



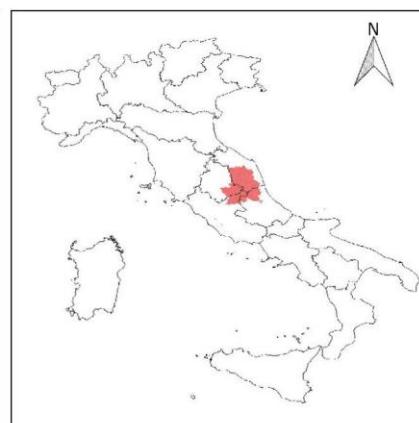
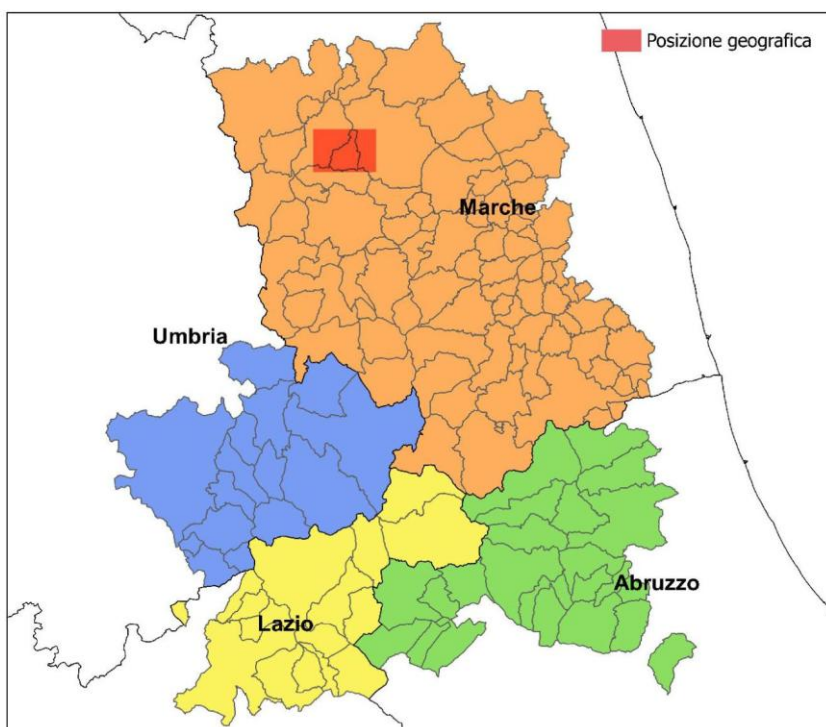
**COMMISSARIO STRAORDINARIO  
RICOSTRUZIONE SISMA - 2016**

Microzonazione Sismica di Livello 3 del Comune di Gagliole 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 Gagliole**



Soggetto realizzatore  
ATP  
Geol. Silvia Paggi  
Geol. Eugenio Pistolessi  
Geol. Dimitri Mazza  
Geol. Angelo Curatolo  
Ing. Roberto Di Girolamo

Data e revisione  
Dicembre 2017

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

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESÌ GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC) MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	1
--	---	---

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>3</b>
1.1	FINALITÀ DEGLI STUDI.....	3
1.2	DESCRIZIONE GENERALE DELL'AREA COMUNALE.....	4
1.3	DEFINIZIONE DEI DOCUMENTI DI BASE UTILIZZATI NELLO STUDIO .....	5
1.4	AREE DA SOTTOPORRE AGLI STUDI DI MS .....	5
<b>2</b>	<b>PROGRAMMA DI LAVORO E CRONOPROGRAMMA DELLE INDAGINI .....</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA.....</b>	<b>14</b>
4.1	ASSETTO STRATIGRAFICO .....	14
4.1.1	<i>Substrato</i> .....	14
4.1.2	<i>Coperture</i> .....	21
4.2	ASSETTO GEOLOGICO-STRUTTURALE.....	22
4.3	ASSETTO GEOMORFOLOGICO .....	26
<b>5</b>	<b>DATI GEOTECNICI E GEOFISICI.....</b>	<b>27</b>
5.1	DATI PREGRESSI .....	27
5.2	DATI ACQUISITI EX-NOVO .....	28
<b>6</b>	<b>METODOLOGIE DI ELABORAZIONE.....</b>	<b>30</b>
6.1	INVERSIONI CONGIUNTE.....	30
6.2	MODELLAZIONE 1D.....	32
6.2.1	<i>Scelta dell'input sismico</i> .....	32
6.2.2	<i>Simulazioni numeriche</i> .....	33
6.3	MODELLAZIONE 2D.....	41
<b>7</b>	<b>MODELLO DEL SOTTOSUOLO FINALIZZATO ALLA MS .....</b>	<b>42</b>
7.1	UNITÀ GEOLOGICO-TECNICHE: DEFINIZIONE E PARAMETRIZZAZIONE.....	42
7.1.1	<i>Substrato</i> .....	43
7.1.2	<i>Coperture</i> .....	45
7.2	SEZIONI GEOLOGICO-TECNICHE .....	47
7.3	MOPS: CARATTERIZZAZIONE .....	50
7.3.1	<i>Aree stabili suscettibili di amplificazione</i> .....	53
7.3.1.1	Zona 2001 .....	53
7.3.1.2	Zona 2002 .....	60
7.3.1.3	Zona 2004 .....	65
7.3.1.4	Zona 2006 .....	70
7.3.1.5	Zona 2007 .....	75
7.3.1.6	Zona 2008 .....	79
7.3.1.7	Zona 2010 .....	83
7.3.2	<i>Zone di attenzione per frana ZAfr</i> .....	86
<b>8</b>	<b>INTERPRETAZIONI, INCERTEZZE E DISTRIBUZIONE DEI DANNI.....</b>	<b>87</b>
<b>9</b>	<b>CATEGORIA DEL SOTTOSUOLO.....</b>	<b>89</b>
<b>10</b>	<b>RISULTATI E LORO PRESENTAZIONE.....</b>	<b>91</b>
10.1	ELABORATI CARTOGRAFICI.....	91
10.1.1	<i>Carta delle indagini</i> .....	91
10.1.2	<i>Carta delle frequenze naturali dei terreni</i> .....	92

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC) MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	2
--	---	---

10.1.3	<i>Carta Geologico Tecnica per la microzonazione sismica (CGT_MS)</i> .....	92
10.1.4	<i>Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)</i> .....	93
10.1.5	<i>Carte di Microzonazione Sismica (MS) di livello 3</i> .....	94
<b>11</b>	<b>ALLEGATI</b> .....	<b>95</b>

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC) MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	3
--	---	---

## 1 INTRODUZIONE

A seguito dell'incarico conferito dal Comune di Gagliole (MC) in data 22/07/2017, è stato condotto lo studio di Microzonazione Sismica di livello 3 del Comune di Gagliole, in esecuzione dell'Ordinanza del Commissario Straordinario n. 24 del 12/05/2017 e della Determina di Settore Tecnico n. 15 del 14/06/2017.

Le indagini in oggetto sono state articolate coerentemente e in ottemperanza al Disciplinare di Incarico per lo studio di microzonazione sismica di livello 3 (tipologia di affidamento B) e secondo quanto stabilito nei Protocolli di acquisizione dati ed elaborazione relativi alle attività di Microzonazione di Livello III (di seguito definito "Protocollo").

L'indagine di Microzonazione Sismica è stata altresì effettuata secondo gli standard e specifiche tecniche stabiliti in "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica studi di microzonazione sismica Versione 4.0".

### 1.1 *Finalità degli studi*

Il territorio di Gagliole è stato già oggetto (maggio 2017) dello studio di microzonazione sismica (MS) di livello 1, livello propedeutico ai veri e propri studi di MS e finalizzato all'individuazione di microzone omogenee in prospettiva sismica (Carta delle MOPS alla scala 1:5.000).

Il presente studio di MS di livello 3 è finalizzato a "quantificare" la pericolosità sismica locale delle microzone, con particolare riferimento alle aree stabili ed alle aree stabili suscettibili di amplificazione, e alla redazione delle Carte di microzonazione sismica di livello 3 alla scala 1:5.000. Detto studio è realizzato mediante analisi di risposta sismica locale monodimensionale (1D) e/o bidimensionale (2D), effettuate su verticali e sezioni rappresentative, in numero adeguato per poter caratterizzare le tipologie di microzona individuate nella Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS).

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC) MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	4
--	---	---

## 1.2 *Descrizione generale dell'area comunale*

Il territorio del Comune di Gagliole (fig. 1), con un'estensione di 24,06 Km<sup>2</sup>, si sviluppa a cavallo tra la dorsale marchigiana esterna e la depressione intrappenninica.

E' posto nella porzione nord-occidentale della provincia di Macerata; confina a nord con i Comuni di Matelica e San Severino Marche, ad est con il Comune di San Severino Marche, a sud con il Comune di Castelraimondo e ad ovest con il Comune di Matelica.



*Figura 1 Panoramica dell'abitato di Gagliole (destra) e della frazione Acquosi (sinistra).*

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC) MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	5
--	---	---

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

Per lo studio in oggetto sono stati utilizzati i seguenti documenti di base.

- Carta Tecnica Regionale scala 1:10.000 – anno 2000; Ortofotocarta Regionale scala 1:10.000 – anno 1988; Cartografia I.G.M. – Quadrante 124 IV scala 1:25.000.
- Dati pregressi – Oltre ai dati pregressi acquisiti durante lo studio di MS di livello 1 sono stati rinvenuti ulteriori dati attraverso una ricerca presso gli archivi dell'Ufficio Tecnico del Comune di Gagliole.
- Carta geologico tecnica di MS di livello 1.
- Carta Geologica Regionale del progetto CARG e Carta Geologica allegata al vigente strumento urbanistico.
- PAI – IFFI. In ottemperanza a quanto esposto nel Protocollo sono state recepite integralmente le perimetrazioni PAI+IFFI,

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

Le indagini di 1 livello del Comune di Gagliole sono state estese alla maggior parte dei centri abitati del Comune stesso ed in particolare a Gagliole (capoluogo) ed alle frazioni di Acquosi, Bergoni, Collaiello, Torreto-Vallone-Usciano, Castellano, Celeano e Selvalgagli; le indagini sono inoltre state estese alle zone in cui, in base al P.R.G. vigente, sono previste future espansioni.

Come concordato con l'Ufficio Tecnico del Comune di Gagliole e con gli Operatori del CentroMS le indagini di livello 3, oltre a Gagliole capoluogo ed alla frazione di Selvalagli sono state estese alla frazione Acquosi.



ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC) MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	6
--	---	---

## 2 PROGRAMMA DI LAVORO E CRONOPROGRAMMA DELLE INDAGINI

L'insieme delle attività finalizzate alla realizzazione dello studio di MS di livello 3 sono state eseguite in coordinamento con il Centro per la Microzonazione Sismica (di seguito CentroMS), che ha funzioni di supporto, elaborazione e verifica dei risultati.

Lo studio in oggetto è stato articolato e sviluppato secondo le seguenti fasi di attività.

1. Indagini geologiche e geomorfologiche dell'area di interesse (MS3), con rilievi di dettaglio di campagna e con controllo e revisione della cartografia ufficiale esistente (Carta Geologica Regionale del progetto CARG; PAI; progetto IFFI). Questa fase di lavoro è stata realizzata prevalentemente nei primi due mesi di studio e successivamente affinata. Scopo fondamentale di tali indagini è la ricostruzione di un modello geologico del sottosuolo in prospettiva sismica volto: alla determinazione geometrica delle interfacce rappresentative di possibili contrasti di impedenza sismica, potenzialmente responsabili di fenomeni di amplificazione locale del moto sismico; all'identificazione del substrato di riferimento; alla identificazione delle aree soggette a potenziali fenomeni di instabilità e di deformazione permanente indotti dallo scuotimento. Questa prima fase, affinata e calibrata nell'ambito delle successive attività, è di primaria importanza in quanto fornisce dei vincoli essenziali per la caratterizzazione di un sito in prospettiva sismica.

2. Acquisizione di dati pregressi ad integrazione dei dati già acquisiti durante lo studio di MS di livello 1, relativi a interventi pubblici e privati. Questa fase è stata eseguita preliminarmente nel primo mese di attività.

3. Indagini geofisiche di superficie (HVSr e MASW) finalizzate da una parte a individuare e caratterizzare i fenomeni di risonanza sismica potenzialmente rappresentativi di fenomeni di amplificazione del moto sismico con contemporaneo controllo del modello geologico ipotizzato, dall'altra a ricostruire il profilo di velocità delle onde S all'interno delle diverse MOPS, cioè definire i valori di Vs da attribuire ai diversi corpi geologici presenti. Le stesse indagini sono state eseguite a più riprese in un periodo temporale dal 24/08/2017 ad ottobre 2017.

4. Esecuzione di un sondaggio (04/09/2017-07/09/2017), nella frazione Selvalagli, a carotaggio continuo, con prelievo di campioni, esecuzione di prove SPT e condizionamento del foro di sondaggio per l'esecuzione di prove sismiche Down Hole.

5. Elaborazione dei dati multidisciplinari di sottosuolo acquisiti, con confronto degli stessi e progressivi approfondimenti mirati a ridurre il grado delle incertezze; questa fase è risultata molto importante ed ha comportato l'esecuzione di più prove rispetto a quanto stabilito nel Piano delle Indagini approvato e la riesecuzione di alcune delle stesse nei punti più dubbiosi; ma soltanto attraverso questo processo è stato possibile formulare delle ipotesi con successiva verifica.

6. Modellazione della Risposta Sismica Locale in configurazione 1D.

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC) MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	7
--	---	---

Dallo sviluppo delle suddette attività sono stati prodotti i seguenti elaborati, secondo quanto prescritto nel Disciplinare e nei Protocolli.

- Carta delle indagini in scala 1:5.000.
- Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica (CGT) in scala 1:5.000.
- Sezioni geologico-tecniche in scala 1:5.000.
- Carta delle frequenze naturali dei terreni in scala 1:5.000.
- Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) in scala 1:5.000.
- N. 3 Carte di microzonazione sismica di livello 3 in scala 1:5.000 per gli intervalli di periodo (T): 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s, 0.7-1.1 s.
- Relazione illustrativa.
- Archivio degli strati informativi.

Per ogni microzona individuata nella carta di livello 3 sono stati prodotti:

- n. 3 fattori di amplificazione, uno per ognuno degli intervalli di periodo;
- n. 7 accelerogrammi calcolati in superficie, uno per ogni spettro di input (in forma grafica);
- n. 7 spettri di risposta elastici al 5% di smorzamento in superficie, uno per ogni spettro di input (in forma grafica);
- categoria di sottosuolo da NTC e valore di VS30 per i siti dove è disponibile un profilo di velocità delle onde S univocamente definito (per esempio in corrispondenza della misura DH);
- i dati originali delle indagini di nuova acquisizione;
- i file degli accelerogrammi e degli spettri di risposta elastici in superficie per ogni microzona, in formato testo (.txt) realizzato secondo la struttura prevista dagli Standard Versione 4.0b e s.m.i.;
- una scheda contenente i metadati di base degli strati informativi.

Inoltre viene allegata alla presente relazione illustrativa, la “Relazione di modellazione 1D”.



ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC) MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	8
--	---	---

### 3 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

Dal Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 (I.N.G.V.), è stato estratto l'elenco dei principali terremoti che hanno prodotto danni nel territorio di Gagliole e dal quale risultano solo gli eventi più recenti.

PlaceID IT\_51774

Coordinates (lat, lon) 43.237, 13.067

Municipality (ISTAT 2015) Gagliole

Province Macerata Region Marche

No. of reported earthquakes 39

Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	Io	Mw
F	1943 10 03 08 28 29.00	Ascolano	8	5,67
<b>6</b>	<b>1951 09 01</b>	<b>Monti Sibillini</b>	<b>7</b>	<b>5,25</b>
2	1969 09 26 23 40 39.00	Teramano	5	4,39
3	1970 09 07 14 02 21.00	Appennino umbro-marchigiano	5	4,35
4	1971 02 11 18 49 21.00	Valle del Chiascio	6	4,61
F	1971 02 12 04 54 56.00	Valle del Chiascio	7	4,89
<b>6</b>	<b>1972 11 26 16 03</b>	<b>Marche meridionali</b>	<b>8</b>	<b>5,48</b>
5-6	1979 09 19 21 35 37.00	Valnerina	8-9	5,83
5	1980 02 28 21 04 40.00	Valnerina	6	4,97
3-4	1986 10 13 05 10 00.31	Monti Sibillini	5-6	4,46
NF	1987 07 03 10 21 57.64	Costa Marchigiana	7	5,06
NF	1989 09 11 02 46 23.93	Marche meridionali	5	4,04
3	1989 12 22 06 48 13.91	Valle Umbra	5	4,44
4-5	1993 06 04 21 36 50.60	Valle del Topino	5-6	4,39
4	1993 06 05 19 16 17.02	Valle del Topino	6	4,72
3	1995 12 30 15 22 08.73	Fermano	5	4,19
3	1997 09 07 23 28 05.79	Appennino umbro-marchigiano	5-6	4,19
3	1997 09 09 16 54 47.50	Appennino umbro-marchigiano	5-6	3,78
3	1997 09 10 06 46 50.78	Appennino umbro-marchigiano	5	3,85
<b>6</b>	<b>1997 09 26 00 33 12.88</b>	<b>Appennino umbro-marchigiano</b>	<b>7-8</b>	<b>5,66</b>

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC) MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	9
--	---	---

<b>6-7</b>	<b>1997 09 26 09 40 26.60</b>	<b>Appennino umbro-marchigiano</b>	<b>8-9</b>	<b>5,97</b>
<b>6</b>	<b>1997 10 03 08 55 22.07</b>	<b>Appennino umbro-marchigiano</b>		<b>5,22</b>
5-6	1997 10 06 23 24 53.29	Appennino umbro-marchigiano		5,47
4-5	1997 10 14 15 23 10.64	Valnerina		5,62
4-5	1997 10 23 08 58 43.96	Appennino umbro-marchigiano		3,86
5	1998 02 07 00 59 44.54	Appennino umbro-marchigiano		4,41
5-6	1998 03 21 16 45 09.21	Appennino umbro-marchigiano		5
<b>6</b>	<b>1998 03 26 16 26 17.03</b>	<b>Appennino umbro-marchigiano</b>		<b>5,26</b>
<b>6</b>	<b>1998 04 05 15 52 21.01</b>	<b>Appennino umbro-marchigiano</b>		<b>4,78</b>
4-5	1998 06 01 13 57 10.41	Appennino umbro-marchigiano		4,02
5	1998 06 02 23 11 23.00	Appennino umbro-marchigiano		4,25
4-5	1998 08 11 05 22 59.64	Appennino umbro-marchigiano		3,26
2-3	2000 08 11 04 33 48.84	Appennino umbro-marchigiano	4-5	3,58
4	2000 09 02 05 17 02.41	Appennino umbro-marchigiano	5	4,4
2-3	2000 10 24 07 52 23.70	Monti Sibillini	5	4,11
3-4	2001 04 16 08 51 53.56	Appennino umbro-marchigiano	4-5	3,57
NF	2004 12 09 02 44 25.29	Teramano	5	4,09
NF	2005 04 12 00 31 51.61	Maceratese	4	3,74
4-5	2006 04 10 19 03 36.67	Maceratese	5	4,06

A tale elenco, che risulta costituito da soli 39 eventi il più antico dei quali risale al 1943, va aggiunto, per gli effetti sul territorio, il terremoto del 28 luglio 1799 (NMDP 70) cosiddetto Terremoto di Camerino che, nel territorio tra Camerino e Cessapalombo causò un centinaio di morti. Durante la terza scossa e più violenta, ore 23.00 circa, la località maggiormente colpita fu Cessapalombo (MC), dove “le case tutte furono dai fondamenti atterrate” e vi morirono solo 9 persone poiché la maggior parte dei residenti era già fuggita in campagna dopo la scossa delle 19.00. Furono invece “quasi intieramente rovesciate” Pozzuolo, Santa Lucia, Statte, Torricella, Villa d’Aria e Letegge, dove si contarono 4 morti. I danni furono molto gravi a Camerino (43 morti), Castelraimondo e San Ginesio (4 o 5 morti). L’area di danneggiamento si estese a Sarnano (6 morti), Fabriano, San Severino Marche, Belforte Del Chienti (2 morti) e Tolentino coinvolgendo per ubicazione geografica, anche se non riportato nelle cronache del tempo, il centro abitato di Gagliole.

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC) MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	10
--	---	----

Il territorio di Gagliole rientra nella zona 918 (fig. 2) della zonazione sismogenetica ZS9, proposta dal Gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (OPCM n.3274 del 20.03.2003 – INGV - a cura di C. Meletti e G. Valensise, 2004).

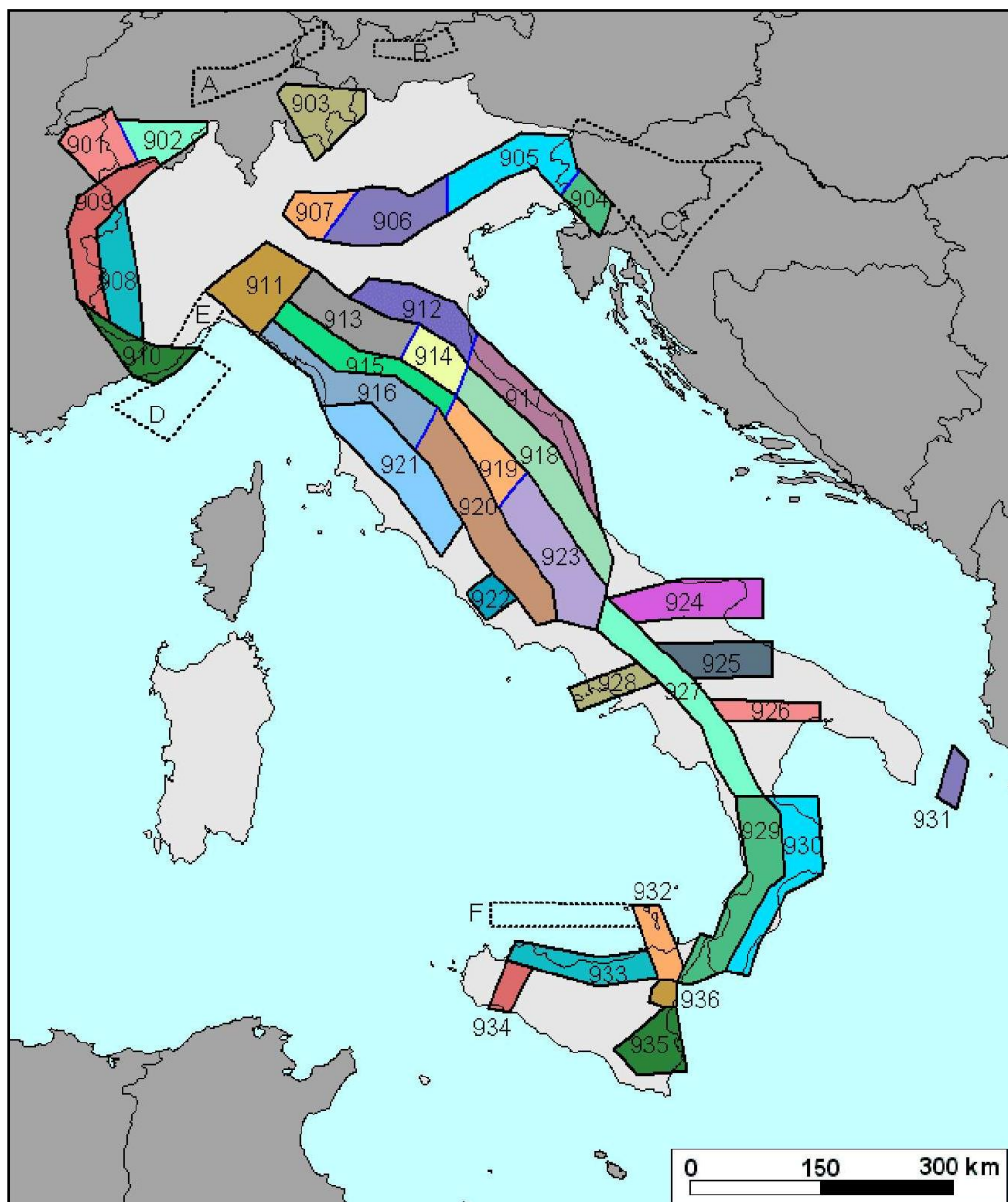


Figura 2 – Zona sismogenetica ZS9 (da: “Zonazione sismogenetica ZS9-App.2 al Rapporto Conclusivo, a cura di C. Meletti e G. Valensise, 2004”).

La zona 918, piuttosto vasta, è caratterizzata da un elevato numero di terremoti molti dei quali con magnitudo maggiore o uguale a 4.2; detta zona, secondo il modello ZS9, ricade in una fascia di transizione a carattere misto, con meccanismi focali essenzialmente compressivi a NW e distensivi a SE. La profondità efficace dello strato sismogenetico risulta pari a 13 Km compresa nella classe di profondità 12-20 Km.

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC) MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	11
--	---	----

La zona investigata ricade in un'area soggetta ad una accelerazione massima del suolo ( $a_g$ ), con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, pari a 0.175-0.200  $ag/g$  (fig. 3).

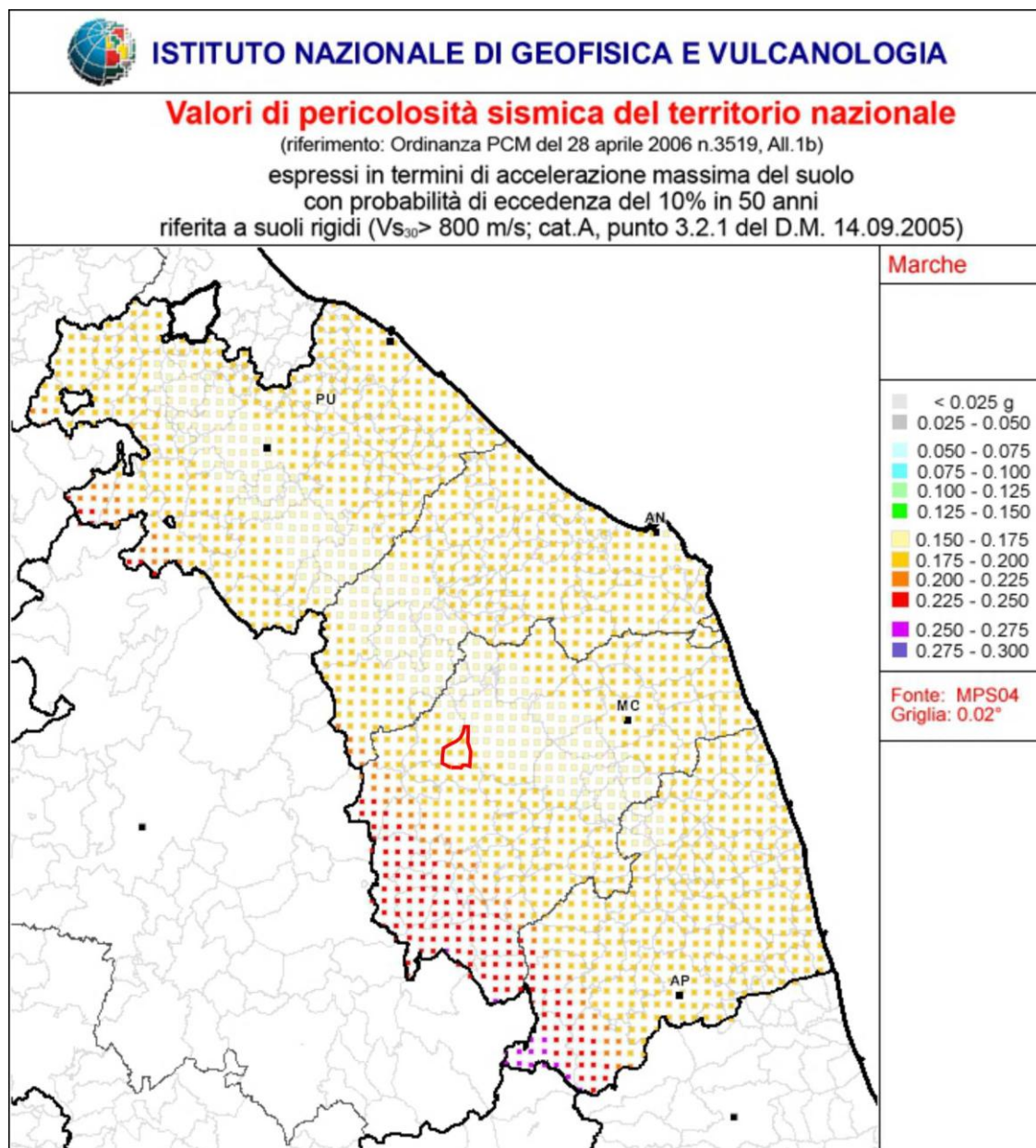


Figura 3 – Mappa di Pericolosità Sismica della Regione Marche ed aree confinanti. Tratta da INGV. Con bordo rosso il territorio comunale di Gagliole.

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC) MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	12
--	---	----

La crisi sismica tuttora in corso, che ha interessato anche il territorio di Gagliole a partire dal 24 agosto, è stata attribuita all'attivazione dell'intero sistema di faglie del M. Vettore-M. Bove. Questo sistema comprende segmenti di faglia lungo i versanti occidentali del M. Vettore, M. Argentella, Palazzo Borghese, M. Porche e M. Bove già identificati e studiati dagli anni '90.

Il meccanismo focale dei terremoti del 24 agosto, 26 ottobre e 30 ottobre è di tipo distensivo su faglie orientate NNW-SSE.

I piani di rottura di tutti gli eventi hanno prodotto fagliazione superficiale particolarmente vistosa in relazione all'evento del 30 ottobre; queste rotture cosismiche sono state mappate e studiate dai gruppi di geologi (EMERGEIO; UNICAM ecc.).

Nell'immagine seguente è riportata la distribuzione dei punti di intensità rilevati a seguito del terremoto del 30 Ottobre e da considerarsi come effetto cumulato dei tre eventi di  $M_w > 6$ . I cerchi bianchi sono proporzionali all'intensità al sito ( $5 \leq I_s < 11$  MCS). La campitura a colori suggerisce la distribuzione areale dell'intensità (vedi legenda). Le stelle rosse sono gli epicentri strumentali del 2016-2017 con  $M_l > 5$  (ISIDe WG, 2017). I meccanismi focali sono da Geofon Program (2016). Il rombo rosso è l'epicentro macrosismico del 24 Agosto. La linea blu è la faglia attiva dei Monti della Laga (a tratteggio dove incerta). La linea bianca è il sistema di faglie del Monte Vettore, responsabile della sequenza. L'immagine è tratta da: Galli P., Castenetto S., Peronace E., 2017. *Rapporto sugli effetti macrosismici del terremoto del 30 Ottobre 2016 (Monti Sibillini) in scala MCS*. Roma, rapporto congiunto DPC, CNR-IGAG, 17+8 pp.

Durante detta crisi sismica (2016-2017), molti edifici del territorio di Gagliole hanno subito danni soprattutto durante le due scosse del 26 ottobre 2016, alle ore 17.10 e alle 19.18 UTC, eventi rispettivamente di magnitudo ML 5.4 e 5.9 con epicentri rispettivamente nei comuni di Castelsantangelo sul Nera e di Ussita.



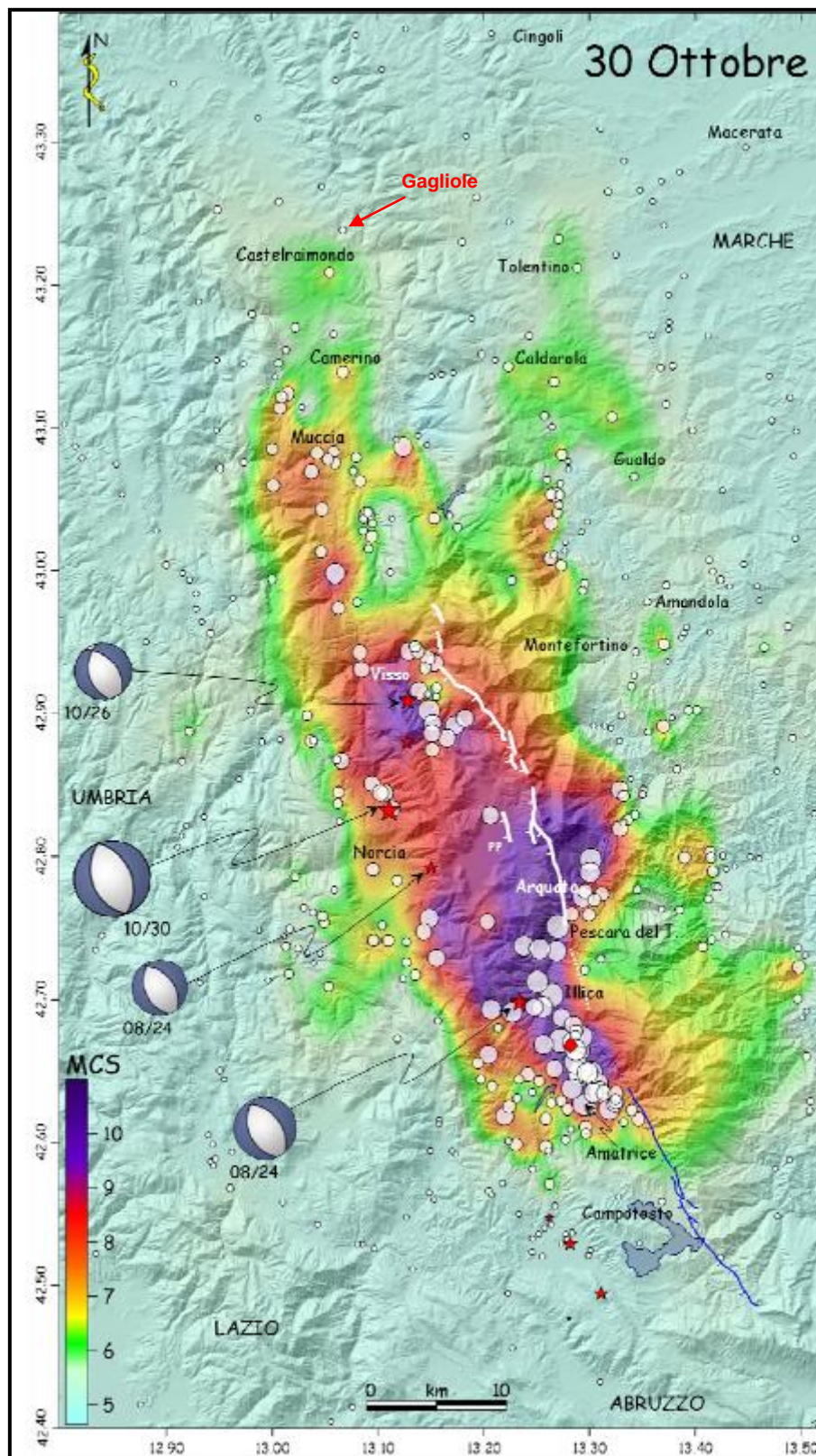


Figura 4 L'immagine è tratta da: Galli P., Castenetto S., Peronace E., 2017. Rapporto sugli effetti macrosismici del terremoto del 30 Ottobre 2016 (Monti Sibillini) in scala MCS. Roma, rapporto congiunto DPC, CNR-IGAG, 17+8 pp.

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC) MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	14
--	---	----

## 4 ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

### 4.1 Assetto stratigrafico

#### 4.1.1 Substrato

In tutto il territorio comunale di Gagliole affiorano le formazioni mesozoico-terziarie appartenenti alla nota successione umbro-marchigiana, dal Calcare massiccio fino alla Scaglia cinerea e le formazioni mioceniche del Bisciaro, Schlier e depositi torbiditici del Bacino di Camerino (fig. 4).

