



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



Regione Emilia-Romagna



CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME

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

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa

Regione Emilia-Romagna Comune di Sassofeltrio



Regione	Soggetto realizzatore	Data
	Responsabile: Dott.Geol. Paolo Ciacci Gruppo di lavoro: Dott.Arch. Silvia Malpassi Dott.Geol. Alessandro Merli	Novembre 2022

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	10
3.1 GEOLOGIA.....	10
3.2 GEOMORFOLOGIA.....	14
4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI	15
4.1 Dati Geotecnici.....	15
5. MODELLO DI SOTTOSUOLO	16
5.1. Andamento delle Vs nel sottosuolo.....	16
6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE	16
7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI	17
8. ELABORATI CARTOGRAFICI	18
8.1 Premessa.....	18
8.2 Carta delle Indagini.....	18
8.3 Carta Geologico-Tecnica.....	19
8.4 Carta delle Frequenze Naturali del Terreno.....	20
8.5 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (M.O.P.S.).....	23
8.6 Microzonazione Sismica di Livello 2.....	27
8.7 Carta delle velocità delle onde di taglio "Vs".....	27
8.8 Carte dei Fattori di Amplificazione.....	28
8.9 Effetti Morfologici – Amplificazione Topografica.....	32
8.10 Carta del parametro di scuotimento sismico assoluto "H _{SM} ".....	37
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)

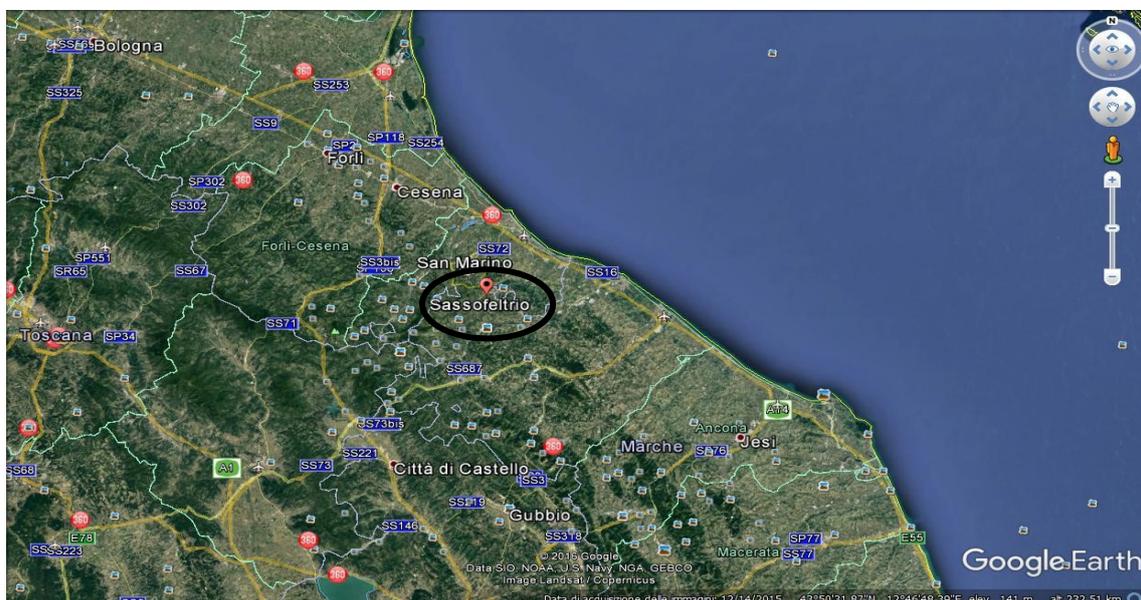
1. PREMESSA.

Su incarico ricevuto dall'Amministrazione Comunale di Sassofeltrio (PU), 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 532/2018 e già approvato e collaudato dalla Commissione Tecnica Nazionale (nota del 20/02/2021), 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 micro zonazione sismica e analisi della condizione limite per l'emergenza" e dalla Det. Dirigenziale n. 1899 del 03/02/2022, di assegnazione del contributo concesso.

La normativa tecnica di riferimento attuale, in materia di microzonazione sismica, 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 stata inoltre condotta 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 Sassofeltrio (RN) ha un'estensione complessiva di circa 30 kmq e si sviluppa geograficamente sulle prime propaggini collinari prospicienti la costa romagnola, lungo la valle del Torrente Conca. È delimitato a Sud-Est dal Torrente Conca e dal territorio comunale di Mercatino Conca (PU), ad Est dal territorio comunale di Gemmano (RN), a Nord-Est dal territorio comunale di Montescudo (RN), a Nord-Ovest dalla Repubblica di San Marino (RSM) e ad Ovest dal territorio comunale di Monte Grimano Terme (PU).



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 efficacemente rappresentate all'interno del database delle sorgenti sismogenetiche individuali (DISS) dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia INGV (<http://diss.rm.ingv.it/dissNet/>; Fig. 2).

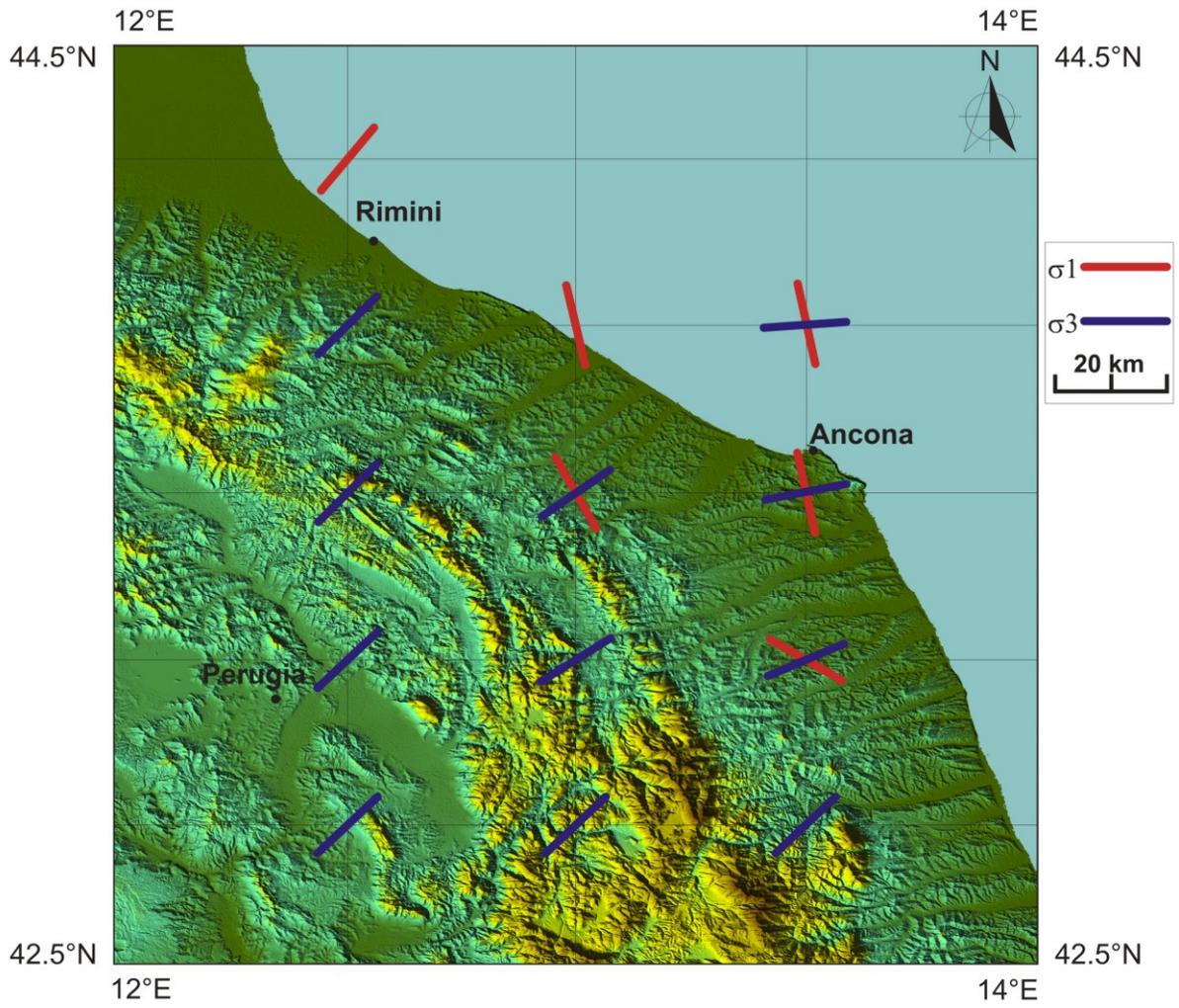


Fig. 1. Proiezione in mappa degli assi di massima compressione (σ_1) e minima compressione (σ_3) per l'area umbro-marchigiano-romagnola (da Macchiavelli et alii, 2012).

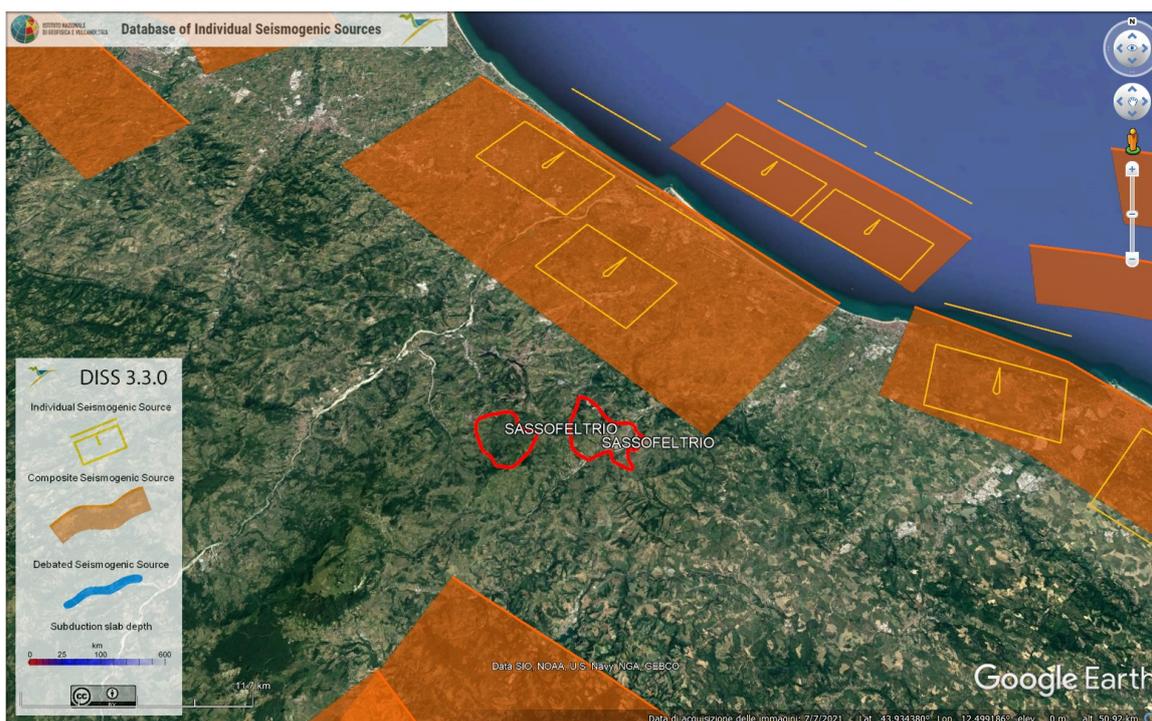
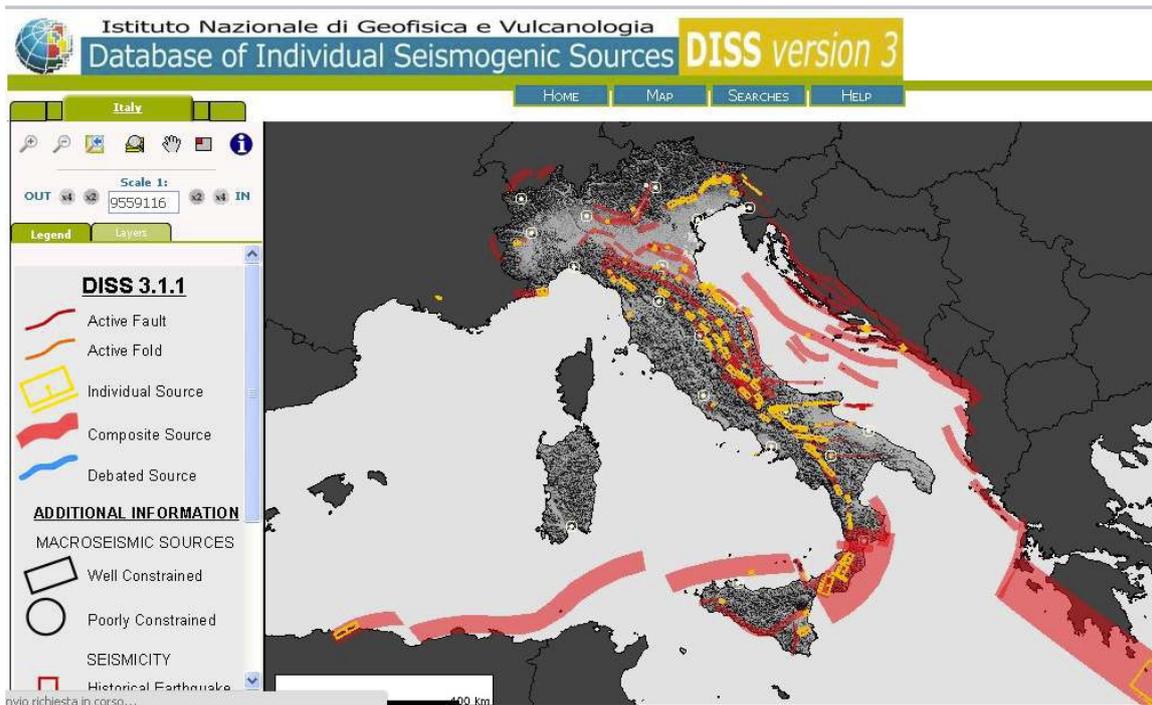


Fig. 2. Immagini tratte dal database delle sorgenti sismogenetiche individuali (DISS) dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia INGV (<http://diss.rm.ingv.it/dissNet/>).

