

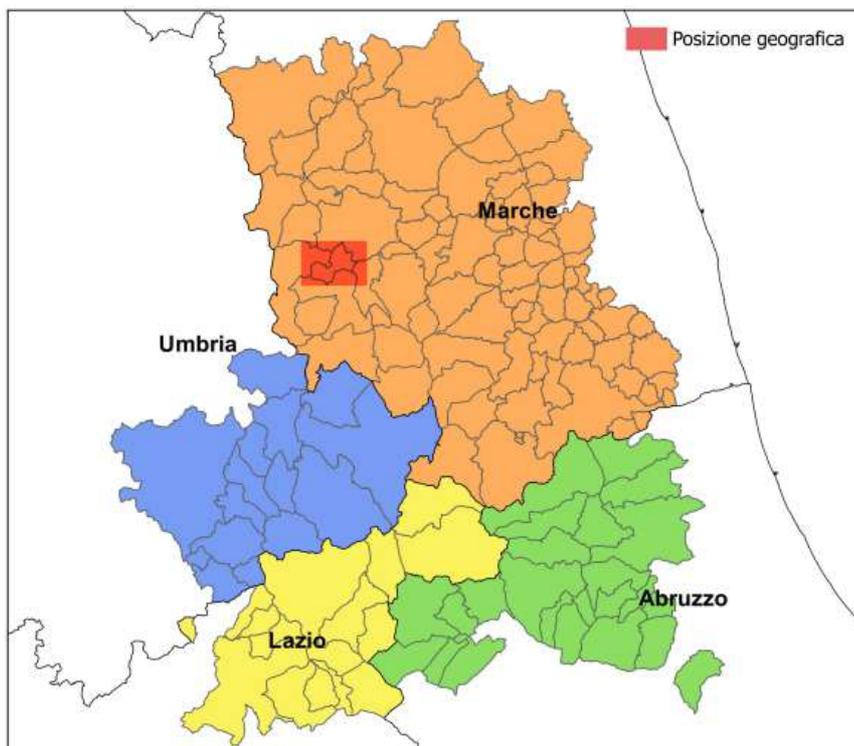


Microzonazione Sismica di Livello 3 del Comune di Muccia ai sensi  
dell'Ordinanza del Commissario Straordinario n. 24 registrata  
il 15 maggio 2017 al n. 1065

## MICROZONAZIONE SISMICA

### Relazione illustrativa

#### Regione Marche Comune di Muccia



Soggetto realizzatore



**dr. MAURO CATALDI**  
Via delle Conche, 19 - 62020 Caldarola (MC)  
tel 338 2895525  
email mauro.cataldi@alice.it  
C.F. CTL MRA 82C15 L191E  
P.I. 01734500430

Data e revisione

Gennaio 2018

**CENTROMS**  
  
CENTRO PER LA  
MICROZONAZIONE SISMICA  
E LE SUE APPLICAZIONI

1. Introduzione .....	4
1.1. Finalità degli studi .....	4
1.2. Descrizione generale dell'area comunale .....	9
1.3. Definizione dei documenti di base utilizzati nello studio .....	10
1.4. Aree da sottoporre agli studi di MS .....	11
2. Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento .....	13
2.1. Sismicità storica dell'area di studio .....	13
2.2. Sismicità recente dell'area di studio .....	17
2.3. Pericolosità sismica di base .....	19
3. Assetto geologico e geomorfologico dell'area .....	36
3.1. Inquadramento geologico .....	36
3.2. Assetto geomorfologico .....	39
3.3. Assetto stratigrafico .....	46
3.4. Elementi tettonici .....	52
3.5. Considerazioni finali sull'architettura stratigrafica e sull'assetto morfologico e strutturale .....	54
4. Dati geotecnici e geofisici .....	55
4.1. Dati pregressi .....	55
4.2. Dati acquisiti ex-novo .....	55
5. Modello del sottosuolo finalizzato alla MS .....	56
5.1. Unità geologico–tecniche: definizione e parametrizzazione .....	58
5.2. Sezioni geologico–tecniche .....	61
6. Interpretazioni e incertezze .....	66
7. Metodologie di elaborazione e risultati .....	70
7.1. Zone stabili suscettibili di amplificazione .....	75
7.1.1. Scelta dell'input sismico .....	75

Dott. Geol. Mauro Cataldi



7.1.2. Simulazioni numeriche .....	77
7.1.3. Risultati .....	81
7.2. Zone instabili.....	88
7.2.1. Faglie attive e capaci (FAC) .....	88
7.2.2. Liquefazioni (LQ) .....	89
7.2.3. Instabilità di versante sismoindotte (FR).....	90
8. Elaborati cartografici .....	91
8.1. Carta delle indagini (CI) .....	91
8.2. Carta delle frequenze naturali dei terreni.....	92
8.3. Carta Geologico Tecnica per la MS (CGT_MS).....	92
8.4. Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) .....	96
8.5. Carte di Microzonazione Sismica (MS) di livello 3 .....	120
8.6. Commenti finali e criticità.....	121
9. Confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati .....	133
10. Bibliografia .....	140
11. Allegati .....	144

## 1. Introduzione

### 1.1. Finalità degli studi

Viene definita la Microzonazione Sismica (MS) come la *“valutazione della pericolosità sismica locale attraverso l’individuazione di zone del territorio caratterizzate da comportamento sismico omogeneo. In sostanza, la MS individua e caratterizza le zone stabili, le zone stabili suscettibili di amplificazione locale del moto sismico e le zone suscettibili di instabilità (ora Zone di attenzione per instabilità, N.d.R.)”*.

Le problematiche trattate dagli studi di Microzonazione Sismica hanno avuto un forte sviluppo a livello scientifico negli ultimi anni, soprattutto a seguito dei terremoti che hanno coinvolto l'Appennino umbro-marchigiano nel 1997-98, la città di L'Aquila nel 2009, la Regione Emilia nel 2012 e l'attuale sequenza sismica Amatrice-Norcia-Visso, anche se la loro importanza era emersa già in epoca passata, tant'è che è da tempo noto che le condizioni locali dei terreni di fondazione condizionano in modo importante gli effetti del terremoto. Già un secolo fa i criteri informativi delle norme tecniche approvate con Regio Decreto 18 aprile 1909, n. 193, a seguito del disastroso terremoto di Messina e Reggio Calabria del 1908, riportavano il divieto di nuove costruzioni e ricostruzioni *“su terreni posti sopra e presso fratture, franosi o atti comunque a scoscendere, od a comunicare ai fabbricati vibrazioni e sollecitazioni tumultuarie per differente costituzione geologica o diversa resistenza delle singole parti di essi”*.

È facile leggere in questa sola frase come già all'epoca fossero chiari gli effetti del terremoto in termini di scuotimento (deformazioni reversibili) e deformazioni permanenti, e come esse fossero collegate fortemente alle caratteristiche locali dei terreni.

In uno studio condotto nel 1969 da Seed ed Idriss sulle registrazioni accelerometriche effettuate in occasione del terremoto di S. Francisco del 1957, emersero risultati che indicavano con evidenza come nell'ambito della stessa città, a poche centinaia di metri di distanza, lo stesso terremoto provocasse scuotimenti decisamente differenti in dipendenza degli spessori e delle caratteristiche dei terreni più soffici presenti negli strati più superficiali. Ulteriori studi effettuati in anni successivi, utilizzando le registrazioni accelerometriche e modelli strutturali di edifici, mostrarono come essi risentissero di forze sismiche molto diverse, sia in termini di risultante globale, sia in termini di contenuto in frequenza, spiegando in tal modo alcune evidenti differenze di danneggiamento riscontrate in strutture simili su terreni diversi.

Dott. Geol. Mauro Cataldi



Da allora gli studi su molti terremoti (es. Città del Messico, 1986; Kobe, 1992; Izmit, 1999) hanno continuato a mostrare con sempre maggiore evidenza come le caratteristiche locali del territorio possano alterare in maniera evidente l'azione sismica. Anche in Italia (Umbria–Marche, 1997; L'Aquila, 2009; Emilia Romagna, 2012; Centro Italia, 2016–17) sono state evidenziate situazioni in cui vengono mostrati livelli di danneggiamento estremamente diversi in edifici simili, dal punto di vista strutturale, in siti distanti poche centinaia di metri fra loro. In una località delle Regione Marche, in particolare, sono state effettuate registrazioni accelerometriche durante un *aftershock*, che hanno mostrato come i livelli di scuotimento nel sito in pianura su terreni sciolti siano stati amplificati di oltre il doppio, rispetto al sito su roccia ed abbiano avuto una durata molto più lunga.

Oltre ai fenomeni di amplificazione del moto, anche fenomeni di liquefazione, rotture di faglie in superficie, instabilità di versanti sono stati osservati già da diversi secoli in occasione di terremoti ed esistono numerose testimonianze storiche.

*Gli studi di Microzonazione Sismica hanno l'obiettivo di razionalizzare la conoscenza di questi fenomeni restituendo informazioni utili per chi deve pianificare o realizzare interventi sul territorio.*

Di recente, sulla base di quanto detto, in Italia e successivamente dalla Regione Marche, si è dato avvio all'opera di sensibilizzazione ai fini della prevenzione sismica, attraverso l'emanazione del D.L. 28 Aprile 2009, n. 39, convertito con modificazioni dalla L. 24 Giugno 2009, n.77 “*Interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite dagli eventi sismici nella Regione Abruzzo nel mese di aprile 2009 e ulteriori interventi urgenti di protezione civile*”, passando per l'O.C.D.P.C. n. 293/15 “*Individuazione dei territori della Regione Marche dove attuare il programma degli studi e indagini di microzonazione sismica e analisi CLE – V annualità. Riparto delle risorse con impegno di spesa*”, documento in cui sono stati individuati i Comuni dove non erano ancora stati effettuati gli studi di Microzonazione Sismica.

Per quanto riguarda il Comune di Muccia, uno studio riguardante indagini di Microzonazione Sismica di Livello 1 è stato condotto nel 2012 dal dott. geol. Andrea Anibaldi, secondo l'O.P.C.M. del 13 novembre 2010 n. 3907, “Attuazione dell'articolo 11 del decreto legge 28 aprile 2009, n. 39, convertito con modificazioni dalla legge 24 giugno 2009, n. 77 e dalla D.G.R. del 5 luglio 2011 n. 967 che disciplina i contributi di prevenzione del rischio sismico. Tale studio di Livello 1 è stato svolto seguendo gli

Dott. Geol. Mauro Cataldi



“Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica” del 2008. In particolare, per le elaborazioni e la compilazione del database si è fatto riferimento principalmente agli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica, versione 1.5” del 2011.

Successivamente, a seguito dei forti eventi sismici che hanno caratterizzato il Centro Italia a partire dal 24/08/2016, è stato emanato il D.L. n. 8 del 9 febbraio 2017, *Nuovi interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite dagli eventi sismici del 2016 e del 2017*, convertito con modificazioni dalla Legge n. 45 del 7 aprile 2017, dove, all'art. 1 si legge:

a) al comma 1, dopo la lettera l) è aggiunta la seguente:

*«l-bis) promuove l'immediata effettuazione di un piano finalizzato a dotare i Comuni individuati ai sensi dell'articolo 1 della microzonazione sismica di III livello, come definita negli «Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica» approvati il 13 novembre 2008 dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome, disciplinando con propria ordinanza la concessione di contributi a ciò finalizzati ai Comuni interessati, con oneri a carico delle risorse disponibili sulla contabilità speciale di cui all'articolo 4, comma 3, entro il limite di euro 5 milioni, e definendo le relative modalità e procedure di attuazione nel rispetto dei seguenti criteri:*

*1) effettuazione degli studi secondo i sopra citati indirizzi e criteri, nonché' secondo gli standard definiti dalla Commissione tecnica istituita ai sensi dell'articolo 5, comma 7, dell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei ministri n. 3907 del 13 novembre 2010, pubblicata nella Gazzetta Ufficiale n. 281 del 1° dicembre 2010;*

*2) affidamento degli incarichi da parte dei Comuni, mediante la procedura di cui all'articolo 36, comma 2, lettera a), del decreto legislativo 18 aprile 2016, n. 50, entro i limiti ivi previsti, ad esperti di particolare e comprovata specializzazione in materia di prevenzione sismica, previa valutazione dei titoli ed apprezzamento della sussistenza di un'adeguata esperienza professionale nell'elaborazione di studi di microzonazione sismica, purché iscritti nell'elenco speciale di cui all'articolo 34 ovvero, in mancanza, purché attestino, nei modi e nelle forme di cui agli articoli 46 e 47 del Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia di documentazione amministrativa di cui al decreto del Presidente della Repubblica 28 dicembre 2000, n. 445, il possesso dei requisiti per l'iscrizione nell'elenco speciale come individuati nel citato articolo 34 e nelle ordinanze adottate ai sensi del comma 2 ed abbiano presentato domanda di iscrizione al medesimo elenco;*

*3) supporto e coordinamento scientifico ai fini dell'omogeneità nell'applicazione degli indirizzi e dei criteri nonché degli standard di cui al numero 1, da parte del Centro per la microzonazione sismica (Centro MS) del Consiglio nazionale delle ricerche, sulla base di apposita convenzione stipulata con il Commissario straordinario, al fine di assicurare la qualità e l'omogeneità degli studi.»;*

*(...omissis...)*

Infine, il 12 maggio 2017, è stata emanata l'Ordinanza n. 24 da parte del Commissario del Governo per la ricostruzione, *Assegnazione dei finanziamenti per gli studi di*

Dott. Geol. Mauro Cataldi



*microzonazione sismica di III livello ai Comuni interessati dagli eventi sismici verificatisi a far data dal 24 agosto 2016*, in cui, all'Appendice 2 – Elenco dei Comuni interessati dagli studi di MS e raggruppamenti territoriali, risulta essere presente il Comune di Muccia, inserito nel raggruppamento territoriale Marche 1 che è rappresentata dalla seguente struttura operativa:

Raggruppamento	Responsabile Unità operativa	Supporto geologia	Supporto geofisica	Supporto modellazione 1D	Supporto modellazione 2D
Marche 1	Prof. Dario Albarello (UNISI-DSFTA)	Prof. Pierluigi Pieruccini (UNISI-DSFTA)	UNIFI-DICeA UNISANNIO-DST	UNISI-DFFTA UNIFI-DICeA	UNISI-DFFTA UNIFI-DICeA

In data 26 giugno 2017, tra il Comune di Muccia ed il Dott. Geol. Mauro Cataldi, è stato firmato il disciplinare d'incarico professionale per l'affidamento servizi di Microzonazione Sismica di III Livello ai sensi dell'Ordinanza del Commissario per la ricostruzione n. 24 del 12/05/2017.

Lo scopo di tale livello III è quello di associare valori dei fattori di amplificazione FA e spettri medi di risposta alle zone stabili soggette ad amplificazione, definite nel precedente livello 1.

Il livello 1 può essere applicato alla sola pianificazione del territorio, mentre il livello 3 si applica alla pianificazione del territorio e può fornire elementi di supporto alle valutazioni che il progettista responsabile degli interventi sui manufatti deve comunque fare sotto la sua esclusiva responsabilità, anche indipendentemente dai risultati della Microzonazione di livello 3. Vengono inoltre definite 3 classi di intervallo dei periodi di vibrazione di interesse in relazione al numero dei piani in elevazione degli edifici presenti, o di futura edificazione, nell'area studiata (con caratteristiche omogenee):

- 0,1 – 0,5 s
- 0,4 – 0,8 s
- 0,7 – 1,1 s

Al fine di consentire l'elaborazione degli studi di Microzonazione Sismica, realizzati per le finalità di cui all'art. 11 della Legge 77/09, puntando ad una semplificazione e sintesi dei contenuti, ottenere un'omogenea rappresentazione dei tematismi da parte dei soggetti

Dott. Geol. Mauro Cataldi



realizzatori, facilitando la lettura ed il confronto dei risultati degli studi di contesti territoriali diversi e garantire un sistema di archiviazione dei dati il più semplice e flessibile possibile, la Commissione tecnica per il monitoraggio degli studi di Microzonazione Sismica (art. 5, comma 7, O.P.C.M. 13 Novembre 2010, n. 3907) ha prodotto degli standard di rappresentazione e archiviazione informatica, giunti alla Versione 4.0b (Roma, ottobre 2015).

Nella parte prima (*Rappresentazione*) di tali standard sono proposte le legende tipo e i *layout* di tutte le carte (Carta delle indagini, Carta geologico-tecnica per la Microzonazione Sismica – CGT\_MS, Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica – Livello 1 o Carta delle M.O.P.S. e Carta di Microzonazione Sismica), in modo conforme a quanto previsto dagli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (I.C.M.S., 2008) e adattate alle esigenze di archiviazione informatica. È presente inoltre un'integrazione alla struttura per la realizzazione della Relazione Illustrativa del Livello 1 di MS.

La struttura della presente relazione illustrativa è invece presente nel disciplinare di incarico per lo studio di MS3.

Nella parte seconda (*Archiviazione*) vengono descritte le specifiche tecniche per la predisposizione delle strutture di archiviazione dei dati alfanumerici e dei dati cartografici per la Microzonazione Sismica, con alcune tavole sinottiche di aiuto alla costruzione delle Carte e all'archiviazione informatica dei dati. In tale processo di archiviazione, ha assunto un ruolo determinante l'adozione del software *SoftMS*, versione 4.0.1, che ha permesso una compilazione più celere delle tabelle per la Carta delle indagini rispetto alle prime annualità.

I servizi sono stati svolti in conformità alle disposizioni tecniche vigenti e dei seguenti riferimenti tecnici e normativi:

- Gruppo di lavoro MS, 2008. *Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica*. Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome – Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 vol. e Dvd. Disponibili nel sito web del Dipartimento della Protezione Civile, area “Rischio Sismico”. Link:  
[http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/view\\_pub.wp?contentId=PUB1137](http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/view_pub.wp?contentId=PUB1137)
- Contributi per l'aggiornamento degli Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. *Ingegneria Sismica, Anno XXVIII – n.2 – 2011*. Link:  
[http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/aggiornamento\\_indirizzi\\_microzonazione\\_sismica.pdf](http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/aggiornamento_indirizzi_microzonazione_sismica.pdf)

Dott. Geol. Mauro Cataldi



- Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2015. *Standard di rappresentazione e archiviazione informatica*. a. Versione 4.0b. Roma, ottobre 2015. 122 pp. Link: [http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/StandardMS\\_4\\_0b.pdf](http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/StandardMS_4_0b.pdf)
- Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2015. *Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC)*. Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome – Dipartimento della protezione civile, Roma. Link: [http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/LineeGuidaFAC\\_v1\\_0.pdf](http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/LineeGuidaFAC_v1_0.pdf)
- Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2017. *Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Liquefazione (LQ)*. Dipartimento della protezione civile, Roma. Versione 1.0. [http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/LG\\_Liq\\_v1\\_0.pdf](http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/LG_Liq_v1_0.pdf)
- Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2015. *Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante sismoindotte (FR)*. Dipartimento della protezione civile, Roma. Versione 1.0. [http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/LG\\_Frane\\_v1\\_0.pdf](http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/LG_Frane_v1_0.pdf)
- Regione Emilia Romagna, 2015. *Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica*. Allegato A3 – Procedure di riferimento per le analisi di terzo livello di approfondimento.
- Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2014. *Linee guida per l'elaborazione della carta e delle sezioni geologico tecniche per la microzonazione sismica (CGT\_MS)*. Dipartimento della protezione civile, Roma. Bozza, ver. 1.2 beta.
- Significato e contenuto degli studi di MS di livello 2 e 3. Link: [http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/Significato\\_e\\_contenuto\\_degli\\_studi\\_di\\_MS\\_di\\_livello\\_2\\_e\\_3.pdf](http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/Significato_e_contenuto_degli_studi_di_MS_di_livello_2_e_3.pdf)
- Software per l'archiviazione delle indagini per la MS (SoftMS versione 4.0). Link: Software per l'archiviazione delle indagini per la MS (SoftMS versione 4.0).

## 1.2. Descrizione generale dell'area comunale

Il Comune di Muccia (Regione Marche, Provincia di Macerata) possiede un'estensione territoriale di 25,91 km<sup>2</sup> e si eleva dai 413 ai 1.304,64 m s.l.m. Occupa la porzione occidentale dell'entroterra maceratese, con territorio prevalentemente collinare.

Ulteriori informazioni sono contenute nel capitolo 3.2 relativo all'inquadramento geomorfologico.

I Comuni confinanti sono Pieve Torina a S, Camerino a NE, Valfornace (ex Pievebovigliana) a E e Serravalle di Chienti a N e NW (Figura 1).

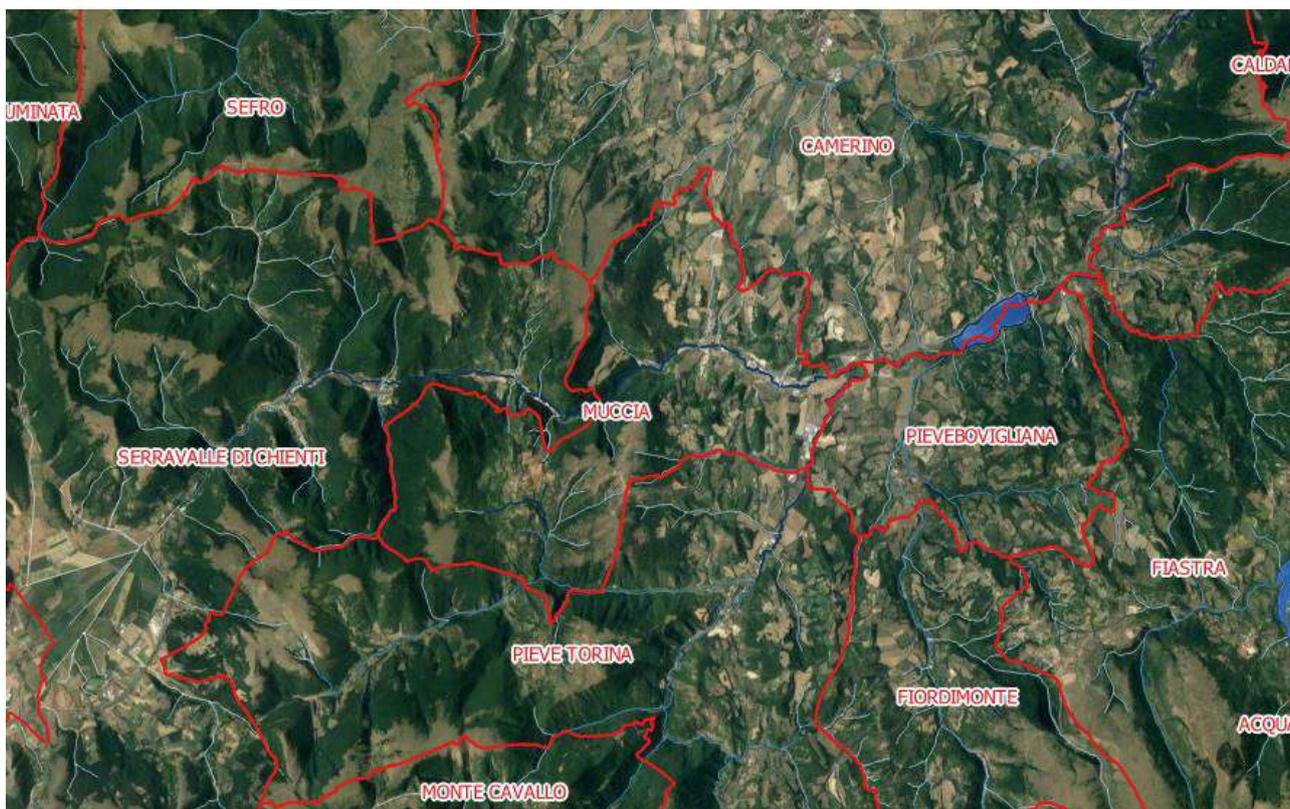


Figura 1 – Territorio comunale di Muccia (25,91 kmq) – QGis vers. 2.18.3.

### 1.3. Definizione dei documenti di base utilizzati nello studio

Oltre agli articoli sopra citati, per l'espletamento del presente incarico sono stati consultati i seguenti studi e cartografie:

Antonini G., et alii (1993) – *Carta inventario dei movimenti franosi della Regione Marche ed aree limitrofe (scala 1: 100.000)*. CNR – IRPI Perugia, CNR – GNDCI. Pubbl. CNDCI n. 580.

Barchi M., et alii (1988) – *Sezioni geologiche bilanciate attraverso il sistema a pieghe umbro-marchigiano*. Boll. Soc. Geol. It., 107: 109–130.

Bisci C., et alii (1990) – *Carta delle regioni e dei sistemi riconosciuti nell'area marchigiana*. Atti Convegno GNDT. Pisa, 25–27 giugno 1990.

Boni C., et alii (1986) – *Schema idrogeologico dell'Italia Centrale*. Mem. Soc. Geol. It., 35: 991–1012.

Cantalamessa G. ed altri – *Analisi dell'evoluzione tettonico-sedimentaria dei "bacini minori" ... Il Bacino della Laga*. Studi Geologici Camerti, VII.

Dott. Geol. Mauro Cataldi



Cantalamessa G. ed altri – *Analisi dell'evoluzione tettonico-sedimentaria dei “bacini minori” ... Il Bacino della Laga*. Carta geologica del Bacino della Laga tra in F. Potenza ed il T. Fiastrella. Studi Geologici Camerti, VII.

Centamore E. (1986) – *Carta Geologica delle Marche (scala 1: 250.000)*. Litografia Artistica Cartografica – Firenze.

Centamore E., Deiana G. (1986) – *La geologia delle Marche*. Numero speciale, Studi Geologici Camerti.

Centamore E. et alii (1991) – *Carta geologica, geomorfologica ed idrogeologica delle Marche (scala 1: 100.000)*. A cura della Regione Marche, Assessorato Urbanistica – Ambiente. S.E.L.C.A. – Firenze.

Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (1990) – *Zonazione e riclassificazione sismica*. Atti del Convegno. Pisa, 25–27 giugno 1990. Consiglio Nazionale delle Ricerche.

Istituto di Geologia – Università di Camerino – *Carta geologica dei depositi neogenico-quadernari tra il F. Potenza e il F. Tronto*.

Regione Marche – Giunta Regionale (1991) – *L'ambiente fisico delle Marche: geologia, geomorfologia, idrogeologia*.

Regione Marche – Autorità di Bacino Regionale (2001) – *Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)*.

Regione Marche – Ufficio Urbanistica e Cartografia (1999–2001) – *Carta geologica regionale (scala 1: 10.000)*.

#### 1.4. Aree da sottoporre agli studi di MS

Le aree di studio scelte ai fini della Microzonazione Sismica, per quanto riguarda il precedente Livello 1, concluso nel 2012, sono state dapprima avallate dall'Amministrazione comunale di Muccia: sono stati inglobati nello studio tutti i centri abitati\* ISTAT 2001 (Muccia capoluogo, Massaprofoglio) ed i nuclei abitati\*\* ISTAT 2001 (Maddalena, Costafiore, Vallicchio, La Rocchetta e l'eremo del Beato Rizzerio). Infine, sono state coperte altre aree abitate non presenti nel precedente elenco: Varano, Giove, Zona P.I.P. Varnelli e Fonticelle.

Regione Marche – Comune di Muccia  
MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3 DEL COMUNE DI MUCCIA AI SENSI DELL'ORDINANZA DEL COMMISSARIO  
STRAORDINARIO N. 24 REGISTRATA IL 15 MAGGIO 2017 AL N. 1065  
Relazione Illustrativa

\*Centri abitati: aggregato di case contigue o vicine con interposte strade, piazze e simili, o comunque brevi soluzioni di continuità per la cui determinazione si assume un valore variabile intorno ai 70 metri, caratterizzato dall'esistenza di servizi od esercizi pubblici (scuola, ufficio pubblico, farmacia, negozio o simili) costituenti la condizione di una forma autonoma di vita sociale, e generalmente determinanti un luogo di raccolta ove sono soliti concorrere anche gli abitanti dei luoghi vicini per ragioni di culto, istruzione, affari, approvvigionamento e simili, in modo da manifestare l'esistenza di una forma di vita sociale coordinata dal centro stesso. I luoghi di convegno turistico, i gruppi di villini, alberghi e simili destinati alla villeggiatura, abitati stagionalmente, sono considerati centri abitati temporanei, purché nel periodo dell'attività stagionale presentino i requisiti del centro.

\*\*Nuclei abitati: località abitata, priva del luogo di raccolta che caratterizza il centro abitato, costituita da un gruppo di case contigue e vicine, con almeno cinque famiglie, con interposte strade, sentieri, piazze, aie, piccoli orti, piccoli incolti e simili, purché l'intervallo tra casa e casa non superi trenta metri e sia in ogni modo inferiore a quello intercorrente tra il nucleo stesso e la più vicina delle case manifestamente sparse.



Figura 2 – Territorio comunale di Muccia – Carta Topografica d'Italia, Foglio 124 "Macerata", quadrante III.

Dott. Geol. Mauro Cataldi



Per quanto riguarda il successivo livello 3, l'area oggetto di studio è stata definita con il Sindaco sig. Mario Baroni. Partendo dalla cartografia proposta dalla Protezione Civile e Regione Marche, si è ritenuto opportuno aumentare il limite dell'area già prefissato per la Microzonazione Sismica di livello 3, incrementando 2 aree prossime al capoluogo, inglobando Varano e Maddalena (Figura 3). La nuova delimitazione, avente area di 44,760 Ha, rientra nel limite massimo consentito (20% aumento) pari a 46,668 Ha.

Tale limite è stato fornito nello shape file denominato "localita\_ms3\_rev.shp".

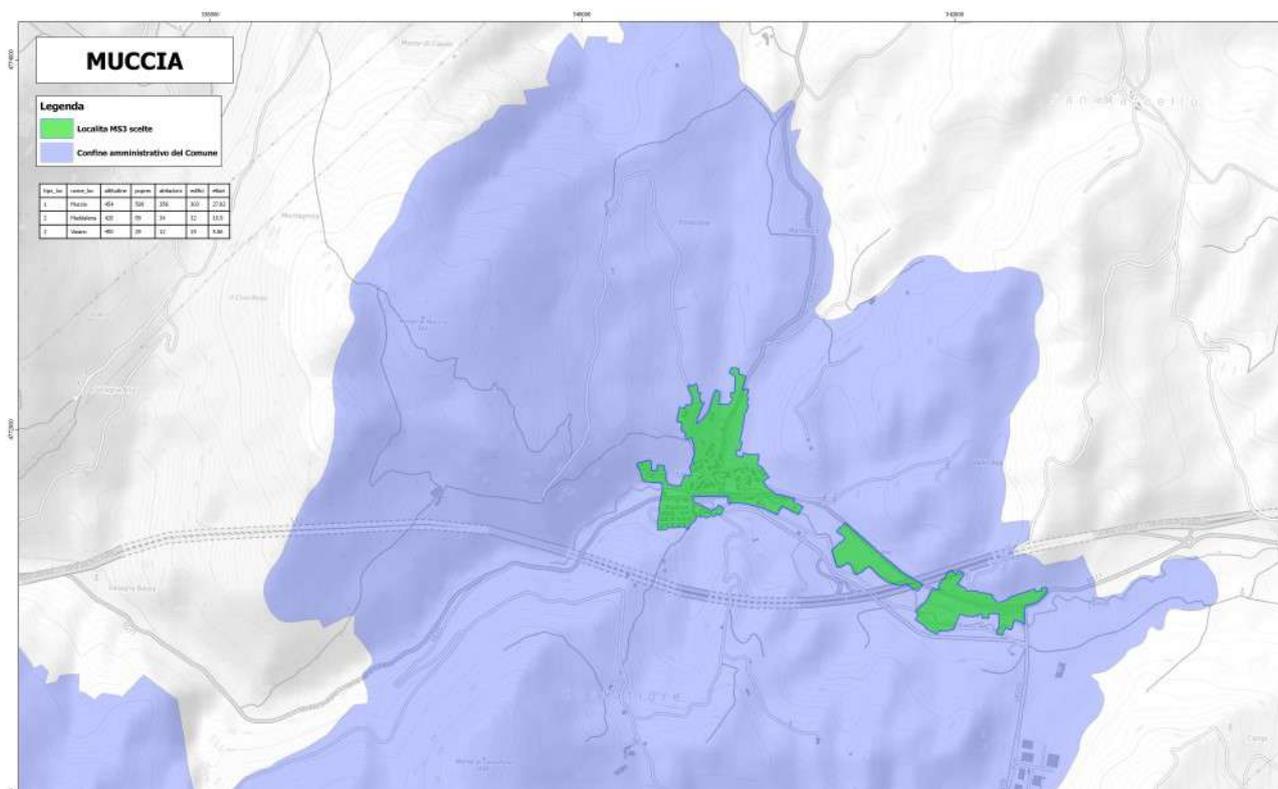


Figura 3 – In verde, settore individuato per lo studio di Microzonazione Sismica di livello 3.

## 2. Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento

### 2.1. Sismicità storica dell'area di studio

Per la determinazione degli eventi sismici di riferimento che successivamente condurranno alla definizione della pericolosità di base del territorio comunale di Muccia si è partiti dall'analisi del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15) che fornisce dati parametrici omogenei, sia macrosismici, sia strumentali, relativi ai terremoti con intensità massima  $\geq 5$  o magnitudo  $\geq 4.0$  di interesse per l'Italia nella finestra

Dott. Geol. Mauro Cataldi



temporale 1000–2014 (Figura 4) e che si riferisce al DataBase Macrosismico Italiano 2015 (DBMI15).

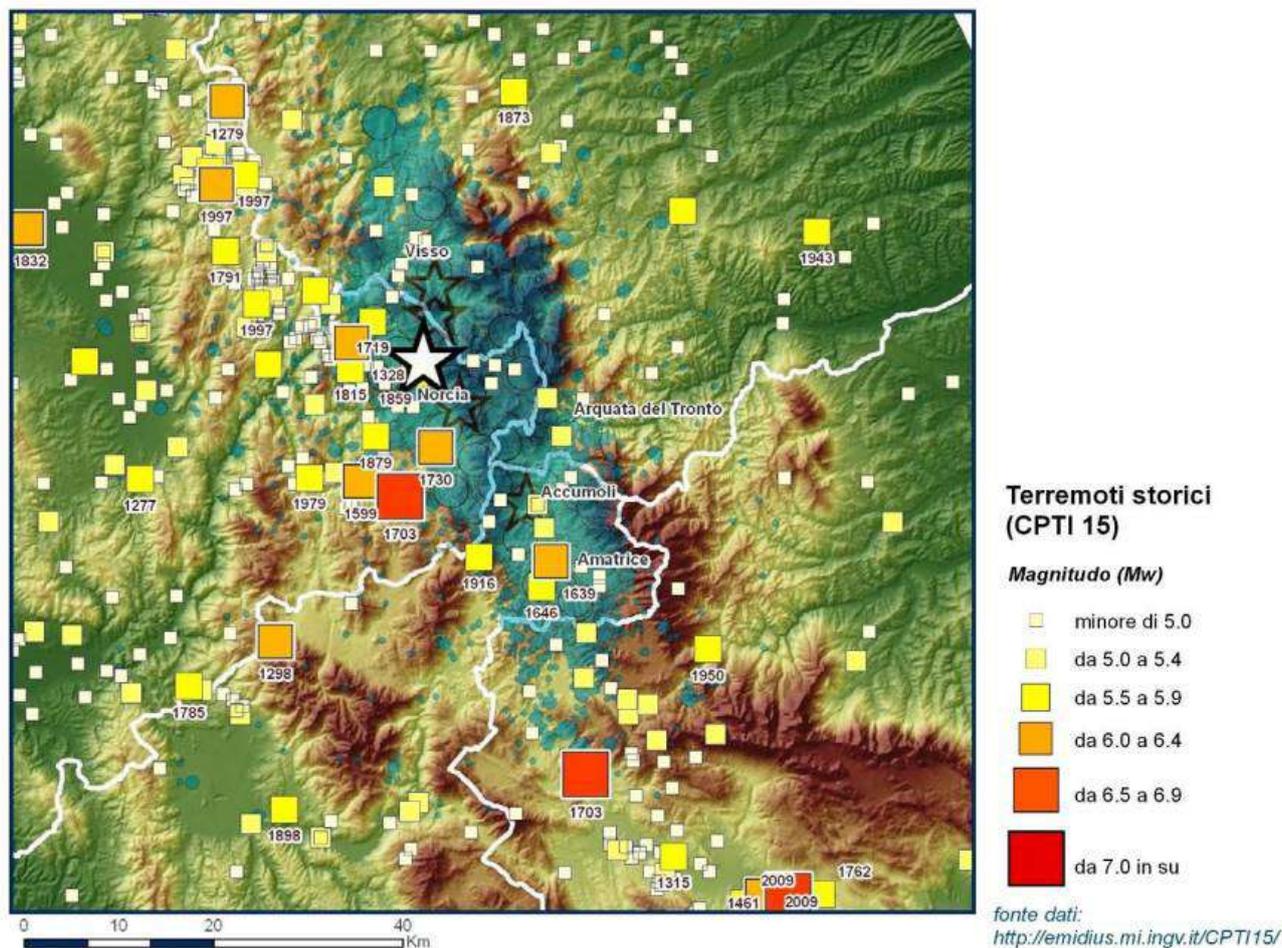


Figura 4 - Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 (CPTI15).

La consultazione per località di tale catalogo, disponibile liberamente all'indirizzo <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15>, ha fornito 50 risultati (Figura 5) dei quali, ragionando in termini di scala di danno M.C.S. (Mercalli–Cancani–Sieberg) per un grado di almeno VI (*terremoto forte con qualche leggera lesione negli edifici e finestre in frantum*) che accadono nel settore appenninico in esame con una ciclicità compresa tra 15 e 25 anni, possiamo prendere in considerazione:

<i>Data</i>	<i>Area epicentrale</i>	<i>Mw</i>	<i>Intensità nella località</i>
03/10/1997	Appennino umbro-marchigiano	5,22	VII–VIII
06/10/1997	Appennino umbro-marchigiano	5,47	VII–VIII
26/09/1921	Appennino umbro-marchigiano	5,66	VII
19/09/1979	Valnerina	5,83	VI–VII

Dott. Geol. Mauro Cataldi



Regione Marche – Comune di Muccia  
 MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3 DEL COMUNE DI MUCCIA AI SENSI DELL'ORDINANZA DEL COMMISSARIO  
 STRAORDINARIO N. 24 REGISTRATA IL 15 MAGGIO 2017 AL N. 1065  
 Relazione Illustrativa

14/10/1997	Valnerina	5,62	VI-VII
28/07/1799	Appennino marchigiano	6,18	VI
26/09/1997	Appennino umbro-marchigiano	5,97	VI
07/02/1998	Appennino umbro-marchigiano	4,41	VI

## Muccia



PlaceID IT\_51872  
 Coordinate (lat, lon) 43.081, 13.043  
 Comune (ISTAT 2015) Muccia  
 Provincia Macerata  
 Regione Marche  
 Numero di eventi riportati 50

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
4	1788	05	03	02	30		Appennino umbro-marchigiano	11	7	5.10
6	1799	07	28	22	05		Appennino marchigiano	70	9	6.18
F	1943	10	03	08	28	2	Ascolano	170	8	5.67
NF	1948	01	10				Loro Piceno	21	4-5	3.93
5	1951	08	08	19	56		Gran Sasso	94	7	5.25
F	1962	10	05	23	00	4	Appennino maceratese	16	5-6	4.35
4	1963	01	25	05	27		Monti Sibillini	30	5	4.31
4	1969	09	26	23	40	3	Teramano	97	5	4.39
5	1971	02	11	18	49	2	Valle del Chiascio	71	6	4.61
3	1971	02	12	04	54	5	Valle del Chiascio	47	7	4.89
3-4	1971	04	02	01	43	5	Valnerina	68	6	4.50
5	1971	10	04	16	43	3	Valnerina	43	5-6	4.51
5-6	1972	11	26	16	03		Marche meridionali	73	8	5.48
6-7	1979	09	19	21	35	3	Valnerina	694	8-9	5.83
5	1980	02	28	21	04	4	Valnerina	146	6	4.97
5	1980	05	24	20	16	0	Monti Sibillini	58	5-6	4.48
4-5	1984	04	29	05	02	5	Umbria settentrionale	709	7	5.62
4-5	1986	10	13	05	10	0	Monti Sibillini	322	5-6	4.46
4-5	1989	09	11	02	46	2	Marche meridionali	60	5	4.04
5	1989	11	19	03	40	2	Valnerina	38	5	4.13
4-5	1989	12	22	06	48	1	Valle Umbra	114	5	4.44
4-5	1993	06	04	21	36	5	Valle del Topino	90	5-6	4.39
5	1993	06	05	19	16	1	Valle del Topino	326	6	4.72
4	1995	12	30	15	22	0	Fermano	106	5	4.19

Dott. Geol. Mauro Cataldi



Regione Marche – Comune di Muccia  
 MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3 DEL COMUNE DI MUCCIA AI SENSI DELL'ORDINANZA DEL COMMISSARIO  
 STRAORDINARIO N. 24 REGISTRATA IL 15 MAGGIO 2017 AL N. 1065

Relazione Illustrativa

NF		1997 07 15 08 51 1	Appennino umbro-marchigiano	22	4-5	3.34
7		1997 09 26 00 33 1	Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5.66
6		1997 09 26 09 40 2	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5.97
7-8		1997 10 03 08 55 2	Appennino umbro-marchigiano	490		5.22
7-8		1997 10 06 23 24 5	Appennino umbro-marchigiano	437		5.47
6-7		1997 10 14 15 23 1	Valnerina	786		5.62
5		1997 10 23 08 58 4	Appennino umbro-marchigiano	56		3.86
4-5		1997 11 09 19 07 3	Valnerina	180		4.87
6		1998 02 07 00 59 4	Appennino umbro-marchigiano	62		4.41
5		1998 02 16 13 45 1	Valnerina	33		3.75
5		1998 03 21 16 45 0	Appennino umbro-marchigiano	141		5.00
5-6		1998 03 26 16 26 1	Appennino umbro-marchigiano	409		5.26
5		1998 04 05 15 52 2	Appennino umbro-marchigiano	395		4.78
3-4		1998 06 01 13 57 1	Appennino umbro-marchigiano	23		4.02
5-6		1998 06 02 23 11 2	Appennino umbro-marchigiano	83		4.25
4-5		1998 08 11 05 22 5	Appennino umbro-marchigiano	24		3.26
4-5		1999 10 10 15 35 5	Alto Reatino	79	4-5	4.21
4-5		1999 11 29 03 20 3	Monti della Laga	62	5-6	4.15
4-5		2000 09 02 05 17 0	Appennino umbro-marchigiano	115		4.40
5		2000 10 24 07 52 2	Monti Sibillini	65		4.11
3-4		2001 04 16 08 51 5	Appennino umbro-marchigiano	31	4-5	3.57
NF		2004 12 09 02 44 2	Teramano	213		4.09
3-4		2005 04 12 00 31 5	Maceratese	131	4	3.74
4		2005 12 15 13 28 3	Val Nerina	350		4.14
4-5		2006 04 10 19 03 3	Maceratese	211		4.06
3-4		2006 10 21 07 04 1	Anconetano	287		4.21

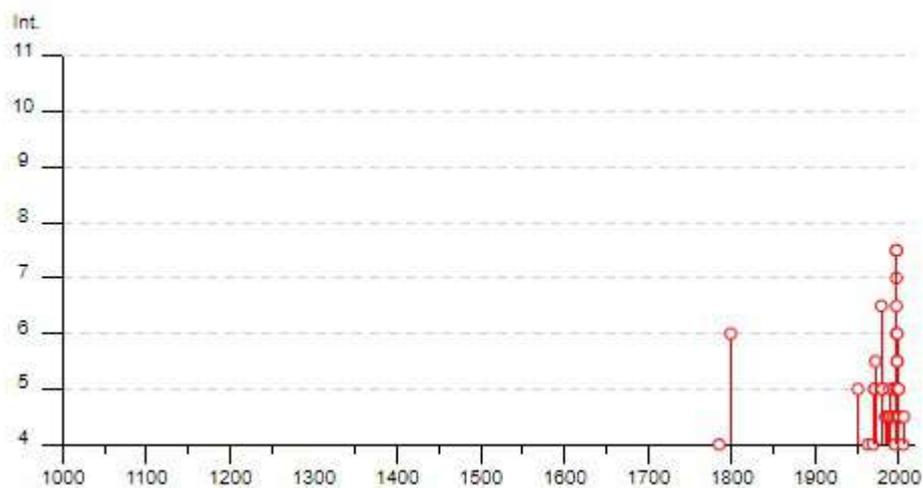


Figura 5 – Risultato dell'interrogazione per località del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 (CPTI15).

Dott. Geol. Mauro Cataldi



Inoltre, sulla base di osservazioni effettuate su versioni obsolete di cataloghi precedenti (CPTI99, CPTI04, CPTI11, DBMI04, DBMI11), sicuramente vanno presi in esame anche i seguenti accadimenti:

Interrogazione effettuata sui seguenti parametri:

Area circolare con centro C (43.081, 13.043) e raggio 25 km  
 a partire dal 217/01/01 fino al 2002/12/31

N	Tr	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Se	AE	Rt	Np	Imx	Io	TI	Lat	Lon	TL	Maw	Daw	TW	Mas	Das	TS	Msp	Dsp	Z59	TZ	Ncft	Nnt	Ncpt
63	DI	1279	4	30	18			CAMERINO	DOM	17	100	100		43.093	12.872	A	6.33	0.20		6.33	0.20		6.33	0.20	919	G	123	1100	63
310	DI	1612	10	14				FOSSATO DI VICO	DOM	7	70	70		43.246	12.853	A	5.13	0.25		4.75	0.37		4.94	0.34	919	G		1068	310
469	DI	1719	6	27				ALTA VALNERINA	DOM	14	75	75		42.892	13.031	A	5.32	0.16		5.03	0.24		5.20	0.22	923	G		1109	469
528	DI	1747	4	17				FIUMINATA	DOM	27	90	90		43.202	12.824	A	5.93	0.12		5.93	0.18		5.93	0.18	919	G	306	1072	528
641	CP	1785	5	3	2	30		PIEVE TORINA	POS85			60		43.083	13		4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	919	G		1114	641
667	DI	1791	10	11				SCOPOLI	DOM	14	75	75		42.972	12.824	A	5.32	0.16		5.02	0.24		5.19	0.22	919	G		1116	667
687	DI	1799	7	28				CAMERINO	DOM	47	95	90		43.147	13.123	A	5.93	0.12		5.93	0.18		5.93	0.18	918	G	354	1117	687
982	DI	1873	3	12	20	4		Marche meridionali	CFTI	196	90	80		43.088	13.25	A	5.88	0.08		5.86	0.12		5.86	0.12	918	G	418	1122	982
1098	CP	1884	8	15				VISSO	POS85			70		42.933	13.083		5.17	0.30		4.80	0.45		4.99	0.42	923	G		1126	1098
1294	CP	1898	4	23	18	22	8	M.FEMA	POS85			70		42.917	12.967		5.17	0.30		4.80	0.45		4.99	0.42	919	G		1131	1294
1301	DI	1898	8	25				VISSO	DOM	66	70	70		42.91	12.973	A	5.09	0.15		4.69	0.22		4.89	0.20	919	G		1133	1301
1308	CP	1898	11	27	1			CAMERINO	POS85			60		43.1	12.967		4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	919	G		1134	1308
1396	CP	1904	9	2	11	21	40	BOLOGNOLA	POS85			60		43	13.3		4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	918	G		1140	1396
1424	CP	1905	11	30	22			S.GINESIO	POS85			55		43.117	13.25		4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19	918	G		1141	1424
1475	CP	1908	3	17	3	59	11	BOLOGNOLA	POS85			55		43	13.3		4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19	918	G		1142	1475
1600	CP	1914	7	31	21	50		GUALDO TADINO	POS85			70		43.2	12.8		5.17	0.30		4.80	0.45		4.99	0.42	919	G		1083	1600
1722	DI	1921	8	28	10	45		SARNANO	DOM	13	70	70		43.12	13.253	A	5.06	0.22		4.64	0.32		4.84	0.30	918	G		1150	1722
1730	DI	1922	6	8	7	47		CALDAROLA	DOM	52	65	60		43.148	13.286	A	5.00	0.09		4.55	0.14		4.76	0.13	918	G		1151	1730
1740	CP	1923	7	12	20	49		TOLENTINO	POS85			60		43.2	13.3		4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	918	G		1152	1740
1793	DI	1927	8	16		53		CASTEL SANT'ANGELO	DOM	17	60	60		42.899	13.074	A	4.56	0.15		3.90	0.22		4.16	0.20	923	G		1154	1793
1922	DI	1936	12	9	7	34		CALDAROLA	DOM	32	75	70		43.145	13.223	A	4.83	0.11		4.29	0.17		4.52	0.16	918	G		1160	1922
1968	DI	1941	3	10	8			SELLANO	DOM	2	55	55		42.888	12.926	A	4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19	919	G		1161	1968
2059	DI	1951	9	1				SARNANO	DOM	81	70	70		43.28	13.287	A	5.31	0.04		5.01	0.06		5.18	0.06	918	G		1168	2059
2145	CP	1960	2	24	1	51		FIUMINATA	POS85			55		43.167	12.933		4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19	919	G		1088	2145
2179	CP	1962	10	5	23	43		POLVERINA	POS85			55		43.1	13.2		4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19	918	G		1175	2179
2184	CP	1963	1	25	5	27		VISSO	POS85			60		42.917	13.083		4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	923	G		1176	2184
2287	CP	1970	9	7	14	2	21	SELLANO	POS85			60		42.867	12.95		4.83	0.15		4.30	0.22		4.53	0.20	919	G		1181	2287
2306	DI	1971	10	4	16	43		NORCIA	DOM	43	65	65		43.083	13.059	A	4.97	0.11		4.51	0.17		4.72	0.16	919	G		1183	2306
2333	CP	1974	1	5	7	33	28	NOCERA UMBRA	POS85			60		43.133	12.8		4.33	0.15		3.55	0.22		3.83	0.20	919	G		1099	2333
2350	CP	1974	12	2	1	55	15	M.FEMA	POS85			70		43	13		4.73	0.15		4.15	0.23		4.39	0.21	919	G		1184	2350
2515	DI	1997	9	26	9	40	25	Appennino umbro-marchigiano	CFTI	869	90	85		43.019	12.879	A	6.05	0.18	0	5.95	0.03		5.95	0.03	919	G			
2517	DI	1998	3	26	16	26	17	APPENNINO UMBRO-MARCHIGIANO	BMING	408	65	60		43.252	13.071	A	5.33	0.18	0	4.81	0.04		5.00	0.03	919	A			

Infine, sono state analizzate due fonti di dati sismologici di lungo periodo, lo *European Archive of Historical Earthquake Data* (AHEAD) e lo *SHARE European Earthquake Catalogue* (SHEEC) da cui emerge come significativo per l'area oggetto di studio, l'evento occorso nel 1703, il cui impatto sul territorio fu sensibilmente più grave rispetto a quanto è emerso a seguito della fase sismica attualmente in corso, in quanto accompagnato da una successiva scossa avente epicentro nell'aquilano (Mw 6,67 del 02/02/1703):

Data	Area epicentrale	Mw
14/01/1703	Valnerina	6,92

## 2.2. Sismicità recente dell'area di studio

Viene compiuta una ricerca degli eventi sismici recenti più rilevanti attraverso l'Italian Seismological Instrumental and Parametric Data-basE (ISIDE), servizio di sorveglianza sismica nazionale dell'INGV.

L'interrogazione, effettuata per un periodo superiore ad un anno, compreso tra l'agosto 2016 e la data della stesura della presente relazione (dicembre 2017) e che ha riguardato

Dott. Geol. Mauro Cataldi



un raggio di 50 km dal Comune di Muccia ed una magnitudo  $M_w$  compresa tra 2,0 e 10,0, ha fornito 9.721 risultati (Figura 6) aventi magnitudo elevata ( $M_w$  max 6,5) e localizzati in dorsale appenninica, e che rappresentano l'intensa sequenza sismica tuttora in atto definita dall'INGV "Sequenza sismica Amatrice–Norcia–Visso".

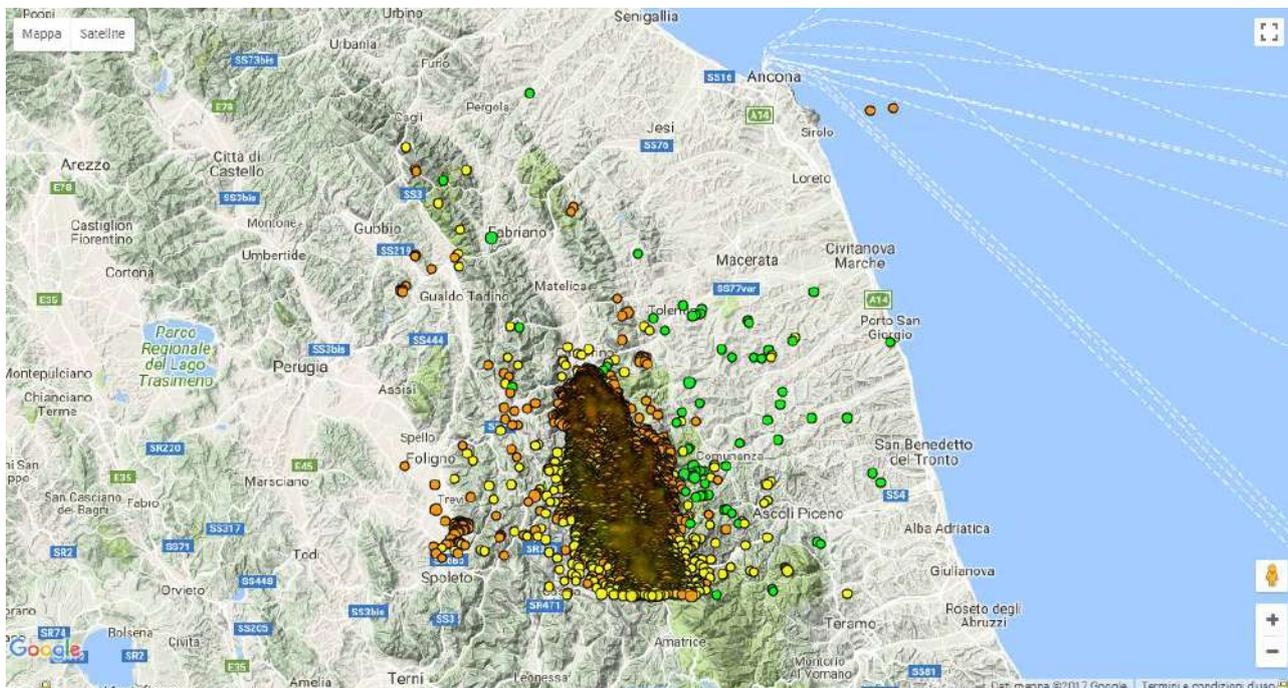


Figura 6 – Localizzazione degli eventi sismici occorsi dal 24/08/2016. Fonte database ISIDE  
(<http://iside.rm.ingv.it/iside/standard/index.jsp>)

Tale sequenza, rappresentata fino a qualche mese fa ancora in media da 100 eventi giornalieri di cui pochi con  $M_w \geq 2$ , ha superato gli 80.000 sismi dal 24 agosto 2016, quando alle ore 3.36 si è verificato un sisma di  $M_w$  6,0 con epicentro nel Comune di Accumoli e ipocentro alla profondità di 8 km, seguito alle ore 4.33 da una scossa di  $M_w$  5,4 registrata presso Norcia, data l'attivazione immediata di un segmento del sistema di faglie lungo circa 40 km.

Il 26 ottobre 2016, alle ore 19.11 una nuova forte scossa di  $M_w$  5,4 è stata registrata nel Comune di Castelsantangelo sul Nera, seguita da un'altra più intensa alle ore 21.18 e  $M_w$  5,9 con epicentro nel Comune di Ussita.

Il 30 ottobre 2016, alle ore 7.40 si è verificata una forte scossa di  $M_w$  6,5, risultando la più intensa dal sisma dell'Irpinia del 1980. L'ipocentro è stato stimato a 9 km di profondità, mentre l'epicentro in provincia di Perugia, tra i paesi di Norcia e Preci. Numerose le repliche con  $M_w$  compresa tra 4,0 e 4,5.

Dott. Geol. Mauro Cataldi

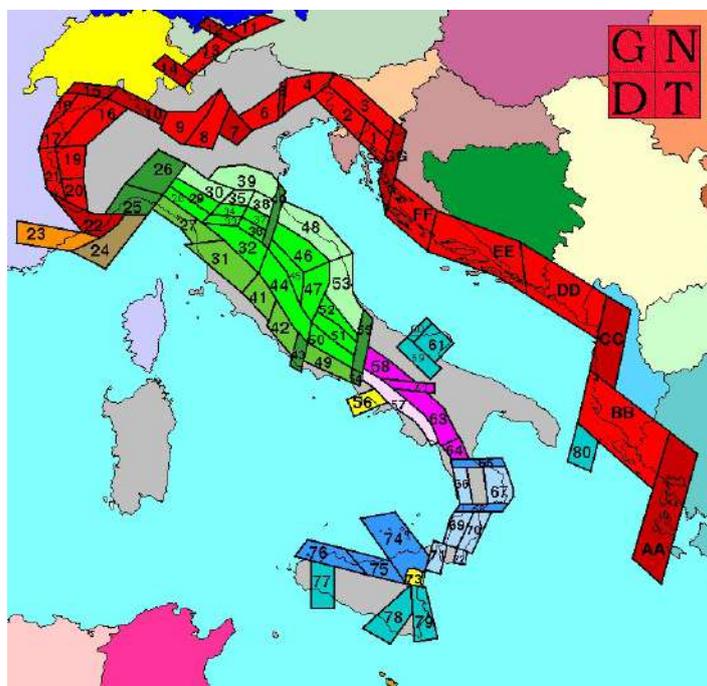


Il 18 gennaio 2017 si sono verificate invece quattro scosse molto intense in un arco temporale di poco superiore alle quattro ore: la prima alle ore 10.25 (Mw 5,1 – epicentro a Capitignano), la seconda alle ore 11.14 (Mw 5,5 – Capitignano), la terza alle ore 11.25 (Mw 5,4 – Capitignano/Pizzoli), l'ultima alle ore 14.33 (Mw 5,0 – Barete/Cagnano Amiterno).

