



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME

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

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa

Regione Emilia–Romagna Comune di Montecopiolo



Regione	Soggetto realizzatore	Data
	Responsabile: Dott.Geol. Mauro Guerra Gruppo di lavoro: Dott.Geol. Cristiano Guerra Dott.Geol. Paolo Ciacci Dott.Arch. Silvia Malpassi	Dicembre 2023

INDICE GENERALE

1. PREMESSA.....	2
2. SISMICITA' STORICA E PERICOLOSITA' DI BASE.....	3
2.1 Inquadramento sismotettonico.....	3
2.2 Pericolosità sismica di base.....	6
3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA.....	9
3.1 GEOLOGIA.....	9
3.2 GEOMORFOLOGIA E IDROLOGIA	12
4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI.....	13
4.1 Dati Geotecnici.	13
5. MODELLO DI SOTTOSUOLO	14
5.1. Andamento delle Vs nel sottosuolo.....	14
6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE	15
7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI.....	16
8. ELABORATI CARTOGRAFICI	17
8.1 Premessa.....	17
8.2 Carta delle Indagini.	17
8.3 Carta Geologico-Tecnica.	18
8.4 Carta delle Frequenze Naturali del Terreno.....	20
8.5 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (M.O.P.S.).....	22
8.6 Microzonazione Sismica di Livello 2.	26
8.7 Carta delle velocità delle onde di taglio "Vs".	26
8.8 Carte dei Fattori di Amplificazione.	27
8.9 Effetti Morfologici – Amplificazione Topografica.	31
8.10 Carta del parametro di scuotimento sismico assoluto "H _{SM} ".	36
9. Confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati	38
10. CONCLUSIONI	40
11. BIBLIOGRAFIA.....	42

ALLEGATI:

Allegato 1 - Sezioni Litotecniche (scala 1:2.000)

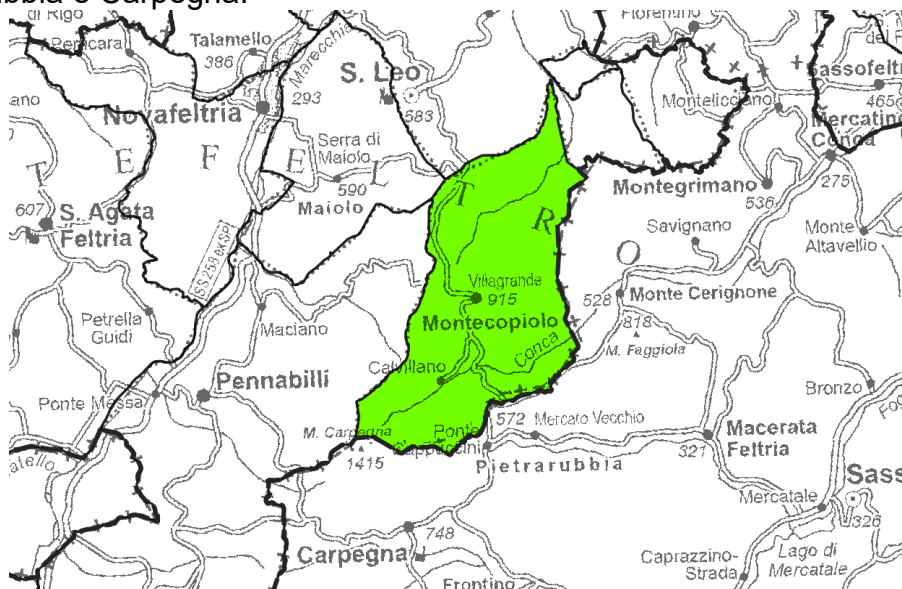
1. PREMESSA.

Su incarico ricevuto dal Comune di Montecopiolo (RN), si redige il presente studio di **Microzonazione Sismica di Livello 2** quale implementazione e aggiornamento del precedente studio di **Microzonazione Sismica di Livello I-II**, realizzato in base all'OCDPC 344/2016 – 532/2018, DD Sn. 199/SPC del 27/07/2020, approvato e collaudato dalla Commissione Tecnica Nazionale (nota regione Marche del 07/06/2021), realizzato nel contesto tecnico-normativo della Regione Marche, prefiggendosi come obiettivo la determinazione della pericolosità sismica del territorio, ai fini della programmazione territoriale, della pianificazione urbanistica e della pianificazione dell'emergenza.

La normativa legislativa di riferimento, in attuazione della L. n. 77/2009, è rappresentata dall'OCDPC n. 780/2021, dalla Delibera Regionale DGR n. 1885 del 15/11/2021 di "Approvazione dei criteri per l'attribuzione, la concessione e la liquidazione dei contributi e per la realizzazione e presentazione degli elaborati relativi a studi di microzonazione sismica e analisi della condizione limite per l'emergenza".

La direttiva tecnica, in materia di MS, è rappresentata dagli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" (I.C.M.S.) redatti dal Dipartimento della Protezione Civile ed approvati il 13 novembre 2008 dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome (Gruppo di lavoro MS, 2008) nonché dalla *DGR 564/2021 (INTEGRAZIONE DELLA PROPRIA DELIBERAZIONE N. 476 DEL 12 APRILE 2021 MEDIANTE APPROVAZIONE DELL'ALLEGATO A, "ATTO DI COORDINAMENTO TECNICO SUGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA PER LA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE E URBANISTICA (ARTT. 22 E 49, L.R. N. 24/2017)"),* La redazione dello studio è stato inoltre condotto in ottemperanza agli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica dei dati di MS e CLE, rispettivamente 4.2 del 2020 e 3.2 del 2019.

Il territorio del Comune di Montecopiolo (RN) ha un'estensione complessiva di circa 35.8 kmq ed un'altitudine media di 915 m s.l.m, risultando il comune più elevato della provincia di Rimini e di tutto il Montefeltro. Sul territorio comunale insistono i monti Palazzolo, Boaggine, Pennuzza, San Marco, Montone, Copiolo e la vetta del monte Carpegna (1.415 m). Si sviluppa a confine con il confine regionale (lungo i margini orientali e meridionali), interessato a Sud-Est dal Torrente Conca e confinante con il territorio provinciale di Pesaro Urbino e dei suoi comuni di Monte Grimano Terme, Monte Cerignone, Macerata Feltria, Pietrarubbia e Carpegna.



2. SISMICITA' STORICA E PERICOLOSITA' DI BASE.

2.1 Inquadramento sismotettonico.

Il bordo appenninico esterno e l'attuale fascia costiera sono il prodotto di un sistema ad embrici e accavallamenti che regola il sollevamento e lo sviluppo della catena appenninica. Secondo le ricerche dell'AGIP (Pieri e Groppi, 1981) la Pianura Padana meridionale costituisce una stretta fascia allungata parallelamente ai rilievi del bordo appenninico entro cui si è verificato un consistente accumulo di depositi soprattutto neogenici. La presenza di strutture tettoniche sepolte drappeggiate ed annegate da tali depositi, storicamente ipotizzata, è stata accertata attraverso la realizzazione di sezioni sismiche.

Lungo il bordo appenninico esterno e la fascia di pianura antistante gli elementi strutturali accatastati vengono a formare un prisma di accrezione che per la complessa interferenza tra l'attività tettonica e quella sedimentaria assume i caratteri di una pronunciata fossa tettonica (Scandone, 1980) denominata "Avanfossa appenninicoadriatica" (Ori, Roveri e Vannoni, 1986).

La struttura principale di questo settore della costa romagnola è un sovrascorrimento cieco, con al tetto un'anticlinale sepolta, appartenente al fascio delle Pieghe Adriatiche, considerato tuttora attivo (Boccaletti et al., 2004; Vannoli et al., 2004; Lavecchia et al., 2004).

Si vedano inoltre i risultati del profilo CROP03 (*La linea CROP 03: Appennino Settentrionale*).

Questa struttura immerge, lungo l'asse, verso WNW ed emerge verso ENE, nel pesarese.

Da "*La sismicità della zona costiera adriatica nord-marchigiana di Stefano Mazzoli e Chiara Macchiavelli*" si trae che studi effettuati in tempi recenti da gruppi di ricerca (Borraccini et alii, 2002, 2005; Di Bucci et alii, 2003; Santini et alii, 2011; Macchiavelli et alii, 2012) indicano che la sismicità della zona costiera delle Marche settentrionali mostra un comportamento complesso, caratterizzato da una notevole variabilità delle orientazioni degli assi di massima e minima compressione (Fig. 1).

Tale complessità è tipica delle zone esterne dell'Appennino, che sono caratterizzate da terremoti con soluzioni focali di vario tipo (da faglia inversa, da faglia trascorrente, da faglia normale, da faglia a scorrimento obliquo con variabili componenti laterali, normali o inverse) ed orientazione variabile degli assi di compressione (P) e di estensione (T) (Gasparini et alii, 1985; Zollo et alii, 1995; Frepoli & Amato, 1997; Gruppo di Lavoro CPTI, 1999; Mariucci et alii, 1999; Frepoli & Amato, 2000; Galadini et alii, 2000; Meletti et alii, 2000, 2008; Selvaggi et alii, 2001; Di Bucci et alii, 2003; Santini et alii, 2011).

Nonostante esista un notevole dibattito scientifico circa la cinematica delle faglie attive ed il campo di stress attualmente dominante nell'area d'interesse (Frepoli & Amato, 1997, 2000; Montone et alii, 1999, 2004, 2012; Boncio et alii, 2000; Di Bucci & Mazzoli, 2002; Vannoli et alii, 2004; Chiarabba et alii, 2005; Pondrelli et alii, 2006; Basili et al., 2007; Boncio & Bracone, 2009; Piccinini et alii, 2009; Pierdominici et alii, 2012; Macchiavelli et alii, 2012), tutti gli Autori concordano sul fatto che le faglie attive principali che controllano la sismicità dell'area siano rappresentate da strutture con direzione circa parallela alla costa e immersione dominante verso sud-ovest (costituite, almeno originariamente, da faglie inverse).

Tali faglie sono rappresentate all'interno del database delle sorgenti sismogenetiche individuali (DISS 3.3.0) dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia INGV (<https://diss.ingv.it/diss330/dissmap.html>; Fig. 2).

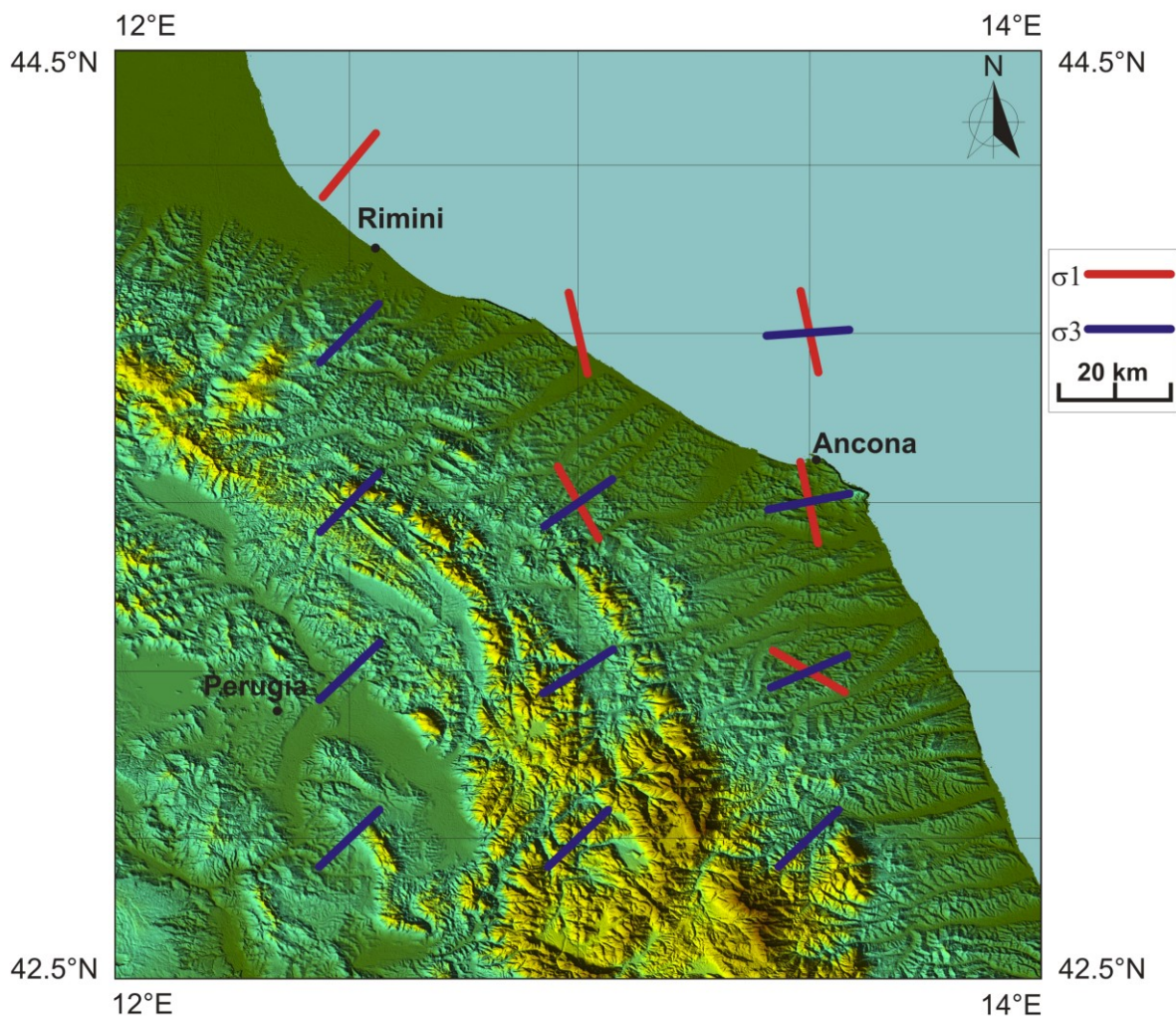


Fig. 1. Proiezione in mappa degli assi di massima compressione (σ_1) e minima compressione (σ_3) per l'area umbro-marchigiano-romagnola (da Macchiavelli et alii, 2012).

L'interpretazione di profili sismici a riflessione e la costruzione di sezioni geologiche bilanciate hanno permesso l'individuazione di faglie profonde che coinvolgono il basamento, interessando tutta la crosta superiore (v. anche Barchi *et alii*, 1998), con un potenziale sismogenetico ben diverso da quello comportato dalla presenza di faglie pellicolari suggerite in studi precedenti (Bally *et alii*, 1986).

Sulla base del database delle sorgenti sismogenetiche individuali (DISS), risulta evidente come la costa adriatica ed il crinale marchigiano siano caratterizzati da una significativa densità di faglie attive e sorgenti sismogenetiche.

La struttura tettonica più vicina è la ITCS136 "Urnino-Camerino", di tipo composito; rappresenta un sistema di faglie normali con tendenza NW-SE, a basso angolo e immersione a SW. E' la faglia più orientale dell'Appennino centrale in fase di estensione, appena ad ovest della settore in cui prevale l'attività compressiva, nella porzione orientale dell'Appennino centrale e settentrionale.

A seguito della sequenza sismica dell'Italia centrale del 2016-17, un numero crescente di evidenze suggerisce che i sistemi di thrust a grande scala, originati dalla accrescimento dell'Appennino durante il Miocene, stiano attualmente sperimentando un'inversione cinematica nell'ambito del regime estensionale quaternario (Scognamiglio et al., 2018; Bonini et al., 2019; Buttinelli et al.,

2021). Il ruolo attivo dei sistemi di thrust ereditati nel regime estensionale è stato confermato anche da esperimenti su modelli analogici (Del Ventisette et al., 2021). Un altro sistema prossimo all'area è la sorgente sismogenetica composta ITCS129 "Piandimeleto-Bavareto" con andamento subparallelo alla precedente e delle medesime caratteristiche genetiche; durante il Miocene questo sistema di faglie ha controllato l'insorgenza delle anticlinali lungo la dorsale interna della catena.

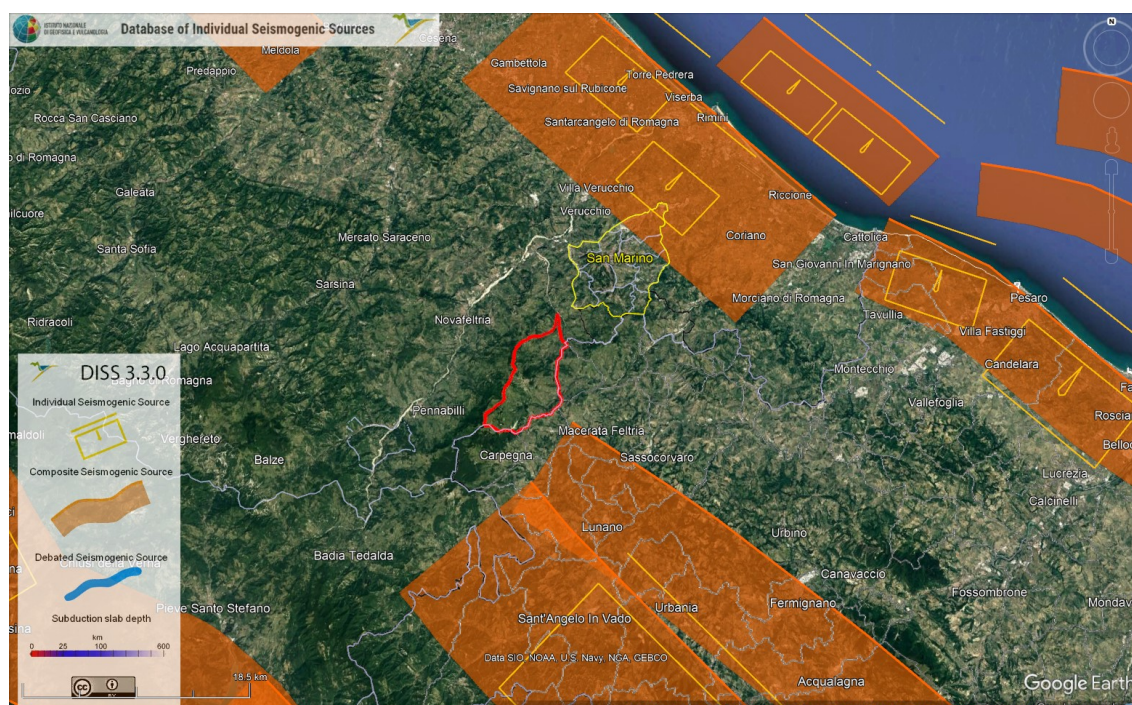
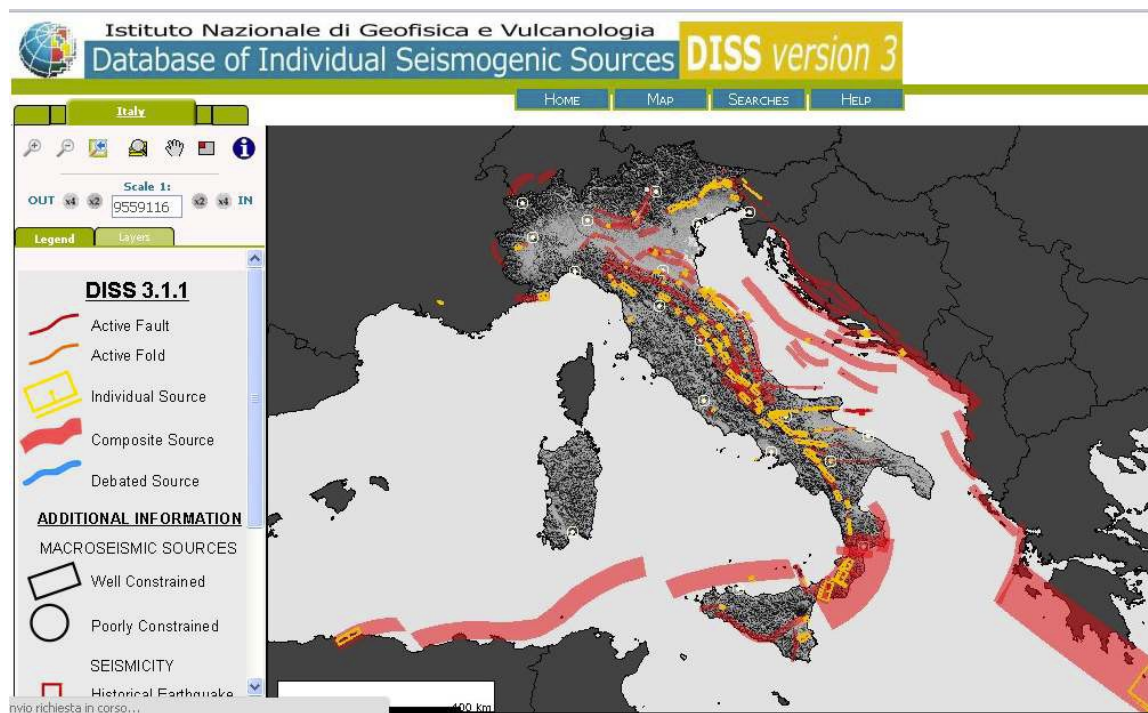


Fig. 2. Immagini tratte dal database delle sorgenti sismogenetiche individuali (DISS) dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia INGV (<http://diss.rm.ingv.it/dissNet/>).

