



PROTEZIONE CIVILE  
Presidenza del Consiglio dei Ministri  
Dipartimento della Protezione Civile



Regione Emilia-Romagna



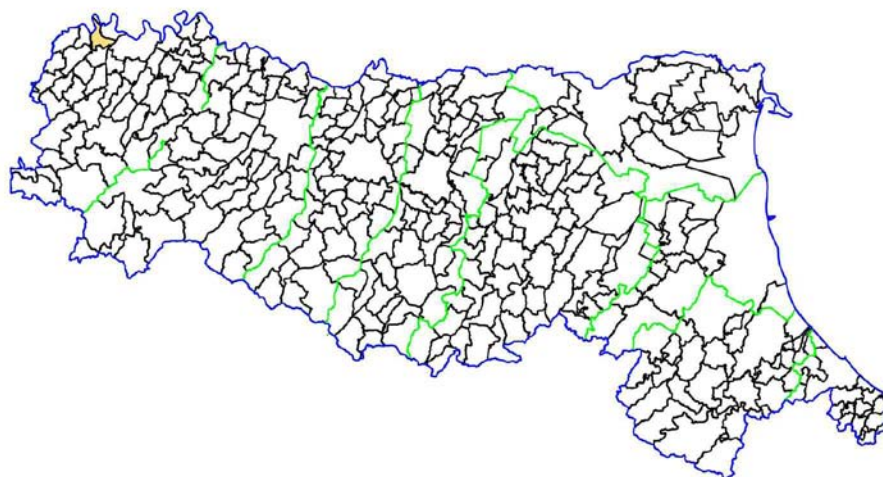
CONFERENZA DELLE REGIONI E  
DELLE PROVINCE AUTONOME

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

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Relazione illustrativa

### Regione Emilia Romagna Comune di Rottofreno



<p>Regione</p>	<p>Soggetto realizzatore <b>Studio Lusignani</b> Via Arata 20, 29122 Piacenza e-mail: glusig@fin.it tel/fax: 0523.454120</p>  <p><i>Filippo Lusignani</i></p>	<p>Data Maggio 2022</p>
----------------	---	-----------------------------

## INDICE

<b>1. PREMESSA</b> .....	<b>pag.</b>	<b>3</b>
• 1.1 La documentazione resa disponibile. ....	<b>pag.</b>	<b>8</b>
<b>2. ELABORATI A CORREDO DELLO STUDIO</b> .....	<b>pag.</b>	<b>5</b>
<b>3. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE</b> .....	<b>pag.</b>	<b>6</b>
• 3.1. Sismicità del territorio .....	<b>pag.</b>	<b>7</b>
• 3.2. Zonizzazione sismogenetica. ....	<b>pag.</b>	<b>9</b>
• 3.3 Evoluzione della classificazione sismica del territorio comunale. ....	<b>pag.</b>	<b>17</b>
<b>4. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA</b> .....	<b>pag.</b>	<b>19</b>
• 4.1 Inquadramento geologico. ....	<b>pag.</b>	<b>19</b>
• 4.2 Inquadramento geomorfologico. ....	<b>pag.</b>	<b>23</b>
• 4.2 Inquadramento idrogeologico. ....	<b>pag.</b>	<b>25</b>
<b>5. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI</b> .....	<b>pag.</b>	<b>27</b>
<b>6. ASSETTO STRATIGRAFICO DEL SOTTOSUOLO</b> .....	<b>pag.</b>	<b>30</b>
<b>7. INTERPRETAZIONE ED INCERTEZZE</b> .....	<b>pag.</b>	<b>32</b>
<b>8. ELABORATI GRAFICI</b> .....	<b>pag.</b>	<b>33</b>
<b>9. CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA</b> .....	<b>pag.</b>	<b>37</b>
<b>10. CARTA DELLO SCUOTIMENTO ATTESO</b> .....	<b>pag.</b>	<b>40</b>
<b>11. CONSIDERAZIONI SULLA SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE</b> .....	<b>pag.</b>	<b>42</b>

## 1 PREMESSA

Il Comune di Rottofreno ha provveduto ad aggiornare lo studio di microzonazione sismica già predisposto a corredo del PSC (approvato in data 12/12/2017 con del C.C. n°66) ai sensi della D.A.L. 112/2007<sup>1</sup>, adeguandolo agli standard richiesti dai nuovi indirizzi regionali ed agli standard nazionali di rappresentazione e archiviazione dei dati predisposti dalla Commissione Tecnica per il supporto e monitoraggio degli studi di microzonazione sismica. Quale riferimento tecnico per la realizzazione dello studio e per la redazione degli elaborati richiesti è stato fatto specifico riferimento agli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica" approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome (Gruppo di lavoro MS, 2008) ed alla Deliberazione di Giunta della Regione Emilia Romagna n. 556/2021: "Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, l.r. n. 24/2017)".

Il livello di approfondimento dello Studio di MS previsto per il Comune di Rottofreno, per il quale sono stati assegnati i contributi previsti dall'Allegato A della D.G.R. n. 566/2021 del 26/04/2021, è il "2 Livello di approfondimento"; l'analisi di microzonazione sismica, è stata sviluppata in coordinamento con il Servizio Geologico, Sismico e dei suoli, Dr. Luca Martelli, della Regione Emilia Romagna.

Per quanto non specificato nella delibera sopra citata, si è fatto riferimento ai seguenti documenti :

- "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica", approvato dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome e successive modifiche e integrazioni (Gruppo di lavoro MS, 2008; AA.VV., 2011); "Microzonazione sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica versione 4.2", redatto dalla Commissione tecnica per la microzonazione sismica (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, dicembre 2020);
- LR 30/10/2008 n.19 "Norme per la riduzione del Rischio Sismico";
- DM del 17/01/2018 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni".
- Allegato A della Deliberazione della giunta regionale n°564 del 26/04/2021 "*Integrazione della propria deliberazione n°476 del 12 aprile 2021 mediante approvazione dell'Allegato A "Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica" (nel proseguo "indirizzi regionali")*

Nel rispetto dei riferimenti tecnici sopra menzionati, lo studio è stato articolato in due differenti fasi di approfondimento:

"I Livello di Approfondimento" avente le seguenti finalità:

- individuare le aree suscettibili di effetti locali in cui effettuare le successive indagini di microzonazione sismica;

---

<sup>1</sup> un'analisi di primo livello per quanto riguarda l'intero territorio comunale e approfondimenti di secondo livello limitatamente alle aree suscettibili di urbanizzazione previste dal nuovo PSC.

- definire il tipo di effetti attesi;
- indicare, per ogni area, il livello di approfondimento necessario.
- descrivere le caratteristiche delle unità geologiche del sottosuolo, in termini di litologia, stratigrafia, tettonica e geometria per definire il modello geologico di base per la microzonazione sismica.

"Il Livello di Approfondimento" avente le seguenti finalità:

- conferma delle condizioni di pericolosità indicate dal precedente livello di approfondimento o eventuale nuova perimetrazione delle aree in cui effettuare la MS;
- suddivisione dettagliata del territorio in base all'amplificazione attesa;
- conferma o migliore definizione delle aree, indicate dal livello di approfondimento precedente, in cui si ritengono necessari approfondimenti di terzo livello e indicazione delle indagini e analisi da effettuare.

A tale riguardo è stata condivisa con l'Amministrazione comunale l'area di studio:

I° fase: l'intero territorio comunale;

II° fase le aree urbanizzate ed urbanizzabili del territorio comunale nonché le fasce delle principali infrastrutture di accessibilità e di connessione con il contesto territoriale,

### **1.1 La documentazione resa disponibile**

Le analisi sono state effettuate partendo dall'esame della documentazione già presente ovvero:

1) la Relazione Geologica a cura di Ambiter srl (dicembre 2017) a corredo del PSC, in accordo con quanto previsto nella Deliberazione dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia Romagna n.112/2007, che ha effettuato un'analisi di primo livello per quanto riguarda l'intero territorio comunale e approfondimenti di secondo livello limitatamente alle aree suscettibili di urbanizzazione previste da detto strumento urbanistico.

2) "Primo livello" di approfondimento geologico sismico, sviluppato nell'ambito del Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) di Piacenza, approvato, con Del. G.P. n. 69 del 02/07/2010, sulla base delle indicazioni della DAL n.112/2007, che ha previsto la redazione degli elaborati:

- Tav. A4 - Carta delle aree suscettibili di effetti sismici locali, alla scala 1:25.000
- Tav. B1.c - Carta della pericolosità sismica locale, alla scala 1:100.000
- All. B1.5 (R) La cartografia della pericolosità sismica locale – Relazione Illustrativa
- All. B1.6 (T) Dati utili per la valutazione della pericolosità sismica locale – settore di pianura (scala 1:50.000)

## 2 ELABORATI A CORREDO DELLO STUDIO

La presente relazione illustrativa fa riferimento a quanto richiesto dalla Del. GR 564/2021 in merito alla documentazione da produrre per ottemperare a quanto previsto dal "*Primo livello di approfondimento*" e per tanto vengono allegati che è stata corredata dai seguenti elaborati cartografici:

Tav. 01a - Carta delle indagini - alla scala 1:5.000;

Tav. 01b - Carta delle indagini - alla scala 1:5.000;

Tav. 02 - Carta geologico - tecnica - alla scala 1:10.000;

Tav. 03 - Sezioni litotecniche - alla scala X=1:5.000 Y= 1:1.000;

Tav. 04 - Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) - alla scala 1:10.000;

Tav. 05 - Carta delle frequenze naturali dei terreni - alla scala 1:10.000;

Tav. 06 - Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs) - alla scala 1:10.000;

Gli elaborati cartografici sono stati realizzati attenendosi agli standard di rappresentazione cartografica dettati dalle linee guida emanate dal Dipartimento della Protezione Civile con gli Standard MS (CTMS, 2015), per quanto riguarda i tematismi rappresentati, le legende, le denominazioni, i layout, i colori e font dei caratteri.

Le cartografie elaborate hanno come base topografica di riferimento lo strato raster aggiornato al 2014 elaborato dalla Regione Emilia dalla Regione Emilia Romagna (DBT scala 1.5.000).

Come precedentemente accennato, per l'inserimento dei dati alfanumerici dei siti, delle indagini e dei parametri è stato utilizzato l'apposito software: "MS - SoftMS", versione 4.2.

I dati cartografici sono stati allestiti in formato vettoriale (shapefile) e gli elaborati sono stati prodotti in versione cartacea e in versione digitale (pdf con risoluzione di 300 dpi).

Per l'archiviazione dei dati e l'editing dei documenti sono stati seguiti gli standard di riferimento forniti dall'Allegato D della delibera regionale e dagli SRAI (Standard di rappresentazione e archiviazione informatica).

L'inserimento dei dati alfanumerici dei siti, delle indagini e dei parametri delle indagini è stato facilitato dall'utilizzo del plugin Mzs Tools applica al software QGis versione 2.18.

### 3 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

La sismicità è strettamente connessa al contesto tettonico-strutturale del territorio, e quindi alla presenza di strutture geologicamente “attive”; per la stima della pericolosità sismica di un territorio è indispensabile la conoscenza della sua storia sismica e della geologia strutturale locale, che risultano ovviamente strettamente connessi tra loro.

A supporto della redazione del presente capitolo, sono stati utilizzate le banche dati pubbliche sviluppate da diversi enti e gruppi di ricerca:

- il CPTI15 - Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani versione 2015 (Rovida et al., 2016; <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15>), che raccoglie i parametri dei terremoti avvenuti in Italia con intensità massima  $\geq 5$  o magnitudo  $\geq 4.0$  d'interesse nella finestra temporale 1000-2014;
- il DBMI15 - Database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI15 e provenienti da diverse fonti. È relativo ai terremoti con intensità massima  $\geq 5$  e d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2014 (Locati et al., 2016 <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/>) e la sua precedente versione DBMI04 (Stucchi et al., 2007);
- la Mappa di Pericolosità Sismica Nazionale (INGV, 2004; <http://esse1.mi.ingv.it/>) che definisce una “pericolosità di base” su un reticolo di punti di riferimento. Ad essi sono attribuiti, per nove differenti periodi di ritorno del sisma atteso, i valori di accelerazione orizzontale massima del suolo (ag) e dei principali “parametri spettrali”, da utilizzare per il calcolo dell'azione sismica;
- la Zonazione Sismogenetica ZS9 (Meletti e Valensise, 2004 (<http://zonesismiche.mi.ingv.it/documenti/App2.pdf>), che individua sul territorio italiano 42 macrozone-sorgente e ha rappresentato il riferimento per i calcoli di pericolosità sismica nel territorio nazionale di cui al punto precedente;
- il Database delle Sorgenti Sismogenetiche Italiane DISS versione 3.2.1 (DISS Working Group, 2015 e Basili et al., 2008; <http://diss.rm.ingv.it>), che contiene sorgenti individuali e composite di terremoti, intese come una rappresentazione georeferenziata semplificata e in 3D di faglie (sorgenti individuali) o regioni contenenti faglie (sorgenti composite) in grado di generare terremoti di M 5.5 o superiore;
- il Catalogo della Sismicità Italiana (Castello et al., 2006; <http://csi.rm.ingv.it/>) che contiene tutti gli eventi registrati dalle stazioni della Rete Sismica Nazionale dal 1981 al 2002;
- il Database ISIDe (ISIDe Working Group 2010; <http://iside.rm.ingv.it>), che contiene tutti gli eventi registrati dalle stazioni della Rete Sismica Nazionale dal 2003 ad oggi.

### 3.1 Sismicità del territorio

La sismicità storica del Comune di Rottofreno è stata desunta dal database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI15. Il Database Macrosismico Italiano DBMI15 (a cura di Mario Locati, Romano Camassi, Andrea Rovida, Emanuele Ercolani, Filippo Bernardini, Viviana Castelli, Carlos Hector Caracciolo, Andrea Tertulliani, Antonio Rossi, Raffaele Azzaro, Salvatore D'Amico), è consultabile al sito <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15>.

La sismicità del territorio comunale di Rottofreno è riassunta graficamente nel diagramma di seguito riportato.

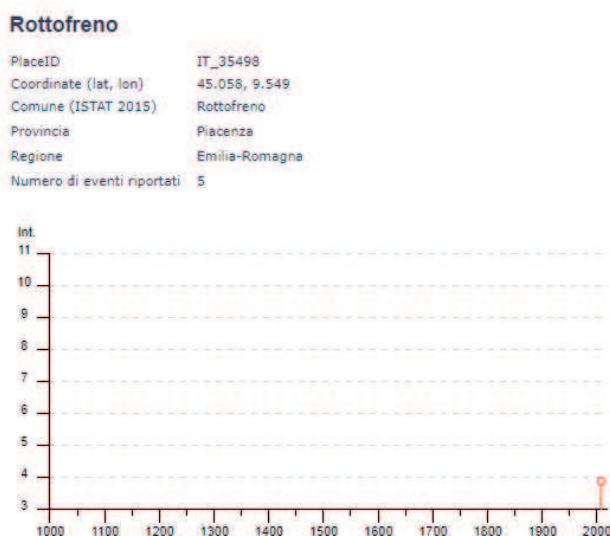


Fig. n°1: Diagramma rappresentante la storia sismica del Comune di Rottofreno

Dall'esame del diagramma di figura n°1 l'episodio più significativo per il Comune di Rottofreno è stato quello riferito all'evento del 2008 del Parmese, che produsse effetti di circa il IV grado MCS (Scala Mercalli-Cancani- Sieberg). Nella figura di seguito riportata sono elencate le osservazioni, aventi la maggiore intensità al sito, disponibili per il territorio comunale. Nella tabella sono indicate, oltre alla stessa intensità al sito (Is), l'anno, il mese, il giorno e l'ora, in cui si è verificato, l'intensità massima epicentrale in scala MCS (Io), e la magnitudo momento (Mw).

Effetti	In occasione del terremoto del						NMDP	Io	Mw	
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale			
NF	1991	10	31	09	31	1	Emilia occidentale	134	5	4.33
NF	2000	08	21	17	14		Monferrato	595	6	4.94
NF	2002	11	13	10	48	0	Franciacorta	762	5	4.21
NF	2005	04	13	18	46	0	Valle del Trebbia	163	4	3.68
F	2008	12	23	15	24	2	Parmense	291	6-7	5.36

Fig. n°...: Massimi eventi sismici verificatisi nel territorio di rottofreno

Ciò premesso, a fini cautelativi, ci sembra opportuno tenere in debita considerazione anche quanto indicato nel lavoro elaborato per il Dipartimento della Protezione Civile, a cura di D. Molin, M. Stucchi e G. Valensise, "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. Secondo tale studio, basato in misura prevalente su valori realmente osservati<sup>2</sup>, il territorio di Rottofreno è stato soggetto a terremoti di intensità massima minore o uguale al VI grado della scala MCS.

