

PIANO STRUTTURALE COMUNALE

VARIANTE 2017

L.R. 24 MARZO 2000 n.20

CITTA' DI MOLINELLA
CITTA' METROPOLITANA DI BOLOGNA

Buriane
Sindaco:
Segretario comunale:

Dario Mantovani
Danilo Fricano

Progettista:
Collaboratori interni:
Collaboratori esterni:

Ing. Angela Miceli
Ing. Irene Evangelisti
Arch. Carlo Santacroce (MATE Soc. Coop.)

MICROZONAZIONE SISMICA

ALLEGATO PSC 3.ALL.

PSC Approvato con Delibera di Consiglio Comunale n.43 del 25/09/2010
e variante adottata con Delibera di Consiglio Comunale n.34 del 08/06/2017
Controdeduzione e Approvazione con Delibera comunale n. ___ del ___

Febbraio
2018



PROTEZIONE CIVILE
 Presidenza del Consiglio dei Ministri
 Dipartimento della Protezione Civile



Regione Emilia-Romagna



CONFERENZA DELLE REGIONI E
 DELLE PROVINCE AUTONOME

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

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione Illustrativa

Regione Emilia-Romagna Comune di Molinella



Soggetto realizzatore
 Dott. Geol. Marco Santi Bortolotti
 Dott. Geol. Stefano Cavallini

Data

febbraio 2016

GEODES s.r.l.

Via Michelangelo, 1 - 41051 Castelnuovo Rangone (MO)
 Tel: 059-536629 - Fax: 059-5331612
 e-mail: geodes.srl@tiscali.it
 PEC: geodes@pec.geodes-srl.it

Reg. Impr. Modena n° 02625920364
 Cap. Soc. 10.200 euro i.v.
 C. F. e P. IVA: 02625920364



Stefano Cavallini



INDICE

1.	INTRODUZIONE	Pag. 2
1.1	RIFERIMENTI TECNICI - NORMATIVI	" 3
1.2	METODOLOGIA DI STUDIO	" 3
1.3	FORMATO DEI DATI	" 4
1.4	AREE INDAGATE	" 5
1.5	INDAGINI ESEGUITE	" 5
2.	DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO	" 6
2.1	CENNI DI SISMICITÀ	" 6
2.2	SISMOTETTONICA	" 11
2.3	NORMATIVA SISMICA DI RIFERIMENTO	" 19
3.	ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA	" 24
3.1	ASSETTO GEOLOGICO	" 24
3.2	ASSETTO GEOMORFOLOGICO E DINAMICA GEOMORFOLOGICA	" 26
4.	DATI GEOTECNICI E GEOFISICI E METODOLOGIE DI ELABORAZIONE	" 28
4.1	DATI GEOTECNICI	" 28
4.2	DATI GEOFISICI	" 28
4.2.1	PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE (MASW)	" 29
4.2.2	ANALISI SISMICA PASSIVA DEI MICROTREMORI (HVSR)	" 32
5.	MODELLO DEL SOTTOSUOLO	" 36
5.1	ZONE OMOGENEE	" 38
6.	INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE	" 41
7.	RISULTATI	" 43
7.1	PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE (MASW)	" 43
7.2	ANALISI SISMICA PASSIVA DEI MICROTREMORI (HVSR)	" 46
8.	ELABORATI CARTOGRAFICI	" 48
-	BIBLIOGRAFIA	" 59

Relazione Illustrativa

1. INTRODUZIONE

Per microzonazione sismica (MS) si intende la “valutazione della pericolosità sismica locale attraverso l’individuazione di zone del territorio caratterizzate da comportamento sismico omogeneo”.

La MS consiste quindi nella suddivisione dettagliata del territorio in base al comportamento dei terreni durante un evento sismico e ai possibili effetti indotti dallo scuotimento; rappresenta uno strumento di prevenzione e riduzione del rischio sismico particolarmente efficace se realizzato e affiancato alla fase di pianificazione urbanistica.

Questo studio intende fornire un supporto sostanziale agli strumenti di pianificazione comunale per indirizzare le scelte urbanistiche verso quelle aree a minore pericolosità sismica.

Tenuto conto di quanto richiesto dalla DGR 1302/2012 e sulla base dello stato pianificatorio attuale, l’Amministrazione Comunale, ha indicato le aree urbanizzate e quelle suscettibili di trasformazioni urbanistiche dove realizzare la microzonazione sismica.

Il presente lavoro ha come base di partenza lo studio di “Macrozonizzazione Sismica” eseguita a corredo del PSC di Molinella nell’anno 2010 dallo Studio Gaia, ed in particolare i seguenti elaborati cartografici:

- Carta Litologica-Morfologica
- Carta delle aree suscettibili di effetti locali (1° livello di approfondimento).

Il presente studio ha inteso pertanto approfondire e uniformare i livelli 1 e 2 dello studio precedente con gli standard e i criteri per la realizzazione degli studi di microzonazione sismica di cui all’OPCM n. 4007/2012.

1.1 RIFERIMENTI TECNICI - NORMATIVI

I riferimenti tecnici per la realizzazione di questi studi e per l'elaborazione e la redazione degli elaborati richiesti sono costituiti da:

- ICMS 2008 - "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome 1 e successive modifiche e integrazioni.
- DAL 112/2007 Allegato A– "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica".
- DGR 1302/2012 "Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione e concessione dei contributi di cui all' OPCM 4007/2012 a favore degli Enti Locali."

1.2 METODOLOGIA DI STUDIO

Gli studi di microzonazione sismica prevedono diverse fasi di realizzazione e differenti livelli di approfondimento.

Per il presente studio sono richiesti il primo e il secondo livello di approfondimento.

PRIMO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

Finalità:

- 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

Finalità:

- 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.

Nel rispetto della DGR 1302/2012 sono stati prodotti i seguenti elaborati a scala 1:5.000/10.000:

- 1) Carta delle Indagini.
- 2.1-2.2) Carta Geologica-Tecnica
- 3) Sezioni geologiche.
- 4) Carta delle frequenze naturali dei terreni.
- 5) Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs).
- 6.1-6.2) Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS).
- 7.1-7.2) Carta di microzonazione sismica Liv. 2 - Fattori di amplificazione FA P.G.A.
- 8.1-8.2) Carta di microzonazione sismica Liv. 2 - Fattori di amplificazione FA I.S. 0.1-0.5 s
- 9.1-9.2) Carta di microzonazione sismica Liv. 2 - Fattori di amplificazione FA I.S. 0.5-1 s

L'approccio metodologico che si è scelto, al fine di ottimizzare le risorse economiche disponibili e anche in funzione delle caratteristiche geologiche del territorio comunale di Molinella, è fondato sull'impiego concentrato delle risorse messe a disposizione per effettuare indagini geofisiche di buona qualità e ben estrapolabili, anziché disperderle in ulteriori punti di controllo litostratigrafico.

Questo approccio è stato possibile anche grazie alla possibilità di utilizzare due archivi di stratigrafie e prove geognostiche di repertorio, uno comunale, e l'altro regionale (Banca Dati del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna). Ovviamente tra le prove d'archivio non si sono considerate quelle eseguite con attrezzature fuori degli standard consolidati, o quelle non significative o in termini di profondità o per rappresentatività.

L'applicazione efficiente di questo metodo richiede infatti una conoscenza del sottosuolo per una profondità tale da garantire la definizione di un buon modello geologico.

L'attenta interpretazione della carta geologica ed un'accurata ricostruzione del sottosuolo hanno consentito di collocare le nuove indagini geofisiche in posizioni tali da permettere una ragionevole sicurezza nell'estrapolazione dei parametri ottenuti.

1.3 FORMATO DEI DATI

Tutti gli elaborati vengono forniti in versione cartacea e digitale (pdf).

I dati vengono inoltre forniti in formato vettoriale (shapefile) secondo quanto indicato nell'Allegato D della DGR 1302/2012 e nell'OPCM n. 3907/2010, e s.m.i., e decreto n. 8422 del 10 dicembre 2010 del Capo del Dipartimento della Protezione Civile.

1.4 AREE INDAGATE

In accordo con l'Amministrazione Comunale, in considerazione della distribuzione delle aree urbanizzate principali, sono state individuate le seguenti aree d'indagine:

- MOLINELLA - CAPOLUOGO
- SAN PIETRO CAPOFUME
- MARMORTA
- GUARDA
- BURIANE
- MIRAVALLE
- SAN MARTIMO IN ARGINE
- SELVA MALVEZZI

Si tratta degli insediamenti principali presenti sul territorio comunale: oltre al capoluogo infatti sono indagate anche le frazioni principali. All'interno di questi macro-ambiti sono presenti sia le aree urbanizzate che quelle suscettibili di trasformazioni urbanistiche.

1.5 INDAGINI ESISTENTI E DI NUOVA REALIZZAZIONE

A supporto del presente studio sono state consultate le seguenti indagini di repertorio:

- n° 4 Sondaggi a carotaggio continuo
- n° 10 Prove penetrometriche statiche
- n° 40 Prove penetrometriche statiche con piezocono
- n° 1 Pozzo per acqua
- n° 4 Masw

Ad integrazione delle indagini pregresse sono state realizzate le seguenti nuove indagini geofisiche:

- **n° 43 Masw**
- **n° 56 Hvsr**

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

2.1 CENNI DI SISMICITÀ

Il catalogo delle massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani, valutate a partire dalla banca dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia di ING/SGA, Elaborato per il Dipartimento della Protezione Civile (D. Molin, M. Stucchi e G. Valensise, 1996), evidenzia quanto riportato nella figura seguente:

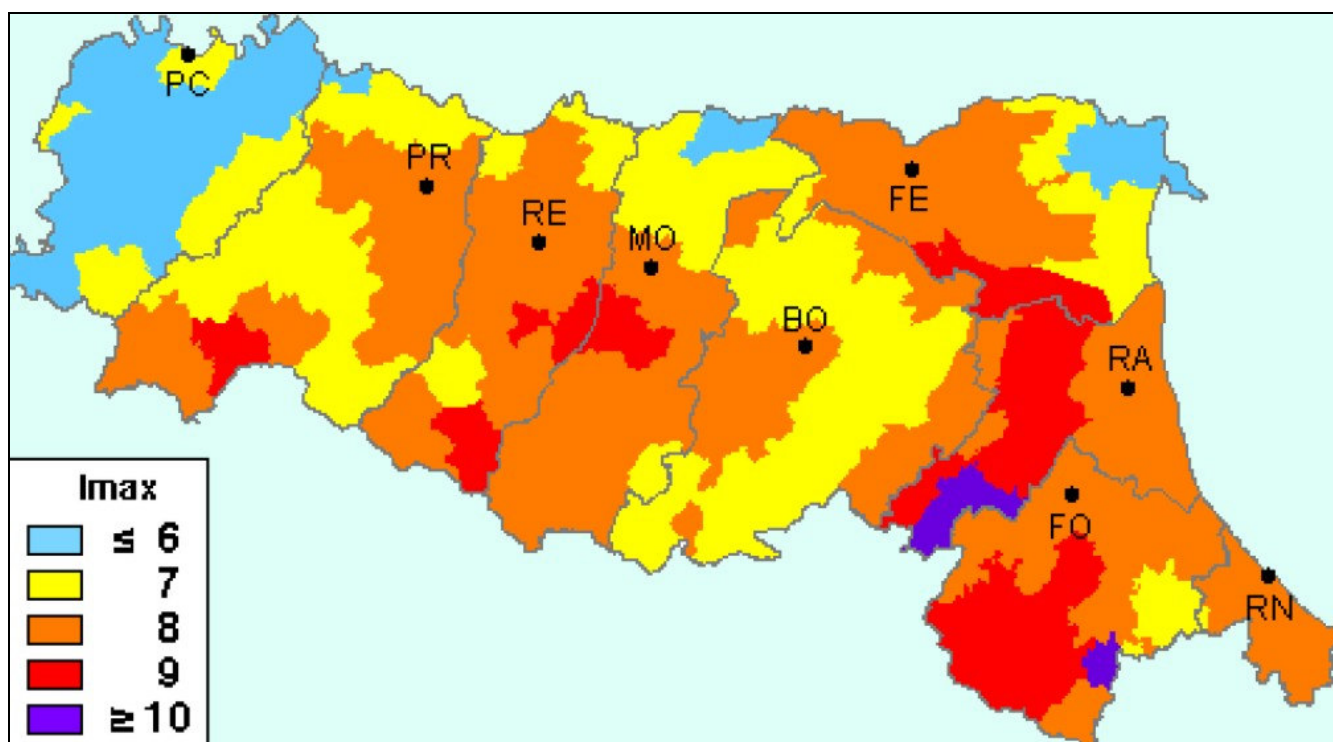


Figura 1 – Intensità Macrosismiche osservate nei comuni italiani – GNDT ING/SGA

L'intensità massima registrata nel Comune di Molinella è del VII-VIII grado della scala MCS (scala Mercalli-Cancani-Sieberg), corrispondente ad una magnitudo compresa tra $M = 5.0 - 5.6$ (scala Richter).

L'attività tellurica dell'area è nota e documentata dall'anno 1000, anche se la qualità e la quantità delle informazioni non sono omogenee e si manifesta sia con eventi singoli di media intensità, sia con sequenze sismiche estese nel tempo.

Le revisioni e ricollocazioni degli eventi storici e recenti, ma soprattutto l'attivazione di una rete sismica regionale integrata con quella nazionale, hanno permesso di distinguere, nell'ambito della regione, zone con differente regime sismico, vale a dire frequenza dei fenomeni, intensità e profondità focale.

Il confronto dei dati della sismicità strumentale con quelli storici evidenzia la stabilità nel tempo delle aree sismogenetiche.

Dal Catalogo parametrico CPTI11 dell'INGV si evince che storicamente i terremoti più forti entro una distanza di 30-40 km risultano:

periodo dal 1000 al 1899:

- Anno 1624 – Argenta – Mw 5.47
- Anno 1796 – Emilia Orientale – Mw 5.61
- Anno 1898 – Romagna Settentrionale – Mw 4.79

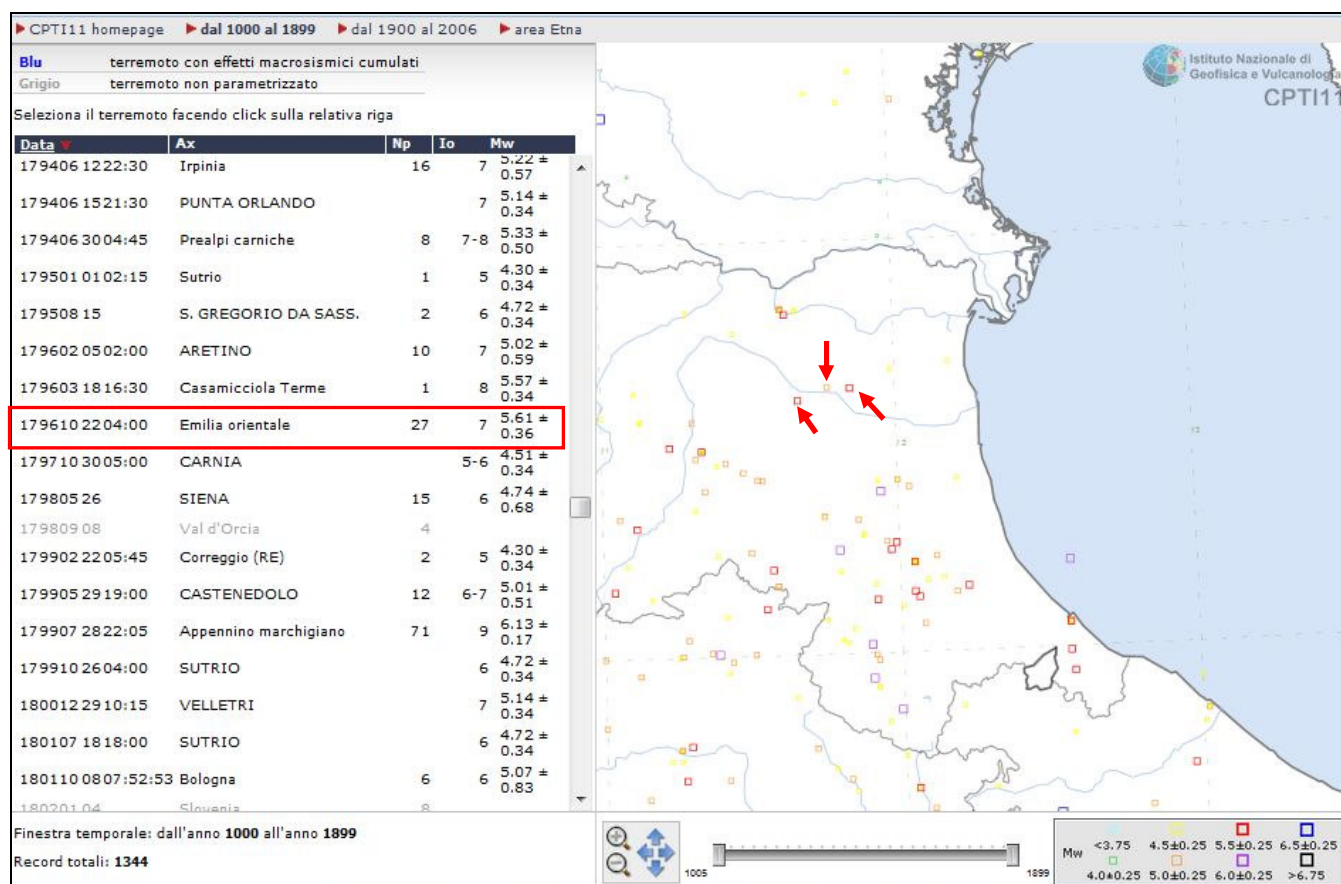


Figura 2 – Tratto da INGV CPTI11 (Catalogo parametrico dei terremoti italiani – 2011) – Dal 1000 al 1899.

Nel periodo dal 1900 al 2006, si segnalano:

- Anno 1909 – Bassa Padana – Mw 5.53

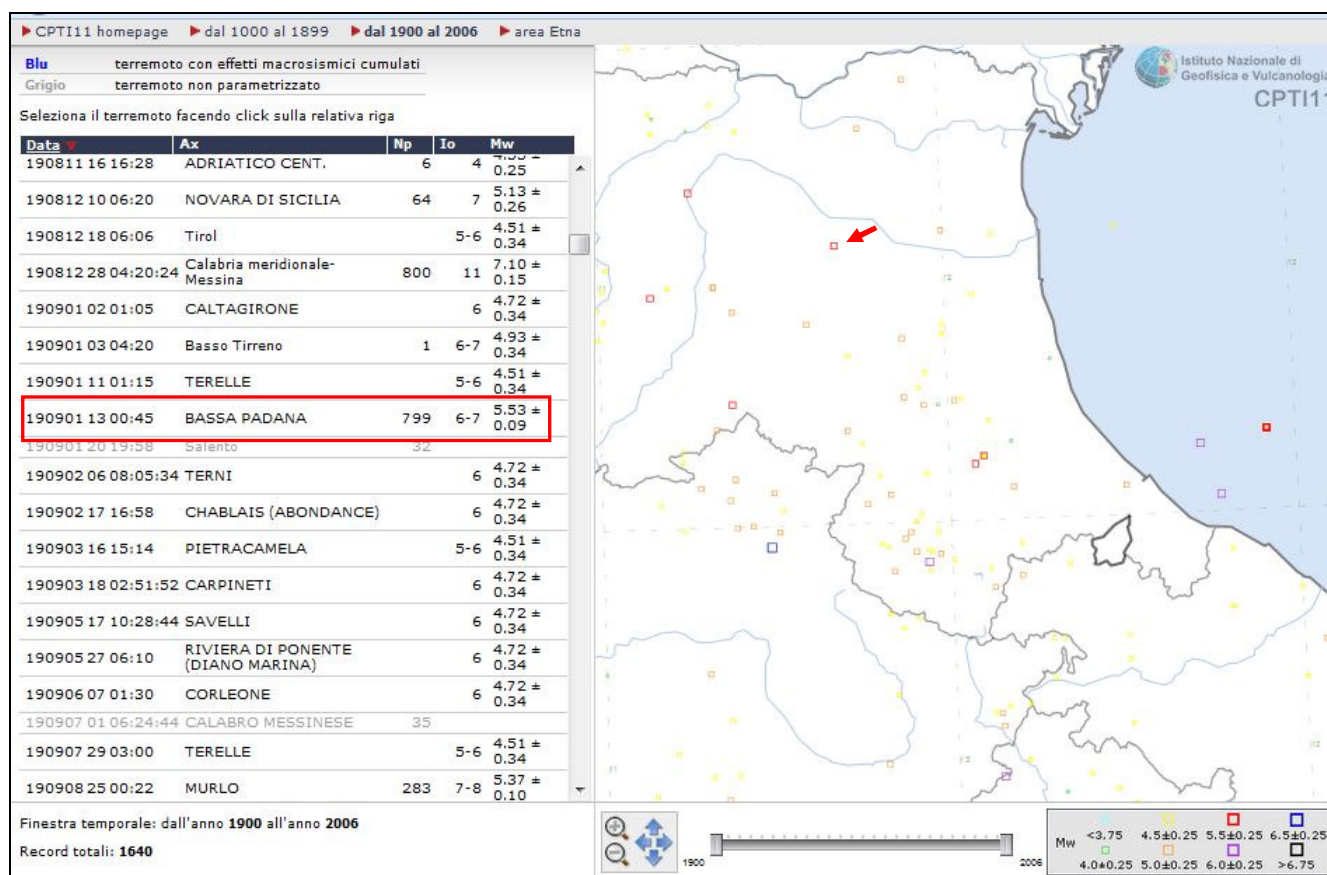


Figura 3 – Tratto da INGV CPTI11 (Catalogo parametrico dei terremoti italiani – 2011) – Dal 1900-2006