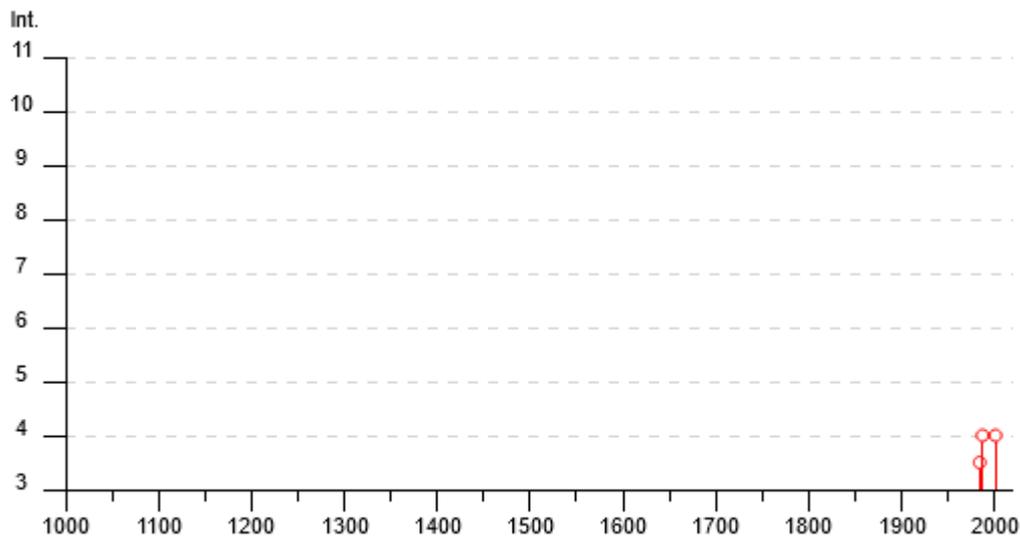
Sulla base del database delle sorgenti sismogenetiche individuali (DISS), risulta evidente come la costa adriatica nord-marchigiana sia caratterizzata da un'elevata densità di faglie attive e sorgenti sismogenetiche.

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).

2.2 Pericolosità sismica di base.

Sulla base del Data Base Macrosismico Italiano (Stucchi *et al.*, 2007), si riporta la storia sismica del Comune di Sassofeltrio.

Effects	Reported earthquakes									
Int.	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
3-4	📅 1984	04	29	05	02	5	Umbria settentrionale	709	7	5.62
4	📅 1987	07	05	13	12	3	Montefeltro	90	6	4.44
NF	📅 1993	06	05	19	16	1	Valle del Topino	326	6	4.72
4	📅 2001	11	26	00	56	5	Casentino	211	5-6	4.63



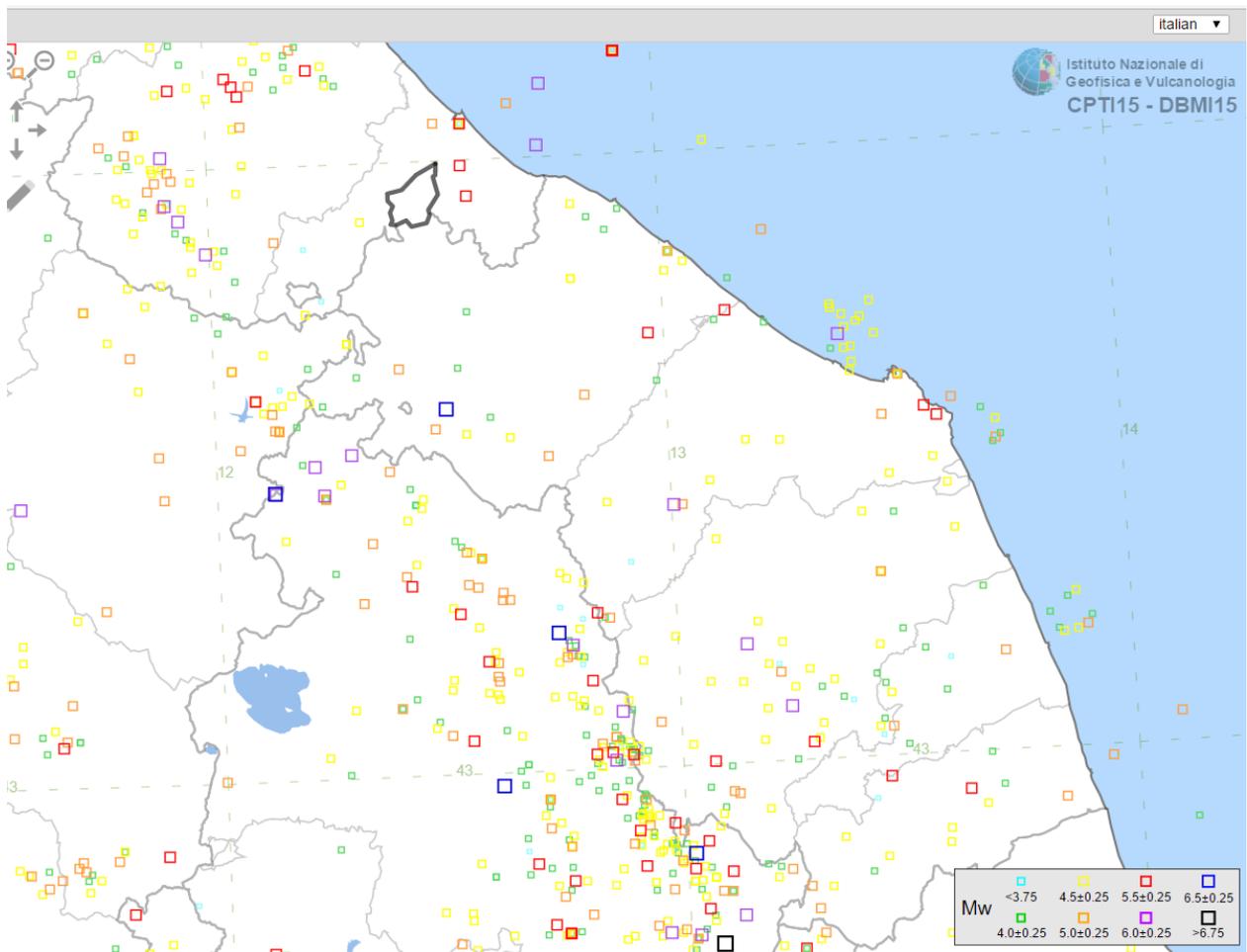


Fig. 4. Distribuzione degli eventi sismici (<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI15>).

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

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

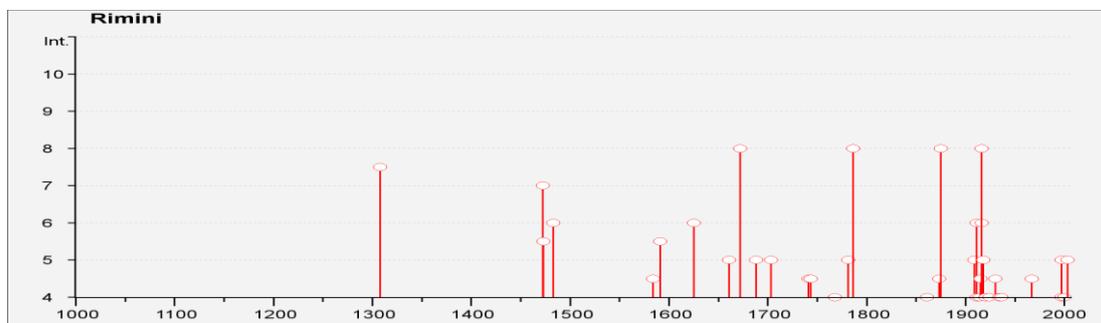


Fig. 5. Storia sismica del Comune di Rimini (<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>).

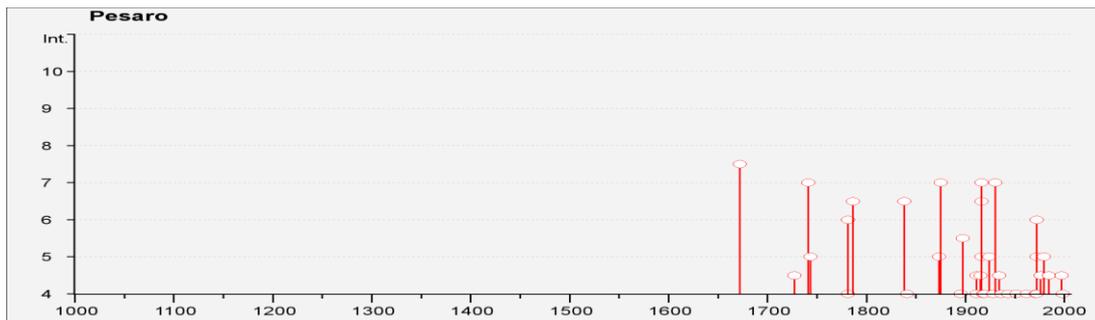


Fig. 6. Storia sismica del Comune di Pesaro (<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>).

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 7.

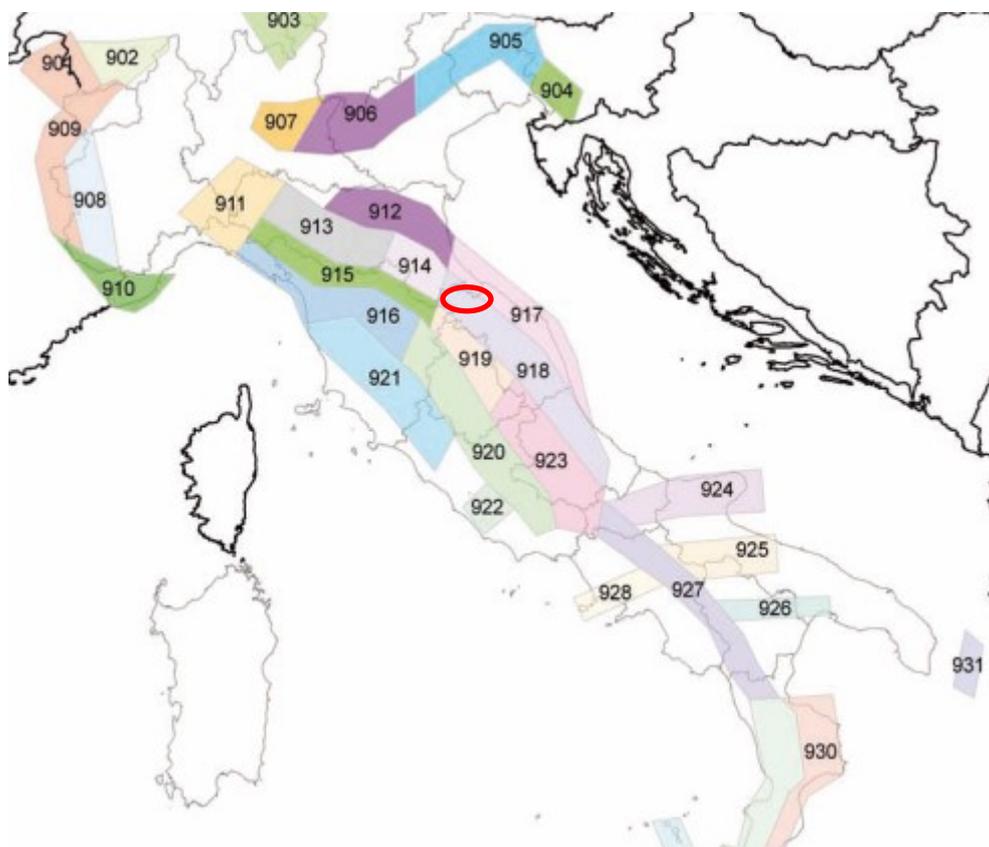


Figura 7–Dettaglio della Zonazione Sismogenetica ZS9 (“Gruppo di Lavoro per la redazione della Mappa della Pericolosità Sismica” dell’INGV, 2004). Evidenziata in rosso la ZS 918 “Medio-Marchigiana/Abruzzese”.

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.

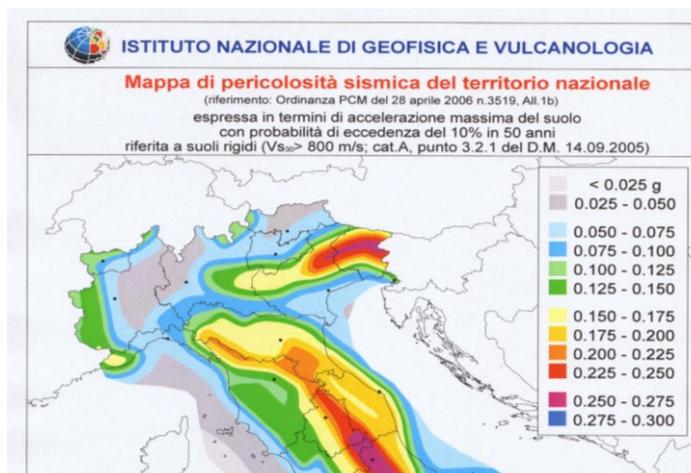
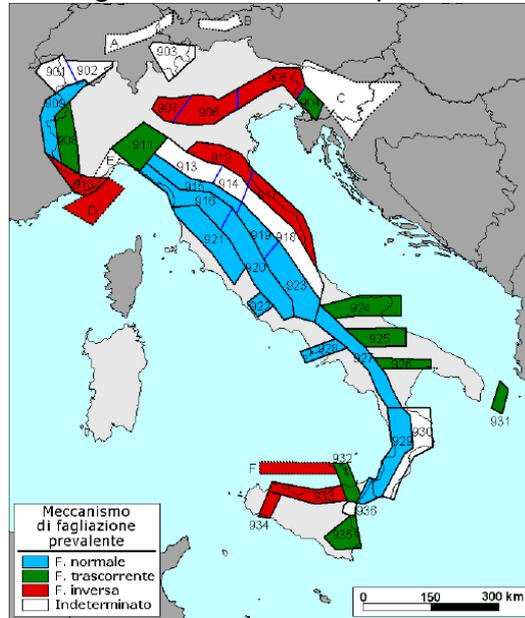


Fig. 8. Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale. Elaborazione: aprile 2004.