Nel territorio di Gagliole studiato ai fini della MS3 affiorano la formazione miocenica dello Schlier ed i depositi torbiditici del Bacino di Camerino (fig. 5).

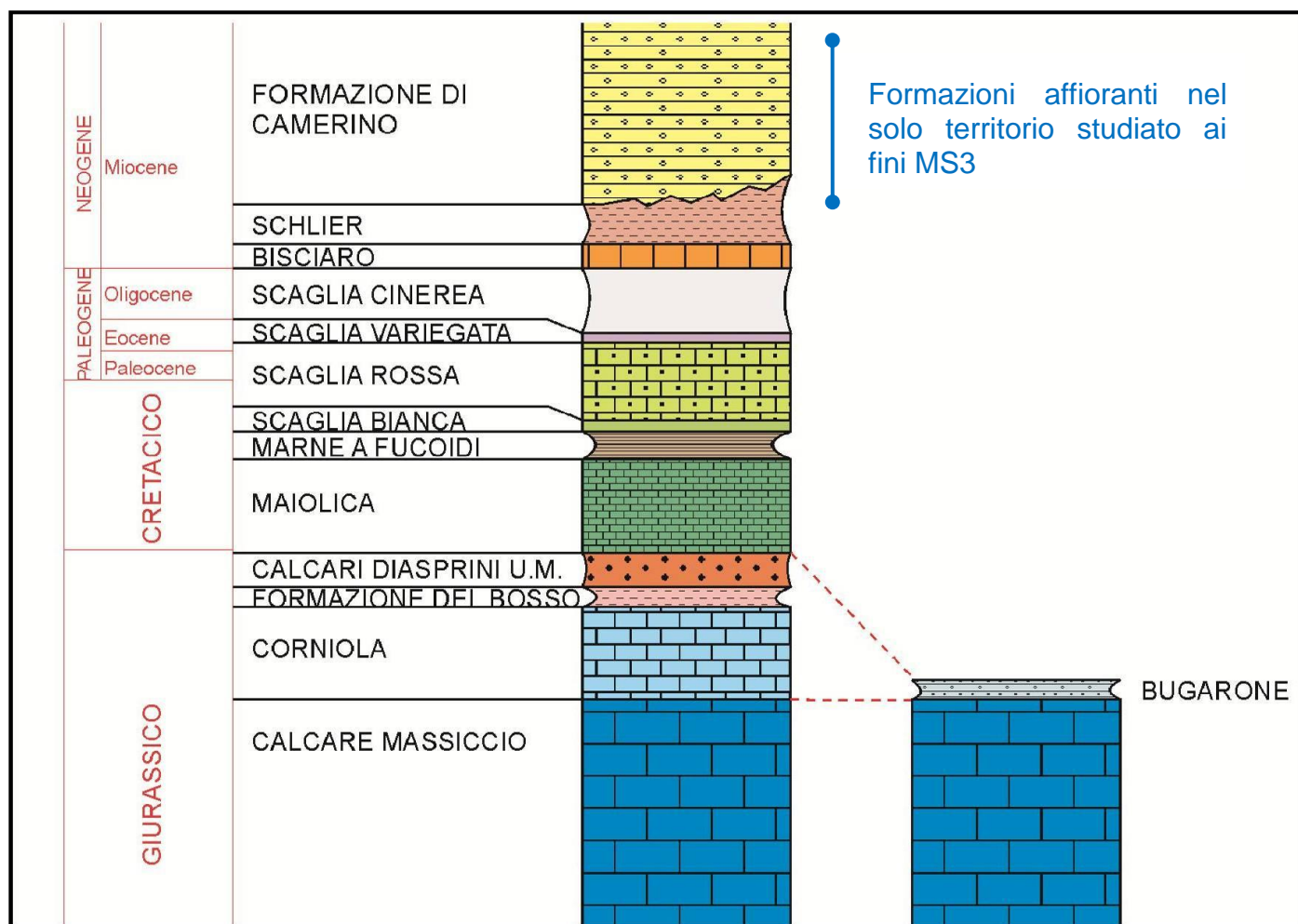


Figura 5 Schema della successione stratigrafica completa umbro-marchigiana affiorante nell'intero territorio comunale di Gagliole, con specificazione delle formazioni affioranti nel solo territorio investigato ai fini della MS3.



ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC) MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	15
--	---	----

### *Schlier - SCH*

E' costituita da alternanze di marne, marne siltose calcaree e argillose, a volte arenacee, di colore grigio e da calcari marnosi in quantità subordinata (fig. 5); è localmente ricca in fossili, soprattutto gasteropodi; affiora sulla zona circostante il Civico Cimitero. In superficie la formazione è di colore grigio chiaro a causa dell'alterazione, in profondità di colore grigio, grigio scuro. La stratificazione è medio-sottile, marcata solo in superficie dalla diversa resistenza agli elementi erosivi. Lo spessore totale della formazione varia dai 200 ai 230 m.

Affiora soltanto in prossimità della Casa di Riposo di Gagliole.

Età: Burdigaliano superiore p.p. – Tortoniano medio p.p.



*Figura 6 Affioramento dello Schlier ad est di Collaiello.*

### *Formazione di Camerino - FCI*

Al di sopra dello Schlier sono presenti i depositi torbiditici del Miocene superiore appartenenti alla Formazione di Camerino, che corrisponde alle Arenarie di Camerino (Calamita et al., 1979), distinguibile in differenti associazioni.

Età: Tortoniano p.p. -Messiniano p.p.

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC) MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	16
--	---	----

Le litofacies individuate tramite il rilievo geologico in scala 1:5000, molto supportato da criteri morfologici, sono state confermate e dettagliate dall'analisi degli affioramenti del substrato, condotta determinando lo spessore e la posizione degli strati litoidi o semi-litoidi (arenarie) e degli strati pelitico-marnosi, al fine di poter applicare il criterio del rapporto arenaria/pelite secondo la classificazione A.G.I. (1979) di fig. 7.

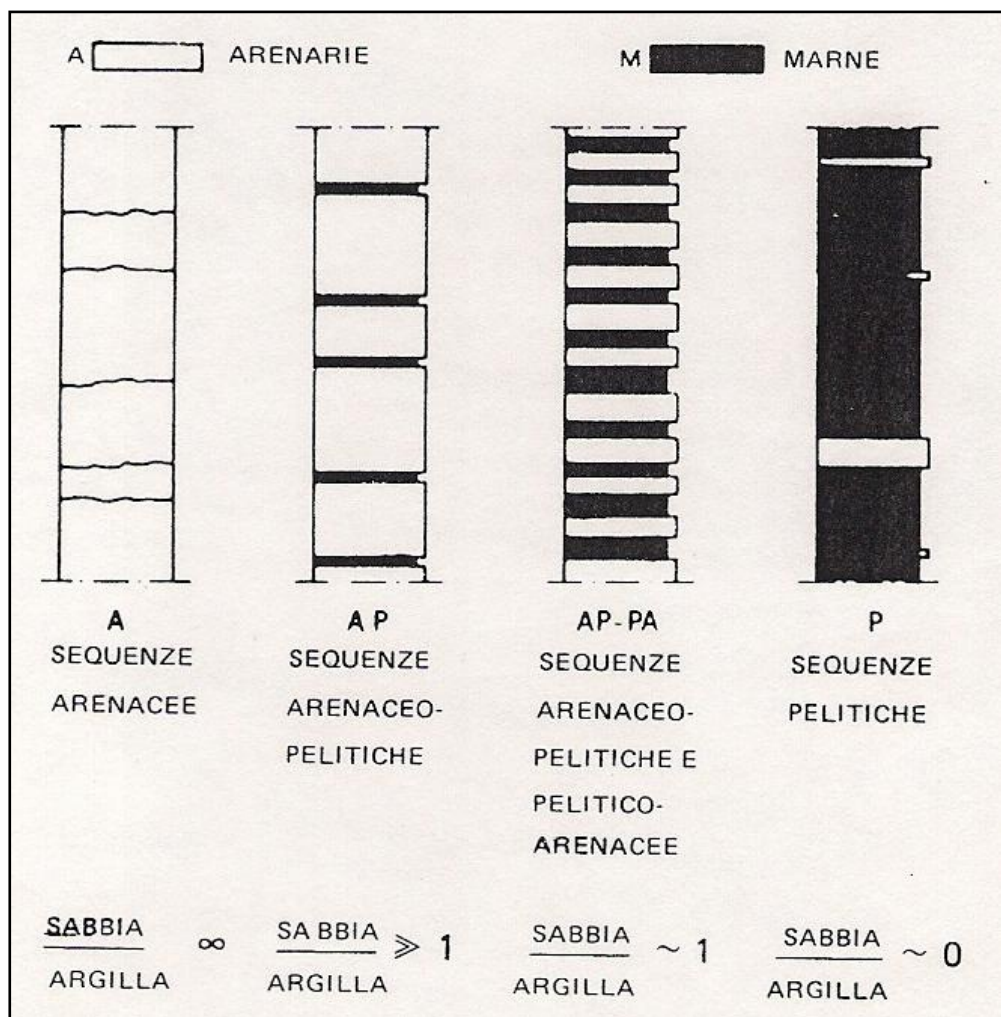


Figura 7 Classificazione e sequenze arenaceo – pelitiche (da A.G.I., 1979).

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC) MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	17
--	---	----

La distinzione ed individuazione delle litofacies dunque, oltre che su caratteri macroscopici, è stata eseguita attraverso dati quantitativi, ovvero attraverso il calcolo del rapporto arenaria/pelite (A/P), definendo per ogni litofacies un campo di valori rappresentativo.

Sono quindi state distinte la litofacies arenaceo-conglomeratiche e la litofacies pelitico-arenacea.

#### Associazione arenaceo-conglomeratica – FC1b – Rapporto A/P $\geq 30$

Si tratta di arenarie (figg. 7-8) e conglomerati poligenici con rari livelli pelitici emipelagici; nel complesso prevalgono le litofacies arenacee.

Le arenarie sono costituite da strati torbidity di sabbie, nocciola e giallastre, con granulometria da fine a grossolana, da poco cementate a cementate; gli strati sono principalmente da medi a molto spessi (banchi), talvolta con geometria visibilmente lenticolare; le superfici di strato sono spesso erosive, ossidate e sedi di concrezioni carbonatiche (calcinelli) globose o allungate. E' talora visibile gradazione per buona porzione degli strati e strutture sedimentarie come laminazioni piano-parallela, ondulata o incrociata; gli strati di arenarie sono talora separati da livelli centimetrici di peliti grigio-azzurre.

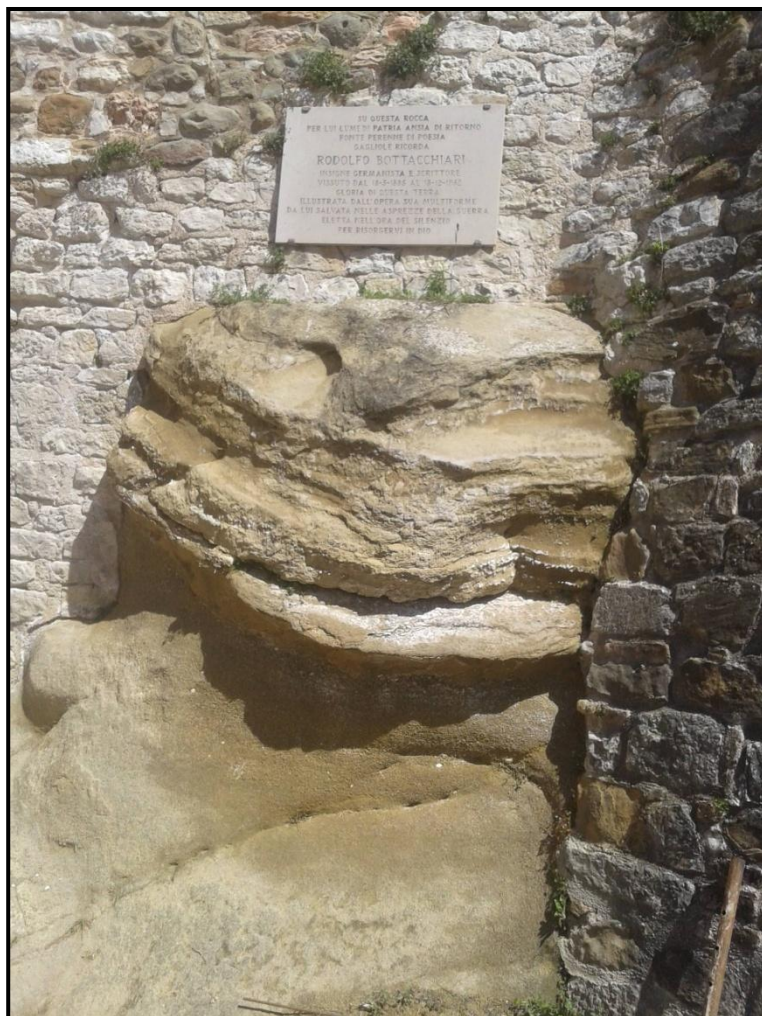
I conglomerati (fig. 9) sono cementati e contengono ciottoli e blocchi costituiti da elementi di Bisciaro e di Schlier e subordinatamente clasti di Scaglia cinerea e di Scaglia rossa; la tessitura è in genere caotica anche se talvolta è presente un isorientamento e cenni di embriciatura dei ciottoli; i clasti sono eterometrici, hanno forma fondamentale perlopiù discoidale e subordinatamente lamellare, sono immersi in abbondante matrice sabbiosa (matrix supported) e solo localmente in contatto tangente o lungo (raramente in posizione embriciata), sono arrotondati e molto arrotondati (secondo le classi di arrotondamento di Powers, 1953, modificato in Shepard, 1963). La matrice è sabbioso-argillosa. Questi corpi conglomeratici hanno geometria marcatamente lenticolare.

Il contatto basale dell'associazione arenaceo-conglomeratica è sempre di tipo erosivo, sia quando la stessa poggia direttamente sullo Schlier, come visibile lungo la strada poco a sud della Sorgente Caciornia, sia quando la stessa poggia su una sottile associazione pelitico-arenacea, come in località i C. Bergoni. Il contatto di tetto non è visibile, ma è evidenziato da una brusca diminuzione delle pendenze.

Su questa associazione, affiorante o sub-affiorante, si sviluppa la maggior parte dei nuclei abitati di Gagliole ed Acquosi nella cui prossimità in particolare sono presenti paraconglomerati con matrice arenacea e all'interno frammenti di rocce più antiche.



ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC) MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	18
--	---	----



*Figura 9 Associazione arenaceo-conglomeratica nel centro storico di Gagliole.*



*Figura 8 Associazione arenaceo-conglomeratica in prossimità di Gagliole: tipico aspetto della parte inferiore di uno strato torbiditico, costituito da granuli sub-angolosi millimetrici principalmente selciferi.*



ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC) MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	19
--	---	----



*Figura 10 Associazione arenaceo-conglomeratica in prossimità di Acquosi: sono evidenti frammenti derivanti da diversi tipi di rocce madri, principalmente Bisciario e Schlier.*

Associazione pelitico-arenacea – FCle – Rapporto A/P è  $0,2 \leq A/P \leq 1$

E' costituita da una prevalenza di argille marnose ben stratificate di colore grigio scuro con intercalazioni subordinate di arenarie grigio-giallastre in strati sottili e medi, a grana da media a fine o finissima. Si rinvencono prevalentemente sequenze di Bouma del tipo T<sub>ac</sub>.

E' presente in modo discontinuo al di sopra dello Schlier o intercalata alle altre associazioni.

La sua presenza soltanto raramente si rinviene in affioramento, mentre per la maggior parte è dettata da evidenze morfologiche; è stata intercettata nel sondaggio DH in località Selvalagli dove, il rapporto A/P è risultato pari a 0,5 ovvero 1/5.

Un affioramento è presente in prossimità della Casa di Riposo (fig. 11), al di sopra dello Schlier, dove presenta uno spessore comunque ridotto.

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC) MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	20
--	---	----



*Figura 11 Contatto tra lo Schlier e la soprastante associazione pelitico-arenacea, lungo la strada di accesso alla Casa di Riposo.*

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC) MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	21
--	---	----

#### 4.1.2 Coperture

Il substrato roccioso è localmente ricoperto da depositi di copertura continentali quaternari costituiti da depositi fluviali lungo il fondovalle del Fiume Potenza e da coltre colluviale sviluppate nei versanti e nelle zone di impluvio.

*GC tf – MUS bn - MTI bn* - Si tratta di alluvioni oloceniche e del Pleistocene superiore presenti lungo la valle del Fiume Potenza. Sono costituite da ghiaie con ciottoli poligenici, in prevalenza calcarei e calcareo-marnosi e subordinatamente silicei (derivanti dalle formazioni della successione umbro-marchigiana), in matrice sabbiosa o limoso-sabbiosa a percentuale variabile; questi depositi ciottolosi e sabbiosi presentano stratificazione parallela e incrociata e contengono all'interno intercalazioni argillose, limose e sabbiose. Presentano uno spessore variabile da 3 a 20 m.

*SM tf – MTI bn* - In corrispondenza della confluenza del Fosso Mignano sul F. Potenza è presente una conoide alluvionale dissecata, la quale è stata intercettata durante l'esecuzione del sondaggio DH. Il deposito è costituito da un'alternanza di sabbie ghiaiose e di ghiaie in matrice sabbiosa a cui si intercalano paleosuoli. Presenta uno spessore variabile da 3 a 20 m. La zona di alimentazione è costituita sia da rocce terrigene che calcareo-marnose.

*CLec – MUS b2* – Si tratta di depositi eluvio-colluviali costituiti da argille limose, talora più raramente sabbiose o ghiaiose, e da limi-argillosi con concrezioni carbonatiche; sono presenti lungo i versanti e sulle zone di impluvio; sono presenti in una piccola parte subordinata dell'area MS3. Presentano uno spessore variabile prevalentemente da 3 a 10 m.



ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC) MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	22
--	---	----

## 4.2 Assetto geologico-strutturale

L'area oggetto di studio di MS ricade nell'appennino umbro-marchigiano nella zona a cavallo tra la depressione intrappennica (fig. 12) e la dorsale marchigiana esterna: in particolare si sviluppa prevalentemente in corrispondenza del fianco orientale della sinclinale di Camerino in raccordo con il fianco occidentale dell'anticlinale del M. San Vicino.

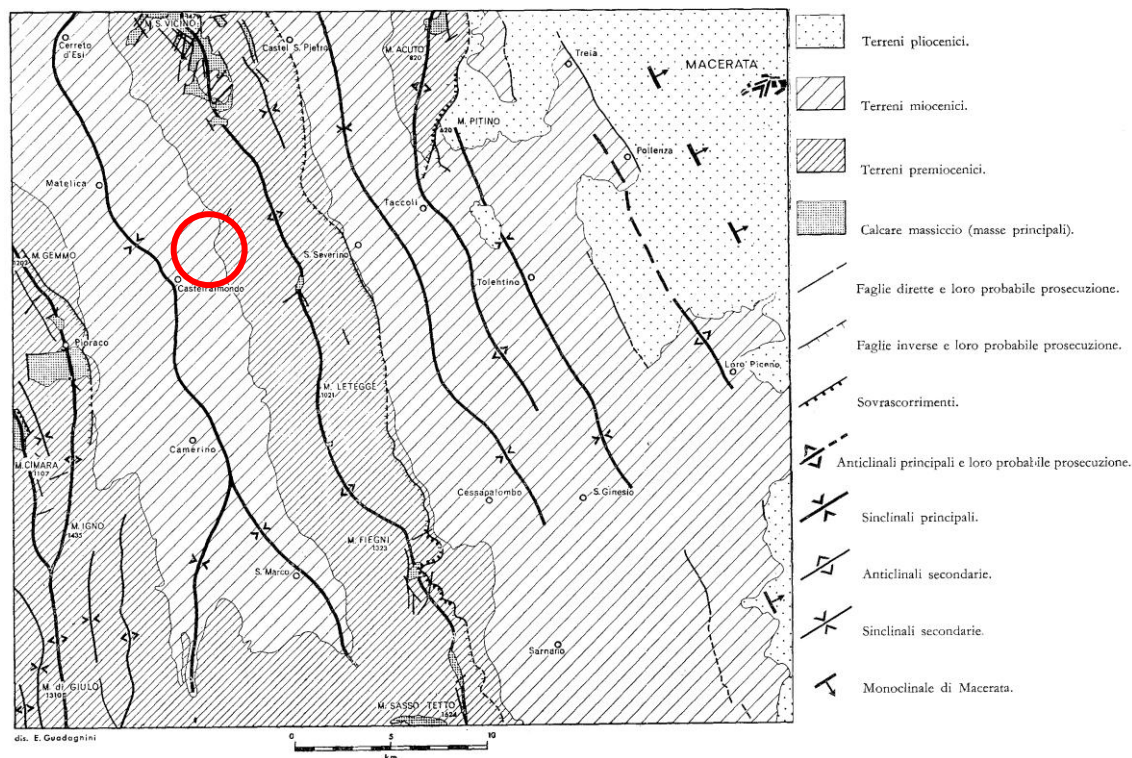


Figura 12 Schema strutturale del foglio 124 "Macerata" della Carta Geologica d'Italia. Con il cerchio rosso l'ubicazione dell'area di indagine.

Il Bacino di Camerino costituisce un'ampia struttura sinclinale con orientazione NNW-SSE che in realtà, presenta una più complessa articolazione interna: a nord del F. Esino infatti una dorsale longitudinale (Argignano – M. Gallo) suddivide il Bacino di Camerino in due sub-bacini, il sub-bacino di Collamato ed il più vasto "sub-bacino di Matelica", nell'ambito del quale si sviluppa l'area in oggetto. Detto sub-bacino di Matelica longitudinalmente mostra un graduale approfondimento verso sud e presenta altresì un profilo trasversale asimmetrico, con la parte più profonda verso est (fig. 13).

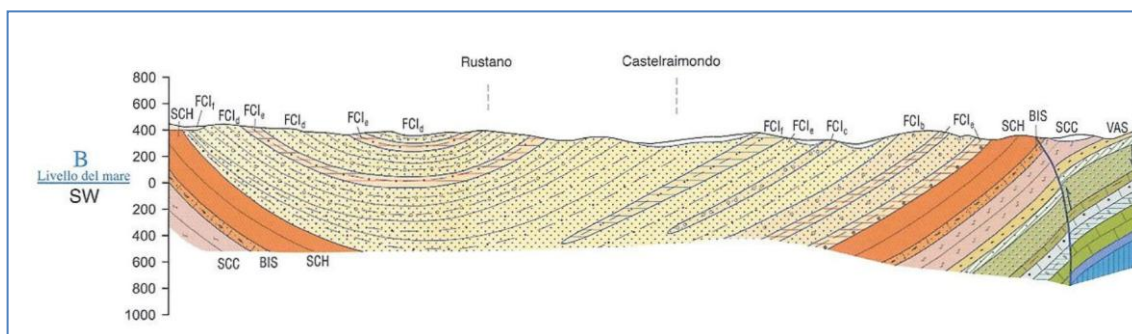
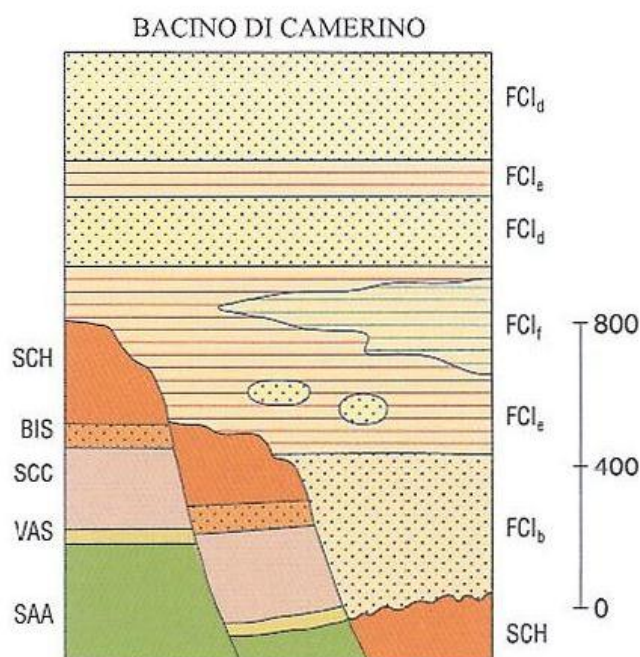


Figura 13 Tratto da Carta Geologica d'Italia Foglio 302 Tolentino, sezione geologica B-B'. Nella sezione è evidente l'asimmetria della sinclinale e lo spessore maggiore dei depositi torbiditici nel fianco est con la presenza anche di facies più grossolane.

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC) MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	23
--	---	----

Questa articolazione è legata ad un episodio distensivo del Messiniano basale (Calamita & Deiana, 1980) durante il quale faglie normali sinsedimentarie condizionavano la sedimentazione delle torbiditi pre-evaporitiche, controllando la fisiografia dell'avanfossa (fig. 13), episodio distensivo messo in relazione ai processi di flessurazione litosferica nella zona di raccordo tra avanfossa e avampaese. Dette faglie, prima della formazione dei successivi thrusts e pieghe connessi alla strutturazione della catena appenninica, creavano alti strutturali e aree depresse bacinali in cui avveniva la deposizione torbiditica (fig. 14).



*Figura 14 Tratto da Carta Geologica d'Italia Foglio 302 Tolentino. Schema dei rapporti stratigrafici nella successione oligocenico-messiniana preevaporitica nel Bacino di Camerino.*

Recenti studi (Scisciani et alii, 2000) documentano che il Bacino di Camerino è bordato ad occidente da faglie normali sinsedimentarie NE-immarginate che hanno controllato la fisiografia del bacino stesso sinorogenico tortoniano-messiniano e pertanto il contatto tra lo Schlier e le torbiditi messiniane della Formazione di Camerino avviene in tale area tramite faglia e relativa paleoscarpata. Con l'instaurarsi degli sforzi compressivi che condizionano la successiva evoluzione del bacino, le faglie sono state ruotate e l'attuale contatto ad alto angolo tra lo Schlier e le torbiditi messiniane è rappresentato dalla faglia/paleoscarpata ruotata fino ad un'inclinazione di 60°-80°. Allo stesso tempo durante la compressione le torbiditi messiniane sono state piegate a costituire una sinclinale ad asse appenninico, suturata dalle evaporiti messiniane della Formazione gessoso-solfifera.

La Formazione di Camerino nel complesso è strutturata in una sinclinale con asse a direzione NNW-SSE, che possiamo anche definire "di crescita", in cui cioè il piegamento avviene anche durante la sedimentazione torbiditica, con la formazione di una struttura asimmetrica, anche litologicamente, tra est ed ovest e con variazioni delle pendenze degli strati con la profondità.

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC) MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	24
--	---	----

Ciò in accordo con i più recenti studi eseguiti per il CARG e secondo i dati di Calamita et. al. (1979).

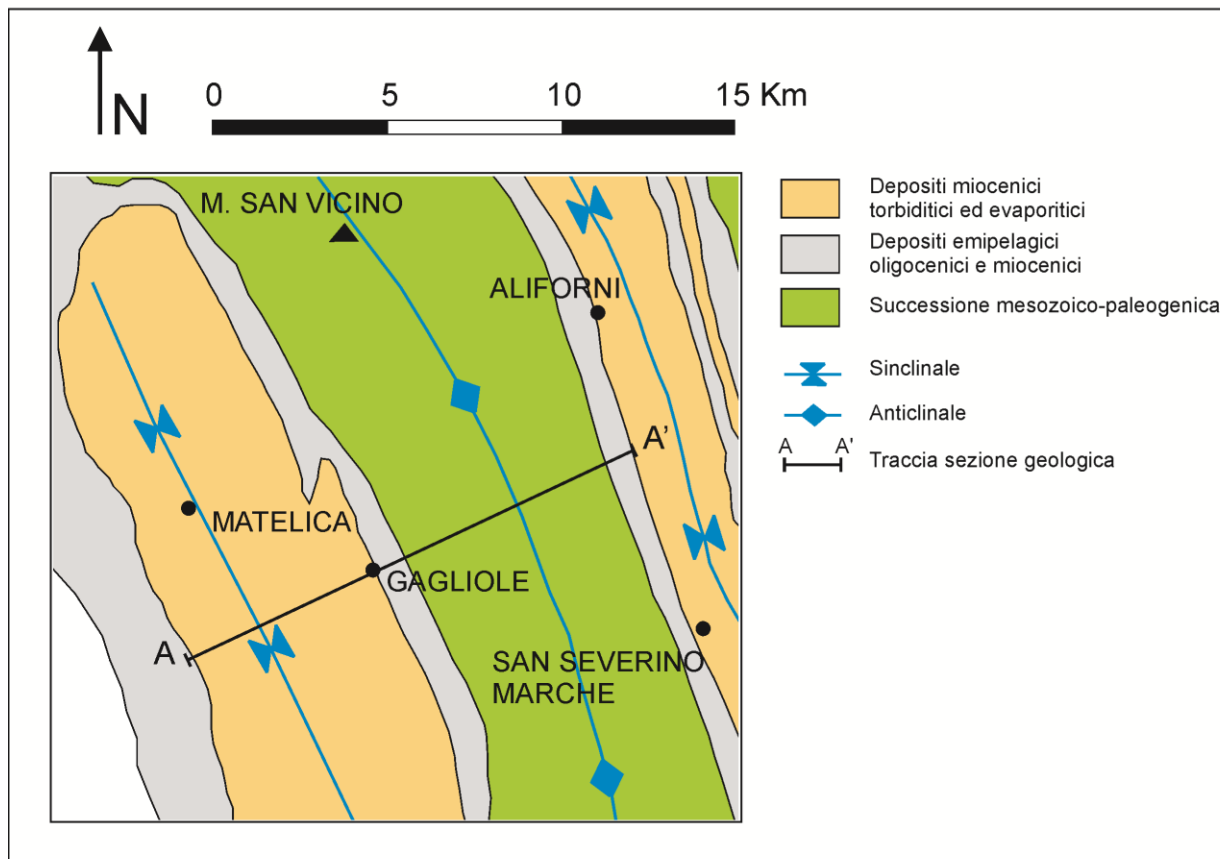
Il fianco ovest della sinclinale, presenta una stratificazione immergente a NE con pendenze che da circa 40°-50° (localmente anche 70°-75°) in prossimità del contatto con lo Schlier, diminuiscono progressivamente fino all'orizzontalità via via verso est, cioè verso il nucleo della sinclinale stessa.

Il fianco orientale della sinclinale, in cui si inserisce l'area oggetto di studio, presenta una stratificazione più regolare ed immergente a SO con pendenze da circa 15°-30° (nella porzione più a ovest) a pendenze oscillanti in un range di  $45^\circ \pm 10^\circ$  (nella porzione più a est); è comunque evidente che questo fianco è rappresentato da litofacies più spesse e regolari, che si traduce in spessori complessivi della formazione maggiori rispetto al fianco occidentale. In corrispondenza dell'area investigata lo spessore complessivo risulta oscillare da 850m a 1050 m.

Nelle strutture descritte sono impostati i sistemi di faglie giurassiche e mioceniche, alle quali sono associate le principali deformazioni fragili rilevabili nell'area. Tali sistemi di faglie sono state successivamente interessate dalla deformazione compressiva neogenica, subendo una rotazione rispetto agli assi orizzontali e/o acquisendo una geometria da faglie inverse ad alto angolo retrovergenti come nel caso della faglia Colle Marte-Basciano, presente sulla zona di raccordo tra l'anticlinale di M. San Vicino e la sinclinale di Camerino.

Nel territorio studiato ai fini della MS, in base ai rilievi di superficie e all'interpretazione delle foto aeree non sono state rinvenute strutture di deformazione, dislocazioni, anomalie geomorfologiche e/o stratigrafiche da associare a faglie attive e capaci o faglie potenzialmente capaci; non può essere però esclusa la loro presenza nei territori limitrofi, ad esempio M. San Vicino, Monte Lago, in cui, a parere della scrivente, evidenze geologiche e geomorfologiche meritano attenzione e studi più approfonditi secondo i I.C.M.S. 2008.

## SCHEMA GEOLOGICO



## SEZIONE GEOLOGICA A-A'

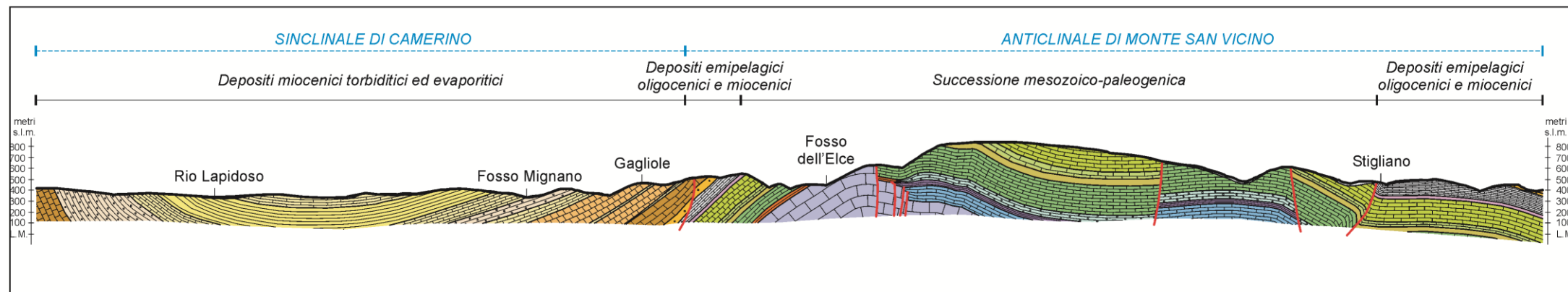


Figura 15 Schema geologico e sezione geologica mostranti l'ubicazione del territorio di Gagliole nel fianco orientale della sinclinale di Camerino e nella zona di raccordo tra questa e l'anticlinale del M. San Vicino.



ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	26
--	---	----

### 4.3 *Assetto geomorfologico*

Nelle aree MS3 di Gagliole dal punto di vista geologico e fisiografico si individuano principalmente due aree, distinguibili per tipo di unità geologiche affioranti, per assetto geologico-strutturale, per comportamento idrogeologico e per morfologia.

#### *Area collinare – Gagliole - Acquosi*

L'area di Gagliole capoluogo ed Acquosi, collinare, è caratterizzata da substrato prevalentemente arenaceo affiorante e sub-affiorante, che ricade nel fianco orientale della sinclinale di Camerino. La superficie topografica presenta pendenza media principalmente > 15°, come risposta a processi di erosione selettiva da parte degli agenti esogeni.

In tale area sono presenti zone con coltri colluviali, costituite perlopiù da fine granulometria, mascheranti il substrato. Tali coltri, rientranti in minima parte nelle aree MS3, sono frequentemente interessate da fenomeni franosi sia quiescenti che attivi di varia tipologia (scorrimenti, colamenti, frane complesse ecc.).

Sono inoltre presenti scarpate poligeniche (con  $h > 10$  m) influenzate dalla struttura, anche se rientranti in minima parte nell'area MS3 di Gagliole, in corrispondenza dei litotipi prettamente arenaceo-conglomeratici che, data la maggiore resistenza all'erosione, danno luogo spesso a risalti morfologici; in corrispondenza di dette scarpate sono spesso presenti fenomeni di crollo in atto o potenziali. Si segnala infine sempre a Gagliole la presenza di creste e cocuzzoli.

