



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME

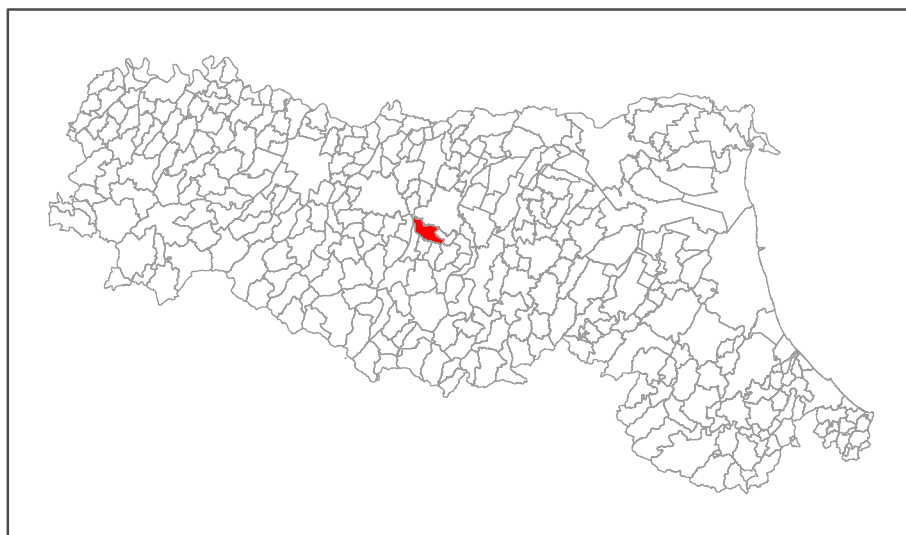
Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n.77

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa

Regione Emilia–Romagna

Comune di Formigine



Regione	Soggetto realizzatore:	Data:
Emilia–Romagna	Dott. Geol. Valeriano Franchi	Settembre 2024 (agg. Dicembre 2024)

**ADEGUAMENTO DELLO STUDIO DI MICROZONAZIONE
SISMICA
DEL COMUNE DI FORMIGINE
alla Del. G.R 630/2019, agg. alla Del. G.R. 476/2021
(int. con Del. G.R. n. 564/2021)

APPROFONDIMENTO DI II LIVELLO**

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Responsabile
Arch. Alessandro Malavolti

Soggetto realizzatore
Dott. Geol. Valeriano Franchi

Gruppo di lavoro
Dott. Geol. Alessandro Ghinoi
Dott. ssa Lara Vandelli

Settembre 2024
(agg. Dicembre 2024)

INDICE

1	PREMESSA	5
2	Inquadramento territoriale e cartografico	7
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	10
3.3	Sismicità del territorio comunale	12
4	Aspetti geologici e geomorfologici	15
4.1	Lineamenti geologici generali.....	15
4.2	Assetto geomorfologico	16
5	Dati geotecnici e geofisici.....	18
6	Modello del sottosuolo	18
7	Interpretazioni e incertezze	21
8	Metodologie di elaborazione e risultati	22
9	Elaborati cartografici	23
9.1	Elaborati cartografici di I LIVELLO.....	23
9.1.1	Carta geologico-tecnica	24
9.1.2	Carta delle indagini.....	25
9.1.3	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)	26
9.1.4	Carta delle frequenze naturali dei terreni.....	27
9.1.5	Carta delle MOPS.....	28
9.2	Elaborati cartografici di II LIVELLO.....	32
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 Formigine**, 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 integrazioni¹.

Il comune di Formigine è dotato di uno studio di Microzonazione Sismica (MZS) con approfondimenti di II livello redatto a cura di S.G.G. s.r.l. a Ottobre 2010 e validato dalla Regione Emilia Romagna il 25/11/2010; nel seguito della presente Relazione illustrativa verrà citato come "**MS 2010**".

Nel precedente studio MS-2010, gli approfondimenti di II livello sono stati estesi all'intero territorio comunale e gli elaborati prodotti sono riportati nell'elenco seguente:

- Relazione tecnica
- Carta delle aree potenzialmente soggette ad effetti locali
- Carta del tetto delle ghiaie
- Planimetria delle indagini
- Carta del periodo fondamentale di vibrazione
- Fattore di amplificazione PGA
- Fattore di amplificazione - intensità spettrale $0,1s < T_0 < 0,5s$
- Fattore di amplificazione - intensità spettrale $0,5s < T_0 < 1,0s$
- Carta dei livelli di approfondimento

Con il presente studio viene predisposto l'adeguamento dello Studio di Microzonazione Sismica vigente (**MS 2010**) alla Del. 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)", aggiornata alla Del. G.R. 476/2021, integrata con D.G.R. n. 564/2021; lo studio aggiornato, di seguito denominato **MS 2024**, 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 – Fa SA1 ($0,1s \leq T \leq 0,5s$)

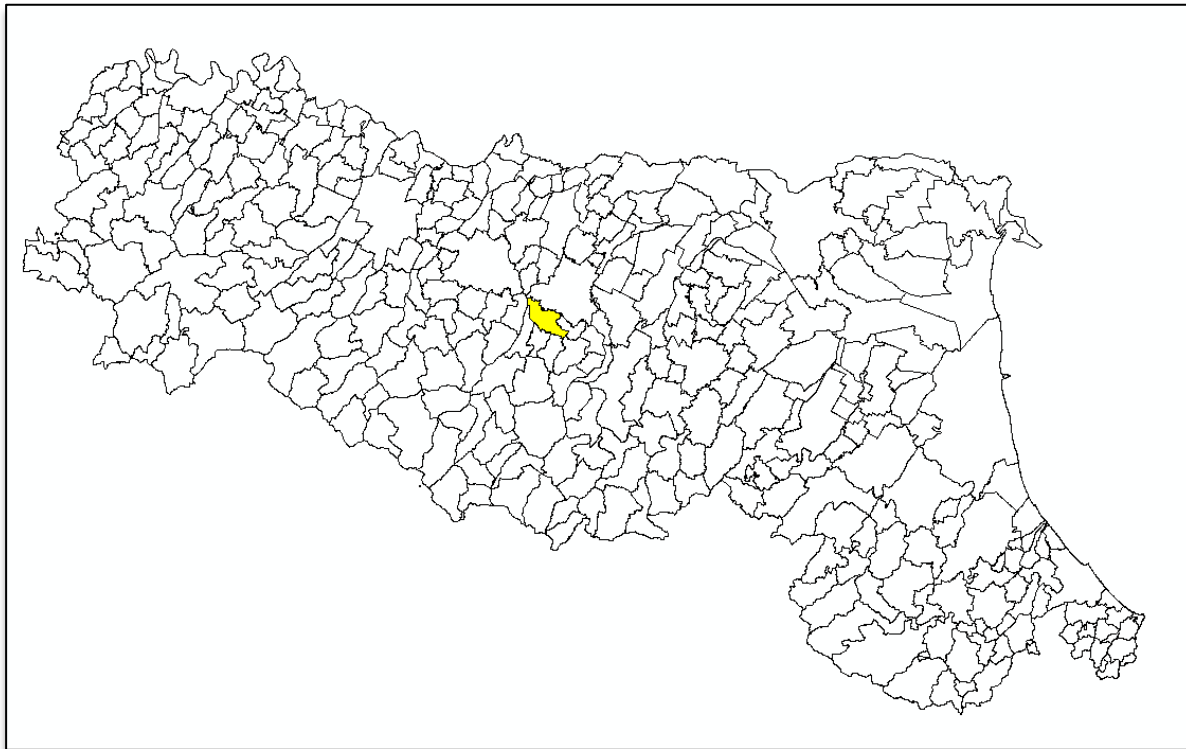
¹ Gruppo di lavoro MS, 2008. "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica". Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome - Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 vol. e Dvd. Link: <https://www.protezionecivile.gov.it/it/pubblicazione/indirizzi-e-criteri-la-microzonazione-sismica>

- Carta di Microzonazione sismica Livello 2 – Fa SA2 ($0,4s \leq T \leq 0,8s$)
- Carta di Microzonazione sismica Livello 2 – Fa SA3 ($0,7s \leq T \leq 1,1s$)
- Carta di Microzonazione sismica Livello 2 – Fa SI1 ($0,1s \leq T \leq 0,5s$)
- Carta di Microzonazione sismica Livello 2 – Fa SI2 ($0,5s \leq T \leq 1,0s$)
- Carta di Microzonazione sismica Livello 2 – HSM

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE E CARTOGRAFICO

Il territorio comunale di Formigine si colloca nel settore centrale della Provincia di Modena, al confine con i Comuni di Casalgrande ad ovest, di Castelnuovo Rangone e Castelvetro di Modena ad est, di Modena a nord e di Sassuolo, Fiorano Modenese e Maranello a sud (Figura 1).

Figura 1 - Inquadramento amministrativo regionale del territorio comunale di Formigine.



Il territorio comunale di Formigine fa parte interamente del settore altimetrico di alta pianura, con quote sul livello del mare (dati da CTR) che variano da un minimo di circa 54 m nella punta nord-orientale del territorio comunale (al confine col Comune di Modena), ai circa 105 m lungo il confine meridionale col Comune di Fiorano Modenese, in prossimità di località Carazzuola.

Il clima è caratterizzato, nel periodo 1991-2015, da precipitazioni totali annue, in media, di 674 mm e temperature medie annue di 14,5°C, pari, rispettivamente, ad una variazione di +22 mm e +1,4°C rispetto al periodo 1961-1990.²

² Atlante Idroclimatico dell'Emilia-Romagna (Ed. 2017) – <https://www.arpae.it/it/temi-ambientali/clima/rapporti-e-documenti/atlante-climatico/atlante-climatico>

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

- nr. 201SO denominato "Rubiera"
- nr. 201SE denominato "Modena"
- nr. 219NO denominato "Sassuolo"
- nr. 219NE denominato "Formigine"

nelle Sezioni alla scala 1:10.000:

- nr. 201140 denominato "Salvatera"
- nr. 201150 denominato "Modena sud-ovest"
- nr. 219020 denominato "Villalunga"
- nr. 219030 denominato "Formigine"
- nr. 219040 denominato "Castelnuovo Rangone"
- nr. 219070 denominato "Maranello"
- nr. 219080 denominato "Castelvetro di Modena"

negli Elementi alla scala 1:5.000:

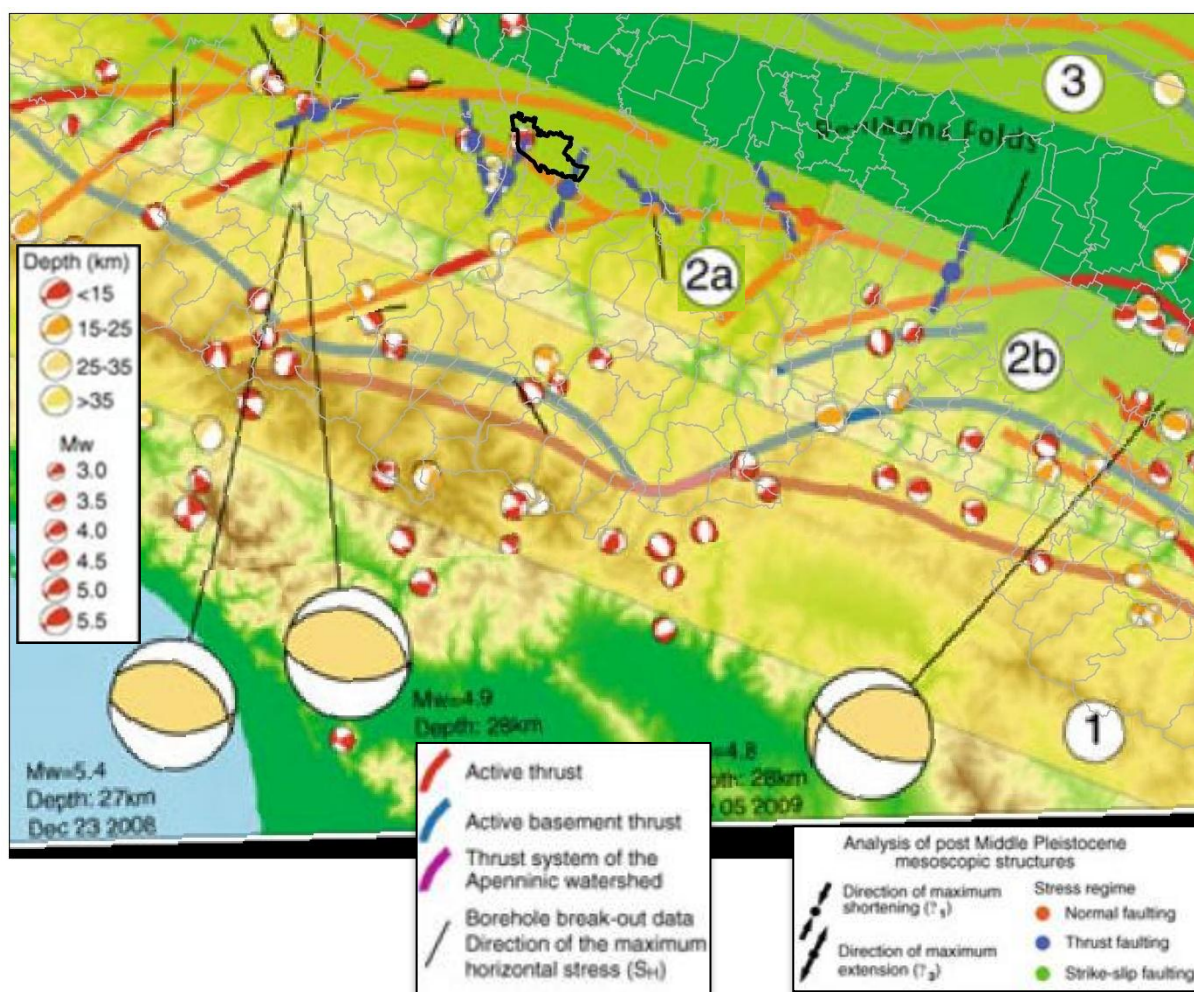
- nr. 201144 denominato "Rubiera sud"
- nr. 201141 denominato "Marzaglia"
- nr. 201143 denominato "Salvatera"
- nr. 201142 denominato "Colombarone"
- nr. 201153 denominato "Baggiovara"
- nr. 201152 denominato "Saliceto San Giuliano"
- nr. 219021 denominato "Magreta"
- nr. 219034 denominato "Casinalbo"
- nr. 219031 denominato "Montale"
- nr. 219022 denominato "Quattroponti"
- nr. 219033 denominato "Formigine"
- nr. 219032 denominato "Quattro Madonne"
- nr. 219043 denominato "Castelnuovo Rangone"
- nr. 219074 denominato "Maranello"
- nr. 219071 denominato "Pozza"
- nr. 219084 denominato "Castelnuovo Rangone sud"