### 2.3. Pericolosità sismica di base

Negli ultimi anni e fino al 2002, la zonazione simogenetica ZS4 (Figura 7 – [http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/ZONE/zone\\_sismo.html](http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/ZONE/zone_sismo.html); Scandone e Stucchi, 2000), ha rappresentato il punto di riferimento per la maggior parte delle valutazioni di pericolosità sismica dell'area italiana.

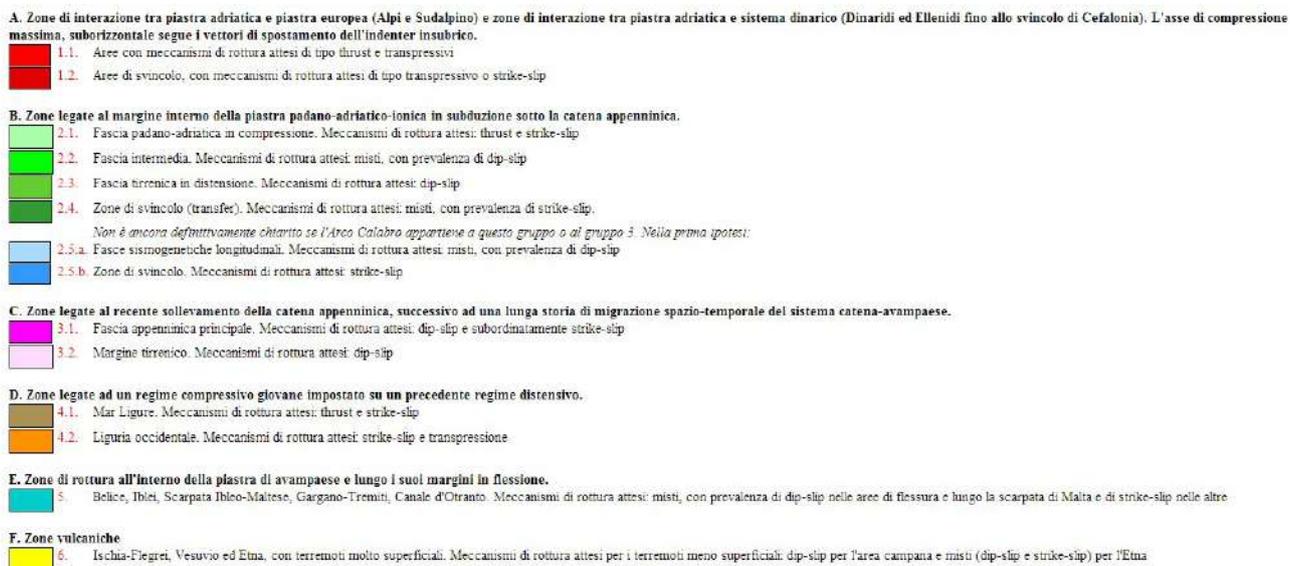
Tale zonazione era stata realizzata da Scandone e colleghi nel 1996 ma gli sviluppi più recenti delle conoscenze in materia di sismogenesi hanno evidenziato alcune inconsistenze di tale modello di zonazione, a cui a partire dal 1999 si è aggiunta una non completa coerenza con il catalogo CPTI (Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, pubblicato in quell'anno dal Gruppo di Lavoro CPTI); inoltre, a causa delle ridotte dimensioni delle zone sismogenetiche, anche utilizzando questo catalogo, il campione di terremoti disponibili per molte delle zone sismogenetiche è scarso, tale da rendere instabili le stime dei ratei di sismicità.



Dott. Geol. Mauro Cataldi



Regione Marche – Comune di Muccia  
MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3 DEL COMUNE DI MUCCIA AI SENSI DELL'ORDINANZA DEL COMMISSARIO  
STRAORDINARIO N. 24 REGISTRATA IL 15 MAGGIO 2017 AL N. 1065  
Relazione Illustrativa



*Figura 7 – Zonazione sismogenetica ZS4 adottata dal GNDT nel 1996 e relativa legenda (da [http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/ZONE/zone\\_sismo.html](http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/ZONE/zone_sismo.html))*

Per superare questo stato di cose si è convenuto di disegnare una nuova zonazione, denominata ZS9 (Figura 8) che soddisfacesse i seguenti requisiti:

- a) Essere basata prevalentemente sul *background* informativo e sull'impianto generale di ZS4, che deriva dall'approccio cinematico all'elaborazione del modello sismotettonico;
- b) Recepire le informazioni delle sorgenti sismogenetiche italiane messe a disposizione da DISS 2.0 (*Database of Potential Sources for Earthquake Larger than M5.5 in Italy*, Valensise e Pantosti, 2001) e da altre compilazioni regionali di faglie attive;
- c) Considerare le indicazioni e gli spunti che derivano dall'analisi dei dati relativi ai terremoti più importanti verificatisi successivamente alla predisposizione di ZS4, alcuni dei quali (Bormio 2000, Monferrato 2001, Merano 2001, Palermo 2002, Molise 2002) localizzati al di fuori delle zone-sorgente in essa definite;
- d) Superare il problema delle ridotte dimensioni delle zone-sorgente e della conseguente limitatezza del campione di terremoti che ricade in ciascuna di esse;
- e) Essere utilizzabile in congiunzione con il nuovo catalogo CPT12 utilizzato per i calcoli dei tassi di sismicità all'interno di questo progetto (ZS4 era stata tracciata anche sulla base del quadro di sismicità storica che derivava da NT.4);
- f) Fornire una stima di profondità "efficace", definita come l'intervallo di profondità nel quale viene rilasciato il maggior numero di terremoti in ogni zona-sorgente,

Dott. Geol. Mauro Cataldi



utilizzabile in combinazione con le relazioni di attenuazione determinate su base regionale;

- g) Fornire per ogni ZS un meccanismo di fagliazione prevalente utilizzabile in combinazione con le relazioni di attenuazione sulla base dei coefficienti proposti da Bommer et al. (2003).

Nel caso in esame, il territorio comunale di Muccia, seguendo la zonazione ZS9, si trova all'interno della zona sismogenetica 919 (Zona Appennino Umbro) che di corredo con le zone 915 (Garfagnana - Mugello) e 923 (Appennino Abruzzese), rappresentano una fascia che dalla Lunigiana arriva fino al confine Abruzzo-Molise e nella zonazione ZS4 veniva indicata come l'area con il maggior rilascio di energia dell'Appennino centro-settentrionale. Essa corrisponde al settore più interno della catena appenninica, generalmente interessato da importanti faglie primarie e relative sorgenti sismogenetiche, con faglie e sistemi di faglie legati all'estensione appenninica. Tali strutture immergono verso NE nel settore compreso tra la Toscana settentrionale e l'Umbria settentrionale e verso SW nel settore che si estende dall'Umbria centrale fino a tutto l'Abruzzo (Galadini et al., 2001; Valensise e Pantosti, 2001). Questa lunga fascia include le sorgenti sismogenetiche responsabili dei terremoti di più elevata magnitudo che hanno caratterizzato l'arco appenninico settentrionale e centrale. Nonostante le limitate dimensioni, la zona 919 (profondità efficace 8 km) è caratterizzata da un elevato numero di terremoti, molti dei quali di magnitudo maggiore o uguale a 5 (Mw max 6,37). Nella zona più meridionale (923, a sud della Valnerina, profondità efficace 9km) sono presenti invece le sorgenti più estese ed i terremoti a magnitudo più elevata (Mw max 7,06).

In adiacenza alla zona sismogenetica 919, nel settore orientale e prossima all'area di indagine, è ubicata la fascia 918 (Zona Medio-Marchigiana/Abruzzese) che risulta dalla scomposizione della fascia che da Parma si estende fino all'Abruzzo. Tale zona è caratterizzata da terremoti prevalentemente compressivi nella porzione nord-occidentale e probabilmente distensivi nella porzione più sud-orientale (zona di transizione a carattere misto); si possono altresì avere movimenti trascorrenti nelle zone di svincolo che dissecano la continuità longitudinale delle strutture. L'intera fascia è caratterizzata da terremoti storici che raramente hanno raggiunto valori molto elevati di magnitudo (Mw max 6,37); le profondità ipocentrali sono mediamente maggiori delle fasce esterne (profondità efficace 13 km): lo testimoniano quegli eventi che hanno avuto risentimenti su aree piuttosto vaste (1799 Camerino, 1873

Dott. Geol. Mauro Cataldi



Appennino marchigiano, 1950 Gran Sasso). A tale zona sono associate anche sorgenti “silenti” (Monti della Laga, Campo Imperatore), legate a fagliazione normale. Studi paleosismologici lungo le espressioni superficiali delle sorgenti suggeriscono una ripetuta attivazione nel corso dell'Olocene con magnitudo attese che, sulla base della lunghezza della rottura di superficie, vengono stimate tra 6,5 e 7,0 (Galadini e Galli, 2000).

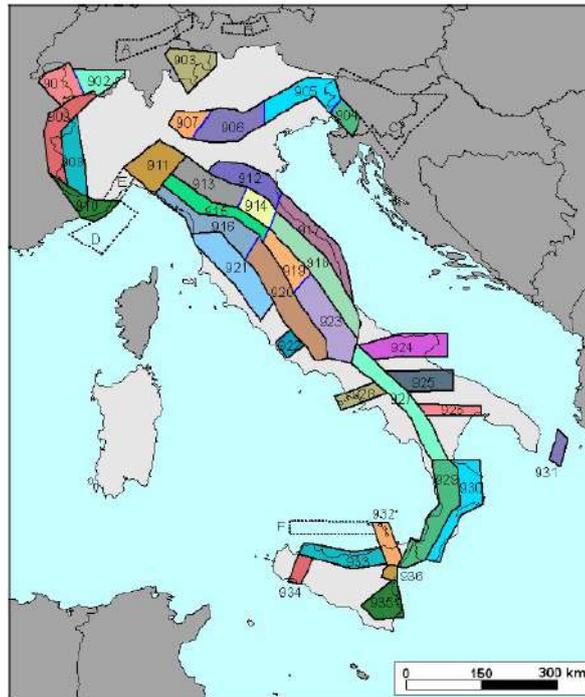


Figura 8 – Zonazione simogenetica ZS9 (da <http://zonesismiche.mi.ingv.it/documenti/App2.pdf>).

Regione Marche – Comune di Muccia  
 MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3 DEL COMUNE DI MUCCIA AI SENSI DELL'ORDINANZA DEL COMMISSARIO  
 STRAORDINARIO N. 24 REGISTRATA IL 15 MAGGIO 2017 AL N. 1065  
 Relazione Illustrativa

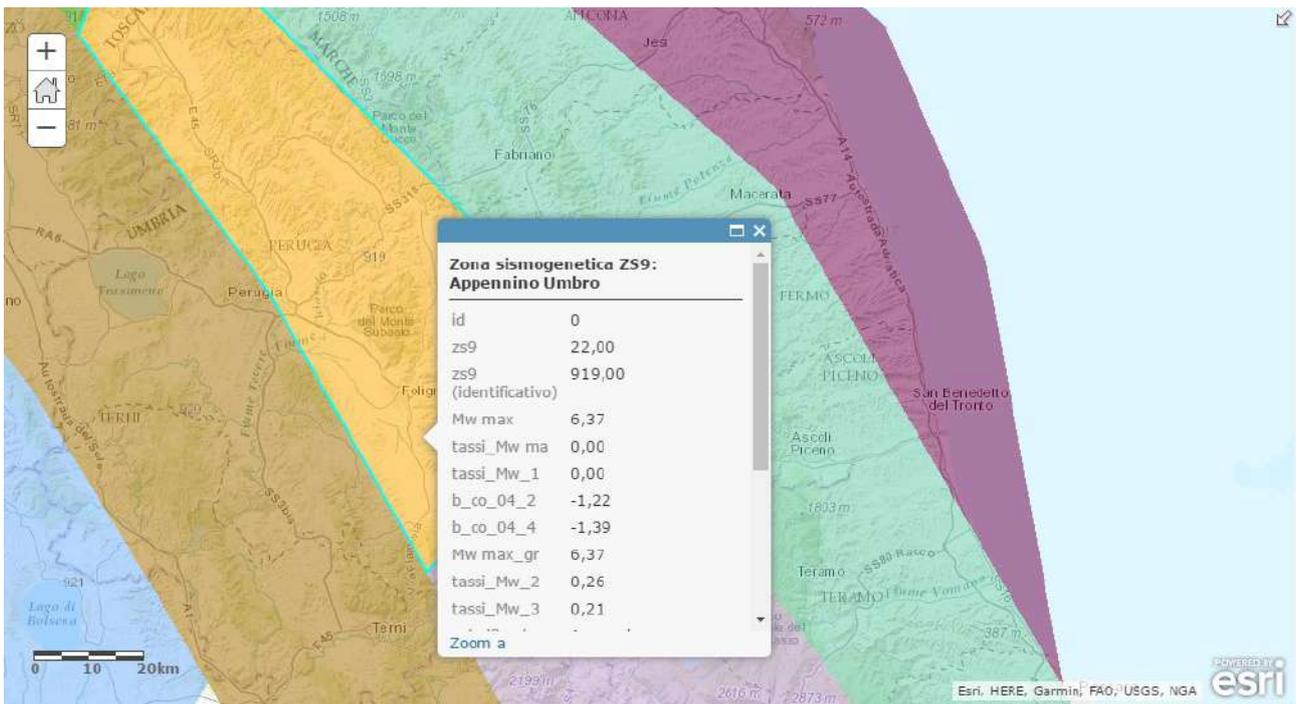


Figura 9 - Zona sismogenetica ZS9 n. 919 (giallo) - Zona "Appennino Umbro" (da <http://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=8c5d55e0d3b34ea78346e802fd4f6d73>).

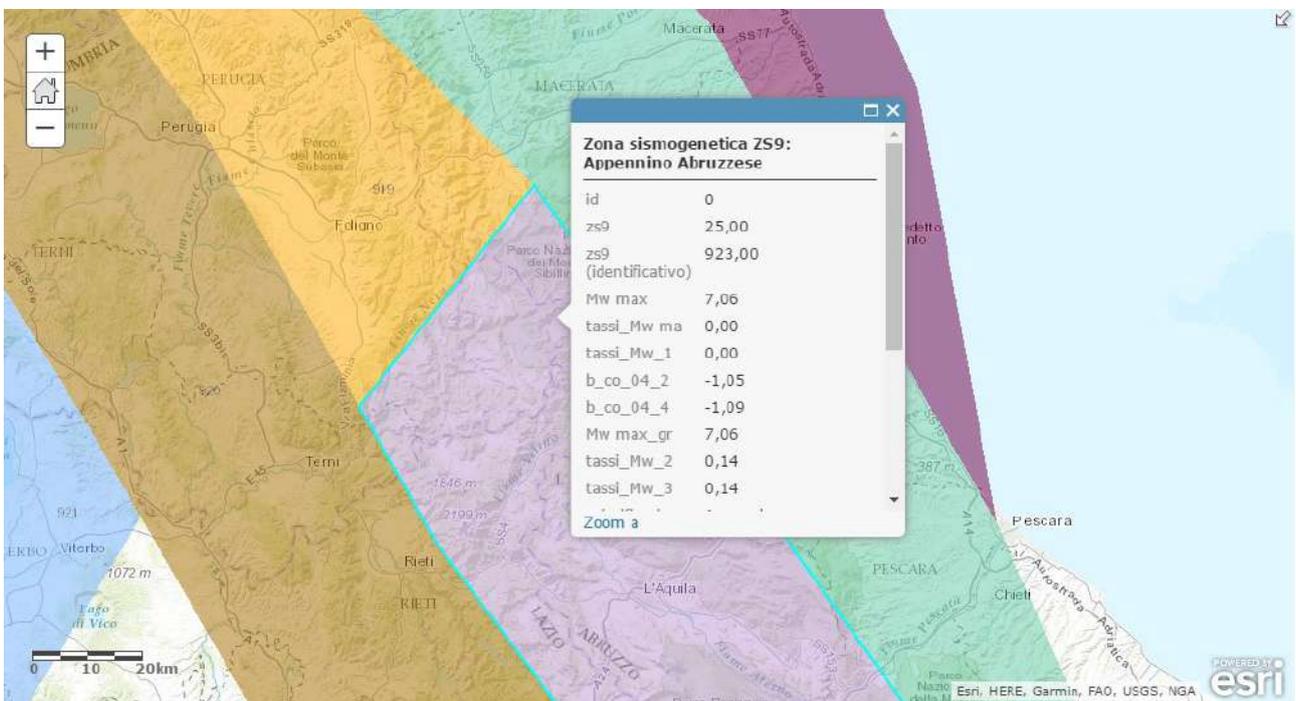


Figura 10 - Zona sismogenetica ZS9 n. 923 (viola) - Zona "Appennino Abruzzese" (da <http://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=8c5d55e0d3b34ea78346e802fd4f6d73>).

Dott. Geol. Mauro Cataldi



Regione Marche – Comune di Muccia  
MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3 DEL COMUNE DI MUCCIA AI SENSI DELL'ORDINANZA DEL COMMISSARIO  
STRAORDINARIO N. 24 REGISTRATA IL 15 MAGGIO 2017 AL N. 1065  
Relazione Illustrativa

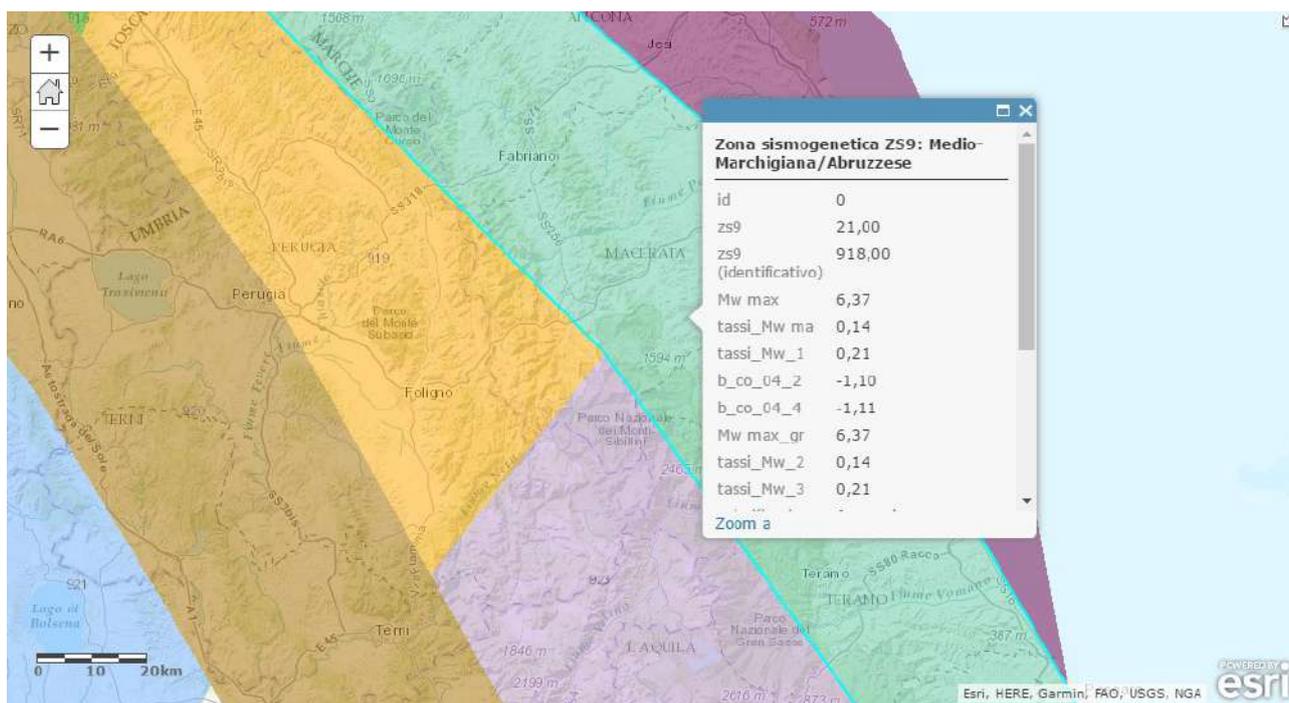


Figura 11 – Zona sismogenetica ZS9 n. 918 (verde acqua) – Zona “Medio-Marchigiana/Abruzzese” (da <http://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=8c5d55e0d3b34ea78346e802fd4f6d73>).

Il database DISS è stato concepito negli anni '90 da un gruppo di scienziati dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia: è stato poi notevolmente migliorato attraverso rilasci successivi. Diversi autori, tra cui Bommer, definisce il DISS come il database più avanzato per le sorgenti sismogenetiche sviluppate in un contesto sismotettonico europeo.

Inoltre rappresenta uno strumento indispensabile per lo sviluppo di futuri modelli di pericolosità sismica (Scotti, 2010).

Dopo la prima versione del DISS, rilasciata nel luglio del 2000, sono succedute altre versioni, fino a giungere all'attuale 3.2.0, rilasciata nel giugno 2015 (Figura 12), consultabile anche su software gratuito *Google Earth*, che facilita la ricerca ai propri utenti ed espande le proprie capacità di diffusione dei dati.

Dott. Geol. Mauro Cataldi



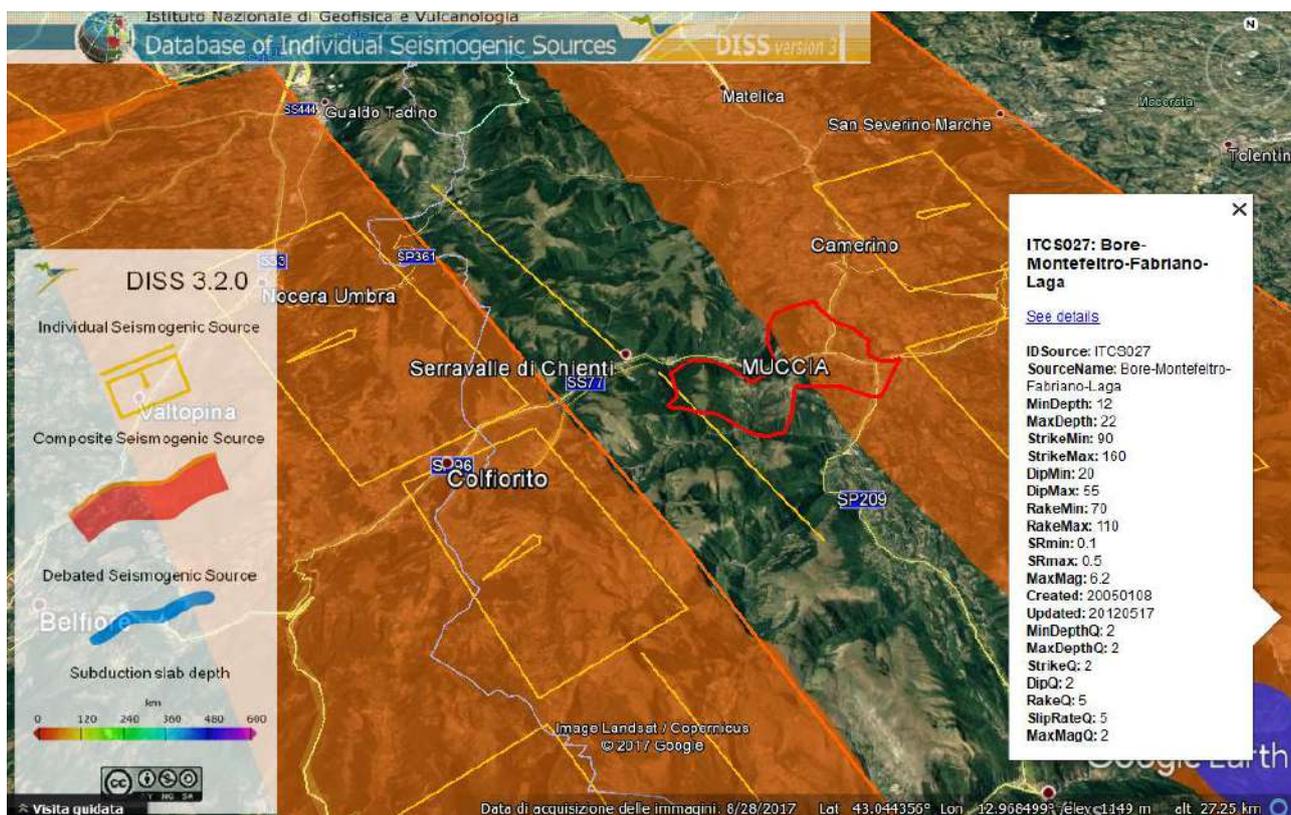


Figura 12 – DISS (Database of Individual Seismogenic Sources) – vers. 3.2.0 (da Google Earth vers. 7.1.6.2706).

Si può osservare che il territorio del Comune di Muccia è investito, nella porzione orientale, da un'ampia fascia simogenetica composta avente andamento Nord-Sud e indicata come ITCS027 "Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga", localizzata tra 12 e 22 km di profondità e rappresentata dalla proiezione di un *thrust* che emerge verso est lungo la costa adriatica, come ben individuato dal CROP03 (Barchi et al., 1998). Viene associata una magnitudo massima  $M_w$  max di 6,2 (terremoto di progetto) valutata usando la relazione di Wells & Coppersmith (1994).

All'interno di questa ampia fascia sono presenti singole sorgenti sismogenetiche, che da Nord a Sud sono: Loiano (ITIS058), Cagli (ITIS047), Fabriano (ITIS048), Camerino (ITIS049) e Sarnano (ITIS055).

Attualmente la regione interna marchigiana che ricade in tale fascia è caratterizzata da una bassa attività sismica: tuttavia terremoti estremamente dannosi hanno colpito questa zona negli ultimi 3 secoli, con epicentri allineati lungo una stretta striscia: Fabriano (1741,  $M_w$  6,2), Cagli (1781,  $M_w$  6,2), Camerino (1799,  $M_w$  5,8) e Appennino marchigiano/Sarnano (1873,  $M_w$  6,0).

Dott. Geol. Mauro Cataldi



I parametri delle strutture caratterizzanti le zone sismogenetiche prossime al Comune di Muccia (Camerino e Sarnano) vengono riassunte nella tabella sottostante.

Tabella 1 - Caratteristiche delle zone sismogenetiche prossime al territorio comunale di Muccia.

<i>Codice</i>	ITIS049	ITIS055
<i>Nome</i>	Camerino	Sarnano
<i>Localizzazione (Lat/Lon)</i>	43,1552/13,1022	43,0537/13,1399
<i>Lunghezza (km)</i>	8	9,5
<i>Ampiezza (km)</i>	6	7,5
<i>Profondità Min (km)</i>	14	14
<i>Profondità Max (km)</i>	16,1	16,6
<i>Strike (°)</i>	160	160
<i>Dip (°)</i>	20	20
<i>Rake (°)</i>	90	90
<i>Slip per evento (m)</i>	0,4	0,5
<i>Slip Rate (mm/y)</i>	0,1-0,5	0,1-0,5
<i>Magnitudo max (Mw)</i>	5,8	6
<i>Ultimo evento</i>	28 lug 1799	12 mar 1873
<i>Penultimo evento</i>	Sconosciuto	Sconosciuto

Ad occidente delle zone sismogenetiche analizzate, troviamo un'altra fascia denominata ITCS028 "Colfiorito-Campotosto" a cui viene associata una magnitudo massima Mw max di 6,5 e caratterizzata da un sistema di faglie normali a basso angolo, immergenti a SW e profondità compresa tra 2,5 e 14 km. A questa zona vengono associati numerosi terremoti distruttivi, che da nord a sud sono stati: Gubbio (1593, Mw 5,5), il doppio terremoto di Fiuminata (1747, Mw 5,9), Gualdo Tadino (1751, Mw 6,3), Camerino (1279, Mw 6,3) ed il recente doppio terremoto che ha colpito le zone di Colfiorito e Sellano, cioè il 26 settembre e il 14 ottobre 1997 (Mw 5,8 e 5,7 rispettivamente). A sud di questa zona, da segnalare il terremoto della Valnerina (1838, Mw 5,6), Norcia (1328, Mw 6,4) e Appennino Reatino (1703, Mw 6,8).

Nella tabella seguente vengono riassunti i parametri delle faglie presenti nelle zone sismogenetiche ubicate ad occidente del territorio comunale di Muccia. Per quanto riguarda la zona ITIS016 "Bacino Norcia", i dati sono stati ricavati dalla precedente versione del database, cioè dal DISS 3.1.1, in quanto nella versione attuale sembrerebbe essere stata rimossa.

*Tabella 2 - Caratteristiche delle zone sismogenetiche poste ad Ovest del territorio comunale di Muccia.*

<i>Codice</i>	ITIS017	ITIS018	ITIS019	ITIS016
<i>Nome</i>	Colfiorito Nord	Colfiorito Sud	Sellano	Bacino Norcia
<i>Localizzazione (Lat/Lon)</i>	43,0874/12.8358	42,999/12,9267	42,9133/12,9342	42,7587/13,0932
<i>Lunghezza (km)</i>	14	9	6	25
<i>Ampiezza (km)</i>	8	6	6	13,6
<i>Profondità Min (km)</i>	3,4	4	2,5	3
<i>Profondità Max (km)</i>	8,5	7,8	6,5	13,4
<i>Strike (°)</i>	143	148	144	150
<i>Dip (°)</i>	40	40	40	50
<i>Rake (°)</i>	275	277	260	270
<i>Slip per evento (m)</i>	0,33	0,38	0,28	0,64
<i>Slip Rate (mm/y)</i>	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-0,6
<i>Magnitudo max (Mw)</i>	6	5,7	5,6	6,5
<i>Ultimo evento</i>	26 set 1997	26 set 1997	14 ott 1997	30 ott 2016
<i>Penultimo evento</i>	30 apr 1279(?)	Sconosciuto	<150 a.C.	14 gen 1703

L'area colpita dall'attuale sequenza sismica è caratterizzata da sistemi di faglia attivi, già descritti nella letteratura geologica pubblicata a partire dagli anni '90 del XX secolo. In particolare, il settore appenninico compreso tra l'area di Campotosto a sud e Colfiorito a nord è interessato da sistemi di faglie con direzione da NW-SE a NNW-SSE, con espressioni superficiali di lunghezza complessiva nell'ordine di 20-30 km, costituiti da segmenti minori di lunghezza pari a 5-10 km. Come descritto in precedenza, si ritiene che queste faglie normali costituiscano l'espressione superficiale di sorgenti sismogenetiche potenzialmente in grado di generare terremoti con magnitudo compresa tra 5,5 e 7,0.

L'evidenza dell'attività recente – tranne che nel caso del sistema di faglia di Colfiorito – è riferibile alla dislocazione di depositi e forme attribuiti al Pleistocene superiore-Olocene (da circa 125.000 anni) e in molti casi è corroborata dai risultati di indagini paleosismologiche.

Di seguito vengono fornite sintetiche informazioni sui sistemi di faglia (Figura 13), come desumibili dalla ricca bibliografia disponibile.

Dott. Geol. Mauro Cataldi



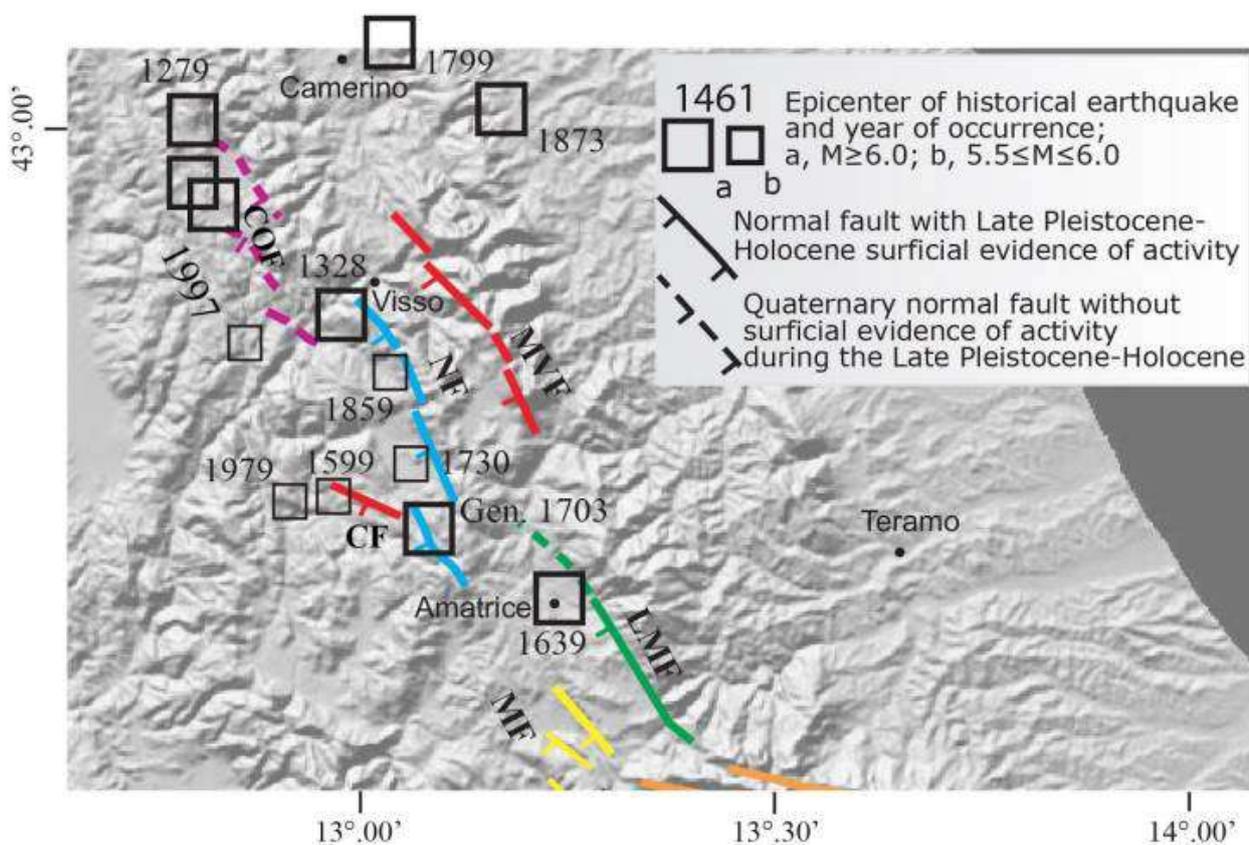


Figura 13 – Schema delle faglie quaternarie e/o attive nell'area compresa tra il bacino di Montereale (sud) e l'area di Colfiorito (nord): COF, faglia di Colfiorito; MVF, faglia del Monte Vettore; NF, faglia di Norcia; CF, faglia di Cascia; LMF, faglia dei Monti della Laga; MF, faglie del bacino di Montereale.

- 1) Sistema di faglie del M. Vettore (MVF), fra il versante settentrionale della valle del Tronto e la zona di Ussita. Comprende segmenti identificati lungo i versanti occidentali del M. Vettore, M. Argentella, Palazzo Borghese, M. Porche e M. Bove (Calamita e Pizzi, 1992; Coltorti e Farabollini, 1995; Cello et al., 1997; Pizzi et al., 2002; Galadini e Galli, 2003; Pizzi e Galadini, 2009). La sismicità che ha interessato questa zona a partire dal 24 agosto è stata attribuita all'attivazione dell'intero sistema di faglia. Considerando le evidenze di attività olocenica e la mancanza di terremoti storici ad essa associati, la faglia è stata in passato considerata "silente", intendendo che a essa era presumibilmente legato un gap sismico (Galadini e Galli, 2000). È da notare che in corrispondenza di un segmento minore al margine del Piano di Castelluccio – oggetto di indagini paleosismologiche mediante la realizzazione di trincee nel 1999 (Galadini e Galli, 2003) – è stata osservata fagliazione di superficie a seguito del terremoto del 30 ottobre.

Dott. Geol. Mauro Cataldi



- 2) Sistema di faglie di Colfiorito (COF), caratterizzato da tre segmenti distribuiti lungo i bacini di Colfiorito (nord) e Cesi-San Martino e in corrispondenza della zona di Mevale (sud). Si ritiene che questo sistema di faglia costituisca l'espressione superficiale delle sorgenti sismogenetiche che hanno generato la sequenza sismica del 1997 (Cinti et al., 1999; Pantosti et al., 1999; Cello et al., 2000; Calamita et al., 2000; Vittori et al., 2000; Messina et al., 2002; Chiaraluce et al., 2005; Barchi and Mirabella, 2009). In riferimento all'attività quaternaria, la dislocazione complessiva è stata stimata nell'ordine di alcune centinaia di metri. Tuttavia, sembrerebbe che essa sia prevalentemente il risultato di movimenti attribuibili al Pleistocene inferiore, mentre l'attività dal Pleistocene medio in poi, legata a movimenti in superficie lungo la faglia, sarebbe trascurabile (Messina et al., 2002). Pertanto l'attuale attività della faglia è stata considerata compatibile con il comportamento sismogenetico osservato nel corso della sequenza del 1997, caratterizzata da terremoti con M non superiore a 6 (Messina et al., 2002).
- 3) Sistema di faglie di Norcia (NF), tra gli abitati di Cittareale a sud e Preci a nord, costituita da quattro segmenti, di cui tre al margine di depressioni che hanno ospitato sedimentazione nel corso del Quaternario (Norcia, Campi, Preci) e uno (Cittareale-Castel Santa Maria) in un settore di catena privo di bacino intermontano e caratterizzato da evidenze geomorfologiche di deformazioni gravitative profonde di versante (Calamita e Pizzi, 1992; Calamita et al., 1982; 1995; 1999; 2000; Blumetti et al., 1990; Blumetti, 1995; Brozzetti e Lavecchia, 1994; Cello et al., 1998; Galadini e Galli, 2000; Pizzi e Scisciani, 2000; Pizzi et al., 2002; Galadini, 2006; Gori et al., 2007). Questo sistema di faglia è generalmente considerato come l'espressione della sorgente che ha generato il terremoto del 14 gennaio 1703 (es. Galadini e Galli, 2000; Boncio et al., 2004a), come peraltro evidenziato dai risultati delle indagini paleosismologiche (Galli et al., 2005). Da notare che al sistema di Norcia sono stati anche associati terremoti di più piccola magnitudo (1328, 1730, 1859, 1979) (Galadini et al., 1999). A est di Norcia, la depressione di Cascia (CF) è bordata da una faglia caratterizzata da attività quaternaria (Calamita et al., 1982; Cello et al., 1997), cui è stato attribuito il terremoto del 1599 (es. Galadini et al., 1999). Tuttavia, la relazione tra questa e il sistema di Norcia non è chiara.

- 4) Sistema di Faglie della Laga (LMF), tra la valle del Vomano (sud) e la valle del Tronto (nord). Lungo l'espressione in superficie delle faglie si identificano due diversi domini geomorfologici, vale a dire il bacino di Amatrice e l'altopiano di Campotosto (Cacciuni et al., 1995; Galadini e Messina, 2001; Boncio et al., 2004b). Mentre l'attività tardo-quaternaria lungo l'emergenza della faglia nel settore di Amatrice è trascurabile, nell'area di Campotosto si hanno invece chiare evidenze di dislocazione nel corso del Pleistocene superiore-Olocene. Per questa ragione sono stati in passato distinti due diversi segmenti (Galadini e Messina, 2001). Da notare anche che le indagini paleosismologiche effettuate nel 1998 lungo il segmento di Campotosto evidenziarono movimenti ripetuti nel corso dell'Olocene (Galadini e Galli, 2003). La segmentazione proposta sembra compatibile con le indicazioni sismologiche. In effetti, al segmento di Amatrice potrebbe essere associato il terremoto del 1639. Lo stesso avrebbe in parte contribuito a generare il terremoto del 24 agosto. Al contrario, non sono stati identificati terremoti storici attribuibili al segmento di Campotosto, per cui in passato, similmente al caso del Vettore, è stato ipotizzato un gap sismico (Galadini e Galli, 2003).
- 5) Sistema di faglie di Montereale (MF), lungo il bordo orientale del bacino e sul fianco occidentale della dorsale carbonatica NW-SE di San Giovanni. L'attività quaternaria è stata ipotizzata in alcuni articoli sulla base di dati geologici e geomorfologici (Blumetti, 1995; Cacciuni et al., 1995; Galadini e Messina, 2001; Chiarini et al., 2014; Civico et al., 2016). La relazione tra queste faglie e le altre che interessano l'area dell'Aquila (M. Marine, Pettino), associate al terremoto del 2 febbraio 1703, è tuttora non chiara. È possibile che uno dei terremoti della sequenza del 1703 (16 gennaio) sia stato originato da queste faglie o da una di esse (nel qual caso, forse, quella che borda il bacino, a ridosso dell'abitato di Capitignano).

La pericolosità sismica, intesa in senso probabilistico, è definita come lo scuotimento del suolo atteso in un dato sito con una certa probabilità di eccedenza in un dato intervallo di tempo, ovvero la probabilità che un certo valore di scuotimento si verifichi in un dato intervallo di tempo.

Questo tipo di stima si basa sulla definizione di una serie di elementi di input tra i quali anche i cataloghi dei terremoti precedentemente visti.

Con l'Ordinanza P.C.M. 3274/2003 (GU n.108 dell'8 maggio 2003) si è avviato in Italia un processo per la stima della pericolosità sismica secondo dati, metodi, approcci aggiornati e condivisi e utilizzati a livello internazionale. Per la prima volta si è delineato un percorso per il quale venivano definite le procedure da seguire, il tipo di prodotti da rilasciare e l'applicazione dei risultati. Un documento di tale tipo avrebbe infatti costituito la base per l'aggiornamento dell'assegnazione dei comuni alle zone sismiche. L'INGV si è fatto promotore di una iniziativa scientifica che ha coinvolto anche esperti delle Università italiane e di altri centri di ricerca. Questa iniziativa ha portato alla realizzazione della Mappa di Pericolosità Sismica 2004 (MPS04) che descrive la pericolosità sismica attraverso il parametro dell'accelerazione massima attesa con una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni su suolo rigido e pianeggiante.

Dopo l'approvazione da parte della Commissione Grandi Rischi del Dipartimento della Protezione Civile nella seduta del 6 aprile 2004, la mappa MPS04 è diventata ufficialmente la mappa di riferimento per il territorio nazionale con l'emanazione dell'O.P.C.M. 3519/2006 (G.U. n.105 dell'11 maggio 2006).

La legislazione nazionale prevede che l'aggiornamento delle zone sismiche spetti alle singole Regioni e Province Autonome, sulla base di criteri definiti a scala nazionale. In seguito all'O.P.C.M. 3519/2006, le Regioni e Province Autonome che volessero aggiornare tale elenco devono basarsi sui valori di accelerazione proposti dalla mappa di pericolosità sismica MPS04 per individuare le soglie che definiscono il limite tra una zona sismica e un'altra. La situazione aggiornata delle zone sismiche è disponibile nel sito del Dipartimento della Protezione Civile.

Successivamente, nell'ambito del progetto INGV–DPC S1 (2005–2007), sono state rilasciate una serie di mappe di pericolosità sismica per diverse probabilità di eccedenza in 50 anni, basate sullo stesso impianto metodologico e sugli stessi dati di input di MPS04. Inoltre sono state prodotte mappe per gli stessi periodi di ritorno anche in termini di accelerazioni spettrali. Per ogni punto della griglia di calcolo (che ha una densità di 20 punti per grado, circa un punto ogni 5 km) sono oltre 2.200 i parametri che ne descrivono la pericolosità sismica. Questa mole di dati ha reso possibile la definizione di norme tecniche nelle quali l'azione sismica di riferimento per la progettazione è valutata punto per punto e non più solo per 4 zone sismiche, cioè secondo solo 4 spettri di risposta elastica.

Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ha emanato nuove Norme Tecniche delle Costruzioni (NTC08) con il D.M. del 14 gennaio 2008 (G.U. n.29 del 04/02/2008) nelle quali la definizione dell'azione sismica di riferimento si basa sui dati rilasciati da INGV e dal Progetto S1. Questi dati sono pubblicati in siti dell'INGV realizzati appositamente.

Si riporta in Figura 14 uno stralcio della mappa di pericolosità sismica in termini di accelerazione massima del suolo  $a_g$ , con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, pari ad un periodo di ritorno  $T_r$  di riferimento di 475 anni, riferita a suoli rigidi; la mappa è estratta dal link <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>.

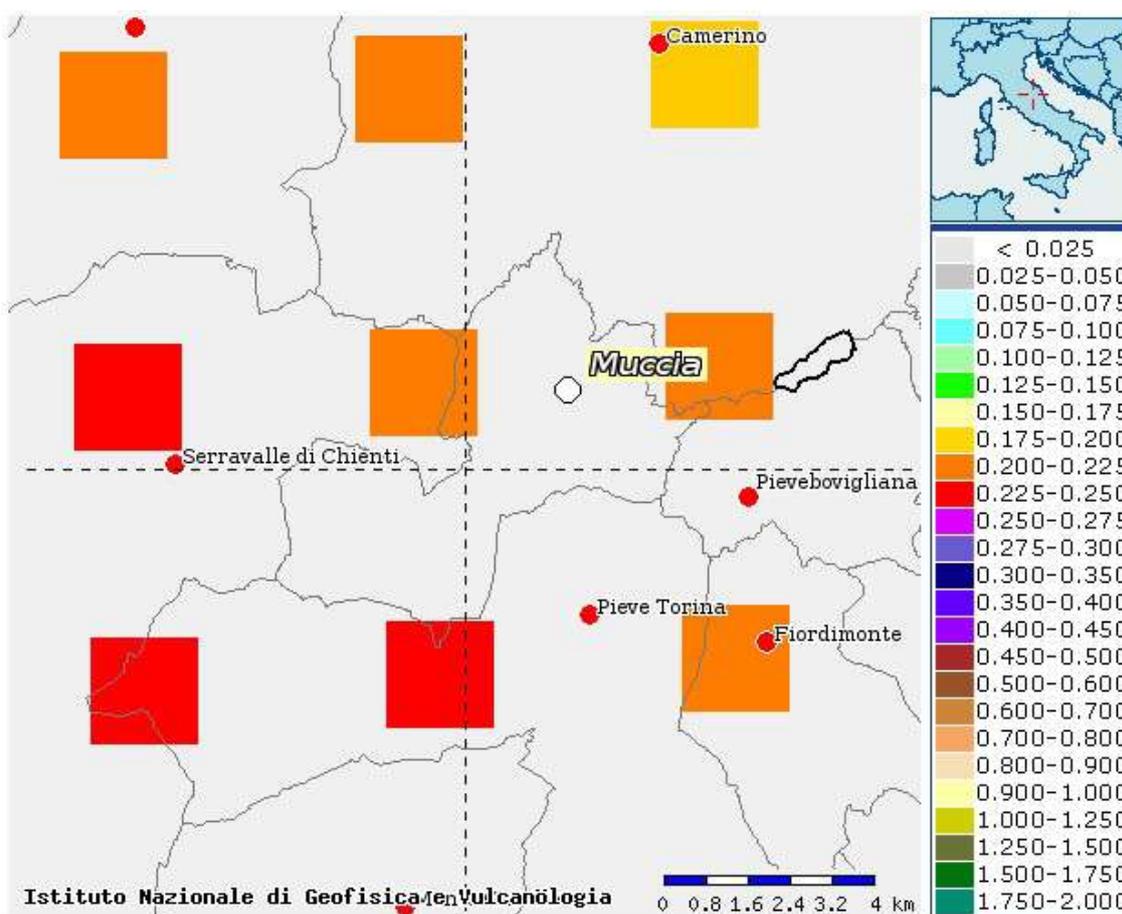


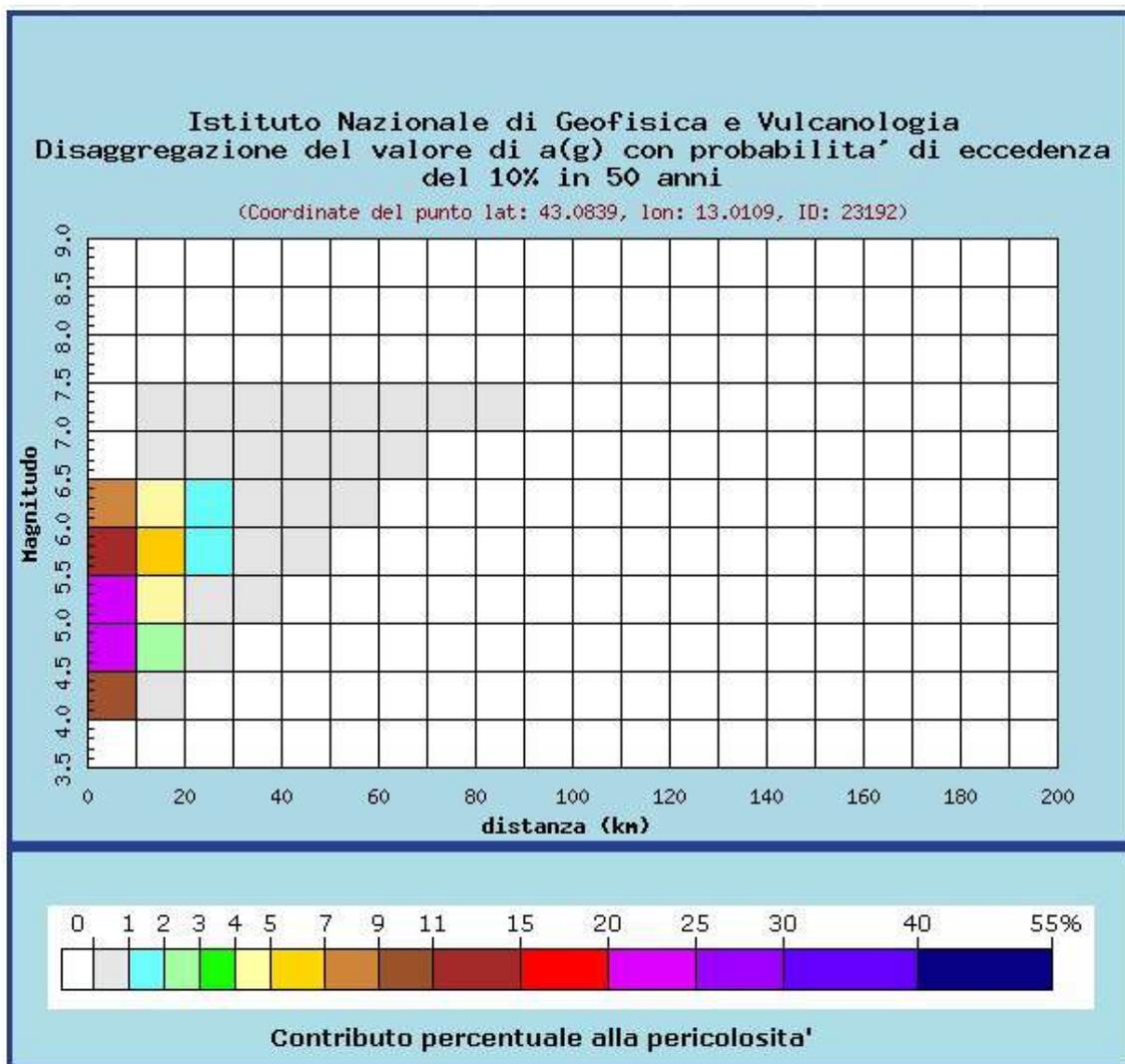
Figura 14 – Mappa interattiva di pericolosità sismica (da <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>).

Viene successivamente mostrata la disaggregazione della pericolosità sismica (Figura 15), operazione che permette di valutare i contributi delle diverse sorgenti sismiche alla pericolosità di un sito; la forma proposta è quella bidimensionale in magnitudo e distanza (M-R) che consente di definire il contributo delle sorgenti sismogenetiche poste a distanza R e capaci di generare terremoti di magnitudo M. In altre parole, la disaggregazione dei valori di  $a_g$  dei terremoti occorsi in magnitudo-distanza fornisce

Dott. Geol. Mauro Cataldi



statisticamente il terremoto che domina lo scenario di pericolosità (terremoto di scenario) inteso come l'evento di magnitudo  $M$  a distanza  $R$  dal sito oggetto di studio che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica del sito oggetto di intervento (scuotimento stimato in termini probabilistici).



Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.320	7.570	1.050

*Figura 15 - Grafico di disaggregazione del valore di  $a(g)$  con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.*

Dal grafico si può osservare immediatamente come per tempi di ritorno uguali a 475 anni, il sito in esame sia caratterizzato da terremoti modesti ( $M_w$  5,320 - terremoto di

Dott. Geol. Mauro Cataldi



scenario) originati da sorgenti sismiche anche piuttosto vicine ( $R \approx 10$  km). Tuttavia sono possibili sismi forti aventi magnitudo di circa Mw 6,5 da sorgenti ubicate fino a 30 km dal sito oggetto di intervento.

La prima classificazione sismica del territorio nazionale risale al 1909, anno di emanazione del Regio Decreto n. 193 in seguito al catastrofico terremoto di Reggio Calabria e Messina del 28 dicembre 1908, che istituì un elenco di località in cui veniva imposto il rispetto di “norme tecniche ed igieniche obbligatorie per le riparazioni, ricostruzioni e nuove costruzioni di edifici pubblici e privati” in cui veniva richiesto nei calcoli di stabilità e resistenza delle costruzioni, anche le “azioni dinamiche dovute al moto sismico ondulatorio, rappresentabile con accelerazioni proporzionali alle masse del fabbricato”.

Con la legge n. 64 del 2 febbraio 1974, il Ministero dei Lavori Pubblici venne riconosciuto come l'ente atto all'emanazione di norme tecniche per le costruzioni sia pubbliche che private, da effettuarsi con decreto ministeriale, di concerto con il Ministero degli Interni, sentito il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici e con la collaborazione del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), ovvero all'aggiornamento della classificazione sismica attraverso appositi decreti ministeriali (D.M. 22 settembre 1980 emanato in seguito al terremoto in Friuli; D.M. n. 515 del 3 giugno 1981 emanato a seguito del terremoto dell'Irpinia del 23 novembre 1980, con la quale veniva introdotta la *zona sismica di terza categoria*).

Una tappa fondamentale per l'aggiornamento della classificazione sismica, fu l'istituzione della Commissione Grandi Rischi che incaricò un Gruppo di Lavoro, costituito dal Servizio Sismico Nazionale, dal Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti e dall'INGV, per la proposta di una riclassificazione del territorio italiano. Quest'ultima gettò le basi per la redazione dell'attuale classificazione sismica emanata dalla Protezione Civile con l'O.P.C.M. 3274 del 20 marzo 2003 la cui fondamentale innovazione è rappresentata di fatto che l'intero territorio nazionale è stato classificato come sismico e suddiviso in 4 zone, caratterizzate da pericolosità sismica decrescente. Come accennato nel precedente capitolo, tali zone sono individuate da 4 classi di accelerazione massima del suolo (PGA) con probabilità di accadimento del 10% in 50 anni:

Regione Marche – Comune di Muccia  
MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3 DEL COMUNE DI MUCCIA AI SENSI DELL'ORDINANZA DEL COMMISSARIO  
STRAORDINARIO N. 24 REGISTRATA IL 15 MAGGIO 2017 AL N. 1065  
Relazione Illustrativa

<i>Zona sismica</i>	<i>Fenomeni riscontrati</i>	<i>Accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni</i>
1	Zona con pericolosità sismica alta. Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti	$a_g \geq 0,25g$
2	Zona con pericolosità sismica media, dove possono verificarsi terremoti abbastanza forti	$0,15 \leq a_g < 0,25g$
3	Zona con pericolosità sismica bassa, che può essere soggetta a scuotimenti modesti	$0,05 \leq a_g < 0,15g$
4	Zona con pericolosità sismica molto bassa. È la zona meno pericolosa, dove le possibilità di danni sismici sono basse	$a_g < 0,05g$

Una successiva classificazione del territorio italiano è stata pubblicata nell'O.P.C.M. 3519 del 28 aprile 2006, in cui sulla base dei risultati di uno studio dell'INGV, alcune Regioni hanno ulteriormente modificato la loro classificazione sismica, introducendo sottozone caratterizzate da valori di accelerazione intermedi tra quelli delle zone sismiche dell'OPCM 3274.

In definitiva, il territorio comunale di Muccia è attualmente classificato come Zona a Sismicità Alta o Zona 1 (O.P.C.M. 3274 del 20 marzo 2003, All. 1; Elenco Zone Sismiche della Regione Marche, D.G.R. 1046 del 29.07.2003, D.G.R. 136 del 17.02.2004) a cui viene attribuita una  $a_g$  superiore a 0,25 g, corrispondente a “Zona con pericolosità sismica alta, dove possono verificarsi forti terremoti” (Figura 16).