2.2 Pericolosità sismica di base.

Sulla base del Data Base Macrosismico Italiano (Stucchi et al., 2007, Locati et al. 2011) DBMI2015 (<https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>) dell'INGV, si riporta la storia dei risentimenti macrosismici presso il Comune di Montecopiolo. In figura 3 sono riportati i principali terremoti e relativi risentimenti percepiti nel territorio del comune di Montecopiolo, insieme all'intensità registrata (Int MCS), la data dell'evento (Data), l'area epicentrale (Ax), l'intensità nella zona d'epicentro (Io) e la magnitudo momento (Mw).

Si evidenzia come il comune di Montecopiolo sia stato interessato in epoca storica da numerosi eventi di Intensità uguale o superiore a 6 (MCS) e magnitudo momento maggiore di 5. Tuttavia, sia in virtù della scarsità di informazioni puntuali che della distanza, emerge come l'intensità percepita sia stata sempre abbastanza contenuta, arrivando occasionalmente al valore 5.

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
NF	1969	09	26	23	40	3	Teramano	97	5	4.39
NF	1971	10	04	16	43	3	Valnerina	43	5-6	4.51
NF	1972	10	25	21	56	1	Appennino settentrionale	198	5	4.87
4	1987	07	03	10	21	5	Costa Marchigiana	359	7	5.06
5	1987	07	05	13	12	3	Montefeltro	90	6	4.44
3-4	1989	07	09	03	54	3	Montefeltro	48	5	4.09
5	1990	05	08	22	33	1	Alta Valtiberina	64	5	3.77

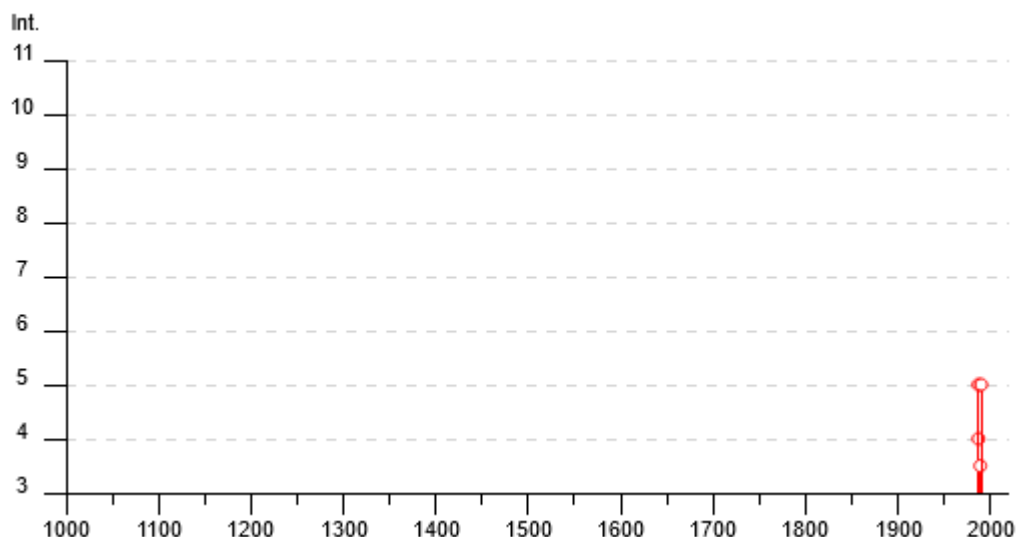


Fig. 3. Risentimento dei terremoti da cataloghi storici e strumentali che hanno interessato l'area del Comune di Montecopiolo (<https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>).

I dati sismici storici sopra riportati sono reperibili al seguente indirizzo web <https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15>

Pertanto ritenendo non pienamente esaurienti le informazioni locali, per meglio apprezzare la storia sismica romagnola, in figura 4 e 5 si riportano inoltre le informazioni di risentimento macrosismico storico presso i Comuni di Rimini e di Pesaro.

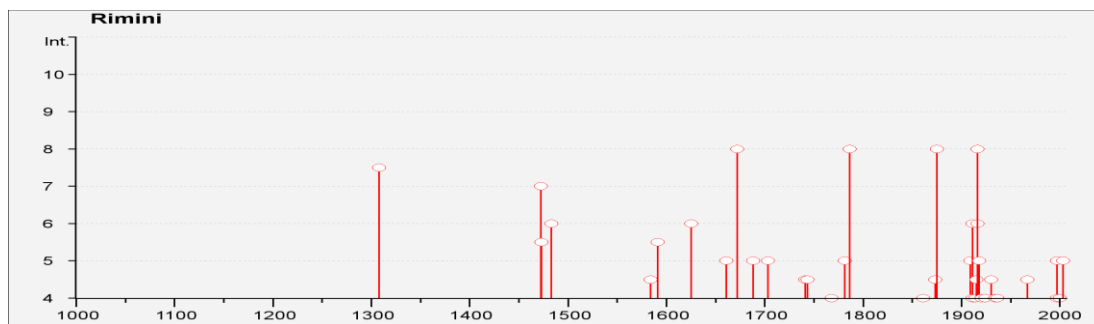


Fig. 4. Storia sismica del Comune di Rimini (<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>).

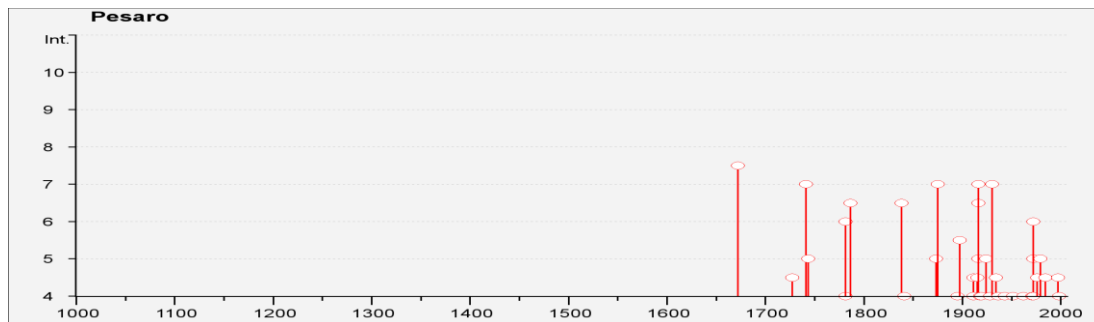


Fig. 5. Storia sismica del Comune di Pesaro (<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>).

Da queste storie sismiche emerge che questo settore nord-marchigiano e della costa romagnola è soggetto ad una sismicità medio-elevata, caratterizzata da terremoti che hanno raggiunto Intensità pari all'VIII grado della scala MCS, con Magnitudo stimate fino a 6.14 (Alto Adriatico del 1916).

Lo studio ZS9 del 2004 ("Gruppo di Lavoro per la redazione della Mappa della Pericolosità Sismica" dell'INGV) è una rielaborazione della precedente sismozonazione ZS4 (Meletti et al, 2000) ripensata in base sia a nuove valutazioni del potenziale sismogenetico sia rispetto a nuove analisi eseguite sui terremoti storici e considerazioni statistiche.

L'area di studio ricade nella zona "Medio-Marchigiana/Abruzzese" definita come ZS n. 918 in figura 6.

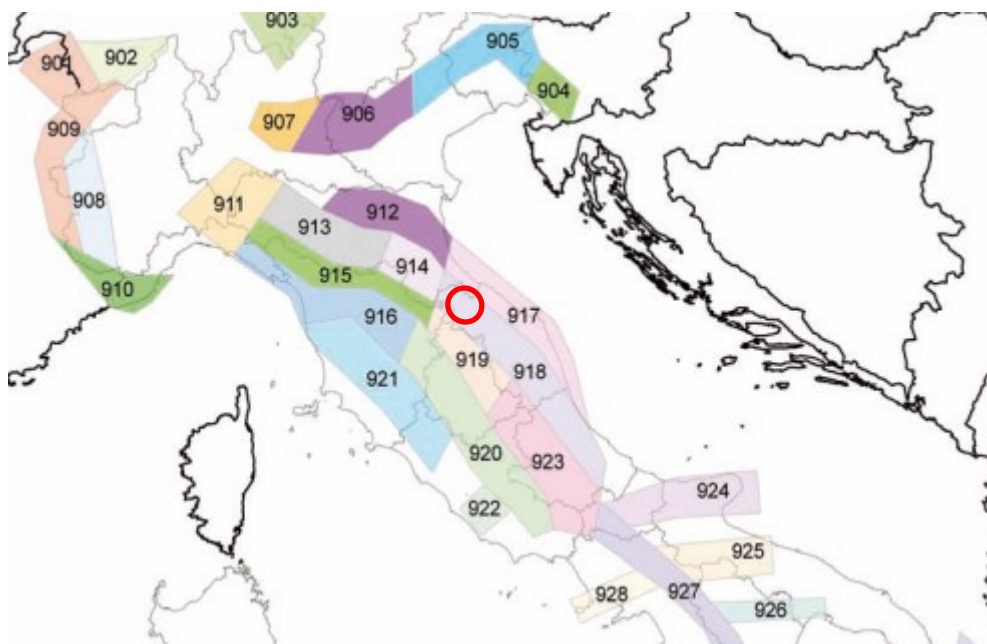


Figura 6–Dettaglio della Zonazione Sismogenetica ZS9 ("Gruppo di Lavoro per la redazione della Mappa della Pericolosità Sismica" dell'INGV, 2004). Evidenziata in rosso la ZS 918 "Medio-Marchigiana/Abruzzese".

Le caratteristiche associate a tale zona prevedono:

- Un meccanismo focale prevalente di tipo “indeterminato”.
- Una Magnitudo Momento Massima “Osservata” (M_w -max1) definita sia dalle analisi legate agli eventi storici sia su basi geologiche legate al Database of Individual Seismogenic Sources (DISS).
- Una Magnitudo Momento Massima “Cautelativa” (M_w -max2) definita aggiungendo un margine di sicurezza rispetto alla M_w -max1.

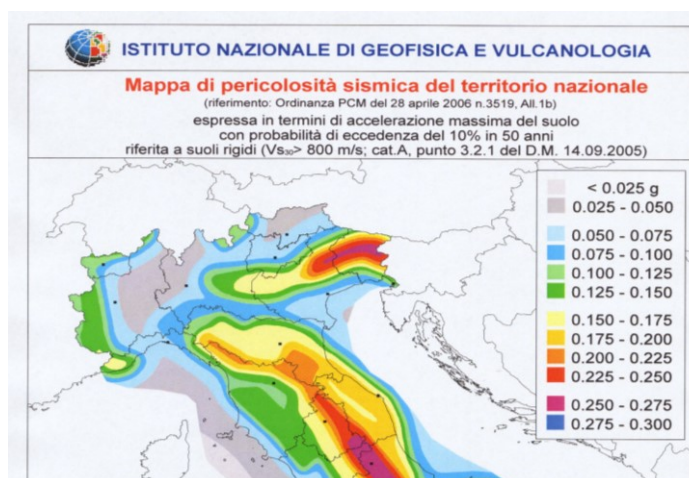
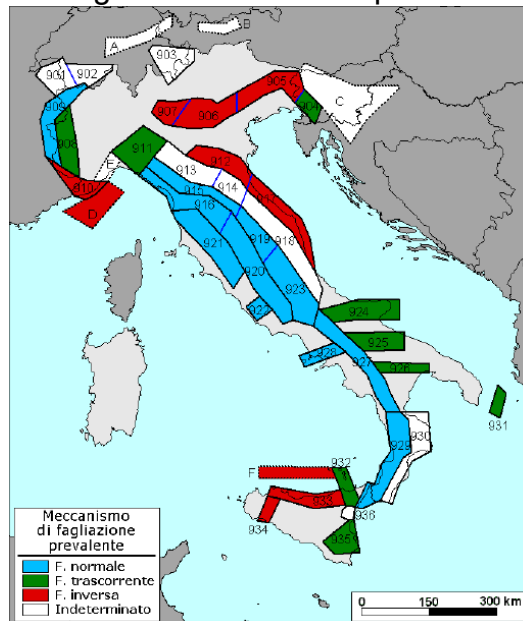


Fig. 7. Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale. Elaborazione: aprile 2004.

In dettaglio, l'area n. 918 prevede sia la M_w -max1 che la M_w -max2 pari a 6.37. Le caratteristiche dell'area, permettono di ritenere, infatti, tale valore già di per sé sufficientemente cautelativo e a carattere “previsionale”. Pertanto la **$M_{wmax}=6.37$ è stata considerata come Magnitudo di Riferimento per l'area di studio.**

Attualmente il Comune di Montecopiolo è classificato in zona 2 dalla vigente classificazione sismica nazionale (OPCM 3274/2003).

Sulla base dei dati per l'analisi della pericolosità sismica del territorio nazionale (ai sensi dell'OPCM 3274/2003 e del DM 14/9/2005 – Fig. 7) resi disponibili da INGV, l'accelerazione massima (PGA) mediamente attesa al suolo rigido di tipo A ($V_s \geq 800$ m/s) nel territorio di Montecopiolo, per un periodo di ritorno di 475 anni, nella griglia di calcolo ai **nodi con ID 19631 e 19853**, risulta rispettivamente **0.1756 e 0.1748**.

3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA.

3.1 GEOLOGIA

Il territorio del Comune di Montecopiolo ricade nella fascia di affioramento della **Colata Gravitativa della Valmarecchia** che si ferma poco a est contro una struttura a pieghe a tipico assetto appenninico (*anticlinale Montefiore-Gemmano-Montescudo*). I terreni affioranti appartengono al complesso alloctono, denominato nella geologia regionale "**Complesso caotico eterogeneo**".

Si tratta di formazioni eterogenee di età Eocene-Miocene non depositate localmente in bacini marini, ma trasportate su piani inclinati da forti colate gravitative sottomarine che scardinavano ed inglobavano le formazioni incontrate durante il percorso. Per questi motivi in gran parte dell'area comunale sono frequenti grossi alloctoni rocciosi, fratturati e fagliati in modo complesso, e distribuiti indistintamente nelle argille scagliose di base che li inglobano sempre totalmente.

Le formazioni geologiche presenti all'interno del territorio comunale sono divisibili in tre gruppi secondo considerazioni legate all'età ed alla storia geologica:

-Unità Alloctone Liguri.

Sono i terreni più antichi tra quelli affioranti e si sono depositati in un antico bacino marino detto "Oceano Ligure Piemontese".

-Argille Varicolori della Val Marecchia (AVR).

-Formazione di Monte Morello (MLL).

-Formazione di Sillano (SIL).

-Unità Alloctone Epiliguri.

Anche questi terreni sono alloctoni, si sono depositati in varie fasi sopra le unità Liguri:

-Formazione di San Marino (SMN).

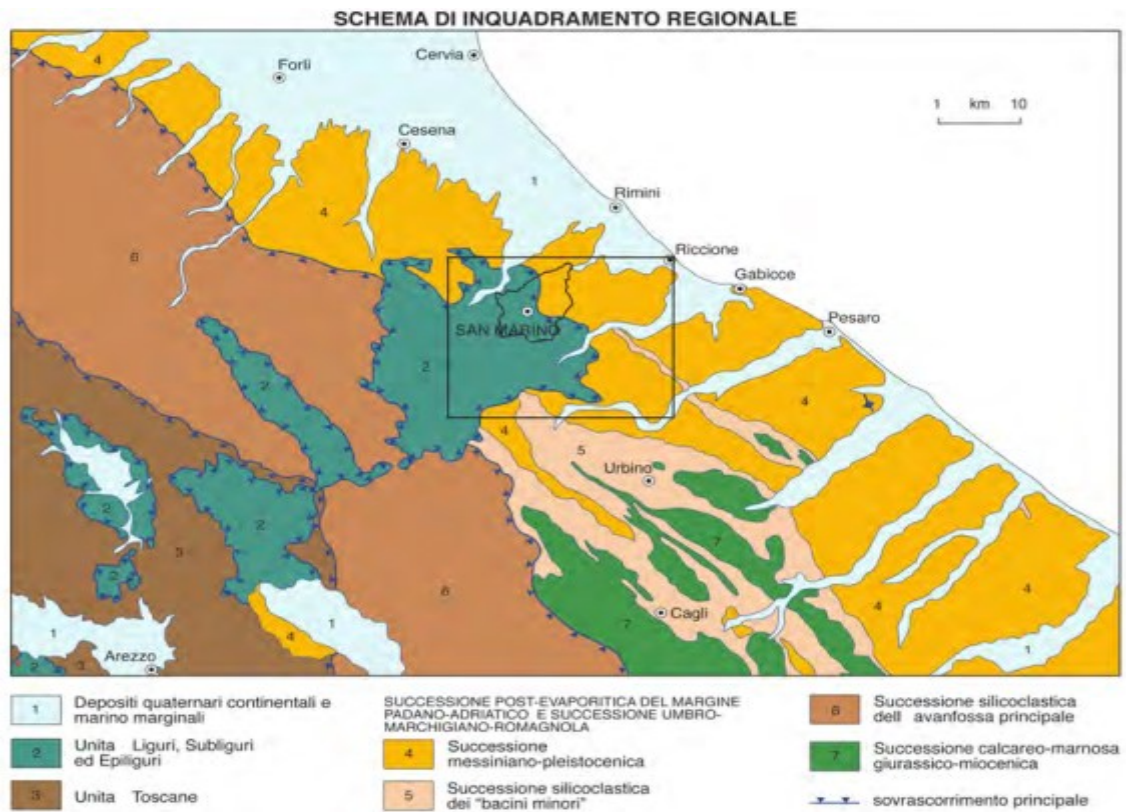
Argille Varicolori della Val Marecchia (AVR) - Affiorano su gran parte del territorio del Comune di Sassofeltrio e sono costituite da argille di colore molto variabile. Il colore predominante è il grigio, con frequenti variazioni di tonalità, fino al rosso mattone. L'estesa fratturazione che suddivide le argille in scaglie di dimensioni millimetriche o centimetriche, determinandone il caratteristico aspetto, è l'eredità della tormentata storia geologica, così come la presenza di blocchi rocciosi di varie dimensioni e natura (calcari, calcari marnosi, marne e arenarie). Le Argille Varicolori della Val Marecchia, note anche come *Argille scagliose*, hanno un'età che va dal Cretacico all'Eocene inferiore e si sono depositate in un mare profondo. Le specie mineralogiche sono numerose ed hanno caratteristiche particolari. La pirite e la marcasite, che hanno stessa composizione chimica ma forma cristallina differente si ritrovano sotto forma di noduli, incrostazioni e cristalli isolati. La calcite si rinvengono sotto diverse forme, come le tipiche vene fibrose e le concrezioni discoidali, che erano chiamate popolarmente "scodelle del diavolo". La barite si trova in noduli fibroso raggiati, grigio verdastro o rossastri e si distingue da altri minerali apparentemente simili per l'elevato peso specifico.

Formazione di Monte Morello (MLL) - Si rinviene in numerose località del territorio comunale di Sassofeltrio, e presenta un'ampia varietà di litologie, che va da calcari biancastri con selce nera in livelli sottili, ad arenarie torbiditiche brune, calcari marnosi giallastri e grigi e marne ed argille grigio azzurre. I processi deformativi tettonici hanno fratturato e smembrato i calcari, le arenarie, ed i calcari marnosi e ridotto in scaglie le marne e le argilliti. La Formazione di Monte Morello, nota anche come "*Alberese*", risale all'Eocene medio e superiore e si è originata in un ambiente di piana sottomarina con profondità variabile. I fossili sono scarsi e si limitano a nummuliti (foramminiferi tipici dell'inizio dell'era Terziaria) e a tracce di organismi fossili. Abbondanti sono i minerali, come la calcite e la pirite. La selce si trova in piccoli livelli e noduli di vari colori.

