni variabili tra qualche cm<sup>3</sup> e decine di m<sup>3</sup>, privo di matrice o in matrice sabbioso-pelitica alterata e pedogenizzata, di origine gravitativa frequentemente alla base di scarpate e lungo i versanti più acclivi.</p> <p><b>b1 - Deposito alluvionale in evoluzione</b>          Ghiaie, talora embriciate, sabbie e limi argillosi di origine fluviale, attualmente soggetti a variazioni dovute alla dinamica fluviale; detrito generalmente incoerente e caotico, costituito da clasti eterometrici ed eterogenei, talora arrotondati, in matrice sabbiosa, allo sbocco di impluvi e valli secondarie. Sono talora fissati da vegetazione (b1a).</p> <p><b>c3 - Deposito glaciale e periglaciale</b>          Accumulo detritico deposto per azione di un ghiacciaio, caratterizzato da detrito sciolto a struttura caotica con clasti eterometrici inglobati in matrice limoso-sabbiosa o limo-argillosa e con stratificazione mal visibile. Localmente frequenti i massi erratici. Questo tipo di deposito è localizzato nelle aree più alte dell'Appennino; la loro distinzione da frane vere e proprie è spesso problematica, in quanto frequentemente si presentano rimobilizzati ulteriormente lungo i versanti, pertanto la loro presenza può talora risultare sovrastimata.</p> <p><b>d1 - Deposito eolico</b>          Sabbie fini, limi e limi argillosi in genere notevolmente pedogenizzati, su paleosuperfici.</p> <p><b>f1 - Deposito palustre</b>          Limi e depositi di materiale organico alloggiati in depressioni per lo più di origine glaciale.</p> <p><b>i1 - Conoide torrentizia in evoluzione</b>          Depositi alluvionali, prevalentemente ghiaiosi, a forma di ventaglio aperto verso valle, in corrispondenza dello sbocco di valli e vallecole 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.</p> <p><b>i2 - Conoide torrentizia inattiva</b>          Depositi alluvionali, prevalentemente ghiaiosi, a forma di ventaglio aperto verso valle, in corrispondenza dello sbocco di valli e vallecole trasversali ai corsi d'acqua principali ove la diminuzione di pendenza provoca la sedimentazione del materiale trasportato dall'acqua, attualmente non soggetti ad evoluzione.</p> <p><b>h - Deposito antropico</b></p>
--	---

#### SUCCESSIONE NEOGENICO - QUATERNARIA DEL MARGINE APPENNINICO PADANO

	<p><b>AES8 - Subsistema di Ravenna</b>          Ghiaie e ghiaie sabbiose, passanti a sabbie e limi organizzate in numerosi ordini di terrazzi alluvionali. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. A tetto suoli a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente fino a 150 cm e parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallo-bruno. Contengono frequenti reperti archeologici di età del Bronzo, del Ferro e Romana. Potenza fino a oltre 25 m. Olocene (età radiometrica della base: 11.000 - 8.000 anni).</p> <p><b>AES8a - Unità di Modena</b>          Depositi ghiaiosi passanti a sabbie e limi di terrazzo alluvionale. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. Unità definita dalla presenza di un suolo a bassissimo grado di alterazione, con profilo potente meno di 100 cm, calcareo, grigio-giallastro o bruno grigiastro. Nella pianura ricopre resti archeologici di età romana del VI secolo d.C.. Potenza massima di alcuni metri (&lt; 10 m). Post-VI secolo d.C.</p>
--	---

### 3.2 ASSETTO GEOMORFOLOGICO

Le linee essenziali dell'assetto geomorfologico del territorio comunale di Montecreto sono controllate dalla tettonica ma anche dal diverso comportamento morfoselettivo delle litologie di substrato.

Il controllo della tettonica sulle forme del paesaggio è evidente nei lineamenti principali dell'orografia e, in particolare, del crinale appenninico, caratterizzato, da un andamento tortuoso e spezzato ma non irregolare.

Al diverso comportamento morfoselettivo del substrato litoide sono legate le numerose scarpate poste lungo i contatti dei flysch con le formazioni argillose dei Complessi di base (Acquaria), e tra le formazioni arenacee e quelle marnose (Montecreto).

Altro elemento che caratterizza vistosamente i versanti del territorio comunale, è costituito dalle numerose frane per scivolamento rotazionale e per colata.

#### MONTECRETO

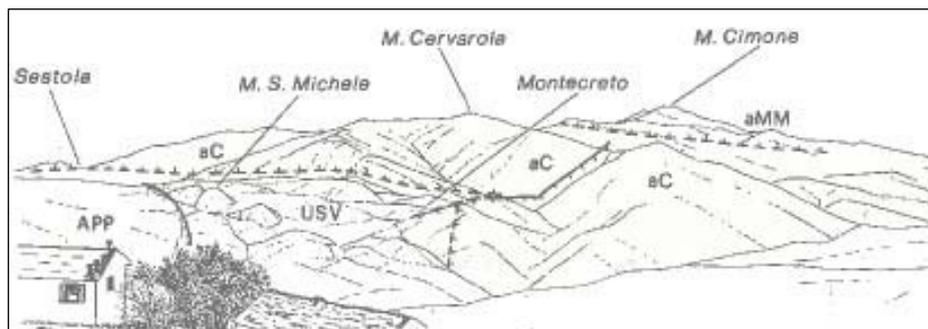
L'abitato di Montecreto è adagiato su di una sella morfologica che si staglia all'interno di una dorsale con direzione principale NW-SE (Castello di Montecreto – M. Rondinara). A sud-ovest il versante declina verso il Rio Carnale per poi raccordarsi con il tratto che risale in direzione di M. Cavriale.

All'interno di questo anfiteatro naturale abbiamo un consistente accumulo di depositi di varia natura: in particolare si hanno depositi di versante provenienti dalle pareti della F. di Cervarola e depositi di degradazione dovuti al disfacimento della parte più superficiale delle Marne dell'Unità di Sestola-Vidiciatico.

Il settore del capoluogo si colloca in zona di contatto tettonico (sovrascorrimento) di due importanti unità geologiche: le Arenarie di Cervarola (CEV) e l'Unità Sestola-Vidiciatico qui rappresentata dalle Marne di Monte San Michele (MSM).

Il passaggio rocce arenacee – unità marnosa è di solito segnalato da un brusco cambio di pendio anche se talvolta il passaggio è reso più morbido dagli abbondanti depositi di versante.

L'evoluzione geomorfologica dell'area è molto complessa: sulle formazioni più competenti sono possibili frane per crollo o ribaltamento; sulle formazioni più marnose e sui depositi detritici, che ricoprono estesamente i versanti, si possono manifestare fenomeni di creep e processo gravitativi. La genesi iniziale può essere probabilmente dovuta a processi periglaciali (Wurm); il successivo modellamento è invece imputabile a fattori di degradazione meteorica fra i quali il crioclastismo, l'irdoclastismo.



Tratta da: Guide Geologiche Regionali 1990 – Società Geologica Italiana.

La Figura mostra una panoramica sul fronte di accavallamento delle Arenarie di M. Cervarola in destra del T. Scoltenna. L'elemento di maggior risalto è il sovrascorrimento del fronte delle Arenarie di M. Cervarola lungo l'allineamento Sestola-Montecreto. Nella zona di Montecreto le Arenarie di M. Cervarola sovra scorrono in posizione normale l'Unità Sestola-Vidiciatico. A nord di Montecreto, l'Unità Sestola-Vidiciatico, rappresentata in prevalenza dalle Marne di S. Michele, è interessata da sovrascorrimenti interni con piani inclinati verso S; più a nord una faglia diretta abbassa i terreni del sovrastante ricoprimento ligure. A sud, le Arenarie di M. Cervarola sono sovrascorse dalle Arenarie di M. Modino e dalla F. di Pievepelago rovesciate, nell'area di M. Cimone.

#### ACQUARIA

Spostandosi verso i settori nord del territorio comunale di Montecreto (Acquaria), l'evoluzione morfologica generale dei rilievi è strettamente collegata alla geologia della zona, caratterizzata dalla giustapposizione della placca del Flysch di M. Venere su litofacies argillose a comportamento duttile dei Complessi di base liguri.

La morfologia dell'area di Acquaria è strettamente connessa al suo assetto strutturale. In particolare sono da considerare di origine strutturale o parastrutturale il ripiano che dal centro di Acquaria si estende verso Est e gli ampi avvallamenti posti sul crinale; le numerose fratture che segmentano il Flysch hanno fortemente condizionato lo sviluppo del reticolo idrografico.

In alcuni casi i rii e fossi, impostati su delle linee di frattura, hanno dato luogo a profonde e ripide incisioni a "V". La morfologia è inoltre caratterizzata dal contrasto di selettività tra il Flysch di M. Venere e le Argille a Palombini.

I versanti modellati nel Flysch rappresentano ripidi pendii e talora vere e proprie scarpate, quelli modellati nella formazione argillosa rappresentano invece pendii poco acclivi, con dossi ed ondulazioni che testimoniano dei movimenti gravitativi a cui sono stati soggetti.

I tipi di movimenti più comuni che hanno interessato la parte inferiore dei versanti sono le frane per colata e le deformazioni plastiche. Questi movimenti, evolvendo verso monte, hanno rappresentato una delle cause principali dell'innescio di frane di crollo o scivolamento nella zona marginale della placca di Flysch. Frane di scivolamento in massa si possono osservare a NE e a O dell'abitato di Acquaria.

## **4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI E METODOLOGIE DI ELABORAZIONE**

### **4.1 DATI GEOTECNICI**

Allo Scopo di supportare il presente Studio di Microzonazione Sismica con conoscenze stratigrafiche e geotecniche, è stata condotta una raccolta dei dati geognostici esistenti resi disponibili dall'Amministrazione.

La ricerca bibliografica ha comunque permesso di raccogliere:

- n° 9 Sondaggi a carotaggio continuo
- n° 49 prove penetrometriche dinamiche (32 superpesanti, 4 pesanti, 13 medie)
- n° 3 trincea o pozzetto esplorativo
- n° 4 Masw
- n° 1 Sismica Rifrazione
- n° 11 Hvsr

Ovviamente tra le prove d'archivio non si sono considerate quelle eseguite con attrezzature fuori degli standard consolidati, o quelle che non hanno superato un adeguata profondità.

Nel CD rom allegato al presente studio vengono riportati, in formato pdf, tutti i grafici e i tabulati delle indagini pregresse raccolte (Tav. 1.1-1.2 - Carta delle Indagini).

### **4.2 DATI GEOFISICI**

L'indagine bibliografica ha permesso di raccogliere alcune indagini geofisiche (n° 4 Masw e n° 12 Hvsr).

Al fine di acquisire la necessaria caratterizzazione del primo sottosuolo in termini di valori geofisici di velocità delle onde sismiche di taglio (Vs), sono state comunque realizzate le seguenti prove geofisiche negli insediamenti principali presenti sul territorio comunale:

- **n° 12 Masw**
- **n° 12 Hvsr**

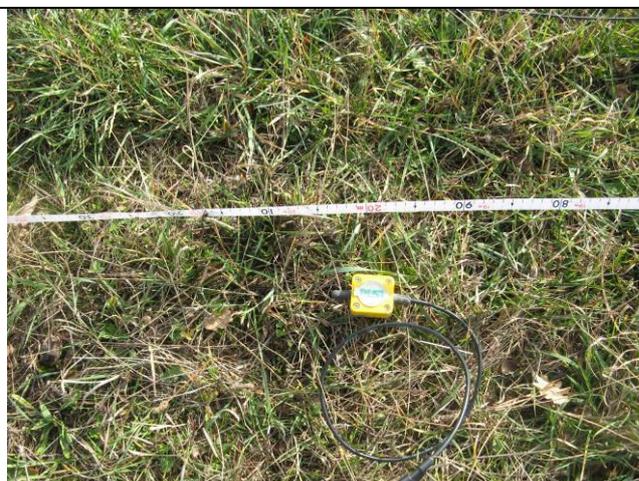
Le indagini sono state eseguite accoppiate e sono distribuite oltre che nel capoluogo anche nelle frazioni principali. All'interno di queste macro-aree sono presenti sia le aree urbanizzate che quelle suscettibili di trasformazioni urbanistiche. Questo ha permesso di caratterizzare, quanto più possibile, le situazioni stratigrafiche principali.

#### 4.2.1 PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE (MASW) – ALLEGATO 1

Le indagini Masw sono state effettuate utilizzando un sismografo digitale a 24 canali PASI (mod. 16S-U), dotato di 24 geofoni verticali con frequenza propria di 4.5 Hz (spaziatura tra geofoni 2 m, 2s di acquisizione, offset minimi di 2-5-10 m).



Sismografo utilizzato.



Particolare dei geofoni utilizzati.

