



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 Reggio



Regione	Soggetto realizzatore	Data
Emilia Romagna	Dott. Geol. Gemelli Thomas	Settembre 2017
	Amministrazione Comunale	(revisione Settembre 2020)
	Sindaco	
	Roberto Angeli	Elaborato 11.4.1

INDICE

1. INTRODUZIONE.....	2
2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO	4
2.1 Caratteristiche sismotettoniche.....	4
2.2 Sismicità del territorio	7
2.3 Nuova classificazione sismica	12
3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA.....	15
3.1 Inquadramento geologico	15
3.2 Geomorfologia	17
3.3 Idrogeologia	18
3.3.1 Soggiacenza acquifero freatico.....	20
4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI.....	22
5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO	24
6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE	24
7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI	26
8. ELABORATI CARTOGRAFICI DI PRIMO E SECONDO LIVELLO	27
8.1 Carta delle indagini	27
8.2 Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica.....	28
8.3 Carta delle frequenze naturali dei terreni.....	33
8.4 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica	34
8.5 Carte delle velocità delle onde di taglio S.....	37
9. APPROFONDIMENTI DI TERZO LIVELLO.....	37
9.1 Aree considerate.....	37
9.2 Risposta sismica locale	38
9.2.1 Pericolosità sismica di base	38
9.2.2 Segnali in input.....	38
9.2.3 Modello geofisico del sottosuolo	39
9.2.4 Codice di calcolo (EERA) per la valutazione della RSL	39
9.2.5 Suddivisione in zone a comportamento omogeneo	39
9.2.6 Risultati della modellazione numerica	40
9.2.7 Risultati per singole zone.....	41
9.3 Confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati.....	50
9.3.1 Confronto con studio OD 70 / 2012.....	52
9.4 Verifica del rischio di liquefazione	53
9.4.1 Magnitudo di riferimento.....	54
9.4.2 Analisi dei risultati	55
9.5 Aggiornamento studio al DGR 630-2019.....	57
9.5.1 Carta della distribuzione sul territorio dei valori di HSM (Naso et al., 2019).....	57
9.4 Carte di microzonazione sismica.....	58
10 BIBLIOGRAFIA	59
11 ALLEGATI	61

1. INTRODUZIONE

Nella presente Relazione illustrativa vengono descritte le attività svolte e i risultati ottenuti nel corso dello studio di Microzonazione Sismica (MS) del **Comune di Reggio** (Provincia di Reggio nell'Emilia), aggiornato e adeguato agli standard regionali e nazionali vigenti al momento di inizio dei lavori della precedente MS speditiva realizzata nel 2013 per l'avvio della ricostruzione post sisma 2012 (Ordinanza n. 70 del 13/11/2012)¹.

Gli studi di Microzonazione Sismica hanno l'obiettivo di razionalizzare le conoscenze in merito alle alterazioni che lo scuotimento sismico può subire in superficie e di fornire informazioni utili al governo del territorio, alla progettazione, alla pianificazione per l'emergenza e alla ricostruzione post sisma.

La MS consente di suddividere il territorio esaminato in base alla presenza e alla distribuzione dei fenomeni di possibile amplificazione dello scuotimento, legati alle caratteristiche litostratigrafiche e morfologiche delle singole aree considerate ed ai possibili fenomeni di instabilità e deformazione permanente in esse attivati dal sisma. L'insieme di queste conoscenze sul comportamento dei terreni durante un evento sismico e sui possibili effetti indotti dallo scuotimento, è un indispensabile strumento di prevenzione e di riduzione del rischio sismico, particolarmente efficace, se realizzato e applicato durante la pianificazione urbanistica, per indirizzare le scelte di trasformazione verso aree a minore pericolosità.

Tutte le attività svolte ed in particolare l'elaborazione e la redazione degli elaborati richiesti, sono state effettuate nel rispetto dei seguenti riferimenti tecnici:

- “Microzonazione sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica” - **Versione 4.0b**, Roma, ottobre 2015 - Elaborato e approvato nell'ambito dei lavori della Commissione tecnica per la microzonazione sismica, nominata con DPCM 21 aprile 2011 (di seguito “SRAI”);
- “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica” approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome e successive modifiche e integrazioni (di seguito “ICMS”);
- criteri per la realizzazione degli studi di microzonazione sismica e analisi della condizione limite per l'emergenza, di cui all'OCDPC n. 293/2015;
- indicazioni per l'archiviazione informatica, rappresentazione e fornitura dei dati degli studi di microzonazione sismica e dell'analisi della condizione limite per l'emergenza, di cui all'OCDPC n. 293/2015;
- DGR 2193/2015. Deliberazione della Giunta della Regione Emilia Romagna n. 2193 del 21 dicembre 2015: Art. 16 della L.R. n. 20 del 24/3/2000. Approvazione aggiornamento dell'Atto di coordinamento tecnico denominato “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale

¹ Vedasi carte e relazione in <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/sismica/speciale-terremoto/sisma-2012-ordinanza-70-13-11-2012-cartografia>

e urbanistica” di cui alla Deliberazione dell’Assemblea Legislativa 2 maggio 2007, n. 112;

- “Approvazione allegato “A” recante l’elenco dei Comuni destinatori dei contributi per studi di microzonazione sismica e analisi delle condizioni limite di emergenza di cui all’Ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 293/2015 e Decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile del 14/12/2015 (Delibera di Giunta regionale n. 573/2016) e attribuzione contributi”;
- Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2017. Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da fenomeni di Liquefazione (LQ). Versione 1.0. Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome - Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile, Roma.

Il presente studio di Microzonazione Sismica, attuato in conformità a quanto stabilito dai riferimenti tecnici sopraelencati e dal capitolato tecnico è articolato nei seguenti tre livelli di approfondimento:

➤ **PRIMO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO:**

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

➤ **SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO:**

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

➤ **TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO:**

- Conferma delle condizioni di pericolosità indicate dai precedenti livelli di approfondimento ed eventuale nuova perimetrazione delle aree in cui effettuare la microzonazione sismica.
- Valutazione più approfondita della risposta sismica locale, in termini di

amplificazione e/o stima degli indici di rischio, nelle seguenti situazioni:

- a) aree soggette a liquefazione e densificazione;
- b) aree instabili e potenzialmente instabili;

Le aree oggetto di MS presentano una superficie complessiva di **1391 Ha**, corrispondente a circa il **31%** dell'intero territorio comunale (4311 Ha).

Per l'archiviazione dei dati e l'editing dei documenti sono stati seguiti gli standard di riferimento forniti (Standard di rappresentazione e archiviazione informatica), versione 4.0b.

Per l'inserimento dei dati alfanumerici dei siti, delle indagini e dei parametri è stato utilizzato l'apposito software: "MS - SoftMS", versione 4.0.1, parallelamente a Microsoft Access (ver. 2016).

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

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

2.1 Caratteristiche sismotettoniche

Un passo fondamentale nella valutazione del rischio sismico di un'area è l'identificazione delle faglie attive.

Sebbene esistano, infatti, strutture a scorrimento lento asismico (*fault creep o tectonic creep*), molte delle faglie attive sono considerate sorgenti sismiche in quanto lo scorrimento istantaneo dei due lati delle stesse, che avviene allorché lo stress supera la resistenza delle rocce, genera il rilascio di onde elastiche che si propagano in tutte le direzioni. A tali faglie sismogenetiche è associato il maggior rischio.

Per la definizione di faglia attiva si fa normalmente riferimento alla possibilità che una faglia può attivarsi in un intervallo di tempo futuro che interessa la nostra società. D'altra parte le faglie che hanno la maggiore probabilità di muoversi in un futuro prossimo sono da ricercarsi tra quelle che si sono mosse nelle fasi più recenti della storia geologica. Così una delle definizioni più comunemente accettata è quella della *U.S Nuclear Regulatory Commission* (1982), che definisce attive le faglie che presentano un'attivazione negli ultimi 35.000 anni o almeno due negli ultimi 500.000 anni.

La Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna alla scala 1:250.000 (2004), oltre alla definizione della pericolosità sismica locale e all'individuazione di strutture potenzialmente sismogenetiche, offre anche un quadro delle relazioni fra attività tettonica attuale e i rischi naturali.

In detto lavoro, infatti, l'analisi comparata della sismicità e delle strutture attive, evidenti per la loro espressione sia morfologica che geologica, unitamente ad una riconsiderazione dei dati disponibili sui movimenti verticali del suolo (sollevamento dei terrazzi alluvionali, subsidenza, evoluzione del reticolo idrografico) e alla ricostruzione delle isobate delle 2 principali e più recenti superfici di discontinuità del sottosuolo (rispettivamente

450.000 anni, base del SERS, e 10.000 anni, base dell'Olocene), ha permesso di ottenere un quadro neotettonico e sismotettonico ben definito del territorio indagato.

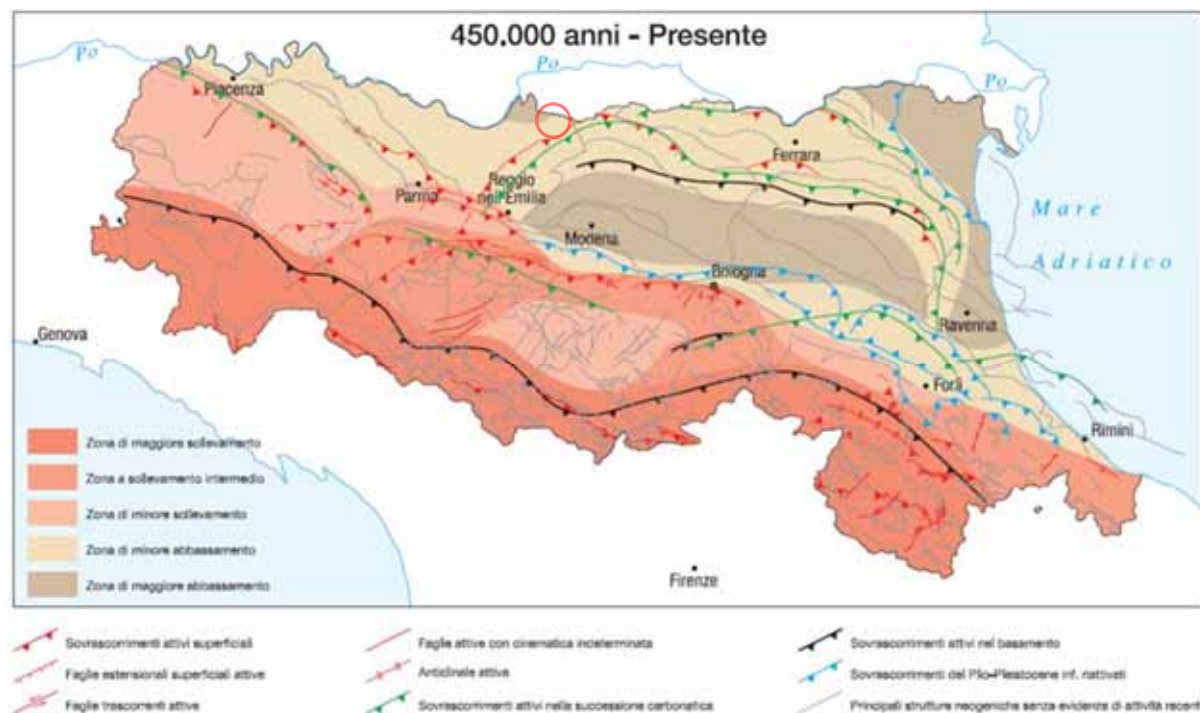


Fig. 1: Schema di sintesi sull'attività neotettonica in Emilia-Romagna

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

L'area a sollevamento intermedio, con tassi mediamente ≥ 1 mm/anno, corrisponde al settore immediatamente retrostante la struttura superficiale del margine che da Bologna si estende verso NW fino alla valle del Taro. Le aree a minore sollevamento (<1 mm/anno) si collocano immediatamente a valle della struttura crostale.

Anche in pianura le zone di minore abbassamento, con tassi <1 mm/anno, corrispondono alle aree maggiormente interessate dalle strutture attive. Le strutture di questo settore sono sepolte e non mostrano, generalmente, evidenze in superficie.

In particolare, il sistema attivo delle Pieghe Emiliane-Ferraresi corrisponde al limite tra la zona in minore sollevamento della catena con la zona di minore abbassamento della pianura. La sismicità legata alle strutture superficiali, con ipocentri mediamente ad una profondità inferiore a 15 km, risulta molto diffusa in catena e più localizzata in pianura, soprattutto in corrispondenza della dorsale ferrarese.

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

La sismicità crostale, con ipocentri mediamente compresi tra 15 e 35 km, mostra una distribuzione simile a quella più superficiale ma con una densità inferiore.

Anche in questo caso i meccanismi focali risultano compressivi e trascorrenti con direzioni di compressione sia NW-SE che NE-SW ed i meccanismi distensivi sono rari e ben localizzati.

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

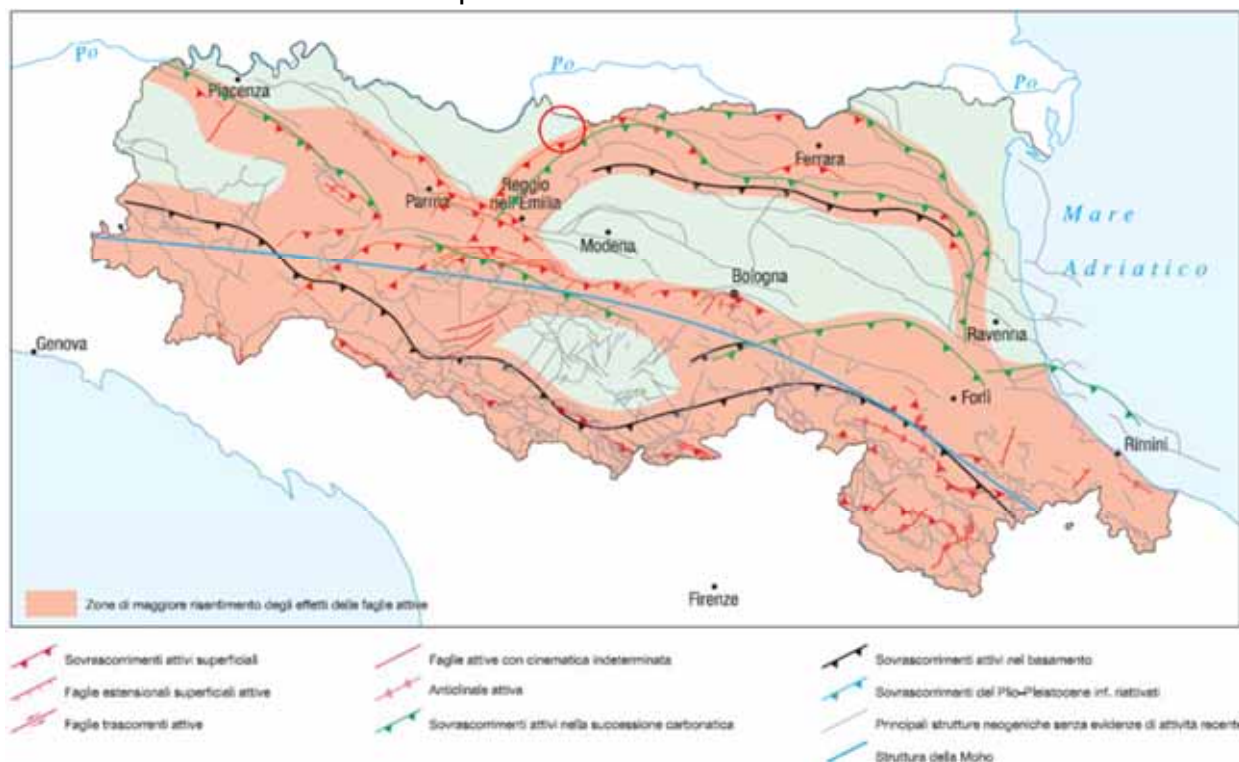


Fig. 2: Zonazione delle aree che maggiormente risentono delle faglie attive

Risulta così un modello geodinamico attivo in cui le strutture superficiali della copertura, quelle crostali e quelle del mantello, sebbene tra loro distinte, sono tutte coerenti e inquadrabili in un sistema transpressivo che rispetto alle zone esterne dell'avampaese padano, relativamente stabili, assume il significato di un sistema di ordine inferiore all'interno di una zona di trascorrenza destra.

In Fig.2 è riportata la distribuzione delle strutture attive rispettivamente della copertura, della crosta e del mantello con una zonazione delle aree che maggiormente risentono della loro attività.

Per questa zonazione si è tenuto conto anche degli effetti superficiali quali le aree di maggiore sollevamento in catena e di minore abbassamento in pianura, come pure della distribuzione delle aree a maggiore frequenza di fenomeni franosi. Si osserva che l'area in esame è situata in zona di maggior risentimento degli effetti delle faglie attive.

2.2 Sismicità del territorio

La storia sismica del Comune di Reggio è stata desunta da “DBMI15, Versione 2.0”², un database di osservazioni macrosismiche di terremoti di area italiana sopra la soglia del danno”, database realizzato dal Gruppo Nazionale per la Difesa dei Terremoti che contiene i dati macrosismici provenienti da studi dello stesso GNDT e di altri enti.

Essa è riassunta graficamente nel diagramma di Fig.3, mentre in Tab.1 sono elencati gli eventi di maggior intensità al sito (Is>VI grado della scala MCS).

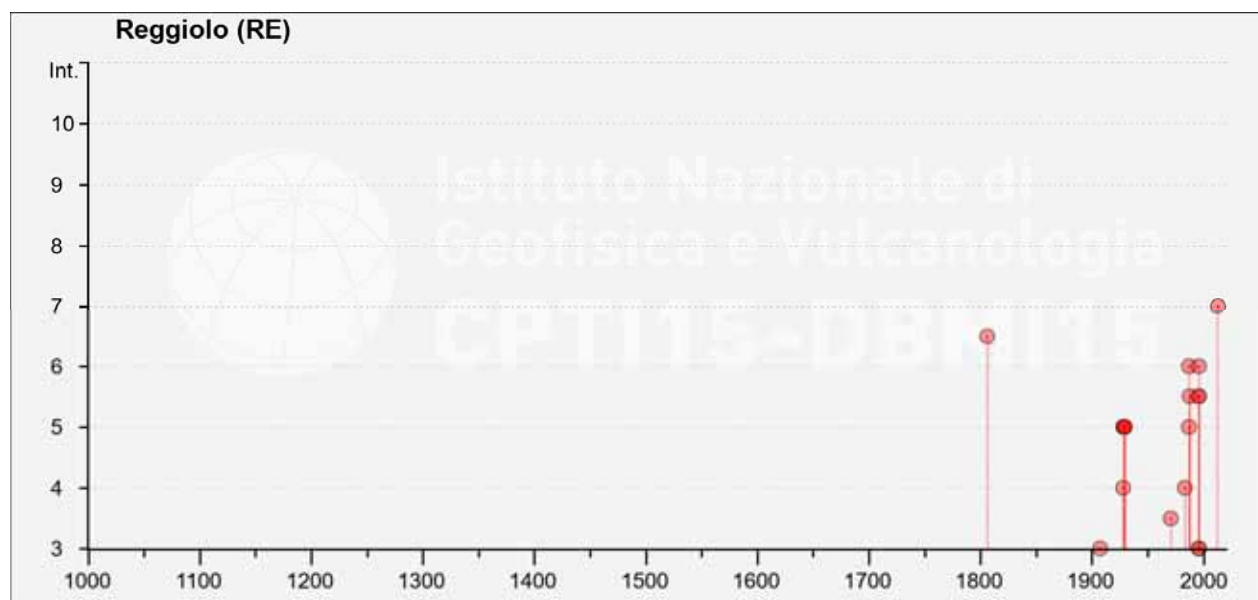


Fig. 3: Grafico rappresentante la storia sismica di Reggio

Int.	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
6-7	1806 02 12	Reggiano	28	7	5,21
NF	1901 01 20 06 30	Bassa modenese	10	4	3,68
NF	1901 01 20 06 34 20.00	Bassa modenese	12	5	4,11
3	1907 04 25 04 52	Veronese	122	6	4,79
NF	1910 01 23 01 50	Piacentino	118	5	4,39
5	1928 06 13 08	Carpi	35	6	4,67
4	1928 07 25 01 25	Carpi	3	4-5	3,93
5	1929 04 19 04 16	Bolognese	82	6-7	5,13
2	1929 04 19 22 40	Bolognese	12	5-6	4,54
5	1929 04 20 01 10	Bolognese	109	7	5,36
5	1929 05 11 19 23	Bolognese	64	6-7	5,29
NF	1937 09 17 12 19 05.00	Parmense	34	7	4,77
3-4	1971 09 11 23 18 12.00	Pianura emiliana	15	5	4,19
4	1983 11 09 16 29 52.00	Parmense	850	6-7	5,04
NF	1986 12 06 17 07 19.77	Ferrarese	604	6	4,43
5	1987 04 24 02 30 27.04	Reggiano	54	6	4,64
6	1987 05 02 20 43 53.32	Reggiano	802	6	4,71
5-6	1988 03 15 12 03 16.17	Reggiano	160	6	4,57
5-6	1996 10 15 09 55 59.95	Pianura emiliana	135	7	5,38
3	1996 10 26 04 56 54.10	Pianura emiliana	63	5-6	3,94
3	1996 10 26 06 50 26.94	Pianura emiliana	35	5-6	3,63
6	1996 11 25 19 47 53.85	Pianura emiliana	65	5-6	4,29
5-6	1996 12 16 09 09 53.08	Pianura emiliana	115	5-6	4,06
7	2012 05 29 07 00 02.88	Pianura emiliana	87	7-8	5,9

Tab.1: Eventi sismici i cui effetti si sono risentiti nel territorio di Reggio

² Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Antonucci A. (2019). Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 2.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/DBMI/DBMI15.2>

Dalla lettura di Tab.1 si evidenzia che il massimo evento sismico censito a Reggiolo, secondo il DBMI15 - *Versione 2.0*, si è verificato il 29 maggio 2012 con un'intensità del VII grado della scala MCS. L'epicentro è indicato tra gli abitati di Mirandola - Cavezzo (da CPTI15, Lat. 44.841 - Long. 11.065). Il terremoto è stato caratterizzato da una magnitudo calcolata sulle onde di superficie (M_s) pari a 5.91.

Si tratta di un sisma di intensità simile a quello avvenuto nella stessa zona, ma non registrato nel DBMI15, verificatosi il 20 maggio 2012 alle ore 4.03, con epicentro Mirandola (MO), in occasione del quale è stata registrata una magnitudo pari a 5.9 della scala Richter.

Tale sisma è stato seguito da numerosissime altre scosse (1437 fino al 4 giugno - Fonte INGV) di cui 6 di magnitudo superiore a 5. In Fig.4 è riportata la distribuzione temporale delle scosse sismiche nel periodo compreso tra il 20 maggio ed il 4 giugno 2012 e la relativa intensità.

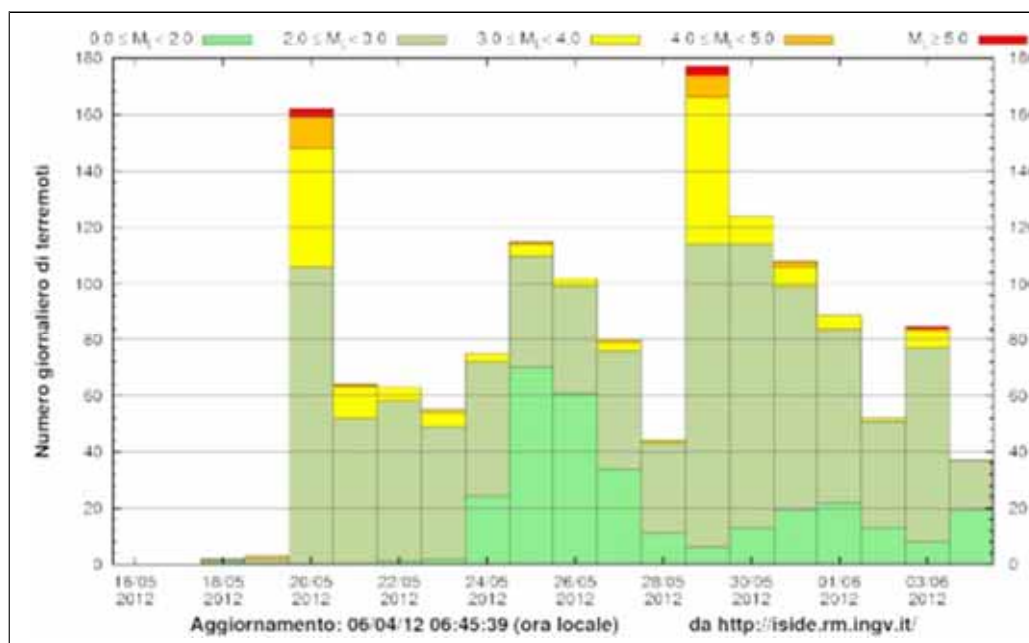


Fig.4: Sequenza sismica dal 20 maggio al 4 giugno 2012

L'elaborazione dei dati della rete sismica nazionale ha consentito ad INGV di verificare che il sisma è legato ad un meccanismo di tipo compressivo, con direzione di massima compressione nord-sud. Tale meccanismo è compatibile con la "struttura di Mirandola", faglia già valutata come potenziale sorgente sismogenetica, con magnitudo massima attesa pari a 5.9 della scala Richter.

In effetti il sisma, secondo le interpretazioni di INGV, è quindi associabile al movimento della faglia di Mirandola, associata al sistema delle Pieghe Ferraresi.

In Fig.5 è riportata la distribuzione spaziale dei sismi con magnitudo maggiore di 4; come si può notare dalla figura la profondità degli ipocentri è quasi sempre superficiale (5-10 Km).