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

3.1 Caratteristiche sismotettoniche

Il territorio comunale di Formigine, dal punto di vista geologico-strutturale, è parte dell'Appennino settentrionale, una catena a pieghe e sovrascorrimenti costituita dalla sovrapposizione di unità tettoniche NE-vergenti, la cui formazione è conseguenza della collisione, in epoca cenozoica, tra la Placca Europea e la Placca Adria (Africana). Attualmente, la convergenza tra le due placche ha velocità pari a circa 6-8 mm all'anno, con vergenza all'incirca NE, e si sviluppa lungo un margine di placca ampio e complesso, ove placche e blocchi crostali minori controllano la distribuzione e la cinematica delle deformazioni.

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



Tale convergenza determina una diffusa sismicità ed un quadro deformativo complesso, caratterizzato da un settore (quello tirrenico) con prevalenti campi tensionali distensivi, e da un settore (quello adriatico) ove prevalgono campi tensionali compressivi (Boccaletti et al., 2011).

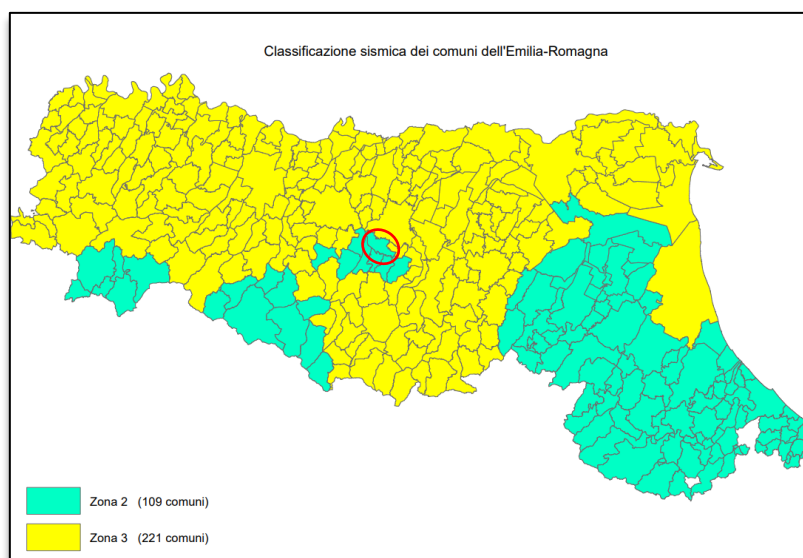
In modo più specifico, per quanto riguarda le strutture tettoniche quaternarie più recenti ed attive, il territorio comunale di Formigine si colloca all'interno di un sistema di faglie pressoché continuo che si estende lungo il margine tra gli Appennini e la pianura del Po con direttrice NOSE (rettangolo contrassegnato col numero 2a in Figura 2), coincidente approssimativamente con il fronte di thrust pedeappenninico (PTF o PAT, negli acronimi inglesi utilizzati nella più recente letteratura). Il PTF (in parte affiorante) sembra avere un'attività estesa anche all'Olocene, suggerita dal fatto che la profondità maggiore della base dei sedimenti olocenici si ha proprio lungo il fronte appenninico sulla pianura. A sud-ovest del PTF esiste una serie di thrust ciechi ad esso sub-paralleli, che danno ragione della serie di anticlinali e sinclinali con assi a direzione appenninica che caratterizzano tutta la fascia collinare occupata dai territori comunali di Sassuolo, Fiorano Modenese, Maranello e Castelvetro. La soluzione dei meccanismi focali ha mostrato, per questo segmento del margine Appennini-Pianura, la presenza di un campo deformativo a profondità generalmente inferiori a 15 km (Figura 2), caratterizzato da eventi sismici con meccanismi focali principalmente compressivi e, in maniera minore, trascorrenti ed estensionali.

Anche in corrispondenza del territorio comunale di Formigine (Figura 2), i meccanismi focali rivelano la presenza di sismi superficiali (< 15 km), di Mw circa pari a 4/4.5, con campo di stress principalmente compressivo, confermato anche dalle analisi di strutture mesoscopiche successive al Pleistocene medio che evidenziano, in corrispondenza della linea del PTF a sud del confine meridionale di Formigine, una direzione di massimo raccorciamento SSO-NNE.

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.

Figura 3 - Classificazione sismica dei comuni dell'Emilia-Romagna aggiornata al febbraio 2023. (Nel cerchio rosso il Comune di Formigine)



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.

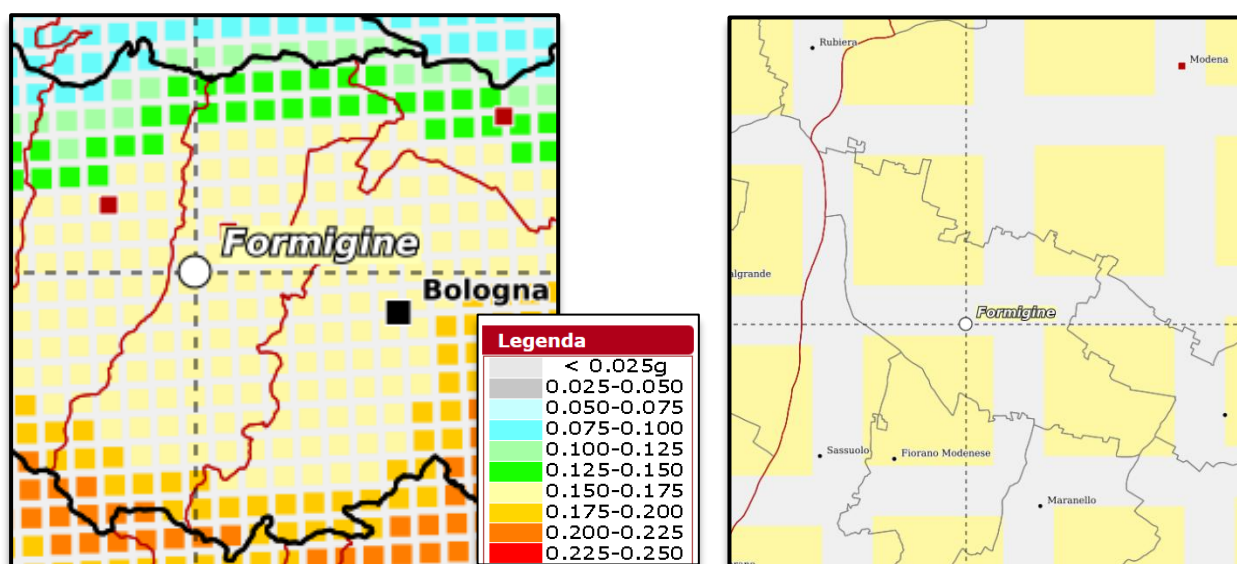
Il comune di Formigine è classificato in **Zona 2** con conseguente accelerazione sismica orizzontale, con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, compresa tra un minimo di $a_g/g=0,15$ e un massimo di $a_g/g=0,25$ e accelerazione sismica orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta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

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.

Nella Classificazione sismica aggiornata al 2023, il territorio comunale di Formigine non ha subito riclassificazioni rispetto alla precedente del 2018; è stato inserito nella classificazione sismica a partire dal 2003. Secondo la mappa di pericolosità sismica nazionale MPS04³, 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 Formigine presenta un'accelerazione attesa al suolo (PGA) compresa tra 0.150g e 0.175g, con valore di 0,162 g riscontrato come PGA per il capoluogo comunale.

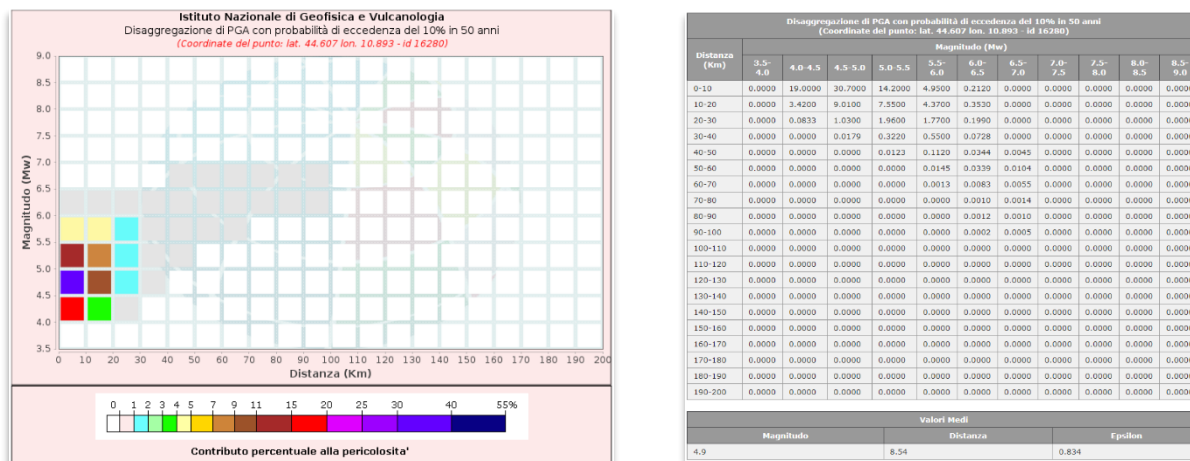
Figura 4 – PGA (g) con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (periodo di ritorno di 475 anni), valori riportati ai capoluoghi comunali (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>)



³ (<http://zonesismiche.mi.ingv.it/>; Gruppo di lavoro MPS, 2004; Stucchi et al., 2011)

La disaggregazione del valore di a_g con la medesima probabilità di eccedenza (figura 5) 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. Percentuali minori riguardano le coppie magnitudo distanza: 4.0-4.5/0-10Km (15-20%), 5.0-5.5/0-10Km (11-15%), 4.5-5.0/10-20Km (9-11%) e 5.0-5.5/10-20Km (7-9%).

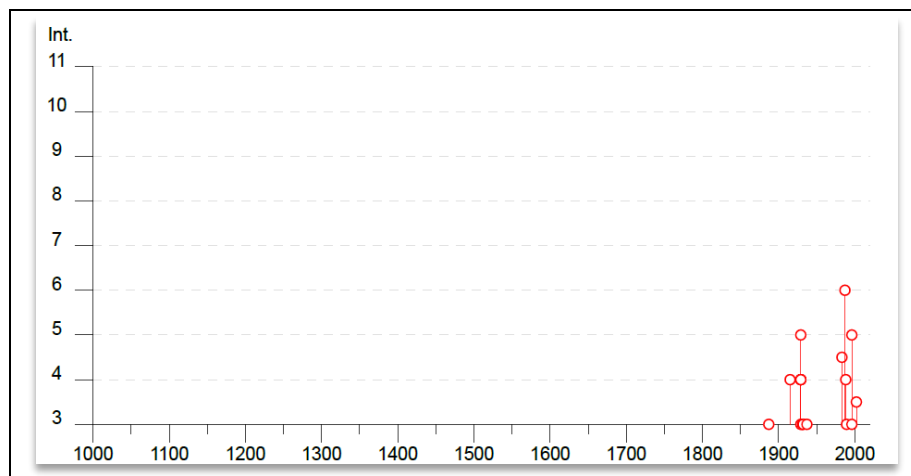
Figura 5 – Disaggregazione del valore di a_g con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni per il territorio comunale di Formigine.



3.3 Sismicità del territorio comunale

La storia sismica del territorio comunale di Formigine è stata dedotta dal database DBMI15 utilizzato per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), nel quale sono riportate le osservazioni macrosismiche relative ai diversi centri abitati dall'anno 1000 al 2020 (pubblicazione 2022).

Figura 6 – Grafico degli eventi sismici verificatisi in corrispondenza del comune di Formigine, 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) ed, 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 (Io) e la magnitudo momento (Mw).