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_w max=6.37 è stata considerata come Magnitudo di Riferimento per l'area di studio.**

Attualmente il Comune di Sassofeltrio 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. 8) resi disponibili da INGV, l'accelerazione massima (PGA) mediamente attesa al suolo rigido di tipo A ($V_s \geq 800$ m/s) per un periodo di ritorno di 475 anni nel territorio di Sassofeltrio, nella griglia di calcolo ai nodi con ID 19411, 19632 e 19633, risulta rispettivamente 0.1793, 0.1752 e 0.1771.

3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA.

3.1 GEOLOGIA

Il territorio del Comune di Sassofeltrio 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.

Caratteristica del territorio comunale e delle sue adiacenze è la presenza di ammassi gessosi di medie e grosse dimensioni (**Monte del Gesso, Monte di Sassofeltrio, Monte Giardino**) che affiorano in continuità stratigrafica con argille mioceniche all'interno di un complesso geologico denominato "*Formazione di Casa i Gessi*".

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

-Unità Alloctone Liguri.

Sono i terreni più antichi tra quelli affioranti nel Comune di Sassofeltrio 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 Acquaviva (AQV).
- Argille di Casa i Gessi (CGE).
- Evaporiti (EVA) (ge).

-Unità autoctone - Successione Umbro Marchigiano Romagnola.

Queste formazioni rappresentano i termini più recenti della Successione Umbro Marchigiano Romagnola, i cui termini più antichi risalgono al mesozoico ed affiorano nei massicci dell'Appennino Umbro Marchigiano.

- Formazione delle Argille Azzurre (FAA) e (FAAc).

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 rinviene 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 raggianti, grigio verdastro o rossastri e si distingue da altri minerali apparentemente simili per l'elevato peso specifico.

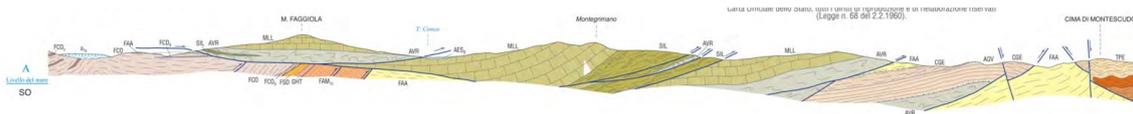
Formazione di Monte Morello (MLL) - Si rinviene in numerose località del territorio comunale di Sassofeltrio, e presenta un'ampia varietà di litologie, che va da calcari biancastri con selce nera in livelli sottili, ad arenarie torbiditiche brune, calcari marnosi giallastri e grigi e marne ed argille 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 Acquaviva (AQV) – L'affioramento principale si sviluppa in direzione Sud-Ovest dal cimitero comunale fino alla località Cà Paciano. Tale formazione prende nome dalla vicina località di Acquaviva della Repubblica di San Marino e presenta una notevole variabilità: alla base si rinvengono conglomerati costituiti da ciottoli calcarei ben arrotondati in matrice arenacea, che lateralmente e verso l'alto passano ad arenarie giallastre e brune con frequenti intercalazioni argillose. La formazione di Acquaviva risale al Tortoniano. Le arenarie, facilmente alterabili, sono chiamate con il termine popolare di «tuff» (tufo), che in genere indica una roccia con granulometria arenitica.

Argille di Casa i Gessi (CGE) – Affiorano in diverse aree del territorio comunale di Sassofeltrio. Sono costituite da argille di colore grigio chiaro, fratturate irregolarmente, che verso l'alto passano ad arenarie e marne, con livelli carboniosi. L'ambiente deposizionale è assimilabile ad un bacino marino di media profondità. L'età è Messiniano inferiore.

Formazione della Gessoso-Solfifera (GES) – Sono rappresentati da gesso selenitico da grigio a giallastro, alternato a livelli di arenarie gessose, con frequenti intercalazioni argillose ed arenacee. Gli affioramenti principali sono



(d)

Figura 9 – Carta Geologica d'Italia 1:50.000, Foglio 267 "San Marino", schema di inquadramento regionale (a), schema tettonico (b), stralcio carta geologica (c), stralcio centro-meridionale sezione A-A'(d).

3.2 GEOMORFOLOGIA

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

Le zone più alte sono rappresentate dalla dorsale Monte della Valle, Monte San Paolo, Monte Grillo con quote assolute di 830,0 - 860,0 mt. sul livello del mare, mentre l'abitato di Sassofeltrio è posto su un dosso morfologico stretto ed allungato, di natura gessosa, emergente dalla valle del Conca con quote di 468,0 mt. s.l.m.

La rete idrografica principale è rappresentata dal torrente Conca che taglia il territorio comunale con direzione da Sud-Ovest verso Nord-Est, l'asta fluviale rappresenta la parte più bassa con quote 200 - 250,0 mt. s.l.m.; qui le zone pianeggianti sono limitate alla fascia del fondovalle alluvionale ed ai terrazzi laterali sopraelevati di circa 30 metri rispetto al fondovalle; sul terrazzo laterale in sinistra orografica sorge l'abitato di Fratte.

4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI.

4.1 Dati Geotecnici.

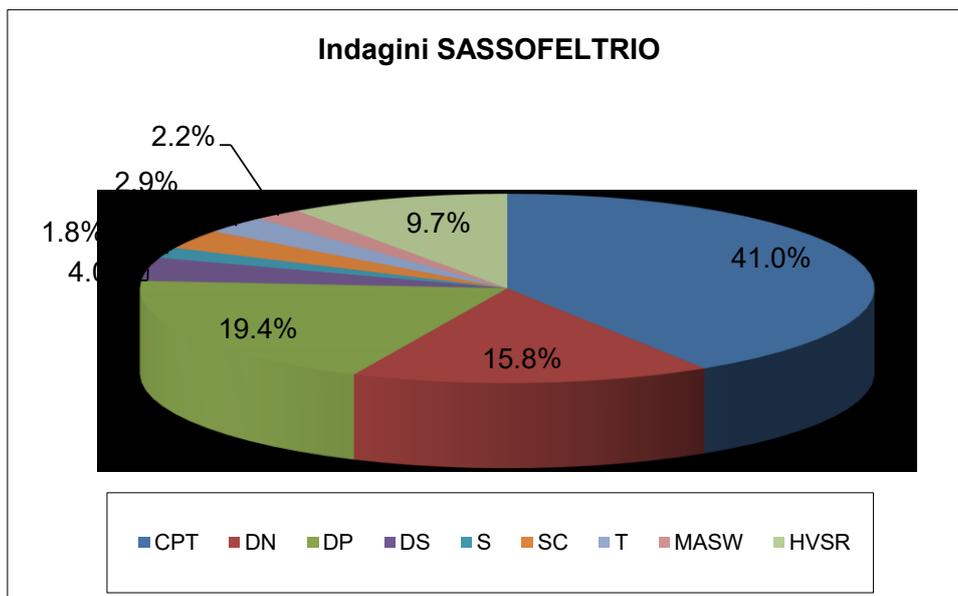
Per la caratterizzazione dei terreni di copertura e del substrato geologico si è provveduto a reperire il maggior numero possibile di indagini pregresse ritenute attendibili. Il risultato di tale lavoro, come si può vedere dalla CARTA DELLE INDAGINI, è una buona copertura all'interno delle aree oggetto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

Le indagini pregresse utilizzate ed archiviate, selezionate e rappresentative di un più ampio database, risultano complessivamente pari a n. 278. Di queste n. 245 sono di tipo geotecnico mentre n. 33 di tipo geofisico.

In sintesi sono state cartografate le seguenti indagini geognostiche:

- N. 9 sondaggi a carotaggio continuo SS.
- N. 5 sondaggi a distruzione di nucleo SDS.
- N. 8 trincee e/o pozzetti esplorativi T.
- N. 114 prove penetrometriche statiche CPT.
- N. 44 prove penetrometriche dinamiche medie DN.
- N. 54 prove penetrometriche dinamiche pesanti DP.
- N. 11 prove penetrometriche dinamiche super pesanti DS.

Nelle zone di pianura è stata pertanto possibile la ricostruzione dello spessore dei depositi alluvionali che ricoprono il substrato geologico, nelle zone di collina lo spessore dei depositi eluvio-colluviali che ricoprono il substrato geologico.



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 e in ambito alluvionale di fondovalle. 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 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 (VS_{30}), mentre nelle altre situazioni, soprattutto in corrispondenza dei depositi intravallivi e dei rilievi collinari, si sono stimati valori di V_{seq} sino all'interfaccia copertura-substrato formazionale (generalmente caratterizzato da un sensibile incremento di rigidità sismica sebbene quasi sempre con $V_s < 800$ m/s).

I risultati ottenuti per i siti in studio sono visualizzabili nei report associati alla Carta delle Vs 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, passando da ambiti rupestri di alta collina/montagna a contesti alluvionali caratterizzati da assenza di evidenze o 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 e quelle collinari. 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 e della Protezione Civile. I risultati di tali elaborazioni sono stati esplicitati, quindi, attraverso le basi dati numeriche allegate al presente studio e gli elaborati grafici di sintesi richiamati

al successivo Par. 8.

8. ELABORATI CARTOGRAFICI

8.1 Premessa.

In contraddittorio con L'Amministrazione Comunale di Sassofeltrio, 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 ed localmente topografiche.

Le prove geofisiche disponibili, rappresentate prevalentemente da indagini speditive di sismica passiva HVSR, mostrano che i depositi eluvio-colluviali di copertura, rappresentati prevalentemente da limi argillosi (ML) e argille limose (CL) hanno Vs mediamente comprese tra 180 e 240 m/s, mentre i depositi fluviali prevalentemente ghiaiosi (GM) hanno Vs dell'ordine di 320-380 m/s.

Relativamente alle Formazioni Geologiche il valore di Vs è compreso tra i valori di 350 m/s nella porzione apicale più decompressa ed alterata ed i 600 m/s a maggiore profondità.

Né in affioramento né in nessuna delle verticali indagate, sono stati incontrati terreni caratterizzati da $V_s \geq 800$ m/s (*substrato sismico*).

Considerato l'assetto amministrativo del territorio comunale (suddiviso in 2 aree amministrative separate da significativa distanza) tutte le carte tematiche vengono sviluppate secondo 2 stralci distinti restituiti, in base alle necessità dei contenuti e dei tematismi, a scale comprese tra 1:2.500 - 1:8.000.

8.2 Carta delle Indagini.

La Carta delle Indagini è stata elaborata cartografando le indagini pregresse reperite presso il Comune di Sassofeltrio e realizzate in occasione del precedente studio di Microzonazione Sismica realizzato nell'anno 2019 e collaudato dalla C.T.N. nel 2021.

Si ritiene buona la distribuzione delle indagini all'interno degli ambiti oggetto di microzonazione sismica.

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

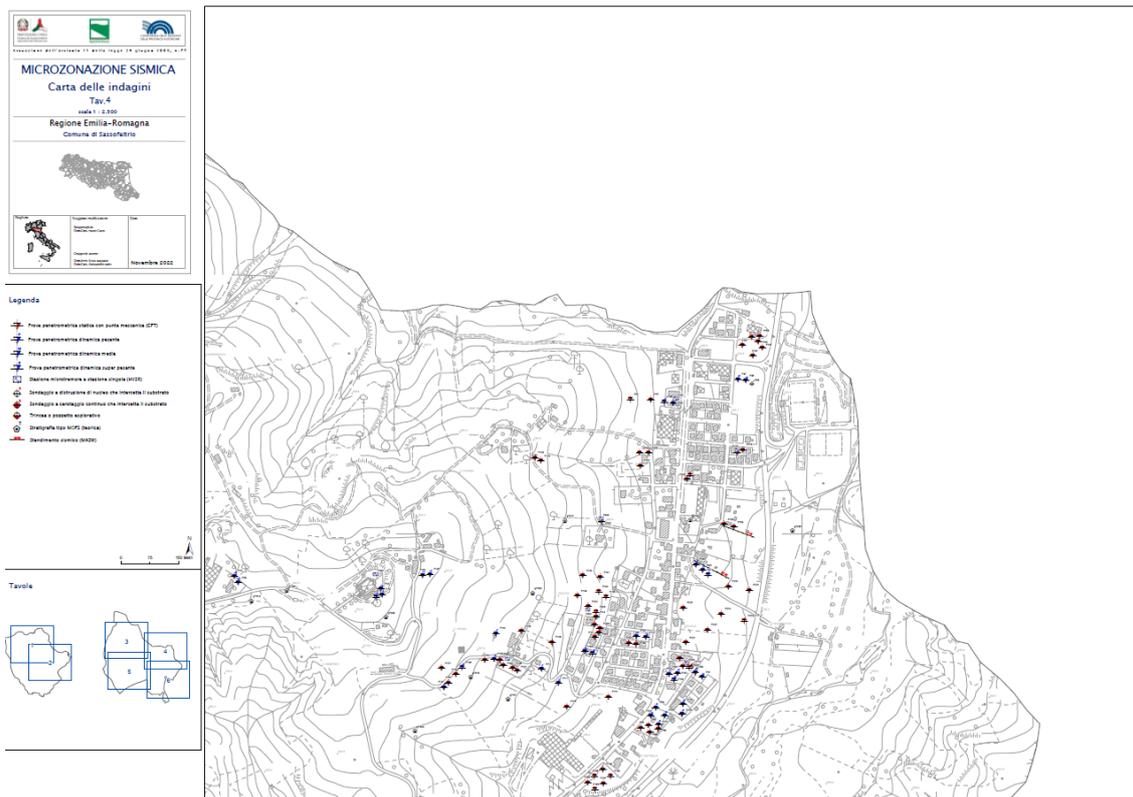


Figura 10 – Miniatura esemplificativa di una Carta delle Indagini

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.