Nella Figura 4 successiva sono elencate le osservazioni, aventi la maggiore intensità al sito, disponibili per il territorio comunale. Nella tabella sono indicate:

Is: intensità al sito

Anno Me Gi: anno mese giorno dell'evento

AE: località

Io: l'intensità massima epicentrale in scala MCS

Mw: magnitudo momento

Dalla consultazione del Database Macrosismico Italiano 2011 DBMI11 per la località di Molinella si ottiene il seguente elenco di eventi sismici:

Storia sismica di Molinella
[44.621, 11.670]

Numero di eventi: 17

Effetti	In occasione del terremoto del:			
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
5	1781 07 17 09 :40	Romagna	46	8 5.58 ±0.26
F	1895 03 23	COMACCHIO	37	6 4.74 ±0.31
4	1895 04 14 22:17	Slovenia	296	8 6.23 ±0.08
6	1898 01 16 12:10	Romagna settentrionale	73	6-7 4.79 ±0.33
6-7	1909 01 13 00:45	BASSA PADANA	799	6-7 5.53 ±0.09
5	1914 10 27 09:22	Garfagnana	618	7 5.76 ±0.09
4	1929 04 20 01:09	Bolognese	109	7 5.34 ±0.13
F	1956 02 20 01:29	ARGENTA	32	5-6 4.82 ±0.18
3	1980 11 23 18:34	Irpinia-Basilicata	1394	10 6.89 ±0.09
NF	1986 12 06 17:07	BONDENO	604	6 4.61 ±0.10
3-4	1987 05 02 20:43	Reggiano	802	6 4.74 ±0.09
4	1989 09 13 21:54	PASUBIO	779	6-7 4.88 ±0.09
NF	2000 05 06 22:07	Emilia Romagna	84	5 4.17 ±0.09
NF	2000 05 08 12:29	Emilia Romagna	126	5 4.66 ±0.09
4-5	2000 05 10 16:52	Emilia Romagna	151	5-6 4.86 ±0.09
4-5	2003 09 14 21:42	Appennino bolognese	133	6 5.29 ±0.09
NF	2003 12 07 10:20	Zona Forlì	172	5 4.22 ±0.09

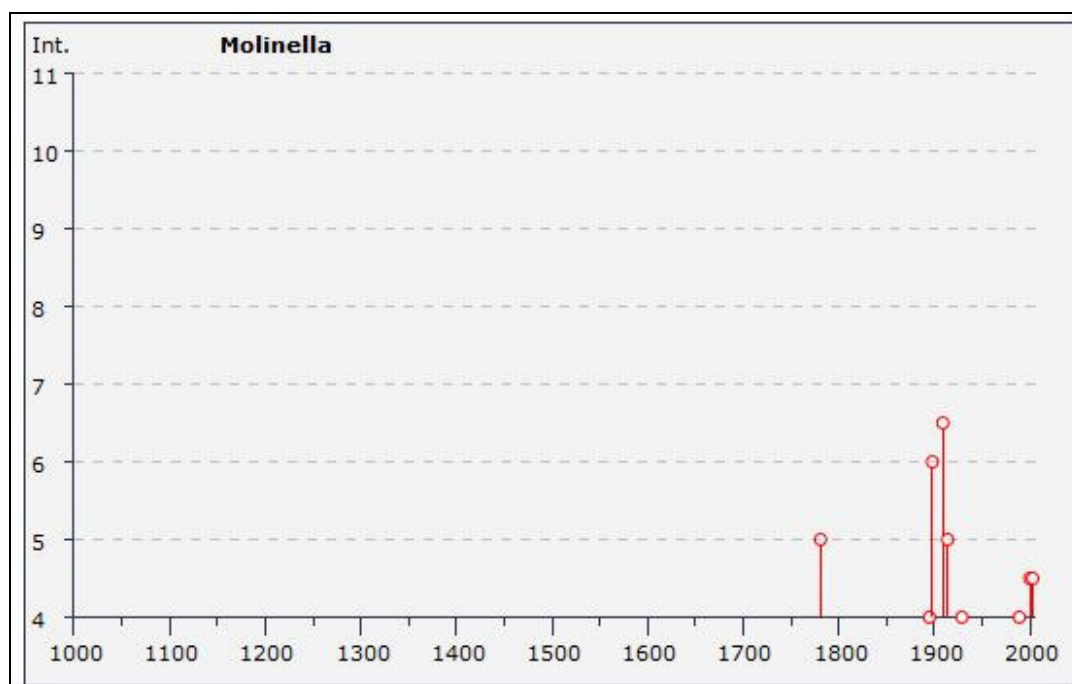


Figura 4 – Tratto da INGV DBMI11 (Database Macrosismico Italiano – 2011)

2.1.1 Frequenza di accadimento in Emilia Romagna

La frequenza con cui si sono verificati in passato i terremoti capaci di produrre danni significativi agli edifici consente di valutare con quale frequenza si manifesteranno in futuro, dal momento che questa presumibilmente non cambia.

Nella tabella sono riportati, per varie soglie di magnitudo, il numero di eventi per intervalli di tempo crescenti di 100 anni, partendo dall'ultimo secolo, registrati in Emilia Romagna.

CLASSI DI MAGNITUDO	INTERVALLO DI 100 ANNI		INTERVALLO DI 200 ANNI		INTERVALLO DI 300 ANNI		INTERVALLO DI 400 ANNI	
	Numero di terremoti	Tempo in anni di ripetizione	Numero di terremoti	Tempo in anni di ripetizione	Numero di terremoti	Tempo in anni di ripetizione	Numero di terremoti	Tempo in anni di ripetizione
4.5 < Ma < 5.0	28	3,6	56	3,6	67	4,5	75	5,3
5.0 < Ma < 5.5	10	10,0	16	12,5	22	13,6	27	14,8
5.5 < Ma < 6.0	3	33,3	4	50,0	6	50,0	8	50,0
Ma > 6.0	-	-	-	-	-	-	-	-
Tutte*	76	1,3	129	1,5	147	2,0	173	2,3

* tutti gli eventi che hanno prodotto danni (intensità epicentrale massima osservata maggiore di V-VI grado MCS)

Come si può osservare le frequenze che si ottengono nei primi due intervalli, più attendibili perché andando indietro nel tempo il catalogo dei terremoti diventa più incompleto, è di un evento ogni 1.3-1.5 anni. Valori di magnitudo maggiori di 5.0, che corrispondono ad intensità epicentrali di VII-VIII grado MCS indicano un evento

ogni 10-12 anni, mentre terremoti con Ma>5.5 (VIII-IX grado MCS) si ripetono con una frequenza di un evento ogni 50 anni, che si mantiene costante indicando una buona completezza del catalogo.

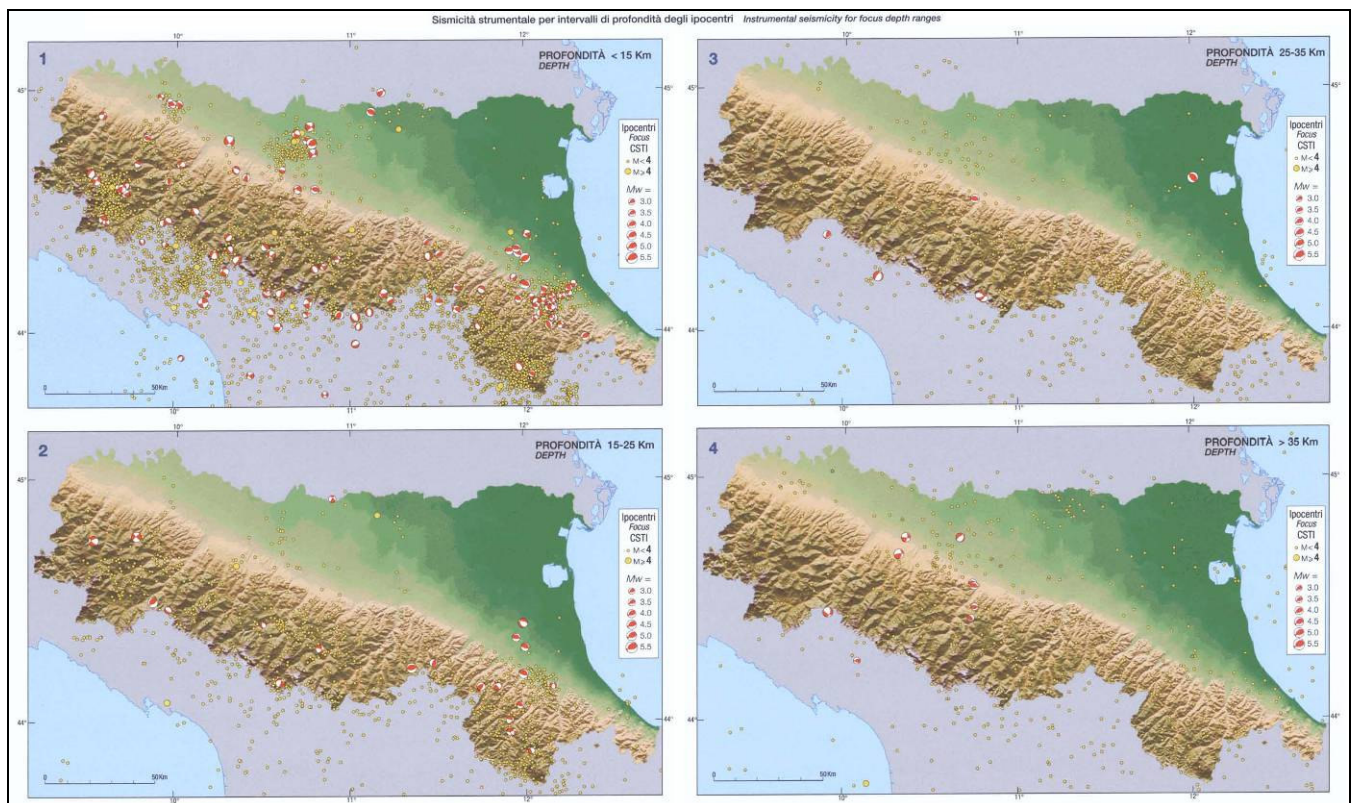


Figura 5 – Sismicità strumentale per intervalli di profondità degli ipocentri.

2.2 SISMOTETTONICA

Di seguito si riporta uno stralcio della Carta Sismotettonica dell'Emilia Romagna. Dall'analisi della stessa si evince che l'area del Comune di Molinella è interessata da strutture sepolte che l'attraversano totalmente (sovrascorrimenti attivi con direzione circa W-E o NW-SE).

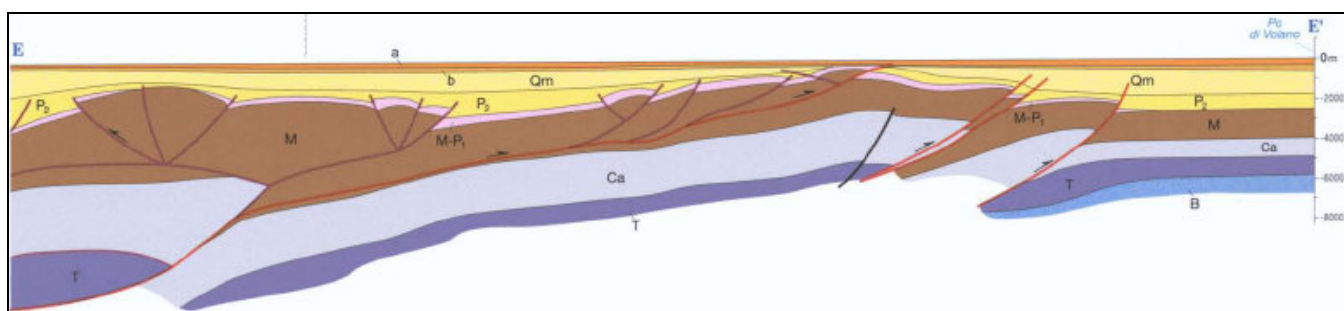
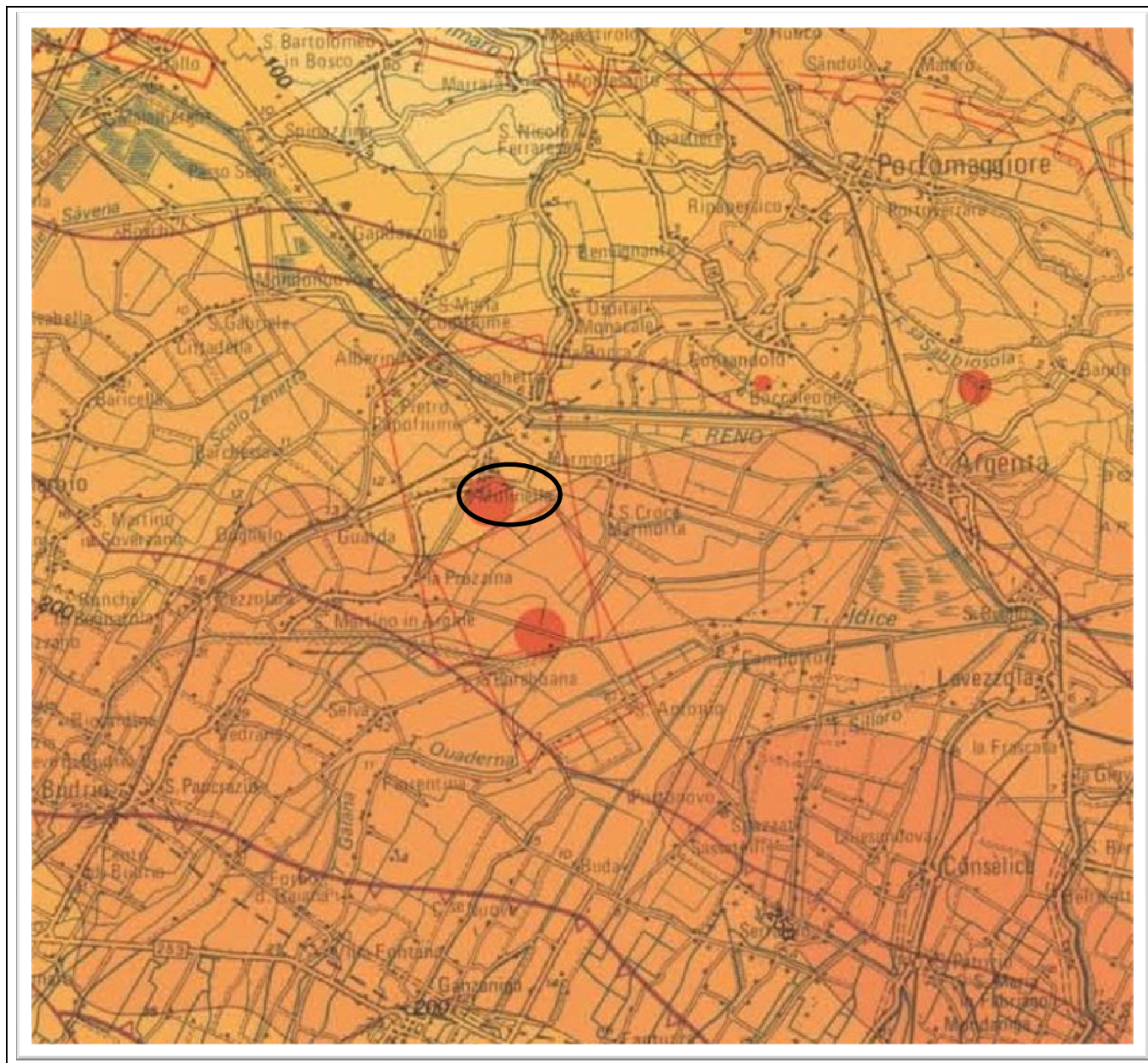
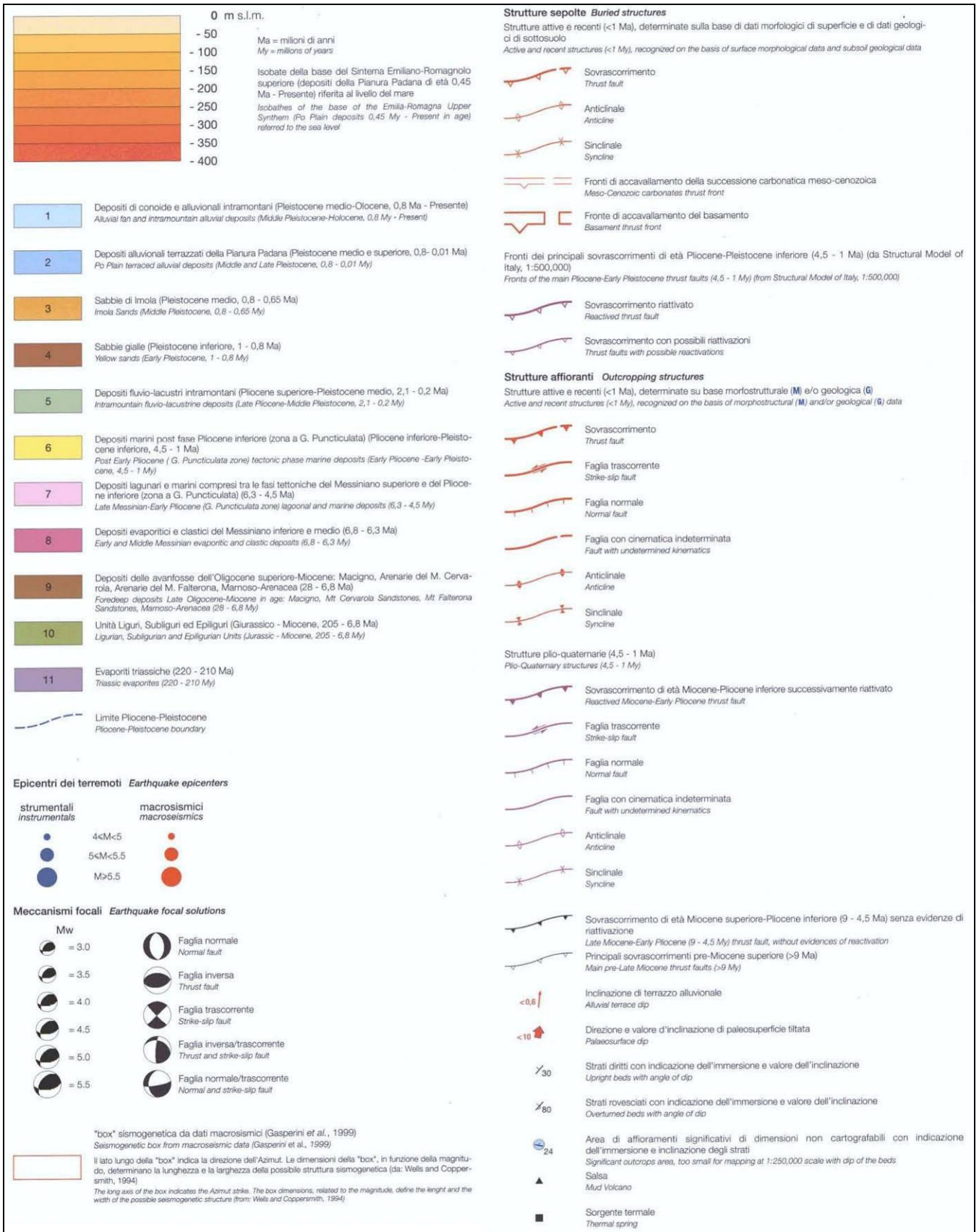


Figura 6 – Carta Sismotettonica dell'Emilia Romagna (RER – CNR, 2004)



Le disamine relative alle strutture profonde redatte nell'ambito dell'elaborazione della *Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna* (M. Boccaletti, L. Martelli; 2004) indicano attività corrispondente all'arco esterno delle pieghe Ferraresi sepolte dai sedimenti quaternari padani con, orientata ovest est.

Nel medesimo elaborato è inoltre evidenziato un epicentro sismico nei pressi dell'abitato di Molinella con magnitudo: $5 < M < 5,5$.

Nel territorio in analisi la sismicità è principalmente connessa all'attività dei processi deformativi che interessano le strutture sepolte nei primi 15 km del sottosuolo, prevalentemente collegate a meccanismi focali compressivi e trascorrenti, ed in percentuale relativa inferiore alle deformazioni compressive delle strutture medio profonde (15 ÷ 25 km) e profonde (25 ÷ > 35 km).

Il quadro stratigrafico del sottosuolo padano è molto simile a quello delle successioni del margine appenninico, infatti, affiora parzialmente lungo il margine appenninico. Pur essendo due ambienti geomorfologici ben distinti.

Il margine della catene appenninica non coincide con il limite del margine appenninico, ma è individuato negli archi delle pieghe emiliane e ferraresi sepolte dai sedimenti quaternari padani.

