

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 PIEVEPELAGO
PROVINCIA DI MODENA

OGGETTO:

STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DEL COMUNE DI PIEVEPELAGO

-RELAZIONE ILLUSTRATIVA-

OTTOBRE 2017

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	30
3.1 Inquadramento geologico	30
3.2 Inquadramento geomorfologico	38
4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI	41
4.1 Dati Geotecnici	41
4.2 Dati Geofisici	41
5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO	44
6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE	47
7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI	48
7.1 Premessa	48
7.2 Metodologie di elaborazione	48
7.3 Risultati	50
8. ELABORATI CARTOGRAFICI	52
8.1 Carta delle indagini	52
8.2 Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica	53
8.3 Carta delle frequenze naturali dei terreni	54
8.4 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 1)	55
8.5 Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)	66
8.6 Carta di microzonazione sismica (livello 2 o 3)	67
8.7 Commenti finali e criticità	73
9. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI	74
10. BIBLIOGRAFIA	75

1. INTRODUZIONE

Il presente lavoro, redatto ai fini della valutazione delle condizioni di sicurezza del territorio comunale di Pievepelago (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. 1227 (DGR 1227/2015), OCDPC 171/2014, "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 Pievepelago appartiene alla fascia dell' alto Appennino Modenese, presenta un'estensione di 76,31 kmq, con quote che variano da un minimo di 745 m s.l.m. ad un massimo di 1990 m s.l.m.. La popolazione è pari a 2271 abitanti al 31/12/2016. Il territorio comunale confina, dal punto di vista amministrativo, con i Comuni di Frassinoro, Riolunato, Fiumalbo tutti comuni della Provincia di Modena ed i Comuni di Fosciandora, Coreglia Antelminelli, Castiglione di Garfagnana, Barga e Pieve Fosciana tutti comuni della Provincia di Lucca.

E' un territorio montano interessato da diffusi fenomeni di dissesto idrogeologico che interessano in maniera diffusa l'intero territorio del comune. Dal punto di vista della classificazione sismica, il territorio comunale rientra nella zona "2" (a media 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. 7 frazioni e nuclei abitati principali: Sant'Andrea Pelago, Sant'Anna Pelago, Roccapelago, Ponte Modino, Borra-Merizzana, Cadagnolo e Tagliole. Nello specifico l'analisi di microzonazione sismica è stata realizzata con il contributo di cui all'OCDPC 171/2014 ed è stata sviluppata sotto il coordinamento del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna.

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 Pievepelago 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 DGR 2193/2015 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'
PIEVEPELAGO - CAPOLUOGO (Loc. ISOLALUNGA, VILLE SAN MICHELE)
SANT'ANDREA PELAGO (Loc. PIANGRANDE, I CASONI, CASA QUATTRO, CASA GUERRI)
SANT'ANNA PELAGO - CASE LONARDELLO (Loc. PONTE SANT'ANNA, LE BORRACCE, CASA PIERACCI, IL SERRETTO, LA SEGA, IL POGGIOLO)
ROCCAPELAGO (Loc. CASA CAGNARINO, SELVELLA)
PONTE MODINO (Loc. MODINO, CHIUSURA, CAPANELLE)
BORRA - MERIZZANA (Loc. RONCADICCIO)
CADAGNOLO - LE BORELLE
TAGLIOLE (Loc. FATALCINA, CA DI SERRA, PIAN DEI REMI, CASA MORDINI)

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

2.1 Inquadramento Sismotettonico

Nell'area del Foglio 235 affiora uno degli spaccati più interessanti e completi dell'Appennino settentrionale che si configura naturalmente come un'area chiave anche per l'analisi di molte problematiche strutturali. Ai fini di una migliore descrizione dell'assetto strutturale del settore analizzato e della sua evoluzione è stata fatta la scelta di distinguere unità tettoniche di vario rango e significato e differenziare con diverse simbologie i relativi contatti basali. L'individuazione delle "unità tettoniche" *s.l.* può, come in altri settori, essere ricondotta a due processi strutturali distinti:

- una successione di fasi tettoniche che hanno interessato essenzialmente le successioni del Dominio oceanico ligure culminando nell'Eocene medio con la costruzione dell'impilamento delle Unità Liguri (Insieme ligure);
- un processo di tettonizzazione, essenzialmente ensialico, posteriore all'Eocene superiore, che per le unità del settore interessato ha avuto i suoi momenti culminanti all'Oligocene superiore-Miocene inferiore medio dando luogo al sovrascorrimento dell'Insieme ligure sui domini esterni e alla individuazione delle unità subliguri e toscane *s.l.*. Durante questa stessa fase è avvenuto il processo di segmentazione della Falda toscana, della successione del Cervarola e di una parte delle unità già sovrascorse su di esse in una serie di "elementi tettonici" collegati con sovrascorrimenti minori ma comunque di ordine chilometrico.

Partendo dalla fase ligure i complessi presenti sul territorio sono attribuibili all'unità tettonica Caio costituita dal flysch del Monte Caio che è predominante nella parte settentrionale del comune ed in piccola parte dalle Argille a Palombini e dalle Argilliti di san Siro i cui rapporti sono strutturalmente molto complessi e non riconducibili a geometrie definite.

Successivamente alla fase ligure, a partire dall'Oligocene superiore, si registra la fase subligure, con la messa in posto dell'Unità Canetolo. Essa forma una stretta fascia di appena pochi metri alla base dell'Unità Caio nella zona di Roccapelago. In questa zona l'unità è rappresentata quasi esclusivamente dalle Arenarie di Petrignacola. L'esiguità dello spessore dell'Unità Canetolo non consente l'ipotesi di una sua messa in posto autonoma, ma suggerisce al contrario l'idea che al momento del sovrascorrimento sulle unità del substrato, essa fosse già inglobata nell'edificio ligure.

Le strutture più antiche presenti nell'area in esame sono da ricollegarsi alla fase toscana ed in particolare alla successione del M. Modino e alla Falda Toscana. L'Unità Modino ha una struttura a scaglie che è il risultato di molteplici fasi strutturali sia precedenti che contemporanee alla messa in posto dell'unità sulle successioni del Dominio toscano-umbro. Gli affioramenti di Pievepelago costituiscono il prolungamento verso Est di quelli dell'area tipo (M. Modino e Valle delle Tagliole). Sia al M. Modino che nella Valle delle Tagliole si vede che il corpo principale di Arenarie del M. Modino fa parte di una

scaglia tettonica che è separata dal sottostante Macigno da una scaglia ancora più profonda costituita, per quanto è possibile vedere in affioramento, da Arenarie del M. Modino e da argille variegata.

Sopra il corpo principale di Arenarie del M. Modino si sovrappone la successione dell'Elemento Pievepelago le esposizioni migliori della superficie di base di questo elemento si hanno nella valle del Perticara e nei dintorni di Pievepelago. Si tratta in tutti i casi di un contatto chiaramente tettonico. Anche l'Elemento Pievepelago è suddiviso in varie scaglie tettoniche più o meno estese e che contengono successioni più o meno complete. Questa articolazione in scaglie è ad esempio molto evidente lungo la strada delle Tagliole, a monte del paese della Borra dove è riconoscibile la ripetizione tettonica di almeno tre scaglie

Per quanto riguarda la falda Toscana è confinata alla zona di crinale e quindi al limite meridionale dell'area comunale.

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 - Quaternario riattivati, quali il sovrascorrimento orientato nord ovest - sud est da Sant'Andrea Pelago a Pievepelago e chiude verso il crinale in prossimità del Libro Aperto e la faglia diretta che dal crinale interessa l'abitato di Sant'Anna Pelago.

La sopraccitata carta sismotettonica evidenzia un epicentro sismico con magnitudo $M=5.5$ rispettivamente in prossimità dell'abitato delle tagliole e nel tratto di territorio del crinale sopra Sant'Anna pelago, e quindi in prossimità del territorio comunale.

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 Pievepelago 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 $V_{s30} > 800 \text{ m/s}$ 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	$0.25 < a_g \leq 0.35 \text{ g}$	0.35 g
2	$0.15 < a_g \leq 0.25 \text{ g}$	0.25 g
3	$0.05 < a_g \leq 0.15 \text{ g}$	0.15 g
4	$\leq 0.05 \text{ g}$	0.05 g

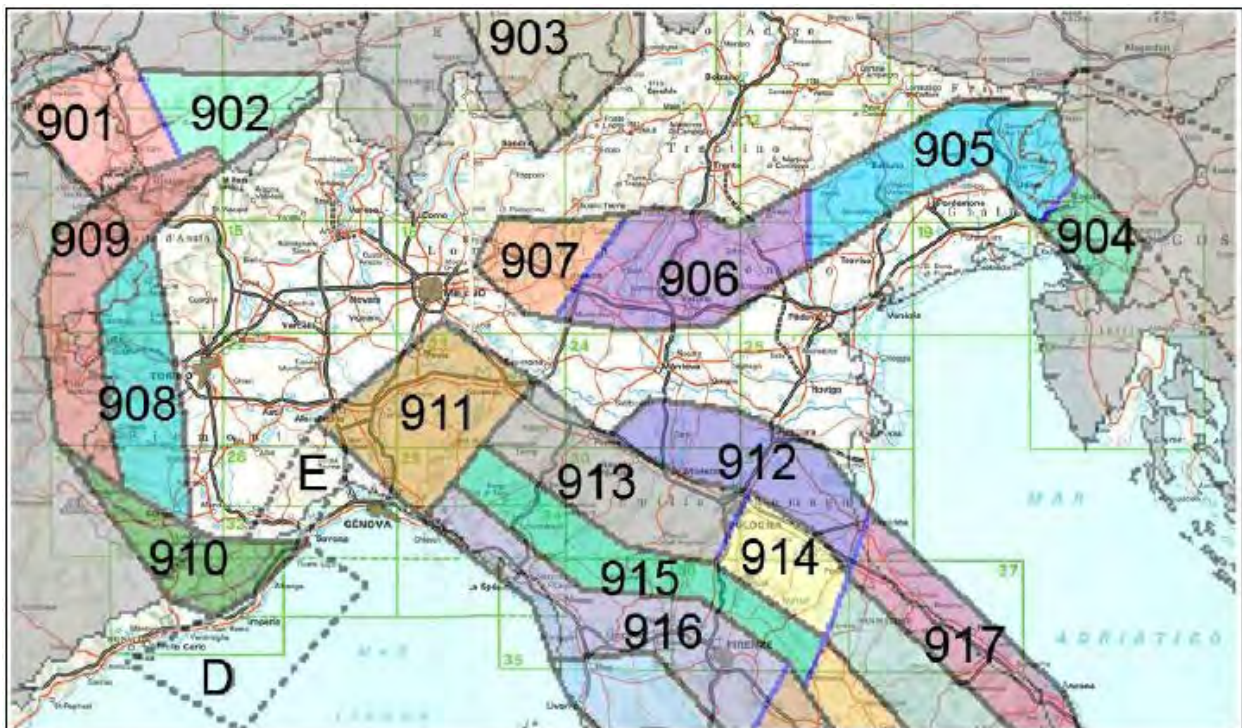
Di seguito si riportano le classificazioni della sismicità del comune interessato dagli interventi in base alle vecchie normative e ovviamente anche in base alla nuova e vigente classificazione proposta dall’OPCM 3274/2003 e s.m.i (tabella 2.2).

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
Pievepelago	II	2	0.25 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>).



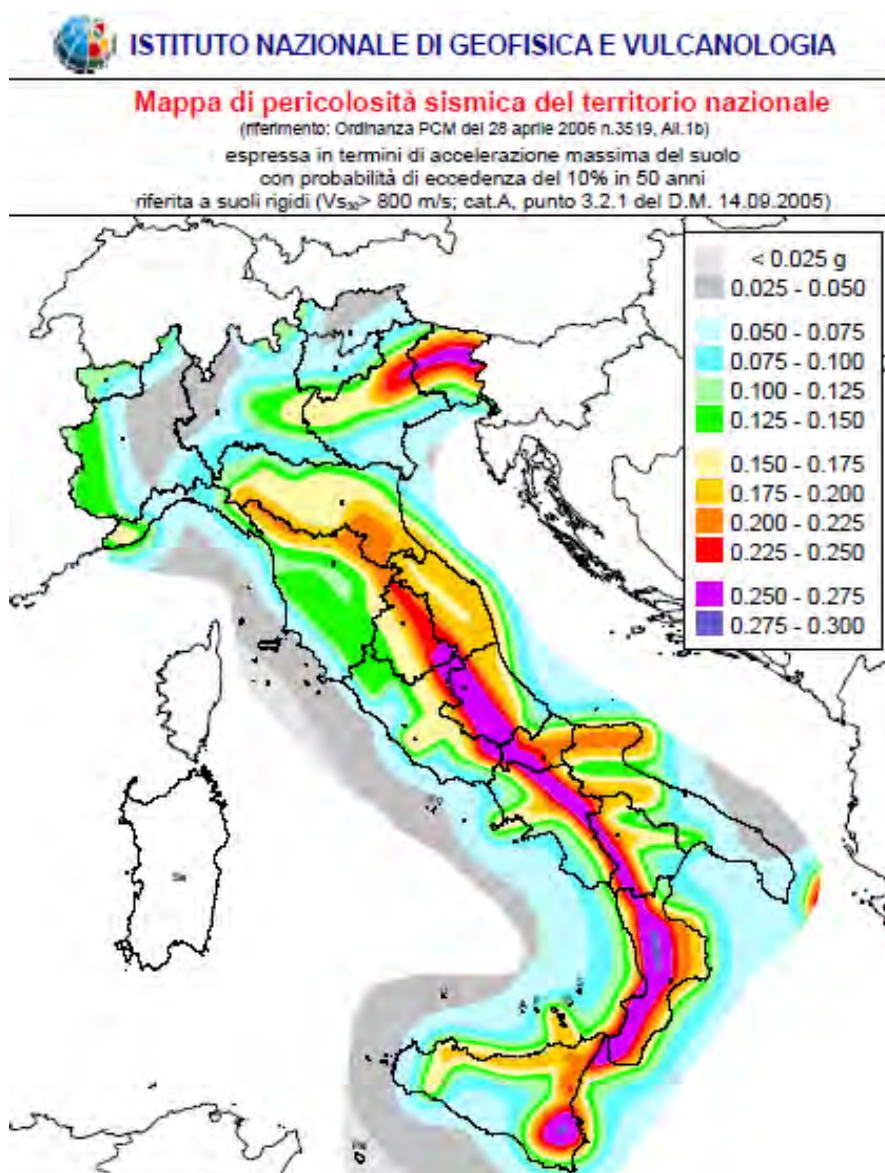
Zonazione sismogenetica ZS9 (INGV, 2004)

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 Pievepelago, 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:

$$a_g = 0,175 \div 0,225 \text{ g}$$

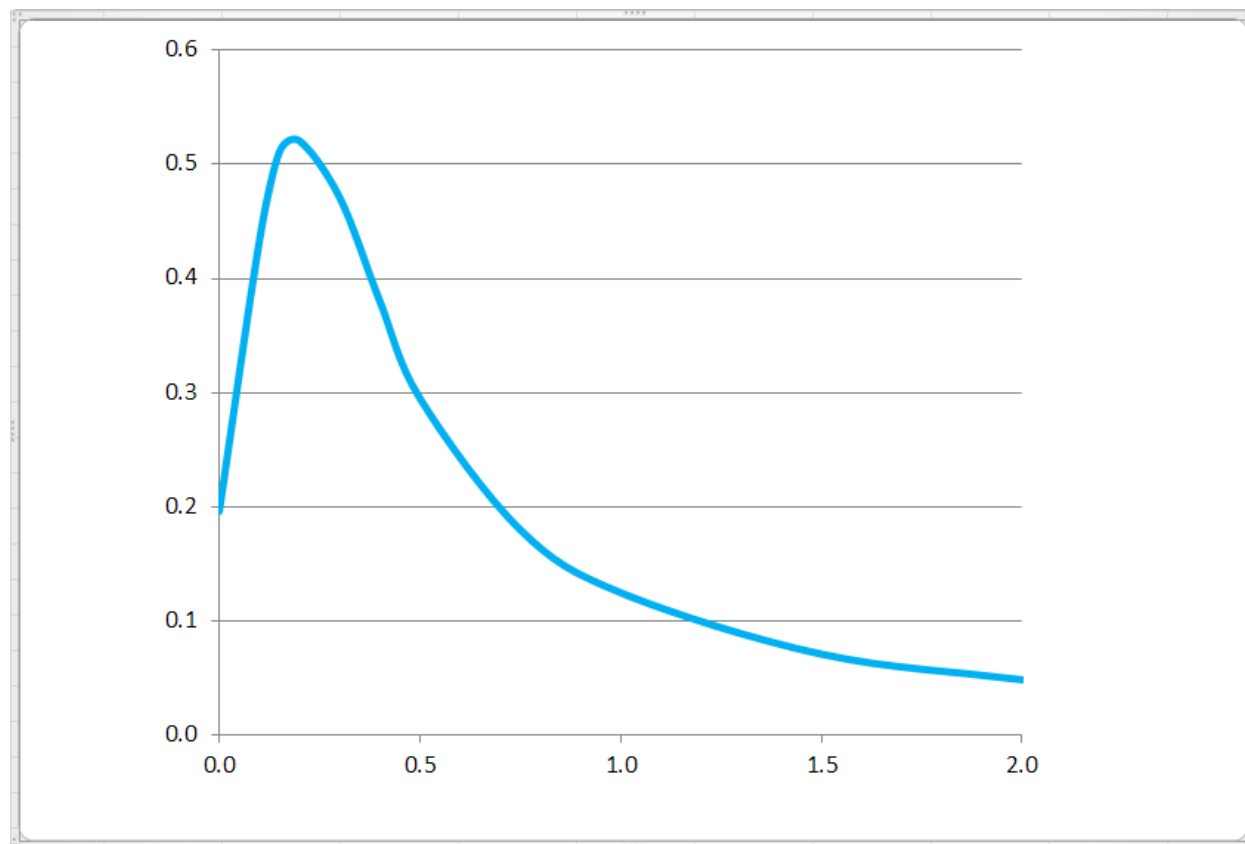
per un eccedenza dell'evento del 10 % in 50 anni.



