

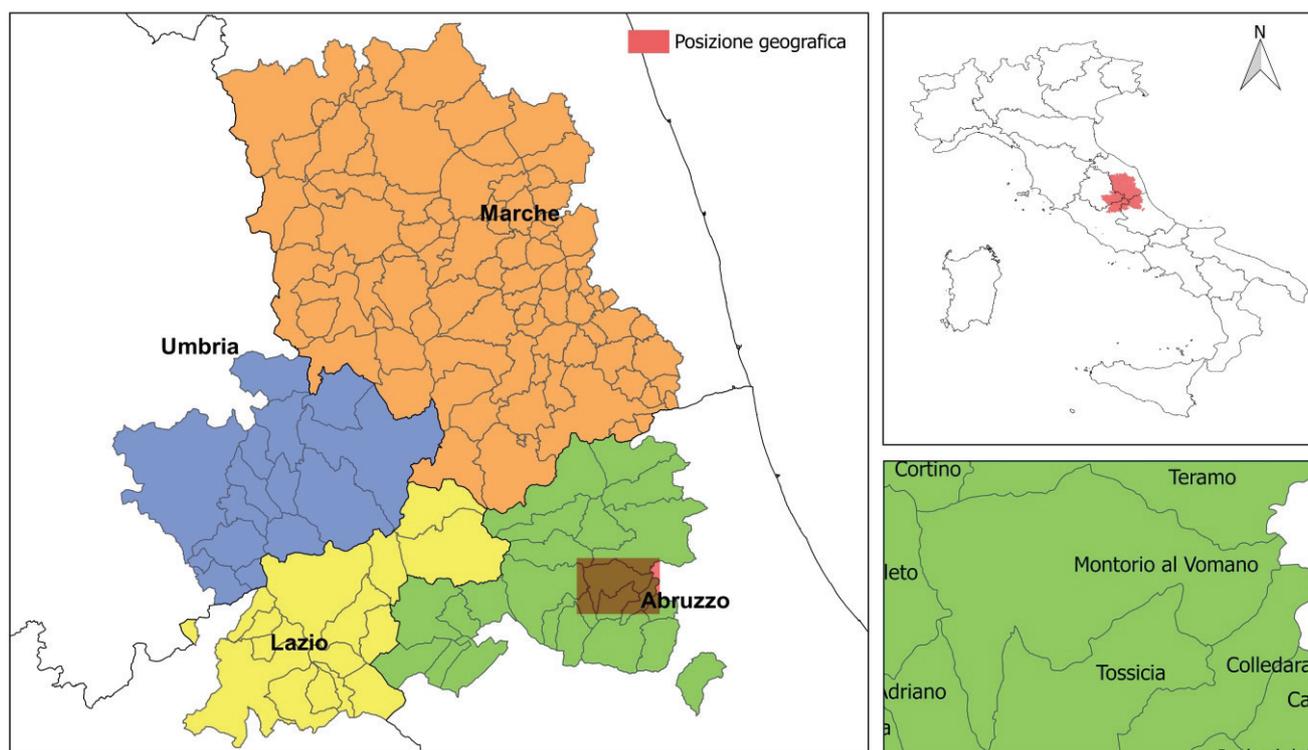


Microzonazione sismica di Livello 3 del Comune di Montorio al Vomano ai sensi  
dell'Ordinanza del Commissario Straordinario n. 24 registrata  
il 15 maggio 2017 al n. 1065

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Relazione Illustrativa

### Regione Abruzzo Comune di Montorio al Vomano



#### Soggetto Realizzatore

dott. geol. Mauro Manetta  
dott. geol. Domenicantonio Palucci  
dott. geol. Paolo Di Marcantonio

#### Data e revisione

## Indice

1. Introduzione
  - 1.1. Finalità degli studi
  - 1.2. Descrizione generale dell'area comunale
  - 1.3. Definizione dei documenti di base utilizzati nello studio
  - 1.4. Aree da sottoporre agli studi di MS
2. Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento
  - 2.1. Sismicità storica dell'area di studio
  - 2.2. Sismicità recente dell'area di studio
  - 2.3. Pericolosità sismica di base
3. Assetto geologico e geomorfologico dell'area
  - 3.1. Inquadramento geologico
  - 3.2. Assetto geomorfologico
  - 3.3. Assetto stratigrafico
  - 3.4. Elementi tettonici
  - 3.5. Considerazioni finali sull'architettura stratigrafica e sull'assetto morfologico e strutturale
4. Dati geotecnici e geofisici
  - 4.1. Dati pregressi
  - 4.2. Dati acquisiti ex-novo
5. Modello del sottosuolo finalizzato alla MS
  - 5.1. Unità geologico-tecniche: definizione e parametrizzazione
  - 5.2. Sezioni geologico-tecniche
6. Interpretazioni e incertezze
7. Metodologie di elaborazione e risultati
  - 7.1. Zone stabili suscettibili di amplificazione
    - 7.1.1. Scelta dell'input sismico (fornito dal CentroMS)
    - 7.1.2. Simulazioni numeriche (fornito dal CentroMS per le simulazioni 2D)
    - 7.1.3. Risultati
  - 7.2. Zone instabili
    - 7.2.1. Faglie attive e capaci (FAC)
    - 7.2.2. Liquefazioni (LQ)
    - 7.2.3. Instabilità di versante sismoindotte (FR)
8. Elaborati cartografici
  - 8.1. Carta delle indagini (CI)
  - 8.2. Carta delle frequenze naturali dei terreni
  - 8.3. Carta Geologico Tecnica per la MS (CGT\_MS)
  - 8.4. Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)
  - 8.5. Carte di Microzonazione Sismica (MS) di livello 3
9. Confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati
10. Bibliografia
- 11.0 Relazione sulle modellazioni 2D (Centro MS)
  
12. Allegati
  - 12.1. Carta delle indagini in scala 1:5.000
  - 12.2. Carta delle frequenze naturali dei terreni in scala 1:5.000
  - 12.3. Carta Geologico-Tecnica per la MS (CGT\_MS) in scala 1:5.000
  - 12.4. Sezioni geologico-tecniche in scala 1:5.000
  - 12.5. Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) in scala 1:5.000
  - 12.6. Carte di Microzonazione Sismica (MS) di livello 3 in scala 1:5.000

## **1. Introduzione**

L'Amministrazione comunale di Montorio al Vomano come previsto dall'art. 1 del Decreto Legge n. 8 del 9 febbraio 2017, convertito con modificazioni dalla Legge 7 aprile 2017, n. 45 e all'Allegato 3 del Ordinanza del Commissario straordinario per la ricostruzione n. 24 registrata il 15/05/2017 al n. 1065 ha provveduto a dare incarico agli scriventi geol. Domenicantonio Palucci, geol. Mauro Manetta e geol. Paolo Di Marcantonio, riuniti in RTP, per l'elaborazione dello studio di Microzonazione Sismica (MS) di livello 3 del territorio comunale.

### **1.1. Finalità dello studio**

Lo studio di MS di livello 3 del Comune di Montorio al Vomano è finalizzato a quantificare la pericolosità sismica locale delle microzone individuate nel territorio comunale, con particolare riferimento alle aree stabili, alle aree stabili suscettibili di amplificazione e alle aree instabili, e alla redazione delle Carte di microzonazione sismica di livello 3 alla scala 1:5.000.

Lo studio di MS ha individuato una zonazione di alcune aree del territorio in termini dei diversi effetti che l'azione sismica ha prodotto e può produrre nelle aree a sviluppo antropico, desunti sulla base di osservazioni geologiche e dei risultati di indagini geognostiche, geofisiche e geotecniche svolte in precedenza e nuova esecuzione, che sono state oggetto di un'analisi mirata alla definizione delle condizioni lito-stratigrafiche e morfologiche locali che possono influire sull'ampiezza, frequenza e durata dello scuotimento sismico e generare fenomeni di amplificazione locale e, in particolari casi, modifiche permanenti del terreno, quali cedimenti, frane, fenomeni di liquefazione o densificazione, che possono avvenire contemporaneamente al verificarsi dell'evento sismico (effetti cosismici) o con un certo ritardo (effetti post-sismici). Per cui nello studio, con i dati disponibili, si sono individuate le porzioni di territorio caratterizzate da differenti modalità di scuotimento a seguito di un terremoto e/o dalla possibilità che si verifichino deformazioni permanenti.

Il lavoro è stato realizzato mediante analisi di risposta sismica locale monodimensionale (1D) e 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). I risultati delle analisi numeriche sono restituite in termini di accelerogrammi calcolati in superficie ed elaborati in termini di fattori di amplificazione in pseudo-accelerazione calcolati per prefissati intervalli di periodi, nonché di spettri di risposta in accelerazione al 5% di smorzamento.

Lo studio è stato articolato nelle seguenti attività:

1. raccolta ed elaborazione dei dati pregressi (col supporto del Comune, è richiesto il reperimento di dati presso Enti pubblici e privati quali almeno il Comune stesso, la Provincia, la Regione, l'ANAS, le FF.SS.);
2. definizione del piano di indagini integrative;

3. integrazione dei rilievi geologico-tecnici di dettaglio;
4. esecuzione delle indagini integrative;
5. archiviazione dei dati e dei metadati;
6. realizzazione della Carta delle frequenze naturali dei terreni;
7. revisione della Carta geologico-tecnica (CGT) corredata dalle sezioni geologico-tecniche;
8. definizione del modello di sottosuolo finalizzato allo studio di MS;
9. revisione della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS);
10. esecuzione di analisi numeriche monodimensionali (1D) di risposta sismica locale;
11. realizzazione delle Carte di microzonazione sismica di livello 3, con indicazione dei fattori di amplificazione e degli spettri di risposta in accelerazione;
12. redazione della Relazione illustrativa.

Le varie fasi di attività di elaborazione dello studio sono state eseguite in coordinamento con il Centro per la Microzonazione Sismica (Centro MS) che ha avuto una funzione di supporto tecnico-scientifico, elaborazione e verifica dei risultati.

Per l'approccio metodologico utilizzato nello studio si è fatto riferimento a:

- Indirizzi e Criteri di Microzonazione sismica a cura della Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile Versione 4.0\_b.

#### *Normativa di riferimento*

- O.P.C.M. 13 novembre 2010, n.3907;
- D.G.R. 20 maggio 2011, n.333;
- D.L. n. 8 del 9 febbraio 2017 convertito, con modificazioni, dalla Legge 7 aprile 2017, n. 45;
- Ordinanza del Commissario straordinario n. 24 registrata il 15/05/2017 al n. 1065;
- Ordinanza n. 3907 della Presidenza del Consiglio dei Ministri (attuazione dell'art. 11 del decreto legge 28 aprile 2009 n. 39, convertito, con modificazioni, dalla legge 24 giugno 2009, n. 77).

## **1.2. Descrizione generale dell'area comunale**

Montorio al Vomano è un comune di 8.091 abitanti (dati 2007), e si estende su di un territorio con una superficie di 53,46 chilometri quadrati per una densità abitativa di 150,71 abitanti per chilometro quadrato.

La sua particolare collocazione geografica, alle pendici del Gran Sasso, sulle sponde del fiume Vomano, a ridosso dell'area protetta del Parco del Gran Sasso, fanno di Montorio al Vomano l'ingresso teramano al Parco Nazionale del Gran Sasso ed è per questo che viene denominato "Porta del Parco".

Il territorio del comune risulta compreso tra i 181 e i 1.400 metri sul livello del mare, l'escursione altimetrica complessiva risulta essere pari a 1.219 metri.

I confini del territorio comunale coincidono approssimativamente a nord con il bacino del Fiume Tordino, e con i comuni di Teramo e Cortino, a sud con i comuni di Isola del Gran Sasso e Tossicia e con il bacino del Fiume Mavone (affluente di destra del Fiume Vomano); ad oriente ed occidente i confini non seguono elementi fisiografici particolari.

Il Comune di Montorio, oltre all'omonimo centro capoluogo, è così suddiviso:

- Frazioni  
Altavilla, Schiaviano, Villa Vallucci, Villa Brozzi, Casette, Collevocchio, Bivio Collevocchio, Piane di Collevocchio, Cusciano, Faiano, Colledonico, Leognano, Villa Maggiore.
- Nuclei abitati  
Case di Sotto, Case Sparse (Rodiano), Case Vernesi, Santa Lucia, Valle Cupa, Fonte della Corte, San Mauro, Trinità, Collattuno, Villa Vienè.

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

Nello studio di MS di livello 3 si è utilizzato come base topografica la cartografia ufficiale della Regione Abruzzo

- Carta Tecnica Regionale (CTR) scala 1: 5000.

Per la ricostruzione dell'assetto geologico e tettonico delle aree e per la verifica della vulnerabilità del territorio rispetto a rischio idrogeologico e idrografico sono state consultate le seguenti cartografie tematiche:

- studio microzonazione sismica di livello 1 del Comune di Montorio al Vomano;
- Carta Geologica Carg fogli n. 339 "Teramo" e n. 349 "Gran Sasso d'Italia" a cura dell'ISPRA;
- Carta Geologica dell'Abruzzo Foglio Est scala 1:100.000, Ghisetti & Vezzani, 1998;
- Carta Geologica dei Bacini della Laga e del Cellino e dei rilievi carbonatici circostanti Scala 1:100.000 a cura di Centamore et alii, 1992 (tratta da "*Stratigrafia e analisi di facies dei depositi del Miocene e del Pliocene inferiore dell'avanfossa marchigiano-abruzzese e delle avanfosse limitrofe*- Tavola 1");
- web. ITHACA faglie attive e capaci;
- faglie sismogenetiche <http://diss.rm.ingv.it/diss/>;
- Piano Stralcio PAI Autorità di Bacino Regione Abruzzo, Carta della Pericolosità
- Piano Stralcio PAI Autorità di Bacino Regione Abruzzo, Carta geomorfologica
- Piano Stralcio PSDA Autorità di Bacino Regione Abruzzo

Per le indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche sono state consultate:

- indagini già archiviate nello studio MS di livello 1;
- indagini reperite da colleghi che a vario titolo hanno eseguito indagini nelle aree individuate nello studio ed in quelle limitrofe;
- indagini specifiche ex-novo effettuate in questa fase.

Per i dati relativi alla pericolosità sismica del territorio e ai terremoti di risentiti si è fatto riferimento agli archivi del sito web dell'Istituto Nazionale Geofisica Vulcanologia:

- Database Macrosismico Italiano 2011, INGV: <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>
- CPTI: <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI/>;

- ISIDe: <http://iside.rm.ingv.it/iside/standard/index.jsp>;
- CSI1.1: <http://csi.rm.ingv.it/>
- faglie sismogenetiche <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>),
- spettri di risposta di riferimento NTC ver1.0.3
- <http://itaca.mi.ingv.it/>),

Gli articoli scientifici consultati sono riportati nella bibliografia.

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

Il Comune di Montorio al Vomano è stato oggetto dello studio di microzonazione sismica di livello 1 esteso a tutto il territorio comunale che ha preso in esame le seguenti aree abitate:

- Montorio al Vomano capoluogo.
- Altavilla - Cimitero - Case di Sotto Roiano - Case Sparse.
- Schiaviano; Villa Vallucci; Case Vernesi; S. Lucia.
- Villa Brozzi; S. Mauro.
- Bivio di Collevecchio; Collevecchio; Piane di Collevecchio; Casette.
- Cusciano; Faiano; Colledonico.
- Piane Montorio.
- Collattoni; Leognano.
- Villa Cassetti; Villa Maggiore; Trinità.

Le porzioni territoriali studiate mediante approfondimenti di microzonazione sismica di livello 3 ha interessato le seguenti località:

- Montorio al Vomano, Capoluogo
- Case Vernesi
- Frazione Cusciano
- Frazione San Mauro
- Frazione S. Lorenzo
- Frazione Collevecchio
- Frazione Faiano
- Frazione Colledonico
- Frazione Leognano

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

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

Al fine di ricostruire i risentimenti macrosismici avvertiti nel territorio comunale, in particolar modo il massimo risentimento osservato, e allo scopo di fornire i dati per le elaborazioni statistiche per valutare il periodo medio di ritorno di una certa intensità si è ricostruito il catalogo sismico locale.

I dati di sismicità storica riguardanti l'area in esame sono stati reperiti dall'archivio DBMI15 reperito nella rete web dal sito dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (I.N.G.V). L'archivio contiene dati di eventi sismici al di sopra della soglia del danno, verificatisi in Italia nel periodo 1000 - 2016. Per quanto riguarda il territorio comunale di Montorio al Vomano gli eventi sismici significativi sono 45 e sono riportati di seguito in forma tabellare e grafica. Per ogni terremoto sono riportati: il valore di intensità sismica raggiunto nel comune (I), la data e l'ora dell'evento, il sito epicentrale (Ax), il numero di osservazioni macrosismiche (Np), l'intensità epicentrale (Io) e la magnitudo momento (Mw).

#### Montorio al Vomano

PlaceID	IT_56803
Coordinate (lat, lon)	42.582, 13.629
Comune (ISTAT 2015)	Montorio al Vomano
Provincia	Teramo
Regione	Abruzzo
Numero di eventi riportati	45

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
6	<a href="#">📍</a> 1804	05	22	19	15		Gran Sasso	24	8	5.42
NF	<a href="#">📍</a> 1897	04	27	02	17	5	Maiella	27	5	4.21
3	<a href="#">📍</a> 1898	06	27	23	38		Reatino	186	8	5.50
NF	<a href="#">📍</a> 1898	08	25	16	37	4	Valnerina	67	7	5.03
NF	<a href="#">📍</a> 1899	02	07	12	35	3	Appennino umbro-marchigiano	49	4	4.04
NF	<a href="#">📍</a> 1899	04	21	00	57	5	Narni	45	4	3.96
3	<a href="#">📍</a> 1904	09	02	11	21		Maceratese	59	5-6	4.63
4	<a href="#">📍</a> 1906	01	29	15	05		Valle del Tronto	50	5	4.28
3	<a href="#">📍</a> 1906	07	01	00	50		Reatino	41	5	4.29
2-3	<a href="#">📍</a> 1908	03	17	03	59		Marche meridionali	54	5-6	4.61
NF	<a href="#">📍</a> 1910	06	29	13	52		Valnerina	58	7	4.93

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
4	1910	12	22	12	34		Monti della Laga	19	5	4.30
4	1910	12	26	16	30		Monti della Laga	50	5-6	4.56
7	1915	01	13	06	52	4	Marsica	1041	11	7.08
4-5	1920	02	10	23	57		Monti Sibillini	18	5	4.30
4	1930	11	09	01	33		Monti Sibillini	17	5	4.31
6	1933	09	26	03	33	2	Maiella	325	9	5.90
7	1950	09	05	04	08		Gran Sasso	386	8	5.69
5	1958	06	24	06	07		Aquilano	222	7	5.04
5-6	1959	01	01	23	58	1	Teramano	46	5	4.33
4	1969	09	26	23	40	3	Teramano	97	5	4.39
5	1979	09	19	21	35	3	Valnerina	694	8-9	5.83
4	1980	02	28	21	04	4	Valnerina	146	6	4.97
4	1980	11	23	18	34	5	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81
4-5	1984	05	07	17	50		Monti della Meta	912	8	5.86
3	1984	05	11	10	41	4	Monti della Meta	342	7	5.47
3	1987	07	03	10	21	5	Costa Marchigiana	359	7	5.06
NF	1990	05	05	07	21	2	Potentino	1375		5.77
NF	1992	08	25	02	25	4	Aquilano	63	5	4.11
NF	1994	06	02	16	41	2	Aquilano	60	4-5	3.99
NF	1994	06	02	17	38	1	Aquilano	106	5	4.21
4	1996	10	20	19	06	5	Appennino laziale-abruzzese	100	5	4.36
4-5	1997	09	26	00	33	1	Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5.66
5	1997	09	26	09	40	2	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5.97
4	1997	10	03	08	55	2	Appennino umbro-marchigiano	490		5.22
4-5	1997	10	06	23	24	5	Appennino umbro-marchigiano	437		5.47
5	1997	10	14	15	23	1	Valnerina	786		5.62
4	1997	11	09	19	07	3	Valnerina	180		4.87
4	1998	04	05	15	52	2	Appennino umbro-marchigiano	395		4.78

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
NF	1998	08	15	05	18	0	Reatino	233	5-6	4.42
4	1999	10	10	15	35	5	Alto Reatino	79	4-5	4.21
NF	2003	05	25	17	15	1	Ascolano	88	4-5	3.81
4	2004	12	09	02	44	2	Teramano	213	5	4.09
NF	2005	12	15	13	28	3	Val Nerina	350	5	4.14
5	2009	04	06	01	32	4	Aquilano	316	9-10	6.29

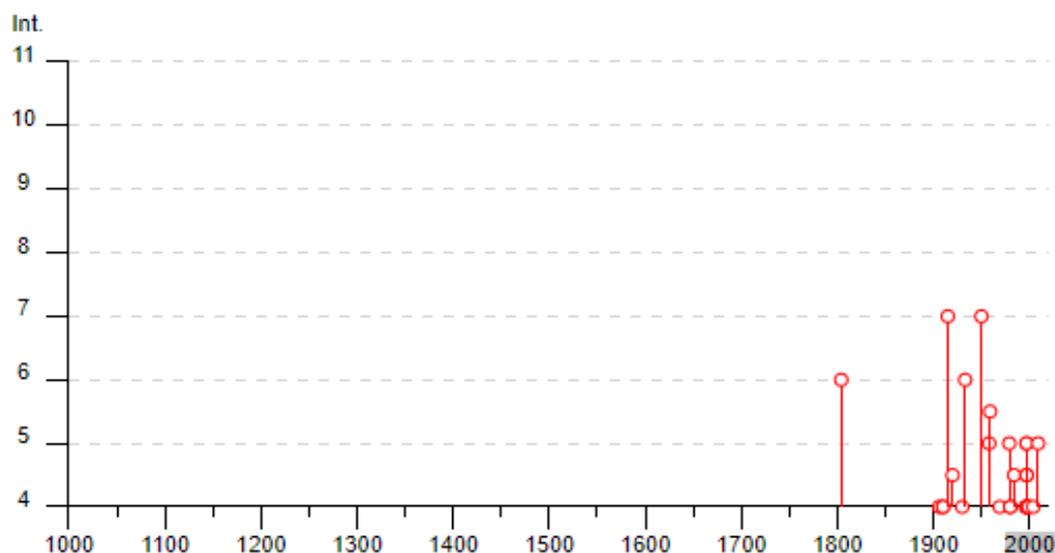


fig. 1 - Storia sismica di Montorio al Vomano - <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI15>

Il territorio comunale di Montorio al Vomano, pur trovandosi circondato da zone con alto tasso di sismicità, come il Gran Sasso, l'Umbria, il Reatino e appunto l'Aquilano, non annovera nella sua storia sismica terremoti distruttivi di origine locale.

Tra i pochi terremoti che i cataloghi sismici nazionali localizzano in territori comunali confinanti, quelli più rilevanti si sono verificati molto recentemente e risultano essere tra i massimi storici avvenuti.

TERREMOTO	EPICENTRO	$M_m^*$	$I_{max}$ (MCS)	I (MCS)Montorio
5 settembre 1950	Territorio comunale di Crognaleto	$6.0 \pm 0.2$	VIII	VII
8 agosto 1951	Territorio comunale di Crognaleto	$5.2 \pm 0.2$	VII	-

\*  $M_m$  = magnitudo momento con determinazione macrosismica

**tab. 1 - Dati derivati dalla revisione dei terremoti del 1950 e 1951 (F. Galadini 2004/2005 modificato)**

In passato altri terremoti sono stati distintamente avvertiti dalla popolazione montoriese, ricordiamo in particolare due eventi avvenuti all'interno della Regione Abruzzo:

TERREMOTO	EPICENTRO	$M_m^*$	$I_{max}$ (MCS)	I (MCS)Montorio
2 febbraio 1703	Aquilano	$6.72 \pm 0.17$	X	VII
13 gennaio 1915	Avezzano	$7.0 \pm 0.09$	XI	VII

\*  $M_m$  = magnitudo momento con determinazione macrosismica

**tab. 2 - Dati derivati dall'archivio CPTI11 A. Rovida, R. Camassi, P. Gasperini e M. Stucchi (a cura di), 2011. CPTI11, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>**

Tali significativi effetti (VII grado scala Mercalli) sul territorio comunale di Montorio non sono in accordo con il quadro del danno atteso dall'attivazione di sorgenti appenniniche, derivato dalle simulazioni effettuate dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) tramite l'algoritmo FaCES. Questo fa quindi pensare che gli effetti dei terremoti appenninici nell'area del Comune di Montorio al Vomano siano condizionati da anomale risposte sismiche locali, legate a peculiari condizioni geologiche e morfologiche delle aree dove sono costruiti alcuni abitati o parte di essi. Un esempio di questa anomalia è la situazione venutasi a creare con gli ultimi eventi sismici dell'area aquilana del 6 aprile 2009 e del Centro Italia 2016-2017 in particolare il caso dei due nuclei abitativi di Faiano e Colledonico: questi, distanti poco più di 400 m l'uno l'altro, hanno avuto risposte sismiche completamente differenti. Il nucleo storico di Faiano è stato evacuato fin da subito e i successivi sopralluoghi dei tecnici hanno classificato la gran parte dei fabbricati di tipologia "E", danno massimo. A Colledonico le abitazioni che hanno riportato danni sono state poche e l'entità degli stessi è stata molto lieve con tipologia prevalentemente "A" e "B". Sicuramente la differente architettura e manifattura dei fabbricati coinvolti ha contribuito ad una così differente risposta alle onde sismiche, ma altrettanto importanti, e probabilmente determinanti, sono state le differenti caratteristiche litologiche e geomorfologiche dei terreni.

## 2.2. Sismicità recente dell'area di studio

Per la distribuzione della sismicità recente si è fatto riferimento alle Banche dati dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

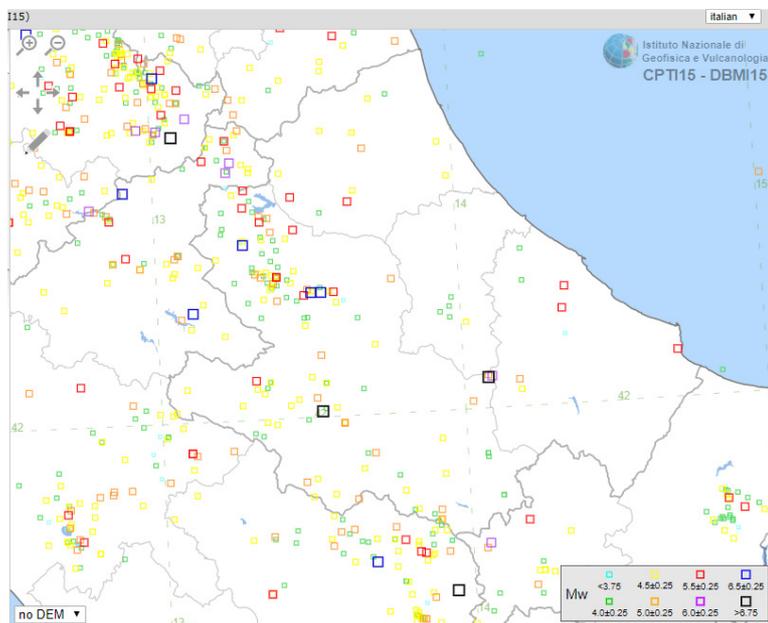
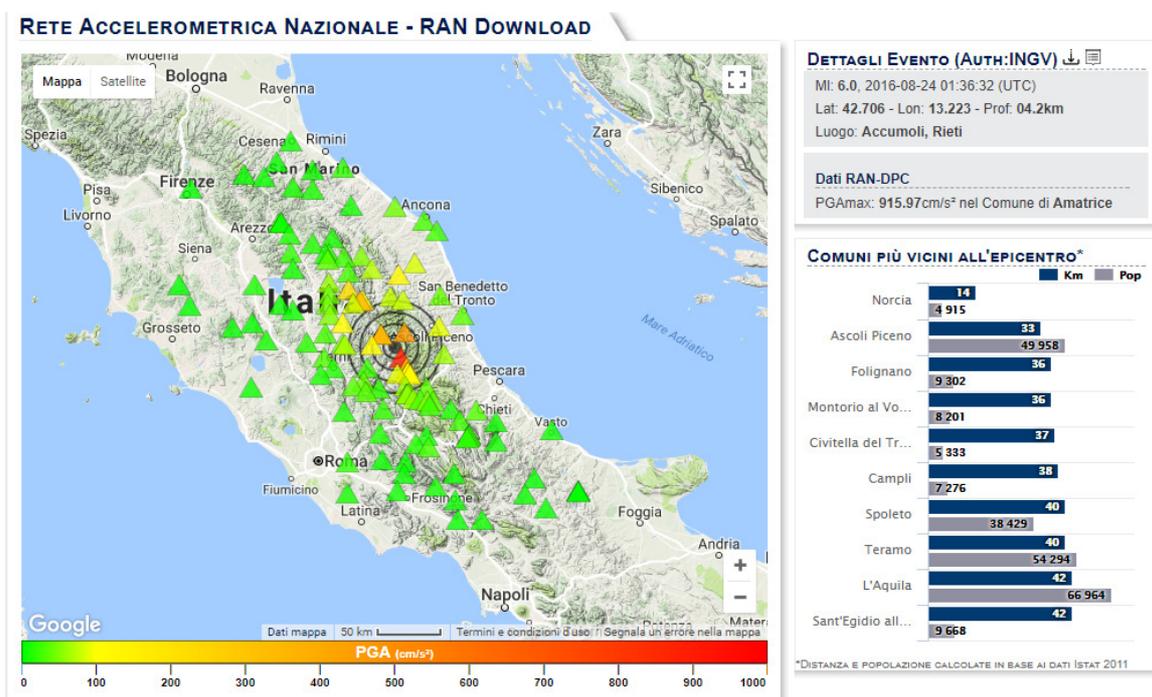


fig. 2 - Fonte <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI/>

Nei tempi recenti, non si sono verificati terremoti con ipocentro nel territorio comunale di Montorio e nei comuni limitrofi, ma si sono registrati effetti legati a terremoti che hanno investito la vicina catena appenninica. Tra quelli più intensi e recenti si ricorda le sequenze sismiche che hanno colpito l'area aquilana aprile 2009 e le più recenti che hanno interessato il centro Italia con ipocentri nell'area di Accumoli-Amatrice, Norcia (2016), Montoreale-Capitignano (2017).



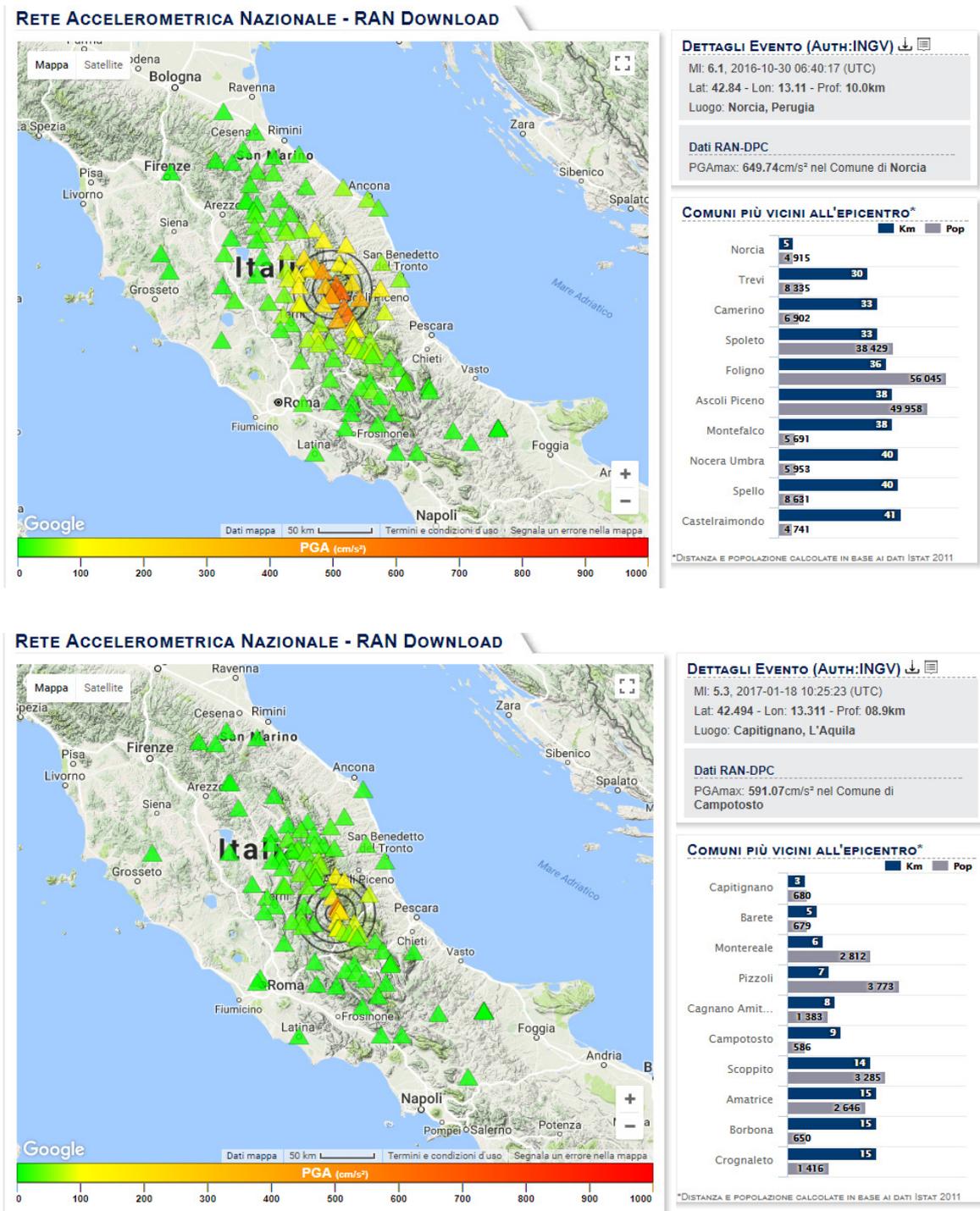


fig. 3 - Terremoti del 2016, epicentro Accumuli e Norcia, e del 2017, epicentro Capitignano  
 Fonte <http://ran.protezionecivile.it>

Tali eventi se pur con ipocentri a distanze di maggiori di 50-80 km, nell'area di Montorio hanno prodotto effetti di sito con notevoli e gravi danneggiamenti alle strutture con conseguente demolizione di fabbricati, in particolar modo nelle frazioni di Faiano, Leognano, ma anche nelle aree periferiche del capoluogo, su edifici anche di recente costruzione.

### 2.3. Pericolosità sismica di base

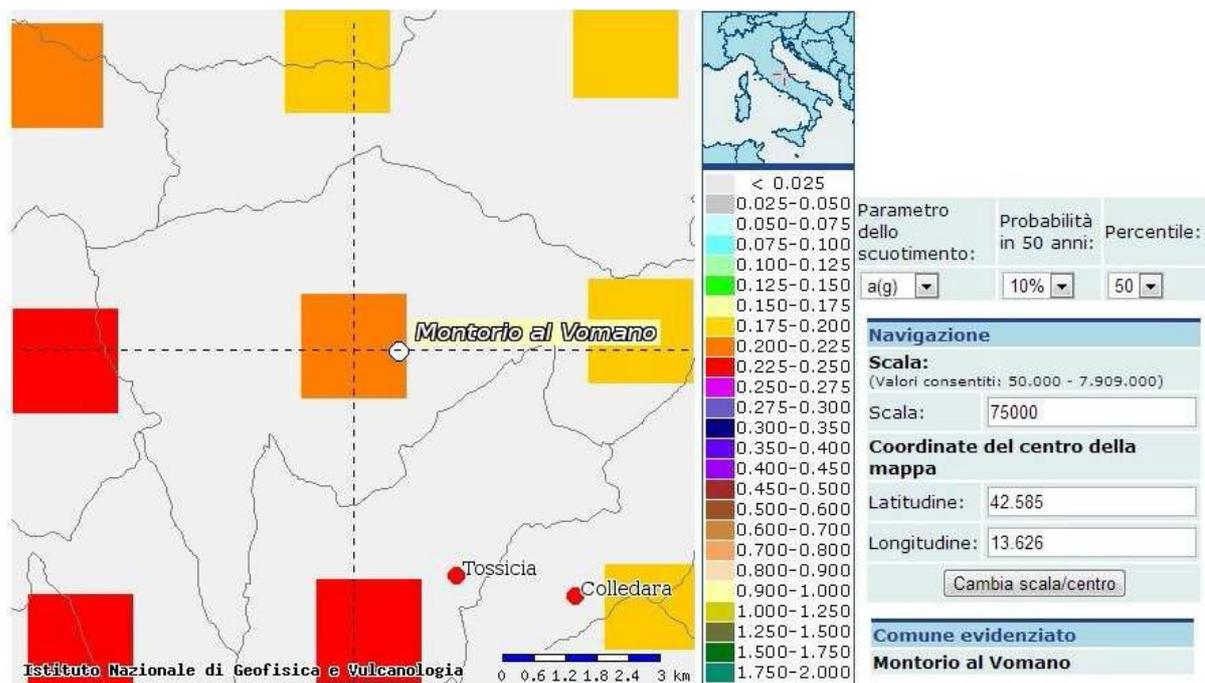
Le Norme Tecniche per le Costruzioni, NTC 2008 e l'Eurocodice 8 prescrivono che l'azione sismica sia valutata a partire dalla pericolosità sismica di base espressa in termini di accelerazione massima e di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ag orizzontale; l'azione sismica deve essere valutata riferendosi a diversi periodi di ritorno in funzione dello stato limite considerato (di esercizio o ultimo) e dell'importanza dell'opera. Per sito di riferimento rigido (*bedrock* o basamento sismico) si intende convenzionalmente quel materiale caratterizzato da un valore della velocità delle onde di taglio  $V_S$ ,  $30 \geq 800$  m/s, generalmente corrispondente a formazioni rocciose o a terreni molto consistenti/addensati.

La pericolosità sismica di base, ovvero il moto sismico associato al sito rigido, è anche l'elemento di partenza per la valutazione di effetti locali (microzonazione sismica).

Di seguito vengono riportate le principali caratteristiche della pericolosità sismica di base del comune di Montorio al Vomano, con riferimento essenzialmente alle sorgenti sismogenetiche, all'accelerazione orizzontale di picco ( $ag$ ) e allo spettro di risposta della componente orizzontale su sito di riferimento rigido.

Dai risultati ottenuti dall'analisi di pericolosità sismica condotta dal Gruppo di Lavoro 2004 nell'ambito della convenzione-progetto S1 INGV-DPC 2004-2006, è stata redatta la mappa di pericolosità di cui all'Allegato 1b dell'OPCM n. 3519 del 28 aprile 2006, riportante per tutto il territorio italiano il valore di accelerazione massima attesa su suolo rigido (categoria di suolo A con  $V_{S30} \geq 800$  m/s) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (ovvero tempo di ritorno di 475 anni), calcolato in corrispondenza di ciascun punto costituente la griglia di riferimento scelta con passo di  $0.05^\circ$  di latitudine e longitudine. Con l'emanazione del DM 14-01-2008 sono state approvate le "Norme tecniche per le costruzioni" che sostituiscono totalmente le precedenti Norme di cui al DM 14-09-2005 e che forniscono, nella Tabella 1 dell'allegato B alle norme, i valori di accelerazione massima orizzontale attesa su suolo rigido e pianeggiante per 9 tempi di ritorno diversi e per 10751 punti di riferimento estratti della griglia di analisi utilizzata dal GdL04 per la redazione della *mappa di pericolosità sismica* (Allegato 1b all'OPCM n. 3519 del 28 aprile 2006).

L'utilizzo delle *Mappe interattive di pericolosità sismica* (Convenzione INGV-DPC 2004-2006, Progetto S1. Proseguimento della assistenza al DPC per il completamento e la gestione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 e progettazione di ulteriori sviluppi. Disponibile al sito <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>) consente, oltre a visualizzare la distribuzione spaziale dei parametri descritti nel paragrafo precedente, di avere informazioni sui dati disaggregati di pericolosità sismica. Questi dati visualizzano il contributo alla pericolosità, in percentuale, per coppie di valori di magnitudo e distanza epicentrale.



**fig. 4 - Mappa dello scuotimento atteso in termini di accelerazione, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (tempo di ritorno pari a 475 anni)**

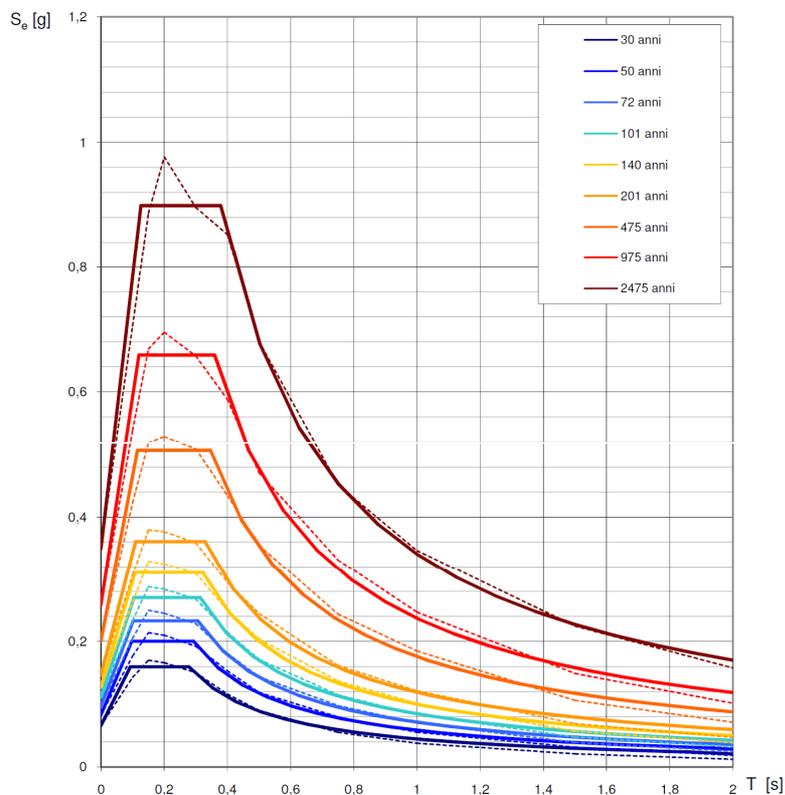
Il parametro  $a_{max}$  è espresso in termini di frazione dell'accelerazione di gravità (g) ed è discretizzato nella mappa in classi con intervallo  $0.025g$ : per il territorio comunale di Montorio al Vomano, sono attesi valori di  $a_{max}$  con tempo di ritorno di 475 anni compresi nell'intervallo  **$0.175-0.250g$** .

L'ordinanza n. 3907 della Presidenza del Consiglio dei Ministri (attuazione dell'art. 11 del decreto legge 28 aprile 2009 n. 39, convertito, con modificazioni, dalla legge 24 giugno 2009, n. 77) definisce, per il comune di Montorio al Vomano (Codice Istat 13067030, Provincia 067), l'accelerazione locale al suolo pari a  $0.231508 g$ .

Gli spettri di risposta le cui ordinate spettrali sono caratterizzate da una stessa probabilità di superamento, sono invece riportati di seguito per differenti valori del tempo di ritorno (30-2475 anni).

Nella stessa figura sono riportati per confronto, anche gli spettri di normativa (NTC-08) con riferimento ai tempi di ritorno 30-2475 anni che, derivano da una regolarizzazione delle forme spettrali dello studio probabilistico INGV.

### Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno $T_R$ di riferimento



NOTA:

Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

### Valori dei parametri $a_g$ , $F_o$ , $T_C$ per i periodi di ritorno $T_R$ di riferimento

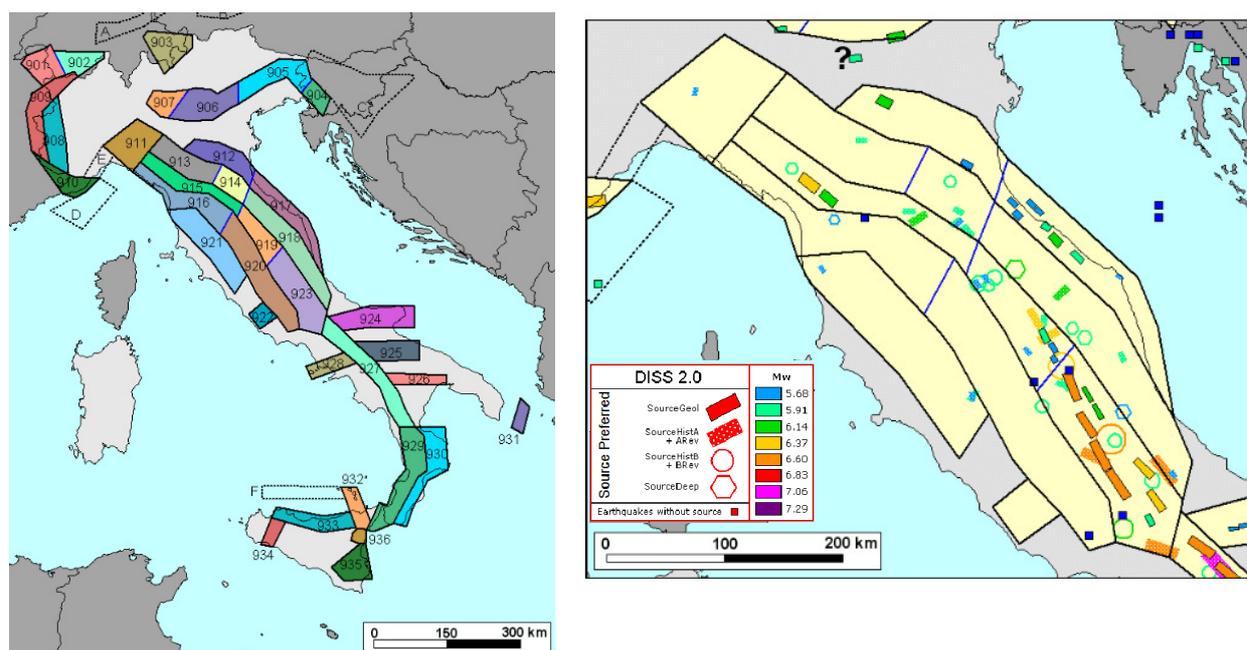
$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C$ [s]
30	0,066	2,428	0,278
50	0,083	2,419	0,292
72	0,097	2,405	0,306
101	0,112	2,420	0,314
140	0,127	2,440	0,322
201	0,146	2,466	0,330
475	0,200	2,530	0,347
975	0,258	2,554	0,359
2475	0,349	2,578	0,379

**fig. 5 - Spettri di risposta a pericolosità uniforme per differenti periodi di ritorno (30-2475 anni) per il comune di Montorio al Vomano in forma numerica e grafica. Nel grafico linea continua spettri di Normativa, linea tratteggiata spettri del progetto S1-INGV.**

La scelta degli accelerogrammi naturali da utilizzare nelle analisi numeriche della risposta sismica locale, avviene imponendo il vincolo della loro spettro-compatibilità allo spettro probabilistico corrispondente al tempo di ritorno prescelto.

Gli spettri derivano da studi probabilistici che integrano i contributi di differenti zone sismogenetiche, simultaneamente attive, nell'intorno dell'area considerata mentre gli

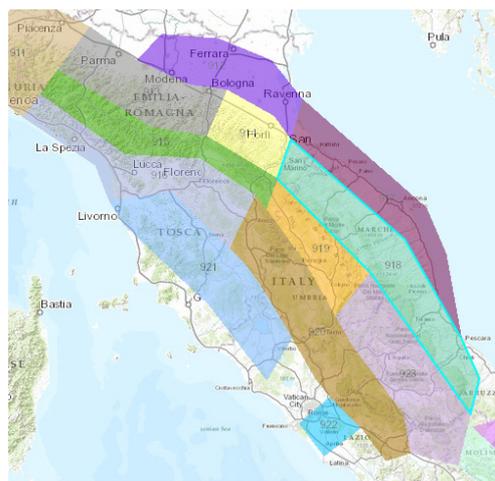
accelerogrammi naturali sono registrazioni di eventi sismici deterministici caratterizzati da ben definiti valori di magnitudo e distanza sorgente-sito. Al fine di selezionare accelerogrammi è necessario quindi, oltre che imporre il vincolo di spettro-compatibilità, associare allo spettro di progetto uno o più scenari di terremoto deterministici. In quest'ottica il comune di Montorio al Vomano nella Zonazione Sismogenetica ZS9 (Gruppo di Lavoro, 2004, INGV) ricade nella **zona sismogenetica 918** indicata come l'area con il maggior rilascio di energia dell'Appennino centro-settentrionale e coincide con il settore più interno della catena appenninica, interessato da importanti faglie primarie e relative sorgenti sismogenetiche.



**fig. 6 - Zonazione ZS9 per l'appennino settentrionale e centrale (App. 2 al Rapporto Conclusivo, Veletti e Malensis, 2004)**

Tali faglie, legate a strutture estensionali, nel settore umbro-abruzzese immergono verso SW (Galadini et al., 2001) e includono sorgenti sismogenetiche responsabili dei terremoti di più alta magnitudo risentiti nell'Appennino, e sembrano avere espressioni superficiali. L'ubicazione e indicazioni delle sorgenti sismogenetiche attive più prossime al territorio comunale di Montorio al Vomano sono riportate nei capitoli successivi (§3.4. Elementi tettonici; 7.2.1. Faglie attive e capaci (FAC)).

I valori della Mmax per la zona sismogenetica 918 sono riportati di seguito.



