



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



REGIONE
ABRUZZO



Progetto Pilota per la Microzonazione Sismica di Livello 3 del Comune di Sulmona

MICROZONAZIONE SISMICA di Livello 1

RELAZIONE ILLUSTRATIVA



REGIONE ABRUZZO

Comune di Sulmona (AQ)



DIPARTIMENTO DI

**INGEGNERIA
E GEOLOGIA**



InGEO Dipartimento di Ingegneria e Geologia
Università G. d'Annunzio CHIETI-PESCARA

Coordinatore Scientifico del Progetto:
Prof. Alberto Pizzi (InGeo)

Direzione Gruppi di Lavoro:
Cartografia Geologica e Geomorfologica:
Prof. Enrico Miccadei

Dott. Tommaso Piacentini (InGEO).

Archiviazione Informatica e GIS:

Dott. Giorgio Pipponzi.

Indagini di Sismologia Storica:

Dott. Fabrizio Galadini (INGV-AQ).

Indagini HVSr da Microtremore:

Dott.ssa Lucia Luzi (INGV-MI)



INGV

Collaboratori: Dott. Antonio A. Gomez Capera (INGV-MI), Dott. Roberto Carrozzo (Archivio di Stato, Sulmona), Dott.ssa Alessandra Di Domenico (InGEO), Dott.ssa Catia Di Nisio, Marco Massa (INGV-MI), Marco Sciarra (InGEO), Rodolfo Puglia (INGV-MI), Tullio Urbano (InGEO).

Validazione del Tavolo Tecnico MZS Regionale

Studio di microzonazione sismica di livello 1 validato

dal Tavolo Tecnico

dell'art. 6 della L. n. 26/2011.

25/3/14

ai sensi

del D.M. 14/01/2014

IL COORDINATORE

PROTEZIONE CIVILE - REGIONE ABRUZZO

PROTEZIONE CIVILE - REGIONE ABRUZZO

INDICE

1. Introduzione	pg. 3
2. Inquadramento Geografico, Geologico, Geomorfologico ed Idrogeologico	pg. 6
3. Pericolosità Sismica di Base ed Eventi di Riferimento	pg. 13
3.1. Sismicità e Storia Sismica del Sito	pg. 13
3.1.1. Sismicità Strumentale del Sito	pg. 16
3.2. Pericolosità Sismica del Sito	pg. 18
4. Dati Geognostici, Geotecnici e Geofisici - Carta delle Indagini	pg. 21
4.1. Indagini Preesistenti	pg. 21
4.2. Indagini di Nuova Acquisizione (Misure di Rumore HVSR)	pg. 28
4.2.1. Strumentazione Utilizzata ed Analisi	pg. 28
4.3. Carta delle Indagini	pg. 30
5. Carta Geologico-Tecnica	pg. 31
5.1. Unità Geologiche e Litotecniche	pg. 34
5.1.1. Unità Geologiche Marine	pg. 34
5.1.2. Unità Geologiche Continentali (e di Transizione)	pg. 40
5.2. Elementi Strutturali	pg. 56
5.3. Elementi Geomorfologici	pg. 57
5.4. Elementi Idrogeologici	pg. 59
6. Modello del Sottosuolo	pg. 60
6.1. Dati Preesistenti	pg. 60
6.2. Dati di nuova acquisizione	pg. 63
6.3 Sezioni Geologico-Tecniche	pg. 66
7. Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica e Frequenze di Risonanza	pg. 70
7.1. Zone Stabili	pg. 73
7.2. Zone Stabili Suscettibili di Amplificazioni Locali	pg. 74
7.2.1. Microzone dove non sono Presenti Picchi di Risonanza	pg. 74
7.2.2. Microzone Caratterizzate da Frequenze di Risonanza $F_0 < 1$ Hz	pg. 75
7.2.3. Microzone Caratterizzate da Frequenze di Risonanza $F_0 \geq 1$ Hz	pg. 81
7.3. Risultati Derivanti dalle nuove Misure HVSR	pg. 87
8. Zone di Instabilità	pg. 92



8.1. Zone Suscettibili di Instabilità	pg. 94
8.1.1. Zone Suscettibili di Instabilità di Versante (Frana)	pg. 95
8.1.2. Zone Suscettibili di Instabilità per Faglia Attiva e Capace	pg. 96
8.1.3. Faglia Diretta Potenzialmente Attiva e Capace (Sepolta)	pg. 105
8.1.4. Zone Suscettibili di Instabilità per Sovrapposizione	pg. 107
8.2. Zone di Attenzione (per Instabilità)	pg. 108
8.2.1. Zone di Attenzione per Liquefazione	pg. 108
8.2.2. Zone di Attenzione per Cedimenti Differenziali	pg. 111
8.3. Zone Potenzialmente Instabili	pg. 113
8.3.1. Zona Potenzialmente Instabile per Instabilità di Versante	pg. 114
9. Storia Urbanistica del Centro Storico e Indagini di Sismologia Storica ai Fini della Microzonazione Sismica	pg. 116
10. Considerazioni conclusive, Incertezze ed Indicazioni per Successivi Approfondimenti	pg. 132
10.1. Incertezze ed Indicazioni per Successivi Approfondimenti	pg. 133
11. Bibliografia	pg. 136
 APPENDICE 1: Schede delle stazioni di misura di microtremore	 pg. 143

ALLEGATI



1. Introduzione

Il presente studio rappresenta il frutto della convenzione sottoscritta tra la Regione Abruzzo - Direzione LL.PP., Ciclo idrico integrato, Difesa del suolo e della costa, Protezione civile - Servizio Previsione e Prevenzione dei Rischi ed il Dipartimento di Ingegneria e Geologia (InGEO) dell'Università "G. d'Annunzio" di Chieti-Pescara, avente oggetto la: REALIZZAZIONE DELLA MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 1 NEL COMUNE DI SULMONA (AQ).

Tale convenzione scaturisce dal Protocollo d'Intesa sottoscritto in data 4 maggio 2012, tra la Regione Abruzzo ed il Dipartimento InGEO (autorizzato dalla DGR n. 333 del 20.05.2011 ed approvato con determinazione n. 53/DR del 18.04.2012), finalizzato a promuovere la ricerca e lo sviluppo di indagini ed azioni volte alla prevenzione del rischio sismico su tutto il territorio regionale, con l'obiettivo di fornire un quadro conoscitivo utile alla definizione di politiche di governo del territorio.

In particolare, facendo riferimento all'OPCM 3907 e alla LR n. 28 del 11.08.2011, nell'ambito del "Protocollo d'Intesa" la REGIONE ha previsto di attivare un progetto in materia di microzonazione sismica sull'area pilota del Comune di Sulmona finalizzato a raggiungere il terzo livello di MS (Livello 3 di "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica, 2008").

Oggetto del presente lavoro è quindi quello di definire tutti gli studi necessari per ottenere carte di Microzonazione Sismica di primo livello, propedeutiche per approfondimenti di livello 3 dei territori urbanizzati e/o urbanizzabili del capoluogo e delle frazioni del Comune di Sulmona (AQ). Il livello 1 consiste in una raccolta di dati preesistenti, integrati da nuovi rilevamenti geologici ed indagini geofisiche (misure di rumore HVSR) ed in seguito elaborati per suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee rispetto ai fenomeni di amplificazione sismica locale. Il prodotto di sintesi della "Microzonazione sismica di Livello 1", come definito dagli *"Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica"* (2008), è costituito dalla **Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica** (Carta delle MOPS), definendo, per ogni territorio studiato, le microzone a comportamento sismico omogeneo.

Tali studi consentono quindi di:

- individuare le aree a minore pericolosità locale;
- individuare le aree suscettibili di instabilità;
- individuare le aree per le quali sono necessari ulteriori livelli di approfondimento.



Le aree di indagine definite dal DPC nazionale come le aree urbanizzate e urbanizzabili sono state concordate con la Regione Abruzzo - rappresentata dall'Ing. Maria Basi - e definitivamente con il Comune di Sulmona - rappresentato dalla Dott.ssa Katia Panella - nel mese di aprile 2013. Questa delimitazione prevedeva le aree urbanizzate e di previsione sia del Capoluogo che di "tutte le frazioni" (Acqua Santa, Albanese, Badia-Bagnaturo, Banchette, Case Bruciate, Case Lomini, Case Panetto, Case Susi Primo, Case Susi Secondo, Casino Corvi, Faiella, Fonte d'Amore, Marane, Santa Lucia, Torrone, Tratturo Primo, Tratturo Secondo, Vallecorno, Zappannotte).

Tale area è stata ulteriormente allargata in corso d'opera fino a comprendere quasi tutto il territorio comunale di Sulmona ubicato nella Conca ed ai piedi del M. Morrone, ai fini di fornire un substrato scientifico completo per la comprensione delle varie fenomenologie riscontrate ed indirizzare le successive indagini di approfondimento.

Le attività condotte secondo gli standard della Regione Abruzzo (Standard di rappresentazione cartografica e archiviazione informatica specifiche tecniche per la redazione degli elaborati cartografici ed informatici relativi al primo livello delle attività di MS – Regione Abruzzo - gruppo di lavoro per le attività di MS - art. 5 comma 3 o.p.c.m. n. 3907/2010 e art. 6 comma 1 o.p.c.m. n. 4007/2012) sono consistite in:

- 1) **Raccolta dati:** raccolta, sintesi e archiviazione in ambiente GIS delle indagini esistenti e di nuova realizzazione ed elaborazione della "Carta delle indagini": resp. scientifico Dott. G. Pipponzi.
- 2) **Raccolta fonti dati danneggiamenti a seguito di terremoti storici:** resp. scientifico Dott. Galadini F. (INGV-Roma).
- 3) **Rilevamento geologico:** rilevamenti geologici e geomorfologici di dettaglio alla scala 1:5000 ed elaborazione della "Carta geologico-tecnica" alla scala 1:5000 resp. scientifici Proff. Miccadei E., Piacentini T., Pizzi A. (InGEO).
- 4) **Campagna di misure di rumore sismico ambientale:** resp. scientifico: Dott.ssa Luzi L. (INGV-Milano);
- 5) **Esecuzione di Sezioni geologico tecniche, Elaborazione delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica e Relazione illustrativa** resp. scientifico Prof. Pizzi A. (InGEO).

I principali elaborati prodotti sono:

- a. Carta delle indagini alla scala 1:5000;
- b. Carta geologico-tecnica (G-T) alla scala 1:5000 e relative sezioni geologiche;
- c. Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) alla scala 1:5000;



d. Relazione illustrativa di accompagnamento agli elaborati cartografici con sintesi dei risultati;

Gli elaborati da (a) a (d) sono stati realizzati in conformità alle disposizioni delle Linee Guida regionali denominate “Standard di rappresentazione cartografica e archiviazione informatica”, approvate con DGR n. 577/2012 e successive integrazioni ed aggiornamenti.

I database prodotti sono conformi alle disposizioni regionali dettate dalle citate Linee Guida e a quelle nazionali elaborate dal Dipartimento della Protezione Civile “Microzonazione sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica”, nell'ultima versione disponibile.



2. Inquadramento Geografico, Geologico, Geomorfologico ed Idrogeologico

La Conca di Sulmona è un bacino intramontano che si sviluppa in senso NO-SE nella porzione più esterna dell'Appennino Centrale abruzzese (**Fig. 1**). Esso si estende per una lunghezza di circa 20 chilometri, con larghezze comprese tra 4 e 7 km, con quote che al suo interno variano da circa 250 m s.l.m. in corrispondenza del paese di Popoli (settore settentrionale), a circa 400 m s.l.m. in corrispondenza di Sulmona (settore meridionale), ed aumentano spostandosi ai margini della conca stessa.



Figura 1 – Il modello digitale del terreno mette in risalto il brusco accostamento di dorsali montuose e bacini intermontani, un paesaggio “forte e gentile” che caratterizza il settore interno dell’Abruzzo e di cui la dorsale del M. Morrone e la Conca Peligna ne rappresentano un caso emblematico.

La catena appenninica si è strutturata in un sistema a pieghe e sovrascorrimenti che ha coinvolto differenti unità tettono-stratigrafiche caratterizzate da successioni sedimentarie Triassico-Mioceniche che riflettono un complesso assetto tettonico e paleogeografico che definiva il paleomargine di Adria. Quest’ultimo era, infatti, caratterizzato dalla presenza di piattaforme e bacini pelagici successivamente coinvolti, durante la formazione della catena, nel sistema catenavanco-avampese, con sviluppo di pieghe e sovrascorrimenti a vergenza nord-orientale e di bacini di avanfossa, via via più giovani verso l’avampaese (**Fig. 2**).



Nella catena centro-appenninica affiorano essenzialmente successioni riferibili al dominio di piattaforma carbonatica laziale-abruzzese. Nell'area in esame, tali depositi sono coinvolti dall'anticlinale del Monte Morrone che presenta un fianco orientale da verticale a debolmente rovesciato ed è caratterizzata da un andamento assiale NNO-SSE parallelo al sovrascorrimento frontale cui è associata.

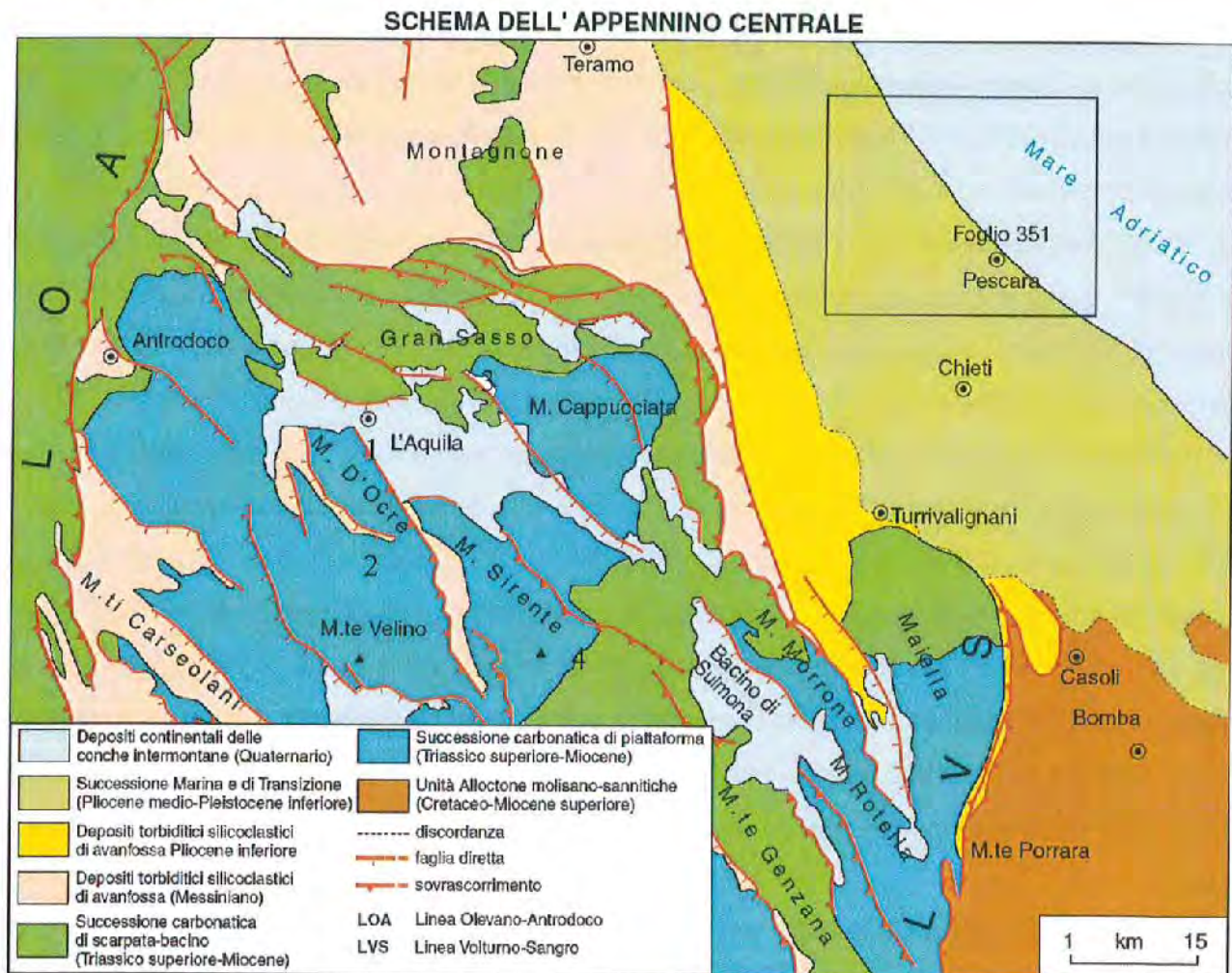


Figura 2 – Schema geologico - strutturale dell'Appennino centrale abruzzese (da, Note Illustrative foglio Pescara, scala 1:50.000).