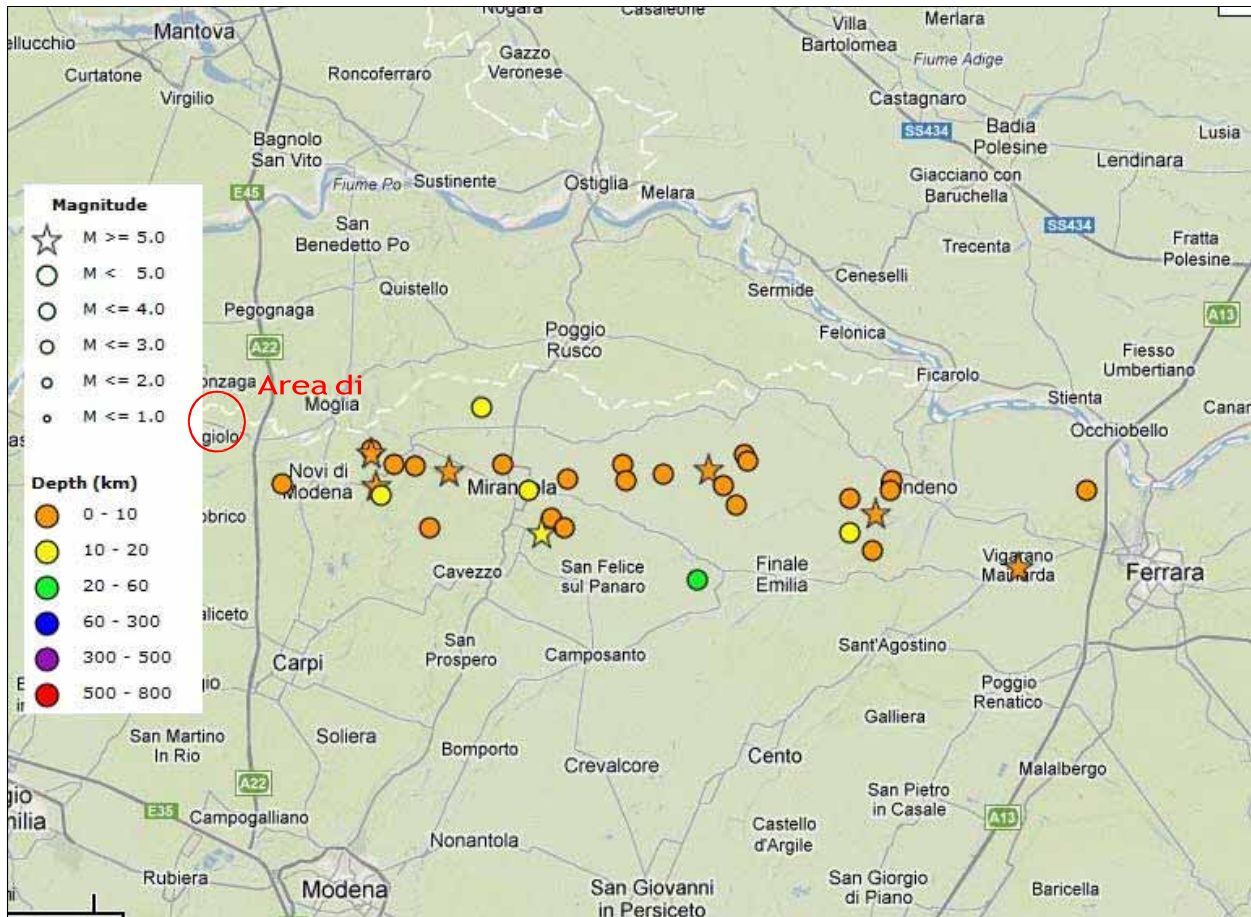


Fig.5: Distribuzione degli epicentri dei sismi con magnitudo > 4 (da <http://iside.rm.ingv.it>)

In Fig.6 è rappresentata una sezione schematica delle strutture sismogenetiche che hanno generato il terremoto

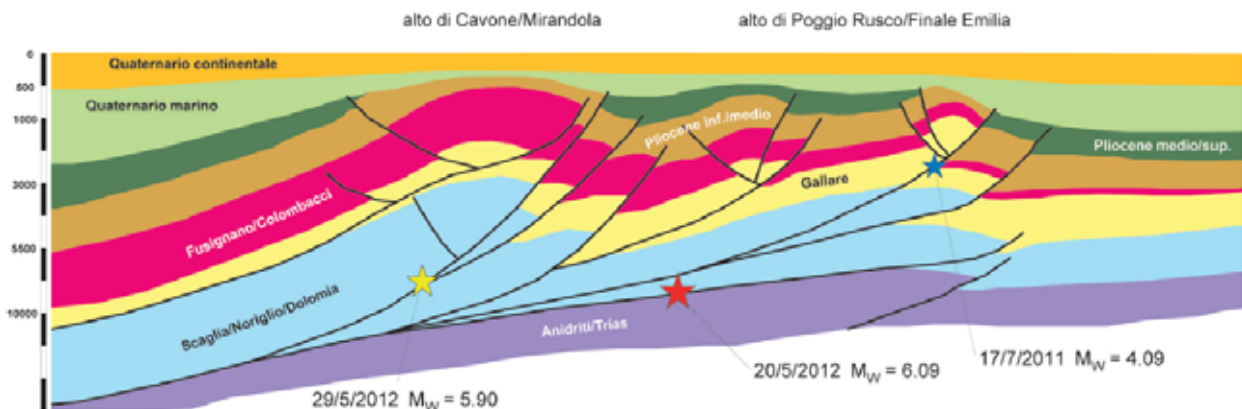


Fig.6: sezione geologica attraverso le zone ipocentrali della sequenza sismica emiliana 2012 (da linee sismiche ENI), con proiezione degli ipocentri delle scosse principali (20 e 29 maggio) e della scossa del 17/7/2011. Profondità non in scala (da fig. 4.33, Carta Sismotettonica Della Regione Emilia Romagna Ed Aree Limitrofe, 2016)

L'evento di magnitudo $M_w=6.09$ (da CPTI15) del 20/5/2012 è stato risentito in tutto il nord-Italia e le *shakemap* (Fig.7) calcolate subito dopo l'evento confermano queste osservazioni. In particolare, nella zona epicentrale le accelerazioni massime (PGA) sono state stimate fino a $0.3g$, ossia il 30% dell'accelerazione di gravità. Analoga accelerazione è stata calcolata per il sisma nel 29/5/2012, che ha presentato una magnitudo pari a 5.9 della scala Richter.

La stazione di registrazione più vicina (appartenente alla Rete Accelerometrica Nazionale), ubicata a Mirandola (MRN), e si può fare un confronto tra gli accelerogrammi relativi ai due eventi, quello del 29/05/2012 (Fig. 8a) e quello del 20/05/2012 (Fig. 8b):

- 1) Viene posta a circa 4 km dell'epicentro dell'evento del 29/05/2012, con un picco massimo di accelerazione di $0.917 g$, corrispondente alla componente verticale (UP-DOWN), mentre le rispettive componenti orizzontali sono comprese tra $0.224 g$ (OVEST-EST) e $0.296 g$ (SUD-NORD);
- 2) Viene posta a circa 13.3 km dell'epicentro dell'evento del 20/05/2012, dove il picco massimo d'accelerazione registrato, in occasione dell'evento più forte (IA) è di $0.309 g$, e, come mostrato in Fig.8, corrisponde alla componente verticale (UP-DOWN). Inferiori risultano i picchi corrispondenti alle due componenti orizzontali (0.264 in direzione SUD-NORD e 0.261 in direzione OVEST-EST).

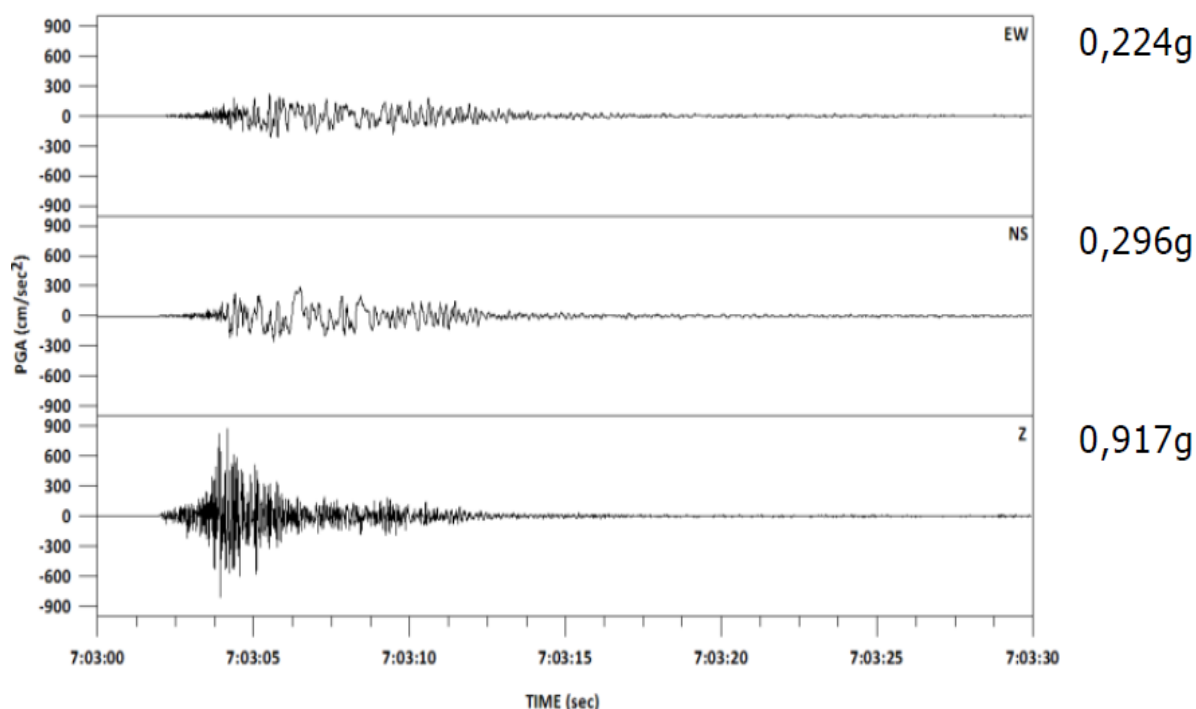


Fig.8a: Sisma del 29/5/2012. Accelerogramma delle componenti (dall'alto in basso) Verticale, Nord-Sud ed Est-Ovest (acc. m/s/s, tempo s) registrate dalla stazione di Mirandola della Rete Accelerometrica Nazionale (OD 70 /2012, tratto da relazione illustrativa, a cura di Luca Martelli e Maria Romani)

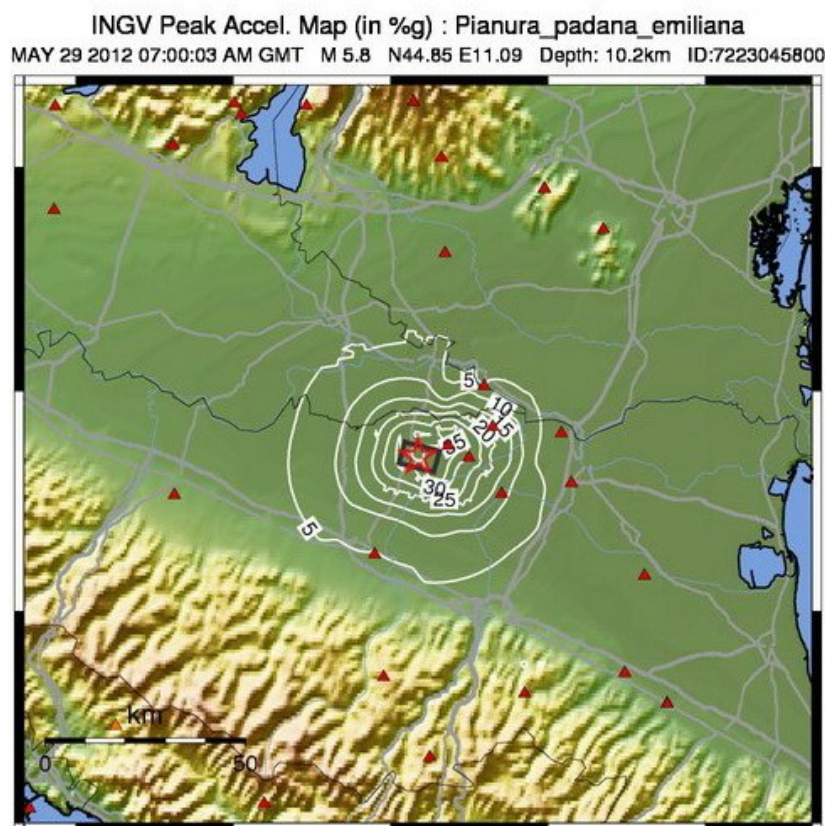
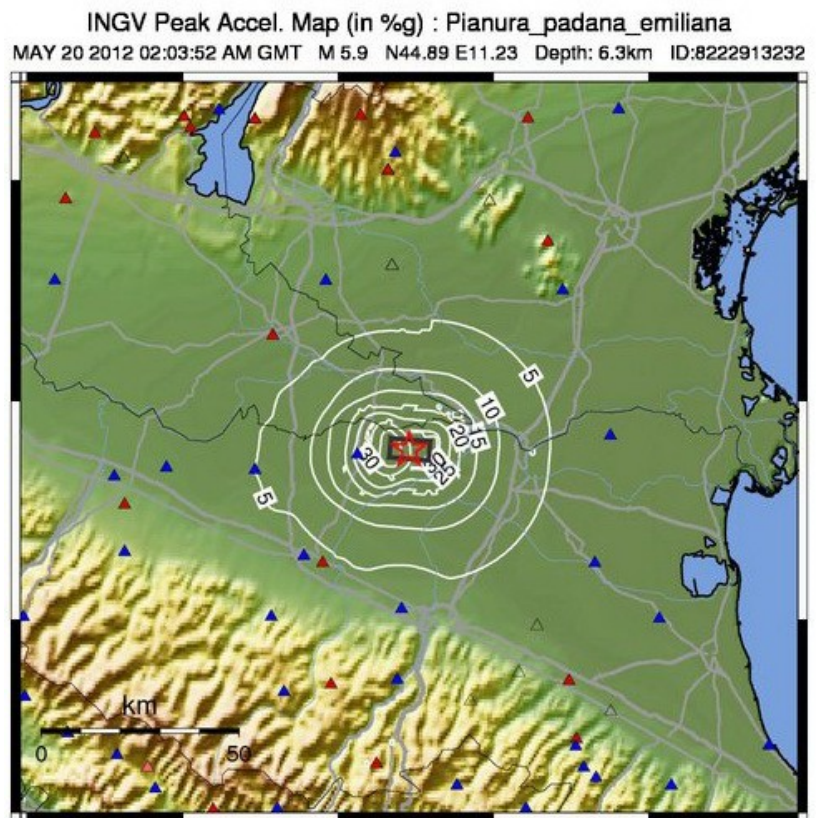


Fig.7: Mappe di accelerazione massima stimata al suolo (in % g) per i sismi del 20 e 29 maggio 2012

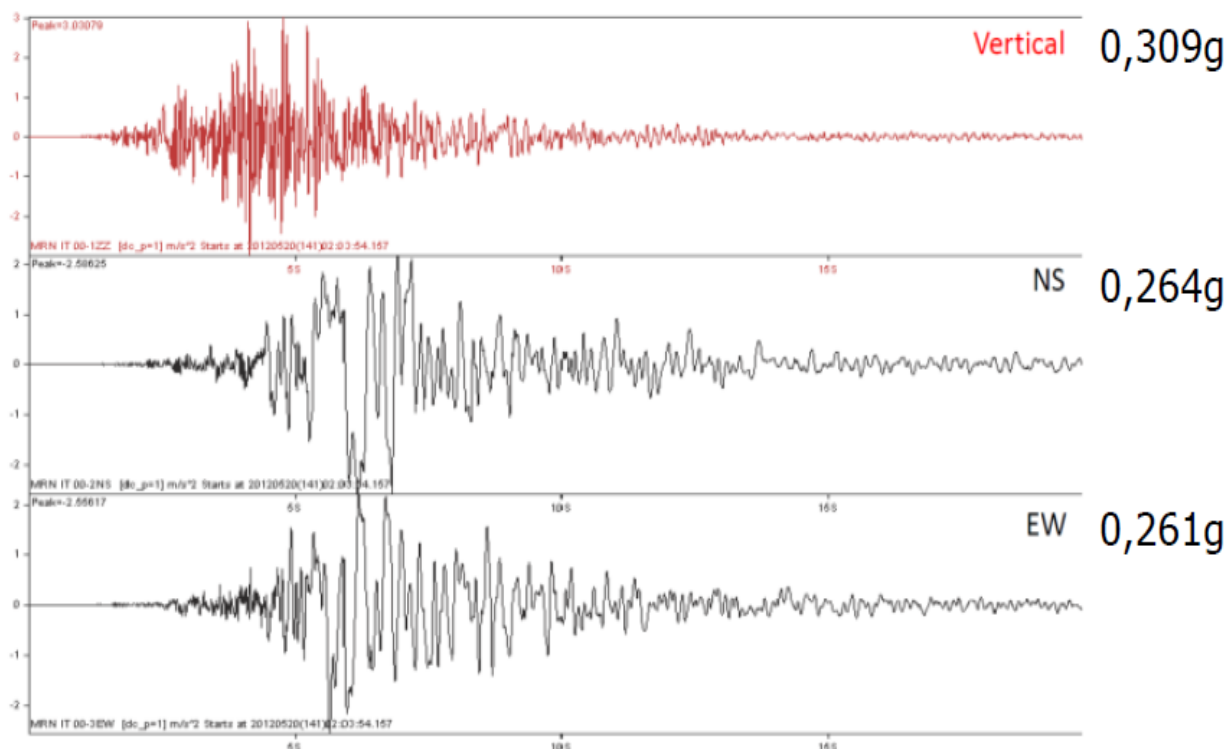


Fig.8b: Sisma del 20/5/2012. Accelerogramma delle componenti (dall'alto in basso) Verticale, Nord-Sud ed Est-Ovest (acc. m/s/s, tempo s) registrate dalla stazione di Mirandola della Rete Accelerometrica Nazionale (OD 70 /2012, tratto da relazione illustrativa, a cura di Luca Martelli e Maria Romani)

La sequenza sismica ha prodotto gravi danni in una vasta area delle province di Modena, Ferrara, Mantova e Bologna. In particolare appaiono gravemente danneggiate, in prossimità delle aree epicentrali, le strutture storiche in mattoni ed i capannoni industriali prefabbricati in c.a.

2.3 Nuova classificazione sismica

L'Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003, suddivide il territorio italiano in 4 zone sismiche con diversi livelli di accelerazione sismica di progetto. Secondo tale ordinanza, Il comune di Reggio, come indicato in Fig.9, è identificato in zona 3 (a sismicità medio-bassa), cui corrispondono valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, compresi tra $0,05 \cdot g$ e $0,15 \cdot g$ (dove g è l'accelerazione di gravità).

Tale classificazione ha tuttavia esclusivo valore amministrativo; infatti alle Norme Tecniche per le costruzioni del D.M. 14-01-2008, è allegato un documento sulla pericolosità sismica (Allegato A), in cui l'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire dalla pericolosità sismica di base, più semplicemente chiamata pericolosità sismica che costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

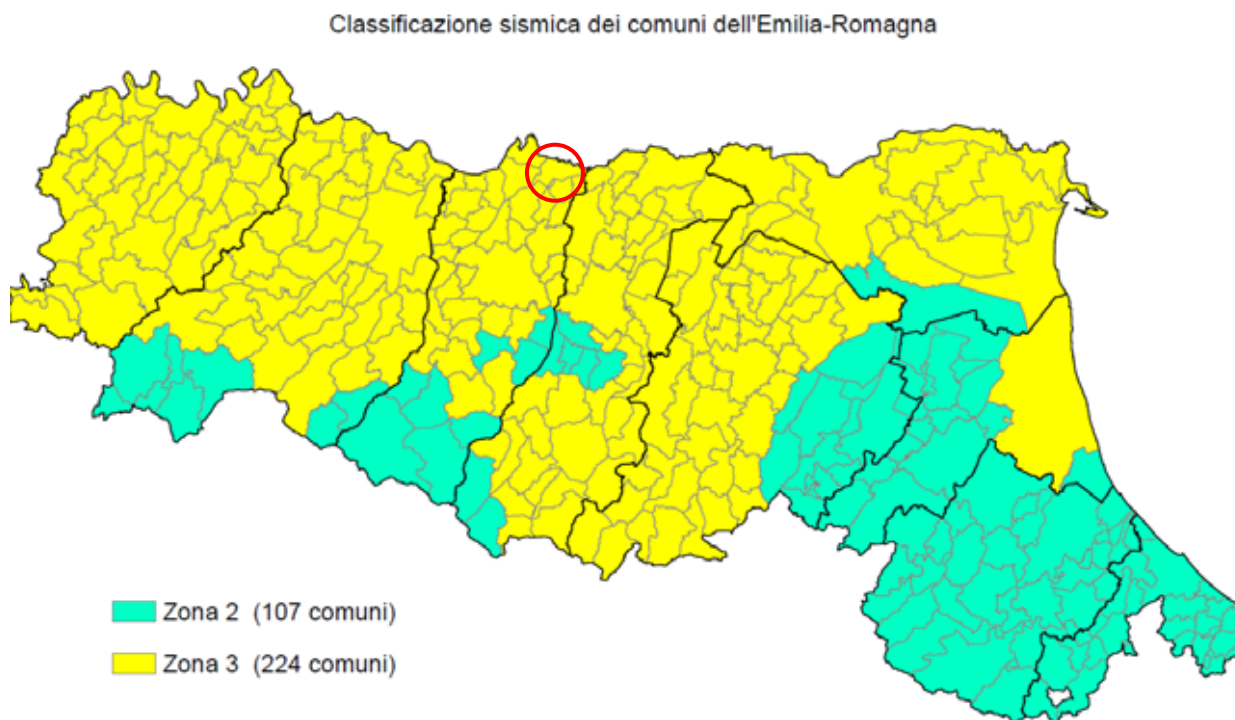


Fig.9: Classificazione sismica dei Comuni della Regione Emilia-Romagna (DGR 1164 del 23/07/2018)

Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle N.T.C., dalle accelerazioni a_g e dalle relative forme spettrali. Le forme spettrali previste sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima del terreno;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Questi tre parametri sono definiti in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento, cfr. Fig. 20), i cui nodi non distano fra loro più di 10 km, per diverse probabilità di superamento in 50 anni e per diversi periodi di ritorno.

Se il sito in esame non ricade nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri a_g, F_0, T_c^* possono essere ricavati come media pesata dei valori assunti nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici. Qualora la attuale *pericolosità sismica* su *reticolo di riferimento* non contempli il periodo di ritorno T_R corrispondente alla V_R e alla P_{VR} fissate, il valore del generico parametro a_g, F_0, T_c^* ad esso corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione.

Alla luce dei dati descritti sopra, i valori dei tre parametri necessari per la determinazione delle azioni sismiche sono riportati nella tabella seguente (Tab.2); per il sito di studio (latitudine: 44,9161, longitudine: 10,8185, coord. ED50).

Stato Limite	Tempo di ritorno T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T_c^* (s)
SLO	30	0.036	2.577	0.234
SLD	50	0.044	2.563	0.265
SLV	475	0.122	2.579	0.276
SLC	975	0.166	2.547	.279

Tab. 2: Valori dei parametri a_g , F_0 e T_c^* per i tempi di ritorno associati a ciascun stato limite

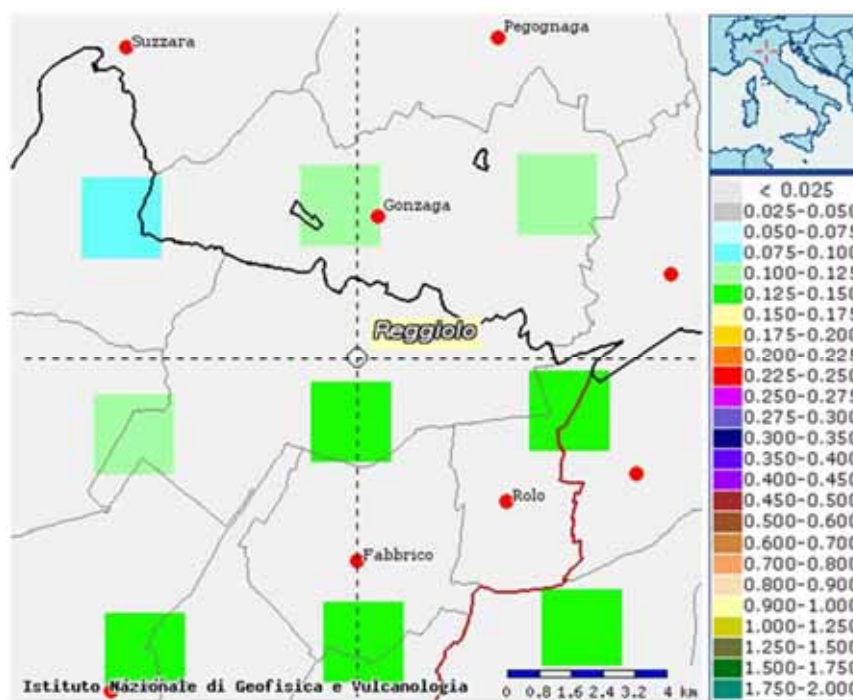


Fig. 10: Mappatura dell'accelerazione orizzontale massima del terreno (a_g) con tempi di ritorno di 475 anni.

La Regione Emilia Romagna ha messo a disposizione i risultati della micronizzazione dei comuni (ordinanza 70, 2012) e di seguito aggiornati Delibera Giunta regionale n. 2193 del 21 dicembre 2015. La *fig. 11* mette in evidenza un valore di $a(g)$ substrato di riferimento pari a 0.118, ossia un valore compreso fra le due classi (verde chiaro e verde scuro) che caratterizzano il territorio di Reggiolo (*Fig. 10*).

RE	Reggio nell'Emilia	0.157
RE	Reggiolo	0.118
RE	Rio Saliceto	0.147

Fig. 11: estratto della Microzonazione sismica della Regione Emilia Romagna

3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

3.1 Inquadramento geologico

L'area oggetto d'intervento ricade nella bassa pianura reggiana, la quale costituisce una porzione del settore meridionale della pianura padana, la più grande pianura alluvionale d'Italia, formata dai depositi del fiume Po e dei suoi affluenti.

Essa ha cominciato a formarsi nel Pleistocene medio, circa 500.000 anni fa, quando, a seguito del sollevamento in atto, il mare si è spostato dal margine appenninico, via via sempre più verso est, sino alla sua attuale posizione.

Il sottosuolo è contraddistinto da un forte accumulo di sedimenti alluvionali quaternari che appoggiano, con discontinuità a discordanza semplice, sul substrato di sedimenti marini del pliocene superiore e del pleistocene inferiore.

L'assetto di tale corpo sedimentario è il risultato dell'evoluzione deposizionale dei corsi d'acqua, legata sia alle variazioni climatiche pleistoceniche sia ai recenti movimenti tettonici della zona di margine, vale a dire di quella fascia interposta tra la Pianura s.l. in abbassamento e l'Appennino in sollevamento.

E' possibile riconoscere nella Pianura dell'Emilia-Romagna alcuni ambienti deposizionali: le conoidi alluvionali sono tipiche della zona pedeappenninica, ad esse fa seguito la piana alluvionale, che passa verso est alla piana deltizia del fiume Po ed alla piana costiera.

I sedimenti di questi ambienti deposizionali sono costituiti prevalentemente: da ghiaie, nelle conoidi alluvionali; sabbie, limi ed argille nella piana alluvionale; sabbie nella piana deltizia e costiera.

A scala padana la successione quaternaria ha un forte carattere regressivo con sabbie e peliti torbiditiche alla base, seguite da un prisma sedimentario fluvio-deltizio, progradante, ricoperto al tetto da depositi continentali.

Il quadro stratigrafico del sottosuolo padano, ricostruito sulla base di profili sismici e di sondaggi, risulta caratterizzato da una potente successione terrigena del quaternario, suddivisibile, in senso stratigrafico in un'unità inferiore d'ambiente marino (Qm) e in un'unità superiore, affiorante, d'ambiente continentale (Qc).

Il *Supersintema del Quaternario Marino* (Qm), si è deposto a partire da poco dopo la fine del Pliocene (1,73 Ma BP), fino a 0.65 Ma BP (Pleistocene medio).

Il *Supersintema Emiliano-Romagnolo* (Qc), costituito da depositi di ambiente continentale depositisi a partire da 0.65 Ma BP è stato suddiviso a sua volta in due unità stratigrafiche principali: *Unità Emiliana Inferiore* e *Unità Emiliana Superiore*.

L'Unità Emiliano-Romagnola Inferiore (SERI), depositatasi presumibilmente tra circa 0,65 e 0,45÷0,35 Ma BP (Pleistocene medio), rappresenta la fase iniziale della sedimentazione continentale del Quaternario con limite inferiore e superiore di tipo erosivo. L'unità è sedimentata in un ambiente di piana alluvionale durante un periodo di subsidenza regionale, costituita in prevalenza da depositi fini con intercalazioni di corpi ghiaiosi e sabbiosi

nastriformi, riferibili ad antichi paleoalvei fluviali, i quali diventano preponderanti in corrispondenza dell'apertura dei principali bacini vallivi sull'antistante pianura alluvionale.

L'unità Emiliana Superiore (SERS) ha avuto origine dopo un'importante fase tettonica di sollevamento regionale, con la quale ebbe inizio la rapida progradazione dei sistemi di conoide alluvionale nella zona antistante ai rilievi appenninici e dei sistemi fluvio-deltizi lungo la fascia del Po.

Per quanto riguarda i depositi pre-quadernari, essi formano un cuneo che, dal margine appenninico, si apre a ventaglio verso nord e sono caratterizzati da strutture tettoniche che si sviluppano formando una serie di anticlinali e sinclinali fagliate e sovrascorse con assi a vergenze appenniniche.

