



PROTEZIONE CIVILE  
Presidenza del Consiglio dei Ministri  
Dipartimento della Protezione Civile



CONFERENZA DELLE REGIONI E  
DELLE PROVINCE AUTONOME

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

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Relazione illustrativa

### Regione Emilia-Romagna

### Comune di Montefiorino



Regione	Soggetto realizzatore	Data
Emilia-Romagna	Dott. Geol. Valeriano Franchi	Dicembre 2015

**Responsabile**

*Geom. Maurizio Paladini*

**Soggetto realizzatore**

*Dott. Geol. Valeriano Franchi*

**Collaboratori**

*Dott. Geol. Alessandro Ghinoi*

*Dott. Geol. Gianluca Vaccari*

*Dott. Geol. Marco Sacchi*

## INDICE CONTENUTI

1. Introduzione .....	4
2. Inquadramento territoriale e cartografico .....	5
3. Definizione della pericolosità sismica di base e degli eventi sismici di riferimento .....	7
3.1. Sismicità del territorio comunale .....	9
4. Assetto geologico e geomorfologico .....	17
4.1. Inquadramento geologico .....	17
4.1.1. Il lineamento Interno e il Settore strutturale meridionale (territori di Palagano) .....	22
4.1.2. Settore Centrale e lineamento Mediano (territori di Palagano e Montefiorino) .....	23
4.1.3. Settore Settentrionale, sistema della Val Rossenna e Vicariante della Val Rossenna (territori di Prignano) .....	24
4.1.4. Settore della collina (territori di Prignano) .....	24
4.1.5. Analisi morfostrutturale e strutture tettoniche trasversali.....	24
4.2. Inquadramento geomorfologico .....	28
4.2.1. Frane.....	28
4.2.2. Altri depositi di versante di varia genesi .....	30
4.2.3. Morfologie legate all'azione delle acque di ruscellamento superficiale .....	30
5. Modello del sottosuolo .....	34
5.1. Descrizione generale per i territori dell'Unione dei Comuni Montani "Valli Dolo, Dragone e Secchia" .....	34
5.1.1. Unità Liguridi.....	34
5.1.2. Unità Subliguri .....	37
5.1.3. Unità di pertinenza toscana o di dubbia attribuzione paleogeografica.....	37
5.1.4. Successione Epiligure .....	39
5.2. Descrizione specifica del modello del sottosuolo, relativa al territorio comunale di Montefiorino.....	41
6. Dati geotecnici e geofisici.....	42
7. Interpretazioni e incertezze .....	43
8. Metodologie di elaborazione e risultati.....	44
9. Elaborati cartografici .....	47
9.1. Carta delle indagini .....	47
9.2. Carta geologico-tecnica.....	48

---

9.3. Carta delle frequenze naturali dei terreni .....	52
9.4. Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (Livello 1) .....	54
9.5. Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs) .....	62
9.6. Carta di microzonazione sismica (Livello 2) .....	64
10. Bibliografia .....	67

## 1. INTRODUZIONE

Su incarico dell'Unione dei Comuni Montani Valli Dolo, Dragone e Secchia è stato eseguito uno studio di **Microzonazione Sismica di II livello** del territorio comunale di Montefiorino (Provincia di Modena).

Lo studio è stato realizzato nel rispetto delle seguenti disposizioni normative:

- Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, c. 1, della L.R. 20/2000 per "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica" approvato con Delibera dell'Assemblea Legislativa Regione Emilia-Romagna n° 112 del 2 maggio 2007;
- Ordinanza Presidenza Consiglio dei Ministri 29 febbraio 2012, n° 4007 "Attuazione dell'art. 11 del decreto-legge 28 aprile 2009, n° 39, convertito, con modificazioni, dalla legge 24 giugno 2009, n° 77. Contributi per gli interventi di prevenzione del rischio sismico per l'anno 2011";
- D.G.R. 10 settembre 2012, n° 1302: "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" e relativi allegati tecnici e successiva D.G.R. n° 1514/2012.

Inoltre, per gli aspetti tecnici, si è fatto riferimento al documento "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" (ICMS) approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome e successive modifiche e integrazioni<sup>1</sup>.

L'analisi di carattere generale è stata sviluppata ed estesa all'intero territorio comunale, mentre le indagini geofisiche sono state limitate ai principali centri abitati (Montefiorino capoluogo, Vitriola, Farneta Gusciola, Casa Monte Stefano, La Verna, Casola, Prada e Pianezzo).

Gli obiettivi del lavoro sono stati i seguenti:

1. Analisi delle condizioni di pericolosità sismica del territorio comunale e perimetrazione delle aree in cui effettuare la Microzonazione Sismica;
2. determinazione delle frequenze naturali dei terreni, ai fini della individuazione di fenomeni di risonanza significativi;
3. suddivisione dettagliata del territorio, in base all'amplificazione attesa, in aree a maggiore e minore pericolosità sismica;

---

<sup>1</sup> 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://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)

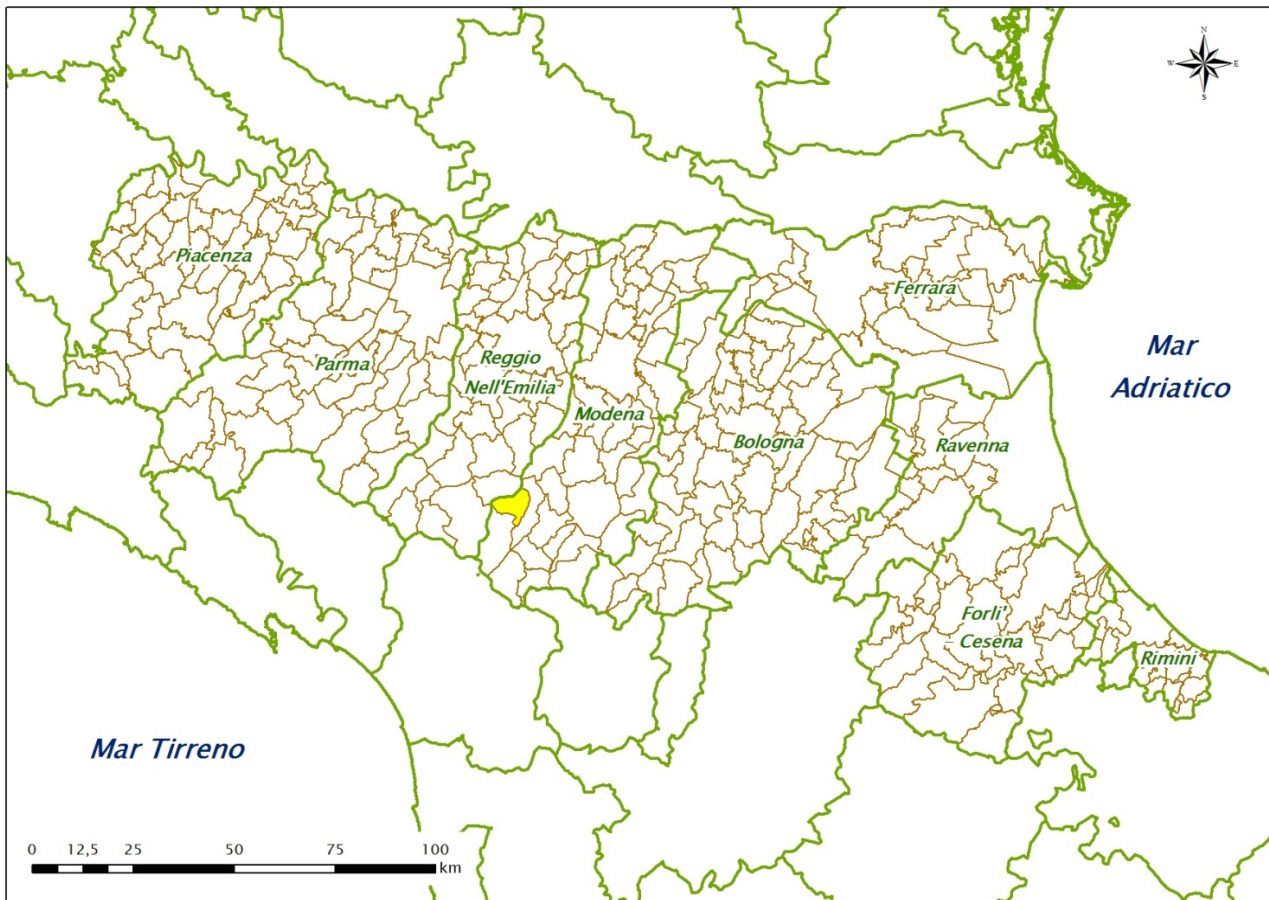
4. conferma o migliore definizione delle aree, indicate dal primo livello di approfondimento, in cui si ritengono eventualmente necessari approfondimenti di terzo livello, con indicazione delle indagini e delle analisi da effettuare.

Tutte le attività sono state svolte nel rispetto delle specifiche di cui agli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica” elaborati dalla Commissione Tecnica per il monitoraggio degli studi di microzonazione sismica (OPCM 3907/2010, art. 5, comma 7), versione 2.0beta del maggio 2012.

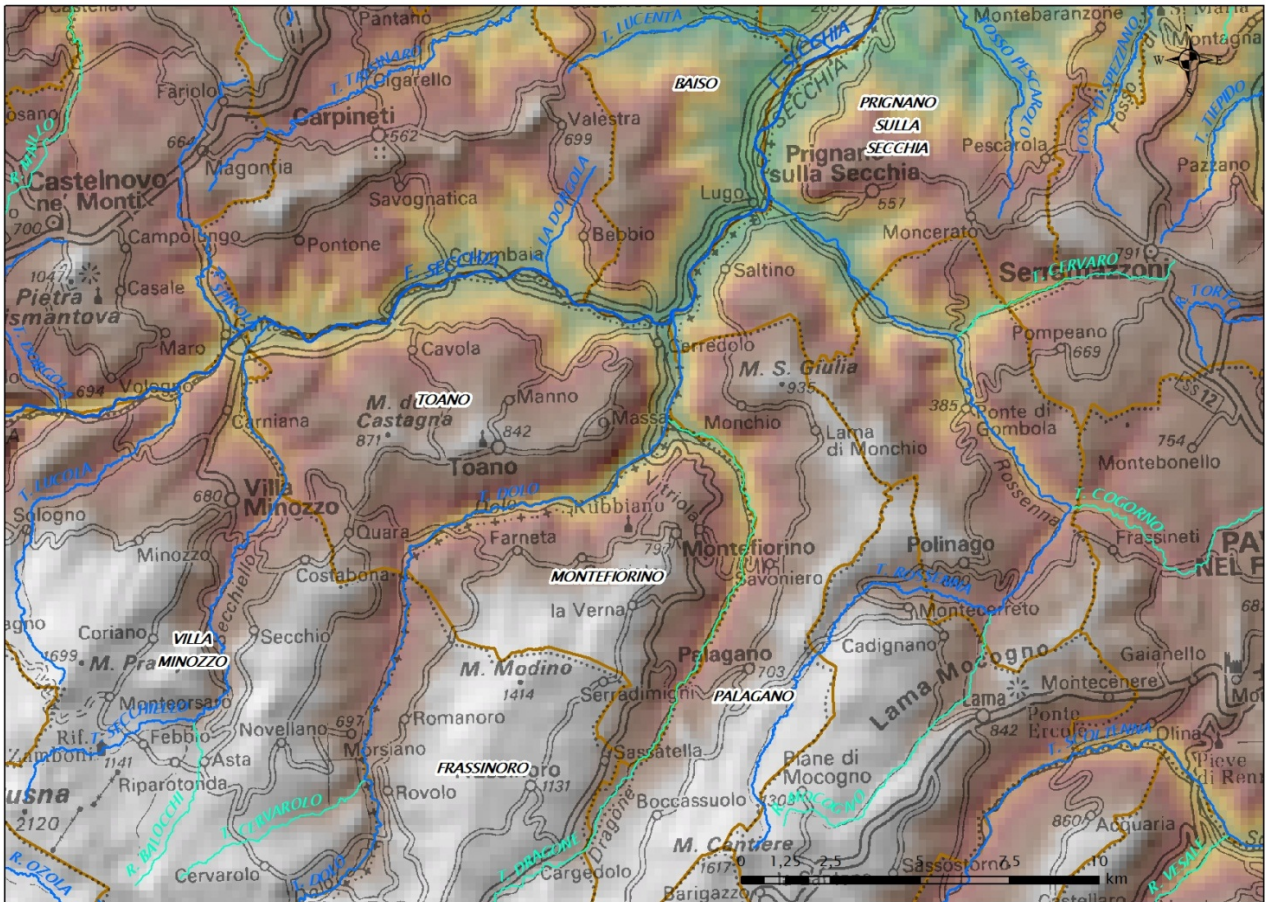
A corredo dello studio di MS è stata condotta l’analisi della Condizione Limite dell’Emergenza (CLE) dell’insediamento urbano, nel rispetto degli standard di rappresentazione e archiviazione informatici, di cui al Decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile 27.4.2012, n° 1755.

## 2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E CARTOGRAFICO

Il territorio comunale di Montefiorino si colloca nel settore occidentale del medio Appennino Modenese, al confine con la Provincia di Reggio Emilia (Figura 1), compreso tra le Valli del Torrente Dolo, a ovest, e del Torrente Dragone, a est (Figura 2).



**Figura 1** – Inquadramento amministrativo regionale del territorio comunale di Montefiorino (in giallo in figura).



**Figura 2** – Inquadramento geografico-fisico del territorio comunale di Montefiorino. Il DEM (modello digitale delle quote) mostra le differenti fasce altimetriche: da quelle con valori relativamente più alti, in grigio chiaro, a quelle con i valori relativamente più bassi, in verde e azzurro.

Il territorio in esame fa parte dei settori altimetrici di collina, bassa e media montagna, con quote sul livello del mare (dati da modello digitale delle quote – si veda Figura 2) che variano da un minimo di circa 330 m alla confluenza tra T. Dolo e T. Dragone, nell'estremità settentrionale del territorio comunale, agli oltre 1200 m del versante settentrionale di Monte Modino, lungo il confine meridionale.

Il clima è caratterizzato, nel periodo 1991–2008, da precipitazioni totali annue, in media, di 972 mm e temperature medie annue di 11,1°C, pari, rispettivamente, ad una variazione di -13 mm e +0,8°C rispetto al periodo 1961–1990<sup>2</sup>.

Nella cartografia regionale, il territorio è compreso nella Tavola alla scala 1:25.000:

- nr. 235NE denominata “Montefiorino”;

nelle Sezioni alla scala 1:10.000:

- nr. 235030 denominata “Toano”,
- nr. 235040 denominata “Montefiorino”,
- nr. 235070 denominata “Romanoro”,

<sup>2</sup> Atlante Idroclimatico dell'Emilia-Romagna – <http://www.arpa.emr.it/sim/?clima>

- nr. 235080 denominata “Palagano”,  
e negli Elementi alla scala 1:5.000:
- nr. 235032 denominato “Farneta”,
- nr. 235033 denominato “Lignano”,
- nr. 235041 denominato “Monchio”,
- nr. 235042 denominato “Castellaccio”,
- nr. 235043 denominato “Montefiorino”,
- nr. 235044 denominato “Massa”,
- nr. 235071 denominato “Giunzione”,
- nr. 235072 denominato “Venano”,
- nr. 235074 denominato “Gova”,
- nr. 235081 denominato “Savoniero”,
- nr. 235082 denominato “Palagano”,
- nr. 235083 denominato “Sassatella”,
- nr. 235084 denominato “La Verna”.

### **3. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE E DEGLI EVENTI SISMICI DI RIFERIMENTO**

Il dato di partenza per un’analisi della potenzialità sismica di un territorio è certamente la ricostruzione delle strutture tettoniche maggiormente attive nel tempo geologico più recente, all’incirca l’ultimo milione di anni (neotettonica). Sono queste le strutture che possono, se confermate anche da dati macrosismici e/o sismologici, ragionevolmente costituire sorgente di terremoti anche nel prossimo futuro.

L’analisi neotettonica di un’area si esegue attraverso l’esame di una serie innumerevole di dati di natura geologica, morfoneotettonica, idrogeologica, e idrochimica, che concorrono a definire, appunto, il regime tettonico di quell’area, con l’individuazione di strutture geologiche rilevanti, per giungere eventualmente alla definizione del loro potenziale sismogenetico, il potenziale, cioè, di generare terremoti.

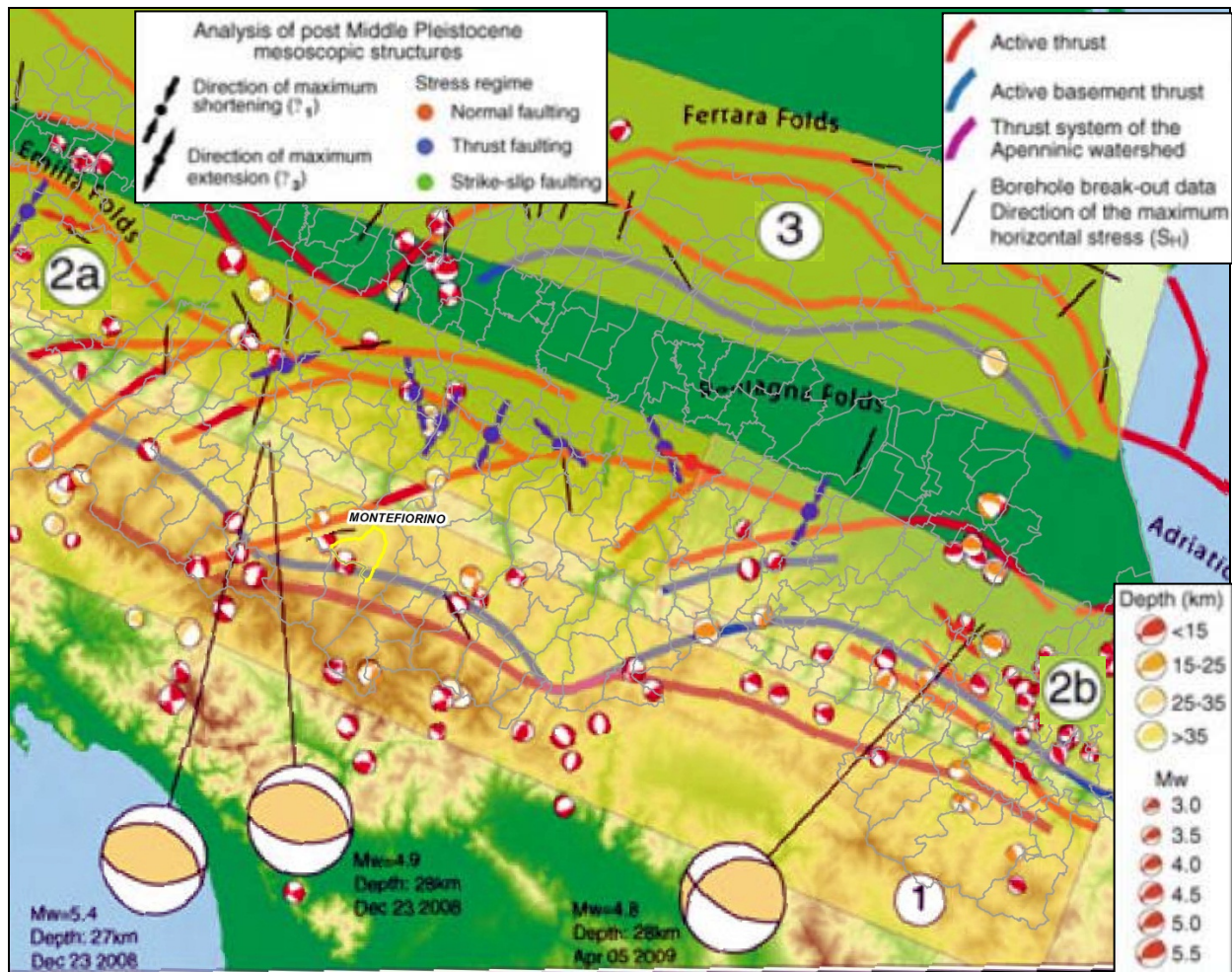
Il territorio comunale di Montefiorino, dal punto di vista geologico-strutturale, è parte degli Appennini settentrionali, una catena a pieghe e sovrascorrimenti costituita dalla sovrapposizione di unità tettoniche NE-vergenti, la cui formazione è conseguenza della collisione, in epoca cenozoica, tra la Placca Europea e la Placca Adria (Africana). Attualmente, la convergenza tra le due placche ha velocità pari a circa 6–8 mm all’anno, con vergenza all’incirca NO, e si sviluppa lungo un margine di placca ampio e complesso, ove placche e blocchi crostali minori controllano la distribuzione e la cinematica delle deformazioni. Tale convergenza determina una diffusa sismicità ed un quadro deformativo complesso, caratterizzato da un settore (quello tirrenico) con prevalenti campi tensionali distensivi, e da un settore (quello adriatico) ove prevalgono campi tensionali compressivi (Boccaletti et al., 2011).



In modo più specifico, per quanto riguarda le strutture tettoniche quaternarie più recenti ed attive, il territorio comunale di Montefiorino si colloca all'interno di un sistema di faglie pressoché continuo che si estende lungo il crinale appenninico, coincidente approssimativamente con il fronte di *thrust* delle Unità Toscane (sebbene in esso siano presenti anche faglie trascorrenti e normali di importanza minore) (rettangolo contrassegnato col numero 1 in Figura 3). Il crinale appenninico è caratterizzato da sollevamenti localizzati, pleistocenici ed attuali, e da moderata sismicità. La soluzione dei meccanismi focali ha mostrato la presenza di due distinti campi deformativi a differenti profondità:

- quello più superficiale, a profondità inferiori a 15 km, è caratterizzato da eventi sismici di magnitudo da bassa a moderata, con meccanismi focali principalmente estensionali e, in maniera minore, trascorrenti e compressivi; gli eventi distensivi più importanti sono peculiari del versante tirrenico della catena, capaci di determinare sismi con magnitudo pari a 6 (nei bacini della Garfagnana, della Lunigiana e del Mugello);
- quello relativo alla crosta intermedia, a profondità comprese tra 15 e 25 km, è interessato da eventi sismici tipici di un campo tensionale a carattere principalmente compressivo; tali eventi possono, almeno in parte, essere correlabili all'attività del principale sovrascorrimento crostale, responsabile del raddoppiamento del basamento e della successione carbonatica al di sotto della catena.

A profondità superiori a 35 km, sebbene siano disponibili pochi meccanismi focali, gli eventi sismici mostrano un carattere predominante di tipo compressivo, legati ad una struttura attiva che interessa la Moho. Secondo un'interpretazione alternativa, questi eventi sismici profondi potrebbero essere messi in relazione alla flessura della litosfera continentale africana in subduzione (Boccaletti et al., 2011).

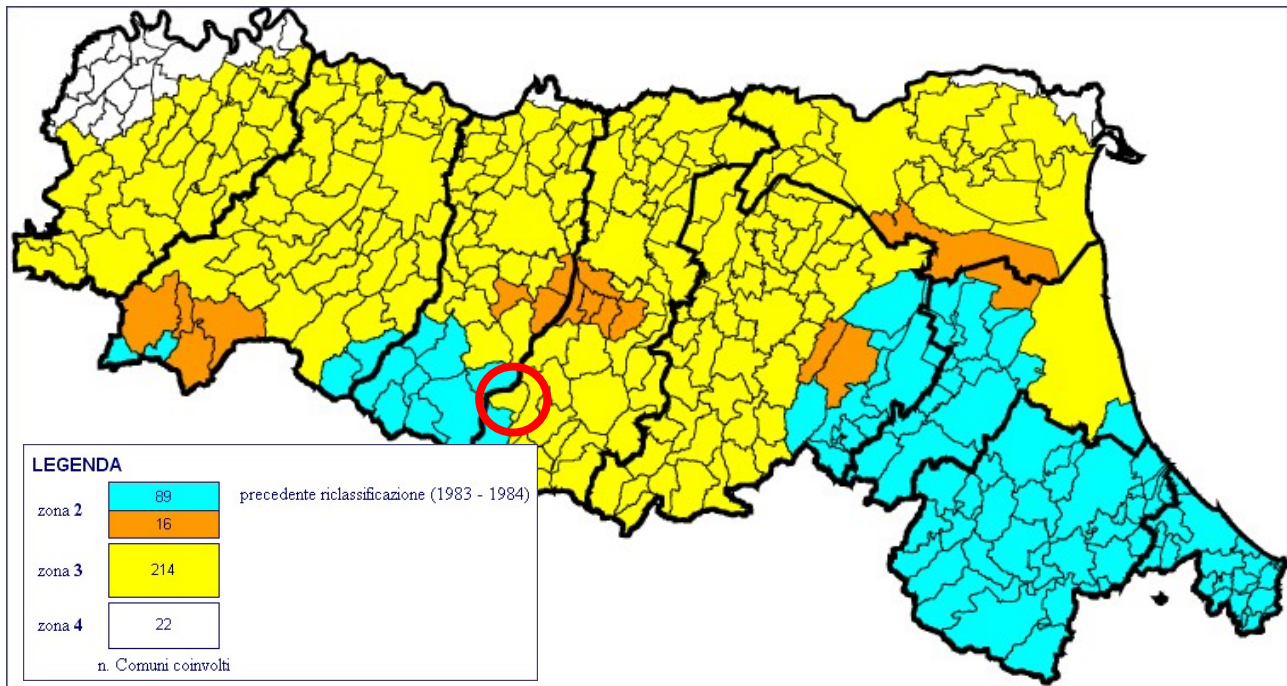


**Figura 3** – Sintesi delle strutture recenti e attive del settore esterno degli Appennini settentrionali, con sovrapposte le soluzioni dei meccanismi focali (Boccaletti et al., 2004), i campi tensionali da analisi mesoscopiche (Ghiselli e Martelli, 1997) e i dati di *breakout* da pozzo (Mariucci e Muller, 2003). Tre meccanismi focali in dettaglio relativi agli eventi principali di sequenze sismiche che hanno interessato gli Appennini il 23 dicembre 2008 ed il 5 aprile 2009 (da dati INGV). I numeri nei cerchi indicano i principali sistemi di faglie: (1) Catena appenninica; (2a) Margine Appennini–Pianura (settore nord–occidentale); (2b) Margine Appennini–Pianura (settore sud–orientale); (3) Pieghe Emiliane e Ferraresi sepolte. (Fonte: Boccaletti et al., 2011). Il poligono con contorno giallo individua in carta il territorio comunale di Montefiorino.

In prossimità del territorio comunale, i meccanismi focali rivelano la presenza di sismi superficiali (< 15 km), di Mw circa pari a 4, con campo di stress principalmente estensionale/trascorrente (e secondariamente compressivo/trascorrente), legato probabilmente ad un campo di deformazione secondario presente in corrispondenza del tetto del sistema di *thrust* che interessa il crinale appenninico (Bonini, 2007) o, alternativamente, ad un sistema di faglie normali, superficiali (< 15 km), attive su piani di *thrust* deattivati (Bonini and Tanini, 2009).

### 3.1. Sismicità del territorio comunale

Dal punto di vista sismico, al comune di Montefiorino è stata assegnata la **classe 3**, ovvero a bassa sismicità, in base all’Ordinanza del PCM n. 3274 / 2003, con accelerazione massima attesa (PGA) pari a **0,161g** (Figura 4).