Dott. Geol. Mauro Cataldi



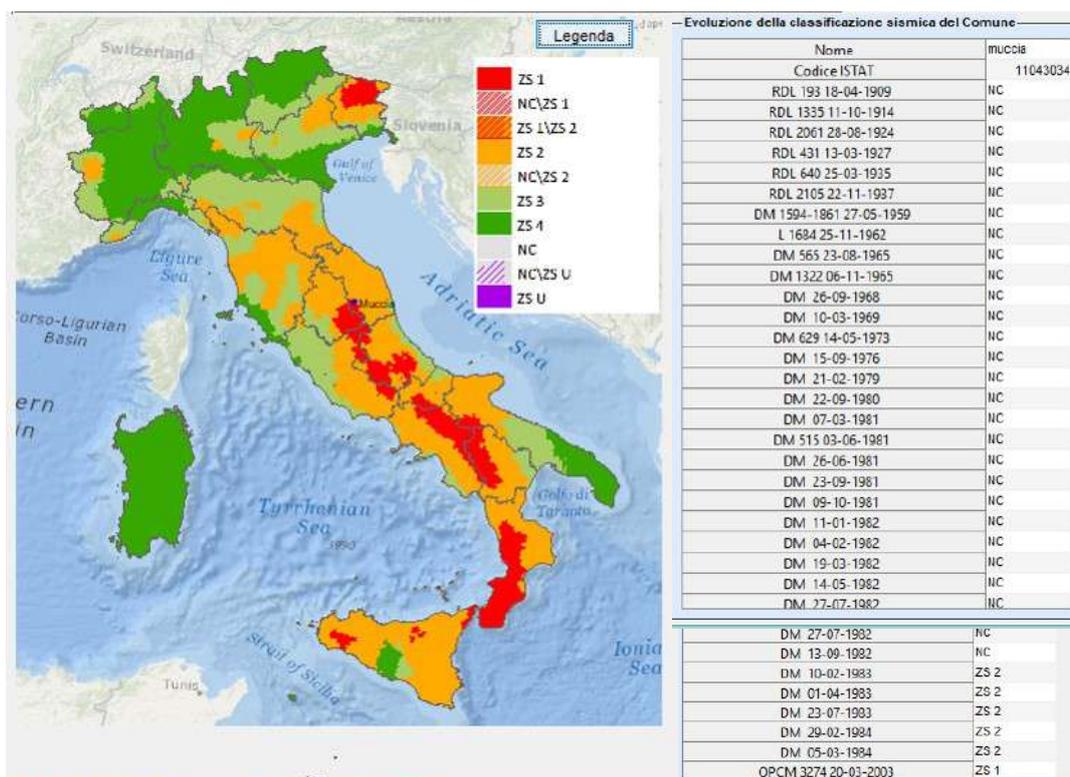


Figura 16 – A sinistra, classificazione sismica secondo l'OPCM 3274 del 20/03/2003. A destra, evoluzione della classificazione sismica del territorio comunale di Muccia in un arco di tempo che va dal 1909 al 2003, ottenuta mediante l'uso del software ECS-it messo a disposizione gratuitamente dalla Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica (ReLUIS) al link [http://www.reluis.it/index.php?option=com\\_content&view=article&id=399&Itemid=185&lang=it](http://www.reluis.it/index.php?option=com_content&view=article&id=399&Itemid=185&lang=it).

### 3. Assetto geologico e geomorfologico dell'area

#### 3.1. Inquadramento geologico

Nella regione marchigiana si riconosce la ben nota successione umbro-marchigiana, pressoché continua dal Trias superiore (ca. 208,5 Ma) al Tortoniano (11,630 Ma) e, a luoghi, fino al Messiniano (7,246 Ma) o al Pliocene inferiore p.p. (5,333 Ma). Essa affiora largamente nella parte interna dell'area, mentre in quella più esterna è ricoperta in discordanza da un'altra successione marina, depostasi tra la parte alta del Pliocene inferiore e il Pleistocene inferiore (2,580 Ma).

Da un'analisi della Carta Geologica d'Italia, Foglio 124 "Macerata" (Figura 17), è possibile notare che l'area in cui ricade il territorio comunale di Muccia, rappresentato in rosso, può essere diviso in due settori che appartengono alla stessa regione fisiografica

Dott. Geol. Mauro Cataldi



denominata “Massicci e dorsali montuose – Regione A”: l'area occidentale (sistema Aa) è costituita per lo più da alternanza di calcari, calcari marnosi, marne e calcari selciferi depositi nell'intervallo Giurassico superiore (152,1 Ma) – Eocene medio (41,2 Ma) e rappresentati, nella figura precedente, maggiormente dalle unità della Maiolica, Scaglia rossa e Scaglia Cinerea; il settore orientale (sistema Ad), strutturalmente rappresenta una zona di raccordo tra i rilievi montuosi calcarei e/o calcareo-marnosi del settore occidentale e parte della depressione miocenica, il cui nucleo è presente ancora più ad est del territorio comunale di Muccia. In questo settore sono presenti alternanze di marne calcaree, marne argillose, calcari e calcari marnosi depositi nell'intervallo Eocene medio (41,2 Ma) – Tortoniano (11,63 Ma), rappresentate nella Carta Geologica d'Italia dalle unità litologiche del Bisciario e dallo Schlier.

Entrambi i settori possono presentare una copertura continentale alteritica costituita da depositi superficiali argilloso-limoso-sabbiosi di spessore cospicuo o falde detritiche grossolane in corrispondenza di scarpate o vallecole concave e depositi alluvionali terrazzati prevalentemente ghiaiosi, di discreta estensione e potenza, lungo le valli fluviali.

Regione Marche – Comune di Muccia  
 MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3 DEL COMUNE DI MUCCIA AI SENSI DELL'ORDINANZA DEL COMMISSARIO  
 STRAORDINARIO N. 24 REGISTRATA IL 15 MAGGIO 2017 AL N. 1065  
 Relazione Illustrativa

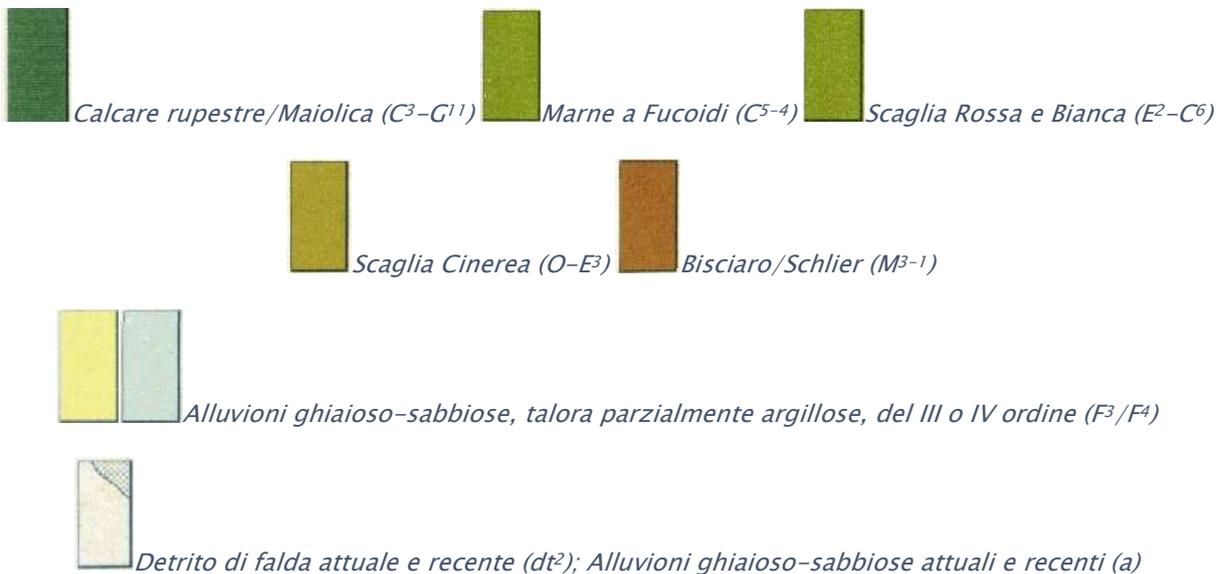
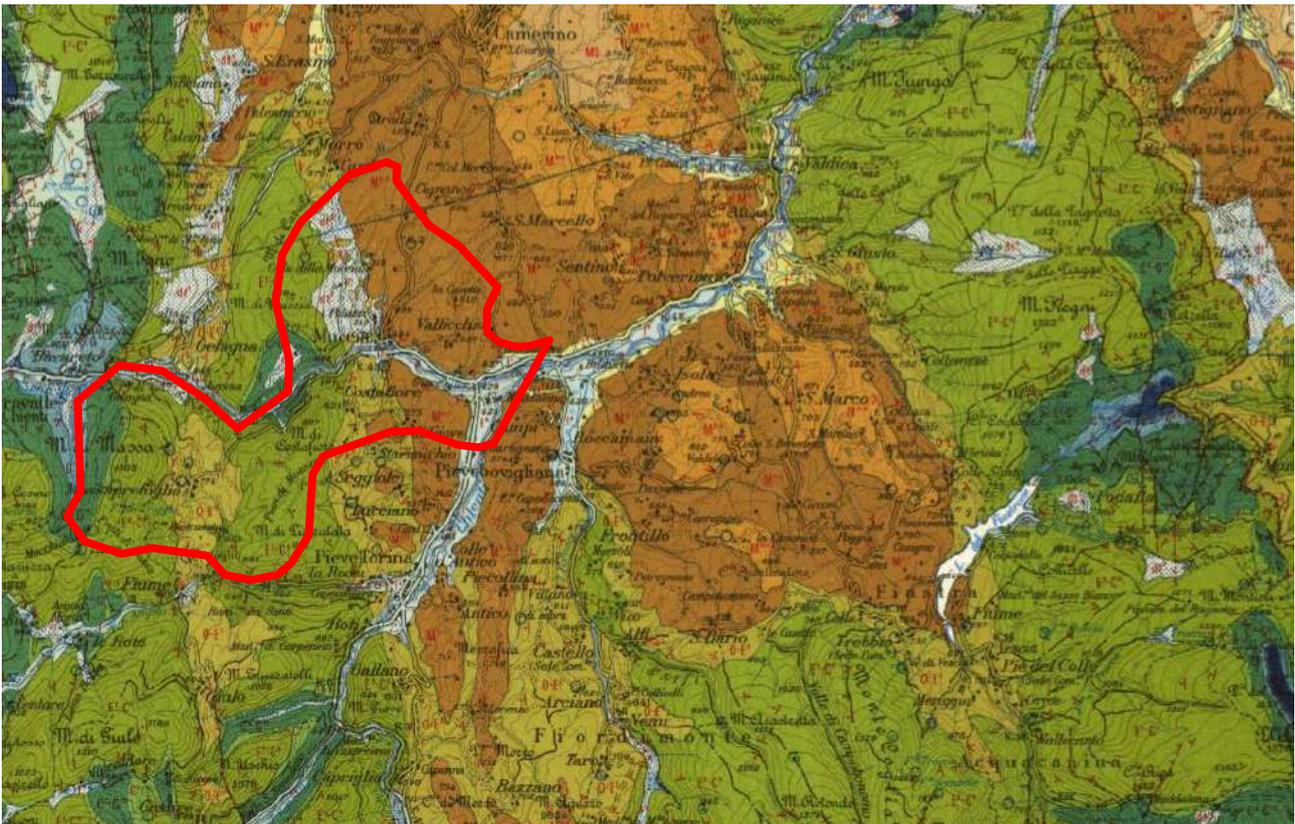


Figura 17 - Carta Geologica d'Italia - Foglio 124 "Macerata". In rosso, delimitazione del territorio comunale di Muccia.

Nella Figura 18 vengono mostrati i rapporti stratigrafici tra le unità precedentemente illustrate, da cui si nota che il settore occidentale presenta terreni affioranti più antichi

Dott. Geol. Mauro Cataldi



rispetto al settore orientale (capoluogo). Nel capitolo seguente, verranno trattate in dettaglio le varie unità affioranti in entrambi i settori.

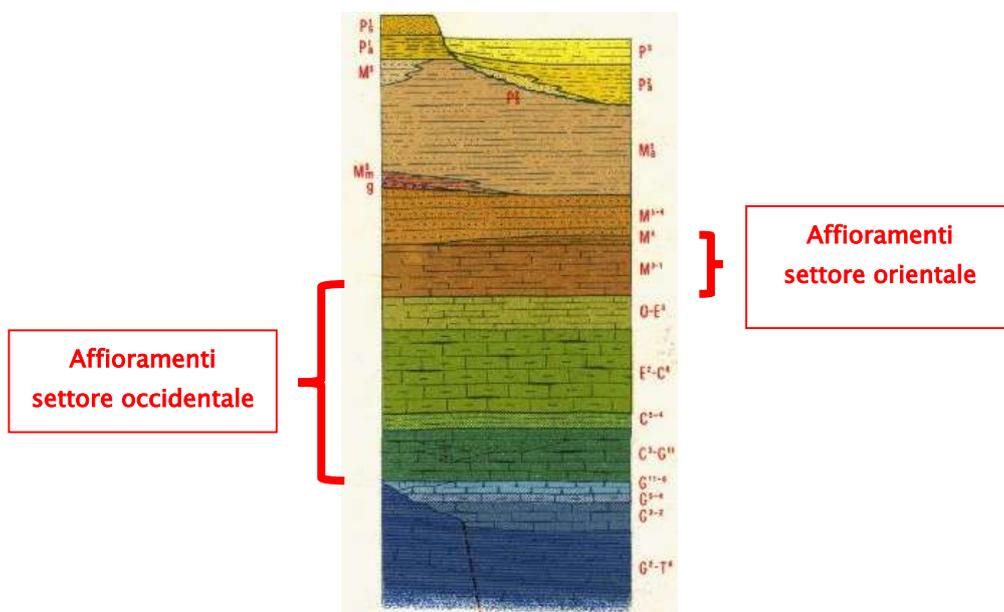


Figura 18 – Sezione schematica dei rapporti stratigrafici.

### 3.2. Assetto geomorfologico

La morfologia del territorio di Muccia, nel suo complesso, mostra un forte contrasto tra la porzione occidentale che presenta caratteri decisamente più montuosi e quella orientale (capoluogo), essenzialmente collinare, entrambe a sviluppo longitudinale con direzione circa NNW–SSE.

La prima, dominata dalla struttura anticlinale, presenta quote comprese tra i 500 m e i 1.300 m circa (Monte di Massa 1.151,3 m s.l.m. – Figura 19), con superfici sommitali convesse o, per brevi tratti, piane, rilievo elevato o molto alto che può superare i 1.000 m, acclività molto elevata, dove prevalgono situazioni comprese tra il 40% e il 100% – Figura 20).

Regione Marche – Comune di Muccia  
MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3 DEL COMUNE DI MUCCIA AI SENSI DELL'ORDINANZA DEL COMMISSARIO  
STRAORDINARIO N. 24 REGISTRATA IL 15 MAGGIO 2017 AL N. 1065  
Relazione Illustrativa

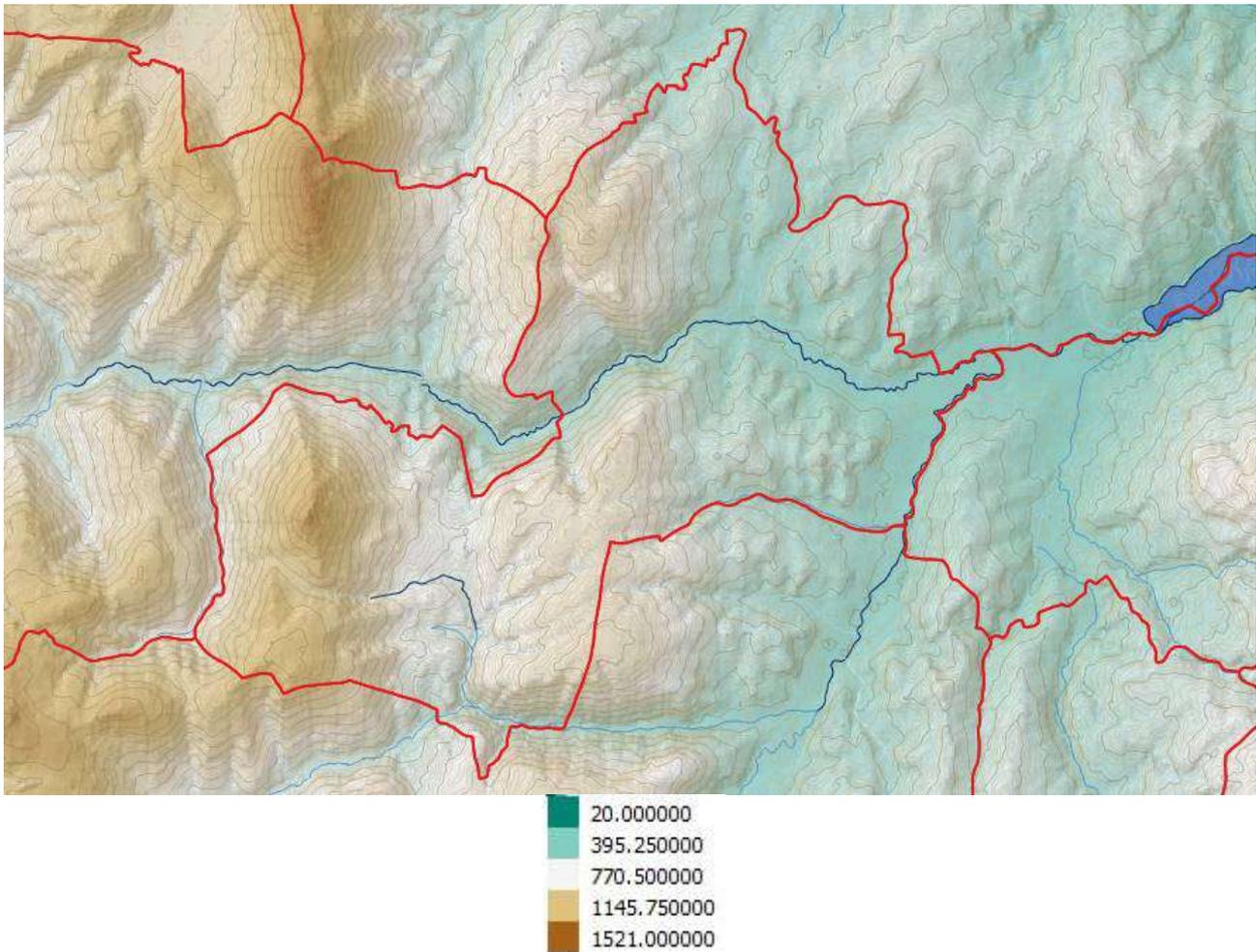
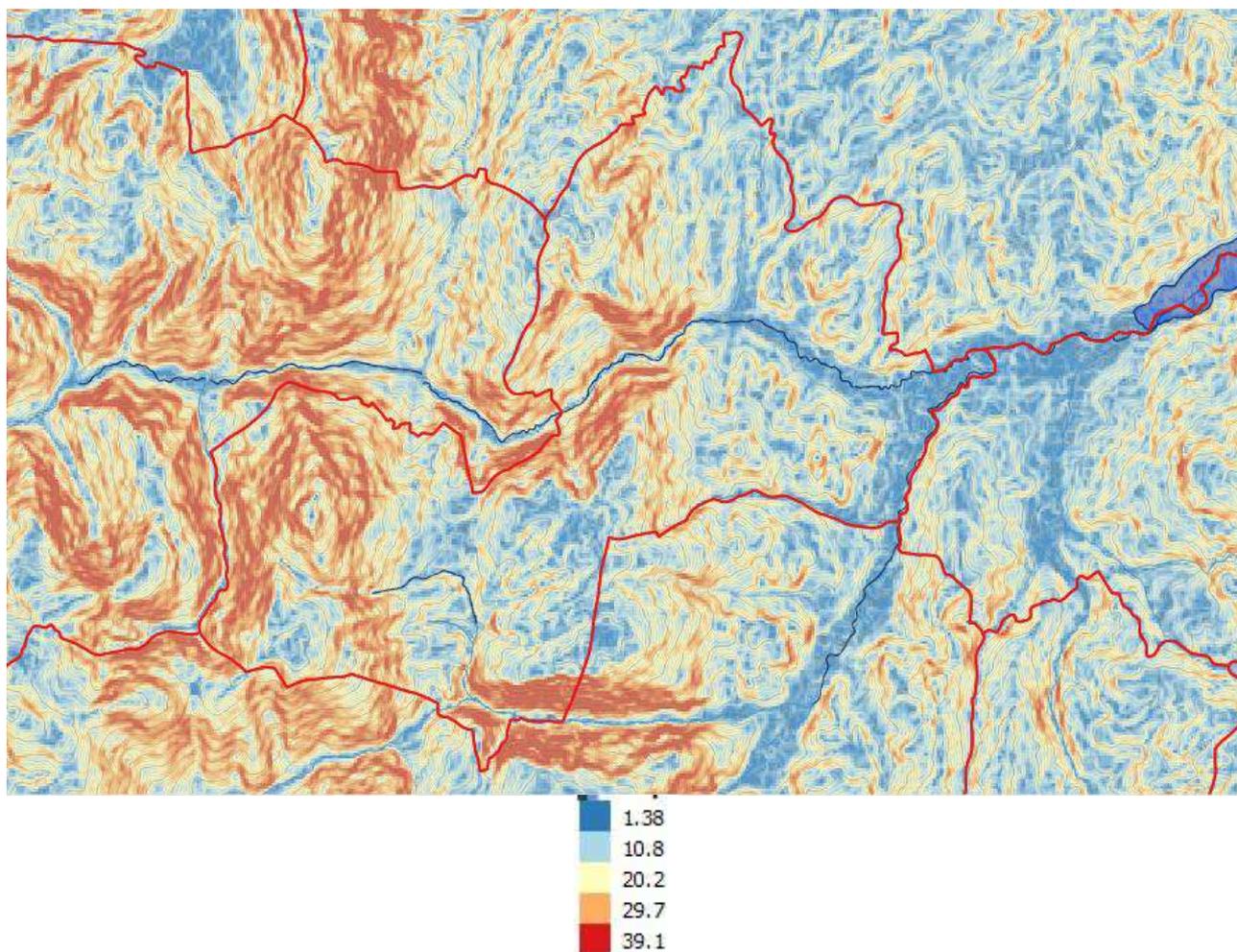


Figura 19 – Assetto fisico del territorio comunale di Muccia ottenuto mediante elaborazione in “singleband pseudocolor” del Digital Elevation Model (<https://gdex.cr.usgs.gov/gdex/>) mediante il software QGis 2.18.3.

Dott. Geol. Mauro Cataldi





*Figura 20 - Carta della pendenza, espresse in gradi, del territorio comunale di Muccia ottenuta mediante l'uso del comando [Slope] mediante il software QGis 2.18.3.*

Le superfici sommitali piane sono dovute essenzialmente alla progressiva degradazione operata da processi erosivi che agivano in senso areale (condizioni climatiche di tipo arido) man mano che la catena si sollevava. Pertanto si avevano fenomeni di troncatura, la cui attività era notevole rispetto a quella della tettonica, poiché le deformazioni superficiali da quest'ultima prodotte, venivano in buona parte progressivamente rasate. In tali condizioni si veniva a creare un paesaggio dalle forme più dolci di quelle attuali e dai dislivelli sensibilmente meno accentuati, i cui resti si possono riconoscere alla sommità dei rilievi calcarei, dove lembi più o meno estesi di superfici sub-pianeggianti o dolcemente ondulate, contrastano nettamente con i più ripidi pendii sottostanti (Figura 21).

Regione Marche – Comune di Muccia  
MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3 DEL COMUNE DI MUCCIA AI SENSI DELL'ORDINANZA DEL COMMISSARIO  
STRAORDINARIO N. 24 REGISTRATA IL 15 MAGGIO 2017 AL N. 1065  
Relazione Illustrativa

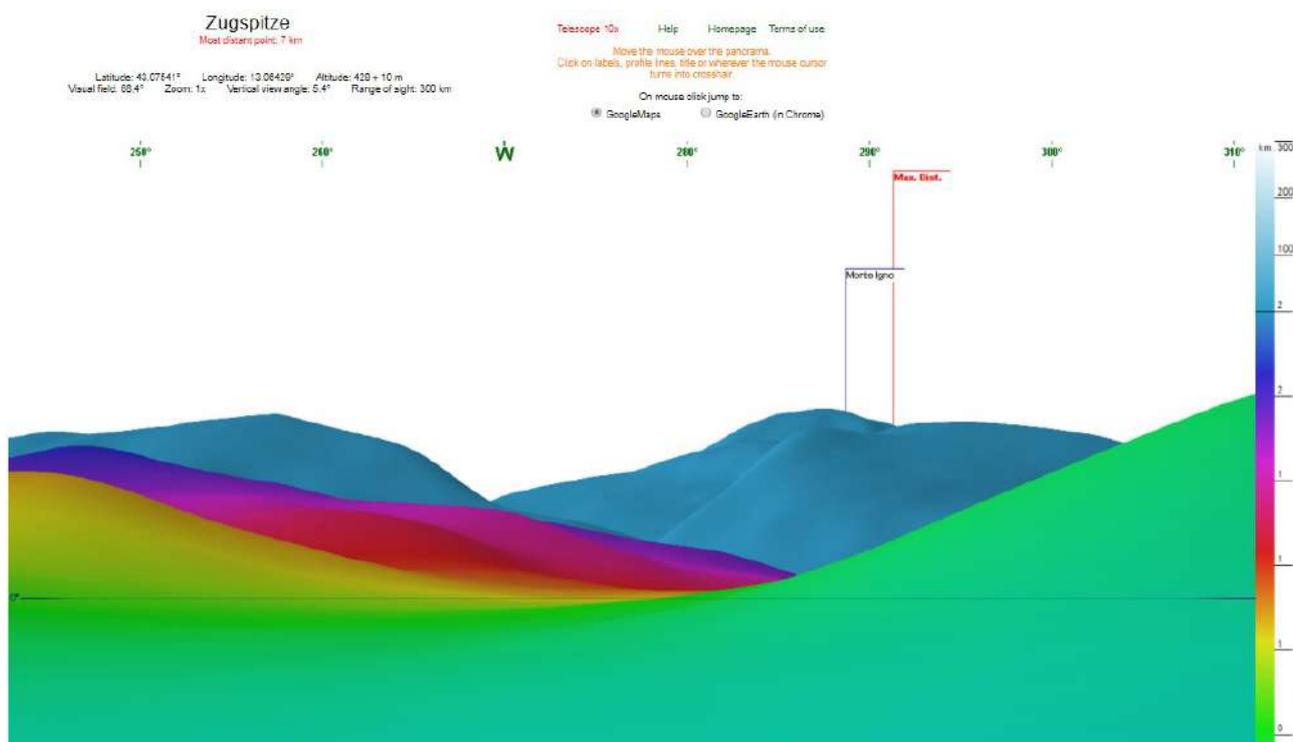


Figura 21 – Assetto geomorfologico: ricostruzione 3D delle morfologie presenti nel sito oggetto di intervento.  
([http://www.udeuschle.selfhost.pro/panoramas/makepanoramas\\_en.htm](http://www.udeuschle.selfhost.pro/panoramas/makepanoramas_en.htm)).

Parallelamente, ad Est della struttura montuosa anticlinale che domina indiscutibilmente l'assetto morfologico di quest'area, è presente, come visto in precedenza, la sinclinale miocenica che nell'area oggetto di studio, presenta quote comprese all'incirca tra i 400 m e i 650 m, rilievo medio o medio-basso che supera appena i 100 m e acclività medio-bassa, dell'ordine del 20%.

La differenza di quota con la dorsale anticlinale dipende essenzialmente dal sollevamento tettonico e da estese azioni di erosione selettiva che hanno messo in evidenza il settore calcareo, abbassando gradualmente la superficie topografica nelle sinclinali, in corrispondenza degli affioramenti terrigeni più erodibili. Inoltre, il brusco incremento del sollevamento che si è manifestato alla fine del Pleistocene inferiore ha prodotto ovunque incrementi del rilievo fino a diverse centinaia di metri e rapidi approfondimenti dei sistemi idrografici, soprattutto nel settore occidentale. Si originavano così nelle aree calcaree valli strette, incassate profondamente nelle forme dolci precedenti mentre, sui materiali terrigeni miocenici si producevano valli più ampie, i cui interfluvii erano in rapida erosione con conseguente continuo abbassamento della superficie topografica.

Dott. Geol. Mauro Cataldi



Il tratto della valle fortemente incisa del fiume Chienti di Gelagna, che interrompe la continuità della dorsale calcarea, costituisce l'esempio più evidente di come le lineazioni tettoniche principali abbiano guidato lo sviluppo dell'attuale reticolo idrografico per fenomeni successivi di precedenza in concomitanza con l'evolversi del sollevamento tettonico.

Per quanto riguarda i depositi superficiali, nel settore occidentale sono prevalenti falde detritiche ghiaioso–ciottolose di estensione e spessore modesti mentre nel settore orientale si hanno prevalentemente depositi argilloso–limoso–sabbiosi di spessore cospicuo.

Inoltre, lungo le valli fluviali di entrambi i settori, come già descritto nel capitolo relativo all'inquadramento geologico, sono presenti depositi alluvionali terrazzati, prevalentemente ghiaiosi, subordinatamente sabbiosi e limosi e di discreta estensione e potenza. Tali depositi sono dislocati soprattutto nella porzione nord–orientale del territorio comunale ed è caratterizzata da ampie zone pianeggianti raccordate da scarpate per lo più inattive e dal buon grado di stabilità.

Nell'area dove attualmente scorrono i corsi d'acqua del fiume Chienti di Gelagna e fiume Chienti di Pieve Torina sono presenti tre ordini di terrazzi di depositi alluvionali come già descritto.

Altra tipologia di deposito è rappresentata dai conoidi alluvionali o di deiezione, corpi sedimentari costituiti da accumuli di sedimenti generalmente clastici, ghiaiosi, con forma caratteristica a ventaglio.

Entrambi i rami del Fiume Chienti, presentano carattere piuttosto torrentizio, con piene sproporzionatamente grandi rispetto alle medie ed alle magre. Questo andamento è ricondotto al clima presente nell'area, caratterizzato generalmente da estati secche e piogge concentrate nel periodo autunnale e invernale.

Per quanto riguarda i processi morfogenetici attualmente presenti nel territorio comunale di Muccia (Figura 22), si segnalano soprattutto scorrimenti e frane complesse in stato quiescente e, in misura minore, colamenti lenti e crolli. Gli scorrimenti interessano prevalentemente i depositi ghiaiosi di versante mentre i colamenti riguardano i depositi eluvio–colluviali fini.

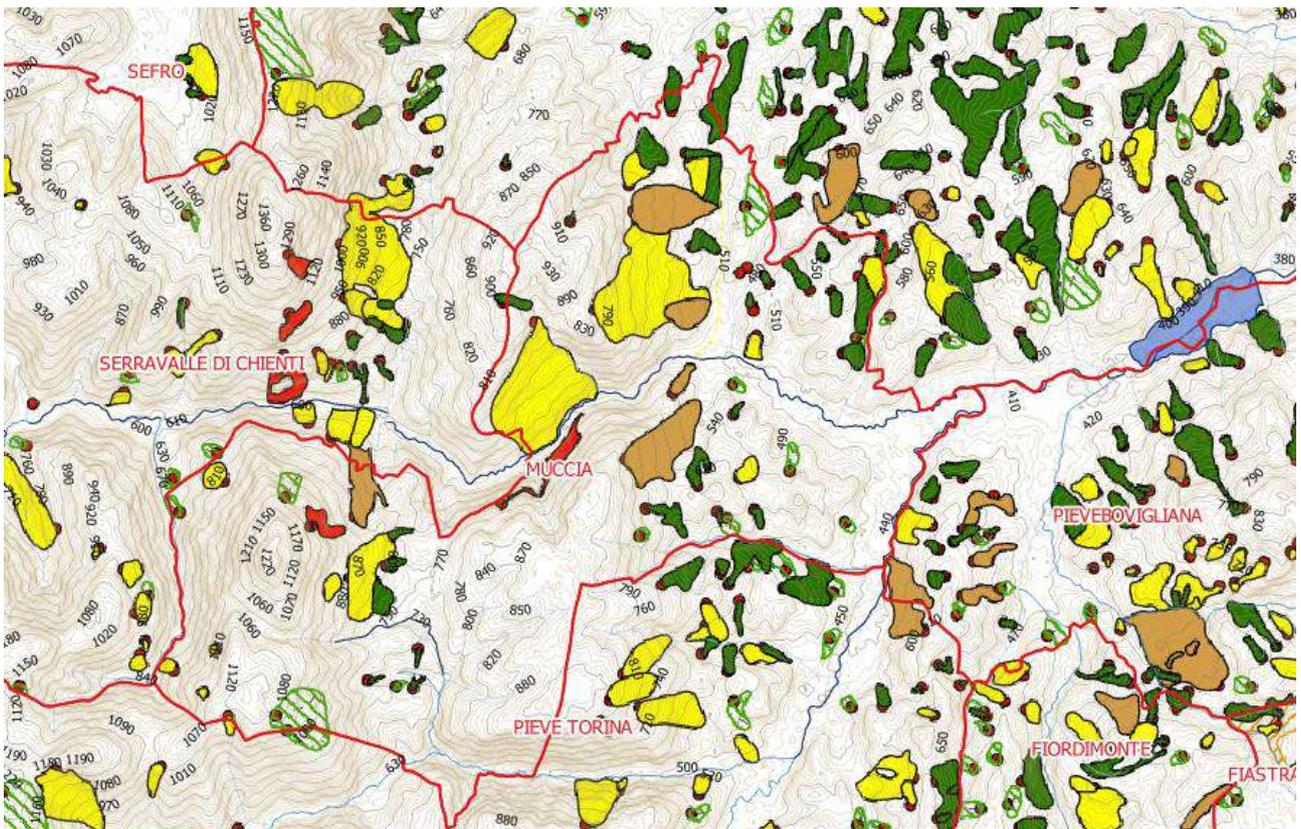


Figura 22 – Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (Progetto IFFI).  
<http://193.206.192.136/cartanetiffi/carto3.asp?cat=37&lang=IT#>.

Nell'area oggetto di studio, sono state individuate due aree a dissesto, già incluse sia nel Piano stralcio di Assetto Idrogeologico (P.A.I.) che nell'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (I.F.F.I.): la zona a monte di Via Garibaldi e Via Mazzini (Foto 1) indicata nel P.A.I. dal codice F-19-1734 (P2-R3) e la vasta area de "I Palazzi" (Foto 2) per il P.A.I. cod. F-19-1735 (P2-R3).



*Foto 1 – Area soggetta a scorrimento quiescente a monte di Via Garibaldi e Via Mazzini.*



*Foto 2 – Area soggetta a scorrimento quiescente nella zona denominata “I Palazzi”.*

Nel complesso, l'indice di franosità è di circa 0,08 frane/kmq nel settore occidentale e 0,09 frane/kmq nella porzione orientale.

### 3.3. Assetto stratigrafico

Sulla base di un rilievo geologico effettuato sulla maggior parte del territorio comunale di Muccia e dall'analisi della Carta Geologica Regionale – Progetto CARG è stato possibile estrarre, dai terreni più antichi a quelli più recenti, la seguente successione stratigrafica:

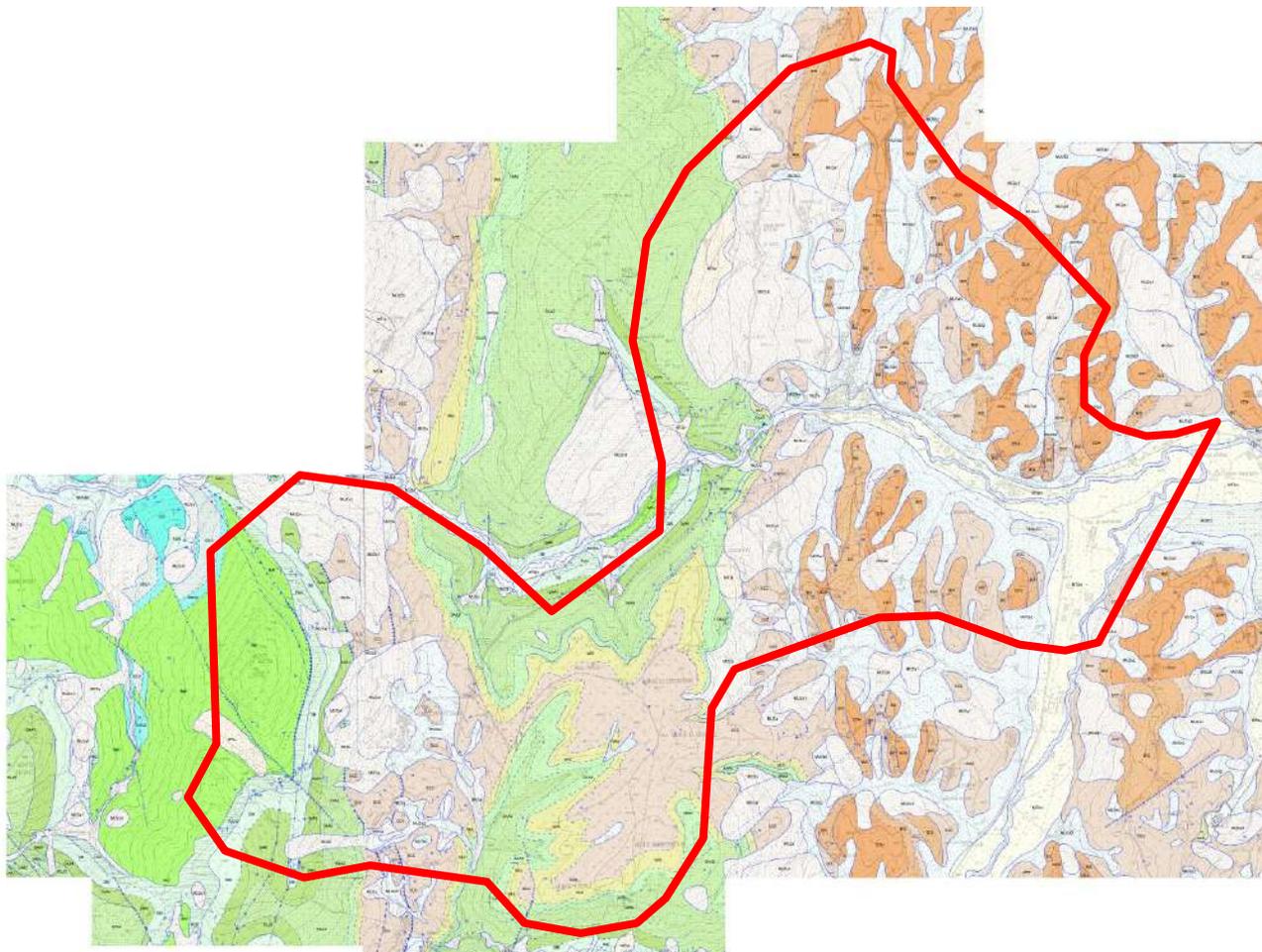


Figura 23 – Carta Geologica Regionale – Progetto CARG. Unione delle sezioni 312120, 312160, 313050, 313090, 313130.

#### Unità del substrato

##### **MAIOLICA APPENNINICA [MAI] (Priaboniano p.p. – Aquitaniano p.p.)**

È costituita da micriti biancastre (con selce scura in liste e noduli), in strati medi con sottili intercalazioni di peliti scure che aumentano notevolmente al passaggio con le Marne a Fucoidi. Nella parte inferiore però si osservano sensibili differenziazioni litologiche oltre che di spessori. Infatti nella Maiolica depositata su preesistenti alti

Dott. Geol. Mauro Cataldi



strutturali giurassici, oltre ai litotipi prima descritti, si rinvengono calcari nodulari, biancastri o beige e strati dolomitici, d'aspetto saccaroide e di colore bruno-giallastro, in strati spessi o molto spessi (Maiolica di *seamount*). Nella Maiolica depositata nelle depressioni (Maiolica di bacino), si rinvengono invece intercalazioni detritiche, anche grossolane, provenienti sia dall'interno del bacino che dalla Piattaforma laziale-abruzzese, *slumpings* intraformazionali e *pebbly-mudstones*. A luoghi, la parte basale della formazione appare ancora interessata dai fenomeni disgiuntivi che avevano caratterizzato il Giurassico. Nella porzione medio-alta dell'unità si osserva una relativa uniformità di caratteri tra le diverse successioni, in connessione con un ulteriore approfondimento del bacino, fino ad ambienti batiali. Tra la Maiolica di bacino e la Maiolica di *seamount* esistono differenze notevoli anche per quanto riguarda il contenuto fossilifero. Dove le deformazioni tettoniche sono particolarmente intense, la stratificazione è in gran parte obliterata e la formazione è caratterizzata da una morfologia aspra, da cui deriva la denominazione Calcere rupestre dei vecchi autori. Lo spessore della formazione varia da pochi metri (20-40) sulle zone di alto strutturale a 450-500 m nelle depressioni.

#### **MARNE A FUCOIDI [FUC] (*Aptiano inferiore p.p.* – *Albiano superiore p.p.*)**

Durante la deposizione della porzione medio-alta delle Maiolica appenninica, i fenomeni di subsidenza differenziata subiscono un arresto, le depressioni vengono pressoché colmate e si osserva un relativo appiattimento della morfologia. Con la Maiolica termina la sedimentazione prevalentemente carbonatica che aveva caratterizzato il Giurassico e subito dopo si osserva un netto cambiamento delle condizioni generali, con ricambio delle microfaune ed un notevole apporto in contenuto argilloso. Ciò in relazione ad eventi generali, quali la trasgressione tardo-cretacea e i fenomeni di stagnazione. Nelle Marne a Furoidi si individuano due membri: l'inferiore decisamente più marnoso ed uno superiore, prevalentemente calcareo. Il membro marnoso, dello spessore di 40-50 m, è costituito da marne e marne argillose policrome, in strati sottili, con rare e sottili intercalazioni micritiche avana o verdastre. Il membro calcareo, con spessore variabile tra 50 e 80 m, è costituito da calcari e calcari marnosi, marne e marne calcaree in strati sottili e medi, di colore biancastro o verdolino, talora roseo, con bande policrome, con sottili intercalazioni di marne argillose verdastre: il contenuto marnoso-argilloso va diminuendo verso l'alto in concomitanza con l'apparizione e l'aumento della selce policroma, in liste e noduli. A luoghi, nell'unità in esame, si rinvengono calcareniti

Dott. Geol. Mauro Cataldi



lamine, con selce nerastra in liste e noduli, in strati medio-spessi e calciruditi a geometria lenticolare.

#### **SCAGLIA BIANCA [SBI] (*Albiano superiore p.p. – Turoniano inferiore p.p.*)**

Questa unità è formata da micriti bianche, a frattura scagliosa, in strati sottili e medi, con selce nera d'aspetto zonato; nella parte superiore, quasi al passaggio con la soprastante Scaglia rossa, è presente il classico livello guida conosciuto come Livello Bonarelli (*Scisti ittiolitici o Scisti bituminosi Auct.*) costituito da argilliti euxiniche nerastre, talora silicee, dello spessore massimo di 1,50 m.

#### **SCAGLIA ROSSA APPENNINICA [SAA] (*Turoniano inferiore p.p. – Luteziano p.p.*)**

Si rinviene al di sopra della Scaglia bianca, pochi metri dopo il Livello Bonarelli. Spesso è possibile distinguere tre membri: un membro inferiore [SAA1] costituito da calcari e calcari marnosi rosati, a luoghi con bande policrome, con selce rossa in liste e noduli; un membro intermedio [SAA2] che ha spessori maggiori, costituito da marne e marne calcaree, a frattura concoide o scagliosa, di colore rosato o rosso mattone; un membro superiore [SAA3] costituito da calcari e calcari marnosi rosati con selce rossa in liste e noduli. La stratificazione è in genere netta, con strati da medi a spessi; molto frequenti sono gli *slumpings*. Gli spessori totali della formazione può arrivare anche a 450 m. L'unità può essere interessata anche da un diffuso clivaggio ed è facilmente degradabile sotto l'azione degli agenti esogeni in minute scagliette. Si formano così estese coperture detritiche anche di notevole spessore.

#### **SCAGLIA VARIEGATA [VAS] (*Luteziano p.p. – Priaboniano p.p.*)**

È costituita da un'alternanza di calcari micritici, di calcari marnosi e di marne policrome, in strati medi o sottili oppure può essere formata da calcari marnosi grigiastri con selce nera in liste e noduli. Il passaggio con la sottostante Scaglia rossa appenninica è molto graduale e talora è difficile valutarne il limite tra le due formazioni. Lo spessore dell'unità è di 20–40 m.

### **SCAGLIA CINEREA APPENNINICA [SCC] (*Priaboniano p.p. – Aquitaniano p.p.*)**

È l'unità che chiude la sedimentazione del gruppo cretaco-paleogenico. Essa è formata dall'alternarsi di marne calcaree, calcari marnosi, marne e marne argillose e, subordinatamente, di micriti. Nella parte inferiore della formazione prevalgono le litofacies più calcaree in strati sottili o medi, con una colorazione rossastra, mentre in quella medio-superiore, di colore grigio-verdastro, si osserva un progressivo e deciso aumento del contenuto marnoso-argilloso. L'unità, di spessore variabile da 100 a 250 m, è frequentemente interessata da diffuso clivaggio che spesso oblitera la stratificazione.

### **BISCIARO [BIS] (*Aquitano p.p. – Burdigaliano p.p.*)**

È costituito dall'alternanza, in strati medi, di calcari e calcari marnosi scuri, duri e compatti (a luoghi con selce nera in liste o noduli), marne, marne calcaree, marne argillose grigie fogliettate; tipica è la presenza di vulcanoclastiti a composizione riodacitica. Gli spessori e le associazioni litologiche variano nello spazio: in genere si hanno spessori limitati (5–30 m), talora con vistosi *pinch-out*, e litofacies prevalentemente calcareo marnosa, priva di selce, nelle zone costituenti i bordi dei bacini in evoluzione, e spessori maggiori (fino a 100–120 m), litofacies calcaree con selce e intercalazioni detritiche nelle parti più depresse di detti bacini.

### **SCHLIER [SCH] (*Langhiano – Messiniano*)**

È costituito da alternanze di marne, marne calcaree, marne argillose grigie e, subordinatamente, di calcari marnosi biancastri, talora finemente detritici. La bioturbazione è molto frequente e spesso intensa. Gli strati sono in genere medio-sottili, anche se spesso un diffuso clivaggio oblitera ogni traccia di stratificazione. Gli spessori sono estremamente variabili da luogo a luogo in relazione a cause diverse, quali la morfologia del fondo marino, le eteropie con le altre formazioni mioceniche (o con il Bisciario), l'azione erosiva dei flussi gravitativi ad alta concentrazione. Gli spessori minori si hanno comunque nelle zone più rialzate dove, talora, si ha sedimentazione condensata e presenza di lacune. Molto spesso, per l'assoluta subordinazione sul terreno del Bisciario delle intercalazioni calcareo-marnose dure rispetto alla frazione marnosa, riesce praticamente impossibile la distinzione cartografica de Bisciario stesso dallo Schlier.

### Unità di copertura

**DEPOSITI ALLUVIONALI TERRAZZATI, SUPERSINTEMA DI COLLE ULIVO – COLONIA MONTANI** (2° ordine) [ACbn3] (*Pleistocene medio sommitale*)

**DEPOSITI ALLUVIONALI TERRAZZATI, SINTEMA DI MATELICA**  
(3° ordine) [MTIbn] (*Pleistocene superiore*)

Generalmente nell'area marchigiana si riconoscono tre ordini principali di terrazzi alluvionali posti a varie altezze sul fondovalle (fino ad oltre 200 m) e prodotti in ambiente freddo, come è testimoniato dalla presenza al loro interno di forme singenetiche di crioturbazione e dalle frequenti interdigitazioni con depositi stratificati di versante riferibili a clima periglaciale. I terrazzi del 3° ordine (MTIbn) sono attribuiti al Pleistocene superiore (*Würm*) in base a datazioni radiometriche, mentre quelli del 2° ordine (ACbn3) sono stati riferiti al Pleistocene medio sulla base di considerazioni pedostratigrafiche (sono alterati alla sommità da paleosuoli fersiallitici prodotti in prolungate condizioni di clima subtropicale) e paleontologiche.

I depositi di 2° e 3° ordine si presentano in lembi più estesi e continui, con spessori fino a 20–30 metri. Essi sono costituiti da ciottoli a granulometria più uniforme, con diametri compresi mediamente tra 2 e 5 cm, anche se non mancano talora elementi molto grossolani (specie alla base dei depositi). I clasti sono spesso iso-orientati ed embriciati e presentano un certo grado di appiattimento, soprattutto se provengono dalla litologia della Scaglia rossa. Per quanto riguarda la composizione litologica, nei depositi di 2° e 3° ordine aumentano progressivamente gli elementi provenienti dai terreni più antichi della Scaglia rossa, dato il graduale approfondimento delle valli fluviali che incidevano via via i terreni al nucleo delle strutture anticlinaliche. Spesso si rinvencono lenti e livelli limosi e sabbiosi e clasti arenacei, più frequenti nei bacini modellati in substrati arenacei e arenaceo-pelitici. Spesso i depositi del 2° ordine appaiono cementati in superficie a seguito di processi pedogenetici, ai quali sono dovuti anche suoli fersiallitici più o meno troncati che si osservano alla loro sommità. Generalmente tali depositi terrazzati si trovano a quote variabili, rispettivamente da 80 a 60 m (2° ordine) e da 40 a 20 m (3° ordine) sull'alveo attuale dei principali corsi d'acqua e sono separati fra loro anche da scarpate talora notevoli.

## DEPOSITI ALLUVIONALI TERRAZZATI, SINTEMA DEL FIUME MUSONE

(4° ordine) [MUSbn] (*Olocene*)

## DEPOSITI ALLUVIONALI ATTUALI, SINTEMA DEL FIUME MUSONE

[MUSbn] (*Olocene*)

I depositi alluvionali di epoca olocenica sono costituiti dalle alluvioni d'alveo attuale lungo tutti i corsi d'acqua, anche di piccola portata, e da quelle terrazzate aventi un dislivello di 5–10 m sul fondovalle. In genere sono separate da deboli scarpate ma talora sfumano dolcemente l'una nell'altra. La loro composizione è pressoché analoga a quella dei depositi precedenti, essendo costituite da elementi provenienti in prevalenza dalle formazioni calcaree, calcareo–marnose, arenacee e arenaceo–pelitiche. Rispetto alle alluvioni pleistoceniche questi depositi si presentano freschissimi e del tutto inalterati. I depositi del 4° ordine presentano una genesi diversa rispetto ai depositi precedenti: i materiali ciottolosi sono stati messi in posto soprattutto come conseguenza di estesi disboscamenti effettuati per l'approvvigionamento di legname, per pascolo o per fini agricoli in epoca storica, mentre la loro incisione si è verificata in tempi molto recenti a seguito di attività che hanno rallentato l'apporto detritico dei versanti (rimboschimenti, sistemazioni montane e agricole) o hanno interrotto il transito dei materiali lungo gli alvei (impianto di bacini artificiali e di traverse, estrazione di inerti dai letti fluviali).

## DEPOSITI DI VERSANTE, SINTEMA DI MATELICA

[MTIa] (*Pleistocene superiore*)

## DEPOSITI DI VERSANTE, SINTEMA DEL FIUME MUSONE

[MUSa] (*Olocene*)

Si tratta di accumuli di frammenti calcarei a spigoli vivi, appiattiti, di piccole dimensioni (generalmente di 2–5 cm di lunghezza) e deposti in livelli, sia *open work*, sia più ricchi in matrice, inclinati dai 15° ai 30° secondo il pendio, talvolta dislocati da movimenti gravitativi. Le rocce di origine sono rappresentate essenzialmente dai calcari della Scaglia rossa e della Maiolica. I detriti di versante vengono riferiti a processi di gelifrazione su versanti privi di vegetazione, di ruscellamento diffuso e di soliflusso in ambiente periglaciale. Spesso si interdigitano con i depositi alluvionali del 2° e 3° ordine. Si osservano a diverse latitudini sui versanti, dove riempiono spesso incisioni ed irregolarità preesistenti, ed alla loro base, dove raggiungono talora dimensioni imponenti.

Dott. Geol. Mauro Cataldi



## DEPOSITI ELUVIO-COLLUVIALI, SINTEMA DEL FIUME MUSONE [MUSb2] (Olocene)

Tali depositi sono prevalentemente di natura limoso-argillosa, di origine colluviale, con frazione sabbiosa e/o con elementi marnosi o calcareo-marnosi in relazione alla natura del bacino di alimentazione.

### 3.4. Elementi tettonici

È noto che la regione marchigiana è interessata da uno stile tettonico prevalentemente plicativo, con pieghe e sovrascorrimenti ad andamento NW-SE, cioè, grosso modo, parallelo al bordo costiero adriatico, spesso rovesciate verso oriente. Dall'osservazione dello schema strutturale del Foglio 124 (Figura 24), si nota che tutto il territorio comunale di Muccia risulta essere a cavallo tra il settore indicato come "Anticlinorio Pioraco - Monte Igno - Monte di Giulo" e la "Sinclinale Cerreto d'Esì - Matelica - Castelraimondo - Camerino - San Marco".

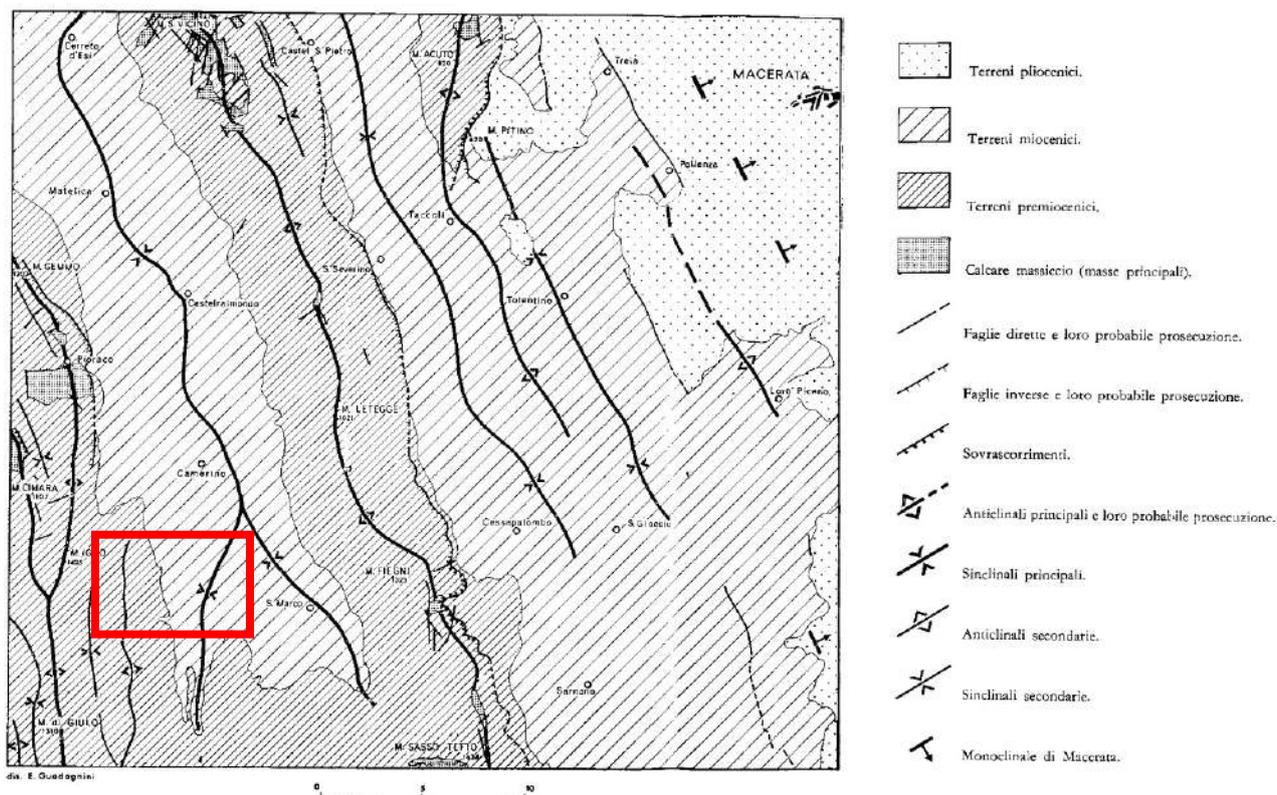


Figura 24 – Schema strutturale del Foglio 124. In rosso, settore del territorio comunale di Muccia.

L'anticlinale, procedendo da W verso E, presenta diversi motivi:

- a) anticlinale, con asse diretto da NNW a SSE, passante per il Monte Cesito, Monte Crestaio, Monte Cimara, Costa Cerreto, fino al Monte Capogna;
- b) sinclinale, con asse diretto da NNW a SSE, passante per il Monte Cimaiolo, Monte Brutto e Monte Camoia;
- c) anticlinale che si affaccia direttamente sulla sinclinale camerte, è più sviluppata delle altre strutture e interessa, dapprima e da N a S, il gruppo del Monte Gemmo, Monte Primo, Monte Mistrano, Monte Campalto e Monte Igno; successivamente la struttura si salda con l'anticlinale descritto al punto a) nei monti di Bavereto, formando l'anticlinale Bavereto – Prati di Massa – Monte di Giulo – Monte di Cesure. Il nucleo è formato dai calcari della Maiolica.

Verso oriente, quest'ultima anticlinale è seguita dalla sinclinale rovesciata di Gelagna – Massaprofoglio – Giulo che ha al nucleo la Scaglia cinerea paleogenica

Ancora verso E, come detto in precedenza, si passa alla struttura della sinclinale di Camerino, con asse diretto da NNW a SSE: si estende per tutta la lunghezza del foglio sdoppiandosi nella porzione meridionale in due rami (Fiastra e Visso) separati da una dorsale di terreni cretacei.

Le formazioni che costituiscono tale struttura sono rappresentate dal Bisciario, dallo Schlier e dalle torbiditi messiniane. Particolarmente estesa è quest'ultima formazione che costituisce il nucleo della sinclinale stessa, tranne nel ramo da Muccia a Visso. LA giacitura di tali litotipi è blanda, presentando locali ondulazioni che corrispondono a sinclinali e anticlinali secondarie. Non mancano tuttavia motivi tettonici accentuati che determinano rovesciamenti. In qualche punto l'erosione mette a nudo addirittura i termini più antichi, rappresentati dalla Scaglia rossa, come avviene nella struttura brachianticlinale Collelungo – Monte di Muccia. Il profilo trasversale della sinclinale camerte è quello di una ampia piega asimmetrica, con il fianco occidentale più raddrizzato di quello opposto.

Nel Messiniano medio, in relazione con la crisi di salinità del Mediterraneo occidentale, si instaura un diffuso ambiente evaporitico che porta alla deposizione della Formazione gessoso-solfifera.