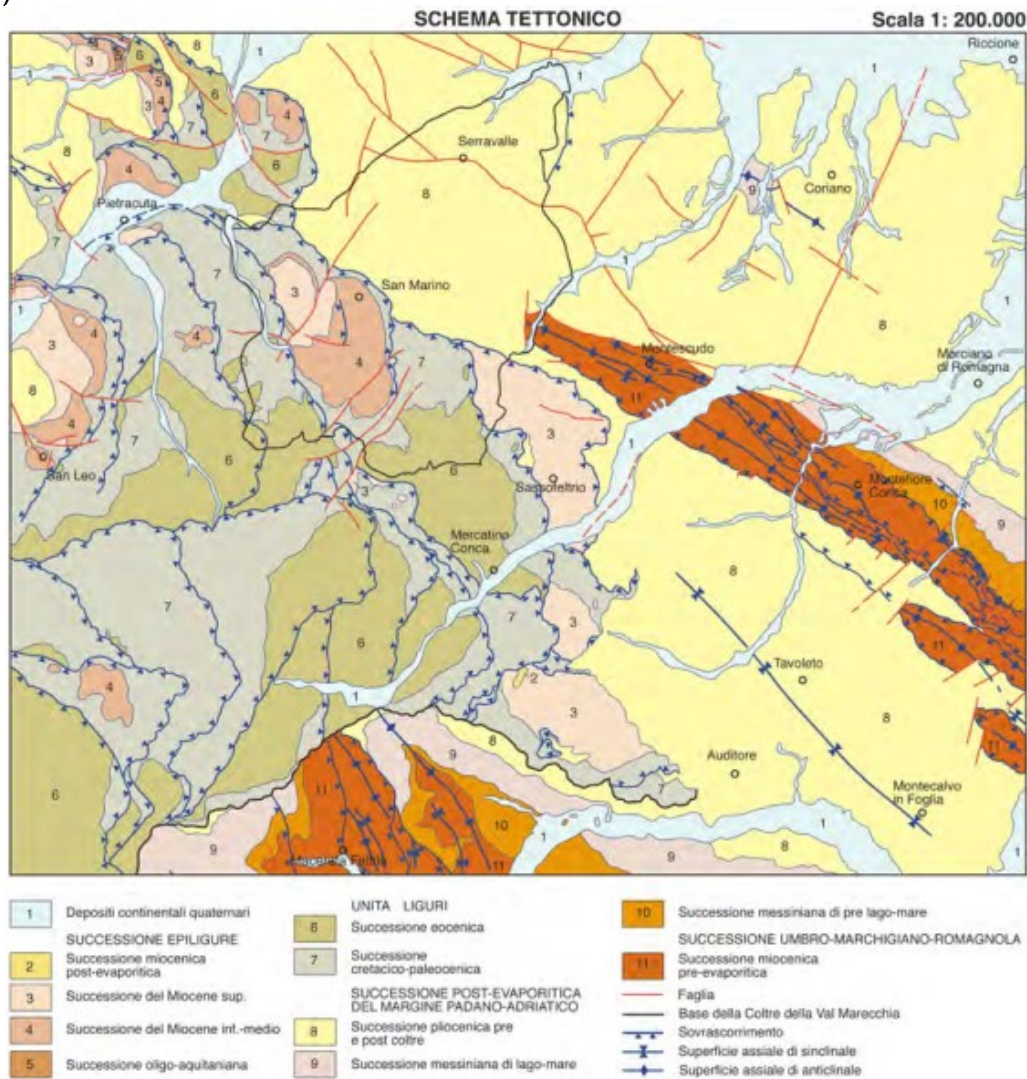
Formazione di Sillano (SIL) – Si rinviene nell'isola amministrativa di Valle Sant'Anastasio, in località Cà Albano e Seriola. Si tratta di alternanze di strati di spessore variabile da decimetrico a metrico di peliti grigie e calcari grigio-verdastri. Potenza variabile della Formazione da pochi metri a oltre 300 metri. Il limite stratigrafico inferiore è rappresentato dalle Argille Varicolori, quello superiore, talora eteropico, dalla formazione di Monte Morello. L'ambiente di deposizione è di mare profondo e l'età della Formazione è Cretaceo sup. – Eocene inf.

Formazione di San Marino (SMN) – costituita, nell'area di studio, da calcari organogeni di colore grigiobiancastro, in banchi spessi più di un metro, che passano a biocalcareni di colore grigio-giallastro ed arenarie di colore giallastro. I litotipi della Formazione di San Marino, nell'area in esame, risultano intensamente fratturati a causa della loro tormentata evoluzione tettonica, con discontinuità molto diffuse ed a tratti di dimensioni ragguardevoli, spesso riempite da materiale residuale e da concrezioni carbonatiche o in molti casi beanti. L'ambiente di deposizione dei terreni della formazione di San Marino è un ambiente di mare poco profondo, evolutosi in bacino via via più profondo. La Formazione di San Marino è datata Serravalliano inferiore – Burdigaliano.

Per un inquadramento generale l'area ricade a cavallo del Foglio 266 "Mercato Saraceno" e Foglio 267 "San Marino"; in figura 8 si riporta uno stralcio fuori scala della Carta Geologica d'Italia, Foglio 267 "San Marino" alla scala 1:50.000 (rilievo a scala 1:10.000) e del segmento centro-meridionale della relativa sezione A-A' ritenuta rappresentativa del settore a cavallo del F. Marecchia e T. Conca.



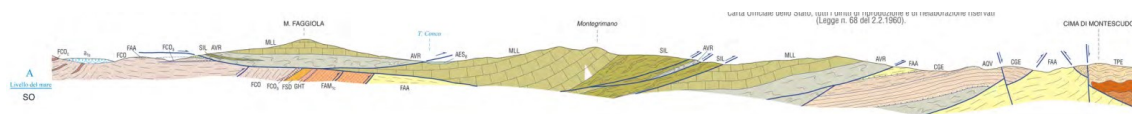
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 8 – Carta Geologica d'Italia 1:50.000, Foglio 267 “San Marino”, schema di inquadratura regionale (a), schema tettonico (b), stralcio carta geologica (c), stralcio centro-meridionale sezione A-A'(d).

3.2 GEOMORFOLOGIA E IDROLOGIA

Morfologicamente il paesaggio naturale ha un aspetto montuoso, ben marcato ed accidentato in conseguenza alla diversità dei litotipi e delle formazioni geologiche affioranti.

Fa parte del parco naturale regionale del Sasso Simone e Simoncello. Sul territorio comunale insistono i monti Palazzolo, Boaggine, Pennuzza, San Marco, Montone, Copiolo e la vetta del monte Carpegna (1415 m).

Nel suo territorio si trovano le sorgenti del fiume Conca, che scorre con direzione SW-NE fino a sfociare nel mare Adriatico e del torrente Mazzocco, poi affluente del Marecchia. Il Conca nasce dal Monte Carpegna, a circa 1400 m di altitudine in località Bocca della Conca. Tale corso d'acqua rappresenta quindi l'elemento idrografico principale. Il Torrente Mazzocco, situato nella zona Nord del territorio risulta impostato quasi interamente su litotipi argillosi e presenta un regime spiccatamente torrentizio, con portate minime e pressoché assenti nella stagione più calda, contrapposte a piene improvvise, forti e di breve durata, a seguito di precipitazioni intense. Impluvi ed incisioni laterali formano la rete idrografica secondaria, con corsi brevi e tortuosi; i fossi ed i corsi d'acqua minori hanno un alto potere erosivo, specialmente a seguito di precipitazioni intense e brevi, manifestandosi in maniera accentuata nelle zone a litologia argillosa.

4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI.

4.1 Dati Geotecnici.

Per la caratterizzazione dei terreni di copertura e del substrato geologico si è provveduto a reperire il maggior numero possibile di indagini pregresse ritenute attendibili. Il risultato di tale lavoro, come si può vedere dalla CARTA DELLE INDAGINI, è una buona copertura all'interno delle aree oggetto di microzonazione sismica.

Le indagini pregresse utilizzate ed archiviate, selezionate e rappresentative di un più ampio database, risultano complessivamente pari a n. 128. Di queste n. 88 sono di tipo geotecnico mentre n. 40 di tipo geofisico.

In sintesi sono state cartografate le seguenti indagini geognostiche/geofisiche (vedi Figura 9):

- N. 14 sondaggi a carotaggio continuo SS.
- N. 7 sondaggi a distruzione di nucleo SDS.
- N. 4 trincee e/o pozzetti esplorativi T.
- N. 2 prove penetrometriche statiche CPT.
- N. 17 prove penetrometriche dinamiche medie DN.
- N. 31 prove penetrometriche dinamiche pesanti DP.
- N. 8 prove penetrometriche dinamiche super pesanti DS.
- N. 5 prove penetrometriche dinamiche leggere DL
- N. 32 prove geofisiche passive puntuali HVSR
- N. 6 prove geofisiche attive lineari MASW
- N. 2 prove geofisiche attive lineari RIFRAZIONE

Sulla scorta delle indagini dirette ed indirette è stato, pertanto, possibile ricostruire gli spessori e le caratteristiche di consistenza delle coltri e depositi che ricoprono il substrato geologico.

Le indagini di misura di rumore sismico ambientale (HVSR) mostrano una certa coerenza con le condizioni geo-litologiche del sito: si rileva che picchi di frequenza nell'intervallo di 3.5-4.5 Hz vengono evidenziati da molte delle misurazioni eseguite, portando ad ipotizzare la presenza di un contrasto di impedenza di moderata profondità e, quindi, interno alla formazione geologica su gran parte del territorio studiato.

Le indagini sismiche MASW ed a Rifrazione, interessano tutti i differenti contesti geo-litologici riscontrati nel capoluogo e nelle frazioni, evidenziando che:

- nella microzona omogenea zona 1 (codice 2001) i terreni indagati presentano velocità delle onde di taglio S inferiori a 800 m/sec ($V_{s30} < 800$ m/sec), dove quindi si conferma l'assenza di un substrato sismico a profondità inferiore a 30 metri dal piano campagna;
- nella microzona omogenea zona 2 (codice 2002) si riscontra invece la presenza di un substrato sismico a profondità inferiore a 30 metri dal piano campagna, in quanto i terreni di substrato, rappresentati dai calcari della formazione di San Marino, presentano velocità delle onde di taglio S superiori a 800 m/sec.

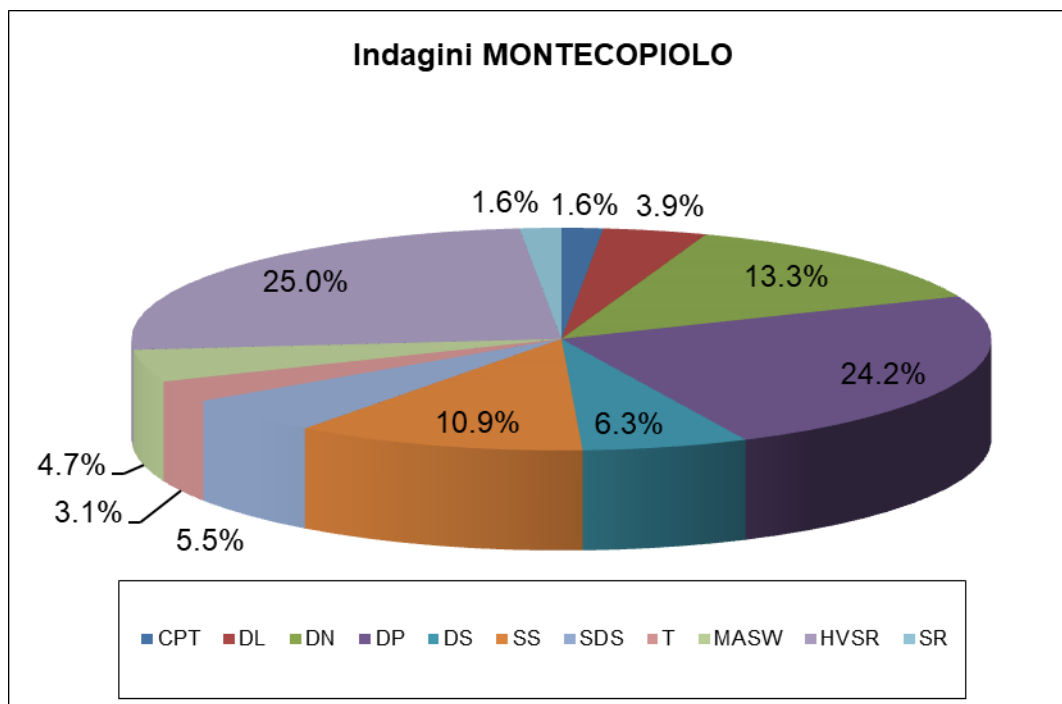


Figura 9 – Distribuzione tipologica e quantitativa delle indagini utilizzate a supporto dello studio di MS.

Tutte le tipologie di prospezioni sia integrative che pregresse sono state classificate e archiviate all'interno di un sistema informativo territoriale (G.I.S.) come previsto dagli standard di rappresentazione e archiviazione dati per la Microzonazione Sismica versione 4.2.

(http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/standard_studi_ms.wp).

Nella “Carta delle Indagini”, in allegato alla relazione, è possibile visualizzare l'ubicazione delle differenti indagini in sito; i risultati di ciascuna prova e le modalità di esecuzione sono riportate, a mezzo di semplici “report”, nel database associato alla mappa. Le suddette indagini sono distribuite sul territorio comunale in funzione delle finalità di caratterizzazione sismica delle aree urbanizzate, degli ambiti suscettibili di urbanizzazione e delle principali infrastrutture viarie.

5. MODELLO DI SOTTOSUOLO

5.1. Andamento delle Vs nel sottosuolo

Come evidenziato nell'inquadramento geologico (Capitolo 3) le profondità del substrato geologico attese per le aree di studio vanno dall'ordine di alcuni metri o a tratti sub affiorante in corrispondenza delle rupi ed in sommità di crinale, divenendo via via più spesse al piede dei versanti. Data la quantità di informazioni geofisiche distribuite sul territorio si sono sfruttate le prove HVSR congiuntamente ai dati geognostici profondi per individuare i picchi di frequenza di maggior rilevanza per la risposta sismica locale, tra cui quelli associabili ad interfacce compatibili con un bedrock geofisico. Invece per caratterizzare i depositi di copertura (e talora del bedrock geologico) in termini di valori di velocità delle onde di taglio (profili Vs), per gli scopi dello studio, si è potuto fare riferimento ad indagini sismiche indirette attive di tipo MASW/RIFRAZIONE e passive di tipo HVSR).

Chiaramente sviluppando lo studio di I e II Livello tramite approccio semplificato tabellare oltre alla definizione della profondità del bedrock si è data priorità, alla definizione dei profili di velocità e la stima di V_{seq} sino alle profondità richieste dai modelli di riferimento per la stima dei fattori di amplificazione; in assenza di misure sperimentali dirette si è fatto riferimento ai soli valori stimati tramite inversione delle curve H/V con opportuna taratura stratigrafica. In presenza di substrati affioranti/semi affioranti, le tabelle utilizzate hanno previsto l'utilizzo di valori di velocità equivalente sino a 30 mt di profondità (VS30), mentre nelle altre situazioni, si sono stimati valori di V_{seq} sino all'interfaccia copertura-substrato formazionale (caratterizzato da un sensibile incremento di rigidità sismica) più frequentemente con $V_s < 800$ m/s ma talora anche con $V_s > 800$ m/s. I risultati ottenuti per i siti in studio sono visualizzabili nei report associati alla Carta delle V_s e delle Indagini (Data-Base- Microzonazione Sismica).

6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

L'areale studiato risulta caratterizzato da un assetto geologico/morfologico estremamente articolato e spazialmente variabile, tipico di ambiti rupestri di alta collina/montagna con evidenze e affioramenti geologici superficiali. La ricostruzioni di tali assetti richiede, pertanto, una diffusa e capillare rete di informazioni geognostiche, talora non sempre possibile, soprattutto nelle aree meno urbanizzate. A livello geologico altri elementi di incertezza sono relativi allo spessore delle rupi calcaree ed all'andamento in profondità dei lineamenti tettonico strutturali principali. Tale aspetto riveste particolare importanza anche per quanto riguarda poi la definizione dei modelli geofisici e di comportamento dinamico di riferimento; la mancanza di un adeguato numero e distribuzione di sondaggi sufficientemente profondi e relative indagini geofisiche dirette in foro, non consente di rilevare "direttamente" la posizione e caratteristiche del bedrock sismico così come definito e richiesto dalle norme di settore. Pertanto ivi è stato possibile solo attraverso l'utilizzo di metodi di indagine congiunta (soventi indiretti), basati sul prevalente utilizzo di rumore ambientale quale forzante/eccitazione energetica. Chiaramente tali metodi e le relative metodologie di elaborazione, portano con se una certa aliquota di incertezze attribuibili sia a fattori strumentali quanto ai modelli numerici interpretativi; per cui nelle analisi di tali dati sperimentali e relative valutazioni di sintesi si ritiene sempre e comunque estremamente necessario attribuire un significativo peso alle conoscenze/evidenze geologiche disponibili ed alla coerenza con il modello geologico di riferimento.

Il programma delle indagini geotecniche va perciò commisurato, oltre che al problema sismico e geotecnico, anche ai codici di calcolo impiegati nelle analisi numeriche (Microzonazione Sismica di livello superiore al 1°) nonché all'accuratezza dei modelli utili ad affrontare le diverse problematiche di pericolosità sismica (analisi della risposta sismica locale, analisi della stabilità dei pendii, valutazione degli spostamenti, cedimenti).

7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

Nella prima fase di studio, sono stati acquisiti tutti i dati bibliografici e d'archivio riguardanti la cartografia geologica, geomorfologica e le indagini geognostiche pregresse adottate per il precedente studio di Microzonazione Sismica già collaudato in sede di DPC; chiaramente l'attenzione prioritaria è stata volta alle zone urbanizzate ed urbanizzabili così come previste nei piani urbanistici comunali e/o di previsione, definendo quindi i settori territorio sui quali eseguire le nuove analisi per le finalità di aggiornamento/implementazione della MS.

Tali indagini, in funzione degli assetti geologici locali, si ritengono adeguate per la partizione del territorio di interesse in macro/microzone a comportamento dinamico omogeneo sulla scorta di una base di dati sufficientemente estesa e robusta.

Quindi i dati sperimentali acquisiti (ritenuti adeguatamente rappresentativi), sono stati utilizzati per analizzare problematiche di MS attraverso modelli numerici di riconosciuta validità scientifica nonché secondo le procedure ed indicazioni raccomandate dalle linee guida regionali (DGR 564/2021) e della Protezione Civile.

I risultati di tali elaborazioni sono stati esplicitati, quindi, attraverso le basi dati numeriche allegate al presente studio, la presente relazione illustrativa e relativi allegati e gli elaborati grafici di sintesi richiamati al successivo Par. 8.

8. ELABORATI CARTOGRAFICI

8.1 Premessa.

In contraddittorio con L'Amministrazione Comunale di Montecopiolo, lo studio di Microzonazione Sismica interessa tutti i centri abitati principali, tutte le aree edificate e suscettibili di edificazione e, qualora vi fosse disponibilità di indagini, le infrastrutture viarie principali.

Il risultato che ne è derivato risulta, sotto questo punto di vista, soddisfacente.

In riferimento agli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica del Dipartimento di Protezione Civile, sono state individuate e delimitate le zone a comportamento omogeneo in occasione di sollecitazione sismica.

Dall'analisi dei dati e delle cartografie emerge che tutta l'area comunale risulta suscettibile di amplificazione, prevalentemente per caratteristiche stratigrafiche e, localmente, topografiche.

Le prove geofisiche disponibili e quelle integrative di nuova realizzazione, rappresentate prevalentemente da indagini speditive di sismica passiva HVSR, mostrano che i depositi eluvio-colluviali e detritici di copertura, rappresentati prevalentemente da limi argillosi (ML) e argille limose (CL) hanno V_s mediamente comprese tra 180 e 250 m/s, arrivando più in profondità o dove maggiormente detritici ed addensati, anche a 300-350 m/s.

Relativamente alle Formazioni Geologiche il valore di V_s è compreso tra i valori di 400/450 m/s nella porzione apicale più decompressa ed alterata ed i 500-600 m/s a maggiore profondità.

Talora, in corrispondenza degli affioramenti di substrato geologico appartenente alla formazione rocciosa dei calcari di San Marino (SMN) e delle relative verticali indagate, sono stati incontrati terreni caratterizzati da $V_s \geq 800$ m/s (*substrato sismico*).

Tutte le carte tematiche vengono sviluppate alla scala 1:5.000.

8.2 Carta delle Indagini.

La Carta delle Indagini è stata elaborata cartografando le indagini pregresse reperite presso il Comune di Montecopiolo e realizzate in occasione del precedente studio di Microzonazione Sismica realizzato e collaudato dalla C.T.N. nel 2021.

La distribuzione delle indagini all'interno degli ambiti oggetto di microzonazione sismica è ritenuta adeguata.

La carta viene costruita codificando le litologie e le formazioni affioranti in differenti unità litotecniche specificate dagli standard di archiviazione informatica 4.2 allegati alle linee guida "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica".