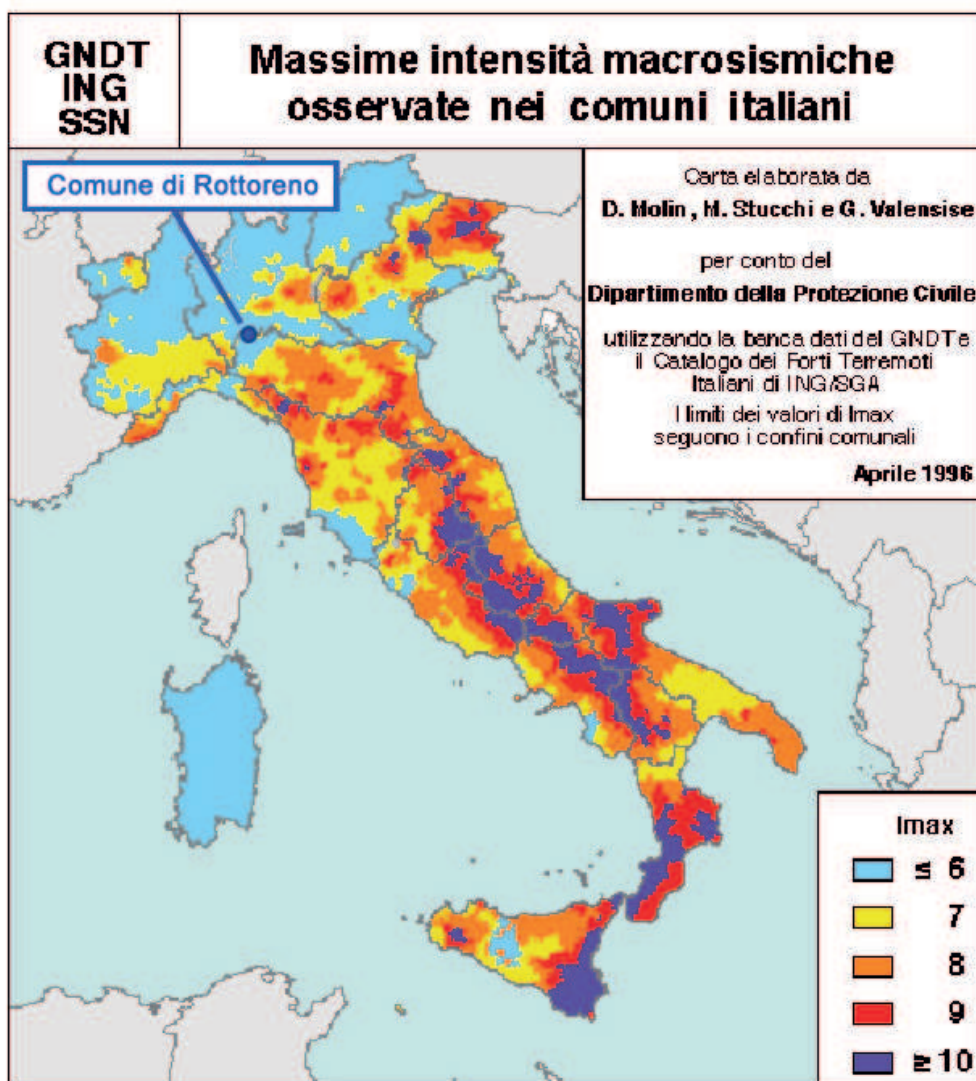


Fig. n°2: Carta della massima intensità macrosismica in Emilia Romagna

<sup>2</sup> ma che contiene delle correzioni per quelle località ove queste si siano rese necessarie



### 3.2 Zonizzazione simogenetica

L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia ha prodotto una zonazione sismogenetica (ZS9 Meletti e Valensise, 2004; Meletti et al., 2008) del territorio nazionale che tiene conto dell'analisi cinematica degli elementi geologici, cenozoici e quaternari coinvolti nella dinamica delle strutture litosferiche profonde e della crosta superficiale (*"Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall' O.P.C.M. 20-3-2003, n. 3274. Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano - Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici"*).

Il modello sismogenetico suddivide il territorio italiano in 36 diverse zone, numerate da 901 a 936, più altre 6 zone, identificate con le lettere da "A" a "F" fuori dal territorio nazionale (A-C) o ritenute di scarsa influenza (D-F); trattasi di zone sismogenetiche molto estese e a sviluppo prevalentemente longitudinale cioè parallele all'asse della catena.

La zonizzazione è stata condotta tramite l'analisi cinematica degli elementi geologici, cenozoici e quaternari coinvolti nella dinamica delle strutture litosferiche profonde e della crosta superficiale. Il confronto tra le informazioni che hanno condotto alla costruzione del modello geodinamico e la sismicità osservata ha permesso di costruire la carta nazionale delle zone sismogenetiche. Dall'esame della figura n°3 si evince che il Comune di Rottofreno ricada all'interno della Zona Sismogenetica 911.

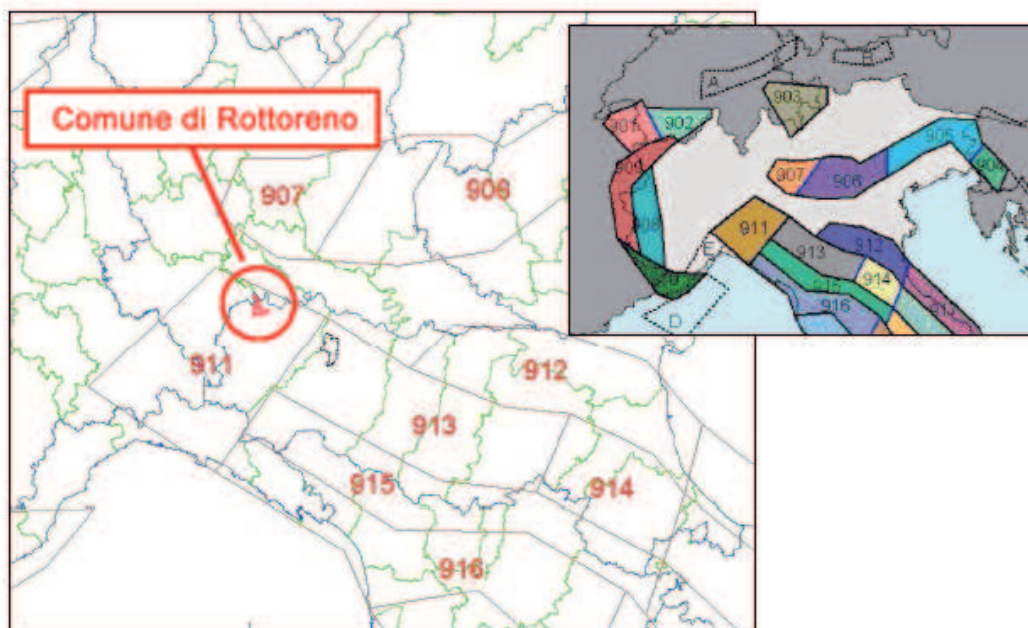


Fig. n°3: Zonizzazione sismogenetica ZS9 ridisegnata

La Zona Sismogenetica 911 rappresenta la porzione più esterna ed occidentale della fascia in compressione dell'Appennino Settentrionale, caratterizzata dallo sprofondamento passivo della litosfera adriatica (placca tettonica "Adria") sotto il sistema di catena nell'Arco Appenninico

Settentrionale (placca tettonica "Northern Apenninic Arc") con cinematismi attesi di sovrascorrimenti e meccanismi di fagliazione trascorrenti aventi assi SW-NE. Detta zona è contraddistinta da eventi sismici di magnitudo medio bassa (i terremoti storici hanno raggiunto il valore massimo pari a  $M_d = 4,1$ ); le zone ipocentrali si verificano generalmente a profondità comprese tra 8 e 12 Km con profondità efficace di 8 km. Nella Zona Sismogenetica 911 sono previsti, sulla base dei meccanismi focali, valori di massima magnitudo pari a  $M_{max} = 6,14$ .

### Analisi 3D della pericolosità sismica dell'Appennino Settentrionale

Sulla base dei nuovi dati acquisiti per la realizzazione della "Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna è stata proposta da Martelli et al. (2017) una nuova zonazione sismogenetica dell'appennino emiliano romagnolo e aree limitrofe al fine di fornire un contributo per l'aggiornamento della mappa di pericolosità sismica nazionale. Trattasi di proposta basata su una revisione della ZS9, anche sulla base dei numerosi dati strumentali acquisiti non disponibili al momento della redazione della la mappa di pericolosità sismica nazionale MPS04 (<http://zonesismiche.mi.ingv.it/>; Gruppo di lavoro MPS, 2004; Stucchi et al., 2011), basata appunto sulla zonazione sismogenetica ZS9.

Tale zonazione restituisce zone meno ampie, per ognuna delle quali è però indicato un meccanismo prevalente di fagliazione. Secondo tale zonazione, il territorio del comune di Rottofreno si colloca nella zona 28 caratterizzata da terremoti di tipo compressivo.

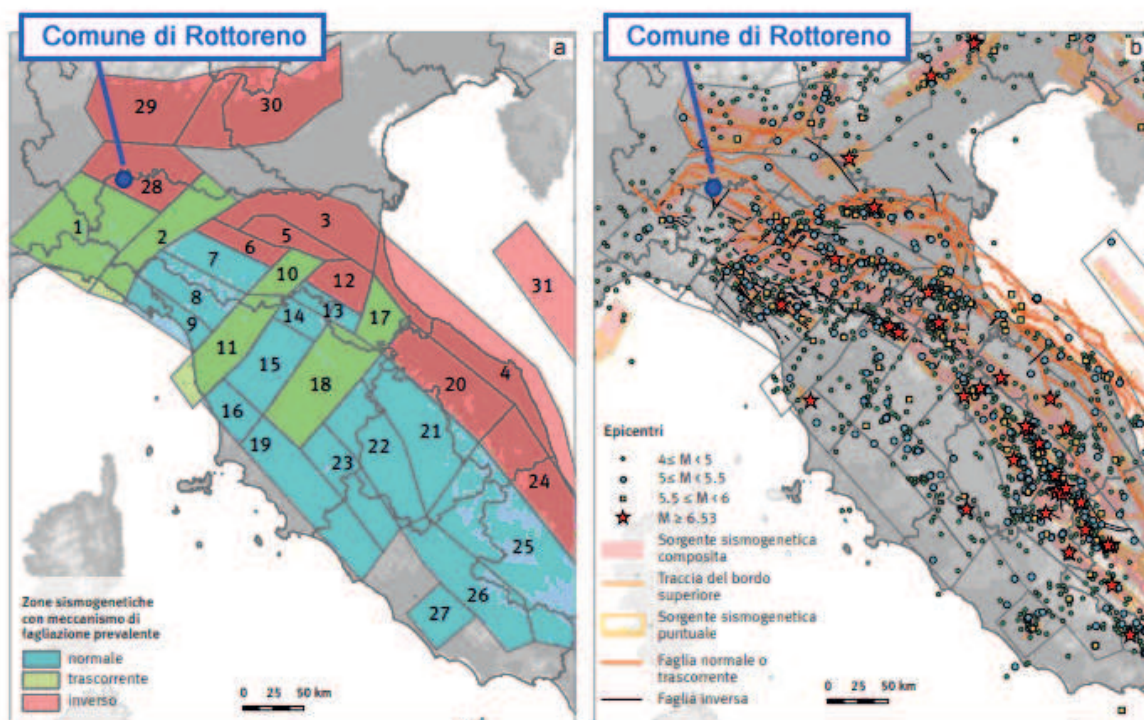


Fig. n°4: La proposta di nuova zonazione sismogenetica per l'Appennino settentrionale e la Pianura Padana centrale e orientale; b) dati di riferimento (da Martelli et al., 2017a)

Come descritto nel lavoro trattasi di "zona che comprende i fronti compressivi più occidentali delle Pieghe Emiliane e del margine appenninico-padano, dove sono state riconosciute anche strutture trascorrenti; la direzione di compressione (assi P) è comunque circa N-S. Le strutture principali immergono verso sud di 45°; la profondità degli ipocentri è variabile tra 5 e 30 km. La magnitudo storica massima è M=5,5 La parte settentrionale di questa zona non era compresa in nessuna zona ZS9, quella meridionale ricadeva in parte nel settore settentrionale della zona 911 della ZS9".

Di seguito è riportata uno stralcio della tabella 3.1 a corredo di detto studio che evidenzia le principali caratteristiche delle nuova zona 28 entro cui ricade il territorio comunale di Rottofreno e le principali differenze rispetto alla zona 911 della zonazione sismogenetica ZS9.

N.	Orientazione delle principali faglie attive	Geometrie principali (secondarie)	Profondità ipocentrale	M <sub>max</sub>	
				Oss.	Calc.
28	S/45	Inversa	5-30	5,5	5,86 +/- 0,46

Fig. n°5: Stralcio Tabella 3.1 principali caratteristiche delle nuove zone sismogeniche proposte per l'Appennino settentrionale: orientazione delle principali faglie attive; geometrie principali o secondarie delle faglie attive; profondità ipocentrale stimata; la magnitudo massima [oss. = massima osservata, calc. = massima calcolata (Kijko e Graham, 1998)].

Il confronto fra le due zone evidenzia una buona convergenza dei dati.

Nello studio vengono altresì specificatamente illustrate le caratteristiche dei fronti sepolti padani<sup>3</sup> entro i quali il territorio di Rottofreno ricade. Trattasi di "importanti sistemi di pieghe e thrust sepolti immergenti verso SSW-SW, che in carta mostrano una tipica forma ad arco, sono presenti nel sottosuolo della Pianura Padana, a nord del margine pede-appenninico (Pieri e Groppi, 1981; Barberi e Scandone, 1983). Queste strutture hanno controllato la deposizione di spesse successioni di sedimenti marini di età compresa tra il Messiniano e il Pleistocene inferiore che hanno riempito i bacini di piggyback oggi sepolti dai depositi continentali di età Pleistocene medio-Olocene del Po e dei suoi affluenti (Pieri e Groppi, 1981; Rossi et al., 2002). Queste dorsali sepolte (Pieghe Emiliane e Pieghe Ferraresi di Pieri e Groppi, 1981) sono i veri fronti della catena appenninica.

Secondo questa nuova proposta messa a confronto con le strutture attive e potenzialmente attive riconosciute, il comune di Rottofreno ricade in zona sismogenetica con meccanismi di rottura prevalentemente di tipo inverso.

<sup>3</sup> e adriatici

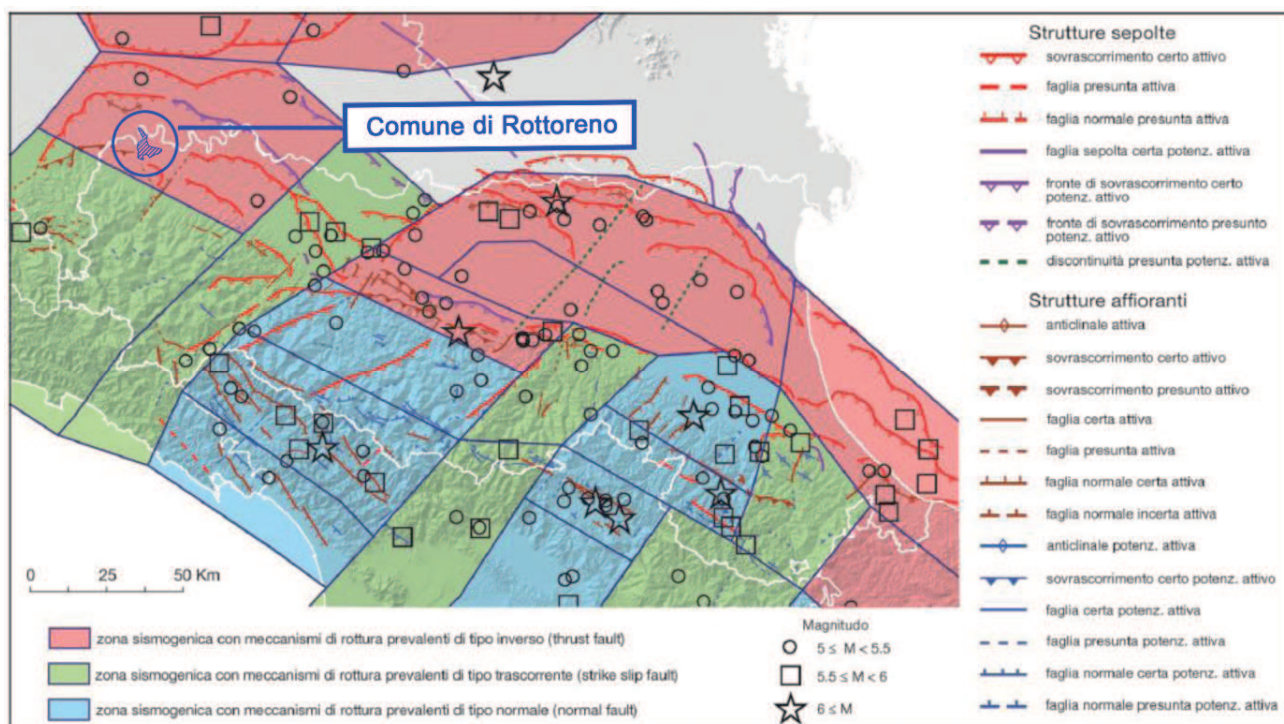


Fig. n°6: Mappa di confronto tra le strutture attive e potenzialmente attive riconosciute e la zonazione sismogenetica proposta da Martelli et al. (2017)

L'attività recente di questi fronti sepolti è manifestata dalla evidente deformazione dei depositi del Pleistocene medio-superiore (Boccaletti et al., 2004, 2011), così come dall'attività sismica che in carta mostra una distribuzione arcuata perfettamente corrispondente con la localizzazione delle dorsali sepolte. La sismicità è generalmente superficiale (profondità ipocentrale  $\leq 10$  km) e gli epicentri si concentrano in specifici settori, soprattutto lungo le Pieghe Ferraresi, che anche recentemente sono state interessate da sequenze sismiche importanti, quali quella di Reggio Emilia dell'ottobre 1996 e quella di Finale Emilia-Mirandola del maggio 2012 (ISIDe Working Group INGV, 2015) (Fig. 3.2). I precedenti terremoti della pianura emiliano-romagnola hanno una magnitudo macrosismica inferiore a  $M_w \approx 5,6$  (Rovida et al., 2011); la scossa principale della sequenza sismica del 2012, stimata  $M_w = 6,1$  (Pondrelli et al., 2012) è quindi l'evento più forte mai registrato in questo settore. immergenti a SW, con cinematica normale. Le profondità ipocentrali sono per lo più comprese tra 5 e 15 km; la magnitudo storica massima è  $M \approx 5,7$ , mentre quella massima stimata è  $6.12 \pm 0.38$ ".