In particolare, nella porzione meridionale della dorsale carbonatica del Monte Morrone affiorano depositi di piattaforma carbonatica del Giurassico superiore-Cretacico inferiore che poggiano su litofacies marginali e di scarpata del Lias medio-superiore. Nelle zone periferiche di Colle Mitra, affiorano anche litofacies marginali del Cretacico superiore-Paleogene e le Calcareni a Briozoi del Miocene. Il settore centrale del Morrone è caratterizzato, invece, da depositi marginali del Giurassico-Cretacico inferiore, mentre nel settore settentrionale e nell'area di Monte S. Cosimo (situato lungo il bordo occidentale della piana), si sviluppano già dal Lias medio, depositi di



scarpata-bacino prossimale che passano a litofacies di rampa oligo-mioceniche. I sedimenti di avanfossa, che segnano l'età di strutturazione di questo settore della catena, hanno un'età Messiniano superiore (Formazione della Laga), mentre depositi di bacino satellite del Pliocene inferiore (Conglomerati di Rigopiano) sigillano il sovrascorrimento del Monte Morrone.

Analogamente ad altri bacini intramontani localizzati nel settore assiale della catena appenninica (ad esempio, Campo Imperatore, Norcia, ecc.), il bacino di Sulmona si sviluppa al retro della struttura anticlinale del Monte Morrone il cui fianco interno è dislocato da un sistema di faglie normali quaternarie ad andamento circa NO-SE. Lo sviluppo di tali depressioni è legato, infatti, ad un'intensa fase distensiva che, a partire dal Pleistocene Inferiore-Medio, ha portato all'attivazione di sistemi di faglie normali, perlopiù a direzione NO-SE, responsabili dell'intensa sismicità che interessa il settore assiale della catena (e.g., Calamita et al., 1994; Calamita e Pizzi, 1994; Lavecchia et al., 1994; Ghisetti e Vezzani, 1999; Galadini e Galli, 2000; Pizzi e Galadini, 2009).

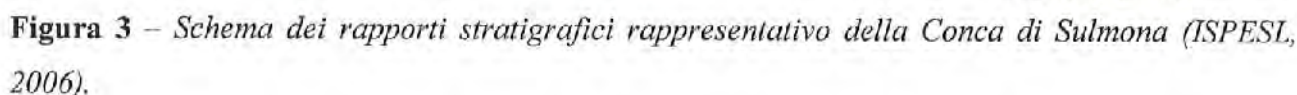
Il sistema di faglie di Sulmona si estende per una lunghezza di circa 23 km ed è costituito da due principali segmenti di faglia, immergenti a SO e SSO, che determinano rigetti cumulati di 15000-2000 m ed hanno definito una struttura a gradini, ribassata verso ovest. L'attività di tali faglie ha causato la crescita di un bacino con una marcata asimmetria ed una geometria di tipo *halfgraben*, con approfondimento nei settori più orientali, in prossimità del sistema di faglie bordiere. La depressione è colmata da una potente successione Pleistocenica-Olocenica costituita da depositi elastici continentali riferibili ad ambienti lacustri, fluviali e di versante, e spessi diverse centinaia di metri. Tali depositi sono stati oggetto di studio fin dalla prima metà del secolo da parte di diversi Autori.

Benco (1942; 1943) individua e cartografa per primo i depositi continentali dell'area riconoscendo un "*Terrazzo alto*" (coincidente con la *Superficie di Sulmona* di Sylos-Labini et al., 1993) ed un "*Terrazzo basso*" (riconoscibile lungo il Sagittario sino a Pratola Peligna ed immergente al di sotto della pianura olocenica) e individuando altresì i principali lineamenti tettonici con evidenze di movimenti quaternari.

Numerosi altri studi di carattere sia tettonico che stratigrafico sono stati successivamente dedicati alla comprensione dell'evoluzione del bacino di Sulmona (Demangeot, 1965; Radmilli, 1984; Leuci e Scorziello, 1972; Kotsakis et al., 1978; Bosi, 1975; Bertini e Bosi, 1978; Bagnaia et al., 1989; Bosi e Messina, 1990; 1992; Sylos-Labini et al., 1993; Miccadei et al., 2000). Una completa descrizione delle varie unità continentali è fornita da Miccadei et al. (1992) e Cavinato e Miccadei (1995).



LEGENDA



d'acqua. Coevi a tali depositi, lungo i margini della conca, affiorano depositi di conoide alluvionale. Questa successione poggia al di sopra di ghiaie e ghiaie sabbiose di origine fluviale che, anche in questo caso, presentano frequenti intercalazioni di materiali fini. Affiorano estesamente nel settore centrale della conca e che passano eteropicamente a conoidi alluvionali lungo i margini del bacino. I sedimenti fluviali vanno a costituire una superficie sommitale, debolmente inclinata verso nord, nota come "Terrazza alta di Sulmona" su cui sorge il centro abitato.

Depositi di piana alluvionale olocenici colmano i fondovalle dei Fiumi Vella, Gizio e Sagittario.

Nel complesso tali depositi non superano i 60 m di spessore e poggiano al di sopra di una potente successione di sedimenti lacustri e palustri costituiti da limi argillosi, con lenti di conglomerati e torbe. Tali terreni sono visibili in affioramento più a nord, presso Pratola Peligna.

Recenti lavori mirati all'analisi stratigrafica e cronologica dei depositi Pleistocenici hanno permesso di riconoscere differenti unità sia all'interno dei sedimenti lacustri che alluvionali (Fig. 3), fornendo indicazioni sull'attività tettonica delle faglie del Morrone (ISPELS, 2006; Giaccio et al., 2009; Gori et al., 2009).

Dal punto di vista geomorfologico, l'assetto dell'area in esame risulta fortemente condizionato dagli eventi tettonici. L'azione della gravità e quella delle acque correnti superficiali, agevolata dalle scadenti caratteristiche meccaniche e di resistenza dei litotipi affioranti nell'area di studio, hanno, inoltre, contribuito a modellare il paesaggio.

Un netto contrasto di rilievo distingue la piana dalle dorsali carbonatiche che la circondano. Il versante occidentale del M. Morrone mostra un andamento perlopiù rettilineo legato alla presenza di una evidente scarpata di faglia, mentre nella piana la superficie della Terrazza di Sulmona definisce un'ampia zona subpianeggiante incisa da importanti fiumi: il Fiume Sagittario, nel quale confluiscono, da sud nell'area di Sulmona, il prima il Fiume Gizio poi il Fiume Vella e il Torrente Vella. Il Fiume Sagittario confluisce a sua volta, nel settore occidentale dell'area, nel Fiume Aterno il quale, ad ovest di Popoli, raccoglie le acque delle sorgenti del Fiume Pescara. Questi corsi d'acqua si uniscono a formare uno dei bacini idrografici più grande per estensione dell'Italia centrale. Nell'area di confluenza tra i Fiumi Sagittario, Gizio e Vella, subito a nord dell'abitato di Sulmona dati storici testimoniano fenomeni di inondazione, tanto che l'area è contrassegnata a pericolosità elevata nella carta del PSDA.

L'attività neotettonica, unitamente al forte contrasto di rilievo associato alle scarpate di faglia e all'approfondimento vallivo, hanno contribuito all'attivazione di numerose frane, anche di grandi dimensioni. Un evento franoso di grandi dimensioni è rappresentato dalla paleofrana su cui sorge



l'abitato di Pacentro (ad est di Sulmona), caratterizzata come complessa ed inattiva nella cartografia PAI. Importanti frane da crollo coinvolgono, inoltre, il versante occidentale della dorsale del Morrone, gli ultimi eventi si sono verificati in concomitanza con l'evento sismico aquilano del 2009, causando l'inaccessibilità dell'area dell'eremo di Sant'Onofrio per alcuni anni.

Dal punto di vista idrogeologico, è noto come nelle aree di piattaforma carbonatica, come è quella in esame, le dorsali montuose presentano una permeabilità molto elevata per fatturazione e carsismo che le rende sedi di estesi acquiferi. Questi ultimi vanno ad alimentare sorgenti basali di portata elevata, poste alla periferia dei massicci, dove l'acquifero viene tamponato da sedimenti a permeabilità limitata. Nell'area di studio l'unità idrogeologica del Morrone alimenta diverse sorgenti, tra cui quella del Giardino, nei pressi di Popoli, totalmente captata per uso potabile (portata pari a $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$). la stessa struttura alimenta il drenaggio nell'alveo del Fiume Pescara. La circolazione idrica sotterranea nei depositi clastici continentali della Conca di Sulmona non è altrettanto nota. La presenza delle numerose sorgenti lungo tutti i lati della Valle Peligna e l'esistenza di livelli e fasce detritiche a granulometria elevata, dotati quindi di buona permeabilità, fanno supporre che siano possibili scambi tra gli acquiferi fratturati delle dorsali e l'acquifero multistrato della piana (**Fig. 4**).



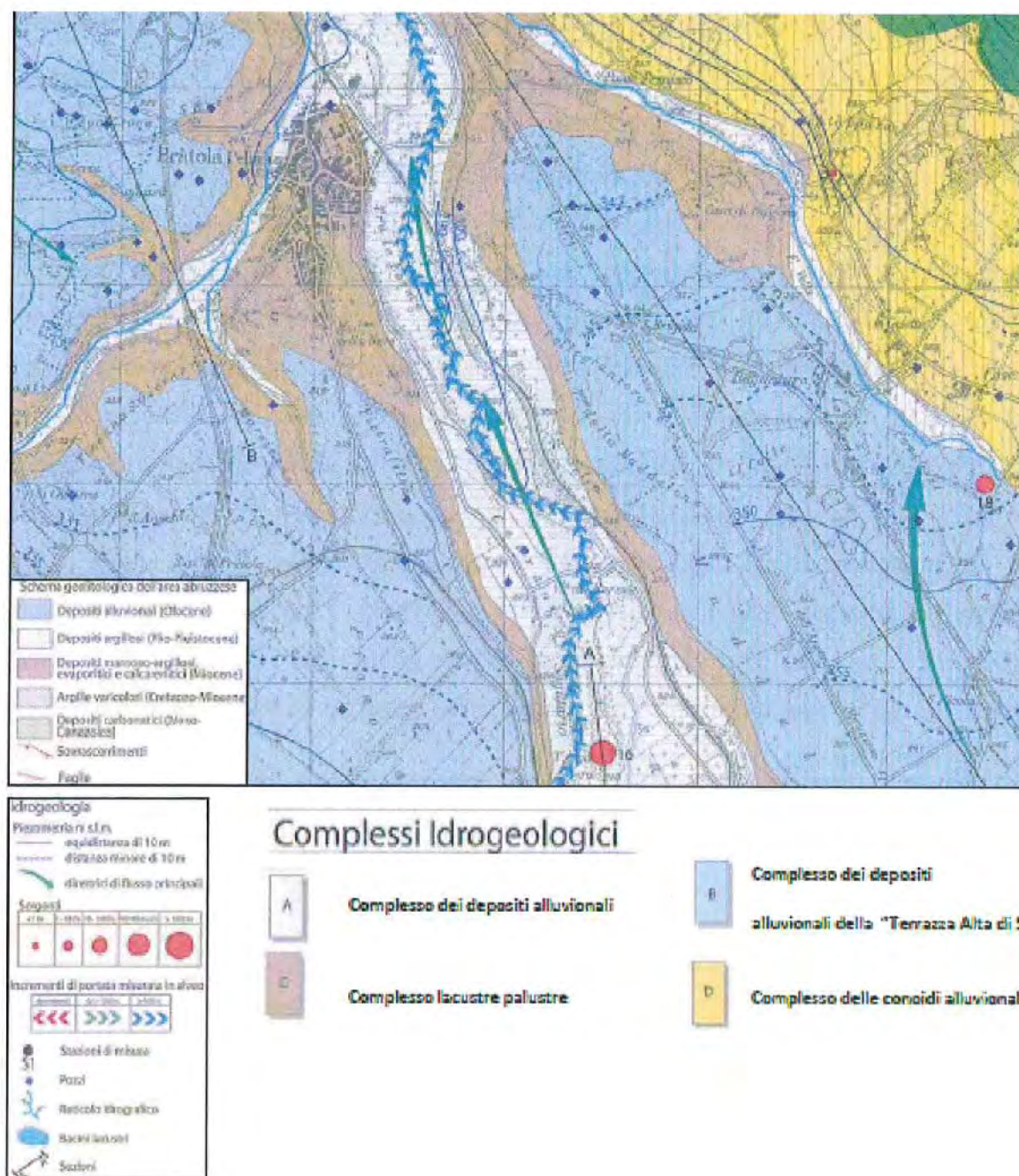


Figura 4 – Stralcio Schema Idrogeologico della Piana di Sulmona scala 1:30.000 (Desiderio et al, 2011)

3. Pericolosità Sismica di Base ed Eventi di Riferimento

3.1. Sismicità e Storia Sismica del Sito

Il Catalogo parametrico dei terremoti, CPTI11, contiene le informazioni sui terremoti occorsi dal 1000 A.D. al 2006 (<http://emidius.mi.ingv.it/CPTI11/>). Al sito <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI/> è inoltre possibile accedere a versioni precedenti del catalogo, tra cui CPTI04 (<http://emidius.mi.ingv.it/CPTI04/>), con il quale sono state realizzate le carte di pericolosità sismica del territorio nazionale.

Per il periodo successivo al 2006, le informazioni sono ricavabili dal catalogo di sismicità strumentale ISIDe (<http://iside.rm.ingv.it/iside/standard/index.jsp>).

La storia sismica di Sulmona è particolarmente ricca di eventi con effetti al di sopra della soglia del danno. Essa è mostrata in **Figura 5** ed è ricavabile dal database DBMI11 (<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/>), che è il catalogo delle osservazioni macrosismiche.

In **Tabella 1** sono riportati in dettaglio gli eventi che hanno interessato il territorio del Comune di Sulmona dal 1315 al 2003, indicando le Intensità (I) registrate nel sito.

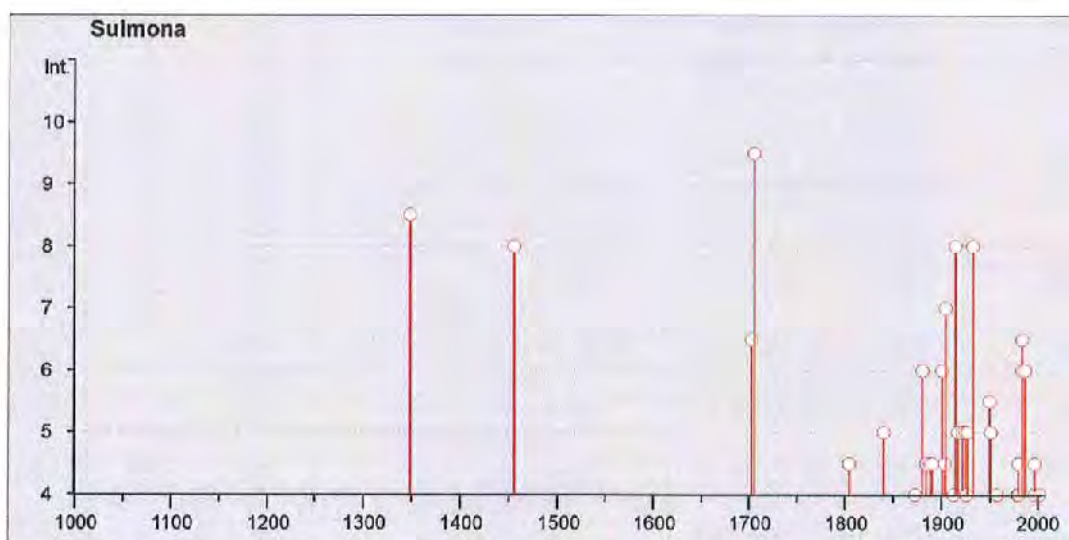


Figura 5 – Storia sismica del sito di Sulmona.