Quindi, il vero fronte appenninico, circa all'altezza del Po, sovrascorre verso nord sulla piattaforma padano-veneta. Si può così schematizzare che l'evoluzione del territorio dell'Emilia Romagna coincide con l'evoluzione del settore esterno della catena appenninica.

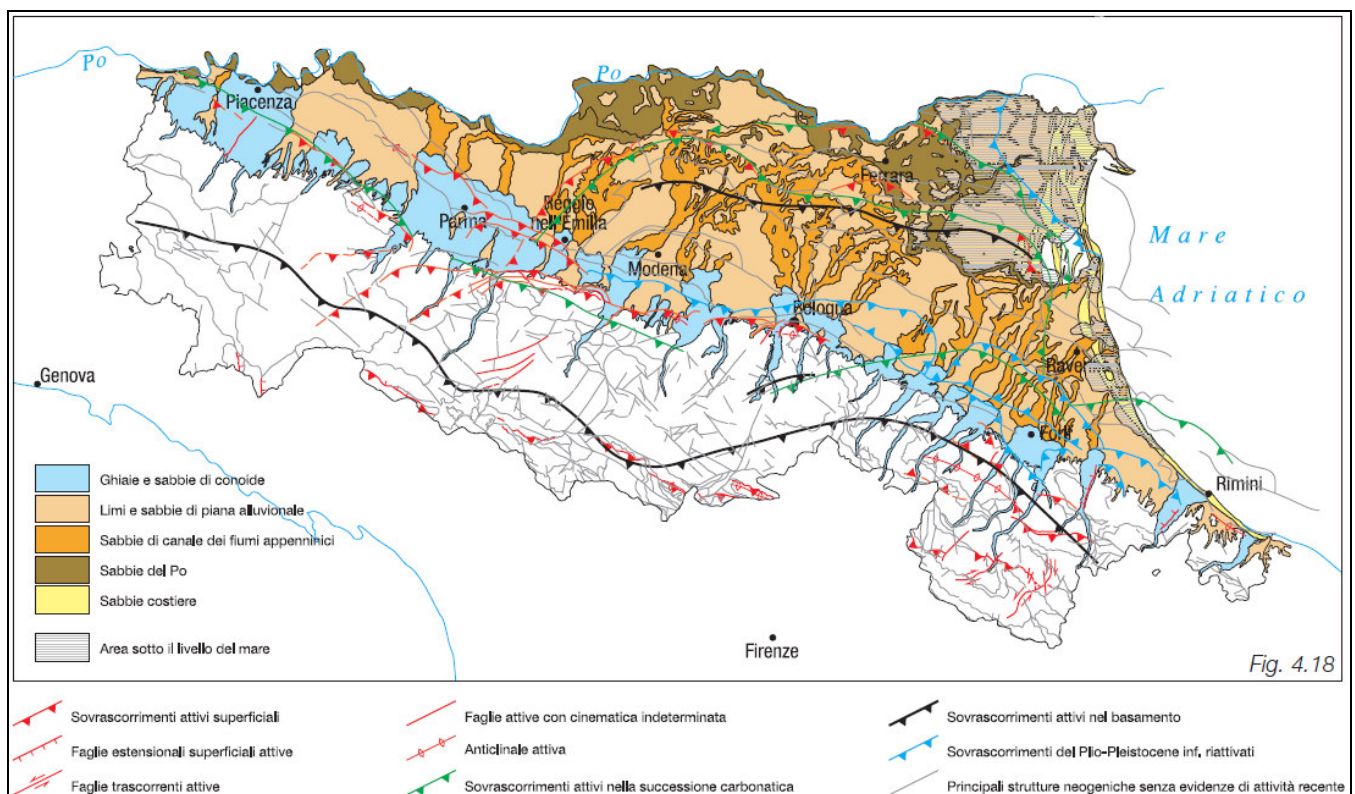


Figura 7 – Schema tettonico.

2.2.1 Zonazione sismogenetica

È stata utilizzata la zonazione sismogenetica dell'INGV, chiamata ufficialmente ZS9. Rispetto alle zonazioni precedenti, in questo caso le zone sorgente sono state disegnate più vincolate rispetto alle sorgenti sismogenetiche e alla sismicità storica e strumentale e le aree circostanti sono state cautelate attraverso i normali effetti di propagazione della pericolosità sismica al di fuori delle zone sorgente.

La zonizzazione ZS9 risulta basata prevalentemente sulle informazioni di ZS4; recepisce le informazioni sulle sorgenti sismogenetiche italiane messe a disposizione da DISS 2.0 (Database of

Potential Sources for Earthquake Larger than M5.5 in Italy, 2001) e da altre compilazioni regionali di faglie attive; considera inoltre le indicazioni che derivano dall'analisi dei dati relativi ai terremoti più importanti verificatisi successivamente alla predisposizione di ZS4, alcuni dei quali localizzati al di fuori delle zone sorgente in essa definite; supera il problema delle ridotte dimensioni delle zone sorgente e della conseguente limitatezza del campione di terremoti che ricade in ciascuna di esse.

La ZS9 può essere utilizzata in congiunzione con il catalogo CPTI2, e fornisce inoltre una stima della "profondità efficace", cioè dell'intervallo di profondità nel quale è rilasciato il maggior numero di terremoti in ogni zona sorgente, utilizzabile in

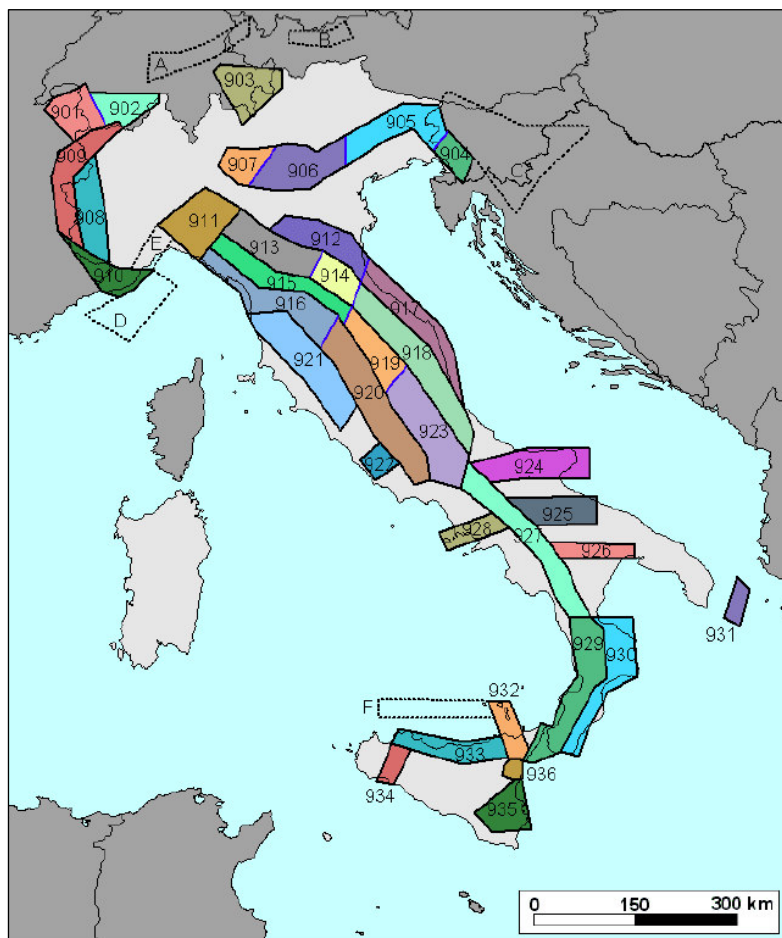


Figura 8 - Zonazione sismogenetica ZS9 (INGV).

combinazione con le relazioni di attenuazione determinate su base regionale, e fornisce per ogni zona un meccanismo di fagliazione prevalente, utilizzabile in combinazione con le relazioni di attenuazione modulate sulla base dei coefficienti proposti da Bommer et al. (2003).

La zonazione è costituita da 42 zone-sorgente, i limiti tra le zone sono neri e blu, i limiti neri definiscono limiti il cui tracciamento dipende esclusivamente da informazioni tettoniche e geologico-strutturali, il colore blu invece definisce suddivisioni di zone con uno stesso stile deformativo ma con differenti caratteristiche della sismicità. Come ad es. distribuzione spaziale degli eventi o la massima magnitudo rilasciata, ecc.

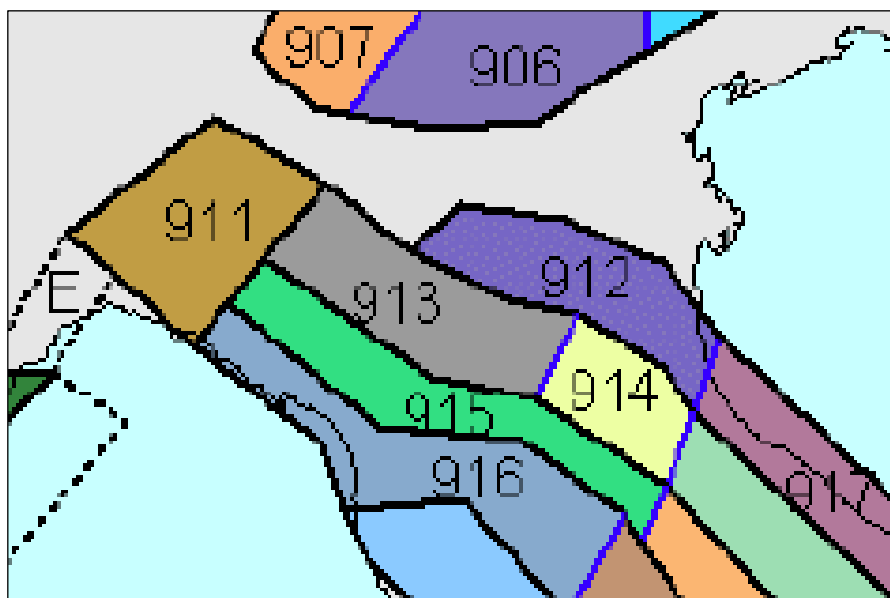
Le 42 zone-sorgente ZS9 vengono identificate da un numero che va da 901 a 936 o con una lettera da A a F.

Sismicità delle zone sorgenti

La zonazione sismica del territorio nazionale, che identifica le zone sorgente a caratteristiche sismiche

omogenee, elaborata da I.N.G.V., attribuisce l'ambito territoriale del comune di Molinella, oggetto di studio, alla zona sismo genetica 912, quindi alla zona di dominio della Dorsale Ferrarese.

Detta fascia rappresenta la porzione più esterna della zona compressiva dell'arco appenninico ed è caratterizzata da terremoti storici che raramente hanno raggiunto



valori molto elevati di magnitudo.

Le fonti storiche suggeriscono una ripetuta attivazione nel corso dell'Olocene.

TERREMOTO DEL 20-29 MAGGIO 2012 (DA FONTE INGV)

Si tratta di una sequenza sismica che ha interessato la regione padana nella bassa modenese ai confini con le provincie di Reggio Emilia, Mantova e Ferrara.

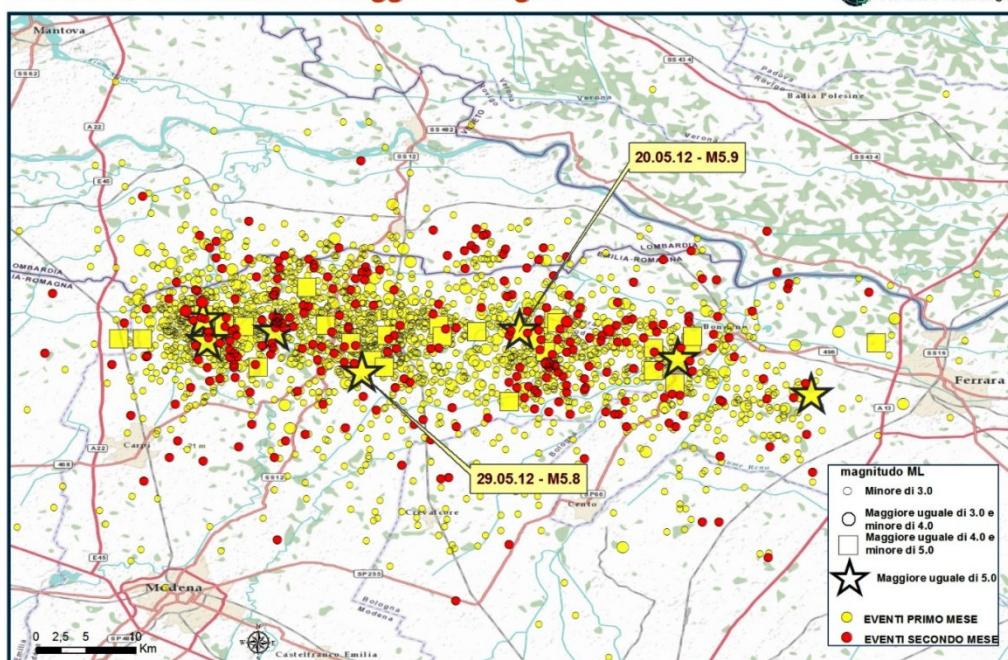
Le due scosse più forti si sono avute:

- il giorno 20 maggio 2012 alle ore 04:03 italiane, con magnitudo (MI) 5.9, localizzato dalla Rete Sismica Nazionale dell'INGV nel distretto sismico "Pianura_padana_emiliana". Le coordinate dell'ipocentro risultano: 44.89°N, 11.23°E in Comune di Mirandola con prof. ipocentro di 6.3 km.
- il giorno 29 maggio 2012 alle ore 09:00 italiane, con magnitudo 5.8 localizzato nel settore occidentale della fascia che si era attivata con l'evento del 20 maggio. Coordinate epicentro 44.851°N, 11.086°E - Profondità 10.2 km

Si tratta di un meccanismo compressivo con direzione di massima compressione nord-sud e piani di faglia orientati est-ovest. Il terremoto è avvenuto in una zona a medio-bassa pericolosità sismica, al confine settentrionale della zona in compressione della catena Appenninica, sede in passato di alcuni terremoti storici di magnitudo inferiore o pari a 6.

La sismicità si distribuisce lungo un'area allungata per circa 40 km in direzione est-ovest. I terremoti più forti della sequenza sono dovuti a un fenomeno di compressione attiva in direzione nord-sud,

SEQUENZA SISMICA 20 maggio - 20 luglio



legato alla spinta dell'Appennino settentrionale verso nord, al di sopra della placca adriatica. L'estensione della zona attiva, confrontata con la magnitudo degli eventi principali, suggerisce che ad essersi attivato sia un sistema di faglie complesso, e non una singola faglia.

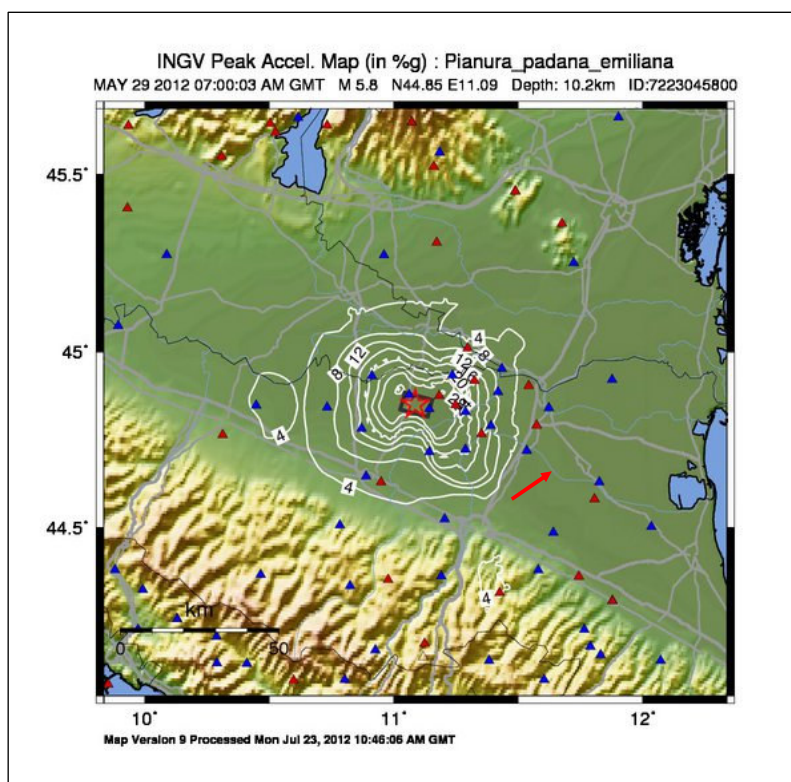
La sequenza sismica ha interessato la regione padana, già sede di terremoti rilevanti nei mesi passati.



In particolare, a gennaio 2012 la zona appenninica di Reggio Emilia e Parma fu colpita da terremoti di magnitudo 4.9 e 5.4, a distanza di pochissimi giorni. I due terremoti di gennaio, sebbene avvenuti a profondità molto diverse (30 e 60 km) rispetto ai 6-8 km di quelli in oggetto, sono anch'essi legati ai movimenti della stessa "microplacca adriatica", che negli ultimi mesi ha avuto un'attività piuttosto intensa.

Le informazioni storiche per l'area sismogenica attivatasi oggi, evidenziano un'attività non molto frequente, con alcuni terremoti significativi nelle aree adiacenti. In particolare, un evento sismico che appare simile a quello odierno colpì

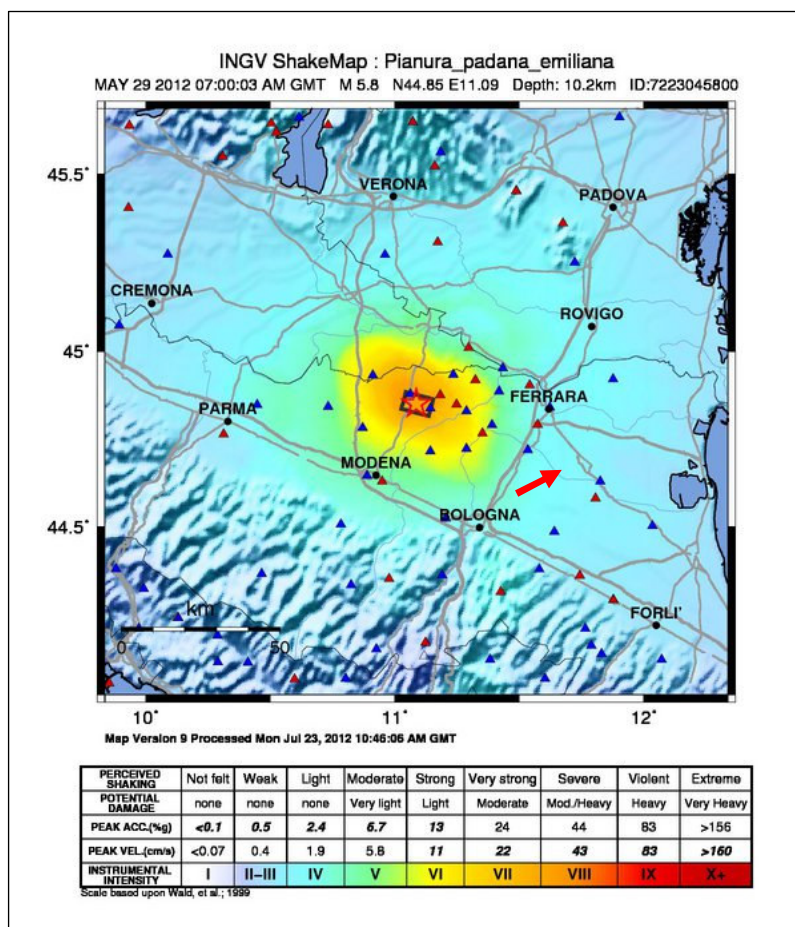
Ferrara nel 1570, causando danni fino all'ottavo grado Mercalli (MCS). Un altro evento storico di interesse, studiato di recente, è quello avvenuto nel 1639 con epicentro nei pressi di Finale Emilia, ove produsse effetti del VII-VIII grado MCS.



Qui a fianco si riporta la mappa in cui vengono graficati gli andamenti dei picchi di accelerazione (in % di g) in attenuazione a partire dall'epicentro della scossa del 29-05-12 di M=5.8.

La freccia rossa indica circa la zona di Molinella.

Questa rappresentazione raffigura invece con diverse tonalità di colore alcuni parametri (accelerazione di picco, velocità di picco) ed elementi valutativi/qualitativi di un evento tellurico (percezione dello scuotimento, danno potenziale, intensità strumentale).



In entrambe le ultime due figure è possibile valutare immediatamente come la sequenza sismica del 20-29 maggio 2012 abbia prodotto risentimenti non molto significativi nella zona in esame.

Sulla base delle elaborazioni dell'INGV si stima in prima approssimazione un valore indicativo dell'accelerazione di picco inferiore a 0.04g e intensità macrosismica intorno al III-IV grado.

2.3 NORMATIVA SISMICA DI RIFERIMENTO

Ordinanza P.C.M. 3274/2003

A seguito della nuova classificazione sismica (Ordinanza P.C.M. 3274 del 20/3/2003 e s.m), il territorio nazionale è diviso in quattro zone sismiche caratterizzate da differenti valori dell'accelerazione orizzontale massima (a_g) su suolo di categoria A.