Il valore della a_g di riferimento riportato nell'allegato A4 della Delibera di Giunta della Regione Emilia Romagna n° 2193/2015, corrisponde, per il comune di Pievepelago, a:

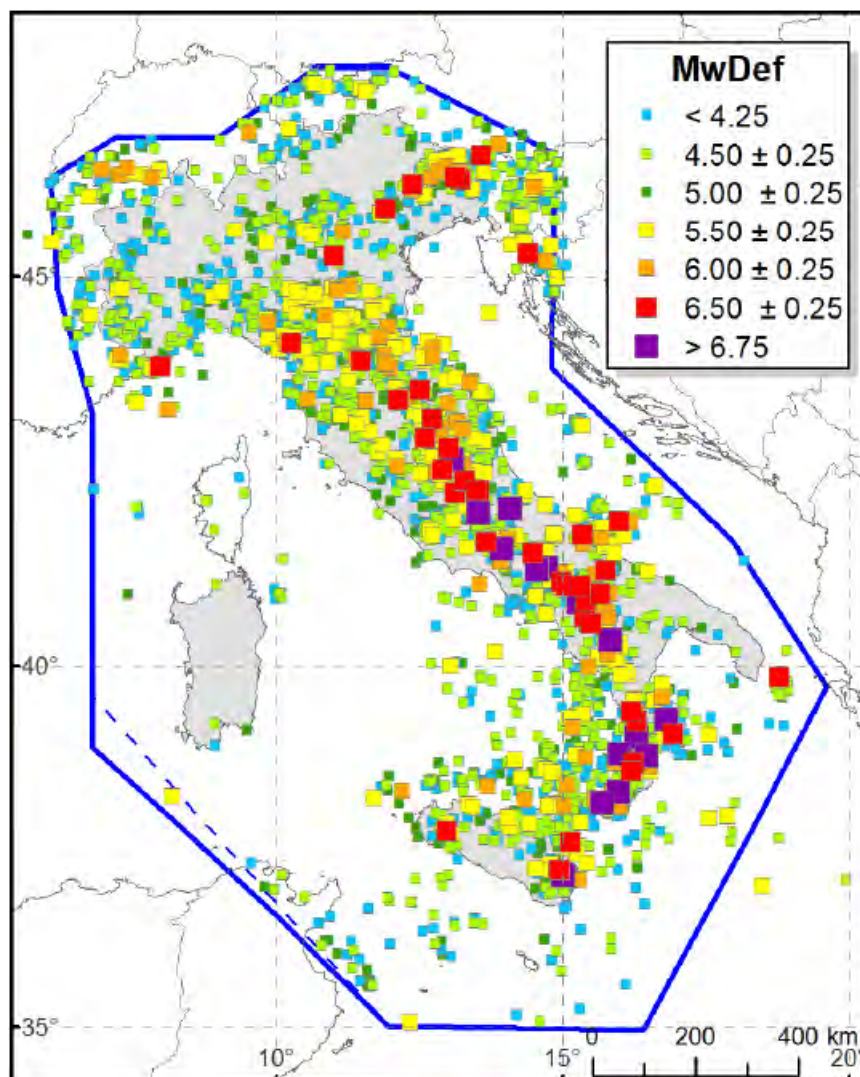
$a_{g,ref} = 0,196g$

Lo spettro di risposta di riferimento del bedrock sismico o suolo A nel comune di Pievepelago (MO), che presenta il valore di a_g pari a 0,196g 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 DGR. 2193/2015.

Per quanto riguarda la sismicità storica del comune, il Catalogo Parametrico dei terremoti italiani CPTI15 (A. Rovida, M. Lovati, R. Camassi, B. Loli e P. Gasperini (a cura di), 2016. CPTI15, la versione 2016 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15>) 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 Pievpelago e dei comuni limitrofi.

Nella tabella 2.3 sono riportati i dati storici del comune di Pievepelago, definiti nel Gruppo di lavoro CPTI (2015) Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2015 (CPTI15), INGV, Bologna con aggiornamento DBMI15 (dicembre 2015) reperibile all'indirizzo web <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>

Pievepelago



PlaceID	IT_38885
Coordinate (lat, lon)	44.204, 10.617
Comune (ISTAT 2015)	Pievepelago
Provincia	Modena
Regione	Emilia-Romagna
Numero di eventi riportati	38

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
4-5	1892	05	17	03	08	1	Carpineti	28	5	4.28
NF	1892	12	29	13	47	4	Castel del Rio	36	5-6	4.37
F	1895	08	07	19	49	3	Appennino tosco-emiliano	84	5	4.67
4-5	1898	03	04	21	05		Parmense	313	7-8	5.37
6	1902	03	05	07	06		Garfagnana	83	7	4.98
6	1904	06	10	11	15	2	Frignano	101	6	4.82
4	1909	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
NF	1909	08	25	00	22		Crete Senesi	259	7-8	5.34
2	1911	09	13	22	29	0	Chianti	115	7	5.08
4	1913	02	13	16	39		Corno alle Scale	26	5	4.18
5	1914	10	27	09	22		Lucchesia	660	7	5.63
3	1916	07	27	18	38		Garfagnana	22	5-6	4.56
2	1919	06	29	15	06	1	Mugello	565	10	6.38
F	1919	09	25	03	15		Frignano	7	4	3.70
8	1920	09	07	05	55	4	Garfagnana	750	10	6.53
5	1922	08	02	21	13		Frignano	21	5	4.32
4	1924	06	12	21	03	4	Frignano	25	5-6	4.46
3	1925	03	15	17	15		Appennino tosco-emiliano	16	4	4.10
5	1969	01	06	22	03	2	Appennino pistoiese	74	6-7	4.67
4	1971	07	15	01	33	2	Parmense	228	8	5.51
3	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04

5	1985	01	23	10	10	1	Garfagnana	73	6	4.60
4	1986	10	01	19	53	3	Lunigiana	68	5	4.46
NF	1986	12	06	17	07	1	Ferrarese	604	6	4.43
5	1987	02	10	21	20	1	Lunigiana	54	5	4.09
2	1987	05	02	20	43	5	Reggiano	802	6	4.71
5-6	1988	02	08	11	24	4	Garfagnana	75	6	4.34
5	1988	02	08	13	36	4	Frignano	43	5	4.28
2-3	1995	03	03	16	16	4	Lunigiana	43	5	4.20
4-5	1995	08	24	17	27	3	Appennino pistoiese	56	6	4.45
3	1995	10	10	06	54	2	Lunigiana	341	7	4.82
3-4	1995	12	31	21	29	4	Appennino reggiano	96	4-5	4.51
4-5	1997	12	24	17	53	1	Garfagnana	98	5	4.33
3	1999	07	07	17	16	1	Frignano	32	5	4.67
3-4	2000	10	03	01	12	3	Frignano	62	5	4.22
NF	2002	06	08	20	13	0	Frignano	115	4	4.23
3-4	2002	06	18	22	23	3	Frignano	186	4	4.30
NF	2002	06	19	22	11	1	Frignano	52	3	4.03

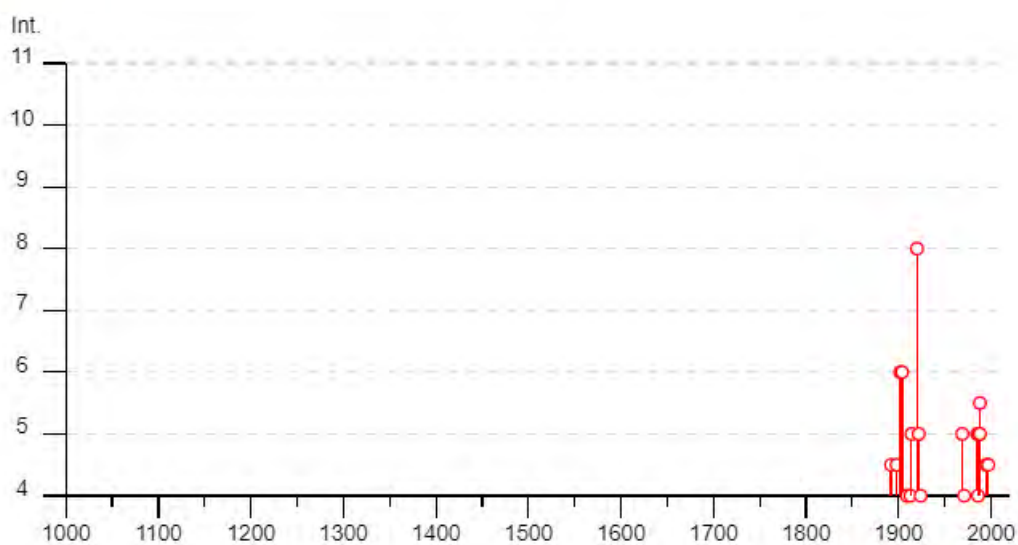


Tabella 2.3: Storia sismica del comune di Pievepelago (MO).













Nella tabella 2.4 sono riportati i dati storici del comune di Frassinoro, definiti nel Gruppo di lavoro CPTI (2015) Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2015 (CPTI15), INGV, Bologna con aggiornamento DBMI15 (dicembre 2015) reperibile all'indirizzo web <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>

Frassinoro



PlaceID	IT_38395
Coordinate (lat, lon)	44.295, 10.573
Comune (ISTAT 2015)	Frassinoro
Provincia	Modena
Regione	Emilia-Romagna
Numero di eventi riportati	33

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
2-3	1893	10	20	20	15		Appennino parmense	25	4-5	4.04
NF	1896	12	08	17	06	4	Sestola	26	5	4.33
NF	1897	09	06	03	10	4	Valdarno inferiore	104	5-6	4.59
4	1898	03	04	21	05		Parmense	313	7-8	5.37
3	1899	06	26	23	17	2	Valle del Bisenzio	138	7	5.02
4-5	1902	12	04	16	35	0	Lunigiana	36	5	4.35
NF	1911	09	13	22	29	0	Chianti	115	7	5.08
7-8	1920	09	07	05	55	4	Garfagnana	750	10	6.53
4-5	1925	03	15	17	15		Appennino tosco-emiliano	16	4	4.10
4	1929	04	19	04	16		Bolognese	82	6-7	5.13
3	1929	04	20	01	10		Bolognese	109	7	5.36
2-3	1931	06	10	17	02		Modenese	14	4	4.59
2	1957	10	25	23	02	0	Appennino reggiano	79	5-6	4.27
4	1965	11	09	15	35		Appennino reggiano	32	5	4.17
4	1969	01	06	22	03	2	Appennino pistoiese	74	6-7	4.67
4	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04
5	1985	01	23	10	10	1	Garfagnana	73	6	4.60
4	1986	10	01	19	53	3	Lunigiana	68	5	4.46
NF	1986	12	06	17	07	1	Ferrarese	604	6	4.43
4	1987	02	10	21	20	1	Lunigiana	54	5	4.09
NF	1987	05	02	20	43	5	Reggiano	802	6	4.71

4		1988	02	08	11	24	4	Garfagnana	75	6	4.34
4-5		1988	02	08	13	36	4	Frignano	43	5	4.28
NF		1989	10	03	09	41	3	Appennino parmense	91	4	4.04
3-4		1995	10	10	06	54	2	Lunigiana	341	7	4.82
3-4		1995	12	31	21	29	4	Appennino reggiano	96	4-5	4.51
4-5		1997	12	24	17	53	1	Garfagnana	98	5	4.33
3-4		1999	07	07	17	16	1	Frignano	32	5	4.67
NF		2000	06	18	07	42	0	Pianura emiliana	304	5-6	4.40
4-5		2000	10	03	01	12	3	Frignano	62	5	4.22
3-4		2002	06	08	20	13	0	Frignano	115	4	4.23
4		2002	06	18	22	23	3	Frignano	186	4	4.30
2-3		2002	06	19	22	11	1	Frignano	52	3	4.03

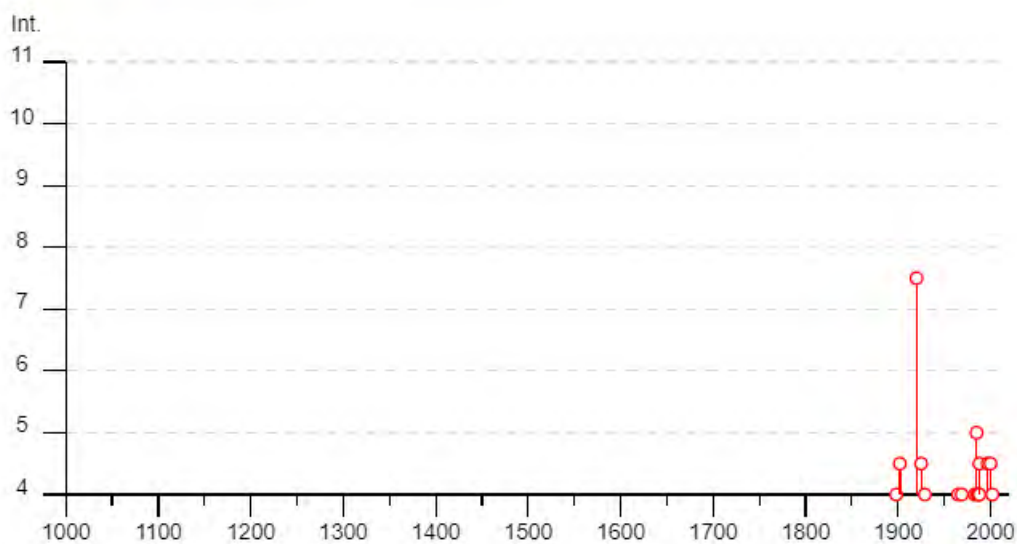


Tabella 2.4: Storia sismica del comune di Frassinoro (MO).

Nella tabella 2.5 sono riportati i dati storici del comune di Riolunato, definiti nel Gruppo di lavoro CPTI (2015) Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2015 (CPTI15), INGV, Bologna con aggiornamento DBMI15 (dicembre 2015) reperibile all'indirizzo web <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>

Riolunato



PlaceID	IT_38993
Coordinate (lat, lon)	44.230, 10.652
Comune (ISTAT 2015)	Riolunato
Provincia	Modena
Regione	Emilia-Romagna
Numero di eventi riportati	21

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
6-7	1740	03	06	05	40		Garfagnana	32	8	5.64
3-4	1887	02	23	05	21	5	Liguria occidentale	1511	9	6.27
3	1892	05	17	03	08	1	Carpineti	28	5	4.28
5	1897	09	06	03	10	4	Valdarno inferiore	104	5-6	4.59
5	1898	03	04	21	05		Parmense	313	7-8	5.37
6	1904	06	10	11	15	2	Frignano	101	6	4.82
4	1904	11	17	05	02		Pistoiese	204	7	5.10
3	1923	06	28	15	12		Modenese	22	6	5.04
4-5	1927	11	20	10	24	1	Appennino reggiano	16	5	4.29
3	1971	07	15	01	33	2	Parmense	228	8	5.51
3	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04
4	1987	02	10	21	20	1	Lunigiana	54	5	4.09
NF	1987	05	02	20	43	5	Reggiano	802	6	4.71
6	1988	02	08	11	24	4	Garfagnana	75	6	4.34
5	1988	02	08	13	36	4	Frignano	43	5	4.28
4-5	1995	08	24	17	27	3	Appennino pistoiese	56	6	4.45
3-4	1995	10	10	06	54	2	Lunigiana	341	7	4.82
5	1997	12	24	17	53	1	Garfagnana	98	5	4.33
4	2000	10	03	01	12	3	Frignano	62	5	4.22
2	2002	06	08	20	13	0	Frignano	115	4	4.23
3-4	2002	06	18	22	23	3	Frignano	186	4	4.30

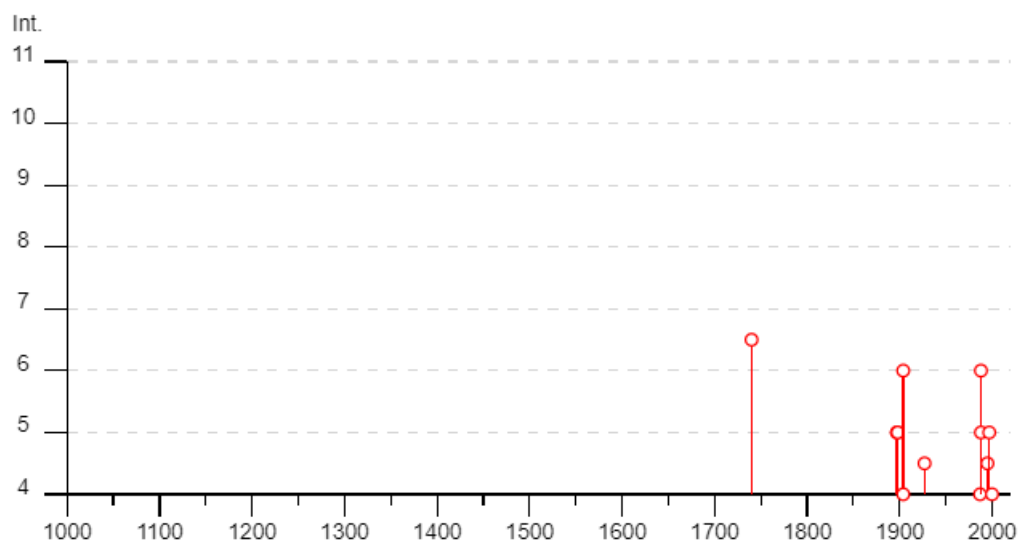


Tabella 2.5: Storia sismica del comune di Riolunato (MO).