### Zona sismogenetica ZS9: Medio-Marchigiana/Abruzzese

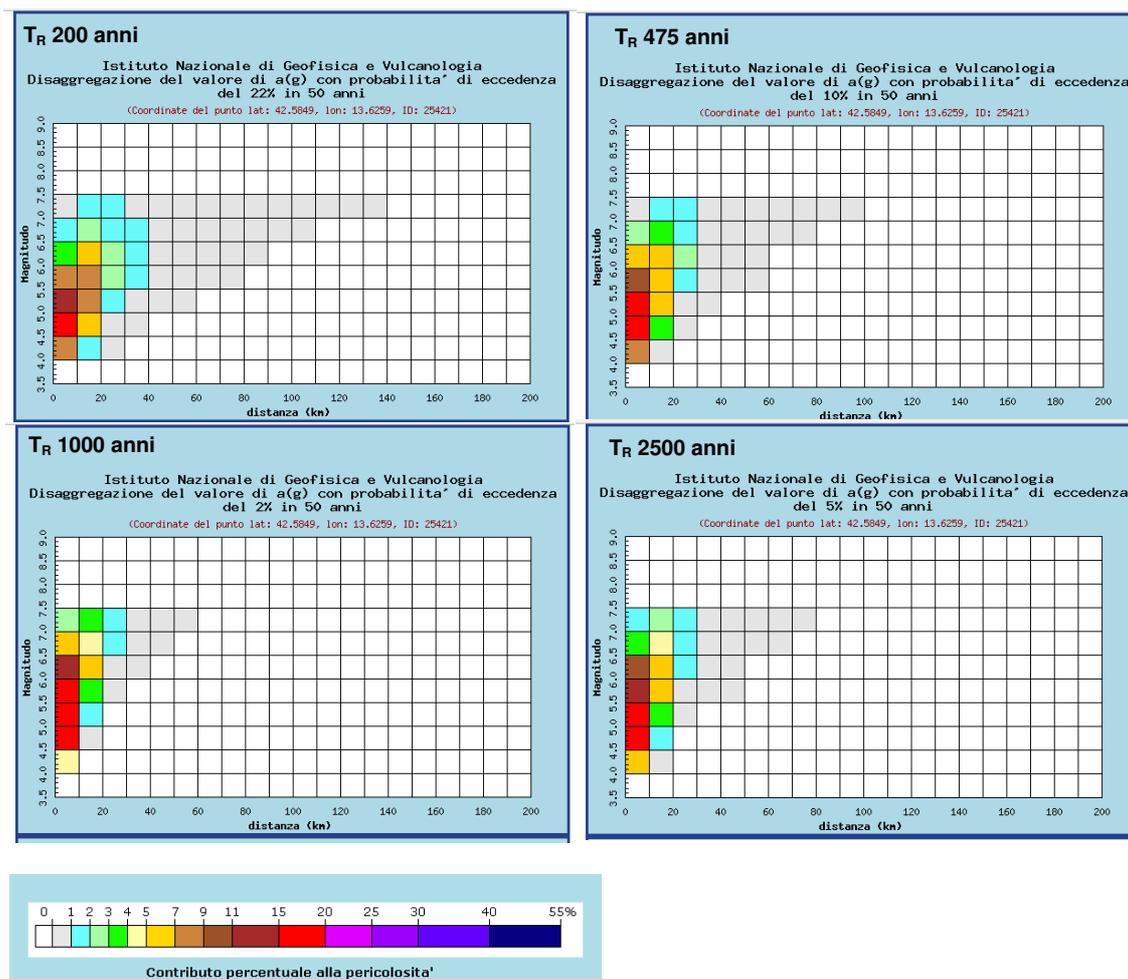
id	0
zs9	21,00
zs9 (identificativo)	918,00
Mw max	6,37
tassi_Mw ma	0,14
tassi_Mw_1	0,21
b_co_04_2	-1,10
b_co_04_4	-1,11
Mw max_gr	6,37
tassi_Mw_2	0,14
tassi_Mw_3	0,21
classificazione geografica	Appennino Settentrionale e Centrale
Md_2_0	455
e_Md_2_5	179
e_Md_3_0	26
p_efficace	13
Md_max	4,20
meccanismo di faglia	indeterminato

**fig. 7 - Dati da WEB**

<http://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=8c5d55e0d3b34ea78346e802fd4f6d73>

Per la valutazione della magnitudo risultano utili gli studi di disaggregazione che individuano i valori della coppia magnitudo-distanza che maggiormente contribuiscono, in senso probabilistico, al valore di  $ag$  o di una prefissata accelerazione spettrale (Bazzurro e Cornell,1999). Nello studio probabilistico condotto dall'NGV nell'ambito del progetto S1, sono disponibili gli studi di disaggregazione per l'accelerazione massima  $ag$ .

Per il territorio comunale di Montorio al Vomano, i contributi percentuali alla pericolosità delle diverse coppie magnitudo-distanza ( $M-d$ ) ai valori di  $ag$  sono riportati nella figura che segue, per quattro valori del tempo di ritorno (200, 475, 1000 e 2500 anni).



**fig. 8 - Disaggregazione del valore di  $a(g)$  per differenti valori del tempo di ritorno per il comune di Montorio al Vomano (sito web INGV).**

Indipendentemente dal tempo di ritorno si osserva che il contributo maggiore alla pericolosità è fornito dalle distanze 0-10 km. Al crescere di  $T_R$  diventa via via più importante il contributo delle magnitudo medie, il maggiore contributo è dato dalle coppie M 4.5-5.0, 5.0-5.5, 5.5-6.0 e 6.0-6.5 per distanze 0-10 Km.

Per il territorio di Montorio al Vomano, la massima probabilità, pari al 18.1%, si ha per magnitudo compresa tra 4.5 e 5.0 e distanza epicentrale inferiore a 10 km, mentre percentuali superiori al 10% si hanno per magnitudo comprese tra 4.5 e 6.0 e distanza sempre inferiore a 10 km.

Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 42.5849, lon: 13.6259, ID: 25421)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	7.420	18.100	15.200	10.800	6.120	2.060	0.792	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	0.541	3.060	5.460	6.740	6.120	3.560	1.800	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.000	0.024	0.534	1.650	2.350	1.980	1.320	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.000	0.007	0.271	0.777	0.932	0.777	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.022	0.185	0.426	0.441	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.018	0.163	0.224	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.025	0.060	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.016	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

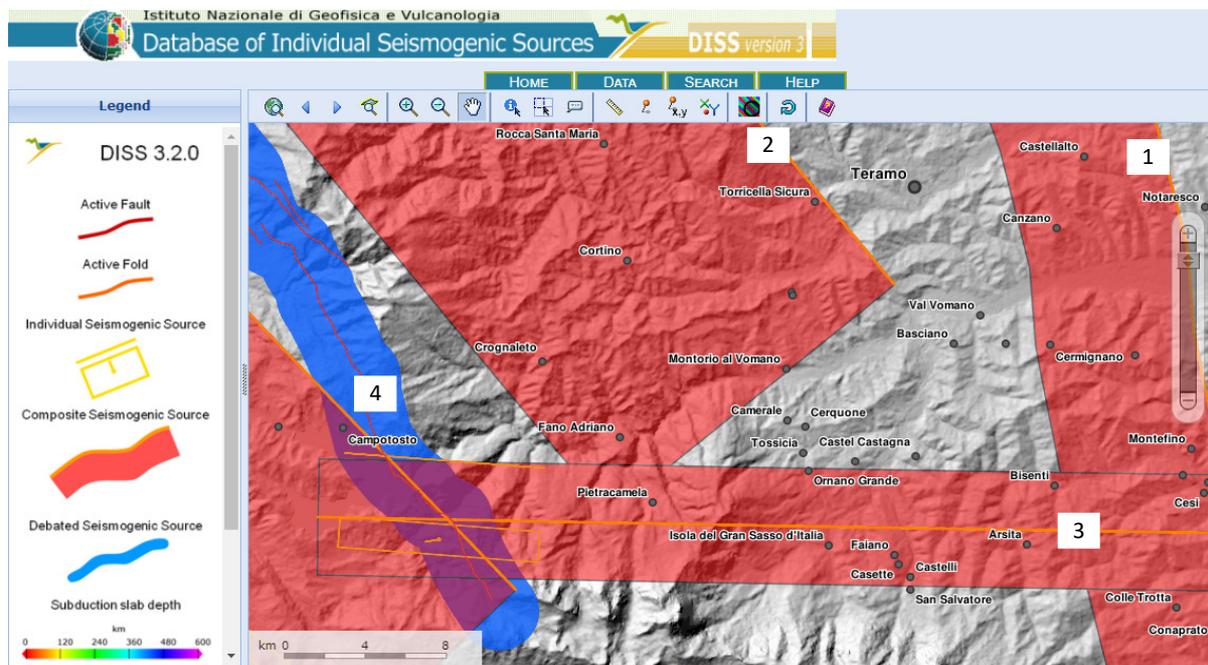
Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.570	10.800	0.965

**fig. 9 - Dati tabellari di disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni, in termini di distanza epicentrale e magnitudo.**

Pertanto il terremoto che domina lo scenario di pericolosità di Montorio al Vomano, inteso quale l'evento di intensità M a distanza R che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica del luogo, corrisponde agli eventi di magnitudo 4.5-5.5 e 4.5-6.0 entro i 10 km di distanza.

Questo intervallo di valori, ricavato su base probabilistica, trova riscontro nella posizione geografica del territorio comunale in esame. Dal catalogo DISS 3.1.1 delle sorgenti sismiche italiane dell'INGV il territorio di Montorio al Vomano risulta essere ubicato in prossimità di aree sismogenetiche individuali e composite:

- Southern Marche, composita, che si sviluppa con andamento all'incirca N-S;
- Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga, composita, a nord-est del territorio comunale;
- Campotosto Lake-Montesilvano, individuale, con sviluppo E-W;
- Colfiorito-Campotosto, individuale, che si sviluppa a circa 20 km dal territorio comunale con andamento NW-SE e che risulta classificata tra le faglie attive e capaci.



## Southern Marche (1)

### GENERAL INFORMATION

DISS-ID	ITCS020
Name	Southern Marche
Compiler(s)	Burrato P.(1), Fracassi U.(1), Mariano S.(1)
Contributor(s)	Burrato P.(1), Fracassi U.(1), Mariano S.(1)
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy
Created	08-Jan-2005
Updated	21-Apr-2010
Display map ...	
Related sources	<a href="#">ITIS070</a>

### PARAMETRIC INFORMATION

PARAMETER	QUALITY	EVIDENCE	
Min depth [km]	3.0	OD	Based on structural geology and geodynamic constraints.
Max depth [km]	9.0	OD	Based on structural geology and geodynamic constraints.
Strike [deg] min... max	150...170	OD	Based on geological constraints and seismic reflection profiles.
Dip [deg] min... max	30...50	OD	Based on geological constrains and seismic reflection profiles.
Rake [deg] min... max	80...100	EJ	Inferred from geological data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.1...0.5	EJ	Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
Max Magnitude [Mw]	5.9	OD	Derived from maximum magnitude of associated individual source(s).

## Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga (2)

GENERAL INFORMATION	
DISS-ID	ITCS027
Name	Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga
Compiler(s)	Burrato P.(1), Mariano S.(1)
Contributor(s)	Burrato P.(1), Mariano S.(1)
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy
Created	08-Jan-2005
Updated	17-May-2012
Display map ...	 
Related sources	<a href="#">ITIS058</a> <a href="#">ITIS047</a> <a href="#">ITIS048</a> <a href="#">ITIS049</a> <a href="#">ITIS055</a> <a href="#">ITIS135</a>

PARAMETRIC INFORMATION			
PARAMETER		QUALITY	EVIDENCE
Min depth [km]	12.0	OD	Based on structural geology and geodynamic constraints.
Max depth [km]	22.0	OD	Based on structural geology and geodynamic constraints.
Strike [deg] min... max	90...160	OD	Based on geological constraints and structural geology.
Dip [deg] min... max	20...55	OD	Based on geological constraints and structural geology.
Rake [deg] min... max	70...110	EJ	Inferred from geological data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.1...0.5	EJ	Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
Max Magnitude [Mw]	6.2	OD	Derived from maximum magnitude of associated individual source(s).

## Campotosto Lake-Montesilvano (3)

GENERAL INFORMATION	
DISS-ID	ITCS075
Name	Campotosto Lake-Montesilvano
Compiler(s)	Fracassi U.(1)
Contributor(s)	Fracassi U.(1), Basili R.(1)
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy
Created	24-Sep-2007
Updated	22-Jun-2015
Display map ...	 
Related sources	<a href="#">ITIS096</a>

PARAMETRIC INFORMATION			
PARAMETER		QUALITY	EVIDENCE
Min depth [km]	11.0	OD	Based on regional geological and structural data.
Max depth [km]	20.0	OD	Based on regional geological and structural data.
Strike [deg] min... max	80...100	EJ	Inferred from regional tectonic considerations.
Dip [deg] min... max	65...90	EJ	Inferred from regional tectonic considerations.
Rake [deg] min... max	170...230	EJ	Inferred from regional tectonic considerations.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.1...0.5	EJ	Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
Max Magnitude [Mw]	5.7	OD	Derived from maximum magnitude of associated individual source(s).

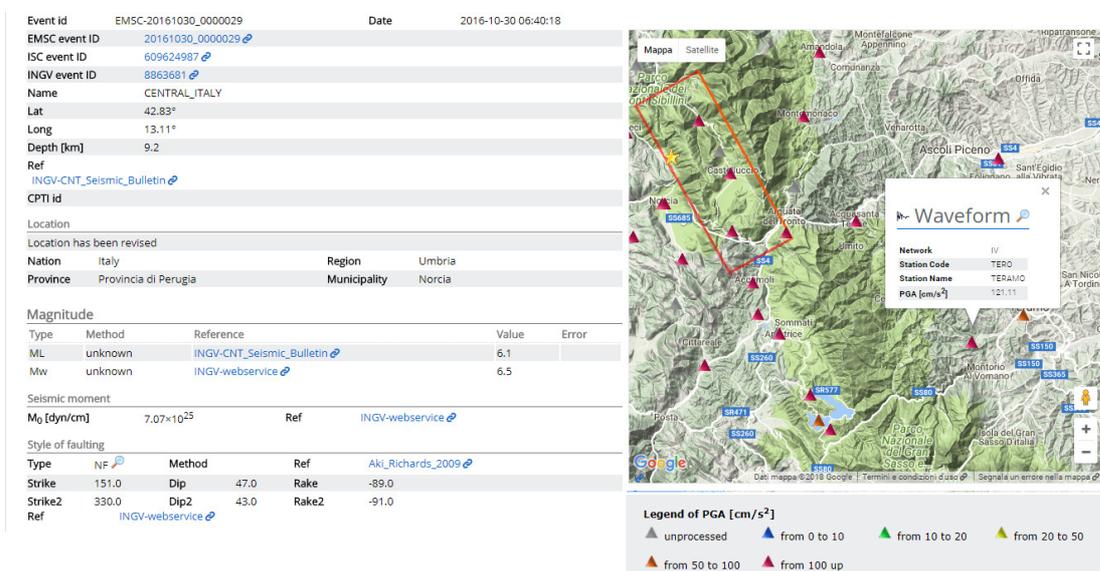
## Colfiorito-Campotosto (4)

GENERAL INFORMATION			
DISS-ID	ITCS028		
Name	Colfiorito-Campotosto		
Compiler(s)	Burrato P.(1), Fracassi U.(1), Mariano S.(1)		
Contributor(s)	Burrato P.(1), Fracassi U.(1), Mariano S.(1)		
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy		
Created	08-Jan-2005		
Updated	06-May-2010		
Display map ...	 		
Related sources	<a href="#">ITIS017</a> <a href="#">ITIS018</a> <a href="#">ITIS019</a>		
PARAMETRIC INFORMATION			
	PARAMETER	QUALITY	EVIDENCE
Min depth [km]	2.5	LD	Based on various geological, geodetic and seismological data.
Max depth [km]	14.0	LD	Based on various geological, geodetic and seismological data.
Strike [deg] min... max	130...150	LD	Based on various geological, geodetic and seismological data.
Dip [deg] min... max	35...55	LD	Based on various geological, geodetic and seismological data.
Rake [deg] min... max	260...280	LD	Based on various geological, geodetic and seismological data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.1...1.0	EJ	Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
Max Magnitude [Mw]	6.5	OD	Derived from maximum magnitude of associated individual source(s).
LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;			
ACTIVE FAULTS			
ID	NAME	REFERENCES	
45	Rotigliano	Blumetti [1995]	
46	Monte Pizzuto	Cello et al. [1998]	
47	Norcia western branch	Blumetti [1995]	
48	Norcia main branch	Blumetti [1995]	
49	Alvagnano	Blumetti [1995]	
50	Cittareale	Blumetti [1995], Cello et al. [1998]	
51	Castel Santa Maria 1	Cello et al. [1998]	
52	Castel Santa Maria 2	Cello et al. [1998]	
65	Campotosto Lake 1	Blumetti et al. [1993]; Basili [1999]; Galadini and Galli [2003]; Boncio et al. [2004]	
66	Campotosto Lake 2	Blumetti et al. [1993]; Basili [1999]; Galadini and Galli [2003]; Boncio et al. [2004]	
67	Amatrice-Accumoli 1	Blumetti et al. [1993]; Basili [1999]; Galadini and Galli [2003]; Boncio et al. [2004]	
68	Amatrice-Accumoli 2	Blumetti et al. [1993]; Basili [1999]; Galadini and Galli [2003]; Boncio et al. [2004]	
69	Amatrice-Accumoli 3	Blumetti et al. [1993]; Basili [1999]; Galadini and Galli [2003]; Boncio et al. [2004]	
70	Amatrice-Accumoli 4	Blumetti et al. [1993]; Basili [1999]; Galadini and Galli [2003]; Boncio et al. [2004]	
83	Rasenna	Basili et al. [1998]	
84	Renaro-Mevale	Basili et al. [1998]	
85	Renaro-Mevale	Basili et al. [1998]	
86	Renaro-Mevale	Basili et al. [1998]	
87	Rasenna	Basili et al. [1998]	

**fig- 10 - Sorgenti sismogenetiche nell'area di Montorio al Vomano (sito web DISS 3.1.1,INGV).**  
L'area sismogenetica più prossima al territorio di Montorio al V. è rappresentata dall'allineamento Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga con massima intensità sismica stimata è di 6.2 Mw ed è derivata dalle magnitudo dei terremoti più significativi associati a questa zona e

comunque lontani dall'area studiata (Fabriano, 1741, Cagli, 1781, Camerino, 1799, Sarnano, 1873); l'ipocentro è variabile da 12 a 22 Km. La sorgente sismogenetica non è riconducibile ad un'unica tipologia di faglia. La sorgente Colfiorito-Campotosto, più distante dal territorio in esame, è classificata come Attiva e Capace (FAC). La massima magnitudine attesa per le sorgenti sopra menzionate varia da 5.7 a 6.5. Dalle registrazioni della rete accelerometrica nell'area del territorio di Montorio al V. (stazione di Teramo) si sono registrate accelerazioni al suolo sono state misurate valori di PGA 83.55-121.11 cm/s<sup>2</sup> in occasione dei recenti terremoti del Centro Italia, 2016 (<http://itaca.mi.ingv.it/>), con epicentri a notevoli distanze dal territorio in esame. Le registrazioni confermano che gli effetti dei terremoti appenninici nell'area del Comune di Montorio al Vomano siano condizionati da anomale risposte sismiche locali.

### Centro Italia, Norcia, 2016-30-10 - M 6.1-6.5



### Centro Italia, Accumoli, 2016-08-24 - M 6.0

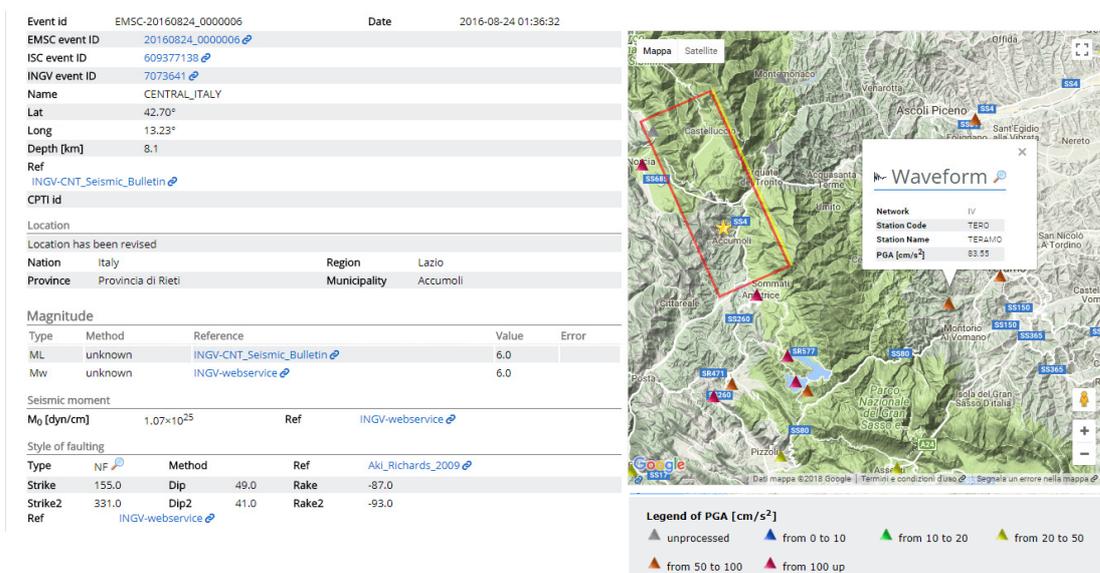


fig. 11 - Registrazioni accelerometriche nell'area teramana prossima a Montorio al V. (<http://itaca.mi.ingv.it/>)

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

#### 3.1. Inquadramento geologico

Il territorio comunale di Montorio al Vomano si colloca nel settore esterno della fascia periadriatica abruzzese compresa tra la Montagna dei Fiori–Gran Sasso e la linea di costa. L'assetto geologico attuale della zona è il risultato dei processi di strutturazione del sistema catena-avanfossa in migrazione verso i settori orientali. In modo particolare la fascia del settore in esame, rappresenta l'avanfossa emersa più esterna della catena appenninica che si è sviluppata tra il Messiniano e il Pliocene inf.. Il limite occidentale è costituito dalle dorsali carbonatiche più esterne dell'Appennino centrale, Montagna dei Fiori, formata da unità pre-orogenetiche di ambiente pelagico, di transizione e di piattaforma sovrascorse sui depositi di avanfossa più orientali. Per effetto dei processi di raccorciamento miocenici, si sviluppano due principali bacini di avanfossa: il bacino della Laga, più interno e più antico (Messiniano–Pliocene inf.) e il bacino del Cellino, più esterno e più recente (Pliocene inf.).

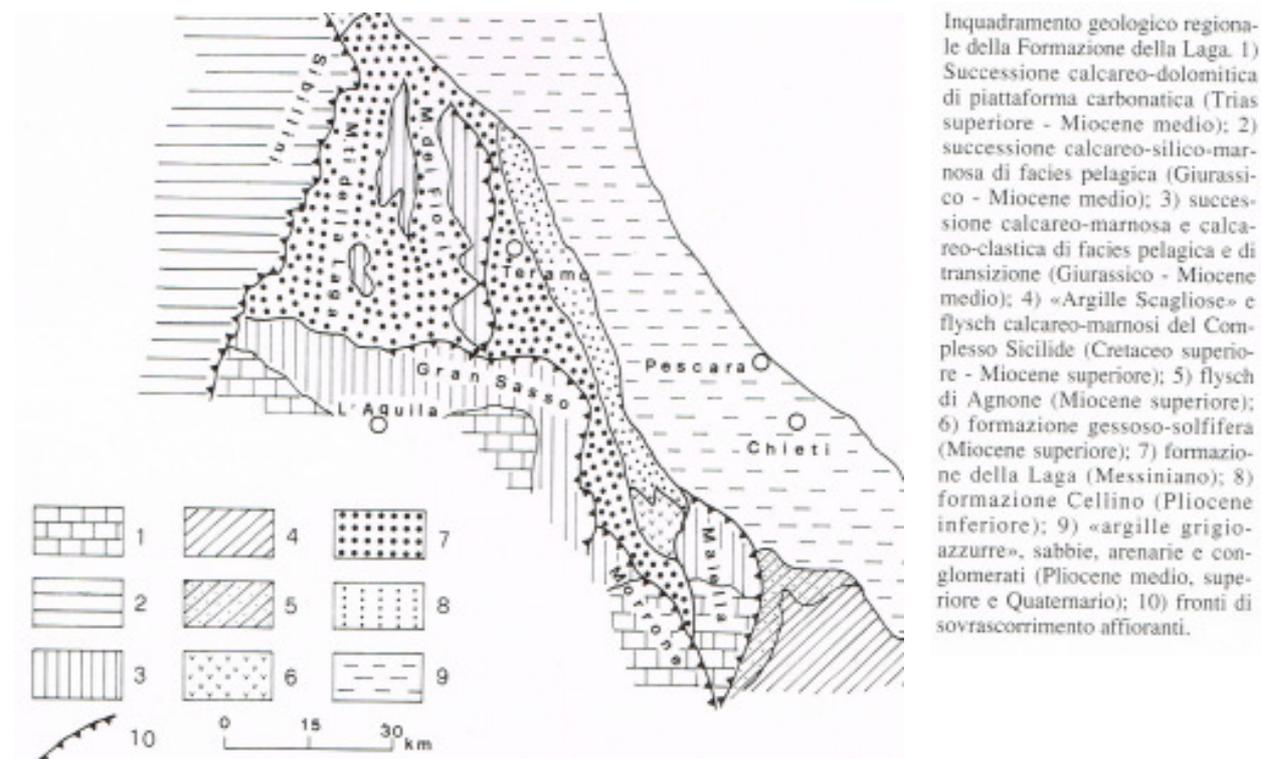
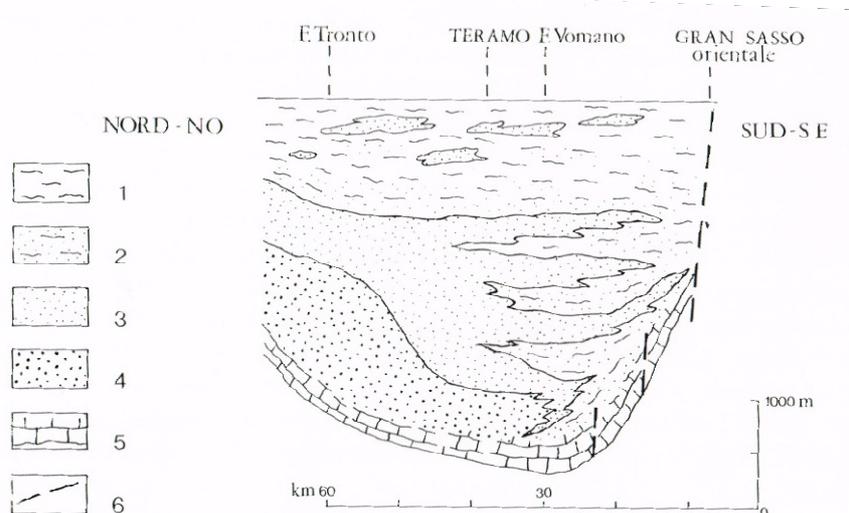


fig. 12 - Inquadramento geologico regionale della formazione della Laga

Il bacino della Laga, nel cui ambito geologico si inseriscono le formazioni che delineano il territorio di Montorio è formato da termini di colmatazione del bacino rappresentate da sedimenti marnosi intervallati da apporti calcareo-clastici e a cui si sovrappone una sedimentazione terrigena dell'apparato torbido della Formazione della Laga, con depositi arenacei canalizzati di conoide interna ed esterna fino ad evolvere verso sedimenti argilloso-arenacei di piana sottomarina. Nel Messiniano medio, durante la nota fase di disseccamento del Mediterraneo

“crisi di salinità”, nell’area in esame permane un bacino marino a circolazione ristretta e la sedimentazione terrigena è accompagnata dalla deposizione nella formazione centrale delle gessareniti torbiditiche.



**fig. 13 - Sezione schematica dell'apparato torbiditico del Flysch della Laga. 1) Facies sottili di piana sottomarina; 2) interdigitazione tra depositi di conoide estena e di piana; 3) corpi arenacei non canalizzati di conoide esterna; 4) corpi arenacei canalizzati di conoide interna; 5) substrato prevalentemente carbonatico; 6) margine tettonizzato corrispondente alla Linea Olevano\_Antrodoco. (da Ricci Lucchi, 1975 modificato).**

La tettonica compressiva mio-pliocenica, diretta verso est, provocano la torsione in senso orario degli apparati torbiditici messiniani (Castellarin et alii 1978) che portano le formazioni carbonatiche delle dorsali più interne a sovrascorrere sui termini della Formazione della Laga delineando la formazione di importanti strutture a pieghe con assi orientati NS che caratterizzano il settore di studio.

Nello specifico il territorio di Montorio è caratterizzato prevalentemente dall'affioramento della successione sedimentaria arenaceo-marnosa di tipo torbiditico, Formazione della Laga (Miocene superiore, *Messiniano*), posta al di sopra delle Formazioni calcareo-marnose ed argillose delle Marne con Cerrognana (*Langhiano-Tortoniano*) e le Argille ad *Orbulina* (*Tortoniano-Messiniano*). Al di sopra del substrato arenaceo-marnoso si rilevano i depositi continentali costituiti da alluvioni attuali appartenenti al Sistema di Valle Majelama del *Pleistocene sup*; colluvioni riferibili al *Pleistocene* ed *Olocene-Attuale* ed i depositi alluvionali terrazzati antichi del Sistema di Catignano del *Pleistocene medio finale*. Lungo i bordi dei versanti collinari ed all'interno delle vallecole sono presenti i depositi di versante, i detriti di falda, le coltri eluvio-colluviali oloceniche ed i depositi di frana. In linea generale spostandoci da occidente verso oriente, cioè partendo dai terreni più antichi verso quelli più recenti, si può distinguere:

- una successione di natura carbonatica costituita da formazioni calcareo-marnose (*Marne con Cerrognana* del *Miocene inferiore-medio*) affioranti in una porzione marginale

del territorio del comune di Montorio al Vomano, sul Montagnone, nella Frazione di Cusciano e Schiaviano e nella parte medio-alta della Valle del Fiume Vomano;

- affioramenti marnoso-argillosi delle Argille ad Orbulina;
- una successione di natura terrigena torbiditica costituita da arenarie, marne ed argille (*Formazione della Laga del Messiniano* inferiore-medio) distribuita su quasi tutto il territorio;
- depositi continentali terrazzati;
- depositi colluviali e depositi di versante.

Il complesso marnoso-calcarenitico delle *Marne con Cerrogna* può essere suddiviso in due distinte litofacies. La litofacies basale, *litofacies calcarenitico-calciruditica* (CRRb - Foglio 349 Carg), è costituita da strati calcarenitici di color nocciola separati da sottili livelli di marne calcaree grigio-azzurre; l'unità delinea pieghe con forma a cuspidata e spesso presenta una deformazione molto intensa tanto da obliterare la stratificazione come rilevabile lungo la profonda incisione fluviale del Fiume Vomano sulla S.S. 80. Il passaggio all'unità superiore, *litofacies marnoso-calcarenitica* (CRRa - Foglio 349 Carg), è segnato dalla presenza di banchi calcareo-detritici dello spessore di 10-15 metri, separati da sottili livelli di marne calcaree. Gli strati nel loro insieme hanno una disposizione circa NW-SE con inclinazione verso SW di circa 25°. I depositi torbiditici della *Formazione della Laga*, sono costituiti da un corpo marnoso-arenaceo di notevoli dimensioni, circa 3000 metri, caratterizzato nel suo insieme da tre membri: il pre-evaporitico, l'evaporitico ed il post-evaporitico. Inoltre sono presenti tre differenti associazioni litologiche: associazione arenacea, associazione arenaceo-pelitica ed associazione pelitico-arenacea. I sedimenti di detto corpo sedimentario si caratterizzano da una alternanza stratificata di strati arenacei, di spessore variabile dal centimetro al metro, con intercalazioni di siltite, argille marnose e argille. Caratteristici sono due orizzonti: quello di gessoareniti in strati da medi a spessi all'interno del membro evaporitico e quello vulcanoclastico all'interno del membro post-evaporitico non affiorante nell'area studiata. I depositi continentali sono costituiti da materiali di derivazione dalle formazioni appena descritte e dallo smantellamento di altri depositi preesistenti. Possiamo distinguere:

- depositi alluvionali, rilevabili sia sull'attuale pianura alluvionale del Fiume Vomano che sui versanti in forma di terrazzi, costituiti da ciottoli eterometrici di natura prevalentemente calcarea e sub-ordinatamente arenacea immersi in una abbondante matrice sabbiosa e sabbiosa-limosa con lenti di argille- limose di colore grigio-scuro.
- depositi colluviali che si rinvergono, generalmente, in corrispondenza delle valli e delle depressioni morfologiche e, in particolari condizioni, anche sui versanti; la litologia è rappresentata da limi argillosi e limi sabbiosi non cementati, con rari clasti eterometrici calcarei e raramente arenacei. Talvolta alla base di detti depositi, sono presenti concrezioni calcaree (calcinelli) di grandezza centimetrica.

L'assetto delle zone individuate nello studio di MS di livello 3 sono riassunte di seguito (le sigle delle unità geologiche fanno riferimento alle carte geologiche Carg Foglio n. 339 "Teramo" e Foglio n. 349 "Gran Sasso").

#### Montorio al Vomano, capoluogo

L'abitato si sviluppa in corrispondenza del fondo valle del fiume Vomano; gli insediamenti più antichi risultano insediati in sinistra idrografica, alla base dei fianchi vallivi, e le successive espansioni dell'abitato si sono ampliate fino ad estendersi, con le attività artigianali, commerciali, impianti sportivi e quartieri abitativi, gran parte della sua pianura terrazzata anche in destra idrografica. Sotto l'aspetto geologico e geomorfologico si distinguono due aree: l'area aree topograficamente più elevate, coincidente con i fianchi vallivi, rappresentati da versanti a diversa acclività e la pianura fluviale terrazzata che inizia presso il bivio di Cusciano, ad occidente, e termina, verso est, in corrispondenza dei confini comunali. I versanti vallivi, in destra e sinistra idrografica, presentano differenti caratteristiche. In sinistra idrografica i pendii del fianco vallivo è delineato dal substrato silico-marnoso della Formazione della Laga rappresentato dai termini più antichi del Membro di Campotosto, costituito da strati tabulari medi e spessi (LAG4b) e da quelli più recenti costituite da prevalenti marne argillose grigio plumbee con subordinati letti arenitici, per lo più a granulometria fine (LAG6c). La stratificazione, che delinea il fianco orientale dell'anticlinale del Montagnone, nel settore occidentale dell'abitato l'associazione LAG4b risulta con forti inclinazioni di circa 80° fino a rovesciata; mentre verso est, gli strati dei membri più recenti, hanno pendenza con valori alti ed immersione uniformemente verso est. E' da segnalare la presenza del livello guida gessarenitico di spessore di circa 30 m. Le associazioni di facies sul versante di sinistra e sull'alveo del fiume risultano direttamente affioranti sul versante di sinistra e lungo l'alveo attuale del fiume Vomano, interrotte da un lembo di terrazzo di diversa larghezza e di spessore di circa 3.00 m. In destra idrografica del fiume il substrato è quasi sempre ricoperto dai depositi eluvio-colluviali, e affiora a tratti lungo la strada che si snoda sulla dorsale collinare su cui è collocata la frazione di Faiano. Per quanto attiene i depositi del Quaternario continentale, sui fianchi di sinistra che racchiudono il fondo valle e sovrastano l'abitato di Montorio, ad una quota di 325 m, ovvero a circa 90 m al di sopra dell'alveo del Fiume, affiora uno stretto corridoio di deposito alluvionale inserito nel Sintema di Catignano che delinea una scarpata di altezza di circa 20 m. Dall'affioramento del deposito terrazzato si verificano distacchi di ciottoli che si accumulano ai piedi del deposito; il fenomeno se pur di modeste dimensioni, come elementi coinvolti e come estensione, è significativo per quanto attiene la pericolosità per le abitazioni poste alla base del versante. I più recenti depositi alluvionali appartenenti al sintema di Valle Majelama, at2 ed Olocenici, at3, occupano la totalità della pianura alluvionale; affiorano a partire dal Bivio di Cusciano, alla quota in cui corre la S.S.80, fino alla fine del territorio comunale nei pressi di Villa Maggiore. Al di sopra dei depositi alluvionali sono presenti coltri eluvio colluviali che in taluni

punti superano i 15 m.

#### Area Case Vernesi

L'area della località Case Vernesi è posta ad una quota di 540 m s.l.m., e si sviluppa lungo una piccola dorsale disposta circa N-S il cui substrato geologico è costituito dalla Formazione della Laga, membro LAG4d, formata da una alternanza regolare di orizzonti arenacei, con geometria tabulare, in strati spessi e molto spessi ed orizzonti arenaceo-pelitici in strati medi. Gli strati immergono ad est nell'ambito del fianco orientale dell'anticlinale del Montagnone e hanno una geometria a traversopoggio con valori di inclinazione di 10°. Mentre la dorsale su cui si trova la frazione di C.se Vernesi ha forme arrotondate in quanto il substrato è ricoperto da una coltre eluviale.

#### Frazione S. Mauro

La frazione situata a nord-est del territorio comunale di Montorio occupa la parte più distante e topograficamente più elevata della valle del Fiume Vomano. La località di S. Mauro si sviluppa su un settore topograficamente rialzato ed isolato. L'area, regolarizzata dall'azione erosiva delle acque e dalle continue lavorazioni agricole, ad eccezione delle poche scarpate presenti, mostra generalmente una morfologia sub-pianeggiante la cui pendenza media di 3-4°; in misura minore si hanno settori collinari i cui versanti presentano una acclività dai 5 ai 10° raramente fino a 15°. Nell'area si rileva la presenza di estese coperture di depositi di colluviali, e/o antichi accumuli fluvio-lacustri, che in taluni punti superano i 20 metri. Al di sopra dell'abitato è interessante far notare, sotto il profilo prettamente geomorfologico, la presenza di un ripiano di denudazione sommitale operato per erosione selettiva. Probabilmente questa superficie spianata rappresenta un lembo residuale di una antica superficie di erosione. Il substrato geologico è costituito dal membro gessoarenitico della Formazione della Laga, con peliti scure ed orizzonti arenacei in strati spessi, membro LAG5b, e strati medi LAG5e. L'orizzonte guida gessoarenitico, LAG5g, affiora a circa 300 metri dalla località S. Mauro sul bordo di una dolina di diametro di circa 60 m e profonda circa 20 m.

#### Frazione Colvecchio

La frazione si sviluppa principalmente su una dorsale collinare, che nel tratto meridionale culmina con un rilievo rialzato ed isolato dove è ubicato l'abitato di Colvecchio. La dorsale, disposta circa NW-SE, funge da spartiacque fra il F.sso dello Zolfo posto ad est ed il T. San Mauro a sud, entrambi affluenti di destra del Fiume Vomano. Il substrato geologico è costituito dalla Formazione della Laga costituita da un'alternanza di strati pelitico arenacei con rari orizzonti arenacei appartenenti al membro di Teramo, LAG6e, con intercalazioni di strati arenaceo-pelitici tabulari, spessi, afferenti al membro LAG6b. La geometria degli strati è data da una monoclinale con strati con direzione variabile da N15°W a N-S, immergenti verso est di circa 45°. Sul lato orientale del versante la pendenza degli strati talvolta risulta avere una

pendenza maggiore del pendio; laddove questa risulta inferiore si hanno accumuli di depositi eluvio-colluviali interessati da fenomeni di degradazione. Infatti sono presenti porzioni di aree interessate da deformazioni superficiali lente allo stato quiescente. Sul versante orientale, subito a valle della strada che collega il Bivio di Colvecchio al Paese, si rileva una frana di crollo e ribaltamento, di modesta estensione, allo stato quiescente. Nella vallecchia, a fondo piatto, che delimita il lato occidentale della dorsale si rilevano spessori elevati di coltri eluvio-colluviali limo-argillose.

#### Frazione Cusciano

La frazione di Cusciano si trova sulla dorsale Montagna dei Fiori-Montagnone-Cima Alta, e precisamente nel tratto in cui la continuità della dorsale è stata interrotta dall'erosione del Fiume Vomano, che scorre alla base, circa 300 m più in basso. Posto a sud dell'abitato di Montorio, Cusciano si colloca ad una quota di 641m s.l.m. sul fianco rovescio di una piega anticlinale con vergenza ad est e delimitata dalle *Marne con Cerrognana*, rappresentate da strati calcarenitici in strati medi, di colore nocciola, separati da livelli di marne calcaree di colore grigio. Gli strati disposti N-S con inclinazione variabile, dai 20° ai 45° verso ovest, risultano interessati da pieghe e da un diffuso clivaggio. In corrispondenza del nucleo abitato, il substrato è ricoperto da un deposito di versante costituito da clasti poligenici calcareo-marnosi ed eterometrici fino a grossi blocchi con matrice calcarea e scarsamente cementata. Nella parte bassa del versante aumenta la componente pelitico-argillosa, pedogenizzata di colore scuro. Nel settore situato a valle dell'abitato di Cusciano fino al Fiume Vomano, la coltre detritica è coinvolta in un corpo di frana di scorrimento traslativo quiescente.

#### Frazioni Faiano-Colledonico

La frazione di Faiano si sviluppa su di una dorsale collinare allungata N-S, a 462 m s.l.m., e rappresenta la frazione più a sud del comune di Montorio. La dorsale collinare è delimitata da due fossi con vallecchie a fisiografia diverse; quello più occidentale, Torrente Arola, risulta incassato e con una valle stretta, mentre il fosso più orientale, Fosso delle Coste della Luna, risulta con una valle più aperta e meno aspra. Il substrato geologico è costituito da depositi terrigeni della Formazione della Laga rappresentati da un'alternanza di strati tabulari medi e spessi, LAG4e, con intercalazioni di strati molto spessi e massivi, associazione arenaceo-pelitica LAG4b, entrambi afferenti al membro del Lago di Campotosto. La disposizione geometrica della formazione è N20°W ed immersione verso E di 50- 55°. La morfologia della dorsale morfologica, con versanti asimmetrici, è legata all'assetto strutturale del substrato: sui versanti occidentali, più ripidi, la stratificazione risulta a reggipoggio rispetto al pendio, mentre sui versanti orientali meno aspri la stratificazione definisce un assetto a franapoggio. Su quest'ultimi si rilevano dissesti con frane di scorrimento rotazionale quiescenti mentre nella parte più alta, verso sud, il versante è interessato da deformazioni superficiali lente, quiescenti. In funzione dello spessore dei depositi colluviali e dei fenomeni di degradazione, nella parte

medio-bassa del versante, la topografia è marcata da forme ondulate con diversi pianori orizzontali a tratti delimitati da contropendenze. Dai sondaggi reperiti emerge che la fascia orientale dell'abitato di Faiano si estende sui depositi eluviali e colluviali, quest'ultimi in taluni punti superano lo spessore di 15,0 metri. Sul versante occidentale, dove sono ben visibili gli strati spessi e massivi fratturati con locali fenomeni di crollo per denudazione della parte argillosa sottostante agli strati arenacei. Inoltre sono presenti scarpate strutturali su entrambi i fianchi della dorsale, di maggiore altezza in corrispondenza degli strati a reggipoggio.

La frazione di Colledonico, si erge su di un rilievo alla quota di 505 m s.l.m. che rappresenta la parte più alta di questa piccola dorsale disposta N-S. Il substrato geologico e la morfologia rispecchiano quella descritta precedentemente, per Faiano, dove la dorsale è costituita dagli strati spessi e massivi che fanno parte dell'associazione arenaceo-pelitica, LAG4<sub>b</sub> intervallati alla LAG4<sub>e</sub>. Nell'area urbanizzata, il substrato risulta direttamente affiorante; al margine è presente un localizzato fenomeno di dissesto geomorfologico costituito da un corpo di frana di scorrimento rotazionale quiescente.

#### Frazione Leognano

La frazione di Leognano si sviluppa su di una dorsale di forma arcuata: il tratto più elevato si allunga in direzione N-S, mentre la fascia topograficamente più bassa, assume una direzione parallela alla Valle del Fiume Vomano sulla cui piana, in destra orografica, si trovano Villa Cassetti e Villa Maggiore. Nell'ambito dell'area urbanizzata della frazione, il borgo più antico è collocato su di un lembo residuale di terrazzo alluvionale che si estende lungo la dorsale, in una fascia lunga e stretta. Sui versanti posti a nord affiora, nella parte alta, la Formazione della Laga, membro LAG6<sub>e</sub>, associazione pelitico-arenacea, costituita da alternanze di strati sottili pelitici con rari orizzonti arenacei; mentre nella parte bassa, ai piedi del rilievo sono presenti spessi depositi di coltri colluviali e, progressivamente verso valle, sulla piana del Vomano i depositi alluvionali. Il versante che delimita la dorsale collinare a sud-est, è interessato da due fenomeni geomorfologici: una frana di scorrimento traslativo allo stato attivo e più a valle da deformazioni superficiali lente allo stato quiescente. Nella parte bassa della dorsale collinare i depositi colluviali, raggiungono spessori anche di 11.00 m, al di sopra dei depositi alluvionali. Il substrato geologico dell'area è formato dalla Formazione della Laga con i membri LAG6<sub>e</sub>, associazione pelitico-arenacea, costituita da alternanze di strati sottili pelitici con rari orizzonti arenacei, ed a seguire più ad est LAG6<sub>f</sub>, costituita le prime da una successione di torbiditi in strati medi contenete un orizzonte a vulcanoclastiti biancastre, le seconde da marne argillose grigio-azzurre con strati arenaceo-pelitici a granulometria fine. I membri della Formazione sono pressoché totalmente coperte dai depositi alluvionali, sulla pianura, e dai depositi colluviali lungo i versanti ed alla loro base.

### **3.2. Assetto geomorfologico**

Il comune di Montorio al Vomano si estende per 53,46 Km<sup>2</sup> con andamento orografico prevalentemente collinare con quote comprese principalmente tra i 200 e gli 800 m s.l.m. e con piccole porzioni di territorio, sul versante sud occidentale, che si estendono sino ai 1400 m s.l.m.. Il territorio risulta fortemente marcato dalla presenza del Fiume Vomano, che solca l'intero territorio in direzione ovest-est, incassato lungo una angusta vallata a quote inferiori rispetto alla piana relitta, e dai suoi affluenti rappresentati da fossi e torrenti. I confini del territorio comunale, con i comuni di Teramo e Cortino, a nord, coincidono approssimativamente con lo spartiacque tra i bacini del Vomano e del Tordino, a sud con i confini con i comuni di Isola del Gran Sasso e Tossicia ricalcano lo spartiacque tra i bacini del Vomano e del suo sub-bacino del Fiume Mavone (affluente di destra del Fiume Vomano); ad oriente ed occidente i confini non seguono elementi fisiografici particolari.

Il territorio di Montorio al Vomano, prevalentemente compreso nel bacino idrografico del Fiume Vomano, rientra nella fascia collinare, che si estende nella zona occidentale della Provincia di Teramo e che raccorda i massicci appenninici del Gran Sasso e della Laga con la fascia costiera periadriatica. La fisiografia collinare è il risultato dell'erosione di unità arenacee, marnose ed argillose a partire da una superficie di regressione plio-pleistocenica. Il modellamento è avvenuto essenzialmente ad opera dei corsi d'acqua; esso è stato regolato dal sollevamento regionale subito dall'area e dalle variazioni climatiche Pleistoceniche, che ne hanno determinato un andamento ciclico. Di conseguenza, la morfologia collinare è stata sezionata da valli fluviali, con sezioni irregolari per la presenza di sequenze di terrazzi, cime e linee di cresta variamente raccordate tra di loro. La morfologia dei versanti è fortemente controllata dalle caratteristiche meccaniche dei terreni affioranti e dai processi di degradazione agenti lungo di essi. Si possono individuare tre fasce fisiografiche a morfologia distinta, in corrispondenza degli affioramenti dei calcari marnosi miocenici, nelle frazioni di Cusciano e Schiaviano, un'ulteriore fascia che comprende la fascia che include l'abitato di Montorio ed infine la fascia più collinare posta ad oriente di Montorio. La fascia fisiografica più occidentale è caratterizzata da una morfologia aspra con valli incassate e strette dei Fossi Rio Maggiore e F.sso Venaquila nei pressi di Cusciano, e della cava limitrofa dove sono visibili delle scarpate strutturali legate alla presenza di banconi calcareo-marnosi che delineano versanti a forte pendenza con pareti sub verticali. In destra e sinistra idrografica del Fiume Vomano, si rilevano paesaggi talvolta molto differenti, soprattutto nella fascia occidentale del territorio dove il substrato geologico è leggermente differente per quanto riguarda l'entità degli affioramenti. Infatti sul versante di destra idrografica affiorano quasi esclusivamente le formazioni marnose e pelitiche delle Marne con Cerrognana che, sebbene coperte da coltri detritiche colluviali, delineano un paesaggio più aspro ma comunque regolare, con presenze di aree destinate a coltivo. Sul versante di sinistra idrografica, invece, affiorano dal basso verso l'alto le tre Formazioni presenti

sul territorio: *Marne con Cerroigna*, *Marne a Pteropodi* ed *Argille ad Orbulina* e in chiusura, in alto, la *Formazione della Laga*. Le diverse caratteristiche geomeccaniche di questi terreni producono sostanzialmente due diversi effetti morfologici. Un primo contrasto morfologico è marcato dal passaggio fra le marne calcarenitico-calciruditiche del Cerroigna e le argille ad *Orbulina* con quest'ultime caratterizzate da un paesaggio con caratteristici pianori delimitati a monte ed a valle da versanti molto acclivi, che rappresentano le porzioni di territorio collinare-montano sfruttate per le coltivazioni. Un secondo contrasto è delineato dalle bancate arenacee con formazione di tipici versanti a gradini e scarpate di erosione selettiva. Nel settore fisiografico delineato dai sedimenti terrigeni della Formazione della Laga, si rileva un paesaggio caratterizzato da scarpate e pendii strutturali in coincidenza dell'affioramento di banconi arenacei (area posta a ridosso dell'abitato di Altavilla, lungo la valle del F.sso Arola e in corrispondenza dell'incrocio V.le Duca degli Abruzzi - S.S. 80), in contrasto con aree con una morfologia dolce, con ampie valli e rilievi tondeggianti, e con scarse rotture di pendio, rilevabili nell'area di S. Mauro. I suddetti versanti risultano talvolta interrotti da modesti gradini morfologici (scarpate di influenza antropica) e da salti più cospicui determinati dalla struttura geologica locale e/o da fenomeni di erosione (scarpate di influenza strutturale). La presenza di strati arenacei consente la formazione di pareti sub-verticali o comunque ad alta pendenza; nella maggior parte dei casi, tuttavia, movimenti gravitativi di versante (essenzialmente frane di tipo rotazionale o tipo colata) e fenomeni di erosione torrentizia articolano la morfologia in una successione di vallecole e versanti più o meno acclivi. Lungo i versanti a franapoggio si riscontra la presenza di estese coltri detritiche che includono grandi blocchi dei banconi arenacei inglobati in un ammasso terrigeno degradato a litologia pelitico-arenaceo interessate da successivi movimenti gravitativi per scivolamenti rotazionali. Il settore centrale ed orientale del territorio comunale mostra una serie di rilievi collinari, con forme arrotondate, allungate in direzione prevalentemente N-S separate da valli fluvio-torrentizie. Le dorsali collinari hanno fianchi ripidi, come risposta alla intensa erosione del substrato marnoso-arenaceo, e top arrotondati su cui sorgono le frazioni di Colvecchio e Leognano. Nella fascia fisiografica ad oriente dell'abitato di Montorio la presenza prevalente dei litotipi afferenti all'associazione pelitico-arenacea della Laga con presenza di importanti spessori di coperture colluviali, sia sui versanti ma soprattutto nei fondovalle, favorisce un paesaggio ancora più dolce rispetto alla precedente, con rotture di pendio e scarpate di altezze contenute. In questo settore sono maggiormente visibili forme connesse all'azione della gravità riferibili soprattutto a frane ed a movimenti lenti di versante che interessano le spesse coltri colluviali terrigene limo-argillose. In generale, gli effetti degli agenti esogeni sono maggiormente rilevabili nei settori collinari, non solo per motivi geologico-strutturali, ma soprattutto laddove le aree sono state oggetto di interesse da parte dell'uomo, che principalmente si è manifestato attraverso la coltivazione dei terreni, il taglio dei boschi, il pascolo ecc. La variabilità litologica e orografica del territorio

delineano la formazione di elementi geomorfologici lineari quali scarpate strutturali e orli di terrazzo fluviali. Le prime sono presenti in tutto il territorio con diverse altezze che superano i 20 m a Rodiano, Schiaviano, in corrispondenza del passaggio fra le Marne con Cerrognana e le sovrastanti Argille ad Orbuline, e in coincidenza degli affioramenti delle bancate arenacee della Formazione della Laga, nelle località Altavilla, Villa Vallucci, Villa Brozzi, Faiano. E' da segnalare per la sua posizione, la scarpata situata a ridosso dell'abitato di Montorio al V. centro, che borda tutto il terrazzo fluviale di I ordine, sede di crolli e ribaltamenti localizzati, ma attivi. Per quanto attiene agli orli di terrazzo fluviale sono da segnalare soprattutto le scarpate che delimitano l'alveo attuale del Fiume Vomano lungo tutto il suo percorso.

