

STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA
Dott. Geol. LORENZO DEL MASCHIO

Via Camogli 59 - 41125 Modena
Tel 347/4128277 - Fax 059/394816
e-mail delmaschio.l@alice.it
PEC delmaschio.l@epap.sicurezzapostale.it

COMUNE DI PAVULLO NEL FRIGNANO
PROVINCIA DI MODENA

OGGETTO:

STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DEL COMUNE DI PAVULLO

-RELAZIONE ILLUSTRATIVA-

OTTOBRE 2013

Dott. Geol Lorenzo Del Maschio



INDICE GENERALE

1. INTRODUZIONE	1
2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO	3
2.1. Inquadramento sismotettonico	3
2.2. Attività tettonica	4
2.3. Pericolosità sismica di base	5
3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	19
3.1 Inquadramento geologico	19
3.2 Inquadramento geomorfologico	29
4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI	34
4.1 Dati Geotecnici	34
4.2 Dati Geofisici	35
5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO	37
6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE	39
7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI	40
7.1 Premessa	40
7.2 Metodologie di elaborazione	40
7.3 Risultati	42
8. ELABORATI CARTOGRAFICI	44
8.1 Carta delle indagini	44
8.2 Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica	45
8.3 Carta delle frequenze naturali dei terreni	46
8.4 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 1)	48
8.5 Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)	56
8.6 Carta di microzonazione sismica (livello 2 o 3)	57
8.7 Commenti finali e criticità	62
9. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI	64
10. BIBLIOGRAFIA	65

1. INTRODUZIONE

Il presente lavoro, redatto ai fini della valutazione delle condizioni di sicurezza del territorio comunale di Pavullo nel Frignano (MO), è finalizzato alla riduzione del rischio sismico del territorio urbanizzato, di futuro sviluppo e delle fasce interessate dalle principali infrastrutture, per le valutazioni di pianificazione urbanistica.

Le analisi sono state eseguite in ottemperanza ai dettati delle leggi nazionali e regionali e alla Delibera di Giunta Regionale dell'Emilia Romagna n. 1302 (DGR 1302/2012), OPCM 4007/2012, "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica" del Dipartimento Protezione Civile e Conferenza delle Regioni e P.A. (Gruppo di lavoro MS, 2008).

Dal punto di vista territoriale il Comune di Pavullo nel Frignano appartiene alla fascia del medio Appennino Modenese, presenta un'estensione di 144,07 kmq, con quote che variano da un minimo di 199 m s.l.m. ad un massimo di 926 m s.l.m.. La popolazione è pari a 17435 abitanti al 31/12/2011. Il territorio comunale confina, dal punto di vista amministrativo, con i Comuni di Serramazzoni, Marano sul Panaro, Guiglia, Zocca, Montese, Sestola, Montecreto, Lama Mocogno, Polinago, tutti comuni della Provincia di Modena.

E' un territorio montano interessato da diffusi fenomeni di dissesto idrogeologico, con aree a rischio idrogeologico elevato e molto elevato, ed abitati da consolidare o da trasferire. Dal punto di vista della classificazione sismica, il territorio comunale rientra nella zona "3" (a bassa sismicità).

L'assetto insediativo presenta numerosi agglomerati urbani diversamente articolati dal punto di vista territoriale tra capoluogo e frazioni; infatti il territorio comunale, oltre al capoluogo, è articolato in n. 18 frazioni: Benedello, Camatta, Castagneto, Coscogno, Crocette, Frassinetti, Gaiato, Iddiano, Niviano, Miceno, Montebonello, Montecuccolo, Montorso, Monzone, Olina, Renno, Sassoguidano e Verica.

Nello specifico l'analisi di microzonazione sismica è stata realizzata con il contributo di cui all'OPCM 4007/2012 ed è stata sviluppata sotto il coordinamento del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna, Dr. Luca Martelli e Dr. Raffaele Pignone.

Le valutazioni di fattibilità, per le possibilità di sviluppo urbanistico del territorio comunale, sono state effettuate in funzione sia delle condizioni geologiche, strutturali e delle tipologie dei processi morfogenetici riscontrati, sia in funzione delle pericolosità sismica di base e locale delle aree di interesse.

L'analisi della pericolosità sismica dell'area del comune di Pavullo nel Frignano è stata sviluppata mediante due differenti step di lavoro:

- il primo step ha previsto la realizzazione di un approfondimento sismico di primo livello, utile per l'individuazione degli ambiti suscettibili di effetti locali in caso di eventi sismici su tutto il territorio comunale;
- il secondo step ha previsto la realizzazione di un approfondimento sismico di secondo livello, o microzonazione sismica semplificata, necessaria, per le aree sopra individuate,

per la definizione dei Fattori di Amplificazione correlati allo scuotimento sismico atteso al suolo, sulla base delle indicazioni contenute nelle disposizioni regionali e nazionali, ovvero la DAL 112/2007 e "I.C.M.S." del Dipartimento della Protezione Civile e Conferenza delle Regioni e P.A. (Gruppo di lavoro MS, 2008). Quest'ultimo livello è stato realizzato su tutto il territorio urbanizzato e di futuro sviluppo.

Le dimensioni delle aree considerate urbane e/o urbanizzabili dallo strumento urbanistico dei territori sopra elencati sono schematicamente riassunte nel seguente elenco:

LOCALITA'	ESTENSIONE Kmq
PAVULLO - CAPOLUOGO (MEDIANA MONTECUCCOLO, TORRICELLA, MICENO e CROCETTE)	3.77
MADONNA DEI BALDACCINI, CASA BOSI (BERZIGALA)	1.06
SANT'ANTONIO (ACQUABONA)	0.73
GAIATO , QUERCIAGROSSA, PIANTACROCE (NIVIANO POZZACCIA)	0.49
VERICA, CASTAGNETO (COROGNO VILLA BIBONE E MONTERASTELLO)	0.40
COSCOGNO (LE COSTE)	0.18
OLINA, RENNO DI SOPRA, RENNO DI SOTTO (CAMATTA, AMOLA)	0.14
GAIANELLO, MONZONE	0.11
MONTEBONELLO (CASA VENTURELLI)	0.05
IDDIANO, BENEDELLO (SPINZOLA)	0.04
FRASSINETI (LE SERRE)	0.03

2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Inquadramento Sismotettonico

L'orogenesi appenninica, non ancora conclusa allo stato attuale, che interessa il territorio comunale, si è sviluppata inizialmente attraverso la fase ligure; la presenza di estesi affioramenti appartenenti alla successione epiligure che, in parte, suturano le deformazioni della fase ligure permette abbastanza agevolmente di separare e individuare gli uni dagli altri.

Partendo dalla fase ligure i complessi presenti sul territorio possono essere suddivisi in cinque unità tettoniche, distribuite secondo fasce ad andamento appenninico. Partendo dalle posizioni geografiche più meridionali sono rispettivamente individuate da: Unità tettonica Morello, Unità Tettonica Leo, Unità Tettonica Caio, Unità Tettonica Monghidoro e Unità Tettonica Cassio.

La prima è costituita da tre piccoli lembi della formazione di Monte Morello che sono rappresentati da scaglie tettoniche inglobate nelle Argille a Palombini dell'Unità Tettonica Leo, osservabili a sud del confine comunale.

Quest'ultima unità, formata dalle Argille a Palombini; Argille Varicolori di Grizzana Morandi, Arenarie del Monte Gabba ed Arenarie del Poggio Mezzature, è molto deformata. La Formazione, nel territorio comunale, maggiormente rappresentata è quella delle Argille a Palombini, i cui rapporti sono strutturalmente molto complessi e non riconducibili a geometrie definite.

L'Unità Tettonica Monghidoro si rinviene nella zona occidentale settentrionale e si sovrappone mediante contatti a basso angolo dell'Unità Tettonica Leo. Nel territorio comunale è riscontrabile in alcuni limitati affioramenti presso gli abitati di Montebonello e Pavullo.

Sull'Unità tettonica Monghidoro si rinvengono in discordanza angolare i termini più antichi della Successione Epiligure, che suturano parzialmente i contatti con la sottostante Unità tettonica Leo e con l'Unità tettonica Cassio.

L'Unità Tettonica Cassio si giustappone alle Unità Leo e Monghidoro ed è delimitata a sud della linea tettonica del Sistema della Val Rossena.

Sul complesso di base dell'Unità Cassio, la successione Cassio-Viano giace tettonicamente formando grandi placche discontinue relativamente poco deformate; l'unità Monghidoro è stata invece piegata secondo ampie sinclinali rovesciate a vergenza orientale.

La sutura tettonica tra l'unità Monghidoro e Cassio viene ripetutamente intersecata da faglie trascorrenti sinistre ad andamento trasversale rispetto alle direttrici appenniniche.

Successivamente alla fase ligure, a partire dall'Oligocene superiore, si registra la fase subligure, con la messa in posto del Melange di Coscogno attraverso il sottoscorrimento

di unità subliguri rispetto alle liguridi, con successivo riaffioramento sotto forma di scaglie tettoniche. Le condizioni di spinta tettonizzazione di queste unità indica una elevata ed intensa attività tettonica in tale fase, evidenziata anche dalle ripercussioni sulla successione epiligure.

Le strutture più recenti presenti nell'area in esame sono da ricollegarsi alle fasi tettoniche finali dell'orogenesi, soprattutto nel periodo che va dal Messiniano al Pleistocene.

In particolare a tali fasi tettoniche si deve l'individuazione di due settori strutturalmente differenziati, separati da una linea tettonica trasversale, la linea dello Scoltenna, che individua due aree, una a nord-ovest del torrente Scoltenna - fiume Panaro, ed una a sud-est che si estende sino alla linea del Sillaro.

L'area a nord-ovest della linea dello Scoltenna è dominata da grandi sistemi di faglie inverse a direzione appenninica, impostate prevalentemente in corrispondenza di suture tra le diverse unità strutturali individuate dalle fasi ligure e subligure. Dall'interno verso l'esterno si individua il Sistema della Val Rossenna, la linea Alevara-Rodiano e la linea Canossa-S. Romano.

Il settore sud-orientale della linea dello Scoltenna rappresenta invece un'area caratterizzata prevalentemente da fenomeni di tettonica trascorrente in corrispondenza delle grandi zone di taglio antiappenninico, sia sinistre (torrente Lavino, torrente Setta) che destre (faglia dell'Idice).

Il Sistema della Val Rossenna è saldato dai depositi epiliguri affioranti presso Pavullo proseguendo verso Montese e Vergato, senza indicazioni di tettonica recente dopo la loro deposizione. Tutto il settore sud-orientale non sembra pertanto interessato da fenomeni tettonici significativi recenti, ad indicare che la linea dello Scoltenna individua due settori che hanno subito un diverso grado di tettonizzazione e di raccorciamento. Tale linea rappresenterebbe pertanto uno svincolo meccanico tra il settore nord-occidentale, più raccorciato, ed il settore sud-orientale meno raccorciato e più ribassato.

2.2 Attività tettonica

Le disamine relative alle strutture profonde, redatte nell'ambito dell'elaborazione della Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna (M. Boccaletti, L. Martelli; 2004), individua faglie e sovrascorrimenti del Pliocene - Pleistocene inferiore riattivati, quali il sovrascorrimento orientato nord ovest – sud est da Pompeano-Montebonello-Pavullo abitato.

Altre faglie riattivate in tale periodo, orientate nord-sud, sono individuate tra Benedello e Crocette, mentre con orientazione circa est-ovest sono individuate due faglie circa parallele con direzione Crocette-Verica e Montebonello-Miceno-Niviano.

La sopraccitata carta sismotettonica R.E.R. evidenzia un epicentro sismico con magnitudo $4 < M < 5$ rispettivamente in prossimità di Pavullo nel Frignano e nel tratto di territorio tra Vesale e lo Scoltenna.

L'attività sismica nell'area in oggetto è prevalentemente correlata alla fascia deformativa del Fronte di Accavallamento del Basamento e deformazioni delle pieghe appenniniche che si estendono in direttrice ovest nord-ovest - est sud-est. Una sensibile influenza sulla sismicità nel territorio dell'alto e medio appennino modenese, è connessa all'attività sismogenetica della zona della Garfagnana nella quale si sono verificati epicentri sismici con $M > 5,5 - 6$.

Nel territorio di Pavullo la sismicità è principalmente connessa all'attività dei processi deformativi che interessano le strutture superficiali nei primi 15 km del sottosuolo, prevalentemente collegate a meccanismi focali compressivi e trascorrenti

Gli ipocentri generati a media profondità (15 - 25 km) e profondi di (25 - ≥ 35 km) sono rappresentati in percentuale relativa decisamente inferiore rispetto i primi.

2.3 Pericolosità sismica di base

Allo stato attuale la normativa di riferimento in materia sismica risulta essere il D.M. 14 gennaio 2008 recante "norme tecniche per le costruzioni", entrata in vigore a partire dal 1 luglio 2009.

La classificazione sismica dei comuni della regione Emilia-Romagna introdotta ai sensi del punto 3 dell'Allegato 1 dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 maggio 2003, prevede che il territorio nazionale sia suddiviso in quattro zone sismiche, caratterizzate da quattro diversi valori di accelerazione (a_g).

Nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formulazione degli elenchi delle medesime zone" all'allegato 1.A" sono individuate quattro zone sismiche orizzontale massima convenzionale su suolo di tipo A, ai quali ancorare lo spettro di risposta elastico.

Ciascuna zona è individuata mediante valori di accelerazione massima al suolo a_g , con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferiti a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s30} > 800$ m/s secondo lo schema seguente. I valori di accelerazione delle quattro zone sismiche sono maggiormente specificati rispetto all' Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 secondo la schema di seguito proposto (tabella 2.1):

Tabella 2.1: Valori di accelerazione al suolo a_g

Zona	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g) - OPCM 3519	Accelerazione orizzontale massima convenzionale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (a_g) - OPCM 3274
1	$0.25 < a_g \leq 0.35 g$	$0.35 g$
2	$0.15 < a_g \leq 0.25 g$	$0.25 g$
3	$0.05 < a_g \leq 0.15 g$	$0.15 g$
4	$\leq 0.05 g$	$0.05 g$

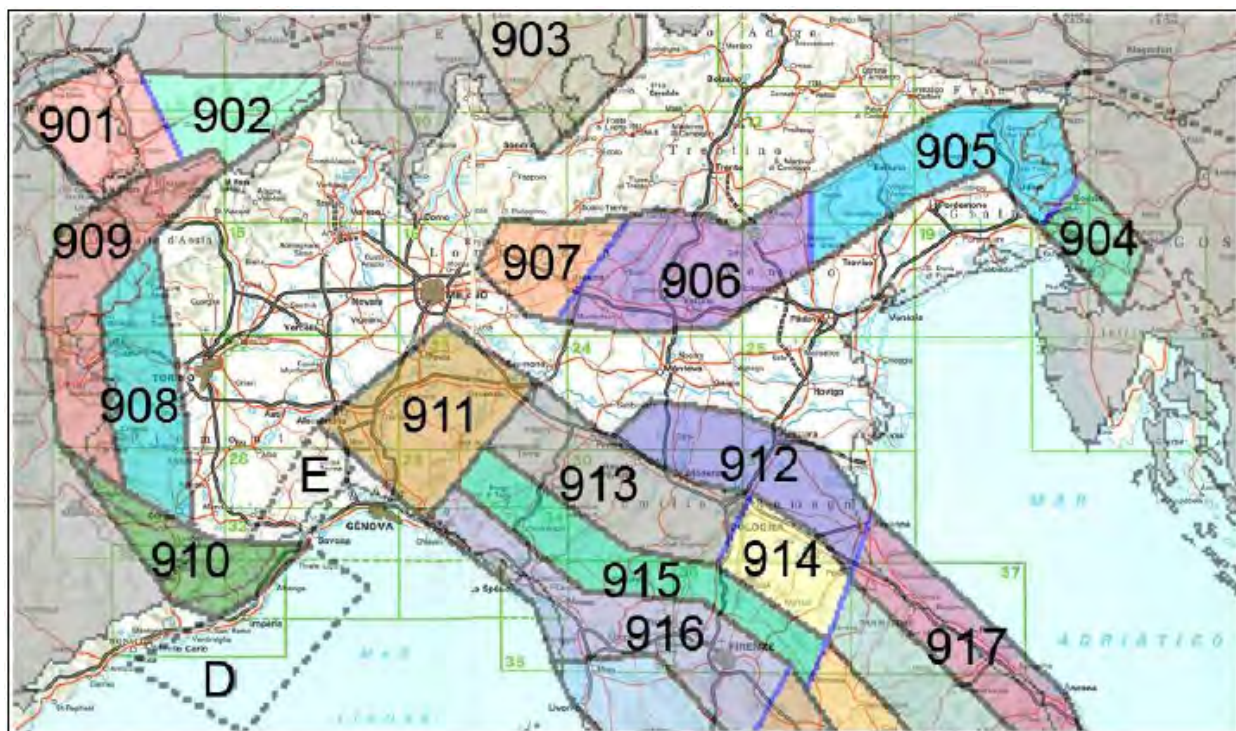
Di seguito si riportano le classificazioni della sismicità del comune interessato dagli interventi in base alle vecchie normative e ovviamente anche in base alla nuova e vigente classificazione proposta dall'OPCM 3274/2003 e s.m.i (tabella 2.2).

Tabella 2.2: Classificazione della sismicità del comune e valore dell'accelerazione al suolo a_g

Comune	Classificazione sismica (Decreti fino al 1984)	Classificazione sismica OPCM 3274/2003	a_g
Pavullo n/F	n.c.	3	0.15 g

I parametri di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, a_g , relativi all'area di pertinenza del settore di territorio in esame, in base alla griglia dell'NTC 14/01/2008, sono congruenti con quelli delle classificazioni sopra esposte.

La zonazione sismica del territorio nazionale, che identifica le zone sorgenti a caratteristiche sismiche omogenee, elaborata da INGV, attribuisce il territorio in oggetto alla zona sismogenetica 913 (Meletti e Valensise, 2004) <http://zonesismiche.mi.ingv.it/documenti/App2.pdf>.



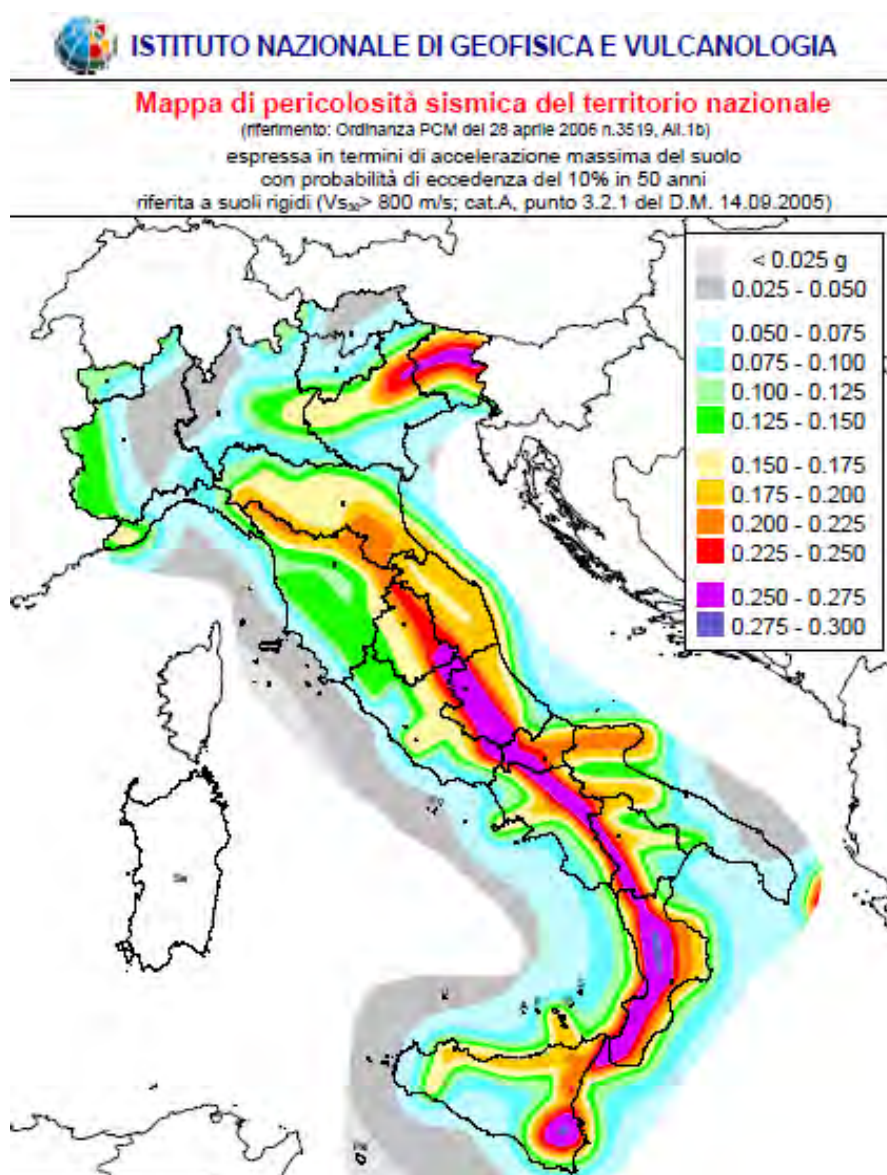
Zonazione sismogenetica ZS9 (INGV, 2004)

Una stima della pericolosità sismica dell'area è data dalla mappa redatta dall'INGV nel 2006 (OPCM3519/2006), disponibile nel sito web <http://zonesismiche.mi.ingv.it>.