I(MCS)	Data / ora	Località	Np	Io	Mw
NR	1315 12 03	Castelli dell'Aquilano	13	8	5.57 ±0.34
8-9	1349 09 09	Abruzzo	4		
8	1456 12 05	MOLISE	199	11	7.22 ±0.13
6-7	1703 01 14 18:00	Appennino umbro-reatino	199	11	6.74 ±0.11
9-10	1706 11 03 13:00	Maiella	99	10-11	6.83 ±0.16
NC	1730 05 12 05:00	Valnerina	115	9	5.92 ±0.16
4-5	1805 07 26 21:00	Molise	223	10	6.62 ±0.11
F	1841 02 21	S.MARCO IN LAMIS	13	6-7	5.27 ±0.28
5	1841 06 10	Valle dell'Aventino	11	7	4.95 ±0.56
4	1873 07 12 06:06	Monti della Meta	62	7-8	5.35 ±0.20
6	1881 09 10 07:00	Abruzzo meridionale	29	8	5.59 ±0.32
4-5	1885 04 10 01:44	Avezzano	44	5	4.66 ±0.24
4-5	1889 12 08	APRICENA	122	7	5.69 ±0.13
4-5	1891 05 09 00:16	VAL ROVETO	41	5	4.50 ±0.19
3	1892 01 22	COLLI ALBANI	81	7	5.15 ±0.17
F	1892 06 06	TREMITI	72	6	5.06 ±0.19
6	1901 07 31 10:38:30	Monti della Meta	76	7	5.23 ±0.17
4-5	1904 11 02 15:32:05	Marsica est	44	5-6	4.60 ±0.28
7	1905 08 25 20:41	SULMONA	39	6	5.16 ±0.26
2	1909 01 13 00:45	BASSA PADANA	799	6-7	5.53 ±0.09
4	1913 01 03 13:39:25	Marsica sud-est	44	5-6	4.66 ±0.25
8	1915 01 13 06:52	Avezzano	1041	11	7.00 ±0.09
F	1916 04 22 04:33	Aquilano	9	6-7	5.10 ±0.25
5	1917 01 03 01:35	Marsica est	57		
5	1922 12 29 12:22:10	Bassa Val Roveto	119	6-7	5.19 ±0.12
5	1925 09 24 13:33:24	Molise occidentale	50	7	5.20 ±0.17
4	1926 12 18 21:07:20	Trasacco	26	5	4.48 ±0.32
5	1927 10 11 14:45:03	Media Val Roveto	81	7	5.19 ±0.15
NF	1927 12 26 15:06:14	Colli Albani	38	7	4.93 ±0.20
3	1930 07 23 00:08:43	Irpinia	547	10	6.62 ±0.09
8	1933 09 26 03:33:29	Maiella	326	9	5.95 ±0.09
5-6	1950 09 05 04:08	GRAN SASSO	386	8	5.68 ±0.07
5	1951 08 08 19:56	Gran Sasso	94	7	5.30 ±0.14
4	1958 06 24 06:07:04	L'Aquila	152	7-8	5.21 ±0.11
NF	1960 03 14 04:44	Marsica	40	7	4.75 ±0.37
3	1961 10 31 13:37:18	Antrodoto	84	8	5.13 ±0.18
4	1979 09 19 21:35:37	Valnerina	694	8-9	5.86 ±0.09
4	1980 06 14 20:56:50	Marsica sud-est	69	5-6	4.99 ±0.09
4-5	1980 11 23 18:34:52	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.89 ±0.09
NF	1984 04 29 05:02:60	GUBBIO/VALFABBRICA	709	7	5.65 ±0.09
6-7	1984 05 07 17:49:43	Appennino abruzzese	912	8	5.89 ±0.09
6	1984 05 11 10:41:50	Appennino abruzzese	342		5.50 ±0.09
NF	1986 10 13 05:10:01	Appennino umbro-marchigiano	322	5-6	4.65 ±0.09
6	1987 07 03 10:21:58	PORTO SAN GIORGIO	359		5.09 ±0.09
NF	1990 05 05 07:21:22	Potentino	1374		5.80 ±0.09
4	1997 09 26 00:33:13	Appennino umbro-marchigiano	760		5.70 ±0.09
4-5	1997 10 14 15:23:11	Appennino umbro-marchigiano	786	7-8	5.65 ±0.09
3	2000 10 25 08:42:02	Val Comino	57	5	4.17 ±0.15
4	2002 11 01 15:09:02	Subapp. Dauno	645		5.72 ±0.09
NF	2003 06 01 15:45:18	Molise	516	5	4.50 ±0.09

Tabella 1 – Storia sismica al sito per il comune di Sulmona.

Il confronto tra le intensità attribuite agli abitati dell'area peligna in riferimento ai vari terremoti che li hanno colpiti evidenzia che in alcuni casi Sulmona ha subito danni più ingenti. Ciò potrebbe suggerire che, per questa città, le conseguenze di un terremoto siano anche condizionate da effetti di sito.



3.1.1. Sismicità Strumentale del Sito

Le informazioni sulla sismicità strumentale che caratterizza il comune di Sulmona sono fornite dalla rete sismica nazionale dell'INGV e sono reperibili al seguente sito: <http://iside.rm.ingv.it/iside/standard/index.jsp>.

La **Fig. 6** mostra tutti gli eventi di $M > 2.0$ che hanno coinvolto una superficie con raggio di 20 km con centro nel comune di Sulmona nell'intervallo di tempo compreso tra il 1985 e il 24/02/2014.

Si osserva che il 90% della sismicità è compresa tra 0 e 20 km di profondità e si allinea preferenzialmente in direzione NNO-SSE.

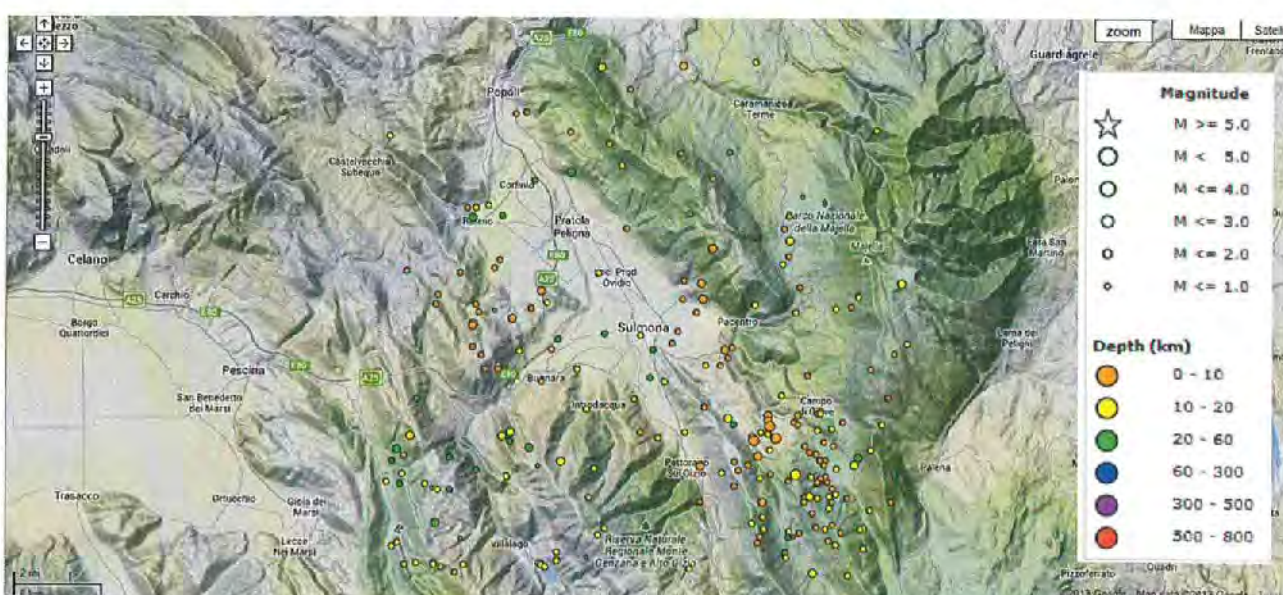


Figura 6 – Mappa dei 145 epicentri di terremoti strumentali misurati dal 1985 al 24/02/2014, aventi Magnitudo > 2.0 e distanza fino a 20 Km dal centro di Sulmona (fonte INGV-Iside: <http://iside.rm.ingv.it/iside/standard/index.jsp>).

La **Tabella 2** riporta, per lo stesso intervallo cronologico e distanza da Sulmona, solo i dati relativi ai 45 epicentri di eventi con Magnitudo > 2.5 .

#Data Da: 1985/01/06 a:2014/02/24
 #AreaComune: SULMONA Distanza (km): 20.0
 #Magnitudo Min: 2.5 Max: 10.0 Tipo: Magpref
 #Profondità (km) Min: ND Max: ND
 #Terremoti totali: 45

#TempoOrigine(UTC)	Latitudine	Longitudine	Profondità	Magnitudo
2012-08-1419:17:58.380	42.194	13.969	8.6	2.5
2012-07-0710:27:41.990	42.066	13.966	3.9	2.6



2012-04-2006:52:11.530	41.964	13.729	20.7	2.7
2012-02-0606:24:57.550	42.062	13.855	8.7	2.7
2011-12-2222:04:33.810	41.998	14.012	9.4	2.5
2011-09-1013:15:29.250	41.886	13.773	18.7	2.6
2011-03-0922:23:36.890	42.1	13.709	22.8	3.2
2009-11-1912:24:01.860	41.912	14.057	10.8	2.6
2009-04-2717:11:11.600	41.982	14.123	8.6	3
2009-04-2122:26:30.560	41.992	14.013	8.2	3.1
2009-03-2908:43:07.940	41.985	14.002	8.1	3.7
2009-03-1701:26:12.980	41.995	14.012	8.5	2.5
2009-03-1701:12:50.510	41.986	14.017	6.7	3.6
2008-10-1112:58:30.280	41.967	14.031	13.8	3.4
2008-10-1111:42:35.370	41.986	13.723	11.3	2.6
2008-02-2412:16:58.090	42.066	14.105	10.3	2.6
2007-11-1612:36:26.220	41.996	13.714	17.8	2.7
2006-12-2217:50:36.300	41.936	14.131	8.7	2.8
2005-11-0409:50:11.760	42.044	13.807	9	2.7
2005-05-0513:21:21.870	41.894	13.711	19	3.5
2002-07-0705:41:50.890	41.941	14.019	5	2.5
2001-02-0404:50:00.530	42.157	13.741	5	2.5
2000-05-1218:41:26.780	42.139	13.972	5	3
1999-09-1401:42:20.210	41.936	13.768	5	2.5
1999-09-1400:53:45.450	41.946	13.775	5	2.5
1998-08-2522:01:57.380	42.132	13.79	25.8	3.6
1998-08-1620:48:10.970	42.073	14.108	5	2.5
1997-12-1909:50:04.720	42.045	14.043	14.5	3.2
1997-10-0104:36:42.480	41.948	14.044	5	2.7
1994-12-2722:34:16.730	41.98	13.751	5	2.7
1994-10-0814:38:56.920	41.871	13.86	4.9	2.8
1994-09-2019:10:04.730	41.904	13.861	10.4	3.3
1992-10-0616:39:10.920	42.135	13.943	7.8	2.6
1992-10-0506:31:17.180	42.16	14.017	9.9	3.7
1989-10-2114:04:53.100	41.878	13.99	5	2.9
1989-10-2019:51:16.560	41.892	14.028	5	3
1988-08-2720:31:42.200	41.993	13.789	10	3.2
1988-03-0611:39:26.940	42.072	13.782	3.9	3
1987-05-2808:05:59.800	41.89	13.768	10	2.7
1986-10-1718:21:43.190	42.095	13.699	5	2.6
1986-01-1221:29:25.020	41.982	14.15	5	2.8
1985-08-2603:30:57.390	42.017	13.937	10	2.9
1985-07-2613:05:33.120	41.925	13.794	10	2.5
1985-03-2708:48:58.140	41.884	14.077	12.2	2.7
1985-01-0621:53:50.520	41.936	13.937	10	2.5

Tabella 2 – *Dati relativi ai 45 terremoti strumentali misurati dal 1985 al 24/02/2014, aventi Magnitudo > 2.5 e distanza fino a 20 Km dal centro di Sulmona (fonte INGV-Iside: <http://iside.rm.ingv.it/iside/standard/index.jsp>).*



3.2. Pericolosità Sismica del Sito

Le informazioni sulla pericolosità del sito sono reperibili ai seguenti links: <http://zonesismiche.mi.ingv.it/> e <http://essel-gis.mi.ingv.it>.

L'area di Sulmona ricade nella zona sismogenetica ZS9-ID 923 che include le sorgenti sismogenetiche responsabili dei terremoti a più elevata magnitudo che caratterizzano il settore assiale dell'Appennino Centrale.

La magnitudo massima attesa al sito (M_{max}) è pari a 7.06.

La mappa di pericolosità sismica evidenzia per la zona in esame un'accelerazione massima attesa al suolo (PGA) di 0.256 g con probabilità eccedenza 10% in 50 anni (**Fig. 7**).

In **Figura 8** è mostrato inoltre il grafico della disaggregazione (o deaggregazione) della pericolosità sismica (<http://essel-gis.mi.ingv.it>) che consente di valutare i contributi di diverse sorgenti sismiche alla pericolosità di un sito. La disaggregazione in magnitudo e distanza ($M-R$) permette di definire il contributo di sorgenti sismogenetiche a distanza R capaci di generare terremoti di magnitudo M . Espresso in altri termini il processo di disaggregazione in $M-R$ fornisce il terremoto che domina lo scenario di pericolosità (terremoto di scenario) inteso come l'evento di magnitudo M a distanza R dal sito oggetto di studio che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica del sito stesso. Per il territorio di Sulmona, il grafico indica che eventi con magnitudo pari a 5.670, ad una distanza pari a 7680 km, sono quelli che maggiormente contribuiscono alla pericolosità dell'area.

In **Tabella 3**, infine, vengono mostrati i parametri dello spettro di normativa, riferibili a condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (NTC08) per diversi periodi di ritorno.



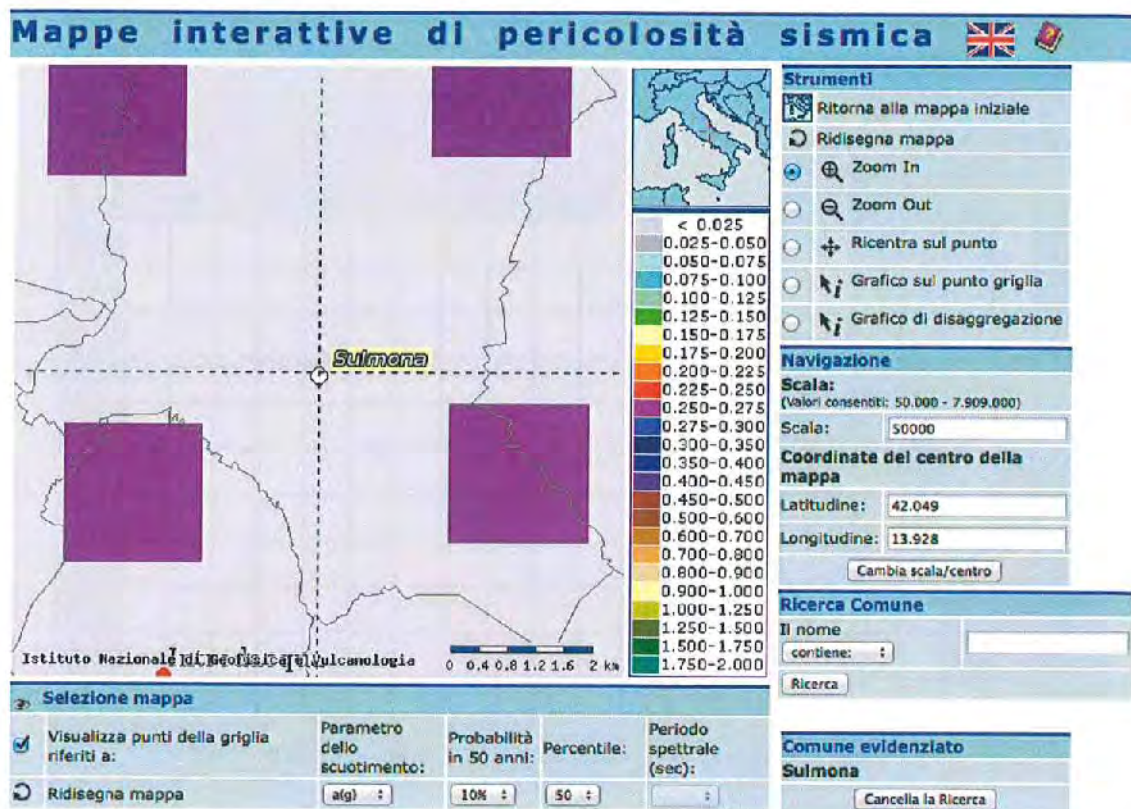
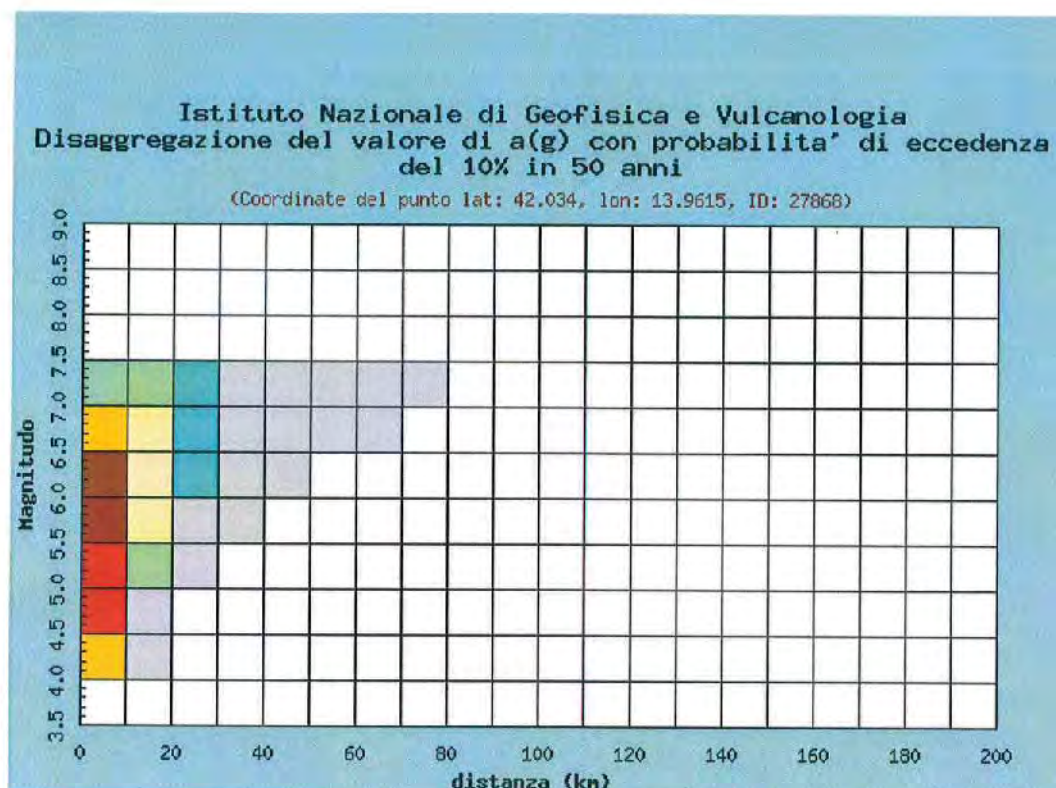


Figura 7 – Mappa del picco di accelerazione con una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (periodo di ritorno approssimabile a 475 anni).

