

UNIONE EUROPEA



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

REGIONE
ABRUZZO



Attuazione dell'Art.11 della Legge 24 Giugno 2009, n. 77

Attività di Prevenzione del Rischio Sismico – Microzonazione Sismica del Territorio Regionale
Progetto Cofinanziato con Fondi Comunitari POR-FESR Abruzzo – 2007-2013 Asse IV – Attività IV 3.1

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa

Base topografica: CTR 1:5.000 fornita dal Servizio Cartografico della Regione Abruzzo – Sistema di Riferimento Geografico WGS 1984 Fuso 33N



REGIONE ABRUZZO



Comune di Pietracamela (TE)



Validazione del
Tavolo Tecnico MZS

Tecnico incaricato:
Dott. Geol. Leo Adamoli

Collaboratore:
Dott. Geol. William Palmucci

Data: 08.07.2013

INDICE

1. Introduzione.....	4
2. Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento.....	8
3. Assetto geologico.....	13
3.1. Inquadramento geologico-strutturale.....	13
3.2. Caratteri litostratigrafici.....	15
3.3. Assetto strutturale ed evidenze neotettoniche.....	19
4. Assetto geomorfologico.....	23
4.1. L'evoluzione geomorfologica recente.....	23
4.2. Tipologia e distribuzione dei movimenti franosi.....	25
4.3. Evidenze di Deformazioni Gravitative Profonde di Versante.....	27
4.4. La frana di Pietracamela.....	28
5. Dati idrogeologici.....	30
5.1. Complessi idrogeologici ed idrostrutture.....	30
5.2. Condizioni idrogeologiche del versante dell'abitato di Pietracamela.....	31
6. Dati geotecnici e geofisici.....	33
6.1. Dati pregressi.....	33
6.2. Indagini HVSR.....	40
7. Cenni sulla storia urbanistica dei centri abitati.....	41
8. Modello del sottosuolo ed indicazioni per successivi approfondimenti.....	43
9. La Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica.....	54
10. Bibliografia.....	57

ALLEGATO A - Rapporto indagini HVSR

ALLEGATI CARTOGRAFICI

Tav. 1 - *Carta delle Indagini (scala 1:5.000)*

Tav. 2 - *Carta Geologico-Tecnica (scala 1:5.000)*

Tav. 3 - *Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (scala 1:5.000)*

Tav. 4 - *Carta delle frequenze fondamentali di vibrazione (scala 1:5.000)*

1. Introduzione

Nella presente Relazione illustrativa sono descritti e discussi, in modo sintetico, i risultati degli Studi di Microzonazione Sismica - Livello 1, relativamente al territorio comunale di Pietracamela (TE), eseguiti ai sensi della O.P.C.M. 13 novembre 2010 n. 3907 e della D.G.R. 20 maggio 2011 n. 333 e finalizzati, in particolare, alla realizzazione della *Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica*. L'espletamento delle attività professionali e la redazione degli elaborati cartografici ed informatici, sono stati effettuati secondo le Linee Guida della Regione Abruzzo: Standard di Rappresentazione Cartografica ed Archiviazione Informatica - Versione 1.2 del 30 luglio 2012.

Il lavoro di ricerca e di analisi, che si è protratto abbastanza nel tempo a causa del perdurare delle condizioni di innevamento del territorio montano di Pietracamela, è stato articolato nelle seguenti tre fasi principali:

1. Ricerca bibliografica e cartografica con raccolta ed analisi di tutti i dati geologici, geomorfologici, idrogeologici e geologico-tecnici, relativi a tutto il territorio comunale, tratti sia dalla letteratura scientifica che da studi inediti e lavori professionali.
2. Rilevamenti geologici e geomorfologici di verifica ed aggiornamento della cartografia esistente; esecuzione di n. 10 misure HVSR da microtremiti.
3. Interpretazione ed elaborazione di tutti i dati raccolti e stesura degli elaborati cartografici.

L'attività preliminare (Fase 1) è consistita essenzialmente in un attento lavoro di ricerca bibliografica e cartografica che ha consentito la raccolta ed una minuziosa analisi di tutti i dati geologici, geomorfologici, idrogeologici, geotecnici e geofisici relativi al territorio comunale di Pietracamela, tratti sia dalla letteratura scientifica che da studi inediti ritenuti attendibili.

Nello stesso periodo, con la collaborazione dell'ufficio tecnico comunale di Pietracamela, sono stati raccolti numerosi dati relativi a studi, rilevamenti, indagini geognostiche e geofisiche, eseguiti nell'ultimo ventennio, soprattutto nell'ambito di interventi di consolidamento dei versanti e di pianificazione urbanistica e territoriale del comune di Pietracamela. Il materiale documentario raccolto, come risulta dalla *Carta delle Indagini*, non è uniformemente distribuito su tutto il territorio urbanizzato, ma riguarda essenzialmente l'abitato di Pietracamela.

Il materiale bibliografico e cartografico analizzato è stato suddiviso in due elenchi principali (A e B), riportati nella parte finale della presente Relazione illustrativa.

Nel primo (Elenco A), vengono riportati i lavori effettuati nel territorio comunale di Pietracamela dagli Enti territoriali, nell'ambito dei quali sono stati eseguiti studi, rilevamenti geologici e geomorfologici di dettaglio, indagini geognostiche e geomeccaniche, prove geotecniche in situ ed in laboratorio, indagini geofisiche. Nella totalità dei casi si tratta di dati inediti.

Nell'elenco B, invece, oltre ai risultati del Progetto CARG dell'ISPRA (Foglio 349 - Gran Sasso d'Italia e relative *Note Illustrative*, ancora in fase di stampa) ed al PAI (Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico "Fenomeni Gravitativi e Processi Erosivi") della Regione Abruzzo, vengono riportati i lavori tratti dalla letteratura scientifica specializzata, utilizzati per un aggiornato inquadramento geologico-strutturale, geomorfologico ed idrogeologico di questo settore della catena del Gran Sasso d'Italia ed in particolare del versante di Pietracamela, oggetto degli studi di MZS.

Successivamente, in stretta collaborazione con i progettisti del nuovo Piano Regolatore Generale in fase di approvazione, ed in accordo con l'Amministrazione comunale di Pietracamela, si è proceduto, sulla base sia di una preliminare analisi del quadro conoscitivo del territorio che delle previsioni del nuovo strumento urbanistico, alla individuazione delle aree da sottoporre allo studio di MZS di Livello 1. In particolare, nel territorio comunale di Pietracamela sono state individuate le seguenti quattro aree:

- **Area 1:** abitato di **Pietracamela** e dintorni
- **Area 2:** abitato di **Intermesoli** e dintorni
- **Area 3:** località turistica dei **Prati di Tivo**
- **Area 4:** **Colle Piano**, sede della centrale elettrica.

Le delimitazioni concordate comprendono tutte le aree D (Trasformazione a regime ordinario) e C1 (Trasformazione condizionata), nonché una parte dell'area A2 (Conservazione parziale) sede della Centrale elettrica. Tali perimetri, nel corso delle successive fasi dello studio, a seguito di una più approfondita definizione delle locali condizioni geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e geotecniche, nonché dei processi in atto, hanno subito opportuni ampliamenti, tra l'altro richiesti anche dal Tavolo Tecnico di Monitoraggio della Regione Abruzzo.

Di seguito si riporta un quadro d'insieme delle delimitazioni delle suddette aree che sono state oggetto dell'attività di studio (Fig.1), le quali possiedono una estensione totale pari a circa 377 ettari.

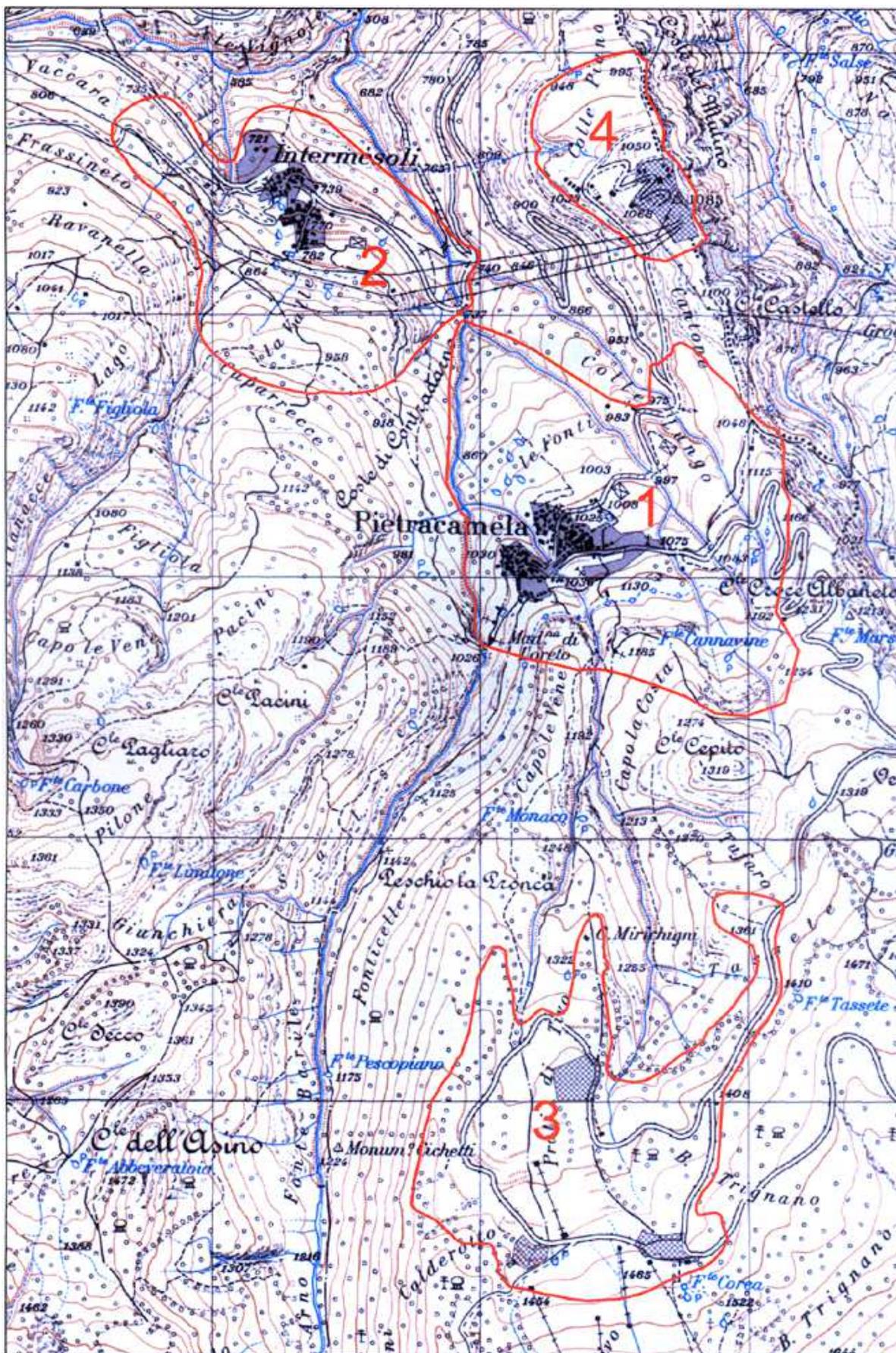


Fig. 1 - Delimitazione delle aree di indagine. Area 1 (kmq 1,42); Area 2 (kmq 0,94); Area 3 (kmq 1,11); Area 4 (kmq 0,29).

Nella fase 2 (attività intermedia), attraverso puntuali rilevamenti geologici, geomorfologici e geologico-tecnici, è stato svolto il lavoro di controllo ed integrazione dei dati pregressi provenienti da varie fonti informative (i dati geologici di riferimento provengono dalla cartografia CARG in scala 1:10.000), finalizzato ad una migliore definizione del modello geologico del sottosuolo, ovvero dello strumento conoscitivo propedeutico alla successiva redazione delle carte di MZS. Sono state altresì elaborate 6 sezioni geologico-tecniche significative che hanno consentito di rappresentare l'assetto geologico-strutturale del sottosuolo delle aree sottoposte agli studi di MZS.

Sempre nella fase intermedia, sono stati sottoposti al Tavolo Tecnico di Monitoraggio gli elaborati cartografici (*Carta delle Indagini*, *Carta Geologico-Tecnica*, *Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica*) prodotti alla scala 1:5.000 ed i risultati ottenuti.

Nella fase 3 (attività conclusiva), infine, sono state realizzate, in numero ed ubicazione congrue con le problematiche emerse, 10 misure passive del rumore sismico ambientale, mediante tecnica a stazione singola, che hanno consentito di stimare la frequenza fondamentale di risonanza del terreno, f_0 e di valutare qualitativamente l'entità dell'amplificazione A_0 , cioè l'ampiezza del picco HVSR alla frequenza f_0 . E' stato quindi completato e meglio definito il quadro conoscitivo dei territori di stretto interesse, anche a seguito della richiesta di alcune integrazioni da parte del Tavolo Tecnico di Monitoraggio, e si è proceduto alla redazione dei seguenti elaborati finali:

- *Carta delle Indagini* (scala 1:5.000)
- *Carta Geologico-Tecnica* (scala 1:5.000)
- *Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica* (scala 1:5.000)
- *Carta delle frequenze fondamentali di vibrazione* (scala 1:5.000)
- *Relazione illustrativa*

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

Il comune di Pietracamela (cod. ISTAT 2001: 13067034) è classificato, secondo l'O.P.C.M. 20 marzo 2003 n. 3274 "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*" integrata con il D.M. pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n.29 del 04/02/2008 e successivo O.P.C.M. 28 aprile 2006 n° 3519 "*Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*" quale ZONA SISMICA 2, e quindi con livello di pericolosità medio.

Qui di seguito (Fig. 2) viene riportata la storia sismica del comune di Pietracamela dal 1902 al 2005, la quale, è opportuno sottolinearlo, ricopre un intervallo di tempo troppo breve rispetto ai tempi di ritorno dei terremoti che, come si vedrà più avanti (*Assetto strutturale ed evidenze neotettoniche*), nel caso del territorio di Pietracamela possono essere anche di migliaia di anni. A seguire, dalla Fig. 3, emerge che nell'area di studio, i valori espressi in termini di accelerazione orizzontale massima del terreno a_g , con probabilità d'eccedenza del 10% in 50 anni, riferiti a suoli rigidi orizzontali ($V_{S30} > 800$ m/s), sono di 0,225 - 0,250 g.

Dall'analisi della sismicità storica del comune di Pietracamela, emerge che l'evento del 5 settembre 1950 alle 4.08 (GMT), avvertito in tutta l'Italia centrale e con gravi danni soprattutto nel settore interno del territorio provinciale teramano, è stato il massimo terremoto storico avvenuto nell'area del Gran Sasso d'Italia, zona che secondo i cataloghi sismici italiani è caratterizzata da una moderata attività sismica. Secondo il Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI04) l'epicentro ricade sul versante nord del Gran Sasso.

Per quanto riguarda gli aspetti sismotettonici, in realtà, ancora non sono state avanzate ipotesi certe sulla sorgente responsabile del suddetto terremoto del 5 settembre 1950 (VIII MCS; Mw 5,9) con replica l'8 agosto 1951 (VII MCS; Mw 5,2). In un recente studio macrosismico, TERTULLIANI *et alii*, 2006, infatti, in base ai dati acquisiti sulla distribuzione del danno, hanno ipotizzato che il terremoto del 5 settembre 1950 sia stato causato da una sorgente sismogenetica, rappresentata da una faglia cieca, attiva in un livello strutturale posto al di sotto degli edifici strutturali della Laga e del Gran Sasso d'Italia, con direzione all'incirca E-W, tra il Lago di Campotosto e Pietracamela, e di cui a tutt'oggi non sono state rintracciate tracce della deformazione areale che di solito caratterizza l'espressione in superficie di sorgenti cieche.

Storia sismica di Pietracamela
[42.523, 13.554]

Numero di eventi: 19

Effetti	In occasione del terremoto del:					
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw		
NF	1902 10 23 08:51	REATINO	77	6	4.80	±0.26
NF	1910 06 29 13:52	MUCCIAFORA	58	7	4.86	±0.33
7	1950 09 05 04:08	GRAN SASSO	386	8	5.68	±0.07
5	1979 09 19 21:3	Valnerina	694	8-9	5.86	±0.09
5	1984 05 07 17:4	Appennino abruzzese	912	8	5.89	±0.09
3	1987 07 03 10:2	PORTO SAN GIORGIO	359		5.09	±0.09
NF	1990 05 05 07:2	Potentino	1374		5.80	±0.09
4-5	1997 09 26 00:3	Appennino umbro-marchigiano	760		5.70	±0.09
4-5	1997 09 26 09:4	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	6.01	±0.09
3-4	1997 10 03 08:5	Appennino umbro-marchigiano	490		5.25	±0.09
4	1997 10 06 23:2	Appennino umbro-marchigiano	437		5.46	±0.09
4	1997 10 14 15:2	Appennino umbro-marchigiano	786	7-8	5.65	±0.09
3	1997 11 09 19:0	Appennino umbro-marchigiano	180	5-6	4.90	±0.09
2-3	1998 03 26 16:2	Appennino umbro-marchigiano	408	6	5.29	±0.09
3-4	1998 04 03 07:2	Appennino umbro-marchigiano	14	5-6	5.13	±0.09
2-3	1998 04 05 15:5	Appennino umbro-marchigiano	395	6	4.81	±0.09
NF	1998 08 15 05:1	MONTI REATINI	233	5-6	4.45	±0.09
3	2004 12 09 02:4	Zona Teramo	224	5-6	4.18	±0.09
NF	2005 12 15 13:2	Valle del Topino	361	5-6	4.66	±0.09

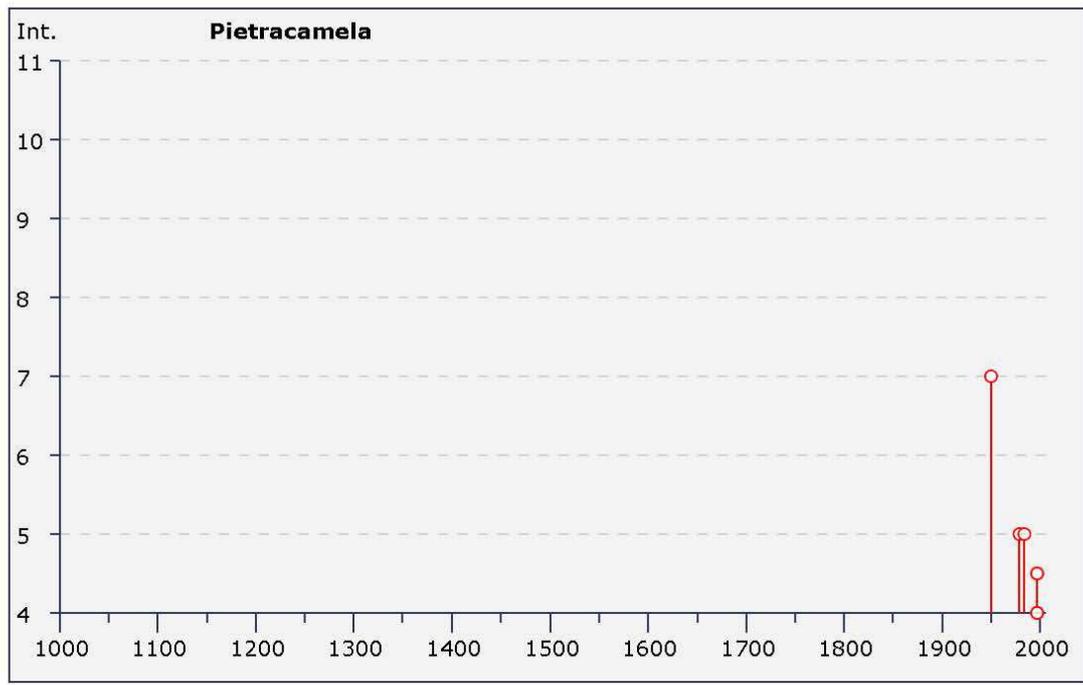


Fig. 2 - Storia sismica di Pietracamela dal 1902 al 2005 (fonte INGV: Database Macrosismico Italiano - DBMI11).

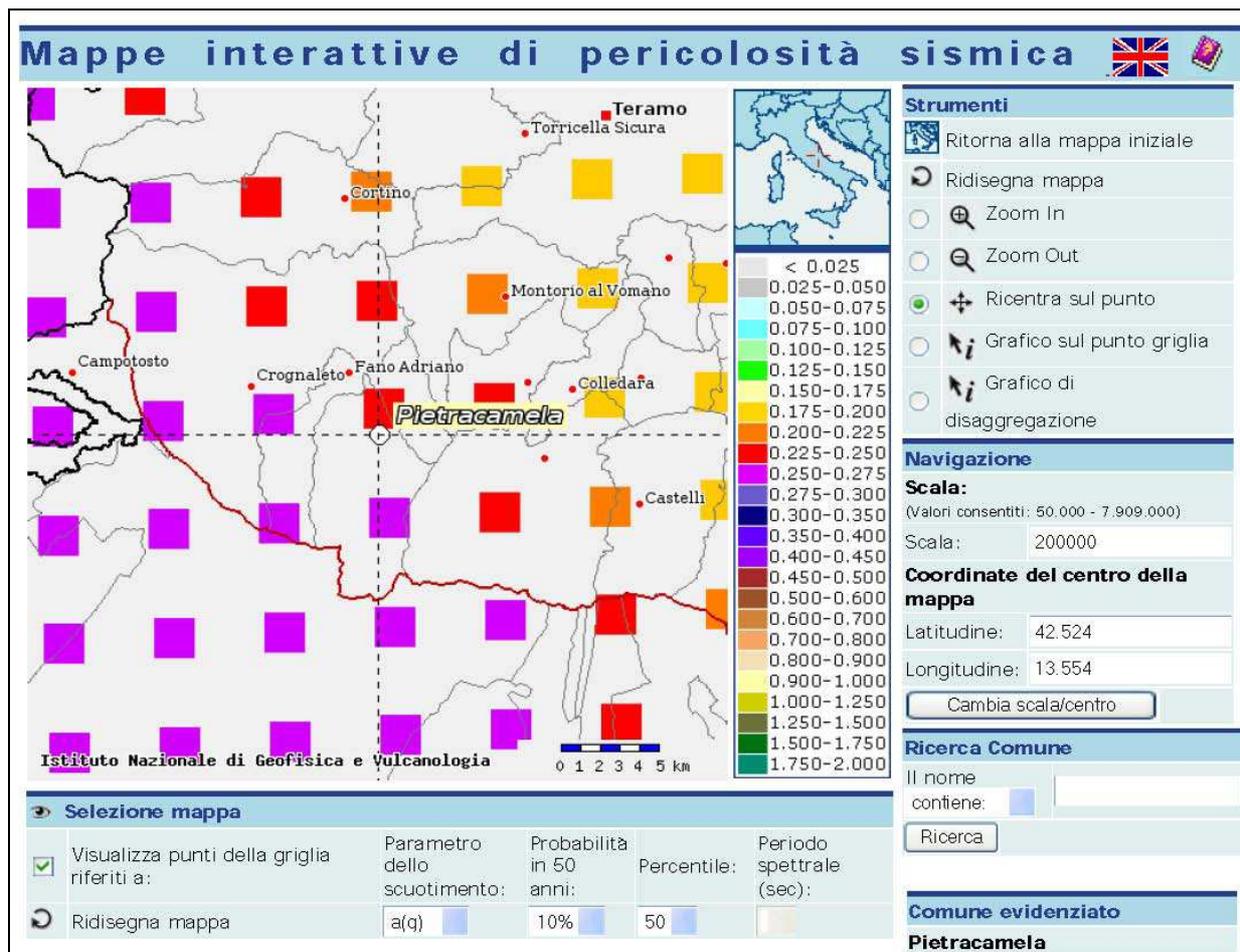
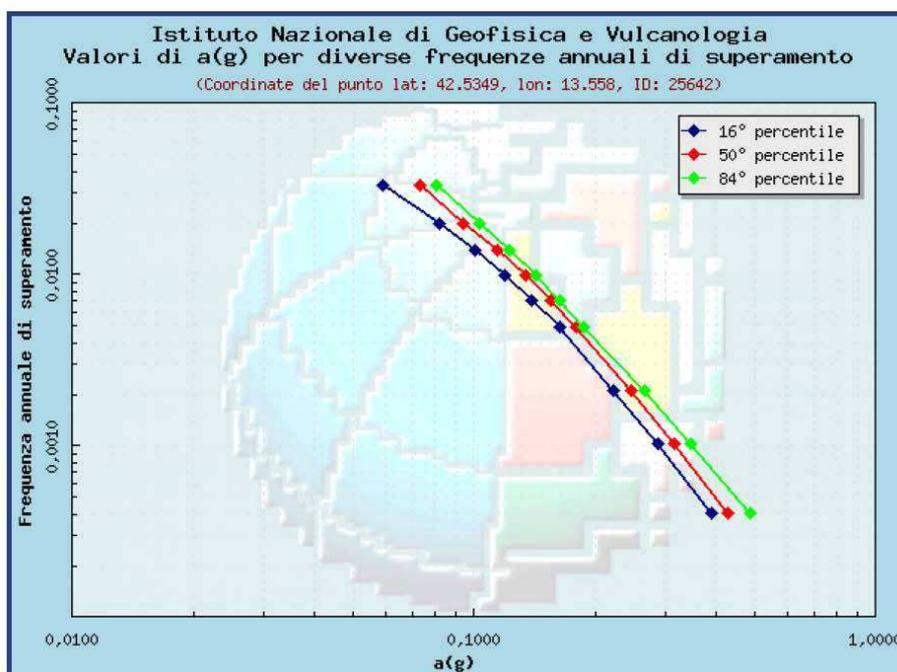
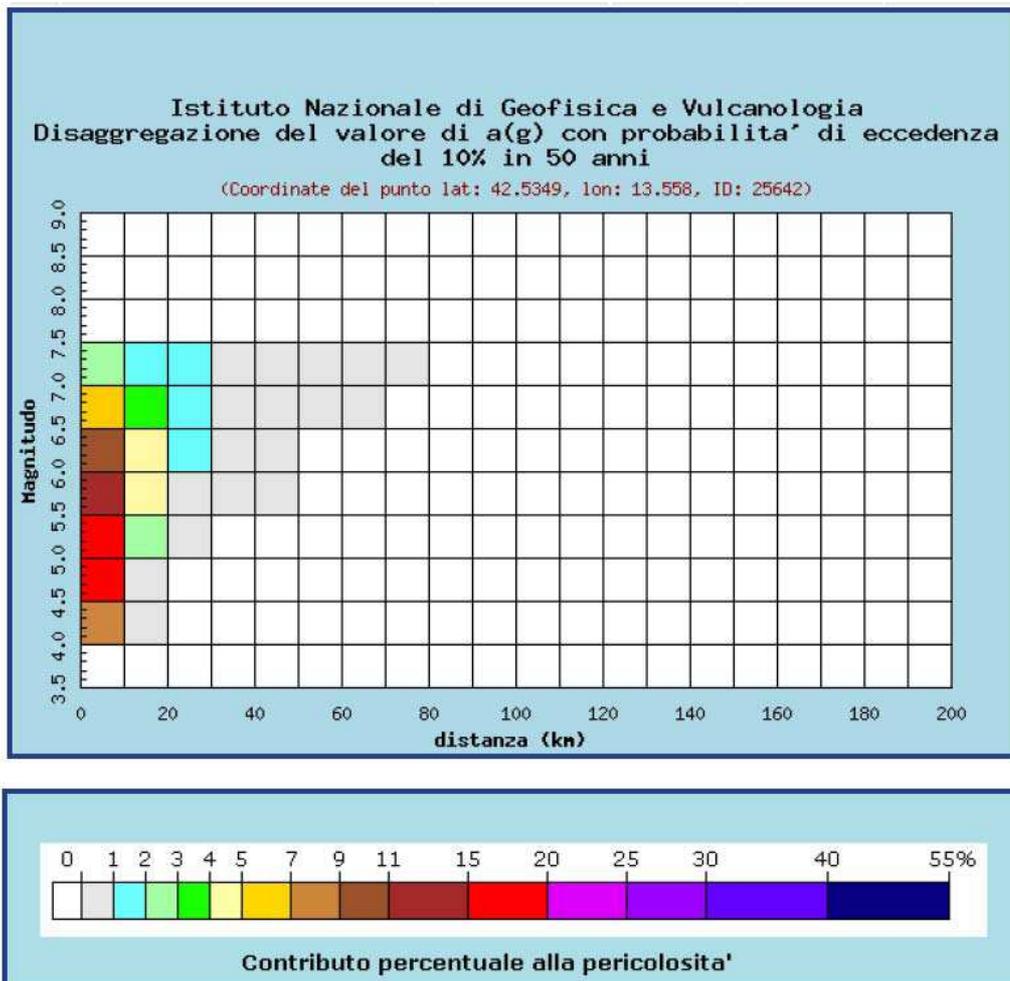


Fig.3 - Valori di pericolosità sismica del territorio nazionale con evidenziata l'area del comune di Pietracamela (rif.:O.P.C.M del 28 aprile 2006 n.3519, All.1b) espressi in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s; cat. A, punto 3.2.1. del D.M. 14.09.2005) (fonte INGV: <http://esse1.mi.ingv.it/>).



Frequenza annuale di superamento	a(g) (Coordinate del punto lat: 42.5349, lon: 13.558, ID: 25642)		
	16° percentile	50° percentile	84° percentile
0.0004	0.3895	0.4267	0.4883
0.0010	0.2869	0.3149	0.3451
0.0021	0.2227	0.2459	0.2653
0.0050	0.1626	0.1791	0.1877
0.0071	0.1391	0.1545	0.1628
0.0099	0.1192	0.1339	0.1424
0.0139	0.1001	0.1142	0.1224
0.0200	0.0818	0.0937	0.1033
0.0333	0.0591	0.0735	0.0803

Di seguito vengono riportati i valori medi e modali di M e R (ovvero la coppia Magnitudo e Distanza dalla sorgente che maggiormente contribuisce alla pericolosità sismica) ottenuti a seguito della disaggregazione della pericolosità con periodi di ritorno di 475 anni.



Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 42.5349, lon: 13.558, ID: 25642)										
	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	7.050	19.300	18.400	14.600	9.650	5.260	2.060	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	0.069	0.934	2.620	4.120	4.540	3.500	1.960	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.000	0.000	0.060	0.563	1.200	1.340	1.020	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020	0.253	0.486	0.481	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.018	0.155	0.219	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.022	0.069	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.013	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	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
5.610	7.620	0.915

3. Assetto geologico

3.1. Inquadramento geologico-strutturale

Il territorio comunale di Pietracamela è caratterizzato dalla presenza dell'imponente settore centrale del massiccio carbonatico del Gran Sasso d'Italia, ad andamento circa E-W, che comprende le cime più elevate della catena (Corno Grande, m 2912; Corno Piccolo, m 2655; Pizzo d'Intermesoli, m 2635) ed incombe con pareti ripide, a tratti verticali e di notevole altezza, sulla fascia collinare pedemontana, essenzialmente terrigena silicoclastica, caratterizzata da morfologie più dolci.

Le conche intermontane di Campo Pericoli e del Venacquaro, poste nel cuore del massiccio carbonatico, si aprono verso nord e quindi verso gli abitati di Pietracamela e di Intermesoli, attraverso lunghe e profonde valli modellate in passato dai ghiacciai quaternari: la Val Maone – Valle del Rio Arno e la Valle del Venacquaro.

Nel settore nord-orientale del territorio comunale si erge inoltre la dorsale carbonatica del Montagnone, profondamente incisa a nord dal fiume Vomano, e che raggiunge la massima elevazione con Cima Alta (1715 m), in prossimità del fronte della catena del Gran Sasso d'Italia. Tale rilievo, ad andamento all'incirca meridiano, costituisce la prosecuzione verso sud della dorsale carbonatica della Montagna dei Fiori.

Dal punto di vista dell'inquadramento geologico regionale, l'assetto geologico-strutturale del territorio di Pietracamela è il risultato dell'evoluzione prevalentemente mio-pliocenica di un sistema orogenico catena - avanfossa - avampaese in cui è possibile ricostruire le fasi di migrazione degli sforzi compressivi dai settori occidentali tirrenici verso quelli orientali adriatici. In particolare, l'evoluzione geodinamica del settore centro-appenninico di cui il territorio in esame fa parte, è stata essenzialmente controllata dalla presenza di due unità paleogeografico-strutturali (Piattaforma carbonatica laziale-abruzzese e Bacino pelagico umbro-marchigiano), che si sono sviluppate a partire dal Trias superiore sul margine meridionale passivo dell'antico oceano Tetide in fase di espansione, e dalla cui interazione, nella successiva fase compressiva neogenica è nata quella parte dell'Appennino centrale, il cui settore in studio costituisce indubbiamente una delle aree più complesse ed interessanti sotto il profilo scientifico.

Analizzando in particolare l'assetto geologico-strutturale del territorio di Pietracamela, emerge che esso è caratterizzato dalla presenza di un edificio a *thrust* rappresentato dalla sovrapposizione, tramite un piano di sovrascorrimento a direzione circa E-W e con entità di

raccorciamento che diminuisce da est verso ovest, di due principali unità stratigrafico-strutturali, a loro volta suddivise in unità minori da altri sovrascorrimenti: l'Unità del Gran Sasso a sud, che è quella più alta ed interna, e l'Unità della Laga a nord, che costituisce l'elemento inferiore e più esterno (Fig. 4).

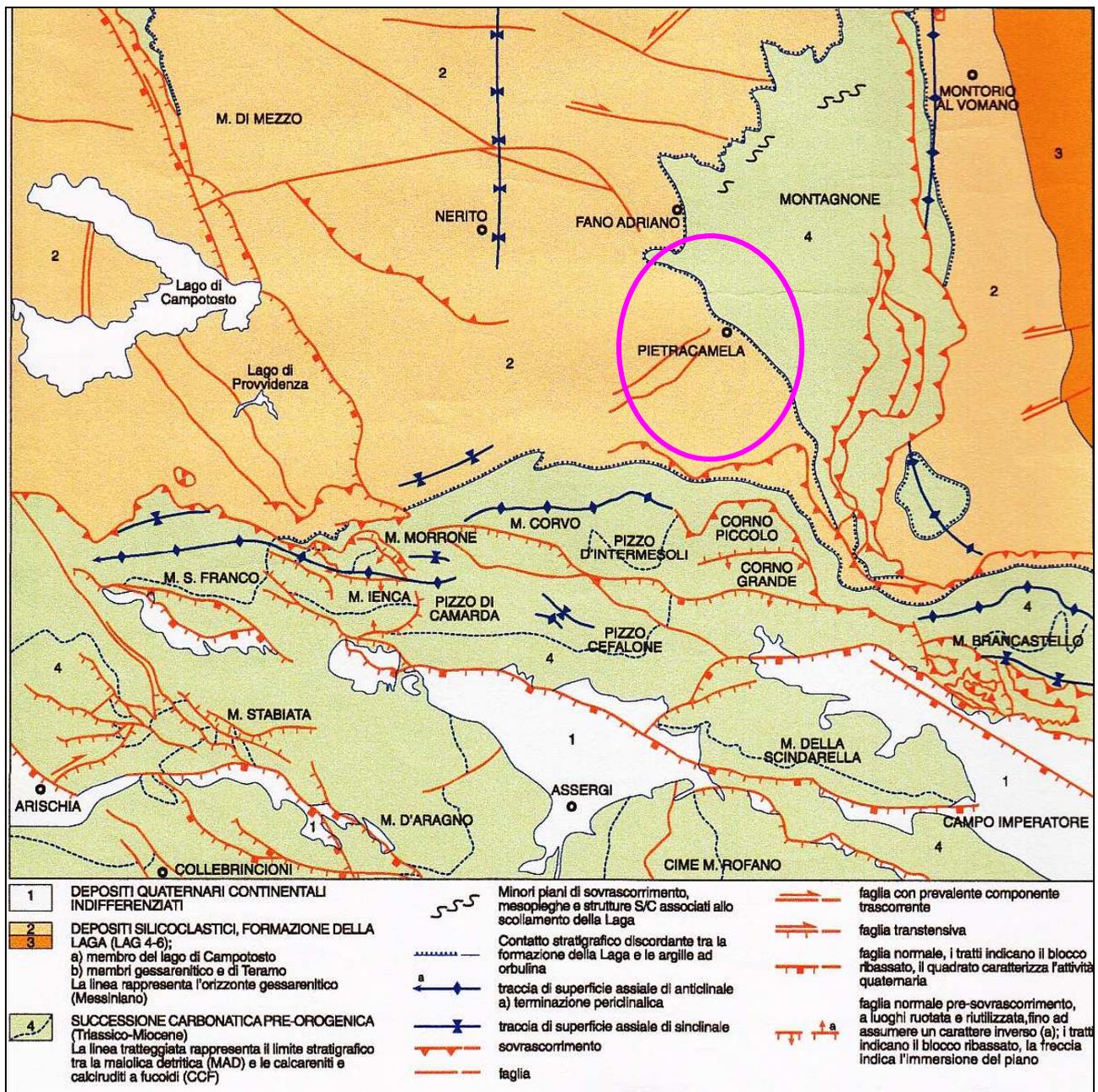


Fig. 4 - Schema geologico-strutturale del Foglio 349 "Gran Sasso d'Italia" (ISPRA, in stampa), con l'ubicazione dell'area di interesse.