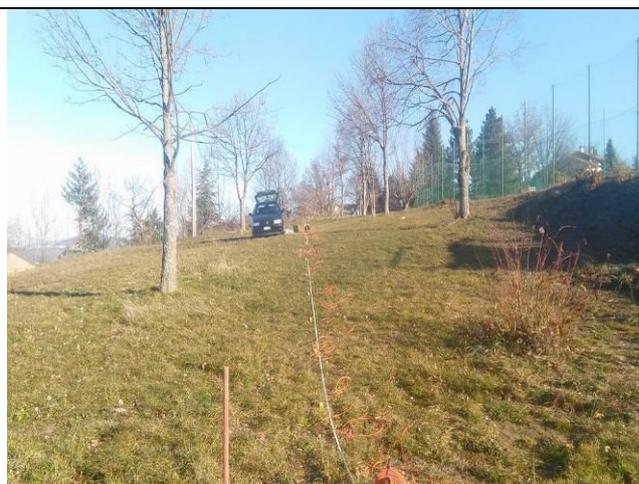
L'indagine, attraverso una serie di acquisizioni MASW (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*, analisi della dispersione delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva – e.g. Park et al., 1999), è finalizzata alla caratterizzazione della risposta sismica dei vari siti in studio, attraverso la definizione del profilo verticale della VS (velocità di propagazione delle onde di taglio).

Nel loro insieme, le procedure adottate fanno risalire la stima dell'effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio (VS).

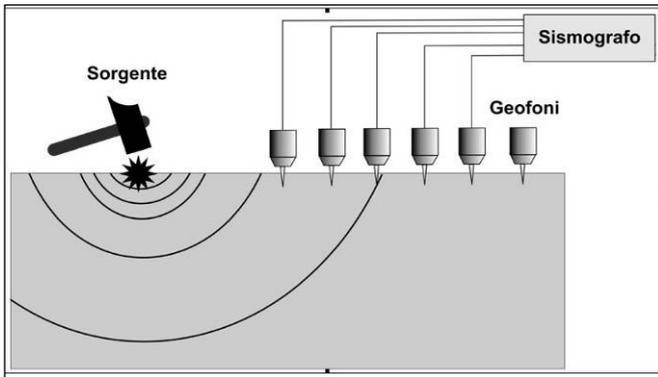
La tecnica non è invasiva e richiede una fonte di energizzazione (mazza battente).



Sistema di energizzazione-battuta.



Stendimento sismico



fase.

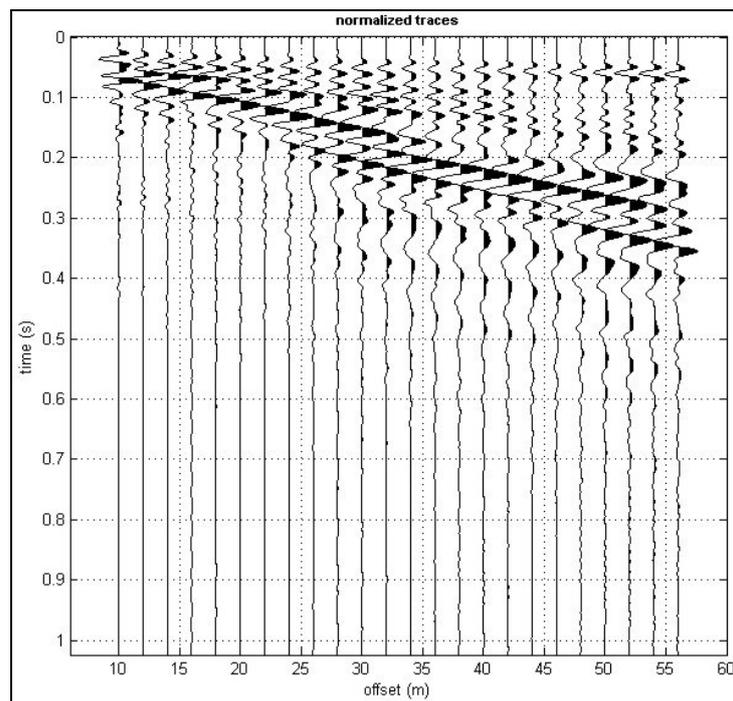
Le onde *Rayleigh*, che sono il risultato dell'interferenza fra le onde di pressione "P" e quelle di taglio "S", si trasmettono sulla superficie libera e, in un terreno stratificato, subiscono una sorta di dispersione con velocità di propagazione che dipende dalla frequenza.

Le componenti a frequenza minore penetrano più in profondità per cui hanno una maggior velocità di

### Elaborazione dati - Software

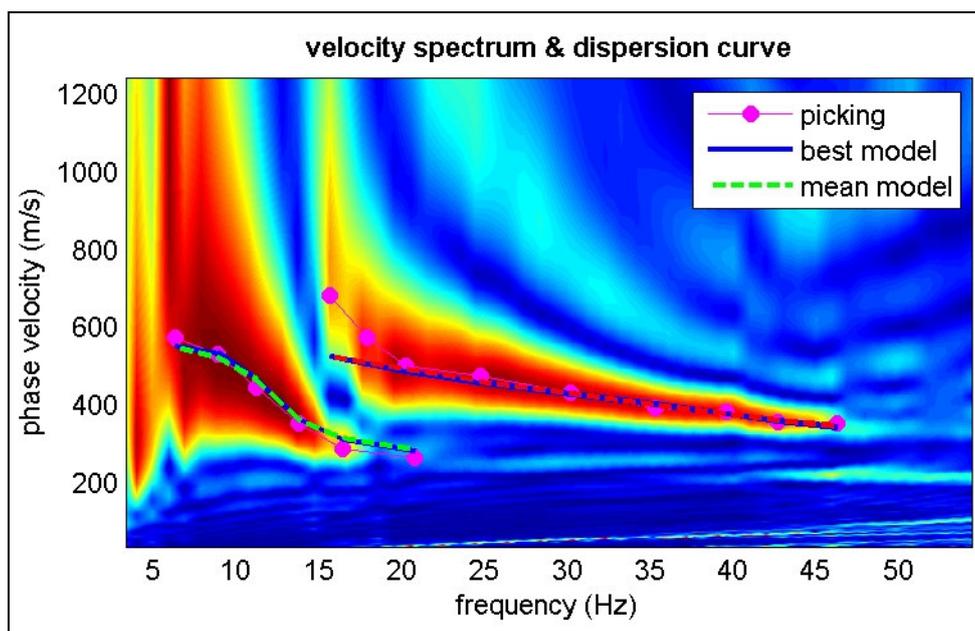
Per le analisi dei dati acquisiti si è adottato il software *winMASW* 4.8 Pro ([www.eliosoft.it](http://www.eliosoft.it)).

Per ricostruire il profilo verticale della velocità delle onde di taglio (VS), i dati acquisiti sono stati elaborati tramite i seguenti passaggi: determinazione spettro di velocità, identificazione curve di dispersione, inversione/modellazione di queste ultime.

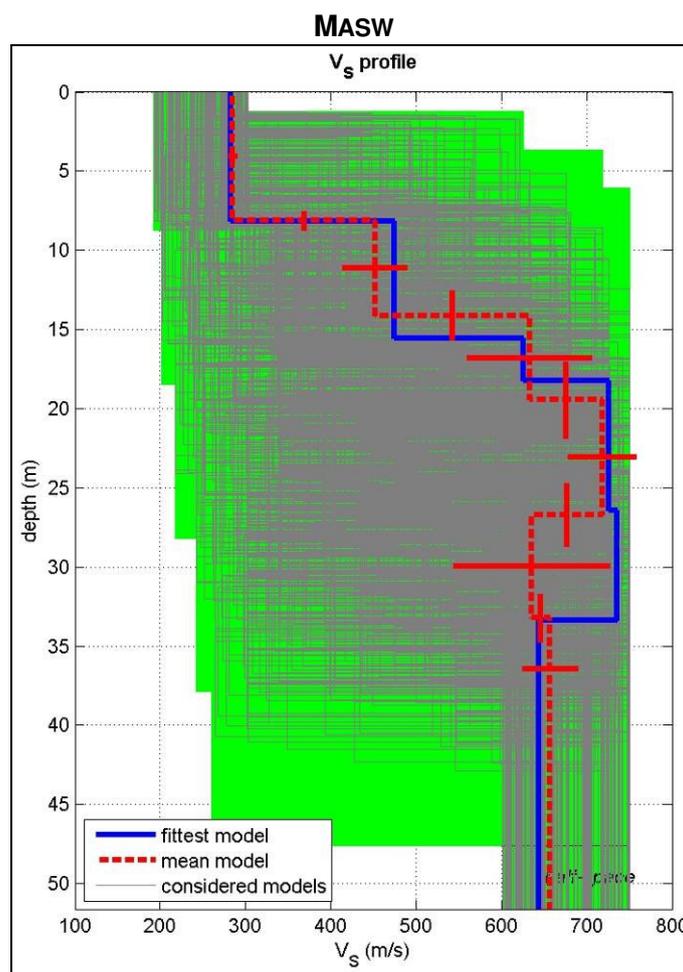


Esempio di Dataset utilizzato con le tracce in arrivo ai geofoni.

Di seguito si riporta lo spettro di velocità sul quale viene identificata la curva di dispersione.



Di seguito si riporta il profilo verticale delle Vs (Allegato 1).



Tutti i risultati ottenuti ed i diagrammi di elaborazione delle Masw sono riportati nelle schede in All. 1.

#### 4.2.2 ANALISI SISMICA PASSIVA DEI MICROTREMORI CON TECNICA HVSR – ALLEGATO 2

Nelle aree di indagine sono state condotte acquisizioni con tecnica HVSR tramite registrazione con tromografo di rumore sismico ambientale di fondo (microtremore). L'indagine si pone come obiettivo preminente l'individuazione delle diverse frequenze di risonanza del terreno il tutto, nell'ottica di valutare eventuali fenomeni di amplificazione del moto sismico nel terreno d'indagine.

##### Strumentazione utilizzata

La registrazione di rumore sismico ambientale è stata effettuata tramite tromografo digitale *Tromino* della *Micromed s.p.a.*; tale strumento permette sia l'acquisizione digitale in alta risoluzione in modo passivo/non intrusivo che il pre-processing dei dati. Esso è costituito da tre velocimetri elettrodinamici ortogonali (N-S, E-W e UP-DOWN) autobloccanti in fase di non acquisizione.

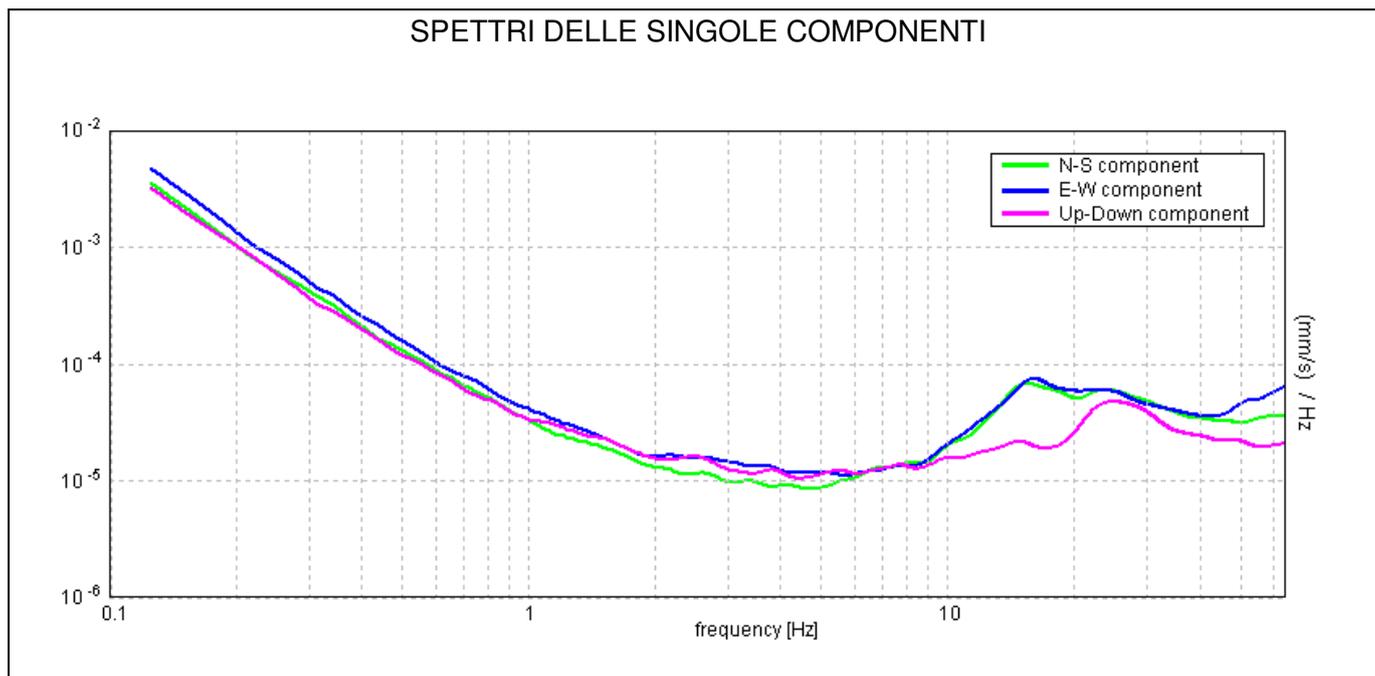
Qui di seguito vengono riportate le caratteristiche tecniche dello strumento impiegato.