Nella tabella 2.6 sono riportati i dati storici del comune di Fiumalbo, definiti nel Gruppo di lavoro CPTI (2015) Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2015 (CPTI15), INGV, Bologna con aggiornamento DBMI15 (dicembre 2015) reperibile all'indirizzo web <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>

Fiumalbo



PlaceID	IT_38358
Coordinate (lat, lon)	44.179, 10.648
Comune (ISTAT 2015)	Fiumalbo
Provincia	Modena
Regione	Emilia-Romagna
Numero di eventi riportati	55

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
3	🔗 1837	04	11	17			Lunigiana	60	9	5.94
F	🔗 1843	10	25	03	30		Mugello	17	6-7	5.03
4	🔗 1845	09	14	22	20		Appennino tosco-emiliano	9	5	4.73
4	🔗 1869	12	13	02	53		Sassuolo	13	5	4.57
NF	🔗 1874	10	07				Imolese	60	7	4.96
3	🔗 1887	02	23	05	21	5	Liguria occidentale	1511	9	6.27
NF	🔗 1889	03	08	02	57	0	Bolognese	38	5	4.53
3	🔗 1895	05	18	19	55	1	Fiorentino	401	8	5.50
5	🔗 1895	08	07	19	49	3	Appennino tosco-emiliano	84	5	4.67
4	🔗 1896	07	08	01	51	2	Porretta Terme	17	5	4.37
4	🔗 1896	12	08	17	06	4	Sestola	26	5	4.33
4	🔗 1897	09	06	03	10	4	Valdarno inferiore	104	5-6	4.59
4	🔗 1898	03	04	21	05		Parmense	313	7-8	5.37
4	🔗 1899	06	26	23	17	2	Valle del Bisenzio	138	7	5.02
4-5	🔗 1902	03	05	07	06		Garfagnana	83	7	4.98
4	🔗 1902	08	04	22	36	1	Lunigiana	60	6	4.78
4	🔗 1902	12	04	16	35	0	Lunigiana	36	5	4.35
F	🔗 1904	02	25	18	47	5	Reggiano	62	6	4.81
5	🔗 1904	06	10	11	15	2	Frignano	101	6	4.82
4-5	🔗 1904	11	17	05	02		Pistoiese	204	7	5.10
3-4	🔗 1908	06	02	22	30		Frignano	18	4-5	4.50

4	🔗	1909 01 13 00 45	Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
4	🔗	1909 03 18 02 51	Appennino reggiano	12	4-5	4.13
5	🔗	1913 02 13 16 39	Corno alle Scale	26	5	4.18
6	🔗	1914 10 27 09 22	Lucchesia	660	7	5.63
4	🔗	1919 06 29 15 06 1	Mugello	565	10	6.38
5	🔗	1919 09 25 03 15	Frignano	7	4	3.70
7	🔗	1920 09 07 05 55 4	Garfagnana	750	10	6.53
5-6	🔗	1922 08 02 21 13	Frignano	21	5	4.32
5-6	🔗	1924 06 12 21 03 4	Frignano	25	5-6	4.46
2	🔗	1925 03 15 17 15	Appennino tosco-emiliano	16	4	4.10
3-4	🔗	1925 07 20 15 03 3	Garfagnana	7	4-5	3.95
3-4	🔗	1926 06 28 21 15	Appennino reggiano	3	3-4	3.46
4-5	🔗	1927 11 20 10 24 1	Appennino reggiano	16	5	4.29
2-3	🔗	1929 04 10 05 44	Bolognese	87	6	5.05
3-4	🔗	1929 04 19 04 16	Bolognese	82	6-7	5.13
3	🔗	1929 04 20 01 10	Bolognese	109	7	5.36
2	🔗	1929 04 22 08 26	Bolognese	41	6-7	5.10
3-4	🔗	1929 04 29 18 36	Bolognese	45	6	5.20
3	🔗	1929 05 11 19 23	Bolognese	64	6-7	5.29
6	🔗	1930 05 24 22 02	Appennino tosco-emiliano	43	5	4.91
2	🔗	1930 10 24 00 52	Appennino tosco-emiliano	12	4	3.97
NF	🔗	1956 04 26 03 00 0	Appennino bolognese	89	6	4.74
3	🔗	1983 11 09 16 29 5	Parmense	850	6-7	5.04
NF	🔗	1986 12 06 17 07 1	Ferrarese	604	6	4.43
4	🔗	1987 02 10 21 20 1	Lunigiana	54	5	4.09
3	🔗	1987 05 02 20 43 5	Reggiano	802	6	4.71
5-6	🔗	1988 02 08 11 24 4	Garfagnana	75	6	4.34
5	🔗	1988 02 08 13 36 4	Frignano	43	5	4.28
4-5	🔗	1995 08 24 17 27 3	Appennino pistoiese	56	6	4.45
2-3	🔗	1995 10 10 06 54 2	Lunigiana	341	7	4.82
2-3	🔗	1995 12 31 21 29 4	Appennino reggiano	96	4-5	4.51
4-5	🔗	1997 12 24 17 53 1	Garfagnana	98	5	4.33
3	🔗	2000 10 03 01 12 3	Frignano	62	5	4.22
3-4	🔗	2002 06 18 22 23 3	Frignano	186	4	4.30

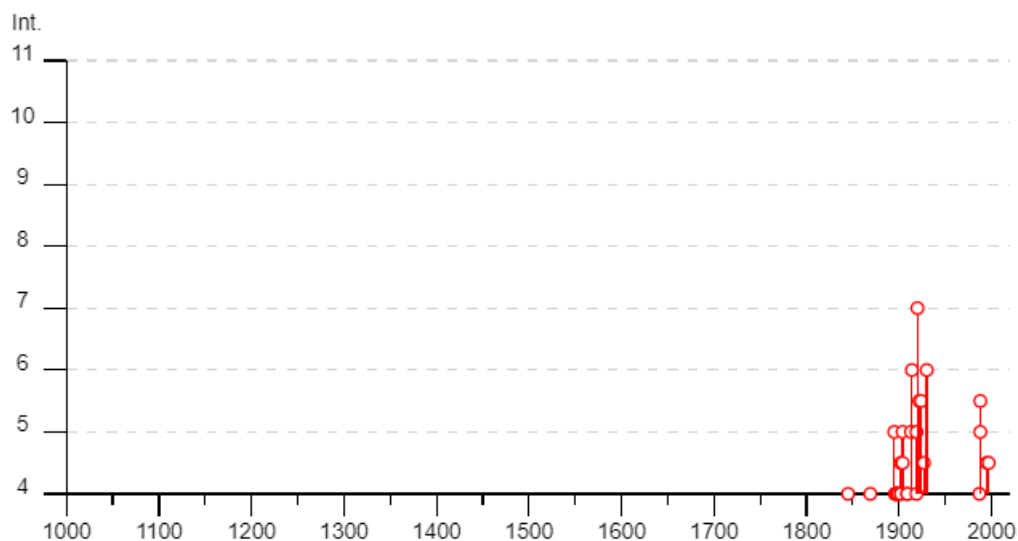


Tabella 2.6: Storia sismica del comune di Fiumalbo (MO).

Nella tabella 2.7 sono riportati i dati storici del comune di Fosciandora, definiti nel Gruppo di lavoro CPTI (2015) Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2015 (CPTI15), INGV, Bologna con aggiornamento DBMI15 (dicembre 2015) reperibile all'indirizzo web <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>

Fosciandora



PlaceID IT_43312
 Coordinate (lat, lon) 44.116, 10.460
 Comune (ISTAT 2015) Fosciandora
 Provincia Lucca
 Regione Toscana
 Numero di eventi riportati 12

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
7	1902	03	05	07	06		Garfagnana	83	7	4.98
6-7	1914	10	27	09	22		Lucchesia	660	7	5.63
5-6	1916	07	27	18	38		Garfagnana	22	5-6	4.56
8	1920	09	07	05	55	4	Garfagnana	750	10	6.53
NF	1987	01	22	05	10	5	Costa pisano-livornese	157	5-6	4.15
6	1988	02	08	11	24	4	Garfagnana	75	6	4.34
NF	1992	05	20	01	21	1	Garfagnana	14	4-5	3.14
5	1995	10	10	06	54	2	Lunigiana	341	7	4.82
3-4	1995	12	31	21	29	4	Appennino reggiano	96	4-5	4.51
5	1997	12	24	17	53	1	Garfagnana	98	5	4.33
3	2000	10	03	01	12	3	Frignano	62	5	4.22
NF	2002	06	08	20	13	0	Frignano	115	4	4.23

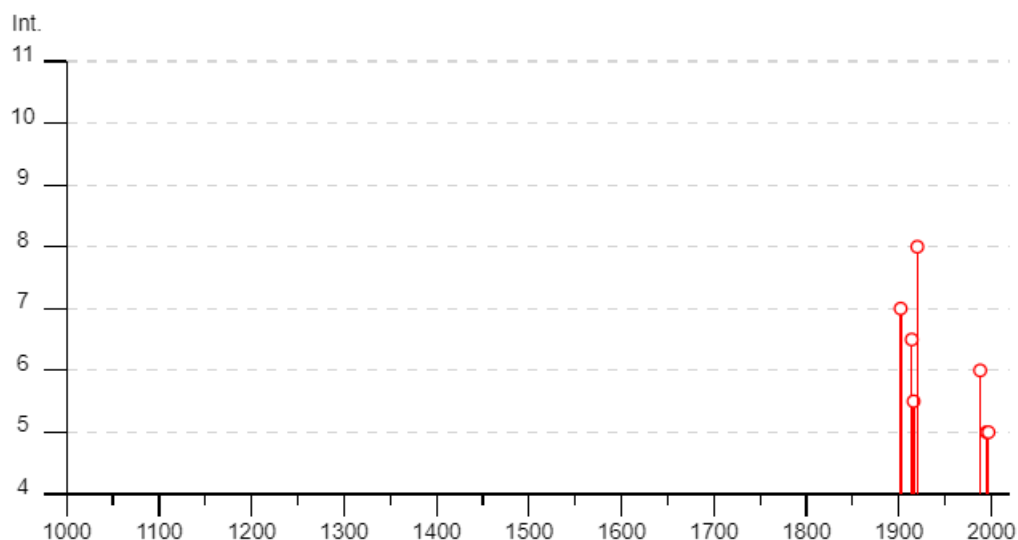


Tabella 2.7: Storia sismica del comune di Fosciandora (LU).

Nella tabella 2.8 sono riportati i dati storici del comune di Coreglia Antelminelli, definiti nel Gruppo di lavoro CPTI (2015) Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2015 (CPTI15), INGV, Bologna con aggiornamento DBMI15 (dicembre 2015) reperibile all'indirizzo web <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>

Coreglia Antelminelli



PlaceID	IT_43291
Coordinate (lat, lon)	44.062, 10.525
Comune (ISTAT 2015)	Coreglia Antelminelli
Provincia	Lucca
Regione	Toscana
Numero di eventi riportati	15

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
5-6	🔗	1902	03	05	07	06	Garfagnana	83	7	4.98
7	🔗	1920	09	07	05	55	4 Garfagnana	750	10	6.53
6	🔗	1980	06	07	18	35	0 Garfagnana	102	6-7	4.64
5	🔗	1985	01	23	10	10	1 Garfagnana	73	6	4.60
4	🔗	1986	10	01	19	53	3 Lunigiana	68	5	4.46
4	🔗	1987	02	10	21	20	1 Lunigiana	54	5	4.09
5	🔗	1988	02	08	11	24	4 Garfagnana	75	6	4.34
4-5	🔗	1988	02	08	13	36	4 Frignano	43	5	4.28
4-5	🔗	1995	10	10	06	54	2 Lunigiana	341	7	4.82
NF	🔗	1995	12	31	21	29	4 Appennino reggiano	96	4-5	4.51
4-5	🔗	1997	12	24	17	53	1 Garfagnana	98	5	4.33
3-4	🔗	1999	07	07	17	16	1 Frignano	32	5	4.67
2-3	🔗	2000	10	03	01	12	3 Frignano	62	5	4.22
NF	🔗	2002	06	08	20	13	0 Frignano	115	4	4.23
NF	🔗	2002	06	18	22	23	3 Frignano	186	4	4.30

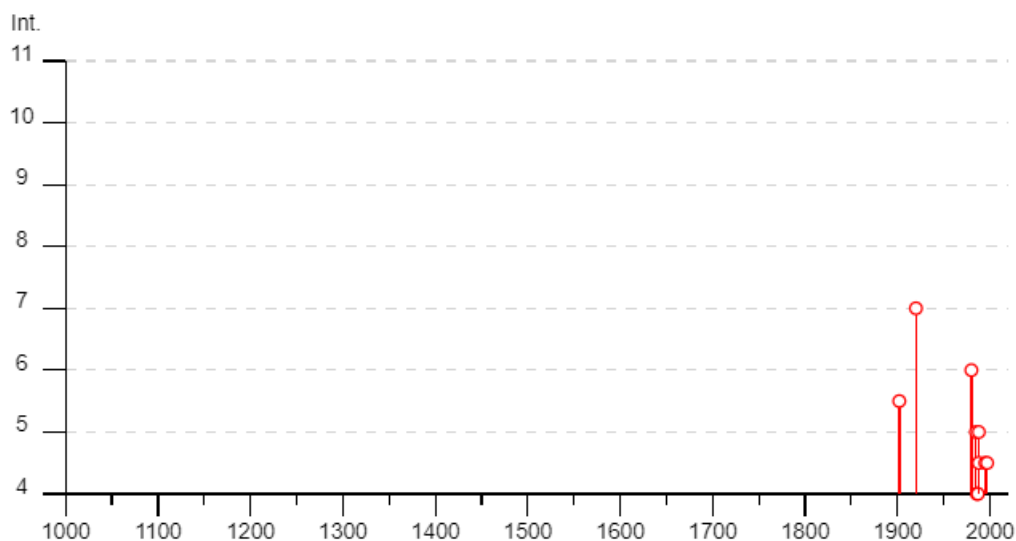


Tabella 2.8: Storia sismica del comune di Coreglia Antelminelli (LU).

Nella tabella 2.9 sono riportati i dati storici del comune di Castiglione di Garfagnana, definiti nel Gruppo di lavoro CPTI (2015) Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2015 (CPTI15), INGV, Bologna con aggiornamento DBMI15 (dicembre 2015) reperibile all'indirizzo web <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>

Castelnuovo di Garfagnana



PlaceID IT_43261
 Coordinate (lat, lon) 44.109, 10.411
 Comune (ISTAT 2015) Castelnuovo di Garfagnana
 Provincia Lucca
 Regione Toscana
 Numero di eventi riportati 53

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
7-8	📄 1746	07	23	18	15		Garfagnana	10	7	5.15
5	📄 1837	04	11	17			Lunigiana	60	9	5.94
4	📄 1891	06	07	01	06	1	Valle d'Illasi	403	8-9	5.87
4	📄 1892	05	17	03	08	1	Carpinetti	28	5	4.28
4-5	📄 1895	05	18	19	55	1	Fiorentino	401	8	5.50
NF	📄 1896	07	08	01	51	2	Porretta Terme	17	5	4.37
F	📄 1897	09	06	03	10	4	Valdarno inferiore	104	5-6	4.59
5	📄 1898	03	04	21	05		Parmense	313	7-8	5.37
4-5	📄 1899	06	26	23	17	2	Valle del Bisenzio	138	7	5.02
6	📄 1902	03	05	07	06		Garfagnana	83	7	4.98
5	📄 1902	08	04	22	36	1	Lunigiana	60	6	4.78
4-5	📄 1902	12	04	16	35	0	Lunigiana	36	5	4.35
4	📄 1903	07	27	03	46		Lunigiana	79	7-8	5.19
5	📄 1904	02	25	18	47	5	Reggiano	62	6	4.81
3-4	📄 1904	06	10	11	15	2	Frignano	101	6	4.82
3-4	📄 1904	11	17	05	02		Pistoiese	204	7	5.10
4	📄 1909	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
3-4	📄 1913	11	25	20	55		Appennino parmense	73	4-5	4.65
3	📄 1914	01	15	03	27	2	Livornese	25	5	4.33