Nel Messiniano superiore, l'area corrispondente all'attuale fascia appenninica è in via di corrugamento, mentre il bacino della Laga è ancora sede di deposizione torbiditica di mare profondo (Membro post-evaporitico, Formazione di San Donato). Nei bacini

Dott. Geol. Mauro Cataldi



intrappenninici minori (*piggy-back basins*), in un ambiente decisamente salmastro, si depongono invece le Argille a Colombacci. Si hanno spesso discordanze tra depositi evaporitici e post-evaporitici, indicative di particolare intensità della tettonica compressiva dell'area marchigiana. I flussi gravitativi sono convogliati nelle aree deposizionali lungo strette valli trasversali controllate dalla tettonica (es. linea trasversale Fiastrone–Fiastrella).

L'area si solleva ed emerge intorno al Pliocene superiore, in relazione al perdurare di compressioni iniziate nel Pliocene inferiore–medio. Tale attività compressiva cessa nel Pleistocene inferiore: a questo punto si sviluppano esclusivamente movimenti verticali, almeno sino al Pleistocene medio–superiore, differenziati a causa delle faglie trasversali che creano una divisione in blocchi. Tali sistemi di faglie presentano un andamento generale del tipo NE–SW. La sedimentazione è strettamente controllata dalla tettonica che condiziona l'impostazione dell'attuale reticolo idrografico.

### 3.5. Considerazioni finali sull'architettura stratigrafica e sull'assetto morfologico e strutturale

Il settore oggetto del presente studio di Microzonazione Sismica di Livello 3, in sintesi, è rappresentato da una zona di raccordo tra l'anticlinale ad W e la sinclinale camerte ad E: la zona di raccordo è costituita dalla formazione della Scaglia cinerea mentre la sinclinale è rappresentata dal Bisciario e dallo Schlier.

Tali strutture, aventi asse NNW–SSE risultano incise trasversalmente dal Fiume Chienti di Gelagna. Un corso d'acqua minore, denominato Fosso dell'Ospedale e che attraversa intubato il centro storico di Muccia, rappresenta l'unico affluente degno di nota del Fiume Chienti (sinistra idrografica).

Al di sopra del substrato, si rinvengono coperture rappresentate principalmente da depositi eluvio–colluviali e da depositi alluvionali: i primi, di età olocenica, sono di natura prevalentemente limoso–argillosa con frazione sabbiosa e ricoprono il substrato lungo i versanti con spessori fino a 20 m; i secondi, riconducibili soprattutto al Pleistocene superiore, sono costituiti principalmente da ghiaie, con spessori certi anche di 40 m. Presenti, inoltre, depositi di versante a granulometria grossolana.

## 4. Dati geotecnici e geofisici

### 4.1. Dati pregressi

Al fine di procedere con lo studio di Microzonazione Sismica di Livello 3 relativo al territorio comunale di Muccia, si è proceduto alla raccolta ed archiviazione informatica dei dati pregressi, in accordo con lo già citato standard, vers. 4.0b.

In particolare, nella relazione redatta nel corso degli studi di Microzonazione Sismica di Livello 1, si legge che è stato raccolto materiale proveniente dall'archivio comunale e derivante dagli studi finalizzati alla ricostruzione degli eventi sismici del 1997 e da indagini di approfondimento effettuate da società impiegate nella realizzazione di importanti infrastrutture viarie nel territorio comunale.

Tutte le indagini archiviate, seguendo lo standard 1.5, sono per lo più sondaggi effettuati tra il 1983 e il 2008. A completamento di tali informazioni, sono stati effettuati dei rilevamenti geomeccanici per il calcolo del *Volumetric Joint Count*.

### 4.2. Dati acquisiti ex-novo

Ai dati sopra citati, ne sono stati aggiunti ulteriori forniti soprattutto dal geol. Gian Luca Faustini e dal geol. Franco Pontoni e aggiunte altre indagini effettuate dallo scrivente e concordate con l'Unità Operativa di Marche 1, per completare al meglio lo studio di Microzonazione Sismica di Livello 3 e consistenti in n. 33 misure di microtremore a stazione singola HVSR, la cui modalità di acquisizione ed elaborazione verrà discussa nel paragrafo 7, n. 9 MASW e n. 1 sondaggio a carotaggio continuo spinto fino alla profondità di 35 m da cui non sono stati estratti campioni per ulteriori analisi di laboratorio a causa della tipologia granulometrica dei materiali, effettuate n. 1 prova penetrometrica SPT e n. 1 prova sismica in foro di tipo *Downhole* da parte dell'Università degli Studi del Sannio.

La raccolta di ulteriori indagini, soprattutto svolte per la ricostruzione dopo i sismi del 1997-98, è stata limitata data l'inagibilità dell'archivio cartaceo relativamente ai lavori pubblici e privati, non permettendo così la raccolta di tutte le tipologie di indagini puntuali come sondaggi geognostici, scavi, prove penetrometriche statiche e dinamiche e prove di laboratorio e indagini lineari, come MASW e sismica a rifrazione. Qualche indagine riferita alle pratiche più recenti erano invece già state ri-ordinate presso il Centro Operativo Comunale allestito a seguito dei vari eventi sismici del 26 e 30 ottobre

Dott. Geol. Mauro Cataldi



2016: esse hanno riguardato soprattutto il “Completamento Zona Residenziale Via Ralle”, svolte dallo studio tecnico Geoequipe di Tolentino.

Tutti i dati sono stati archiviati mediante il software *SoftMS\_v4\_0\_1* che ha consentito ed agevolato l’inserimento dei valori richiesti, rispettando le strutture e i formati dello standard. Da tale software è stato possibile esportare il database in formato Microsoft Access (.mdb) denominato “*Cdl\_Tabelle\_043006*” a cui viene associata una “*folder*” contenente in formato .pdf tutta la documentazione relativa ad ogni indagine inserita.

Anche questi dati sono stati successivamente archiviati mediante il software *SoftMS\_v4\_0\_1* ed esportato un nuovo file per Microsoft Access (.mdb) denominato “*Cdl\_Tabelle*”.

In definitiva al database sono state aggiunte le seguenti indagini:

#### Indagini puntuali

▪ Sondaggi a carotaggio continuo che intercettano il substrato	(SS)	7
▪ Sondaggi a distruzione di nucleo che intercettano il substrato	(SDS)	17
▪ Sondaggi a distruzione di nucleo che NON intercettano il substrato	(SD)	13
▪ Trincea o pozzetto esplorativo	(T)	2
▪ Prove penetrometriche dinamiche super pesante	(DS)	9
▪ Prove penetrometriche dinamiche medie	(DN)	7
▪ Prove penetrometriche dinamiche leggere	(DL)	1
▪ Prove sismiche in foro tipo <i>Downhole</i>	(DH)	1
▪ Stazioni a microtremore (stazione singola HVSR)	(HVSR)	42

#### Indagini lineari

▪ MASW	(MASW)	12
--------	--------	----

## 5. Modello del sottosuolo finalizzato alla MS

Tratto dal testo “Microzonazione Sismica per la ricostruzione dell’area aquilana”, viene definito come modello del sottosuolo “*una rappresentazione tridimensionale approssimata di una porzione di sottosuolo, nella quale devono essere distinguibili gli elementi qualitativi e quantitativi necessari per il suo impiego nelle valutazioni funzionali alla specifica applicazione. Metodologicamente è il risultato di un processo interattivo e iterativo di trattamento di dati provenienti da diverse fonti informative, riconducibili a specifiche aree disciplinari: geologia, geofisica e geotecnica.*”.

Dott. Geol. Mauro Cataldi



In estrema sintesi, il processo è indirizzato e finalizzato alla definizione del minimo numero di parametri necessari a fornire una ricostruzione di Unità Omogenee (UO). Si denominano UO le unità caratterizzate da valori simili dei parametri rilevanti ai fini dello studio. Il processo prevede di passare da unità strettamente litologiche a unità caratterizzate da parametri geotecnici e geofisici (UO).

In particolare, si devono definire per le diverse UO:

- le geometrie e i limiti superiori, laterali e inferiori; in particolare, è importante stabilire il rapporto stratigrafico tra le UO dei terreni di copertura e quelle del *bedrock*, per definire l'andamento morfologico del tetto del *bedrock* sepolto;
- l'assetto strutturale (descrizione quantitativa della distribuzione spaziale delle discontinuità) degli ammassi rocciosi ed eventualmente delle formazioni argillose fortemente sovraconsolidate;
- le proprietà fisiche e meccaniche a cui vengono associate leggi di variazione e valutazioni di incertezza;
- la posizione delle falde acquifere e le loro eventuali oscillazioni, con definizione delle condizioni idrodinamiche e di pressione interstiziale.

Un passo fondamentale nel processo di costruzione del modello di sottosuolo è stato la caratterizzazione geomeccanica che porta all'individuazione delle unità geotecniche. Con questo nome si intende una porzione di sottosuolo all'interno della quale le variazioni delle proprietà geotecniche siano contenute in ambiti relativamente ristretti nei riguardi del problema in esame o siano semplicemente derivanti dallo stato tensionale originario.

Le proprietà geotecniche possono suddividersi convenzionalmente in due categorie: proprietà indice e stato tensionale (caratteristiche fisiche, granulometriche e di plasticità) e proprietà meccaniche.

Le proprietà indice identificano le caratteristiche intrinseche del terreno/roccia, mentre i parametri fisici caratterizzano lo stato del terreno in condizioni originarie e dopo variazioni indotte da azioni esterne. La loro determinazione è di notevole interesse nella definizione delle unità geotecniche, ad esempio attraverso la costruzione di *log* delle proprietà indice con la profondità. Inoltre, poiché esistono correlazioni tra proprietà indice e meccaniche, le proprietà indice possono essere utilizzate per dedurre valori di primo tentativo dei parametri meccanici in mancanza di determinazioni dirette (ad

esempio coefficiente di compressibilità, resistenza al taglio residua, angolo di resistenza al taglio).

Le proprietà meccaniche governano la risposta dei terreni e delle rocce alle azioni ad essi applicate. Esse vengono ricavate per via sperimentale, tramite indagini in sito ed in laboratorio, misurando la risposta meccanica del terreno e della roccia in condizioni generalmente semplificate. A loro volta, in dipendenza della frequenza della sollecitazione, le proprietà meccaniche possono essere suddivise convenzionalmente in “statiche” (risposta a carichi applicati lentamente nel tempo) e “dinamiche” (risposta ad azioni cicliche e dinamiche). I parametri meccanici da valutare dipendono dal legame costitutivo adottato per descrivere il comportamento meccanico dei terreni e delle rocce.

### 5.1. Unità geologico–tecniche: definizione e parametrizzazione

Nel caso in esame e per il solo settore oggetto di studio di Microzonazione Sismica di Livello 3, le proprietà geotecniche dei terreni presenti sono ricavate sulla base delle diverse prove penetrometriche reperite e da svariati provini estratti su cui sono stati effettuate analisi granulometriche, limiti di consistenza, prove di taglio diretto, ecc....

Per quanto riguarda le coperture, secondo gli standard *Unfield Soil Classification System*, vengono proposte le seguenti caratteristiche geomeccaniche medie:

*Tabella 3 – Caratteristiche geomeccaniche medie delle coperture.*

<i>Classificazione U.S.C.S.</i>	GW	GW	GM	ML
<i>Ambiente genetico e deposizionale</i>	Terrazzo fluviale (tf)	Falda detritica (fd)	Eluvi/colluvi (ec)	Eluvi/colluvi (ec)
<i>Tipologia</i>	Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbia	Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbia	Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo	Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità
<i>Peso di volume <math>\gamma</math> (t/m<sup>3</sup>)</i>	1,90–2,00	1,90–1,95	1,80–1,95	1,80–1,95
<i>Angolo di resistenza al taglio <math>\phi</math> (°)</i>	32–35	28–33	28–32	22–26
<i>Resistenza non drenata <math>c_u</math> (kg/cm<sup>2</sup>)</i>	0,0	0,0	0,0	0,5–1,10
<i>Densità relativa <math>D_r</math> (%)</i>	>60	30–60	>50	18–25
<i>Modulo di elasticità <math>E</math> (kg/cm<sup>2</sup>)</i>	250–500	80–300	80–300	60–150

Dott. Geol. Mauro Cataldi



Nessuna delle prove penetrometriche o di laboratorio effettuate riporta una stima dei valori geotecnici del substrato. Pertanto, per alcuni tipi di tali litologie, vengono indicati valori di parametri dedotti dalla bibliografia o da prove effettuate in comuni limitrofi.

Tabella 4 – Caratteristiche geomeccaniche medie del substrato.

<i>Litologia</i>	Scaglia cinerea appenninica	Bisciario	Schlier
<i>Peso di volume <math>\gamma</math> (<math>t/m^3</math>)</i>	2,10–2,20	2,20–2,30	2,10–2,20

Per quanto riguarda i dati geofisici, occorre innanzi tutto operare una distinzione tra i dati geofisici di base, ovvero quelli che costituiscono la misura di campo, diretta o indiretta (forme d'onda e/o spettri corrispondenti, primi arrivi, profili di resistività apparente, ecc...) e i dati geofisici di modello, ovvero l'insieme dei parametri geofisici di modello che costituiscono il contributo della geofisica alla costruzione del modello del sottosuolo. Si sottolinea ancora che tali parametri sono ottenuti per via diretta o con un processo d'inversione dei dati geofisici di base acquisiti in campo. Il contributo della geofisica risulta essere indispensabile allo studio e valutazione dei seguenti effetti:

- amplificazioni locali;
- instabilità di versante;
- cedimenti differenziali;
- valutazione delle faglie attive e capaci.

Tra tutti i parametri, la velocità delle onde S risulta essere il più importante in quanto costituisce il parametro sensibile rispetto agli effetti di amplificazione sismica locale. La sua conoscenza, infatti, consente stime di prima approssimazione dell'amplificazione mediante approcci semplificati oltre che valutazioni più rigorose mediante approcci numerici. Il diverso grado di risoluzione della stima di tale parametro può corrispondere a un diverso grado di approfondimento dello studio di Microzonazione Sismica.

Per il completamento degli studi di Microzonazione Sismica di Livello 3, sono state effettuate ulteriori n. 9 indagini lineari di tipo MASW su litotipi di cui non erano note le caratteristiche geofisiche e n. 1 prova sismica in foro tipo *Downhole* eseguita nei pressi della scuola elementare, i cui risultati vengono mostrati in allegato.

Dott. Geol. Mauro Cataldi



Inoltre sono state effettuate ex-novo n. 33 indagini HVSR esclusivamente per determinare la risposta sismica locale attraverso la stima di massima del contrasto di impedenza sismica e per la ricostruzione del modello geologico, mostrato di seguito.

*Tabella 5 – Caratteristiche geofisiche medie delle coperture alluvionali, detritiche di versante ed eluvio-colluviali.*

<i>Classificazione U.S.C.S.</i>	GW	GW	GM	ML
<i>Ambiente genetico e deposizionale</i>	tf	fd	ec	ec
<i>Indagine</i>	SR8 SR9 MASW11 MASW19 MASW20 MASW22	MASW12 MASW13 MASW15 MASW16	MASW18	SR1 SR2 SR3 SR4 SR5 SR6 SR7 SR10 MASW14 MASW21
<i>Velocità onde di taglio P (m/s)</i>	990 – 1.950	690 – 1.500	460 – 575	440 – 600
<i>Velocità onde di taglio S (m/s)</i>	330 – 650	230 – 500	200 – 250	220 – 300
<i>Coefficiente di Poisson <math>\nu</math></i>	0,42 – 0,44	0,43 – 0,45	0,44 – 0,46	0,38 – 0,40
<i>G/G0(<math>\gamma</math>) D (<math>\gamma</math>)</i>	Rollins, 1998	Rollins, 1998	Rollins, 1998	Marche1 – Treia

Per quanto riguarda il substrato presente nel settore oggetto di studio di Microzonazione Sismica di Livello 3, i valori medi geofisici sono derivati dalle MASW, dalle indagini a rifrazione effettuate per la progettazione della SS77 e, in particolare, dalla prova in foro di tipo *Downhole* che ha permesso di attribuire una velocità alla formazione dello Schlier, in quanto intercettata dal sondaggio a carotaggio continuo a partire dalla profondità di 15 m dal p.c..

*Tabella 6 – Caratteristiche geofisiche medie del substrato integro.*

<i>Litologia</i>	Scaglia cinerea appenninica	Bisciario	Schlier
<i>Velocità onde di taglio P (m/s)</i>	> 2.500	> 2.500	> 2.500

Dott. Geol. Mauro Cataldi



<i>Velocità onde di taglio S (m/s)</i>	> 700	> 700	> 700
<i>Coefficiente di Poisson <math>\nu</math></i>	0,35 - 0,38	0,34 - 0,37	0,35 - 0,38
<i>G/G0(<math>\gamma</math>) D (<math>\gamma</math>)</i>	Lineare	Lineare	Lineare

## 5.2. Sezioni geologico-tecniche

Le sezioni geologiche e le sezioni geologico-tecniche, da esse derivate, costituiscono lo strumento per visualizzare il modello geologico di sottosuolo di riferimento in tutte le fasi degli studi di MS finalizzate alla determinazione della risposta sismica locale. Se la carta geologico-tecnica è il documento rappresentativo della distribuzione dei terreni in superficie, le sezioni geologiche devono invece rappresentare la distribuzione delle diverse unità nel sottosuolo, lungo transetti che siano effettivamente significativi per sintetizzare le caratteristiche locali dell'assetto geologico e geomorfologico. Una ottimale rappresentazione della variabilità 3D del sottosuolo viene garantita eseguendo una griglia di profili geologici, orientati parallelamente ed ortogonalmente ai lineamenti geologico-morfologici caratteristici, di forma adeguata a quella del contorno delle aree da investigare, con maglia di dimensioni dipendenti dalla complessità del sottosuolo da modellizzare e, nel caso di studi di III livello, dalle dimensioni della microzona. In ogni caso, la griglia di profili dovrà essere particolarmente concentrata sulle aree di maggiore interesse per le attività di MS. In particolare, è consigliabile l'utilizzo delle griglie di profili in ciascuna delle aree individuate per gli studi di MS, in cui ricadano gli abitati principali. Con il travaso dei dati delle indagini svolte ai fini della MS, le sezioni geologiche possono essere tramutate in altrettanti profili geologico-tecnici, in cui i terreni del sottosuolo vengono differenziati e rappresentati in funzione dei loro caratteri fisico-meccanici in prospettiva della risposta sismica locale. Appare evidente che, una volta fissata, la griglia di profili geologici da eseguire può costituire un valido riferimento per pianificare la distribuzione sul territorio delle indagini rivolte a ricostruire i profili geologico-tecnici, mediante la definizione della geometria dell'interfaccia substrato-copertura e la distribuzione in sottosuolo delle diverse tipologie delle coperture, con le relative Vs. I profili geologico-litotecnici costituiranno la base per la definizione dei modelli geotecnici da utilizzare nelle modellazioni 2D.

Per la modellazione numerica in MS3 saranno scelte le sezioni geologiche–litotecniche più significative e rappresentative delle aree a maggiore criticità dal punto di vista della risposta sismica in superficie.

Il processo di costruzione del modello del sottosuolo è partito dalla ricostruzione dell'assetto geologico–geomorfologico e strutturale dell'area indagata, effettuato mediante l'analisi delle cartografie già a disposizione e redatte in passato, come la Carta Geologica d'Italia (scala 1: 100.000), la Carta Geologica Regionale (1: 10.000), la Carta Geologico–Tecnica per la Microzonazione Sismica di Livello 1, ecc... Tutta l'informazione geologica acquisita, coadiuvata dai dati geotecnici e geofisici, è stata tradotta in un modello, sintetizzato nella Carta geologico–tecnica, fornita in n. 1 tavola in scala 1: 5.000, riguardante soprattutto il capoluogo.

Per lo sviluppo del modello geologico–tecnico ci si è avvalsi della preziosa collaborazione del prof. Pierluigi Pieruccini di supporto all'Unità Operativa Marche 1.

L'insieme dei dati geologici finalizzati a definire modelli del sottosuolo, particolarmente inerenti alla Microzonazione Sismica, hanno consentito di:

- distinguere il *bedrock* dai terreni di copertura;
- definire le loro geometrie (spessori dei terreni di copertura/profondità *bedrock*);
- individuare (se esistenti) le aree suscettibili di liquefazione sismo–indotta;
- individuare, nei terreni di copertura, le aree soggette a fenomeni di instabilità dei versanti;
- individuare le criticità geomorfologiche.

Ai dati di superficie sono stati aggiunti i dati prelevati in profondità con le indagini geognostiche:

- successioni litostratigrafiche;
- contatto *bedrock*–terreni di copertura;
- frequenza e giacitura delle discontinuità.

I criteri che sono stati seguiti per il tracciamento delle tracce delle sezioni geologiche vengono di seguito riassunti:

- Le sezioni attraversano i centri abitati per una porzione rappresentativa delle dimensioni del centro abitato stesso.

Dott. Geol. Mauro Cataldi



- Dimensioni longitudinali delle sezioni scelte per l'analisi bidimensionali (2D) minimizzano, in corrispondenza della zona del centro abitato, gli effetti delle riflessioni totali delle onde che incidono sulle frontiere laterali della modellazione bidimensionale. Le sezioni sono estese in modo tale che le frontiere laterali si trovino ad una distanza almeno pari alla dimensione del tratto in corrispondenza del centro abitato attraversato. In pratica, se la sezione attraversa un centro abitato per un tratto di lunghezza  $X$ , la sezione ha una lunghezza pari a  $X+X+X=3X$ , con l'abitato posto al centro della sezione.
- Le sezioni sono ubicate in modo da caratterizzare la massima eterogeneità in termini di TC e S del Modello Geologico al di sotto del centro abitato, ovvero le sezioni sono realizzate fino ad una profondità tale da intercettare il Substrato Sismico (se identificabile) o quello Geologico.
- Se l'eterogeneità è approssimativamente 1D (successione di strati orizzontali o sub-orizzontali) le sezioni sono più corte; altrimenti, in caso di forti eterogeneità laterali, con configurazioni 2D o 3D (es. contatti sepolti molto acclivi, presenza di scarpate verticali sepolte ecc..) è stato necessario ubicare le sezioni in modo tale da rappresentare al meglio anche tali eterogeneità.
- Le sezioni sono state ubicate tenendo conto delle possibili morfologie sepolte o delle morfologie superficiali (ad es. presenza di riempimenti vallivi, contatti bruschi con i versanti, scarpate di terrazzo, scarpate strutturali ecc...). Nel caso di valli sepolte caratterizzate da un rapporto  $H/L > 1/4$  (con H profondità e L semi-larghezza della valle) è stato necessario estendere le sezioni oltre le estremità della valle per minimizzare gli effetti delle riflessioni laterali nella modellazione.

Dalla carta geologico-technica, che verrà descritta con maggior cura al paragrafo 8.3, sono state estrapolate n. 6 sezioni geologiche rappresentative:

- sezione 1 (Figura 25): orientata WNW-ESE, lunga 2,319 km, attraversa i depositi di versante pleistocenici (GWfd), il fondovalle con i depositi colluviali (GMec) dove è ubicato l'abitato di Muccia per poi risalire nel versante opposto. Vengono riportate la successione dalla Scaglia rossa fino allo Schlier con le varie strutture sinclinaliche e anticlinaliche secondarie e l'andamento della Vs 800 m/s;

Dott. Geol. Mauro Cataldi



Regione Marche – Comune di Muccia  
MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3 DEL COMUNE DI MUCCIA AI SENSI DELL'ORDINANZA DEL COMMISSARIO  
STRAORDINARIO N. 24 REGISTRATA IL 15 MAGGIO 2017 AL N. 1065  
Relazione Illustrativa

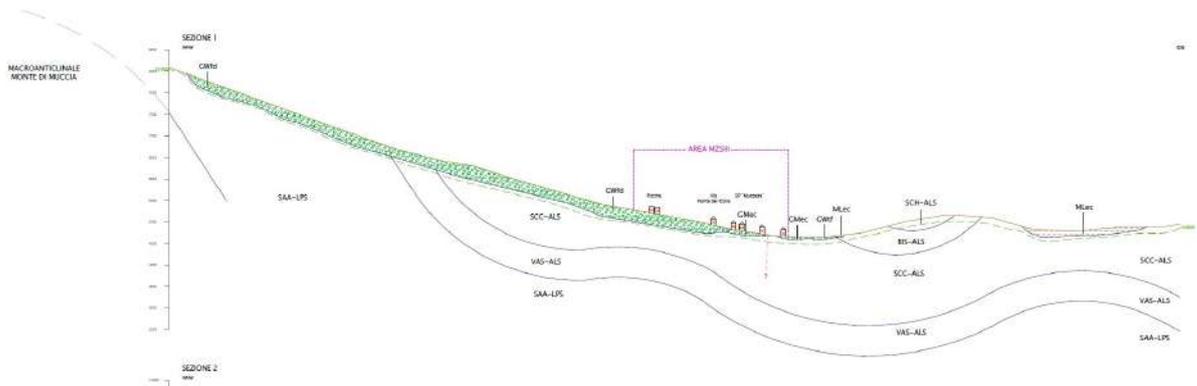


Figura 25 – Sezione 1.

- sezione 2 (Figura 26): orientata WNW-ESE, lunga 4,781 km, attraversa i depositi di versante pleistocenici (GWfd) e gran parte del fondovalle con i depositi alluvionali del Fiume Chienti (GWtf) dove sono ubicati, nell'ordine, gli abitati di Muccia (centro storico), Varano e Maddalena. Vengono riportate la successione dalla Scaglia rossa fino allo Schlier con le varie strutture sinclinaliche e anticlinaliche secondarie e l'andamento della Vs 800 m/s;

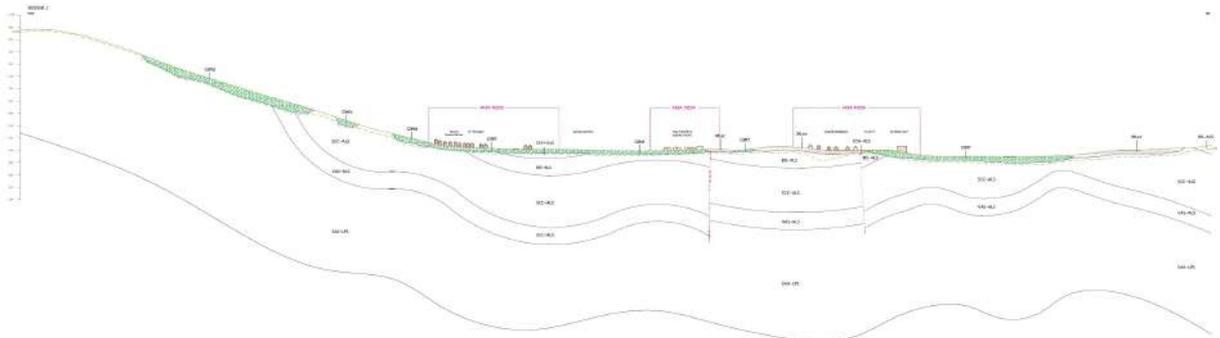


Figura 26 – Sezione 2.

- sezione 3 (Figura 27): orientata SW-NE, lunga 2,685 km e trasversale alla valle del Fiume Chienti, attraversa gran parte di Via Fonte del Colle, settore particolarmente danneggiato dal sisma ed è pertanto la sezione portata a modellazione 2D. Vengono riportate la successione dalla Scaglia rossa fino allo Schlier, l'andamento della Vs 800 m/s;

Dott. Geol. Mauro Cataldi



Regione Marche – Comune di Muccia  
 MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3 DEL COMUNE DI MUCCIA AI SENSI DELL'ORDINANZA DEL COMMISSARIO  
 STRAORDINARIO N. 24 REGISTRATA IL 15 MAGGIO 2017 AL N. 1065  
 Relazione Illustrativa

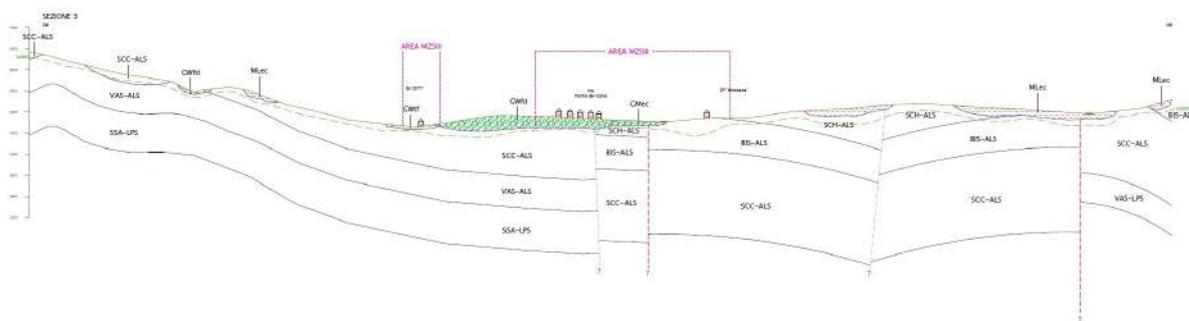


Figura 27 - Sezione 3.

- sezione 4 (Figura 28): orientata S-N, lunga 2,880 km, attraversa trasversalmente la valle del Fiume Chienti e l'abitato di Muccia (Via Roma, Vicolo del Colle). Vengono riportate la successione dalla Scaglia cinerea fino allo Schlier e l'andamento della Vs 800 m/s;

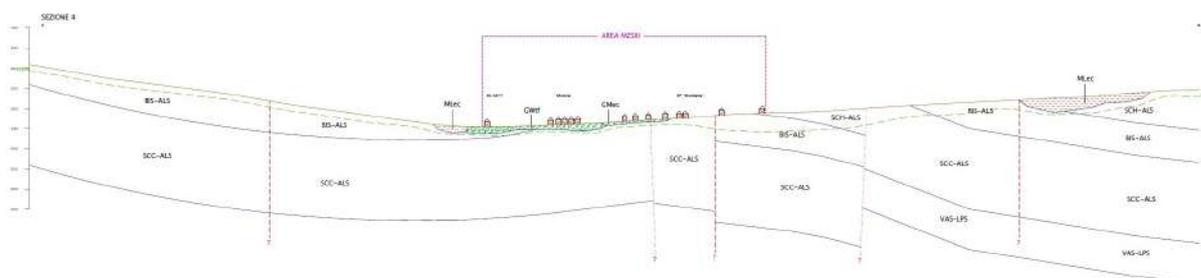


Figura 28 - Sezione 4.

- sezione 5 (Figura 29): orientata SW-NE, lunga 1,496 km, attraversa trasversalmente la valle del Fiume Chienti e l'area commerciale di Varano. Vengono riportate la successione dalla Scaglia cinerea fino allo Schlier e l'andamento della Vs 800 m/s;

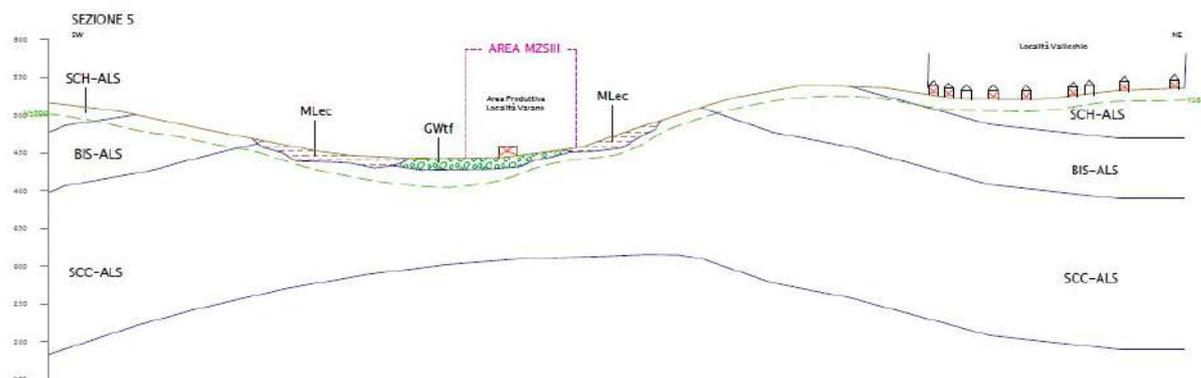


Figura 29 - Sezione 5.

Dott. Geol. Mauro Cataldi



- sezione 6 (Figura 30): orientata SSW–NNE, lunga 1,930 km, attraversa trasversalmente la valle del Fiume Chienti e l'abitato di Maddalena. Vengono riportate la successione dalla Scaglia cinerea fino allo Schlier e l'andamento della  $V_s$  800 m/s.

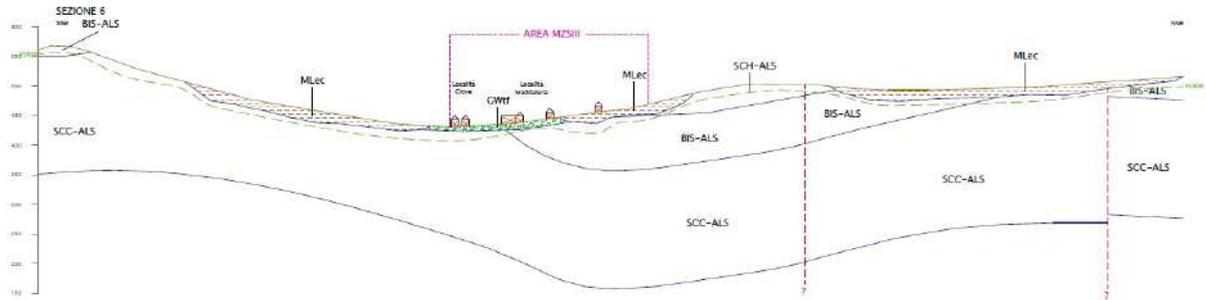


Figura 30 – Sezione 6.

## 6. Interpretazioni e incertezze

Negli I.C.M.S. è riportato che la finalità delle indagini geotecniche negli studi di Microzonazione Sismica è *pervenire alla conoscenza dettagliata dello stato del sito e dei terreni presenti nell'area prima, durante e dopo il terremoto di riferimento attraverso lo studio delle condizioni naturali del terreno in sito mediante sondaggi, prove geotecniche di tipo corrente (CPT, SPT, DMT, ecc...) e prove dinamiche (CH, DH, SASW, MASW, ecc...) e mediante la riproduzione in laboratorio delle condizioni di sollecitazione e deformazione più prossime a quelle che possono aversi in occasione del terremoto di riferimento*. Sono quindi indagini estremamente mirate, che devono contribuire a definire tutte le caratteristiche morfologiche, stratigrafiche, idrogeologiche, e che, soprattutto, devono identificare il comportamento dinamico dei vari terreni presenti nel sito, assegnando dei valori ai parametri dinamici indispensabili per la valutazione della risposta del sito mediante modelli analitici e numerici.

Il programma delle indagini geotecniche va perciò commisurato, oltre che al problema sismico e geotecnico, anche ai codici di calcolo che verranno impiegati nelle analisi numeriche (Microzonazione Sismica di livello superiore al 1°) e sarà differente per i diversi problemi (analisi della risposta sismica locale, stima del potenziale di liquefazione, analisi della stabilità dei pendii, valutazione dei cedimenti) e per i livelli di approfondimento degli studi di Microzonazione Sismica.

Per quanto riguarda la caratterizzazione dinamica dei terreni e i parametri richiesti dai codici di calcolo, si ha in generale che:

- Nelle analisi della risposta sismica locale con metodi che effettuano analisi lineari “equivalenti”, 1D o 2D, per definire lo stato iniziale prima del terremoto occorre determinare, oltre alla stratigrafia, ai livelli di falda, e alle proprietà geotecniche delle varie formazioni presenti, per ogni strato identificato: la densità  $\rho$ , il modulo di taglio iniziale  $G_0$  (o alternativamente la velocità delle onde S,  $V_s$ ) e il coefficiente di Poisson,  $\nu$ ; per definire il comportamento durante il terremoto: la legge di variazione con l'ampiezza della deformazione di taglio,  $\gamma$ , del modulo di taglio,  $G(\gamma)$ , e del rapporto di smorzamento,  $D(\gamma)$ . Le indagini geotecniche devono quindi prevedere: prove in sito di tipo corrente (sondaggi, CPT, SPT, ecc...), prove geotecniche di laboratorio convenzionali (prove indici, prove edometriche, eventuali prove triassiali non drenate) e prove dinamiche (colonna risonante e/o di taglio torsionale ciclico). Nel caso di terreni saturi che possono dare luogo a significativi incrementi delle pressioni interstiziali (pur senza arrivare alla forma estrema della liquefazione), occorre definire anche il comportamento post-sismico; in tal caso va determinato il coefficiente di permeabilità  $k$  e la resistenza al taglio non drenata. A tal fine vanno effettuate prove di permeabilità e prove triassiali convenzionali in condizioni non drenate. Se si effettuano analisi della risposta sismica locale con metodi non lineari accoppiati, il quadro delle indagini è molto più complesso e deve essere commisurato al caso specifico.
- Per le analisi di stabilità dei pendii le indagini devono comprendere, oltre alle usuali indagini per la caratterizzazione geotecnica in condizioni statiche, delle indagini mirate alla determinazione dei parametri di rottura in condizioni dinamiche e cicliche che saranno tuttavia da riportare al livello di approfondimento delle verifiche e al tipo di verifica (analisi pseudostatica o analisi dinamica). In un livello di approfondimento di dettaglio, se si intende mettere in conto gli effetti amplificativi della risposta sismica locale, le indagini dovranno comprendere anche le prove geotecniche che, in genere, si richiedono per l'analisi della risposta sismica locale.
- Per l'analisi del potenziale di liquefazione, le indagini dovranno innanzitutto comprendere indagini convenzionali in sito (sondaggi, SPT, CPT) e analisi di laboratorio di tipo corrente (curve granulometriche, limiti di Atterberg, ecc...). A seconda della metodologia prescelta dovrà essere effettuato un numero di prove in sito maggiore per quelle prove su cui il metodo si basa. Ad esempio se la stima si

Dott. Geol. Mauro Cataldi



basa sull'impiego di abachi basati sulle prove CPT, dovranno essere condotte soprattutto prove CPT, se invece si utilizzano abachi basati sulla misura di  $V_s$  saranno da effettuare soprattutto prove in sito che misurino tale parametro. Le prove di laboratorio per la caratterizzazione dinamica in prossimità della rottura (prove triassiali cicliche, e altre eventuali prove non standard) dovranno essere previste solo (e neppure sempre) per studi di grande dettaglio e nel caso in cui si eseguano analisi non lineari della liquefazione con metodi accoppiati per opere di interesse strategico (dighe, ponti, ecc...).

Al termine dello studio di Microzonazione Sismica di Livello 1, le incertezze del modello geologico (e geologico-tecnico) ricostruito erano principalmente legate alla carenza di indagini, in particolare sondaggi che hanno raggiunto quello che può essere assunto come substrato litologico. Nella relazione, pertanto, si è fatto riferimento alla necessità di eseguire nuovi sondaggi nel caso di ulteriori livelli di Microzonazione.

Tale problematica è stata in parte superata: sono state reperite indagini effettuate nel centro storico, Piazza della Vittoria (043034P144 e 043034P145), Vicolo del Colle (043034P111 e 043034P112) e Maddalena (043034P104, 043034P105, 043034P194, 043034P195, 043034P196...).

Non sono state invece reperite indagini geognostiche in Via Macario Muzio, Via Cavalieri di Vittorio Veneto, Via delle Piane, località Varano, località Giove e nel settore orientale di località Maddalena, dove è ubicato l'ex Motel AGIP.

Al termine del Livello 1, un'altra problematica ha riguardato la scarsità di indagini geofisiche, tant'è che sono state catalogate solamente prove sismiche a rifrazione reperite.

Di comune accordo con l'Unità Operativa Marche 1, sono state pertanto eseguite n. 9 indagini MASW, n. 33 acquisizioni a stazione singola HVSr e n. 1 prova in foro di tipo *Downhole*. Lo scopo è stato quello di ricostruire con una discreta affidabilità le geometrie sepolte del substrato e attribuirne determinate caratteristiche come le velocità delle onde di taglio. Il passo successivo è stato quello di verificare se il substrato geologico fosse anche substrato sismico, condizione che non era stata appurata nel Livello 1, portando alla conclusione che non esiste corrispondenza tra i due substrati.

Di seguito, si riassumono le differenze tra Substrato Geologico (SG) e Substrato Sismico (SS) tratto da "*Protocolli di acquisizione dati ed elaborazione relativi alle attività di*

Dott. Geol. Mauro Cataldi



*Microzonazione di Livello III nei 140 Comuni di cui all'Ordinanza n. 24 del 12 maggio 2017 della Presidenza del Consiglio dei Ministri".*

*Substrato Geologico (SG):*

è costituito da rocce e corpi sedimentari compatti e rigidi, in genere di età pre-  
quaternaria, che non hanno subito processi di alterazione e degrado o deformazioni  
tettoniche pervasive, e che costituiscono la base su cui poggiano in discordanza o  
discontinuità stratigrafica rocce e corpi sedimentari meno compatti o alterati o sedimenti  
sciolti, in genere a bassa rigidità chiamati con il termine generale di Terreni di  
Copertura (TC). Questi ultimi sono caratterizzati anche da frequenti variazioni, verticali e  
lateralmente, di spessore, litologia e composizione tali da far ipotizzare al proprio interno la  
presenza di importanti contrasti di impedenza. Il SG non corrisponde necessariamente al  
Substrato di Riferimento o Substrato Sismico, del quale viene richiesta l'individuazione  
per gli studi di MS3. Infatti, al di sotto di TC, le rocce che costituiscono SG, possono non  
avere il requisito di rigidità richiesto per essere ritenute substrato sismico ( $V_s > 800$   
m/s) né, localmente, mostrare contrasti di impedenza significativi con i soprastanti TC  
per motivi litologici (alterazione) e strutturali (fratturazione). D'altra parte anche i TC  
possono essere un efficiente substrato sismico in particolari condizioni stratigrafiche e  
tessiture, di cementazione e di miglioramento delle proprietà meccaniche con la  
profondità. E', quindi, auspicabile, nella formulazione del Modello Geologico-tecnico  
realizzato in MS1, che il geologo proponga delle ipotesi in funzione di quale  
comportamento in termini di  $V_s$  che si aspetta dalle diverse unità classificate come sia  
come TC che come SG. Per questi ultimi, si possono introdurre i concetti di Substrato  
Lento (SL, es. litofacies pelitiche, marnose ecc.) coincidente con il concetto di "substrato  
non rigido", precedentemente adottato nei vecchi standard di rappresentazione mentre  
già gli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS) prevedono l'indicazione di  
Substrato Alterato (SA, ad es. per fratturazione o deformazione tettonica, alterazione  
meteorica ecc.). Le indagini e i dati già esistenti (MS1) o quelle previste per la MS3  
potranno confermare (in base alle caratteristiche fisiche misurate) se e/o a partire da  
quale profondità il SG possa coincidere con quello sismico di riferimento (SS).

*Substrato Sismico (SS):*

nei casi in cui affiora questo è costituito da ammassi rocciosi o terreni molto rigidi con  
eventuale strato superficiale di alterazione (alterazione meteorica, pedologica fisica e

chimica) o copertura per uno spessore massimo pari a 3 m; viene quindi definito convenzionalmente dalle seguenti condizioni:

- valori di  $V_{s30}$  (velocità equivalente delle onde S nei primi 30 metri di sottosuolo) superiore a 800 m/s;
- avere una superficie topografica orizzontale.

Nel caso in cui non affiori, il SS è costituito da unità geologiche di substrato, non alterate e non deformate pervasivamente, alla base di terreni meno rigidi o di sedimenti sciolti, caratterizzate da una velocità delle onde di taglio  $V_s \geq 800$  m/s.

Quando in corrispondenza di un affioramento di materiali rigidi che soddisfano i requisiti suddetti e dove non sono rilevati effetti locali di amplificazione o modificazioni in frequenza del moto sismico rispetto a quello misurato o stimato in profondità, si parla di *Substrato di Riferimento*; si presuppone quindi che al di sotto di questo tipo di affioramento non esistano forti contrasti di impedenza sismica e che i materiali che lo compongono siano rigidi ed abbiano un comportamento meccanico di tipo lineare (mezzo continuo con comportamento visco-elastico).

Le indagini MASW non hanno fornito un risultato uniforme, presentando il substrato a volte come sismico ( $V_s$  800 – 1.100 m/s) mentre a volte solamente geologico ( $V_s < 800$  m/s). Attraverso la prova sismica in foro di tipo *Downhole* è stata invece attribuita una  $V_s$  sempre  $> 800$  m/s (959 – 1.323 m/s). Tale intervallo viene preso come riferimento per la modellazione 1D illustrata di seguito, inserendo come tolleranza comunque una fascia di poco superiore a 10 m di spessore di substrato alterato con  $V_s < 800$  m/s al di sopra del substrato integro sismico.

## 7. Metodologie di elaborazione e risultati

In questo capitolo vengono espone le metodologie utilizzate per l'acquisizione e l'elaborazione dei risultati dove è stato necessario ricorrere a strumentazione, in particolare per quanto riguarda le misure HVSR eseguite *ex-novo* per la determinazione di eventuali contrasti di impedenza e le misure sismiche in onde superficiali (MASW), per indicazioni indirette riguardo alle velocità di propagazione delle onde S. Inoltre viene illustrata tutta la procedura seguita per l'ottenimento dei risultati di modellazione sismica 1D. Tutti i restanti aspetti legati alla realizzazione dei vari elaborati cartografici, vengono trattati con chiarezza e dettaglio nel capitolo successivo.

Dott. Geol. Mauro Cataldi



Le misure di microtremore sono state effettuate attraverso lo strumento *SR04 GeoBox* della SARA Electronic Instruments srl (Foto 3), dotato di capsule geofoniche a 4,5 Hz e collegato direttamente al pc durante l'acquisizione attraverso il software *LOG-MT* (modulo di *SEISMOWIN*) in modo da divenire una potentissima stazione per l'esecuzione di prove secondo il metodo di Nakamura con possibilità di monitorare la curva H/V in tempo reale, in modo da poter sospendere l'acquisizione in caso di presenza di disturbi sul segnale. La durata delle registrazioni è stata sempre di almeno 20 minuti con una frequenza di campionamento di 400 Hz.



*Foto 3 - Acquisizione di segnale HVSR.*

Successivamente, il dato ottenuto nel formato *.saf* è stato elaborato mediante il software *GEOEXPLORER HVSR* Versione 2.2.3, attraverso le seguenti fasi:

- scomposizione e selezione del segnale in finestre temporali da 20 a 50 secondi, con l'obiettivo di isolare le parti della registrazione in cui il segnale risulta maggiormente stazionario ed eliminare i rumori transitori, o transienti;
- calcolo e smussamento (procedure di lisciamento degli spettri su finestre mobili con passo dipendente dalla frequenza (Konno-Ohmachi con  $b=40$ , finestre triangolari con ampiezza pari al 5% della frequenza centrale) dello spettro di ampiezza ricavato tramite la trasformata di Fourier per ognuna delle finestre selezionate su tutte e tre le componenti;

Dott. Geol. Mauro Cataldi



- combinazione, con un'operazione di media, delle due componenti orizzontali per ognuna delle finestre selezionate;
- calcolo del rapporto H/V per ogni finestra;
- calcolo della media dei rapporti H/V delle singole finestre, che rappresenterà la curva H/V definitiva nel range 0,2–20 Hz.

Attraverso tale software è stato inoltre possibile visualizzare in modo separato gli spettri di frequenza delle varie componenti: in particolare, l'andamento dello spettro verticale in relazione a quello delle componenti orizzontali ha permesso di avere un'indicazione sulla natura dei picchi evidenziati dal rapporto H/V, se di origine naturale o antropica.

Inoltre, per avere un'idea della bontà dell'indagine HVSR, è stata valutata sia la direzionalità del rapporto H/V, in modo da poter rilevare eventuali situazioni non desiderabili in cui si ha la polarizzazione del segnale lungo una certa direttrice e sia la stazionarietà delle frequenze nel tempo.

Ultimo passo ha riguardato la verifica del rispetto dei criteri *SESAME*.

Tutte le misure HVSR considerate attendibili ed oggetto di interpretazione sono state corredate da fogli campagna per l'acquisizione HVSR (in formato testo, uno per ciascuna misura), una descrizione delle procedure di post-elaborazione adottate, un file in formato digitale ASCII con i valori dei rapporti spettrali medi per le diverse frequenze e relativo intervallo di confidenza, le registrazioni, un file in formato ASCII o altro standard sismologico (p.es. SAC) delle registrazioni.

Si ricorda che l'apparente semplicità di un'indagine HVSR, sia in fase di acquisizione che di elaborazione dei dati, non deve far pensare che sia stata una misura priva di insidie. L'acquisizione è infatti un'operazione che è stata eseguita con grande accortezza: tanto il posizionamento dello strumento che la valutazione consapevole del livello e della natura del rumore ambientale che si stava registrando sono stati considerati elementi molto importanti per la riuscita della misura.

In fase di elaborazione è stata fatta grande attenzione nella verifica della qualità e dell'affidabilità della curva ottenuta: ad esempio, il fatto che i criteri *SESAME*, siano stati spesso rispettati non implica necessariamente che il risultato sia aderente alla situazione reale, né che l'acquisizione sia stata eseguita correttamente. D'altro canto, quando i criteri non sono rispettati non si può concludere immediatamente che l'acquisizione o

Dott. Geol. Mauro Cataldi



l'elaborazione siano errate, ma la curva ottenuta potrebbe semplicemente stare ad indicare, a titolo esemplificativo, un terreno omogeneo e compatto che non dà luogo a fenomeni di amplificazione. I criteri quindi indicano se la curva contiene o meno elementi significativi dal punto di vista geofisico, ma possono dire poco sulla sua correttezza e coerenza.

Per quanto riguarda le tecniche in Onde Superficiali, si tratta più frequentemente di procedure volte alla determinazione della curva di dispersione delle Onde di Rayleigh mediante analisi di correlazione di misure effettuate su antenne sismiche del segnale prodotto da una sorgente artificiale (MASW) o di vibrazioni ambientali (ESAC, ReMI, ecc.). Le prime sembrano le più diffuse nella pratica professionale e quindi di maggiore interesse per le indagini qui considerate. Al netto di quanto già riportato in proposito nella documentazione citata, si pone qui l'accento su alcuni aspetti di maggiore importanza nell'applicazione della tecnica MASW:

- la strumentazione deve essere adeguata agli scopi adottando sismografi digitali con adeguata dinamica ( $> 20$  Bit) dotati di un sufficiente numero di canali (idealmente almeno di 24 canali) e geofoni verticali con frequenza propria  $\leq 4.5$  Hz;
- la durata della registrazione deve essere sufficiente per catturare l'intero segnale utile orientativamente  $\geq 2$  sec) con una frequenza di campionamento  $\geq 512$  Hz;
- l'energizzazione deve essere condotta con un sistema di trigger caratterizzato da un errore  $\leq 1$  ms;
- al fine di garantire il dato ottimale per l'interpretazione MASW i dati relativi alle sorgenti reciproche (ai due estremi dello stendimento) devono essere acquisiti separatamente con energizzazione singola e con ripetizione di energizzazione e relativa somma di segnale;
- in linea di massima la spaziatura fra i geofoni non dovrebbe essere superiore ai 3m; tuttavia, disponendo di attrezzature con meno di 24 canali, questa distanza inter-geofonica potrebbe dare origini a stendimenti troppo corti che potrebbero limitare il potere risolutivo per le lunghezze d'onda più grandi; in questi casi può essere utile ripetere la misura con distanze inter-geofoniche maggiori (5m per esempio) e combinare i risultati delle due misure;
- allo scopo di ridurre il disturbo prodotto dalle onde di volume generate dalla sorgente, sarebbe opportuno eseguire le energizzazioni ad una certa distanza dal primo sensore ( $> 5-10$ m).

Le registrazioni saranno accompagnate da una fase di pre-elaborazione nella quale vengono rimosse le tracce caratterizzate da maggiore disturbo. Si procederà quindi ad effettuare:

- il calcolo degli spettri di velocità/slowness di Rayleigh (intervallo di frequenze 5–50 Hz);
- la somma degli spettri di velocità in configurazione reciproca;
- si procederà alla valutazione della massima profondità di indagine raggiunta  $h_{max}=VR/(2f_{min})$ , e della minima profondità degli strati superficiali  $h_{min}=VR/(2f_{max})$  in funzione della minima e della massima frequenza considerata ( $f_{min}$  ed  $f_{max}$  rispettivamente) e delle rispettive velocità di fase VR;
- la lettura della curva di dispersione per l'identificazione della curva corrispondente al modo fondamentale e degli eventuali superiori a partire dagli spettri di velocità di Rayleigh.

I risultati ottenuti verranno documentati depositando i prodotti delle elaborazioni MASW in formato digitale ASCII, includendo i Fogli campagna relativi misure Rifrazione/MASW uno per ciascuno stendimento (Allegato 3.2) e le letture delle curve di dispersione. I dati originali delle misure effettuate andranno depositati in forma di file ASCII o altro formato sismologico standard (p.es., SAC, SEG–Y, ecc.).

Le acquisizioni MASW e successive elaborazioni nel Comune di Muccia sono state eseguite dalla ditta ABGeo di Tolentino (MC). Tutti i dati originari e elaborazioni sono contenuti nella struttura di archiviazione informatica.

Le analisi numeriche previste dall'Ordinanza n.24 del 12 maggio 2017, hanno riguardato la determinazione di alcuni parametri rappresentativi della Risposta Sismica Locale (RSL) in tutte le microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) definite come stabili e soggette a fenomeni di amplificazione. I parametri di interesse determinati sulla base delle analisi 1D di RSL sono stati:

- Accelerogrammi (in numero di 7) rappresentativi della pericolosità sismica locale (scenari di scuotimento) associata ad eventi con tempo di ritorno di 475 anni e relativi spettri di risposta elastici in pseudo-accelerazione con smorzamento pari al 5% dello smorzamento critico ( $S_a$ );

Dott. Geol. Mauro Cataldi



- Fattori di Amplificazione (FA) relativi a tre intervalli di periodi (0.1–0.5s, 0.4–0.8s e 0.7–1.1s).

La modellazione è stata effettuata utilizzando il codice di calcolo STRATA che opera nel dominio delle frequenze e modella il comportamento non lineare dei terreni mediante il metodo lineare equivalente (EQL). In questo modello, il sottosuolo è schematizzato mediante una successione di strati orizzontali sovrapposti omogenei (modelli 1D). I principali dati richiesti in ingresso sono:

- Lo scuotimento sismico (accelerogramma) su basamento sismico affiorante ovvero su un sito di riferimento rigido e superficie topografica orizzontale (Categoria di sottosuolo A e Categoria topografica T1 secondo la classificazione NTC08, corrispondente ad un ammasso roccioso o terreno rigido con superficie suborizzontale e valori della velocità media delle onde S nei primi 30 metri almeno paria 800 m/s); questo scuotimento è detto anche “moto di input” o “moto di riferimento” e deve essere assegnato al codice di calcolo come “rock outcropping input motion” (indicato anche come ‘2A’ nel codice STRATA).
- Il profilo di velocità delle onde S ( $V_s$ ) fino alla profondità corrispondente al basamento sismico ovvero al tetto di un ammasso roccioso o terreno rigido caratterizzato da valori di  $V_s$  almeno pari a 800 m/s; più in generale si deve identificare come profondità di riferimento quella del tetto del primo strato della successione che presenta valori di velocità delle onde S maggiori di 750–800m/s con uno spessore ritenuto sufficientemente significativo in relazione al modello geologico del sito.
- Le curve di decadimento del modulo di taglio normalizzato  $G/G_0$  e del rapporto di smorzamento  $D$ , in funzione della deformazione di taglio, per ciascuno dei materiali presenti nel modello di sottosuolo.

## 7.1. Zone stabili suscettibili di amplificazione

### 7.1.1. Scelta dell'input sismico

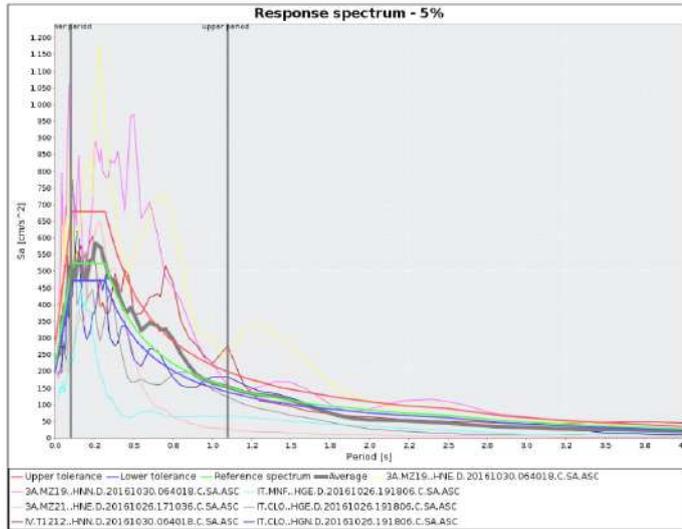
L'input sismico è stato fornito dal Centro di Microzonazione Sismica, mediante la messa a disposizione di n. 7 accelerogrammi. Inoltre è stato fornito un grafico di confronto tra lo spettro medio degli accelerogrammi selezionati e lo spettro di riferimento.