#### *Fondovalle del F. Potenza - Selvalagli*

L'area sub-pianeggiante, lungo il fondovalle del F. Potenza è sede del nucleo abitato di Selvalagli e della zona industriale. Si tratta di un'area a carattere prevalente sub-pianeggiante, interrotta localmente da scarpate fluviali inattive che segnano il passaggio tra i depositi alluvionali del Pleistocene superiore e quelli più recenti olocenici; altre scarpate, in stato di attività o quiescenti, sono presenti a bordo dell'alveo attuale del fiume. Nel complesso sono quasi tutte scarpate con altezza < 10 m e sono in pochi casi comprese tra 10 e 20 metri.

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	27
--	---	----

## 5 DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

### 5.1 *Dati pregressi*

I dati pregressi sono riferiti ai dati di sottosuolo ricercati ed analizzati durante le indagini di livello 1 presso gli archivi dell'Ufficio Tecnico Comunale.

Si tratta di dati che si riferiscono a n. 112 siti puntuali, comprensive di indagini geognostiche e geofisiche di n. 10 indagini puntuali di tipo geofisico ex-novo realizzate durante le indagini di livello 1; gli stessi sono relativi a tutte le zone analizzate nel livello 1.

Detti dati sono informatizzati, collegati al database e consultabili in formato pdf, nella sotto-cartella documenti, allegata all'interno della cartella indagini.

Si tratta di:

- n. 8 Sondaggi a distruzione di nucleo
- n. 1 Sondaggio a carotaggio continuo che intercetta il substrato
- n. 54 Sondaggi a distruzione di nucleo che intercettano il substrato
- n. 8 Sondaggi da cui sono stati prelevati campioni
- n. 8 Prove penetrometriche dinamiche super pesanti
- n. 5 Prove penetrometriche dinamiche medie
- n. 2 Prove penetrometriche dinamiche leggere
- n. 21 trincee
- n. 1 verticale virtuale lungo profilo sismico a rifrazione
- n. 2 Stazione microtremore a stazione singola
- n. 10 prove HVSR.

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	28
--	---	----

## 5.2 *Dati acquisiti ex-novo*

Il Piano delle Indagini, concordato con gli Operatori del CentroMS, è stato sviluppato con lo scopo di:

1) individuare e caratterizzare i fenomeni di risonanza sismica potenzialmente rappresentativi di fenomeni di amplificazione del moto sismico;

2) ricostruire il profilo di velocità delle onde S all'interno delle diverse MOPS, cioè definire i valori di Vs da attribuire ai diversi corpi geologici presenti.

1) La stima dei fenomeni di risonanza sismica è stata eseguita attraverso la tecnica basata sulla misura dei rapporti spettrali medi del campo delle vibrazioni ambientali (HVSr).

HVSr - Le misure di microtremore ambientale sono state eseguite per mezzo di un tromografo digitale portatile progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico.

Per tale scopo viene utilizzato un sismografo 24 bit GEOBOX prodotto dalla ditta Sara Instruments Srl (frequenza di risonanza 0.45 Hz).

Lo strumento (GeoBox – Sara Instrument) è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati secondo le direzioni NS, EW e verticalmente, ad alta definizione, alimentato a batterie, senza cavi esterni.

Dalla registrazione del rumore sismico ambientale in campo libero è stata ricavata la curva H/V, secondo la procedura descritta in Castellaro et al. (2005), avendo utilizzato i seguenti parametri:

- larghezza delle finestre d'analisi 20 s,
- lisciamento secondo finestra Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 20/40),
- rimozione dei transetti sulla serie temporale degli H/V.

Sono dunque state eseguite n. 23 prove HVSr, l'esito delle quali ha da una parte supportato il modello geologico con valutazione del livello di omogeneità delle MOPS, dall'altra ha permesso di stimare le frequenze di risonanza (Carta delle Frequenze) evidenziando i contrasti di impedenza maggiori con indicazioni di massima sulla profondità dei contrasti stessi. La distanza tra i punti di misura è stata impostata operando un approccio ragionato, in relazione alla complessità e variabilità del modello geologico.

2) Sulla base del modello geologico e dei risultati ottenuti nella fase precedente sono state eseguite prove volte alla determinazione dei profili di velocità delle Vs attraverso l'esecuzione di una prova DH nel sondaggio di nuova esecuzione e di n. 6 MASW eseguite in ogni microzona omogenea individuata.

SONDAGGIO - Il sondaggio a carotaggio continuo è stato eseguito nella frazione Selvalagli nel sito che garantisce la massima rappresentatività (zona 2006) in rapporto al



ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	29
--	---	----

territorio ed in considerazione della logistica e sicurezza necessaria per l'esecuzione dei lavori. Lo stesso è stato eseguito secondo le tecniche specificate nel Protocollo ed è stato spinto fino alla profondità di 35,5 m; lo stesso intercetta il substrato geologico della litofacies pelitico-arenacea e dallo stesso sono stati prelevati n. 1 campione indisturbato e n. 1 campione disturbato, successivamente inviati ai laboratori prescritti e sono state eseguite n. 2 SPT. Nell'ambito dello stesso è stato installato un tubo in PVC del diametro di 87 mm ed un chiusino. Per tutti i dettagli si veda la stratigrafia del sondaggio allegata.

## MASW

L'attrezzatura e la strumentazione utilizzate per l'esecuzione delle MASW sono costituite da:

- un sistema di energizzazione per le onde P: la sorgente è costituita da una mazza del peso di 8 Kg battente verticalmente su piastra circolare in acciaio del diametro di 25 cm posta direttamente sul p.c. per la generazione prevalentemente di onde P e secondariamente di onde SV, in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali;
- un sistema di ricezione: costituito da 24 geofoni verticali monocomponente del tipo elettromagnetico a bobina mobile a massa sospesa (peso della massa 12.2 gr) con frequenza propria 4.5 Hz (Masw), ovvero dei trasduttori di velocità in grado di tradurre in segnale elettrico la velocità con cui il suolo si sposta al passaggio delle onde sismiche longitudinali prodotte da una specifica sorgente;
- sistema di acquisizione dati: Sismografo Ambrogeo (modello ECHO 2010) con memoria dinamica a 32 bit, dotato di hard disk, in grado di memorizzare i dati acquisiti in formato SEG2., n° 2 cavi sismici telemetrici di 60 m ciascuno, il sistema è in grado di registrare su memoria il segnale proveniente da ciascun canale dal sistema di ricezione;
- un sistema di trigger: consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui la mazza colpisce la base di battuta (piastra metallica), consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e di produrre un impulso che viene inviato al sistema di acquisizione dati; in questo modo è possibile individuare e visualizzare l'esatto istante in cui la sorgente viene attivata e fissare l'inizio della registrazione.

### Acquisizione:

Lunghezza stendimento ricevitori: 46 m;

n. geofoni: 24; distanza intergeofonica: 2m

n. punti di energizzazione: 6;

offset sorgenti: 4 m, 6m e 10m;

durata acquisizione: 1000/2000 ms e intervallo di campionamento: 0.478 ms

stacking delle energizzazioni.

I dati numerici delle MASW e dell'HVSR in formato txt, sono stati caricati nel software di elaborazione HV-Inv.

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	30
--	---	----

## 6 METODOLOGIE DI ELABORAZIONE

### 6.1 *Inversioni congiunte*

Sulla base dei “ Protocolli di acquisizione dati ed elaborazione relativi alle attività di Microzonazione di Livello III nei 140 Comuni di cui all’Ordinanza n. 24 del 12 maggio 2017 della Presidenza del Consiglio dei Ministri” sono state acquisite ed elaborate le misure HVSR (4.2 La pianificazione delle Indagini e l’uso del metodo dei rapporti spettrali HVSR) e Masw (4.3 La determinazione del profilo di Vs: tecnica MASW).

In particolare per le MASW è stato eseguito il picking 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. Nell’elaborazione, tale dato è stato sia graficizzato (Fig. 7: Spettro velocità di fase) che tabulato (Tab.3: Curva di dispersione ed intervallo di confidenza).

I risultati ottenuti sono stati documentati depositando i prodotti delle elaborazioni MASW in formato digitale ASCII, includendo i Fogli campagna relativi misure MASW uno per ciascuno stendimento e le letture delle curve di dispersione. I dati originali delle misure effettuate sono stati depositati sia in forma di file ASCII che in formato sismologico standard (SEG-Y, SEG2.)

Allo scopo di determinare i profili di Vs relativi a ciascuna misura sono state eseguite elaborazioni per fasi successive e, a parere degli scriventi, necessarie.

- i) Dapprima sono state eseguite procedure di inversione numerica delle curve di dispersione attraverso i metodi standard (Gradiente); attraverso questa fase il modello geologico già definito è stato confrontato e/o “calibrato” facendo riferimento alle velocità Vs ottenute per gli strati più superficiali ed alle misure HVSR corrispondenti.
- ii) Quindi per ridurre il livello di ambiguità nelle procedure di inversione sono stati posti due vincoli. L’uno, il vincolo del modello geologico, impostando un campo di variabilità dello spessore minimo e massimo dei sismo-strati individuato nella verticale di indagine. L’altro, il vincolo attraverso le procedure di inversione congiunta con le misure HVSR corrispondenti.
- iii) Sono quindi state opportunamente effettuate valutazioni del livello di incertezza che caratterizza il profilo di Vs ottenuto per una singola zona, incertezza legata sia alla mancata univocità del modello di sottosuolo sia alle eventuali variazioni laterali nella stessa microzona, ripetendo la procedura di inversione più volte e collezionando i modelli che producono un analogo livello di adattamento ai dati sperimentali. L’insieme di queste soluzioni e di quelle ottenute dalle altre misure effettuate nella stessa microzona (compresi i risultati del DH) sono state utilizzate per definire i limiti di confidenza associati al profilo di Vs da utilizzare per la modellazione della risposta sismica locale della microzona analizzata (vedi tabella riassuntiva in ogni inversione congiunta Tab.8: Parametri di output medi sulle modellazioni effettuate).

Appare doveroso anche segnalare che, allo scopo di valutare l’influenza dei vincoli suddetti sui risultati dei profili di Vs e di operare consapevolmente nei processi di

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	31
--	---	----

elaborazione, inizialmente come primo approccio è stato utilizzato il solo vincolo dell'inversione congiunta con la HVSR; i profili di Vs ottenuti in molti casi sono risultati incompatibili con il modello geologico e talora fuorvianti. Quanto espresso soltanto per affermare che una individuazione appropriata del modello geologico, anche se soggetta per sua natura ad un margine di incertezza, gioca un ruolo essenziale nella risoluzione e definizione dei profili di Vs.

I valori di Vs dunque sono stati definiti in base ai valori minimi e massimi ottenuti dalle diverse modellazioni di inversioni congiunte delle MASW eseguite nella microzona di interesse. Alcune unità geologiche sono state investigate da MASW e DH; in tali casi i valori di Vs derivano dalla considerazione dei risultati di tutte le prove eseguite, ottenendo tra l'altro una convergenza di risultati.

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	32
--	---	----

## 6.2 Modellazione 1D

### 6.2.1 Scelta dell'input sismico

Per la definizione dell'input sismico sono stati utilizzati i dati della sismicità dell'area forniti dagli Operatori del CentroMS.

In particolare sono stati utilizzati 7 Accelerogrammi rappresentativi della pericolosità sismica locale (scenari di scuotimento) associata ad eventi con tempi di ritorno di 475 anni e relativi spettri di risposta elastici in pseudo-accelerazione con smorzamento pari al 5% dello smorzamento critico. Gli stessi scuotimenti sismici (accelerogrammi) sono relativi a basamento sismico affiorante ovvero ad un sito di riferimento rigido e superficie topografica orizzontale (Categoria di sottosuolo A e Categoria topografica T1 nelle NTC 2008), con Magnitudo M compresa tra 5 e 6.1 e distanza epicentrale tra 0 Km e 30 Km.

#### MARCHE1 - GAGLIOLE (475yrs)

Tue Jul 04 12:10:47 CEST 2017

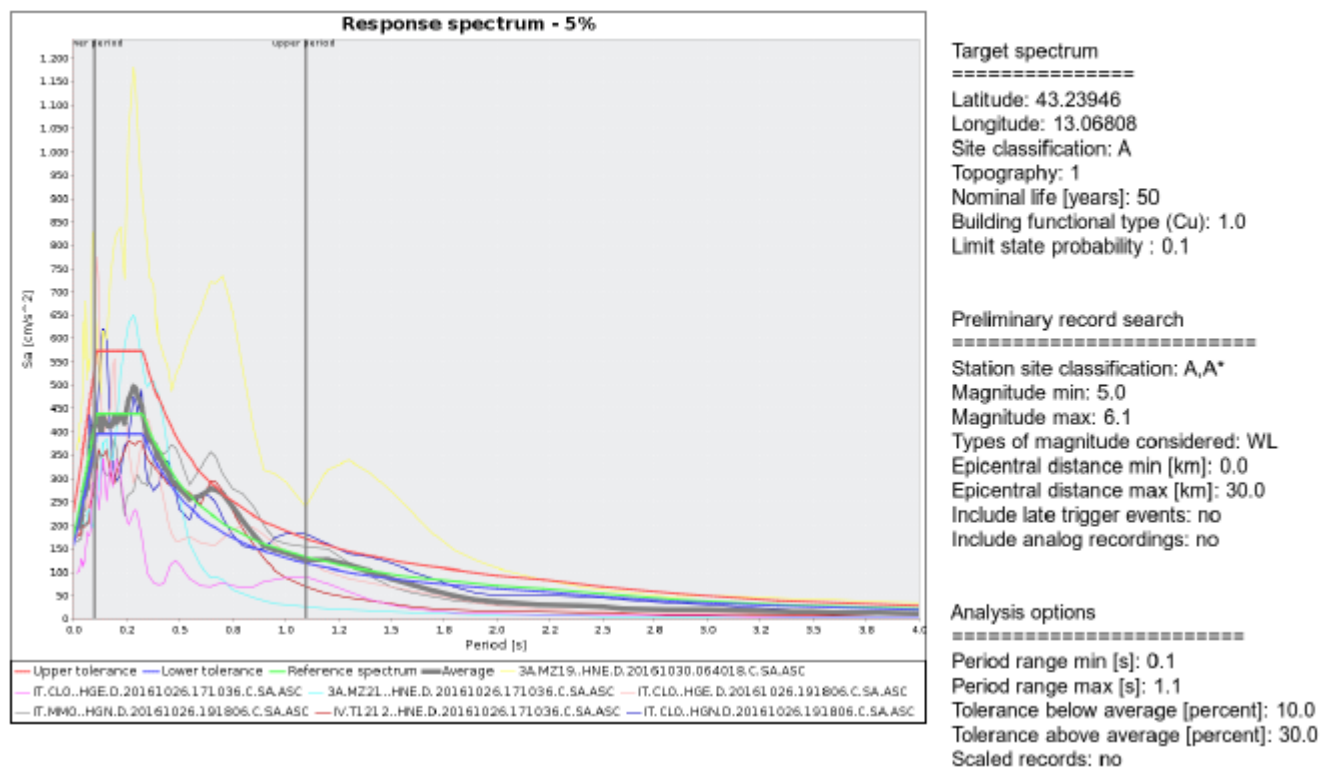


Figura 16 Spettri di risposta elastici degli input sismici forniti dal Centro Microzonazione Sismica.

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	33
--	---	----

## 6.2.2 Simulazioni numeriche

La modellazione del terreno 1D è stata svolta con il software STRATA. Per ogni MOPS si è effettuata la calibrazione con il metodo Linear Elastic, in modo da controllare se la sequenza dei sismostrati e delle relative velocità sia conforme a quanto riscontrato con le prove HVSR che si sono effettuate nella zona considerata.

La calibrazione può avere delle differenze di spessore dei sismostrati rispetto alla MOPS considerata in quanto, per la calibrazione, si è tenuto in conto della reale stratigrafia sotto alla HVSR considerata.

La modellazione della MOPS in Equivalent Linear (EQL) si è effettuata con gli spessori medi e con le velocità medie calibrate.

Nella modellazione Equivalent Linear (EQL) si è tenuto in conto della variazione statistica della velocità, degli spessori degli strati e della profondità del bedrock, il tutto per 100 variazioni per ogni singolo accelerogramma di input, per un totale di 700 scenari.

Type of Analysis

Method: Equivalent Linear (EQL) ▼

Approach: Time Series ▼

☒ Vary the properties

---

Site Property Variation

Number of realizations: 100 ▼

☐ Vary the nonlinear properties

- shear-modulus reduction curve
- damping ratio curve
- damping of the bedrock

☒ Vary the site profile

- shear-wave velocity
- layer thickness
- depth to bedrock

☐ Specify seed number 42 ▼

---

Calculation Parameters

Error tolerance: 1,0 % ▼

Maximum number of iterations: 20 ▼

Effective strain ratio: 0,65 ▼

---

Layer Discretization

Maximum frequency: 20 Hz ▼

Wavelength fraction: 0,12 ▼

☐ Disable auto-discretization

La simulazione serve a studiare il comportamento di un struttura (nel significato più ampio del termine) attraverso la sua riproduzione in un ambito accertabile. Nella simulazione nell'elaboratore elettronico si crea un modello matematico formato da equazioni che

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	34
--	---	----

rappresentano le relazioni tra le componenti della struttura oggetto di studio e il loro legame con il suo funzionamento/comportamento, con l'obiettivo di effettuare esperimenti "virtuali" sul modello matematico assumendo che i risultati di tali esperimenti costituiscano una "riproduzione" sufficientemente accurata del comportamento che avrebbe la struttura stessa.

Questo allo scopo di accrescere la comprensione del suo funzionamento, verificare (o negare) la validità di ipotesi su di esso, raccogliere informazioni per poter formulare possibili previsioni, per implementare meccanismi di controllo del sistema modellato, ecc.

Questa tecnica viene utilizzata per riprodurre e risolvere numericamente un problema in cui sono coinvolte anche variabili aleatorie, e la cui soluzione per via analitica risulta troppo complessa o impossibile (Niederreiter, 1992; James, 1980; Halton, 1970). Inoltre, l'uso della simulazione consente di testare più facilmente e con elevato grado di dettaglio gli effetti di modificazioni nelle variabili di ingresso (ad es. nelle loro descrizioni statistiche) o nella funzione di output.<sup>1</sup>

Con il termine di "metodo Monte Carlo" vengono in generale denominate tutte quelle tecniche che adoperano variabili aleatorie artificiali (ovvero generate con un calcolatore) per la risoluzione di problemi (quali il calcolo di quantità o la simulazione di fenomeni).

Spesso i ricercatori si trovano a fronteggiare situazioni in cui hanno bisogno di conoscere la probabilità di un determinato evento condizionato da un numero elevato di variabili che rendono molto difficoltosi i calcoli analitici. In tali situazioni, generalmente si adottano metodi di campionamento simulato (cioè si simula la situazione nella quale si vuole calcolare la probabilità di un certo evento). La simulazione stocastica si attua riproducendo il meccanismo preso in esame; sostituendo la valutazione analitica con l'osservazione empirica del fenomeno e traendo da quest'ultima le informazioni non rilevabili per via analitica. Tuttavia, è accertato che questo non è il metodo più efficace per trovare la soluzione di un problema, in quanto la procedura del campionamento simulato porta ad un risultato sempre influenzato dall'errore statistico.

L'applicazione di questo metodo non è ristretta solamente ai problemi di natura statistica, ma include tutti i casi in cui è possibile trovare un collegamento tra il problema in esame ed il comportamento di un certo sistema aleatorio.<sup>2</sup>

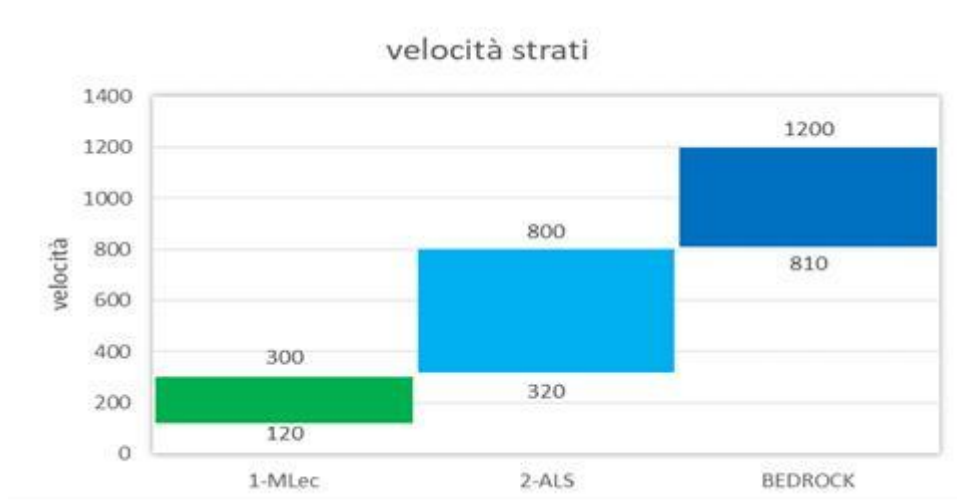
Tale metodo è stato adottato per l'elaborazione del problema del sistema geologico complesso, con l'elaborazione di 100 scenari possibili per ogni accelerogramma (7): ciò comporta un output di 700 file che sono stati trattati in maniera globale, con l'estrazione degli spettri di risposta relativi ad ogni singolo accelerogramma, dai quali è stata fatta la media log-normale e la mediana.

I risultati di tale elaborazione sono stati valutati e controllati per capire se tale risultato fosse coerente con il modello geologico adottato. Tale verifica è stata effettuata per ogni MOPS, sfruttando la funzione del programma STRATA che restituisce la matrice con tutte le velocità dei singoli strati. Ogni strato ha una proprio range di velocità pertanto è possibile correlare la variazione della velocità con la variazione di profondità degli strati. Nel caso di variazioni senza sovrapposizione il diagramma è chiaro e di semplice lettura, come visibile nell'esempio seguente (e successivi) riferito ad una situazione tipo senza alcun riferimento alla geologia locale:

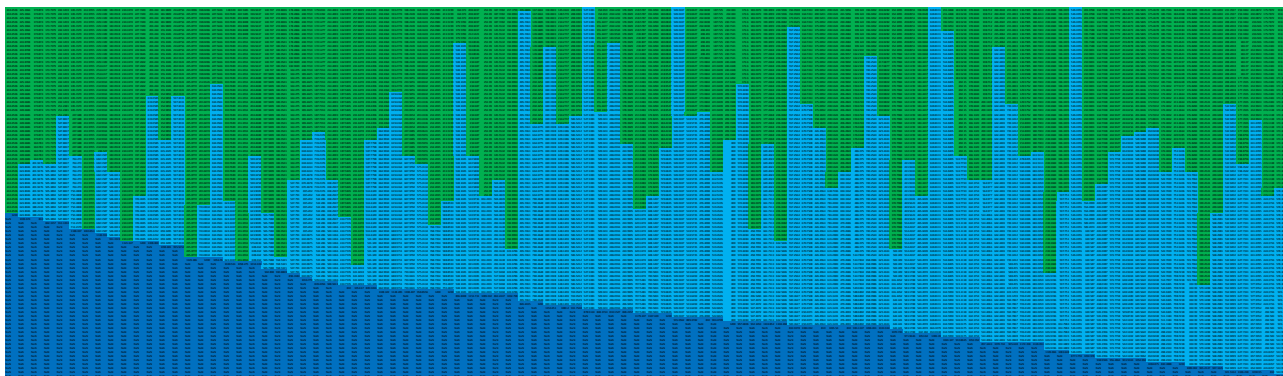
<sup>1</sup> La simulazione Monte Carlo: appunti integrativi - a cura di Ettore Bolisani e Roberto Galvan

<sup>2</sup> Casualità Matematica e Metodo Monte Carlo - Nicola De Nitti [Matematicamente.it](http://Matematicamente.it) Magazine NUMERO 20 – SETTEMBRE 2013

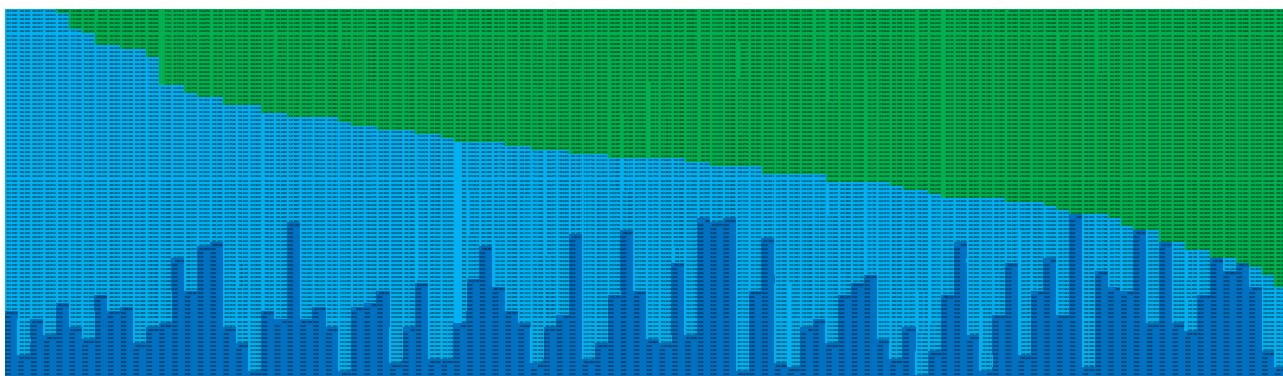
ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	35
--	---	----



Infatti per ogni sismostrato, individuato dalla sua specifica velocità, si riesce ad individuare precisamente il modello geologico e il risultato appare di semplice lettura:



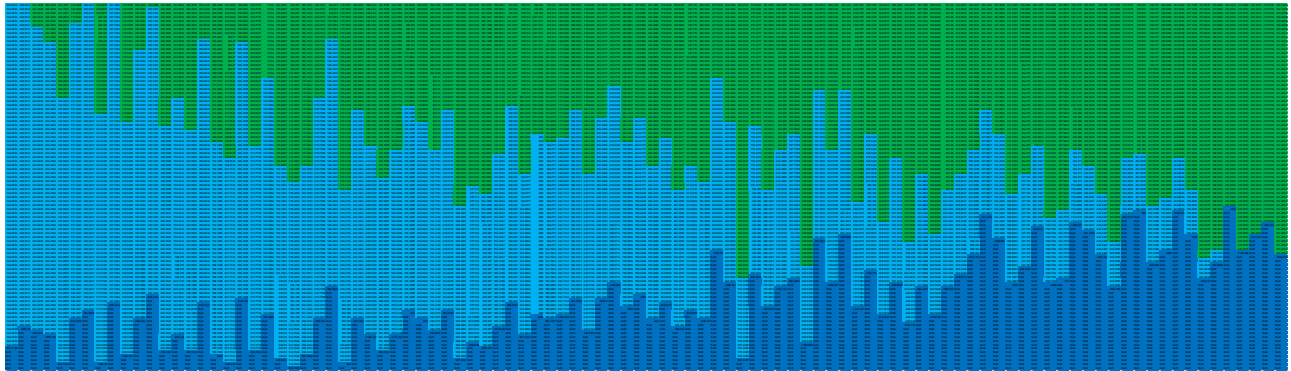
variazione di profondità del bedrock,



di profondità/spessore della copertura,

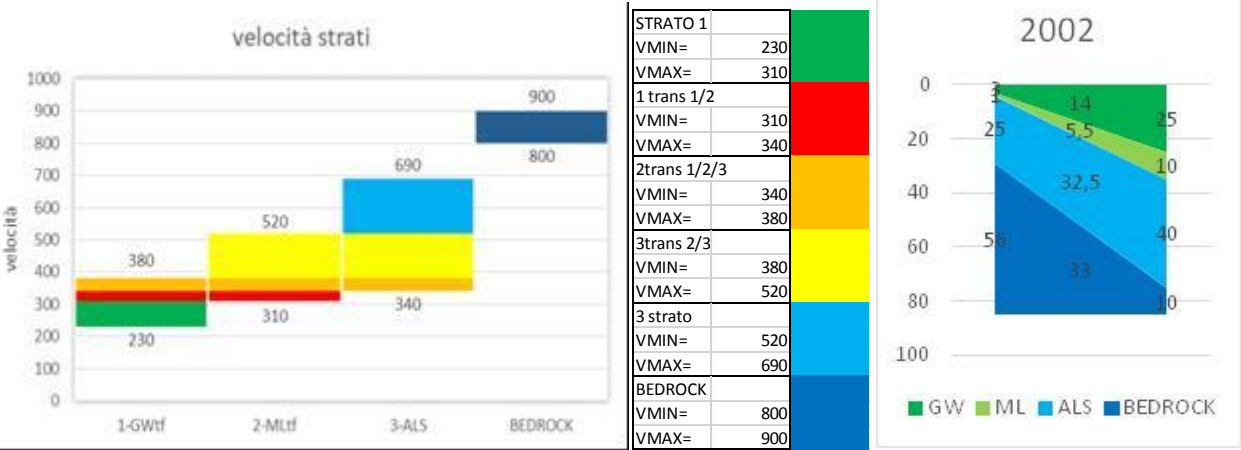


ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	36
--	---	----



variazione di spessore dello secondo strato sopra al bedrock.

Ci sono, però, dei casi in cui le velocità non distinguono in maniera univoca i sismostrati, ma ci sono delle zone di sovrapposizione come nel seguente esempio riferito sempre a situazioni tipo:

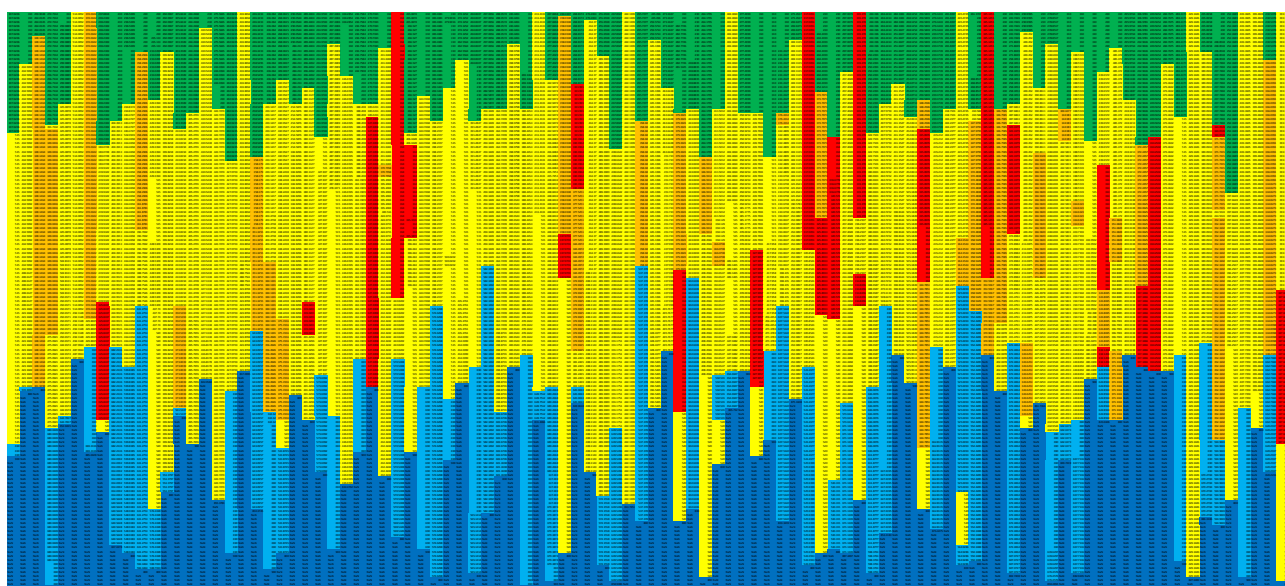


ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	37
--	---	----

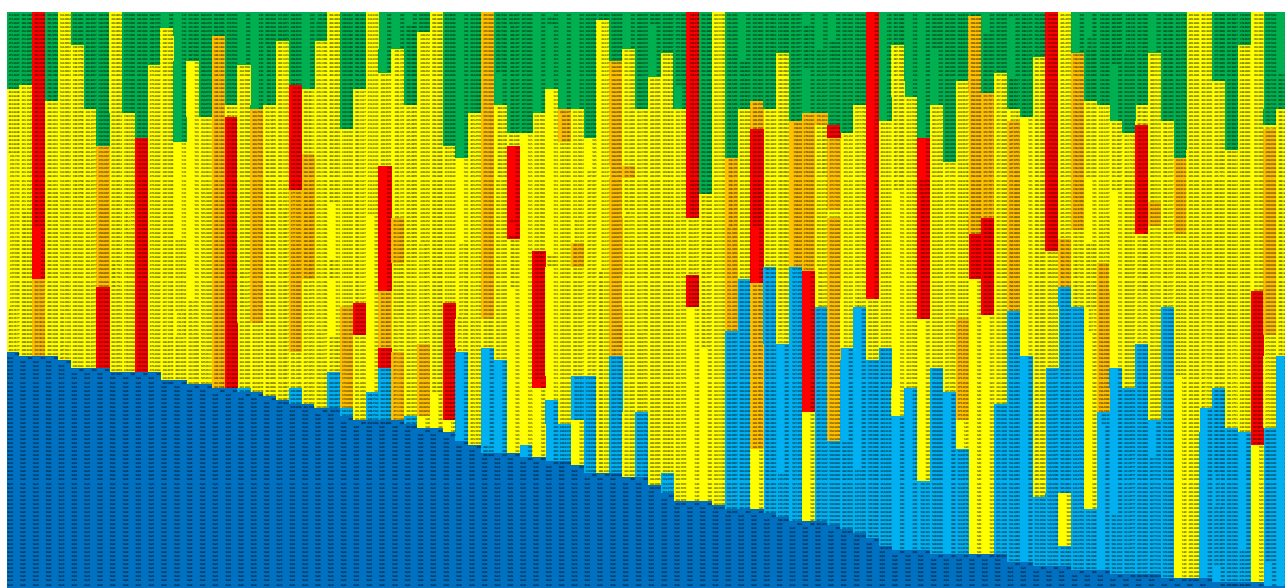
In questo caso, limite, la velocità massima del primo strato (GWtf) è maggiore della velocità minima del secondo (MLtf) e terzo strato (ALS); questo comporta una non perfetta individuazione degli strati, da un punto di vista geologico, ma la reale transizione da un punto di vista dei sismostrati.

Per la modellazione, infatti, gli strati con velocità sovrapposte possono essere indistintamente, nel caso specifico, GMtf, MLtf o ALS (riferite sempre a situazioni tipo, senza riferimento alla geologia locale) rispettivamente con velocità alte o velocità basse; questo comporta, da un punto di vista di modellazione, che in tali range di velocità non sono univocamente individuati gli strati geologici del terreno. Si è diagrammato con colori diversi le zone di passaggio, ovvero le zone dove, da un punto di vista di velocità, non si ha una individuazione certa dello strato.