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

Effetti	In occasione del terremoto del												
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw			
3	1887	02	23	05	21	5	Liguria occidentale	1511	9	6.27			
NF	1892	12	29	13	47	4	Castel del Rio	36	5-6	4.37			
NF	1898	01	16	13	10		Romagna settentrionale	110	6	4.59			
NF	1899	06	26	23	17	2	Valle del Bisenzio	138	7	5.02			
NF	1912	09	12	21	15		Carpi	13	4	3.76			
4	1915	10	10	23	10		Reggiano	30	6	4.87			
4	1929	04	19	04	16		Bolognese	82	6-7	5.13			
5	1929	04	20	01	10		Bolognese	109	7	5.36			
4	1929	04	22	08	26		Bolognese	41	6-7	5.10			
3	1929	04	29	18	36		Bolognese	45	6	5.20			
4	1929	05	11	19	23		Bolognese	64	6-7	5.29			
3	1931	06	10	17	02		Modenese	14	4	4.59			
3	1932	04	19	00	17		Modenese	9	4	3.63			
3	1937	12	10	18	04		Frignano	28	6	5.30			
4-5	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04			
NF	1986	12	06	17	07	1	Ferrarese	604	6	4.43			
NF	1987	04	24	02	30	2	Reggiano	54	6	4.64			
6	1987	05	02	20	43	5	Reggiano	802	6	4.71			
4	1988	03	15	12	03	1	Reggiano	160	6	4.57			
3	1989	09	13	21	54	0	Prealpi Vicentine	779	6-7	4.85			
NF	1992	04	17	11	59	0	Appennino bolognese	56	4-5	4.11			
5	1996	10	15	09	55	5	Pianura emiliana	135	7	5.38			
3	1996	10	26	04	56	5	Pianura emiliana	63	5-6	3.94			
NF	1996	12	16	09	09	5	Pianura emiliana	115	5-6	4.06			
NF	1997	05	12	22	13	5	Pianura emiliana	56	4-5	3.68			
NF	1998	02	21	02	21	1	Pianura emiliana	104	5	3.93			
3-4	2002	06	08	20	13	0	Frignano	115	4	4.23			
NF	2002	06	18	22	23	3	Frignano	186	4	4.30			
2-3	2002	06	19	22	11	1	Frignano	52	3	4.03			
NF	2002	11	13	10	48	0	Franciacorta	768	5	4.21			

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 la storia sismica di Formigine ha una buona testimonianza ed estensione temporale (i primi eventi riportati risalgono infatti al 1887); l'evento di maggior intensità di cui si riporta testimonianza risulta essere quello del 1987 con epicentro nel Reggiano.

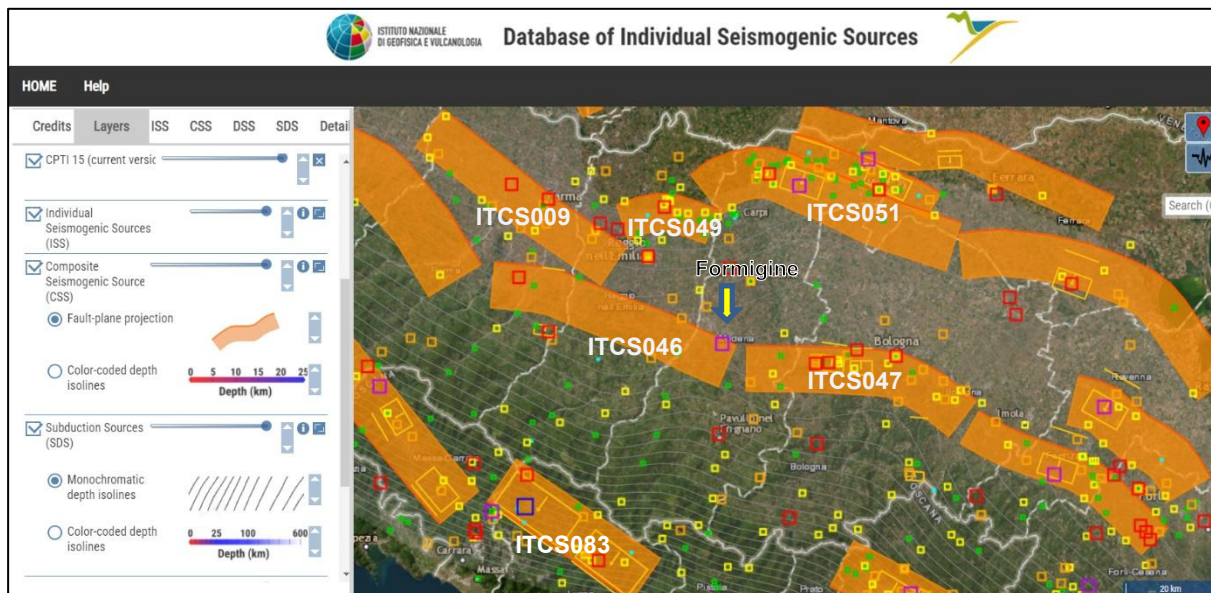
In generale, le intensità macrosismiche al sito di maggior grado (tra cui 3 è il valore più ricorrente), sul territorio comunale, sono dovute in gran parte a terremoti con epicentri localizzati nel Bolognese, nel Modenese e nel Reggiano.

Sovrapponendo gli epicentri dei sismi che hanno dato, storicamente, effetti macrosismici maggiori (MCS $\geq$ 5) all'interno del territorio comunale di Formigine, sulle sorgenti sismogenetiche dell'INGV (figura 7), è possibile constatare come le maggiori intensità al sito siano state determinate da sismi avvenuti all'interno delle seguenti sorgenti:

- ITCS009 – Busseto-Cavriago, con magnitudo massima attesa Mw=6.8;
- ITCS046 – Langhirano-Sassuolo, con una magnitudo massima attesa Mw=6.8;
- ITCS047 - Castelvetro di Modena-Castel San Pietro Terme, con una magnitudo massima attesa Mw=6.8;
- ITCS049 – Campegine-Correggio, con una magnitudo massima attesa Mw=6.6;
- ITCS083 - Garfagnana, con una magnitudo massima attesa Mw=6.9;

- ITCS051 – Carpi-Poggio Renatico, con una magnitudo attesa $M_w=6.9$.

Figura 7 – Ubicazione delle sorgenti sismogenetiche del DISS 3.3 ed epicentri (pin gialli) dei sismi storici che hanno determinato intensità macrosismiche maggiori nel territorio comunale di Formigine (indicato dalla freccia gialla e blu).



Come evidenziato nell'immagine precedente, il territorio di Formigine ricade poco a nord della sorgente sismogenetica **ITCS046** "Langhirano-Sassuolo" ritenuta capace di produrre sismi con M_w massima pari a **6.8** (derivata dalla massima magnitudo della sorgente individuale associata). La geometria è determinata principalmente sulla base di osservazioni geologiche e geofisiche: lo *strike* varia da 95° a 120°; il *dip* varia da 20° a 40°; il *rake* è assunto corrispondente ad un sovrascorrimento (80°-100°); la *slip rate* varia da 0,24 a 0,63 mm/anno; le profondità minima e massima sono state individuate, rispettivamente, a -2.0 e -8.0 km.

A ovest di Formigine si trova invece la sorgente sismogenetica composta **ITCS009** "Busseto-Cavriago", ritenuta capace di produrre sismi con M_w massima pari a **6.8** (derivata dalla massima magnitudo della sorgente individuale associata).

A sud est di Formigine si trova invece la sorgente sismogenetica composta **ITCS047** "Castelvetro di Modena-Castel San Pietro Terme", ritenuta capace di produrre sismi con M_w massima pari a **6.8** (derivata dalla massima magnitudo della sorgente individuale associata).

A sud ovest di Formigine, oltre il crinale appenninico, si trova la sorgente sismogenetica composta **ITCS083** "Garfagnana", ritenuta capace di produrre sismi con M_w massima pari a **6.9** (stimata attraverso le leggi di attenuazione di Leonard (2014)).

A nord est di Formigine si trova invece la sorgente sismogenetica composta **ITCS051** "Carpi-Poggio Renatico", ritenuta capace di produrre sismi con M_w massima pari a **6.9** (derivata dalla massima magnitudo della sorgente individuale associata).

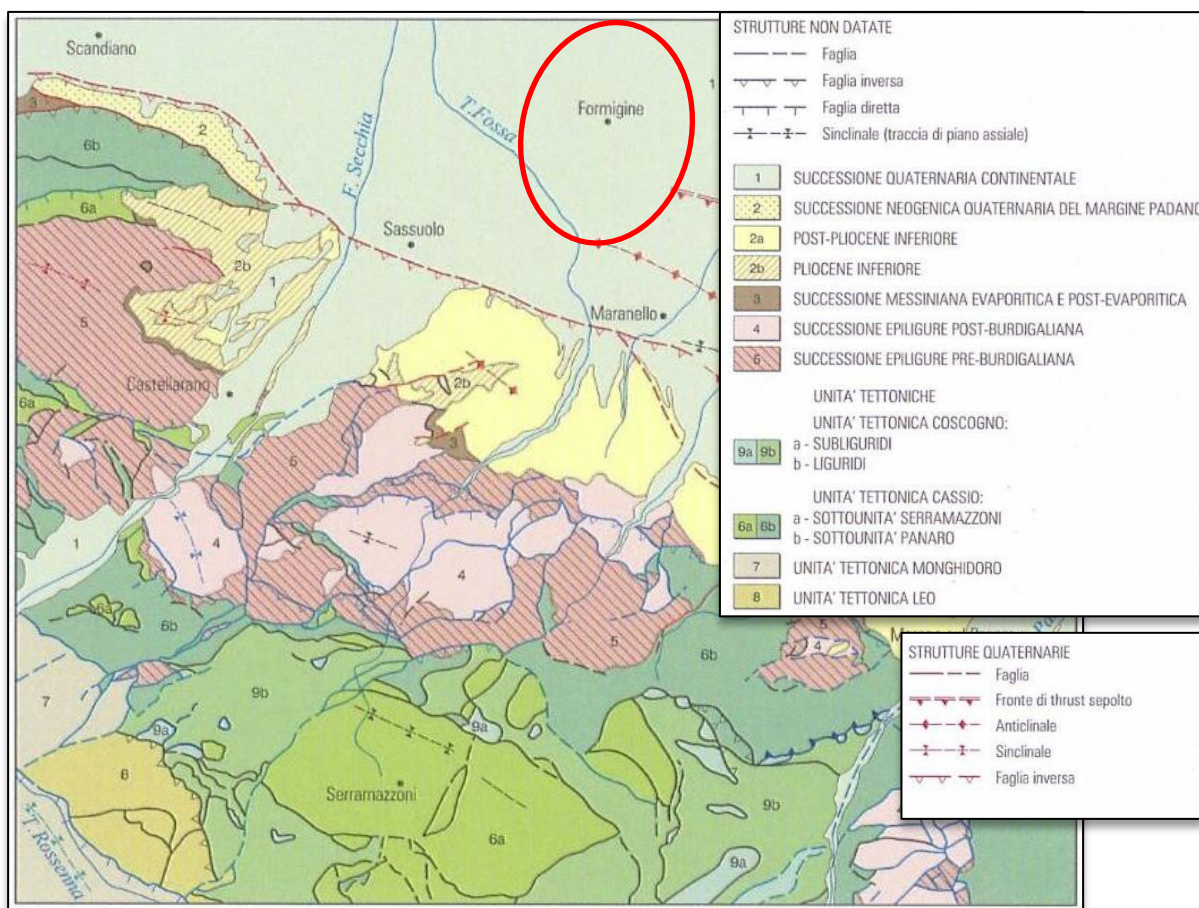
A nord ovest di Formigine si trova invece la sorgente sismogenetica composta **ITCS049** "Campegine-Correggio", ritenuta capace di produrre sismi con M_w massima pari a **6.6** (derivata dalla massima magnitudo della sorgente individuale associata).

4 ASPETTI GEOLOGICI E GEOMORFOLOGICI

4.1 Lineamenti geologici generali

Sotto il profilo geologico, il territorio comunale di Formigine ricade subito a valle della prima quinta collinare modenese, interamente compreso nell'alta pianura, parte del settore meridionale della Pianura Padana che costituisce, dal punto di vista geologico, un grande bacino subsidente Plio-quaternario di tipo sedimentario, che comincia a delinearsi sin dall'inizio del Triassico (225 milioni di anni fa) e viene interessato da subsidenza differenziata sia nel tempo che nello spazio, in diversi periodi (Mesozoico, Cenozoico, ma soprattutto Pliocene e Quaternario), con movimenti verticali controllati dai caratteri strutturali presenti in profondità; in particolare l'attuale strutturazione del bacino trae origine dalle spinte deformative che, a partire dal Miocene superiore, hanno coinvolto l'Appennino Settentrionale e l'antistante substrato padano, provocandone la deformazione secondo un modello generale a falde sovrapposte ed embrici NE vergenti (Pieri & Groppi, 1982).

Figura 8 - Schema tettonico del foglio 219 "Sassuolo" del progetto CARG. L'ellisse rossa identifica il territorio di Formigine.