La figura n°7 evidenzia la distribuzione delle sorgenti sismogenetiche contenute nel database più aggiornato e disponibile DISS 3.2.1 (Database of Individual Seismogenic Sources a cura dell'INGV), da cui si evidenzia come il territorio comunale lambisca (nell'intorno del lobo del meandro di Po - Boscone Cusani) una struttura sismogenetica denominata ITCS044 - Portalbera-Cremona.

Trattasi di una struttura che interessa una fascia di oltre 50 km di lunghezza e di 10 km di larghezza comprendente tutto il fronte avanzato delle strutture appenniniche sepolte, che si manifestano in superficie con il colle di San Colombano e i piccoli rilievi di Casalpusterlengo, e segna la cessazione

verso nord della sismogenesi appenninica. Il grado di scorrimento (slip rate) attribuitole è pari a circa 0,1 – 0,5 mm all'anno ed è ritenuta capace di generare terremoti di magnitudo pari a 5.5, con meccanismi di thrust ad una profondità compresa tra 2 e 7.

Recentemente è stata ipotizzata l'attività di una faglia (125 Fold San Colombano) circa coincidente con la dorsale del colle.

Questo fronte consiste in un sistema di faglie N-NE vergente posto all'estremità nord-occidentale della catena Nord Appenninica.

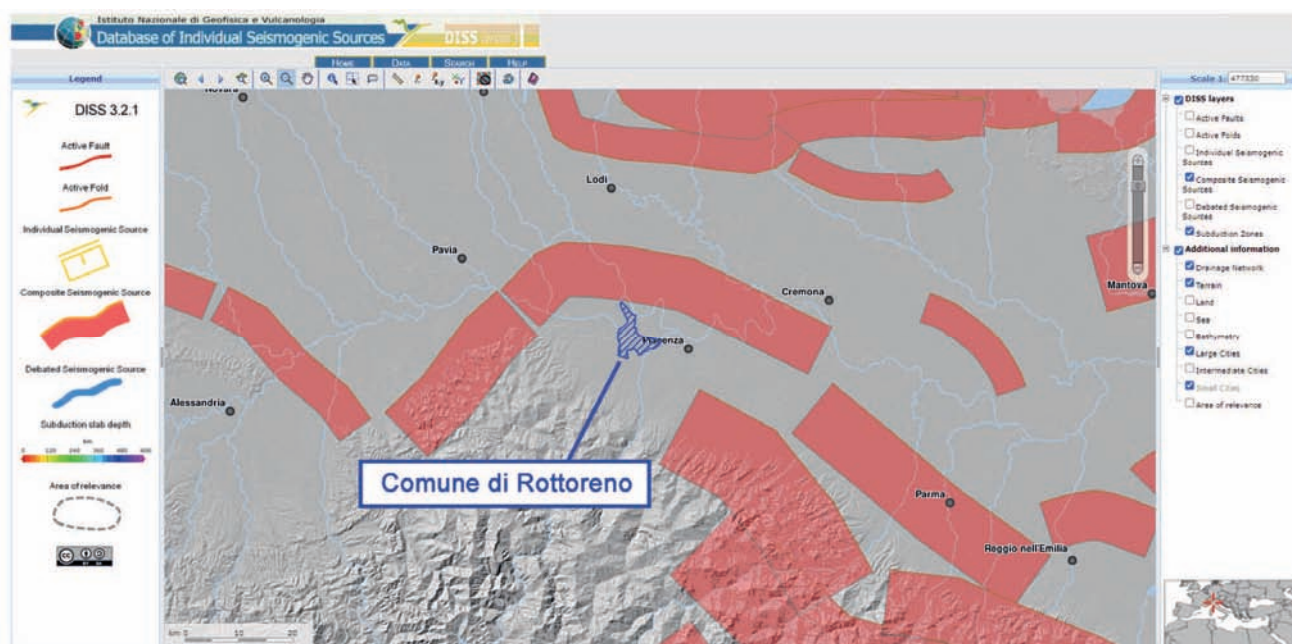


Fig. n°7: Stralcio Database of individual Seismogenic Sourced dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (Gruppo di lavoro DISS (2015). Database delle fonti di sismogenicità individuale (DISS), versione 3.2.1: compilazione di fonti potenziali per i terremoti più grandi di M 5.5 in Italia e nelle aree circostanti. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; DOI: 10.6092 / INGV.IT-DISS3.2.0)

La sintesi delle attuali conoscenze in termini di dati sismologici e degli elementi strutturali attivi è stata sintetizzata nella nuova Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna, presentata nel 2017 a cura del Servizio Sismico e dei Suoli regionale, di cui si riporta uno stralcio nella figura n°8.

In questo lavoro sono state identificate, sulla base di evidenze geologiche e morfologiche, le principali strutture attive che interessano l'Emilia-Romagna, la cui sintesi è riportata in figura 5.

Le strutture attive e potenzialmente attive sono state suddivise in:

- affioranti, ovvero che hanno deformato la superficie topografica o, in pianura, hanno deformato la parte più superficiale del sottosuolo, vale a dire fino a profondità inferiori di 100 m dal piano campagna;
- sepolte, ovvero che mostrano evidenze di attività recenti o in atto (es. associazione con eventi sismici) ma a carico di orizzonti stratigrafici profondi almeno alcune centinaia di metri e non arrivano a deformare i livelli superficiali del sottosuolo ( $\geq 100$  m da p.c.).

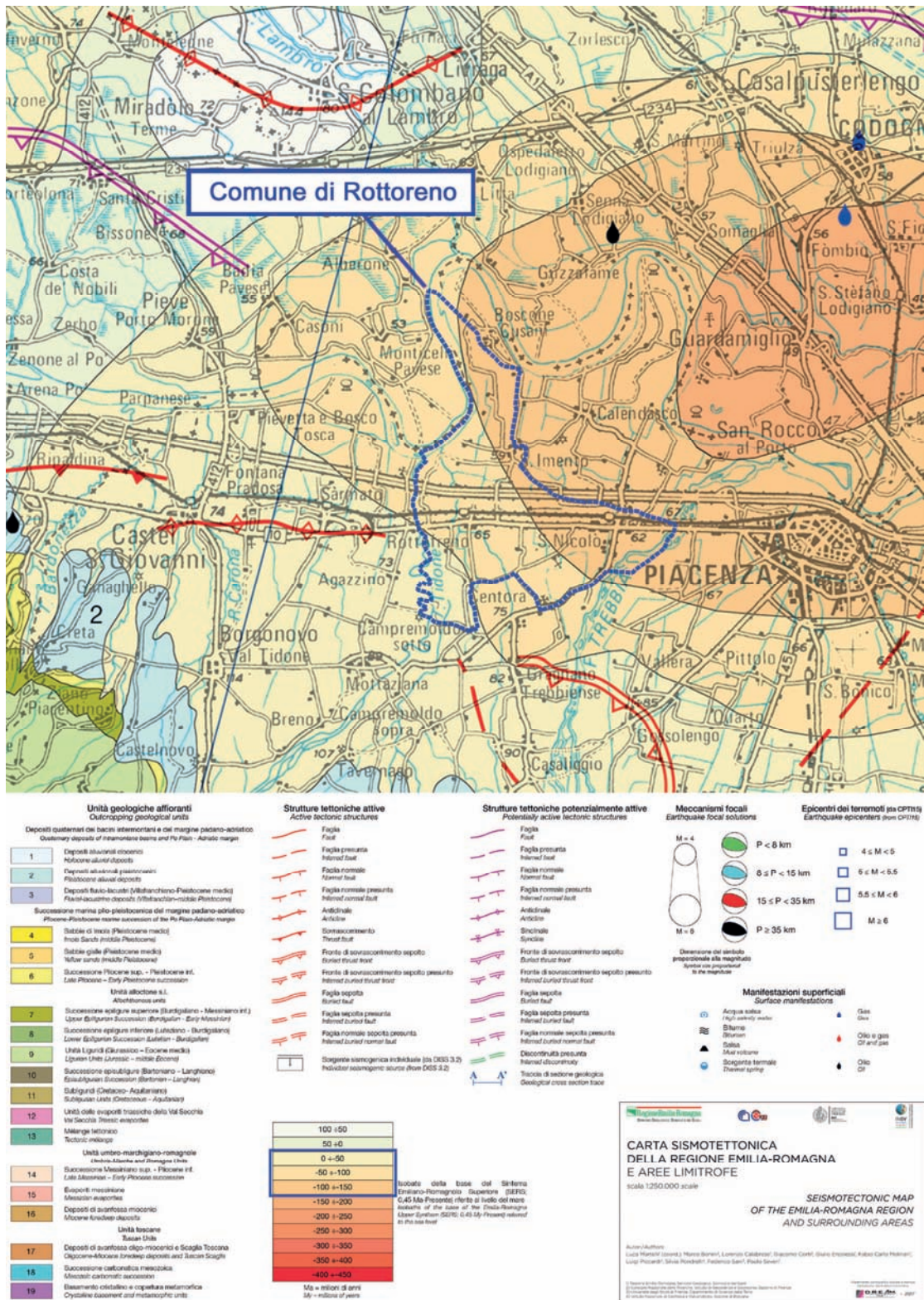


Fig. n°8: Stralcio carta Sismotettonica della RER a cura di Martelli L., Bonini M., Calabrese L., Corti G., Ercollesi G., Molinari F. C., Piccardi L., Pondrelli S., sani F., Severi S. 2017.

Il settore investigato ricade nell'ambito di pianura contraddistinto dai sovrascorrimenti profondi del fronte appenninico classificati attivi; negli affioramenti lungo il margine piacentino, non sono presenti chiare evidenze di deformazioni recenti; i depositi della successione del margine si presentano pressoché indeformati e si immergono blandamente sotto i depositi alluvionali padani.

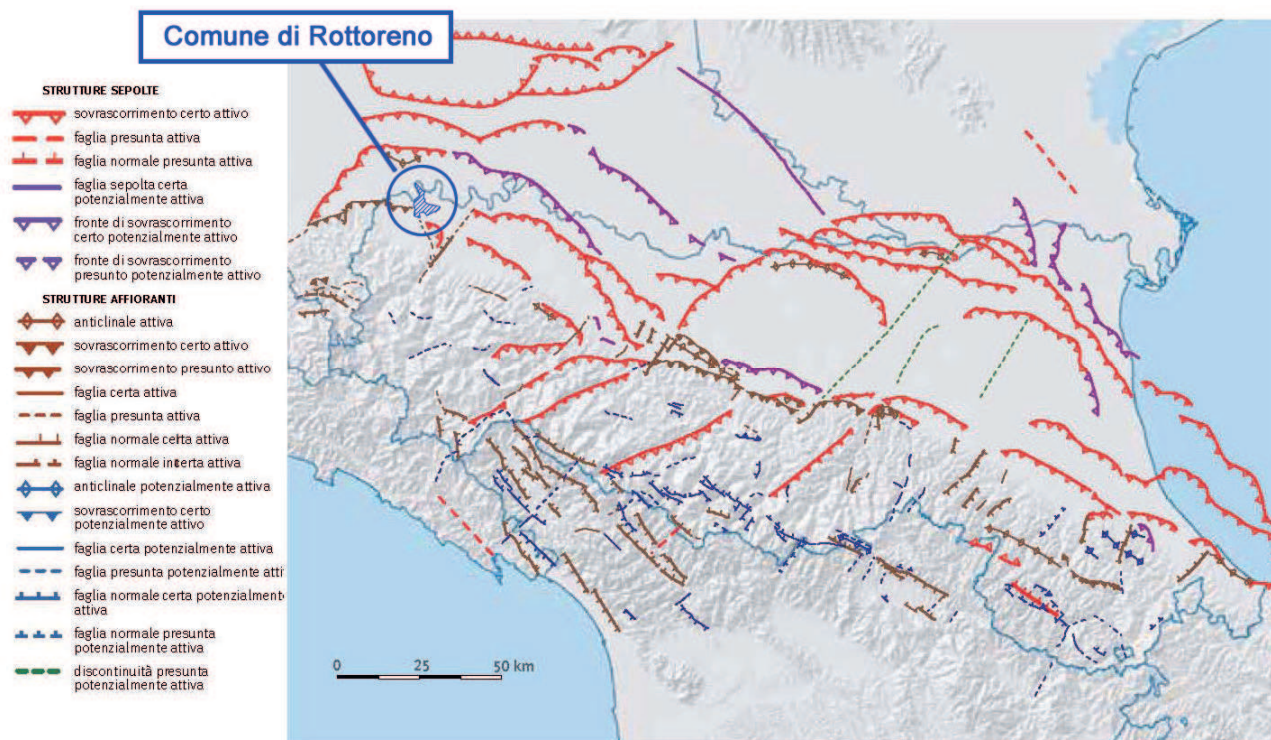


Fig. n°9: Sintesi regionale delle principali strutture attive e potenzialmente attive ( tratta da Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna - Servizio Geologico regionale - 2017)

Recenti approfondimenti del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli Regionale (vedi Note Illustrative della Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna ed aree limitrofe, a cura di Martelli et. al.) attraverso approfondimenti di carattere geologico- geomorfologico hanno riconosciuto evidenze dell'emergenza del thrust frontale pedeappenninico (PTF di Boccaletti et al., 1985), di cui sono stati interpretati su base topografica vari segmenti distinti, che nel tratto Voghera e Sarmato è costituito da quattro faglie (vedi Figura 6 estratta da estratto dallo studio citato).

L'interpretazione strutturale dei segmenti di faglia, con disposizione in step destri indica, secondo gli autori, una componente di traspressione destra sul sistema di faglie che materializza il fronte.

Passando ad analizzare i dati contenuti nella banca dati ITHACA (vedi stralcio cartografico sopra riportato) emerge come il territorio comunale sia parzialmente interessato da due faglie capaci<sup>4</sup>; trattasi di faglie, una lungo l'allineamento Santimento Pieve Porto Morone e l'altra Gragnanino Centora

<sup>4</sup> una faglia è definita capace quando ritenuta potenzialmente in grado di produrre, entro un intervallo di tempo di interesse per la società, una deformazione/dislocazione della superficie del terreno, e/o in prossimità di essa nell'intervallo "pleistocene superiore - presente"

(nella porzione meridionale del territorio comunale) generate da sovrascorrimenti pre tortoniani di cui non si hanno notizie in bibliografia di evidenze superficiali, né della loro ultima attività.