Nell'Unità del Gran Sasso, al disopra di una successione calcareo-dolomitica (Triassico superiore - Giurassico inferiore p.p.), riferibile ad un ambiente di paleopiattaforma carbonatica,

segue in continuità stratigrafica una successione costituita da calcari micritici con selce, calcari bioclastici, calcareniti e calciruditi risedimentate, spesso canalizzate e torbiditiche, calcari marnosi e marne (Giurassico inferiore p.p. - Oligocene), riferibile ad un ambiente di base di scarpata - bacino prossimale, posto tra il margine della Piattaforma carbonatica laziale-abruzzese a sud e l'antistante Bacino pelagico umbro-marchigiano-sabino, a nord. Segue infine una successione miocenica calcareo-marnosa riferibile ad un ambiente di rampa distale.

L'*Unità della Laga*, a sua volta accavallata sulla più esterna *Unità del Cellino* attraverso un piano a direttrice N-S (*thrust di Teramo*), è litologicamente caratterizzata da depositi torbiditici silicoclastici di avanfossa, riferibili alla *Formazione della Laga* (Messiniano) e da una successione calcareo-marnosa di rampa distale, riferibile alle *Argille ad Orbulina* e *Marne con cerroghna* (Langhiano - Messiniano p.p.).

3.2. Caratteri litostratigrafici

Il territorio di Pietracamela di più stretto interesse, ovvero il versante che si estende dai Prati di Tivo all'abitato di Intermesoli, è interamente compreso nell'*Unità della Laga* ed è caratterizzato dalla presenza, come già accennato, di una successione calcareo-marnosa (Langhiano - Messiniano p.p.) di rampa distale e di avampaese pre-orogena, e da depositi terrigeni silicoclastici (Messiniano p.p.) di avanfossa, sin-orogenici. Il substrato è in buona parte ricoperto da depositi continentali del Quaternario (*Carta Geologico-Tecnica*). Ad iniziare dalle formazioni geologiche più antiche, i caratteri litologici e stratigrafici dei vari depositi possono essere così riassunti.

Unità Geologiche Marine

Marne con cerroghna (CRR) (Langhiano - Tortoniano p.p.)

Questa unità, con buona continuità laterale e piuttosto estesa sul versante di Pietracamela, costituisce il tetto della successione calcareo-marnosa meso-cenozoica. Presenta uno spessore variabile da 90 m (serie rovesciata dei Prati di Tivo) ad un massimo di 750 m (anticlinale del Montagnone), ed è caratterizzata dalle seguenti due distinte litofacies:

- *litofacies marnoso-calcarenitica (CRR_a)* – E' costituita da marne, marne-calcaree grigio-verdi e grigio-avana, e marne-argillose a foraminiferi planctonici, con intercalazioni di calcareniti in strati medi a granulometria da molto fine a media.

- litofacies calcarenitico-calciruditica (CRR_b) - E' caratterizzata da calcareniti e calciruditi flussotorbiditiche in strati e banchi, di colore grigio e nocciola, con resti spongolitici e glauconite rimaneggiata, ed intercalazioni di marne calcaree di colore grigio con piste di limivori. E' altresì presente, verso il basso, un intervallo di prevalenti calcareniti massive con frammenti di pectinidi, lamellibranchi ed ostreidi.

Argille ad *Orbulina* (UAM₃) (Tortoniano p.p. – Messiniano p.p.)

Questa unità, non affiorante nelle aree di studio ma presente alla base degli affioramenti della successione silicoclastica della *Formazione della Laga* e dei depositi di frana, è costituita da marne argillose e siltiti marnose di colore da grigio-azzurro ad avana a grigio-scuro, sottilmente stratificate e laminate, ricche di foraminiferi planctonici. Il contatto stratigrafico con le sovrastanti torbiditi della *Formazione della Laga* è marcato da un'evidente discordanza angolare. Localmente sono presenti sottili intercalazioni pelitico-arenacee. La base è di solito caratterizzata dalla presenza di un *hard-ground* mineralizzato a glauconite e fosfati di spessore centimetrico, al di sopra del quale possono essere presenti pochi metri di calcari marnosi e marne calcaree ricchi in glauconite e tracce fossili. Lo spessore, non determinabile con certezza, è compreso tra 10 e 30 metri. Nell'area dell'abitato di Pietracamela, dall'analisi dei sondaggi geognostici eseguiti nel passato, risulta uno spessore residuo variabile da 2 a 10 metri.

Formazione della Laga - membro del Lago di Campotosto (LAG₄) (Messiniano p.p.)

Il *membro del Lago di Campotosto*, che rappresenta la porzione basale della *Formazione della Laga*, è l'unico affiorante nel territorio comunale di Pietracamela, ed in particolare, nelle aree in studio, sono presenti le seguenti associazioni litologiche:

- **associazione arenacea (LAG_{4c})** - Presenta un rapporto S/A >> 1 ed è caratterizzata dalla prevalenza di strati amalgamati molto spessi con geometria sia tabulare che lenticolare su media scala. Gli strati di maggiore dimensione sono in genere massivi, senza apprezzabile gradazione interna ed occasionale sviluppo al tetto di laminazione ondulata, convoluta e/o incrociata (facies B e subordinatamente C).
- **associazione arenaceo-pelitica II (LAG_{4b})** - Presenta un rapporto S/A compreso tra 1 e 3 ed è caratterizzata da strati tabulari medi e spessi; essi presentano in genere una porzione gradata inferiore ed una laminata superiore (sequenza completa di Bouma) o solo quella laminata superiore (facies C e subordinatamente D1 e D2).

- **associazione pelitico-arenacea (LAG_{4e})** - Prevalenza di strati tabulari con rapporto S/A < 1, in cui la porzione arenacea è completamente laminata (facies D2 e subordinatamente C1 e D1).

Unità Geologiche del Quaternario

In discordanza sui vari termini delle successioni descritte si rinvengono, infine, date le quote elevate del versante di interesse, depositi di origine glaciale del Pleistocene medio ed estese e varie coperture detritiche oloceniche che localmente si interdigitano con sedimenti alluvionali e fluvio-glaciali, connessi con le fasi climatiche freddo-aride del Quaternario.

Deposito glaciale (gla) (Pleistocene medio p.p.)

Costituito essenzialmente dal *Till* indifferenziato riferibile al *Sistema di Pietracamela* (PEAc1) del Pleistocene medio p.p. (Foglio 349 del Gran Sasso d'Italia, in stampa), è ben esposto con morfologie rupestri appena a monte dell'abitato di Pietracamela, in destra idrografica del Rio Arno, con una sequenza spessa circa 70 metri, costituita da ghiaie e breccie calcaree fortemente cementate e grossolanamente stratificate che si estende per circa 3 km, dai Prati di Tivo a Pietracamela, a formare la dorsale Calderotto - Peschio la Pronca - Capo le Vene. La base del deposito, spesso mascherata da accumuli detritici originatisi per frane successive, corrisponde ad una superficie di erosione a geometria planare con quote decrescenti verso nord, formatasi a spese del substrato costituito dalla *Formazione della Laga - membro del Lago di Campotosto*. Il deposito (spessore massimo 100 m) è caratterizzato da un'alternanza irregolare di facies con frequenti variazioni laterali e verticali. La litofacies prevalente è costituita da breccie fortemente cementate, in strati molto spessi, generalmente massivi, costituite da clasti calcarei eterometrici, che raggiungono dimensioni metriche, angolosi e raramente sub-arrotondati, con proporzioni variabili di matrice siltosa biancastra. Talora si osservano intercalazioni di ghiaie eterometriche fino ai blocchi, da angolose a sub-arrotondate, in strati da medi a sottili, che costituiscono piccoli corpi canalizzati con stratificazione incrociata planare e a truogolo. Sono altresì presenti, con strati da sottili a spessi, breccie angolose e sub-angolose da fini a molto grossolane con contenuto molto variabile di matrice calcarea sabbioso-limosa (tessitura da *open work* a *matrix supported*). La sequenza esaminata, come già accennato, è prevalentemente di origine glaciale anche se le alternanze con depositi gravitativi o rielaborati dalle acque correnti, indica una rapida variazione nello spazio e nel tempo degli ambienti deposizionali, verosimilmente in connessione con le avanzate e i ritiri del ghiacciaio della Val

Maone – Valle del Rio Arno. Il crinale a ridosso di Pietracamela rappresenta, pertanto, un argine morenico laterale il cui apparato frontale è stato successivamente demolito dall'erosione fluviale.

Deposito di versante a grossi blocchi (ver) (Olocene - attuale)

Si tratta di depositi accumulatisi lungo i versanti per azione prevalente della gravità e/o per ruscellamento e costituiti da clasti eterometrici e matrice a prevalente composizione terrigena o calcarea a seconda della natura del substrato. Lungo il versante Pietracamela - Intermesoli, l'estesa copertura detritica, costituita da clasti eterometrici fino alle dimensioni di grossi blocchi, poligenici, con quantità variabile di matrice siltoso-sabbiosa o calcarea e cementazione generalmente scarsa, e messa in posto attraverso meccanismi di degradazione delle scarpate strutturali, è stata successivamente coinvolta, per la maggior parte della sua estensione, in fenomeni franosi. Lo spessore varia da pochi metri fino a superare i 50 metri.

Deposito di frana (fra) (Olocene - attuale)

Accumulo caotico costituito da frammenti litici arenacei o calcarei, eterometrici fino ai grossi blocchi, con quantità variabile di matrice siltoso-sabbiosa o calcarea e cementazione generalmente scarsa. Si tratta di materiali mobilizzati da fenomeni gravitativi di grandi dimensioni, avvenuti in passato, ed in parte ancora soggetti a movimenti, diffusamente presenti nel versante in esame. Un esempio è rappresentato dall'area dell'abitato di Pietracamela, dove il deposito di versante a grossi blocchi, compreso tra la dorsale di Collelungo ed il Rio Arno è stato mobilizzato, a partire all'incirca dalla base di Colle Cepito – Capo le Vene fino alla confluenza del Fosso Cannavine nel Rio Arno, da fenomeni franosi avvenuti in passato in concomitanza del forte approfondimento vallivo, ed in parte ancora attivi. Nell'area dell'abitato di Pietracamela, inoltre, sulla base dei dati emersi dai sondaggi geognostici è stato possibile accertare una certa variazione litologica del *deposito di frana*, fra le due parti dell'abitato, suddivise dal Rio la Porta, affluente di destra del Rio Arno. Nel nucleo antico dell'abitato ("la Terra"), posto a SW del Rio la Porta, i clasti fino agli enormi blocchi rocciosi sono essenzialmente carbonatici, con matrice a prevalente composizione calcarea, in quanto provenienti dalla demolizione delle brecce calcaree di Capo le Vene. Nella parte più recente del paese ("la Villa"), a NE del Rio la Porta, invece, prevalgono clasti e grandi blocchi arenacei, nonché una matrice prevalentemente siltoso-sabbiosa e limoso-argillosa, in quanto questa parte del versante è stata essenzialmente alimentata dalla degradazione di scarpate arenacee e pelitico-arenacee. Sempre nell'area dell'abitato, il substrato del *deposito di frana*, così come risulta dai sondaggi geognostici, è costituito dalle *Argille ad Orbulina*, e lo spessore varia all'incirca dai 2-10-30 metri a "la Villa" fino a superare i 50 m nel nucleo antico "la Terra".

Detrito di falda (fal) (Olocene - attuale)

Costituisce l'ampia falda detritica che dalla base dei ripidi versanti del settore Corno Piccolo - Arapietra, si estende per buona parte dei Prati di Tivo e si interdigita con i depositi fluvio-glaciali e di conoide alluvionale. La litologia è caratterizzata da clasti poligenici ed eterometrici, fino alle dimensioni dei blocchi, con scarsa matrice siltoso-sabbiosa e cementazione generalmente scarsa. Lo spessore varia da 3 a 20 metri.

Deposito alluvionale e fluvio-glaciale (all) (Olocene - attuale)

Presente solo nell'area dei Prati di Tivo, dove passa lateralmente al detrito di falda, il deposito è litologicamente costituito da sabbie, ghiaie e limi con livelli e lenti di argille e da ghiaie e blocchi di dimensioni da metriche a centimetriche, poligenici, da sub-angolosi ad arrotondati, con intercalazioni di sabbie e limi sabbiosi (conoide alluvionali). Lo spessore del deposito varia da 3 a 15 metri.

3.3. Assetto strutturale ed evidenze neotettoniche

Nel territorio del comune di Pietracamela, come già accennato, emerge l'imponenza e la grandiosità dell'edificio strutturale che la tettonica compressiva, attraverso successive fasi deformative perdurate dal Messiniano al Pliocene medio-superiore, ha realizzato attraverso la sovrapposizione di due principali unità tettonico-stratigrafiche, a loro volta suddivise in unità minori da altri sovrascorrimenti: l'*Unità del Gran Sasso* a sud e l'*Unità della Laga* a nord.

L'*Unità del Gran Sasso*, a direzione WNW-ESE e vergenza NNE, è a sua volta suddivisa in due unità minori: quella più bassa, affiorante sul fronte compressivo della catena, è costituita dal fianco inverso di una sinclinale rovesciata nord-vergente ed a geometria piuttosto serrata, mentre quella alle quote più alte si sviluppa con un prevalente assetto a monoclinale. Quest'ultima è ulteriormente suddivisa da una paleofaglia distensiva giurassica, ruotata e riattivata dalle spinte compressive della tettonogenesi appenninica come faglia inversa (Fig. 5).

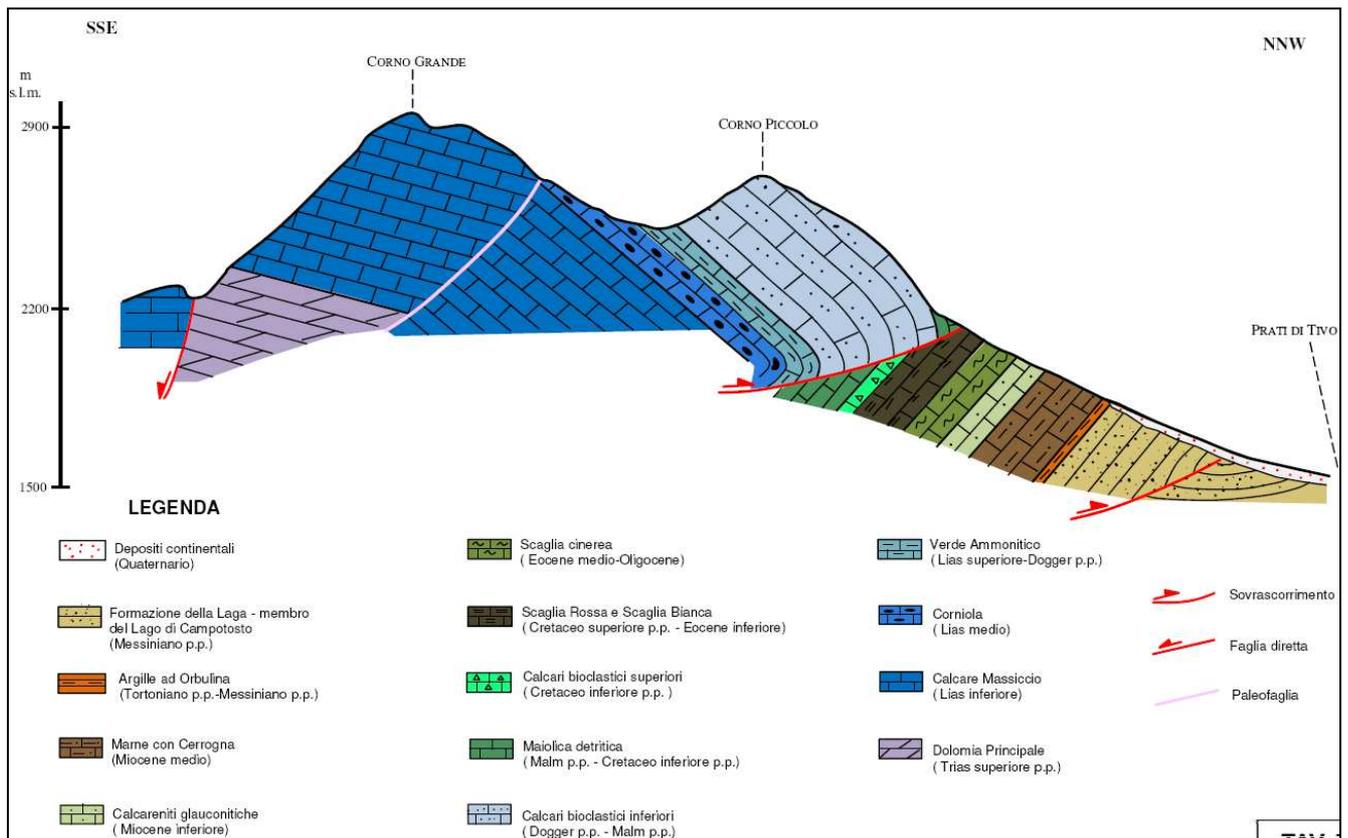


Fig. 5 - Sezione geologica attraverso il settore centrale della catena del Gran Sasso d'Italia (da ADAMOLI, 1992, modificata).

La superficie di sovrascorrimento tra le due suddette unità minori (thrust superiore) può essere agevolmente seguita sul terreno, dalla base della parete SE del Corno Grande alla base del versante NW del Corno Piccolo, dove è stata ricostruita un'entità di traslazione di circa 500 metri, fino ad occidente del Corno Piccolo, dove a causa della progressiva diminuzione verso ovest dell'entità del raccorciamento, il sistema di pieghe rovesciate sopra ricordato, acquisisce gradualmente una geometria sempre meno serrata, e le ultime tracce della superficie di sovrascorrimento superiore, sono ancora appena visibili sul versante orientale di Pizzo d'Intermesoli. Al piano di sovrascorrimento superiore sono spesso associate, in presenza di litotipi calcareo-marnosi, rocce foliate con sviluppo di corpi sigmoidali embricati, di dimensioni variabili, allineati parallelamente al thrust.

Il piano di sovrascorrimento basale del Gran Sasso (thrust inferiore), che ne determina l'accavallamento sull'*Unità della Laga*, è poco evidente sul terreno in quanto generalmente sepolto dagli estesi depositi continentali quaternari, come per esempio ai Prati di Tivo. Tuttavia è possibile ricostruirne una verosimile posizione ubicandolo tra la successione rovesciata e quella dritta della *Formazione della Laga* (Fig. 5), dove sono talora osservabili alcuni elementi mesostrutturali, quali piani di taglio inversi caratterizzati da vene di taglio calcitiche e strie meccaniche evidenziate da

allineamenti di miche scure. Tale posizione è confermata dal fatto che, per esempio, a Valle del Rio Arno, nell'ambito della successione rovesciata del blocco di tetto del piano di sovrascorrimento basale, è osservabile una perfetta continuità stratigrafica tra la *Formazione della Laga*, le *Argille ad Orbulina* e la sovrastante successione carbonatica.

A valle del sovrascorrimento basale del Gran Sasso, l'*Unità della Laga* è caratterizzata da ampie pieghe e sovrascorrimenti a direzione meridiana. La struttura più evidente è l'anticlinale del Montagnone che costituisce il settore meridionale dell'estesa struttura anticlinale Montagnone - Montagna dei Fiori, ad andamento blandamente arcuato e con direzione meridiana, dove l'entità del raccorciamento sembra aumentare verso sud, e dove il sovrascorrimento verso est si esplica attraverso diversi piani che individuano scaglie tettoniche di *Marne con cerroghna*. Questi, nell'estrema porzione meridionale della struttura, si anastomizzano, assumono direzione E-W e si collegano al piano di sovrascorrimento basale del Gran Sasso.

Al suo interno l'*Unità della Laga* è articolata in una serie di sovrascorrimenti minori, sempre ad andamento N-S, e le strutture plicative sono accompagnate da sistemi di faglie trasversali ed oblique a carattere trascorrente.

Gli effetti della tettonica compressiva mio-pliocenica sono ben visibili nella formazione delle *Marne con cerroghna* interessata da un significativo grado di deformazione. L'ammasso roccioso presenta, infatti, una intensa fratturazione, pieghe di scollamento, piani di taglio ed un diffuso clivaggio che tende a concentrarsi nei livelli a maggiore componente marnosa.

Il versante in esame, infine, a partire dal Pliocene superiore - Pleistocene inferiore, è stato intensamente dislocato, durante le fasi tettoniche distensive, da diversi sistemi di faglie dirette a direzione variabile da NW-SE ad E-W (subordinatamente NNE-SSW), la cui attività recente, come si vedrà più avanti, ha dato origine, a luoghi, a depressioni tettoniche ed ha verosimilmente controllato l'evoluzione dei fenomeni gravitativi.

Per quanto riguarda infine le evidenze geologiche e geomorfologiche di fagliazione recente, osservabili con notevole continuità anche nel territorio comunale di Pietracamela, è opportuno sottolineare che sul retro del fronte di sovrascorrimento del Gran Sasso d'Italia, sono presenti spettacolari faglie estensionali che mostrano chiare evidenze d'attività quaternaria (Faglie attive e capaci del Gran Sasso). Lo smembramento della catena ad opera di questi sistemi di faglie dirette a forte rigetto, preferenzialmente sviluppate secondo direttrici WNW-ESE, è ben noto in letteratura (DEMANGEOT, 1965; BOSI, 1975; ADAMOLI *et alii*, 1981-82b; GHISSETTI & VEZZANI, 1986; GIRAUDI, 1988a, 1988b; BACHETTI *et alii*, 1990; GHISSETTI *et alii*, 1990; CARRARO & GIARDINO, 1992; JAURAND, 1992; BLUMETTI, 1995; GIRAUDI & FREZZOTTI, 1995; CALAMITA *et alii*, 1997;

CELLO *et alii*, 1997; D'AGOSTINO *et alii*, 1998; VEZZANI & GHISSETTI, 1998; GALADINI & GALLI, 2000, 2003; GALLI *et alii*, 2002; PIZZI *et alii*, 2002; GALADINI *et alii*, 2003; BONCIO *et alii*, 2004).

Il segmento di faglia diretta ad andamento medio WNW-ESE, che borda a meridione il tratto M. Corvo - Pizzo d'Intermesoli – Corno Grande, noto in letteratura come “Faglia delle Tre Selle – Corno Grande” (sviluppo longitudinale di circa 10 km e rigetto massimo di 1.000 m), e che attraversa il territorio comunale nell'estremo settore meridionale ad una distanza di poco meno di 7 km dall'abitato di Pietracamela, è interpretabile come una faglia pre-sovrascorrimento riutilizzata durante la tettonica distensiva quaternaria.

Il piano di faglia è osservabile solo localmente e le migliori esposizioni si hanno nella Valle del Venacquaro e nella Val Maone, dove studi paleosismologici (GIRAUDI C. & FREZZOTTI, 1995) hanno evidenziato la dislocazione di depositi glaciali, colluviali ed alluvionali nel Pleistocene superiore-Olocene, consentendo di identificare almeno 4 eventi di fagliazione di superficie negli ultimi 18.000 anni, e propongono un probabile intervallo di ricorrenza dei terremoti tra 2.500-3.000 e 6.000-7.000 anni, valutando, per la “Faglia delle Tre Selle – Corno Grande”, uno slip-rate di 0,67-1 mm/a.

In effetti, i dati della sismicità storica, come già visto, documentano l'assenza di terremoti storici importanti ($M > 6$), ma le suddette chiare evidenze geologiche di fagliazione recente testimoniano che sul massiccio del Gran Sasso d'Italia sono possibili, anche se con tempi di ritorno molto lunghi, riattivazioni della “Faglia delle Tre Selle – Corno Grande”, e di altri segmenti attivi, con magnitudo massima attesa M_w 6.9.

4. Assetto geomorfologico

4.1. L'evoluzione geomorfologica recente

Dopo il sollevamento e la formazione dell'originario edificio strutturale di questo settore della catena del Gran Sasso d'Italia, ha iniziato a realizzarsi e continua tuttora, l'azione demolitrice e modellatrice degli agenti atmosferici che, attraverso l'alternanza di processi erosivi e deposizionali legati alle variazioni climatiche quaternarie, hanno rielaborato l'originario rilievo dando origine, a seconda della natura litologica, dell'assetto strutturale e del grado di fratturazione degli ammassi rocciosi, all'attuale paesaggio geomorfologico.

Nell'area pedemontana di più stretto interesse, ad eccezione delle ripide pareti in corrispondenza dei depositi di breccie continentali cementate del Quaternario (Capo le Vene), la prevalente natura arenaceo-marnosa delle rocce affioranti ha dato luogo, in generale, a forme più morbide rispetto a quelle del massiccio carbonatico (Fig. 6). La presenza però all'interno della *Formazione della Laga* di litologie che offrono risposte diverse all'erosione, rendono evidente, anche in queste zone, il controllo esercitato dalla litologia sul modellamento del territorio. I rilievi maggiori e relativamente più aspri si hanno in corrispondenza delle aree dove affiorano prevalentemente i banchi e gli strati arenacei più resistenti all'erosione; dove invece più elevati sono le frequenze e gli spessori delle intercalazioni pelitiche più erodibili, la morfologia risulta più dolce. L'alternanza di strati arenacei con strati argilloso-marnosi produce inoltre, sempre per erosione selettiva, pendii con una caratteristica morfologia a gradini e scarpate.

Tipiche micro e macroforme del paesaggio carsico sono osservabili appena a monte dell'abitato di Pietracamela, alla base delle ripide pareti carbonatiche di Capo le Vene, dove le poche cavità esistenti presentano dimensioni modeste.

Per quanto riguarda infine le diverse forme e depositi dovuti alla morfogenesi glaciale, durante le fasi fredde pleistoceniche, ad opera dei due grandi ghiacciai: quello della Valle del Venacquaro ed il ghiacciaio che da Campo Pericoli si estendeva lungo la Val Maone - Valle del Rio Arno, c'è da osservare che i depositi glaciali relativi all'Ultima Glaciazione, sono osservabili solo a partire da quota 1800 m circa (e quindi al di fuori delle aree di stretto interesse), a causa del forte approfondimento vallivo olocenico e del modellamento gravitativo dei versanti che hanno favorito l'erosione dei depositi stessi. Depositi glaciali più antichi, riferibili al Pleistocene medio, sono invece presenti, con morfologie rupestri, in destra idrografica del Rio Arno dai Prati di Tivo fino a quota 1.110 m s.l.m., appena a monte del borgo di Pietracamela (Fig. 7)



Fig. 6 - Il versante dell'abitato di Pietracamela con, sullo sfondo, il massiccio carbonatico.



Fig. 7 - Deposito glaciale (gla) con morfologia rupestre a Capo le Vene, appena a monte dell'abitato di Pietracamela.

4.2. Tipologia e distribuzione dei movimenti franosi

La notevole complessità orografica e l'elevata energia del rilievo determinano, nel territorio comunale di Pietracamela, la presenza di numerosi e diffusi fenomeni gravitativi di diversa tipologia ed estensione. La principale causa predisponente al dissesto è quindi in stretta relazione con l'acclività dei versanti dovuta alla forte tendenza all'approfondimento del reticolo idrografico connesso al sollevamento tettonico, alle variazioni climatiche ed all'attività quaternaria delle faglie dirette. La notevole varietà tipologica dei fenomeni gravitativi e la loro distribuzione è comunque da mettere in relazione alla litologia ed alle caratteristiche strutturali e meccaniche delle formazioni coinvolte.

Limitandoci all'area di più stretto interesse, estesi fenomeni di crollo, anche recenti (18 marzo 2011), sono osservabili sia sulle ripide pareti di breccie calcaree cementate (gla) presenti a Capo le Vene a ridosso dell'abitato di Pietracamela (Figg. 8, 9) sia in altri tratti del versante, laddove sono presenti scarpate strutturali modellate in corrispondenza dei banchi e strati arenacei ed arenaceo-marnosi della *Formazione della Laga*.

Le principali cause scatenanti questi movimenti, che naturalmente si verificano laddove le pareti subverticali presentano un alto grado di separazione strutturale delle roccia, sono da ricercare essenzialmente nelle forti sovrappressioni provocate dall'acqua all'interno delle fratture e legate agli eventi meteorologici e di scioglimento delle nevi, così come la presenza di neve per lunghi periodi ed i cicli di gelo-disgelo diurni e stagionali. Infine anche gli scuotimenti dovuti ad eventi sismici possono costituire un'importante causa scatenante.

Meno frequenti e soprattutto di dimensioni generalmente ridotte appaiono le deformazioni superficiali lente e gli scorrimenti rotazionali che si verificano soprattutto nelle sequenze pelitico-arenacee o marnoso-calcaree e che frequentemente interessano anche le spesse coltri detritiche.

Altri fenomeni franosi molto diffusi, sono costituiti dagli scorrimenti traslativi favoriti dalla presenza di potenti coperture detritiche. Si tratta, come si vedrà più avanti, di frane di notevoli dimensioni, con velocità di movimento generalmente lente, come nel caso dei versanti di Pietracamela e di Intermesoli. In queste località è presente una copertura costituita da accumuli caotici di frammenti litici di varie dimensioni fino ai grandi blocchi, con matrice siltoso-sabbiosa più o meno abbondante e con spessore variabile fino ad oltre 50 m, la quale si è prodotta per successivi scivolamenti traslazionali lungo i versanti. Tale copertura è attualmente interessata da movimenti che avvengono lungo la superficie di contatto con il substrato sia presso l'abitato ("la Villa") di Pietracamela sia nelle vicinanze di Intermesoli, dove il fenomeno franoso ha interessato la strada di collegamento fra l'abitato e Fano Adriano.



Fig. 8 - La frana di crollo di Capo le Vene del marzo 2011 che ha lambito l'abitato di Pietracamela.



Fig. 9 - Particolare della nicchia di distacco della frana di crollo di Capo le Vene.

4.3. Evidenze di Deformazioni Gravitative Profonde di Versante

La contemporanea presenza, nel territorio montuoso di Pietracamela, di peculiari condizioni morfologiche, climatiche e lito-strutturali, ha favorito l'innescò e lo sviluppo di processi gravitativi che coinvolgono considerevoli porzioni di versante e che si manifestano su una scala spazio-temporale molto ampia, assumendo i caratteri propri delle Deformazioni Gravitative Profonde di Versante (DGPV).

In effetti, l'elevato valore dell'energia del rilievo, ovvero l'elevato tasso di sollevamento pleistocenico con conseguente veloce approfondimento dei solchi vallivi dovuto ad un'intensa erosione lineare, associato all'assetto lito-strutturale del substrato roccioso caratterizzato dalla presenza di sistemi di faglie distensive a direzione variabile da NW-SE ad E-W e subordinatamente NNE-SSW, hanno favorito la presenza, lungo il versante degli abitati di Pietracamela e di Intermesoli, di Deformazioni Gravitative Profonde di Versante (*Carta Geologico-Tecnica*).

Evidenze di DGPV, che comunque non sono state ancora adeguatamente studiate, sono state riscontrate sia ridosso della cresta dell'Arapietra (D'ALESSANDRO *et alii*, 2003) sia sul Corno Piccolo dove è stato tra l'altro osservato uno sdoppiamento di cresta della vetta (PECCI M. & D'AQUILA P., in stampa). Un breve accenno alla presenza di DGPV sul versante di Pietracamela lo si ritrova invece in ADAMOLI, 1998, nell'ambito di uno studio eseguito nel 1994 per il Piano Territoriale della Provincia di Teramo ed in CENTAMORE *et alii*, 1997.

Le Deformazioni Gravitative Profonde di Versante consistono in movimenti di massa molto complessi che in genere coinvolgono grandi volumi di roccia e presentano caratteri cinematici definibili con relazioni tensioni-deformazioni del tipo *creep*. Il processo deformativo della massa rocciosa è per lo più lento e progressivo (velocità media di deformazione dell'ordine di grandezza dei mm/anno o cm/anno), senza che vi siano apprezzabili superfici continue di rottura. Gli spostamenti differenziali si sviluppano, infatti, lungo una serie di piani di discontinuità preesistenti di difficile determinazione o comunque lungo fasce di contrasto litologico o di maggiore debolezza localizzate a diversa profondità.

Le evidenze morfologiche più significative di tali deformazioni, in buona parte riscontrabili nel versante in esame, sono: trincee anche di notevoli dimensioni parallele al versante, scarpate, grandi e piccoli ripiani in contropendenza nelle porzioni intermedie del versante, fratture di tensione nei settori sommitali dei versanti e rigonfiamenti nelle zone basali. In tale contesto di instabilità geomorfologica generalizzata, determinata dai processi gravitativi sull'intero sistema crinale-versante-fondovalle per profondità che superano il centinaio di metri, si inseriscono generalmente fenomeni franosi superficiali a piccola scala.

Nel territorio in esame, l'area che desta maggiore attenzione è sicuramente quella del versante di Pietracamela, dove il movimento è ancora in atto, come dimostrano le registrazioni inclinometriche ottenute attraverso sondaggi profondi (in particolare il sondaggio S5 spinto fino a 160 m di profondità) eseguiti nei primi anni '90. In particolare, l'analisi complessiva dei diagrammi inclinometrici, ha consentito di individuare gli effetti della DGPV che avrebbe "attivato" un ammasso roccioso di circa 150 m di profondità, con deformazioni distribuite all'interno della litofacies calcarenitico-calciruditica della *Marne con cerroigna* e che si sviluppano non lungo una determinata superficie di scorrimento ma lungo una serie di piani di discontinuità. Alla DGPV sono associati fenomeni franosi superficiali che interessano la fascia superiore di spessore massimo pari a 30 metri (vedere Sezioni geologico-tecniche C-C', D-D', E-E' di Pietracamela).

Anche il fenomeno franoso che ha interessato in tempi recenti un tratto della strada Intermesoli - Fano Adriano, la cui tipologia è essenzialmente riconducibile ad un esteso e profondo scorrimento traslativo dei "depositi di versante a grossi blocchi", lungo la superficie di contatto tra il substrato e la copertura detritica, è associato ad una vasta DGPV.

Il cinematisimo lento e le notevolissime dimensioni delle Deformazioni Gravitative Profonde di Versante, non rendono naturalmente possibili interventi di stabilizzazione dei versanti, pertanto l'obiettivo di una corretta gestione del rischio dovrebbe essere perseguito attraverso criteri di tipo pianificatorio, monitoraggi ed eventuali piani di allertamento.