La base di tale elaborato è desunta dalla Carta Geologica e dalla Carta Geomorfologica Regione Marche alla scala 1:10.000.

Sono stati cartografati gli affioramenti della Formazione Gessoso-Solfifera 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, a base prevalentemente desunta 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 due Sezioni Litotecniche elaborate, denominate Sezione 1, Sezione 2.

La Sezione 1 comprende l'abitato di Sassofeltrio e l'abitato della località Fratte.

La Sezione 2 comprende la zona di Valle S. Anastasio nell'isola amministrativa.

Le due sezioni elaborate sono considerate le più significative in funzione delle caratteristiche del territorio.

In Allegato 1 vengono riportate le "Sezioni Litotecniche" restituite 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.

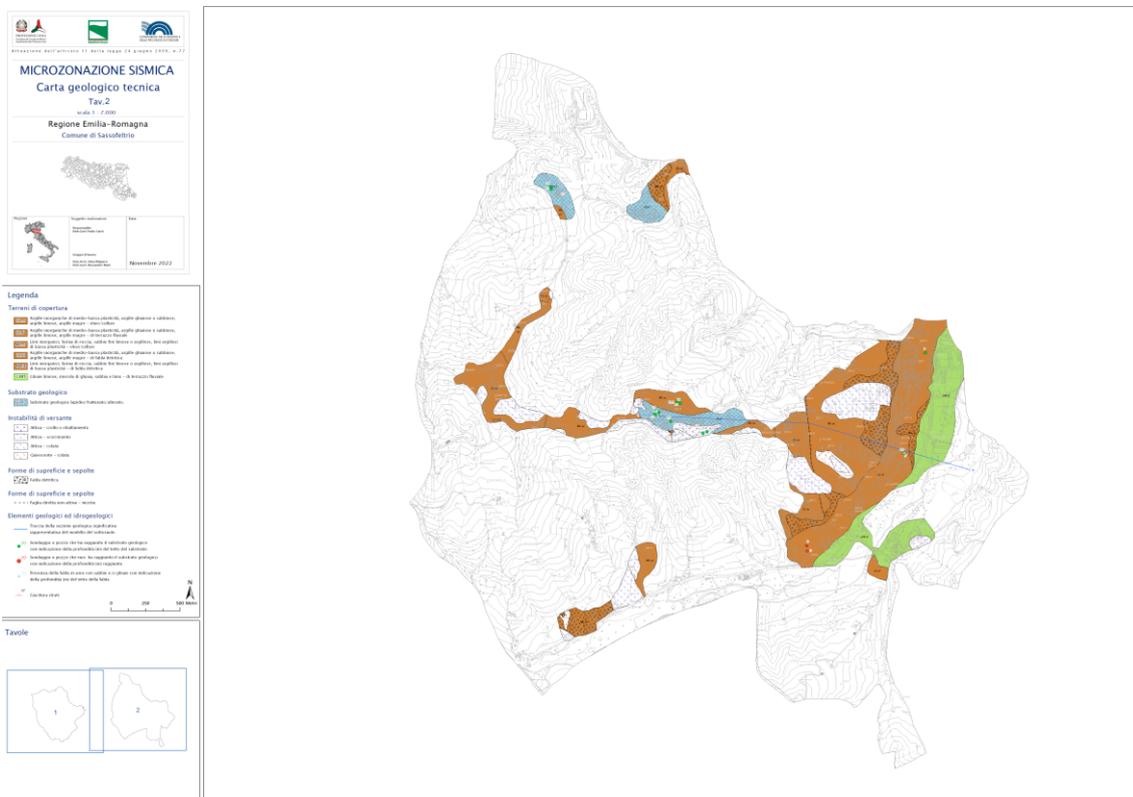


Figura 11 – Miniatura esemplificativa di una Carta Geologico-Tecnica

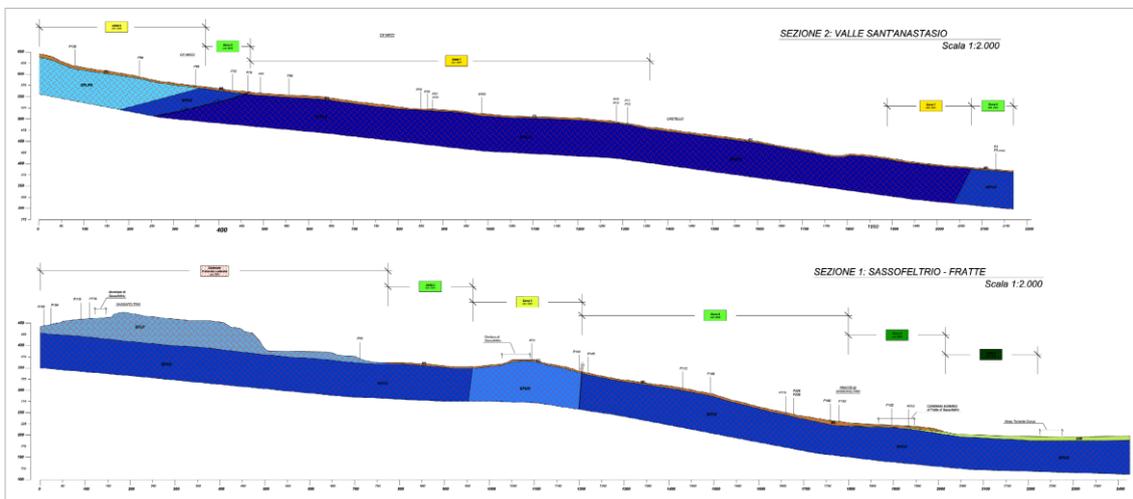


Figura 12 – Miniatura esemplificativa delle Sezioni Litotecniche

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 Frequenza 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 ghiaiosi/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 099031P32HVSR32.

Ad es. la misura con codice 099031P32HVSR32, così come la maggior parte dei rilievi realizzati, è 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 3.2 hz con rapporto H/V di ampiezza media pari a circa 2.2; in tal caso il picco rilevabile a 7.13 hz viene ritenuto un picco di importanza secondario, relativo a contrasti di impedenza più superficiali.

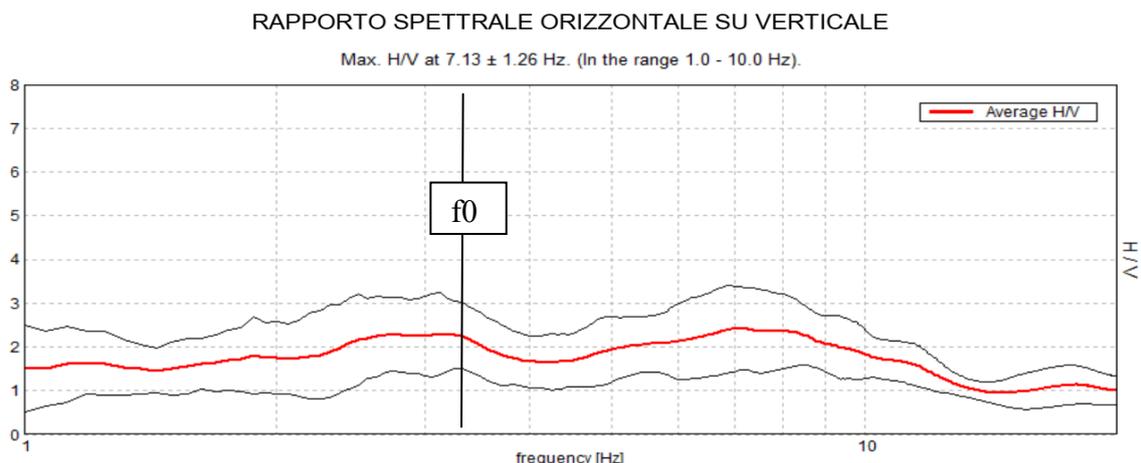


Figura 13-Curva dei rapporti spettrali relativa alla registrazione 099031P32HVSR32.

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≤F≤4.5	F>4.5
• A≤2	• A≤2
• 2<A≤3	• 2<A≤3
• A>3	• A>3

In corrispondenza dei punti è indicato il valore di frequenza (f0) 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.

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.

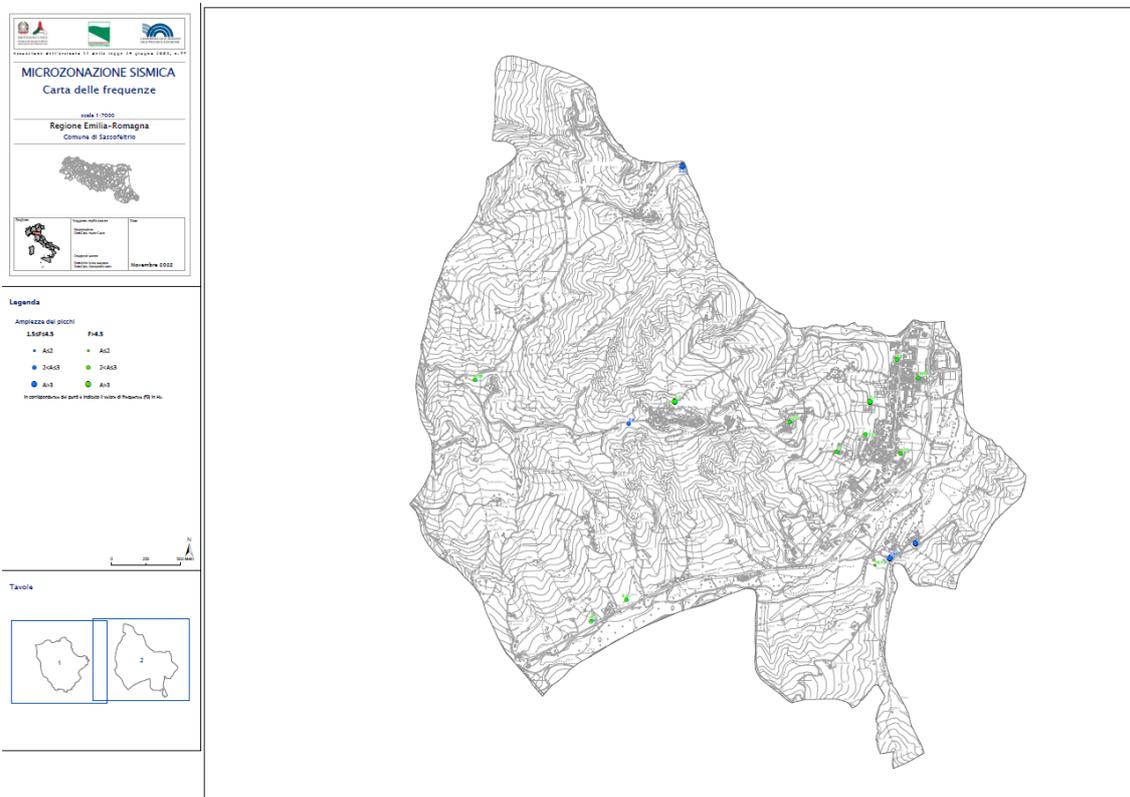


Figura 15 – Miniatura esemplificativa della Mappa delle Frequenze Naturali dei Terreni (F0).

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 è elaborata 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 1:10.000.

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

Inoltre, laddove il substrato risulta affiorante (Sassofeltrio e località Gesso) è in genere caratterizzato da diffusa fratturazione ed alterazione.

Rispetto al lavoro di Microzonazione Sismica di Livello 1 precedente, alcune zone sono state modificate rendendo più omogenee le formazioni geologiche al di sotto dei terreni di copertura.

In base a tale modalità di classificazione ed alle peculiarità del territorio studiato si possono trarre le seguenti considerazioni:

Zone stabili

All'interno del territorio del territorio comunale non sono state riscontrate microzone definibili come "stabili". Questo è dovuto in particolare al fatto che non è presente in affioramento a bassa acclività il bedrock sismico ne quello geologico inalterato.

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

All'interno dei territori in studio sono presenti Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali per soli motivi stratigrafici. La corrispondenza tra elementi di copertura geologico-tecnici prevalenti e le Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali della Carta delle MOPS diventano quindi le seguenti:

Zone	Sassofeltrio	
	Codice colonnina	Copertura
1	2001	ML
2	2002	ML
3	2003	ML
4	2004	ML
5	2005	CL
6	2006	CL
7	2007	CL
2099	2099	SFLP

La litologia prevalente delle coperture è sicuramente influenzata dai processi deposizionali e genetici di messa in posto dei terreni. La litologia prevalente è

sicuramente quella rappresentata dai limi argillosi di alterazione del substrato e/o di accumulo eluvio/colluviale con spessori variabili da 3 m fino a 10-13 m nelle zone in cui i depositi di versante o le coperture alterate al piede dei versanti risultano particolarmente spesse. I substrati semiaffioranti sono rinvenibili presso l'abitato di Sassofeltrio, la località Le Ville del Gesso e la località Gesso.

Nei tratti di pianura intravallivi sono presenti depositi di copertura alluvionali soprastanti il bedrock geologico, prevalentemente ghiaioso-sabbiosi, con spessori variabili fino a 3-7 m da p.c..

Zone suscettibili di instabilità

Le zone suscettibili di instabilità individuate all'interno delle aree urbanizzate e urbanizzabili fanno riferimento ad aree con potenziale presenza di fenomeni di instabilità gravitativa per frana; in particolare i fenomeni di instabilità risultano di tipo attivo, quiescente e non definiti, articolati secondo le diverse tipologie di dissesto (es. crollo, scorrimento, colata, ecc.); le zone riferibili a tali instabilità sono le seguenti: 2008-2009-2010-2011-2012-2099.