Dalla elaborazione si ha il seguente schema:

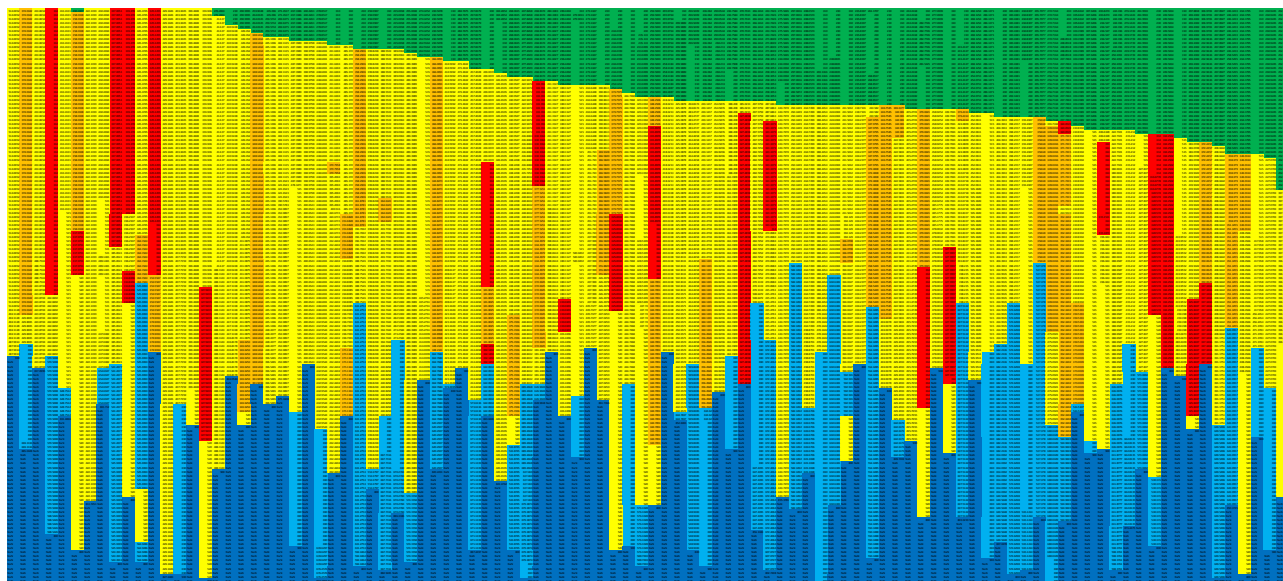


dal quale si può estrarre la variazione di profondità del bedrock:



ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	38
--	---	----

la variazione di spessore della copertura fino alla velocità di sovrapposizione;



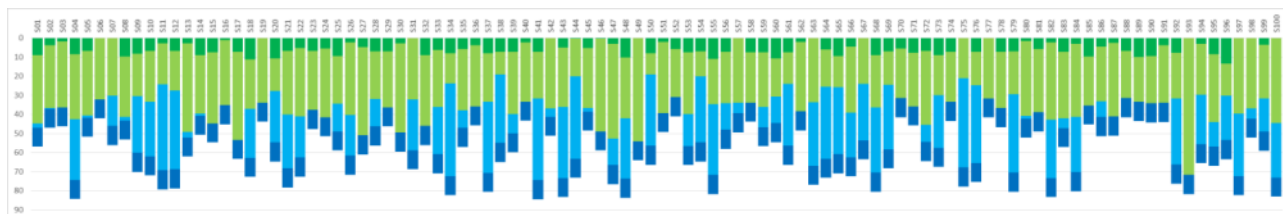
e dalla elaborazione si possono estrarre tutte le variazioni dei range dei sismostrati, per controllare la coerenza con il modello geologico ipotizzato.

In questi casi, di non perfetta corrispondenza fra velocità e sismostrato, per capire bene se il modello che viene ipotizzato dal programma STRATA con l'elaborazione Monte Carlo corrisponde al modello geologico bisogna analizzare l'output del programma con "login level Higt" per individuare esattamente la collocazione degli strati stessi.

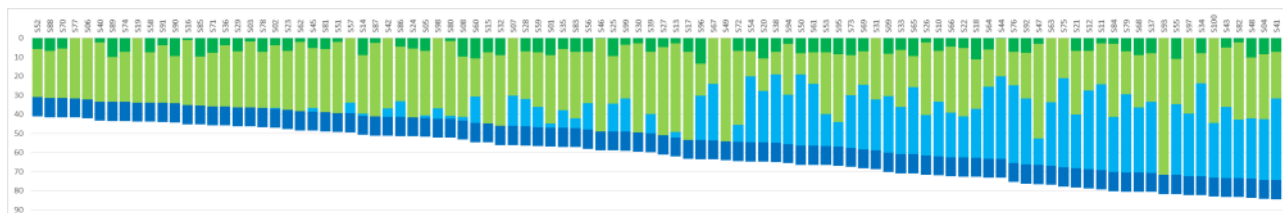
Tale output è complesso in quanto vengono riportate dal programma tutte le iterazioni per tutti gli scenari e per ogni accelerogramma (10/20 iterazioni x 100 scenari x 7 accelerogrammi = 7000/14000 tabelle da scegliere ed elaborare per un totale di 70.000/100.000 righe di excel).

L'estrazione da questa mole di dati della stratigrafia è stato fatto con l'ausilio del programma excel, nel quale si è implementata una routine in visual basic.

Fatta l'estrazione si possono effettuare le stesse elaborazioni del caso di riconoscimento della stratigrafia attraverso la conoscenza delle velocità. Spessori/profondità del modello Monte Carlo:

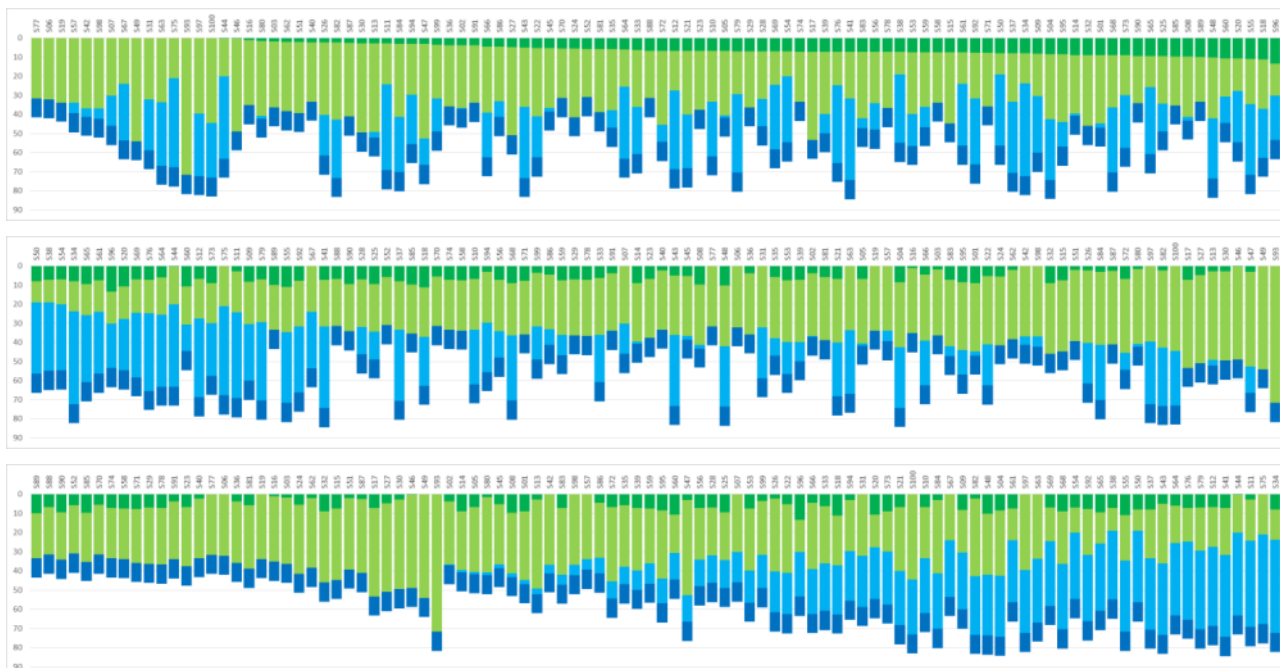


Variazione di profondità del bedrock:



ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	39
--	---	----

Variazione di spessore del primo, secondo e terzo strato:



Anche in questo caso la procedura è stata messa in atto per controllare la bontà della modellazione con il metodo Monte Carlo e la sua coerenza con il modello geologico.

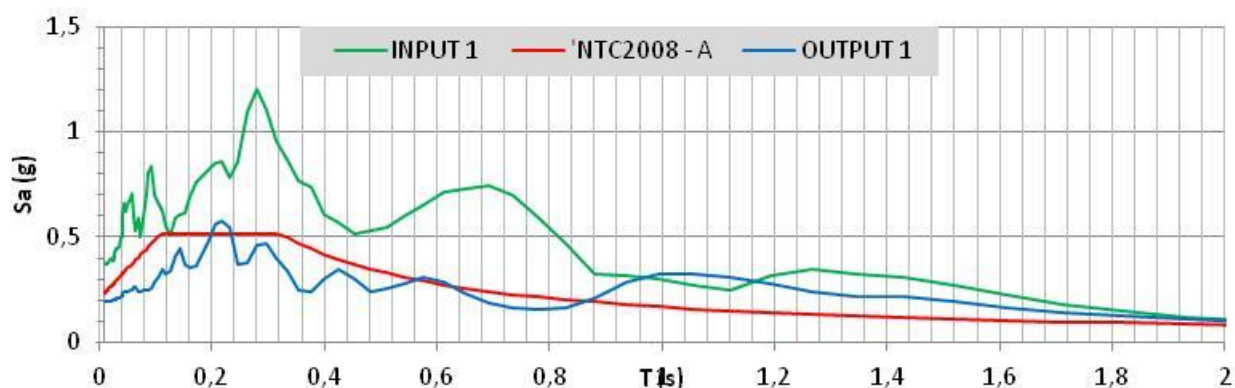
È da notare che esistono delle piccole differenze fra i risultati delle due elaborazioni, in quanto nella prima (con le variazioni di velocità) viene considerata la massima profondità della elaborazione e viene divisa in campi con divisioni imperiali, ovvero in piedi (30,48 cm) fino alla profondità di 20,1168 m (cioè la misura imperiale della catena, ovvero 66 piedi), poi fino alla profondità di 60,3504 m con divisione di 2 piedi (60,96 cm, per altre 66 volte), dopo questa profondità si ha divisione in 5 piedi (152,4 cm).

Nell'esaminare la divisione degli strati nell'output del programma con "login level Higt" lo spessore dei singoli livelli all'interno dello strato non sembra avere una divisione fissa e dalla elaborazione delle tabelle non si riescono ad estrapolare le velocità degli strati. Se si va a confrontare i risultati si hanno delle differenze di profondità dovute alla impostazione diversa delle divisioni stesse. Le approssimazioni avvengono nella trasformazione (computing statistics) dal modello elaborato ai risultati tabellati, differenze insignificanti da un punto di vista pratico.

E' stata poi considerata anche la semplice sovrapposizione dell'accelerogramma di input (per tutti i 7 considerati) con quelli di output mediani (per i 100 scenari Monte Carlo), in modo da controllare eventuali problemi.

Infatti dall'analisi dei soli diagrammi di output si notavano dei grossi scostamenti rispetto alla mediana dei 7 e questo poteva sembrare un errore anche dell'accelerogramma di input, ma dal confronto input/output si è visto che, in alcuni casi, la sismostratigrafia del sito è particolarmente sensibile alla eccitazione data dal sisma considerato portando ad una grossa amplificazione, rispetto alla media stessa.

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	40
--	---	----



Nel calcolo dell'FA si sono considerati anche i limiti all'84° e 16° percentile (mediana  $\pm$  deviazione standard) in modo da capire la bontà della stima mettendo anche in evidenza la semplice variazione percentuale.

Tale esplicitazione è importante per capire e confrontare i valori mediani (50% di probabilità di superamento) con la modellazione 2D e confrontando i risultati di questa modellazione anche con i valori all'84° percentile (16% di probabilità di essere superato), come riportato nell'esempio.

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1.26	1.12	1.12
FA 0.1-0.5		
$FA_{16\%} = e^{m_{ln} - s_{ln}}$	$FA_{rif} = e^{m_{ln}}$	$FA_{84\%} = e^{m_{ln} + s_{ln}}$
0.72 (-42.6%)	1.26	2.19 (+74.2%)
FA 0.4-0.8		
$FA_{16\%} = e^{m_{ln} - s_{ln}}$	$FA_{rif} = e^{m_{ln}}$	$FA_{84\%} = e^{m_{ln} + s_{ln}}$
0.60 (-46.7%)	1.12	2.11 (+87.6%)
FA 0.7-1.1		
$FA_{16\%} = e^{m_{ln} - s_{ln}}$	$FA_{rif} = e^{m_{ln}}$	$FA_{84\%} = e^{m_{ln} + s_{ln}}$
0.72 (-35.7%)	1.12	1.74 (+55.4%)

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	41
--	---	----

### 6.3 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 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 Vs 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 i 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.

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  $\geq 0.2$*

Nel caso in cui i fattori di amplificazione in analisi 2D siano risultati più cautelativi rispetto alla modellazione 1D, sono stati valutati criticamente gli effetti non considerati nella modellazione 1D (bacini sepolti, zone di raccordo, amplificazioni topografiche ecc.) facendo anche il confronto relativo tra le zone con il danneggiamento del costruito e scegliendo quindi il risultato più congruo di volta in volta spiegato nell'ambito delle MOPS.



ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	42
--	---	----

## 7 MODELLO DEL SOTTOSUOLO FINALIZZATO ALLA MS

Uno studio di microzonazione sismica di terzo livello prevede la realizzazione di analisi specifiche per la quantificazione della risposta sismica locale.

La campagna di indagini multidisciplinari di esplorazione del sottosuolo (sondaggi DH, MASW, HVSR e dati pregressi) ha permesso la parametrizzazione geofisica delle unità geologico-tecniche individuate. Le sezioni geologiche hanno fornito l'input geometrico per le modellazioni dinamiche e rappresentano una necessaria forma di controllo dei risultati cartografici ed una rappresentazione essenziale per la definizione tridimensionale del modello geologico.

### 7.1 Unità geologico-tecniche: definizione e parametrizzazione

Di seguito si riporta una tabella riepilogativa delle unità geologico-tecniche individuate e che saranno nel seguito trattate nel dettaglio.

	1. Sigla_GEOL	2.Nome formazione	3. Descrizione	4. Tipo_gt
TERRENI DI COPERTURA	MUSb2	Depositi eluvio-colluviali (Olocene)	Argille limose, talora più raramente sabbiose o ghiaiose, e da limi-argillosi con concrezioni carbonatiche	Cl ec
	MTIbn	Depositi di conoide alluvionale (Pleistocene superiore)	Alternanza di sabbie ghiaiose e di ghiaie in matrice sabbiosa a cui si intercalano paleosuoli.	SM tf
	MUSbn MTIbn	Depositi fluviali terrazzati (Olocene, Pleistocene superiore)	Ghiaie con ciottoli poligenici, in prevalenza calcarei e calcareo-marnosi e subordinatamente silicei, in matrice sabbiosa o limoso-sabbiosa a percentuale variabile	GC tf
SUBSTRATO GEOLOGICO	FCIe	Litofacies pelitico-arenacea	Argille marnose ben stratificate di colore grigio scuro con intercalazioni subordinate di arenarie grigio-giallastre	COS
	FCIb	Litofacies arenaceo-conglomeratica	Arenarie e conglomerati poligenici con rari livelli pelitici emipelagici	LPS
	SCH	Schlier	Alternanze di marne, marne siltose calcaree e argillose	ALS

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	43
--	---	----

### 7.1.1 Substrato

**ALS** - Con ALS si indica alternanze di litotipi stratificati (con eventuale copertura o alterazione < 3 m). Si tratta della Formazione dello Schlier.

Per quanto riguarda la roccia intatta non si hanno a disposizione parametri meccanici derivanti dai siti d'indagine nel territorio di Gagliole. Si riportano il peso volume e la resistenza a compressione della roccia intatta derivanti da prove di compressione monoassiale eseguite dagli scriventi su alcuni campioni comparabili prelevati nelle vicinanze, da cui sono stati ricavati i seguenti valori medi.

	peso volume $\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	Resistenza a compressione $\sigma_c$ da c. monoassiale (Kg/cm <sup>2</sup> )
Schlier	2,25-2,4	50-300

Questo litotipo costituisce un ammasso roccioso fratturato, in generale con  $a \neq b \neq c$ , in cui le fratture sistematiche e pervasive e sono costituite da giunti di strato, fratture di tensione, di taglio e clivaggio.

La famiglia di discontinuità a maggiore persistenza e frequenza è rappresentata dalla stratificazione, che presenta spaziatura oscillante mediamente dai 3 ai 10 cm e giacitura chiaramente variabile in dipendenza della regione strutturale di appartenenza e comunque immergente a SO con pendenze dai 25° ai 45°.

La stratificazione generalmente condiziona l'anisotropia dell'ammasso ed al tempo stesso la spaziatura fra le fratture delle altre famiglie, la quale generalmente varia proporzionalmente allo spessore stesso degli strati, condizionando infine le dimensioni del blocco elementare. Nella maggior parte dei casi il parametro **Jv** Volumetric joint count (Palmstrom, 2005) presenta valori oscillanti > 30, definendo l'ammasso come fratturato.

Da un'analisi in affioramento l'ammasso roccioso di queste formazioni si presenta da moderatamente a fortemente alterato (grado III e IV della metodologia Parsifal), anche se non si hanno dati a disposizione per definire fino a quale profondità si spinge l'alterazione. Di certo è che la maggior parte delle fratture osservabili in superficie sono pervasive, legate a stress di origine tettonica, quindi chiaramente proseguenti in profondità, tanto da rimanere costante il parametro Jv, ma con condizioni delle discontinuità progressivamente migliori. A parere degli scriventi, e per le esperienze maturate in lavori a fini ingegneristici, dunque insieme a tale parametro sarebbe utile utilizzare l'indice GSI (Geological Strength Index) introdotto da Hoek (1994) e Hoek, Kaiser e Bawden (1995) e proposto nella forma più recente utilizzando il grafico di Marinos e Hoek (2002), attraverso il quale, oltre alla tipologia di fratturazione si esprime un giudizio sulle condizioni delle discontinuità, determinanti ai fini del comportamento meccanico.

I valori di Vs sono stati ottenuti eseguendo una prova MASW 4 in inversione congiunta con HV-P110. Sono risultati i seguenti valori.

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	44
--	---	----

TIPO_GT	SIGLA GEOL o Descrizione	LOG	Vs med (m/s)	Vs Min (m/s)	Vs max (m/s)
ALS	SCH	SG	550	335	690

In sostanza detto ammasso risulta come substrato geologico fino a circa 80-90 m di profondità, oltre la quale diviene sismico con Vs oscillanti intorno a 900 m/s; a parere degli scriventi, questa prova è fonte di incertezza ed ha sopravvalutato lo spessore di substrato geologico; va anche considerato che l'area in cui ricade lo Schlier stesso è davvero esigua.

**LPS** - Con LPS si indica un substrato lapideo stratificato (con eventuale copertura o alterazione < 3 m). Si tratta dell'associazione arenaceo-conglomeratica della Formazione di Camerino in cui gli strati arenacei, da mediamente cementati a cementati, governano il comportamento geomeccanico dell'ammasso. Non si hanno a disposizione dati puntuali sulle arenarie del territorio investigato, ma dati geomeccanici, a disponibilità degli scriventi, sulle arenarie sempre del bacino di Camerino, in posizione adiacente e correlabile, da cui possono essere desunti i seguenti parametri.

$\gamma$  = peso di volume = 2,1 – 2,3 g/cm<sup>3</sup>

$\sigma_c$  = resistenza a compressione = 50-200 Kg/cm<sup>2</sup>

per una dettagliata descrizione litologica delle singole formazioni si faccia riferimento al par. 4.1.1.

I valori di Vs sono stati ottenuti eseguendo una prova MASW 2 in inversione congiunta con HV-P112, correlati con la MASW 6 e con la MASW 3 in inversione congiunta con HV-P121. Sono risultati i seguenti valori.

SPESSORE MIN (m)	SPESSORE MAX (m)	TIPO_GT	SIGLA GEOL o Descrizione	LOG	Vs med (m/s)	Vs Min (m/s)	Vs max (m/s)
1	15	LPS	FCIb	SG	560	316	712
		LPS	FCIb	SS	900	834	916

Pertanto detta litofacies, dopo una prima fascia di alterazione variabile da 1 a 15 m circa, diviene substrato sismico.

**COS** – Comprende l'associazione pelitico-arenacea della Formazione di Camerino: questa, in riferimento alla classificazione Esu (1977), fa parte dei terreni strutturalmente complessi, cioè i terreni che alla scala dell'elemento di dimensioni adatte per le prove meccaniche, cioè del macroelemento, presentano eterogeneità e discontinuità diverse per forma e caratteristiche.

In queste litofacies torbidityche la complessità è dovuta essenzialmente al processo genetico che ha comportato la presenza alternata e ritmica di componenti (strati) con proprietà meccaniche differenti: componente litoide/semilitoide (arenarie) - componente pelitico-

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	45
--	---	----

marnosa. Subordinatamente la complessità è dovuta a processi deformativi, di alterazione e diagenetici.

In questo contesto la stratificazione/laminazione delle litofacies torbiditiche, sono le principali e fondamentali strutture che influenzano in modo determinante il comportamento degli ammassi attraversati: rappresentano infatti le principali discontinuità a più alta persistenza e frequenza, direttamente dipendente quest'ultima dalla litologia stessa. E' stato infatti riscontrato che in funzione del rapporto A/P, varia la presenza e spessore degli strati/lamine. Considerando quanto sopra esposto, la Formazione di Camerino rappresenta una formazione complessa fortemente anisotropa, in cui la stratificazione e laminazione chiaramente influenzano il comportamento meccanico della stessa.

Nel contempo considerando che il rapporto A/P è generalmente  $< 1$ , nel complesso possono considerarsi prevalenti le caratteristiche delle peliti nel comportamento geomeccanico.

$\gamma$ (peso volume)	=	2,1-2,3 t/mc
Ic (indice di consistenza)	=	$>1$
Cu (coesione non drenata)	=	1,7-5 Kg/cm <sup>2</sup>
C' (coesione drenata)	=	0,4-1,5 Kg/cm <sup>2</sup>
$\phi'$ (angolo di attrito drenato)	=	23°-30°

I valori di Vs sono stati ottenuti eseguendo dalla prova DH, la quale ha attraversato 18 m di litofacies pelitico-arenacea, correlata con i risultati della MASW 1. Sono risultati i seguenti valori.

TIPO_GT	SIGLA GEOL o Descrizione	LOG	Vs med (m/s)	Vs Min (m/s)	Vs max (m/s)
COS	FCle	SG	600	354	721

### 7.1.2 Coperture

E' stata eseguita una caratterizzazione geotecnica chiaramente a grande scala, poiché la scarsità di dati e le differenti genesi, granulometria e tessitura dei depositi rende difficoltosa la parametrizzazione geotecnica puntuale dei litotipi in questione.

Sono state analizzate ed interpretate le prove di laboratorio e le prove in situ disponibili.

**CL ec** – In tale gruppo rientrano i depositi colluviali costituiti da argille limose, talora più raramente sabbiose o ghiaiose, e da limi-argillosi con concrezioni carbonatiche. Dalle prove di laboratorio si possono assumere i seguenti parametri ottenuti per le porzioni a carattere maggiormente coesivo.

$\gamma$ (peso volume)	=	1,9-2,1 t/mc
$\gamma_d$ (peso volume secco)	=	1,45-1,75 t/mc

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	46
--	---	----

LL (limite liquido)	=	29-60 %
IP (indice plasticità)	=	13-36%
Cu (coesione non drenata)	=	0,5-2 Kg/cm <sup>2</sup>
C' (coesione drenata)	=	0,02-0,3 Kg/cm <sup>2</sup>
φ' (angolo di attrito drenato)	=	19°-27°
Eed (modulo edometrico)	=	60-130 Kg/cm <sup>2</sup>
poco consistenti		

I valori di Vs sono stati ottenuti eseguendo una prova MASW 3 in inversione congiunta con HV-P121. Sono risultati i seguenti valori.

TIPO_GT	SIGLA GEOL o Descrizione	LOG	Vs med (m/s)	Vs Min (m/s)	Vs max (m/s)
CL ec	MUSb2	TC	270	229	315

**GC tf** – In tale gruppo rientrano le ghiaie in matrice sabbiosa o limoso sabbiosa più o meno abbondante e di genesi fluviale. Chiaramente dette ghiaie in relazione alle differenti genesi presentano caratteri granulometrici, tessiturali, di forma, arrotondamento, di contatto tra i granuli, di composizione diversi tra loro, ma in virtù dei seppur esigui dati e della conoscenza del sito, si ritiene più realistico fornire dati geotecnici di gruppo piuttosto che dati puntuali non rispondenti alla realtà fisica.

γ (peso volume)	=	1,9-2,1 t/mc
φ (angolo di attrito)	=	30°-38°

da poco addensate a prevalentemente moderatamente addensate

Le lenti sabbiose presentano un angolo di attrito φ minore oscillante intorno ai 27°.

I valori di Vs sono stati ottenuti dalla prova MASW 1 in inversione congiunta con HV-P114, dalla prova MASW 5 in inversione congiunta con HV-P116 e dalla MASW 6. Sono risultati i seguenti valori.

TIPO_GT	SIGLA GEOL o Descrizione	LOG	Vs med (m/s)	Vs Min (m/s)	Vs max (m/s)
GC tf	MUSbn - MTI bn	TC	470	341	545

**SM ca** – In tale gruppo rientrano i depositi di conoide costituiti da un'alternanza di sabbie ghiaiose e di ghiaie in matrice sabbiosa. Presentano uno spessore variabile da 3 a 20 m.

I valori di Vs sono stati ottenuti dai risultati del DH. Sono risultati i seguenti valori.

TIPO_GT	SIGLA GEOL o Descrizione	LOG	Vs med (m/s)	Vs Min (m/s)	Vs max (m/s)
SM tf	MTIbn	TC	470	357	550



ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	47
--	---	----

## 7.2 Sezioni geologico-tecniche

Sono state prodotte 5 sezioni geologico-tecniche necessarie per la definizione della carta geologico-tecnica (CGT) e della carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) e per la determinazione l'input geometrico e geologico per le modellazioni dinamiche.

Le sezioni passano per tutte le località oggetto di MS3 Gagliole, Acquosi e Selvalagli, al fine di poter individuare e rappresentare la complessità del sottosuolo per ogni area di interesse. Nella tavola delle sezioni geologiche sono state omesse altre due precedenti prodotte nel livello 1 di MS in quanto ricadenti località esterne alle attuali di MS3; le stesse sono comunque consultabili nei risultati MS1.

In riferimento a Gagliole ed Acquosi si osserva che l'edificato di interesse si sviluppa prevalentemente sul substrato arenaceo-conglomeratico (LPS) il quale, indagato tramite misure HVSR e MASW (come nel paragrafo seguente sarà specificato) si è rivelato come substrato geologico per uno spessore di 1-15 m e quindi sismico. Tale interfaccia è rappresentata nelle sezioni geologiche come linea tratteggiata in rosso. Le misure HVSR non sempre evidenziano tale passaggio poiché spesso ha carattere transizionale ed è dovuto presumibilmente ad un allentamento dello stato tensionale della roccia stessa in prossimità della superficie topografica. Le amplificazioni in tali località dunque a parere degli scriventi vanno ricondotte ad effetti topografici, valutabili tramite modellazioni 2D.

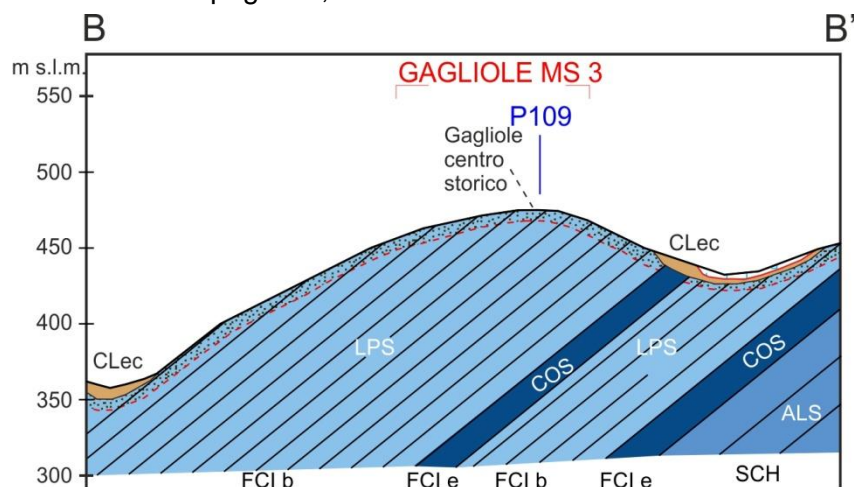


Figura 17 Sezione geologico-tecnica passante per Gagliole.

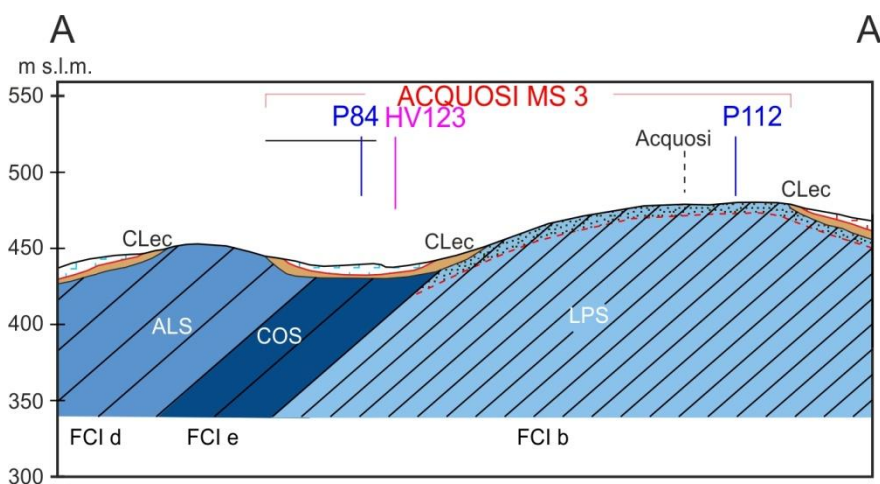


Figura 18 Sezione geologico-tecnica passante per Acquosi.

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	48
--	---	----

In riferimento alla località Selvalagli diverso è il modello geologico. In questa località sono presenti coperture alluvionali sia ghiaiose che sabbiose poggianti sulla litofacies pelitico-arenacea (FCI e-COS); la stessa, ubicata sul fianco orientale della sinclinale di Camerino immerge a sud-ovest con pendenza di circa 15°-20° e passa verso il basso alla litofacies arenaceo-conglomeratica (FCI b-LPS). La prima, pelitico-arenacea, investigata tramite DH presenta valori di Vs oscillanti intorno a 600 m/s mentre l'altra, arenaceo-conglomeratica, dopo una fascia superficiale di 1-15 m, presenta velocità intorno a 900 m/s.

Pertanto è questa discontinuità, che inevitabilmente legata all'assetto geologico e strutturale del substrato, che è responsabile delle principali amplificazioni riscontrabili nel sito in oggetto.

D'altra parte considerando "l'architettura" delle formazioni strutturalmente complesse, quali quelle in esame ed il relativo comportamento geomeccanico come ammasso, era lecito aspettarsi che un'eventuale interfaccia risonante sia posta all'interno di un limite litologico, anche se a carattere potenzialmente transizionale.

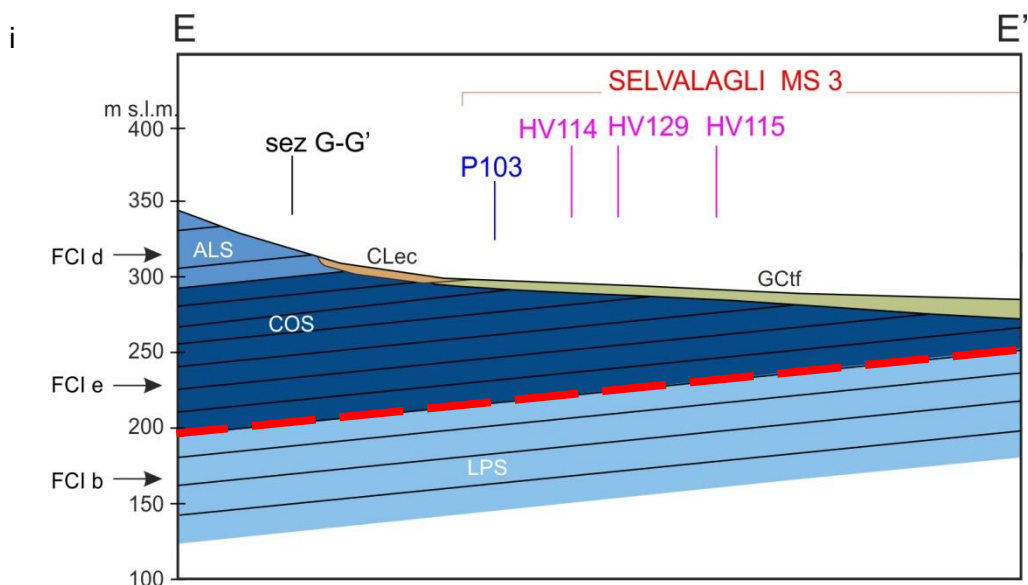


Figura 19 Sezione geologica passante per Selvalagli in cui è stato evidenziato (in rosso) il passaggio tra substrato geologico e sismico, tra la litofacies pelitico-arenacea (COS) e quella arenaceo-conglomeratica (LPS).

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	49
--	---	----

A conferma di ciò il sondaggio eseguito a Selvalagli con relativa prova DH non ha rilevato importanti contrasti di velocità tra copertura alluvionale e substrato pelitico-arenaceo, ma aumenti graduali; detto dato certamente ha contribuito a fornire una chiave di lettura delle indagini HVSR. Le stesse infatti in corrispondenza del sondaggio hanno fornito picchi alle frequenze oscillanti intorno a 2,2 Hz, frequenze confrontabili e calibrate con la profondità della litofacies arenaceo-pelitica. In base a questa tesi, tra l'altro già formulata durante le indagini di livello 1, sono state infittite le acquisizioni H/V, riscontrando, nella maggior parte dei casi una diminuzione delle frequenze di riferimento da Est verso Ovest, compatibilmente con l'approfondimento da Est verso ovest della litofacies arenaceo-conglomeratica.

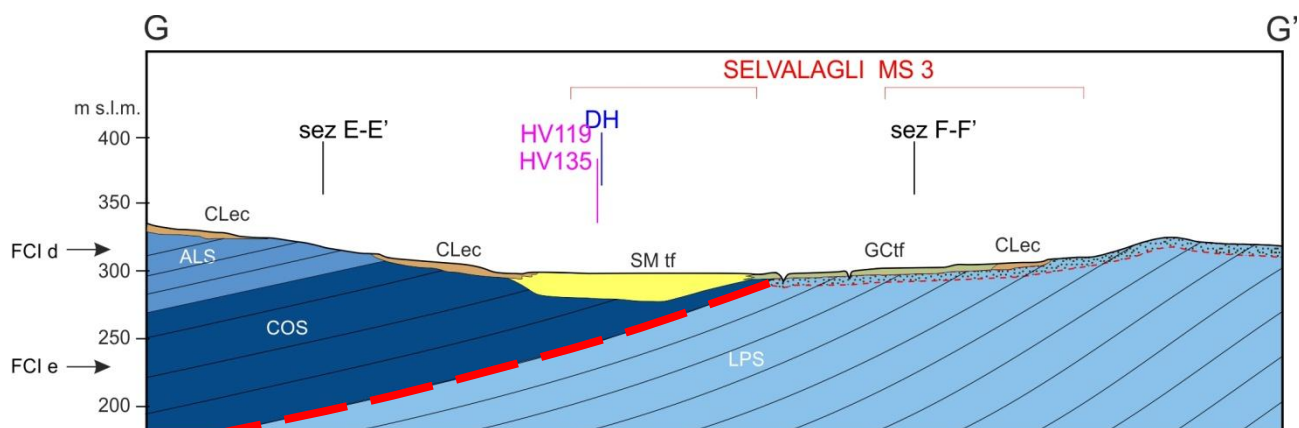


Figura 20 Sezione geologica passante per Selvalagli con indicato il sondaggio e le misure HV eseguite in corrispondenza dello stesso. E' stato evidenziato (in rosso) il passaggio tra substrato geologico e sismico, tra la litofacies pelitico-arenacea (COS) e quella arenaceo-conglomeratica (LPS), immergente da est verso ovest. Nella LPS è tratteggiato il passaggio tra la porzione di substrato geologico e di substrato sismico. La stessa sezione è stata utilizzata per la modellazione 2D.