L'intero settore di alta pianura è caratterizzato da sedimenti di ambiente continentale (limi, argille, sabbie e ghiaie) riferiti ad un periodo che va dal Pleistocene Medio all'attuale. Le ghiaie risultano sub-affioranti nel settore centro-occidentale del territorio, dominato dalla conoide alluvionale del Fiume Secchia nel suo settore medio-apicale, all'uscita del fiume dalla valle collinare sull'alta pianura. La restante porzione centro-orientale del territorio lascia gradualmente spazio al dominio delle conoidi minori del settore collinare meridionale, che apportano sedimenti a granulometria più fine, variabili dalle argille, ai limi, alle sabbie; qui il tetto delle ghiaie si approfondisce raggiungendo profondità

massime intorno ai 10 m da piano campagna. Il tetto del substrato marino, rappresentato dalla Formazione delle Sabbie Gialle (FSG) e dalla Formazione delle Argille Azzurre (FAA), si approfondisce gradualmente da sud verso nord del territorio comunale, sebbene dalle stratigrafie di pozzo disponibili negli archivi pubblici non sia sempre immediato riconoscere il passaggio al substrato plio-pleistocenico di FAA.

A sud del territorio di Formigine, il passaggio tra collina ed alta pianura avviene in corrispondenza di una struttura tettonica regionale, denominata *faglia-flessura* di Sassuolo da Gasperi et al. (1989) o *Fronte di Castelvetro* da Rossi et al. (2002). Si tratta di una *faglia inversa*, ritenuta attiva, che in coincidenza del territorio comunale di Fiorano Modenese rimane sepolta al di sotto della coltre dei depositi alluvionali. Allo stato attuale, gli indizi che portano all'individuazione della *faglia-flessura* derivano da rilevamenti geologici e geomorfologici e da analisi di stratigrafie di pozzi e sondaggi. Quest'ultime evidenziano un repentino incremento degli spessori dei sedimenti continentali subito a valle del presunto lineamento tettonico, con un approfondimento del tetto del substrato marino plio-pleistocenico. Sebbene il lineamento rientri nel database ITHACA delle faglie attive e capaci nazionali, non esistono evidenze certe di deformazioni che abbiano interessato sedimenti depositi negli ultimi 40.000 anni, pertanto non è possibile con certezza definire il lineamento "attivo" *sensu* Gruppo di lavoro MS (2008). Esistono alcune evidenze di deformazioni nel suo ipotetico prolungamento verso i territori adiacenti (ad esempio in corrispondenza della traversa sul Secchia in località "La Veggia" ed a valle della stessa, dove recenti stazioni strutturali hanno messo in evidenza strutture mesoscopiche compressive nei sedimenti continentali messi a luce dalla profonda erosione del torrente).

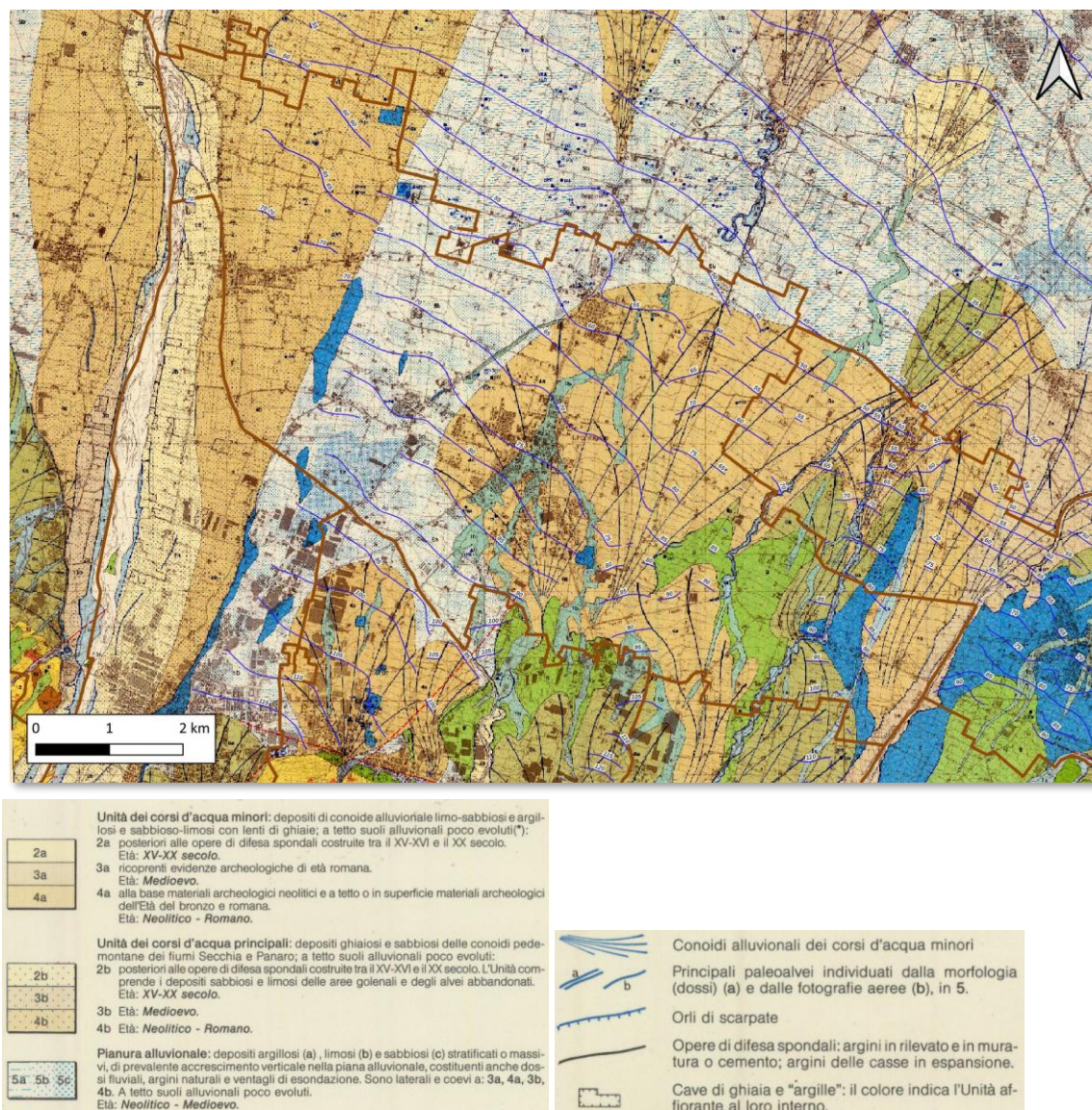
4.2 Assetto geomorfologico

Il territorio comunale di Formigine si colloca nella fascia di alta pianura, con quote sul livello del mare che variano da un minimo di circa 54 m nella punta nord-orientale del territorio comunale (al confine col Comune di Modena), a circa 105 m lungo il confine meridionale col Comune di Fiorano Modenese, in prossimità di località Carazzuola (Lungo il Torrente Fossa di Spezzano).

Questa parte di alta pianura, in cui affiorano depositi continentali di ambiente deposizionale fluviale di età pleistocenica e olocenica, è la zona di pertinenza delle conoidi alluvionali del Fiume Secchia e dei torrenti collinari minori, il cui originario assetto morfologico è stato profondamente modificato, soprattutto nell'ultimo secolo, dalle trasformazioni antropiche influenzate dall'enorme sviluppo del settore industriale ceramico dei comuni limitrofi di Sassuolo, Fiorano Modenese e Maranello.

La conoide del Fiume Secchia ha le ghiaie sub-affioranti in corrispondenza del margine nord-occidentale del territorio, dove si sviluppano gli abitati di Magreta, Colombarone e Tabina (figura 9). Più ad ovest i depositi ghiaiosi del Secchia si approfondiscono gradualmente in favore di una coltre superficiale fine (limi sabbiosi, sabbie limose, limi argillosi) che aumenta di spessore fino a raggiungere i suoi massimi (circa 10 m) nel settore centro-orientale del territorio, dove il contributo sedimentario da parte dei torrenti collinari meridionali risulta fondamentale ed evidente nell'ampia estensione dei relativi conoidi (indicati dalle lettere 2a, 3a e 4a in figura 9). A loro volta i conoidi minori risultano solcati dall'erosione lineare recente degli stessi torrenti minori che, in corrispondenza del Capoluogo, disegnano un reticolo di alvei fluviali limo-sabbiosi che confluisce nel Cavo Cerca – Canale Naviglio all'altezza di Casinalbo.

Figura 9 – Stralcio della “Carta geologica del margine appenninico e dell’alta pianura tra i fiumi Secchia e Panaro (Provincia di Modena) di Gasperi (1987). Le linee blu sovrapposte alla carta sono le isobate (in m s.l.m.) del tetto delle ghiaie come da Foglio CARG 219 “Sassuolo”.



5 DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

I dati elaborati per il presente adeguamento alle più recenti direttive regionali sono costituiti dalle indagini pregresse contenute nello studio di MZS redatto nel 2010 da S.G.G. S.r.l., a cui si sono aggiunte nr. 7 MASW, 58 HVSR, 55 CPT, 15 DM, 7 DPH, 11 DPSH e 2 Re.Mi., eseguite nel territorio dopo il 2010. Oltre a queste indagini sono state reperite dal database regionale 88 prove, di cui 5 carotaggi a carotaggio continuo e 83 pozzi per acqua, svolti sul territorio comunale e utili per la caratterizzazione del sottosuolo.

L'insieme degli elementi geologici e geofisici così acquisiti, unitamente alle informazioni presenti nella letteratura ed ai risultati di sopralluoghi effettuati nel territorio, hanno permesso di ricostruire il modello geologico delle aree interessate dallo studio di microzonazione sismica.

Per tutti i dettagli relativi alle indagini raccolte nel precedente studio di MZS si rimanda allo stesso. In questo aggiornamento i risultati di tutte le indagini (pregresse e di nuovo aggiornamento) sono stati riorganizzati nella più recente struttura informatica (SoftMS v. 4.2) e rappresentati cartograficamente nella tavola "Carta delle indagini" a scala 1:15.000.

Nel complesso le prove a disposizione sono le seguenti:

Tipologia	Numero
CPT	67
MASW	36
Re.Mi.	2
HVSR	102
S	5
PA	83
Prove penetrometriche dinamiche	33
Media	15
Pesante	7
Super pesante	11

6 MODELLO DEL SOTTOSUOLO

Il modello del sottosuolo del territorio comunale di Formigine può essere ben ricostruito integrando l'assetto litostratigrafico superficiale descritto al capitolo 4 con la litostratigrafia più profonda descritta da tre sezioni geologiche dal database delle indagini e sezioni geologiche della Regione Emilia-Romagna, nello specifico le sezioni nr. 103, 55 e 56. Le ultime due intersecano il territorio formiginese con direzione all'incirca S-N: la 55 rappresentativa del settore con ghiaie sub-affioranti centro-occidentale, da Sassuolo a Magreta; la 56 da Spezzano a Casinalbo passante per il Capoluogo di Formigine e rappresentativa del settore centro-orientale, con progressivo approfondimento del tetto delle ghiaie in favore di un aumento di spessore della coltre fine superficiale. La sezione 103 è invece trasversale alle prime due ed interseca l'intero territorio comunale con direzione O-E, passante per Corlo, Formigine e Colombaro (figura 10).

Figura 10 – Tracce delle sezioni geologiche del database regionale che intersecano il territorio comunale.



Figura 11 – Sezione geologica n. 103, Progetto bonifica distretto ceramico Modena-Reggio. Tratta da sito del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna.

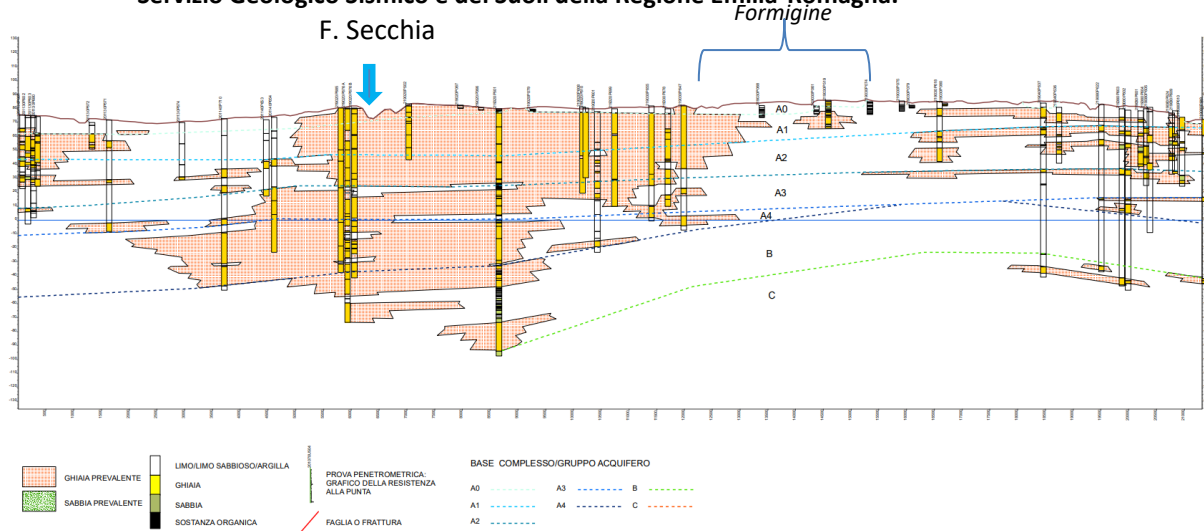


Figura 12 - Sezione geologica n. 55, tratta da sito del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna.