**Figura 4** – Classificazione sismica dei comuni dell’Emilia-Romagna. Nel cerchio rosso il Comune di Montefiorino.

Se si analizza la sequenza storica degli effetti macrosismici registrati nel territorio comunale dal database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani – Database Macrosismico Italiano DBMI11 dell’INGV<sup>3</sup> – si nota come importanti effetti si siano registrati anche in relazione ad epicentri lontani dal territorio comunale. Di seguito viene riportata la storia sismica del Capoluogo, limitatamente ai terremoti con intensità epicentrale uguale o superiore a 4–5, così come estratte dal DBMI11 dell’INGV.

**Legenda:**

**I** – Intensità al sito (MCS); **Io** – Intensità epicentrale (MCS); **Mw** – Magnitudo momento (epicentrale); **Ax** – Area epicentrale; **Np** – Numero di punti, numero di osservazioni macrosismiche disponibili per il terremoto.

<sup>3</sup> M. Locati, 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>. DOI: 10.6092/INGV.IT-DBMI11

Effetti	In occasione del terremoto del:			
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
4-5	1898 03 04 21:05	Valle del Parma	313	7-8 5.41 ±0.09
3	1899 06 26 23:17	Valle del Bisenzio	138	7 5.06 ±0.15
4-5	1904 11 17 05:02	Pistoiese	204	7 5.15 ±0.14
3-4	1908 06 02 22:30	FRIGNANO	18	4-5 4.52 ±0.25
4	1965 11 09 15:35	ALTA V. SECCHIA	32	5 4.74 ±0.25
4	1983 11 09 16:29	Parmense	850	6-7 5.06 ±0.09
4	1985 01 23 10:10	Garfagnana	73	6 4.65 ±0.15
NF	1987 05 02 20:43	Reggiano	802	6 4.74 ±0.09
NF	1987 05 08 11:10	Bassa modenese	17	6 4.57 ±0.23
3-4	1988 02 08 11:24	Garfagnana	75	6 4.53 ±0.13
2-3	1995 10 10 06:54	LUNIGIANA	341	7 4.85 ±0.09
4-5	1997 12 24 17:53	Garfagnana	98	5 4.36 ±0.09
3-4	1999 07 07 17:16	Frignano	32	5 4.70 ±0.09
NF	2000 06 18 07:42	Parmense	300	5-6 4.43 ±0.09
4	2000 10 03 01:12	Appennino tosco-emiliano	62	5 4.27 ±0.09
NF	2003 12 07 10:20	Zona Forlì	172	5 4.22 ±0.09

**Figura 5** – Osservazioni macrosismiche per Montefiorino (Locati et al., 2011).

Dai dati si evince come le massime intensità macrosismiche registrate (in gradi MCS) corrispondano:

- al terremoto del 4 marzo 1898, con area epicentrale in val di Parma, intensità epicentrale pari a 7-8 MCS e magnitudo momento pari a 5.41,
- al terremoto del 17 novembre 1904, con area epicentrale nel Pistoiese, intensità epicentrale pari a 7 MCS e magnitudo momento pari a 5.15,
- al terremoto del 24 dicembre 1997, con area epicentrale in Garfagnana, intensità epicentrale pari a 5 MCS e magnitudo momento pari a 4.36.

In generale, le intensità macrosismiche al sito di maggior grado (tra cui 4 è il valore più ricorrente), sul territorio comunale, sono dovute a terremoti con epicentri localizzati in Garfagnana, nel Parmense e nel Pistoiese, registrati a partire dalla fine del XIX secolo ad oggi. Intensità al sito di grado < 4 sono dovute a terremoti con epicentri localizzati nel Frignano e , più in generale, nella fascia del crinale entro la quale ricade il territorio comunale stesso.

Terremoti con epicentri geograficamente più lontani, rispetto al territorio comunale, non vanno oltre il limite regionale e si individuano nel Forlivese, nel Reggiano e nella Bassa Modenese.

Occorre precisare che il DBMI11, relativamente a Montefiorino, non registra intensità macrosismiche derivate dal terremoto della Garfagnana del 7 settembre 1920. Se, però si visualizzano le intensità macrosismiche registrate al contorno (Figura 6) si può vedere come nella

vicina località di Molinello (tra Farneta e Gusciola), in occasione di tale sisma, si sia registrata una intensità macrosismica pari a 7–8 MCS. Considerando la breve distanza (3,38 km) tra Molinello e Montefiorino, risulta impensabile che in occasione del sisma del 7 settembre non si siano registrati effetti anche a Montefiorino. E', quindi, verosimile che un'intensità molto prossima a 7 MCS sia stata registrata anche nel Capoluogo.



**Figura 6** – Estratti dal database of Individual Seismogenic Sources (DISS) dell'INGV e dal DBMI11 (sovrapposti alla base Google Earth): i punti colorati si riferiscono alle intensità macrosismiche registrate in occasione del sisma del 7 settembre 1920 con epicentro in Garfagnana (più precisamente all'interno della sorgente sismogenetica composta ITCS083 "Garfagnana"). In basso a sinistra la scala delle intensità MCS).

In ogni caso, trattando, in questa sede, della sismicità dell'intero territorio comunale, l'inserimento di un grado 7 di intensità MCS risulta comunque necessario per completare il quadro della sismicità storica dell'area in esame. In occasione, infine, del recente sisma della Lunigiana del 2013 (Alpi Apuane – Massa, Lucca – MI 5.2 del 2013–06–21 ore 10:33:57 UTC), l'intensità macrosismica sembra essere stata pari a 4–5 (dato non verificato), ovvero prossima all'intensità macrosismica media, storicamente caratteristica dell'area in studio<sup>4</sup>.

Sovrapponendo gli epicentri dei sismi che hanno dato, storicamente, effetti macrosismici maggiori all'interno del territorio comunale di Montefiorino, sulle sorgenti sismogenetiche dell'INGV, è possibile constatare come le maggiori intensità al sito (I) siano state determinate da sismi avvenuti all'interno delle sorgenti composite ITCS083 "Garfagnana" e ITCS046 "Langhirano–Sassuolo". Intensità leggermente minori (da 3 a 4) sono invece state determinate da sismi avvenuti all'interno della sorgente sismogenetica composta ITCS027 "Bore–Montefeltro–Fabriano–Laga", entro cui ricade lo stesso territorio comunale. Un altro settore, non identificato dall'INGV come una vera e

<sup>4</sup> [http://terremoti.ingv.it/images/pdf/relazione\\_di\\_dettaglio\\_alpi\\_apuane\\_massa\\_lucca\\_ml\\_5.2\\_del\\_2013-06-21\\_10\\_33\\_57\\_utc\\_versione\\_del\\_2013-06-21\\_ore\\_14\\_19\\_38\\_utc\\_l.pdf](http://terremoti.ingv.it/images/pdf/relazione_di_dettaglio_alpi_apuane_massa_lucca_ml_5.2_del_2013-06-21_10_33_57_utc_versione_del_2013-06-21_ore_14_19_38_utc_l.pdf)

propria sorgente sismogenetica, ma che ha comunque contribuito alla storia sismica di Montefiorino, è il Pistoiese (Pistoia e valle del Bisenzio), da cui si sono generati sismi che hanno dato intensità macrosismiche al sito pari a 3, ma anche intensità pari a 4–5 MCS, che rappresentano il massimo registrato storicamente per l'area di studio.

Descrivendo nel dettaglio, quindi, le **sorgenti sismogenetiche**, che in maggior modo possono caratterizzare la sismicità locale, il territorio comunale di Montefiorino ricade parzialmente, come detto, all'interno della sorgente sismogenetica composta **ITCS027** "Bore–Montefeltro–Fabriano–Laga", ritenuta capace di produrre sismi con Mw massima pari a **6.2** (derivata dalla massima magnitudo delle sorgenti sismogenetiche individuali in essa comprese) (Figura 7). La geometria di quest'area sismogenetica è determinata dalla geometria delle singole sorgenti individuali in essa contenute: lo *strike* varia da 88° (per la sorgente di Loiano) a 160° (per le sorgenti di Camerino e Sarnano); il *dip* varia da 20° a 54° verso SO; il *rake* è assunto corrispondente ad un sovrascorrimento puro (90°) sulla base di considerazioni geodinamiche generali; la *slip rate* varia da 0,1 ad 1 mm/anno.

Circa 30 km a SO del territorio comunale è presente la sorgente sismogenetica composta **ITCS083** "Garfagnana", ritenuta capace di produrre sismi con Mw massima pari a **6.4** (derivata dalla massima magnitudo delle sorgenti sismogenetiche individuali in essa comprese – ITIS050 "Garfagnana Nord e ITIS 051 "Garfagnana Sud") (Figura 8). Questa sorgente composta rappresenta una fascia a regime tettonico distensivo che attraversa gli appennini toscani ed emiliani in prossimità della valle del Serchio. La letteratura scientifica la interpreta come possibile estensione verso nord–ovest del Sistema di Faglie Etrusco, immergente verso NE, che rappresenta il limite estensionale nord–occidentale degli appennini settentrionali. I cataloghi sismici storici e strumentali (Boschi et al., 2000; Gruppo di Lavoro CPTI, 2004; Pondrelli et al., 2006; Guidoboni et al., 2007) identificano, per tale fascia, una sismicità da intermedia ( $4.5 < Mw < 5.0$ ) a distruttiva, al di là dei terremoti distruttivi dell'11 aprile 1837 (Mw 5.6, Alpi Apuane) e del 7 settembre 1920 (Mw 6.5).

Alcuni segmenti di questa sorgente composta sono stati associati ai terremoti più importanti di questo settore appenninico.

Lo *strike* varia da 300° a 310°; il *dip* varia da 30° a 45°; il *rake* (260°–280°) è assunto corrispondente ad un movimento estensionale puro sulla base di osservazioni geologiche; le profondità minima e massima sono state individuate, rispettivamente, a –1 e –10 km; la *slip rate* varia da 0,1 ad 1 mm/anno, dedotta da osservazioni geologiche relative a strutture adiacenti appartenenti al medesimo quadro tettonico della sorgente Garfagnana.

Nella sorgente composta "Garfagnana" sono comprese due sorgenti sismogenetiche individuali, la **ITIS050** "Garfagnana Nord" e la **ITIS051** "Garfagnana Sud" (Figura 8), due faglie normali con immersione verso NE le cui attività controllano l'evoluzione recente della valle del Serchio, comunemente denominata "Garfagnana". La "Garfagnana Nord" costituisce la sorgente del terremoto distruttivo del 7 settembre 1920 ed i suoi caratteri geometrici sono stati derivati proprio dalle caratteristiche di tale evento sismico.

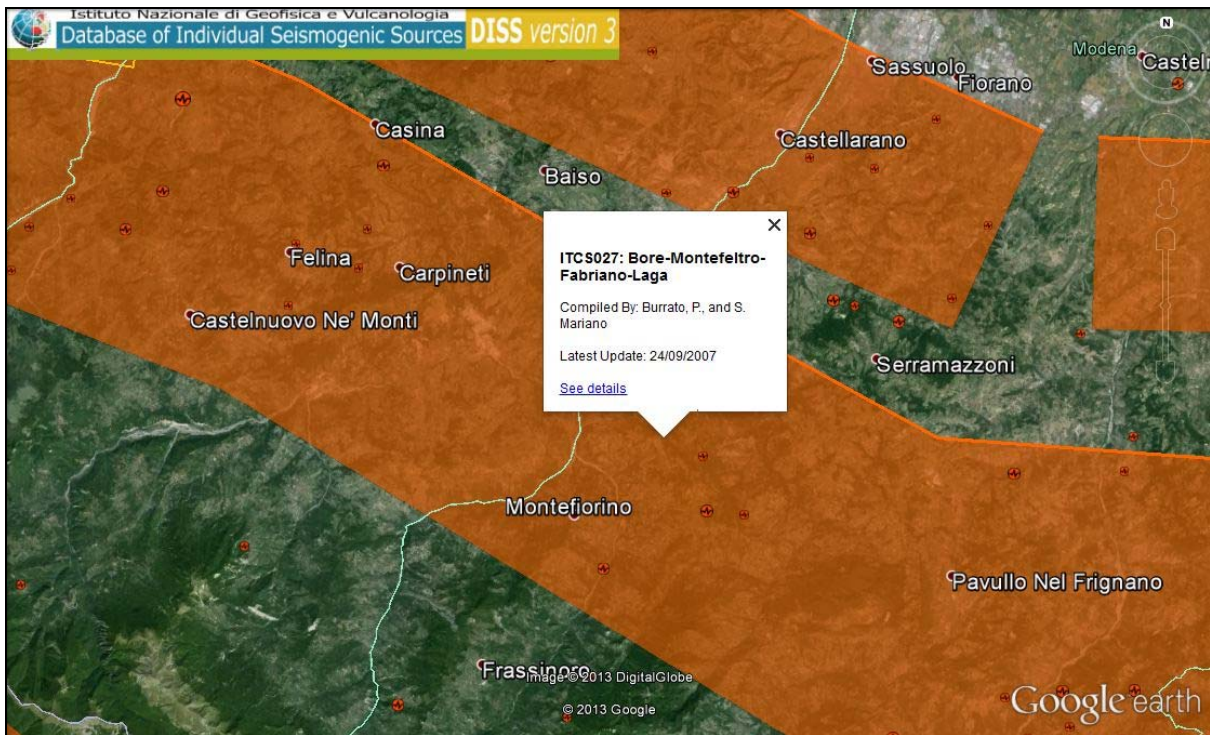


Figura 7 – Estratto dal database of Individual Seismogenic Sources (DISS) dell'INGV: tratto della Sorgente Sismogenetica Composita (ITCS) 027 “Bore–Montefeltro–Fabriano–Laga”.

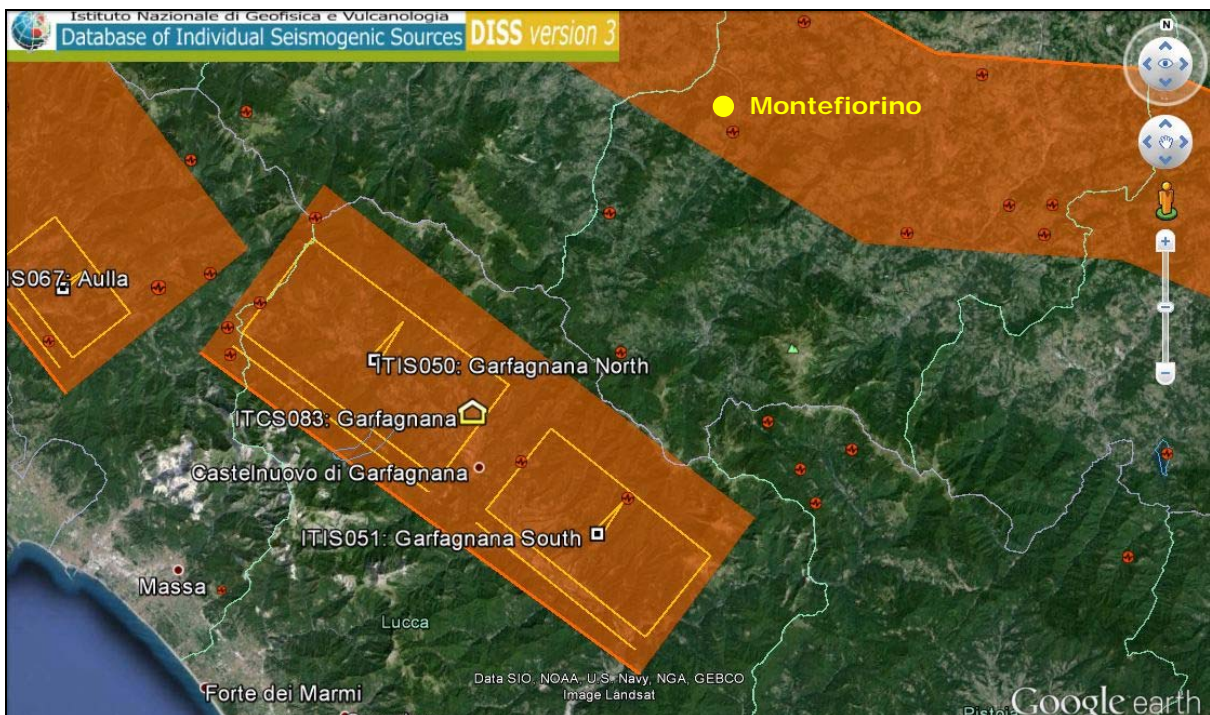
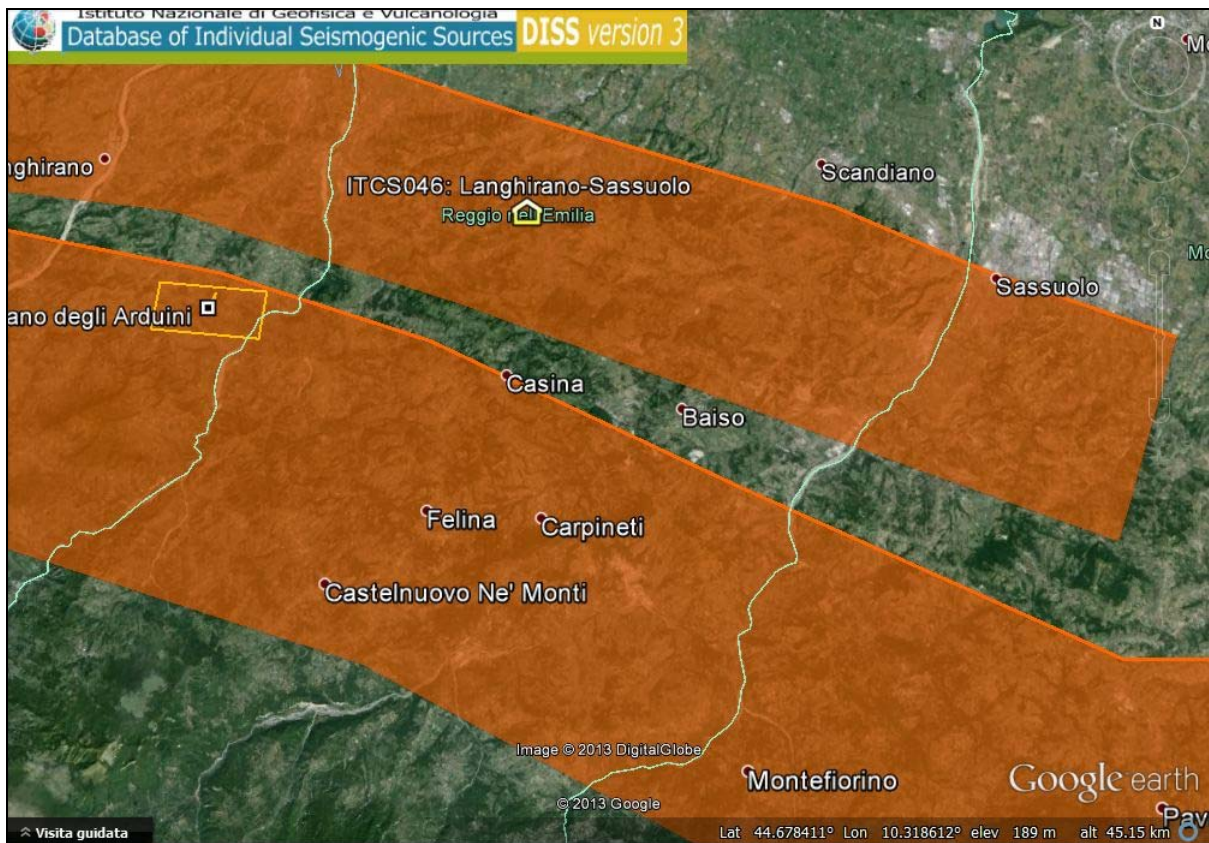


Figura 8 – Estratto dal database of Individual Seismogenic Sources (DISS) dell'INGV: Sorgente Sismogenetica Composita (ITCS) 083 “Garfagnana” e Sorgenti Sismogenetiche Individuali (ITIS) 050 “Garfagnana Nord” e 051 “Garfagnana Sud”.

Alla sorgente “Garfagnana Sud”, diversamente dalla prima, non sono associati grandi terremoti storici e le sue caratteristiche geometriche sono state necessariamente dedotte da quelle della

ITIS050. La valle del Serchio è poi delimitata, a nord, dal lineamento Sarzana–Equi Terme e, a sud, dal lineamento Viareggio–Val di Lima–Bologna, lineamenti che sembrano delimitare anche il blocco delle Alpi Apuane. La dorsale di Monte Perpoli, vicino a Castelnuovo Garfagnana, rappresenta, a sua volta, la linea di separazione tra le due sorgenti individuali, suddividendo la valle del Serchio in due porzioni pressoché di egual lunghezza. La ITIS050 è ritenuta capace di sismi di Mw massima pari a **6.4**; la ITIS051 è ritenuta capace di sismi di Mw massima pari a **6.1**.

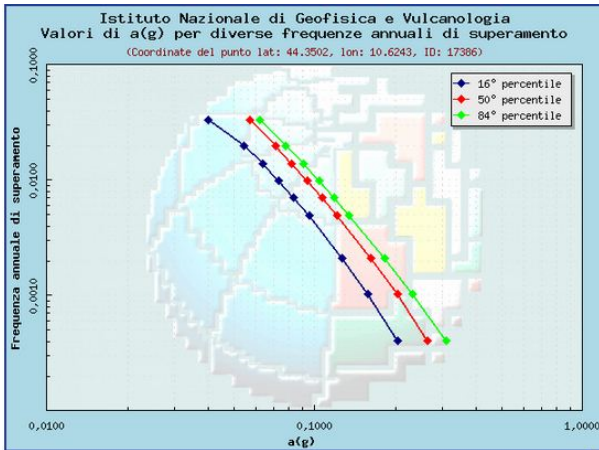
Una terza sorgente sismogenetica composta, capace di influire sulla sismicità del territorio comunale di Montefiorino è, come detto, la **ITCS046** “Langhirano–Sassuolo” (Figura 9), con il sisma del 1898 che ha determinato una intensità macrosismica locale (I) pari a 4–5 MCS. La sorgente è ritenuta capace di produrre sismi con Mw massima pari a 5.9 (derivata dal più forte sisma in essa registrato). La geometria è determinata principalmente sulla base delle osservazioni geologiche: lo *strike* varia da 95° a 120°; il *dip* varia da 20° a 40°; il *rake* è assunto corrispondente ad un sovrascorrimento puro (80°–100°); la *slip rate* varia da 0,1 a 0,5 mm/anno; le profondità minima e massima sono state individuate, rispettivamente, a –2 e –8 km.



**Figura 9** – Estratto dal database of Individual Seismogenic Sources (DISS) dell'INGV: tratto della Sorgente Sismogenetica Composita (ITCS) 046 “Langhirano–Sassuolo”.

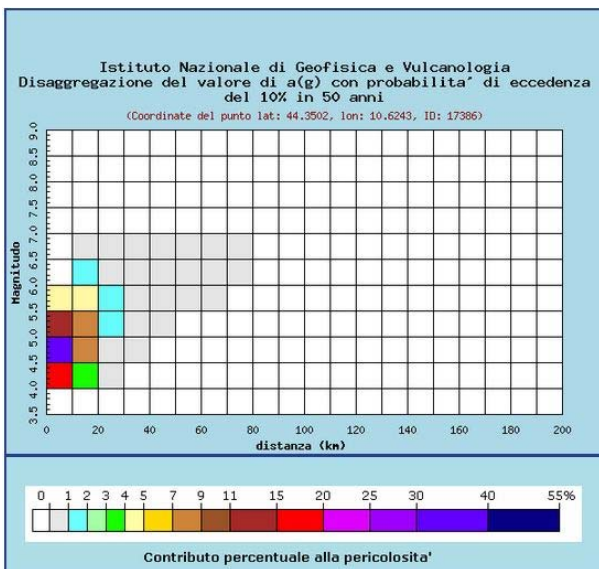


Sulla base dell'analisi di pericolosità effettuata dall'INGV<sup>5</sup>, il valore di PGA atteso, con 10% di probabilità di superamento in 50 anni, è pari a 0,16g (pari ad una frequenza di superamento annuale di 0,0021) (Figura 10). La disaggregazione del valore di  $a_g$  con la medesima probabilità di eccedenza (Figura 11) mostra come il contributo percentualmente maggiore (30–40%) alla pericolosità sismica di base del territorio comunale sia determinato da sismi di magnitudo compresa tra 4.5 e 5, con epicentro nei primi 10 km di distanza dal territorio comunale, in grado di produrre PGA pari a 0,31g.



Frequenza annuale di superamento	$a(g)$ (Coordinate del punto lat: 44.3502, lon: 10.6243, ID: 17386)		
	16° percentile	50° percentile	84° percentile
0.0004	0.2033	0.2643	0.3103
0.0010	0.1575	0.2031	0.2318
0.0021	0.1268	0.1614	0.1817
0.0050	0.0952	0.1208	0.1343
0.0071	0.0833	0.1063	0.1176
0.0099	0.0735	0.0941	0.1039
0.0139	0.0638	0.0822	0.0909
0.0200	0.0545	0.0712	0.0780
0.0333	0.0399	0.0571	0.0625

Figura 10 – Valore di PGA atteso per il territorio comunale di Montefiorino con il 10% di probabilità di superamento in 50 anni, calcolato dallo studio di pericolosità sismica dell'INGV.



Distanza in km	Disaggregazione del valore di $a(g)$ con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 44.3502, lon: 10.6243, ID: 17386)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	19.600	31.200	14.000	4.300	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	3.230	8.760	7.430	4.140	1.010	0.140	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.018	0.610	1.600	1.570	0.792	0.134	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.001	0.175	0.483	0.388	0.078	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.009	0.115	0.129	0.028	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.016	0.027	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.005	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Figura 11 – Disaggregazione del valore di  $a_g$  con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni per il territorio comunale di Montefiorino.

Il contributo del 15–20% alla pericolosità sismica di base del territorio comunale è dato dalla coppia (Mw 4–4.5; epicentro 0–10 km), in grado di produrre PGA pari a 0,2g. Contributi percentuali minori alla pericolosità (11–15% e 7–9%) sono dati, rispettivamente, dalle coppie (Mw 5–5.5; epicentro 0–10 km) e (Mw 4.5–5.5; epicentro 10–20 km), in grado di produrre PGA pari a

<sup>5</sup> <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>

0,14g e 0,07–0,08g. Solo il 4–5% di contributo alla pericolosità sismica di base è dato dalla coppia (Mw 5.5–6; epicentro 0–20 km), in grado di produrre PGA pari a 0,04g.

#### 4. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Per la descrizione degli aspetti geologici e geomorfologici caratteristici del territorio comunale di Montefiorino si è scelto di utilizzare la trattazione che di essi viene data nella relazione “*Indagine geologico – ambientale*”, a cura dello Studio Geologico Ambientale “Arkigeo” del Dott. Geol. Giorgio Gasparini, per il redigendo Piano Strutturale Comunale dell’Unione di Comuni Montani “Valli Dolo, Dragone e Secchia” (Montefiorino, Palagano e Prignano sulla Secchia); questo col duplice fine di rendere congruente la presente relazione con quello che diverrà lo strumento di pianificazione dei tre Comuni dell’Unione e di inquadrare il territorio comunale in un più ampio contesto geologico e geomorfologico.