In riferimento alla vulnerabilità del territorio rispetto al rischio da dissesti geomorfologici da dissesti geomorfologici, i fenomeni sono localizzati in tutto il territorio e coinvolgono in gran parte le coltri colluviali, poche risultano attive, nella gran parte dei casi, risultano in uno stato di attività quiescente o non attive. In alcuni casi hanno coinvolto nel recente passato le abitazioni nel Capoluogo e nella frazione di Leognano. Nella contrada Leognano è rilevabile una frana di scorrimento traslativo in uno stato quiescente, posizionata nella fascia medio-basale di un versante; al contorno dell'area, nel tratto sommitale del pendio alcuni edifici hanno riportato differenti esiti di inagibilità, in coincidenza di terremoti più recenti 2009-2016. Nel centro dell'abitato di Montorio, nel tratto che sovrasta a settentrione l'area di più recente urbanizzazione, si rileva una fascia, stretta e lunga, interessata da una frana di genesi complessa che nel passato ha causato il crollo parziale di un tratto di strada di accesso alla piazza principale e ha coinvolto le fondazioni della Chiesa di San Rocco e di un edificio adiacente; a seguito di un evento particolarmente piovoso, si è registrata la piena del F.sso della Conserva, che in questo tratto scorre in una sezione tombata, che ha causato l'erosione della componente pelitica della formazione scalzando le fondamenta di alcuni tratti di muri degli edifici sopra menzionati. Nelle restanti frazioni si rileva una frana attiva localizzata a nord di Schiaviano, dove è presente un versante interessato da deformazioni superficiale lente. Ulteriori frane, allo stato quiescente e non attive, sono rappresentate da differenti cinematismi: frane di colamento, a sud di Villa Vallucci; crollo e ribaltamento a margine dell'abitato di Montorio e sulla strada tra Bivio Collevocchio e l'abitato di Collevocchio. Le frane di scorrimento rotazionale o traslativo e i dissesti legati alle deformazioni superficiali lente sono sparse per tutto il territorio. Tali aree sono state inserite nella cartografia geologico-tecnica, e in alcuni casi coinvolgono anche il substrato calcareo-marnoso (Cusciano, Schiaviano e S. Lucia), e quello arenaceo ed argilloso (Altavilla, Rodiano, Villa Brozzi, Casette, Faiano, Leognano). Per l'abitato di Montorio si segnalano due casi uno relativo al dissesto situato sul versante di sinistra sovrastante l'abitato di Montorio al Vomano; in questo caso il fenomeno geomorfologico, che coinvolge l'orlo di terrazzo fluviale, è rappresentato da parziale crollo e ribaltamento di ciottoli di origine alluvionale. L'altro caso individuato lungo il Fosso della

Conserva, nel tratto tombato che scorre al margine esterno della piazza principale del paese, dove è presente un movimento franoso di genesi complessa che nel passato, come già accennato, ha causato il crollo della volta e parziale erosione laterale della Chiesa di S. Rocco e danni ad un edificio adiacente.

Le forme di superficie presenti e cartografate nelle aree in studio sono state distinte in:

- orli di scarpata morfologica con altezze superiore ai 20 m;
- orlo di terrazzo fluviale differenziati in base all'altzze, dai 10 ai 20 m ed orli con altezze superiori ai 20 m.

Le scarpate morfologiche con altezze che variano dai 10 ai 20 m sono poche e sono presenti lungo la strada di accesso per Schiaviano, Case Vernesi, Santa Lucia e Villa Brozzi. Le scarpate morfologiche con altezze superiore ai 20 m sono presenti ad Altavilla, a monte di un'area in frana, lungo la strada a monte dell'abitato di Villa Vallucci, ed a Villa Maggiore. Le scarpate fluviali di altezza variabile dai 10 ai 20 m sono presenti nelle località di Santa Lucia, Faiano, Villa Maggiore e lungo il corso del Fiume Vomano da Leognano a Trinità. Quelle con altezze superiori ai 20 m sono localizzate a Schiaviano, Santa Lucia, Leognano. Nell'abitato di Montorio le scarpate morfologiche di altezza superiore ai 20 m sono presenti (a nord-ovest dell'abitato) nella località di San Pietro, nella parte superiore del terrazzo alluvionale e nel tratto terminale del Fosso della Conserva. Le scarpate fluviali di altezza variabile dai 10 ai 20 m sono presenti lungo tutto il corso del Fiume Vomano, mentre l'unica superiore ai 20 m è presente nella parte est dell'abitato di Montorio, in sinistra idrografica del Fiume.

L'idrografia del territorio è marcata dalla presenza del Fiume Vomano che rappresenta il ricettore principale dei deflussi naturali del territorio; nel suo insieme assume un reticolo con pattern angolato e con fossi e torrenti incassati, soprattutto nella parte occidentale dove la piana fluviale del Fiume Vomano è molto ridotta o inesistente, e con vallecole più aperte nel settore orientale dove la piana risulta con una discreta estensione. Sono presenti numerosi tributari rappresentati da fossi e torrenti: in sinistra idrografica confluiscono il Torrente S. Mauro, il Fosso Selvagno, il Fosso S. Martino ed il Fosso dello Zolfo; dalla destra idrografica confluiscono il Torrente Arola, il Rio Maggiore ed i Fossi Valloni, Ridoni, Venaquila, Cerreto e dell'Eternità. Anche le fonti perenni nel suo bacino sono numerose: Fonte Vena Tagliente, dei Pulcini, S. Maria, Casciarelli, Caprafico e Curata, poste in destra idrografica; Fonte della Corte, Chiodo, Croce Fossi e Saracina, localizzate in sinistra.

### ***Elementi morfologici potenzialmente soggetti ad amplificazione topografiche***

Nelle aree individuate nello studio di MS di livello 3 si rilevano alcune forme morfologiche e assetto dei rilievi che potrebbero dare luogo a forme di amplificazione del moto sismico.

In particolare si segnalano i nuclei abitati che sorgono allungati lungo stretti crinali o al top di rilievi collinari isolati in cui la morfologia potrebbe creare amplificazioni sismiche legate all'assetto topografico.

### Nuclei abitati con possibilità di amplificazioni topografiche

Case Vernesi, Frazione S. Giacomo, Frazione Leognano, Frazione Faiano

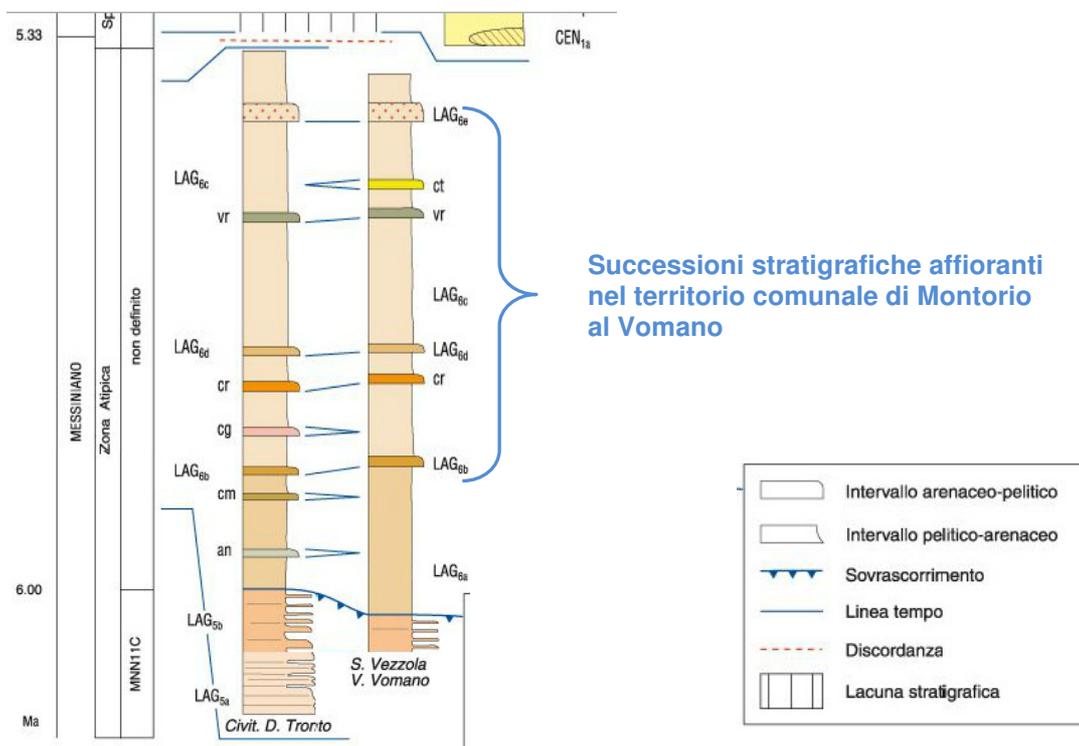
**tab.3 Abitati in posizione di cresta morfologica**

Ulteriori aree che possono innescare effetti di amplificazione del moto sismico sono rappresentate dalle zone abitate in prossimità degli orli di scarpate segnalate nelle Carte tematiche allegate.

### 3.3. Assetto stratigrafico

L'individuazione delle formazioni e depositi affioranti nel comune di Montorio al Vomano, nelle aree individuate per la MZS ed in quelle circostanti, deriva dall'interpretazione dei dati del rilievo di campagna, delle indagini reperite e dalla cartografia CARG (foglio geologico n. 339 "Teramo" e n. 349 "Gran Sasso").

Il territorio di Montorio si colloca nell'ambito dei termini di passaggio tra le associazioni pre e post-gessoarenitico della formazione miocenica della Laga, come rappresentato di seguito.



**fig. 14 - Schemi di correlazione tra le unità stratigrafiche delle successioni affioranti nel territorio di Montorio al Vomano (Carta Geologica Carg, Foglio 339 "Teramo")**

Si fa rilevare che, il territorio del comune di Montorio al Vomano ricade in gran parte nella Carta Geologica Foglio CARG 349 "Gran Sasso" e per una piccola porzione nel Foglio CARG 339 "Teramo". Nei due Fogli geologici per la formazione della Laga sono stati adottati denominazione e sigle differenti per le diverse associazioni stratigrafiche e litofacies. In particolare nel Foglio "Teramo", la litofacies LAG<sub>6e</sub> continua nel Foglio "Gran Sasso" con la sigla LAG<sub>6a</sub>; la facies con intercalazioni degli strati arenaceo-pelitici tabulari, distinti con sigla LAG<sub>6b</sub> nel Foglio "Gran Sasso", non risultano distinti nel foglio "Teramo".

Nell'area di Montorio, le associazioni stratigrafiche che costituiscono la formazione della Laga sono rappresentate prevalentemente da fitte alternanze pelitiche e arenacee (centimetriche, decimetriche e metriche) che si ripetono con rapporti diversi nelle varie associazioni e litofacies distinti nella cartografia geologica ufficiale (Fogli Carg, n. 339 "Teramo" e n. 349 "Gran Sasso") e anche all'interno di una stessa associazione e/o litofacies. Vista la finalità dello studio di Microzonazione Sismica di Livello 3, e la necessità di assegnare un carattere omogeneo e rappresentativo di risposta sismica, le associazioni arenaceo-pelitiche e pelitico-arenacee sono state distinte in funzione della risposta sismica e delle caratteristiche tecniche.

I depositi continentali quaternari affioranti nell'area in studio sono riferibili in larga parte all'Olocene. In questa fase, vista la variabilità tessiturale dei depositi che potrebbero avere una diversa risposta sismica alle sollecitazioni, sono stati distinti i diversi depositi in base alla litologia. Anche in questo caso i depositi di versante sono stati raggruppati in funzione della litostratigrafia e caratteristiche tecniche e incluse nei depositi di coltre eluvio-colluviali; la schematizzazione delle unità accorpate e le loro caratteristiche stratigrafiche sono state sintetizzate nelle tabelle riportate nelle pagine seguenti (tab 4 - *unità geologiche di substrato*; tab. 5 - *unità geologiche continentali*).

## Unita' geologiche marine

Substrato geologico Carta geologico-tecnica Mod. MS Liv. 1		Formazione	Membro/Associazione/Litofacies	Sigla	
Sigla (Indirizzi MZS Ver 4.0_b)	Litostratigrafia di sintesi			Fogli Carg n. 339 - n. 349	Carta geol.- tecnica MZS Liv. 1
<b>ALS</b> Alternanza di litotipi, stratificato	Associazione pelitico- arenacea e arenaceo- pelitici in strati medi e sottili, marne argillose siltitiche e marne calcaree	FORMAZIONE DELLA LAGA <i>Messiniano</i>	<b>membro di Teramo</b> Strati arenaceo-pelitici tabulari, medi e spessi, gradati inferiormente e laminati superiormente. Successione di torbiditi in strati medi a grana fine, di colore giallastro, nel complesso pelitico-arenacea. Prevalenti strati medi e sottili pelitico arenacei, con sporadici orizzonti arenaceo-pelitici Prevalenti marne argillose grigio plumbee con subordinati letti arenitici, per lo più a granulometria fine	LAG <sub>6</sub>	LAG <sub>6</sub>
				LAG <sub>6b</sub>	LAG <sub>6b</sub>
				LAG <sub>6</sub>	LAG <sub>6</sub>
				LAG <sub>6e</sub> ; LAG <sub>6a</sub>	LAG <sub>6e</sub> ; LAG <sub>6a</sub>
				LAG <sub>6f</sub>	LAG <sub>6f</sub>
				LAG <sub>5</sub>	LAG <sub>5</sub>
	LAG <sub>5b</sub>		LAG <sub>5b</sub>		
	LAG <sub>5d</sub>		LAG <sub>5d</sub>		
	LAG <sub>5e</sub>		LAG <sub>5e</sub>		
	<b>membro del Lago di Campotosto</b> Strati tabulari medi e spessi con la porzione inferiore gradata e superiore laminati Strati amalgamati molto spessi e generalmente massivi Alternanza regolare di orizzonti arenacei tabulari in strati spessi e molto spessi ed orizzonti arenaceo-pelitici in strati medi.		LAG <sub>4</sub>	LAG <sub>4</sub>	
		LAG <sub>4b</sub>	LAG <sub>4b</sub>		
		LAG <sub>4c</sub>	LAG <sub>4c</sub>		
		LAG <sub>4d</sub>	LAG <sub>4d</sub>		
		ARGILLE AD ORBULINA <i>Tortoniano p.p. - Messiniano p.p.</i>	Marne argillose e siltiti marnose di colore da grigio-azzurro ad avana a grigio-scuro, sottilmente stratificate, con rare e sottili intercalazioni pelitico-arenacee.	UAM	UAM
		MARNE CON CERROGNA <i>Langhiano - Tortoniano p.p.</i>	Marne, marne-calcaree grigie e grigio-avana, e marne-argillose a foraminiferi planctonici, con intercalazioni di calcareniti in strati medi a granulometria da molto fine a media. Calcareniti e calciruditi flussotorbiditiche in strati e banchi, di colore grigio e nocciola, e marne calcaree di colore grigio si intercalano nella serie.	CRR <sub>a</sub>	CRR <sub>a</sub>
				CRR <sub>b</sub>	CRR <sub>b</sub>
<b>LPS</b> Lapideo stratificato	Strati spessi e amalgamati di gessareniti e arenarie	FORMAZIONE DELLA LAGA <i>Messiniano</i>	<b>membro gessarenitico - membro del Lago di Campotosto</b>	LAG <sub>5</sub> - LAG <sub>4</sub>	LAG <sub>5</sub> - LAG <sub>4</sub>
			Strati spessi, generalmente amalgamati di gessareniti risedimentate	LAG <sub>5g</sub> - LAG <sub>4c</sub>	LAG <sub>5g</sub> - LAG <sub>4c</sub>

tab 4 - unità geologiche di substrato

## Unità geologiche continentali

Depositi continentali Carta geologico-tecnica Mod. MS Liv. 1		Depositi	Litostratigrafia	Sigla	
Sigla I.C.M.S. Ver 4.0 b	Litostratigrafia di sintesi			Fogli Carg n. 339 - n. 349	Carta geol.- tecnica MZS Liv. 1
<b>RI</b> Terreni contenenti resti di attività antopica	Riporti formati da commistione caotica di limi argilloso- sabbiosi con clasti eterometrici e resti di laterizio	ATTUALE	Riporti antropici costituiti da materiali di scarto edile immersi in una matrice limo- argillosa	-	ant
<b>GM-fd, dv, tf</b> Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo	Ghiaie eterometriche con ciottoli e con limi sabbiosi e sabbie limose	DEPOSITI OLOCENICI <i>Pleistocene</i> <i>Olocene</i>	Depositi di terrazzo formati da ghiaie e limi con sabbie Depositi di versante costituiti da clasti poligenici calcarei o arenacei, eterometrici, fino a grossi blocchi con matrice calcarea o siltoso-sabbiosa e cementazione generalmente scarsa Detriti di falda costituiti da clasti poligenici calcarei o arenacei, eterometrici	olo <sub>b</sub> ; olo <sub>bn</sub> olo <sub>a</sub> ; AVM <sub>a</sub> olo <sub>a3</sub> ; AVM <sub>a3</sub>	at1; at2; at3 ver fal
<b>CL</b> Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose	Limi sabbiosi, a tratti limo argillose, con inclusioni clasti eterometrici di natura arenacea	DEPOSITI OLOCENICI <i>Olocene</i>	Depositi eluvio-colluviali costituiti da materiali siltoso-sabbiosi e argillosi con clasti prevalentemente arenacei centimetrici e subordinatamente calcarei	olo <sub>b2</sub>	col

tab. 5 - unità geologiche continentali

Di seguito vengono illustrate le unità geologico-tecniche rilevabili nelle aree individuate dalla MS.

#### Area Capoluogo

L'area relativa al capoluogo è costituita essenzialmente dall'unità ALS sui quali sono sovrapposti tre diversi ordini di terrazzi alluvionali (GM-tf) con uno spessore che aumenta da ovest verso est talvolta ricoperte da coltri colluviali. Lungo i versanti e soprattutto ai piedi e nelle vallecole sono presenti i depositi colluviali (CL) che coprono direttamente l'unità di substrato LPS e i depositi ghiaiosi (GM-tf) il cui spessore nel capoluogo varia da 7.00 a 17.00 m. Il vecchio abitato di Montorio, che si sviluppa dal Colle fino alla Piazza Orsini, si estende presumibilmente su substrato arenaceo-pelitico (ALS); non si hanno dati diretti sulla profondità del substrato. Nel centro di Montorio, lo spessore delle coperture, costituito da colluvioni (CL) ed alluvioni (GM-tf), è esiguo; raggiunge i 4-5 metri in L.go Rosciano fino ad 1 m nei pressi della Piazza Principale. Verso ovest, lungo Via Leopardi le abitazioni più antiche sono collocate sul versante arenaceo-pelitico (ALS), mentre i nuovi insediamenti sono ubicati sulla pianura alluvionale dove il substrato è coperto dai depositi alluvioni (GM-tf) e colluviali (CL) con spessori che raggiungono l'ordine di 10 m. Fa eccezione una porzione di territorio, dove sono stati rinvenuti depositi colluviali di 6 m di spessore sovrastanti le alluvioni, spessori 3 m. Quest'area è inserita nella piana alluvionale, in corrispondenza dello sbocco del Fosso di S. Pietro. Verso oriente, Via Duca degli Abruzzi, affiora il substrato arenaceo-pelitico (ALS), mentre nel settore sottostante la strada, ovvero lungo la S.S. 80, situata nella fascia di raccordo fra il versante e la pianura alluvionale sottostante, è presente un deposito colluviale al di sopra delle alluvioni terrazzate. Per quanto riguarda le fasce di raccordo fra i versanti e la pianura alluvionale, non ci sono molti dati per poter definire gli spessori ed i loro rapporti geometrici con una maggiore precisione. Nella fascia nord-est dell'urbanizzato, al limite dell'area urbanizzata il substrato è formato da gessoareniti direttamente affioranti (LPS). Inoltre vi sono due aree di modesta estensione in cui sono presenti riporti (RI) che localmente possono assumere anche spessori di 15 m e ricoprono il substrato marnoso-arenaceo (ALS): la prima area è situata nei pressi del F.sso Arola, dove tra l'altro alcune abitazioni presenti hanno riportato ingenti danni causati dal terremoto, e l'ulteriore area è posta nei pressi di L.go Rosciano dove attualmente è presente un parcheggio.

#### Frazioni Altavilla, Villa Vallucci, Santa Lucia, Villa Brozzi

Villa Brozzi, situato a nord di Montorio, presenta il substrato pelitico-arenaceo (ALS), ricoperto da depositi colluviali (CL) di spessore inferiore a 10 m.

Nelle frazioni poste ad occidente, Altavilla, il substrato è costituito dai banconi arenacei (LPS) della Formazione della Laga, mentre a Villa Vallucci e Santa Lucia si rileva l'unità ALS.

#### Frazioni Schiaviano-Rodiano

Il borgo di Schiaviano si trova sul substrato marnoso delle Marne con Cerrogna inserito nell'unità ALS.

La Frazione di Rodiano si estende su depositi colluviali (CL), interessati da fenomeni franosi, posti al di sopra delle Marne con Cerrogna, ALS.

#### Case Vernesi

Nella località Case Vernesi il substrato è costituito da marne con arenarie (LPS) in alcuni tratti ricoperto da depositi di coltre (CL).

#### Frazione Cusciano

La Frazione di Cusciano si estende al di sopra di un deposito di versante che ricopre tutto il versante la cui ossatura è costituita dalle marne e arenarie (ALS).

#### Frazioni Faiano - Colledonico

Le frazioni di Faiano e Colledonico si sviluppano, nel primo caso in gran parte sui depositi colluviali (CL) che hanno uno spessore anche di 15 m ed in piccola parte sui termini arenaceo-marnosi (ALS) che nella fascia più occidentale risulta con un grado di fratturazione più elevato (SFALS); la seconda Frazione, invece si sviluppa esclusivamente sul substrato arenaceo-pelitico (ALS).

#### Frazioni Leognano-Collattoni

Le frazioni poste ad oriente e a sud-est dell'abitato di Montorio si trovano sui rilievi collinari isolati il cui substrato pelitico e pelitico-arenaceo (ALS) è ricoperto da depositi alluvionali (GM)

#### Frazione Collevecchio, Bivio di Collevecchio e Casette

Nel caso di Collevecchio il substrato è talvolta affiorante (ALS) o appena ricoperto da eluvium (CL) con un spessore molto scarso.

### **3.4. Elementi tettonici**

L'assetto strutturale attuale dell'area è il risultato di una serie di fasi tettoniche compressive e distensive che si sono susseguite nel tempo. Le fasi compressive sono legate alla costruzione della catena a thrust dell'appennino ed hanno determinato pieghe, scollamenti ed accavallamenti a vergenza orientale. L'attività tettonica distensiva è invece associata al sollevamento regionale e al basculamento dei blocchi fagliati. Le fasi tettoniche che hanno

interessato questo tratto dell'orogene appenninico ha delineato una struttura essenzialmente monoclinale dei Monti della Laga, che si preserva anche nell'ambito del territorio di Montorio, delinea rilievi con versanti più ripidi nel lato esposto ad ovest, con assetto a reggipoggio, e versanti meno acclivi nel lato opposto, che seguono spesso la superficie degli strati (superfici strutturali). Inoltre, esistono esempi di erosione differenziata legata alla litologia, come nel caso dei livelli gesso-arenitici (*Formazione della Laga, Membro evaporitico*) che per la loro composizione chimica, a causa dell'erosione differenziata e dei processi di dissoluzione, danno origine a cavità epigee e verosimilmente anche ipogee. Nella zona gli allineamenti tettonici sono orientati prevalentemente secondo direttrici N-S, anche se sono presenti faglie con un andamento antiappenninico NE-SW. I diversi sovrascorrimenti hanno una vergenza orientale e dislocano la Formazione delle *Marne con Cerrognà* ed i termini della Formazione della Laga; i thrust in alcuni settori della zona presentano una componente trascorrente testimoniata dalla dislocazione del livello gessoarenitico. La presenza di pieghe, talvolta rovesciate, e sovrascorrimenti nell'area pedemontana conferisce una fisiografia essenzialmente di paesaggio collinare, prima aspra e poi ondulata, fa eccezione la porzione di territorio con calcari marnosi affioranti che conferiscono connotati di un paesaggio montano. La valle del fiume Vomano che incide il territorio, è caratterizzata da forti contrasti di pendenze tra la pianura alluvionale, coincidente con l'alveo del Fiume Vomano e le colline limitrofe; quest'ultime hanno risentito dell'evoluzione geologica dei complessi montuosi circostanti.

A grande scala, nello schema tettonico dell'area tratto dal Foglio Geologico n.339 Teramo, riproposto nell'immagine che segue, si osserva ad ovest del settore di studio, la presenza di un thrust a direzione NS corrispondente al sovrascorrimento di Civitella del Tronto (CTT) che sovrappone il membro gessarenitico con il membro post-gessarenitico della Formazione della Laga. Vari autori ritengono che il rigetto presenti valori modesti, e nel settore centro-meridionale, nell'area di Montorio al Vomano, sembrerebbe evolvere in piega-faglia.

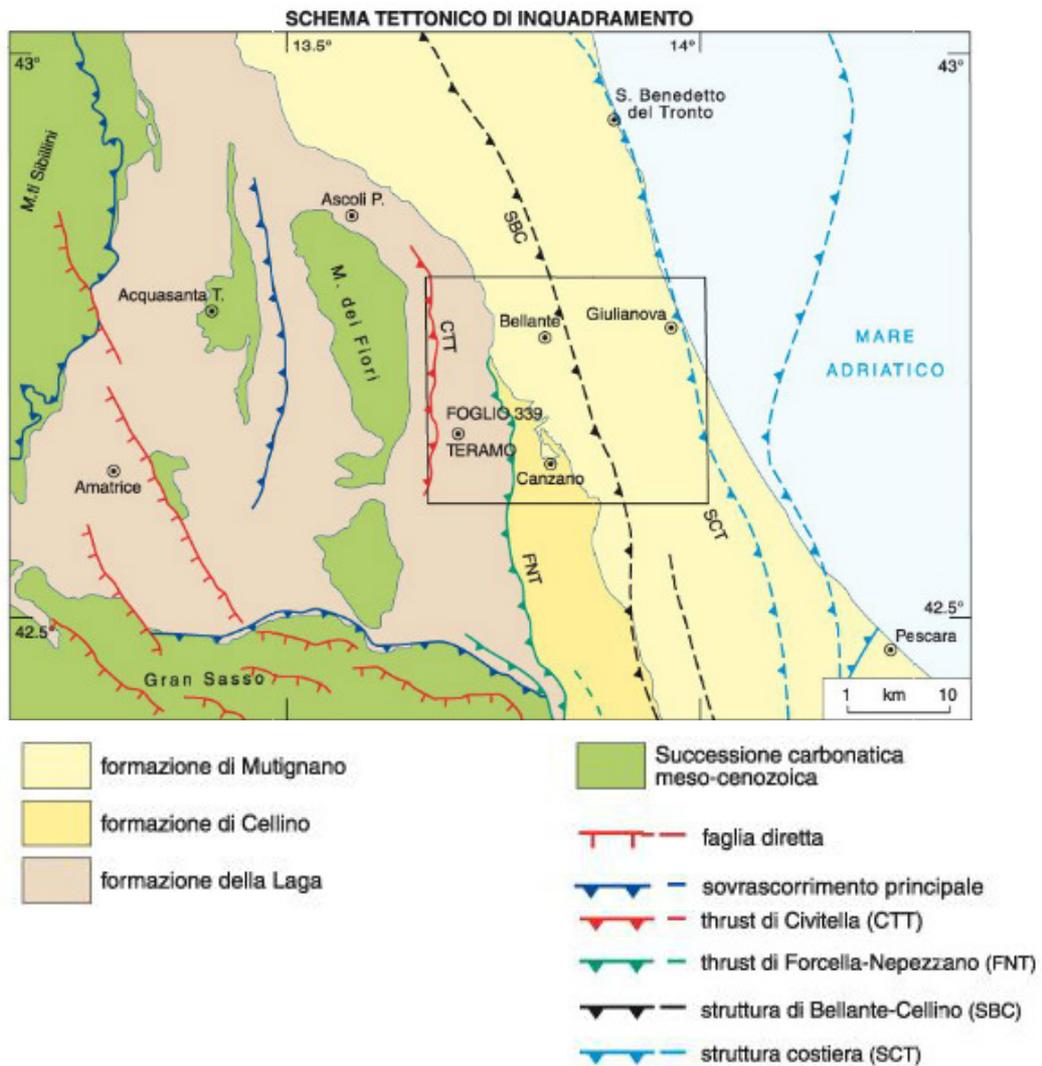


fig. 15 - Schema tettonico del settore in studio (Foglio geologico n°339 Teramo, Carg)

Spostandoci verso oriente, fuori dal contesto territoriale di Montorio, è presente un ulteriore thrust che si sviluppa tra Rapino e Teramo e si interrompe verso N e poi l'allineamento Forcella-Nepezzano (FNT) legato all'accavallamento dell'Unità Montagna dei Fiori-Montagnone sui termini della successione del pliocenica del bacino del Cellino che delinea pieghe e sovrascorrimenti.

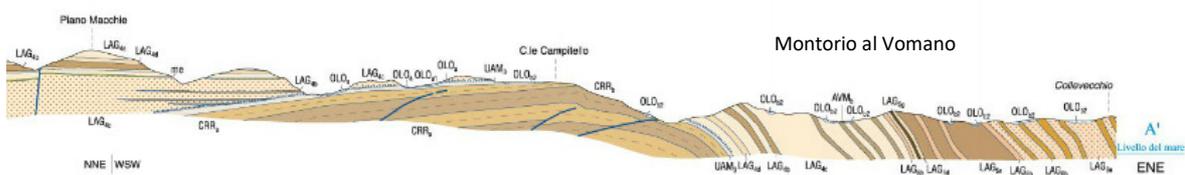


fig. 16 - Stralcio della sezione A-A' (Foglio 339 Teramo CARG) relativa all'area di affioramento del thrust di Civitella che nell'area di Montorio al Vomano evolve verso una struttura anticlinale debolmente fagliata

Nelle aree individuate dallo studio di MS raramente si rilevano fagliazioni con continuità cartografabile, ma si registrano delle pieghe a vario raggio di curvatura individuate dai cambi dei valori di giacitura, collegabili alla struttura anticlinale del trust di Civitella del Tronto, rilevabile più a nord. L'unità della Laga, nel settore di interesse risulta essenzialmente monoclinale con una vergenza orientale con presenza di pieghe anche a stretto raggio di curvatura, come nel settore più occidentale dell'area urbanizzata del Capoluogo e nella località Villa Vannucci con lineazioni tettoniche con modesto rigetto che ha indotto una frammentazione dell'unità pelitico-arenacea.

### Faglie sismogenetiche

Come già illustrato nel capitolo sulla pericolosità di base del territorio è stata effettuata una valutazione degli allineamenti tettonici che possono rappresentare sorgenti sismogenetiche. In particolare si è fatto riferimento alle sorgenti sismogenetiche ed alle faglie ritenute attive da *Risultati del progetto 5.1.2 "Inventario delle faglie attive e dei terremoti ad esse associabili"* - *Stato delle conoscenze sulle faglie attive in Italia: elementi geologici di superficie* F. Galadini, C. Meletti, E. Vittori dove si evince che l'area di Montorio più prossima agli allineamenti tettonici Campotosto-Colfiorito.

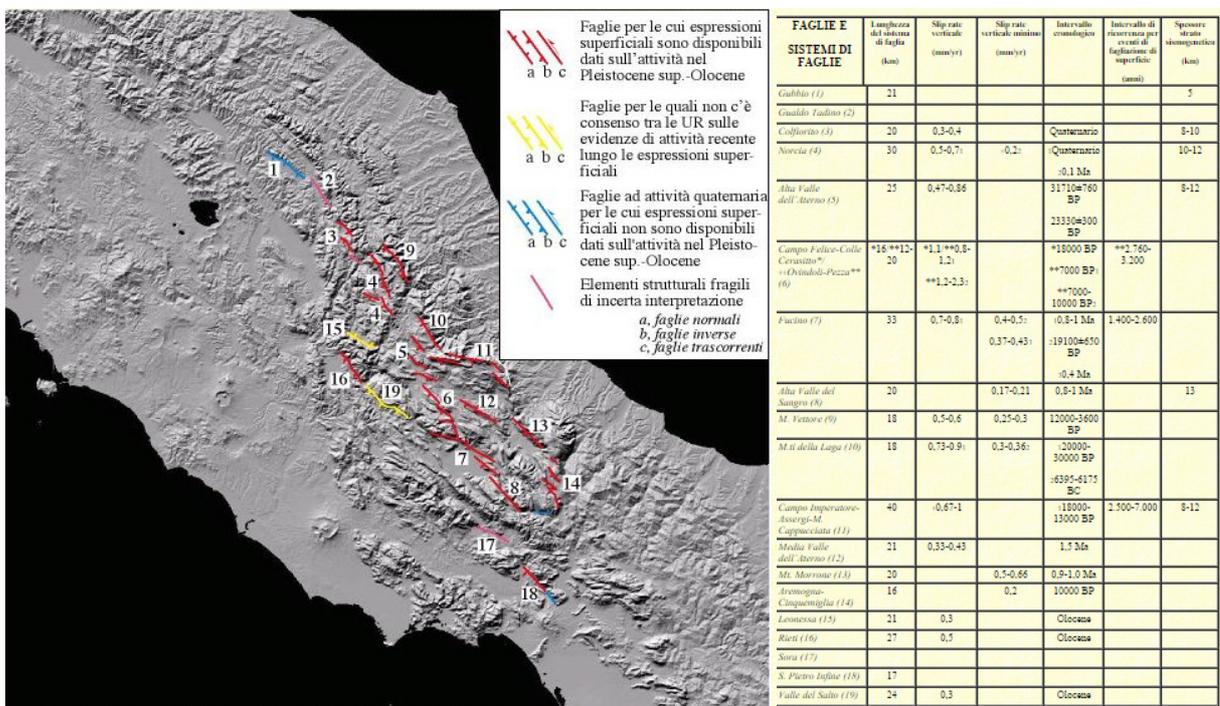
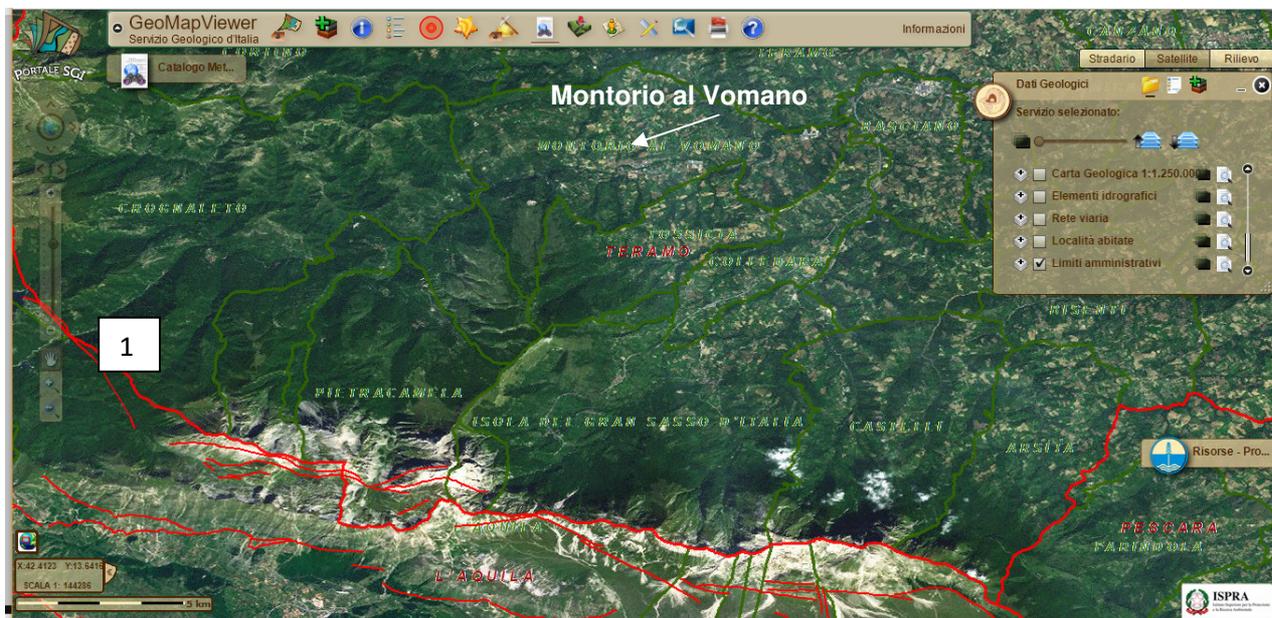


fig. 17 - Sorgenti sismogenetiche (Tettonica quaternaria nell'Appennino centrale e caratterizzazione dell'attività di faglie nel Pleistocene superiore-Olocene, F. Galadini, P. Messina, A. Sposato)

A riguardo è stato consultato il progetto ITHACA (ITaly HAZard from CApable faults), che prevede un database per la raccolta e la facile consultazione di tutte le informazioni disponibili riguardo le strutture tettoniche attive in Italia, con particolare attenzione ai processi tettonici che potrebbero generare rischi naturali. Il progetto si occupa in modo particolare delle faglie capaci, definite come faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie.



**fig. 18 - Faglie sismogenetiche attive e capaci più prossime all'abitato di Canzano. 1) Faglia Campotosto-Colfiorito (Progetto ISPRA-ITHACA).**

Come evidenziato dallo stralcio cartografico il territorio di Montorio al Vomano non è direttamente interessato da sistemi fragili allo stato attivo e capace. I sistemi tettonici più prossimi sono quelli relativi all'allineamento Campotosto-Colfiorito che comunque influisce sulla pericolosità sismica del territorio e possono far risentire i loro effetti nell'area in esame.

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

Dall'analisi territoriale delle aree del comune di Montorio al Vomano individuate per la MZS, come esposto sopra, si sono rilevati alcuni contesti il cui assetto geologico e geomorfologico potrebbe favorire sollecitazioni maggiori in coincidenza di scuotimenti tellurici.

Dalle indagini consultate ed eseguite in questa fase emerge che in ambito della fascia fisiografica collinare si rilevano coltri eluvio-colluviali con spessori che in alcuni casi superano anche i 15 m con caratteristiche litotecniche nettamente differenti rispetto ai termini del substrato sottostante. In prossimità della confluenza dei torrenti più gerarchizzati, con sviluppo lineare più esteso, al fiume Vomano si rileva la presenza di conoidi ormai inattivi i cui sedimenti

al pari delle coltri di ricoprimento risultano con caratteristiche tecniche molto inferiori al substrato. Dalle indagini sismiche effettuate e consultate emerge un netto contrasto di risposta sismica tra i termini di substrato e le coperture eluvio-colluviali e dei materiali di conoide, con effetti di amplificazione del moto sismico piuttosto elevati.

I corpi di frana risultano rilevabili nella gran parte delle aree abitate, a margine dei borghi. In questi ambiti i fenomeni di dissesto risultano con una estensione variabile e innescati in passato con diversi cinematismi e in alcuni casi con meccanismi multipli e compositi che hanno investito aree marginali dei centri abitati e allo stato attuale sembrano aver raggiunto un equilibrio risultando per la gran parte inattivi o quiescenti. I fenomeni gravitativi rilevati risultano cartografati anche nel Piano Stralcio PAI della Regione Abruzzo. Tali fenomeni interessano anche estese aree lungo i versanti, prevalentemente in corrispondenza di aree di impluvio e lungo direttrici preferenziali di drenaggio delle acque superficiali, in corrispondenza di affioramenti di materiali a prevalente componente pelitica o in coincidenza di cospicui spessori delle coltri di alterazioni. In generale le cause di innesco di tali fenomeni deformativi sono individuabili nella natura sensitiva dei materiali di substrato (coltri superficiali di alterazione di un substrato a prevalenza pelitica) e nella tendenza all'approfondimento in alveo dei corsi d'acqua anche se a carattere stagionale, a causa della variazione continua del loro livello di base rappresentato dall'alveo del corso d'acqua del fiume Vomano. Si sono avuti perciò nel tempo mobilitazioni anche cicliche di porzioni di territorio modellando versanti fortemente irregolari e dal profilo longitudinale ondulato e con gibbosità. In altri casi risultano legate alla fessurazione e fratturazione delle unità litoidi che possono dare luogo a crolli e ribaltamenti. I fenomeni risultano cartografati nelle Carte tematiche allegate e risultano in un prevalente stato di inattività o di quiescenza dato che i fattori di innesco delle deformazioni si presentano con cadenza stagionale, in funzione dei cicli di precipitazione meteorica. In tali aree, in fase di rilevamento non si è avuto riscontro nella ricerca di fenomeni sismo-indotti. Come appurato dalle fonti locali, nelle persone degli amministratori comunali, in seguito allo sciame sismico dei terremoti più recenti non si sono rilevati segni di riattivazioni dei dissesti che in qualche misura abbiano messo in condizioni di pericolo la popolazione. Tuttavia si rileva che continui scuotimenti sismici possono in alcuni casi riattivare i dissesti e favorire il disgaggio di poliedri rocciosi.

## **4. Dati geotecnici e geofisici**

### **4.1. Dati pregressi**

Nello studio di microzonazione sismica di livello 1 sono state reperite indagini che hanno permesso di definire il modello preliminare del sottosuolo.

### **4.2. Dati acquisiti ex-novo**

Al fine di definire le effettive incertezze emerse nello studio di MS di Livello 1 e la carenza di dati diretti del sottosuolo, in questa fase sono state effettuate indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche integrative. Inoltre, nello studio propedeutico di MZS livello 1 sono state individuate e distinte come diverse MOPS in corrispondenza dei termini marnoso-arenacei, arenaceo-marnosi e marne con arenarie, con diverso spessore delle coltri; in questa fase le indagini sono state pianificate e progettate per verificare l'effettiva diversa risposta sismica delle associazioni stratigrafiche rilevabili nelle aree oggetto di MZS di livello 3 e per quanto possibile definire lo spessore delle coltri.

I criteri di pianificazione e progettazione delle indagini acquisite ex novo sono stati i seguenti:

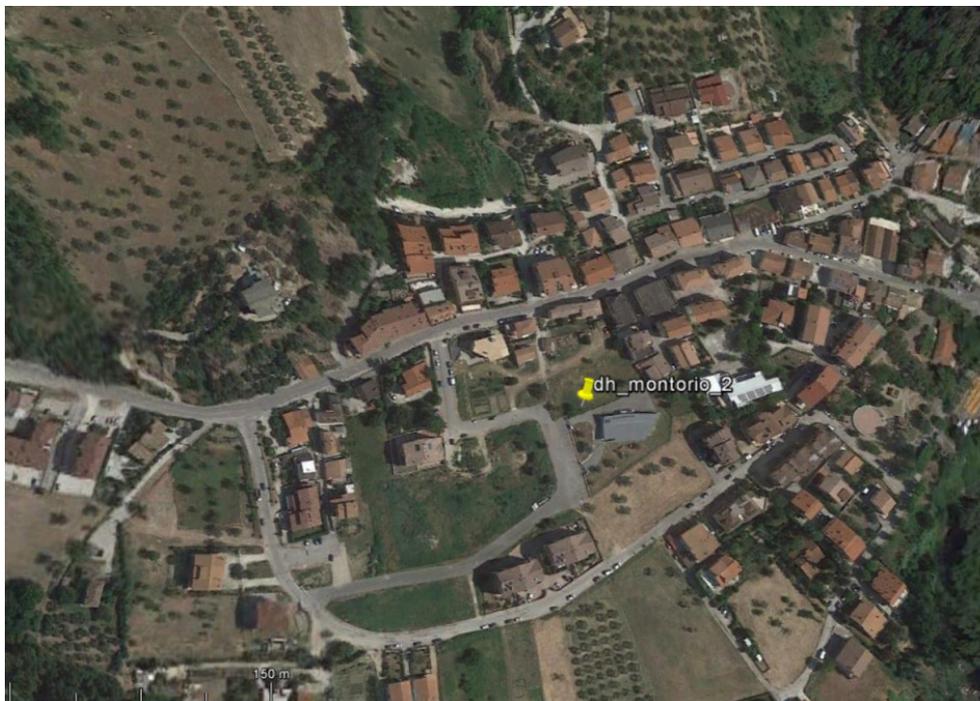
- Registrare misure di rumore ambientale per ogni MOPS o membro/associazione stratigrafica, in ogni zona di studio;
- Ubicare un'indagine MASW in ogni MOPS o membro/associazione stratigrafica laddove non vi sono altri metodi economici e ugualmente attendibili per la definizione del profilo di velocità in onde S;
- Utilizzare le indagini HVSR per la definizione del profilo di velocità in onde S, in alternativa alla prova MASW, laddove la disponibilità di informazioni stratigrafiche fornisca un robusto ancoraggio all'utilizzo dei software di inversione;
- Ubicare indagini lineari e puntuali in posizione tale da verificare che le MOPS (MZS Liv.1) o membro/associazione stratigrafica, siano effettivamente differenziabili per diversa risposta sismica.

In linea generale, dove è stato possibile, si è preferito scegliere punti di indagine al di fuori delle aree intensamente urbanizzate, nelle quali è facile avere “transienti” che possono disturbare le prove geofisiche. Per quanto attiene all'ubicazione dei sondaggi, nel quale prelevare campioni per prove di laboratorio e da attrezzare per la successiva esecuzione dell'indagine in foro Down-Hole, si è utilizzato il criterio di definire punti nei quali, nella profondità da indagare (35.00 m), fossero rappresentati i potenziali sismostrati legati ai depositi e alle diverse litofacies del substrato rilevabili nelle ulteriori aree del territorio comunale; l'ubicazione è stata concordata con il tavolo tecnico del centro MS.

L'ubicazione delle due verticali d'indagine è riportata nelle due figure seguenti.



**fig. 19 - Ubicazione della prova Donw-Hole DH1 (Fonte foto aerea: GoogleEarth)**



**fig. 20 - Ubicazione della prova Donw-Hole DH2 (Fonte foto aerea: GoogleEarth)**

Il quadro delle indagini eseguite sono schematizzate di seguito.

### Indagini geognostiche

Sigla sondaggio	Profondità m	Sondaggio		Attrezzatura in foro	Codice prova I.C.MS Ver4.0b
		Prelievo di campioni Indisturbati n.	Disturbati n.		
S 1	35.00	1	1	Tubazione per prove down-hole	SS
S 2	35.00	1	1	Tubazione per prove down-hole	SS

### Indagini geotecniche in foro

Sigla sondaggio	Prove in foro		Codice prova I.C.MS Ver4.0b
	Prove S.P.T. n.	Profondità m	
S 1	1	4.30	SPT
S 2	2	4.40 8.80	SPT SPT

### Indagini geotecniche di laboratorio

Sigla sondaggio	Campioni indisturbati		Prove	Codice prova I.C.MS Ver4.0b
	n.	Profondità m		
S 1	1	7.10-7.70	Contenuto in acqua Peso di volume Analisi granulometrica Limiti di consistenza Prova colonna risonante Taglio torsionale ciclico	SM CR TT C W PV GH-SA-LM-AR IP
S 2	1	6.00-6.30	Contenuto in acqua Peso di volume Analisi granulometrica Limiti di consistenza Prova colonna risonante Taglio torsionale ciclico	SM CR TT C W PV GH-SA-LM-AR IP

### Indagini sismiche in foro

Sigla sondaggio	Sigla prova down-hole	Prove down-hole		
		Profondità m	Intervallo misure registrazione m	Codice prova I.C.MS Ver4.0b
S 1	DH1 - S1	35.00	1.00	DH
S 2	DH2 - S2	35.00	1.00	DH

## Indagini sismiche lineari

### *sismica rifrazione*

Sismica rifrazione tomografica				
Sigla prova	Energizzazione	Geofoni n.	Lunghezza m	Codice prova I.C.MS Ver4.0b
SR 1	Onde P	24	60.50	SR

### *Sismica Masw attiva*

Sismica Masw attiva				
Sigla prova	Energizzazione	Geofoni n.	Lunghezza m	Codice prova I.C.MS Ver4.0b
M 1	Onde P	24	57.50	MASW
M 2	Onde P	24	57.50	MASW
M 3	Onde P	24	69.00	MASW
M 4	Onde P	24	57.50	MASW
M 5	Onde P	24	46.00	MASW
M 6	Onde P	24	57.50	MASW
M 7	Onde P	24	57.50	MASW
M 8	Onde P	24	57.50	MASW
M 9	Onde P	24	57.50	MASW
M 10	Onde P	24	46.00	MASW

## Indagini sismiche puntuali

Misure microtremore ambientale		
n. prove	Durata min	Codice prova I.C.MS Ver4.0b
36	30	HVSR

**tab. 7 - Indagini ex-novo**

Dall'analisi delle indagini effettuate, attraverso le quali sono stati indagati i diversi litotipi rinvenibili nelle aree oggetto di microzonazione sismica di livello 3, emerge il seguente schema di sintesi.