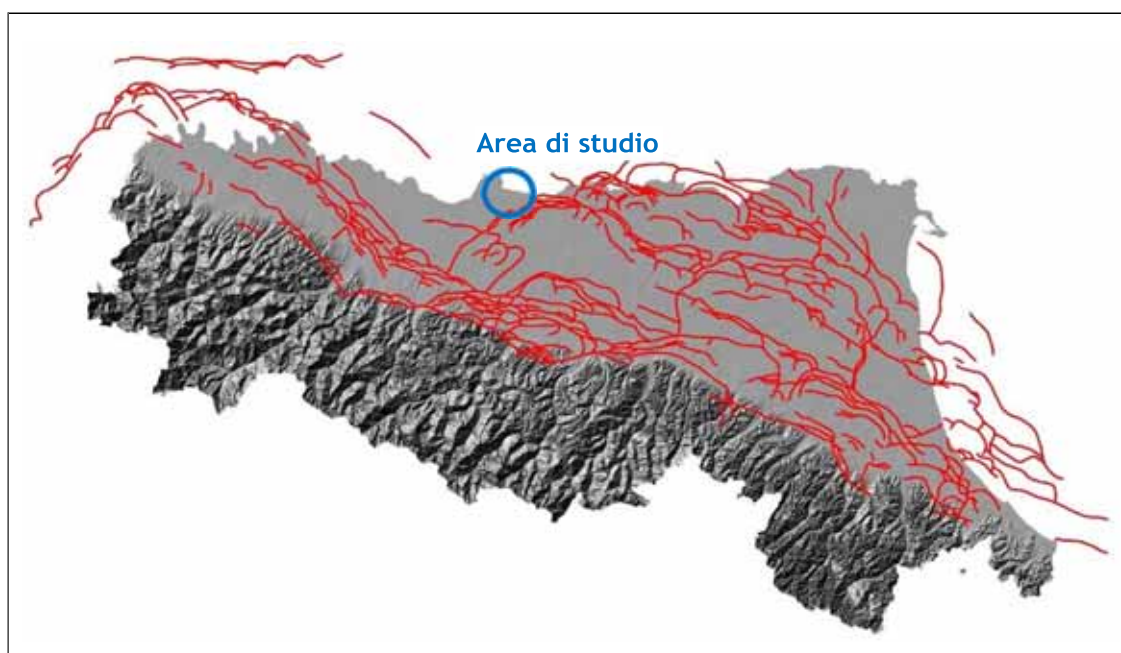


Fig. 12: Inquadramento della zona in esame in cui sono cartografati le faglie ed i sovrascorrimenti dell'Appennino sepolto appartenenti agli archi della Dorsale Ferrarese e delle Pieghe Emiliane

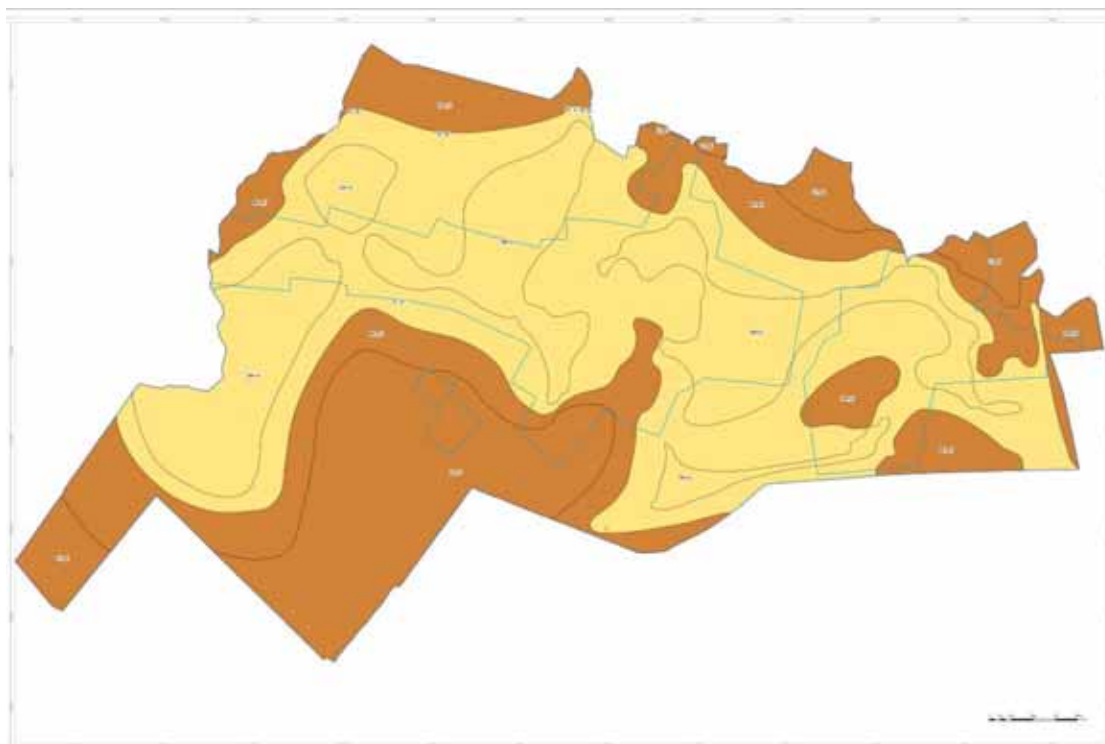
In particolare, il settore di pianura in esame ricade sul limite occidentale della zona caratterizzata dalla presenza della Dorsale Ferrarese, struttura appartenente al fronte di accavallamento esterno (E.T.F) che definisce il limite settentrionale dell'Appennino sepolto (Fig. 12)

Essa coincide con un alto del substrato mesozoico che modella in profondità la fossa sub-padana, e assume l'aspetto di un *horst* delimitato da un grande fascio arcuato di pieghe e faglie inverse, che da Correggio (RE) si estende fino ad oltre le valli di Comacchio (FE).

Nel complesso i depositi affioranti nel territorio in esame sono relativi alla sottounità più recente del Supersistema Emiliano-Romagnolo definita, in letteratura geologica, come Subsistema di Ravenna. Detta unità (di età compresa tra Pleistocene superiore e Olocene) è generalmente costituita da ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati con copertura discontinua di limi argillosi. Lo spessore massimo raggiunto dall'unità è inferiore a 20 m mentre il profilo di alterazione varia da qualche decina di cm fino ad 1 m. Il tetto è rappresentato dalla

superficie deposizionale, per gran parte relitta, corrispondente al piano topografico, mentre il contatto di base è discordante sulle unità più antiche.

In particolare, come raffigurato nell'estratto della Carta geologico-tecnica (tavola completa in allegato, QT11.1.2, alla scala 1:10.000), i depositi superficiali dell'area comunale presentano tessiture variabili, comprese tra quelle delle sabbie, prevalenti nella fascia centrale del comune, e quelle delle argille, prevalenti nel settore N e S (fig. 13).



Terreni di copertura

	CL pi - Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille inorganiche di media - bassa plasticità
	ML pi - Limi organici, argille inorganiche di media - bassa plasticità, argille limose magre
	SC pi - Sabbie argillose, miscela di sabbia e argilla
	SM es - Sabbie limose, miscela di sabbia e limo

Fig. 13: estratto della carta geologico-tecnica con evidenziata la natura della copertura alluvionale nei primi 30 m.

3.2 Geomorfologia

L'area in esame è ubicata in un settore di pianura alluvionale in cui gli eventi morfogenetici sono riconducibili essenzialmente all'attività tettonica e alla dinamica fluviale manifestatasi nel periodo pleistocenico ed olocenico. Ad essi, nel periodo storico, si è sovrapposta anche l'attività antropica mirata alla stabilizzazione e alla modellazione delle superfici del suolo compatibilmente alle esigenze economiche, produttive ed insediative.

Nello specifico, l'area oggetto di studio ricade nella Bassa Pianura Padana compresa nel settore francamente dominato dal fiume Po e caratterizzato da forme poco evidenti.

Essa presenta una morfologia subpianeggiante con quote che poco si discostano dai 19- 20 m s.l.m.

Il territorio di Reggiolo appartiene alla fascia della Media Pianura Padana Appenninica costituitasi tra l'area dei coni alluvionali pedeappenninici, zone a nord della Via Emilia, e l'area di dominio del Po, fascia territoriale compresa Suzzara - Novellara - Fabbrico - Novi di MO, colmata dai depositi clastici dei fiumi appenninici.

Questi ultimi nelle zone di pianura svolgono prevalentemente un'azione sedimentante, con possibilità di libera espansione delle acque sulle aree circostanti in occasione delle piene.

In dette condizioni, nei corpi di canale fluviale, i materiali si distribuiscono in modo che quelli più grossolani, cioè le sabbie, formino, oltre alle barre, le sponde naturali d'alveo, mentre quelli più fini come le argille limose, si depositano nei punti più distanti dagli argini e quindi nelle depressioni comprese tra un fiume e l'altro.

Ne consegue che le distribuzioni, litologiche di superficie evidenziano nelle componenti granulometriche sabbiose, ambienti sedimentari ad energia idrodinamica discretamente alta, tratti di canale fluviale, d'altra parte le aree costituite da litotipi argilloso limosi definiscono settori di bassa energia a sedimentazione lenta concordanti con ambienti palustri.

Da ciò si evince che i corsi d'acqua naturali, una volta raggiunto un determinato livello sui terreni a loro circostanti, tendono ad esondare in occasione di variazioni climatiche con forti aumenti delle piovosità, mutando il loro corso, colmando così le aree più depresse di infralveo. In queste ultime si ha inoltre un contributo all'incremento del dislivello tra fiume e piana poiché i sedimenti fini che le costituiscono sono soggetti ad un costipamento maggiore rispetto ai litotipi formanti il corpo d'alveo.

Il modello d'accrescimento generale e graduale della pianura, caratterizzato da una condizione di equilibrio dinamico, è stato fortemente influenzato dall'azione dell'uomo, che, per cautelarsi dalle alluvioni, ha costretto i corsi d'acqua a scorrere sempre negli stessi alvei elevando gli argini di pari passo all'innalzamento dei letti fluviali. Tale irrigidimento della rete idrografica naturale ha accentuato i dislivelli tra i fiumi ed i territori che li fiancheggiano sia per un mancato apporto di materiali che per l'incremento di subsidenza differenziale.

Dette caratteristiche evolutive concordano con le emergenze morfologiche presenti nel territorio Comunale di Reggiolo.

3.3 Idrogeologia

Le caratteristiche degli acquiferi del territorio in esame vanno inquadrare nel modello evolutivo tridimensionale, sia idrogeologico che stratigrafico, dell'intera Pianura Padana Emiliano-Romagnola. A riguardo, secondo gli studi della Regione Emilia-Romagna e di Eni- Agip (1998) si distinguono, sia in superficie che nel sottosuolo 3 Unità Idrostratigrafiche di rango superiore (*Fig. 14*):

- il “Gruppo acquifero A” che corrisponde al “Sintema emiliano-romagnolo superiore”;
- il “Gruppo acquifero B” che corrisponde al “Sintema emiliano-romagnolo inferiore”;
- il “Gruppo acquifero C” che corrisponde al “Supersintema del Quaternario marino”.

Dette unità sono separate tra loro da superfici di discontinuità stratigrafica, che sui principali fronti di accavallamento della catena corrispondono a discordanze angolari osservabili sia in affioramento (sul margine appenninico) che in sismica (sul margine appenninico, e sui fronti della catena sepolta); i limiti tra le unità corrispondono quindi a fasi di attivazione tettonica.

PRINCIPALI UNITA' STRATIGRAFICHE					ETA' (milioni di anni)	SCALA CROONOSTRATIGRAFICA (milioni di anni)	UNITA' IDROSTRATIGRAFICHE								
AFFIORANTI		SEPOLTE					GRUPPO ACQUIFERO	COMPLESSO ACQUIFERO							
QUATERNARIO CONTINENTALE	TERRE ROSSE, DILUVIUM, ALLUVIUM, TERRAZZI E ALLUVIONI	FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE	FORMAZIONE DI QUATTELLO	UNITA' DI VALLA DEL BOGGO	UNITA' DI OA' DI SOLA	SUPERSISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLLO	SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLLO SUPERIORE	UNITA' DI BORGO PANICALE	ALLUVIONI / QUATERNARIO MARINO E SABBIE DI ASTI	~0.12	PLEISTOCENE SUPERIORE - OLOCENE	0.125	A	A1	
														A2	
	A3														
	A4														
QUATERNARIO MARINO	DILUVIUM p.p.	FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE	FORMAZIONE DI QUATTELLO	UNITA' DI VALLA DEL BOGGO	UNITA' DI OA' DI SOLA	SUPERSISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLLO	SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLLO INFERIORE	UNITA' ALLUVIONALE INFERIORE	ALLUVIONI / QUATERNARIO MARINO E SABBIE DI ASTI	~0.35-0.45	PLEISTOCENE MEDIO	B	B1		
													B2		
													B3		
													B4		
QUATERNARIO MARINO	MILAZZANO SABBE (S CASTELVETRO p.p.) SABBE GALLE (S IMOLA p.p.)	SUPERSISTEMA DEL QUATERNARIO MARINO	SISTEMA QUATERNARIO MARINO 3	ALLUVIONI / QUATERNARIO MARINO E SABBIE DI ASTI	~0.65	C	C1								
	MILAZZANO e CALABRIANO p.p. SABBE (S CASTELVETRO p.p.) SABBE GALLE (S IMOLA p.p.)							SISTEMA QUATERNARIO MARINO 2	~0.8	0.89	C2				
	CALABRIANO p.p. SABBE (S MONTERICCO FORMAZIONE (S TERRA (S) SOLE p.p.)							SISTEMA QUATERNARIO MARINO 2			~1.0	1.72	C3		
	CALABRIANO p.p. FORMAZIONE (S CASTELL'ARQUATO p.p.)							SISTEMA QUATERNARIO MARINO 1					~2.2	PLEISTOCENE INFERIORE	C4
	FORMAZIONE (S CASTELL'ARQUATO p.p.)							SUPERSISTEMA DEL PLOCCO MEDIO-SUPERIORE							~3.3-3.6
FORMAZIONE (S CASTELL'ARQUATO p.p.)	PLOCCO MEDIO SUPERIORE	~3.9	PLEISTOCENE INFERIORE MIOCENE	ACQUITARDO BASALE											

Fig. 14: Schema idrostratigrafico della Pianura Emiliano-Romagnola

I lavori svolti nell'ambito della realizzazione della Carta Geologica di Pianura, hanno permesso di dettagliare ulteriormente la stratigrafia, distinguendo, in particolare, un'unità pellicolare denominata A0, posta superiormente ad A1; questa unità corrisponde a depositi di età pleistocenica terminale ed olocenica, sedimentatisi dopo l'ultima glaciazione.

L'unità A0 comprende quindi i depositi presenti nel primo sottosuolo della pianura, nonché gran parte di quelli affioranti.

Le porzioni grossolane di A0 sono costituite da corpi non molto estesi, volumetricamente poco rilevanti, e, quando non sono amalgamate a depositi permeabili dell'unità A1, costituiscono degli acquiferi sfruttati esclusivamente a fini domestici. Ciò si verifica in un'ampia zona della pianura emiliana, interposta tra le conoidi appenniniche e i complessi acquiferi di pertinenza padana, di ampiezza sempre maggiore spostandosi da ovest verso est. Alla luce di quanto sopra detto l'intero acquifero regionale è pertanto costituito da un complesso sistema multifalda, caratterizzato dalla gerarchizzazione degli acquiferi e degli acquitardi più sopra descritta. Tutte le falde presenti sono in condizioni confinate, ad esclusione delle zone in cui avviene la ricarica diretta degli acquiferi.

Questo inquadramento strutturale sostituisce il modello di acquifero che considerava i livelli impermeabili presenti nel sistema come non continui, e pertanto l'intera pianura emiliano-romagnola veniva assimilata ad un acquifero monostrato con un'unica falda in continuità, libera, parzialmente confinata o in pressione procedendo da ovest verso est.

Alla luce del quadro idrostratigrafico illustrato, per la descrizione della dinamica delle acque sotterranee bisogna distinguere tra la circolazione che avviene nei terreni più superficiali (appartenenti al complesso acquifero A0) e quella relativa agli orizzonti sabbiosi depositati dal fiume Po (appartenenti al complesso acquifero A1).

Il primissimo sottosuolo dell'intera area comunale è costituito da depositi prevalentemente fini, a litologia limosa e/o argillosa, caratterizzati da bassi valori di permeabilità. Qui le falde hanno sede nei piccoli corpi acquiferi lentiformi; la soggiacenza è variabile, generalmente prossima al piano campagna e risente fortemente di fenomeni locali, quali la presenza di corsi d'acqua superficiali, di emungimenti e delle caratteristiche di permeabilità dei terreni sovrastanti. Le escursioni stagionali del livello idrico possono essere molto ampie: in particolare, durante le stagioni caratterizzate da intensi fenomeni piovosi la quota della falda può salire, in brevissimo tempo, fino a sfiorare il piano campagna.

Per i serbatoi in prossimità di corsi d'acqua, si osservano fenomeni analoghi in corrispondenza di innalzamenti del livello dell'acqua all'interno dell'alveo.

La situazione idrodinamica è molto differente per quel che concerne i depositi sabbiosi sedimentati dal fiume Po che, come verrà meglio descritto nei successivi paragrafi, si rinvencono a partire da una profondità nell'ordine dei 4-5 metri da p.c.. L'elevata permeabilità di questi depositi consente, infatti, una buona circolazione idrica.

L'alimentazione è da attribuire principalmente agli apporti idrici provenienti dalle falde che hanno sede nei corpi acquiferi del settore più occidentale della pianura, mentre, la ricarica per infiltrazione da parte delle acque superficiali, sia meteoriche che dei corsi d'acqua, risulta molto ridotta.

3.3.1 Soggiacenza acquifero freatico

L'analisi dell'andamento della profondità dell'acqua nel sottosuolo, ricostruita attraverso la disamina di tutte le prove penetrometriche effettuate post sisma e delle stratigrafie di pozzi acquiferi collocati nell'ambito del territorio comunale (Fig.15) evidenzia che nell'area a cui appartiene il capoluogo, **la soggiacenza è risultata mediamente equivalente a:**

$$\delta H_2O \approx -3 \text{ m p.c.}$$

nella fascia ad ovest, strada via Guastalla, presso la località Brugno, escluso alcuni punti localizzati, la media è di:

$$\delta H_2O \approx -2,0 / -3,0 \text{ m p.c.}$$

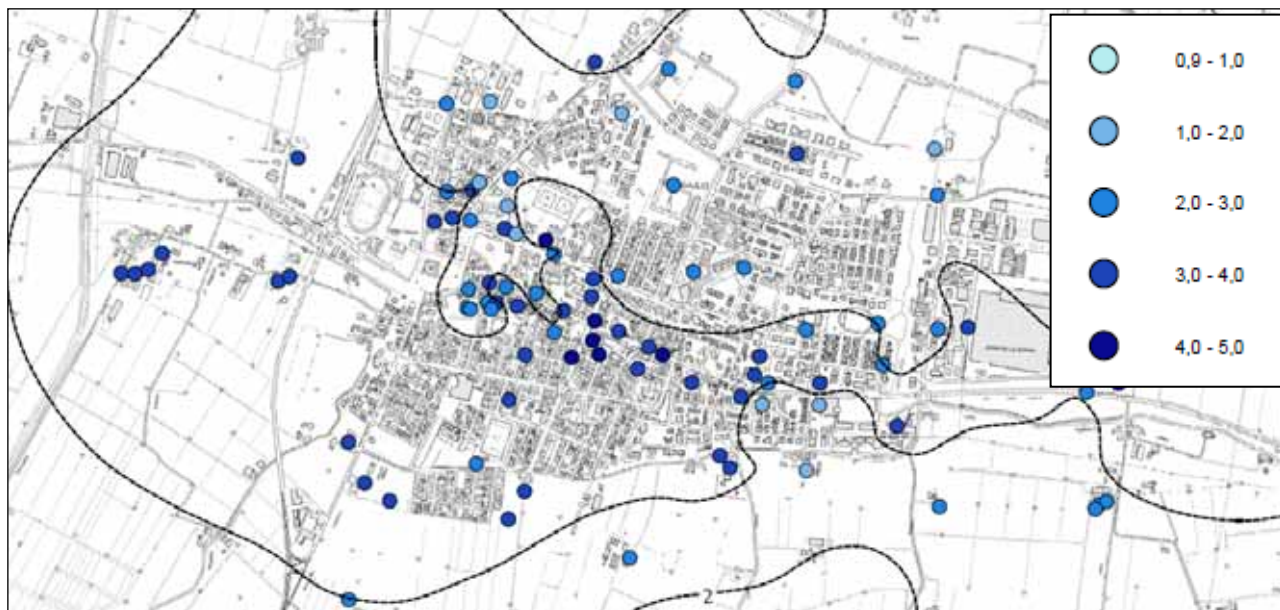


Fig. 15: estratto della carta relativa alla profondità della prima falda freatica (elaborato QT11.1.4 - Carta Profondità falda)

L'area con i livelli più superficiali della falda sono rilevabili nel settore N del capoluogo, con valori frequenti di 2.0 m dal p.c, mentre la zona in pieno centro storico, compresa tra via Cantone e la S.P. 43, i livelli della falda fluttuano tra mediamente:

$$\delta H_2O \approx -4,0 / -4,5 \text{ m p.c.}$$

Profondità analoghe si riscontrano anche nel settore compreso tra la zona industriale "Gorna" e "Rame", corrispondenti a:

$$\delta H_2O \approx -4,0 / -5,0 \text{ m p.c.}$$

ad est, presso Villanova di Reggio i valori della freatica tendono nuovamente ad alzarsi stabilizzandosi intorno a:

$$\delta H_2O \approx -2,5 / -3,0 \text{ m p.c.}$$

Infine, in tutto il settore sud-est, compreso tra la zona industriale "Ranaro" e il corridoio di raccordo con Villanova di Reggio (compresa l'autostrada A22), è mediamente rilevabile tra:

$$\delta H_2O \approx -2,0 / -3,0 \text{ m p.c.}$$

4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

A seguito degli eventi sismici che hanno interessato l'area della bassa padana il 20-29 maggio 2012, l'abitato di Reggiolo avendo subito ingenti danni ad edifici e strutture di primaria importanza, è stato inserito nello studio sismico delle aree comunali maggiormente colpite dal sisma 2012 (Ordinanza n. 70 del 13/11/2012), pertanto informazioni inerenti a dati geotecnici e geofisici utilizzati per la sua stesura (Fig.16), sono stati reperiti dall'ente di competenza (Regione Emilia Romagna, referente **Luca Martelli**, acquisizione e analisi dei dati per la valutazione della pericolosità sismica e lo sviluppo sostenibile delle risorse energetiche del sottosuolo, luca.martelli@regione.emilia-romagna.it) per creare una banca dati di partenza più completa della precedente.

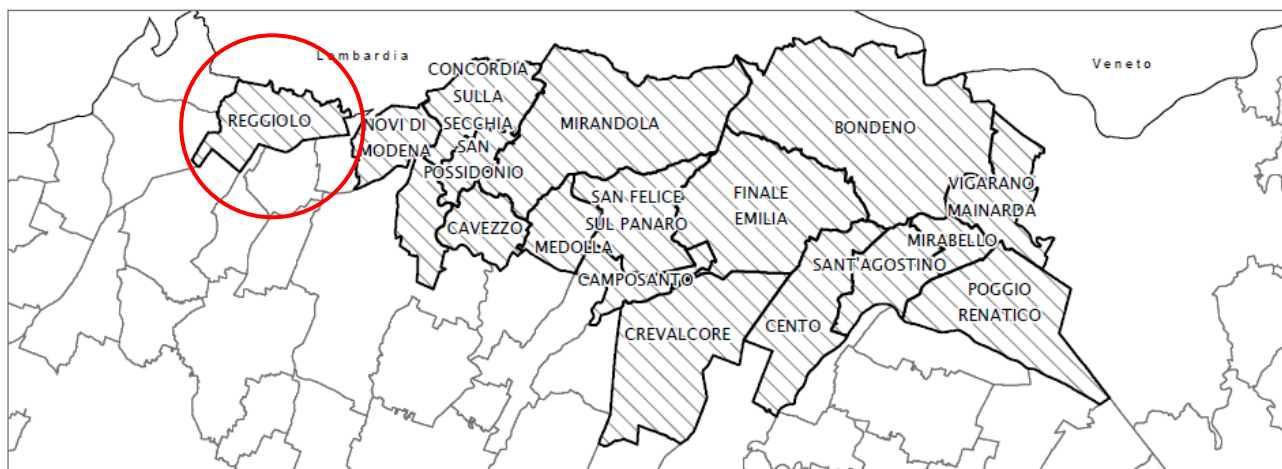


Fig. 16: comuni interessati dallo studio sismico condotto dalla Regione Emilia Romagna, post sisma 20-29 Maggio 2012 (ordinanza 70, del 13/11/2012)

I dati elaborati in questa sede derivano:

- dalla raccolta ed elaborazione di quanto disponibile presso l'Ufficio Tecnico Comunale (pre sisma);
- analisi dei dati in possesso della Regione Emilia Romagna, inerenti a indagini effettuate nel periodo post-sisma (Ordinanza n° 70);
- raccolta ed elaborazione di tutte le perizie geologiche, geotecniche e sismiche redatte **dopo il sisma**, periodo 2012 - 2016, per studi di consolidamento, ricostruzione e adeguamento sismico di fabbricati e strutture dislocate nel territorio comunale;
- da un'apposita campagna d'indagini (soprattutto analisi di frequenze naturali, HVSr), attuata allo scopo di completare ed arricchire adeguatamente la conoscenza della specifica situazione locale.

La ricerca effettuata presso l'archivio dell'Ufficio Tecnico Comunale si è rivelata particolarmente fruttuosa, in quanto è stato possibile esaminare, con l'autorizzazione comunale, numerose relazioni geologiche prodotte a corredo di progetti edilizi e di opere pubbliche, soprattutto per interventi di consolidamento, ristrutturamento ed adeguamento sismico di edifici lesionati a causa del sisma.

In merito al punto c) sono state selezionate un totale di 122 perizie geologiche, **tutte postume al sisma (2012 - 2016)**, contenenti dati relativi a 310 indagini geotecniche e geofisiche acquisite (sondaggi, penetrometrie e prove geofisiche) dall'ufficio tecnico del Comune di Reggiolo.

Nel dettaglio, sono state elaborate le seguenti tipologie di indagini:

- n° 2 sondaggi a carotaggio continuo;
- n° 137 prove penetrometriche statiche (CPT);
- n° 56 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU);
- n° 8 prove penetrometriche statiche con piezocono e cono sismico (SCPTU);
- n° 1 prova Down-Hole;
- n° 66 stazioni di microtremore a stazione singola (HVSr);
- n° 40 array sismici (Masw- Remi).

Con riferimento ai dati utilizzati per l'Ordinanza 70, p.to b), sono stati acquisiti e rielaborati dati relativi a 11 indagini geotecniche e geofisiche acquisite (sondaggi, penetrometrie e prove geofisiche), postume al sisma, così suddivise:

- n° 4 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU);
- n° 6 prove penetrometriche statiche con piezocono e cono sismico (SCPTU);
- n° 1 array sismico (ESAC-SPAC).

Con le indagini sopra riportate si è coperto tutto il territorio comunale, soprattutto nell'ottica delle aree soggette a studio di microzonazione sismica (Fig. 17).