6	🔗	1914 10 27 09 22	Lucchesia	660	7 5.63
5-6	🔗	1916 07 27 18 38	Garfagnana	22	5-6 4.56
4	🔗	1919 09 25 03 15	Frignano	7	4 3.70
7	🔗	1920 09 07 05 55 4	Garfagnana	750	10 6.53
4	🔗	1921 05 07 06 15	Lunigiana	19	6 4.64
4	🔗	1924 06 12 21 03 4	Frignano	25	5-6 4.46
3	🔗	1925 03 15 17 15	Appennino tosco-emiliano	16	4 4.10
4-5	🔗	1925 07 20 15 03 3	Garfagnana	7	4-5 3.95
4	🔗	1928 08 03 23 09	Lunigiana	21	5 4.26
3	🔗	1929 04 19 04 16	Bolognese	82	6-7 5.13
4	🔗	1934 06 13 09 06	Val di Taro-Lunigiana	29	6 5.14
3	🔗	1936 10 18 03 10	Alpago Cansiglio	269	9 6.06
4	🔗	1937 12 10 18 04	Frignano	28	6 5.30
5	🔗	1939 10 15 14 05	Garfagnana	62	6-7 4.96
2	🔗	1961 08 03 10 26 2	Lunigiana	22	5 4.18
6	🔗	1980 06 07 18 35 0	Garfagnana	102	6-7 4.64
3	🔗	1982 09 01 15 33 1	Valle del Serchio	47	5-6 4.21
4	🔗	1983 11 09 16 29 5	Parmense	850	6-7 5.04
NF	🔗	1984 04 29 05 02 5	Umbria settentrionale	709	7 5.62
4	🔗	1984 08 03 23 15 3	Garfagnana	4	4-5 3.30
6	🔗	1985 01 23 10 10 1	Garfagnana	73	6 4.60
5	🔗	1986 10 01 19 53 3	Lunigiana	68	5 4.46
NF	🔗	1987 01 22 05 10 5	Costa pisano-livornese	157	5-6 4.15
4-5	🔗	1987 02 10 21 20 1	Lunigiana	54	5 4.09
5	🔗	1988 02 08 11 24 4	Garfagnana	75	6 4.34
4-5	🔗	1988 02 08 13 36 4	Frignano	43	5 4.28
3	🔗	1992 05 20 01 21 1	Garfagnana	14	4-5 3.14
4	🔗	1995 10 10 06 54 2	Lunigiana	341	7 4.82
NF	🔗	1995 12 31 21 29 4	Appennino reggiano	96	4-5 4.51
3-4	🔗	1996 07 11 19 09 2	Lunigiana	80	5 4.06
4-5	🔗	1997 12 24 17 53 1	Garfagnana	98	5 4.33
2-3	🔗	2000 10 03 01 12 3	Frignano	62	5 4.22
NF	🔗	2002 06 08 20 13 0	Frignano	115	4 4.23
NF	🔗	2002 06 18 22 23 3	Frignano	186	4 4.30

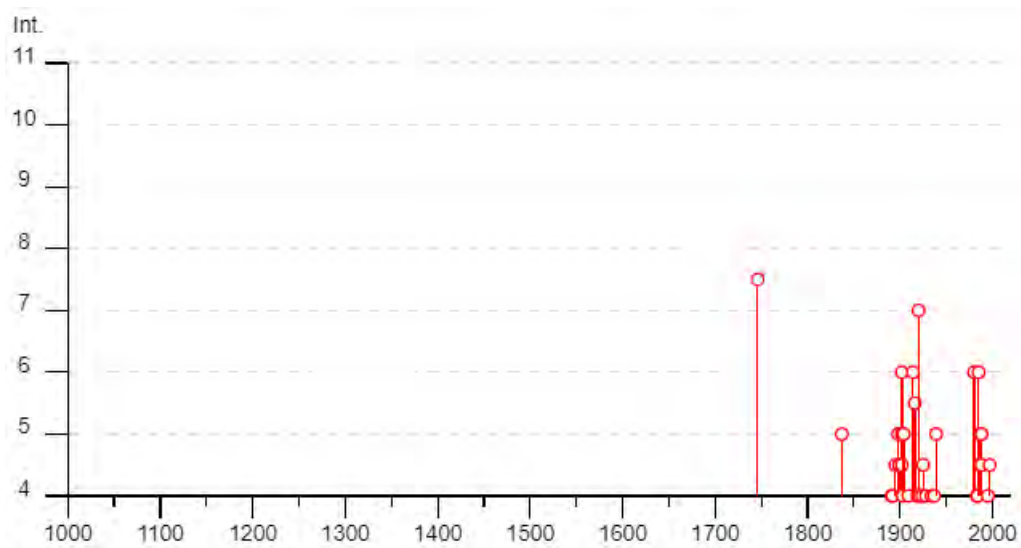


Tabella 2.9: Storia sismica del comune di Castiglione di Garfagnana (LU).

Nella tabella 2.10 sono riportati i dati storici del comune di Barga, definiti nel Gruppo di lavoro CPTI (2015) Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2015 (CPTI15), INGV, Bologna con aggiornamento DBMI15 (dicembre 2015) reperibile all'indirizzo web <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>

Barga



PlaceID	IT_42864
Coordinate (lat, lon)	44.073, 10.486
Comune (ISTAT 2015)	Barga
Provincia	Lucca
Regione	Toscana
Numero di eventi riportati	47

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
8	1740	03	06	05	40		Garfagnana	32	8	5.64
7	1746	07	23	18	15		Garfagnana	10	7	5.15
3	1892	05	17	03	08	1	Carpinetti	28	5	4.28
4	1895	05	18	19	55	1	Fiorentino	401	8	5.50
NF	1896	12	08	17	06	4	Sestola	26	5	4.33
3-4	1898	03	04	21	05		Parmense	313	7-8	5.37
7	1902	03	05	07	06		Garfagnana	83	7	4.98
4	1902	08	04	22	36	1	Lunigiana	60	6	4.78
4	1904	06	10	11	15	2	Frignano	101	6	4.82
2	1911	02	19	07	18	3	Forlivese	181	7	5.26
7	1914	10	27	09	22		Lucchesia	660	7	5.63
6-7	1916	07	27	18	38		Garfagnana	22	5-6	4.56
8	1920	09	07	05	55	4	Garfagnana	750	10	6.53
3	1921	05	07	06	15		Lunigiana	19	6	4.64
3	1922	08	02	21	13		Frignano	21	5	4.32
4	1924	06	12	21	03	4	Frignano	25	5-6	4.46
3	1925	07	20	15	03	3	Garfagnana	7	4-5	3.95
3-4	1927	11	20	10	24	1	Appennino reggiano	16	5	4.29
3-4	1928	08	03	23	09		Lunigiana	21	5	4.26

3	🔗	1929 04 10 05 44	Bolognese	87	6 5.05
4	🔗	1929 04 19 04 16	Bolognese	82	6-7 5.13
3	🔗	1929 04 20 01 10	Bolognese	109	7 5.36
5	🔗	1930 05 24 22 02	Appennino tosco-emiliano	43	5 4.91
4	🔗	1930 10 26 07 14	Appennino tosco-emiliano	14	4 4.21
4	🔗	1930 10 26 07 31	Modenese	11	4 4.12
5	🔗	1939 10 15 14 05	Garfagnana	62	6-7 4.96
5-6	🔗	1951 08 12 21 19	Garfagnana	21	5 4.59
3	🔗	1961 08 03 10 26 2	Lunigiana	22	5 4.18
4	🔗	1969 01 06 22 03 2	Appennino pistoiese	74	6-7 4.67
5	🔗	1972 10 25 21 56 1	Appennino settentrionale	198	5 4.87
6	🔗	1980 06 07 18 35 0	Garfagnana	102	6-7 4.64
3	🔗	1983 11 09 16 29 5	Parmense	850	6-7 5.04
NF	🔗	1984 04 29 05 02 5	Umbria settentrionale	709	7 5.62
5-6	🔗	1985 01 23 10 10 1	Garfagnana	73	6 4.60
4	🔗	1986 10 01 19 53 3	Lunigiana	68	5 4.46
NF	🔗	1987 01 22 05 10 5	Costa pisano-livornese	157	5-6 4.15
4	🔗	1987 02 10 21 20 1	Lunigiana	54	5 4.09
5	🔗	1988 02 08 11 24 4	Garfagnana	75	6 4.34
5	🔗	1988 02 08 13 36 4	Frignano	43	5 4.28
4	🔗	1995 10 10 06 54 2	Lunigiana	341	7 4.82
NF	🔗	1995 12 31 21 29 4	Appennino reggiano	96	4-5 4.51
4-5	🔗	1997 12 24 17 53 1	Garfagnana	98	5 4.33
3-4	🔗	1999 07 07 17 16 1	Frignano	32	5 4.67
3-4	🔗	2000 10 03 01 12 3	Frignano	62	5 4.22
NF	🔗	2002 06 08 20 13 0	Frignano	115	4 4.23
2-3	🔗	2002 06 18 22 23 3	Frignano	186	4 4.30
NF	🔗	2002 06 19 22 11 1	Frignano	52	3 4.03

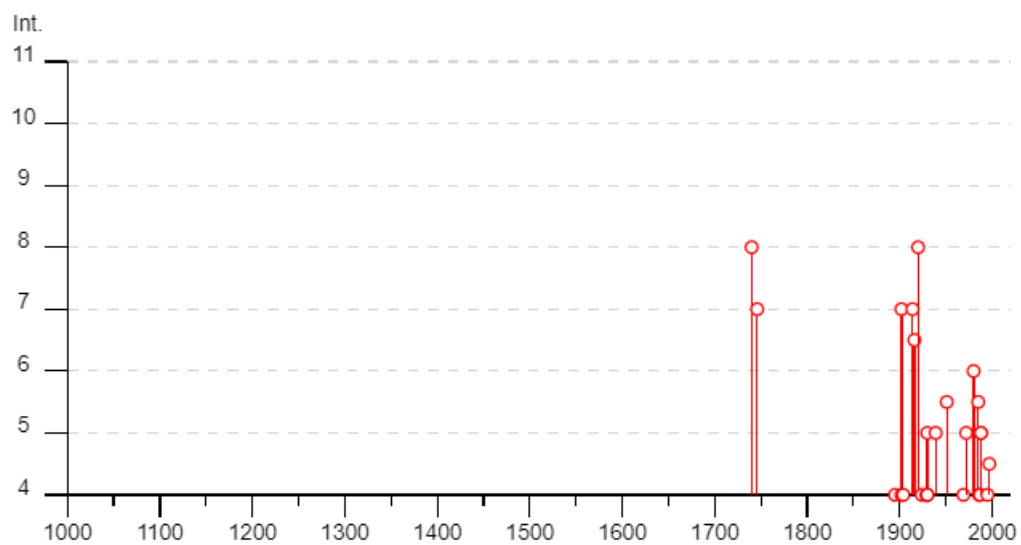


Tabella 2.10: Storia sismica del comune di Barga (LU).

Nella tabella 2.11 sono riportati i dati storici del comune di Pieve Fosciana, definiti nel Gruppo di lavoro CPTI (2015) Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2015 (CPTI15), INGV, Bologna con aggiornamento DBMI15 (dicembre 2015) reperibile all'indirizzo web <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>

Pieve Fosciana



PlaceID	IT_43782
Coordinate (lat, lon)	44.132, 10.411
Comune (ISTAT 2015)	Pieve Fosciana
Provincia	Lucca
Regione	Toscana
Numero di eventi riportati	17

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
7	1740	03	06	05	40		Garfagnana	32	8	5.64
F	1891	06	07	01	06	1	Valle d'Illasi	403	8-9	5.87
4	1895	05	18	19	55	1	Fiorentino	401	8	5.50
6	1902	03	05	07	06		Garfagnana	83	7	4.98
4	1909	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
3	1914	01	15	03	27	2	Livornese	25	5	4.33
6	1914	10	27	09	22		Lucchesia	660	7	5.63
8	1920	09	07	05	55	4	Garfagnana	750	10	6.53
5	1988	02	08	11	24	4	Garfagnana	75	6	4.34
3	1992	05	20	01	21	1	Garfagnana	14	4-5	3.14
4	1995	10	10	06	54	2	Lunigiana	341	7	4.82
2-3	1996	07	11	19	09	2	Lunigiana	80	5	4.06
4	1997	12	24	17	53	1	Garfagnana	98	5	4.33
2	2000	10	03	01	12	3	Frignano	62	5	4.22
NF	2002	06	08	20	13	0	Frignano	115	4	4.23
NF	2002	06	18	22	23	3	Frignano	186	4	4.30
NF	2002	06	19	22	11	1	Frignano	52	3	4.03

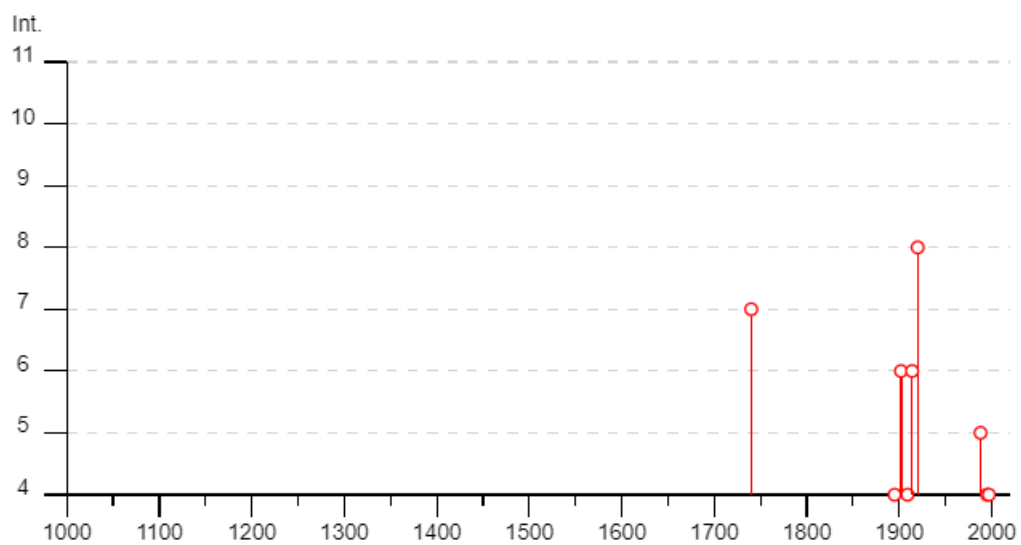


Tabella 2.11: Storia sismica del comune di Pieve Fosciana (LU).

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.
- fase toscana: L'Unità tettonica della Falda Toscana è interessata essenzialmente da due fasi deformative (Fase Toscana): la prima, definita fase tangenziale o fase *sinnappe* (Oligocene superiore-Miocene inferiore), è considerata il più importante evento tettonico-metamorfico, perchè responsabile della strutturazione principale. Durante questa fase si ha l'individuazione e la strutturazione dell'Unità tettonica della Falda Toscana.

L'assetto geologico, stratigrafico e strutturale del territorio comunale di Pievepelago 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, riferibili a domini paleogeografici diversi, rappresentate dall'Unità tettonica Caio (Dominio Ligure), dall'Unità tettonica Canetolo (Dominio Subligure), dall'Unità tettonica della Falda Toscana (Dominio Toscano). L'intero territorio comunale appartiene nella sua quasi totalità al foglio 250 "CASTELNUOVO DI GARFAGNANA" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 ed in piccola parte al foglio 235 "PIEVEPELAGO" 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 235 PIEVEPELAGO (Plesi) e quelle del foglio CARG 250 CASTELNUOVO DI GARFAGNANA (A. Puccinelli et alii).

In conseguenza della complessa evoluzione strutturale che ha portato le unità tettoniche riferibili ai Domini Ligure e Subligure a scorrere verso est ed a sovrapporsi al Dominio Toscano, nell'Appennino Settentrionale si sono individuate più unità tettoniche: le Unità Liguri, le più alte strutturalmente dell'edificio appenninico, suddivise a loro volta in Unità Liguri Interne e in Unità Liguri Esterne (Unità tettonica Caio); l'Unità tettonica Canetolo (Subligure), compresa tra l'Unità tettonica della Falda Toscana e le Liguridi Esterne; nel Dominio Toscano l'Unità tettonica della Falda Toscana e l'Autoctono *Auctt.* Alcuni Autori individuano un'ulteriore unità tettonica al tetto dell'Unità tettonica della Falda Toscana (Unità tettonica Modino)

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

I processi tettonici che hanno coinvolto l'appennino settentrionale hanno scomposto i vari domini paleogeografici impilando e giustapponendo gli stessi in modo complesso, nel periodo che va dal Cretaceo all'attuale. La porzione superiore dell'Unità tettonica della Falda Toscana, al di sopra del Macigno, comprende l'Olistostroma di Monte Modino, le Argille di Fiumalbo, le Marne di Marmoreto e le Arenarie di Monte Modino ed è ben esposta soprattutto nelle aree di M. Nuda, M. Modino e Fiumalbo.

Come precedentemente illustrato, i rapporti tra il tetto del Macigno e le formazioni sovrastanti sono stati considerati stratigrafici, anche se localmente complicati da accidenti tettonici, come si può osservare a sud di M. Modino e poco oltre il crinale appenninico tra Cime di Romecchio e Alpe S. Pellegrino, dove il contatto è sempre rovesciato e talvolta presenta indizi di sovrascorrimento.