4.4. La frana di Pietracamela

Il versante del borgo di Pietracamela è interessato non solo dalla DGPV, ma anche da numerosi fenomeni franosi superficiali quali: le frane di crollo che interessano sia la ripida parete carbonatica subverticale di Capo le Vene (ultimo evento il 18 marzo 2011) che le pareti dei grossi massi isolati presenti all'interno del paese, e la frana complessa di notevole estensione che coinvolge tutto il settore orientale ("la Villa") dell'abitato, con effetti appariscenti sia sulla morfologia che sulle infrastrutture.

Tali complesse condizioni di pericolosità geomorfologica, che hanno determinato nel tempo la necessità di numerosi interventi di consolidamento, sono essenzialmente da riferire al fatto che, il borgo di Pietracamela è ubicato in una fascia pedemontana della catena del Gran Sasso d'Italia, caratterizzata da un alto indice di franosità, laddove cioè si sviluppa il contatto tra le *Marne con cerroigna* ed il *membro del Lago di Campotosto* della *Formazione della Laga*, ricoperto da spessi depositi detritici a grandi blocchi.

Il fenomeno franoso complesso, di notevoli dimensioni, sembra collocato in una depressione tettonica delimitata da faglie distensive diversamente orientate (CENTAMORE *et alii*, 1997) ed interessa tutto il versante di Pietracamela dalla dorsale di Colle Lungo ad est all'incisione di Rio Arno ad ovest, ed all'incirca dalla base di Colle Cepito ad oltre 1200 m di quota, dove la corona di frana principale si estende per circa 700 m con un'altezza di circa 50 - 60 m, fino alla confluenza del Fosso Cannavine nel Rio Arno a circa 750 m di quota.

Dall'analisi dei dati provenienti sia dai rilevamenti geologici e geomorfologici di superficie sia dai sondaggi geognostici eseguiti a partire da primi anni '90 del secolo scorso, è emerso che all'interno del fenomeno gravitativo si possono individuare: una porzione superiore estesa fino alle *Argille ad Orbulina*, con spessore massimo di circa 30-50 m, in cui si osservano i movimenti franosi superficiali, ed una fascia inferiore collocata all'interno delle *Marne con cerroghna*, in cui sono stati osservati, mediante registrazioni inclinometriche, gli effetti dell'attività di una Deformazione Gravitativa Profonda di Versante.

I fenomeni franosi superficiali, favoriti dalla presenza di una potente copertura detritica contenente una falda idrica sospesa, alimentata dall'infiltrazione di acque meteoriche e da perdite laterali provenienti soprattutto dalle brecce calcaree di Capo le Vene, consistono essenzialmente in: scorrimenti rototraslazionali con velocità di movimento generalmente lente che hanno causato evidenti effetti all'abitato di Pietracamela ("la Villa"), deformazioni lente a valle del paese tra la località "Le Fonti" e Rio Arno, ed un colamento esteso circa 3 km in lunghezza da q. 1180 m a q. 850 m, lungo l'alveo del torrente Cannavine nel settore più orientale dell'abitato e coinvolgente uno spessore modesto del substrato (CENTAMORE *et alii*, 1997).

All'interno del corpo di frana principale, dove il meccanismo di movimento è dato dalla combinazione di uno scorrimento rotazionale nell'area di testata e di uno scivolamento traslativo nella parte mediana e terminale del corpo di frana, sono osservabili scarpate secondarie, contropendenze, ristagni d'acqua e risorgive.

Il movimento franoso, infine, sembra evolvere lentamente, anche se con modalità leggermente diverse da zona a zona, e talora sembra subire brusche accelerazioni in concomitanza di eventi meteorici particolarmente critici.

5. Dati idrogeologici

5.1. Complessi idrogeologici ed idrostrutture

Le formazioni carbonatiche, i depositi terrigeni silicoclastici, nonché i depositi continentali quaternari, affioranti nel territorio di Pietracamela, presentano caratteri idrogeologici piuttosto differenziati. In generale, mentre la successione carbonatica, permeabile per fessurazione e per carsismo, assume il ruolo di serbatoio per le acque sotterranee, la successione terrigena, data la scarsa permeabilità, svolge il ruolo di "acquiclide" nei confronti dell'acquifero carbonatico; vario, invece, data la permeabilità per porosità piuttosto variabile, è il ruolo idrogeologico svolto dai depositi di copertura quaternari.

Più in particolare, nel versante in esame si possono distinguere i seguenti complessi idrogeologici:

- Complesso dei depositi detritici continentali (Quaternario). E' principalmente costituito dal *Deposito di frana* (fra) caratterizzato da: eterogeneità litologica, clasti eterometrici fino alle dimensioni di grossi blocchi, quantità variabile di matrice siltoso-sabbiosa o calcarea e spessore variabile da 10 ad oltre 50 m. La permeabilità per porosità, da bassa ad elevata, varia in funzione della granulometria e del grado di cementazione. Il deposito poggia sopra un substrato impermeabile o poco permeabile costituito dalle *Argille ad Orbulina* o dalle associazioni pelitico-arenacea ed arenaceo-pelitica della *Formazione della Laga - membro del Lago di Campotosto*. Il complesso può contenere modeste falde idriche, la cui alimentazione è data dall'infiltrazione di acque meteoriche e/o da perdite laterali dell'acquifero carbonatico.
- Complesso dei depositi terrigeni silicoclastici (Messiniano). Nell'insieme queste successioni torbiditiche, caratterizzate da alternanze variabili di arenarie e peliti, per la presenza di livelli impermeabili, limitano le possibilità di infiltrazione e di immagazzinamento in profondità delle acque meteoriche, svolgendo la funzione di "acquiclide" nei confronti dell'acquifero carbonatico. Laddove però le sequenze di strati e banchi di arenarie raggiungono spessori consistenti e sono più fratturate, la conseguente maggiore permeabilità e capacità d'immagazzinamento possono localmente favorire la presenza di modesti acquiferi arenacei che alimentano sorgenti caratterizzate da un regime stagionale e da portate molto basse (> 1 l/sec).

- Complesso marnoso-calcarenitico (Miocene medio-superiore). Costituito dalla successione marnoso-calcarenitica miocenica, il complesso è presente nell'area del Montagnone e comunque costituisce il substrato del versante dell'abitato di Pietracamela. Le rocce, generalmente piuttosto fratturate e localmente interessate da processi carsici in profondità laddove prevale la litofacies calcarenitico-calcirudite delle *Marne con cerrognia*, presentano una permeabilità d'insieme medio-bassa. L'infiltrazione efficace media annua, per precipitazioni di 1.000 mm/anno, può essere stimata circa 300 mm. La formazione essenzialmente pelitica delle *Argille ad Orbulina*, posta al passaggio con i sovrastanti depositi terrigeni silicoclastici, presenta una permeabilità ancora più bassa con valori del coefficiente di permeabilità K compresi tra $1 \cdot 10^{-6}$ e 1×10^{-8} m/sec.

I dati fin qui esposti, in particolare l'analisi dell'assetto lito-strutturale, consentono di delineare, in generale, la presenza, nel territorio di Pietracamela, sia dell'imponente **idrostruttura carbonatica del Gran Sasso d'Italia** alle quote più elevate, con limite ben definito nel tratto in cui il massiccio carbonatico si sovrappone ai sedimenti silicoclastici (acquiclide), la quale sul fronte esterno della catena alimenta le sorgenti di alta quota fra cui quella di Rio Arno (portata media attuale 0,1 mc/s), sia la piccola **idrostruttura del Montagnone**. Quest'ultima, costituita dal complesso marnoso-calcarenitico miocenico ed estesa circa 56 km², dalla valle del Vomano ai piedi del settore centrale della catena del Gran Sasso d'Italia, viene drenata essenzialmente in direzione nord dal fiume Vomano.

5.2. Condizioni idrogeologiche del versante dell'abitato di Pietracamela

Appena a monte dell'abitato, il *Deposito glaciale* (gla) che si estende per circa 3 km fino ai Prati di Tivo a formare la dorsale di Capo le Vene - Peschio la Pronca - Calderotto, è costituito, come già visto, da breccie calcaree fortemente cementate ed a grossolana stratificazione sub-orizzontale che, con uno spessore di circa 70 m, poggiano sull'*associazione pelitico-arenacea II* (LAG_{4B}) della *Formazione della Laga - membro del Lago di Campotosto*, la quale, dal punto di vista idrogeologico, svolge presumibilmente il ruolo di acquiclude.

A causa della presenza di almeno tre sistemi di fratturazione che interessano estesamente tutto l'ammasso roccioso di Capo le Vene, le suddette breccie presentano un elevato grado di permeabilità per fratturazione il quale consente un'attiva circolazione idrica sotterranea, tra l'altro testimoniata dalla diffusa presenza, alla base delle ripide pareti di Capo le Vene, sia di numerose

emergenze idriche sia di cavità di varie dimensioni, microforme e concrezioni, tutte di origine carsica. La circolazione idrica sotterranea, a sua volta, è alimentata non solo dagli apporti idrici diretti ma verosimilmente anche da travasi sotterranei provenienti dal massiccio carbonatico del Gran Sasso.

Il recapito principale delle acque provenienti dalle breccie calcaree è costituito da alcune emergenze presenti alla base del ripido versante di Capo le Vene, in prossimità del Fosso Rio la Porta. L'emergenza principale è artificialmente captata, ma altre piccole sorgenti alimentano l'esteso *deposito di frana* (fra) presente lungo il versante.

In effetti, nell'area del borgo di Pietracamela, il *Complesso dei depositi detritici continentali* poggia, come già detto, sopra un substrato pochissimo permeabile costituito dalle *Argille ad Orbulina* e dalla sottostante litofacies marnoso-calcarenitica delle *Marne con cerroghna*, e pertanto contiene una falda idrica sospesa, tra l'altro evidenziata anche dai dati piezometrici dei sondaggi geognostici eseguiti nel passato, che alimenta le numerose emergenze ubicate in località "le Fonti" (circa 900 m s.l.m.) a valle dell'abitato di Pietracamela (vedere *Carta Geologico-Tecnica*).

L'alimentazione di tale falda, che sicuramente è da ritenere causa determinante dei fenomeni franosi in atto che coinvolgono il versante dell'abitato ("la Villa") di Pietracamela, è assicurata dall'infiltrazione di acque meteoriche e da perdite laterali provenienti da monte, soprattutto, come già visto, dalle breccie calcaree di Capo le Vene e, forse e solo parzialmente, dagli strati e banchi arenacei fratturati.

6. Dati geotecnici e geofisici

6.1. Dati pregressi

Le conoscenze relative alle caratteristiche fisico-meccaniche dei depositi presenti nelle aree di studio, sono riferite alle indagini geotecniche e geofisiche in situ e prove di laboratorio eseguite negli ultimi vent'anni, soprattutto nell'ambito dei lavori di consolidamento dell'abitato di Pietracamela (vedere Elenco bibliografico A). Tali indagini, come risulta dalla Tabella 1 e dalla *Carta delle Indagini*, non sono uniformemente distribuite nelle aree in esame.

Abitato di Pietracamela
Sondaggi geognostici a carotaggio continuo spinti fino a - 160 m dal p.c. (n.19)
Prove geotecniche convenzionali di laboratorio
Prove penetrometriche dinamiche in foro (SPT)
Prova sismica in foro con tecnica Down-Hole
Prospezioni sismiche a rifrazione (n. 4 stendimenti)
Misure piezometriche
Indagini geomeccaniche
In prossimità dell'abitato di Intermesoli
Sondaggi geognostici a carotaggio continuo spinti fino a - 40 m dal p.c. (n.13)
Prospezione sismica a riflessione (n. 1 sezione)
Indagini di Tomografia Elettrica di Resistività ERT (n. 3 sezioni)
Località Prati di Tivo
Prove penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH (n. 4)
Prospezioni sismiche a rifrazione (n. 2 stendimenti)

Tab. 1 - Riepilogo delle indagini pregresse acquisite

Qui di seguito, a partire dall'area dell'abitato di Pietracamela, saranno brevemente sintetizzati e commentati i dati pregressi acquisiti.

Area 1: Pietracamela

In riferimento alla definizione quantitativa delle caratteristiche fisico-meccaniche, nelle tabelle riassuntive che seguono (Tabelle da 2 ad 8) vengono riportati i risultati, o meglio il *range* dei valori, delle analisi di laboratorio riguardanti 14 campioni indisturbati prelevati a profondità variabili da - 2,5 a - 37,5 m dal p.c. Essi provengono da indagini geognostiche eseguite nell'ambito degli interventi di consolidamento dall'area dell'abitato (Comune di Pietracamela, 1990; 1993; Provincia di Teramo, 2002) e pertanto riguardano sostanzialmente il *Deposito di frana* (fra) e le sottostanti *Argille ad Orbulina*.

Tipo di terreno	Ghiaia (%)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)
Deposito di frana	1 - 53	5 - 42	13 - 69	5 - 39
Argille ad Orbulina	0 - 12	7 - 21	28 - 60	31 - 57

Tab. 2 – Composizione granulometrica.

Terreni	W (%)	γ_n (g/cm ³)	γ_s (g/cm ³)	γ_{sat} (g/cm ³)	n (%)	e	S _r (%)	LL (%)	LP (%)	IP	IC
Deposito di frana	8,88	1,75	1,56	2,13	26,58	0,36	45,30	31	18	13	1,2
	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Argille ad Orbulina	24,0	2,19	1,98	2,70	42,30	0,73	93,10	43	24	24	1,8
	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Argille ad Orbulina	9,50	2,06	1,82	2,67	28,80	0,41	63,10	33	17	12	1,2
	14,6	2,12	1,93	2,75	33,60	0,51	82,50	39	27	17	2,5

Tab. 3 - Range dei parametri fisici dei terreni

Dove:

W = contenuto naturale d'acqua
 γ_n = densità naturale
 γ_s = densità secca
 γ_{sat} = densità satura
n = porosità
e = indice dei vuoti

S_r = grado di saturazione
LL = Limite Liquido
LP = Limite Plastico
IP = Indice di Plasticità
IC = Indice di Consistenza

Terreni	prova di taglio diretto		prova di taglio residuo		prova triass. UU C_U (kg/cm ²)
	c' (kg/cm ²)	Φ' (°)	c_{res}' (kg/cm ²)	Φ_{res}' (°)	
Deposito di frana	0,01	22	0,00	18	1,27 3,33
	0,15	40	0,00	35	
Argille ad Orbulina	0,00	24	0,00	22	– –
	0,20	37	0,00	35	

Tab. 4 - *Range* dei parametri meccanici dei terreni

Dove:

- c' = coesione drenata
- c_{res}' = coesione drenata residua
- Φ' = angolo di attrito
- Φ_{res} = angolo di attrito residuo
- C_U = coesione non-drenata

Dall'analisi di questi dati, riferibili a campioni provenienti dal settore orientale dell'abitato ("la Villa"), emerge con evidenza l'ampio intervallo dei valori dei parametri fisico-meccanici, legato all'elevata eterogeneità dei terreni esaminati, in particolare del *Deposito di frana* (fra). Tale notevole variabilità rende la suddetta caratterizzazione geotecnica poco rappresentativa.

Più o meno lo stesso ampio intervallo dei valori dei parametri geomeccanici del *Deposito di frana* è stato riscontrato nel nucleo antico di Pietracamela ("la Terra"), nell'ambito di una recente indagine geognostica finalizzata ad un intervento di consolidamento dell'abitato (Pietracamela, 2010a; 2010b).

In particolare, i parametri del deposito (Tabella 5), che in questa parte dell'abitato è costituito da clasti fino ad enormi blocchi carbonatici con matrice a prevalente composizione calcarea, sono stati desunti dall'elaborazione delle prove penetrometriche in foro SPT, eseguite a diverse profondità nel corso di due sondaggi spinti fino alla profondità massima di 50 metri. Sempre dai valori di N_{SPT} misurati ed elaborati risulta, per il deposito in esame, un grado di addensamento variabile da *addensato* a *molto addensato*.

TERRENI DI COPERTURA	γ (t/m ³)	φ (°)	c' (Kg/cm ²)	C_u (Kg/cm ²)
Deposito di frana (fra)	1,89 - 2,20	26- 35	0,0 - 0,5	1,5 - 2,0

Tab. 5 - Intervallo dei valori dei parametri meccanici

Dove:

γ = peso di volume

φ = angolo di attrito interno

c' = coesione efficace

C_u = coesione non drenata

L'interpretazione delle prospezioni sismiche a rifrazione (n. 4 stendimenti) e della prova Down-Hole, hanno inoltre consentito di integrare i dati ottenuti dalle indagini dirette e di definire l'intervallo dei valori dei moduli dinamici del *Deposito di frana* (Tabella 6).

TERRENI DI COPERTURA	g (kN/mc)	G (MPa)	E_d (MPa)	E (MPa)	E_v (MPa)
Deposito di frana (fra)	21 - 24	1000 - 3000	3000 - 9000	2500 - 6000	600 - 3700

Tab. 6 - Intervallo dei valori dei parametri dinamici

Dove:

g = densità geofisica

G = Modulo di deformazione al taglio

E_d = Modulo di compressibilità edometrica

E = Modulo di Young

E_v = Modulo di compressibilità volumetrica

Sulla base infine dei risultati della prova sismica in foro di tipo Down-Hole, la V_{s30} del *Deposito di frana* risulta pari a 659 m/s.

Per quanto riguarda i dati idrogeologici, si è già detto che nell'area del borgo di Pietracamela è presente una falda idrica sospesa. In particolare, i dati piezometrici dei sondaggi geognostici eseguiti nel 1990 - 1993, nel settore nord-orientale ("la Villa"), hanno messo in evidenza che i livelli della falda intercettata variano all'incirca dai -25 - 30 m dal p.c. nella parte più a monte, a circa -13 - 15 m dal p.c. nella parte bassa dell'abitato. Nel nucleo storico ("la Terra"), l'unico dato piezometrico disponibile è relativo al sondaggio eseguito nel 2010 che ha intercettato la falda a -37 m dal p.c.

Sempre nell'area di Pietracamela, infine, il *Deposito glaciale* (gla) costituito da brecce calcaree fortemente cementate, affiorante con morfologie rupestri appena a monte dell'abitato (Capo le Vene) e recentemente (18 marzo 2011) interessato da una vasta e spettacolare frana di crollo, è stato oggetto, nel 2010, di un'indagine geologico-tecnica eseguita per la valutazione e mitigazione del rischio frane di crollo coinvolgenti l'abitato (Comune di Pietracamela, 2010c). Tale indagine ha consentito la caratterizzazione geomeccanica dei vari sistemi di discontinuità presenti nel sito di Capo le Vene e quindi la classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso, secondo il metodo "RMR *Rock Mass Rating*" (Bieniawski, 1989) ed il metodo "*Q Classification System*" (Barton *et alii*, 1974).

I risultati vengono rappresentati qui di seguito (Tabelle 7 - 8).

Indice	Parametro	Valore d'ingresso	Valore		Punteggio
1	Resistenza del litotipo integro	Compressione uniassiale	80	MPa	8
2	R.Q.D.		80	%	17
3	Spaziatura dei giunti		0,3-3,0	m	15
4	Condizione dei giunti	lunghezza	1-8	m	3
		apertura	0,1-2,5	mm	4
		rugosità	leggera		1
		riempimento	assente		6
		alterazione	leggera		5
5	Condizione idraulica	Condizioni generali	asciutto		15
Indice di qualità della roccia RMR				RMR	74

Tab. 7 – Indice di qualità della roccia RMR (metodo (Bieniawski, 1989) relativamente alla stazione di misura di Capo le Vene.

Indice	Parametro	Variabile	Punteggio
1	Rock Quality Designation	R.Q.D.	80
2	Numero di famiglie di giunti	Jn	9
3	Rugosità dei giunti	Jr	1,5
4	Alterazione dei giunti	Ja	1,0
5	Condizioni idrauliche dei giunti	Jw	1,0
6	Condizioni di stress	SRF	2,5
Indice di qualità della roccia Q = (1/2)x(3/4)x(5/6)		Q	5,32

Tab. 8 – Indice di qualità della roccia Q (metodo Barton *et alii*, 1974), relativamente alla stazione di misura di Capo le Vene.

L'indice RMR, in particolare, consente di ascrivere l'ammasso roccioso, che costituisce il fronte terminale della dorsale che dai Prati di Tivo si estende fino a monte di Pietracamela, alla **II classe** ($61 < \text{RMR} > 80$), la quale prevede le seguenti proprietà geomeccaniche:

- Coesione C (kPa): 300-400
- Angolo di attrito interno ϕ : 35°-45°
- Peso di volume γ (t/m³): 2,61

Area 2: Intermesoli

In quest'area i dati disponibili sono riferiti ad indagini geognostiche (n. 13 sondaggi a carotaggio continuo spinti fino a - 40 m dal p.c.) e geofisiche (n. 1 sezione di sismica a riflessione e n. 3 sezioni di Tomografia Elettrica di Resistività ERT) eseguite a circa 250 m ad ovest dell'abitato di Intermesoli, nell'ambito dello studio del movimento franoso sulla S.P. 43/A, tratto Intermesoli - Fano Adriano (Provincia di Teramo, 2006).

I dati dei sondaggi evidenziano la presenza del *Deposito di frana* (fra) con uno spessore di almeno 28 metri, poggiante sopra un substrato verosimilmente costituito dall'associazione arenacea della *Formazione della Laga - membro del Lago di Campotosto*. L'analisi delle sezioni ERT, ed in particolare della sezione sismica a riflessione, ha messo altresì in evidenza la profondità e la geometria della superficie di scorrimento tra il *Deposito di frana* ed il substrato, e quindi una situazione litostratigrafica e geomorfologica simile a quella accertata per l'abitato di Pietracamela.

Per quanto riguarda infine i dati piezometrici, solo i sondaggi geognostici eseguiti alle quote più basse, lungo la S.P. 43/A, hanno intercettato la falda ad una profondità variabile all'incirca dai - 7 m ai - 13 m dal p.c.

Area 3: Prati di Tivo

Le uniche indagini disponibili per la località dei Prati di Tivo (n. 4 prove penetrometriche dinamiche superpesanti e n. 2 prospezioni sismiche a rifrazione), sono relative ad uno studio di compatibilità idrogeologica recentemente eseguito nell'area centrale della stazione turistica (Comune di Pietracamela, 2011).

Dalle prove penetrometriche dinamiche (DPSH) sono stati desunti i seguenti parametri geotecnici dei depositi continentali quaternari qui affioranti (Tabella 9).

TERRENI DI COPERTURA	DR (%)	Φ' (°)	E' (Kg/cm ²)	Yd (t/m ³)
Detrito di falda (fal)	12 - 84	27 - 41	214 - 569	1,38 - 1,84
Deposito alluvionale (all)	18 - 81	28 - 40	261 - 546	1,41 - 1,82

Tab. 9 - Intervallo dei valori dei parametri geotecnici

Dove:

DR = densità relativa;

Φ' = angolo di attrito efficace;

E' = modulo di deformazione drenato;

Yd = peso di volume secco del terreno.

Le prospezioni sismiche a rifrazione, in particolare l'analisi delle 2 sezioni sismostratigrafiche interpretative, hanno inoltre fornito poche informazioni circa la geometria e spessore dei depositi continentali (5 - 20 m), oltreché la profondità e forma del "substrato rigido" verosimilmente caratterizzato da $V_s > 800$ m/s.

6.2. Indagini HVSR

Per la valutazione delle frequenze fondamentali di risonanza f_0 dei terreni nelle aree di studio, sono state utilizzate registrazioni di microtremore ed analizzate secondo la tecnica HVSR, la quale ha altresì consentito di valutare qualitativamente l'entità dell'amplificazione A_0 , ovvero l'ampiezza del picco HVSR alla frequenza f_0 .

Il software utilizzato per l'elaborazione dei dati è il Geopsy prodotto dal progetto Sesame. Gli spettri dell'analisi HVSR, rispetto agli elaborati consegnati nella precedente fase, presentano delle piccole variazioni riferibili agli aggiornamenti del software utilizzato.

In particolare sono state effettuate 10 misure di rumore ambientale, distribuite su tutte e quattro le aree in esame ed ubicate in corrispondenza o comunque in prossimità della traccia delle sezioni geologiche, in modo da poter confrontare i risultati ottenuti con il modello di sottosuolo rappresentato in sezione.

Le registrazioni di rumore ambientale sono state effettuate mediante un sistema di acquisizione tri-direzionale di superficie ed in buone condizioni ambientali (assenza di vento, pioggia, ecc) e, comunque, per favorire una corretta interpretazione delle misure, la posizione della strumentazione è stata documentata fotograficamente.

Un importante effetto di disturbo è stato, soprattutto nell'area di Colle Piano, quello associato alla presenza di intense sorgenti di rumore elettromagnetico, pertanto la banda di frequenza interessata dal rumore elettromagnetico non è stata considerata nella fase di interpretazione del segnale.

La frequenza di campionamento è stata pari a 125 Hz e la durata della registrazione pari a 20 minuti per ogni punto di misura. Per i dettagli circa la strumentazione e programmi utilizzati, e naturalmente per i risultati conseguiti, si rimanda comunque all'Allegato A - *Rapporto Indagini HVSR*.

In conclusione, le indagini HVSR hanno fornito stime affidabili delle frequenze principali di risonanza dei sottosuoli, rappresentate nell'allegata *Carta delle frequenze fondamentali di vibrazione*. I risultati ottenuti sembrano confermare quanto emerso dai rilevamenti e dalle pregresse indagini geognostiche e geofisiche, ad eccezione delle misure HVSR n. 1, 2, 4, 5 e cioè nell'abitato di Intermesoli, e nel nucleo antico "La Terra" dell'abitato di Pietracamela, dove, dato l'assetto litostratigrafico si ritengono necessari ulteriori accertamenti nei successivi livelli di approfondimento.

7. Cenni sulla storia urbanistica dei centri abitati

La prima attestazione certa dell'attuale insediamento di Pietracamela risale al 1388: il documento è conservato nell'Archivio comunale e fa riferimento all'Università de la Petra Cimmeria o Cameria e all'Università de Intermezula. E' da ritenere che nel periodo intercorso tra il 1268 e il 1388 si era formato il primo nucleo dell'attuale parte di Pietracamela detta "la Terra".

La disposizione urbanistica che si affermò dopo il mille in molte aree dell'Appennino, è molto diversa da quella classica: non più schemi geometrici regolari fatti di strade che si intersecano ad angolo retto, ma un intrigo di vie e viuzze su cui si affacciano case secondo una morfologia quanto mai varia e che dipende dalle locali condizioni dell'ambiente fisico. Nel nostro caso spicca l'esempio di Pietracamela per l'accostamento suggestivo tra le case e gli enormi ammassi rocciosi che appaiono inglobati nel paesaggio creato dall'uomo.

L'edificio simbolo di questo tipo di insediamento era rappresentato dal costruire gli edifici civili finitimi e attorno alla Chiesa; gli edifici religiosi, in genere di modeste dimensioni, si rifacevano agli edifici religiosi dell'alto medioevo con le coperture sorrette da capriate lignee.

Il nucleo edilizio della "Terra", che oggi vediamo, si forma attorno alla prima metà del XV secolo (1432) ed ha come Pieve la Chiesa di San Giovanni; la parte addossata alla vecchia canonica dell'edificio religioso poggia su uno sperone roccioso, tuttora visibile lungo la strada a valle, alto circa quattro metri, che le conferisce un aspetto di rocca difensiva.

La formazione avviene da un nucleo centrale di primo insediamento risalente al sec. XIV-XV, e una successiva aggregazione ad anello del XVI-XVII sec. La tipologia degli aggregati è a blocco con una forte densità muraria. Marginalmente si riscontra una ulteriore formazione di fabbricati a partire dal XVIII sec.

La strada che lungo la Valle del Rio Arno portava ad Assergi diventa, nel corso del secolo, l'asse principale di attraversamento dell'abitato e allorquando questo comincia a svilupparsi verso il fiume, si costruiscono i percorsi secondari, quasi tutti a gradonata che terminano con piccoli slarghi finitimi ai nuclei abitati chiusi verso valle. Le costruzioni si sviluppano prospicienti alle strette stradine che seguono l'andamento delle curve di livello del terreno; i collegamenti di raccordo superano consistenti dislivelli.

La parte a valle delle costruzioni, contigua al fiume, è formata da costruzioni compatte, collegate tra loro in modo da formare una muraglia continua, con piccole porte di accesso facilmente controllabili. L'impianto urbanistico attuale ricalca con ogni probabilità la disposizione antica.

Solo verso la fine del XVI secolo si innestò su questo impianto l'intervento di edificazione delle mura di cinta e delle porte di uscita e/o di accesso, delle quali restano, oggi, pochi e diruti segni.

L'originalità del suddetto insediamento risulta dalla lettura del Catasto del 1692 conservato presso l'Archivio comunale, dove sono descritte le unità edilizie e dove si apprende che si era completato l'insediamento detto "la Terra" con una sola unità nel luogo di sommità detto "la costa" e si erano iniziate alcune costruzioni nella parte detta "la Villa" e nella parte detta "i Pagliai" accanto all'attuale Chiesa di San Leucio.

Anche nella "Villa" vi è un nucleo originario risalente al XVII sec.. La natura aggregativa, formatasi dopo il XVIII sec., è a raggiera con estensione, perché favorita dall'orografia, in direzione SE. La tipologia è a blocco ma con una densità ridotta rispetto agli isolati della "Terra".

Nel Catasto Onciario del 1748 troviamo annotati 93 fuochi quasi tutti con abitazione propria. Si può quindi dare un primo dato: a partire dal 1750 l'espansione edilizia ha interessato per la maggior parte il sito della "Villa" mentre nell'antico borgo sono stati costruiti gli spazi interni e/o finitimi all'abitato; nello stesso periodo sono stati realizzati i pagliai per il ricovero del bestiame nel sito detto, appunto, "i Pagliai".

Spesso le case sono stampate contro la roccia e la inglobano con funzione di muratura portante, e la pietra locale a faccia vista non sbazzata costituisce il materiale usato nelle murature esterne che in alcuni casi inglobano la roccia, nei portali e nei davanzali, nei gradini e nelle strade che, a volte, sembrano proseguire fin dentro casa. Talora, con l'aggregazione o aggiunta di vani, le asperità del terreno si ripercuotono all'interno della casa attraverso gli sbalzi di livello esistenti tra camera e camera quasi sempre intercomunicanti.

Una formazione distinta, infine, è rappresentata dall'abitato di Intermesoli, che trae la sua formazione nella realizzazione, in un'area sottostante al successivo sviluppo edilizio, della chiesa di San Rocco, edificio religioso che risale al sec. XVI circa.

Successivamente si è avuta una aggregazione longitudinale a più quote altimetriche con costruzioni realizzate dopo il XVI sec. L'abitato di Intermesoli presenta, nel suo complesso, una massa edificata più rada rispetto ai nuclei della "Terra" e della "Villa".

In conclusione, l'impianto urbanistico attuale, che verosimilmente ricalca la disposizione antica, non ha determinato sostanziali modifiche dell'ambiente fisico. Gli abitati si sono infatti perfettamente adeguati alle locali condizioni geomorfologiche dei versanti inglobando, come nel caso di Pietracamela, gli enormi blocchi rocciosi.

8. Modello del sottosuolo ed indicazioni per successivi approfondimenti

L'acquisizione dei dati geologico-tecnici sopra illustrati, provenienti da rilevamenti di superficie e da indagini di sottosuolo, ha consentito di definire, attraverso una fase di omogeneizzazione, confronto ed integrazione dei dati disponibili, il modello geologico di sottosuolo.

Tale quadro conoscitivo è stato descritto attraverso una serie di sezioni geologico-tecniche rappresentative, le quali sono state realizzate utilizzando, appunto, tutti i dati a disposizione a partire dai rilevamenti geologici di superficie che hanno guidato la definizione del modello geologico ed integrando tali informazioni con i dati diretti forniti dai sondaggi geognostici e con i dati indiretti provenienti dalle prospezioni geofisiche di superficie (sismica a rifrazione e a riflessione) e in foro (down-hole), nonché dalle indagini HVSR realizzate *ex novo* nei siti di interesse.

Di seguito vengono fornite, per ogni area oggetto dello studio, le sezioni geologiche, seguite da un commento sul modello di sottosuolo desunto, nonché indicazioni e suggerimenti per gli eventuali successivi approfondimenti

Area 1 - Pietracamela

Il modello geologico di sottosuolo, ricostruito nella maniera più attendibile possibile (Figg. 10, 11, 12), mette chiaramente in evidenza che l'abitato di Pietracamela (sia "la Villa" che "la Terra") è posto al di sopra di un *Deposito di frana* (fra), con spessori rapidamente variabili lateralmente (da 10 ad oltre 50 m), costituito da un accumulo caotico di frammenti litici arenacei o calcarei, eterometrici fino ai grossi blocchi, con matrice fine più o meno abbondante. Si tratta di materiali riferibili ad un *Deposito di versante a grossi blocchi* (ver), mobilizzati da successivi fenomeni franosi avvenuti in passato in concomitanza del forte approfondimento vallivo, ed in parte ancora attivi ("la Villa").

Il piano di scorrimento è costituito dalle *Argille ad Orbulina* (UAM₃) caratterizzate da marne argillose e siltiti marnose di colore da grigio-azzurro a grigio-scuro, sottilmente stratificate e laminate, il cui spessore residuo (in parte la formazione è stata coinvolta dai fenomeni gravitativi) varia da 2 a 10 metri.

Sulla base dei risultati della prova sismica in foro down-hole, opportunamente integrata dalla sismica a rifrazione, il valore medio della Vs del *Deposito di frana* risulta pari a 659 m/s.

Le *Argille ad Orbulina* (UAM₃), il cui passaggio alla sottostante *litofacies marnoso-calcarenitica* (CRR_a) delle *Marne con Cerroigna* si presenta sfumato con graduale diminuzione della componente marnosa, costituisce il substrato geologico e non il substrato sismico (Vs > 800 m/s), verosimilmente costituito dalle sottostanti *Marne con cerroigna*.