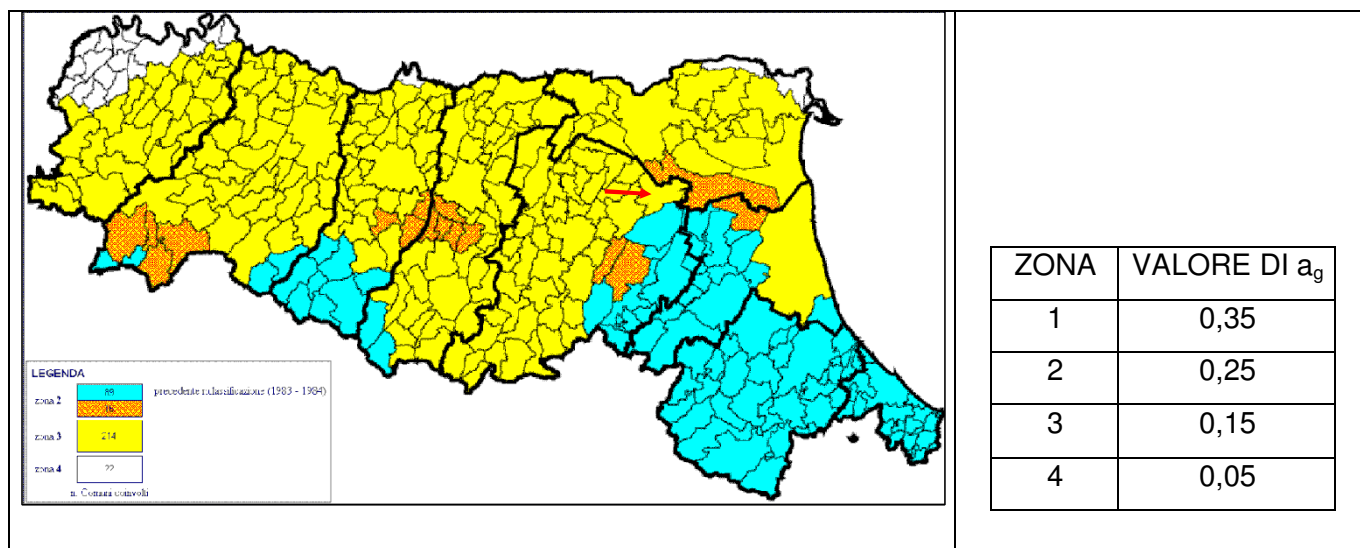


Fig. 10 - Classificazione sismica attuale di riferimento - Ordinanza PCM del 20 marzo 2003 n. 2374 All. 1.

Il Comune di Molinella ricade in “zona sismica 3” a cui corrisponde un'accelerazione orizzontale massima convenzionale su suolo di categoria A, riferita ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni, ed espressa come frazione dell'accelerazione di gravità g , pari a $a_g = 0,15g$.

Ordinanza P.C.M. 3519/2006

Successivamente, l'Ordinanza PCM 3519/2006 ha indicato i *Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone.*

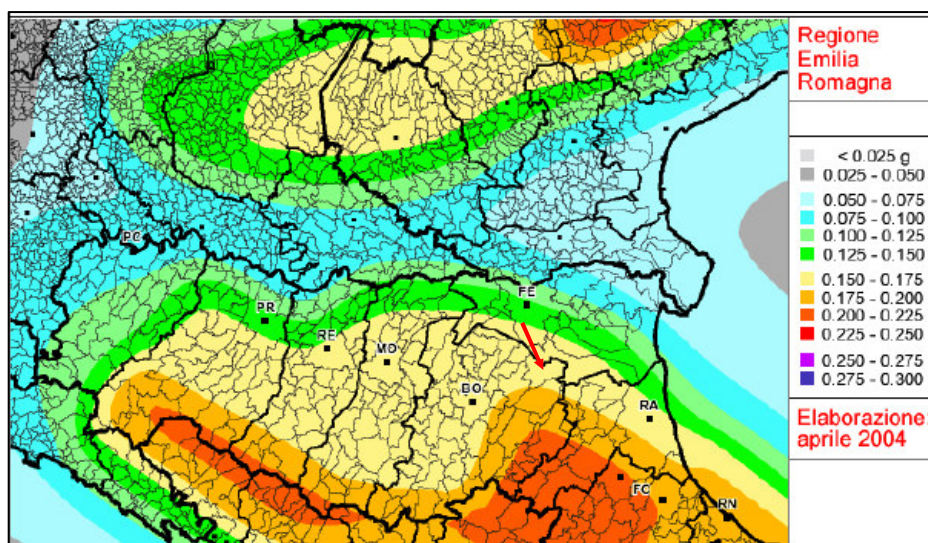


Fig. 11 - Mappa di pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima al suolo (a_{max}) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita ai suoli molto rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s; cat. A) allegata all'Ordinanza PCM n. 3519 del 28 aprile 2006. (Fonte: Sito web della Regione Emilia-Romagna).

A tale ordinanza è allegata la *Mapa di Pericolosità sismica di riferimento a scala nazionale* nella quale è possibile verificare che il territorio del Comune di Molinella è compreso nell'area caratterizzata da **valori dell'accelerazione massima al suolo (a_{max})**, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita ai suoli molto rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s; cat. A), **compresi tra 0,150 e 0,175** l'accelerazione di gravità g .

Del. Rer. 112/2007

La RER ha poi approvato la Del. n. 112 del 02-05-2007 "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica."; in All. A4 sono riportati i valori di accelerazione max, espressa sempre in frazione dell'accelerazione di gravità g (a_{refg}), per ogni comune della Regione.

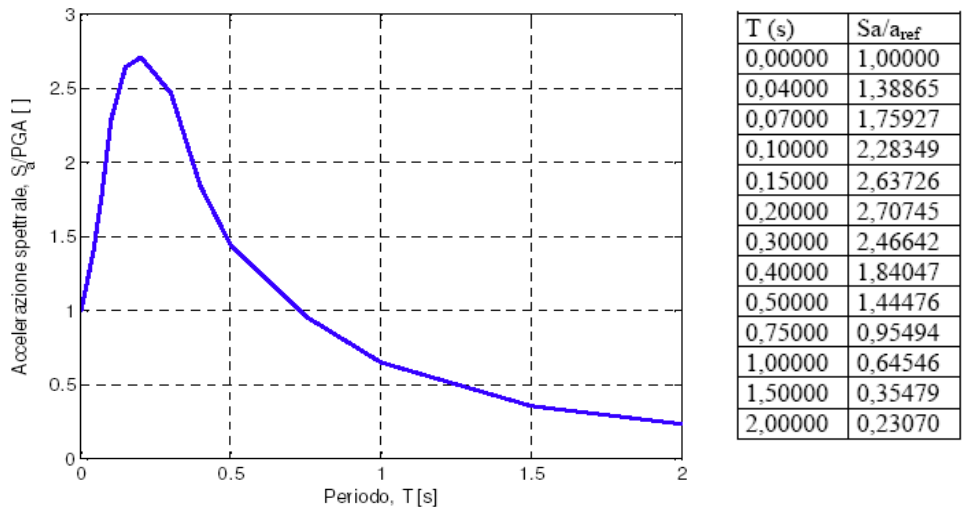
BO	Medicina	0.185	Comune di Molinella risulta $a_{refg}=0,163$
BO	Minerbio	0.162	
BO	Molinella	0.163	
BO	Monghidoro	0.176	
BO	Monte San Pietro	0.163	
BO	Monterenzio	0.180	

Definizione del moto di riferimento

La PGA per un periodo di ritorno di 475 anni riportata nelle mappe di pericolosità sismica di INGV (Meletti C., Montaldo V., 2007. Stime di pericolosità sismica per diverse probabilità di superamento in 50 anni: valori di ag. Progetto DPC-INGV S1, Deliverable D2, <http://esse1.mi.ingv.it/d2.html>) varia nell'intervallo $0,150 \div 0,175$ g. Tali dati sono anche stati utilizzati anche dalla Regione Emilia Romagna nella redazione della Delibera dell'Assemblea Legislativa n° 112 - 2007 "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica" dove viene indicata una PGA corrispondente a $0,165$ g per l'intero territorio comunale.

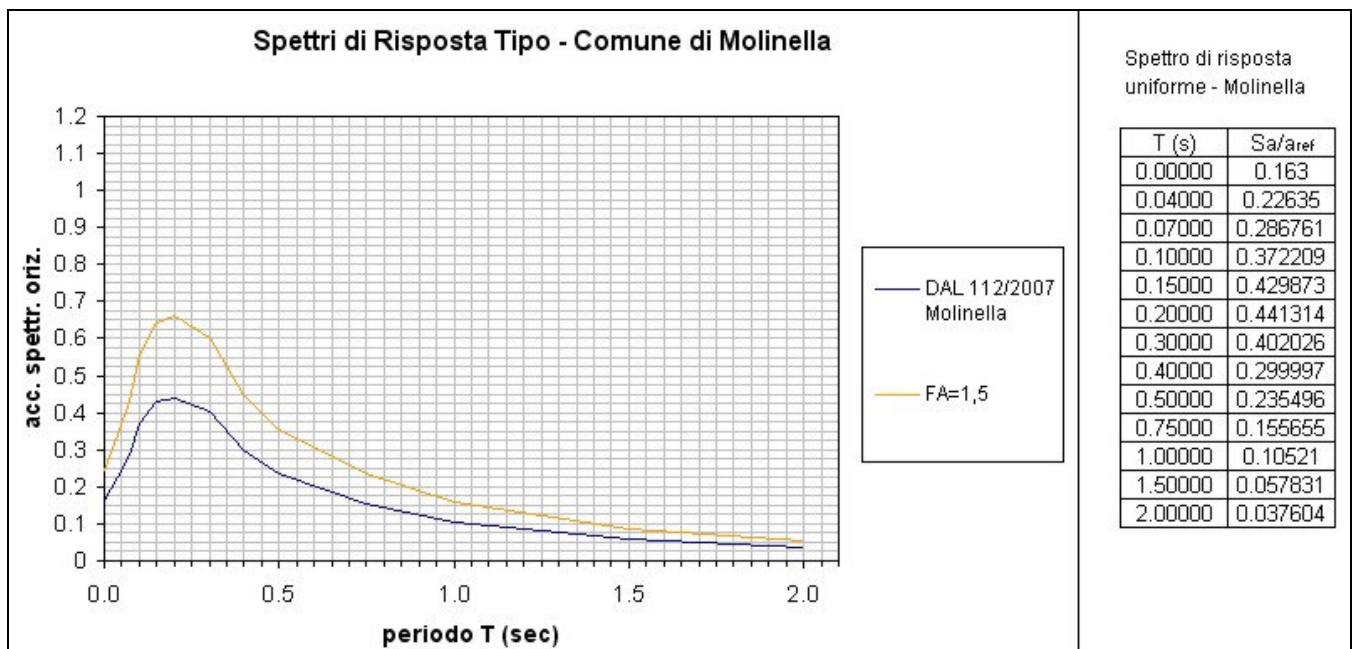
La RER fornisce lo spettro di risposta normalizzato, dal quale è possibile ottenere, moltiplicando i valori della tabella seguente per il valore di a_{refg} di ogni comune (vedi sopra), lo spettro di risposta a probabilità uniforme che descrive le caratteristiche del moto sismico atteso per ogni comune dell'Emilia-Romagna.

Lo spettro di risposta di riferimento del bedrock sismico o suolo A nel comune di Molinella per il valore di $a_g = 0,165g$ con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, è visualizzato nella seguente figura.



Spettro di risposta normalizzato ($T_R = 475$ anni, smorzamento = 5%) per l'Emilia-Romagna, e valori che lo definiscono.

Nella prima colonna sono riportati i valori del periodo proprio T, espresso in secondi, nella seconda i valori di accelerazione spettrale normalizzata al valore di accelerazione massima orizzontale (PGA), espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g (pari a 9.81m/s^2), al corrispondente periodo T.



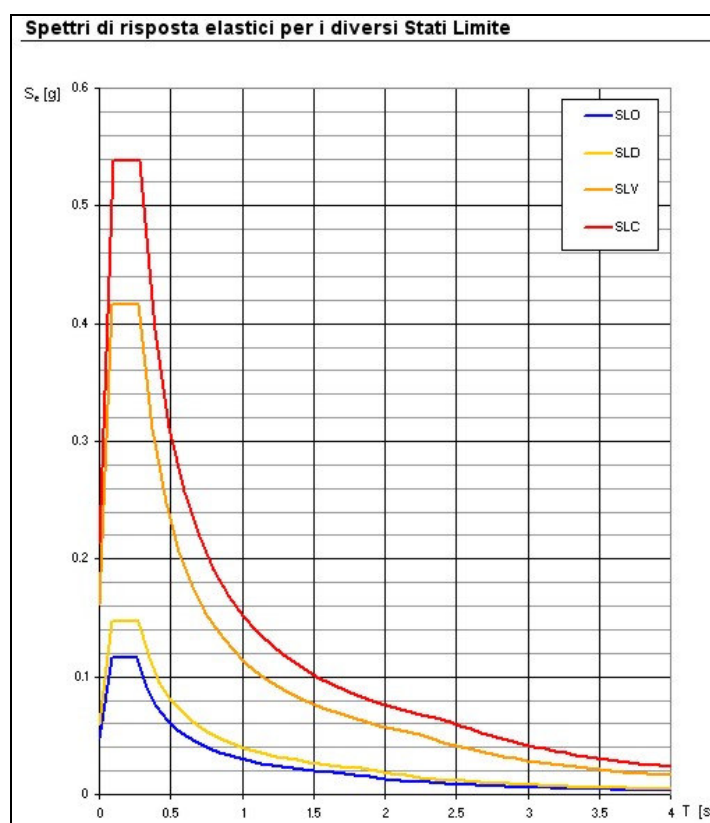
Spettri di risposta a probabilità uniforme, pari al 10% di almeno una eccedenza in 50 anni per Molinella. Con linea blu viene riportata lo spettro costruito con i parametri riportati nella delibera dell'assemblea legislativa ER – DAL112-2007, mentre con l'altra linea è riportato lo spettro di risposta per l'amplificazione stratigrafica riscontrata nell'area indagata.

DM 14/01/2008 – Azione Sismica di riferimento

Il D.M. 2008 richiede di definire lo spettro di risposta elastico in accelerazione per il sito in esame. Tale spettro indica, per ciascuna frequenza, la risposta allo scuotimento massimo (da terremoto) di un oscillatore elastico smorzato semplice (struttura teorica tipo) con frequenza propria pari alla frequenza considerata.

Con T si intende il periodo fondamentale di risonanza dell'edificio (in secondi) e con ag l'accelerazione massima di picco del sottosuolo (pga) in caso di terremoto (m/s^2).

Di seguito si riportano, per i diversi stati limite, gli spettri elastici di risposta per Molinella.



Per un immediato confronto con gli spettri della DAL 112/2007 si può paragonare lo spettro SLV del D.M 08 (la linea arancione) con la linea blu della DAL.

I due spettri mostrano una generale discreta congruenza con valori mediamente superiori per lo spettro regionale.

Il D.M. 14/01/2008 stabilisce che l'accelerazione orizzontale massima del sito di riferimento non è più riferita ad una classificazione comunale ma viene calcolata considerando le proprietà del sito in esame, utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (NTC , TAB.1 allegato "B" del D.M.).

Il suolo viene ancora suddiviso in 5 classi principali (A,B,C,D,E) più due categorie aggiuntive S1 e S2.

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Tabella 3.2.III – Categorie aggiuntive di sottosuolo.

Categoria	Descrizione
S1	Depositati di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente V_{s30} di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità.

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{Si}}} \text{ m/s}$$

h_i = spessore dello strato i-esimo
 V_{Si} = velocità onde S nello stato i-esimo
 N = numero strati considerati

Nei casi in cui la misura diretta della V_{s30} non sia disponibile, la classificazione può essere effettuata in base ai valori del numero equivalente di colpi della prova penetrometrica dinamica N_{spt30} nei terreni prevalentemente a grana grossa e della resistenza non drenata equivalente C_{u30} nei terreni prevalentemente a grana fina.

3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

3.1 ASSETTO GEOLOGICO

La zona in esame ricade nella parte centro-orientale della Pianura Padana, che rappresenta, dal punto di vista geologico, un grande bacino subsidente plio-quadernario, che comincia a delinearsi sin dall'inizio del Triassico e viene interessato da subsidenza differenziata sia nel tempo che nello spazio, in diverse ere storiche, ma soprattutto nel Pliocene e Quaternario, con movimenti verticali controllati dai caratteri strutturali presenti in profondità.

Da una sedimentazione di tipo marino che caratterizza il Pliocene e parte del Pleistocene, si passa ad una di tipo continentale, con il colmamento del golfo padano che si trasforma progressivamente in pianura alluvionale, attraverso l'accumulo di sedimenti fluviali e fluvio-glaciali derivanti dal rapido smantellamento e modellamento delle catene montuose circostanti.

In particolare l'area comunale di Molinella ricade in un settore deposizionale principalmente caratterizzato dai depositi alluvionali del fiume Po, oltre che dei corsi d'acqua minori di tipo appenninico, ed in particolare del fiume Reno; si tratta di depositi di origine continentale a granulometria solitamente medio-fine, con prevalenza di litologie generalmente sabbiose, per quanto riguarda i depositi del fiume Po, caratterizzati da uno spessore via via decrescente procedendo verso nord, e di depositi limosi e argillosi, con intercalazioni di livelli e lenti sabbiose discontinue, per quanto riguarda le alluvioni del fiume Reno.

L'accrezione della Pianura Emiliano-Romagnola avviene perciò sia orizzontalmente, con il giustapporsi di successivi corpi d'alveo, sia verticalmente a causa dei continui cicli di riempimento dei bacini di esondazione, i litotipi presenti, risultano caratterizzati da un insieme di orizzonti lentiformi che sfumano più o meno gradualmente tra loro, e si collocano su di un substrato marino preolocenico, il cui tetto si attesta ad una profondità media di circa 300-400 m, pur essendo presenti episodi marini a profondità minore.

Il notevole spessore dei depositi quadernari presenti in zona, risulta determinato strutturalmente dalla presenza di un ampio bacino fortemente subsidente e attivo sin dal Plio-Pleistocene, quest'area risulta collocata tra due zone di una certa rilevanza tettonica, la prima, a sud, nota come "Zona delle pieghe pedeappenniniche", la seconda, più a nord, nota come "Dorsale Ferrarese" caratterizzata da un'ampia struttura anticlinale molto evidente ed elevata, con direzione complessivamente E-SE/W-NW .

Questo andamento ad "archi di pieghe" del fronte sepolto dell'Appennino, di messa in posto sempre più recente man mano che si procede verso le aree più esterne, è da correlare con il movimento di rotazione della catena in senso orario, che genera raccorciamenti cristallini di crescente intensità spostandosi dai settori occidentali a quelli orientali.

Movimenti analoghi sarebbero stati segnalati anche in epoca storica, e traducibili in un graduale "sfuggire" della rete idrografica alla Dorsale Ferrarese.

L'area d'indagine rientra, quindi, all'interno del dominio deposizionale corresponsabile del colmamento dell'ampio bacino subsidente di età Pliocenico-Quaternaria della Pianura Padana, ed è inserito nella pianura alluvionale entro la quale, negli ultimi 4.000-5.000 anni dell'Olocene, gli affluenti appenninici del fiume Po (particolarmente il Reno nell'area di studio), hanno determinando l'attuale assetto morfologico ed altimetrico del territorio che, a sua volta, dipende dai movimenti tettonici, dalla subsidenza naturale e dall'intervento antropico.

Facendo riferimento alle Carte geologiche d'Italia a scala 50.000 si evince che l'area ricade all'interno

PRINCIPALI UNITA' STRATIGRAFICHE			ETA' (milioni di anni)	SCALA CRONOSTRATIGRAFICA (milioni di anni)	UNITA' IDROSTRATIGRAFICHE	
AFFIORANTI	SEPOLTE	GRUPPO ACQUIFERO			COMPLESSO ACQUIFERO	
QUATERNARIO CONTINENTALE TERRE ROSSE, DILUVIUM, ALLUVIUM, TERRAZZI E ALLUVIONI DILUVIUM p.p. FORMAZIONE FLUVIO-LACUSTRE UNITA' DI VILLA DEL LEDO UNITA' DI CA DI SOLA	SUPER SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE UNITA' ALLUVIONALE INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE ORIZZONTE DI FERRISOLI	-0.12	0.125	A	A1
			-0.35-0.45	PLEISTOCENE MEDIO		B1
						B2
						B3
QUATERNARIO MARINO MILAZZIANO SABBIE DI CASTELVETRO p.p. SABBIE GIALLE DI IMOLA p.p. MILAZZIANO e CALABRIANO p.p. SABBIE DI CASTELVETRO p.p. SABBIE GIALLE DI IMOLA p.p. CALABRIANO p.p. SABBIE DI MONTECROCE FORMAZIONE DI TERRA DEL SOLE p.p. CALABRIANO p.p. FORMAZIONE DI CASTELL'ARQUATO p.p.	SUPER SISTEMA DEL QUATERNARIO MARINO SUBSISTEMA QUATERNARIO MARINO 3 SUBSISTEMA QUATERNARIO MARINO 2 SISTEMA QUATERNARIO MARINO 1	ALLUVIONI / QUATERNARIO MARINO E SABBIE DI ASTI	-0.65		C	C1
			-0.8	0.89		C2
			-1.0	PLEISTOCENE INFERIORE		C3
			-2.2	1.72		C4
			-3.3-3.6	3.55		C5
P2	SUPER SISTEMA DEL PLEIOCENE MEDIO-SUPERIORE	PLIOCENE SUPERIORE	-3.9	PLIOCENE INFERIORE MIOCENE	ACQUITTAIO BASALE	

del **Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES)** che comprende depositi alluvionali, deltizi, litorali e marini. Nel sottosuolo della pianura è costituito da una successione di cicli trasgressivo - regressivi formati da argille, limi, sabbie e ghiaie di ambiente alluvionale e, limitatamente al settore costiero, da sabbie litorali.