##### 4.1. Inquadramento geologico

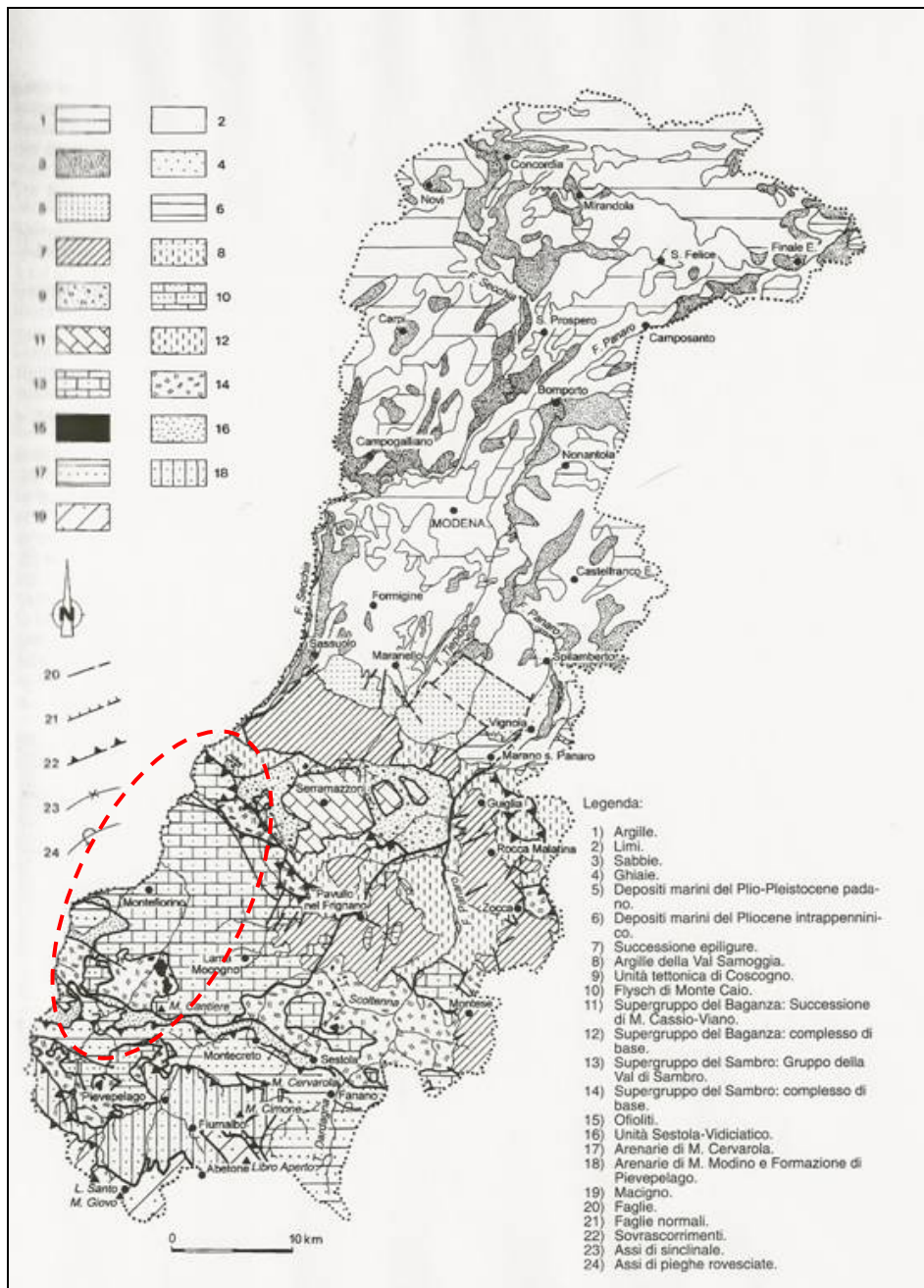
Il medio Appennino modenese è caratterizzato (Figura 12) da un substrato roccioso composito, formato da rocce appartenenti a successioni stratigrafiche e unità tettoniche ascrivibili principalmente a due distinti domini paleogeografici (Plesi, 2002):

- Dominio ligure;
- Dominio subligure;

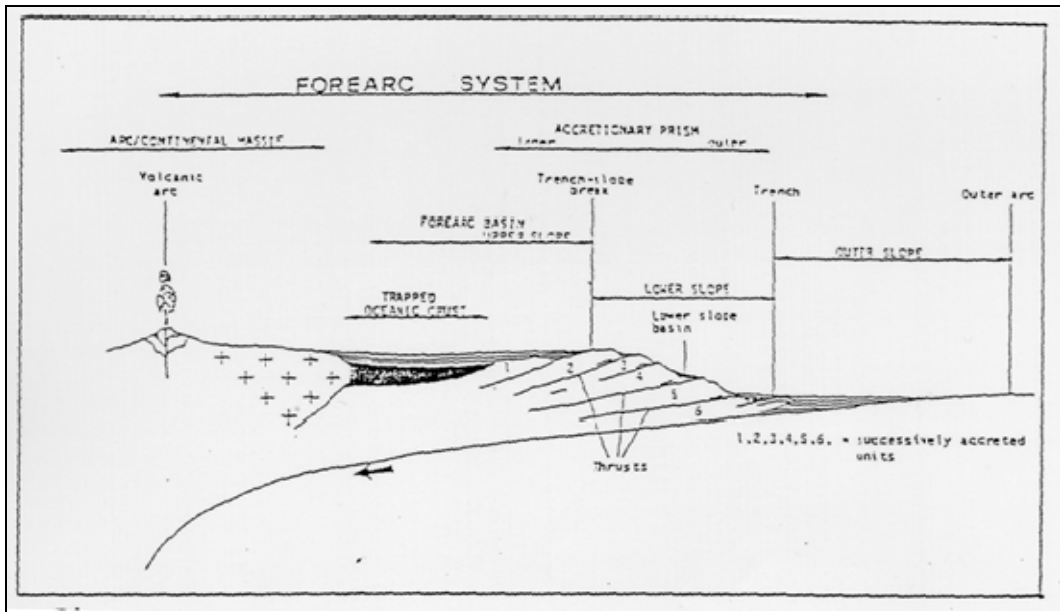
La struttura della catena appenninica settentrionale viene interpretata da diversi ricercatori come un prisma d’accrezione, formato dalla sovrapposizione verticale di grandi unità tettoniche regionali (falde), ciascuna dello spessore di diverse centinaia (fino anche a migliaia) di metri. Ogni grande falda tettonica sarebbe riconducibile a un diverso settore paleogeografico in cui era suddiviso l’originario bacino marino, denominato Tetide, dal quale avrebbe avuto origine la catena appenninica (Treves, 1984) (Figura 13).

Le successioni sedimentarie marine originali sarebbero state segmentate e sovrapposte le une sulle altre in corrispondenza di una zona di subduzione che, secondo le più recenti teorie, sarebbe dapprima stata caratterizzata da un’immersione verso ESE, e impilamento delle falde tettoniche a vergenza alpina (fase ligure o eo-alpina del *Cretaceo superiore–Paleocene*), poi da immersione verso OSO e impilamento delle falde con vergenza e direzione di trasporto verso nord (fasi tettoniche appenniniche) (Figura 14).

COMUNE DI MONTEFIORINO – PROVINCIA DI MODENA  
 MICROZONAZIONE SISMICA – 2° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO  
 RELAZIONE ILLUSTRATIVA

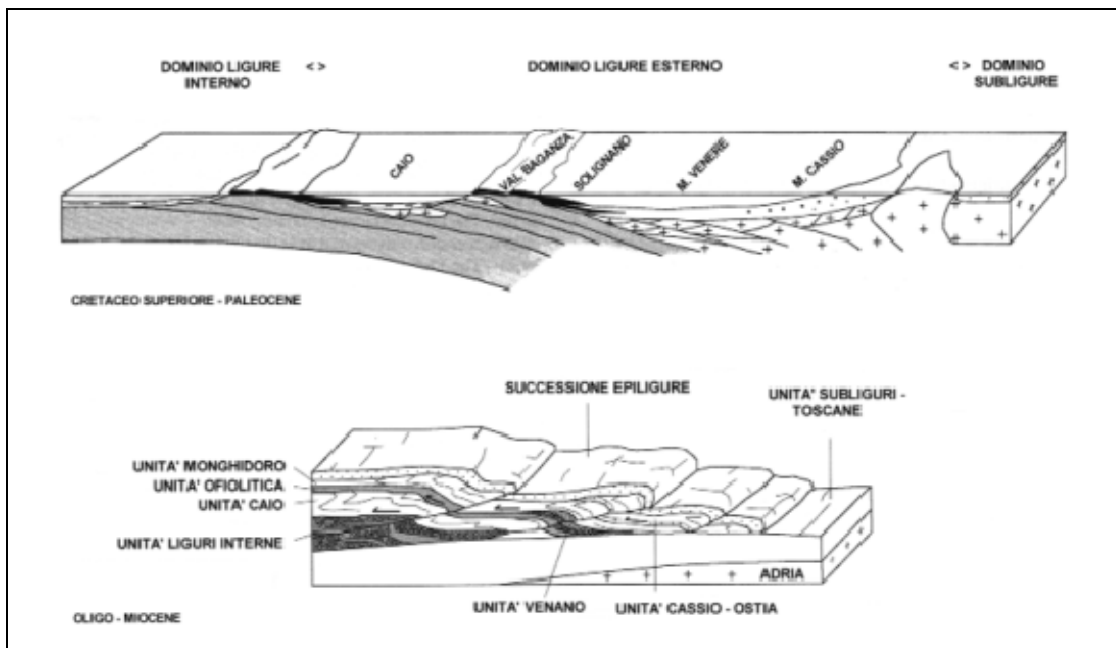


**Figura 12** – Carta geologica della Provincia di Modena, estratta da (Capitani e Bertacchini, 1997). L’ellissi a tratteggio rossa individua a grandi linee la collocazione dell’area in studio presa in esame per la relazione “Indagine geologico – ambientale”, a cura dello Studio Geologico Ambientale “Arkigeo” del Dott. Geol. Giorgio Gasparini, per il redigendo Piano Strutturale Comunale dell’Unione di Comuni Montani “Valli Dolo, Dragone e Secchia” (Montefiorino, Palagano e Prignano sulla Secchia).



**Figura 13** – L'Appennino Settentrionale è una catena a "pieghe e a faglie inverse" inquadrabile nel modello di prisma d'accrezione (da Treves, 1984).

Durante la prima fase tettonica neo-alpina sarebbe avvenuta la subduzione di gran parte dell'originaria crosta oceanica, riferibile a un segmento dell'Oceano Tetide denominato bacino Ligure (o Ligure-Piemontese), con formazione di un prisma d'accrezione costituito da falde liguri, che nelle fasi tettoniche successive sarebbero poi state traslate verso ENE, al di sopra delle unità subliguri, toscane e umbro-marchigiano-romagnole, a formare le cosiddette unità alloctone liguri o Liguridi (Figura 14).



**Figura 14** – Ricostruzione paleogeografica del dominio ligure esterno e assetto strutturale generale delle Liguridi Esterne attraverso l'Appennino modenese secondo (Daniele e Plesi, 2000).

Tale strutturazione (Figura 14) alla scala della catena è ancora riconoscibile anche nell'Appennino modenese (Bettelli e Panini, 1992; Bettelli et al., 1989a, 1989b, 1989c; Daniele e Plesi, 2000; Plesi, 2002). A grandi linee, infatti, è possibile ricostruire la struttura dell'edificio appenninico caratterizzata dalla sovrapposizione, dall'alto verso il basso, di:

- Unità liguri o Liguridi;
- Unità subliguri (o subLiguridi);
- Unità Toscane.

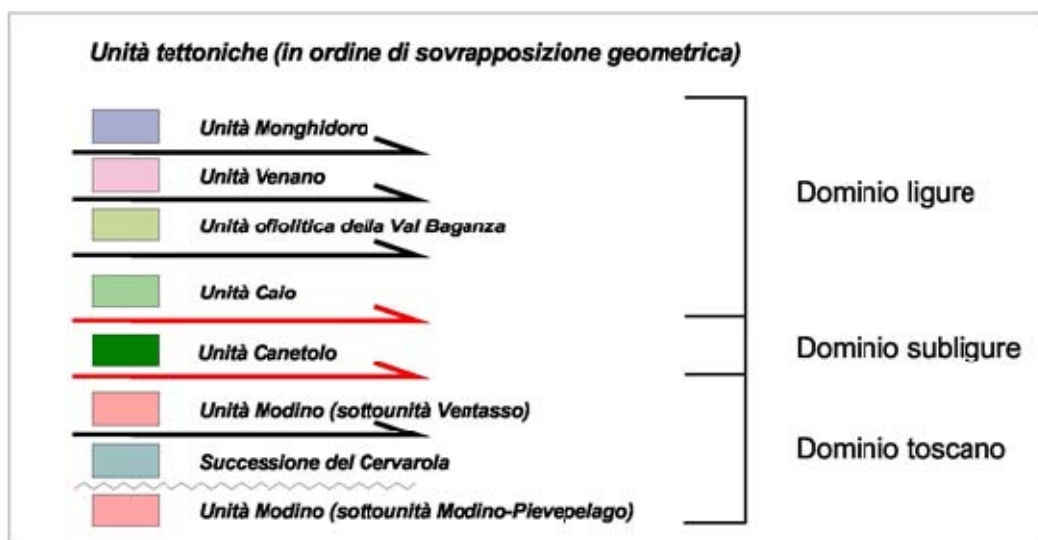
La pila delle Liguridi presenta una strutturazione interna complessa, caratterizzata anch'essa dalla sovrapposizione di unità distinte che avrebbero ciascuna un proprio significato paleogeografico (Figura 14).

Le Liguridi, nel settore di Appennino Modenese compreso tra l'alta Val Dolo e la Val Scoltenna, sono distinguibili, in base all'ordine geometrico di sovrapposizione dall'alto verso il basso (Figura 15) (Plesi, 2002), in:

- Unità Monghidoro (Liguridi esterne);
- Unità Venano (Liguridi esterne) (non affiorante in Val Scoltenna e più a est);
- Unità ofiolitica della Val Baganza;
- Unità Caio (Liguridi interne).

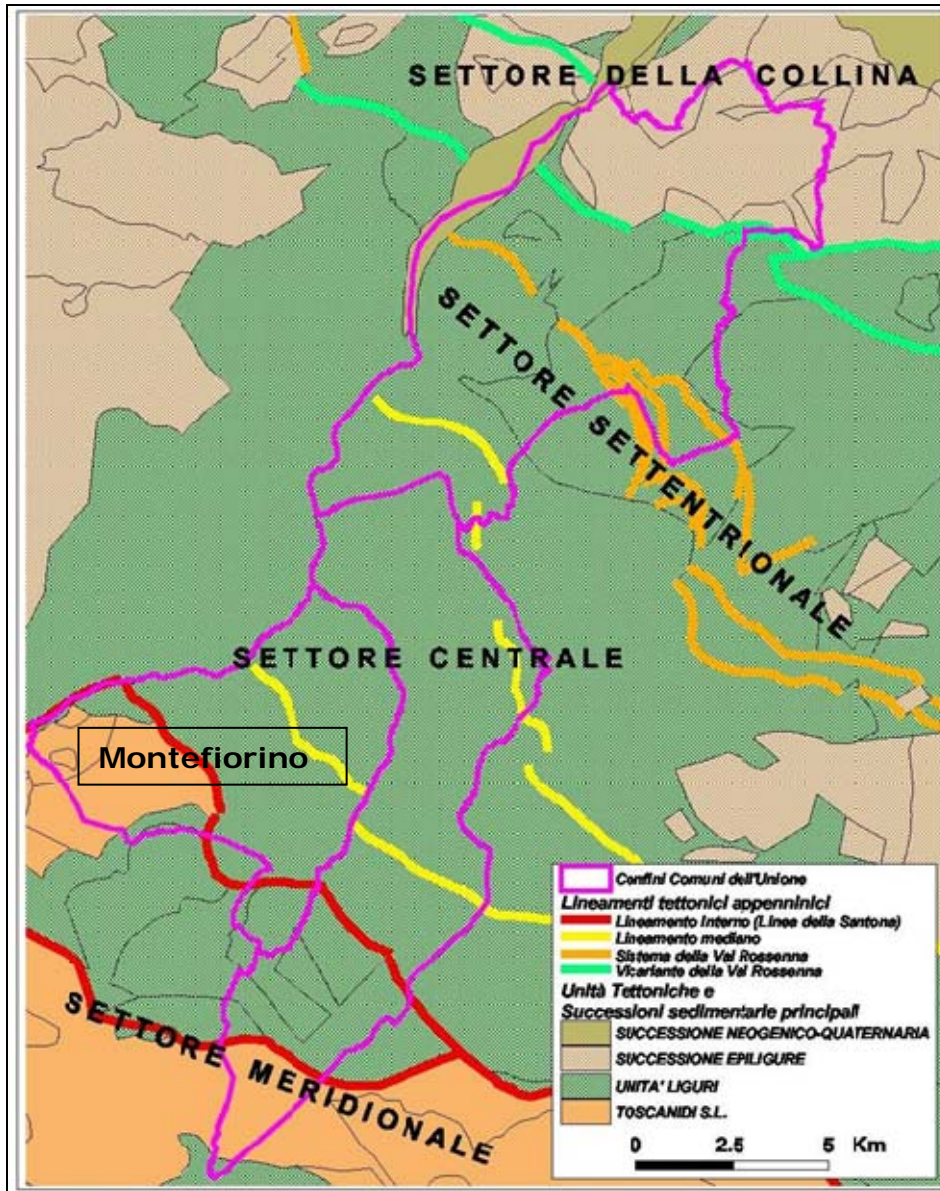
Più a nord, compaiono altre unità tettoniche ascrivibili alle Liguridi esterne, ad esempio l'Unità Cassio (Figura 15) tipica delle aree di Serramazzone (MO) e di Viano (RE) e che affiora limitatamente anche nel territorio di Prignano sulla Secchia.

Nei settori nord dell'area dell'Unione (e in generale nel medio-basso Appennino modenese), le unità Liguridi sono spesso accompagnate dalla così detta Successione epiligure, che rappresenta il prodotto della sedimentazione, avvenuta in ambiente marino (tra l'*Eocene medio-superiore* e il *Tortoniano*), al di sopra delle Liguridi, mentre queste traslavano verso nord sovrapponendosi alle unità subliguri, toscane e umbro-marchigiane (Bettelli et al., 1989a, 1989b) (Figura 14).



**Figura 15** – Schema di sovrapposizione geometrica delle unità strutturali presenti nel medio Appennino Modenese occidentale – disegnato sulla base di (Plesi, 2002).

Gli insiemi di unità tettoniche (toscani, liguri ecc.) affiorano in generale secondo delle fasce ad andamento NO-SE delimitate a nord e a sud da fasce di strutture tettoniche lateralmente persistenti che assumo i caratteri di importanti lineamenti tettonici di valenza regionale (Figura 16). Nell'area dell'Unione dei Comuni si distinguono: un Lineamento Interno (o Linea della Santona<sup>6</sup>), un Lineamento Mediano, il Sistema della Val Rossenna e un sistema di strutture Vicariante della Val Rossenna.



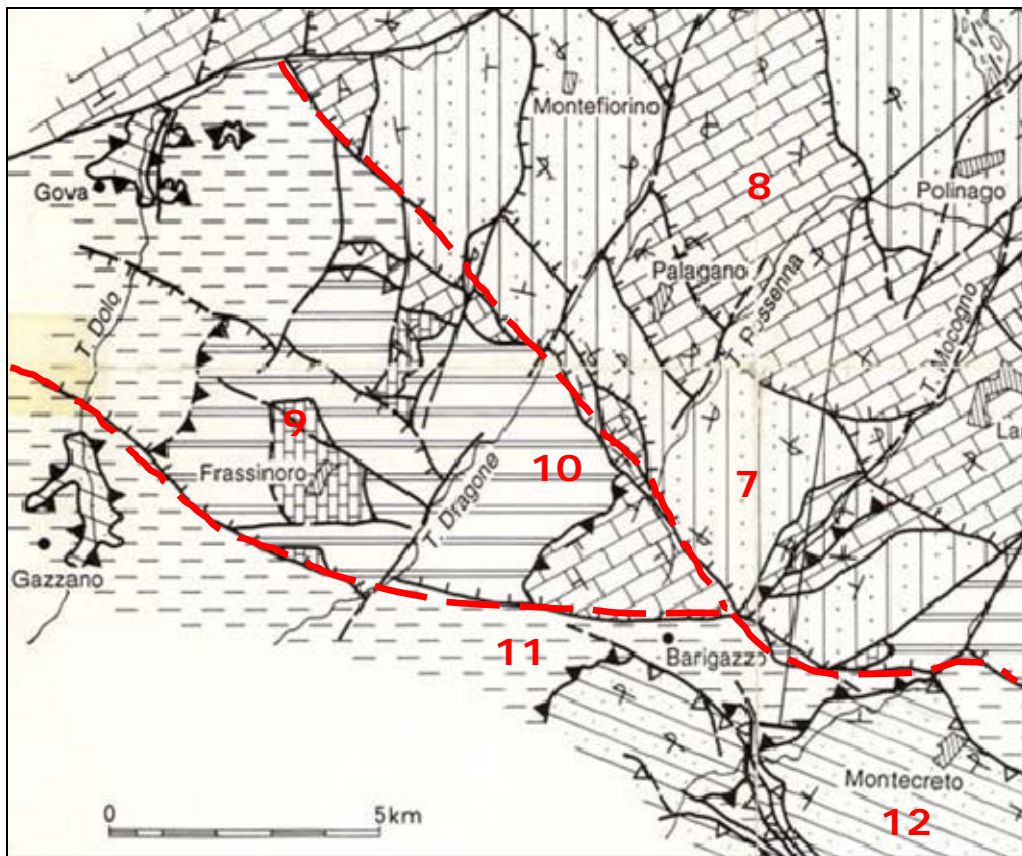
**Figura 16** – Schema tettonico del settore centro occidentale dell'Appennino Modenese (fonte: "Indagine geologico - ambientale", a cura dello Studio Geologico Ambientale "Arkigeo" del Dott. Geol. Giorgio Gasparini, per il redigendo Piano Strutturale Comunale dell'Unione di Comuni Montani "Valli Dolo, Dragone e Secchia" (Montefiorino, Palagano e Prignano sulla Secchia).

<sup>6</sup> (Bettelli e Panini, 1992; Bettelli et al., 2002)

Tali lineamenti tettonici suddividono i territori dell'Unione in tre settori (Figura 16), ciascuno con caratteri litostratigrafici e strutturali che si distinguono in maniera evidente da quelli degli altri settori. Per semplicità descrittiva i tre settori strutturali individuati nei territori dell'Unione sono di seguito informalmente denominati come *Settore meridionale*, *Settore centrale* e *Settore settentrionale* (Figura 16).

#### 4.1.1. Il lineamento Interno e il Settore strutturale meridionale (territori di Palagano)

Il **Lineamento Interno** (Bettelli et al., 2002), (Figura 16 e Figura 17) è composto da due strutture (faglie o, meglio, fasci di faglie), a direzione appenninica e a cinematica normale, che verso est confluiscono in un unico sistema, denominato da Bettelli e Panini (1992) come Linea della Santona.



**Figura 17** – Carta Geologico-strutturale schematica – estratto da (Bettelli e Panini, 1992). Legenda: 7) Formazione di Monghidoro; 8) Formazione di Monte Venere, 9) Flysch di Monte Caio, 10) Complesso di base I: Arenarie di P.gio Castellina (Arenarie di Frassinoro), Argilliti di P.gio Mezzature, argilliti variegata, torbiditi arenaceo-pelitiche, Argille a palombini; 11) Unità tettonica Sestola-Vidiciatico (Unità Ventasso); 12) Arenarie di Monte Cervarola. Elementi lineari: linea continua-faglia subverticale o trascorrente; linea con triangoli vuoti-Faglia inversa; linea con triangoli pieni-sovrascorrimento; linea con linee tratteggiate-faglia normale. La linea rossa tratteggiata individua il Lineamento Interno (o Linea della Santona) che a ovest di Barigazzo si suddivide in due diramazioni.

In corrispondenza di tale struttura tettonica si determina la giustapposizione delle unità toscane, a sud, con le Liguridi ribassate a nord, tra la Valle del Leo e la Valle dello Scoltenna (Figura 16 e Figura 17), funzione che si esercita anche lungo la diramazione sud, tra Barigazzo e la Val Dolo (a

sud del Monte Cantiere), laddove a cavallo della Val Dragone si ha (nei pressi di Cargedolo) la giustapposizione tra l'unità Modino<sup>7</sup> (sotto-unità Ventasso) e l'Unità Ofiolitica del Val Baganza<sup>8</sup>. Per i settori in esame, occorre considerare anche il significato della diramazione nord della Linea della Santona, che giustappone l'Unità Monghidoro alle unità Liguridi geometricamente sottostanti (Unità Caio, Unità Venano, Unità Ofiolitica della Val Baganza) (Figura 15, Figura 16 e Figura 17). Alla macroscale l'effetto generale di tale strutturazione si risolve nel ribassare i settori posti a nord rispetto quelli posti a sud. Ne consegue che il Settore Meridionale di cui alla Figura 16 è caratterizzato dalla presenza di un substrato roccioso ascrivibile essenzialmente ad unità litostratigrafiche di pertinenza toscana, principalmente Unità Modino–Sottounità Ventasso (nota in letteratura anche come Unità Sestola–Vidiciatico).

#### ***4.1.2. Settore Centrale e lineamento Mediano (territori di Palagano e Montefiorino)***

Il substrato roccioso del Settore Centrale è ascrivibile quasi completamente a unità litostratigrafiche Liguridi. Solo nella parte occidentale del territorio di Montefiorino, in Val Dolo, affiorano rocce ascrivibili alla sottounità Ventasso (dell'unità Modino) di pertinenza toscana, alle quali, localmente (poco a nord del Monte delle Coste), affiorano rocce<sup>9</sup> di incerta collocazione stratigrafica (e paleogeografica) che a parere di alcuni studiosi evidenziano caratteristiche affini con unità riferibili al dominio Umbro–Marchigiano–Romagnolo (Plesi, 2002).

Nell'area compresa tra le due diramazioni del Lineamento interno affiorano rocce ascrivibili a diverse unità tettonico–stratigrafiche liguri (Plesi, 2002) tra le quali l'unità Monghidoro, l'unità Venano, l'Unità ofiolitica della Val Baganza e l'Unità Caio (Figura 15, Figura 16 e Figura 17); a nord, invece, (già anche in gran parte del territorio comunale di Montefiorino) affiorano quasi esclusivamente rocce ascrivibili all'Unità Monghidoro (Formazioni di Monte Venere e di Monghidoro) coinvolte in una struttura plicativa di importanza regionale nota in letteratura come Sinclinale della Val Rossenna (Bettelli e Panini, 1992) e, più in particolare, nel suo fianco rovesciato. Sebbene tale struttura plicativa sia ben ricostruibile alla scala sub regionale, essa comunque appare segmentata in settori longitudinali, più o meno relativamente ribassati l'uno rispetto all'altro, in corrispondenza di fasci di faglie (probabilmente normali) indicati nella Figura 16 come Lineamento Mediano, in realtà anch'esso formato da due insiemi di strutture fragili ad alto angolo, circa parallele, che tendono a ribassare i blocchi posti a nord relativamente a quelli posti a sud<sup>10</sup>.

---

<sup>7</sup> L'unità Modino appartiene alle unità toscane, mentre l'Unità Ofiolitica della Val Baganza appartiene alle Liguridi.

<sup>8</sup> Nella Figura 17 sono utilizzate le denominazioni rispettivamente di Unità Tettonica Sestola–Vidiciatico e Complesso di base I.

<sup>9</sup> Arenarie di Gova nella Carta Geologica regionale.

<sup>10</sup> In Bettelli e Panini, (1992) tali lineamenti sono denominati Linea Palagano–Case M. Santo Stefano e Linea di San Martino.