In particolare le due indagini Down-Hole hanno fornito i risultati sintetizzati nelle due tabelle seguenti:

DOWN-HOLE n.1 (DH1)				
Intervallo di profondità	Descrizione litologica	Descrizione genetica	Vp (m/s)	Vs (m/s)
0-3,2	Limo sabbioso e sabbia limosa con frammenti di laterizi	Riporto antropico	430	280
3,2-6,1	Limo sabbioso	Colluvio	410	340
6,1-14,0	Limo argilloso	Colluvio	700	400
14,0-17,0	Limo argilloso	Colluvio/alluvioni	1180	500
17,0-35,0	Marne e arenarie	Substrato geologico	1670	940

<b>DOWN-HOLE n.2 (DH2)</b>				
<b>Intervallo di profondità</b>	<b>Descrizione litologica</b>	<b>Descrizione genetica</b>	<b>Vp (m/s)</b>	<b>Vs (m/s)</b>
0-3,0	Limo sabbioso e sabbia limosa con frammenti di laterizi	Riporto antropico	320	200
3,0-7,0	Limo sabbioso	Colluvio	670	290
7,0-13,0	Limo sabbioso con ghiaia	Alluvioni	910	520
13,0-19,0	Marne e siltiti	Substrato geologico	1270	870
19,0-24,0	Marne e siltiti	Substrato geologico	1240	820
24,0-35,0	Marne e siltiti	Substrato geologico	1500	980

**tab. 8 - risultati prove down-hole**

I risultati delle restanti prove sono schematizzati di seguito

## Sintesi dei risultati delle indagini ex novo

Tipologia Indagine	Note	Risultati
Sondaggi	I sondaggi hanno investigato tutti i litotipi rinvenibili nelle aree oggetto di microzonazione	Le terebrazioni di sondaggio hanno evidenziato la natura limo argillosa con diverso contenuto in sabbia delle coltri eluvio-colluviali, con consistenza da poco a mediamente consistenti. I depositi alluvionali prevalentemente ghiaiosi risultano da mediamente a molto addensate. I termini di substrato formato da alternanze di marne e siltiti evidenzia un comportamento litoide con diversa competenza
Prove geotecniche in foro	Le prove sono state effettuate su ciascun deposito investigato nel corso dell'indagine. Le prove non sono state effettuate sull'unità di substrato a comportamento litolide.	Le prove nelle coltri eluvio-colluviali si rilevano modesti valori delle resistenze ( $N_{SPT}$ 13), confermate anche dalle misure di pocket penetrometer, e tendono a essere più elevate in coincidenza di calcinelli e inclusi di clasti arenacei alterati ( $N_{SPT}$ 26). Nei depositi di terrazzo ghiaiosi le resistenze risultano molto elevate ( $N_{SPT} >50$ ) collegabili ad un addensamento elevato.
Prove geotecniche di laboratorio	Le prove sono state effettuate sui campioni indisturbati prelevati nei depositi delle coltri	Le analisi confermano la natura limo argillosa con diverso contenuto sabbioso, a maggior frazione limosa che conferisce una bassa plasticità ai depositi.
Sismica in foro Down-hole	L'indagine geofisica è stata effettuata su entrambi i sondaggi eseguiti	Le registrazioni evidenziano netti contrasti sismici tra i depositi delle coltri ( $V_p$ 410-700 m/s; $V_s$ 290-400 m/s) ed i termini di substrato ( $V_p$ 1240-1670 m/s; $V_s$ 820-980 m/s), all'interno del substrato in funzione dell'alternanza litologica di marne e siltiti, quest'ultime più competenti, registrano valori diversi ma sempre superiori $V_s >800$ m/s.
Sismica a rifrazione	L'indagine è stata effettuata nell'ambito di un corpo di frana quiescente per la verifica degli spessori degli accumuli	L'allineamento sismico, eseguito, trasversalmente al corpo di frana, mette in evidenza gli spessori del materiale mobilizzato in passato ( $V_p$ 700-1000 m/s) e coinvolge l'interno spessore delle coltri e parte del sottostante deposito di terrazzo, con velocità sismiche nettamente contrastanti con i termini di substrato ( $V_p$ 2100-2300 m/s).
Sismica Masw attiva	Le prove sono state predisposte nelle aree in cui non erano disponibili dati relativi alle velocità del sottosuolo	Le prove in funzione dell'assetto geometrico delle coltri di alterazione, dei depositi alluvionali con discontinuità a diversa inclinazione, non sempre hanno forniti risposte analoghe tra i due scoppi esterni effettuati per ciascun array, spesso i dati sperimentali acquisiti alle basse frequenze risultano dispersivi collegabile ad un substrato disomogeneo subaffiorante e in altri casi alla poca attendibilità della prova legata all'assetto geometrico dei sismostrati. Tuttavia in linea generale confermano il netto contrasto di risposta sismica coltre-substrato, la variabilità degli spessori delle coltri. Velocità rilevate: Coltri $V_s$ 250-350 m/s; Depositi terrazzati $V_s$ 400-500 m/s; substrato $V_s$ 800-1100 m/s.
Sismica passiva HVSr	Le prove sono state effettuate nelle microzone definite nello studio di MZS Liv. 1 per verificare le omogenee amplificazioni	Le prove oltre a fornire i valori di frequenze di amplificazione di sito, sono state utilizzate come confronto con le ulteriori indagini effettuate per la ricostruzione dei modelli del sottosuolo in termini di risposta sismica.

tab.9 - risultati indagini ex-novo

### **4.3. Attrezzature utilizzate e modalità di esecuzione delle prove**

#### **4.3.1. Indagini geognostiche**

##### *Strumentazione utilizzata*

Per l'esecuzione della perforazione si è fatto uso di un impianto Modello CMV Tipo MK900, allestito su carro gommato, ed avente le seguenti caratteristiche:

- Momento torcente 900 kgm
- Spinta testa di rotazione 4500 Kq

Per l'esecuzione dell'indagine sono stati utilizzati i seguenti utensili di perforazione:

- Carotiere semplice con diametro nominale  $\varnothing = 101$  mm e lunghezza utile  $l = 3.00$  m;
- Carotiere doppio T2 con diametro nominale  $\varnothing = 101$  mm e lunghezza utile  $l = 3.00$  m;
- Corona di perforazione in widia;

Aste di perforazione con filettatura tronco-conica con diametro esterno da 60 mm.

Per garantire il sostentamento del foro sono state inoltre impiegate tubazioni di rivestimento provvisorio in acciaio avente le seguenti caratteristiche:

- diametro esterno = 127 mm
- lunghezza spezzoni = 150 mm

Le carote estratte nel corso del sondaggio sono state sistemate in apposite cassette catalogatrici in plastica munite di 05 scomparti divisorii da 1.0 m di lunghezza con rispettivi coperchi. Su tali reperti di sondaggio, il geologo presente in cantiere ha provveduto ad eseguire le prove di consistenza in sito sui terreni coesivi e la descrizione stratigrafica, i cui dettagli sono riportati nella tabella stratigrafica posta in allegato; tutte le cassette sono state infine fotografate.

Al termine della perforazione, nel foro di sondaggio è stato installato un tubo in PVC pesante adeguatamente cementato con miscela acqua-cemento-bentonite con iniezione dal fondo attraverso un tubicino, fino alla completa risalita della miscela nell'intercapedine parete del foro-tubo.

L'attrezzatura installata è stato protetto in superficie con pozzetto carrabile.

#### **4.3.2. Indagini geotecniche**

##### **Prove S. P. T. in foro**

Le prove S.P.T. (Standard Penetration Test) sono state eseguite in avanzamento all'interno dei fori di sondaggio, con la porzione di foro sovrastante opportunamente rivestita. Per l'esecuzione delle prove sono state utilizzate attrezzature conformi a quanto stabilito nelle normative di riferimento ASTM D.1586/67 – 74, UNI ENV 19973:2002 - Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Progettazione assistita con prove in sito, UNI EN ISO 22476-3:2005 Indagini e prove geotecniche – Prove in sito – Parte Per la prova, secondo una procedura standardizzata,

è stato utilizzato un campionatore a pareti grosse di dimensioni standard (campionatore Raymond) nel fondo di un foro di sondaggio.

Per la prova sono state utilizzate le seguenti attrezzature standard:

- Aste d'infissione del diametro esterno 50 mm e peso di 7 kg/m; - Testa di battuta di acciaio avvitata sulle aste; - Maglio di acciaio di 63.5 kg;
- Dispositivo automatico che consente la caduta del maglio da un'altezza di 0.76 m;
- Centratore di guida per le aste fra la testa di battuta e il piano campagna.

Il campionatore Raymond, ha diametro esterno di 51 mm, spessore 16 mm e lunghezza complessiva comprendente scarpa e raccordo alle aste di 813 mm.

Esso consta di un tubo diviso longitudinalmente a metà; i due semitubi sono tenuti insieme, durante l'infissione, o da una scarpa tagliente avvitata alla base e da un anello in testa o da una punta conica, a seconda delle litologie interessate dalla prova. Le prove eseguite a punta aperta hanno permesso il prelievo di un campioncino semi-indisturbato.

Durante la prova si sono registrati: N1 = numero di colpi di maglio necessari all'avanzamento del campionatore per i primi 15 cm, assunti come tratto di "avviamento"; N2 = numero di colpi che provoca la penetrazione del campionatore nei successivi 15 cm; N3 = numero di colpi necessari per gli ultimi 15 cm di avanzamento. Si assume come resistenza alla penetrazione il valore:  $NSPT = N2 + N3$

#### **Prove di laboratorio geotecnico**

Le prove sui campioni prelevati in corso di indagine sono state effettuate dal laboratorio geotecnico dell'Università di Messina - Dipartimento di Ingegneria - Laboratorio di Sperimentazione e Prove di Geotecnica.

#### **4.3.3. Indagini geofisiche**

##### **Sismica in foro down-hole**

###### *Strumentazione utilizzata*

Per la prova sismica in foro è stata utilizzata la strumentazione della MAE ELETTRONICA SRL composta di sismografo X610S e sensore DH a cinque geofoni S5.

Il sismografo X610S è a 24 canali con risoluzione a 24 bit, PC integrato, monitor touch screen a colori e batteria ricaricabile.

Convertitori	risoluzione 24 bit, tecnologia sigma-delta
Range dinamico	144 dB (teorico)
Distorsione massima	+/-0.0010%
Banda passante	2Hz-30KHz
Diafonia	120dB a 20 Hz
Soglia di rumore dell'amplificatore programmabile	27nV
Precisione del trigger	1/30 del tempo di campionatura
Guadagno di preamplificazione	24 e 36 dB
Delay	da 0 a 100 sec ad intervalli di 1 campione a passo
Tipo di guadagno	Automatico (AGC)
Range massimo segnale in ingresso	+/-5V
Impedenza di ingresso	a 1000 campioni /secondo 20Mohm
Livelli di amplificazione	0 dB, 6 dB, 12 dB, 18 dB, 24 dB, 30 dB, 36 dB impostabili singolarmente per ogni canale o per gruppi di canali liberamente organizzabili
Filtro anti-alias	-3dB,80% della frequenza di Nyquist-80dB
Tempo pre-trigger	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 50, 100, 200, 300, 400, 500ms
Intervalli di campionamento	1/30, 1/15, 1/7.5, 1/3.75, 0.5, 1.0, 2.0, 10.0, 20.0 ms
Numero di campioni per evento	impostabile da 1024 a 21800 con incrementi di 512
Interfacce disponibili	LAN, USB, VGA
Canali	configurazioni da 24, 48 o 72. Possibilità di utilizzare da 1 al numero massimo di canali installati per ogni acquisizione
Auto-calibrazione	interna dei convertitori prima di ogni acquisizione
Filtri digitali	selezionati automaticamente in base alla frequenza di campionatura
Test geofoni	verifica automatica per individuare interruzioni dei cavi oppure geofoni rotti o in corto
Visualizzazione	in tempo reale dei segnali provenienti dai geofoni
Archiviazione dati	in memoria FLASH interna (fino a 3GB disponibili) e/o su USB pen-drive rimovibile
Trigger	positive, negative (opzionale a chiusura di contatto) con soglia regolabile da software
Formato dei dati	SEG-2 standard (32-bit long integer) o ASCII
Alimentazione	12V DC, fornita da apposito power box ricaricabile. Assorbimento medio: 1.5A
Display	LCD 12.2" con touch-screen integrate optical bonding
Condizioni ambientali	-20/80°C

fig. 21 - Caratteristiche tecniche del sismografo utilizzato (da <http://www.maelettronica.it/>)



fig. 22 - Il sismografo X610S (da <http://www.maelettronica.it/>).

Il sensore S5 è costituito da 5 geofoni, uno a componente verticale e 4, accoppiati a due a due, a componente orizzontale. Sono alloggiati all'interno di un contenitore cilindrico in acciaio inox al quale è collegato il cavo di collegamento al sismografo. La speciale tipologia di cavo utilizzato, graduato in metri, veicola al proprio interno (1) il cavo multipolare per la connessione elettrica del sensore al sismografo, (2) il cavetto in acciaio che assicura la solida sospensione del sensore nel foro ed (3) il tubo dell'aria per la gestione del sistema pneumatico di ancoraggio del sensore alla parete del sondaggio.

Geofoni con frequenza	4.5 Hz
Componente verticale	n.1
Componente orizzontale	n.4
Sfasamento delle componenti orizzontali	45 gradi
Bloccaggio ad aria compressa	1,5 bar con pompa in dotazione
Contenitore inox	50 mm
Lunghezza	300 mm
Cavo in dotazione	50 m

**fig. 23 - Caratteristiche tecniche del sensore DH S5 (da <http://www.maelettronica.it/>)**



**fig. 24 - Il sensore DH S5 (da <http://www.maelettronica.it/>): a sinistra, la bobina del cavo di collegamento sonda/sismografo; a destra: la sonda**

I dati sono stati elaborati con il software Downhole – Interpretazione delle prove Downhole della GEOSTRU EU (<https://www.geostru.eu>) che, tramite picking dei tempi di primo arrivo delle Vp e Vs delle 5 componenti della sonda S5, restituisce, in uscita, i profili delle velocità Vp e Vs intervallari e la tabella dei dati analitici, come riportati, per ogni DH, nei paragrafi seguenti.

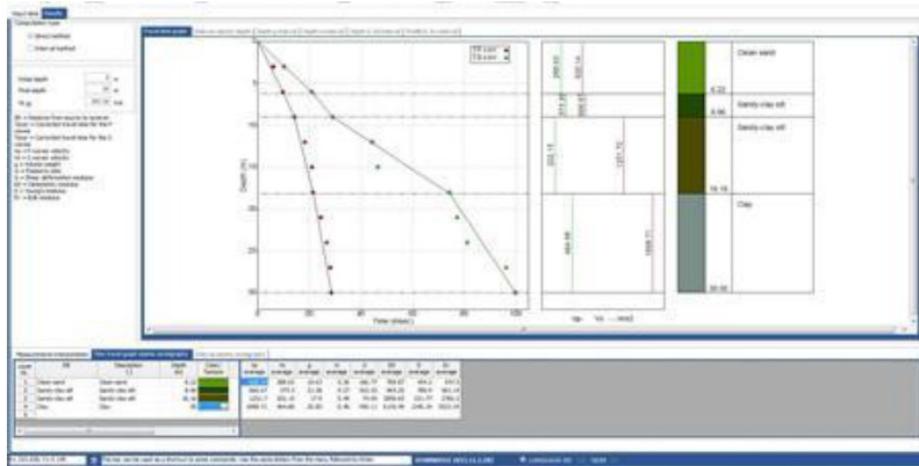


fig. 25 - Il software Downhole di GEOSTRU EU (<https://www.geostru.eu>).

### **Sismica rifrazione tomografia**

#### *Strumentazione utilizzata*

Per l'esecuzione delle misure sismiche sperimentali sono state utilizzate le seguenti strumentazione ed attrezzature:

---

#### **Strumentazione sismica**

---

Sismografo MAE MODELLO X610-S

*Supporto di memorizzazione:* Hard-Disk da 40 Gb

*Risoluzione di acquisizione:* 24 bit con sovra campionamento e post-processing

*Formato dati acquisiti:* SEG-2

24 Geofoni verticali/orizzontali con frequenza 4.5 Hz

2 Cavo di collegamento per geofoni

1 Energizzatore costituito da massa battente 10 Kg piastra




---

fig. 26 - Strumentazione utilizzata per la registrazione dei dati e l'energizzazione

#### *Metodologia del rilievo*

Il rilievo sismico è consistito nell'acquisizione di un profilo sismico a rifrazione nell'area del progetto. Il profilo sismico è stato eseguito nella posizione planimetrica concordata con la D.L.. Successivamente al tracciamento dell'allineamento sismico, sono stati ancorati i geofoni al terreno e sono state effettuati gli scoppi; considerate le distanze di energizzazione e la logistica dei luoghi, è stato utilizzato come generatore di onde di taglio, un martello da 10 Kg, una piastra e una cassa di legno ancorata al terreno e come onde di compressione lo stesso martello e piastra.

Linea sismica	Geofoni		Shot
	n.	spaziatura (m)	
SR 1	24	2.50	n. 2 esterni ad una distanza di 1.50 m dal 1° e 24° geofono n. 1 centrale tra 12-13° geofono n. 4 intermedi tra 4-5°, 8-9°, 16-17° e 20-21° geofono

**tab. 10 - geometrie sismica a rifrazione**

Eseguito il posizionamento dei geofoni sul terreno, collegati questi tramite morsetti bipolari ai cavi elettrici e questi ultimi al sismografo, sono stati realizzati alcuni *shots* di prova allo scopo di tarare i parametri di acquisizione del sismografo in termini di determinazione del livello del rumore di fondo ed impostazione delle amplificazioni dei canali di registrazione. Effettuata la taratura della strumentazione, si è proceduto all'acquisizione sismica effettuando l'energizzazione (o somma di energizzazioni) su ciascun punto d'impatto (inizio, fine linea e posizioni intermedie), con frequenza di campionamento di 0.00025 sec e lunghezza di registrazione di 0.500 sec.

#### *Metodologia interpretativa*

I sismogrammi acquisiti sono stati elaborati con software specifico. In primo luogo i dati sono stati sottoposti ad una fase di *processing* matematico consistente in filtri, amplificazioni; questa fase è risultata fondamentale per ridurre rumori di fondo e strumentali dai sismogrammi, aumentando il rapporto segnale/rumore ed esaltando i primi arrivi delle onde sismiche. Successivamente si è passati alla fase d'interpretazione consistente, inizialmente, nell'individuazione dei primi arrivi delle onde sulle tracce sismiche (*First Break Point* o *FBP*). I tempi letti sono stati impiegati per ottenere un modello tomografico di velocità. Il metodo tomografico richiede la creazione di un modello iniziale di velocità 1D, attraverso il quale ritracciare i raggi sismici. Dalla elaborazione è stato definito il modello geofisico di riferimento con gli strati di base (*layers*) che definiscono il campo di velocità e interfacce (*interfaces*); all'interno del modello ogni strato è diviso in blocchi nei quali la velocità viene considerata omogenea e isotropa. Dal modello sintetico di riferimento sono state effettuate le inversioni dei tempi di arrivo da cui si è ottenuto la stima del campo di velocità sulla zona attraversata dai corrispondenti raggi delle onde. Dalla comparazione dei tempi calcolati con quelli osservati l'algoritmo modifica il modello iniziale, ripetendo questo processo in maniera iterativa finché l'RMSE (Root Mean Square Error) tra i tempi calcolati e misurati non è minimizzato. Il programma d'inversione utilizzato per ottenere il tomogramma si basa su un algoritmo di tipo iterativo (SIRT: Simultaneous Iteration Reconstruction Technique) il cui scopo è di ricavare il tempo minimo di percorrenza dei raggi tra sorgente e ricevitore per ogni coppia sorgente-ricevitore, attraverso il calcolo del percorso dei raggi e della lentezza (*slowness*). Essendo entrambe le variabili incognite il problema è sottovincolato, l'algoritmo procede con un approccio iterativo ai minimi quadrati. Il risultato finale, rappresenta la capacità dell'inversione

tomografica nel risolvere celle di perturbazione e fornisce un'indicazione della risoluzione superficiale del modello. Il risultato è un'immagine bidimensionale che mostra la distribuzione delle velocità sismiche del sottosuolo.

### **Sismica masw attiva**

#### *Strumentazione utilizzata*

Per l'esecuzione delle misure sismiche sperimentali sono state utilizzate le seguenti strumentazione ed attrezzature:

<b>Strumentazione sismica</b>	
Sismografo MAE MODELLO X610-S	
Supporto di memorizzazione: Hard-Disk da 40 Gb	
Risoluzione di acquisizione: 24 bit con sovra campionamento e post-processing	
Formato dati acquisiti: SEG-2	
24	Geofoni verticali/orizzontali con frequenza 4.5 Hz
2	Cavo di collegamento per geofoni
1	Energizzatore costituito da massa battente 10 Kg piastra
	

**fig. 27 - Strumentazione utilizzata per la registrazione dei dati e l'energizzazione**

#### *Metodologia del rilievo*

Il rilievo sismico è consistito nell'acquisizione di un profilo sismico nell'area del progetto. Successivamente al tracciamento dell'allineamento sismico, sono stati ancorati i geofoni al terreno e sono state effettuati gli scoppi; considerate le distanze di energizzazione e la logistica dei luoghi, è stato utilizzato come generatore di onde di compressionali, un martello di 10 kg e una piastra. Nello specifico le principali dell'array di indagine sono state le seguenti:

Linea sismica	Geofoni		Shot	
	n.	spaziatura (m)	n.	geometria
M 1	24	2.50	2	esterno ad una distanza di 7.00 m dal 1° e 24° geofono
M 2	24	2.50	2	esterno ad una distanza di 7.00 m dal 1° e 24° geofono
M 3	24	3.00	2	esterno ad una distanza di 7.00 m dal 1° e 24° geofono
M 4	24	2.50	2	esterno ad una distanza di 7.00 m dal 1° e 24° geofono
M 5	24	2.00	2	esterno ad una distanza di 7.00 m dal 1° e 24° geofono
M 6	24	2.50	2	esterno ad una distanza di 7.00 m dal 1° e 24° geofono
M 7	24	2.50	2	esterno ad una distanza di 7.00 m dal 1° e 24° geofono
M 8	24	2.50	2	esterno ad una distanza di 7.00 m dal 1° e 24° geofono
M 9	24	2.50	2	esterno ad una distanza di 7.00 m dal 1° e 24° geofono
M 10	24	2.00	2	esterno ad una distanza di 7.00 m dal 1° e 24° geofono

**tab. 11 - geometrie sismica Masw**

Gli impulsi sismici ricevuti dai geofoni posizionati sulla superficie topografica sono stati acquisiti utilizzando il sismografo con registrazione simultanea, tramite il quale, dopo amplificazione, conversione analogico-digitale e filtraggio, sono stati registrati nell'hard disk di cui il sismografo stesso è dotato. Eseguito il posizionamento dei geofoni sul terreno, collegati questi tramite

morsetti bipolari ai cavi elettrici e questi ultimi al sismografo, sono stati realizzati alcuni *shots* di prova allo scopo di tarare i parametri di acquisizione del sismografo in termini di determinazione del livello del rumore di fondo ed impostazione delle amplificazioni dei canali di registrazione. Effettuata la taratura della strumentazione, si è proceduto all'acquisizione sismica effettuando l'energizzazione. L'istante di tempo zero, ovvero il segnale d'inizio registrazione, è inviato allo strumento da uno *shock-sensor (hammer switch)* posto direttamente sul martello (*trigger*).

#### *Elaborazione dati*

Analisi delle immagini di dispersione

Le immagini di dispersione rappresentano, in forma grafica, lo spettro di dispersione delle onde di Rayleigh che si propagano nel sottosuolo dell'area indagata. Le immagini illustrano la dispersione vera e propria intesa come variazione della velocità di fase in funzione delle frequenze dello spettro. Evidenziano inoltre l'ampiezza delle vibrazioni (energia associata) utilizzando variazioni di toni di colori. L'obiettivo dell'analisi dell'immagine di dispersione è l'individuazione del "modo fondamentale" della vibrazione (*fundamental mode*), distinguendolo da tutti gli ipertoni associati (*higher tone*) e dai rumori di fondo (*noise*). L'individuazione del "modo fondamentale" permette di giungere alla principale chiave di lettura della prospezione cioè all'individuazione della "curva di dispersione" e quindi, tramite inversione, alla ricostruzione della sequenza sismostratigrafica del sito indagato.

#### *Elaborazioni delle tracce sismiche*

Il profilo delle Vs è determinato sulla base di un algoritmo iterativo di inversione che utilizza i dati ottenuti dallo studio della curva di dispersione.

L'algoritmo si basa sulle seguenti considerazioni:

- 1) la frequenza è direttamente legata alla profondità di indagine (basse frequenze alte profondità);
- 2) la velocità di fase dipende essenzialmente dalle proprietà elastiche dei materiali interessati dal propagarsi della perturbazione.

L'algoritmo di inversione tiene inoltre conto della necessità di soddisfare la seguente relazione:

$$z_f = a \lambda f$$

dove:

$z_f$  = profondità di propagazione della frequenza  $f$ ;

$a$  = coefficiente adimensionale;

$\lambda f$  = lunghezza d'onda corrispondente alla frequenza  $f$ .

Le iterazioni necessarie per l'elaborazione in precedenza descritta sono stati elaborati con programma di calcolo specifico.

#### **Misure microtremore ambientale**

Per la registrazione dei microtremori sono state utilizzate le seguenti strumentazione ed attrezzature:

---

### Strumentazione sismica passiva

---

Tromino - Micromed SpA  
*Terna di velocimetri orientati N-S, E-W*  
*Frequenze di registrazione 0 -200 Hz*  
*Formato dati acquisiti: SEG-2*



---

**fig. 29 - Strumentazione utilizzata per la registrazione dei dati**

Le acquisizioni sono state effettuate in assenza e in sostanziali condizioni di basso rumore ambientale, scegliendo una finestra temporale di acquisizione di 30 minuti per garantire la stabilità del segnale e filtrare eventuali fenomeni transienti. Nella registrazione del rumore sismico al suolo la componente longitudinale N-S dello strumento è stata orientata secondo il N magnetico.

I dati così registrati sono stati elaborati mediante il software dedicato (Grilla) che opera il trattamento matematico e l'analisi spettrale del segnale. Per l'elaborazione dei dati è stata seguita la procedura consigliata nelle linee guida del SESAME (Site Effects assessment using Ambient Excitations), un progetto di ricerca europeo condotto nel triennio 2003-2005 al fine di standardizzare e migliorare le tecniche di microzonazione sismica attraverso le misure del rumore ambientale.

## **5. Modello del sottosuolo finalizzato alla MS**

### **5.1. Unità geologico-tecniche: definizione e parametrizzazione**

Le aree individuate nella MZS Liv. 3 sono delineate dai termini della formazione della Laga (membro di Teramo, membro gessoarenitico, membro di Campotosto) e nella località Case Vernesi dalla formazione delle Marne con Cerrognana formati da associazioni arenaceo-marnose, marnoso-arenacee, marne e arenarie e ricoperte da spessori diversi di coltri eluviali poco sviluppate a coltri eluvio-colluviali di spessore che raggiungono anche i 17.00 m; nell'ambito della piana del Vomano le unità di substrato risultano ricoperte da depositi fluviali terrazzati con spessori di circa 5.00-8.00 m, nella frazione Leognano che sovrasta l'area di piana, si conservano terrazzi più antichi su cui si sviluppa il nucleo abitato in cui i depositi ghiaiosi terrazzati presentano spessori anche maggiori di 20.00 m. I depositi delle coltri dalle indagini effettuate ex novo e di quelle pregresse, risultano con una litologia piuttosto uniforme a prevalente componente limo argillosa con un contenuto in sabbia variabile, ma sempre in subordinate; i depositi di terrazzo risultano prevalentemente di taglia ghiaiosa eterometrica. Dalle indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche si rilevano caratteristiche tecniche e sismiche piuttosto omogenee dei litotipi che si ripetono in tutte le aree individuate nella MZS. Fanno eccezione le bancate amalgamate dell'associazione gessoarenitica, in corrispondenza dell'abitato di Montorio Capoluogo a cui compete una maggiore rigidità sismica rispetto alle ulteriori facies e formazioni di substrato; le restanti unità, in particolar modo il substrato arenaceo-marnoso mostra delle variazioni in termini di risposta sismica legate ad una maggiore fessurazione e fratturazione in corrispondenza della frazione Faiano e a nord del capoluogo in prossimità del quartiere S. Giovanni che sovrasta l'abitato di Montorio.

Sulla base dei dati acquisiti e rilevati, vista la finalità dello studio di MZS di Liv.3, le unità geologico-tecniche che costituiscono il modello del sottosuolo nelle aree individuate sono state ridotte rispetto allo studio di MZS Liv.1, in particolar modo le unità del substrato, raggruppando le singole unità in funzione delle caratteristiche geotecniche e sismiche. Per cui, in seguito all'approfondimento del MZS Liv. 3, il modello del sottosuolo risulta meno articolato rispetto al modello preliminare definito nello studio di MZS Liv. 1.

Le unità geologico-tecniche definite sono riportate di seguito con le relative caratteristiche litostratigrafiche e litotecniche:

Unità litotecnica	Litologia	Comportamento meccanico	Parametri		Velocità sismiche	
			Grandezze, Valori	Codice I.C.MS Ver4.0b	Grandezze, Valori m/s	Codice I.C.MS Ver4.0b
<b>Materiali di riporto</b>						
RI Terreni contenenti resti di attività antropica	Riporti formati da commistione caotica di limi argilloso-sabbiosi con clasti eterometrici e resti di laterizio	Coerente / Incoerente	$\gamma$ 17.0-18 kN/cm <sup>3</sup> $\phi'$ 15-18 E 140 MPa G 60 MPa $\nu$ 0.17	PV F1 E G CP	Vp 300-500  Vs 100-250	VP  VS
<b>Depositi continentali</b>						
GMdf,dv,tf Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo	Ghiaie eterometriche con ciottoli e con limi sabbiosi e sabbie limose	Incoerente	$\gamma$ 20-21 kN/m <sup>3</sup> $\phi'$ 30-32 ° Dr = 50-65 % E 9000-10000 MPa G 450-500 MPa $\nu$ 0.28-0.33	PV F1 DR E G CP	Vp 1000-1400  Vs 350-500	VP  VS
CL Argille inorganiche dimedio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre	Limi sabbiosi, a tratti limo argillose, con inclusioni clasti eterometrici di natura arenacea	Coerente	$\gamma$ 17-18 kN/m <sup>3</sup> $\phi'$ 24-26 ° c' 0-0.0005 MPa C <sub>u</sub> 0.5-0.8 MPa E 650-700 MPa G 250-280 MPa $\nu$ 0.26-0.35	PV F1 C CU E G CP	Vp 600-800  Vs 250-350	VP  VS
<b>Substrato geologico</b>						
ALS Alternanza di litotipi, stratificato	Associazione pelitico-arenacea e arenaceo-pelitici in strati medi e sottili, marne argillose siltitiche e marne calcaree	Litoide	$\gamma$ 19-20 kN/m <sup>3</sup> $\phi'$ 33-35 ° c 0.07-0.08 MPa E 29000-30000 MPa G 1400-1500 MPa $\nu$ 0.35-0.38	PV F1 C E G CP	Vp 1300-1800  Vs 800-1000	VP  VS
SFALS Substrato geologico alternanza di litotipi fratturato/alterato o stratificato	Associazione pelitico-arenacea molto fratturata	Litoide	$\gamma$ 19-20 kN/m <sup>3</sup> $\phi'$ 30-32 ° c 0.02-0.05 MPa E 900-10000 MPa G 1000-1200 MPa $\nu$ 0.20-0.33	PV F1 C E G CP	Vp 900-1200  Vs 500-600	VP  VS
LPS Lapideo stratificato	Strati spessi e amalgamati di gessareniti e arenarie	Litoide	$\gamma$ 21-22 kN/m <sup>3</sup> $\phi'$ 34-37 ° c 0.10-0.12 MPa E 38000-40000 MPa G 1600-1800 MPa $\nu$ 0.26-0.30	PV F1 C E G CP	Vp 1700-2300  Vs 1000-1300	VP  VS

$\gamma$  Peso dell'unità di volume;  $\phi'$  Angolo di attrito in tensioni efficaci; Dr Densità relativa; E Modulo di Young;  
G Modulo di taglio;  $\nu$  coefficiente di Poisson; Vp Velocità onde P; Vs velocità onde S.

**tab. 12 - quadro caratteristiche unità geologico-tecniche**

L'unità ALS presenta una differenziazione nella fascia più orientale del territorio con prevalente di termini pelitici a cui seguono alternanze pelitico-arenacee.

Le successioni schematiche che caratterizzano le aree individuate dalla MZS sono riportate di seguito.

**Substrato affiorante, sub-affiorante**

Unità litotecnica	Profondità m
ALS	0.00
SFALS	0.00 10.00-30.00
ALS	
LPS	0.00

**Coltre eluvio-colluvio / Substrato**

Unità litotecnica	Profondità m
CL	0.00 7.00-14.00
ALS	
CL	0.00 3.00-4.00
LPS	
CL	0.00 1.00-3.00
SFALS	12.00-32.00
ALS	

**Aree con riporti**

Unità litotecnica	Profondità m
RI	0.00 3.00-7.00
ALS	

**Depositi terrazzati / Substrato**

Unità litotecnica	Profondità m
GM-tf	0.00 7.00-30.00
ALS	
GM-tf	0.00 3.00-8.00
LPS	

**Coltre / Depositi terrazzati / Substrato**

Unità litotecnica	Profondità m
CL	0.00 6.00-7.00
GM-dt	12.00-13.00
ALS	
CL	0.00 10.00-14.00
GM-dt	13.00-17.00
LPS	

**Depositi detritici / Substrato**

Unità litotecnica	Profondità m
GM-df; dv	7.00-9.00
LPS	

tab. 13 - successioni schematiche delle unità litotecniche

## 5.2. Sezioni geologico-tecniche

Al fine di rappresentare la complessità del sottosuolo delle aree urbane oggetto di microzonazione di seguito vengono descritte le sezioni geologico-tecniche.

### Frazione Altavilla

#### Sezione 1-1' "Altavilla"

L'area è caratterizzata dall'unità di substrato LS formata da bancate arenacee con assetto a reggipoggio (immersione di 20-30°), direttamente affiorante nel contrafforte che sovrasta il nucleo abitato, e nella restante parte ricoperta da coltre di alterazione (CL). L'unità di coltre presenta spessori piuttosto regolari (4.00-6.00 m circa) che coprono il substrato.

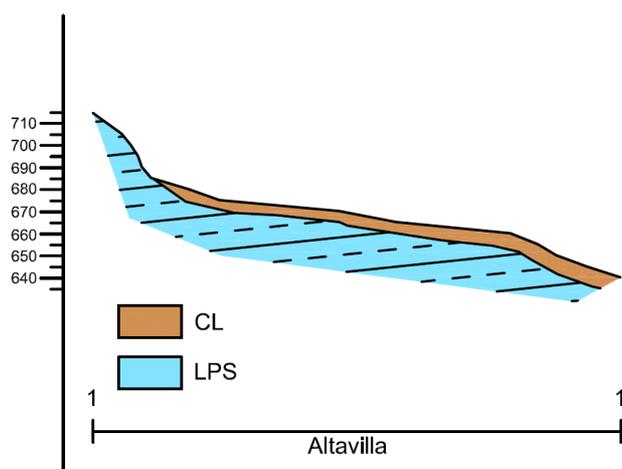


fig. 30 - Sezione geologico-tecnica 1-1' "Altavilla"

#### Sezione 2-2' Case di sotto"

Nella sezione, la cui traccia si sviluppa più a valle rispetto alla precedente, si rileva la stessa successione, ovvero l'unità di coltre di alterazione (CL) che copre l'unità di substrato (LS) rappresentato prevalentemente da bancate arenacee con marne che conservano l'assetto a reggipoggio rispetto al pendio e i valori di immersione. La coltre eluviale, in questo caso assume spessori più elevati fino a circa 10.00-12.00 m.

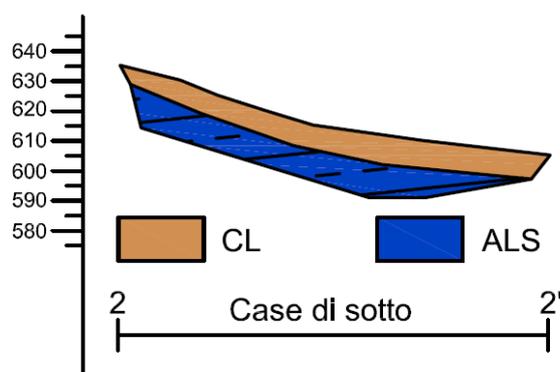


fig. 31 - Sezione geologico-tecnica 2-2' "Case di sotto"

### Sezione 3-3' "Altavilla cimitero"

L'assetto del sottosuolo lungo la sezione risulta analogo alle precedenti ovvero coltre (CL) che ricopre substrato arenaceo (LS); quest'ultimo direttamente affiorante nella fascia topografica a quote più elevate in coincidenza dell'aumento del gradiente topografico. Le coltri risultano con spessori contenuti, inferiori a 10.00 m e interseca la porzione più elevata di un deposito detritico (GM-dt) con sviluppo geometrico in direzione sud-est. L'unità detritica, nel tratto abitato, risulta con spessori analoghi alle coltri di alterazione e ricopre direttamente il substrato.

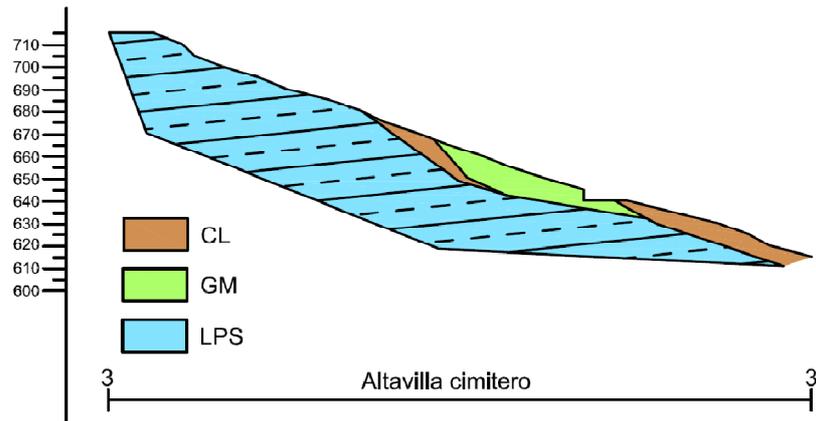


fig. 32 - Sezione geologico-tecnica 3-3' "Altavilla cimitero"

### **Frazione Rodiano**

#### Sezione 4-4' "Rodiano"

L'assetto del sottosuolo è caratterizzato da substrato formato da alternanze di litotipi stratificato (ALS) affiorante nelle fascia a quote topografiche più elevate ed in quella più bassa. Nelle restanti porzioni il substrato è ricoperto in parte da modesti spessori delle coltri di alterazione, CL, e per la gran parte da un fenomeno di frana di scorrimento quiescente (FRA\_Q) che ha coinvolto completamente le unità di copertura e la porzione più elevata del substrato; il corpo di frana con spessori di 10.00-15.00 m circa risulta con superfici di distacco con andamento irregolare e con concavità non troppo pronunciate.

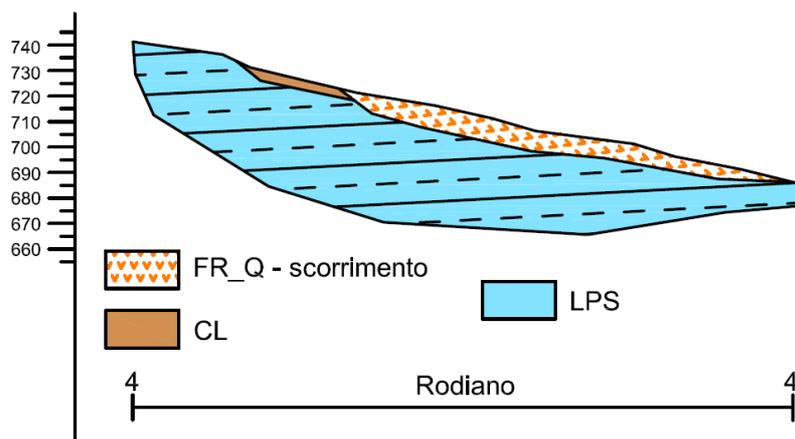


fig. 33 - Sezione geologico-tecnica 4-4' "Rodiano"

## Località Case Vernesi

### Sezione 5-5' "Case Vernesi"

Il nucleo abitato si sviluppa in corrispondenza della sommità di un rilievo delineato da substrato ALS formato da alternanze di litotipi stratificati, direttamente affioranti. In alcuni casi, marginalmente all'area urbanizzata il substrato è ricoperto da coltri eluvio-colluviale di spessore modesto.

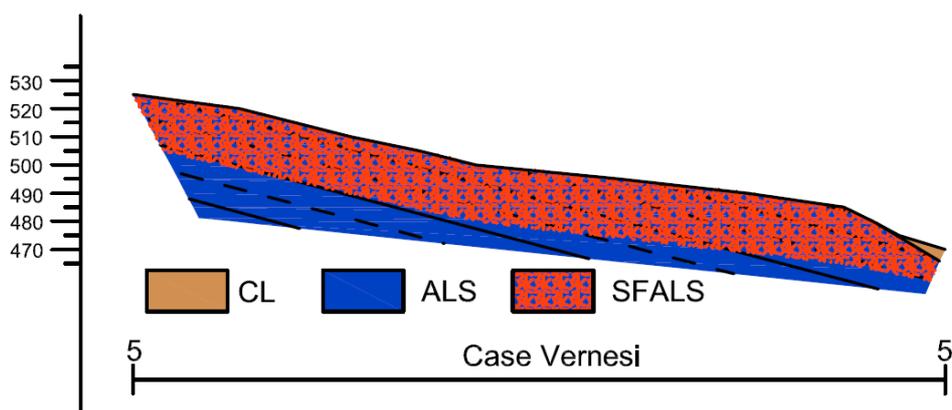


fig. 35 - Sezione geologico-tecnica 5-5' "Case Vernesi"

## Frazione Colvecchio; Bivio di Colvecchio; Piane di Colvecchio; Casette

### Sezione 6-6' "Casette"

Il nucleo abitato si sviluppa sulla sommità di un rilievo collinare formato da substrato ALS, direttamente affiorante. Il versante nord-ovest è investito da fenomeni di dissesto complessi (FRA-Q) quiescenti, la cui zona di testata lambisce l'area periferica urbanizzata.

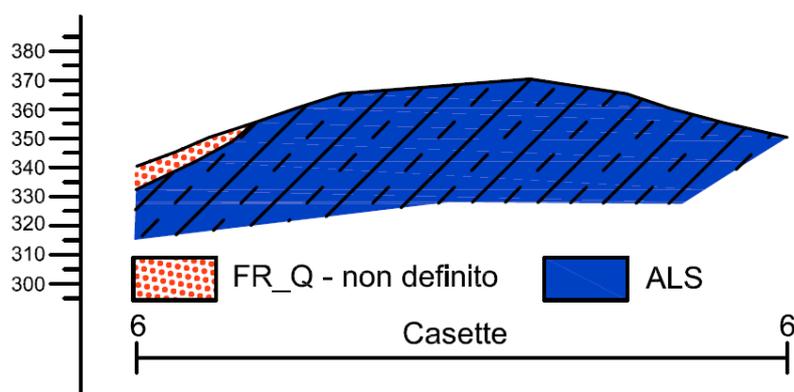


fig. 36 - Sezione geologico-tecnica 6-6' "Casette"

### Sezione 7-7' "Bivio Colvecchio"

Come rappresentato in sezione, l'assetto geologico-tecnico è caratterizzato da substrato ALS direttamente affiorante ai margini del nucleo abitato e ricoperto da coltri eluvio-colluviali (CL) nell'area urbanizzata che si sviluppa in un tratto sub-pianeggiante; gli spessori delle coltri risultano piuttosto costanti con potenza di 10.00-12.00 m.

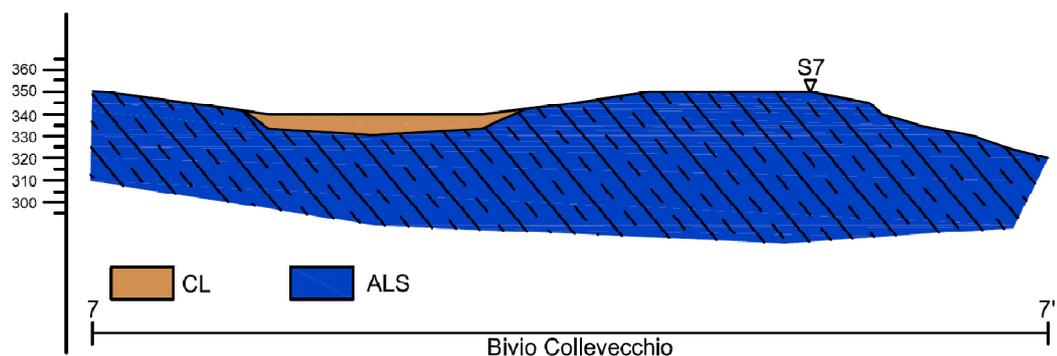


fig. 37 - Sezione geologico-tecnica 7-7' "Bivio Collevocchio"

Sezione 8-8' "Collevocchio paese"

La frazione si inserisce nel tratto sommitale di un rilievo collinare, con substrato direttamente affiorante formato da ALS alternanze di litotipi stratificati, con immersioni di circa 60° verso est.

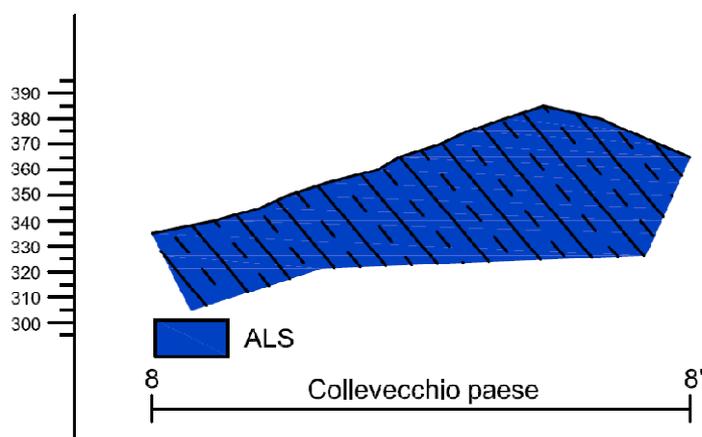


fig. 38 - Sezione geologico-tecnica 8-8' "Collevocchio paese"

Sezione 9-9' "Piane di Collevocchio"

La sezione evidenzia un tratto della piana del fiume Vomano, a valle del nucleo abitato di Castelvecchio.

L'assetto è marcato da depositi fluviali terrazzati (GM-tf) e depositi di coltre (CL) che ricoprono i termini di substrato ALS, stratificato con alternanze di litotipi. Gli spessori dei depositi che coprono il substrato risultano variabili da 5.00-8.00 m.

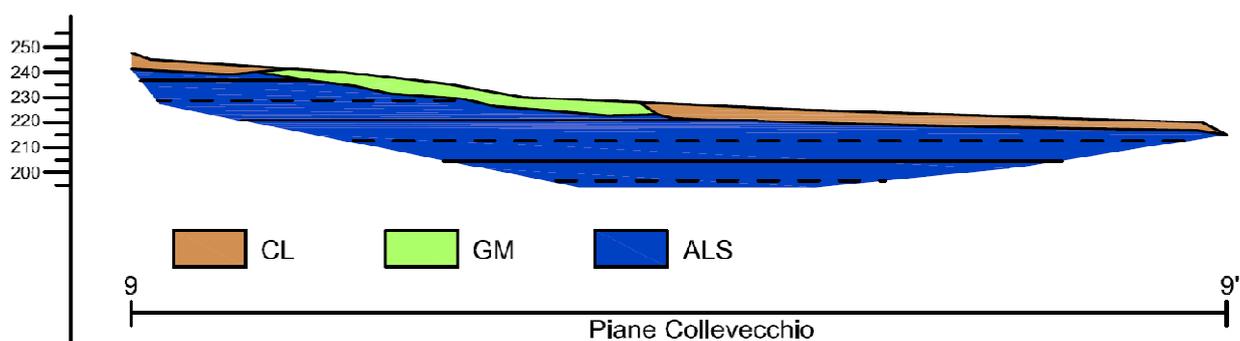


fig. 39 - Sezione geologico-tecnica 9-9' "Piane Collevocchio"

## Frazione Cusciano

### Sezione 10-10' "Cusciano"

L'assetto del sottosuolo è marcato da termini formati da alternanze di litotipi (ALS) ricoperti da un deposito di detrito di falda (GM-fd). Il substrato risulta con assetto a franapoggio rispetto al versante con inclinazione minore del pendio. Il deposito detrito, per la gran parte, e in particolar modo nell'area abitata risulta con geometria caratterizzata da spessori piuttosto costanti di circa 10.00-12.00 m che seguono l'andamento del versante. Nella fascia più a valle, a margine dell'area urbanizzata il deposito è coinvolto in un fenomeno di dissesto piuttosto esteso che investe tutto il tratto di versante a valle della frazione.

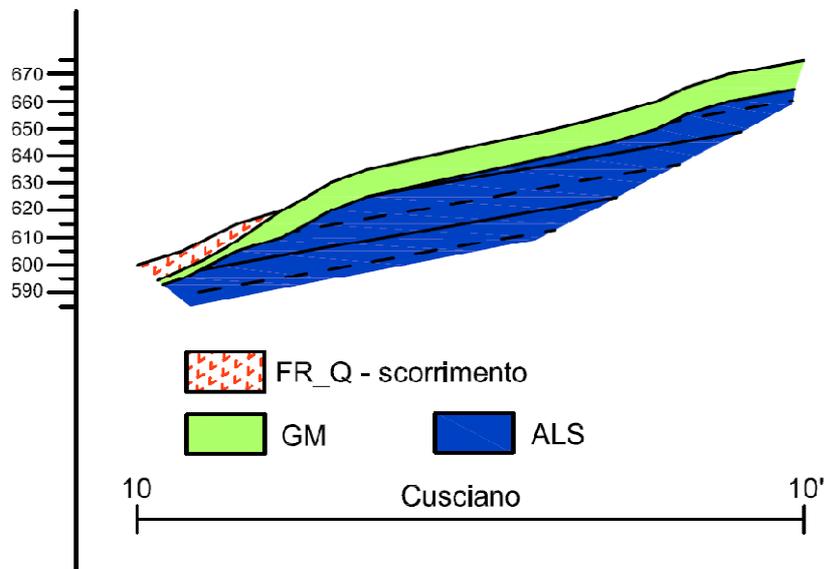


fig. 40 - Sezione geologico-tecnica 10-10' "Cusciano"

## Frazione Faiano - Colledonico

Le due frazioni, anche se poste a poca distanza, separate da una vallecchia di un fosso presentano una litologia di substrato analogo ma con assetto diverso legato alla presenza di coperture di alterazione e al grado di fratturazione dell'unità di substrato che si traduce in sollecitazioni sismiche diverse, tanto che il borgo di Faiano in coincidenza di terremoti si rilevano sempre danni ingenti alle strutture abitate, mentre nel nucleo di Colledonico i danni risultano lievi o comunque di gran lunga inferiori.