In affioramento e nel sottosuolo prossimale alla catena il limite inferiore è

erosivo e discordante sui depositi marini. Nel sottosuolo di pianura il limite è per discordanza angolare con il Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI).

Il Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore è parzialmente suddiviso in subsistemi (AES8, AES7 ed AES6) limitati, in affioramento, dalle principali scarpate di terrazzo fluviale e paleosuoli e, nel sottosuolo della pianura, da bruschi contatti fra depositi trasgressivi marino - marginali e palustri su depositi di conoide e di piana alluvionale. I depositi fini di tracimazione fluviale dei terrazzi del margine appenninico non sono differenziati in subsistemi.

In particolare nel territorio comunale di Molinella affiora l'**Unità di Modena (AES8a)**, costituita da ghiaie, sabbie, limi ed argille di canale fluviale, argine e piana inondabile; sabbie e ghiaie di cordone litorale e di barra di foce; argille e limi di prodelta e di transizione alla piattaforma. Limite superiore sempre affiorante e coincidente con il piano topografico dato da un suolo calcareo di colore bruno olivastro e bruno grigiastro al tetto, privo di reperti archeologici romani, o più antichi, non rimaneggiati e caratterizzato da una buona preservazione delle forme deposizionali originarie (es. argini e bacini interfluviali). Limite inferiore dato da una superficie di erosione fluviale nelle aree intravallive e dal contatto delle tracimazioni fluviali sul suolo non calcareo (o scarsamente calcareo) di epoca romana (o più antica) nelle aree di pianura. Include, concettualmente, i depositi fluviali in

evoluzione b1 che però, in accordo con la tradizione della cartografia geologica preesistente, sono stati cartografati separatamente. Spessore massimo 3-4 metri. Età: post - romana (IV-VI sec. d.C. - Attuale; datazione archeologica).(Olocene)

La stesura della Carta Geologica ha tenuto in debito conto, oltre che della Carta Geologica d'Italia, anche della cartografia del PSC di Molinella.

3.2 ASSETTO GEOMORFOLOGICO

Il territorio comunale di Molinella, sito nella porzione settentrionale della Provincia di Bologna, si estende su una superficie di circa 128 km² con un'altitudine compresa tra i 5- 8 metri sul livello del mare e comprende le frazioni di Guarda, Marmorta, San Martino in Argine, Miravalle, San Pietro Capofiume e Selva Malvezzi.

Il Comune confina a Nord - Nord Est con il Comune di Argenta, a Sud - Sud Ovest con il Comune di Budrio, ad Ovest con quello di Baricella e a Sud Sud - Est con quello di Medicina.

Il territorio è sempre stato oggetto di inondazioni per la vicinanza del Po e soprattutto, perché dall'Appennino scendono molti corsi d'acqua turbolenti come il Reno, l'Idice, il Savena, il Centonara, il Quaderna.

Il territorio comunale si instaura in piena Pianura Padana, e questa conformazione è il risultato dell'evoluzione strutturale profonda della Pianura Padana.

Questo vasto sistema di zone umide è stato oggetto delle bonifiche che si sono succedute fino a produrre l'assetto attuale della pianura, assetto caratterizzato dalla "pensilità" dei corsi d'acqua, dalla necessità di sollevamento delle acque dei bacini interfluviali per il loro drenaggio, dalla presenza di vaste aree di pianura depressa di forma per lo più ellissoidica (conche morfologiche) ed infine da morfologie allungate nella direzione del drenaggio e topograficamente rilevate sulla restante pianura: gli argini naturali fossili (paleoalvei).

Il sistema idrogeologico delle alluvioni recenti è formato da acquiferi dei primi circa 100 metri di sottosuolo della pianura bolognese. L'approvvigionamento idrico avviene dal fronte di ricarica del margine appenninico: la principale fonte di ricarica è rappresentata dai corsi d'acqua superficiali, attraverso l'infiltrazione subalveo, dai fondovalle ed apici dei grandi conoidi.

I fiumi che scorrono in questa porzione di bassa pianura si trovano in uno stadio di maturità evolutiva in cui la fase deposizionale prevale su quella erosiva a causa della bassa capacità di deflusso e della esigua capacità di trasporto; questo quadro è confermato dalla presenza di meandri e di alvei pensili che hanno reso necessaria la costruzione di argini artificiali.

In assenza di argini artificiali i fiumi tendono a divagare e quando le acque di piena traboccano si verifica un deposito differenziato con la sedimentazione di elementi fini o grossolani in funzione della diversa energia cinetica della corrente. In prossimità dell'alveo il fiume tende a depositare materiali più grossolani formando dossi di trascinamento (argini naturali), oltre che ventagli e canali di esondazione in corrispondenza delle rotte; tali emergenze morfologiche si manifestano sia lungo i corsi attuali dei fiumi che in corrispondenza di alvei abbandonati (paleoalvei).

Nelle aree distali più depresse, poste tra un fiume e l'altro, l'energia cinetica della corrente diminuisce ed i depositi si fanno sempre più fini per diventare prevalentemente argillosi nelle basse dove la prolungata permanenza delle acque favorisce la sedimentazione delle particelle in sospensione; per la maggiore costipabilità dei materiali fini rispetto a quelli sabbiosi, si determina poi un aumento dei dislivelli fra i dossi dei paleoalvei e le valli, oltre che fra la rete idrografica ed il livello medio del territorio.

In questo meccanismo "naturale" è intervenuto l'uomo che, innalzando argini artificiali ed emungendo acqua dal sottosuolo, accelerando i processi di costipazione e di subsidenza, ha modificato la dinamica deposizionale e quindi l'assetto morfologico del territorio.

La costruzione di argini artificiali, in questa zona, si è completata nel XV secolo; a partire da questo periodo i fiumi sono stati canalizzati entro percorsi ben definiti e non hanno più avuto la possibilità di aprirsi, dopo un rotta, nuovi percorsi. Di conseguenza le alluvioni degli ultimi 500 anni hanno determinato un classamento ben preciso dei depositi per cui troviamo sedimenti più grossolani e sedimenti più fini rispettivamente nelle vicinanze e nelle zone più lontane dai percorsi attuali dei fiumi; questo spiega perchè antichi dossi corrispondenti a paleoalvei siano stati ricoperti da sedimenti più fini che hanno notevolmente uniformato la morfologia dell'area.

Altre morfologie del territorio sono le aree di bassa o valli, depressioni in cui le acque sino all'inizio del secolo scorso ristagnavano permanentemente e per un lungo periodo dell'anno e sono state bonificate in tempi recenti.

4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI E METODOLOGIE DI ELABORAZIONE

4.1 DATI GEOTECNICI

Allo Scopo di supportare il presente Studio di Microzonazione Sismica con conoscenze stratigrafiche e geotecniche, è stata condotta una raccolta dei dati geognostici esistenti resi disponibili dall'Amministrazione.

La ricerca bibliografica ha comunque permesso di raccogliere:

- n° 1 Stratigrafie di Pozzi
- n° 4 Sondaggi a carotaggio continuo
- n° 10 Prove penetrometriche statiche
- n° 40 Prove penetrometriche statiche con piezocono
- n° 4 Masw

Ovviamente tra le prove d'archivio non si sono considerate quelle eseguite con attrezzature fuori degli standard consolidati, o quelle che non hanno superato i 10 metri di profondità.

Nel CD rom allegato al presente studio vengono riportati, in formato pdf, tutti i grafici e i tabulati delle indagini pregresse raccolte (Tav. 1 - Carta delle Indagini).

4.2 DATI GEOFISICI

L'indagine bibliografica ha permesso di raccogliere alcune indagini geofisiche (n° 4 Masw).

Al fine di acquisire la necessaria caratterizzazione del primo sottosuolo in termini di valori geofisici di velocità delle onde sismiche di taglio (Vs), sono state comunque realizzate le seguenti prove geofisiche negli insediamenti principali presenti sul territorio comunale:

- **n° 43 Masw**
- **n° 56 Hvsr**

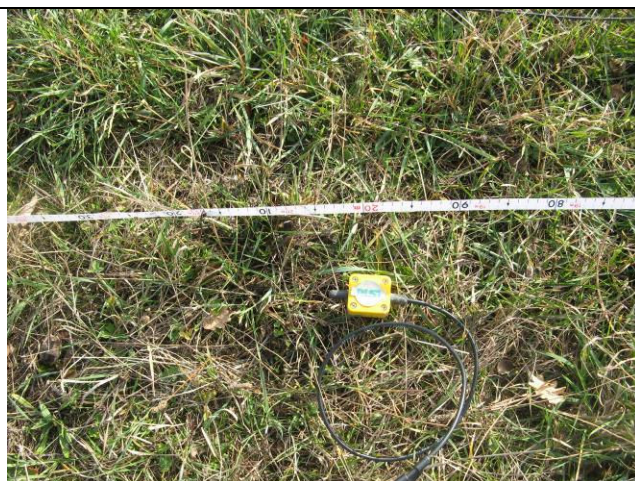
Le indagini sono state eseguite accoppiate e sono distribuite oltre che nel capoluogo e nelle frazioni principali anche su tutto il territorio. Questo ha permesso di caratterizzare, quanto più possibile, le situazioni stratigrafiche principali.

4.2.1 PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE (MASW) – ALLEGATO 1

Le indagini Masw sono state effettuate utilizzando un sismografo digitale a 24 canali PASI (mod. 16S-U), dotato di 24 geofoni verticali con frequenza propria di 4.5 Hz (spaziatura tra geofoni 2 m, 2s di acquisizione, offset minimi di 2-5-10 m).



Sismografo utilizzato.



Particolare dei geofoni utilizzati.

L'indagine, attraverso una serie di acquisizioni MASW (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*, analisi della dispersione delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva – e.g. Park et al., 1999), è finalizzata alla caratterizzazione della risposta sismica dei vari siti in studio, attraverso la definizione del profilo verticale della VS (velocità di propagazione delle onde di taglio).

Nel loro insieme, le procedure adottate fanno risalire la stima dell'effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio (VS).

La tecnica non è invasiva e richiede una fonte di energizzazione (mazza battente).

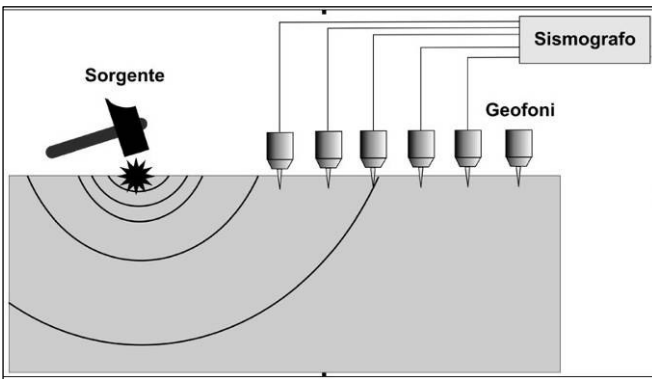


Sistema di energizzazione-battuta.



Stendimento sismico

Le onde *Rayleigh*, che sono il risultato dell'interferenza fra le onde di pressione "P" e quelle di taglio "S", si trasmettono sulla superficie libera e, in un



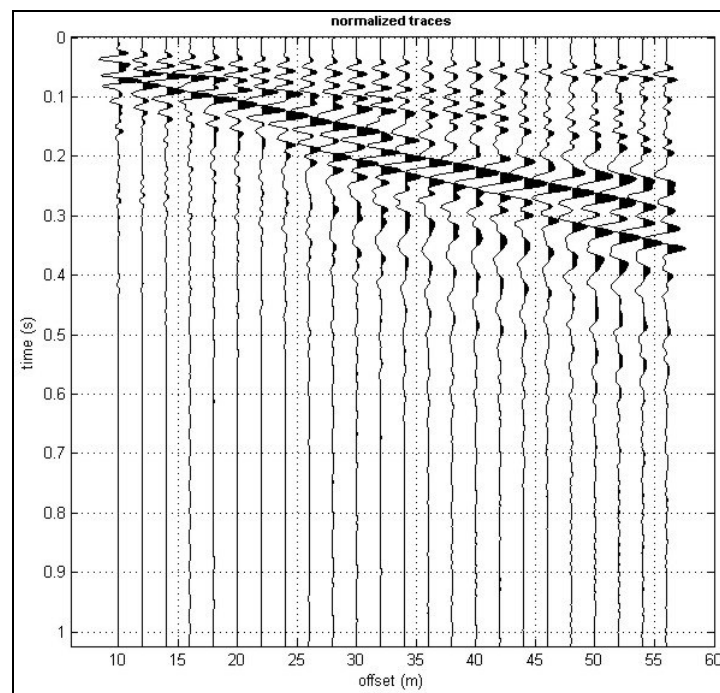
un terreno stratificato, subiscono una sorta di dispersione con velocità di propagazione che dipende dalla frequenza.

Le componenti a frequenza minore penetrano più in profondità per cui hanno una maggior velocità di fase.

Elaborazione dati - Software

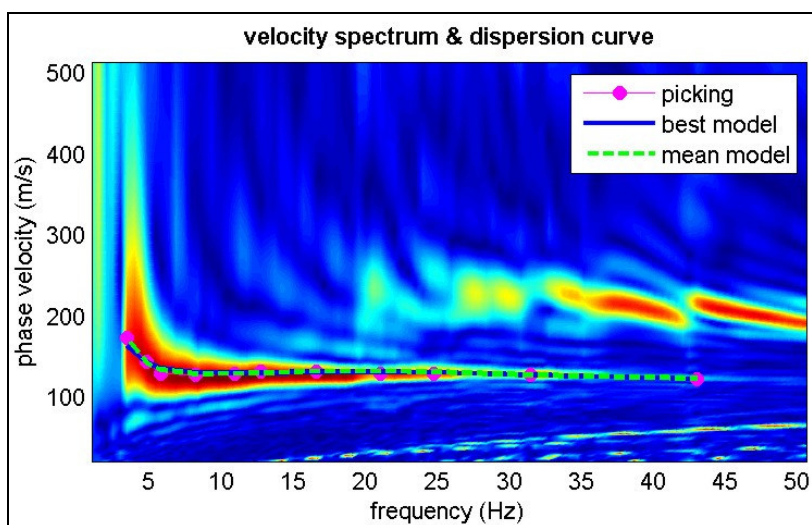
Per le analisi dei dati acquisiti si è adottato il software *winMASW 4.8 Pro* (www.eliosoft.it).

Per ricostruire il profilo verticale della velocità delle onde di taglio (VS), i dati acquisiti sono stati elaborati tramite i seguenti passaggi: determinazione spettro di velocità, identificazione curve di dispersione, inversione/modellazione di queste ultime.

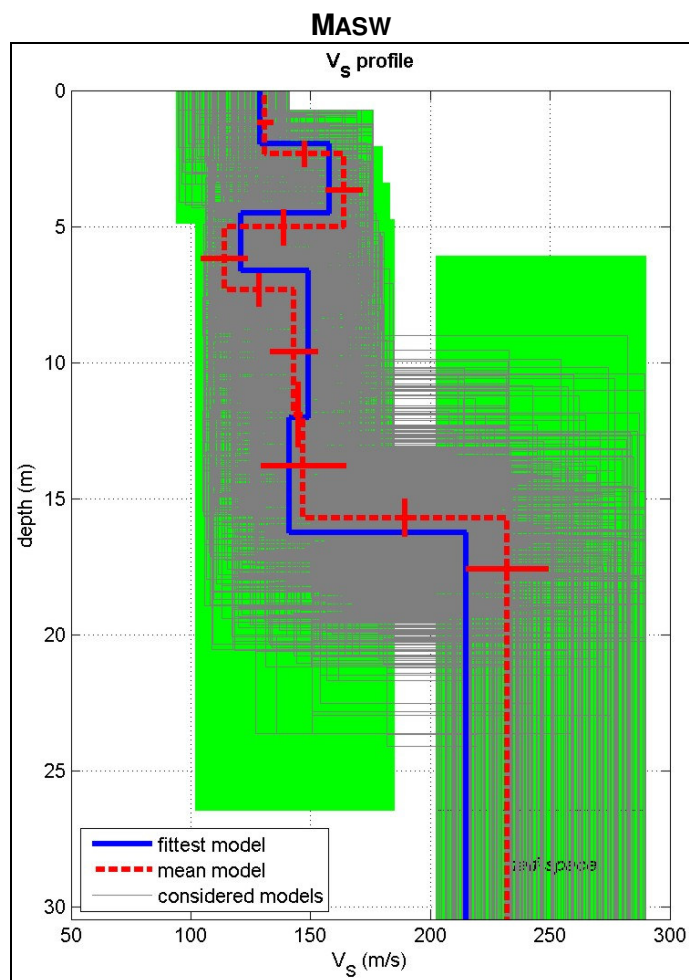


Esempio di Dataset utilizzato con le tracce in arrivo ai geofoni.

Di seguito si riporta lo spettro di velocità sul quale viene identificata la curva di dispersione.



Di seguito si riporta il profilo verticale delle Vs (Allegato 1).



Tutti i risultati ottenuti ed i diagrammi di elaborazione delle Masw sono riportati nelle schede in All. 1.

4.2.2 ANALISI SISMICA PASSIVA DEI MICROTREMORI CON TECNICA HVSR – ALLEGATO 2

Nelle aree di indagine sono state condotte acquisizioni con tecnica HVSR tramite registrazione con tromografo di rumore sismico ambientale di fondo (microtremore). L'indagine si pone come obiettivo preminente l'individuazione delle diverse frequenze di risonanza del terreno il tutto, nell'ottica di valutare eventuali fenomeni di amplificazione del moto sismico nel terreno d'indagine.

Strumentazione utilizzata

La registrazione di rumore sismico ambientale è stata effettuata tramite tromografo digitale *Tromino* della *Micromed s.p.a*; tale strumento permette sia l'acquisizione digitale in alta risoluzione in modo passivo/non intrusivo che il pre-processing dei dati. Esso è costituito da tre velocimetri elettrodinamici ortogonali (N-S, E-W e UP-DOWN) autobloccanti in fase di non acquisizione.

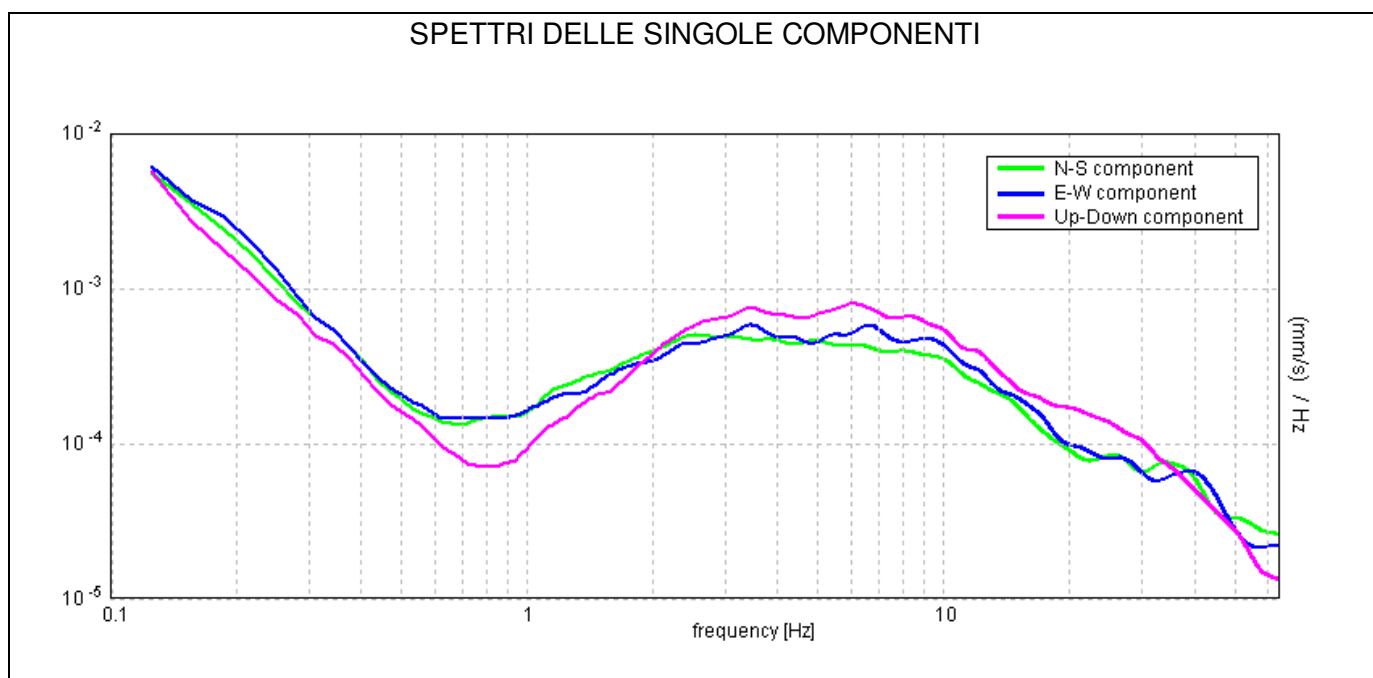
Qui di seguito vengono riportate le caratteristiche tecniche dello strumento impiegato.