#### **4.1.3. Settore Settentrionale, sistema della Val Rossenna e Vicariante della Val Rossenna (territori di Prignano)**

Il Sistema della Val Rossenna e il Vicariante della Val Rossenna sono due insiemi di faglie ad alto angolo, inclinate verso sud, che ribassano i blocchi meridionali rispetto a quelli settentrionali. Il primo dei due insiemi pare essere inquadrabile come un sistema a rigetto normale, mentre la cinematica del secondo è dubbia e non facilmente risolvibile. Potrebbe trattarsi di un insieme di rampe frontali di vecchi sovrascorrimenti.

Il sistema della Val Rossenna abbassa l'Unità Monghidoro, coinvolta nella Sinclinale della Val Rossenna, a una quota strutturale inferiore e la porta a giustapporsi alle Liguridi esterne dell'Appennino Modenese, nonché all'insieme strutturale (commistione di lembi formazionali liguridi, subliguridi e *incertae sedis*), noto in letteratura come Melange di Coscogno o Unità Tettonica Coscogno); giustapposizione tettonica che si perfeziona attraverso il sistema strutturale che qui è stato informalmente definito come Vicariante della Val Rossenna. L'unità Monghidoro resta pertanto delimitata, come areale di affioramento, a sud dal Lineamento Interno e, a nord, dal Sistema della Val Rossenna–Vicariante della Val Rossenna. Nel Settore Centrale di Figura 17 è strutturata in maniera che prevalgono gli strati a polarità rovesciata<sup>11</sup>, mentre nel Settore Settentrionale prevalgono le polarità diritte<sup>12</sup>.

#### **4.1.4. Settore della collina (territori di Prignano)**

È posto a nord del sistema Vicariante della Val Rossenna e, per quanto riguarda il territorio dell'Unione Comunale, è rappresentato esclusivamente dal settore più a nord del territorio di Prignano. Dal punto di vista geologico è caratterizzato dalla presenza di un substrato formato principalmente da rocce riferibili a unità appartenenti alla Successione Epiligure (Bettelli et al., 1989a, 1989b, 1989c). Si tratta di una successione sedimentaria (Bettelli et al., 1989b) sedimentatasi al di sopra delle unità Liguridi mentre queste venivano traslate verso NE dalle forze orogenetiche<sup>13</sup> tra l'*Eocene inferiore – medio* e il *Tortoniano*.

#### **4.1.5. Analisi morfostrutturale e strutture tettoniche trasversali**

Attraverso l'analisi della presenza di strutture lineari o planari che si discostano dall'andamento medio dei versanti (resa possibile dal modello digitale delle quote – DEM), sono state identificate le strutture indicate in Figura 18 e in Figura 19. Tali strutture, da un'attenta disamina dei dati geologici di bibliografia, d'archivio o derivanti da rilevamento di campagna, coincidono per gran parte con limiti identificabili sulla base dell'interpretazione geologico–stratigrafica, o hanno

---

<sup>11</sup> Fianco rovesciato della Sinclinale della Val Rossenna.

<sup>12</sup> Fianco diritto della Sinclinale della Val Rossenna.

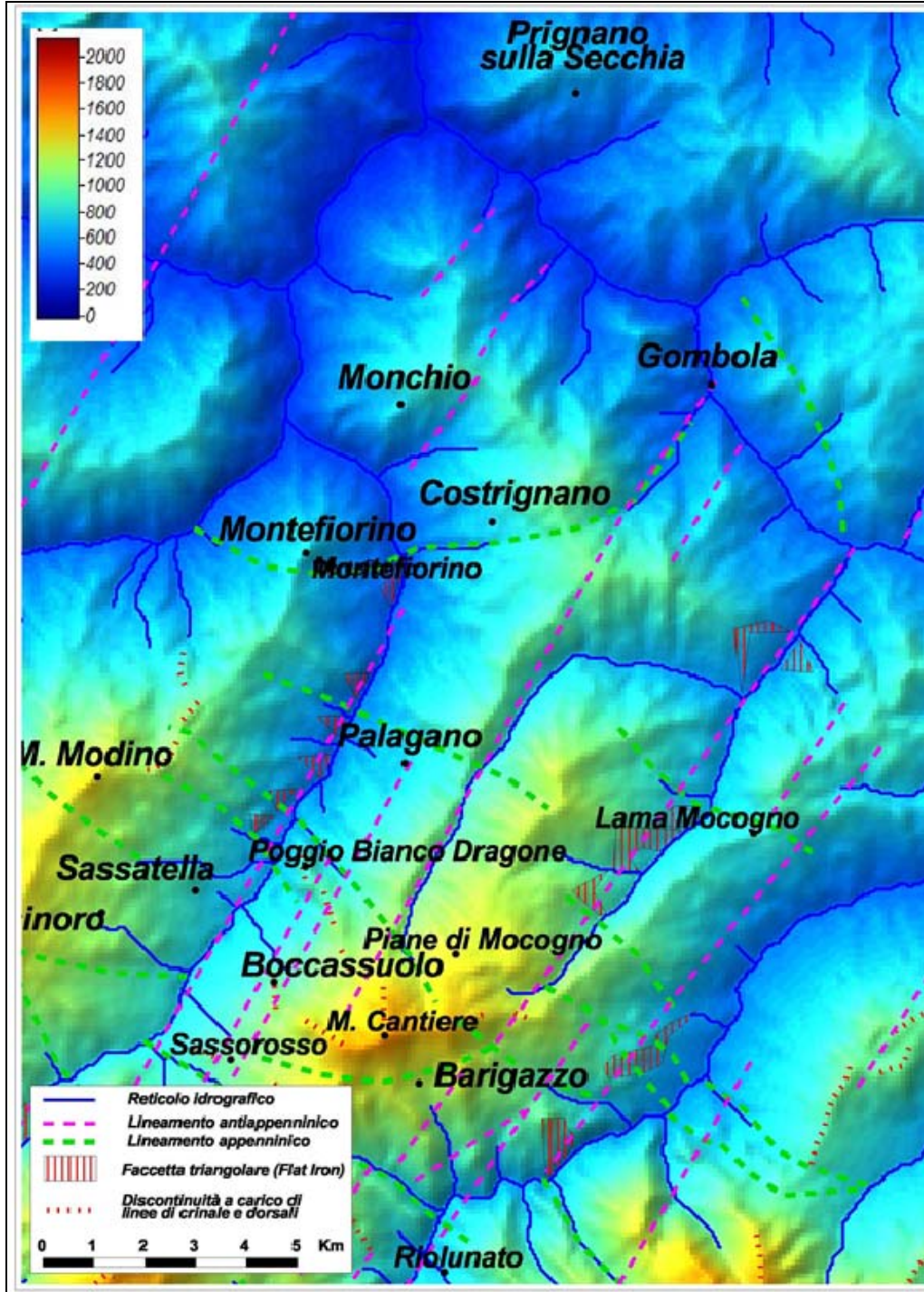
<sup>13</sup> La Successione Epiligure è stata anche denominata in passato come Successione semiautoctona o Semialloctona terziaria, proprio per il fatto di essersi sedimentata al di sopra delle Liguridi "in movimento" verso NE, con le quali quindi condivide un certo grado di alloctonia (variabile in base all'età delle formazioni considerate), ma non la provenienza paleogeografica in quanto sarebbe il risultato della deposizione all'interno di bacini "satelliti" o del tipo "piggy-back" (De Nardo et al., 1991).

comunque un andamento che corrisponde a quello di elementi geologico-strutturali identificati sulla base dei dati geologici (stratigrafici e strutturali).

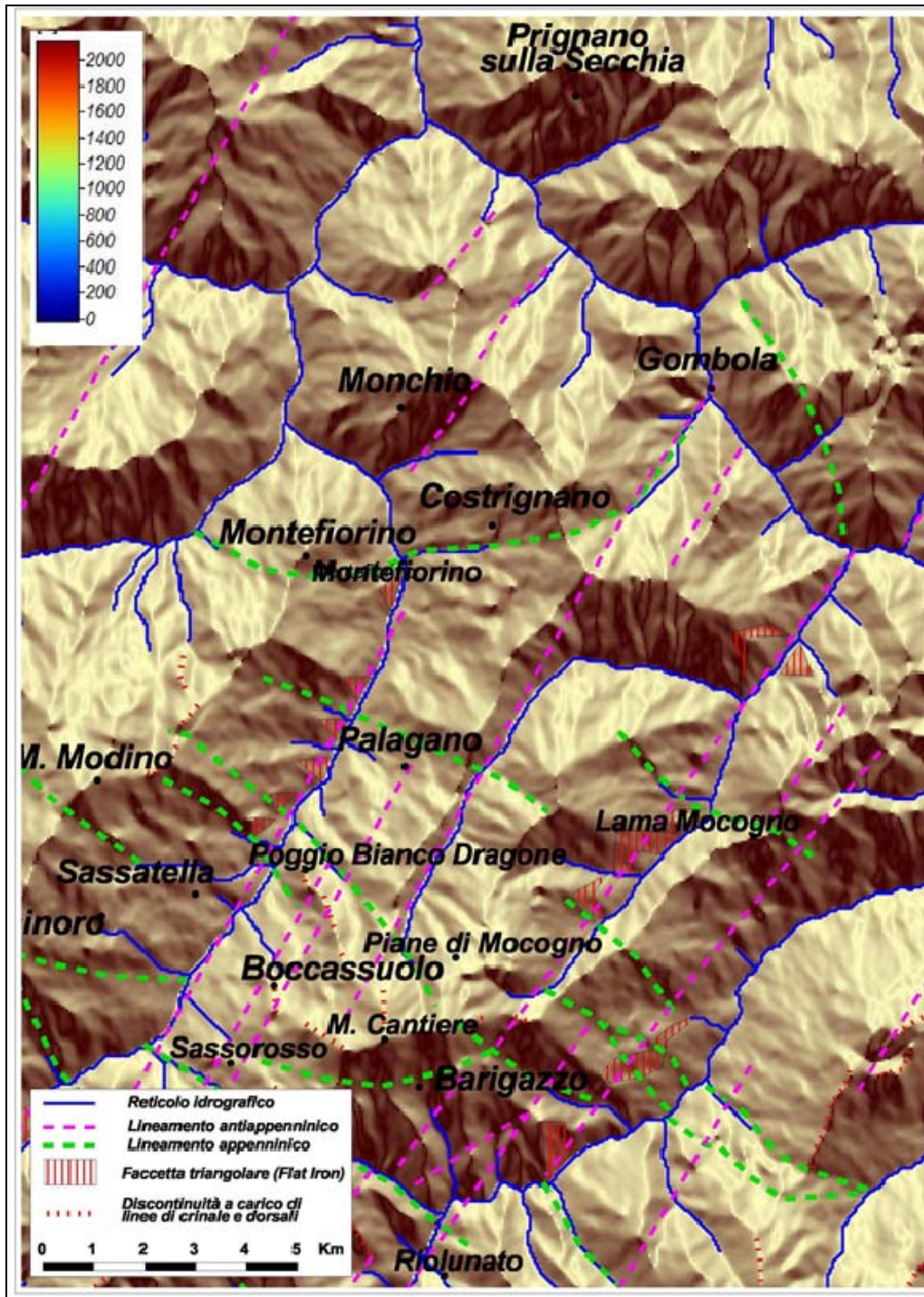
Figura 18 e Figura 19 mostrano come l'area dell'Unione sia caratterizzata principalmente da lineamenti strutturali ad andamento appenninico (in verde nelle figure), circa NO-SE, e da lineamenti anti-appenninici (con direzione circa N210). I morfolineamenti a direzione appenninica mostrano un andamento grossolanamente curvilineo e appaiono riconducibili a piani ad alto angolo, o comunque molto inclinati; questi spesso coincidono (o comunque sono subparalleli) con le faglie normali e coi sistemi di faglie normali descritti precedentemente (Figura 16 e Figura 17: ad es. Lineamento Interno). In Figura 18 e Figura 19 sono indicati anche numerosi lineamenti ad assetto antiappenninico che formano un fascio di tracce sub-parallele, rettilinee (riferibili quindi a piani pressoché subverticali). Il fascio di strutture è riconoscibile per una larghezza di circa 12 Km (in senso NO-SE) e per una lunghezza di circa 25 Km in direzione trasversale alla catena (N210). Le evidenze morfologiche dell'esistenza di tale fascio di deformazioni fragili trasversali sono numerose:

- i corsi dei Torrenti Dragone, Rossenna (parte alta), Mocogno e di un tratto del Torrente Scoltenna, sono pressoché subparalleli (direzione circa N210); il lineamento lungo il T. Mocogno, oltre tutto, si pone come diretta prosecuzione di quello dello Scoltenna, mentre il lineamento che passa poco a est di Monchio si pone in prosecuzione di quello che si colloca a cavallo del corso del Dragone;
- lungo il T. Dragone e il T. Mocogno, principalmente in sinistra idrografica, si riconosce la presenza di forme, cosiddette “faccette triangolari” (*flatiron*), la cui interpretazione è generalmente ricondotta alla presenza di piani di faglia, che tagliano un versante determinando una discontinuità morfologica che, nella carta dell'esposizione (Figura 19) appare piuttosto evidente. Il dato è interessante, soprattutto per la Val Dragone, dove le faccette triangolari sembrano delineare un'unica struttura planare (una superficie a trend N210, ad alto angolo inclinata verso SE) lungo la quale si sarebbe impostata la valle medesima. Il dato è reso ancor più significativo dal fatto che le strutture sono individuabili sia nel tratto di valle a nord del ramo settentrionale della Linea della Santona (Figura 17), dove sono presenti rocce appartenenti all'unità Monghidoro, sia nel tratto a sud di tale lineamento tettonico, dove affiorano invece le ofioliti e le argille a Palombini riferibili all'Unità Ofiolitica della Val Baganza;
- lungo il versante destro della Val Dragone si individuano lineamenti sub-paralleli (direzione N210) evidenziati da variazioni brusche dell'acclività, contropendenze, superfici sub-pianeggianti e deviazioni nell'andamento di linee di dorsale e crinali secondari. Detti lineamenti sono solo parzialmente mascherati dalla presenza di estesi corpi di frana. Non è escluso che la geometria e la diffusione degli stessi movimenti franosi possa essere stata controllata anche dall'assetto strutturale e, soprattutto, da contatti tettonici lungo faglie a direzione anti-appenninica (coincidenti con i lineamenti morfostrutturali);
- nel corso di sopralluoghi con rilevamento di campagna sono state osservate (su rocce ofiolitiche sia in destra che in sinistra del T. Dragone) diverse superfici di faglie mesoscopiche, anche di grandi dimensioni, subparallele al trend antiappenninico dei lineamenti morfostrutturali principali o comunque con assetti geometrici inquadrabili in

uno schema riconducibile ad una fascia di deformazioni di taglio destro caratterizzata da un'orientazione all'incirca N210.



**Figura 18** – Rappresentazione della topografia dell'area compresa tra la Val Dragone e la Valle dello Scoltenna tramite modello digitale del terreno (fonte dati: DEM SRTM, sito web NASA). Da: “Indagine geologico – ambientale”, a cura dello Studio Geologico Ambientale “Arkigeo” del Dott. Geol. Giorgio Gasparini, per il redigendo Piano Strutturale Comunale dell’Unione di Comuni Montani “Valli Dolo, Dragone e Secchia” (Montefiorino, Palagano e Prignano sulla Secchia).



**Figura 19** – *Aspect map* (carta dell'esposizione) elaborata a partire dal DEM di cui alla figura precedente. La carta descrive l'orientazione, rispetto al nord, di ciascuna cella che forma il DEM. Tale elaborazione permette di accentuare maggiormente il risalto di certe forme topografiche (crinali, fondivalle, scarpate, superfici relitte, faccette triangolari (*flatiron*), ecc.), evidenziando l'esistenza di strutture e forme. Da: "Indagine geologico - ambientale", a cura dello Studio Geologico Ambientale "Arkigeo" del Dott. Geol. Giorgio Gasparini, per il redigendo Piano Strutturale Comunale dell'Unione di Comuni Montani "Valli Dolo, Dragone e Secchia" (Montefiorino, Palagano e Prignano sulla Secchia).

## 4.2. Inquadramento geomorfologico

Da un'osservazione anche sommaria degli elementi che caratterizzano il paesaggio dei territori dell'Unione, è evidente che, al di là dei condizionamenti strutturali di cui si è parlato nei capitoli precedenti, l'azione della forza di gravità e delle acque incanalate sono gli agenti che in maggiore misura contribuiscono alla morfogenesi recente ed attuale.

### 4.2.1. Frane

Pressoché tutti i versanti dei corsi d'acqua principali (Secchia, Dolo, Dragone e Rossenna) sono interessati dalla presenza di corpi franosi che, in vari casi, si allungano per tutto o quasi tutto lo sviluppo del versante medesimo (secondo la direzione di massima pendenza).

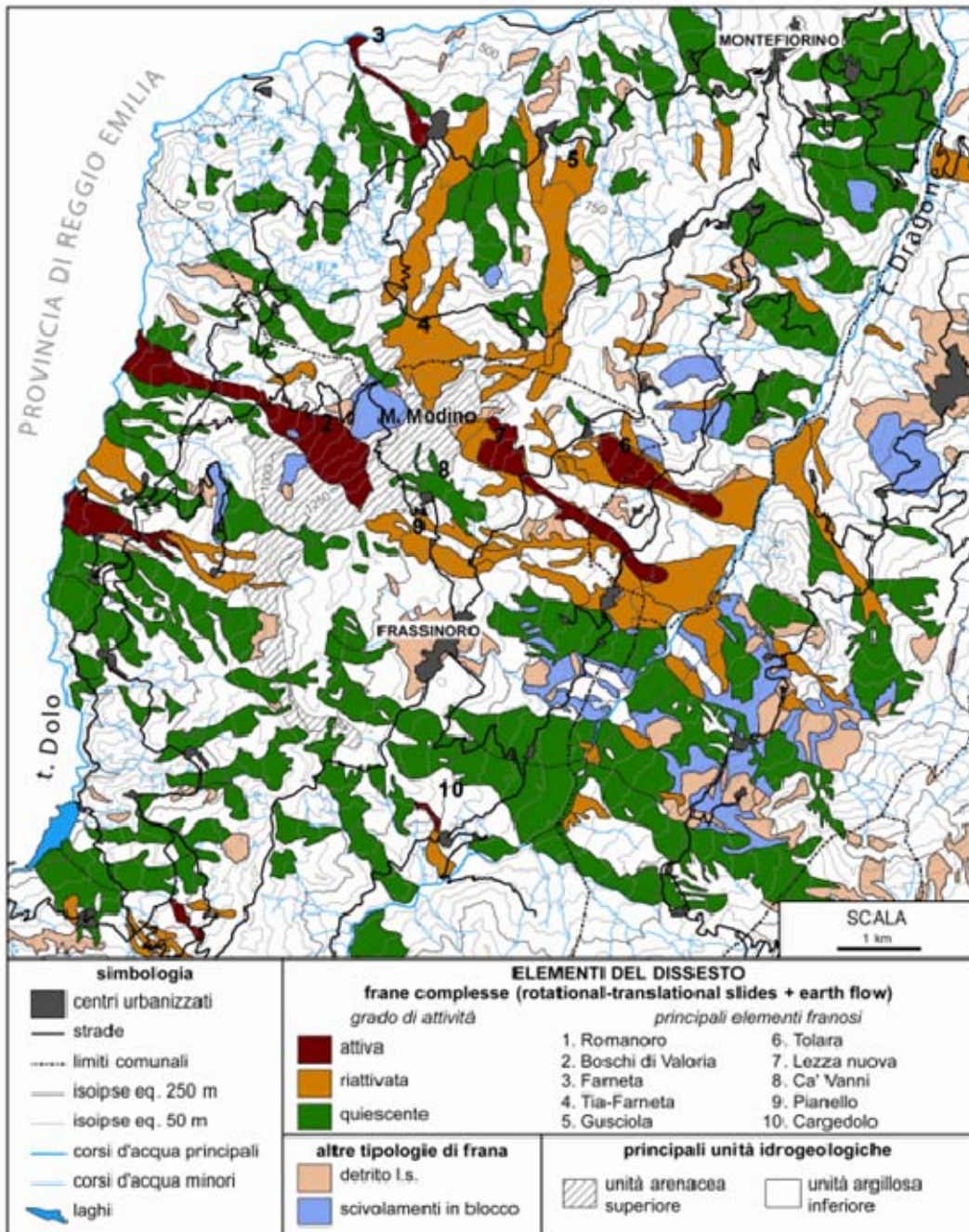
Secondo quanto riportato in (Garberi et al., 1999), il territorio di Montefiorino è interessato da corpi franosi per una percentuale compresa tra il 40 e il 50 per cento, mentre i territori di Prignano e Palagano sarebbero interessati da frane per una percentuale compresa tra il 20 e il 30 per cento dell'intero territorio comunale. Sempre secondo quanto riportato nella pubblicazione citata, i chilometri totali di infrastrutture viarie interessate da frane attive o che insistono su frane quiescenti sarebbero rispettivamente: oltre 32 nel territorio di Montefiorino (pari a circa il 47% del totale), oltre 26 nel Comune di Palagano (pari a poco più del 38% del totale) e oltre 30 nel Comune di Prignano (pari a oltre il 27% del totale).

In linea generale, le tipologie di frana più frequenti, per quanto riguarda la dinamica di movimento, sono: *traslativa*, *roto-traslativa*, *colata* o, più spesso, *complessa*. La genesi è favorita dall'alta energia del rilievo (elevato dislivello tra crinali e fondi valli), dall'assetto strutturale (strati a franapoggio, oppure strutturazione del rilievo caratterizzata da presenza di rocce a componente prevalentemente lapidea nelle parti elevate del versante e rocce a componente prevalentemente argillitica nelle parti medio basse del medesimo) e da abbondanti precipitazioni totali annue, che possono, in talune annualità, ripartirsi in piogge concentrate in certi periodi dell'anno, tanto che molti eventi franosi sembrerebbero essersi attivati in coincidenza di eventi pluviometrici particolarmente intensi e/o prolungati (si veda, a proposito, anche il recente articolo presente sul numero 47 della rivista "Il Geologo dell'Emilia-Romagna", a cura di Tellini, 2013).

La propensione alla franosità dei territori in esame è testimoniata sia dalla documentazione storica (ad. es. Brunamonte, 2003) sia dai numerosi studi e segnalazioni che hanno interessato e interessano tutt'ora gli areali dell'Unione.

Il sistema delle frane che scendono dal Monte Modino (Figura 20) ne è un chiaro esempio, sia in riferimento ai danni che i versanti interessati hanno subito storicamente e recentemente (sia in destra Dolo che in sinistra Dragone), sia per gli sforzi materiali ed economici che sono stati impegnati per lo studio di tali fenomeni franosi e per la risistemazione di manufatti e infrastrutture viarie che, a più riprese, anche nel recente passato, sono stati danneggiati dai movimenti di versante (Leuratti et al., 2007). Da evidenziare come si tratti, spesso, di frane la cui origine è molto antica (diverse migliaia di anni secondo alcune datazioni radiometriche) (Leuratti et al., 2007) e che hanno contribuito a modificare le forme e la percezione del paesaggio locale sia lungo i versanti che nei fondovalle.

Evidenze morfologiche, ma anche testimonianze recenti, indicherebbero, ad esempio, che le frane della “Lezza Nuova” e di “Tolara” (Figura 20) avrebbero ostruito a più riprese il corso del Torrente Dragone, dando luogo alla formazione di laghi di sbarramento effimeri (Soldati e Tosatti, 1993). L’area di Monte Modino non è comunque l’unica sede di movimenti gravitativi di versante importanti ad avere destato l’interesse di studiosi e degli organi tecnici preposti al monitoraggio e alla sicurezza del territorio.



**Figura 20** – Carta geomorfologica della dorsale compresa tra Frassinoro e Montefiorino (Valli dei Torrenti Dolo e Dragone). Sono individuate, con un numero di riferimento, le frane che scendono dal Monte Modino (estratto da Leuratti et al., 2007).

Numerose sono le forme gravitative di versante che, nel tempo, sono state oggetto di studio, di interventi di messa in sicurezza o di ripristino, o comunque soggette a monitoraggio periodico; tra queste, oltre al citato sistema delle frane del Monte Modino (Comuni di Montefiorino, Palagano e Frassinoro), si ricordano la frana di Saltino–La Volta (Comune di Prignano, fianco destro della valle del F. Secchia), le frane di Castelvechio–Case Olivieri (Comune di Prignano, fianco destro della valle del F. Secchia), le frane di Boccassuolo e dell’area del Cinghio del Corvo (Comune di Palagano, fianco destro della Valle del Torrente Dragone); la frana sul versante orientale di Montefiorino (Comune di Montefiorino, fianco sinistro della Valle del Torrente Dragone); la frana di Ponte Dolo (Comune di Montefiorino, fianco destro della Valle del Torrente Dolo) ecc.

#### ***4.2.2. Altri depositi di versante di varia genesi***

La carta idro–geomorfologica del redigendo PSC dell’Unione riporta, mutuandoli dalla carta geologica regionale, gli accumuli detritici di versante ascrivibili a processi diversi dalle frane (Figura 22). Si tratta di depositi eolici (o interpretati come tali), palustri o da riempimento di laghetti, eluviali, colluviali e, ovviamente, di genesi mista. Data la loro estrema eterogeneità genetica e composizionale, non è possibile, in questa sede, descriverne in modo specifico le caratteristiche litotecniche (resistenza, compattezza, grado di alterazione ecc.) ed individuarne precisi spessori. Questi ultimi sono identificabili solo in pochissimi casi puntuali, in corrispondenza di sondaggi geognostici. La loro presenza può comunque giocare un ruolo importante nell’amplificazione stratigrafica dell’input sismico.

Come si può vedere in Figura 22, i depositi di versante di genesi mista sono in gran parte distribuiti sui versanti orientale ed occidentale del crinale su cui sorge l’abitato di Montefiorino; la genesi è “genericamente” definita come “di versante”, ma considerata la loro prossimità a corpi di frana cartografati, potrebbero anche essere identificati come depositi di frana stabilizzati o relitti.

