



PROTEZIONE CIVILE  
Presidenza del Consiglio dei Ministri  
Dipartimento della Protezione Civile



CONFERENZA DELLE REGIONI E  
DELLE PROVINCE AUTONOME

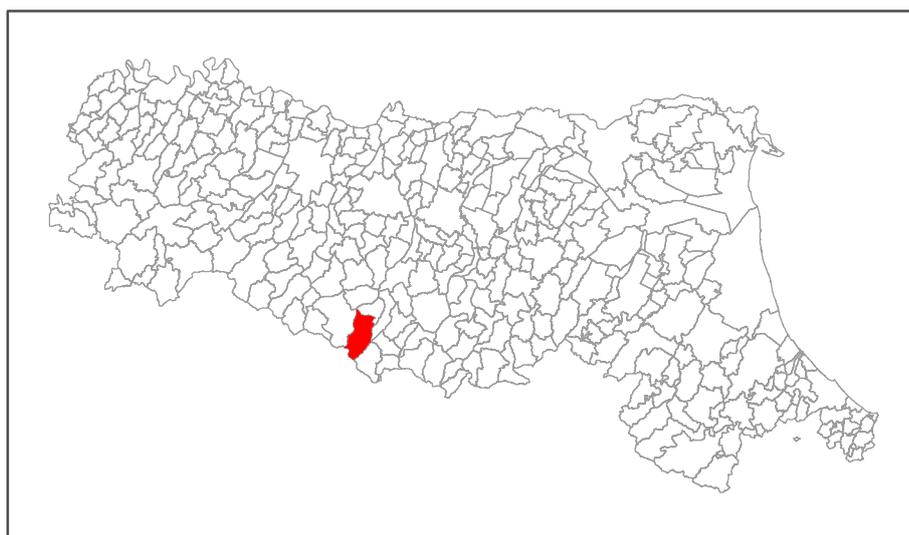
Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n.77

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Relazione illustrativa

Regione Emilia–Romagna

Comune di Frassinoro



Regione  
Emilia–Romagna

Soggetto realizzatore:  
Dott. Geol. Valeriano Franchi

Data:  
Novembre 2023

Collaboratori:  
Dott. ssa Geol. Stefania Asti  
Dott. Geol. Stefano Capocchi  
Dott. ssa Lara Vandelli



# **COMPLETAMENTO DELLA MICROZONAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO COMUNALE FINALIZZATA ALLA REDAZIONE DEL PUG DEL COMUNE DI FRASSINORO**

## **APPROFONDIMENTO DI II LIVELLO**

### **RELAZIONE ILLUSTRATIVA**

Responsabile  
Dott. Geol. Valeriano Franchi

Gruppo di lavoro  
Dott.ssa Geol. Stefania Asti  
Dott. Geol. Stefano Capocchi  
Dott.ssa Lara Vandelli

Novembre 2023

## INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	Inquadramento territoriale e cartografico .....	6
3	Definizione della pericolosità sismica di base e degli eventi sismici di riferimento .....	9
3.1	Caratteristiche sismotettoniche .....	9
3.2	Classificazione sismica del territorio comunale e pericolosità di base .....	5
3.3	Sismicità del territorio comunale .....	7
4	Aspetti geologici e geomorfologici .....	10
4.1	Lineamenti geologici generali.....	10
4.2	Assetto geomorfologico .....	13
5	Dati geotecnici e geofisici .....	14
6	Modello del sottosuolo.....	14
7	Interpretazioni e incertezze.....	17
8	Metodologie di elaborazione e risultati .....	19
9	Elaborati cartografici .....	20
9.1	Elaborati cartografici di I LIVELLO.....	20
9.1.1	Carta geologico-tecnica .....	21
9.1.2	Carta delle indagini .....	23
9.1.3	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs) .....	24
9.1.4	Carta delle frequenze naturali dei terreni .....	24
9.1.5	Carta delle MOPS.....	25
9.2	Elaborati cartografici di II LIVELLO.....	30
10	Bibliografia.....	36

## 1 PREMESSA

Su incarico dell'Amministrazione comunale è stato predisposto il presente **Studio di Microzonazione Sismica di II livello del Comune di Frassinoro**, finalizzato alla redazione del QC del PUG, a completamento degli Studi già predisposti a cura dell'Amministrazione comunale e attualmente vigenti.

Il comune di Frassinoro è dotato dei seguenti Studi di microzonazione sismica, consultabili integralmente all'indirizzo web <https://geo.regione.emilia-romagna.it/schede/pnsrs/index.jsp?id=36016>.

- 1 Studio di Microzonazione Sismica di I° e II° livello degli abitati di Frassinoro e Piandelagotti, redatto dallo Studio Tecnico Associato FOR.GEO a **Gennaio 2012** e validato dalla Regione Emilia Romagna il 06/02/2014; lo studio era stato eseguito ai sensi dell'OPCM 3907/2010 - MS2 e della DAL 112/2007 "Approvazione dell'Atto d'indirizzo coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16 comma 1 della L.R. 20/2000 per "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica". A seguire lo studio verrà citato come **MS 2012**.

Lo studio si compone dei seguenti elaborati:

- Relazione tecnica
- Carta delle indagini\_Frassinoro
- Carta litomorfologica\_Frassinoro
- Carta delle Frequenze\_Frassinoro
- Carta MOPS\_Frassinoro
- Carta VS\_Frassinoro
- FA\_PGA\_Frassinoro
- FA\_01\_05s\_Frassinoro
- FA\_05s\_10s\_Frassinoro
- Sezioni Frassinoro
- Microzonazione sismica – elenco tavole
- Carta delle indagini\_Piandelagotti
- Carta litomorfologica\_Piandelagotti
- Carta delle Frequenze\_Piandelagotti
- Carta MOPS\_Piandelagotti
- Carta VS\_Piandelagotti
- FA\_PGA\_Piandelagotti
- FA\_01\_05s\_Piandelagotti
- FA\_05s\_10s\_Piandelagotti
- Sezioni Piandelagotti

- 2 Studio di Microzonazione Sismica di I°, II° e III° livello dell'abitato di Fontanaluccia e di II° e III° livello dell'abitato di Piandelagotti (ad integrazione e completamento del precedente), redatto dallo Studio Tecnico Associato FOR.GEO nel **Settembre 2017** e validato il 27/04/2022; lo studio è stato eseguito ai sensi dell'OCDPC 293/2015 e della Delibera di Giunta Regionale D.G.R. n. 2193/2015 "Approvazione dell'Atto di coordinamento tecnico denominato "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica". A seguire lo studio verrà citato come **MS 2017**.

Lo studio si compone dei seguenti elaborati:

- Allegato 1-prove DPSH\_MS Frassinoro\_2017
- Allegato 2-prove di Laboratorio\_MS Frassinoro\_2017
- Allegato 3-Relazione MASW\_MS Frassinoro\_2017
- Allegato 4-Relazione HVSR\_MS Frassinoro\_2017
- Allegato 5-Sezioni Piandelagotti\_MS Frassinoro\_2017
- Allegato 6-Sezioni Fontanaluccia\_MS Frassinoro\_2017
- Carta\_delle\_frequenze

- Carta\_delle\_indagini
- Carta\_delle\_Velocità
- Carta\_di\_microzonazione\_sismica\_FAPGA
- Carta\_di\_microzonazione\_sismica\_FAS0510
- Carta\_di\_microzonazione\_sismica\_FASI005
- Carta\_Geologico\_tecnica
- Carta\_MOPS
- Relazione tecnica microzonazione\_MS Frassinoro\_2017

Il presente studio è stato realizzato nel rispetto del seguente quadro normativo:

- D.G.R. 630/2019: *“Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017)”*;
- D.G.R. 476/2021: *“Aggiornamento dell'Atto di Coordinamento Tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (Artt. 22 e 49, L.R. N. 24/2017) di cui alla Deliberazione della Giunta Regionale 29 Aprile 2019, N. 630”*, integrata con D.G.R. n. 564/2021,

Per gli aspetti tecnici, si è fatto inoltre 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>.

Lo studio eseguito al fine della formazione del PUG, di seguito denominato **MS 2023**, ha riguardato esclusivamente le seguenti località, a completamento di quelle indagate dalle MS vigenti:

- Romanoro – il Cantiere
- Sassatella
- Spervara
- Rovolo
- Vallorsara
- Riccovolto
- Cargedolo
- Madonna di Pietravolta

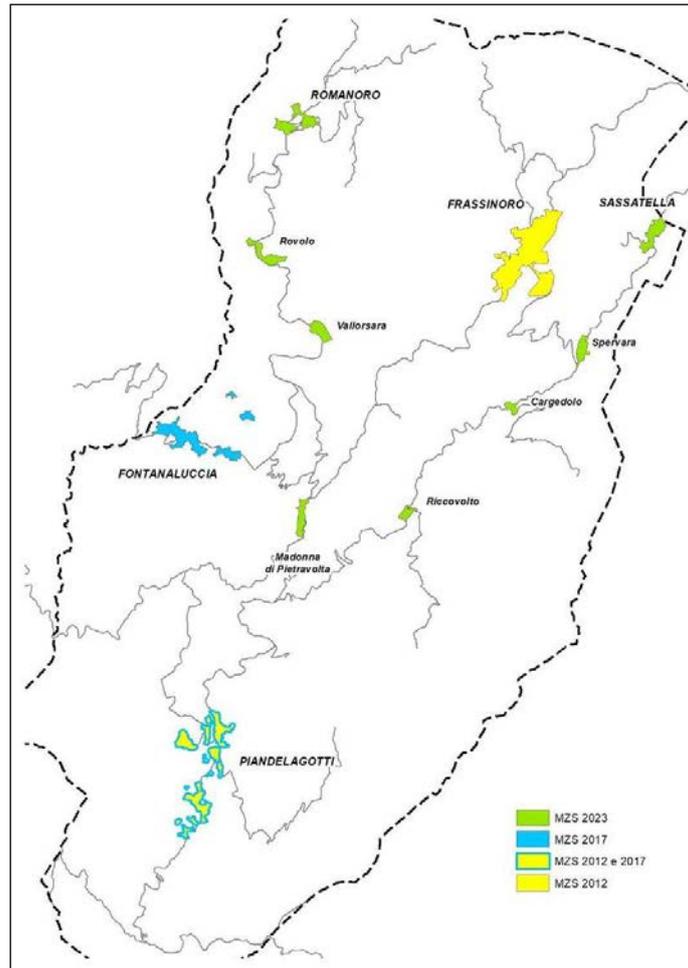
Lo studio **MS 2023**, si compone dei seguenti elaborati:

- Relazione tecnica
- Carta delle Indagini
- Carta Geologico Tecnica
- Carta delle Frequenze naturali dei terreni
- Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)
- Carta delle Velocità delle onde di taglio S (Vs)
- Carta di Microzonazione sismica Livello 2 – FPGA
- Carta di Microzonazione sismica Livello 2 – FA1 ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ )
- Carta di Microzonazione sismica Livello 2 – FA2 ( $0,4s \leq T \leq 0,8s$ )
- Carta di Microzonazione sismica Livello 2 – FA3 ( $0,7s \leq T \leq 1,1s$ )
- Carta di Microzonazione sismica Livello 2 – FH1 ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ )
- Carta di Microzonazione sismica Livello 2 – FH2 ( $0,5s \leq T \leq 1,0s$ )
- Carta di Microzonazione sismica Livello 2 – HSM

---

<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. Link: <https://www.protezionecivile.gov.it/it/pubblicazione/indirizzi-e-criteri-la-microzonazione-sismica>

Img. 1.1 - Località indagate dagli studi di Microzonazione Sismica



## 2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE E CARTOGRAFICO

Il territorio comunale di Frassinoro, con un'estensione di circa 96 km<sup>2</sup>, si colloca nell'alto Appennino Modenese al confine con la Regione Toscana<sup>2</sup>, con i comuni di Villa Minozzo e Toano della provincia di Reggio Emilia e con i comuni modenesi di Montefiorino, a nord, di Palagano e Riolunato, ad est e di Pievepelago a sud-est (Img. 2.1).

Img. 2.1 - Inquadramento amministrativo regionale del territorio comunale di Frassinoro<sup>3</sup>.



Il territorio del Comune di Frassinoro è altimetricamente compreso tra quote minime di 478 m s.l.m. lungo la valle del torrente Dolo, all'estremità nord-ovest in corrispondenza dell'uscita del corso d'acqua dal territorio comunale e quote massime di circa 1.700 m s.l.m. che si raggiungono lungo il crinale, nella zona della Cima La Nuda e dell'Alpe di S. Pellegrino.

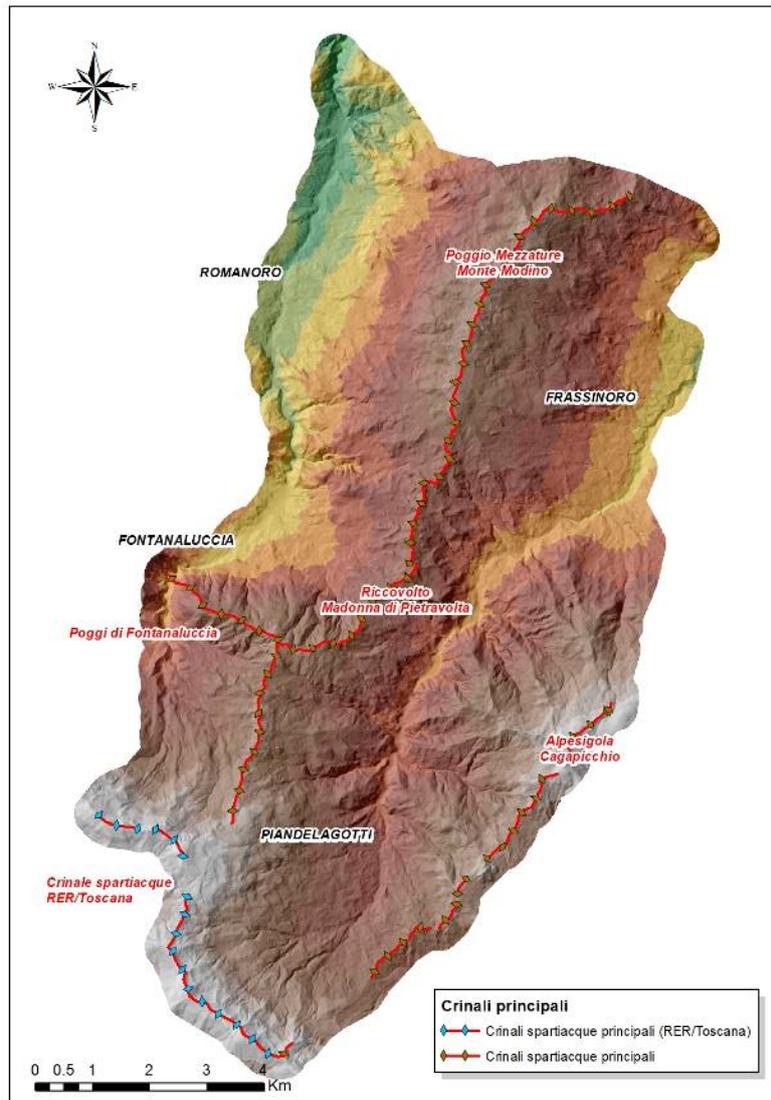
Il clima è caratterizzato, nel periodo 1991-2015, da precipitazioni totali annue, in media, di 1420 mm e temperature medie annue di 9,5°C, pari, rispettivamente, ad una variazione di -69 mm e +0,9°C rispetto al periodo 1961-1990.<sup>4</sup>

<sup>2</sup> Una piccola porzione del paese di San Pellegrino in Alpe (provincia di Lucca) fa parte del comune di Frassinoro. Un'enclave modenese in territorio toscano.