### Sezione 11-11 "Faiano"

La porzione abitata della frazione di Faiano segue lo sviluppo di una stretta area di crinale di un rilievo collinare. Il rilievo è delineato dalla formazione ALS (alternanze di litotipi stratificati) con immersione di circa 50-60° verso est che in superficie per i primi 30.00 m risulta con un maggior grado di fratturazione che frammenta la formazione di substrato. La fascia frammentata, sul lato occidentale della sommità del rilievo e del borgo risulta direttamente affiorante; mentre sul

lato opposto è ricoperto da coltre eluvio-colluviale (CL) che raggiunge anche i 10.00-15.00 m di spessore.

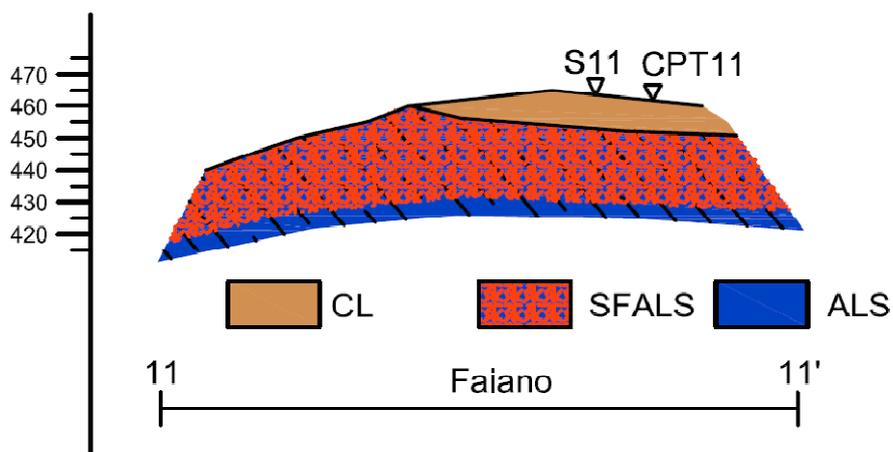


fig. 41 - Sezione geologico-tecnica 11-11' "Faiano"

Sezione 12-12' Colledonico

La frazione si sviluppa su un crinale in cui il substrato con alternanze di litotipi stratificato (ALS) risulta direttamente affiorante con immersioni di circa 60° verso est. Nella fascia sommitale del versante nord-ovest del rilievo alla cui sommità si sviluppa il nucleo abitato, si rileva un fenomeni di dissesto (FRA\_Q) per frana di scorrimento, quiescente, localizzata, la cui zona di testata risulta a debita distanza dalle case periferiche del borgo.

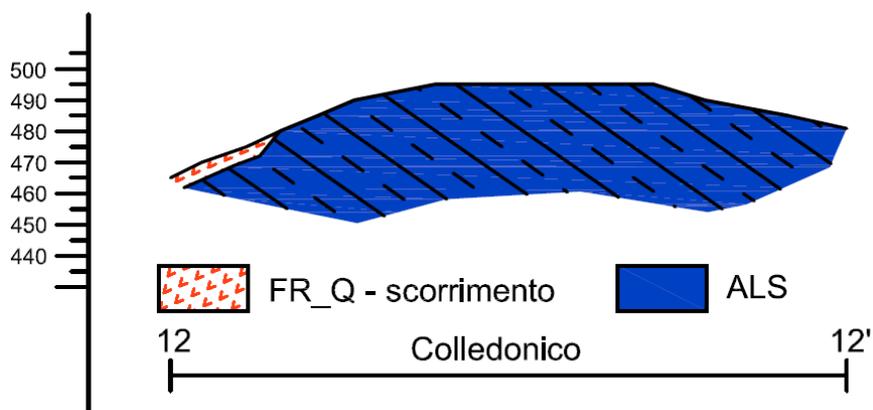


fig. 42 - Sezione geologico-tecnica 12-12' "Colledonico"

**Frazione Leognano**

La frazione si sviluppa su uno stretto crinale morfologico allungato all'incirca con direzione nordest-sudovest con la fascia sommitale formata da un deposito di terrazzo fluviale che ricopre la formazione di substrato.

Sezione 13-13' "Leognano"

La traccia della sezione risulta trasversale alla dorsale collinare, per rappresentare al meglio l'assetto del sottosuolo. Il substrato, direttamente affiorante a margine del nucleo abitato, è

rappresentato da alternanze pelitiche e pelitico-arenacee con immersione di circa 35-40° verso est; la stratificazione, rispetto ai versanti del rilievo collinare, risulta con assetto a reggipoggio sul versante nord-ovest e franapoggio rispetto ai pendii con esposizione a sud-est. Questi ultimi versanti sono interessati da dissesti con frane di scorrimento attive (FRA\_A) che, nella zona di testata, coinvolgono anche le abitazioni periferiche del borgo abitato. Nella stretta fascia di crinale, come già anticipato, il substrato è ricoperto da depositi di terrazzi fluviali a litologia ghiaiosa (GM-tf) con spessori di circa 30.00 m nella porzione più elevata del borgo (nucleo più antico) e si rastrema verso i margini della struttura morfologica.

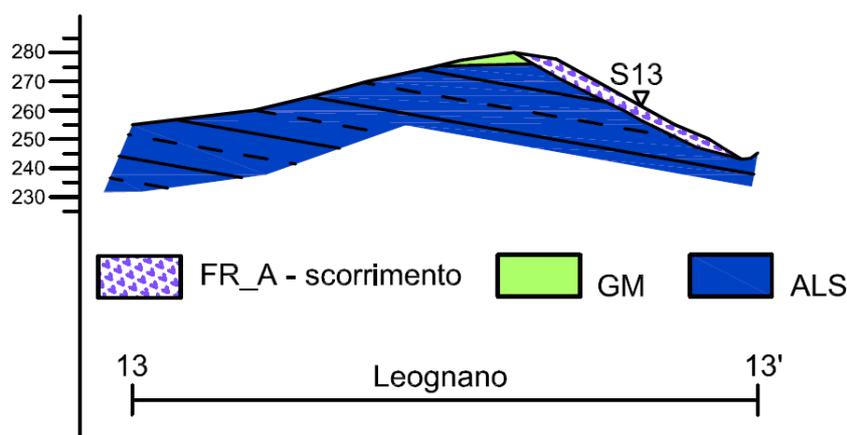


fig. 43 - Sezione geologico-tecnica 13-13' "Leognano"

### Montorio al Vomano, Capoluogo

#### Sezione 14-14' "Montorio (Madonna del Ponte)"

La sezione prende in esame il tratto occidentale dell'abitato, dove la piana del fiume Vomano risulta ancora costretta tra i versanti che delineano la sua valle. L'assetto del sottosuolo è marcato da substrato ALS formato da termini pelitico-arenacei direttamente affioranti ai margini della piana, e in corrispondenza dell'alveo attuale, incassato, al centro della piana. Nella piana sospesa il substrato è ricoperto da depositi di terrazzo, ghiaiosi (GM-tf), di spessore variabili da 3.00 a 7.00 m che si rastremano verso il fiume. Alla base dei versanti si rilevano depositi di coltre eluvio-colluviali di spessore modesto.

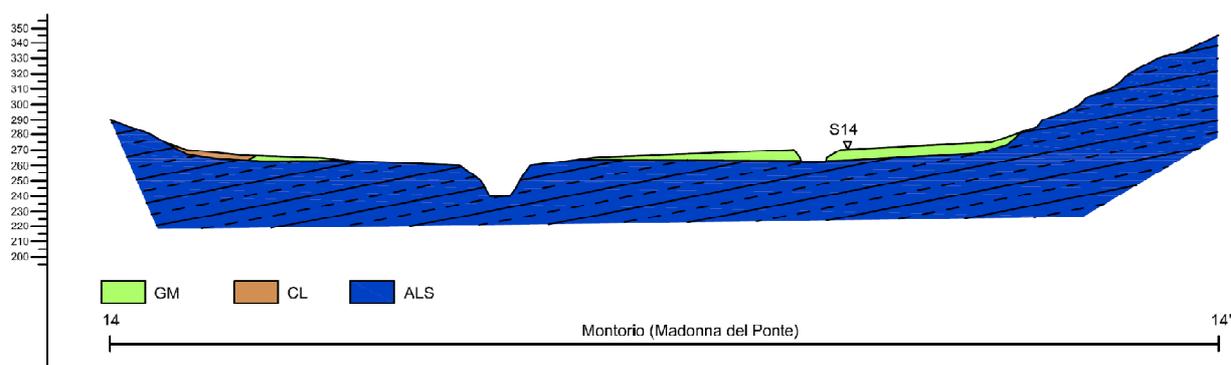
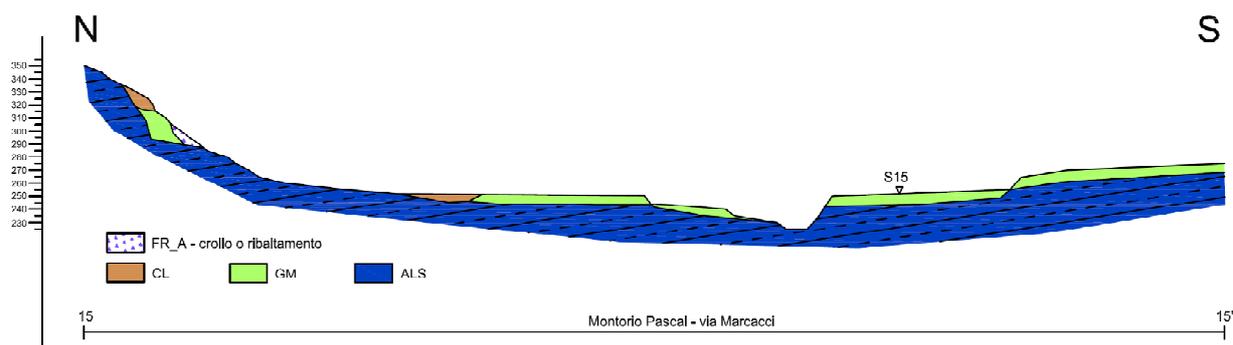


fig. 44 - Sezione geologico-tecnica 14-14' "Montorio (Madonna del Ponte)"

### Sezione 15-15' "Montorio Pascal - via Marcacci"

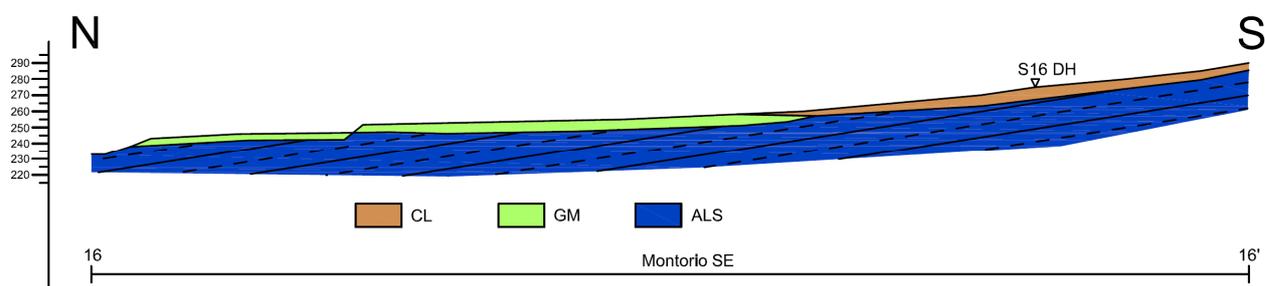
L'assetto geologico-tecnico rilevabile lungo la sezione rispecchia la gran parte urbanizzata del Capoluogo. Il substrato è rappresentato da termini pelitico-arenacee, affioranti lungo l'alveo attuale del fiume Vomano e sul margine sinistro della valle del fiume, ad eccezione di un modesto tratto in cui è ricoperto da un lembo di terrazzo fluvialesospeso, GM-tf, e da eluvio-colluvi, CL. Nella piana il substrato è sempre ricoperto da depositi di terrazzo (GM-tf) in cui si conservano le scarpate erosive che separano i diversi ordini dei terrazzi e solo raramente da depositi eluvio-colluviali CL). Gli spessori dei depositi risultano variabili da 5.00 a 7.00-8.00 m.



**fig. 45 - Sezione geologico-tecnica 15-15' "Montorio Pascal - via Marcacci"**

### Sezione 16-16' "Montorio sud-est"

La sezione rappresenta l'assetto del sottosuolo nella fascia di raccordo tra i versanti di destra idrografica del fiume Vomano e l'area della piana. In quest'ultima fascia territoriale il substrato ALS è sempre ricoperto da depositi di terrazzo fluviale (GM-tf), ghiaiosi, di spessore 5.00-7.00 m, e, il substrato affiora lungo l'alveo attuale dove il fiume incide direttamente le unità pelitico-arenacee. Alla base dei versanti il substrato è ricoperto da depositi di coltre eluviocolluviali con spessori variabili che raggiungono anche 15.00-17.00 m e, in prossimità al margine del fondo valle ricoprono anche i depositi di terrazzo.



**fig. 46 - Sezione geologico-tecnica 16-16' "Montorio sud-est"**

### Sezione 17-17' "Montorio piane"

La sezione si sviluppa prevalentemente in destra idrografica del fiume Vomano rappresentando l'area di piana terrazzata. L'assetto rilevabile lungo la sezione risulta analogo alla precedente con un aumento dei depositi di terrazzo verso l'alveo del fiume (spessori massimi 10.00-11.00 m) che delineano una inclinazione della discontinuità che marca il passaggio con il sottostante

substrato ALS con tipica inclinazione verso il corso d'acqua attuale; marginalmente alla piana, al piede dei versanti si rilevano sempre depositi di coltre eluvio-colluviali che ricoprono il substrato ed i depositi dei terrazzi.

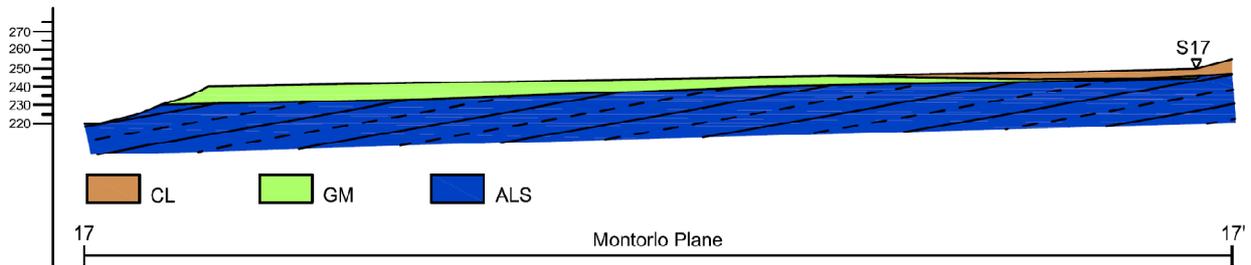


fig. 47 - Sezione geologico-tecnica 17-17' "Montorio plane"

### Frazione S. Lucia

La frazione è posta a nord-ovest rispetto al Capoluogo, e si sviluppa a mezza costa di un versante mediamente acclive.

#### Sezione 18-18' "S. Lucia"

L'assetto geologico-tecnico è caratterizzato esclusivamente dal substrato ALS formato da alternanze di litotipi stratificato, con immersione di circa 60° verso est che delinea un assetto a reggipoggio rispetto al pendio: L'unità di substrato risulta direttamente affiorante.

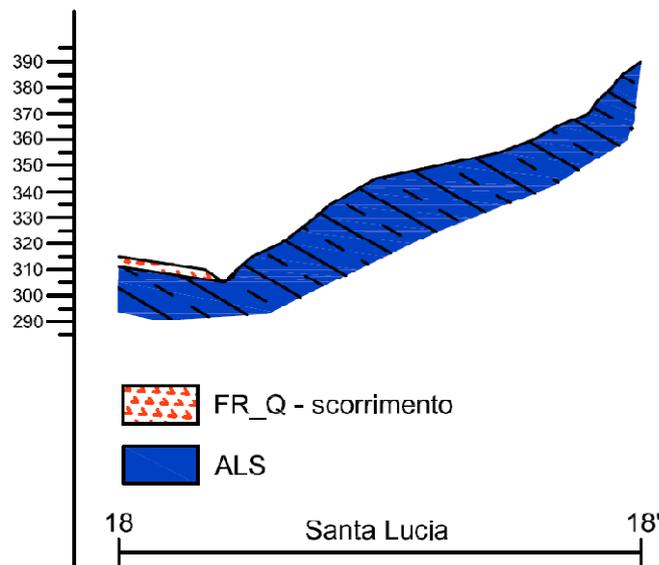


fig. 48 - Sezione geologico-tecnica 18-18' "S. Lucia"

### Frazione Schiaviano

#### Sezione 19-19' "Schiaviano"

La frazione si inserisce in un tratto di versante a debole pendenza delineato da substrato direttamente affiorante formati da ALS alternanze di litotipi stratificati, con immersioni di circa 50-60° verso est.

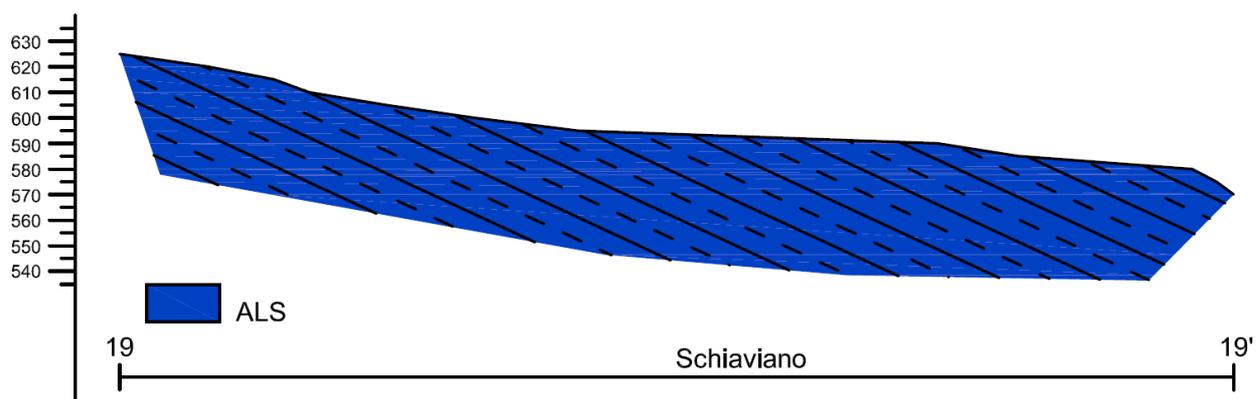


fig. 49 - Sezione geologico-tecnica 19-19' "Schiaviano"

### Località Villa Cassetti; Trinità

#### Sezione 20-20' "Trinità"

L'area si inserisce in corrispondenza del fondo valle del fiume Vomano a ridosso della fascia di raccordo con in versanti, in destra idrografica del fiume. L'assetto del sottosuolo è marcato da un substrato pelitico e pelitico-arenaceo stratificato ALS, sempre ricoperto da coltri di alterazione (CL) con spessori di 4.00-5.00 m e da depositi di terrazzo fluviale (GM-tf) a litologia prevalentemente ghiaiosa; i depositi di terrazzo presentano spessori che aumentano verso il fondo valle da 4.00-5.00 m a 10.00 m.

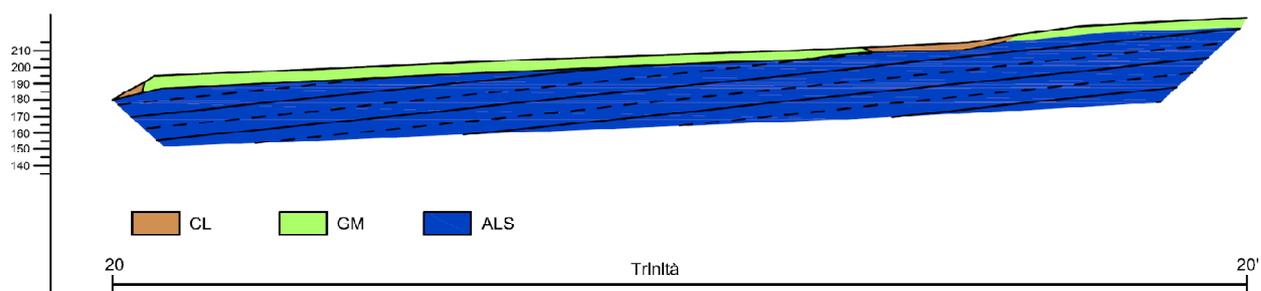


fig. 50 - Sezione geologico-tecnica 20-20' "Trinità"

#### Sezione 21-21' "Villa Cassetti"

L'area si inserisce nella fascia di raccordo tra il fondo valle del Vomano e i versanti di destra idrografica. L'assetto del sottosuolo è caratterizzato da substrato ALS con inclinazione di circa 60° verso est ricoperto da coltre eluvio-colluviale (CL) e depositi di terrazzo (GM-tf). Gli spessori dei depositi risultano piuttosto costanti variabili in un range di 5.00-8.00 m. Al piede dei versanti di rileva la porzione basale di fenomeni di dissesto di genesi complessa, quiescenti (FRA\_Q).

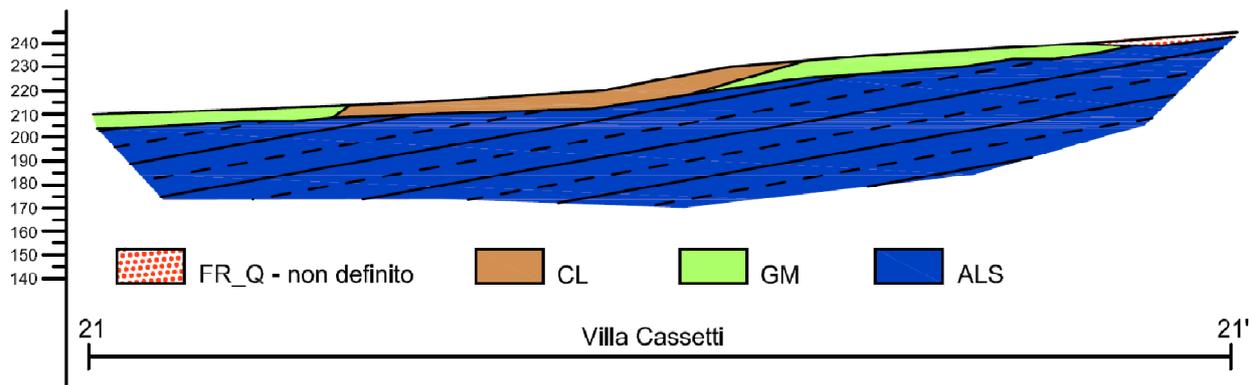


fig. 51 - Sezione geologico-tecnica 21-21' "Villa Cassetti"

### Località Villa Vannucci

#### Sezione 22-22' "Villa Vallucci"

Il nucleo abitato si inserisce su un versante in corrispondenza della fascia di separazione di due vallecole. L'assetto del sottosuolo è marcato da substrato ALS formato da alternanze di litotipi stratificati localmente fratturato e frammentato (SFALS) in particolar modo nei primi 20.00 m circa per la presenza di lineazioni tettoniche di modesto rigetto.

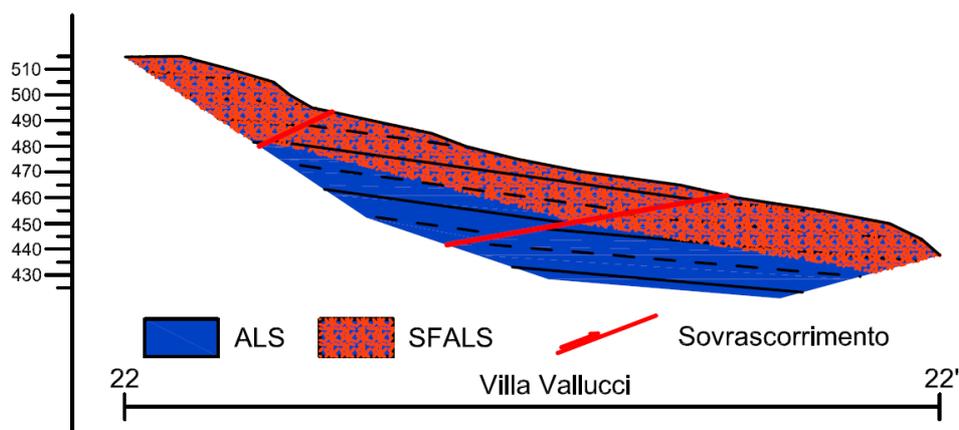
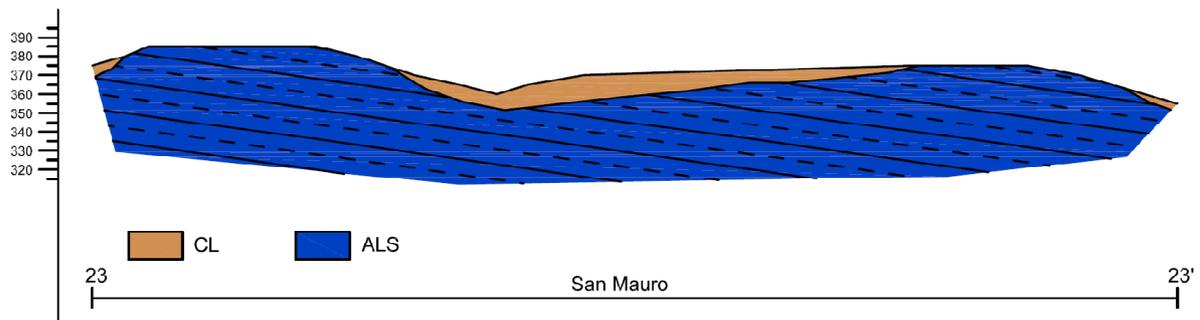


fig. 52 - Sezione geologico-tecnica 22-22' "Villa Vannucci"

### Frazione S. Mauro; Villa Brozzi

#### Sezione 23-23' "S. Mauro"

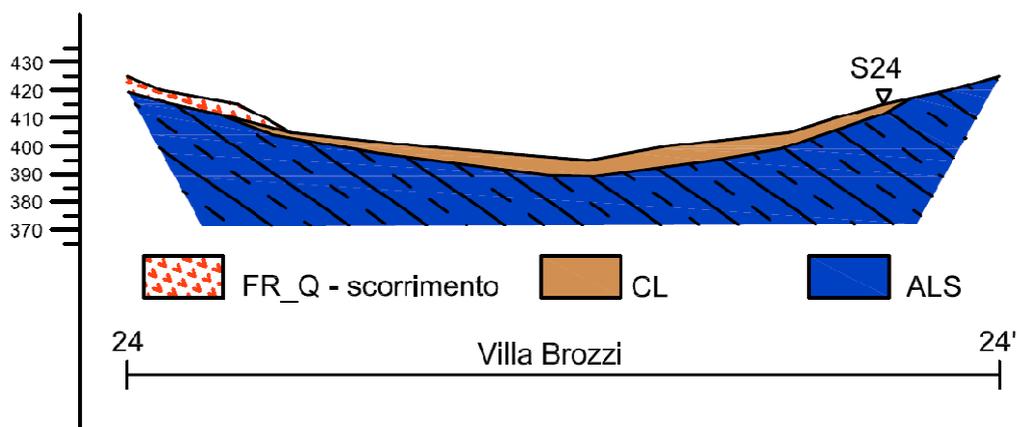
La frazione si sviluppa lungo due crinali morfologici adiacenti separati da una vallecola di un fosso. Il substrato dell'area è rappresentato da ALS con alternanze di litotipi stratificati, direttamente affiorante in corrispondenza delle aree sommitali dei rilievi e ricoperto da coltri eluvio-colluviali a margine dell'aree di crinali. Lo spessore delle coltri risultano variabili da 4.00 a 10.00 m circa.



**fig. 53 - Sezione geologico-tecnica 23-23' "S. Mauro"**

Sezione 24-24' "Villa Brozzi"

Il nucleo abitato si sviluppa lungo una stretta area subpianeggiante delimitata da versanti mediamente acclivi. L'assetto geologico-tecnico è formato da substrato ALS ricoperto da depositi di coltre eluvio-colluviale (CL) di spessore di circa 3.00-5.00 m. Nel lato nord-ovest l'area urbanizzata è lambita da un fenomeno di dissesto di frana di scorrimento con uno stato di quiescenza (FRA\_Q).



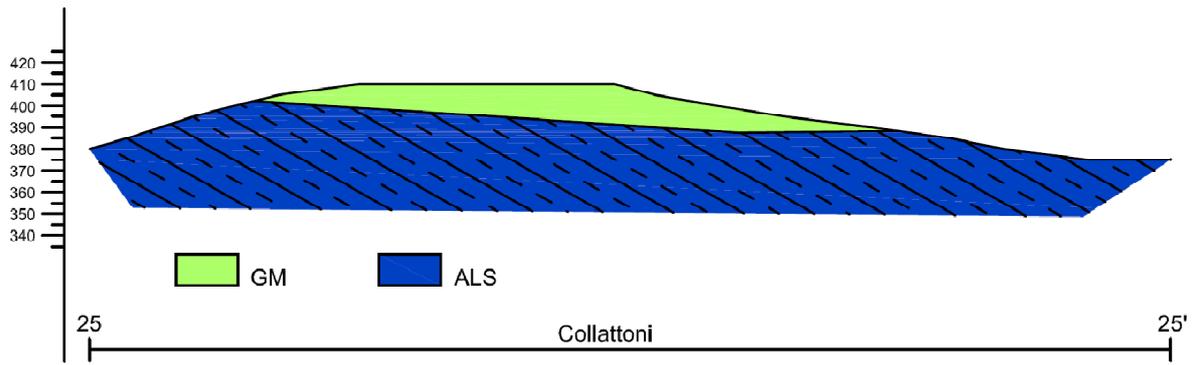
**fig. 54 - Sezione geologico-tecnica 24-24' "Villa Brozzi"**

**Frazione Collattoni**

La frazione è posta a sud-est del Capoluogo, alla sommità di un rilievo collinare.

Sezione 25-25' "Collattoni"

La traccia della sezione segue l'andamento ovest-est della sommità del rilievo collinare su cui si sviluppa il borgo. L'assetto geologico-tecnico del sottosuolo è marcato da i termini di substrato ALS stratificato con alternanze di litotipi, ricoperto sul top collinare da un lembo di un deposito di terrazzo fluviale sospeso. Il deposito con discontinuità debolmente inclinata verso est è formato da prevalenti litotipi ghiaiosi di spessore massimo 15.00-20.00 m, nel top collinare e si rastrema in direzione est e ovest. Il substrato risulta con immersioni di circa 60° verso est.



**fig. 55 - Sezione geologico-tecnica 25-25' "Collattoni"**

## 6. Interpretazioni e incertezze

Di seguito vengono indicate incertezze, rilevate nel corso dello studio, o aree in cui si necessita di studi più approfonditi.

In prima analisi si mette in evidenza alcune indeterminazioni per quanto riguarda la ricostruzione stratigrafica, ovvero la trasposizione dei limiti stratigrafici che, dal rilievo in campagna, non è stato possibile individuare con precisione, in quanto nella maggior parte dei casi obliterati dalla presenza di coperture eluvio-colluviali. Inoltre, questi ultimi presentano spessori a volte di incerta definizione perché non determinabili in maniera diretta e per assenza di sondaggi a carotaggio continuo; su tutto il territorio comunale sono stati reperiti pochi sondaggi a carotaggio continuo utili per la ricostruzione diretta della stratigrafia del sottosuolo. Le informazioni reperite sono risultate utili per la ricostruzione del modello del sottosuolo, tuttavia si fa rilevare che la maggior parte dei dati ricadono in corrispondenza dell'area urbana di Montorio al Vomano; nelle zone periferiche e nelle frazioni minori non è stata individuata nessuna indagine diretta.

Questa irregolare distribuzione delle indagini, consente di avere molte informazioni in area puntuali del capoluogo ma determina una bassa risoluzione delle informazioni del sottosuolo nelle aree periferiche e nelle frazioni.

In particolare le principali incertezze derivano dalla stratigrafia puntuale delle aree, se si escludono le registrazioni di microtremori, di indagini geofisiche soprattutto in alcune settori particolari, quali possono essere le zone di raccordo fra i rilievi e la pianura alluvionale sottostante, le aree storicamente antropizzate dove è alquanto improbabile che si facciano nuove costruzioni e quindi campagne geognostiche. Si pensa che almeno in quest'ultime aree e nelle altre antropizzate l'acquisizione di nuovi dati possa avvenire contestualmente all'avvio delle opere di ricostruzione. Data anche la difficoltà di accesso, sarebbe auspicabile accoppiare ai sondaggi geomeccanici, prospezioni sismiche a rifrazione.

Altre fonti di incertezza sono legate, alle scarse conoscenze sulle strutture sismogenetiche che possono interessare questo tratto di territorio collinare che registra valori di PGA piuttosto elevate in occasione di terremoti a distanze anche maggiori di 100 km.

Per quanto attiene a specifiche condizioni rilevate nel territorio indagato si segnala la necessità di approfondire il tema della risposta sismica delle coltri su versanti o dorsali collinari, come nel caso della Frazione di Faiano e Leognano, attraverso l'esecuzione di indagini tipo down hole.

## 7. Metodologie di elaborazione e risultati

### 7.1. Zone stabili suscettibili di amplificazione

#### 7.1.1. Scelta dell'input sismico (fornito dal CentroMS)

L'input sismico è stato fornito dal CentroMS e consiste in 7 accelerogrammi reperiti da cataloghi di eventi reali, selezionati in modo tale che lo spettro medio risultante sia compatibile con la pericolosità di base del comune di Montorio al Vomano. Nella figura seguente, fornita dal CentroMS, sono sintetizzati:

- **Target Spectrum.** I parametri dello spettro di riferimento;
- **Preliminary Record Search.** I parametri di sismicità utilizzati per la ricerca di eventi reali, generalmente desunti dalla disaggregazione dei dati di pericolosità sismica di base, consistenti in: categoria di sottosuolo della stazione accelerometrica, magnitudo minima e massima degli eventi da ricercare e distanza epicentrale minima e massima,
- **Analysis Options.** I periodi entro cui definire la spettro-compatibilità e la percentuale di tolleranza, inferiore e superiore, rispetto allo spettro di riferimento.

Nella stessa figura sono riportati graficamente gli spettri di risposta in accelerazione, con smorzamento al 5%, dei 7 eventi selezionati, il relativo spettro medio, lo spettro di riferimento e gli spettri delle tolleranze inferiore e superiore rispetto al riferimento.

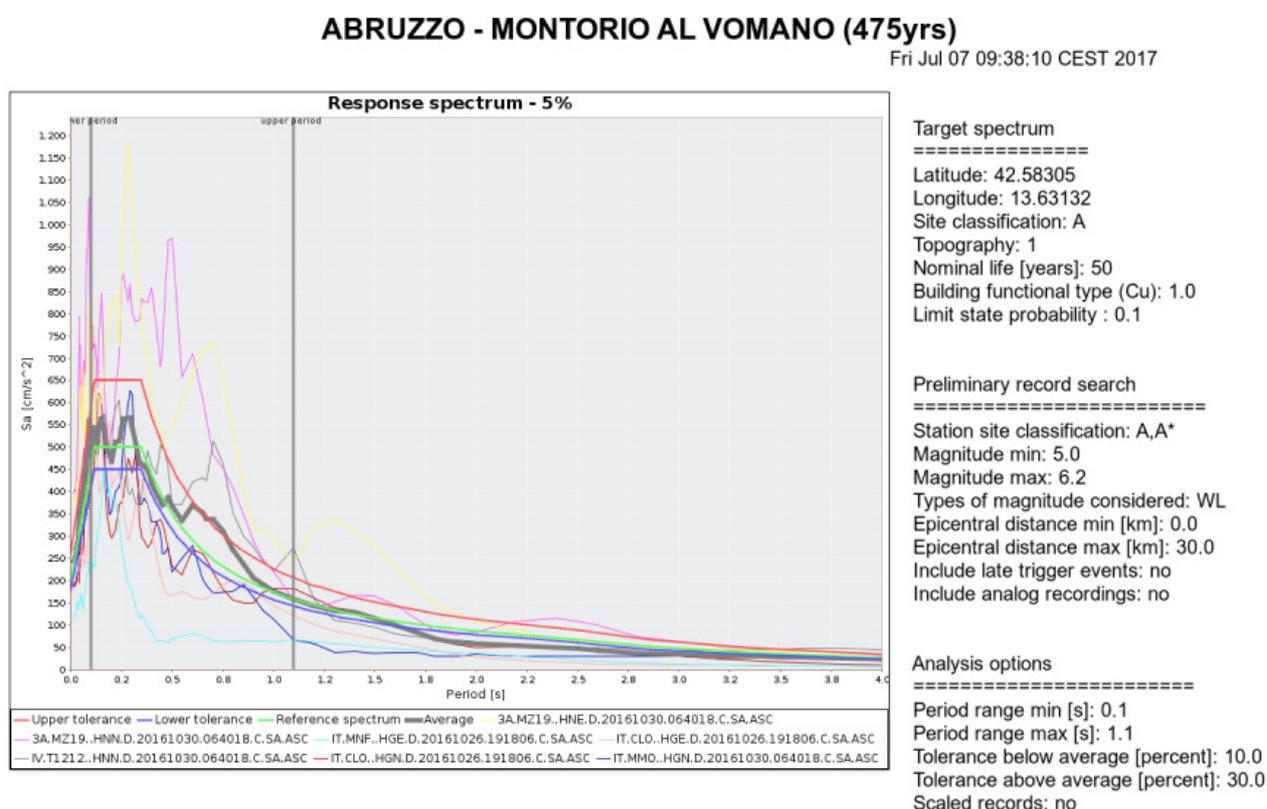
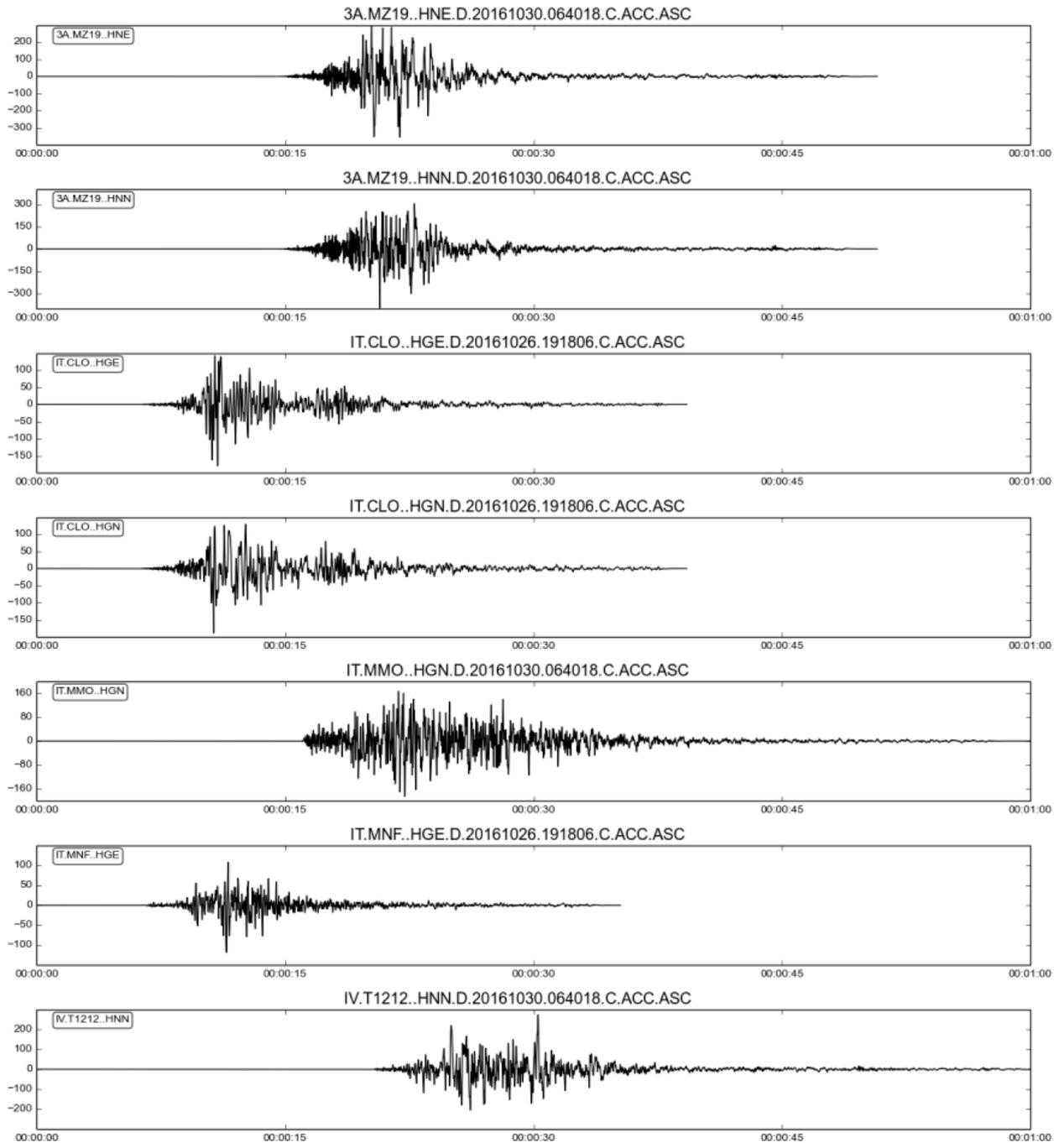


fig. 56 - Spettri di risposta. Fornita dal CentroMS

Nella figura seguente sono riportati graficamente le storie temporali (time history) dei 7 eventi selezionati



<b>ACCELEROGRAMMA: NOME FILE E CARATTERISTICHE EVENTO</b>	<b>PGA (g)</b>
<b>3A.MZ19..HNE.D.20161030.064018.C.ACC.ASC</b> EVENT_NAME: <b>CENTRAL_ITALY</b> EVENT_ID: EMSC-20161030_0000029 EVENT_DATE_YYYYMMDD: 20161030 EVENT_TIME_HHMMSS: 064018 EVENT_LATITUDE_DEGREE: 42.8322: EVENT_LONGITUDE_DEGREE: 13.1107 EVENT_DEPTH_KM: 9.2: HYPOCENTER_REFERENCE: INGV-CNT_Seismic_Bulletin MAGNITUDE_W: 6.5: MAGNITUDE_W_REFERENCE: INGV-webservice MAGNITUDE_L: 6.1: MAGNITUDE_L_REFERENCE: INGV-CNT_Seismic_Bulletin	<b>0,363</b>
<b>3A.MZ19..HNN.D.20161030.064018.C.ACC.ASC</b> EVENT_NAME: <b>CENTRAL_ITALY</b> EVENT_ID: EMSC-20161030_0000029 EVENT_DATE_YYYYMMDD: 20161030 EVENT_TIME_HHMMSS: 064018 EVENT_LATITUDE_DEGREE: 42.8322: EVENT_LONGITUDE_DEGREE: 13.1107 EVENT_DEPTH_KM: 9.2: HYPOCENTER_REFERENCE: INGV-CNT_Seismic_Bulletin MAGNITUDE_W: 6.5: MAGNITUDE_W_REFERENCE: INGV-webservice MAGNITUDE_L: 6.1: MAGNITUDE_L_REFERENCE: INGV-CNT_Seismic_Bulletin	<b>0,403</b>
<b>IT.CLO..HGE.D.20161026.191806.C.ACC.ASC</b> EVENT_NAME: <b>CENTRAL_ITALY</b> EVENT_ID: EMSC-20161026_0000095 EVENT_DATE_YYYYMMDD: 20161026 EVENT_TIME_HHMMSS: 191806 EVENT_LATITUDE_DEGREE: 42.9087: EVENT_LONGITUDE_DEGREE: 13.1288 EVENT_DEPTH_KM: 7.5: HYPOCENTER_REFERENCE: INGV-CNT_Seismic_Bulletin MAGNITUDE_W: 5.9: MAGNITUDE_W_REFERENCE: INGV-webservice MAGNITUDE_L: 5.9: MAGNITUDE_L_REFERENCE: INGV-CNT_Seismic_Bulletin	<b>0,184</b>
<b>IT.CLO..HGN.D.20161026.191806.C.ACC.ASC</b> EVENT_NAME: <b>CENTRAL_ITALY</b> EVENT_ID: EMSC-20161026_0000095 EVENT_DATE_YYYYMMDD: 20161026 EVENT_TIME_HHMMSS: 191806 EVENT_LATITUDE_DEGREE: 42.9087: EVENT_LONGITUDE_DEGREE: 13.1288 EVENT_DEPTH_KM: 7.5: HYPOCENTER_REFERENCE: INGV-CNT_Seismic_Bulletin MAGNITUDE_W: 5.9: MAGNITUDE_W_REFERENCE: INGV-webservice MAGNITUDE_L: 5.9: MAGNITUDE_L_REFERENCE: INGV-CNT_Seismic_Bulletin	<b>0,193</b>
<b>IT.MMO..HGN.D.20161030.064018.C.ACC.ASC</b> EVENT_NAME: <b>CENTRAL_ITALY</b> EVENT_ID: EMSC-20161030_0000029 EVENT_DATE_YYYYMMDD: 20161030 EVENT_TIME_HHMMSS: 064018 EVENT_LATITUDE_DEGREE: 42.8322: EVENT_LONGITUDE_DEGREE: 13.1107 EVENT_DEPTH_KM: 9.2: HYPOCENTER_REFERENCE: INGV-CNT_Seismic_Bulletin MAGNITUDE_W: 6.5: MAGNITUDE_W_REFERENCE: INGV-webservice MAGNITUDE_L: 6.1: MAGNITUDE_L_REFERENCE: INGV-CNT_Seismic_Bulletin	<b>0,189</b>
<b>IT.MNF..HGE.D.20161026.191806.C.ACC.ASC</b> EVENT_NAME: <b>CENTRAL_ITALY</b> EVENT_ID: EMSC-20161026_0000095 EVENT_DATE_YYYYMMDD: 20161026 EVENT_TIME_HHMMSS: 191806 EVENT_LATITUDE_DEGREE: 42.9087: EVENT_LONGITUDE_DEGREE: 13.1288 EVENT_DEPTH_KM: 7.5: HYPOCENTER_REFERENCE: INGV-CNT_Seismic_Bulletin MAGNITUDE_W: 5.9: MAGNITUDE_W_REFERENCE: INGV-webservice MAGNITUDE_L: 5.9: MAGNITUDE_L_REFERENCE: INGV-CNT_Seismic_Bulletin	<b>0,121</b>
<b>IV.T1212..HNN.D.20161030.064018.C.ACC.ASC</b> EVENT_NAME: <b>CENTRAL_ITALY</b> EVENT_ID: EMSC-20161030_0000029 EVENT_DATE_YYYYMMDD: 20161030 EVENT_TIME_HHMMSS: 064018 EVENT_LATITUDE_DEGREE: 42.8322: EVENT_LONGITUDE_DEGREE: 13.1107 EVENT_DEPTH_KM: 9.2: HYPOCENTER_REFERENCE: INGV-CNT_Seismic_Bulletin MAGNITUDE_W: 6.5: MAGNITUDE_W_REFERENCE: INGV-webservice MAGNITUDE_L: 6.1: MAGNITUDE_L_REFERENCE: INGV-CNT_Seismic_Bulletin	<b>0,279</b>

Tutte le registrazioni sono relative ad eventi della sequenza sismica che ha interessato l'Italia centrale, e sono comprese tra il 26 e il 30 ottobre del 2016. Nella tabella seguente sono sintetizzate le caratteristiche salienti dei 7 eventi. Nella stessa tabella è stata riportata, per ogni accelerogramma, l'accelerazione di picco (PGA); si noti che gli accelerogrammi non sono stati scalati alla pericolosità di base del territorio di Montorio al Vomano.

### **7.1.2. Simulazioni numeriche (fornito dal CentroMS per le simulazioni 2D)**

Il centro MS ha elaborato n.4 modellazioni numeriche bidimensionali in corrispondenza di altrettante tracce di sezioni la cui ubicazione è stata concordata con gli scriventi. I risultati sono esposti nell'allegato documento fornito dal centro MS. Per quanto attiene alla discussione sui risultati e all'integrazione tra modellazioni 1D e 2D si rimanda al capitolo 8.5 relativo alla carta di Microzonazione Sismica di livello 3.

### **7.1.3. Risultati**

Anche in questo caso si rimanda al capitolo 8.5 relativo alla carta di Microzonazione Sismica di livello 3.

## **7.2. Zone instabili**

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

Non sono presenti faglie ritenute attive e capaci.

### **7.2.2. Liquefazioni (LQ)**

Nell'ambito del presente studio non sono state richieste valutazioni in merito alla suscettibilità dei terreni alla liquefazione.

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

Nell'ambito del presente studio non sono state richieste valutazioni in merito a fenomeni di instabilità di versante sismoindotta.

## 8. Elaborati cartografici

### 8.1. Carta delle indagini (CI)

Nella carta delle indagini sono riportate la tipologia e ubicazione delle indagini geognostiche geotecniche e geofisiche eseguite utilizzando le simbologie indicate negli *Indirizzi e Criteri di Microzonazione sismica a cura delle Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile Versione 4.0\_b*.

Le indagini, in particolar modo le indagini geofisiche realizzate ex-novo sono state distribuite in tutte le aree individuate per la MZS. Per l'ubicazione dei sondaggi, nel quale prelevare campioni per prove di laboratorio e da attrezzare per la successiva esecuzione dell'indagine in foro Down-Hole, in accordo con il tavolo tecnico del centro MS, sono stati ubicati in punti in cui si sono investigati i sismostrati rappresentativi anche nelle ulteriori aree del territorio comunale.

Indagine	Tipologia	n.	Codice prova Ind.Crit.MS Ver4.0b
Geognostiche	Sondaggi	2	SS
Geotecniche in sito	Porve SPT	3	SPT
	Contenuto in acqua	2	SM - W
	Peso di volume	2	SM - PV
Geotecniche di laboratorio	Analisi granulometrica	2	SM - GH-SA-LM-AR
	Indici di plasticità	2	SM - IP
	Prova colonna risonante	2	CR
	Taglio torsionale ciclico	2	TTC
Geofisiche Lineari	Rifrazione	1	SR
	Masw	10	MASW
Geofisiche in foro	Prove down-hole	2	DH
Geofisiche puntuali	Sismica passiva	36	HVSR

tab. 15 - indagini ex-novo

### 8.2. Carta delle frequenze naturali dei terreni

La carta delle frequenze naturali è stata elaborata seguendo gli standard del DPC; complessivamente sono stati utilizzati 50 punti di indagine, tra indagini preesistenti e nuove indagini effettuate nell'ambito del presente studio e già descritte nel capitolo relativo alle indagini geofisiche.

Per ogni punto di indagine sono state valutate la curva H/V e la curva delle singole componenti spettrali, così da individuare i picchi chiaramente riconducibili a contrasti di impedenza sismica, anche alle basse frequenze in presenza di contrasti modesti. Rispetto a quest'ultimo punto si è prestata particolare attenzione all'individuazione di picchi di ampiezza modesta, spesso non chiaramente rilevabili dalla curva H/V, ma che fossero indicatori di contrasti profondi anche all'interno del bedrock geologico, in modo tale da individuare correttamente il bedrock sismico.