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0.077	2.370	0.275
50	0.101	2.327	0.284
72	0.120	2.312	0.291
101	0.139	2.293	0.299
140	0.161	2.288	0.314
201	0.187	2.302	0.321
475	0.256	2.363	0.346
975	0.327	2.403	0.363
2475	0.444	2.463	0.379

Tabella 3 – Parametri dello spettro di normativa, riferibili a condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (NTC08) per il comune di Sulmona.



Distanza in km	Disaggregazione del valore di $a(g)$ con probabilit� di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 42.034, lon: 13.9615, ID: 27868)										
	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	6.270	17.900	17.900	14.900	10.400	6.240	2.520	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	0.028	0.738	2.410	4.060	4.750	4.110	2.330	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.000	0.000	0.030	0.435	1.080	1.330	1.040	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.174	0.439	0.453	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.118	0.188	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.017	0.070	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.018	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
5.670	7.680	0.952

Figura 8 – Grafico di disaggregazione per i punti della griglia di PGA per il comune di Sulmona.

4. Dati Geognostici, Geotecnici e Geofisici – Carta delle Indagini

Si ringraziano i vari colleghi delle Università, INGV, liberi Professionisti, tecnici degli Enti Locali, della Regione e tutti coloro che hanno reso possibile il reperimento di questo prezioso materiale del quale il Comune avrà obbligo morale di costante aggiornamento.

4.1. Indagini Preesistenti

È stato realizzato un database delle indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche (in seguito “indagini”) che, fino ad ora, non era disponibile per il Comune di Sulmona. In realtà, una prima catalogazione dei dati disponibili fino al 2006-2007, oltre che all’esecuzione di tre sondaggi “chiave” per la caratterizzazione stratigrafica e geotecnica, era stata eseguita nell’ambito del Progetto “SISMA” e “Microzonazione sismica di secondo livello; indagini e risultati ai fini della progettazione esecutiva della Microzonazione sismica del centro abitato di Sulmona” - Respons. Scientifici: Prof. G. Scarascia Mugnozza dell’Università La Sapienza di Roma; il Prof. G. Totani del Dipartimento di Ingegneria Strutture, Acque e Terreno di L’Aquila; il Dott. E. D. Iannarelli per la Regione Abruzzo ed il Dott. G. Naso per il DPC - come si evince dalle relazioni conclusive e dalla sintesi riportata nella Tesi di Dottorato della Dott.ssa M. R. Manuel (Università di Roma La Sapienza, 2007), ed in quella della Dott.ssa S. Amoroso dell’Università di L’Aquila (2009). Tuttavia, all’avvio del presente lavoro tali database non risultavano disponibili in formato georeferenziato ed informatizzato, né presso il Comune di Sulmona, né presso gli Uffici della Protezione Civile della Regione Abruzzo.

Per colmare questa lacuna, di estrema importanza ai fini tecnico-progettuali, sono state reperite le stratigrafie (e relativi allegati di prove di laboratorio ecc.) di oltre 150 indagini puntuali e 13 indagini lineari e sono state eseguite ex-novo 43 indagini puntuali di microtremore sismico (HVSr).

Le oltre 200 indagini sono state ri-localizzate e georeferenziate e quindi inserite nella Carta delle Indagini attraverso la simbologia presente negli standard degli ICMS del DPC. Al Database di archiviazione informatica è associata, inoltre, tutta la documentazione relativa alle indagini puntuali e lineari, riportata come files *.pdf aventi lo stesso codice identificativo presente in Carta. In tal modo, il database digitale dovrà essere fruibile pubblicamente attraverso i portali e gli archivi del Comune, della Regione e del DPC nazionale.



In particolare, sono state analizzate ed inserite le seguenti indagini puntuali:

- **n. 72 sondaggi geognostici (S, SC)** (i files .pdf contengono le stratigrafie e, ove presenti, le fotografie delle carote, i risultati delle **prove di laboratorio** e le ulteriori annotazioni);
- **n. 12 pozzi per ricerca d'acqua (PA);**
- **n. 9 sondaggi con piezometro (SP);**
- **n. 13 prove di sismica in foro di tipo Down-Hole (DH);**
- **n. 1 prova di sismica in foro di tipo Cross-Hole (CH);**
- **n. 3 prove dilatometriche in foro (SDMT);**
- **n. 32 prove penetrometriche in foro (SPT);**
- **n. 1 prova penetrometrica dinamica pesante (DP);**
- **n. 1 Trincea o pozzetto esplorativo (T);**
- **n. 58 Stazione microtremore a stazione singola (HVSr) (di cui 43 di nuova acquisizione);**

e le seguenti indagini lineari:

- **n. 6 Profili con tecnica “Multichannel Analysis Surface Waves” (MASW);**
- **n. 1 Profilo Georadar (RAD);**
- **n. 7 Profili sismici a rifrazione (SR).**

Le indagini risultano diffusamente distribuite attraverso le zone del centro storico, del settore recente di Sulmona e zona industriale. Alcune indagini sono presenti anche nelle frazioni situate ai piedi del Monte Morrone.

Tutti i dati sono stati analizzati criticamente e confrontati, in quanto l'esecuzione delle indagini, risalente a diversi periodi degli ultimi 40 anni, e la loro descrizione, eseguita da differenti Professionisti, ha richiesto un certo margine di interpretazione ed omogenizzazione soprattutto per le indagini più vecchie.

Riguardo la campagna geognostica condotta nell'ambito del suddetto progetto SISMA, i risultati sono sintetizzati dagli Autori, come segue:

“Nel mese di dicembre del 2006 sono stati realizzati tre sondaggi a carotaggio continuo a profondità comprese tra i 30 ed i 60 m dal p.c., ubicati nel centro storico di Sulmona lungo una direttrice N-S, finalizzati a dettagliare la natura geologico-tecnica dei depositi ascrivibili alla formazione alluvionale della “Terrazza Alta di Sulmona” e dei sottostanti terreni di ambiente lacustre-palustre (Pleistocene medio- Pleistocene superiore). È stato così possibile ricostruire una sezione geologico-tecnica longitudinale all'abitato di Sulmona che mostra come i depositi più



superficiali, di natura alluvionale, siano costituiti da ghiaie calcaree ben addensate, eterometriche, in matrice sabbiosa con diminuzione della granulometria, aumento del grado di arrotondamento e della frazione fine nella matrice con l'aumentare della profondità. Tali terreni hanno uno spessore indagato compreso tra 20 e 30 m procedendo verso sud e contengono lenti e livelli di limi sabbiosi di colore ocra, contenenti frustoli vegetali, aventi valori medi del peso dell'unità di volume pari a 19 kN/m^3 , di contenuto d'acqua compresi tra 33 e 37% e di resistenza a compressione semplice, misurata al pocket penetrometer $\sigma_c \leq 100 \text{ kN/m}^2$.

Alla base dei depositi grossolani sono presenti terreni da limoso-sabbiosi ad argillosi, attraversati nell'ambito del sondaggio S3, per uno spessore di circa 35m, prevalentemente di colore grigio-azzurro, con tracce di materia organica e presenza di inclusi litici, per i quali sono stati determinati valori di umidità (w%) compresi tra 29.83 e 15.47 (decrescenti con la profondità), di peso dell'unità di volume (γ) tra 19 e 21.6 kN/m^3 (via via crescente con la profondità), e di resistenza a compressione semplice σ_c tra 250 e 900 kN/m^2 (crescente con la profondità)".

Le figure seguenti (Figg. 9, 10, 11, 12) riportano le stratigrafie dei sondaggi eseguiti ed illustrati nel progetto SISMA affiancate dai relativi diagrammi delle velocità delle onde di taglio (Vs) ricavate sia attraverso indagini sismiche di tipo down-hole (DH) e cross-hole (CH), che di dilatometro sismico (SDMT) (Totani et al., 2009).

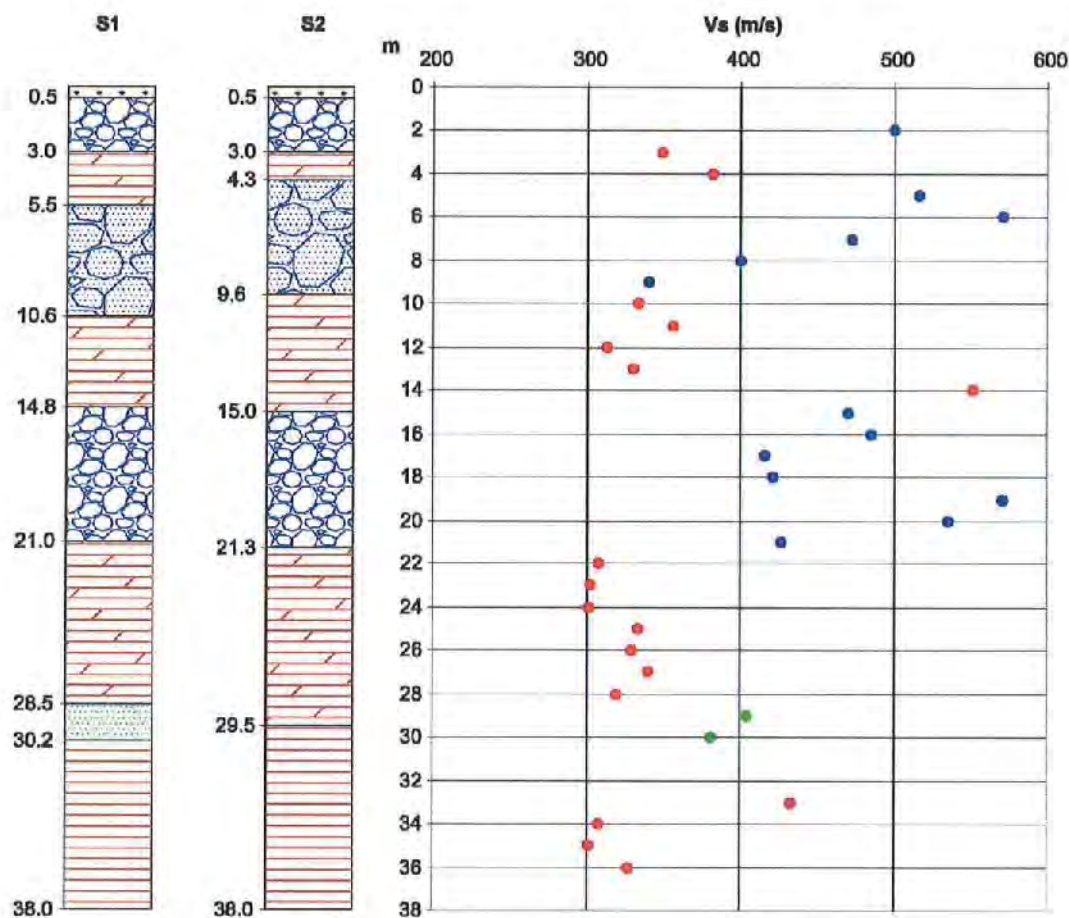


Figura 9 – Diagramma (dal Progetto S.I.S.M.A) di variazione della V_s con la profondità affiancato alle colonne stratigrafiche dei sondaggi in Viale dell'Agricoltura, area industriale di Sulmona (Scarascia Mugnozza, Progetto S.I.S.M.A, 2006), corrispondente all'indagine puntuale (CH) n. 41 nel Database e nella Carta G-T allegata. L'andamento delle V_s indica una netta inversione della velocità a circa 21 m dal p.c., in corrispondenza del passaggio dalle ghiaie (con intercalazioni argillose- limoso-sabbiose) dell'unità at1 all'unità argilloso-limosa lacustre (lac).

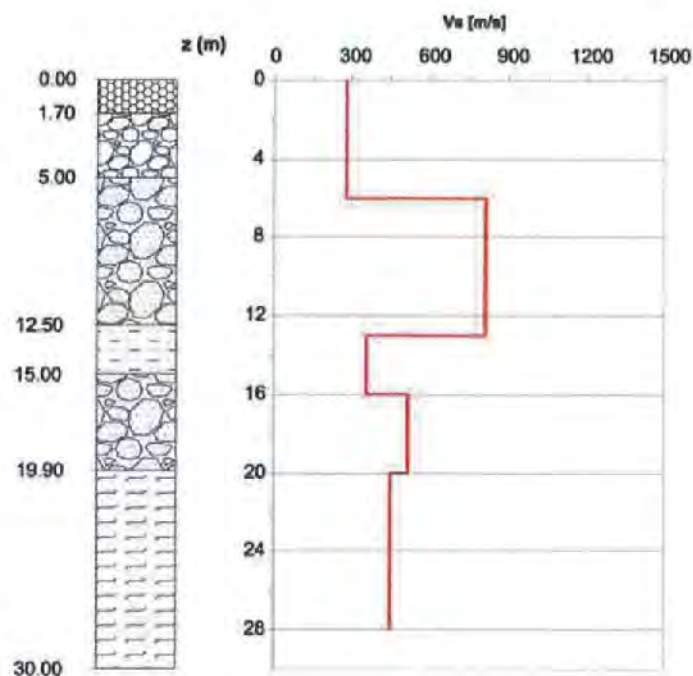


Figura 10 – Diagramma di variazione della V_s con la profondità (ottenuto mediante prova di sismica in foro di tipo Down-Hole: DH) affiancato alla colonna stratigrafica del sondaggio nella Villa Comunale di Sulmona (Scarascia Mugnozza, Progetto S.I.S.M.A, 2006), corrispondente all'indagine puntuale n. 38 nel Database e nella Carta G-T allegata. Anche in questo caso l'andamento delle V_s indica una minore velocità dell'unità più profonda argilloso-limosa lacustre (lac) rispetto alla V_s media delle ghiaie contenenti intercalazioni argillose- limoso-sabbiose (at1). Il limite tra at1 e lac sembra attestarsi intorno a 20 m di profondità.

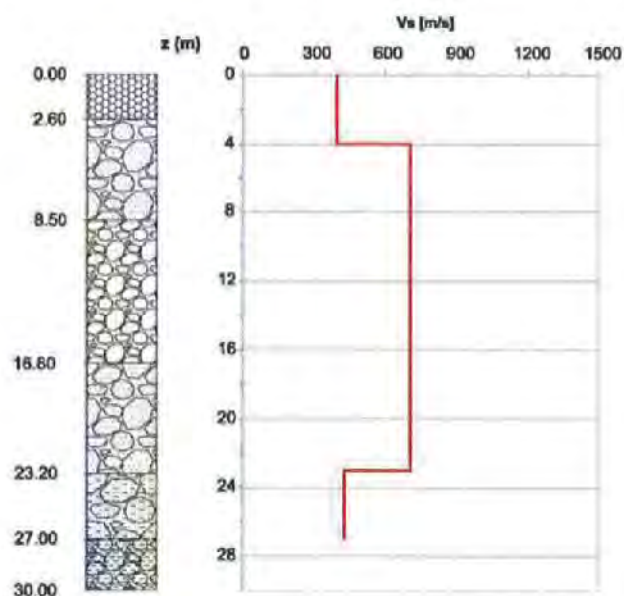


Figura 11 – Diagramma di variazione della V_s con la profondità (ottenuto mediante prova di sismica in foro di tipo Down-Hole: DH) affiancato alla colonna stratigrafica del sondaggio presso

la Scuola Masciangioli di Sulmona (Scarascia Mugnozza, Progetto S.I.S.M.A, 2006), corrispondente all'indagine puntuale n. 39 nel Database e nella Carta G-T allegata. Anche in questo caso l'andamento delle V_s indica una minore velocità dell'unità più profonda argilloso-limosa lacustre (lac) rispetto alla V_s media delle ghiaie contenenti intercalazioni argillose- limoso-sabbiose (at1). Il limite tra at1 e lac sembra attestarsi intorno a 20m di profondità.