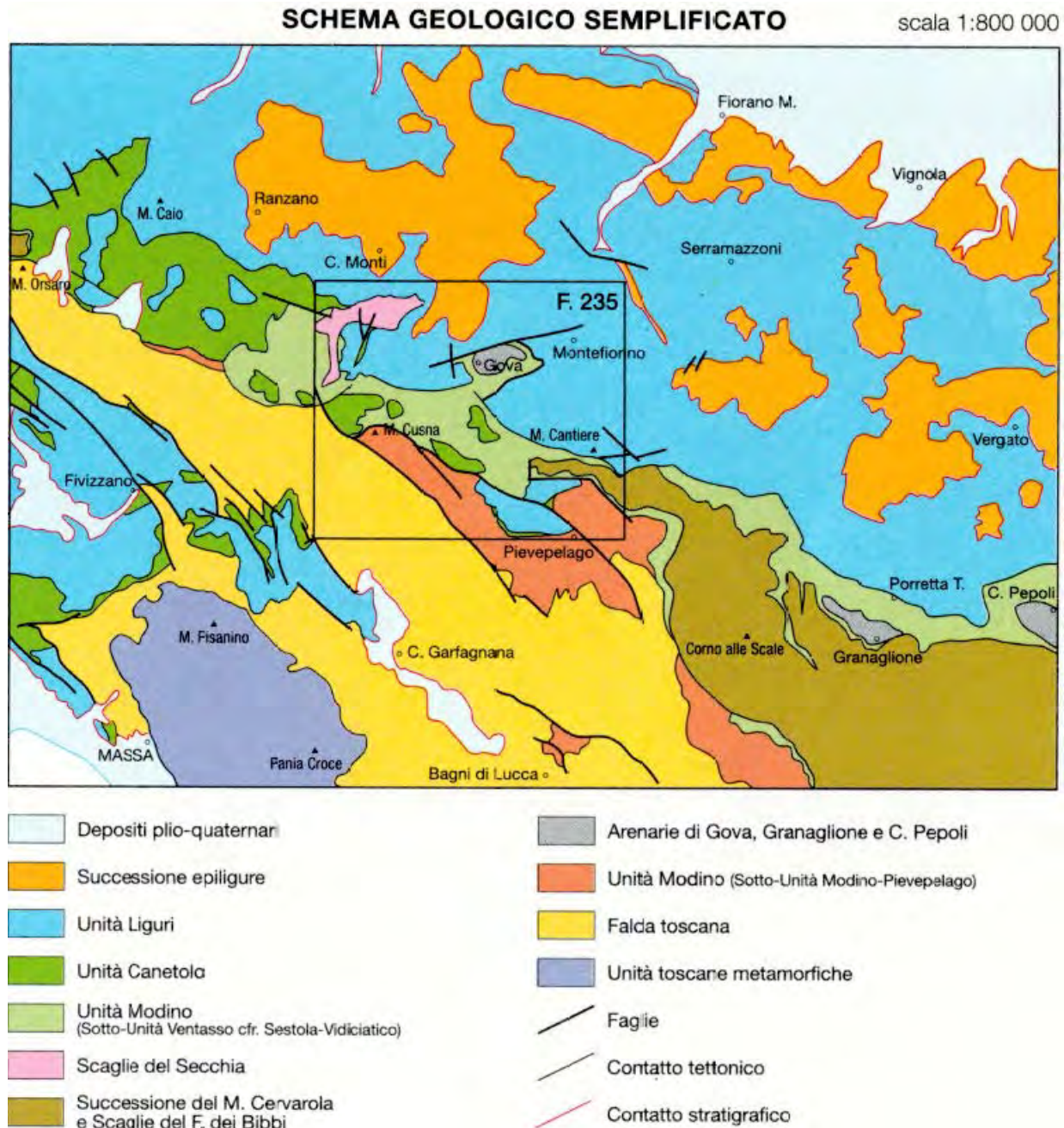
Nella zona compresa tra il M. Nuda, Colle Monterocchi e il corso del T. delle Tagliole le Arenarie di Monte Modino e le formazioni sottostanti hanno invece rapporti tettonici per effetto delle fasi tettoniche mioceniche, che hanno determinato una struttura a scaglie. Nell'area si rilevano più superfici di sovrascorrimento a vergenza sud-sudorientale e immergenti verso nordnordovest, forse per un basculamento tardivo, per effetto del quale si sono invertite le originarie pendenze. I sovrascorrimenti determinano un accavallamento sul Macigno delle formazioni ad esso sovrastanti ed una strutturazione a scaglie embriciate, composte da Olistostroma di Monte Modino, Argille di Fiumalbo, Marne di Marmoreto e Arenarie di Monte Modino. Lungo il versante sinistro della valle del T. delle Tagliole le strie di movimento misurate sui contatti tettonici che separano le varie scaglie hanno fornito direzioni di movimento che si aggirano intorno a N35°.

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.

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

- o Unità Quaternarie continentali;
- o Liguridi;
- o SubLiguridi;
- o Serie Toscana;

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



Le formazioni affioranti, riportate nella carta geologica semplificata del comune di Pievepelago, appartengono al Dominio Ligure (le formazioni rappresentate in carta con tonalità di verde) ed alla Serie Toscana (formazioni rappresentate in carta con tonalità di giallo/grigio/marrone).

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

UNITÀ QUATERNARIE CONTINENTALI

SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE (AES) (*Pleistocene medio?-Olocene*)

Unità alluvionale costituita da sedimenti grossolani e fini, talora intensamente pedogenizzati, con alla base una superficie di discontinuità nel margine appenninico e nell'alta pianura, passante a una superficie di continuità nel sottosuolo della pianura, su AEI. Sintema parzialmente suddiviso in subsintemi limitati, in affioramento, da scarpate di terrazzo fluviale e paleosuoli e nel sottosuolo della pianura da bruschi contatti fra depositi fini alluvionali e palustri su depositi grossolani di conoide e di piana alluvionale.

SUBSINTEMA DI RAVENNA (AES8) (Olocene età radiometrica della base: 11.000-8.000 anni)

Ghiaie e ghiaie sabbiose, passanti a sabbie e limi organizzate in numerosi ordini di terrazzi alluvionali. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. A tetto suoli a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente fino a 150 cm e parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallo-bruno. Contengono frequenti reperti archeologici di età del Bronzo, del Ferro e Romana. Potenza fino a oltre 25 m..

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

Depositi ghiaiosi passanti a sabbie e limi di terrazzo alluvionale. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. Unità definita dalla presenza di un suolo a bassissimo grado di alterazione, con profilo potente meno di 100 cm, calcareo, grigio-giallastro o bruno grigiastro. Nella pianura ricopre resti archeologici di età romana del VI secolo d.C..

Potenza massima di alcuni metri (< 10 m).

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

LIGURIDI

Flysch e formazioni post-Flysch

FLYSCH DI MONTE CAIO (CAO) (Campaniano sup. - Maastrichtiano)

Torbiditi calcareo-marnose, grigio-scure, in strati da medi a molto spessi con una base arenitica media o fine passante a marna; a tetto intervalli sottili e medi di argilla

nerastra fissile. Si alternano a pacchi di torbiditi arenaceo-pelitiche da sottili a medie e a torbiditi calcareo-pelitiche chiare in strati medi. Torbiditi di piana abissale. Contatto inferiore non affiorante. Potenza fino ad alcune centinaia di metri.

Formazioni pre-Flysch

ARGILLE A PALOMBINI (APA) (Barremiano - 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 . La formazione in genere è intensamente deformata con perdita dell'originario ordine stratigrafico alla scala dell'affioramento; gli strati calcilutitici sono spesso "boudinati". All'interno della formazione sono talora presenti lembi di basalti (β) e serpentiniti (Σ)

ARGILLITI DI SAN SIRO (SSI) (Cenomaniano? – Campaniano sup.)

Argilliti rosso-violacee, brune o variegata, mangesifere, alternate con straterelli calcilutitici o siltitici.

SUBLIGURIDI

FORMAZIONE DI MONTEPASTORE (APE) (Rupeliano)

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.

UNITA' TOSCANE

Successione Modino

ARENARIE DEL MONTE MODINO (MOD) (Chattiano p.p. - Aquitaniano)

Torbiditi arenaceo-pelitiche, grigie, in strati da sottili a spessi, costituiti da una base arenacea fine passante a pelite con rapporto A/P ~ 1 . Si alternano pacchi di strati da medi a spessi costituiti di arenarie medie o grossolane con al tetto, a luoghi, peliti spesse pochi centimetri. Rapporto A/P generalmente >1 .

Le torbiditi a composizione mista o calcarenitico-marnose sono piuttosto rare. Contatto inferiore per alternanze su MMA nell'area tipo. Potenza di alcune centinaia di metri.

ARENARIE DI VALLORSARA (VLR) (Chattiano p.p - Aquitaniano)

Torbiditi arenaceo-pelitiche in strati da sottili a medi, raramente spessi, con arenarie fini e finissime grigie, o siltiti, passanti a marne grigiastre. Rapporto A/P generalmente <1. Intercalazione di intervalli relativamente spessi di torbiditi pelitico-marnose grigio-rosate. Frequenti depositi da slumping di spessore non elevato. Torbiditi di margine di bacino. Passaggio per alternanza su MMA. Potenza parziale massima di 200 m circa.

MARNE DI MARMORETO (MMA) (Rupeliano p.p. - Chattiano p.p)

Marne, marne siltose e marne calcaree, grigie, a stratificazione mal visibile con rare intercalazioni di siltiti ed arenarie fini grigio-chiare, giallastre per alterazione, anche di origine vulcanoclastica. Nella parte basale è talora presente un livello spesso pochi metri costituito da torbiditi a base arenacea molto fine e tetto marnoso. Contatto inferiore discordante su FIU e su AVC. Deposito di scarpata. Spessore massimo di circa 100 m.

- LITOFACIES A BRECCIE DEL MONTE LE COSTE (MMAb)

Presenti localmente nella parte alta o al tetto delle Marne di Marmoreto. Breccie argilloso-calcaree originate da *debris flow* e *slumping*; arenarie grossolane in matrice arenacea o siltosa, irregolarmente gradate e talora sfumanti al tetto a peliti marnose. Clasti di origine ligure-subligure e ciottoli marnosi arrotondati derivati dalla formazione stessa.

ARGILLE DI FIUMALBO (FIU) (Bartoniano - Rupeliano)

Argille, argilliti e argilliti-marnose grigio-scure, verdastre e rosse con stratificazione poco evidente, con intercalazioni di sottili strati gradati di siltiti e areniti finissime e fini, grigio-verdastre, o di straterelli calcarenitico-marnosi nella parte bassa. Nella parte alta argilliti marnose grigio-cenere con intercalazioni di siltiti e areniti fini in strati sottili. Depositi pelagici emipelagici e torbiditici fini distali. Contatto stratigrafico discordante sulle successioni sottostanti o tettonizzato. Spessore massimo 200-300m.

- MEMBRO DEL RIO ACQUICCIOLA (FIU₂)

Arenarie a cemento calcareo in strati anche spessi. Intercalate, forse in più livelli, nella parte alta delle Argille di Fiumalbo.

BRECCIE ARGILLOSE POLIGENICHE (BAP) (Cretaceo inferiore - Oligocene)

Breccie poligeniche a matrice argillosa nerastre o grigiastre, con clasti di calcari micritici grigio-giallastri, talora selciferi, siltiti nerastre, calcareniti, calcari marnosi grigi, areniti e marne calcaree grigie. Stratificazione indistinta. Depositi di colate miste di fango e detrito (*debris flow*) in ambiente marino profondo. Interdigitazione con AVC, FIU e MMA. Potenza variabile da 0 a 100 m.

FORMAZIONE DELL'ABETINA REALE (ABT) (Campaniano sup - Paleocene inf?)

Torbiditi a base calcilutitica o calcarenitica grigia, passanti a marne calcaree biancastre, in strati da spessia molto spessi, localmente plurimetrici, alternate a torbiditi a base arenitica fine e siltitica e tetto argilloso grigio-scuro in strati sottili e medi. Subordinate calcilutiti silicee in strati da medi a spessi grigio-bluastri.

Locali intercalazioni di breccie poligeniche e arenarie silicoclastiche e ofiolitiche. Torbiditi di ambiente marino profondo. Passaggio discordante alla formazione sottostante; contatti tettonici prevalentemente con AVC. Potenza di 200-300 m circa.

FORMAZIONE DEL FOSSO DELLA CA' (AFC) (Campaniano sup.)

Alternanze di torbiditi arenaceo-pelitiche e marnoso-pelitiche in strati sottili e di breccie poligeniche (clasti di basalti, serpentiniti, calcari, argilliti selci e diaspri), in banchi spessi fino a qualche metro, intercalate a peliti grigio scure o nerastre manganesifere. Localmente distinta una **litofacies a breccie ofiolitiche (AFCa)**. Discordanti sulla successione sottostante. Depositi di ambiente marino profondo. Spessore massimo di circa 200 m.

ARGILLITI VARIEGATE CON CALCARI (AVC) (Hauteriviano - Cenomaniano inf.)

Argilliti, bruno verdastre, grigio-verdi o grigio piombo, talora in bande blu, in strati sottili con intercalate calcilutiti grigie, in strati da sottili a molto spessi, a volte marnose al tetto, e siltiti e arenarie fini in strati sottili. Argilliti brune o verdine più raramente varicolori intercalate a strati siltoso-calcarei o arenarie fini gradate. Breccie argillitico-calcaree a prevalenti clasti di calcari tipo palombini. Rapporto A/C >1.

Deposito di ambiente marino profondo. Contatto inferiore generalmente non affiorante. Potenza fino a circa 300 m.

- LITOFACIES ARENITICO-MARNOSA (AVCc)

















Torbiditi, da centimetriche a metriche, arenitico-marnose, siltitico-marnose e più raramente calcareomarnose intercalate a livelli decimetrici di peliti scure; rapporto A/P <=1. Geometria lenticolare e potenza fino a 100 m.

Falda Toscana

MACIGNO (MAC) (Chattiano - Aquitaniano)

In basso torbiditi arenaceo-pelitiche in strati sottili (pochi metri). Nella parte intermedia arenarie in strati spessi e molto spessi a base grossolana con scarse peliti. Nella parte alta della successione torbiditi piano parallele (talora a base calcarenitica bioclastica e tetto pelitico-marnoso) in strati medi e spessi, alternate a torbiditi più sottili. Spessore massimo di circa 1000 m.

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

Substrato geologico		
	LP	Lapideo
	GR	Granulare cementato
	CO	Coesivo sovraconsolidato
	AL	Alternanza di litotipi
	LPS	Lapideo, stratificato
	GRS	Granulare cementato, stratificato
	COS	Coesivo sovraconsolidato, stratificato
	ALS	Alternanza di litotipi, stratificato
	SFLP	Lapideo fratturato / alterato
	SFGR	Granulare cementato fratturato / alterato
	SFCO	Coesivo sovraconsolidato fratturato / alterato
	SFAL	Alternanza di litotipi fratturato / alterato
	SFLPS	Lapideo, stratificato fratturato / alterato
	SFGRS	Granulare cementato, stratificato fratturato / alterato
	SFCOS	Coesivo sovraconsolidato, stratificato fratturato / alterato
	SFALS	Alternanza di litotipi, stratificato fratturato / alterato

3.2 Inquadramento geomorfologico

Il presente capitolo descrive i caratteri geomorfologici del comune di Pievepelago, 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 di unità litologiche prevalentemente calcareo- marnose e arenaceo-pelitiche, a prevalente componente

litoide, poggianti su unità a componente prevalentemente argillosa presenti in numero abbastanza ridotto, quindi facilmente degradabili, affioranti nell'intorno.

La porzione centro-settentrionale e meridionale 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 meridionale del territorio, fino al crinale e risultano scolpite entro le differenti formazioni flyschoidi. 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 del Rio Perticara, del Torrente Tagliole e del Torrente Scoltenna. 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 litotipi argillosi sono tra le rocce meno resistenti all'erosione e risultano pertanto particolarmente deboli in rapporto ai processi erosivi, soprattutto di tipo meccanico. Tali litotipi risultano piuttosto esigui e diffusi a spot sul territorio.

Il substrato così definito, per l'area in esame, da origine a fenomeni di ruscellamento e a grandi fenomeni franosi con differenti superfici di scivolamento anche profonde la cui tipologia è riconducibile a frane per colata, scivolamento o dovute alla combinazione di queste ultime due.

In particolare si rilevano:

- ruscellamento diffuso ed erosione laminare;
- ruscellamento concentrato ed erosione a rivoli: tale processo deriva da un'evoluzione del ruscellamento diffuso;
- 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.

I corsi d'acqua presenti risultano prevalentemente impostati su dislocazioni di carattere tettonico, sia per quanto riguarda il corso d'acqua principale, il torrente Scoltenna, sia per i corsi d'acqua minori quali il Rio Perticara ed il Torrente Tagliole.

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 differenti ordini di terrazzi in adiacenza al torrente Scoltenna, al Rio Perticara ed al Torrente Tagliole.

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 minori attribuibili ai corsi d'acqua minori, dovute alla forte erodibilità dei materiali presenti.

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 CGT_MS: 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 1.1.2-6 Legenda della CGT_MS: forme di superficie e sepolti

Forme di superficie e sepolti	
	Conoide alluvionale
	Falda detritica
	Area con cavità sepolti
	Orlo di scarpata morfologica naturale o artificiale* (10-20m)
	Orlo di scarpata morfologica naturale o artificiale* (>20m)
	Orlo di terrazzo fluviale (10-20m)
	Orlo di terrazzo fluviale (>20m)

Forme di superficie e sepolti	
	Cresta
	Scarpata sepolta
	Asse di valle sepolta stretta (C ≥ 0.25)**
	Asse di valle sepolta larga (C < 0.25)**
	Asse di paleovalveo
	Picco isolato
	Cavità isolata /dolina/sinkhole

* Tra gli orli di scarpata artificiali si considerano anche i fronti di cava
 ** C=H/L con H profondità della valle e L semi larghezza 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:

- 24 sondaggi stratigrafici meccanici a carotaggio continuo;
- 115 prove penetrometriche dinamiche superpesanti (DPSH - SCPT);
- 2 prove penetrometriche dinamiche leggere (DPL).

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.

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 tremore 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:

- 4 prospezioni sismiche attive con metodo MASW in onde Rayleigh (array sismico 1D con geofoni verticali con analisi della componente verticale dell'onda di Rayleigh);
- 2 misure di sismica passiva con tecnica a stazione singola con acquisizione di microtremori ambientali 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 V_s 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, detensionata/fratturata, sono state effettuate prospezioni geofisiche in onde di superficie con metodo attivo e passivo, sia in array che a stazione singola.

Le nuove indagini sono state eseguite sempre congiuntamente, al fine di meglio caratterizzare le velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio V_s 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 V_s mediante analisi attive di tipo MASW - FTAN e analisi di tipo passive quali ESAC/SPAC. 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 le tecniche attive e passive in array è stato possibile definire l'andamento delle V_s con la profondità e quindi la definizione delle V_s 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 V_s anche in altri siti al fine di individuare i valori di V_s di alcuni tipi di roccia in condizioni di substrato litologico affiorante.