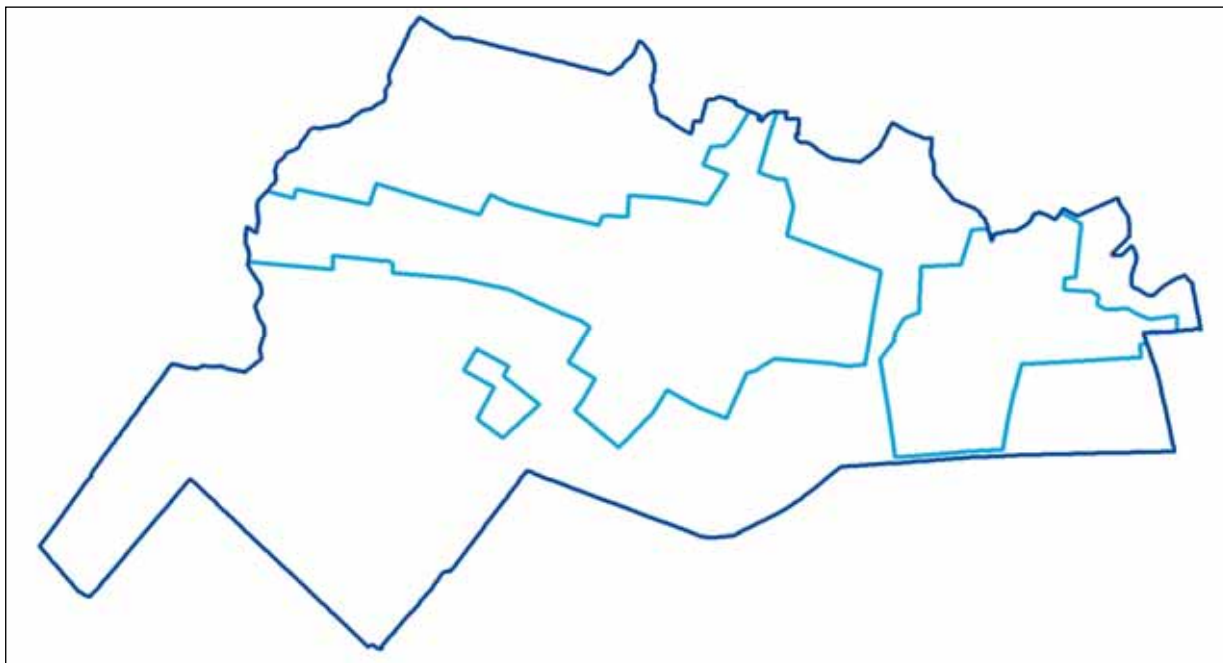


Fig. 17: ubicazione delle aree interessate dallo studio di Microzonazione Sismica (in azzurro), rispetto all'estensione del confine comunale (in blu)

L'insieme degli elementi geologici e geofisici così acquisiti, unitamente alle informazioni

presenti nella letteratura ed ai risultati dei numerosi sopralluoghi effettuati nel territorio in studio, hanno permesso di ricostruire il modello geologico delle aree interessate dallo studio di microzonazione sismica.

Tutti i dati sono stati inoltre trasformati in formato digitale con modalità georiferita, al fine di consentirne l'elaborazione in ambiente GIS e sono stati organizzati in formato vettoriale (*shapefile*) nel rispetto delle specifiche tecniche di riferimento.

5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

La base per uno studio di microzonazione sismica è la definizione, quanto più accurata possibile, del modello geologico del sottosuolo, cercando di individuare come varia la successione stratigrafica all'interno delle aree in esame e a che profondità si possa trovare il substrato rigido.

A tale scopo, per il Comune di Reggiolo, sono stati esaminati e confrontati tra loro tutti i dati geognostici raccolti oltre a differenti cartografie tematiche, con scale di diverso grado di dettaglio.

Rimandando al paragrafo 8.2 la descrizione specifica delle caratteristiche del territorio oggetto del presente studio, di seguito, ci si limita a proporre alcune considerazioni su come il complesso assetto geologico rilevato possa modificare il moto sismico in superficie e quali problematiche comporti per la determinazione degli effetti locali.

Nel complesso la fascia di bassa pianura in cui ricade il Comune di Reggiolo, è caratterizzata dalla presenza di una coltre superficiale di depositi prevalentemente fini (limi e argille), di spessore variabile, via via crescente spostandosi dall'area mediana del comune sia verso nord che verso sud, passando da qualche metro nelle zone centrale fino a circa 13 metri sul limite meridionale del Comune.

Tale coltre ricopre depositi sabbiosi di spessore decametrico attribuibili alla sedimentazione operata dal fiume Po.

A fronte di tale assetto litostratigrafico, le indagini tomografiche effettuate non hanno evidenziato nelle curve H/V picchi di ampiezza elevata, associabili a netti contrasti di impedenza (ovvero, significativi aumenti di V_s nei profili di velocità delle onde di taglio delle indagini eseguite) al passaggio tra argille e primo livello di sabbie.

Viceversa, si notano spesso picchi a frequenze molto alte, corrispondenti al passaggio suolo/sottosuolo e inversioni di velocità coincidenti con la base della copertura sovraconsolidata che mascherano superfici d'impedenza più profonde.

Tali caratteristiche hanno, ovviamente, condizionato la definizione del *bedrock* sismico come sarà descritto nel prosieguo della presente relazione.

6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

Come già indicato, il presente studio, oltre ad utilizzare una grande quantità di dati pregressi, si è fondato principalmente sulla consistente campagna d'indagini eseguita a seguito del sisma in quanto realizzate secondo i canoni richiesti dalla regione Emilia Romagna

per l'esecuzione d'indagini geognostiche e sismiche.

La caratterizzazione dei terreni è stata effettuata anche tramite la tecnica sismica passiva (tecnica dei rapporti spettrali) o HVSr (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*).

A riguardo nel database, per ciascuna prova, è riportato il grafico rapporto spettrale H/V naturale con curva H/V sintetica, in cui si possono osservare picchi caratteristici, in corrispondenza di determinate frequenze.

Le curve tipiche ricavate nell'area comunale difficilmente si scostano dall'andamento riportato in Fig. 18, 19 e 20.

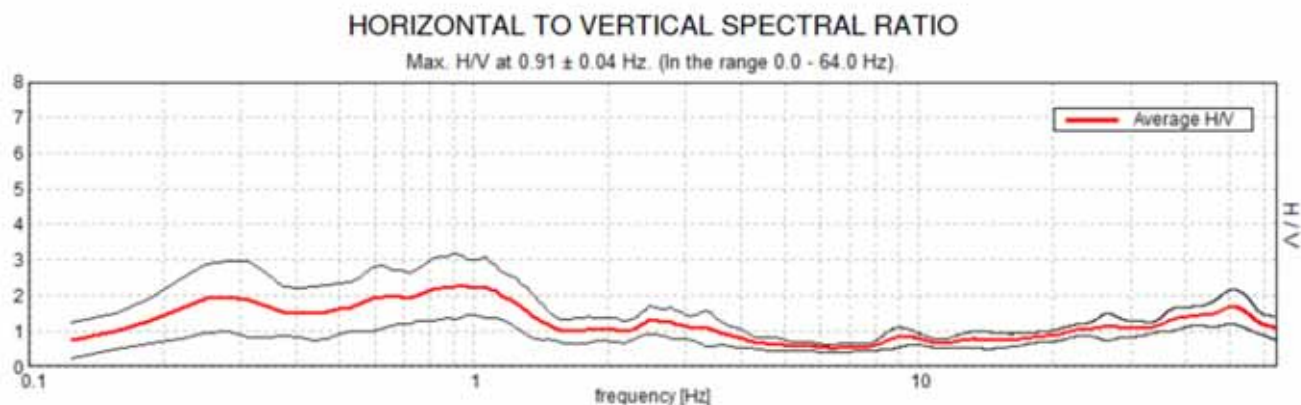


Fig. 18: curva H/V relative a una misurazione effettuata in Via Veneto (zona centro nord)

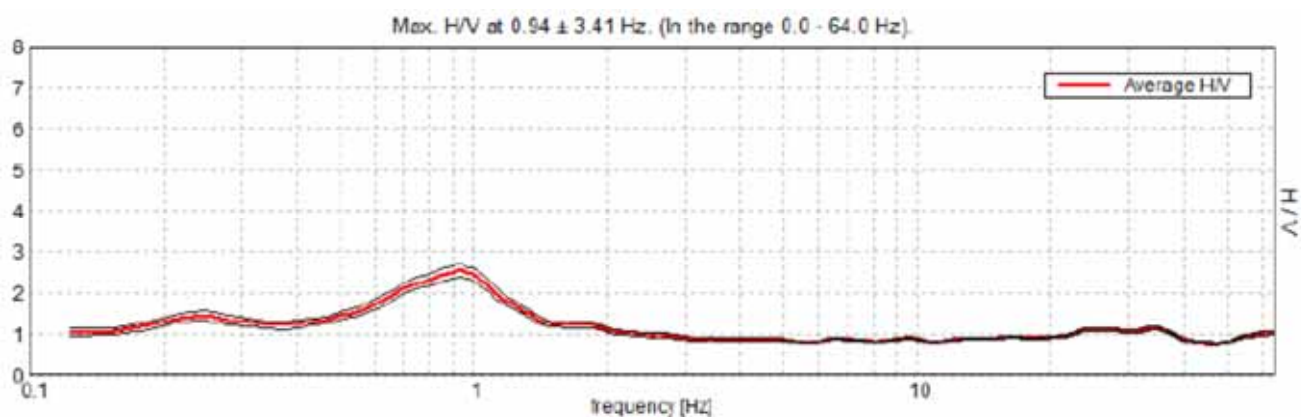


Fig. 19: curva H/V relative a una misurazione effettuata in Via Trieste (zona centro)

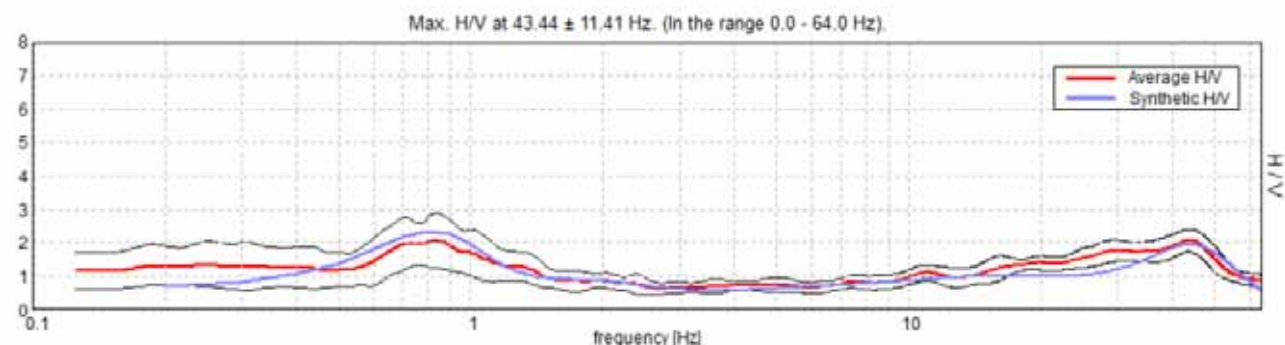


Fig. 20: curva H/V relative a una misurazione effettuata a Villanova di Reggiolo

Al fine di determinare la qualità delle singole misure HVSr effettuate e la loro relativa affidabilità, si è provveduto alla classificazione delle prove valutando, in accordo con i più recenti studi in materia, le caratteristiche dei fondamentali principi su cui si basa la tecnica di indagine a sismica passiva utilizzata.

Nello specifico si è proceduto all'analisi della durata complessiva delle singole registrazioni, utilizzando esclusivamente quelle capaci di produrre stime "robuste" del campo medio delle vibrazioni ambientali, soddisfacendo in tal senso i primi 3 criteri del progetto SESAME (linee guida 2005), relativi alla robustezza statistica del segnale. Quindi, per ogni singola acquisizione è stato valutato l'andamento complessivo della curva H/V, prestando particolare attenzione, durante la fase di elaborazione, alla plausibilità fisica della curva stessa, verificabile attraverso l'individuazione di massimi caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale.

In fase di elaborazione, sfruttando le possibilità di analisi direzionale e temporale del software utilizzato (*Grilla e Geopsy*), è stata valutata la stazionarietà temporale dei rapporti spettrali misurati, prestando inoltre particolare attenzione alle variazioni azimuthali di ampiezza, nel rispetto della condizione di isotropia del segnale.

Quanto ai criteri delle linee guida SESAME 2005 relativi alla "chiarezza" del picco di possibile risonanza, essi risultano spesso non soddisfatti per i motivi già anticipati nel capitolo 5.

7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

Nella prima fase di lavoro, relativamente agli areali da sottoporre allo studio di Microzonazione Sismica, ovvero l'intero 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 geofisica, ai fini della definizione delle frequenze fondamentali dei terreni.

Gli elaborati prodotti in questa prima fase sono costituiti da:

- **Carta delle indagini:** in tale cartografia sono riportate le indagini di nuova esecuzione postume al sisma 2012; tutte le prove sono state classificate in base alla tipologia;
- **Carta geologico-tecnica (CGT_MS):** tale carta è stata derivata dalla revisione a scala dettagliata dei rilievi disponibili. In questa cartografia sono rappresentati gli elementi geologici e morfologici che possono modificare il moto sismico in superficie;
- **Carta delle frequenze naturali dei terreni:** 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); sono stati presi in considerazione solo i picchi ricadenti nell'intervallo di frequenza $0,1 \div 10$ Hz;
- **Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS):** in questa cartografia sono indicate le aree in cui si ritiene necessario effettuare indagini e analisi di microzonazione sismica e i livelli di approfondimento ritenuti necessari, distinguendo tra zone suscettibili di instabilità e zone suscettibili di amplificazioni locali, all'interno delle quali sono state operate ulteriori distinzioni, identificando

delle microzone omogenee, sulla base delle caratteristiche litostratimetriche.

Successivamente e in diretta continuità con la prima, è stata svolta la seconda fase di lavoro, nel corso della quale è stato redatto un solo elaborato:

- **Carta delle velocità delle onde di taglio S:** carta in cui sono ubicati tutti i punti di misura di Vs con indicazione, per ogni punto misura, del valore di Vs₃₀.

Infine, è stata effettuata l'analisi con approfondimenti di terzo livello che ha consentito di definire, sulla base di analisi di risposta sismica locale, degli spettri elastici di risposta in superficie (*output*), rappresentativi delle singole zone, di valutare il grado di pericolosità delle aree instabili e potenzialmente tali e di effettuare una zonazione più affidabile delle amplificazioni locali.

In questa fase sono stati prodotti i seguenti elaborati cartografici:

- **Carta di microzonazione sismica FA_{PGA};**
- **Carta di microzonazione sismica FA_{IS 0,1 - 0,5 s};**
- **Carta di microzonazione sismica FA_{IS 0,5 - 1,0 s};**
- **Carta di microzonazione sismica FA_{IS 0,5 - 1,5 s}.**

8. ELABORATI CARTOGRAFICI DI PRIMO E SECONDO LIVELLO

8.1 Carta delle indagini

Nella Carta delle indagini, alla scala 1:10.000, sono state riportate le ubicazioni delle prove relativi a indagini geognostiche e/o sismiche a corredo di pratiche edilizie depositate presso l'Ufficio Tecnico Comunale, oltre a quelle contenute nel database fornito dal Servizio Geologico Regionale.

Esse sono state distinte in base alla tipologia in:

- sondaggio a carotaggio continuo
- prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)
- prova penetrometrica statica con piezocono (CPTU)
- prova penetrometrica statica con piezocono e cono sismico (SCPTU)
- prova penetrometrica dinamica pesante
- pozzi per acqua
- Prova sismica in foro tipo Down-Hole
- stazione microtremori a stazione singola
- MASW

Le precedenti voci compaiono nella carta delle indagini come raffigurato nella legenda riportata in *Fig.21*, secondo gli standard di rappresentazione e archiviazione informatica, versione 4.0b.

Indagini

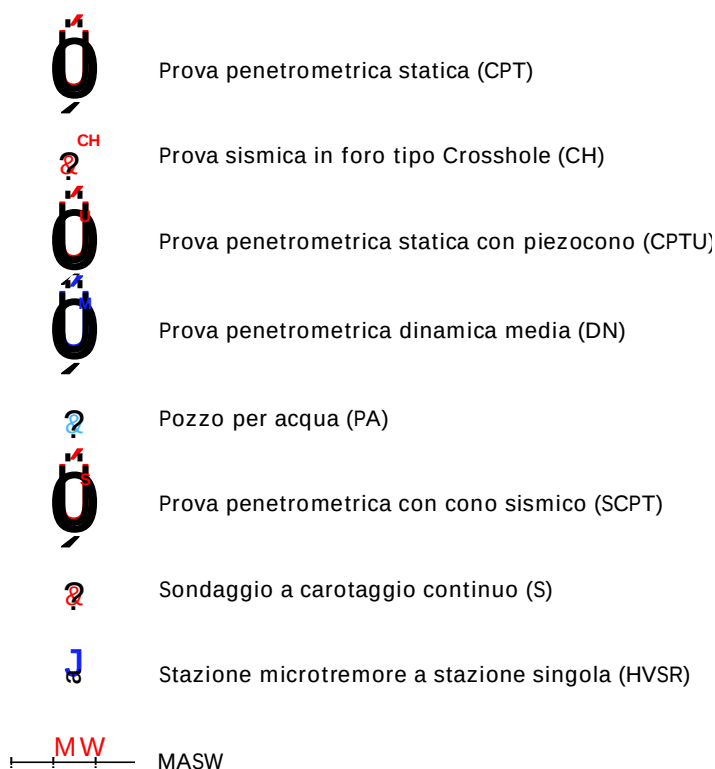


Fig. 21: legenda usata per la carta delle indagini (QT11.1.1)

Nella carta sono indicate anche alcune indagini esterne ai perimetri del territorio urbanizzato e urbanizzabile, ove sono state concentrate le analisi, ma ugualmente utili a definire le sue caratteristiche litostratigrafiche.

Il numero esatto e la tipologia delle prove acquisite, sia dall'ufficio tecnico del comune e dalla Regione Emilia Romagna (Ordinanza 70) sono quelle riportate nel paragrafo 4.

8.2 Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica

Nella Carta geologico-tecnica sono state riportate le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche, geotecniche e idrogeologiche) derivate da tutte le prove geognostiche e stratigrafiche postume al sisma.

Questi dati hanno consentito di definire il modello di sottosuolo e sono risultate funzionali alla realizzazione delle Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (Livello 1), che saranno descritte nel paragrafo 8.4.

Nel presente studio, per la stesura della Carta geologico tecnica, si è fatto riferimento, in particolare, alla seguente documentazione, opportunamente verificata mediante sopralluoghi di campagna:

- elaborati del Quadro Conoscitivo del Piano strutturale Comunale Vigente;
- "Carta Geologica d'Italia" alla scala 1: 100.000, Foglio 74 "Reggio nell'Emilia", ISPRA;
- Carta Geologica di Pianura dell'Emilia-Romagna, alla scala 1:250.000, realizzata

dalla Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli Regione della Emilia- Romagna;

- indagini puntuali, per la descrizione delle quali si rimanda al precedente paragrafo 4.

Allo scopo di migliorare la comprensione del modello geologico locale, dato che non esistono sezioni geologiche edite o dalla regione o da altri enti preposti (quali ENI e/o AGIP) che “passino” per il territorio comunale di Reggiolo, esclusa una “datata” sezione generica riportata nella carta geologica d'Italia, foglio 74 (Fig.22), vengono analizzati carte tettoniche (Fig.23) e sezioni limitrofe (Fig.24) che spieghino la tipologia e lo spessore (Fig.25) delle alluvioni ivi localizzate.

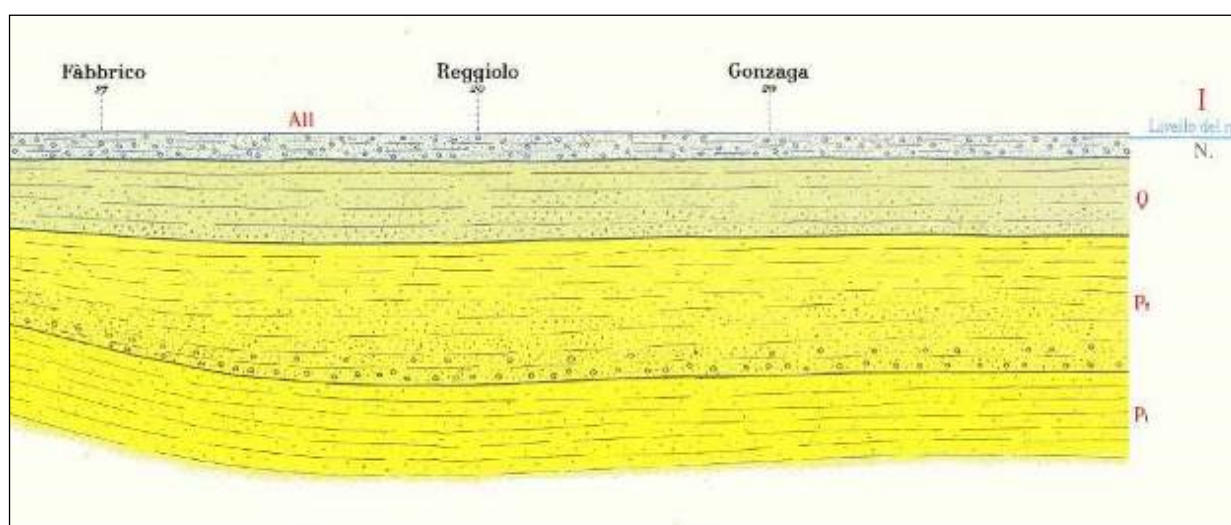


Fig. 22: estratto di sezione geologica d'Italia (Foglio 74) che evidenzia la presenza di uno spessore di alluvioni maggiore di 300 m

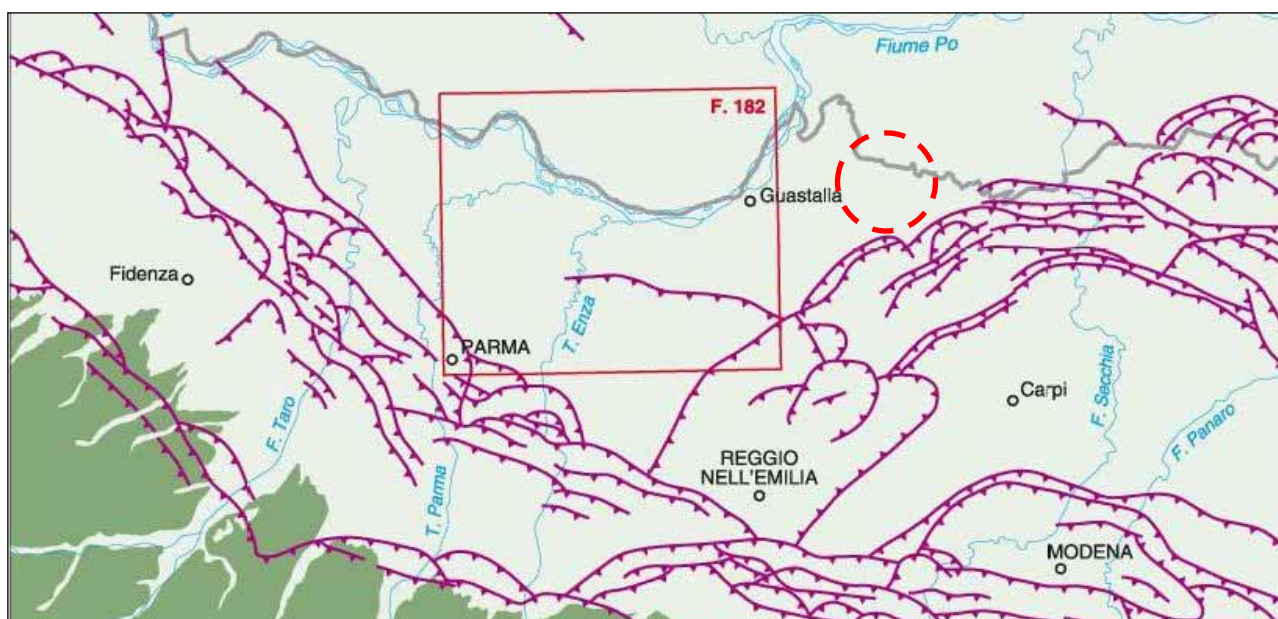


Fig. 23: ubicazione del comune di Reggiolo in riferimento alla struttura sepolta dell'appennino, che lo colloca ai margini dello stesso definito da depositi alluvionali compresi tra 300 e 400 m

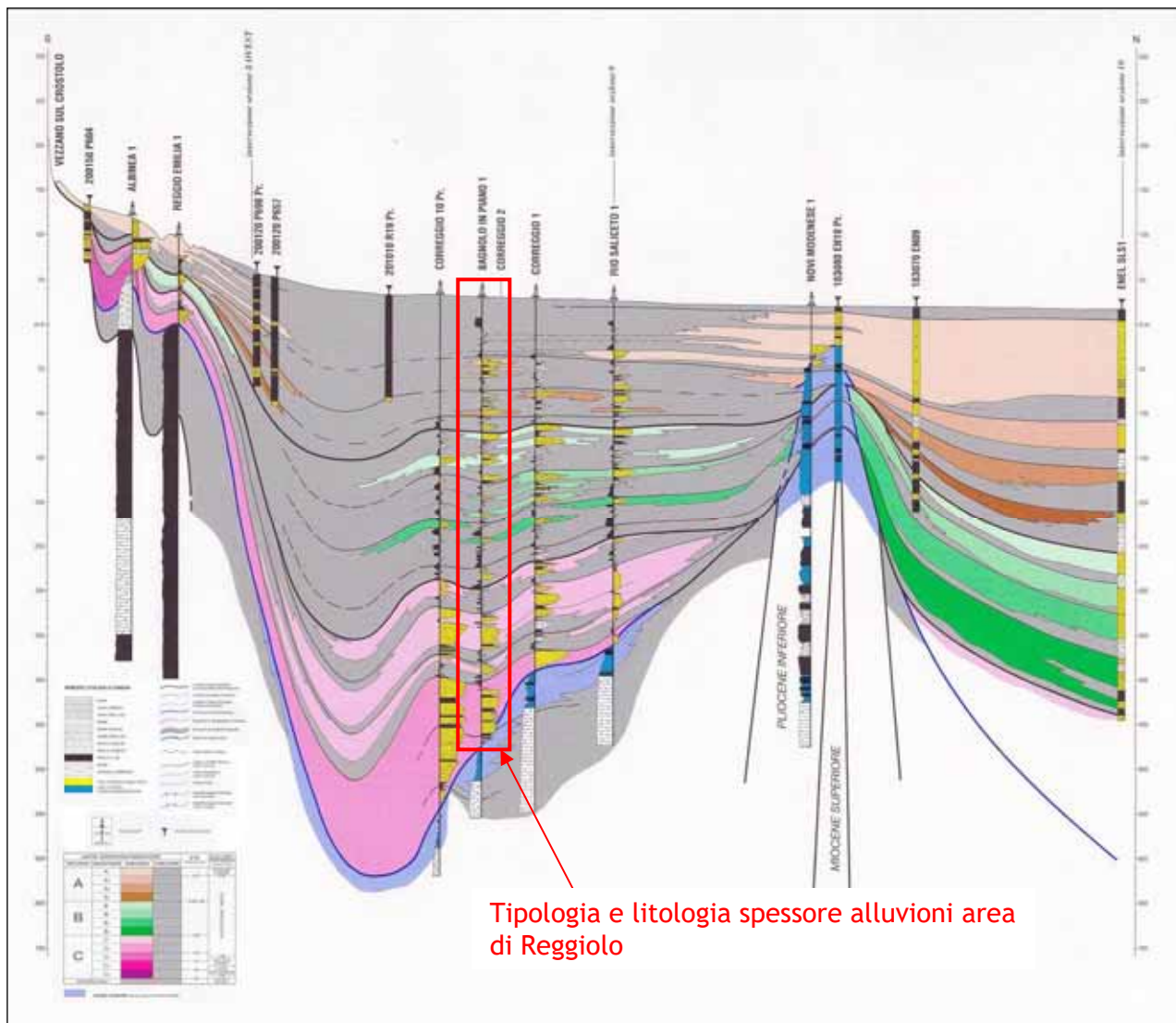


Fig. 24: sezione passante per il Comune di Novi di Modena in cui si evidenzia la tipologia e spessori delle alluvioni rinvenibili nel comune di Reggio.