Altra conferma è rappresentata dall'assenza di picchi a basse frequenze laddove, al di sotto delle coperture, è presente direttamente la litofacies arenaceo-conglomeratica.

Con questa chiave di lettura sono state introdotte nuove MOPS rispetto alla MS1, non in riferimento alle coperture, ma alla successione di litofacies al di sotto delle stesse.

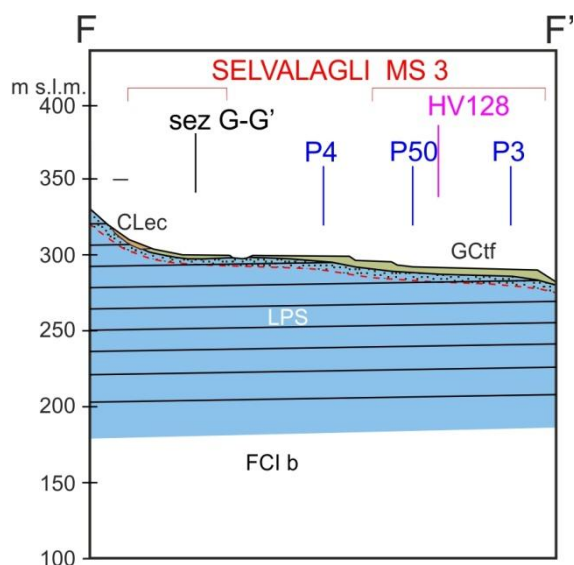


Figura 21 Sezione geologica passante per Selvalagli (zona 2007) in cui le misure HV presentano un picco solo alle alte frequenze dovute al passaggio tra le alluvioni (sottili) ed il substrato arenaceo-conglomeratico (LPS).

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	50
--	---	----

### 7.3 Mops: caratterizzazione

Nella seguente tabella sono sintetizzate le MOPS individuate, con spessore minimo e massimo delle unità geologico-tecniche (tipo\_GT), con la profondità del substrato sismico, la suddivisione in terreni di copertura (TC) e substrato sismico (SS) e le velocità Vs media, minima e massima riscontrate.

COMUNE	MOPS	SPESSORE MIN (m)	SPESSORE MAX (m)	PROFONDITA' MIN (m)	PROFONDITA' MAX (m)	TIPO_GT	SIGLA GEOL o Descrizione	LOG	Vs med (m/s)	Vs Min (m/s)	Vs max (m/s)
GAGLIOLE	2001	1	15			LPS	FClb	SG	560	316	712
				1	15	LPS	FClb	SS	900	834	916
	2002	3	10			CL ec	MUSb2	TC	270	229	315
		1	15			LPS	FClb	SG	560	316	712
				5	20	LPS	FClb	SS	900	834	916
	2004	3	20			GC tf	MUSbn - MTI bn	TC	470	341	545
		10	80			COS	Fcle	SG	600	354	721
				15	85	LPS	FClb	SS	900	834	916
	2006	3	20			SM tf	MTIbn	TC	470	357	550
		10	70			COS	Fcle	SG	600	354	721
				15	75	LPS	FClb	SS	900	834	916
	2007	3	10			GC tf	MTI bn	TC	470	341	545
		1	15			LPS	FClb	SG	560	316	712
				5	20	LPS	FClb	SS	900	834	916
	2008	80	90			ALS	SCH	SG	550	335	690
				80	90	ALS	SCH	SS	900	869	934
	2010	3	10			CL ec	MUSb2	TC	270	229	315
		10	100			COS	Fcle	SG	600	354	721
				15	105	LPS	FClb	SS	900	834	916

Di seguito si riportano i log stratigrafici delle mops individuate.

## GAGLIOLE

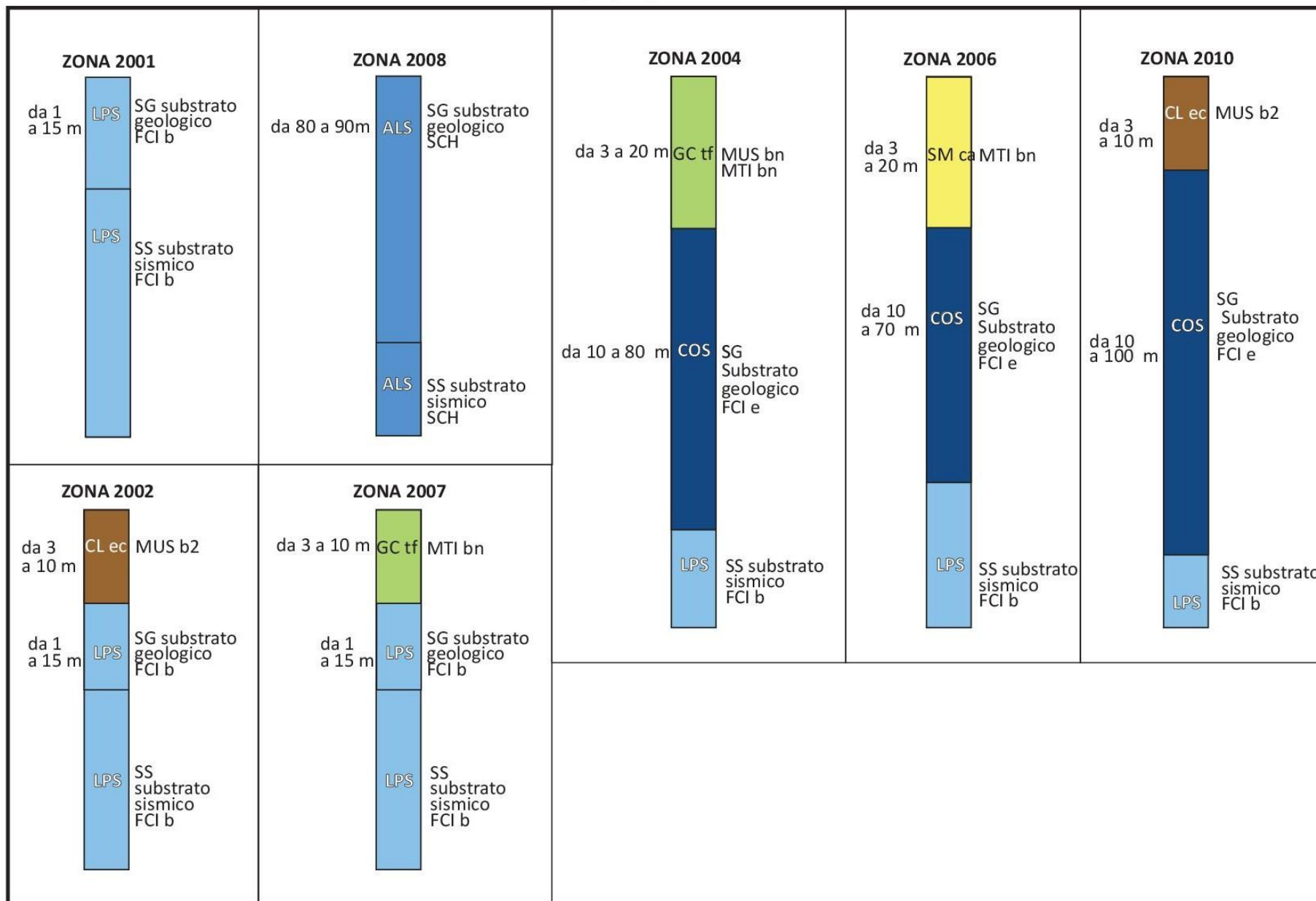


Figura 22 Colonne stratigrafiche rappresentative della microzona di riferimento.



ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	52
--	---	----

Nella figura seguente sono riportati i risultati della modellazione 2D.

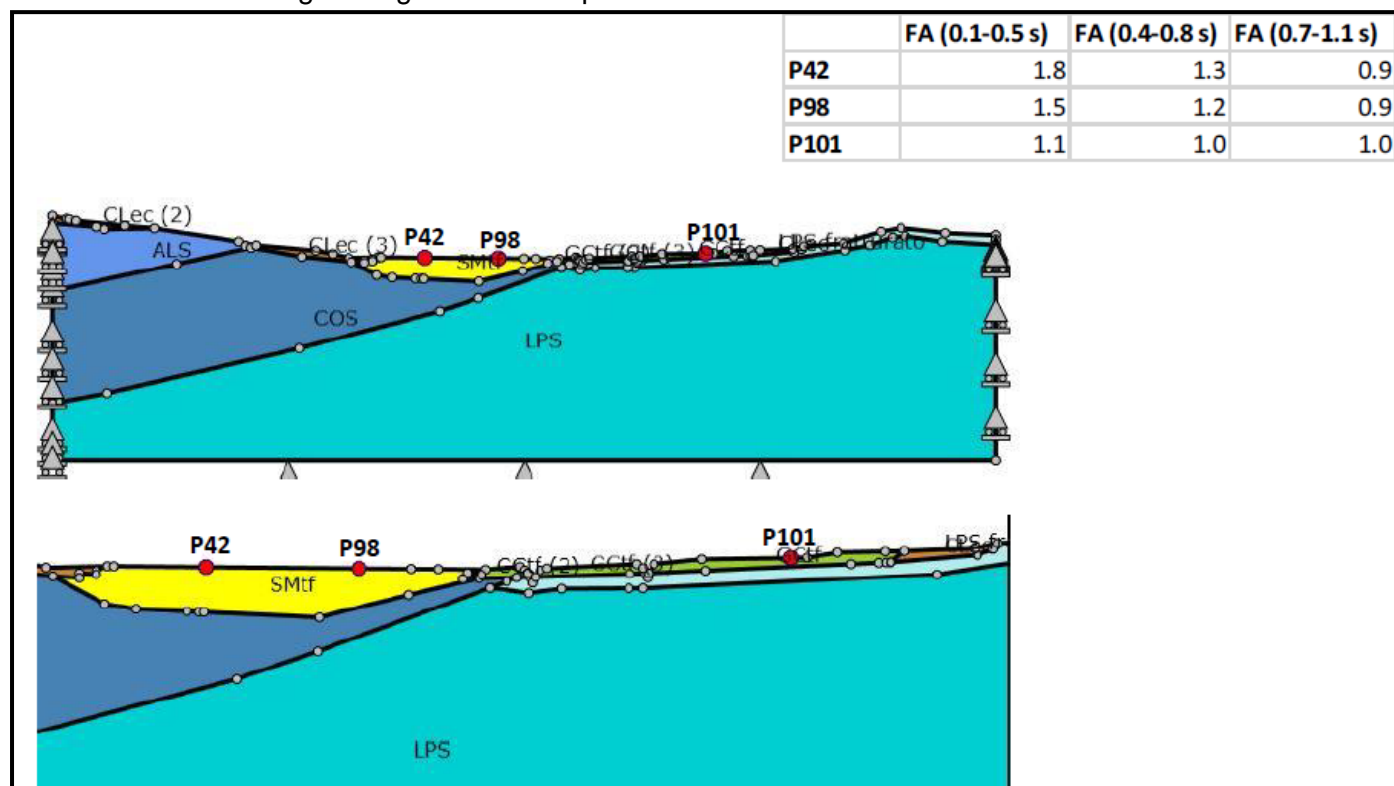


Figura 23 Risultati della modellazione 2D lungo la sezione G-G'.

Nella seguente tabella è riportato il riepilogo degli Fa calcolati con analisi 1D nei diversi intervalli di periodo per ogni microzona.

MOPS	FA 0,1-0,5s	FA 0,4-0,8s	FA 0,7-1,1s
2001	1.05	1.01	1
2002	1.42	1.09	1.05
2004	1.37	1.28	1.18
2006	1.37	1.21	1.13
2007	1.16	1.03	1.02
2008	1.22	1.44	1.45
2010	1.41	1.29	1.21

Di seguito ogni MOPS sarà discussa in dettaglio a seconda dell'appartenenza alle aree stabili con amplificazione ed instabili.

Per ogni MOPS in particolare verrà riportato un log rappresentativo, i valori di Vs (med, min, max) ottenuti, le prove geofisiche eseguite nella microzona, i valori di Fr delle HVSr eseguite nella microzona e, evidenziate in rosso, le prove HVSr utilizzate per la calibrazione del modello in campo lineare elastico sulla verticale corrispondente confrontando la curva di trasferimento con la curva H/V sperimentale.

Si precisa che nel territorio investigato non sono state riscontrate situazioni da

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	53
--	---	----

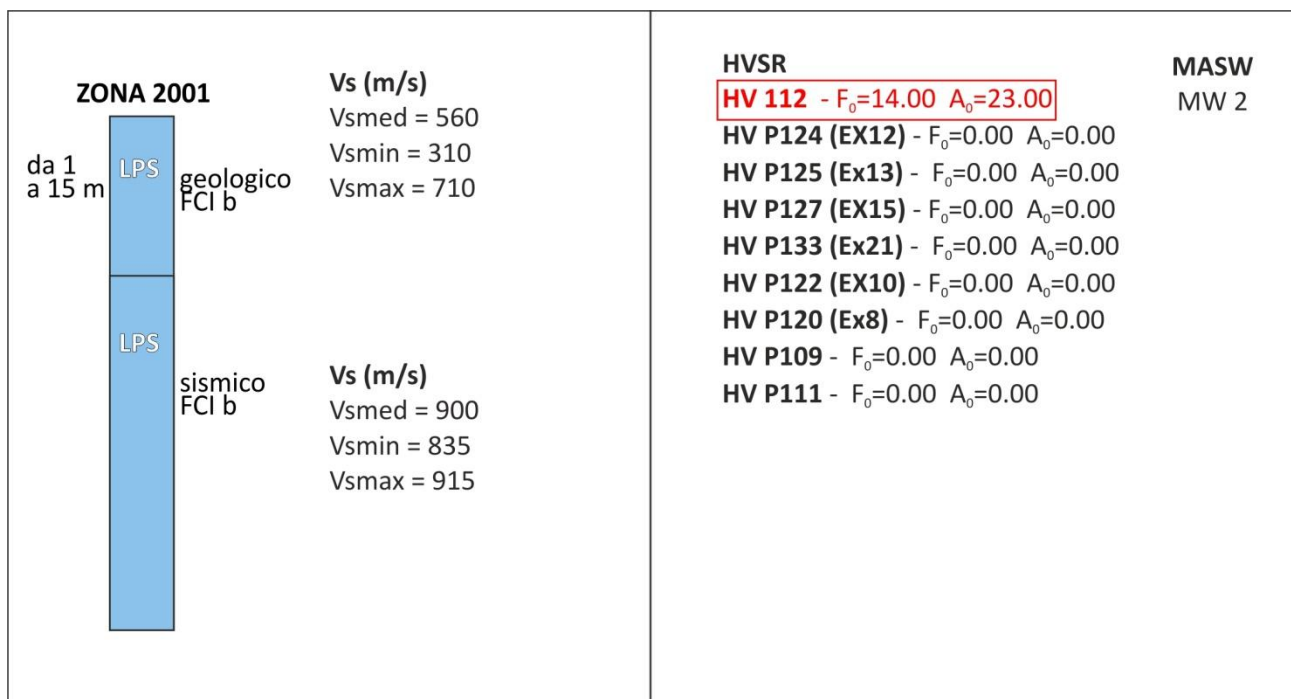
classificare come zone stabili, nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura, se non lo scuotimento funzione dell'energia e della distanza dell'evento.

### 7.3.1 Aree stabili suscettibili di amplificazione

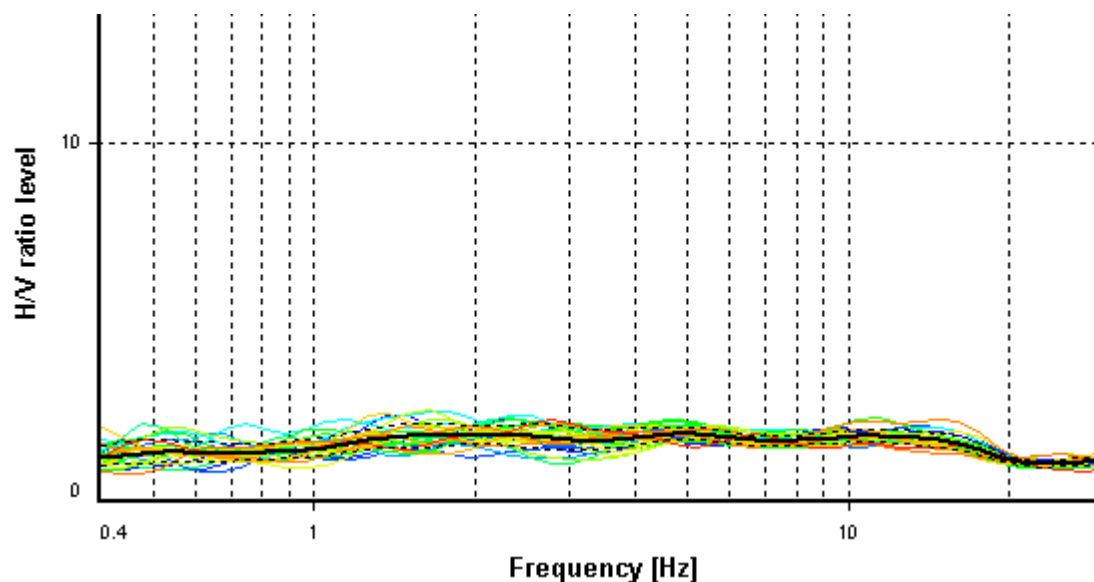
#### 7.3.1.1 Zona 2001

##### SG su SS - LPS

E' la zona in cui è affiorante o sub-affiorante (con copertura e/o alterazione < 3 m) l'associazione arenaceo conglomeratica della Formazione di Camerino (FCI b –LPS). Questa zona è presente nella maggior parte dei nuclei abitati di Gagliole ed Acquosi.

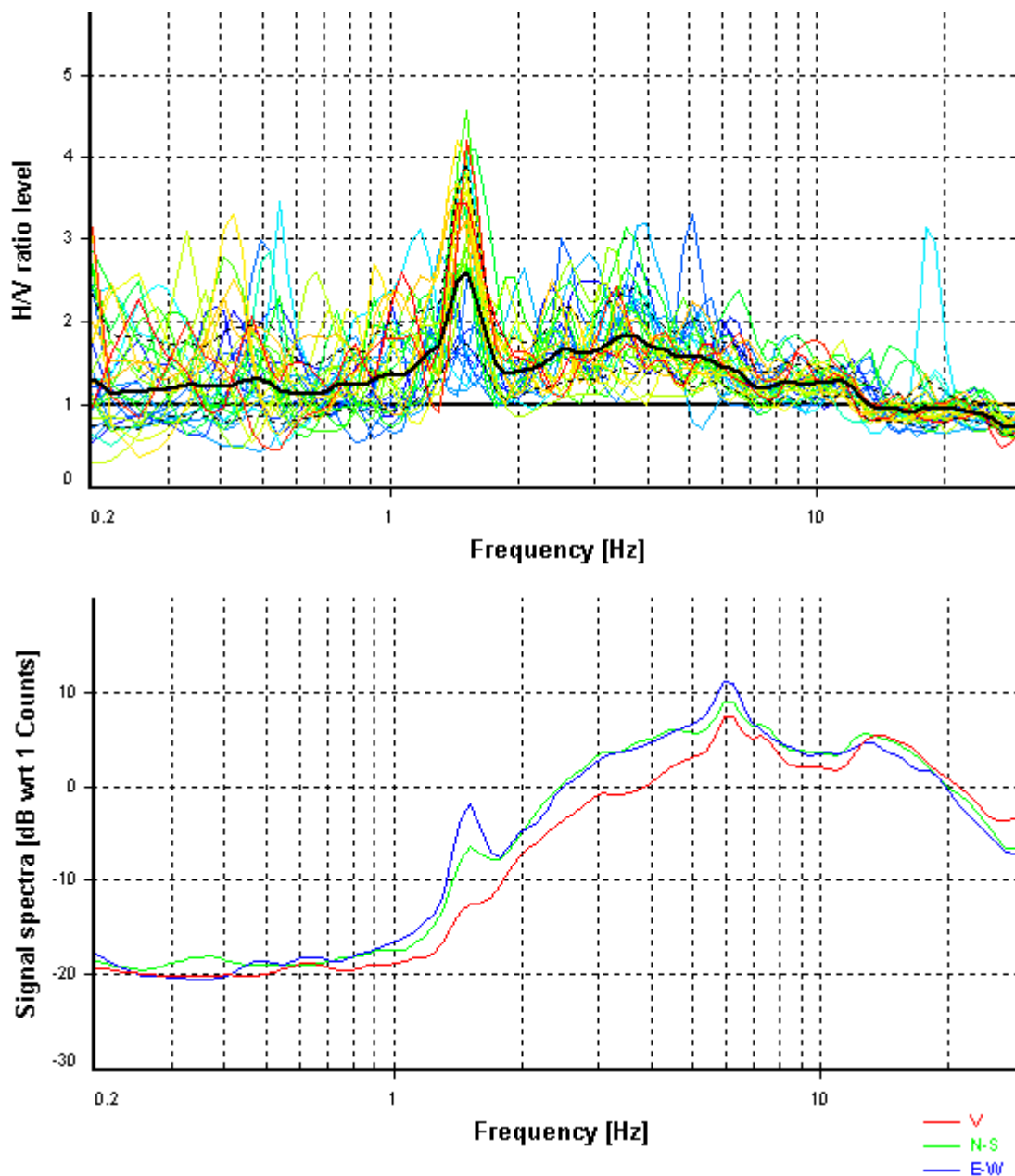


Le curve H/V sono generalmente piatte, assenti di picchi significativi come nell'esempio seguente relativo alla HV-P120, con  $F_0 = 0$ .



ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	54
--	---	----

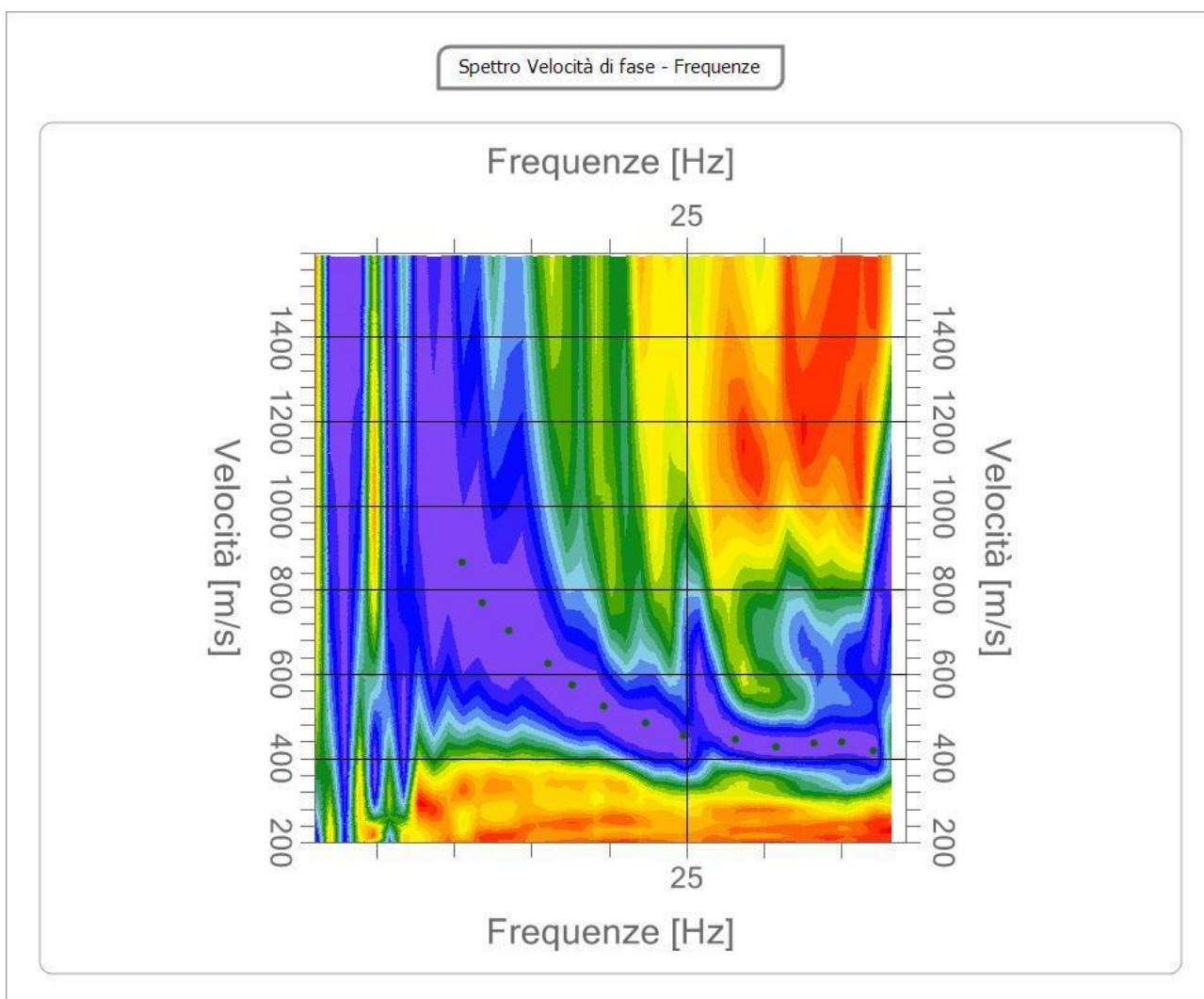
In particolare si segnala che le HVSR eseguite nella località Acquosi sempre nella microzona 2001 presentano spesso un picco a 1,5 Hz circa, riconducibile ad un disturbo antropico, come mostrato nelle figure seguenti in cui si riportano anche le componenti spettrali, dalle quali si nota un altro disturbo a 6 Hz.



Localmente inoltre le acquisizioni H/V presentano picchi a frequenze molto elevate (> 10 Hz) legate alla presenza di locali riporti.

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	55
--	---	----

Dalla MASW 2 (L2) eseguita in questa zona sono stati ricavati il seguente spettro delle velocità di fase e la curva di dispersione con margine di errore pari al 10%.



ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	56
--	---	----

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	Std. Dev
10.50	865.52	86.55
11.81	769.59	76.96
13.52	703.64	70.36
16.06	625.70	62.57
17.62	574.73	57.47
19.66	523.77	52.38
22.37	484.80	48.48
24.82	454.82	45.48
28.18	445.82	44.58
30.80	427.84	42.78
33.25	436.83	43.68
35.05	439.83	43.98
37.10	418.84	41.88



ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	57
--	---	----

L'analisi in inversione congiunta con la HVSR P112 eseguita su tre modellazioni ha fornito i seguenti valori.

Spessore min (m)	Spessore max (m)	Profondità min(m)	Profondità max(m)	VP min (m/sec)	VP max(m/sec)	VS min (m/sec)	VS max (m/sec)	Density min (kg/m <sup>3</sup> )	Density max (kg/m <sup>3</sup> )
1	2	2	2	601	629	316	368	1854	1976
2	10	12	12	938	946	601	606	2033	2096
38	48	50	60	1663	2414	862	916	2031	2173
semispazio	-	-	-	2210	2452	878	1177	2076	2186

Di seguito si riporta come esempio il best fitting della modellazione 1.

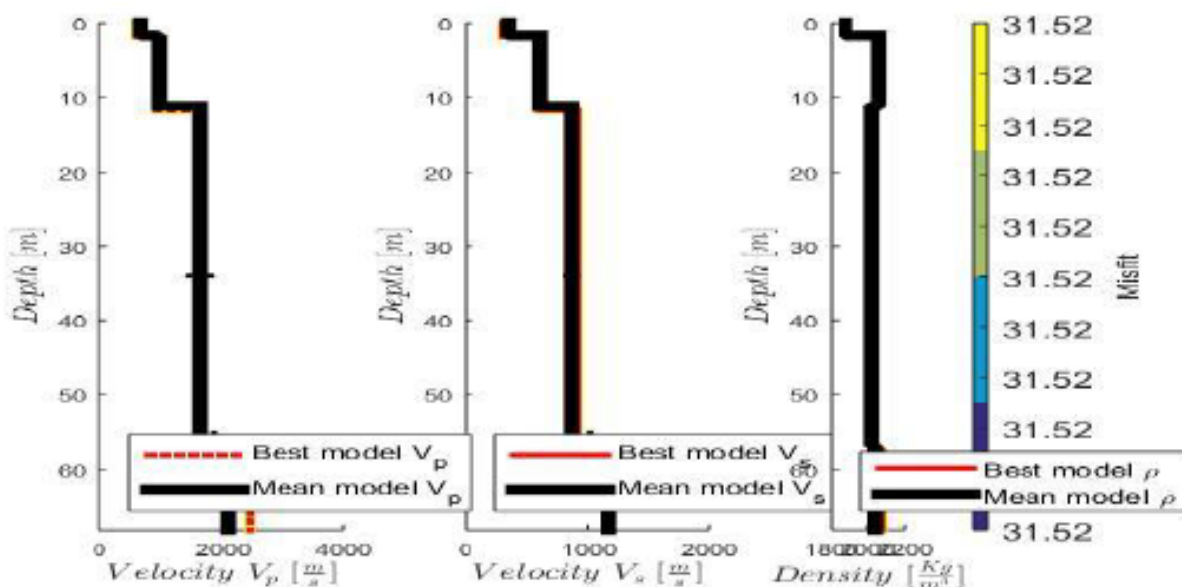
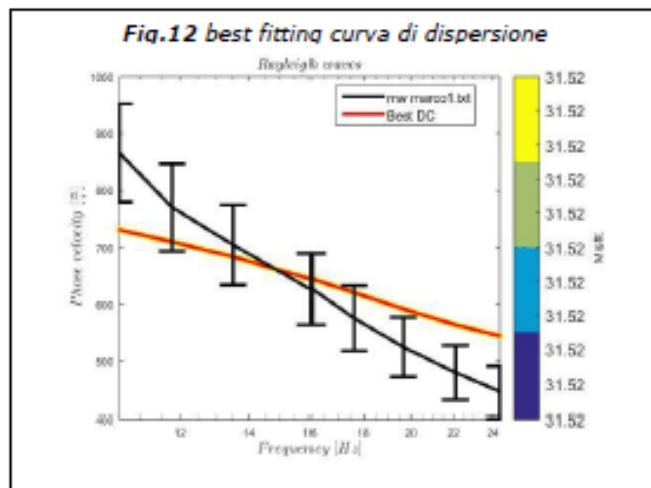
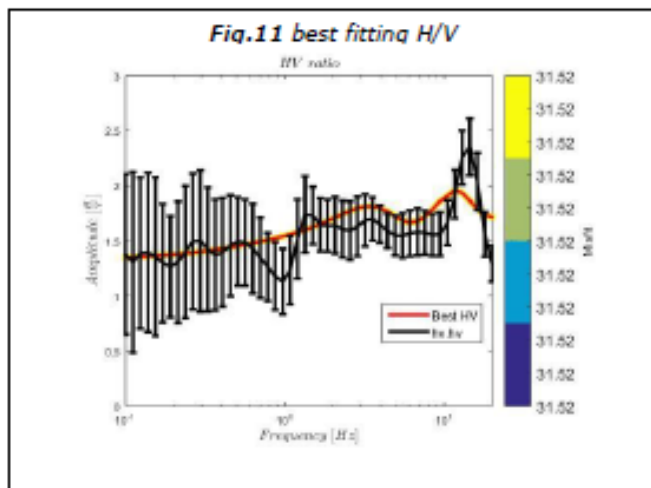


Fig. 13: best fitting velocità P, S e densità calcolati

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	58
--	---	----

I valori FA calcolati in analisi 1 D hanno fornito i seguenti risultati:

MOPS	FA 0,1-0,5s	FA 0,4-0,8s	FA 0,7-1,1s
2001	1.05	1.01	1

Le analisi 2D non hanno interessato detta zona.

Facendo un confronto con la distribuzione dei danni, un'area particolarmente danneggiata è ubicata nel centro storico di Gagliole (zona della Rocca), dove sono state danneggiate prevalentemente strutture a 2 o 3 piani, con architettura caratteristica di centro storico. Altri danni, anche se alcuni lievi, sono localizzati nelle zone di C. Vallone, Bergoni, Torreto, Collaiello, Celeano: questi siti, anche se ubicati al di fuori di MS3 e sedi di singoli edifici o di piccoli agglomerati, sono ubicati in zona di cresta con substrato affiorante o sub-affiorante, sia terrigeno che marnoso-calcareo.

E' opinione degli scriventi che possa aver inciso in modo maggiormente determinante l'effetto topografico, tanto da segnalare nella carta delle MOPS una forma a picco isolato e zona di cresta (ai sensi degli I.C.M.S.) e le relative sezioni topografiche come già segnalato nelle analisi di livello 1; inoltre i versanti stessi presentano una pendenza compresa tra 15° e 30°.

Le amplificazioni in tali località dunque a parere degli scriventi vanno ricondotte ad effetti topografici, valutabili tramite modellazioni 2D o, in assenza delle stesse, attraverso la stima del coefficiente di amplificazione topografica, nonostante tale microzona sia stata classificata stabile suscettibile di amplificazione poiché il substrato stesso arenaceo-conglomeratico presenta una fascia da 1 a 15 m definibile substrato geologico al di sotto della quale presenta  $V_s > 800$  m/s.

Sono stati valutati preliminarmente i criteri geometrici definiti in I.C.M.S. da cui il centro storico di Gagliole risulta ubicato in una cresta appuntita.

Dislivello altimetrico massimo	108	m
Dislivello altimetrico minimo	68	m
Larghezza cresta	50	m
Larghezza cresta base del rilievo	349	m
Prima inclinazione alla base	26°	
Seconda inclinazione alla base	27°	
Prima inclinazione cresta	20°	
Seconda inclinazione cresta	20°	

E' stata applicata la procedura suggerita dal CentroMS per l'individuazione del valore di T0 interessato dalle amplificazioni topografiche:

$$T0 = (1.2) * 2L/V_s = 0,23s$$

L'intervallo di periodo a cui applicare l'amplificazione topografica risulta 0,1-0,5s.

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	59
--	---	----

Il valore  $St$  è stato valutato confrontando i metodi degli I.C.M.S., il metodo di Pagliaroli et alii (2007) e le NTC2017 recenti revisioni (tramite il software GEOSTRU), dai quali risulta  $St$  pari a 1.45, valore che va moltiplicato per il fattore  $FA_{0,1-0,5} = 1.05$  ottenendo il valore finale 1,52.

Nella zona di cresta di Gagliole pertanto i valori  $Fa$  risultano:

MOPS	FA 0,1-0,5s	FA 0,4-0,8s	FA 0,7-1,1s
2001	1.52	1.01	1

Nei versanti del rilievo sempre nell'intervallo di periodo 0,1-0,5 s, essendo l'inclinazione compresa tra 15° e 30°,  $St$  diviene 1,2 che moltiplicato per il corrispondente  $FA$  restituisce il valore 1,26.

Nei versanti di Gagliole pertanto i valori  $Fa$  risultano:

MOPS	FA 0,1-0,5s	FA 0,4-0,8s	FA 0,7-1,1s
2001	1.26	1.01	1

Per la località Acquosi è valido lo stesso procedimento relativamente ai pendii con inclinazione tra 15° e 30°.