In sintesi le nuove indagini realizzate sono state complessivamente:

- 62 prospezioni sismiche attive con metodo MASW e FTAN in onde Rayleigh e Love (array sismico 1D sia con geofoni verticali che orizzontali con analisi della componente verticale e radiale dell'onda di Rayleigh e trasversale dell'onda di Love);
- 16 prospezioni sismiche passive con metodo ESAC in onde Rayleigh (array sismico bidimensionale 2D con geofoni verticali con analisi della componente verticale dell'onda di Rayleigh);
- 36 prospezioni sismiche passive con metodo SPAC (nc-CCA) in onde Rayleigh (array sismico a disposizione circolare con geofoni verticali con analisi della componente verticale dell'onda di Rayleigh);
- 62 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 Toscana come peraltro più dettagliatamente descritto nel cap.3 della medesima relazione.

La quasi totalità del territorio comunale (l'ampia zona nella quale si sviluppa l'abitato di Pievepelago stesso) è caratterizzato da formazioni appartenenti alla successione del Dominio Toscano. Tali formazioni autoctone costituite da flysch arenaceo-pelitici, marne, marne argilloso-siltose e argilliti, costituiscono il materiale lapideo stratificato, la cui stratificazione e fratturazione è influente sulle caratteristiche di rigidità dell'ammasso roccioso stesso. Le unità litologiche inoltre denotano sensibile variabilità laterale, all'interno della stessa formazione.

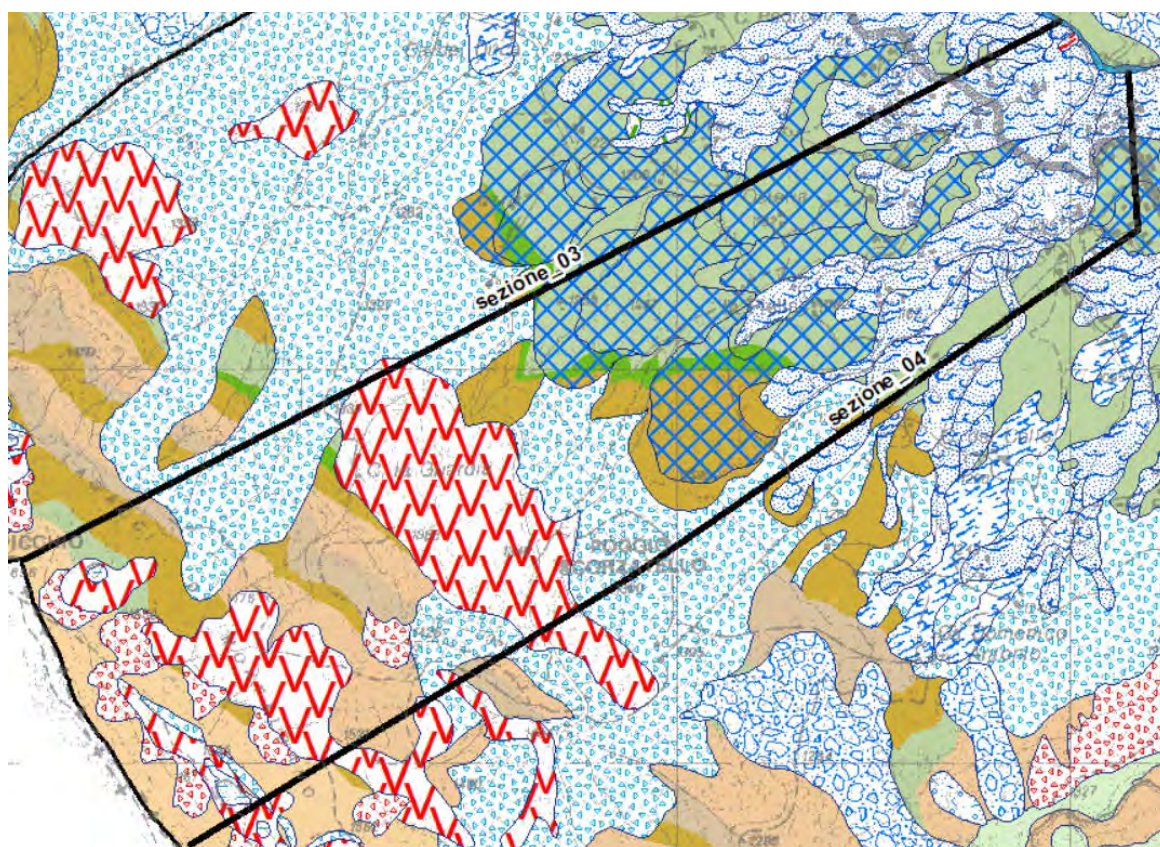
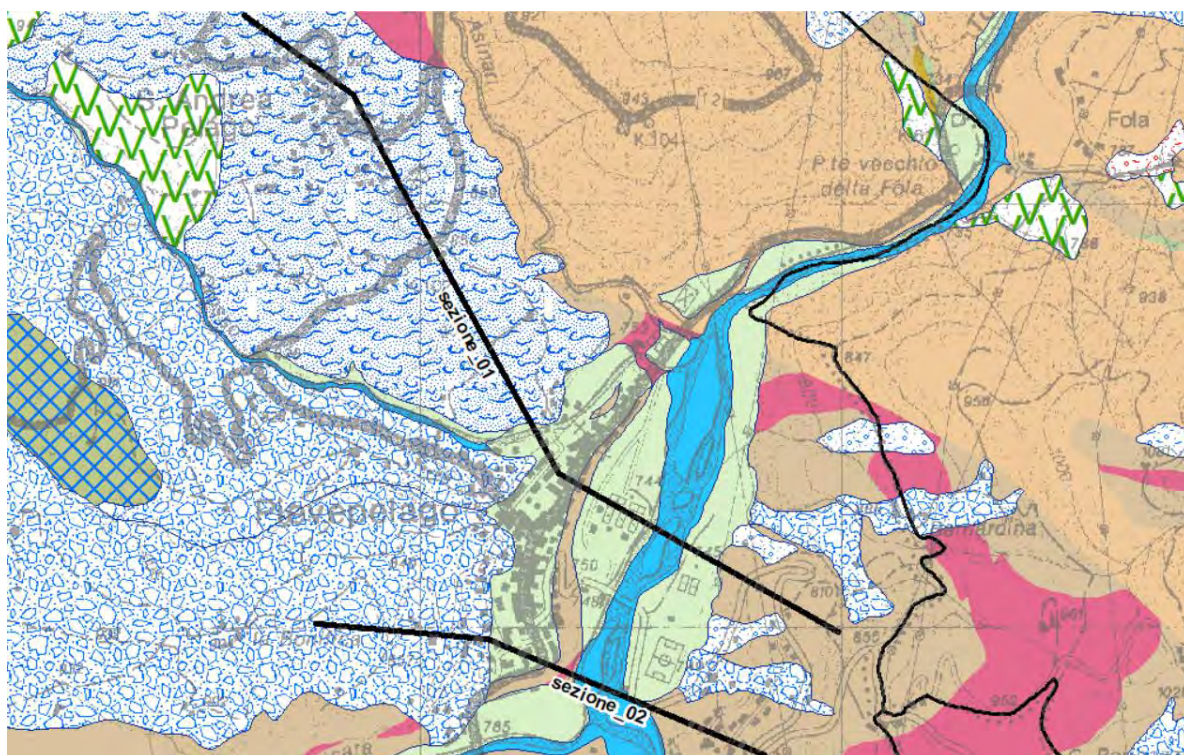
Tali litologie rappresentano il substrato geologico più antico presente nel territorio comunale e sono in contatto con la parte basale della successione ligure, caratterizzate nella quasi totalità da flysch calcareo-marnosi ed in piccolissima parte da litotipi a prevalente componente argillosa (Argille intensamente tettonizzate e argilliti).

La maggior parte dei terreni di copertura delle formazioni geologiche sono dovuti ad episodi franosi di grandi dimensioni (basti pensare ai versanti che da Sant'Andrea Pelago scendono verso il capoluogo e al versante di Sant'Anna Pelago) il cui comportamento non è schematizzabile ma va analizzato caso per caso. Tali fenomeni presentano molteplici superfici di scivolamento la cui profondità si attesta al massimo tra i 30 ed i 40m dal piano campagna.

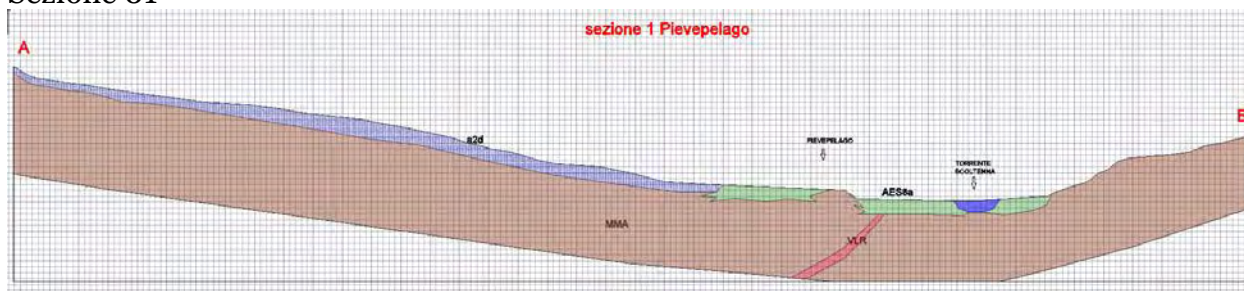
La maggior parte di tali fenomeni risente di movimenti annuali più superficiali e di parziali riattivazioni tali da far sì che i pendii in oggetto siano sempre in uno stato attivo. Infine nelle aree di fondovalle sono presenti depositi alluvionali, in diversi ordini di terrazzamento, costituiti prevalentemente 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 Pievepelago, nei settori sede dell'urbanizzato e di previsto sviluppo, sono visualizzati anche nelle sezioni geologiche realizzate e riportate nella cartografia, di cui si riporta qui uno stralcio.

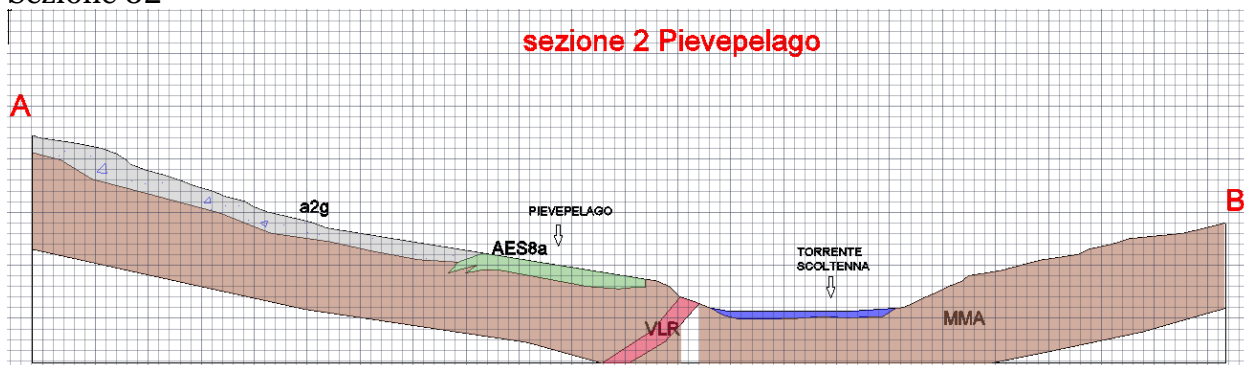
Planimetria delle sezioni



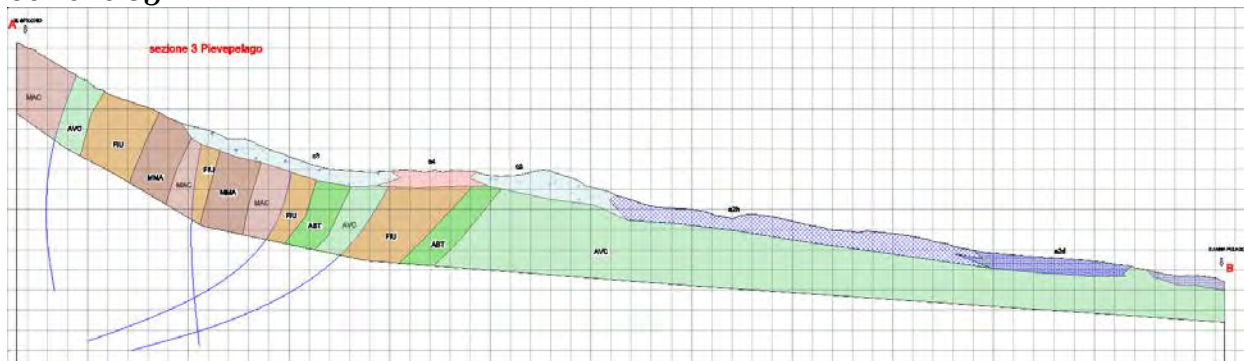
Sezione 01



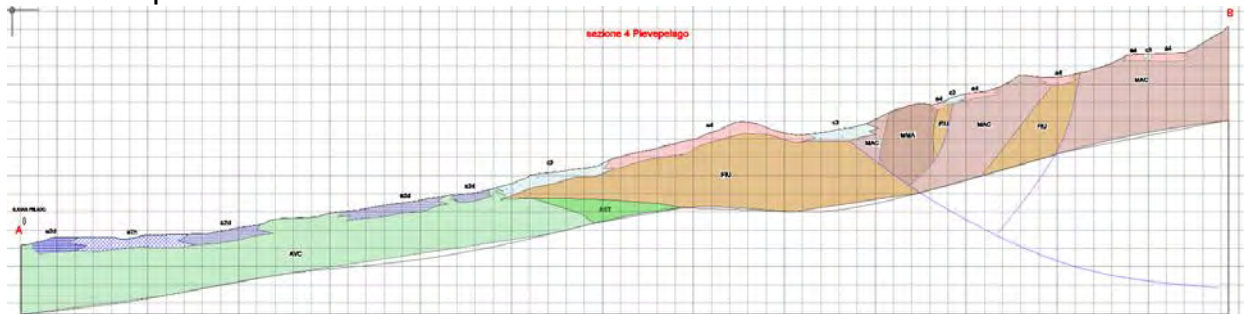
Sezione 02



Sezione 03



Sezione 04



6. INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE

Per quanto riguarda le interpretazioni del centro abitato di Pievepelago e dei 7 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. Data la complessità geologica del territorio va detto come ci siano situazioni con enorme eterogeneità anche a piccole distanze tra loro. (per esempio basta vedere le indagini sulle coperture detritiche dei fenomeni franosi oppure sulla variabilità spaziale e laterale dei grandi corpi flyschoidi legati a differenti comportamenti di rigidità sulla base di assetti, variazioni stratigrafiche e fratturazione).

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 Pievepelago 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 i seguenti software:

WinMasw 7.2 Academy®Eliosoft

HoliSurface 6.0®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 tremore ambientale. Si tratta di uno strumento portatile nel quale è integrata una terna di velocimetri 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 64/128 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 - in onde Rayleigh

Le prospezioni sismiche sono state eseguite con un acquirettore digitale a 24 bit DoReMi®Sara Instruments Srl e l'utilizzo di geofoni verticali a 4,5 hz ad alto guadagno e ove ritenuto necessario sono stati utilizzati anche geofoni verticali a 2,0 hz. L'acquisizione è stata effettuata campionando il segnale a 1 KHz, per una durata di 2/3 secondi. Lo stendimento ha avuto una lunghezza pari a circa 50 m con distanza intergeofonica che è stata fatta variare a 3/4 m e con offset pari a 5/10 m previa energizzazione con mazza da 10 kg su piastra metallica o piastra in pvc a seconda delle condizioni della superficie di battuta.

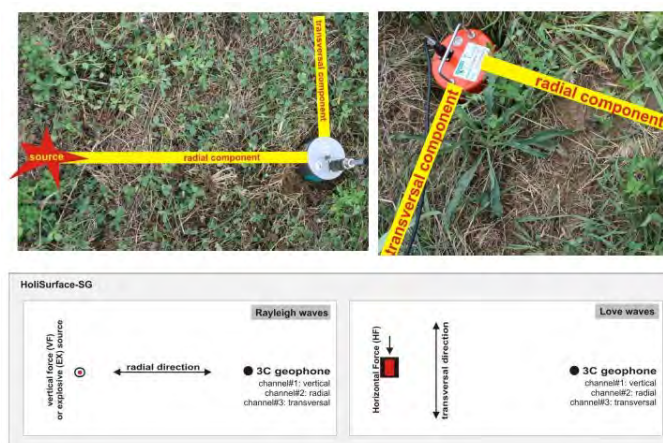
- Indagini geofisiche attive con metodo MFA - HS (FTAN) in onde Rayleigh e Love

Le prospezioni sismiche sono state eseguite con un acquirettore 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 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 o piastra in pvc a seconda delle condizioni della superficie di battuta

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:



- Indagini geofisiche passive con metodo ESAC/SPAC (nc-cca) in onde Rayleigh

Le prospezioni sismiche sono state eseguite con un acquisitore digitale a 24 bit DoReMi®Sara Instruments Srl e l'utilizzo di geofoni verticali a 4,5 hz ad alto guadagno e ove ritenuto necessario sono stati utilizzati anche geofoni verticali a 2,0 hz.

Il metodo ESAC/SPAC consente di definire la curva di dispersione apparente della componente verticale dell'onda di Rayleigh tramite acquisizioni di carattere passivo svolte tramite array bidimensionali/circolari che, non risultano afflitti da ambiguità nell'identificazione della curva di dispersione.