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

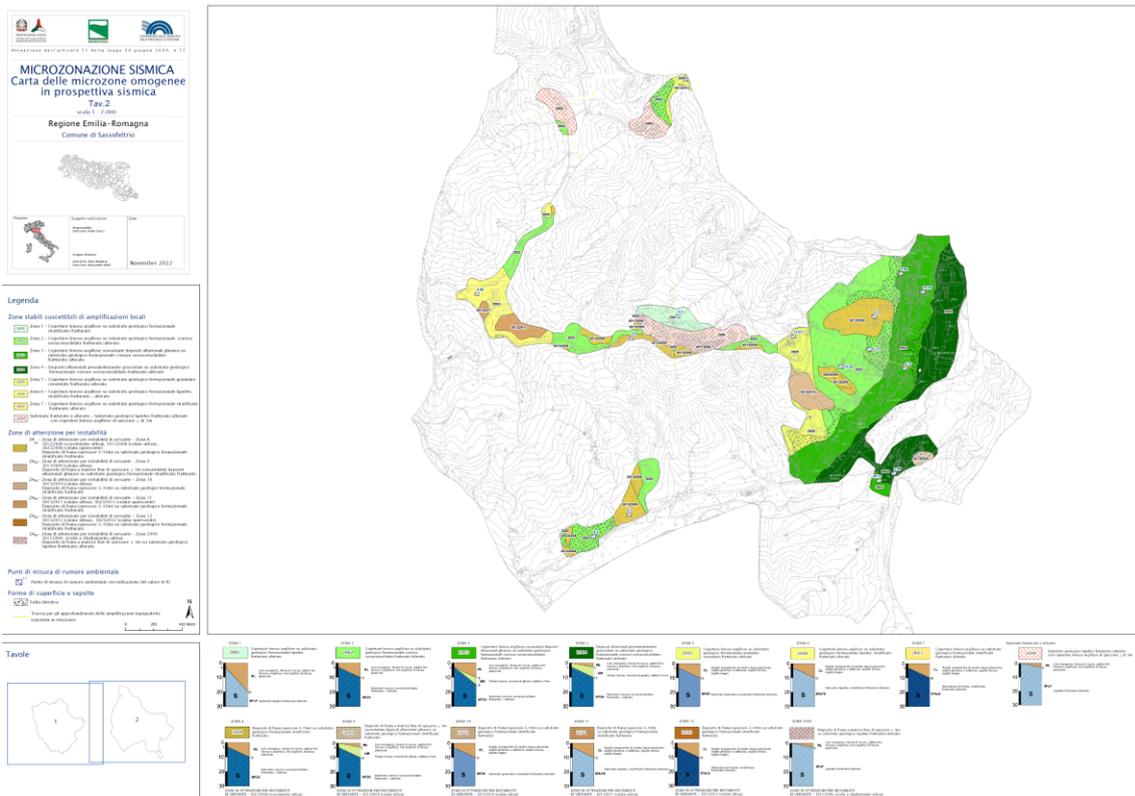


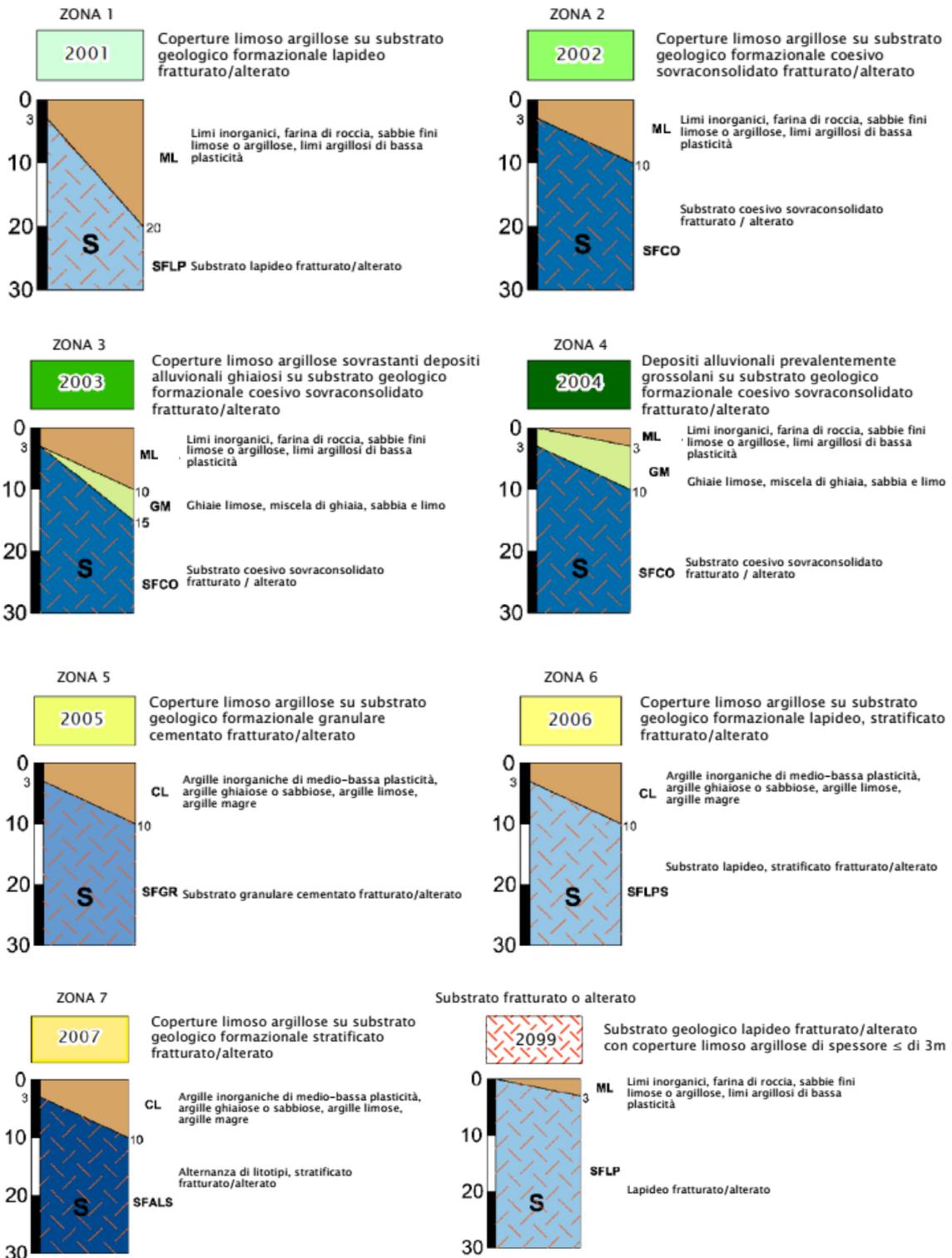
Figura 16 – Miniatura esemplificativa della Carta delle MOPS.

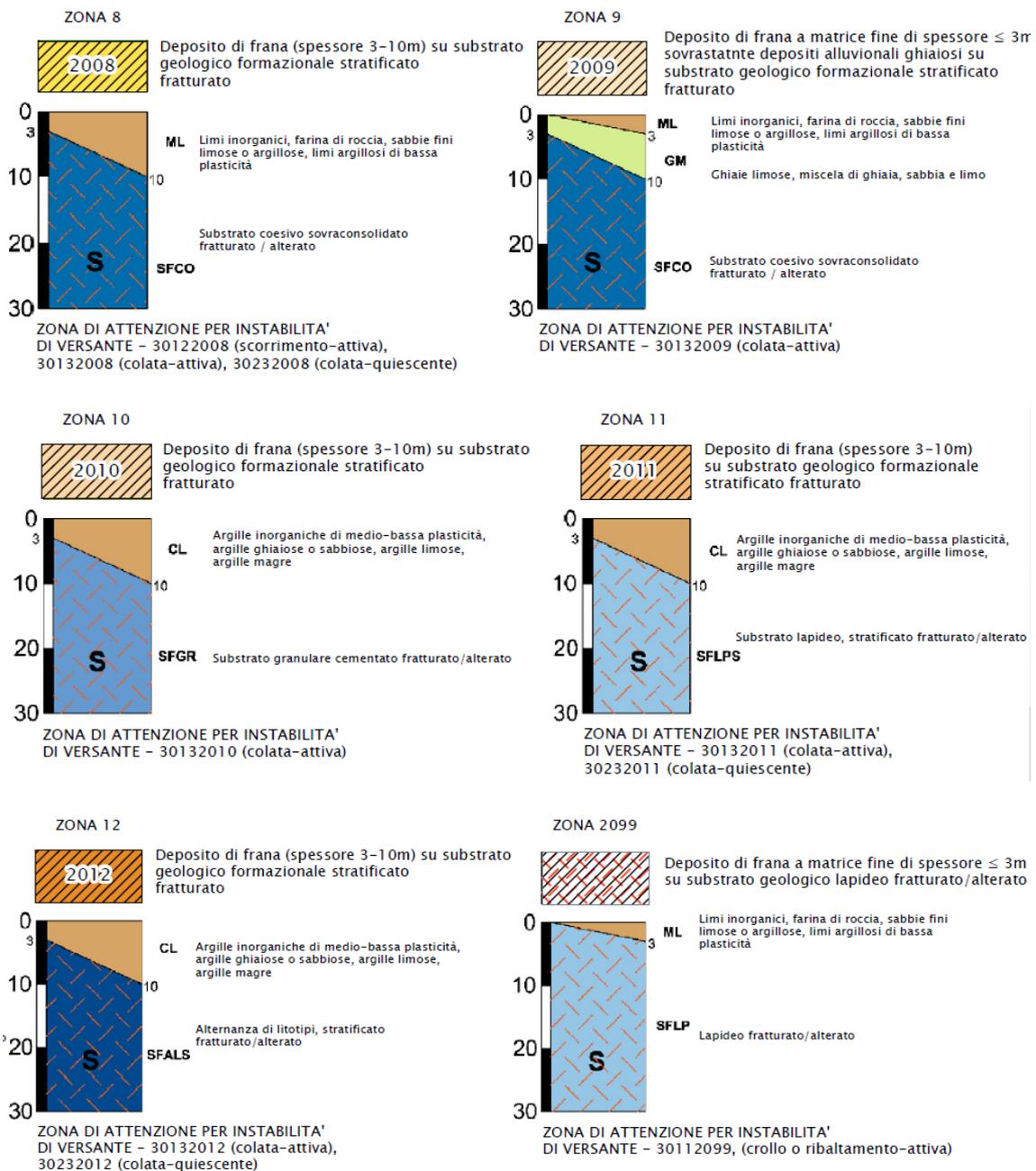
Nell'area di studio, con particolare riferimento alle zone urbanizzate ed urbanizzabili, non sono presenti elementi strutturali (faglie, ecc..) certi, in quanto dalla consultazione del database Ithaca (<https://sgi.isprambiente.it/ithaca/viewer/>) non è stato rilevato alcun elemento tettonico attivo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

Di seguito si riporta per ciascun comune una descrizione delle microzone omogenee in prospettiva sismica, definibili per le aree in esame, con gli schemi dei rapporti litostratigrafici più significativi (ogni colonnina riporta le litologie

prevalenti con una breve descrizione ed è associata ad una microzona in pianta).

COMUNE DI SASSOFELTRIO





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 Sassofeltrio, in particolare:

- Sassofeltrio capoluogo, Località Calmenghi e Casetta.
- Località Fratte.
- Località Valle S. Anastasio, Cà Micci e Castello.
- Località Gesso e Ville del Gesso.

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:

- 27 prove puntuali per misure con stazione singola (HVSR dove assenti misure dirette ed in ausilio alle prove MASW);
- 6 prove lineari in array 1D (tipo Masw);

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.

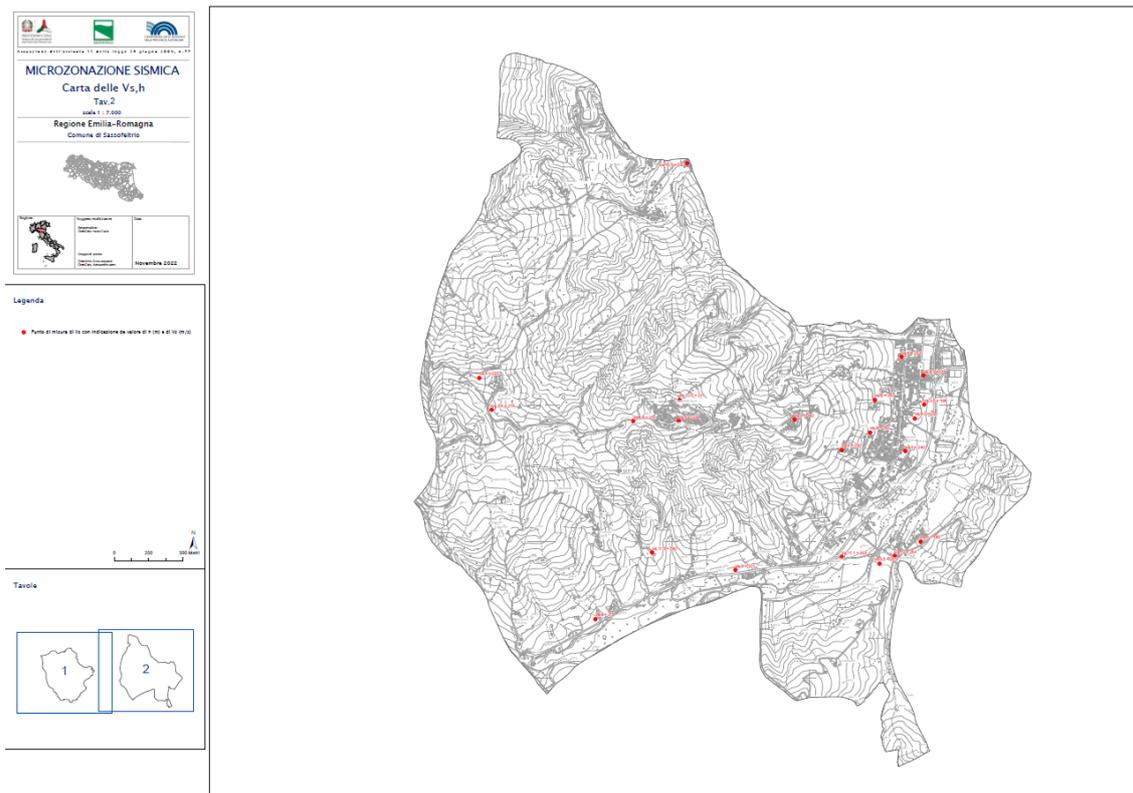


Figura 17 – Miniatura esemplificativa della carta delle velocità delle onde di taglio VsH.