<sup>3</sup> Tratta da Relazione illustrativa di Microzonazione sismica, FORGEO Studio Tecnico Associato, 2017

<sup>4</sup> Atlante Idroclimatico dell'Emilia-Romagna (Ed. 2017) - <https://www.arpae.it/temi-ambientali/clima/rapporti-e-documenti/atlane-climatico/atlane-climatico>

**Img. 2.2 - Inquadramento geografico-fisico del territorio comunale di Frassinoro. Il DEM (modello digitale delle quote) mostra le differenti fasce altimetriche: da quelle con valori relativamente più alti, in marrone, a quelle con i valori relativamente più bassi, in giallo e azzurro.**



Nella cartografia regionale, il territorio comunale di Frassinoro è compreso nelle Tavole alla scala 1:25.000:

- nr. 235NE denominato "Montefiorino"
- nr. 235SE denominato "Pievepelago"
- nr. 235SO denominato "Civago"
- nr. 250NO denominato "Fiumalbo"
- nr. 250NE denominato "Fiumalbo"

nelle Sezioni alla scala 1:10.000:

- nr. 235070 denominato "Romanoro"
- nr. 235080 denominato "Palagano"
- nr. 235100 denominato "Civago"
- nr. 235110 denominato "Frassinoro"
- nr. 235120 denominato "Bocassuolo"
- nr. 235140 denominato "Monte Giovarello"
- nr. 235150 denominato "Piandelagotti"
- nr. 235160 denominato "Pievepelago"

- nr. 235120 denominato "San Pellegrino"
  - nr. 250020 denominato "Sant'Anna Pelago"
- negli Elementi alla scala 1:5.000:
- nr. 235074 denominato "Gova"
  - nr. 235071 denominato "Giunzione"
  - nr. 235084 denominato "La Verna"
  - nr. 235073 denominato "Romanoro"
  - nr. 235072 denominato "Venano"
  - nr. 235083 denominato "Sassatella"
  - nr. 235114 denominato "Rovolo"
  - nr. 235111 denominato "Frassinoro"
  - nr. 235124 denominato "Boccassuolo"
  - nr. 235102 denominato "Civago"
  - nr. 235113 denominato "Fontanaluccia"
  - nr. 235112 denominato "Riccovolto"
  - nr. 235123 denominato "Case Guiglia"
  - nr. 235141 denominato "La Romita"
  - nr. 235154 denominato "Piandelagotti"
  - nr. 235151 denominato "Cecconi"
  - nr. 235142 denominato "Passo delle Radici"
  - nr. 235153 denominato "Donini"
  - nr. 235152 denominato "Sasso Tignoso"
  - nr. 250021 denominato "San Pellegrino"
  - nr. 235034 denominato "Monte Spicchio"

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

#### 3.1 Caratteristiche sismotettoniche

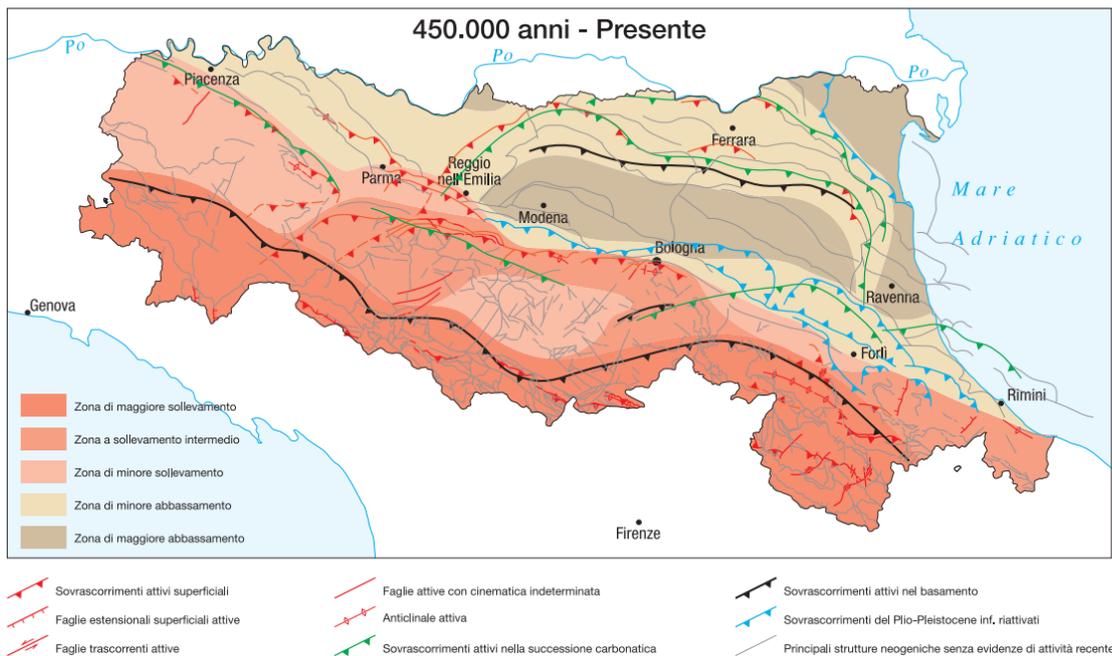
La Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna alla scala 1:250.000, pubblicata nel 2004, oltre alla definizione della pericolosità sismica locale e all'individuazione di strutture potenzialmente sismogenetiche, offre anche un quadro delle relazioni fra attività tettonica attuale e rischi naturali. In detto lavoro, infatti, l'analisi comparata della sismicità e delle strutture attive, evidenti per la loro espressione sia morfologica che geologica, unitamente ad una riconsiderazione dei dati disponibili sui movimenti verticali del suolo (sollevamento dei terrazzi alluvionali, subsidenza, evoluzione del reticolo idrografico) e alla ricostruzione delle isobate delle due principali e più recenti superfici di discontinuità del sottosuolo (rispettivamente 450.000 anni, base del SERS, e 10.000 anni, base dell'Olocene), ha permesso di ottenere un quadro neotettonico e sismotettonico ben definito del territorio indagato.

Esaminando l'immagine seguente, che può essere considerata lo schema di sintesi sull'attività neotettonica in Emilia Romagna, emerge che le zone a maggiore sollevamento, con tassi >1 mm/anno, sono individuabili nella parte alta della catena, corrispondente al settore a monte del principale raddoppio crostale, a conferma dell'attività di questa struttura.

L'area a sollevamento intermedio, con tassi mediamente  $\geq 1$  mm/anno, corrisponde al settore immediatamente retrostante la struttura superficiale del margine che da Bologna si estende verso NW fino alla valle del Taro.

Le aree a minore sollevamento (<1 mm/anno) si collocano immediatamente a valle della struttura crostale. Anche in pianura le zone di minore abbassamento, con tassi <1 mm/anno, corrispondono alle aree maggiormente interessate dalle strutture attive. Le strutture di questo settore sono sepolte e non mostrano, generalmente, evidenze in superficie.

**Img. 3.1 - Schema di sintesi sull'attività neotettonica in Emilia-Romagna**



La sismicità legata alle strutture superficiali, con ipocentri mediamente ad una profondità inferiore a 15 km, risulta molto diffusa in catena e più localizzata in pianura, soprattutto in corrispondenza della dorsale ferrarese.

I meccanismi focali calcolati risultano compressivi e trascorrenti indicando direzioni di compressione sia NE-SW che NW-SE. I meccanismi focali distensivi sono nettamente secondari. Risulta quindi che la cinematica delle principali strutture attive superficiali è di tipo transpressivo.

La sismicità crostale, con ipocentri mediamente compresi tra 15 e 35 km, mostra una distribuzione simile a quella più superficiale ma con una densità inferiore. Anche in questo caso i meccanismi focali risultano compressivi e trascorrenti con direzioni di compressione sia NW-SE che NE-SW ed i meccanismi distensivi sono rari e ben localizzati.

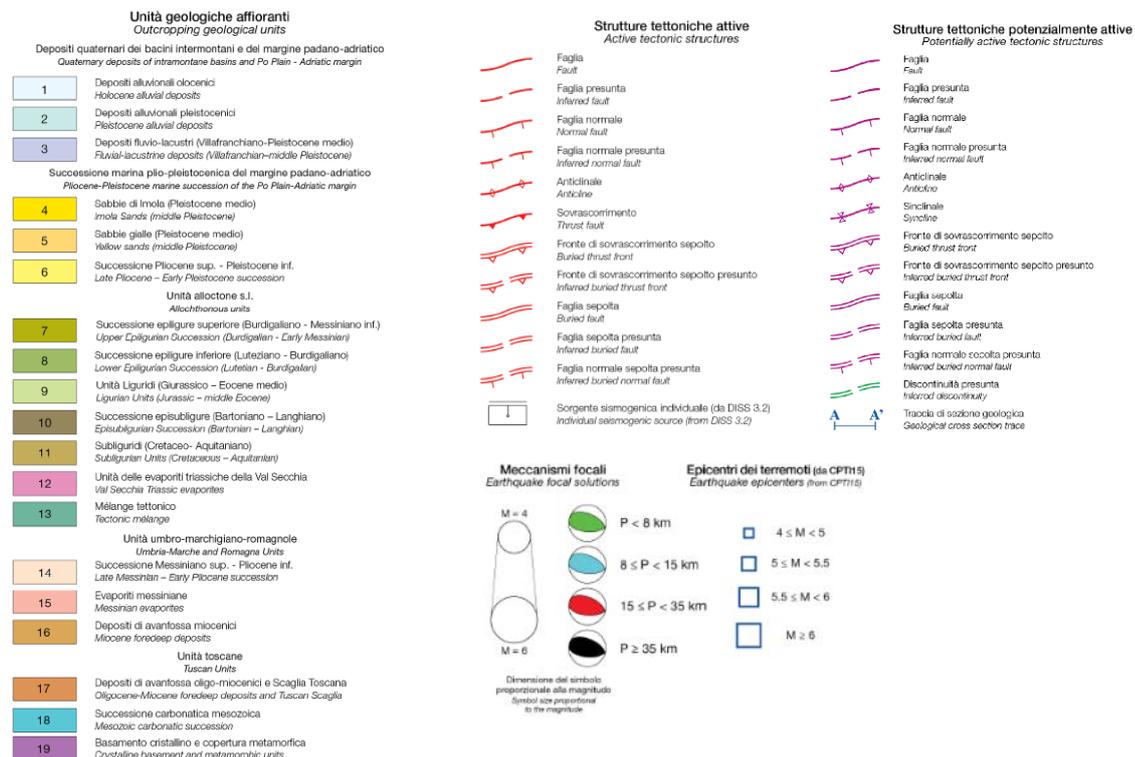
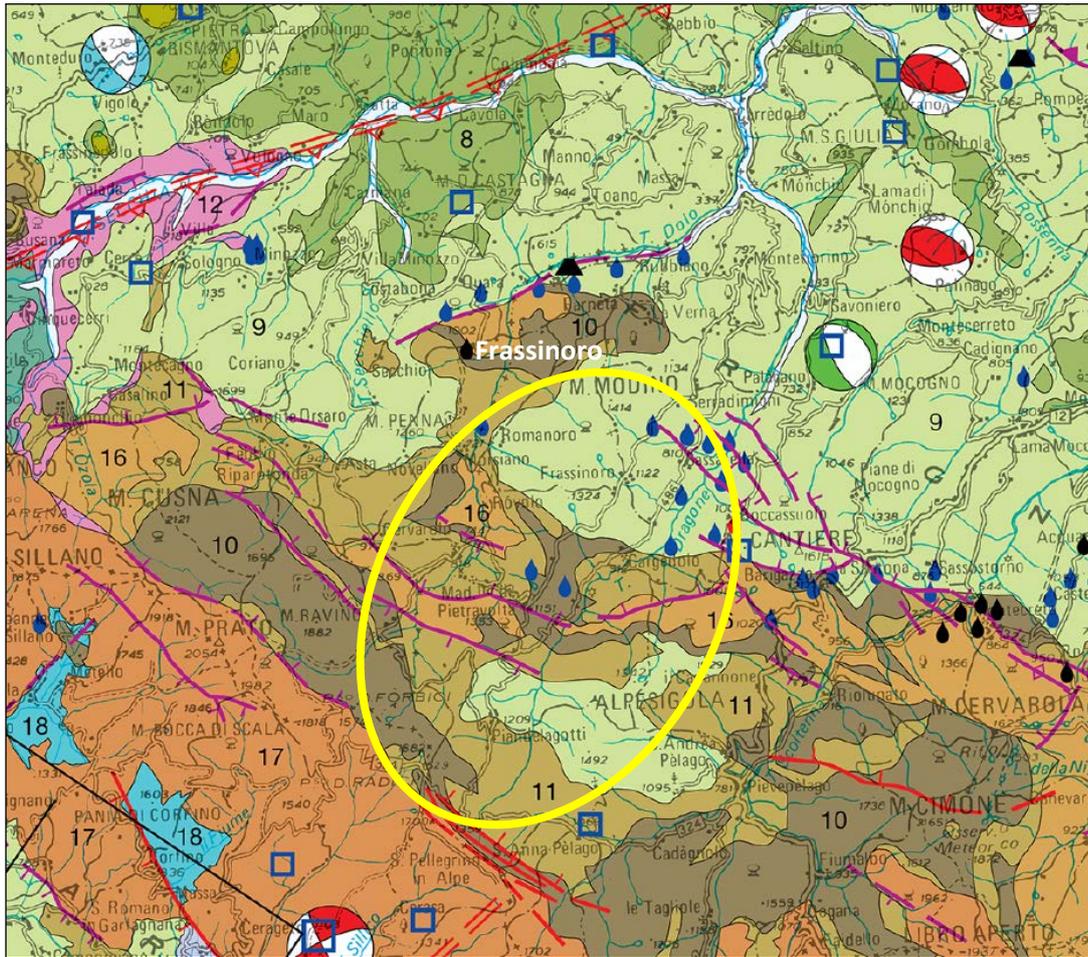
La sismicità più profonda, con ipocentri oltre i 35 km, fino ad oltre 50 km, è sempre diffusa nel settore di catena e in corrispondenza del margine appenninico-padano e decisamente minore in pianura. I meccanismi focali calcolati sono in accordo con quanto riscontrato nei livelli strutturali superiori.

A seguito degli eventi sismici avvenuti in regione dopo il 2004, la Regione Emilia Romagna ha ritenuto opportuno procedere all'aggiornamento della carta sismotettonica pubblicata nel 2004: le reti sismiche sono state implementate, la Pianura Padana e l'Appennino settentrionale sono stati, infatti, interessati da varie sequenze sismiche e sono stati condotti nuovi studi. Ciò ha permesso di acquisire una considerevole quantità di nuovi dati e caratterizzare meglio le strutture tettoniche; l'estensione degli studi ad un'area più ampia del territorio regionale si è resa necessaria in quanto alcuni processi e fenomeni naturali che avvengono fuori regione, possono comunque influenzare l'evoluzione e la sicurezza del territorio e le attività in Emilia-Romagna.

Si riporta, di seguito, uno stralcio della Carta Sismotettonica 2016 della Regione Emilia-Romagna comprendente il Comune di Frassinoro, in cui si può osservare nella parte centrale del territorio comunale, la presenza di alcune faglie normali e faglie normali potenzialmente attive (presunte); nella parte meridionale si possono notare faglie normali e faglie attive (presunte).

COMUNE DI FRASSINORO - PROVINCIA DI MODENA  
 COMPLETAMENTO DELLA MICROZONAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO COMUNALE FINALIZZATA ALLA REDAZIONE DEL PUG  
 APPROFONDIMENTO DI II LIVELLO  
 RELAZIONE ILLUSTRATIVA

**Img. 3.2 - Estratto della Carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna e aree limitrofe (scala originale 1:250.000)**



Come evidenziato dagli studi di Microzonazione Sismica vigenti redatti da FOR.GEO, *“l’assetto geologico-stratigrafico di questo settore dell’Appennino è alquanto complesso, sia per la presenza di un gran numero di unità tettoniche (derivanti da diverse originarie successioni stratigrafiche) sia per la lunga storia deformativa delineatasi durante una lunga successione di fasi tettoniche che, a partire dal cretaceo superiore fino ai giorni nostri, hanno interessato l’area”*. *“A grandi linee l’assetto strutturale dell’area in esame può essere grossolanamente schematizzato come l’impilamento di una serie di unità tettoniche liguri al di sopra delle unità toscane, con l’interposizione (non sempre riconoscibile su tutta l’area) delle così dette unità subliguri”*. Con riferimento alla sequenza sottostante, dall’alto verso il basso è stato ricostruito il seguente schema di sovrapposizione geometrica delle unità tettoniche valido sostanzialmente per tutto il territorio comunale, con esclusione della parte più meridionale a cavallo del crinale principale<sup>5</sup>.

Unità Monghidoro	Unità Liguri
Unità Venano	
Unità Ofiolitica della Val Baganza	
Unità Caio	
Unità Modino (sottounità Ventasso)	Unità Toscane
Unità Cervarola-Unità Umbre? (Arenarie di Gova)	
Unità Modino (sottounità Pievepelago)	
Falda Toscana	

*“I rapporti geometrici di sovrapposizione tra le diverse unità sono legati all’esistenza di grandi sovrascorrimenti che, per la natura polifasica della tettonogenesi, possono aver subito a loro volta delle deformazioni (basculamenti e ripiegamenti). A complicare un quadro strutturale già piuttosto complicato concorre anche la tettonica più recente, di tipo distensivo che, nell’area in esame, è marcata dalla presenza di alcuni lineamenti cartografici alquanto importanti quali la linea della Santona e il lineamento Interno.”*

Un elenco delle sorgenti sismogenetiche e delle faglie potenzialmente attive e capaci è contenuto nel DISS 3.3.0<sup>6</sup>, il database delle sorgenti sismogenetiche italiane, potenzialmente in grado di generare sismi con magnitudo superiore a M 5.5 nell’area Italiana.

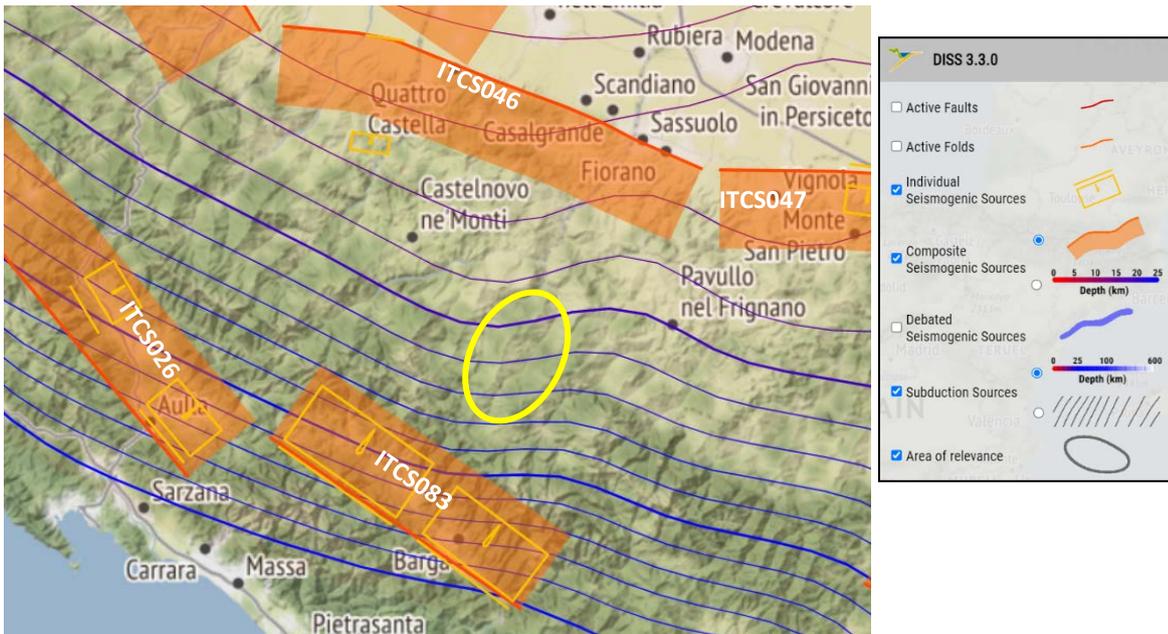
Con riferimento all’immagine seguente, le sorgenti sismogenetiche più significative al contorno dell’area in studio sono:

- **ITCS083 - Garfagnana, con una magnitudo massima attesa Mw = 6.9;**
- **ITCS046 - Langhirano-Sassuolo, con una magnitudo massima attesa Mw = 6.8;**
- ITCS026 - Lunigiana, con magnitudo massima attesa Mw = 7.0;
- ITCS047 - Castelvetro di Modena-Castel San Pietro Terme, con una magnitudo massima attesa Mw = 6.8.