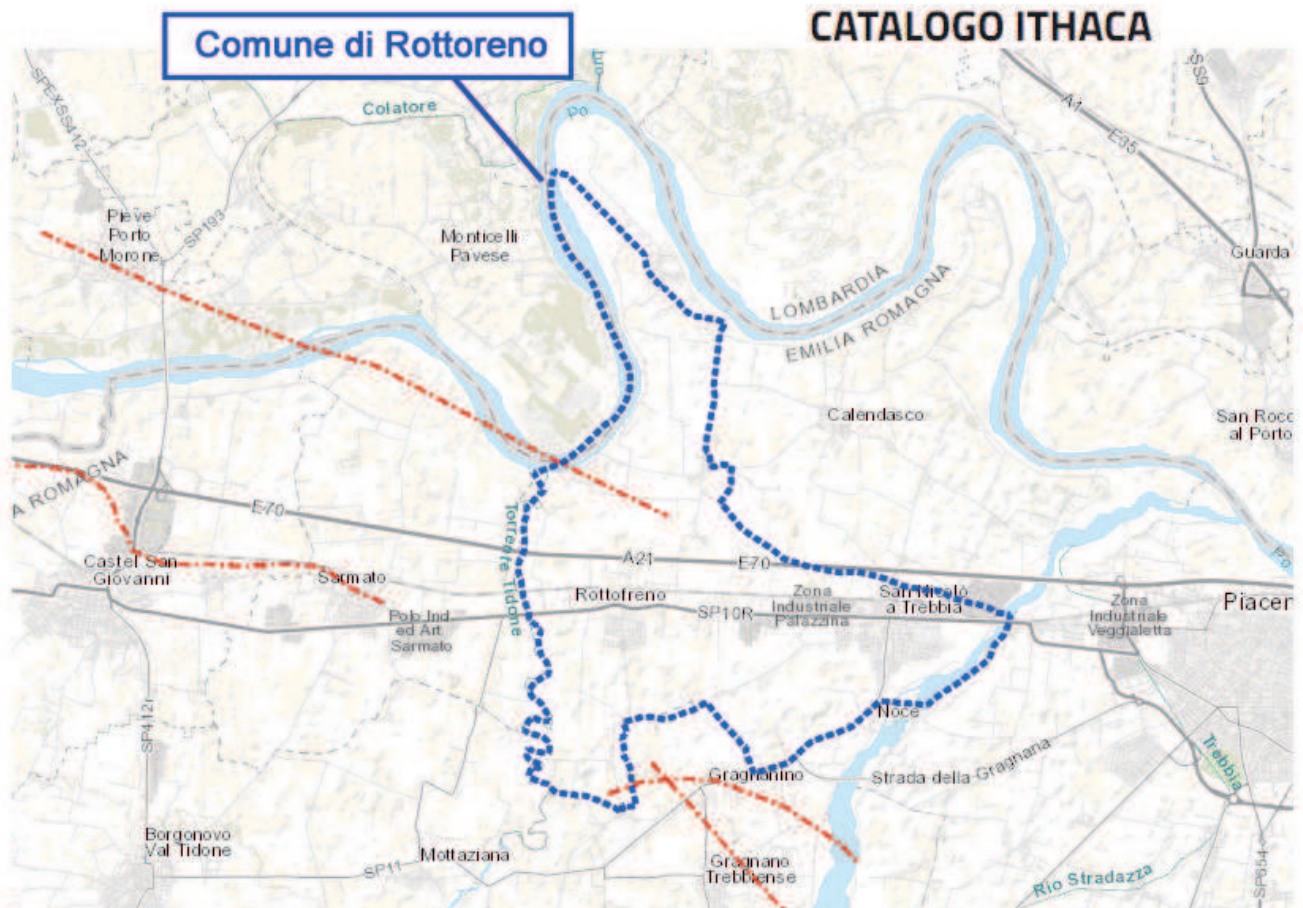


Figura n°10: Cartografia tratta da ISPRA Geological Survey of Italy. Web Portal <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/Mappatura.aspx> - database of active capable faults of the Italian territory Version December 2019 (ITHACA Working Group 2019)



### 3.3 Evoluzione della classificazione sismica del territorio del comune di Rottofreno

Nell'ambito della classificazione sismica dell'intero territorio nazionale emanata a partire dal 1909, il Comune di Rottofreno, come la gran parte dei territori della Regione Emilia Romagna, è stato classificato sismico solo a partire dal 2003 con l'approvazione dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/03/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zona sismica" suddivide il territorio nazionale in 4 zone con livelli decrescenti di pericolosità sismica in relazione a 4 differenti valori di accelerazione orizzontale (ag/g) d'ancoraggio dello spettro di risposta elastico e a 4 differenti valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (ag/g), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

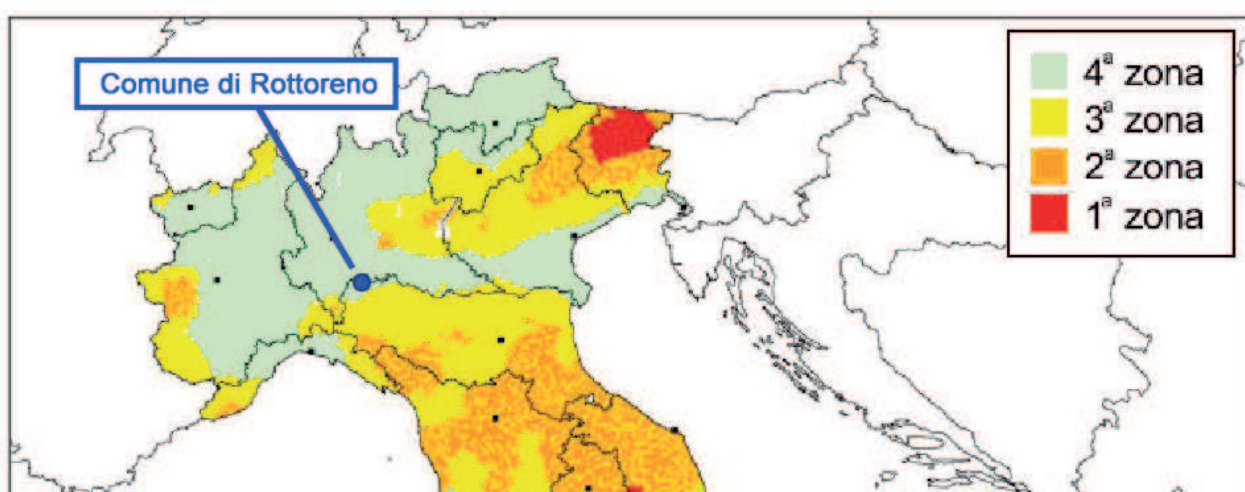


Fig. 11: Zone sismiche del territorio italiano (2003). Ordinanza PCM 3274 del 20/03/2003.

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

Fig. 12: Valori di PGA per le varie zone

Con Delibera 1435 del 21 luglio 2003 "Prime disposizioni di attuazione dell'ordinanza del PCM n. 3274/2003 recante "primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", la Regione Emilia Romagna sentiti le Province e i Comuni interessati, ha provveduto all'individuazione delle zone sismiche nonché alla formazione e all'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone, ribadendo sostanzialmente quanto riportato nell'OPCM 3274/2003 e classificando il territorio comunale in "zona 4".

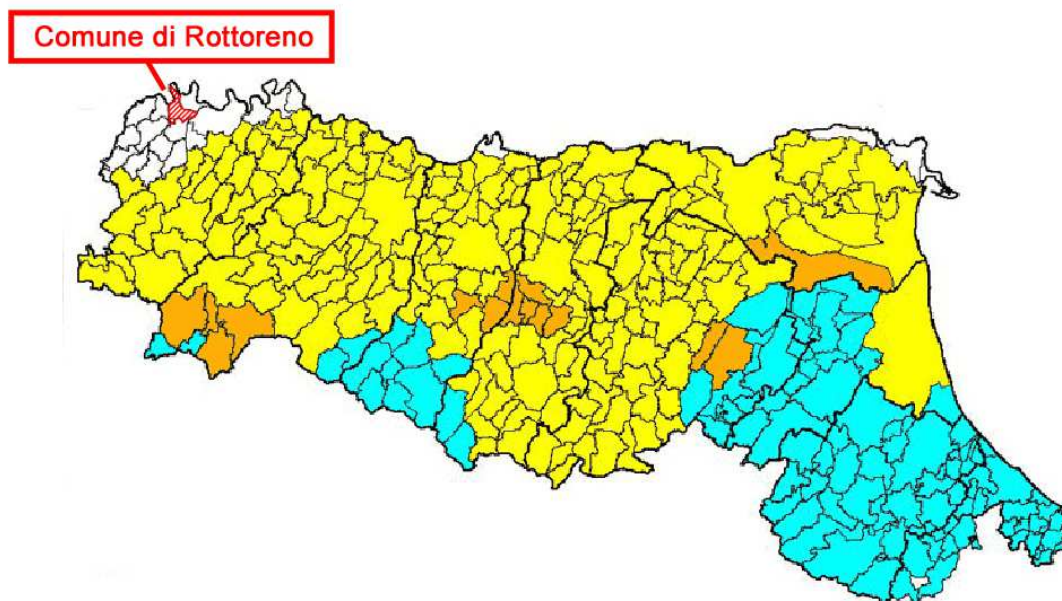


Fig. n°13: Le zone sismiche del territorio regionale a seguito dell'entrata in vigore della DGR 1435/2003

Con l'entrata in vigore della D.G.R. 1164/2018 il Comune di Rottofreno viene riclassificato in **zona 3** cioè a sismicità bassa, caratterizzata da valori di  $ag/g$  compresi di 0,05-0,15, dove "ag" è l'accelerazione di picco orizzontale al suolo con probabilità di superamento del 10% in 50 anni e "g" è l'accelerazione di gravità.

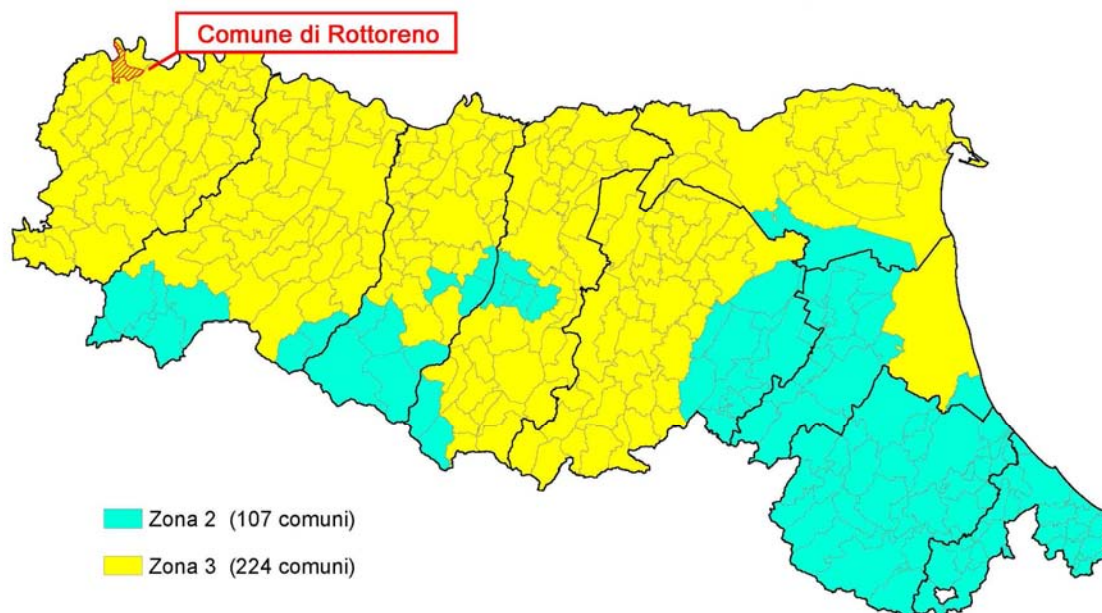


Fig. n°14: Le zone sismiche del territorio regionale a seguito dell'entrata in vigore della DGR 1164/2018

## 4 ASSETTO GEOLOGICO GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

### 4.1. Inquadramento geologico

L'assetto fisico del territorio del Comune di Rottofreno ha seguito le sorti della pianura padana e del fronte Appenninico settentrionale, nel corso della loro storia evolutiva.

Dal Cretaceo (circa 100 MA) fino ai giorni nostri la regione padana ed appenninica è stata soggetta ad alterne fasi di compressione e stasi tettoniche, instaurate dalle interazioni tra la placca africana e la placca euroasiatica e, più in dettaglio, dalla microplacca dell'Arco Appenninico Settentrionale e dalla microplacca Adriatica.

È a partire dall'Oligocene superiore che inizia la formazione della catena dell'Appennino settentrionale attraverso il meccanismo di sovrascorrimento della microplacca dell'Arco Appenninico Settentrionale a scapito della microplacca Adriatica e della sua copertura sedimentaria.

In particolare, nell'ambito di tale processo, si possono riconoscere due stadi compressivi principali:

- primo stadio compressivo: si sviluppa dall'Oligocene superiore al Pliocene inferiore, durante il quale è definita la strutturazione dell'arco dell'Appennino Settentrionale (stadio collisionale) e, in zona antistante (avanfossa padana), la delimitazione del bacino perisuturale padano – adriatico (Bally e Snelson 1980); all'inizio del Pliocene tale bacino costituiva un grande golfo invaso dalle acque marine (propaggine occidentale del Mare Adriatico), limitato a nord dalle Alpi, a sud-ovest dagli Appennini e a nord-est dalle Dinaridi (Catena montuosa della Jugoslavia);
- secondo stadio compressivo: si sviluppa a partire dal Pliocene medio (circa 5,0 MA) in poi coinvolgendo anche il margine meridionale del bacino perisuturale padano nel processo di strutturazione della catena appenninica (in senso geografico dal margine appenninico settentrionale fino a circa l'asse del Fiume Po); il processo deformativo del margine meridionale del bacino perisuturale si sviluppa attraverso la formazione di sovrascorrimenti, faglie, duplicazioni e pieghe, in parte sepolte dalle coperture alluvionali quaternarie e in parte evidenti lungo il margine morfologico appenninico settentrionale.

Nell'epoca quaternaria, successivamente al Pleistocene medio, la crescente estensione di terre emerse e soggette ad erosione consentì ai corsi d'acqua alpini ed appenninici di colmare di sedimenti il bacino padano conferendone l'attuale assetto e morfologia.

### **Assetto geologico – strutturale del margine meridionale del bacino perisuturale padano**

Il margine meridionale del bacino perisuturale padano è di tipo "complesso" (secondo Ricci Lucchi, 1986), perché interessato da sovrascorrimenti, faglie, duplicazioni, pieghe e bacini che si estendono da est ad ovest interessando per intero la pianura emiliana romagnola.

In particolare nel sottosuolo antistante il margine morfologico dell'Appennino settentrionale, dal Piemonte meridionale fino al limite orientale della Romagna, seguendo poi l'allineamento Appennini – Mare Adriatico, sono presenti, a livello delle formazioni mesozoiche e mio-plioceniche (sepolte quindi

da una più o meno spessa coltre alluvionale quaternaria), due serie principali di thrusts a sviluppo sequenziale frontale.

Essi costituiscono due sistemi di grandi pieghe asimmetriche con andamento anticlinalico, formatesi attraverso molteplici faglie inverse e sovrascorrimenti, immergenti verso sud/sud-ovest con inclinazioni comprese tra i 15° e i 30°, che racchiudono un bacino satellite ad esse parallelo.

In letteratura geologica queste zone di scollamento tettonico sono note come “External Thrust Front” (ETF), sull’allineamento di Cremona – Parma – Reggio Emilia – Correggio (RE) – Mirandola (MO) – Ferrara e Ravenna, e “Pedeapenninic Thrust Front” (PTF), lungo il margine morfologico dell’Appennino Settentrionale.

Da nord a sud il margine meridionale del bacino perisuturale padano è quindi caratterizzato dalle seguenti strutture:

1. External Thrust Front (ETF): alto strutturale frutto dell’involuppo delle rampe frontali dei thrust sepolti, che esprime la zona di confine tra la Monoclinale pedealpina<sup>1</sup>, che si apre in direzione nord a partire dal fronte settentrionale dell’alto strutturale medesimo, e la regione “Apennines” (microplacca dell’arco Appenninico settentrionale) a sud;
2. bacino minore o satellite: depressione racchiusa a nord dall’alto strutturale dell’ETF e a sud dalle strutture embricate del PTF; si estende in zona antistante al margine morfologico dell’Appennino emiliano romagnolo con allungamento in direzione ovest/nord-ovest ed est/sud-est, presentandosi con geometrie non costanti che esprimono settori strutturalmente svicolati tra loro in relazione all’andamento planimetrico delle strutture sepolte associate all’External Thrust Front” (ETF) e al Pedeapenninic Thrust Front (PTF);
3. Pedeapenninic Thrust Front (PTF); esprime la zona di confine tra il margine morfologico appenninico e il suddetto bacino satellite.