MOPS	FA 0,1-0,5s	FA 0,4-0,8s	FA 0,7-1,1s
2001	1.26	1.01	1

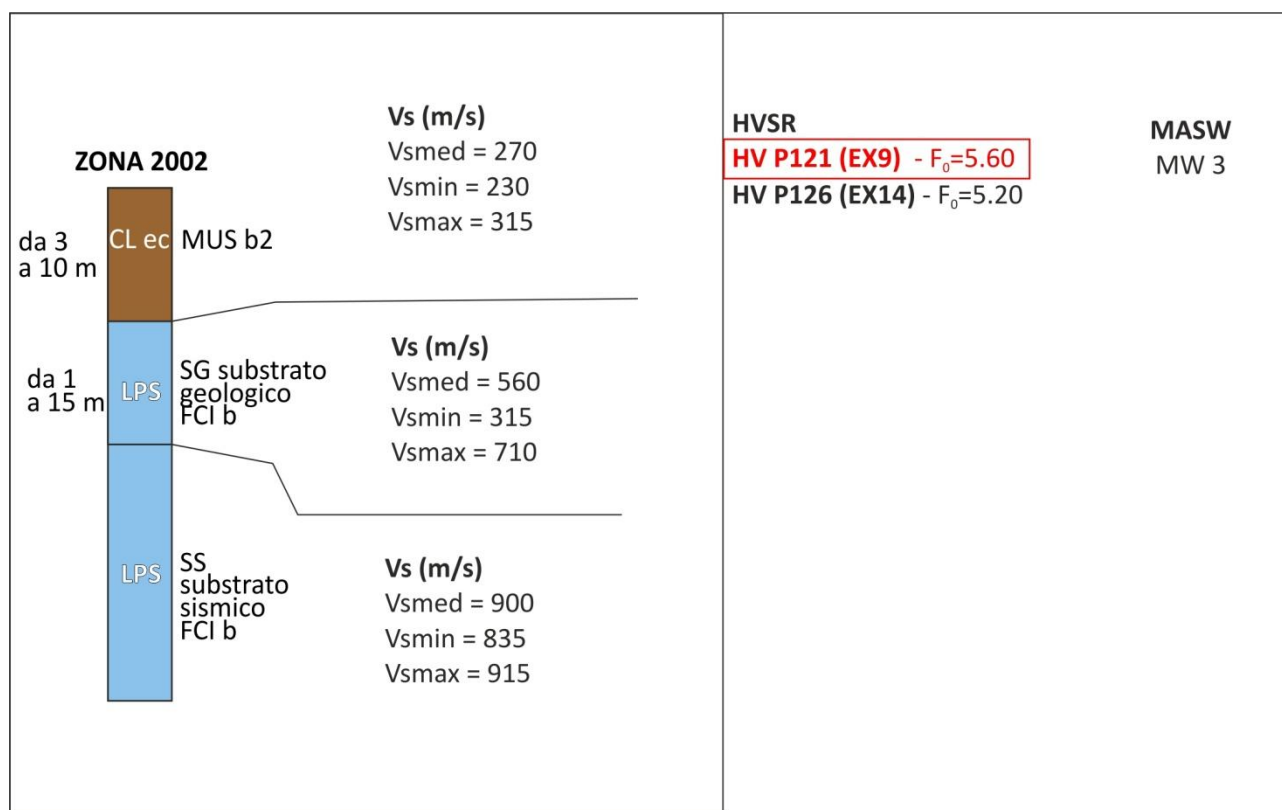
ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	60
--	---	----

### 7.3.1.2 Zona 2002

#### TC su SS – CL ec su LPS

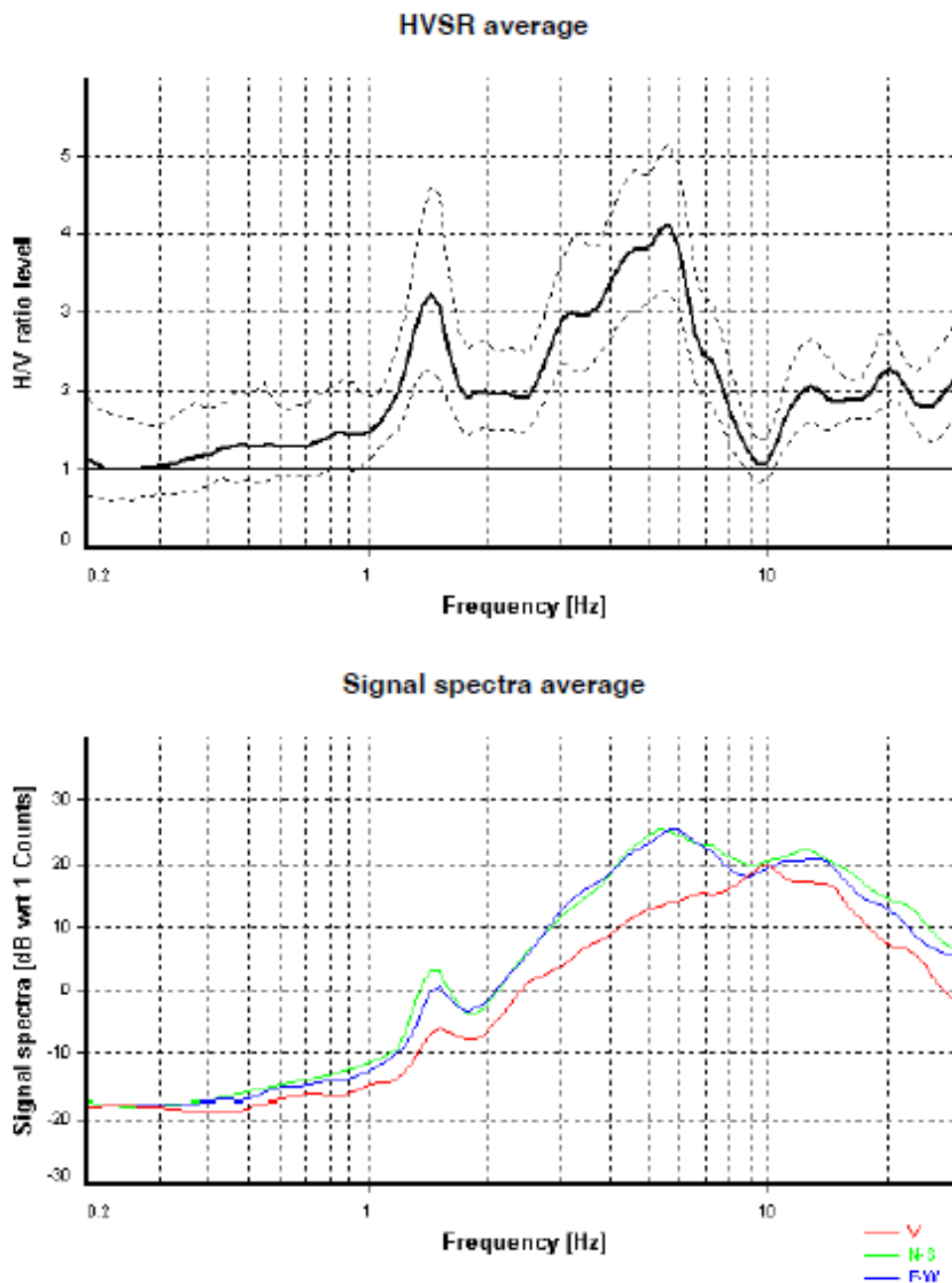
Si tratta di argille limose e limi argillosi CL, che poggiano sulla litofacies arenaceo-conglomeratica (LPS). Lo spessore varia da 3 a 10 m.

La zona 2002 è presente molto limitatamente in tutte e tre le località e contiene pochissime abitazioni.



ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	61
--	---	----

In relazione alla relativa uniformità geologica ed alla esigua estensione dell'area le curve H/V hanno mostrato picchi con  $F_0$  di 5,2-5,6 Hz; di seguito è riportato un esempio di un rapporto H/V della zona (P126) con  $F_0=5,2$  Hz.

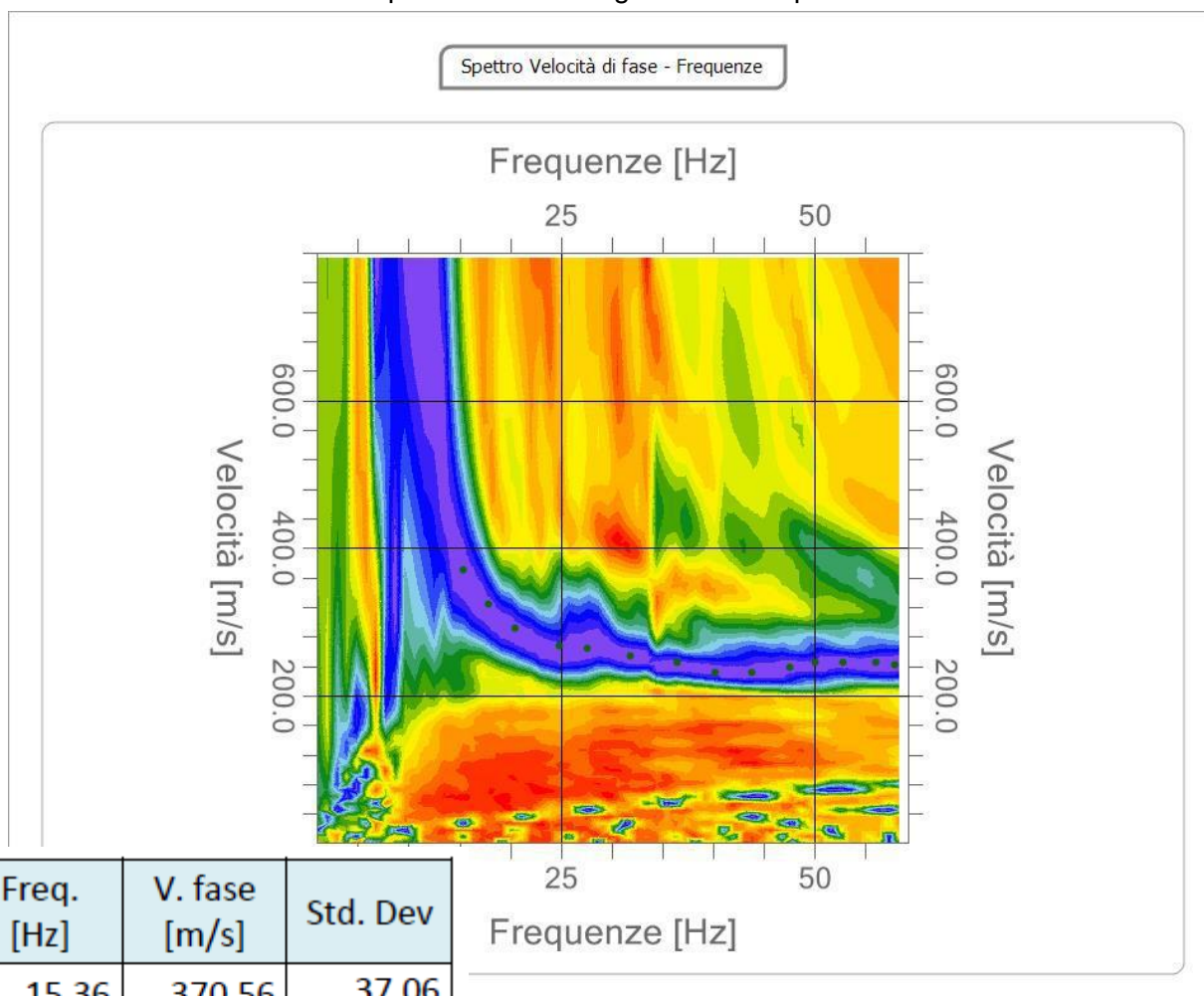


Nello stesso esempio sono riportate anche le ordinate spettrali per evidenziare il solito disturbo antropico ad Acquosi alle frequenze di circa 1,5 Hz.



ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	62
--	---	----

Dalla MASW 3 (L3) eseguita in questa zona sono stati ricavati il seguente spettro delle velocità di fase e la curva di dispersione con margine di errore pari al 10%.



ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	63
--	---	----

L'analisi in inversione congiunta con la HVSr P121 (ex HV 9) eseguita su tre modellazioni ha fornito i seguenti valori.

Spessore min (m)	Spessore max (m)	Profondità min(m)	Profondità max(m)	VP min (m/sec)	VP max(m/sec)	VS min (m/sec)	VS max (m/sec)	Density min (kg/m <sup>3</sup> )	Density max (kg/m <sup>3</sup> )
1	2	1	2	402	879	229	315	1881	2099
7	7	8	9	451	606	262	303	2022	2051
19	23	27	32	944	1695	605	712	2037	2160
16	28	48	58	1411	2852	777	1495	2052	2295
semispazio	-	-	-	1321	2341	755	1005	2027	2323

Di seguito si riporta come esempio il best fitting della modellazione 3.

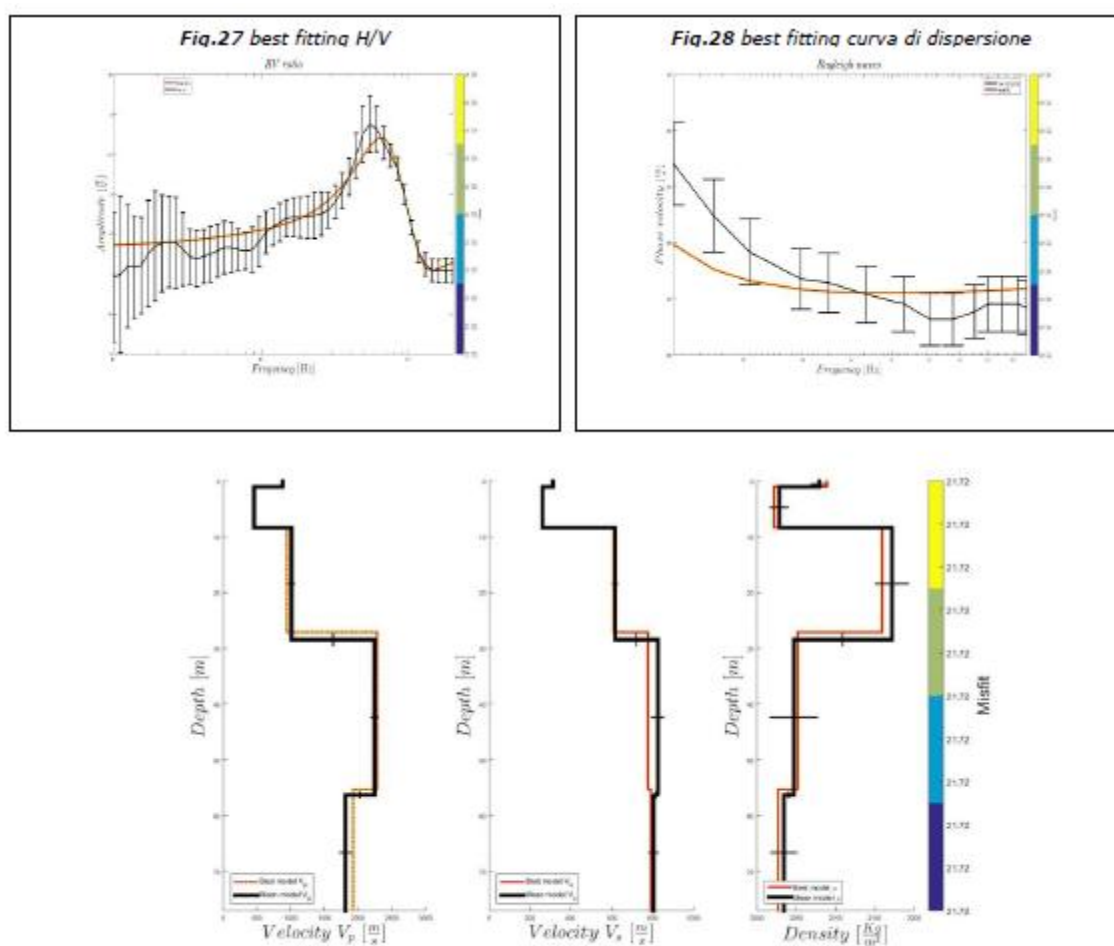


Fig. 29: best fitting velocità P, S e densità calcolati

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	64
--	---	----

I valori FA calcolati in analisi 1 D hanno fornito i seguenti risultati:

<b>MOPS</b>	<b>FA 0,1-0,5s</b>	<b>FA 0,4-0,8s</b>	<b>FA 0,7-1,1s</b>
<b>2002</b>	1.42	1.09	1.05

Le analisi 2D non hanno interessato detta zona.

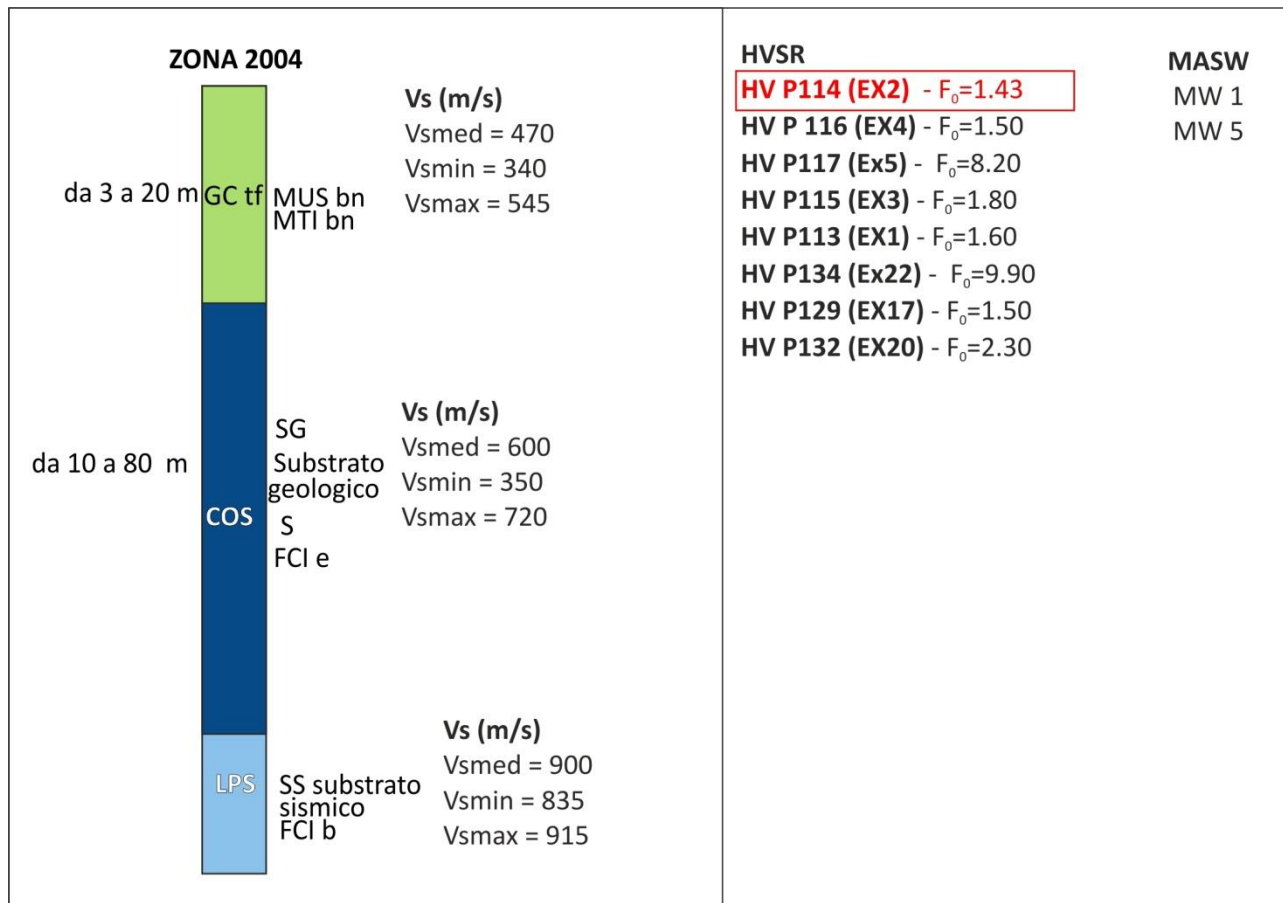
La limitatezza dell'area ed i pochi edifici in essa ricadenti rendono difficoltosa un'affermazione sul confronto dei danni.

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	65
--	---	----

### 7.3.1.3 Zona 2004

#### TC su SG su SS – GC tf su COS su LPS

Si tratta di depositi alluvionali olocenici e del Pleistocene superiore costituiti da ghiaie in matrice sabbiosa o limoso sabbiosa più o meno abbondante poggianti sul substrato geologico pelitico-arenaceo (FCI e) a sua volta poggiante sul substrato sismico arenaceo-conglomeratico (LPS). Lo spessore delle ghiaie varia da 15 a 20 m.

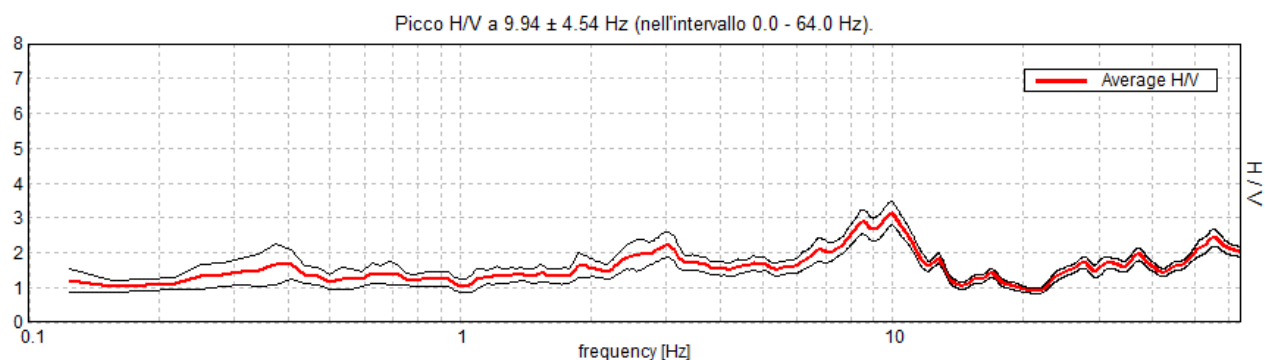
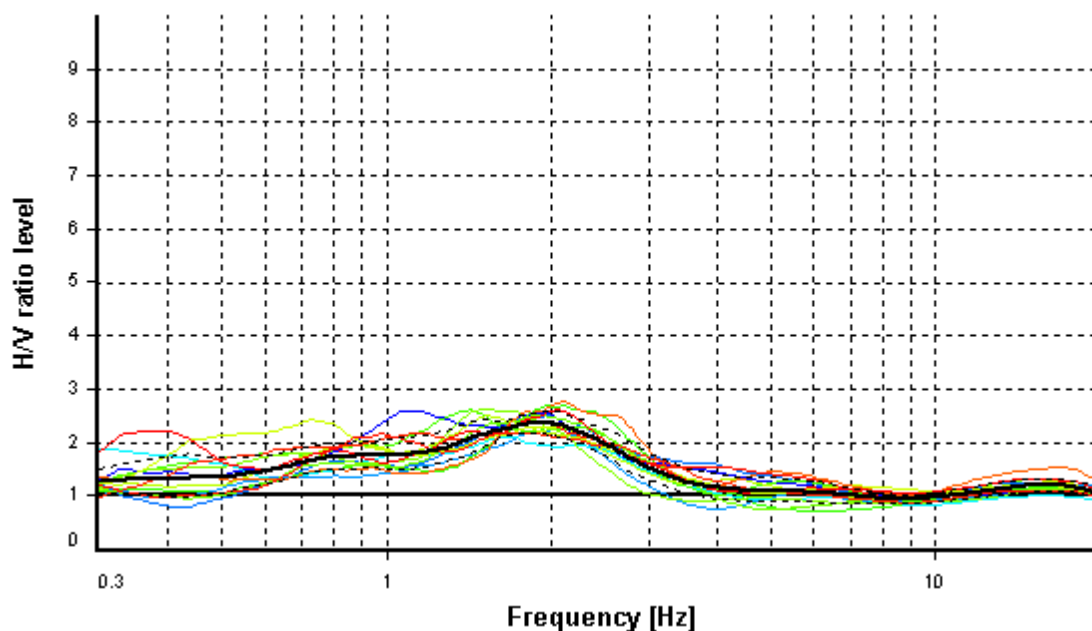


La zona 2004 è presente nella località Selvalagli; il suo limite orientale è delimitato dalla presenza, sotto alle alluvioni stesse, direttamente della litofacies arenaceo-conglomeratica (LPS).

Le acquisizioni H/V eseguite in questa zona presentano frequenze di riferimento variabili da 8,2-9,9 Hz nel margine est a 1,5-1,6 Hz in quello ovest. Come già spiegato in precedenza sul paragrafo "sezioni geologiche" le frequenze di risonanza sono dovute ad un passaggio litologico tra l'associazione pelitico-arenacea (COS) e la sottostante arenaceo-conglomeratica (LPS) in graduale approfondimento verso ovest a partire dal contatto tra la presente zona 2004 e l'adiacente zona 2007.

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	66
--	---	----

Come esempio si riportano due curve H/V marginali rispettivamente di ovest (P115) ed est (P134), nell'ultima delle quali il picco a circa 3 Hz è riferibile ad un disturbo.

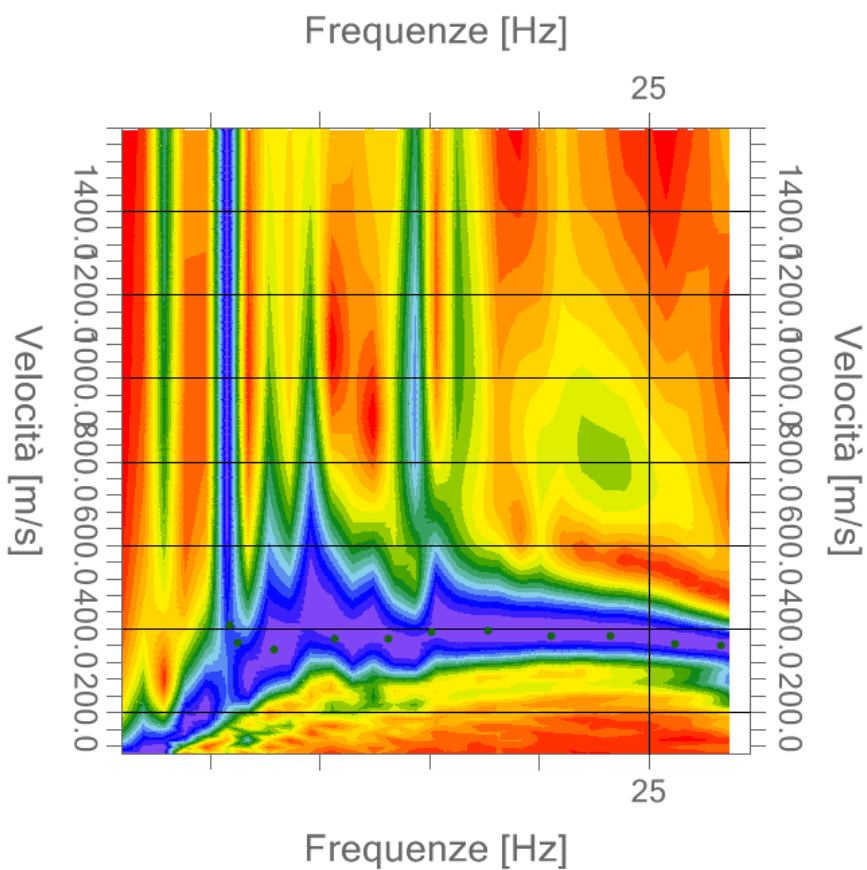


Quanto affermato trova riscontro dai risultati delle inversioni congiunte MASW 1 con HV-P114 (che si riporta come esempio) e MASW 5 con HV-P116, oltre che, dai risultati del DH eseguito nella contigua ed analoga zona 2006.

Nelle figure seguenti si riportano lo spettro delle velocità di fase e la curva di dispersione con margine di errore pari al 10% della MASW 1.



Spettro Velocità di fase - Frequenze



Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	Std. Dev
5.91	408.35	40.84
6.28	366.60	36.66
7.94	350.54	35.05
10.70	376.23	37.62
13.16	376.23	37.62
15.12	392.29	39.23
17.70	395.50	39.55
20.59	382.66	38.27
23.29	382.66	38.27
26.23	363.38	36.34
28.32	360.17	36.02

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	68
--	---	----

Nella tabella seguente si riportano le tre modellazioni eseguite per l'analisi in inversione congiunta tra la MASW 5 e la HVSR P116 (ex HV 4).

Spessore min (m)	Spessore max (m)	Profondità min(m)	Profondità max(m)	VP min (m/sec)	VP max(m/sec)	VS min (m/sec)	VS max (m/sec)	Density min (kg/m <sup>3</sup> )	Density max (kg/m <sup>3</sup> )
2	3	2	3	357	422	229	270	1853	1938
5	6	7	8	1056	1182	538	545	1927	1972
15	20	23	27	652	722	383	406	1912	2047
41	43	64	70	1200	1627	589	690	1971	2057
26	27	87	95	1677	2156	836	1189	2107	2175
18	36	106	131	1172	1916	672	970	2127	2268
semispazio	-	-	-	2111	2532	1348	1475	2037	2104

Poiché inoltre, in base ad affioramenti del substrato sebbene al di fuori dell'area d'indagine e delle risultanze del modello geologico individuato, risulta che i depositi alluvionali non superano i 20 m, appare chiaro che in queste profondità non sono state misurate velocità tali da associare a contrasti di impedenza significativi. Di seguito si riporta come esempio il best fitting della modellazione 2.

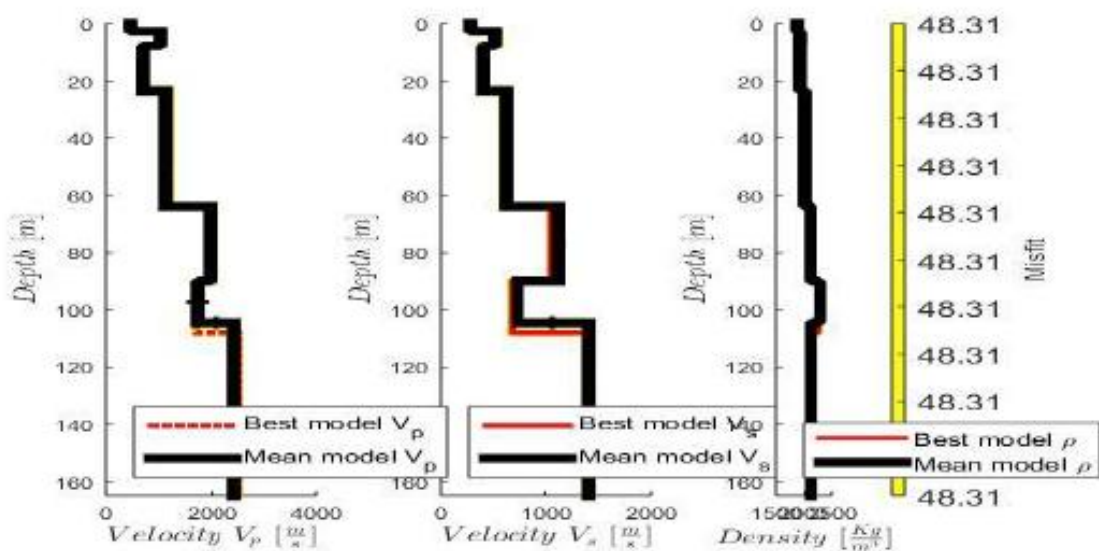
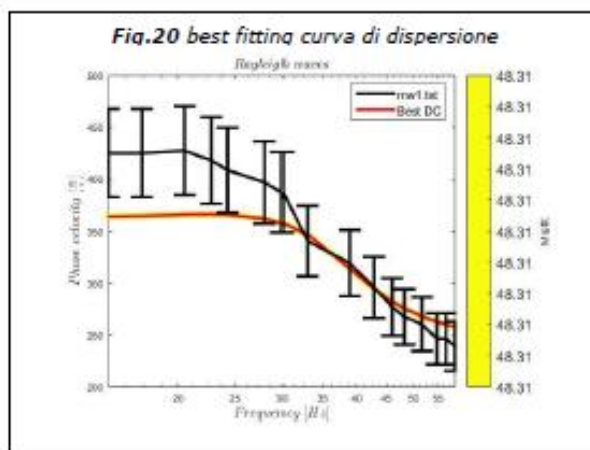
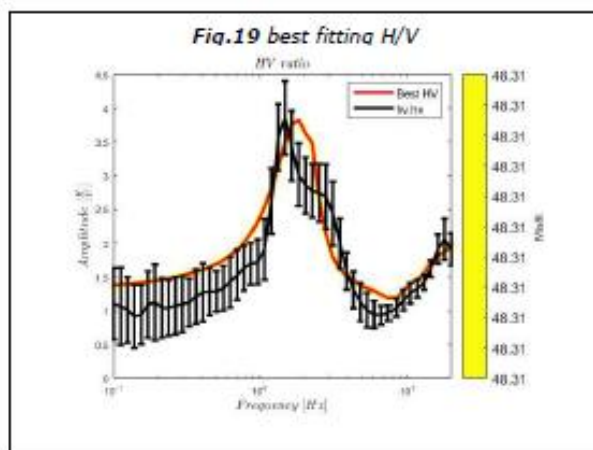


Fig. 21: best fitting velocità P, S e densità calcolati

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	69
--	---	----

Le analisi in modellazione 1 D hanno fornito e seguenti FA.

<b>MOPS</b>	<b>FA 0,1-0,5s</b>	<b>FA 0,4-0,8s</b>	<b>FA 0,7-1,1s</b>
<b>2004</b>	1.37	1.28	1.18

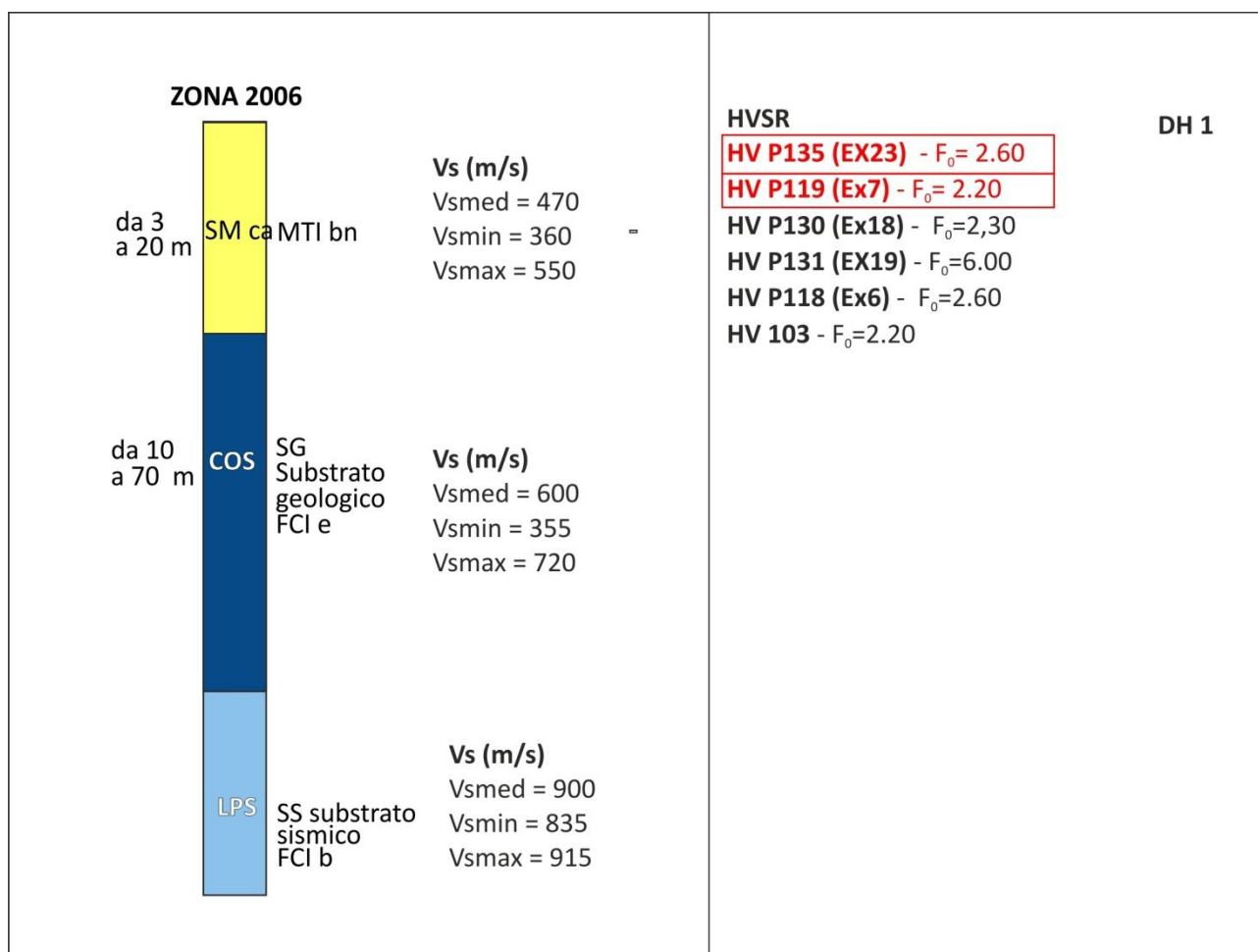
Le modellazioni 2D non hanno riguardato detta zona, ma, come sarà esposto nella seguente MOPS 2006, si adotteranno i valori FA derivanti dall'analisi 2D della stessa microzona, adottando un approccio realistico e cautelativo. Tale criterio trova anche giustificazione in riferimento al grave danneggiamento degli edifici, danneggiamento del tutto comparabile alla zona 2006.