<sup>5</sup> “Non sono indicate le Unità subliguri che, quando presenti, si interpongono tra le Liguridi e le Unità Toscane”

<sup>6</sup> <https://diss.ingv.it/diss330/dissmap.html>

Img. 3.3 - Ubicazione delle sorgenti sismogenetiche del DISS 3.3.0



Allo scopo di associare la sismicità dell'area con i meccanismi responsabili dell'innescio dei terremoti, si è fatto riferimento alla Zonazione Sismogenetica ZS9 (a cura del gruppo di lavoro coordinato da C. Meletti e G. Valensise, 2004). Tale lavoro, che sostituisce la precedente zonazione ZS4, suddivide il territorio nazionale in fasce contraddistinte da caratteristiche sismotettoniche omogenee. Esso risulta estremamente importante per gli studi di pianificazione territoriale e, in particolare, nelle valutazioni di pericolosità sismica. A corredo degli studi di zonizzazione sono stati raccolti e analizzati quasi 2.500 terremoti, degli ultimi 1.000 anni, con intensità epicentrale maggiore o uguale al V – VI grado MCS la cui magnitudo è maggiore o uguale a 4.

Come evidenziato nell'immagine seguente, il territorio comunale di Frassinoro ricade in parte nella **zona 913**, contraddistinta da eventi sismici di bassa magnitudo, a cinematica prevalentemente compressiva, anche se si possono avere fenomeni di trascorrenza nelle zone di svincolo che dissecano la continuità laterale delle strutture, e in parte nella **zona 915** caratterizzata da aree con sistemi di faglie legati all'estensione appenninica e sorgenti sismogenetiche responsabili dei terremoti di più elevata magnitudo che hanno caratterizzato l'arco appenninico settentrionale e centrale; appare complessivamente caratterizzata da tassi di sismicità leggermente inferiori rispetto le zone limitrofe (919, 923) e presenta al suo interno le aree della Garfagnana, della Lunigiana e del Mugello.

Generalmente, le sorgenti sismiche della zona 913 si distribuiscono a profondità comprese tra i 12 e i 20 Km mentre le sorgenti della zona 915 si distribuiscono a profondità minori, comprese tra gli 8 e i 12 Km.

Per quanto riguarda il territorio comunale, gli abitati di Vallorsara e Rovolo, fanno da spartiacque tra la zona 913 a nord e la zona 915 a sud.



Sul territorio comunale, il sollevamento ed in generale tutti i movimenti crostali avvenuti in epoche plio-quadernarie, sono individuabili mediante elementi neotettonici lineari (faglie) a sviluppo prevalentemente rettilineo.

Negli elaborati precedentemente redatti per gli studi di Microzonazione sismica nell'area comunale<sup>8</sup>, non c'è evidenza di faglie. Solo nella Carta litomorfológica di Piandelagotti<sup>9</sup>, si parla di contatto tettonico ubicato a nord della chiesa della Natività di Maria Vergine a Piandelagotti.

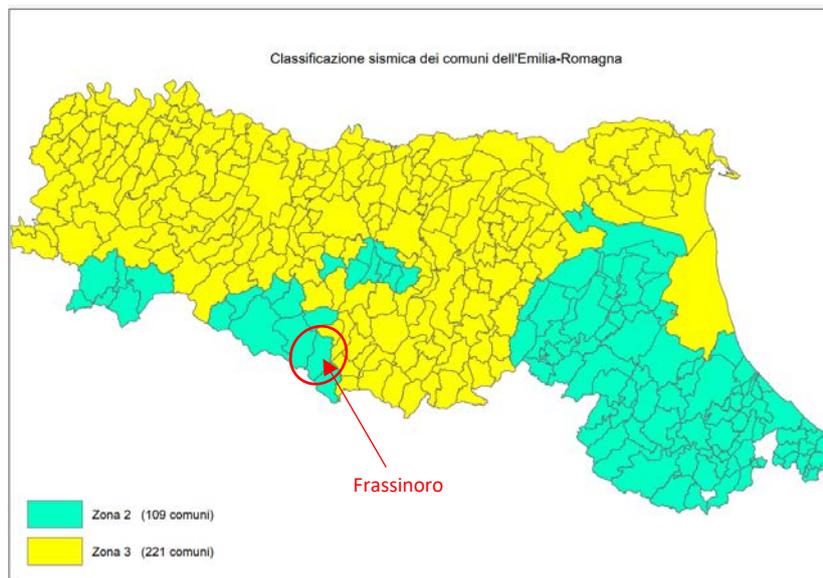
### 3.2 Classificazione sismica del territorio comunale e pericolosità di base

La classificazione sismica dei comuni su tutto il territorio nazionale è stata definita dall'Allegato 1, punto 3 dell'Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003, utilizzando e aggiornando la precedente proposta nel 1998.

La suddivisione è articolata in 4 zone, ciascuna delle quali è contraddistinta da un diverso valore dell'accelerazione di picco orizzontale del suolo ( $a_g$ ) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni: le prime 3 corrispondono alle zone di sismicità alta ( $S=12$ ), media ( $S=9$ ) e bassa ( $S=6$ ), contemplati nella Legge 64/74, mentre la zona 4 è di nuova introduzione.

Il comune di Frassinoro è classificato in **Zona 2** con conseguente accelerazione sismica orizzontale, con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, compresa tra un minimo di  $a_g/g=0,15$  e un massimo di  $a_g/g=0,25$  e accelerazione sismica orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico pari a  $a_g/g=0,25$ . Tali valori di accelerazione sono relativi al bedrock, ovvero a formazioni litoidi o terreni omogenei molto rigidi.

Img. 3.5 - Classificazione sismica dei comuni dell'Emilia-Romagna aggiornata al 2023. (Nel cerchio rosso il Comune di Frassinoro)



Si specifica che la classificazione sismica non interferisce con la determinazione dell'azione sismica, necessaria per la progettazione e la realizzazione degli interventi di prevenzione del rischio sismico. L'azione sismica è definita, per ogni sito, dai parametri di pericolosità sismica previsti dalle norme tecniche per le costruzioni NTC 2018, superando, quindi, la differenza tra valori di accelerazione previsti dagli studi di pericolosità sismica a scala nazionale e valori previsti dalla normativa antisismica per un suolo di riferimento.

<sup>8</sup> Tratto dal materiale della Microzonazione sismica di III° livello (Studio Tecnico Associato FOR.GEO)

<sup>9</sup> Microzonazione sismica di II° livello (Studio Tecnico Associato FOR.GEO)

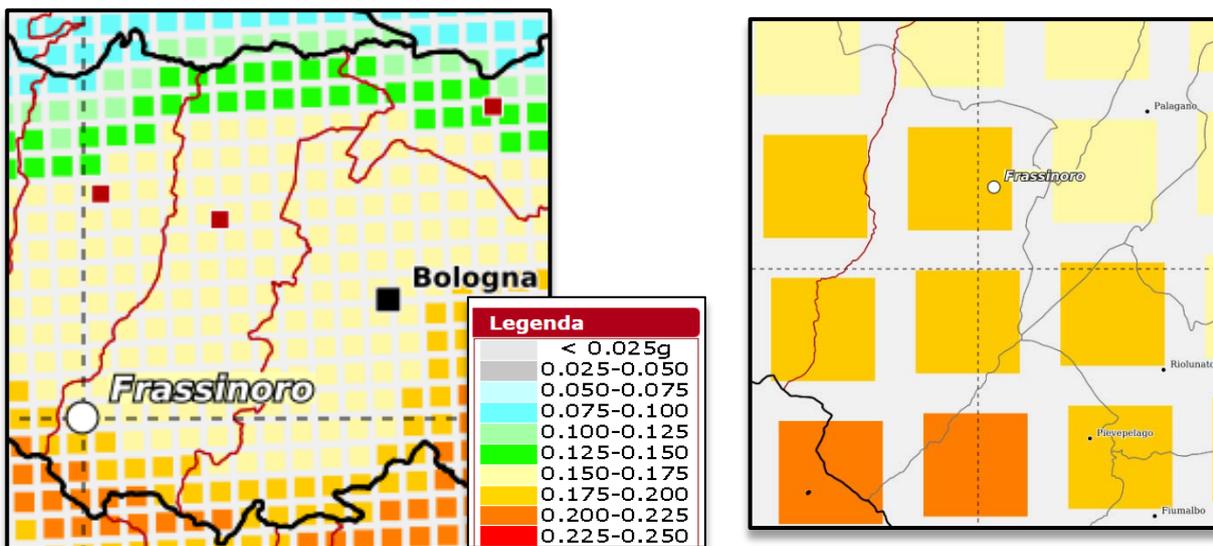
Storicamente, il comune di Frassinoro è stato classificato sismico per la prima volta nel 1927, declassificato nel 1937 e riclassificato nel 1983. Con i decreti fino al 1984, Frassinoro era classificato come II° categoria, passato a III° categoria con la proposta del G.d.L. del 1998 e poi divenuto zona 2 nel 2003.

Secondo la mappa di pericolosità sismica nazionale MPS04<sup>10</sup>, attuale riferimento ufficiale per il calcolo dell'azione sismica ai fini della progettazione, la pericolosità sismica del versante padano dell'Appennino settentrionale e della Pianura Padana decresce gradualmente dal crinale appenninico alla pianura lombardo-veneta.

Di seguito si riporta la mappa di pericolosità sismica nazionale con i valori di PGA con una probabilità di superamento del 10% in un periodo di 50 anni (con un periodo di ritorno di 475 anni) e la loro frequenza di occorrenza annua. Questi parametri evidenziano le aree ove si possono verificare sismi di elevata intensità e dunque quelle in cui si rileva una maggiore pericolosità. Considerando un tempo di ritorno di 475 anni, il Comune di Frassinoro presenta un'accelerazione attesa al suolo (PGA) compresa tra 0.175g e 0.200g per la maggior parte del territorio, ad eccezione della parte più meridionale che presenta valori più elevati, tra 0.200g e 0.225g; per il capoluogo comunale si riscontra un valore di PGA di 0.178 g.



Img. 3.6 - PGA (g) con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (periodo di ritorno di 475 anni), valori riportati ai capoluoghi comunali (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>)



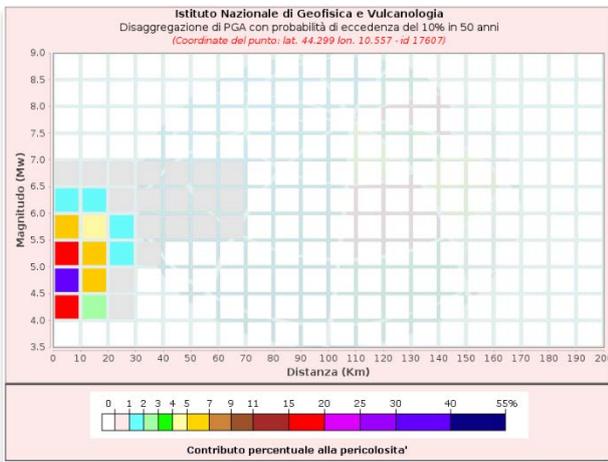
<sup>10</sup> (<http://zonesismiche.mi.ingv.it/>; Gruppo di lavoro MPS, 2004; Stucchi et al., 2011)

COMUNE DI FRASSINORO - PROVINCIA DI MODENA  
 COMPLETAMENTO DELLA MICROZONAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO COMUNALE FINALIZZATA ALLA REDAZIONE DEL PUG  
 APPROFONDIMENTO DI II LIVELLO  
 RELAZIONE ILLUSTRATIVA

La disaggregazione del valore di  $a_g$  con la medesima probabilità di eccedenza (Img. 3.7) 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 5.0, con epicentro tra 0 -10 km di distanza dal territorio comunale.

**Img. 3.7 - Disaggregazione del valore di  $a_g$  con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni per il territorio comunale di Frassinoro.**

**Zona 0.175g-0.200g**



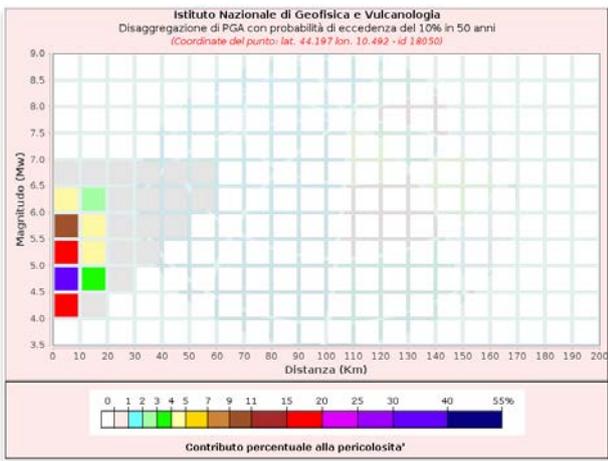
Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni  
 (Coordinate del punto: lat. 44.299 lon. 10.557 - id 17607)

Distanza (km)	Magnitudo (Mw)										
	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	0.0000	18.2000	31.2000	15.9000	6.2700	1.4200	0.1560	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	2.1200	6.7800	6.7000	4.4700	1.8600	0.2610	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.0003	0.2540	1.1100	1.3400	0.8680	0.1530	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0000	0.0618	0.3020	0.2990	0.0633	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0298	0.0578	0.0152	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0054	0.0131	0.0046	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0014	0.0011	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.96	7.96	0.973

**Zona 0.200g-0.225g**



Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni  
 (Coordinate del punto: lat. 44.197 lon. 10.492 - id 18050)

Distanza (km)	Magnitudo (Mw)										
	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	0.0000	15.3000	30.9000	19.6000	10.4000	4.6900	0.5270	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	0.7390	3.5600	4.8400	4.2300	2.6900	0.4000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.0000	0.0193	0.3850	0.7540	0.6520	0.1230	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0000	0.0030	0.0962	0.1090	0.0265	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0006	0.0171	0.0072	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0010	0.0015	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

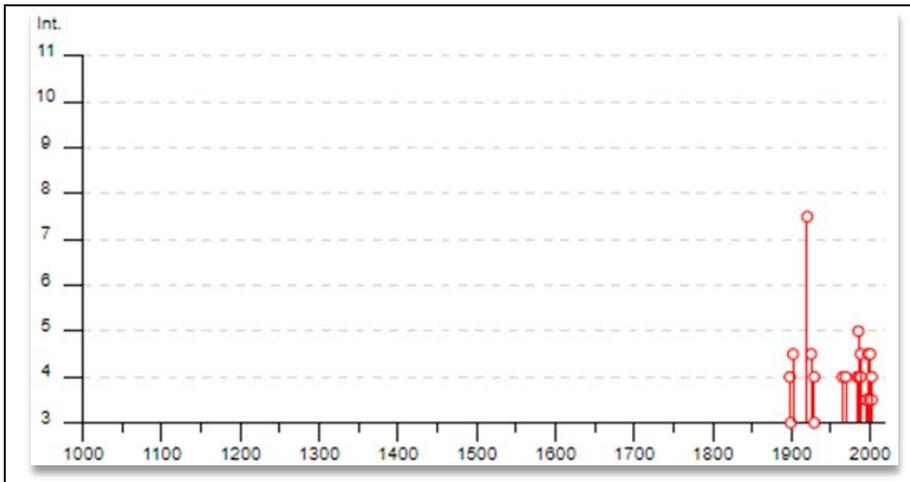
  

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.1	6.4	1.04

**3.3 Sismicità del territorio comunale**

La storia sismica del territorio comunale di Frassinoro è stata dedotta dal database DBMI15 utilizzato per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15) aggiornato al 2020, nel quale sono riportate le osservazioni macrosismiche relative ai diversi centri abitati.

**Img. 3.8 - Grafico degli eventi sismici verificatisi in corrispondenza del comune di Frassinoro, reperiti dall'archivio DBMI15**



Nella tabella seguente sono riassunti gli eventi di maggior intensità in cui viene indicato, per ciascun evento, oltre alla stessa intensità, l'anno, il mese (Me), il giorno (Gi), l'ora (Ho), il minuto (Mi) e, eventualmente, il secondo (Se), in cui si è verificato, la denominazione dell'area epicentrale, il relativo numero di dati di intensità macrosismica (NMDP), l'intensità massima epicentrale in scala MCS ( $I_0$ ) e la magnitudo momento ( $M_w$ ).

COMUNE DI FRASSINORO - PROVINCIA DI MODENA  
 COMPLETAMENTO DELLA MICROZONAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO COMUNALE FINALIZZATA ALLA REDAZIONE DEL PUG  
 APPROFONDIMENTO DI II LIVELLO  
 RELAZIONE ILLUSTRATIVA

**Tab.1. Massimi eventi sismici verificatisi in corrispondenza dell'abitato di Frassinoro**

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
2-3	1893	10	20	20	15		Appennino parmense	25	4-5	4.04
NF	1896	12	08	17	06	4	Sestola	26	5	4.33
NF	1897	09	06	03	10	4	Valdarno inferiore	104	5-6	4.59
4	1898	03	04	21	05		Parmense	313	7-8	5.37
3	1899	06	26	23	17	2	Valle del Bisenzio	138	7	5.02
4-5	1902	12	04	16	35	0	Lunigiana	36	5	4.35
NF	1911	09	13	22	29	0	Chianti	115	7	5.08
7-8	1920	09	07	05	55	4	Garfagnana	750	10	6.53
4-5	1925	03	15	17	15		Appennino tosco-emiliano	16	4	4.10
4	1929	04	19	04	16		Bolognese	82	6-7	5.13
3	1929	04	20	01	10		Bolognese	109	7	5.36
2-3	1931	06	10	17	02		Modenese	14	4	4.59
2	1957	10	25	23	02	0	Appennino reggiano	79	5-6	4.27
4	1965	11	09	15	35		Appennino reggiano	32	5	4.17
4	1969	01	06	22	03	2	Appennino pistoiense	74	6-7	4.67
4	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04
5	1985	01	23	10	10	1	Garfagnana	73	6	4.60
4	1986	10	01	19	53	3	Lunigiana	68	5	4.46
NF	1986	12	06	17	07	1	Ferrarese	604	6	4.43
4	1987	02	10	21	20	1	Lunigiana	54	5	4.09
NF	1987	05	02	20	43	5	Reggiano	802	6	4.71
4	1988	02	08	11	24	4	Garfagnana	75	6	4.34
4-5	1988	02	08	13	36	4	Frignano	43	5	4.28
NF	1989	10	03	09	41	3	Appennino parmense	91	4	4.04
3-4	1995	10	10	06	54	2	Lunigiana	341	7	4.82
3-4	1995	12	31	21	29	4	Appennino reggiano	96	4-5	4.51
4-5	1997	12	24	17	53	1	Garfagnana	98	5	4.33
3-4	1999	07	07	17	16	1	Frignano	32	5	4.67
NF	2000	06	18	07	42	0	Pianura emiliana	304	5-6	4.40
4-5	2000	10	03	01	12	3	Frignano	62	5	4.22
3-4	2002	06	08	20	13	0	Frignano	115	4	4.23
4	2002	06	18	22	23	3	Frignano	186	4	4.30
2-3	2002	06	19	22	11	1	Frignano	52	3	4.03

Legenda: **Int.** - Intensità al sito (MCS); **Io** - Intensità epicentrale (MCS); **Mw** - Magnitudo momento (epicentrale); **NMDP** - Numero di punti, numero di osservazioni macrosismiche disponibili per il terremoto.