I valori di a_g , attribuiscono, alle fasce territoriali a cui appartiene il territorio di Pavullo, valori dell'accelerazione di picco a_g attesa su suolo di riferimento (categoria di suolo A delle NTC 2008) per un periodo di ritorno di 475 anni (parametro ritenuto indicativo e di riferimento per la pericolosità sismica a scala nazionale) compresi tra:

$$a_g = 0,150 \div 0,175 \text{ g}$$

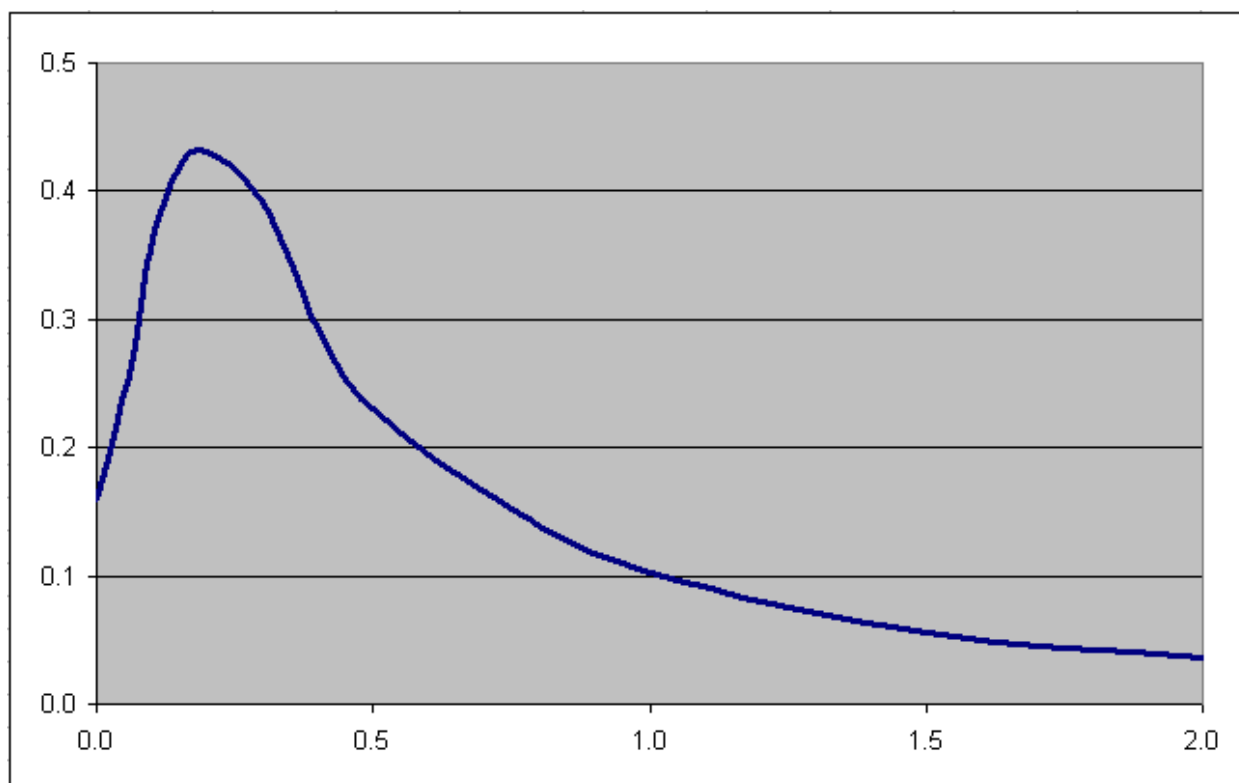
per un'eccedenza dell'evento del 10 % in 50 anni.



Il valore della a_g di riferimento riportato nell'allegato A4 della Delibera dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia Romagna n° 112/2007, corrisponde, per il comune di Pavullo, a:

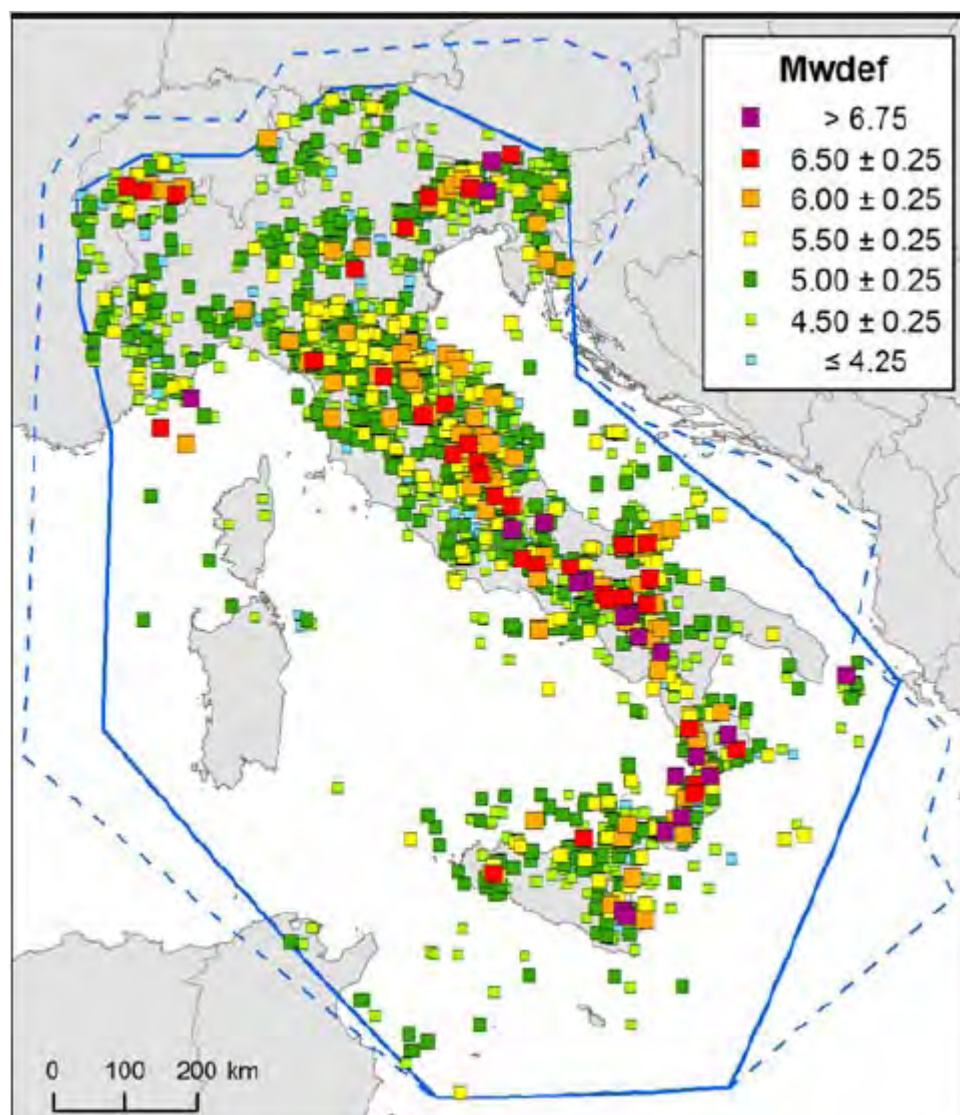
$a_{gref} = 0,159g$

Lo spettro di risposta di riferimento del bedrock sismico o suolo A nel comune di Pavullo (MO), che presenta il valore di a_g pari a 0,159g con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, è visualizzato nella seguente figura.



In riferimento a tale spettro, in funzione dei valori di velocità delle onde S che competono alle unità litostratigrafiche che costituiscono le varie parti del territorio comunale, sono state determinate le amplificazioni in superficie, attraverso valori dei fattori di Amplificazione (F.A.), secondo i parametri esposti nelle tabelle dell'Allegato A2 della D.A.L. 112/2007.

Per quanto riguarda la sismicità storica del comune, il Catalogo Parametrico dei terremoti italiani CPTI11 (A. Rovida, 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>) documenta eventi massimi sismici all' 8° grado della Scala Mercalli - Cancani – Sieberg, con intensità compresa tra $M = 5,5 - 6$.



A tal proposito si riportano i dati storici del comune di Pavullo e dei comuni limitrofi. Nella tabella 2.3 sono riportati i dati storici del comune di Pavullo nel Frignano, definiti nel Gruppo di lavoro CPTI (2011) Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2011 (CPTI11), INGV, Bologna con aggiornamento DBMI11 (dicembre 2011) reperibile all'indirizzo web <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/>

Storia sismica di Pavullo nel Frignano [44.334, 10.834]



Numero di eventi: 40

Effetti	In occasione del terremoto del:			
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
3	1887 02 23 05:21	Liguria occidentale	1516	6.97 ±0.15
F	1895 05 18 19:55	Fiorentino	401	8 5.43 ±0.08
4	1898 03 04 21:05	Valle del Parma	313	7-8 5.41 ±0.09
5	1901 10 30 14:49	Salò	190	8 5.70 ±0.10
6	1904 06 10 11:15	Frignano	102	6 5.03 ±0.18
4-5	1908 06 02 22:30	FRIGNANO	18	4-5 4.52 ±0.25
NF	1909 08 25 00:22	MURLO	283	7-8 5.37 ±0.10
4	1913 02 13 16:39	Appennino tosco-emiliano	27	5 4.54 ±0.25
5	1914 10 27 09:22	Garfagnana	618	7 5.76 ±0.09
3	1915 10 10 23:08	REGGIO EMILIA	30	6 5.02 ±0.22
3	1916 05 17 12:49	Alto Adriatico	132	5.95 ±0.14
4	1919 06 29 15:06	Mugello	566	10 6.29 ±0.09
6	1920 09 07 05:55	Garfagnana	756	10 6.48 ±0.09
4	1923 06 28 15:11	FORMIGINE	22	6 4.88 ±0.24
2-3	1928 06 13 08:00	CARPI	35	6 4.78 ±0.23
3-4	1929 04 19 04:15	Bolognese	82	
2	1930 10 30 07:13	SENIGALLIA	263	8 5.81 ±0.09
2	1931 06 10 17:01	Modenese	14	4 4.42 ±0.22
3	1936 10 18 03:10	BOSCO CANSIGLIO	267	9 6.12 ±0.09
7	1937 12 10 18:03	APP. MODENESE	28	6 5.17 ±0.25
4	1939 10 15 14:05	Garfagnana	62	6-7 5.08 ±0.16
3	1951 05 15 22:54	LODIGIANO	154	6-7 5.39 ±0.14

2	1956 04 26 03:00	Appennino tosco-emiliano	75	6 4.77 ±0.14
3	1957 08 27 11:54	ZOCCA	58	5 4.65 ±0.21
3	1971 07 15 01:33	Parmense	229	8 5.64 ±0.09
4	1983 11 09 16:29	Parmense	850	6-7 5.06 ±0.09
4	1985 01 23 10:10	Garfagnana	73	6 4.65 ±0.15
NF	1986 12 06 17:07	BONDENO	604	6 4.61 ±0.10
NF	1987 05 02 20:43	Reggiano	802	6 4.74 ±0.09
NF	1987 05 08 11:10	Bassa modenese	17	6 4.57 ±0.23
3-4	1988 02 08 11:24	Garfagnana	75	6 4.53 ±0.13
NF	1992 04 17 11:59	Monteveglia	56	4-5 4.32 ±0.18
4-5	1995 08 24 17:27	Appennino bolognese	56	6 4.48 ±0.09
1-2	1995 10 10 06:54	LUNIGIANA	341	7 4.85 ±0.09
4-5	1996 10 15 09:56	Correggio	135	7 5.41 ±0.09
4-5	1997 12 24 17:53	Garfagnana	98	5 4.36 ±0.09
5-6	1999 07 07 17:16	Frignano	32	5 4.70 ±0.09
NF	2000 06 18 07:42	Parmense	300	5-6 4.43 ±0.09
4	2000 10 03 01:12	Appennino tosco-emiliano	62	5 4.27 ±0.09
3	2003 09 14 21:42	Appennino bolognese	133	6 5.29 ±0.09

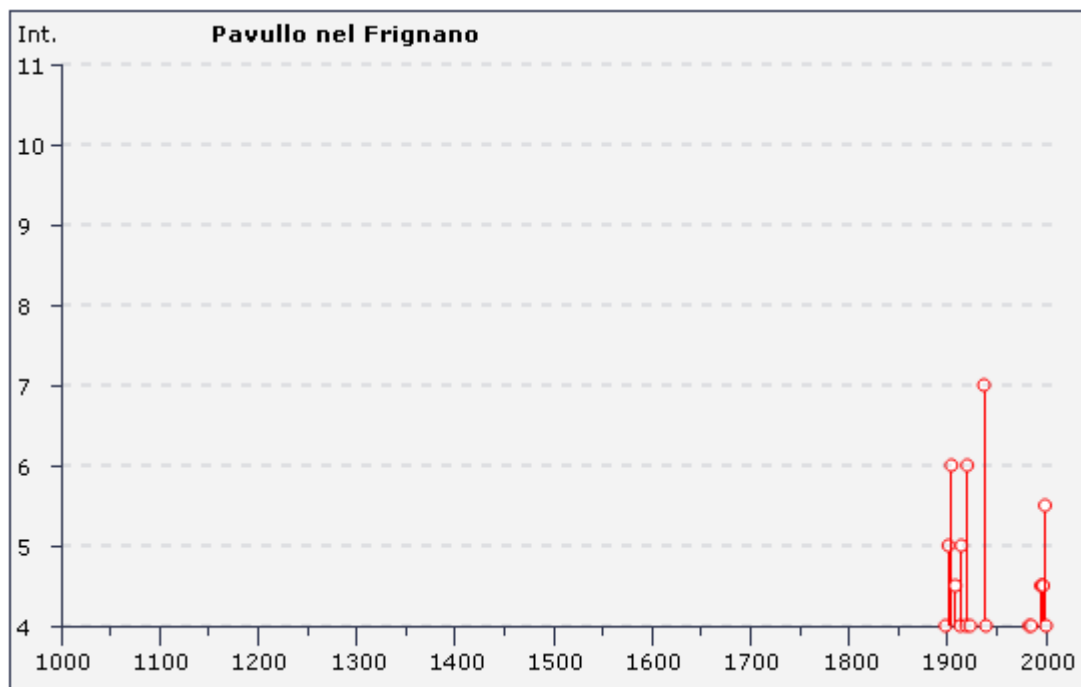


Tabella 2.3: Storia sismica del comune di Pavullo nel Frignano (MO).

Nella tabella 2.4 sono riportati i dati storici del comune di Serramazzone, definiti nel Gruppo di lavoro CPTI (2011) Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2011 (CPTI11), INGV, Bologna con aggiornamento DBMI11 (dicembre 2011) reperibile all'indirizzo web <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/>

Storia sismica di Serramazzone
[44.426, 10.789]



Numero di eventi: 14

Effetti	In occasione del terremoto del:				
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw	
2	1956 04 26 03:00	Appennino tosco-emiliano	75	6 4.77 ±0.14	
3-4	1957 08 27 11:54	ZOCCA	58	5 4.65 ±0.21	
3-4	1983 11 09 16:29	Parmense	850	6-7 5.06 ±0.09	
NF	1985 01 23 10:10	Garfagnana	73	6 4.65 ±0.15	
3	1987 05 02 20:43	Reggiano	802	6 4.74 ±0.09	
3	1988 02 08 11:24	Garfagnana	75	6 4.53 ±0.13	
NF	1992 04 17 11:59	Monteveglia	56	4-5 4.32 ±0.18	
3	1995 08 24 17:27	Appennino bolognese	56	6 4.48 ±0.09	
NF	1995 10 10 06:54	LUNIGIANA	341	7 4.85 ±0.09	
4-5	1996 10 15 09:56	Correggio	135	7 5.41 ±0.09	
3	1997 12 24 17:53	Garfagnana	98	5 4.36 ±0.09	
3-4	1999 07 07 17:16	Frigmano	32	5 4.70 ±0.09	
NF	2000 06 18 07:42	Parmense	300	5-6 4.43 ±0.09	
4	2000 10 03 01:12	Appennino tosco-emiliano	62	5 4.27 ±0.09	

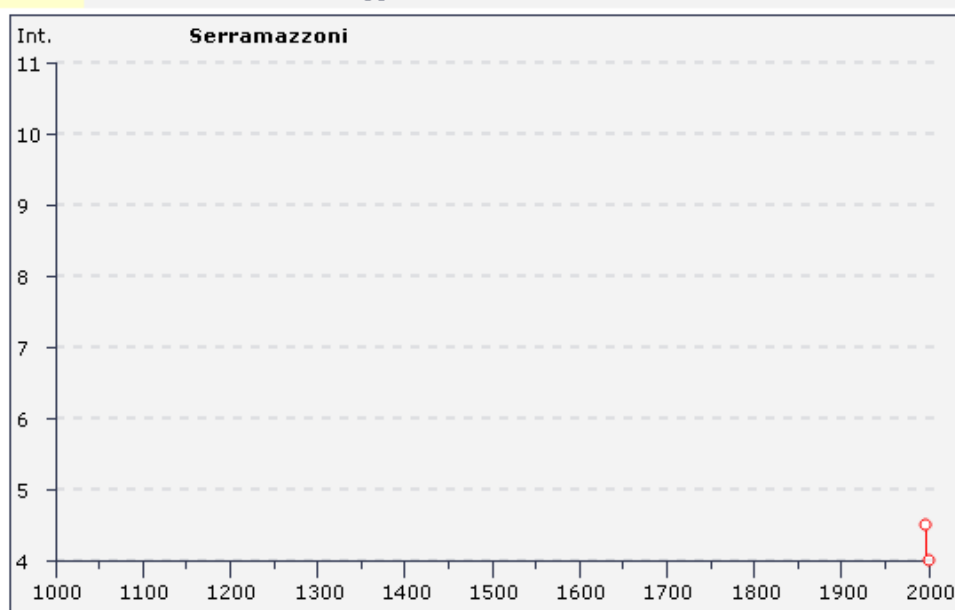


Tabella 2.4: Storia sismica del comune di Serramazzone (MO).