In figura 10 si riporta uno stralcio fuori scala della Carta delle Indagini

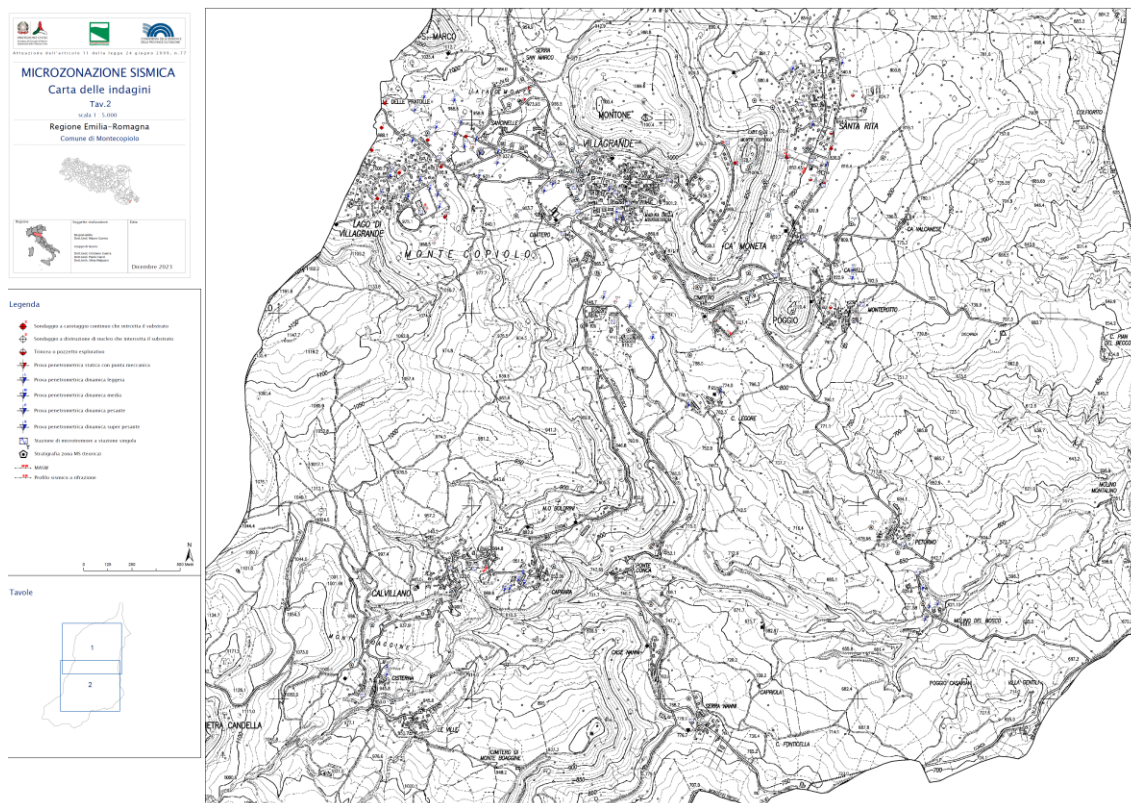


Figura 10 – Miniatura esemplificativa di una Carta delle Indagini

8.3 Carta Geologico-Tecnica.

La Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica riporta tutte le informazioni di base relativamente a geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche, ed idrogeologiche.

Trattandosi di una fase di sostanziale adeguamento della MS già collaudata, la base di tale elaborato è ripresa dal precedente studio, a sua volta sviluppato riferendosi alla cartografia geologica e geomorfologica del Progetto CARG (rispettivamente sez. 266160, 267090, e 267130 della carta geologica, alla scala 1:10.000), opportunamente modificata sulla base dei dati geologici e stratigrafici reperiti dalle indagini elaborate durante la realizzazione del database a corredo della Carta delle Indagini, nonché sulla base degli studi aereofotogrammetrici e dei rilievi di campagna eseguiti durante lo svolgimento di tale studio.

Sono stati cartografati gli affioramenti della Formazione di San Marino ove lo spessore dei terreni di copertura era variabile da 0 a 3 m.

Sono stati cartografati i terreni di copertura (con spessori > 3 metri) suddivisi su base granulometrica con l'indicazione dell'ambiente genetico deposizionale.

Sono state cartografate le instabilità di versante, prevalentemente desunte dal PAI dell'Autorità Interregionale di Bacino Marecchia-Conca, con distinzione dello stato di attività e della tipologia di movimento.

Sono state inoltre cartografate le forme di superficie (falde detritiche).

Infine tra gli elementi geologici e idrologici sono state cartografate la giacitura degli strati, in corrispondenza degli affioramenti del substrato marino e l'indicazione dei sondaggi con le relative profondità previste dagli standard di rappresentazione.

In Carta sono inoltre rappresentate le tracce delle 3 Sezioni Litotecniche elaborate, denominate Sezione 1, Sezione 2 e Sezione 3.

- La Sezione 1 interessa l'abitato di Villagrande (sede del Municipio del Comune di Montecopiolo), il Castello di Montecopiolo e la frazione abitata di Cà Moneta/Santa Rita;
- la Sezione 2 interessa le frazioni di Rancaliccio e Madonna di Pugliano;
- la Sezione 3 interessa le frazioni di Cisterna e Calvillano / Monte Boaggine.

Nell'elaborato grafico "Sezioni Litotecnica" vengono riportati i profili restituiti alla scala 1:2.000. Tali sezioni, sviluppate a partire dal modello digitale del terreno e lungo una rete di indagini rappresentative, vengono rappresentate in allegato alla presente relazione ed a scala varia, in funzione del grado di risoluzione necessario ad illustrare l'assetto locale, permettendo di definire gli andamenti e lineamenti geologici principali nonché di definire le dinamiche evolutive dell'area e gli aspetti geomorfologici e strutturali salienti.

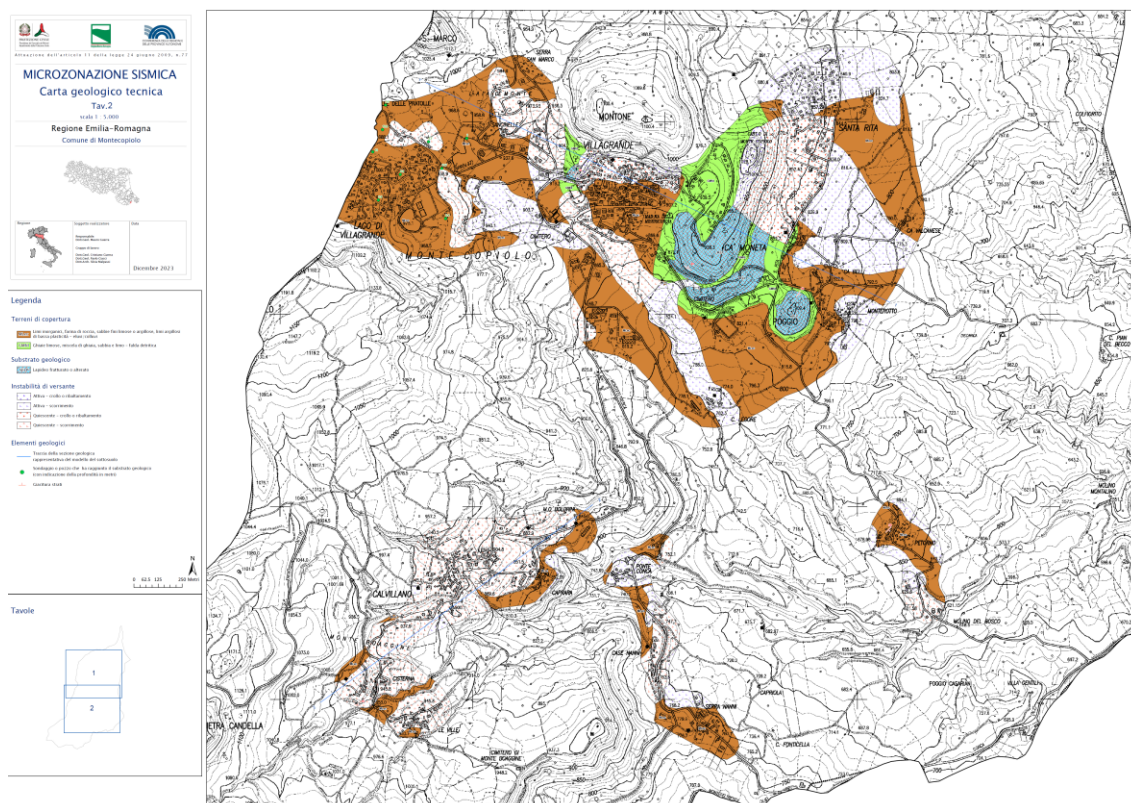


Figura 11 – Miniatura esemplificativa di una Carta Geologico-Tecnica

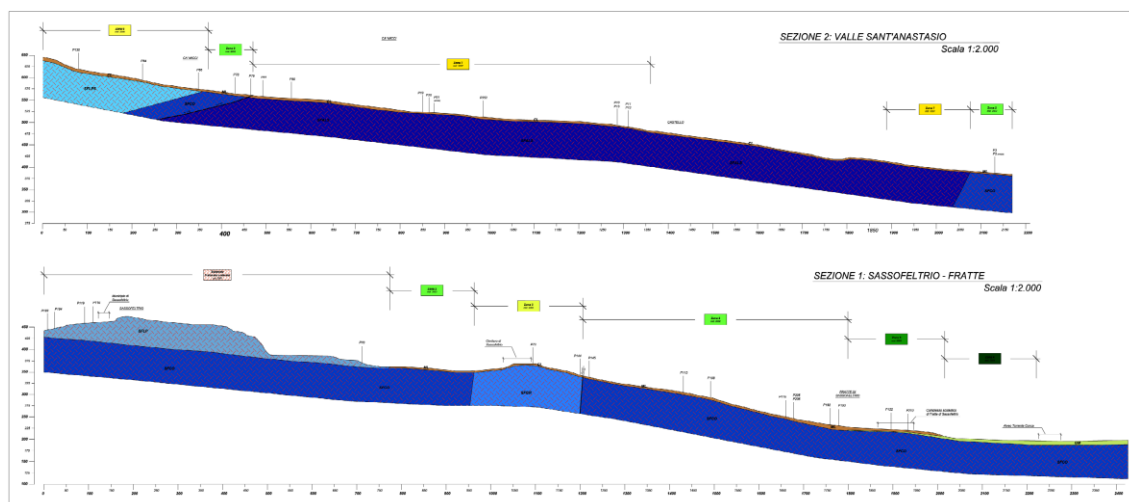


Figura 12 – Miniatura esemplificativa delle Sezioni Litotecnica

8.4 Carta delle Frequenze Naturali del Terreno

Sulla base dei risultati delle registrazioni a stazione singola HVSR, ritenute più rappresentative, si è sviluppata la mappa delle Frequenze Naturali dei terreni dell'ambito comunale studiato.

Nonostante negli studi di Microzonazione Sismica venga prodotta un'unica carta delle Frequenze Naturali basata sulla frequenza fondamentale di sito, in funzione di specifiche necessità, può risultare opportuno valutare i singoli report puntuali a cui la carta fa riferimento per analizzarne lo spettro complessivo di frequenza; ciò al fine di non perdere importanti informazioni legate a massimi risonanti secondari, talora significativi per l'assetto geologico locale e/o in presenza di spessi depositi di copertura o per la presenza di orizzonti risonanti interclusi (es. orizzonti detritici/litoidi di rilevante spessore ed estensione).

Al fine di chiarire quanto appena espresso viene di seguito riportato un esempio sui criteri di elaborazione adottati; talora, a seguito degli effetti di smorzamento indotti da depositi soffici e profondi e/o dalla presenza di situazioni stratigrafiche con inversioni di velocità, il giudizio e la definizione dei picchi di frequenza sono stati guidati anche dal reciproco andamento delle singole componenti verticali ed orizzontali del moto registrato. In figura 13 è riportata, a titolo di esempio, la misura 099030P87HVSR87.

Ad es. la misura con codice 099030P87HVSR87, così come la maggior parte dei rilievi realizzati, può essere caratterizzata da più massimi in Frequenza, in cui le ampiezze del picco H/V risultano verosimilmente condizionate da fenomeni di smorzamento. Quello maggiormente significativo a maggior ampiezza e minor valore in frequenza viene indicato come f_0 che, nell'esempio, presenta una frequenza di circa 4.06 Hz con rapporto H/V di ampiezza media pari a circa 2.9; in tal caso il picco rilevabile a 6.5 Hz viene ritenuto un picco di importanza secondario, relativo a contrasti di impedenza più superficiali.

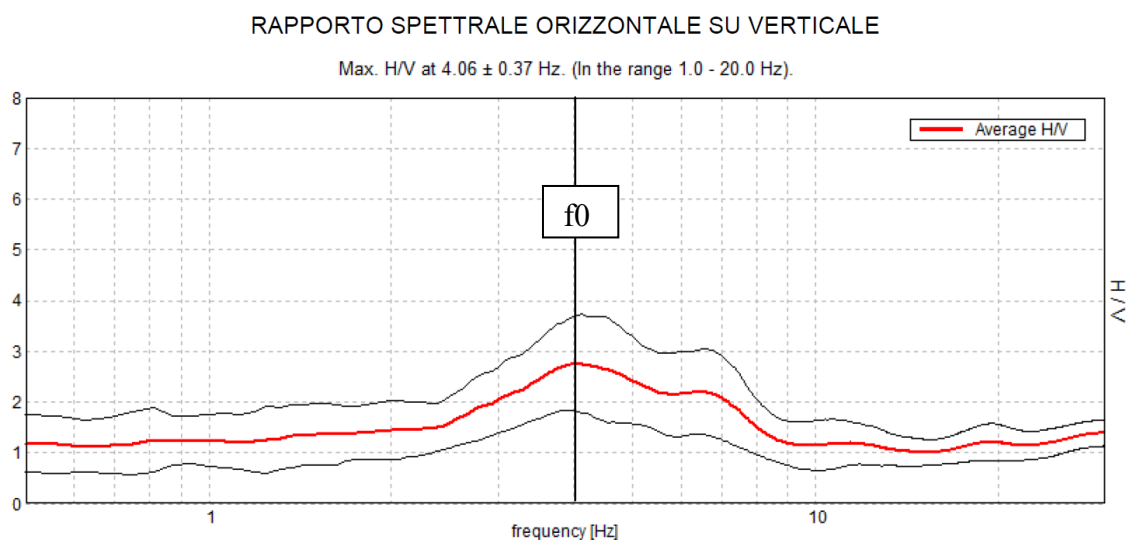


Figura 13-Curva dei rapporti spettrali relativa alla registrazione 099030P87HVSR87.

Tutti i picchi di frequenza rappresentativi ricadono nell'intervallo di frequenze ingegneristico di risonanza delle strutture (compreso all'incirca tra 0.5 e 15 Hz) e, dunque, risultano potenzialmente pericolosi per fenomenologie di amplificazione locale o, comunque, di alterazione del moto sismico atteso. Il picco a maggior ampiezza ed a più bassa frequenza f_0 indica il "contrasto d'impedenza sismico" più significativo in profondità ed a cui è associata la

maggior aliquota di trasferimento dell'energia del moto vibratorio/sismico e, pertanto, risulta informativo ai fini della ricostruzione del substrato sismico e di comportamento dinamico dell'area. Inoltre tutti i valori di frequenza individuati con tale tecnica, essendo il frutto di medie statistiche, sono affetti da una deviazione standard che ne può comportare uno scostamento talora di entità pari al 20-25% del valore definito.

Per la correlabilità dei picchi/range di frequenza rappresentativi con elementi stratigrafici significativi ci si può riferire alle indicazioni contenute nella DGR 564/2021 nonché alle analisi e modelli definiti in Mascandola et al., 2019.

I valori di ampiezza rappresentativi per ciascuna classe di frequenza, vengono quindi illustrati tramite diversa colorazione dei simboli secondo specifici range caratteristici per l'area, modulando l'ampiezza del simbolo in funzione dell'ampiezza dei relativi picchi H/V, secondo la seguente schematizzazione (vedi figura 14):

Ampiezze dei picchi

$1.5 \leq F \leq 4.5$

$F > 4.5$

• $A \leq 2$

• $2 < A \leq 3$

• $2 < A \leq 3$

• $A > 3$

In corrispondenza dei punti è indicato il valore di frequenza (f_0) in Hz.

Figura 14 - Codifiche per la visualizzazione in mappa delle Frequenze e della Ampiezze individuate dai rilievi HVSR.

In base a quanto esposto in figura 15 ne viene riportata un esempio in miniatura della tavola.

Nell'area si riscontra una distribuzione della frequenza di risonanza naturale dei terreni piuttosto omogenea, soprattutto in relazione a ciascuna MOPS di appartenenza; in generale l'ampiezza dei picchi di amplificazione risulta modesta in tutto il territorio indagato, con picchi di frequenza in genere compresi tra $2 < H/V < 4$.

E' necessario precisare che, talora, esistono anche ulteriori massimi con frequenza $F > 15$ Hz che, differentemente dai precedenti, non sono stati caratterizzati perché ritenuti non particolarmente significativi per la pericolosità sismica dell'area. Questa tipologia di massimi rappresenterebbe infatti occasionali contrasti di impedenza molto superficiali che, in relazione al normale piano di fondazione degli edifici, è ragionevolmente non significativo.

E' opportuno comunque ricordare che esiste abbondante letteratura comprovante il fatto che l'ampiezza del picco H/V, pur essendo legata all'entità del contrasto di impedenza tra strati, non è correlabile all'amplificazione sismica in modo semplice (cfr. Mucciarelli e Gallipoli, 2001; SESAME, 2005 e referenze ivi contenute) e può essere sensibilmente influenzata da altre variabili naturali e strumentali.

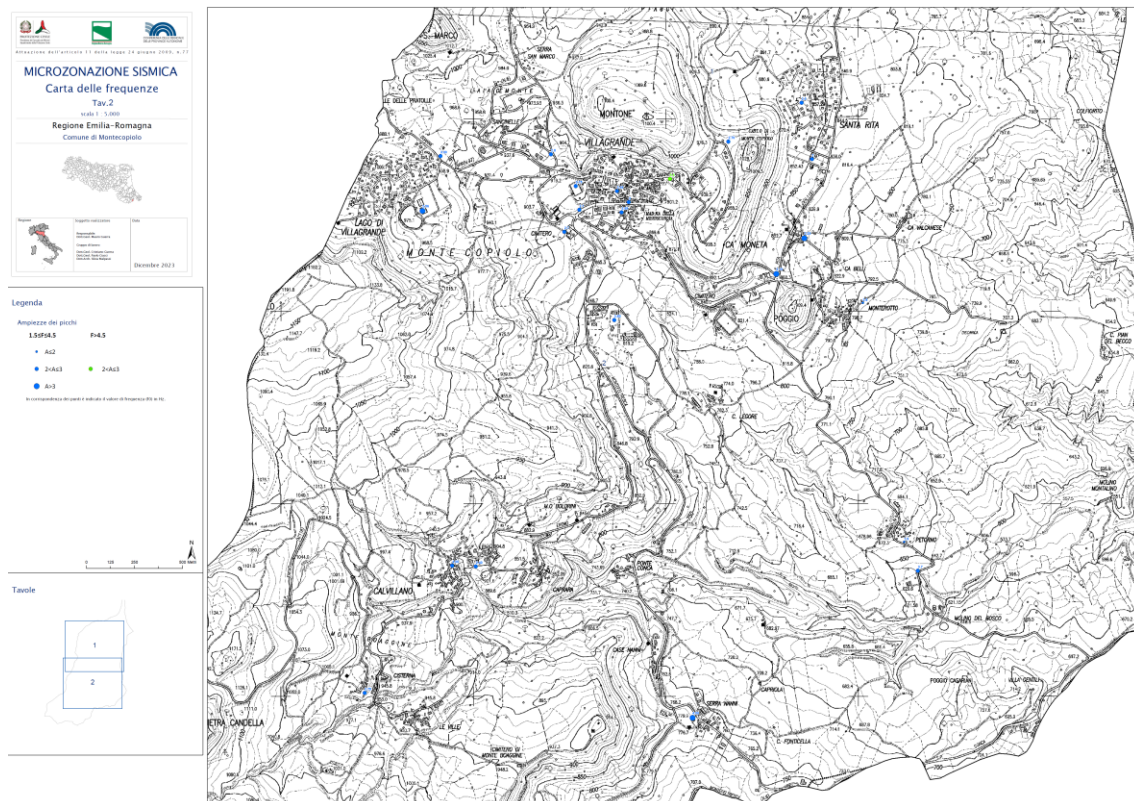


Figura 15 – Miniatura esemplificativa della Mappa delle Frequenze Naturali dei Terreni (F0).

8.5 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (M.O.P.S.).