Dalla tabella e dal grafico sopra esposti si può desumere che i massimi eventi sismici avvertiti a Frassinoro si sono verificati nel 900, in particolare l'evento del 1920 con epicentro in Garfagnana con un'intensità al sito del VII-VIII grado della scala MCS e quello del 1985 con epicentro in Garfagnana con un'intensità al sito del V grado della scala MCS.

In generale, le intensità macrosismiche al sito di maggior grado (tra cui 4 è il valore più ricorrente), sul territorio comunale, sono dovute in gran parte a terremoti con epicentri localizzati nella zona appenninica, nel Frignano e in Garfagnana/Lunigiana, registrati a partire dalla fine del XIX secolo ad oggi.

Con riferimento al lavoro prodotto dal Dipartimento della Protezione Civile, "Massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani", determinate a partire dalla banca dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia di ING/SGA, basato in misura prevalente su valori realmente osservati, ma che contiene delle correzioni, per quelle località ove queste si siano rese necessarie, il territorio di Frassinoro è stato soggetto a terremoti di intensità massima pari all'VIII grado della scala MCS.

## 4 ASPETTI GEOLOGICI E GEOMORFOLOGICI

### 4.1 Lineamenti geologici generali

Il territorio comunale di Frassinoro appartiene al versante padano dell'Appennino Settentrionale, nel quale l'assetto geologico è caratterizzato dalla sovrapposizione di rocce molto diverse dal punto di vista sia della composizione che del comportamento meccanico. Le forze tettoniche attive a partire dal Cretaceo Superiore-Paleocene sono responsabili di questa particolare e complessa struttura geologica, dove le rocce affioranti sono rappresentate dalle unità geologiche dei domini Toscano e Ligure-emiliano e, in minima parte, Sub-Ligure.

Le Unità del Dominio Ligure sono alloctone, poiché formatesi in corrispondenza del paleo-oceano "ligure", grossomodo individuabile nel settore geografico riconducibile all'attuale mar ligure. Vengono a trovarsi sovrapposte a quelle toscane a seguito di sforzi tettonici compressivi, attivi a partire dall'Eocene Superiore-Oligocene, che hanno edificato l'attuale catena appenninica settentrionale. Comprendono le formazioni più antiche degli Appennini quali le argilliti degli ex "complessi di base" della letteratura geologica, (che racchiudono anche isolati lembi dell'antica crosta oceanica rappresentati dalle ofioliti), spesso organizzate in assetto caotico ed eterogeneo, e le alternanze arenaceo-pelitiche di origine torbidityca (es. il Flysch di Monte Caio e la Formazione di Monte Venere).

Le unità del Dominio Toscano affioranti nell'area comprendono formazioni caratterizzate da alternanze di livelli lapidei prevalenti e livelli pelitici (es. Arenarie del Monte Modino, Arenarie di Monte Cervarola), da alternanze di livelli pelitici prevalenti e lapidei (es. Argille di Fiumalbo) e da marne prevalenti (es. Marne di Civago, Marne di Marmoreto).

I rari affioramenti delle Unità Sub-Liguri sono rappresentati dalle Arenarie di Petrignacola (alternanze di livelli lapidei prevalenti e livelli pelitici), presenti tra Piandelagotti e Sasso Tignoso e ad ovest di Alpesigola.

Le formazioni del Dominio Toscano affiorano lungo l'intero segmento di crinale che interseca il territorio comunale, in modo pressoché continuo lungo la fascia centrale, a direzione ovest-est, e nell'apice nord-occidentale.

Le formazioni del Dominio Ligure occupano i restanti settori del territorio lasciando solo due sottili lembi nastriformi all'unica formazione del Dominio Sub-Ligure (Arenarie di Petrignacola), lungo il margine sud-orientale.

Venendo ai depositi superficiali quaternari, è senza dubbio evidente come i depositi di frana siano in assoluto quelli maggiormente estesi, soprattutto in corrispondenza delle litologie a comportamento geomeccanico duttile, ma anche delle alternanze tra livelli lapidei e pelitici, come nel caso della grande frana quiescente su cui sorge il Capoluogo.

I depositi quaternari più diffusi, dopo le frane, sono costituiti dagli accumuli morenici e periglaciali, ovvero detriti sciolti a struttura caotica, con clasti eterometrici in matrice limo-sabbiosa e/o limo-argillosa, privi di stratificazione. Sono localizzati nella sola fascia meridionale del territorio, a partire dalla linea di crinale, dove ricoprono gran parte dei litotipi argillitici delle Argilliti variegata con calcari (AVC).

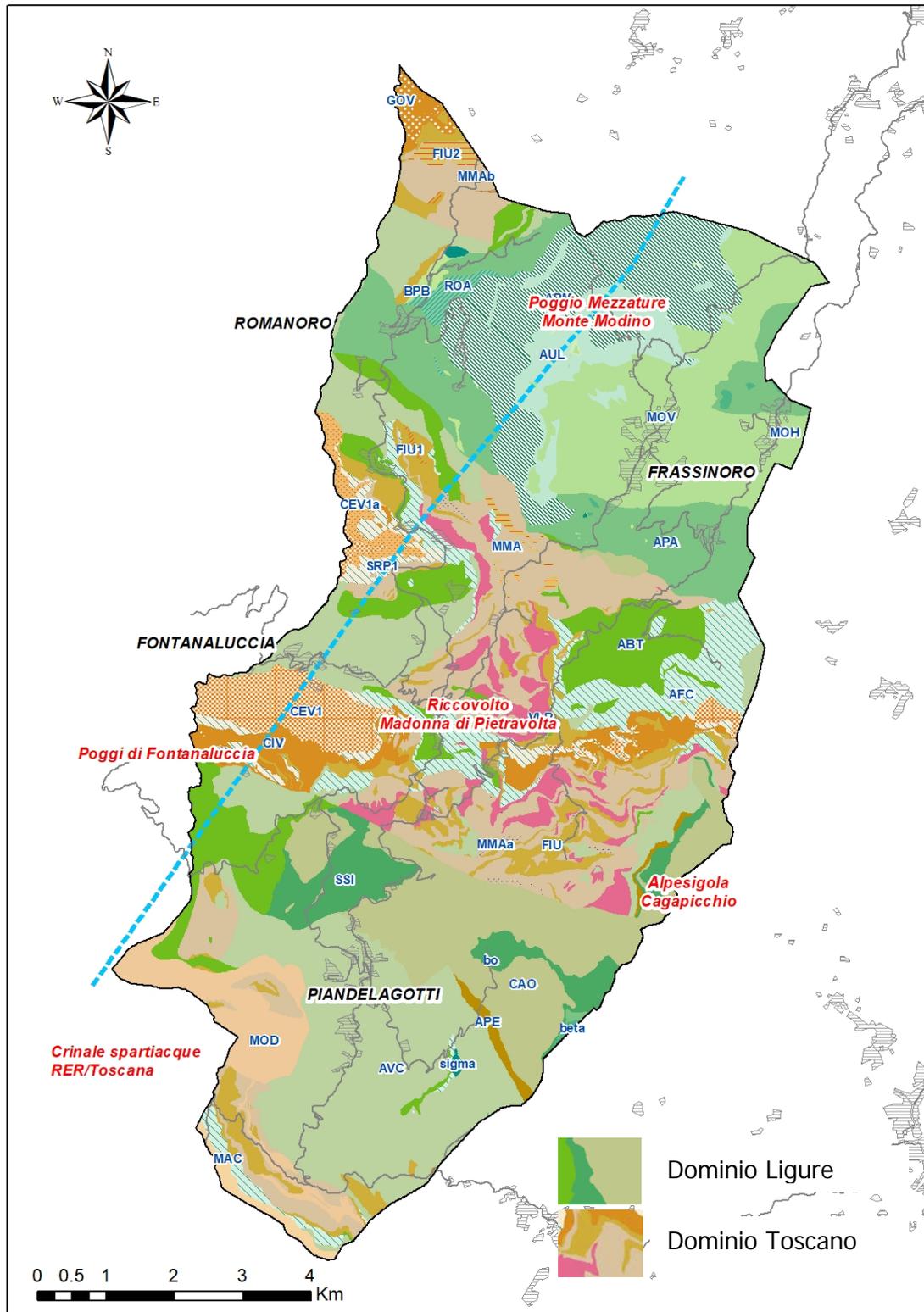
Depositi alluvionali di recente evoluzione si trovano quasi esclusivamente lungo l'alveo del torrente Dragone, mentre accumuli di detriti di falda e di detrito di versante si distribuiscono su tutto il territorio, ma con estensioni singole piuttosto limitate, alla base dei rilievi impostati in rocce a comportamento geomeccanico fragile.

La base conoscitiva litostratigrafica e strutturale locale è rappresentata dalla Carta Geologica della RER alla scala 1:10.000, consultabile anche on-line nel sito del servizio geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna<sup>11</sup>.

---

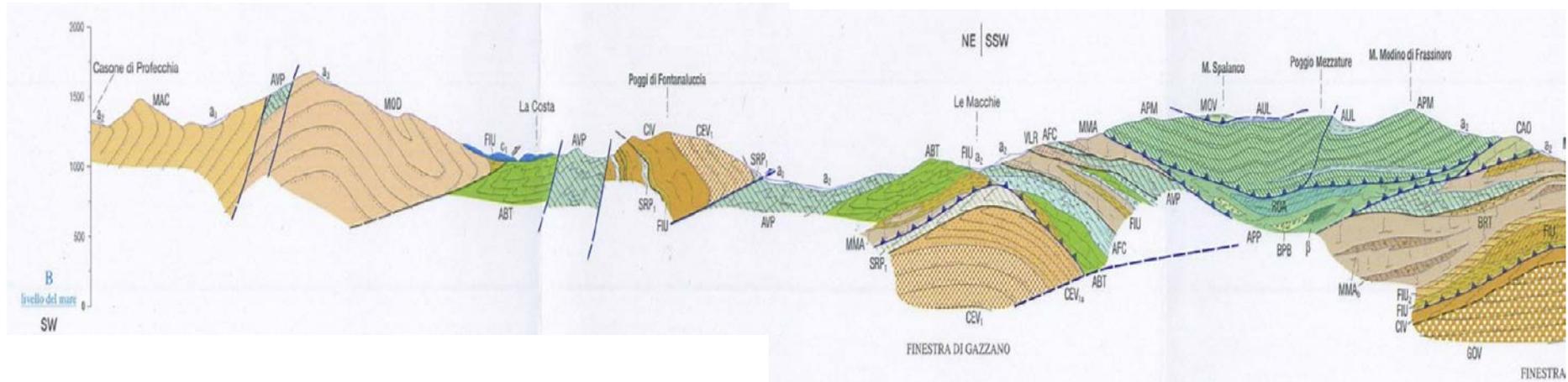
<sup>11</sup> [https://geo.regione.emilia-romagna.it/cartografia\\_sgss/user/viewer.jsp?service=geologia](https://geo.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss/user/viewer.jsp?service=geologia)

Img. 4.1 – Formazioni geologiche del substrato e traccia di sezione geologica di Img. 4.2.



COMUNE DI FRASSINORO - PROVINCIA DI MODENA  
COMPLETAMENTO DELLA MICROZONAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO COMUNALE FINALIZZATA ALLA REDAZIONE DEL PUG  
APPROFONDIMENTO DI II LIVELLO  
RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Img. 4.2 – Segmento della sezione geologica B-B' del Foglio 235 “Pievepelago” della Carta Geologica d’Italia a scala 1:50.000; la traccia della sezione è riportata in Img. 4.1.



Riferimento è stato fatto anche al Foglio nr. 235 "Pievepelago"<sup>12</sup> della Carta Geologica d'Italia a scala 1:50.000 di ISPRA ed alle relative Note Illustrative, a cui si rimanda per tutti i dettagli relativi a stratigrafia e tettonica e da cui è stata tratta la sezione geologica in Img. 4.2, da cui è possibile riconoscere la complessità dei rapporti geometrici tra le varie formazioni affioranti.

#### 4.2 Assetto geomorfologico

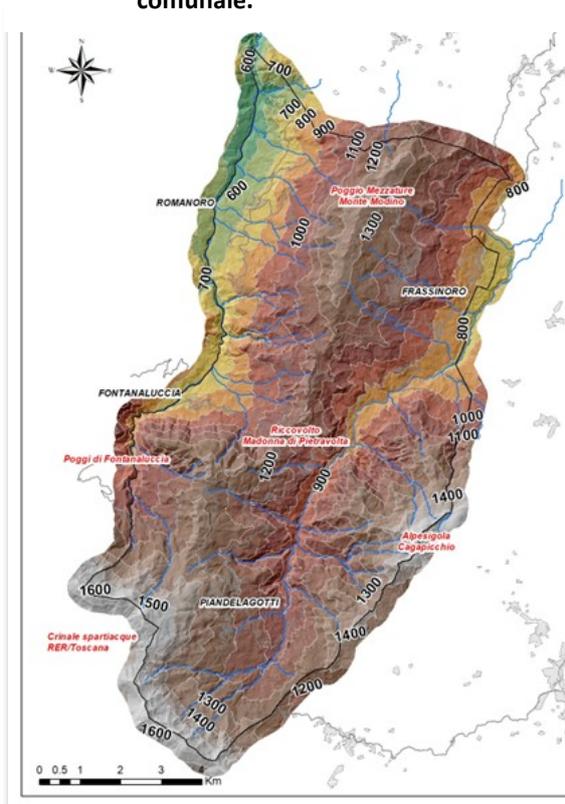
Il territorio comunale di Frassinoro si colloca, dal punto di vista orografico, tra la bassa montagna, fino ad 800 m s.l.m., la media montagna, tra 800 e 1400 m s.l.m., e l'alta montagna, oltre i 1400 m s.l.m.

Il territorio comunale è altimetricamente compreso tra quote minime di 478 m s.l.m. lungo la valle del torrente Dolo, all'estremità nord-ovest in corrispondenza dell'uscita del corso d'acqua dal territorio comunale e quote massime di circa 1700 m s.l.m. che si raggiungono lungo il crinale, nella zona della Cima La Nuda e dell'Alpe di S. Pellegrino; nella zona di crinale le quote si mantengono sempre sopra ai 1650 m s.l.m., solo nella zona del Passo delle Radici è intorno ai 1600 m.

La morfologia del territorio è fortemente condizionata dalle strutture geologiche (litologie e assetti delle formazioni affioranti) e dagli agenti esogeni del modellamento attivi a partire dall'Ultimo Massimo Glaciale fino ad oggi: i ghiacciai di circo, le acque di scorrimento superficiale, la gravità, e ovviamente l'uomo, ma in piccola parte, vista l'asprezza del territorio.

Le forme geomorfologiche sono state distinte in base ai processi morfogenetici che le hanno definite; sono state individuate le forme strutturali, le forme e i depositi glaciali e periglaciali, le forme e i depositi legati all'azione delle acque di ruscellamento superficiale, le forme calanchive e i depositi di origine gravitativa.

**Img. 4.3 – Modello altimetrico del territorio comunale.**



Fasce altimetriche da modello digitale delle quote (DEM) - in m s.l.m.  
 Fonte: Regione Emilia-Romagna

400 - 500	1100 - 1200
500 - 600	1200 - 1300
600 - 700	1300 - 1400
700 - 800	1400 - 1500
800 - 900	1500 - 1600
900 - 1000	1600 - 1700
1000 - 1100	1700 - 1800

<sup>12</sup> [https://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/235\\_PIEVEPELAGO/Foglio.html](https://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/235_PIEVEPELAGO/Foglio.html)

## 5 DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

Nel presente adeguamento della Microzonazione sismica comunale, a corredo del redigendo PUG, è stato creato un database delle indagini geognostiche e geofisiche, utilizzando la più recente versione del software di archiviazione (SoftMS v. 4.2). Il database raccoglie tutte le indagini pregresse, già contenute nei singoli studi di MZS del 2012 e del 2017, a cui vanno ad aggiungersi le 25 nuove indagini geognostiche e geofisiche realizzate ex-novo per le nuove aree indagate per questo studio: Romanoro, Rovolo, Vallorsara, Cargedolo, Spervara, Sassatella, Madonna di Pietravolta e Riccovolto. Le relative cartografie di MZS, realizzate in base alle D.G.R. 630/2019, D.G.R. 476/2021 e D.G.R. n. 564/2021, sono invece relative alle sole nuove aree indagate per il presente studio.

Lo studio di Microzonazione sismica di II livello del 2012 è stato redatto raccogliendo indagini d'archivio ed eseguendone di nuove. Nel 2017, con lo studio di microzonazione sismica di III livello che ha interessato Piandelagotti e Fontanaluccia, si è andato ad ampliare il database delle indagini MS 2012 con altre prove d'archivio e con prove di nuova esecuzione.

L'insieme degli elementi geognostici e geofisici così acquisiti, unitamente alle informazioni presenti nella letteratura ed ai risultati di sopralluoghi effettuati, hanno permesso di ricostruire il modello sismostratigrafico delle aree interessate dagli studi di microzonazione sismica.

Per tutti i dettagli relativi alle indagini raccolte nei precedenti studi di MZS si rimanda agli stessi.