Nella tabella 2.5 sono riportati i dati storici del comune di Lama Mocogno, definiti nel Gruppo di lavoro CPTI (2011) Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2011 (CPTI11), INGV, Bologna con aggiornamento DBMI11 (dicembre 2011) reperibile all'indirizzo web <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/>

Storia sismica di Lama Mocogno (Lama)
[44.308, 10.731]



Numero di eventi: 20

Effetti	In occasione del terremoto del:				
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw	
3	1887 02 23 05:21	Liguria occidentale	1516	6.97 ±0.15	
NF	1903 07 27 03:46	LUNIGIANA	79	7-8 5.25 ±0.17	
4	1904 02 25 18:47	Reggiano	62	6 5.05 ±0.18	
3	1904 11 17 05:02	Pistoiese	204	7 5.15 ±0.14	
4	1908 06 02 22:30	FRIGNANO	18	4-5 4.52 ±0.25	
4	1913 02 13 16:39	Appennino tosco-emiliano	27	5 4.54 ±0.25	
NF	1919 06 29 15:06	Mugello	566	10 6.29 ±0.09	
8	1920 09 07 05:55	Garfagnana	756	10 6.48 ±0.09	
3	1923 06 28 15:11	FORMIGINE	22	6 4.88 ±0.24	
5	1930 05 24 22:02	FIUMALBO	43	5 4.81 ±0.17	
NF	1980 11 23 18:34	Irpinia-Basilicata	1394	10 6.89 ±0.09	
4	1985 01 23 10:10	Garfagnana	73	6 4.65 ±0.15	
3	1987 05 02 20:43	Reggiano	802	6 4.74 ±0.09	
3-4	1988 02 08 11:24	Garfagnana	75	6 4.53 ±0.13	
4-5	1995 08 24 17:27	Appennino bolognese	56	6 4.48 ±0.09	
3-4	1995 10 10 06:54	LUNIGIANA	341	7 4.85 ±0.09	
4-5	1997 12 24 17:53	Garfagnana	98	5 4.36 ±0.09	
3-4	1999 07 07 17:16	Frignano	32	5 4.70 ±0.09	
NF	2000 06 18 07:42	Parmense	300	5-6 4.43 ±0.09	
4-5	2000 10 03 01:12	Appennino tosco-emiliano	62	5 4.27 ±0.09	

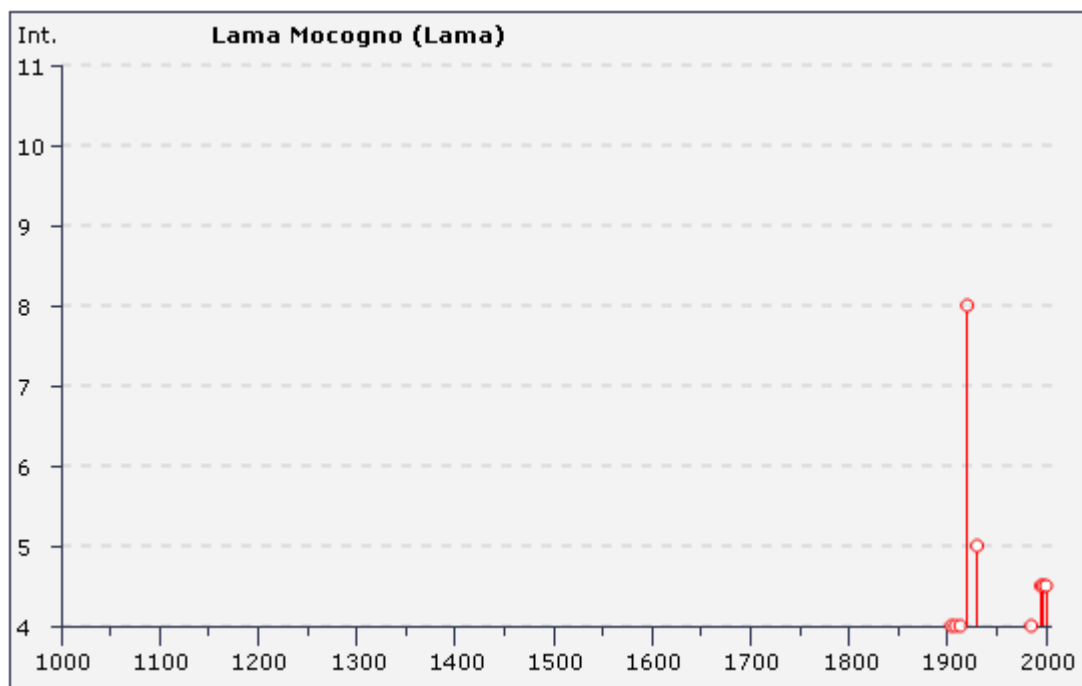


Tabella 2.5: Storia sismica del comune di Lama Mocogno (MO).

Nella tabella 2.6 sono riportati i dati storici del comune di Sestola, definiti nel Gruppo di lavoro CPTI (2011) Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2011 (CPTI11), INGV, Bologna con aggiornamento DBMI11 (dicembre 2011) reperibile all'indirizzo web <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/>

Storia sismica di Sestola [44.229, 10.771]



Numero di eventi: 30

Effetti	In occasione del terremoto del:				
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw	
6-7	1740 03 06 05:15	GARFAGNANA	31	7 5.24 ±0.35	
3	1887 02 23 05:21	Liguria occidentale	1516	6.97 ±0.15	
3	1891 06 07 01:06	Valle d'Illasi	403	8-9 5.86 ±0.06	
4	1898 03 04 21:05	Valle del Parma	313	7-8 5.41 ±0.09	
3-4	1899 06 26 23:17	Valle del Bisenzio	138	7 5.06 ±0.15	
3	1902 03 05 07:06	Garfagnana	83	7 4.96 ±0.17	
3	1903 07 27 03:46	LUNIGIANA	79	7-8 5.25 ±0.17	
F	1904 02 25 18:47	Reggiano	62	6 5.05 ±0.18	
3	1904 06 10 11:15	Frignano	102	6 5.03 ±0.18	
4	1904 11 17 05:02	Pistoiese	204	7 5.15 ±0.14	
4	1908 06 02 22:30	FRIGNANO	18	4-5 4.52 ±0.25	
4	1909 01 13 00:45	BASSA PADANA	799	6-7 5.53 ±0.09	
4	1913 02 13 16:39	Appennino tosco-emiliano	27	5 4.54 ±0.25	
5-6	1914 10 27 09:22	Garfagnana	618	7 5.76 ±0.09	
4	1919 06 29 15:06	Mugello	566	10 6.29 ±0.09	
6-7	1920 09 07 05:55	Garfagnana	756	10 6.48 ±0.09	
2	1923 06 28 15:11	FORMIGINE	22	6 4.88 ±0.24	
2	1957 08 27 11:54	ZOCCA	58	5 4.65 ±0.21	
3	1971 07 15 01:33	Parmense	229	8 5.64 ±0.09	
NF	1971 09 11 23:18	Correggio	15	5 4.23 ±0.31	
3	1983 11 09 16:29	Parmense	850	6-7 5.06 ±0.09	
4	1985 01 23 10:10	Garfagnana	73	6 4.65 ±0.15	
NF	1987 05 02 20:43	Reggiano	802	6 4.74 ±0.09	
4	1988 02 08 11:24	Garfagnana	75	6 4.53 ±0.13	
4-5	1995 08 24 17:27	Appennino bolognese	56	6 4.48 ±0.09	
3-4	1995 10 10 06:54	LUNIGIANA	341	7 4.85 ±0.09	
4-5	1997 12 24 17:53	Garfagnana	98	5 4.36 ±0.09	
3-4	1999 07 07 17:16	Frignano	32	5 4.70 ±0.09	
5	2000 10 03 01:12	Appennino tosco-emiliano	62	5 4.27 ±0.09	
3-4	2003 09 14 21:42	Appennino bolognese	133	6 5.29 ±0.09	

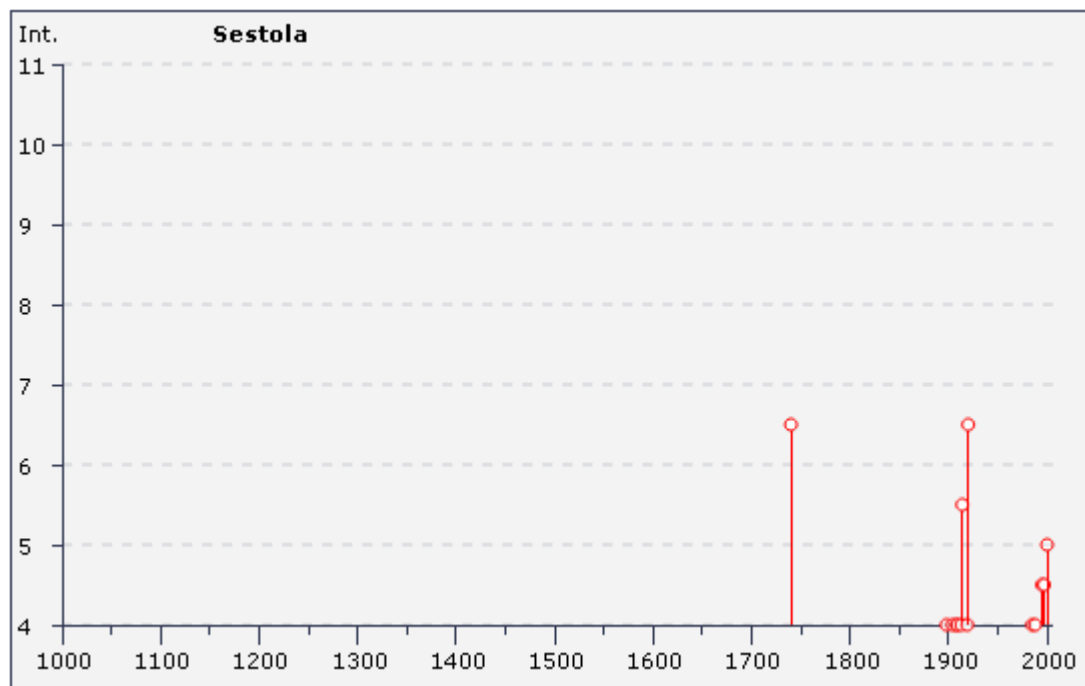


Tabella 2.6: Storia sismica del comune di Sestola (MO).

Nella tabella 2.7 sono riportati i dati storici del comune di Montese, definiti nel Gruppo di lavoro CPTI (2011) Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2011 (CPTI11), INGV, Bologna con aggiornamento DBMI11 (dicembre 2011) reperibile all'indirizzo web <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/>

**Storia sismica di Montese
 [44.270, 10.944]**



Numero di eventi: 27

Effetti	In occasione del terremoto del:			
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
3	1887 02 23 05:21	Liguria occidentale	1516	6.97 ±0.15
4	1889 03 08 02:57	Bolognese	38	5 4.73 ±0.22
3	1895 05 18 19:55	Fiorentino	401	8 5.43 ±0.08
3-4	1899 06 26 23:17	Valle del Bisenzio	138	7 5.06 ±0.15
4	1902 03 05 07:06	Garfagnana	83	7 4.96 ±0.17
4	1904 02 25 18:47	Reggiano	62	6 5.05 ±0.18
F	1904 06 10 11:15	Frignano	102	6 5.03 ±0.18
4-5	1904 11 17 05:02	Pistoiese	204	7 5.15 ±0.14
4-5	1908 06 02 22:30	FRIGNANO	18	4-5 4.52 ±0.25
4	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
6	1920 09 07 05:55	Garfagnana	756	10 6.48 ±0.09
2	1939 10 15 14:05	Garfagnana	62	6-7 5.08 ±0.16
2	1956 04 26 03:00	Appennino tosco-emiliano	75	6 4.77 ±0.14
2	1956 05 26 18:39	Appennino romagnolo	79	7 4.99 ±0.15
2	1956 06 03 01:45	Appennino romagnolo	62	
5	1957 08 27 11:54	ZOCCA	58	5 4.65 ±0.21
4-5	1962 05 11 01:05	Appennino tosco-emiliano	7	4-5 4.42 ±0.25
2-3	1983 11 09 16:29	Parmense	850	6-7 5.06 ±0.09
4	1985 01 23 10:10	Garfagnana	73	6 4.65 ±0.15
4	1995 08 24 17:27	Appennino bolognese	56	6 4.48 ±0.09
NF	1995 10 10 06:54	LUNIGIANA	341	7 4.85 ±0.09
3	1997 12 24 17:53	Garfagnana	98	5 4.36 ±0.09
5	1999 07 07 17:16	Frignano	32	5 4.70 ±0.09
NF	2000 06 18 07:42	Parmense	300	5-6 4.43 ±0.09
NF	2000 10 03 01:12	Appennino tosco-emiliano	62	5 4.27 ±0.09
4	2003 09 14 21:42	Appennino bolognese	133	6 5.29 ±0.09

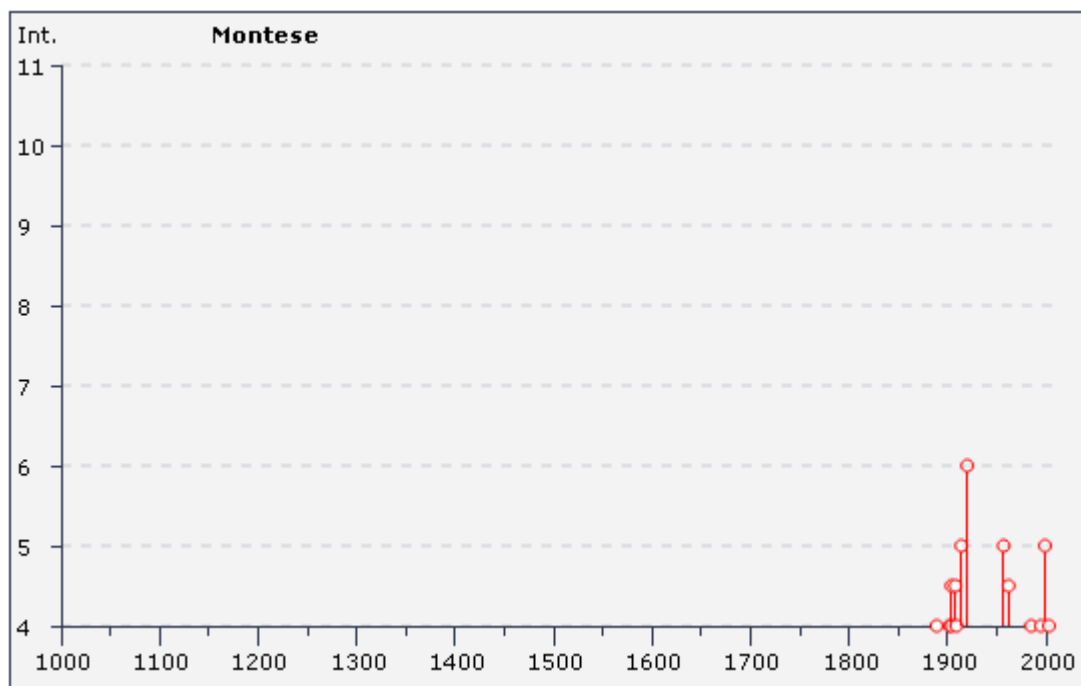


Tabella 2.7: Storia sismica del comune di Montese (MO).

3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

3.1 Inquadramento geologico

L'orogenesi appenninica si sviluppa a partire da processi che si svolgono dal Cretaceo superiore all'Attuale. In particolare le fasi tettoniche riconosciute sono: (Bettelli, Panini & Pizziolo, 2002):

- fase ligure: corrisponde alla chiusura dell'Oceano ligure; ha coinvolto i domini liguri interni ed esterni ed il dominio subligure a partire dal Cretaceo superiore sino all'Eocene medio, in seguito al quale inizia la sedimentazione epiligure dei bacini episuturali;
- fase subligure: dall'Oligocene superiore si assiste alla collisione delle zolle continentali europea e adriatica, con la messa in posto dei domini liguri e subliguri già tettonizzati e della successione epiligure, in fase di sedimentazione, sul dominio tosco-umbro-marchigiano.

L'assetto geologico, stratigrafico e strutturale del territorio comunale di Pavullo nel Frignano rientra nel più complessivo ambito del versante emiliano sud-orientale dell'Appennino settentrionale, facente parte dell'edificio a falde appenninico precedentemente descritto. Tale settore risulta contraddistinto da una spiccata complessità geologica, derivante soprattutto da estesi affioramenti di successioni a dominante argillosa ("argille scagliose" o "complesso caotico" dei vecchi Autori), costituenti l'originaria base stratigrafica dei flysch liguri cretacei ed olocenici, intensamente deformate dalla tettonica attiva (tettoniti).

L'intero territorio comunale appartiene al foglio 236 "PAVULLO NEL FRIGNANO" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000.

Per le informazioni di seguito sinteticamente riportate si vedano soprattutto le note illustrative del foglio CARG 236 Pavullo nel Frignano (G. Bettelli et alii; 2002).

Il territorio è geologicamente attribuibile alle Unità Alloctone Liguridi Esterne (Bettelli et alii), contraddistinte dall'assenza di testimonianze del substrato oceanico sul quale si sono depositate e successivamente scollate durante la fase orogenica appenninica.

Isolate testimonianze, incluse tettonicamente e per fenomeni sedimentari, del sopracitato substrato sono rappresentate da locali masse ofiolitiche, presenti nel settore meridionale del territorio.

I processi tettonici che hanno coinvolto l'appennino settentrionale hanno scomposto i vari domini paleogeografici impilando e giustappoando gli stessi in modo complesso, nel periodo che va dal Cretaceo all'attuale, sviluppandosi in due fasi. La prima di queste ha prodotto pieghe isoclinali compresse nelle liguridi interne, che sono state ulteriormente ripiegate nella seconda fase che ha ancor più raccorciato le preesistenti strutture. Le fasi liguridi hanno determinato la chiusura del preesistente oceano ligure e

con l'impilamento delle successioni dei Domini Liguri si sono generati vari bacini marini minori nei quali si sono depositate le successioni delle sequenze epiliguri.

Le formazioni liguri mostrano una deformazione interna molto maggiore rispetto quanto osservabile nelle litozone della sovrastante Successione Epiligure; in particolare la formazione delle Argille Varicolori risulta particolarmente deformata al punto che, probabilmente per il comportamento duttile dei litotipi argilloso - marnosi che la compongono, la stratificazione risulta quasi completamente cancellata.

Le strutture compressive e la superficie di sovrascorrimento della coltre alloctona, risultano dislocate da faglie disgiuntive subverticali con direzione sia appenninica che antiappenninica. L'età di queste strutture è dunque almeno successiva al Pliocene inferiore.

Tali strutture disgiuntive si presentano spesso come zone di intensa fatturazione, talora senza rigetti importanti alla scala cartografica. I rigetti riconoscibili lungo tali superfici presentano sia componente verticale che orizzontale.