Ricostruita la geologia, la geomorfologia, i rapporti stratigrafici delle varie formazioni ed analizzate le indagini geognostiche e geofisiche e, in sintesi, della carta geologico-tecnica, si elabora la Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (M.O.P.S.) che è il documento fondamentale del primo livello di approfondimento della microzonazione sismica. Essa rappresenta le zone a comportamento equivalente in occasione di sollecitazione sismica.

L'elaborato è stato restituito alla scala 1:5.000.

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

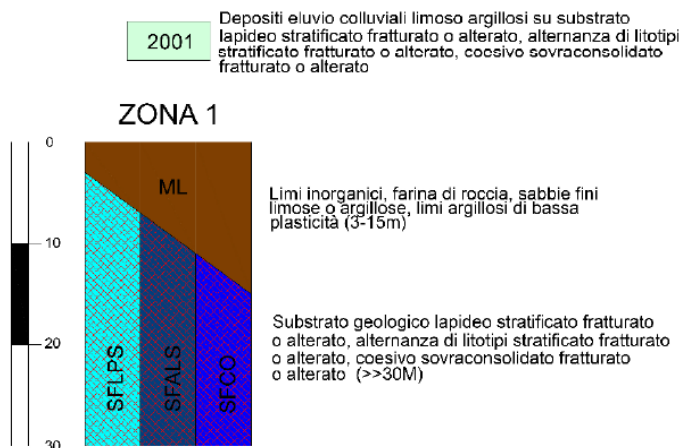
- Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali.
- Zone suscettibili di instabilità.
- Forme di superficie e sepolte.
- Tracce di sezione topografica.
- Punti di misura del rumore ambientale

Nel territorio del Comune di Montecopiolo, non sono state riconosciute zone stabili e quindi non suscettibili di amplificazioni sismiche in quanto i substrati geologici che caratterizzano il territorio sono costituiti in larga parte da rocce mostranti velocità di propagazione delle onde di taglio V_s sempre inferiore ai 700/800 m/s e quindi non classificabili come substrato rigido.

Inoltre, laddove il substrato risulta affiorante è in genere caratterizzato da diffusa fratturazione ed alterazione talora anche sino a qualche metro.

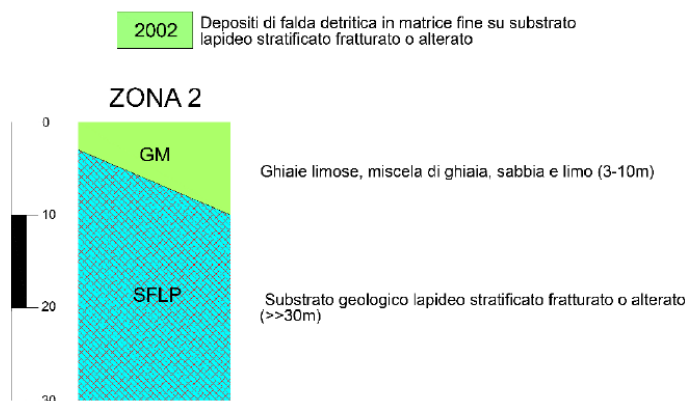
L'identificazione tipologica delle Microzone rappresentative è stata acquisita dal precedente lavoro di Microzonazione Sismica già collaudato del 2021, validato dalla commissione regionale e nazionale, ritenuto adeguatamente rappresentativo del comportamento atteso in condizioni sismiche per ciascuna microzona.

Nelle aree oggetto di studio sono state invece riconosciute 3 diverse **Microzone Omogenee stabili ma suscettibili di amplificazioni sismiche locali**, descritte di seguito:



ZONA 1

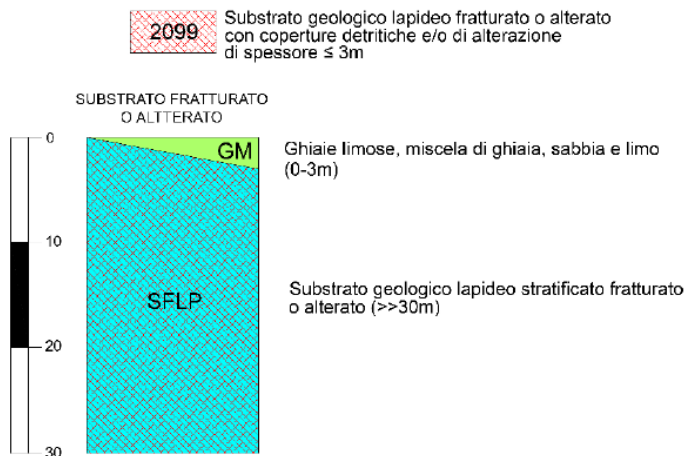
Costituisce le zone caratterizzate dalla presenza di depositi quaternari fini, prevalentemente limoso-argillosi, di natura eluvio colluviale (ec) e depositi quaternari più grossolani di natura detritica (fd), che presentano uno spessore variabile da 3 a 15 metri ed ai quali segue il substrato geologico, attribuibile alle diverse formazioni alloctone Liguri: Formazione di Monte Morello (MLL), Formazione di Sillano (SIL), Formazione delle Argille Varicolori (AVV). Le misure di sismica passiva (HVSr) evidenziano modesti fenomeni di impedenza, imputabili probabilmente al contatto tra i depositi di copertura ed i terreni di substrato ed indotti dalla differente velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio, marcatamente inferiori nei terreni di copertura rispetto a quelle dei terreni di substrato, e che potrebbero suscitare fenomeni di amplificazione locale in caso di evento sismico. Il substrato della colonnina viene rappresentato congiuntamente da più tipologie (SFLPS, SFALS, SFCO) in quanto il relativo comportamento dinamico, anche in termini di rigidità sismica, risulta equiparabile.



ZONA 2

Questa zona è rappresentata dalla presenza in superficie di depositi quaternari di natura detritica, prevalentemente grossolani in matrice limoso-argillosa, con spessori variabili da 3 a 10 metri, posti al di sopra del substrato geologico lapideo fratturato o alterato (SFLP), rappresentato dalla Formazione di San Marino (SMN). La velocità delle onde sismiche di taglio dei depositi di copertura

è stimabile tra 200 e 300 m/sec ed il contrasto di impedenza con i terreni profondi di substrato, caratterizzati da velocità delle onde sismiche di taglio nettamente superiori ($V_s > 800$ m/sec per i terreni della formazione di San Marino, intensamente fratturati e alterati), può anche in questo caso portare a fenomeni di amplificazione locale in caso di evento sismico.





ZONA 2099


Costituisce le zone di affioramento del substrato geologico lapideo fratturato o alterato (SFLP), rappresentato dalla Formazione di San Marino (SMN). Queste condizioni sono state riscontrate in limitate aree rappresentate principalmente dal rilievo della "Roccaccia" sul quale sorgono i resti del Castello di Montecopiolo, ed il rilievo denominato "Poggio" presente nei pressi della frazione di Monterotto.

Le **Zone suscettibili di instabilità**, ovvero quelle zone per le quali l'evento sismico può portare a deformazioni permanenti del territorio, riscontrate nel territorio comunale di Montecopiolo, sono tutte identificabili come zone di attenzione per instabilità di versante, ossia aree interessate da movimenti gravitativi (frane), e sono state contrassegnate/codificate in carta, sulla base della tipologia (scorrimento, colata, crollo, ecc..) e dello stato di attività (attivo, quiescente, inattivo, ecc...) del movimento franoso, con la seguente simbologia:

Zone di attenzione per instabilità

- 

ZA_{FR} – Zona di attenzione per instabilità di versante – Zona 3
 30112003, 30122003, 30212003, 30222003
 Deposito di frana con spessore variabile tra 3 e 15 m su substrato lapideo stratificato fratturato o alterato, alternanza di litotipi stratificato fratturato o alterato, coesivo sovraconsolidato fratturato o alterato
- 

ZA_{FR} – Zona di attenzione per instabilità di versante – Zona 4
 30112004, 30122004, 30212004, 30222004
 Deposito di frana con spessore variabile tra 3 e 10 m su substrato coesivo sovraconsolidato stratificato fratturato/alterato
- 

ZA_{FR} – Zona di attenzione per instabilità di versante – Zona 2099
 30112099, 30122099, 30212099
 Deposito instabile (≤ 3 m) su substrato coesivo sovraconsolidato stratificato fratturato/alterato

In figura 16 si riporta uno stralcio esemplificativo della carta delle MOPS.

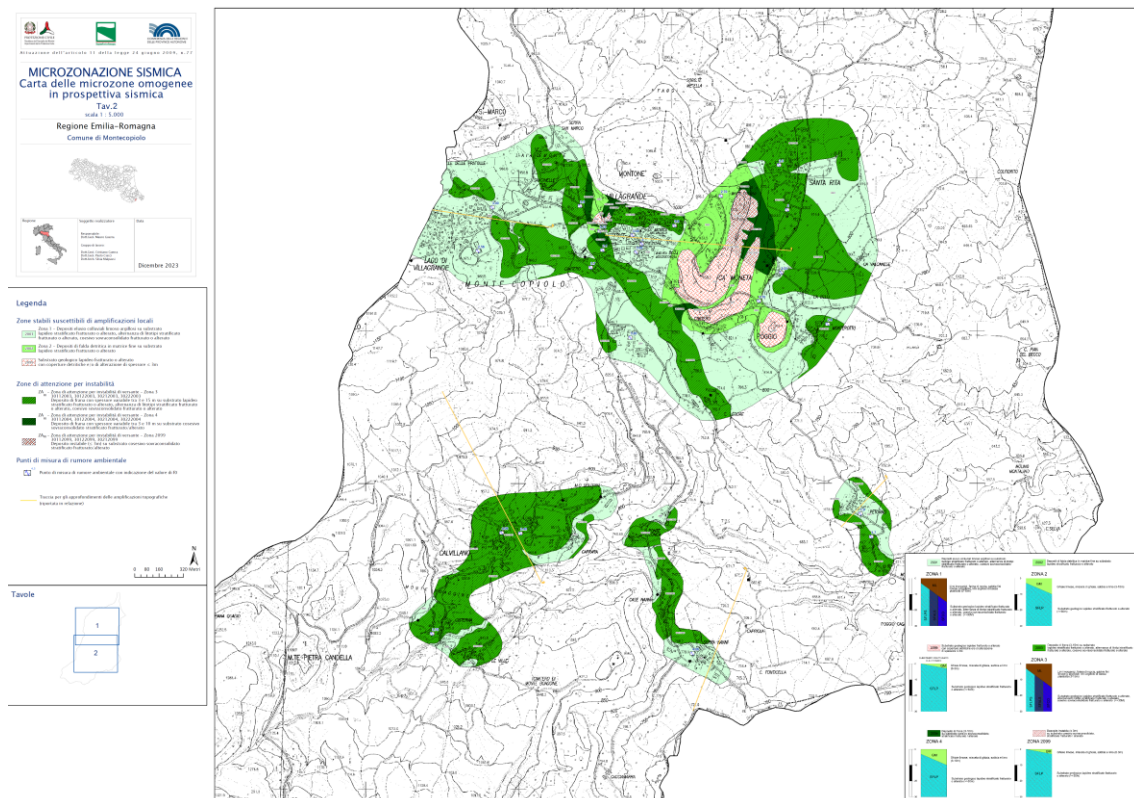


Figura 16 – Miniatura esemplificativa della Carta delle MOPS.

Nell'area di studio, con particolare riferimento alle zone urbanizzate ed urbanizzabili, non sono presenti elementi strutturali (faglie, ecc..) certi, in quanto dalla consultazione del database Ithaca (<https://sgi.isprambiente.it/ithaca/viewer/>) non è stato rilevato alcun elemento tettonico attivo e capace, certo e documentato, che possa determinare effetti superficiali nelle aree urbanizzate in oggetto.

Le analisi compiute nel territorio hanno permesso di escludere possibili fenomeni di liquefazione alla scala del rilevamento.

Alla stessa maniera non sono state riscontrate criticità riguardanti possibili cedimenti differenziali per strutture/fenomeni naturali nell'ambito del territorio analizzato.

Per tutte le zone illustrate sono attese amplificazioni del moto sismico per motivi stratigrafici e talora topografici.

A tal proposito nella carta delle MOPS vengono altresì riportate le tracce di sezione topografica utili a verificare localmente la presenza ed entità di eventuali fenomeni di amplificazione topografica. Tali fenomeni, ove ipotizzabili, sono stati successivamente quantificati tramite gli approcci semplificati indicati nelle ICMS 2008 per scarpate e versanti con conformazione a cresta (paragrafo 3.3, pag. 158-160, Volume 3).

8.6 Microzonazione Sismica di Livello 2.

Il Livello 2 si pone due obiettivi da raggiungere:

- Compensare le incertezze relative al Livello 1.
- Fornire quantificazioni numeriche, con metodi semplificati (abachi), della modificazione locale del moto sismico in superficie.

Il risultato di questo Livello è la **Carta di Microzonazione Sismica**, ottenuta associando una quantificazione numerica degli effetti, con metodi semplificati, alle zone, o parti di esse, della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica del Livello 1.

In accordo con l'Amministrazione Comunale le aree oggetto di studio di Livello 2 sono costituite dai maggiori centri abitati del comune di Montecopiolo, in particolare:

- Montecopiolo capoluogo, Località Villagrande, Lago Villagrande, Cà Moneta, Santa Rita.
- Località Cisterna - Calvillano.
- Località Ponte Conca – Case Nanni.
- Località Petorno
- Località Pugliano - Rancaliccio.

8.7 Carta delle velocità delle onde di taglio “Vs”.

Per la costruzione della carta delle velocità delle onde di taglio sono state utilizzate le indagini di misura indiretta maggiormente rappresentative che hanno consentito di raggiungere e caratterizzare la Vs del substrato geologico, avvalendosi a titolo correlativo di tutte le altre prove a minor penetrazione.

I test di misura geofisica utilizzati anche per elaborazioni congiunte risultano suddivisi come segue:

- 32 prove puntuali per misure con stazione singola (HVSr dove assenti misure dirette ed in ausilio alle prove MASW);
- 8 prove lineari in array 1D (tipo Masw-Rifrazione);

In Figura 17 è possibile osservare la distribuzione sul territorio delle differenti indagini sismiche: ogni rilievo è stato codificato come riportato negli standard di archiviazione e rappresentazione informatica 4.2 riferiti a “Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica”.

In base alle caratteristiche dei depositi di copertura ed alla profondità del substrato geologico di misura, per ciascun sito si è valutato il valore rappresentativo di VsH (H=spessore delle coperture) in corrispondenza dei terreni con coperture su substrato non rigido, caratterizzato da Vs << 800 m/s e occasionalmente Vs30 in presenza di substrato affiorante/semiaffiorante con Vs<800 m/s. In taluni casi, prevalentemente in presenza di substrato formazionale costituito dalla Formazione di San Marino, si è rilevata la presenza di coperture su substrato con Vs>800 m/s.

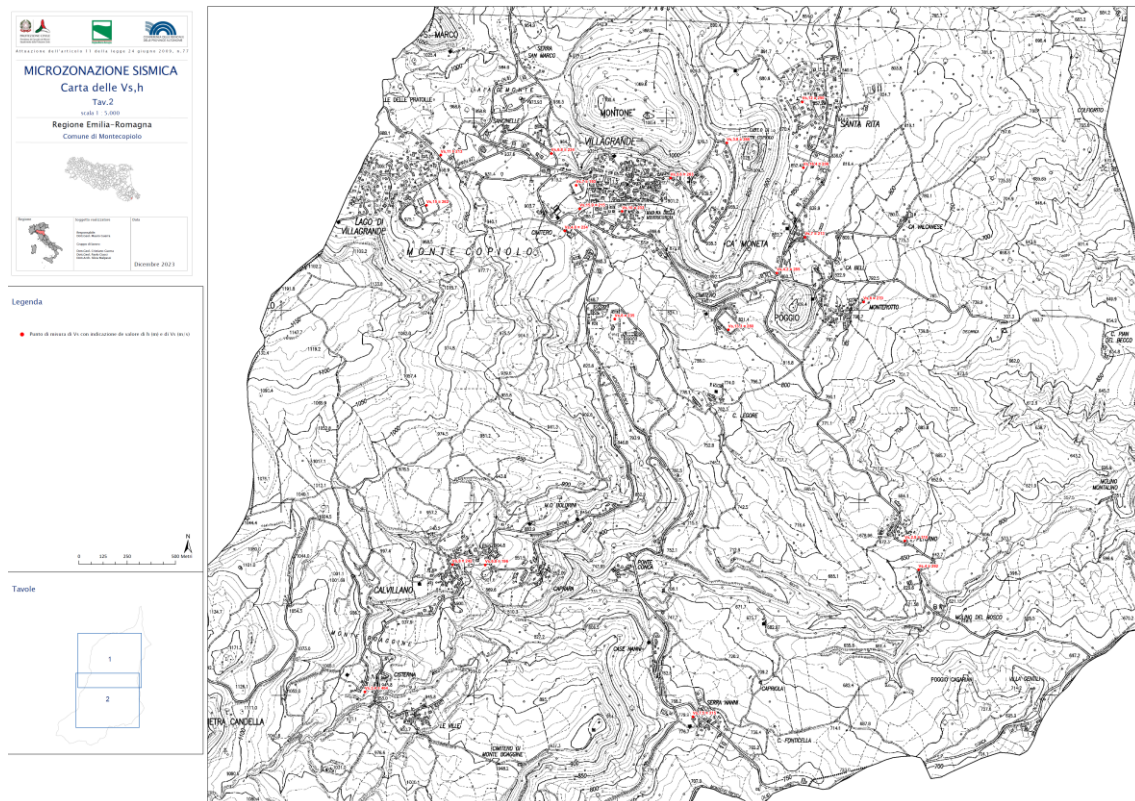


Figura 17 – Miniatura esemplificativa della carta delle velocità delle onde di taglio VsH.

8.8 Carte dei Fattori di Amplificazione.

I terreni in studio di Montecopiolo, data la conformazione ed estensione del territorio comunale, presentano caratteristiche litologiche a tratti differenti (vedi Cap. 3), per cui le maggiori variazioni risultano nello spessore delle coperture al piede dei rilievi rocciosi e nello spessore delle coperture/coltri alterate lungo i versanti.

A tal proposito il territorio in studio è stato discretizzato schematizzando situazioni geologiche omogenee al fine di poter stimare in maniera consona i fattori di amplificazione sismica tramite metodo semplificato tabellare proposto nella DGR 630/2019 e successivi aggiornamenti DGR 476/2021 e DGR 564/2021. Quindi sulla base della descrizione del contesto geologico di applicazione di ciascuna tabella e delle profondità attese per il substrato, si sono utilizzati i parametri di amplificazione definiti nelle tabelle denominate: Appennino – “coperture direttamente poggianti su substrato rigido”, Appennino – “coperture su substrato non rigido”, “Substrato marino non rigido affiorante o sub affiorante (copertura di spessore inferiore a 3 m), caratterizzato da $V_s < 800$ m/s”.

Per cogliere in modo maggiormente significativo a livello locale la variazione dei fattori di amplificazione (FA) in funzione degli effetti stratigrafici, l’assegnazione di tali coefficienti è stata definita attraverso la stima puntuale del parametro di velocità equivalente VsH, secondo la seguente formulazione:

$$V_{sH} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N h_i / V_{s_i}}$$

dove N è il numero di strati del profilo sismico corrispondenti alla copertura, H è lo spessore totale (in m) dei terreni di copertura o profondità del tetto del substrato, h_i = spessore (in m) dello strato i-esimo (fino al substrato), V_{s_i} = velocità (in m/s) dello strato i-esimo (fino al substrato).

In tal senso per l'applicazione della Tabella "Appennino - coperture su substrato non rigido" si è adottato il valore di VsH per la profondità media rappresentativa dei depositi di copertura su materiali di base più rigidi, al fine di ottenere una lettura omogenea e calibrata sullo specifico contesto geologico/territoriale, mentre in presenza di Substrato marino non rigido affiorante/semiaffiorante si è adottato il valore di Vs30 (primi 30 mt di profondità).

Tali ambiti vengono quindi caratterizzati dai seguenti Fattori di amplificazione per effetto stratigrafico che intervengono sulle ampiezze spettrali (in accelerazione e velocità):

- $FPGA = PGA/PGA_0$, dove PGA_0 è l'accelerazione massima orizzontale a periodo $T=0$ al suolo di riferimento e PGA è l'accelerazione massima orizzontale a periodo $T=0$ alla superficie del sito;
- $FA = SA/SA_0$, dove SA_0 è l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione al suolo di riferimento e SA è l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione alla superficie del sito per prefissati intervalli di periodi T : SA_1 per $0,1s \leq T \leq 0,5s$, SA_2 per $0,4s \leq T \leq 0,8s$, SA_3 per $0,7s \leq T \leq 1,1s$;
- $FH = SI/SI_0$, dove SI_0 è l'integrale dello spettro di risposta in velocità (Intensità di Housner) al suolo di riferimento e SI l'integrale dello spettro di risposta in velocità (o corrispondente grandezza di Intensità di Housner) alla superficie del sito per prefissati intervalli di periodi T : SI_1 per $0,1s \leq T \leq 0,5s$, SI_2 per $0,5s \leq T \leq 1,0s$.