Si segnala che la microzonazione sismica precedente e tutt'ora vigente - ancorché validata dalla struttura di servizio del Dipartimento di Protezione Civile Nazionale - presenta una discrepanza tra il numero delle indagini nel database e il numero dei relativi certificati di prova (in formato PDF) allegati nella struttura dati. In occasione del presente aggiornamento non è stato possibile recuperare i certificati mancanti; tuttavia, in questa sede sono stati aggiunti le indagini e i relativi certificati di prova relativi alle nuove aree indagate per il presente aggiornamento. Nel complesso, sono state aggiunte 25 indagini (17 puntuali e 8 lineari): dai relativi file PDF si può notare come presentino una data recente (Marzo – Luglio 2023) e la numerazione vada da P199 a P215 per le puntuali e da L38 a L45 per le lineari.

Nel complesso le prove a disposizione sono le seguenti:

Tipologia		Numero
Sondaggi		10
CPT		2
Trincee		29
MASW		36
Profili sismici rifrazione		9
HVSR		46
Prove penetrometriche dinamiche	17 DL	115
	19 DN	
	17 DP	
	62 DS	

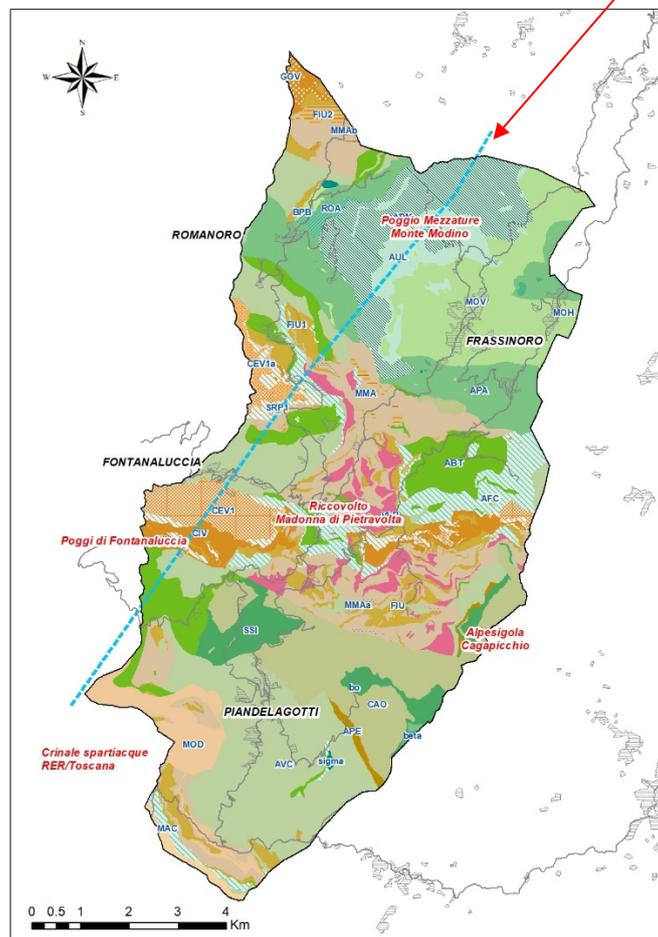
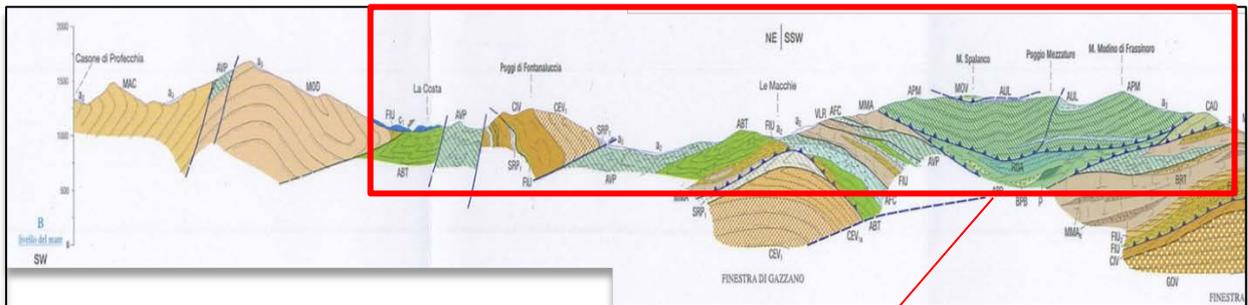
## 6 MODELLO DEL SOTTOSUOLO

Il modello geologico generale, a piccola scala, dell'intero territorio comunale si può dedurre dalla sezione geologica B – B' presente nel Foglio geologico nr. 235 – "Pievepelago" (della Carta Geologica d'Italia a scala 1:50.000 – progetto "CARG"), che attraversa il territorio di Frassinoro dalla linea di crinale a sud-ovest di Fontanaluccia (loc. La Teggia) fino all'incirca a Monte Modino (loc. Venano). Tale sezione descrive i rapporti geometrici tra le formazioni geologiche presenti nel sottosuolo, da cui si

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

può notare come l'area sia interessata principalmente da sovrascorrimenti a bassissimo angolo, nel settore nord, che caratterizzano la struttura tettonica del Capoluogo e di un suo ampio intorno, e da sovrascorrimenti e faglie normali nel settore sud, in corrispondenza del crinale e dei Poggi di Fontanaluccia. Si rimanda comunque al Foglio nr. 235 ed alle relative Note Illustrative per tutti i dettagli relativi a stratigrafia e tettonica.

Img. 6.1- Sezione geologica (B – B') tratta dal "Foglio 235 - Pievepelago" a scala 1:50.000 del Progetto CARG.



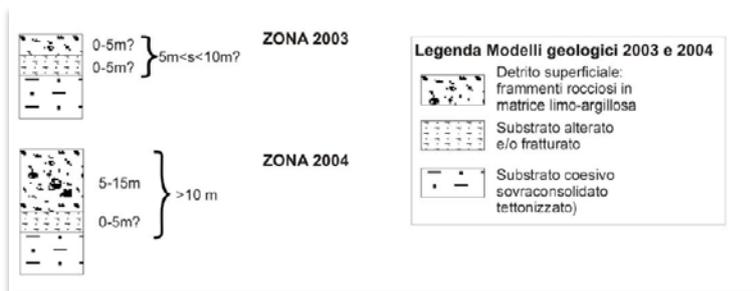
Il modello di sottosuolo relativo a questo specifico aggiornamento di MZS riguarda le sole nuove aree d'indagine di Romanoro, Rovolo, Vallorsara, Cargedolo, Spervara, Sassatella, Madonna di Pietravolta e Riccovolto. Per completezza di trattazione, si è comunque deciso di riprendere anche il modello di sottosuolo identificato per le aree oggetto dei due precedenti studi di MZS (2012, 2017), rimandando comunque alle rispettive relazioni per maggiori approfondimenti.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

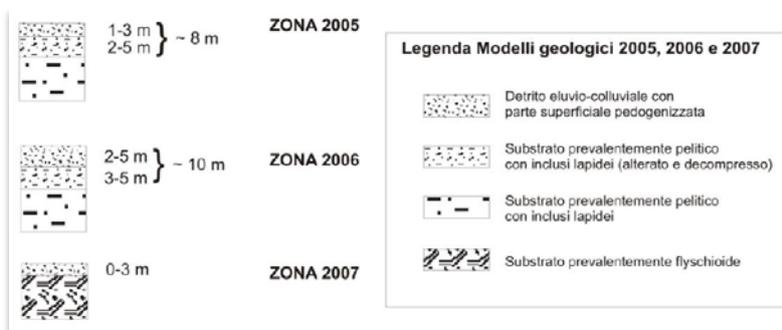
Il modello del sottosuolo analizzato in modo dettagliato nelle relazioni di MZS di I, II e III livello (Fontanaluccia) e di II e III livello (Piandelagotti) del 2017 (MS 2017) era stato definito, per Fontanaluccia, dall'interpretazione dei dati geognostici e geofisici e dall'interpretazione di alcune sezioni geologiche, mentre per l'abitato di Piandelagotti si era fatta solamente una revisione dei modelli geologici individuati precedentemente (MS 2012), ritenuti ancora validi. Se ne riportano a seguire le principali caratteristiche.

A Piandelagotti le aree stabili suscettibili di amplificazione stratigrafica si dividono in due modelli (zona 2003 e zona 2004), che variano solamente per lo spessore delle litologie presenti e sono composte da:

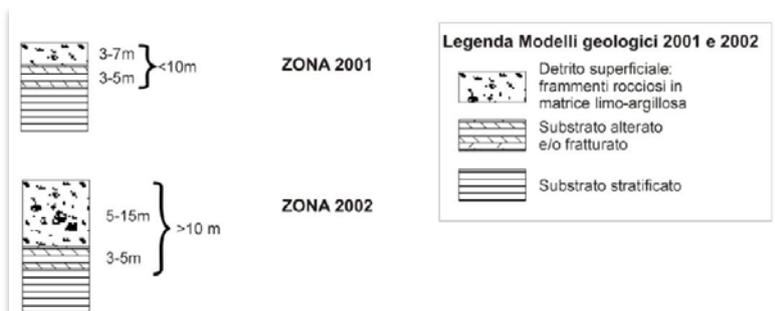
- detrito superficiale (frammenti rocciosi in matrice limo-argillosa);
- substrato alterato e/o fratturato;
- substrato coesivo sovraconsolidato tettonizzato.



A Fontanaluccia erano stati individuati 3 modelli geologici denominati zona 2005 (loc. Case Stefani), zona 2006 (loc. Case Farioli – Case Cerbiani) e zona 2007 (loc. Pere Storte). Le zone 2005 e 2006 differiscono leggermente per gli spessori del detrito eluvio colluviale e del substrato pelitico alterato; la zona 2007 si differenzia dalle altre per il substrato di natura flyschioide che la caratterizza e dall'assenza di uno spessore di substrato alterato.

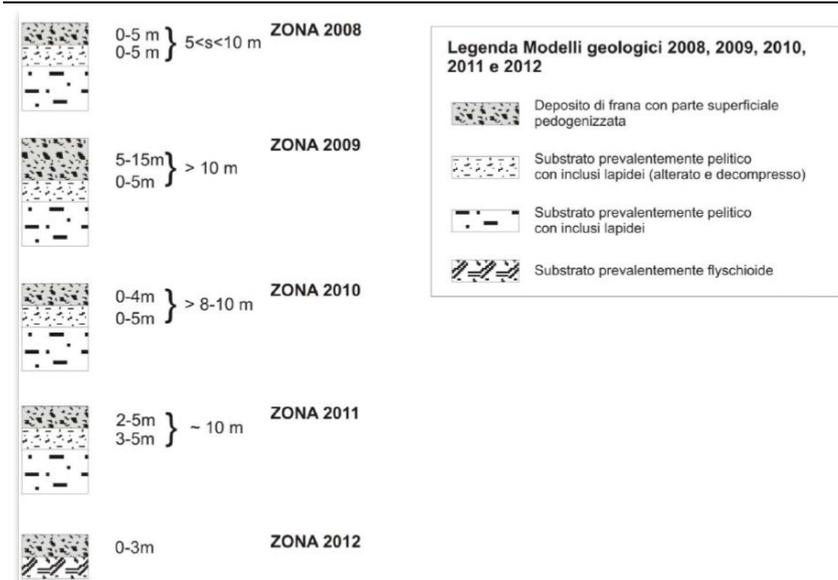


Le zone 2001 e 2002 erano state individuate nella MS 2012 e già utilizzate come denominazione nella caratterizzazione del sottosuolo di Frassinoro (Capoluogo) e vengono riportate di seguito.



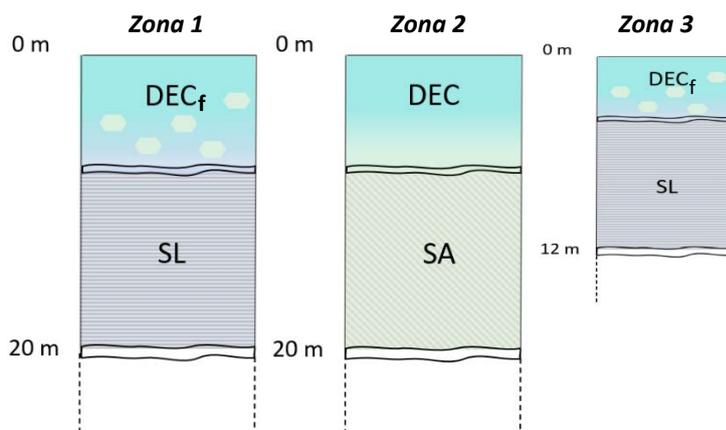
Come si vede, differiscono sostanzialmente per il solo spessore della coltre detritica superficiale, maggiore in 2002 rispetto alla 2001.

Sono state infine descritte anche le zone di attenzione per instabilità di versante degli abitati di Fontanaluccia e Piandelagotti.



Si noti come lo spessore dei corpi franosi sia generalmente piuttosto superficiale e su substrato pelitico, mentre solo nella zona 2009 può raggiungere profondità importanti.

Il modello di sottosuolo relativo alle nuove aree indagate dal presente approfondimento può essere semplificato attraverso le seguenti colonne stratigrafiche:



Legenda – DEC: Detrito eluvio-colluviale; DEC<sub>f</sub>: Detrito eluvio-colluviale con frammenti rocciosi; SL: substrato lapideo stratificato, flyschioide; SA: substrato coesivo argilloso fratturato/tettonizzato.

Nella sostanza, il modello di sottosuolo che si può dedurre dalle indagini eseguite nelle nuove aree di studio risulta simile a quelli che caratterizzano le aree oggetto delle precedenti microzonazioni sismiche: coperture detritiche a composizione litologica mista, di spessore metrico, sovrastano il substrato (più o meno alterato) costituito a luoghi da alternanze flyschoidi e a luoghi da argilliti. Laddove la componente argillosa della copertura detritica prevale sulle altre granulometrie, le stesse coperture possono essere interessate da fenomeni di instabilità.

## 7 INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

Rispetto al precedente studio di MZS **non** sono state effettuate re-interpretazioni dei dati geognostici e geofisici utilizzati per le analisi eseguite nei precedenti studi di microzonazione sismica, considerando che gli stessi studi sono stati sottoposti a verifica sia da parte della struttura tecnica della Regione Emilia-Romagna (Servizio Geologico sismico e dei suoli), sia da parte della struttura tecnica del Dipartimento di Protezione Civile nazionale che ne hanno validato metodi e risultati.

Si rimanda pertanto ai precedenti studi di MZS per dettagli sulle interpretazioni e incertezze relative alle indagini considerate.

Come spesso accade in zone appenniniche, l'asperità del terreno e la scarsa presenza di spazi pubblici in nuclei abitati di limitata estensione, come quelli oggetto del presente studio, hanno reso molto difficile l'individuazione di aree adatte all'esecuzione delle indagini necessarie agli scopi di MZS. Questa è senza dubbio la maggiore limitazione per questo studio, poiché i risultati ottenuti in modo puntuale in ogni area indagata non possono essere ritenuti rappresentativi del modello geologico e della risposta sismica dell'intera area: è infatti noto come in ambiente appenninico si possano incontrare sensibili differenze stratigrafiche anche a pochi metri di distanza, dovute a variazioni di assetto del substrato geologico e/o allo spessore e alla tipologia del detrito di copertura. In un caso (Rovolo) non vi era lo spazio necessario per eseguire lo stendimento MASW, pertanto l'indagine HVSR è stata utilizzata anche per l'interpretazione del profilo di velocità delle onde "S" con la profondità.

Le indagini eseguite per questo aggiornamento sono costituite, come detto, da penetrometrie dinamiche super-pesanti (DPSH), da stendimenti a sismica attiva (MASW) e da misurazioni di rumore ambientale per il calcolo dei rapporti H/V e della frequenza fondamentale del terreno.

L'incertezza principale legata alle penetrometrie dinamiche è, come noto, l'impossibilità di discriminare tra differenti comportamenti litologici rispetto alla penetrazione della punta; ne deriva che questo tipo di prova è in grado solo di determinare un profilo di resistenza fino a rifiuto, non necessariamente corrispondente all'interfaccia col substrato roccioso: specialmente in ambiente appenninico, il rifiuto può spesso essere l'effetto dell'incontro con un trovante lapideo. In ogni caso, dal confronto con le stratigrafie dei precedenti studi di MZS si è assunto di identificare la profondità di rifiuto con l'interfaccia tra detrito e substrato.

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.
- La presenza di un sottosuolo con andamento stratigrafico irregolare e non piano-parallelo ha 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 le prove penetrometriche dinamiche, 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 a sismica passiva (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.

Quando è stato possibile, le frequenze di picco ottenute da ogni singola stazione sono state correlate con i risultati ottenuti dalle indagini MASW eseguite sui siti in studio. È 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 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 questo studio, le aree oggetto di approfondimento di II livello sono state identificate con quelle di tutti i maggiori nuclei abitati trascurati dalle precedenti microzonazioni del 2012 e 2017. Il loro perimetro è quello corrispondente ai limiti del Territorio Urbanizzato individuati in occasione del redigendo PUG, leggermente ritoccati per restituire un andamento più regolare ad alcuni tratti. Le aree corrispondono quindi ai territori urbanizzati di Romanoro, Rovolo, Vallorsara, Cargedolo, Spervara, Sassatella, Madonna di Pietravolta e Riccovolto.

Nella seconda fase, le MOPS e i modelli di sottosuolo di ogni area sono stati interpretati in base alla cartografia geologica regionale ed ai risultati delle indagini geognostiche e geofisiche realizzate per questo studio. I depositi franosi, corrispondenti alle aree instabili per la MZS, coincidono con i perimetri delle frane individuati dalla "Carta Inventario delle frane" della Regione Emilia-Romagna. Le MOPS individuate sono complessivamente 6: tre microzone stabili, suscettibili di amplificazione locale, e altrettante microzone instabili, per frana, ma identiche per stratigrafia alle tre zone stabili.