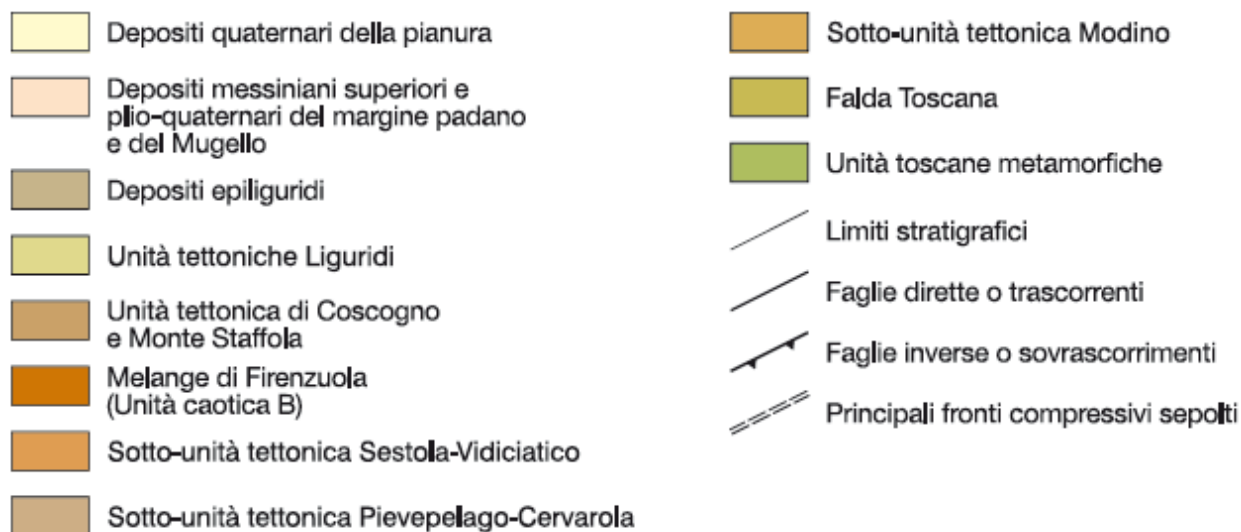
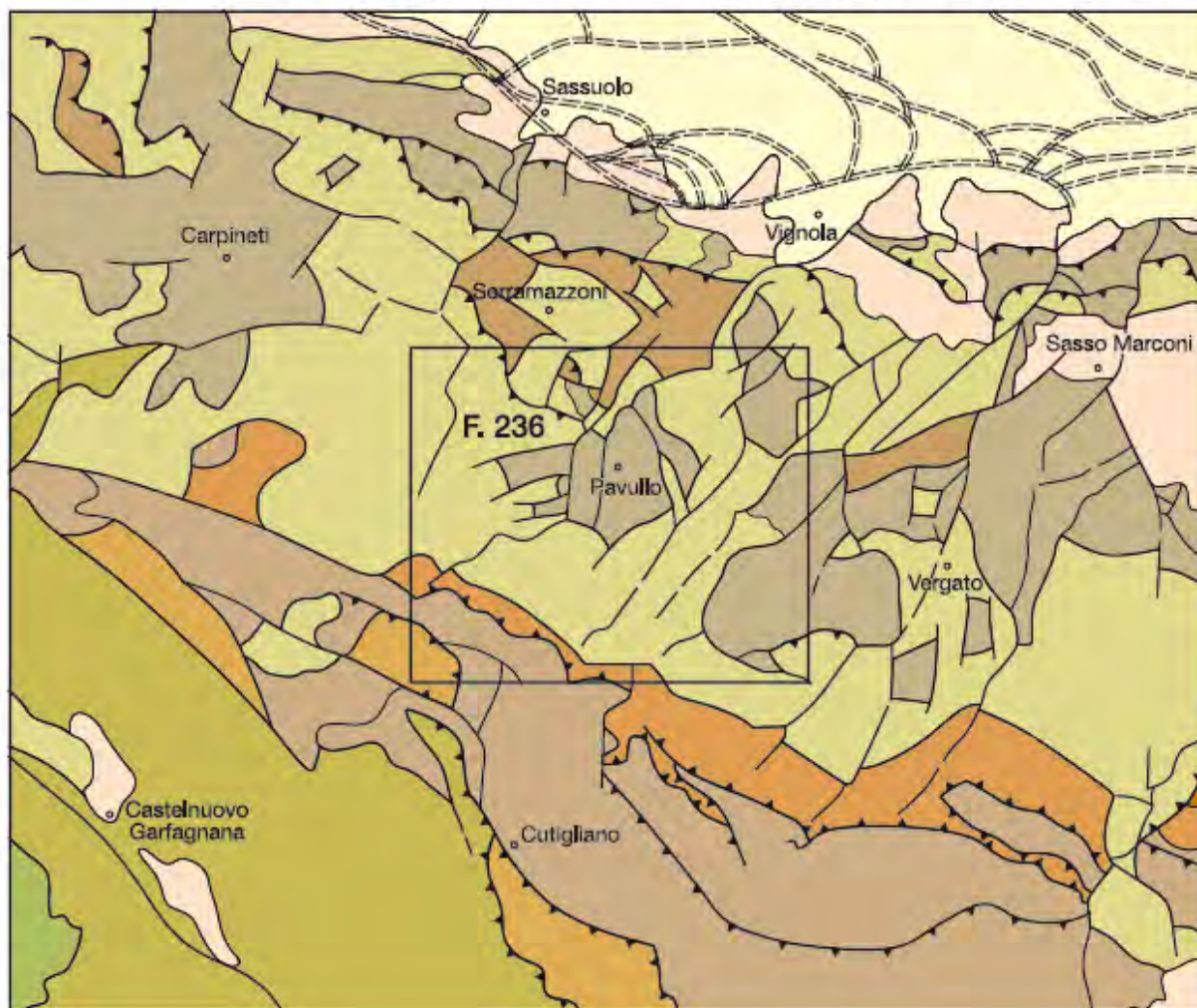
Queste strutture recenti hanno decisamente influenzato anche la geometria del reticolo idrografico.

In sintesi le unità litostratigrafiche che costituiscono la fascia del medio appennino modenese, al quale appartiene il territorio di comunale, sono attribuite, dall'alto in basso in senso stratigrafico, a:

- o Unità Quaternarie continentali;
- o Successione Epiligure;
- o Liguridi;
 - Successioni della Val Rossena e della Val Tresinaro;
 - Formazione Pre Flysch ad Elmintoidi;
- o SubLiguridi.

Quanto sopra descritto si può riscontrare nello schema geologico semplificato di cui sotto:

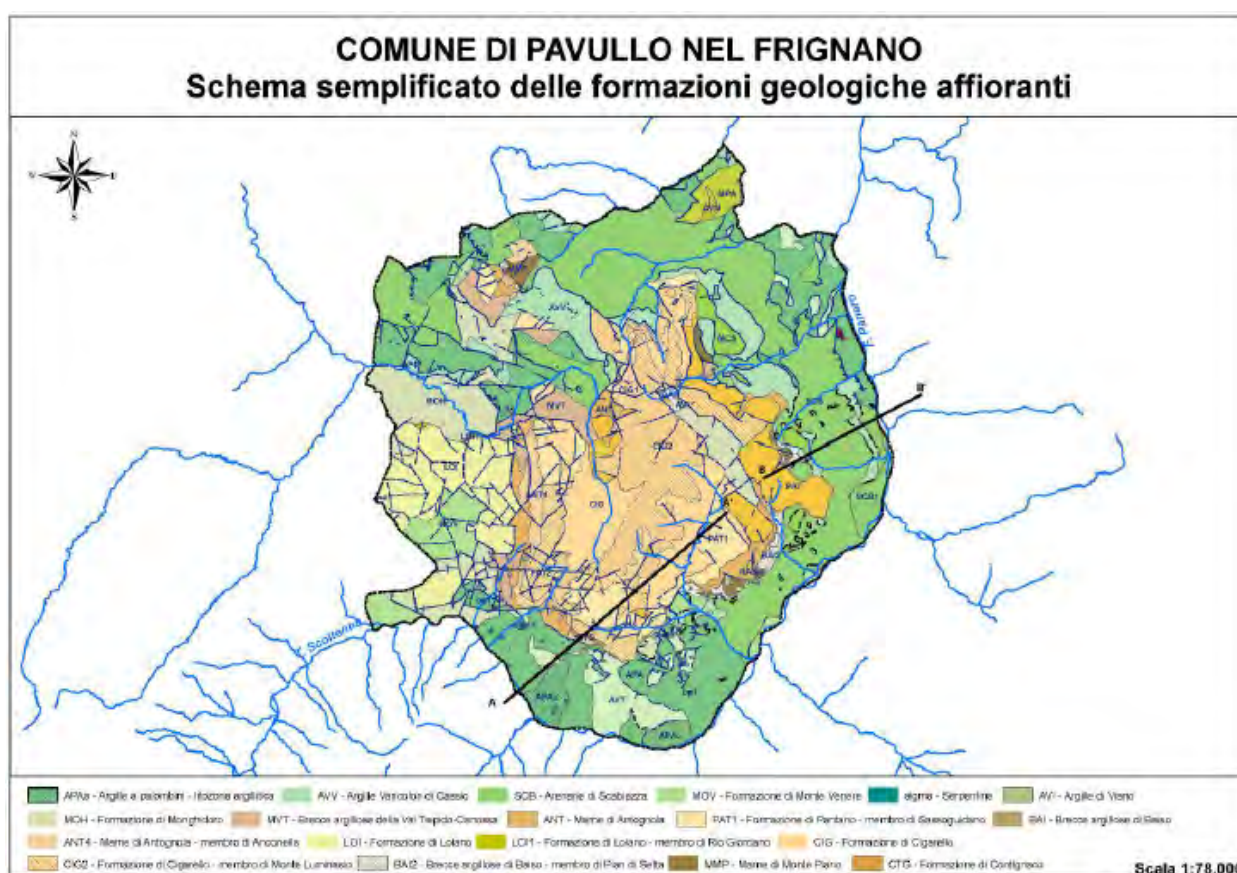
SCHEMA GEOLOGICO SEMPLIFICATO scala 1:800 000



Le formazioni affioranti, riportate nella carta geologica semplificata del comune di Pavullo, appartengono al Dominio palogeografico Ligure (le formazioni rappresentate in carta con tonalità di verde) ed alla Successione Epiligure (formazioni rappresentate in carta con tonalità di marrone).

Le litologie della Successione Epiligure sono rappresentate da arenarie, areniti, marne e marne argilloso-siltose, breccie poligeniche e peliti arenacee.

Le formazioni appartenenti al Dominio Ligure vengono suddivise in due tipologie distinte: le formazioni flyschoidi, rappresentate prevalentemente da litologie calcareo-marnose ed arenaceo-argillose, e le formazioni pre-flysch, rappresentate essenzialmente da litologie a dominante argillosa.



La serie litostratigrafica delle successioni locali è riferita a quella adottata dal progetto CARG., Carta Geologica Regione Emilia Romagna. La descrizione dei tipi litologici delle successioni presenti nel territorio sono schematicamente di seguito descritte relativamente alle caratteristiche litotecniche salienti, riportate nella legenda della tav. 8.2: “Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica”.

Si riportano di seguito la descrizione delle unità litostratigrafiche:

UNITÀ QUATERNARIE CONTINENTALI

SUBSISTEMA DI RAVENNA (AES8) (Olocene età radiometrica della base: 14.000-11.000 anni)

Limi sabbiosi e limi argillosi negli apparati dei torrenti minori o ghiaie in lenti entro limi, subordinate ghiaie e ghiaie sabbiose in quelli dei torrenti e fiumi principali.

AES8a - UNITA' DI MODENA (Post-VI secolo dC.)

Depositi ghiaiosi sabbiosi medio fini – limoso sabbiosi; corrisponde al primo ordine dei terrazzi nelle zone intravallive.

Nel territorio comunale la presenza delle unità quaternarie continentali è limitata lungo i principali corsi d'acqua.

SUCCESSIONE EPILIGURE

FORMAZIONE DI CIGARELLO (CIG) (Langhiano p.p. - Serravalliano)

Marne siltoso-sabbiose, talora argillose, grigie, grigio scure o beiges se alterate, bioturbate e fossilifere. Stratificazione generalmente poco evidente per l'assenza di livelli grossolani e per la bioturbazione. Localmente affiorano intervalli di strati sottili arenaceo-pelitici tabulari con A/P < 1 o litofacies marnose franche;

- MEMBRO DI MONTE LUMINASIO (CIG2) (Langhiano - Serravalliano sup.)

Arenarie fini e medie, localmente biocalcareni e litareniti grossolane e microconglomeratiche, alternate a peliti siltose grigie, in strati da sottili a molto spessi, prevalentemente tabulari. Rapporto A/P >1. Intercalazioni metriche e decametriche di peliti sabbiose;

- MEMBRO DI MONTALTO NUOVO (CIG1) (Langhiano inf.)

Alternanze di arenarie finissime bioturbate e siltite o peliti marnoso-sabbiose in strati da sottilissimi a medi; verso l'alto arenarie bioturbate in strati metrici e peliti marnose.

FORMAZIONE DI PANTANO (PAT) (Burdigaliano sup.-Langhiano inf.)

Arenite siltose fini e finissime, grigie (beige se alterate), alternate a peliti marnose e siltose grigio-chiare; stratificazione generalmente poco marcata o addirittura impercettibile a causa dell'intensa bioturbazione. Il limite inferiore è netto, discordante, su CTG e su ANT. Sedimentazione in ambiente da litorale a piattaforma esterna. La potenza è fino a circa 500 m;

- MEMBRO DI MONTECUCCOLO (PAT2) (Burdigaliano sup - Langhiano inf)

Biocalcareni ed areniti ibride giallastre da fini a grossolane, localmente microconglomeratiche, con stratificazione prevalentemente obliqua a grande scala;

- MEMBRO DI SASSOGUIDANO (PAT1) (Miocene inf. - medio)

Areniti ibride prevalentemente finissime e fini, a luoghi bioturbate, con stratificazione da media a molto spessa, tabulare ed obliqua a piccola scala, a luoghi poco evidente.

FORMAZIONE DI CONTIGNACO (CTG) (Acquitano terminale – Burdigaliano p.p)

Torbiditi sottili ed emipelagiti marnose, spesso selciose, grigio biancastre; talora siltiti o arenarie fini o finissime risedimentate con patine superficiali nerastre. Marne carbonatiche e selciose, più o meno siltose, di colore grigio-verdognolo o grigio azzurro. Gli strati sono generalmente di spessore medio, spesso poco evidenti; sono presenti intervalli arenacei biancastri, gradati, da sottili a spessi, con base netta.

BRECCE ARGILLOSE DELLA VAL TIEPIDO - CANOSSA (MVT) (Acquitano)

Brecce argillose poligeniche a matrice argillosa prevalentemente grigia, costituita in gran parte da clasti millimetrici di marne e peliti, recanti clasti litoidi angolari appartenenti alle Argille a Palombini (APA), alle Arenarie di Scabiazza (SCB) e a sporadiche ofioliti.

FORMAZIONE DI ANTOGNOLA (ANT) (Rupeliano Terminale - Acquitano)

Marne argillose e marne siltose verdognole o grigie con patine manganesifere; fratturazione concoide o con tipiche superfici concentriche; frequenti i microfossili e talora i bioclasti. Stratificazione da molto sottile a media, talora difficilmente percepibile, sia per scarsa classazione granulometrica che per bioturbazione.

- MEMBRO DI ANCONELLA (ANT4) (Chattiano)

Torbiditi arenaceo-pelitiche, in strati da medi a molto spessi; arenarie quarzoso feldspatiche, di colore grigio chiaro alterate in giallastro; subordinate marne argillose grigie, grigio verdi, grigio scuro o nerastre.

FORMAZIONE DI RANZANO (RAN) (Rupeliano)

Unità litologicamente eterogenea a dominante arenacea suddivisa in membri sulla base del rapporto A/P.

- MEMBRO DI ALBERGANA (RAN4) (Rupeliano)

Torbiditi pelitico-arenacee in strati generalmente da molto sottili a medi costituiti da feldspatoareniti fini passanti a peliti grigio scure. Localmente strati molto sottili di vulcanoclastiti andesitiche. Rapporto A/P << 1. A luoghi strati da sottili a spessi di arenarie litiche e di conglomerati fini. Verso l'alto prevalenza di peliti marnose grigio verdastre, scure

MARNE DI MONTEPIANO (MMP) (Luteziano Sup - Praboniano p.p.)

Argille, argille marnose e marne rosse, rosate, grigio chiaro e verdi, con rari e sottilissimi strati di feldspatoareniti risedimentate biancastre, siltiti nerastre e calcari marnosi grigio-verdi od ocra.

FORMAZIONE DI LOIANO (LOI) (Luteziano Sup - Bartoniano)

Arenarie arcosiche, da fini a molto grossolane, a luoghi microconglomeratiche, in genere scarsamente cementate, con subordinati conglomerati, in strati medi e banchi frequentemente amalgamati, di colore biancastro o grigio chiaro (marrone chiaro se alterate); A/P sempre > 1.

- MEMBRO DI RIO GIORDANO (LOI1) (Luteziano sup - Bartoniano)

Argille marnoso-siltose verdastre, grigio scure o localmente rossastre a stratificazione indistinta con sottili intercalazioni di arenarie fini grigio-marroni. Il rapporto A/P è generalmente << 1.

BRECCE ARGILLOSE DI BAISO (BAI) (Luteziano sup. - Bartoniano)

Brecce sedimentarie poligeniche a prevalente matrice argillosa con clasti eterometrici ed eterogenei costituiti da litotipi appartenenti a varie unità liguri. A seconda della litologia prevalente la formazione è stata interamente suddivisa in alcuni membri che affiorano in areali distinti e senza legami di carattere stratigrafico reciproci

- MEMBRO DI PIAN DI SETTA (BAI2) (Luteziano sup. - Bartoniano)

Brecce poligeniche a matrice argillosa grigia con prevalenti clasti eterometrici di calcilutiti grigio chiare, arenarie fini e argille. Materiale in prevalenza proveniente da APA, AVT, AVV e SCB.

MEMBRO DELLA VAL FOSSA (BAI1) (Luteziano sup. - Bartoniano)

Brecce poligeniche a matrice argillosa grigio scura e nerastra con clasti eterometrici (in genere di piccole dimensioni) di peliti, calcilutiti e arenarie; materiali provenienti prevalentemente da AVV, SCB e AVS.

LIGURIDI

Flysch e formazioni post-Flysch

ARGILLE DI VIANO (AVI) (Paleocene inf. - Eocene medio)

Argille siltose grigie, nerastre o rossastre in strati sottili o medi. Subordinate arenarie fini in strati sottili; rare calcilutiti marnose biancastre in strati medi e calcareniti marnose in strati da medi a spessi.

FLYSCH DI MONTE CASSIO (MCS) (Campaniano sup. - Maastrichtiano sup.)

Torbiditi a base calcarenitica fine e media passante a marne calcaree, in strati da spessi a molto spessi, grigio-biancastre alternate a pacchi di strati torbiditici arenaceo-pelitici da sottili a spessi, grigiastri.

FORMAZIONE DI MONGHIDORO (MOH) (Maastrichtiano sup. - Paleocene sup.)

Torbiditi arenaceo-pelitici in strati spessi, raramente molto spessi, con rapporto A/P generalmente intorno a 2/1 cui si intercalano intervalli metrici di strati sottili e medi con rapporto A/P circa 1/2.

FORMAZIONE DI MONTE VENERE (MOV) (Campaniano su. - Maastrichtiano sup.)

Torbiditi arenaceo-marnose con base fine grigio-chiaro, in strati da medi a molto spessi, al tetto intervalli sottili o medi di argille scure o nerastre. Intercalazioni metriche di strati arenaceo-pelitici da sottili a spessi grigio brunastri, con rapporto A/P >1, a luoghi prevalenti sugli strati calcareo-marnosi.

Formazioni pre-Flysch

ARGILLE VARICOLORI DI CASSIO (AVV) (Cenomaniano sup. - Campaniano sup.?)

Argilliti scure, rossastre o rosate, verdi e nerastre, con stratificazione (quando preservata) da molto sottile a sottile, in cui si intercalano livelli sottili di torbiditi arenaceo-pelitici grigie, calcilutiti silicee grigiastre o verdognole gradate in strati da medi a spessi e calcilutiti marnose spesse grigio chiaro,

ARGILLE VARIEGATE DI GRIZZANA MORANDI (AVT) (Cenomaniano sup.? -Santoniano sup.?)

Argilliti e argille rosso violacee, verdastre, grigio-scure e grigio azzurrognole, con subordinate siltiti grigio-scure o nere manganesifere, in strati sottili o molto sottili e calcilutiti grigio-verdi in strati sottili e medi.

ARENARIE DEL POGGIO MEZZATURE (APM) (Santoniano sup. - Campaniano inf.)