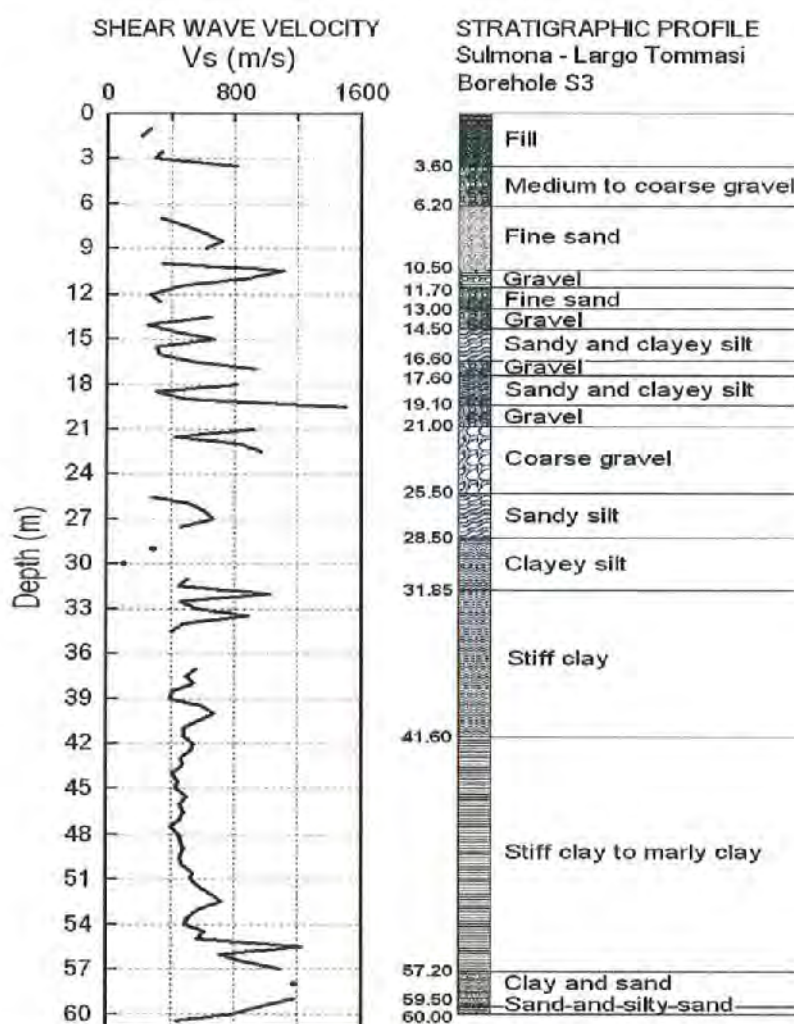


Figure 5. Sulmona (Largo Tommasi) – Profile of V_s obtained by SDMT in backfilled borehole and stratigraphic profile

Figura 12 – Profilo di variazione della V_s con la profondità (ottenuto mediante prova in foro di tipo Dilatometro sismico SDMT) affiancato alla colonna stratigrafica del sondaggio presso Largo Tommasi al centro storico di Sulmona (Totani et al., 2009), corrispondente all'indagine puntuale n. 40 nel Database e nella Carta G-T allegata. Anche in questo caso l'andamento delle V_s indica una minore velocità dell'unità più profonda argilloso-limosa lacustre (lac) rispetto alla V_s media delle ghiaie contenenti intercalazioni argillose- limoso-sabbiose (at1). Il limite tra at1 e lac sembra attestarsi intorno a 20 m di profondità.



La maggior parte dei parametri geotecnici, valutati attraverso prove di laboratorio in campioni prelevati dai sondaggi, riguardano i terreni limoso-sabbiosi e limoso-argillosi intercalati nelle ghiaie dell'unità alluvionale della Terrazza Alta di Sulmona "at1", sulla quale insiste la quasi totalità dell'edificato del capoluogo (sia in destra che in sinistra del F. Vella) e della zona industriale. I parametri geomeccanici per questi terreni indicano valori medi compresi nei seguenti ranges:

Limi-sabbiosi e limi-argillosi intercalati nell'unità "at1"	$C_u = 134-250 \text{ kN/m}^2$	$c' = 20-54 \text{ kN/m}^2$	$\varphi' = 21^\circ-24^\circ$
---	--------------------------------	-----------------------------	--------------------------------

In altri sondaggi, inoltre, ove è stato considerato il valore medio tra le ghiaie "at1" e le intercalazioni fini, si ha:

Ghiaie dell'unità "at1" con intercalazioni e lenti limoso-sabbiose e limoso-argillose	$E = 20-70 \text{ MPa}$	$c' = 10 \text{ kN/m}^2$	$\varphi = 23^\circ-38^\circ$
---	-------------------------	--------------------------	-------------------------------

Dati sporadici o addirittura inesistenti caratterizzano gran parte delle zone ricadenti alla base dei rilievi carbonatici del M. Morrone e di Colle Savente (tra cui le frazioni di Badia, Santa Lucia, Fonte d'Amore, Marane e l'area del Cimitero). In tali zone, pertanto, l'elevata complessità litostratigrafica dovuta ai rapidi passaggi sia laterali che verticali delle unità continentali si somma alla carenza dei dati di sottosuolo, individuando delle aree urbanizzate (ed urbanizzabili) cui dovranno necessariamente concentrarsi approfondimenti ed indagini geognostiche specifiche.

4.2. Indagini di Nuova Acquisizione (Misure di Rumore HVSR)

*A cura di Lucia Luzi, Marco Massa, Antonio Augusto Gomez Capera, Rodolfo Puglia
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, sezione di Milano*

4.2.1. Strumentazione Utilizzata ed Analisi

La strumentazione utilizzata per le misure di rumore ambientale, mostrata in **Figura 13**, consiste in un sensore sismometrico Lennartz LE-3D/5s (www.lennartz-electronic.de) accoppiato ad un acquisitore Reftek-130 (www.reftek.com), ampiamente testati durante precedenti campagne di misura.

L'acquisitore Reftek-130 consente di immagazzinare i dati in locale direttamente su Memory Flash (in questo caso l'acquisitore è stato dotato di due schede ciascuna da 2Gbyte). Esso incorpora un convertitore analogico-digitale a 24 bit, con una dinamica maggiore di 138 dB. L'alimentazione durante le misure è stata garantita da batterie 12V, mentre il segnale di tempo e le coordinate geografiche sono state acquisiti grazie ad un sistema di sincronizzazione GPS. Il Lennartz LE-3D/5, pur essendo un sensore a corto periodo, la sua banda allargata consente l'acquisizione di segnali su tre componenti (verticale, nord-sud e est-ovest) con risposta piatta fra 0.2 Hz e 40 Hz. Questo strumento è particolarmente idoneo per le misure di rumore ambientali dei siti in cui si prevede una bassa frequenza di risonanza, come i bacini lacustri. I dati sono stati registrati utilizzando un passo di 100 campioni al secondo (100 Hz). Il gain dell'acquisitore è stato impostato ad un valore pari a 32, in modo tale da sfruttare a pieno la dinamica in relazione alle ridotte ampiezze da registrare.



Figura 13 - A sinistra l'acquisitore Reftek-130, a destra il sismometro Lennartz-5s.

Ciascuna misura di rumore ha avuto una durata compresa tra i 30 ed i 45 minuti ed è stata elaborata frazionando il segnale, registrato in continuo, in sotto-finestre della durata di un minuto.

Per ciascuna delle sotto-finestre è stato calcolato lo spettro di Fourier, per 1640 frequenze equispaziate in scala logaritmica tra 0.01 e 20 Hz, che è stato liscio utilizzando l'algoritmo proposto da Konno e Ohmachi (2006), fissando il parametro b uguale a 40. Infine, è stato calcolato il rapporto tra lo spettro di Fourier della composizione vettoriale delle componenti orizzontali e della verticale (H/V), come proposto da Nakamura (1989; 2000).

In Appendice A, per ogni punto di misura, sono riportati: (i) gli spettri di Fourier non filtrati per ciascuna delle tre componenti, (ii) gli H/V nel tempo relative alle due componenti orizzontali, (iii) H/V per azimuth compresi tra 0° e 180° , (iv) le curve medie H/V e la deviazione standard associata e (v) i criteri definiti dal progetto SESAME per indicare il criterio di attendibilità dei picchi delle curve H/V . È inoltre riportata la frequenza di risonanza del sito (f_0) ed eventuali picchi secondari.

4.3. Carta delle Indagini

Tutte le indagini geognostiche, geotecniche, idrogeologiche e geofisiche preesistenti e quelle realizzate ex-novo (misure HVSR) sono state riportate nella Carta delle Indagini. La rappresentazione cartografica di questi oltre 200 elementi puntuali e lineari è stata eseguita per tipologia utilizzando i simboli degli standard ICMS del DPC nazionale, con le relative sigle, opportunamente georeferenziati, a seguito di un non semplice lavoro di ri-localizzazione delle indagini stesse.

La Carta riporta le aree ove si ritiene indispensabile che vengano effettuate ulteriori indagini ed approfondimenti. In particolare, sono state delimitate con un poligono ed un sovrassimbolo rigato di differente colore le aree che necessitano di ulteriori indagini in quanto potenzialmente suscettibili di instabilità (**Fig. 14**). Per queste aree, ove sono stati riconosciuti gli elementi geologici minimi per farle ritenere potenzialmente suscettibili a fenomeni di cedimento differenziale, instabilità di versante, faglie attive e capaci e liquefazione, non si dispone, allo stato attuale (livello 1 di Microzonazione), di indagini e parametri sufficienti per caratterizzare in modo preciso ed univoco se l'instabilità si verificherà effettivamente in caso di evento sismico né l'eventuale pericolosità in termini quantitativi.

**Aree in cui si necessitano ulteriori indagini
in quanto suscettibili delle seguenti
tipologie di instabilità:**



Figura 14 – Sovrassimboli utilizzati nella Carta delle Indagini per indicare le aree che necessitano di ulteriori indagini in quanto potenzialmente suscettibili di instabilità.

Considerata l'estrema importanza di questo argomento, il tema delle aree instabili e potenzialmente suscettibili di instabilità verrà approfondito in un capitolo appropriato, il Cap. 8.



5. Carta Geologico-Tecnica

I dati del rilevamento di campagna riguardanti tutte le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche, geotecniche ed idrogeologiche), confrontati ed integrati con carte ed elaborati esistenti, sono stati cartografati e georiferiti in scala 1:5.000 al fine di redigere la Carta Geologico-Tecnica. Le informazioni in essa contenute sono necessarie per la definizione del modello di sottosuolo e sono fondamentali per la realizzazione della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica.

I terreni affioranti sono stati caratterizzati sia in base alle loro caratteristiche geologiche che litotecniche. Per quanto riguarda la classificazione delle Unità Geologiche, esse sono state distinte in Unità Geologiche Continentali ed Unità Geologiche Marine. Le prime comprendono le coperture e tutti i terreni anche di origine antropica (riporti, discariche, ecc...) che presentano uno spessore minimo di 3 m, le seconde rappresentano le unità del substrato geologico.

I terreni sono descritti in legenda seguendo un ordine cronologico (dai più recenti ai più antichi), specificandone caratteristiche in termini di facies, spessori e processi morfogenetici (per le coperture).

Ad ognuna di tali unità geologiche è stata attribuita una classe litotecnica definita in base a: composizione, granulometria e tipologia dei terreni, stratificazione e caratteristiche meccaniche (**Fig. 15**). Differenti Unità Geologiche possono essere descritte da una stessa Unità Litotecnica ed una stessa Unità Geologica può variare le sue caratteristiche litotecniche nello spazio e quindi essere classificata attraverso più Unità Litotecniche. Questa caratteristica ha permesso successivamente di poter raggruppare nelle MOPS differenti unità geologiche che condividono la stessa unità litotecnica.

Per quanto riguarda il substrato geologico, informazioni riguardanti l'assetto strutturale ed il grado di fratturazione sono riportate tra gli elementi tettonico-strutturali. Particolare attenzione meritano le faglie attive e potenzialmente attive presenti nell'area, di cui si parlerà estesamente nel capitolo 8.

Molto importanti anche ai fini della Microzonazione sono le caratteristiche geomorfologiche. In particolare, la presenza di scarpate, zone di cresta e picchi, cavità ed instabilità di versante che hanno ripercussione sulla definizione delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica.

Nella carta sono riportate le caratteristiche idrogeologiche dell'area (sorgenti, corsi d'acqua ecc...), con particolare attenzione alle informazioni relative alla profondità della falda utili a

definire nella carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica le eventuali zone di attenzione per liquefazione.

I pozzi per acqua ed i sondaggi sono ubicati anche nella Carta Geologico-Tecnica con indicazione della profondità della falda e del fondo foro, rispettivamente.

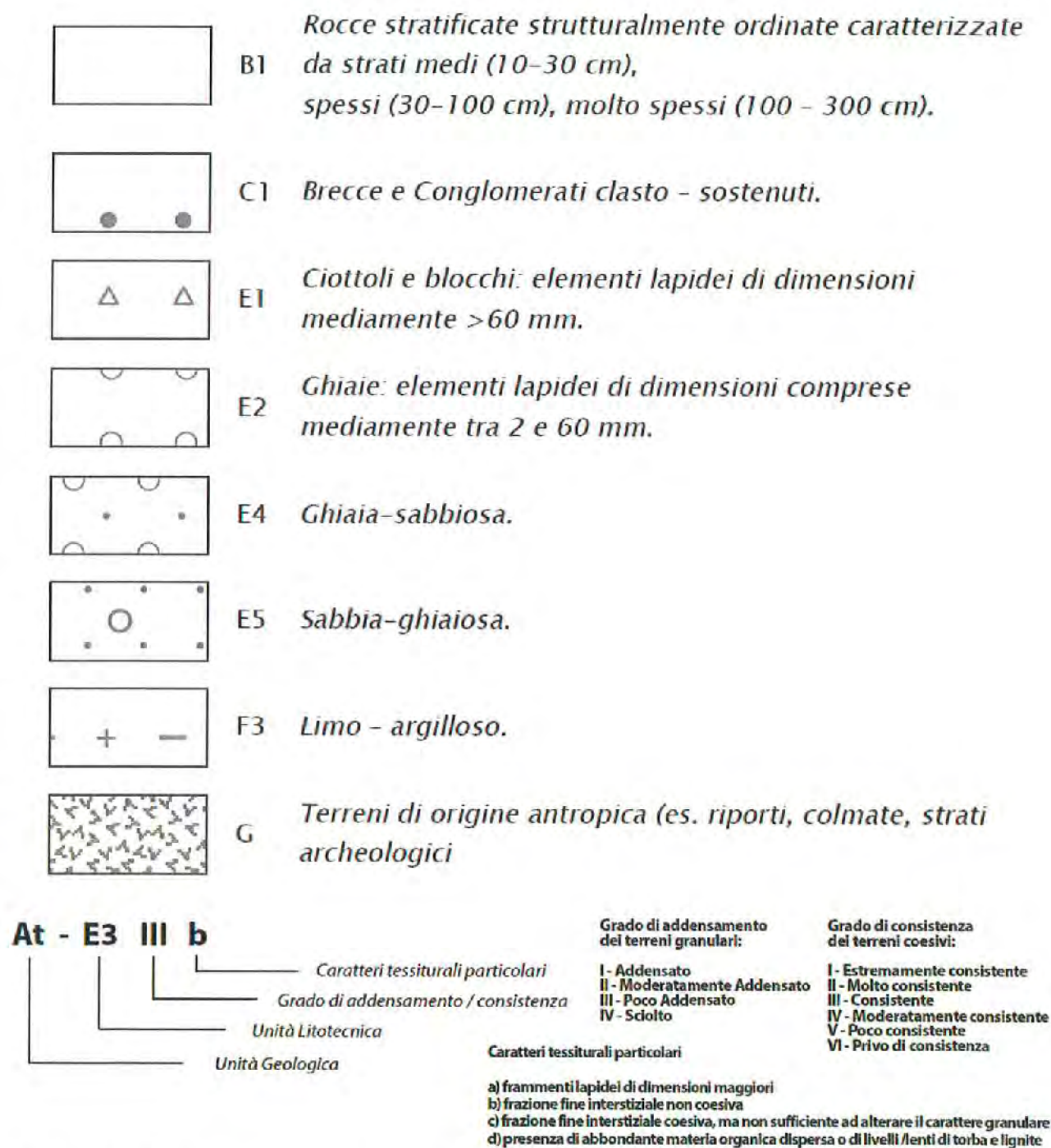


Figura 15 – Simbologia utilizzata per la classificazione delle unità litotecniche.