SPECIFICHE TECNICHE															
<b>Costruttore:</b>	Micromed S.P.A. via Giotto 2 - 31020 - Mogliano Veneto (TV) - Italia tel. +39-041-5937000 fax +39-041-5937011 e-mail: info@micromed.it support@tromino.it														
<b>Apparato:</b>	TROMINO® sistema ultraportatile di acquisizione del rumore sismico														
<b>Classificazione:</b>	- CISPR 11 - EN 55011 (apparecchi a radiofrequenza Industriale, Scientifici e Medicali (ISM) - Caratteristiche disturbi radio - Limiti e metodi di misura). Gruppo1 Classe B														
<b>Conformità agli standard:</b>	EN 55011, IEC 61000-4-2, IEC 61000-4-4, IEC 61000-4-3.														
<b>Alimentazione</b>	2 x 1.5 V <sub>DC</sub> AA, batterie alcaline														
<b>Voltaggio Interno</b>	+3.3 V, +3.6 V per la sezione analogica														
<b>Potenza utilizzata</b>	75 mW (GPS inattivo), 450 mW (GPS attivo)														
<b>Durata Batteria</b>	80 h in continuo, GPS inattivo														
<b>Numero canali</b>	7 + 1 analogico														
<b>Amplificatori</b>	tutti i canali con ingressi differenziali														
<b>Rumore</b>	< 0.5 µV r.m.s. @ campionamento 128Hz														
<b>Impedenza in ingresso</b>	10 <sup>5</sup> Ω														
<b>Intervallo di frequenza</b>	DC - 360 Hz														
<b>Frequenza campionamento</b>	16384 Hz per canale														
<b>Frequenza sovracamp.</b>	32x, 64x, 128x														
<b>Risoluzione Δ/D</b>	24 bit equivalenti														
<b>Max ingresso analogico</b>	51.2 mV (781 nV/digit)														
<b>Display</b>	grafico, 128 x 64 pixel, retroilluminato														
<b>Tastiera</b>	soft-touch, 4 tasti														
<b>Orologio</b>	interno, permanente con data e allarme, può essere visualizzato durante l'acquisizione														
<b>GPS</b>	12 canali con marcatempo (precisione 1 µs)														
<b>Livellamento</b>	a bolla, alta precisione orizzontale, sensibilità 5° arco (0.083°)														
<b>Connessioni</b>	Porta USB tipo B														
<b>Registrazione dati</b>	memoria interna, standard 512 Mb, opzionale fino a 2 Gb														
<b>Dimensioni e peso</b>	10 x 14 x 7.7 (altezza) cm 1.1 kg Contenitore in alluminio														
<b>Accoppiamento al terreno</b>	piedini o cuscino geologico														
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Condizioni ambientali per l'uso</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>temperatura - 10 / +70°C</td> </tr> <tr> <td></td> <td>umidità 0-90% senza condensa</td> </tr> <tr> <td><b>Impermeabilità</b></td> <td>Indice di protezione IP → 65 (a prova di polvere e schizzi)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>→</td> </tr> <tr> <td><b>Sensori</b></td> <td>3 velocimetri elettrodinamici ortogonali Auto-bloccanti quando non acquisiscono Correzione elettronica ed attraverso il software <i>Grilla</i> per la risposta in frequenza dei sensori</td> </tr> <tr> <td><b>Intervallo frequenza di lavoro</b></td> <td>0.1 - 256 Hz.</td> </tr> </tbody> </table>		Condizioni ambientali per l'uso			temperatura - 10 / +70°C		umidità 0-90% senza condensa	<b>Impermeabilità</b>	Indice di protezione IP → 65 (a prova di polvere e schizzi)		→	<b>Sensori</b>	3 velocimetri elettrodinamici ortogonali Auto-bloccanti quando non acquisiscono Correzione elettronica ed attraverso il software <i>Grilla</i> per la risposta in frequenza dei sensori	<b>Intervallo frequenza di lavoro</b>	0.1 - 256 Hz.
Condizioni ambientali per l'uso															
	temperatura - 10 / +70°C														
	umidità 0-90% senza condensa														
<b>Impermeabilità</b>	Indice di protezione IP → 65 (a prova di polvere e schizzi)														
	→														
<b>Sensori</b>	3 velocimetri elettrodinamici ortogonali Auto-bloccanti quando non acquisiscono Correzione elettronica ed attraverso il software <i>Grilla</i> per la risposta in frequenza dei sensori														
<b>Intervallo frequenza di lavoro</b>	0.1 - 256 Hz.														

In ogni sito d'indagine è stata effettuata n° 1 acquisizione da 20 min.

Le registrazioni sono state effettuate su terreni mediamente compatti; a tal proposito si specifica che sono stati eliminati i primi centimetri di terreno pulendo e regolarizzando il piano di posa al fine di un corretto posizionamento/funzionamento dello strumento.

L'elaborazione dei dati è stata effettuata tramite il software *Grilla vers. 6.1* in dotazione allo strumento; esso permette di definire gli spettri delle singole componenti (N-S, E-W e UP-DOWN), di effettuare le analisi H/V e di valutare eventualmente la VS30.

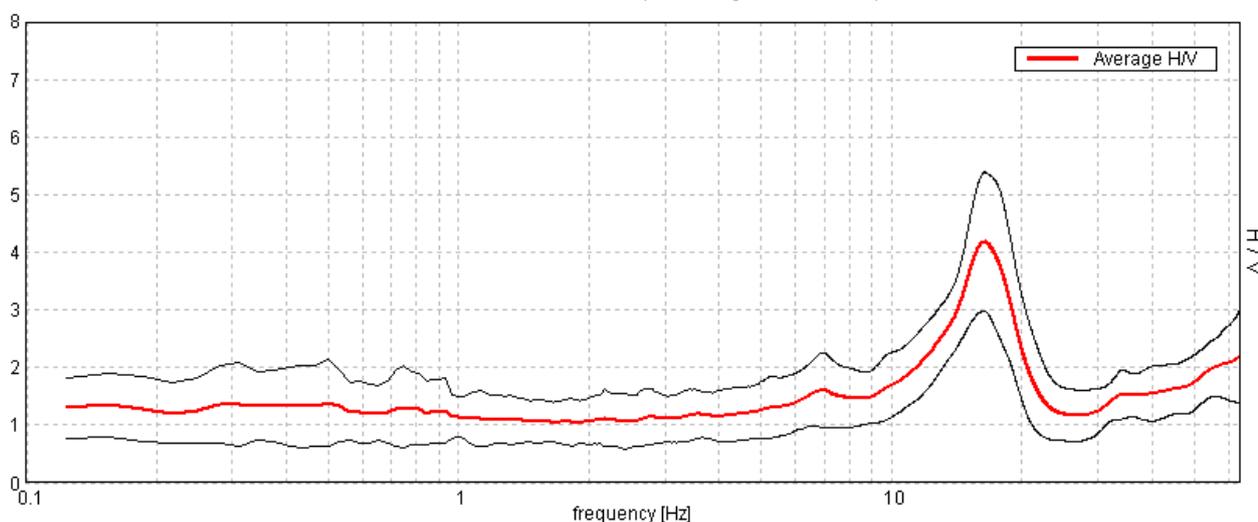


Interpretazione dei dati

L'ipotesi alla base della metodologia di elaborazione è che essendo i microtremori causati prevalentemente dalle onde di Rayleigh, la componente verticale del moto non subisce fenomeni di amplificazione in corrispondenza di marcati contrasti di impedenza sismica, mentre detto fenomeno avviene per le componenti orizzontali, soprattutto in corrispondenza della frequenza fondamentale di risonanza ( $F_0$ ) dei terreni indagati. Eseguendo quindi il rapporto tra gli spettri di frequenza orizzontale e verticale (H/V) si ottiene un grafico in cui si evidenziano le frequenze in cui si hanno i maggiori effetti di amplificazione locale.

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

Max. H/V at 16.41 ± 0.1 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



In fase di elaborazione dati, inoltre, è stata eseguita anche un'analisi H/V con una percentuale di *smoothing* inferiore ovvero pari all'1% in modo tale da individuare i vari picchi antropici e le loro frequenze; tale analisi conferma, sostanzialmente, che i picchi H/V alle frequenze individuate sono di natura stratigrafica.

Il software GRILLA permette di determinare i rapporti medi fra le componenti spettrali del rumore misurate sul piano orizzontale e verticale. A questo scopo, la serie di rumore ambientale è stata suddivisa in una serie di finestre temporali di uguale durata (finestre di 20 secondi) per ciascuna delle quali è stato determinato lo spettro del moto. Su ciascuna di queste finestre viene calcolato lo spettro di ampiezza del segnale nelle tre componenti. In questa fase è stata applicato un sistema di lisciamento (*smoothing*) triangolare del 10% adottato per la determinazione dello spettro.

Dopo un opportuno lisciamento, le ordinate spettrali del moto sul piano orizzontale, ottenute mediando opportunamente i valori ottenuti nelle due direzioni principali, sono state divise per quelle ottenute nella direzione verticale.

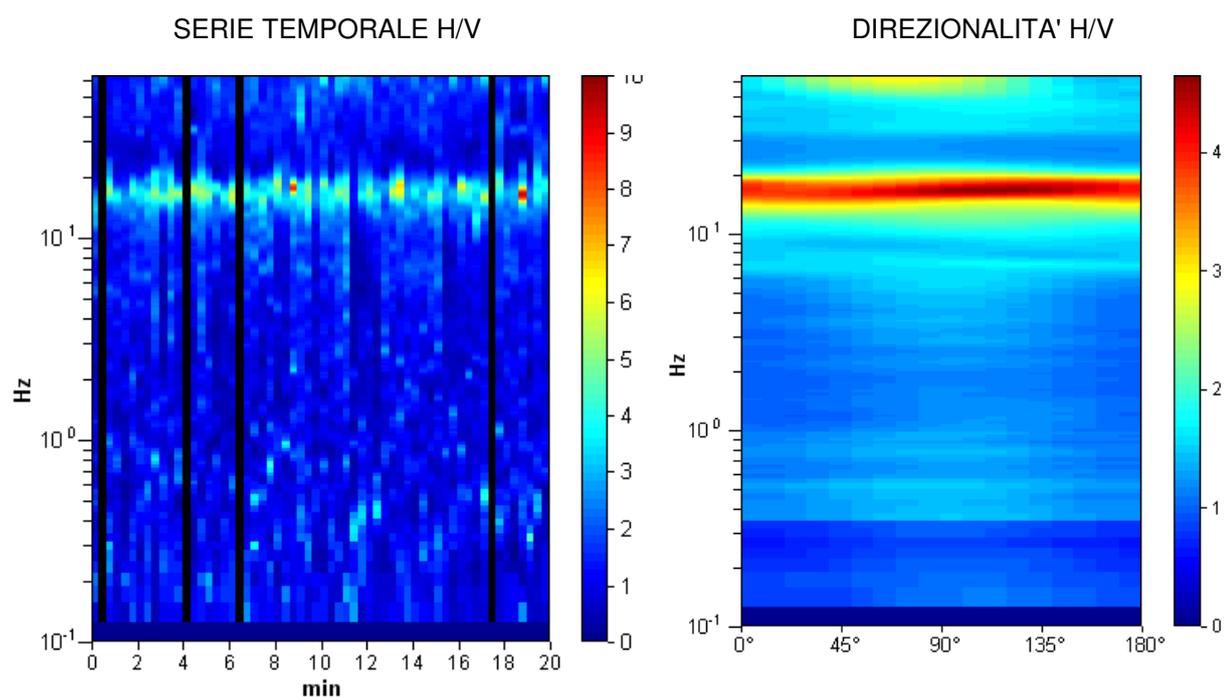
L'andamento dei rapporti spettrali è stato quindi ottenuto mediando i valori ottenuti per le diverse finestre temporali considerate. Per definire la qualità delle misure sono state anche valutate le variazioni temporali e azimutali dei rapporti spettrali nel corso della sessione di misura e fatta una stima del relativo intervallo di confidenza.

Di seguito sarà brevemente descritta la procedura di analisi seguita:

- Ciascuna delle tracce è suddivisa in segmenti o finestre di 20 secondi.
- In ogni finestra e per ciascuna delle tracce viene eseguita:
  - un'analisi preliminare: eliminazione di trend lineari (*detrend*) e *tapering* delle estremità.
  - la trasformata di Fourier (FFT)
  - il lisciamento degli spettri con finestra triangolare ampia una frazione della frequenza centrale (in questo lavoro generalmente il 10%).
- Le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali vengono mediate in modo geometrico, e vengono calcolati i rapporti HVSR ( $f$ ), in ciascuna finestra temporale.
- Si calcolano i rapporti HVSR medi ed il relativo intervallo di confidenza al 95%. Alla frequenza di risonanza viene associata una stima dell'incertezza sperimentale.

Lo spettro relativo alla componente orizzontale viene ottenuto effettuando la media (solitamente geometrica) delle due componenti spettrali del rumore sul piano orizzontale. La combinazione delle stime ottenute nelle diverse finestre temporali viene poi utilizzata per costruire la funzione H/V finale e stimare il relativo intervallo di confidenza. In particolare, la funzione H/V è ottenuta facendo la media dei valori delle funzioni H/V calcolate in ogni finestra temporale.

Per verificare se le misure sono state effettuate in condizioni ottimali per i fini geognostici (campo d'onde diffuso), oltre alla stima della curva H/V, risulta quindi utile valutare l'eventuale presenza di fenomeni direzionali (eterogeneità del campo di rumore) e la stabilità nel tempo della funzione H/V durante la misura (stazionarietà). In presenza di un campo di rumore diffuso il valore della funzione H/V non deve cambiare nel tempo o al variare della direzione. Al contrario, la presenza di sorgenti dominanti o il cattivo posizionamento dello strumento (basculamento) si manifesta come una variazione direzionale e/o temporale dei rapporti H/V.