Torbiditi arenaceo-pelitiche in strati da sottili a molto spessi costituiti di arenarie grigio-verdastre medie o grossolane, a luoghi microconglomeratiche, passanti ad arenarie fini e ad argille grigio-verdi. Rapporto A/P >1.

ARGILLE A PALOMBINI (APA) (Barremiano A: Turoniano?)

Argilliti ed argilliti siltose grigio scure, più raramente verdi, rossastre o grigio-azzurrognole, fissili (nella pelite è spesso presente un clivaggio scaglioso a carattere pervasivo), alternate a calcilutiti silicizzate grigio chiare e grigio-verdi, biancastre in superficie alterata, talvolta con base arenitica da fine a grossolana, in strati da medi a spessi (molto spesso discontinui per motivi tettonici) e più rari calcari marnosi grigi e verdi in strati spessi. Rapporto Argilla/Calcarea quasi sempre >1.

All'interno della formazione sono talora presenti lembi di breccie poligeniche a elementi magmatici, calcarei e diasprigni: (**bp1**), basalti (**β**), serpentiniti (**Σ**), lembi di rocce granitoidi (**Gr**).

Litozona argillitica (APAA)

Argilliti grigie e a luoghi verdognole, con fissilità spesso molto evidente e in qualche caso silicizzate; sono alternate a calcilutiti grigie in strati medi e spessi con subordinati pacchi di strati sottili arenaceopelitici giallastri e nocciola, e rari calcari marnosi.

Litozona calcarea (APAc)

Caratterizzata da un rapporto C/A >1.

OFIOLITI

Basalti brecciati (**Bb**).

ARENARIE DI SCABIAZZA (SCB) (Turoniano sup.? A: Campaniano inf.)

Torbiditi arenaceo-pelitiche con arenarie da molto sottili a medie, mal strutturate e poco cementate, talora gradate, con granulometria da fine a finissima, di colore grigio, grigio scure o grigio-verdastre (beige o rossastro se alterate) in strati molto sottili e sottili, e argille o argille marnose verdastre o grigio scuro molto sporche; rapporto A/P <1 o uguale a 1.

Membro del M. Mazzano (SCB1) (Coniaciano-Santoniano p.p.)

Torbiditi arenitico-marnose in strati da medi a molto spessi a geometria tabulare costituiti da una base arenitica fine passante a marna grigio-verde e giallastra, localmente spessa. Subordinate torbiditi arenaceo-pelitiche tipo SCB.

SUBLIGURIDI








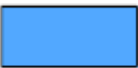


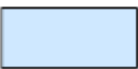
FORMAZIONE DI MONTEPASTORE (MPA) (*Ypresiano - Luteziano*)

Torbiditi calcarenitico-marnose in strati da medi a molto spessi e in banchi. Base degli strati biocalcarenitica, da fine a grossolana, passante a marna calcarea biancastra o grigio verdognola.

ARGILLE E CALCARI DEL T. LAVINELLO (AVN) (*Campaniano sup.?-Ypresiano*)

Argilliti rosse, rosate e grigie, con intercalati spezzoni di strato (da sottilissimi a molto spessi) e di calcilutiti grigio chiare e verdastre e di calcareniti fini, biancastre e rosate o verdognole e marne grigio chiare.

Le Unità geologiche, sopra descritte, nella Carta geologica tecnica sono state raggruppate secondo la seguente legenda sotto riportata:

Substrato geologico rigido o non rigido		
	LP	Lapideo
	GR	Granulare cementato
	CO	Coesivo sovraconsolidato
	AL	Alternanza di litotipi
	NR	Substrato geologico non rigido
	SF	Substrato geologico rigido molto fratturato
	LPS	Lapideo, stratificato
	GRS	Granulare cementato, stratificato
	COS	Coesivo sovraconsolidato, stratificato
	ALS	Alternanza di litotipi, stratificato
	NRS	Substrato geologico non rigido, stratificato

3.2 Inquadramento geomorfologico

Il presente capitolo descrive i caratteri geomorfologici del comune di Pavullo, con particolare attenzione alle forme e ai processi che possono determinare fenomeni di instabilità e pericolosità del territorio.

La geomorfologia dell'area in oggetto è condizionata dalle unità stratigrafico deposizionali affioranti; in particolare, come messo in evidenza nel paragrafo relativo alla geologia, il territorio è caratterizzato dalla presenza, nella parte centrale, di unità litologiche prevalentemente calcareo-arenacee marnose, a prevalente componente litoide, poggianti su unità a componente prevalentemente argillosa, quindi facilmente degradabili, affioranti nell'intorno.

a. Morfologia delle aree a prevalenza calcareo-arenacea

Questa porzione centrale del territorio comunale, come precedentemente indicato, è caratterizzata da affioramenti di unità litotecniche a principale componente litoide.

La morfologia di quest'area è caratterizzata da forme e processi peculiari, quali accentuata acclività dei versanti, ripidi crinali, orli di scarpata. Questi ultimi sono suddivisi, in orli aventi scarpate comprese tra 10 e 20 m e maggiori di 20 m. In particolare, gli orli più significativi sono presenti nell'area centro orientale del territorio, compresa tra Gaiato, Sassoguidano, Verica, Iddiano e Benedello, e risultano scolpite entro la formazione di Pantano. Gli orli summenzionati sono identificabili come forme strutturali, poligeniche, modellate a partire dal Pleistocene medio, ad opera di processi di degradazione selettiva legate all'erosione fluviale dello Scoltenna-Panaro (in passato ubicato in posizione più occidentale, nei pressi della Conca di Pavullo). Negli affioramenti costituiti da alternanze di litotipi competenti e marnoso-pelitici, è possibile osservare, a volte, esempi significativi di morfoselezione, cioè del fenomeno per cui gli agenti di degradazione di un corpo roccioso intervengono in modo più o meno spinto su differenti tipi litologici. I fenomeni di dissesto originatisi entro le unità maggiormente competenti, sul territorio comunale, possono essere:

- Frane per crollo e scivolamento di blocchi: come facilmente intuibile, questo fenomeno determina la caduta libera, il movimento per salti e balzi ed il rotolamento di frammenti di roccia staccatisi dai versanti; sul territorio sono presenti alcuni esempi di frane di questo tipo, ad ovest di Sassomassiccio e ad est di Iddiano;
- Frane per Espansione Laterale: si tratta di movimenti laterali di masse rocciose fratturate; se ne riconosce un importante esempio presso l'abitato di Verica.

All'interno di queste litologie sono presenti, anche se in maniera piuttosto ridotta, fenomeni carsici. In particolar modo l'elemento geomorfologico maggiormente visibile, legato a fenomeni carsici, sono le numerose doline presenti lungo la fascia che da Sassoguidano si spinge fino a Verica. La dolina è costituita da una cavità a forma più o meno circolare, con uno o più punti di assorbimento idrico sul fondo (inghiottitoi). Questa forma peculiare prende origine dalla soluzione di carbonati, effettuata dalle

acque di circolazione superficiale, in movimento circolare oppure per crollo di una cavità sotterranea. Spesso tale fenomeno si imposta lungo fratture o contatti di origine tettonica, come, ad esempio, le tre doline di Verica, impostate su allineamenti tettonici aventi direzione SO-NE.

Altre forme tipiche legate alla dissoluzione dei carbonati sono le numerose grotte presenti nel territorio comunale, soprattutto nei pressi di Benedello, Iddiano, Sassomassiccio e Gaiato. Anche in questo caso, tali forme carsiche sono impostate entro le rocce calcareo-arenacee del gruppo del Pantano e Cigarellino, in corrispondenza di fratture tettoniche; queste ultime hanno favorito le infiltrazioni di acque di circolazione e i conseguenti fenomeni di dissoluzione.

b. Morfologia delle aree prevalentemente argillose

I litotipi argillosi sono tra le rocce fra le meno resistenti all'erosione e risultano pertanto particolarmente deboli in rapporto ai processi erosivi, soprattutto di tipo meccanico.

Il substrato così definito, per l'area in esame, determina una morfologia prevalentemente poco acclive, con forme dolci e svasate, ad eccezione delle aree denudate dove possono impostarsi fenomeni di ruscellamento, soliflusso e frane per colata, scivolamento o dovute alla combinazione di queste ultime due.

In particolare la granulometria fine, l'assenza di cementazione, la scarsa o nulla impermeabilità alle acque superficiali, la saturazione facilitano l'instaurarsi di forme e fenomeni tipici, quali

- ruscellamento diffuso ed erosione laminare;
- ruscellamento concentrato ed erosione a rivoli: tale processo deriva da un'evoluzione del ruscellamento diffuso;
- erosione a solchi e formazione di calanchi: il progressivo approfondirsi dei rivi summenzionati, con l'incremento dell'acqua, determina un ulteriore sviluppo dell'erosione concentrata.
- soliflusso: si tratta di un fenomeno di movimentazione lenta sui versanti, nel quale i terreni argillosi divengono plastici o quasi fluidi per imbibizione d'acqua ed il terreno può colare verso valle anche in versanti a scarsa acclività; la profondità del movimento è condizionata dalla profondità di imbibizione del terreno superficiale, ma generalmente non supera i 2 m;
- frane per scivolamento: si tratta di movimenti in massa che comportano uno spostamento per taglio lungo una o più superfici di scorrimento, oppure entro un livello sufficientemente sottile; i movimenti possono essere rotazionali o traslativi; è possibile individuare frane per scivolamento attive e quiescenti;
- frane per colata: il fenomeno è caratterizzato da movimenti di materiali sciolti entro la massa spostata, tali per cui la forma assunta dal materiale in movimento o la distribuzione apparente delle velocità e degli spostamenti è assimilabile a quelle dei fluidi viscosi; anche in questo caso si possono individuare frane attive e quiescenti;

- contropendenze: in terreni interessati da movimenti di massa, quali frane per colata e soliflusso, è possibile individuare dei tratti di versante in contropendenza e con avvallamenti, rispetto all'andamento generale. Questo si determina per l'accumulo gravitativo di materiali detritici, messi in posto per soliflusso e per frana;
- orli di scarpata di degradazione: in corrispondenza di fenomeni di frana è possibile individuare un orlo di scarpata, corrispondente alla scarpata principale presente in coronamento; spesso tali orli, soprattutto per frane quiescenti, risultano oblitterati dalla rivegetazione del versante, pertanto la loro individuazione è risultata spesso incerta.

c. Forme e processi dei corsi d'acqua

I corsi d'acqua presenti risultano prevalentemente impostati su dislocazioni di carattere tettonico, sia per quanto riguarda il corso d'acqua principale, il fiume Scoltenna-Panaro, sia per i corsi d'acqua minori (torrente Lerna, rio Tufo, ecc).

Tali elementi idrografici determinano processi di erosione lineare, soprattutto in occasione di eventi meteorici rilevanti. L'alveo dei corsi d'acqua appare spesso incassato entro vallecole a V, e possono determinare orli di scarpata fluviale, attuali o non attuali.

L'evolversi dei fenomeni di erosione fluviale determina l'approfondimento dell'alveo, con conseguente erosione dei versanti circostanti e la conseguente attivazione di fenomeni di degradazione gravitativa e di frana. Questo fenomeno è facilitato dal substrato presente: in presenza di rocce prevalentemente argilloso-marnose tali fenomeni risulteranno infatti più marcati.

Oltre agli orli di scarpata fluviale, le forme più tipicamente legate alla presenza di un corso d'acqua sono rappresentate dai terrazzi fluviali. In particolare sono stati individuati tre ordini di terrazzi in adiacenza al Fiume Panaro.

Detti depositi sono organizzati in cicli sedimentari costituiti da ghiaie sabbiose alla base che passano a sabbie limose e quindi a limi sabbiosi verso l'alto. Tali corpi sedimentari occupano in genere i fondovalle e la parte inferiore dei versanti dove costituiscono terrazzi elevati di 5 ÷ 10 m rispetto all'alveo attuale nelle fasce prossime agli assi idrici superficiali.

I depositi terrazzati in narrativa sono riferibili al sistema AES8 ,unità AES8a, di età Romana - Attuale. Non sono stati riconosciuti depositi alluvionali più antichi. La causa di ciò è probabilmente correlata all'elevato grado di erodibilità del substrato, dovuta alla natura prevalentemente argilloso- marnosa e all'intensa fatturazione, che ha impedito la conservazione dei terrazzi più antichi di solito a quote maggiori.

Si segnalano, infine, alcune conoidi torrentizie attribuibili ai corsi d'acqua minori, come ad esempio alla confluenza tra il torrente Lerna ed il fiume Panaro e nella piana di Pavullo.

Tutte le forme geomorfologiche sono state riportate nella tavola 8.2: "Carta geologico- tecnica per la microzonazione sismica".





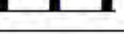
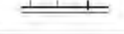

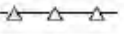

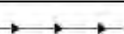
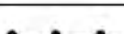


Le forme geomorfologiche sono state raggruppate in due macro categorie di cui si riporta sotto le legende e nello specifico sono:

- Forme di instabilità di versante
- Forme di superficie e sepolte

Figura 1.1.2-5 Legenda della Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica: instabilità di versante

Instabilità di versante	1 - crollo o ribaltamento	2 - scorrimento	3 - colata	4 - complessa	5 - non definito
1 - attiva					
2 - quiescente					
3 - inattiva					
4 - non definita					

Figura 1.1.2-7 Legenda della Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica: forme di superficie e sepolte

Forme di superficie e sepolte	
	Conoide alluvionale.
	Falda detritica.
	Area con cavità sepolte.
	Orlo di scarpata morfologica (10-20m)
	Orlo di scarpata morfologica (>20m)
	Orlo di terrazzo fluviale (10-20m)
	Orlo di terrazzo fluviale (>20m)
	Cresta
	Scarpata sepolta
	Valle sepolta stretta ($C \geq 0.25$)*
	Valle sepolta larga ($C < 0.25$)*
	Picco isolato
	Cavità isolata o <i>sinkhole</i>

* $C=H/L$ con H profondità della valle e L semilarghezza della stessa

4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

4.1 Dati Geotecnici

Al fine di caratterizzare dal punto di vista litotecnico i terreni di copertura ed il substrato geologico è stato necessario reperire tutte le informazioni di carattere geologico in possesso all'amministrazione comunale; a tal proposito è opportuno sottolineare come la banca dati del comune sia piuttosto ricca di informazioni con una buona diffusione areale su tutto il territorio comunale.

Sulla base del materiale fornito dall'amministrazione, è stata effettuata una selezione dei documenti tenendo conto dell'attendibilità del dato.

Sono state considerate pertanto indagini sismiche, i carotaggi di tipo continuo ed indagini penetrometriche, meglio se direttamente correlabili a sondaggi realizzati in prossimità.

In sintesi tra le indagini esistenti sono stati selezionati complessivamente:

- 14 sondaggi stratigrafici meccanici a carotaggio continuo;
- 31 prove penetrometriche statiche meccaniche CPT;
- 32 prove penetrometriche dinamiche leggere (DPL);
- 133 prove penetrometriche dinamiche pesanti e superpesanti (DPH e DPSH - SCPT);

Le prove geognostiche, di cui sopra sono servite, per individuare lo spessore delle coltri dei terreni di copertura e quindi stabilire la profondità del substrato geologico. Dai dati emersi dalle indagini geognostiche e dalle indagini geofisiche esiste una disparità tra il substrato geologico in senso stretto ed il bedrock sismico definito dalla velocità delle onde S maggiori di 800 m/s.

Oltre alle indagini in sito sono state raccolte, dove presenti, le indagini di laboratorio prelevate dai campioni ottenuti dai sondaggi stratigrafici.

In sintesi tra le prove esistenti di laboratorio sono stati selezionate complessivamente:

- 8 Prove di classificazione chimico-fisica dei materiali;
- 10 Prove di Taglio diretto (TD - CD) per valutare i parametri di resistenza al taglio dei materiali;
- 6 prove Edometriche (EDO) per valutare i parametri di deformabilità dei materiali;
- 1 prove di espansione laterale libera (ELL).

Come si può vedere dalle prove sopra selezionate mancano prove di laboratorio di caratterizzazione dei parametri dinamici, e quindi sismici, dei materiali.

4.2 Dati Geofisici

Dal punto di vista geofisico le prove che sono state sia reperite che effettuate sono prove di sismica di superficie e quindi indirette, in quanto non si è provveduto ad effettuare misure dirette della velocità delle onde S in fori di sondaggio.

Le prove reperite e ritenute valide sono prove sia di sismica attiva (quindi con generazione di sorgente sismica artificiale) che di sismica passiva (quindi con analisi naturale del rumore ambientale). Le prove inoltre sono state effettuate sia a stazione singola che in stendimento lineare (“array sismico”).

In sintesi tra le indagini esistenti sono stati selezionati complessivamente:

- 3 prospezioni simiche a rifrazione attiva con metodo MASW in onde Rayleigh (array sismico con geofoni verticali con analisi della componente verticale dell’onda di Rayleigh);
- 8 prospezioni simiche a rifrazione passiva con metodo ReMi (array sismico con geofoni verticali);
- 42 misure di sismica passiva con tecnica a stazione singola con acquisizione di microtremori con metodo Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr).

Tali indagini pregresse sono state integrate con nuove indagini geofisiche di superficie. Per determinare le velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio Vs delle unità litotecniche che costituiscono i primi 100 m del sottosuolo e definire gli spessori e variazioni laterali, delle coperture detritiche ed orizzonti di roccia detensionata/fratturata, sono state effettuate prospezioni geofisiche a rifrazione con metodo sia attive che passive, sia in array che a stazione singola.

Le nuove indagini sono state eseguite quasi sempre congiuntamente, al fine di meglio caratterizzare le velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio Vs con la profondità e di ridurre l’incertezza interpretativa che deriva dalle analisi di sismica di superficie.

E’ infatti abbastanza noto dalla sismica classica che le indagini di tipo passivo caratterizzano meglio il dato in profondità, in quanto sono più performanti a basse frequenze mentre le indagini di tipo attivo risultano performanti alle alte frequenze e quindi caratterizzano gli strati più superficiali del terreno ma il loro potere penetrante decresce abbastanza rapidamente con la profondità. L’analisi congiunta con entrambe le tecniche rappresenta la soluzione ottimale in quanto consente di ottenere informazioni sia superficiali che in profondità sugli strati di terreno investigati e quindi di meglio caratterizzarli dal punto di vista del comportamento sismico.

Nello specifico le nuove indagini hanno consistito nelle acquisizioni di microtremori a stazione singola di tipo HVSr e nella definizione del profilo di Vs mediante analisi di tipo MASW - HoliSurface. I dati ottenuti dalla curva HVSr forniscono utili indicazioni soprattutto per quanto riguarda le frequenze di risonanza e sui fattori di amplificazione sismica dei suoli durante un terremoto mentre attraverso la tecnica HoliSurface è stato

possibile definire l'andamento delle Vs con la profondità e quindi la definizione delle Vs ai fini della determinazione dei fattori di amplificazione.

Dette indagini, che saranno in maggior dettaglio di seguito elencate, sono state distribuite sul territorio sia in funzione delle finalità di caratterizzazione sismica dell'urbanizzato che degli ambiti suscettibili di urbanizzazione che delle principali infrastrutture; oltre a ciò sono state effettuate verticali di acquisizione delle Vs anche in altri siti al fine di individuare i valori di Vs di alcuni tipi di roccia in condizioni di substrato litologico affiorante.

Tutte le registrazioni sono state effettuate con Gemini2®PASI Srl, che è un registratore disegnato specificatamente per le acquisizioni del rumore sismico. Si tratta di un strumento portatile tutto in uno nel quale è integrata una terna di geofoni con frequenza di risonanza pari a **2Hz** (accuratamente accoppiati meccanicamente ed elettricamente) ed un acquisitore dati 24 bit reali appositamente progettato. Collegato al computer tramite l'interfaccia USB, Gemini consente la memorizzazione e la successiva analisi dei dati direttamente sul vostro PC tramite il software dedicato in dotazione.