SPECIFICHE TECNICHE													
Costruttore:	Micromed S.P.A. via Giotto 2 - 31020 - Mogliano Veneto (TV) - Italia tel. +39-041-5937000 fax +39-041-5937011 e-mail: info@tromino.it support@tromino.it												
Apparato:	TROMINO® sistema ultraportatile di acquisizione del rumore sismico												
Classificazione:	- CISPR 11 - EN 55011 (appareati a radiofrequenza Industrial, Scientifici e Medicali (ISM) - Caratteristiche disturbi radio - Limiti e metodi di misura), Gruppo1 Classe B.												
Conformità agli standard:	EN 55011, IEC 61000-4-2, IEC 61000-4-4, IEC 61000-4-3.												
Alimentazione	2 x 1.5 V _{DC} AA, batterie alcaline												
Voltaggio Interno	+3.3 V, +3.6 V per la sezione analogica												
Potenza utilizzata	75 mW (GPS inattivo), 450 mW (GPS attivo)												
Durata Batteria	80 h in continuo, GPS inattivo												
Numero canali	7 + 1 analogico												
Amplificatori	tutti i canali con ingressi differenziali												
Rumore	< 0.5 µV r.m.s. @ campionamento 128Hz												
Impedenza in ingresso	10 ⁵ Ω												
Intervallo di frequenza	DC - 360 Hz												
Frequenza campionamento	16384 Hz per canale												
Frequenza sovracamp.	32x, 64x, 128x												
Risoluzione A/D	24 bit equivalenti												
Max ingresso analogico	51.2 mV (781 mV/digit)												
Display	grafico, 128 x 64 pixel, retroilluminato												
Tastiera	soft-touch, 4 tasti												
Orologio	interno permanente con data e allarme, può essere visualizzato durante l'acquisizione												
GPS	12 canali con marcatempo (precisione 1 µs)												
Livellamento	a bolla, alta precisione orizzontale, sensibilità 5' arco (0.083°)												
Connessioni	Porta USB tipo B												
Registrazione dati	memoria interna standard 512 Mb, opzionale fino a 2 Gb												
Dimensioni e peso	10 x 14 x 7.7 (altezza) cm 1.1 kg Contenitore in alluminio												
Accoppiamento al terreno	piedini o cuscino reologico												
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Condizioni ambientali per l'uso</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>temperatura - 10 / +70°C</td> </tr> <tr> <td></td> <td>umidità 0-90% senza condensa</td> </tr> <tr> <td>Impermeabilità</td> <td>Indice di protezione IP → 65 (a prova di polvere e schizzi)</td> </tr> <tr> <td>Sensori</td> <td>↕ 3 velocimetri elettrodinamici ortogonali Auto-bloccanti quando non acquisiscono Correzione elettronica ed attraverso il software <i>Grilla</i> per la risposta in frequenza dei sensori</td> </tr> <tr> <td>Intervallo frequenza di lavoro</td> <td>0.1 - 256 Hz.</td> </tr> </tbody> </table>		Condizioni ambientali per l'uso			temperatura - 10 / +70°C		umidità 0-90% senza condensa	Impermeabilità	Indice di protezione IP → 65 (a prova di polvere e schizzi)	Sensori	↕ 3 velocimetri elettrodinamici ortogonali Auto-bloccanti quando non acquisiscono Correzione elettronica ed attraverso il software <i>Grilla</i> per la risposta in frequenza dei sensori	Intervallo frequenza di lavoro	0.1 - 256 Hz.
Condizioni ambientali per l'uso													
	temperatura - 10 / +70°C												
	umidità 0-90% senza condensa												
Impermeabilità	Indice di protezione IP → 65 (a prova di polvere e schizzi)												
Sensori	↕ 3 velocimetri elettrodinamici ortogonali Auto-bloccanti quando non acquisiscono Correzione elettronica ed attraverso il software <i>Grilla</i> per la risposta in frequenza dei sensori												
Intervallo frequenza di lavoro	0.1 - 256 Hz.												

In ogni sito d'indagine sono state effettuate n°2 acquisizioni da 16-20 min ciascuna.

Le registrazioni sono state effettuate su terreni mediamente compatti; a tal proposito si specifica che sono stati eliminati i primi centimetri di terreno pulendo e regolarizzando il piano di posa al fine di un corretto posizionamento/funzionamento dello strumento.

L'elaborazione dei dati è stata effettuata tramite il software *Grilla vers. 6.1* in dotazione allo strumento; esso permette di definire gli spettri delle singole componenti (N-S, E-W e UP-DOWN), di effettuare le analisi H/V e di valutare eventualmente la VS30.

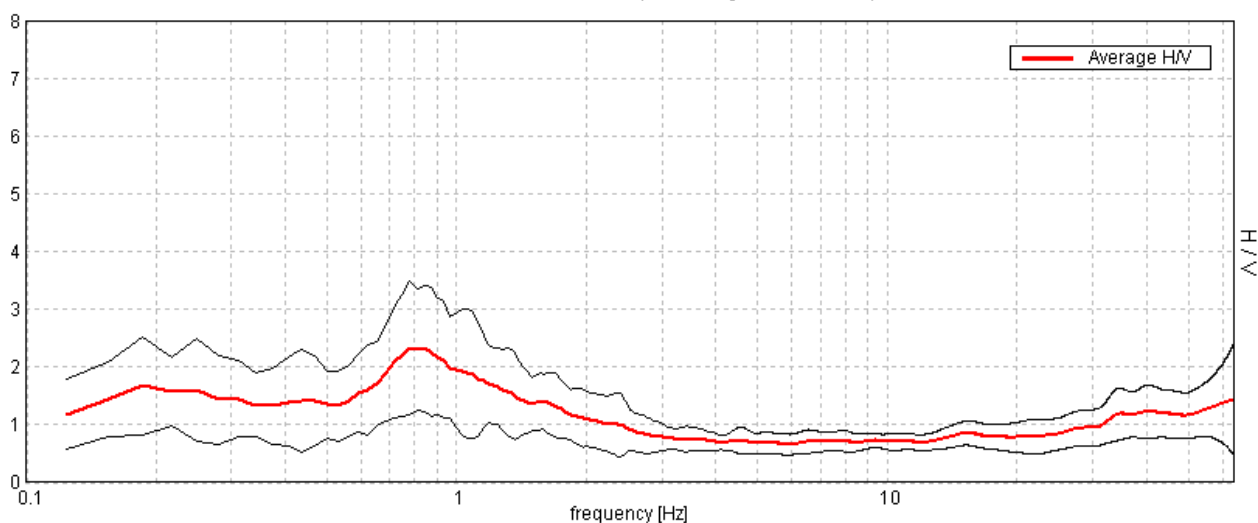


Interpretazione dei dati

L'ipotesi alla base della metodologia di elaborazione è che essendo i microtremiti causati prevalentemente dalle onde di Rayleigh, la componente verticale del moto non subisce fenomeni di amplificazione in corrispondenza di marcati contrasti di impedenza sismica, mentre detto fenomeno avviene per le componenti orizzontali, soprattutto in corrispondenza della frequenza fondamentale di risonanza (F_0) dei terreni indagati. Eseguendo quindi il rapporto tra gli spettri di frequenza orizzontale e verticale (H/V) si ottiene un grafico in cui si evidenziano le frequenze in cui si hanno i maggiori effetti di amplificazione locale.

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

Max. H/V at 0.84 ± 0.11 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



In fase di elaborazione dati, inoltre, è stata eseguita anche un'analisi H/V con una percentuale di *smoothing* inferiore ovvero pari all'1% in modo tale da individuare i vari i picchi antropici e le loro frequenze; tale analisi conferma, sostanzialmente, che i picchi H/V alle frequenze individuate sono di natura stratigrafica.

Il software GRILLA permette di determinare i rapporti medi fra le componenti spettrali del rumore misurate sul piano orizzontale e verticale. A questo scopo, la serie di rumore ambientale è stata suddivisa in una serie di finestre temporali di uguale durata (finestre di 20 secondi) per ciascuna delle quali è stato determinato lo spettro del moto. Su ciascuna di queste finestre viene calcolato lo spettro di ampiezza del segnale nelle tre componenti. In questa fase è stata applicato un sistema di lisciamento (*smoothing*) triangolare del 10% adottato per la determinazione dello spettro.

Dopo un opportuno lisciamento, le ordinate spettrali del moto sul piano orizzontale, ottenute mediando opportunamente i valori ottenuti nelle due direzioni principali, sono state divise per quelle ottenute nella direzione verticale.

L'andamento dei rapporti spettrali è stato quindi ottenuto mediando i valori ottenuti per le diverse finestre temporali considerate. Per definire la qualità delle misure sono state anche valutate le variazioni temporali e azimutali dei rapporti spettrali nel corso della sessione di misura e fatta una stima del relativo intervallo di confidenza.

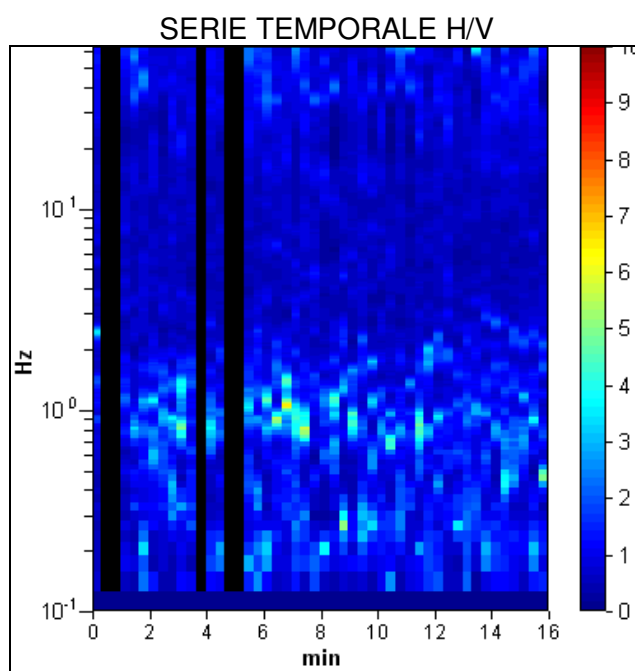
Di seguito sarà brevemente descritta la procedura di analisi seguita:

- Ciascuna delle tracce è suddivisa in segmenti o finestre di 20 secondi.
- In ogni finestra e per ciascuna delle tracce viene eseguita:
 - un'analisi preliminare: eliminazione di trend lineari (*detrend*) e *tapering* delle estremità.
 - la trasformata di Fourier (FFT)
 - il lisciamento degli spettri con finestra triangolare ampia una frazione della frequenza centrale (in questo lavoro generalmente il 10%).
- Le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali vengono mediate in modo geometrico, e vengono calcolati i rapporti HVSR (f), in ciascuna finestra temporale.
- Si calcolano i rapporti HVSR medi ed il relativo intervallo di confidenza al 95%. Alla frequenza di risonanza viene associata una stima dell'incertezza sperimentale.

Lo spettro relativo alla componente orizzontale viene ottenuto effettuando la media (solitamente geometrica) delle due componenti spettrali del rumore sul piano orizzontale. La combinazione delle stime ottenute nelle diverse finestre temporali viene poi utilizzata per costruire la funzione H/V finale e stimare il relativo intervallo di confidenza. In particolare, la funzione H/V è ottenuta facendo la media dei valori delle funzioni H/V calcolate in ogni finestra temporale.

Per verificare se le misure sono state effettuate in condizioni ottimali per i fini geognostici (campo d'onde diffuso), oltre alla stima della curva H/V, risulta quindi utile valutare l'eventuale presenza di

fenomeni direzionali (eterogeneità del campo di rumore) e la stabilità nel tempo della funzione H/V durante la misura (stazionarietà). In presenza di un campo di rumore diffuso il valore della funzione H/V non deve cambiare nel tempo o al variare della direzione. Al contrario, la presenza di sorgenti dominanti o il cattivo posizionamento dello strumento (basculamento) si manifesta come una variazione direzionale e/o temporale dei rapporti H/V.



Sperimentalmente, l'analisi di qualità della misura può essere effettuata confrontando le ampiezze spettrali medie del rumore misurato lungo le due componenti orizzontali, oppure calcolare diversi valori della funzione H/V di volta in volta proiettando lungo direzioni differenti le ampiezze spettrali ottenute sul piano orizzontale. La stazionarietà nel tempo, invece, può essere valutata rappresentando in funzione del tempo le funzioni H/V ottenute nelle diverse finestre temporali considerate.

5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

Il moto sismico di un determinato territorio è direttamente influenzato dalle condizioni geologiche e morfologiche locali.

Alcuni depositi e forme morfologiche possono amplificare il moto sismico in superficie e favorire fenomeni d'instabilità dei terreni quali cedimenti, o fenomeni di liquefazione. Queste modificazioni dovute alle caratteristiche locali sono comunemente definite "effetti locali".

Esiste ormai un generale accordo su quali depositi e forme del paesaggio possono, durante o a seguito di un terremoto, determinare amplificazioni del moto sismico in superficie o concorrere a modificare in maniera permanente l'assetto del territorio causando cedimenti, franamenti e rotture del terreno.

Le conoscenze territoriali oggi disponibili, soprattutto grazie alle carte geologiche, alle banche dati geognostiche, alle carte topografiche e ai modelli digitali del terreno, permettono la rapida individuazione degli elementi geologici e morfologici che possono favorire gli effetti locali.

In particolare l'obiettivo è di individuare le seguenti zone omogenee:

1. **Zone stabili a):** non s'ipotizzano effetti di alcuna natura, se non lo scuotimento, funzione dell'energia e della distanza dell'evento; sono le zone dove è affiorante il bedrock sismico con morfologia pianeggiante o poco inclinata (pendii con inclinazione inferiore a circa 15°-20°);
2. **Zone stabili suscettibili di amplificazione b):** sono attese amplificazione del moto sismico, come effetto della situazione litostratigrafia e morfologica locale; per le zone di questa categoria sono definiti numericamente dei valori dei fattori di amplificazione delle accelerazioni FA e delle velocità FV; in tali zone sono presenti terreni di copertura, coltri di alterazione del substrato, substrato molto fratturato o substrato caratterizzato da velocità di propagazione delle onde di taglio ($V_s < 800$ m/s) con spessori superiori ai 5 m; le litologie alle quali si assimilano quelle presenti sul territorio sono:
 - riporto antropico;
 - terreni a comportamento granulare: ghiaia, ghiaia/sabbiosa-sabbia/ghiaiosa, sabbia, sabbia/limosa-limo/sabbioso;
 - terreni a comportamento coesivo: limo, limo/argilloso-argilla/limosa e argilla;
 - deposito alluvionale a granulometria mista o indistinta;
 - substrato caratterizzato da $V < 800$ m/s;

3. **Zone suscettibili d'instabilità c):** gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio; le zone identificano i seguenti effetti deformativi:
- liquefazione; aree con terreni sabbiosi, sabbioso-limosi o sabbioso-ghiaiosi, nelle quali la superficie della falda freatica e delle eventuali falde in pressione si trova a profondità inferiori di 15 m dal piano campagna;
 - cedimenti differenziali: area di contatto stratigrafico o tettonico di litotipo con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse;
 - faglie attive e capaci: distinte per tipo di faglia (diretta, inversa, trascorrente) e per tratto accertato o tratto inferito;
 - forme di superficie: orlo di scarpata morfologica (10 – 20 m, > 20 m); orlo di terrazzo fluviale (10 – 20 m, > 20 m); picco isolato; cresta; conoide alluvionale; falda detritica;
 - forme/elementi sepolti: scarpata; valle (valle stretta $c > 0.25$, valle larga $c < 0.25$; dove “c” è il coefficiente di forma $c = h/l$, h lo spessore della coltre alluvionale e l la sua semiampiezza); area con cavità sepolte.

La zonazione del territorio sulla base della risposta sismica del terreno è uno dei più efficaci strumenti di definizione e rappresentazione della pericolosità sismica e, quindi, di prevenzione e riduzione del rischio sismico, poiché fornisce un contributo essenziale per l'individuazione delle aree a maggiore pericolosità sismica e agevola la scelta delle aree urbanizzabili con minor rischio e la definizione degli interventi ammissibili.

La carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica è stata realizzata secondo le procedure indicate negli *“Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica”* (D.A.L. 112/2007).

I dati di base disponibili utilizzati sono:

- Carta geologico tecnica (Tav. 2.1 e 2.2);
- Sezioni geologiche (Tav. 3);
- legenda della Carta geologica (Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli);
- banca dati della Carta geologica di pianura 1:25.000 della Regione Emilia-Romagna (Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli);
- indagini geognostiche esistenti.

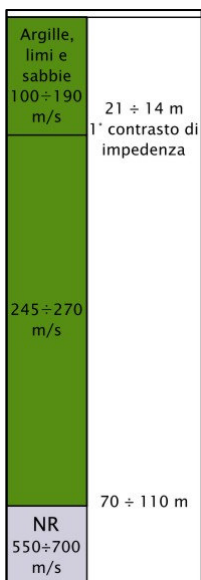
Dalla cartografie tematiche e dalle indagini sopra citate sono stati individuate i seguenti dati:

1. Tipo, spessore e natura dei terreni di copertura;
2. Tipo e natura del substrato geologico;
3. Forme di instabilità: cedimenti, liquefazione;

Le aree indagate con il presente studio sono state nel complesso suddivise in **4 modelli di sottosuolo rappresentativi**, che poi nella carta delle MOPS diventeranno 4 microzone omogenee principali (v. tav. 6.1-6.2).

Di seguito se ne riporta una colonna stratigrafica rappresentativa e una breve descrizione.

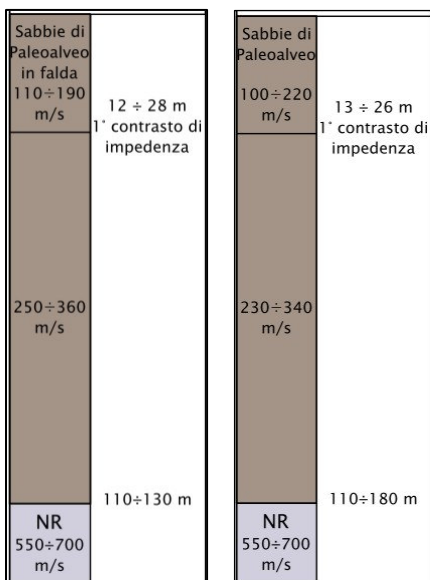
ZONA STABILE SUSCETTIBILE DI AMPLIFICAZIONE LOCALI - ZONA 1



La zona 1 comprende aree di pianura caratterizzate da substrato geologico non rigido NR (bedrock sismico light - $V_s > 600 \div 700$ m/sec) situato a profondità di oltre 100 m, con sequenza litostratigrafica di origine fluviale.

Sono presenti argille variamente compatte, limi, limi sabbiosi per lo più poco addensati, e sabbie.

ZONA SUSCETTIBILE DI INSTABILITÀ - LIQUEFAZIONE



La zona comprende aree di pianura caratterizzate da substrato geologico non rigido NR (bedrock sismico light - $V_s > 550 \div 700$ m/sec) situato a profondità di oltre 100 m, con sequenza litostratigrafica di origine fluviale.

Sono presenti:

- corpi sabbiosi con significativa estensione laterale e spessore complessivo ≥ 5 m, in presenza di falda freatica. Si tratta per lo più di corpi superficiali legati alla presenza di paleovalvei.
- aree interessate dalla potenziale presenza di corpi sabbiosi; si tratta di paleovalvei di dimensioni significative ed espressione morfologica talvolta pronunciata (dislivello > 2 m dal p.c. locale).

È richiesto il terzo livello di approfondimento

ZONA SUSCETTIBILE DI INSTABILITÀ – CEDIMENTI DIFFERENZIALI

Terreni coesivi scadenti > 5 m 100÷190 m/s	13 ÷ 22 m 1° contrasto di impedenza
260÷310 m/s	
NR 550÷700 m/s	110÷140 m

La zona comprende aree di pianura caratterizzate da substrato geologico non rigido NR (bedrock sismico light - $V_s > 550 \div 700$ m/sec) situato a profondità di oltre 100 m, con sequenza litostratigrafica di origine fluviale.

Sono presenti terreni coesivi con spessori ≥ 5 m e caratteristiche geomeccaniche scadenti ($C_u < 70$ kPa). Frequentemente gli spessori rilevati raggiungono i 10 m, con C_u medie dell'ordine di 50 kPa.