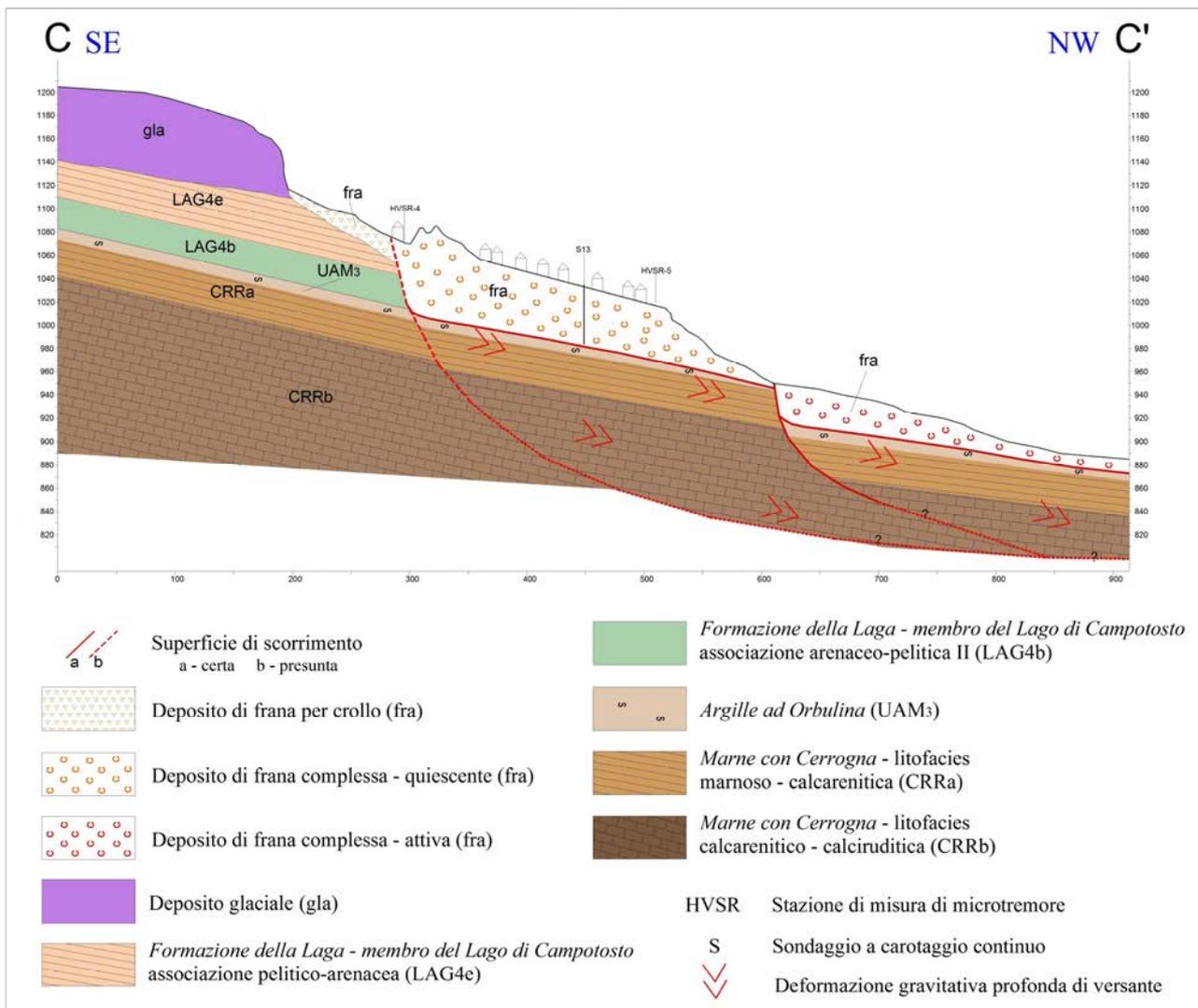


Fig. 10 - Sezione geologico-tecnica Capo le Vene - abitato di Pietracamela ("la Terra")

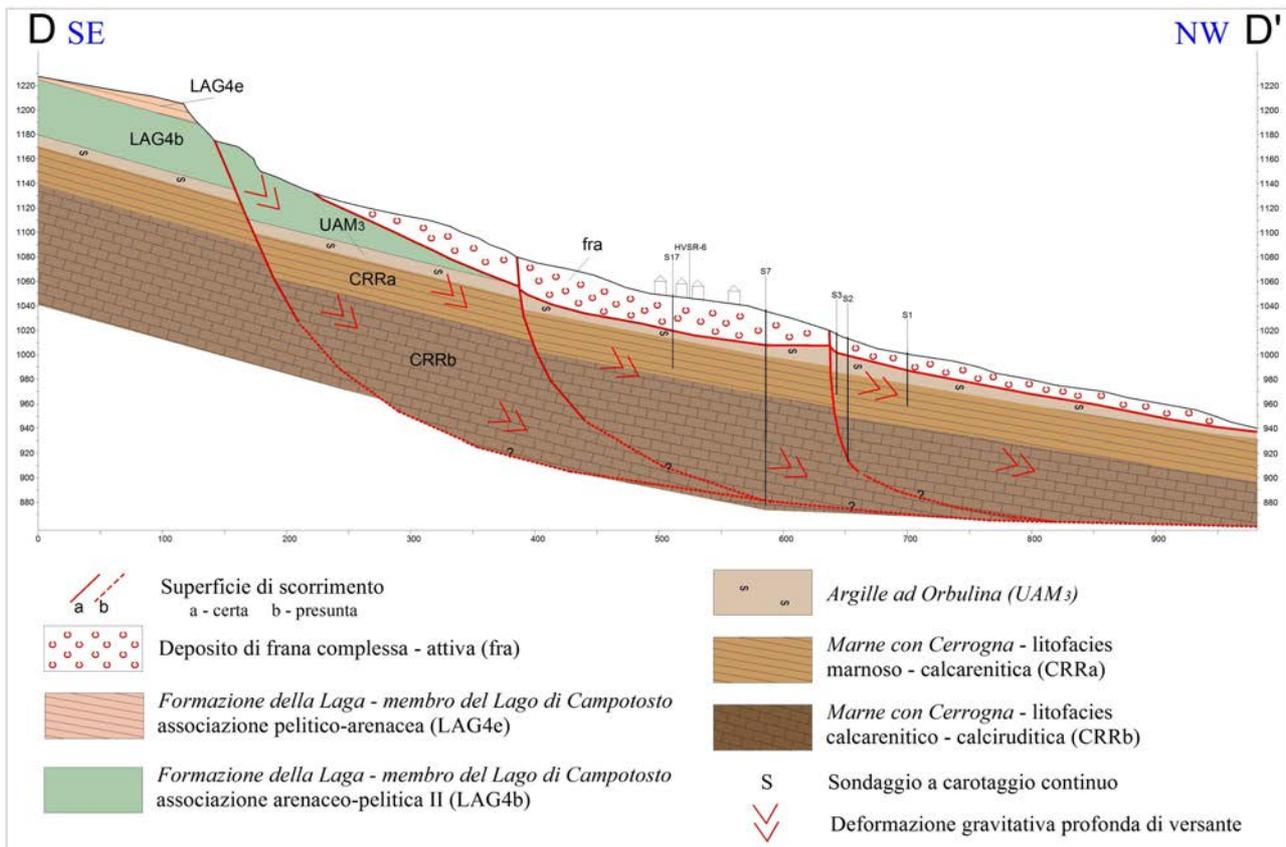


Fig. 11 - Sezione geologico-tecnica Capo la Costa - abitato di Pietracamela ("la Villa").

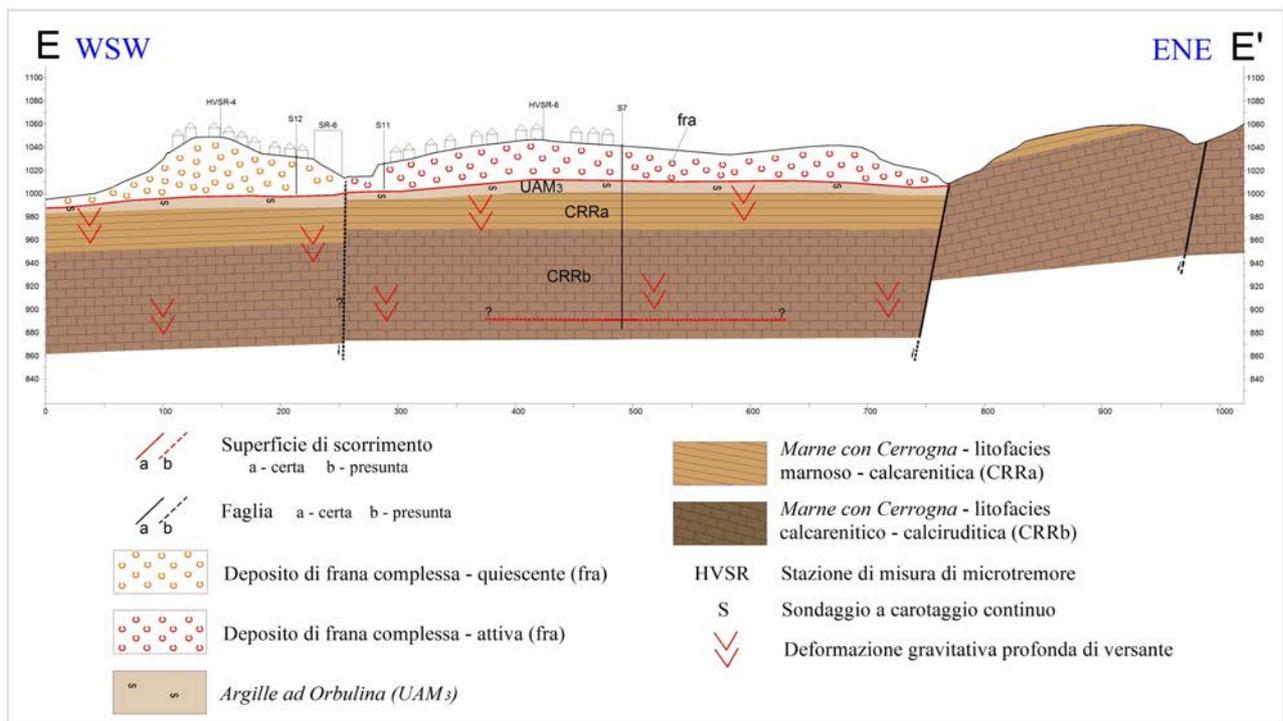


Fig. 12 - Sezione geologico-tecnica abitato di Pietracamela ("la Terra" - "la Villa") - Colle Lungo.

Il *Deposito di frana* (fra) appare collocato in una depressione tettonica delimitata da faglie distensive a direzione variabile da NW-SE a circa N-S (Fig. 12) e verosimilmente dissecata da altre faglie dirette a direzione circa E-W, ed interessa tutto il versante di Pietracamela dalla dorsale di Colle Lungo ad est all'incisione di Rio Arno ad ovest, ed all'incirca dalla base di Capo le Vene - Capo la Costa a circa 1500 - 1200 m s.l.m., fino alla confluenza del Fosso Cannavine nel Rio Arno a circa 750 m di quota (Figg. 10, 11).

L'analisi dei dati provenienti dai rilevamenti di superficie e dai sondaggi geognostici profondi, ha altresì consentito di accertare che all'interno del fenomeno gravitativo si possono individuare: una porzione superiore estesa fino alle *Argille ad Orbulina*, in cui si osservano i movimenti franosi superficiali, ed una fascia inferiore collocata all'interno delle litofacies marnoso-calcarenitica e calcarenitico-calciruditica delle *Marne con cerroigna*, in cui sono stati osservati, mediante registrazioni inclinometriche, gli effetti dell'attività di una Deformazione Gravitativa Profonda di Versante.

Appena a monte dell'abitato "la Terra" (Capo le Vene), al di sopra dell'*associazione pelitico-arenacea* (LAG_{4e}) della *Formazione della Laga - membro del Lago di Campotosto*, è presente il *Deposito glaciale* (gla) (essenzialmente un *till* indifferenziato), con una sequenza spessa circa 70 m costituita da breccie calcaree fortemente cementate e grossolanamente stratificate (Fig.10), con Vs presumibilmente superiore agli 800 m/s. Alle spalle dell'abitato "la Villa", a monte della corona principale di frana (Capo la Costa), invece, affiora il substrato costituito dalle associazioni arenaceo- pelitica II (LAG_{4b}) e pelitico-arenacea (LAG_{4e}) della *Formazione della Laga - membro del Lago di Campotosto*, con un significativo grado di alterazione e fratturazione (Fig.11), ed al quale può essere attribuito un valore di Vs approssimativamente intorno a 650 m/s.

Ad oriente del paese (area cimitero - settore SE di Colle Lungo), infine, affiora il substrato costituito dalle *Marne con cerroigna* (Fig.12), ovvero dalla litofacies marnoso-calcarenitica (CRR_a), con spessore limitato (10 m circa) e ricoperto da un sottile (1-3 m) orizzonte eluviale, e dalla sottostante litofacies calcarenitico-calciruditica (CRR_b). Questa zona, che presenta un significativo grado di fratturazione dell'ammasso roccioso, fa parte del fianco occidentale del settore meridionale della struttura anticlinale ad andamento N-S del Montagnone, sovrascorsa verso est e, come si vedrà più avanti per l'area di Colle Piano, si può ragionevolmente ipotizzare che il substrato roccioso affiorante abbia le caratteristiche di un substrato sismico ($V_s > 800$ m/s); ipotesi che andrebbe comunque verificata, per esempio attraverso prove MASW.

Il modello geologico realizzato per l'area di Pietracamela, ai fini del presente lavoro, appare sufficientemente approfondito e le misure (n. 4) di rumore sismico ambientale, eseguite sia nel nucleo antico (HVSR 4 - HVSR 5) che a "la Villa" (HVSR 6 - HVSR 7) hanno sostanzialmente

confermato (Allegato A) le informazioni acquisite con le indagini pregresse. Tuttavia, dato che l'acquisizione dei dati geofisici pregressi si è rivelata di modesta utilità (soltanto una prova down-hole e quattro stese sismiche a rifrazione in onde P ed SH, tutte relative al solo nucleo antico "la Terra"), in una successiva fase di approfondimento del quadro conoscitivo, tali prove andrebbero programmate anche per il settore orientale dell'abitato.

Area 2 - Intermesoli

Il modello geologico-tecnico di Intermesoli, derivante essenzialmente dai dati di rilevamento geologico e geomorfologico e delle indagini HVSR (n. 2 acquisizioni ubicate in corrispondenza della traccia della sezione geologica) in quanto i dati delle indagini geognostiche e geofisiche (dei quali comunque si è tenuto conto) sono relativi all'area in frana posta a circa 200 m ad ovest dell'abitato, mette in evidenza una situazione geologica e geomorfologica molto simile a quella di Pietracamela (Fig.13).

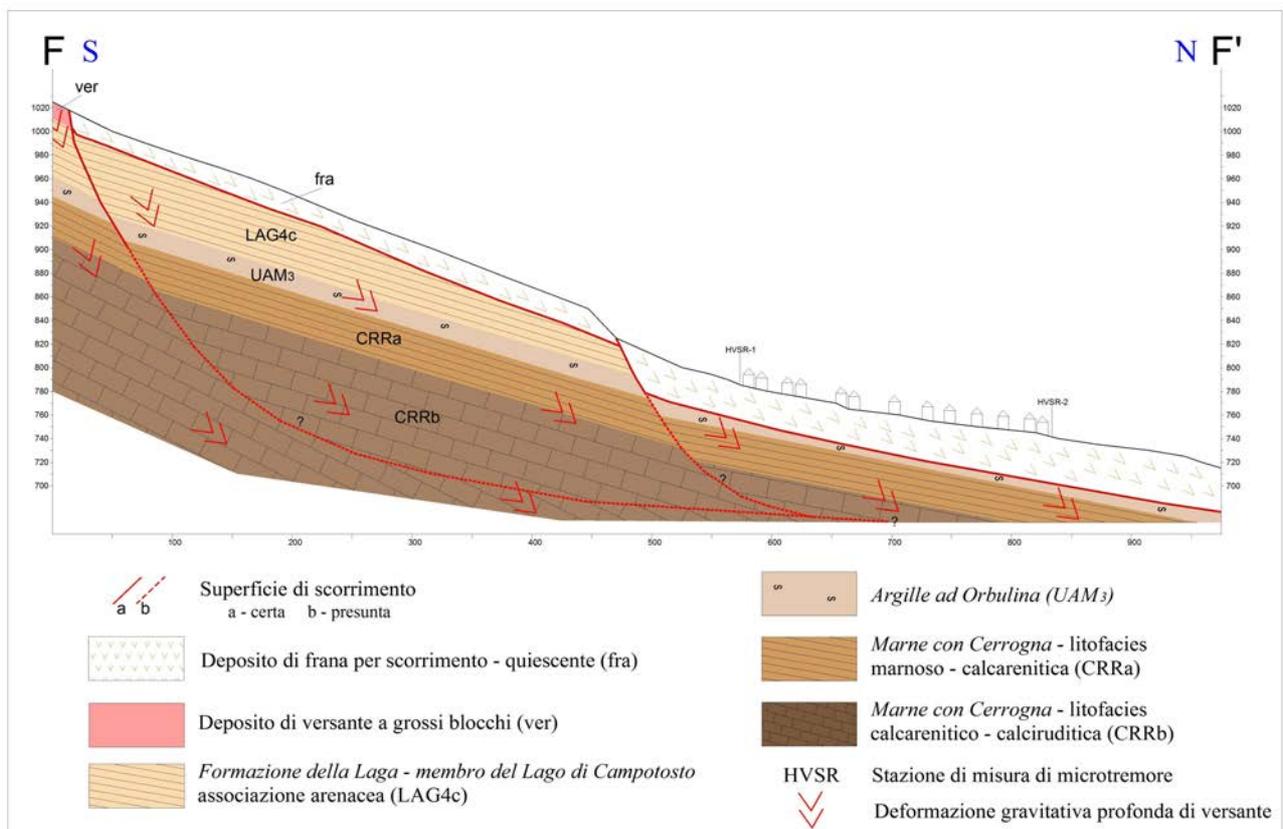


Fig. 13 - Sezione geologico-tecnica Caparrecce - abitato di Intermesoli.

Anche in quest'area, infatti, l'abitato poggia su di un deposito di frana, con spessori presumibilmente variabili dai 20 ai 40 m, costituito da un accumulo caotico di frammenti litici arenacei, eterometrici fino ai grossi blocchi, con matrice fine più o meno abbondante. Anche in questo caso si tratta di materiali riferibili ad un *Deposito di versante a grossi blocchi* (ver), mobilizzati da un fenomeno franoso avvenuto in passato ed attualmente quiescente. Il piano di scorrimento è verosimilmente costituito dalle *Argille ad Orbulina* (UAM₃) nell'area dell'abitato, e dall'associazione arenacea (LAG_{4c}) della *Formazione della Laga - membro del Lago di Campotosto*, nel tratto a monte del paese.

Le *Argille ad Orbulina* e l'associazione arenacea (LAG_{4c}), quest'ultima probabilmente piuttosto fratturata e degradata, costituiscono il substrato geologico del terreno di copertura, mentre il substrato sismico ($V_s > 800$ m/s) va ricercato nelle sottostanti *Marne con cerroigna*.

I dati provenienti dai rilevamenti di superficie, inoltre, hanno consentito di accertare la presenza, anche per l'area di Intermesoli, degli effetti dell'attività di una Deformazione Gravitativa Profonda di Versante che verosimilmente interessa anche una porzione significativa delle *Marne con cerroigna* (Fig. 13).

Risulta evidente, sulla base di quanto sopra esposto, che nell'abitato di Intermesoli, per una adeguata verifica del modello geologico di sottosuolo ricostruito, andrebbe programmata, nei successivi livelli di approfondimento, la realizzazione di sondaggi geognostici (anche con funzione di taratura per le prospezioni geofisiche), indagini down-hole e prospezioni sismiche a rifrazione, per meglio evidenziare l'andamento del substrato, definire le velocità medie delle onde di taglio S e per parametrizzare il modello geologico in termini dinamici.

Area 3 - Prati di Tivo

Il modello realizzato evidenzia, per l'area centrale della località turistica dei Prati di Tivo, la presenza di terreni di copertura, con spessori variabili lateralmente da 3 a 20 m, costituiti essenzialmente da *Depositi alluvionali e fluvio-glaciali* (all), e da *Detrito di falda* (fal).

Il substrato sismico dell'area può essere considerato il sottostante *Deposito glaciale* (gla), costituito da una sequenza di alcune decine di metri di brecce calcaree molto cementate e grossolanamente stratificate, a sua volta sovrapposto all'associazione pelitico-arenacea (LAG_{4e}) della *Formazione della Laga - membro del Lago di Campotosto* (Figg. 14, 15).

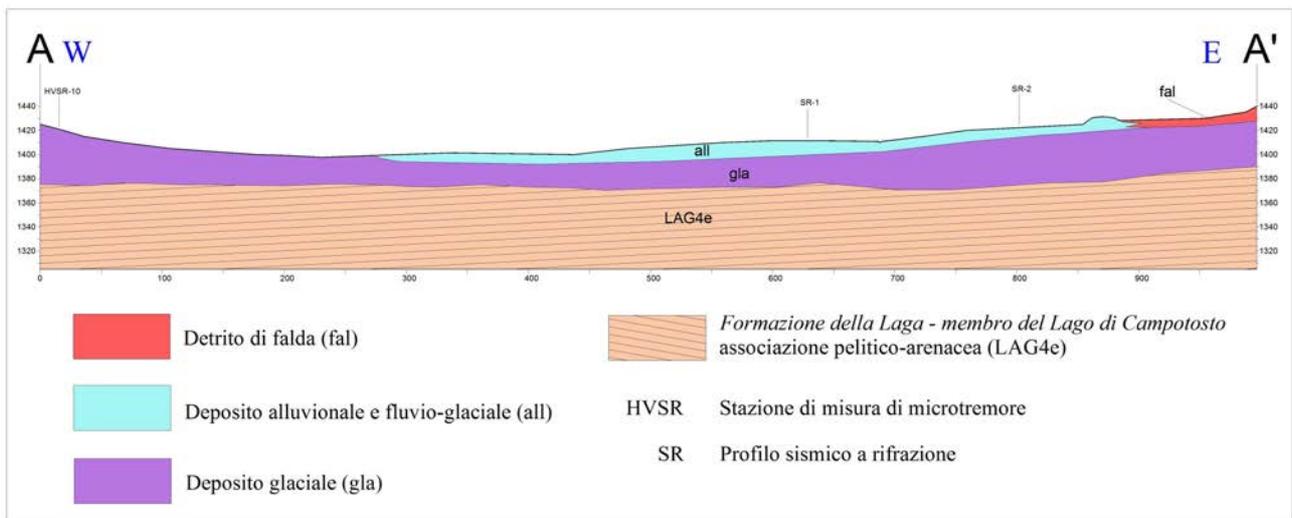


Fig. 14 - Sezione geologico-tecnica Calderotto - Prati di Tivo.

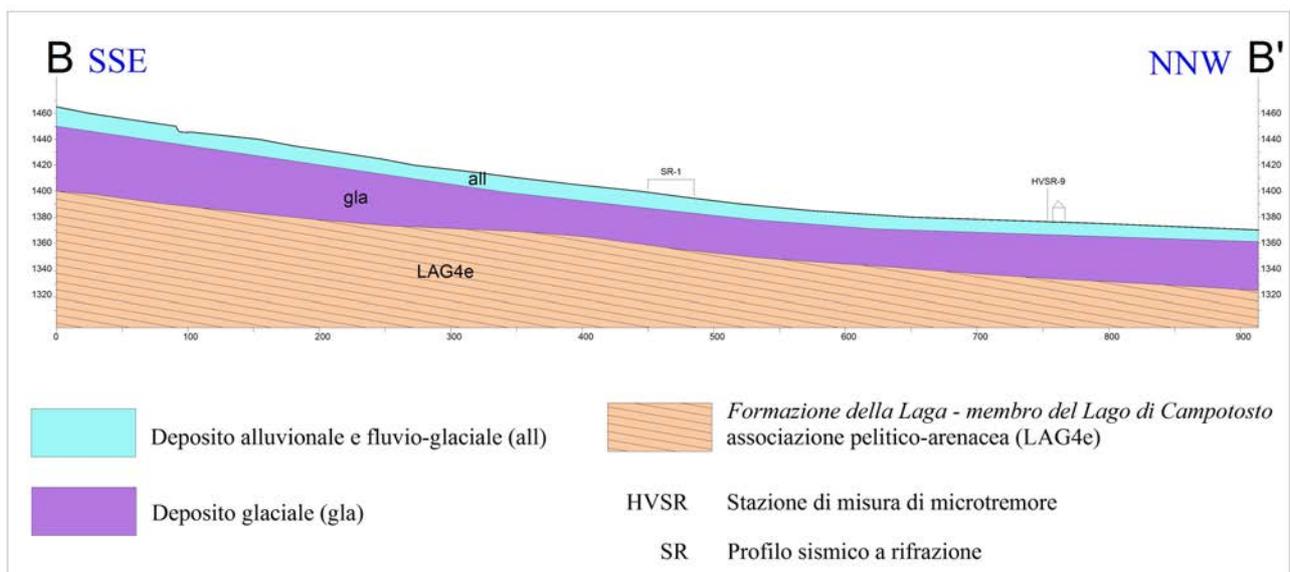


Fig. 15 - Sezione geologico-tecnica Fonte Corea - Prati di Tivo.

Al *Deposito glaciale*, come risulta dai rilievi di superficie, può infatti essere attribuito un valore della V_s almeno pari a 800 m/s, valore tra l'altro confermato dalla sismica a rifrazione (n. 2 stendimenti).

Nel settore occidentale dell'area, lungo la dorsale Calderotto - Peschio la Pronca, il suddetto substrato sismico è affiorante con uno spessore massimo di 60 - 70 m, e solo a luoghi appare ricoperto da un sottile (1-2 m) orizzonte eluviale (Figg. 16, 17).



Fig. 16 - Deposito glaciale cementato affiorante lungo la dorsale Calderotto - Peschio la Pronca.



Fig. 17 - Particolare dell'immagine precedente.

Nell'estremo settore orientale (località Tassete), invece, affiora il substrato costituito dall'associazione pelitico-arenacea (LAG_{4e}) della *Formazione della Laga - membro del Lago di Campotosto* (Fig.18), il quale presenta un discreto spessore di alterazione (circa 20 m) ed un significativo stato di fratturazione ($J_v > 10$), e di conseguenza un presumibile valore di $V_s < 800$ m/s.



Fig. 18 - Associazione pelitico-arenacea (LAG_{4e}) della *Formazione della Laga - membro del Lago di Campotosto*, affiorante ai Prati di Tivo in località Tassete.

Nell'area dei Prati di Tivo, infine, considerando che il quadro conoscitivo esistente è stato sostanzialmente desunto dai dati del rilevamento geologico, dalle indagini HVSR (n. 3 acquisizioni), nonché dalle pochissime indagini pregresse acquisite, si ritiene necessario, per i successivi approfondimenti, pianificare una campagna geognostica finalizzata ad una più puntuale definizione dell'assetto sepolto dei vari litotipi individuati attraverso il rilevamento di campagna e all'implementazione delle conoscenze delle proprietà fisico-meccaniche dei terreni di copertura.

Area 4 - Colle Piano

Nell'area di Colle Piano, ubicata poco ad est dell'abitato di Intermesoli e sede della centrale elettrica, affiora il substrato roccioso costituito dalle *Marne con cerrognna*, ovvero dalla litofacies marnoso-calcarenitica (CRRa) con spessore molto limitato e dalla sottostante litofacies calcarenitico-calciruditica (CRRb).

L'assetto geologico-strutturale ricostruito evidenzia che tale area fa parte del fianco occidentale del settore meridionale dell'estesa struttura anticlinalica Montagna dei Fiori - Montagnone, ad andamento N-S e sovrascorsa verso est attraverso diversi piani, con entità del raccorciamento che sembra aumentare verso sud.

Gli effetti della tettonica compressiva mio-pliocenica e delle successive fasi tettoniche distensive sono ben visibili sugli ammassi rocciosi, i quali presentano una intensa fratturazione, piani di taglio ed un diffuso clivaggio.

Oltre ai dati di rilevamento geologico (non esistono indagini pregresse), sono disponibili esclusivamente i risultati della misura di rumore ambientale (HVSR 3). Inoltre, in due punti di misura dell'indice J_v (vedere *Carta Geologico-Tecnica* allegata), nella zona di confine fra le due suddette litofacies, il grado di fratturazione dell'ammasso roccioso presenta un valore $J_v < 10$ (Figg. 19, 20).

Sulla base dei suddetti dati, si può ragionevolmente ipotizzare che il substrato roccioso affiorante in quest'area abbia le caratteristiche di un substrato sismico ($V_s > 800$ m/s). Ipotesi naturalmente da verificare, per esempio attraverso prove MASW, nelle successive fasi di approfondimento, così come andrebbe verificata l'eventuale presenza in profondità di cavità carsiche.



Fig. 19 - Area di Colle Piano. Litofacies calcarenitico-calciruditeica (CRRb) delle *Marne con cerroigna*, con $J_v < 10$.



Fig. 20 - Colle Piano. Zona di confine tra le litofacies marnoso-calcarenitica (CRRa) e calcarenitico-calciruditeica (CRRb) delle *Marne con cerroigna*, con $J_v < 10$.

9. La Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica

Le informazioni geologiche, geomorfologiche, litotecniche ed idrogeologiche acquisite nella fase di rilevamento e riportate nella *Carta Geologico-Tecnica*, unitamente ai dati di base pregressi reperiti da indagini geognostiche e geofisiche (*Carta delle Indagini*) ed ai risultati delle 10 misure passive del rumore sismico ambientale (Allegato A), hanno consentito di realizzare la *Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica*, la quale individua qualitativamente e talora a grandi linee, la geometria delle aree potenzialmente caratterizzate da specifici effetti sismici locali.

Qui di seguito, facendo riferimento all'allegata *Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica*, sarà esposta, per ogni area, una breve nota illustrativa di commento

Area 1 - Pietracamela

Nell'area dell'abitato di Pietracamela sono state individuate le seguenti microzone:

➤ **Zona stabile:**

- **Zona 2**, presente nel settore orientale dell'area, è caratterizzata da substrato lapideo stratificato con morfologia poco inclinata, costituito da un'alternanza di litotipi calcareo-marnosi, con talora una copertura prodotta dall'alterazione del substrato roccioso che può raggiungere i 2-3 m di spessore. L'identificazione come substrato sismico, dovrà comunque essere confermata da misure in Vs nelle successive fasi di approfondimento.

➤ **Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali:**

- **Zone 3-4-5-6**, caratterizzate dalla presenza rispettivamente di: brecce calcaree fortemente cementate in strati massivi con $i > 15^\circ$ (Capo le Vene), alternanze di litotipi calcareo-marnosi stratificati con inclinazione del pendio $i > 15^\circ$, alternanza di litotipi flyschiodi in strati medi e spessi con $J_v > 10$ (Capo la Costa), deposito di copertura costituito da clasti arenacei o calcarei eterometrici fino ai grossi blocchi in matrice sabbiosa o calcarea con spessore variabile da 10 ad oltre 50 m.

➤ **Zone suscettibili di instabilità per instabilità di versante.**

Tale zona riguarda la maggior parte dell'area di Pietracamela, dove è presente un esteso fenomeno franoso complesso sia attivo ("la Villa") che quiescente ("la Terra"), ed è altresì interessata da una Deformazione Gravitativa Profonda di Versante. Per tale ampia zona suscettibile di instabilità di versante, non sono naturalmente da escludere anche fenomeni di amplificazione del moto sismico, come effetto della situazione litostratigrafica.

Area 2 - Intermesoli

Nell'area di Intermesoli sono state individuate le seguenti microzone:

- **Zona stabile suscettibile di amplificazione locale:**
 - **Zona 4**, caratterizzata dalla presenza, nell'estremo settore orientale dell'area, di alternanze di litotipi calcareo-marnosi in strati medi e con inclinazione del pendio $i > 15^\circ$.
- **Zone suscettibili di instabilità** per *instabilità di versante*.

Tale zona riguarda la quasi totalità dell'area di Intermesoli, dove è presente un esteso deposito di frana per scorrimento quiescente (comprende anche l'abitato) ed un corpo di frana per scorrimento attivo (area ad occidente dell'abitato), ed è altresì presente una Deformazione Gravitativa Profonda di Versante. Per la suddetta ampia zona suscettibile di instabilità di versante, non si possono escludere anche fenomeni di amplificazione del moto sismico, come effetto della situazione litostratigrafica.

Area 3 - Prati di Tivo

Nella località turistica dei Prati di Tivo sono state individuate le seguenti microzone:

- **Zona stabile:**
 - **Zona 1**, presente nel settore occidentale dell'area (dorsale Calderotto - Peschio la Pronca), è caratterizzata da substrato lapideo massivo con morfologia poco inclinata, costituito da breccie calcaree fortemente cementate con, a luoghi, una coltre di alterazione del substrato roccioso di 1-2 m di spessore. Appare opportuna, nelle successive fasi di approfondimento, la conferma dell'identificazione come substrato sismico, attraverso misure in Vs.
- **Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali:**
 - **Zone 3-5-6-7-8**, caratterizzate dalla presenza rispettivamente di: breccie calcaree fortemente cementate in strati massivi con $i > 15^\circ$, alternanza di litotipi flyschiodi in strati medi con $J_v > 10$, deposito di copertura costituito da clasti arenacei eterometrici in matrice sabbioso-limosa, ed ancora, nella zona centrale dei Prati di Tivo e con uno spessore variabile da 3 a 20 m, estesi depositi di copertura caratterizzati da clasti poligenici ed eterometrici con scarsa matrice siltoso-sabbiosa, e ghiaie e blocchi eterometrici e poligenici con intercalazioni di sabbie e limi sabbiosi. Si precisa che l'indicazione relativa allo spessore delle ultime due coperture, poggianti su substrato

lapideo massivo, è suscettibile di variazioni in quanto la stima deriva dai pochi dati pregressi disponibili.

➤ **Zona suscettibile di instabilità** per *instabilità di versante*.

Tale zona riguarda l'area appena a valle della strada provinciale n. 43 fra località Tassete e la zona centrale dei Prati di Tivo, dove è presente un corpo di frana per scorrimento, quiescente.

Area 4 - Colle Piano

Nell'area di Colle Piano sono previste esclusivamente le seguenti due microzone:

➤ **Zona stabile:**

- **Zona 2**, caratterizzata da substrato lapideo stratificato con inclinazione del pendio $i < 15^\circ$, costituito da un'alternanza di litotipi calcareo-marnosi, con talora una coltre di alterazione del substrato roccioso che può raggiungere i 2-3 m di spessore. E' opportuno ricordare che, l'identificazione di tale substrato come bedrock sismico, dovrà successivamente essere confermato da misure in Vs.

➤ **Zona stabile suscettibile di amplificazione locale:**

- **Zona 4**, costituita dal substrato lapideo stratificato sopra ricordato, ma con inclinazione del pendio $i > 15^\circ$ e quindi tale da non escludere fenomeni di amplificazione di tipo topografico.

La *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica* individua con sufficiente dettaglio i limiti delle tre tipologie di zone e consente un'adeguata informazione circa la caratterizzazione del substrato geologico e dei depositi di copertura, per pianificare le ulteriori indagini nei successivi livelli di approfondimento.

10. Bibliografia

Elenco bibliografico A

COMUNE DI PIETRACAMELA (1990) - *Lavori di consolidamento del dissesto idrogeologico del capoluogo. 1° intervento.* Comune di Pietracamela.

COMUNE DI PIETRACAMELA (1992) - *Lavori di consolidamento del dissesto idrogeologico del capoluogo. 2° intervento.* Comune di Pietracamela.

COMUNE DI PIETRACAMELA (1997) - *Interventi di consolidamento delle pareti rocciose in località Capo le Vene, Palestra di roccia, La Rocca, Vena Grande e Monte Calvario.* Comune di Pietracamela.

COMUNE DI PIETRACAMELA (1998) - *Lavori di consolidamento del dissesto idrogeologico del capoluogo. 3° intervento.* Comune di Pietracamela.

COMUNE DI PIETRACAMELA (2004) - *Lavori di consolidamento del dissesto idrogeologico del capoluogo. 4° intervento.* Comune di Pietracamela.

COMUNE DI PIETRACAMELA (2006) - *Lavori di consolidamento del dissesto idrogeologico del capoluogo. 5° intervento.* Comune di Pietracamela.

COMUNE DI PIETRACAMELA (2007) - *Lavori di bonifica e sistemazione dei movimenti franosi. Relazione geologica, geomorfologica e geomeccanica.* Comune di Pietracamela.

COMUNE DI PIETRACAMELA (2010) - *Piano Regolatore Generale. Studio geologico, idrogeologico e geomorfologico del territorio comunale di Pietracamela.* Comune di Pietracamela.

COMUNE DI PIETRACAMELA (2010a) - *Intervento di consolidamento e risanamento idrogeologico nel territorio comunale. Lotto I. Relazione geologico-tecnica.* Comune di Pietracamela.

COMUNE DI PIETRACAMELA (2010b) - *Intervento di consolidamento e risanamento idrogeologico nel territorio comunale. Lotto II. Relazione geologico-tecnica.* Comune di Pietracamela.

COMUNE DI PIETRACAMELA (2010c) - *Studio geologico-tecnico per la valutazione e mitigazione del rischio frane di crollo coinvolgenti l'abitato di Pietracamela e dintorni.* Comune di Pietracamela.