Nella tabella seguente sono indicati tutti i punti di indagine di rumore ambientale, identificabili con il relativo codice Ind\_Pu, e per ognuno di essi, la località, le quattro coppie di valori  $F_0-A_0$ ,  $F_1-A_1$ ,  $F_2-A_2$ ,  $F_3-A_3$  e la coppia di frequenza-ampiezza ritenuta di riferimento per il sito,  $F_R-A_R$ .

Codice Ind_Pu	Località	F0	A0	F1	A1	F2	A2	F3	A3	Fr	Ar
067028P69	Contr. Torrito	2,9	6,6	3,6	4,3	6,5	1,9			2,9	6,6
067028P1		8,5	4,5	13,1	5,2					8,5	4,5
067028P70	Via Enzo Ferrari	5,9	4,2	7,2	4,8	9,1	5,8	18,0	3,2	9,1	5,8
067028P71	Contr. Case Vernesi	4,2	4,0	13,0	1,9					4,2	4,0
067028P73	Contr. Leognano	2,5	3,0	3,3	3,3	16,0	1,8			3,3	3,3
067028P72	Contr. Case Vernesi	4,4	11,0							4,4	11,0
067028P74	Contr. San Lorenzo	4,0	3,6	7,2	3,2	11,0	3,0			4,0	3,6
067028P75	SS. del Gran Sasso	18,7	4,4							18,7	4,4
067028P8		18,4	5,0							18,4	5,0
067028P76	SS. del Gran Sasso	4,9	2,0	11,0	2,0					4,9	2,0
067028P77	Contr. S. MauroL	4,3	2,3	7,4	3,0	10,3	3,0			7,4	3,0
067028P78	Contr. Collevocchio	0,0								0,0	
067028P79	Via Torrito	4,3	5,2	5,5	5,0	16,0	1,9			4,3	5,2
067028P80	Contr. S. Mauro	3,8	3,4	4,6	3,8	6,2	3,7			4,6	3,8
067028P81	Contr. S. Mauro	6,2	6,3	10,0	4,0	17,0	2,2			6,2	6,3
067028P13		6,5	2,2	10,6	5,3					10,6	5,3
067028P82	Contr. Collevocchio cimitero	2,3	3,7	3,2	3,0	8,5	1,7			2,3	3,7
067028P14		6,9	9,0	11,0	2,6					6,8	9,0
067028P83	Contr. Leognano	3,6	3,7	15,0	2,0					3,6	3,7
067028P15		3,3	2,1	6,1	3,0					6,1	3,0
067028P84	Contr. Faiano	3,0	5,9	4,2	5,8	6,2	3,0			3,0	5,9
067028P16		3,1	3,3	4,5	2,8	16,0	2,0			3,1	3,3
067028P85	Via Quirino Celli	9,9	4,9							9,9	4,9
067028P86	Contr. Faiano	0,0								0,0	
067028P87	Contr. Faiano	7,6	4,6	19,9	8,0					7,6	4,6
067028P88	Contr. Colledonico	11,0	2,3	19,0	4,2					11,0	2,3
067028P89	Via Quirino Celli	9,0	2,0	17,2	3,0					17,2	3,0
067028P90	Via Enzo Ferrari	6,5	2,2	10,9	5,0	15,0	4,0			10,9	5,0
067028P91	Bocciofila	7,5	2,0	11,0	1,7	17,0	2,0			7,5	2,0
067028P23		5,0	4,2							5,0	4,2
067028P93	Via Beretra	0,0								0,0	
067028P94	Contr. Santa Giusta	8,8	6,7	11,0	5,5					8,8	6,7
067028P95	Zona artigianale	5,5	4,3	18,0	2,8					5,5	4,3
067028P28		4,0	2,2	8,8	4,5					8,8	4,5
067028P41		2,7	2,7	7,0	2,9					7,0	2,9
067028P45		0,0								0,0	
067028P49		3,0	3,0	9,0	2,5					3,0	3,0
067028P50		3,4	3,6							3,4	3,6
067028P51		5,5	2,1	13,0	2,5					5,5	2,1
067028P54		3,5	2,5	5,9	2,9					5,9	2,9
067028P55		6,0	2,0	11,7	5,3					11,7	5,3
067028P63	Contr. S. Pietro	7,0	5,5	9,5	3,3	19,5	2,7			7,0	5,5
067028P64	Str.com. Di Montorio	4,0	4,5	5,0	7,0	6,6	3,6			5,0	7,0
067028P65	Via Gramsci	7,8	7,5	16,0	1,7					7,8	7,5
067028P66	Scuola media	15,6	3,1							15,6	3,1
067028P67	Fornace	4,6	4,8	5,8	5,0					5,8	5,0
067028P68	Via Torrito	5,0	9,0	16,0	1,8					5,0	9,0
067028P96	Collevocchio	2,6	2,1							2,6	2,1
067028P97	S.S. del Gran Sasso	7,0	2,3							7,0	2,3
067028P98	Strada Provinciale 42	5,1	4,8	7,3	6,3					7,3	6,3

Nel territorio indagato il bedrock geologico è sempre piuttosto superficiale, essendo stato intercettato, o stimato, al massimo alla profondità di 17 metri nelle MOPS 2004 e 2013, e a circa 30 metri nella sola 2018, nella frazione di Leognano; nelle rimanenti zone esso si rinviene al di sotto di pochi metri di suoli/colluvi e/o depositi alluvionali.

Nonostante questo su 50 misure complessive 7 presentano valori di  $F_0 \leq 3\text{Hz}$  e ben 16  $F_0 \leq 4\text{Hz}$ ; con le Vs rilevate nel territorio in studio i picchi a queste frequenze stanno ad indicare contrasti a profondità dell'ordine dei 30-50 metri. Queste situazioni si rilevano con una certa costanza nella porzione orientale del territorio in studio, ossia in corrispondenza delle aree di affioramento del membro post-evaporitico della *formazione della Laga*; in tali contesti il bedrock geologico presenta velocità inferiori agli 800 m/s (generalmente intorno a 650 m/s o anche meno).

Le prove HVSR, e in particolare le osservazioni appena descritte, hanno fornito la principale motivazione alla distinzione tra formazione della LAGA pre e post-evaporitica in termini di risposta sismica locale, e, in funzione di questa scelta, alla definizione dei profili sismostratigrafici da utilizzare nelle verifiche monodimensionali.

Per quanto attiene alle caratteristiche generali del territorio indagato, si rileva che la massima concentrazione delle *frequenze di riferimento* e delle relative massime ampiezze si ha nel range 2-9 Hz (cfr. figura seguente), corrispondente ad un range di periodi compresi tra poco più di 0,1 e 0,5 secondi, ossia nel campo di prevalente interesse ingegneristico.

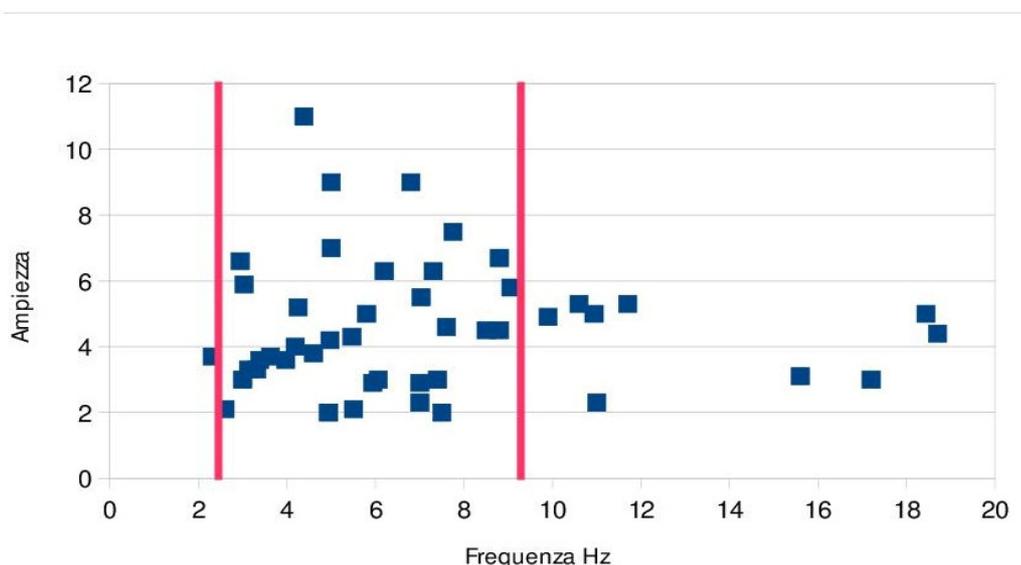


fig. 57 - Rappresentazione grafica della distribuzione delle frequenze e ampiezze di riferimento delle 50 misure HVSR analizzate

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

La Carta geologico-tecnica è stata elaborata in conformità alle indicazioni *Indirizzi e Criteri di Microzonazione sismica a cura delle Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile Versione 4.0\_b*.

Di seguito si riporta una schematizzazione delle unità distinte sulla base delle caratteristiche stratigrafiche, geotecniche e geofisiche.

#### Unità geologico-tecniche

Sigla e descrizione (Indirizzi Criteri MZS Ver 4.0_b)		Litostratigrafia di sintesi
<b>Terreni di copertura</b>		
RI	TERRENI CONTENENTI RESTI DI ATTIVITÀ ANTOPICA	Riparti formati da commistione caotica di limi argilloso-sabbiosi con clasti eterometrici e resti di laterizio
CL	ARGILLE INORGANICHE DI MEDIO-BASSA PLASTICITÀ, ARGILLE GHIAIOSE O SABBIOSE, ARGILLE LIMOSE	Ghiaie eterometriche con ciottoli e con limi sabbiosi e sabbie limose
GM-fd, dv, tf	GHIAIE LIMOSE, MISCELA DI GHIAIA, SABBIA E LIMO	Limi sabbiosi, a tratti limo argillose, con inclusioni clasti eterometrici di natura arenacea
<b>Substrato geologico</b>		
ALS	ALTERNANZA DI LITOTIPI, STRATIFICATO	Associazione pelitico-arenacea e arenaceo-pelitici in strati medi e sottili, marne argillose siltitiche e marne calcaree
SFAL	ALTERNANZA DI LITOTIPI FRATTURATO/ALTERATO	Associazione arenaceo-pelitici in strati medi e sottili, marne argillose siltitiche e marne calcaree fratturate
LPS	LAPIDEO STRATIFICATO	Strati spessi e amalgamati di gessareniti e bancate arenacee

**tab. 16 - unità geologico-tecniche**

Nella carta sono stati distinti anche le tipologie di instabilità come di seguito riportato.

sigla	tipologia	Stato di attività
FR_A - crollo o ribaltamento	Crollo, ribaltamento	Attiva
FRA_A - scorrimento	Scorrimento	Attiva
FRA_A - complessa	Complessa	Attiva
FRA_A - non definito	Non definita	Attiva
FR_Q - crollo o ribaltamento	Crollo, ribaltamento	Quiescente
FRA_Q - scorrimento	Scorrimento	Quiescente
FRA_Q - colata	Colata	Quiescente
FRA_Q- non definito	Non definito	Quiescente
FRA_I - scorrimento	scorrimento	Non attiva

**tab. 17 - tipologie di instabilità**



### Zona 1011

La zona è formata da substrato direttamente affiorante formato dall'unità litotecnica *LPS - Lapideo stratificato* con Vs 1100-1200m/s, formato da Associazione Strati spessi e amalgamati di gessareniti e bancate arenacee.



1011 - Substrato LPS, con **Vs 1100-1200 m/s** e riporti / colluvioni / alluvioni  $\leq 3$  m e pendenza  $< 15^\circ$

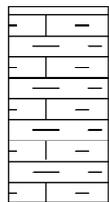


### Zona 2001

La zona è formata da substrato direttamente affiorante formato dall'unità litotecnica *ALS - Alternanza di litotipi, stratificato* con inclinazione  $> 15^\circ$ , Vs 800-1000 m/s.



2001 - Substrato ALS, con **Vs 800-1000 m/s** e riporti / colluvioni / alluvioni  $\leq 3$  m e pendenza  $> 15^\circ$



### Zona 2002

La zona è formata da substrato direttamente affiorante formato dall'unità litotecnica *LPS - Lapideo stratificato* con inclinazione  $> 15^\circ$ .



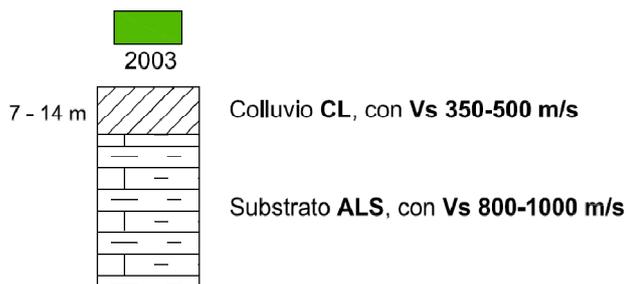
2002 - Substrato LPS, con **Vs 1100-1200 m/s** e riporti / colluvioni / alluvioni  $\leq 3$  m e pendenza  $> 15^\circ$



## **Zone stabili suscettibili di amplificazione**

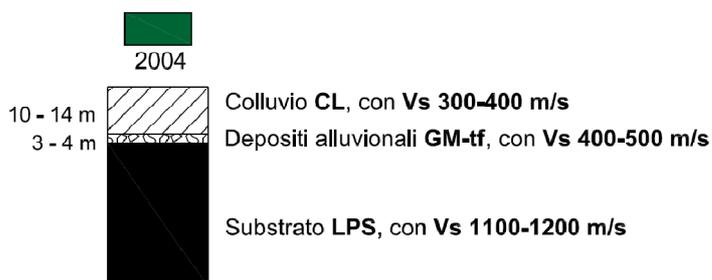
### Zona 2003

La zona è formata dall'unità CL - *Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose* a cui segue i termini del substrato ALS - *Alternanza di litotipi, stratificato*.



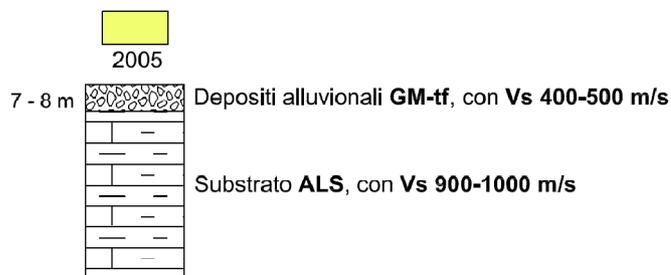
### Zona 2004

La zona è formata dall'unità CL - *Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose* a cui segue l'unità GM-tf - *Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo* dei terrazzi fluviali e i termini del substrato LPS - *Alternanza di litotipi, stratificato*.



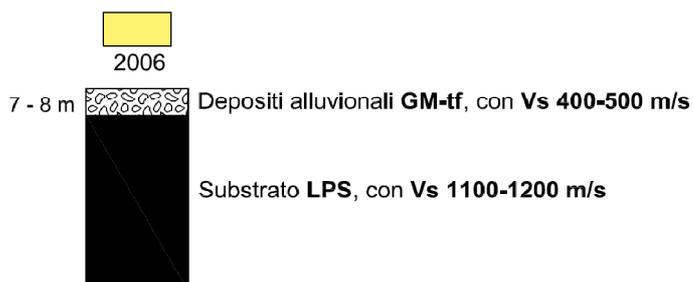
### Zona 2005

La zona è formata dall'unità di terrazzo, GM-tf - *Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo* e i termini del substrato ALS - *Alternanza di litotipi, stratificato*.



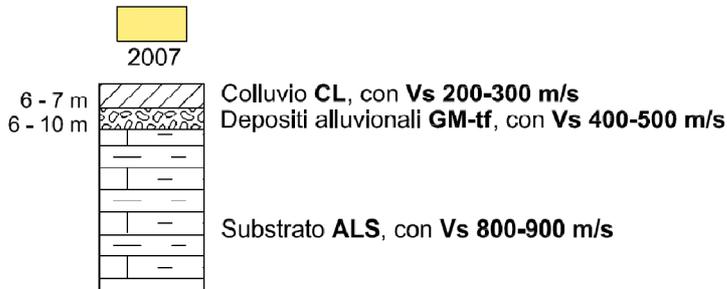
### Zona 2006

La zona è formata dall'unità di terrazzo, GM-tf - *Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo* e i termini del substrato LPS - *Alternanza di litotipi, stratificato*.



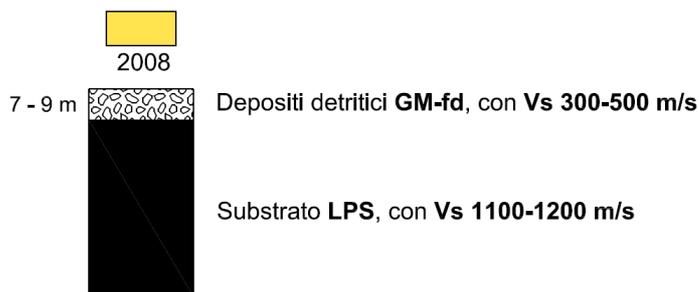
### Zona 2007

La zona è formata dall'unità CL - *Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose* a cui segue l'unità GM-tf - *Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo* dei terrazzi ei termini del substrato ALS - *Alternanza di litotipi, stratificato*.



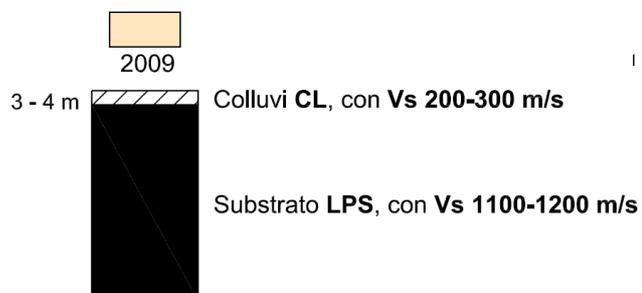
### Zona 2008

La zona è formata dall'unità di detrito di falda, GM-fd - *Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo* a cui seguono i termini del substrato LPS - *Alternanza di litotipi, stratificato*.



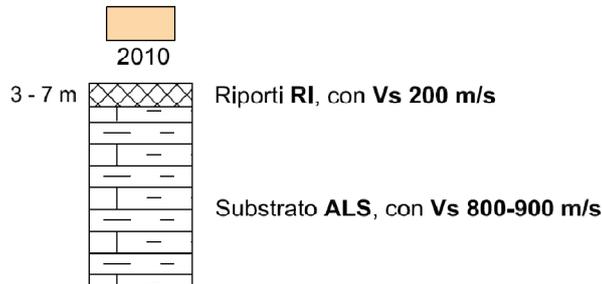
### Zona 2009

La zona è formata dall'unità CL - *Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose* a cui segue l'unità del substrato LPS - *Alternanza di litotipi, stratificato*.



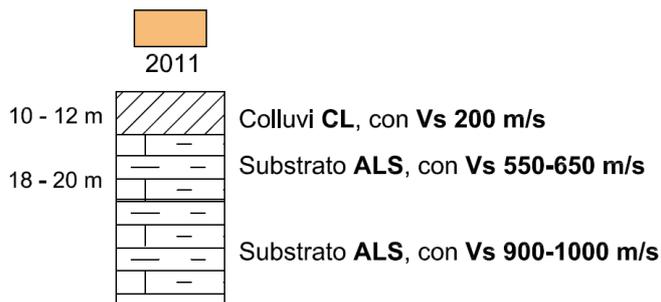
### Zona 2010

La zona è formata dall'unità di materiale di riporto RI - *Terreni contenenti resti di attività antropica* a cui segue i termini del substrato ALS - *Alternanza di litotipi, stratificato*.



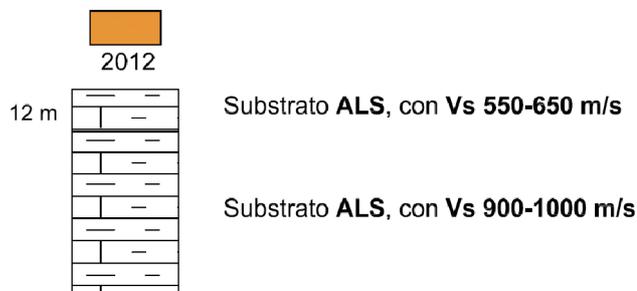
### Zona 2011

La zona è formata dall'unità CL - *Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose* a cui segue li termini del substrato ALS - *Alternanza di litotipi, stratificato*, a componente pelitica (Vs 550-650 m/s) e i termini ALS - *Alternanza di litotipi, stratificato*, pelitico arenaceo (Vs 900-1000 m/s).



### Zona 2012

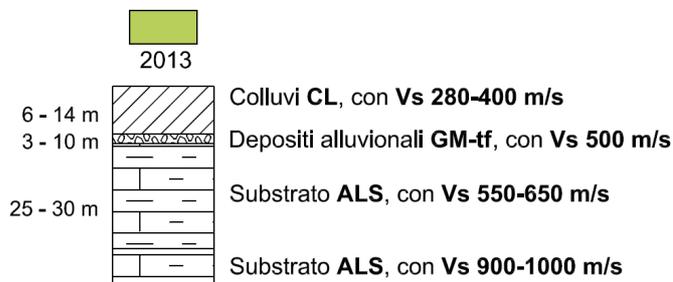
La zona è formata dai termini del substrato ALS - *Alternanza di litotipi, stratificato*, a componente pelitica (Vs 550-650 m/s) e i termini ALS - *Alternanza di litotipi, stratificato*, pelitico arenaceo (Vs 900-1000 m/s), come riportato nel quadro che segue.



### Zona 2013

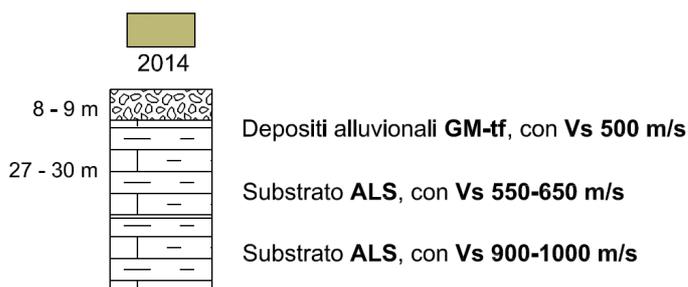
La zona è formata dall'unità CL - *Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose* a cui segue l'unità GM-tf - *Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e*

limo dei terrazzi, i termini del substrato ALS - *Alternanza di litotipi, stratificato*, a componente pelitica (Vs 550-650 m/s) e i termini ALS - *Alternanza di litotipi, stratificato*, pelitico arenaceo (Vs 900-1000 m/s).



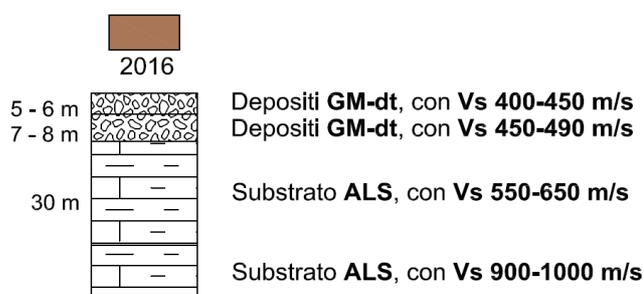
### Zona 2014

La zona è formata dall'unità GM-tf - *Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo dei terrazzi*, i termini del substrato ALS - *Alternanza di litotipi, stratificato*, a componente pelitica (Vs 550-650 m/s) e i termini ALS - *Alternanza di litotipi, stratificato*, pelitico arenaceo (Vs 900-1000 m/s).



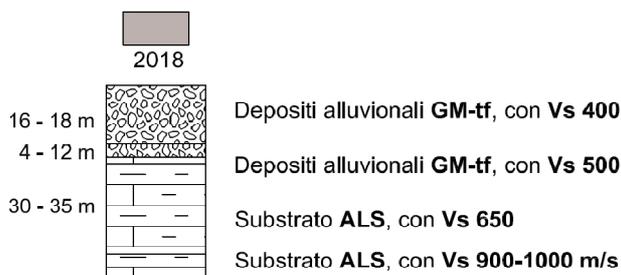
### Zona 2016

La zona è formata dall'unità GM-tf - *Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo di terrazzo*, meno addensato (Vs 400-450 m/s), a cui segue GM-tf - *Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo di terrazzo*, molto addensato (Vs 450-490 m/s), i termini del substrato ALS - *Alternanza di litotipi, stratificato*, a componente pelitica (Vs 550-650 m/s) e i termini ALS - *Alternanza di litotipi, stratificato*, pelitico arenaceo (Vs 900-1000 m/s).



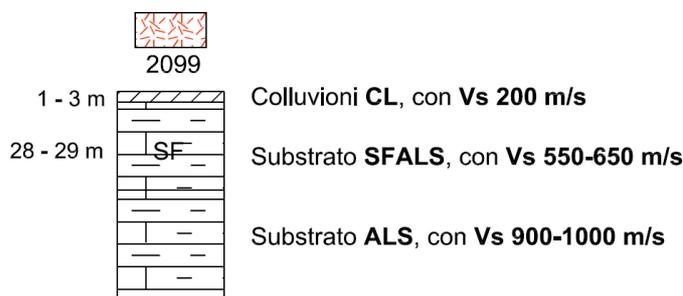
### Zona 2018

La zona è formata dall'unità GM-tf - *Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo* di terrazzo, meno addensato (Vs 400 m/s), a cui segue GM-tf - *Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo* di terrazzo, molto addensato (Vs 450-490 m/s), i termini del substrato ALS - *Alternanza di litotipi, stratificato*, a componente pelitica (Vs 550-650 m/s) e i termini ALS - *Alternanza di litotipi, stratificato*, pelitico arenaceo (Vs 900-1000 m/s).



### Zona 2099

La zona è formata dall'unità CL - *Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose*, a cui segue i termini del substrato SFALS - *alternanza di litotipi fratturato/alterato*, e i termini ALS - *Alternanza di litotipi, stratificato*.



### **Zone suscettibili di instabilità**

Tra le zone di attenzione di instabilità sono state ricomprese tutte le zone in frana individuate nella Carta Geologico-Tecnica, con stato attivo, quiescente ed inattivo, distinte per colori e per fenomeno di frana. La tipologia del dissesto non è indicata in questa carta per la cui definizione si rimanda alla consultazione della Carta Geologico-Tecnica.

La carta delle MOPS della MZS Liv.3 rispetto a quella realizzata nella MZS Liv. 1 risulta semplificata in quanto sono state ridotte le unità geologico-tecniche e i sismostrati raggruppando le unità con caratteristiche stratigrafiche, geotecniche e sismostratigrafiche simili.

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

La carta di Microzonazione sismica, in accordo con il disciplinare di affidamento di incarico, riguarda le aree individuate dall'Ente attuatore; per quanto attiene alle aree instabili è stato indicato di non effettuare le analisi in aree con classe di Rischio R3 e R4.

La carta sintetizza i risultati delle diverse modellazioni numeriche effettuate nel territorio di Montorio al Vomano, mono e bi-dimensionali, nella forma di fattori di amplificazione individuati per tre diversi intervalli di periodi.

Le modellazioni mono-dimensionali (1D) sono state elaborate dal nostro gruppo di lavoro, mentre le bi-dimensionali (2D) sono state elaborate dal Centro MS in corrispondenza di sezioni concordate tra gruppo di lavoro e Centro MS.

Per quanto riguarda le modellazioni 1D si è proceduto nel seguente modo:

- Elaborazione del modello geologico o, più correttamente, sismostratigrafico, sintetizzato nella carta delle MOPS, nella quale sono individuate le aree ritenute sufficientemente omogenee dal punto di vista della risposta sismica; per l'elaborazione della carta delle MOPS si utilizzano i risultati delle fasi precedenti di studio, a loro volta sintetizzate nella *carta delle frequenze naturali dei terreni*, nella *carta geologico-tecnica* e nelle *sezioni geologico-tecniche*.
- Caratterizzazione geotecnica e dinamica dei sismostrati individuati in ogni profilo rappresentativo, mediante l'attribuzione dei parametri:
  - Peso di volume;
  - Velocità delle onde di taglio;
  - Curve di variazione del modulo di *rigidezza al taglio* e dello *smorzamento* in funzione della *deformazione*.
- Acquisizione degli accelerogrammi da utilizzare come INPUT nelle modellazioni;
- Inserimento dei dati nel software *STRATA*<sup>1</sup>, che consente di effettuare analisi lineari-elastiche (EL) e lineari-equivalenti (EQL);
- Estrazione degli spettri di risposta elastici al 5% di smorzamento e da questi i fattori di amplificazione (FA) in tre range di periodi, 0,1-0,5 s, 0,4-0,8 s e 0,7-1,1s.

Complessivamente sono state elaborate 15 modellazioni numeriche mono-dimensionali, che insieme a 4 tipologie di aree di affioramento del substrato sismico, caratterizzabili dalla sola analisi topografica (inclinazione del piano campagna), coprono l'intero areale di studio.

---

<sup>1</sup> Technical **Manual** for **Strata**. Albert R. Kottke. Department of Civil, Architectural and Environmental Engineering. University of Texas, Austin. Ellen M. Rathje. Department of Civil, Architectural and Environmental Engineering. University of Texas ([https://nees.org/resources/1507/download/Strata\\_Manual.pdf](https://nees.org/resources/1507/download/Strata_Manual.pdf))

I profili elaborati hanno una numerazione non progressiva in quanto sono il risultato di diverse analisi che si sono succedute nel tempo, con modifiche, cancellazioni e sostituzioni nel corso del complesso iter che ha portato all'elaborazione del materiale finale che viene qui esposto.

Ogni profilo è caratteristico di una ben determinata MOPS, la cui stessa definizione, spesso diversa da quella del livello 1 originario, è il risultato di un continuo confronto tra profili, modellazioni numeriche, grafici HVSR e analisi geologiche.

Nelle tabelle e figure che seguono sono riportati, le curve utilizzate per le modellazioni, i tre Fattori di Amplificazione di ogni modellazione/MOPS e i profili delle diverse modellazioni numeriche 1D, nella forma degli *ScreenShot* della voce di menu *SoilProfile* di STRATA; per ogni MOPS è indicato anche il valore di  $V_{s,30}$  e la corrispondente *categoria di sottosuolo* (NTC 2008).

	Profilo	MOPS	FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1	Vs,30	Cat. Sott.
Aree stabili prive di effetti di amplificazione	/	1011	1	1	1	>800	A
	/	1041	1	1	1	>800	A
Aree stabili con effetti di amplificazione	/	2001	1,2	1,2	1,2	>800	A
	/	2002	1,2	1,2	1,2	>800	A
	n.2	2003	1,73	1,15	1,08	446	S2
	N.14	2004	1,93	1,22	1,11	508	S2
	n.3	2005	1,11	1,02	1,01	723	S2
	n.3A	2006	1,11	1,02	1,01	771	S2
	n.5	2007	1,8	1,12	1,06	507	E
	N.15	2010	1,14	1,02	1,01	705	S2
	n.8	2011	1,99	1,54	1,24	771	S2
	n.10	2012	1,4	1,18	1,09	413	B
	n.13	2013	1,9	1,4	1,19	465	B
	n.1	2014	1,39	1,15	1,07	557	B
	n.16	2016	1,58	1,23	1,12	552	B
	n.7	2018	1,91	1,61	1,31	393	B
n.12	2099	1,43	1,19	1,09	499	B	
Aree instabili	n.4	30322005	1,48	1,08	1,04	592	S2
	n.4A	30322001	1,22	1,03	1,02	675	S2

**Profilo n.2**  
**MOPS 2003**  
 $V_{s,30} = 446$  m/s  
 Cat. Sottosuolo S2

	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	5.00	Suoli_Colluvi	340.00
2	5.00	8.00	Suoli_Colluvi	400.00
3	13.00	3.00	Alluvioni ghiaiose poco addensate	500.00
4	16.00	Half-Space	Bedrock	1000.00

**Profilo n.14**  
*MOPS 2004*  
 $V_{s,30} = 508$  m/s  
 Cat. Sottosuolo S2

	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	3.20	Suoli/Riporti	280.00
2	3.20	3.00	Suoli_Colluvi	340.00
3	6.20	8.00	Suoli_Colluvi	400.00
4	14.20	3.00	Alluvioni ghiaiose poco addensate	500.00
5	17.20	Half-Space	Bedrock	1100.00

**Profilo n.3**  
*MOPS 2005*  
 $V_{s,30} = 723$  m/s  
 Cat. Sottosuolo S2

	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	3.00	Suoli_Colluvi	300.00
2	3.00	4.00	Alluvioni ghiaiose poco addensate	500.00
3	7.00	Half-Space	Bedrock	980.00

**Profilo n.3A**  
*MOPS 2006*  
 $V_{s,30} = 771$  m/s  
 Cat. Sottosuolo S2

	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	3.00	Suoli_Colluvi	300.00
2	3.00	4.00	Alluvioni ghiaiose poco addensate	500.00
3	7.00	Half-Space	Bedrock	1100.00

**Profilo n.5**  
*MOPS 2007*  
 $V_{s,30} = 507$  m/s  
 Cat. Sottosuolo E

	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	3.00	Suoli/Riporti	200.00
2	3.00	4.00	Suoli_Colluvi	290.00
3	7.00	6.00	Alluvioni ghiaiose poco addensate	520.00
4	13.00	Half-Space	Bedrock	900.00

**Profilo n.15**  
*MOPS 2010*  
 $V_{s,30} = 705$  m/s  
 Cat. Sottosuolo S2

	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	3.00	Suoli/Riporti	200.00
2	3.00	Half-Space	Bedrock	980.00

**Profilo n.8**  
*MOPS 2011*  
 $V_{s,30} = 771$  m/s  
 Cat. Sottosuolo S2

	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	12.00	Suoli_Colluvi	300.00
2	12.00	18.00	Formazione pelitica alterata	550.00
3	30.00	Half-Space	Bedrock	900.00

**Profilo n.10***MOPS 2012* $V_{s,30} = 413$  m/s  
Cat. Sottosuolo B

	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	2.00	Suoli_Colluvi	280.00
2	2.00	10.00	Formazione pelitica alterata	500.00
3	12.00	30.00	Formazione pelitica alterata	650.00
4	42.00	Half-Space	Bedrock	900.00

**Profilo n.13***MOPS 2013* $V_{s,30} = 465$  m/s  
Cat. Sottosuolo B

	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	3.20	Suoli/Riporti	280.00
2	3.20	3.00	Suoli_Colluvi	340.00
3	6.20	8.00	Suoli_Colluvi	400.00
4	14.20	3.00	Alluvioni ghiaiose poco addensate	500.00
5	17.20	30.00	Formazione pelitica alterata	650.00
6	47.20	Half-Space	Bedrock	900.00

**Profilo n.1***MOPS 2014* $V_{s,30} = 557$  m/s  
Cat. Sottosuolo B

	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	3.00	Suoli_Colluvi	300.00
2	3.00	5.00	Alluvioni ghiaiose poco addensate	500.00
3	8.00	30.00	Formazione pelitica alterata	650.00
4	38.00	Half-Space	Bedrock	900.00

**Profilo n.16***MOPS 2016* $V_{s,30} = 522$  m/s  
Cat. Sottosuolo B

	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	2.00	Suoli_Colluvi	300.00
2	2.00	6.00	Alluvioni ghiaiose poco addensate	430.00
3	8.00	6.00	Alluvioni ghiaiose poco addensate	490.00
4	14.00	30.00	Formazione pelitica alterata	650.00
5	44.00	Half-Space	Bedrock	900.00

**Profilo n.7**  
*MOPS 2018*  
 $V_{s,30} = 393$  m/s  
 Cat. Sottosuolo B

	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	3.00	Suoli_Colluvi	200.00
2	3.00	14.50	Alluvioni ghiaiose poco ad...	400.00
3	17.50	12.50	Alluvioni ghiaiose addensate	500.00
4	30.00	30.00	Formazione pelitica alterata	650.00
5	60.00	Half-Space	Bedrock	900.00

**Profilo n.12**  
*MOPS 2099*  
 $V_{s,30} = 499$  m/s  
 Cat. Sottosuolo B

	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	1.50	Suoli_Colluvi	180.00
2	1.50	32.00	Formazione pelitica alterata	550.00
3	33.50	Half-Space	Bedrock	900.00

**Profilo n.4**  
*MOPS 2005*  
 $V_{s,30} = 592$  m/s  
 Cat. Sottosuolo S2

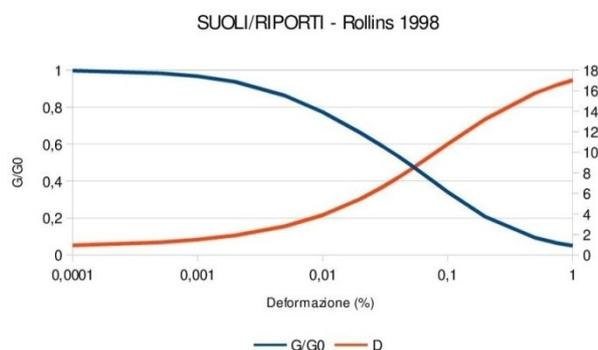
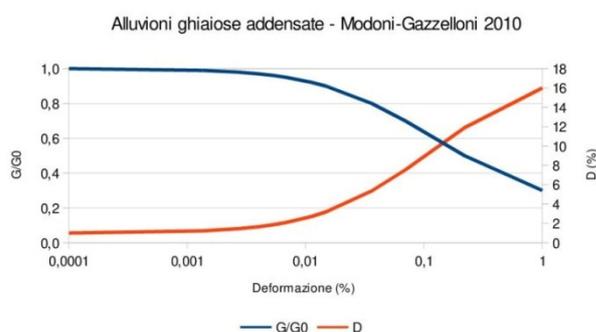
	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	8.00	Suoli/Riporti	400.00
2	8.00	7.00	Alluvioni ghiaiose poco addensate	500.00
3	15.00	Half-Space	Bedrock	900.00

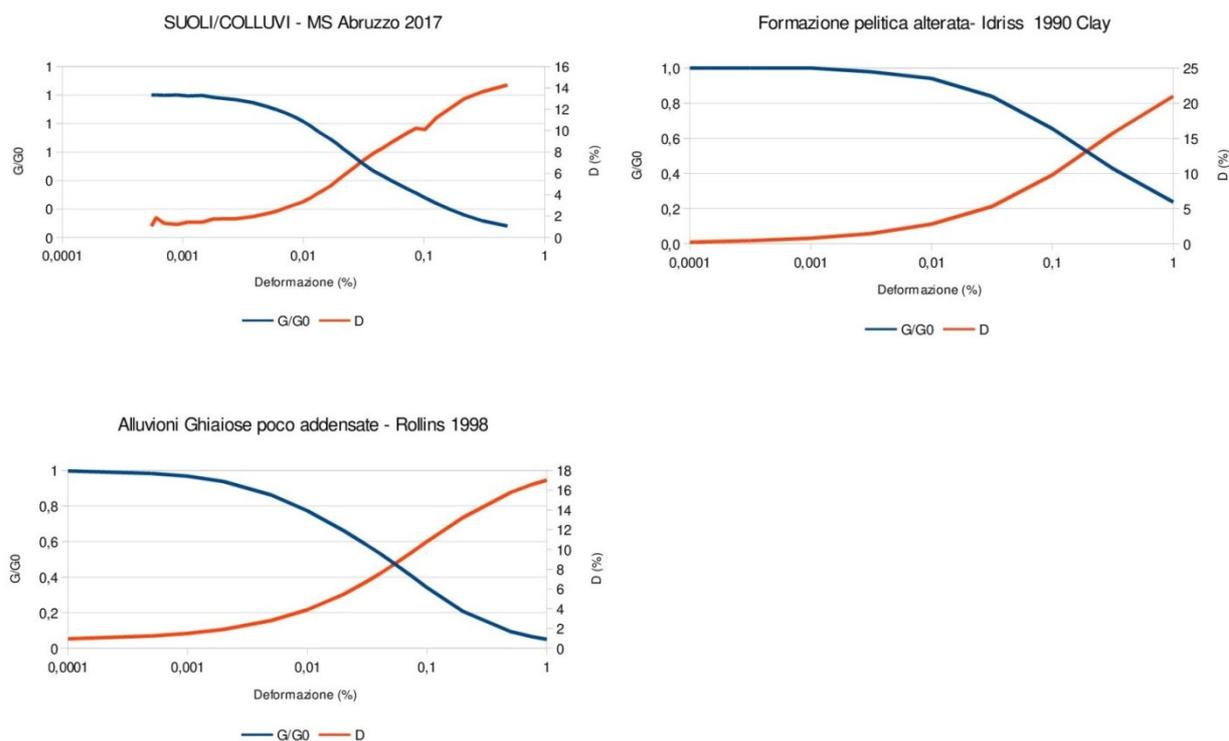
**Profilo n.4A**  
*MOPS 2001*  
 $V_{s,30} = 675$  m/s  
 Cat. Sottosuolo S2

	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	8.00	Suoli/Riporti	400.00
2	8.00	Half-Space	Bedrock	900.00

**fig. 58 - Fattori di Amplificazione di ogni modellazione/MOPS e i profili delle diverse modellazioni numeriche 1D**

Le curve utilizzate sono esposte nelle figure che seguono.





**fig. 59 - Curve di variazione del Modulo di Rigidezza al Taglio (G/G0) e dello Smorzamento (D) utilizzate per le modellazioni numeriche 1D**

Sulla scorta dei risultati appena esposti, in particolare la tabella che definisce il numero della modellazione, la MOPS di riferimento ed i corrispondenti valori di FA, è stata elaborata una preliminare carta di III livello; successivamente la consegna da parte del centro MS delle elaborazioni numeriche bidimensionali (2D) ha richiesto un attento confronto tra questi e la suddetta carta preliminare di microzonazione sismica di III livello.

Partiamo dall'analisi dei risultati delle analisi 2D. Le tracce delle sezioni studiate sono riportate nella figura seguente; si tratta di 3 sezioni trasversali all'andamento regionale di aste vallive e crinali (sezioni n.1, n.2 e n.4) e una longitudinale (sezione n.3).



**fig. 60 - Ubicazione sezioni 2D**

La caratterizzazione geologica e sismo-stratigrafica è stata fornita al centro MS dal nostro gruppo di lavoro e coincide con quanto utilizzato per le modellazioni monodimensionali. Nelle figure seguenti sono riportati le sezioni geologiche con l'indicazione delle MOPS e le principali caratteristiche delle unità geologico-tecniche intercettate.

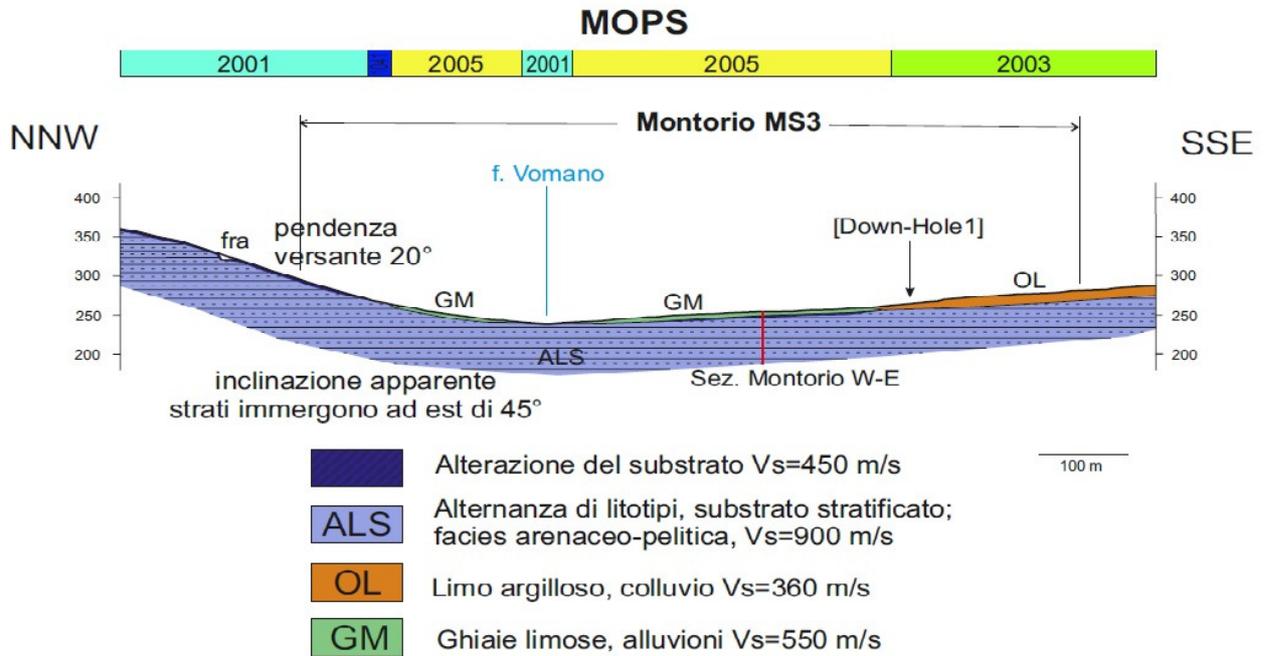


fig. 35 - Sezione 26-26'

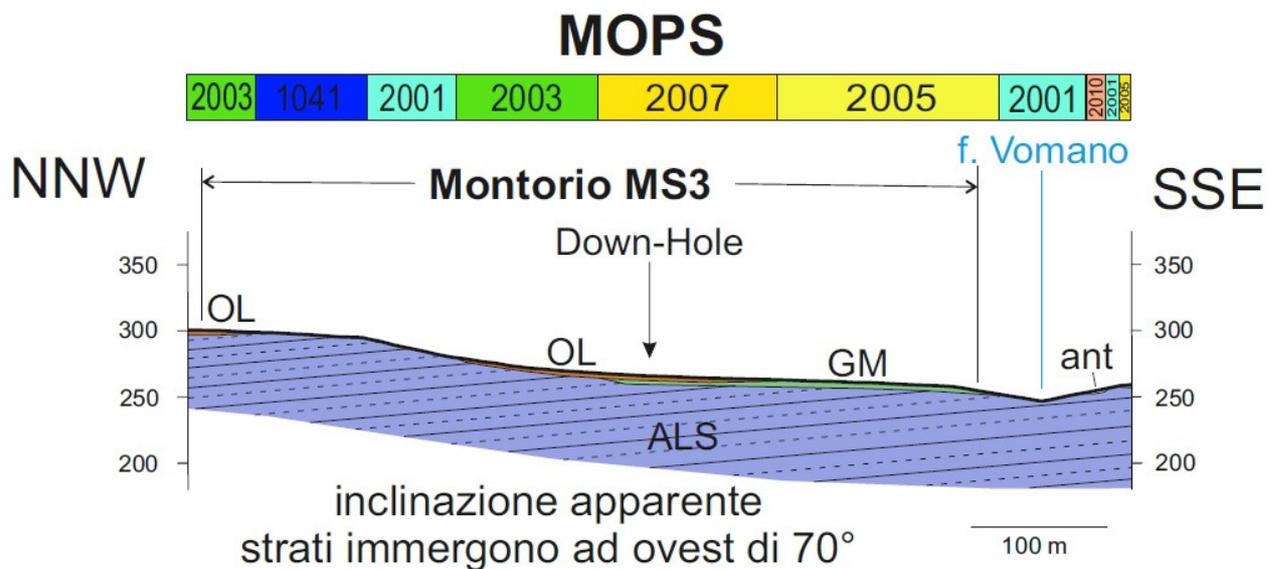


fig. 61 - Sezione 27-27'

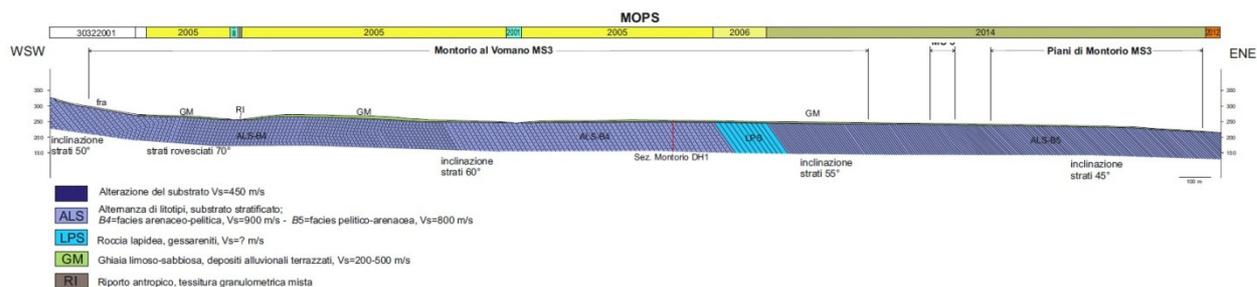


fig. 37 - Sezione 28-28'

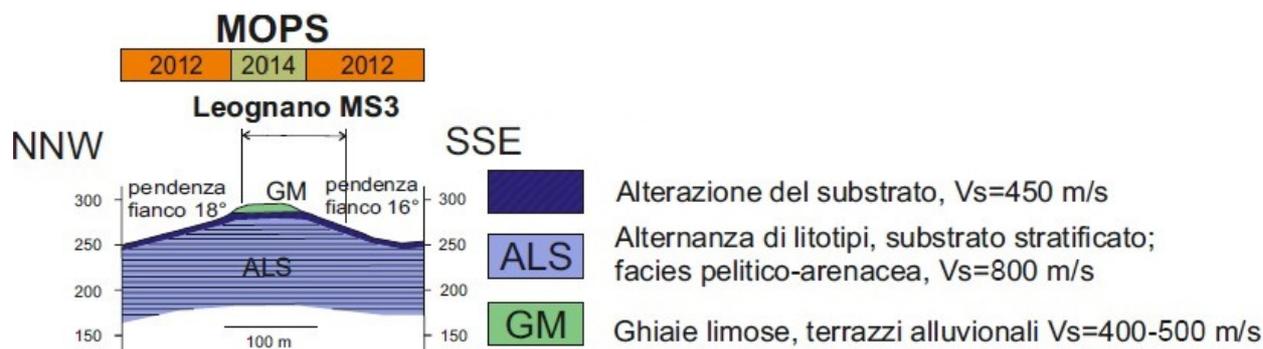


fig. 62 - Sezione 29-29'

Come valutazioni di carattere generale si è visto che le sezioni generalmente attraversano profili topografici sub-pianeggianti o poco acclivi, con le sole eccezioni della frazione di Leognano e dei tratti in sinistra idrografica delle due sezioni 26-26' e 27-27'; nelle zone sub-pianeggianti o a modesta acclività si è preferito dare maggiore credito ai risultati della modellazione monodimensionale in quanto nei modelli 2D le condizioni al contorno, o altre caratteristiche della rappresentazione geometrica della sezione, possono indurre fenomeni poco realistici; è ad esempio il caso del crescere dei FA al crescere dei range di periodi nel tratto settentrionale sub-pianeggiante della sezione 27-27'. In corrispondenza di effetti 2D significativi e oggettivamente attribuibili alla topografia si è dato il giusto peso ai risultati delle modellazioni bidimensionali, come, ad esempio, nel caso del tratto meridionale della sezione 26-26'; quest'ultimo caso è forse quello di maggiore concordanza tra risultati delle indagini, in particolar modo HVSR e profili di Vs ottenuti da Down-Hole, modellazione 1D, modellazione 2D e confronto con i danni realmente verificatisi a seguito degli eventi sia del sisma aquilano del 2009, sia della recente sequenza sismica 2016-2017.