### **Zone stabili:**

- 2001 - Zona 1: Detrito eluvio-colluviale con frammenti rocciosi (6-7 m) che ricopre un substrato lapideo stratificato flyschoidale (9-12 m)
- 2002 - Zona 2: Detrito eluvio-colluviale (1-7 m) che ricopre un substrato coesivo argilloso fratturato/tettonizzato (4-12 m)
- 2003 - Zona 3: Detrito eluvio-colluviale con frammenti rocciosi (4 m) che ricopre un substrato lapideo stratificato flyschoidale (6-8 m)

### **Zone instabili:**

- ZAFR - Zona di Attenzione per Instabilità di versante - Zona 1
- ZAFR - Zona di Attenzione per Instabilità di versante - Zona 2
- ZAFR - Zona di Attenzione per Instabilità di versante - Zona 3

Nella terza fase sono stati calcolati i fattori di amplificazione sismica utilizzando gli abachi della DGR 476/2021 (Ambito "APPENNINO", caso: "coperture direttamente poggianti su substrato rigido") e i valori di  $V_{SH}$  ricavati dalle indagini MASW di nuova esecuzione (solo nel caso di Rovolo si è utilizzato il valore di  $V_{SH}$  ottenuto dall'indagine HVSR).

Il calcolo delle pendenze effettuato a partire dal modello digitale delle quote della Regione Emilia-Romagna (risoluzione 5mx5m) non ha individuato pendenze superiori a 15° all'interno delle aree indagate per questo studio, pertanto il valore dell'amplificazione topografica è risultato per tutte le aree pari ad 1.

I valori dei fattori di amplificazione della PGA vanno da un minimo di 1,6 per le aree di Romanoro, Rovolo, Madonna di Pietravolta e Riccovolto, ad un massimo di 1,9 per gli abitati di Cargedolo e Sassatella.

Il valore dell' $H_{SM}$  è stato ottenuto per tutte le aree moltiplicando il valore di  $ASl_{UHS}/\Delta T$  della griglia INGV più prossimo per il fattore di amplificazione in accelerazione calcolato per l'intervallo di periodi 0,1s-0,5s. I valori vanno da un minimo di 0,47g per Rovolo ad un massimo di 0,824g per Cargedolo.

## 9 ELABORATI CARTOGRAFICI

Il presente Studio di Microzonazione Sismica del Comune di Frassinoro, compendio dei due precedenti risalenti al 2012 e al 2017, si compone di un primo livello di approfondimento, costituito dalle indagini di nuova esecuzione, rappresentate nell'elaborato "Carta delle Indagini", dalla "Carta delle frequenze", dalla "Carta delle Velocità", dalla "Carta Geologico-Tecnica" e della "Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)".

Successivamente, sono state prodotte le carte di secondo livello, in cui il territorio indagato viene classificato in base ai fattori di amplificazione ottenuti seguendo i criteri specifici contenuti nella Delibera di Giunta Regionale 630/2019 (e s.m.i.).

Negli elaborati cartografici di primo e secondo livello, ad esclusione della Carta Geologico Tecnica che si sviluppa su tutto il territorio, viene riportato il "Limite aree indagate" che perimetra le frazioni oggetto di questo studio.

Per una questione di resa grafica migliore, si è scelto di rappresentare la "Carta Geologico Tecnica" in 3 sezioni a scala 1:10.000 (nord, centro e sud), mentre per le carte restanti si è scelto di creare 6 riquadri (1. Romanoro, 2. Rovolo, 3. Spervara e Sassatella, 4. Cargedolo, 5. Madonna di Pietravolta e Riccovolto, 6. Vallorsara), ognuno a scala 1:5.000, che inquadrano al meglio le nuove aree indagate.

Il Capoluogo, Fontanaluccia e Piandelagotti non hanno subito modifiche rispetto alle MZS precedenti, pertanto non sono state rappresentate in questo studio.

### 9.1 Elaborati cartografici di I LIVELLO

Di seguito vengono descritti brevemente i contenuti delle cartografie di I livello di approfondimento della microzonazione sismica di Frassinoro.

- **Carta geologico-tecnica:** rappresenta gli elementi geologici e morfologici che possono modificare il moto sismico in superficie; in particolare sono distinte le aree caratterizzate da un'omogenea litologia di superficie, insieme alle forme di superficie, agli elementi tettonico-strutturali ed agli elementi geologici ed idrogeologici, solitamente già disponibili nelle banche dati digitali regionali.
- **Carta delle indagini:** vengono riportate le indagini di nuova esecuzione (2023), classificate in base alla tipologia e con relativo codice identificativo.

- **Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs):** riporta tutti i punti di misura di Vs di nuova esecuzione (2023), con indicazione del valore di  $V_{SH}$ .
- **Carta delle frequenze naturali dei terreni:** riporta i punti di misura e i risultati di indagini di sismica passiva (misure HVSR) di nuova esecuzione (2023); in particolare, sono stati indicati il valore  $f_0$  del picco significativo, corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale (frequenza principale).
- **Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS):** sono indicate le aree in cui si ritiene necessario effettuare indagini e analisi di microzonazione sismica e i livelli di approfondimento ritenuti necessari, distinguendo tra zone suscettibili di instabilità e zone suscettibili di amplificazioni locali, all'interno delle quali sono state operate ulteriori distinzioni, identificando delle microzone omogenee, sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche. Le aree rappresentate sono soltanto quelle indagate ex-novo per questo studio.

### 9.1.1 Carta geologico-tecnica

Nella **Carta geologico-tecnica**, di cui si riporta un estratto in *Img. 9.1*, sono state riportate le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche, geotecniche e idrogeologiche) derivate da elaborati esistenti e da indagini geognostiche pregresse. Questi dati hanno contribuito a definire il modello di sottosuolo e sono funzionali alla realizzazione della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) (Livello 1).

Per la stesura della Carta geologico tecnica, si è fatto riferimento, in particolare, alla seguente documentazione, opportunamente verificata:

- Carta geologica dell'Emilia-Romagna in scala 1:10.000,
- Carte geologica nazionale del progetto CARG, foglio 235 "Pievepelago" e foglio 250 "Castelnuovo di Garfagnana" a scala 1:50000,
- Banca dati geologica della Regione Emilia-Romagna.

Nella Carta geologico tecnica sono rappresentate le caratteristiche litologiche dei terreni di copertura interessanti all'incirca i primi 5 metri di profondità dal p.c., classificati sulla base della tessitura prevalente; in particolare sono state distinte, sulla base delle caratteristiche tessiturali, le seguenti unità di terreni di copertura con i rispettivi ambienti deposizionali:

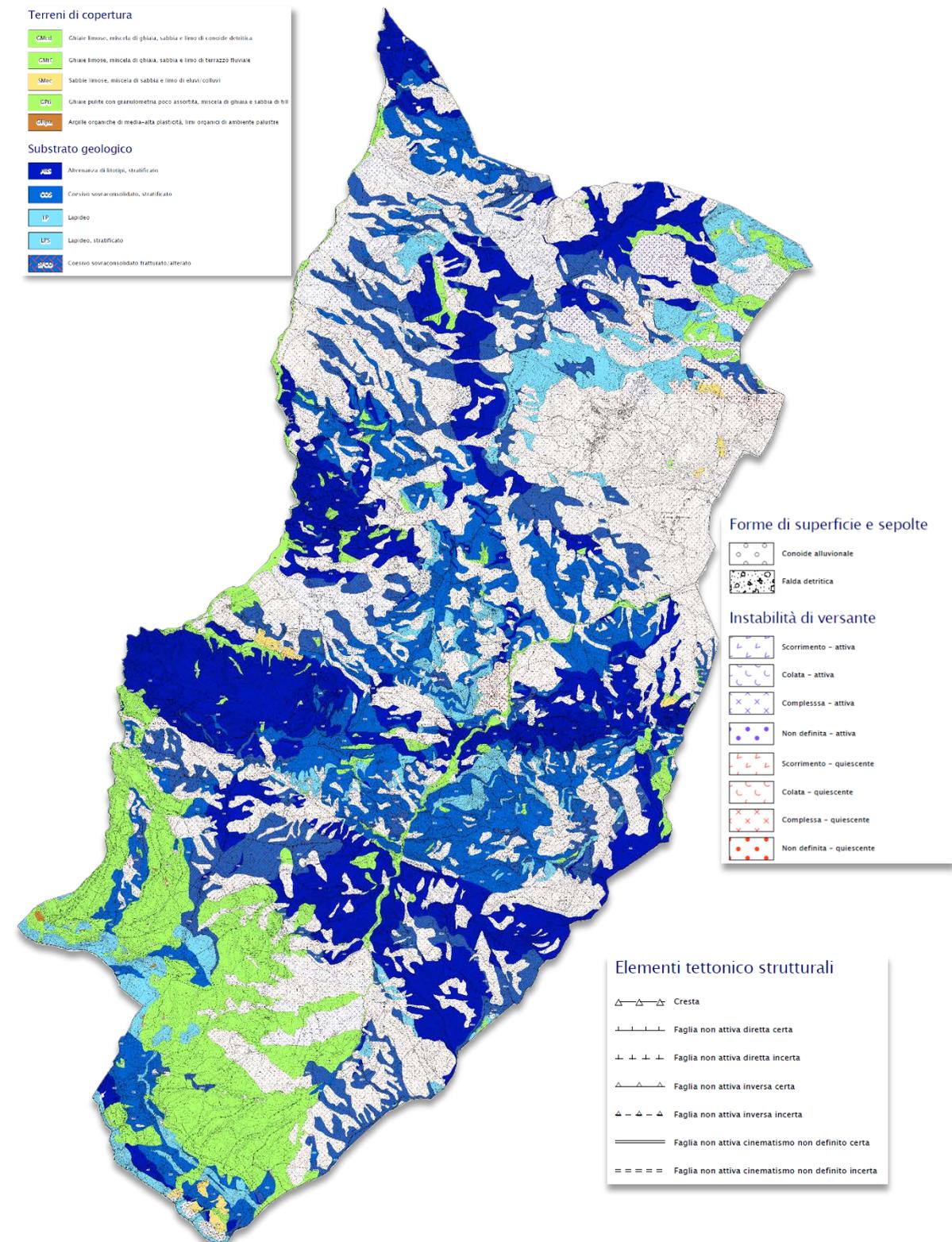
- **GM<sub>cd</sub>** – Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo di conoide detritica;
- **GM<sub>tf</sub>** – Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo di terrazzo fluviale;
- **SM<sub>ec</sub>** – Sabbie limose, miscela di sabbia e limo di eluvi/colluvi;
- **GP<sub>ti</sub>** - Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia di till;
- **OH<sub>pa</sub>** – Argille organiche di media-alta plasticità, limi organici di ambiente palustre.

Le unità di substrato geologico sono:

- **ALS** – Alternanza di litotipi, stratificato
- **COS** – Coesivo sovraconsolidato, stratificato
- **LP** – Lapideo
- **LPS** – Lapideo, stratificato
- **SFCO** – Coesivo sovraconsolidato fratturato/alterato

Dalla **Carta geologico tecnica**, riportata nella figura seguente, si evidenzia come le litologie di copertura prevalenti sul territorio comunale siano i limi, le sabbie e le ghiaie nel settore settentrionale e nelle fasce intravallive dei torrenti principali, mentre il settore meridionale è dominato da ghiaie sabbiose, con ciottoli anche di grandi dimensioni (GP), legati all'ambiente morfogenetico glaciale.

Img. 9.1 – Carta Geologico Tecnica



Le Ghiaie limose (GM) si riscontrano lungo la valle del T. Dolo e del T. Dragone per la quasi totalità del loro corso nel territorio di Frassinoro e in porzioni sparse nella zona nord est, centro e soprattutto sud ovest del territorio. Le sabbie limose (SM) si riscontrano poco a sud dell'abitato di Fontanaluccia, a nord di Spervara e vicino alla località La Penna. Le argille e i limi organici (OH) di ambiente palustre sono ubicati solamente nella zona sud ovest del territorio, in areali di limitata estensione, vicino a Bosco Reale e Alpicella delle Radici, e corrispondono a conche di sovraescavazione glaciale colmate da piccoli bacini d'acqua ora scomparsi.

Le frane sono principalmente di tipologia complessa, quiescenti, distribuite sull'intero territorio, ma con una densità maggiore nella sua parte centro-settentrionale, dove quelle attive mostrano una frequenza maggiore rispetto alla zona meridionale.

Relativamente al substrato geologico, il settore centrale è dominato da alternanze flyschoidi, da argilliti e marne, mentre il lapideo, anche stratificato, ha minore estensione e si sviluppa principalmente in corrispondenza del crinale e del settore nord-orientale.

### 9.1.2 Carta delle indagini

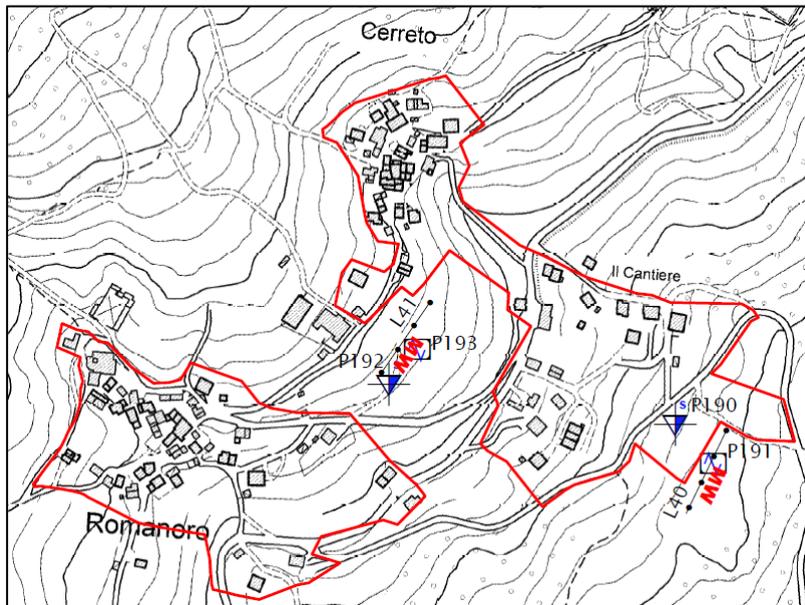
Nella Carta delle Indagini vengono riportate le ubicazioni delle 25 nuove indagini geognostiche e geofisiche eseguite per questo studio, che vanno ad implementare il precedente database.

Nell'immagine 9.2 si riporta, a titolo di esempio, un estratto della Carta delle Indagini relativamente alla nuova area d'indagine di Romanoro; per tutte le indagini è stata indicata la numerazione come da database presente all'interno della struttura dati.

Le indagini di nuova esecuzione sono costituite da:

- 8 prove penetrometriche dinamiche (DPSH),
- 9 misure del microtremore naturale a stazione singola (HVSr),
- 8 stendimenti di sismica attiva (MASW).

Img. 9.2 – Estratto Carta delle indagini per la nuova area di studio di Romanoro



In questo studio le indagini di nuova esecuzione sono state eseguite all'interno degli abitati di: Cargedolo, Romanoro, Rovolo, Riccovolto, Sassatella, Spervara di Sopra, Vallorsara e Madonna di Pietravolta. L'obiettivo è stato di eseguire, per ogni area, almeno una coppia di indagini sismiche

(MASW e HVSr) e una penetrometria dinamica. Solo nell'area di Rovolo non è stato possibile eseguire la MASW per oggettiva mancanza di spazio utile allo stendimento.

### 9.1.3 Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)

La Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs) mostra la distribuzione spaziale di tutti i valori di Vs<sub>30</sub> o Vs<sub>H</sub> ricavati dalle indagini di nuova esecuzione; in particolare i punti di misura sono stati distinti a seconda della tipologia di prova effettuata (MASW o HVSr). Nella carta sono ubicati tutti i punti di misura, distinguendoli in base al tipo d'indagine; a ciascuno è associato il corrispondente valore di Vs<sub>H</sub> o Vs<sub>30</sub> (in m/s), dove:

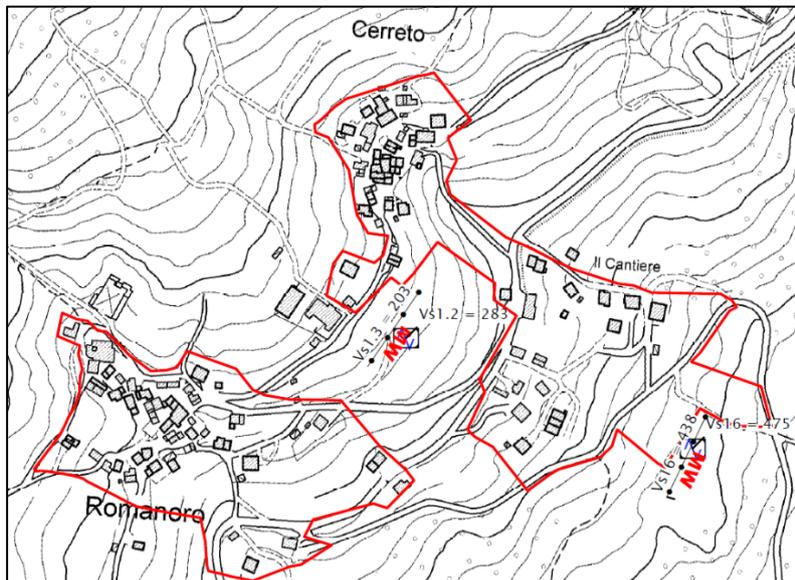
$$V_{S_{30}} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{S_i}}}$$

$h_i$  = spessore (in metri) dello strato i-esimo (fino alla profondità di 30 m);  
 $V_{S_i}$  = velocità (in m/s) dello strato i-esimo (fino alla profondità di 30 m).

Sono stati indicati i valori di Vs<sub>H</sub>, dove "H" è la profondità della prima superficie risonante, generalmente coincidente con l'interfaccia tra lo spessore detritico di copertura e il tetto del substrato geologico.

Nell'immagine 9.3 si riporta un estratto, a titolo di esempio, della carta delle Vs per la nuova area d'indagine di Romanoro.