COMUNE DI PIETRACAMELA (2011) - *Studio di compatibilità idrogeologica in località Prati di Tivo del comune di Pietracamela (TE).* Comune di Pietracamela.

PROVINCIA DI TERAMO - VI SETTORE (2002) - *S.P. n. 43 di Pietracamela. Progetto di risanamento e consolidamento. Indagine geognostica e Rapporto geologico-geotecnico definitivo.* Provincia di Teramo.

PROVINCIA DI TERAMO - VI SETTORE (2006) - *Dissesto idrogeologico sulla S.P. n. 43/A - tratto Intermesoli - Fano Adriano. Sistemazione movimento franoso e rifacimento opere d'arte.* Provincia di Teramo.

Elenco bibliografico B

- ADAMOLI L. (1981) - *Attività sismica e caratteri sismotettonici dell'Abruzzo teramano*. Notizie dell'Economia Teramana, C.C.I.A.A., Teramo, **1-2-3**, 46-56.
- ADAMOLI L. (1990) - *Idrogeologia del massiccio carbonatico del Gran Sasso e conseguenze idrogeologiche degli scavi autostradali*. "Geologia Tecnica" Rivista dell'Ordine Nazionale dei Geologi, **3**, 4-15.
- ADAMOLI L. (1992) - *Evidenze di tettonica di inversione nell'area Corno Grande - Corno Piccolo (Gran Sasso d'Italia)*. Boll. Soc. Geol. It., **111**, 53-66.
- ADAMOLI L. (1998) - *Studio dell'ambiente geologico, geomorfologico ed idrogeologico della provincia di Teramo*. Collana Territorio e Ambiente della Provincia di Teramo, Vol. n **2**, 117 pp.
- ADAMOLI L., BERTINI T., CHIOCCHINI M., DEIANA G., MANCINELLI A., PIERUCCINI U. & ROMANO A. (1978) - *Ricerche geologiche sul Mesozoico del Gran Sasso d'Italia (Abruzzo). II. Evoluzione tettonico-sedimentaria dal Trias superiore al Cretaceo inferiore dell'area compresa tra il Corno Grande e S. Stefano di Sessanio (F. 140 Teramo)*. Studi Geologici Camerti, **IV**, 7-17.
- ADAMOLI L., BERTINI T., DEIANA G., MANCINELLI A., PIERUCCINI U. & ROMANO A. (1981-82a) - *Ricerche geologiche sul Gran Sasso d'Italia (Abruzzo). V. Evoluzione tettonico-sedimentaria dal Trias superiore al Cretaceo inferiore nell'area compresa tra M. Camicia ed Ofena (F. 140 Teramo)*. Studi Geologici Camerti, **VII**, 89-95.
- ADAMOLI L., BERTINI T., DEIANA G., PIERUCCINI U. & ROMANO A. (1981-82b) - *Ricerche geologiche sul Gran Sasso d'Italia (Abruzzo). VI. Primi risultati dello studio strutturale della catena del Gran Sasso d'Italia*. Studi Geologici Camerti, **VII**, 97-103.
- ADAMOLI L., BIGOZZI A., CIARAPICA G., CIRILLI S., DURANTI F., PASSERI L., ROMANO A. & VENTURI F. (1990) - *Upper Triassic bituminous facies and Hettangian pelagic facies in the Gran Sasso range*. Boll. Soc. Geol. It., **109** (1), 219-230.
- ADAMOLI L., CALAMITA F. & PIZZI A. (Eds, in stampa) - *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 349 Gran Sasso d'Italia*. Progetto CARG, ISPRA.
- ADAMOLI L., MANCINELLI A., PIERUCCINI U. & ROMANO A. (1984) - *Ricerche geologiche sul Gran Sasso d'Italia (Abruzzo). VIII. Età e significato paleoambientale degli "Scisti bituminosi"*. Studi Geologici Camerti, **IX**, 7-14.
- ADAMOLI L., MANGANELLI V., PIERUCCINI U. & ROMANO A. (1981-82c) - *Ricerche geologiche sul Gran Sasso d'Italia (Abruzzo). 7. La zona tra Valle Fredda e Valle dell'Inferno (Prov. di L'Aquila e Teramo)*. Studi Geologici Camerti, **VII**, 105-113.
- ALBARELLO D., CASTENETTO S. & NASO G. (2011) - *Procedura semiquantitativa per stabilire la qualità di una carta di MS di Livello 1*. Ingegneria Sismica, Anno XXVIII, n. **2**.
- ANAS-COGEFAR (1980) - *Gran Sasso. Il traforo autostradale*. Ed. Grafiche Sefra, Milano, pp. 267.
- ARTONI A. (2003) - *Messinian events within the tectono-stratigraphic evolution of the Southern Laga Basin (Central Apennines, Italy)*. Boll. Soc. Geol. It., **122**, 447-465.
- BACHETTI C., BLUMETTI A.M., CALDERONI G. & RIDOLFI M. (1990) - *Attività Neotettonica e paleosismica nel settore meridionale dei Monti della Laga*. Rend. Soc. Geol. It., **13**, 9-16.
- BALLY A.W., BURBI L., COOPER C. & GHELARDONI R. (1988) - *Balanced sections and seismic reflection profiles across the central Apennines*. Mem. Soc. Geol. It., **35**, 257-310.
- BARCHI M., GALADINI F., LAVECCHIA G., MESSINA P., MICETTI A.M., PERUZZA L., PIZZI A., TONDI E. & VITTORI E. (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, pp. 62.
- BIGI S., CALAMITA F., & PALTRINIERI W. (1995) - *Modi e tempi della strutturazione della catena centro-appenninica abruzzese dal Gran Sasso alla costa adriatica*. Studi Geologici Camerti, Volume Speciale **1995/2**, 77-85.
- BILLI A., TIBERTI M.M., CAVINATO G.P., COSENTINO D., DI LUZIO E., KELLER J.V.A., KLUTH C., ORLANDO L., PAROTTO M., PRATURLON A., ROMANELLI M., STORTI F. & WARDELL N. (2006) - *First result from the CROP-11 deep seismic profile, central Apennines, Italy: evidence of mid-crustal folding*. Journal of the Geological Society, London, **163**, 583-586.

- BLUMETTI A.M. (1995) - *Neotectonic investigations and evidence of paleoseismicity in the epicentral area of the January–February 1703, Central Italy, Earthquakes*. In: SERVA L. & SLEMMONS D.B. (eds), *Perspectives in Paleoseismology*, Ass. of Eng. Geologists, spec. publ. n. **6**, 83–100.
- BONCIO P., GALLI P., NASO G. & PIZZI A. (2011) - *Surface Fault Rupture Hazard along normal faults: implications for earthquake fault zoning*. Rendiconti online Soc. Geol. It. Vol **15**, 8-10.
- BONCIO P., LAVECCHIA G., MILANA G. & ROZZI B. (2004) – *Seismogenesis in central Apennines, Italy: an integrated analysis of minor earthquake sequences and structural data in the Amatrice-Campotosto area*. Annals of Geophysics, **47/6**, 1723-1742.
- BONCIO P., LAVECCHIA G. & PACE B. (2004) - *Defining a model of 3D seismogenic sources for seismic hazard assessment applications: the case of central Apennines (Italy)*. J. Seism., **8**, 407–425, doi:10.1023/B:JOSE.0000038449.78801.05.
- BOSCHI E., FERRARI G., GASPERINI P., GUIDOBONI E., SMERIGLIO G. & VALENSISE G. (1995) - *Catalogo dei Forti Terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1980*. ING-SGA, Bologna.
- BOSI C. (1975) - *Osservazioni preliminari su faglie probabilmente attive nell'Appennino Centrale*. Boll. Soc. Geol. It., **94**, 827-859.
- CALAMITA F., BEN M'BAREK M., DI VINCENZO M. & PELOROSSO M. (2004a) – *The Pliocene thrust system of the Gran Sasso salient (Central Italy)*. Mapping Geology In Italy: G. Pasquare & C. Venturini Eds. APAT. S.EL.CA, 227-234.
- CALAMITA F., CAPUTO R., PIZZI A., & SCISCIANI V. (1997) - *Caratterizzazione cinematica ed evoluzione deformativa delle faglie quaternarie con attività olocenica: esempi dall'Appennino centrale*. Il Quaternario, **10**, **2**, 615-620.
- CALAMITA F., PATRUNO S., POMPOSO G. & TAVARNELLI E. (2007a) – *Geometria e cinematica delle anticlinali dell'Appennino centrale esterno: il ruolo delle faglie dirette giurassiche*. Rend. Soc. Geol. It., Vol. **IV** nuova serie, 167-169.
- CALAMITA F., PIZZI A., SCISCIANI V., DE GIROLAMO C., COLTORTI M., PIERUCCINI P. & TURCO E. (2000) - *Caratterizzazione delle faglie quaternarie nella dorsale appenninica umbro-marchigiano-abruzzese*. CNR-GNDT. Le Ricerche del GNDT nel Campo della Pericolosità Sismica (1996-1999) (Galadini F., Meletti C., Rebez A. Eds.), 157-169.
- CALAMITA F., ADAMOLI L., SCISCIANI V., BEN M'BAREK M. & PELOROSSO M. (2002) - *Il sistema a thrust del Gran Sasso d'Italia (Appennino Centrale)*. Studi Geologici Camerti. Nuova Serie **1/2002**, 19-32.
- CALAMITA, F., VIANDANTE M.G., ESESTIME P., PALTRINIERI, W. & SCISCIANI, V. (2007b). *Il controllo dell'architettura del paleomargine di Adria sull'evoluzione pre e post-pliocene inferiore dell'Appennino centro-meridionale*. Rend. Soc. Geol. It., **4**, 170-173.
- CALAMITA F., VIANDANTE M.G. & HEGARTY K., (2004b) - *Pliocene-Quaternary burial/exhumation paths of the Central Apennines (Italy): implications for the definition of the deep structure of the belt*. Boll. Soc. Geol. It, **123**, 503-512.
- CANTALAMESSA G., CENTAMORE E., CHIOCCHINI M., MICARELLI A. & POTETTI M. (1982) – *Tectonic-sedimentary evolution of the northwestern part of the Laga basin (Upper Miocene-Lower Pliocene, Central-Southern Marche)*. Mem. Soc. Geol. It., **24**, 221-232.
- CARRARO F. & GIARDINO M. (1992) - *Geological evidence of recent fault evolution. Examples from Campo Imperatore (L'Aquila-Central Apennines)*. Il Quaternario, **5**, 181-200.
- CASTELLI V., GALADINI F., GALLI P., MOLIN D. & STUCCHI M. (2002) - *Caratteristiche sismogenetiche della sorgente della Laga e relazione con il terremoto del 1639*. In: 21th National Congress of the Gruppo Naz.le di Geofisica della Terra Solida, Rome, November 19-21, 2002, abstract volume, 13-16.
- CASTENETTO S. (2011) - *Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica: un riferimento per la caratterizzazione sismica del territorio*. Ingegneria Sismica, Anno XXVIII - n. **2**.
- CELICO P. (1983) - *Idrogeologia dei massicci carbonatici delle piane quaternarie e delle aree vulcaniche dell'Italia centro-meridionale (Marche e Lazio meridionali, Abruzzo, Molise e Campania)*. Quaderni Casmez, **4** (2): 1-225, Roma.
- CELLO G., MAZZOLI S., TONDI E. & TURCO E. (1997) - *Active tectonics in the central Apennines and possible implications for seismic hazard analysis in peninsular Italy*. Tectonophysics **272**: 43–68.
- CENTAMORE E., ADAMOLI L., BERTI D., BIGI S., CASNEDI R., CANTALAMESSA G., MORELLI C., MICARELLI A., RIDOLFI M., SALVUCCI R., CHIOCCHINI M., MANCINELLI A. & POTETTI M. (1991-92) - *Carta geologica dei bacini della Laga e del Cellino e dei rilievi carbonatici circostanti. (Marche meridionali, Lazio nordorientale, Abruzzo settentrionale)*. Scala 1:100.000. S.EL.CA., Firenze.

- 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**, CROP 11, 125-131.
- CENTAMORE E., CANTALAMESSA G., MICARELLI A., POTETTI M. & RIDOLFI M. (1990) - *I depositi terrigeni neogenici di avanfossa (Messiniano-Pliocene inferiore) dell'Abruzzo settentrionale*. Mem. Soc. Geol. It., **45**, 563-568.
- CENTAMORE E., CANTALAMESSA G., MICARELLI A., POTETTI M., RIDOLFI M., CRISTALLINI M. & MORELLI C. (1993) - *Contributo alla conoscenza dei depositi terrigeni neogenici di avanfossa del teramano (Abruzzo settentrionale)*. Boll. Soc. Geol. It., **112**, 63-81.
- CENTAMORE E., NISIO S., PRESTININZI A. & SCARASCIA MUGNOZZA G. (1996-97) - *Evoluzione morfodinamica e fenomeni franosi nel settore periadriatico dell'Abruzzo settentrionale*. Studi Geologici Camerti, **XIV**, 9-27.
- COLTORTI M., PIERUCCINI P. & PIZZI A (in stampa) - *Active faulting in the western Gran Sasso Massif, Central Apennines, Italy*.
- CORDA L. & MORELLI C. (1996) - *Compositional evolution of the Laga and Cellino sandstone (Messinian-lower Pliocene, adriatic foredeep)*. Boll. Soc. Geol. It., **115**, 423-437.
- D'AGOSTINO N., CHAMOT-ROOKE N., FUNICIELLO R., JOLIVET L. & SPERANZA F. (1998) - *The role of pre-existing thrust faults and topography on the styles of extension in the Gran Sasso range (Central Italy)*. Tectonophysics, **292**, 229-254.
- D'ALESSANDRO L., DE SISTI G., D'OREFICE M., PECCI M. & VENTURA M. (2003) - *Geomorphology of the summit area of the Gran Sasso d'Italia (Abruzzo, Italy)*. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, **26**, 125-141.
- DEMANGEOT J. (1950) - *Les conglomérats de Pietracamela (Abruzzo teramano)*. In Contr. di Sc. Geol. Suppl. a «La Ricerca Scientifica», C.N.R., **20**, 74-77.
- DEMANGEOT J. (1965) - *Neotectonique du Gran Sasso (Appennin central)*. Rev. Geogr. Phys. Geol. Dynam., **7**, 223-234.
- DRAMIS F., GENTILI B. & PAMBIANCHI G. (1987) - *Deformazioni gravitative profonde nell'area di Monte Gorzano (Monti della Laga, Appennino Centrale)*. Boll. Soc. Geol. It., **106**, 265-271.
- DUFAURE J. J., BOSSUYT D. & RASSE M. (1989) - *Criteres geomorfologique de neotectonique verticale dans l'Apennin central adriatique*. Bulletin AFEQ, **3**, 151-160.
- FARRONI A., PETITTA M., TALLINI M. & TOGNA A. (1999) - *Indagine sull'idrogeologia del Massiccio del Gran Sasso. Revisione dei dati esistenti e nuove considerazioni*. Studi Geologici Camerti. Volume Speciale **1999**, 117-135.
- FUNICIELLO R., TOZZI M., TRIGARI A. & SCIPIONI L. (1993) - *Tettonica compressiva ed evoluzione cinematica nell'area di Cima Alta (Appennino centrale, Teramo)*. Boll. Soc. Geol. It., **112**, 615-633.
- GALADINI F. & GALLI P. (2000) - *Active tectonics in the central Apennines (Italy) - input data for seismic hazard assessment*. Nat. Haz., **22**, 225-270.
- GALADINI F. & GALLI P. (2003) - *Paleoseismology of silent faults in the Central Apennines (Italy): the Mt. Vettore and Laga Mts. Faults*. Annals of Geophysics, **46**, 815-836
- GALADINI F., GALLI P. & MORO M. (2003) - *Paleoseismology of silent faults in the central Apennines (Italy): the Campo Imperatore fault (Gran Sasso Range fault system)*. Annals of Geophysics Vol. **46**, 5, 2003, 793-813.
- GALADINI F., MESSINA P. & SPOSATO A. (2000) - *Tettonica quaternaria nell'Appennino centrale e caratterizzazione dell'attività di faglie nel Pleistocene superiore-Olocene*. In: GALADINI F., MELETTI C. & REBEZ A. (a cura di) "Le ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica (1996-1999)". CNR - Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma, 181-192.
- GALLI P., GALADINI F., MORO M. & GIRAUDI C. (2002) - *New paleoseismological data from the Gran Sasso d'Italia area (central Apennines)*. Geophys. Res. Lett., **29**(7), 1134.
- GHISETTI F., FOLLADOR U., CASNEDI R. & VEZZANI L. (1994) - *Assetto tettonico delle zone esterne dell'Appennino abruzzese: elementi di analisi stratigrafico-strutturali*. Atti Tic. Sc. Terra (Serie speciale), **2**, 5-43.
- GHISETTI F. & VEZZANI L. (1986) - *Assetto geometrico ed evoluzione strutturale della catena del Gran Sasso tra Vado di Siella e Vado di Corno*. Boll. Soc. Geol. It., **105**, 131-171.

- GHISETTI F. & VEZZANI L. (1988) - *Rapporti strutturali tra il fronte del Gran Sasso ed il flysch della Laga (Appennino centrale)*. Mem. Soc. Geol. It., **41**, 1171- 1178.
- GHISETTI F. & VEZZANI L. (1990) - *Stili strutturali nei sistemi di sovrascorrimento della catena del Gran Sasso (Appennino centrale)*. Studi Geologici Camerti, Volume Speciale **1990**, 37-50.
- GHISETTI F. & VEZZANI L. (1991a) - *Thrust geometries and sequence of imbrication in the Gran Sasso chain (central Apennines, Italy)*. Boll. Soc. Geol. It., **110**, 427-440.
- GHISETTI F. & VEZZANI L. (1991b) - *Thrust belt development in the central Apennines (Italy): northward polarity of thrusting and out - of - sequence deformations in the Gran Sasso chain*. Tectonics, **10**(5), 904-919.
- GHISETTI F. & VEZZANI L. (1997) - *Interfering paths of deformation and development of arcs in the fold-and-thrust belt of the central Apennines (Italy)*. Tectonics **16**, 523-536.
- GHISETTI F., VEZZANI L., BIGOZZI A., BLUMETTI A. M., BRUZZONE B., CELLINI M., CENTAMORE E., CLARI P., DELA PIERRE F., FOLLADOR U., FREZZOTTI M., GIRAUDI C., PITTORI C. & RIDOLFI M. (1990) – *Carta geologica del Gran Sasso d'Italia da Vado di Corno al Passo delle Capanelle*. S.EL.CA. Firenze, Scala 1:25.000.
- GIRAUDI C. (1988a) - *Segnalazione di scarpate di faglia post-glaciali nel massiccio del Gran Sasso d'Italia (Abruzzo): implicazioni tettoniche, rapporti tra tettonica recente e morfologia, paleosismicità*. Mem. Soc. Geol. It., **41**, 627-635.
- GIRAUDI C. (1988b) - *Laghi effimeri tardopleistocenici e olocenici di Campo Imperatore e del Massiccio del Gran Sasso d'Italia (Abruzzo-Italia Centrale)*. Il Quaternario, **13**, 31-36.
- GIRAUDI C. (2001) - *Segnalazione di strutture a strisce parallele (sorted stripes) su detrito del Gran Sasso d'Italia (Abruzzo)*. Il Quaternario, **14** (1), 5-8.
- GIRAUDI C. (2002) - *I rock glacier tardo-pleistocenici e olocenici dell'Appennino - Età, distribuzione, significato paleoclimatico*. Il Quaternario, **15**, 45-52.
- GIRAUDI C. & FREZZOTTI M. (1995) - *Palaeoseismicity in the Gran Sasso Massif (Abruzzo, central Italy)*. Quaternary International., **25**, 81-93.
- GIRAUDI C. & FREZZOTTI M. (1997) - *Late Pleistocene glacial events in the Central Apennine, Italy*. Quaternary Research, **48**, 280-290.
- JAUROUD E. (1992) - *Les moraines failles du Gran Sasso d'Italia (Apennin Abruzzais): Intéret geomorphologique et néotectonique*. Géographie Physique et Environnement, **44**, 10-29.
- INGV (2011) - *Data base Macrosismico Italiano (<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>)*.
- ISPRA (in stampa) - *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 349 Gran Sasso d'Italia*.
- KOOPMAN A. (1983) – *Detachment tectonics in the Central Apennines, Italy*. pp. 155, Geol. Ultraiectina 30, Diss. Univ. Utrecht.
- MILLI S., MOSCATELLI M., STANZIONE O. & FALCINI F. (2007) – *Sedimentology and physical stratigraphy of the Messinian turbidite deposits of the Laga Basin (Central Apennines, Italy)*. Boll. Soc. Geol. It., **126**, 255-281.
- PAROTTO M. & PRATURLON A. (1975) - *Geological summary of the Central Apennines*. In: "Structural Model of Italy". Quaderni de «La Ricerca Scientifica», C.N.R., **90**, 257-311.
- PECCI M. & D'AQUILA P. (in stampa) – *Stato dell'arte degli studi geomorfologici nelle aree del Corno Grande (versante settentrionale) e del Corno Piccolo-Pizzo Intermesoli (Gran Sasso d'Italia, Provincia di Teramo)*. Bollettino Soc. Geol. It..
- PETITTA M. & TALLINI M. (2002) – *Idrodinamica sotterranea del massiccio del Gran Sasso (Abruzzo): nuove indagini idrologiche, idrogeologiche e idrochimiche (1994-2001)*. Boll. Soc. Geol. It., **121**, 343-363.
- PIZZI A., CALAMITA F., COLTORTI M. & PIERUCCINI P. (2002) - *Quaternary normal faults, intramontane basins and seismicity in the Umbria-Marche-Abruzzi Apennine Ridge (Italy): contribution of neotectonic analysis to seismic hazard assessment*. Boll. Soc. Geol. It., **1**, 923-929.
- PIZZI A., CALAMITA F., PIERUCCINI P., POMPOSO G. & SCISCIANI V. (2011) - *Il contributo della cartografia CARG negli studi di pericolosità sismica. Il Foglio Gran Sasso d'Italia alla luce del terremoto aquilano del 6 aprile 2009*. Rend. online Soc. Geol. It., Vol. **12**, 77-81.
- PIZZI A. & GALADINI F. (2009) - *Pre-existing cross-structures and active fault segmentation in the northern-central Apennines (Italy)*. Tectonophysics, 47476, 304-319.
- PIZZI A. & PIERUCCINI P. (in stampa) - *Neotettonica e sismicità*. In: Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 349 Gran Sasso d'Italia.

- PIZZI A., PIERUCCINI P., COLTORTI M., CAPUTO R. & CALAMITA F. (1998) – *Evoluzione quaternaria delle principali faglie normali nell'area del Gran Sasso d'Italia*. Atti del 79° Congresso Nazionale della Società geologica Italiana, Vol. 1, 683.
- REGIONE ABRUZZO (2008) – *Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico "Fenomeni gravitativi e processi erosivi"*. Regione Abruzzo, Servizio Gestione e Tutela della Risorsa Suolo. B.U.R.A. n. 12 Speciale del 1.02.2008.
- RICCI LUCCHI F. (1975) - *Miocene paleogeography and basin analysis in Periadriatic Apennines*. pp. 111, Reprinted from *Geology of Italy*. P.E.S.L., Tripoli.
- ROVIDA A., CAMASSI R., GASPERINI P. & STUCCHI M. (a cura di) (2011) - *CPTI11, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani*. Milano, Bologna (<http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>).
- SATOLLI S., SPERANZA F., & CALAMITA F. (2005) - *Paleomagnetism of the Gran Sasso range salient (central Apennines, Italy): Pattern of orogenic rotations due to translation of a massive carbonate indenter*. *Tectonics*, **24** (4).
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1963) - *Carta Geologica del Foglio 140 "Teramo"*. Scala 1:100.000, Roma.
- SPERANZA F., ADAMOLI L. & MANISCALCO R. (2001) - *Genesi ed evoluzione del fronte arcuato del Gran Sasso: nuovi dati paleomagnetici*. FIST, Geitalia 2001, Chieti. Abstract.
- SPERANZA F., ADAMOLI L., MANISCALCO R. & FLORINDO F. (2003) – *Genesis and evolution of a curved mountain front: paleomagnetic and geological evidence from the Gran Sasso range (central Apennines, Italy)*. *Tectonophysics*, **362**, 183-197.
- TALLINI M., PETITTA M. & RANALLI D. (2000a) – *Caratterizzazione chimico-fisica ed idrologica delle sorgenti del Massiccio del Gran Sasso: analisi statistica dei dati esistenti*. Quaderni DISAT, Università dell'Aquila, **9**, 1-196.
- TALLINI M., PETITTA M., RANALLI D. & TERSIGNI S. (2000b) – *Karst aquifer characterization using physico-chemical spring data (Gran Sasso, Central Italy)*. In: SILILO O. et alii Eds., *Groundwater: Past Achievements and Future Challenges*, pp. 629-634, Balkema, Rotterdam.
- TERTULLIANI A., GALADINI F., MASTINO F., ROSSI A. & VECCHI M. (2006) - *Studio macrosismico del terremoto del Gran Sasso (Italia centrale) del 5 settembre 1950: implicazioni sismotettoniche*. *Il Quaternario, Italian Journal of Quaternary Sciences*, **19**(2), 195-214.
- VEZZANI L., CASNEDI R. & GHISSETTI F. (1993) - *Carta geologica dell'Abruzzo Nord-orientale*. Scala 1:100.000, S.EL.CA., Firenze.
- VEZZANI L. & GHISSETTI F. (1998) - *Carta geologica dell'Abruzzo*. Scala 1:100.000, S.EL.CA., Firenze.
- WORKING GROUP CPTI (2004) - *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04)*. INGV, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>.

Teramo, 8 luglio 2013

Dott. Leo Adamoli

Dott. William Palmucci



Comune di Pietracamela

Provincia di Teramo

Studi di Microzonazione Sismica

- Livello 1-

(ai sensi della O.P.C.M. 13 novembre 2010, n. 3907 e della D.G.R. 20 maggio 2011, n. 333)

ALLEGATO A: *Rapporto indagini HVSR*



*Attività di prevenzione del rischio sismico -
Microzonazione sismica del territorio regionale -
Progetto cofinanziato con fondi Comunitari
POR-FESR Abruzzo
2007-2013, Asse IV – Attività IV.3.1.*

*INDAGINE SISMICA
MICROTREMORI*



COMUNE DI PIETRACAMELA
(Provincia di TERAMO)

RAPPORTO INDAGINE HVSR

LOCALITA'

INTERMESOLI
COLLEPIANO
PIETRACAMELA
PRATI DI TIVO

COMMITTENTE

DOTT. GEOL. LEO ADAMOLI

Dott.Geol.Jr Giorgio Di Bartolomeo

Teramo, Luglio 2013

**INDAGINE SISMICA
MICROTREMORI**

INDICE	Pag.
INTRODUZIONE	3
MICROTREMORI <i>Generalità sulla tecnica di Nakamura</i>	3
<u>RAPPORTO INDAGINE</u>	6
<u>MICROTREMORI</u>	7

**INDAGINE SISMICA
MICROTREMORI**

INTRODUZIONE

La prova geofisica oggetto del presente rapporto, eseguita su commissione del Dott.Geol..Leo Adamoli, è consistita in una serie di dieci misure di rumore ambientale (microtremori) utili a determinare i valori di frequenza di risonanza eventualmente presenti nei terreni indagati. Tutte le misure sono state effettuate all'interno del territorio del Comune di Pietracamela, in particolare 2 nell'abitato di Intermesoli, 1 nella località denominata Collepiano, 4 in prossimità e/o all'interno dell'abitato di Pietracamela e 3 in località Prati di Tivo. Infine è stata stimata in maniera indicativa sulla base dei dati acquisiti, una sismostratigrafia in onde di taglio S per ciascun punto di acquisizione tramite tecniche di inversione effettuate con il programma H/V di Vitantonio Roma. L'ubicazione cartografica delle stazioni a cui l'elaborato fa riferimento è riportata nella Relazione illustrativa a cui è allegato.

Per ciascun punto di acquisizione è stata utilizzata le seguenti configurazioni:

<i>Microtremori</i>		
Stazioni	Frequenza di campionamento	Tempo di registrazione
T	125 Hz	20'00''

MICROTREMORI

Per la rilevazione del rumore sismico ambientale è stato utilizzato il sensore digitale S3S (M.A.E.), uno strumento dotato di tre sensori elettrodinamici orientati N-S, E-W e verticalmente, che permettono la registrazione del microtremore nel campo di frequenze compreso tra 0 e 200 Hz. Il segnale di microtremore, dopo essere stato stato acquisito ad una frequenza di campionamento di 100 Hz, amplificato e digitalizzato a 24 bit equivalenti, è stato quindi trasmesso ad un software dedicato (SoftwareHV di Vitantonio Roma). Il risultato finale consiste nella graficizzazione delle medie degli HVSR di ciascuna finestra e nell'interpretazione secondo la tecnica di Nakamura, determinando infine anche la sismostratigrafia e quindi la VS30 del sito indagato

GENERALITA' SULLA TECNICA DI NAKAMURA

Il metodo di Nakamura, noto anche come tecnica dei rapporti spettrali (HVSR), si basa sulla misura del rumore sismico ambientale. Quest'ultimo, presente ovunque sulla superficie della Terra, è generato, oltre che dall'attività dinamica del pianeta, dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica. Si chiama anche microtremore in quanto riguarda oscillazioni molto piccole (10^{-15} m/s² in termini di accelerazione), inferiori di diversi ordini di grandezza rispetto a quelle indotte dai terremoti nel campo vicino. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come avviene invece nel caso della sismica attiva (esplosioni).

Lo spettro in frequenza del rumore di fondo in un terreno roccioso pianeggiante presenta dei picchi a 0.14 e 0.07 Hz, comunemente interpretati come originati dalle onde oceaniche. Tali componenti spettrali vengono attenuate molto poco anche

**INDAGINE SISMICA
MICROTREMORI**

dopo tragitti di migliaia di chilometri per effetto di fenomeni di guida d'onda. A tale andamento generale, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie ma anche il semplice passeggiare di una persona) e naturali che però si attenuano fortemente a frequenze superiori a 20 Hz, a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce.

Nel tragitto dalla sorgente al sito le onde elastiche (sia di terremoto che di microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda e attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che se da un lato l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica di ray tracing, è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni relative al percorso del segnale ed in particolare relative alla struttura locale vicino al sensore impiegato per la rilevazione del microtremore. Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartata dalla sismologia classica, contiene informazione. Questa informazione è però sepolta all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune.

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo a partire dagli spettri del rumore sismico ambientale registrati in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), applicata inizialmente da Nogoshi e Igarashi (1970) e resa popolare principalmente da Nakamura (1989) come strumento per la determinazione dell'amplificazione sismica locale.

Mentre su questo punto non è ancora stato raggiunto consenso, è invece ampiamente riconosciuto che la curva H/V è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali di risonanza dei sottosuoli (informazione di notevole importanza nell'ingegneria sismica).

La tecnica di Nakamura non richiede l'individuazione di una stazione di riferimento, permettendo così di operare in campagna utilizzando una sola stazione sismica. Il metodo HVSR considera i microtremori come composti principalmente da onde di Rayleigh e presuppone che l'amplificazione relativa agli effetti di sito sia causata dalla presenza di uno strato sedimentario giacente su di un semispazio elastico. In queste condizioni le componenti del moto sismico da analizzare sono quattro:

- quelle orizzontali di superficie (Hs) e quelle orizzontali al bedrock (Hb);
- quelle verticali di superficie (Vs) e quelle verticali al bedrock (Vb).

Secondo Nakamura è inoltre possibile fare una stima della forma spettrale della sorgente dei microtremori $A_s(\omega)$ (in funzione della frequenza) con la seguente relazione:

$$A_s(\omega) = V_s(\omega) / V_b(\omega) \quad (1)$$

in cui $V_s(\omega)$ e $V_b(\omega)$ sono le ordinate spettrali delle componenti verticali del moto, rispettivamente in superficie e al tetto del bedrock.

Nakamura definisce poi come effetto di sito il rapporto spettrale $S_e(\omega)$:

$$S_e(\omega) = H_s(\omega) / H_b(\omega) \quad (2)$$

**INDAGINE SISMICA
MICROTREMORI**

dove $H_s(\omega)$ e $H_b(\omega)$ sono le ordinate spettrali delle componenti orizzontali del moto, rispettivamente in superficie e al tetto del bedrock.

Per compensare l'effetto di sito $S_e(\omega)$ dallo spettro di sorgente $A_s(\omega)$ viene calcolato il rapporto spettrale modificato $S_m(\omega)$ come:

$$S_m(\omega) = S_e(\omega) / A_s(\omega) = (H_s(\omega)/V_s(\omega)) / (H_b(\omega)/V_b(\omega)) \quad (3)$$

Nakamura assume infine che per tutte le frequenze di interesse $H_b(\omega)/V_b(\omega) = 1$, basandosi su registrazioni, sperimentalmente verificate da lui, di microtremori in pozzo; quindi l'effetto di sito modificato $S_m(\omega)$ è descritto da:

$$S_m(\omega) = S_e(\omega) / A_s(\omega) = H_s(\omega)/V_s(\omega) \quad (4)$$

La frequenza di risonanza è ricercata al primo picco individuato dal rapporto tra la componente orizzontale e quella verticale dei segnali registrati.

Nel 2004, nell'ambito di un progetto europeo denominato SESAME (Site EffectS assessment using AMbient Excitations), sono state elaborate le linee guida per l'esecuzione e l'interpretazione di misure sismiche di microtremore, creando così le premesse per la standardizzazione di questo tipo di indagine geofisica.

*INDAGINE SISMICA
MICROTREMORI*

RAPPORTO

**INDAGINE SISMICA
MICROTREMORI**

ACQUISIZIONE N.1 (INTERMESOLI 1)

Classe B2: Blanda direzionalità e presenza di disturbi elettromagnetici



Durata registrazione: 0h 20' 00''

Frequenza di campionamento: 125 Hz.

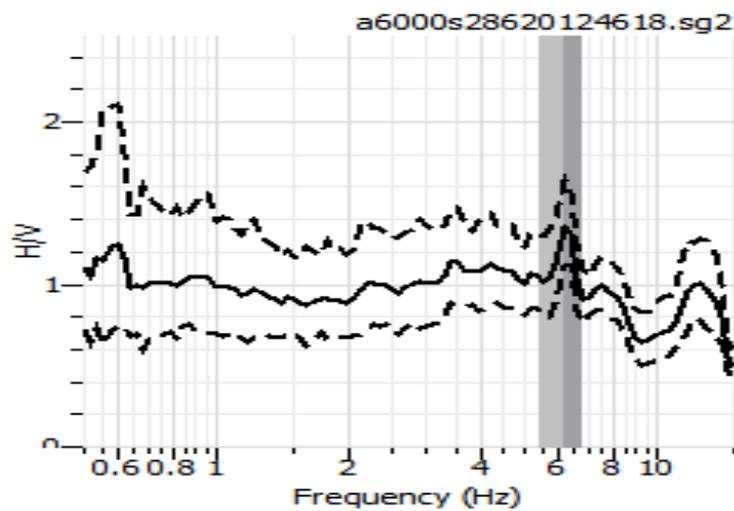
Lunghezza finestre: 20s.