Regione Marche – Comune di Muccia  
 MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3 DEL COMUNE DI MUCCIA AI SENSI DELL'ORDINANZA DEL COMMISSARIO  
 STRAORDINARIO N. 24 REGISTRATA IL 15 MAGGIO 2017 AL N. 1065

Relazione Illustrativa

**MARCHE1 - MUCCIA (475yrs)**

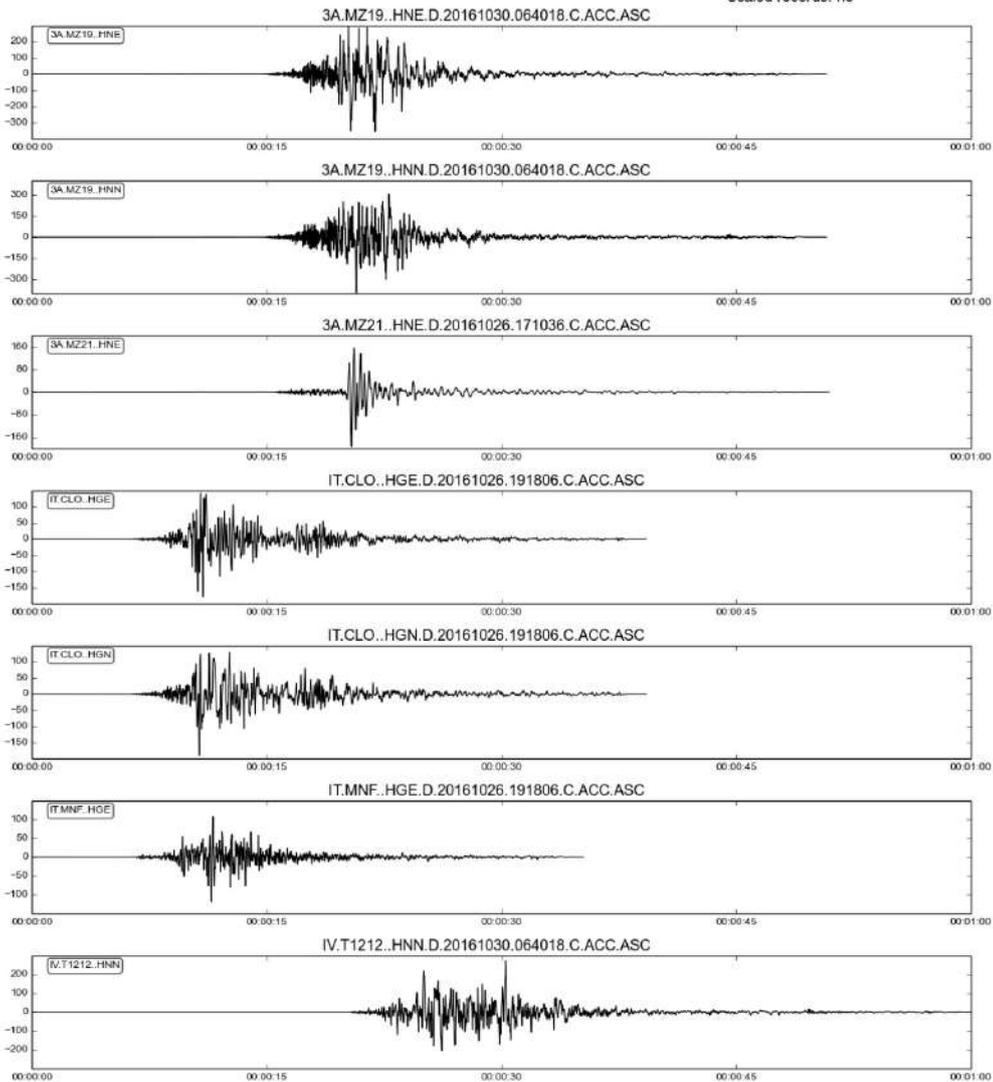
Tue Jul 04 12:20:59 CEST 2017



Target spectrum  
 =====  
 Latitude: 43.0821  
 Longitude: 13.04405  
 Site classification: A  
 Topography: 1  
 Nominal life [years]: 50  
 Building functional type (Cu): 1.0  
 Limit state probability : 0.1

Preliminary record search  
 =====  
 Station site classification: A,A\*  
 Magnitude min: 5.0  
 Magnitude max: 6.1  
 Types of magnitude considered: WL  
 Epicentral distance min [km]: 0.0  
 Epicentral distance max [km]: 30.0  
 Include late trigger events: no  
 Include analog recordings: no

Analysis options  
 =====  
 Period range min [s]: 0.1  
 Period range max [s]: 1.1  
 Tolerance below average [percent]: 10.0  
 Tolerance above average [percent]: 30.0  
 Scaled records: no



Dott. Geol. Mauro Cataldi



### 7.1.2. Simulazioni numeriche

Le simulazioni sono state eseguite mediante l'adozione del codice STRATA vers. 0.05–97ca19c, attraverso un'analisi in condizioni equivalenti lineari (EQL): tale metodo consiste nella soluzione di un problema non lineare attraverso analisi lineari complete nelle quali, al termine di ogni iterazione, vengono aggiornati i parametri di rigidità e smorzamento che sono dipendenti dallo stato di deformazione del terreno. L'analisi viene quindi svolta con calcoli iterativi fino al raggiungimento di una convergenza dei risultati ad un valore impostato.

Pertanto ogni materiale va associato a determinate curve di variazione del modulo di rigidità al taglio (G) e dello smorzamento (D) che servono a descrivere il comportamento non lineare del terreno al variare del livello deformativo. Le curve hanno andamento opposto, in quanto al crescere della deformazione del terreno, in relazione alla maggiore intensità del moto sismico, il modulo di rigidità decresce e lo smorzamento aumenta. Le conseguenze in termini di RSL sono che le variazioni del modulo di rigidità al taglio modificano la frequenza di risonanza mentre all'aumentare dello smorzamento si ha maggiore dissipazione di energia e quindi diminuzione dell'ampiezza della funzione di trasferimento.

L'approccio di input è stato basato su serie temporali, la tolleranza dell'errore impostata all'1,0%, il numero massimo di iterazioni al di sopra della quale la convergenza si intende raggiunta pari a 20, l'*effective strain ratio* pari a 0,65, 20 Hz la massima frequenza considerata e 0,12 la funzione di lunghezza d'onda.

Considerando che uno degli aspetti problematici che affliggono la procedura di determinazione della RSL è l'incertezza o variabilità dei dati di input ( $V_s$ , proprietà di decadimento della rigidità e smorzamento, spessori...), l'output è particolarmente sensibile. Pertanto l'analisi di RSL è stata condotta in maniera probabilistica, considerando l'incertezza dei dati di input e propagando gli errori associati a tale incertezza con il metodo Monte Carlo, ottenendo così non un unico risultato per ogni segnale di input, bensì un insieme di risultati statisticamente plausibili, chiamati "realizzazioni".

Nel menù *Soil Types* sono stati inseriti i sismostrati presenti nel territorio oggetto di indagine, inserendo come proprietà (peso specifico e curve G/G0 e D) i valori presenti nelle tabelle presenti nel paragrafo 5.1. In particolare, per quanto riguarda le curve di decadimento, sono state inserite quelle fornite dalle Unite Operative, soprattutto se

Dott. Geol. Mauro Cataldi



derivate da prove di colonna risonante (CR), prove di taglio torsionale ciclico (TTC) o prove triassiali cicliche (TXC) sui campioni indisturbati prelevati durante l'esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo.

Nel caso specifico dei terreni di copertura presenti a Muccia sono state utilizzate le seguenti curve:

Tabella 7 – Curve  $G/G_0$  e  $D$  associate ai litotipi.

Classificazione U.S.C.S.	GWtf	GWfd	GMec	MLec
$G/G_0(\gamma)$ $D(\gamma)$	Rollins, 1998	Rollins, 1998	Rollins, 1998	Marchel - Treia

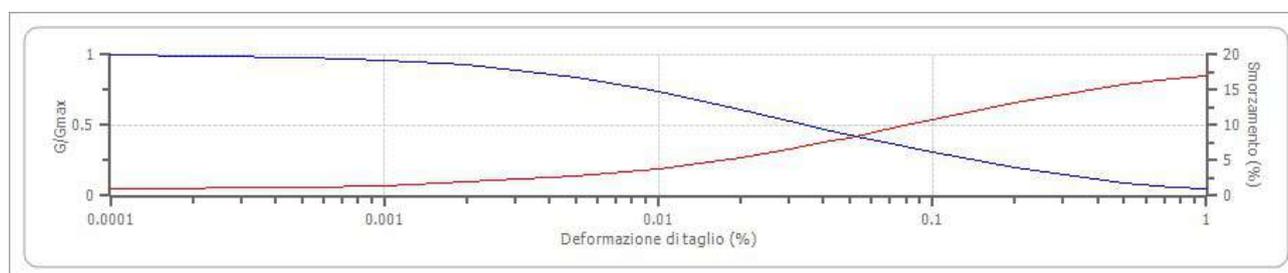


Figura 31 – Curve di Rollins (1998), per litotipo GWtf, GWfd e GMec.

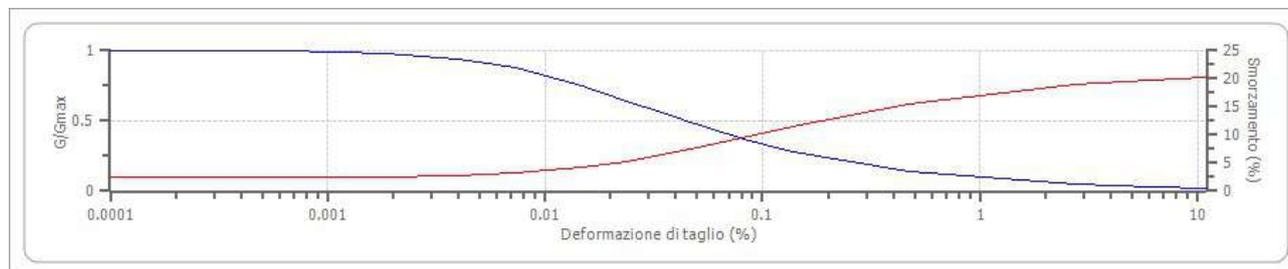


Figura 32 – Curve derivate da prove su campione estratto nel Comune di Treia (MC) per litotipo MLec.

Per quanto riguarda l'eventuale presenza di terreno vegetale (OL/OH) o riporto (RI), sono state associate le curve ricavate dal campione estratto a Sefro, mentre per eventuali livelli sabbioso-limosi, esistenti soprattutto nella MOPS2004, si è adottata la curva di Idriss, 1990.

In ultimo, per il substrato "lento" alterato, dove non è stata raggiunta la  $V_s$  di 800 m/s, si è scelto di utilizzare rigidità e smorzamento costanti con  $G/G_0$  pari a 1 e  $D$  pari a 1%.

Solo nel caso di substrato altamente fratturato, si è preferito utilizzare le curve di Marcellini, 1995 e Costanzo, 2007.

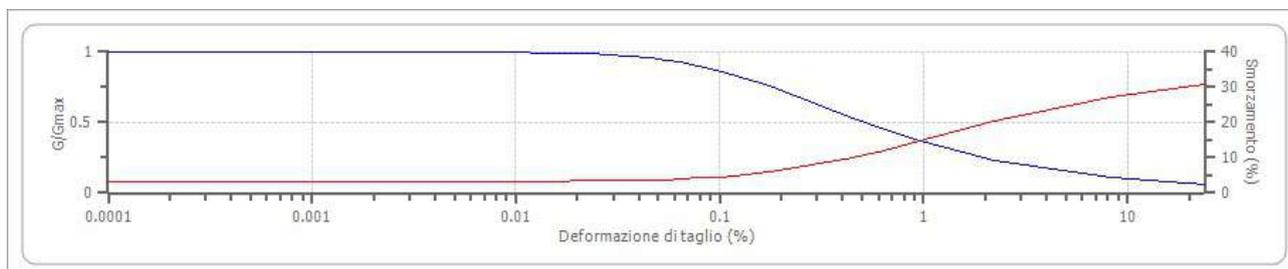


Figura 33 – Curve derivate da prove su campione estratto nel Comune di Sefro (MC) per litotipo OL/OH.

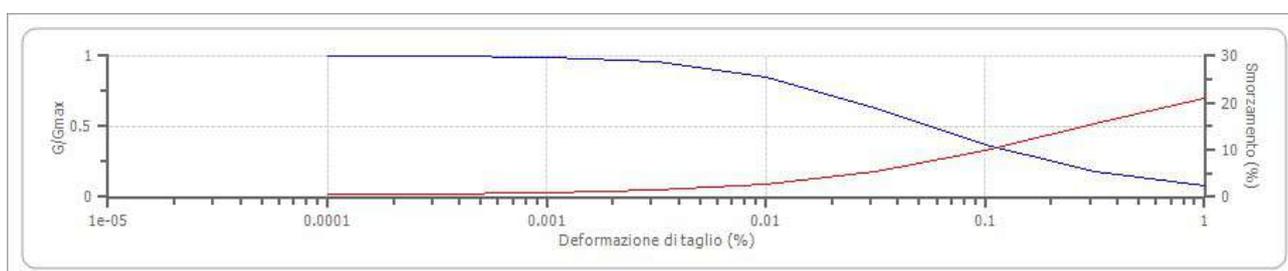


Figura 34 – Curve di Idriss (1990), per eventuale litotipo SMtf.

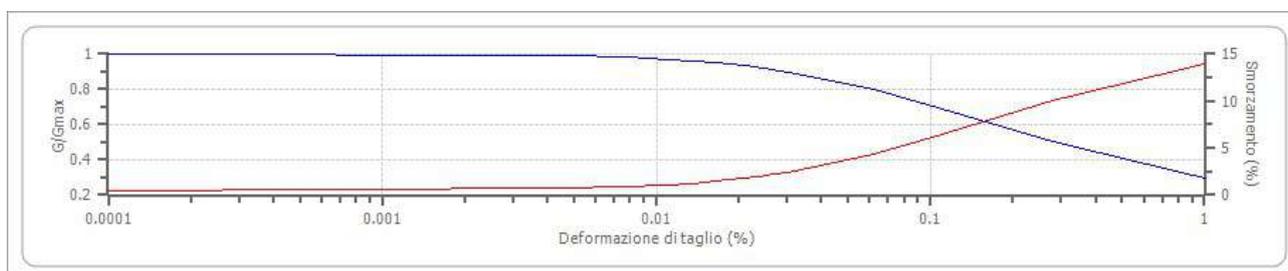


Figura 35 – Curve di Marcellini (1995), per substrato altamente alterato/fratturato.

Successivamente, nel menù *Soil Profile*, è stato inserito il modello del terreno con i relativi sismostrati con l'attribuzione dello spessore e velocità  $V_s$  di ogni strato.

Dato che si è scelto di modellare seguendo l'approccio probabilistico, la  $V_s$  è stata fatta variare tra un massimo e un minimo (Figura 36), sulla base delle indagini geofisiche effettuate; tali variazioni hanno riguardato anche lo spessore delle coperture, stimato sulla base dei sondaggi geognostici reperiti e effettuati.

Regione Marche – Comune di Muccia  
 MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3 DEL COMUNE DI MUCCIA AI SENSI DELL'ORDINANZA DEL COMMISSARIO  
 STRAORDINARIO N. 24 REGISTRATA IL 15 MAGGIO 2017 AL N. 1065  
 Relazione Illustrativa

TIPO_GT	SIGLA GEOL o Descrizione	LOG	Vs med (m/s)	Vs Min (m/s)	Vs max (m/s)
GMfd-GWfd	Ghiaia limoso-sabbiosa poco addensata (MUSa)	TC	270	230	300
GMfd-GWfd	Ghiaia limoso-sabbiosa moderatamente addensata (MUSa)	TC	450	400	500
MLec	Limo argilloso-sabbioso (MUSb2)	TC	270	220	320
GMec-GCec	Ghiaia limoso-argillosa moderatamente addensata (MUSb2)	TC	415	380	450
GCec-GMec	Ghiaia limoso-sabbiosa poco addensata (MUSb2)	TC	225	200	250
SMtf	Sabbia limosa, limo sabbioso moderatamente addensati (MTIbn)	TC	260	240	280
GMtf-GMtf	Ghiaia sabbioso-limosa moderatamente o molto addensata (MTIbn)	TC	490	330	650
SFALS	SCC, BIS, SCH, molto fratturato/alterato	SG	325	250	400
SFALS	SCC, BIS, SCH, fratturato/alterato	SG	625	550	700
ALS	SCC, BIS, SCH	SS	1120	800	1440

Figura 36 – Intervalli di Vs dei sismostrati di ogni MOPS presi in considerazione per le modellazioni.

Il passo successivo è stato l'inserimento dei 7 accelerogrammi di input (*Motions*) descritti nel paragrafo precedente, forniti direttamente dal Centro di MS (Figura 37).

	Name	Description	Type	PGA (g)	PGV (cm/s)	Scale Factor
1	<input checked="" type="checkbox"/> MUCCIA_475yrs\3A.MZ19..HNE.D.20161030.064018.C.ACC.ASC	Muccia 1	Outcrop (2A)	0.36	34.57	1.00
2	<input type="checkbox"/> MUCCIA_475yrs\3A.MZ19..HNN.D.20161030.064018.C.ACC.ASC	Muccia 2	Outcrop (2A)	0.40	21.55	1.00
3	<input type="checkbox"/> MUCCIA_475yrs\3A.MZ21..HNE.D.20161026.171036.C.ACC.ASC	Muccia 3	Outcrop (2A)	0.20	8.53	1.00
4	<input type="checkbox"/> MUCCIA_475yrs\IT.CLO..HGE.D.20161026.191806.C.ACC.ASC	Muccia 4	Outcrop (2A)	0.18	12.31	1.00
5	<input type="checkbox"/> MUCCIA_475yrs\IT.CLO..HGN.D.20161026.191806.C.ACC.ASC	Muccia 5	Outcrop (2A)	0.19	12.81	1.00
6	<input type="checkbox"/> MUCCIA_475yrs\IT.MNF..HGE.D.20161026.191806.C.ACC.ASC	Muccia 6	Outcrop (2A)	0.12	8.24	1.00
7	<input type="checkbox"/> MUCCIA_475yrs\IV.T1212..HNN.D.20161030.064018.C.ACC.ASC	Muccia 7	Outcrop (2A)	0.28	24.65	1.00

Figura 37 – Accelerogrammi di input nel codice STRATA.

Come output (*Output Specification*) si è scelto di produrre i seguenti elementi come risultati:

- *Time Series* -> *Acceleration Time Series*: serie temporali in accelerazione;

	Name	Location	Type	Baseline Correct
1	Acceleration Time Series	0.00 m	Outcrop (2A)	<input checked="" type="checkbox"/>

- *Resonse and Fourier Spectra* -> *Acceleration Response Spectrum*: spettro di risposta in accelerazione sia a livello del piano campagna (*Location* 0.00 m) e sia al substrato (*Bedrock*);

	Name	Location	Type
1	Acceleration Response Spectrum	0.00 m	Outcrop (2A)
2	Acceleration Response Spectrum	Bedrock	Outcrop (2A)

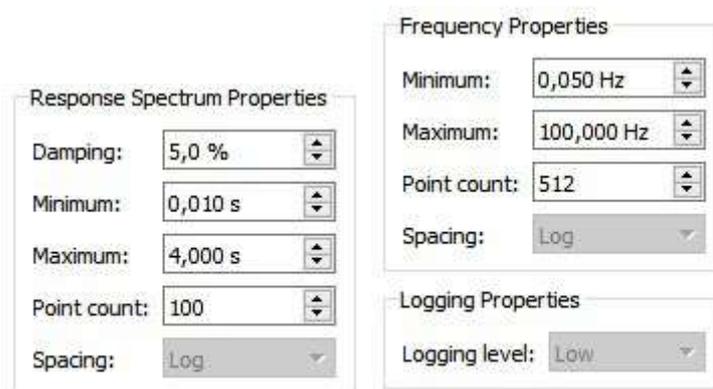
Dott. Geol. Mauro Cataldi



- *Ratios* -> *Acceleration Transfer Function*: funzione di trasferimento dell'accelerazione in superficie e al substrato;
- *Ratios* -> *Spectral Ratio*: rapporto tra spettri di risposta in superficie e al substrato.

	Name	Location 1	Type 1	Location 2	Type 2
1	Acceleration Transfer Function	0.00 m	Outcrop (2A)	Bedrock	Outcrop (2A)
2	Spectral Ratio	0.00 m	Outcrop (2A)	Bedrock	Outcrop (2A)

Per quanto riguarda la proprietà degli spettri di risposta, delle frequenze e del logging, si è settato il programma come segue (Figura 41):



*Figura 38 – Settaggio del codice STRATA per l'Output Specification.*

Al termine delle operazioni di calcolo (*Compute*), i risultati ottenuti in termini di spettri di risposta in accelerazione determinati in superficie e al bedrock (*Results* -> *Acceleration Response Spectrum*) sono stati inseriti nel foglio di calcolo in *.x/sx* messo a disposizione dall'Unità Operativa Marche 1 per la determinazione dei fattori di amplificazione FA nei periodi richiesti: 0,1–0,5 s, 0,4–0,8 s e 0,7–1,1.

### 7.1.3. Risultati

Le operazioni sopra descritte sono state effettuate per ciascuna delle MOPS che verranno illustrate nel paragrafo 8.4: di seguito vengono forniti i risultati relativi ad ogni modellazione 1D effettuata. Per quanto riguarda la modellazione 2D, effettuata dall'Unità Operativa, i risultati verranno illustrati al termine del paragrafo.

**MOPS2099 (SFALS)**

Site Profile							
	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)	Minimum (m/s)	Maximum (m/s)	Varied
1	0.00	2.00	3_Sefro_C3 (tutti OL e OH)	155.00	<input checked="" type="checkbox"/> 120.00	<input checked="" type="checkbox"/> 190.00	<input checked="" type="checkbox"/>
2	2.00	1.50	Substrato fortemente alterato	325.00	<input checked="" type="checkbox"/> 250.00	<input checked="" type="checkbox"/> 400.00	<input checked="" type="checkbox"/>
3	3.50	12.50	Substrato fratturato (lineare)	625.00	<input checked="" type="checkbox"/> 550.00	<input checked="" type="checkbox"/> 700.00	<input checked="" type="checkbox"/>
4	16.00	Half-Space	Bedrock	1120.00	<input checked="" type="checkbox"/> 800.00	<input checked="" type="checkbox"/> 1440.00	<input checked="" type="checkbox"/>

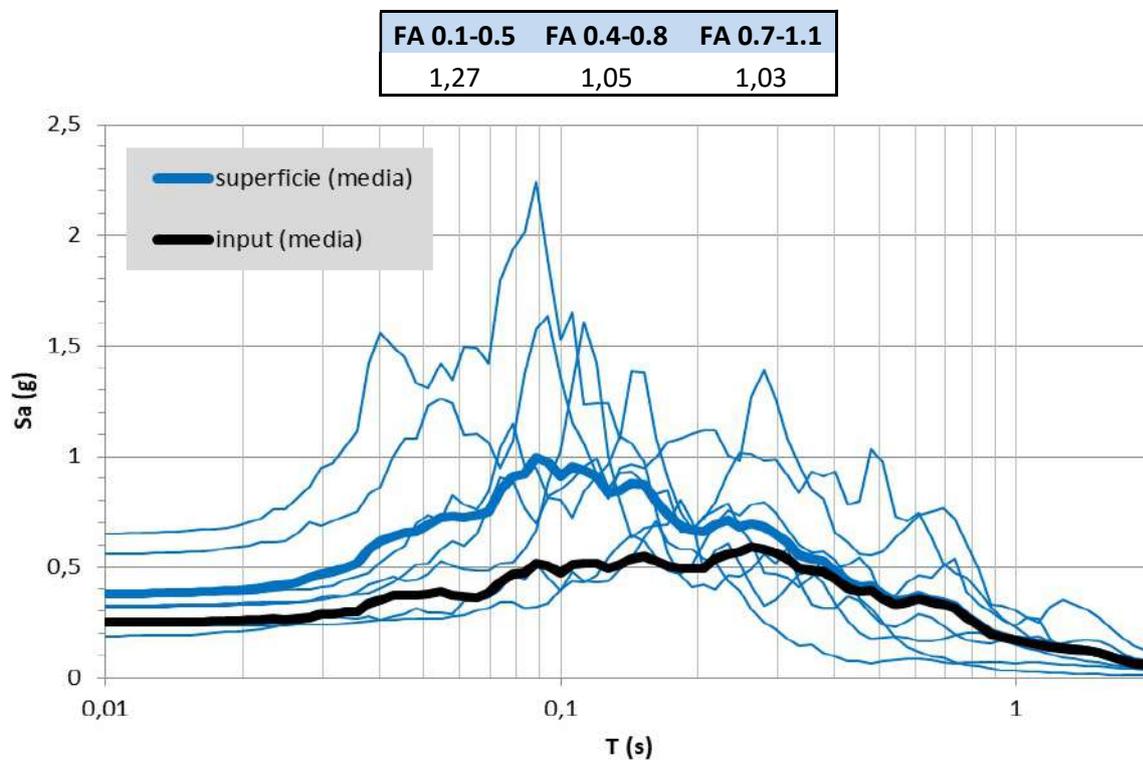


Figura 39 – MOPS2099. Rapporto tra gli spettri di risposta in accelerazione calcolati in superficie e al bedrock (input).

**MOPS2001 (GWfd)**

Site Profile							
	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)	Minimum (m/s)	Maximum (m/s)	Varied
1	0.00	2.00	3_Sefro_C3 (tutti OL e OH)	160.00	<input checked="" type="checkbox"/> 130.00	<input checked="" type="checkbox"/> 190.00	<input checked="" type="checkbox"/>
2	2.00	2.00	Rollins et al. (1998) (GW, GP, GM, GC)	270.00	<input checked="" type="checkbox"/> 230.00	<input checked="" type="checkbox"/> 300.00	<input checked="" type="checkbox"/>
3	4.00	17.50	Rollins et al. (1998) (riporto)	450.00	<input checked="" type="checkbox"/> 400.00	<input checked="" type="checkbox"/> 500.00	<input checked="" type="checkbox"/>
4	21.50	12.50	Substrato fratturato (lineare)	625.00	<input checked="" type="checkbox"/> 550.00	<input checked="" type="checkbox"/> 700.00	<input checked="" type="checkbox"/>
5	34.00	Half-Space	Bedrock	1120.00	<input checked="" type="checkbox"/> 800.00	<input checked="" type="checkbox"/> 1440.00	<input checked="" type="checkbox"/>

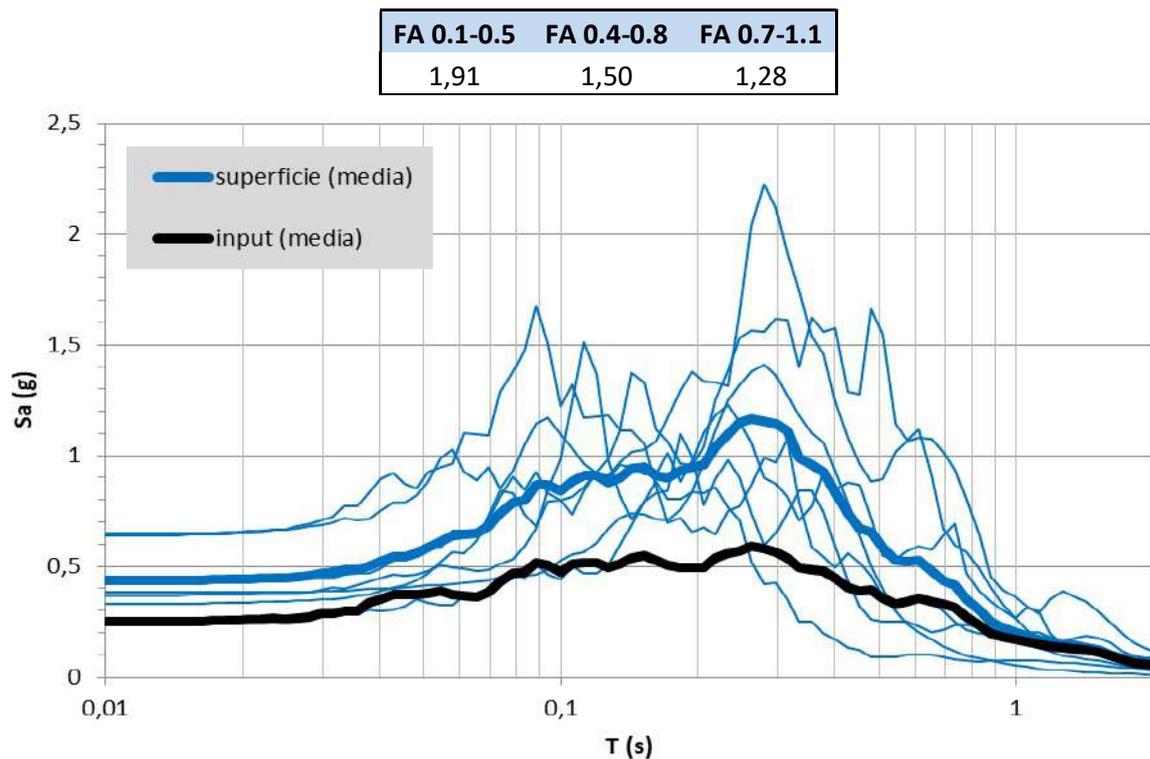


Figura 40 – MOPS2001. Rapporto tra gli spettri di risposta in accelerazione calcolati in superficie e al bedrock (input).

**MOPS2002 (MLeC)**

Site Profile							
	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)	Minimum (m/s)	Maximum (m/s)	Varied
1	0.00	2.00	3_Sefro_C3 (tutti OL e OH)	160.00	<input checked="" type="checkbox"/> 150.00	<input checked="" type="checkbox"/> 170.00	<input checked="" type="checkbox"/>
2	2.00	7.50	6_Treia (tutti ML)	270.00	<input checked="" type="checkbox"/> 220.00	<input checked="" type="checkbox"/> 320.00	<input checked="" type="checkbox"/>
3	9.50	2.00	Rollins et al. (1998) (GW, GP, GM, GC)	415.00	<input checked="" type="checkbox"/> 380.00	<input checked="" type="checkbox"/> 450.00	<input checked="" type="checkbox"/>
4	11.50	12.50	Substrato fratturato (lineare)	625.00	<input checked="" type="checkbox"/> 550.00	<input checked="" type="checkbox"/> 700.00	<input checked="" type="checkbox"/>
5	24.00	Half-Space	Bedrock	1120.00	<input checked="" type="checkbox"/> 800.00	<input checked="" type="checkbox"/> 1440.00	<input checked="" type="checkbox"/>

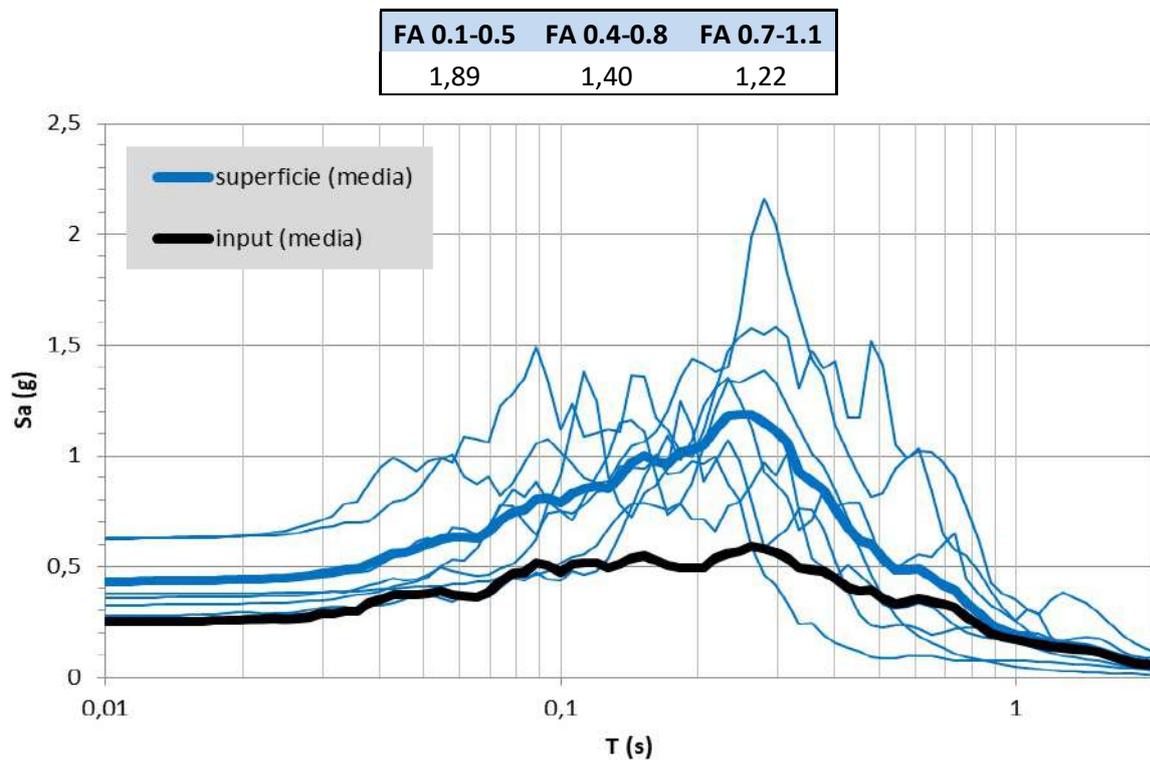


Figura 41 – MOPS2002. Rapporto tra gli spettri di risposta in accelerazione calcolati in superficie e al bedrock (input).

**MOPS2003 (GMec)**

Site Profile

	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)	Minimum (m/s)	Maximum (m/s)	Varied
1	0.00	2.00	3_Sefro_C3 (tutti OL e OH)	160.00	<input checked="" type="checkbox"/> 130.00	<input checked="" type="checkbox"/> 190.00	<input checked="" type="checkbox"/>
2	2.00	6.50	Rollins et al. (1998) (GW, GP, GM, GC)	225.00	<input checked="" type="checkbox"/> 200.00	<input checked="" type="checkbox"/> 250.00	<input checked="" type="checkbox"/>
3	8.50	12.50	Substrato fratturato (lineare)	625.00	<input checked="" type="checkbox"/> 550.00	<input checked="" type="checkbox"/> 700.00	<input checked="" type="checkbox"/>
4	21.00	Half-Space	Bedrock	1120.00	<input checked="" type="checkbox"/> 800.00	<input checked="" type="checkbox"/> 1440.00	<input checked="" type="checkbox"/>

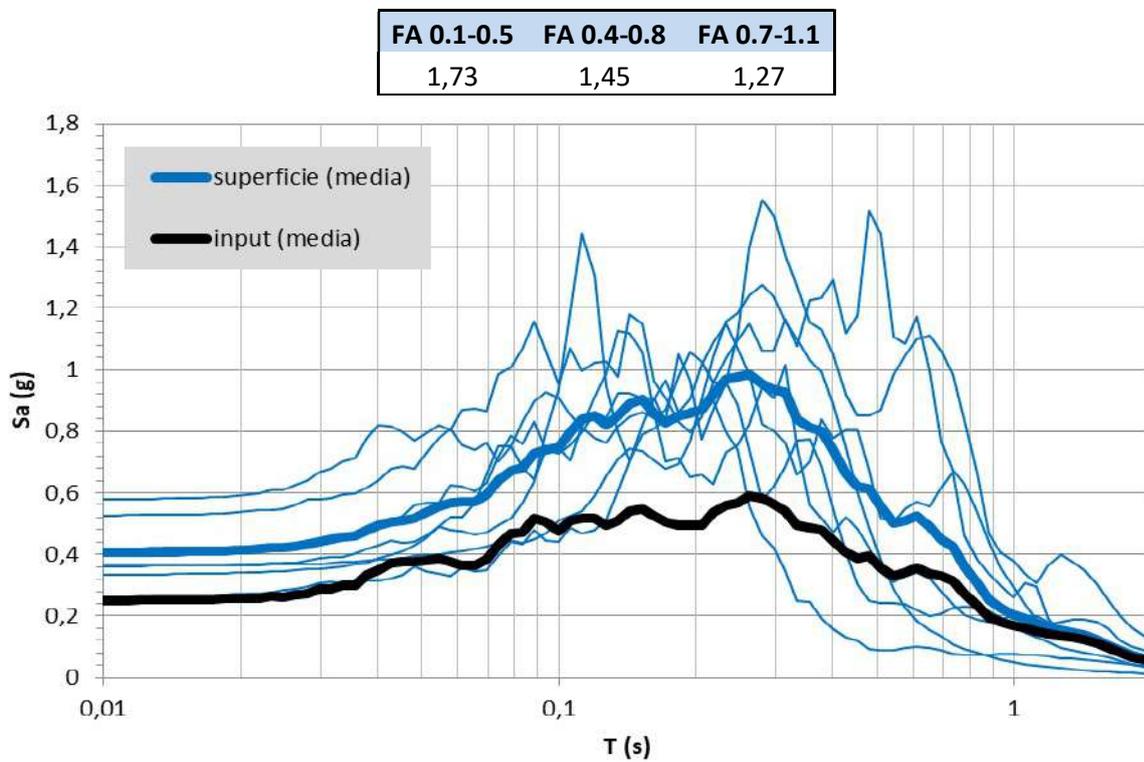


Figura 42 – MOPS2003. Rapporto tra gli spettri di risposta in accelerazione calcolati in superficie e al bedrock (input).

**MOPS2004 (Gwf)**

Site Profile

	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)	Minimum (m/s)	Maximum (m/s)	Varied
1	0.00	2.00	3_Sefro_C3 (tutti OL e OH)	160.00	<input checked="" type="checkbox"/> 130.00	<input checked="" type="checkbox"/> 190.00	<input checked="" type="checkbox"/>
2	2.00	6.50	Rollins et al. (1998) (GW, GP, GM, GC)	225.00	<input checked="" type="checkbox"/> 200.00	<input checked="" type="checkbox"/> 250.00	<input checked="" type="checkbox"/>
3	8.50	12.50	Substrato fratturato (lineare)	625.00	<input checked="" type="checkbox"/> 550.00	<input checked="" type="checkbox"/> 700.00	<input checked="" type="checkbox"/>
4	21.00	Half-Space	Bedrock	1120.00	<input checked="" type="checkbox"/> 800.00	<input checked="" type="checkbox"/> 1440.00	<input checked="" type="checkbox"/>

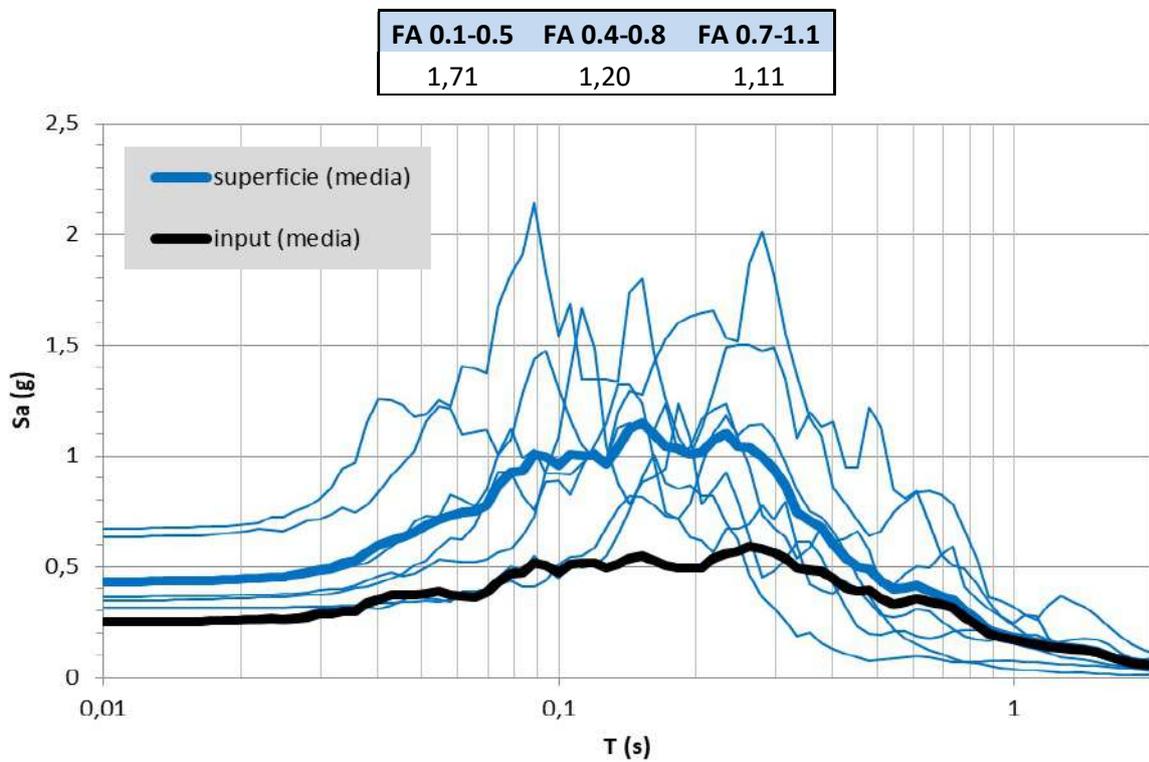
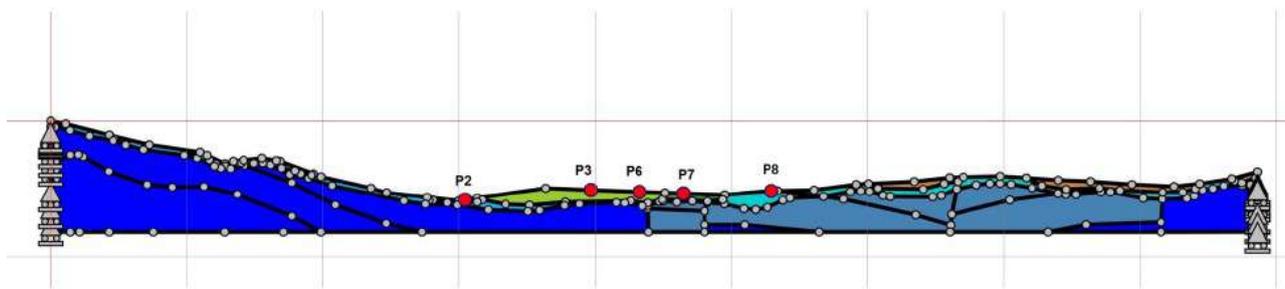


Figura 43 – MOPS2004. Rapporto tra gli spettri di risposta in accelerazione calcolati in superficie e al bedrock (input).

Per quanto riguarda la modellazione 2D, effettuata sulla sezione 3 illustrata nel paragrafo 5.2, si riporta per intero il rapporto su quanto emerso dal calcolo. Si fa presente che i punti indicati nella tabella sottostante fanno riferimento alle seguenti MOPS:

P2	P3	P6	P7	P8
2004	2001	2001	2003	2009

	P2	P3	P6	P7	P8
FA(0.1-0.5)	1.1	1.7	1.8	2.2	1.4
FA(0.4-0.8)	0.9	1.6	1.3	1.5	1.0
FA(0.7-1.1)	0.9	1.3	1.2	1.2	1.0



*“Analisi della risposta sismica mediante modellazione 2D*

*L'analisi di risposta sismica condotta mediante l'uso del codice STRATA con un approccio lineare equivalente 1D, non consente di tenere conto di effetti indotti dalla presenza di marcate variazioni laterali nelle proprietà sismiche dei corpi geologici sepolti, né di quelli provocati da morfologie complesse della superficie del terreno. Questi ultimi effetti possono indurre marcate variazioni dello scuotimento anche a piccola scala ovvero all'interno della specifica Microzona Omogenea in Prospettiva Sismica (MOPS), la cui effettiva omogeneità è garantita solo in prima approssimazione, ovvero alla scala della microzonazione sismica. Anche gli esiti prodotti dallo studio di microzonazione sismica di livello III, in quanto finalizzati alla valutazione del livello di pericolosità sismica alla scala dell'abitato, non possono essere considerati sostitutivi di una specifica analisi di risposta sismica locale finalizzata alla progettazione o alla verifica sismica del singolo manufatto. Tuttavia può risultare utile valutare preliminarmente l'entità degli effetti non considerati nella modellazione 1D della risposta sismica mediante l'uso di appositi abachi o modellazioni più avanzate.*

*A questo scopo vengono esaminati i risultati di una modellazione numerica 2D su una sezione rappresentativa delle condizioni del sottosuolo del territorio indagato in modo da valutare il possibile scostamento dai valori di FA ottenuti nelle diverse MOPS con quelli dedotti in alcuni punti*

Dott. Geol. Mauro Cataldi



*dall'analisi 2D della risposta sismica. Questa analisi è stata condotta dal Centro di Microzonazione Sismica utilizzando un codice agli elementi finiti (LSR\_2D prodotto dalla ditta STACEC S.p.A) che implementa l'algoritmo lineare equivalente QUAD4M (Idriss et al., 1994) e seguendo le prescrizioni definite nei protocolli operativi definiti nell'ambito delle attività di microzonazione sismica nell'area dell'Italia Centrale. Dato che si tratta comunque di un'analisi di microzonazione sismica non finalizzata alla progettazione, i dati relativi ai valori di  $V_s$  assunti per le diverse formazioni (gruppi\_GT) corrispondono alla mediana degli intervalli di variazione assegnati alla formazione considerata. Non è stato fatto alcun tentativo di ottimizzazione in rapporto alle misure disponibili localmente.*

*In alcuni punti della sezione giudicati rappresentativi degli effetti attesi, sono stati ricavati di fattori di amplificazione (FA) nelle tre fasce di periodo di vibrazione, gli spettri di risposta relativi ai sette accelerogrammi rappresentativi della pericolosità sismica di riferimento (moto di input) e i sette accelerogrammi alla superficie. I valori di FA sono stati confrontati con quelli dedotti per la stessa MOPS dall'analisi 1D per valutarne la relativa congruità. Nel caso in cui questi ultimi risultassero meno cautelativi i risultati della modellazione 1D sono stati sostituiti da quelli dedotti dalla modellazione 2D. Il confronto è stato eseguito utilizzando i seguenti criteri:*

- 1. il parametro guida è il valore di FA nell'intervallo 0.1–0.5 s*
- 2. lo scarto tra i valori di FA ottenuti dalla modellazione 1D e quella 2D sia  $\geq 0.2$*

*Idriss, I. M.; Lysmer, John; Hwang, Richard N.; Seed, H. Bolton; QUAD-4: a computer program for evaluating the seismic response of soil structures by variable damping finite element procedures, Center for Geotechnical Modeling, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Davis, 1994”.*

## 7.2. Zone instabili

### 7.2.1. Faglie attive e capaci (FAC)

In accordo con quanto stabilito negli ICMS (Gruppo di lavoro MS, 2008), è considerata attiva una faglia che si è attivata almeno una volta negli ultimi 40.000 anni (parte alta del Pleistocene superiore–Olocene), ed è considerata capace una faglia attiva che raggiunge la superficie topografica, producendo una frattura/dislocazione del terreno. Questa definizione si riferisce al piano di rottura principale della faglia (piano su cui avviene la maggiore dislocazione).

Per quanto riguarda la porzione di territorio studiata nel corso della Microzonazione Sismica di Livello 3, non è stata rilevata sul terreno la presenza di eventuali faglie capaci.

### 7.2.2. Liquefazioni (LQ)

Con il termine “liquefazione” si indicano vari fenomeni fisici (liquefazione in campo libero, mobilità ciclica, fluidificazione), osservati nei depositi e nei pendii sabbiosi saturi durante i terremoti forti ( $M_w \geq 5$ ), che hanno come elemento comune, per effetto dell’instaurarsi di condizioni non drenate, un incremento e un accumulo delle pressioni interstiziali che può provocare una drastica caduta della resistenza al taglio e quindi una perdita di capacità portante del terreno.

Nel sottosuolo si sviluppano fenomeni di liquefazione in presenza delle seguenti 3 condizioni (si riprendono, modificandole in parte, le indicazioni di AGI, 2005 e NTC, 2008):

C1. nella successione litologica sono presenti orizzonti di terreni non coesivi saturi (limi sabbiosi, sabbie, sabbie limose, sabbie ghiaiose, sabbie argillose e ghiaie sabbiose) ad una profondità inferiore a 20m dal p.c. Se si hanno dati disponibili è possibile rilevare più analiticamente la presenza nella successione litologica di orizzonti di terreni non coesivi con particelle di diametro compreso nei fusi granulometrici della figura seguente;

C2. La falda acquifera deve essere ad una profondità media stagionale inferiore a 15 m dal p.c.;

C3. gli eventi sismici attesi al sito devono essere caratterizzati da valori magnitudo  $M_w \geq 5$  ( $I_{rif} \geq VII$ ) e da un’accelerazione in superficie di riferimento  $a_{max} \geq 0,1 g$  ( $IMCS \geq VII$ ).

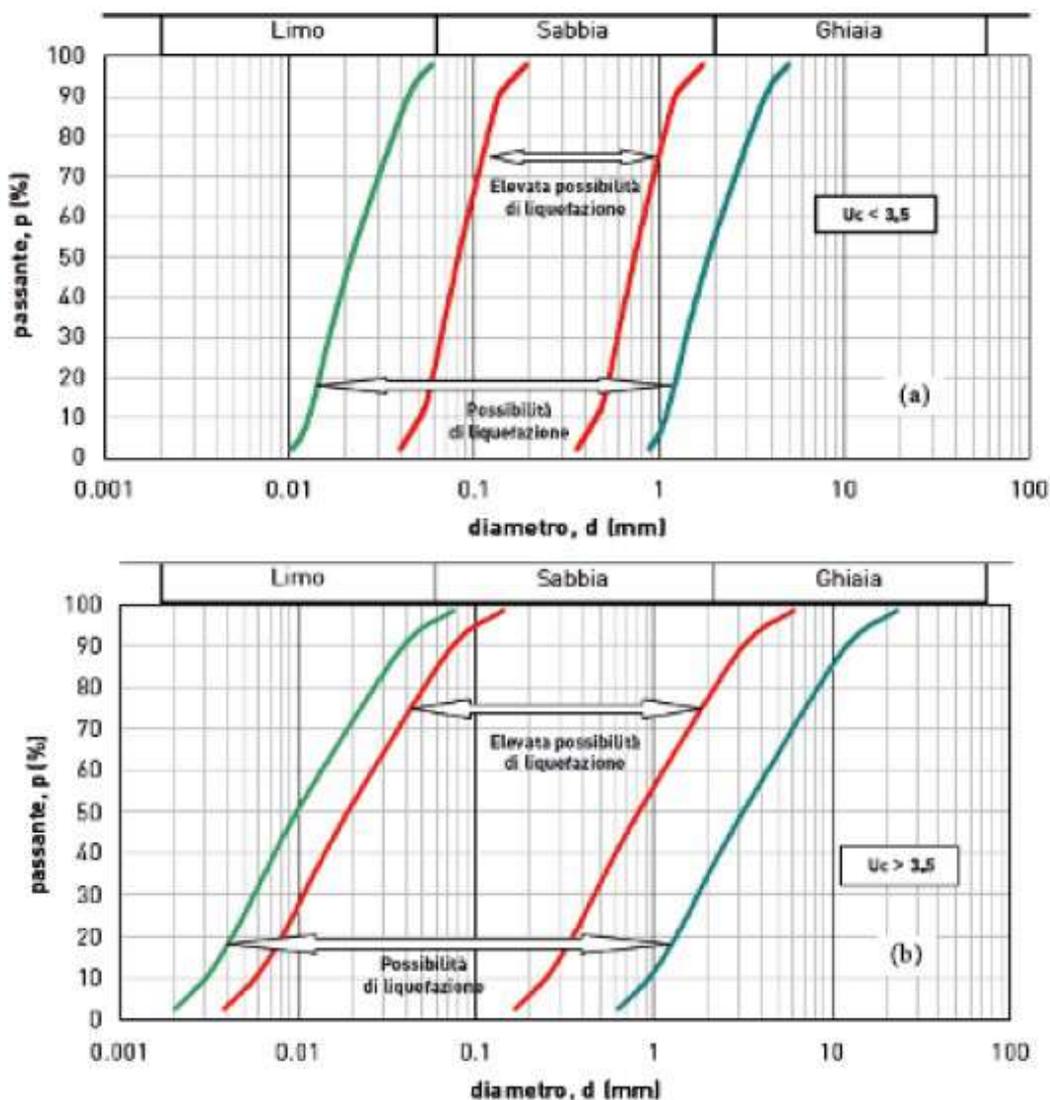


Figura 44 – Fasce granulometriche per la valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione di un terreno, per i terreni a granulometria uniforme (sopra) ed estesa (sotto). Da Sherif e Ishibashi, 1977.

Per quanto riguarda la porzione di territorio studiata nel corso della Microzonazione Sismica di Livello 3, la successione di terreni presenti non rientra nell'intervallo granulometrico "critico". Inoltre non sono stati segnalati episodi riconducibili al fenomeno della liquefazione in occasione delle scosse più violente della sequenza sismica 2016/17.

### 7.2.3. Instabilità di versante sismoindotte (FR)

Viene definita frana sismoindotta un dissesto per il quale, tra le forzanti possibili per la sua mobilitazione, è prevista anche quella sismica.

Nell'area oggetto di studio, come già descritto precedentemente, sono state individuate due aree a dissesto, già incluse sia nel Piano stralcio di Assetto Idrogeologico (P.A.I.) che nell'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (I.F.F.I.): la zona a monte di Via Garibaldi e Via Mazzini (Foto 1) indicata nel P.A.I. dal codice F-19-1734 (P2-R3) e la vasta area de "I Palazzi" (Foto 2) per il P.A.I. cod. F-19-1735 (P2-R3). Di entrambi i dissesti, in allegato viene fornita la scheda di rilevamento sulla base di osservazioni effettuate in campagna.

Si fa presente che nel corso degli studi di Microzonazione Sismica di Livello 3, è pervenuta una comunicazione da parte della segreteria del Centro di MS con cui si invitava i professionisti incaricati a trattare le instabilità in deroga agli Standard 4.0b.

Pertanto nelle carte di Microzonazione Sismica di livello 3 non è stato mappato nessun fattore di amplificazione per le instabilità di versante individuate come ZA nella carta delle MOPS.

Sulla carta di Microzonazione Sismica di livello 3 quindi, la zona in frana è stata mappata solo con il retinato della ZA, senza il colore del fattore di amplificazione.

Tuttavia si ritengono necessari approfondimenti per la valutazione degli effetti di sismoinduzione, soprattutto nella zona de "I Palazzi", in passato oggetto di estesa campagna geognostica, con installazione di inclinometro e successivi interventi di stabilizzazione mediante la realizzazione di pozzi drenanti.

## 8. Elaborati cartografici

Tutti gli elaborati cartografici prodotti, sono stati realizzati a partire dal progetto *MS\_Aree\_EQ.qgs* fornito per ogni comune dal Centro di MS. Tale progetto, oltre a permettere l'editing dei singoli *shape files* ha consentito la composizione e l'esportazione in .pdf degli elaborati di seguito illustrati, data la presenza di alcuni *template* dedicati.

### 8.1. Carta delle indagini (CI)

In tale elaborato (realizzato in n. 1 tavola in scala 1: 5.000), sono state rappresentate tutte le indagini preesistenti reperite e quelle realizzate *ex-novo* nel corso degli studi di Microzonazione Sismica di Livello 1, Livello 3 e fornite da altri professionisti fino ad ottobre 2017. In particolare, partendo dalla cartografia di base rappresentata dalla Carta Tecnica Regionale, sezione 313120 "Muccia", sono state ubicate le indagini puntuali e

lineari illustrate nel capitolo 4 e rappresentate in forma simbolica a seconda della tipologia (Cap. 2.2.3 degli I.C.M.S.).

Tutte le indagini (sondaggi, prove penetrometriche, misure di microtremore, *Downhole*, ecc...), eventuali dati geotecnici ricavati e le indagini geofisiche lineari (MASW, SR) sono stati archiviati nella banca dati, attraverso il software *SoftMS*, versione 4.0.1, da cui è stato possibile esportare il database definitivo, allegato al presente lavoro di Microzonazione Sismica di Livello 3, assieme a tutta la documentazione in formato *.pdf*.

## 8.2. Carta delle frequenze naturali dei terreni

La carta delle frequenze naturali dei terreni è stata realizzata partendo dall'inserimento puntuale di tutte le misure HVSR reperite ed effettuate nel corso degli studi di Microzonazione Sismica di Livello 1 e 3. In totale sono state inserite 42 misure.

Si è scelto inoltre di inserire anche misure HVSR effettuate in aree esterne al settore oggetto di studio di Livello 3 (Completamento Zona Residenziale Via Ralle).

Successivamente, la struttura della Banca dati geografica HVSR ha previsto l'archiviazione di n. 4 valori di frequenze e relative ampiezze: tali valori di rumore sono stati riportati nei campi F0, F1, F2 e F3 (Hz) a crescere in frequenza e relative Ampiezze (H/V) A0, A1, A2, e A3. Nel campo numerico Fr e della relativa ampiezza Ar sono stati invece riportati i valori di riferimento della Frequenza e dell'Ampiezza più rappresentative scelte tra F0, F1, F2, F3. Il valore 'No pick' della misura si ottiene dando un valore nullo o '0' (zero) nel campo numerico F0 o Fr.

Per tale scopo sono state creati due template: CFF e CFF\_R; il primo rappresenta la Carta delle frequenze naturali dei terreni basata sui valori di F0, il secondo rappresenta la Carta delle frequenze naturali dei terreni costruita sui valori di Fr.

Per il Comune di Muccia, d'accordo con l'Unità Operativa Marche 1, è stato prodotto l'elaborato (scala 1: 5.000) CFF\_R, basato, come già detto, sui valori di Fr.

## 8.3. Carta Geologico Tecnica per la MS (CGT\_MS)

Nella Carta geologico-tecnica per la Microzonazione Sismica (CGT\_MS) sono riportate tutte le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche, geotecniche e idrogeologiche) derivate da carte ed elaborati esistenti dei quali non ne è richiesta l'archiviazione.

Dott. Geol. Mauro Cataldi



I dati riportati nella CGT\_MS sono necessari alla definizione del modello di sottosuolo e funzionali alla realizzazione della Carta delle MOPS. Tale elaborato contiene gli elementi descritti nel capitolo 5 e viene fornita in n. 1 tavola in scala 1: 5.000 sulla stessa base usata per la stesura della Carta delle indagini.