#### ***4.2.3. Morfologie legate all’azione delle acque di ruscellamento superficiale***

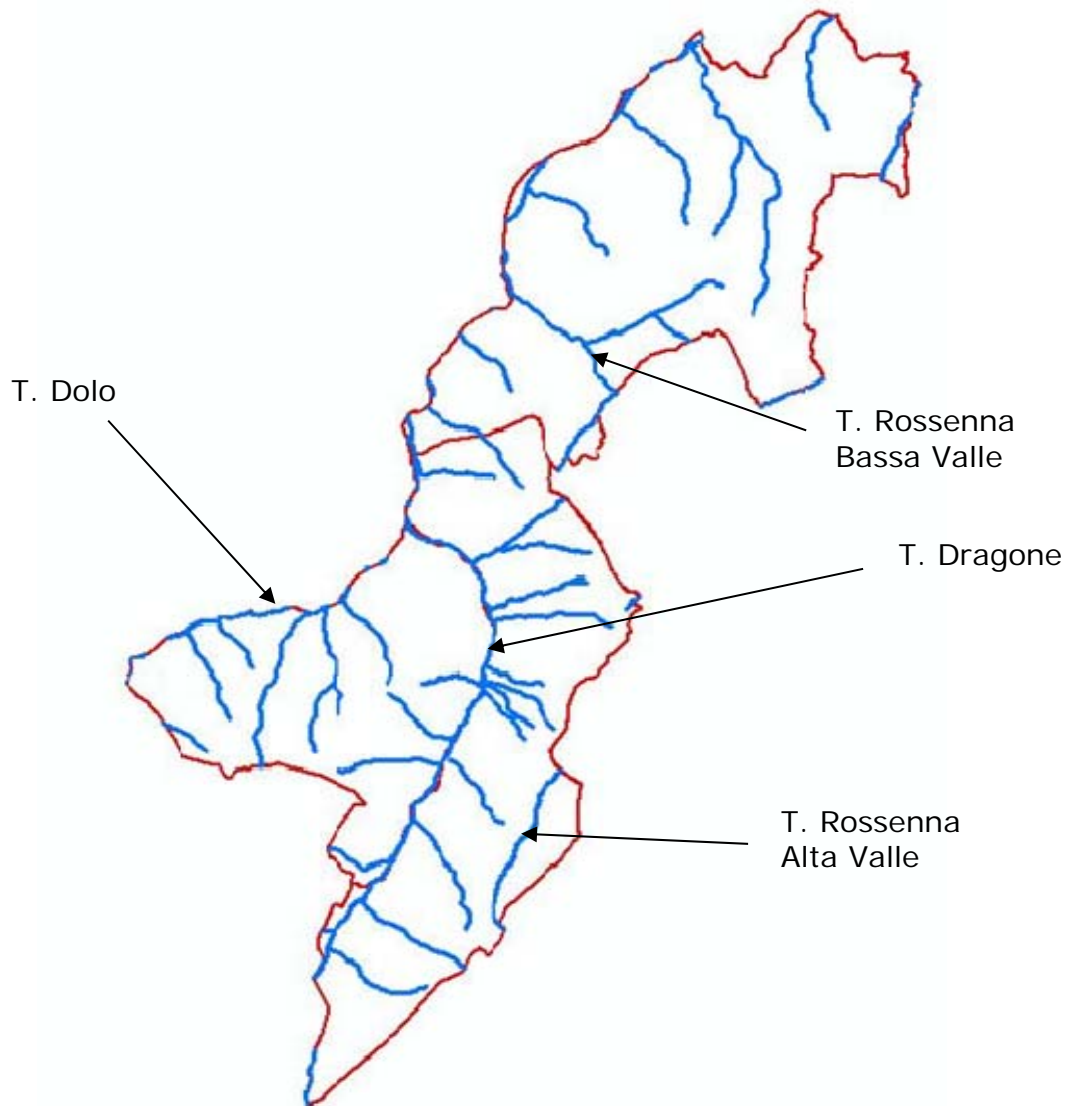
##### **RETICOLO IDROGRAFICO**

Nei territori dell’Unione Comunale, oltre alla forza di gravità, il principale agente morfologico del paesaggio è rappresentato dalle acque di ruscellamento superficiale che danno forma al reticolo idrografico il quale ha nei Torrenti Dolo, Dragone, Rossenna e Fiume Secchia gli assi principali; il suo andamento generale, come detto precedentemente, è spesso influenzato dall’assetto strutturale e dal substrato litologico.

Le principali aste fluviali presentano un andamento sostanzialmente parallelo tra di loro (Figura 21), per lo meno nei settori Meridionale e Centrale di Figura 16 e, per il Secchia, anche nei settori settentrionali e della collina. Tale andamento rispecchia sostanzialmente quello delle faglie trasversali di cui si è parlato diffusamente in precedenza (Figura 18 e Figura 19). In realtà, il torrente Dolo conserva tale andamento più a sud, nel Comune di Frassinoro, mentre tende a deviare verso est nel territorio di Montefiorino, fino quasi alla confluenza col Dragone. Tale andamento è ancora fortemente controllato dalle macrostrutture geologiche. In tale settore, la presenza di una faglia posta in coincidenza proprio del torrente determina il forte abbassamento

relativo del blocco settentrionale (in Provincia di Reggio Emilia) con giustapposizione delle unità liguri (Unità Tettonica Monghidoro), a nord, alle unità toscane della Finestra tettonica di Gova. L'entità del rigetto verticale supererebbe i 3000 m sulla base dei dati derivanti da una perforazione profonda nei pressi di Quara, sul versante reggiano della Val Dolo (Anelli et al., 1994) e il risultato di tale strutturazione alla macroscale avrebbe come conseguenza anche la deviazione indotta dalla presenza di rocce meno erodibili (formazioni di Monghidoro e Monte Venere) che farebbero da ostacolo alla progressione fluviale e avrebbero deviato il corso fluviale dal generale andamento SO-NE, riscontrato, invece, in tutte le aste fluviali principali.

Sempre a cause strutturali e legate alla natura del substrato sarebbe dovuto anche l'andamento del segmento più a valle del Torrente Rossena (tra il comune di Polinago e quello di Prignano), laddove l'affiorare del nucleo della sinclinale della Val Rossenna porta a giorno le rocce più erodibili (a natura prevalentemente argillitica) del Complesso del Rio Cargnone e, in generale, della Successione della Val Rossenna (parte alta della Successione che ha dato origine all'Unità Tettonica Monghidoro).



**Figura 21** – Schema del reticolo idrografico dei territori comunali di Montefiorino, Palagano e Prignano sulla Secchia.



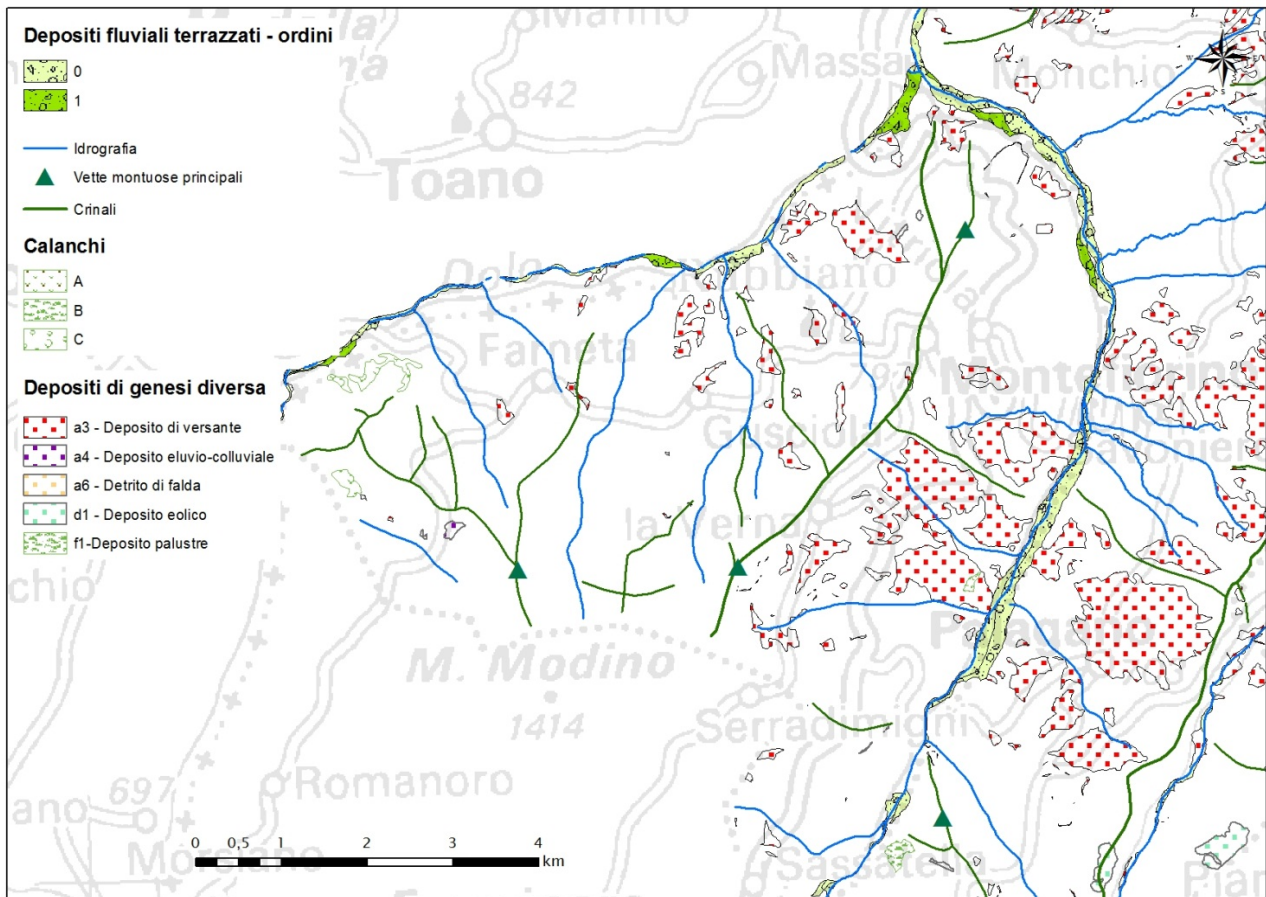
### **DEPOSITI FLUVIALI DI FONDOVALLE E TERRAZZATI**

Nella carta idro-geomorfologica del redigendo PSC dell'Unione (a cui si rimanda per completo riferimento), sono indicati i depositi fluviali, distinti secondo l'ordine di terrazzamento locale. Seguendo i contenuti della carta geologica regionale, i depositi fluviali sono stati distinti in sei ordini di terrazzi morfologici partendo dai depositi di alveo attuali (identificati come terrazzi numero 0 e numero 1) fino ai resti di depositi fluviali terrazzati a quote anche di diverse decine di metri rispetto all'alveo attuale (terrazzi di ordine 3, 4 e 5).

I terrazzi di ordine superiore sono interpretabili come i resti dell'alveo di epoche antiche (anche pre-Olocene) che, per effetto del sollevamento generalizzato della catena appenninica, sono stati erosi e in generale in minima parte preservati come forme di terrazzo morfologico. Tra questi si distinguono, per la notevole ampiezza e continuità, i terrazzi morfologici presenti nel territorio di Prignano (loc. Le Piane e Casa Azzani), in destra Secchia. Si tratta di estese superfici pianeggianti che si sviluppano parallelamente al corso fluviale complessivamente per circa 2 chilometri, con una larghezza che raggiunge anche i 200 m e sono delimitate verso fiume da una scarpata subverticale di oltre 40 m di altezza. La presenza in alveo di rocce scarsamente erodibili (Formazione di Pantano) ha fatto sì che il fiume abbia scavato una gola stretta (nota come Stretta del Pescale) lasciando in alto i resti di un'antica piana valliva, ben preservata, caratterizzata dalla presenza in superficie di alcuni metri di depositi fluviali antichi che al bordo del versante sono localmente ricoperti da materiali di natura eluvio-colluviale o gravitativa.

Oltre ai depositi fluviali terrazzati, nella Carta Idro-geomorfologica del redigendo PSC sono individuati anche i conoidi alluvionali, solitamente localizzati in corrispondenza della confluenza tra due corsi d'acqua.

Come si vede da Figura 22, i depositi alluvionali terrazzati sono ovviamente limitati agli alvei attuali dei corsi d'acqua principali, ovvero dei torrenti Dolo e Dragone e, con estensioni relativamente maggiori, in prossimità della confluenza tra i due torrenti, ove sono presenti anche terrazzi piuttosto estesi di ordine 1.



**Figura 22** – Distribuzione dei depositi alluvionali terrazzati (solo ordini minori), dei depositi di genesi diversa e dei calanchi nel territorio comunale di Montefiorino. Tematismi vettoriali estratti dalla Carta Idro-geomorfologica del redigendo PSC dell'Unione dei Comuni delle Valli Dolo-Dragone-Secchia.

### CALANCHI

I calanchi sono forme erosive derivanti dall'azione del ruscellamento concentrato delle acque meteoriche. Si formano su terreni a comportamento geomeccanico plastico, generalmente sovraconsolidati. Nelle fasi genetiche iniziali si origina una vallecchia principale, dalla quale si diramano poi altre vallecchie di ordini via, via inferiori. Il processo procede generalmente per arretramento delle testate delle varie vallecchie e conseguente riduzione dello spazio tra una vallecchia e l'altra; si formano, in tal modo, dorsali ripide e strette ("a lama di coltello"). La genesi delle forme calanchive è favorita dall'assetto a reggipoggio della stratificazione, che permette la formazione di versanti ripidi nei quali prevalgono i fenomeni erosivi rispetto a quelli franosi (i quali sono generalmente favoriti da pendenze più dolci e concavità pronunciate della superficie topografica). Le forme calanchive mature presentano una struttura ad anfiteatro, tuttavia fattori strutturali e litologici possono condizionarne l'aspetto. Spesso si possono avere forme miste, in cui ai fenomeni erosivi *strictu sensu* si associano fenomeni franosi: laddove questi ultimi prevalgono, le forme risultanti vengono dette pseudo-calanchive.

Considerate le caratteristiche geologico-strutturali precedentemente descritte, ne deriva che le forme calanchive si concentrano prevalentemente nella parte nord del territorio di Prignano.

Alcune forme sono presenti nel territorio di Montefiorino (Figura 22), nella zona a ovest, mentre in Palagano sono quasi completamente assenti.

Nella carta idro-geomorfologica del redigendo PSC sono state riportate le forme calanchive riprese dal PTCP, in quanto non è stata ravvisata l'esistenza di ulteriori simili morfosculture cartografabili. Dallo stesso PTCP è stata anche mantenuta la classificazione in calanchi peculiari (A), Calanchi tipici (B) e Aree (o zone) sub-calanchive (C).

## 5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

### 5.1. Descrizione generale per i territori dell'Unione dei Comuni Montani "Valli Dolo, Dragone e Secchia"

In generale, il territorio dell'Unione dei Comuni Montani "Valli Dolo, Dragone e Secchia" è caratterizzato, come già detto in precedenza, dalla presenza di rocce ascrivibili a formazioni riconducibili ai domini ligure e toscano. Nella finestra tettonica di Gova affiorano anche rocce di dubbia attribuzione paleogeografica (Arenarie di Gova) che, secondo alcuni ricercatori, potrebbero essere ascrivibili al Dominio Umbro-Marchigiano-Romagnolo; nel settore nord del Comune di Prignano sono invece presenti formazioni attribuibili alla Successione Epiligure, nota in letteratura anche con attribuzioni quali successione "semi-autoctona" o "semi-alloctona", proprio per evidenziare il fatto che la sedimentazione è avvenuta durante un lasso di tempo di diverse decine di milioni di anni su un substrato (le unità Liguridi) in movimento dietro la spinta delle forze orogenetiche.

#### 5.1.1. Unità Liguridi

Daniele e Plesi (2000) distinguono le successioni riferibili al dominio Ligure Esterno da quelle che non contengono, o comunque contengono in maniera poco rilevante, materiali oceanici e che pertanto potrebbero essersi sedimentate in un bacino caratterizzato da crosta di tipo continentale (margine adriatico) sia pur frammentata e assottigliata ("zona o dominio emiliano"). Nell'Appennino Settentrionale, al confine tra le Province di Modena e Reggio Emilia, le unità tettoniche Liguri Esterne sono, in ordine di impilamento strutturale dall'alto verso il basso, le seguenti (Figura 15):

- 4) Unità Monghidoro;
- 3) Unità Venano;
- 2) Unità ofiolitica della Val Baganza;
- 1) Unità Caio.

#### UNITÀ TETTONICA MONGHIDORO

Dell'Unità Monghidoro, nell'area dell'Unione, affiorano principalmente le unità turbiditiche rispettivamente denominate Formazione di Monte Venere e Formazione di Monghidoro. In Val

Dragone sono segnalati anche piccoli affioramenti attribuiti alle Argille Variegate di Grizzaga Morandi (che probabilmente facevano parte del complesso di base dell'Unità di Monghidoro), mentre in Val Rossenna affiorano anche i terreni della parte più alta, e recente, della Successione, caratterizzati da composizione prevalentemente argillitico-marnosa o argillitica con tessitura a "blocchi in pelite" (Complesso del Rio Cargnone e Argille della Val Rossenna).

Il substrato di quasi l'intero territorio comunale di Palagano, di circa 2/3 del territorio di Montefiorino (parte orientale) e di circa 1/4 del territorio di Prignano è formato da rocce riferibili alle due formazioni menzionate.

La *Formazione di Monte Venere (Campaniano Sup. – Maastrichtiano Sup.)* è costituita prevalentemente da torbiditi arenaceo-marnose a base fine, di colore grigio-chiaro, in strati da medi a molto spessi, con a tetto sottili strati di argille grigio-scure o nerastre. Sono inoltre presenti intercalazioni, di alcuni metri di spessore, formate da strati arenaceo-pelitici, da sottili a spessi, e megatorbiditi calcareo-marnose in strati spessi fino a 15 m.

Anche la *Formazione di Monghidoro (Maastrichtiano Sup. – Paleocene Sup.)* è data principalmente da torbiditi arenaceo-pelitiche in strati spessi, nei quali in generale prevalgono i termini arenacei. Intercalati alle torbiditi possono poi esserci degli orizzonti formati da strati da sottili a medi di torbiditi pelitico arenacee, nelle quali prevale la componente più fine. Le arenarie sono solitamente gradate, con base a granulometria da media a grossolana, o anche micro-conglomeratica, localmente poco cementate, di colore grigio scuro. La componente argillosa, posta a tetto delle torbiditi, presenta solitamente una colorazione scura (da grigio cinerea a nerastra). Nella parte bassa della formazione sono presenti strati calcareo-marnosi con tracce di fucoidi.

#### **UNITÀ TETTONICA VENANO**

La successione che avrebbe dato origine all'Unità Venano è formata da due formazioni: le Argilliti dell'Uccelliera e le Arenarie del Poggio Mezzature che, nel territorio dell'Unione, affiorano in maniera limitata, principalmente nel Comune di Montefiorino, al confine con Frassinoro.

Le *Argilliti dell'Uccelliera* (di età non ancora definita), sono date da argille e argille siltose, generalmente rossastre, localmente verdine, alle quali s'intercalano strati arenacei sottili la cui composizione è simile a quella delle soprastanti Arenarie del Poggio Mezzature. Nella sua parte inferiore, la formazione presenta una composizione più eterogenea, con la presenza di strati, da centimetrici a decimetrici, di calcari e marne siltose.

Le *Arenarie del Poggio Mezzature* sono torbiditi arenaceo-pelitiche, in strati da sottili a medi ( $A/P > 1$ ), alternate a torbiditi spesse (fino a 4-5 m) e molto spesse, con grana anche grossolana ( $A/P > 1$ ). Le arenarie sono grigie, con tonalità grigio-scuro o bruno-rossastra se alterate.

Come accennato, le due formazioni non affiorano estesamente nell'area dell'Unione; esse sono comuni in settori prossimi, lungo la dorsale a monte di Frassinoro che collega il Monte Modino al Poggio Mattioli dove, nella letteratura degli autori tedeschi, l'unità è denominata come Arenarie di Frassinoro (Reutter, 1969).

### UNITÀ OFIOLITICA DELLA VAL BAGANZA

Sono ascrivibili a tale unità i basalti ofiolitici che formano masse rocciose – anche di grandi dimensioni – presenti nella Val Dragone (Cinghio del Corvo, Poggio Medola, Madonna del Calvario, il Sasso, Sassatella, Boccassuolo ecc.), ma anche affioramenti, presenti anch’essi nell’area dell’Unione, attribuiti alla formazione delle Argille a Palombini. In associazione ai basalti sono presenti, presso l’omonima località, le Breccie Argillose del Poggio Bianco Dragone.

I “blocchi” ofiolitici (Figura 23) sono formati principalmente da basalti che, macroscopicamente, sono distinguibili in rossi (prevalentemente massivi e/o a cuscini) e verdi, o grigio-verdi (prevalentemente a struttura brecciata). I basalti rossi devono la loro colorazione a una maggiore presenza di ossidi amorfi di ferro (in genere limonite), che hanno permeato le innumerevoli fratture e mostrano struttura massiva o a *pillow*, con “cuscini” da decimetrici a metrici, i quali, a loro volta, possono essere interessati da fratture interne ad andamento radiale o concentrico. I basalti verdi o grigio-verdi devono la loro colorazione alla presenza di minerali della famiglia della clorite, formatisi per l’alterazione della componente femica originaria, ora rappresentata in prevalenza da frammenti clinopirosenici.



**Figura 23** – Basalti rossi alla base della massa ofiolitica del Poggio Bianco Dragone (fianco destro del Dragone, Comune di Palagano). Sulla sinistra, depositi riferibili alla zona di piede della frana di Tolara che, in passato, hanno determinato, probabilmente più volte, l’ostruzione del corso d’acqua e la formazione di un bacino lacustre effimero.

Le masse ofiolitiche sono accompagnate – in rapporti poco chiari, ma che sembrano quasi indicare che le ofioliti siano inglobate in esse – dalle Argille del Poggio Bianco Dragone, sia nell’omonima località che nei pressi del vicino cinghio del Corvo (località del Comune di Palagano). Si tratta di

brecce a matrice argillosa che contengono clasti ofiolitici, calcarei e più subordinatamente arenacei; localmente sono anche presenti inclusi di Argille varicolori talvolta cartografabili (Plesi, 2002).

Le *Argille a Palombini (Barremiano–Turoniano)* formano gran parte dei versanti della Valle del Dragone, per lo meno di fondovalle e mezza costa, a sud di Poggio Medola (Comuni di Montefiorino e Palagano, al confine con Frassinoro). Con la loro composizione prevalentemente argillosa sono la causa principale della ben nota instabilità gravitativa che interessa i fianchi di tale valle. Sono composte principalmente da argille e argilliti siltose grigio scure, più raramente verdi, rossastre o grigio–azzurrognole, fissili, alternate a calcilutiti silicizzate grigio chiare e grigio–verdi, biancastre sulle superfici alterate. A causa delle intense deformazioni, l'originario ordine stratigrafico è andato quasi ovunque perduto e, alla scala dell'affioramento, l'unità presenta una tessitura del tipo a "blocchi in pelite" (Bettelli et al., 1996), analoghi, dal punto di vista applicativo, alle così dette "*bimrock*" o eventualmente alle "*bimsoil*" (Barbero et al., 2006; Medley, 2001, 1999).

#### **UNITÀ CAIO**

Sono segnalate due aree di affioramento del Flysch di Monte Caio, al limite estremo sud del Comune di Palagano e sulla dorsale di collegamento tra Montefiorino e Frassinoro (settore sud del Comune di Montefiorino).

Il *Flysch di M. Caio* è prevalentemente formato da torbiditi arenaceo–marnose di colore grigio, in strati spessi e molto spessi, a base arenitica fine o siltitica e tetto pelitico. Nella parte alta degli intervalli marnosi si osservano spesso impronte di Elmintoidi.

#### **5.1.2. Unità Subliguri**

Sono presenti con un solo affioramento, presso Moncerato (Comune di Prignano) attribuito alla formazione delle Arenarie di Ponte Bratica, coinvolto nell'insieme di lembi formazionali di varia natura che costituiscono il così detto Melange di Coscogno (Bettelli et al., 1989a, 1989c). Si tratta di arenarie turbiditiche, a grana da fine a molto fine, in strati sottili (10–20 cm), alternate a peliti grigio–verdi (10–15 cm).

#### **5.1.3. Unità di pertinenza toscana o di dubbia attribuzione paleogeografica**

Nel territorio comunale di Montefiorino, in Val Dolo, e nel settore più meridionale del territorio di Palagano, affiorano rocce riferibili al dominio paleogeografico toscano (Plesi, 2002) per lo più ascrivibili alla Successione Cervarola e all'Unità di Monte Modino (sotto–unità Ventasso, così come definite in Chicchi e Plesi, 1995, 1992, 1991; Martini e Plesi, 1988; Mochi et al., 1996).

#### **UNITÀ MODINO–SOTTOUNITÀ VENTASSO**

La sottounità Ventasso corrisponde sostanzialmente all'unità Sestola–Vidiciatico della letteratura ed è formata da quei terreni di pertinenza toscana sovrascorsi sulla Successione Cervarola e su unità più esterne (Arenarie di Gova).

La Successione Modino, che avrebbe dato origine all'Unità Tettonica Modino, secondo lo schema di (Plesi, 2002), è formata dalle seguenti unità (in ordine dall'alto verso il basso):

- Marne di Civago;
- Arenarie di Vallorsara;
- Brecce di Tia;
- Marne di Marmoreto;
- Argille di Fiumalbo ;
- Flysch di Sorba;
- Flysch dell'Abetina reale;
- Formazione del Fosso della Ca';
- Successione argilloso-calcareo pre-campaniana (argille variegata, breccie argillitico-calcaree, Argille a Palombini).

Nell'area dell'Unione non sono presenti affioramenti attribuiti alle Brecce di Tia, al Flysch di Sorba e alle Marne di Civago (i cui affioramenti sono attribuiti alla Successione Cervarola), mentre le restanti formazioni elencate affiorano più o meno estesamente.

#### Successione argilloso-calcareo pre-campaniana (argille variegata, breccie argillitico-calcaree, Argille a Palombini)

È formata da lembi e scaglie tettoniche di unità di pertinenza ligure, quali argille a palombini, argille variegata e breccie argillitico-calcaree; si tratta pertanto di terreni a dominante argillitica con inclusi arenacei e/o calcarei in frammenti e lembi di strati di dimensioni variabili da centimetriche a decametriche (*bimrock*: Barbero et al., 2006; Medley, 2001, 1999).

#### Formazione del Fosso della Ca'

È data da alternanze arenaceo-pelitiche turbiditiche, in strati sottili e medi, e da breccie poligeniche in banchi fino a qualche metro di spessore, intercalati a peliti grigio-scure o nerastre, manganesefere.

#### Flysch dell'Abetina Reale

È composta principalmente da alternanze di torbiditi calcareo-marnose o calcaree a base calcarenitica, in strati spessi fino a 2-3 metri, e di straterelli arenacei con abbondante pelite scura.

#### Argille di Fiumalbo

È una formazione a composizione complessa, costituita da membri diversi, la cui estensione cambia da zona a zona (Plesi, 2002). Nella parte bassa sono presenti argille varicolori marnose, rosse o verdastre, con intercalazioni di straterelli calcarenitico-marnosi, mentre la parte alta è composta principalmente da argilliti marnose grigio-cenere, con intercalazioni di strati sottili di siltiti e areniti fini; sono presenti localmente anche corpi di arenarie grossolane risedimentate (membro delle Arenarie di Monte Sassolera, presente ad esempio a sud ovest di Gusciola).

#### Marne di Marmoreto

La formazione è composta principalmente da marne siltose grigio chiare, a frattura prevalentemente scheggiata. Localmente sono presenti straterelli arenacei e/o breccie argilloso-calcaree.

### Arenarie di Vallorsara

Sono arenarie silicoclastiche grigie, a grana da fine o molto fine, in strati da sottili a medi intercalati a interstrati spessi di natura pelitico-marnosa; localmente sono presenti depositi da *slumping*.

### **SUCCESSIONE CERVAROLA**

Sono presenti in val Dolo (finestra di Gova) affioramenti riferibili alle Marne di Civago e alle Arenarie di Monte Cervarola.

Le *Marne di Civago* sono descrivibili in generale come marne scheggiose (per l'elevato contenuto in silice) di colore grigio, grigio verdognolo, stratificate, con la stratificazione resa evidente da variazioni nella tonalità del colore e/o della granulometria e per la presenza di intercalazioni di strati arenaceo-siltosi.

La formazione delle *Arenarie del Monte Cervarola* è un'unità molto diffusa nell'Appennino Settentrionale. In generale è costituita da arenarie turbiditiche, in strati da spessi a molto spessi. Al suo interno si distinguono tuttavia diversi membri e litofacies. Per l'area dell'Unione la carta geologica regionale indica la presenza del membro del Torrente Dardagna in litofacies arenaceo-pelitica, nel quale si riconoscono torbiditi a grana fine in strati sottili e medi, torbiditi spesse e a grana grossolana e/o alternanze di torbiditi in strati medio spessi e di livelli a torbiditi sottili.