Nei seguenti paragrafi saranno descritti dettagliatamente tutti gli elementi sopra elencati. Per quanto riguarda i terreni affioranti, essi saranno descritti seguendo lo stesso schema e la stessa nomenclatura della carta, indicando per ogni unità anche le relative informazioni litotecniche. Ad un determinato colore corrisponderà una Unità Geologica per la quale, oltre alla descrizione, sarà specificata e motivata l'attribuzione alle Unità Litotecniche, individuate attraverso un sovrassimbolo. L'inserimento di uno o due codici a seguito della sigla geologica e di quella granulometrica fornirà indicazioni sul grado di addensamento (per i depositi granulari) e consistenza (per i depositi coesivi) e su caratteri tessiturali particolari (**Fig. 15**).

Nella descrizione, si farà riferimento alle singole aree, aggiungendo tutti i dettagli ritenuti necessari.

5.1. Unità Geologiche e Litotecniche

5.1.1. Unità Geologiche Marine



Calcareniti a nummuliti e discocycline (CFR₁)

Membro inferiore dell'unità delle "calcareniti a macroforaminiferi" (CFR) del Foglio 369 CARG Sulmona. Affiorano nel versante nord-occidentale del Colle Mitra poggiando con limite inconforme sui *calcari cristallini* (CTN) del Cretacico superiore. Tale limite corrisponde ad una importante discontinuità riconoscibile alla scala regionale e rappresentata da lacune sedimentarie di diversa ampiezza a seconda dell'area esaminata. In corrispondenza di tali discontinuità sono localmente osservabili discordanze angolari tra questa unità e quelle incassanti. Lo spessore totale varia da qualche metro a circa 50 m.

L'unità è rappresentata da alternanze di *grainstones* e *packstones* con intercalazioni di *rudstones* e *wackestones* a volte marnosi, avana, grigio - verdastri. Gli strati granulometricamente più fini sono da sottili a medi, mentre quelli più grossolani sono da medi a spessi. Sulla base di tali caratteristiche, dal punto di vista litotecnico tali depositi fanno riferimento alle unità lapidee (B) ed in particolare alla categoria B1 che comprende rocce stratificate strutturalmente ordinate caratterizzate da strati medi (10-30 cm), spessi (30-100 cm), molto spessi (100 – 300 cm) (Linee Guida MZS Regione Abruzzo, 2012).

Frequenti sono i livelli ricristallizzati, biancastri, di aspetto farinoso e i livelli a clasti neri. Il contenuto fossilifero è rappresentato da discocycline, rare heterostegine e nummuliti; queste ultime hanno dimensioni estremamente variabili dal millimetro al centimetro. L'ambiente deposizionale è attribuibile ad una rampa carbonatica.

I fossili riconosciuti: *Morozovella* gr. *aragonensis*, *Morozovella* gr. *formosa*, *Nummulites* gr. *maximus*, *Morozovella* gr. *lehneri*, *Nummulites* *fabianii* PREVER, *Nummulites* cf. *retiatius* ROVEDA, *Turborotalia* gr. *cerroazulensis*, permettono di riferire l'unità alle biozone SBZ10-SBZ20 corrispondenti alle zone a foraminiferi planctonici P7-P17.

Età: *Ypresiano p.p.* - *Priahoniano*



Calcari cristallini (CTN)



Affiorano estesamente lungo il versante nord-occidentale di Colle Mitra, nell'area delle storiche cave delle Pietre Regie, inferiormente alle *calcareniti a nummuliti e discocycline* (NUD), evidenziando la presenza di un'ampia lacuna paleogenica. Nell'area del Foglio CARG n. 369 "Sulmona", lo spessore varia da minimo di 80 m, dove tale unità si sovrappone alle *facies* della *scaglia detritica*, ad un massimo di circa 400 m, dove la medesima unità poggia sulle *calcareniti e calciruditi a fucoidi* o termini equivalenti. Sono rappresentati da quattro differenti *associazioni* di *facies*: *calcarenitico-calciruditica*, *associazione calciruditica*, *micritico-calcarenitica*, *saccaroide*.

Nell'area indagata è presente solo l'*associazione saccaroide* costituita da *grainstones* fini, raramente *packstones* bianchi e avana, gradati e laminati, in strati medi e più raramente spessi, con frequenti geometrie lenticolari e di *wackestones* bianchi a foraminiferi planctonici, in strati da sottili a medi. Sulla base di tali caratteristiche, dal punto di vista litotecnico tali depositi fanno riferimento alle unità lapidee (B) ed in particolare alla categoria B1 che comprende rocce stratificate strutturalmente ordinate caratterizzate da strati medi (10-30 cm), spessi (30-100 cm), molto spessi (100 – 300 cm) (Linee Guida MZS Regione Abruzzo, 2012).

La selce si rinviene raramente. Gli elementi bioclastici, quando riconoscibili, sono rappresentati da frammenti di rudiste e da macroforaminiferi bentonici (*Orbitoides* e *Siderolites*). La caratteristica principale di questa associazione è la diffusa ricristallizzazione degli elementi clastici che assumono un tipico aspetto saccaroide biancastro.

L'ambiente di sedimentazione è riferibile ad una scarpata esterna. Le forme più significative dell'associazione microfaunistica dell'unità, nel suo complesso, sono: *Siderolites calcitrapoides* LAMARK, *Orbitoides medius* (D'ARCHIAC), *O. apiculatus* SCHLUMBERGER, *Helvetoglobotruncana helvetica* (BROTZEN), *Globotruncana ventricosa* WHITE, *Globotruncanita stuarti* (DE LAPPARENT), *Contusotruncana contusa* CUSHMAN, *Abathomphalus* sp..

Esse permettono di attribuire l'unità all'intervallo che si estende dalla parte superiore della biozona a *Rotalipora* ed *Orbitolina* alla biozona a *Globotruncanita* e *Orbitoides*.

Età: *Campaniano p.p.*



Calcari ciclotemici a requienie (CIR)

Affiorano lungo tutta la dorsale di Colle Savente tra il cimitero ed il centro sportivo dell'Incoronata (Fig. 16), al Colle Mitra ed alle estreme propaggini nord-occidentali del Colle Scipione. Il limite inferiore è visibile nel versante occidentale del Colle Mitra, dove corrisponde a una superficie erosiva che mette a diretto contatto i *calcari ciclotemici a requienie* con i sottostanti

calcari a rudiste e orbitoline. Anche il limite superiore è marcato da livelli emersivi dolomitizzati di colore verdastro e giallastro, che separano i *calcari ciclotemici a requienie* dai *calcari cristallini* (CTN) datati Campaniano *p.p.* – Maastrichtiano dimostrando un'ampia lacuna comprendente tutti i termini equivalenti al 1° orizzonte *bauxitico*, ai *calcari intrabauxitici* e ai *calcari a radiolitidi*. Lo spessore stimato dell'unità in esame è valutabile intorno ai 60 m.

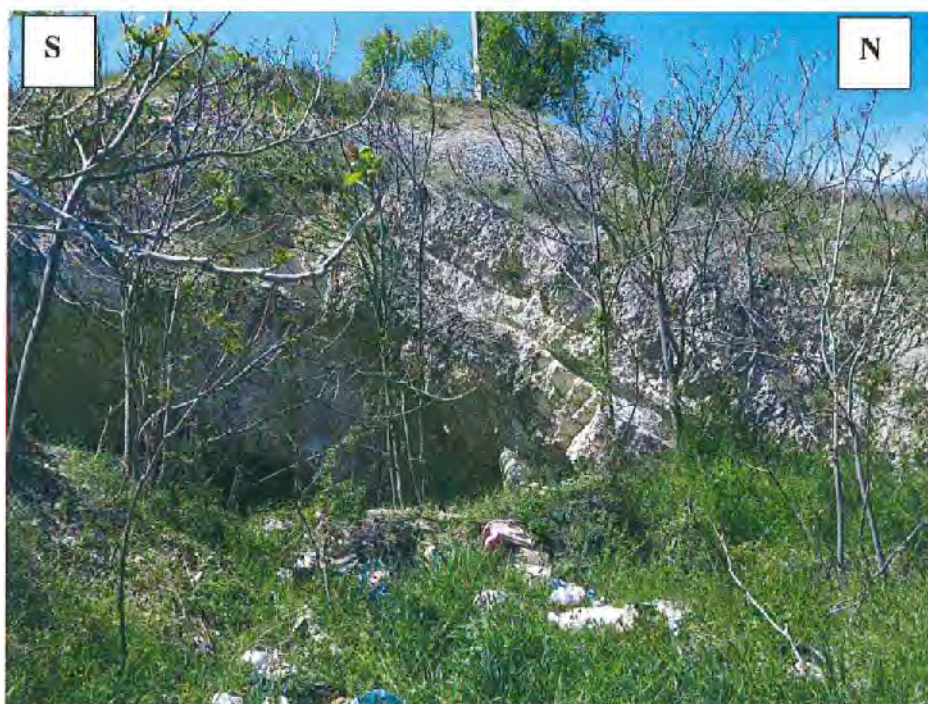


Figura 16 – Affioramento di *Calcari ciclotemici a requienie* lungo il versante occidentale di Colle Savente in prossimità del cimitero.

L'unità è costituita da *mudstones-wackestones* bianco-avana e da *grainstones* a peloidi beige, organizzati in motivi *shallowing upward*, con strati medi (0.3-0.50m) e spessi (1-1.5m). Sulla base di tali caratteristiche, dal punto di vista litotecnico tali depositi fanno riferimento alle unità lapidee (B) ed in particolare alla categoria B1 che comprende rocce stratificate strutturalmente ordinate caratterizzate da strati medi (10-30 cm), spessi (30-100 cm), molto spessi (100 – 300 cm) (Linee Guida MZS Regione Abruzzo, 2012).

Alla base dei *calcari ciclotemici a requienie* sono presenti calcari brecciati costituiti da clasti micritici; nella parte inferiore dell'unità prevalgono i *grainstones* a peloidi, mentre in quella intermedia prevalgono i *mudstones* e *wackestones*. Tra la parte intermedia e quella superiore della unità sono presenti *floatstones* a resti di requienidi, ricchi in miliolidi. La parte superiore dei *calcari ciclotemici a requienie* è caratterizzata da *mudstones* e *wackestones* con strutture da disseccamento, organizzate in pacchi metrici di strati a tendenza *shallowing upward*. Al tetto di tali pacchi si

rinvengono costantemente superfici di esposizione subaerea evidenziate da orizzonti fortemente arrossati. Verso l'alto la frequenza di tali orizzonti aumenta, mentre diminuisce lo spessore dei pacchi a *mudstones* e *wackestones* e quello dei singoli strati.

Sulla base delle caratteristiche sopra descritte, l'ambiente di sedimentazione dei *calcari ciclotemici a requienie* può essere riferito a condizioni variabili tra il subtidale e il continentale.

Il contenuto micropaleontologico è caratterizzato da: *Dictyoconus algerianus* CHERCHI & SCHROEDER, *Cribellopsis arnaudae* CHIOCCHINI, *Simplorbitolina aquitanica* (SCHROEDER & POIGNANT), *Orbitolina* (*Mesorbitolina*) cf. *texana* (ROEMER), *Archaealveolina reicheli* (DE CASTRO), *Salpingoporella turgida* RADOICIC, *Garwoodia fluegeli* DRAGASTAN. L'unità comprende la biozona a *Archaealveolina reicheli* (per l'area di Colle Mitra anche la biozona a *Salpingoporella dinarica* p.p.) e la parte iniziale della biozona a Ostracoda e Miliolidae.

Età: *Aptiano inferiore p.p.* - *Albiano p.p.*



Calcari a rudiste e orbitoline (RDO)

Affiora esclusivamente lungo il versante occidentale del Colle Mitra, dove il suo limite superiore è definito dal passaggio brusco ai *calcari ciclotemici a requienie* (CIR), per uno spessore di circa 150 m.

Nel complesso, sono costituiti da *grainstones* e *rudstones* biodetritici bianchi, rosati e grigiastri, talora dolomitizzati, in strati da medi a spessi (fino a 2 m) e *wackestones* e *packstones* a frammenti di rudiste, in strati da sottili a medi. Saltuariamente, si intercalano strati da sottili a medi di *mudstones* con strutture da disseccamento e *grainstones* a peloidi. Sulla base di tali caratteristiche, dal punto di vista litotecnico tali depositi fanno riferimento alle unità lapidee (B) ed in particolare alla categoria B1 che comprende rocce stratificate strutturalmente ordinate caratterizzate da strati medi (10-30 cm), spessi (30-100 cm), molto spessi (100 – 300 cm) (Linee Guida MZS Regione Abruzzo, 2012).

Il biodetrito è costituito da frammenti di rudiste, gasteropodi, cchinodermi, bivalvi, coralli e da orbitoline. Queste ultime caratterizzano tipici livelli di *grainstones* bianchi e rosati, ad elementi ben arrotondati. Alla base, sono presenti caprotine che diventano estremamente rare verso l'alto, dove invece diventano frequenti le caprine e le requienie, che talora si presentano in colonie isolate in posizione di vita.

L'ambiente di sedimentazione si presenta articolato, raggruppando caratteristiche tipiche del margine sabbioso, di "margine biocostruito" rappresentato da locali e isolati *patch-reefs* a rudiste, con influenze del subtidale e del supratidale.

L'associazione micropaleontologica (*Orbitolina (Conicorbitolina) conica* D'ARCHIAC, *Orbitolina (Mesorbitolina) cf. texana* (ROEMER), *Palorbitolina lenticularis* (BLUMENBACH), *Paleodictyoconus cf. arabicus* (HENSON), *Lithocodium aggregatum* ELLIOTT, *Macroporella incerta* SOKAC, *Rivularia lissaviensis* (BORNEMANN), *Salpingoporella turgida* RADOICIC) permette di attribuire l'unità in esame alla parte superiore della biozona a *Lithocodium aggregatum* e alla biozona a *Orbitolina*.

Età: *Barremiano superiore – Cenomaniano p.p.*



Calcareniti e calcari a radiolari e resti filamentosi, membro sup. (CRF1)

Affiora nell'area di Ponte La Torre, alla terminazione orientale di Monte San Cosimo posta in destra idrografica del Fiume Sagittario. È rappresentato dall'alternanza tra *wackestones* e *packstones* nocciola, più frequenti verso la base e da *packstones* a ooidi, peloidi e frammenti di echinodermi e coralli, beige e biancastri, che diventano più frequenti nella parte alta della successione, dove s'intercalano anche *rudstones* bioclastici, talora grossolani, in cui sono ancora riconoscibili frammenti di coralli ed ellipsactinie.

I depositi che caratterizzano questa unità indicano ambienti compresi tra il bacino prossimale e la scarpata esterna.


Dal punto di vista litotecnico tali depositi fanno riferimento alle unità lapidee (B) ed in particolare alla categoria B1 che comprende rocce stratificate strutturalmente ordinate caratterizzate da strati medi (10-30 cm), spessi (30-100 cm), molto spessi (100 – 300 cm) (Linee Guida MZS Regione Abruzzo, 2012).

La massima estensione stratigrafica di questa unità comprende l'intervallo Toarciano *p.p.*– Titonico. Localmente, il tetto di tale unità può spingersi anche fino ai livelli basali del Cretacico (Berriasiano *p.p.*).

Il contenuto paleontologico è dato da: Echinodermata, Hydrozoa, Anthozoa, Bryozoa, Porifera (spicole), Ammonoidea, “*Posidonia-Bositra*”, *Aptychus* sp., *Saccocoma* sp., *Colomisphaera Carpathica* BORZA, *Tubiphytes morronensis* CRESCENTI, *Gutnicella cayeuxi* (LUCAS), *Protopeneroplis striata* WEYNSCHENK, *Mohlerina basiliensis* MOHLER. L'unità si estende da parte della biozona a *Posidonia Bositra*, *Palaeodasycladus*, Anthozoa e Hydrozoa alla biozona a *Saccocoma* e *Tubiphytes morronensis* e localmente fino alla parte inferiore della biozona a *Crassicollaria*, *Calpionella*, *Lithocodium aggregatum* e *Tubiphytes morronensis*.

Bajociano - Titoniano superiore.





Calcari a *Palaeodasycladus* (CPL)

Affiorano nel versante occidentale del Morrone ad est di Badia – Fonte d'Amore, lungo il costone dell'Eremo di S. Onofrio. Si presentano quasi completamente dolomitizzati, mentre dove sono parzialmente risparmiati dalla dolomitizzazione, si osserva una organizzazione definita da prevalenti dolomie e calcari dolomitici, con intercalazioni di *packstones* e *wackestones*, talvolta con frequenti strutture da disseccamento. Nei litotipi calcarei si riconoscono oncoidi, ooidi, frammenti di bivalvi e di gasteropodi e alghe dasicladacee.