7.3 Risultati

I risultati ottenuti vengono qui sinteticamente descritti per i due livelli di microzonazione sismica realizzati per il comune di Pievepelago (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 (il dominio Ligure e la successione Toscana) si possono schematizzare in due grandi famiglie a comportamento sismico differente: una sottofamiglia delle une e delle altre rappresentano il cosiddetto "bedrock sismico", caratterizzati da velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio prossime e superiori agli 800 m/s nei primi 0-10 m del sottosuolo, mentre la restante parte dovuta alla si contraddistingue per velocità più basse (dai 450 ai 650 m/s) e pertanto è soggetta 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 15-25 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.

- 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 di accelerazione massima 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 innanzitutto come la fratturazione e l'anisotropia dei materiali giochi un ruolo determinante sulla rigidità e quindi sul comportamento sismico dei materiali.

Tutto il dominio Toscano che costituisce la maggior parte del territorio comunale evidenzia comportamenti da bedrock sismico per quanto riguarda la litologia più litoide in alcune sue porzioni con fattori amplificativi piuttosto bassi mentre le litologie a matrice prevalentemente marnoso/argillosa comprendono una forbice di parametri ben più ampia e con valori decisamente più elevati a causa anche della presenza, localmente, di coperutre detritiche.

.

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:

- 24 sondaggi stratigrafici meccanici a carotaggio continuo;
- 115 prove penetrometriche dinamiche superpesanti (DPSH - SCPT);
- 2 prove penetrometriche dinamiche leggere (DPL).
- 4 prospezioni simiche a rifrazione attiva con metodo MASW in onde Rayleigh (array sismico 1D con geofoni verticali con analisi della componente verticale dell'onda di Rayleigh);
- 2 misure di sismica passiva con tecnica a stazione singola con acquisizione di microtremori ambientali con metodo Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR).

Tali indagini pregresse sono state integrate con nuove indagini geofisiche di superficie; nello specifico sono state effettuate prospezioni geofisiche in onde di superficie 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 V_s 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 V_s mediante analisi attive di tipo MASW - FTAN e analisi di tipo passive quali ESAC/SPAC. 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 le tecniche attive e passive in array è stato possibile definire l'andamento delle V_s con la profondità e quindi la definizione delle V_s ai fini della determinazione dei fattori di amplificazione.

In sintesi le nuove indagini realizzate sono state complessivamente:

- 62 prospezioni simiche attive con metodo MASW e FTAN in onde Rayleigh e Love (array sismico 1D sia con geofoni verticali che orizzontali con analisi della componente verticale e radiale dell'onda di Rayleigh e trasversale dell'onda di Love);
- 16 prospezioni simiche passive con metodo ESAC in onde Rayleigh (array sismico bidimensionale 2D con geofoni verticali con analisi della componente verticale dell'onda di Rayleigh);

- 36 prospezioni simiche passive con metodo SPAC (nc-CCA) in onde Rayleigh (array sismico a disposizione circolare con geofoni verticali con analisi della componente verticale dell'onda di Rayleigh);
- 62 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 locale del territorio comunale può essere suddiviso in due macrodomini: il Dominio Ligure e la Successione Toscana come peraltro più dettagliatamente descritto nel cap.3 della medesima relazione.

La quasi totalità del territorio comunale (l'ampia zona nella quale si sviluppa l'abitato di Pievepelago stesso) è caratterizzato da formazioni appartenenti alla successione del Dominio Toscano. Tali formazioni autoctone costituite da flysch arenaceo-pelitici, marne, marne argilloso-siltose e argilliti, costituiscono il materiale lapideo stratificato, la cui stratificazione e fratturazione è influente sulle caratteristiche di rigidità dell'ammasso roccioso stesso. Le unità litologiche inoltre denotano sensibile variabilità laterale, all'interno della stessa formazione.

Tali litologie rappresentano il substrato geologico più antico presente nel territorio comunale e sono in contatto con la parte basale della successione ligure, caratterizzate nella quasi totalità da flysch calcareo-marnosi ed in piccolissima parte da litotipi a prevalente componente argillosa (Argille intensamente tettonizzate e argilliti).

La maggior parte dei terreni di copertura delle formazioni geologiche sono dovuti ad episodi franosi di grandi dimensioni (basti pensare ai versanti che da Sant'Andrea Pelago scendono verso il capoluogo e al versante di Sant'Anna Pelago) il cui comportamento non è schematizzabile ma va analizzato caso per caso. Tali fenomeni presentano molteplici superfici di scivolamento la cui profondità si attesta al massimo tra i 30 ed i 40m dal piano campagna.

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 fratturato/alterato;
- Coesivo sovraconsolidato non stratificato e stratificato fratturato/alterato;
- Alternanze di litotipi stratificati fratturato/alterato.

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 fluviali 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 Pievepelago, 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, dall'analisi dei valori ottenuti dalle prove HVSR si evince come localmente la presenza di riporti o coperture determina che non si riscontri in maniera così evidente un trend a secondo delle litologie interessate.

Ad ogni modo si può affermare che l'abitato di Pievepelago è costituito da marne, marne siltose e marne calcaree, grigie, a stratificazione mal visibile le quali non indicano marcate amplificazioni dal punto di vista sismico (se non per la presenza locale di detriti o riporti). Le misure realizzate su questi litotipi mostrano frequenza di risonanza comprese tra $f_0 = 0,5 - 8,0$ Hz ed ampiezze comprese tra 1,5 e 5,0.

Sono stati caratterizzati, i depositi alluvionali del sintema AES8 le cui misure realizzate su questi litotipi mostrano frequenza di risonanza comprese tra $f_0 = 10,0 - 30,0$ Hz ed ampiezze comprese tra 3,0 e 7,0 evidenziando contenuti in alta frequenza di scarsa influenza per la pianificazione territoriale e per le varie tipologie costruttive oggi esistenti.

Comportamenti analoghi a quanto riscontrato nell'abitato di Pievepelago si riscontrano anche nelle principali frazioni del comune (Sant'Anna Pelago, Sant'Andrea pelago e RoccaPelago) dove la presenza locale dei numerosi corpi franosi e detritici determinano le amplificazioni riscontrate. Il substrato geologico qui presente evidenzia 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 - 3,0.

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 1,0 - 10,0 Hz ed ampiezze comprese tra $2,0 \div 6,0$

Analogo comportamento evidenziano anche i depositi di versante ed i depositi morenici con spessori maggiori di $5 \div 10$ m che mostrano frequenze generalmente comprese tra 1,0 - 20,0 Hz ed ampiezze pari a 2,0 - 3,5

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 (MOPS - 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.

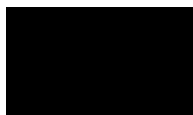
In riferimento agli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica del Dip. Prot. Civ. e Conf. Delle Regioni e Province Autonome e gli Standard MS (v. 4.0), sono state individuate e delimitate le zone a comportamento equivalente in occasione di sollecitazione sismica, nelle quali sono da effettuarsi 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 ad array 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 (LP)



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

Rientrano in questa zona le seguenti formazioni geologiche affioranti:

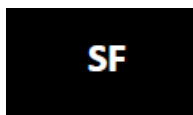
Basalti ofiolitici (BP).

OFIOLITI

Basalti in colate, cuscini e breccie di cuscini (BP).

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

- Zona 1 (Substrato geologico lapideo fratturato/alterato SFLP - lapideo stratificato fratturato/alterato SFLPS)



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:

ARENARIE DEL MONTE MODINO (MOD) (Chattiano p.p. - Aquitaniano)

Torbiditi arenaceo-pelitiche, grigie, in strati da sottili a spessi, costituiti da una base arenacea fine passante a pelite con rapporto $A/P \sim 1$. Si alternano pacchi di strati da medi a spessi costituiti di arenarie medie o grossolane con al tetto, a luoghi, peliti spesse pochi centimetri. Rapporto A/P generalmente >1 .

Le torbiditi a composizione mista o calcarenitico-marnose sono piuttosto rare. Contatto inferiore per alternanze su MMA nell'area tipo. Potenza di alcune centinaia di metri.

FORMAZIONE DEL FOSSO DELLA CA' (AFC) (Campaniano sup.)

Alternanze di torbiditi arenaceo-pelitiche e marnoso-pelitiche in strati sottili e di breccie poligeniche (clasti di basalti, serpentiniti, calcari, argilliti selci e diaspri), in banchi spessi fino a qualche metro, intercalate a peliti grigio scure o nerastre manganesifere. Localmente distinta una litofacies a breccie ofiolitiche (AFCa). Discordanti sulla successione sottostante. Depositi di ambiente marino profondo. Spessore massimo di circa 200 m.

MACIGNO (MAC) (Chattiano - Aquitaniano)

In basso torbiditi arenaceo-pelitiche in strati sottili (pochi metri). Nella parte intermedia arenarie in strati spessi e molto spessi a base grossolana con scarse peliti. Nella parte alta della successione torbiditi piano parallele (talora a base calcarenitica bioclastica e tetto pelitico-marnoso) in strati medi e spessi, alternate a torbiditi più sottili. Spessore massimo di circa 1000 m.

- Zona 2 (Substrato geologico alternanza di litotipi stratificato fratturato/alterato SFALS)



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 CAIO (CAO) (Campaniano sup. - Maastrichtiano)

Torbiditi calcareo-marnose, grigio-scure, in strati da medi a molto spessi con una base arenitica media o fine passante a marna; a tetto intervalli sottili e medi di argilla nerastra fissile. Si alternano a pacchi di torbiditi arenaceo-pelitiche da sottili a medie e a torbiditi calcareo-pelitiche chiare in strati medi. Torbiditi di piana abissale. Contatto inferiore non affiorante. Potenza fino ad alcune centinaia di metri.

ARENARIE DI VALLORSARA (VLR) (Chattiano p.p - Aquitaniano)

Torbiditi arenaceo-pelitiche in strati da sottili a medi, raramente spessi, con arenarie fini e finissime grigie, o siltiti, passanti a marne grigiastre. Rapporto A/P generalmente <1 . Intercalazione di intervalli relativamente spessi di torbiditi pelitico-marnose grigio-rosate. Frequenti depositi da slumping di spessore non elevato. Torbiditi di margine di bacino. Passaggio per alternanza su MMA. Potenza parziale massima di 200 m circa.

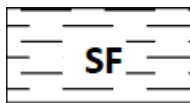
ARGILLE DI FIUMALBO - MEMBRO DEL RIO ACQUICCIOLA (FIU2)

Arenarie a cemento calcareo in strati anche spessi. Intercalate, forse in più livelli, nella parte alta delle Argille di Fiumalbo.

FORMAZIONE DELL'ABETINA REALE (ABT) (Campaniano sup - Paleocene inf?)

Torbiditi a base calcilitica o calcarenitica grigia, passanti a marne calcaree biancastre, in strati da spessia molto spessi, localmente plurimetrici, alternate a torbiditi a base arenitica fine e siltitica e tetto argilloso grigio-scuro in strati sottili e medi. Subordinate calcilititi silicee in strati da medi a spessi grigio-bluastrì.

- Zona 3 (Substrato geologico coesivo sovraconsolidato fratturato/alterato SFCO)



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

Rientrano in questa zona le seguenti formazioni geologiche affioranti:

ARGILLE DI FIUMALBO (FIU) (Bartoniano - Rupeliano)

Argille, argilliti e argilliti-marnose grigio-scure, verdastre e rosse con stratificazione poco evidente, con intercalazioni di sottili strati gradati di siltiti e areniti finissime e fini, grigio-verdastre, o di straterelli calcarenitico-marnosi nella parte bassa. Nella parte alta argilliti marnose grigio-cenere con intercalazioni di siltiti e areniti fini in strati sottili.

- Zona 4 (Substrato geologico coesivo sovraconsolidato CO)



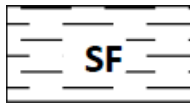
Argille, argille marnose e argille siltose strutturalmente ordinate, stratificate, con eventuale rara presenza di livelli arenitici

Rientrano in questa zona le seguenti formazioni geologiche affioranti:

MARNE DI MARMORETO (MMA) (Rupeliano p.p. - Chattiano p.p)

Marne, marne siltose e marne calcaree, grigie, a stratificazione mal visibile con rare intercalazioni di siltiti ed arenarie fini grigio-chiare, giallastre per alterazione, anche di origine vulcanoclastica. Nella parte basale è talora presente un livello spesso pochi metri costituito da torbiditi a base arenacea molto fine e tetto marnoso. Contatto inferiore discordante su FIU e su AVC. Deposito di scarpata. Spessore massimo di circa 100 m.

- Zona 5 (Substrato geologico coesivo sovraconsolidato fratturato/alterato SFCO)



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:

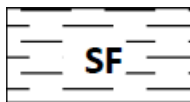
MARNE DI MARMORETO - LITOFACIES A BRECCE DEL MONTE LE COSTE (MMAb)

Presenti localmente nella parte alta o al tetto delle Marne di Marmoreto. Brecce argilloso-calcaree originate da debris flow e slumping; arenarie grossolane in matrice arenacea o siltosa, irregolarmente gradate e talora sfumanti al tetto a peliti marnose. Clasti di origine ligure-subligure e ciottoli marnosi arrotondati derivati dalla formazione stessa.

BRECCE ARGILLOSE POLIGENICHE (BAP) (Cretaceo inferiore - Oligocene)

Brecce poligeniche a matrice argillosa nerastre o grigiastre, con clasti di calcari micritici grigio-giallastri, talora selciferi, siltiti nerastre, calcareniti, calcari marnosi grigi, areniti e marne calcaree grigie. Stratificazione indistinta. Depositi di colate miste di fango e detrito (debris flow) in ambiente marino profondo. Interdigitazione con AVC, FIU e MMA. Potenza variabile da 0 a 100 m.

- Zona 6 (Substrato geologico coesivo sovraconsolidato fratturato/alterato SFCO)



Argille intensamente tettonizzate, argilliti 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 A PALOMBINI (APA) (Barremiano - 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 . La formazione in genere è intensamente deformata con perdita dell'originario ordine stratigrafico alla scala dell'affioramento; gli strati calcilutitici sono spesso "boudinati". All'interno della formazione sono talora presenti lembi di basalti (β) e serpentiniti (Σ)

ARGILLITI DI SAN SIRO (SSI) (Cenomaniano? – Campaniano sup.)

Argilliti rosso-violacee, brune o variegata, manganesifere, alternate con straterelli calcilutitici o siltitici.

ARGILLITI VARIEGATE CON CALCARI (AVC) (Hauteriviano - Cenomaniano inf.)

Argilliti, bruno verdastre, grigio-verdi o grigio piombo, talora in bande blu, in strati sottili con intercalate calcilutiti grigie, in strati da sottili a molto spessi, a volte marnose al tetto, e siltiti e arenarie fini in strati sottili. Argilliti brune o verdine più raramente varicolori intercalate a strati siltoso-calcarei o arenarie fini gradate. Breccie argillitico-calcaree a prevalenti clasti di calcari tipo palombini. Rapporto A/C >1 .

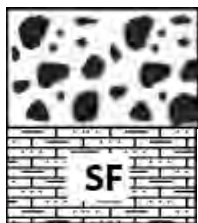
Deposito di ambiente marino profondo. Contatto inferiore generalmente non affiorante. Potenza fino a circa 300 m.

- Zona 7 (GW)



3,0 - 7,5 m con spessore medio di 5 - 6 m

Substrato geologico lapideo stratificato fratturato/alterato



3,0 - 7,5 m con spessore medio di 5 - 6 m

Substrato geologico alternanza di litotipi stratificato fratturato/alterato



3,0 - 7,5 m con spessore medio di 5 - 6 m

Substrato geologico coesivo sovraconsolidato

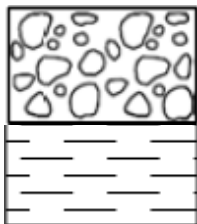
Depositi alluvionali recenti

- Zona 8 (GP)



7,5 - 12,5 m con spessore medio di 9-10 m

Substrato geologico lapideo stratificato fratturato/alterato

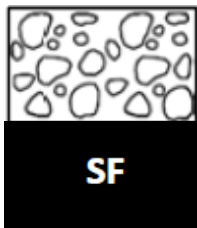


7,5 - 12,5 m con spessore medio di 9-10 m

Substrato geologico coesivo sovraconsolidato

Depositi alluvionali terrazzati con terrazzi del I ordine.

- Zona 9 (GP)

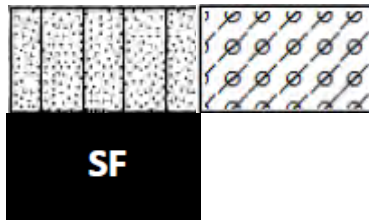


7,5 - 12,5 m con spessore medio di 9-10 m

Substrato geologico lapideo stratificato fratturato/alterato

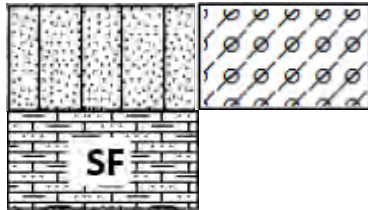
Depositi alluvionali terrazzati con terrazzi del II ordine.

- Zona 10 (SM e SC)



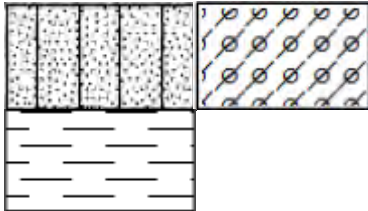
10-20 m con spessore medio di 15 m

Substrato geologico lapideo stratificato
fratturato/alterato



10-20 m con spessore medio di 15 m

Substrato geologico alternanza di litotipi stratificato
fratturato/alterato



10-20 m con spessore medio di 15 m

Substrato geologico coesivo sovraconsolidato

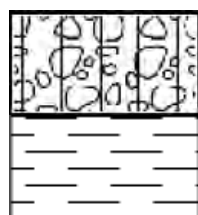
Coltre di materiale detritico su versante, generalmente fine (frammenti di roccia, sabbie, limi e miscele di sabbie ed argille) prodotto da alterazione "in situ" o selezionato dall'azione mista delle acque di ruscellamento e della gravità (subordinata), con a luoghi clasti a spigoli vivi.