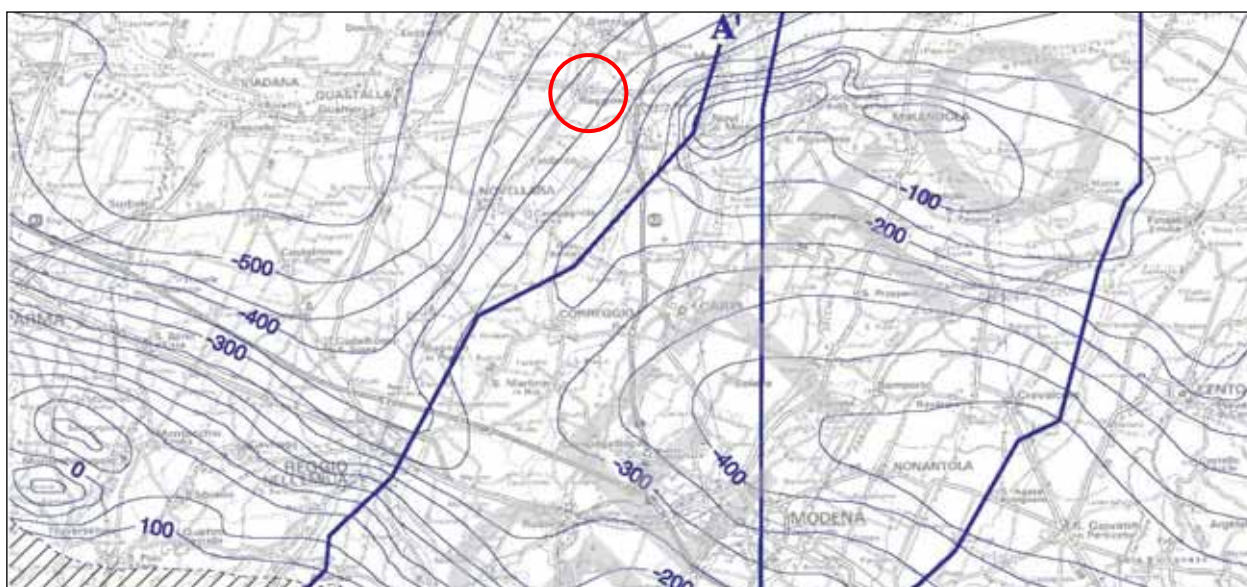


Fig. 25: limite basale dei sedimenti quaternari continentali (da Regione Emilia Romagna & ENI-AGIP, 1998, con modifiche). Equidistanza isoiete substrato marino 50 m.

Dall'esame di tali sezioni e delle altre informazioni raccolte, si osserva che il sottosuolo del territorio indagato, in estrema sintesi, presenta le seguenti caratteristiche:

- il Sintema Emiliano-Romagnolo Sup. è costituito dalla sovrapposizione di cicli deposizionali di spessore pluridecametrico, composti da una porzione fine (limi, argille e localmente sabbie) ed una grossolana costituita da sabbie prevalenti. Questa ciclicità riflette una variazione dell'energia deposizionale fluviale, che aumenta con la sedimentazione grossolana e diminuisce con la fine.
- La disattivazione dei sistemi fluviali avviene bruscamente proprio al tetto dei depositi sabbiosi più continui arealmente e, spesso, si manifesta con la presenza di argille ricche di sostanza organica, che costituiscono la base del ciclo con trend trasgressivo-regressivo. Al di sopra di esse seguono depositi fini di tracimazione fluviale, in cui le sabbie di canale sono presenti come corpi lenticolari. Superiormente la sedimentazione sabbiosa aumenta e la parte terminale del ciclo è data dalla massima espansione della sedimentazione sabbiosa.
- La base del primo ciclo sedimentario (Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore - AES), caratterizzato dall'alternanza di livelli fini e livelli sabbiosi, quest'ultimi aventi potenza generalmente di 20÷30 metri, si colloca alla profondità di circa 250 m dal p.c.. I sedimenti sabbiosi, riconducibili alla deposizione operata dal fiume Po, sono quasi affioranti (4 - 5 m) in tutto il territorio comunale, mentre, spostandosi verso sud, si rinvencono sotto una coltre superficiale di sedimenti fini (limi e argille), di spessore via via crescente fino ad oltre 13 metri sul limite meridionale del Comune.
- La base del secondo ciclo sedimentario (Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore - AEI) raggiunge profondità compresa tra 350 - 400 m di dal p.c.
- Al di sotto del potente pacco di depositi alluvionali, il substrato marino plio-pleistocenico è costituito da depositi sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi di ambiente costiero, che ricopre a sua volta la formazione delle Argille Azzurre.
- Le sezioni evidenziano che, nella zona in esame, l'azione deformativa esercitata dalle strutture sepolte, sui depositi marini e continentali sovrastanti, è stata estremamente limitata.

Nelle Carta geologico tecnica sono rappresentate le caratteristiche litologiche dei terreni presenti nei primi 5 metri di profondità dal p.c., classificati sulla base della tessitura prevalente. Dovendo attenersi agli standard di rappresentazione dettati dagli SRAI, sono state distinte, sulla base delle caratteristiche tessiturali, le seguenti unità di terreni di copertura:

- **CL** - *Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille inorganiche di media - bassa plasticità*: rappresentano soprattutto i terreni posti nell'area meridionale del comune a ridosso del "Canale dei Bruciati" e in altri settori posti localmente a sud est dell'autostrada A22.
- **ML** - *Limi organici, argille inorganiche di media - bassa plasticità, argille limose magre*: caratterizzano il passaggio graduale tra le soprastanti argille e le sabbie

argillose (SC);

- **SC** - *Sabbie argillose, miscela di sabbia e argilla*: caratterizzano l'abitato del capoluogo, evidenziate in tutte le prove geognostiche effettuate nell'area centrale di Reggiolo;
- **SM** - *Sabbie limose, miscela di sabbia e limo*: collocate principalmente nell'area nord di Reggiolo e lungo l'asse di comunicazione con Brugnato.

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

- **pi** - piana inondabile;
- **es** - argini, barre, canali.

Rielaborando i dati delle stratigrafie inerenti ai pozzi acquiferi sono state approntate due sezioni (trasversale e longitudinale) all'abitato di Reggiolo per meglio definire lo spessore e la tipologia delle alluvioni fino ad una profondità massima di 180 m dal p.c. (QT11.1.3 - Carta Sezioni geologiche), di cui si riporta un estratto in Fig.26.

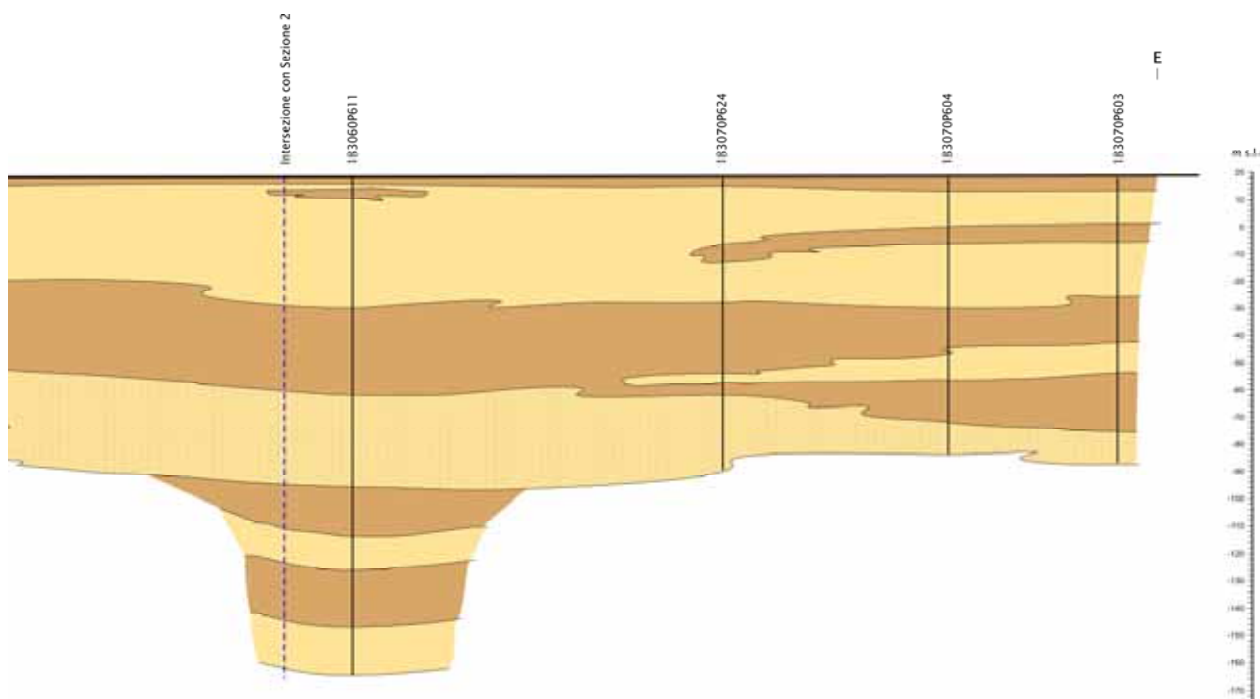


Fig. 26: sezioni geologiche ricostruite con i dati dei pozzi acquiferi distribuiti nel territorio comunale

Infine nella Carta geologico-tecnica sono stati indicati i pozzi e i sondaggi profondi (che, comunque, non hanno mai intercettato il substrato geologico), indicandone la profondità raggiunta e sono stati riportati i valori di soggiacenza della falda freatica (QT11.1.4 - Carta Profondità falda), necessari alla successiva definizione delle zone potenzialmente instabili per fenomeni liquefazione.

8.3 Carta delle frequenze naturali dei terreni

Sulla base di tutti i dati tomografici disponibili, è stata redatta la Carta delle frequenze naturali dei terreni, sempre a scala 1:10.000.

In questa carta sono stati riportati tutti i punti di misura (66), 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).

Sono stati tralasciati i picchi con frequenze superiori ai 20 Hz, in quanto di scarso significato ai fini del presente studio.

Gli indirizzi tecnici a cui si è fatto riferimento prescrivono, 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:

	0,22 - 0,50
	0,51 - 0,80
	0,81 - 1,00
	1,01 - 1,45

Dalla lettura della Carta delle frequenze naturali dei terreni, si osserva che, in Comune di Colorno, predominando le prove appartenenti alla classe $F = 0.8 - 1.0$ Hz, conseguenza del fatto che, come già anticipato nel capitolo 4, spesso registrano netti aumenti nel profilo delle Vs al passaggio suolo/sottosuolo, oltre a inversioni di velocità coincidenti con la base della copertura sovraconsolidata, in grado di mascherare superfici d'impedenza più profonde.

Ciononostante non è possibile effettuare una zonazione del territorio in classi di frequenza, in quanto, sono presenti anche numerose prove, che non hanno “disturbi” superficiali, con picchi a frequenze più basse.

Anche la profondità del *Bedrock sismico* difficilmente viene individuata dalle frequenze in superficie, spesso appare soltanto come secondo picco nella curva H/V (Fig.27).

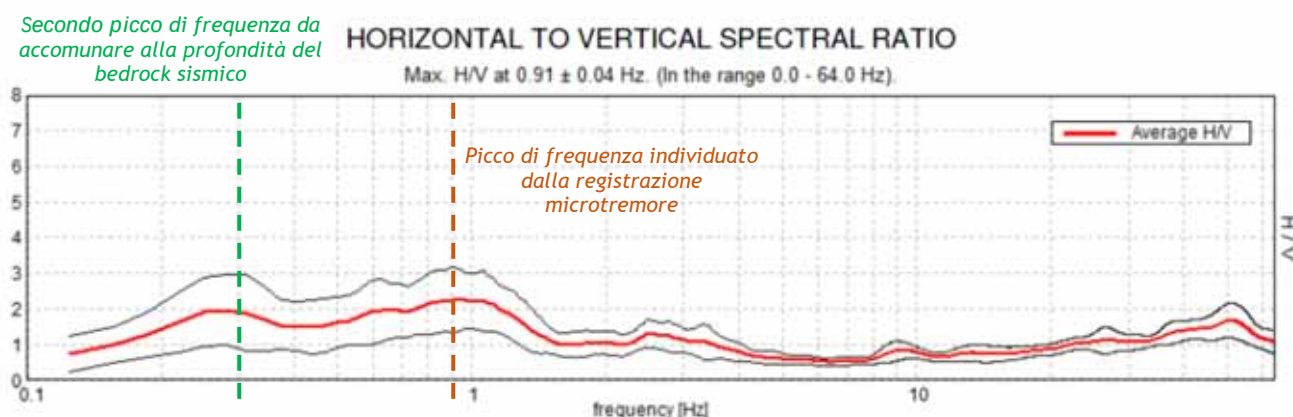


Fig. 27: frequenze caratteristiche di una registrazione HVSR che evidenzia anche un secondo picco con basso valore

8.4 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 in esame viene distinto a seconda dell'appartenenza a una delle seguenti 3 categorie:

- a) **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.
- b) **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.
- c) **zone di attenzione per 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 liquefazioni e densificazione.

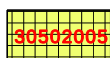
Dalla lettura delle Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica si osserva che, in corrispondenza delle aree esaminate nel Comune di Reggiolo, sono presenti le categorie b) e c); come si può osservare nella legenda riportata in *Fig.28*, sono state individuate:

- n° 4 tipologie di Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (*Fig.28*)

2001	Zona 1 Argille e/o argille limose predominanti, moderatamente consistenti, sino a -12/-13 m dal p.c., con intercalati subordinati corpi sabbioso limosi da moderatamente addensati a compatti. Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche
2002	Zona 2 successione stratigrafica costituita da depositi argilloso-limosi e limoso-argillosi con locali intercalazioni sabbioso-limose presenti sino a quote variabili da -3,00 a -6,00 m da p.c., che ricoprono un livello sabbioso di potenza pluridecametrica caratterizzato da un livello medio / alto di consistenza ($D_r > 55-60\%$). Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche
2003	Zona 3 successione stratigrafica costituita da depositi argilloso-limosi e limoso-argillosi con intercalazioni sabbioso-limose presenti sino a quote variabili da -6,00 a -10,00 m da p.c., che ricoprono un livello sabbioso di potenza pluridecametrica caratterizzato da un livello medio / alto di consistenza ($D_r > 55-60\%$). Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche
2004	Zona 4 successione stratigrafica costituita da depositi argilloso-limosi e limoso-argillosi con intercalazioni sabbioso-limose presenti sino a quote variabili da -10,00 a -13,00 m da p.c., che ricoprono un livello sabbioso di potenza pluridecametrica. Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche

Fig. 28: legenda della Carta delle MOPS in merito alle Zone stabili suscettibili per amplificazioni totali

- n° 1 tipologia di Zone di attenzione per liquefazioni



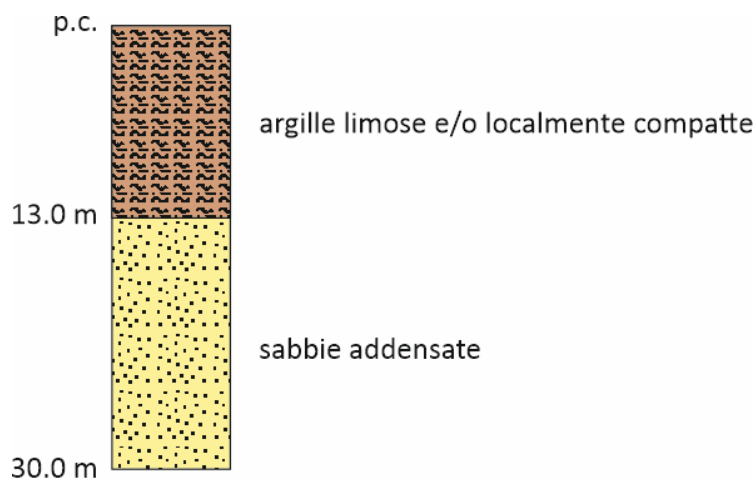
ZaLq - zona di attenzioni per liquefazioni

depositi superficiali limo-argillosi soprastanti orizzonti sabbiosi (anche decametrici). La falda è posta a una profondità compresa tra 2,00 - 3,00 m dal p.c.

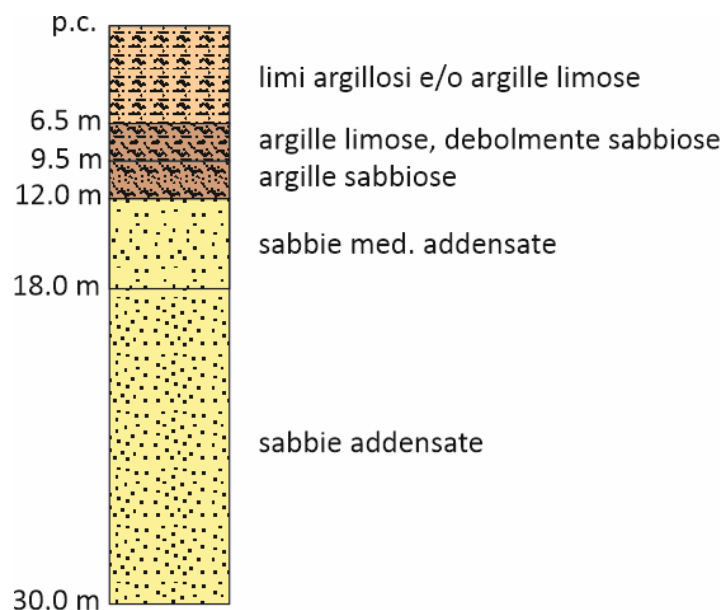
Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche, potenziale liquefazione

Di seguito vengono riportati le colonne stratigrafiche caratteristiche delle microzone descritte in precedenza:

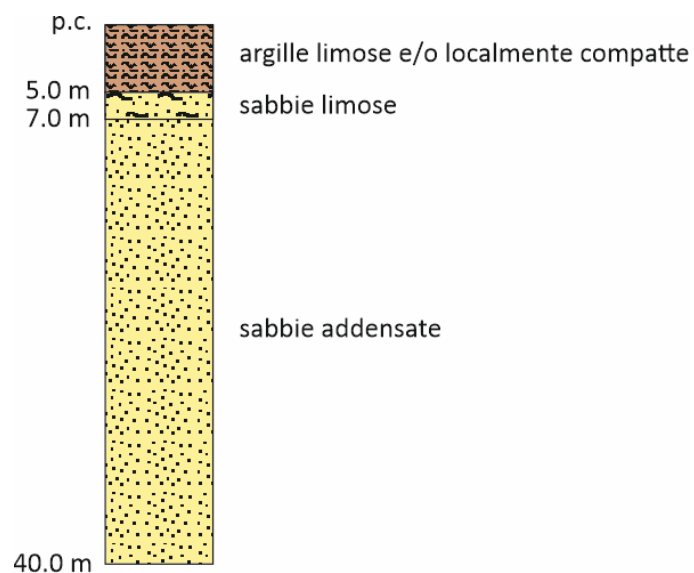
- **zona 2001:**



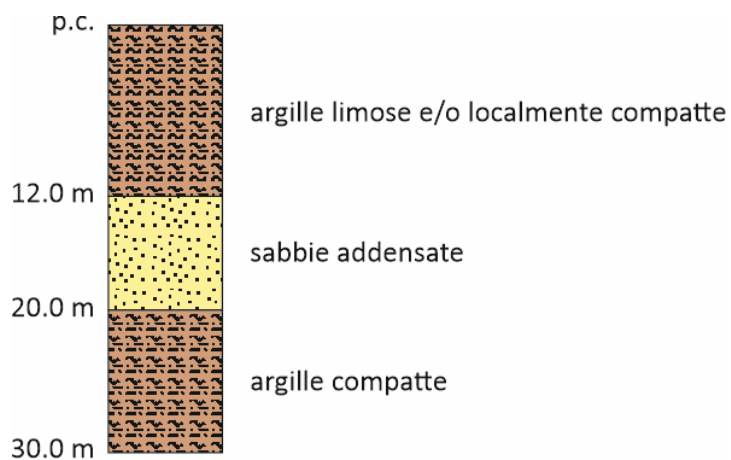
- **zona 2002:**



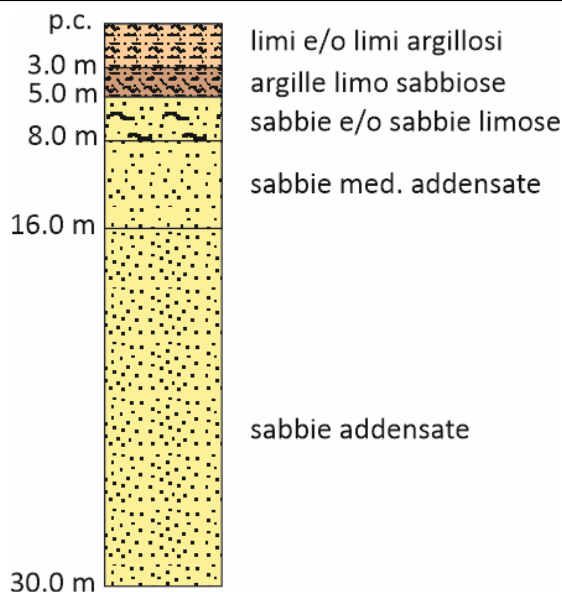
- zona 2003:**



- zona 2004:**



- zona 30502005 (attenzione per liquefazioni):**



8.5 Carte delle velocità delle onde di taglio S

In ottemperanza ai riferimenti tecnici citati nelle premesse, è stata redatta per le aree oggetto di studio la Carta delle velocità delle onde di taglio S (V_s).

In tale elaborato sono ubicati tutti i punti di misura, indicando il corrispondente valore di V_{s30} (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).

Non sono stati indicati valori di V_{sH} in quanto si è ipotizzato che il substrato rigido sia localizzato a profondità maggiori di 50 metri, in considerazione del fatto che nelle misure HVSR non sono stati riscontrati picchi H/V significativi alle medie frequenze.

Per la stesura di questa carta sono state utilizzate le indagini sismiche con valori di V_s che tengano conto anche della natura del suolo/sottosuolo, allegate a pratiche edilizie e le prove geofisiche di nuova esecuzione, post sisma, supporto del presente studio di microzonazione sismica.

Facendo riferimento, in particolare, ai risultati delle indagini di nuova esecuzione, dalle cartografie è possibile osservare valori di V_{s30} che risultano ricompresi nel range 183÷220 m/s

- 183 - 193
- 194 - 203
- 204 - 210
- 211 - 220

9. APPROFONDIMENTI DI TERZO LIVELLO

9.1 Aree considerate

Gli approfondimenti di terzo livello sono stati eseguiti sia sulle aree indagate per quanto riguarda il rischio di liquefazione, sia sulle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali; in accordo con il *Dott. Martelli*, referente del servizio geologico della Regione Emilia Romagna, avendo ricostruito 2 sezioni abbastanza dettagliate del primo sottosuolo di Reggiolo (QT11.1.3 - Carta Sezioni geologiche), sono state individuate 5 Aree a comportamento litostratigrafico noto (Zona A, B, C, D ed E), laddove era disponibile un'adeguata conoscenza di tutti i parametri necessari a definire il modello geofisico del sottosuolo, inserito nel codice di calcolo HERA per ricostruire un'accurata risposta sismica locale.

9.2 Risposta sismica locale

Di seguito vengono fornite alcune informazioni di carattere generale sulle procedure di valutazione di risposta sismica locale. Nei successivi paragrafi, saranno, poi, illustrati i risultati di dettaglio della RSL.

9.2.1 Pericolosità sismica di base

Nel caso della valutazione della risposta sismica locale di 3° livello nell'ambito della microzonazione sismica i parametri di riferimento (PGA su suolo di categoria A, spettri di risposta rappresentativi e segnali di riferimento) sono definiti dall'Allegato A4 della DGR 2193/2015 della Regione Emilia Romagna.

In particolare l'Allegato A4 contiene:

- la forma dello spettro di risposta normalizzato rappresentativo del moto sismico atteso per un periodo di ritorno di 475 anni (con smorzamento pari al 5%) in Emilia-Romagna;
- l'indicazione per la definizione dei valori di a_{refg} (10% di probabilità di superamento in 50 anni);
- le indicazioni per il reperimento e l'utilizzo dei segnali di riferimento selezionati.

9.2.2 Segnali in input

Quali dati di input sismico sono stati utilizzati quelli forniti dalla Regione Emilia Romagna secondo le indicazioni della DGR 2193/2015.

Tutti i segnali sono stati selezionati attraverso una procedura che valuta la similarità tra le forme spettrali di riferimento e la forma degli spettri di risposta dei segnali contenuti nelle banche dati.

Nel caso dei sismogrammi RER, il confronto è avvenuto con la forma dello spettro di risposta isoprobabile, con il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni.

Il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale fornisce 3 segnali per ciascun comune.

Nel complesso, quindi sono stati utilizzati 3 diversi accelerogrammi per le verifiche di risposta sismica locale. Ovviamente, tutti i sismi sono stati scalati in accelerazione per ottenere un valore massimo di input compatibile con quello previsto dalla RER:

- 000046xa_035032Reggiolo.xy
- 000126xa_035032Reggiolo.xy

- 000354xa_035032Reggiolo.xy

9.2.3 Modello geofisico del sottosuolo

La valutazione della risposta sismica locale richiede un'accurata modellazione delle caratteristiche geofisiche del sottosuolo, principalmente basata sui seguenti parametri:

- litologia;
- velocità delle onde sismiche di taglio (V_s);
- curve di variazione dello smorzamento (D) e della rigidezza (G/G_0) in funzione della deformazione e densità in situ,

Tale modellazione viene spinta in profondità fino a raggiungere il *bedrock* sismico, assunto con velocità $V_s > 800$ m/s.

9.2.4 Codice di calcolo (EERA) per la valutazione della RSL

Per la valutazione della risposta sismica locale è stato utilizzato il codice di calcolo EERA, strutturato per calcolare la risposta dinamica monodimensionale (1D) di una colonna di terreno utilizzando un modello di propagazione lineare delle onde, con proprietà dinamiche del terreno (proprietà elastiche e smorzamento) variabili in funzione del livello deformativo.

Il programma adotta le seguenti convenzioni:

- La risposta del deposito è causata da onde di taglio polarizzate orizzontalmente che si propagano verticalmente nel *bedrock* verso la superficie lungo una colonna verticale monodimensionale di terreno;
- Le superfici di stratificazione sono orizzontali;
- Le superfici del *bedrock* e delle stratificazioni si estendono lateralmente all'infinito;
- La stratificazione è lateralmente omogenea;
- La superficie topografica è priva di irregolarità.

La valutazione della RSL è stata effettuata utilizzando il modello "lineare equivalente" (EQL), che considera la variazione dei parametri di rigidezza e smorzamento dei terreni in funzione della deformazione indotta dal sisma.