In sintesi le nuove indagini realizzate sono state complessivamente:

- 57 prospezioni sismiche a rifrazione attiva con metodo MASW - HoliSurface in onde Rayleigh (array sismico con geofoni tridimensionali con analisi della componente verticale e radiale dell'onda di Rayleigh);
- 96 misure di sismica passiva con tecnica a stazione singola con acquisizione di microtremori con metodo Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr).

Le indagini, distinte in esistenti e nuove, sono state georeferenziate in apposito elaborato cartografico in scala 1:10.000 comprensivo dell'intero territorio comunale.

5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

La costruzione della “Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica” ha riportato tutte le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche, geotecniche ed idrogeologiche) derivate da informazioni esistenti desunte dalla banca dati della Regione Emilia-Romagna ed in possesso del Servizio Geologico Regionale, da ulteriori studi effettuati a livello del territorio comunale in fase di formazione dei vari piani urbanistici comunali e dal presente studio.

Questi dati sono stati necessari alla definizione del modello di sottosuolo per l'intero territorio comunale e propedeutici per la definizione in chiave sismica degli effetti attesi al suolo.

La conformazione locale del territorio comunale può essere suddiviso in due macrodomini: il Dominio Ligure e la Successione Epiligure, come peraltro più dettagliatamente descritto nel Cap.3 della medesima relazione.

Il settore centrale e centro meridionale del territorio comunale (l'ampia conca nella quale si sviluppa l'abitato di Pavullo stesso) è caratterizzato da formazioni appartenenti alla successione Epiligure. Tali formazioni semiautoctone costituite da arenarie, areniti, marne e marne argilloso-siltose, brecce poligeniche e peliti arenacee costituiscono il materiale lapideo stratificato, la cui stratificazione è influente sulle caratteristiche rocciose dell'ammasso. Tali litologie rappresentano il substrato geologico più giovane presente nel territorio comunale.

Nell' area più occidentale le unità litologiche sono costituite principalmente da alternanze calcareo marnose ed arenaceo pelitiche, del Dominio Ligure esterno con presenza di megatorbiditi arenaceo pelitiche, che denotano sensibile variabilità laterale, all'interno della stessa formazione, del grado di rigidità e sono caratterizzate da alternanze di livelli lapidei e livelli pelitici. Queste ultime sono in contatto con la parte basale della successione Epiligure, caratterizzate da areniti e sabbie che si differenziano per il basso grado di cementazione.

La fascia settentrionale, orientale e meridionale è caratterizzata per la quasi totalità dalle formazioni pre-flysch del Dominio Ligure, caratterizzate da litotipi a prevalente componente argillosa (Argille intensamente tettonizzate e argilliti) e subordinatamente da alternanze arenitiche - arenitico pelitiche, con rapporto arenaria/pelite da minore a molto minore di 1.

Sulla base del modello del sottosuolo sopra descritto, si determina che la morfologia del territorio risulta caratterizzata da un rilievo centrale, a pianta vagamente poligonale, con formazioni arenacee prettamente lapidee, circondato da formazioni argillose poco resistenti agli agenti del modellamento superficiale. In corrispondenza del limite tra queste due unità geologiche si riscontra spesso una marcata variazione della topografico, determinata dal raccordo tra pareti sub-verticali con pendii argillosi a pendenze inferiori e a morfologia ondulata. Lungo i pendii con abbondante matrice argillosa si rinvencono depositi detritici, a prevalente componente limo-argillosa, che costituiscono i fenomeni franosi di modeste dimensioni assai diffusi lungo tali pendii.

La maggior parte di tali fenomeni risente di movimenti annuali tali da far sì che i pendii in oggetto siano sempre in uno stato attivo.

Infine nelle aree di fondovalle sono presenti depositi alluvionali, in diversi ordini di terrazzamento, costituiti prevalentemente da ghiaie alle base e ghiaie sabbiose nella parte più alta, che si arricchiscono in componenti limoso sabbioso ghiaiose nei terrazzi di ordine superiore.

Quanto sopra descritto ed i rispettivi rapporti stratigrafici e l'assetto tettonico delle unità e formazioni che costituiscono il sottosuolo del territorio comunale di Pavullo nel Frignano, nei settori sede dell'urbanizzato e di previsto sviluppo, sono visualizzati anche nelle sezioni geologiche realizzate e riportate nella cartografia.

6. INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE

Per quanto riguarda le interpretazioni del centro abitato di Pavullo nel Frignano e dei 18 centri abitati più importanti dell'intero territorio comunale è possibile affermare, sia sulla base delle indagini pregresse che di quelle nuove realizzate ad hoc per lo studio in essere ci sia una buona corrispondenza con la situazione reale.

Per quanto riguarda le situazioni sulle borgate sparse e sul territorio rurale lo studio di microzonazione di I livello si è basato su banche dati pregresse, in quanto non sono state realizzate indagini ad hoc in queste aree; pertanto in queste aree (comunque di poco interesse dal punto di vista delle nuove espansioni urbanistiche) il modello desunto potrebbe essere affinato con indagini mirate sul sito in esame.

7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

7.1. Premessa

Lo studio di microzonazione sismica di I e II livello per il comune di Pavullo nel Frignano è stato realizzato secondo le seguenti fasi:

La definizione di **primo livello**, è stata effettuata sull'intero territorio comunale ed ha prodotto l'individuazione delle aree suscettibili di effetti locali o delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS).

La definizione di primo livello consente quindi di definire gli ambiti in cui si ritiene necessario effettuare indagini e analisi di microzonazione sismica e i livelli di approfondimento ritenuti necessari.

La definizione di **secondo livello**, è stata effettuata sulle aree urbane, aree suscettibili di trasformazione urbanistica e tratti delle principali reti infrastrutturali ed ha prodotto, in queste aree, i valori dei fattori di amplificazione del moto sismico al suolo.

7.2 Metodologie di elaborazione

Le elaborazioni dei dati geofisici sono state effettuate con il seguente software:
WinMasw - HoliSurface 3.0®Eliosoft

Le indagini geofisiche sono state realizzate nel seguente modo:

- Indagini geofisiche passive a stazione singola (HVSR)

Le indagini a stazione singola, con acquisizione di microtremori ambientali, sono state eseguite utilizzando un acquisitore **Gemini2®PASI Srl**, che è un registratore disegnato specificatamente per le acquisizioni del rumore sismico. Si tratta di un strumento portatile nel quale è integrata una terna di geofoni con frequenza di risonanza pari a **2Hz** (accuratamente accoppiati meccanicamente ed elettricamente) ed un acquisitore dati 24 bit reali appositamente progettato.

L'acquisizione è stata effettuata campionando il segnale a 200 Hz, ricampionato in fase di elaborazione a 128 Hz per una durata di circa 20 ÷ 30 minuti.

Tali dati sono stati elaborati con la tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) secondo le specifiche dei criteri SESAME 2005, che rappresentano i criteri del progetto Europeo sviluppato ad hoc per le misure ambientali di microtremore.

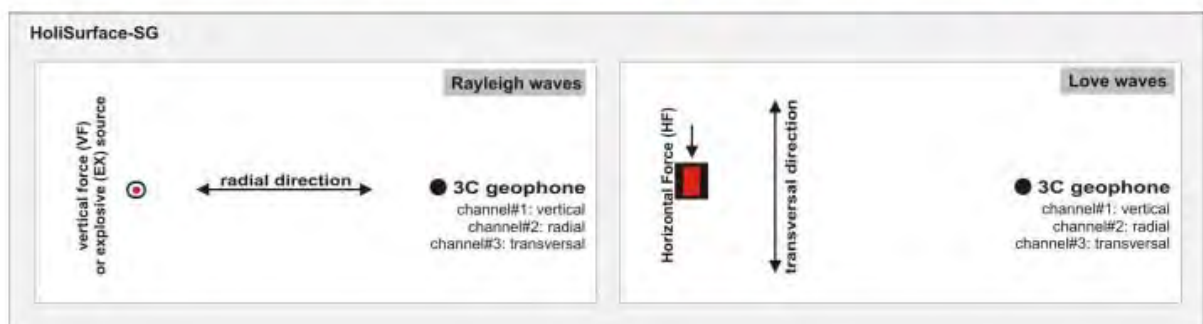
- Indagini geofisiche attive con metodo MASW - HoliSurface in onde Rayleigh

Le prospezioni sismiche sono state sempre eseguite con un acquirente **Gemini2®PASI Srl**. Il termine *HoliSurface®* proviene dall'unione dai termini "Holistic" e "Surface". Questo esprime il fatto che lo scopo del metodo/software è quello di analizzare la propagazione delle onde di superficie in modo completo, cioè olistico.

L'acquisizione è stata effettuata campionando il segnale a 1000 Hz, per una durata di circa 5 secondi. Lo strumento è stato fatto variare lungo distanze prefissate dello stendimento (35/40/45/50 m) per la lunghezza totale dello distendimento, in funzione delle possibilità operative, pari a 35 - 60 m, previa energizzazione con mazza da 10 kg su piastra metallica.

La differenza sostanziale del metodo è che in questo caso si utilizza un unico geofono a tre componenti (in quanto si tratta di un geofono con 3 sensori orientati in tre direzioni spaziali ortogonali) la cui orientazione è però fondamentale. Il punto determinante è che la seconda traccia del file di output deve rappresentare la componente *radiale* (cioè la direzione che rappresenta l'asse che unisce sorgente e geofono).

Inoltre è stato necessario orientare il NS dello strumento in assetto radiale rispetto alla sorgente (il NS è cioè in asse con la sorgente). Nella figura sottostante si riporta un esempio di acquisizione del dato in campagna:



7.3 Risultati

I risultati ottenuti vengono qui sinteticamente descritti per i due livelli di microzonazione sismica realizzati per il comune di Pavullo (I e II livello di microzonazione). Nel successivo capitolo (“Elaborati cartografici”) i risultati saranno dettagliati e spiegati per ogni singolo prodotto realizzato all’interno dello studio.

- I LIVELLO DI MICROZONAZIONE

Il I livello di microzonazione è stato realizzato su tutto il territorio comunale.

In riferimento agli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica del Dip. Prot. Civ, sono state individuate e delimitate le zone a comportamento equivalente in occasione di sollecitazione sismica, nelle quali sono da effettuarsi approfondimenti di indagini ed analisi per la microzonazione sismica di livello superiore ed i livelli di approfondimento che competono alle condizioni di pericolosità di detti ambiti.

Dall’analisi dei dati emerge immediatamente che i macrodomini geologici che costituiscono la totalità del territorio comunale (la successione Epiligure ed il dominio Ligure) si possono schematizzare in due grandi famiglie a comportamento sismico differente: una sottofamiglia dei primi rappresentano il cosiddetto “bedrock sismico”, caratterizzati da velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio prossime e superiori agli 800 m/s nei primi 30 ÷ 40 m del sottosuolo, i secondi invece sono contraddistinti da velocità decisamente più basse (dai 350 ai 550/600 m/s) e pertanto sono soggetti ad amplificazioni più marcate del moto sismico. La profondità del substrato geologico individuata mediante le analisi realizzate, passa da superficiale a sub/superficiale per i primi ad una profondità media stimata di 10-15 m per i secondi, anche sulla base delle coperture detritiche sovrastanti.

Al comportamento del substrato geologico vanno esclusi tutte i fenomeni franosi che sono caratterizzati da comportamenti ben differenti e che richiedono il più alto livello di approfondimento di microzonazione sismica, in quanto possono essere soggetti non solo a fenomeni di amplificazione.

- II LIVELLO DI MICROZONAZIONE

Il II livello di microzonazione è stato realizzato sulle aree urbanizzate, aree suscettibili di trasformazione urbanistica e i tratti delle principali reti infrastrutturali; a tal proposito sono state individuate delle finestre di dettaglio nelle quali si è provveduto a realizzare le indagini.

Dall’analisi dei dati ottenuti e sulla base delle risultanze del I livello è stato possibile quantificare i fattori amplificativi dei materiali geologici e dei terreni di copertura. Tali fattori sono tre per ogni area individuata, in termini sia accelerazione al suolo (PGA) che

di Intensità di Housner (IS suddivisa in due distinti periodi T di riferimento) secondo l'approccio proposto dalla Regione Emilia-Romagna.

Il secondo livello evidenzia che i fattori amplificativi del materiale geologico appartenente alla successione Epiligure sono piuttosto bassi (da 1,0 a 1,2 per la PGA; da 1,0 a 1,3 per l'intensità di Housner) mentre quelli delle litologie appartenenti al dominio Ligure comprendono una forbice di parametri ben più ampia e con valori decisamente più elevati a causa anche della presenza, localmente, di coperutre detritiche (da 1,2 a 2,5 per la PGA; da 1,3 a 2,6 per l'intensità di Housner).

Per quanto riguarda una porzione dell'abitato di Pavullo e dell'abitato di Sant'Antonio, la presenza di sedimenti fluvio-lacustri superficiali nasconde delle morfologie sepolte nel sottosuolo; a causa di ciò le indagini svolte mettono in evidenza amplificazioni del moto sismico piuttosto accentuate, e pertanto, ai fini della sicurezza, è stato deciso di rimandare tali aree ad approfondimenti di III livello di microzonazione sismica. Analogamente allo studio di III livello ricadono anche tutti i fenomeni franosi che sono stati rilevati e mappati.

8. ELABORATI CARTOGRAFICI

8.1 Carta delle indagini

Sulla base del materiale fornito dall'amministrazione e reperito presso gli uffici tecnici sono state selezionate complessivamente:

- 14 sondaggi stratigrafici meccanici a carotaggio continuo;
- 31 prove penetrometriche statiche meccaniche CPT;
- 32 prove penetrometriche dinamiche leggere (DPL);
- 133 prove penetrometriche dinamiche pesanti e superpesanti (DPH e DPSH - SCPT);
- 3 prospezioni simiche a rifrazione attiva con metodo MASW in onde Rayleigh (array sismico con geofoni verticali con analisi della componente verticale dell'onda di Rayleigh);
- 8 prospezioni simiche a rifrazione passiva con metodo ReMi (array sismico con geofoni verticali);
- 42 misure di sismica passiva con tecnica a stazione singola con acquisizione di microtremori con metodo Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr).

Oltre alle indagini in sito sono state raccolte, dove presenti, le indagini di laboratorio effettuate sui campioni prelevati dai sondaggi stratigrafici.

In sintesi tra le prove esistenti di laboratorio sono stati selezionate complessivamente:

- 8 Prove di classificazione chimico-fisica dei materiali;
- 10 Prove di Taglio diretto (TD - CD) per valutare i parametri di resistenza al taglio dei materiali;
- 6 prove Edometriche (EDO) per valutare i parametri di deformabilità dei materiali;
- 1 prove di espansione laterale libera (ELL).

Tali indagini pregresse sono state integrate con nuove indagini geofisiche di superficie; nello specifico sono state effettuate prospezioni geofisiche a rifrazione con metodo sia attive che passive, sia in array che a stazione singola.

Le nuove indagini sono state eseguite quasi sempre congiuntamente, al fine di meglio caratterizzare le velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio Vs con la profondità e di ridurre l'incertezza interpretativa che deriva dalle analisi di sismica di superficie.

Nello specifico le nuove indagini hanno consistito nelle acquisizioni di microtremori a stazione singola di tipo HVSr e nella definizione del profilo di Vs mediante analisi di tipo MASW - HoliSurface.

In sintesi le nuove indagini realizzate sono state complessivamente:

- 57 prospezioni sismiche a rifrazione attiva con metodo MASW - HoliSurface in onde Rayleigh (array sismico con geofoni tridimensionali con analisi della componente verticale e radiale dell'onda di Rayleigh);
- 96 misure di sismica passiva con tecnica a stazione singola con acquisizione di microtremori con metodo Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR).

Le indagini sono state distinte in pregresse e nuove, sulla base tipologica e profondità raggiunta. L'elaborato è stato redatto in scala 1:10000.

8.2 Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica

La "Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica" riporta tutte le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche, geotecniche ed idrogeologiche) derivate da informazioni esistenti desunte dalla banca dati della Regione Emilia-Romagna ed in possesso del Servizio Geologico Regionale, da ulteriori studi effettuati a livello del territorio comunale in fase di formazione dei vari piani urbanistici comunali e dal presente studio.

Questi dati sono stati necessari alla definizione del modello di sottosuolo per l'intero territorio comunale e propedeutici per la definizione in chiave sismica degli effetti attesi al suolo.

La conformazione regionale del territorio di Pavullo nel Frignano può essere suddiviso in due macrodomini: il Dominio Ligure e la Successione Epiligure, come peraltro più dettagliatamente descritto nel Cap.3 della medesima relazione.

Il settore centrale e centro meridionale del territorio comunale (l'ampia conca nella quale si sviluppa l'abitato di Pavullo stesso) è caratterizzato da formazioni appartenenti alla successione Epiligure. Tali formazioni semiautoctone costituite da arenarie, areniti, marne e marne argilloso-siltose, brecce poligeniche e peliti arenacee costituiscono il materiale lapideo stratificato, la cui stratificazione è influente sulle caratteristiche rocciose dell'ammasso. Tali litologie rappresentano il substrato geologico più "giovane" presente nel territorio comunale.

Nell'area più occidentale le unità litologiche sono costituite principalmente da alternanze calcareo marnose ed arenaceo pelitiche, del Dominio Ligure esterno con presenza di megatorbiditi arenaceo pelitiche, che denotano sensibile variabilità laterale, all'interno della stessa formazione, del grado di rigidità e sono caratterizzate da alternanze di livelli lapidei e livelli pelitici. Queste ultime sono in contatto con la parte basale della successione Epiligure, caratterizzate da areniti e sabbie che si differenziano per il basso grado di cementazione.

La fascia settentrionale, orientale e meridionale è caratterizzata per la quasi totalità dalle formazioni pre-flysch del Dominio Ligure, caratterizzate da litotipi a prevalente

componente argillosa (Argille intensamente tettonizzate e argilliti) e subordinatamente da alternanze arenitiche - arenitico pelitiche, con rapporto arenaria/pelite da minore a molto minore di 1.

Nello specifico le unità geologiche sono state raggruppate secondo le specifiche proposte. Le categorie individuate di substrato geologico rigido e non rigido ricadono nelle diciture:

- Lapideo massiccio e stratificato;
- Coesivo sovraconsolidato non stratificato e stratificato;
- Substrato geologico non rigido non stratificato e stratificato.

Per quanto riguarda gli elementi tettonico-strutturali sono state rappresentate faglie dirette e inverse non attive.

Sono state rappresentate tutte le forme di instabilità riscontrate e rilevate.

Infine sono stati cartografati terreni di copertura (con spessori > 3m) suddivisi sulla base granulometrica e con riportato l'ambiente genetico deposizionale; in particolare sono stati riscontrati ambienti di versante e fluvio-lacustre con granulometrie che variano dal materiale detritico, generalmente fine (frammenti di roccia, sabbie, limi e peliti) prodotto da alterazione "in situ" o selezionato dall'azione mista delle acque di ruscellamento e della gravità (subordinata), con a luoghi clasti a spigoli vivi dei depositi eluvio-colluviali alle sabbie fini, limi e limi argillosi dei depositi eolici.

Nelle aree di fondovalle sono presenti depositi alluvionali, in diversi ordini di terrazzamento, costituiti prevalentemente da ghiaie alle base e ghiaie sabbiose nella parte più alta, che si arricchiscono in componenti limoso sabbiosi ghiaiosi nei terrazzi di ordine superiore.

Quanto sopra descritto ed i rispettivi rapporti stratigrafici e l'assetto tettonico delle unità e formazioni che costituiscono il sottosuolo del territorio comunale di Pavullo nel Frignano, nei settori sede dell'urbanizzato e di previsto sviluppo, sono visualizzati nelle sezioni geologiche allegate.

L'elaborato è stato redatto in scala 1:10000.