Nell'ottica di una gestione e analisi delle informazioni mediante sistemi informativi geografici, gli elementi riportati sulla carta sono stati distinti in: areali (unità geologico-tecniche, instabilità, ecc...), lineari (faglie, creste, ecc...) e puntuali (picchi isolati, cavità, ecc...) in accordo agli standard vers. 4.0b, di cui si è ampiamente tenuto conto nella redazione del presente lavoro.

Si fa presente che l'aggiornamento agli standard vers. 4.0b ha riguardato l'intero territorio oggetto di Microzonazione Sismica di Livello 1, in quanto realizzato nel 2011 con lo standard 1.5.

#### Unità geologico-tecniche

In particolare, per quanto riguarda le unità geologico-tecniche si è operata una distinzione tra terreni di copertura (TC) e substrato geologico (SG), sulla base delle indagini reperite, della cartografia esistente e derivata dalla Microzonazione Sismica di Livello 1 e su un dettagliato rilievo di tipo geologico e geomorfologico effettuato esclusivamente sul settore oggetto di studio di Livello 3.

Per le coperture, lo spessore minimo considerato è di 3 m: per l'identificazione è stato usato lo standard U.S.C.S. (*Unfield Soil Classification System*) leggermente modificato.

Sono state individuate sei tipologie di coperture:

-  GW (fd/ tf) – Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie
-  GM (ec/ tf) – Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo
-  ML (ec) – Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità

- 1) GW: ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie. Vengono individuate nei depositi alluvionali terrazzati (tf) del 2°, 3° o 4° ordine, oppure nelle falde detritiche (fd). Si presentano da addensate a moderatamente addensate. Sono materiali stabili se impiegati per rilevati, dotati di capacità portante buona; il coefficiente di permeabilità è di circa  $10^{-1}$ – $10^{-2}$  cm/s tant'è che

Dott. Geol. Mauro Cataldi



possono ospitare importanti falde all'interno dove la morfologia è sub-pianeggiante.

- 2) GM: ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo. Corrispondono ai depositi eluvio-colluviali olocenici (ec) grossolani ma possono essere individuate, concomitanti alla stregua della tipologia GW, anche nei depositi alluvionali terrazzati (tf) del 3° ordine, oppure nelle falde detritiche (fd). Lo stato di addensamento e la consistenza è simile alle coperture di tipo GW. Stabilità accettabile come rilevati, buona capacità portante; il coefficiente di permeabilità è variabile (a seconda della presenza più o meno evidente dei livelli limosi) ed oscilla da  $10^{-2}$  a  $10^{-3}$  cm/s, con falde freatiche diffuse.
- 3) ML: limi inorganici, farine di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità. Presenti soprattutto sui versanti come depositi eluvio-colluviali (ec), a copertura del substrato. La stabilità, così come l'affidabilità come terreni di fondazione, in genere è scarsa. La presenza di una falda è al quanto improbabile, data un coefficiente di permeabilità intorno a  $10^{-6}$  cm/s.

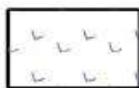
Per quanto riguarda il substrato geologico esclusivamente presente nel settore indagato, sulla base della tabella delle sigle litotecniche fornita dall'ISPRA, vengono assegnate due categorie:



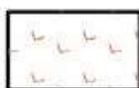
### SFALS – Alternanza di litotipi, stratificato, fratturato/alterato

- 1) Alternanza di litotipi stratificato fratturato o alterato (SFALS): comprende la Scaglia cinerea appenninica (SCC), il Bisciario (BIS) e lo Schlier (SCH) che per spessori superiori ad almeno 3 m si presentano fratturati o alterati tettonicamente.

### Instabilità di versante



FR\_A – scorrimento (attivo)



FR\_Q – scorrimento (quiescente)



FR\_Q – colata (quiescente)



FR\_Q – non definito (quiescente)

Dott. Geol. Mauro Cataldi



In questo tematismo vengono riportate le perimetrazioni di tutti i fenomeni gravitativi riconosciuti per le aree di studio analizzate nel lavoro di Microzonazione Sismica. Anche le instabilità di versante sono state distinte in base a quanto riportato sugli standard di rappresentazione e archiviazione informatica vers. 4.0b. I fenomeni franosi riportati in cartografia sono stati riconosciuti tramite rilievi effettuati in sito e in base a quanto riportato su carte preesistenti (Carta Geomorfologica Regionale, Carta Geomorfologica del Piano Regolatore Generale, ecc...). Inoltre si è fatto riferimento al Progetto I.F.F.I. (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia) per quanto riguarda lo stato di attività ed alla cartografia del P.A.I. (Piano stralcio di bacino per l'assetto Idrogeologico): tutti i dati sono stati comunque verificati direttamente sul terreno, in particolare per identificare segni di eventuali evoluzioni del fenomeno relative all'ultimo ciclo stagionale (frana attiva), aiutati dalle precipitazioni avute nella stagione autunnale e invernale 2017-18.

Come illustrato nell'inquadramento geomorfologico, sono state rilevate frane di tipo scorrimento (prevalenti), colamenti e frane complesse.

#### Forme di superficie e sepolte

Sono state rilevate, anche con l'ausilio di immagini satellitari: conoidi, falde detritiche, esistenti soprattutto nella zona denominata "I Palazzi" e creste.

#### Elementi tettonico strutturali

Sono stati riportati tutti i lineamenti tettonici evidenziati dai rilievi cartografici alla scala 1: 10.000 eseguiti per la realizzazione dei fogli della Carta Geologica Regionale relativi all'area di indagine.

Tutte le faglie riconosciute nel settore di Livello 3 sono state mappate come non attive.

#### Elementi geologici e idrogeologici

Gli elementi geologici rappresentati sono costituiti dalle giaciture di strato, le quali sono state distinte in funzione della geometria che si evidenzia sul terreno. Inoltre vengono riportati i sondaggi geognostici già inseriti nella Carta delle indagini ma suddivisi e raggruppati in 2 tipologie a seconda che raggiungano, o no, il substrato geologico con relativa profondità. Un ulteriore elemento riportato riguarda l'indicazione della falda, nel caso siano stati effettuati pozzi a scopo irriguo o potabile.

#### 8.4. Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)

L'elaborato finale previsto per il Livello 1 di Microzonazione Sismica è la Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (M.O.P.S.).

La carta individua le microzone ove, sulla base di osservazioni geologiche e geomorfologiche e della valutazione dei dati litostratigrafici (sia dati pregressi disponibili per l'area che, eventualmente, indagini *ex-novo*), è prevedibile l'occorrenza di diversi tipi di effetti prodotti dall'azione sismica (amplificazioni, instabilità di versante, liquefazione, ecc...).

Le informazioni da utilizzare per la redazione, oltre alla cartografia di base disponibile (sezioni della Carta Tecnica Regionale già illustrate), sono:

- a) Carta delle indagini, precedentemente prodotta per questo livello;
- b) Carta geologico-technica, anche essa precedentemente realizzata ed altre carte geologiche, geomorfologiche e litotecniche almeno alla scala 1: 10.000, preferibilmente di maggiore dettaglio;
- c) *logs* litostratigrafici dedotti da dati di sondaggio;
- d) sezioni geolitologiche costruite con dati dedotti dai punti precedenti a), b) e c);
- e) eventuali carte di dissesto idrogeologico (es. Progetto I.F.F.I., piani provinciali di dissesto idrogeologico, piani delle Autorità di bacino).

Questa carta identifica le geometrie di microzone potenzialmente caratterizzate da specifici effetti sismici.

Non è previsto l'utilizzo di un input sismico, né la quantificazione numerica dei diversi effetti.

Le microzone della carta sono classificate in tre categorie:

- A. **zone stabili**, nelle quali non si ipotizzano effetti locali di rilievo di alcuna natura (substrato geologico in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata - pendii con inclinazione inferiore a circa 15°);
- B. **zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**, nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico, come effetto dell'assetto litostratigrafico e morfologico locale;
- C. **zone di attenzione per le instabilità**, nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio (non

Dott. Geol. Mauro Cataldi



sono necessariamente esclusi per queste zone anche fenomeni di amplificazione del moto). I principali tipi di instabilità sono:

- instabilità di versante;
- liquefazioni;
- faglie attive e capaci;
- cedimenti differenziali.

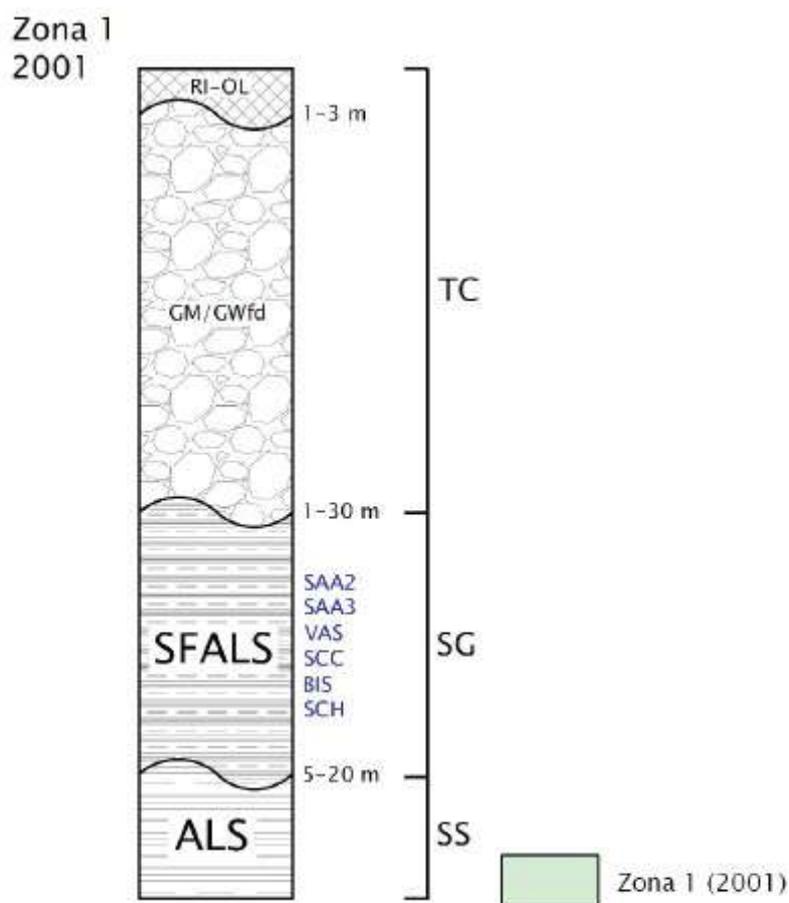
Per quanto riguarda i cedimenti differenziali, in tale elaborato prodotto sono stati presi in considerazione solamente quelli mappati in settori diversi dall'area studiata nel Livello 3. Tali tipi di instabilità, in generale, non hanno la stessa importanza degli altri fenomeni. I cedimenti differenziali si verificano limitatamente nelle zone adiacenti i contatti fra formazioni con caratteristiche litologiche e meccaniche molto diverse.

Una nota particolare merita il tema delle faglie attive e capaci. La definizione dell'attività di una faglia attiva e capace deve scaturire da una serie di studi di dettaglio eseguiti da esperti del settore e, solo dopo una validazione tecnico-scientifica, questi studi possono essere messi a disposizione di coloro che si occupano della Microzonazione Sismica. Si raccomanda quindi che, per il livello 1, nella Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica si riportino solo le faglie identificate da studi validati da esperti del settore.

La microzona omogenea riferita all'eventuale faglia attiva e capace sarà costruita in modo da comprendere la traccia superficiale della faglia e i fenomeni deformativi del terreno (rottture secondarie, rigonfiamenti, cedimenti, ecc...) correlati alla rottura principale.

Inoltre, nella carta sono rappresentate alcune caratteristiche morfologiche del territorio e, laddove individuabili, forme sepolte che possono contribuire ad eventuali effetti di amplificazione.

Di seguito, vengono trattate solamente le microzone indagate durante gli studi di Microzonazione Sismica di Livello 3; per le zone esterne si rimanda alla relazione illustrativa allegata al Livello 1.



La Zona 1, rappresentata con il codice 2001, fa riferimento ad una copertura costituita da depositi di versante grossolani (GW/GMfd) generalmente del Pleistocene superiore, aventi spessore fino a 30 m e poggianti su substrato dapprima geologico e successivamente anche sismico, costituito da litotipi che vanno dal gruppo della Scaglia rossa fino allo Schlier. Tale substrato presenta sempre una fascia di alterazione spessa da 5 a 20 m che offre generalmente velocità delle onde di taglio  $< 800$  m/s. Successivamente, può essere considerato sempre un substrato sismico.

Le coperture sono caratterizzate da più ridotte resistenze meccaniche rispetto ai terreni del substrato, dovute al minore addensamento e/o minore coesione. Tale zona è ampiamente diffusa e distribuita lungo i versanti esposti a S e E di Monte di Muccia.

L'andamento tipico della velocità delle onde di taglio in tale litologia, determinata attraverso indagini MASW eseguite, viene riassunto nella figura sottostante.

ZONA	SPESSORI (m)	LITOLOGIA	VELOCITA' Vs min	VELOCITA' Vs max
2001 (GWfd su SFALS)	1-3	Riperto/Terreno Vegetale (RI/PT/OL)	130	190
	1-3	Ghiaia limoso/sabbiosa poco addensata (GM/GW)	230	300
	5-30 (max su frana)	Ghiaia limoso/sabbiosa addensata (GM/GW)	400	500
	>	Scaglia cinerea/Bisciaro/Schlier alterato (SFALS)	550	700
	>>	Scaglia cinerea/Bisciaro/Schlier (ALS)	800	1.300

Viene mostrata di seguito la MASW16, effettuata sul corpo di frana in località “I Palazzi”, nei pressi della piscina, dove si ha il massimo spessore delle coperture ghiaiose che presentano una Vs di 450 m/s.

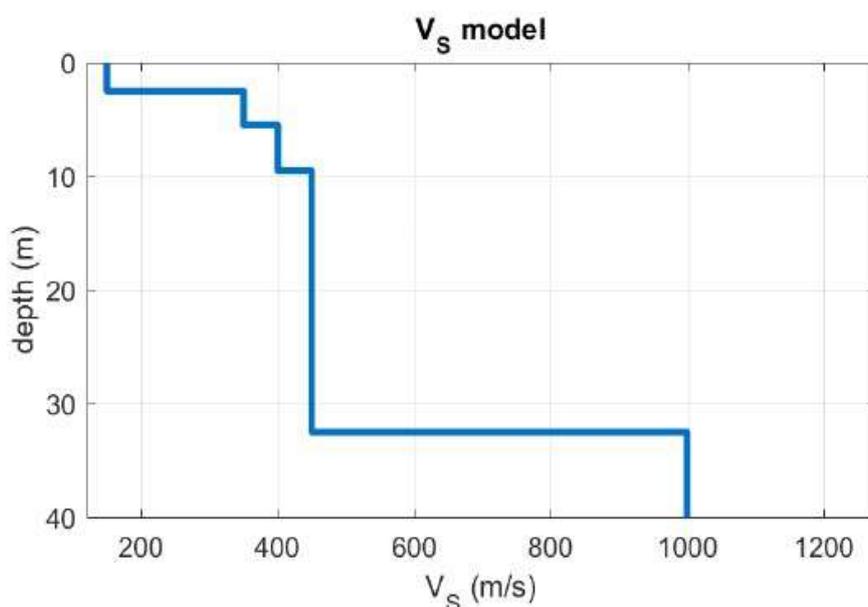
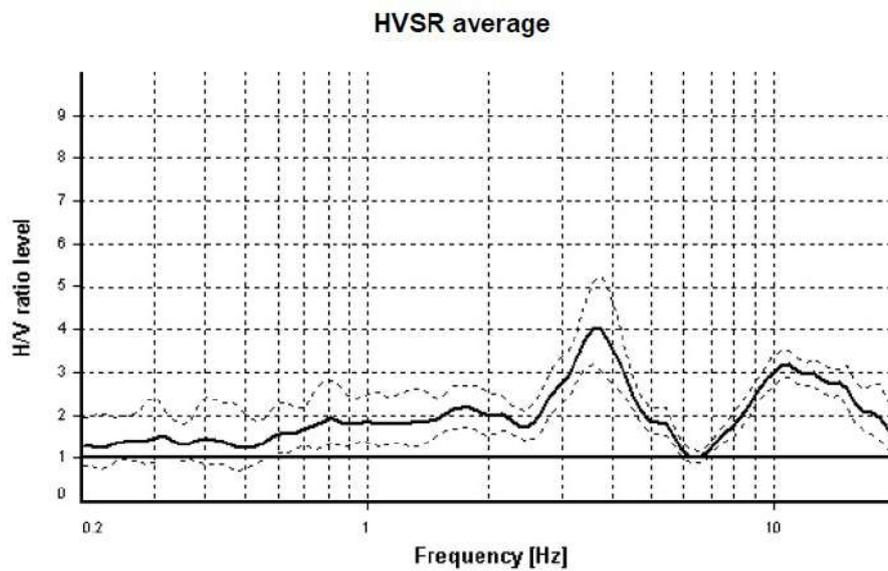


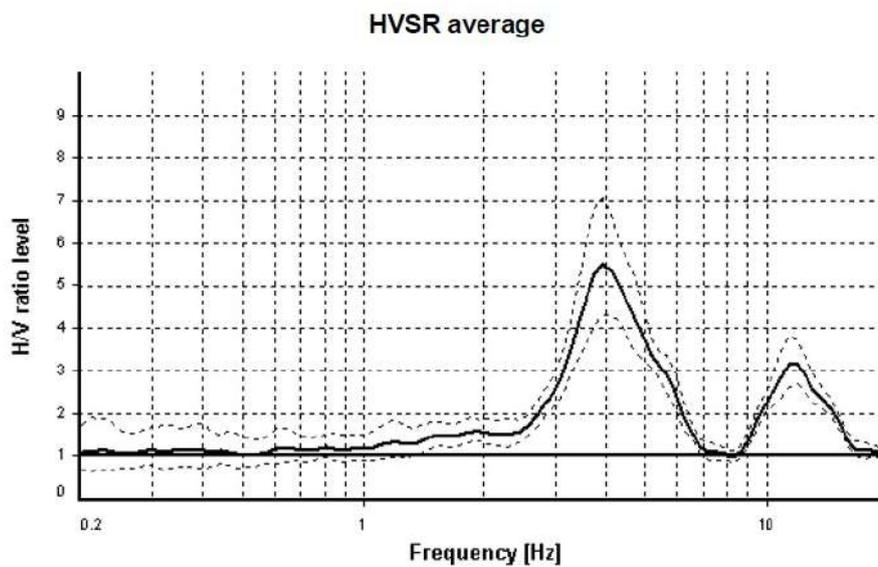
Figura 45 – Profilo Vs relativo alla MASW16.

L'incremento di intensità risentita in caso di sisma è generalmente piuttosto notevole data la differenza di rigidità tra depositi e substrato, come risultato anche dalla modellazione 1D eseguita: viene mostrata come esempio un'indagine H/V (Figura 46) svolta sempre in località “I Palazzi” (043034P164HVSR334) che evidenzia un contrasto di impedenza estremamente compatibile con la situazione stratigrafica.

Un'altra misura HVSR (043034P170HVSR340) è stata effettuata lungo Via Fonte del Colle, e mostra una situazione identica alla precedente (Figura 47) con un forte contrasto di impedenza al contatto tra coperture e substrato (3,577 – 3,926 Hz).

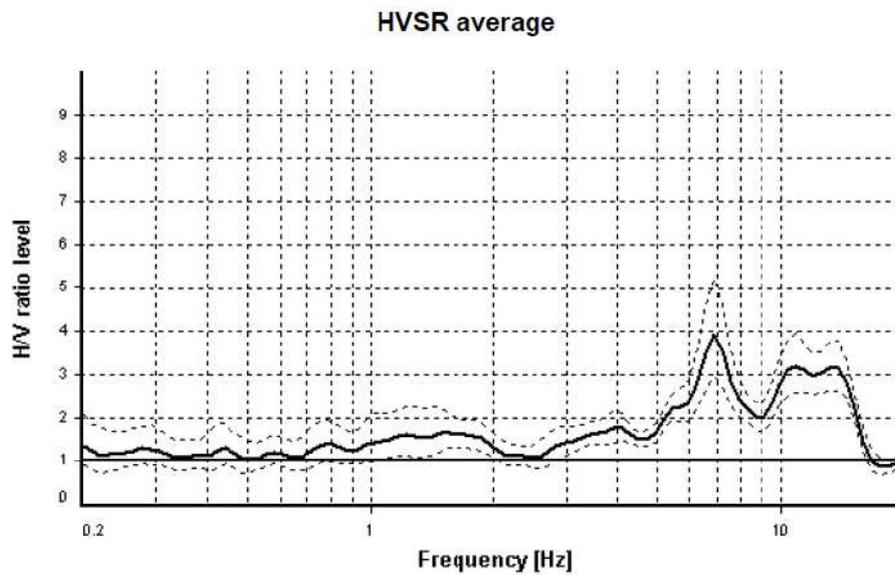


*Figura 46 – Misura HVSR effettuata in località "I Palazzi".*



*Figura 47 – Misura HVSR effettuata in Via Fonte del Colle.*

In Via Macario Muzio, essendo tali coperture meno spesse, si assiste sempre ad un evidente contrasto di impedenza ma a frequenze più alte (6,861 Hz). Si mostra, ad esempio, la misura HVSR *043034P163HVSR333* (Figura 48).

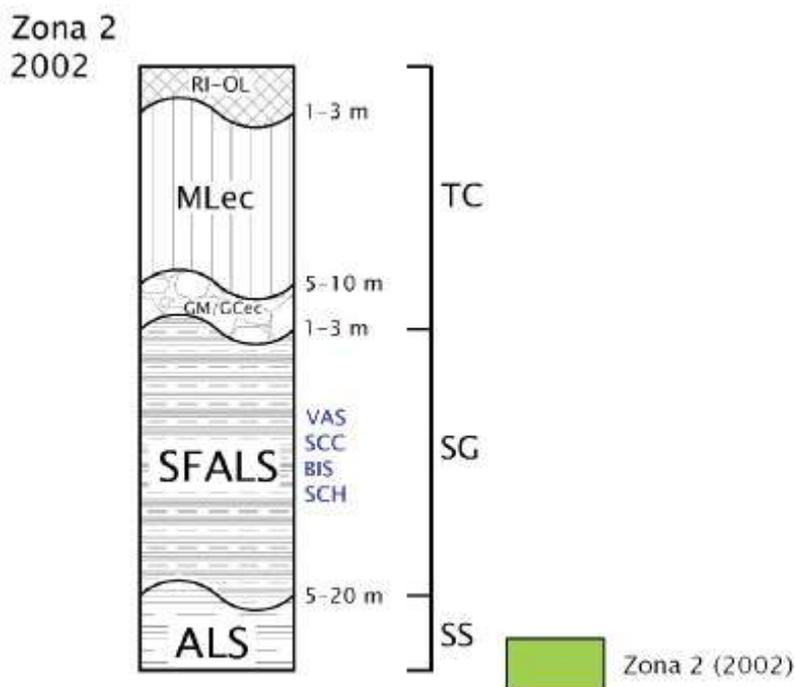


*Figura 48 – Misura HVSR effettuata in Via Macario Muzio.*

Sulla base di tali osservazioni e misurazioni, i fattori di amplificazione emersi dalla modellazione 1D non potevano risultare nient'altro che alti:

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1,91	1,50	1,28

Anche la modellazione 2D ha offerto valori simili, soprattutto nell'intervallo di periodi 0,1–0,5 s (F<sub>Amax</sub> 1,8 – punto P6). Per ragioni cautelative, vengono proposti i valori di FA emersi durante la modellazione 1D.



La Zona 2, rappresentata con il codice 2002, fa riferimento ad una copertura costituita da depositi eluvio/colluviali fini (MLec) generalmente olocenici, aventi spessore fino a 10 m e poggianti su substrato dapprima geologico e successivamente anche sismico, costituito da litotipi che vanno dalla Scaglia variegata fino allo Schlier. Come nella MOPS precedente, tale substrato presenta sempre una fascia di alterazione spessa da 5 a 20 m che offre generalmente velocità delle onde di taglio < 800 m/s. Successivamente, può essere considerato sempre un substrato sismico. Tra i depositi fini di tipo ML e il substrato, anche in aree distanti dal fondovalle, si può rinvenire un sottile strato di ghiaie in matrice limoso o argillosa di origine colluviale (GM/GC).

Le coperture sono caratterizzate da più ridotte resistenze meccaniche rispetto ai terreni del substrato, dovute al minore addensamento e/o minore coesione. Tale zona è diffusa e distribuita lungo i versanti che bordano la valle del Fiume Chienti. In particolare si rinvengono nel capoluogo in corrispondenza di Via Garibaldi e Via Mazzini.

L'andamento tipico della velocità delle onde di taglio in tale litologia, determinata attraverso indagini MASW eseguite, viene riassunto nella figura sottostante.

2002 (MLec su SFALS)	1-2.2	Riperto/Terreno Vegetale (RI/PT/OL)	150	170
	5-10	Limo argilloso/sabbioso (ML)	220	300
	4-7	Ghiaia limoso/argillosa (GM/GC)	380	450
	>	Scaglia cinerea/Bisciaro/Schlier alterato (SFALS)	550	700

Dott. Geol. Mauro Cataldi



Viene mostrata di seguito la MASW14, effettuata in Via Mazzini, dove si ha almeno 10 m di depositi eluvio/colluviali, costituiti dal litotipo ML ( $V_s$  223 – 291 m/s) seguito da un esiguo livello di tipo GM (450 m/s).

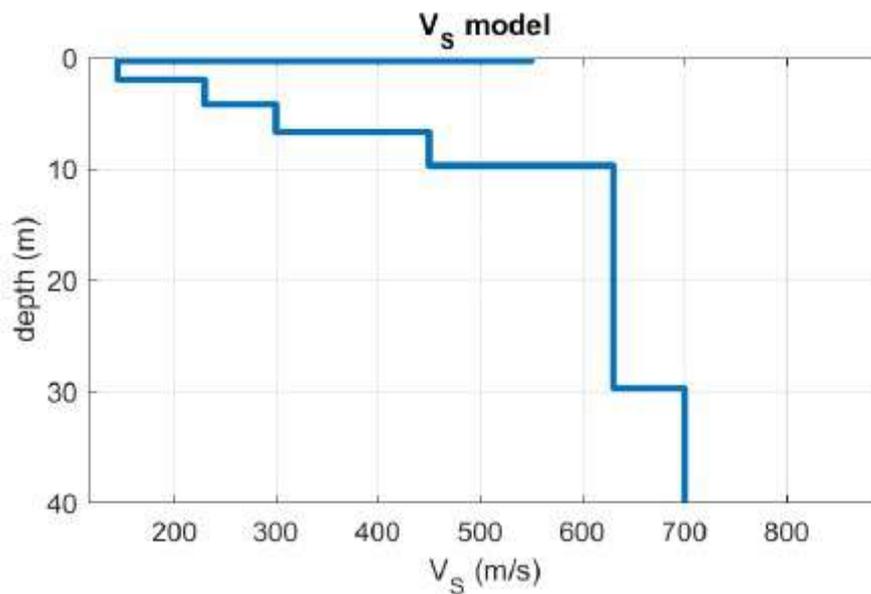
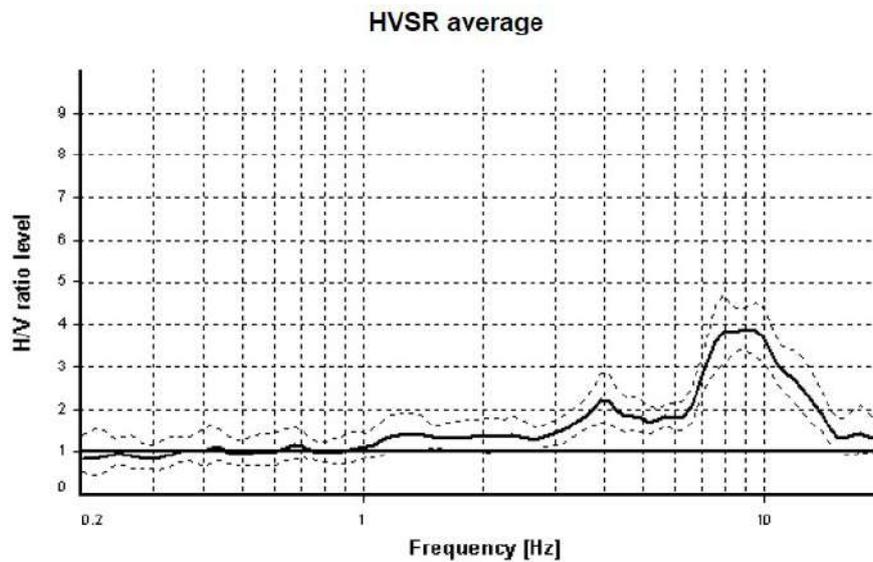
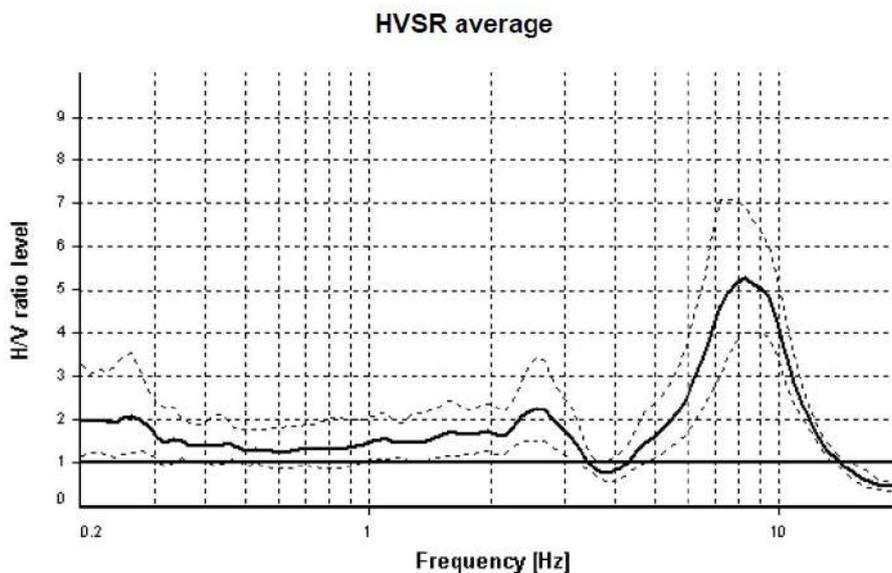


Figura 49 – Profilo  $V_s$  relativo alla MASW14.

L'incremento di intensità risentita in caso di sisma anche qui è notevole data la differenza di rigidezza tra depositi e substrato, come risultato anche dalla modellazione 1D eseguita: vengono mostrate, come esempio, le indagini H/V svolte rispettivamente in Via Mazzini (043034P164HVSR332) e in località Maddalena (043034P188HVSR359) che evidenziano un contrasto di impedenza estremamente compatibile con la situazione stratigrafica (8,264 Hz).



*Figura 50 – Misura HVSR effettuata in Via Mazzini.*

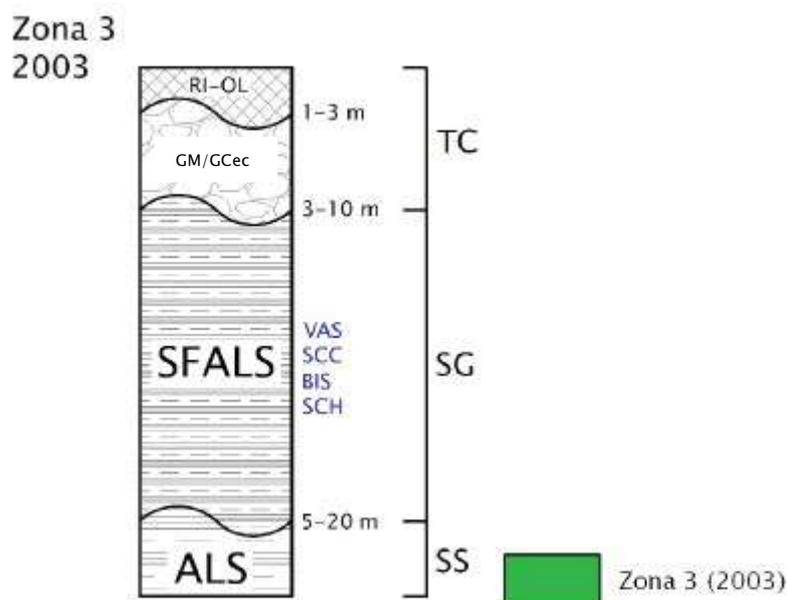


*Figura 51 – Misura HVSR effettuata in località Maddalena.*

Sulla base di tali osservazioni e misurazioni, i fattori di amplificazione emersi dalla modellazione 1D non potevano risultare nient'altro che alti:

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1,89	1,40	1,22

La modellazione 2D non ha fornito valori di FA su tale MOPS, pertanto vengono conservati i fattori FA emersi durante la modellazione 1D.



La Zona 3, rappresentata con il codice 2003, fa riferimento ad una copertura costituita da depositi ghiaiosi scarsamente addensati di natura colluviale con abbondante matrice fine (GM/GCec) generalmente olocenici, aventi spessore fino a 10 m e poggianti su substrato dapprima geologico e successivamente anche sismico, costituito da litotipi che vanno dal gruppo della Scaglia variegata fino allo Schlier. Tale substrato presenta sempre una fascia di alterazione spessa da 5 a 20 m che offre generalmente velocità delle onde di taglio < 800 m/s. Successivamente, può essere considerato sempre un substrato sismico.

Le coperture sono caratterizzate da più ridotte resistenze meccaniche rispetto ai terreni del substrato, dovute al minore addensamento e/o minore coesione. Tale zona è ampiamente diffusa e distribuita nel capoluogo, soprattutto lungo la SP256 "Muccese", nella parte bassa di Via Fonte del Colle e nel settore opposto (Via Cavalieri di Vittorio Veneto).

L'andamento tipico della velocità delle onde di taglio in tale litologia, determinata attraverso indagini MASW eseguite, viene riassunto nella figura sottostante.

2003 (GMec su SFALS)	1.5	Riperto/Terreno Vegetale (RI/PT/OL)	130	
	3-10	Ghiaia argilloso/limosa (GC/GM) scarsamente addensata	200	250
	>	Scaglia cinerea/Bisciaro/Schlier alterato (SFALS)	550	700

Viene mostrata di seguito la MASW18, effettuata in Via Fonte del Colle, in adiacenza alla MOPS1 dove, nel caso specifico, si hanno depositi classificati come GM/GCec (Vs 250

m/s) posti al di sopra dei depositi di versante GWfd (200 – 350 m/s), provocando anche una modesta inversione di velocità.

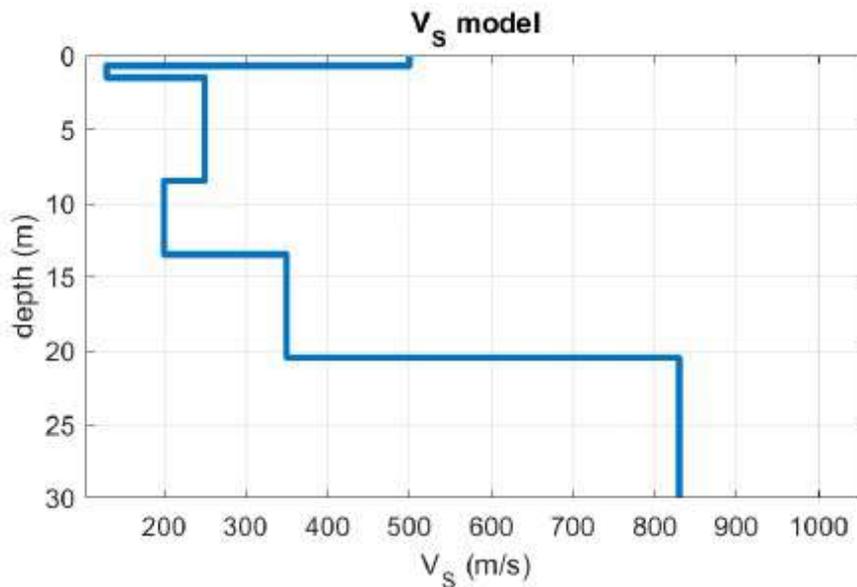


Figura 52 – Profilo Vs relativo alla MASW18.

L'incremento di intensità risentita in caso di sisma è generalmente piuttosto notevole data la differenza di rigidezza tra depositi e substrato, come risultato anche dalla modellazione 1D eseguita: vengono mostrate due misure HVSr (043034P166HVSr336 e 043034P168HVSr338) effettuate in tale MOPS, che evidenziano contrasti di impedenza estremamente compatibili con la situazione stratigrafica (3,748 Hz).

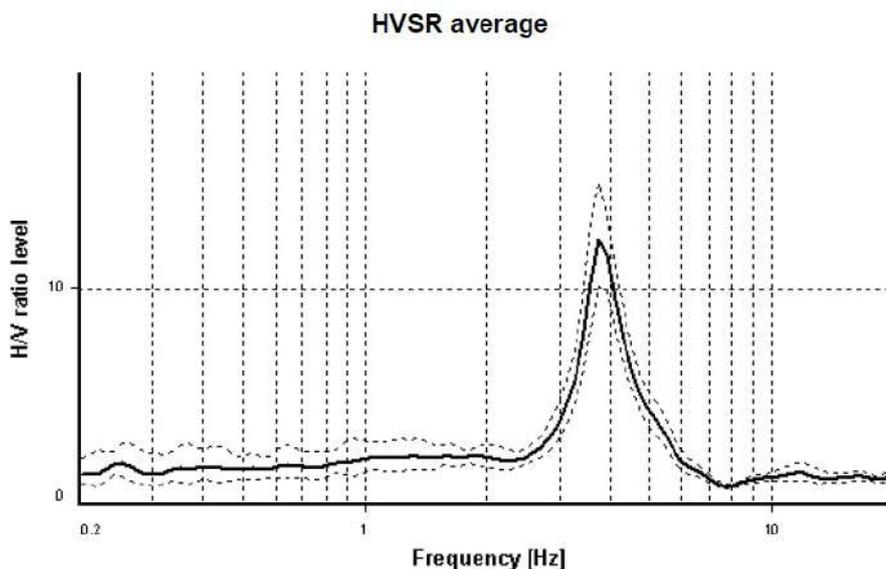
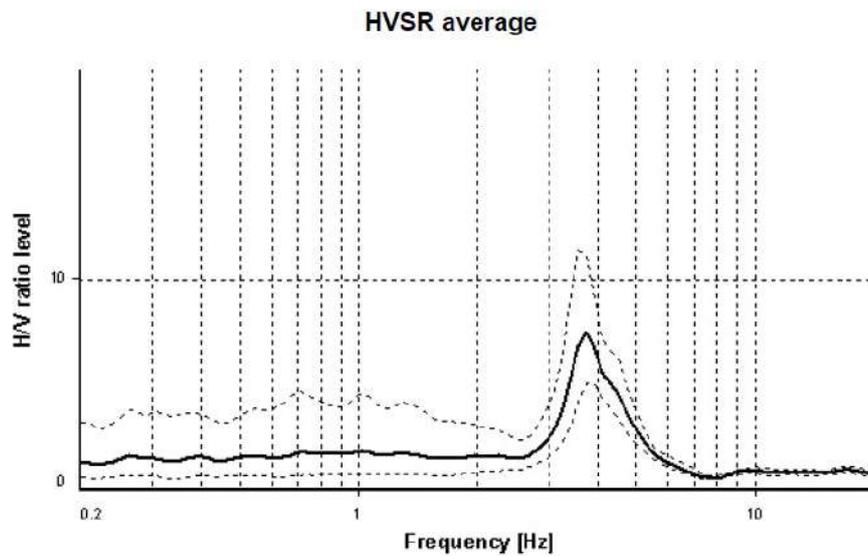


Figura 53 – Misura HVSr effettuata in Via Fonte del Colle.

Dott. Geol. Mauro Cataldi



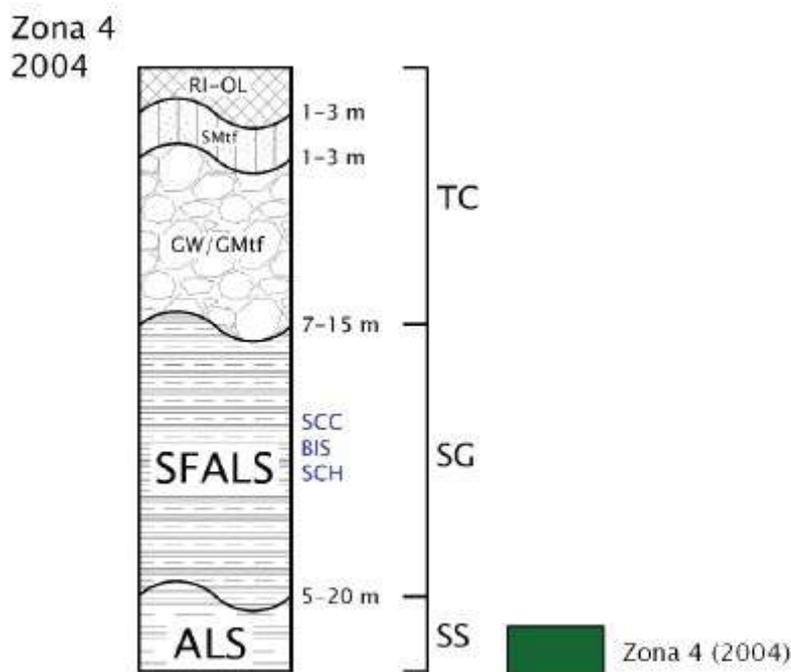


*Figura 54 – Misura HVSR effettuata in Via Fonte del Colle.*

Sulla base di tali osservazioni e misurazioni, i fattori di amplificazione emersi dalla modellazione 1D sono risultati alti:

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1,73	1,45	1,27

La modellazione 2D ha offerto valori maggiori, soprattutto nell'intervallo di periodi 0,1–0,5 s (FAMax 2,2 – punto P7). Essendo lo scarto > 0,2, si è deciso di adottare i valori di FA emersi durante la modellazione 2D.



La Zona 4, rappresentata con il codice 2004, fa riferimento ad una copertura costituita da depositi alluvionali grossolani (GW/GMtf) generalmente del Pleistocene superiore (terrazzo del 3° ordine) o olocenici, aventi spessore fino a 15 m circa e poggianti su substrato dapprima geologico e successivamente anche sismico, costituito da litotipi che vanno dalla Scaglia cinerea appenninica. Tale substrato presenta sempre una fascia di alterazione spessa da 5 a 20 m che offre generalmente velocità delle onde di taglio < 800 m/s. Successivamente, può essere considerato sempre un substrato sismico.

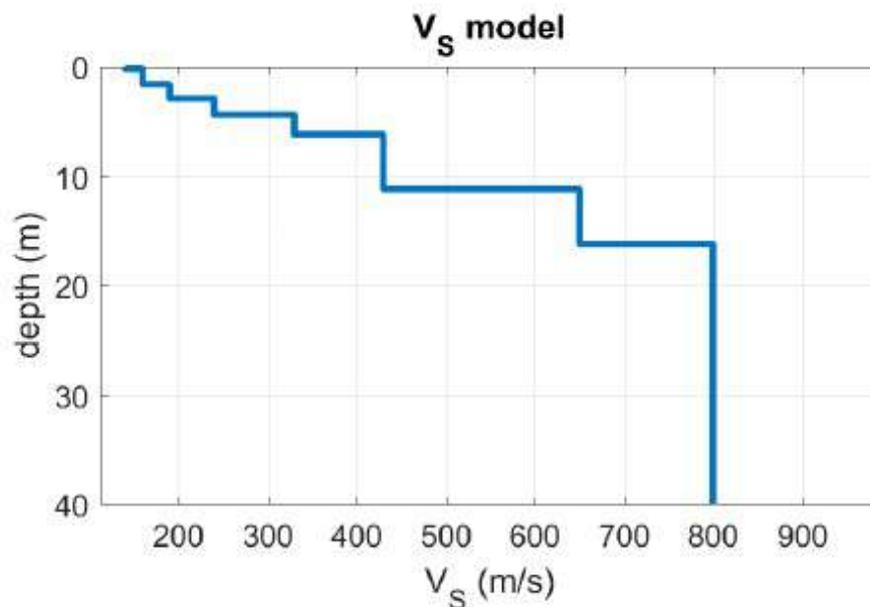
Al di sopra del litotipo GW/GMtf si può rinvenire un livello limoso-sabbioso (SMtf) dello spessore massimo di 3 m.

Le coperture sono caratterizzate da più ridotte resistenze meccaniche rispetto ai terreni del substrato, dovute al minore addensamento e/o minore coesione. Tale zona è ampiamente diffusa e distribuita a destra e a sinistra idrografica dell'alveo del Fiume Chienti: rappresenta il fondovalle dove sono ubicati gran parte degli abitati di Muccia, Varano, Maddalena e Giove.

L'andamento tipico della velocità delle onde di taglio in tale litologia, determinata attraverso indagini MASW eseguite, viene riassunto nella figura sottostante.

2004 (GWtf su SFALS)	0.2-2.5	Riporto/Terreno Vegetale (RI/PT/OL)	140	190
	1-2	Sabbia limosa / limo sabbioso (SM)	240	280
	7-13	Ghiaia sabbioso/limosa (GW/GM) da poco a fortemente addensata	330	650
	>	Scaglia cinerea/Bisciaro/Schlier alterato (SFALS)	550	700

Vengono mostrate di seguito la MASW19, effettuata in Via Piazzetta, nei pressi della scuola e della palestra, e la MASW20, realizzata in località Giove: emerge in entrambe la presenza di una copertura avente spessore rispettivamente di circa 11 e 16 m, costituita dapprima dal litotipo SM ( $V_s$  max 280 m/s) e successivamente dal litotipo GW ( $V_s$  max 430 m/s). È anche chiaramente visibile come il substrato sia sismico ( $V_s \geq 800$  m/s), preceduto da una fascia di alterazione a velocità minori ( $V_s$  650 – 700 m/s).



*Figura 55 – Profilo  $V_s$  relativo alla MASW19.*

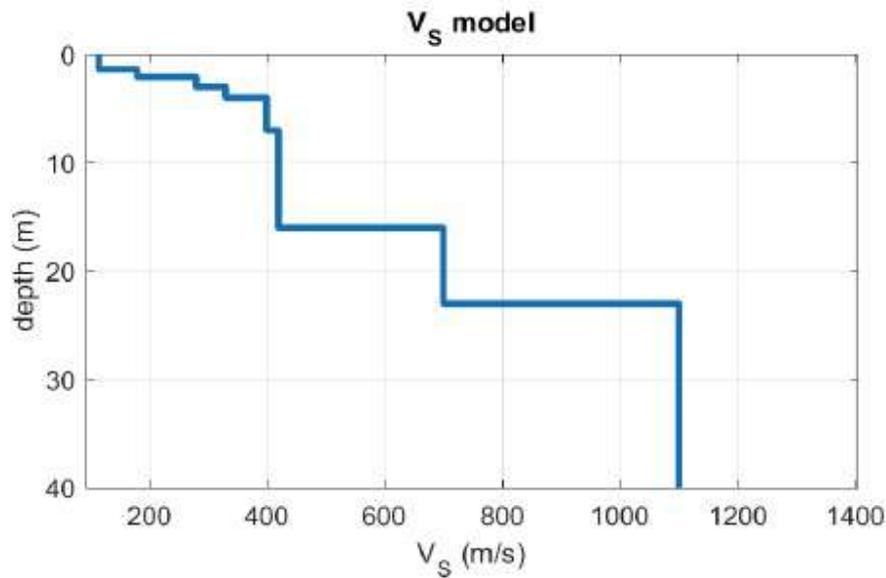


Figura 56 – Profilo Vs relativo alla MASW20.

Anche qui l'incremento di intensità risentita in caso di sisma è generalmente piuttosto notevole data la differenza di rigidezza tra depositi e substrato, come risultato anche dalla modellazione 1D eseguita: vengono mostrate come esempio le indagini H/V (Figura 57 e 58) svolte in corrispondenza delle MASW descritte in precedenza (043034P171HVSR341, 043034P185HVSR355) che evidenziano un contrasto di impedenza estremamente compatibile con la situazione stratigrafica (6,549 – 7,888 Hz).

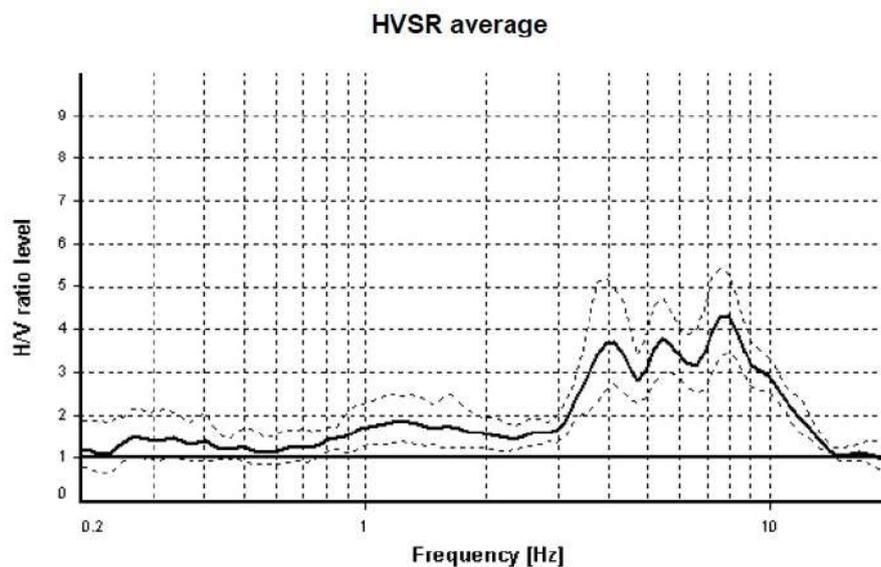
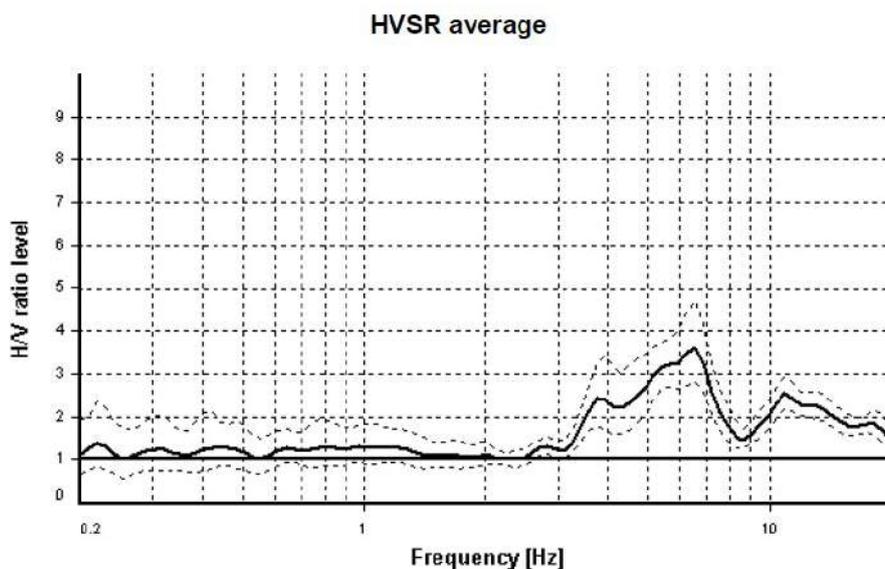
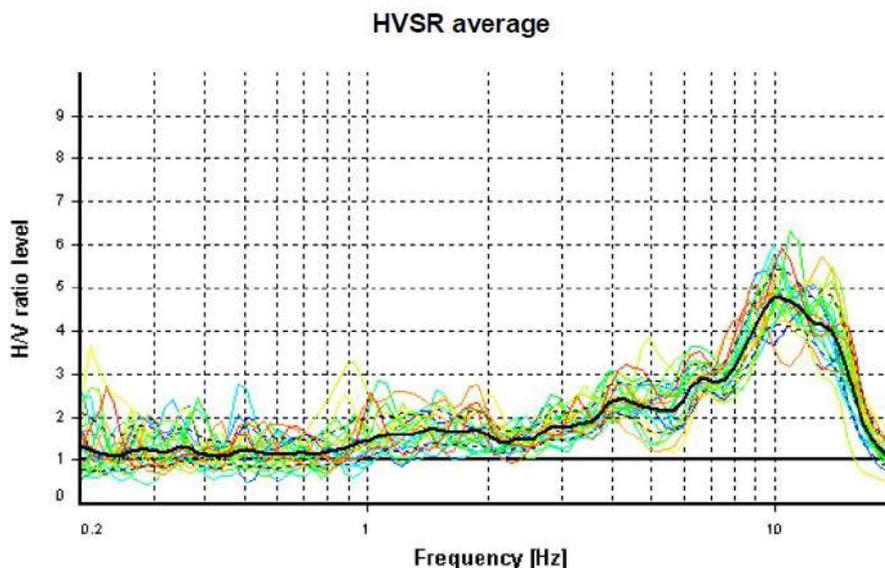


Figura 57 – Misura HVSR effettuata nei pressi di Via Piazzetta.



*Figura 58 – Misura HVSR effettuata in località Giove.*

Talvolta il picco più evidente si ha invece per il contrasto tra i depositi sabbioso-limosi e le sottostanti ghiaie, come attestano tre misure HVSR effettuate lungo la ex SS77, rispettivamente nel margine W del settore oggetto di Microzonazione Sismica di Livello 3 (043034P178HVSR348), al centro (località Varano, 043034P184HVSR354) e verso E (località Maddalena, 043034P178HVSR348). Risulta essere meno evidente il contatto tra coperture e substrato, probabilmente a causa di un maggior addensamento delle ghiaie.



*Figura 59 – Misura HVSR effettuata lungo la ex SS77, nel margine occidentale del settore indagato.*

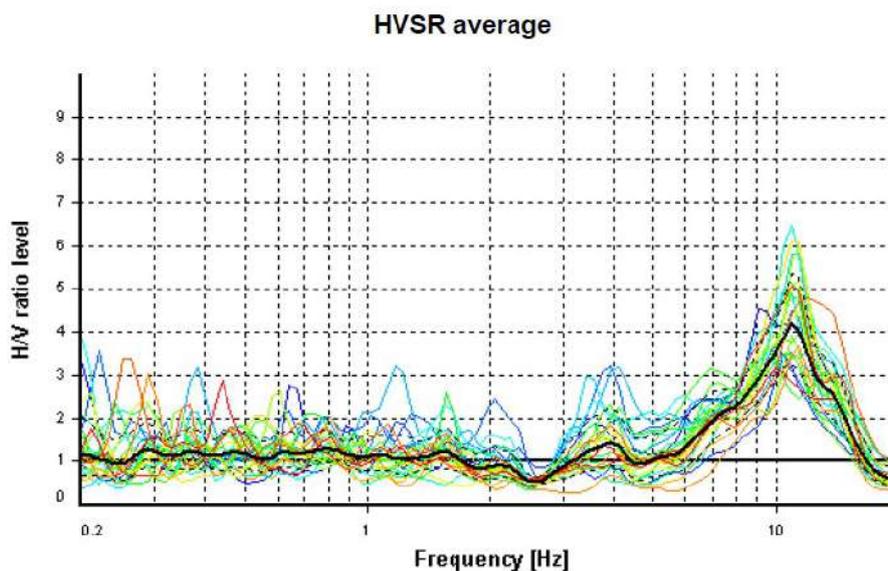


Figura 60 – Misura HVSR effettuata lungo la ex SS77, in località Varano.

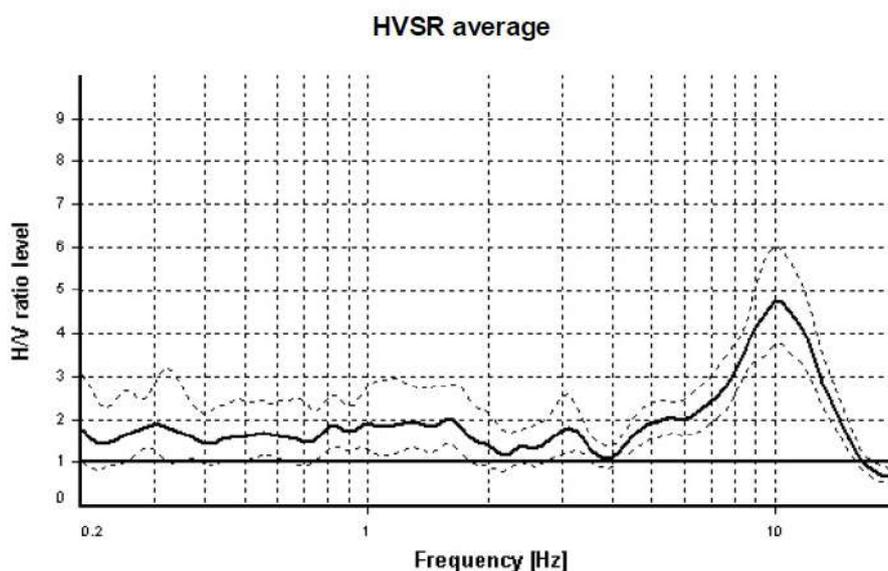


Figura 61 – Misura HVSR effettuata lungo la ex SS77, in località Maddalena.

In tale MOPS2004 inoltre, essendo la microzona più diffusa per il territorio esaminato, è stata effettuata l'indagine sismica in foro di tipo *Downhole* (Figura 62) il cui report completo viene mostrato tra gli allegati. Da essa è emersa una sismostratigrafia compatibile alle indagini geofisiche precedentemente effettuate e con la falda ben visibile intorno agli 8 m: le velocità attribuite ai depositi limoso-sabbiosi SMtf, ghiaiosi GWtf e al substrato vengono riassunti nella successiva tabella.