9.2.5 Suddivisione in zone a comportamento omogeneo

Come anticipato nel paragrafo 9.1, sono state individuate 5 aree oggetto di studio di microzonazione sismica (Fig.29)

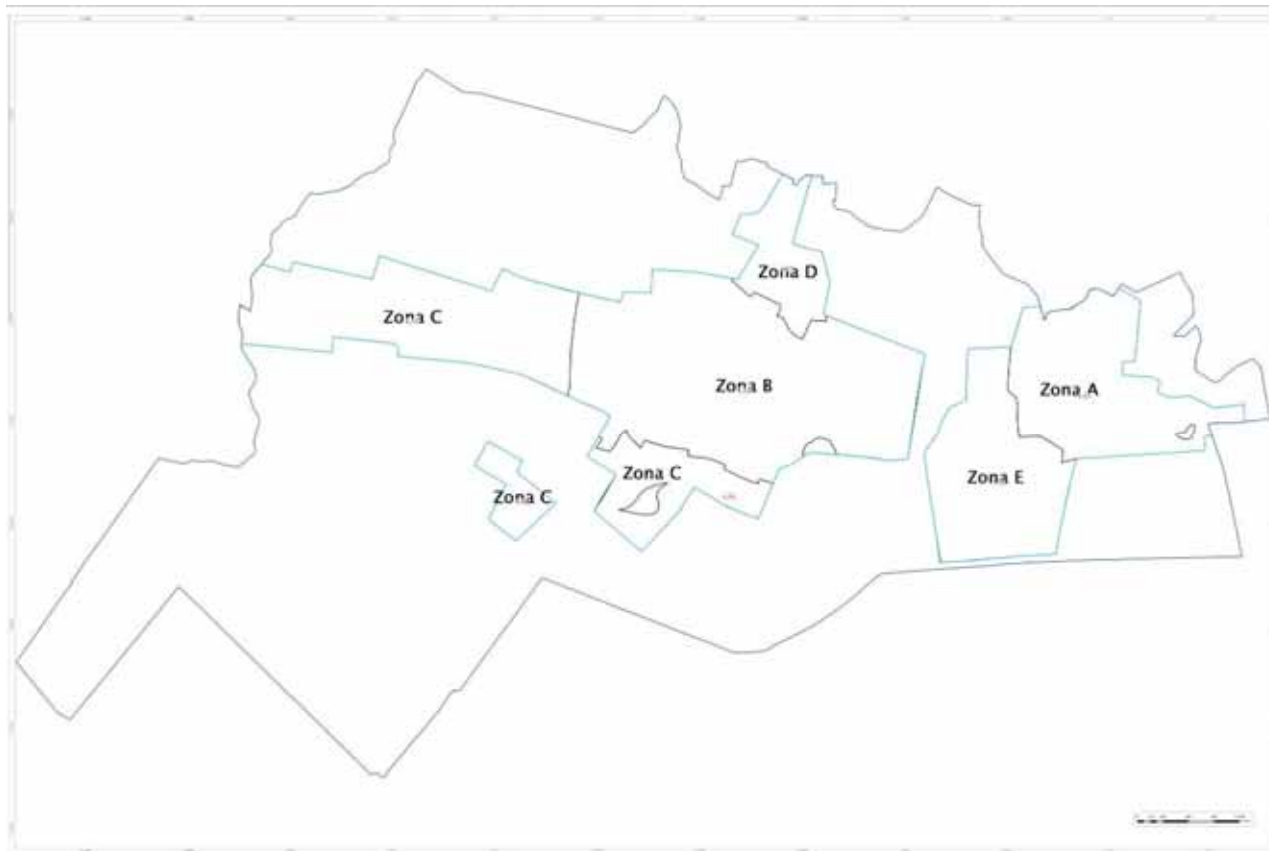


Fig. 29: suddivisione delle zone in cui sono state effettuate le analisi di RSL

9.2.6 Risultati della modellazione numerica

I risultati delle analisi condotte con il codice di calcolo EERA, elaborati nel dominio del tempo e delle frequenze, hanno consentito di definire:

- la funzione di trasferimento del segnale sismico dal *bedrock* alla superficie;
- lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA), da cui è stato derivato, mediante la formula $PSV(T_i) = T_i \cdot PSA(T_i) / 2\pi$, lo spettro di risposta elastico in pseudovelocità (PSV); gli spettri rappresentati sono ottenuti come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output;
- il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FA_{PGA}), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido;
- il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FA_{IS}) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido. In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido). I rapporti risultano pertanto:

$$FA_{IS\ 0.1-0.5} = \frac{\int_{0.1}^{0.5} PSV_{superficie}(T) dt}{\int_{0.1}^{0.5} PSV_{suolo\ rigido}(T) dt}$$

$$FA_{IS\ 0.5-1.0} = \frac{\int_{0.5}^{1.0} PSV_{superficie}(T) dt}{\int_{0.5}^{1.0} PSV_{suolo\ rigido}(T) dt}$$

$$FA_{1,5\ 0,5-1,0} = \frac{\int_{0,5}^{1,5} P_{SV}^{superficie}(T) dt}{\int_{0,5}^{1,5} P_{SV}^{suolo\ rigido}(T) dt}$$

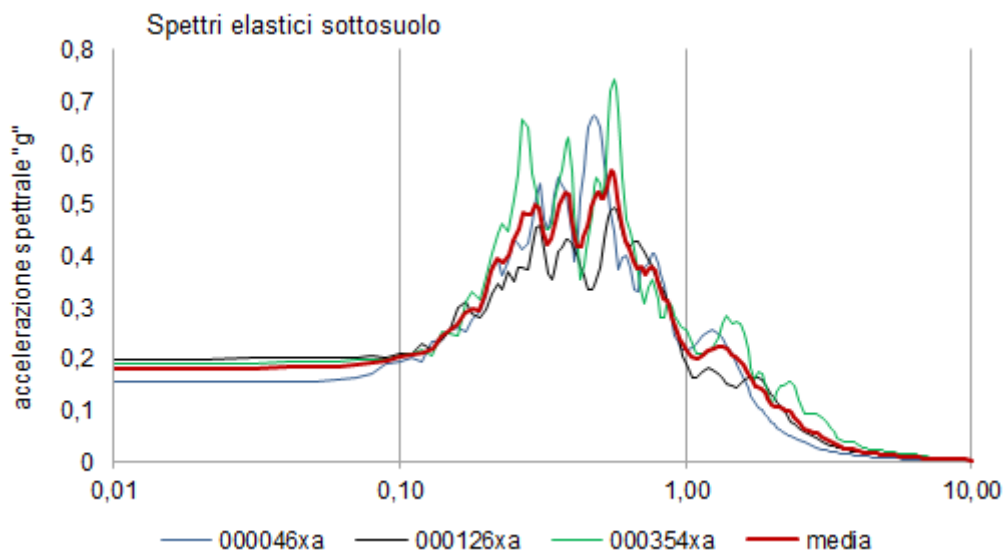
9.2.7 Risultati per singole zone

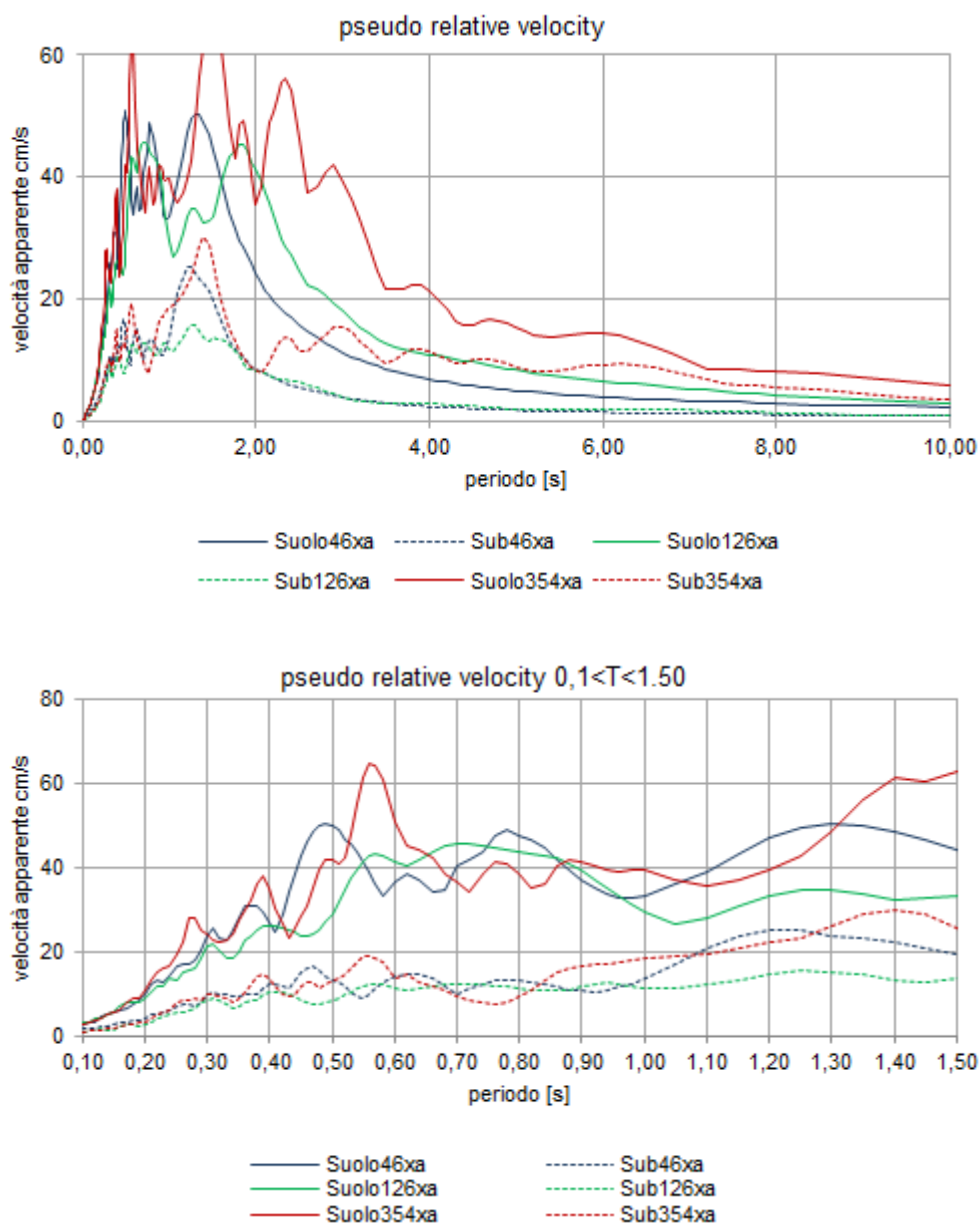
In questo paragrafo verranno esaminati zona per zona, a partire dalla modello del sottosuolo, in funzione delle singole litologie e velocità, la risposta sismica locale secondo i parametri elencati nel p.to precedente.

9.2.7.1 Zona A:

Fundamental period (s) = 2.11
Average shear wave velocity (m/sec) = 473,04
Total number of sublayers = 13

	Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus G_{max} (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m ³)	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface	1	1		8,0	57,43		18,00	176,9119			4,0	72,00
	2	2		12,0	153,73		18,50	285,5151			14,0	255,00
	3	1		8,0	195,8761444		19	318,0157			24,0	442,00
	4	2		18,0	276,3242188		19,5	372,8436			37,0	693,50
	5	1		18,0	294,3934631		20	380			55,0	1049,00
	6	2		10,0	309,7464294		20,5	385			69,0	1331,50
	7	1		22,0	322,4953918		20,8	390			85,0	1662,80
	8	2		24,0	328,94		21,00	392			108,0	2143,60
	9	1		10,0	333,9984436		21	395			125,0	2500,60
	10	2		14,0	342,51		21,00	400			137,0	2752,60
	11	1		26,0	704,0431519		21,5	566,7805			157,0	3179,10
	12	2		80,0	910,22		21,80	640			210,0	4330,60
Bedrock	13	0		100,0	1435,27	1	22,00	800	Outcrop		250,0	5202,60





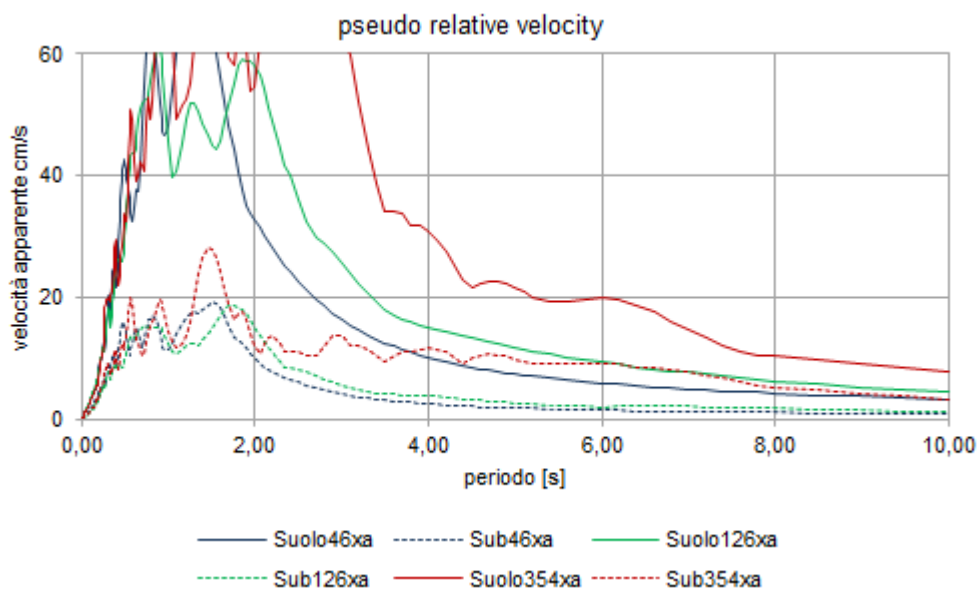
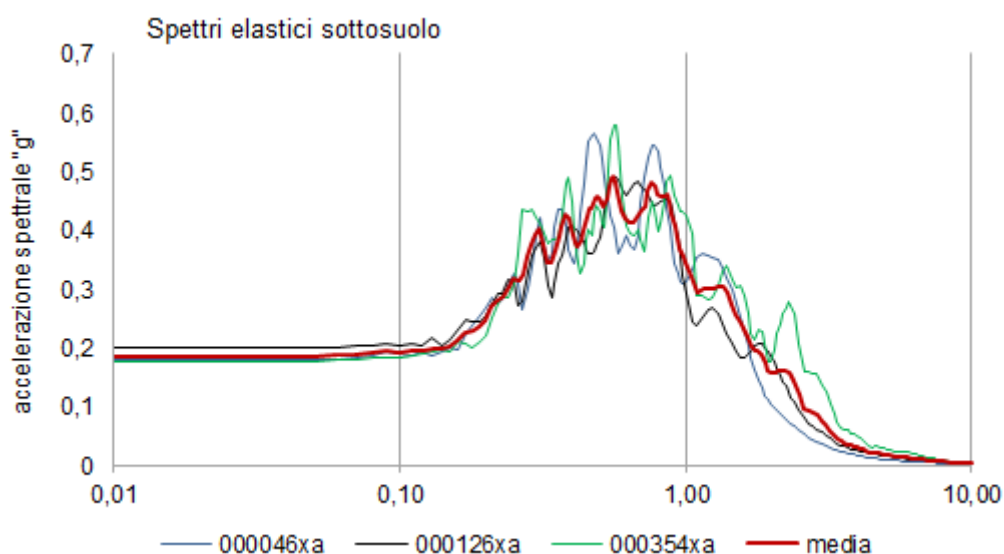
a(g).base 0,118

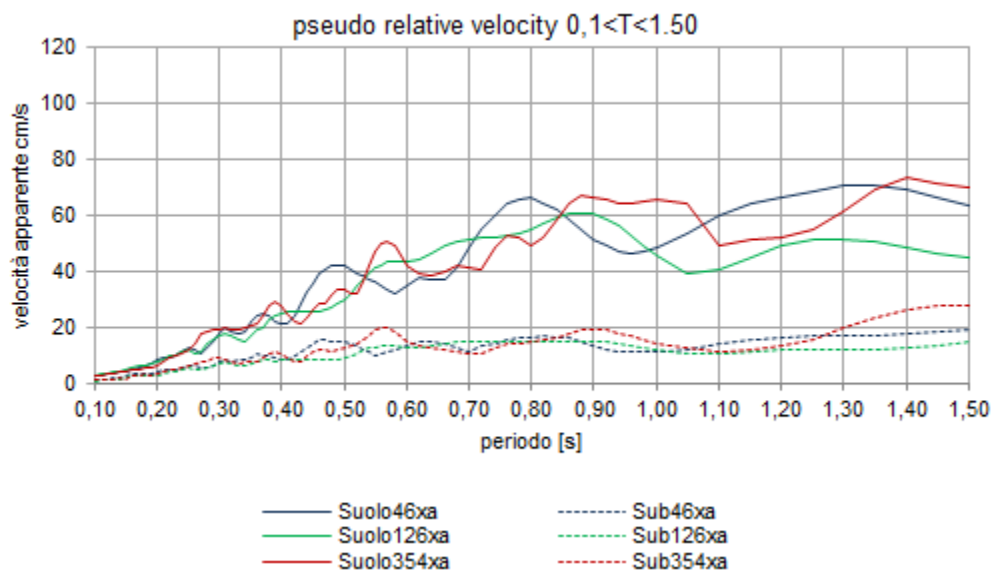
accelerogrammi	46Xa	126Xa	350Xa	media
a(g)	0,153	0,199	0,191	0,181
Fo	2,025	2,055	2,039	2,040
TB				0,31
TC				0,32
TD				2,29
PGA	1,30	1,69	1,62	1,53
0,1<T<0,5	2,64	2,69	2,72	2,68
0,5<T<1,00	3,31	3,45	3,08	3,28
0,5<T<1,5	2,84	3,13	2,68	2,88

9.2.7.2 Zona B:

Fundamental period (s) = 2,45
Average shear wave velocity (m/sec) = 407,60
Total number of sublayers = 9

	Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus G_{max} (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m ³)	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface	1	2		30,0	59,45		18,00	180			15,0	270,00
	2	1		45,0	91,27		18,50	220			52,5	956,25
	3	2		20,0	174,3119202		19	300			85,0	1562,50
	4	1		20,0	243,5015259		19,5	350			105,0	1947,50
	5	2		10,0	264,2201538		20	360			120,0	2242,50
	6	1		25,0	334,3526917		20,5	400			137,5	2598,75
	7	2		50,0	641,3862915		20,8	550			175,0	3375,00
	8	1		50,0	904,43		21,00	650			225,0	4420,00
Bedrock	9	0			1435,27	1	22,00	800	Outcrop		250,0	4945,00





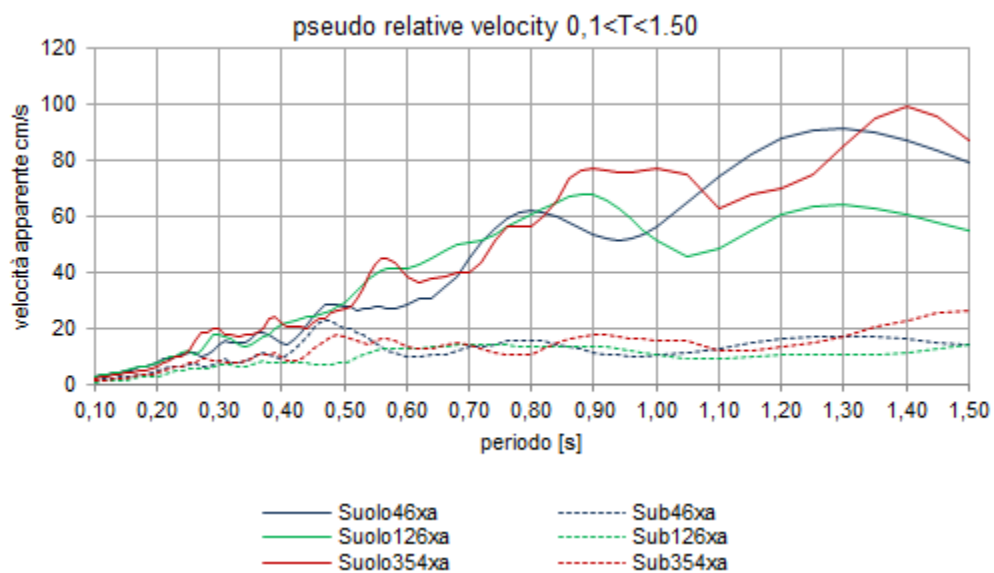
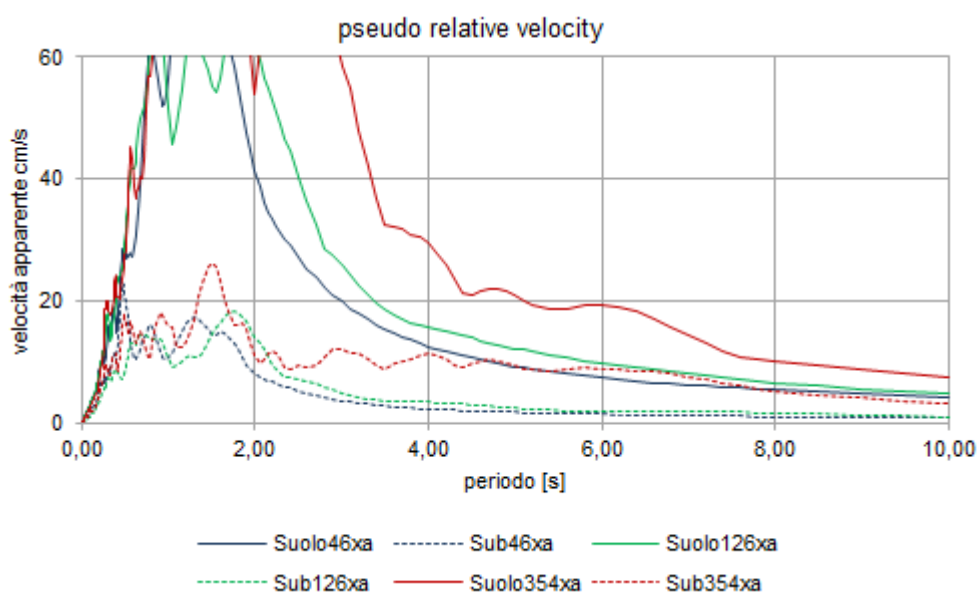
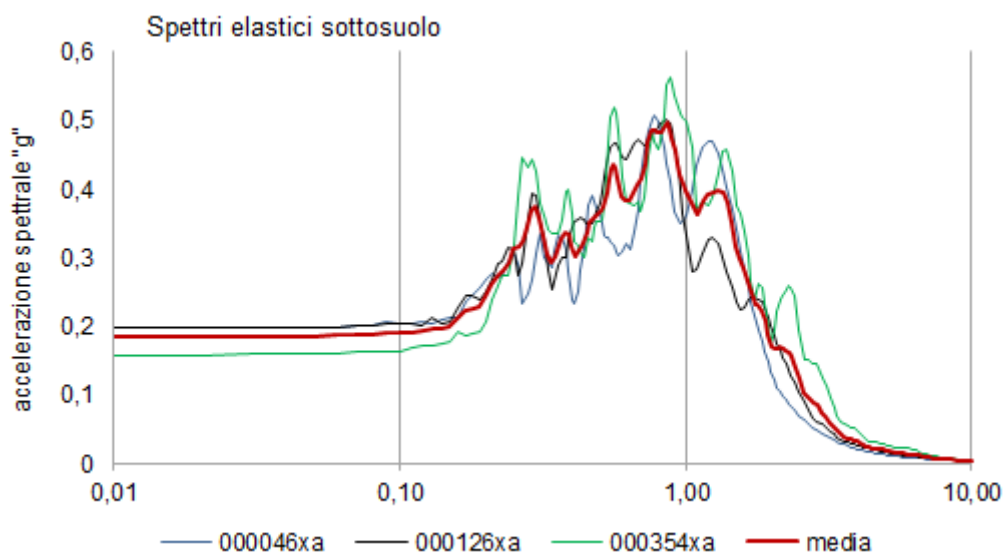
a(g).base 0,118

accelerogrammi	46Xa	126Xa	350Xa	media
a(g)	0,178	0,199	0,175	0,184
Fo	3,323	3,353	3,277	3,318
TB				0,33
TC				0,82
TD				2,29
PGA	1,51	1,69	1,49	1,56
$0,1 < T < 0,5$	2,31	2,63	2,39	2,44
$0,5 < T < 1,00$	3,48	3,54	3,21	3,41
$0,5 < T < 1,5$	3,59	3,59	3,20	3,46

9.2.7.3 Zona C:

Fundamental period (s) = 2,54
Average shear wave velocity (m/sec) = 440,16
Total number of sublayers = 11

	Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus G_{max} (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m ³)	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface	1	1		10,0	24,13		18,00	114,68			5,0	90,00
	2	2		10,0	37,47		18,50	140,96			15,0	272,50
	3	1		30,0	93,57071686		19	219,8			35,0	650,00
	4	2		10,0	120,3699951		19,5	246,08			55,0	1032,50
	5	1		15,0	166,1778717		20	285,5			67,5	1280,00
	6	2		35,0	255,9887848		20,5	350			92,5	1788,75
	7	1		20,0	306,1691895		20,8	380			120,0	2355,50
	8	2		20,0	342,51		21,00	400			140,0	2773,50
	9	1		50,0	647,5534668		21	550			175,0	3508,50
	10	2		80,0	904,43		21,00	650			240,0	4873,50
Bedrock	13	0		70,0	1435,27	1	22,00	800	Outcrop		280,0	5713,50



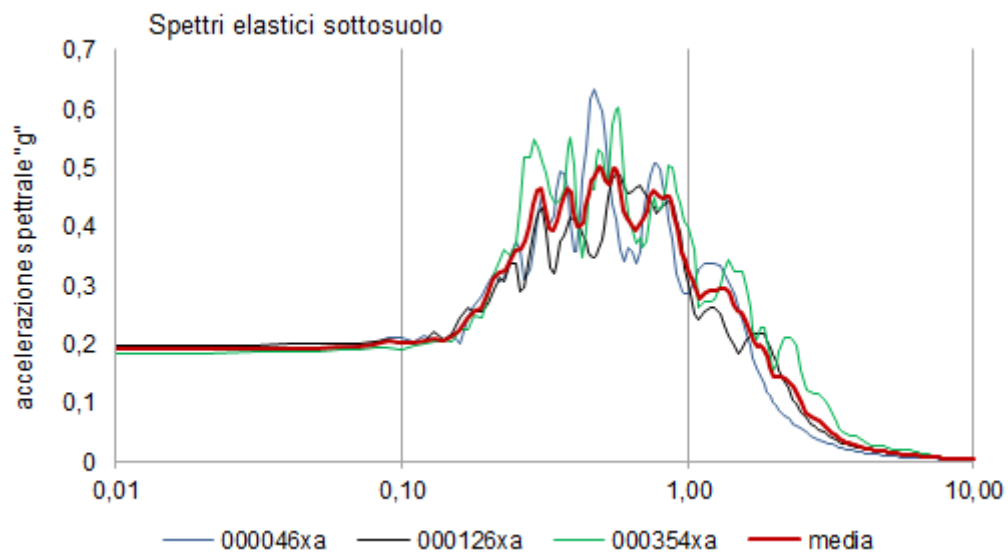
a(g).base 0,118

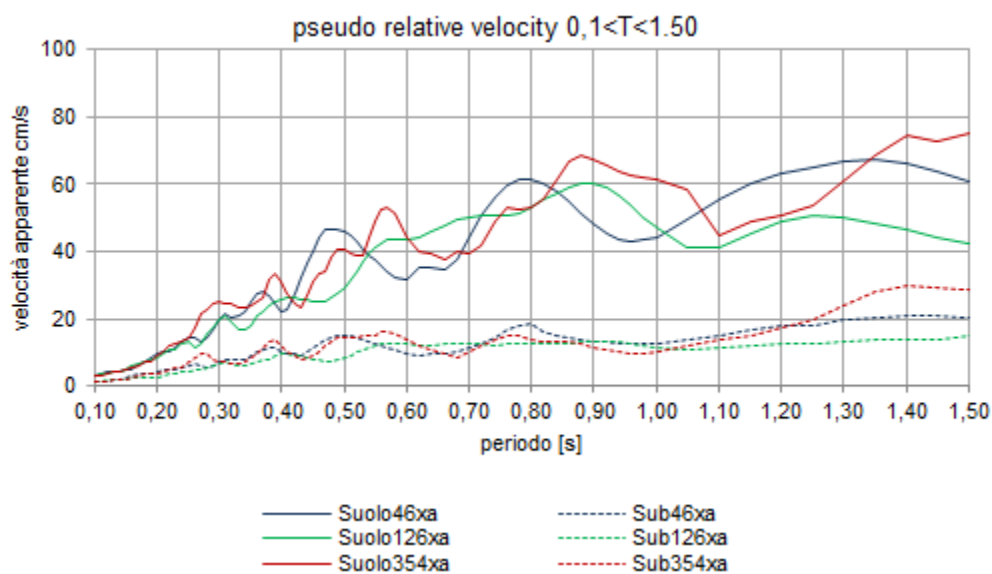
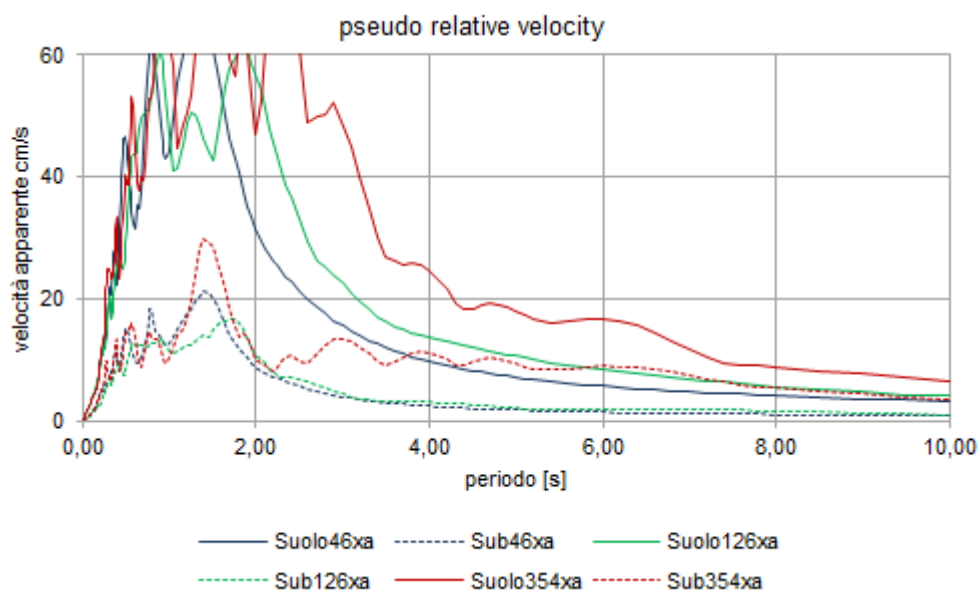
accelerogrammi	46Xa	126Xa	350Xa	media
a(g)	0,197	0,197	0,158	0,184
Fo	3,145	3,074	2,978	3,065
TB				0,33
TC				0,86
TD				2,29
PGA	1,67	1,67	1,34	1,56
0,1<T<0,5	1,47	2,61	1,84	1,97
0,5<T<1,00	3,25	3,97	3,57	3,60
0,5<T<1,5	3,78	4,23	3,78	3,93