8.8 Carte dei Fattori di Amplificazione.

I terreni in studio di Sassofeltrio, 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 alluvionali sul substrato formazionale geologico per le zone intravallive 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 su substrato non rigido” e Substrato marino non rigido affiorante o sub affiorante (copertura di spessore inferiore a 3 m), caratterizzato da $V_s \ll 800$ 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 ($Vs \ll 800$ 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} (m/s) → H (m) ↓	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	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2	

Fattore di Amplificazione PGA

V_{SH} (m/s) → H (m) ↓	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 ≤ T ≤ 0,8s)

V_{SH} (m/s) → H (m) ↓	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	1,3		
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 ≤ T ≤ 0,5s)

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

Fattore di Amplificazione SA1 (0,1s ≤ T ≤ 0,5s)

V_{SH} (m/s) → H (m) ↓	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 ≤ T ≤ 1,1s)

V_{SH} (m/s) → H (m) ↓	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 ≤ T ≤ 1,0s)

b)

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).

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) rispetto alle zone intravallive. Diversamente in corrispondenza delle rupi calcaree e degli ammassi rocciosi, generalmente caratterizzati maggior rigidezza sismica, si evidenzia altresì una sensibile riduzione dei parameri 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). ²⁴	
	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)

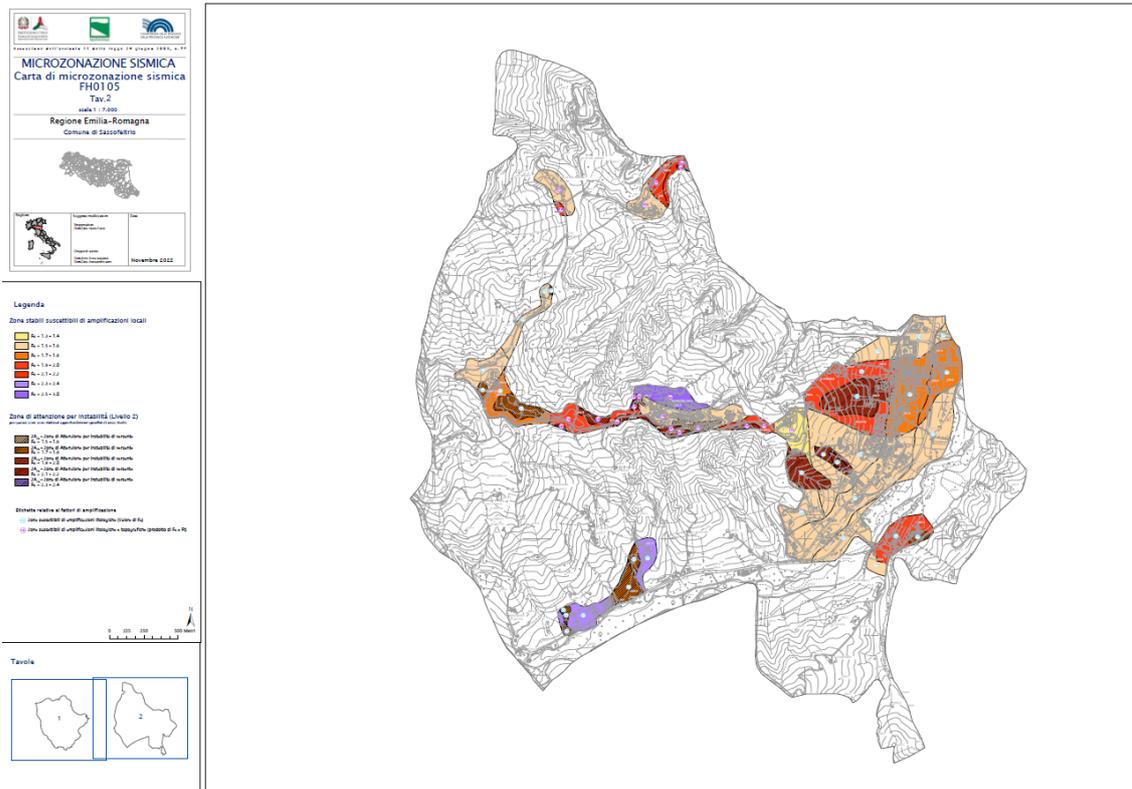
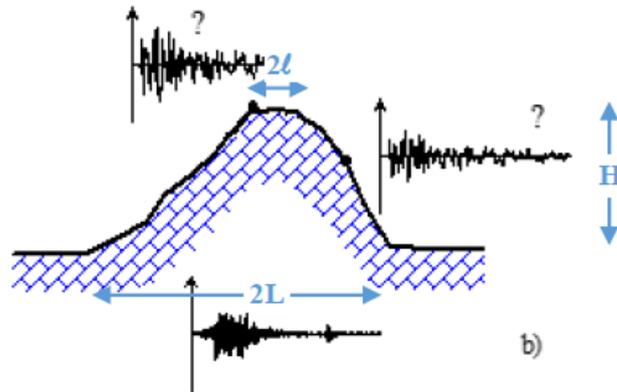


Figura 20 - Miniatura della carta di MS per periodi dello spettro di risposta in velocità (Housner) tra 0.1-0.5 s (Fa_S11).

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):

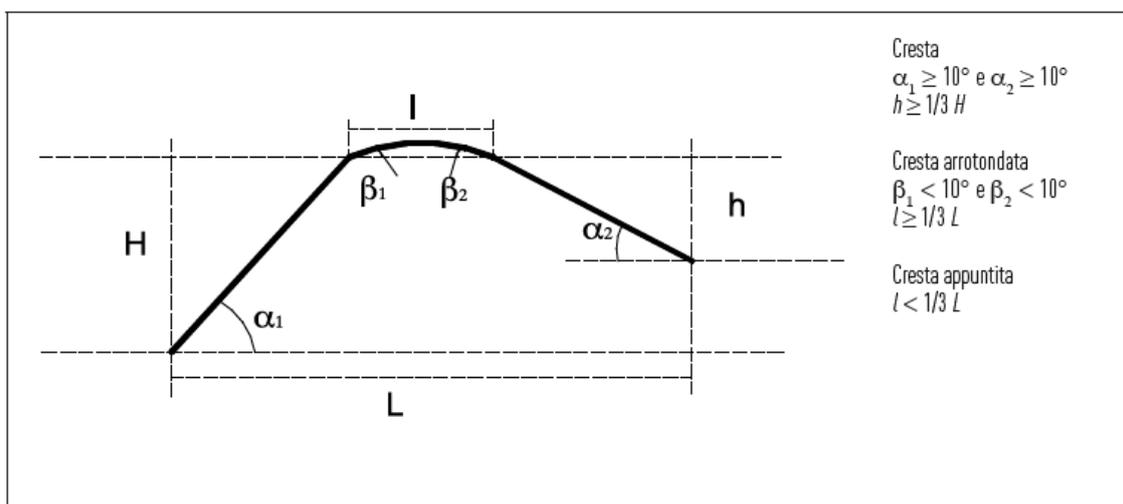


Figura 21 – Schema di riferimento per la cresta e criteri di riconoscimento (ICMS2008)

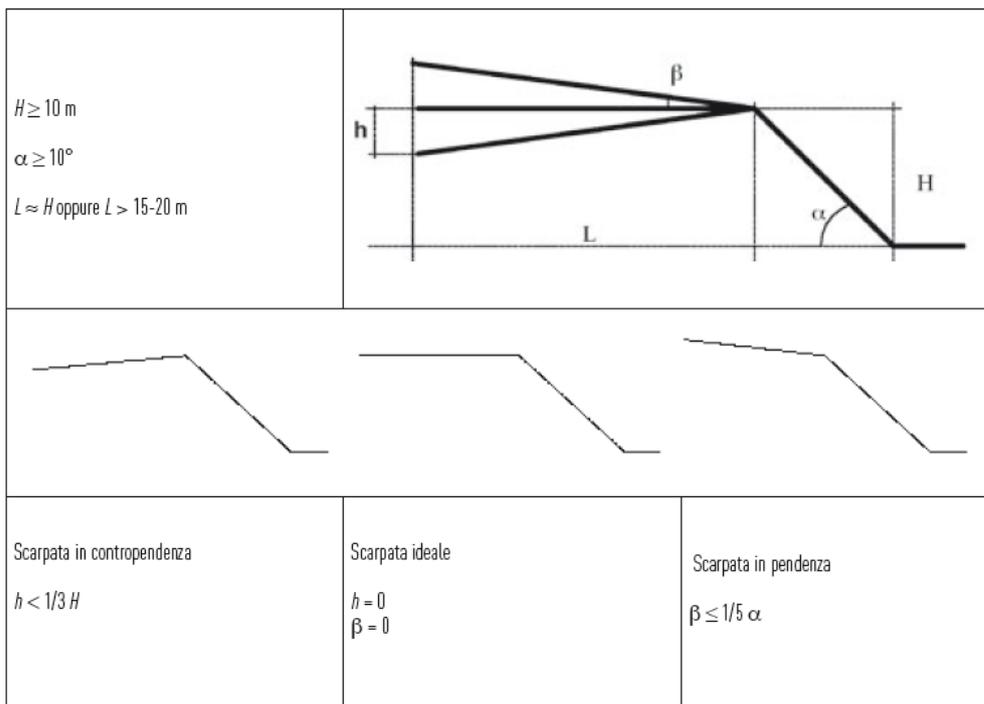
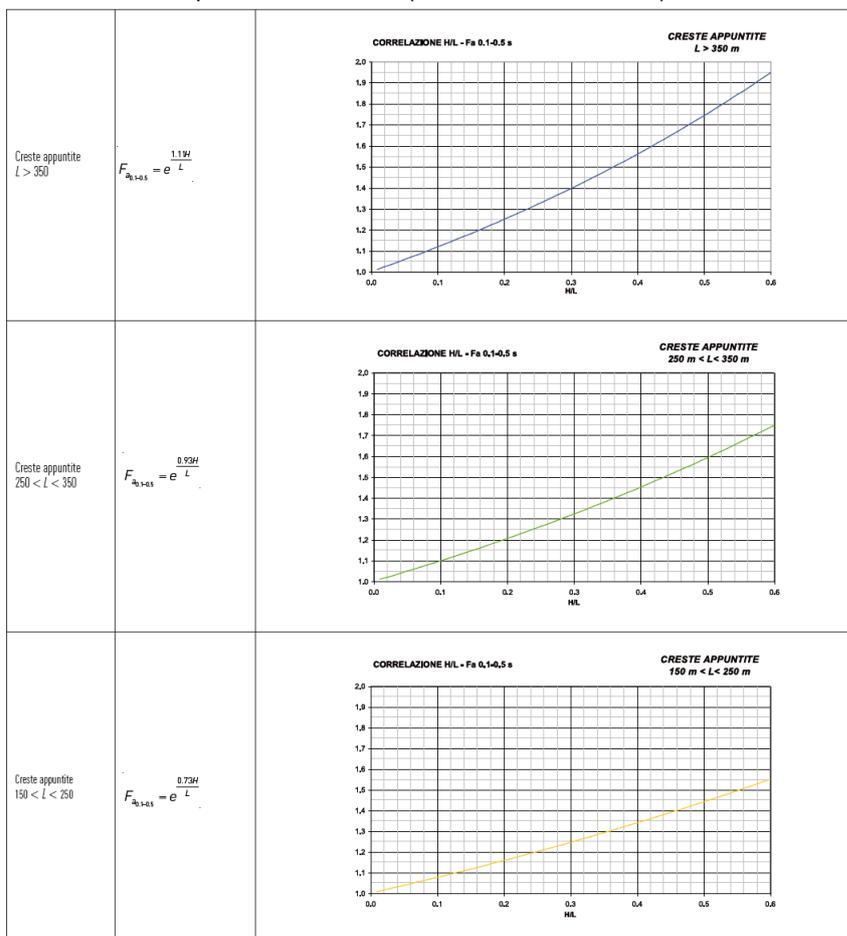


Figura 22 – Schemi di riferimento per la scarpata e criteri di riconoscimento (ICMS2008)

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



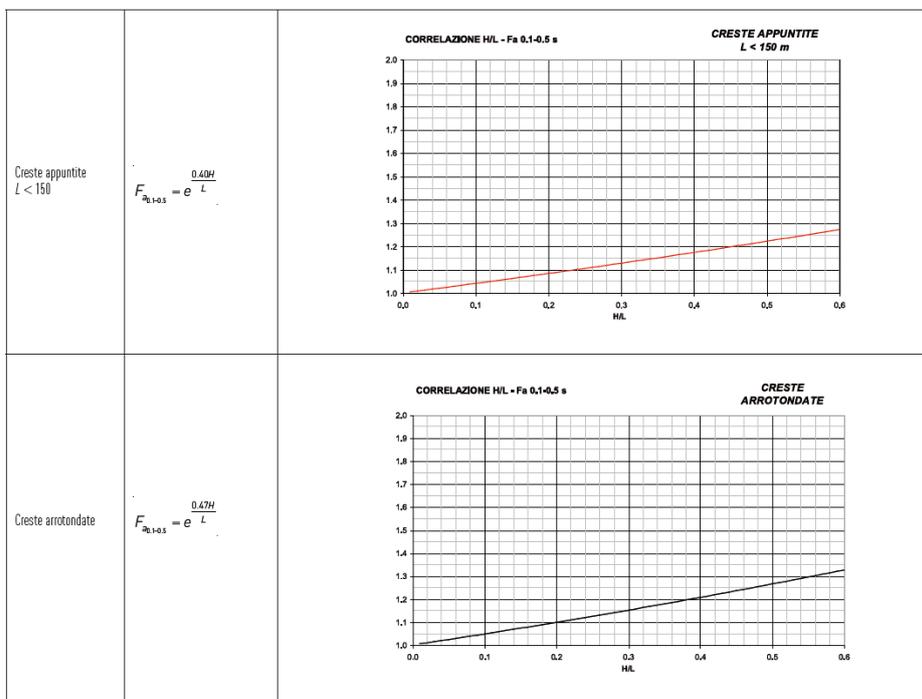


Tabella 2 – Abaco per scarpate rocciose (Tab. 3.3-2 - ICMS2008)

Classe altimetrica	Classe di inclinazione	Valore di F_a	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.