- Zona 11 (GM)



20-30 m con spessore medio di 25 m

Substrato geologico lapideo stratificato fratturato/alterato



20-30 m con spessore medio di 25 m

Substrato geologico coesivo sovraconsolidato

Depositi detritici sciolti a struttura caotica costituiti da materiali eterometrici inglobati in matrice limoso - sabbiosa.

- Zona 12 (PT)



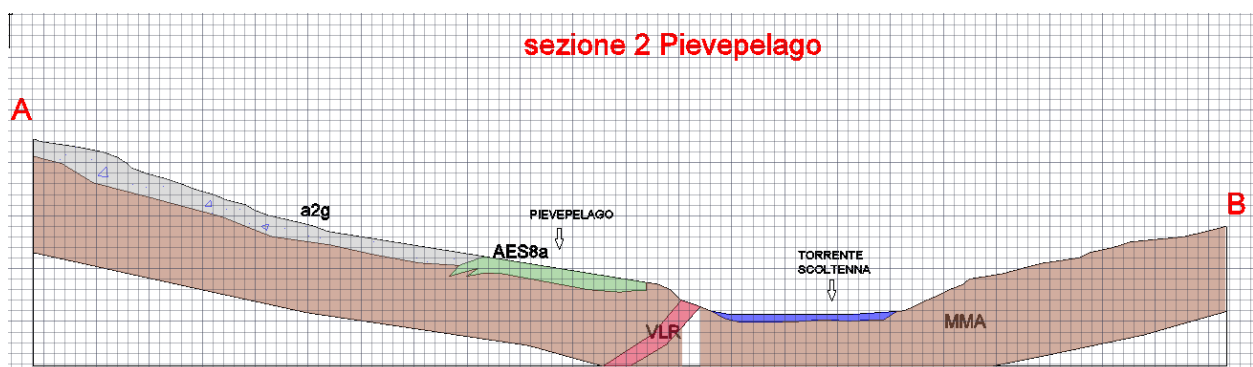
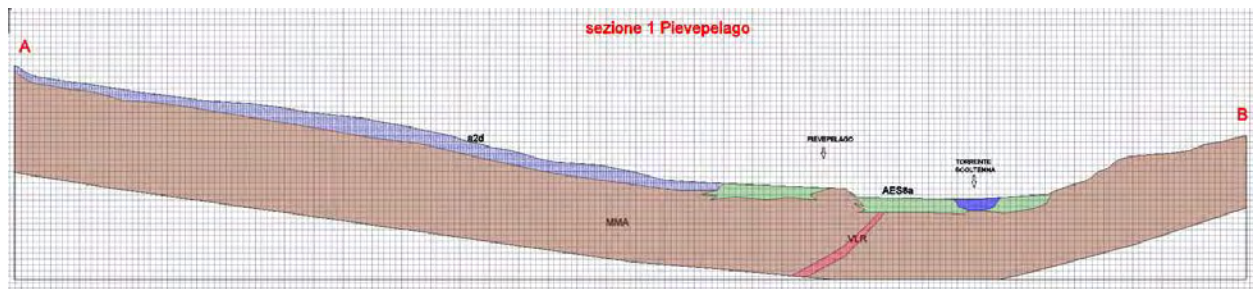
Zone caratterizzate da torbe e sedimenti organici di spessore non noto

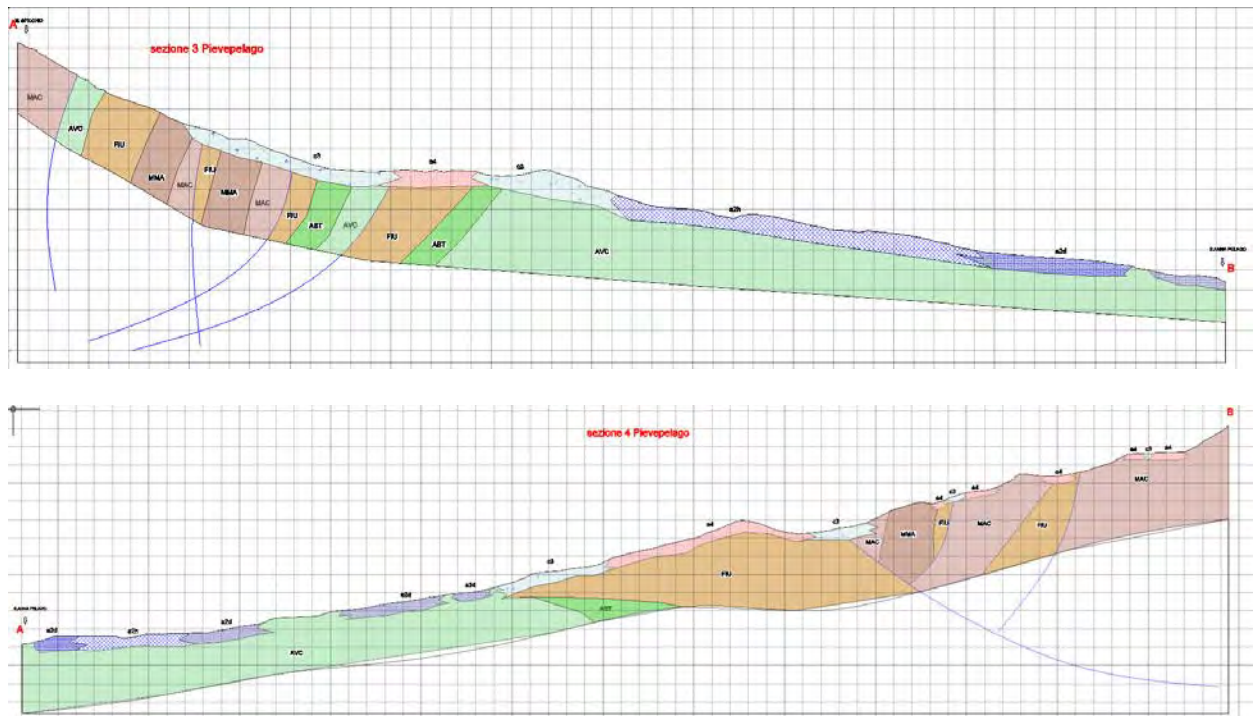
Substrato geologico lapideo stratificato fratturato/alterato

Limi e depositi di materiale organico alloggiati in depressioni per lo più di origine glaciale.

- Zona 13 (Substrato geologico con amplificazione topografica)

Si riportano anche le quattro sezioni litotecniche dell'area di Pievepelago, che potranno essere utilizzate per l'eventuale 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:

- Zona 14



Deposito di frana attiva per crollo e/o ribaltamento

- Zona 15



Deposito di frana attiva per scivolamento con spessore $10 < h < 20$ e spessore medio di circa 15m

- Zona 16



Deposito di frana attiva per colamento di fango con spessore $5 < h < 15$ e spessore medio di circa 10m

- Zona 17



Deposito di frana attiva complessa con spessore $10 < h < 20$ e spessore medio di circa 15m e/o Deposito di frana attiva per scivolamento in blocco o DGPV con spessore $10 < h < 20$ e spessore medio di circa 15m

- Zona 18



Deposito di frana attiva di tipo indeterminato

- Zona 19



Deposito di frana quiescente per scivolamento con spessore $15 < h < 25$ e spessore medio di circa 20m

- Zona 20



Deposito di frana quiescente per colamento di fango spessore $10 < h < 20$ e spessore medio di circa 15m e/o Deposito di frana quiescente per colamento detritico spessore $5 < h < 10$ e spessore medio di circa 7.5m

- Zona 21



Deposito di frana quiescente complessa con spessore $15 < h < 25$ e spessore medio di circa 20m e/o Deposito di frana quiescente per scivolamento in blocco o DGPV con spessore $15 < h < 25$ e spessore medio di circa 20m

- Zona 22



Deposito di frana quiescente di tipo indeterminato

Forme di superficie e sepolte

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

- Conoidi alluvionali

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 e la loro estensione è motivata sulla base della morfologia individuata

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:

- 62 prospezioni sismiche attive con metodo MASW e FTAN in onde Rayleigh e Love (array sismico 1D sia con geofoni verticali che orizzontali con analisi della componente verticale e radiale dell'onda di Rayleigh e trasversale dell'onda di Love);
- 16 prospezioni sismiche passive con metodo ESAC in onde Rayleigh (array sismico bidimensionale 2D con geofoni verticali con analisi della componente verticale dell'onda di Rayleigh);
- 36 prospezioni sismiche passive con metodo SPAC (nc-CCA) in onde Rayleigh (array sismico a disposizione circolare con geofoni verticali con analisi della componente verticale dell'onda di Rayleigh);
- 62 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 Vs 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.

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

$V_s = 250 \div 550$ m/s;

Depositi di versante sl

$V_s = 200 \div 500$ m/s;

Substrato geologico:

Formazioni Liguri

Prevalentemente calcarenitiche-marnose

$V_s = 600 - 800 / >800$ m/s (bedrock sismico)

Prevalentemente argillitiche - argillose

$V_s = 400 - 500$ m/sec

Formazioni SubLiguri

Prevalentemente calcarenitiche-marnose

$V_s = 700 - 800 / >800$ m/s (bedrock sismico)

Serie Toscana:

Prevalentemente arenacee - arenaceo conglomeratiche

$V_s = 600 - 800 / >800$ m/s (bedrock sismico)

Prevalentemente argillitiche - argillose

$V_s = 500 - 600$ m/sec

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 dalla Regione Emilia-Romagna o dal Dipartimento di Protezione Civile Nazionale.

Nello specifico per il comune di Pievepelago, trattandosi di comune dell'alto 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 DGR 2193/2015).

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:

FPGA = Fattore di amplificazione dell'accelerazione di picco PGA ;

SI1 = 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);

SI2 = 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 *FPGA*, *SI1* e *SI2*, 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

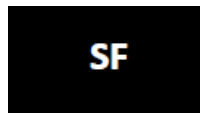
in campiture puntinate associate alla sigla *Ft* che individua il valore del coefficiente di amplificazione, determinato con le procedure previste al punto 2.5.4.2 e relativi abachi, delle Linee Guida II degli ICMS. 2008.

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

Substrato geologico lapideo fratturato/alterato SFLP - lapideo stratificato fratturato/alterato SFLPS



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

$$FPGA = 1.0$$

$$SI1 = 1.0$$

$$SI2 = 1.0$$

Substrato geologico alternanza di litotipi stratificato fratturato/alterato SFALS



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 $3 > L/P > 1/3$.

$$FPGA = 1.0$$

$$SI1 = 1.0$$

$$SI2 = 1.0$$

Substrato geologico coesivo sovraconsolidato fratturato/alterato SFCO



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

$$FPGA = 1.0$$

$$SI1 = 1.0$$

$$SI2 = 1.0$$

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

- Zona 3 (Substrato geologico coesivo sovraconsolidato fratturato/alterato SFCO)



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

$$FPGA = 1.1 - 1.4$$

$$SI1 = 1.2 - 1.4$$

$$SI2 = 1.3 - 1.4$$

- Zona 4 (Substrato geologico coesivo sovraconsolidato CO)



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

$$FPGA = 1.2$$

$$SI1 = 1.3$$

$$SI2 = 1.3$$

- Zona 6 (Substrato geologico coesivo sovraconsolidato fratturato/alterato SFCO)



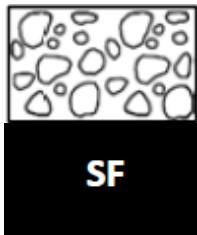
Argille intensamente tettonizzate, argilliti costituite in prevalenza da argille che a causa della loro storia tettonica risultano intensamente piegate e fratturate.

FPGA = 1.2

SI1 = 1.3

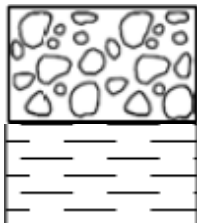
SI2 = 1.3

- Zona 8 (GP)



7,5 - 12,5 m con spessore medio di 9-10 m

Substrato geologico lapideo stratificato fratturato/alterato



7,5 - 12,5 m con spessore medio di 9-10 m

Substrato geologico coesivo sovraconsolidato

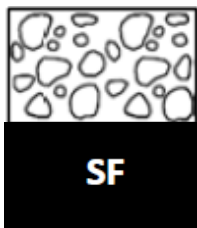
Depositi alluvionali terrazzati con terrazzi del I ordine.

FPGA = 1.2 - 1.8

SI1 = 1.0 - 1.6

SI2 = 1.0 - 1.4

- Zona 9 (GP)



7,5 - 12,5 m con spessore medio di 9-10 m

Substrato geologico lapideo stratificato fratturato/alterato

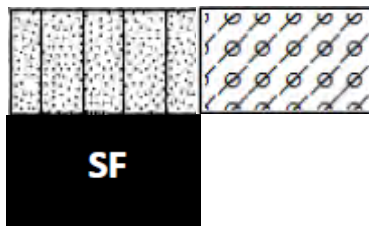
Depositi alluvionali terrazzati con terrazzi del II ordine.

FPGA = 1.7

SI1 = 1.3

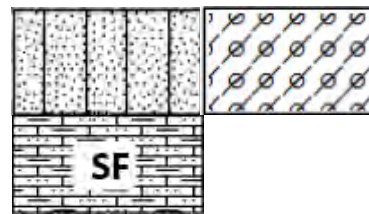
SI2 = 1.0

- Zona 10 (SM e SC)



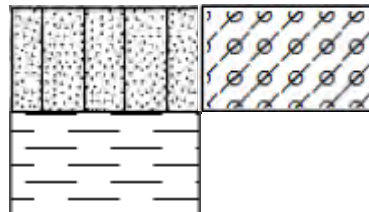
10-20 m con spessore medio di 15 m

Substrato geologico lapideo stratificato
fratturato/alterato



10-20 m con spessore medio di 15 m

Substrato geologico alternanza di litotipi stratificato
fratturato/alterato



10-20 m con spessore medio di 15 m

Substrato geologico coesivo sovraconsolidato

Coltre di materiale detritico su versante, generalmente fine (frammenti di roccia, sabbie, limi e miscele di sabbie ed argille) 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.

FPGA = 1.3 - 1.7

SI1 = 1.0 - 1.3

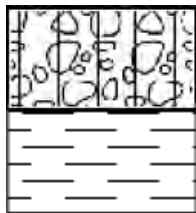
SI2 = 1.0

- Zona 11 (GM)



20-30 m con spessore medio di 25 m

Substrato geologico lapideo stratificato fratturato/alterato



20-30 m con spessore medio di 25 m

Substrato geologico coesivo sovraconsolidato

Depositi detritici sciolti a struttura caotica costituiti da materiali eterometrici inglobati in matrice limoso - sabbiosa.

FPGA = 1.8

SI1 = 1.7

SI2 = 1.1

- Zona 13 (Substrato geologico con amplificazione topografica)

FPGA = 1.1 - 1.2

SI1 = 1.1 - 1.2

SI2 = 1.1 - 1.2

Le zone suscettibili di instabilità che ricadono nel territorio di Pievepelago risultano essere quelle legate alle dinamiche di versante.

L'elaborato è stato redatto in scala 1:5000

8.7 Commenti finali e criticità

In linea generale si riscontra come le frazioni liotidi e marnoso-argillitiche che costituiscono la serie Toscana e su cui sorgono i principali centri abitati e una buona parte della porzione del territorio comunale denotano fattori di amplificazione piuttosto bassi corrispondenti a 1,0 - 1,4 per FPGA. ed a 1,0 - 1,4 per SI $0,1 < T < 1,0$ s.

Tale ammassi rocciosi costituiti da alternanze tra livelli lapidei e livelli pelitici a seconda della prevalenza del livello lapideo evidenziano fattori di amplificazione più o meno

ampi. 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 e la presenza di coperture detritiche possano portare influenzare in maniera preponderante le condizioni di amplificazione locale. Ciò è facilmente riscontrabile sui profili di velocità delle onde S desunti nello studio delle zone di dettaglio.

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 $FPGA = 1,2 - 2,0$; $SI1 = 1,2 - 2,2$; $SI2 = 1,2 - 1,7$.

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 CARTA GEOLOGICA D'ITALIA (2002) alla scala 1:50.000, foglio 235 PIEVEPELAGO. ISPRA SGI
Enti realizzatori Regione Emilia-Romagna SGSS, a cura di G. PLESI

- NOTE ILLUSTRATIVE della CARTA GEOLOGICA D'ITALIA (2002) alla scala 1:50.000, foglio 250 CASTELNUOVO GARFAGNANA. ISPRA SGI
Enti realizzatori Università di Pisa, a cura di A. Puccinelli, G. D'Amato Avanzi, N. Perilli.

- DGR 1227/2015. Deliberazione della Giunta Regionale n. 1227 del 31/08/2015, "Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione e concessione dei contributi di cui all'OCDPC 171/2014". Boll. Uff. Reg. Emilia- Romagna n.244 del 23/09/2015.

- 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.

- DGR 2193/2015. Deliberazione della Giunta della Regione Emilia-Romagna n.2193 del 21/12/2015: approvazione aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato "indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in emilia-romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica", di cui alla deliberazione dell'assemblea legislativa 2 maggio 2007, n. 112.". Boll. Uff. Reg. Emilia- Romagna n.4 del 08/01/2016.

- 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