Il comune di Rottofreno si colloca tra il Pedeapenninic Thrust Front e la parte meridionale del bacino satellite.

Le suddette strutture sono l’espressione della collisione tettonica tra la microplacca dell’Arco Appenninico Settentrionale e la microplacca Adriatica. Le deformazioni formatesi e la parziale subduzione della microplacca adriatica sotto quella dell’Arco Appenninico Settentrionale sono causate dalle spinte nord-est vergenti, impresse dal movimento di convergenza tra la zolla africana ed europea a seguito dell’estensione dell’Oceano Atlantico (Livemore e Smith 1985).

L’External Thrust Front è suddiviso in tre margini planimetricamente arcuati, denominati da ovest verso est “Piemonte Folds”, “Emilia Folds” e “Ferrara Folds” (Fig. 2.2). A sud delle “Ferrara Folds”, si estendono altri sistemi di thrust, sempre associati al meccanismo di deformazione delle precedenti, noti come “Romagna Folds” e “Adriatico Folds”.

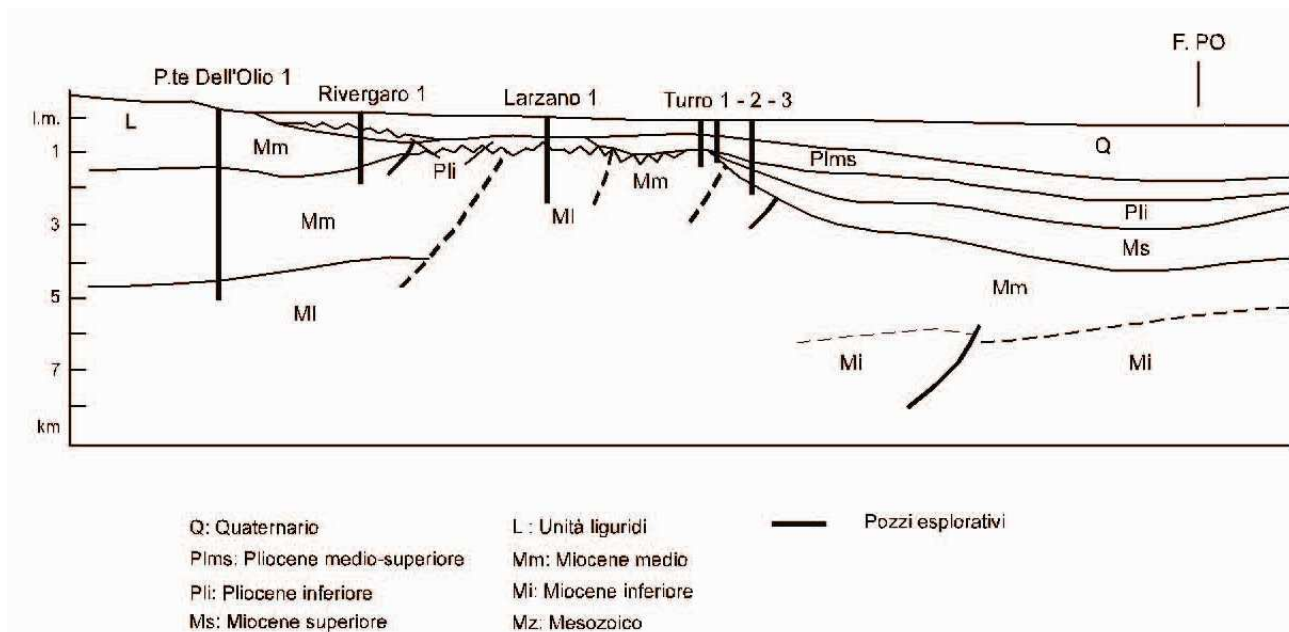


Fig. n°15: Sezione geologica del fronte di accavallamento pedeappenninico (PTF) e del fronte di accavallamento esterno (ETF); Pieri e Groppi (1981).

L'External Thrust Front è quindi caratterizzato da una serie di strutture ad arco, concave verso sud, che si raccordano in due zone di incrocio (Pavia e Reggio Emilia), dove il fronte appare notevolmente arretrato. Questo assetto strutturale è probabilmente dovuto alla presenza, nella crosta superiore padana, di zone con maggiore rigidità che hanno impedito lo scollamento delle successioni mesozoiche e terziarie dal basamento sottostante, bloccando in tal modo la traslazione verso nord (Bernini e Papani, 1987).

Le principali cause sono imputabili alle manifestazioni magmatiche effusive, subvulcaniche ed epiplutoniche del Paleozoico, Trias medio e Terziario (in parte accertate nei pozzi profondi AGIP), verosimilmente responsabili delle maggiori anomalie magnetiche positive della Pianura Padana (Bolis et al., 1981).

Le anomalie risultano, infatti, in larga misura coincidenti con le porzioni più arretrate dell'External Thrust Front e delle zone di incrocio fra gli archi. In particolare l'anomalia presente a sud del Lago di Garda, estesa dal Mantovano fino alla pianura parmense e reggiana, corrisponde alla zona di incrocio tra "Emilia Folds" e "Ferrara Folds", mentre l'anomalia presente nella zona di Pavia, estesa nella pianura pavese e alessandrina, corrisponde alla zona di incrocio tra "Emilia Folds" e "Piemonte Folds". Il Pedeappenninic Thrust Front è invece costituito da un margine discontinuo, planimetricamente parallelo al limite morfologico dell'Appennino settentrionale, segmentato da faglie trasversali, coincidenti con alcuni dei principali corsi d'acqua (Stirone, Taro, Enza, ecc.). Si tratta di una serie di thrusts e duplicazioni crostali che hanno determinato il sollevamento e il basculamento dei depositi affioranti nella fascia pedeappenninica.

Le faglie trasversali al Pedepenninic Thrust Front sono inoltre all'origine della suddivisione dell'Appennino settentrionale in settori a differente comportamento tettonico, responsabili altresì della traslazione differenziale dei vari settori dell'Appennino settentrionale come appunto testimoniano le rientranze del margine appenninico tra il F. Taro e il T. Enza e tra i F. Panaro e il F. Reno.

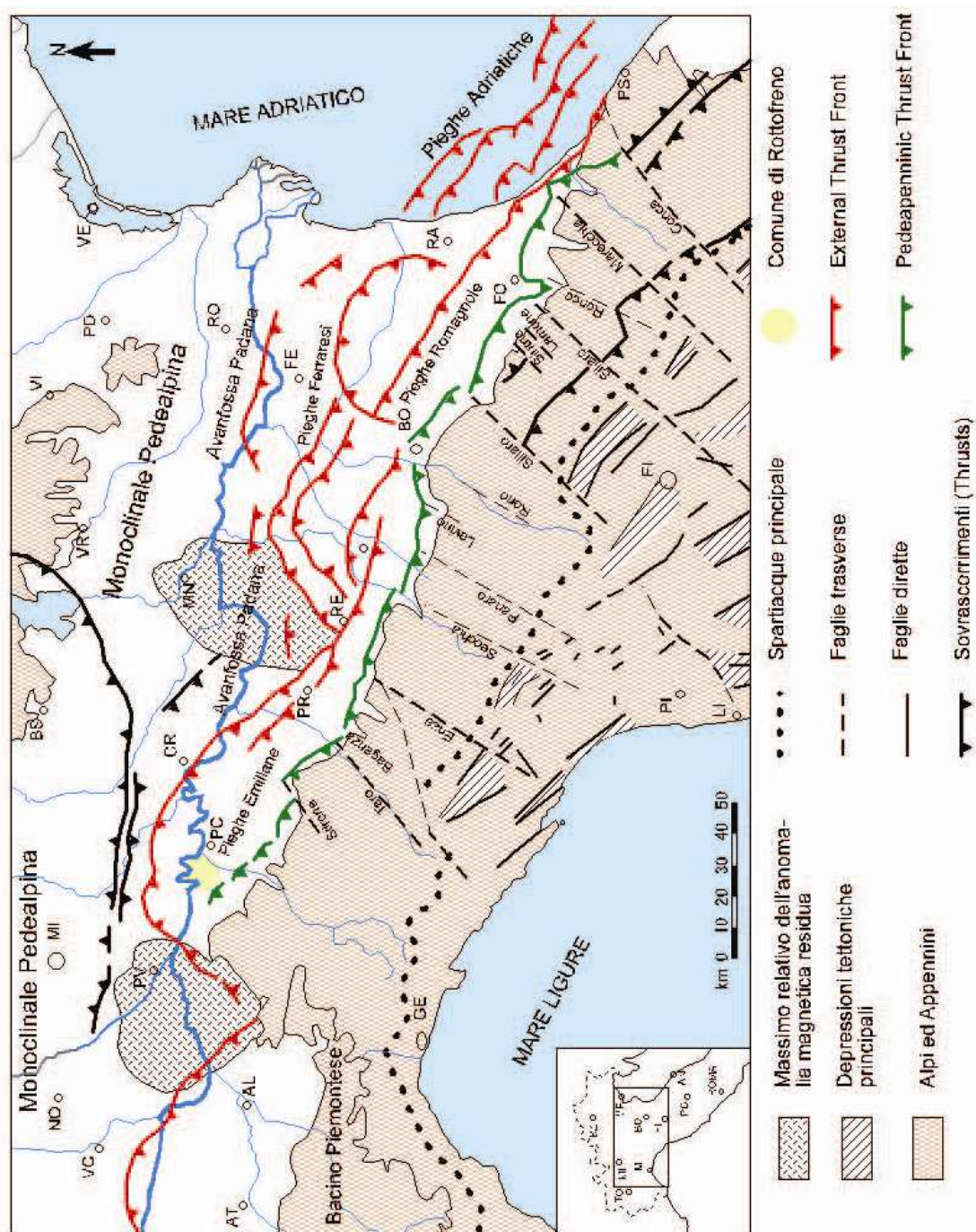


Fig. n°16: Struttura tettonica semplificata dell'Appennino settentrionale e dell'avanfossa padano - adriatica (AGIP 1983; modificato).

#### **4.2. Inquadramento geomorfologico**

L'attuale assetto geomorfologico del territorio comunale di Rottofreno è il risultato dell'effetto combinato di alterne vicende climatiche di varia intensità, lente deformazioni tettoniche ed interventi antropici, che si sono imposti negli ultimi millenni ed hanno direttamente interagito sulla rete idrografica.

Il territorio comunale ricade in parte nel settore di pianura pedemontana distale ed in parte nella fascia di meandreggiamento del F. Po, compresa ad ovest dal T. Tidone e ad est dal F. Trebbia. Il limite morfologico tra la pianura pedemontana e la fascia morfologica del F. Po è molto sfumato a seguito degli interventi antropici che hanno pesantemente condizionato la superficie del suolo.

La rappresentazione cartografica dell'assetto geomorfologico del territorio comunale di Rottofreno è riportata nella figura di seguito riportata tratta dal PSC vigente (TAV. G2 "Geomorfologia").

La pianura pedemontana, nell'ambito geografico in esame, è costituita dall'impalcatura della conoide alluvionale del F. Trebbia e di rango inferiore del T. Tidone e del T. Luretta.

Nella porzione settentrionale del territorio comunale si sviluppa invece l'unità morfologica comunemente definita "Fascia di meandreggiamento del Fiume Po", che comprende l'area tuttora di pertinenza del fiume (estesa dall'alveo ordinario agli argini artificiali) e quella di pianura che, pur essendo esterna agli argini, è stata modellata dal corso d'acqua medesimo. I depositi sono costituiti da spesse bancate di sabbie prevalenti e ghiaie, intedigitate da corpi lentiformi di argille e limi, in cui il rapporto tra materiali grossolani e fini risulta alto;

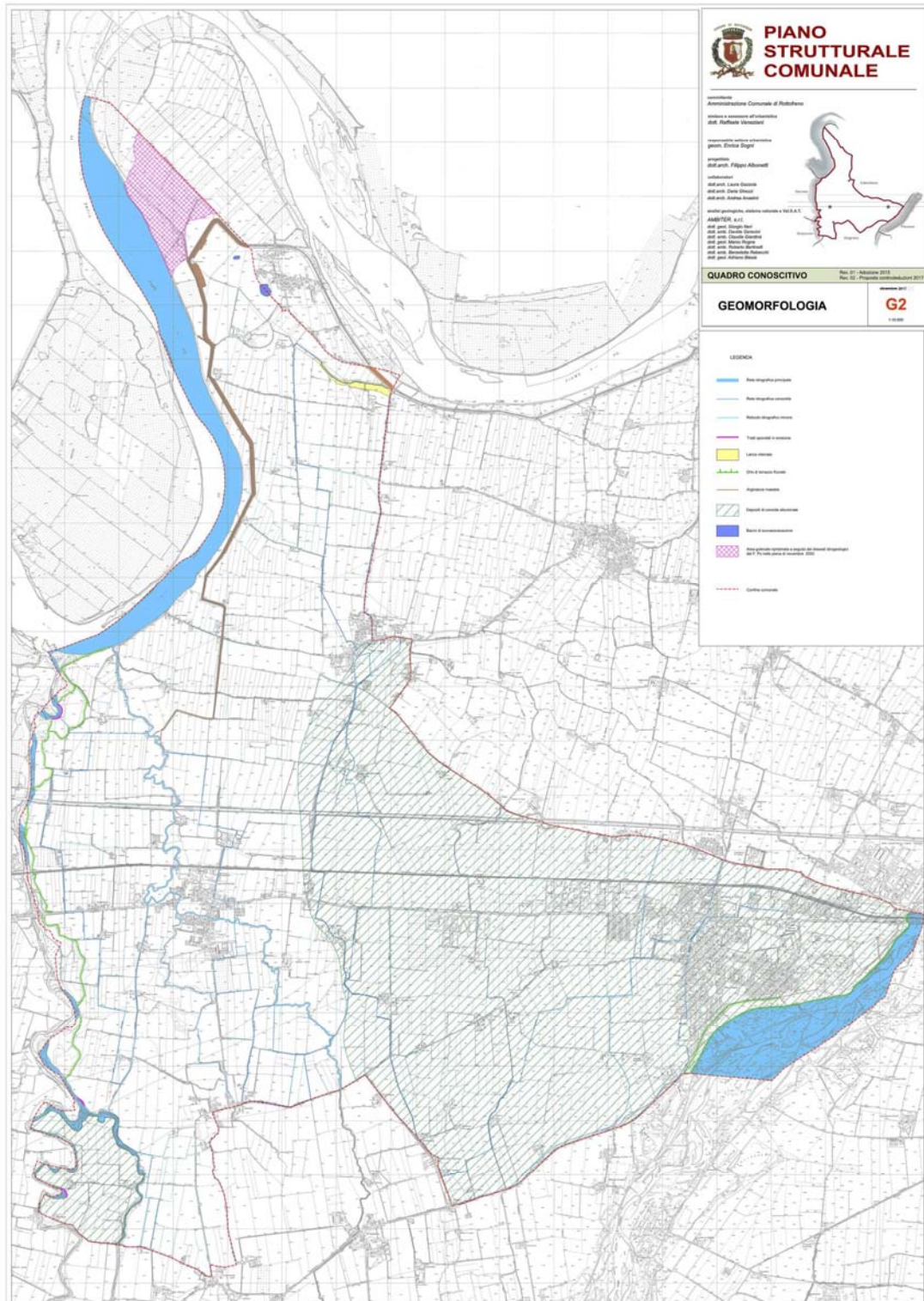


Fig. n°17: Stralcio TAV G2 a corredo del Quadro Conoscitivo del PSC



### 4.3. Inquadramento idrogeologico

La rappresentazione cartografica dell'andamento idrodinamico dell'acquifero superficiale, riportata nella Tavola G4 - Idrogeologia (vedi figura n°18) a corredo del PSC consente di definire le seguenti caratteristiche del territorio comunale:

- il regime idrico sotterraneo è tipicamente caratterizzato da falde freatiche e semi – confinate negli acquiferi superficiali e falde confinate in quelli profondi;
- l'asse principale di flusso della falda più superficiale è generalmente diretto verso Nord - Est, in accordo con l'orientamento della rete idrografica principale e del gradiente topografico. Ciò determina un andamento idrodinamico della superficie piezometrica piuttosto regolare, e di norma contraddistinto da una cadente subparallela al terrazzamento recente e medio - recente;
- le falde si attestano a quote comprese, all'incirca, tra i 45 e i 70 m s.l.m.;
- la falda è principalmente alimentata per filtrazione di subalveo e, secondariamente, per filtrazione da monte;
- le falde in questione sono ampiamente utilizzate a livello locale per uso irriguo e domestico, localmente anche a scopo acquedottistico.