Img. 9.3 – Estratto Carta delle velocità delle onde di taglio per la nuova area d'indagine di Romanoro



### 9.1.4 Carta delle frequenze naturali dei terreni

Nella **Carta delle frequenze naturali dei terreni** (Img. 9.4) sono stati riportati i punti di misura del rumore ambientale eseguiti per questo studio, con associata la frequenza di vibrazione fondamentale del terreno ( $f_0$ ). Per rendere graficamente più evidenti le variazioni in relazione alla posizione, sono state utilizzate colorazioni differenti per distinguere le prove a seconda della frequenza principale ottenuta, definendo le seguenti classi:

- Assenza di fenomeni di risonanza significativi

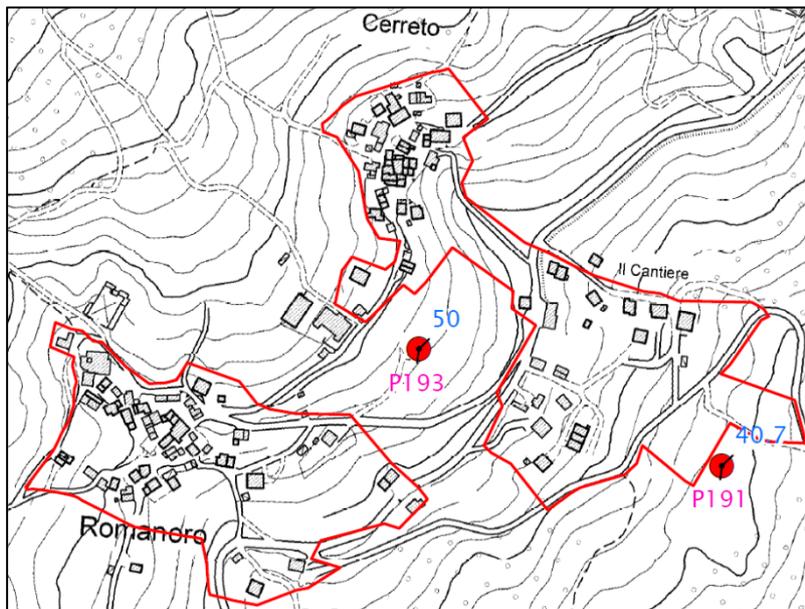
- $1 < f_0 \leq 6$  Hz
- $6 \text{ Hz} < f_0 \leq 10$  Hz
- $10 \text{ Hz} < f_0 \leq 15$  Hz
- $f_0 > 15$  Hz

Inoltre, sono state utilizzate simbologie diverse a seconda che la prova sia caratterizzata, in corrispondenza della frequenza principale, da un'ampiezza del rapporto H/V elevata (ampiezza picco  $>3,5$ ) o bassa (ampiezza picco  $\leq 3,5$ ).

Dalla lettura della Carta delle frequenze naturali dei terreni si osservano valori di  $f_0$  generalmente alti, superiori a 10 Hz, indicativi di contrasti d'impedenza molto superficiali che, a luoghi, possono identificare profondità del substrato a pochi metri dalla superficie topografica. Altri valori, compresi tra 1 e 10 Hz possono indicare la presenza di un maggiore spessore (anche metrico) del detrito superficiale ed un approfondimento locale del substrato.

Ne è un esempio l'abitato di Romanoro, con valori di  $f_0 > 15$ , e Rovolo, con valore di  $f_0$  compreso tra 10 e 15 Hz; al contrario i centri abitati di Spervara e Vallorsara presentano valori di  $f_0$  compresi tra 1 e 6 Hz.

Img. 9.4 – Estratto Carta delle frequenze naturali dei terreni per la nuova area d'indagine di Romanoro



### 9.1.5 Carta delle MOPS

La **Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)** (Img. 9.5), rappresenta il documento fondamentale del **primo livello di approfondimento**.

Nello specifico, nella carta delle MOPS di questo aggiornamento (MS 2023) non vengono aggiornate le aree caratterizzate negli studi precedenti (MS 2012 e MS 2017), ma vengono trattate le nuove aree di Romanoro, Rovolo, Sassatella, Spervara, Cargedolo, Vallorsara, Madonna di Pietravolta e Riccovolto, in precedenza non caratterizzate, dove sono state svolte le nuove indagini.

Per tutti i dettagli relativi alle Carte delle MOPS eseguite negli studi precedenti (MS 2012 e MS 2017), si rimanda agli stessi.

Nella cartografia proposta in questo studio il territorio in esame viene distinto a seconda dell'appartenenza a una delle seguenti categorie:

1. **Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali** - Si tratta di aree in cui sono attese amplificazioni del moto sismico, causate dall'assetto litostratigrafico locale;

2. **Zone di attenzione per instabilità** - Si tratta di zone nelle quali gli effetti sismici attesi, oltre i fenomeni di amplificazione litostratigrafica, sono riconducibili a deformazioni permanenti del terreno, dovute a instabilità di versante.

A seguire vengono descritte le microzone omogenee delle nuove aree indagate, costituite da 3 microzone stabili, suscettibili di amplificazione (zone 2001, 2002 e 2003) e da 3 microzone di attenzione per instabilità (Z<sub>AFR</sub> zona 1, zona 2 e zona 3).

#### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

2001	Zona 1: Detrito eluvio-colluviale con frammenti rocciosi (6-7 m) che ricopre un substrato lapideo stratificato floschoide (9-12 m)
2002	Zona 2: Detrito eluvio-colluviale (1-7 m) che ricopre un substrato coesivo argilloso fratturato/tettonizzato (4-12 m)
2003	Zona 3: Detrito eluvio-colluviale con frammenti rocciosi (4 m) che ricopre un substrato lapideo stratificato floschoide (6-8 m)

#### Faglie non attive

▲ — ▲ — ▲	Faglia inversa non attiva (certa)
== == ==	Faglia con cinematisimo non definito non attiva (incerta)

#### Punti di misura di rumore ambientale

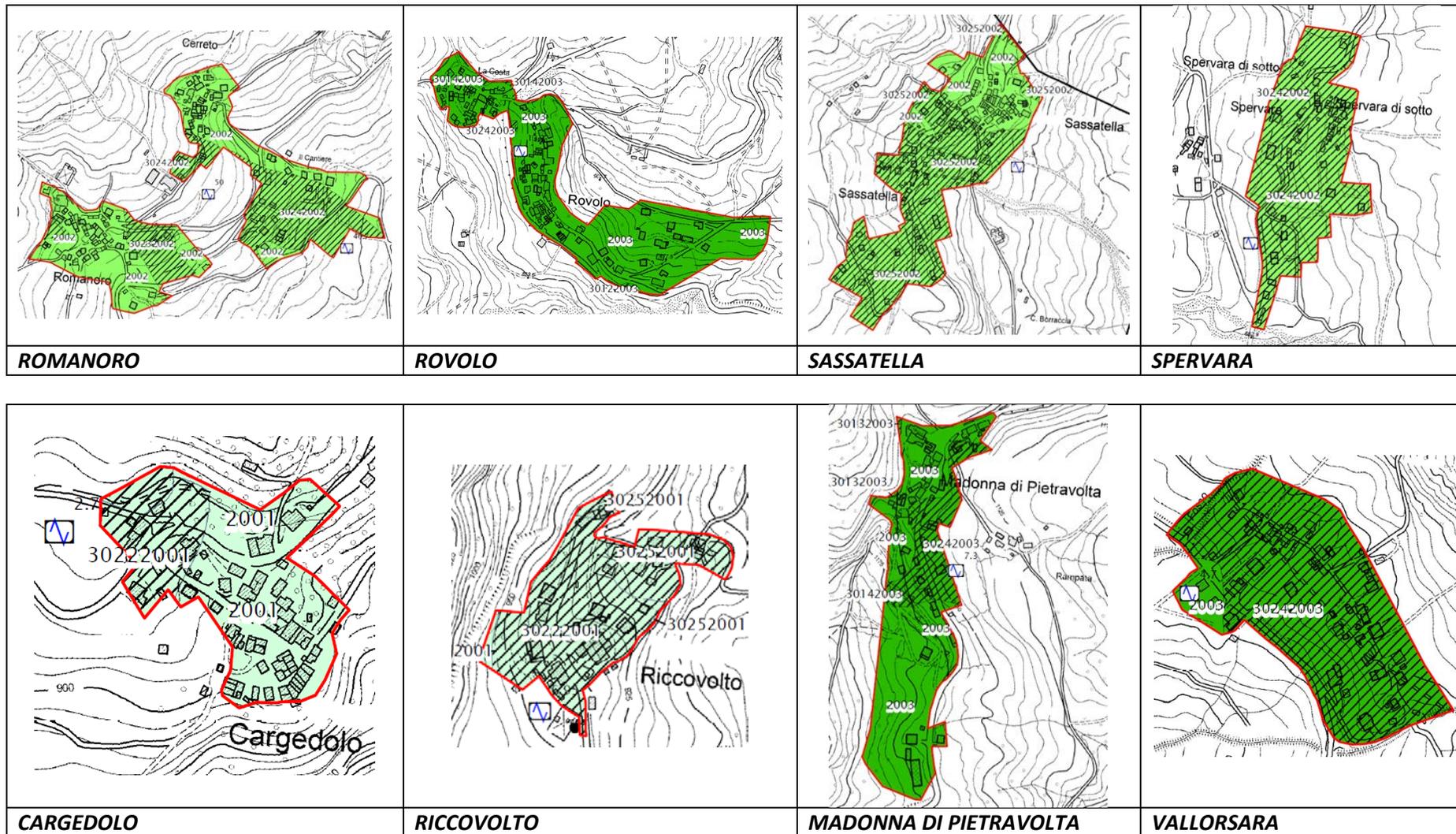
10,5  
Punto di misura di rumore ambientale con indicazione del valore di R0

#### Zone di attenzione per instabilità

	Z <sub>A<sub>vs</sub></sub> - Zona di Attenzione per instabilità di versante - Zona 1
	Z <sub>A<sub>vs</sub></sub> - Zona di Attenzione per instabilità di versante - Zona 2
	Z <sub>A<sub>vs</sub></sub> - Zona di Attenzione per instabilità di versante - Zona 3

COMUNE DI FRASSINORO - PROVINCIA DI MODENA  
 COMPLETAMENTO DELLA MICROZONAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO COMUNALE FINALIZZATA ALLA REDAZIONE DEL PUG  
 APPROFONDIMENTO DI II LIVELLO  
 RELAZIONE ILLUSTRATIVA

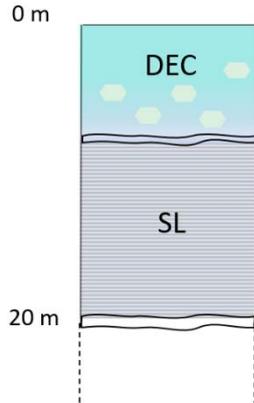
**Img. 9.5 – Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)**



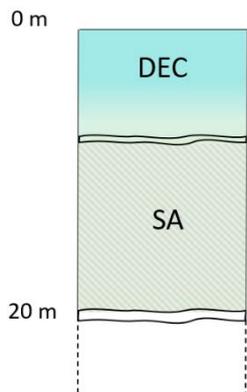
**MODELLI LITOSTRATIGRAFICI DELLE MICROZONE INDIVIDUATE**

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

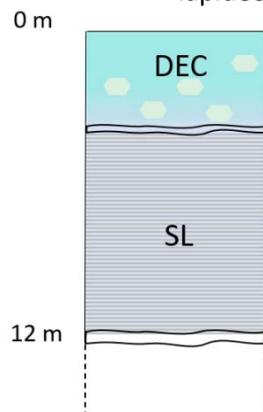
**2001 – Zona 1:** Detrito eluvio-colluviale con frammenti rocciosi (DEC) (6-7 m) che ricopre un substrato lapideo stratificato flyschoidale (SL) (9-12 m);



**2002 – Zona 2:** Detrito eluvio-colluviale (1-7 m) che ricopre un substrato coesivo argilloso fratturato/tettonizzato (SA) (4-12 m);



**2003 – Zona 3:** Detrito eluvio-colluviale con frammenti rocciosi (DEC) (4 m) che ricopre un substrato lapideo stratificato flyschoidale (SL) (6-8 m).



***Zone suscettibili di instabilità***

**ZA<sub>FR</sub> - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 1, Zona 2 e Zona 3.** Essa è il risultato della sovrapposizione di spessori detritici instabili (frane attive o quiescenti) su substrato stabile. Negli eventuali approfondimenti di III livello che avessero come oggetto queste zone, saranno necessari approfondimenti volti ad inglobare nella risposta sismica locale il contributo degli spessori detritici instabili e della topografia, da condurre preferibilmente attraverso analisi di risposta sismica locale bi-dimensionale.

## 9.2 Elaborati cartografici di II LIVELLO

Le cartografie che compongono la microzonazione di II livello sono 7, in base a quanto richiesto dalla DGR 630/2019, aggiornamento 476/2021, integrata con D.G.R. n. 564/2021, e vengono di seguito elencate; esse riguardano le nuove zone del territorio comunale indagate in questo studio, disposte in 6 riquadri a scala 1:5.000.

1. Carta dei fattori di amplificazione della PGA (MS\_02\_pga)
2. Carta dei fattori di amplificazione dello spettro di risposta in accelerazione nell'intervallo 0,1-0,5 sec. (MS\_02\_FA0105).
3. Carta dei fattori di amplificazione dello spettro di risposta in accelerazione nell'intervallo 0,4-0,8 sec. (MS\_02\_FA0408).
4. Carta dei fattori di amplificazione dello spettro di risposta in accelerazione nell'intervallo 0,7-1,1 sec. (MS\_02\_FA0711).
5. Carta dei fattori di amplificazione dello spettro di risposta in velocità (Intensità di Housner) nell'intervallo 0,1-0,5 sec. (MS\_02\_FH0105).
6. Carta dei fattori di amplificazione dello spettro di risposta in velocità (Intensità di Housner) nell'intervallo 0,5-1,0 sec. (MS\_02\_FH0510).
7. Carta dello scuotimento in accelerazione atteso al sito, in valore assoluto (in frazione di accelerazione di gravità), nell'intervallo 0,1-0,5 sec (MS\_02\_Hsm).

A titolo di esempio, di seguito vengono descritti brevemente i contenuti delle seguenti cartografie:

1. Carta dei fattori di amplificazione della PGA,
2. Carta dell'Intensità di Housner nell'intervallo 0,1-0,5 sec.,
3. Carta dello scuotimento in accelerazione atteso al sito, in valore assoluto (g), nell'intervallo 0,1-0,5 sec. ( $H_{SM}$ ).

La **Carta dei fattori di amplificazione della PGA**, riportata in Img. 9.6, riporta le amplificazioni dell'accelerazione massima attesa al suolo che caratterizzano ogni singola località.

Nello specifico per le aree indagate si riconoscono i seguenti valori:

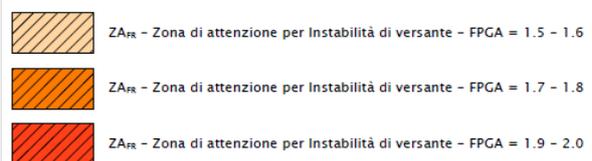
- Romanoro, Rovolo, Riccovolto e Madonna di Pietravolta sono caratterizzate dai valori più bassi di amplificazione, con FA PGA = 1.5 – 1.6.
- gli abitati di Vallorsara e Spervara hanno valori di FA PGA = 1.7 – 1.8
- Cargedolo e Sassatella presentano le amplificazioni più alte (FA PGA = 1.9 – 2.0)

Tutti gli abitati sono caratterizzati dalla presenza di zone suscettibili di instabilità di versante ( $Z_{FR}$ ), che interessano in minima parte l'abitato di Rovolo, per la quasi totalità, gli abitati di Vallorsara e Sassatella e completamente Spervara e Riccovolto.

### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

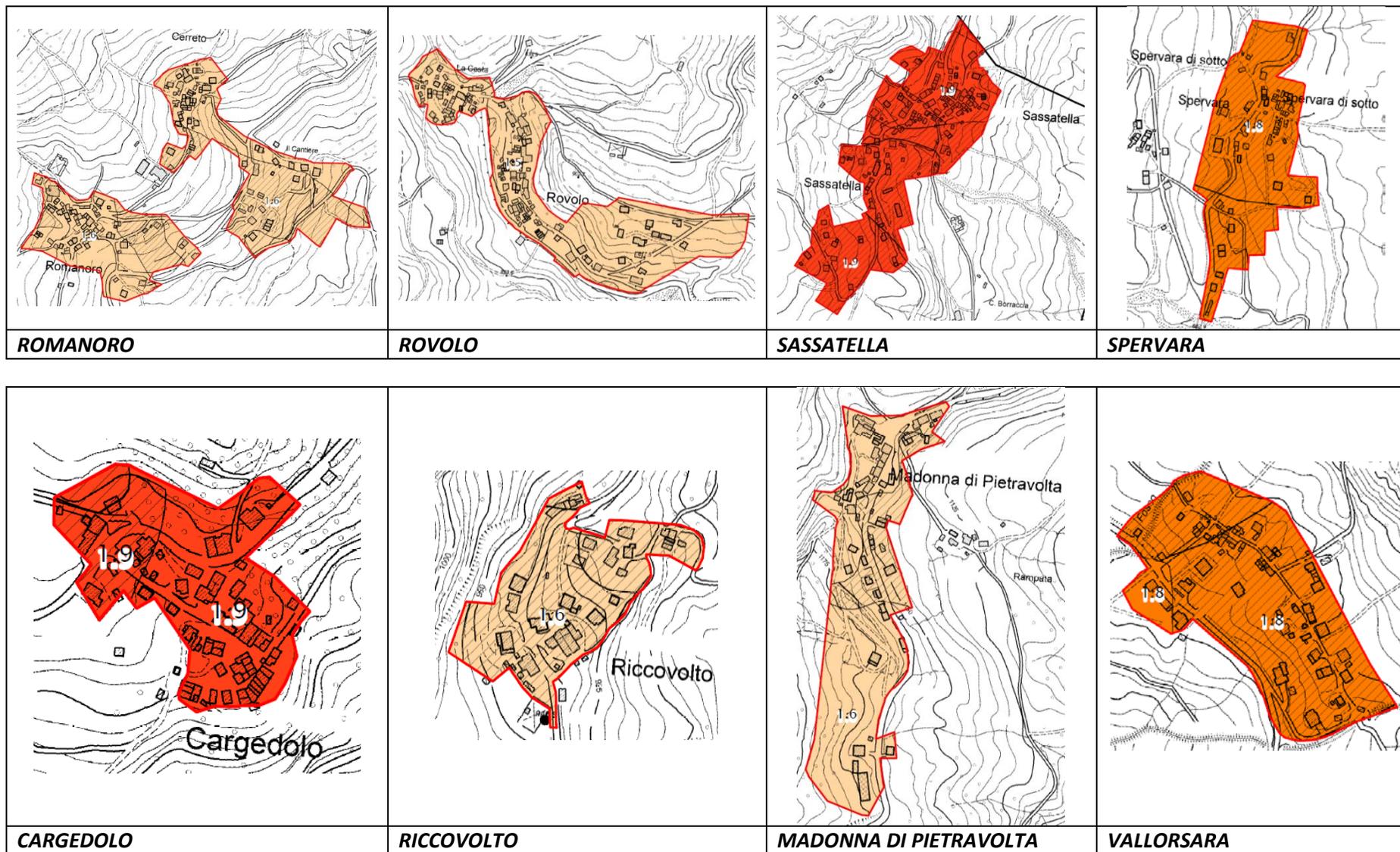


### Zone suscettibili di instabilità (Livello 2)



COMUNE DI FRASSINORO - PROVINCIA DI MODENA  
 COMPLETAMENTO DELLA MICROZONAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO COMUNALE FINALIZZATA ALLA REDAZIONE DEL PUG  
 APPROFONDIMENTO DI II LIVELLO  
 RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Img. 9.6 - Carta dei fattori di amplificazione della PGA.



RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Nella **Carta dei fattori di amplificazione dell'intensità di Housner (periodi 0,1 – 0,5)**, rappresentata in **Img. 9.7**, il quadro spaziale dei fattori di amplificazione mostra i valori più alti nell'aitato di Cargedolo ( $FH_{01-05} = 2.3 - 2.4$ ), a seguire Vallorsara e Spervara con valori di  $FH_{01-05} = 1.9 - 2.0$ . I valori più bassi si riscontrano a Rovolo e a Madonna di Pietravolta con  $FH_{01-05} = 1.1 - 1.2$ .

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

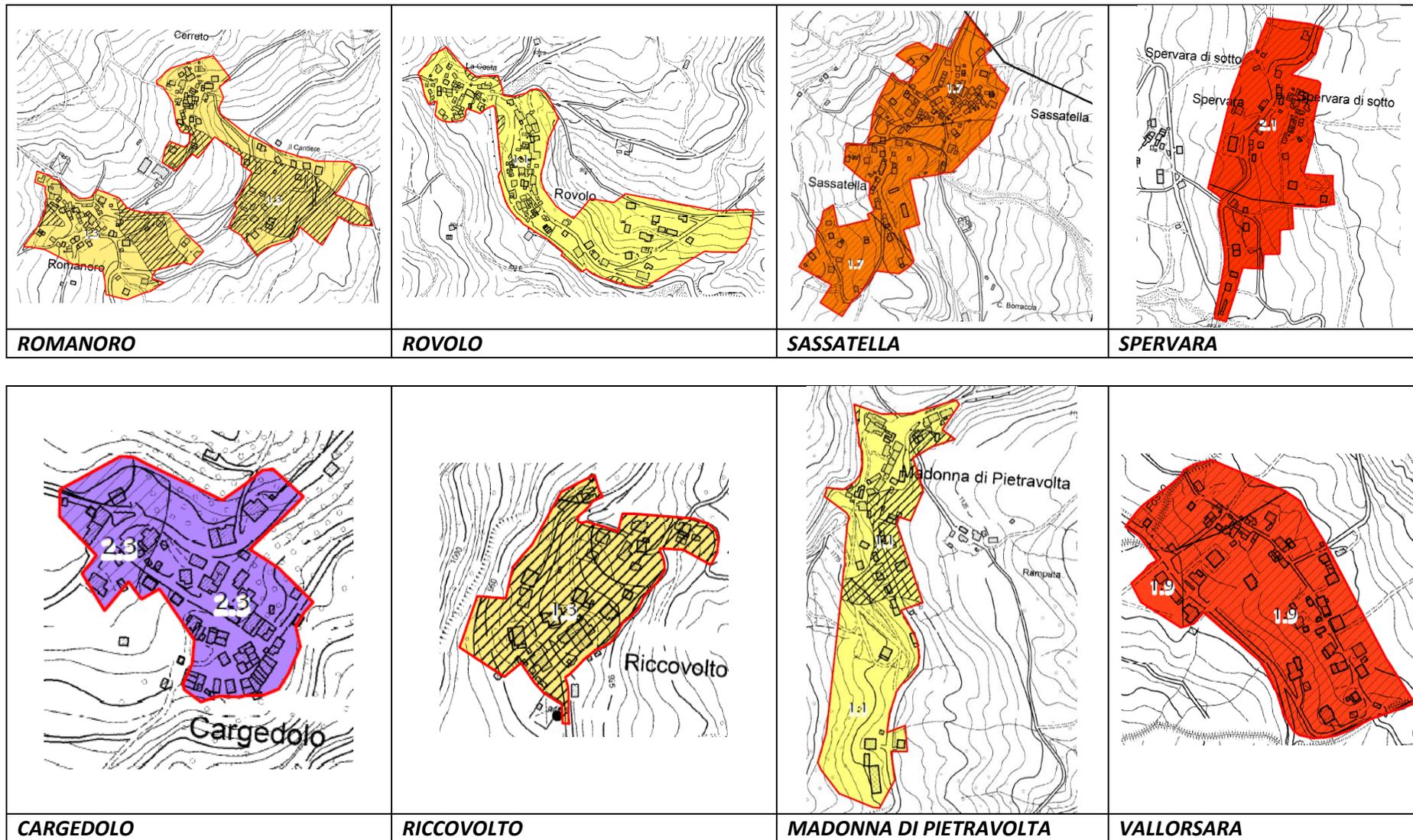
	$FH_{0105} = 1.1 - 1.2$
	$FH_{0105} = 1.3 - 1.4$
	$FH_{0105} = 1.7 - 1.8$
	$FH_{0105} = 1.9 - 2.0$
	$FH_{0105} = 2.3 - 2.4$

Zone suscettibili di instabilità (Livello 2)

	$Z_{Atk}$ - Zona di attenzione per Instabilità di versante - $FH_{0105} = 1.1 - 1.2$
	$Z_{Atk}$ - Zona di attenzione per Instabilità di versante - $FH_{0105} = 1.3 - 1.4$
	$Z_{Atk}$ - Zona di attenzione per Instabilità di versante - $FH_{0105} = 1.7 - 1.8$
	$Z_{Atk}$ - Zona di attenzione per Instabilità di versante - $FH_{0105} = 1.8 - 2.0$
	$2.1Z_{Atk}$ - Zona di attenzione per Instabilità di versante - $FH_{0105} = 2.1 - 2.2$
	$2.1Z_{Atk}$ - Zona di attenzione per Instabilità di versante - $FH_{0105} = 2.3 - 2.4$

COMUNE DI FRASSINORO - PROVINCIA DI MODENA  
 COMPLETAMENTO DELLA MICROZONAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO COMUNALE FINALIZZATA ALLA REDAZIONE DEL PUG  
 APPROFONDIMENTO DI II LIVELLO  
 RELAZIONE ILLUSTRATIVA

**Img. 9.7 - Carta dei fattori di amplificazione dell'Intensità di Housner nei periodi 0,1-0,5 sec.**



La **Carta dello scuotimento in accelerazione atteso al sito, in valore assoluto (g), nell'intervallo 0,1-0,5 sec. ( $H_{SM}$ )**, rappresentata in *Img. 9.8*, mostra come gli scuotimenti maggiori, appartenenti alla classe  $H_{sm} = 0,71g - 0,85g$  caratterizzino i centri abitati di Vallorsara (0,746g), Cargedolo (0.824g) e Spervara (0.746g).

I valori minori di scuotimento si trovano nell'abitato di Rovolo, pari a 0,471g e facente parte della classe  $H_{sm} = 0,39g - 0,54 g$ .

Madonna di Pietravolta, Riccovolto, Sassatella e Romanoro appartengono ad una fascia intermedia, con valori di  $H_{sm} = 0,55g - 0,70g$ .

In generale, in base alla classificazione di Naso et al. (2019), lo scuotimento atteso è indicativo di un livello di pericolosità sismica da "moderato" ad "alto", che prevede un danno potenziale da "moderato-alto" ad "alto", equiparabile ad un'intensità strumentale da VIII a IX grado della Scala MCS.

#### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

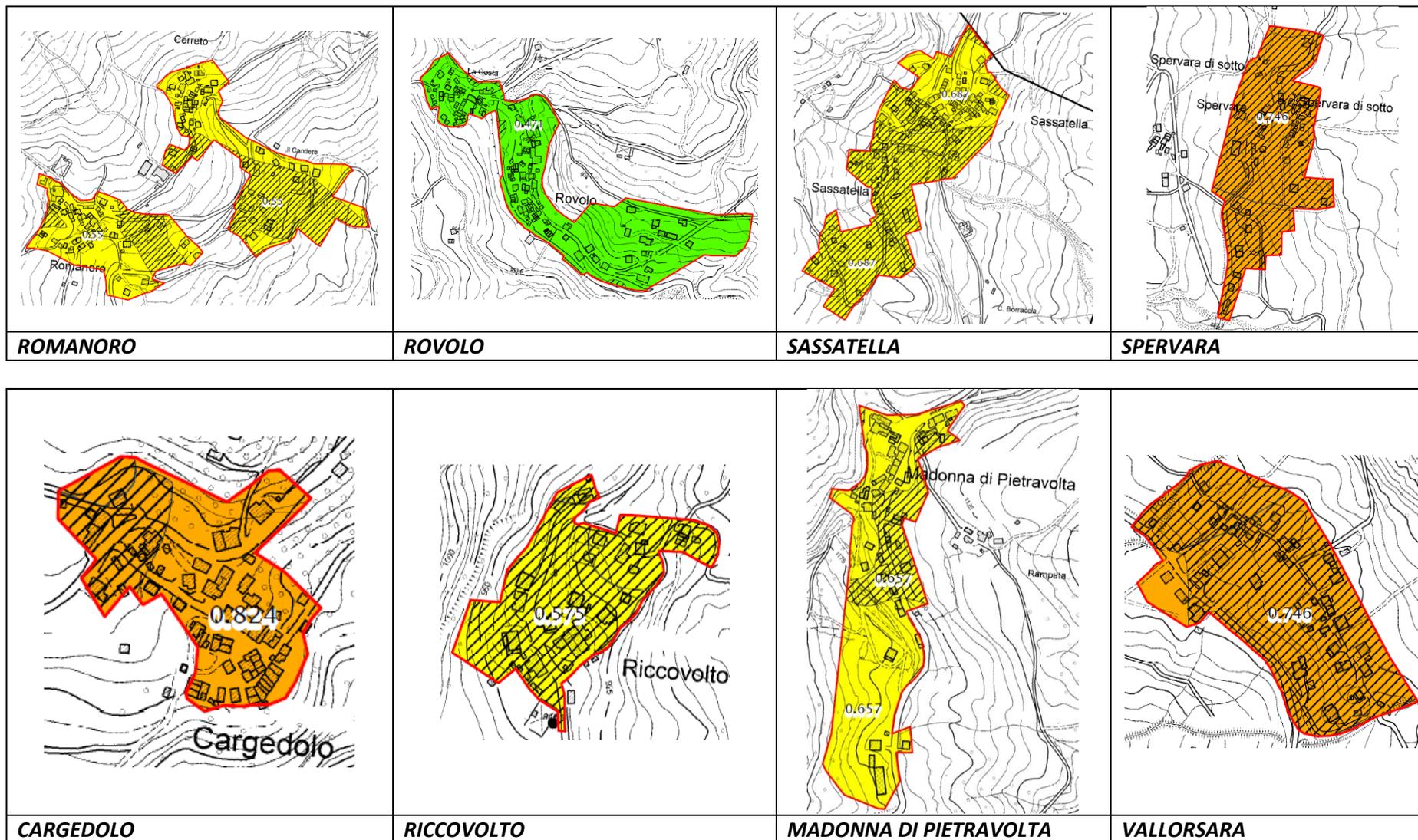
	$H_{sm} = 0,39 - 0,54 g$
	$H_{sm} = 0,55 - 0,70 g$
	$H_{sm} = 0,71 - 0,85 g$

#### Zone suscettibili di instabilità

	$ZA_{RK}$ - Zona di attenzione per Instabilità di versante - $H_{sm} = 0.39 - 0.54 g$
	$ZA_{RK}$ - Zona di attenzione per Instabilità di versante - $H_{sm} = 0.55 - 0.70 g$
	$ZA_{RK}$ - Zona di attenzione per Instabilità di versante - $H_{sm} = 0.71 - 0.85 g$

COMUNE DI FRASSINORO - PROVINCIA DI MODENA  
 COMPLETAMENTO DELLA MICROZONAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO COMUNALE FINALIZZATA ALLA REDAZIONE DEL PUG  
 APPROFONDIMENTO DI II LIVELLO  
 RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Img. 9.8 - Carta dello scuotimento in accelerazione atteso al sito, in valore assoluto (g), nell'intervallo 0,1-0,5 sec. (HSM).



## 10 BIBLIOGRAFIA

Albarello D., Cesi C., Eulilli V., Guerrini F., Lunedei E., Paolucci E., Pileggi D., Puzzilli L.M., 2011. The contribution of the ambient vibration prospecting in seismic microzoning: an example from the area damaged by the 26th April 2009 l'Aquila (Italy) earthquake, *Boll.Geofis.Teor.Appl.*, 52, 3, 513-538, DOI 10.4430/bgta0013.

Boccaletti, M., Bonini, M., Corti, G., Gasperini, P., Martelli, L., Piccardi, L., Severi, P., Vannucci, G., 2004. Carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna, scala 1:250.000 - Note illustrative (M. Boccaletti & L. Martelli (eds.)). Servizio Geologico, sismico e dei suoli - Regione Emilia-Romagna, S.EL.CA. 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. 2008. Elliptical mud volcano caldera as stress indicator in an active compressional setting (Nirano, Pede-Apennine margin, northern Italy). *Geology* 36, 2, 131-134.

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.

Boulanger, R.W., Idriss, I.M., 2014. CPT and SPT based liquefaction triggering procedures. Davis, California.

Cassano E., Anelli L., Fichera R., Cappelli V., 1986. Pianura Padana. Interpretazione integrata di dati geofisici e geologici - 73° Congresso Società Geologica Italiana, 29 settembre - 4 ottobre 1986 Roma.

Cremaschi M., Marchetti G., Dall'aglio P.L., 1988. Diretrici di traffico. I. Il settore emiliano - in: Studi e documenti di archeologia. Numero speciale dedicato alla IX Biennale d'arte antica, IV 1988, Nuova Alfa Editoriale.

Facciorusso, J., Madiari, C., Vannucchi, G., 2016. Correction of Mechanical CPT Data for Liquefaction Resistance Evaluation, in: *Proceedings of the World Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering (CSEE'16)*. Prague, Czech Republic, pp. 1–9.

Idriss, I.M., Boulanger, R.W., 2008. Soil liquefaction during earthquakes. Monograph MNO-12. Oakland, CA.

Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E., 2016. DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>.

Martelli, L., Bonini, M., Calabrese, L., Corti, G., Ercolessi, G., Molinari, F. C., Piccardi, L., Pondrelli, S., Sani, F., Severi, P., 2017a. Note illustrative della carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna ed aree limitrofe. D.R.E.AM. Italia.

Martelli, L., Ercolessi, G., Sani, F., Bonini, M., Corti, G., Santulin, M., Tamaro, A., Rebez, A., Slejko, D., 2017b. Analisi 3D della pericolosità sismica dell'Appennino settentrionale - Proposta di nuova zonazione sismogenica e analisi della pericolosità sulla base di un modello 3D delle sorgenti sismiche. Bologna, 36 p.

Mascandola, C., Massa, M., Barani, S., Albarello, D., Lovati, S., Martelli, L., Poggi, V., 2019. Mapping the Seismic Bedrock of the Po Plain (Italy) through Ambient-Vibration Monitoring. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 109, 164–177. <https://doi.org/10.1785/0120180193>

Naso, G., Martelli, L., Baglione, M., Brammerini, F., Castenetto, S., D'Intinosante, V., Ercolessi, G., 2019. Maps for land management: from geology to seismic hazard. *Boll. di Geofis. Teor. ed Appl.* 60.

Panizza, M., Castaldini, D., Pellegrini, M., Giusti, C., Piacentini, D., 2004. Matrici geo-ambientali e sviluppo insediativo: un'ipotesi di ricerca, in: Mazzeri, C. (Ed.), *Per Un Atlante Storico Ambientale Urbano*. APM Edizioni, Carpi, pp. 31–51.

Petronio, L., Affatato, A., Baradello, L., Barbagallo, A., Cristofano, G., Sorgo, D., Lai, C., Poggi, V., 2018. Shear wave seismic reflection survey in the 2012 Emilia epicentral area, in: *GNGTS 2018*. pp. 443–447.

Pieri M., Groppi G., 1981. Subsurface geological structure of the Po Plain, Italy - *Pubbl.* 414, P.F. Geodinamica, CNR, 23 p.

Pondrelli, S., Salimbeni, S., Perfetti, P., Danecek, P., 2012. Quick regional centroid moment tensor solutions for the Emilia 2012 (northern Italy) seismic sequence. *Annals of Geophysics*, 55(4), 615–621. <https://doi.org/10.4401/ag-6146>.

Pradel, D., 1998. Procedure to Evaluate Earthquake induced Settlements in Dry Sandy Soils. *J. Geotech. Eng. - ASCE* 124, 364–368.

Robertson, P.K., 2009. Performance based earthquake design using the CPT, in: *International Conference on Performance-Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering*. Tokyo, Japan, p. 21.

Robertson, P.K., Lisheng, S., 2010. Estimation of seismic compression in dry soils using the CPT, in: *Fifth International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, Symposium in Honor of Professor I. M. Idriss*. San Diego, California, p. Paper No. 4.05a.

Sonmez, H, 2003. Modification to the liquefaction potential index and liquefaction susceptibility mapping for a liquefaction-prone area (Inegol-Turkey). *Environ. Geol.* 44, 862–871.

Yang, J., Yan, X.R., 2009. Site response to multi-directional earthquake loading: A practical procedure. *Soil Dyn. Earthq. Eng.* 29, 710–721.