Tipo di lisciamento: Konno & Ohmachi

Lisciamento: 70b

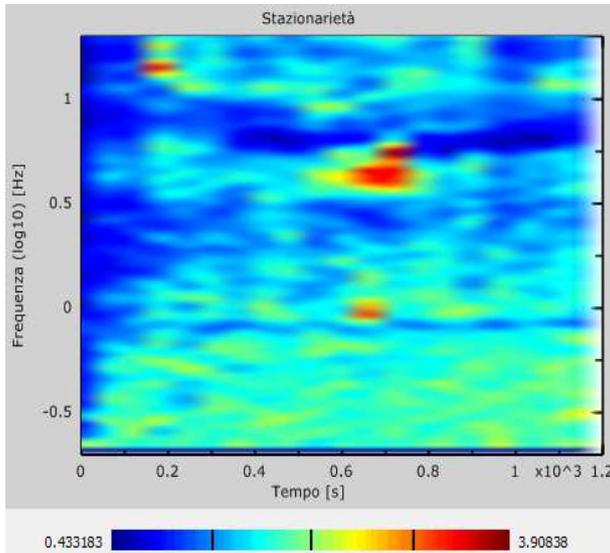
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

Non si registrano picchi significativi (INTERVALLO 0.25-20.0Hz)

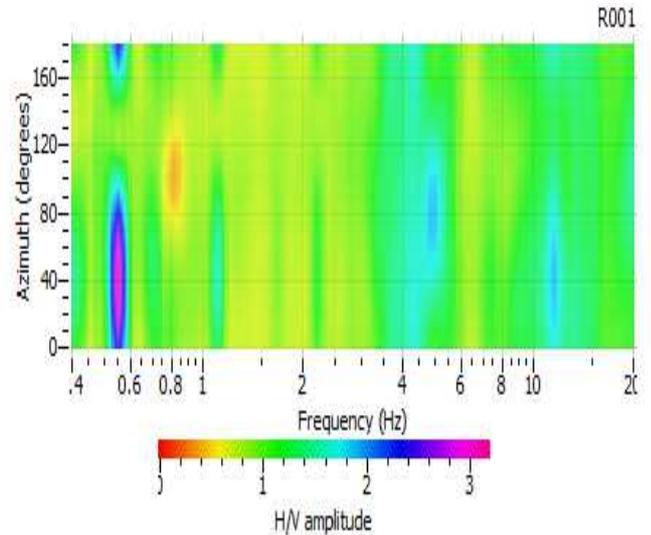


INDAGINE SISMICA
MICROTREMORI

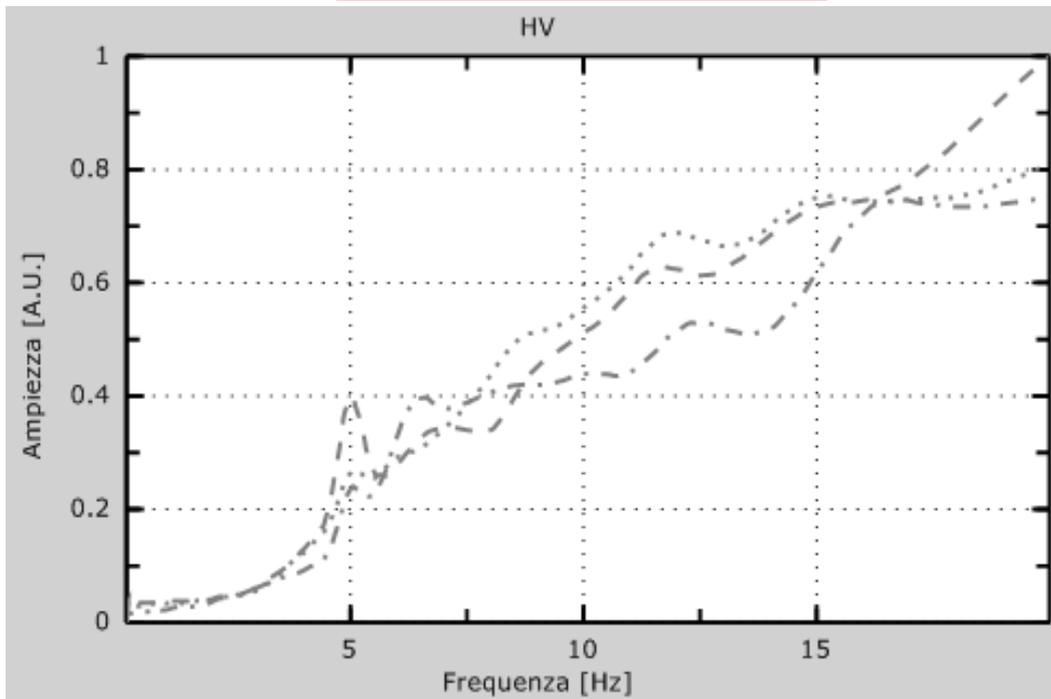
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V

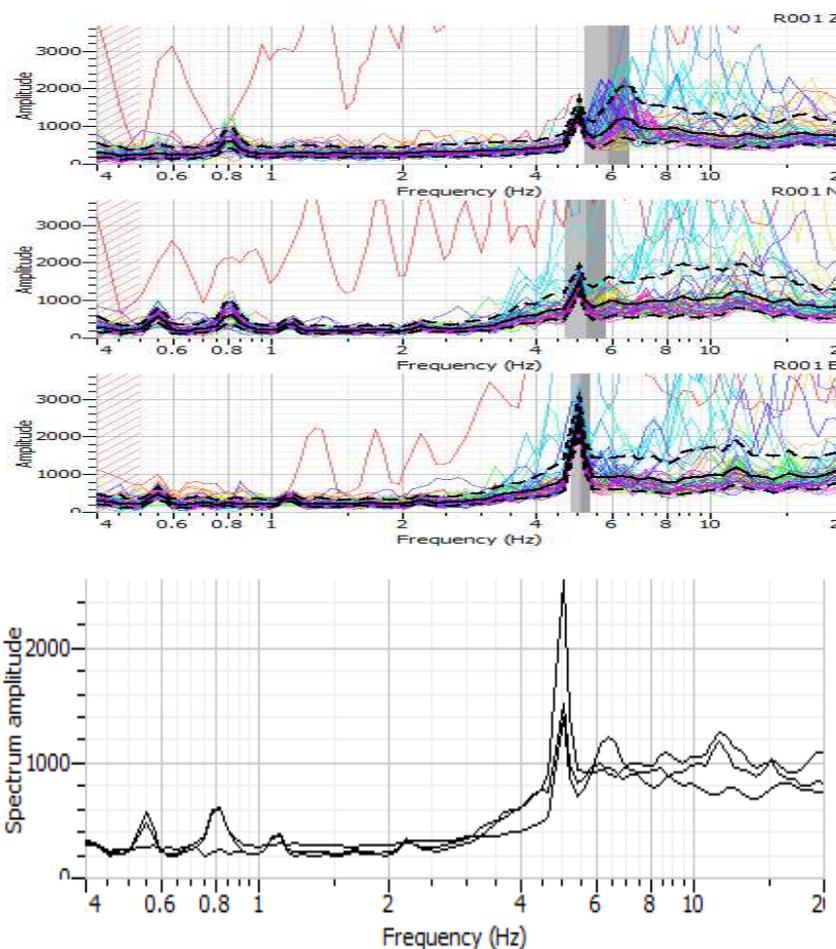


SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Curva HVSR: Media delle Trasformate di Fourier della componente Z nella finestra considerata (grigio tratto-punto); Media delle Trasformate di Fourier delle componenti N-S nella finestra considerata (grigio); Media delle Trasformate di Fourier delle componenti E-O nella finestra considerata (grigio tratteggiato).

**INDAGINE SISMICA
MICROTREMORI**



<p>Criteria for a reliable H/V curve</p> <p>i) $f_0 > 10 / l_w$ and</p> <p>ii) $n_c(f_0) > 200$ and</p> <p>iii) $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ or $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$</p>	<ul style="list-style-type: none"> • l_w = window length • n_w = number of windows selected for the average H/V curve • $n_c = l_w \cdot n_w \cdot f_0$ = number of significant cycles • f = current frequency • f_{sensor} = sensor cut-off frequency • f_0 = H/V peak frequency • σ_f = standard deviation of H/V peak frequency ($f_0 \pm \sigma_f$) • $\varepsilon(f_0)$ = threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ • A_0 = H/V peak amplitude at frequency f_0 • $A_{H/V}(f)$ = H/V curve amplitude at frequency f • f^- = frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$ • f^+ = frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$ • $\sigma_A(f)$ = "standard deviation" of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided • $\sigma_{\log H/V}(f)$ = standard deviation of the $\log A_{H/V}(f)$ curve, $\sigma_{\log H/V}(f)$ is an absolute value which should be added to or subtracted from the mean $\log A_{H/V}(f)$ curve • $\hat{\theta}(f_0)$ = threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \hat{\theta}(f_0)$ • $V_{s,av}$ = average S-wave velocity of the total deposits • $V_{s,surf}$ = S-wave velocity of the surface layer • h = depth to bedrock • h_{\min} = lower-bound estimate of h
<p>Criteria for a clear H/V peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)</p> <p>i) $\exists f \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$</p> <p>ii) $\exists f^+ \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$</p> <p>iii) $A_0 > 2$</p> <p>iv) $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$</p> <p>v) $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$</p> <p>vi) $\sigma_A(f_0) < \hat{\theta}(f_0)$</p>	

Threshold Values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Frequency range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.20 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\hat{\theta}(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \hat{\theta}(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**INDAGINE SISMICA
MICROTREMORI**

Tabella 2: Criteri di ammissibilità

Criterio 1	OK
Criterio 2	OK
Criterio 3	OK
Criterio 4	NO
Criterio 5	NO
Criterio 6	NO
Criterio 7	NO

**INDAGINE SISMICA
MICROTREMORI**

ACQUISIZIONE N.2 (INTERMESOLI 2)

Classe B2: Blanda direzionalità e presenza di disturbi elettromagnetici



Durata registrazione: 0h 20' 00''

Frequenza di campionamento: 125 Hz.

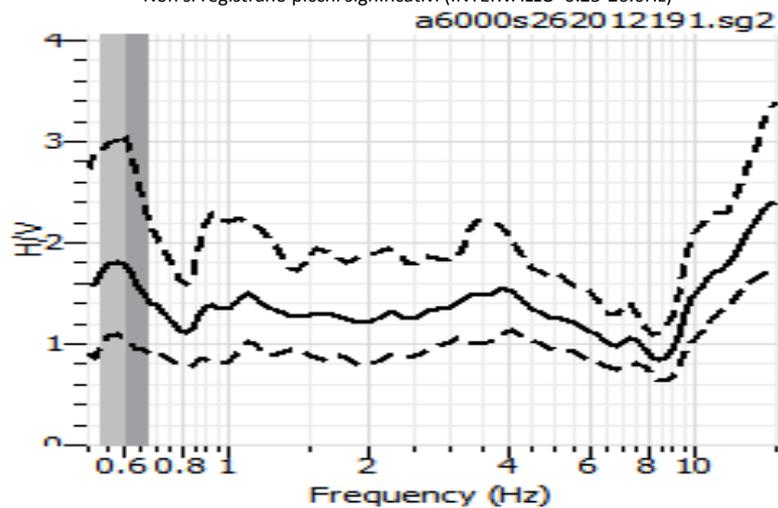
Lunghezza finestre: 20s.

Tipo di lisciamento: Konno & Ohmachi

Lisciamento: 70b

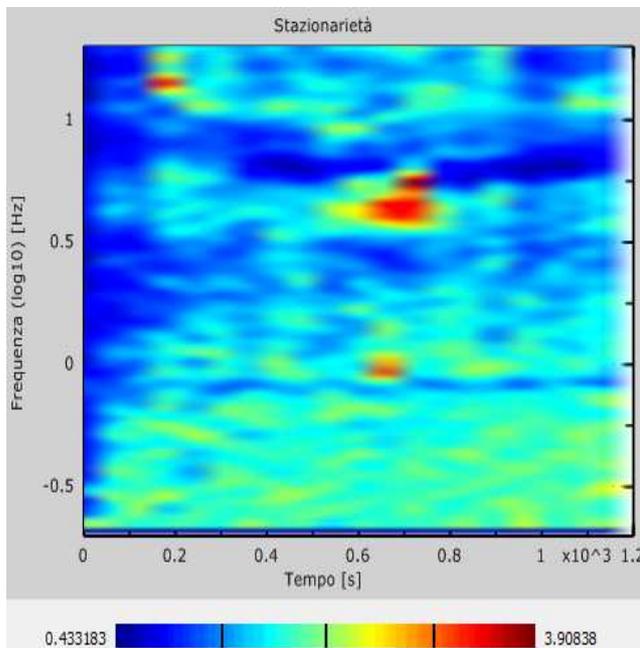
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

Non si registrano picchi significativi (INTERVALLO 0.25-20.0Hz)

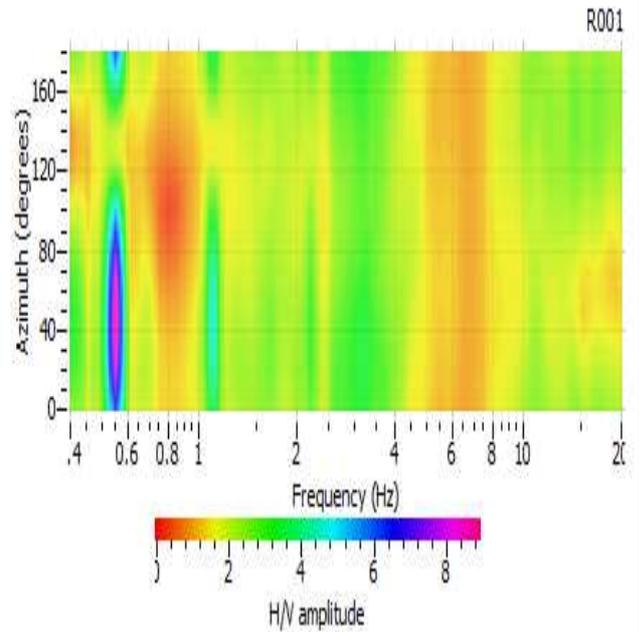


**INDAGINE SISMICA
MICROTREMORI**

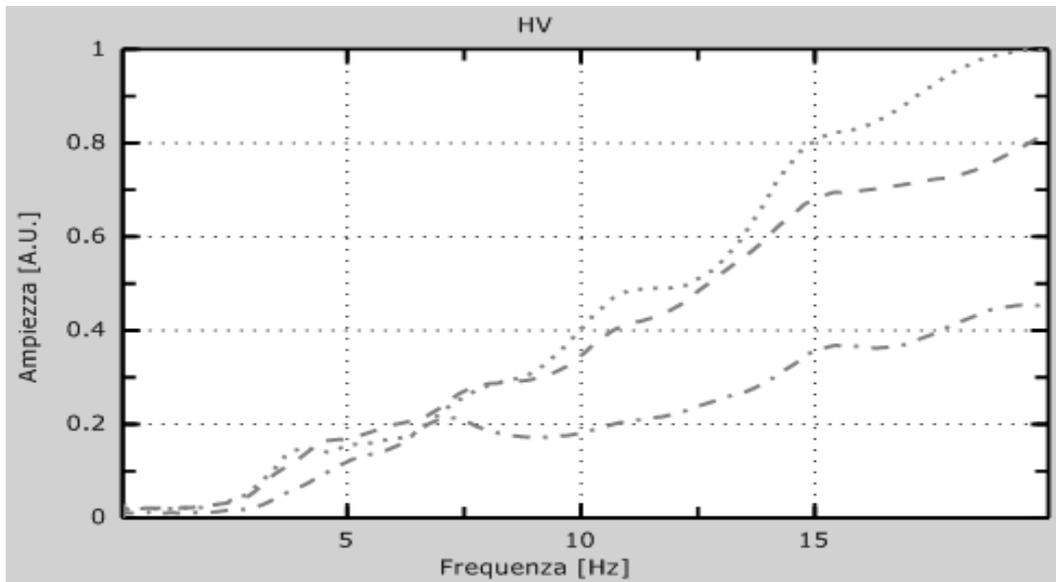
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V

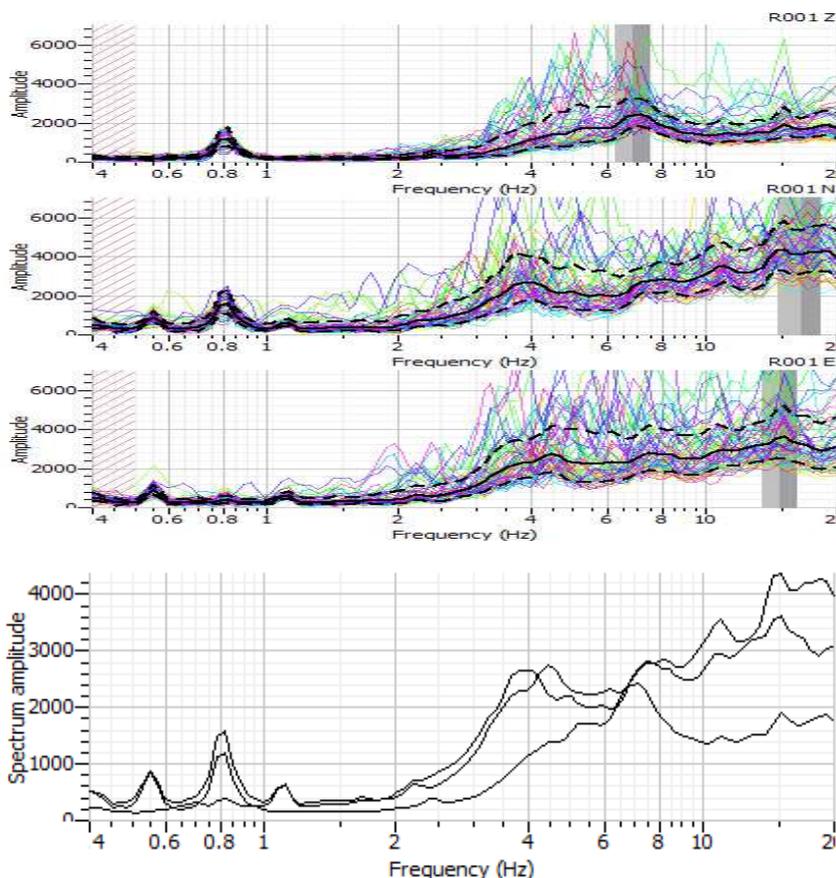


SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Curva HVSR: Media delle Trasformate di Fourier della componente Z nella finestra considerata (grigio tratto-punto); Media delle Trasformate di Fourier delle componenti N-S nella finestra considerata (grigio); Media delle Trasformate di Fourier delle componenti E-O nella finestra considerata (grigio tratteggiato).

**INDAGINE SISMICA
MICROTREMORI**



<p>Criteria for a reliable H/V curve</p> <p>i) $f_0 > 10 / l_w$ <i>and</i></p> <p>ii) $n_c(f_0) > 200$ <i>and</i></p> <p>iii) $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ <i>or</i> $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$</p>	<ul style="list-style-type: none"> • l_w = window length • n_w = number of windows selected for the average H/V curve • $n_c = l_w \cdot n_w \cdot f_0$ = number of significant cycles • f = current frequency • f_{sensor} = sensor cut-off frequency • f_0 = H/V peak frequency • σ_f = standard deviation of H/V peak frequency ($f_0 \pm \sigma_f$) • $\varepsilon(f_0)$ = threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ • A_0 = H/V peak amplitude at frequency f_0 • $A_{H/V}(f)$ = H/V curve amplitude at frequency f • f = frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f) < A_0/2$ • f^* = frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^*) < A_0/2$ • $\sigma_A(f)$ = "standard deviation" of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided • $\sigma_{\log H/V}(f)$ = standard deviation of the $\log A_{H/V}(f)$ curve, $\sigma_{\log H/V}(f)$ is an absolute value which should be added to or subtracted from the mean $\log A_{H/V}(f)$ curve • $\theta(f_0)$ = threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$ • $V_{s,av}$ = average S-wave velocity of the total deposits • $V_{s,surf}$ = S-wave velocity of the surface layer • h = depth to bedrock • h_{\min} = lower-bound estimate of h
--	--

Threshold Values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Frequency range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.20 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**INDAGINE SISMICA
MICROTREMORI**

Tabella 2: Criteri di ammissibilità

Criterio 1	OK
Criterio 2	OK
Criterio 3	OK
Criterio 4	NO
Criterio 5	NO
Criterio 6	NO
Criterio 7	NO

**INDAGINE SISMICA
MICROTREMORI**

ACQUISIZIONE N.3 (COLLEPIANO)

Classe B2: Presenza di direzionalità e di disturbi elettromagnetici in assenza di picchi significativi



Durata registrazione: 0h 20' 00''

Frequenza di campionamento: 125 Hz.

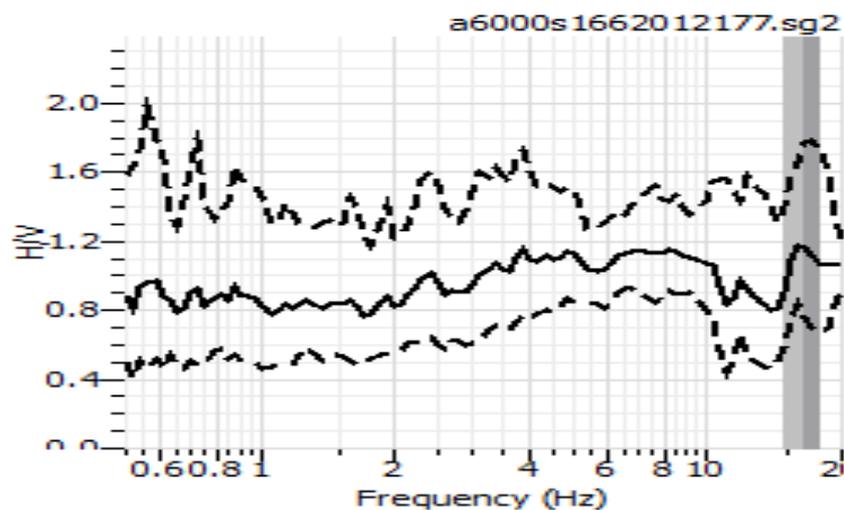
Lunghezza finestre: 20s.

Tipo di lisciamento: Konno & Ohmachi

Lisciamento: 70b

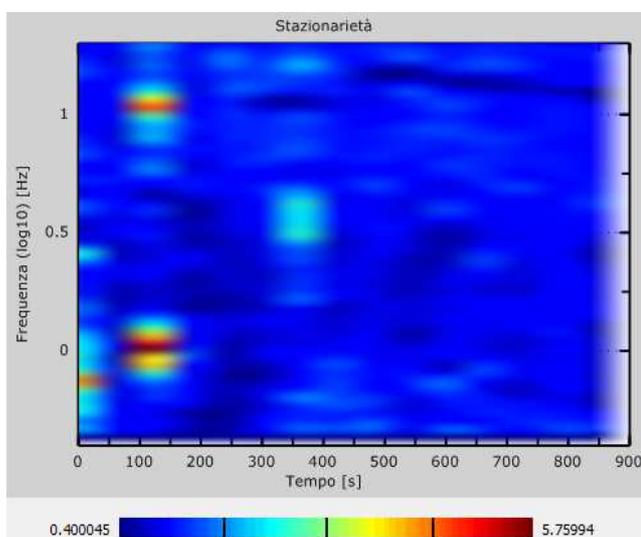
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

Non si registrano picchi significativi (INTERVALLO 0.25-20.0Hz)

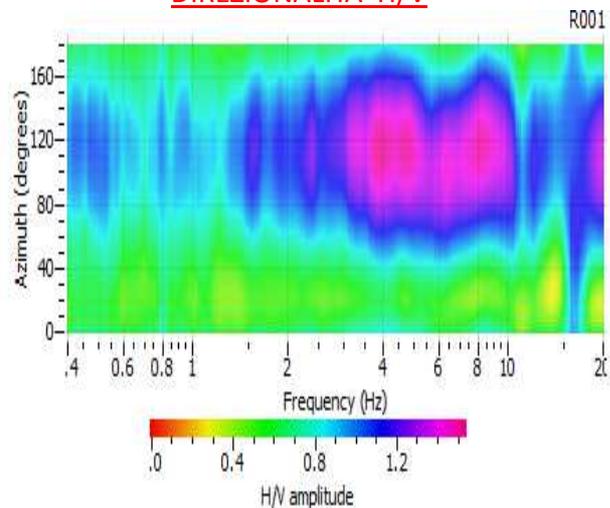


**INDAGINE SISMICA
MICROTREMORI**

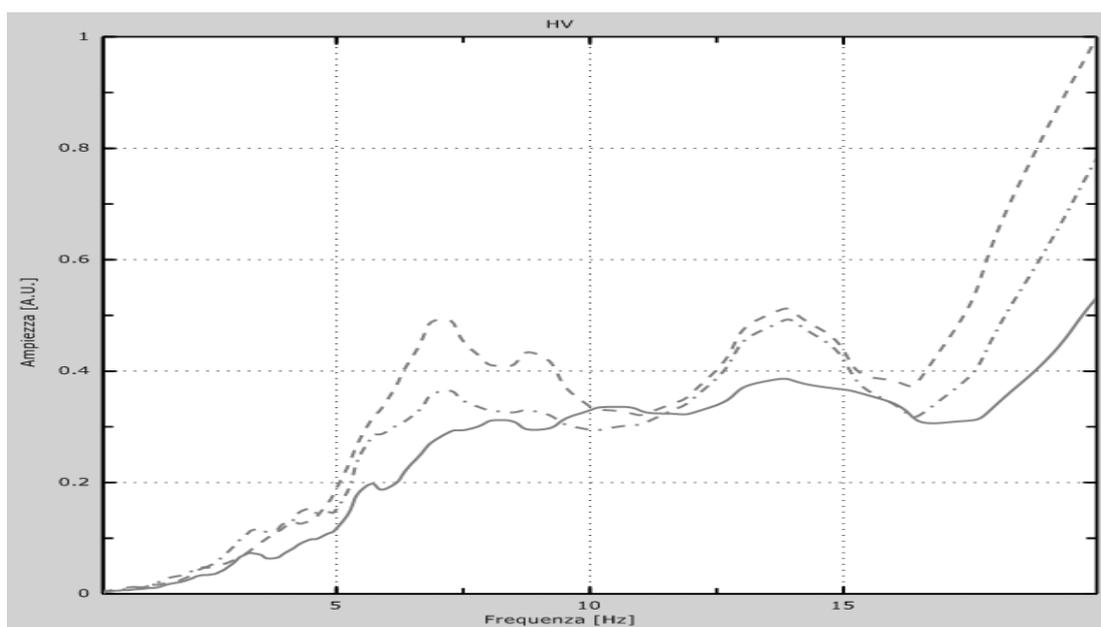
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V

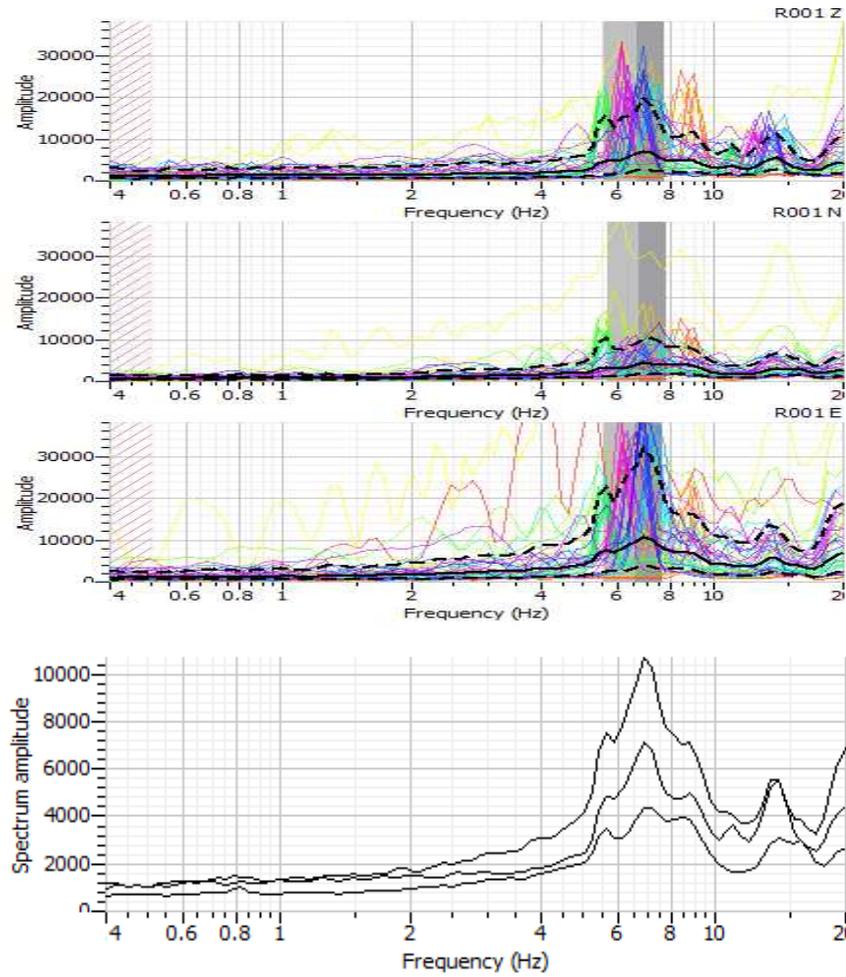


SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Curva HVSR: Media delle Trasformate di Fourier della componente Z nella finestra considerata (grigio tratto-punto); Media delle Trasformate di Fourier delle componenti N-S nella finestra considerata (grigio); Media delle Trasformate di Fourier delle componenti E-O nella finestra considerata (grigio tratteggiato).

**INDAGINE SISMICA
MICROTREMORI**



Criteria for a reliable H/V curve

- i) $f_0 > 10 / l_w$
and
- ii) $n_c(f_0) > 200$
and
- iii) $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$
or $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$

**Criteria for a clear H/V peak
(at least 5 out of 6 criteria fulfilled)**

- i) $\exists f \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$
- ii) $\exists f^* \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^*) < A_0/2$
- iii) $A_0 > 2$
- iv) $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$
- v) $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
- vi) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$

- l_w = window length
- n_w = number of windows selected for the average H/V curve
- $n_c = l_w \cdot n_w$, f_0 = number of significant cycles
- f = current frequency
- f_{sensor} = sensor cut-off frequency
- f_0 = H/V peak frequency
- σ_f = standard deviation of H/V peak frequency ($f_0 \pm \sigma_f$)
- $\varepsilon(f_0)$ = threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
- A_0 = H/V peak amplitude at frequency f_0
- $A_{H/V}(f)$ = H/V curve amplitude at frequency f
- f = frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f) < A_0/2$
- f^* = frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^*) < A_0/2$
- $\sigma_A(f)$ = "standard deviation" of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
- $\sigma_{\log H/V}(f)$ = standard deviation of the $\log A_{H/V}(f)$ curve, $\sigma_{\log H/V}(f)$ is an absolute value which should be added to or subtracted from the mean $\log A_{H/V}(f)$ curve
- $\theta(f_0)$ = threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$
- $V_{s,av}$ = average S-wave velocity of the total deposits
- $V_{s,surf}$ = S-wave velocity of the surface layer
- h = depth to bedrock
- h_{min} = lower-bound estimate of h

Threshold Values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Frequency range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.20 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**INDAGINE SISMICA
MICROTREMORI**

Tabella 2: Criteri di ammissibilità

Criterio 1	OK
Criterio 2	OK
Criterio 3	OK
Criterio 4	NO
Criterio 5	NO
Criterio 6	NO
Criterio 7	NO

**INDAGINE SISMICA
MICROTREMORI**

ACQUISIZIONE N.4 (PIETRACAMELA1)

Classe B2: Presenza di picchi poco chiari e probabile disturbo elettromagnetico



Durata registrazione: 0h 20' 00''

Frequenza di campionamento: 125 Hz.

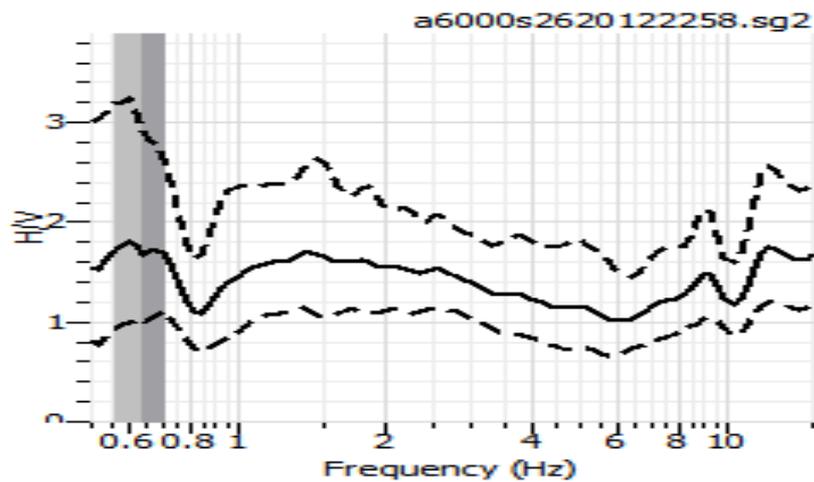
Lunghezza finestre: 20s.