### **UNITÀ UMBRO-MARCHIGIANO ROMAGNOLE**

Secondo alcuni autori, le Arenarie di Gova, che affiorano presso l'omonima località in finestra tettonica, presentano caratteristiche di affinità più con la Formazione Marnoso-Arenacea, affiorante diffusamente dalla Romagna fino all'Umbria, che non con le Arenarie del Monte Cervarola o con gli altri flysch di pertinenza toscana (Arenarie di Monte Modino e Macigno). Sono descrivibili come arenarie turbiditiche, in strati spessi a grana solitamente grossolana e con scarsa percentuale di intervalli pelitico marnosi.

### **5.1.4. Successione Epiligure**

La Successione epiligure rappresenta il prodotto della sedimentazione avvenuta sulle unità Liguridi nell'intervallo di tempo compreso tra l'*Eocene Med.-Sup.* e il *Tortoniano*, mentre queste traslavano in seguito ai movimenti tettonici verso i domini subligure, toscano e umbro marchigiano-romagnolo (Bettelli et al., 1989b). Pressoché tutto il settore settentrionale del Comune di Prignano presenta un substrato formato da rocce riferibili a unità epiliguri; altri sporadici affioramenti, principalmente di breccie argillose poligeniche, sono presenti anche nel Comune di Palagano.

Nel territorio di Prignano affiorano pressoché quasi tutti i termini della Successione Epiligure (Bettelli et al., 1989a, 1989b, 1989c), più in particolare (dal basso stratigrafico verso l'alto):

- Breccie argillose di Baiso;
- Marne di Monte Piano;
- Formazione di Ranzano;
- Marne di Antognola;
- Breccie argillose della Val Tiepido-Canossa;



- Formazione di Contignaco;
- Formazione di Pantano;
- Formazione del Termina.

La Successione Epiligure può essere suddivisa grossolanamente in due parti:

1. formazioni epiliguri pre-burdigaliane (dalle Breccie argillose poligeniche di Baiso fino alla Formazione di Contignaco), che si sono depositate in un ambiente sedimentario di tipo pelagico (sono torbiditi, emipelagiti e depositi da colata sottomarina tipo *debris flow* e *mud flow*) di mare profondo;
2. unità post-burdigaliane, che deriverebbero da processi di sedimentazione avvenuti in un ambiente di piattaforma o pelagico, ma meno profondo (Bettelli et al., 1989a, 1989b, 1989c; Mancin et al., 2006).

#### **FORMAZIONI EPIGURI PRE-BURDIGALIANE**

Le *Breccie argillose di Baiso* sono costituite da diversi corpi di breccie sedimentarie poligeniche a prevalente matrice argillosa e a tessitura clastica, con clasti eterometrici ed eterogenei costituiti da litotipi appartenenti a varie unità liguri. In affioramento l'unità si presenta generalmente come una massa prevalentemente argillosa grigio scura, che ingloba frammenti litici eterometrici ed eterogenei (arenarie, calcari, argilliti, marne ecc.) ed è quindi inquadrabile come *bimrock* (Barbero et al., 2006; Medley, 2001, 1999).

Le *Marne di Monte Piano* sono costituite principalmente da argille, argilliti, argille marnose e marne di colore rosso, rosato, grigio chiaro e grigio verdi, con rari strati molto sottili di torbiditi arenacee biancastre, siltiti nerastre e calcari marnosi grigio-verdi. La stratificazione è generalmente poco evidente e complicata spesso da pieghe.

La *Formazione di Ranzano*, dal punto di vista litologico, è un'unità piuttosto eterogenea, nella quale dominano i termini arenacei di origine turbiditica. Essa è stata suddivisa in diversi membri sulla base del rapporto A/P (Arenaria/Pelite).

Le *Breccie argillose poligeniche della Val Tiepido-Canossa*, dal punto di vista pratico, assomigliano alle Breccie argillose di Baiso, già descritte. Si tratta di breccie argillose poligeniche formatesi come accumuli di processi di frana sottomarina di materiali prevalentemente argillosi appartenenti in gran parte ai complessi di base liguri.

La *Formazione di Antognola* è costituita in prevalenza da marne grigie a frattura globulare e, subordinatamente, da marne argillose con rare intercalazioni di strati sottili di arenarie fini e/o di marne. Caratteristica è l'assenza di macrofossili, mentre al microscopio, o anche solo con una lente di ingrandimento, è facile osservare gusci di microfossili planctonici. All'interno dell'unità sono stati inoltre distinti alcuni membri formati da arenarie turbiditiche (Membro delle Arenarie di Anconella).

La *Formazione di Contignaco*, in alcune sezioni della Carta Geologica dell'Appennino emiliano-romagnolo alla scala 1:10.000, viene considerata un membro della Formazione di Antognola. Nei nuovi fogli della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 essa viene invece trattata come formazione a sé stante. È data in generale da 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 brunastre se alterate. Gli strati sono generalmente di spessore medio, spesso poco evidenti.

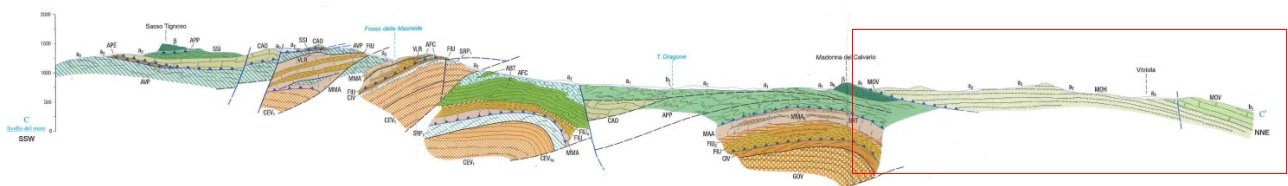
#### FORMAZIONI EPILIGURI POST-BURDIGALIANE

La *Formazione di Pantano* è stata elevata al rango di formazione da circa una quindicina d'anni (cfr. ad es. Bettelli et al., 2002), in quanto in precedenza era considerata uno dei membri della ex Formazione di Bismantova, ora elevata al rango di Gruppo di Bismantova. L'unità è formata generalmente da arenarie grigio chiare, medio fini, in strati decimetrici, a volte poco distinguibili per la bioturbazione intensa, oppure da calcareniti con frequenti resti di fossili di briozoi, lamellibranchi, coralli ecc.

La *Formazione del Termina* è alquanto eterogenea tanto che è stata suddivisa in diversi membri e litozone. In generale la composizione è a dominante marnosa. Possono essere tuttavia presenti anche corpi caotici di breccie argillose poligeniche e alternanze di arenarie medio fini turbiditiche e livelli marnosi. Dal punto di vista applicativo i diversi membri sono ascrivibili a unità litotecniche diverse.

## 5.2. Descrizione specifica del modello del sottosuolo, relativa al territorio comunale di Montefiorino

Per quanto riguarda il territorio comunale di Montefiorino i terreni delle formazioni di Monghidoro e di Monteverene compongono, pressoché in modo esclusivo, la stratigrafia del sottosuolo dei principali nuclei abitati a cui è indirizzato questo studio di microzonazione sismica: Case Monte Stefano, Montefiorino, Vitriola, La Verna, Casola, Prada, Pianezzo, Farneta e Gusciola. La sezione di Figura 24, che attraversa il territorio comunale con direzione SSO–NNE (traccia di sezione riportata nella Carta Geologico–Tecnica), ricostruita nel Foglio nr. 235 “Pievepèlago” della Carta Geologica d'Italia a scala 1:50.000, passando per Vitriola, mostra come lo spessore dei terreni delle due formazioni sia anche superiore, a luoghi, a 500 m. L'assetto è ereditato dalla più ampia struttura tettonica regionale, ovvero la Sinclinale della Val Rossenna, di cui le due formazioni costituiscono il fianco rovesciato. In superficie, i depositi superficiali, probabilmente derivanti dall'alterazione, in ambiente morfoclimatico periglaciale, delle stesse formazioni di Monteverene e di Monghidoro, hanno dato origine, nel tempo, a fenomeni gravitativi che, in particolare, hanno coinvolto, e continuano a coinvolgere, il settore orientale del territorio comunale, in corrispondenza del versante sinistro della valle del T. Dragone, in corrispondenza dell'abitato di Vitriola.



**Figura 24** – Sezione geologica lungo la traccia di sezione riportata nella Carta Geologico–Tecnica. Fonte: Carta Geologica d'Italia a scala 1:50.000, Foglio nr. 235 “Pievepèlago”. Il rettangolo rosso identifica la porzione di territorio comunale di Montefiorino intersecata dalla sezione geologica ed è mostrato in Figura 25 con maggiore ingrandimento.

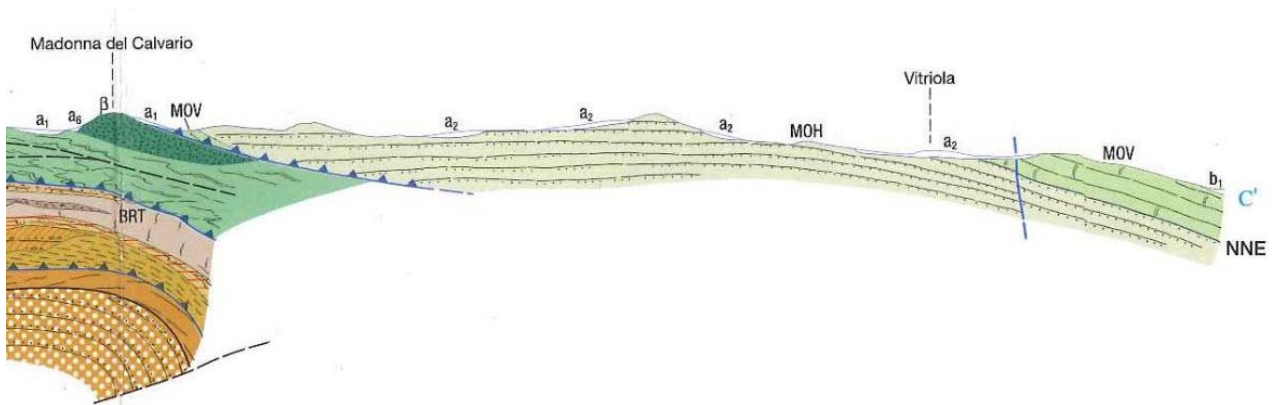


Figura 25 – Ingrandimento della porzione di sezione individuata dal rettangolo rosso di Figura 24.

Per un maggiore approfondimento sulla stratigrafia dei metri più superficiali del sottosuolo, all'interno del territorio comunale di Montefiorino, si rimanda al capitolo 9.4, ove vengono presentate alcune sezioni stratigrafiche "tipo", significative dal punto di vista dell'amplificazione del segnale sismico.

## 6. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

La ricerca delle indagini geotecniche e geofisiche d'archivio è stata eseguita presso l'Ufficio Tecnico Comunale di Montefiorino, ed ha permesso di acquisire numerosi dati geognostici contenuti in relazioni geologiche redatte a corredo di progetti di edilizia privata e di opere pubbliche.

Tutte le indagini sono state trasformate in formato digitale, georeferenziate, ed inserite in ambiente GIS. A tal proposito, sia i dati di base che i dati elaborati sono stati organizzati in formato vettoriale (*shapefile*) nel rispetto delle indicazioni per l'archiviazione informatica, rappresentazione e fornitura dei dati degli studi di microzonazione sismica e dell'analisi della Condizione Limite per l'Emergenza, di cui all'OPCM 4007/2012 e al Decreto del 16.03.2012 del Capo del Dipartimento della Protezione Civile.

Ad integrazione delle prove pregresse, è stata eseguita una campagna di indagini ad hoc, in modo da rendere il più omogenea e completa possibile l'analisi geognostica del territorio interessato dallo studio di microzonazione sismica.

In particolare sono stati realizzati *ex-novo* due tipi di indagini geofisiche:

- n. 17 MASW (*Multichannel Spectral Analysis of Waves*) finalizzate alla definizione dei profili di  $V_{sh}$ ,
- n. 37 indagini di sismica passiva HVSr (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) finalizzate alla misura delle frequenze naturali del terreno, impiegando un tromografo digitale portatile.

## 7. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

Le indagini MASW hanno fornito nel complesso buoni risultati, in generale le acquisizioni effettuate hanno permesso di registrare un segnale sismico sufficientemente chiaro da consentire una elaborazione che ha dato risultati attendibili per le aree in studio.

In alcuni stendimenti effettuati il segnale registrato presenta dei disturbi e delle distorsioni nei sismogrammi, legate per lo più a problematiche di natura ambientale.

Si premette che la situazione ideale per l'effettuazione di un'acquisizione sismica attiva con metodo MASW è quello di avere una superficie topografica pianeggiante con una stratificazione nel sottosuolo piano-parallela alla superficie topografica.

Partendo da questo presupposto appare evidente che le zone montane sulle quali sono state effettuate le indagini geofisiche non corrispondono ad una situazione ideale. Proprio per questo in alcuni siti di indagine si sono presentate le seguenti problematiche:

- Irregolarità della superficie topografica delle aree su cui è stato eseguito lo stendimento sismico. In questi casi si è cercato comunque di utilizzare al meglio lo spazio a disposizione cercando di posizionare i geofoni secondo un allineamento il più orizzontale possibile.
- Elevata inclinazione dei versanti. Alcune aree su cui sono state effettuate le indagini presentano una pendenza elevata, situazione non ideale che ha generato treni d'onda anomali nei sismogrammi.
- La presenza di un sottosuolo con andamento stratigrafico irregolare e non piano-parallelo e talvolta la presenza di un substrato sub-affiorante hanno fatto registrare un segnale sismico non regolare con treni d'onda anomali che si discostavano dall'andamento generale.

In fase di elaborazione i sismogrammi sono stati filtrati e selezionati in modo da tagliare eventuali distorsioni ed anomalie. Questo ha permesso di utilizzare tutte le acquisizioni effettuate seppur in alcuni casi l'interpretazione effettuata presenta alcune incertezze.

Un altro limite importante è stato quello di avere a disposizione solo indagini geognostiche superficiali, quali ad esempio prove penetrometriche dinamiche o sondaggi con escavatore, ma di non avere indagini geognostiche profonde, come sondaggi a carotaggio continuo o dati di pozzi, che sarebbero stati molto utili nell'interpretazione sismo-stratigrafica.

Per quanto riguarda le indagini HVSR, al fine di determinare la qualità delle singole misure H/V effettuate e la loro relativa affidabilità, necessaria per una corretta fase interpretativa, si è provveduto alla classificazione delle prove valutando, in accordo con i più recenti studi in materia, le caratteristiche dei fondamentali principi su cui si basa la tecnica di indagine a sismica passiva utilizzata.

La tecnica HVSR permette in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche

e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione.

Considerato che le indagini HVSR sono state eseguite, nella maggior parte dei casi, in aree isolate e prive di sorgenti che possano arrecare disturbo all'acquisizione, si possono ritenere valide le registrazioni effettuate.

L'indagine ha previsto una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione. Tale registrazione è stata effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata di 20 minuti.

Successivamente si è proceduto all'elaborazione utilizzando il software WINMASW della Eliosoft; dopo aver eseguito un'operazione detta di *windowing*, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata, queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.

Al termine dell'elaborazione per ogni acquisizione è stato valutato l'andamento complessivo della curva H/V, prestando particolare attenzione, durante la fase di elaborazione, alla plausibilità fisica della curva stessa, verificabile attraverso l'individuazione di massimi caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale.

Le frequenze di picco ottenute da ogni singola stazione sono state correlate con i risultati ottenuti dalle indagini MASW eseguite sui siti in studio. E' stato così effettuato un confronto tra i risultati ottenuti ed è emerso che in alcuni casi non c'era una chiara corrispondenza tra il picco H/V con importanti passaggi sismostratigrafici (importanti cambiamenti di velocità tra uno strato ed il successivo) registrati nelle MASW.

In altri casi invece, dove ci si aspettava un *bedrock* a profondità comprese nei primi 20 m /30 m di profondità per presenza di coperture detritiche poste su di un substrato roccioso, l'elaborazione delle HVSR non ha individuato un picco ben definito.

## 8. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

Nella prima fase di studio, sono stati acquisiti tutti i dati bibliografici e d'archivio riguardanti la cartografia geologica, geomorfologica e le indagini geognostiche pregresse nel Comune di Montefiorino.

Nella seconda fase sono state individuate le aree da sottoporre allo studio di Microzonazione Sismica: lo studio di primo livello è stato esteso a tutto il territorio comunale siccome i dati a disposizione erano sufficienti a coprire l'intera area; lo studio di secondo livello, in particolare la Carta dei fattori di amplificazione delle aree, è stato concentrato alle sole zone urbanizzate ed urbanizzabili presenti all'interno del territorio comunale di Montefiorino, definendo quindi anche il territorio sul quale eseguire la successiva campagna di indagini geofisiche per l'acquisizione dei dati per la stima delle frequenze naturali del terreno e delle velocità delle onde sismiche.

La terza fase di studio è stata dedicata alla realizzazione degli elaborati cartografici relativi al primo livello di approfondimento, costituiti da:

- **Carta delle indagini:** in tale carta sono riportate le indagini pregresse e quelle realizzate *ex-novo*, classificate per tipologia;
- **Carta geologico-tecnica:** in tale carta sono riportate tutte le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche e geotecniche) necessarie alla definizione del modello di sottosuolo. Sono rappresentati gli elementi geologici e morfologici che possono modificare il moto sismico in superficie;
- **Carta delle frequenze naturali del terreno:** tale carta è derivata da indagini di sismica passiva HVSR. I punti di misura sono riportati sulla carta con associato il valore del picco significativo a più bassa frequenza corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale ( $f_0$ ) e suddivisi in classi di frequenza. Inoltre sono stati distinti i valori che presentano alti contrasti di impedenza (ampiezza massima curva HVSR > 3) e bassi contrasti di impedenza (ampiezza HVSR < 3);
- **Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS):** in tale carta sono indicate le aree in cui si ritiene necessario effettuare indagini e analisi di microzonazione sismica e i livelli di approfondimento ritenuti necessari. Le microzone della carta sono classificate in tre categorie:
  - a) zone stabili, nelle quali non si ipotizzano effetti di instabilità;
  - b) zone suscettibili di amplificazioni locali, nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico, come effetto dell'assetto litostratigrafico e morfologico locale. Nelle zone con variazioni laterali poco significative sono ritenuti sufficienti approfondimenti di secondo livello. Nelle zone in cui la stratigrafia presenta variazioni laterali significative e il modello geologico non è assimilabile ad un modello fisico monodimensionale, come valli strette, conche intramontane e fasce pedemontane o zone prossime a strutture tettoniche sepolte, sono richiesti approfondimenti di terzo livello;
  - c) zone suscettibili di instabilità, nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti, oltre ai fenomeni di amplificazione, sono riconducibili a deformazioni del terreno permanenti (instabilità di versante in presenza di pendii instabili e potenzialmente instabili). In queste zone sono richiesti approfondimenti di terzo livello.

La quarta fase è stata dedicata alla elaborazione delle cartografie relative al secondo livello di approfondimento:

- **Carta delle velocità delle onde di taglio S ( $V_s$ ):** in tale carta sono ubicati tutti i punti di misura di  $V_s$  con indicazione, per ogni punto di misura, del valore di  $V_{sH}$  (in m/s) e H (in m);
- **Carta dei fattori di amplificazione delle aree (Carta di microzonazione sismica Livello 2):** l'amplificazione è stata quantificata in termini dei fattori di amplificazione  $FA_{PGA}$ ,  $FA-IS_{0,1-0,5s}$ ,  $FA-IS_{0,5-1,0s}$  utilizzando le tabelle indicate dall'Allegato A2 degli indirizzi

regionali per gli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale ed urbanistica (Delibera dell'Assemblea Legislativa Regione Emilia-Romagna n° 112 del 2 maggio 2007) e sono state realizzate tre cartografie per rappresentare ciascun fattore.

Tutte le elaborazioni sono state rappresentate nelle varie cartografie in formato A1, ciascuna delle quali è costituita da tre tavole a scala 1:10.000 che suddividono il territorio comunale di Montefiorino oggetto di microzonazione sismica come raffigurato in Figura 26.

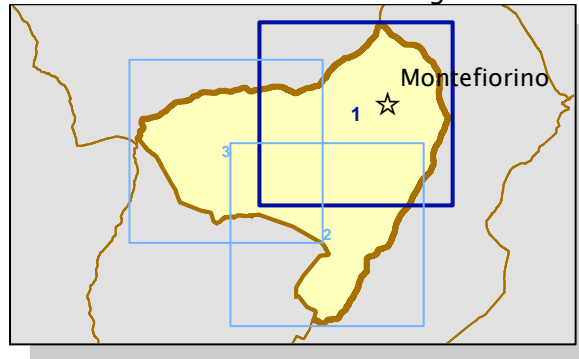


Figura 26 – Inquadramenti a scala 1:10.000 del Comune di Montefiorino.

Per la “Carta di microzonazione sismica – Livello 2”, invece, sono state realizzate tre tavole che mostrano rispettivamente il valore del coefficiente di amplificazione stratigrafica  $FA_{PGA}$  (*peak ground acceleration*) (carta MS\_02\_Fx), il fattore di intensità spettrale di Housner per periodi  $0,1s < T_0 < 0,5s$  (MS\_02\_Fy) e il fattore di intensità spettrale di Housner per periodi  $0,5s < T_0 < 1,0s$  (MS\_02\_Fz). In ciascuna carta, redatta in formato A1 e a scala 1:5.000, sono rappresentati sei dettagli cartografici incentrati sui seguenti abitati (Figura 27):

- 1– Case Monte Stefano;
- 2– Caldana;
- 3– Montefiorino, Vitriola;
- 4– La Verna, Casola, Pianezzo;
- 5– Gusciola;
- 6– Farneta.

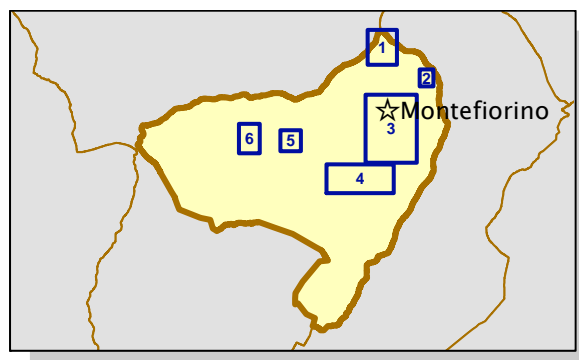


Figura 27 – Inquadramenti a scala 1:5.000 del Comune di Montefiorino.

## 9. ELABORATI CARTOGRAFICI

### 9.1. Carta delle indagini

La Carta delle indagini riporta l'ubicazione e la tipologia delle indagini geognostiche e geofisiche pregresse e di nuova esecuzione.

Le prove sono state rappresentate in forma simbolica secondo le linee guida regionali e nazionali.

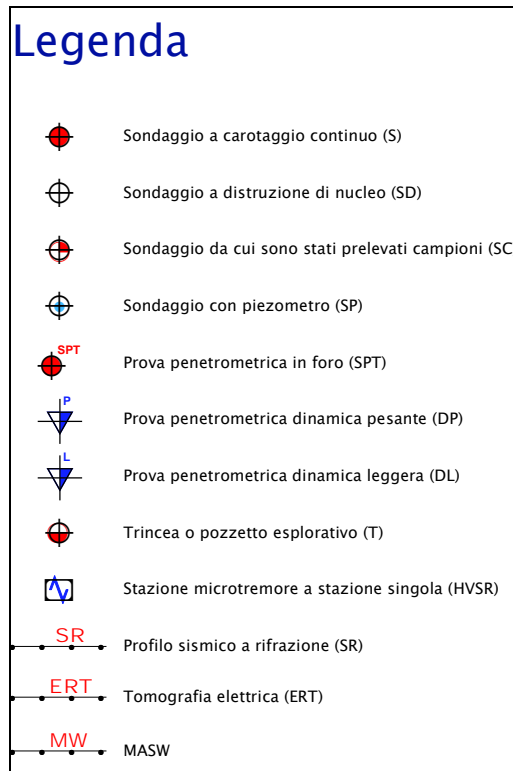


Figura 28 – Esempio di legenda della *Carta delle indagini*.

In particolare sono state inserite n. 340 prove puntuali e n. 65 prove lineari, così suddivise:

- n. 2 sondaggi a carotaggio continuo (S);
- n. 1 sondaggio a distruzione di nucleo (SD);
- n. 8 sondaggi da cui sono stati prelevati campioni (SC);
- n. 1 sondaggio con piezometro (SP);
- n. 20 prove penetrometriche in foro (SPT);
- n. 222 prove penetrometriche dinamiche pesanti (DP);
- n. 26 prove penetrometriche dinamiche leggere (DL);
- n. 22 trincee o pozzetti esplorativi (T);
- n. 38 stazioni microtremore a stazione singola (HVSr);
- n. 7 profili sismici a rifrazione (SR);
- n. 2 tomografie elettriche (ERT);
- n. 56 MASW.



## 9.2. Carta geologico–tecnica

Nella *Carta geologico–tecnica per la microzonazione sismica* sono riportate tutte le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche e geotecniche) derivate da carte ed elaborati esistenti e da indagini geognostiche pregresse. Questi dati sono stati necessari per la definizione del modello di sottosuolo, funzionale alla realizzazione della *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica* (Livello 1).

Per la realizzazione di questa carta si è fatto riferimento agli elaborati messi a disposizione dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia–Romagna ed alla documentazione prodotta dal PTCP della Provincia di Modena, approvato nel 2009.

Dal Catalogo online dei Dati Geografici del Servizio Geologico regionale è stata acquisita la cartografia geologica a scala 1:10.000, in particolare:

- le “Unità geologiche”, per rappresentare le unità del substrato,
- le “Coperture quaternarie”, per rappresentare i terreni di copertura,
- gli “Elementi strutturali” e i “Limiti di unità geologiche”, per rappresentare gli elementi tettonico strutturali.

La natura litologica delle unità affioranti e dei terreni di copertura sono state distinte facendo riferimento alle Note Illustrative della “Carta Geologica della Regione Emilia–Romagna – Progetto CARG”.

Per la definizione dello stato di attività dei fenomeni gravitativi di versante, si è fatto riferimento alla documentazione prodotta dal PTCP della Provincia di Modena; in particolare si è utilizzata la base dati della carta “Rischio da frana: carta del dissesto” per definire le aree caratterizzate da instabilità di versante.

Si ritiene utile qui precisare che, per la definizione delle aree in frana, si sarebbe potuto fare riferimento al *layer* cartografico “Coperture quaternarie” del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia–Romagna, il cui aggiornamento, per quanto riguarda l’individuazione delle aree in dissesto e la stima del loro grado di attività, risulta più frequente rispetto a quello del PTCP. Si è però voluta mantenere coerenza tra i diversi strumenti di pianificazione territoriale approvati e, pertanto, **si è scelto di utilizzare il *layer* cartografico della “Carta del dissesto” del PTCP della Provincia di Modena per la rappresentazione delle aree instabili.**

È opportuno evidenziare che le aree in dissesto, secondo il PTCP, sono suddivise in tre categorie in base al solo grado di attività. Poiché per la realizzazione della *Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica* è richiesta anche una suddivisione dei fenomeni franosi in base alla tipologia del movimento, ci si è quindi avvalsi della descrizione delle “Coperture quaternarie” del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia–Romagna per questa ulteriore distinzione.