Sperimentalmente, l'analisi di qualità della misura può essere effettuata confrontando le ampiezze spettrali medie del rumore misurato lungo le due componenti orizzontali, oppure calcolare diversi valori della funzione H/V di volta in volta proiettando lungo direzioni differenti le ampiezze spettrali ottenute sul piano orizzontale. La stazionarietà nel tempo, invece, può essere valutata rappresentando in funzione del tempo le funzioni H/V ottenute nelle diverse finestre temporali considerate.

## 5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

La “Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica” (Tav. 2.1-2.2) ha riportato tutte le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche) derivate da informazioni esistenti desunte dalla banca dati della Regione Emilia-Romagna e del Servizio Geologico Regionale, da ulteriori studi effettuati a livello del territorio comunale in fase di formazione dei vari piani urbanistici comunali e dal presente studio.

Questi dati sono stati necessari per la definizione del modello di sottosuolo per l'intero territorio comunale e propedeutici per la definizione in chiave sismica degli effetti attesi al suolo.

La conformazione locale del territorio comunale può essere suddiviso nei seguenti domini, come descritto nel Cap.3:

- *Dominio Toscano*;
- *Dominio Ligure Esterno*
- *Dominio Epiligure*, formato da sedimenti depositi a partire dall'Eocene Medio sulle unità Liguri già deformate.

Le formazioni appartenenti all'unità tettonica della Falda Toscana affiorano diffusamente in corrispondenza del crinale appenninico.

Dette formazioni, a loro volta, si immergono al di sotto delle unità alloctone Liguridi, che contraddistinguono la parte media e medio - alta dell'appennino modenese. Quest'ultimo è caratterizzato dall'affioramento di formazioni a prevalenza argillosa contenenti ofioliti ed estesi lembi di flysch calcarei ed arenacei fortemente tettonizzati.

Al di sopra delle Unità Liguri, affiora in modo discontinuo la serie Epiligure con assetto strutturale complesso e talvolta di difficile interpretazione.

### MONTECRETO – ZONA DI CRINALE

L'abitato di Montecreto si colloca su un consistente accumulo di depositi di varia natura: in particolare si hanno depositi di versante provenienti dalle pareti della F. di Cervarola e depositi di degradazione dovuti al disfacimento della parte più superficiale delle Marne dell'Unità di Sestola-Vidiciatico.

Il settore del capoluogo si colloca in zona di contatto tettonico (sovrascorrimento) di due importanti unità geologiche: le Arenarie di Cervarola (CEV) e l'Unità Sestola-Vidiciatico qui rappresentata dalle Marne di Monte San Michele (MSM).

Il passaggio rocce arenacee – unità marnosa è di solito segnalato da un brusco cambio di pendio anche se talvolta il passaggio è reso più morbido dagli abbondanti depositi di versante.

Nella zona di Montecreto le Arenarie di M. Cervarola sopra scorrono in posizione normale l'Unità Sestola-Vidiciatico. A nord di Montecreto, l'Unità Sestola-Vidiciatico, rappresentata in prevalenza dalle Marne di S. Michele, è interessata da sovrascorrimenti interni con piani inclinati verso S; più a

nord una faglia diretta abbassa i terreni del sovrastante ricoprimento ligure. A sud, le Arenarie di M. Cervarola sono sovrascorse dalle Arenarie di M. Modino e dalla F. di Pievepelago rovesciate, nell'area di M. Cimone.

#### ACQUARIA – SETTORE NORD TERRITORIO COMUNALE

Spostandosi verso i settori nord del territorio comunale di Montecreto (Acquaria), si osserva la giustapposizione della placca del Flysch di M. Venere su litofacies argillose a comportamento duttile dei Complessi di base liguri.

La morfologia è caratterizzata dal contrasto di selettività tra il Flysch di M. Venere e le Argille a Palombini.

I versanti modellati nel Flysch rappresentano ripidi pendii e talora vere e proprie scarpate, quelli modellati nella formazione argillosa rappresentano invece pendii poco acclivi, con dossi ed ondulazioni che testimoniano dei movimenti gravitativi a cui sono stati soggetti.

I tipi di movimenti più comuni che hanno interessato la parte inferiore dei versanti sono le frane per colata e le deformazioni plastiche. Questi movimenti, evolvendo verso monte, hanno rappresentato una delle cause principali dell'innescio di frane di crollo o scivolamento nella zona marginale della placca di Flysch. Frane di scivolamento in massa si possono osservare a NE e a O dell'abitato di Acquaria.

Sulla base del modello del sottosuolo sopra descritto, si determina che la morfologia generale del territorio risulta caratterizzata da rilievi con formazioni arenacee prettamente lapidee circondati da formazioni argillose e marnose poco resistenti agli agenti del modellamento superficiale. In corrispondenza del limite tra queste due unità geologiche si riscontra spesso una marcata variazione della topografia, determinata dal raccordo tra pareti sub-verticali con pendii argillosi a pendenze inferiori e a morfologia ondulata. Lungo i pendii con abbondante matrice argillosa si rinvengono depositi detritici, a prevalente componente limo-argillosa, che costituiscono i fenomeni franosi di varie dimensioni assai diffusi lungo tali pendii.

Quanto sopra descritto ed i rispettivi rapporti stratigrafici e l'assetto tettonico delle unità e formazioni che costituiscono il sottosuolo del territorio comunale di Montecreto, sono visualizzati anche nelle sezioni geologiche realizzate (vedi cap. 8).

## 6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

### LIMITAZIONI DELLO STUDIO

Occorre evidenziare che il presente studio è stato effettuato sui dati disponibili per il territorio in esame.

In particolare i dati stratigrafici, utilizzati per la costruzione del modello geologico e delle sezioni geologiche, derivano principalmente:

- dalle carte geologiche della Regione Emilia Romagna le quali si ritengono precise nel loro complesso e sono realizzate con un discreto numero di affioramenti; generalmente è però presente una spessa coltre di copertura che oblitera le informazioni del paesaggio geologico;
- nelle aree d'indagine, che comprendono il territorio urbanizzato e di futura urbanizzazione, sono presenti raramente sondaggi a carotaggio continuo; sono disponibili invece numerose prove penetrometriche;
- le prove geofisiche utilizzate esistenti e nuove, sono tutte di tipo indiretto di superficie e sufficientemente distribuite; non sono presenti misure geofisiche di tipo dirette eseguite in foro di sondaggio (downhole);
- l'attribuzione dei parametri geofisici alle unità geologiche del sottosuolo e la determinazione della profondità del bedrock sono state effettuate su un numero di dati ritenuto sufficiente;

*Livelli di attendibilità da assegnare ai risultati ottenuti dall'analisi*

Dati	Attendibilità	Tipologia
Litologici (da bibliografia)	<b>Bassa</b>	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Alta	Da prove di laboratorio su campioni e da prove in sito
Stratigrafici (spessori)	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	<b>Media</b>	Da prove indirette (penetrometriche e/o geofisiche)
	Alta	Da indagini dirette (sondaggi a carotaggio continuo)
Geofisici (Vs)	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	<b>Media</b>	Da prove indirette (Masw, Hvsr) e relazioni empiriche
	Alta	Da prove dirette (sismica in foro o sismica superficiale)

Il livello di attendibilità dello studio di microzonazione, in relazione alle informazioni utilizzate, è quindi da ritenersi **medio**.

I risultati della modellazione effettuata, che sono evidentemente condizionati dalla qualità delle informazioni stratigrafiche e sulle caratteristiche geotecniche e sismiche, non devono essere considerati come valori assoluti, ma solo come indicatori della possibilità che si manifestino fenomeni di amplificazione sismica.

Gli studi effettuati confermano il rischio di amplificazione sismica di tipo stratigrafico in tutto il territorio comunale e a luoghi amplificazione topografica.

Occorre quindi che per ogni intervento edilizio siano effettuate indagini geognostiche e geofisiche di approfondimento e specifiche valutazioni del rischio di amplificazione sismica.

## 7. RISULTATI

Ad integrazione delle indagini pregresse sono state realizzate le seguenti nuove indagini geofisiche:

- n° 12 Masw
- n° 12 Hvsr

### 7.1 PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE -MASW

Tutte le indagini Masw hanno raggiunto il bedrock dell'area investigata e quindi hanno permesso di determinare parametri essenziali quali:

- VsH (m/s): velocità delle onde S nei depositi di copertura
- H (m): spessore dei depositi di copertura (profondità del bedrock)
- Vs30 (m/s): velocità delle onde S fino a 30 m di profondità
- Vs sub (m/s): velocità delle onde S nel substrato

Di seguito si riportano in forma schematica i risultati ottenuti.

**Tabella di sintesi delle prove geofisiche MASW di nuova realizzazione**

<b>Tipo e n° di prova</b>	<b>Località</b>	<b>H (m)</b>	<b>VsH (m/s)</b>	<b>Vs30 (m/s)</b>	<b>Vs sub (m/s)</b>
036024L1MASW1	Acquaria	7.7	188	309	<800
036024L2MASW2	Acquaria	16.8	428	519	<800
036024L3MASW3	Montefiorino		390	530	>800
036024L4MASW4	Montecreto	6.2	436	668	>800
036024L5MASW5	Montecreto – Campo Sportivo Kennedy	11.5	380	524	>800
036024L6MASW6	Montecreto – Campo Sportivo Mazzola	25.4	271	305	>800
036024L7MASW7	Montecreto – Municipio	2.5 11.1	177 359	559 599	<800 >800
036024L8MASW8	Magrignana	17.6	410	528	>800
036024L9MASW9	Rovinella	8.1	338	507	<800
036024L10MASW10	Casello	7.3	278	506	<800
036024L11MASW11	Cà di Busotto	4.2	238	547	<800
036024L12MASW12	Le Spiagge	8.1	265	431	<800
036024L13MASW13	Strettara	4.4	238	547	<800
036024L14MASW14	Casa Baratta	4.4	268	593	>800
036024L15MASW15	Montecreto – Le Macchierelle	2.8	376	923	>800
036024L16MASW16	Montecreto – Il Ciocco	2.8	498	1087	>800

H: prof. terreni di copertura, tra parentesi (19.7)\* la prof. del substrato alterato a media bassa velocità –

VsH: velocità onde S dei terreni di copertura, tra parentesi (347) la velocità onde S comprensiva dei terreni di copertura più il substrato alterato a media bassa velocità

Vs30: velocità equivalente onde S nei 30 m - Vs sub: velocità onde S del substrato

## 7.2 ANALISI SISMICA PASSIVA DEI MICROTREMORI – HVSR

Le indagini hanno verificato:

- valore di  $f_0$  corrispondente al picco significativo a più bassa frequenza (fr. di risonanza fondamentale)
- valore di  $f_{1-2}$  corrispondente ad altri picchi significativi a più alta frequenza

Nel caso di spettri in cui sono stati individuati più di un picco di frequenza, quello più significativo è stato scelto in base ai seguenti parametri valutativi in ordine di importanza: - valore di frequenza in funzione alla tipologia edilizia (n° piani), - ampiezza del picco, - bassa frequenza

**Tabella di sintesi delle prove geofisiche – HVSR**

<b>Tipo e n° di prova</b>	<b>Località</b>	<b><math>f_0</math>(hz)</b>	<b>Amp <math>f_0</math> (n°)</b>
036024P15HVSR15	Montecreto – Le Macchierelle	<b>29.59</b>	~ 4
036024P20HVSR20	Cà di Venanzio	<b>3.94</b>	~ 2.5
036024P24HVSR24	Montecreto – Le Macchierelle	<b>10.13</b>	~ 2
036024P30HVSR30	La Sorbella	<b>31.66</b>	~ 3
036024P35HVSR35	Le Borre	<b>25.88</b>	~ 3
036024P36HVSR36	Le Borre	<b>26.69</b>	~ 2.5
036024P63HVSR63	Montecreto	<b>32.5</b>	~ 3
036024P64HVSR64	Montecreto	<b>50</b>	~ 4.2
036024P68HVSR68	Montecreto	<b>2.72</b>	~ 3
036024P69HVSR69	Montecreto	<b>9.81</b>	~ 2
036024P96HVSR96	Montecreto	<b>7.31</b>	~ 2.8
036024P103HVSR103	Montecreto – C sportivo Kennedy	<b>3.28</b>	~ 2.3
036024P104HVSR104	Montecreto – C sportivo Mazzola	<b>8.69</b>	~ 3.8
036024P105HVSR105	Montecreto – Municipio	<b>16.41</b>	~ 4.2
036024P106HVSR106	Magrignana	<b>5.91</b>	~ 2.4
036024P107HVSR107	Rovinella	<b>5.94</b>	~ 2.4
036024P108HVSR108	Casello	<b>7.81</b>	~ 1.7
036024P109HVSR109	Cà di Busotto	<b>12.5</b>	~ 2.9
036024P110HVSR110	Le Spiagge	<b>15</b>	~ 2.2
036024P111HVSR111	Strettara	<b>11.22</b>	~ 2.5
036024P112HVSR112	Casa Baratta	<b>6.47</b>	~ 1.9
036024P113HVSR113	Montecreto – Le Macchierelle	<b>42.19</b>	~ 3
036024P114HVSR114	Montecreto – Il Ciocco	<b>42.16</b>	~ 3.3

f1: frequenza. di risonanza fondamentale – f2: altra freq. di risonanza secondaria - Amp.: ampiezza del picco di freq.