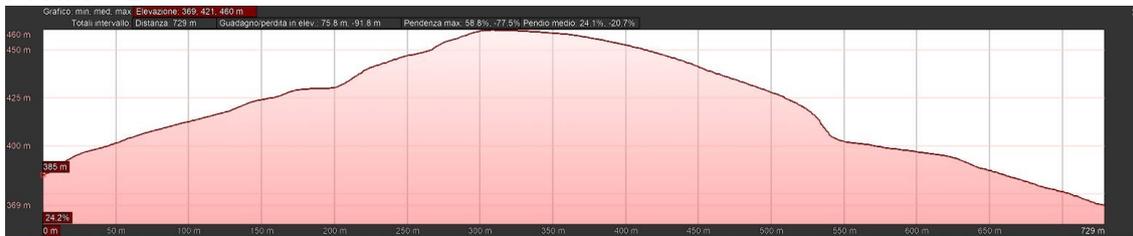
PROFILI PER LA STIMA DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA

SASSOFELTRIO

Profilo - 1



Profilo - 2



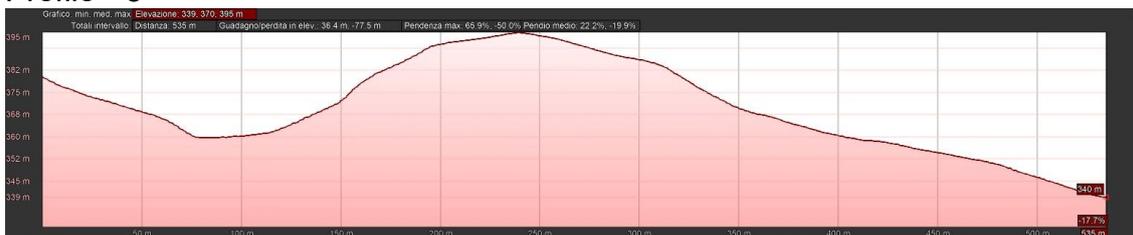
Profilo - 3



Profilo - 4



Profilo - 5



Profilo - 6

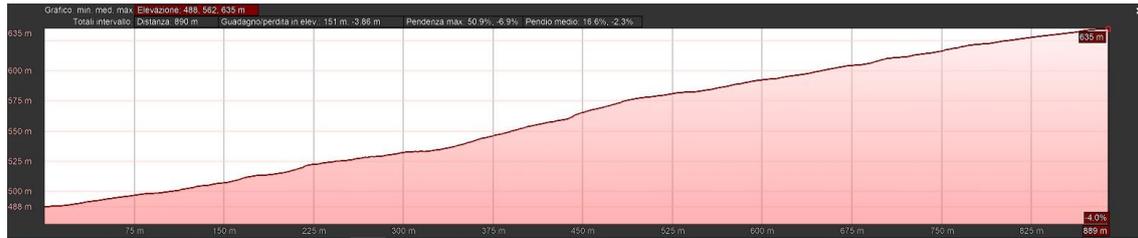


Figura 23 – Sezioni topografiche rappresentative per l'analisi dei fattori di amplificazione topografica

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

TABELLA DI SINTESI					SCA= Scarpata
Sezione	tipo	H	L	Ft 0.1-0.5	
Profilo - 1	SCA	100	500	1.1	CAR= Cresta arrotondata CAP= Cresta appuntita (L>350 m)
Profilo - 2	CAR	60	500	1.1	
Profilo - 3	SCA	259	2200	1	
Profilo - 4	CAR	6	200	1	
Profilo - 5	CAR	35	285	1.1	
Profilo - 6	SCA	147	890	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/s²), dato dall'integrale dello spettro in accelerazione calcolato nell'intervallo di periodi 0,1s≤T≤0,5s e diviso per ΔT, cioè per 0,4s. In assenza di analisi RSL, il parametro H_{SM} può essere calcolato come prodotto del parametro di intensità spettrale ASI_{UHS} (Acceleration Spectrum Intensity), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato per l'intervallo di periodi 0,1s≤T≤0,5s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0,4s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione (FA) calcolato per lo stesso intervallo di periodi:

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

I valori di riferimento ASI_{UHS}/ΔT, 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 s e 0,5 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 – Ipotetiche classi di intensità HSM 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 _{SM} ≤ 0.347	0.347 < H _{SM} ≤ 0.663	0.663 < H _{SM} ≤ 1.264	> 1.264
Potential damage	none - very	very light – moderate	moderate – heavy	heavy	very heavy
Instrumental intensity	≤ VI	VII	VIII	IX	≥ 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 Michelini, 2010 - Brammerini 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 HSM[g]			
	Basso (ZS4SM)	Medio (ZS3SM)	Alto (ZS2SM)	Molto alto (ZS1SM)
T1(0.1-0.5)	≤ 0.21	0.22-0.54	0.55-0.85	≥ 0.86
T2(0.4-0.9)	≤ 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.

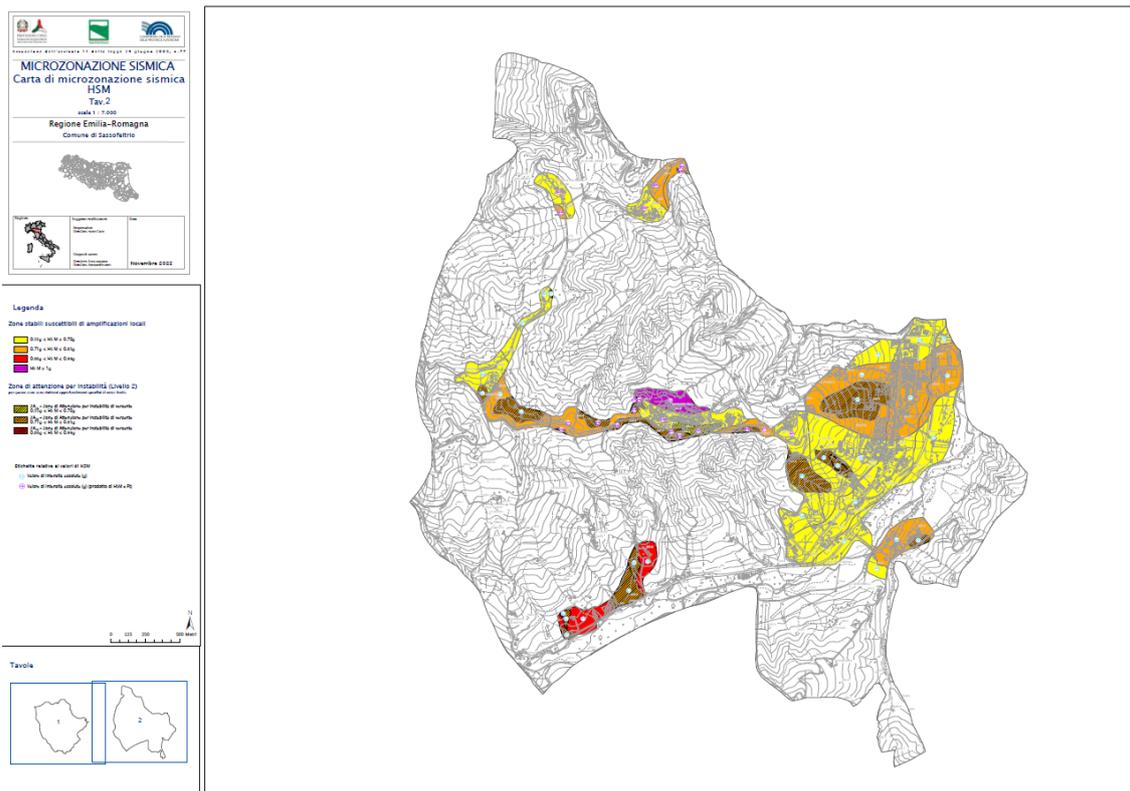


Figura 24 – Miniatura esemplificativa della carta di scuotimento assoluto HSM,.

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 e 26 si riportano gli stralci delle mappe di risentimento macrosismico del catalogo CFTI5med relativi ai terremoti del 1672 e 1916 (evento di agosto), in quanto il primo presenta la zona epicentrale maggiormente prossima alle aree in studio mentre il secondo, molto più recente, risulta quello meglio descritto e ricco di informazioni.

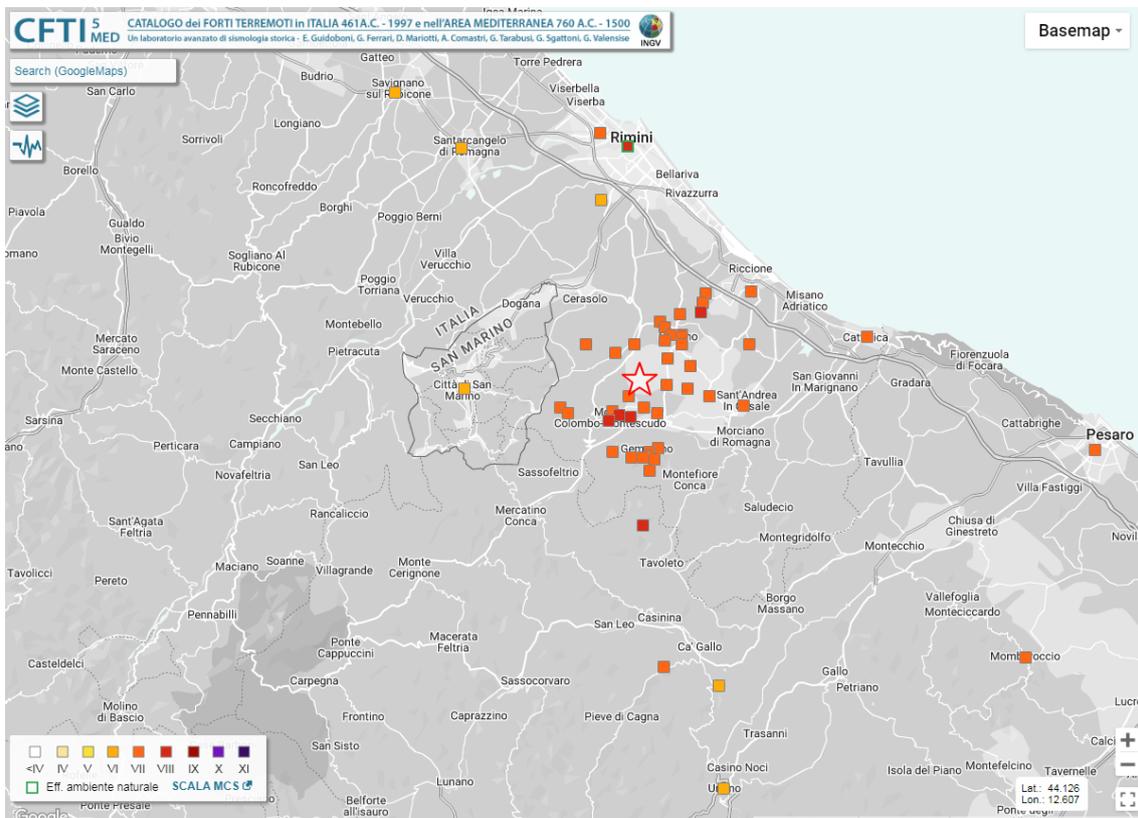


Figura 25 – Stralcio del Catalogo CFTI5MED con rappresentazione degli effetti macrosismici relativi al terremoto storico del riminese del 1672.

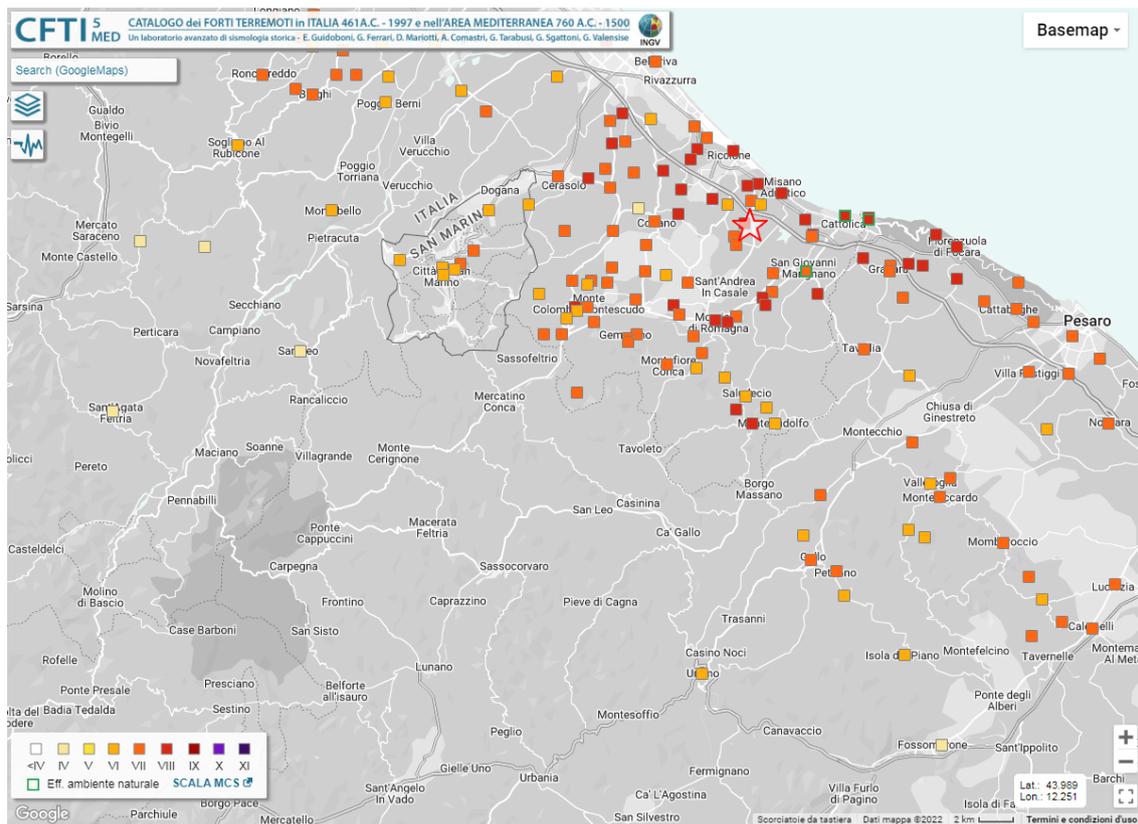


Figura 26 – Stralcio del Catalogo CFTI5MED con rappresentazione degli effetti macrosismici relativi al terremoto storico del riminese del 1916 (evento di agosto).