Di seguito sono illustrate le categorie risultanti da questa suddivisione (Tabella 1) e la legenda della suddetta carta (Figura 29).

PTCP	Carta Geologico-technica Tipologia - attività
Frane attive	Colata - attiva Non definita - attiva
Frane quiescenti	Scorrimento - quiescente Colata - quiescente Complessa - quiescente Non definita - quiescente
Aree potenzialmente instabili	Non definita - non definita

**Tabella 1** - Schematizzazione della suddivisione delle zone in dissesto.



**Figura 29** - Esempio di legenda della *Carta geologica tecnica per la microzonazione sismica*.

Seguendo le specifiche delle linee guida indicate negli “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica” (Gruppo di lavoro MS, 2008), le formazioni geologiche e i depositi quaternari presenti nella zona indagata sono stati raggruppati in classi omogenee secondo le proprie caratteristiche geologico-litotecniche.

Di seguito si elencano questi raggruppamenti e le relative formazioni e depositi che ne fanno parte, rimandando al capitolo 5 o alle Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia (Foglio 235 Pievèlago) (Plesi, 2002) per una descrizione litologica più dettagliata.

I terreni del substrato geologico sono stati raggruppati in tre categorie:

### 1) Lapideo (LP)

- Basalti: rocce lapidee massicce presenti all'interno della Formazione delle Argille a Palombini.

### 2) Substrato geologico non rigido (NR)

- Formazione dell'Abetina Reale: torbiditi a base calcilutitica o calcarenitica grigia, passanti a marne calcaree biancastre, in strati da spessi a molto spessi, localmente plurimetrici;
- Argilliti dell'Uccelliera: argilliti silicizzate verdi, bluastre e rossastre, con sottili intercalazioni di calcilutiti grigiastre o verde scuro con patine nere e siltiti grigio scuro parzialmente sostituite da isrossidi di Fe di colore rosso;
- Argilliti variegata con calcari: 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;
- Membro di Poggio Cavaliera (Brecce argillose di Baiso): brecce poligeniche a prevalente matrice argillosa grigia, localmente arenacea, con clasti eterometrici di areniti calcaree fini, arenarie fini, marne e argilliti nerastre;
- Brecce argillose di Poggio Bianco Dragone: brecce ofiolitiche con percentuali più o meno rilevanti di clasti calcarei e matrice argillitica per lo più deposte come debris flow;
- Marne di Civaqo: marne grigio-cenere, spesso siltose, a stratificazione mal distinguibile;
- Argille di Fiumalbo: 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-verdastre, o di straterelli calcarenitico-marnosi nella parte bassa;
- Marne di Marmoreto: 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;
- Argilliti di San Siro: argilliti rosso-violacee, brune o variegata, mangesifere, alternate con straterelli calcilutitici o siltitici.

### 3) Substrato geologico non rigido, stratificato (NRS)

- Argille a Palombini: argilliti ed argilliti siltose in strati da medi a spessi, la formazione in genere è intensamente deformata con perdita dell'originario ordine stratigrafico alla scala dell'affioramento;
- Arenarie del Poggio Mezzature: torbiditi arenaceo-pelitiche in strati da sottili a molto spessi costituiti di arenarie grigio-verdastre medie o grossolane, a luoghi

microconglomeratiche, passanti ad arenarie fini e ad argille grigio-verdi, con rapporto A/P > 1;

- Flysch di Monte Caio: 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;
- Membro del Monte Sassolera (Argille di Fiumalbo): arenarie litiche da medie a grossolane in strati da medi a molto spessi, alimentate da successioni granitico-gneissiche e da successioni di tipo ligure;
- Membro del Rio Acquicciola (Argille di Fiumalbo): arenarie a cemento calcareo in strati anche spessi. Intercalate, forse in più livelli, nella parte alta delle Argille di Fiumalbo;
- Arenarie di Gova: torbiditi silicoclastiche in strati spessi a grana frequentemente grossolana e scarsa percentuale di intervalli pelitico marnosi;
- Formazione di Monghidoro: torbiditi arenaceo-pelitiche in strati spessi con rapporto A/P generalmente intorno a 2/1;
- Formazione di Monte Venere: torbiditi arenaceo-marnose in strati da medi a molto spessi.

I terreni di copertura sono stati raggruppati in quattro categorie:

**1) Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia (GP)**

- Conoide torrentizia: 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 (ca - conoide alluvionale).

**2) Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo (GM)**

- Unità di Modena: depositi ghiaiosi passanti a sabbie e limi di terrazzo alluvionale (tf - terrazzo fluviale).

**3) Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla (GC)**

- Detrito di falda: 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 (fd - falda detritica);
- Deposito di versante s.l.: litotipi eterogenei ed eterometrici più o meno caotici, tessitura costituita da clasti di dimensioni variabili immersi e sostenuti da una matrice pelitica e/o sabbiosa, la genesi può essere dubitativamente gravitativa, da ruscellamento superficiale e/o da soliflusso (ec - eluvi/colluvi);
- Deposito alluvionale in evoluzione/fissato da vegetazione: 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 (in - bacino-piana intramontano).

#### 4) Sabbie limose, miscela di sabbia e limo (SM)

- 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 (ec – eluvi/colluvi).

#### 5) Limi organici, argille limose organiche di bassa plasticità (OL)

- Deposito palustre: limi e depositi di materiale organico alloggiati in depressioni per lo più di origine glaciale (lc – lacustre)

L'assetto litostratigrafico dell'areale è caratterizzato, in superficie, da coltri di depositi ghiaiosi di ambiente fluviale nel settore settentrionale, nelle zone di fondovalle in prossimità del T. Dolo e del T. Dragone. Altri depositi caratterizzati da una miscela di ghiaia, sabbia e argilla si rinvencono nelle zone corrispondenti ai depositi di versante. Il substrato rigido è caratterizzato da litotipi flyschoidi (alternanze di litotipi arenacei e pelitici) che si estendono per quasi tutto l'areale, e dalla presenza, nel settore occidentale, di litotipi coesivi sovraconsolidati, ma intensamente deformati dalla storia tettonica dell'area. Si precisa che il substrato raramente è affiorante; infatti, dalle indagini effettuate, si riscontra la presenza, in superficie, di una coltre di alterazione o di depositi superficiali di spessore molto variabile.

Nella carta sono individuati i sondaggi che hanno raggiunto il substrato, con indicato il valore della profondità raggiunta.

Inoltre, sono stati rappresentati gli elementi morfologici lineari di superficie, quali creste e orli di scarpata, più significativi.

### 9.3. Carta delle frequenze naturali dei terreni

La *Carta delle frequenze naturali dei terreni* è derivata dall'elaborazione delle misure di sismica passiva HVSR. In questa carta è riportata l'ubicazione di tutte le misure, pregresse e di nuova realizzazione, con associato il valore del picco significativo a più bassa frequenza corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale ( $f_0$ ).

I valori sono stati suddivisi facendo riferimento alle indicazioni dell'Allegato C "Criteri per la realizzazione degli studi di micro zonazione sismica, di cui all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 4007/2012 e Decreto del 16 marzo 2012 del Capo del Dipartimento della Protezione Civile".

In particolare, le misure sono state suddivise in base a 5 classi di frequenza (assenza di fenomeni di risonanza significativi;  $f_0 \leq 1$ ;  $1 < f_0 \leq 2$ ;  $2 < f_0 \leq 8$ ;  $f_0 > 8$ ) graficamente visualizzati con un pallino di colore diverso, e suddivisi ulteriormente in altre 2 classi in base all'ampiezza del picco che individua il contrasto di impedenza (ampiezza  $\leq 3$ ; ampiezza  $> 3$ ) graficamente visualizzati con la presenza o assenza di un punto nero all'interno del pallino.

In carta, a lato di ogni simbolo, è evidenziato il valore della frequenza del picco significativo.

Frequenza picco significativo (Hz)	Ampiezza picco	
	≤ 3	> 3
Assenza di fenomeni di risonanza significativi	●	
$f_0 \leq 1$		●
$1 < f_0 \leq 2$	●	●
$2 < f_0 \leq 8$	●	●
$f_0 > 8$	●	●

Figura 30 – Esempio di legenda della *Carta delle frequenze naturali dei terreni*.

Dall'esame dei valori di frequenza del picco principale, per la maggior parte delle indagini effettuate, si evidenzia come il substrato rigido risulti essere presente a profondità di 10–30 m dal piano campagna.

In particolare, si nota come solo tre misure HVSR abbiano fatto registrare picchi con frequenze minori di 2 Hz (Figura 31); più precisamente, a Vitriola si è registrato un valore di 0.8 Hz, nel capoluogo un valore di 1.1 Hz e a Pianezzo un valore di 1.9 Hz, valori che indicano una profondità del substrato rigido maggiore di 30 m.

La maggior parte delle misure HVSR, distribuite nell'areale oggetto di studio, hanno registrato valori di frequenze del picco significativo compresi tra 2 Hz e 8 Hz (Figura 32), indicando il substrato rigido ad una profondità variabile tra 10m e 30m.

Sei misure HVSR hanno evidenziato un picco di frequenza maggiore di 8 Hz (Figura 33), indicando la presenza del substrato rigido a profondità minori di 10 m dal piano campagna.

Infine, per otto misure, non è stato possibile distinguere il picco di frequenza significativo.

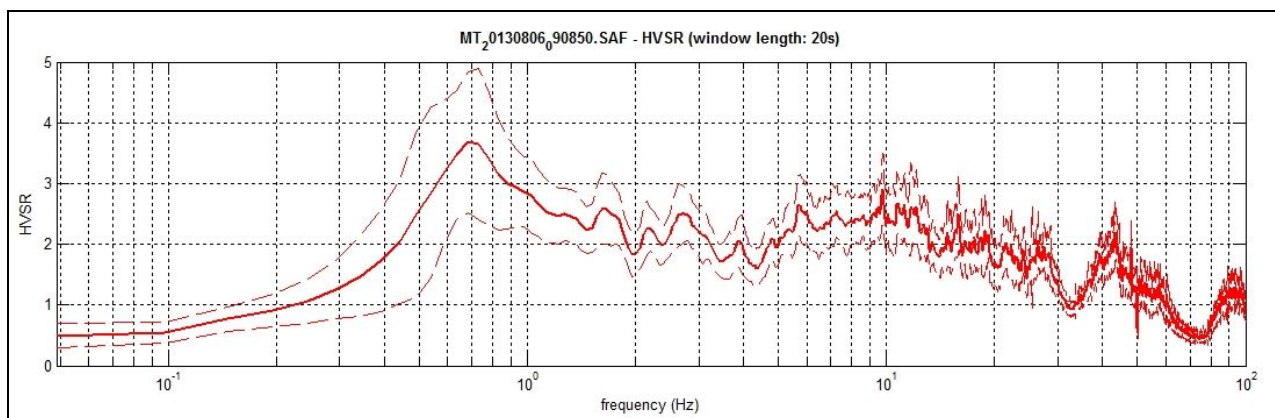


Figura 31 – Curva H/V rappresentativa dei valori di frequenza minori di 1 Hz. Picco a 0.8 Hz, HVSR 036025P311.

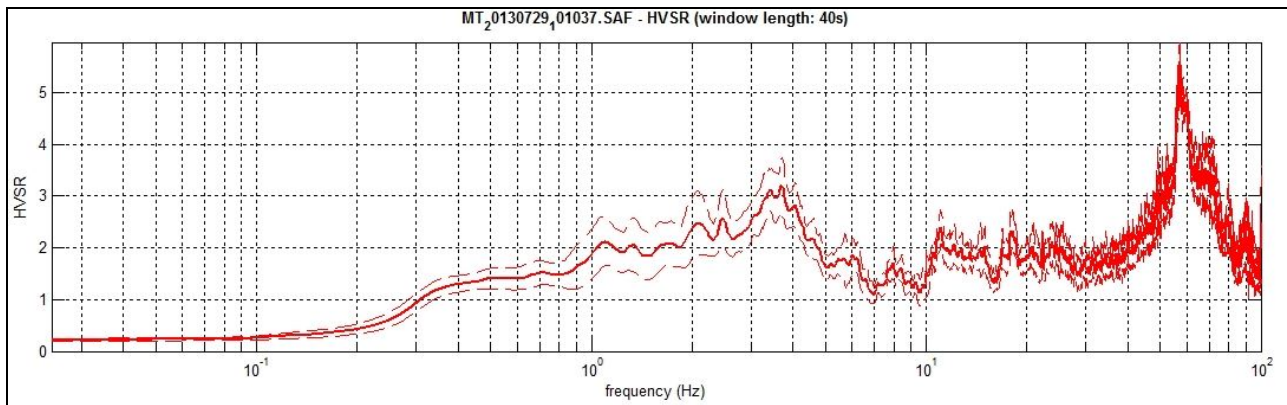


Figura 32 – Curva H/V rappresentativa dei valori di frequenza compresi tra 2–8 Hz. Picco a 3.7 Hz, HVSR 036025P287.

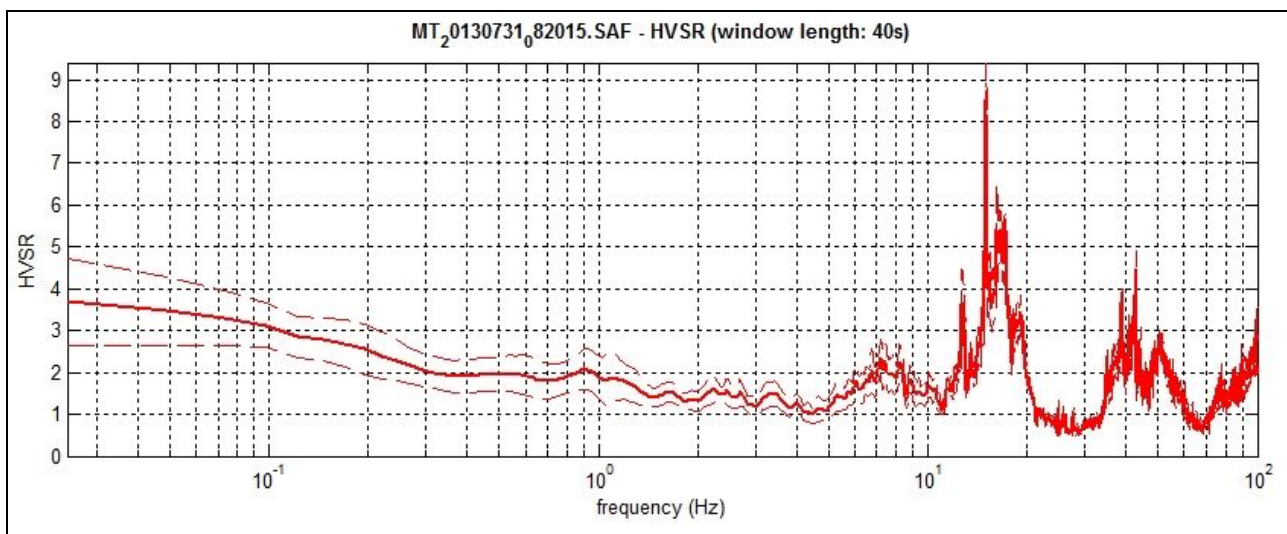


Figura 33 – Curva H/V rappresentativa dei valori di frequenza maggiori di 8 Hz. Picco a 15 Hz, HVSR 036025P314.

#### 9.4. Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (Livello 1)

Per la realizzazione della *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (Livello 1)*, si sono distinte tre categorie:

- zone stabili**, nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura. In queste zone, dove dai dati della cartografia geologica il substrato risulta affiorante, non sono richiesti ulteriori approfondimenti; fa parte di questa categoria la sola Zona 1012 caratterizzata da substrato lapideo;
- zone suscettibili di amplificazioni locali**, nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico, causate dall'assetto litostratigrafico e morfologico locale. All'interno di questa area si sono effettuate ulteriori suddivisioni in base alle caratteristiche litostratigrafiche, identificando n. 12 profili litostratigrafici (da Zona 2001 a Zona 2012) in seguito descritti. In queste zone sono richiesti approfondimenti di secondo livello;
- zone suscettibili di instabilità**, nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti, oltre ai fenomeni di amplificazione, sono riconducibili a deformazioni permanenti del terreno

(instabilità di versante in presenza di pendii instabili e potenzialmente instabili). Fanno parte di questa categoria le zone suscettibili di instabilità di versante. In queste zone sono richiesti approfondimenti di terzo livello.



Figura 34 - Esempio di legenda della *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 1)*.

Nella carta delle MOPS sono individuati anche i profili per i quali, nel livello di approfondimento successivo, si ritiene necessario calcolare il valore del coefficiente di amplificazione topografica, date le caratteristiche del pendio e la morfologia della zona; per l'individuazione di tali aree si sono seguite le indicazioni riportate negli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS 2008) al capitolo 3.3.

Per l'individuazione delle tracce ci si è limitati alle aree urbanizzate/urbanizzabili ed ad un loro intorno significativo.



### **Zone stabili**

Nell'areale di studio si individua un solo tipo di zona stabile:

- Zona 1012: lapideo.

In queste zone non è necessario effettuare altri approfondimenti di microzonazione sismica.

### **Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**

L'areale in studio è caratterizzato da 12 microzone omogenee, costituite da aree suscettibili di amplificazioni locali per motivi litologici e stratigrafici.

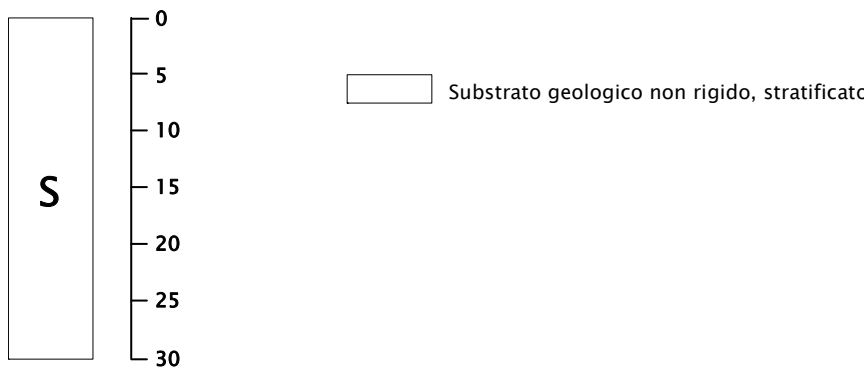
Per la definizione delle zone, il substrato roccioso del territorio comunale è stato dapprima suddiviso in tre classi in base alle caratteristiche litologiche (lapideo, substrato geologico non rigido stratificato e non stratificato), che si suppone rispondano in modo differente al segnale sismico, quindi sono state create ulteriori classi a seconda delle caratteristiche litologiche e dello spessore della coltre di deposito superficiale che ricopre il substrato stesso. Ciò ha permesso di classificare l'intero territorio comunale di Montefiorino in classi ritenute omogenee dal punto di vista delle amplificazioni locali.

### **Zona 2001**

Questa zona è presente su gran parte del territorio comunale di Montefiorino, ed è caratterizzata da un substrato geologico non rigido, stratificato, affiorante o sub-affiorante, a luoghi coperto da una debole coltre di alterazione dell'ordine di pochi metri.

Le rocce appartenenti a questa zona sono costituite da alternanze tra livelli lapidei e pelitici che attribuiscono al substrato un certo grado di amplificazione del segnale sismico.

Una sintesi schematica della successione stratigrafica della Zona 2001 è raffigurata in Figura 35.



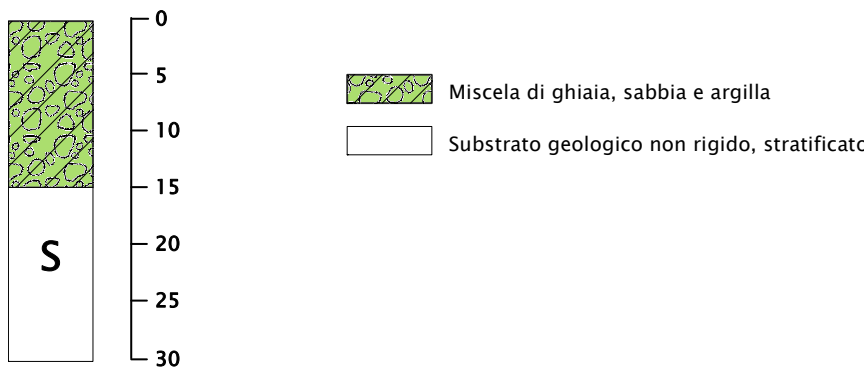
**Figura 35** – Successione stratigrafica cod. 2001.

### Zona 2002

Questa zona è diffusa su gran parte del territorio comunale di Montefiorino, si individua sui principali versanti, nelle valli e lungo il corso dei principali corsi d'acqua; è caratterizzata da un substrato geologico non rigido, stratificato, ricoperto da una coltre superficiale costituita da materiale eterogeneo ed eterometrico (ghiaie, sabbie e argille) di varia natura e di spessore variabile da pochi metri fino ad una quindicina di metri circa.

Le rocce del substrato appartenenti a questa zona sono costituite da alternanze tra livelli lapidei e pelitici.

Una sintesi schematica della successione stratigrafica della Zona 2002 è raffigurata in Figura 36.



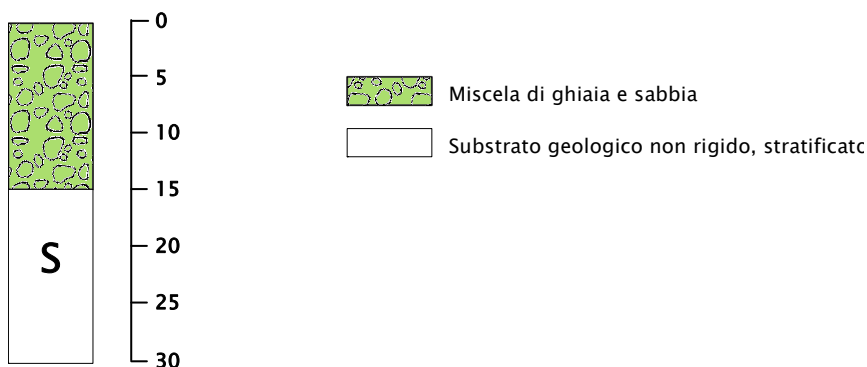
**Figura 36** – Successione stratigrafica cod. 2002.

### Zona 2003

Questa zona è presente in corrispondenza dello sbocco di valli e vallette trasversali ai principali corsi d'acqua; è caratterizzata da un substrato geologico non rigido, stratificato, ricoperto da una coltre superficiale costituita da materiale prevalentemente ghiaioso e sabbioso di spessore da pochi metri fino ad una quindicina di metri circa.

Le rocce del substrato appartenenti a questa zona sono costituite da alternanze tra livelli lapidei e pelitici.

Una sintesi schematica della successione stratigrafica della Zona 2003 è raffigurata in Figura 37.



**Figura 37** – Successione stratigrafica cod. 2003.

### Zona 2004

Questa zona è presente in prossimità dei principali corsi d'acqua (Torrente Dolo e Torrente Dragone); è caratterizzata da un substrato geologico non rigido, stratificato, ricoperto da una coltre superficiale costituita da depositi ghiaiosi passanti a sabbie e limi di terrazzo alluvionale, con spessore massimo di alcuni metri, generalmente minore di 10 m.

Le rocce del substrato appartenenti a questa zona sono costituite da alternanze tra livelli lapidei e pelitici.

Una sintesi schematica della successione stratigrafica della Zona 2004 è raffigurata in Figura 38.

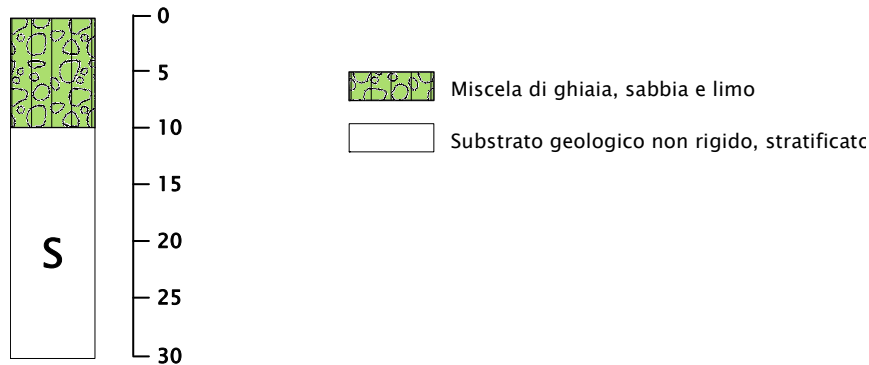


Figura 38- Successione stratigrafica cod. 2004.

### Zona 2005

Questa zona è circoscritta in un'area nella parte meridionale del Comune di Montefiorino, in corrispondenza dell'abitato di Cerratello; è caratterizzata da un substrato geologico non rigido, stratificato, ricoperto da una coltre superficiale costituita da depositi palustri limosi e organici di origine glaciale, con spessore di pochi metri.

Le rocce del substrato appartenenti a questa zona sono costituite da alternanze tra livelli lapidei e pelitici.

Una sintesi schematica della successione stratigrafica della Zona 2005 è raffigurata in Figura 39.

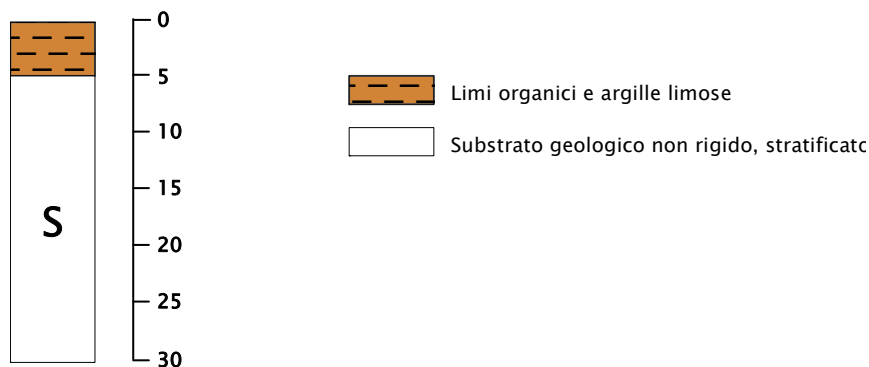


Figura 39- Successione stratigrafica cod. 2005.

### Zona 2006

Questa zona è circoscritta in un'area nella parte settentrionale del Comune di Montefiorino, nei pressi dell'abitato di Corzago; è caratterizzata da un substrato geologico non rigido, stratificato, ricoperto da una coltre superficiale costituita da materiale detritico generalmente fine (sabbie e limi) prodotti dall'alterazione "in situ" o selezionati dall'azione delle acque di ruscellamento e della gravità; lo spessore è di pochi metri.

Le rocce del substrato appartenenti a questa zona sono costituite da alternanze tra livelli lapidei e pelitici.

Una sintesi schematica della successione stratigrafica della Zona 2006 è raffigurata in Figura 40.

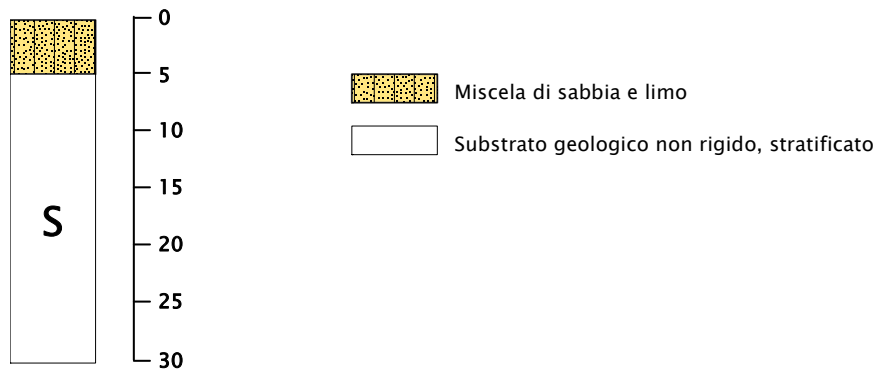


Figura 40- Successione stratigrafica cod. 2006.