È richiesto il terzo livello di approfondimento

ZONA SUSCETTIBILE DI INSTABILITÀ – SOVRAPPOSIZIONE DI ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITÀ

Questa zona comprende aree di pianura caratterizzate da substrato geologico non rigido NR (bedrock sismico light - $V_s > 550 \div 700$ m/sec) situato a profondità di oltre 100 m, con sequenza litostratigrafica di origine fluviale.

Sono presenti terreni che possono essere oggetto sia di potenziale liquefazione che di cedimenti differenziali.

È richiesto il terzo livello di approfondimento

Al di fuori delle zone sopra descritte e quindi esternamente alle aree urbanizzate e suscettibili di trasformazioni urbanistiche, concordate con il Comune, si rilevano aree di pianura caratterizzate da substrato geologico non rigido NR (bedrock sismico light - $V_s > 550 \div 700$ m/sec) situato a profondità di oltre 100 m, con sequenza litostratigrafica di origine fluviale.

Si tratta di aree in cui sono state condotte indagini sismiche (MASW + HVSR) ma si ha carenza o assenza di dati litostratigrafici; pertanto non sono state cartografate ai fini del presente studio di microzonazione sismica.

Solo l'esecuzione di indagini geognostiche, tese all'individuazione della natura e consistenza delle litologie di sottosuolo, potrà permettere di individuare l'effetto locale atteso ed il conseguente livello di approfondimento richiesto.

6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

LIMITAZIONI DELLO STUDIO

Occorre evidenziare che il presente studio è stato effettuato sui dati disponibili per il territorio in esame. In particolare i dati stratigrafici, utilizzati per la costruzione del modello geologico e delle sezioni geologiche, derivano principalmente:

- dalle carte geologiche della Regione Emilia Romagna ;
- dalle stratigrafie di pozzi;
- nelle aree d'indagine, che comprendono il territorio urbanizzato e di futura urbanizzazione, sono presenti raramente sondaggi a carotaggio continuo; sono disponibili invece numerose prove penetrometriche;
- le prove geofisiche utilizzate esistenti e nuove, sono tutte di tipo indiretto di superficie e discretamente distribuite; non sono presenti misure geofisiche di tipo dirette eseguite in foro di sondaggio (downhole);
- l'attribuzione dei parametri geofisici alle unità geologiche del sottosuolo e la determinazione della profondità del bedrock sono state effettuate su un numero di dati ritenuto sufficiente;

Livelli di attendibilità da assegnare ai risultati ottenuti dall'analisi

Dati	Attendibilità	Tipologia
Litologici (da bibliografia)	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Media	Da indagini dirette ubicate nelle aree di studio
	Alta	Da prove di laboratorio su campioni e da prove in sito
Stratigrafici (spessori)	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Media	Da prove indirette (penetrometriche e/o geofisiche)
	Alta	Da indagini dirette (sondaggi a carotaggio continuo)
Geofisici (Vs)	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Media	Da prove indirette (Masw, Hvsr) e relazioni empiriche
	Alta	Da prove dirette (sismica in foro)

Il livello di attendibilità dello studio di microzonazione, in relazione alle informazioni utilizzate, è quindi da ritenersi **medio**.

I risultati della modellazione effettuata, che sono evidentemente condizionati dalla qualità delle informazioni stratigrafiche e sulle caratteristiche geotecniche e sismiche, non devono essere considerati come valori assoluti, ma solo come indicatori della possibilità che si manifestino fenomeni di amplificazione sismica.

Gli studi effettuati confermano il rischio di amplificazione sismica di tipo stratigrafico in tutto il territorio comunale.

Occorre quindi che per ogni intervento edilizio siano effettuate indagini geognostiche e geofisiche di approfondimento e specifiche valutazioni del rischio di amplificazione sismica.

7. RISULTATI

Ad integrazione delle indagini pregresse sono state realizzate le seguenti nuove indagini geofisiche:

- n° 43 Masw
- n° 56 Hvsr

7.1 PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE -MASW

Tutte le indagini Masw hanno permesso di determinare parametri essenziali quali:

- velocità delle onde S fino a 30 m di profondità (Vs30 (m/s));
- profondità del 1° contrasto d'impedenza (m);
- velocità del primo contrasto d'impedenza (m/s)
- profondità del substrato sismico limgt (m/s)
- fattori d'amplificazione FA (DAL RER 112/07)

Di seguito si riportano in forma schematica i risultati ottenuti.

Tabella di sintesi delle prove geofisiche MASW di nuova realizzazione

<i>Tipo e n° di prova</i>	<i>Località</i>	<i>Vs30 (m/s)</i>	<i>Prof. (m) 1°contrasto di impedenza</i>	<i>Vel. (m/s) 1°contrasto di impedenza</i>	<i>Prof. (m) Substrato sismico light (550-700 m/s)</i>	<i>FA (DAL 112/07)</i>
MASW 1	San Pietro Capofiume	173	15.7	232	100 - 110	FA _{PGA} = 1.5 FA _{0.1-0.5S} = 1.8 FA _{0.5-1S} = 2.5
MASW 2	San Pietro Capofiume	198	22.5	358	110 - 120	FA _{PGA} = 1.5 FA _{0.1-0.5S} = 1.8 FA _{0.5-1S} = 2.5
MASW 3	San Pietro Capofiume	188	21.1	261	100 - 110	FA _{PGA} = 1.5 FA _{0.1-0.5S} = 1.8 FA _{0.5-1S} = 2.5
MASW 4	San Pietro Capofiume	169	25.7	363	120 - 130	FA _{PGA} = 1.5 FA _{0.1-0.5S} = 1.8 FA _{0.5-1S} = 2.5
MASW 5	San Pietro Capofiume	179	13.4	228	120 - 130	FA _{PGA} = 1.5 FA _{0.1-0.5S} = 1.8 FA _{0.5-1S} = 2.5
MASW 6	San Pietro Capofiume	183	18.6	313	160 - 180	FA _{PGA} = 1.5 FA _{0.1-0.5S} = 1.8 FA _{0.5-1S} = 2.5
MASW 7	San Pietro Capofiume	181	26.3	321	-	FA _{PGA} = 1.5 FA _{0.1-0.5S} = 1.8 FA _{0.5-1S} = 2.5
MASW 8	Guarda	197	17.8	287	140 - 150	FA _{PGA} = 1.5 FA _{0.1-0.5S} = 1.8 FA _{0.5-1S} = 2.5
MASW 9	Guarda	210	16.5	327	90 - 100	FA _{PGA} = 1.5 FA _{0.1-0.5S} = 1.8 FA _{0.5-1S} = 2.5
MASW 10	Guarda	213	16.7	341	110 - 120	FA _{PGA} = 1.5 FA _{0.1-0.5S} = 1.8 FA _{0.5-1S} = 2.5

Tipo e n° di prova	Località	Vs30 (m/s)	Prof. (m) 1°contrasto di impedenza	Vel. (m/s) 1°contrasto di impedenza	Prof. (m) Substrato sismico light (550-700 m/s)	FA (DAL 112/07)
MASW 11	Buriane	207	21.6	288	120 - 130	FA _{PGA} = 1.5 FA _{0.1-0.5S} = 1.8 FA _{0.5-1S} = 2.5
MASW 12	San Martino in Argine	191	21.6	295	120 - 130	FA _{PGA} = 1.5 FA _{0.1-0.5S} = 1.8 FA _{0.5-1S} = 2.5
MASW 13	San Martino in Argine	198	20.5	270	120 - 130	FA _{PGA} = 1.5 FA _{0.1-0.5S} = 1.8 FA _{0.5-1S} = 2.5
MASW 14	San Martino in Argine	215	14.3	309	130 - 140	FA _{PGA} = 1.5 FA _{0.1-0.5S} = 1.8 FA _{0.5-1S} = 2.5
MASW 15	Miravalle	210	22.2	317	–	FA _{PGA} = 1.5 FA _{0.1-0.5S} = 1.8 FA _{0.5-1S} = 2.5
MASW 16	Miravalle	219	16.4	338	130 - 140	FA _{PGA} = 1.5 FA _{0.1-0.5S} = 1.8 FA _{0.5-1S} = 2.5
MASW 17	Miravalle	207	17.7	307	120 - 130	FA _{PGA} = 1.5 FA _{0.1-0.5S} = 1.8 FA _{0.5-1S} = 2.5
MASW 18	Selva Malvezzi	210	15.0	280	100 - 110	FA _{PGA} = 1.5 FA _{0.1-0.5S} = 1.8 FA _{0.5-1S} = 2.5
MASW 19	Selva Malvezzi	202	19.9	319	140 - 150	FA _{PGA} = 1.5 FA _{0.1-0.5S} = 1.8 FA _{0.5-1S} = 2.5
MASW 20	Selva Malvezzi	202	18.4	283	140 - 150	FA _{PGA} = 1.5 FA _{0.1-0.5S} = 1.8 FA _{0.5-1S} = 2.5
MASW 21	Selva Malvezzi	215	15.4	327	120 - 130	FA _{PGA} = 1.5 FA _{0.1-0.5S} = 1.8 FA _{0.5-1S} = 2.5
MASW 22	Selva Malvezzi	203	20.8	321	–	FA _{PGA} = 1.5 FA _{0.1-0.5S} = 1.8 FA _{0.5-1S} = 2.5
MASW 23	Molinella	170	15.3	242	120 - 130	FA _{PGA} = 1.5 FA _{0.1-0.5S} = 1.8 FA _{0.5-1S} = 2.5
MASW 24	Molinella	182	20.0	362	80 - 90	FA _{PGA} = 1.5 FA _{0.1-0.5S} = 1.8 FA _{0.5-1S} = 2.5
MASW 25	Molinella	197	13.3	291	120 - 130	FA _{PGA} = 1.5 FA _{0.1-0.5S} = 1.8 FA _{0.5-1S} = 2.5
MASW 26	Molinella	206	13.5	329	110 - 120	FA _{PGA} = 1.5 FA _{0.1-0.5S} = 1.8 FA _{0.5-1S} = 2.5
MASW 27	Molinella	187	16.0	347	120 - 130	FA _{PGA} = 1.5 FA _{0.1-0.5S} = 1.8 FA _{0.5-1S} = 2.5
MASW 28	Molinella	190	12.3	254	120 - 130	FA _{PGA} = 1.5 FA _{0.1-0.5S} = 1.8 FA _{0.5-1S} = 2.5
MASW 29	Molinella	181	14.4	297	110 - 120	FA _{PGA} = 1.5 FA _{0.1-0.5S} = 1.8 FA _{0.5-1S} = 2.5

Tipo e n° di prova	Località	Vs30 (m/s)	Prof. (m) 1° contrasto di impedenza	Vel. (m/s) 1° contrasto di impedenza	Prof. (m) Substrato sismico light (550-700 m/s)	FA (DAL 112/07)
MASW 30	Molinella	172	13.6	269	100 – 110	FA _{PGA} = 1.5 FA _{0.1-0.5S} = 1.8 FA _{0.5-1S} = 2.5
MASW 31	Molinella	165	14.0	264	110 – 120	FA _{PGA} = 1.5 FA _{0.1-0.5S} = 1.8 FA _{0.5-1S} = 2.5
MASW 32	Molinella	190	13.9	246	70 – 80	FA _{PGA} = 1.5 FA _{0.1-0.5S} = 1.8 FA _{0.5-1S} = 2.5
MASW 33	Molinella	187	18.0	372	70 – 80	FA _{PGA} = 1.5 FA _{0.1-0.5S} = 1.8 FA _{0.5-1S} = 2.5
MASW 34	Molinella	170	15.3	288	130 – 140	FA _{PGA} = 1.5 FA _{0.1-0.5S} = 1.8 FA _{0.5-1S} = 2.5
MASW 35	Marmorta	172	17.1	265	120 – 130	FA _{PGA} = 1.5 FA _{0.1-0.5S} = 1.8 FA _{0.5-1S} = 2.5
MASW 36	Marmorta	168	19.7	284	120 – 130	FA _{PGA} = 1.5 FA _{0.1-0.5S} = 1.8 FA _{0.5-1S} = 2.5
MASW 37	Marmorta	162	18.7	320	–	FA _{PGA} = 1.5 FA _{0.1-0.5S} = 1.8 FA _{0.5-1S} = 2.5
MASW 38	Cà Sant'Uberto	167	16.6	289	70 – 80	FA _{PGA} = 1.5 FA _{0.1-0.5S} = 1.8 FA _{0.5-1S} = 2.5
MASW 39	Borgo Zanolini	135	14.0	177	80 – 90	FA _{PGA} = 1.5 FA _{0.1-0.5S} = 1.8 FA _{0.5-1S} = 2.5
MASW 40	Ponte Stoppino	130	20.0	247	100 – 110	FA _{PGA} = 1.5 FA _{0.1-0.5S} = 1.8 FA _{0.5-1S} = 2.5
MASW 41	Tenuta Principe	143	13.6	227	70 – 80	FA _{PGA} = 1.5 FA _{0.1-0.5S} = 1.8 FA _{0.5-1S} = 2.5
MASW 42	Chiesuola della Barabana	195	15.3	283	150 – 160	FA _{PGA} = 1.5 FA _{0.1-0.5S} = 1.8 FA _{0.5-1S} = 2.5
MASW 43	Podere Biondino	176	13.2	225	110 – 120	FA _{PGA} = 1.5 FA _{0.1-0.5S} = 1.8 FA _{0.5-1S} = 2.5

7.2 ANALISI SISMICA PASSIVA DEI MICROTREMORI – HVSR

Le indagini hanno verificato:

- valore di f_0 corrispondente al picco significativo a più bassa frequenza (fr. di risonanza fondamentale)
- valore di f_{1-2} corrispondente ad altri picchi significativi a più alta frequenza

Nel caso di spettri in cui sono stati individuati più di un picco di frequenza, quello più significativo è stato scelto in base ai seguenti parametri valutativi in ordine di importanza: - valore di frequenza in funzione alla tipologia edilizia (n° piani), - ampiezza del picco.

Tabella di sintesi delle prove geofisiche – HVSR

Tipo e n° di prova	Località	f_0(hz)	Amp f_0(n°)	f_1(hz)	Amp f_1 (n°)
HVSR 1	San Pietro Capofiume	0.94	1.90		
HVSR 2	San Pietro Capofiume	0.91	1.88		
HVSR 3	San Pietro Capofiume	0.94	1.86		
HVSR 4	San Pietro Capofiume	0.81	1.9		
HVSR 5	San Pietro Capofiume	0.81	1.8		
HVSR 6	San Pietro Capofiume	0.56	1.81		
HVSR 7	San Pietro Capofiume	-	-		
HVSR 8	Guarda	0.63	1.88		
HVSR 9	Guarda	1.03	1.69		
HVSR 10	Guarda	0.88	2.01		
HVSR 11	Buriane	0.72	1.88		
HVSR 12	San Martino in Argine	0.81	1.66		
HVSR 13	San Martino in Argine	0.72	1.69		
HVSR 14	San Martino in Argine	0.69	1.69		
HVSR 15	Miravalle	-	-		
HVSR 16	Miravalle	0.69	1.55		
HVSR 17	Miravalle	0.75	1.52		
HVSR 18	Selva Malvezzi	0.94	1.77		
HVSR 19	Selva Malvezzi	0.63	1.73		
HVSR 20	Selva Malvezzi	0.63	1.69		
HVSR 21	Selva Malvezzi	0.75	1.52		
HVSR 22	Selva Malvezzi	-	-		
HVSR 23	Molinella	0.81	2.07	1.15	2
HVSR 24	Molinella	1.09	2.09		
HVSR 25	Molinella	0.81	2.03		
HVSR 26	Molinella	0.88	2.17		
HVSR 27	Molinella	0.84	2.33		
HVSR 28	Molinella	0.81	1.78		
HVSR 29	Molinella	0.88	2.10		
HVSR 30	Molinella	0.94	2.53		
HVSR 31	Molinella	0.88	2.11		

Tipo e n° di prova	Località	f0(hz)	Amp f0(n°)	f1(hz)	Amp f1 (n°)
HVSR 32	Molinella	1.19	1.57		
HVSR 33	Molinella	1.25	2.10	0.75	2
HVSR 34	Molinella	0.69	1.98		
HVSR 35	Marmorta	0.75	2.03		
HVSR 36	Marmorta	0.81	2.09		
HVSR 37	Marmorta	1.44	2.03		
HVSR 38	Cà Sant'Uberto	1.19	2.27		
HVSR 39	Borgo Zanolini	1.13	3.11		
HVSR 40	Ponte Stoppino	0.94	4.13		
HVSR 41	Tenuta Principe	1.25	1.96		
HVSR 42	Chiesuola della Barabana	0.59	1.95		
HVSR 43	Podere Biondino	0.91	2.05		
HVSR 44	Ponte del Camerone	2.59	2.07		
HVSR 45	Podere Ghiaroni	1.16	2.05		
HVSR 46	Ex Ricovero Comunale	0.91	1.91		
HVSR 47	Podere San Giovanni	0.97	1.74		
HVSR 48	La Palazzina	1.19	1.73		
HVSR 49	Selva Malvezzi	1.13	1.88		
HVSR 50	Molinella	0.94	2.69		
HVSR 51	Molinella	0.91	2.15		
HVSR 52	Podere Suzza	0.94	2.34		
HVSR 53	Aia Satina	0.88	2.08		
HVSR 54	C. Punta	1.00	2.62		
HVSR 55	Cascinone Boschetti	0.91	2.76	1.3	2.5
HVSR 56	Podere San Martino	0.88	1.77		

f₀: frequenza. di risonanza fondamentale – f₁: altra freq. significativa - Amp.: ampiezza del picco di freq.

8. ELABORATI CARTOGRAFICI

A corredo dello studio di microzonazione sismica sono state prodotte 9 tavole tematiche a scala 1:5.000/10.000:

- 1 - Carta delle indagini 1:10.000 (Tav. 1);
- 2.1/2.2 - Carta geologico tecnica 1:5.000 (Tav. 2.1-2.2);
- 3 - Sezioni geologiche (Tav. 3.1-3.2);
- 4 - Carta delle frequenze 1:10.000 (Tav. 4);
- 5 - Carta delle velocità 1:10.000 (Tav. 5);
- 6.1/6.2 - Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica 1:5.000 (Tav. 6.1-6.2);
- 7.1/7.2 - Carta di microzonazione sismica FA P.G.A. - Zona nord/sud 1:5.000 (Tav. 7.1-7.2);
- 8.1/8.2 - Carta di microzonazione sismica FA I.S. 0.1-0.5s - Zona nord/sud 1:5.000 (Tav. 8.1-8.2);
- 9.1/9.2 - Carta di microzonazione sismica FA I.S. 0.5-1.0s - Zona nord/sud 1:5.000 (Tav. 9.1-9.2);

CARTA DELLE INDAGINI – TAV 1

Nella carta delle indagini sono riportate con opportuno simbolo grafico tutte le indagini geognostiche disponibili, reperite dalla bibliografia fornita dall'Amministrazione Comunale, e le nuove eseguite a corredo del presente studio.

Il sottosuolo del territorio comunale è stato indagato per svariati scopi (ricerche d'acqua, caratterizzazione geotecnica, sismica, eccetera) nei decenni precedenti. Tutto questo materiale conoscitivo è stato raccolto ed archiviato dal Comune di Molinella, e dalla Regione Emilia-Romagna. Alcune delle prove di repertorio sono state eseguite con attrezzature fuori standard (fornendo quindi esiti inutilizzabili o non interpretabili), altre sono troppo superficiali per poter essere pienamente usate per gli scopi del presente lavoro. Le prove utilizzate in questo lavoro sono riconoscibili con sigla identificativa:

L'insieme delle conoscenze di sottosuolo di repertorio è stata utilizzata sia per orientare il programma e la localizzazione delle nuove indagini da effettuare, sia per stabilire la tipologia delle prove da realizzare. Infine l'archivio delle prove è stato utile nell'elaborazione dei modelli sismici e, soprattutto, nella loro estrapolazione territoriale.

Importante sottolineare che la distribuzione areale delle nuove prove geofisiche eseguite segue le necessità imposte dalla distribuzione geografica dei principali nuclei abitati.

In particolare sono documentate:

Indagini di repertorio:







- n° 1 Stratigrafie di Pozzi
- n° 4 Sondaggi a carotaggio continuo
- n° 10 Prove penetrometriche statiche
- n° 40 Prove penetrometriche statiche con piezocono
- n° 4 Masw

Nel database gis sono state inserite solamente le indagini significative e nel caso ben interpretabili.

Indagini di nuova realizzazione:

- n° 43 Masw
- n° 56 Hvsr

I simboli adottati sono i seguenti.

Legenda	
	Sondaggio a carotaggio continuo
	Prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)
	Prova penetrometrica statica con piezocono
	Pozzo per acqua
	Stazione microtremore a stazione singola
	MASW

CARTA GEOLOGICO TECNICA – TAV 2.1/2.2

Nella Carta geologico tecnica sono rappresentati i terreni di piana alluvionale, prodotti dalla deposizione fluviale.

L'area cartografata è stata limitata come estensione all'interno delle aree d'indagine concordate con il Comune di Molinella ed è pertanto coincidente con la carta di primo livello delle MOPS (Microzone omogenee in prospettiva sismica).