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 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.

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) arrivano talora a lambire alcuni abitati e nuclei storici.

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.

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>

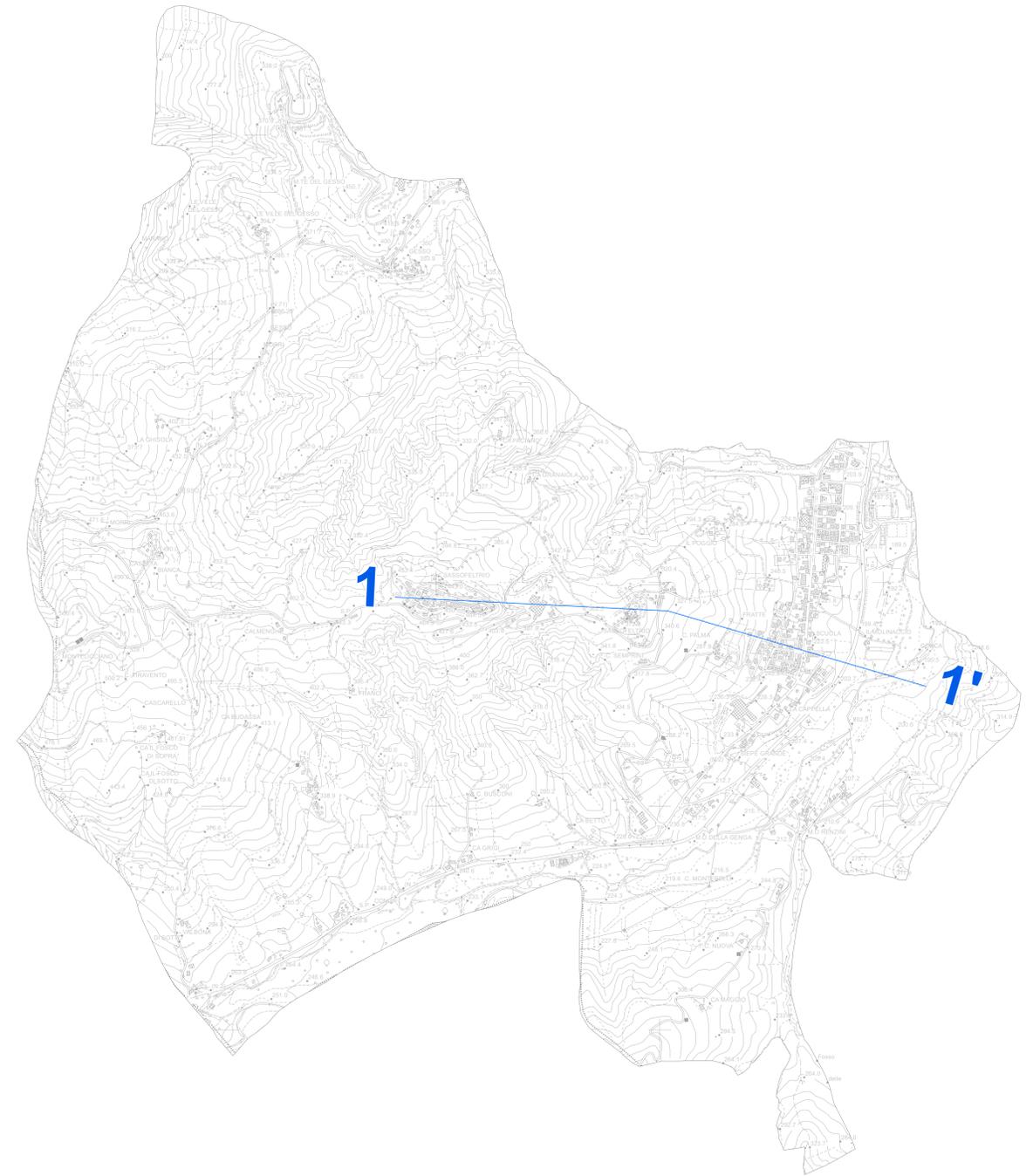
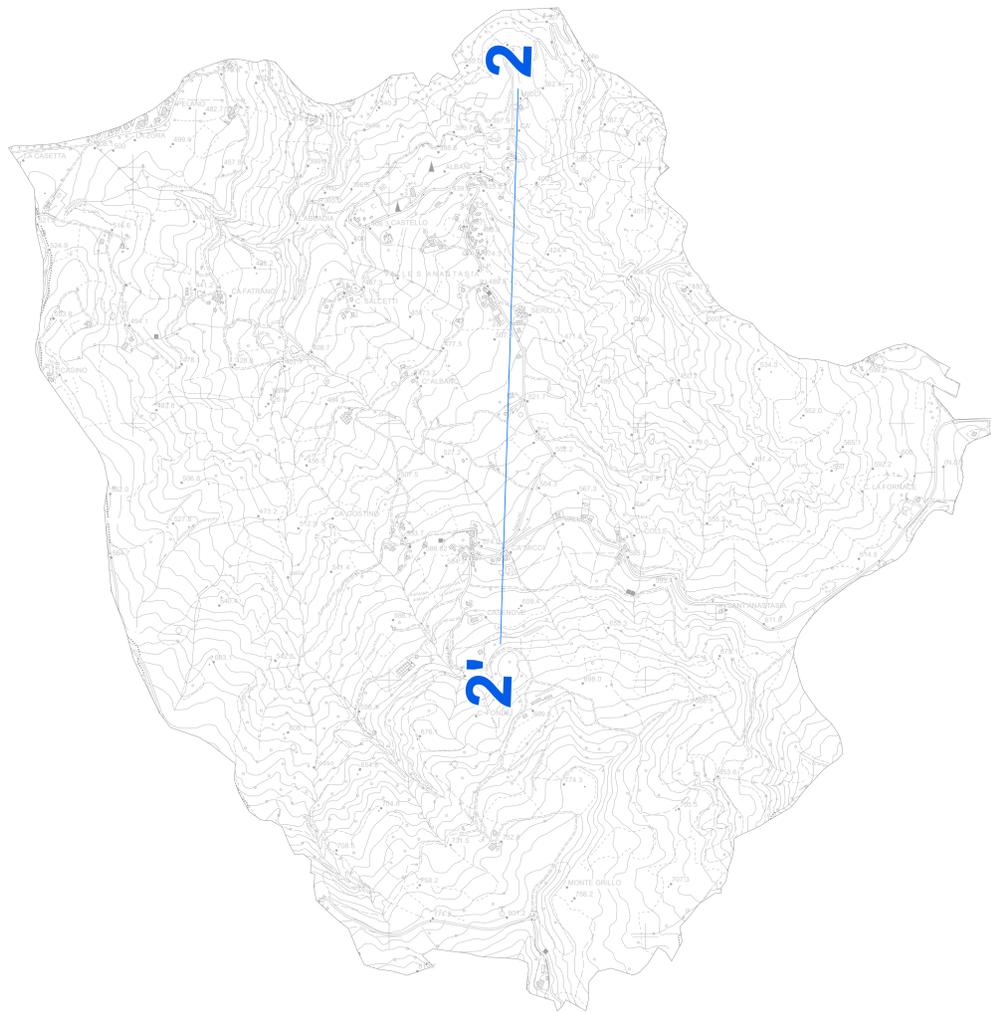
Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000, Foglio 267-San Marino (2010) - Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna . . S .EL .CA ., Firenze

Microzonazione sismica di I-II Livello e CLE – Comune di Sassofeltrio, 2019

ALLEGATO N. 1

SEZIONI LITOTECNICHE

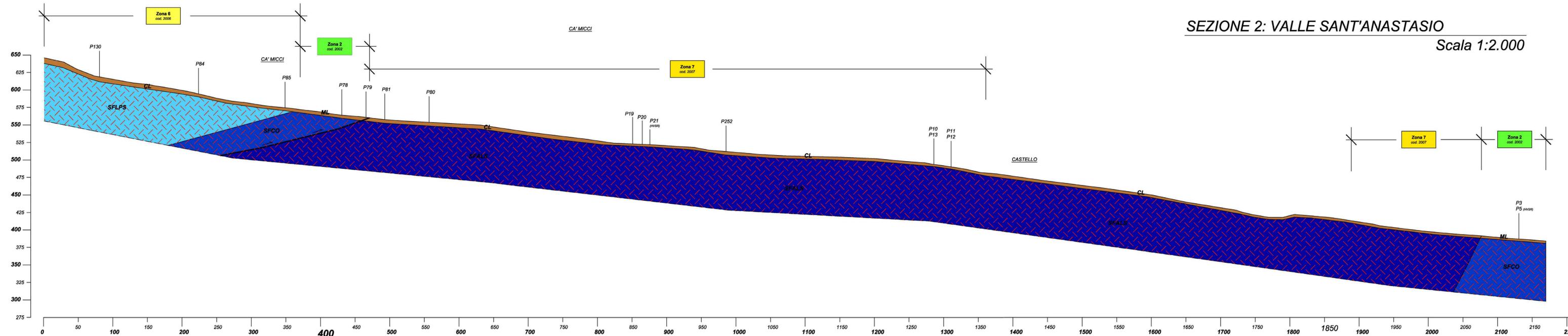
Scala 1:2.000



ALLEGATO N. 1

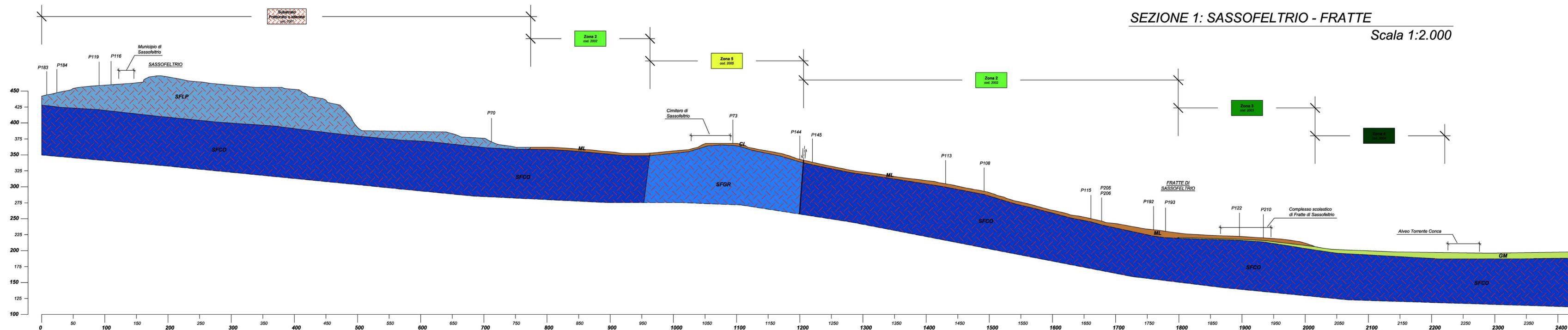
SEZIONE 2: VALLE SANT'ANASTASIO

Scala 1:2.000



SEZIONE 1: SASSOFELTRIO - FRATTE

Scala 1:2.000



Legenda

Terreni di copertura

- GM Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo
- CL Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre
- ML Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità

Substrato geologico

- SFLP Substrato geologico lapideo fratturato o alterato. Formazione Gessoso-Solfifera (GS) costituita da gesso selenitico da grigio a giallastro, alternato a livelli di arenarie gessose, con frequenti intercalazioni argillose ed arenacee (Messiniano superiore).
- SFCO Substrato costituito, alternanza di litotipi, 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 (Cretacico superiore - Eocene inferiore).
- SFLPS 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 bruno, calcari marnosi giallastri e grigi e marne ed argille grigio azzurre (Eocene inferiore - medio).
- SFCR Substrato geologico granulare cementato fratturato o alterato. Formazione di Acquaviva (AQV) caratterizzata da notevole variabilità: alla base si rinvengono conglomerati costituiti da ciottoli calcarei ben arrotondati in matrice arenacea, che lateralmente e verso l'alto passano ad arenarie giallastre e bruno con frequenti intercalazioni argillose (Tortoniano).
- SFCO Substrato geologico coeso sovracconsolidato fratturato o alterato. Formazione delle Argille Azzurre (FAA) costituite da argille limose grigio azzurre in strati non molto spessi (Pliocene inferiore).
- SFCO Formazione delle Argille Varicolori della Val Marecchia (AVR) costituita da argille in scaglie di dimensioni millimetriche o centimetriche, con presenza di blocchi rocciosi di varie dimensioni e natura (calcarei, calcari marnosi, marne e arenarie). Il colore predominante della formazione è il grigio, con frequenti variazioni di tonalità, fino al rosso mattone (Cretacico - Eocene inferiore).
- SFCO Formazione di Casa i Gessi (CGG) costituita da argille di colore grigio chiaro, fratturate irregolarmente, che verso l'alto passano ad arenarie e marne, con livelli carboniosi (Messiniano inferiore).