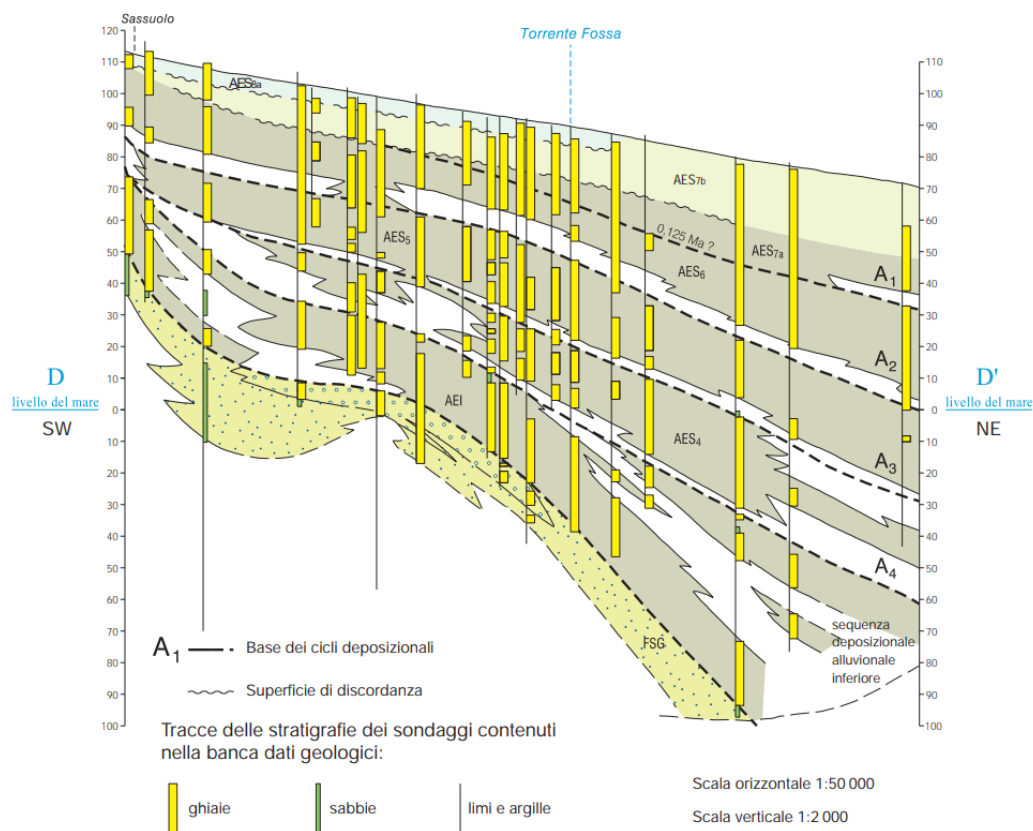
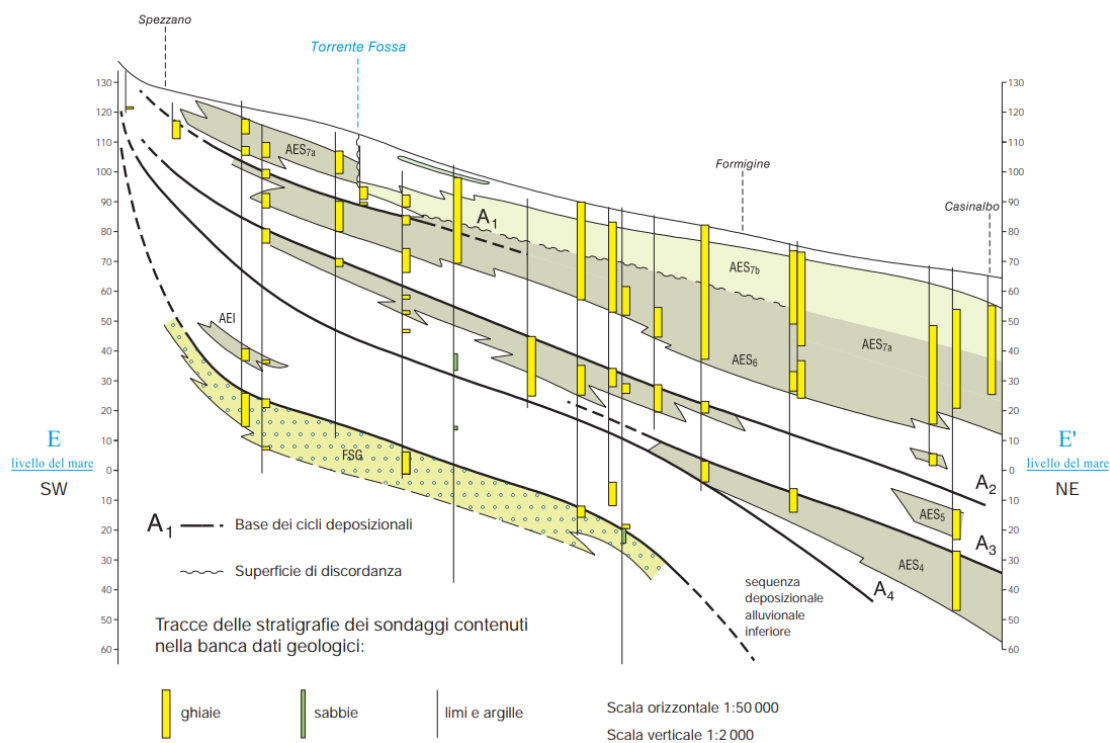


Figura 13 – Sezione geologica n. 56, tratta da sito del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna.



Come si osserva nelle figure 12 e 13, il settore occidentale (sez. nr. 55) vede in tutti i sondaggi ghiaie sub-affioranti e corpi ghiaiosi di ampio spessore e continuità spaziale, sia longitudinale che verticale, con esigui aquitardi a luoghi discontinui. Il settore orientale (sez. nr. 56) vede solo una minoranza di sondaggi con ghiaie sub-affioranti, una parziale discontinuità longitudinale degli spessori ghiaiosi ed aquitardi di più ampio spessore e continuità longitudinale e verticale rispetto al settore occidentale.

La sezione nr. 103, trasversale alle precedenti due, mostra con chiarezza il dominio delle ghiaie in corrispondenza del F. Secchia, con una asimmetria della rispettiva conoide, maggiormente sviluppata ad est dell'alveo attuale. Le ghiaie sfumano procedendo oltre, verso Formigine, fino quasi a scomparire per poi riprendere, con spessori meno rilevanti, procedendo all'interno del territorio comunale di Castelnuovo Rangone.

7 INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

Per quanto riguarda l'interpretazione dei dati pregressi, sia quelli già contenuti nella MZS-2010 che quelli post-2010, relativamente alle indagini penetrometriche d'archivio (CPT e dinamiche), non si segnalano difficoltà interpretative: i dati originali sono sempre risultati di chiara lettura. Relativamente alle indagini geofisiche (MASW, Re.Mi. e HVSR), non emergono difficoltà interpretative. Tuttavia, molti dei profili di Vs con la profondità sono stati ricavati attraverso indagini HVSR, che senza analisi congiunta con MASW o Re.Mi., restituiscono generalmente profili d'inversione di meno agevole interpretazione. Nonostante questo, anche dai profili di Vs da HVSR è spesso visibile il contrasto d'impedenza tra coltre superficiale e ghiaie che caratterizza l'intero territorio comunale.

L'alta densità areale di indagini penetrometriche che caratterizza il territorio ha agevolato l'interpolazione grafica dei dati puntuali permettendo di disegnare zone omogenee dal punto di vista litostratigrafico, verosimilmente prossime alla situazione reale, almeno per quanto riguarda gli areali edificati; nelle aree non costruite, ma anche in alcune aree del costruito scoperte da indagini, l'interpretazione risente inevitabilmente di maggiori margini d'incertezza. La presenza in tutto il territorio di un tetto delle ghiaie prossimo alla superficie topografica è stata quasi sempre intercettata dalle indagini penetrometriche eseguite e questo ha permesso di ricostruire (già nella MS-2010) l'andamento del tetto delle ghiaie per l'intero territorio comunale, con un ottimo dettaglio.

Per quanto riguarda le aree del territorio urbanizzato che ricadono nelle frazioni, le indagini sono talvolta disperse, mentre altre volte si addensano esclusivamente in areali molto ristretti. Questo ha determinato un maggior grado di incertezza rappresentativa nelle aree di frazione rispetto al Capoluogo.

La stessa profondità della principale superficie risonante non è certo priva di incertezze. Laddove i profili di Vs con la profondità, ricavati da indagini geofisiche, ha messo in evidenza un forte contrasto d'impedenza (Vs dello strato sottostante superiore almeno a 2 volte la Vs dello strato sovrastante), la profondità dell'interfaccia è stata individuata con buona precisione.

8 METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

L'assegnazione dei fattori d'amplificazione si è basata sui seguenti dati oggettivi:

- Profondità del tetto delle ghiaie,
- Profili di V_s da indagini geofisiche.

La ricostruzione estremamente dettagliata del tetto delle ghiaie a Formigine, già presente nella precedente MS di livello II e in questa sede ripresa fedelmente, rappresenta il primo dato oggettivo di riferimento. A tale ricostruzione cartografica sono stati sovrapposti i dati puntuali dei profili di V_s interpretati da numerose indagini geofisiche d'archivio. Laddove la profondità del tetto delle ghiaie ha coinciso con la profondità del principale contrasto d'impedenza da prove geofisiche (V_s dello strato grossolano maggiore di almeno 2 volte quella dello strato superficiale fine), è stata considerata la V_{sH} a tale profondità per il calcolo del fattore d'amplificazione (Ambito "Margine A"). In alcuni casi la coincidenza tra dato stratigrafico e geofisico non è presente e si è optato per calcolare la V_{sH} in corrispondenza del contrasto d'impedenza da dato geofisico. Laddove invece le ghiaie sono sub-superficiali, ovvero lo spessore dello strato fine superficiale è inferiore a 3 m, è stato assunto il valore di V_{s30} , utilizzando come Ambito, per il calcolo dei fattori di amplificazione, quello di "Appennino - substrato marino non rigido, caratterizzato da $V_s \ll 800$ m/s".

Il territorio di Formigine ne è risultato in questo modo diviso in due settori, almeno per quanto riguarda le aree indagate da questo studio:

- il settore centro-occidentale, caratterizzato da ghiaie sub-superficiali e in cui sono stati considerati i valori di V_{s30} per il calcolo dei fattori d'amplificazione in Ambito "Appennino", coincide grossomodo con il settore orientale del conoide alluvionale del Fiume Secchia e interessa Colombarone e le frazioni di Magreta, Corlo e Ponte Fossa;
- il restante settore centro-orientale vede un progressivo approfondirsi del tetto delle ghiaie fino a un massimo di circa 10 m, nel dominio dei conoidi minori collinari di Fiorano Modenese. Interessa grossomodo il Capoluogo ad est della bretella SS724 e le frazioni di Casinalbo e Colombaro. Qui sono stati considerati i valori di V_{sH} per il calcolo dei fattori d'amplificazione in Ambito "Margine A".

L'indicazione per la progettazione è di verificare, tramite indagini geofisiche in situ e confronto critico con gli elaborati di MS (nello specifico la carta delle velocità delle onde sismiche, la carta delle frequenze e quanto sopra riportato), la presenza o meno di un contrasto d'impedenza sensibile tra la coltre sedimentaria superficiale (prevalentemente fine e di spessore non inferiore a 3 m) e quella sottostante più grossolana (prevalentemente ghiaie). Laddove fosse presente tale contrasto (**V_s dello strato fine < 2 volte quella dello strato grossolano**), gli accelerogrammi per le analisi di risposta sismica locale dovranno essere ancorati alla profondità dell'interfaccia tra i due strati. Laddove invece il contrasto non sia presente, la profondità del bedrock sismico dovrà essere estrapolata dai dati delle indagini geofisiche eseguite in situ, ricordando che la profondità del substrato marino, in questo contesto geologico, può variare indicativamente tra 50 e 100 m dal piano campagna (DGR 476/2021, successivamente integrata con DGR 564/2021).

Qualora la progettazione ritenga percorribile l'utilizzo del metodo semplificato NTC18 per il calcolo della risposta sismica locale, la scelta tra l'utilizzo del parametro V_{sH} o V_{s30} per stabilire la categoria di suolo NTC18 dovrà anch'essa basarsi sulla presenza o meno dell'interfaccia risonante di cui sopra, da porre a confronto con gli elaborati di MS.

9 ELABORATI CARTOGRAFICI

Lo Studio di Microzonazione Sismica del Comune di Formigine si compone di un primo livello di approfondimento, costituito da una ricerca bibliografica per le caratteristiche geologiche del territorio, una raccolta di indagini geognostiche e geofisiche, che provengono dal database della banca dati della Regione Emilia Romagna⁴, e da lavori e Relazioni Geologiche effettuati nel territorio comunale. Da queste informazioni sono state prodotte la “Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)” e la “Carta Geologico-tecnica”. Molti dati per produrre gli elaborati di primo livello sono stati assunti dallo Studio di Microzonazione di secondo livello precedente (MS 2010), insieme ai dati reperiti dal database della Regione Emilia-Romagna.

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 successivo agg. alla Del. G.R. 476/2021 (int. con Del. G.R. n. 564/2021).

Negli elaborati cartografici di II livello viene riportato il “Limite aree indagate” che comprende al proprio interno, oltre al Territorio Urbanizzato (fornito dall’amministrazione comunale ai sensi della L.R. 24/2017), anche le parti del territorio extraurbano, contermini al territorio urbanizzato, che non presentano fattori preclusivi o fortemente limitanti alle trasformazioni urbane (buffer lungo il perimetro del TU).