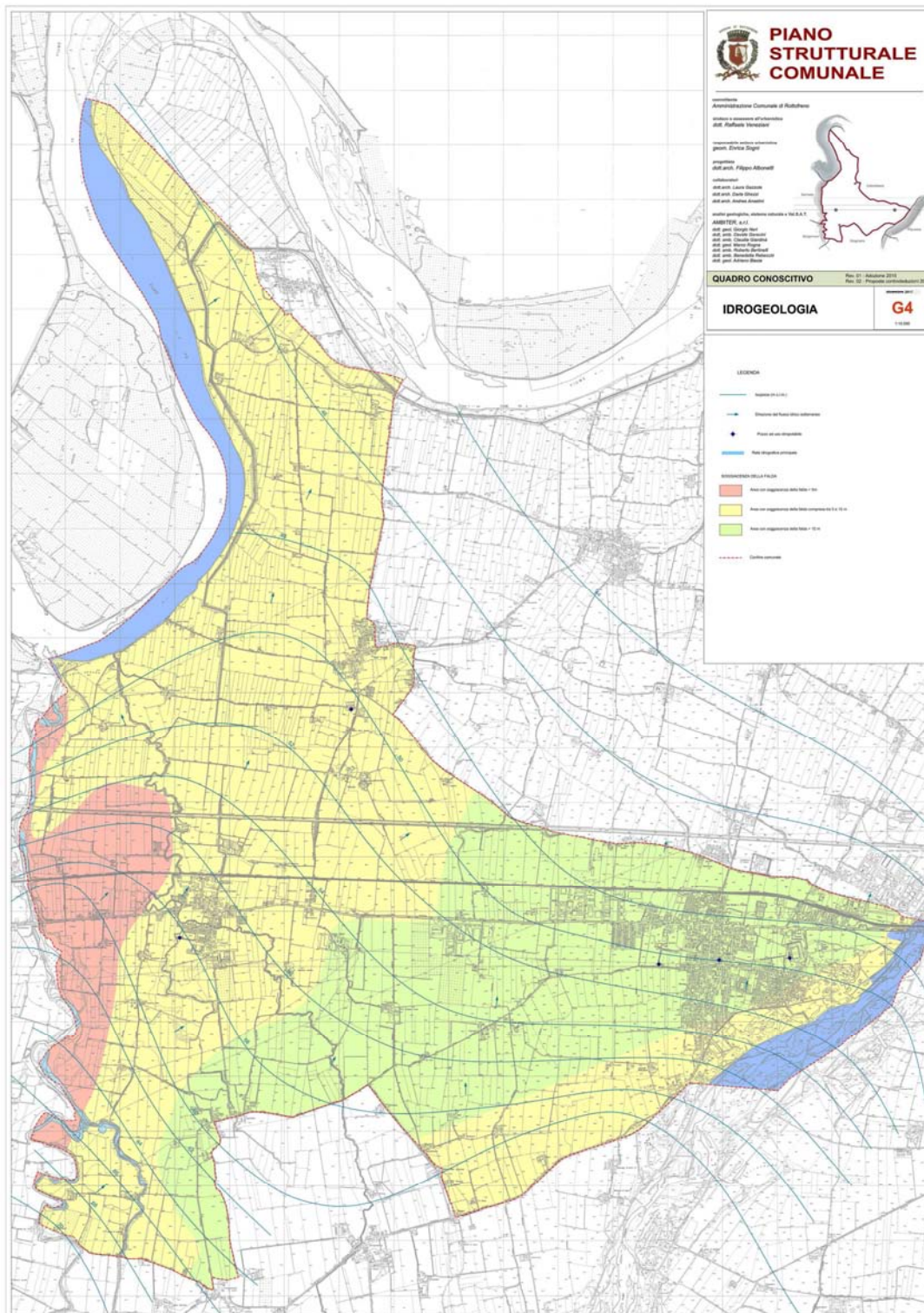


Fig. n° 18: Stralcio TAV G4 a corredo del Quadro Conoscitivo del PSC

## 5 DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

Per quanto riguarda le indagini geognostiche e geofisiche pregresse, è stata operata una ricerca presso l'Ufficio Tecnico comunale esaminando le documentazioni delle indagini geognostiche disponibili, che vanno ad aggiungersi alla Banca Dati Geognostica fornita dal Servizio Geologico Regionale.

Ad integrazione dei dati esistenti è stata progettata ed eseguita una specifica campagna di indagine comprendente :

- n° 20 misurazioni di rumore sismico a stazione singola distribuite nell'ambito del territorio urbanizzato e urbanizzabile.
- n° 20 prospezioni sismiche MASW finalizzate alla definizione dei profili di Vsh;
- n°1 prova CPT (in loc. Centora)

Le indagini sono state commissionate ed eseguite da Ambrogeo srl alla presenza dello scrivente che ne ha diretto l'esecuzione verificando le corrette modalità esecutive.

I dati a disposizione, rappresentati nella cartografia in scala 1:10.000 allegata (Tav. 1) risultano concentrati nelle aree urbanizzate del territorio comunale.

Tab. n°1: Le indagini geognostiche utilizzate per il presente studio

Tipologia	Dati disponibili	Indagini MS	Totale
Prove penetrometriche leggere	32	-	32
Prove penetrometriche pesanti	3	-	3
Prove penetrometriche super pesanti	16	-	16
Prove penetrometriche statiche CPT	37	1	38
Trincee	11	-	11
Sondaggi a carotaggio continuo	7	-	7
Sondaggio a distruzione di nucleo	5	-	5
Pozzi idrici	30	-	30
Prove MASW	16	20	36
Prove HVSR	15	20	35
Stendimento sismico a rifrazione	1	-	1

Le misure HVSR sono state condotte utilizzando un tromografo "ECHO TROMO-3" (Ambrogeo®) dotato di geofono tridirezionale frequenza propria 4,5Hz. L'acquisizione dati è avvenuta attraverso registrazioni della durata di 20 minuti e passo di campionamento pari a 157 Hz.

Attraverso dei velocimetri sono stati misurati i microtremori lungo strato lungo le direzioni N-S; EW; H-V. L'elaborazione del microtremore misurato, fornisce i rapporti spettrali HVSR o H/V (Nogoshi & Igarashi, 1970), risultando efficace per la stima delle frequenze fondamentali di risonanza  $f_r$  del sottosuolo  $f_r = V_s/4*H$  con H = spessore dello strato.

L'acquisizione dei dati dalla prova MASW utilizzando sismografo Echo 24 (Ambrogeo®) è stata eseguita tramite l'utilizzo di un sismografo 24 canali collegato a geofoni aventi frequenza propria di

4.5 Hz; gli stendimenti sono stati realizzati di lunghezza pari a 46 m con spaziatura 2m tra i 24 geofoni e tempo di acquisizione pari a 1 secondo.

Il metodo MASW consente di ottenere una curva di dispersione delle onde di Rayleigh nel range di frequenza compreso tra 10 e 40 Hz. Tramite un processo di inversione iterativo e possibile risalire, a partire dalla curva di dispersione di sito, al profilo verticale delle velocità delle onde di taglio Vs.

Le indagini geofisiche effettuate, oltre a quelle di repertorio disponibili per questo lavoro permettono un ulteriore raffinamento delle conoscenze di sottosuolo comunale, consentendo in primo luogo l'elaborazione della microzonazione semplificata.

Tutte le indagini sono state trasformate in formato digitale con modalità georiferita, al fine di consentirne l'elaborazione in ambiente GIS. A tal proposito sia i dati di base, che i dati elaborati sono stati organizzati in formato vettoriale (shapefile).

Tab. n°2: Le prove MASW

Sigla	Località	Tipologia indagine	V <sub>sh</sub>	VS <sub>30</sub>	Velocità onde di taglio
033039L1MASW1	S.Nicolò	MASW	VS17	-	461
033039L2MASW2	Redinini	MASW	-	VS30	231
033039L3MASW3	Rottofreno	MASW	-	VS30	310
033039L4MASW4	C.Santo nuovo	MASW	-	VS30	244
033039L6MASW5	Cattagnina	MASW	VS5	VS30	167
033039L7MASW6	Rottofreno	MASW	-	VS30	294
033039L8MASW7	S.Nicolò	MASW	VS3.5	-	291
033039L9MASW8	S.Nicolò	MASW	VS2.1	-	314
033039L10MASW9	S.Nicolò	MASW	VS2.7	-	196
033039L11MASW10	S.Nicolò	MASW	VS10	-	177
033039L12MASW11	Lampugnana	MASW	VS2.8	-	164
033039L13MASW12	Lampugnana	MASW	-	VS30	395
033039L15MASW14	Rottofreno	MASW	-	VS30	237
033039L16MASW15	Santimento	MASW	-	VS30	317
033039L17MASW16	Lampugnana	MASW	VS12.9	-	218
033039L18MASW17	S.Nicolò	MASW	VS3.1	-	235
033039L19MASW18	S.Nicolò	MASW	VS6.5	-	246
033039L20MASW19	Bonina	MASW	VS13.9	-	321
033039L21MASW20	Bonina	MASW	VS1.8	-	200
033039L22MASW21	Cattagnina	MASW	VS1.8	-	211
033039L23MASW22	Tempio di sopra	MASW	VS4.1	-	275
033039L24MASW23	A21	MASW	-	VS30	387
033039L25MASW24	Ferrovia	MASW	VS6.5	-	276
033039L26MASW25	Cattagnina	MASW	VS6.3	-	297
033039L27MASW26	C.na Caserma	MASW	VS3.9	-	195
033039L28MASW27	Bastia	MASW	-	VS30	246
033039L29MASW28	Molinasso	MASW	-	VS30	261
033039L30MASW29	Castello	MASW	-	VS30	269
033039L31MASW30	A21	MASW	-	VS30	249
033039L32MASW31	Rottofreno	MASW	-	VS30	276

033039L33MASW32	C.Santo nuovo	MASW	-	VS30	287
033039L34MASW33	Colombarola	MASW	-	VS30	222
033039L35MASW34	Redinini	MASW	-	VS30	227
033039L36MASW35	A21	MASW	-	VS30	229
033039L37MASW36	Santimento	MASW	-	VS30	282
033039L38MASW37	Centora	MASW	-	VS30	262

Nella tabella di seguito riportata sono riepilogati i risultati delle prove tomografiche, specificando, per ciascuna di esse, frequenza e ampiezza del picco principale oltre all'ubicazione e l'unità di appartenenza nelle Carte delle microzone omogenee in prospettiva sismica che saranno descritte in seguito.

Tab. n°3: I Valori dei picchi di frequenza da prove HVSR

Sigla	MOPS	Frequenza (Hz)	Ampiezza (H/V)	Affidabilità Picco sesame
033039P189HVSR218	2002	2.77	1.76	☑
033039P188HVSR217	2002	19.61	3.16	☑
033039P187HVSR216	2002	2.14	1.99	☑
033039P186HVSR215	2002	2.27	1.88	☑
033039P184HVSR213	2002	2.65	1.72	☑
033039P192HVSR221	2002	13.56	1.74	☑
033039P149HVSR171	2002	12.8	2.34	☑
033039P185HVSR214	2002	4.62	1.86	☑
033039P183HVSR212	2002	3.57	1.53	☑
033039P182HVSR211	2002	1.89	1.36	☑
033039P191HVSR220	2002	1.3	2.68	☑
033039P181HVSR210	2001	10.16	2.24	☑
033039P179HVSR208	2001	1.92	3.16	☑
033039P180HVSR209	2001	14.11	2.6	☑
033039P178HVSR207	2001	17.89	2.41	☑
033039P177HVSR206	2001	2.98	1.93	☑
033039P169HVSR197	2001	3.87	2.26	☑
033039P147HVSR169	2001	3.41	1.31	☑
033039P175HVSR204	2001	16.88	2.89	☑
033039P174HVSR203	2001	14.82	1.26	☑
033039P173HVSR202	2001	15.25	3.68	☑
033039P124HVSR142	2001	10.5	3.25	☑
033039P163HVSR188	2001	17.82	1.82	☑
033039P190HVSR219	2002	5.5	2.6	☑

## 6. ASSETTO STRATIGRAFICO DEL SOTTOSUOLO

L'edificio Appenninico e padano, come già affermato, nasce in un contesto tettonico a stile compressivo nel quale le spinte orogenetiche attive dal terziario basso fino ai giorni nostri, quasi esclusivamente in ambiente sottomarino, hanno comportato un notevole raccorciamento crostale.

Concettualmente il processo di strutturazione è sintetizzabile nella dislocazione e deformazione di potenti ammassi di rocce e terre, secondo un modello generale a falde di ricoprimento. Si tratta della sovrapposizione multipla (dall'inglese Thrusts) di sequenze sedimentarie ed ignee (in modo subordinato), staccatisi dal substrato oceanico di formazione e traslate e giustapposte verso nord est in rapporto all'azione delle spinte orogenetiche.

I depositi affioranti nell'area in esame sono stati assegnati dal Servizio Geologico Regionale al Dominio Padano Adriatico: si tratta di quella serie di unità cosiddette "*Neoautoctone*", ovvero sedimentati posteriormente alle principali fasi orogenetiche dell'Appennino Settentrionale; hanno carattere regressivo, con sabbie e peliti torbiditiche alla base, seguite da un prisma sedimentario fluvio-deltizio, progradante, ricoperto al tetto da depositi continentali; nei profili sismici si riconosce una sola direzione di progradazione nordest-vergente, originata dai sistemi deltizi ad alimentazione appenninica.

Le unità stratigrafiche del Dominio Padano Adriatico descritte nel presente studio rientrano nella classe delle Sequenze Deposizionali sensu Mitchum et Al. (1977).

Dal punto di vista gerarchico si distinguono 2 Sequenze Principali (Supersintemi, secondo la terminologia delle U.B.S.U.) denominate come segue:

Supersintema del Quaternario Marino, costituito da depositi di ambiente marino che può essere suddiviso in 3 cicli progradazionali (dal più antico al più recente):

- Alloformazione del Torrente Stirone (Qm1) – (Pliocene superiore - Pleistocene inferiore);
- Alloformazione di Costamezzana (Qm2) - (Pleistocene inferiore – medio);
- Allomembro del Quaternario Marino 3 (Qm3) - (Pleistocene medio).

Supersintema Emiliano-Romagnolo (AE), costituita da depositi di ambiente continentale suddivisibile in:

- Sintema Emiliano Romagnolo inferiore (AEI) - (Pleistocene medio);
- Sintema Emiliano Romagnolo superiore (AES) - (Pleistocene medio - Olocene)

Il territorio comunale di Rottofreno è caratterizzato esclusivamente dal Supersintema Emiliano Romagnolo (AE), che si estende dal piano campagna fino alla quota di 0 m s.l.m e -100 m s.l.m con spessori compresi tra 60 e 160 metri. I sedimenti sono caratterizzati da due direzioni di progradazione: la prima, assiale, est-vergente, originata dal Fiume Po; la seconda, trasversale, nordest-vergente, originata dai sistemi di alimentazione appenninica.

Sulla base delle direzioni di progradazione possono essere individuate le seguenti classi di sistemi deposizionali:

1. pianura pedemontana ad alimentazione appenninica che si estende dal margine morfologico dell'Appennino Settentrionale fino all'Autostrada Torino – Piacenza e poco oltre, lungo l'asse del F. Trebbia; un po' più arretrata fino all'altezza di Rottofreno in corrispondenza del T. Tidone;
2. pianura alluvionale ad alimentazione assiale (paleoPo) che caratterizza le aree rivierasche del Fiume Po per una fascia d'estensione di circa 1 – 2 km e poco oltre;

I suddetti sistemi deposizionali, in profondità si presentano interdigitati tra loro in relazione al tasso di apporto sedimentario, alle oscillazioni eustatiche del livello marino e alle fasi di attività e stasi tettonica, che nel corso del riempimento del bacino padano hanno determinato la continua variazione del depocentro bacinale.

Nell'area in esame del sistema Romagnolo superiore affiora solamente l'allomembro di Ravenna.

### **Allomembro di Ravenna AES8**

Unità del Pleistocene superiore – Olocene (post circa 20.000 anni B.P.) avente uno spessore massimo di circa 20 metri.

Nelle zone di conoide alluvionale l'Allomembro di Ravenna è costituito da depositi prevalentemente ghiaiosi, strutturati in spessi corpi a geometria cuneiforme e organizzati in cicli elementari a base grossolana e tetto fine, nelle zone d'interconoide è costituito principalmente da alluvioni sabbiose e limo-argillose solcate localmente da canali di ghiaie e, infine, nella piana di meandreggiamento del Fiume Po da sabbie prevalenti con locali intercalazioni di ghiaia.

Su base morfologica, archeologica e pedostratigrafica viene distinta la parte più recente e superficiale dell'Allomembro di Ravenna denominata Unità di Modena:

- L'Unità di Modena **AES8a** (Olocene; post IV-VII sec. d.C.). Nelle zone di conoide alluvionale l'unità Modena caratterizza i depositi terrazzati più bassi, e quindi più recenti, che bordano i principali corsi d'acqua. E' costituita da una successione prevalentemente ghiaiosa, con intercalazioni sabbiose, a giacitura suborizzontale e geometria lenticolare ricoperte da una coltre limoso-argillosa discontinua. Lo spessore massimo dell'unità è di alcuni metri.