Dal punto di vista litotecnico tali depositi fanno riferimento alle unità lapidee (B) ed in particolare alla categoria B1 che comprende rocce stratificate strutturalmente ordinate caratterizzate da strati medi (10-30 cm), spessi (30-100 cm), molto spessi (100 – 300 cm) (Linee Guida MZS Regione Abruzzo, 2012). In ogni caso, tale formazione è sempre caratterizzata da un elevato grado di fratturazione. Di conseguenza, nella carta delle MOPS questa unità sarà classificata come microzona a sé, distinta solo sulla base dell'alto grado di fratturazione.

L'ambiente di sedimentazione è riferibile a condizioni che variano dal subtidale all'intertidale.

La presenza di ampi intervalli dolomitizzati non permette un preciso inquadramento biostratigrafico e litostratigrafico di questa unità che potrebbe includere anche intervalli assimilabili al *calcare massiccio*. Essa, comunque, anche per analogia con altre aree di affioramento, e per i rapporti con le unità soprastanti, viene riferita al *Sinemuriano superiore*.



5.1.2. Unità Geologiche Continentali (e di Transizione)



Deposito di frana (antico) (fra-a)

È costituito da breccie caotiche ad elementi calcarei piuttosto angolosi, immersi in una matrice fine marnosa biancastra, con blocchi il cui diametro raggiunge circa 2-3 metri e raramente dell'ordine della decina di metri (**Fig. 17**). Localmente si osservano estesi ammassi calcarei, con l'originaria organizzazione e stratificazione. Le facies e la litologia dei blocchi calcarei, permettono di riferire i depositi ad un antico corpo di frana proveniente dal versante del Monte Morrone. Lo spessore affiorante dei depositi di paleofrana risulta essere di circa 100 m, mentre non risulta definito lo spessore complessivo.



Figura 17 - Zona industriale di Sulmona, nei pressi dello stabilimento FIAT (353 m s.l.m.): blocco calcareo di dimensioni decametriche.

Sono in appoggio sulle Unità Geologiche Marine del versante; verso la piana sono in rapporti di sovrapposizione ed eteropia con i limi lacustri non affioranti. Sui depositi di frana antica sono in appoggio i depositi alluvionali terrazzati e di conoide alluvionale.

Affiora lungo il versante del Monte Morrone e presso la zona industriale di Sulmona (**Fig. 18**).



Figura 18 - Zona industriale di Sulmona, nei pressi dello stabilimento FIAT (circa 360 m s.l.m.): brecce calcaree ad elementi calcarei da angolosi a subangolosi, di dimensioni da millimetriche a decimetriche, immersi in matrice sabbio-limosa giallastra.

Tali depositi sono riferiti nel Foglio Geologico 369 Sulmona al Supersistema di Aielli-Pescina (AP) (APAT, 2006) e in Miccadei et al. (1999) ai depositi di conoide alluvionale della “Terrazza alta di Sulmona” (8b).

L’età dei depositi è riferibile al *Pleistocene Medio*.



Deposito di versante (antico) (ver-a)

Comprende brecce e conglomerati calcarei da debolmente a ben cementati, eterometrici, con clasti da decimetrici a metrici, da angolosi a sub-arrotondati, in matrice sabbiosa e ghiaiosa fine (**Fig. 19**); sono presenti frequenti blocchi plurimetrici e si intercalano livelli e lenti sabbiose da centimetriche a decimetriche. Sono disposti in assetto caotico o blandamente stratificati. Sono riferibili a depositi di versante ma passano localmente a depositi tipo debris flows e conoide alluvionale. Lo spessore affiorante è di circa 30 m; lo spessore massimo potrebbe superare i 70 m.

Dal punto di vista litotecnico tali depositi fanno riferimento alle unità granulari cementate (C) e in particolare all’unità C1 riferibile a brecce e conglomerati clasto-sostenuti (Linee Guida MZS Regione Abruzzo, 2012).



Figura 19 - Località Fonte d'Amore, in corrispondenza di uno sbancamento di una cava dismessa (circa 400 m s.l.m.): breccie e conglomerati calcarei eterometrici, da angolosi a subarrotondati, immersi in matrice sabbiosa e ghiaiosa fine, e che presentano stratificazione poco pronunciata verso valle.

Il limite superiore è una superficie erosiva profondamente rimodellata su cui poggiano i depositi di conoide alluvionale (at2) e detriti di falda (fal-a) più recenti; il limite inferiore non è osservabile in affioramento; lateralmente il deposito è in appoggio sui calcari delle Unità Geologiche Marine lungo i piani di faglia del Monte Morrone.

Affiora lungo il versante del Monte Morrone ad est dell'area di Fonte d'Amore.

Nel Foglio Geologico 369 Sulmona e in Miccadei et al. (1999) tali depositi non sono distinti rispetto ai depositi alluvionali terrazzati circostanti.

L'età dei depositi è riferibile al *Pleistocene Medio*.



Deposito lacustre e palustre (antico) (lac) (non affiorante)

È costituito da un'alternanza di limi sabbiosi di colore avana, limi argillosi e argille grigie, contenenti lenti di conglomerati carbonatici, in abbondante matrice limosa, di spessore da centimetrico a plurimetrico. Sono presenti, localmente, orizzonti di torba nerastra, con spessore compreso tra 10 cm e 50 cm. Lo spessore osservato (unicamente in sondaggio) è di oltre 80 m, mentre lo spessore complessivo potrebbe superare i 200 m.

Dal punto di vista litotecnico tali depositi fanno riferimento alle unità coesive (F) e in particolare all'unità F4 riferibile ad argilla – limosa moderatamente consistente (IV) (Linee Guida MZS Regione Abruzzo, 2012).

Tali litotipi non sono affioranti nell'area di studio perché coperti da Unità Geologiche Continentali più giovani (depositi alluvionali terrazzati, coltre eluvio colluviale, depositi di versante) ma sono stati incontrati in sondaggio; sono in complessi rapporti di eteropia con i depositi di frana antichi; il limite inferiore non è osservabile ma dovrebbe corrispondere al contatto a profondità elevate (localmente >200 m) con le Unità Geologiche Marine o con depositi di versante antichi.

Tali depositi sono riferiti nel Foglio Geologico 369 Sulmona al Supersintema di Aielli-Pescina (AP) (APAT, 2006) e in Miccadei et al. (1999) ai depositi palustri di Pratola Peligna (11).

L'età dei depositi è riferibile al *Pleistocene Medio*.



Deposito alluvionale terrazzato (primo ordine) (at1)

È costituito da conglomerati da clasto-sostenuti a matrice-sostenuti con clasti carbonatici e, solo localmente, arenacei (valle del Fiume Vella, Sulmona), ben arrotondati, di dimensioni variabili da centimetriche a decimetriche; sono caratterizzati da stratificazione pianoparallela, stratificazioni incrociate piane e concave. All'interno dei depositi si intercalano lenti e/o livelli di sabbie e limi, rari nella parte meridionale, frequenti nella parte settentrionale (fino a un rapporto 1:1 tra livelli conglomeratici e livelli sabbioso-limosi); talora, sono presenti sabbie vulcanoclastiche. Lo spessore è variabile da circa 10-20 m nella zona settentrionale a circa 30-40 m nella zona meridionale.

Dal punto di vista litotecnico, i depositi riscontrati nella zona sud fanno riferimento alle unità granulari non cementate o poco cementate (E) e in particolare all'unità E2 riferibile a ghiaieaddensate (I) con frazione fine interstiziale non coesiva (b), mentre i depositi rilevati nella zona nord fanno riferimento alle unità granulari non cementate o poco cementate (E) e in particolare all'unità E3 riferibile alle ghiaie-sabbiose moderatamente addensate (II), con frazione fine interstiziale non coesiva (b) (**Figg. 20 e 21**).

È in appoggio con contatto erosivo, in base a quanto riscontrato in sondaggio, sui depositi lacustri e palustri non affioranti. Il limite superiore è costituito dalla superficie topografica, ma spesso i depositi sono coperti dalla coltre eluvio colluviale e nelle zone abitate da estesi depositi antropici con spessori variabili fino a oltre 4-5 m.

Affiora diffusamente in tutta l'area formando un ampio pianoro a quote degradanti da circa 430 m nel settore meridionale a circa 350 m nel settore settentrionale, terrazzato da 30 m a 60 m sul fondovalle attuale.



Figura 20 – Poco a sud di località Campo di Fano (398 m s.l.m.): conglomerati da clasto-sostenuti a matrice-sostenuti costituiti da elementi calcarei eterometrici, da arrotondati a subarrotondati, con all'interno livelli e lenti di sabbie fini.



Figura 21 – Zona industriale di Sulmona, nei pressi dello stabilimento FIAT (circa 357 m s.l.m.): conglomerati da clasto-sostenuti a matrice-sostenuti costituiti da elementi calcarei eterometrici, da

subangolosi asubarrotondati, in matrice sabbiosa; nella parte bassa dell'affioramento è presente una lente sabbiosa/sabbioso-limosa; nella parte alta è presente una coltre eluvio-colluviale limoso-sabbiosa, di colore brunastro, spessa circa 50 cm.

Tali depositi sono riferiti nel Foglio Geologico 369 Sulmona al Sintema di Catignano (ACT)(APAT, 2006) e in Miccadei et al. (1999) ai depositi fluviali della “terrazza alta di Sulmona”(8a).

L'età dei depositi è riferibile al *Pleistocene Medio-Superiore*.



Deposito alluvionale terrazzato (secondo ordine) (at2)

Comprende depositi alluvionali affioranti lungo le valli del Fiume Vella, del Fiume Gizio e del Fiume Sagittario e da depositi di conoide alluvionale affioranti nella parte meridionale e orientale dell'area alla base dei versanti del Monte Genzana (conoide di Introdacqua) e del Monte Morrone (conoidi del Morrone) e nella zona di Pacentro (conoide di Pacentro).

I depositi alluvionali sono costituiti da conglomerati con clasti prevalentemente calcarei, ben arrotondati, di dimensioni da centimetriche a decimetriche, con intercalazioni di lenti e livelli di sabbie di spessore decimetrico; sono disposti in stratificazioni incrociate (**Fig. 22**).

Lo spessore dei depositi è variabile da 10 a 20 m. Le quote di affioramento sono comprese tra 320 m, a nord, e 425 m, a sud. Il limite superiore di questi depositi coincide con la superficie topografica ed è di natura deposizionale. Questi depositi sono terrazzati a 15-20 m sul fondovalle attuale.

I depositi di conoide alluvionale sono rappresentati da conglomerati e breccie con clasti calcarei eterometrici, contenenti elementi fino a 2-3 m di diametro (conoide di Bagnaturo), con matrice sabbiosa, nei quali si intercalano livelli sabbiosi (più abbondanti al piede dei conoidi) e numerosi livelli costituiti da sedimenti di suolo spessi 10-20 cm e livelli discontinui di sabbie vulcanoclastiche di colore giallastro (**Fig. 23**). Tali depositi sono organizzati in corpi sia lenticolari che tabulari il cui spessore varia da qualche decimetro a 4-5 m. I litotipi conglomeratici sono prevalenti negli ampi conoidi del settore meridionale, mentre le conoidi situate lungo versante del Morrone sono caratterizzate in prevalenza da breccie in strati e lenti e anche da corpi caotici matrice-sostenuti (debris flow).

Dal punto di vista litotecnico tali depositi fanno riferimento alle unità granulari non cementate o poco cementate (E) e in particolare all'unità E5 riferibile a sabbie - ghiaiose poco addensate (III), con frazione fine interstiziale coesiva ma non sufficiente ad alterare il carattere granulare (c). I depositi distinti nella zona della stazione fanno invece riferimento alle unità litotecniche coesive (F)



particolare delle ghiaie in assetto caotico, costituite da ciottoli calcarei da subarrotondati a ben arrotondati, eterogenei, immersi in matrice sabbioso-limosa.

Lo spessore massimo affiorante dell'unità, osservabile in alcune cave nel settore orientale, raggiunge i 20 m, mentre lo spessore complessivo potrebbe superare i 70 m. Il limite superiore è di natura deposizionale e coincide generalmente con l'attuale superficie topografica. Il limite inferiore è costituito in genere dall'appoggio con il deposito alluvionale terrazzato di primo ordine; solo in corrispondenza dell'apice dei conoidi si può avere l'appoggio sulle Unità Geologiche Marine.

Tali depositi sono riferiti nel Foglio Geologico 369 Sulmona al Sintema di Valle Maiclama (AVM) (APAT, 2006) e in Miccadei et al. (1999) ai depositi fluviali della "terrazza bassa di Sulmona"(4) e ai depositi di conoide alluvionale (5).

L'età dei depositi è riferibile al *Pleistocene Superiore*.



Detrito di falda (antico) (fal-a)

È costituito da breccie eterometriche da centimetriche a decimetriche (localmente con blocchi metrici); si alternano intervalli privi di matrice e livelli con matrice sabbiosa calcarea; il grado di cementazione è da moderato a elevato; sono disposte in assetto clinostratificato conformemente al versante attuale (**Fig. 24**). Lo spessore complessivo è difficilmente valutabile in affioramento ma risulta sicuramente superiore a 50-60 metri e potrebbe superare 100 m.

Dal punto di vista litotecnico tali depositi fanno riferimento alle unità granulari cementate (C) e in particolare all'unità C1 riferibile a breccie e conglomerati clasto-sostenuti (Linee Guida MZS Regione Abruzzo, 2012).

Il limite superiore è costituito dalla superficie topografica o dal contatto con il detrito di falda recente (fal-b). Il limite inferiore non è osservabile in affioramento ma dovrebbe essere costituito dal contatto con Unità Geologiche Continentali più antiche; lateralmente il deposito è in appoggio sui calcari delle Unità Geologiche Marine lungo i piani di faglia del Monte Morrone.

Affiora unicamente nel settore NE dell'area di studio, alla base del versante del Monte Morrone.

Nel Foglio Geologico 369 Sulmona sono riferiti al Sintema di Valle Maiclama (AVM) mentre in Miccadei et al. (1999) tali depositi sono riferiti a *depositi di detrito di versante* e (6).

L'età dei depositi è riferibile al *Pleistocene Superiore*.





Figura 24– *Parte bassa del versante che ospita l'Eremo di S. Onofrio (525 m s.l.m.): breccie calcaree a grado di cementazione da medio ad elevato, con clasti a spigoli vivi di dimensioni da centimetriche a decimetriche; si alternano intervalli privi di matrice e livelli con matrice sabbiosa calcarea.*



Deposito alluvionale terrazzato (terzo ordine) (at3)

È costituito da sabbie e sabbie limose da fini a grossolane, sciolte o debolmente addensate, con livelli di ghiaie di spessore variabile; è blandamente stratificato (**Fig. 25**). La ghiaia è di natura calcarea, con clasti da centimetrici a decimetrici, subarrotondati. Lo spessore verificato in sondaggio può superare i 10 m.



Dal punto di vista litotecnico tali depositi fanno riferimento alle unità granulari non cementate o poco cementate (E) e in particolare all'unità E5 riferibile a sabbie - ghiaiose poco addensate (III), con frazione fine interstiziale coesiva ma non sufficiente ad alterare il carattere granulare (c) (Linee Guida MZS Regione Abruzzo, 2012).



Figura 25 – Località Bagnaturo, in sinistra idrografica del T. Vella (348 m s.l.m.): ghiaia calcarea, intensamente rimaneggiata dall'attività agraria, costituita da ciottoli calcarei arrotondati, di dimensioni centimetriche, immersi in matrice sabbioso-limosa.

Il limite inferiore non è osservabile in superficie, ma corrisponde al contatto con le unità geologiche continentali più antiche (depositi lacustri e palustri e depositi alluvionali terrazzati); il limite superiore è costituito dalla superficie deposizionale del terrazzo, posto in genere a 5-10 m sopra il fondovalle attuale.

Affiora diffusamente lungo il F. Gizio, lungo il F. Sagittario e lungo il T. Vella (ramo di Bagnaturo).

Tali depositi sono riferiti nel Foglio Geologico 369 Sulmona ai depositi olocenici (olo) (APAT, 2006) e in Miccadei et al. (1999) ai depositi fluviali della successione olocenica (1a).

L'età dei depositi è riferibile all'*Olocene* ma potrebbero svilupparsi già a partire dal *Pleistocene superiore*.



Deposito alluvionale e fluvio-glaciale (all)

È costituito da sabbie e sabbie limose avana sciolte o debolmente addensate, con lenti e livelli di ghiaie di spessore variabile a ciottoli calcarei centimetrici e decimetrici, arrotondati, in matrice limoso sabbiosa; è blandamente stratificato (**Fig. 26**).

Localmente, sul versante del Monte Morrone, forma depositi di conoide alluvionale costituiti da detrito calcareo a spigoli vivi e ghiaie subangolose in matrice limoso-sabbiosa con lenti e livelli sabbiosi.

Dal punto di vista litotecnico tali depositi fanno riferimento alle unità granulari non cementate o poco cementate (E) e in particolare all'unità E5 riferibile a sabbie - ghiaiose sciolte (IV), con frazione fine interstiziale coesiva ma non sufficiente ad alterare il carattere granulare (c) (Linee Guida MZS Regione Abruzzo, 2012).