9.2.7.4 Zona D:

Fundamental period (s) = 2,21
Average shear wave velocity (m/sec) = 507,57
Total number of sublayers = 11

Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus G_{max} (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m ³)	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface	1	1	10,0	40,95		18,00	149,39			5,0	90,00
	2	2	30,0	93,69		18,50	222,89			25,0	457,50
	3	1	30,0	170,1420593		19	296,39			55,0	1020,00
	4	2	10,0	204,6812286		19,5	320,89			75,0	1402,50
	5	1	10,0	243,2094879		20	345,39			85,0	1600,00
	6	2	30,0	270,8256836		20,5	360			105,0	2007,50
	7	1	15,0	335,8616638		20,8	398			127,5	2471,00
	8	2	15,0	342,51		21,00	400			142,5	2784,50
	9	1	50,0	809,366333		21	614,89			175,0	3467,00
	10	2	80,0	1407,58		21,00	810,89			240,0	4832,00
Bedrock	11	0	70,0	1435,27	1	22,00	800	Outcrop		280,0	5672,00





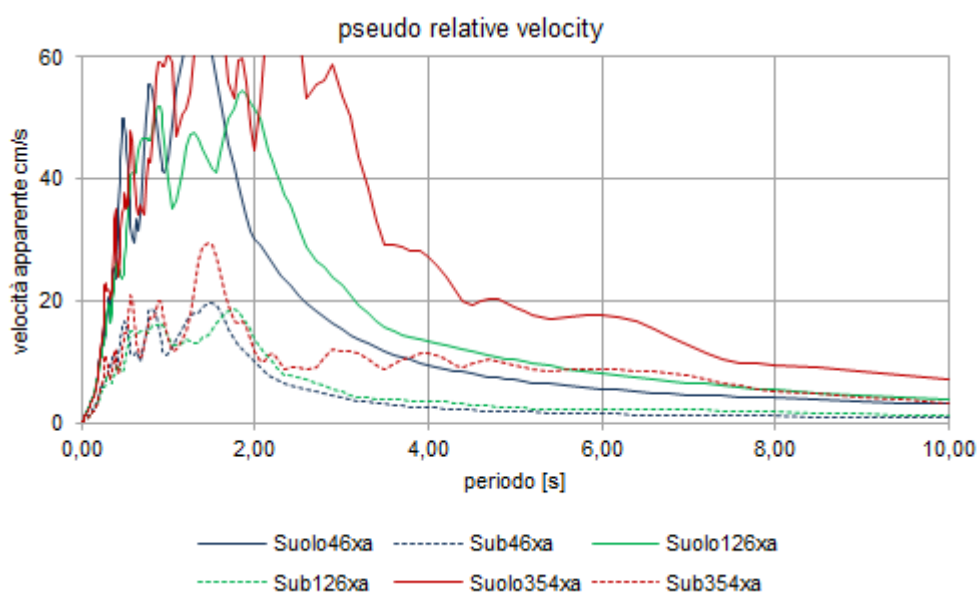
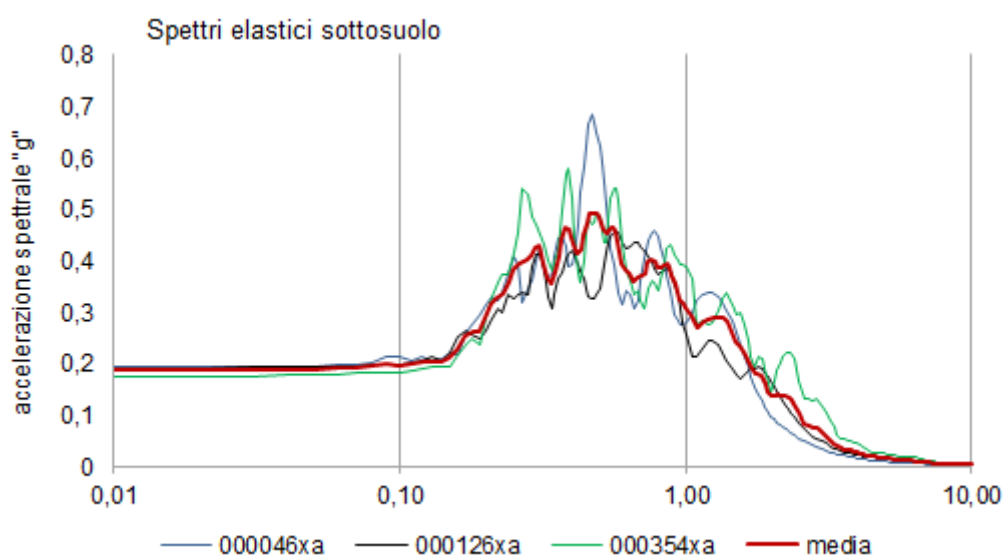
a(g).base 0,118

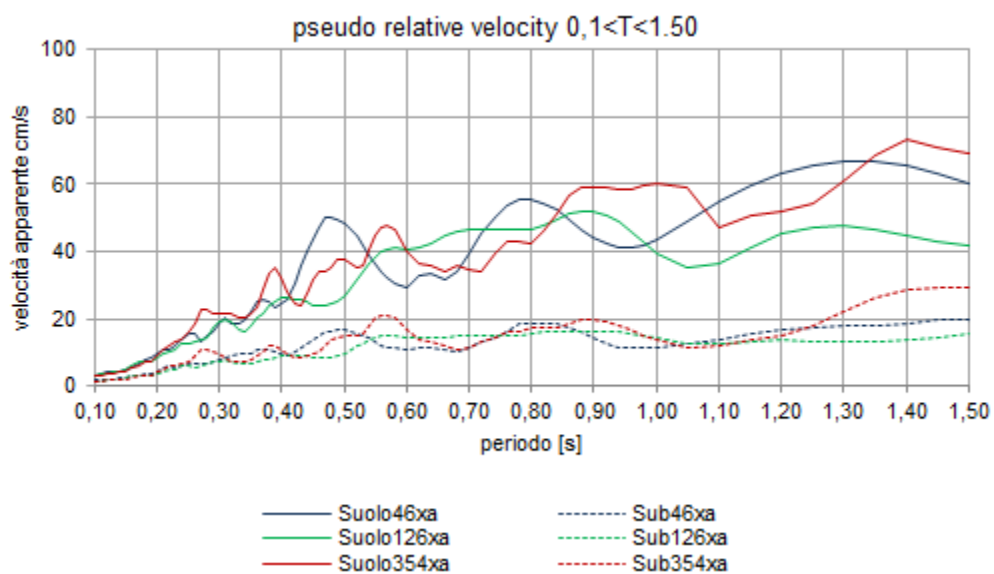
accelerogrammi	46Xa	126Xa	350Xa	media
a(g)	0,190	0,198	0,185	0,191
Fo	2,617	2,581	2,546	2,581
TB				0,31
TC				0,8
TD				2,29
PGA	1,61	1,68	1,56	1,62
0,1<T<0,5	2,72	2,96	2,70	2,79
0,5<T<1,00	3,45	3,97	4,03	3,81
0,5<T<1,5	3,41	3,85	3,55	3,60

9.2.7.5 Zona E:

Fundamental period (s) = 2,56
Average shear wave velocity (m/sec) = 437,62
Total number of sublayers = 10

	Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus G_{max} (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m ³)	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface	1	1		8,0	38,73		18,00	145,2848			4,0	72,00
	2	2		42,0	106,37		18,50	237,5			29,0	532,50
	3	1		20,0	150,956955		19	279,18			60,0	1111,00
	4	2		50,0	282,6393127		19,5	377,08			95,0	1788,50
	5	1		20,0	310,0917358		20	390			130,0	2476,00
	6	2		10,0	334,3526917		20,5	400			145,0	2778,50
	7	1		20,0	460,3931885		20,8	465,98			160,0	3089,00
	8	2		30,0	567,76		21,00	515			185,0	3612,00
	9	1		80,0	849,3093262		21	629,88			240,0	4767,00
Bedrock	10	0		70,0	1435,27	1	22,00	800	Outcrop		280,0	5607,00





a(g).base 0,118

accelerogrammi	46Xa	126Xa	350Xa	media
a(g)	0,193	0,192	0,176	0,187
Fo	2,703	2,643	2,614	2,654
TB				0,31
TC				0,77
TD				2,29
PGA	1,64	1,62	1,49	1,58
$0,1 < T < 0,5$	2,55	2,61	2,58	2,58
$0,5 < T < 1,00$	3,05	2,95	2,77	2,93
$0,5 < T < 1,5$	3,21	3,00	2,82	3,01

9.3 Confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati

Gli eventi sismici del 20 - 29 Maggio 2012 hanno interessato particolarmente il comune di Reggiolo, provocando danni ingenti a molte strutture (private e industriali) collocate su quasi tutto il territorio comunale ma, osservando la mappatura degli stessi, messa a disposizione dall'ufficio tecnico territoriale (QT6 - Dinamiche edilizie post-sisma, Piano Urbanistico Generale del Comune di Reggiolo), si evince che alcune aree sono state maggiormente colpite rispetto ad altre (Fig. 30 e particolare ingrandito in Fig. 31).



Fig. 30: distribuzione delle strutture danneggiate dagli effetti del sisma 2012

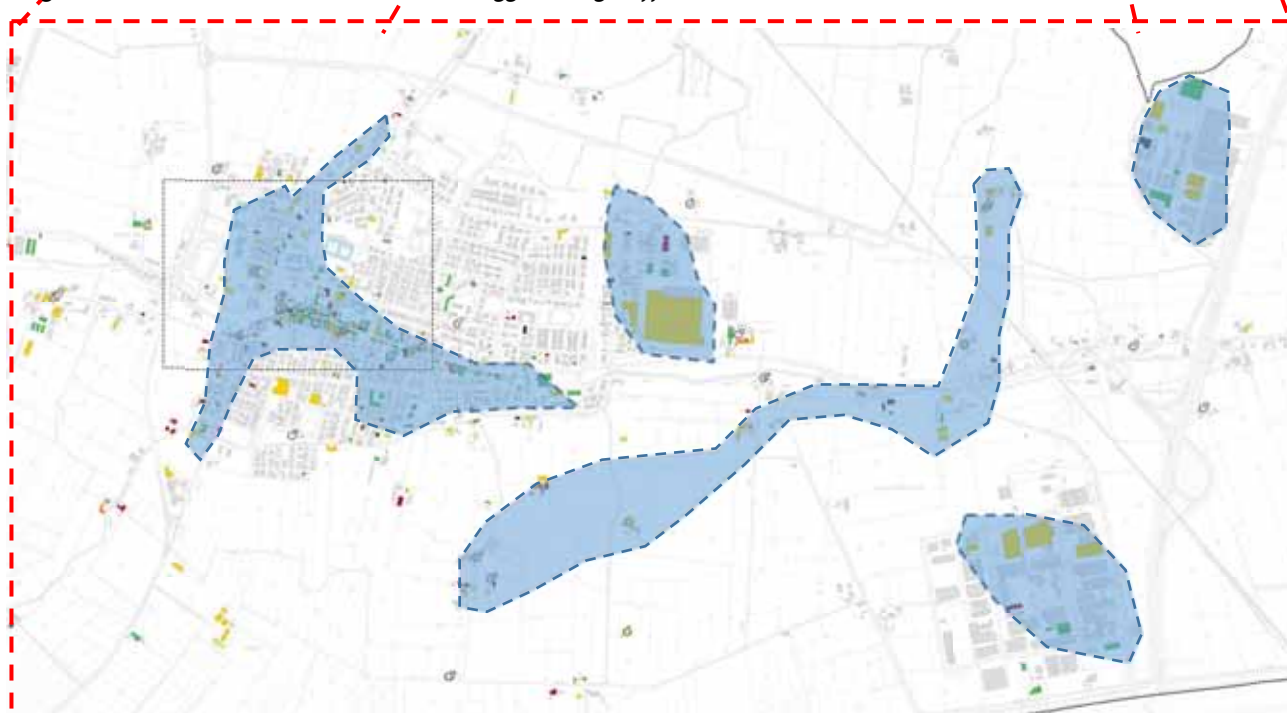


Fig. 31: particolare ingrandito delle fig. 30 che evidenzia maggiormente gli edifici che hanno risentito del sisma

Premesso che in tutto il territorio comunale non è stato registrato alcun fenomeno di liquefazione locale, risulta di particolare rilevanza la sovrapposizione dell'area di cui alla Fig. 31, con le microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) dove si evince una maggiore corrispondenza tra la concentrazione di fabbricati lesionati, e le zone 3 - 4, contraddistinte da una successione limo-argillosa e/o argillo-limosa soprastante gli orizzonti sabbiosi compatti (Fig. 32).

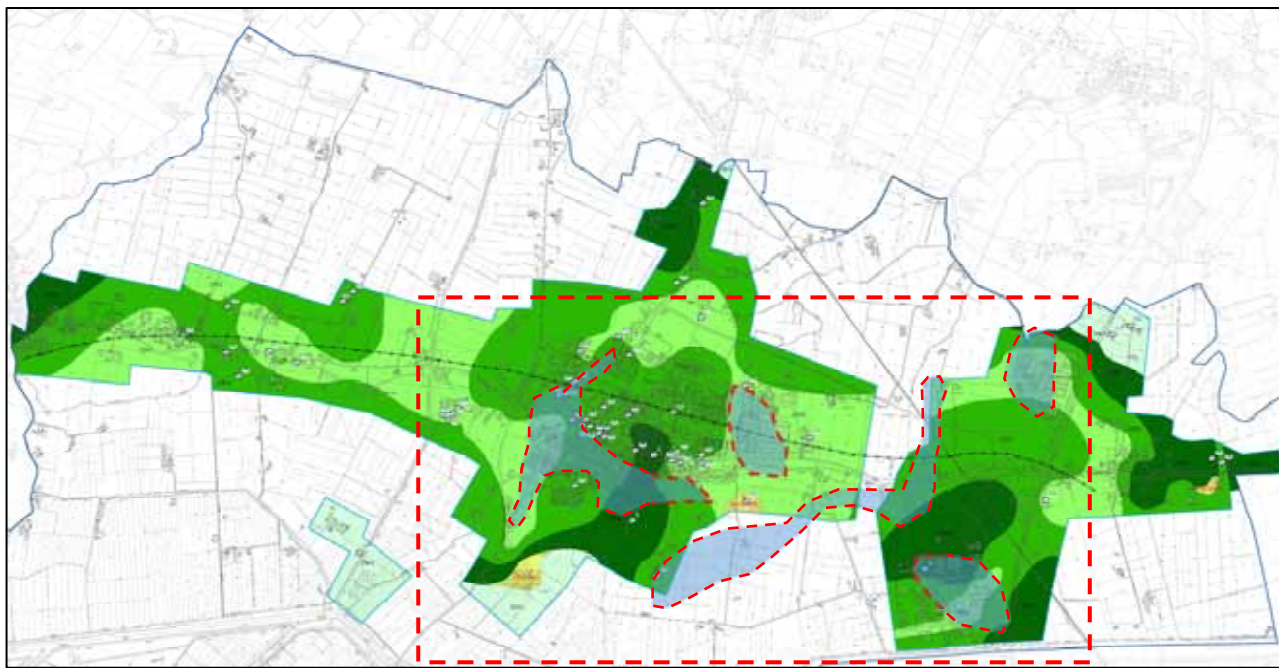


Fig. 32: sovrapposizione tra le aree con la concentrazione di fabbricati colpiti dal sisma e le MOPS

In modo analogo al precedente, si analizzano le carte di amplificazione ($FA_{is0,1-0,5s}$) e ($FA_{is0,5-1,0s}$), esclusa la FA (Pga) in quanto ha evidenziato valori simili per tutto il territorio comunale, il quadro risultante è il seguente (Fig. 33 e 34):

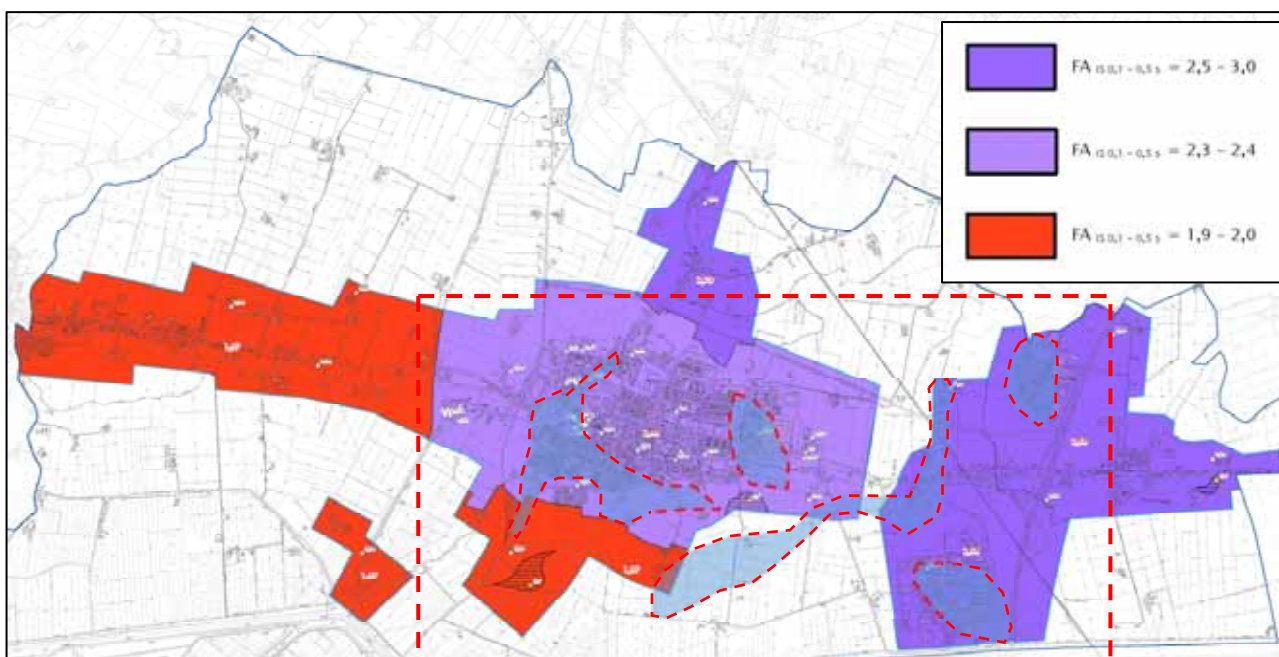


Fig. 33: sovrapposizione tra le aree con la concentrazione di fabbricati colpiti dal sisma e le ($FA_{is0,1-0,5s}$)

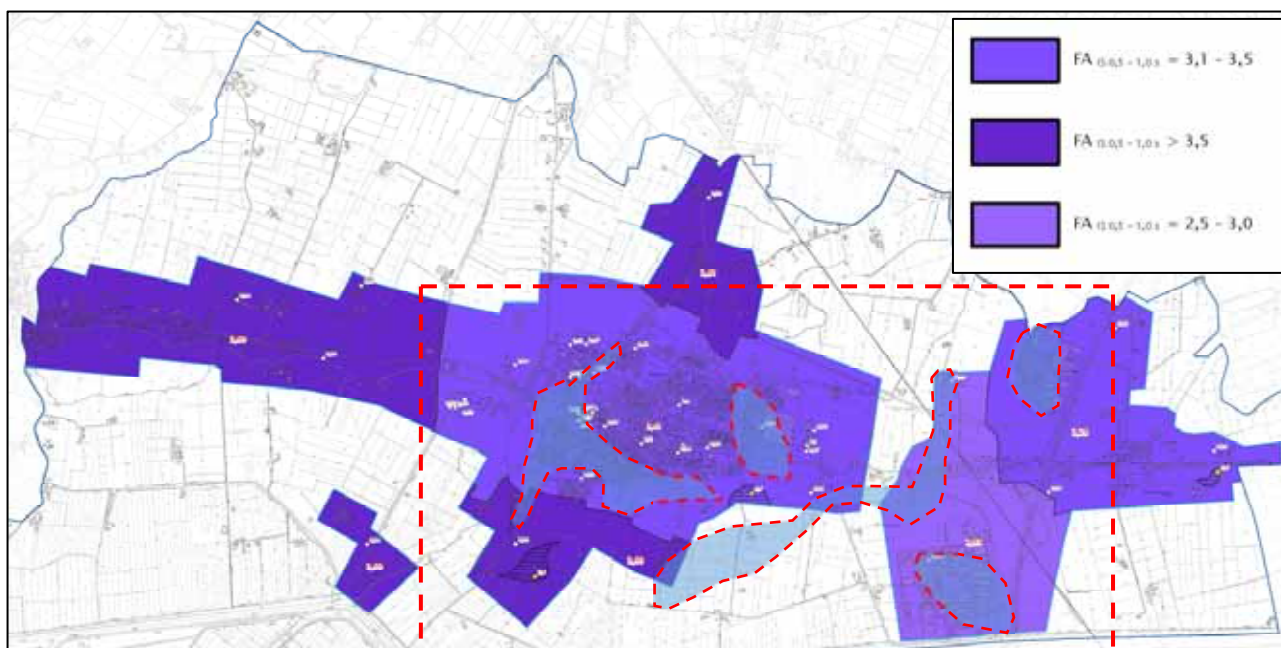


Fig. 34: sovrapposizione tra le aree con la concentrazione di fabbricati colpiti dal sisma e le (FAis0,5-1,0s)

9.3.1 Confronto con studio OD 70 / 2012

Come richiesto dall'ente regionale si confrontano i dati utilizzati e i risultati ottenuti dal presente studio con quanto in oggetto, non di facile lettura, in quanto, oltre a quanto fornito dalla Regione, sono stati implementati con altre centinaia di indagini superficiali realizzati da colleghi Geologi, nell'ambito delle procedure di ricostruzione delle singole opere.

L'analogia migliore è data dalla stima dell'indice di liquefazione, che in entrambi i casi, risulta quasi sempre minore e/o uguale a 1, o leggermente maggiore all'unità; sporadicamente si rinvenivano valori di I_L alti, proprio in corrispondenza delle stesse zone identificate in questa indagine, di seguito (fig. 35) si riporta un estratto dell'Od. 70/2012, da confrontare con la fig. 38.

SIGLA	TIPO PROVA	Comune	Classe	a_g/g	Fa	Falda	I_L20	I_L10	Prof. (m)
REE01	U	Reggiolo	1	0.118	1.5	1	0.58	0.38	20
REE03	U	Reggiolo	1	0.118	1.5	1	0.16	0.22	20
REE04	U	Reggiolo	1	0.118	1.5	1	2.50	0.72	20
REW02	U	Reggiolo	1	0.118	1.5	1	1.64	1.56	20
REW03	U	Reggiolo	1	0.118	1.5	1	0.01	0.00	20
REW04	U	Reggiolo	1	0.118	1.5	1	0.73	0.78	20
183060C054	C	Reggiolo	2	0.118	1.5	1	0.84	1.00	20
183060C055	C	Reggiolo	2	0.118	1.5	1	0.14	0.19	20
183060C056	C	Reggiolo	2	0.118	1.5	1	0.49	0.56	20
183060C059	C	Reggiolo	2	0.118	1.5	1	0.00	0.00	15
183060C061	C	Reggiolo	2	0.118	1.5	1	0.14	0.21	15
183060C089	C	Reggiolo	2	0.118	1.5	1	0.66	0.39	10
183060C091	C	Reggiolo	2	0.118	1.5	1	0.00	0.00	16
183060C092	C	Reggiolo	2	0.118	1.5	1	0.29	0.30	20
183070C021	C	Reggiolo	2	0.118	1.5	1	0.61	0.20	16
183070C022	C	Reggiolo	2	0.118	1.5	1	3.26	1.19	16
183070C023	C	Reggiolo	2	0.118	1.5	1	0.00	0.01	16
183070C024	C	Reggiolo	2	0.118	1.5	1	0.08	0.00	16
183070C025	C	Reggiolo	2	0.118	1.5	1	1.86	1.44	16

Fig. 35: estratto del Rapporto del gruppo di lavoro per la stima del rischio di liquefazione, comune di Reggiolo, Od 70

Nel presente studio, le aree interessate da studio di MS, sono state suddivise in 5 zone omogenee, accumulabili per corrispondenza stratigrafica e geotecnica, e di seguito inserite in separate analisi di risposta sismica locale, per meglio individuare i fattori amplificazione, pertanto la zonizzazione è decisamente diversa rispetto a quella dell'Od. 70; ciononostante i valori di FA PGA risultano circa simili, mentre quelli relativi agli altri intervalli spettrali ($is_{0.1} - 0.5$) / ($is_{0.5} - 1.0$) risultano più bassi nell'Od. 70 rispetto al presente studio, ricavati con approfondimento di terzo livello (Fig. 36).

Zone suscettibili di amplificazione e liquefazione.

LQ1	FAPGA = 1.5; FH 0.1 - 0.5s = 1.8; FH 0.5 - 1.0s = 2.5 Stima con abachi DAL 112/2007 Presenza di terreni suscettibili di liquefazione già nei primi 10 m dal piano campagna
LQ2	FAPGA = 1.5; FH 0.1 - 0.5s = 1.8; FH 0.5 - 1.0s = 2.5 Stima con abachi DAL 112/2007 Presenza di terreni suscettibili di liquefazione tra 10 e 20 m dal piano campagna

a(g).base 0,118

accelerogrammi	46Xa	126Xa	350Xa	media
a(g)	0,178	0,199	0,175	0,184
Fo	3,323	3,353	3,277	3,318
TB				0,33
TC				0,82
TD				2,29
PGA	1,51	1,69	1,49	1,56
0,1<T<0,5	2,31	2,63	2,39	2,44
0,5<T<1,00	3,48	3,54	3,21	3,41
0,5<T<1,5	3,59	3,59	3,20	3,46

Fig. 36: confronto tra valori di FA (Od. 70/2012) e una delle 5 zone in cui è stata suddivisa le aree MS nel presente studio

9.4 Verifica del rischio di liquefazione

Il rischio di liquefazione è stato valutato prendendo in considerazione le verticali indagate mediante prove CPTU e SCPTU.