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 Formigine.

- **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 e sepolte, agli elementi tettonico-strutturali ed agli elementi geologici ed idrogeologici, solitamente già disponibili nelle banche dati digitali regionali.
- **Carta delle indagini:** qui sono ubicate le indagini (geognostiche e geofisiche) pregresse presenti nel precedente studio di II livello e le indagini reperite dall’ufficio tecnico ed implementate nella banca dati per questo aggiornamento, classificandole in base alla tipologia.
- **Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs):** riporta tutti i punti di misura di Vs con indicazione del valore di Vs₃₀ e di Vs_H; alle indagini pregresse sono state aggiunte ulteriori 7 indagini geofisiche MASW e 58 indagini sismiche HVSR, tutte eseguite dopo il 2010.
- **Carta delle frequenze naturali dei terreni:** riporta i punti di misura e i risultati di indagini di sismica passiva (misure HVSR); in particolare, sono stati indicati il valore f₀ del picco significativo, corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale del terreno (frequenza principale). In particolare sono stati presi in considerazione solo i picchi ricadenti nell’intervallo di frequenza 0,1÷50Hz. Alle indagini pregresse sono state aggiunte ulteriori indagini provenienti da lavori effettuati nel territorio comunale dopo il 2010, e consistono in N° 58 HVSR.
- **Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS):** sono rappresentate le zone suscettibili di amplificazioni locali, all’interno delle quali sono state operate ulteriori distinzioni, identificando delle microzone omogenee, sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche.

⁴ La Banca Dati delle indagini geognostiche e geofisiche della Regione Emilia Romagna è disponibile al sito <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/cartografia/webgis-banchedati/webgis#section-0>

Le cartografie sono state realizzate alla scala 1:15.000, rappresentando in un unico layout l'intero territorio comunale.

9.1.1 Carta geologico-tecnica

Nella **Carta geologico-tecnica**, di cui si riporta un estratto in figura 14, 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 consentito di definire il modello litologico di superficie 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:

- Precedente MS II,
- Carta geologica dell'Emilia-Romagna in scala 1:10000,
- Carte geologica nazionale del progetto CARG, foglio 219 "Sassuolo" e foglio 201 "Modena" in scala 1:50.000,
- Banca dati indagini del sottosuolo della Regione Emilia-Romagna.

Nelle Carta geologico tecnica sono rappresentate le caratteristiche litologiche dei terreni presenti nei primi 3 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:

- **OL** – Limi organici, argille limose organiche di bassa plasticità,
- **SC** – Sabbie argillose, miscela di sabbia e argilla,
- **SP** – Sabbie pulite con granulometria poco assortita.

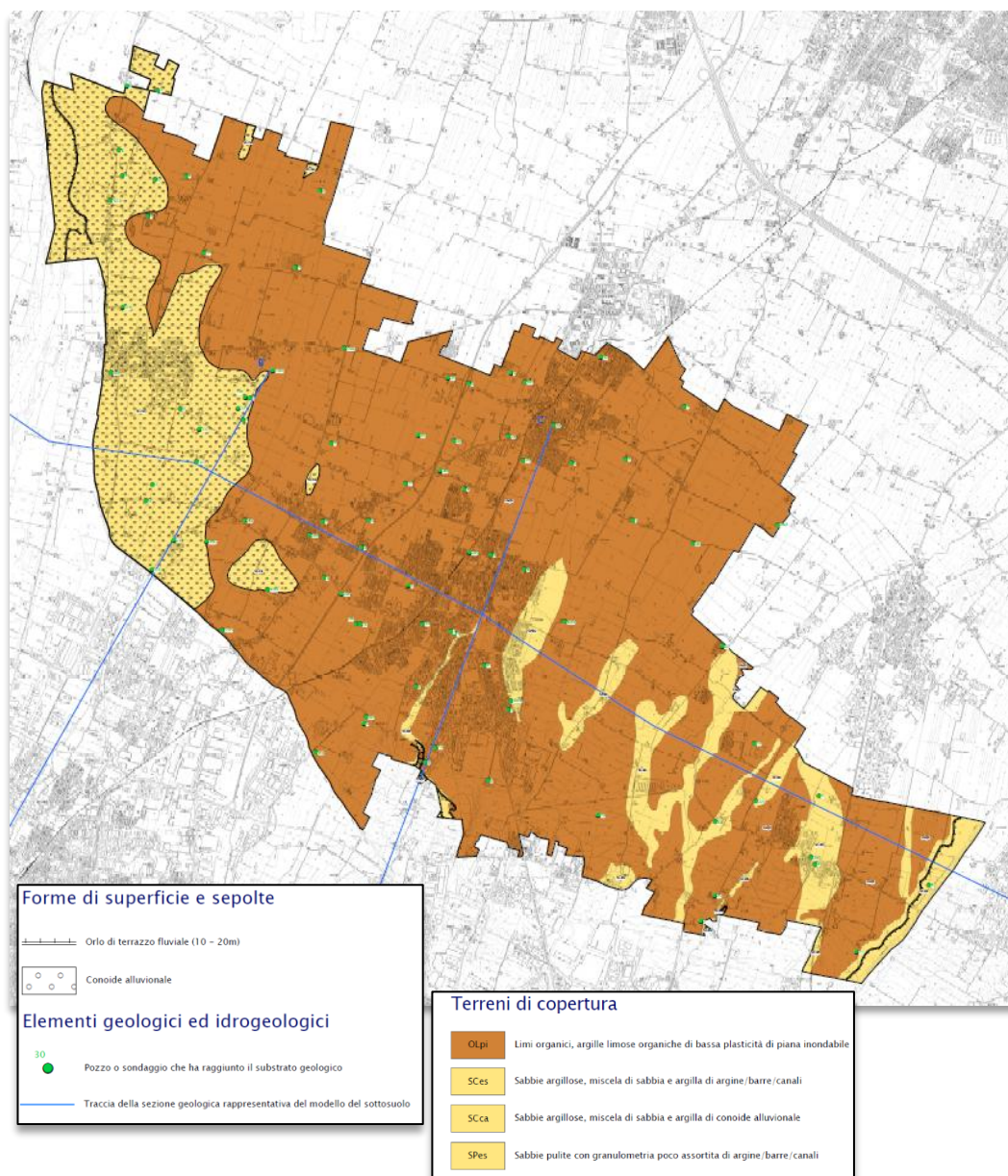
Sono stati altresì indicati gli ambienti genetico-deposizionali dei terreni di copertura secondo le seguenti classi:

- **pi** - piana inondabile,
- **es** – argini, barre, canali,
- **ca** – conoide alluvionale.

Dalla **Carta geologico-tecnica**, riportata nella figura seguente, si evidenzia come le litologie di copertura prevalenti sul territorio comunale siano i limi organici, le sabbie argillose e le sabbie pulite.

Nella Carta geologico tecnica sono anche stati riportati i tracciati di 3 sezioni geologiche, dal database delle sezioni geologiche del Servizio Geologico sismico e dei suoli della Regione Emilia-Romagna, che attraversano il territorio comunale in senso nord-sud ed est-ovest e permettono di avere un quadro dettagliato della stratigrafia del sottosuolo oltre i primi metri superficiali. Gli estratti delle sezioni geologiche sono inseriti nella cartella "Plot-MS" di questa microzonazione sismica.

Figura 14 – Carta Geologico Tecnica



9.1.2 Carta delle indagini

Nella Carta delle indagini sono state riportate le ubicazioni di tutte le indagini geognostiche e geofisiche derivate dal precedente studio di II livello, aggiornate con diverse indagini eseguite nel territorio dopo il 2010.

Nella figura 15 si riporta un estratto della Carta delle Indagini; per tutte le indagini è stata indicata la numerazione come da database presente all'interno della struttura dati.

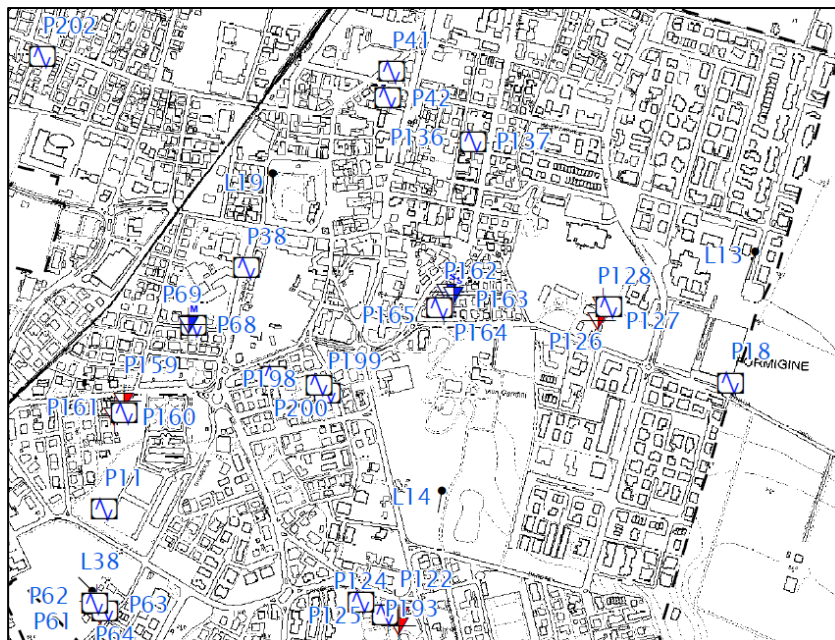
In particolare, sono state acquisite ulteriori indagini da lavori effettuati all'interno del Comune:

- prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT): N° 67
- prove penetrometriche dinamiche: N° 34
- MASW: N° 36
- stazioni microtremore a stazione singola: N° 102
- Re.Mi.: N° 2

E da database regionale:

- Pozzi per acqua (PA): N° 83
- Sondaggi a carotaggio continuo: N° 5

Figura 15 – Estratto Carta delle indagini



Le indagini mostrano una distribuzione spaziale piuttosto disomogenea e tendono ad addensarsi in due settori principali: lungo la direttrice corrispondente al nucleo storico di Formigine e Casinalbo e nella parte occidentale, corrispondente al nucleo abitato di Magreta – Tabina - Colombarone; nella zona orientale, corrispondente a Colombaro, le indagini risultano disseminate nel territorio. Quasi assenti sono le indagini nell’area a nord est dell’abitato di Tabina.

In occasione del presente aggiornamento si è cercato di implementare in maniera consistente il numero delle indagini geofisiche (in particolare) che, nella precedente MS II, risultavano di numero e di distribuzione spaziale non adeguati alla stima dei fattori di amplificazione. La raccolta di numerose nuove indagini (principalmente HVSR) dagli archivi dell’Ufficio Tecnico comunale ha permesso di colmare i diversi “vuoti” esistenti, ottenendo una omogeneità spaziale utile alla successiva analisi di II livello.

Le indagini penetrometriche sono state fondamentali soprattutto per la ricostruzione spaziale (tramite interpolazione) del tetto delle ghiaie, già restituita dal precedente studio di MS-2010. Come descritto nei precedenti capitoli, il tetto delle ghiaie rappresenta una caratteristica di fondamentale importanza per la microzonazione sismica di Formigine, poiché spesso coincide con una superficie risonante importante, possibilmente in grado di influire in modo importante sull’amplificazione sismica.

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

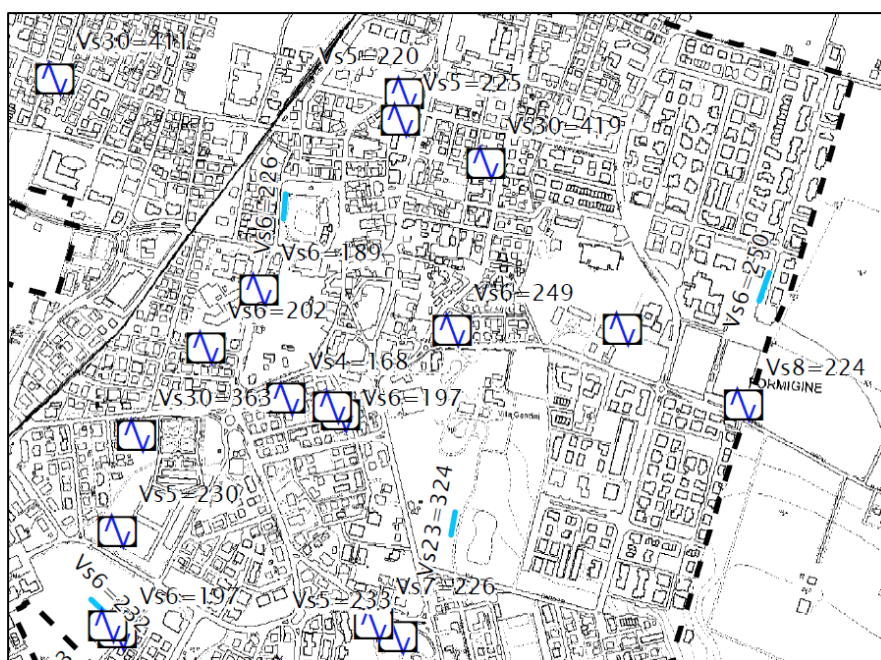
La Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs) mostra la distribuzione spaziale di tutti i valori di V_{s30} o V_{sH} ricavati dalle indagini d’archivio presenti sul territorio comunale; in particolare i punti di misura sono stati distinti a seconda della tipologia di prova effettuata (Re.Mi., MASW 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 V_{s30} o V_{sH} (in m/s), dove:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

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).