In dettaglio, le carte di Microzonazione (Fa-PGA - Fa_SA1 - Fa_SA2 - Fa_SA3 - Fa_SI1 - Fa_SI2) sono state costruite come segue:

- A ciascuna Microzona individuata nella carta delle MOPS è stato assegnato, in base ai rilievi disponibili riportati nella mappa delle velocità, un unico valore rappresentativo di Vs. Tale valore è stato assegnato in termini di Vs30 o VsH (in funzione del contesto geologico e profondità del bedrock geofisico o contrasti di impedenza significativi); al proposito si rileva come rigidità proprie di substrati con $Vs \geq 800$ m/s si possano riscontrare solo a profondità elevate.
- In base a ciascun valore Vs assegnato alle varie zone (Vs30 o VsH) è stato successivamente possibile identificare e/o accoppiare Microzone con caratteristiche dinamiche simili, suddividendo il territorio in zone a caratteristiche amplificative omogenee.
- In base agli abachi proposti nella DGR 630/2019 e successivi aggiornamenti DGR 476/2021 e DGR 564/2021 (riportati in Figura 18) denominati rispettivamente A2.1.1 - "Appennino - Substrato marino non rigido affiorante/semiaffiorante ($Vs < 800$ m/s)" e A2.1.1 - "Appennino - coperture su substrato non rigido", sono stati quindi assegnati i Fattori di Amplificazione corrispondenti alla classe di Vs30 o VsH precedentemente determinata.

Vs30 (m/s) →	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
PGA					1,9	1,8	1,6	1,4	1,2	1,1

Fattore di Amplificazione PGA

Vs30 (m/s) →	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
SA1					1,9	1,7	1,6	1,4	1,2	1,1
SA2					1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3
SA3					1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,2

Vs30 (m/s) →	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
SI1					1,9	1,7	1,6	1,4	1,3	1,2
SI2					1,5	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3

a)

$V_{SH} \text{ (m/s)} \rightarrow$ $H \text{ (m)} \downarrow$	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2,3	2,0	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2	
10	2,3	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,3	1,3	1,2	
15	2,2	2,2	2,1	2,0	1,8	1,6	1,4	1,3	1,2	
20	2,1	2,1	2,1	2,0	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2	
25	2,1	2,1	2,1	2,0	1,9	1,8	1,6	1,4	1,3	
30	2,1	2,1	2,0	1,9	1,8	1,6	1,4	1,3		
35	2,1	2,1	2,0	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2	
40	2,0	2,0	2,0	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2	
50	1,9	1,9	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2		

Fattore di Amplificazione **PGA**

$V_{SH} \text{ (m/s)} \rightarrow$ $H \text{ (m)} \downarrow$	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,6	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	
10	2,3	1,8	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	
15	2,8	2,3	1,9	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	
20	3,2	2,9	2,3	1,8	1,5	1,5	1,4	1,4	1,3	
25	3,4	3,2	2,7	2,0	1,7	1,5	1,5	1,4	1,3	
30	3,3	2,9	2,3	1,9	1,6	1,5	1,4	1,4		
35	3,3	3,0	2,5	2,1	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2	
40	3,2	3,1	2,7	2,3	2,0	1,7	1,5	1,4	1,2	
50	3,0	3,0	2,8	2,5	2,2	1,9	1,7	1,5	1,3	

Fattore di Amplificazione **SA2** ($0,4s \leq T \leq 0,8s$)

$V_{SH} \text{ (m/s)} \rightarrow$ $H \text{ (m)} \downarrow$	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2,1	1,7	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	
10	2,6	2,3	1,9	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	
15	2,7	2,6	2,3	1,9	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	
20	2,6	2,6	2,4	2,1	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	
25	2,6	2,6	2,5	2,3	2,0	1,7	1,6	1,4	1,3	
30	2,4	2,4	2,3	2,1	1,8	1,6	1,5	1,5	1,3	
35	2,4	2,4	2,3	2,2	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2	
40	2,2	2,2	2,2	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2	
50	2,1	2,1	2,1	2,1	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3	

Fattore di Amplificazione **SI1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$)

$V_{SH} \text{ (m/s)} \rightarrow$ $H \text{ (m)} \downarrow$	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	
10	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	
15	1,9	1,7	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	
20	2,4	2,1	1,6	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	
25	3,4	2,5	1,9	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	
30	3,0	2,3	1,7	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3		
35	3,3	2,7	1,9	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,1	
40	3,6	3,1	2,2	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	
50	3,6	3,4	2,9	2,1	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2	

Fattore di Amplificazione **SA3** ($0,7s \leq T \leq 1,1s$)

$V_{SH} \text{ (m/s)} \rightarrow$ $H \text{ (m)} \downarrow$	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	
10	1,8	1,6	1,4	1,4	1,3	1,4	1,3	1,3	1,3	
15	2,3	1,9	1,6	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	
20	2,9	2,6	1,9	1,6	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	
25	3,6	3,0	2,3	1,7	1,5	1,4	1,4	1,4	1,3	
30	3,3	2,7	1,9	1,7	1,5	1,4	1,4	1,3		
35	3,5	3,0	2,2	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	1,1	
40	3,5	3,2	2,6	2,0	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2	
50	3,3	3,3	3,0	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3	

Fattore di Amplificazione **SI2** ($0,5s \leq T \leq 1,0s$)

b)

$V_{SH} \text{ (m/s)} \rightarrow$ $H \text{ (m)} \downarrow$	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,8	1,7	1,4	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
10	2,0	2,0	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2	1,1	1,0	
15	2,0	2,0	2,0	1,9	1,8	1,6	1,4	1,3	1,2	
20	2,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,7	1,6	1,4	1,3	
25	2,0	2,0	2,0	1,9	1,8	1,8	1,6	1,5	1,3	
30	1,9	1,9	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,2	
35	1,9	1,9	1,9	1,9	1,7	1,6	1,4	1,4	1,2	
40	1,9	1,9	1,9	1,9	1,7	1,6	1,4	1,4	1,2	
50	1,9	1,9	1,9	1,9	1,8	1,6	1,4	1,4	1,2	

Fattore di Amplificazione **PGA**

$V_{SH} \text{ (m/s)} \rightarrow$ $H \text{ (m)} \downarrow$	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
10	1,5	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
15	2,2	1,8	1,4	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
20	2,8	2,5	1,9	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	
25	2,9	2,8	2,4	1,7	1,4	1,2	1,1	1,1	1,0	
30	3,0	2,7	2,0	1,7	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	
35	3,1	2,9	2,4	1,9	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1	
40	3,1	3,0	2,6	2,2	1,9	1,6	1,4	1,2	1,1	
50	2,9	2,9	2,7	2,5	2,2	1,9	1,6	1,4	1,2	

Fattore di Amplificazione **SA2** ($0,4s \leq T \leq 0,8s$)

$V_{SH} \text{ (m/s)} \rightarrow$ $H \text{ (m)} \downarrow$	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,5	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
10	2,1	2,0	1,6	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	
15	2,4	2,3	2,1	1,7	1,4	1,3	1,1	1,0	1,0	
20	2,4	2,4	2,3	2,0	1,7	1,5	1,3	1,2	1,1	
25	2,4	2,4	2,4	2,2	1,9	1,7	1,5	1,3	1,2	
30	2,4	2,4	2,3	2,1	1,8	1,6	1,5	1,3	1,1	
35	2,3	2,3	2,3	2,2	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2	
40	2,2	2,2	2,2	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2	
50	2,1	2,1	2,1	2,1	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3	

Fattore di Amplificazione **SI1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$)

$V_{SH} \text{ (m/s)} \rightarrow$ $H \text{ (m)} \downarrow$	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
10	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
15	1,6	1,4	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
20	2,6	1,9	1,5	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	
25	2,9	2,5	1,9	1,4	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	
30	2,9	2,3	1,6	1,4	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	
35	3,2	2,8	1,9	1,5	1,4	1,2	1,1	1,1	1,0	
40	3,4	3,1	2,4	1,8	1,5	1,4	1,2	1,1	1,0	
50	3,2	3,2	2,9	2,2	1,9	1,6	1,4	1,3	1,1	

Fattore di Amplificazione **SI2** ($0,5s \leq T \leq 1,0s$)

c)

b)

c)

Figura 18 - Abachi definiti dalla Regione Emilia Romagna per il calcolo dei Fattori di Amplificazione al II livello di analisi di Microzonazione Sismica: Substrato marino non rigido affiorante/semiaffiorante (a); Appennino - coperture su substrato non rigido (b); Appennino - coperture su substrato rigido (c).

Quindi gli elaborati finali sono stati realizzati accoppiando aree con valori di FA simili, come riportato negli standard di rappresentazione e archiviazione informatica 4.2 in allegato alle linee guida per la Microzonazione Sismica. In Figura 19 vengono mostrate le classi di colore assegnate per ciascun range di amplificazione ottenuto.

Per ciascuna microzona, tramite specifiche etichette sovrimposte a livello grafico, è stato altresì riportato il relativo valore numerico del Fa ottenuto sia per le zone stabili che di attenzione per instabilità, nonostante possano essere caratterizzate da complessi fenomeni di amplificazione sismica e, spesso, da significative deformazioni e condizioni di comportamento non lineare, per cui è opportuno svolgere approfondite verifiche tramite specifici approfondimenti di III Livello.

In linea generale nelle aree collinari/di versante, data la profondità del bedrock e la natura/rigidezza dei depositi superficiali, i fattori di amplificazione (sia in accelerazione che in velocità) tendono a risultare maggiormente correlati tra loro, nei range spettrali di media-alta frequenza (PGA, 0.1-0.5s, 0.5-1.0s, 0.7-1.1s) e, in corrispondenza delle rupi calcaree e degli ammassi rocciosi, generalmente caratterizzati maggior rigidezza sismica, si evidenzia altresì una sensibile riduzione dei parametri amplificativi.

In Figura 20 a titolo esemplificativo si riporta uno stralcio della carta di MS per periodi dello spettro di risposta in velocità (Housner) tra 0.1-0.5 s (Fa_SI1)











Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (classe del parametro di amplificazione). ¹⁴	
	1.1 - 1.2
	1.3 - 1.4
	1.5 - 1.6
	1.7 - 1.8
	1.9 - 2.0
	2.1 - 2.2
	2.3 - 2.4
	2.5 - 3.0
	3.1 - 3.5
	>3.5

Figura 19 - Classi di colore riferite ai Fattori di Amplificazione (Standard di rappresentazione e archiviazione informatica. MS. Versione 4.2)

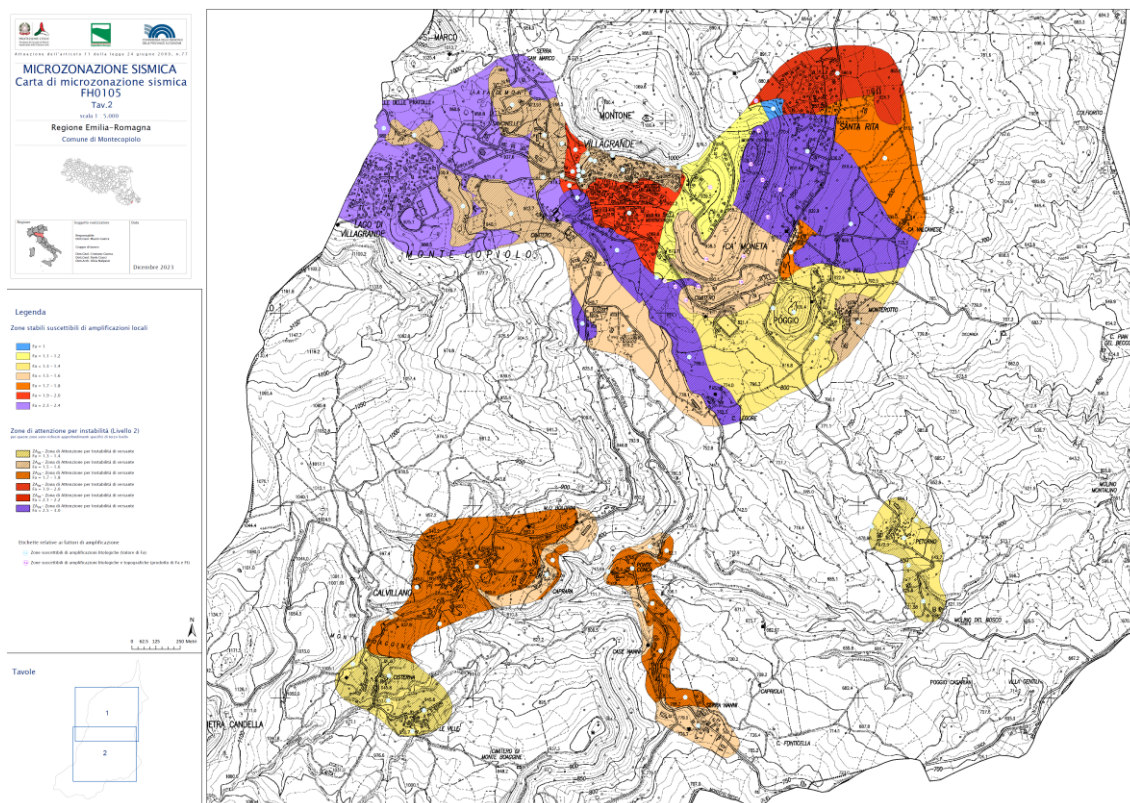
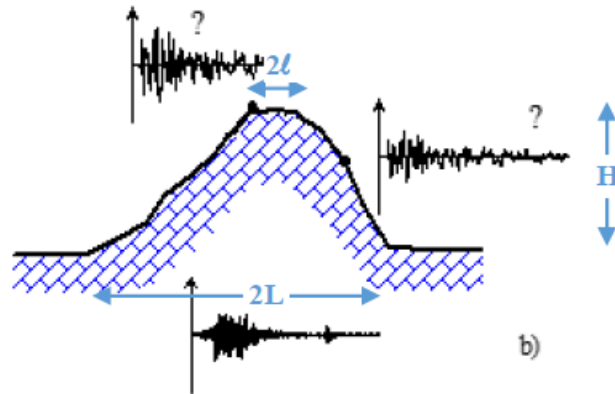


Figura 20 - Miniatura della carta di MS per periodi dello spettro di risposta in velocità (Housner) tra 0.1-0.5 s (Fa_SI1).

8.9 Effetti Morfologici – Amplificazione Topografica.

La procedura che segue, serve per stimare, in prima approssimazione, l'amplificazione topografica per pendii e rilievi in funzione della loro configurazione geometrica.



Considerata quindi la presenza di conformazioni morfologiche potenzialmente comportanti fenomeni di amplificazione di tipo topografico, una stima di tali fattori di amplificazione attesi è stata desunta dall'applicazione degli approcci semplificati indicati nelle ICMS 2008 per scarpate rocciose e versanti con conformazione a cresta (paragrafo 3.3, pag. 158-160, Volume 3).

Tale scelta è stata assunta a seguito di una verifica preliminare, confrontando i risultati anche con il metodo semplificato proposto al Par. A2.2 nella Del. G.R. 630/2019 R.E.R. Tuttavia poiché i risultati risultavano sostanzialmente confrontabili, in virtù della specifica conformazione morfologica dei rilievi locali e delle creste (frequentemente arrotondate) su cui sorgono i centri abitati principali si è optato per il metodo ICMS2008 in quanto ritenuto maggiormente rappresentativo per gli assetti locali.

Caso per caso, dall'analisi delle varie configurazioni morfologiche individuate lungo specifiche sezioni topografiche rappresentative, si sono applicate le formulazioni semplificate per creste e scarpate rocciose di cui al par. 3.3.1 e 3.3.2 ICMS 2008 (vedi figura 21-22) e di cui, di seguito, si riportano anche i relativi abachi (tabella 1-2):

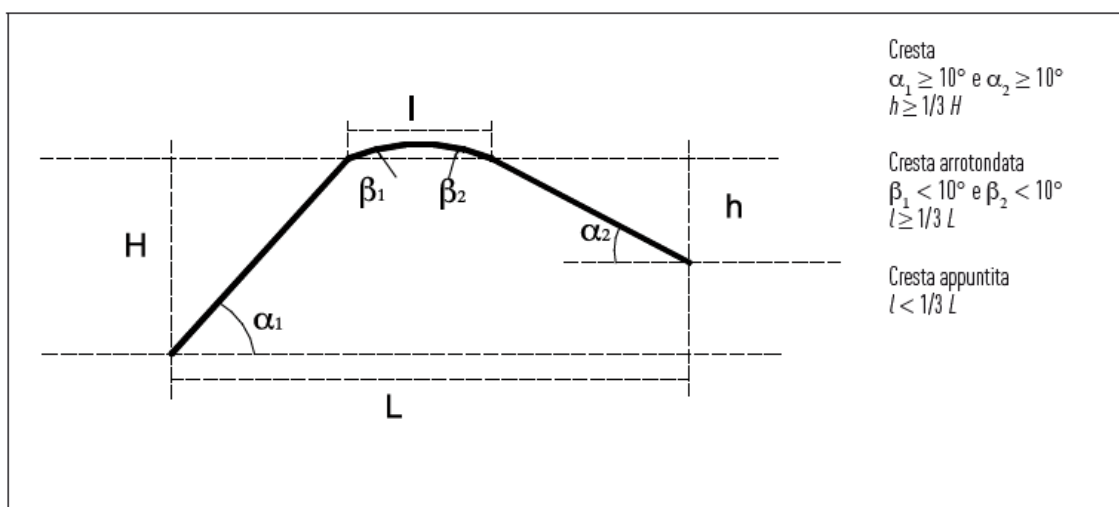


Figura 21 – Schema di riferimento per la cresta e criteri di riconoscimento (ICMS2008)

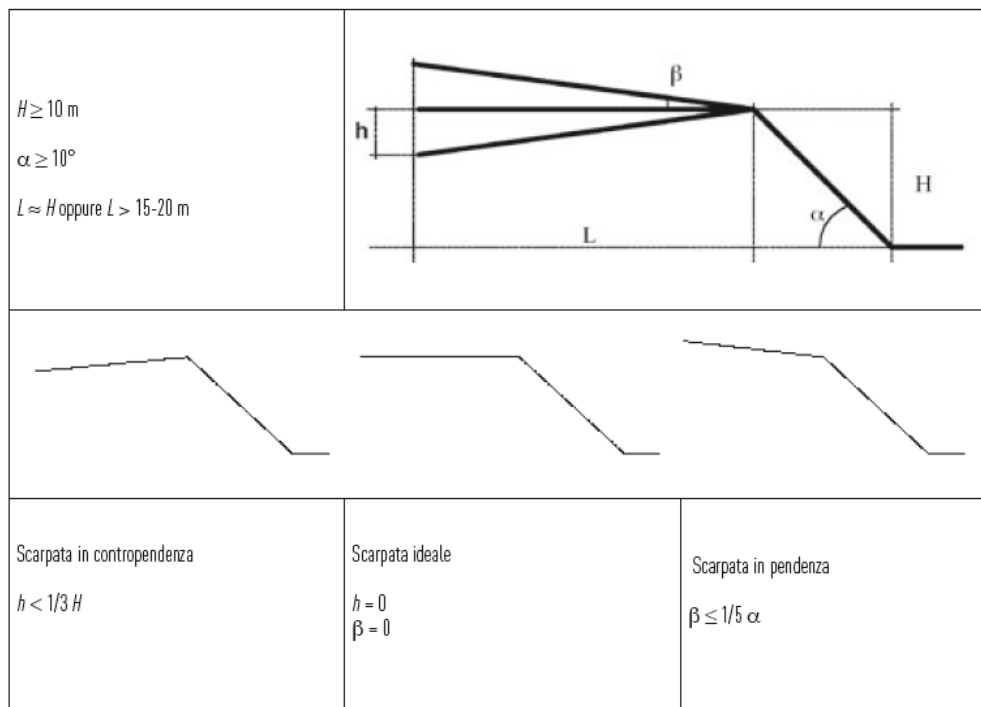
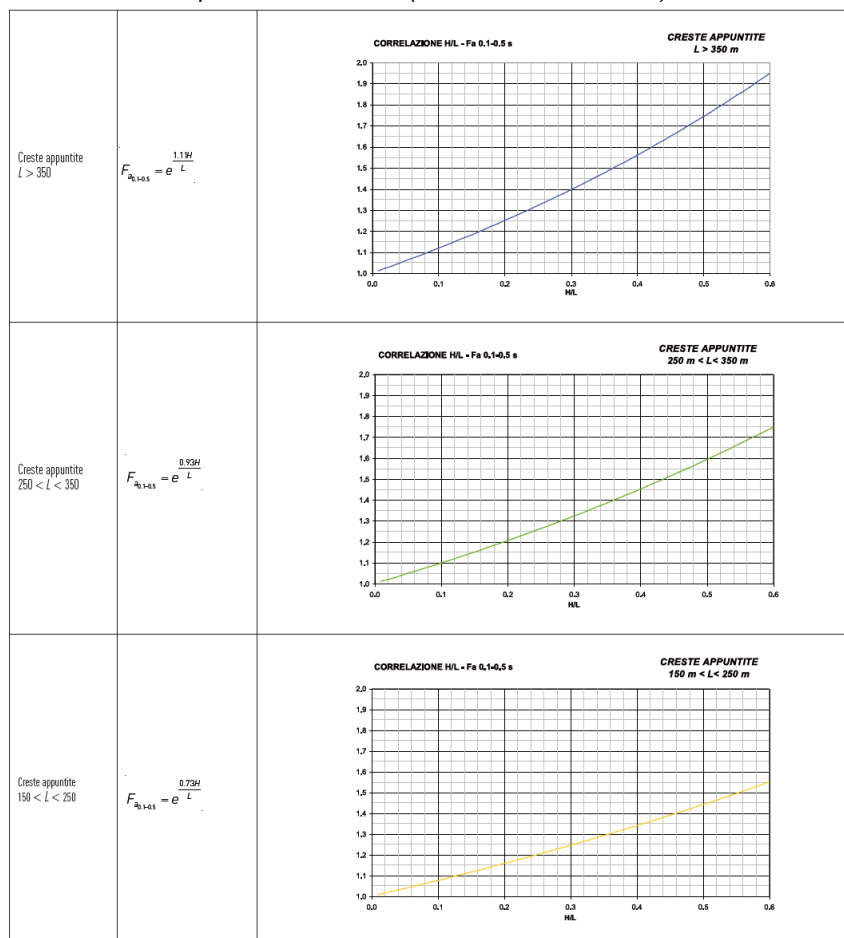