Per quanto attiene agli effetti degli spessori di ordine metrico di coltri di alterazione, presenti un po' ovunque a copertura delle zone nelle quali è individuato il substrato affiorante o sub-affiorante (coltri di spessore inferiore a 3 metri), si è ritenuto, confortati in questo soprattutto dai grafici HVSR, di mantenere la classificazione di aree stabili prive di effetti di amplificazione laddove il profilo topografico è sub-pianeggiante o comunque presenta inclinazione minore di 15°.

In sintesi, l'integrazione tra modellazioni numeriche 1D, dettagliatamente esposte nella prima parte del presente paragrafo, e 2D, ha portato modifiche unicamente in corrispondenza della sezione 2D n.26, in particolare nell'intorno della prova DH n.1, ed ha interessato le MOPS n.2003 e 2004 che, solo in questa zona, sono state suddivise ognuna in 4 sottozone.

Nei database relativi agli shape file STAB e INSTAB del terzo livello, ogni area omogenea, caratterizzata da omogenei valori di FA nei tre range di interesse, è univocamente rappresentata da due valori, *Id\_z* e *Tipo\_z*. Nella maggioranza dei casi ad un *Id\_z* corrisponde un unico valore di *Tipo\_z*; le sole MOPS 2003 e 2004, come spiegato precedentemente, sono state suddivise in un certo numero di sottozone. Ad ogni valore *Id\_z* è associato il nome della cartella che contiene, all'interno della cartella principale *SPETTRI*, i sette file relativi agli spettri di Output per quella determinata zona.

Quanto appena descritto è sintetizzato nella tabella che segue, dove sono indicate le *Id\_z*, *Tipo\_z*, nome della cartella che contiene gli spettri e i tre FA.

<b>ID_z</b>	<b>Tipo_z</b>	<b>Nome cartella SPETTRI</b>	<b>Fha 01_05</b>	<b>Fha 04_08</b>	<b>Fha 07_11</b>
1	1041		1,00	1,00	1,00
2	2001		1,20	1,20	1,20
2	2001		1,20	1,20	1,20
3	2002		1,20	1,20	1,20
4	2003	<i>Montorio_al_Vomano_PSAO_04</i>	1,73	1,15	1,08
4	2004	<i>Montorio_al_Vomano_PSAO_04</i>	1,73	1,15	1,08
5	2003	<i>Montorio_al_Vomano_PSAO_05</i>	1,98	1,29	1,29
5	2004	<i>Montorio_al_Vomano_PSAO_05</i>	1,98	1,29	1,29
6	2003	<i>Montorio_al_Vomano_PSAO_06</i>	1,34	1,06	1,07
6	2004	<i>Montorio_al_Vomano_PSAO_06</i>	1,34	1,06	1,07
10	2005	<i>Montorio_al_Vomano_PSAO_10</i>	1,11	1,02	1,01
12	2006	<i>Montorio_al_Vomano_PSAO_12</i>	1,11	1,02	1,01
13	2007	<i>Montorio_al_Vomano_PSAO_13</i>	1,80	1,12	1,06
14	2010	<i>Montorio_al_Vomano_PSAO_14</i>	1,14	1,02	1,01
15	2011	<i>Montorio_al_Vomano_PSAO_15</i>	1,99	1,54	1,24
16	2012	<i>Montorio_al_Vomano_PSAO_16</i>	1,40	1,18	1,09
17	2013	<i>Montorio_al_Vomano_PSAO_17</i>	1,90	1,40	1,19
18	2014	<i>Montorio_al_Vomano_PSAO_18</i>	1,39	1,15	1,07
19	2016	<i>Montorio_al_Vomano_PSAO_19</i>	1,58	1,23	1,12
20	2018	<i>Montorio_al_Vomano_PSAO_20</i>	1,91	1,61	1,31
21	2099	<i>Montorio_al_Vomano_PSAO_21</i>	1,43	1,19	1,09
<b>i22</b>	30012001	<i>Montorio_al_Vomano_PSAO_i22</i>	1,22	1,03	1,02
<b>i23</b>	30012005	<i>Montorio_al_Vomano_PSAO_i23</i>	1,48	1,08	1,04

Con il prefisso *i* (i22 e i23) sono identificate le uniche due aree instabili nelle quali sono state effettuate le modellazioni 1D.

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

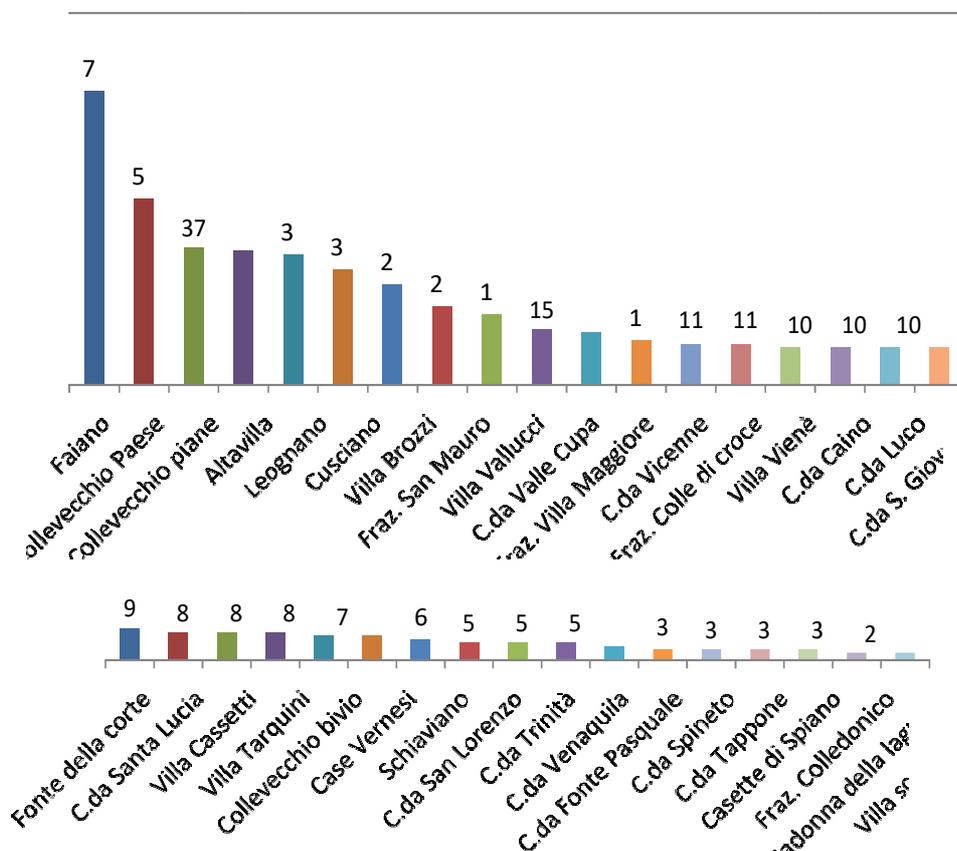
L'edificato del Comune di Montorio al Vomano in occasione delle sequenze sismiche registrate negli ultimi anni nel tratto appenninico centrale (area aquilana, anno 2009; Accumuli-Amatrice, anno 2016; Norcia, anno 2016; Montereale-Capitignano, anno 2017), se pur posto a distanza di 60-100 km dagli epicentri dei terremoti, ha subito notevoli danni al patrimonio edilizio.

In coincidenza della sequenza sismica che ha colpito l'area aquilana (2009) si sono registrati ingenti danni al territorio, tra cui si rimarca:

- gravi danni agli edifici residenziali che hanno indotto la Protezione Civile ad operarsi per trovare un alloggio alle 247 persone rimaste senza tetto realizzando n. 50 Moduli Abitativi Provvisori a Montorio Capoluogo e 6 nella frazione di Faiano;
- danni ad edifici prospicienti su aree pubbliche che hanno comportato la necessità di realizzare interventi di messa in sicurezza nel centro Capoluogo e nelle frazioni;
- la chiusura di alcune attività commerciali;
- danni a Palazzo Patrizi sede del CEDAP sito nel Centro Capoluogo;
- danni all'edilizia di culto – sono inagibili le chiese del Capoluogo (4 su 5) così come quelle delle frazioni di Cusciano, Collevecchio e Leognano;
- danni di modesta entità al patrimonio edilizio scolastico e all'edilizia residenziale pubblica di proprietà dell'ATER.

Sui fabbricati sono stati effettuati sopralluoghi per il rilievo dei danni su n. 948 edifici (schede AEDES) nel Capoluogo e nelle frazioni.

**Distribuzione Schede - tot. 948**



**fig. 63 - Distribuzione delle schede di rilevazione dei danni nelle frazioni di Montorio in seguito al terremoto dell'area aquilana del 2009**

In funzione dei danni rilevati vengono assegnate diverse classi di agibilità dei complessi edilizi:

- classe "A" - Edificio AGIBILE;
- classe "B" - Edificio TEMPORANEAMENTE INAGIBILE;
- classe "C" - Edificio PARZIALMENTE INAGIBILE;
- classe "D" - Edificio TEMPORANEAMENTE INAGIBILE;
- classe "E" - Edificio INAGIBILE;
- classe "F" - Edificio INAGIBILE per rischio esterno.

Di seguito vengono riportati i grafici inerenti gli esiti di agibilità delle schede AEDES a seguito dei sopralluoghi effettuati nei principali centri e frazioni del territorio comunale.

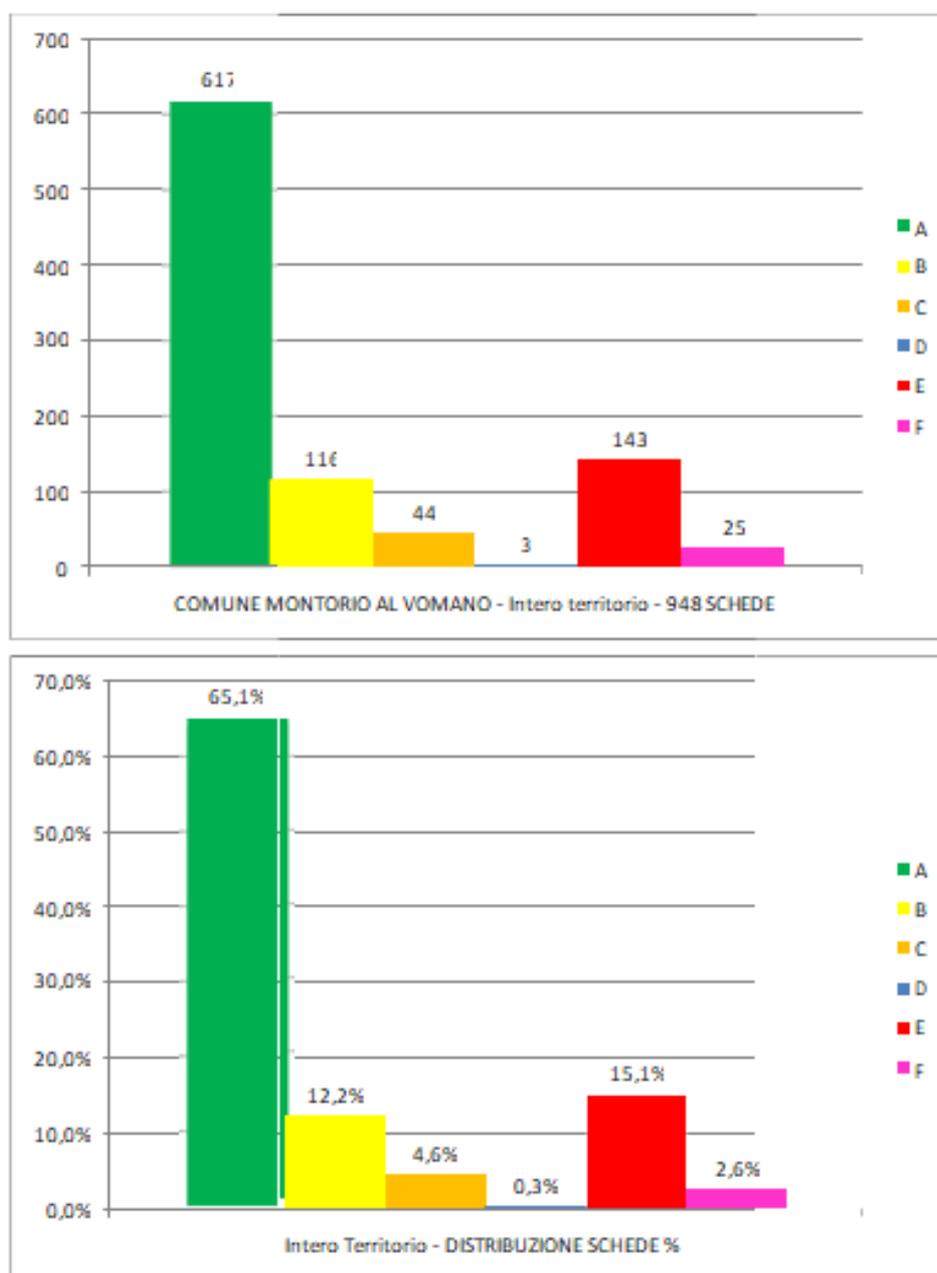


fig. 64 - Esiti di rilevazione danno desunti da schede AEDES rilevate da personale accreditato dalla Protezione Civile, in seguito al terremoto dell'area aquilana del 2009

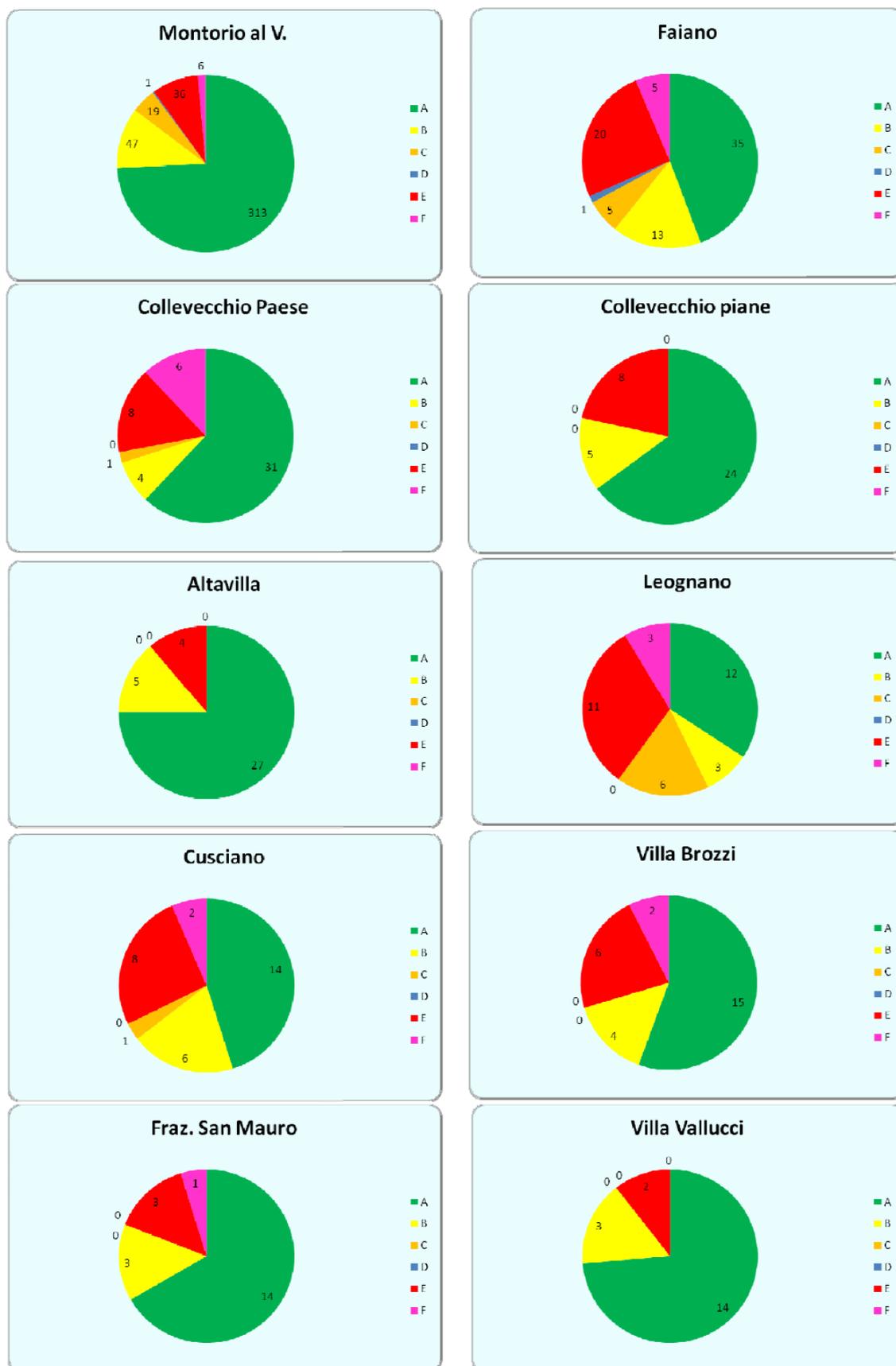


fig. 65 - grafici inerenti gli esiti di agibilità delle schede AEDES a seguito dei sopralluoghi effettuati nei principali centri e frazioni del territorio comunale in seguito al terremoto dell'area aquilana del 2009

Dai grafici sopra riportati si evince che la maggior parte degli edifici del Comune siano risultati agibili, ma nel complesso, considerata la distanza di Montorio dall'area epicentrale aquilana del terremoto del 2009, i fabbricati pubblici e privati risultati inagibili risultano con un numero piuttosto elevato. I maggiori danni si sono registrati nei centri storici dei nuclei, frazioni e nel Capoluogo.

I dati relativi alle sequenze sismiche più recenti che ha colpito il Centro Italia, 20016-2017, non sono ancora disponibili. Tuttavia, anche in questo caso si sono rilevate inagibilità di edifici con conseguente realizzazione di moduli abitativi provvisori. Dai sopralluoghi effettuati per la realizzazione dello studio di MZS Liv.3 si è rilevato che i danni agli edifici risultano piuttosto diffusi nelle aree urbanizzate e coinvolgono prevalentemente le abitazioni più antiche. La maggior concentrazione dei danni sui fabbricati si rilevano nelle frazioni di Faiano, Leognano, Cusciano San Mauro e nel centro storico del Capoluogo.

Nell'ambito delle frazioni gli edifici più antichi con la maggiore entità dei danni risultano realizzati in muratura in pietrame squadrato, ciottoli di fiume e malta povera, ma anche su fabbricati di recente edificazione anche se con danni più lievi ma che spesso hanno danneggiato la struttura dell'edificio con conseguente esito di inagibilità. Nell'ambito del Capoluogo i danni più estesi si sono rilevati nell'area del centro storico che si sviluppa lungo un rialzo morfologico noto come "*il colle*". Da notizie storiche reperite, il patrimonio edilizio della parte antica di Montorio è costituito da cellule elementari con tipologia a *torre* (un solo vano per piano). Cellule di accrescimento hanno costituito aggregazioni a schiera disponendosi parallelamente al pendio. Gli edifici risalenti al XV e XVI sec, dove non sono stati accorpati in più moduli hanno dato luogo ad abitazioni case-torre, con un solo vano per piano e non hanno più di due piani sul fronte verso il fiume con scarse aperture. Gli edifici successivi (XVI-XVII sec.) vennero costruiti più a valle, da via Beretra sino a lambire il Fiume Vomano, in alcuni casi coperti a volta; sono quindi per lo più abitazioni organizzate su tre livelli, di cui il primo in parte interrato, ai lati nei piani inferiori le aperture sono di piccole dimensioni. I blocchi sono disposti perpendicolarmente al pendio. Le murature, di spessore al piano terra, variano dai 60 ai 90 cm e sono a corsi irregolari di pietrame di fiume con conci squadrati all'ammorsatura degli spigoli e aperture riquadrate da stipiti in pietra, architravi massicci in pietra e/o legno, i solai e le strutture del tetto in legno. Lungo via del Forte le abitazioni storiche sono allungati con fronti di ampiezza che varia dai 3 ai 7 m, e profondità dai 7 ai 20 m. I palazzi signorili, in genere, rappresentano conseguenza degli accorpamenti di due o tre cellule elementari. La fascia edilizia meridionale, racchiusa tra via Urbani e il fiume Vomano, è costituita da case a schiera disposte in senso ortogonale al fiume, i cui fronti hanno misure comprese tra 5-9 m, profondità tra gli 8-15 m. Gli isolati strutturati a "spina" si sono formati dalla giustapposizione di due blocchi a schiera per cui ogni singola unità dispone di unico affaccio ed il tratto centrale, costituito spesso da due mura parallele.

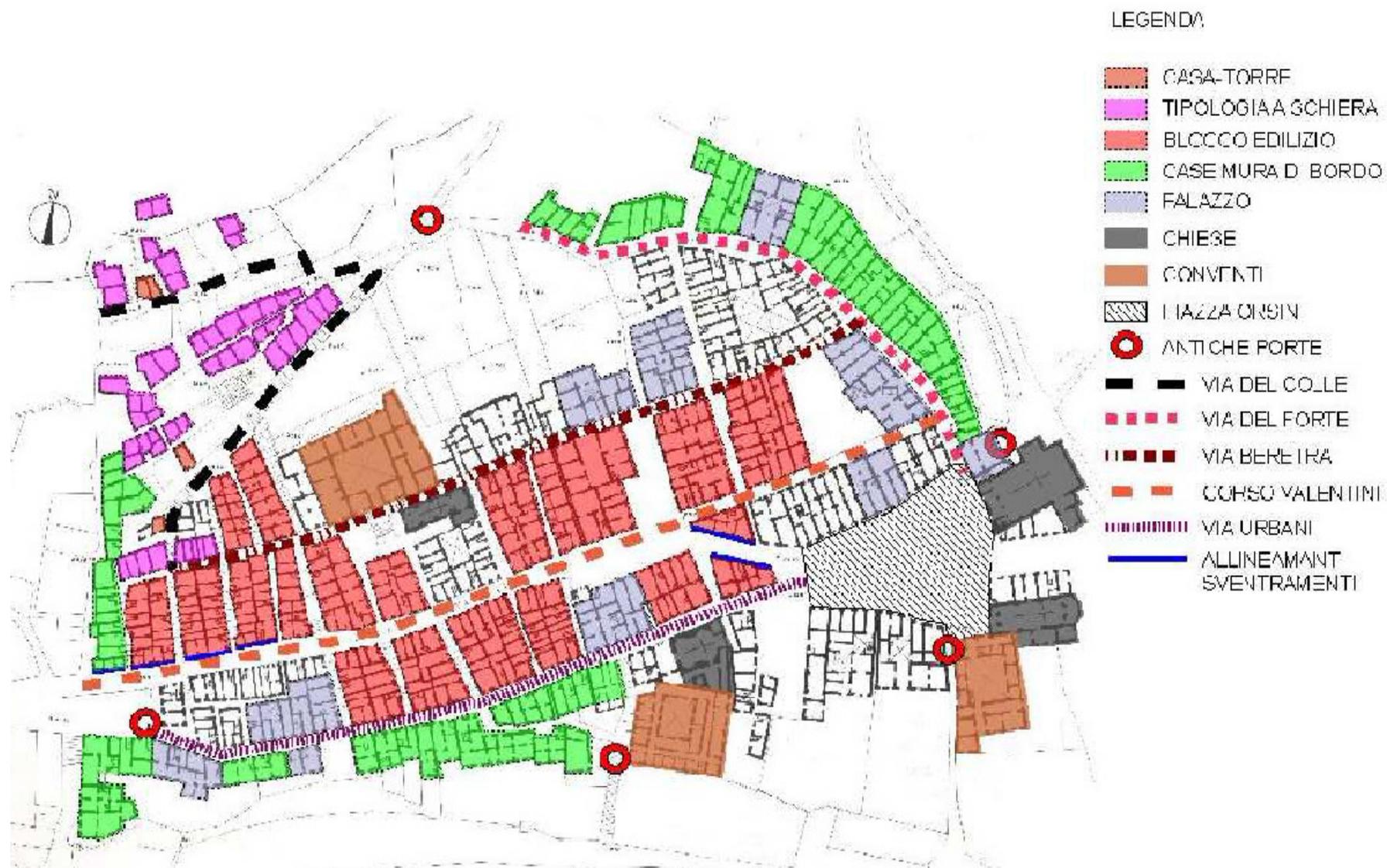


fig. 66 - Forme tipologiche dell'abitato di Montorio. (Fonte: Propria elaborazione su base tipologica in AA.VV., *La valle dell'alto Vomano ed i Monti della Laga*)

Dai dati reperiti sulle modalità di costruzione degli edifici storici, il livello di rischio sismico del centro storico risulta molto elevato poiché anche un terremoto moderato potrebbe produrre conseguenti gravi, come è accaduto in coincidenza delle sequenze sismiche del 2009 e 2016-2017.

Nell'area del capoluogo si sono registrati gravi danni anche a strutture di recente edificazione nell'area sovrastante i campi sportivi, dove le coltri eluvio-colluviali presentano spessori anche maggiori di 15.00 m che ricoprono il substrato pelitico-arenaceo. In quest'area di recente espansione, alcuni edifici hanno riportato notevoli danni tanto che è stato necessario procedere alla demolizione totale di alcuni edifici.

Dal confronto della distribuzione dei danni, registrati in occasione dei più recenti terremoti, emerge che il territorio di Montorio presenta un elevato rischio sismico non solo legato alla presenza di edifici mal costruiti e mal conservati nei centri storici del Capoluogo e delle frazioni, ma alla pericolosità sismica di alcune aree legate all'assetto sismostratigrafico del sottosuolo e alla particolare morfologia locale di alcuni borghi che inducono maggiori sollecitazioni alle strutture in coincidenza di scuotimenti sismici. In generale sui versanti della fascia collinare che spesso rappresentano aree di espansione delle aree urbanizzate si rilevano depositi colluviali con spessori anche notevoli (>15.00 m) e con caratteristiche litotecniche e risposte sismiche nettamente differenti rispetto ai termini del substrato sottostante che generano effetti di amplificazione del moto sismico piuttosto elevati come rilevato sperimentalmente nelle misure di sismica passiva; in questi casi nell'area del Capoluogo fabbricati anche di recente costruzione hanno subito notevoli danni alla struttura.

I danni rilevati risultano più gravi in corrispondenza delle frazioni e nuclei abitati che si sviluppano in corrispondenza di stretti crinali. La conformazione morfologica dei borghi storici, delimitati da scarpate molto acclivi con angoli di degradazione  $> 15^\circ$  che raggiungono anche i  $30^\circ$ , favoriscono fenomeni amplificativi del moto sismico.

Nell'ottica del rilievo del danno da effetti sismici le sequenze di terremoti 2009, 2016-2017, non hanno innescato o riattivato alcun dissesto. Si reputa tuttavia possibile o quanto meno da non escludere a priori fenomeni di crollo localizzato di taluni speroni, soprattutto lungo la scarpata che borda a settentrione il Capoluogo. Infatti, gli equilibri idrologici e statici nei volumi dei depositi di terrazzo che costituisce la porzione più elevata del rilievo, risultano mutevoli e quindi ciò che è risultato stabile in coincidenza dei sismi avvertiti in precedenza non lo sarà necessariamente per un sisma futuro.

## 10. Bibliografia

- Accordi B. (1962) Lineamenti strutturali del Lazio e dell'Abruzzo meridionali. Mem Soc. Geol. It., 4, pp.595-633
- Accordi G., Carbone F., Civitelli G., Corda L., De Rita D., Esu D., Funicello R., Kostakis T., Mariotti G & Sposato A. ( 1988) Lithofacies map of Latium - Abruzzi and neighbouring areas. C.N.R., Quaderni della Ricerca Scientifica, 114(5) 223 p., Roma.
- Foglio 349 "Gran Sasso d'Italia", nota con il termine di progetto CARG (CARtografia Geologica) a cura dell'ISPRA (ex APAT, ex Servizio Geologico Nazionale);
- Foglio 339 "Teramo" del CARG;
- Barchi M., Galadini F., Lavecchia G., Messina P., Michetti A.M., Peruzza L., Pizzi A., Tondi E., Vittori E. (a cura di) (2000). - Sintesi delle conoscenze sulle faglie attive in Italia Centrale: parametrizzazione ai fini della caratterizzazione della pericolosità sismica. CNR- Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma, 62 pp.
- Castellarin A., Colacicchi R., Praturlon A., Cantelli C. (1979) - Fasi distensive, trascorrenze e sovrascorrimenti lungo la linea "Ancona – Anzio", dal Lias medio al Pliocene – Geologica Romana, Roma, 17: 161 – 189, 12 ff.
- Centamore E., Cantalamessa G., Micarelli A., Potetti M., Berti D., Bigi S., Morelli C. & Ridolfi M. (1991) – Stratigrafia e analisi di facies dei depositi del miocene e del pliocene inferiore dell'avanfossa marchigiano-abruzzese e delle zone limitrofe – Studi geologici Camerti volume speciale (1991/2).
- Centamore E., Cantalamessa G., Micarelli A., Potetti M., Berti D., Bigi S., Morelli C. & Ridolfi M. (1991) – "Carta Geologica dei Bacini della Laga e del Cellino e dei Rilievi Carbonatici circostanti" di Centamore et alii, 1992
- CNR (1986) - Elementi per una guida alle indagini di Microzonazione Sismica, Progetto Finalizzato Geodinamica. CNR, Quaderni della ricerca scientifica, N.114.
- Comune di Montorio (2011) Relazione illustrativa per la Predisposizione dei Piani di Ricostruzione: Barnabei D., Cauti G., Di Felice Ardente G., Manetta M., Percoco T.
- Database of Individual Seismogenic Sources, versione 3, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>
- Galadini F., Meletti C., Vittori E. (1996) - Stato delle conoscenze sulle faglie attive in Italia: elementi geologici di superficie. Risultati del progetto 5.1.2 "Inventario delle faglie attive e dei terremoti ad esse associabili". In: F. Galadini, C. Meletti, A. Rebez (A cura di), *Le ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica (1996-1999)*, CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti - Roma, 2000, 397 pp.
- Ghisetti F., Follador U., Casnedi R., Vezzani L. (1994) - Assetto tettonico delle zone esterne dell'Appennino abruzzese: elementi di analisi stratigrafico strutturali - Geologia dell'Abruzzo nord – orientale, Atti Tic. Sc. Terra, (serie speciale) 2: 5 – 43, 6 ff.,

1 tav.

- F. Ghisetti & L. Vezzani –“Carta geologica dell'Abruzzo", di Scala 1:100.000, 1998; Guide Geologiche Regionali. Abruzzo. Società Geologica Italiana 2003.
- Database macrosismico italiano (2009). *DBMI08aq* è realizzato nell'ambito dell'attività del Tema Trasversale Coordinato INGV 5.1 "Banche dati e metodi macrosismici", con il contributo iniziale del Progetto INGV-DPC S1 della *convenzione INGV-DPC 2004-2006*. <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI08/>
- Gruppo di lavoro MS, 2008. Indirizzi e criteri per la micrizonazione sismica. Conferenza delle Regioni e delle Province autonome – Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 vol. e Cd-rom
- Gruppo di Lavoro MS-AQ, 2010 - Microzonazione sismica per la ricostruzione dell'area aquilana. Regione Abruzzo, Dipartimento Protezione Civile, L'Aquila, 3 vol. e Cd-rom
- Regione Abruzzo, Gruppo di Lavoro per le Attività di Microzonazione Sismica. Standard di rappresentazione cartografica e archiviazione informatica; specifiche tecniche per la redazione degli elaborati cartografici ed informatici relativi al primo livello delle attività di Microzonazione Sismica. 2011
- Servizio Geologico Nazionale, Quaderni serie III, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato

# 11. Relazione sulle modellazioni 2D (Centro MS)

## 1 DESCRIZIONE DEL CODICE DI CALCOLO UTILIZZATO

### 1.1 LSR\_2D

Il codice di calcolo LSR\_2D consente di effettuare una modellazione bidimensionale del problema mediante il metodo degli elementi finiti, nel dominio del tempo, in tensioni totali, utilizzando il metodo lineare equivalente e utilizzando un modello di sottosuolo alla Kelvin-Voigt.

L'approccio utilizzato per la soluzione visco-elastica lineare all'interno dell'i-esimo ciclo iterativo utilizza il metodo degli elementi finiti. In particolare, il deposito di terreno viene discretizzato mediante una "mesh" di elementi finiti piani, che possono avere forma quadrangolare o triangolare, e caricato mediante un'accelerazione alla base dello stesso (bedrock), la soluzione dell'equazione del moto viene poi ottenuta nel dominio del tempo utilizzando il metodo di integrazione di Newmark.

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = -Ma_g$$

dove:

- M: matrice di massa del sistema;
- C: matrice di smorzamento del sistema;
- K: matrice di rigidità del sistema;
- $\ddot{u}, \dot{u}, u$  rispettivamente vettori di accelerazione, velocità e spostamento del sistema;
- $a_g$ : vettore di accelerazione alla base.

Tale equazione vale per ogni istante di tempo  $t$  e descrive l'equilibrio dinamico del sistema. La soluzione in termini di spostamento, velocità ed accelerazione per ogni  $t_n$  viene ottenuta a partire dalle seguenti relazioni:

$$\begin{aligned}\dot{u}_n &= \dot{u}_{n-1} + \Delta t [(1 - \gamma)\ddot{u}_{n-1} + \gamma\ddot{u}_n] \\ u_n &= u_{n-1} + \Delta t \dot{u}_{n-1} + \frac{\Delta t^2}{2} [(1 - \beta)\ddot{u}_{n-1} + 2\beta\ddot{u}_n]\end{aligned}$$

dove:

- $\Delta t$ : incremento temporale tra l'istante di tempo  $t_n$  e  $t_{n-1}$ ;
- $\beta$ : parametro del metodo di integrazione posto pari a 0.25;
- $\gamma$ : parametro del metodo di integrazione posto pari a 0.50;

La matrice di smorzamento del sistema viene ottenuta mediante l'assemblaggio delle matrici di smorzamento dei singoli elementi, queste ultime ottenute a loro volta come:

$$c_i = \alpha_q M_q + \beta_q k_q$$

dove:

- $\alpha_q$  e  $\beta_q$ : coefficienti di smorzamento alla Rayleigh.

Tali coefficienti vengono calcolati in funzione di due frequenze naturali dell'intero deposito,  $\omega_m$  e  $\omega_n$ :

$$\alpha_{R,i} = \xi_i \frac{2\omega_m\omega_n}{\omega_m + \omega_n}$$

$$\beta_{R,i} = \xi_i \frac{2}{\omega_m + \omega_n}$$

in cui:  $\xi_i$  è il rapporto di smorzamento viscoso dell'i-esimo elemento finito;  $\omega_m = \omega_1$ , prima frequenza naturale di vibrazione del deposito di terreno;  $\omega_n = n\omega_1$  essendo  $n$ :

$n = \omega_i / \omega_1$  (approssimato all'interno pari più grande)

Con  $\omega_i$  pari alla frequenza di picco dello spettro ottenuto a partire dall'accelerazione al bedrock.

## 1.2 Elaborazione dei risultati (FA)

I risultati delle simulazioni numeriche sono stati espressi in termini di fattore di amplificazione  $FA$  i cui valori sono stati calcolati come rapporto tra l'integrale dello spettro di pseudo-accelerazione di output per tre differenti intervalli di integrazione (0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s) e i corrispondenti parametri di input:

$$FA = \frac{\int_{0.1}^{0.5} PSA_{out}(T) dT}{\int_{0.1}^{0.5} PSA_{in}(T) dT}$$

$$FA = \frac{\int_{0.4}^{0.8} PSA_{out}(T) dT}{\int_{0.4}^{0.8} PSA_{in}(T) dT}$$

$$FA = \frac{\int_{0.7}^{1.1} PSA_{out}(T) dT}{\int_{0.7}^{1.1} PSA_{in}(T) dT}$$

Tramite le formule indicate per tutti i punti di output e per ogni intervallo, è stata calcolata la media logaritmica dei valori del fattore di amplificazione relativi ai sette accelerogrammi di input, come riportato nell'equazione seguente:

$$m_{ln} = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^7 \ln(FA_i)$$

$$FA_{rif} = e^{m_{ln}}$$

## 2 MONTORIO AL VOMANO

### 2.1 Input

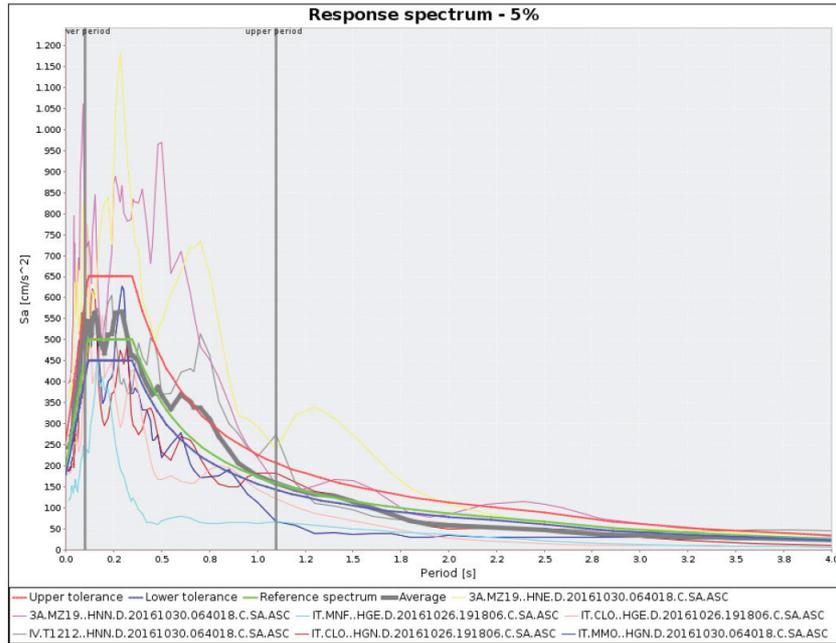


Figura 1. Spettro Compatibilità Montorio al Vomano

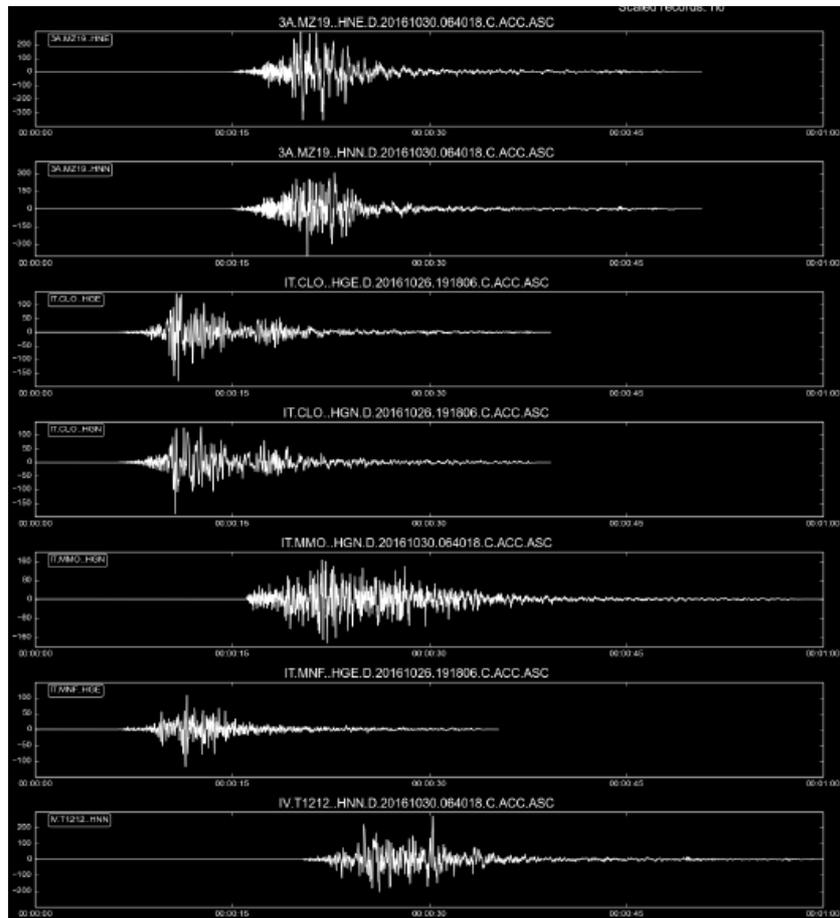


Figura 2. Accelerogrammi di Input Montorio al Vomano

## 2.2 Sezione Zona DH 1

### 2.2.1 Sezione Geologico-Tecnica e Modello Numerico

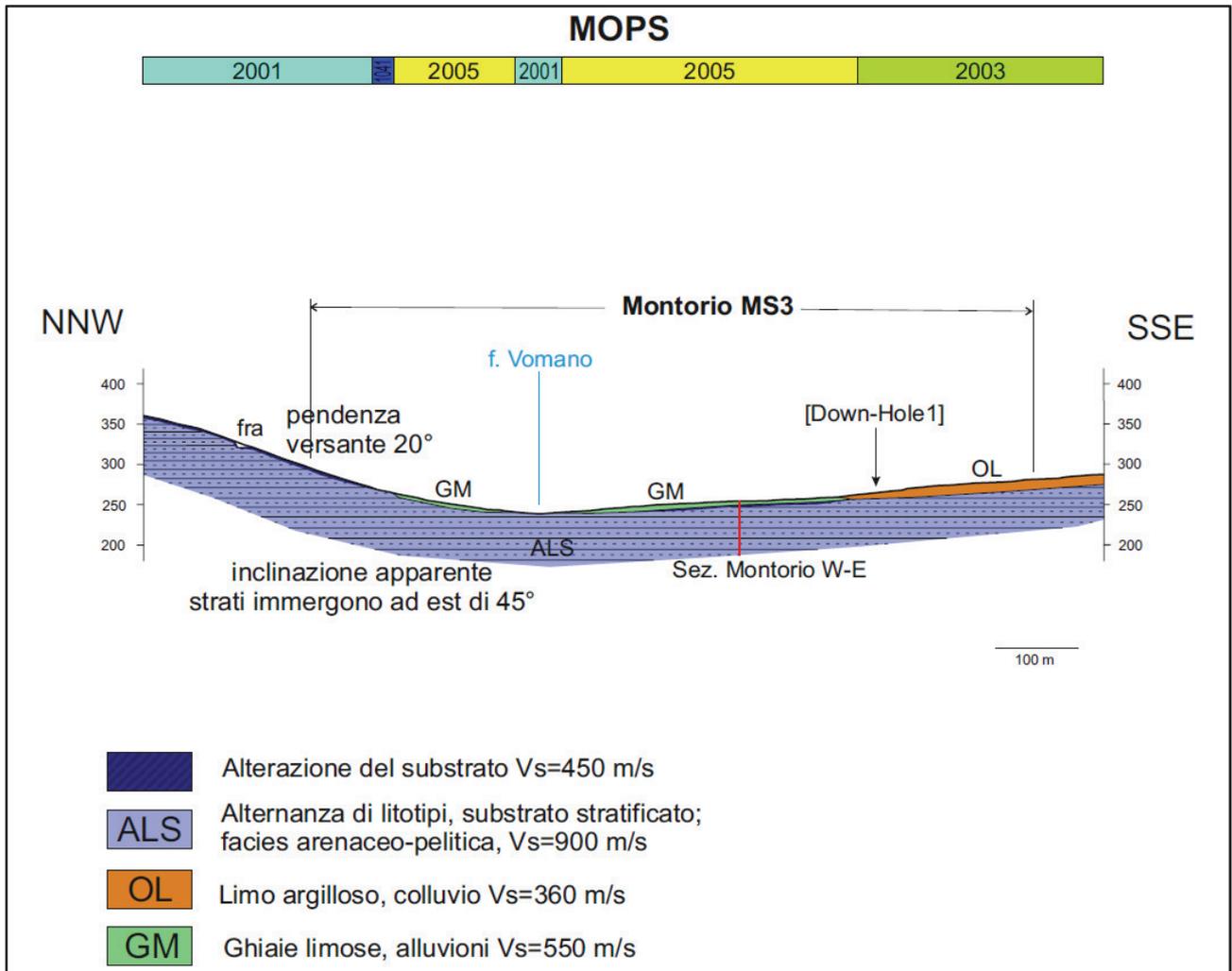


Figura 3. Sezione Geologico-Tecnica Montorio al Vomano Zona DH1

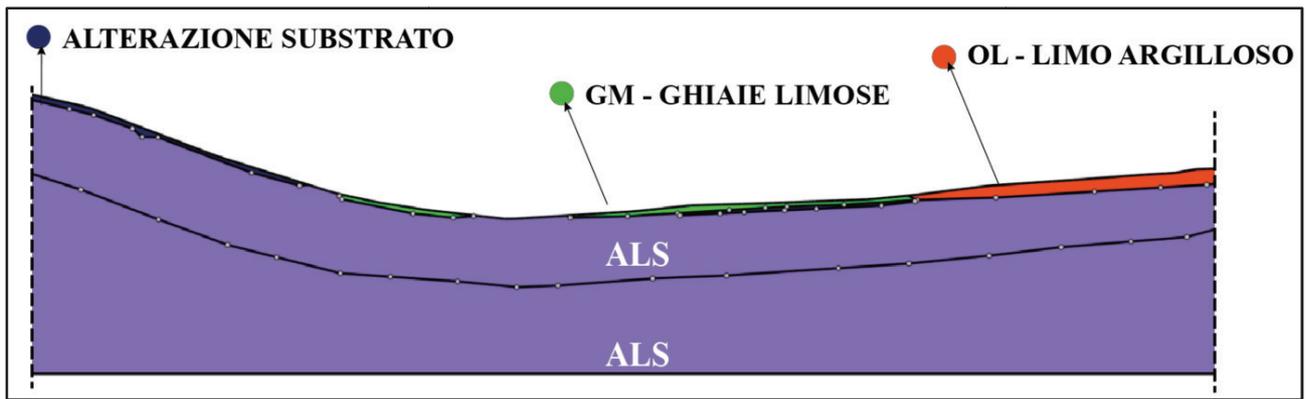


Figura 4. Sezione LSR\_2D Montorio al Vomano Zona DH1

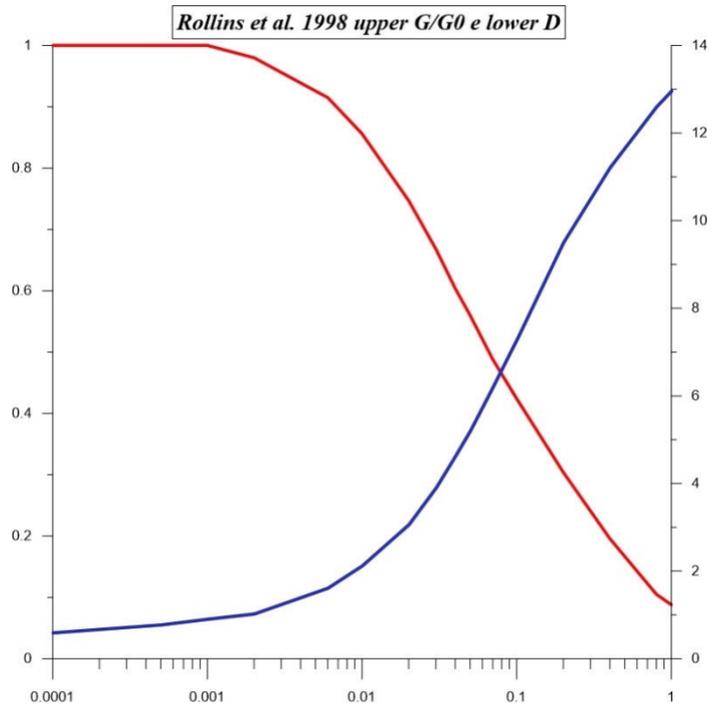
Litologia	h* [m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$V_s$ [m/s]	$V_p$ [m/s]	$\nu$	Curve Dinamiche
GM Ghiaie Limose	3.43	22	550	1680	0.44	Rollins et al. 1998 upper G/G0 e lower D
OL Limo Argilloso	2.25	19	320	1345	0.47	Prova Di Taglio Torsionale Ciclico
Alterazione	2.81	23	450	1212	0.42	Modoni&Gazzellone 2010
ALS	5.62	24	900	1670	0.30	Lineare D=0.5%

Tabella 1. Caratteristiche Meccaniche e Geometriche Sezione Montorio al Vomano Zona DH1. \*h= Altezza max elementi mesh

## 2.2.2 Curve Dinamiche utilizzate nelle simulazioni numeriche bidimensionali

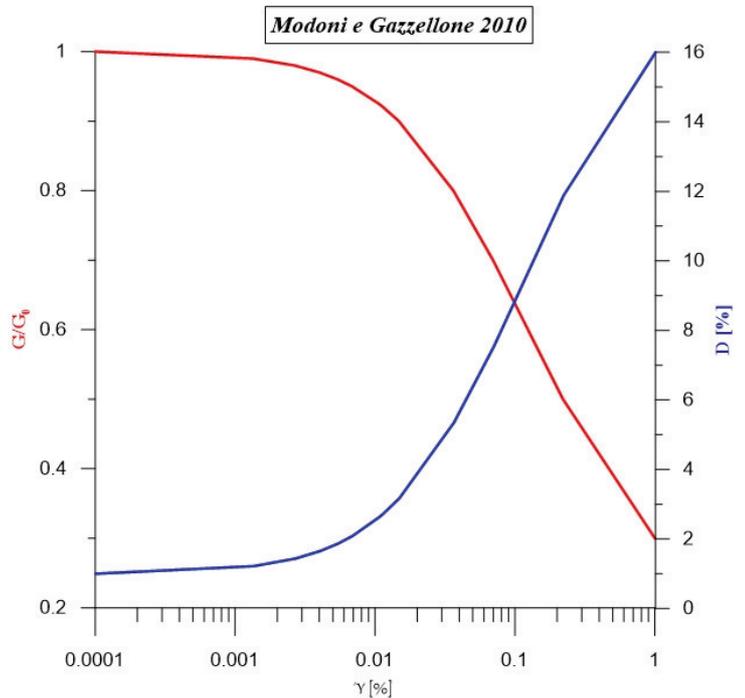
- *Rollins et al. 1998 Upper G/G0 e Lower D*

Deformazione Angolare $\gamma$ [%]	Rapporto G/G0	Smorzamento D [%]
0.00010	1.00000	0.59000
0.00050	1.00000	0.77000
0.00100	1.00000	0.90000
0.00200	0.98000	1.02000
0.00600	0.91500	1.61000
0.01000	0.85600	2.12000
0.02000	0.74700	3.06000
0.03000	0.66800	3.90000
0.04000	0.60400	4.62000
0.05000	0.56000	5.20000
0.07000	0.48800	6.20000
0.10000	0.42400	7.28000
0.20000	0.30400	9.50000
0.40000	0.19600	11.21000
0.80000	0.10500	12.60000
1.00000	0.08800	12.96000