Tipo di lisciamento: Konno & Ohmachi

Lisciamento: 70b

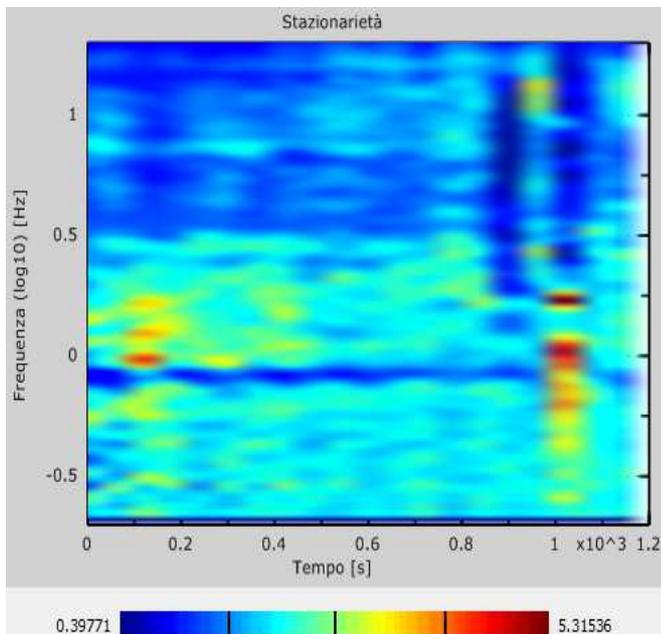
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

Non si registrano picchi significativi (INTERVALLO 0.25-20.0Hz)

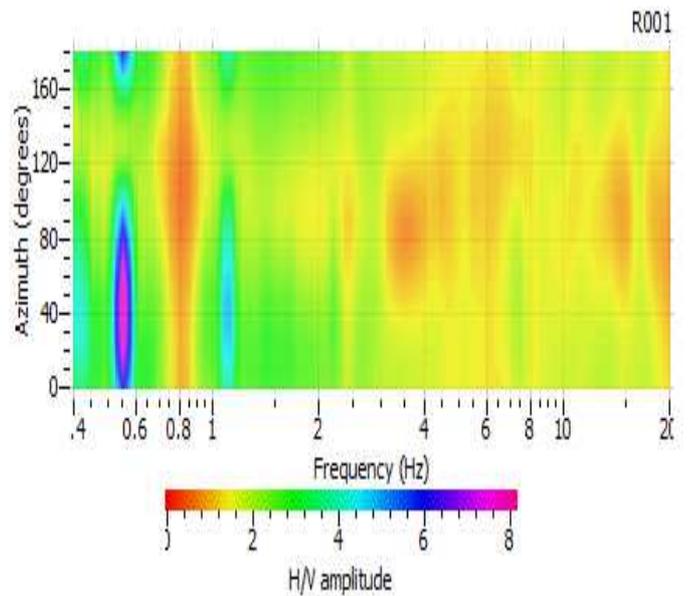


INDAGINE SISMICA
MICROTREMORI

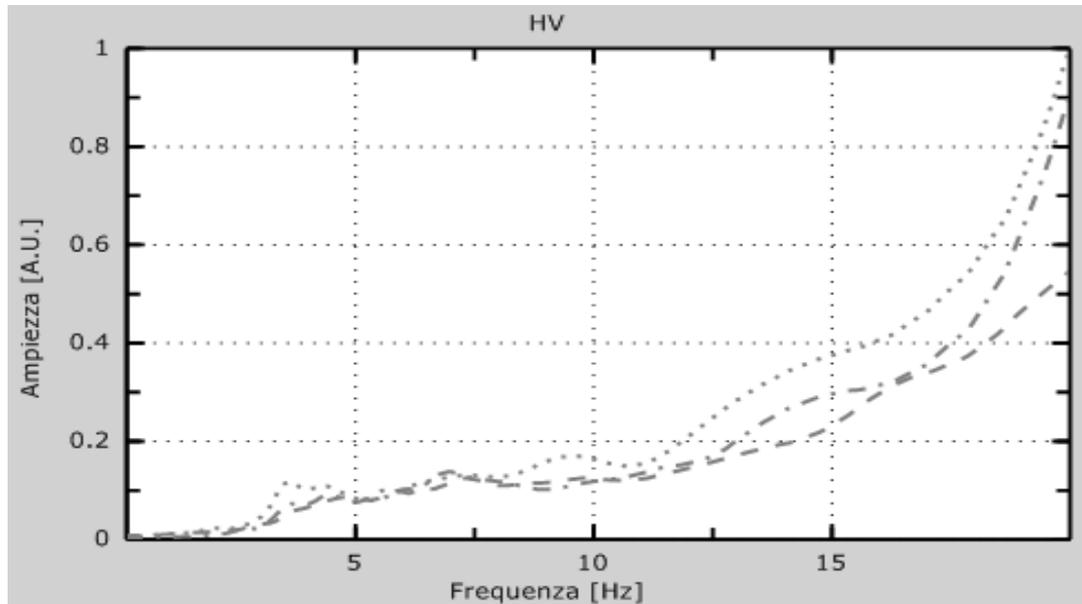
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V

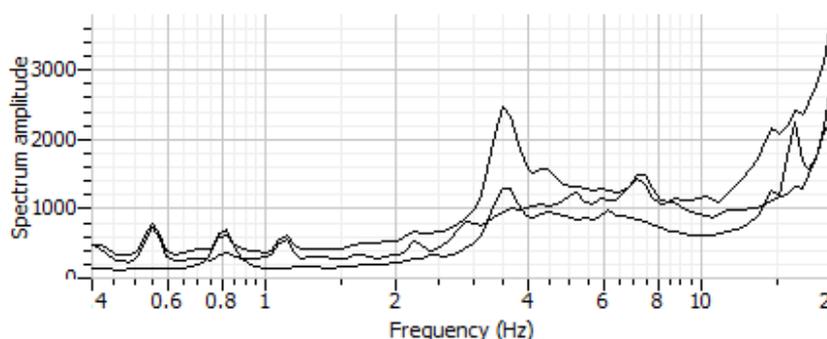
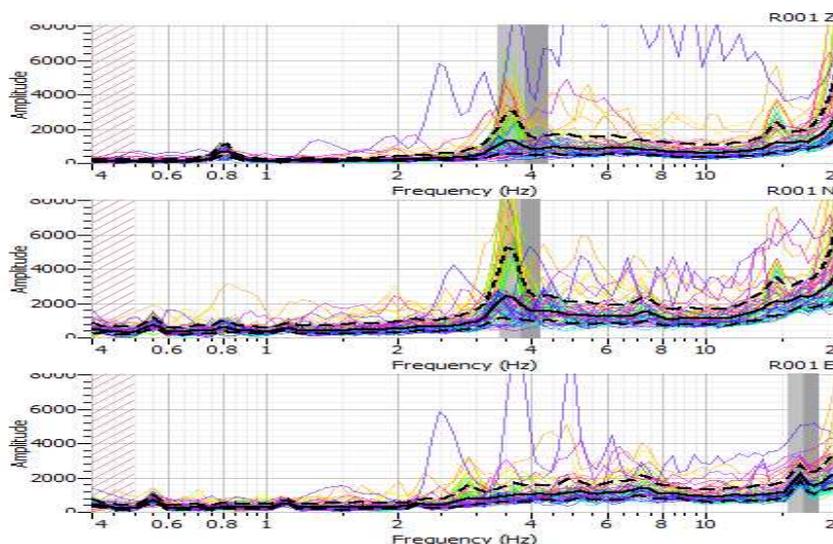


SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Curva HVSR: Media delle Trasformate di Fourier della componente Z nella finestra considerata (grigio tratto-punto); Media delle Trasformate di Fourier delle componenti N-S nella finestra considerata (grigio); Media delle Trasformate di Fourier delle componenti E-O nella finestra considerata (grigio tratteggiato).

**INDAGINE SISMICA
MICROTREMORI**



<p>Criteria for a reliable H/V curve</p> <p>i) $f_0 > 10 / l_w$ and</p> <p>ii) $n_c(f_0) > 200$ and</p> <p>iii) $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ or $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$</p>	<ul style="list-style-type: none"> • l_w = window length • n_w = number of windows selected for the average H/V curve • $n_c = l_w \cdot n_w$, f_0 = number of significant cycles • f = current frequency • f_{sensor} = sensor cut-off frequency • f_0 = H/V peak frequency • σ_f = standard deviation of H/V peak frequency ($f_0 \pm \sigma_f$) • $\varepsilon(f_0)$ = threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ • A_0 = H/V peak amplitude at frequency f_0 • $A_{H/V}(f)$ = H/V curve amplitude at frequency f • f^- = frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$ • f^+ = frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$ • $\sigma_A(f)$ = "standard deviation" of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided • $\sigma_{\log H/V}(f)$ = standard deviation of the $\log A_{H/V}(f)$ curve, $\sigma_{\log H/V}(f)$ is an absolute value which should be added to or subtracted from the mean $\log A_{H/V}(f)$ curve • $\theta(f_0)$ = threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$ • $V_{s,av}$ = average S-wave velocity of the total deposits • $V_{s,surf}$ = S-wave velocity of the surface layer • h = depth to bedrock • h_{\min} = lower-bound estimate of h
--	--

Threshold Values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Frequency range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.20 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**INDAGINE SISMICA
MICROTREMORI**

Tabella 2: Criteri di ammissibilità

Criterio 1	OK
Criterio 2	OK
Criterio 3	OK
Criterio 4	NO
Criterio 5	NO
Criterio 6	NO
Criterio 7	NO

**INDAGINE SISMICA
MICROTREMORI**

ACQUISIZIONE N.5 (PIETRACAMELA 2)

Classe B2: Direzionalità e presenza di disturbi elettromagnetici in assenza di picchi significativi



Durata registrazione: 0h 20' 00''

Frequenza di campionamento: 125 Hz.

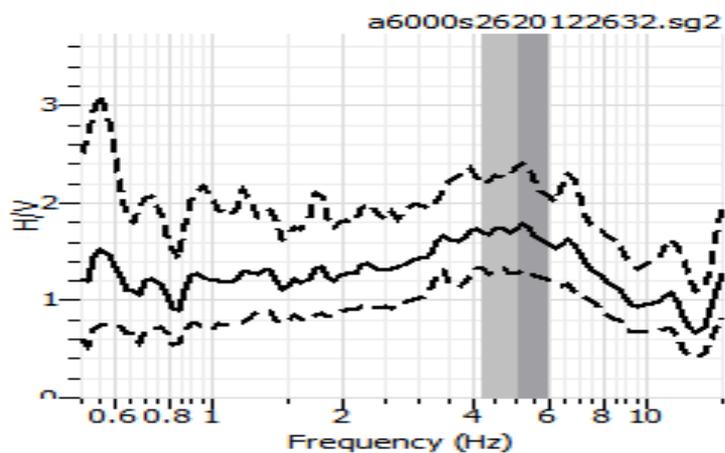
Lunghezza finestre: 20s.

Tipo di lisciamento: Konno & Ohmachi

Lisciamento: 70b

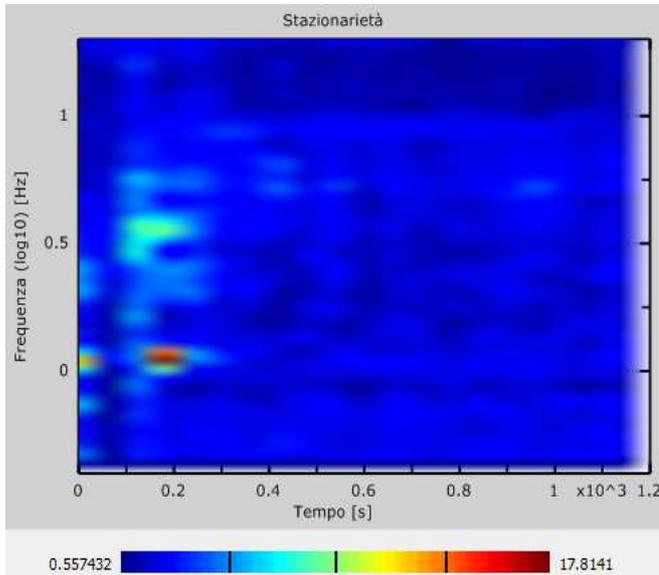
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

Non si registrano picchi significativi (INTERVALLO 0.25-20.0Hz)

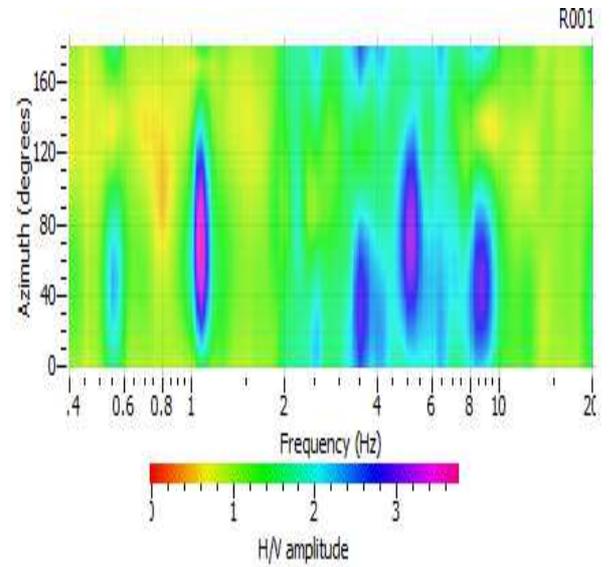


**INDAGINE SISMICA
MICROTREMORI**

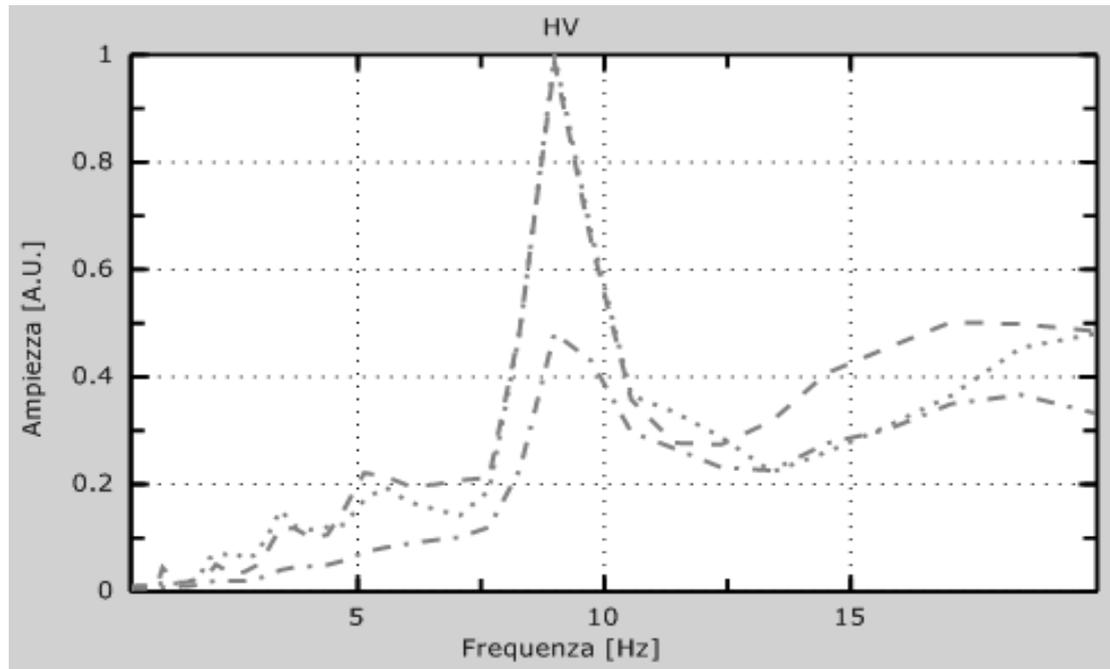
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Curva HVSR: Media delle Trasformate di Fourier della componente Z nella finestra considerata (grigio tratto-punto); Media delle Trasformate di Fourier delle componenti N-S nella finestra considerata (grigio); Media delle Trasformate di Fourier delle componenti E-O nella finestra considerata (grigio tratteggiato).

**INDAGINE SISMICA
MICROTREMORI**

<p>Criteria for a reliable H/V curve</p> <p>i) $f_0 > 10 / l_w$ <i>and</i></p> <p>ii) $n_c(f_0) > 200$ <i>and</i></p> <p>iii) $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ or $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$</p>	<ul style="list-style-type: none"> • l_w = window length • n_w = number of windows selected for the average H/V curve • $n_c = l_w \cdot n_w$, f_0 = number of significant cycles • f = current frequency • f_{sensor} = sensor cut-off frequency • f_0 = H/V peak frequency • σ_f = standard deviation of H/V peak frequency ($f_0 \pm \sigma_f$) • $\varepsilon(f_0)$ = threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ • A_0 = H/V peak amplitude at frequency f_0 • $A_{H/V}(f)$ = H/V curve amplitude at frequency f • f = frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f) < A_0/2$ • f^* = frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^*) < A_0/2$ • $\sigma_A(f)$ = "standard deviation" of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided • $\sigma_{\log H/V}(f)$ = standard deviation of the $\log A_{H/V}(f)$ curve, $\sigma_{\log H/V}(f)$ is an absolute value which should be added to or subtracted from the mean $\log A_{H/V}(f)$ curve • $\theta(f_0)$ = threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$ • $V_{s,av}$ = average S-wave velocity of the total deposits • $V_{s,surf}$ = S-wave velocity of the surface layer • h = depth to bedrock • h_{\min} = lower-bound estimate of h
<p>Criteria for a clear H/V peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)</p> <p>i) $\exists f \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$</p> <p>ii) $\exists f^* \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^*) < A_0/2$</p> <p>iii) $A_0 > 2$</p> <p>iv) $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$</p> <p>v) $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$</p> <p>vi) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$</p>	

Threshold Values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Frequency range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.20 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Tabella 2: Criteri di ammissibilità

Criterio 1	OK
Criterio 2	OK
Criterio 3	OK
Criterio 4	NO
Criterio 5	NO
Criterio 6	NO
Criterio 7	NO

**INDAGINE SISMICA
MICROTREMORI**

ACQUISIZIONE N.6 (PIETRACAMELA 3)

Classe B2: Blanda direzionalità e presenza di disturbi elettromagnetici con picco di frequenza poco chiaro



Durata registrazione: 0h 20' 00''

Frequenza di campionamento: 125 Hz.

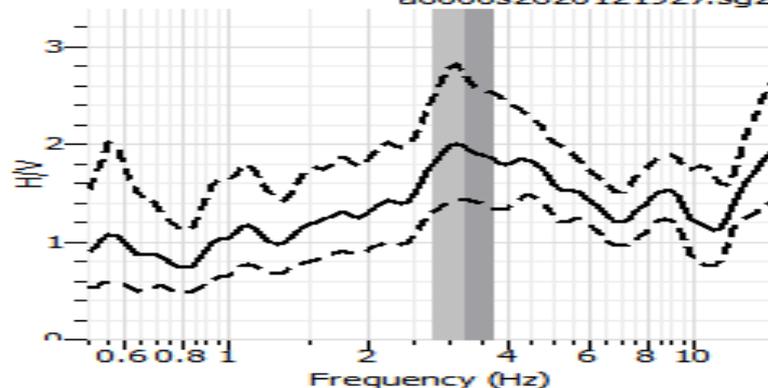
Lunghezza finestre: 20s.

Tipo di lisciamento: Konno & Ohmachi

Lisciamento: 70b

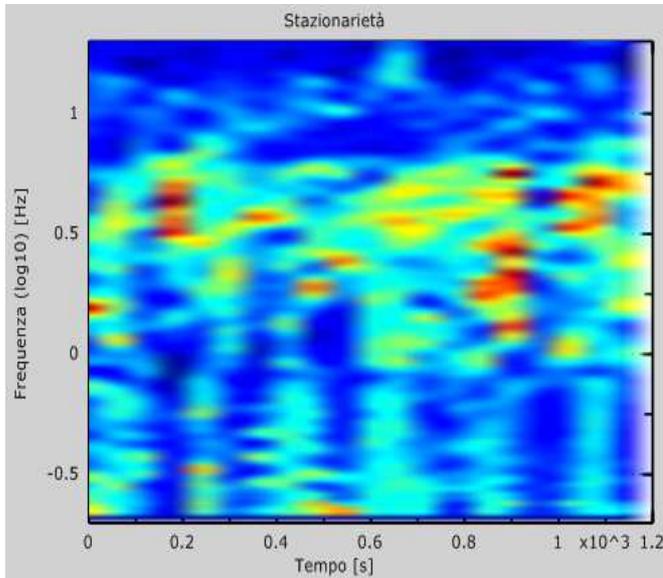
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

Max picco di frequenza significativo H/V registrato a 3.20 +/-0.1 (INTERVALLO 0.25-20.0Hz) con A0=2.0 (Min/Max=1.5-2.8)
a6000s2620121927.sg2

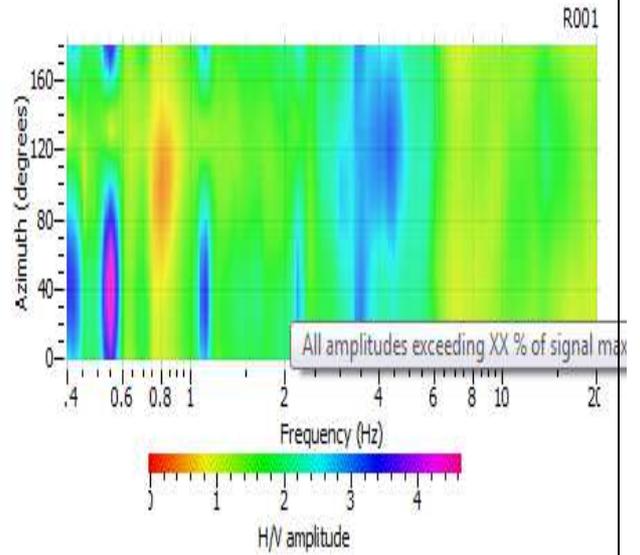


**INDAGINE SISMICA
MICROTREMORI**

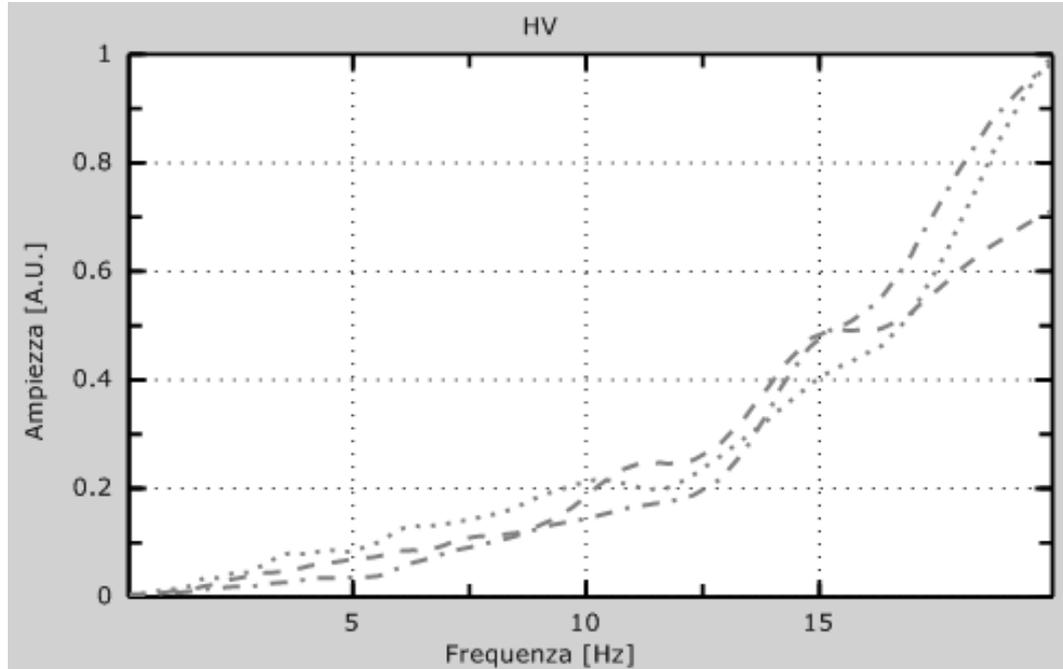
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V

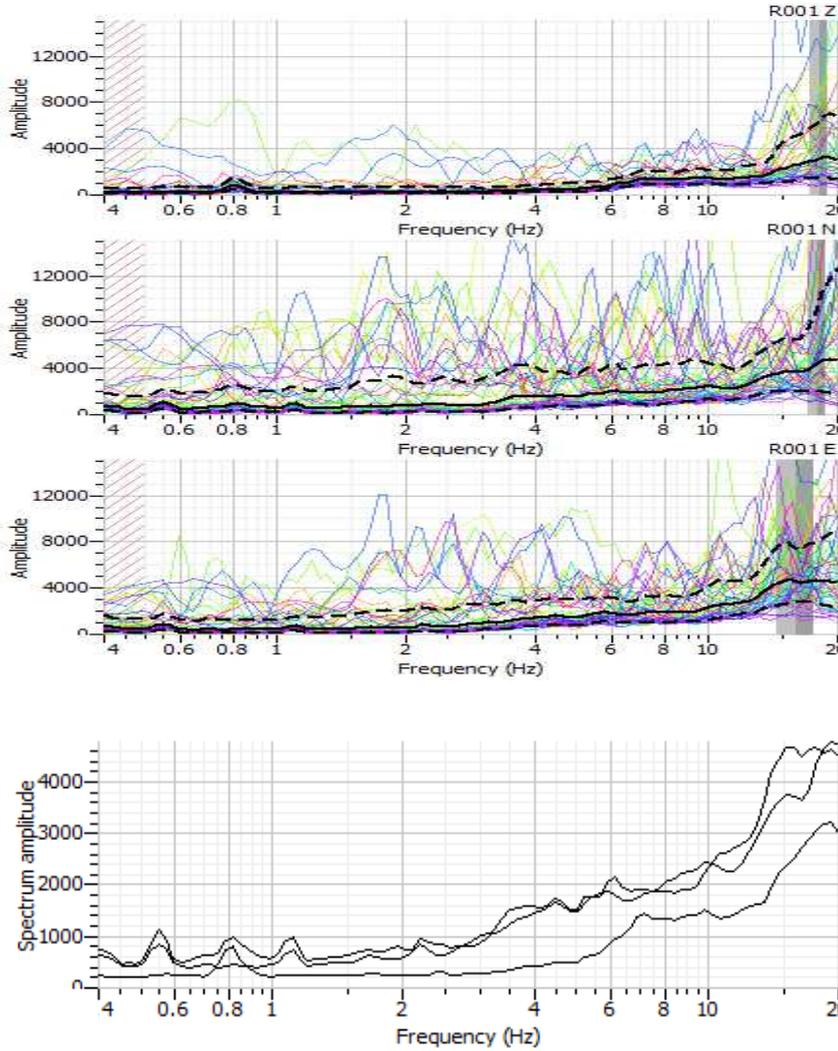


SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Curva HVSR: Media delle Trasformate di Fourier della componente Z nella finestra considerata (grigio tratto-punto); Media delle Trasformate di Fourier delle componenti N-S nella finestra considerata (grigio); Media delle Trasformate di Fourier delle componenti E-O nella finestra considerata (grigio tratteggiato).

**INDAGINE SISMICA
MICROTREMORI**



Criteria for a reliable H/V curve

i) $f_0 > 10 / l_w$
and

ii) $n_c(f_0) > 200$
and

iii) $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$
or $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$

**Criteria for a clear H/V peak
(at least 5 out of 6 criteria fulfilled)**

i) $\exists f \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$

ii) $\exists f^* \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^*) < A_0/2$

iii) $A_0 > 2$

iv) $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$

v) $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$

vi) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$

- l_w = window length
- n_w = number of windows selected for the average H/V curve
- $n_c = l_w \cdot n_w$, f_0 = number of significant cycles
- f = current frequency
- f_{sensor} = sensor cut-off frequency
- f_0 = H/V peak frequency
- σ_f = standard deviation of H/V peak frequency ($f_0 \pm \sigma_f$)
- $\varepsilon(f_0)$ = threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
- A_0 = H/V peak amplitude at frequency f_0
- $A_{H/V}(f)$ = H/V curve amplitude at frequency f
- f = frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f) < A_0/2$
- f^* = frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^*) < A_0/2$
- $\sigma_A(f)$ = "standard deviation" of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
- $\sigma_{\log H/V}(f)$ = standard deviation of the $\log A_{H/V}(f)$ curve, $\sigma_{\log H/V}(f)$ is an absolute value which should be added to or subtracted from the mean $\log A_{H/V}(f)$ curve
- $\theta(f_0)$ = threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$
- $V_{s,av}$ = average S-wave velocity of the total deposits
- $V_{s,surf}$ = S-wave velocity of the surface layer
- h = depth to bedrock
- h_{min} = lower-bound estimate of h

Threshold Values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Frequency range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.20 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**INDAGINE SISMICA
MICROTREMORI**

Picco principale H/V a 3.20 +/- 0.1 (nell'intervallo 0.25-20HZ)

Tabella 2: Criteri di ammissibilità

Criterio 1	OK
Criterio 2	OK
Criterio 3	OK
Criterio 4	NO
Criterio 5	NO
Criterio 6	OK
Criterio 7	NO

**INDAGINE SISMICA
MICROTREMORI**

ACQUISIZIONE N.7 (PIETRACAMELA 4)

Classe B1: non stazionarietà e presenza di disturbi elettromagnetici



Durata registrazione: 0h 20' 00''

Frequenza di campionamento: 125 Hz.

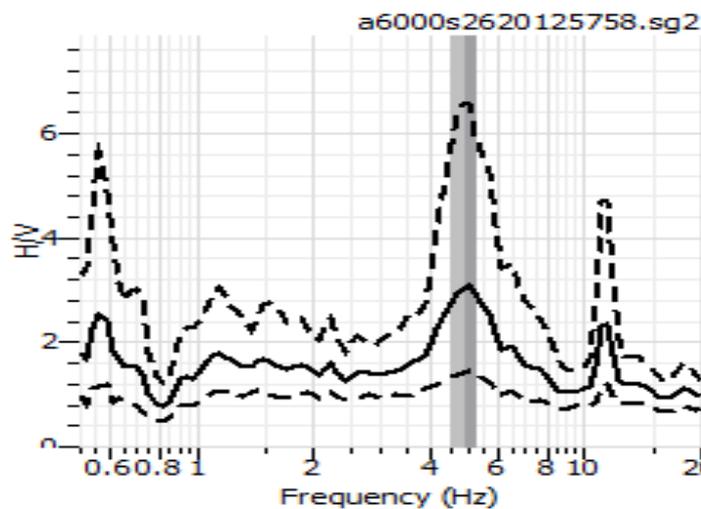
Lunghezza finestre: 20s.

Tipo di lisciamento: Konno & Ohmachi

Lisciamento: 70b

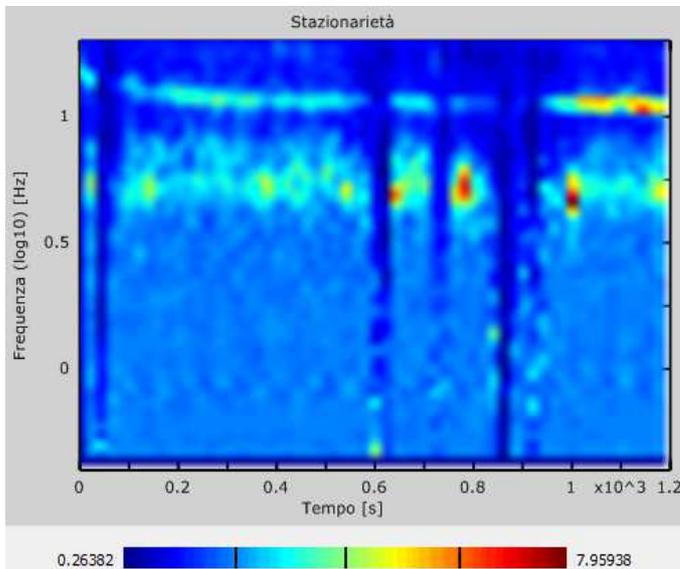
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

Max picco di frequenza significativo H/V registrato a 4.62 +/-0.1 (INTERVALLO 0.25-20.0Hz) con A0=3.5 (Min/Max=1.6-6.3)

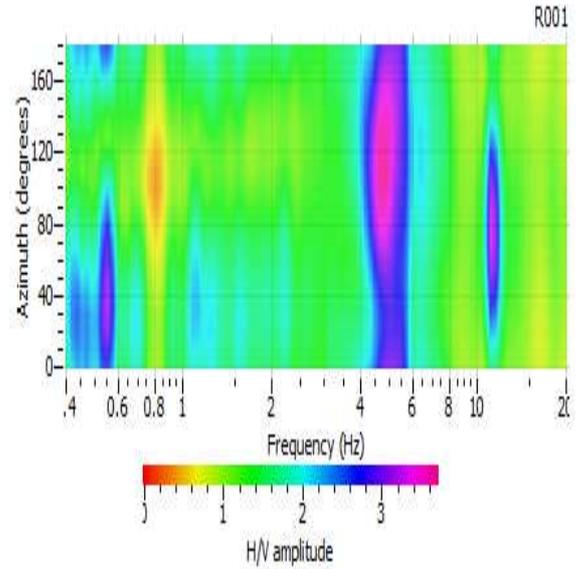


**INDAGINE SISMICA
MICROTREMORI**

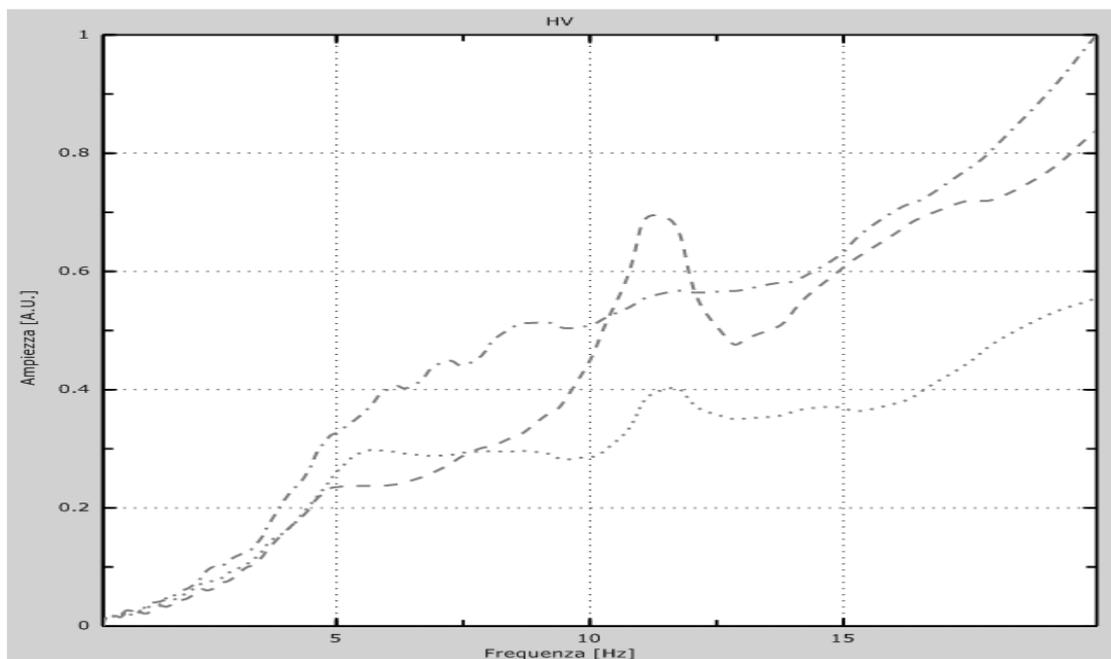
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V

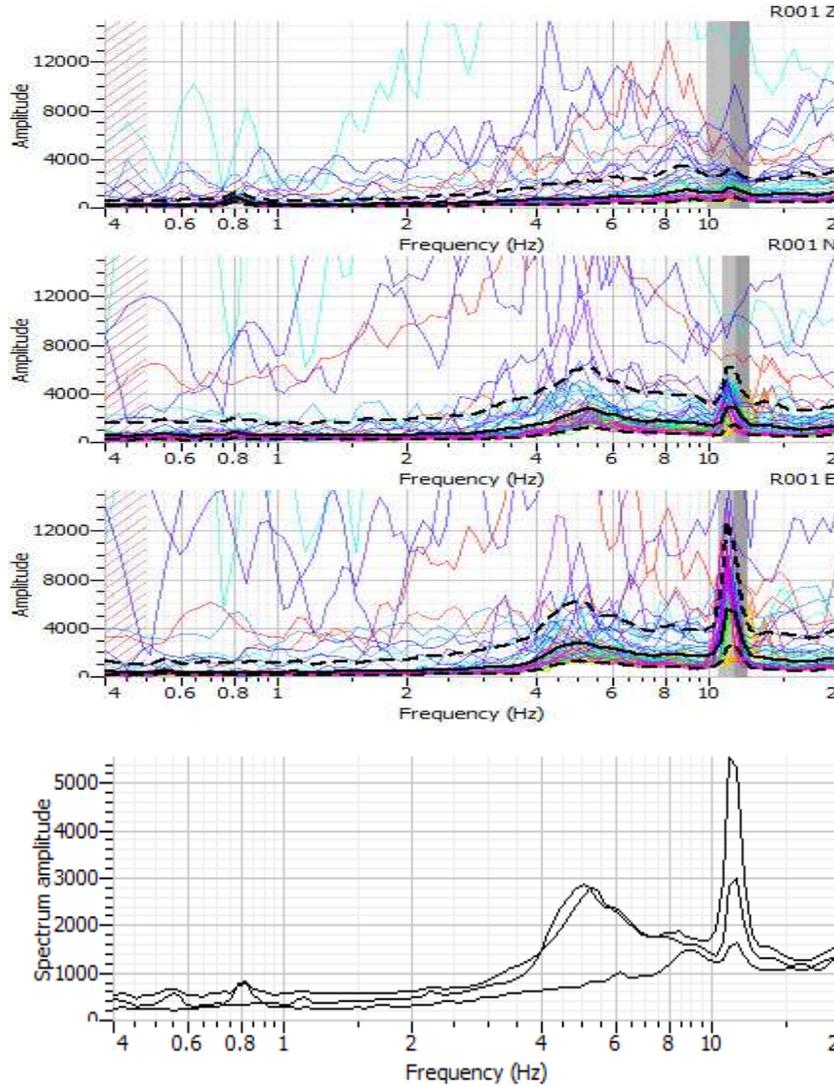


SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Curva HVSr: Media delle Trasformate di Fourier della componente Z nella finestra considerata (grigio tratto-punto); Media delle Trasformate di Fourier delle componenti N-S nella finestra considerata (grigio); Media delle Trasformate di Fourier delle componenti E-O nella finestra considerata (grigio tratteggiato).