## **8. ELABORATI CARTOGRAFICI**

A corredo dello studio di microzonazione sismica sono state prodotte 9 tavole tematiche a scala 1:5.000/10.000:

1.1-1.2) Carta delle Indagini

2.1-2.2) Carta Geologica-Tecnica

3.1-3.2) Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)

4.1-4.2) Carta di microzonazione sismica, Il Livello - Fattori di amplificazione FA P.G.A.

5.1-5.2) Carta di microzonazione sismica, Il Livello - Fattori di amplificazione FA I.S. 0.1-0.5 s

6.1-6.2) Carta di microzonazione sismica, Il Livello - Fattori di amplificazione FA I.S. 0.5-1 s

7.1-7.2) Carta delle frequenze naturali dei terreni

8.1-8.2) Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)

### **CARTA DELLE INDAGINI – TAV 1.1 – 1.2**

Nella carta delle indagini sono riportate con opportuno simbolo grafico tutte le indagini geognostiche disponibili, reperite dalla bibliografia fornita dall'Amministrazione Comunale, e le nuove eseguite a corredo del presente studio.

Il sottosuolo del territorio comunale è stato indagato per svariati scopi (caratterizzazione geotecnica, sismica, eccetera) nei decenni precedenti. Tutto questo materiale conoscitivo è stato raccolto ed archiviato dal Comune di Montecreto, e dalla Regione Emilia-Romagna. Alcune delle prove di repertorio sono state eseguite con attrezzature fuori standard (fornendo quindi esiti inutilizzabili o non interpretabili), altre sono troppo superficiali per poter essere pienamente usate per gli scopi del presente lavoro. Le prove utilizzate in questo lavoro sono riconoscibili con sigla identificativa:

L'insieme delle conoscenze di sottosuolo di repertorio è stata utilizzata sia per orientare il programma e la localizzazione delle nuove indagini da effettuare, sia per stabilire la tipologia delle prove da realizzare. Infine l'archivio delle prove è stato utile nell'elaborazione dei modelli sismici e, soprattutto, nella loro estrapolazione territoriale.

Importante sottolineare che la distribuzione areale delle nuove prove geofisiche eseguite segue le necessità imposte dalla distribuzione geografica dei principali nuclei abitati, e dalla profondità e qualità del supposto "bedrock sismico".

In particolare sono documentate:

Indagini di repertorio:

- n° 9 Sondaggi a carotaggio continuo
- n° 49 prove penetrometriche dinamiche (32 superpesanti, 4 pesanti, 13 medie)
- n° 3 trincea o pozzetto esplorativo
- n° 4 Masw
- n° 1 Sismica Rifrazione
- n° 11 Hvsr

Indagini di nuova realizzazione:

- n° 12 Masw
- n° 12 Hvsr

I simboli adottati sono i seguenti.

	Sondaggio a carotaggio continuo che intercetta il substrato
	Prova penetrometrica dinamica super pesante
	Prova penetrometrica dinamica pesante
	Prova penetrometrica dinamica media
	Trincea o pozzetto esplorativo
	Verticale vistuale lungo profilo sismico a rifrazione
	Stazione microtremore a stazione singola
	MASW

## CARTA GEOLOGICO TECNICA – TAV 2.1/2.2

Nella Carta geologico tecnica sono rappresentati:

- i terreni copertura, prodotti dalla degradazione meteorica del substrato geologico le faglie e le forme del dissesto;
- i terreni e le rocce del substrato geologico, con in evidenza la natura litologica dei diversi substrati costituenti le aree indagate.
- Per quanto riguarda le forme del dissesto, al fine di mantenere una certa coerenza normativa, sono state cartografate tutte quelle censite sulla carta del PTCP della Provincia di Modena; a queste sono state aggiunte, in via cautelativa, laddove presenti, quelle aree in dissesto cartografate sulla Carta Geologica Regionale (Carg).

Di seguito la legenda della Carta Geologica-Tecnica.

Terreni di copertura		Instabilità di versante	
	Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia di conoide alluvionale		scorrimento – attiva
	Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo di terrazzo fluviale		colata – attiva
	Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo di falda detritica		complessa – attiva
	Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo di ambiente non definito		scorrimento – quiescente
	Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla di falda detritica		colata – quiescente
	Sabbie limose, miscela di sabbia e limo di Loess		complessa – quiescente
	Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghialose o sabbiose, argille limose, argille magre di falda detritica		scorrimento – non definita
			non definito – non definita
Substrato geologico		Elementi tettonico strutturali	
	Lapideo		Faglia inversa non attiva (certa)
	Lapideo stratificato		Faglia inversa non attiva (incerta)
	Lapideo stratificato con amplificazione topografica		Faglia trascorrente/obliqua non attiva (certa)
	Coesivo sovraconsolidato		Faglia trascorrente/obliqua non attiva (incerta)
	Coesivo sovraconsolidato stratificato		Giacitura degli strati
	Coesivo sovraconsolidato stratificato con amplificazione topografica	Elementi geologici e idrogeologici	
	Alternanza di litotipi stratificato		Pozzo o sondaggio che ha raggiunto il substrato geologico (profondità in m)
	Alternanza di litotipi stratificato con amplificazione topografica		Traccia di sezione geologica significativa e rappresentativa del modello del sottosuolo
Forme di superficie e sepolte		Altri elementi cartografati	
	Falda detritica		Confine comunale
	Cresta		Limite area d'indagine

### Terreni di copertura

I prodotti della degradazione meteorica delle Formazioni presenti nelle zone indagate possono sostanzialmente essere tutti indicati con le sigle:

- **GP-GM-GC**: ghiaie, ghiaie e sabbie, ghiaie argillose, di conoide alluvionale, di terrazzo alluvionale, di falda detritica.
- **SM**: sabbie limose di Loess.
- **CL**: argille inorganiche di media plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre.

Terreni di copertura derivanti per lo più dalla degradazione meteorica delle seguenti Unità: Arenarie di Monte Cervarola (CEV), Marne del Monte San Michele (MSM) Argille di Fiumalbo (FIU) Formazione di Monghidoro (MOH) Formazione di Monte Venere (MOV) Arenarie di Scabiazza (SCB) Argille a Palombini (APA).

### Substrato geologico

A seconda del contesto geologico e delle caratteristiche litostratigrafiche della formazioni, quest'ultime rientrano in diverse classi. Si tratta di formazioni per lo più fortemente eterogenee e pertanto con comportamento sismico anche differente.

**LP – Lapideo**: rocce dure, massive.

Serpentine: Peridotiti lherzolitiche serpentizzate, di colore scuro, verde chiaro all'alterazione, talora brecciate

**LPS – Lapideo stratificato**: rocce dure stratificate prevalentemente arenacee, calcaree e alternanza di litotipi.

Marne del Monte San Michele (MSM)

**CO – Coesivo sovraconsolidato**: terreni poco cementati, coesivi sovraconsolidati, coesivi sovraconsolidati stratificati, rocce tenere prevalentemente argillose e/o marnose, pelitico-arenacee o breccie argillose.

Argille a Palombini (APA), Argilliti variegata con calcari (AVC), Argille variegata di Grizzana Morandi (AVT) Breccie argillose poligeniche (BAP) Marne di Marmoreto (MMA)

**COS – Coesivo sovraconsolidato stratificato**: terreni poco cementati, coesivi sovraconsolidati, coesivi sovraconsolidati stratificati.

Argille di Fiumalbo (FIU).

**ALS – Alternanza di litotipo stratificato**: rocce costituite da alternanze con livelli lapidei prevalenti e alternanze tra livelli lapidei e livelli pelitici.

Arenarie di Monte Cervarola (CEV), Formazione di Monghidoro (MOH), Marne del Monte San Michele (MSM), Formazione di Monte Venere (MOV).

L'area cartografata è stata limitata come estensione all'interno delle aree d'indagine concordate con il Comune di Montecreto ed è pertanto coincidente con la carta di primo livello delle MOPS (Microzone omogenee in prospettiva sismica).

Note di rappresentazione grafica (concordate con il Dott. Martelli Luca del Servizio Geologico RER):

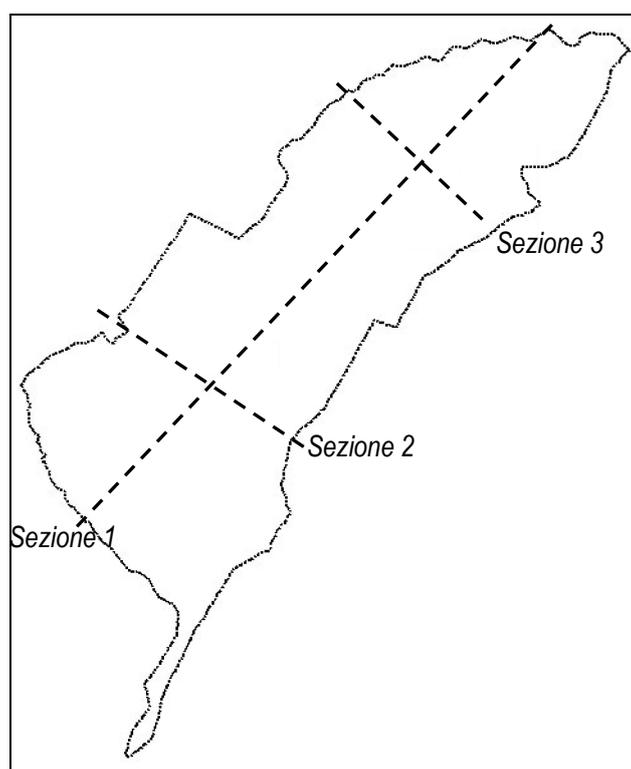
- 1) In Legenda, seppur non previsti dagli Standard di rappresentazione, sono stati riportati anche i codici relativi agli ambienti genetico-deposizionali dei terreni di copertura.
- 2) Vengono evidenziate, con un sovrassegno rigato nero, le aree soggette ad amplificazione topografica.

### SEZIONI GEOLOGICHE

Le zone indagate sono corredate da sezioni geologiche significative, in numero adeguato orientate sia trasversalmente sia longitudinalmente ai principali elementi geologici.

Le sezioni permettono di ben schematizzare, le caratteristiche morfometriche e il modello geologico-strutturale generale delle aree in studio, evidenziando gli assetti formazionali, i contatti tettonici tra le diverse Unità, i depositi superficiali principali.

Sono state rappresentate 3 sezioni geologiche per la rappresentazione strutturale del sottosuolo del territorio comunale di Montecreto.



### **CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS) – TAV. 3.1/3.2**

Il moto sismico di un determinato territorio è direttamente influenzato dalle condizioni geologiche e morfologiche locali.

Alcuni depositi e forme morfologiche possono amplificare il moto sismico in superficie e favorire fenomeni d'instabilità dei terreni quali cedimenti, frane o fenomeni di liquefazione. Queste modificazioni dovute alle caratteristiche locali sono comunemente definite "effetti locali".

Esiste ormai un generale accordo su quali depositi e forme del paesaggio possono, durante o a seguito di un terremoto, determinare amplificazioni del moto sismico in superficie o concorrere a modificare in maniera permanente l'assetto del territorio causando cedimenti, franamenti e rotture del terreno.

Le conoscenze territoriali oggi disponibili, soprattutto grazie alle carte geologiche, alle banche dati geognostiche, alle carte topografiche e ai modelli digitali del terreno, permettono la rapida individuazione degli elementi geologici e morfologici che possono favorire gli effetti locali.

La Carta delle aree suscettibili di effetti locali o delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS); è il documento fondamentale del primo livello di approfondimento.

Le microzone presenti nella Carta sono classificate in tre categorie:

a) **zone stabili**, nelle quali non si ipotizzano effetti locali significativi di alcuna natura, se non lo scuotimento, funzione dell'energia e della distanza dell'evento; il moto sismico non viene modificato (litotipi assimilabili al substrato rigido in affioramento con morfologia pianeggiante o poco acclive); sono le zone dove è affiorante il bedrock sismico con morfologia pianeggiante o poco inclinata (pendii con inclinazione inferiore a circa 15°-20°).

In queste zone non sono quindi richiesti ulteriori approfondimenti;

b) **zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**, nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico, come effetto dell'assetto litostratigrafico e morfologico/topografico locale.

In alcune aree indagate può essere presente l'effetto di amplificazione topografica.

Per l'amplificazione: litostratigrafica vengono distinte diverse zone sulla base degli spessori dei terreni di copertura e della natura.

Per le zone di questa categoria sono definiti numericamente dei valori dei fattori di amplificazione delle accelerazioni FA; in tali zone sono presenti terreni di copertura, coltri di alterazione del substrato, substrato molto fratturato o substrato caratterizzato da velocità di propagazione delle onde di taglio ( $V_s < 800$  m/s) con spessori superiori ai 5 m; le litologie alle quali si assimilano quelle presenti sul territorio sono:

– terreni a comportamento granulare: ghiaia, ghiaia/sabbiosa-sabbia/ghiaiosa, sabbia, sabbia/limosa-limo/sabbioso;

- terreni a comportamento coesivo: limo, limo/argilloso-argilla/limosa e argilla;
- deposito alluvionale a granulometria mista o indistinta;
- detrito di versante (su pendio con acclività < 15°-20°) a granulometria mista o indistinta;
- coltre di substrato alterato o intensamente fratturato;
- substrato caratterizzato da  $V < 800$  m/s;

c) **zone suscettibili di instabilità**, nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti, oltre i fenomeni di amplificazione, sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio.