I terreni indagati possono sostanzialmente essere così cartografati:

- SM: prevalenza di corpi sabbiosi
- ML: limi argillosi, argille, sabbie limose argillose
- CL: argille, argille limose, argille sabbiose

Gli ambienti genetico-deposizionali risultano appartenenti come detto all'ambiente fluviale:

- dl: piana deltizia
- in: piana alluvionale
- es: argine/barra/canali

Per quanto riguarda il substrato geologico, su tutta l'area comunale, è assimilabile ad un bedrock sismico non rigido (light).

Di seguito la legenda specifica.

Legenda

Terreni di copertura

SMes	Sabbie limose, miscela di sabbia e limo di argine/barre/canali
SMin	Sabbie limose, miscela di sabbia e limo di bacino (piana) intramontana
SMdl	Sabbie limose, miscela di sabbia e limo di piana deltizia
MLes	Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità di argine/barre/canali
MLin	Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità di bacino (piana) intramontana
CLes	Argille inorganiche di media-basa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre di argine/barre/canali
CLin	Argille inorganiche di media-basa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre di bacino (piana) intramontana

Elementi tettonico strutturali

— Traccia della sezione geologica rappresentativa del modello del sottosuolo

Elementi geologici e idrogeologici

● ²⁶⁰ Profondità (m) sondaggio o pozzo che non ha raggiunto il substrato rigido

In Legenda, come concordato con il Dott. Martelli Luca della RER, seppur non previsti dagli Standard di rappresentazione, sono stati riportati anche i codici relativi agli ambienti genetico-deposizionali dei terreni di copertura (es, in, dl...)

SEZIONI GEOLOGICHE – TAV 3

Le zone indagate sono corredate da sezioni geologiche significative, in numero adeguato orientate sia trasversalmente sia longitudinalmente alle aree d'indagine.

Le sezioni permettono di ben schematizzare le caratteristiche geologiche generali.

Sono state rappresentate 4 sezioni geologiche per la rappresentazione strutturale del sottosuolo delle varie aree d'indagini del Comune di Molinella. Vengono ricomprese nelle tracce tutte le frazioni principali e il capoluogo.

Si sottolinea la scarsità di dati profondi.

Nelle sezioni si individuano:

- profondità del primo contrasto di impedenza (individuato con le indagini geofisiche Masw)
- tetto AES6 (individuato da note bibliografiche e talora confermato dalle indagini tomografiche HVSR)

Il primo contrasto di impedenza rappresenta un orizzonte litotecnico con valori di $V_s > 230 \div 360$ m/sec che determina un netto contrasto di rigidità con le sequenze litologiche ad esso sovrastanti contraddistinte da V_s variabili tra 100 e 190 m/sec.

Tali condizioni, possono influire significativamente sul moto sismico locale.

Detto orizzonte a maggior grado relativo di rigidità è probabilmente correlabile ad innalzamenti verso il piano campagna della base dell'unità AES8.

Per l'individuazione della profondità rispetto al piano campagna alla quale è rinvenibile l'unità litotecnica con caratteristiche di comportamento assimilabili ad un bedrock sismico light, si sono estrapolati i valori di V_s in profondità ottenuti tramite la modellazione ed interpretazione del profilo di V_s ottenuto con il fit congiunto delle prove Masw e Hvsr.

Il fit della curva H/V (Synthetic H/V) ha permesso di ricostruire in modo approssimato il profilo di V_s fino alle profondità comprese tra 80-180 m, corrispondente all'ultimo riflettore individuato dai picchi di frequenza compresi tra 0.56-1.25 Hz.

Dal confronto con le sezioni geologiche regionali si evince che la profondità di detta unità presenta un sufficiente grado di correlabilità con la quota alla quale si rinviene nel sottosuolo il tetto dell'unità AES6.

CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI DEI TERRENI – TAV 4

Questa tavola deriva da indagini di sismica passiva. Sono riportati tutti i punti di misura (**56 stazioni microtremore a stazione singola- HVSR** sulle vibrazioni ambientali), con associato il risultato della prova:

- valore di f_0 corrispondente al picco significativo
- valore di f_{1-2} corrispondente ad altri picchi significativi
- indicazione dell'assenza di picchi.

Considerando che sussiste una correlazione diretta (anche se non lineare) tra i fenomeni di “risonanza” e l'amplificazione del moto del suolo in concomitanza di sollecitazione sismica (effetti di sito), risulta evidente l'utilità di detta tipologia di indagine per individuare, come previsto dal primo livello di approfondimento degli Indirizzi e Criteri di Microzonazione Sismica, le aree a maggior rischio di doppia risonanza in relazione alla tipologia edilizia.

Per una miglior correlazione tra i risultati, i valori di f_0 sono stati associati, in termini di ranges di frequenza nelle seguenti classi:

$$f_0 < 0.7$$

$$f_0 0.7 \div 0.85$$

$$f_0 0.85 \div 1.0$$

$$f_0 > 1.0$$

Nella tavola “Frequenze Naturali Terreni” sono state individuate 4 aree con colori diversi che indicano le quattro classi di valori (vedi legenda a fianco). Mediante questa indicizzazione dei risultati è stato possibile

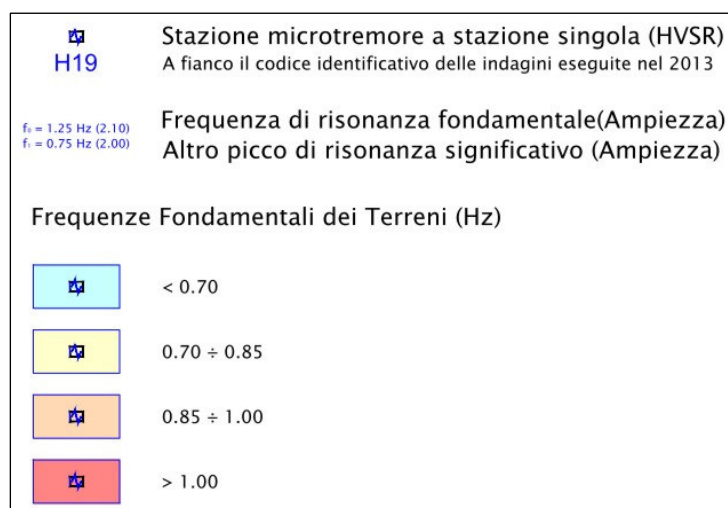
valutare la distribuzione delle classi di frequenza sul territorio ed effettuare alcune considerazioni qualitative sull'area oggetto di studio.

In generale, si individuano due ambiti principali a risposta in frequenza compresa tra $0.7 \div 0.85$ Hz e $0.85 \div 1.0$ Hz.

Valori bassi inferiori a 0.7 si rinvengono tra le località Miravalle e S. Martino in Argine e a Selva Malvezzi.

I valori più alti, maggiori di 1 (compresi tra $1 \div 1.25$) sono minoritari ma comunque sparsi più o meno uniformemente sul territorio.

I risultati possono essere distinti sulla base di alti o bassi contrasti di impedenza grazie alla quantificazione numerica dell'ampiezza massima della curva HVSR.



In gran parte dei punti di misura l'ampiezza risulta molto bassa e spesso minore di 2.

Dall'osservazione dei dati ottenuti si consiglia, in fase di studio esecutivo di ogni singola area d'intervento edilizio, di eseguire indagini HVSR d'approfondimento al fine di meglio individuare e dettagliare possibili frequenze di risonanza del terreno di fondazione potenzialmente interferenti con il modo fondamentale di vibrare delle strutture in elevazione.

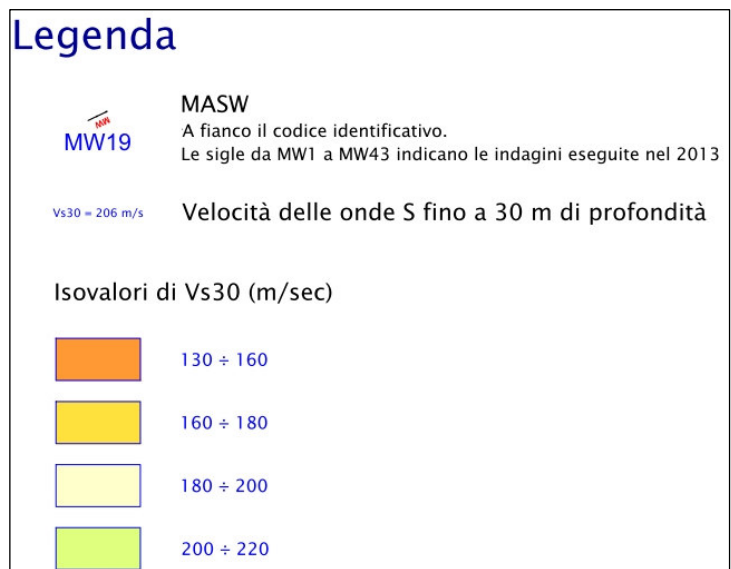
CARTA DELLE VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO S (Vs) – TAV 5

Nella carta delle velocità sono indicate con opportuno simbolo grafico le seguenti indagini geofisiche:

- 43 MASW di nuova realizzazione.

Dall'analisi dei risultati ottenuti, in generale si osserva che:

- le Vs30 ricadono in un range compreso tra 130÷219 m/s;
- circa la metà delle Masw fornisce un valore compreso tra 170-200 m/s;
- n° 13 hanno una Vs30 > 200 m/s;
- n° 9 hanno una Vs30 tra 130-170 m/s;
-
- i valori delle velocità di fondo indagine evidenziano un primo contrasto di impedenza con valori compresi tra 230-380 m/s a profondità variabili e comprese tra 13-25 m dal p.c..
- le velocità medie delle coperture sono comprese tra 100-190 m/s.



CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS) – TAV. 6.1/6.2

La Carta delle aree suscettibili di effetti locali o delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS); è il documento fondamentale del primo livello di approfondimento.

Le microzone presenti nella Carta sono classificate in tre categorie:

- a) **zone stabili (non presente nel territorio comunale di Molinella)**, nelle quali non si ipotizzano effetti locali significativi di alcuna natura e il moto sismico non viene modificato (litotipi assimilabili al substrato rigido in affioramento con morfologia pianeggiante o poco acclive); in queste zone non sono quindi richiesti ulteriori approfondimenti;
- b) **zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**, nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico, come effetto dell'assetto litostratigrafico locale.
- c) **zone suscettibili di instabilità**, nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti, oltre i fenomeni di amplificazione, sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio.

Nelle aree in studio le tipologie di instabilità attese risultano:

- *potenziale liquefazione*
- *cedimenti*

In queste zone sono richiesti approfondimenti di terzo livello.

Nella carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica, facendo riferimento alle aree d'indagine individuate dall'Amministrazione Comunale, sono state individuate 4 **zone omogenee** di cui n° 1 stabili suscettibili di amplificazione locale e n° 3 zone suscettibili di instabilità.

Le zone individuate sono state inoltre corredate dal modello geologico-sismico sotto forma di colonna stratigrafica. (VEDI CAP. 5.1).

Legenda

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

2001	<p>ZONA 1 - Aree di pianura caratterizzate da substrato geologico non rigido NR (bedrock sismico light - Vs>600-700 m/sec) situato a profondità di oltre 100m, conseguenza litostratigrafica di origine fluviale. Sono presenti argille variamente compatte, limi, limi sabbiosi per lo più poco addensati e sabbie</p>
---	---

Zone suscettibili di instabilità

3050	Liquefazioni
3080	Cedimenti differenziali
3070	Sovrapposizione di zone suscettibili di instabilità

CARTE DELLA MICROZONAZIONE SISMICA – TAV. 7-8-9

Nelle carte della microzonazione sismica di 2° livello, viene quantificato il parametro FA di amplificazione stratigrafica.

Il metodo utilizzato è quello suggerito nella DAL 112/2007 RER, Allegato A2, di cui "Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio", in merito a "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica".

Nelle seconde (suscettibili di instabilità), viene individuato l'effetto atteso e si rimanda al terzo livello di approfondimento per la quantificazione dei parametri di amplificazione e di instabilità.

L'analisi dello studio sismico (2009-2010) eseguito a corredo del PSC di Molinella e i relativi modelli geologici-litostatigrafici individuati, hanno permesso di perimetrare queste zone con i relativi potenziali effetti attesi (liquefazione e cedimenti).

Fattore di amplificazione stratigrafica

Per quanto riguarda la Delibera regionale, essa propone la definizione delle amplificazioni locali sulla base delle tabelle allegate in appendice al documento e riferite a grandi situazioni morfologico-stratigrafiche ("secondo livello" di analisi). I valori medi delle velocità delle onde di taglio nei primi 30 metri – Vs30 (per gli ambiti di pianura) sono stati calcolati tramite le prove geofisiche MASW di nuova esecuzione. Le Vs sono state implementate nelle tabelle regionali per la stima delle amplificazioni assumendo i valori relativi ai diversi contesti, ottenendo i relativi coefficiente di amplificazione F.A.

Le variabili, ricavabili dalle tabelle, utilizzate per la stima dell'amplificazione locale sono:

- F.A. P.G.A. rapporto tra la massima ampiezza dell'accelerazione su affioramento rigido ($a_{max,r}$) e la massima ampiezza dell'accelerazione alla superficie del deposito ($a_{max,s}$) alla frequenza f . Il fattore di amplificazione dipende dalla frequenza di eccitazione armonica, dal fattore di smorzamento D e dal rapporto tra l'impedenza sismica, prodotto tra densità-velocità, della roccia base e quella del deposito.
- F.A. S.I. - Intensità spettrale di Housner indicatore della pericolosità sismica, è definito come l'area sottesa dello spettro di risposta di pseudovelocità, nel nostro caso per i due intervalli di frequenze, rispettivamente da $0.1 < T_0 < 0.5$ s e da $0.5 < T_0 < 1$ s.

La stima dell'amplificazione tramite procedure semplificate con utilizzo di abachi e formule (approfondimento di secondo livello) è stata possibile in quanto l'assetto geologico è stato considerato assimilabile ad un modello fisico monodimensionale.

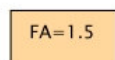
L'amplificazione litostatigrafica è stata quindi quantificata in termini di parametri di:

- FA pga, FA 0,1-0,5s, FA 0,5-1s, (Allegato A2 degli indirizzi regionali)

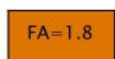
L'amplificazione litostratigrafica non è stata incrementata, in quanto non presente, con i fattori di amplificazione per cause topografiche (Allegato A2, punto A2.2, degli indirizzi regionali).

Legenda

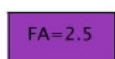
Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



FA P.G.A. = 1.5



FA I.S. 0,1- 0,5 s = 1.8



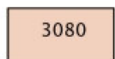
FA I.S. 0,5- 1,0 s = 2.5

L'analisi dei valori delle Vs30 ottenuti dall'esecuzioni delle n° 43 MASW di nuova realizzazione ha distinto un'unica classe di valori di FA (FA_{pga}=1.5, FA_{0,1-0,5s}=1.8, FA_{0,5-1s}=2.5).

Zone suscettibili di instabilità



Liquefazioni



Cedimenti differenziali



Sovrapposizione di zone suscettibili di instabilità

Lo studio ha permesso di individuare un unico contesto:
- PIANURA 2 (≥ 100 m da p.c.)

In Legenda, come concordato con il Dott. Martelli Luca della RER, nelle zone suscettibili di instabilità vengono graficati i codici dell'instab. Nelle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, per migliore consultazione grafica, viene riportato il valore dell'FA.

Di seguito si riporta le tabelle di calcolo per le aree in studio.

- DAL 112/2007 RER -

PIANURA 2 – Substrato profondo (≥100 m da p.c.)

F.A. P.G.A.										
Vs30	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.1	1.0	1.0
F.A. INTENSITA' SPETTRALE - 0.1s < To < 0.5s										
Vs30	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.8	1.8	1.7	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	1.0	1.0
F.A. INTENSITA' SPETTRALE - 0.5s < To < 1.0s										
Vs30	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	2.5	2.3	2.3	2.0	1.8	1.7	1.7	1.5	1.2	1.0

Lo studio di Microzonazione Sismica, attraverso i risultati ottenuti con le indagini geofisiche di nuova realizzazione (n° 43 Masw e n° 56 Hvsr), ha permesso una quantificazione numerica degli effetti di amplificazione nelle diverse zone individuate (zone stabili suscettibili di amplificazioni locali).

Il territorio studiato è stato suddiviso in zone a diversa pericolosità sismica locale e viene fornito, per le aree indagate direttamente con prove geofisiche, una stima qualitativa e quantitativa della risposta sismica locale dei depositi presenti.

Per quanto riguarda le aree suscettibili di instabilità sarà facoltà dell'Amministrazione Comunale individuare aree di interesse prioritario e pianificare studi specifici di 3° livello di approfondimento.

Le Cartografie prodotte, zonizzando il territorio in base alla sua pericolosità sismica, risultano necessarie per un'analisi del rischio sismico. Questo studio deve trovare opportuna collocazione nei settori della programmazione territoriale, della pianificazione urbanistica, della pianificazione dell'emergenza ed essere utile supporto di base per la fase della progettazione.

Gli studi di dettaglio potranno poi concorrere all'aggiornamento e approfondimento della cartografia con la quale in questo lavoro si suddivide il territorio in ambiti omogenei e in cui il fattore di amplificazione sismica dei terreni è stato necessariamente mediato.

Lo studio di microzonazione sismica dovrà rientrare fra gli elaborati del Quadro Conoscitivo che sono parte integrante del Piano Strutturale. Questo studio infatti rappresenta il primo passo per una conoscenza e consapevolezza del territorio e permetterà di calibrare ed indirizzare i futuri processi pianificatori; si tratta di un tassello basilare di un progetto di sicurezza territoriale a cui un PSC per sua natura non può prescindere.

Dott. Geol. Stefano Cavallini

Dott. Geol. Marco Santi Bortolotti

BIBLIOGRAFIA

AGIP (1969) - Italia II - Geologia e ricerca petrolifera; Pianura Padano Veneta.-Enciclopedia del petrolio e del gas naturale, ENI

Boccaletti M., Bovini M., Corti G., Gasperini P., Martelli L., Piccardi L., Severi P., Vannucchi G. (2004) – Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna. RER, SGSS, CNR, IGG Firenze S.E.L.C.A. Firenze.

Borsellini A. - Mutti E. – Ricci Lucchi F. (1989) - Rocce e Successioni sedimentarie UTET

C.N.R. (1979) - Carte preliminari di suscettibilità del territorio nazionale. Pubbl. N° 227 ESA Editrice - Roma

C.N.R. (1980) - Proposta di riclassificazione sismica del territorio nazionale - Pubblic. N° 361 ESA Editrice - Roma.

DAL 111/2007. Deliberazione dell'assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna n.112 del 2/5/2007: Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art.16 comma 1, della L.R. 20/2000 per “ Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica”. Boll. Uff. Reg. Emilia-Romagna n.64 del 17/05/2007. <http://demetra.regione.emilia-romagna.it/> o <http://www.regioneemiliaromagna.it/geologia/>

D.M 14/01/2008 Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008: Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni. Ministero delle Infrastrutture. G.U n. 29 del 4/2/2008 – Serie Generale, Suppl. Ord. N. 30

DGR1051/2011. Deliberazione della Giunta Regionale n. 1051/18/07/2011, “ Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione e concessione dei contributi di cui all'OPCM 3907/2010 e ss.mm”. Boll. Uff. Reg. Emilia-Romagna n. 120 del 02/08/2011.

ENI (1972) - Acque dolci sotterranee - ENI

Ferrari G - Postpischl D.(1981) - Le scale macrosismiche C.N.R. P.F. Geodinamica. Pubbl. N° 387. Ist. Topografia, geodesia e geofisica Mineraria, Univ. MO

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://demetra.regione.emilia-romagna.it/> o <http://www.regione.emilia-romagna.it/geologia/>

http://www.protezionecivile.it/cms/view.php?dir_pk=395&cms_pk=15833

Locati M., R. Camassi e M. Stucchi (a cura di), 2011. DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>.

Meletti C. e Valensise G., (2004). Zonazione sismogenetica ZS9-App. 2 al rapporto Conclusivo. In: “ Gruppo di Lavoro MPS (2004).

Molin D., Stucchi M., Valensise G. con la collaborazione di C. Meletti, S. Mirena, G. Monachesi, G. Morelli, L. Peruzza, A. Zerga - Massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani valutate a partire dalla banca dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia di ING/SGA Elaborato per il Dipartimento della Protezione Civile.

NOTE ILLUSTRATIVE della CARTA GEOLOGICA D'ITALIA (2009) alla scala 1:50.000, foglio 203-204-221.

OPCM 3274/2003. Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003: “ Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”. G.U. n. 155, 08/05/2003, suppl. ord. N. 72.

PSC Comune di Molinella 2010 – Studio Geologico Gaia

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.

Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998) - *Riserve idriche sotterranee della regione Emilia-Romagna*. S.EL.CA. (Firenze), 120 pp.

Relazione Geologico-Tecnica per Nido d'Infanzia “Cip e Ciop” a Molinella – 2012 – Studio Geologico Gaia

Relazione Geologico-Tecnica per Palestra a Molinella – 2012 – Studio Geologico Gaia

Rovida A., R. Camassi, P. Gasperini e M. Stucchi (a cura di), 2011. CPTI11, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>. DOI: 10.6092/INGV.IT-CPTI11

Scandone et Alii (1992) - Struttura geologica, evoluzione cinematica e schema sismotettonico della penisola italiana, Atti, Convegno GNDT.