**INDAGINE SISMICA
MICROTREMORI**



Criteria for a reliable H/V curve

i) $f_0 > 10 / l_w$
and

ii) $n_c(f_0) > 200$
and

iii) $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$
or $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$

**Criteria for a clear H/V peak
(at least 5 out of 6 criteria fulfilled)**

i) $\exists f \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$

ii) $\exists f^* \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^*) < A_0/2$

iii) $A_0 > 2$

iv) $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$

v) $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$

vi) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$

- l_w = window length
- n_w = number of windows selected for the average H/V curve
- $n_c = l_w \cdot n_w$, f_0 = number of significant cycles
- f = current frequency
- f_{sensor} = sensor cut-off frequency
- f_0 = H/V peak frequency
- σ_f = standard deviation of H/V peak frequency ($f_0 \pm \sigma_f$)
- $\varepsilon(f_0)$ = threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
- A_0 = H/V peak amplitude at frequency f_0
- $A_{H/V}(f)$ = H/V curve amplitude at frequency f
- f = frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f) < A_0/2$
- f^* = frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^*) < A_0/2$
- $\sigma_A(f)$ = "standard deviation" of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
- $\sigma_{\log H/V}(f)$ = standard deviation of the $\log A_{H/V}(f)$ curve, $\sigma_{\log H/V}(f)$ is an absolute value which should be added to or subtracted from the mean $\log A_{H/V}(f)$ curve
- $\theta(f_0)$ = threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$
- $V_{s,av}$ = average S-wave velocity of the total deposits
- $V_{s,surf}$ = S-wave velocity of the surface layer
- h = depth to bedrock
- h_{min} = lower-bound estimate of h

Threshold Values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Frequency range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.20 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**INDAGINE SISMICA
MICROTREMORI**

Picco principale H/V a 4.62 +/- 0.1 (nell'intervallo 0.25-20HZ)

Tabella 2: Criteri di ammissibilità

Criterio 1	OK
Criterio 2	OK
Criterio 3	OK
Criterio 4	OK
Criterio 5	OK
Criterio 6	OK
Criterio 7	NO

**INDAGINE SISMICA
MICROTREMORI**

ACQUISIZIONE N.8 (PRATI DI TIVO 1)

Classe B2: Presenza di disturbi elettromagnetici in presenza di picchi poco chiari



Durata registrazione: 0h 20' 00''

Frequenza di campionamento: 125 Hz.

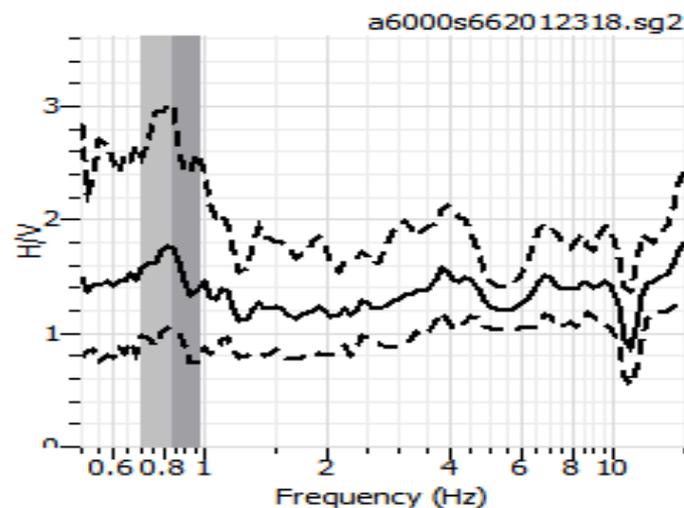
Lunghezza finestre: 20s.

Tipo di lisciamento: Konno & Ohmachi

Lisciamento: 70b

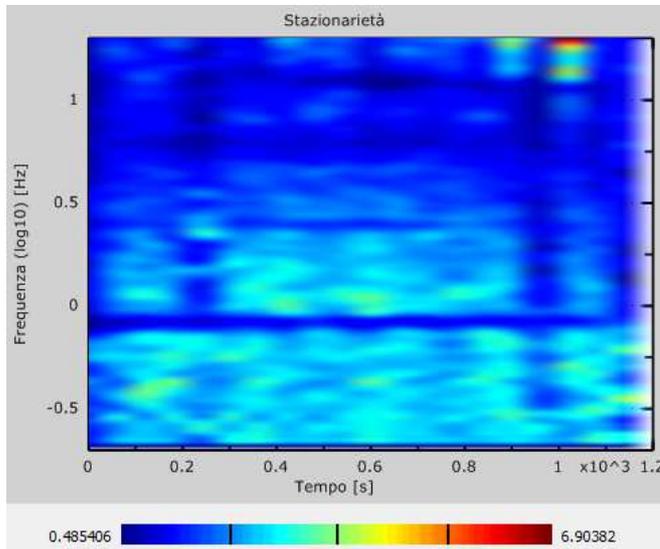
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

Non si registrano picchi significativi (INTERVALLO 0.25-20.0Hz)

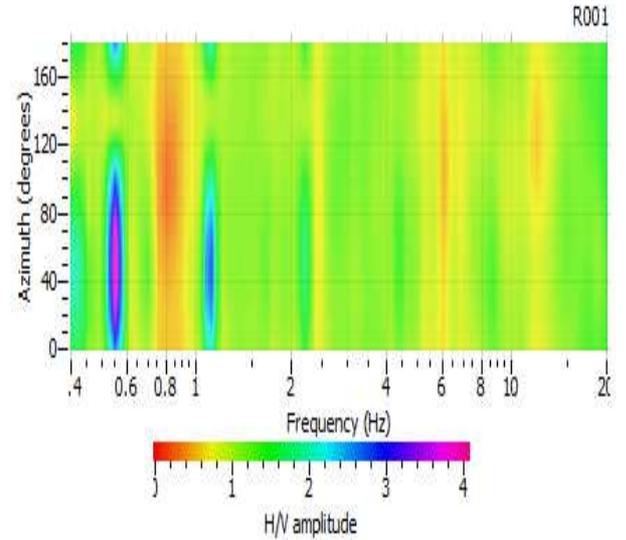


**INDAGINE SISMICA
MICROTREMORI**

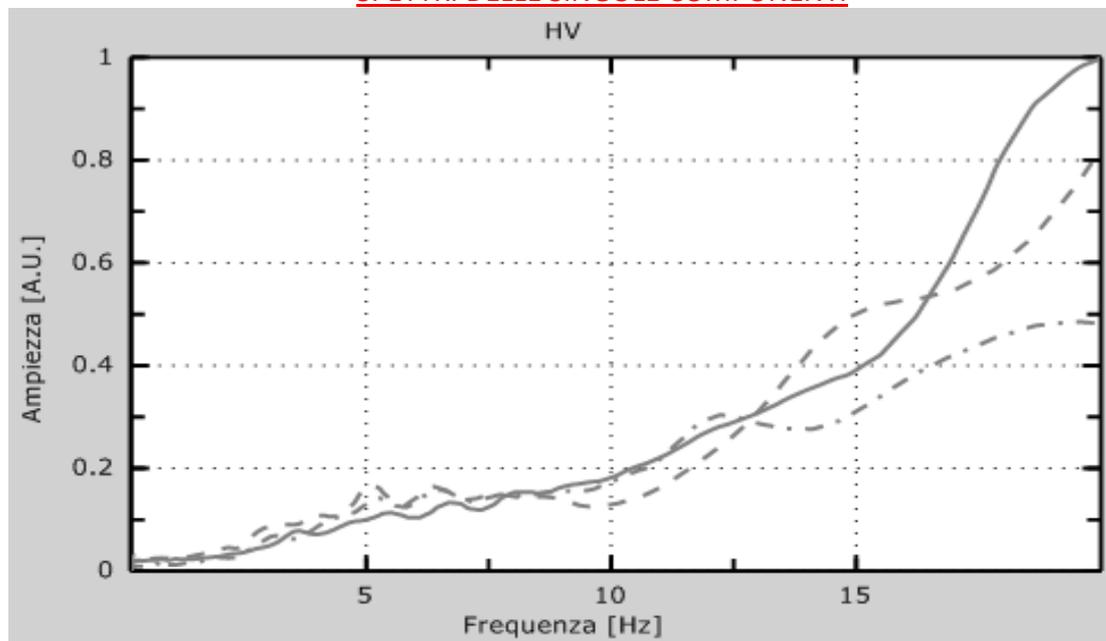
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V

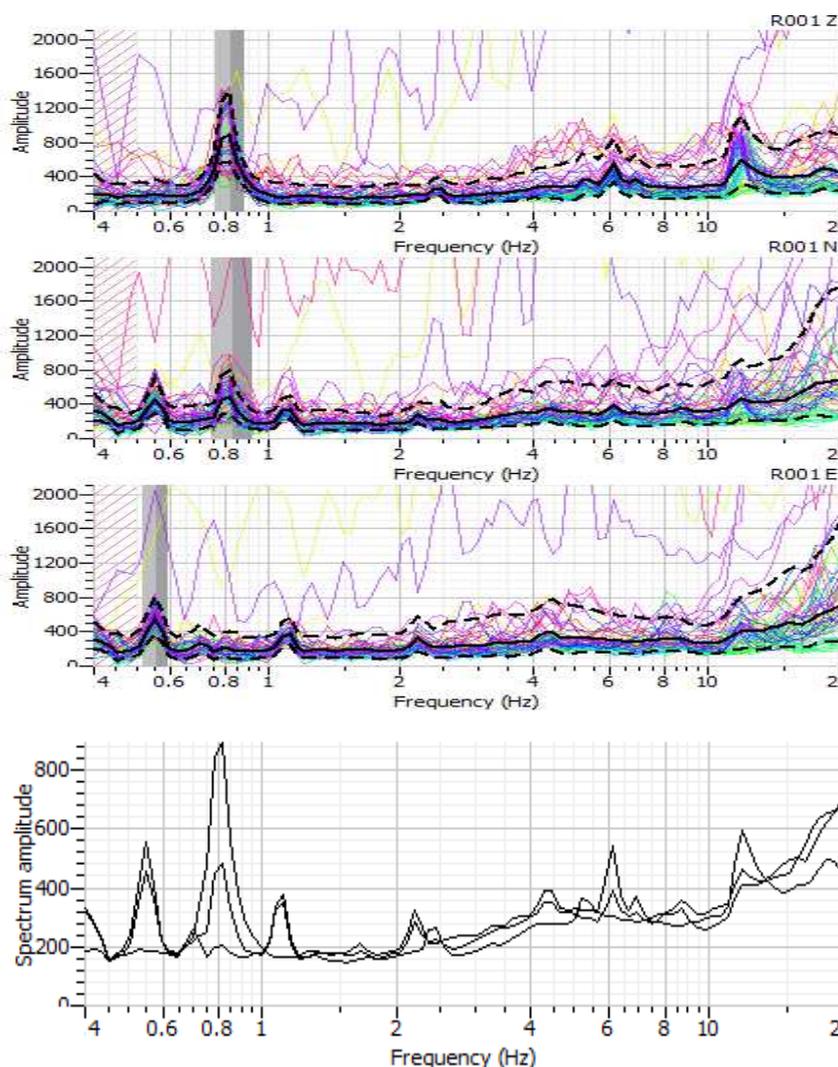


SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Curva HVSR: Media delle Trasformate di Fourier della componente Z nella finestra considerata (grigio tratto-punto); Media delle Trasformate di Fourier delle componenti N-S nella finestra considerata (grigio); Media delle Trasformate di Fourier delle componenti E-O nella finestra considerata (grigio tratteggiato).

**INDAGINE SISMICA
MICROTREMORI**



- Criteria for a reliable H/V curve**
- i) $f_0 > 10 / l_w$
and
 - ii) $n_c(f_0) > 200$
and
 - iii) $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$
or $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$

- Criteria for a clear H/V peak
(at least 5 out of 6 criteria fulfilled)**
- i) $\exists f \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$
 - ii) $\exists f' \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$
 - iii) $A_0 > 2$
 - iv) $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$
 - v) $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
 - vi) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$

- l_w = window length
- n_w = number of windows selected for the average H/V curve
- $n_c = l_w \cdot n_w$, f_0 = number of significant cycles
- f = current frequency
- f_{sensor} = sensor cut-off frequency
- f_0 = H/V peak frequency
- σ_f = standard deviation of H/V peak frequency ($f_0 \pm \sigma_f$)
- $\varepsilon(f_0)$ = threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
- A_0 = H/V peak amplitude at frequency f_0
- $A_{H/V}(f)$ = H/V curve amplitude at frequency f
- f = frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f) < A_0/2$
- f' = frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f') < A_0/2$
- $\sigma_A(f)$ = "standard deviation" of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
- $\sigma_{\log H/V}(f)$ = standard deviation of the $\log A_{H/V}(f)$ curve, $\sigma_{\log H/V}(f)$ is an absolute value which should be added to or subtracted from the mean $\log A_{H/V}(f)$ curve
- $\theta(f_0)$ = threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$
- $V_{s,av}$ = average S-wave velocity of the total deposits
- $V_{s,surf}$ = S-wave velocity of the surface layer
- h = depth to bedrock
- h_{min} = lower-bound estimate of h

Threshold Values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Frequency range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.20 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**INDAGINE SISMICA
MICROTREMORI**

Tabella 2: Criteri di ammissibilità

Criterio 1	OK
Criterio 2	OK
Criterio 3	OK
Criterio 4	OK
Criterio 5	OK
Criterio 6	OK
Criterio 7	NO

**INDAGINE SISMICA
MICROTREMORI**

ACQUISIZIONE N.9 (PRATI DI TIVO 2)

Classe B2: Blanda direzionalità e presenza di disturbi elettromagnetici con picchi di frequenza poco chiari



Durata registrazione: 0h 20' 00''

Frequenza di campionamento: 125 Hz.

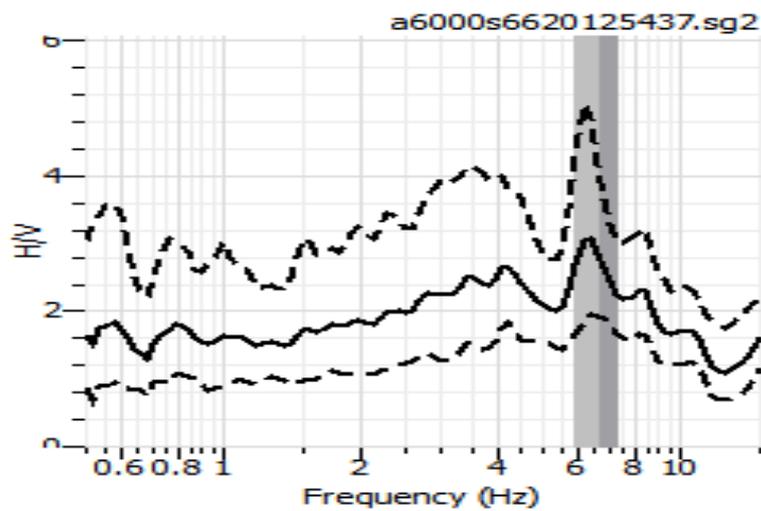
Lunghezza finestre: 20s.

Tipo di lisciamento: Konno & Ohmachi

Lisciamento: 70b

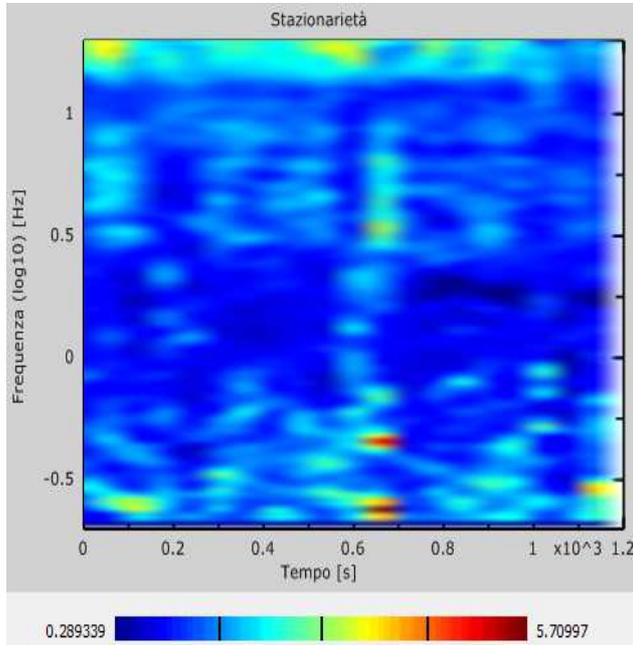
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

Max picco di frequenza significativo H/V registrato a 6.2 +/-0.1 (INTERVALLO 0.25-20.0Hz) con A0=3.1 (Min/Max=2.0-4.9)

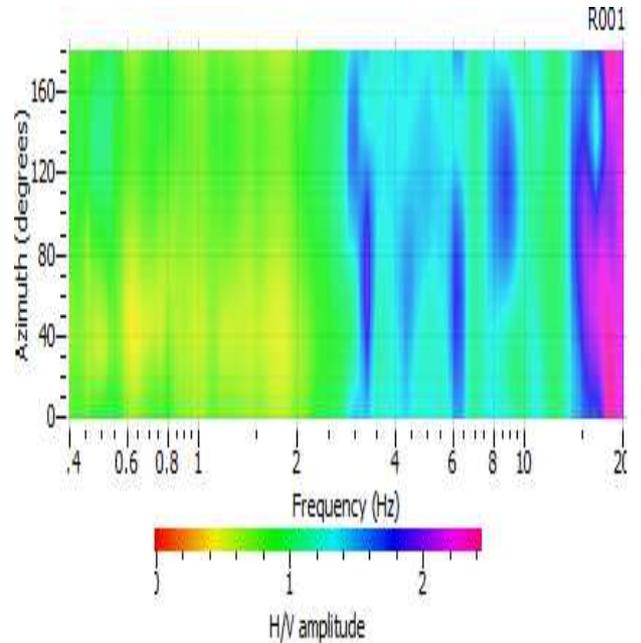


**INDAGINE SISMICA
MICROTREMORI**

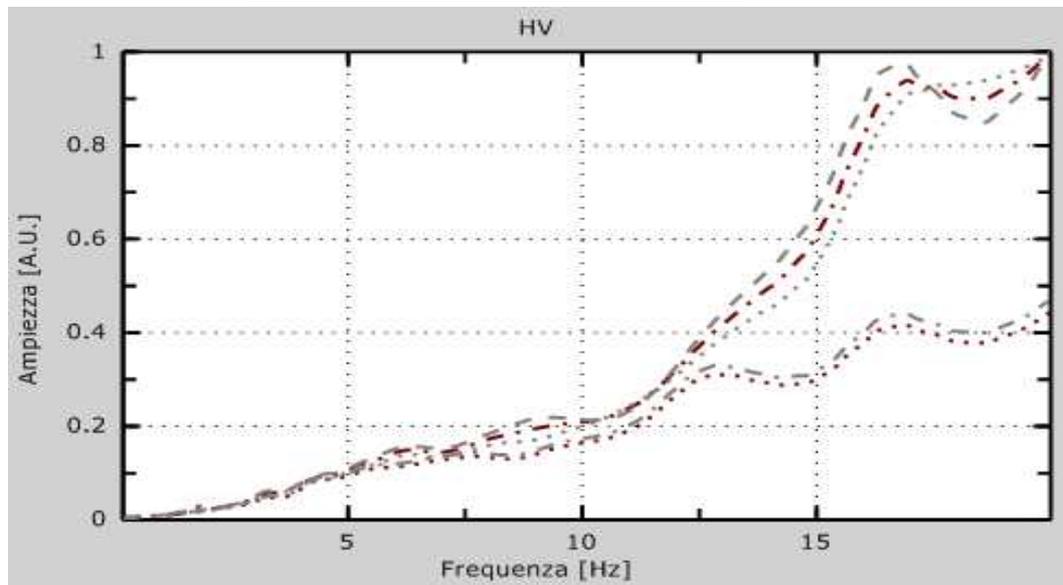
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V

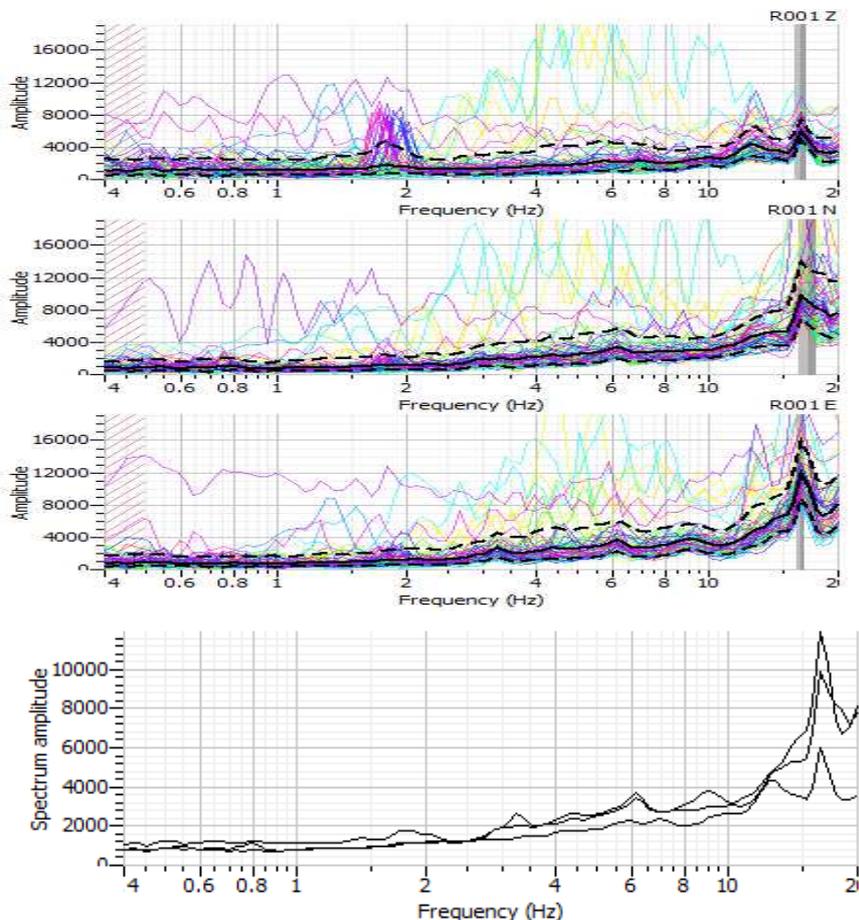


SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Curva HVSR: Media delle Trasformate di Fourier della componente Z nella finestra considerata (grigio tratto-punto); Media delle Trasformate di Fourier delle componenti N-S nella finestra considerata (grigio); Media delle Trasformate di Fourier delle componenti E-O nella finestra considerata (grigio tratteggiato).

**INDAGINE SISMICA
MICROTREMORI**



<p>Criteria for a reliable H/V curve</p> <p>i) $f_0 > 10 / l_w$ <i>and</i></p> <p>ii) $n_c(f_0) > 200$ <i>and</i></p> <p>iii) $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ <i>or</i> $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$</p>	<ul style="list-style-type: none"> • l_w = window length • n_w = number of windows selected for the average H/V curve • $n_c = l_w \cdot n_w$, f_0 = number of significant cycles • f = current frequency • f_{sensor} = sensor cut-off frequency • f_0 = H/V peak frequency • σ_f = standard deviation of H/V peak frequency ($f_0 \pm \sigma_f$) • $\varepsilon(f_0)$ = threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ • A_0 = H/V peak amplitude at frequency f_0 • $A_{H/V}(f)$ = H/V curve amplitude at frequency f • f = frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f) < A_0/2$ • f^* = frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^*) < A_0/2$ • $\sigma_A(f)$ = "standard deviation" of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided • $\sigma_{\log H/V}(f)$ = standard deviation of the $\log A_{H/V}(f)$ curve, $\sigma_{\log H/V}(f)$ is an absolute value which should be added to or subtracted from the mean $\log A_{H/V}(f)$ curve • $\theta(f_0)$ = threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$ • $V_{s,av}$ = average S-wave velocity of the total deposits • $V_{s,surf}$ = S-wave velocity of the surface layer • h = depth to bedrock • h_{\min} = lower-bound estimate of h
<p>Criteria for a clear H/V peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)</p> <p>i) $\exists f \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$</p> <p>ii) $\exists f^* \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^*) < A_0/2$</p> <p>iii) $A_0 > 2$</p> <p>iv) $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$</p> <p>v) $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$</p> <p>vi) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$</p>	

Threshold Values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Frequency range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.20 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**INDAGINE SISMICA
MICROTREMORI**

Picco principale H/V a 6.2 +/- 0.1 (nell'intervallo 0.25-20HZ)

Tabella 2: Criteri di ammissibilità

Criterio 1	OK
Criterio 2	OK
Criterio 3	OK
Criterio 4	NO
Criterio 5	NO
Criterio 6	NO
Criterio 7	NO

*INDAGINE SISMICA
MICROTREMORI*

ACQUISIZIONE N.10 (PRATI DI TIVO 3)

Classe B2: Presenza di disturbi elettromagnetici in presenza di picchi di frequenza poco chiari.



Durata registrazione: 0h 20' 00''

Frequenza di campionamento: 125 Hz.

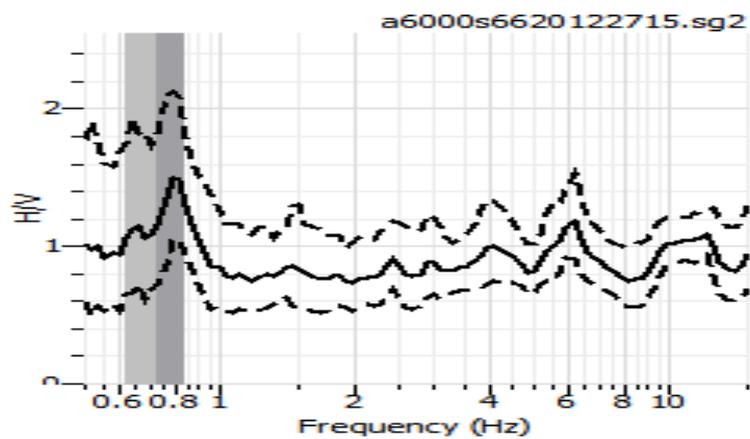
Lunghezza finestre: 20s.

Tipo di lisciamento: Konno & Ohmachi

Lisciamento: 70b

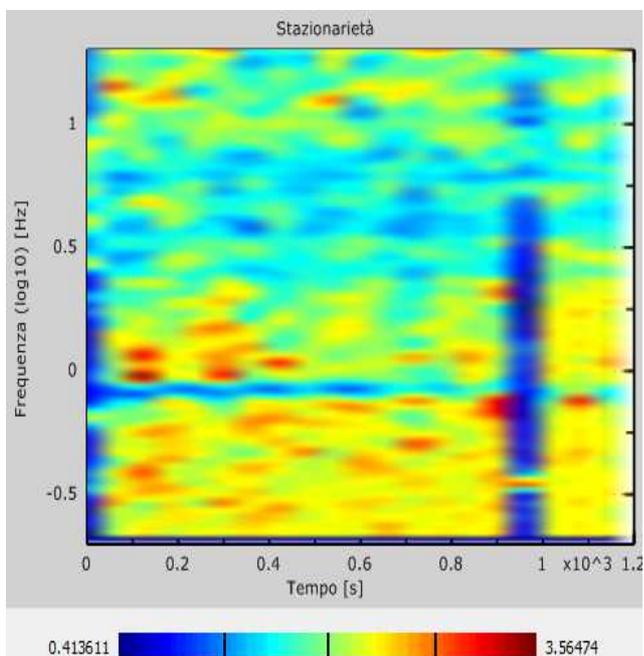
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

Non si registrano picchi significativi (INTERVALLO 0.25-20.0Hz)

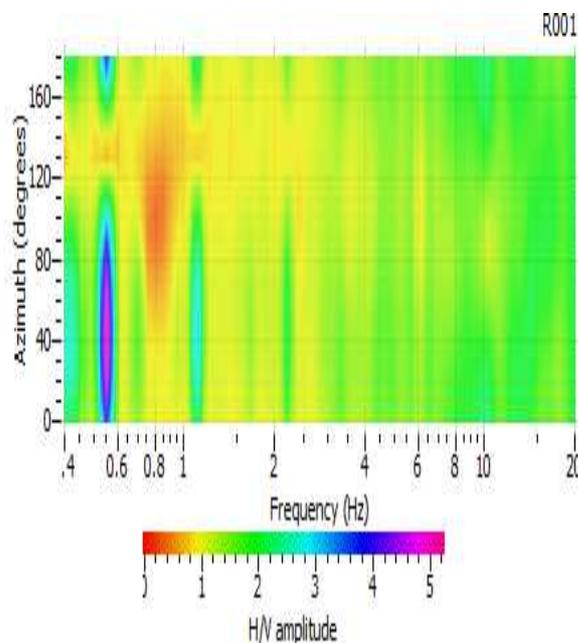


INDAGINE SISMICA
MICROTREMORI

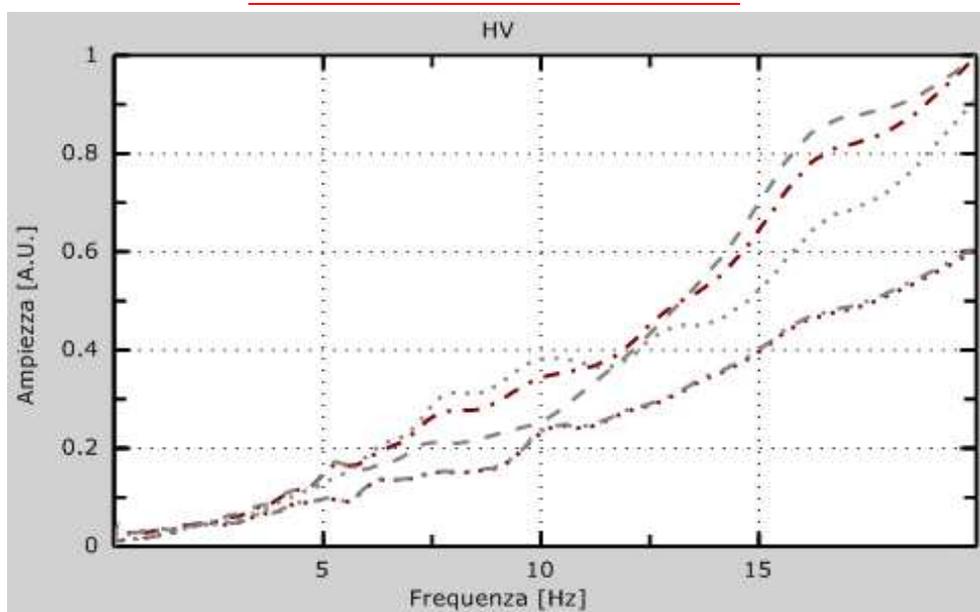
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V

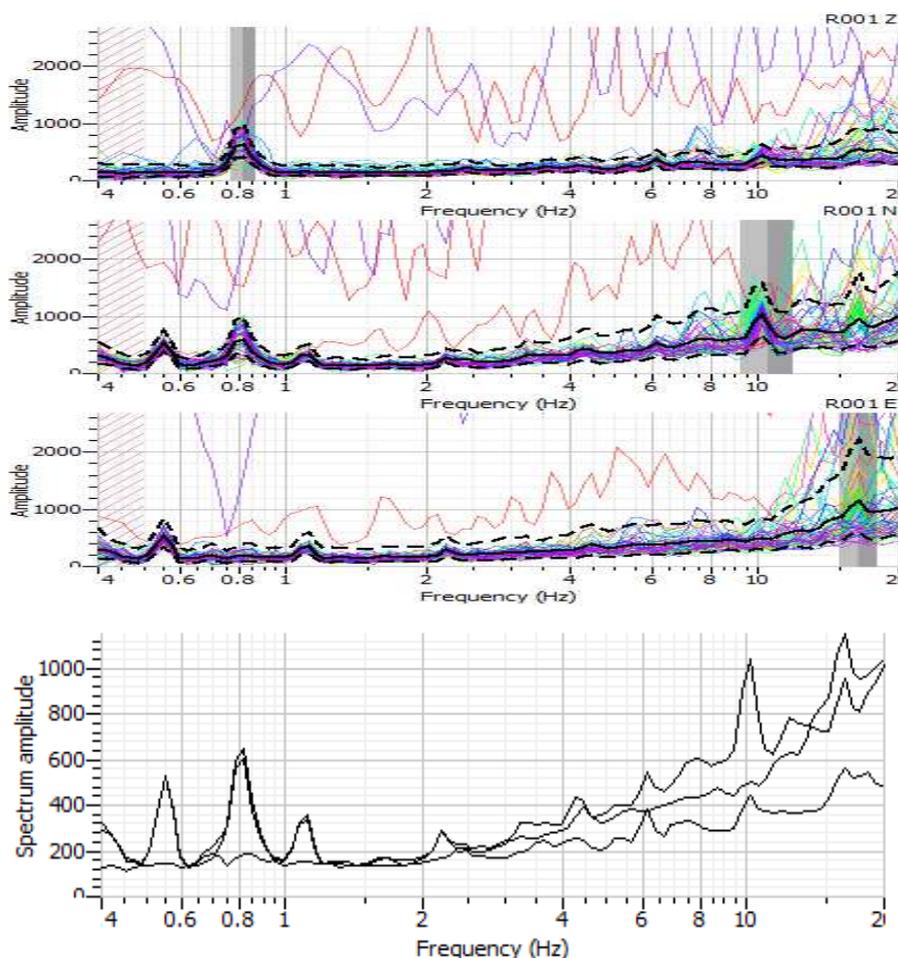


SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Curva HVSR: Media delle Trasformate di Fourier della componente Z nella finestra considerata (grigio tratto-punto); Media delle Trasformate di Fourier delle componenti N-S nella finestra considerata (grigio); Media delle Trasformate di Fourier delle componenti E-O nella finestra considerata (grigio tratteggiato).

**INDAGINE SISMICA
MICROTREMORI**



<p>Criteria for a reliable H/V curve</p> <p>i) $f_0 > 10 / l_w$ and</p> <p>ii) $n_c(f_0) > 200$ and</p> <p>iii) $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ or $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$</p>	<ul style="list-style-type: none"> • l_w = window length • n_w = number of windows selected for the average H/V curve • $n_c = l_w \cdot n_w$, f_0 = number of significant cycles • f = current frequency • f_{sensor} = sensor cut-off frequency • f_0 = H/V peak frequency • σ_f = standard deviation of H/V peak frequency ($f_0 \pm \sigma_f$) • $\varepsilon(f_0)$ = threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ • A_0 = H/V peak amplitude at frequency f_0 • $A_{H/V}(f)$ = H/V curve amplitude at frequency f • f^* = frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^*) < A_0/2$ • f^\dagger = frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^\dagger) < A_0/2$ • $\sigma_A(f)$ = "standard deviation" of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided • $\sigma_{\log H/V}(f)$ = standard deviation of the $\log A_{H/V}(f)$ curve, $\sigma_{\log H/V}(f)$ is an absolute value which should be added to or subtracted from the mean $\log A_{H/V}(f)$ curve • $\theta(f_0)$ = threshold value for the stability condition $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ • $V_{s,av}$ = average S-wave velocity of the total deposits • $V_{s,surf}$ = S-wave velocity of the surface layer • h = depth to bedrock • h_{min} = lower-bound estimate of h
---	--

Threshold Values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Frequency range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.20 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**INDAGINE SISMICA
MICROTREMORI**

Tabella 2: Criteri di ammissibilità

Criterio 1	OK
Criterio 2	OK
Criterio 3	OK
Criterio 4	OK
Criterio 5	OK
Criterio 6	OK
Criterio 7	NO