Le zone cartografate identificano un'unica categoria di effetti deformativi:

- instabilità di versante distinte per tipo di frana (crollo o ribaltamento; scorrimento, colata, frana complessa) e per attività (attiva, quiescente, inattiva);

Sul territorio indagato non sono presenti effetti quali: liquefazione, cedimenti differenziali, faglie attive e capaci, forme di superficie, forme/elementi sepolti in grado di determinare deformazioni permanenti.

Nelle aree in studio il principale e unico tipo di instabilità atteso risulta quindi:

- *instabilità di versante in presenza di pendii instabili e potenzialmente instabili.*

In queste zone sono richiesti approfondimenti di terzo livello.

Vengono distinte diverse tipologie di fenomeni gravitativi:

- frane per colata
- frane per scivolamento
- frane complesse

e due condizioni di attività:

- attiva
- quiescente

La zonazione del territorio sulla base della risposta sismica del terreno è uno dei più efficaci strumenti di definizione e rappresentazione della pericolosità sismica e, quindi, di prevenzione e riduzione del rischio sismico, poiché fornisce un contributo essenziale per l'individuazione delle aree a maggiore pericolosità sismica e agevola la scelta delle aree urbanizzabili con minor rischio e la definizione degli interventi ammissibili.

La carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica è stata realizzata secondo le procedure indicate negli *“Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica”* (D.A.L. 112/2007).

I dati di base disponibili utilizzati sono:

- Carta geologico tecnica (Tav. 2);
- Sezioni geologiche;
- legenda della Carta geologica Appennino emiliano-romagnolo 1:10.000 per il territorio provinciale di Modena (Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli);
- banca dati della Carta geologica della Regione Emilia-Romagna (Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli);
- indagini geognostiche esistenti;
- indagini sismiche nuove realizzate per il presente studio

Dalla cartografie tematiche e dalle indagini sopra citate sono stati individuate i seguenti dati:

1. Tipo, spessore e natura dei terreni di copertura;
2. Tipo e natura del substrato geologico;
3. Forme del dissesto: frane attive, frane quiescenti e falde detritiche;
4. Sovrascorrimenti e faglie; sono stati rappresentati i principali limiti tettonici, in quanto è possibile che questi mettano a contatto litologie con caratteristiche meccaniche molto diverse e che, all'intorno di questi contatti, si possano verificare, oltre all'amplificazione, anche cedimenti differenziali.

Nella carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica, sono state individuate, sulla base delle caratteristiche della copertura e del substrato geologico, **4 zone stabili e 10 zone stabili suscettibili di amplificazione locale e 4 zone di attenzione per instabilità:**

### ZONE STABILI

Zone stabili	
1011	Lapideo stratificato
1012	Lapideo non stratificato
1031	Coesivo sovraconsolidato stratificato
1041	Alternanza di litotipi stratificato

Queste zone comprendono le aree caratterizzate da substrato geologico lapideo, lapideo stratificato, coesivo sovraconsolidato stratificato e alternanze di litotipi stratificati ( $V_{s_{sub}} > 800$  m/s) affiorante o subaffiorante (<3m).

Rientrano in questa zona le seguenti formazioni geologiche affioranti:

Arenarie di Monte Cervarola (CEV), Marne del Monte San Michele (MSM) Argille di Fiumalbo (FIU)

**ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI****Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**

2001

Zona 1 – Aree caratterizzate da substrato geologico costituito da Alternanza di litotipi stratificato con  $V_{sub} < 800$  m/s subaffiorante o situato a profondità  $< 3$  m dal p.d.c.

2002

Zona 2 – Aree caratterizzate da substrato geologico Coesivo sovraconsolidato con  $V_{sub} < 800$  m/s subaffiorante o situato a profondità  $< 3$  m dal p.d.c.

2003

Zona 3 – Aree caratterizzate da substrato geologico di varia natura (alternanza di litotipi stratificato, lapideo, lapideo stratificato, coesivo sovraconsolidato stratificato) con  $V_{sub} > 800$  m/s sovrastato da terreni di copertura con spessori compresi tra 3 e 5 m e VSH variabili da 238 a 268 m/s

2004

Zona 4 – Aree caratterizzate da substrato geologico di varia natura (alternanza di litotipi stratificato, lapideo, lapideo stratificato, coesivo sovraconsolidato stratificato) con  $V_{sub} > 800$  m/s sovrastato da terreni di copertura con spessori compresi tra 5 e 10 m e VSH variabili da 300 a 320 m/s

2005

Zona 5 – Aree caratterizzate da substrato geologico di varia natura (alternanza di litotipi stratificato, lapideo, coesivo sovraconsolidato stratificato) con  $V_{sub} > 800$  m/s sovrastato da terreni di copertura con spessori compresi tra 10 e 25 m e VSH pari a circa 360 m/s

2006

Zona 6 – Aree caratterizzate da substrato geologico di varia natura (Alternanza di litotipi stratificato e coesivo sovraconsolidato) con  $V_{sub} < 800$  m/s sovrastato da terreni di copertura con spessori compresi tra 3 e 5 m e VSH pari a 240 m/s

2007

Zona 7 – Aree caratterizzate da substrato geologico di varia natura (Alternanza di litotipi stratificato e coesivo sovraconsolidato) con  $V_{sub} < 800$  m/s sovrastato da terreni di copertura con spessori compresi tra 5 e 10 m e VSH pari a circa 255 m/s

2008

Zona 8 – Aree con substrato lapideo stratificato affiorante ma con amplificazioni topografiche

2009

Zona 9 – Aree con substrato coesivo sovraconsolidato stratificato affiorante ma con amplificazioni topografiche

2010

Zona 10 – Aree con substrato costituito da alternanze di litotipi stratificato affiorante ma con amplificazioni topografiche

Si tratta di zone caratterizzate da substrato con  $V_{sub} < 800$  m/s subaffiorante o situato a prof  $< 3$  m, substrato di varia natura con  $V_{sub} > 800$  m/s o  $V_{sub} < 800$  m/s sovrastato da terreni di copertura con spessori variabili e compresi tra 3 fino a 25 m con  $V_{SH}$  variabili tra 230 m/s e 360 m/s.

Vengono poi cartografate aree con substrato di varia natura affiorante con amplificazioni topografiche.

Sono state considerate aree nell'intorno di Montecreto come creste appuntite e altre aree come scarpate con inclinazione  $> 20^\circ$ .

Rientrano in questa zona le seguenti formazioni geologiche:

Formazione di Monghidoro (MOH)

Formazione di Monte Venere (MOV)

Arenarie di Scabiazza (SCB) Argille a

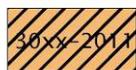
Palombini (APA) Argilliti variegata con

calcarei (AVC), Argille variegata di

Grizzana Morandi (AVT) Breccie argillose

poligeniche (BAP) Marne di Marmoreto

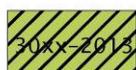
(MMA).

**ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITÀ****Zone di attenzione per instabilità**

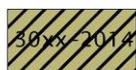
Zona 11 – Aree caratterizzate da depositi di frana con spessori fino a 10 m con VSH variabili da 225 a 275 m/s e substrato geologico con  $V_{sub} < 800$  m/s.



Zona 12 – Aree caratterizzate da depositi di frana con spessori compresi tra 10 m e 25 m con VSH variabili da 275 a 325 m/s e substrato geologico con  $V_{sub} < 800$  m/s.



Zona 13 – Aree caratterizzate da depositi di frana con spessori fino a 10 m con VSH variabili da 275 a 325 m/s e substrato geologico con  $V_{sub} > 800$  m/s.



Zona 14 – Aree caratterizzate da depositi di frana con spessori compresi tra 10 m e 25 m con VSH variabili da 325 a 375 m/s e substrato geologico con  $V_{sub} > 800$  m/s.

Nelle stesse aree d'indagine sono state inoltre individuate tutte le **zone suscettibili d'instabilità e le forme di superficie:**

- Instabilità di versante: Attiva;
- Instabilità di versante: Quiescente;

## CARTE DELLA MICROZONAZIONE SISMICA – TAV. 4-5-6

Nelle carte della microzonazione sismica di 2° livello, viene quantificato il parametro FA di amplificazione stratigrafica.

Il metodo utilizzato è quello suggerito nella DAL 112/2007 RER, Allegato A2, di cui "Approvazione dell'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".

La Delibera regionale, propone un'analisi semplificata al secondo livello di approfondimento con lo scopo di valutare l'effettivo grado di pericolosità sismica locale. Essa suggerisce la definizione delle amplificazioni locali sulla base delle tabelle allegate in appendice al documento e riferite a grandi situazioni morfologico-stratigrafiche ("secondo livello" di analisi).

Tale livello di approfondimento prevede la determinazione dei coefficienti di amplificazione sismica impiegando le tabelle e le formule dell'Allegato A2 (A2.1.1 e A2.1.2) che permettono di calcolare i fattori di amplificazione sismica rispetto ad un suolo di riferimento.

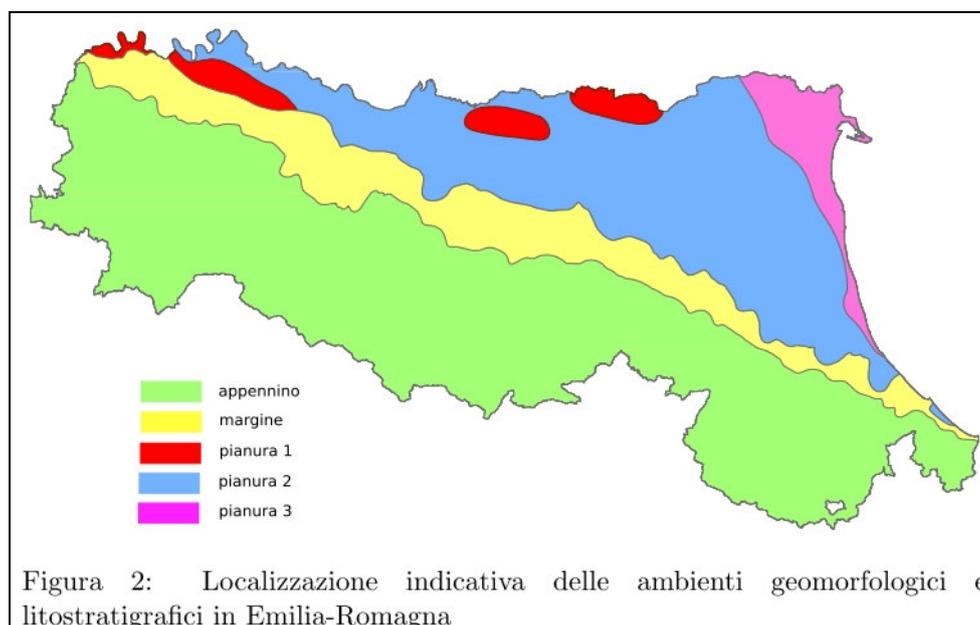
Recentemente (Settembre 2015), le Tabelle della Dal 112/07 sono state oggetto di una opportuna revisione nel lavoro prodotto dal CNR – Istituto per la dinamica dei processi ambientali di Milano dal titolo "Abachi per la valutazione dei fattori di amplificazione per le indagini di microzonazione sismica di secondo livello in Emilia-Romagna" (A. Tenta, L. Martelli, A. Marcellini).

Questo studio ha rivisto la suddivisione del territorio regionale in ambiti geo-litologici omogenei.

Nel territorio regionale sono stati individuati due ambienti geo-litologici omogenei principali relativi a:

- 1) zona collinare e montana (Appennino) e 2) pianura e zona costiera che comprende anche il settore di transizione Appennino-Pianura (Margine).

La Figura seguente riporta schematicamente questa suddivisione.



Tratta da: "Abachi per la valutazione dei fattori di amplificazione per le indagini di microzonazione sismica di secondo livello in Emilia-Romagna" CNR (A. Tenta, L. Martelli, A. Marcellini).

Sulla base di quanto sopra riportato e in considerazione delle risultanze delle indagini svolte, l'area in studio rientra nel:

**Ambiente APPENNINO** Questo ambiente è caratterizzato da depositi alluvionali con spessori fino a 50 metri che sovrastano due tipologie di substrato geologico.

In particolare sono state individuate tre casi:

1. depositi di copertura, con spessori fino a 50 metri, sovrastanti il sub-strato geologico rigido (depositi marini generalmente caratterizzati da  $V_s > 800\text{m/s}$ )
2. depositi di copertura, con spessori fino a 50 metri, sovrastanti il substrato marino non rigido (depositi marini caratterizzati da  $V_s < 800\text{m/s}$ )
3. substrato marino non rigido affiorante o sub affiorante (ovvero depositi marini caratterizzati da  $V_s < 800\text{m/s}$ , con spessore della copertura o della coltre di alterazione inferiore a 2.5 m)

Per quanto riguarda i casi 1 e 2, i fattori di amplificazione sono in funzione della spessore totale dei depositi, ovvero della profondità del bedrock, H e della corrispondente velocità media  $V_sH$ .

Nel caso 3, che non prevede la presenza di terreni di copertura di spessore rilevante ( $H < 2.5\text{m}$ ), il parametro considerato è  $V_{s30}$ , con valori a partire da 350 m/s.