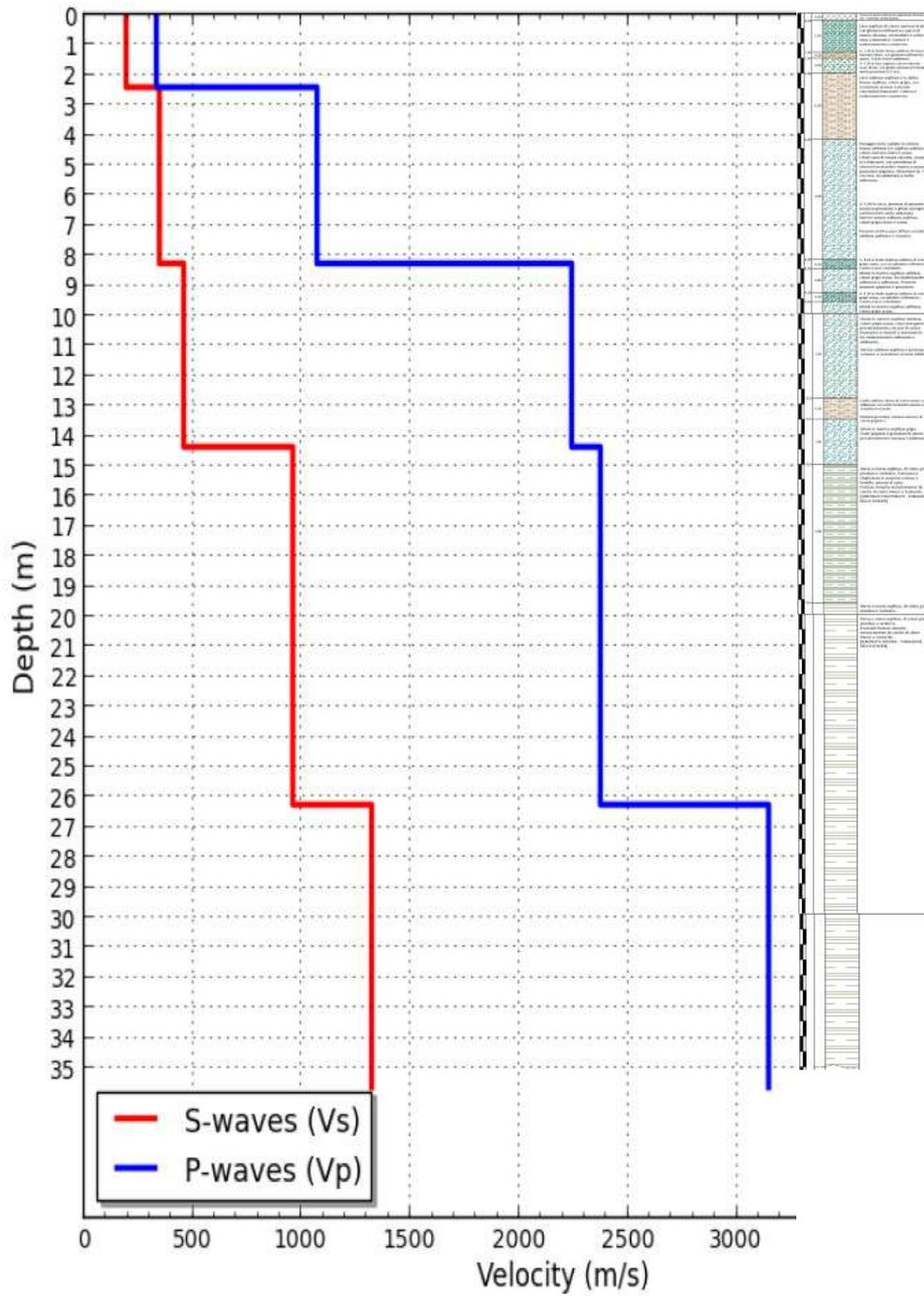


Figura 62 – Sismostratigrafia derivata dalla prova sismica di tipo Downhole.

z	h	V <sub>p</sub>	V <sub>s</sub>	v	
[m]	[m]	[m/s]	[m/s]	[-]	
2.42	2.42	336	195	0.25	SMtf
8.31	5.89	1073	352	0.44	Gwtf
14.42	6.11	2244	461	0.48	
26.30	11.88	2378	959	0.40	ALS
>35.65	>9.35	3150	1323	0.39	

Nel complesso si ha corrispondenza tra i valori di Vs attribuiti alle coperture; il bedrock mostra invece una Vs più alta misurata nella *Downhole* rispetto alle MASW, confermando comunque il fatto di essere substrato sismico (Vs > 800 m/s).

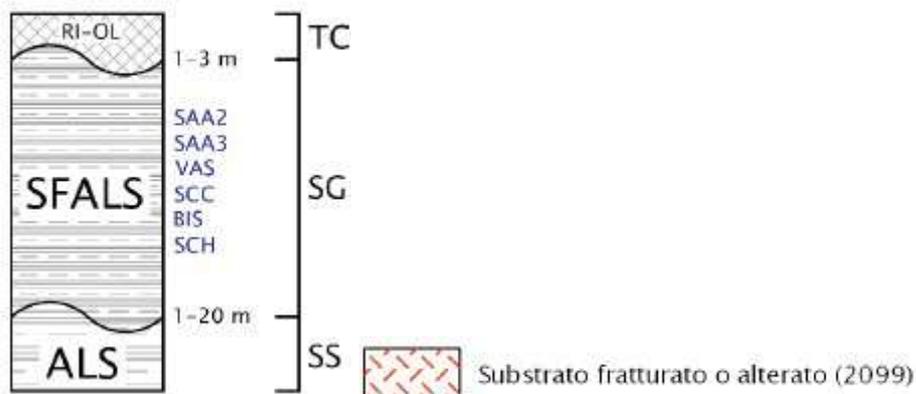
Sulla base di tali osservazioni e misurazioni, i fattori di amplificazione emersi dalla modellazione 1D anche qui risultano alti:

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1,71	1,20	1,11

La modellazione 2D ha offerto invece valori molto più bassi, soprattutto nell'intervallo di periodi 0,1–0,5 s (F<sub>max</sub> 1,1 – punto P1). Probabilmente la differenza è dovuta al fatto che la 2D attraversa la MOPS2004 in un settore caratterizzato da depositi ghiaiosi decisamente più addensati che quasi mascherano il contrasto di impedenza con il sottostante substrato, come visto anche in figure precedenti (Figure da 59 a 61).

Per ragioni cautelative, vengono proposti i valori di FA emersi durante la modellazione 1D.

**Substrato frattutato o alterato  
 2099**



L'ultima zona, rappresentata con il codice 2099, fa riferimento al substrato affiorante o al massimo che presenta una copertura esigua dello spessore massimo di 3 m. Tale substrato, sulla base di tutte le prove geofisiche effettuate, si presenta molto fratturato e fratturato per un intervallo compreso tra 5 e 20 m, con velocità delle onde di taglio al di sotto degli 800 m/s. Successivamente, può essere considerato sempre un substrato sismico, come emerso anche dalla prova sismica in foro di tipo *Downhole* vista in precedenza.

Nel complesso, l'andamento tipico della velocità delle onde di taglio in tale litologia, determinata attraverso indagini MASW eseguite, viene riassunto nella figura sottostante.

2099 (SFALS)	1	Riperto/Terrano Vegetale (RI/PT/OL)	120	
	1.5	Scaglia cinerea/Bisciaro/Schlier molto alterato (SFALS)	250	400
	fino a 20 m	Scaglia cinerea/Bisciaro/Schlier alterato (SFALS)	550	700
	>	Scaglia cinerea/Bisciaro/Schlier (ALS)		1300

Viene mostrata di seguito la MASW17, effettuata nel settore N dell'area oggetto di indagini di Microzonazione Sismica di Livello 3, dove per contatto tettonico sono presenti Scaglia cinerea appenninica, Bisciaro e Schlier. La  $V_s$  massima, fino a 50 m di profondità, non va oltre i 700 m/s: su tale valore risiedono però le incertezze di essere spesso sottostimato come nel confronto visto in precedenza con la *Downhole* oppure è proprio la presenza dei diversi contatti tettonici mappati anche nella Carta geologico-tecnica che hanno reso alquanto fratturato il substrato fino a profondità prossime ai 50 m, di conseguenza con valori di  $V_s$  al di sotto degli 800 m/s.

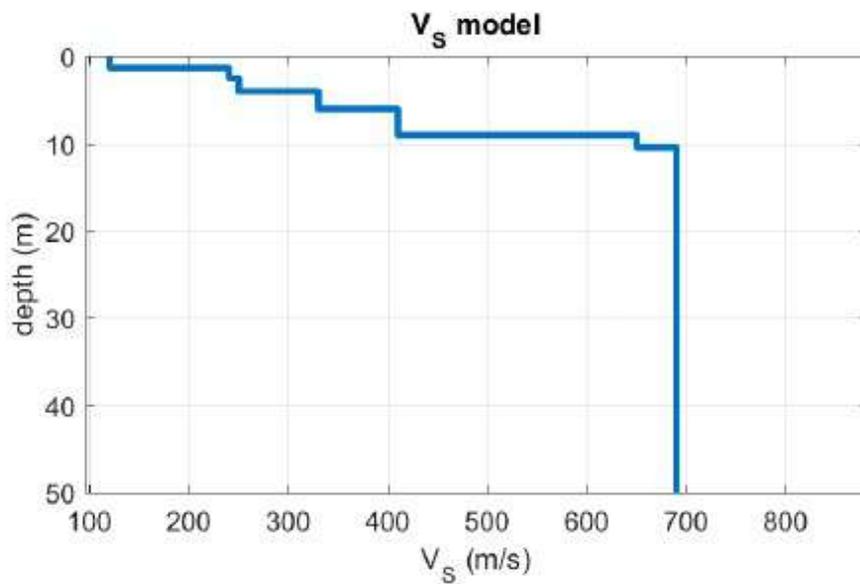


Figura 63 – Profilo Vs relativo alla MASW17.

L'incremento di intensità risentita in caso di sisma è decisamente ridotto rispetto alle MOPS viste in precedenza: le misure HVSr effettuate mostrano picchi a frequenze oltre i 10 Hz (043034P166HVSr336 e 043034P168HVSr338), data la presenza di una fascia estremamente fratturata.

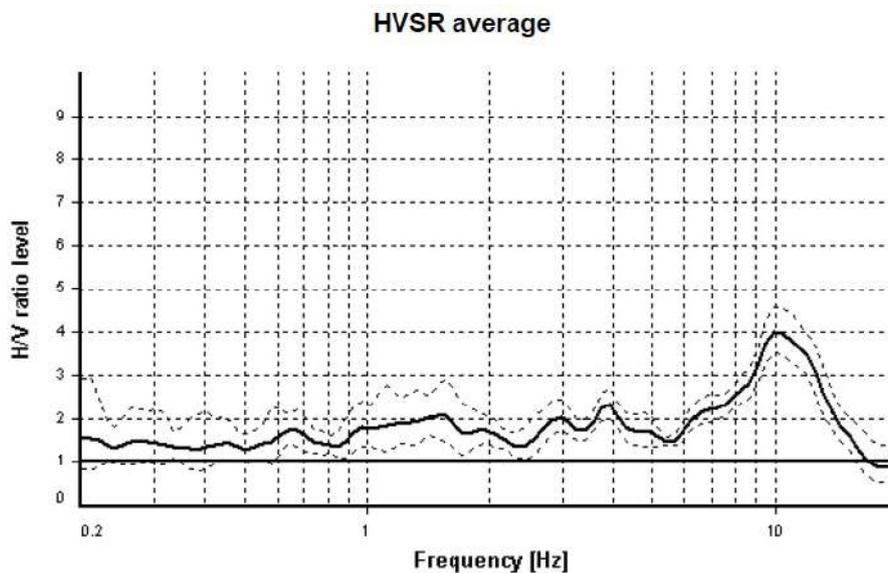


Figura 64 – Misura HVSr effettuata nel settore settentrionale dell'area oggetto di Microzonazione Sismica.

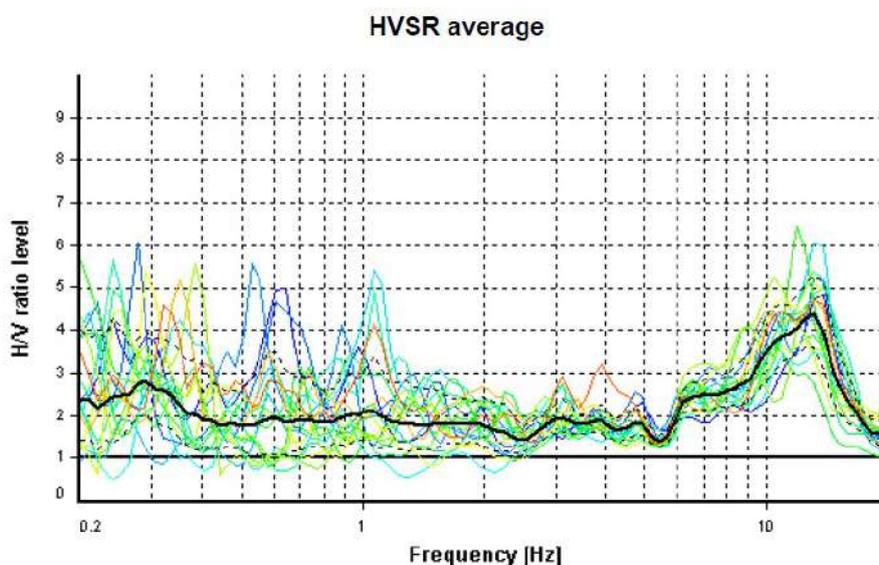


Figura 65 – Misura HVSR effettuata nel settore settentrionale dell'area oggetto di Microzonazione Sismica.

Sulla base di tali osservazioni e misurazioni, i fattori di amplificazione emersi dalla modellazione 1D sono risultati come segue:

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1,27	1,05	1,03

Tali valori sono stati successivamente corretti, a seguito di una nota dell'Unità Operativa Marche1 che, preso atto della presenza spesso di substrato affiorante in situazioni morfologiche complesse, hanno proposto di moltiplicare i valori di FA per coefficienti correttivi che tengono conto della topografia del sito.

Le classi di pendenza sono state definite in QGIS mediante la funzione “*Slope*” applicata al *Digital Elevation Model* (Figura 20).

Il documento trasmesso dal Centro di MS viene illustrato di seguito.

### Procedura per la stima del coefficiente di amplificazione topografica

Campo di applicazione: serve per stimare l'amplificazione topografica per pendii e creste (Fig. 1a e 1b rispettivamente) dove non verranno eseguite analisi 2D; il coefficiente di amplificazione topografica andrà moltiplicato per il fattore di amplificazione FA che deriva dall'analisi 1D e copre quindi solo effetti stratigrafici.

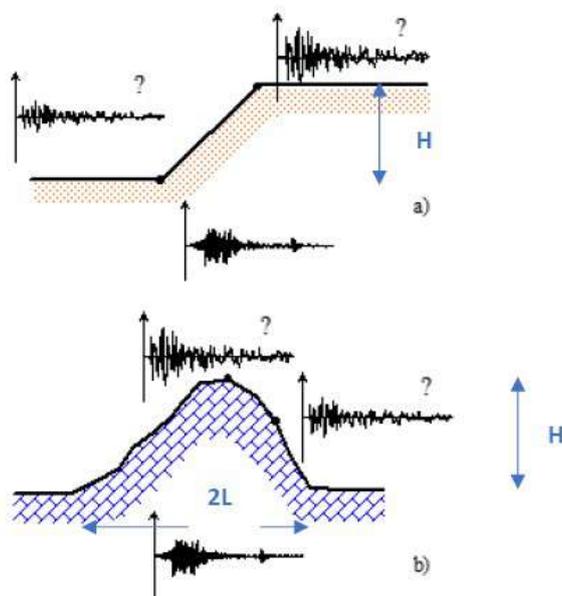


Fig. 1. Configurazioni topografiche considerate: rilievo isolato (a), pendio (b)

Miglioramenti rispetto ai coefficienti di normativa: nella procedura proposta si tiene conto della dipendenza dell'amplificazione topografica dalla frequenza (cioè dell'evidenza che i fenomeni di amplificazione topografica avvengono prevalentemente in determinati campi di periodo); per le creste si valuta in maniera quantitativamente più realistica il fenomeno (i fattori di normativa, al massimo 1.4, possono sottostimare i fenomeni).

### Pendii

Sulla sommità dei pendii i fenomeni di amplificazione topografica interessano prevalentemente i valori di periodo intorno a (Ashford et al., 1997):

$$T_0 = 5H/V_s \quad (1)$$

dove H è altezza del pendio (Fig.1a),  $V_s$  è la velocità delle onde di taglio media (pesata sullo spessore) dei materiali che costituiscono il pendio.

In accordo con i risultati ottenuti da Ashford et al. (1997), il fattore di amplificazione topografica alla sommità del pendio può essere posto:

$S_T = 1.0$  per pendii di inclinazione minore di  $15^\circ$

$S_T = 1.2$  per pendii di inclinazione maggiore di  $15^\circ$  e minore di  $30^\circ$

$S_T = 1.4$  per pendii di inclinazione maggiore di  $30^\circ$  (e fino a  $75^\circ$ )

$S_T = 1.55$  per pendii subverticali (rupi)

Stimato  $T_0$  con la (1), si valuta l'intervallo di inclinazione di interesse e si moltiplica per il corrispondente  $S_T$  il fattore di amplificazione FA relativo all'intervallo di periodo in cui ricade  $T_0$ . Es. se  $T_0=0.2$  s si moltiplica per  $S_T$  solo il fattore FA calcolato nel campo 0.1-0.5s e non quelli tra 0.4-0.8s e 0.7-1.1s.

Lungo il pendio si usa sempre la (1) ponendo, se l'inclinazione è maggiore di  $15^\circ$ , sempre  $S_T=1.2$ .

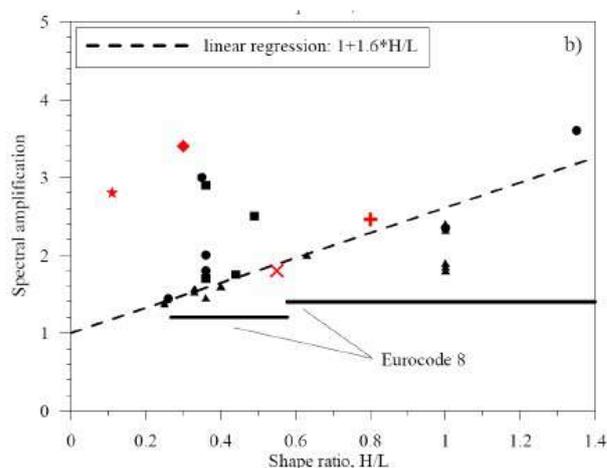
### Rilievi isolati

Alla cresta di rilievi isolati i fenomeni di amplificazione topografica interessano prevalentemente i valori di periodo intorno a (Paolucci, 2002):

$$T_0 = (1.2) * 2L/V_s \quad (2)$$

dove L è la semi-larghezza del rilievo misurata alla base (Fig. 1b),  $V_s$  è la velocità delle onde di taglio media (pesata sullo spessore) dei materiali che costituiscono il rilievo.

Il fattore di amplificazione topografica in cresta può essere valutato a partire dalla retta di regressione riportata nel grafico di Fig. 2 in funzione del rapporto di forma H/L con H altezza del rilievo.



Fattore di amplificazione topografica per rilievi isolati (Pagliaroli et al., 2007)

Stimato  $T_0$  con la (2), si moltiplica per il valore di  $S_T$ , ricavato dal grafico di Figura 2, il fattore di amplificazione FA relativo all'intervallo di periodo in cui ricade  $T_0$ .

Lungo i versanti del rilievo si usa sempre la (2) ponendo, se inclinazione maggiore di  $15^\circ$ :  $S_T = 1.2$ , se inclinazione maggiore di  $30^\circ$ :  $S_T = 1.4$ .

### Bibliografia

- ASHFORD S. A., SITAR N. (1997). Analysis of Topographic Amplification of Inclined Shear Waves in a Steep Coastal Bluff. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 87: 692-700.
- PAOLUCCI R. (2002). Amplification of earthquake ground motion by steep topographic irregularities. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 31: 1831-1853.
- PAGLIAROLI A., LANZO G., D'ELIA B., COSTANZO A., SILVESTRI F. (2007). Topographic amplification factors associated to cliff morphology: numerical results from two case studies in Southern Italy and comparison with EC8 recommendations. XIV European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Workshop on geotechnical aspect of EC8, Madrid (Spain), September 25, 2007, CD-ROM, 10 pp.

La modellazione 2D ha offerto valori maggiori nell'intervallo di periodi 0,1–0,5 s (FA<sub>max</sub> 1,4 – punto P8). Si è deciso pertanto di adottare i valori di FA emersi durante la modellazione 2D.

Per quanto riguarda le “Zone di Attenzione per le instabilità (ZA)”, sono state proposte perimetrazioni sulla base degli elementi individuati nella Carta geologico–tecnica per quanto concerne esclusivamente le instabilità di versante, tenendo conto delle zone di suscettibilità su cui insistono, a differenza degli standard usati in passato che prendevano in considerazione lo stato di attività.



ZA fr – Zona di attenzione per instabilità di versante

Per una più dettagliata descrizione delle varie tipologie, si rimanda al capitolo relativo all'assetto geomorfologico e all'illustrazione della Carta geologico–tecnica.

Altri elementi che sono stati inseriti per la redazione della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica sono: forme di superficie e sepolte (alla stessa stregua di quanto visto nella Carta geologico–tecnica), stazioni di misura del microtremore HVSR con indicazione dell'eventuale frequenza  $f_0$  (contrasto di impedenza). Non sono state richieste le isobate del substrato sepolto.

### 8.5. Carte di Microzonazione Sismica (MS) di livello 3

Tali elaborati sono costituiti da n. 3 tavole in scala 1: 5.000 che, come descritto nell'introduzione, definiscono 3 classi di intervallo dei periodi di vibrazione di interesse in relazione al numero dei piani in elevazione degli edifici presenti, o di futura edificazione, nell'area studiata (con caratteristiche omogenee):

- 0,1 – 0,5 s
- 0,4 – 0,8 s
- 0,7 – 1,1 s

In particolare, sono stati applicati i fattori FA emersi durante le modellazioni 1D o 2D a seconda delle varie situazioni viste nella descrizione delle MOPS.

Si ricorda che tali fattori si applicano alla pianificazione del territorio e possono fornire elementi di supporto alle valutazioni che il progettista responsabile degli interventi sui

manufatti deve comunque fare sotto la sua esclusiva responsabilità, anche indipendentemente dai risultati della Microzonazione Sismica di Livello 3.

I coefficienti sono stati applicati esclusivamente ad aree comprese nel settore oggetto di studio di Livello 3. Non sono stati invece applicati fattori FA alle aree instabili.

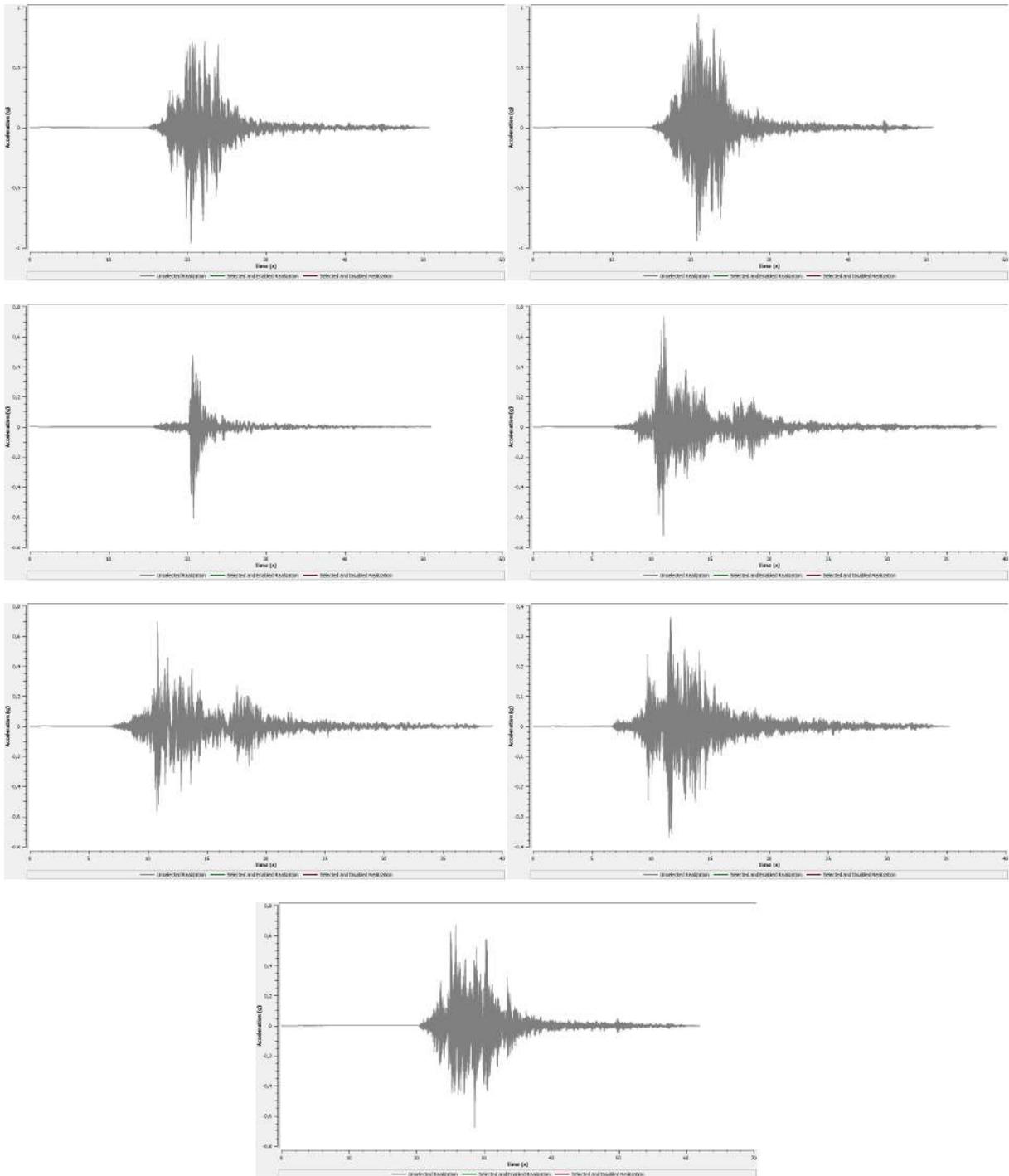
#### 8.6. Commenti finali e criticità

Vengono di seguito mostrati in forma grafica tutti gli accelerogrammi calcolati in superficie prodotti (n. 7 per ogni microzona) e tutti gli spettri di risposta elastici al 5% di smorzamento in superficie (7 per ogni microzona).

Per quanto riguarda la descrizione dei fattori di amplificazione FA, si è proceduto già nel capitolo 7.1.3. Alla fine del paragrafo si allega una tabella che riassume i valori di Vs30 per ogni microzona associando la categoria di sottosuolo secondo la tabella 3.2.11 delle N.T.C. del 2008, che permette in maniera semplificata di individuare delle categorie di sottosuolo di riferimento per la definizione dell'azione sismica di progetto.

Regione Marche – Comune di Muccia  
MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3 DEL COMUNE DI MUCCIA AI SENSI DELL'ORDINANZA DEL COMMISSARIO  
STRAORDINARIO N. 24 REGISTRATA IL 15 MAGGIO 2017 AL N. 1065  
Relazione Illustrativa

MOPS 2001 – N. 7 ACCELEROGRAMMI IN SUPERFICIE

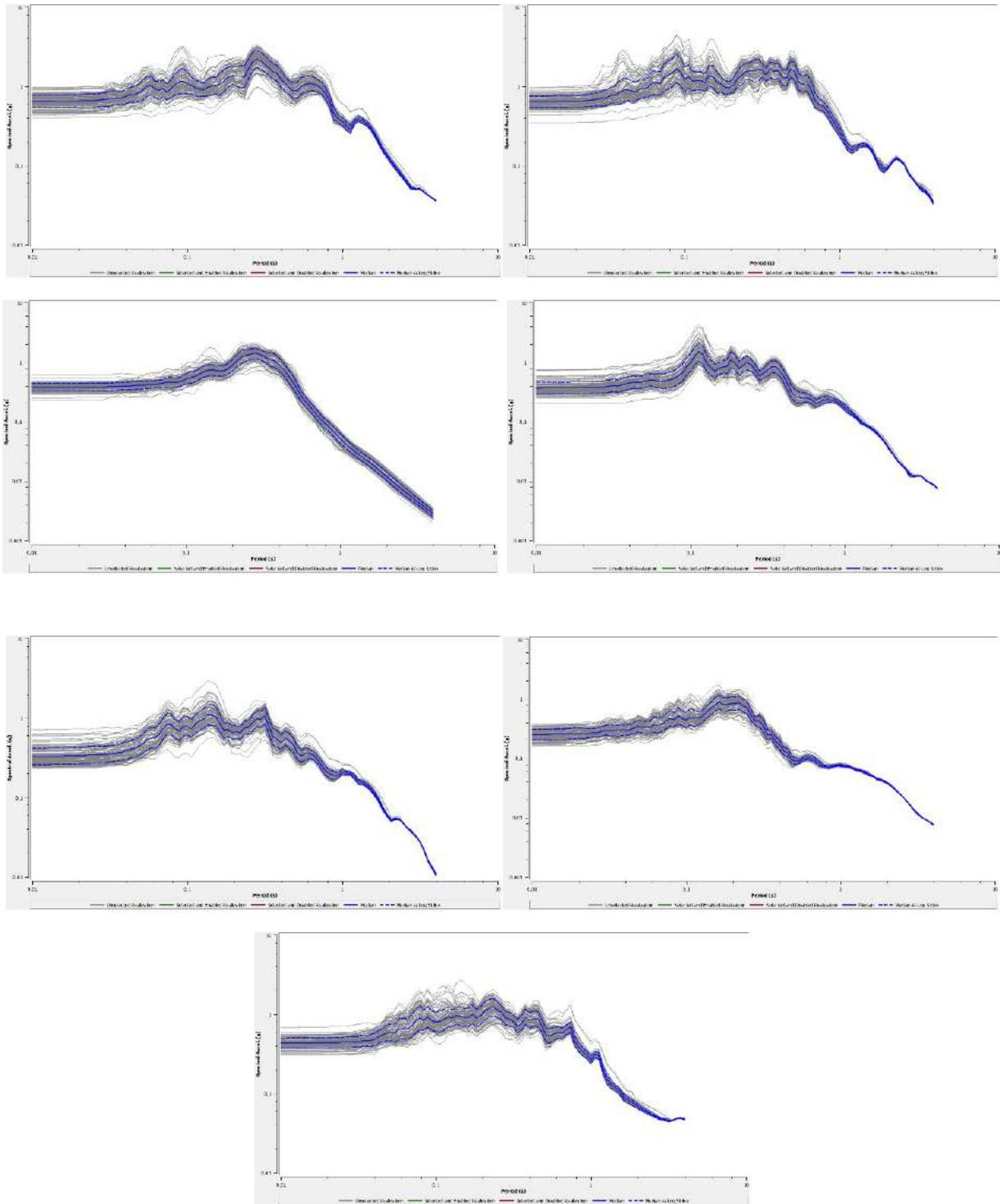


Dott. Geol. Mauro Cataldi



Regione Marche – Comune di Muccia  
MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3 DEL COMUNE DI MUCCIA AI SENSI DELL'ORDINANZA DEL COMMISSARIO  
STRAORDINARIO N. 24 REGISTRATA IL 15 MAGGIO 2017 AL N. 1065  
Relazione Illustrativa

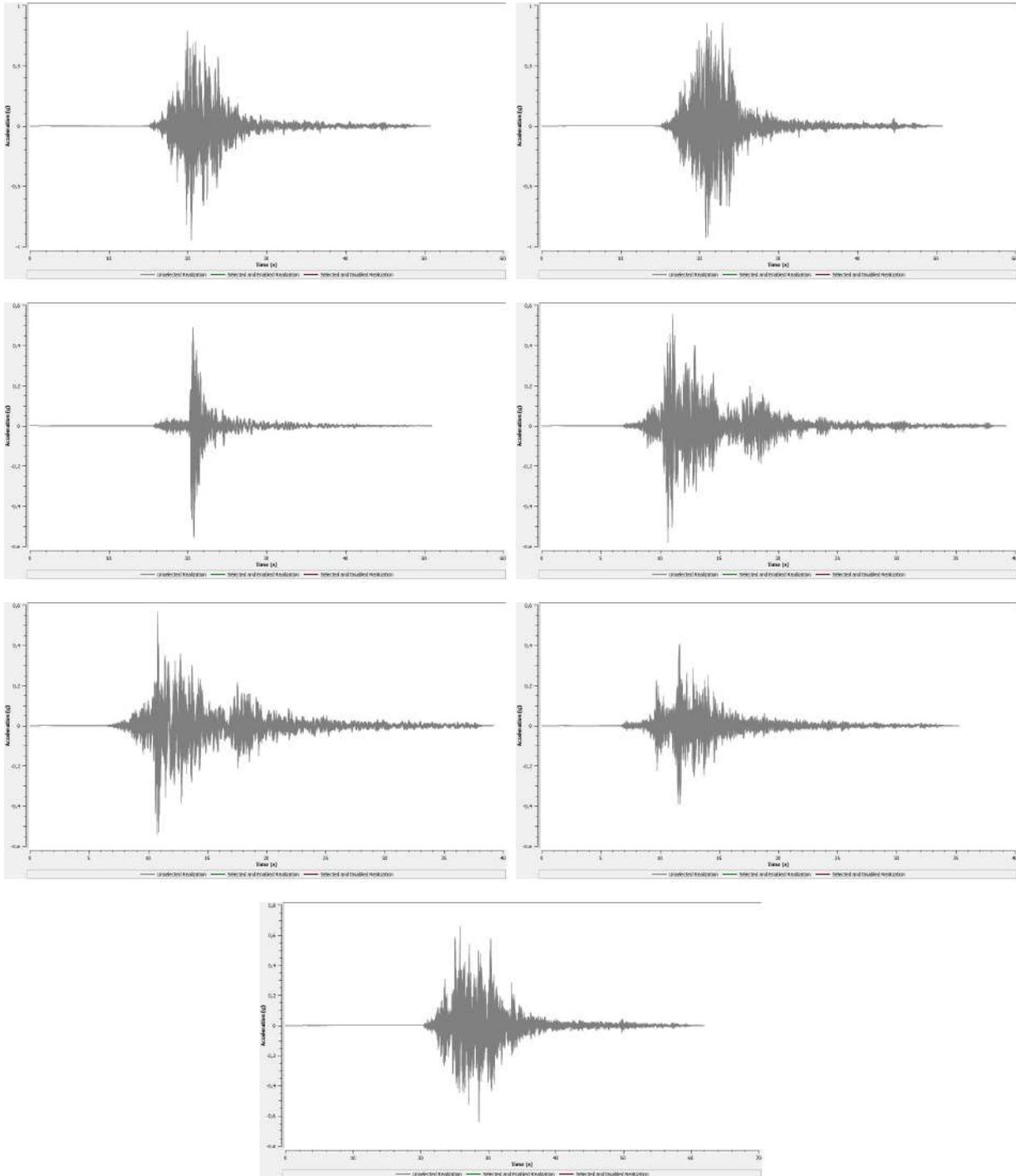
MOPS 2001 – N. 7 SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI IN SUPERFICIE



Dott. Geol. Mauro Cataldi



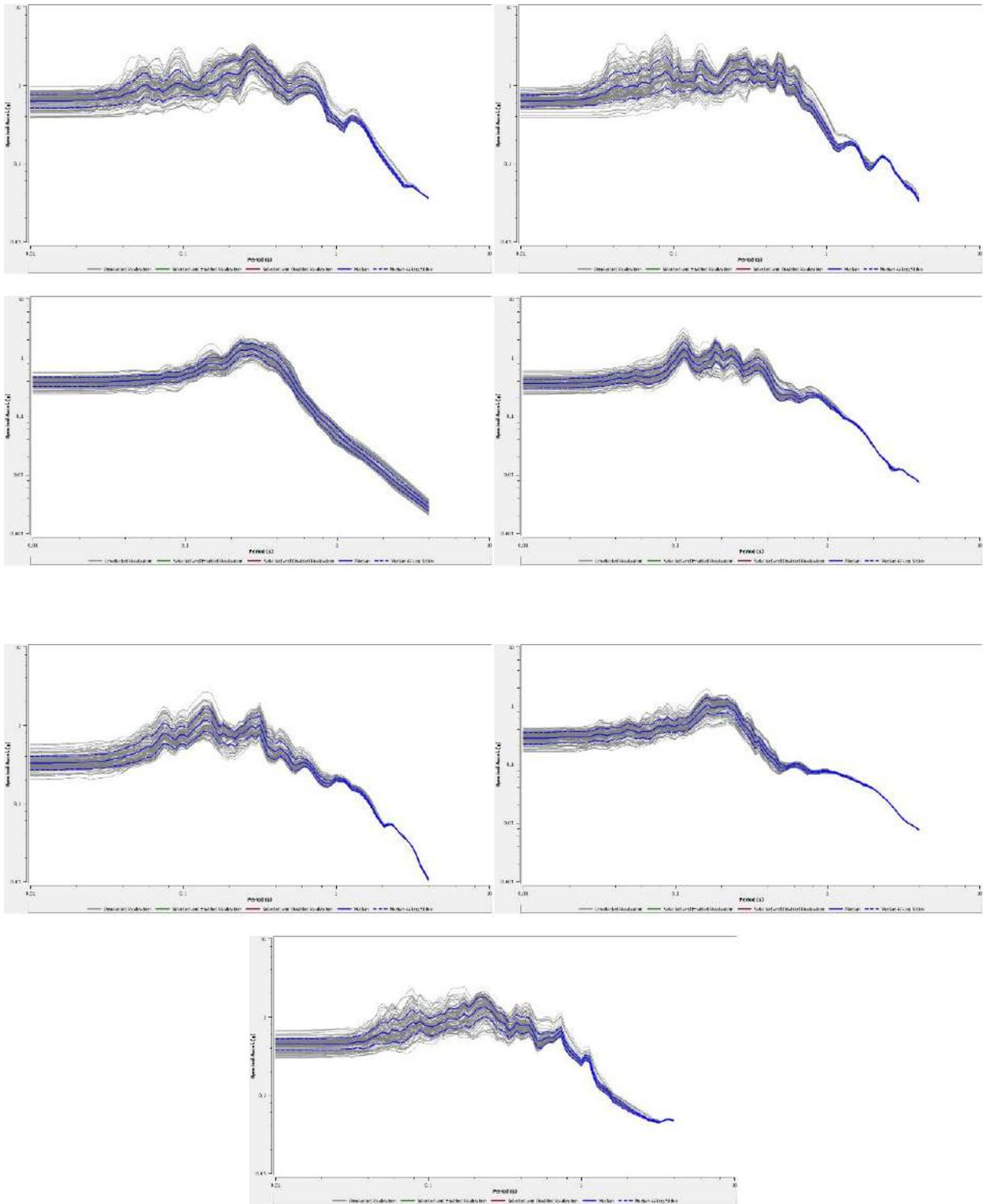
MOPS 2002 – N. 7 ACCELEROGRAMMI IN SUPERFICIE



Dott. Geol. Mauro Cataldi

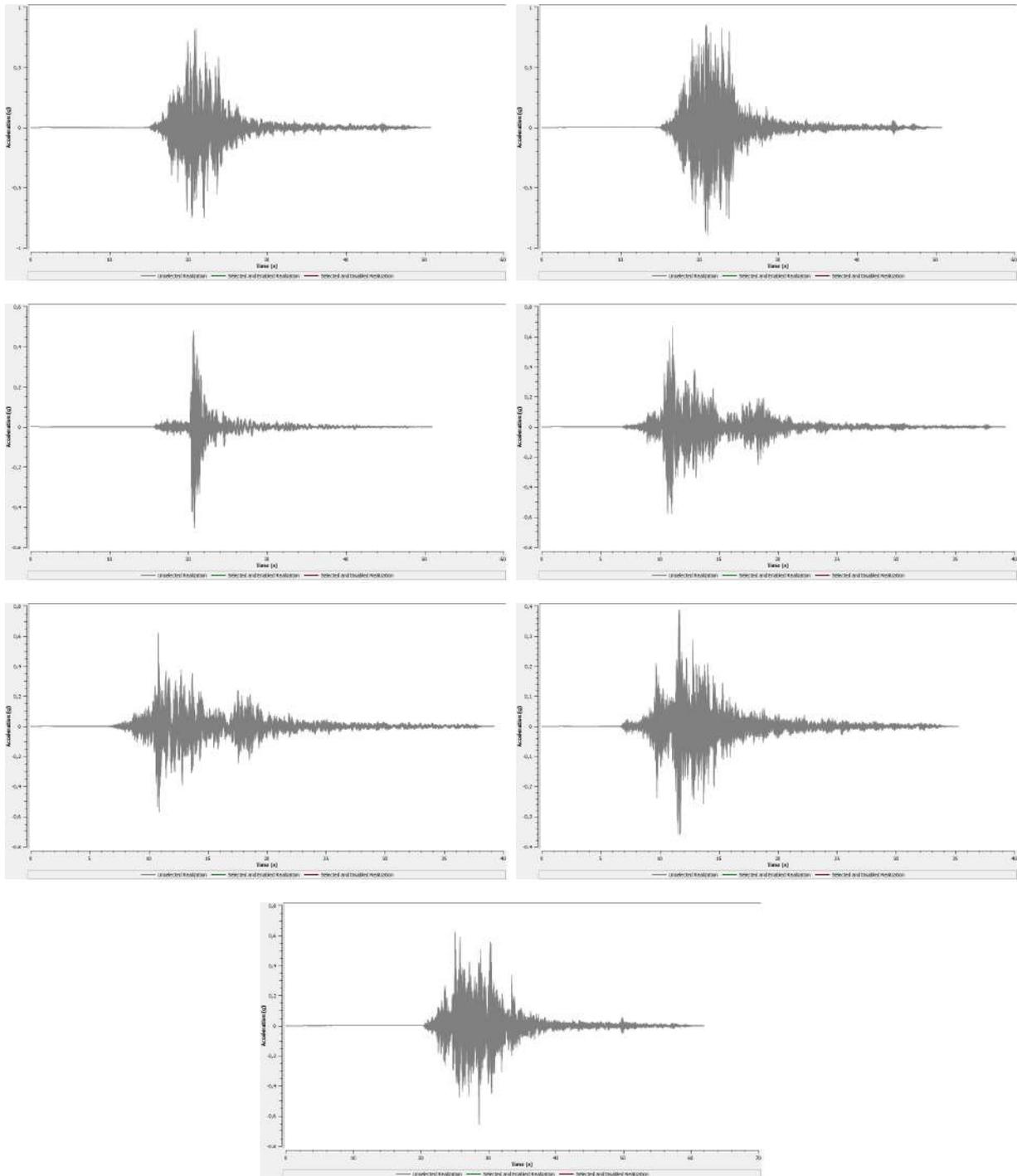


MOPS 2002 – N. 7 SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI IN SUPERFICIE



Regione Marche – Comune di Muccia  
MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3 DEL COMUNE DI MUCCIA AI SENSI DELL'ORDINANZA DEL COMMISSARIO  
STRAORDINARIO N. 24 REGISTRATA IL 15 MAGGIO 2017 AL N. 1065  
Relazione Illustrativa

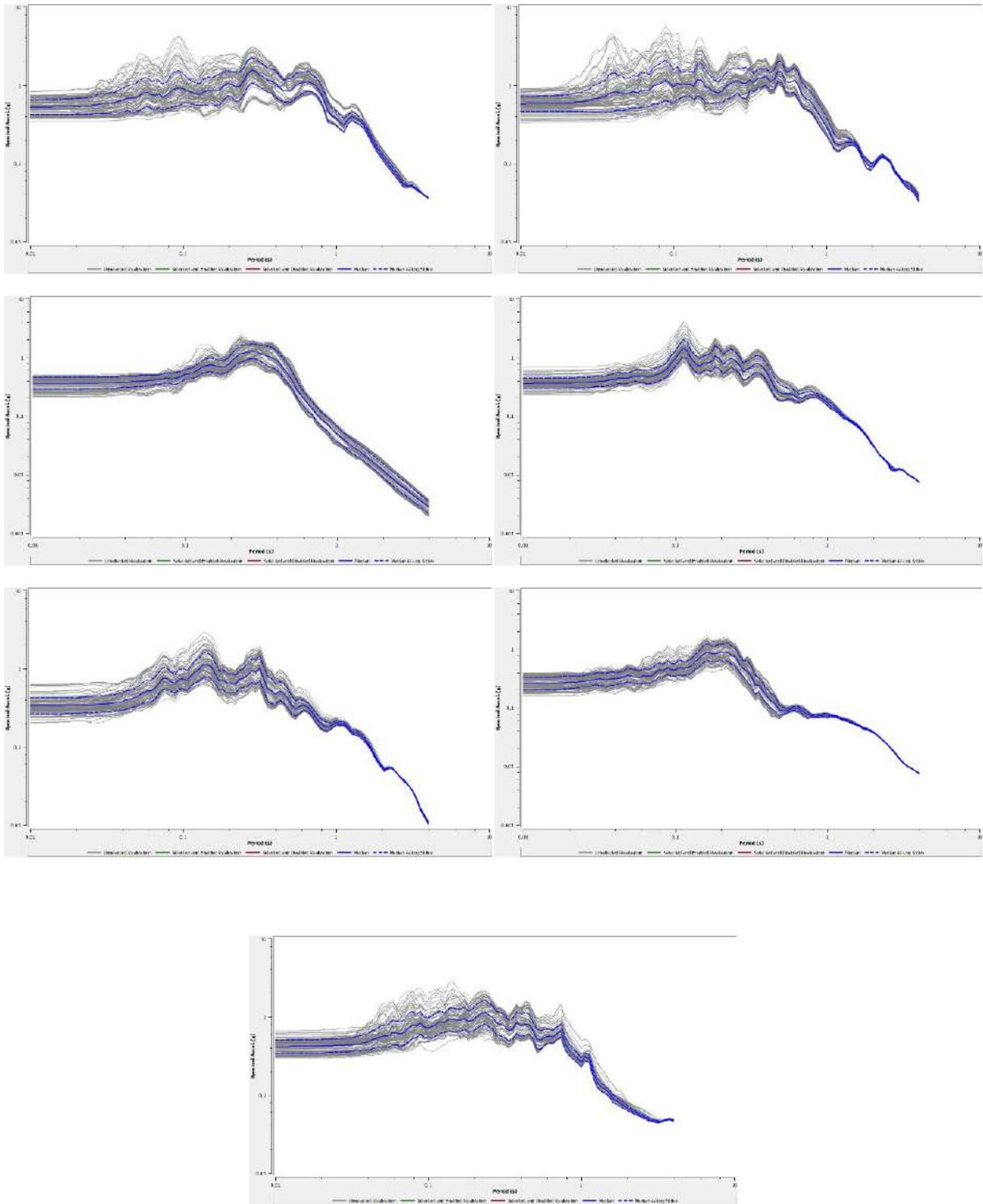
MOPS 2003 – N. 7 ACCELEROGRAMMI IN SUPERFICIE



Dott. Geol. Mauro Cataldi



MOPS 2003 – N. 7 SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI IN SUPERFICIE

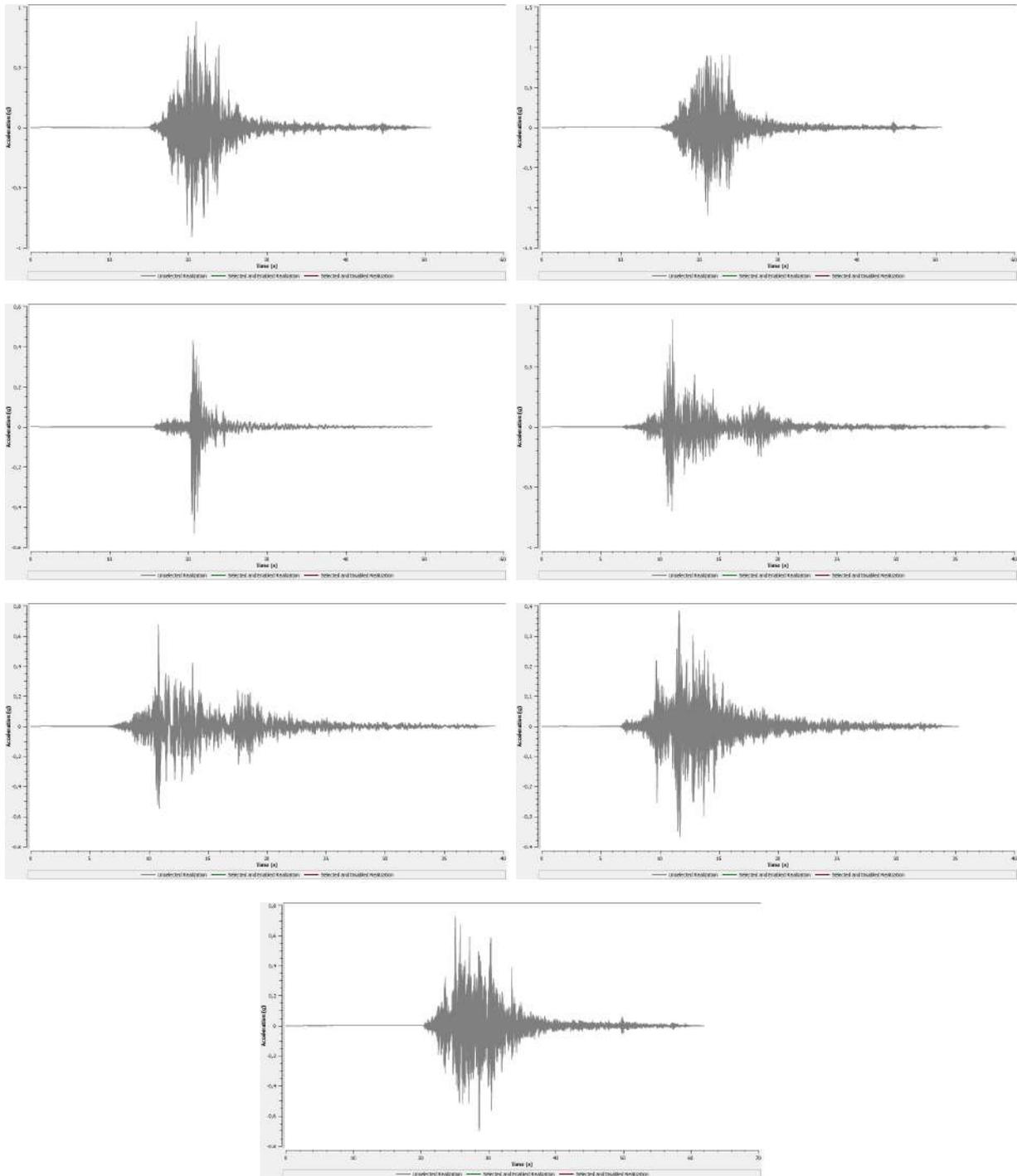


Dott. Geol. Mauro Cataldi



Regione Marche – Comune di Muccia  
MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3 DEL COMUNE DI MUCCIA AI SENSI DELL'ORDINANZA DEL COMMISSARIO  
STRAORDINARIO N. 24 REGISTRATA IL 15 MAGGIO 2017 AL N. 1065  
Relazione Illustrativa

MOPS 2004 – N. 7 ACCELEROGRAMMI IN SUPERFICIE

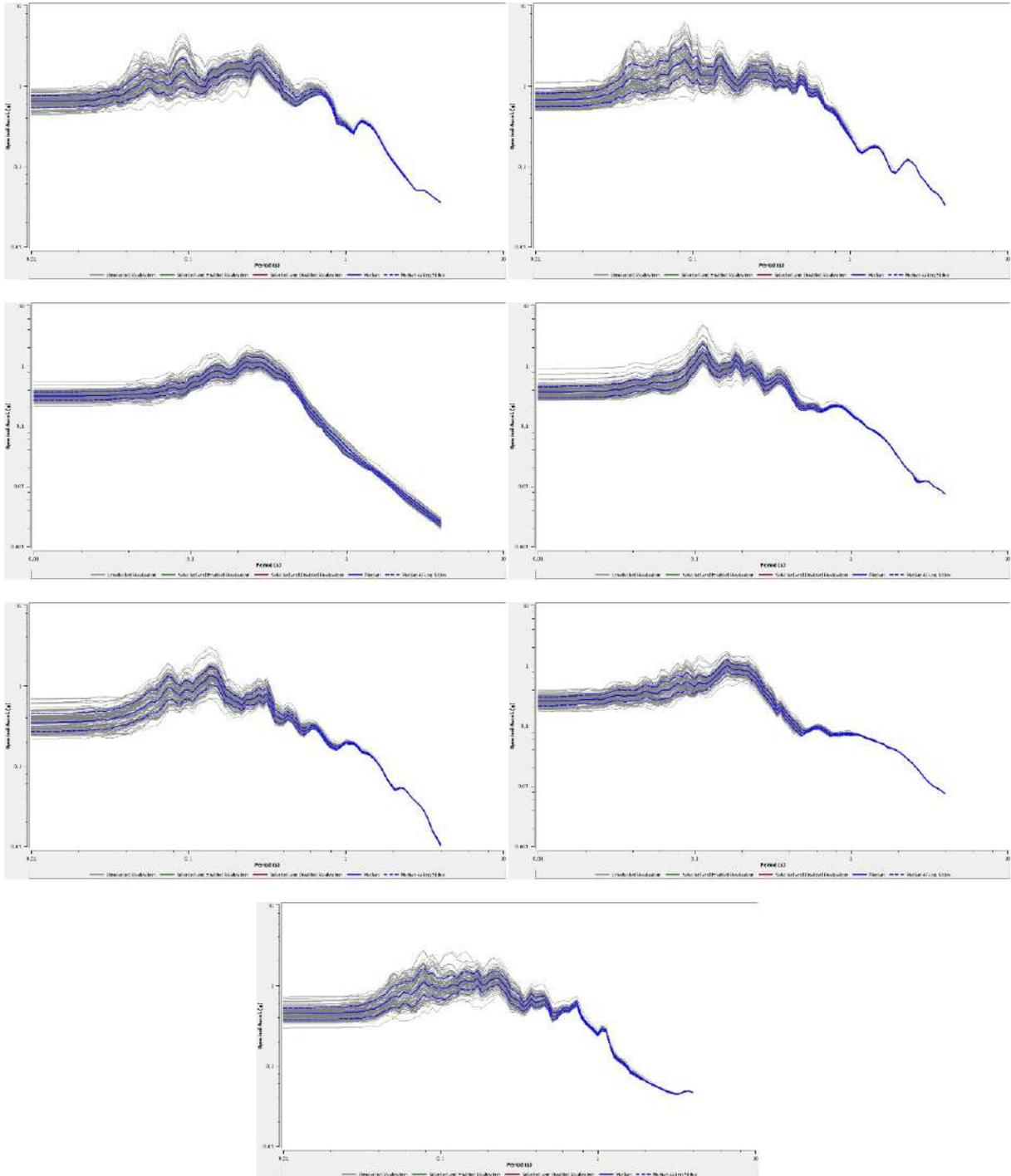


Dott. Geol. Mauro Cataldi



Regione Marche – Comune di Muccia  
MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3 DEL COMUNE DI MUCCIA AI SENSI DELL'ORDINANZA DEL COMMISSARIO  
STRAORDINARIO N. 24 REGISTRATA IL 15 MAGGIO 2017 AL N. 1065  
Relazione Illustrativa

MOPS 2004 – N. 7 SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI IN SUPERFICIE

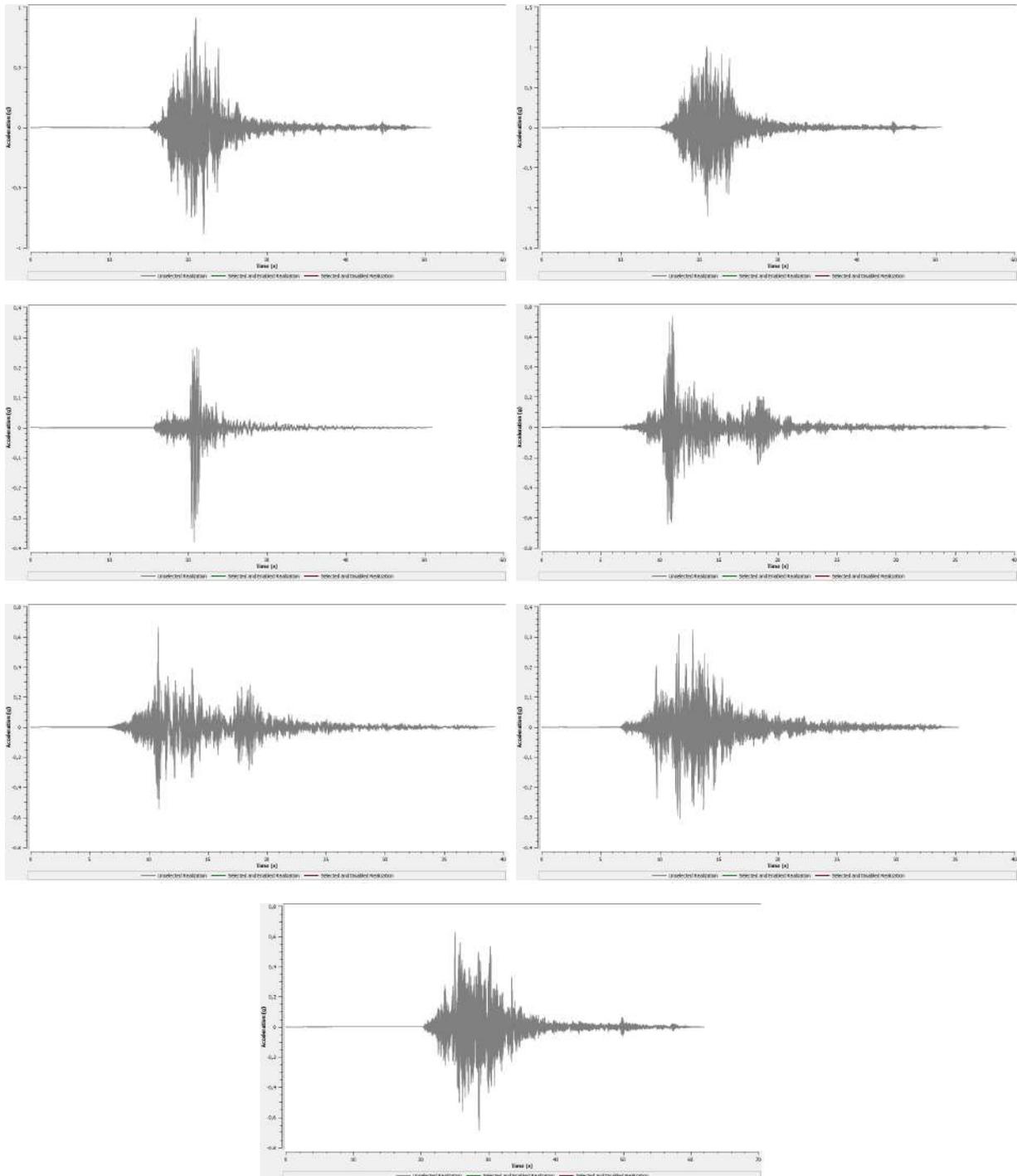


Dott. Geol. Mauro Cataldi



Regione Marche – Comune di Muccia  
MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3 DEL COMUNE DI MUCCIA AI SENSI DELL'ORDINANZA DEL COMMISSARIO  
STRAORDINARIO N. 24 REGISTRATA IL 15 MAGGIO 2017 AL N. 1065  
Relazione Illustrativa

MOPS 2099 – N. 7 ACCELEROGRAMMI IN SUPERFICIE

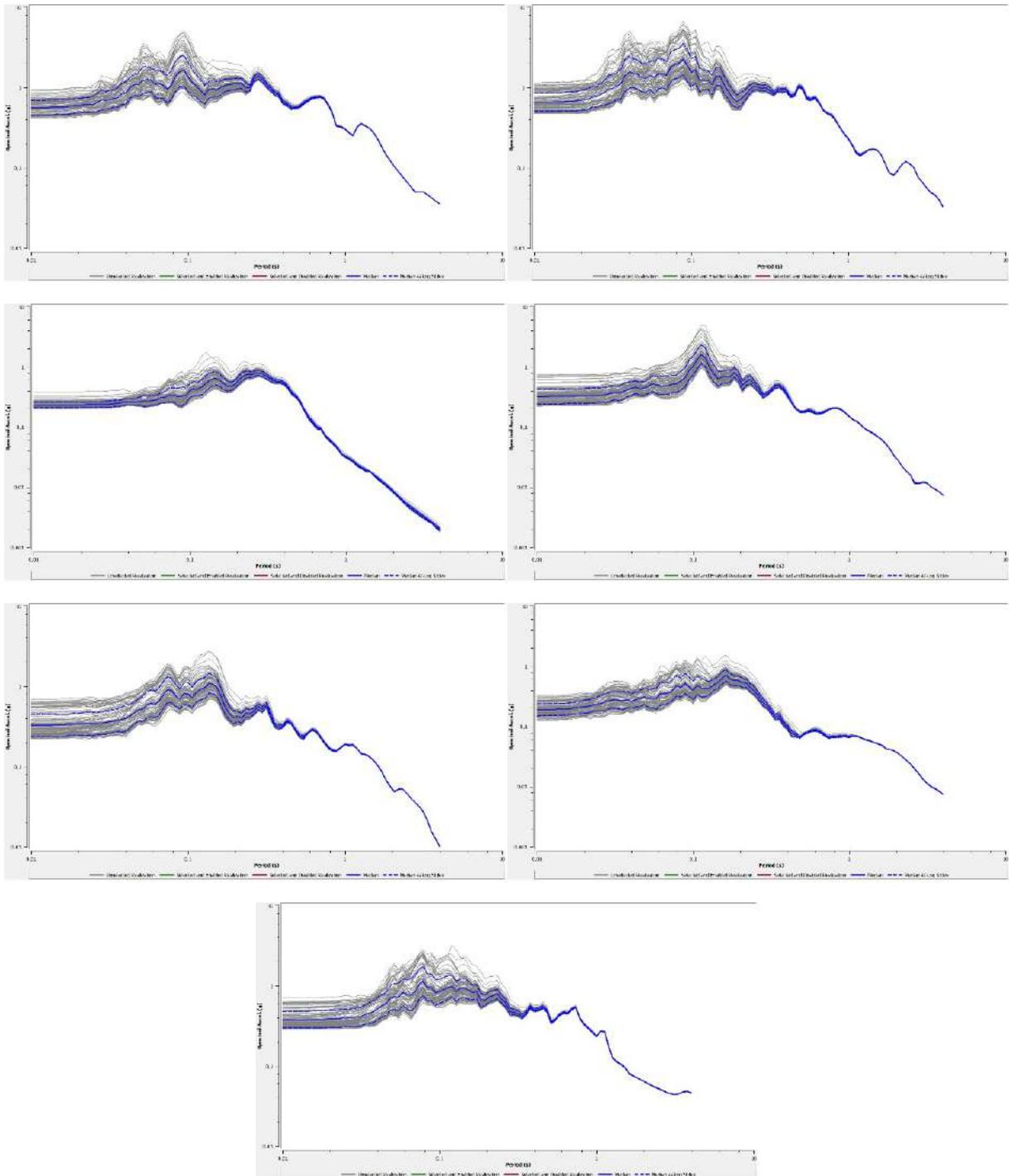


Dott. Geol. Mauro Cataldi



Regione Marche – Comune di Muccia  
MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3 DEL COMUNE DI MUCCIA AI SENSI DELL'ORDINANZA DEL COMMISSARIO  
STRAORDINARIO N. 24 REGISTRATA IL 15 MAGGIO 2017 AL N. 1065  
Relazione Illustrativa

MOPS 2099 – N. 7 SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI IN SUPERFICIE



Dott. Geol. Mauro Cataldi



Tabella 8 – Categorie di suolo (da NTC 2008).