## **7 INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE**

La caratterizzazione sismica del territorio comunale di Rottofreno ha presentato una discreta uniformità dei risultati delle prove geofisiche di archivio e di nuova esecuzione.

E' noto però che l'interpretazione delle indagini geofisiche risulti condizionata da un grado di soggettività, che, in alcuni casi, in riferimento all'utilizzo delle indagini di archivio, non consente una precisa correlazione tra prove eseguite da tecnici diversi.

Per quanto riguarda i dati stratigrafici derivanti dalle schede dei pozzi idrici perforati risultano notoriamente non accurati, sia per la modalità di perforazione impiegata (generalmente si tratta di perforazioni a distruzione di nucleo) sia per l'interpretazione spesso sommaria dei dati di perforazione, in particolare dei limiti degli orizzonti stratigrafici e delle caratteristiche granulometriche dei sedimenti.

I risultati della modellazione effettuata per il presente studio non devono quindi essere considerati come valori assoluti, ma solo come indicatori della possibilità che si manifestino fenomeni di amplificazione di tipo stratigrafico in tutto il territorio comunale.

Le informazioni sulla soggiacenza della falda sono relative ad una campagna di misura antecedente all'anno 2017 che ha consentito di redigere l'allegato G4 "Idrogeologia" a corredo del PSC (Ambiter srl) e risentono del numero di pozzi in osservazione. Per tale motivo è opportuno considerare che il limite stabilito con tecniche di overlay tra i diversi livelli informativi sia puramente indicativo, poiché andrebbero considerati gli scostamenti connessi alle oscillazioni della falda (compreso il più recente abbassamento registrato nel territorio provinciale).

L'assetto stratigrafico relativo a ciascuna microzona definita nella Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica tiene conto delle successioni deposizionali prevalenti ottenute dalle osservazioni di superficie, dai rilievi, dalla cartografia e dai dati stratimetrici a disposizione; pertanto, in funzione della densità delle indagini e della variabilità intrinseca degli ambienti deposizionali continentali, non possono essere esclusi scostamenti rispetto alle sequenze sedimentarie tipo.

A valle di quanto discusso emerge chiaramente come ogni futuro intervento si intenda avviare sul territorio, sia esso la realizzazione di una nuova opera o una migliona di una esistente, questo necessiti di adeguati studi conoscitivi di tipo geologico e geofisico, supportati da rilievi di terreno capaci di descrivere dettagliatamente le caratteristiche di suolo e sottosuolo.



## 8 ELABORATI GRAFICI

Nella prima fase di lavoro, relativamente agli areali da sottoporre allo studio di Microzonazione Sismica, ovvero il territorio urbanizzato ed urbanizzabile, sono stati acquisiti dati bibliografici e di archivio, sono stati condotti rilievi sul territorio ed è stata analizzata la cartografia geologica e geomorfologica disponibile.

Successivamente è stata eseguita una campagna di indagini sismiche, ai fini della definizione delle frequenze fondamentali dei terreni e dell'integrazione dei dati dei profili di Vs disponibili.

Gli elaborati prodotti in questa prima fase sono costituiti da:

**Carta delle indagini:** in tale cartografia sono riportate le indagini pregresse e quelle di nuova esecuzione, classificandole in base alla tipologia; La raccolta delle indagini disponibili è stata effettuata attingendo dagli archivi del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna (SGSS), dall'archivio dell'Ufficio tecnico del Comune di Rottofreno e da indagini disponibili presso lo studio dello scrivente dott. Filippo Lusignani; come già accennato in premessa per il presente studio è stata eseguita una campagna d'indagine integrativa che ha visto l'esecuzione di n. 20 prove MASW, n. 20 analisi dei microtremori HVSR e n. 1 prova penetrometrica dinamica. Le indagini sono rappresentate, in forma simbolica per tipologia, seguendo lo schema della Figura 1.1.1-1 della Legenda della Carta delle indagini del Documento "Microzonazione sismica Standard di rappresentazione e archiviazione informatica". Versione 4.2".

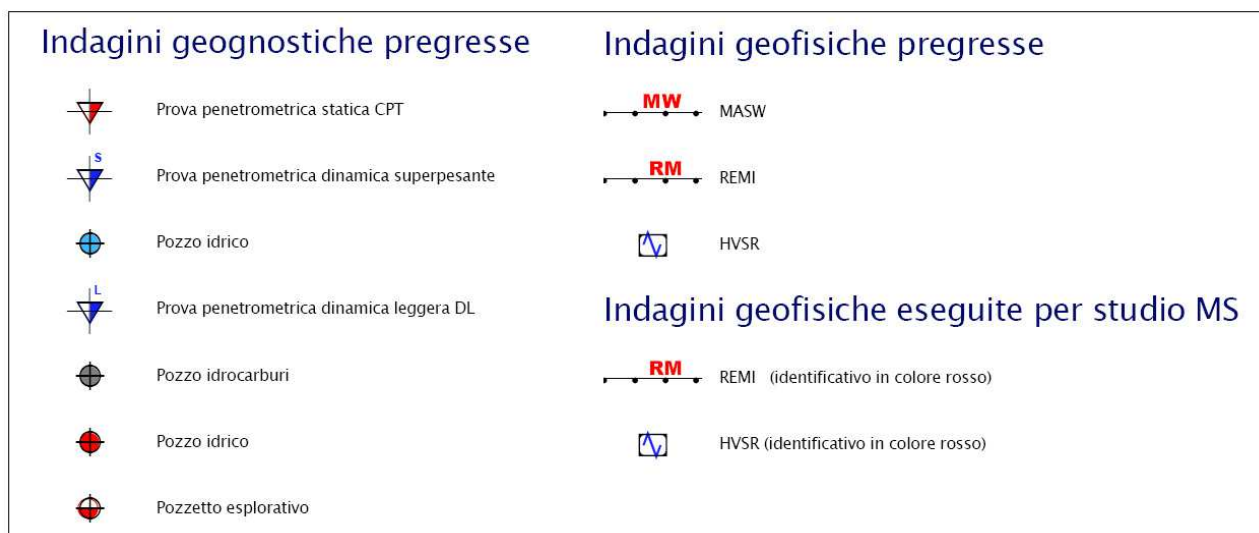


Figura n°18: La legenda utilizzata nella carta delle indagini

**Carta geologico-tecnica:** Nella Carta geologico-tecnica sono state riportate le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche, geotecniche e idrogeologiche) derivate da sopralluoghi in campo, elaborati esistenti a corredo del PSC, da indagini geognostiche pregresse e da quelle eseguite appositamente per il presente studio. Questi dati hanno consentito di definire il

modello di sottosuolo e sono risultate funzionali alla realizzazione delle Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica.

Nella Carta geologico tecnica, in riferimento agli Standard di Rappresentazione ed Archiviazione Informatica per gli studi di microzonazione sismica, sono state distinte, sulla base delle caratteristiche tessiturali, le seguenti unità di terreni di copertura:

- **GW** Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaie e sabbie rappresentate dai depositi delle alluvioni di conoide del F. Trebbia
- **GM** Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo : depositi della piana alluvionale del corso del T. Nure che occupano il settore occidentale del territorio comunale.
- **SC** Sabbie argillose, miscela di sabbia e argilla depositi di interconoide di alimentazione appenninica Si (interdigitazione dei depositi di conoide distale del T. Tidone e del F. Trebbia).
- **SM** Sabbie limose, miscela di sabbia e limo: corrispondono ai depositi della piana di meandreaggiamento del Fiume Po appartengono alle zone di pertinenza fluviale del F. Po. La successione stratigrafica è costituita da livelli di sabbie, sabbie ghiaiose e sabbie limose amalgamati o con sottili intercalazioni di limi sabbiosi e/o limi argillosi di limitata continuità areale. I livelli sabbiosi prevalenti sono quasi sempre prossimi al piano campagna o comunque a ridotta profondità.

Sono stati altresì distinti gli ambienti genetico - deposizionali dei terreni di copertura secondo le seguenti classi:

- es – argini, barre, canali;
- pi – piana inondabile

In relazione alla classe tessiturale è stato altresì assegnato un valore in termini di consistenza/addensamento del litotipo.

**Carta delle frequenze naturali dei terreni:** Nella carta sono riportati i punti di misura (31), con associati i risultati delle singole prove. In particolare, sono stati indicati il valore  $F_0$  del picco significativo, corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale (frequenza principale) e, quando presente, di un secondo picco significativo (frequenza secondaria), meno evidente del primo ( $F_1$ ). Sono stati tralasciati i picchi con frequenze superiori ai 20 Hz, in quanto di scarso significato ai fini del presente studio.

Gli indirizzi tecnici contenuti nella DGR 2193/2015, per rendere graficamente più evidenti le variazioni in relazione alla posizione, di utilizzare colorazioni differenti per distinguere le prove a seconda della frequenza principale ottenuta, definendo le seguenti classi:

- $F_0 \leq 1$  Hz
- $1 \text{ Hz} < F_0 \leq 2$  Hz
- $2 \text{ Hz} < F_0 \leq 8$  Hz
- $F_0 > 8$  Hz

Inoltre, sono state utilizzate simbologie diverse a seconda che la prova sia caratterizzata, in corrispondenza della frequenza principale, dai seguenti intervalli del rapporto HVSR :

- $HVSR \geq 3$  elevato contrasto di impedenza
- $2 \leq HVSR < 3$  moderato contrasto di impedenza
- $1,5 \leq HVSR < 2$  basso contrasto di impedenza
- $1,5 \leq HVSR$  assenza di contrasto di impedenza

Tale carta riporta i punti di misura e i risultati di indagini di sismica passiva (misure HVSR); in particolare, sono stati indicati il valore  $F_0$  del picco significativo, corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale (frequenza principale) e, quando presente, di un secondo picco significativo (frequenza secondaria), meno evidente del primo ( $F_1$ ). In entrambi i casi sono stati presi in considerazione solo i picchi ricadenti nell'intervallo di frequenza 0,2÷20Hz;

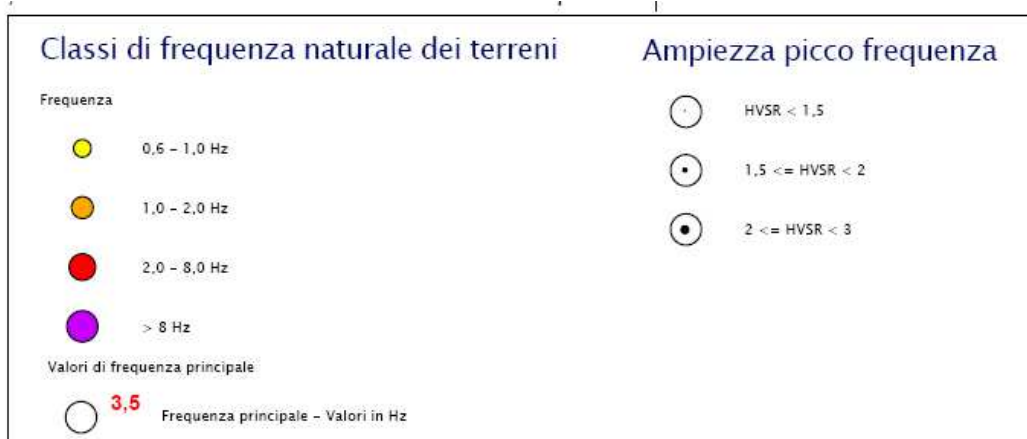


Figura n°19: La legenda utilizzata nella carta delle frequenze naturali dei terreni

**Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica:** La Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS), rappresenta il documento fondamentale del primo livello di approfondimento. In questa cartografia il territorio è di norma distinto a seconda dell'appartenenza ad una delle seguenti 3 categorie:

1. zone stabili. Si tratta di zone con affioramento di un substrato rigido e morfologia pianeggiante o poco acclive, nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura e in cui non sono richiesti ulteriori approfondimenti.

2. zone stabili suscettibili di amplificazioni locali. Si tratta di aree in cui sono attese amplificazioni del moto sismico, causate dall'assetto litostratigrafico e/o morfologico locale. In queste zone sono richiesti approfondimenti di secondo livello.

3. zone suscettibili di instabilità. Si tratta di zone nelle quali effetti sismici attesi e predominanti, oltre i fenomeni di amplificazione, sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio, quali instabilità di versante (frane attive e quiescenti), liquefazioni e densificazione. In queste zone sono richiesti approfondimenti di terzo livello.

Dalle analisi effettuate è emerso che in corrispondenza delle aree esaminate in Comune di Rottofreno, tutte le aree urbanizzate e urbanizzabili risultano appartenenti alla categoria 2 - zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, all'interno della quale sono state operate ulteriori distinzioni sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche. In particolare sono state identificate 2 microzone omogenee, ognuna con un proprio "profilo stratigrafico tipo" riferito ai primi 30/40 m di sottosuolo:

### 2001

Depositi prevalentemente ghiaiosi in matrice limo sabbiosa, dello spessore di oltre 30/40 m e coperture polittessurali di spessore variabile compreso fra 2 e 5m; substrato non rigido caratterizzato da  $V_S < 800$  m/sec.

### 2002

Alternanze plurimetriche di ghiaie, sabbie, argille e argille limose dello spessore di oltre 30/40 m e coperture polittessurali di spessore variabile compreso fra 2 e 18m; substrato non rigido caratterizzato da  $V_S < 800$  m/sec.

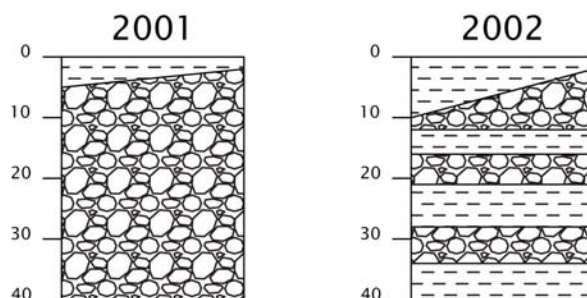


Fig. n°20: Le colonne litostratigrafiche stratigrafiche sintetiche rappresentative delle microzone identificate

### Carta delle velocità delle onde di taglio S:

In ottemperanza ai riferimenti tecnici citati nelle premesse, è stata redatta una Carta delle velocità delle onde di taglio S ( $V_S$ ) avente per oggetto le aree da microzonare. In tale elaborato sono ubicati i punti di misura con indicazione, per ognuno, del valore di  $V_{SH}$  (m/s) e  $H$  (m), inteso come lo spessore totale dei terreni di copertura o profondità del tetto del substrato rigido nelle aree in cui  $H$  non supera i 30 m, o di  $V_{S30}$  (in m/s) nelle aree di pianura dove  $H$  è maggiore di 30.

$$V_{SH} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{V_{S_i}}}$$

$H$  = spessore totale (in metri) dei terreni di copertura o profondità del *bedrock*  
 $h_i$  = spessore (in metri) dello strato *i*-esimo (fino al *bedrock*)  
 $V_{S_i}$  = velocità (in m/s) dello strato *i*-esimo (fino al *bedrock*);

Fig. n°21: La formula utilizzata per il calcolo delle  $V_{SH}$

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{S_i}}}$$

$h_i$  = 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).

Fig. n°22: La formula utilizzata per il calcolo delle VS30

## 9 CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA

La Carta di microzonazione sismica (Livello 2) è stata elaborata tenendo conto delle indicazioni della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (Livello 1) e della **stima dell'amplificazione stratigrafica** tramite procedure semplificate ottenute mediante l'utilizzo degli abachi di riferimento per gli effetti litostratigrafici previsti nell'Allegato A2 della Delibera della Giunta della Regione Emilia Romagna 476/2021. Detta stima è stata quantificata in termini di fattori di amplificazione (FA), dati dal rapporto tra spettro di risposta elastico di output, alla superficie del suolo in esame, e spettro di risposta elastico di input, al suolo di riferimento (rigido e pianeggiante, classe di sottosuolo A<sup>5</sup> delle NTC 2018), per prefissati intervalli di periodi T, calcolati per un tempo di ritorno TR =475 anni e smorzamento  $\zeta=5\%$  e relativi ai seguenti parametri rappresentativi dello scuotimento sismico:

$$FAPGA = PGA/PGA0$$

dove PGA0 è l'accelerazione massima orizzontale a periodo T=0 al suolo di riferimento e PGA è l'accelerazione massima orizzontale a periodo T=0 alla superficie del sito;

$$FASA = SA/SA0$$

dove SA0 è l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione al suolo di riferimento e SA è l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione alla superficie del sito per prefissati intervalli di periodi T:

- o SA1 per  $0,1s \leq T \leq 0,5s$ ,
- o SA2 per  $0,4s \leq T \leq 0,8s$ ,
- o SA3 per  $0,7s \leq T \leq 1,1s$ ,

$$FHSI = SI/SI0$$

dove SI0 è l'integrale dello spettro di risposta in velocità (Intensità di Housner) al suolo di riferimento e SI l'integrale dello spettro di risposta in velocità (o corrispondente grandezza di Intensità di Housner) alla superficie del sito per prefissati intervalli di periodi T:

<sup>5</sup> "Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m".