Per liquefazione s'intende un processo d'incremento della pressione del fluido interstiziale che causa, in un terreno non coesivo saturo (sabbia, limo non plastico), la diminuzione della resistenza a taglio a seguito dello scuotimento sismico, dando luogo a deformazioni permanenti significative. La liquefazione consiste quindi in una diminuzione della resistenza del terreno, a seguito del raggiungimento della condizione di fluidità. La perdita totale della resistenza viene raggiunta quando la pressione dell'acqua che riempie gli interstizi arriva a uguagliare la pressione di confinamento, rendendo nulle le tensioni efficaci trasmesse attraverso le particelle solide. Una volta che il terremoto ha innescato il processo di liquefazione, la massa del suolo resta in movimento fino a che non raggiunge una nuova condizione di stabilità. Per le verifiche si utilizzano i dati delle penetrometrie CPT applicando il metodo di Idriss & Boulanger (2008). Il coefficiente di sicurezza alla liquefazione viene fornito dal confronto fra la resistenza al taglio del terreno "CRR" e la sollecitazione sismica

“CSRfs”. Quando la prima è minore della seconda le sabbie si ritengono liquefacibili.

Il rischio alla liquefazione viene però definito dall’indice del potenziale di liquefazione “IL”.

$$IL = \int_0^{15} F(z) \times W(z) dz$$

Dove :

- $W(z)$ = è una funzione di pesi, linearmente decrescente con la profondità, che tiene conto della profondità dello strato liquefacibile, attribuendo peso maggiore agli strati superficiali ed è data da:

$$W(z) = 10 - 0,5z$$

- $F(z)$ = esprime il potenziale di liquefazione per ciascun strato in funzione del fattore di sicurezza.
- “IL” esprime la risultante dei contributi di tutti gli strati sabbiosi, pertanto è un parametro finale cumulativo specifico del profilo considerato (*Iwasaki e al. 1978*). Per ogni verticale è stato calcolato “IL” che viene riportato insieme al grafico relativo a CRR/CSRfs. Il rischio varia da nullo a molto alto secondo la scala di *Sonmez (2003)* sotto riportata.

IL	rischio
0	Nullo
0,2 < IL <= 2	Basso
2 < IL <= 5	modesto
5 < IL <= 15	alto
IL > 15	Molto alto

9.4.1 Magnitudo di riferimento

Per la valutazione del rischio di liquefazione è necessario valutare anche la magnitudo attesa, sempre in relazione a un periodo di ritorno di 475 anni (10% di probabilità di superamento in 50 anni). A tale scopo, l’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) fornisce i valori disaggregati magnitudo-distanza con riferimento ai nodi del reticolo, individuato dall’Allegato A delle NTC 2008.

Per quanto riguarda la magnitudo attesa, il comune di Reggiolo si trova in prossimità dalla sorgente sismogenetica³ ZS9 (Id 912), *Dorsale Ferrarese*, la cui magnitudo $M = 6.14$ (Carta

³ Le zone sismogenetiche sono porzioni della crosta o del mantello terrestre da cui possono originarsi i terremoti. Strutture s. sono le strutture geologiche attive a livello regionale da cui si originano i sismi più violenti. La maggior parte dei terremoti avviene nella crosta terrestre. La strumentazione sismologica e i metodi di analisi dei dati, sempre più avanzati, consentono di localizzare con precisione gli ipocentri dei terremoti e di osservare che essi, fatta eccezione per le zone di subduzione, raramente sono più profondi di 15-20 km. Questa distribuzione degli ipocentri, osservata per grandi e piccoli terremoti e per la microsismicità (terremoti con magnitudo inferiore a 2,5), permette di identificare uno strato s. definibile come una zona preferenziale, entro la litosfera, per la nucleazione di terremoti. Il livello inferiore di questo strato è definito dalla profondità massima dei terremoti che vi si verificano e corrisponde, dal punto di vista reologico, alla transizione tra un regime deformativo fragile, in cui la roccia si rompe quando è soggetta a sforzi superiori alla sua resistenza, e un regime duttile, in cui il rilascio di deformazione è pressoché continuo e asismico. Per la maggior parte dei materiali che si ritiene costituiscano una porzione significativa della crosta terrestre, considerando profili realistici di temperatura, la resistenza aumenta fino a una profondità di circa 15 km, per poi decrescere rapidamente. Lo spessore dello strato s. ha importanti conseguenze

Sismogenetica d'Italia, 2012, a cura di Martellotta Mariangela - Fig.37).

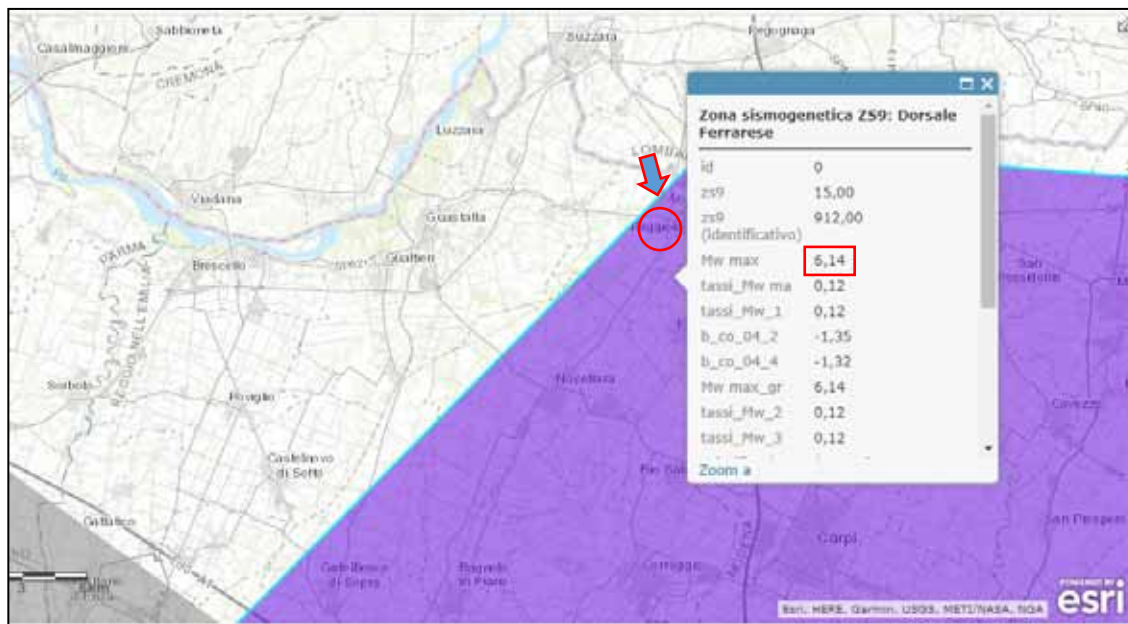


Fig. 37: massima magnitudo attesa secondo la carta Sismogenetica d'Italia (Martellotta, 2012)

9.4.2 Analisi dei risultati

Sono state effettuate le analisi di verifica alla liquefazione per tutte le prove di cui si sono reperiti e trasformati i valori numerici penetrometrici (durante la fase di archiviazione degli stessi nel database di riferimento), tenendo costante i valori di a_g (0.118) e M_w (6.14); il quadro generale restituisce valori di IL molto contenuti (Fig.38), quasi sempre < di 1, e soltanto in 3 verticali si sono ottenuti valori compresi tra $2 < IL < 5$, individuando di conseguenza l'esistenza di 3 aree come zone suscettibili per instabilità da liquefazione.

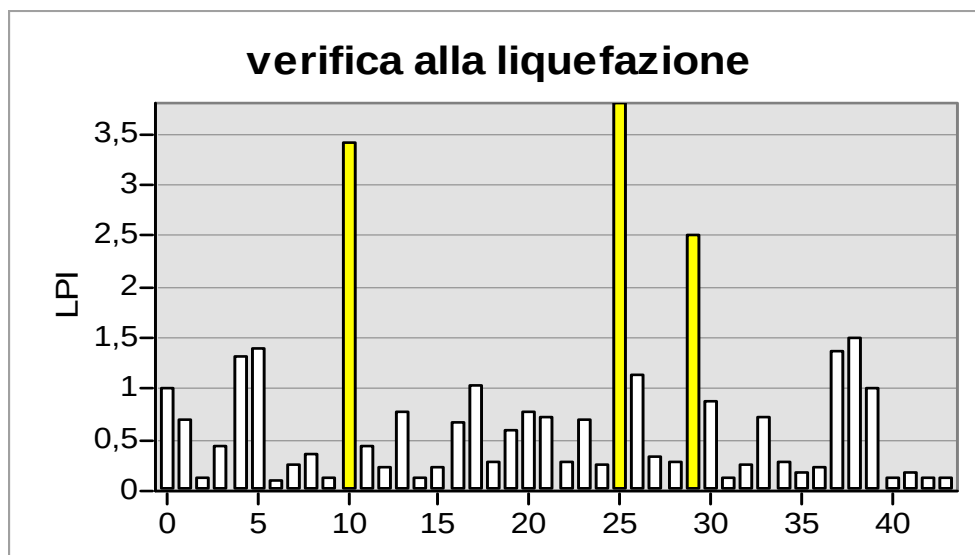


Fig. 38: restituzione globale delle verifiche alla liquefazione

sulla dimensione dei terremoti poiché corrisponde alla larghezza massima della faglia che si rende disponibile per la rottura; infatti, mentre la lunghezza di una faglia può superare i 1000 km, la sua larghezza ha un limite massimo dato dallo spessore litosferico che ha caratteristiche reologiche tali da rompersi in maniera fragile. I terremoti che rompono l'intera zona s. vengono classificati come grandi; quelli che rompono una parte della zona s. come piccoli. Sulla superficie terrestre le principali strutture s. si trovano in corrispondenza dei margini di placca; tuttavia in alcune regioni la sismicità è concentrata lontano da essi ed è per questo definita intraplacca.

9.5 Aggiornamento studio al DGR 630-2019.

Nel Luglio 2020, lo scrivente ha integrato questo studio finalizzato all'inserimento di nuove aree di PUG comunali, al DGR 630-2019, pertanto, in via speditiva, essendo un aggiornamento di precedenti rielaborazioni, si riportano anche alcuni risultati.

Di fatto sono state aggiornate e/o rifatte tutti gli elaborativi relativi alla vera e propria microzonazione del territorio comprensiva di analisi di risposta sismica locale, dove sono stati analizzati gli spettri di risposta riferiti alle aree indicate nelle precedenti versioni, per un periodo di ritorno $T_R = 475$ anni con smorzamento $\xi = 5\%$ e le mappe di amplificazione in termini di PGA, SA1, SA2, SA3, SA4, SI1, SI2, SI3, HSM e H0408, H0711, H0515, ovvero lo scuotimento in accelerazione (cm/s^2) atteso al sito per gli intervalli di periodi $0,4s \leq T \leq 0,8s$, $0,7s \leq T \leq 1,1s$ e $0,5s \leq T \leq 1,5s$.

9.5.1 Carta della distribuzione sul territorio dei valori di H_{SM} (Naso et al., 2019⁴)

A seguito della nuova analisi di Risposta Sismica Locale, viene analizzato il parametro che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in 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 $0,1s \leq T \leq 0,5s$, diviso per ΔT (in questo caso pari a $0,4s$) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione (FA) calcolato per lo stesso intervallo di periodi:

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

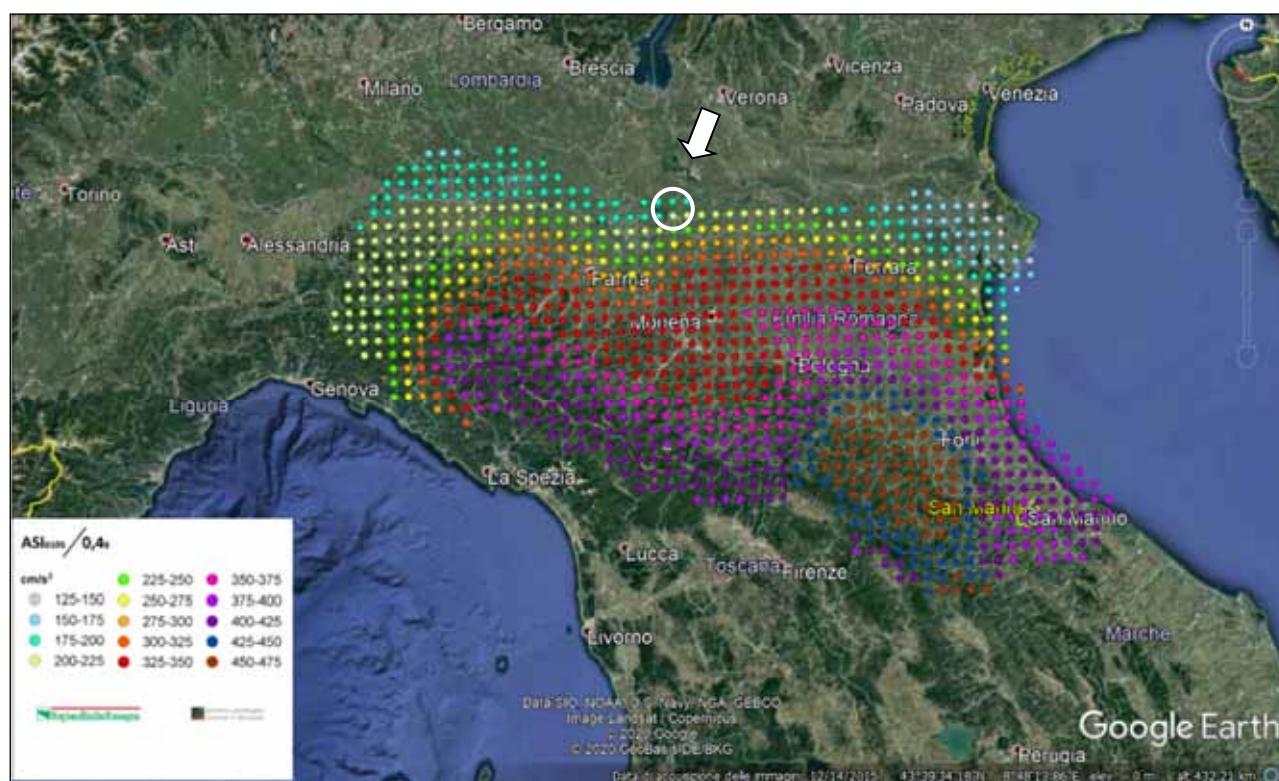


Fig. 39: Mappa dei valori di $ASI_{UHS}/\Delta T$ ($T_R=475$ anni, 50esimo percentile) dell'Emilia-Romagna e aree limitrofe (Naso et al., 2019), calcolato per l'intervallo di periodi $0,1s \leq T \leq 0,5s$, diviso per ΔT (in questo caso pari a $0,4s$)

⁴ Naso G., Martelli L., Baglione M., Brammerini F., Castenetto S., D'Intinosante V., Ercolessi G. (2019): Maps for land management: from geology to seismic hazard. Boll. Geof. Teor. Appl., Vol. 60, DOI 10.4430/bgta0263

I valori di $ASl_{UHS}/\Delta T$, calcolati per ogni punto della griglia INGV, sono riportati nel file all_4_coord.kmz (cartella Allegato_4.zip) disponibile nella pagina web dedicata agli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica a cura del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli (Fig. 39).

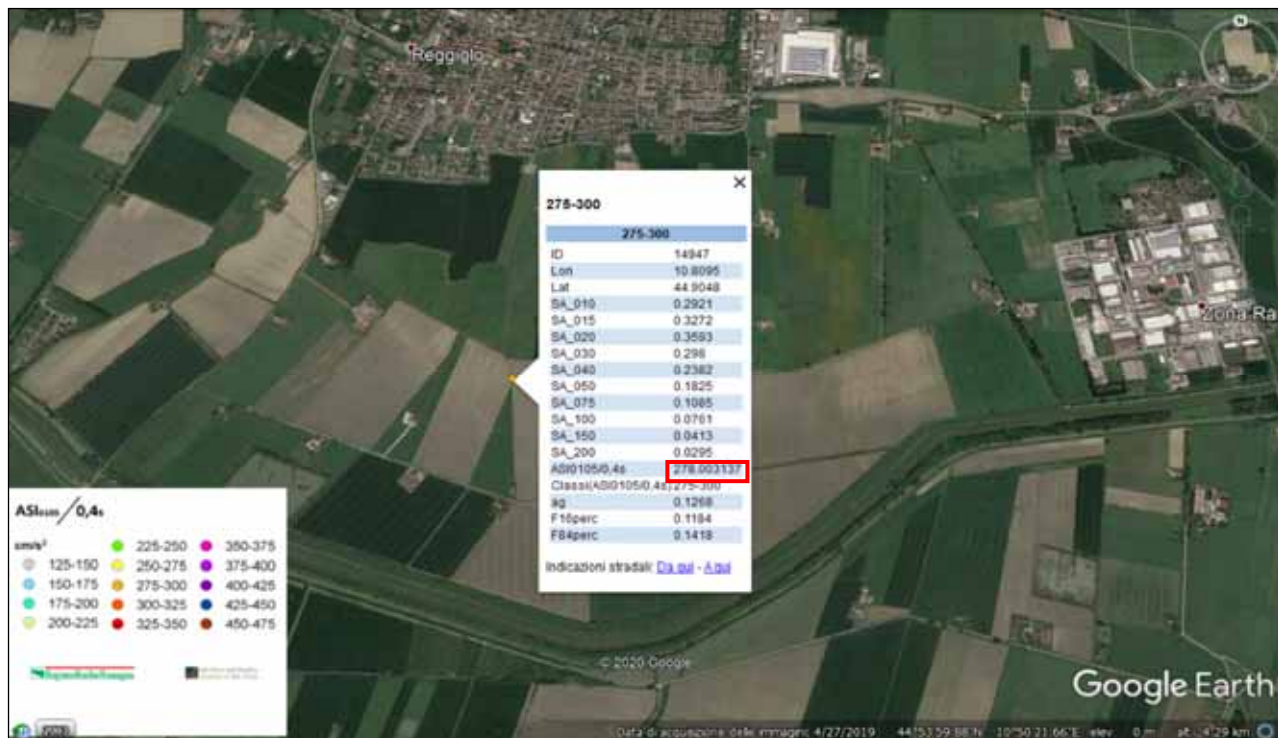


Fig. 40: Valore di ASl_{0105} , relativo alla maglia di punto di cui alla fig. 10, usato per il calcolo del parametro HSM

		T=0,1-0,5	T=0,4-0,8	T=0,7-1,1	T=0,5-1,5
Zona A	FA	1,464	2,109	3,112	3,3318
	Hsm	H0408	H0711	H0515	
	H	407	586	865	926
Zona B	FA	1,224	2,102	4,418	4,164
	Hsm	H0408	H0711	H0515	
	H	340	584	1228	1158
Zona C	FA	1,099	1,906	4,824	4,619
	Hsm	H0408	H0711	H0515	
	H	306	530	1341	1284
Zona D	FA	1,345	2,125	4,275	4,063
	Hsm	H0408	H0711	H0515	
	H	374	591	1188	1130
Zona E	FA	1,339	1,999	3,841	3,792
	Hsm	H0408	H0711	H0515	
	H	372	556	1068	1054

Utilizzando i valori di FA, SA1, SA2, SA3 e SA4, ricavati dalla Risposta Sismica Locale integrata e riportata nello studio di Luglio 2020, vengono restituiti i seguenti dati di HSM e H0408, H0711, H0515 (fig. 41), tenuto conto di un valore di $ASl_{UHS}/\Delta T = 278 \text{ cm/s}^2$.

Fig. 41: valori di HSM e H0408, H0711, H0515, che tengono conto di un valore di $ASl_{UHS}/\Delta T = 278 \text{ cm/s}^2$.

9.6 Carte di microzonazione sismica

Gli ultimi elaborati grafici del presente studio sono le Carte di microzonazione sismica, anch'esse redatte alla scala 1:10.000, in cui sono raffigurate le amplificazioni stimate e le zone suscettibili di instabilità, per i settori di territorio in esame.

L'amplificazione è stata calcolata in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA_0) sia di rapporto di Intensità di *Housner* (SI/SI_0) per prefissati intervalli di periodi.

Più precisamente, la cartografia in merito alla Microzonazione sismica di Livello 3 risulta costituita dai seguenti elaborati:

- Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FA_{PGA} (scala 1:10.000);
- Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FA_{IS0,1-0,5s}$ (scala 1:10.000);
- Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FA_{IS0,5-1,0s}$ (scala 1:10.000);
- Carta di microzonazione sismica Livello 3 - $FA_{IS0,5-1,5s}$ (scala 1:10.000).

Va chiarito che, a tutte le aree in esame, sono stati attribuiti i fattori desunti con l'analisi approfondita di terzo livello, inserendo all'interno del database il relativo spettro rappresentativo, in accelerazione e in velocità.

Nelle carte sono state raffigurate anche le zone suscettibili di instabilità, ovvero quelle suscettibili per liquefazione.

In particolare, sulla base dei valori dell'indice di liquefazione (anch'essi rappresentati sulle tavole, in corrispondenza delle singole zone esaminate) sono state distinte 3 zone con la dicitura:

- “ZSLQ - Zona di suscettibilità per liquefazione: $2 < IL \leq 5$ ”

La restante parte del territorio esaminato, inizialmente (Livello 1 e 2) indicata come “Zona di attenzione per liquefazioni”, a seguito dell'approfondimento di Livello 3 è risultata non soggetta a tale tipo di instabilità e, pertanto, è stata classificata come “Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali”.

Come aggiornamento alle precedenti versioni vengono allegata anche la carta redatta nell'aggiornamento per l'inserimento di nuove aree PUG (luglio 2020):

- Carta di microzonazione sismica Livello 3 (HSM) - DGR 630-2019

10 BIBLIOGRAFIA

- Albarello D., Castellaro S. (2011). TECNICHE SISMICHE PASSIVE: INDAGINI A STAZIONE SINGOLA, Ingegneria Sismica Anno XXVIII - n. 2 - 2011, Appendice I e II, pp 50-62
- Baldi M., Baldini U., Bevivino R., Castagnetti S., Daminelli R., Gianferrari C., Marcellini A., Martelli L. e Tinto A. (201). UNIONE TERRE DI CASTELLI: VALIDAZIONE DELLA MICROZONAZIONE SISMICA DI II LIVELLO (2010) - 29° Convegno Nazionale Gruppo Nazionale Geofisica della Terra Solida, Prato.
- Basili R., G. Valensise, P. Vannoli, P. Burrato, U. Fracassi, S. Mariano, M.M. Tiberti, E. Boschi (2008), The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology, Tectonophysics, doi:10.1016/j.tecto.2007.04.014
- Commissione tecnica per la microzonazione sismica (2017), Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da fenomeni di Liquefazione (LQ). Versione 1.0. Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome - Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile, Roma
- Ellen M. Rathje; Albert Kottke (2010), "Strata," <https://nees.org/resources/strata>.
- Gruppo di lavoro MS, 2008. "INDIRIZZI E CRITERI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA". Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome - Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 vol. e Dvd.
- http://www.protezionecivile.it/cms/view.php?dir_pk=395&cms_pk=15833
- Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Antonucci A. (2019). Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 2.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/DBMI/DBMI15.2>
- Madiati C., Facciorusso J. Vannucchi G. Martelli L. (2012) - in Microzonazione sismica, uno strumento consolidato per la riduzione del rischio. L'esperienza della Regione Emilia Romagna . RER 2012.
- Marcellini A., Martelli L, Tinto A., Daminelli R. - L'AMPLIFICAZIONE SISMICA NEGLI "INDIRIZZI PER GLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA IN EMILIA-ROMAGNA PER LA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE E URBANISTICA" (2009)
- Martelli L., Romani M. (2012) - Relazione Illustrativa - Microzonazione sismica e analisi della condizione limite per l'emergenza delle aree epicentrali dei terremoti della pianura emiliana di Maggio - Giugno 2012 (Ordinanza del commissario delegato - Presidente della Regione Emilia-Romagna N. 70/2012)
- Martelli L., Calabrese L., Ercolessi G., Severi P., Tarabusi G., Pileggi D., Rosselli S., Minarelli L., Pergalani F., Compagnoni M., Vannucchi G., Madiati C., Facciorusso J., Fioravante V., Giretti D., Mucciarelli M., Priolo E., Laurenzano G.- (2014) Cartografia speditiva dell'amplificazione e del rischio di liquefazione nelle aree epicentrali del terremoto dell'Emilia 2012 (ML=5.9). Atti del 32 convegno GNGTS 2013
- Martelli L., Severi P., Biavati G., Rosselli S., Camassi R., Ercolani E., Marcellini A., Tinto A., Gerosa D., Albarello D., Guerrini F., Lunedei E., Pileggi D., Pergalani F.,

- Compagnoni M., Fioravante V. e Giretti D. (2014) Analysis of the local seismic hazard for the stability tests of the main bank of the Po River (northern Italy), *Boll. Geof. Teor. Appl.*, 55, 119-134
- Meletti C. e Valensise G. (2004). ZONAZIONE SISMOGENETICA ZS9-APP. 2 AL RAPPORTO CONCLUSIVO. In: "Gruppo di Lavoro MPS (2004). Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCm 3274 del 20 marzo 2003". Rapporto per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici.
 - Molin D., Stucchi M. e Valensise G. (1996). MASSIME INTENSITÀ MACROSISMICHE OSSERVATE NEI COMUNI ITALIANI. elaborato per il Dipartimento della Protezione Civile
 - RER - ENI, Agip "Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna" (1998) a cura di G. Di Dio
 - Rota M., Zuccolo E., Taverna L., Corigliano M., Lai C.G., Penna A. [2012] "Mesozonation of the Italian territory for the definition of real spectrum-compatible accelerograms", *Bulletin of Earthquake Engineering*, Vol. 10, No. 5, pp. 1357-1375
 - CARTA GEOLOGICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA. FOGLIO 74 "Reggio nell'Emilia", alla scala 1:50.000, Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna
 - CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA - Scala 1:250.000 (2004) - Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli - CNR - Istituto di Geoscienze e Georisorse, Sezione di Firenze
 - CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA - Scala 1:250.000 (2016) - Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico Sismico e dei Suoli, CNR - Istituto di Geoscienze e Georisorse Sezione di Firenze, Università di Firenze, Università di Bologna, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
 - La classificazione sismica dei Comuni in Emilia-Romagna (DGR 1164 del 23/07/2018 "Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei comuni dell'Emilia-Romagna")
 - GUIDELINES FOR THE IMPLEMENTATION OF THE H/V SPECTRAL RATIO TECHNIQUE ON AMBIENT VIBRATIONS MEASUREMENTS, PROCESSING AND INTERPRETATION - SESAME European research project, dicembre 2004
 - MICROZONAZIONE SISMICA, UNO STRUMENTO CONSOLIDATO PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO. L'esperienza della Regione Emilia-Romagna (2012) - Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli
 - TREASURE ISLAND GEOTECHNICAL ARRAY - CASE STUDY FOR SITE RESPONSE ANALYSIS. 4th IASPEI / IAEE International Symposium: Effects of Surface Geology on Seismic Motion August 23-26, 2011 · University of California Santa Barbara

11 ALLEGATI

Nel corso dello studio sono stati redatti i seguenti elaborati grafici:

- QT11.1.1 - Carta_delle_indagini
- QT11.1.2 - Carta geologico-tecnica
- QT11.1.3 - Carta Sezioni geologiche
- QT11.1.4 - Carta Profondità falda
- QT11.1.5 - Carta Tetto Sabbie
- QT11.1.6 - Carta delle MOPS
- QT11.2.1 - Carta_Frequenze_naturali
- QT11.2.2 - Carta_VS
- QT11.3.1 - Carta di microzonazione sismica Livello 3 (FApga)
- QT11.3.2 - Carta di microzonazione sismica Livello 3 (FAis0,1-0,5s)
- QT11.3.3 - Carta di microzonazione sismica Livello 3 (FAis0,5-1,0s)
- QT11.3.4 - Carta di microzonazione sismica Livello 3 (FAis0,5-1,5s)
- QT11.3.5 - Confronto microzonazione sismica Livello 3 (FApga) e CLE
- QT11.3.6 - Confronto microzonazione sismica Livello 3 (FAis0,1-0,5s) e CLE
- QT11.3.7 - Carta di microzonazione sismica Livello 3 (HSM) - DGR 630-2019