Nella maggior parte dei casi sono stati indicati i valori di V_{sH} , dove “H” è la profondità della prima superficie risonante, generalmente coincidente con l’interfaccia tra sedimenti fini e tetto del primo importante spessore ghiaioso. L’utilizzo di V_{s30} o V_{sH} , in questo specifico caso, è stato ponderato in base alle caratteristiche del sottosuolo presente. Per la stesura di questa carta, alle indagini pregresse sono state aggiunte N° 7 MASW e N° 58 HVSR eseguiti sul territorio comunale dopo il 2010. Nella figura 16 si riporta un estratto della carta delle V_s .

Figura 16 – Estratto Carta delle velocità delle onde di taglio



I valori medi di V_{s30} per il settore centro-occidentale sono pari a 425 m/s, mentre quelli di $V_{sH:5-10}$ per il settore centro-orientale sono intorno a 275 m/s.

9.1.4 Carta delle frequenze naturali dei terreni

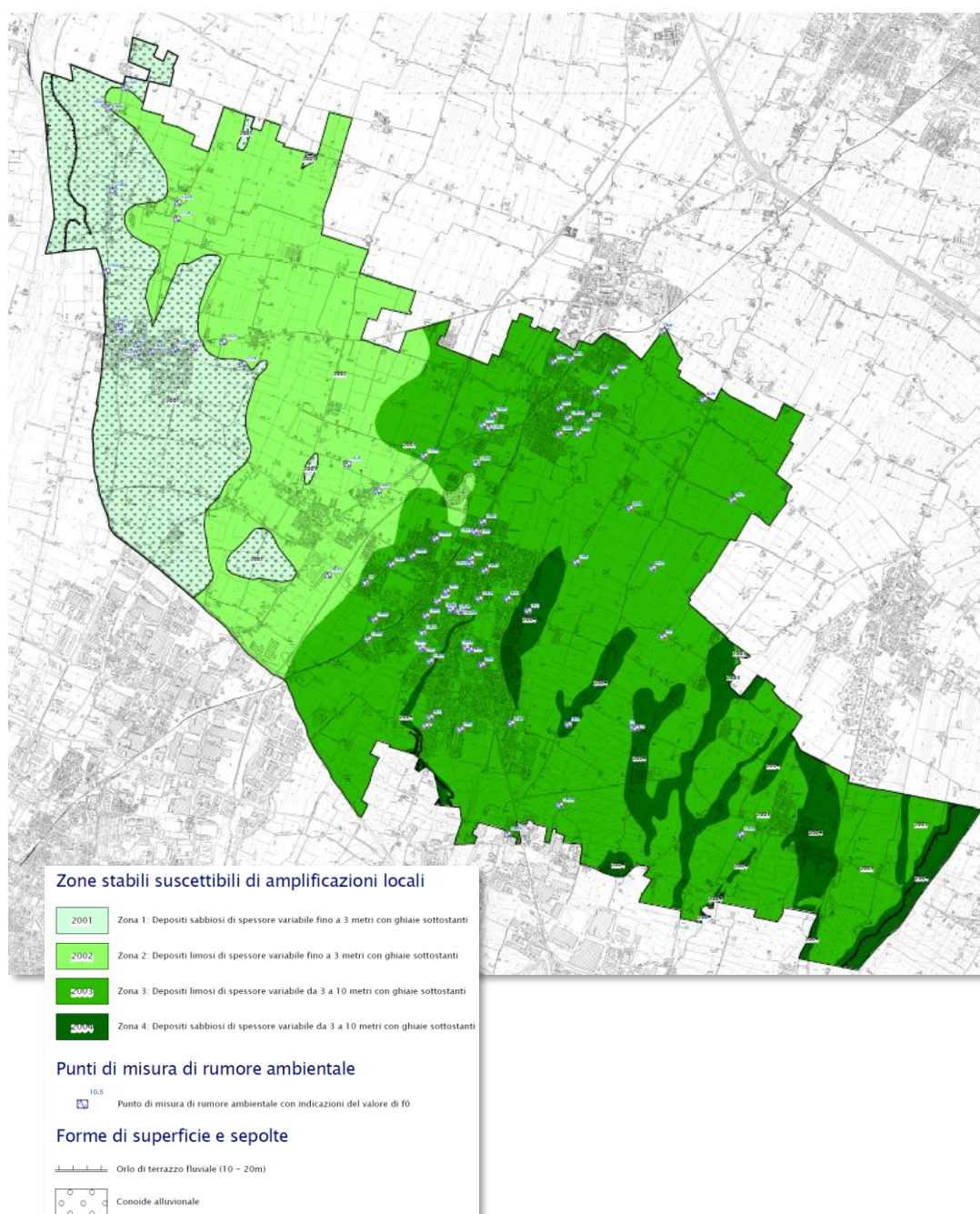
Nella **Carta delle frequenze naturali dei terreni** (figura 17) sono stati riportati tutti i 44 punti di misura derivanti dalle indagini della MS 2010, integrati dai 58 punti di misura effettuati all’interno del Comune dopo il 2010, per un totale di 102 misure della frequenza di vibrazionale del terreno, con associati i risultati delle singole prove. In particolare, assumendo quanto già effettuato nei precedenti studi di MS, sono stati indicati il valore f_0 del picco significativo, corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale del terreno (frequenza principale). 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 ricavata, definendo le seguenti classi:

- $0,6 < f_0 \leq 1$ Hz
- $1 \text{ Hz} < f_0 \leq 2$ Hz

Nella cartografia il territorio in esame viene distinto in 4 **Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**. Si tratta di aree in cui sono attese amplificazioni del moto sismico, causate dall'assetto litostratigrafico locale.

A seguire vengono descritte le microzone omogenee dell'intero territorio comunale, costituite da 4 microzone stabili, suscettibili di amplificazione (zone 2001, 2002, 2003 e 2004).

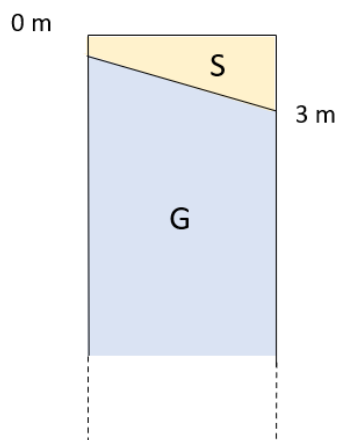
Figura 18 – Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)



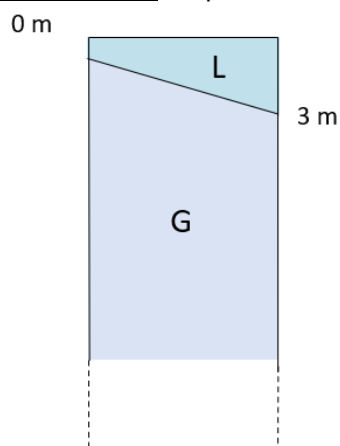
MODELLI LITOSTRATIGRAFICI DELLE MICROZONE INDIVIDUATE

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

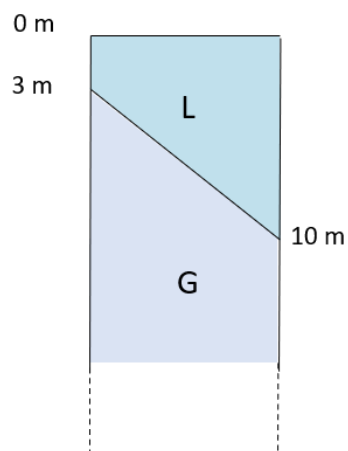
2001 – Zona 1: Depositi sabbiosi di spessore variabile fino a 3 metri con ghiaie sottostanti;



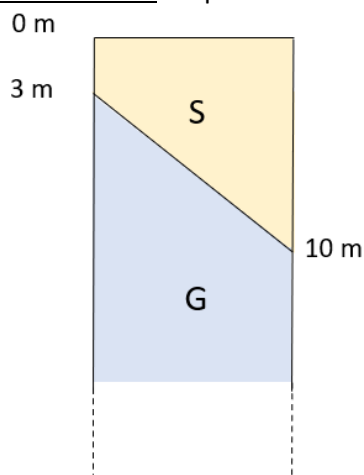
2002 – Zona 2: Depositi limosi di spessore variabile fino a 3 metri con ghiaie sottostanti;



2003 – Zona 3: Depositi limosi di spessore variabile da 3 a 10 metri con ghiaie sottostanti;

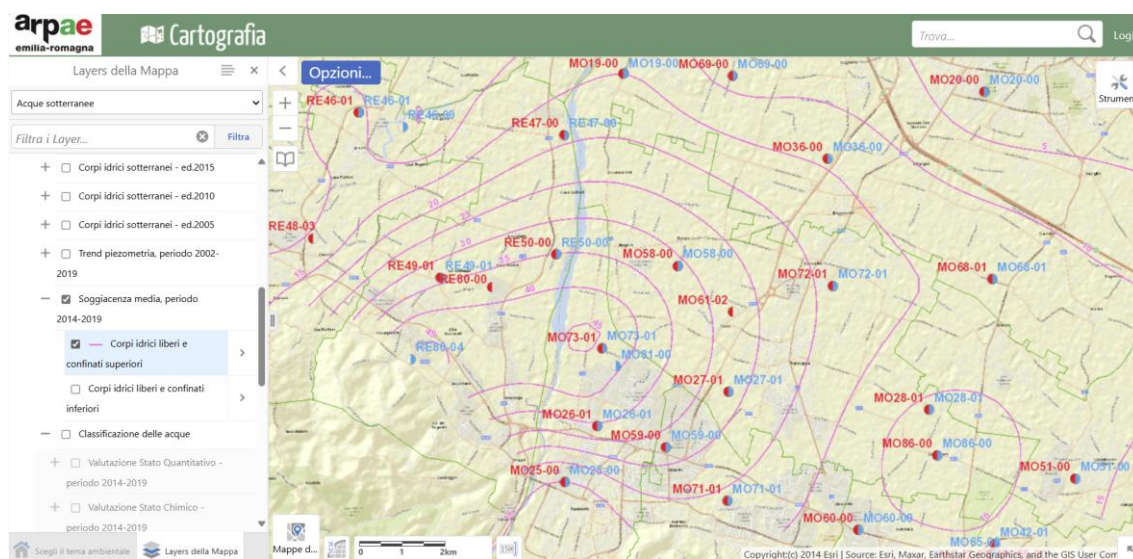


2004 – Zona 4: Depositi sabbiosi di spessore variabile da 3 a 10 metri con ghiaie sottostanti.



Il territorio di Formigine è quindi caratterizzato in gran parte dalla presenza di un sottosuolo dominato dalla presenza di ghiaie che da sub-superficiali nel settore centro-occidentale, vanno gradualmente ad approfondirsi verso est. Ricoprono le ghiaie spessori superficiali di limi sabbiosi, limi argillosi e sabbie. I termini a maggior componente sabbiosa possono essere suscettibili di liquefazione in caso di sisma, qualora immersi in falda. Dall'esame della ricostruzione della soggiacenza eseguita da Arpae per il periodo 2014-2019 (figura 19), è possibile osservare una profondità delle falde libere e confinate superiore a quella del tetto delle ghiaie; solo per Colombaro il tetto della falda coincide quasi con quello delle ghiaie. Questo consente di escludere, per questo livello di analisi, aree di attenzione per la liquefazione. Ciò nonostante, nelle indicazioni per la progettazione presenti nell'articolo relativo alla gestione del rischio sismico delle Norme di PUG, viene comunque indicato il percorso di analisi da intraprendere qualora le indagini geognostiche puntuali rilevino le condizioni favorevoli allo sviluppo di fenomeni di liquefazione nel territorio.

Figura 19 – Soggiacenza media nel periodo 2014-2019 relativamente ai corpi idrici liberi e confinati superiori (Fonte Arpae).



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 il territorio urbanizzato perimetrato ai sensi della L.R. 24/2017 e le parti del territorio extraurbano, contermini al territorio urbanizzato, che non presentano fattori preclusivi o fortemente limitanti alle trasformazioni urbane.