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	70
--	---	----

### 7.3.1.4 Zona 2006

#### TC su SG su SS – SM ca su COS su LPS

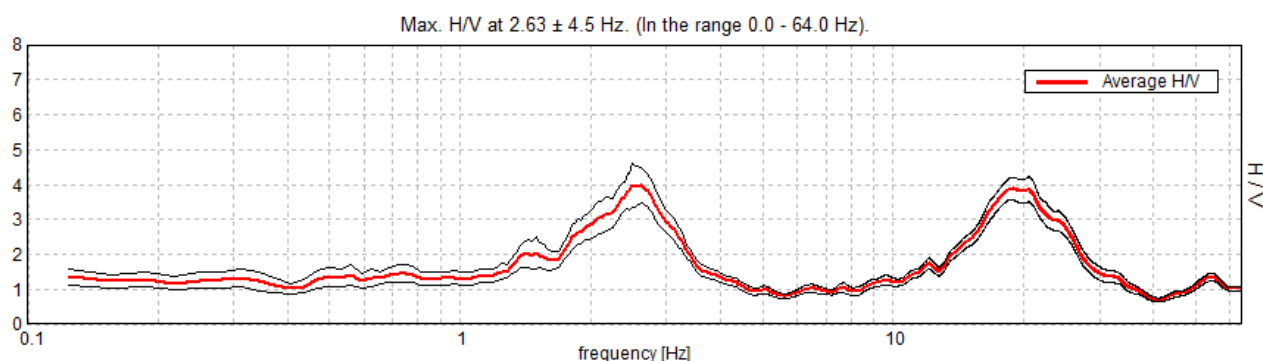
In tale gruppo rientrano i depositi di conoide costituiti da un'alternanza di sabbie ghiaiose e di ghiaie in matrice sabbiosa. Presentano uno spessore variabile da 3 a 20 m e poggiano sul substrato geologico pelitico-arenaceo (FCI e) a sua volta poggiante sul substrato sismico arenaceo-conglomeratico (LPS).



La zona 2006 è presente sempre nella località Selvalagli; è stata suddivisa come MOPS dalla precedente 2004 poiché, essendo di genesi di conoide alluvionale (Fosso Mignano), litologicamente mostra sensibili differenze rispetto ai depositi prettamente fluviali del F. Potenza. Le misure DH hanno mostrato valori Vs del tutto confrontabili con le Vs ottenute per la zona 2004 attraverso misure MASW.

Le acquisizioni H/V eseguite in questa zona presentano frequenze di riferimento variabili da 6 Hz nel margine est a 2,2 Hz in quello ovest come visualizzato nella seguente curva riferita all'acquisizione HV-P135.

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	71
--	---	----



La stessa prova è stata eseguita in prossimità del sondaggio con prova DH, di cui di seguito si riporta la elaborazione numerica.

V <sub>s</sub> _profilo regolarizzato				
z [m]	V <sub>s</sub> [m/s]	z [m]	V <sub>s</sub> [m/s]	V <sub>s</sub> _profilo regolarizzato [m/s]
2	357	1.50		
4	357	2.50	316	
4	511	3.50	397	357
7	511	4.50	481	
7	451	5.50	529	511
9	451	6.50	524	
9	468	7.50	487	451
12	468	8.50	414	
12	535	9.50	431	
15	535	10.50	464	468
15	550	11.50	509	
25	550	12.50	522	
25	669	13.50	533	535
28	669	14.50	550	
28	721	15.50	522	
34	721	16.50	538	
		17.50	525	
		18.50	551	
		19.50	551	
		20.50	553	550
		21.50	580	
		22.50	554	
		23.50	554	
		24.50	569	
		25.50	666	
		26.50	663	669
		27.50	679	
		28.50	711	
		29.50	711	
		30.50	713	
		31.50	713	721
		32.50	740	
		33.50	740	



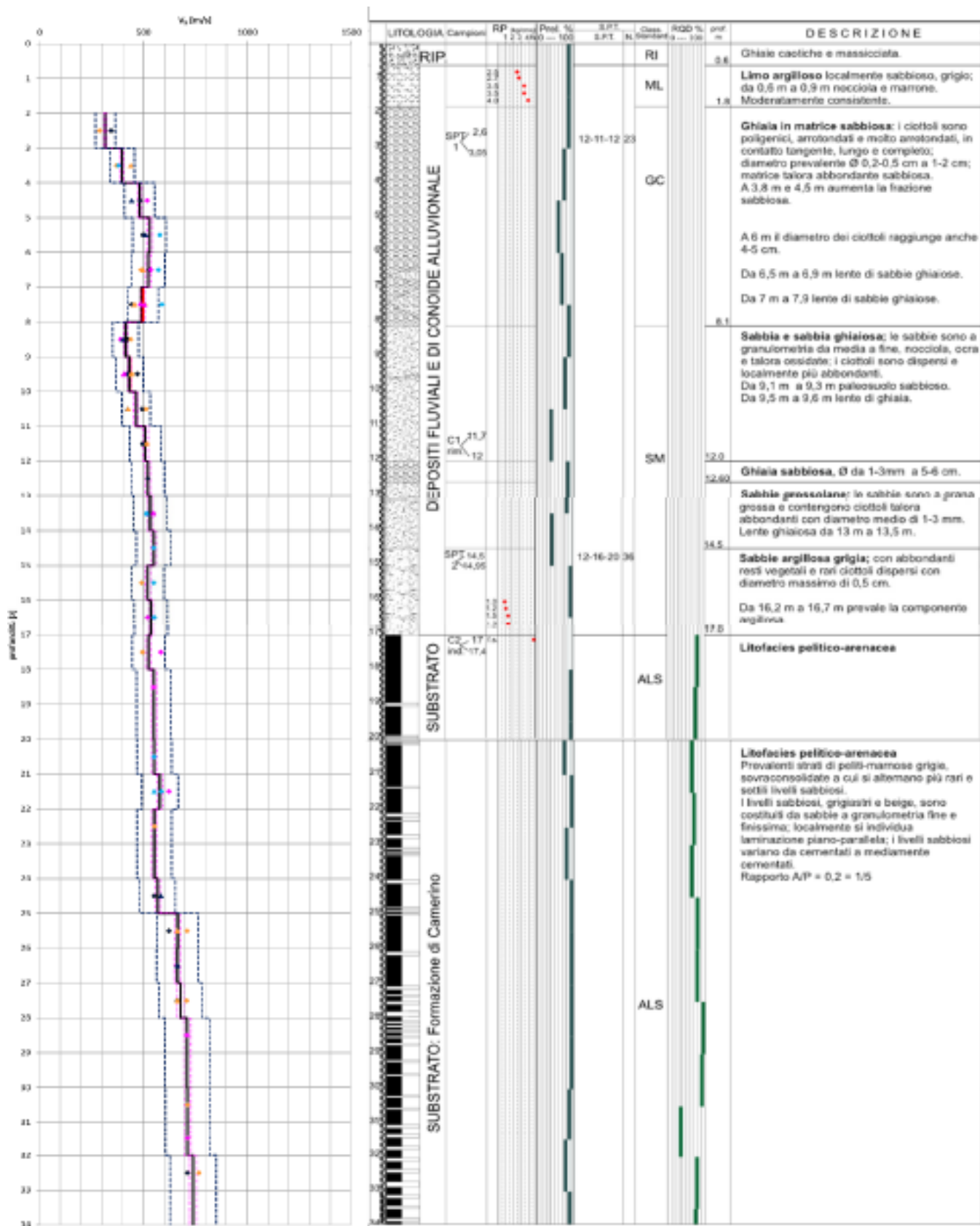
ATP  
GEOL. SILVIA PAGGI  
GEOL. EUGENIO PISTOLESI  
GEOL. DIMITRI MAZZA  
GEOL. ANGELO CURATOLO  
ING. ROBERTO DI GIROLAMO

COMUNE DI GAGLIOLE (MC)

72

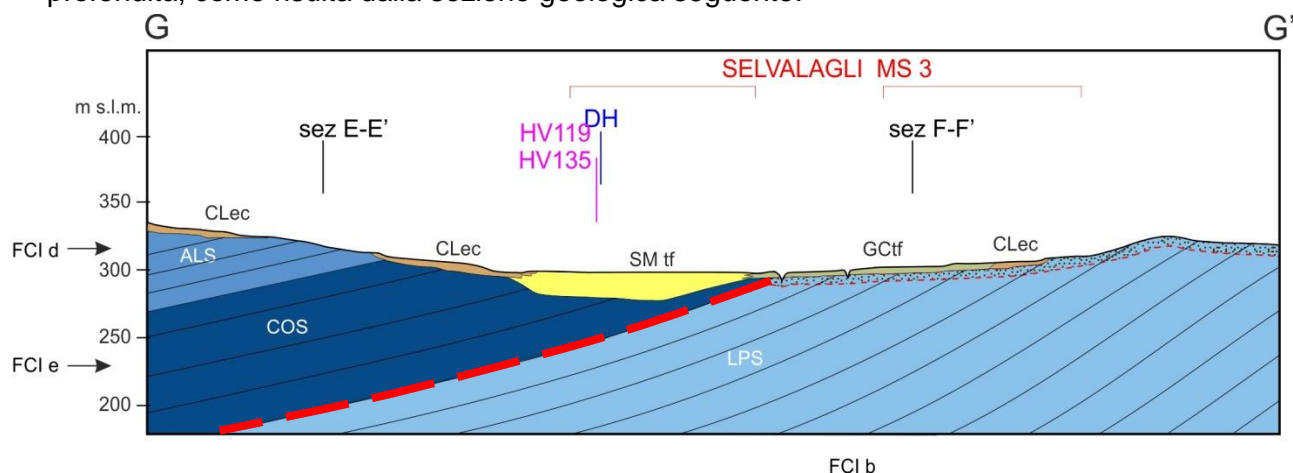
MICROZONAZIONE SISMICA

RELAZIONE ILLUSTRATIVA



ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	73
--	---	----

Dal confronto dei risultati della prova DH con la stratigrafia di sondaggio si evince chiaramente che non sono presenti contrasti di velocità tra la copertura alluvionale ed il sottostante substrato pelitico-arenaceo (COS), ma aumenti gradual; questo dato certamente ha contribuito a fornire una chiave di lettura delle indagini HVSR. Le stesse infatti in corrispondenza del sondaggio hanno fornito picchi alle frequenze oscillanti intorno a 2,2 Hz, frequenze confrontabili e calibrate attraverso la funzione di trasferimento impostando una profondità della litofacies arenaceo-conglomeratica sismica (LPS) a circa 50-60 m di profondità, come risulta dalla sezione geologica seguente.



Inoltre il sondaggio stesso e la relativa prova DH sono stati eseguiti dove ci si poteva aspettare un maggior contrasto tra la copertura alluvionale ed il substrato, in quanto i depositi di conoide presentano una componente sabbiosa più abbondante rispetto ai depositi prettamente ghiaiosi del F. Potenza.

Si vuole anche sottolineare che situazioni simili sono state riscontrate anche in altre località di altri comuni dove la presenza di alluvioni (per lo più del Pleistocene superiore) poggianti su litofacies pelitico-arenacee, comparabili a quella in oggetto, non dà luogo a contrasti di impedenza, i quali invece vanno ricercati in passaggi litologici all'interno del substrato stesso.

Le analisi in modellazione 1 D hanno fornito i seguenti FA.

MOPS	FA 0,1-0,5s	FA 0,4-0,8s	FA 0,7-1,1s
2006	1.37	1.21	1.13

Le analisi in modellazione 2 D hanno fornito i seguenti FA.

	FA 0,1-0,5s	FA 0,4-0,8s	FA 0,7-1,1s
P42	1,8	1,3	0,9
P48	1,5	1,2	0,9

Nel caso in esame la geometria dell'interfaccia risonante può essere associata ad una zona con presenza di importanti variazioni laterali nelle proprietà sismiche di corpi geologici sepolti, condizione che può essere tenuta in considerazione attraverso una modellazione 2D. Inoltre considerando anche il grave danneggiamento degli edifici in questa zona (strutture degli anni '70 a 4 piani o a 5 piani), i quali dovranno essere demoliti e ricostruiti, si adottano i

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	74
--	---	----

Fattori di amplificazione derivanti dall'analisi 2D.

<b>MOPS</b>	<b>FA 0,1-0,5s</b>	<b>FA 0,4-0,8s</b>	<b>FA 0,7-1,1s</b>
<b>2006</b>	1,8	1,3	0,9

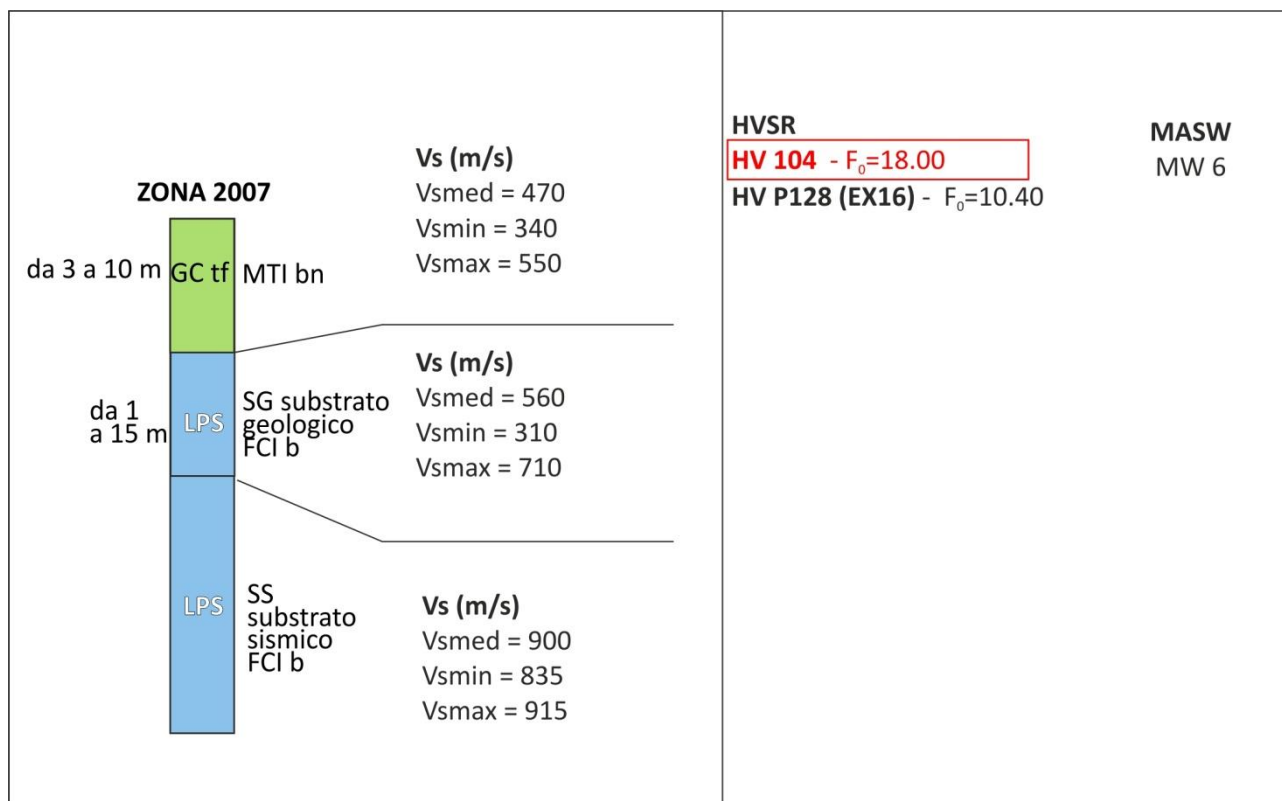
Le stesse considerazioni ed assunzioni valgono, utilizzando un approccio realistico e cautelativo, per l'adiacente e sismicamente analoga zona 2004.

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	75
--	---	----

### 7.3.1.5 Zona 2007

#### TC su SS – GC tf su LPS

Si tratta di depositi alluvionali olocenici e del Pleistocene superiore costituiti da ghiaie in matrice sabbiosa o limoso sabbiosa più o meno abbondante poggianti sul substrato sismico



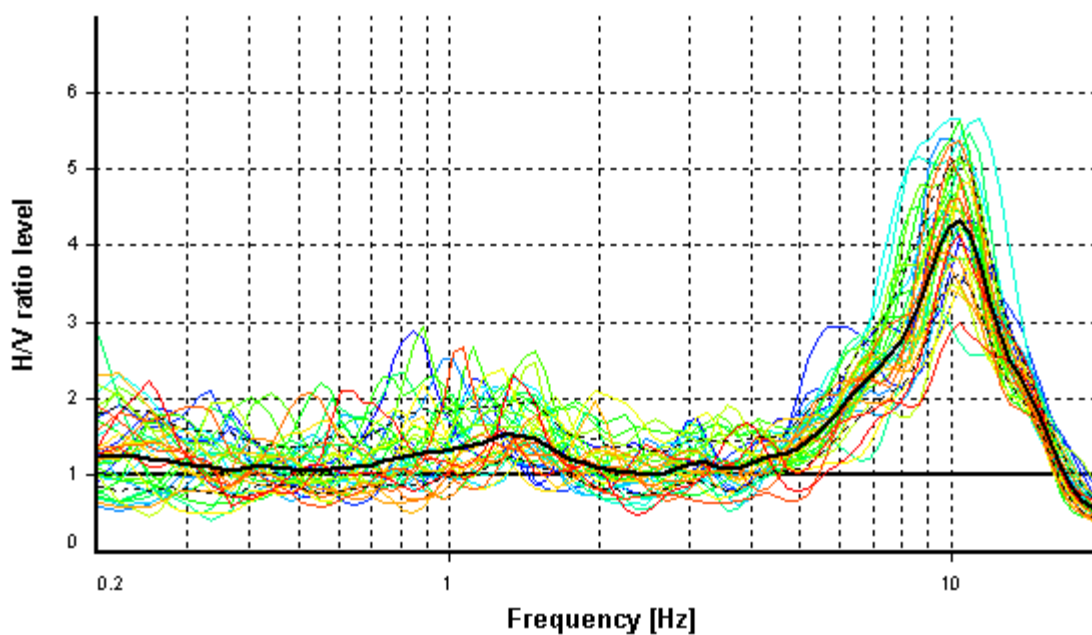
arenaceo-conglomeratico (LPS). Lo spessore delle ghiaie varia da 3 a 20 m.

La zona 2007 è una limitata area nella porzione orientale di Selvalagli.

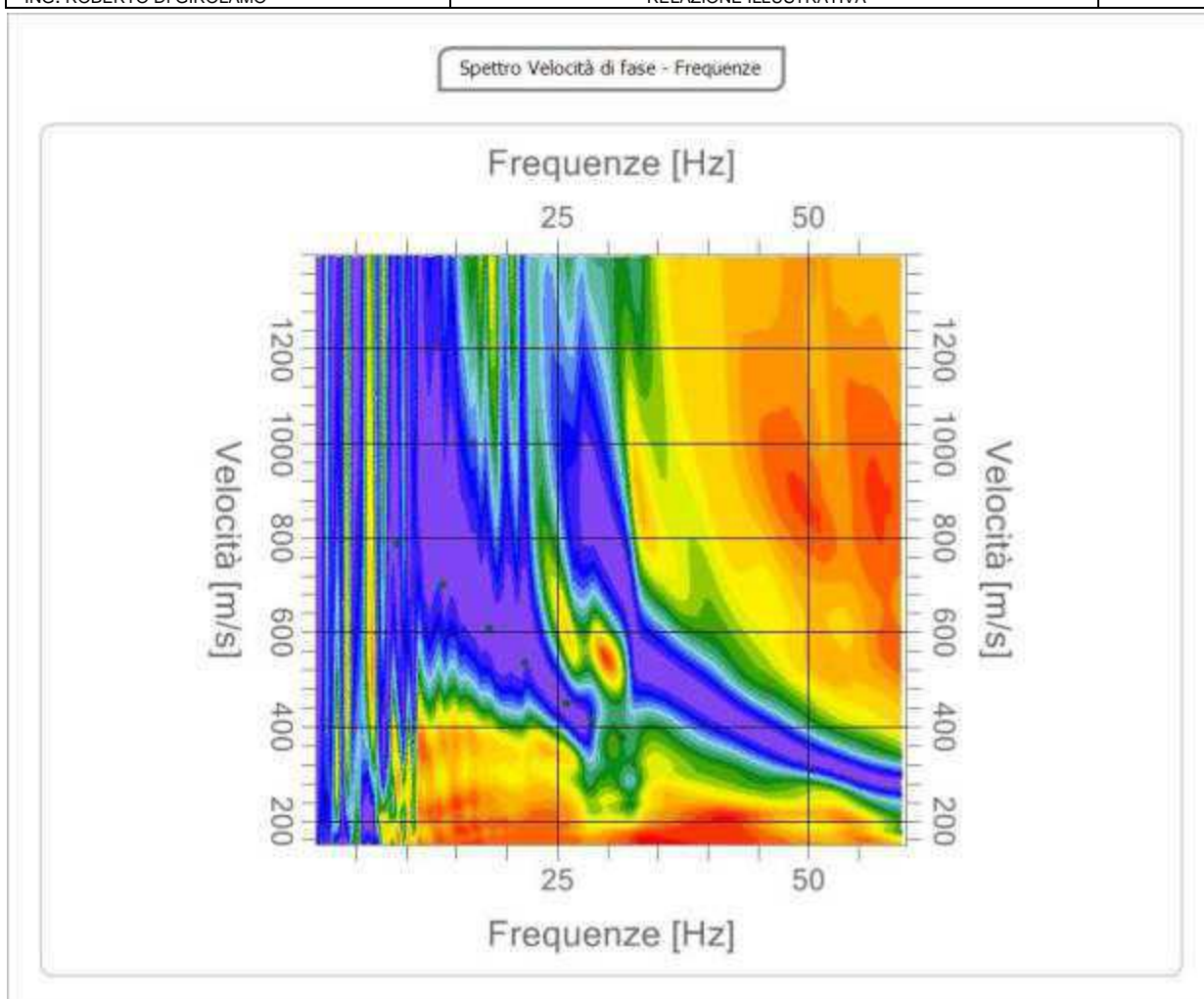
Le acquisizioni H/V eseguite in questa zona presentano alte frequenze di riferimento variabili da 10 a 20 Hz; come già spiegato in precedenza sul paragrafo “sezioni geologiche” in questa area al di sotto delle alluvioni è presente direttamente il substrato LPS che, dopo una sottile fascia di alterazione diviene sismico. Dunque in questa area i fenomeni di risonanza riguardano le alte frequenze e sono dovuti all’interfaccia copertura-substrato. I risultati delle prove eseguite in questa zona vanno inoltre a conferma del modello geologico-sismico ipotizzato per Selvalagli.

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	76
--	---	----

Come esempio si riporta la curve H/V P285) ed est (P134).



Quanto affermato trova riscontro dai risultati della MASW 6, di cui, nelle figure seguenti si riportano lo spettro delle velocità di fase e la curva di dispersione con margine di errore pari al 10% della MASW 1.



Freq. [Hz]	V. fase [m/s]
9.07	787.04
13.60	701.39
18.27	607.71
21.80	535.44
25.96	449.79
28.48	414.99
31.50	377.52



ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	78
--	---	----

In corrispondenza della MASW 6 è accertata la successione stratigrafica del sito grazie ad un sondaggio (P50) seguito dagli scriventi e grazie agli affioramenti rocciosi presenti dentro il Fosso di Mignano; in sostanza sono presenti 3-5 metri di ghiaie che poggiano sul substrato arenaceo-conglomeratico sismico; i risultati della MASW 6, anche senza inversione congiunta, come concordato con gli operatori del CentroMS, sono risultati confrontabili con la successione dei terreni ed anche l'HV mostra un picco a circa 18 Hz.

#### **Inversione**

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		5.00	5.00	1800.0	0.2	No	557.4	341.4
2		10.96	5.96	1800.0	0.2	No	1363.1	834.7
3		15.96	5.00	1800.0	0.2	No	1418.2	868.4
4		23.55	7.59	1800.0	0.2	No	1485.0	909.4
5		30.63	7.08	1800.0	0.2	No	1515.4	928.0
6		oo	oo	1800.0	0.2	No	1752.7	1073.3

Percentuale di errore 0.027 %

Fattore di disadattamento della soluzione 0.015

Le analisi in modellazione 1 D hanno fornito i seguenti FA.

MOPS	FA 0,1-0,5s	FA 0,4-0,8s	FA 0,7-1,1s
2006	1.16	1.03	1.02

Le analisi in modellazione 2 D hanno fornito i seguenti FA.

	FA 0,1-0,5s	FA 0,4-0,8s	FA 0,7-1,1s
P101	1,1	1,0	1,0

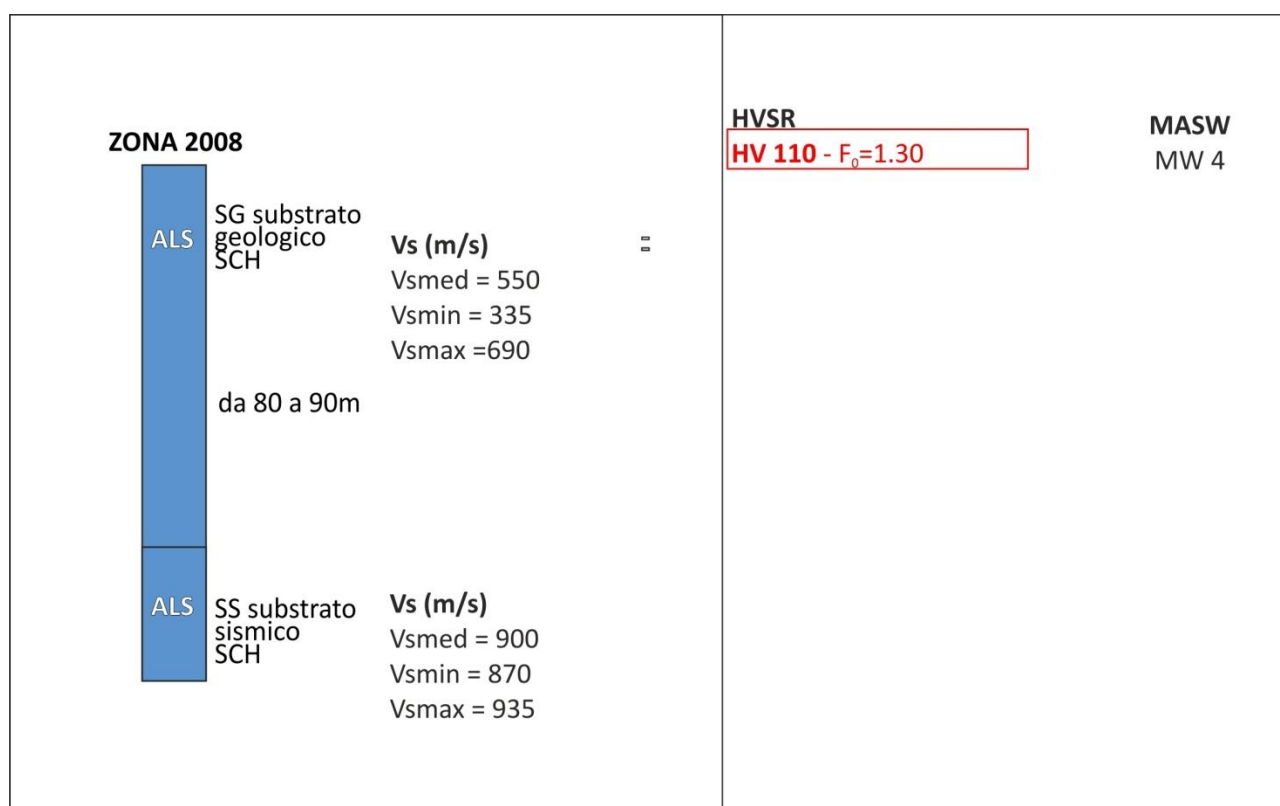
I rari edifici presenti in questa zona non hanno presentato danni importanti e pertanto dal confronto delle modellazioni si sono ottenuti risultati compatibili.

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	79
--	---	----

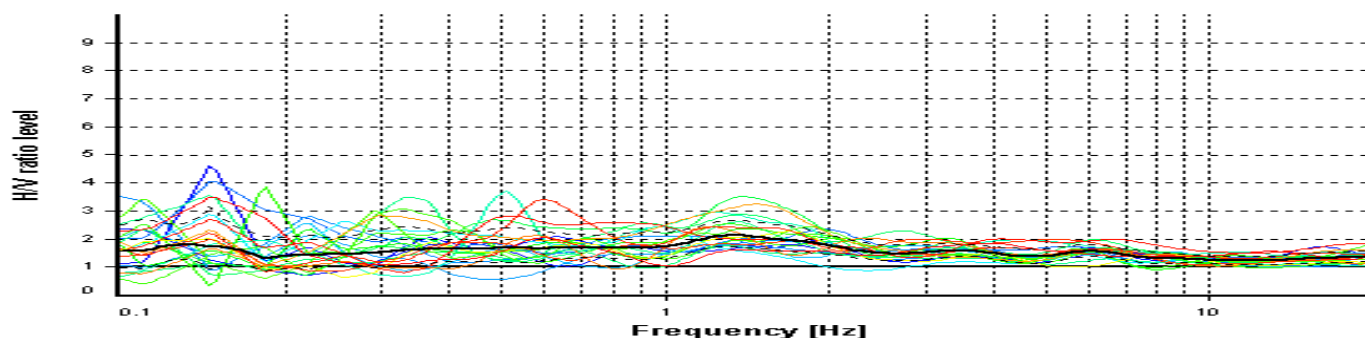
### 7.3.1.6 Zona 2008

#### SG - ALS

Si tratta di una piccola zona a Gagliole in cui ricade un paio di abitazioni. E' la zona in cui è affiorante o sub-affiorante (con copertura e/o alterazione < 3 m) la Formazione dello Schlier classificato come ALS. Lo stesso costituisce un ammasso roccioso fratturato, in generale con  $a \neq b \neq c$ , in cui le fratture sistematiche e pervasive e sono costituite da giunti di strato, fratture di tensione, di taglio e clivaggio, anche se la famiglia di discontinuità a maggiore persistenza e frequenza è rappresentata dalla stratificazione, che presenta spaziatura oscillante mediamente dai 3 ai 10 cm e che condiziona fortemente l'anisotropia dell'ammasso ed al tempo stesso la spaziatura fra le fratture delle altre famiglie.

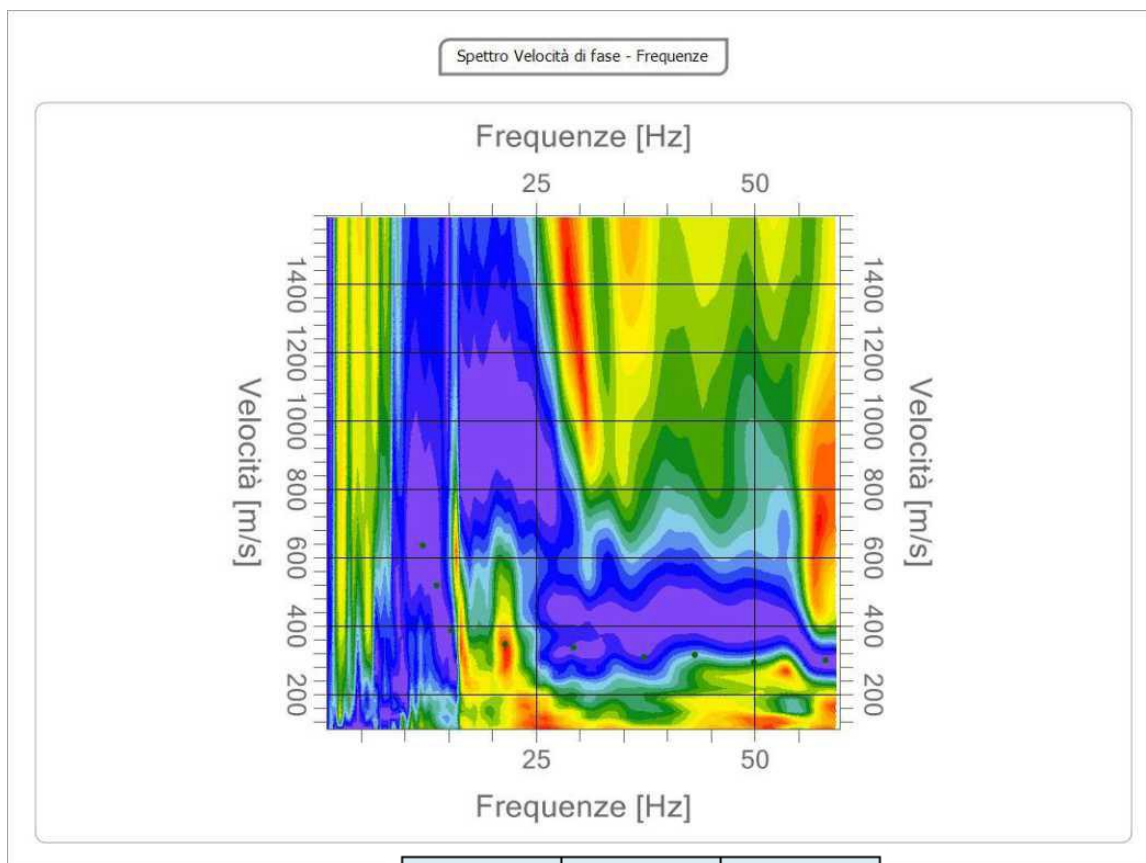


La misura HVSR (P110) ha fornito la seguente curva.



ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	80
--	---	----

Dalla MASW 4 (L4) eseguita in questa zona sono stati ricavati il seguente spettro delle velocità di fase e la curva di dispersione con margine di errore pari al 10%.



Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	Std. Dev
12.07	635.93	63.59
13.64	518.89	51.89
15.32	386.45	38.64
21.46	346.41	34.64
29.29	337.17	33.72
37.35	309.45	30.94
43.13	315.61	31.56
49.87	294.05	29.40
58.05	300.21	30.02

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	81
--	---	----

L'analisi in inversione congiunta con la HVSR P110 eseguita su tre modellazioni ha fornito i seguenti valori.