### Zona 2007

Questa zona è ampiamente presente nella parte meridionale e occidentale del territorio comunale di Montefiorino, ed è caratterizzata da un substrato geologico non rigido, affiorante o sub-affiorante, a luoghi coperto da una debole coltre di alterazione dell'ordine di pochi metri.

Le rocce appartenenti a questa zona sono costituite prevalentemente da argille, argilliti e marne che attribuiscono al substrato un certo grado di amplificazione del segnale sismico.

Una sintesi schematica della successione stratigrafica della Zona 2007 è raffigurata in Figura 41.

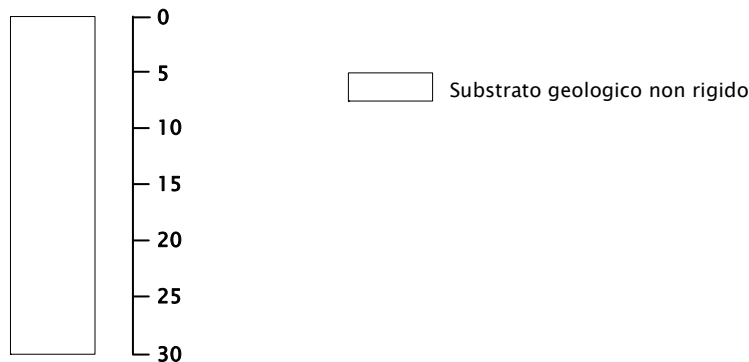
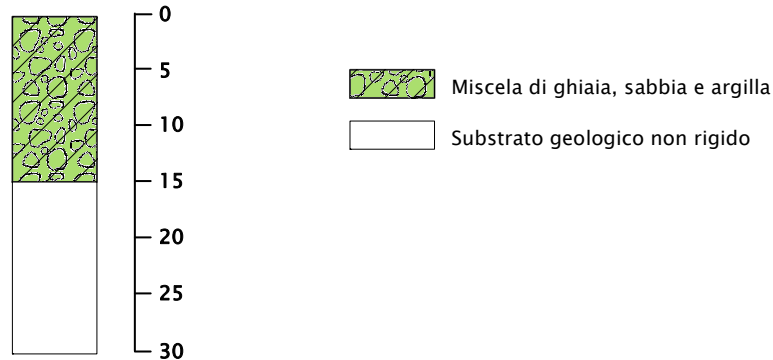


Figura 41 - Successione stratigrafica cod. 2007.

### Zona 2008

Questa zona è presente nella parte meridionale e occidentale del territorio comunale di Montefiorino, si individua sui principali versanti, nelle valli e lungo il corso dei principali corsi d'acqua; è caratterizzata da un substrato geologico non rigido ricoperto da una coltre superficiale costituita da materiale eterogeneo ed eterometrico (ghiaie, sabbie e argille) di varia natura e di spessore variabile da pochi metri fino ad una quindicina di metri circa.

Una sintesi schematica della successione stratigrafica della Zona 2008 è raffigurata in Figura 42.

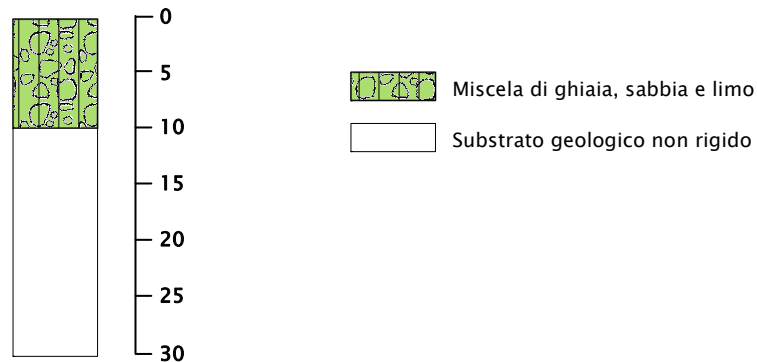


**Figura 42** – Successione stratigrafica cod. 2008.

### Zona 2009

Questa zona è presente nella parte occidentale del territorio comunale, in prossimità del corso del Torrente Dolo; è caratterizzata da un substrato geologico non rigido ricoperto da una coltre superficiale costituita da depositi ghiaiosi passanti a sabbie e limi di terrazzo alluvionale, con spessore massimo di alcuni metri, generalmente minore di 10 m.

Una sintesi schematica della successione stratigrafica della Zona 2009 è raffigurata in Figura 43.

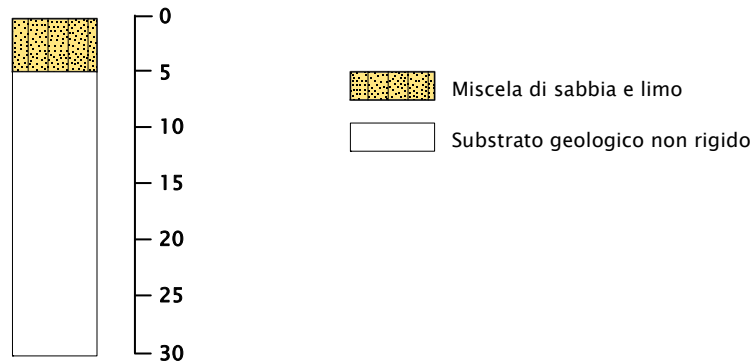


**Figura 43** – Successione stratigrafica cod. 2009.

### Zona 2010

Questa zona è circoscritta in un'area nella parte occidentale del Comune di Montefiorino, nei pressi dell'abitato di Le Coste; è caratterizzata da un substrato geologico non rigido ricoperto da una coltre superficiale costituita da materiale detritico generalmente fine (sabbie e limi) prodotti dall'alterazione "in situ" o selezionati dall'azione delle acque di ruscellamento e della gravità; lo spessore è di pochi metri.

Una sintesi schematica della successione stratigrafica della Zona 2010 è raffigurata in Figura 44.

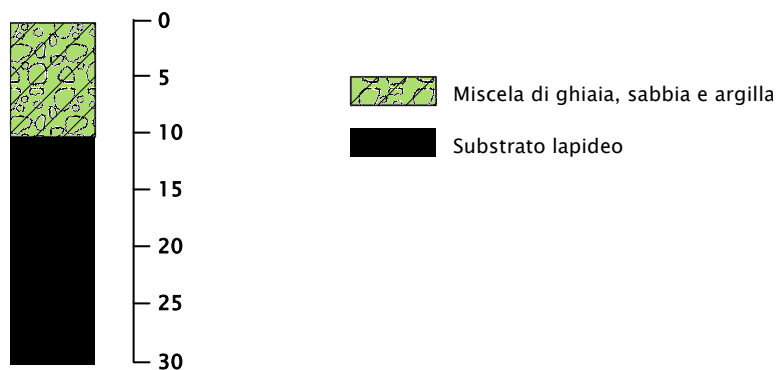


**Figura 44**– Successione stratigrafica cod. 2010.

### Zona 2011

Questa zona è presente nella parte meridionale del territorio comunale di Montefiorino, si individua sui principali versanti, nelle valli e lungo il corso dei principali corsi d'acqua; è caratterizzata da un substrato geologico rigido ricoperto da una coltre superficiale costituita da materiale eterogeneo ed eterometrico (ghiaie, sabbie e argille) di varia natura e di spessore variabile da pochi metri fino ad una decina di metri.

Una sintesi schematica della successione stratigrafica della Zona 2011 è raffigurata in Figura 45.



**Figura 45** – Successione stratigrafica cod. 2011.

### Zona 2012

Questa zona è presente nella parte meridionale del territorio comunale, in prossimità del corso del Torrente Dolo; è caratterizzata da un substrato geologico rigido ricoperto da una coltre superficiale costituita da depositi ghiaiosi passanti a sabbie e limi di terrazzo alluvionale, con spessore massimo di alcuni metri, generalmente minore di 10 m.

Una sintesi schematica della successione stratigrafica della Zona 2012 è raffigurata in Figura 46.

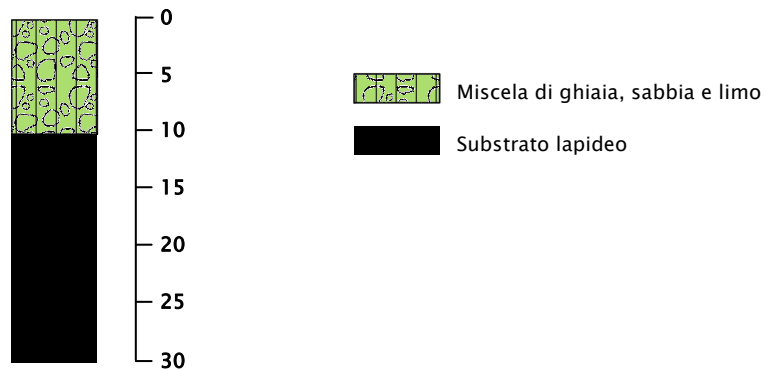


Figura 46 – Successione stratigrafica cod. 2012.

### Zone suscettibili di instabilità

Si tratta di quelle aree da sottoporre ad approfondimenti di terzo livello, suscettibili di instabilità di versante. Queste zone, già descritte nel capitolo 8.2 (*Carta Geologico-tecnica*), sono suddivise in base al grado di attività in tre categorie: attive, quiescenti, non definite. Va ricordato che in quest'ultima categoria ricadono quelle aree definite dal PTCP come "aree potenzialmente instabili". Nel territorio del Capoluogo e nei pressi degli abitati di Gusciola e Farneta si individuano le principali zone suscettibili di instabilità di versante, dove oltre a frane quiescenti si identificano anche frane attive.

## 9.5. Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)

Nella *Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)* sono ubicati tutti i punti di misura di Vs con indicazione del valore di  $V_{SH}$  (in m/s) e di H (in m).

Per le misure di Vs è stata impiegata la tecnica MASW e, in alcuni casi, la tecnica HVSR, in carta distinte con simboli diversi.

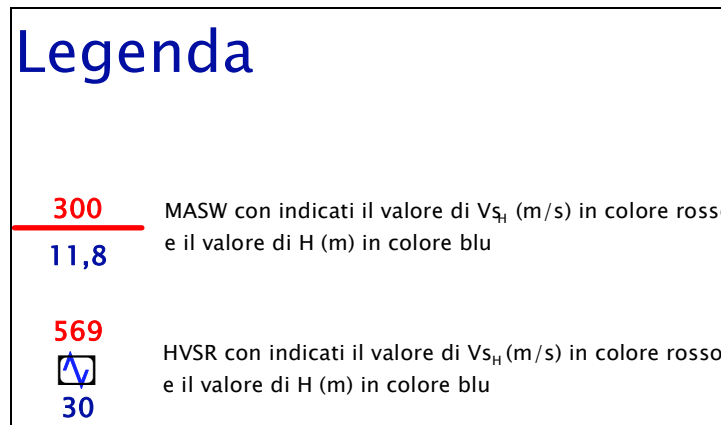


Figura 47 – Esempio di legenda della *Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)*.

Per la definizione della profondità del substrato rigido (H) si sono interpolati (laddove possibile) i profili di velocità delle onde S ottenuti con tecnica MASW con i valori di frequenza ottenuti con tecnica HVSR.

Si noti come i profili di velocità delle onde di taglio evidenzino molto bene le differenze litostratigrafiche tra le aree in cui i depositi (di versante, alluvionali e di frana) ricoprono il substrato roccioso (Figura 48) e le aree individuate come zone “sismicamente” stabili (Figura 49), in cui il substrato roccioso risulta sub-affiorante od affiorante.

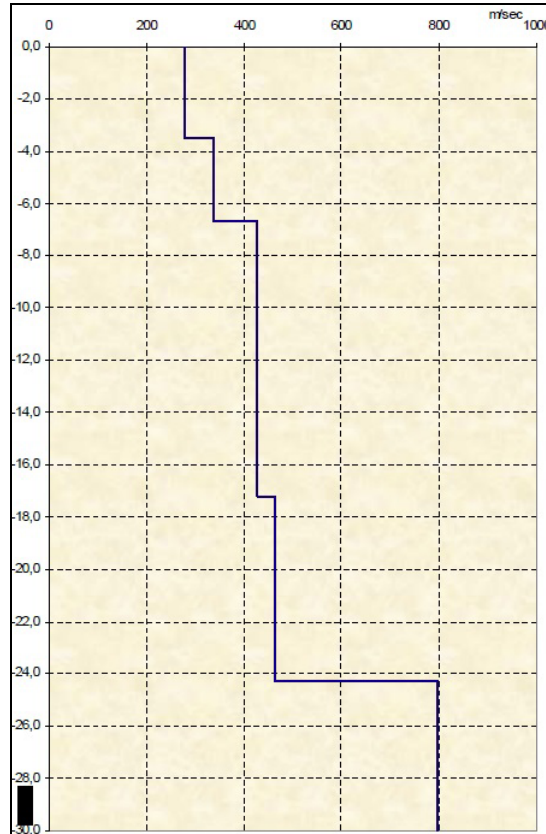


Figura 48 – Profilo tipo di Vs delle aree con depositi (Zona 2001) o frane. Substrato a 24.4m, MASW 036025L23.



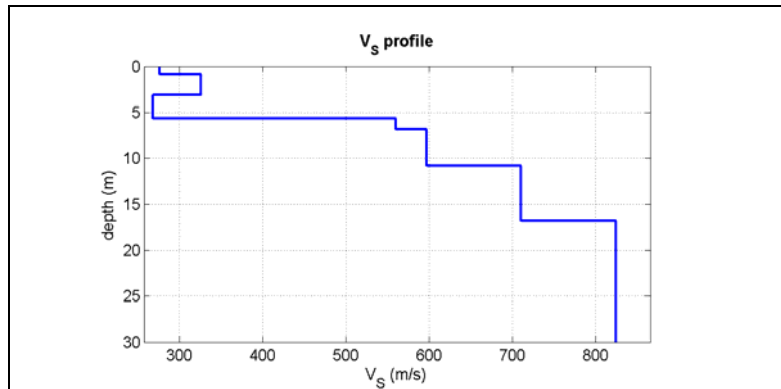


Figura 49 – Profilo tipo di Vs delle aree individuate come zone stabili (1041). Substrato a 5.7m, MASW 036025L58.

### 9.6. Carta di microzonazione sismica (Livello 2)

Nella *Carta di microzonazione sismica* di secondo livello sono rappresentate le zone caratterizzate da valori simili dei fattori di amplificazione sismica; in particolare sono state elaborate tre carte, una in cui viene rappresentato il valore del coefficiente di amplificazione stratigrafica  $FA_{PGA}$  (*peak ground acceleration*) (carta MS\_02\_Fx), e due in cui sono rappresentati i fattori di intensità spettrale di Housner per periodi  $0,1s < T_0 < 0,5s$  (MS\_02\_Fy) e per periodi  $0,5s < T_0 < 1,0s$  (MS\_02\_Fz).

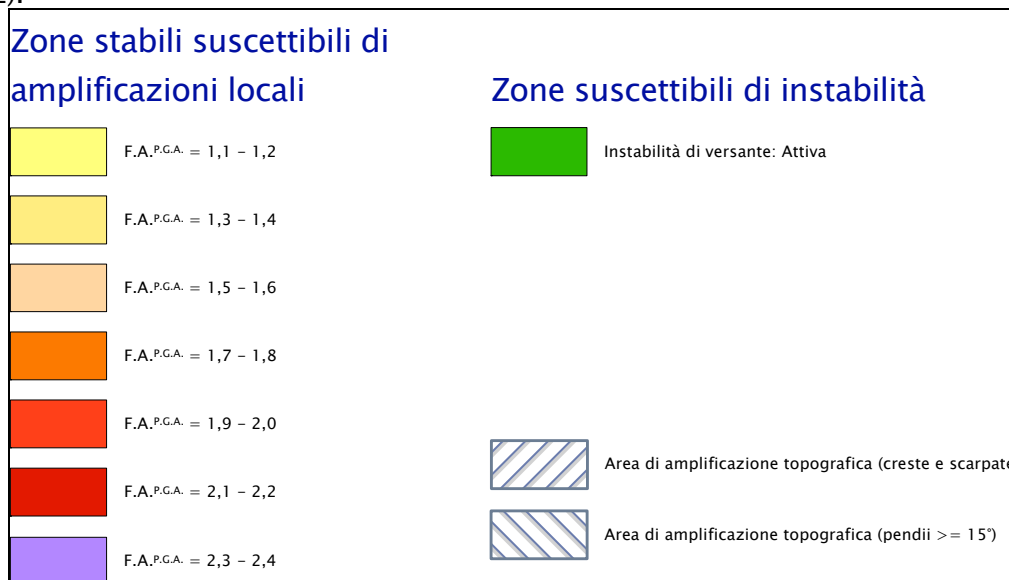


Figura 50 – Esempio di legenda della Carta di microzonazione sismica (Livello 2).

Per la definizione dei fattori di amplificazione sono state utilizzate le tabelle indicate dall'Allegato A2 degli indirizzi regionali per gli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale ed urbanistica (Delibera dell'Assemblea Legislativa Regione Emilia-Romagna n°112, 2007).

In particolare, sono state utilizzate le tabelle che si riferiscono all'Ambito "Appennino e margine appenninico-padano", selezionando il valore più opportuno del  $FA_{PGA}$ ,  $FA_{IS_{0,1 < T_0 < 0,5}}$  e  $FA_{IS_{0,5 < T_0 < 1,0}}$  in relazione alla  $V_{SH}$  ricavata dalle indagini geofisiche.

Sulla base dei profili di  $V_{SH}$ , per quanto riguarda il valore di  $F_{APGA}$ , l'areale indagato è suddivisibile in sei classi di amplificazione stratigrafica diverse, così come stabilite dagli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica" elaborati dalla Commissione Tecnica per il monitoraggio degli studi di microzonazione sismica (OPCM 3907/2010, art. 5, comma 7), versione 2.0beta del maggio 2012, cap 1.1.3.

Nelle carte sono riportate anche le aree di amplificazione topografica per creste e scarpate rocciose, rappresentate da un retinato grigio sovrapposto alle zone suscettibili di amplificazioni locali, individuate in base alle tracce di sezione riportate nella carta delle MOPS del livello precedente, le cui estensioni e valori di amplificazione sono stati perimetrati e calcolati tenendo conto delle indicazioni degli abachi di riferimento riportati nel Cap. 3.3 degli ICMS 2008.

Nelle cartografie di secondo livello sono stati evidenziati con un retinato grigio con direzione opposta al precedente anche i pendii con inclinazione media maggiore a 15°. Per l'identificazione di tali aree si è utilizzato il modello digitale del terreno con celle di 5 m della Regione Emilia-Romagna (DTM 5 m), opportunamente rielaborato per individuare le pendenze del terreno.

Nell'elaborazione delle carte, si è fatto riferimento alle sole aree urbanizzate ed urbanizzabili, perimetrare con un tratteggio nero; questo sia perché le prove geofisiche disponibili sono concentrate in queste aree, sia perché solo in queste stesse aree è verosimile verranno individuate le nuove previsioni insediative dai piani urbanistici futuri.

Sono stati disegnati nuovi poligoni per delimitare le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, prendendo come dato di partenza i poligoni delle zone omogenee in prospettiva sismica (*Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica*), tenendo però conto di ulteriori tre fattori:

- ubicazione della prova geofisica dalla quale si è ricavato il valore;
- estensione della zona stabile, del deposito o della zona instabile sulla quale ricade la prova;
- morfologia dell'area;
- perimetro del territorio urbanizzato.

Nelle cartografie sono indicate anche le zone suscettibili di instabilità che interessano le aree prese in riferimento; tali zone sono rappresentate in carta con le loro forme originali che appositamente escono dal perimetro delle aree urbanizzate al fine di comprendere al meglio la natura dell'instabilità.

Osservando la *Carta di microzonazione sismica (Livello 2)*, si nota come il coefficiente di amplificazione stratigrafica calcolato non sia mai 1, ciò ad indicare la diffusa presenza di depositi superficiali, coltri di alterazione del substrato o lo stesso substrato che amplificano il segnale sismico.

Sulla base dei risultati ottenuti, si nota come amplificazioni maggiori del moto sismico si riscontrino nelle zone caratterizzate da depositi superficiali e frane. Nelle rimanenti aree si

riscontra comunque una certa amplificazione, causata da depositi detritici o da spessori d'alterazione del substrato non cartografati, ma con tutta probabilità presenti.

## 10. BIBLIOGRAFIA

- Barbero, M., Bonini, M., Borri Brunetto, M., 2006. Analisi numeriche della stabilità di un versante in bimrock, in: Incontro Annuale Dei Ricercatori Di Geotecnica 2006 – IARG 2006. Pisa.
- Bettelli, G., Bonazzi, U., Fazzini, P., Gasperi, G., Gelmini, R., Panini, F., 1989a. Nota illustrativa alla Carta geologica dell'Appennino modenese e zone limitrofe. Mem. Soc. Geol. It. 39, 487-498.
- Bettelli, G., Bonazzi, U., Fazzini, P., Panini, F., 1989b. Schema introduttivo alla geologia delle Epiliguridi dell'Appennino modenese e delle aree limitrofe. Mem. Soc. Geol. It. 39, 215-246.
- Bettelli, G., Bonazzi, U., Panini, F., 1989c. Schema introduttivo alla geologia delle Liguridi dell'Appennino modenese e delle aree limitrofe. Mem. Soc. Geol. It. 39, 91-126.
- Bettelli, G., Capitani, M., Panini, F., 1996. Origine della struttura a "blocchi in pelite" e dell'estensione parallela alla stratificazione nelle formazioni smembrate liguri del Supergruppo del Baganza affioranti nel settore sudorientale dell'Appennino emiliano. Accad. Naz. Sci. Lett. Arti di Modena, Collana di Stud. 15, 261-298.
- Bettelli, G., Panini, F., 1992. Nota illustrativa ad una sezione geologica attraverso l'Appennino modenese. Stud. Geol. Camerti Vol. Spec., 65-74.
- Bettelli, G., Panini, F., Pizziolo, M., 2002. Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio n. 236 – Pavullo nel Frignano. Firenze.
- Boccaletti, M., Corti, G., Martelli, L., 2011. Recent and active tectonics of the external zone of the Northern Apennines (Italy). Int J Earth Sci (Geol Rundsch) 100, 1331-1348.
- Bonini, M., 2007. Interrelations of mud volcanism, fluid venting, and thrust-anticline folding: Examples from the external northern Apennines (Emilia-Romagna, Italy). J. Geophys. Res. Solid Earth 112, DOI: 10.1029/2006JB004859.
- Bonini, M., Tanini, C., 2009. Tectonics and quaternary evolution of the Northern Apennines watershed area (upper course of Arno and Tiber rivers, Italy). Geol. J. 44, 2-29.
- Brunamonte, F., 2003. Ricerca storica sulle frane nella Provincia di Modena. Regione Emilia-Romagna. Torino.
- Capitani, M., Bertacchini, M., 1997. Aspetti geologici, in: Modena, P. di (Ed.), 2° Relazione Sullo Stato Dell'ambiente Nella Provincia Di Modena. Modena, pp. 29-34.
- Chicchi, S., Plesi, G., 1991. Sovrascorrimenti e strutture associate dell'alto Appennino emiliano fra il Passo del Lagastrello e il M. Cimone. Stud. Geol. Camerti Vol. speci, 99-108.

- Chicchi, S., Plesi, G., 1992. Il Complesso di M. Modino nell'alto Appennino emiliano (tra il Passo del Lagastrello e il M. Cimone) e i suoi rapporti con la Falda toscana, l'Unità di Canetoloe le Liguridi. Mem. Descr. Cart. Geol. d'It. 46, 139-163.
- Chicchi, S., Plesi, G., 1995. La struttura della finestra di Gazzano (Val Dolo, Appennino reggiano-modenese). Accad. Naz. delle Sci. Scr. e Doc. 14, 195-227.
- Daniele, G., Plesi, G., 2000. The Ligurian Helminthoid flysch units of the Emilian Apennines: stratigraphic and petrographic features, paleogeographic restoration and structural evolution. Geodin. Acta 13, 1-21.
- De Nardo, M.T., Iaccarino, S., Martelli, L., Papani, G., Tellini, C., Torelli, L., Vernia, L., 1991. Osservazioni sull'evoluzione del bacino satellite epiligure Vetto-Carpineti-Canossa (Appennino Settentrionale). Mem. Descr. Cart. Geol. d'It. XLVI, 209-220.
- Delibera dell'Assemblea Legislativa Regione Emilia-Romagna n°112, 2007. Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica.
- Garberi, M.L., A., P., Pizziolo, M., 1999. I numeri sulle frane. Grafiche Damiani, Bologna.
- Gruppo di lavoro MS, 2008. Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Conf. delle Reg. e delle Province Auton. – Dip. della Prot. Civile, Roma 3 vol.
- Leuratti, E., Lucente, C.C., Medda, E., Manzi, V., Corsini, A., Tosatti, G., Ronchetti, F., Guerra, M., 2007. Primi interventi di consolidamento sulle frane dei Boschi di Valoria, di Tolara e Lezza Nuova (Val Dolo e Val Dragone, Appennino modenese). G. di Geol. Appl. 7, 17-30.
- Locati, M., Camassi, R., Stucchi, M., 2011. Database macrosismico italiano versione DBMI11. Milano, Roma.
- Mancin, N., Martelli, L., Barbieri, C., 2006. Foraminiferal biostratigraphy and paleobathymetric constraints in geohistory analysis: the example of the Epiligurian succession of the Secchia Valley (Northern Apennines, Mid Eocene-Late Miocene). Boll. Soc. Geol. It. 125, 163-186.
- Martini, G., Plesi, G., 1988. Scaglie tettoniche divelte dal complesso di M. Modino e trascinate alla base delle unità subligure e ligure: gli esempi del M. Ventasso e del M. Cisa (Appennino reggiano). Boll. Soc. Geol. It. 107, 171-191.
- Medley, E., 1999. Systematic characterization of melange bimrocks and other chaotic soil/rock mixtures. Felsbau 17, 152-162.
- Medley, E., 2001. Engineering Geological Characterization of Brittle Faults and Classification of Fault Rocks. Felsbau 19, 13-19.

- Mochi, E., Plesi, G., Villa, G., 1996. Biostratigrafia a nannofossili calcarei della parte basale della successione del M. Modino (nell'area dei Fogli 234 e 235) ed evoluzione strutturale dell'unità omonima. Stud. Geol. Camerti 13, 39-73.
- Plesi, G., 2002. Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio n. 235 – Pievepelago. Regione Emilia-Romagna-S.EL.CA, Firenze.
- Reutter, K.J., 1969. La geologia dell'Alto Appennino modenese tra Civago e Fanano e considerazioni geotettoniche sull'Unità di M. Modino – M. Cervarola. L'Ateneo Parm. Acta Nat. 5, 1-88.
- Soldati, M., Tosatti, G., 1993. Case histories of lake-forming landslides in the Dragone Valley (Northern Apennines), in: Proc. 7th Int. Conf. & Field Workshop on Landslides In Cech and Slovak Republics. pp. 287-292.
- Tellini, C., 2013. Pericolosità e suscettibilità da frana in Emilia-Romagna. Geol. dell'Emilia-Romagna 47, 7-13.