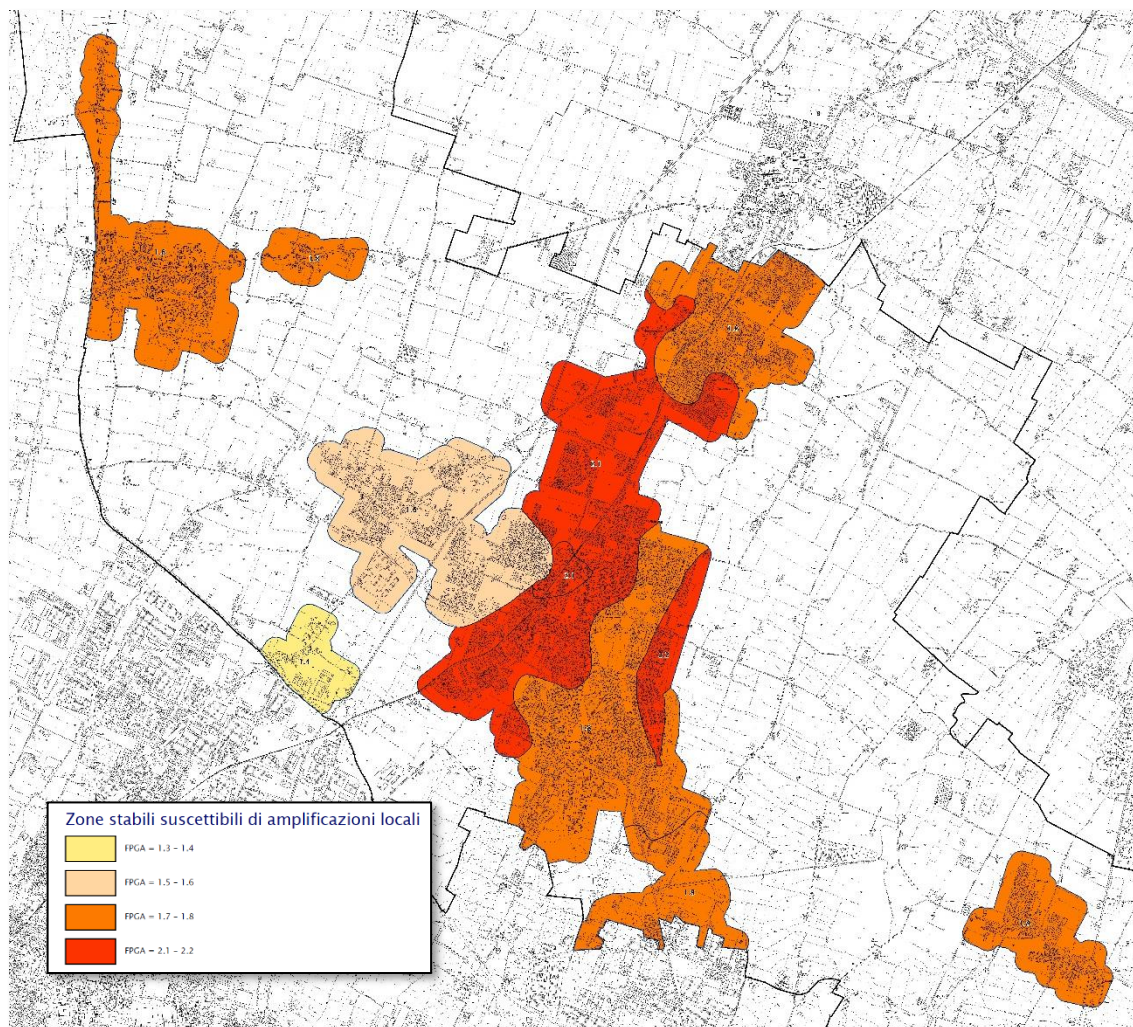
1. Carta dei fattori di amplificazione della PGA (MS_02_FPGA)
2. Carta dei fattori di amplificazione dello spettro di risposta in accelerazione nell'intervallo 0,1-0,5 sec. (MS_02_FA0105).
3. Carta dei fattori di amplificazione dello spettro di risposta in accelerazione nell'intervallo 0,4-0,8 sec. (MS_02_FA0408).
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 dell'accelerazione di gravità), nell'intervallo 0,1-0,5 sec (MS_02_Hsm).

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 frazione di g, nell'intervallo 0,1-0,5 sec. (H_{SM}).

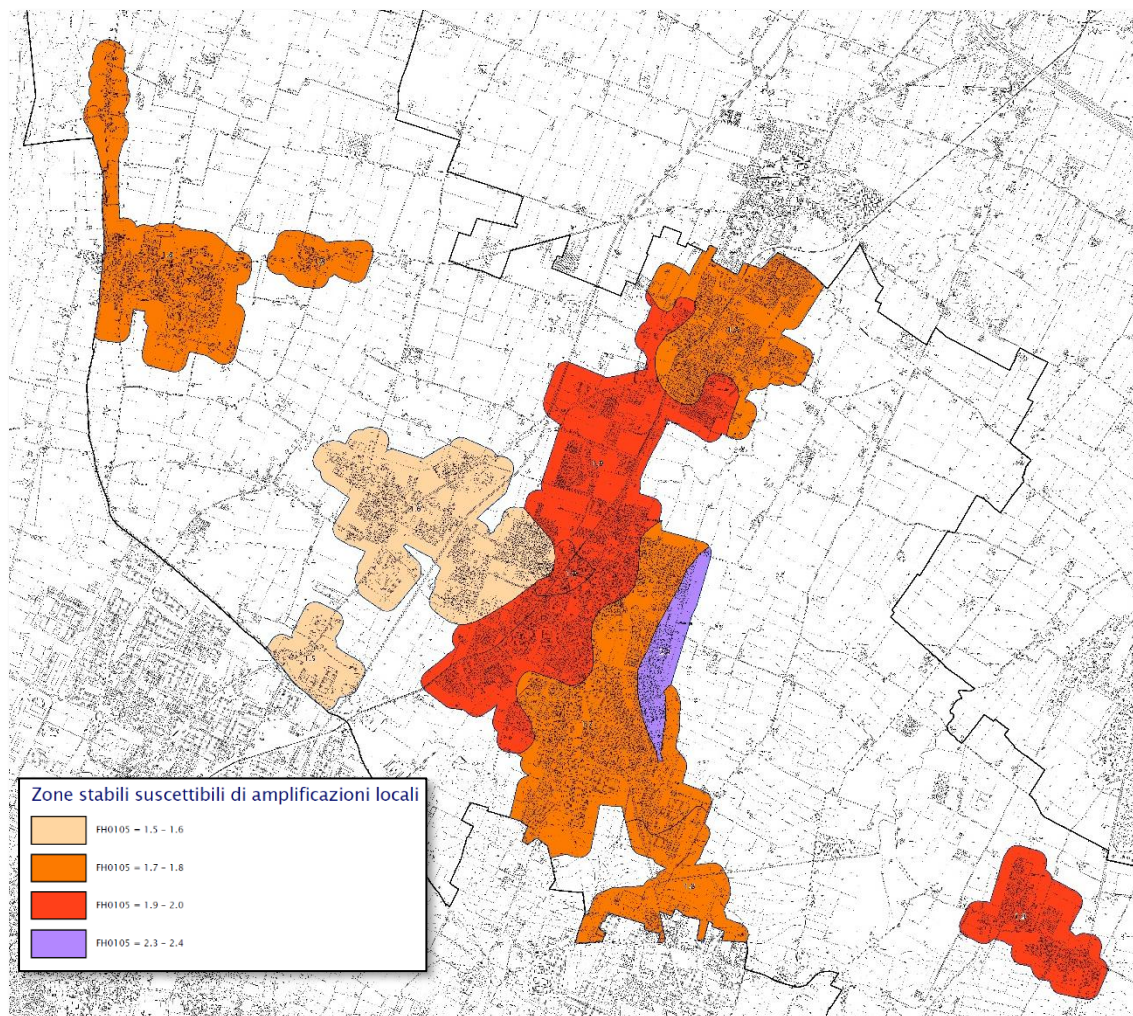
La **Carta dei fattori di amplificazione della PGA**, riportata in figura 20, mostra i valori in gran parte ricadenti nella classe 1.7-1.8, caratteristici degli abitati di Magreta, Tabina, Ubersetto, Colombaro, Casinalbo, della zona intorno a Villa Gandini e del settore meridionale del Capoluogo, a nord di Ubersetto. Le classi di amplificazione meno gravose sono pertinenti a Corlo e Ponte Fossa (rispettivamente 1.5-1.6 e 1.3-1.4), mentre le classi relativamente più gravose sono nella zona centrale del Capoluogo intorno al Castello di Formigine, nella fascia centrale del Capoluogo che si estende in direzione S-N fino a Casinalbo e in una sottile porzione del Capoluogo lungo il suo margine centro-orientale (classe 2.1-2.2).

Figura 20 - Carta dei fattori di amplificazione della PGA



Nella **Carta dei fattori di amplificazione dell'intensità di Housner (periodi 0,1 – 0,5)**, rappresentata in figura 21, si può notare una distribuzione spaziale delle classi di amplificazione diversa a quella degli FA della PGA. Le aree a maggiore amplificazione sono intorno al castello, alla fascia centrale del Capoluogo che si estende in direzione S-N fino a Casinalbo e a Colombaro (1.9-2.0) mentre una sottile porzione del Capoluogo lungo il suo margine centro-orientale presenta i valori maggiori di tutto il territorio comunale (2.3-2.4). Le aree a minore amplificazione sono relative agli abitati di Corlo e Ponte Fossa (1.5-1.6). Le restanti aree ricadono in classe intermedia (1.7-1.8).

Figura 21 - Carta dei fattori di amplificazione dell'Intensità di Housner nei periodi 0,1-0,5 sec.

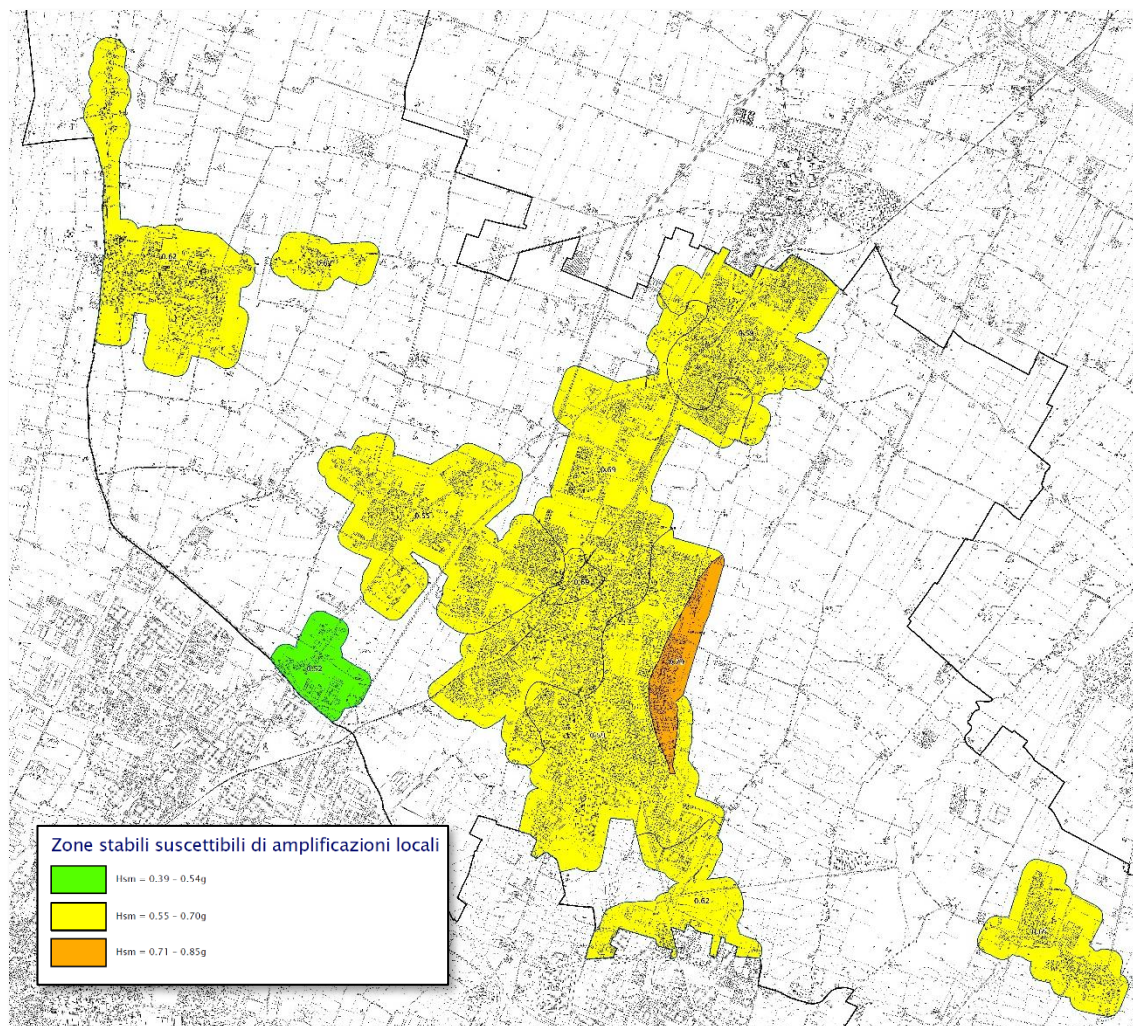


La **Carta dello scuotimento in accelerazione atteso al sito, in frazione dell'accelerazione di gravità (g) (HSM)**, rappresentata in figura 22, mostra come i valori siano sostanzialmente uniformi su buona parte del territorio comunale, compresi nella classe 0,55 - 0,70 g.

Si differenzia l'area di Ponte Fossa, con gli scuotimenti minori, pari a 0,52 g, ricadente nella classe 0,39 - 0,54g. La sottile porzione del Capoluogo lungo il suo margine centro-orientale, si differenzia, invece, per scuotimenti maggiori, pari a 0,79g, ricadente nella classe 0,71 - 0,85g.

In generale, in base alla classificazione di Naso et al. (2019), lo scuotimento atteso è indicativo di un livello di pericolosità sismica "moderato" e "alto" per la porzione centro-orientale del Capoluogo; ciò prevede un danno potenziale rispettivamente da "moderato" ad "alto" e "alto", equiparabile ad un'intensità strumentale del grado VIII e IX della Scala MCS.

Figura 22 - Carta dello scuotimento in accelerazione atteso al sito, in frazione dell'accelerazione di gravità (g), (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. Direttrici 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., Bramerini, 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.