Spessore min (m)	Spessore max (m)	Profondità min(m)	Profondità max(m)	VP min (m/sec)	VP max(m/sec)	VS min (m/sec)	VS max (m/sec)	Density min (kg/m <sup>3</sup> )	Density max (kg/m <sup>3</sup> )
5	7	5	7	523	550	335	353	1914	1997
8	8	13	15	832	1002	485	564	1993	2038
39	48	53	63	1078	1323	597	680	2000	2103
17	39	80	92	1229	1433	568	690	2067	2202
semispazio	-	-	-	2528	2757	869	934	2093	2331

Di seguito si riporta come esempio il best fitting della modellazione 1.

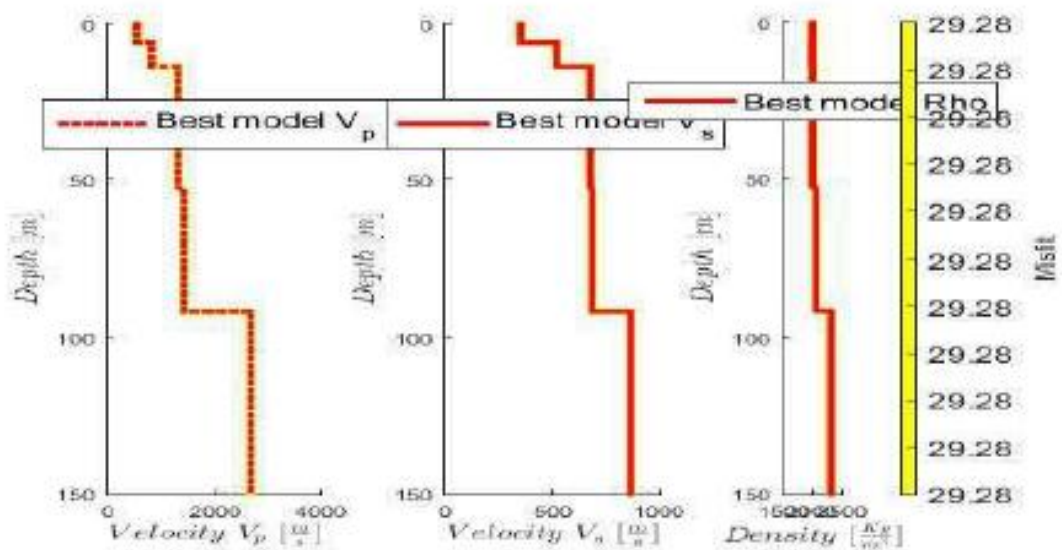
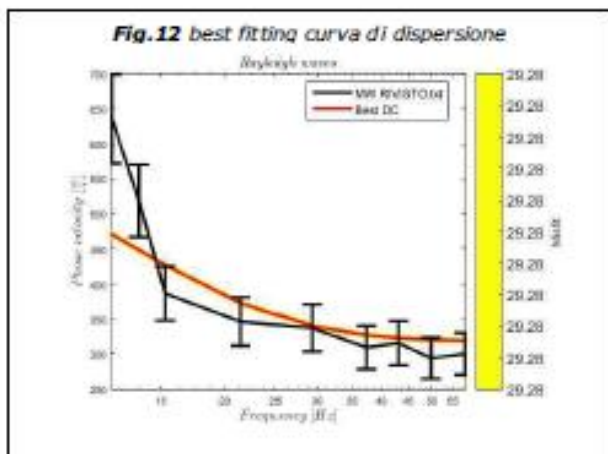
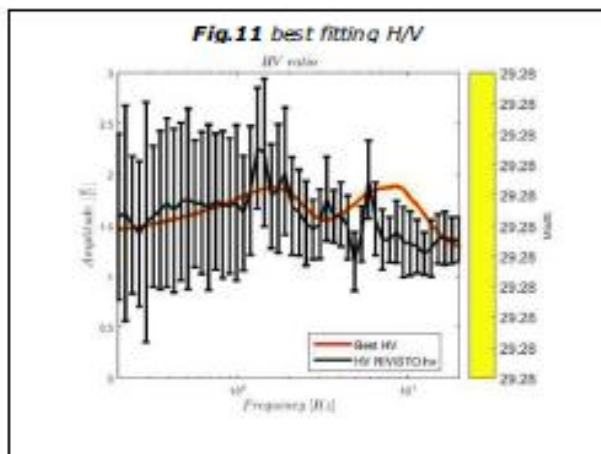


Fig. 13: best fitting velocità P, S e densità calcolati

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	82
--	---	----

In sostanza detto ammasso risulta come substrato geologico fino a circa 80-90 m di profondità, oltre la quale diviene sismico con Vs oscillanti intorno a 900 m/s; a parere degli scriventi, questa prova è fonte di incertezza ed ha sopravvalutato lo spessore di substrato geologico a causa di avere considerato il blando picco intorno a 1,2 Hz.

I valori FA calcolati in analisi 1 D hanno fornito i seguenti risultati:

<b>MOPS</b>	<b>FA 0,1-0,5s</b>	<b>FA 0,4-0,8s</b>	<b>FA 0,7-1,1s</b>
<b>2008</b>	1.22	1.44	1.45

Le analisi 2D non hanno interessato detta zona.

La limitatezza dell'area ed i pochi edifici in essa ricadenti rendono difficoltosa un'affermazione sul confronto dei danni.

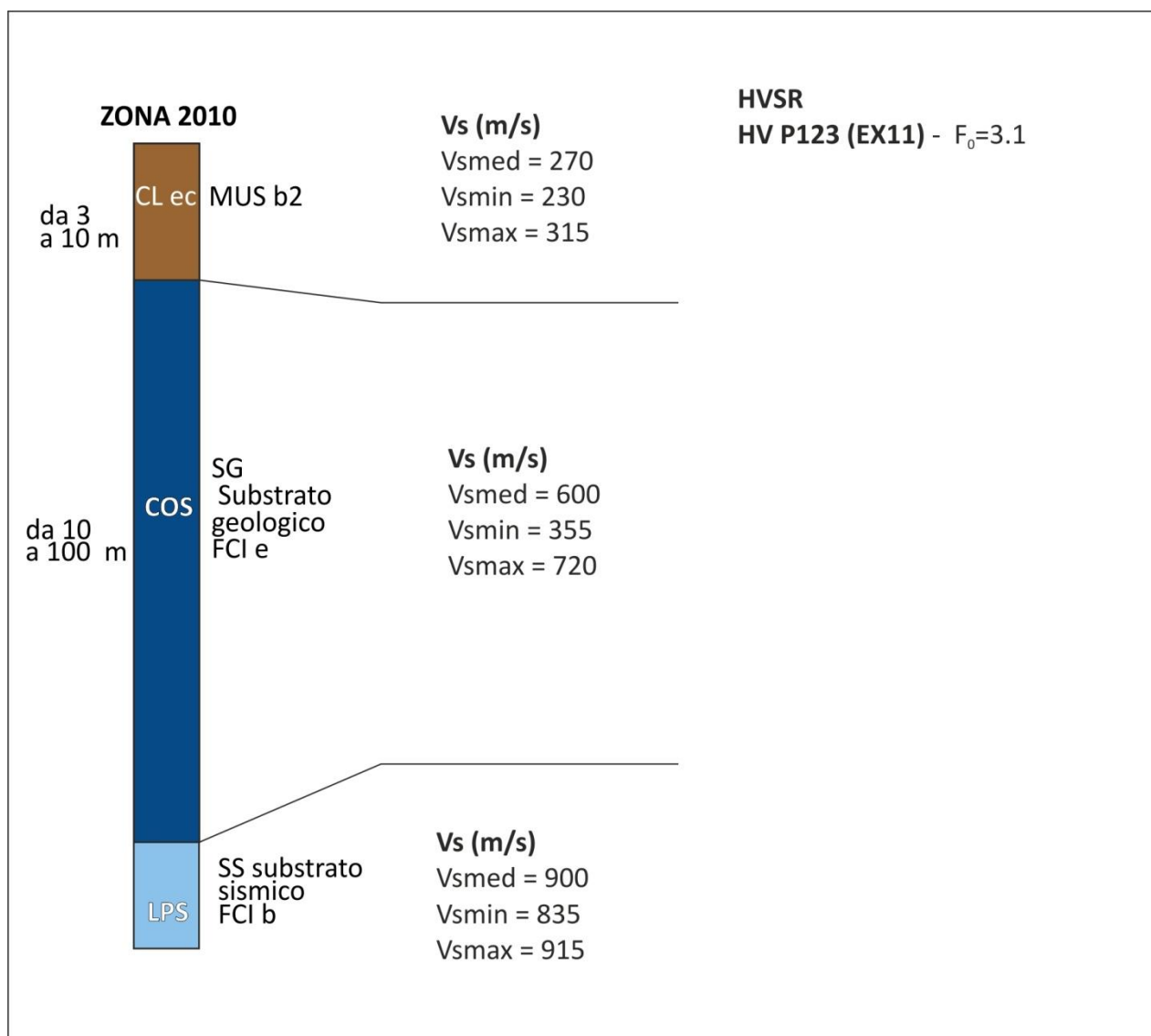
ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	83
--	---	----

### 7.3.1.7 Zona 2010

#### TC su SG su SS – CL ec su COS su LPS

Si tratta di argille limose e limi argillosi CL, con spessore variabile da 3 a 10 m, che poggiano sulla litofacies pelico-arenacea (COS) poggianti a sua volta sulla litofacies arenaceo-conglomeratica (LPS).

La zona 2010 è presente molto limitatamente in tutte e tre le località e contiene pochissime abitazioni.



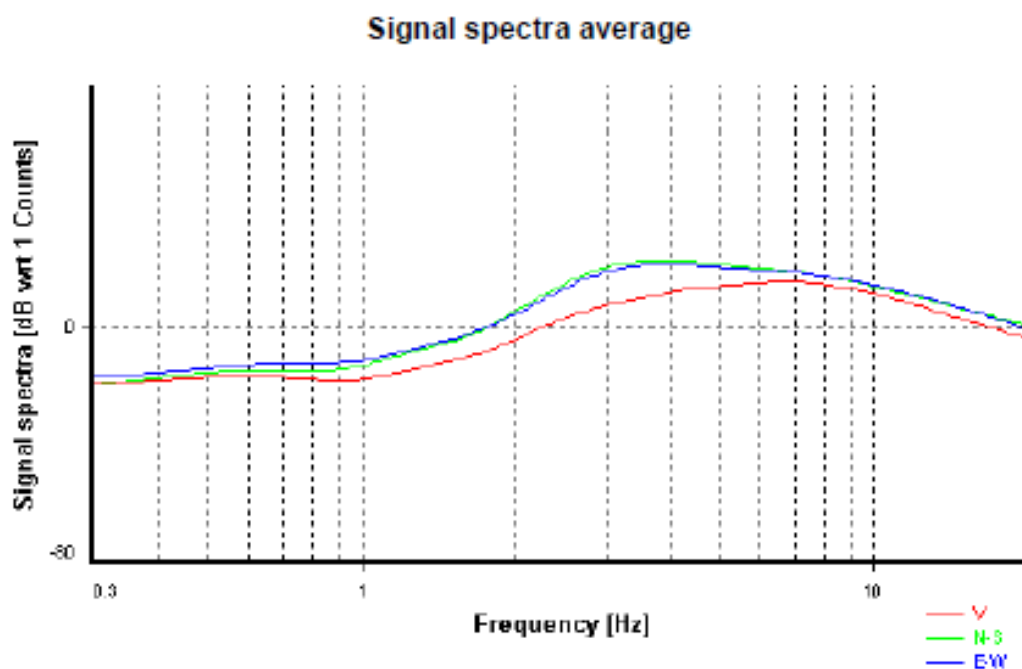
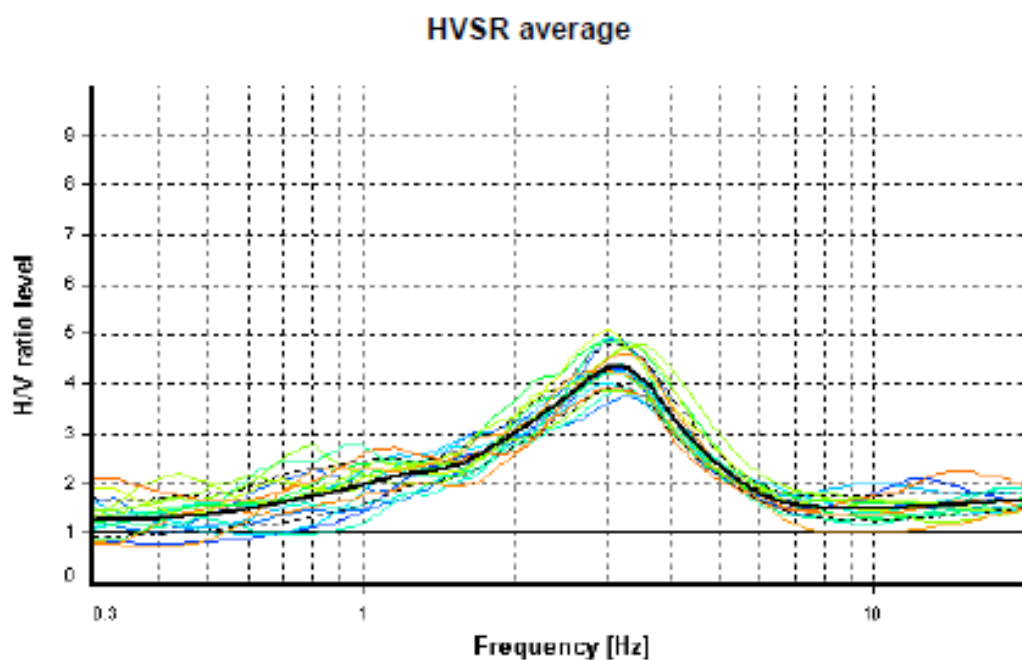
Si precisa che, essendo una piccola area ed essendo in parte edificata ed in parte non accessibile, non è stato possibile fisicamente eseguire la MASW; detta microzona comunque



ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	84
--	---	----

presenta terreni di copertura classificati come la zona 2002 (CL ec) ed è stata differenziata dalla stessa soltanto per la successione del substrato al di sotto della copertura stessa (COS/LPS nella zona 2010 e LPS nella zona 2002), potendo quindi utilizzare le Vs della copertura della zona 2002.

L'acquisizione HVSR P123 ha fornito i seguenti risultati.



ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	85
--	---	----

I valori FA calcolati in analisi 1 D hanno fornito i seguenti risultati:

<b>MOPS</b>	<b>FA 0,1-0,5s</b>	<b>FA 0,4-0,8s</b>	<b>FA 0,7-1,1s</b>
<b>2010</b>	1.41	1.29	1.21

Le analisi 2D non hanno interessato detta zona.

La limitatezza dell'area ed i pochi edifici in essa ricadenti rendono difficoltosa un'affermazione sul confronto dei danni.

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	86
--	---	----

### 7.3.2 Zone di attenzione per frana ZAfr

Sono state riportate integralmente ed inevitabilmente le perimetrazioni PAI-IFFI, come da Protocollo.

*ZAfr 30222002-30222001-30122010-30122002*

Si tratta di limitatissime zone di attenzione ricadenti in MS3 in cui rientrano piccole porzioni di frane mappate nel PAI-IFFI: sono frane di scorrimento attive e quiescenti che coinvolgono prevalentemente le coperture colluviali. Le stesse durante la crisi sismica in corso non hanno subito riattivazioni in qualità di deformazioni cosismiche secondarie.

*In base a quanto specificato dal CentroMS con email del 14/12/2017 “Per le instabilità di versante gli studi dovranno essere prodotti in deroga agli Standard 4.0b. In particolare, nelle carte di Microzonazione Sismica di livello 3 o 2/3 non deve essere 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 o 2/3, quindi, la zona in frana sarà mappata solo con il retinato della ZA, senza il colore del fattore di amplificazione”.*

Tuttavia merita considerazione la zona di attenzione 30122001 che coinvolge ampiamente l’abitato di Acquosi: la stessa è riportata sul solo IFFI e non sul PAI ed in tale sede è stata dovuta inserire come da protocollo. Tale perimetrazione coinvolge l’associazione arenaceo-conglomeratica di Acquosi e dal rilievo di campagna non vi sono indizi circa la presenza di fenomeni di instabilità. Nonostante la stessa sia inevitabilmente riportata nella carta delle MOPS, tale zona è stata trattata come la restante 2001, eseguendo le indagini specifiche per le zone stabili suscettibili di amplificazione e la determinazione del FA risultante che, come da indicazioni del CentroMS, è riportato nella tabella degli attributi dello shape file di MS3 zone instabili.

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	87
--	---	----

## 8 INTERPRETAZIONI, INCERTEZZE e DISTRIBUZIONE DEI DANNI

Le maggiori incertezze nell'area MS3 erano legate alle zone 2006 e 2004 dove i risultati della campagna di acquisizione di dati geofisici H/V e MASW potevano essere riferiti a diversi modelli sismo-stratigrafici con soluzione non univoca data la carenza di dati di sottosuolo pregressi.

Considerando che dette aree sono quelle che durante la crisi sismica attuale hanno subito maggiori danneggiamenti e considerando le incertezze di cui sopra è stato eseguito il sondaggio a nostro carico con relativa prova DH proprio in questa area di interesse. I risultati del carotaggio e quindi l'individuazione della stratigrafia unitamente ai risultati della prova DH stessa hanno fornito una chiave di lettura del modello geologico e sismico di queste zone; modello peraltro ipotizzato durante le indagini di livello 1.

Le analisi 1D del presente studio sono di seguito schematizzate.

MOPS	FA 0,1-0,5s	FA 0,4-0,8s	FA 0,7-1,1s
<b>2001</b>	1.05	1.01	1
<b>2002</b>	1.42	1.09	1.05
<b>2004</b>	1.37	1.28	1.18
<b>2006</b>	1.37	1.21	1.13
<b>2007</b>	1.16	1.03	1.02
<b>2008</b>	1.22	1.44	1.45
<b>2010</b>	1.41	1.29	1.21

Di seguito si riporta il riepilogo delle analisi 2D.

MOPS	FA 0,1-0,5s	FA 0,4-0,8s	FA 0,7-1,1s
<b>2006-P42</b>	1.8	1.3	0.9
<b>2006-P98</b>	1.5	1.2	0.9
<b>2007-P101</b>	1.1	1.0	1.0

Considerando quanto esposto in dettaglio per ogni MOPS (cap. 7.3) si riporta il riepilogo dei FA adottati, come frutto di un confronto e di un'analisi ragionata.

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	88
--	---	----

MOPS	FA 0,1-0,5s	FA 0,4-0,8s	FA 0,7-1,1s
<b>2001 cresta</b>	1.52	1.01	1.00
<b>2001 pendio</b>	1.26	1.01	1.00
<b>2002</b>	1.42	1.09	1.05
<b>2004</b>	1.8	1.3	0.9
<b>2006</b>	1.8	1.3	0.9
<b>2007</b>	1.16	1.03	1.02
<b>2008</b>	1.22	1.44	1.45
<b>2010</b>	1.41	1.29	1.21

In sintesi, da un confronto tra la distribuzione dei danni degli eventi attuali e passati con il modello geologico del territorio, necessariamente raffrontati alla densità di distribuzione e tipologia dell'edificato di Gagliole, si può rilevare che le aree maggiormente suscettibili di amplificazione siano le zone di cresta del rilievo, nonostante siano impostate su substrato affiorante e sub-affiorante e la zona di Selvalagli con copertura alluvionale poggianti sul substrato pelitico-arenaceo per contrasti di impedenza tra diverse litofacies del substrato.

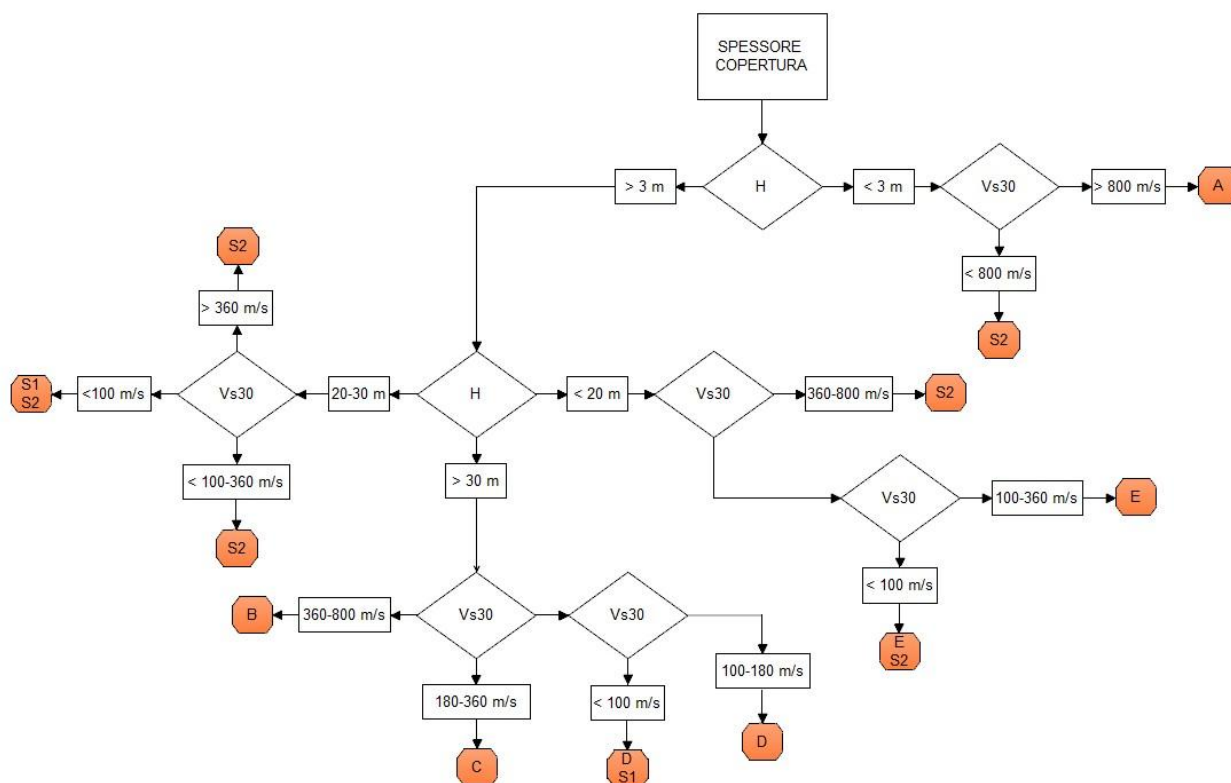
Inoltre come si evince dalla storia sismica del territorio Gagliole anche durante gli eventi della crisi sismica del 1997 il patrimonio edilizio subì dei danni. In base a testimonianze verbali fornite dall'amministrazione comunale durante gli eventi del 1997 i maggiori danni furono subiti, ad eccezione di alcune aree tra cui Selvalagli, dagli stessi edifici lesionati dalla crisi del 2016-2017 in corso; questi stessi edifici nonostante fossero stati sottoposti a interventi di miglioramento o adeguamento sismico hanno di nuovo subito danni durante gli attuali eventi sismici.

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	89
--	---	----

## 9 CATEGORIA DEL SOTTOSUOLO

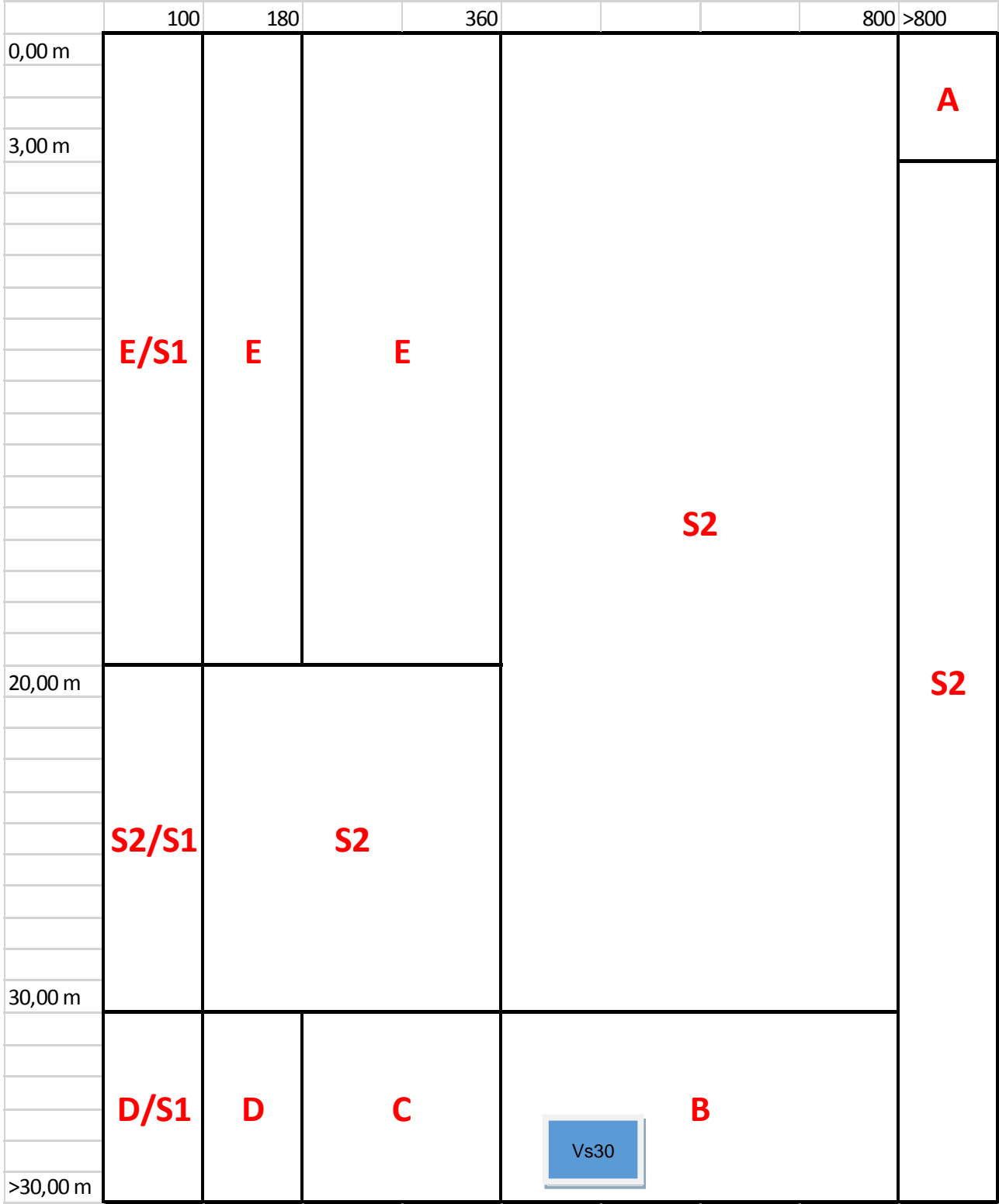
L'assegnazione di una categoria di sottosuolo secondo NTC08 a partire da un valore di  $V_{s30}$  è stata eseguita nella MOPS 2006 in cui esiste un profilo di  $V_s$  univocamente definito (ovvero solo dove sono state eseguite le prove DH). Detta classe di sottosuolo vale solo per il punto dove questa è stata ricavata e non va intesa come rappresentativa dell'intera MOPS.

Il valore  $V_{s30}$  calcolato in corrispondenza della prova DH è  $V_s=508\text{m/sec}$ .





ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	90
--	---	----



ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	91
--	---	----

## 10 RISULTATI E LORO PRESENTAZIONE

### 10.1 *Elaborati cartografici*

Di seguito verranno descritte le carte prodotte: Carta delle Indagini, Carta delle frequenze naturali dei terreni, Carta Geologico Tecnica, Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica e Carte di Microzonazione Sismica (MS) di livello 3; le stesse sono state realizzate in formato cartaceo e digitale in scala 1:5.000. Sono riportati i dati e la simbologia, per ognuno degli elaborati prodotti, secondo quanto espresso nelle specifiche tecniche degli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica – Versione 4”.

#### 10.1.1 Carta delle indagini

Nella carta delle indagini sono riportate sia quelle pregresse del territorio di Gagliole sia quelle realizzate ex-novo. Nel geodatabase compilato, utilizzando SoftMS, versione 4.0, software per la compilazione delle tabelle per la Carta delle Indagini, sono presenti, oltre ai n.112 siti puntuali pregressi, n. 24 siti puntuali di nuova acquisizione e n. 6 siti lineari di nuova acquisizione.

La tabella “indagini puntuali” collegata a quella dei siti puntuali e al relativo shapefile Ind\_pu contiene n. 136 indagini, distribuite nell’area MS1. Detti dati sono informatizzati, collegati al database e consultabili in formato pdf, nella sotto-cartella documenti, allegata all’interno della cartella indagini. Si tratta di:

- n. 8 Sondaggi a distruzione di nucleo
- n. 1 Sondaggio a carotaggio continuo che intercetta il substrato
- n. 54 Sondaggi a distruzione di nucleo che intercettano il substrato
- n. 8 Sondaggi da cui sono stati prelevati campioni
- n. 8 Prove penetrometriche dinamiche super pesanti
- n. 5 Prove penetrometriche dinamiche medie
- n. 2 Prove penetrometriche dinamiche leggere
- n. 21 trincee
- n. 1 verticale virtuale lungo profilo sismico a rifrazione
- n. 2 Stazione microtremore a stazione singola

In particolare da n. 8 siti puntuali sono stati prelevati campioni sottoposti a indagini di laboratorio.

Per i dati di nuova acquisizione si tratta di:

- n. 23 prove HVSr.
- n. 1 sondaggio DH che intercettano il substrato.

La tabella “indagini lineari” collegata a quella dei siti lineari e al relativo shapefile Ind\_In contiene n. 6 indagini MASW.

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	92
--	---	----

### 10.1.2 Carta delle frequenze naturali dei terreni

Tale carta deriva dalla elaborazione delle indagini di sismica passiva (misure HVSR).

Sono state prodotte la Carta delle frequenze naturali dei terreni basata sui valori di F0 (CFF) e relative ampiezze e la Carta delle frequenze naturali dei terreni costruita sui valori di Fr (CFF\_R) più rappresentativo, con relativa ampiezza. Tutte le elaborazioni e restituzioni grafiche sono state eseguite secondo quanto espresso in “Predisposizione del modello per l’allestimento cartografico della Carta delle Frequenze Naturali dei Terreni” a cura del CentroMS.

### 10.1.3 Carta Geologico Tecnica per la microzonazione sismica (CGT MS)

La Carta Geologico-Tecnica per la microzonazione sismica è stata redatta sulla base di un’accurata analisi della documentazione esistente (dati stratigrafici, litotecnici e sismici esistenti e di nuova acquisizione) e di un dettagliato ed indispensabile rilievo geologico di campagna, confrontato con la cartografia ufficiale esistente (Carta Geologica Regionale del progetto CARG; Carta Geologica allegata al vigente strumento urbanistico; PAI; progetto IFFI). Nella carta sono riportati:

- Terreni di copertura – Sono stati cartografati per spessore > 3 m e sono stati caratterizzati relativamente alla granulometria/tipologia e relativamente all’ambiente genetico-deposizionale.
- Substrato – E’ stato cartografato il substrato geologico affiorante e sub-affiorante (con copertura e/alterazione < 3 m).
- Elementi tettonico-strutturali e traccia delle sezioni geologiche.
- Elementi geologici ed idrogeologici (profondità del substrato geologico quando raggiunto dal sondaggio, profondità dei sondaggi che non hanno raggiunto il substrato, profondità della falda nelle aree di piana fluvio-lacustre).
- Forme di superficie.

Di seguito si riporta un elenco sintetico di quanto riportato nella cartografia geologico-tecnica allegata.

#### **SUBSTRATO SISMICO**

LPS – substrato lapideo stratificato

ALS – alternanza di litotipi stratificati

COS – Coesivo sovra consolidato stratificato

#### **TERRENI DI COPERTURA**

CL ec – Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose.

GC tf – Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla.

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	93
--	---	----

SM ca - Sabbie ghiaiose, sabbie limose, miscela di sabbia e limo.

## **ELEMENTI TETTONICO STRUTTURALI**

Sono riportate le giaciture misurate sugli affioramenti presenti nell'area in esame.

## **FORME DI SUPERFICIE**

In riferimento alle forme di superficie nell'area MS3 è presente soltanto la conoide alluvionale in località Selvalagli, il picco isolato di Gagliole, la cresta di Gagliole e un limitatissimo tratto di orlo di scarpata morfologica tra 10 e 20 m a Gagliole.

### **10.1.4 Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)**

Nella Carta delle MOPS viene suddiviso il territorio in microzone qualitativamente omogenee, che in caso di eventi sismici possono avere comportamenti appunto omogenei.

Sono state individuate le seguenti microzone.

b. Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico come effetto della situazione litostratigrafica e/o morfologica locale.

c. Zone suscettibili di instabilità, nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio.

Inoltre appare doveroso sottolineare che per la definizione delle MOPS è stato adottato un approccio tendente all'esemplificazione. E' stato cercato di accorpare piuttosto che suddividere litotipi e condizioni assimilabili dal punto di vista geologico-sismico, partendo dal presupposto che un estremo dettaglio nella definizione delle microzone, peraltro spazialmente non definibile in modo corretto, allontani il risultato dalla realtà fisica del territorio. Il substrato ad esempio è stato accorpare in base alla conoscenza della litologia e caratteristiche meccaniche dello stesso ed al relativo comportamento come ammasso roccioso; le coperture sono state accorpate prevalentemente attraverso una lettura delle forme e della genesi, che inevitabilmente si riflette sulla componente litologica e sul comportamento meccanico, evitando di suddividerle in numerose microzone magari per la presenza di qualche lente con composizione di poco differente.

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	94
--	---	----

### 10.1.5 Carte di Microzonazione Sismica (MS) di livello 3

Nelle Carte di Microzonazione sismica (MS) di livello 3 l'amplificazione è stata quantificata in termini di parametri  $FA_{0,1-0,5s}$ ,  $FA_{0,4-0,8s}$  ed  $FA_{0,7-1,1s}$ .

Nella seguente tabella è riportato il riepilogo degli  $F_a$  nei diversi intervalli di periodo per ogni microzona.

MOPS	FA 0,1-0,5s	FA 0,4-0,8s	FA 0,7-1,1s
<b>2001 cresta</b>	1.52	1.01	1.0
<b>2001 pendio</b>	1.26	1.01	1.0
<b>2002</b>	1.42	1.09	1.05
<b>2004</b>	1.8	1.3	0.9
<b>2006</b>	1.8	1.3	0.9
<b>2007</b>	1.16	1.03	1.02
<b>2008</b>	1.22	1.44	1.45
<b>2010</b>	1.41	1.29	1.21

ATP GEOL. SILVIA PAGGI GEOL. EUGENIO PISTOLESI GEOL. DIMITRI MAZZA GEOL. ANGELO CURATOLO ING. ROBERTO DI GIROLAMO	COMUNE DI GAGLIOLE (MC)  MICROZONAZIONE SISMICA  RELAZIONE ILLUSTRATIVA	95
--	---	----

## 11 ALLEGATI

1. Carta delle Indagini in scala 1:5.000
2. Carta delle Frequenze naturali dei terreni in scala 1:5.000
3. Carta Geologico-Tecnica per la microzonazione sismica in scala 1:5.000
4. Sezioni geologico-tecniche in scala 1:5.000
5. Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica in scala 1:5.000
6. Carte di Microzonazione sismica (MS) di livello 3 in scala 1:5.000
7. Accelerogrammi calcolati in superficie
8. Spettri di risposta in accelerazione
9. Relazione di modellazione 1D