8.3 Carta delle frequenze naturali dei terreni

La carta delle frequenze naturali dei terreni è stata ottenuta mediante indagini di rumori ambientale (microtremori) a stazione singola con tecnica HVSR.

I dati ottenuti dalle elaborazioni di tali indagini, attraverso l'analisi dei rapporti spettrali tra le componenti orizzontali e la componente verticale dello strumento, consentono infatti di definire le modalità di vibrazione del terreno ed individuare sia la frequenza di risonanza fondamentale (valore f_0) che l'ampiezza (A) dei rapporti spettrali in corrispondenza delle frequenze individuate.

Bisogna infatti considerare 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).

Tutto il territorio indagato è stato suddiviso in base a classi di frequenza (nell’intervallo 0,1-20,0 Hz):

- $f_0 \leq 1$ Hz (spessori attesi ≥ 100 m),
- $1 \text{ Hz} < f_0 \leq 2$ Hz (spessori attesi fra 100 e 30 m),
- $2 \text{ Hz} < f_0 \leq 8$ Hz (spessori attesi fra 30 e 10 m),
- $f_0 > 8$ Hz (spessori attesi < 10 m)

Inoltre sono state caratterizzate le zone da alti contrasti di impedenza alla base delle coperture (ampiezza HVSR > 3) e bassi contrasti di impedenza (ampiezza HVSR < 3).

In generale, tuttavia, si evince che i membri prevalentemente arenacei delle formazioni della Successione Epiligure, non indicano marcate amplificazioni dal punto di vista sismico. Le misure realizzate su questi litotipi mostrano frequenza di risonanza superiori a $f_0 = 10 - 20$ Hz ed ampiezze comprese tra 1,5 e 3,0, evidenziando contenuti in alta frequenza di scarsa influenza per la pianificazione territoriale e per le varie tipologie costruttive oggi esistenti.

Si differenziano moderatamente le formazioni marnoso siltoso sabbiose della Successione Epiligure generalmente con alte frequenze $f_0 = 6,0 - 12,0$ Hz ed ampiezze ricomprese tra 3 e 5.

Per quanto riguarda le caratteristiche di risposta delle unità del Dominio Ligure possiamo riscontrare una certa somiglianza tra le litologie presenti.

Nelle alternanze arenaceo-pelitiche e calcareo-marnose, ovvero nei litotipi ad aspetto più massiccio, si rilevano frequenze in prevalenza comprese tra $f_0 = 1,5 \div 5,0$ Hz ed ampiezze di $1,5 \div 2,5$.

Comportamenti sostanzialmente equivalenti a quelli sopra descritti, evidenziano le litozone prevalentemente argillose, argillitiche e prevalentemente pelitiche del Dominio Ligure che si contraddistinguono con frequenze $F_0 = 1,5 - 2,5$ Hz con contenuti però anche in altre frequenze $f_0 = 5,0 - 8,0$ Hz, ed ampiezze mediamente comprese tra 1,5 - 2,5.

Per quanto riguarda sia i terreni di copertura che i depositi gravitativi è stato riscontrato che le condizioni di eterogeneità sono ben evidenti, infatti in funzione dello spessore delle coltri si riscontrano frequenze comprese tra 2,0 - 5,0 - 7,0 Hz ed ampiezze comprese tra $2,0 \div 4,5$.

Analogo comportamento evidenziano anche i depositi di versante con spessori maggiori di $3 \div 4$ m che mostrano frequenze generalmente comprese tra 4,5 - 8,5 Hz ed ampiezze pari a 3,5 - 7,5

Infine non sono stati caratterizzati, data lo scarso interesse urbanistico delle aree nelle quali ricadono, i depositi alluvionali del sistema AES8.

L’elaborato è stato redatto in scala 1:10000.

8.4 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 1)

La Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 1) è costruita sulla base degli elementi individuati e già riportati nella Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica. L'elaborato è stato redatto in scala 1:10000.

In funzione delle informazioni rappresentate, la legenda è distinta nelle seguenti parti:

- zone stabili;
- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali;
- zone suscettibili di instabilità;
- forme di superficie e sepolte;
- tracce di sezione topografica.

In riferimento agli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica del Dip. Prot. Civ. e Conf. Delle Regioni e Province Autonome e gli Standard MS (v. 2.0), sono state individuate e delimitate le zone a comportamento equivalente in occasione di sollecitazione sismica, nelle quali sono da effettuarsi approfondimenti di indagini ed analisi per la microzonazione sismica ed i livelli di approfondimento che competono alle condizioni di pericolosità di detti ambiti.

Nell'individuazione e delimitazione delle aree in oggetto oltre alle documentazioni bibliografiche già ampiamente descritte sono state utilizzate nuove verticali di indagine geofisica di tipo lineare e ad antenna singola.

Di seguito si riporta una descrizione delle microzone omogenee in prospettiva sismica con gli schemi dei rapporti litostratigrafici più significativi:

- Zone stabili

- Lapideo/Lapideo stratificato (LP/LPS)



Materiale lapideo stratificato e non (in cui la stratificazione non influenza in maniera significativa le caratteristiche di resistenza dell'ammasso)

Rientrano in questa zona le seguenti formazioni geologiche affioranti:

Formazione di Pantano (PAT), Membro di Sassoguidano (PAT1), Membro di Montecuccolo (PAT2), Basalti, Breccie Ofiolitiche e Serpentine.

FORMAZIONE DI PANTANO (PAT)

Si tratta di areniti siltose fini e finissime, grigie (beige se alterate), alternate a peliti marnose e siltose grigio-chiare; stratificazione generalmente poco marcata o addirittura impercettibile a causa dell'intensa bioturbazione. All'interno si distinguono due membri:

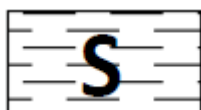
- MEMBRO DI MONTECUCCOLO (PAT2)

Biocalcareniti ed areniti ibride giallastre da fini a grossolane, con stratificazione prevalentemente obliqua a grande scala;

- MEMBRO DI SASSOGUIDANO (PAT1)

Areniti ibride prevalentemente finissime e fini, con stratificazione da media a molto spessa.

- Coesivo sovraconsolidato/ Coesivo sovraconsolidato stratificato (CO/COS)



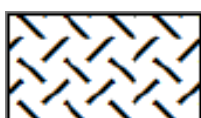
Argille, argille marnose e argille siltose strutturalmente ordinate, stratificate:
Rientrano in questa zona le seguenti formazioni geologiche affioranti:

Formazione di Cigarello (CIG),

Si tratta di marne siltoso-sabbiose, talora argillose, grigie, grigio scure o beiges se alterate, bioturbate e fossilifere. Stratificazione generalmente poco evidente per l'assenza di livelli grossolani. Localmente affiorano intervalli di strati sottili arenaceo-pelitici tabulari con $A/P < 1$ o litofacies marnose franche.

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

- Zona 0 (Substrato geologico rigido molto fratturato SF)

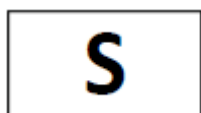


Materiale lapideo stratificato e non (in cui la stratificazione non influenza in maniera significativa le caratteristiche di resistenza dell'ammasso)

Rientrano in questa zona le seguenti formazioni geologiche affioranti:

Formazione di Pantano (PAT), Membro di Sassoguidano (PAT1), Membro di Montecuccolo (PAT2) e la Formazione di Cigarello (CIG) sopra descritti.

- Zona 1 (Substrato geologico non rigido stratificato NRS)



Ammassi rocciosi strutturalmente ordinati costituiti da alternanze tra livelli lapidei (Es: arenarie cementate, calcareniti, calcilutiti ecc.) e livelli pelitici con livelli lapidei prevalenti: rapporto $L/P > 3$.

Rientrano in questa zona le seguenti formazioni geologiche affioranti:

FORMAZIONE DI CIGARELLO - MEMBRO DI MONTE LUMINASIO (CIG2)

Arenarie fini e medie, localmente biocalcareni e litareniti grossolane e microconglomeratiche, alternate a peliti siltose grigie, in strati da sottili a molto spessi, prevalentemente tabulari. Rapporto $A/P > 1$. Intercalazioni metriche e decametriche di peliti sabbiose;

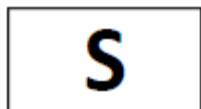
ARENARIE DEL POGGIO MEZZATURE (APM)

Torbiditi arenaceo-pelitiche in strati da sottili a molto spessi costituiti di arenarie grigio-verdastre medie o grossolane, a luoghi microconglomeratiche, passanti ad arenarie fini e ad argille grigio-verdi. Rapporto $A/P > 1$.

FORMAZIONE DI MONTEPASTORE (MPA)

Torbiditi calcarenitico-marnose in strati da medi a molto spessi e in banchi. Base degli strati biocalcarenitica, da fine a grossolana, passante a marna calcarea biancastra o grigio verdognola.

- Zona 2 (Substrato geologico non rigido stratificato NRS)



Ammassi rocciosi strutturalmente ordinati costituiti da alternanze tra livelli lapidei (Es: arenarie cementate, calcareniti, calcilutiti ecc.) e livelli pelitici con rapporto tra livelli lapidei e livelli pelitici $3 > L/P > 1/3$.

Rientrano in questa zona le seguenti formazioni geologiche affioranti:

FLYSCH DI MONTE CASSIO (MCS)

Torbiditi a base calcarenitica fine e media passante a marne calcaree, in strati da spessi a molto spessi, grigio-biancastre alternate a pacchi di strati torbiditici arenaceo-pelitici da sottili a spessi, grigiastri.

FORMAZIONE DI MONGHIDORO (MOH) Torbiditi arenaceo-pelitiche in strati spessi, raramente molto spessi, con rapporto A/P generalmente intorno a $2/1$ cui si intercalano intervalli metrici di strati sottili e medi con rapporto A/P circa $1/2$.

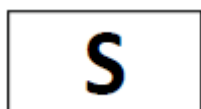
FORMAZIONE DI MONTE VENERE (MOV)

Torbiditi arenaceo-marnose con base fine grigio-chiaro, in strati da medi a molto spessi, al tetto intervalli sottili o medi di argille scure o nerastre. Intercalazioni metriche di strati arenaceo-pelitici da sottili a spessi grigio brunastri, con rapporto $A/P > 1$, a luoghi prevalenti sugli strati calcareo-marnosi.

ARENARIE DI SCABIAZZA - Membro del M. Mazzano (SCB1)

Torbiditi arenitico-marnose in strati da medi a molto spessi a geometria tabulare costituiti da una base arenitica fine passante a marna grigio-verde e giallastra, localmente spessa. Subordinate torbiditi arenaceo-pelitiche tipo SCB.

- Zona 3 (Substrato geologico non rigido stratificato NRS)



Ammassi rocciosi strutturalmente ordinati costituiti da alternanze tra livelli lapidei (Es: arenarie cementate, calcareniti, calcilutiti ecc.) e livelli pelitici con livelli pelitici prevalenti: rapporto L/P < 1/3.

Rientrano in questa zona le seguenti formazioni geologiche affioranti:

ARGILLE DI VIANO (AVI)

Argille siltose grigie, nerastre o rossastre in strati sottili o medi. Subordinate arenarie fini in strati sottili; rare calcilutiti marnose biancastre in strati medi e calcareniti marnose in strati da medi a spessi.

FORMAZIONE DI RANZANO - MEMBRO DI ALBERGANA (RAN4)

Torbiditi pelitico-arenacee in strati generalmente da molto sottili a medi costituiti da feldspatoareniti fini passanti a peliti grigio scure. Localmente strati molto sottili di vulcanoclastiti andesitiche.

MARNE DI MONTEPIANO (MMP)

Argille, argille marnose e marne rosse, rosate, grigio chiaro e verdi, con rari e sottilissimi strati di feldspatoareniti risedimentate biancastre, siltiti nerastre e calcari marnosi grigio-verdi od oca.

FORMAZIONE DI LOIANO - MEMBRO DI RIO GIORDANO (LOI1)

Argille marnoso-siltose verdastre, grigio scure o localmente rossastre a stratificazione indistinta con sottili intercalazioni di arenarie fini grigio-marroni.

ARENARIE DI SCABIAZZA (SCB)

Torbiditi arenaceo-pelitiche con arenarie da molto sottili a medie, mal strutturate e poco cementate, talora gradate, con granulometria da fine a finissima, di colore grigio, grigio scure o grigio-verdastre (beige o rossastro se alterate) in strati molto sottili e sottili, e argille o argille marnose verdastre o grigio scuro molto sporche.

- Zona 4 (Substrato geologico non rigido NR)



Sabbie e Areniti stratificate con eventuale rara presenza di livelli pelitici, poco cementate.

Rientrano in questa zona le seguenti formazioni geologiche affioranti:

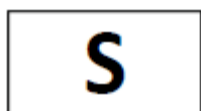
FORMAZIONE DI LOIANO (LOI)

Arenarie arcose, da fini a molto grossolane, a luoghi microconglomeratiche, in genere scarsamente cementate, con subordinati conglomerati, in strati medi e banchi frequentemente amalgamati, di colore biancastro o grigio chiaro.

FORMAZIONE DI ANTOGNOLA - MEMBRO DI ANCONELLA (ANT4)

Torbiditi arenaceo-pelitici, in strati da medi a molto spessi; arenarie quarzose feldspatiche, di colore grigio chiaro alterate in giallastro; subordinate marne argillose grigie, grigio verdi, grigio scuro o nerastre.

- Zona 5 (Substrato geologico non rigido stratificato NRS)



Argille, argille marnose e argille siltose strutturalmente ordinate, stratificate, con eventuale rara presenza di livelli arenitici

Rientrano in questa zona le seguenti formazioni geologiche affioranti:

FORMAZIONE DI CIGARELLO - MEMBRO DI MONTALTO NUOVO (CIG1)

Alternanze di arenarie finissime bioturbate e siltiti o peliti marnoso-sabbiose in strati da sottilissimi a medi; verso l'alto arenarie bioturbate in strati metrici e peliti marnose.

FORMAZIONE DI ANTOGNOLA (ANT) Marne argillose e marne siltose verdognole o grigie con patine manganesifere; fratturazione concoide o con tipiche superfici concentriche.

- Zona 6 (Substrato geologico non rigido NR)



Argille a struttura primaria caotica (debris flow e mud flow) - unità costituite in prevalenza da argille con a luoghi subordinati inclusi lapidei che determinano una tessitura clastica,

Rientrano in questa zona le seguenti formazioni geologiche affioranti:

BRECCE ARGILLOSE DELLA VAL TIEPIDO - CANOSSA (MVT)

Brecce argillose poligeniche a matrice argillosa prevalentemente grigia, costituita in gran parte da clasti millimetrici di marne e peliti, recanti clasti litoidi

BRECCE ARGILLOSE DI BAISO (BAI):

- MEMBRO DI PIAN DI SETTA (BAI2) (Luteziano sup. - Bartoniano)

Brecce poligeniche a matrice argillosa grigia con prevalenti clasti eterometrici di calcilutiti grigio chiare, arenarie fini e argille. Materiale in prevalenza proveniente da APA, AVT, AVV e SCB.

MEMBRO DELLA VAL FOSSA (BAI1) (Luteziano sup. - Bartoniano)

Brecce poligeniche a matrice argillosa grigio scura e nerastra con clasti eterometrici (in genere di piccole dimensioni) di peliti, calcilutiti e arenarie; materiali provenienti prevalentemente da AVV, SCB e AVS.

- Zona 7 (Substrato geologico non rigido NR)



Argille intensamente tettonizzate, argilliti - unità costituite in prevalenza da argille che a causa della loro storia tettonica risultano intensamente piegate e fratturate.
Rientrano in questa zona le seguenti formazioni geologiche affioranti:

ARGILLE VARICOLORI DI CASSIO (AVV)

Argilliti scure, rossastre o rosate, verdi e nerastre, con stratificazione (quando preservata) da molto sottile a sottile, in cui si intercalano livelli sottili di torbiditi arenaceo-pelitiche grigie, calcilutiti silicee grigiastre o verdognole gradate in strati da medi a spessi e calcilutiti marnose spesse grigio chiaro,

ARGILLE VARIEGATE DI GRIZZANA MORANDI (AVT)

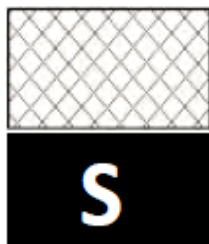
Argilliti e argille rosso violacee, verdastre, grigio-scure e grigio azzurrognole, con subordinate siltiti grigio-scure o nere manganesifere, in strati sottili o molto sottili e calcilutiti grigio-verdi in strati sottili e medi.

ARGILLE A PALOMBINI (APA)

Argilliti ed argilliti siltose grigio scure, più raramente verdi, rossastre o grigio-azzurrognole, fissili (nella pelite è spesso presente un clivaggio scaglioso a carattere pervasivo), alternate a calcilutiti silicizzate grigio chiare e grigio-verdi;

ARGILLE E CALCARI DEL T. LAVINELLO (AVN) Argilliti rosse, rosate e grigie, con intercalati spezzoni di strato (da sottilissimi a molto spessi) e di calcilutiti grigio chiare e verdastre e di calcareniti fini, biancastre e rosate o verdognole e marne grigio chiare.

- Zona 8 (RI)



3-5 m

Substrato geologico rigido lapideo

Zona di debole riporto antropico.

- Zona 9 (GW)

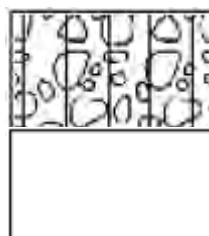


3-5 m

Substrato geologico non rigido

Depositi alluvionali recenti

- Zona 10 (GM)

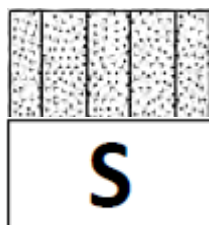


5-10 m

Substrato geologico non rigido

Depositi alluvionali terrazzati con terrazzi del I, II e III ordine.

- Zona 11 (SM)

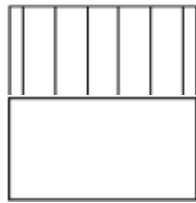


10-20 m

Substrato geologico stratificato non rigido

Coltre di materiale detritico su versante, generalmente fine (frammenti di roccia, sabbie, limi e peliti) prodotto da alterazione "in situ" o selezionato dall'azione mista delle acque di ruscellamento e della gravità (subordinata), con a luoghi clasti a spigoli vivi.