Figura 22 – Schemi di riferimento per la scarpata e criteri di riconoscimento (ICMS2008)

Tabella 1– Abaco per creste rocciose (Tab. 3.3-1 - ICMS2008)



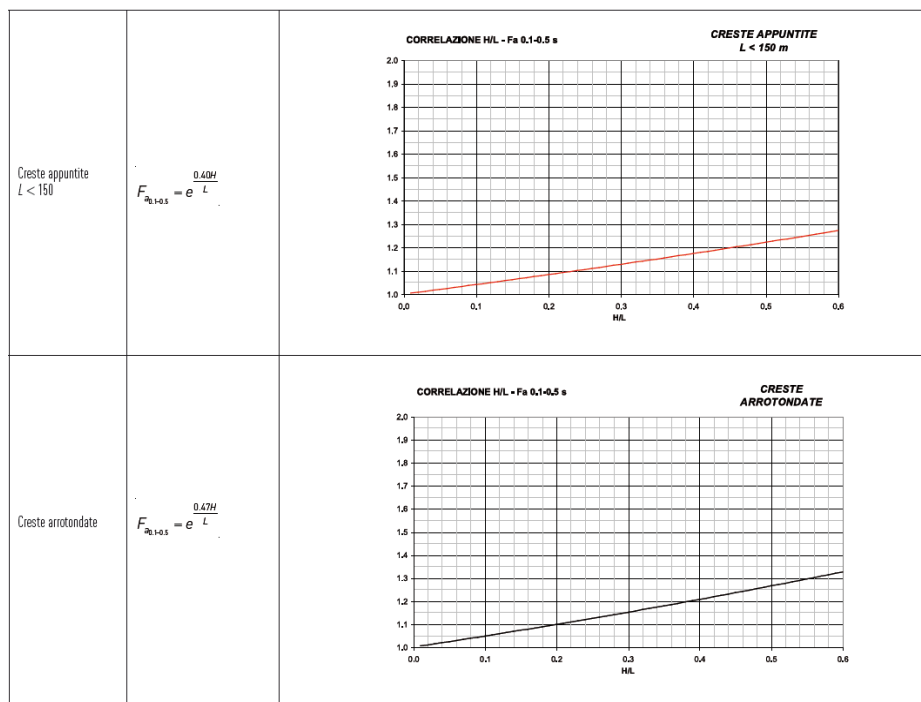


Tabella 2 – Abaco per scarpate rocciose (Tab. 3.3-2 - ICMS2008)

Classe altimetrica	Classe di inclinazione	Valore di F_1	Area di influenza
$10 \text{ m} \leq H \leq 20 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	1.1	$A_i = H$
$20 \text{ m} < H \leq 40 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	1.2	$A_i = \frac{3}{4} H$
$H > 40 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$	1.1	$A_i = \frac{3}{4} H$
	$20^\circ < \alpha \leq 40^\circ$	1.2	
	$40^\circ < \alpha \leq 60^\circ$	1.3	
	$60^\circ < \alpha \leq 70^\circ$	1.2	
	$\alpha > 70^\circ$	1.1	

Tali abachi sono utilizzabili per il calcolo di fattori di amplificazione (F_a) per le creste rocciose (bedrock sismico affiorante) caratterizzate da pendii con inclinazione media maggiore o uguale ai 10° (Figura 21 - Tabella 1) e per scarpate rocciose caratterizzate da fronti di altezza (H) uguale o superiore a 10 m e inclinazione (α) del fronte principale uguale o superiore ai 10° (Figura 22 - Tabella 2).

In funzione della tipologia di cresta (appuntita o arrotondata) e della larghezza alla base del rilievo, solo per le creste appuntite, si sceglie la curva più appropriata per la valutazione del valore di F_a in base al valore del coefficiente di forma H/L (Tabella 1).

Il valore di F_a determinato è stato approssimato alla prima cifra decimale (indicazioni ICMS 2008) ed assegnato all'area corrispondente alla larghezza in cresta, mentre lungo i versanti tale valore è stato scalato in modo lineare fino al valore unitario alla base di ciascun versante e, in ogni caso, stimando il F_a sino al margine della microzona in studio (ove questo risulti di estensione minore).

In modo analogo gli ICMS riportano (Tabella 2) il valore di F_a per ciascuna classe altimetrica (H) e classe di inclinazione (α) delle scarpate (Pergalani e Compagnoni, 2006b).

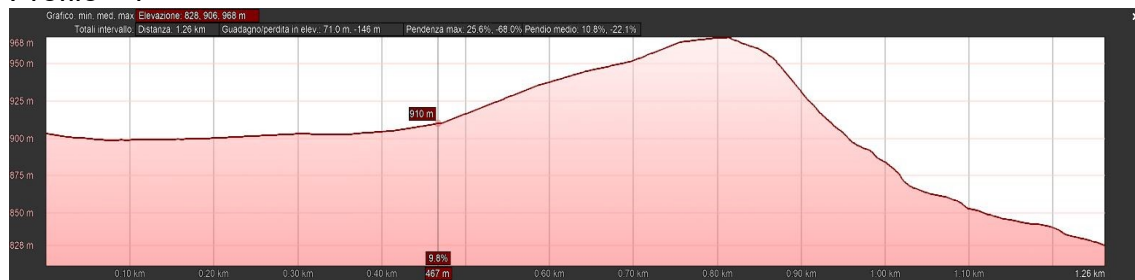
Un valore di F_a caratteristico è assegnato a ogni tipologia di scarpata potendo individuare anche l'estensione della relativa area di influenza (A_i) in funzione dell'altezza del pendio.

Di seguito (Figura 23) si riportano schematicamente i profili analizzati completi delle caratteristiche geometriche rappresentative. Tali profili sono stati individuati sulla base di caratteri geomorfologici ritenuti rilevanti ai fini di una potenziale amplificazione sismica.

PROFILI PER LA STIMA DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA

MONTECOPIOLO

Profilo - 1



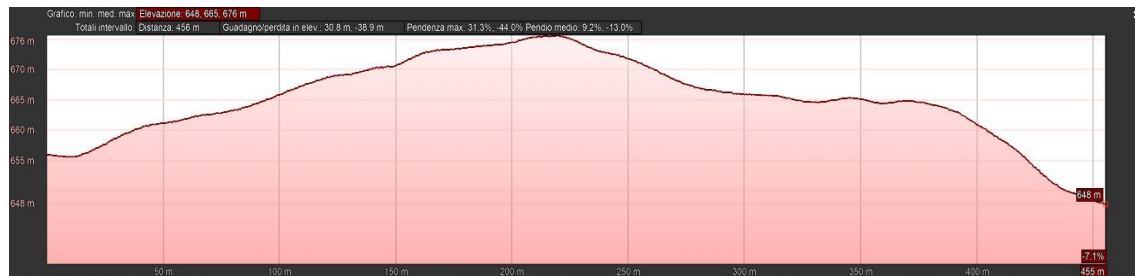
Profilo - 2



Profilo - 3



Profilo - 4



Profilo - 5



Profilo - 6

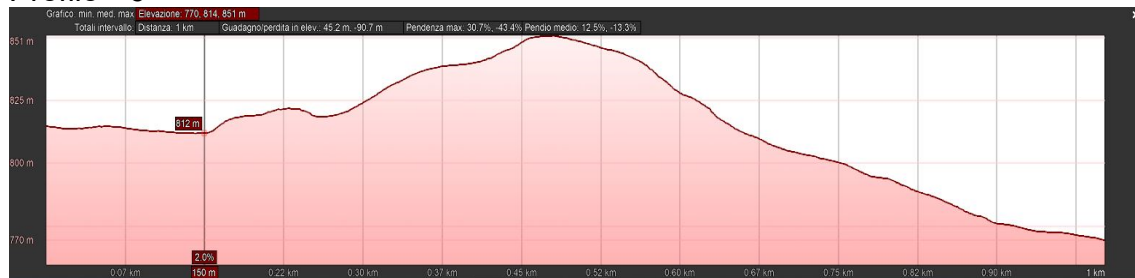


Figura 23 – Sezioni topografiche rappresentative per l'analisi dei fattori di amplificazione topografica

Tabella 3 – Fattori di amplificazione topografica per il periodo 0.1-0.5 s

TABELLA DI SINTESI					
Sezione	tipo	H	L	Ft 0.1-0.5	SCA=
Profilo - 1	CAR	140	780	1.1	Scarpata
Profilo - 2	CAR	70	950	1	CAR= Cresta arrotondata
Profilo - 3	SCA	210	1350	1	CAP= Cresta appuntita (L>350 m)
Profilo - 4	CAR	16	440	1	
Profilo - 5	SCA	56	310	1.1	
Profilo - 6	CAR	81	850	1	

In funzione delle pendenze rilevate e delle conformazioni dei versanti, sono stati complessivamente analizzati 6 profili ritenuti potenzialmente amplificanti e sui quali è stato calcolato l'effetto della topografia (situazione di cresta o versante). Considerati l'estensione (L) e dislivelli (H) delle sezioni rilevate, in relazione all'estensione delle microzone ed alle indicazioni ICMS, si sono individuate le zone di massima amplificazione in sommità delle aree studiate ed i valori scalati all'interno di ciascuna microzona.

In ogni caso i valori rilevati, in virtù delle conformazioni morfologiche, risultano non eccedere mai la soglia massima di 1.1. Taluni rilievi/versanti minori sono stati esclusi dalla stima del fattore di amplificazione topografico in quanto di altezza minore di 30 mt rispetto alle aree circostanti di fondovalle e/o con pendenze medie minori di 10°.

Come desumibile dalle linee guida ICMS, i fattori topografici semplificati sono generalmente elaborati ed indicati per condizioni lineari elastiche e/o comunque di modesta non linearità; pertanto tali fattori andranno ulteriormente valutati puntualmente per le coperture instabili in quanto, in condizioni sismiche, risultano potenzialmente affette da fenomeni di marcata non linearità e/o spostamenti sensibili, in grado di alterarne le modalità amplificazione sismica attesa, generalmente tali da richiedere uno specifico approfondimento di indagine di III livello.

Allo scopo di rappresentare cartograficamente le informazioni relative al fattore di amplificazione, per ciascuna microzona, in aggiunta alla gradazione di colore, è stato riportato il valore numerico ottenuto tramite specifiche etichette

sovrimposte; in queste ultime l'etichetta e relativo colore evidenzia se trattasi di sola amplificazione per effetto stratigrafico (S) o effetto congiunto di stratigrafia e fattore topografico (SxT).

Questa modalità di rappresentazione consente di mantenere una buona leggibilità del supporto cartografico, indicando inoltre in quale fascia di territorio è possibile stimare il fattore di amplificazione complessivo (moltiplicando F_{strat} x F_t) in funzione delle locali condizioni topografiche, riportandone altresì il valore finale atteso.

8.10 Carta del parametro di scuotimento sismico assoluto " H_{SM} ".

Per rappresentare in maniera assoluta e più realistica la pericolosità sismica del territorio, tenendo conto sia della pericolosità di base sia degli effetti di sito, la DGR 630/2019 e s.m.i. richiede altresì una carta della distribuzione sul territorio dei valori di intensità sismica H_{SM} (Naso et al., 2019), parametro che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dall'integrale dello spettro in accelerazione calcolato nell'intervallo di periodi $0,1\text{s} \leq T \leq 0,5\text{s}$ e diviso per ΔT , cioè per $0,4\text{s}$. In assenza di analisi RSL, il parametro H_{SM} può essere calcolato come prodotto del parametro di intensità spettrale ASl_{UHS} (Acceleration Spectrum Intensity), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato per l'intervallo di periodi $0,1\text{s} \leq T \leq 0,5\text{s}$, diviso per ΔT (in questo caso pari a $0,4\text{s}$) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione (FA) calcolato per lo stesso intervallo di periodi:

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

I valori di riferimento $ASl_{\text{UHS}}/\Delta T$, calcolati per ogni punto della griglia INGV, sono riportati nel file all_4_coord.kmz sviluppato a cura del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna, adottando di volta in volta quelli del nodo più vicino.

Tale parametro consente una rappresentazione assoluta della pericolosità sismica del territorio, la zonazione del territorio in termini di H_{SM} permette di stabilire una reale graduatoria di pericolosità tra le varie zone omogenee ed è quindi un elemento conoscitivo fondamentale per una più realistica valutazione del rischio sismico; in particolare l'intervallo di periodi compreso tra $0,1\text{ s}$ e $0,5\text{ s}$, risulta di grande interesse per il governo del territorio e per la pianificazione urbanistica, in quanto è noto da vari studi che i periodi propri della maggior parte degli edifici dei centri storici, e dei centri abitati in generale, sono compresi in questo intervallo e, pertanto, consente anche eventuali valutazioni preliminari sul danneggiamento potenziale atteso.

Al proposito Naso et al., 2019 propongono una discretizzazione secondo classi di valori di H_{SM} in relazione all'intensità macrosismica e danneggiamento potenziale attesi (vedi Tabella 4).

Tabella 4 – Ipotesi di classi di intensità H_{SM} in relazione ad altri fenomeni fisici (Naso et al., 2019 modificato)

Seismic hazard	low-very / low	moderate / low	moderate	high	very high
H_{SM} (g)	≤ 0.183	$0.183 < H_{\text{SM}} \leq 0.347$	$0.347 < H_{\text{SM}} \leq 0.663$	$0.663 < H_{\text{SM}} \leq 1.264$	> 1.264
Potential damage	none - very	very light - moderate	moderate - heavy	heavy	very heavy
Instrumental intensity	$\leq \text{VI}$	VII	VIII	IX	$\geq \text{X}$

Secondo gli autori infatti tale relazione empirica, correlata alla PGA ed ai fattori di amplificazione, risulta congrua con i risultati ed altri parametri sismici adottati per la classificazione sismica del territorio (Gomez Capera et al. 2007, 2015 - Faenza e Michellini, 2010 - Bramerini e Di Pasquale, 2002).

Nella rappresentazione cartografica si sono adottate le classi di pericolosità e relativa vestizione indicate dalla Regione Emilia Romagna in conformità alle recenti “Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da amplificazioni” – versione 2.0 (2022). In tabella 5 si riportano le classi di H_{SM} di riferimento:

Tabella 5 – Classificazione di HSM per i 3 intervalli di periodo spettrale (LG “Amplificazioni”–versione 2.0, 2022).

Intervalli di periodo	Classificazione $H_{SM}[g]$			
	Basso (ZS_{4SM})	Medio (ZS_{3SM})	Alto (ZS_{2SM})	Molto alto (ZS_{1SM})
$T1_{(0.1-0.5)}$	≤ 0.21	0.22-0.54	0.55-0.85	≥ 0.86
$T2_{(0.4-0.8)}$	≤ 0.14	0.15-0.34	0.35-0.55	≥ 0.56
$T3_{(0.7-1.1)}$	≤ 0.09	0.10-0.22	0.23-0.35	≥ 0.36

Di seguito si riporta uno stralcio esemplificativo della tavola relativa al parametro di scuotimento assoluto H_{SM} (figura 24), alla quale si potrà fare riferimento per un maggior dettaglio.

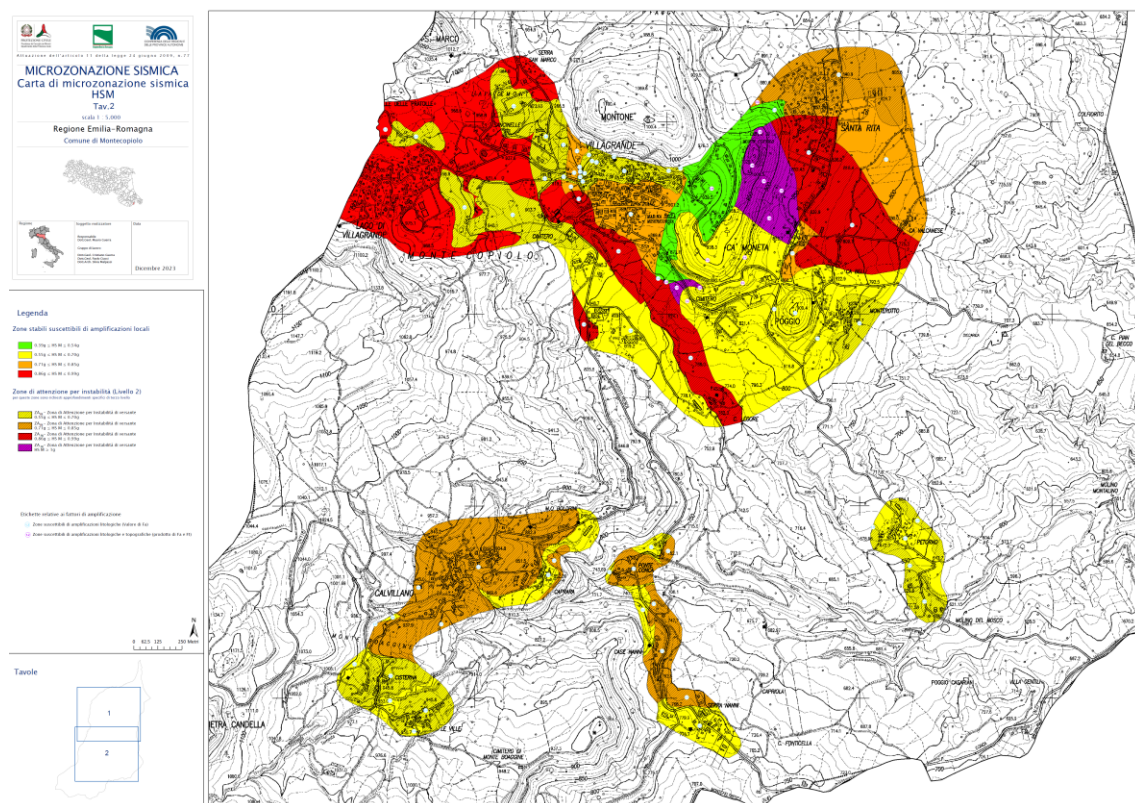


Figura 24 – Miniatura esemplificativa della carta di scuotimento assoluto HSM.

9. Confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati

Come già ampiamente trattato nel precedente capitolo 2, le informazioni relative agli eventi sismici storici di riferimento specificamente per il territorio comunale, sono desumibili prioritariamente dall'analisi del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), il quale fornisce dati parametrici omogenei, sia macrosismici, sia strumentali, relativi ai terremoti con intensità massima > 5 o magnitudo > 4.0 di interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2020 e che si riferisce al DataBase Macrosismico Italiano 2015 (DBMI15) vers. 4.0. La consultazione per località di tale catalogo, disponibile liberamente all'indirizzo <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15>, ha quindi fornito i risultati mostrati nel Capitolo 2.