- *Modoni e Gazzellone 2010*

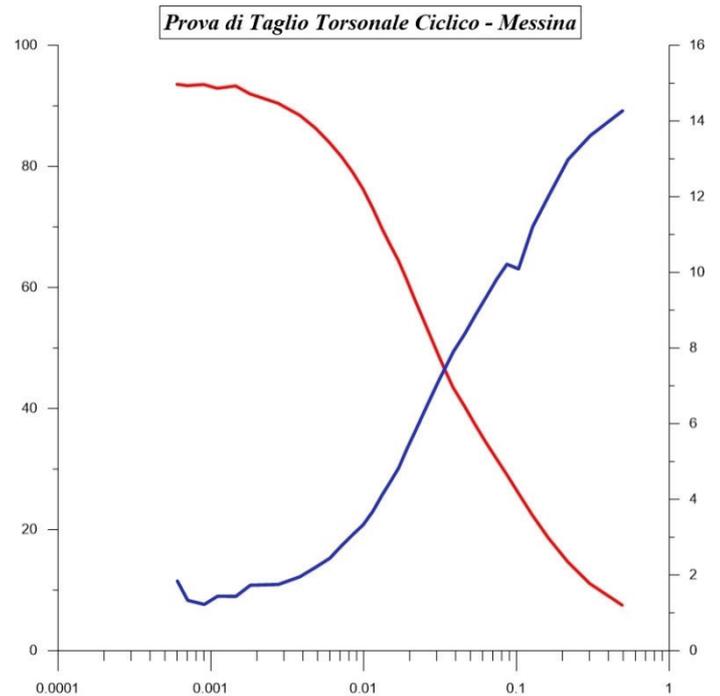
Deformazione Angolare $\gamma$ [%]	Rapporto G/G0	Smorzamento D [%]
0.00010	1.00	1.00
0.00134	0.99	1.22
0.00266	0.98	1.44
0.00401	0.97	1.65
0.00540	0.96	1.87
0.00683	0.95	2.09
0.01063	0.93	2.63
0.01110	0.92	2.70
0.01143	0.92	2.74
0.01480	0.90	3.18
0.03632	0.80	5.35
0.06971	0.70	7.53
0.22052	0.50	11.89
1.00000	0.30	16.00



- *Prova di Taglio Torsionale Ciclico Messina*

INFO PROVINO	
Sito	Montorio al Vomano
Campione	CI1
Sondaggio	S1
Profondità di Prelievo [m]	7.30 – 7.80
Tensione di Confinamento [kPa]	150

Deformazione Angolare $\gamma$ [%]	Rapporto G/G0	Smorzamento D [%]
0.0006	1.00	1.84
0.0007	1.00	1.33
0.0009	1.00	1.22
0.0011	0.99	1.44
0.00145	1.00	1.44
0.0018	0.98	1.73
0.00275	0.97	1.75
0.0038	0.95	1.95
0.00485	0.92	2.21
0.00595	0.90	2.44
0.00715	0.87	2.78
0.00845	0.85	3.07
0.00985	0.82	3.32
0.0114	0.78	3.68
0.0132	0.74	4.13
0.015	0.72	4.49
0.01685	0.69	4.83
0.01905	0.66	5.33
0.02155	0.62	5.79
0.02435	0.59	6.26
0.0274	0.55	6.70
0.0308	0.52	7.13
0.0344	0.49	7.52
0.0384	0.47	7.90
0.0454	0.43	8.36
0.05375	0.40	8.88
0.06315	0.37	9.36
0.0737	0.34	9.81
0.086	0.31	10.21
0.1025	0.28	10.09
0.127	0.24	11.21
0.1618	0.20	12.02
0.21645	0.16	12.98
0.30255	0.12	13.61
0.4921	0.08	14.27



### 2.2.3 Risultati simulazioni numeriche bidimensionali

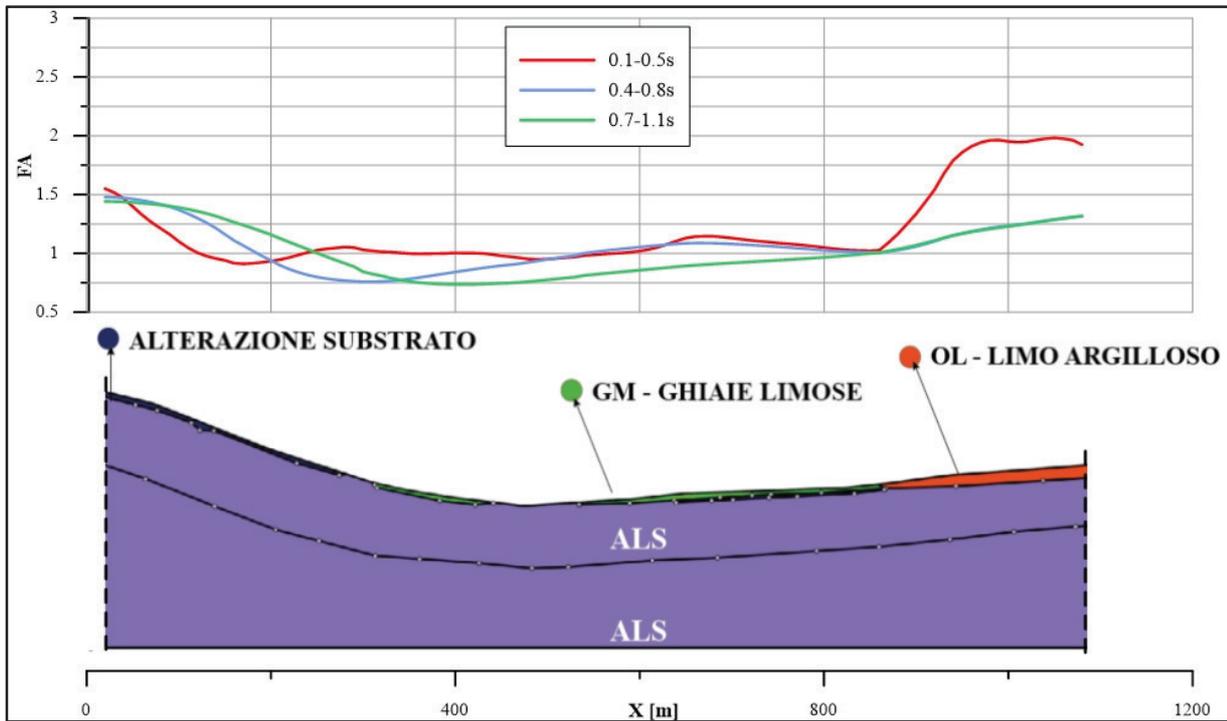


Figura 5. Risultati in termini di fattore di amplificazione (FA) Sez. Montorio al Vomano Zona DHI

N° Nodi	X [m]	FA <sub>1</sub> [0.1-0.5s]	FA <sub>2</sub> [0.4-0.8s]	FA <sub>3</sub> [0.7-1.1s]
3	20	1.55	1.48	1.44
4	30	1.52	1.48	1.44
5	40	1.47	1.47	1.44
6	50	1.40	1.46	1.43
7	60	1.33	1.45	1.43
8	70	1.27	1.44	1.42
9	80	1.21	1.42	1.41
10	90	1.16	1.40	1.40
11	100	1.10	1.37	1.39
12	110	1.05	1.34	1.37
13	120	1.01	1.30	1.36
14	130	0.98	1.26	1.34
15	140	0.96	1.22	1.32
16	150	0.94	1.16	1.29
17	160	0.92	1.11	1.26
18	170	0.91	1.07	1.24
19	180	0.91	1.02	1.21
20	190	0.92	0.98	1.19
21	200	0.93	0.94	1.16
22	210	0.95	0.90	1.13
23	220	0.96	0.86	1.09
24	230	0.99	0.84	1.06
25	240	1.01	0.82	1.03
26	250	1.03	0.80	1.00
27	260	1.04	0.78	0.97
28	270	1.05	0.78	0.94
29	280	1.05	0.77	0.91
30	290	1.05	0.76	0.89
31	300	1.03	0.76	0.84

32	310	1.02	0.76	0.82
33	320	1.01	0.76	0.81
34	330	1.01	0.77	0.79
35	340	1.00	0.77	0.77
36	350	1.00	0.78	0.76
37	360	1.00	0.79	0.75
38	370	1.00	0.80	0.74
39	380	1.00	0.82	0.74
40	390	1.00	0.83	0.74
41	400	1.00	0.84	0.74
42	410	1.00	0.85	0.74
43	420	1.00	0.86	0.74
44	430	1.00	0.88	0.74
45	440	0.99	0.89	0.74
46	450	0.98	0.90	0.75
47	460	0.97	0.90	0.75
48	470	0.96	0.91	0.75
49	480	0.95	0.92	0.76
50	490	0.95	0.94	0.77
51	500	0.95	0.95	0.77
52	510	0.96	0.96	0.78
53	520	0.96	0.97	0.79
54	530	0.97	0.98	0.80
55	540	0.98	1.00	0.81
56	550	0.99	1.01	0.82
57	560	0.99	1.02	0.83
58	570	1.00	1.03	0.83
59	580	1.00	1.04	0.84
60	590	1.01	1.05	0.85
61	600	1.02	1.05	0.86
62	610	1.03	1.06	0.86
63	620	1.05	1.07	0.87
64	630	1.08	1.07	0.88
65	640	1.10	1.08	0.89
66	650	1.13	1.09	0.89
67	660	1.14	1.09	0.90
68	670	1.15	1.09	0.90
69	680	1.14	1.09	0.91
70	690	1.14	1.08	0.91
71	700	1.13	1.08	0.92
72	710	1.12	1.08	0.92
73	720	1.11	1.07	0.93
74	730	1.10	1.07	0.93
75	740	1.10	1.06	0.94
76	750	1.09	1.06	0.94
77	760	1.08	1.05	0.95
78	770	1.07	1.04	0.95
79	780	1.07	1.04	0.96
80	790	1.06	1.03	0.96
81	800	1.05	1.03	0.97
82	810	1.04	1.02	0.97
83	820	1.03	1.02	0.98
84	830	1.03	1.01	0.98
85	840	1.02	1.01	0.99
86	850	1.02	1.01	1.00
87	860	1.03	1.01	1.01
88	870	1.09	1.02	1.02
89	880	1.16	1.03	1.03
90	890	1.25	1.04	1.05
91	900	1.34	1.06	1.07
92	910	1.44	1.08	1.09
93	920	1.54	1.10	1.11

94	930	1.68	1.13	1.13
95	940	1.79	1.15	1.15
96	950	1.86	1.17	1.17
97	960	1.91	1.19	1.18
98	970	1.94	1.20	1.20
99	980	1.96	1.21	1.21
100	990	1.96	1.23	1.22
101	1000	1.95	1.24	1.23
102	1010	1.95	1.24	1.24
103	1020	1.95	1.25	1.25
104	1030	1.96	1.26	1.26
105	1040	1.97	1.28	1.28
106	1050	1.98	1.29	1.29
107	1060	1.97	1.30	1.30
108	1070	1.96	1.31	1.31
109	1080	1.92	1.31	1.32

Tabella 2. Fattore di Amplificazione (FA) per tre diversi intervalli di periodo: 0.1-0.5s, 0.4-0.8s, 0.7-1.1s

## 2.3 Sezione Zona DH 2

### 2.3.1 Sezione Geologico-Tecnica e Modello Numerico

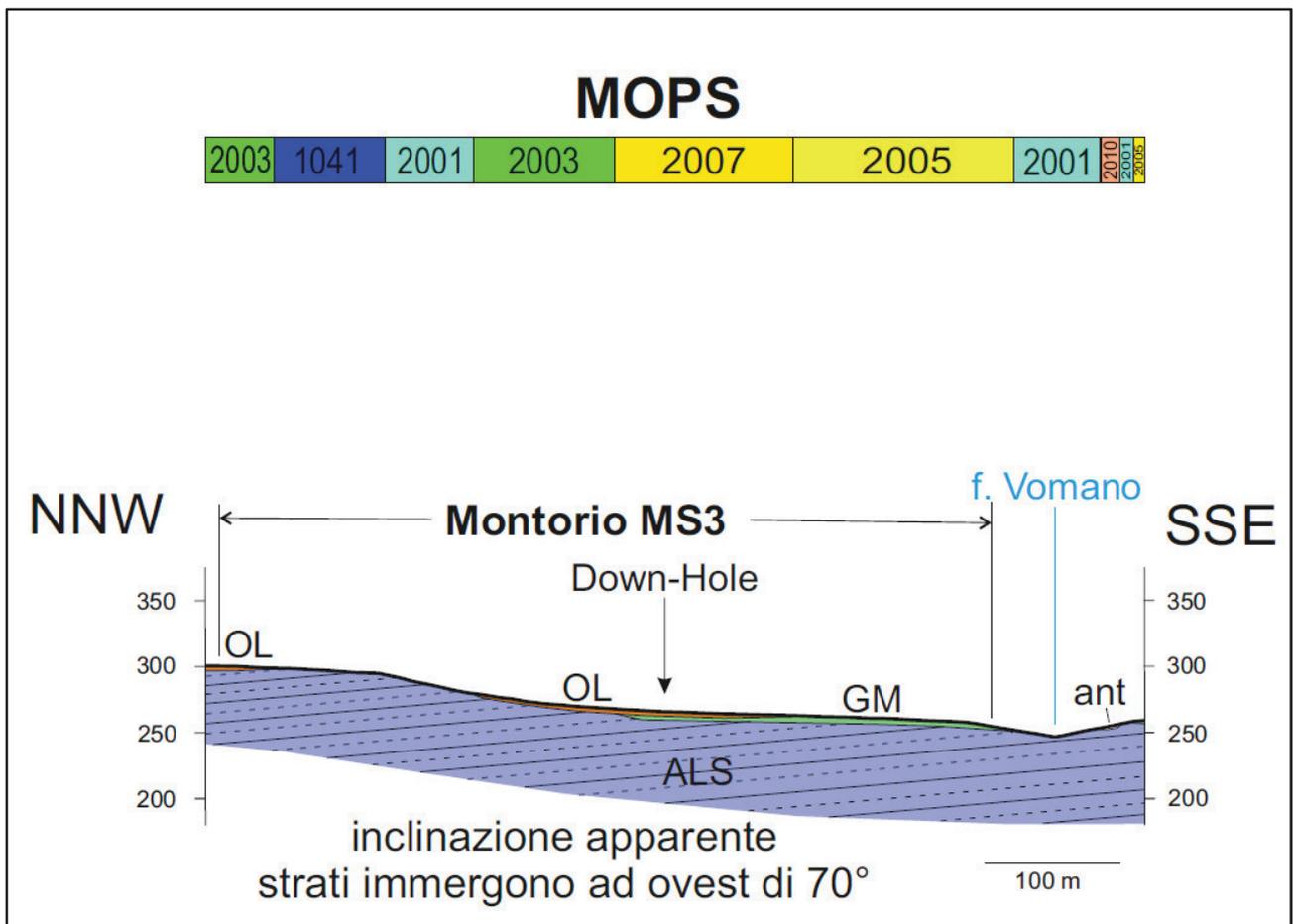


Figura 6. Sezione Geologico-Tecnica Montorio al Vomano Zona DH 2

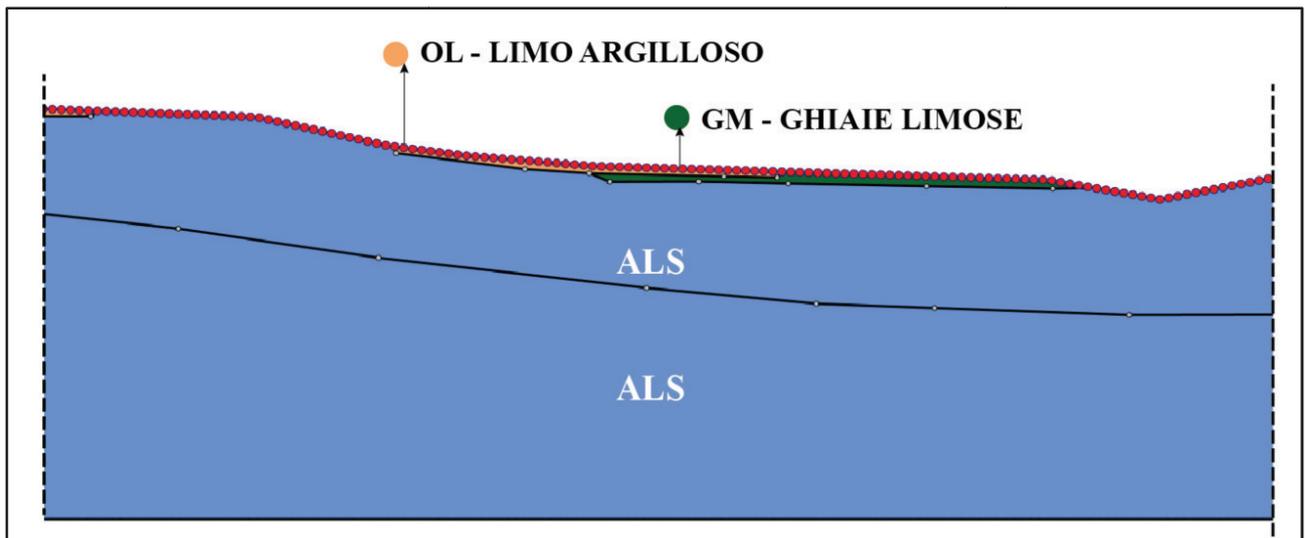


Figura 7. Sezione LSR\_2D Montorio al Vomano Zona DH 2

Litologia	$h^*$ [m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$V_s$ [m/s]	$V_p$ [m/s]	$\nu$	Curve Dinamiche
GM Ghiaie Limose	2.62	22	420	1283	0.44	Rollins et al. 1998 upper G/G0 e lower D
OL Limo Argilloso	2.06	19	300	700	0.39	Prova Di Taglio Torsionale Ciclico
ALS	5.62	24	900	1670	0.30	Lineare D=0.5%

Tabella 3. Caratteristiche Meccaniche e Geometriche Sezione Montorio al Vomano Zona DH2. \* $h$ = Altezza max elementi mesh

### 2.3.2 Risultati simulazioni numeriche bidimensionali

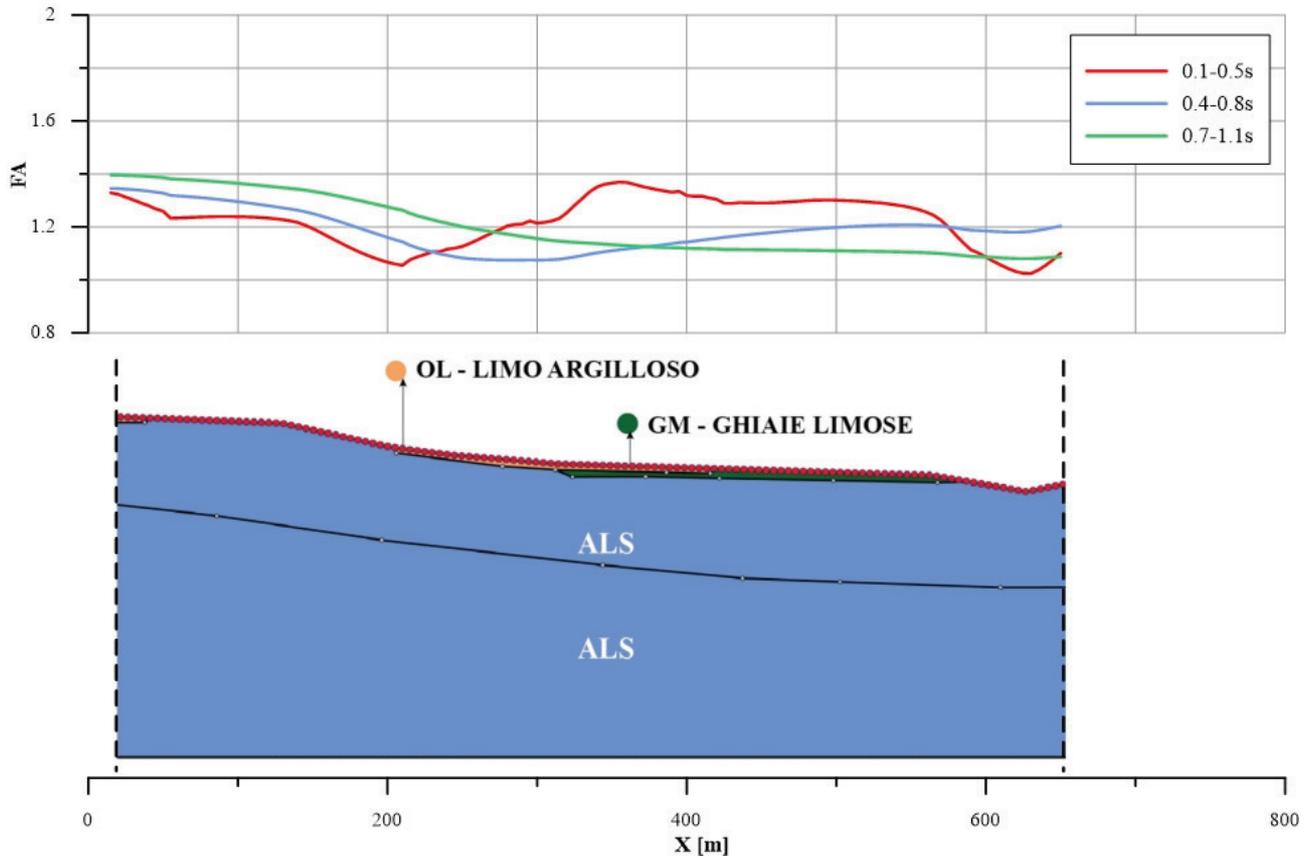


Figura 8. Risultati in termini di fattore di amplificazione (FA) Sez. Montorio al Vomano Zona DH2

N° Nodi	X [m]	FA <sub>1</sub> [0.1-0.5s]	FA <sub>2</sub> [0.4-0.8s]	FA <sub>3</sub> [0.7-1.1s]
4	15	1.33	1.35	1.40
5	20	1.32	1.34	1.40
6	25	1.31	1.34	1.39
7	30	1.30	1.34	1.39
8	35	1.29	1.34	1.39
9	40	1.28	1.34	1.39
10	45	1.27	1.33	1.39
11	50	1.26	1.33	1.39
12	55	1.23	1.32	1.38
13	60	1.23	1.32	1.38
14	65	1.23	1.32	1.38
15	70	1.24	1.31	1.38
16	75	1.24	1.31	1.38
17	80	1.24	1.31	1.37
18	85	1.24	1.31	1.37
19	90	1.24	1.30	1.37
20	95	1.24	1.30	1.37
21	100	1.24	1.30	1.36
22	105	1.24	1.29	1.36
23	110	1.24	1.29	1.36
24	115	1.24	1.28	1.36
25	120	1.23	1.28	1.35
26	125	1.23	1.28	1.35
27	130	1.23	1.27	1.35
28	135	1.22	1.27	1.35

29	140	1.22	1.26	1.34
30	145	1.21	1.26	1.34
31	150	1.19	1.25	1.33
32	155	1.18	1.24	1.33
33	160	1.16	1.23	1.32
34	165	1.15	1.23	1.32
35	170	1.14	1.22	1.31
36	175	1.12	1.21	1.31
37	180	1.11	1.20	1.30
38	185	1.10	1.19	1.29
39	190	1.09	1.18	1.29
40	195	1.08	1.17	1.28
41	200	1.07	1.16	1.28
42	205	1.06	1.15	1.27
43	210	1.06	1.14	1.26
44	215	1.08	1.13	1.25
45	220	1.09	1.12	1.24
46	225	1.10	1.11	1.23
47	230	1.11	1.11	1.23
48	235	1.11	1.10	1.22
49	240	1.12	1.09	1.21
50	245	1.12	1.09	1.21
51	250	1.13	1.08	1.20
52	255	1.14	1.08	1.20
53	260	1.15	1.08	1.19
54	265	1.16	1.08	1.19
55	270	1.18	1.08	1.18
56	275	1.19	1.07	1.18
57	280	1.20	1.08	1.17
58	285	1.21	1.07	1.17
59	290	1.21	1.07	1.16
60	295	1.22	1.08	1.16
61	300	1.21	1.07	1.16
62	305	1.22	1.07	1.15
63	310	1.22	1.08	1.15
64	315	1.23	1.08	1.15
65	320	1.25	1.08	1.14
66	325	1.28	1.09	1.14
67	330	1.31	1.09	1.14
68	335	1.33	1.10	1.14
69	340	1.35	1.10	1.14
70	345	1.36	1.11	1.13
71	350	1.37	1.11	1.13
72	355	1.37	1.11	1.13
73	360	1.37	1.12	1.13
74	365	1.36	1.12	1.13
75	370	1.35	1.12	1.13
76	375	1.35	1.13	1.12
77	380	1.34	1.13	1.12
78	385	1.34	1.13	1.12
79	390	1.33	1.14	1.12
80	395	1.33	1.14	1.12
81	400	1.32	1.14	1.12
82	405	1.32	1.15	1.12
83	410	1.32	1.15	1.12
84	415	1.31	1.15	1.12
85	420	1.30	1.16	1.12
86	425	1.29	1.16	1.11
87	430	1.29	1.16	1.11
88	435	1.29	1.17	1.11
89	440	1.29	1.17	1.11
90	445	1.29	1.17	1.11

91	450	1.29	1.18	1.11
92	455	1.29	1.18	1.11
93	460	1.29	1.18	1.11
94	465	1.29	1.18	1.11
95	470	1.30	1.19	1.11
96	475	1.30	1.19	1.11
97	480	1.30	1.19	1.11
98	485	1.30	1.19	1.11
99	490	1.30	1.19	1.11
100	495	1.30	1.20	1.11
101	500	1.30	1.20	1.11
102	505	1.30	1.20	1.11
103	510	1.30	1.20	1.11
104	515	1.30	1.20	1.11
105	520	1.29	1.20	1.11
106	525	1.29	1.21	1.11
107	530	1.29	1.21	1.11
108	535	1.29	1.21	1.11
109	540	1.28	1.21	1.11
110	545	1.28	1.21	1.11
111	550	1.27	1.21	1.10
112	555	1.27	1.21	1.10
113	560	1.26	1.21	1.10
114	565	1.24	1.21	1.10
115	570	1.22	1.20	1.10
116	575	1.20	1.20	1.10
117	580	1.17	1.20	1.09
118	585	1.14	1.19	1.09
119	590	1.11	1.19	1.09
120	595	1.10	1.19	1.09
121	600	1.09	1.18	1.09
122	605	1.07	1.18	1.08
123	610	1.06	1.18	1.08
124	615	1.04	1.18	1.08
125	620	1.03	1.18	1.08
126	625	1.02	1.18	1.08
127	630	1.02	1.18	1.08
128	635	1.04	1.19	1.08
129	640	1.06	1.19	1.08
130	645	1.08	1.20	1.08
131	650	1.10	1.20	1.09

*Tabella 4. Fattore di Amplificazione (FA) per tre diversi intervalli di periodo: 0.1-0.5s, 0.4-0.8s, 0.7-1.1s*

## 2.4 Sezione W-E

### 2.4.1 Sezione Geologico-Tecnica e Modello Numerico

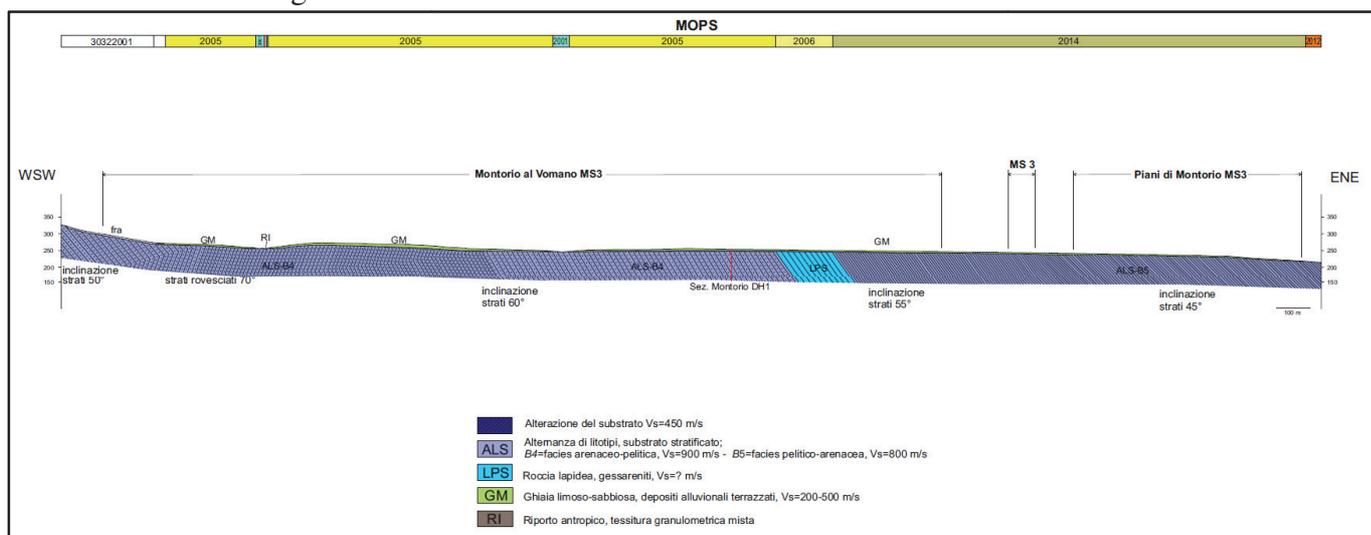


Figura 9. Sezione Geologico-Tecnica Montorio al Vomano W-E

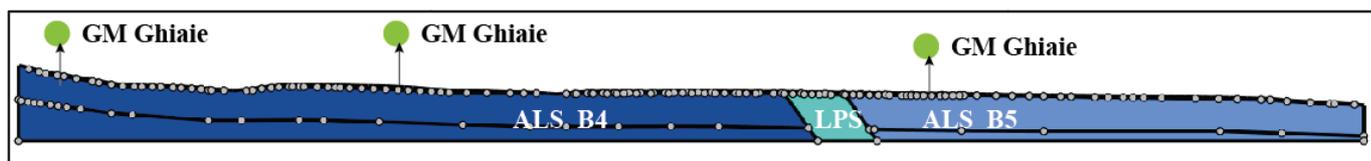
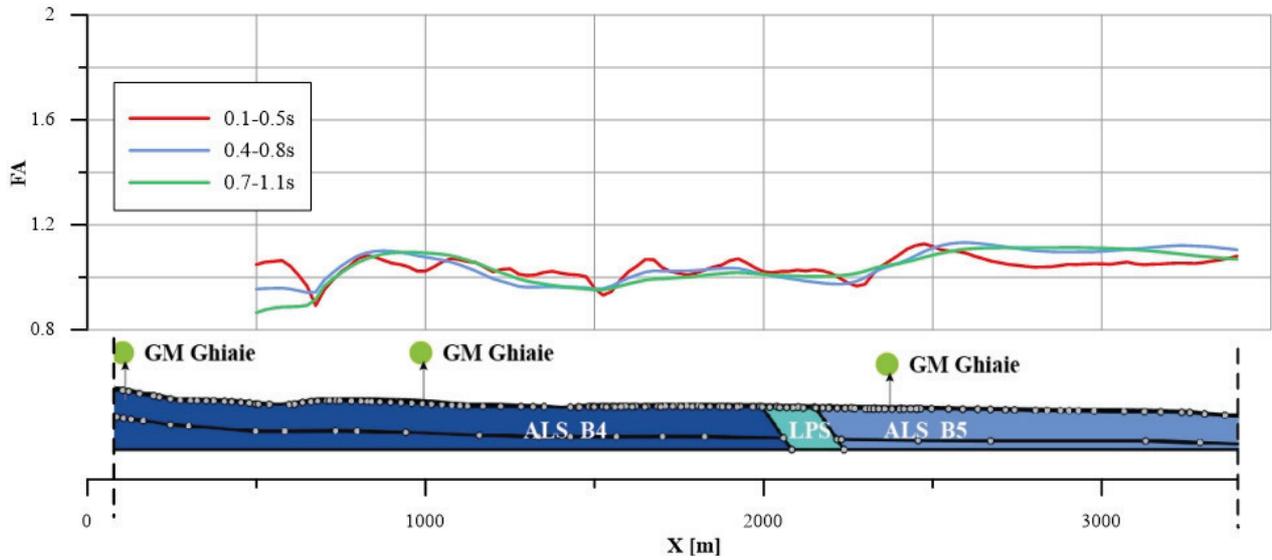


Figura 10. Sezione Geologico-Tecnica Montorio al Vomano Zona W-E

Litologia	$h^*$ [m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$V_s$ [m/s]	$V_p$ [m/s]	$u$	Curve Dinamiche
GM Ghiaie Limose	3	22	550	1680	0.44	Rollins et al. 1998 upper G/G0 e lower D
LPS	7.5	24	900	1670	0.30	Lineare D=0.5%
Alterazione del substrato	3	23	450	1212	0.42	Modoni&Gazzellone 2010
ALS-B5	6.6	24	800	1670	0.35	Lineare D=0.5%
ALS-B4	7.5	24	900	1670	0.30	Lineare D=0.5%

Tabella 5. Caratteristiche Meccaniche e Geometriche Sezione Montorio al Vomano W-E. \* $h$ = Altezza max elementi mesh

## 2.4.2 Risultati simulazioni numeriche bidimensionali



N° Nodi	X [m]	FA <sub>1</sub> [0.1-0.5s]	FA <sub>2</sub> [0.4-0.8s]	FA <sub>3</sub> [0.7-1.1s]
21	500	1.05	0.95	0.86
22	525	1.06	0.96	0.88
23	550	1.06	0.96	0.88
24	575	1.06	0.96	0.89
25	600	1.04	0.96	0.89
26	625	1.01	0.95	0.89
27	650	0.97	0.94	0.89
28	675	0.89	0.94	0.92
29	700	0.95	0.99	0.97
30	725	0.99	1.02	0.99
31	750	1.02	1.04	1.02
32	775	1.04	1.06	1.04
33	800	1.07	1.08	1.06
34	825	1.08	1.09	1.07
35	850	1.08	1.10	1.08
36	875	1.06	1.10	1.09
37	900	1.05	1.10	1.09
38	925	1.05	1.10	1.10
39	950	1.04	1.09	1.10
40	975	1.02	1.08	1.09
41	1000	1.02	1.08	1.09
42	1025	1.04	1.07	1.09
43	1050	1.06	1.07	1.09
44	1075	1.07	1.06	1.08
45	1100	1.07	1.05	1.07
46	1125	1.06	1.04	1.06
47	1150	1.06	1.02	1.05
48	1175	1.04	1.01	1.04
49	1200	1.02	0.99	1.03
50	1225	1.03	0.98	1.02
51	1250	1.03	0.98	1.01
52	1275	1.01	0.97	0.99
53	1300	1.01	0.96	0.99
54	1325	1.01	0.96	0.98
55	1350	1.02	0.96	0.97
56	1375	1.02	0.96	0.97

57	1400	1.02	0.96	0.96
58	1425	1.01	0.96	0.96
59	1450	1.01	0.96	0.96
60	1475	1.00	0.96	0.96
61	1500	0.96	0.96	0.95
62	1525	0.93	0.96	0.95
63	1550	0.95	0.97	0.96
64	1575	0.99	0.98	0.97
65	1600	1.02	1.00	0.97
66	1625	1.04	1.01	0.98
67	1650	1.07	1.02	0.99
68	1675	1.07	1.02	0.99
69	1700	1.04	1.02	0.99
70	1725	1.02	1.02	1.00
71	1750	1.01	1.02	1.00
72	1775	1.01	1.02	1.00
73	1800	1.02	1.03	1.00
74	1825	1.03	1.03	1.01
75	1850	1.04	1.03	1.01
76	1875	1.05	1.03	1.01
77	1900	1.06	1.04	1.02
78	1925	1.07	1.03	1.02
79	1950	1.05	1.03	1.02
80	1975	1.04	1.02	1.01
81	2000	1.02	1.01	1.01
82	2025	1.02	1.01	1.01
83	2050	1.02	1.00	1.01
84	2075	1.02	1.00	1.01
85	2100	1.03	0.99	1.00
86	2125	1.02	0.99	1.00
87	2150	1.03	0.98	1.00
88	2175	1.02	0.98	1.00
89	2200	1.01	0.97	1.00
90	2225	1.00	0.97	1.01
91	2250	0.98	0.98	1.01
92	2275	0.97	0.98	1.01
93	2300	0.97	1.00	1.02
94	2325	1.02	1.02	1.03
95	2350	1.04	1.03	1.04
96	2375	1.06	1.04	1.05
97	2400	1.08	1.05	1.05
98	2425	1.11	1.07	1.06
99	2450	1.12	1.08	1.07
100	2475	1.13	1.10	1.08
101	2500	1.12	1.11	1.08
102	2525	1.10	1.12	1.09
103	2550	1.10	1.13	1.10
104	2575	1.10	1.13	1.10
105	2600	1.09	1.13	1.11
106	2625	1.08	1.13	1.11
107	2650	1.07	1.13	1.11
108	2675	1.06	1.12	1.11
109	2700	1.06	1.12	1.11
110	2725	1.05	1.11	1.11
111	2750	1.05	1.11	1.11
112	2775	1.04	1.11	1.11
113	2800	1.04	1.10	1.11
114	2825	1.04	1.10	1.11
115	2850	1.04	1.10	1.11
116	2875	1.04	1.10	1.11
117	2900	1.05	1.10	1.11
118	2925	1.05	1.10	1.11

<b>119</b>	2950	1.05	1.10	1.11
<b>120</b>	2975	1.05	1.10	1.11
<b>121</b>	3000	1.05	1.10	1.11
<b>122</b>	3025	1.05	1.10	1.11
<b>123</b>	3050	1.05	1.10	1.11
<b>124</b>	3075	1.06	1.11	1.11
<b>125</b>	3100	1.05	1.11	1.11
<b>126</b>	3125	1.05	1.11	1.10
<b>127</b>	3150	1.05	1.11	1.10
<b>128</b>	3175	1.05	1.12	1.10
<b>129</b>	3200	1.05	1.12	1.09
<b>130</b>	3225	1.05	1.12	1.09
<b>131</b>	3250	1.05	1.12	1.09
<b>132</b>	3275	1.05	1.12	1.08
<b>133</b>	3300	1.06	1.12	1.08
<b>134</b>	3325	1.06	1.12	1.08
<b>135</b>	3350	1.07	1.11	1.07
<b>136</b>	3375	1.07	1.11	1.07
<b>137</b>	3400	1.08	1.10	1.07

*Tabella 6. Fattore di Amplificazione (FA) per tre diversi intervalli di periodo: 0.1-0.5s, 0.4-0.8s, 0.7-1.1s*

## 2.5 Sezione Leognano

### 2.5.1 Sezione Geologico-Tecnica e Modello Numerico

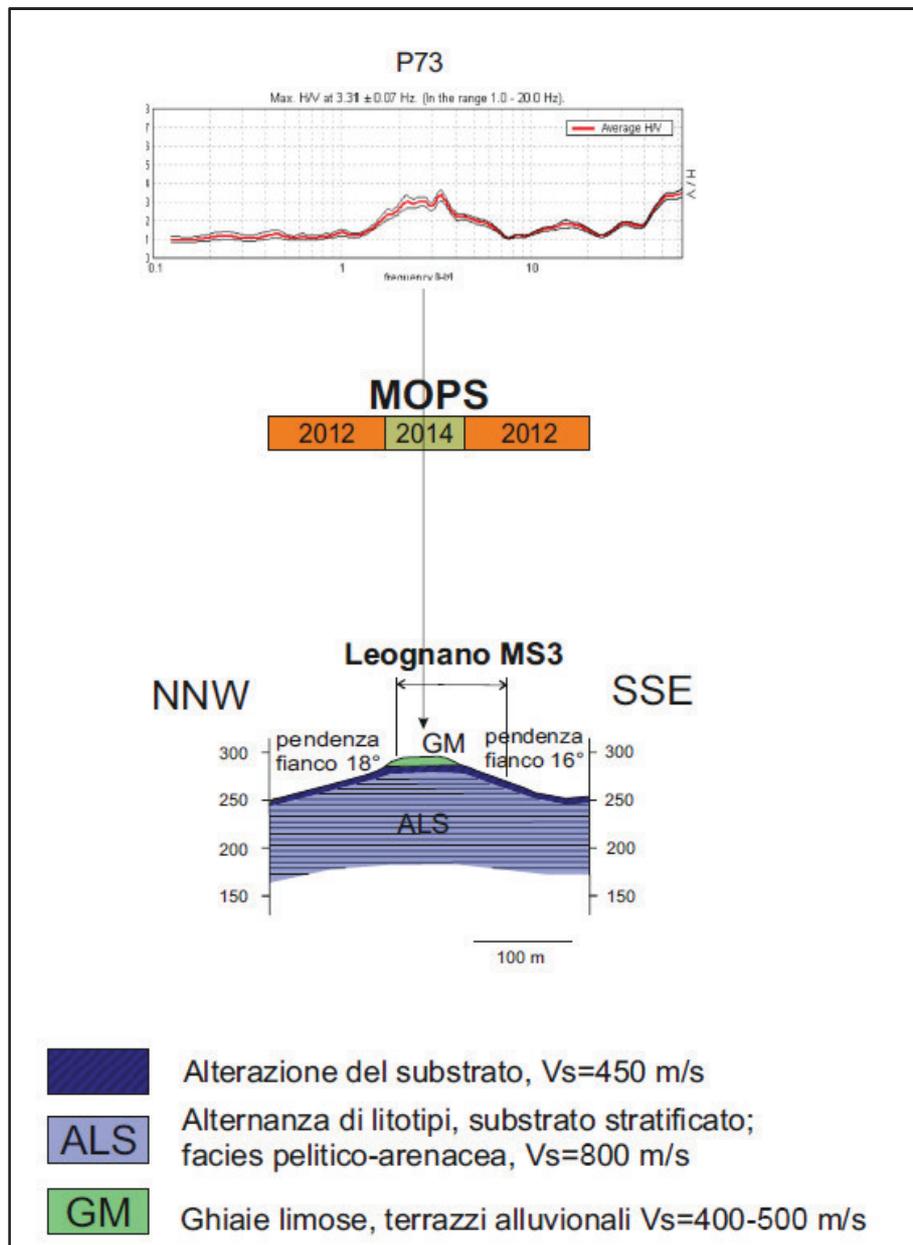


Figura 11. Sezione Geologico-Tecnica Montorio al Vomano Leognano

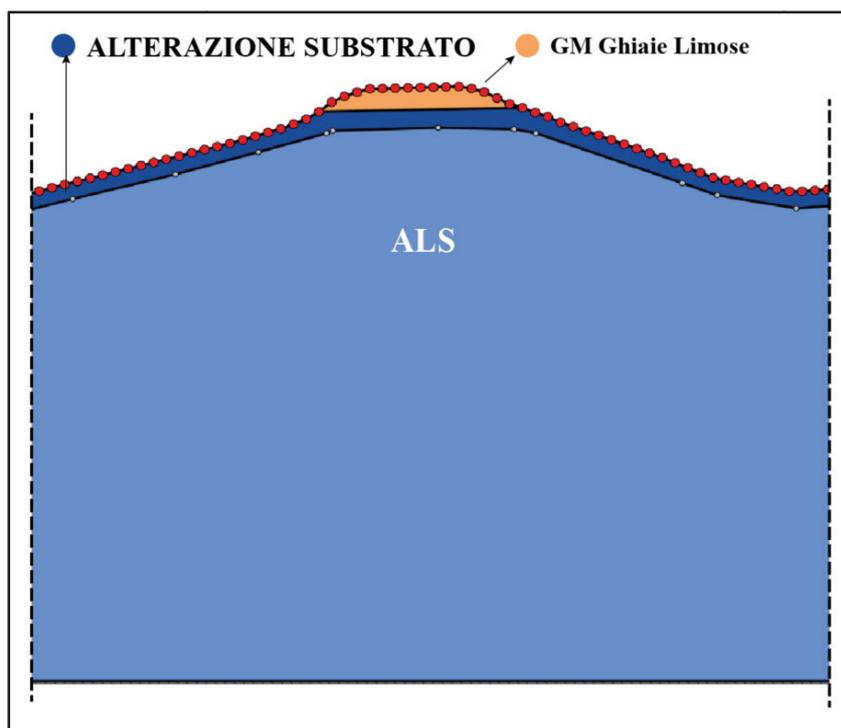
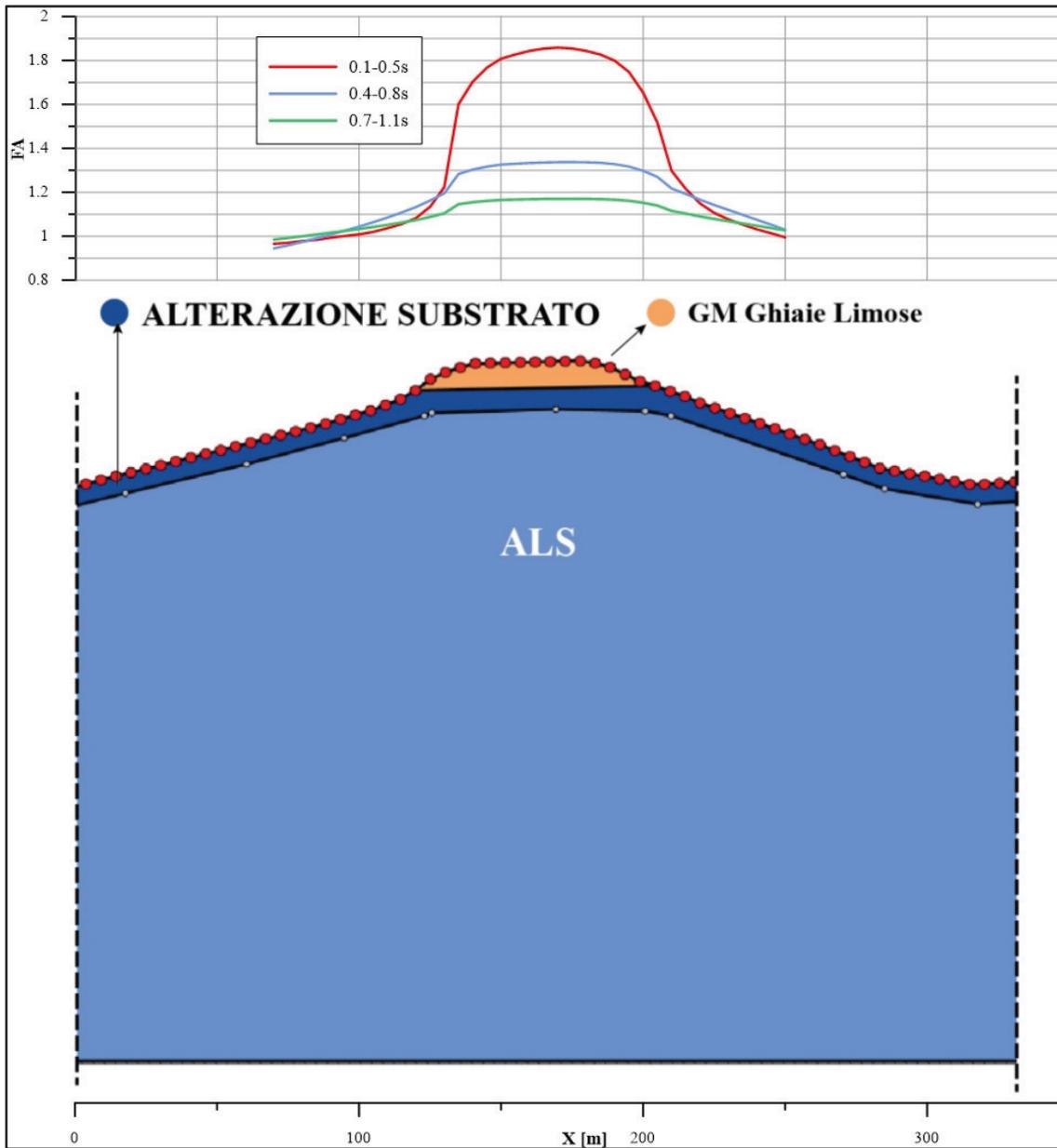


Figura 12. Sezione Geologico-Tecnica Montorio al Vomano Leognano

Litologia	h* [m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$V_s$ [m/s]	$V_p$ [m/s]	$\nu$	Curve Dinamiche
GM Ghiaie Limose	3.125	22	500	1528	0.44	Rollins et al. 1998 upper G/G0 e lower D
Alterazione	2.81	23	450	1212	0.42	Modoni&Gazzellone 2010
ALS	5	24	800	1497	0.30	Lineare D=0.5%

Tabella 7. Caratteristiche Meccaniche e Geometriche Sezione Montorio al Vomano Leognano. \*h= Altezza max elementi mesh

## 2.5.2 Risultati simulazioni numeriche bidimensionali



N° Nodi	X [m]	FA <sub>1</sub> [0.1-0.5s]	FA <sub>2</sub> [0.4-0.8s]	FA <sub>3</sub> [0.7-1.1s]
15	70	0.97	0.94	0.98
16	75	0.97	0.96	0.99
17	80	0.98	0.97	1.00
18	85	0.98	0.99	1.01
19	90	0.99	1.01	1.02
20	95	1.00	1.03	1.02
21	100	1.01	1.04	1.03
22	105	1.02	1.06	1.04
23	110	1.04	1.08	1.05
24	115	1.06	1.11	1.06
25	120	1.08	1.13	1.07
26	125	1.13	1.16	1.09
27	130	1.22	1.20	1.10
28	135	1.60	1.28	1.15
29	140	1.70	1.30	1.15

30	145	1.77	1.32	1.16
31	150	1.81	1.33	1.16
32	155	1.83	1.33	1.17
33	160	1.84	1.33	1.17
34	165	1.85	1.34	1.17
35	170	1.86	1.34	1.17
36	175	1.85	1.34	1.17
37	180	1.84	1.34	1.17
38	185	1.83	1.33	1.17
39	190	1.80	1.33	1.17
40	195	1.75	1.32	1.16
41	200	1.65	1.30	1.15
42	205	1.52	1.27	1.14
43	210	1.30	1.22	1.11
44	215	1.22	1.19	1.10
45	220	1.15	1.17	1.09
46	225	1.11	1.14	1.08
47	230	1.08	1.12	1.07
48	235	1.05	1.10	1.06
49	240	1.03	1.07	1.05
50	245	1.01	1.05	1.04
51	250	0.99	1.03	1.03

**Tabella 8.** *Fattore di Amplificazione (FA) per tre diversi intervalli di periodo: 0.1-0.5s, 0.4-0.8s, 0.7-1.1s*