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di VS,30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o di terreni a grana fina molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di VS,30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT,30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu,30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di VS,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT,30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu,30 < 250 kPa nei terreni a grana fina).
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di VS,30 inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT,30 < 15 nei terreni a grana grossa e cu,30 < 70 kPa nei terreni a grana fina).
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con VS > 800 m/s).
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di VS,30 inferiori a 100 m/s (ovvero 10 < cu,30 < 20 kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Per il caso in esame, ad ogni microzona individuata nella Carta delle MOPS vengono attribuite le seguenti velocità medie Vs, derivate da tutte le MASW eseguite e reperite e la seguente categoria di suolo.

n. MOPS	2001	2002	2003	2004	2009
Vs,30 (m/s)	371	400	326	622	456
CATEGORIA SUOLO	S2	E/S2	E/S2	B/S2	B/S2

## 9. Confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati

Come già ampiamente trattato nel precedente capitolo 2, relativo agli eventi sismici di riferimento, il territorio comunale di Muccia, ha registrato nel passato episodi sismici anche distruttivi.

È stata eseguita una ricerca sugli eventi passati che hanno riguardato il territorio comunale di Muccia. Le informazioni che seguono sono per lo più tratte dal portale <http://storing.ingv.it/cfti4med/>

1785: Le scosse iniziarono a Muccia il giorno 5 febbraio 1785 senza causare danni; replicarono più forti e frequenti dal 21 di marzo in poi causando a Serravalle di Chienti l'apertura di lesioni in muri male costruiti. Il 28 aprile a Muccia vi furono 20–30 scosse in poche ore accompagnate da numerosi rombi; a Serravalle fra le 19:30 GMT del 28 aprile e le 2:00 GMT ca. del 29 (tra le ore 1 e le ore 7 e mezza di notte in orario all'italiana) furono sentite 5 brevi scosse, di cui l'ultima fu la più forte; il 29 aprile a Serravalle vi furono circa 20 repliche. Il 2 maggio alle ore 20:10 GMT ca. (1 e mezza in orario all'italiana) a Muccia fu avvertita una scossa sensibile accompagnata da rombo che causò tremolio di vetri; alle ore 1:15 GMT del 3 maggio vi fu una forte scossa che produsse scuotimento di letti, seguirono poi fino alle ore 2:30 GMT altre 15 scosse, l'ultima delle quali fu più intensa e accompagnata da un forte rombo; tali scosse non superarono la durata di 5–6 secondi; tra le ore 3:00 e le 4:00 GMT ve ne furono parecchie altre (1). Il 23 giugno e il 2 agosto a Serravalle furono avvertite due nuove forti scosse (2).

(1)

Augusti M.

Lettera del padre Lettore Don Michele Augusti monaco Olivetano diretta al Padre Don Piermaria Rosini suo correligioso sopra i terremoti, ed aeremoti di Camerino, e di Seravalle, in data di Roma dei 10 maggio 1785, in "Antologia Romana", vol.11, n.49, pp.393–399, n.50, pp.401–407.

Dott. Geol. Mauro Cataldi



Roma 1785

(2)

Archivio di Stato di Roma, Camerale II, Terremoti, b.2, n.7, Terremoto del 1784 [1785] nel Comune di Serravalle (Diocesi di Nocera), Supplica del parroco e della popolazione di Serravalle al papa Pio VI, Serravalle di Chienti giugno 1785.

1799: Secondo quanto asserisce nella sua dissertazione il medico Moreschini (1802), il paese fu danneggiato in modo non grave (1).

(1)

Moreschini M.

Ragionamento storico-filosofico sul tremuoto accaduto in Camerino il dì 28 luglio 1799.

Camerino 1802

1979: In seguito al terremoto, alcune case gravemente lesionate furono giudicate inagibili; furono danneggiati il municipio e il motel dell'Agip (1).

(1)

ANSA, Notiziario italiano, 1979.09.21.

Roma 1979

Uno degli eventi sismici per il quale si può disporre di informazioni riguardanti la distribuzione del danneggiamento è il terremoto Umbria-Marche del 1997 che ha condizionato la storia della località in esame.

La prima impressione che si è avuta, sulla base alle pratiche di ristrutturazione depositate presso il Comune di Muccia (Figura 66) è che tale Comune fu duramente colpito, tant'è che fu assegnato il grado di 9,5 nella scala macrosismica di Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS, 1930), quindi tra il distruttivo e il completamente distruttivo.

Dott. Geol. Mauro Cataldi



Regione Marche – Comune di Muccia  
 MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3 DEL COMUNE DI MUCCIA AI SENSI DELL'ORDINANZA DEL COMMISSARIO  
 STRAORDINARIO N. 24 REGISTRATA IL 15 MAGGIO 2017 AL N. 1065  
 Relazione Illustrativa

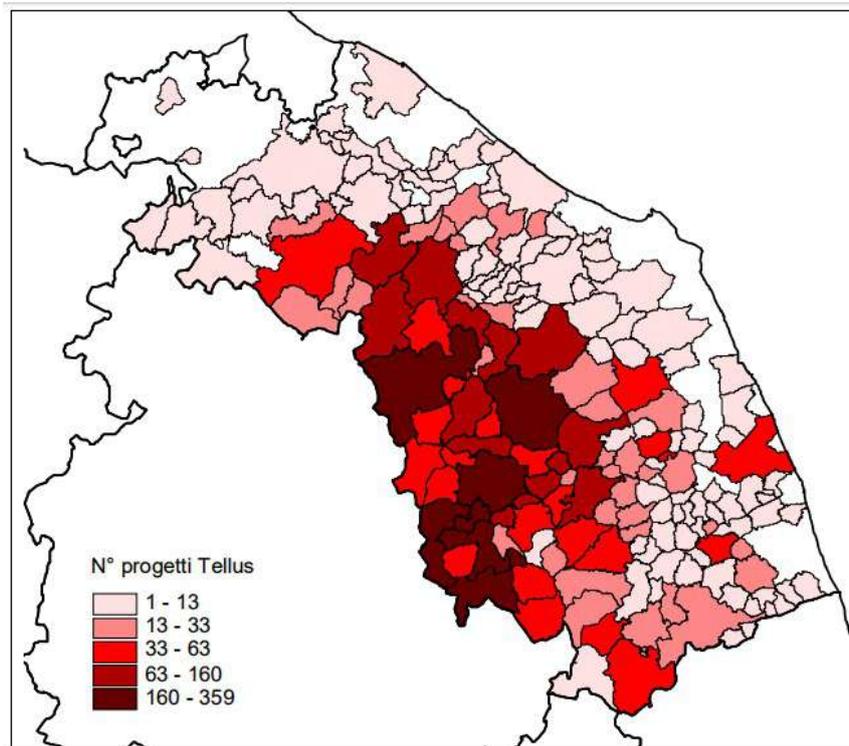


Figura 66 – Numero delle pratiche presentate per Comune.

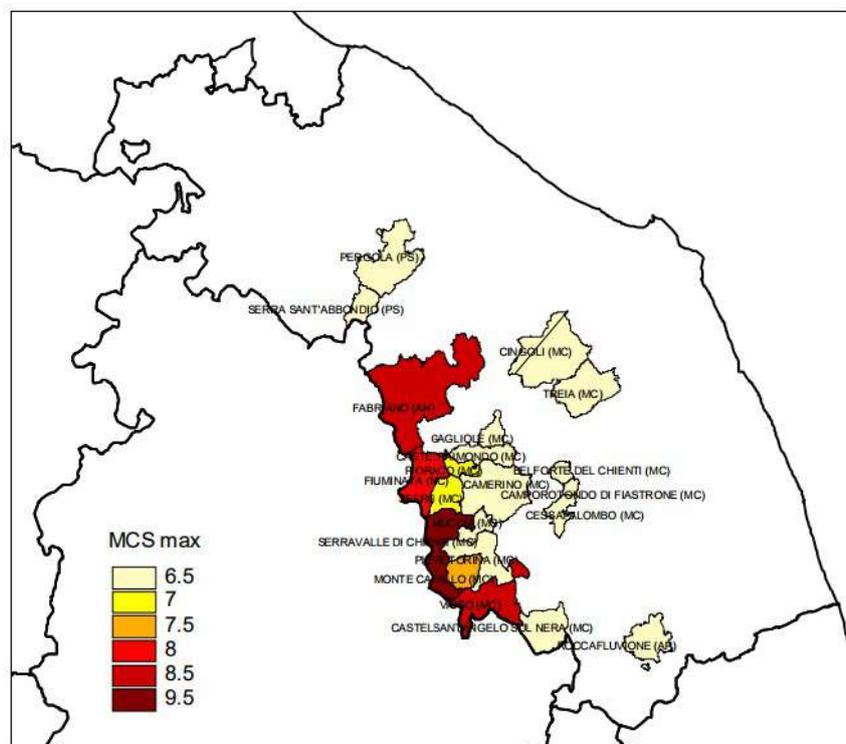


Figura 67 – Intensità macrosismica risentita.

Dott. Geol. Mauro Cataldi



IX grado. Distruttivo: circa la metà delle case in pietra sono seriamente distrutte, molte crollano, la maggior parte diviene inabitabile. Case ad intelaiatura sono divelte dalle proprie fondamenta e compresse su se stesse, in tal modo vengono tranciate le travi di supporto degli ambienti ed in presenza di tali circostanze esse contribuiscono a distruggere considerevolmente le case.

X grado. Completamente distruttivo: gravissima distruzione di circa i 3/4 degli edifici; crolla la maggior parte delle costruzioni. Perfino solidi edifici di legno e ponti ben costruiti subiscono gravi lesioni, alcuni vengono distrutti. Argini e dighe ecc., chi più chi meno, sono danneggiati in maniera considerevole; i binari vengono leggermente piegati e le tubature (gas, acqua e scarichi) subiscono troncamenti, rotture e schiacciamenti. Nelle strade lastricate e asfaltate si formano crepe e per la pressione nel suolo si creano ampi corrugamenti ondulati. In terreni meno compatti e specialmente in quelli umidi si creano spaccature dell'ampiezza di più decimetri; in particolar modo si notano parallelamente ai corsi d'acqua fenditure che raggiungono larghezze fino a un metro. Non solo dai pendii scivola il terreno più franoso, ma interi macigni rotolano a valle. Grossi massi si staccano dagli argini dei fiumi e dalle coste scoscese; sulle rive basse e piatte si verificano spostamenti di masse sabbiose e fangose; ciononostante il rilievo del terreno non subisce cambiamenti essenziali. Spesso i pozzi variano il livello dell'acqua. Da fiumi, canali, laghi, ecc. le acque vengono spinte contro le rispettive sponde.

L'abitato di Muccia è stato profondamente segnato dai sismi del 26 e del 30 ottobre 2016 tant'è che il centro storico e la località di Giove che insistono sulle MOPS2099, 2003 e 2004 sono tutt'ora zona rossa (Figure 68 e 69).

Danneggiati tutti gli edifici pubblici, scuole, palestra, la sede del Comune, il Teatro e le chiese. Inagibili tutti gli edifici intorno a Piazza della Vittoria, Via Piazzetta, Via Roma, Vicolo del Colle e Via Cavalieri di Vittorio Veneto, compatibilmente ai coefficienti FA determinati.

Sono risultati invece agibili, dopo i rilievi AeDES, pochi edifici costruiti dopo gli anni 2000 ubicati in Via Fonte del Colle e Via Macario Muzio (MOPS2001) e Via Mazzini (MOPS2002) gran parte dei quali insistenti su fondazioni profonde.

Per quanto riguarda l'area produttiva di Varano (Figura 70) delocalizzate gran parte delle attività commerciali; nella località Maddalena (Figura 71) sono risultati inagibili quasi tutti i fabbricati.

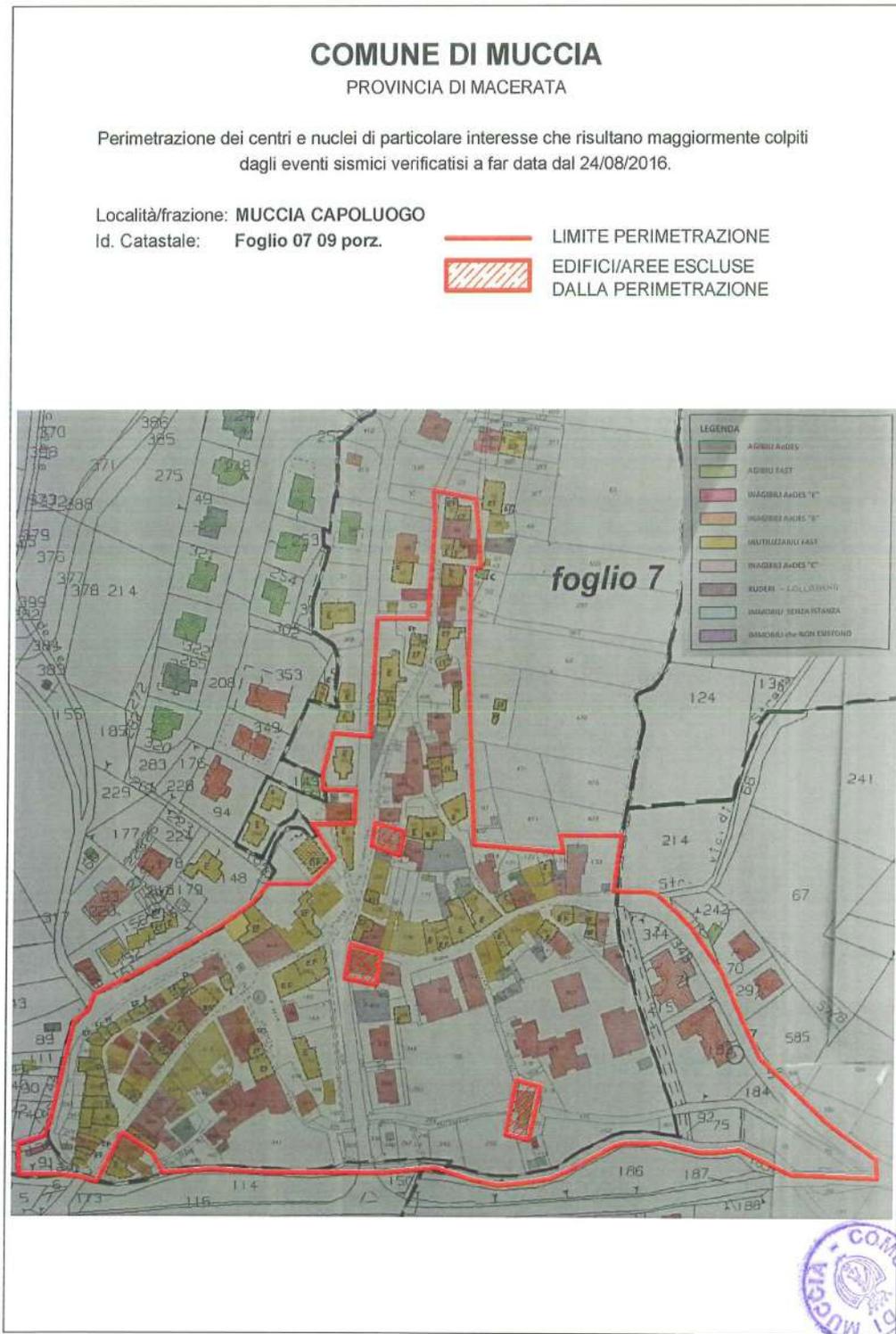


Figura 68 – Distribuzione del danno nel centro storico di Muccia.

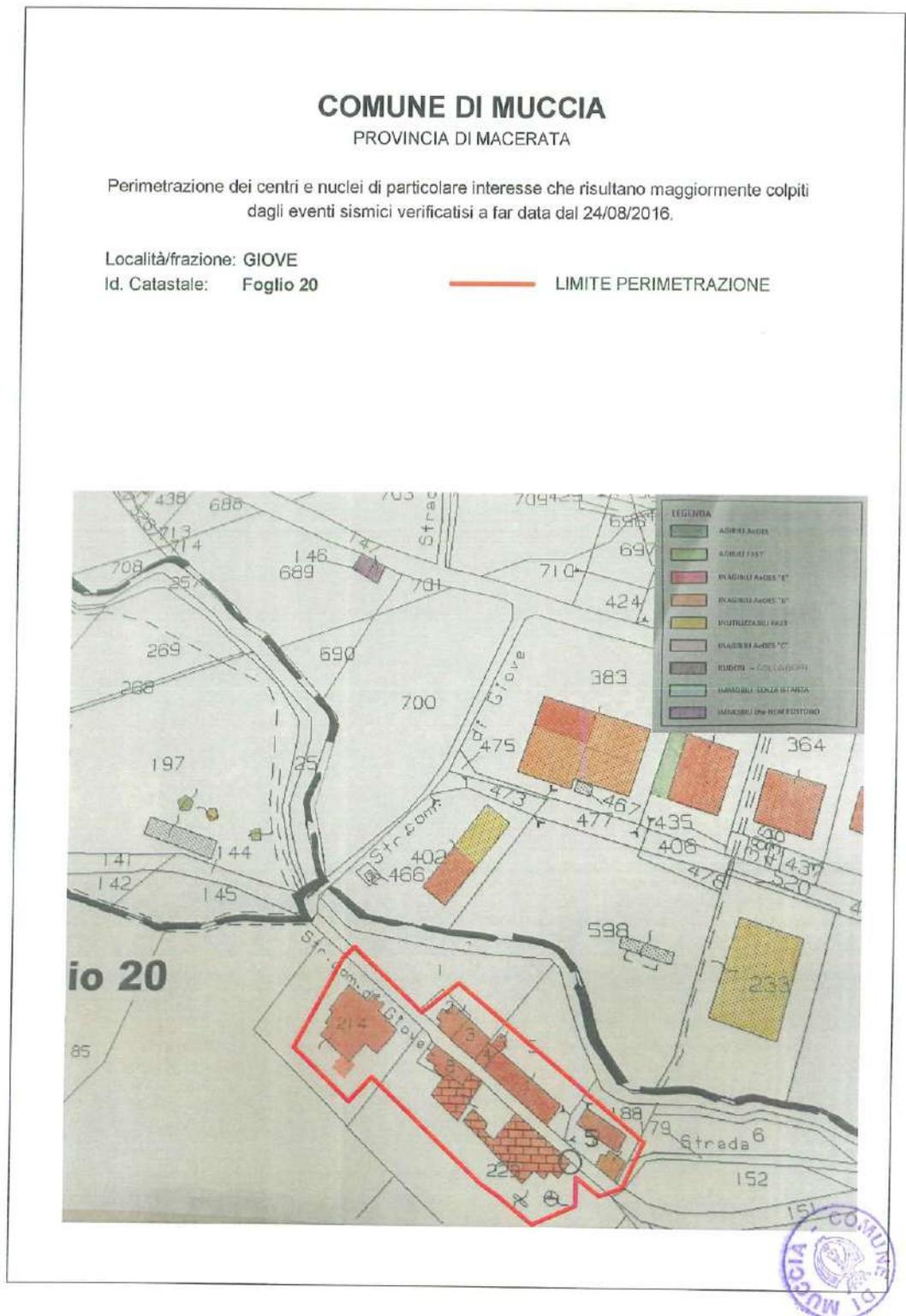


Figura 69 – Distribuzione del danno nell'abitato di Giove.

Regione Marche – Comune di Muccia  
MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3 DEL COMUNE DI MUCCIA AI SENSI DELL'ORDINANZA DEL COMMISSARIO  
STRAORDINARIO N. 24 REGISTRATA IL 15 MAGGIO 2017 AL N. 1065  
Relazione Illustrativa



Figura 70 – Distribuzione del danno nell'area commerciale di Varano.



Figura 71 – Distribuzione del danno in località Maddalena.

Dott. Geol. Mauro Cataldi



## 10. Bibliografia

- AA. VV. (1998), *Rapporto conclusivo sulla valutazione degli effetti di amplificazione dinamica locale delle località campione più danneggiate dalla sequenza di terremoti dell'Umbria – marche 1997– 1998*. CNR/GNDT – IRRS, SSN, a cura di F. Pergalani e R. Romeo, p.p. 40.
- AA. VV. (1999), *La microzonazione sismica di Fabriano*. CNR – GNDT – Regione Marche – SSN, a cura di A. Marcellini e P. Tiberi, p.p. 291.
- Albarello D. (2011), *Indagini geofisiche di superficie a supporto della ricostruzione del modello geologico*.
- Albarello D. (2013), *I dati di rumore ambientale per la MS di Livello I*. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Roma, 22–23 maggio 2013.
- Albarello D. (2013), *La risposta sismica locale*. Seminario ODG – Fermo, 11 ottobre 2013.
- Albarello D. (2013), *Misure di rumore ambientale*. Corso di microzonazione sismica e valutazione della risposta sismica locale per la ricostruzione post-terremoto.
- Albarello D. (2013), *Sismica passiva con tecniche a stazione singola e antenna*. Seminario ODG – Fermo, 11 ottobre 2013.
- AMRA S.c. a r.l. Sezione Early Warning e Rischio Sismico (2008), *Indirizzi per studi di microzonazione sismica*. A cura di Filippo Vinale.
- Antonini G., et alii (1993), *Carta inventario dei movimenti franosi della Regione Marche ed aree limitrofe (scala 1: 100.000)*. CNR – IRPI Perugia, CNR – GNDI. Pubbl. CNDCI n. 580.
- Associazione Geotecnica Italiana (1977), *Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche*.
- Atti del *Corso di formazione con partecipazione obbligatoria sulle specifiche tecniche di MS per i professionisti incaricati e loro collaboratori*. OCDPC 293/2015 – Effettuazione delle indagini di microzonazione sismica (MZS) e analisi delle condizioni limite per l'emergenza. Ancona, gennaio 2017.
- Barchi M., et alii (1988), *Sezioni geologiche bilanciate attraverso il sistema a pieghe umbro-marchigiano*. Boll. Soc. Geol. It., 107: 109–130.
- Barchi M., Galadini F., Lavecchia G., Messina P., Michetti A., Peruzza L., Pizzi A., Tondi E., Vittori E. (A cura di), *Sintesi delle conoscenze sulle faglie attive in Italia Centrale: parametrizzazione ai fini della caratterizzazione della pericolosità sismica*.
- Basili, R., Bosi, V., Galadini, F., Galli, P., Meghraoui, M., Messina, P., Moro, M., Sposato, A. (1998) – *The Colfiorito earthquake sequence of September–October 1997: surface breaks and*

Dott. Geol. Mauro Cataldi



*seismotectonic implications for the Central Apennines*. Journal of Earthquake Engineering 2, 291–302.

Basili R., G. Valensise, P. Vannoli, P. Burrato, U. Fracassi, S. Mariano, M.M. Tiberti, E. Boschi (2008), *The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology*. Tectonophysics, doi:10.1016/j.tecto.2007.04.014

Boni C., et alii (1986), *Schema idrogeologico dell'Italia Centrale*. Mem. Soc. Geol. It., 35: 991–1012.

Calamita C., Coltorti M., Piccinini D., Pierantoni P.P., Pizzi A., Ripepe M., Scisciani V. & Turco E. (2000), *Quaternary faults and seismicity in the Umbro–Marchean Apennines (Central Italy): evidence from the 1997 Colfiorito earthquake*. J. Geodyn., 29: 245–264.

Calamita C., Coltorti M., Pierantoni P.P., Pizzi A., Farabollini P., (1994), *Le faglie normali quaternarie e la sismicità nella dorsale appenninica umbro–marchigiana: l'area di Colfiorito*. Studi Geol. Camerti, 14.

Calamita F., Pizzi A., Scisciani V., De Girolamo C., Coltorti M., Pieruccini P., Turco E., *Caratterizzazione delle faglie quaternarie nella dorsale appenninica umbro–marchigiano–abruzzese*.

Cantalamesa G. ed altri, *Analisi dell'evoluzione tettonico–sedimentaria dei “bacini minori”... Il Bacino della Laga*. Studi Geologici Camerti, VII.

Casadio M., Elmi C. (1999), *Il Manuale del Geologo*. Pitagora Editrice Libri.

Castellaro S. (2008), *L'uso dei microtremiti per la valutazione della risposta di sito*. Monitoraggio dinamico per la valutazione della sicurezza sismica di ponti.

Centamore E. (1986), *Carta Geologica delle Marche (scala 1: 250.000)*. Litografia Artistica Cartografica – Firenze.

Cetraro F. (2007), *Ingegneria geotecnica e geologia applicata*. EPC Libri.

Cetraro F. (2008), *Indagini geofisiche del suolo*. EPC Libri.

Commissione tecnica per la microzonazione sismica (articolo 5, comma 7 dell'OPCM 13 novembre 2010, n. 3907), *Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica. Microzonazione sismica. Versione 4.0b*. Roma, ottobre 2015.

Commissione tecnica per la microzonazione sismica (articolo 5, comma 7 dell'OPCM 13 novembre 2010, n. 3907), *Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC)*. Versione 1.0 Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome – Dipartimento della protezione civile, Roma, 2015.

Dott. Geol. Mauro Cataldi



Commissione tecnica per la microzonazione sismica (articolo 5, comma 7 dell'OPCM 13 novembre 2010, n. 3907), *Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante sismoindotte (FR)*. Versione 1.0 Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome – Dipartimento della protezione civile, Roma, 2017.

Commissione tecnica per la microzonazione sismica (articolo 5, comma 7 dell'OPCM 13 novembre 2010, n. 3907), *Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazione (LQ)*. Versione 1.0 Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome – Dipartimento della protezione civile, Roma, 2017.

Dal Moro G. (2012), *Acquisizione e analisi di dati secondo tecniche MASW e HVSR*. Dario Flaccovio Editore.

De Ferrari R., *Approccio multidisciplinare per studi di microzonazione sismica: il caso di Coreglia Anteminelli, Provincia di Lucca*. Dip.Te.Ris – Università di Genova.

Deliberazione di Consiglio Regionale del 21.01.2004 n. 116, *Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)*. Supplemento n. 5 BUR Marche n. 15 del 13.02.2004.

Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Camerino (1986), *La geologia delle Marche*. Numero speciale in occasione del 73° Congresso della Società Geologica Italiana – Roma 30 settembre – 4 ottobre 1986.

DISS Working Group (2015). *Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.0: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas*. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; DOI:10.6092/INGV.IT-DISS3.2.0.

Galadini F., Meletti C., Vittori E., *Stato delle conoscenze sulle faglie attive in Italia: elementi geologici di superficie*. Risultati del progetto 5.1.2 “Inventario delle faglie attive e dei terremoti ad esse associabili”.

Galadini F., Messina P., Sposato A., *Tettonica quaternaria nell'Appennino centrale e caratterizzazione dell'attività di faglie nel Pleistocene superiore-Olocene*.

Gruppo di Lavoro MS (2008), *Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica*. Conferenza delle Regioni e delle Province autonome – Dipartimento della protezione civile, Roma, 3 vol. e Dvd.

Gruppo di Lavoro MS-AQ (2010), *Microzonazione sismica per la ricostruzione dell'area aquilana*. Regione Abruzzo – Dipartimento della Protezione Civile, L'Aquila, 3 vol. e Cd-rom.

Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (1990), *Zonazione e riclassificazione sismica. Atti del Convegno*. Pisa, 25–27 giugno 1990. Consiglio Nazionale delle Ricerche.

Lanzo G., Silvestri F. (1999), *Risposta sismica locale. Teoria ed esperienze*. Hevelius Edizioni

Dott. Geol. Mauro Cataldi



Meletti C., Valensise G. (2004), *Zonazione sismogenetica ZS9 – App.2 al Rapporto Conclusivo*. Gruppo di Lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza PCM 20.03.03 n. 3274). Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Moretti A. (1969), *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia (alla scala 1: 100.000)*. Foglio 124 Macerata.

Mucciarelli M. (2009), *Norme vs. prassi, teoria vs. realtà: alcuni esempi dalla microzonazione in Abruzzo*.

Mucciarelli M. (a cura di), *Tecniche speditive per la stima dell'amplificazione sismica e della dinamica degli edifici. Studi teorici ed applicazioni professionali*.

Nori L., Di Marcantonio P. (2014), *Manuale pratico di risposta sismica locale. Dal sismogramma allo spettro di progetto con REXEL e STRATA*. EPC Editore

Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della protezione civile, Ufficio rischio sismico e vulcanico (2012), *Classificazione sismica al 2012 Recepimento da parte delle Regioni e delle Province autonome dell'Ordinanza PCM 20 marzo 2003, n. 3274*.

Rapporto di sintesi sul terremoto in centro Italia MW 6.5 del 30 ottobre 2016

Pivetta U. (2008), *Indagine geofisica mediante tecnica dei rapporti spettrali o hvsr*.

Regione Marche (1991), *L'Ambiente Fisico delle Marche. Geologia, Geomorfologia, Idrogeologia*. SELCA srl – Firenze.

Regione Marche – Ufficio Urbanistica e Cartografia (1999–2001), *Carta geologica regionale (scala 1: 10.000)*. Progetto CARG.

Roccaforte F., Cucinotta C. (2015), *Stima dei parametri geotecnici in geofisica applicata*. Dario Flaccovio Editore.

Rovida A., Camassi R., Gasperini P., Stucchi M. (2011), *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani – versione CPT111*.

SARA electronic instruments s.r.l. (2009–2013), *Guida all'uso di Geopsy per elaborazioni HVSR e MASW*.

SESAME European research project WP12 – Deliverable D23.12, Guidelines for the implementation of the h/v spectral ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation.

Spallarossa D., Barani S. (2007), Deliverable D14 – *Disaggregazione della pericolosità sismica in termini di M-R-ε*. Dipartimento per lo Studio del Territorio e delle sue Risorse, Università di Genova.

Dott. Geol. Mauro Cataldi



Supplemento alla rivista Ingegneria sismica Anno XXVIII – n. 2 (2011)

Tondi E. (2000), Geological analysis and seismic hazard in the Central Apennines (Italy). *Journal of Geodynamics* 29 (2000) 517–533.

Tondi E., Cello G. (2003), *Spatiotemporal evolution of the Central Apennines fault system (Italy)*. *Journal of Geodynamics* 36 (2003) 113–128.

Tondi E., Cello G., Mazzoli S. (1997), Strutture sismogenetiche in Appennino centrale: potenziale sismico, analisi frattale e processi di crescita. *Il Quaternario*, 10(2), 1997, 411–416.

Wiłum Z. e Starzewski K. (1972), *Soil mechanics in foundation engineering*.

## 11. Allegati

NEL TESTO:

- n. 2 Schede di raccolta dati per rilevamento frane
- Stratigrafia del sondaggio a carotaggio continuo S1
- Documentazione fotografica del sondaggio a carotaggio continuo S1
- Report Prova Down-Hole Comune di Muccia (IAMC-CNR)

FUORI TESTO:

- Carta delle indagini (*Scala 1: 5.000*)
- Carta delle frequenze naturali dei terreni (*Scala 1: 5.000*)
- Carta geologico-tecnica (*Scala 1: 5.000*)
- Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (*Scala 1: 5.000*)
- Carta di microzonazione sismica FA0105s (*Scala 1: 5.000*)
- Carta di microzonazione sismica FA0408s (*Scala 1: 5.000*)
- Carta di microzonazione sismica FA0711s (*Scala 1: 5.000*)
- Sezioni geologiche rappresentative (*Scala 1: 5.000*)

Dott. Geol. Mauro Cataldi



**SCHEDA DI RACCOLTA DATI PER RILEVAMENTO FRANE**

RIFERIMENTI STAZIONE RILEVAMENTO	CODICE FRANA*			CODICE FOTO	foto 1
	BREVE DESCRIZIONE LOCALIZZAZIONE	VERSANTE POSTO A SW DEL CAPOLUOGO (VIA MAZZINI/GARIBALDI)			
	COORDINATE**	LAT	340400	LONG	4771440
	CODICE FRANA IFFI	430470000	COORDINATE PIFF (da IFFI)		

\*riferito in maniera univoca alle frane riportate nella carta geologico-tecnica  
 \*\* UTM WGS84 33N

DESCRIZIONE FRANA	TIPOLOGIA FRANA***	MOVIMENTO COMPLESSO
	MATERIALE ACCUMULO****	ARGILLE E LIMI

\*\*\* vedasi classificazione come da progetto IFFI      \*\*\*\* compilare la relativa scheda per le coperture

DESCRIZIONE MATERIALE DI FRANA	DESCRIZIONE GRANULOMETRICA e/o CLASSE USCS (Tab. 7)	ARGILLE LIMOSE E/O LIMI ARGILLOSI CON LENTI SABBIOSE E PICCOLI CIOTTOLI SPARSI - ML
	CEMENTAZIONE^	SCIOLTO

^ descrivere se sciolto o cementato

NOTE	FOTO	
		

**SCHEDA DI RACCOLTA DATI PER RILEVAMENTO FRANE**

RIFERIMENTI STAZIONE RILEVAMENTO	CODICE FRANA*			CODICE FOTO	foto 2
	BREVE DESCRIZIONE LOCALIZZAZIONE	VERSANTE POSTO A NW DEL CAPOLUOGO (VIA FONTE DEL COLLE - I PALAZZI)			
	COORDINATE**	LAT	340566	LONG	4772120
	CODICE FRANA IFFI	430470100	COORDINATE PIFF (da IFFI)		

\*riferito in maniera univoca alle frane riportate nella carta geologico-tecnica  
 \*\* UTM WGS84 33N

DESCRIZIONE FRANA	TIPOLOGIA FRANA***	MOVIMENTO COMPLESSO
	MATERIALE ACCUMULO****	DETRITO SCAGLIOSO

\*\*\* vedasi classificazione come da progetto IFFI      \*\*\*\* compilare la relativa scheda per le coperture

DESCRIZIONE MATERIALE DI FRANA	DESCRIZIONE GRANULOMETRICA e/o CLASSE USCS (Tab. 7)	DETRITO SCAGLIOSO IN MATRICE ARGILLO-MARNOSA - GM/GC
	CEMENTAZIONE^	SCIOLTO

^ descrivere se sciolto o cementato

NOTE		FOTO
		



**dr. MAURO CATALDI**  
Via delle Concie, 19 - 62020 Caldarola (MC)  
tel 338 2695925  
email mauro.cataldi@alice.it  
C.F. CTL MRA 82C15 L191E  
P.I. 01734500430

Committente: AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI MUCCIA
Località: VIA PIAZZETTA - MUCCIA (MC)
Data inizio/fine: 22/09/2017 - 27/09/2017
Metodo perforazione: CAROTAGGIO CONTINUO
Diametro perforazione/rivestimento (mm): 101/127

**SONDAGGIO N. 1**

PAGINA 1/4

Quota s.l.m. (m): 455
Coordinate WGS84: 4771762,6 / 340890,3
Scala: 1: 50

Profondità (m)	Spessore (m)	Stratigrafia	Descrizione della natura dei terreni	Campione indisturbato disturbato	Pocket penetrom. (kg/cmq)	Vane test (kg/cmq)	Carotaggio (%)	S.P.T.	Fratture	Inclinaz. superf. (°)	Livello falda (m)	Note
0	0,25		Terreno di riporto costituito da conglomerato bituminoso (10 cm) + sottofondo stradale ghiaioso.									Asciutto
0,25	1,05		Limo argilloso di colore marrone-bruno, con ghiaietto millimetrico sparso di natura calcarea, arrotondato e colore rosso o biancastro. Coesivo e moderatamente consistente.		2,0							Umido
1	1,30		A -1,30 m livello limoso-sabbioso di colore marrone chiaro, con ghiaietto millimetrico sparso. Sciolto e poco addensato.		1,5							Molto umido
1,30	0,20		A -1,50 m limo argilloso colore marrone scuro-bruno, con ghiaia calcarea arrotondata anche grossolana (3-5 cm).		2,0							
1,50	0,50		Limo sabbioso-argilloso e/o sabbia limoso-argillosa, colore grigio, con screziature ocree e piccole concrezioni biancastre. Coesivo e moderatamente consistente.		2,5							Umido
2	2,00				1,5							Umido
3	2,20				1,5							Umido
4	4,20		Passaggio netto a ghiaia in matrice limoso-sabbiosa e/o argilloso-sabbiosa di colore marrone chiaro e avana. I clasti sono di natura calcarea, rossastri e/o biancastri, con prevalenza di elementi arrotondati rispetto a pezzame grossolano spigoloso. Dimensioni da 1 a 5 cm circa. Da addensata a molto addensata.		2,5							Poco umido
5					2,0			5,00 m				Poco umido
6	4,00		A -6,00 m circa, presenza di pezzame rossastro grossolano e ghiaie eterogenee centimetriche molto addensate. Matrice sempre sabbioso-argillosa, colore grigio chiaro e avana.		2,5			5,13 m				Poco umido
7			Presenti sottili e poco diffuse screziature sabbiose giallastre e rossastre.		2,0							Umido
8	8,20		A -8,20 m livello argilloso-sabbioso di colore grigio-avana, con raro ghiaietto millimetrico. Coesivo e poco consistente.		0,5							Umido
8,20	0,30		Ghiaia in matrice argilloso-sabbiosa, colore grigio-avana. Da moderatamente addensata a addensata. Presente pezzame spigoloso e grossolano.									Umido
8,50	0,80		A -9,30 m livello argilloso-sabbioso di colore grigio-avana, con ghiaietto millimetrico. Coesivo e poco consistente.									Umido
9	9,30		Ghiaia in matrice argilloso-sabbiosa, colore grigio-avana...									Umido
9,30	0,30											Umido
9,60												Umido

S.P.T. a -5,00 m arrestato al primo tratto per raggiungimento n. 50 colpi. Avanzamento 13,5 cm.  
Foro attrezzato con tubo geotecnico per Downhole fino alla profondità di 35,0 m dal p.c.  
Cementazione effettuata in data 27/09/2017.



**dr. MAURO CATALDI**  
Via delle Concie, 19 - 62020 Caldarola (MC)  
tel 338 2695925  
email mauro.cataldi@alice.it  
C.F. CTL MRA 82C15 L191E  
P.I. 01734500430

Committente: AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI MUCCIA
Località: VIA PIAZZETTA - MUCCIA (MC)
Data inizio/fine: 22/09/2017 - 27/09/2017
Metodo perforazione: CAROTAGGIO CONTINUO
Diametro perforazione/rivestimento (mm): 101/127

# SONDAGGIO N. 1

PAGINA 2/4

Quota s.l.m. (m): 455
Coordinate WGS84: 4771762,6 / 340890,3
Scala: 1: 50

Profondità (m)	Spessore (m)	Stratigrafia	Descrizione della natura dei terreni	Campione indisturbato / Rinnegeito	Pocket penetrom. (kg/cm <sup>2</sup> )	Vane test (kg/cm <sup>2</sup> )	Carotaggio (%)	S.P.T.	Fratture	Inclinaz. superf. (°)	Livello falda (m)	Note
10			Ghiaia in matrice argilloso-sabbiosa, colore grigio-avana; clasti eterogenei, prevalentemente calcarei di colore biancastro o rossastri e eterometrici. Da moderatamente addensata a addensata.									
11	3,20		Matrice sabbioso-argillosa e presenza di venature e screziature ocracee sabbiose.									
12												
13	12,8 0,70		Livello sabbioso-limoso di colore avana, molto addensato con sottili straterelli marnosi e screziature ocracee.									
14	13,5 1,50		Pezzame grossolano calcareo-marnoso di colore grigiastro. Ghiaia in matrice argillosa grigia. Clasti spigolosi e grossolani di natura prevalentemente marnosa e addensati.									
15	15,0		Marna e marna argillosa, di colore grigio plumbeo o verdastro, fratturata e sfogliettata in pezzame scistoso e lamelle, untuoso al tatto. Fratture riempite esclusivamente da calcite di colore bianco o traslucido. [SUBSTRATO FRATTURATO - FORMAZIONE DELLO SCHLIER]						FA			
16									FA			
17	4,60								FC-c			
18									FA			
19									FC-c			
20	19,6		Marna e marna argillosa, di colore grigio plumbeo o verdastro...						FC-c			

[Fine lavoro data: 22/09/2017, ora: 17,20 - livello acqua: 5,90 m - quota fondo foro: 11,0 m - quota scarpa rivestimento: 10,50 m]  
[Ripresa lavoro data: 25/09/2017, ora: 8,30 - livello acqua: 8,30 m]  
Molto umido

[Da -15,50 m uso doppio carotiere T2]

Asciutto

FC: Frattura chiusa FA: Frattura aperta S: Superficie strato  
a: Riempimento con argilla c: Riempimento con calcite



**dr. MAURO CATALDI**  
Via delle Concie, 19 - 62020 Caldarola (MC)  
tel 338 2695525  
email mauro.cataldi@alice.it  
C.F. CTL MRA 82C15 L191E  
P.I. 01734500430

Committente: AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI MUCCIA
Località: VIA PIAZZETTA - MUCCIA (MC)
Data inizio/fine: 22/09/2017 - 27/09/2017
Metodo perforazione: CAROTAGGIO CONTINUO
Diametro perforazione/rivestimento (mm): 101/127

# SONDAGGIO N.

# 1

PAGINA 3/4

Quota s.l.m. (m): 455
Coordinate WGS84: 4771762,6 / 340890,3
Scala: 1: 50

Profondità (m)	Spessore (m)	Stratigrafia	Descrizione della natura dei terreni	Campione indisturbato / Rinnegeito	Pocket penetrom. (kg/cmq)	Vane test (kg/cmq)	Carotaggio (%)	S.P.T.	Fratture	Inclinaz. superf. (°)	Livello falda (m)	Note
20			Marna e marna argillosa, di colore grigio plumbeo o verdastro. Eventuali fratture riempite esclusivamente da calcite di colore bianco o traslucido. [SUBSTRATO INTEGRO - FORMAZIONE DELLO SCHLIER]						FC-c			[Fine lavoro data: 25/09/2017, ora: 17,22 - livello acqua: 6,10 m - quota fondo foro: 21,50 m - quota scarpa rivestimento: 15,0 m]
21									FC-c			
22									FC-c			[Ripresa lavoro data: 26/09/2017, ora: 8,20 - livello acqua: 8,20 m]
23									FC-c			
24									FC-c			Asciutto
25									FC-c			
26									FC-c			Asciutto
27									FC-c			
28									FC-c			Asciutto
29									FC-c			
30									FC-c			

FC: Frattura chiusa FA: Frattura aperta S: Superficie strato  
a: Riempimento con argilla c: Riempimento con calcite



**dr. MAURO CATALDI**  
Via delle Concie, 19 - 62020 Caldarola (MC)  
tel 338 2695525  
email mauro.cataldi@alice.it  
C.F. CTL MRA 82C15 L191E  
P.I. 01734500430

Committente: AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI MUCCIA
Località: VIA PIAZZETTA - MUCCIA (MC)
Data inizio/fine: 22/09/2017 - 27/09/2017
Metodo perforazione: CAROTAGGIO CONTINUO
Diametro perforazione/rivestimento (mm): 101/127

**SONDAGGIO N. 1**

PAGINA 4/4

Quota s.l.m. (m): 455
Coordinate WGS84: 4771762,6 / 340890,3
Scala: 1: 50

Profondità (m)	Spessore (m)	Stratigrafia	Descrizione della natura dei terreni	Campione indisturbato / Rinnebbato	Pocket penetrom. (kg/cmq)	Vane test (kg/cmq)	Carotaggio (%)	S.P.T.	Fratture	Inclinaz. superf. (°)	Livello falda (m)	Note
30									FC-c			<p>[Fine lavoro data: 26/09/2017, ora: 17,00 - livello acqua: 6,80 m - quota fondo foro: 30,90 m - quota scarpa rivestimento: 15,0 m]</p> <p>[Ripresa lavoro data: 27/09/2017, ora: 8,30 - livello acqua: 9,20 m]</p>
31									FC-c			
32									FC-c			
33									FC-c			
34									FC-c			
35												<p>Asciutto</p> <p>[Fine lavoro ore: 12,00 - livello acqua: 9,00 m - quota fondo foro: 35,00 m - quota scarpa rivestimento: 15,0 m]</p>
36												
37												
38												
39												
40												

FC: Frattura chiusa FA: Frattura aperta S: Superficie strato  
a: Riempimento con argilla c: Riempimento con calcite











Committente: CENTRO MS

Cantiere: Muccia

Data esecuzione: 20/10/2017

Sondaggio: S1

Pagina: 1/3

Prof. sondaggio [m]: 35

Prova: DH1

## PROVA DOWN-HOLE

### MODALITÀ DI ACQUISIZIONE

Acquisitore tipo

**Sismografo 24bit**

Intervallo acquisizione [ms]

**0.064**

Numero di geofoni / sensori per geofono

**3(X-Y-Z) +1 boccaforo**

Tempo di campionamento [ms]

**200**

Canali impiegati

**CH1; CH2; CH3; CH4**

Filtri in acquisizione [Hz]

**200**

### MODALITÀ ESECUTIVE

Sequenza misure

**2 orizzontali (DX-SN)  
1 verticale (V)**

N. Battute /misura

**2 per DX e SN  
1 per V**

Note:

Passo di misura [m]

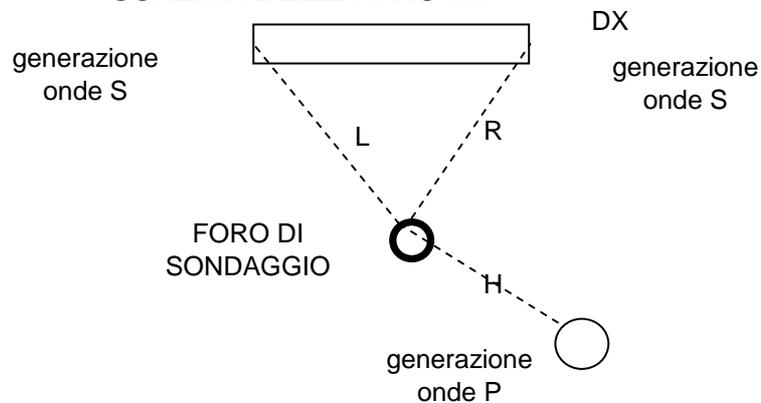
**1.00**

Prof. max misure [m]

**35.00**

### SCHEMA DELLA PROVA

H=L=R=3.50m



## INTERPRETAZIONE - PROFILI DI VELOCITÀ

Cantiere: Muccia

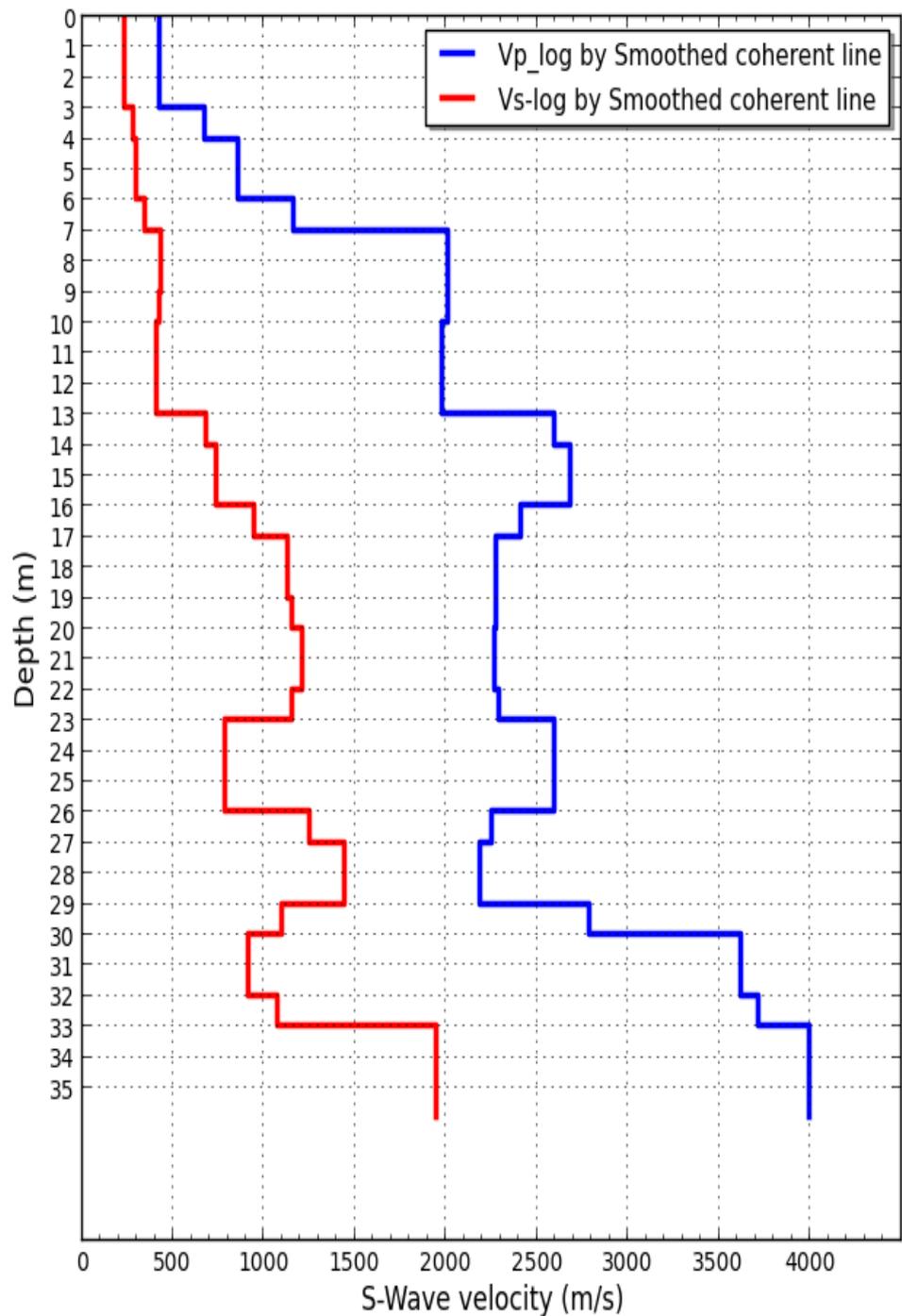
Sondaggio: S1

Prova: DH1

z	V <sub>p</sub>	V <sub>s</sub>	v
[m]	[m/s]	[m/s]	[-]
1.00	425	235	0.28
2.00	425	235	0.28
3.00	425	235	0.28
4.00	673	280	0.39
5.00	861	302	0.43
6.00	861	302	0.43
7.00	1164	350	0.45
8.00	2016	434	0.48
9.00	2016	434	0.48
10.00	2010	429	0.48
11.00	1983	411	0.48
12.00	1983	411	0.48
13.00	1983	411	0.48
14.00	2601	687	0.46
15.00	2685	737	0.46
16.00	2685	737	0.46
17.00	2413	946	0.41
18.00	2280	1129	0.34
19.00	2280	1129	0.34
20.00	2276	1157	0.33
21.00	2269	1209	0.30
22.00	2269	1209	0.30
23.00	2295	1152	0.33
24.00	2597	786	0.45
25.00	2597	786	0.45
26.00	2597	786	0.45
27.00	2254	1255	0.28
28.00	2190	1446	0.11
29.00	2190	1446	0.11
30.00	2792	1100	0.41
31.00	3621	917	0.47
32.00	3621	917	0.47
33.00	3717	1072	0.45
34.00	4002	1950	0.34
35.00	4002	1950	0.34

z: profondità geofono 3D

v: coefficiente di Poisson



## INTERPRETAZIONE - SISMOSTRAGRAFIA

Cantiere: Muccia

Sondaggio: S1

Prova: DH1

z	h	V <sub>P</sub>	V <sub>S</sub>	v
[m]	[m]	[m/s]	[m/s]	[-]
2.42	2.42	336	195	0.25
8.31	5.89	1073	352	0.44
14.42	6.11	2244	461	0.48
26.30	11.88	2378	959	0.40
>35.65	>9.35	3150	1323	0.39

z: profondità base sismostrato

v: coefficiente di Poisson

h: spessore