A completezza dell'argomentazione si è consultato il Catalogo CFTI5MED (CFTI5Med, Catalogo dei Forti Terremoti in Italia (461 a.C.-1997) e nell'area Mediterranea (760 a.C.-1500) - INGV) con le osservazioni macrosismiche e informazioni disponibili circa le manifestazioni e risentimenti occorsi in occasione dei maggiori terremoti storici presso le località in studio. Chiaramente nelle aree rurali, al di fuori dei principali nuclei storici, la documentazione riguardo ai sismi più antichi risulta carente ed incompleta sia a livello spaziale che di contenuti informativi, non consentendo una chiara distinzione e quantificazione delle aree a differente comportamento di risposta sismica locale; ciò anche in virtù sia delle diverse tipologie edificatorie oggetto di segnalazione che dello stato di conservazione del patrimonio edilizio riferibili alle singole cronache storiche. In tali aree rurali risultano sostanzialmente carenti anche le informazioni sull'ambiente naturale (es. frane, crolli, liquefazioni, fenomeni geologici-idrogeologici particolari, ecc.) rinvenibili invece talora in aree contigue (es. Gaiano, Santa Maria del Piano, San Marino o riminese).

Ne consegue che per tutti i terremoti storici si abbiano scarsissime informazioni circa gli effetti determinati nelle aree in studio. A titolo esemplificativo in figura 25, 26 e 27 si riportano gli stralci delle mappe di risentimento macrosismico del catalogo CFTI5med relativi ai terremoti del 1672 (Riminese), 1781 (Appennino Marchigiano) e 1916 (Riminese - evento di agosto), in quanto il primo presenta la zona epicentrale maggiormente prossima alle aree in studio mentre il secondo e terzo, più recenti, risultano meglio descritti e ricchi di informazioni.

In particolare per le zone in studio le cronache non riportano informazioni dirette alla località studiata sebbene in quelle limitrofe (es. Carpegna) riportano danneggiamenti mai particolarmente severi, eccetto Pennabilli in cui nel 1781 venivano rilevati "notevoli danni alle abitazioni anche nel contado".

Gli epicentri risultano congruenti con i diagrammi di disaggregazione proposti da INGV – Progetto S1 relativi ai nodi di riferimento per il comune in oggetto. Inoltre nelle valutazioni generali ed a supporto di sopradescritto si deve tener conto del fatto che l'areale in studio, coerentemente alle osservazioni macrosismiche storiche, non risulta direttamente interessato da strutture sismogenetiche (soprattutto quelle composite) individuate nel Catalogo DISS 3.3.0 (INGV) o da faglie attive e capaci identificate nel database ITHACA.

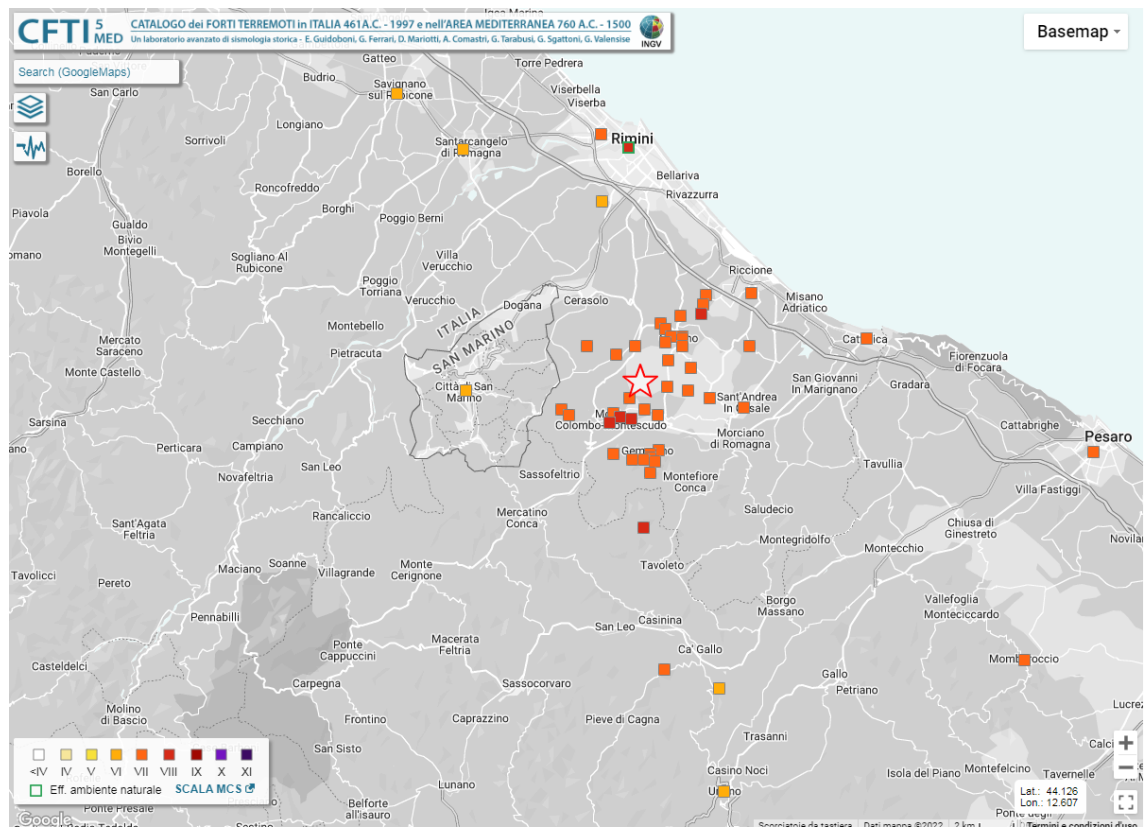


Figura 25 – Stralcio del Catalogo CFTI5MED con rappresentazione degli effetti macrosismici relativi al terremoto storico del riminese del 1672.

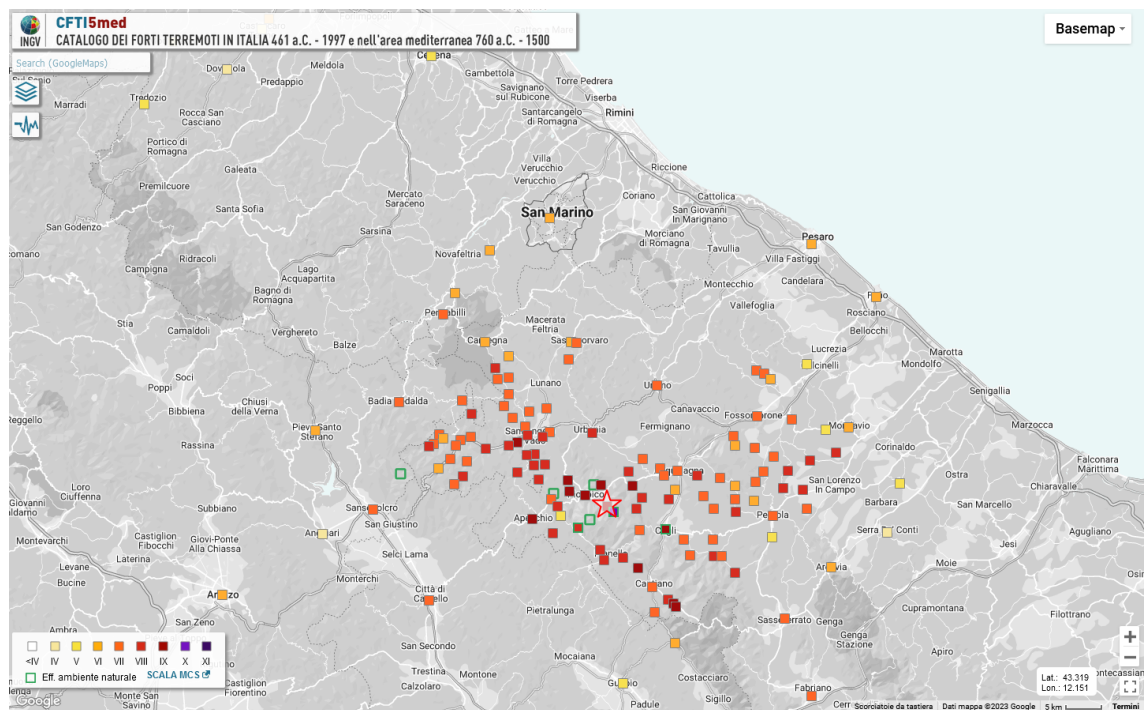


Figura 26 – Stralcio del Catalogo CFTI5MED con rappresentazione degli effetti macrosismici relativi al terremoto storico dell'Appennino Marchigiano del 1781 (evento di agosto).

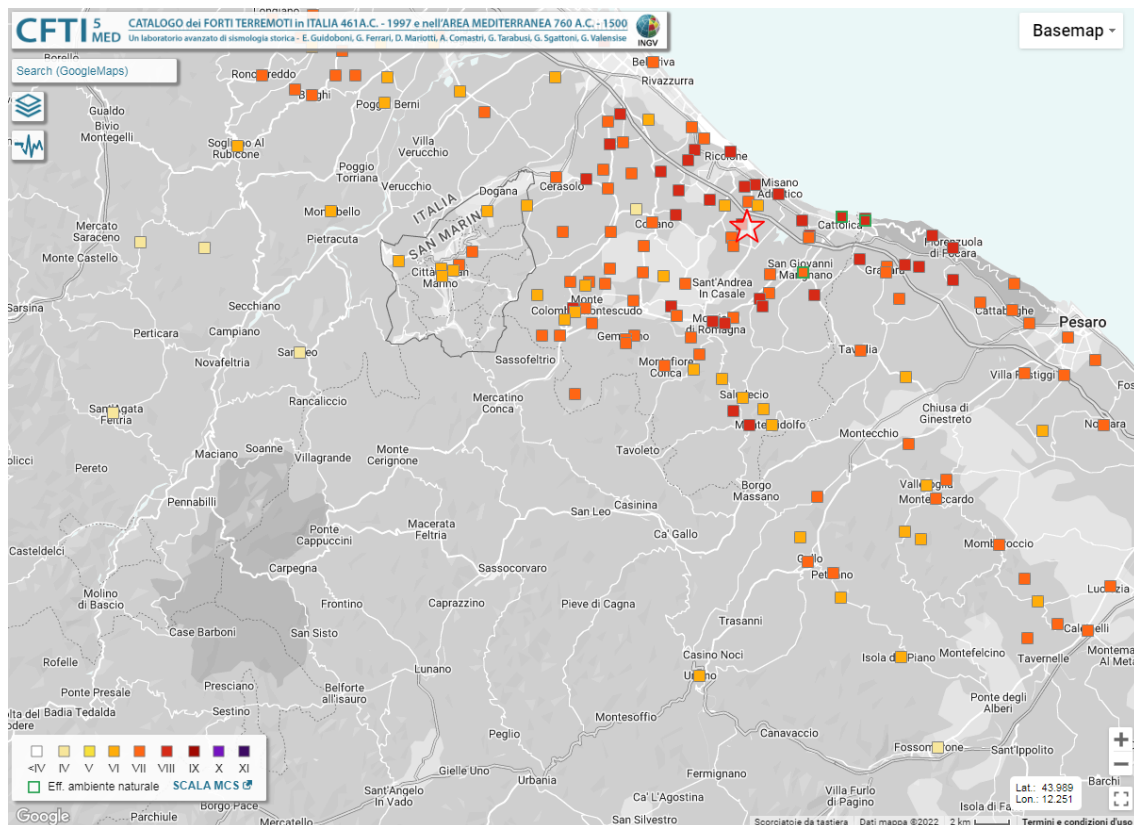


Figura 27 – Stralcio del Catalogo CFTI5MED con rappresentazione degli effetti macrosismici relativi al terremoto storico del riminese del 1916 (evento di agosto).

10. CONCLUSIONI

La microzonazione sismica effettuata sul territorio comunale, ha consentito di valutare la pericolosità sismica sia nelle aree urbane che in quelle di prevista urbanizzazione. Inoltre data anche l'abbondanza delle conoscenze litostratigrafiche e vista la estesa campagna geognostica/geofisica di riferimento, lo studio è stato esteso anche a porzioni del territorio rurale limitrofo.

Non sono state individuate zone stabili con assenza di effetti amplificativi. Pertanto sono presenti zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico, con effetto dell'assetto litostratigrafico e zone suscettibili di instabilità, nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti possono indurre deformazioni permanenti nel territorio e nel primo sottosuolo. In tal caso si tratta di zone soggette ad instabilità gravitativa. I rischi legati a fenomeni di instabilità per movimenti gravitativi (sia attivi che quiescenti) interessano talora alcuni abitati.

Per situazioni di zone stabili suscettibili di amplificazioni locali non sono previsti studi di approfondimento di III° livello. Diversamente nelle zone suscettibili di instabilità all'occorrenza sarà necessario eseguire studi di III° livello di approfondimento, non solo per una più accurata valutazione delle intensità sismiche attese, quanto per una più precisa stima del rischio per instabilità gravitativa. Tali approfondimenti andranno modulati anche in considerazione del grado di interferenza con le aree urbanizzate/urbanizzabili e/o l'eventuale presenza strutture/infrastrutture strategiche.

Dalla consultazione del database Ithaca, inoltre, non risultano presenti elementi tettonici attivi e capaci, certi e documentati, che possano determinare effetti superficiali nelle aree urbanizzate in studio.

Le analisi compiute nel territorio hanno permesso di escludere possibili fenomeni di liquefazione alla scala del rilevamento.

Alla stessa maniera non sono state riscontrate criticità riguardanti possibili cedimenti differenziali per strutture/fenomeni naturali nell'ambito del territorio analizzato.

Infine le carte di microzonazione sismica riportano i valori dei Fattori di Amplificazione (FA) individuati per tutto il territorio studiato ed a cui riferirsi anche per eventuali studi di approfondimento di III° livello e, comunque, di riferimento generale per tutte le valutazioni di carattere urbanistico.

In base alle condizioni stratigrafiche e topografiche locali ed ai relativi profili di Vs il moto sismico atteso è stato definito secondo specifici fattori di amplificazione della PGA (FA_PGA), dello spettro elastico in accelerazione, denominati Fa_SA1 - Fa_SA2 - Fa_SA3 (rispettivamente per intervalli compresi tra $0,1s \leq T \leq 0,5s$, $0,4s \leq T \leq 0,8s$, $0,7s \leq T \leq 1,1s$) e dell'intensità di Housner denominati Fa_SI1 - Fa_SI2 (intervalli compresi tra 0,1-0,5 s, 0,5-1,0 s) nonché in virtù delle condizioni topografiche e morfologiche all'occorrenza rilevate (fattore di amplificazione topografica FT).

Per una rappresentazione assoluta della pericolosità sismica del territorio si è definita anche una zonazione del territorio in termini di intensità sismica assoluta H_{SM} , al fine di consentire una reale graduatoria di pericolosità tra le varie zone omogenee ed una più diretta valutazione semi-quantitativa del rischio sismico.

Qualora si voglia procedere ad approfondimenti di particolare dettaglio attraverso analisi di risposta sismica locale (RSL), eseguite con criteri di innegabile scientificità e supportate da adeguate indagini geognostiche, geofisiche e di laboratorio, le risultanze ottenute saranno di grande utilità nel confronto con i dati ottenuti nelle carte di microzonazione e potranno essere utilizzate in sostituzione dei valori di FA ed FT previsti sul territorio oggetto di RSL nonché a supporto di approfondite analisi circa le aree a potenziale instabilità.

Tutte le analisi e verifiche sono state condotte in ottemperanza alla Delibera di G.R. 630/2019, come aggiornata dalla DGR 476/2021 e successiva integrazione DGR 564/2021 della Regione Emilia Romagna nonché alle indicazioni nazionali ICMS 2008, trattando i dati secondo gli standard di rappresentazione ed archiviazione 4.2.

11. BIBLIOGRAFIA

Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 CPTI15-DBMI 15, vers. 4.0

<https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>

Dipartimento della Protezione Civile, "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica", 2008

Regione Emilia Romagna, Del. G.R. 630/2019 "Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, LR 24/2017)"

Regione Emilia Romagna, Del. G.R. 476/2021 "Aggiornamento dell' Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, LR 24/2017) di cui alla deliberazione della giunta regionale 29 aprile 2019, n. 630"

Regione Emilia Romagna, Del. G.R. 564/2021 del 26/04/2021, INTEGRAZIONE DELLA PROPRIA DELIBERAZIONE N. 476 DEL 12 APRILE 2021 MEDIANTE APPROVAZIONE DELL'ALLEGATO A, "ATTO DI COORDINAMENTO TECNICO SUGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA PER LA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE E URBANISTICA (ARTT. 22 E 49, L.R. N. 24/2017)"

Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Antonucci A. (2021). Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 3.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/DBMI/DBMI15.3>

DISS (Database of Individual Seismogenic Sources) - vers. 3.3.0 <https://diss.ingv.it/diss330/dissmap.html>

EMIDIUS http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/ZONE/zone_sismo.html

INGV <http://zonesismiche.mi.ingv.it/documenti/App2.pdf>

ISIDE <http://iside.rm.ingv.it/iside/standard/index.jsp>

ITHACA (ITHACA Working Group (2019). ITHACA (ITaly HAZard from CApable faulting), A database of active capable faults of the Italian territory. Version December 2019. ISPRA Geological Survey of Italy. Web Portal <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/Mappatura.aspx>)

PROTEZIONE CIVILE <http://www.protezionecivile.gov.it>

Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G., Sgattoni G., Valensise G. (2018) - CFTI5Med, Catalogo dei Forti Terremoti in Italia (461 a.C.-1997) e nell'area Mediterranea (760 a.C.-1500). Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). doi: <https://doi.org/10.6092/ingv.it-cfti5>

Guidoboni E., Ferrari G., Tarabusi G., Sgattoni G., Comastri A., Mariotti D., Ciuccarelli C., Bianchi M.G., Valensise G. (2019), CFTI5Med, the new release of the catalogue of strong earthquakes in Italy and in the Mediterranean area, Scientific Data 6, Article number: 80 (2019). doi: <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0091-9>

Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000, Foglio 108 - 109

Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000, Foglio 266-Mercato Saraceno / Foglio 267-San Marino (2010) - Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna. S.EL .CA ., Firenze

Microzonazione sismica di I-II Livello e CLE – Comune di Montecopiolo, 2021



PROTEZIONE CIVILE
Ministero del Interno
Dipartimento della Protezione Civile



REGIONE EMILIA-ROMANA



CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME

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

MICROZONAZIONE SISMICA

Sezioni Litotecniche

Scala 1:2000

Regione Emilia-Romagna

Comune di Montecopiolo



Regione

Soggetto realizzatore

Responsabile:
Dott.Geol. Mauro Guerra

Gruppo di lavoro:
Dott.Geol. Cristiano Guerra
Dott.Geol. Paolo Ciacci
Dott.Arch. Silvia Malpassi

Data

Dicembre 2023

Legenda

Terreni di copertura

ML

Limiti inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità

CM

Chiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo

Substrato geologico

SF16

Substrato geologico lapideo fratturato o alterato
Formazione di San Marino (SMR) costituita da calcari organogeni di colore grigio-biancastro, in banchi spesso più di un metro, che passano a localmente di colore grigio-giallastro ed arenarie di colore giallastro-cremoso (Bordighiano).

SF15

Substrato geologico lapideo stratificato fratturato o alterato.
Formazione di Monte Morello (ML) costituita da un'ampia varietà di litologie, che va da calcari biancastri con sabbie nere in livelli sottili, ad arenarie torbiditiche limose, calcari massosi giallastri e grigi e marne ed argille grigio-azzurre (Eocene inferiore - medio).

SF14

Substrato geologico costituito da alternanza di litologie, stratificato fratturato o alterato.
Formazione di Sillano (SL) costituita da alternanze di strati di spessore variabile da decimetrico a metrico di peliti grigie e calcari grigio-verdastri (Cretaceo superiore - Eocene inferiore).

SFCO

Substrato geologico coesivo sovracomodulato fratturato o alterato.
Formazione delle Argille Varicolori della Val Marecchia (AVR) costituita da argille in scaglie di dimensioni millimetriche e centimetriche, con presenza di blocchi necrosi di varie dimensioni e natura (calcarei, calcari massosi, marne e arenarie). Il colore predominante della formazione è il grigio, con frequenti variazioni di tonalità, fino al rosso mattone (Cretaceo - Eocene inferiore).

SEZIONE 1: VILLAGRANDE

Scala 1:2.000

SEZIONE 2: PUGLIANO

Scala 1:2.000

SEZIONE 3: CALVILLANO

Scala 1:2.000