Nelle tabelle seguenti sono riportati per ogni ambito relativo all'ambiente Appennino:

- profili medi di VS che caratterizzano ogni caso.
- rapporto fra gli spettri di risposta in accelerazione, con smorzamento 5%, calcolati sulla superficie dei profili medi e quello relativo al suolo A. Sono inoltre riportati i fattori di amplificazione dei profili medi. Si noti che i valori indicati possono differire da quelli delle tabelle poiché quest'ultimi sono relativi a 84 percentile dei valori ottenuti considerando la variabilità della risposta sismica relativa ai profili sismici.
- fattori di amplificazione ottenuti con le attuali elaborazioni.

I Fattori di Amplificazione sismica (F.A.) sono relativi a due parametri rappresentativi dello scuotimento sismico.

Il primo è l'accelerazione di picco orizzontale (PGA), il secondo è l'intensità spettrale SI.

- **F.A. P.G.A.** - rapporto tra la massima ampiezza dell'accelerazione su affioramento rigido ( $a_{max,r}$ ) e la massima ampiezza dell'accelerazione alla superficie del deposito ( $a_{max,s}$ ) alla frequenza f. Il fattore di amplificazione dipende dalla frequenza di eccitazione armonica, dal fattore di smorzamento D e dal rapporto tra l'impedenza sismica, prodotto tra densità-velocità, della roccia base e quella del deposito.
- **F.A. S.I.** - Intensità spettrale di Housner - indicatore della pericolosità sismica, è definito come l'area sottesa dello spettro di risposta di pseudovelocità, nel nostro caso per i due intervalli di frequenze, rispettivamente da  $0.1\text{s} \leq T_0 \leq 0.5\text{s}$ ,  $0.5\text{s} \leq T_0 \leq 1.0\text{s}$  e  $0.5\text{s} \leq T_0 \leq 1.5\text{s}$ .

È stato considerato uno smorzamento  $\xi$  del 5 % e sono stati valutati tre intervalli di periodo proprio  $T_0$  ottenendo tre valori di intensità spettrale:

$S_{I1} : 0.1s \leq T_0 \leq 0.5s$

$S_{I2} : 0.5s \leq T_0 \leq 1.0s$

$S_{I3} : 0.5s \leq T_0 \leq 1.5s$

Di seguito si riportano le tabelle di calcolo per le diverse situazioni presenti nell'area in studio.

**Tabelle Appennino**

	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1.8	1.7	1.4	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
10	2.0	2.0	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
15	2.0	2.0	2.0	1.9	1.8	1.6	1.4	1.3	1.2	1.0
20	2.0	2.0	2.0	2.0	1.9	1.7	1.6	1.4	1.3	1.0
25	2.0	2.0	2.0	1.9	1.8	1.8	1.6	1.5	1.3	1.0
30		1.9	1.9	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.2
35		1.9	1.9	1.9	1.9	1.7	1.6	1.4	1.4	1.2
40		1.9	1.9	1.9	1.9	1.7	1.6	1.4	1.4	1.2
50		1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.6	1.4	1.4	1.2

Tabella 1: Substrato marino caratterizzato da  $V_s \geq 800m/s$ . Fattori di Amplificazione PGA. Colonna 1  $H(m)$ , riga 1  $V_{sH}(m/s)$

	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1.5	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
10	2.1	2.0	1.6	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
15	2.4	2.3	2.1	1.7	1.4	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0
20	2.4	2.4	2.3	2.0	1.7	1.5	1.3	1.2	1.1	1.0
25	2.4	2.4	2.4	2.2	1.9	1.7	1.5	1.3	1.2	1.0
30		2.4	2.4	2.3	2.1	1.8	1.6	1.5	1.3	1.1
35		2.3	2.3	2.3	2.2	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2
40		2.2	2.2	2.2	2.2	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2
50		2.1	2.1	2.1	2.1	2.0	1.8	1.6	1.5	1.3

Tabella 2: Substrato marino caratterizzato da  $V_s \geq 800m/s$ . Fattori di Amplificazione  $S_{I1}$  ( $0.1s \leq T_0 \leq 0.5s$ ). Colonna 1  $H(m)$ , riga 1  $V_{sH}(m/s)$

	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
10	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
15	1.6	1.4	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
20	2.6	1.9	1.5	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
25	2.9	2.5	1.9	1.4	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0
30		2.9	2.3	1.6	1.4	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0
35		3.2	2.8	1.9	1.5	1.4	1.2	1.1	1.1	1.0
40		3.4	3.1	2.4	1.8	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0
50		3.2	3.2	2.9	2.2	1.9	1.6	1.4	1.3	1.1

Tabella 3: Substrato marino caratterizzato da  $V_s \geq 800m/s$ . Fattori di Amplificazione  $S_{I2}$  ( $0.5s \leq T_0 \leq 1.0s$ ). Colonna 1  $H(m)$ , riga 1  $V_{sH}(m/s)$

	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2.3	2.0	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	
10	2.3	2.2	2.0	1.8	1.6	1.4	1.3	1.3	1.2	
15	2.2	2.2	2.1	2.0	1.8	1.6	1.4	1.3	1.2	
20	2.1	2.1	2.1	2.0	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	
25	2.1	2.1	2.1	2.0	1.9	1.8	1.6	1.4	1.3	
30		2.1	2.1	2.0	1.9	1.8	1.6	1.4	1.3	
35		2.1	2.1	2.0	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2
40		2.0	2.0	2.0	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2
50		1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2

Tabella 4: Substrato marino caratterizzato da  $V_s < 800m/s$ . Fattori di Amplificazione PGA. Colonna 1  $H(m)$ , riga 1  $V_{sH}(m/s)$

	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2.1	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	
10	2.6	2.3	1.9	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.3	
15	2.7	2.6	2.3	1.9	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	
20	2.6	2.6	2.4	2.1	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	
25	2.6	2.6	2.5	2.3	2.0	1.7	1.6	1.4	1.3	
30		2.4	2.4	2.3	2.1	1.8	1.6	1.5	1.3	
35		2.4	2.4	2.3	2.2	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2
40		2.2	2.2	2.2	2.2	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2
50		2.1	2.1	2.1	2.1	2.0	1.8	1.6	1.5	1.3

Tabella 5: Substrato marino caratterizzato da  $V_s < 800m/s$ . Fattori di Amplificazione  $S_{I1}$  ( $0.1s \leq T_0 \leq 0.5s$ ). Colonna 1  $H(m)$ , riga 1  $V_{sH}(m/s)$

	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	
10	1.8	1.6	1.4	1.4	1.3	1.4	1.3	1.3	1.3	
15	2.3	1.9	1.6	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	
20	2.9	2.6	1.9	1.6	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	
25	3.6	3.0	2.3	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	
30		3.3	2.7	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	
35		3.5	3.0	2.2	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	1.1
40		3.5	3.2	2.6	2.0	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2
50		3.3	3.3	3.0	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5	1.3

Tabella 6: Substrato marino caratterizzato da  $V_s < 800m/s$ . Fattori di Amplificazione  $S_{I2}$  ( $0.5s \leq T_0 \leq 1.0s$ ). Colonna 1  $H(m)$ , riga 1  $V_{sH}(m/s)$

$V_{s30}(m/s) \rightarrow$	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
F.A. PGA					1.9	1.8	1.6	1.4	1.2	1.1
F.A. $S_{I1}$					1.9	1.7	1.6	1.4	1.3	1.2
F.A. $S_{I2}$					1.5	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3

Tabella 7: Substrato marino caratterizzato da  $V_s < 800m/s$  affiorante. Fattori di Amplificazione PGA,  $S_{I1}$  e  $S_{I2}$

Tratta da: "Abachi per la valutazione dei fattori di amplificazione per le indagini di microzonazione sismica di secondo livello in Emilia-Romagna" CNR (A. Tento, L. Martelli, A. Marcellini).

Le zone sono individuate in ordine crescente di pericolosità sismica:

Di seguito la legenda della carta che individua le zone distinte per range di valori di FA ( $FA_{pga}$ , FA 0.1-0.5 s, FA 0.5-1 s).

L'amplificazione litostratigrafica è stata quindi quantificata in termini di parametri di:

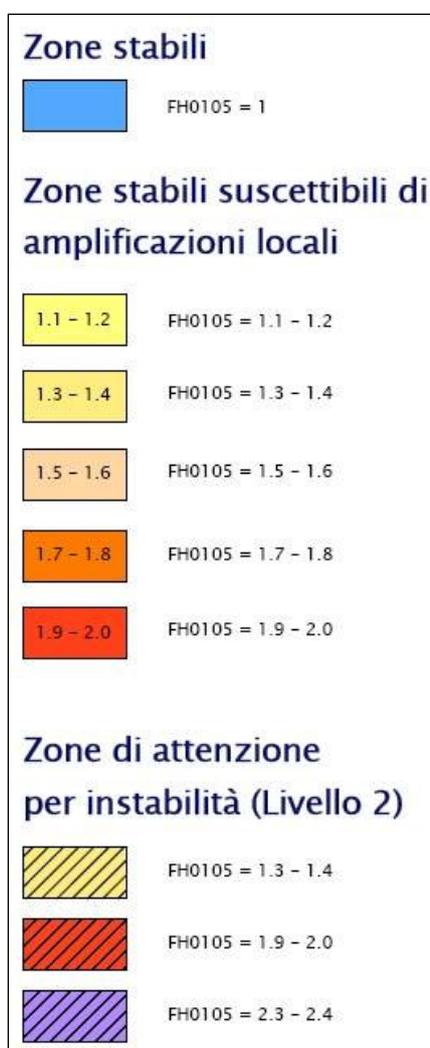
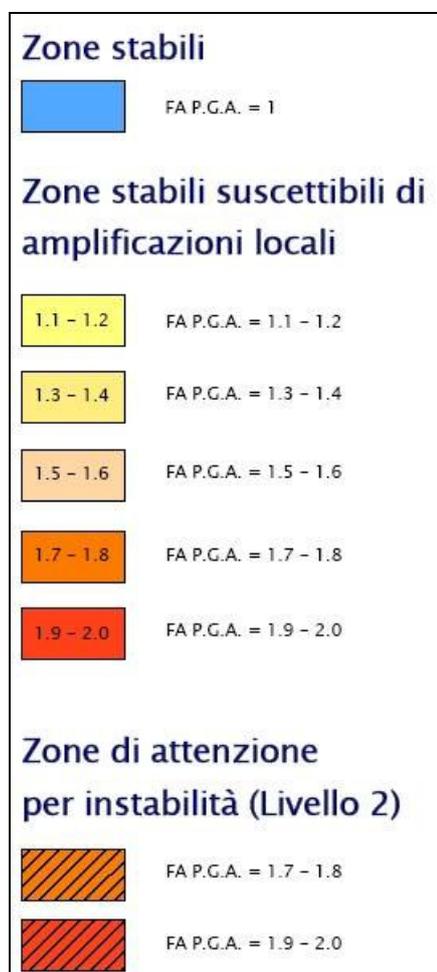
- $FA_{pga}$ , FA 0,1-0,5s, FA 0,5-1s.

Di seguito la legenda delle carte di microzonazione sismica di 2° livello con i diversi valori di FA ( $FA_{pga}$ , FA 0.1-0.5 s, FA 0.5-1 s).

### PGA

### I.S. 0.1-0.5s

### I.S. 0.5-1s



Si sottolinea che la scelta degli abachi per la stima dell'amplificazione non è dipesa dalle sole caratteristiche litologiche e morfologiche delle aree ma è stata attentamente valutata sulla base delle caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo, in particolare della profondità del substrato rigido. Sono state tenute in debita considerazione sia la Carta delle MOPS che la Carta delle frequenze naturali dei terreni.

L'analisi congiunta dei valori puntuali dei fattori di amplificazione e delle conoscenze geologiche e litostratigrafiche delle aree studiate, ha permesso una valutazione areale dell'andamento dei fattori stessi con conseguente individuazione di diverse zone con ranges di valori crescenti.

### ***Fattore di amplificazione topografica***

Oltre al parametro FA di amplificazione stratigrafica è necessario considerare il fattore ST di amplificazione topografica.

Completano quindi la carta di microzonazione sismica le zone stabili suscettibili di amplificazioni topografiche.

Nel presente studio si fa riferimento agli ICMS 2008 del Dipartimento di Protezione Civile.

Nel territorio comunale di Montecreto indagato si assume la presenza di amplificazione topografica solo in alcune zone nei pressi dell'abitato del capoluogo.

- 1) versante (scarpata) con acclività media compresa tra 20°-40° con dislivello >40 m.
- 2) creste appuntite, configurazioni geometriche bi-tridimensionali (creste, dorsali allungate, cucuzzoli) di varie dimensioni.

I valori di St sono compresi tra 1.1÷1.3.

### ***Note di rappresentazione grafica (concordate con il Dott. Martelli Luca della RER)***

- 1) Alcune aree stabili (di colore blu) cartografate nella Carta delle MOPS, diventano, nelle Carte di Microzonazione di 2° livello, stabili suscettibili di amplificazioni topografiche (colore giallo).
- 2) Sulla carta di Microzonazione Sismica di 2° livello vengono riportati graficamente, per le diverse zone, i valori del fattore FA.
- 3) Per le zone instabili, in mancanza di indagini geofisiche dirette, la distinzione della microzona omogenea nella Carta delle Mops e conseguentemente l'individuazione del fattore FA, viene condotta su base geomorfologica e per assimilazione a contesti geologici confrontabili attigui.

## CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI DEI TERRENI – TAV 7.1-7.2

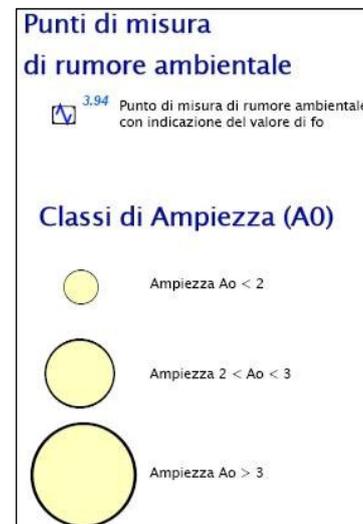
Questa tavola deriva da indagini di sismica passiva (rumore ambientale) a stazione singola con tecnica HVSR.

I dati ottenuti dalle elaborazioni di tali indagini, attraverso l'analisi dei rapporti spettrali tra le componenti orizzontali e la componente verticale dello strumento, consentono infatti di definire le modalità di vibrazione del terreno ed individuare:

- la frequenza di risonanza fondamentale (valore  $f_0$ ) corrispondente al picco significativo
- ampiezza (A) dei rapporti spettrali in corrispondenza delle frequenze individuate.

Come già detto, nel caso di spettri in cui sono stati individuati più di un picco di frequenza, quello più significativo è stato scelto in base ai seguenti parametri valutativi in ordine di importanza:

- valore di frequenza in funzione alla tipologia edilizia (n° piani)
- ampiezza del picco
- bassa frequenza



Considerando che sussiste una correlazione diretta (anche se non lineare) tra i fenomeni di “risonanza” e l'amplificazione del moto del suolo in concomitanza di sollecitazione sismica (effetti di sito), risulta evidente l'utilità di detta tipologia di indagine per individuare, come previsto dal primo livello di approfondimento degli Indirizzi e Criteri di Microzonazione Sismica, le aree a maggior rischio di doppia risonanza in relazione alla tipologia edilizia.

Dall'analisi dei risultati ottenuti, in generale si osserva che:

- n° 14 Hvsr presentano picchi principali ad alta frequenza (>9Hz compresi tra 9.8-50 Hz)
- n° 6 Hvsr presentano picchi principali a media frequenza (4÷9 Hz)
- n° 3 Hvsr presenta picco principale a bassa frequenza (2÷4 Hz)

I risultati vengono poi distinti sulla base di alti o bassi contrasti di impedenza alla base delle coperture grazie alla quantificazione numerica dell'ampiezza massima della curva HVSR.

Si sono individuate tre classi (distinte sulla carta):

Ampiezza  $A_0 < 2$  (n° 4 Hvsr) – basso contrasto di impedenza

Ampiezza  $2 < A_0 < 3$  (n° 14 Hvsr) – basso/medio contrasto di impedenza

Ampiezza  $A_0 > 3$  (n° 5 Hvsr) – medio/alto contrasto di impedenza

Non si è ritenuto opportuno creare classi di frequenza o aree omogenee di ugual frequenza ma si sono mantenuti i valori puntuali delle indagini.

Come si può osservare generalmente i picchi non presentano ampiezze nette e/o elevate.

Dall'osservazione dei dati ottenuti si consiglia, in fase di studio esecutivo di ogni singola area d'intervento edilizio, di eseguire indagini HVSR d'approfondimento al fine di meglio individuare e dettagliare possibili frequenze di risonanza del terreno di fondazione potenzialmente interferenti con il modo fondamentale di vibrare delle strutture in elevazione.

Le frequenze di risonanza sono dovuti indicativamente ai seguenti spessori/profondità dei contrasti di rigidità del terreno:

- $f_0 < 1$  Hz (spessori attesi  $> 100$  m)
- $1 < f_0 < 2$  Hz (spessori attesi  $100 \div 30$  m)
- $2 < f_0 < 8$  Hz (spessori attesi  $30 \div 10$  m)
- $f_0 > 8$  Hz (spessori attesi  $< 10$  m)

In linea generale e indicativamente i valori che possono generare effetti di doppia risonanza sono compresi tra 2 Hz (capannoni e/o fabbricati alti 4-5 piani) e 12 Hz (fabbricati bassi di 1 piano).

### CARTA DELLE VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO S ( $V_s$ ) – TAV 8.1-8.2

Nella carta delle velocità  $V_s$  sono indicate con opportuno simbolo grafico le indagini geofisiche MASW.



Trattandosi di aree di montagna caratterizzate dalla presenza di depositi di copertura e di spessori anche ampi di alterazione posti a tetto del bedrock sismico, il parametro discriminante è senz'altro il valore di  $V_sH$ .

Per ogni punto di misura sono stati calcolati i seguenti valori (vedi Tab. del Cap. 7.1)

$V_sH$  (m/s):    velocità delle onde S nei depositi di copertura e negli spessori di substrato alterato e detensionato

H (m):            spessore dei depositi di copertura (profondità del bedrock)

$V_s30$  (m/s):    velocità delle onde S fino a 30 m di profondità

$V_s$  sub (m/s):    velocità delle onde S nel substrato

Dall'analisi dei risultati ottenuti, in generale si osserva che:

- le  $V_s30$  ricadono in un range molto ampio compreso tra  $305 \div 1087$  m/s;
- la gran parte delle indagini forniscono valori compresi tra  $430 \div 670$  m/s;

- le velocità del substrato ( $V_{s_{sub}}$ ) variano tra valori considerati tipici di substrato sismico rigido (>800 m/s, Arenarie di Monte Cervarola CEV, Marne del Monte San Michele MSM Argille di Fiumalbo FIU) e valori di substrato non rigido (<800 m/s, Formazione di Monghidoro MOH, Formazione di Monte Venere MOV, Arenarie di Scabiazza SCB, Argille a Palombini APA, Argilliti variegata con calcari AVC, Argille variegata di Grizzana Morandi AVT, Breccie argillose poligeniche BAP, Marne di Marmoreto MMA).
- gli spessori considerati di “copertura” sono variabili e compresi tra 2/3÷25.4 m, mediamente però tra 4-8 m;
- le velocità medie delle coperture ( $V_sH$ ) sono comprese tra 188÷498 m/s.

È opportuno evidenziare che in talune situazioni sono stati rilevati elevati spessori di terreni di substrato alterato, fratturato e/o detensionato, caratterizzati da velocità delle onde S comprese tra 400-500 m/s).

Data l'importanza dello spessore delle coperture (H) e anche del substrato alterato, in riferimento all'amplificazione del moto sismico, questo fattore andrà meglio dettagliato per ogni singolo intervento edilizio con indagini geofisiche di approfondimento.

## **9. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI**

Per quanto concerne il confronto con eventi passati non è stato possibile reperire alcuna informazione in merito ai danni provocati da tali eventi.

## **10. CONSIDERAZIONI FINALI**

Lo studio di Microzonazione Sismica, attraverso i risultati ottenuti con le indagini geofisiche di nuova realizzazione, ha permesso una quantificazione numerica degli effetti di amplificazione nelle diverse zone individuate (zone stabili suscettibili di amplificazioni locali).

Il territorio studiato è stato suddiviso in zone a diversa pericolosità sismica locale ed è stato fornito, per le aree indagate direttamente con prove geofisiche, una stima qualitativa e quantitativa della risposta sismica locale dei depositi e delle morfologie presenti.

Per quanto riguarda aree instabili e potenzialmente instabili sarà facoltà dell'Amministrazione Comunale individuare aree di interesse prioritario e pianificare studi specifici di 3° livello, le cui verifiche andranno estese in un opportuno intorno d'influenza geodinamica delle aree potenzialmente instabili.

Le Cartografie prodotte, zonizzando il territorio in base alla sua pericolosità sismica, risultano necessarie per un'analisi del rischio sismico. Questo studio deve trovare opportuna collocazione

nei settori della programmazione territoriale, della pianificazione urbanistica, della pianificazione dell'emergenza ed essere utile supporto di base per la fase della progettazione.

Gli studi di dettaglio potranno poi concorrere all'aggiornamento e approfondimento della cartografia con la quale in questo lavoro si suddivide il territorio in ambiti omogenei e in cui il fattore di amplificazione sismica dei terreni è stato necessariamente mediato.

Lo studio di microzonazione sismica dovrà rientrare fra gli elaborati del Quadro Conoscitivo che sono parte integrante del Piano Strutturale. Questo studio infatti rappresenta il primo passo per una conoscenza e consapevolezza del territorio e permetterà di calibrare ed indirizzare i futuri processi pianificatori; si tratta di un tassello basilare di un progetto di sicurezza territoriale a cui un PSC per sua natura non può prescindere.

Gennaio 2017

Dott. Geol. Marco Santi Bortolotti



**BIBLIOGRAFIA**

AA.VV. a cura della Società Geologica Italiana, 1994. Appennino Ligure-Emiliano, Guide Geologiche Regionali. BE-MA Editrice.

AGIP (1969) - Italia II - Geologia e ricerca petrolifera; Pianura Padana Veneta.-Enciclopedia del petrolio e del gas naturale, ENI

Boccaletti M., Bovini M., Corti G., Gasperini P., Martelli L., Piccardi L., Severi P., Vannucchi G. (2004) – Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna. RER, SGSS, CNR, IGG Firenze S.E.L.C.A. Firenze.

Borsellini A. - Mutti E. – Ricci Lucchi F. (1989) - Rocce e Successioni sedimentarie UTET

C.N.R. (1979) - Carte preliminari di suscettibilità del territorio nazionale. Pubbl. N° 227 ESA Editrice - Roma

C.N.R. (1980) - Proposta di riclassificazione sismica del territorio nazionale - Pubblic. N° 361 ESA Editrice - Roma.

DAL 111/2007. Deliberazione dell'assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna n.112 del 2/5/2007: 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". Boll. Uff. Reg. Emilia-Romagna n.64 del 17/05/2007. <http://demetra.regione.emilia-romagna.it/> o <http://www.regioneemiliaromagna.it/geologia/>

D.M 14/01/2008 Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008: Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni. Ministero delle Infrastrutture. G.U n. 29 del 4/2/2008 – Serie Generale, Suppl. Ord. N. 30

DGR1051/2011. Deliberazione della Giunta Regionale n. 1051/18/07/2011, " Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione e concessione dei contributi di cui all'OPCM 3907/2010 e ss.mm". Boll. Uff. Reg. Emilia-Romagna n. 120 del 02/08/2011.

ENI (1972) - Acque dolci sotterranee - ENI

Ferrari G - Postpischl D.(1981) - Le scale macrosismiche C.N.R. P.F. Geodinamica. Pubbl. N° 387. Ist. Topografia, geodesia e geofisica Mineraria, Univ. MO

Gasperi G., Bettelli G., Panini F. e Pizziolo M. (1999) – *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 219 "Sassuolo"*. Servizio Geologico nazionale - Regione Emilia-Romagna.

Gasperi G., Bettelli G., Panini F. e Pizziolo M. (1999) – *Note illustrative alla Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 219 "Sassuolo"*. Servizio Geologico, Sismico e dei suoli - Regione Emilia-Romagna.

GRUPPO DI LAVORO MS (2008). " Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica". Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome – Dipartimento della protezione Civile, Roma, 3 vol. e Dvd.

<http://demetra.regione.emilia-romagna.it/> o <http://www.regione.emilia-romagna.it/geologia/>

[http://www.protezionecivile.it/cms/view.php?dir\\_pk=395&cms\\_pk=15833](http://www.protezionecivile.it/cms/view.php?dir_pk=395&cms_pk=15833)

Indagine Geologico Geotecnica e Geofisica – Variante di "Ponte Rosso" - 2009 – Studio Geologico Centrogeo.

Locati M., R. Camassi e M. Stucchi (a cura di), 2011. DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>.

Meletti C. e Valensise G., (2004). Zonazione sismogenetica ZS9-App. 2 al rapporto Conclusivo. In: “Gruppo di Lavoro MPS (2004).

Molin D., Stucchi M., Valensise G. con la collaborazione di C. Meletti, S. Mirena, G. Monachesi, G. Morelli, L. Peruzza, A. Zerga - Massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani valutate a partire dalla banca dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia di ING/SGA Elaborato per il Dipartimento della Protezione Civile.

NOTE ILLUSTRATIVE della CARTA GEOLOGICA D'ITALIA (2009) alla scala 1:50.000, foglio 218-235

OPCM 3274/2003. Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 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”. G.U. n. 155, 08/05/2003, suppl. ord. N. 72.

PSC Comune di Castelnuovo ne' Monti, Analisi Geologico Ambientale - Anno 2003 – Studio Geologico Centrogeo

PTPC Provincia di Reggio Emilia 2009

Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCm 3274 del 20 marzo 2003”. Rapporto per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici.

Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998) - *Riserve idriche sotterranee della regione Emilia-Romagna*. S.EL.CA. (Firenze), 120 pp.

Regione Emilia-Romagna – Provincia di Reggio Emilia (2004) – *Carta inventario del dissesto. Relazione tecnico-illustrativa e cartografia. Edizione 2003.*

Relazione Geologica Nido d'Infanzia Polo Scolastico Via F.lli Cervi – Castelnuovo ne' Monti – 2009 – Geolog

Rovida A., R. Camassi, P. Gasperini e M. Stucchi (a cura di), 2011. CPTI11, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>. DOI: 10.6092/INGV.IT-CPTI11

Scandone et Alii (1992) - Struttura geologica, evoluzione cinematica e schema sismotettonico della penisola italiana, Atti, Convegno GNDT.