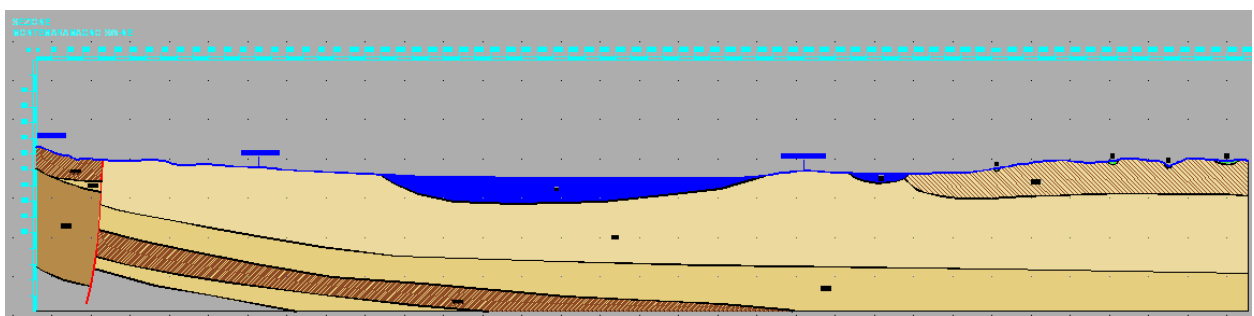
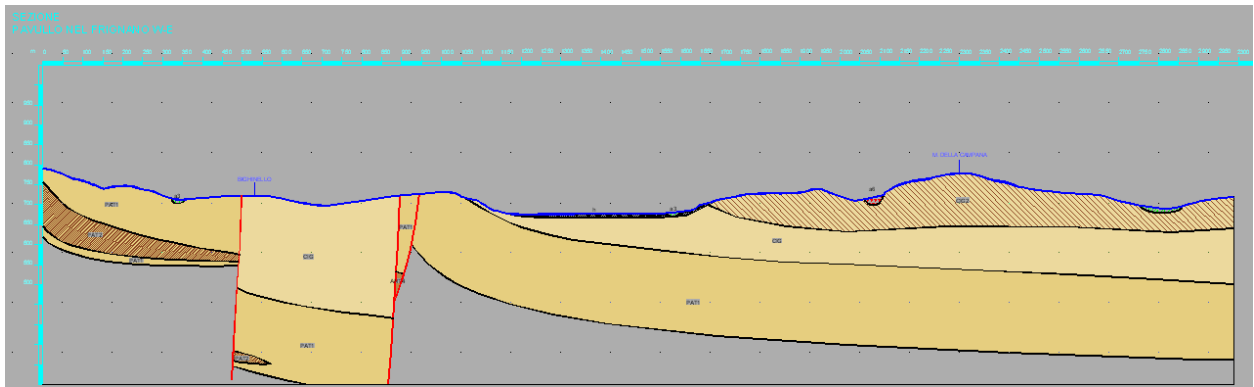
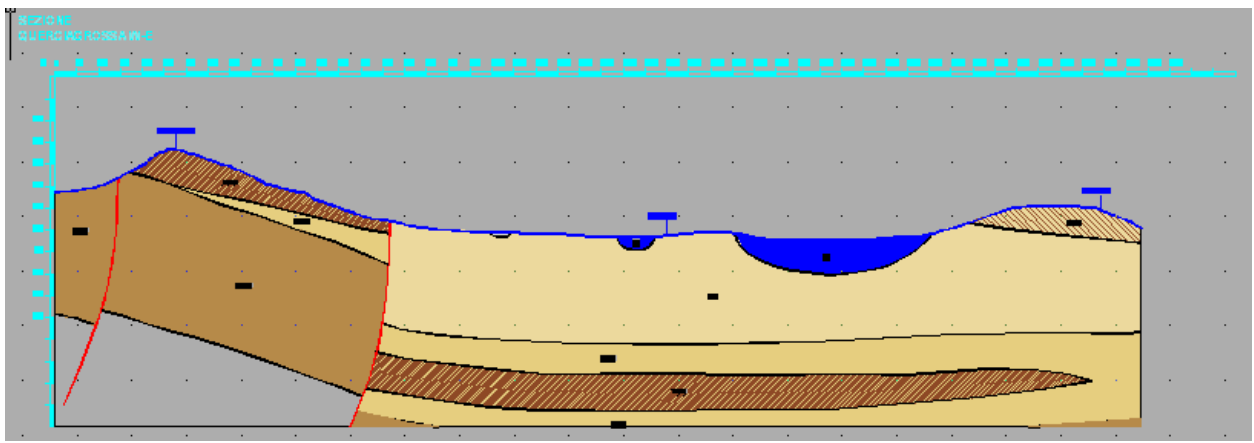
- Zona 12 (ML)



5-15 m

Substrato geologico stratificato/non stratificato non rigido

Sabbie fini, limi e limi argillosi, in genere notevolmente pedogenizzati.
Si riportano anche le tre sezioni litotecniche dell'area di Pavullo, che potranno essere utilizzate per la modellazione numerica per gli studi di terzo livello.



Zone suscettibili di instabilità

Tra le zone suscettibili di instabilità, nel territorio comunale sono state individuate le seguenti:

- Zone legate a instabilità di versante: sono stati individuati i depositi in frana, distinguendo i dissesti attivi, quelli quiescenti;
- Zone legate a cedimenti differenziali.

Forme di superficie e sepolte

Le forme di superficie e sepolte che possono essere utili negli studi di microzonazione qui individuati sono:

- Conoidi alluvionali
- Falda detritica

Sono inoltre individuate tutti quegli elementi che possono determinare amplificazione topografica quali scarpate terrazzi e creste.

Le tracce di amplificazione topografica sono riportate in carta ed identificate da un numero progressivo. Queste tracce interessano solo aree urbanizzate ed urbanizzabili.

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

La carta delle velocità delle onde di taglio (Vs), rappresenta la sintesi delle velocità delle onde di taglio con indicazione per ogni punto di misura di:

- del tipo di prova geofisica che è stata effettuata;
- della profondità del substrato H (in m) e di V_{SH} (in m/s) *nelle aree in cui $H < 50$ m*;
- di V_{s30} (in m/s) *nelle aree in cui $H > 50$ m*.

I valori di Vs sono stati calcolati in base a dati acquisiti con indagini sismiche di superficie sia di tipo attivo che passivo opportunamente combinate tra di loro per meglio definire il profilo, con la profondità, di velocità delle onde S:

- 57 prospezioni sismiche a rifrazione attiva con metodo MASW - HoliSurface in onde Rayleigh (array sismico con geofoni tridimensionali con analisi della componente verticale e radiale dell'onda di Rayleigh);
- 96 misure di sismica passiva con tecnica a stazione singola con acquisizione di microtremori con metodo Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr).

In riferimento ai valori di velocità V_s calcolati con la seconda delle metodologie sopra indicate e sull'interpretazione critica delle prove geognostiche disponibili, è stato possibile estendere l'informazione sulla profondità H del substrato rigido avvalendosi della relazione che collega la frequenza di risonanza con la profondità del substrato rigido e la velocità media delle onde S ($F_0 = V_s/4H$).

In generale le elaborazioni delle acquisizioni effettuate hanno evidenziato quanto sotto riportato e suddiviso sulla base dei terreni di copertura e del substrato geologico:

- Terreni di copertura:

Accumuli di frana

$V_s = 200/250 \div 300/350$ m/s;

Depositi di versante sl

$V_s = 150/200 \div 250/300$ m/s;

Substrato geologico:

Formazioni Epiliguri:

Prevalentemente arenacee - arenaceo conglomeratiche

$V_s = 650 - 800 / >800$ m/s (bedrock sismico)

Prevalentemente pelitico - arenacee

$V_s = 450 - 650$ m/sec (pseudo bedrock sismico)

Prevalentemente argillitiche - argillose

$V_s = 400 - 500$ m/sec

Formazioni Liguri

$V_s = 300/350 - 550$ m/s

L'elaborato è stato redatto in scala 1:10000

8.6 Carta di microzonazione sismica (livello 2 o 3)

Gli sviluppi delle aree oggetto di microzonazione sismica di secondo livello di approfondimento individuano aree a comportamento sismico equivalente, attribuendo alle stesse indici quantitativi che definiscono in base alle condizioni stratigrafiche e topografiche l'amplificazione sismica attesa ($T_r = 475$ anni; $\zeta = 5\%$).

La carta di microzonazione sismica assegna ad ognuna delle microzone individuate valori dei Fattori di Amplificazione (F.A.) calcolati mediante appositi abachi predisposti della Regione o dal Dipartimento di Protezione Civile Nazionale.

Nello specifico per il comune di Pavullo nel Frignano, trattandosi di comune del medio appennino modenese, gli abachi del Dipartimento di Protezione Civile Nazionale, concepiti esclusivamente per le aree di pianura, non sono utilizzabili, pertanto i fattori

di amplificazione sono stati stimati solo in base agli abachi messi a disposizione dalla Regione Emilia-Romagna (v. Allegato A2 della DAL 112/2007).

Questi ultimi prevedono una serie di dati di ingresso che comprendono il contesto geologico di riferimento, lo spessore di copertura ed il tipo di substrato geologico ed i parametri V_{s30} e V_{sH} .

Il parametro scelto per quantificare l'amplificazione, come sopra ricordato, non corrisponde la parametro F_a o F_v degli ICMS 2008; a tal proposito sono stati individuati due parametri rappresentativi del moto di amplificazione del sisma al suolo.

Questi parametri sono espressi sia in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA_0) sia di rapporto di Intensità di Housner (SI/SI_0) per prefissati intervalli di periodi, dove PGA_0 e SI_0 sono rispettivamente l'accelerazione massima orizzontale e l'Intensità di Housner al suolo di riferimento e PGA e SI sono le corrispondenti grandezze di accelerazione massima orizzontale e Intensità di Housner calcolate alla superficie dei siti esaminati.

Nello specifico pertanto la carta di microzonazione sismica si compone, per ogni microzona individuata di tre fattori differenti sotto descritti:

F_x = Fattore di amplificazione della PGA (FA PGA);

F_y = Fattore di amplificazione dell'intensità di Housner nell'intervallo di periodo T compreso tra 0,1-0,5 s (FA IS 0,1-0,5 s);

F_z = Fattore di amplificazione dell'intensità di Housner nell'intervallo di periodo T compreso tra 0,5-1,0 s (FA IS 0,5-1,0 s);

Le microzone individuate sono suddivise, nelle aree interessate dall'urbano e suscettibili di trasformazioni urbanistiche da:

- zone stabili: nelle quali non si ipotizzano effetti di alcuna natura, se non lo scuotimento, funzione dell'energia e della distanza dell'evento;

- zone stabili suscettibili di amplificazione locali: nelle quali sono attese amplificazione del moto sismico, come effetto della situazione litostratigrafia e morfologica locale; Le zone di questa categoria saranno caratterizzate numericamente dai valori di F_x , F_y e F_z , dedotti dagli abachi.

- zone suscettibili di instabilità: nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio.

Inoltre nelle microzone con presenza di creste e/o scarpate e di versanti con pendenza sono stati determinati i fattori di amplificazione per effetti della topografia, visualizzati in campiture puntinate associate alla sigla F_t che individua il valore del coefficiente di amplificazione determinato con le procedure previste al punto 2.5.4.2 e relativi abachi, delle Linee Guida II degli ICMS. 2008.

In linea generale si può affermare che i valori dei fattori di amplificazione dell'accelerazione di picco al suolo (PGA) e dell'intensità di Housner (IS) individuati per le microzone, evidenziano comportamenti di risposta sismica sensibilmente differenziati

in rapporto alle caratteristiche litologiche del substrato, ed al tipo di copertura e spessori che ad esso competono.

Dalle analisi condotte, si riscontra che

- Zone stabili

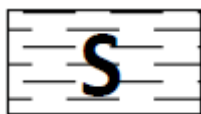


Materiale lapideo stratificato e non (in cui la stratificazione non influenza in maniera significativa le caratteristiche di resistenza dell'ammasso)

$$F_x = F_A.PGA = 1/1.2$$

$$F_y = F_A IS 0,1-0,5 s = 1$$

$$F_z = F_A IS 0,5-1,0 s = 1$$



Argille, argille marnose e argille siltose strutturalmente ordinate, stratificate.

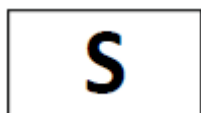
$$F_x = F_A.PGA = 1/1.2$$

$$F_y = F_A IS 0,1-0,5 s = 1$$

$$F_z = F_A IS 0,5-1,0 s = 1$$

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

- Zona 1 (Substrato geologico non rigido stratificato NRS)



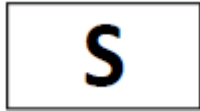
Ammassi rocciosi strutturalmente ordinati costituiti da alternanze tra livelli lapidei (Es: arenarie cementate, calcareniti, calcilutiti ecc.) e livelli pelitici con livelli lapidei prevalenti: rapporto $L/P > 3$.

$$F_x = F_A.PGA = 1.6/1.8$$

$$F_y = F_A IS 0,1-0,5 s = 1.6/1.7$$

$$F_z = FA_{IS\ 0,5-1,0\ s} = 1.4/1.5$$

- Zona 2 (Substrato geologico non rigido stratificato NRS)



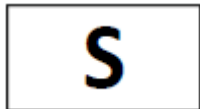
Ammassi rocciosi strutturalmente ordinati costituiti da alternanze tra livelli lapidei (Es: arenarie cementate, calcareniti, calcilutiti ecc.) e livelli pelitici con rapporto tra livelli lapidei e livelli pelitici $3 > L/P > 1/3$.

$$F_x = FA.PGA = 1.2/2.3$$

$$F_y = FA_{IS\ 0,1-0,5\ s} = 1.3/2.2$$

$$F_z = FA_{IS\ 0,5-1,0\ s} = 1.4/1.9$$

- Zona 3 (Substrato geologico non rigido stratificato NRS)



Ammassi rocciosi strutturalmente ordinati costituiti da alternanze tra livelli lapidei (Es: arenarie cementate, calcareniti, calcilutiti ecc.) e livelli pelitici con livelli pelitici prevalenti: rapporto $L/P < 1/3$.

$$F_x = FA.PGA = 2.0/2.3$$

$$F_y = FA_{IS\ 0,1-0,5\ s} = 1.7/2.2$$

$$F_z = FA_{IS\ 0,5-1,0\ s} = 1.4/1.9$$

- Zona 4 (Substrato geologico non rigido NR)



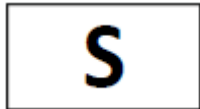
Sabbie e Areniti stratificate con eventuale rara presenza di livelli pelitici, poco cementate.

$$F_x = FA.PGA = 1.7/2.3$$

$$F_y = FA_{IS\ 0,1-0,5\ s} = 2.1/2.2$$

$$F_z = FA_{IS\ 0,5-1,0\ s} = 1.9$$

- Zona 5 (Substrato geologico non rigido stratificato NRS)



Argille, argille marnose e argille siltose strutturalmente ordinate, stratificate, con eventuale rara presenza di livelli arenitici

$$F_x = FA.PGA = 1.6/2.0$$

$$F_y = FA_{IS\ 0,1-0,5\ s} = 1.7/1.9$$

$$F_z = FA_{IS\ 0,5-1,0\ s} = 1.5$$

- Zona 6 (Substrato geologico non rigido NR)



Argille a struttura primaria caotica (debris flow e mud flow) - unità costituite in prevalenza da argille con a luoghi subordinati inclusi lapidei.

$$F_x = FA.PGA = 2.0/2.3$$

$$F_y = FA_{IS\ 0,1-0,5\ s} = 1.7/2.2$$

$$F_z = FA_{IS\ 0,5-1,0\ s} = 1.4/1.6$$

- Zona 7 (Substrato geologico non rigido NR)



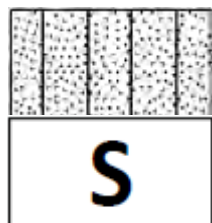
Argille intensamente tettonizzate, argilliti - unità costituite in prevalenza da argille che a causa della loro storia tettonica risultano intensamente piegate e fratturate.

$$F_x = FA.PGA = 2.0/2.5$$

$$F_y = FA_{IS\ 0,1-0,5\ s} = 1.7/2.6$$

$$F_z = F_A \text{ IS } 0,5-1,0 \text{ s} = 1.4/1.9$$

- Zona 11 (SM)



10-20 m

Substrato geologico stratificato non rigido

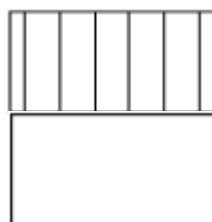
Coltre di materiale detritico su versante, generalmente fine (frammenti di roccia, sabbie, limi e peliti) prodotto da alterazione "in situ" o selezionato dall'azione mista delle acque di ruscellamento e della gravità (subordinata), con a luoghi clasti a spigoli vivi.

$$F_x = F_A.PGA = 2.0/2.5$$

$$F_y = F_A \text{ IS } 0,1-0,5 \text{ s} = 1.7/2.6$$

$$F_z = F_A \text{ IS } 0,5-1,0 \text{ s} = 1.4/1.9$$

- Zona 12 (ML)



5-15 m

Substrato geologico stratificato/non stratificato non rigido

Sabbie fini, limi e limi argillosi, in genere notevolmente pedogenizzati.

$$F_x = F_A.PGA = 2.0/2.5$$

$$F_y = F_A \text{ IS } 0,1-0,5 \text{ s} = 1.7/2.6$$

$$F_z = F_A \text{ IS } 0,5-1,0 \text{ s} = 1.4/1.9$$

Le zone suscettibili di instabilità che ricadono nel territorio di Pavullo risultano essere quelle di versante e quelle legate a cedimenti differenziali.

L'elaborato è stato redatto in scala 1:5000

8.7 Commenti finali e criticità

In linea generale si riscontra che i membri costituiti in prevalenza da arenarie, torbiditi arenacee, marne siltoso arenacee, della successione Epiligure denotano fattori di amplificazione corrispondenti a 1,0 - 1,2 per FA.PGA. ed a 1,0 per FA.IS $0,1 < T < 1,0$ s.

Per quanto riguarda gli ammassi rocciosi strutturalmente ordinati costituiti da alternanze tra livelli lapidei (Es: arenarie cementate, calcareniti, calcilutiti ecc.) e livelli pelitici a seconda della prevalenza del livello lapideo si evidenziano fattori di amplificazione mediamente compresi tra FA.PGA. = 1,2 - 2,3; FA.IS. $0,1 < T < 0,5$ s = 1,3 - 2,2; FA.IS. $0,5 < T < 1,0$ s = 1,4 - 1,9.

I valori più alti di amplificazione si riscontrano, in linea di massima, nelle formazioni ovviamente con i livelli pelitici prevalenti. Va comunque sottolineato, come localmente, l'alterazione superficiale di questo substrato geologico non rigido possa influenzare in maniera preponderante le condizioni di amplificazione locale.

Per quanto riguarda i litotipi prettamente argillosi o argillitici si riscontra, passando dalle sequenze stratificate marnose - marnoso argillose della Successione Epiligure, alle strutture caotiche del dominio ligure, un aumento del fattore di amplificazione; si passa da zone caratterizzate da FA.PGA. = 1,6 - 2,5; FA.IS. $0,1 < T < 0,5$ s = 1,7 - 2,6; FA.IS. $0,5 < T < 1,0$ s = 1,4 - 1,9.

Analogamente, come già evidenziato, si riscontrano valori da medio elevati ad elevati dei fattori di amplificazione caratterizzano gli accumuli di frana ed i depositi detritici in senso lato che evidenziano FA.PGA. = 2,0 - 2,5; FA.IS. $0,1 < T < 0,5$ s = 1,7 - 2,6; FA.IS. $0,5 < T < 1,0$ s = 1,4 - 1,9.

Anche per questa tipologia di forme, localmente, il grado di addensamento può influenzare in maniera preponderante le condizioni di amplificazione locale.

9. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI

Per quanto attiene il confronto con eventi passati non è stato possibile reperire alcuna informazione in merito ai danni degli eventi passati

10. BIBLIOGRAFIA

- NOTE ILLUSTRATIVE della CARATA GEOLOGICA D'ITALIA (2002) alla scala 1:50.000, foglio 236 PAVULLO NEL FRIGNANO. ISPRA SGI
Enti realizzatori Regione Emilia-Romagna SGSS, a cura di F.PANINI, G.BETTELLI, M.PIZZIOLO.

- DGR 1302/2012. Deliberazione della Giunta Regionale n. 1302 del 10/09/2012, "Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione e concessione dei contributi di cui all'OPCM 4007/2010 e ss.mm ". Boll. Uff. Reg. Emilia-Romagna n. 195 del 26/09/2012.

- LOCATI M., CAMASSI R. e STUCCHI M. (a cura di), 2011 . BDMI11, la versione 2011 del Database Microsismico Italiano. Milano,

- 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.

- DAL 112/2007. 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.

- MELETTI C. e VALENSISE G., 2004. Zonazione sismogenetica ZS9-App. 2 al rapporto Conclusivo. In: "Gruppo di Lavoro MPS (2004). Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCm 3274 del 20 marzo 2003 ". Rapporto per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici.

- BOCCALETTI M. – MARTELLI L. – AA.VV. (2003) – Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna. S.E.L.C.A. Firenze

- 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.

- BOSELLINI A- MUTTI E - RICCI LUCCHI F. (1989) - Rocce e Successioni sedimentarie UTET