- o SI1 per  $0,1s \leq T \leq 0,5s$ ,
- o SI2 per  $0,5s \leq T \leq 1,0s$ ,

Ciò premesso le tabelle contenute negli Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica (predisposte per le analisi di secondo livello) sono relative ai differenti ambienti geo-litologici omogenei individuati nel territorio regionale e cioè nella "*Pianura padana e costa adriatica che comprende anche il settore di transizione Appennino-Pianura (Margine)*". Tali tabelle contengono i fattori di amplificazione sismica in funzione dei parametri VsH e Vs30 che caratterizzano la situazione lito-stratigrafica locale. In merito al primo parametro (VsH) è necessaria la valutazione dello spessore totale dei depositi di copertura (H), ovvero della profondità del bedrock e della corrispondente velocità media calcolata secondo quanto precedentemente riportato nella fig. 21. Per quanto concerne il parametro Vs30 è necessaria la valutazione della velocità media nei primi 30 metri di profondità calcolata con la relazione riportata nella precedente fig. n°22. La scelta dell'abaco per la stima è stata valutata sulla base delle caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo e nello specifico sono state utilizzate le seguenti tabelle:

**Pianura 2:** settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c. e dal tetto del substrato rigido a circa 150 m da p.c.;

**Margine tipo B:** caratterizzato da spessore dei terreni superficiali fini o grossolani poco consolidati superiore a 30 m; la successione sottostante è costituita da alternanze di orizzonti grossolani e orizzonti fini;

**Margine tipo A:** caratterizzato da terreni fini o grossolani poco consolidati, di spessore non superiore a 30m, sovrastanti orizzonti prevalentemente grossolani a comportamento più rigido (indicativamente con valore VS media almeno il doppio rispetto a quello dei sedimenti sovrastanti).

Per gran parte del territorio comunale sono state utilizzate le tabelle "*Pianura 2*" e "*Margine tipo B*" in buon accordo con quanto riportato in fig. 12 (Emilia-Romagna map of the geologic macrozones for seismic studies) contenuta nella pubblicazione "*Maps for land management: from geology to seismic hazard*" a cura di G. Naso, L. Martelli M. Baglione, F. Brammerini, s. Castenetto, V. D'Intinosante and G. Ercolessi (2019). In particolare la tabella Pianura 2 è stata utilizzata per la frazione di Santimento mentre quella "*Margine tipo B*" per tutto il restante territorio analizzato ad eccezione della porzione sud orientale del territorio comunale (intorno di San Nicolò a Trebbia) ove è stata utilizzata la tabella "*Margine A*".

La carta di Microzonazione sismica elaborata per il perimetro delle aree urbanizzate ed urbanizzabili, nonché le fasce delle principali infrastrutture di accessibilità e di connessione con il contesto

territoriale, (v. Tavv. 07a - 07b - 07c - 07d - 07e - 07f), evidenzia i seguenti valori dei fattori di amplificazione:

Località	Zona	Ambiente	H	Bed Rock	VSeq	PGA	SA1	SA2	SA3	SI1	SI2
Rottofreno	2002	Margine B	18	<800	250	1.6	1.8	2.3	2.7	1.9	2.5
Rottofreno sud	2002	Margine B	5	<800	300	1.6	1.7	2.1	2.4	1.9	2.3
Centora	2002	Margine B	6	<800	250	1.6	1.8	2.3	2.7	1.9	2.3
Santimento	2002	Pianura 2	5	<800	300	1.6	1.7	2.1	2.5	1.8	2.4
San Nicolò centrale	2001	Margine A	5	<800	300	1.5	1.5	1.6	1.6	1.6	1.6
San Nicolò meridionale	2001	Margine A	<5	<800	200	2.1	2.0	1.7	1.6	1.9	1.7
San Nicolò settentrionale	2001	Margine A	5	<800	250	1.8	1.7	1.7	1.6	1.7	1.6
San Nicolò orientale	2001	Margine A	<5	<800	200	2.1	2.0	1.7	1.6	1.9	1.7
San Nicolò occidentale	2001	Margine A	6	<800	300	1.5	1.5	1.6	1.6	1.6	1.6
San Nicolò Bonina	2001	Margine A	5	<800	200	2.1	2.0	1.7	1.6	1.9	1.7
San Nicolò Lampugnana	2001	Margine A	<5	<800	200	2.1	2.0	1.7	1.6	1.9	1.7

Tabella 4: Sintesi dei valori di di amplificazione dovuti all'assetto stratigrafico

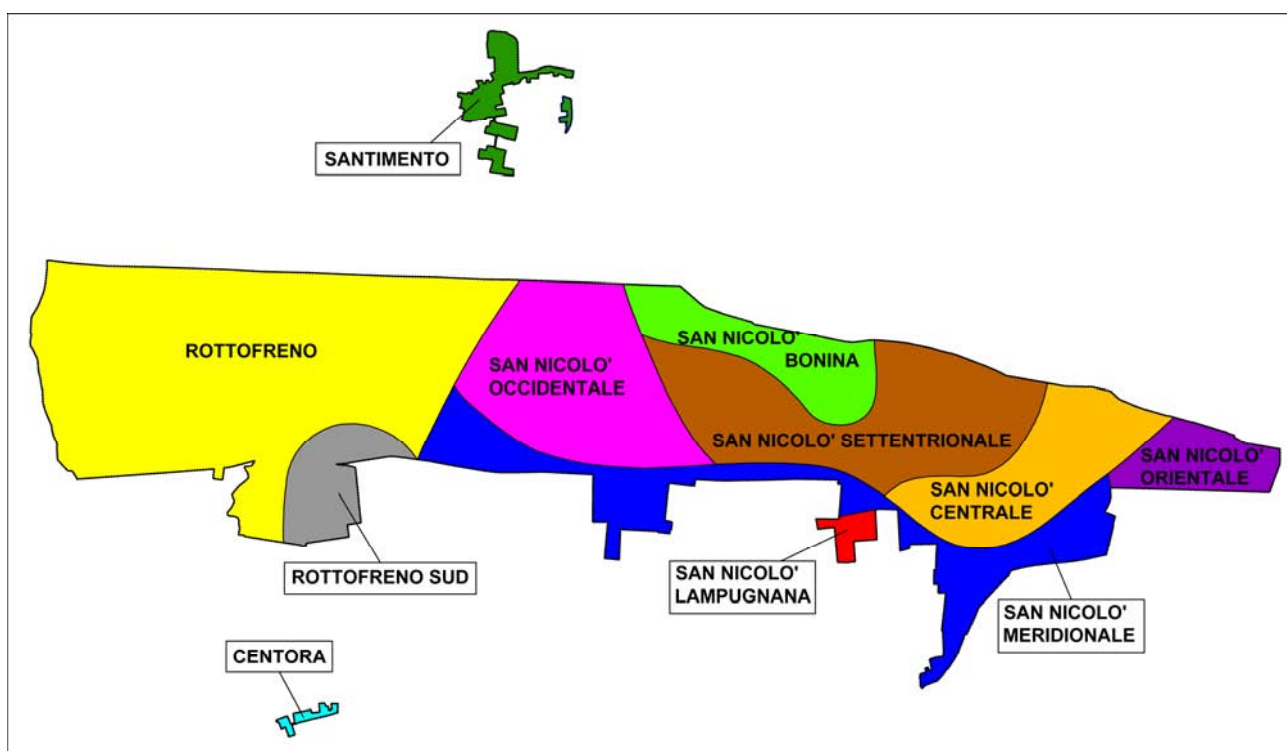


Fig. n°23: Suddivisione delle aree indagate

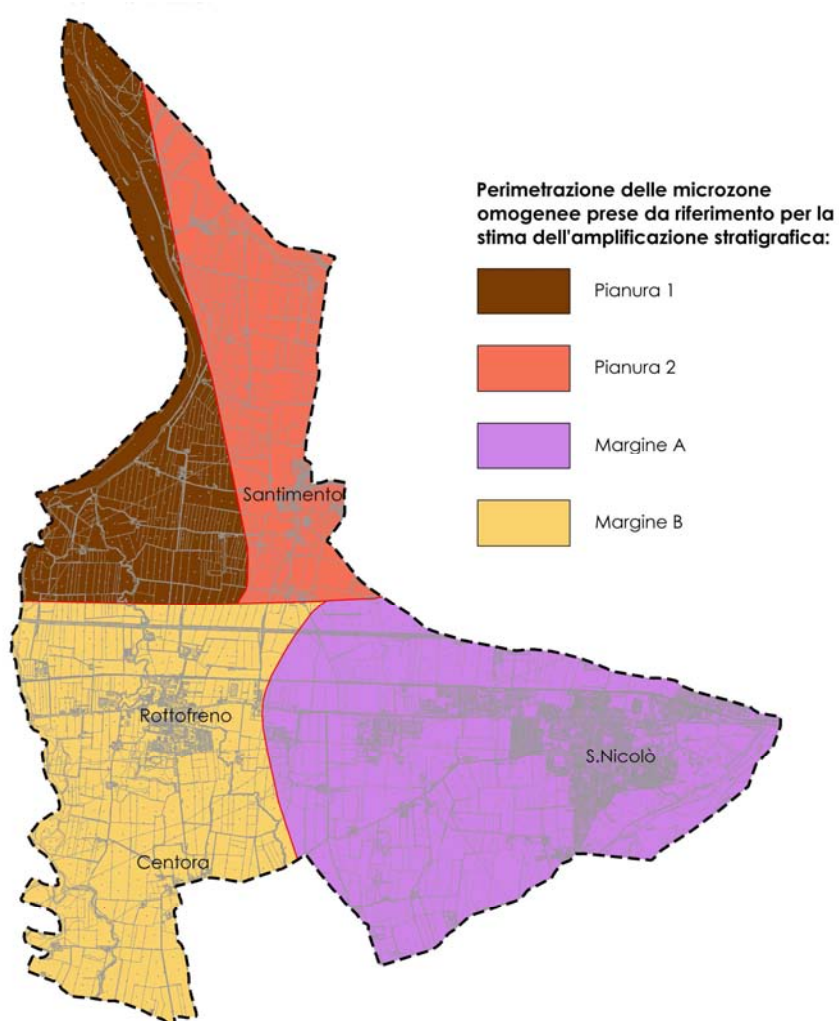


Fig. n°24: Le microzone omogenee prese da riferimento per la stima dell'amplificazione stratigrafica tratte da "Maps for land management: from geology to seismic hazard" a cura di G. Naso, L. Martelli M. Baglione, F. Brammerini, s. Castenetto, V. D'Intinosante and G. Ercolessi (2019) - modificata

## 10 Carta dello scuotimento atteso

La carta della distribuzione sul territorio dei valori di HSM (Naso et al., 2019), rappresenta il parametro che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in  $\text{cm/s}^2$ ), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity ( $ASI_{UHS}$ ), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato per l'intervallo di periodi  $0,1\text{s} \leq T \leq 0,5\text{s}$ , diviso per  $\Delta T$  (in questo caso pari a  $0,4\text{s}$ ) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione (FA) calcolato per lo stesso intervallo di periodo:

$$H_{SM} = \frac{ASI_{UHS}}{\Delta T} \times FA$$



I valori di ASI<sub>UHS</sub>/ΔT, calcolati per ogni punto della griglia INGV, sono stati ricavati dal file PSbaseRER.kmz disponibile nella pagina web dedicata agli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica a cura del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli.

I valori di HSM, calcolati per ciascuna microzona individuata sono riportati di seguito:

Località	Zona	SA1	H <sub>SM</sub> (cm/s <sup>2</sup> )	H <sub>SM</sub> (g)
Rottofreno	2002	1.8	357.1220142	0.36
Rottofreno sud	2002	1.7	337.2819023	0.34
Centora	2002	1.8	357.1220142	0.38
Santimento	2002	1.7	337.2819023	0.34
San Nicolò centrale	2001	1.5	297.6016785	0.30
San Nicolò meridionale	2001	2.0	396.8022380	0.40
San Nicolò settentrionale	2001	1.7	337.2819023	0.34
San Nicolò orientale	2001	2.0	396.8022380	0.40
San Nicolò occidentale	2001	1.5	297.6016785	0.30
San Nicolò Bonina	2001	2.0	396.8022380	0.40
San Nicolò Lampugnana	2001	2.0	396.8022380	0.40

Tabella 5: Sintesi dei valori di HSM

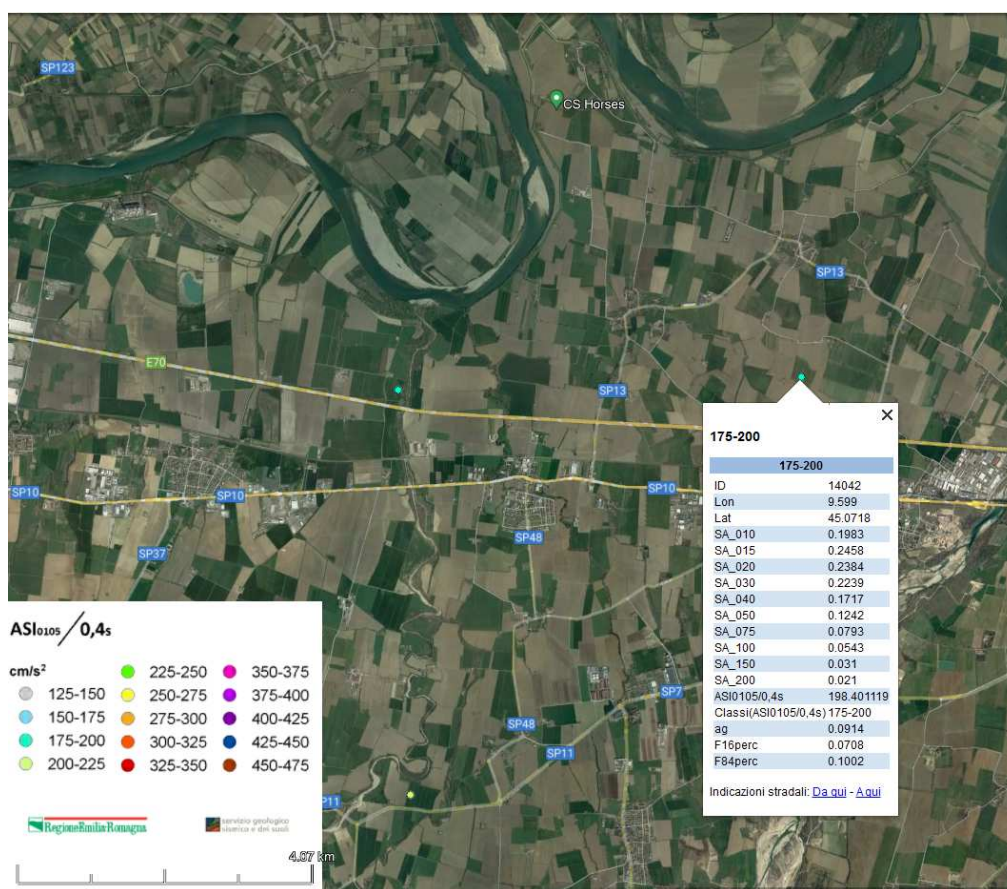


Figura 25: Stralcio PSbaseRER.kmz per l'area di interesse

## 11 CONSIDERAZIONI SULLA SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

Premesso che nel territorio indagato non si è rilevata la presenza di "zone suscettibili di instabilità", per quanto riguarda possibili fenomeni di liquefazione, in relazione alle stratigrafie desunte dai dati bibliografici disponibili e dalla nuova campagna di indagini svolta (prevalenza di granulometrie ghiaiose con intercalazioni di materiali coesivi) non si rilevano "nei primi 20 m importanti spessori di sabbie sature".

Si ritiene quindi che il rischio all'interno del territorio comunale di Rottofreno possa essere considerato molto basso. Occorre tuttavia rilevare margini di incertezza legati a possibili locali presenze di orizzonti sabbiosi non intercettati dalle verticali di indagini geonostiche disponibili.

In considerazione della ridotta soggiacenza della falda in alcune aree e della magnitudo massima attesa, nel caso di nuove edificazioni o interventi su manufatti esistenti, è comunque sempre necessario effettuare specifiche verifiche alla liquefazione.