Figura 26 - Sbancamento nei depositi alluvionali sabbioso-limosi con lenti ghiaiose in sinistra del F. Gizio, a sud-ovest del centro abitato di Sulmona.

Il limite inferiore non è osservabile in superficie, ma corrisponde al contatto con le unità geologiche continentali più antiche (depositi lacustri e palustri e depositi alluvionali terrazzati). Lo spessore verificato in sondaggio può raggiungere i 10 m.

Affiora lungo le valli del F. Gizio, del F. Sagittario e del T. Vella e lungo le vallecole secondarie.

Tali depositi sono riferiti nel Foglio Geologico 369 Sulmona ai depositi olocenici (olo) (APAT, 2006) e in Miccadei et al. (1999) ai depositi fluviali della successione olocenica (1a).

L'età dei depositi è riferibile all'*Olocene*.



Detrito di falda (fal-b)

È costituito da detriti calcarei sciolti, eterometrici, da centimetrici a decimetrici, localmente con blocchi metrici. Forma falde di detrito recenti derivanti dalla degradazione del versante calcareo. Lo spessore varia fino a oltre 5 metri (**Fig. 27**).

Dal punto di vista litotecnico tali depositi fanno riferimento alle unità granulari non cementate o poco cementate (E) e in particolare all'unità E1 riferibile a ciottoli e blocchi con elementi lapidei di dimensioni mediamente > 60 mm, sciolti (IV) e con frammenti lapidei di dimensioni maggiori (a) (Linee Guida MZS Regione Abruzzo, 2012).



Figura 27 – *Parte bassa del versante che ospita l'Eremo di S. Onofrio (510 m s.l.m.): detriti calcarei sciolti con clastidi dimensioni da centimetriche a decimetriche e localmente con blocchi metrici.*

Il limite superiore è costituito dalla superficie topografica attuale; il limite inferiore è costituito dall'appoggio sulle Unità Geologiche Continentali più antiche (prevalentemente detriti di falda antichi, fal-a) o sulle Unità Geologiche Marine calcaree.

Affiora alla base del versante carbonatico del Monte Morrone.

Tali depositi sono riferiti nel Foglio Geologico 369 Sulmona ai *depositi olocenici* (olo) (APAT, 2006) e in Miccadei et al. (1999) a *detrito di versante e con di detrito* (2).

L'età dei depositi è riferibile all'*Olocene*.



Deposito di frana (fra-b)

È costituito da depositi eterogenei ghiaiosi, sabbiosi e limosi in assetto caotico. Costituisce frane che coinvolgono depositi alluvionali terrazzati conglomeratici e depositi lacustri limoso-sabbiosi. Presentano spessori esigui fino a 5 m.

Sono presenti localmente lungo la valle del F. Sagittario e del F. Gizio.

Nel Foglio Geologico 369 Sulmona sono riferiti ai depositi Olocenici (olo).

L'età dei depositi è riferibile all'*Olocene*.



Deposito di versante (ver-b)

È costituito da detrito calcareo eterometrico sciolto a clasti angolosi in abbondante matrice limo-argillosa bruna; i clasti sono prevalentemente calcarei, di dimensione centimetrica (raramente decimetrici), angolosi o subangolosi; si intercalano rari livelli sabbiosi pedogenizzati. Sono blandamente stratificati. Lo spessore è variabile fino a oltre 5 m, in aumento verso il piede dei versanti.

Dal punto di vista litotecnico tali depositi fanno riferimento alle unità granulari non cementate o poco cementate (E) e in particolare all'unità E3 riferibile a ghiaie – sabbiose poco addensate (III), con frazione fine interstiziale coesiva ma non sufficiente ad alterare il carattere granulare (c) (Linee Guida MZS Regione Abruzzo, 2012).

Affiorano lungo i versanti più acclivi delle valli del F. Gizio, del F. Sagittario e del T. Vella, in parziale eteropia con la coltre eluvio colluviale; sono in appoggio sulle Unità Geologiche Marine carbonatiche, sui conglomerati dei depositi alluvionali terrazzati (at) e localmente sui limi dei depositi lacustri e palustri (lac) non affioranti.

Nel Foglio Geologico 369 Sulmona sono riferiti ai depositi Olocenici (olo).

L'età dei depositi è riferibile all'*Olocene*.



Coltre eluvio colluviale (col)

È costituita da depositi eterogenei, limoso-argillosi e limoso-sabbiosi, di colore bruno rossastro, con ghiaie centimetriche e decimetriche di natura calcarea; tali depositi contengono una percentuale



variabile di materiale pedogenizzato derivante dall'alterazione delle Unità Geologiche Continentali più antiche. Sono blandamente stratificati o in assetto massivo (**Fig. 28**). Presentano uno spessore variabile fino a oltre 10 m, maggiore al piede dei versanti e nell'asse delle valleciole.

Dal punto di vista litotecnico tali depositi fanno riferimento alle unità coesive (F) e in particolare all'unità F3 riferibile a limo - argilloso, coesivo, poco consistente (V) (Lince Guida MZS Regione Abruzzo, 2012).



Figura 28– Poco a sud della zona di confluenza F. Gizio - F. Sagittario (348 m s.l.m.): deposito incoerente costituito da ghiaie in assetto caotico, con elementi prevalentemente calcarei da ben arrotondati a subarrotondati, di dimensioni da centimetriche e decimetriche, immersi in matrice sabbioso-limosa brunastra.

Affiorano lungo i versanti a debole pendenza delle valli del F. Gizio, del F. Sagittario e del T. Vella, in parziale eteropia con il detrito di versante; riempiono numerose valleciole che solcano la superficie sommitale dei depositi alluvionali di primo ordine; sono in appoggio sulle Unità Geologiche Continentali più antiche, e in particolare sui conglomerati dei depositi alluvionali terrazzati (at) e localmente sui limi dei depositi lacustri e palustri (lac) non affioranti.

Tali depositi sono riferiti Nel Foglio Geologico 369 Sulmona ai depositi Olocenici (olo) (APAT, 2006) e in Miccadei et al. (2009) alle coperture colluviali ed eluviali (3)

L'età dei depositi è riferibile all'*Olocene*.



Discarica (dis)

È costituita essenzialmente da materiali eterogenei di discarica di inerti e/o di rifiuti solidi urbani; sono intercalati a livelli di detrito calcareo e suolo riportati. Lo spessore di tali materiali è stato osservato in affioramento fino a oltre 10 ed è stimabile per un totale superiore a 20 m.

Dal punto di vista litotecnico tali depositi fanno riferimento all'unità G (terreni contenenti resti di attività antropiche) (Linee Guida MZS Regione Abruzzo, 2012).

Si individuano nel settore orientale dell'area e costituiscono il riempimento di cave dimesse. Sono in appoggio su depositi alluvionali terrazzati e/o sui limi dei depositi lacustri e palustri.

L'età dei depositi è riferibile in generale all'*Olocene*, ma si tratta di materiali accumulati nelle ultime decine di anni al massimo.



Deposito antropico (ant)

Nella zona del centro storico di Sulmona, è costituito da materiali eterogenei, disposti in assetto caotico, con ghiaie, sabbie, materiali di suolo, frammenti di laterizi (anche di epoca romana nella zona del centro di Sulmona) e, localmente, rifiuti inerti e solidi urbani. Lo spessore varia da circa 3 m a oltre 5 m; localmente può arrivare a oltre 10 m. Si individua diffusamente nel centro di Sulmona, in particolare nell'area dell'antica città di epoca romana (tra Piazza Garibaldi e Piazza Tresca), lungo le scarpate che bordano la città e nella zona della Stazione di Sulmona (**Figg. 29 e 30**). Sono in appoggio sulle Unità Geologiche Continentali. Sono legati alla progressiva rielaborazione e stratificazione del tessuto urbano del centro storico dall'epoca romana a quella medioevale fino ai tempi recenti e localmente ai lavori ferroviari, stradali e per opere principali.

Nell'abitato di Sulmona (sia centro che aree periferiche) e nella zona industriale, sono stati osservati depositi antropici costituiti da materiali eterogenei con ghiaie, sabbie, materiali di suolo, frammenti di laterizi, in assetto caotico con spessore variabile tra 1 e 3 m; localmente possono affiorare le litologie sottostanti (in genere costituite da depositi alluvionali terrazzati del primo ordine, at3) in corrispondenza di sbancamenti e tagli stradali. Sono legati al movimento terra, agli sbancamenti e ai terrapieni realizzati nelle zone di intensa urbanizzazione.

Dal punto di vista litotecnico i depositi antropici fanno riferimento all'unità G (terreni contenenti resti di attività antropiche) (Linee Guida MZS Regione Abruzzo, 2012).

L'età dei depositi è riferibile in generale all'*Olocene*, ma si tratta di materiali accumulati dall'epoca romana ad oggi.





Figura 29 – *Versante occidentale su cui è ubicato l'abitato di Sulmona: cedimento di un muretto a secco che mette alla luce un deposito antropico con spessore di circa 2 metri.*



Figura 30 - *Località centro storico di Sulmona, presso la chiesa della S.S. Annunziata: residuo del riporto antropico che ricopriva un'antica pavimentazione a mosaico di età romana.*

5.2. Elementi Strutturali

Gli elementi strutturali cartografati si dividono in: puntuali, lineari ed areali (**Fig. 31**).

Gli elementi puntuali sono rappresentati dalle giaciture misurate in corrispondenza dei depositi carbonatici affioranti presso Colle Savente.

Gli elementi lineari descrivono le strutture tettoniche dell'area rappresentate da: faglie dirette non attive certe, come quelle che coinvolgono la dorsale di Colle Savente, faglie dirette attive e capaci certe, quando affioranti, e sepolte al di sotto delle coperture (es., faglia sommitale del Monte Morrone); faglie dirette potenzialmente attive e capaci, come le faglie indicate alla base del Monte Morrone, la cui localizzazione è incerta. La problematica delle faglie attive e capaci e di quelle potenzialmente attive e capaci sarà trattata estesamente nel capitolo riferito alle zone di instabilità (Cap. 8).

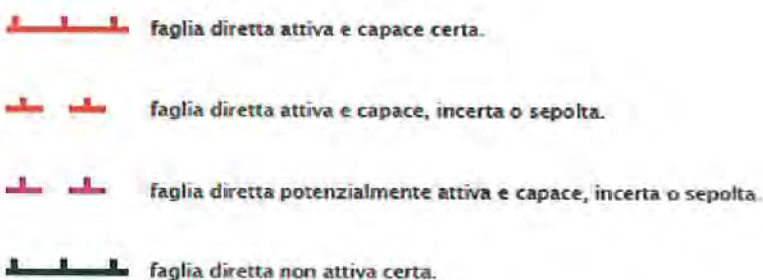
Gli elementi strutturali areali forniscono informazioni relative al grado di fratturazione (Jv) degli ammassi rocciosi. In particolare, nell'area in esame sono state cartografate zone cataclastiche lungo il versante del Monte Morrone, e in corrispondenza di un limitato affioramento di substrato carbonatico alla terminazione orientale di Monte San Cosimo.

Elementi Tettonico-Strutturali

Elementi Puntuali



Elementi Lineari



Unità Jv



Figura 31 – Simbologia utilizzata nella Carta Geologico-Tecnica per individuare gli elementi tettonico-strutturali.



5.3. Elementi Geomorfologici

Sono stati distinti i seguenti elementi geomorfologici (Fig. 32).

Gli elementi puntuali cartografati nell'area di microzonazione sono rappresentati da:

- cave, localizzate soprattutto lungo il settore basale del versante del Monte Morrone;
- cavità sepolte isolate;
- discariche, ubicate in posizione decentrata rispetto al centro abitato, nei settori sud-orientali dell'area di microzonazione.

Per quanto riguarda gli elementi lineari essi sono costituiti da:

- orli di scarpate morfologiche (sia naturali che antropiche) differenziate in base alla loro altezza (< 10 m, 10-20 m, > 20m), talora sepolte;
- orli di terrazzo fluviale anch'esse differenziate in base alla loro altezza (< 10 m, 10-20 m, > 20m);
- vallecicole ad "U", spesso sepolte; rinvenute prevalentemente in corrispondenza del centro abitato di Sumona;
- creste, ubicate essenzialmente in corrispondenza delle dorsali di Colle Savente e Colle Mitra.

Forme areali si riferiscono a:

- superfici di conoidi alluvionali, che circondano in maniera abbastanza omogenea la piana;
- Corpi di frana.

In particolare, le tipologie di frana riconosciute nell'area in esame sono rappresentate da:

- crolli e ribaltamenti, attivi ed inattivi (lungo il versante del Monte Morrone);
- franc complesse, quiescenti ed inattive, tra cui quelle evidenziate lungo le scarpate che raccordano la Terrazza Alta di Sulmona con le principali valli fluviali e quella di maggiori dimensioni, cartografata lungo il versante del Monte Morrone, ad ovest della Località Marane.



Caratteristiche Geomorfologiche

Elementi Puntuali



Cava.



Cavità.



Discarica.

Elementi Lineari



Orlo di scarpata < 10m.



Orlo di scarpata 10-20m.



Orlo di scarpata > 20m.



Orlo di terrazzo fluviale < 10m.



Orlo di terrazzo fluviale 10-20m.



Orlo di terrazzo fluviale > 20m.



Scarpata sepolta.



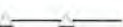
Valle sepolta larga ($C < 0,25$).



Valle sepolta stretta ($C > 0,25$).



Vallecola ad U.



Cresta.



Conoide



Corpo di frana di crollo e ribaltamento, Attivo



Corpo di frana di crollo e ribaltamento, Inattivo



frana complessa, Quiescente



frana complessa, Inattiva

Figura 32 – Simbologia utilizzata nella Carta Geologico-Tecnica per individuare gli elementi geomorfologici.



5.4. Elementi Idrogeologici



Tra gli elementi idrogeologici sono stati riportati in carta (**Fig. 33**):

- sorgenti puntuali con portate comprese tra 50-250 l/s e 250-1000 l/s.
- corsi d'acqua principali e secondari;
- aree con falda a profondità dal p.c. < 15 m., come la zona ad ovest dell'area industriale, dove affiorano depositi di terrazzo alluvionale del Pleistocene superiore (at2), e i fondavalle attuali, corrispondenti nella carta delle MOPS a zone di attenzione per liquefazione;
- specchi d'acqua lacustre.


Caratteristiche Idrogeologiche

Elementi Puntuali

Tipologia

-  Sorgente puntuale 50-250 l/s.
-  Sorgente puntuale 250-1000 l/s.

Idrogeologia_In

-  Corso d'acqua.

Elementi Areali

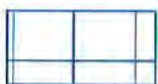

-  Area con falda a profondità dal p.c. < 15 metri.
-  Specchio lacustre.

Figura 33 – Simbologia utilizzata nella Carta Geologico-Tecnica per individuare gli elementi idrogeologici.

6. Modello del Sottosuolo

6.1. Dati Preesistenti

Scarsissimi sono i dati di sottosuolo e geofisici pubblicati o pubblici relativi alla porzione profonda del bacino (superiori ai 30 m). Prima dell'esecuzione del sondaggio profondo (435 m) eseguito (durante le fasi conclusive del presente lavoro) dalla ditta Medibev per ricerca d'acqua nella zona industriale di Sulmona, i dati sulla profondità, litostragrafia e geometria del bacino erano sostanzialmente ancorati a due-tre sondaggi spinti tra i 130 e i 200 m che indicavano il raggiungimento del substrato carbonatico al di sotto delle coperture continentali sia verso i bordi che nel settore centrale del bacino (es., pozzo Campari-Crodo del 2003, n. 194 nel database allegato, indicante substrato a 190.5 m dal p.c.). Inoltre, l'unica ricostruzione 3D del bacino corrispondeva al lavoro di gravimetria di Di Filippo e Miccadei (1997).

Questo studio ha messo in evidenza uno spessore dei depositi quaternari di 500 m nel settore centro-orientale della conca (**Figg. 34 e 35**). Il sondaggio profondo di cui sopra ha confermato tale dato, attraversando dapprima depositi alluvionali e poi sedimenti lacustri fino ad una profondità di 435 m senza, tuttavia, riuscire ad intercettare il substrato carbonatico. Alla luce di questi nuovi dati, l'indicazione della presenza di substrato in corrispondenza dell'adiacente sondaggio n. 194 è risultata erronea. Ciò che era stato indicato "come roccia calcarea" nell'intervallo 190.5-200 m rappresenta, in realtà, intercalazioni di corpi ghiaioso-sabbiosi addensati all'interno dei depositi argilloso-limosi lacustri.

I dati preesistenti quindi descrivono un bacino allungato in direzione NNO-SSE e colmato da potenti spessori di depositi continentali quaternari costituiti prevalentemente da centinaia di metri di sedimenti argillosi di origine lacustre, cui si intercalano corpi ghiaiosi, al di sopra dei quali poggiano depositi alluvionali con spessori da 20 m a 60 m. Per una più approfondita descrizione si fa riferimento al paragrafo dedicato alle sezioni geologiche (6.3).



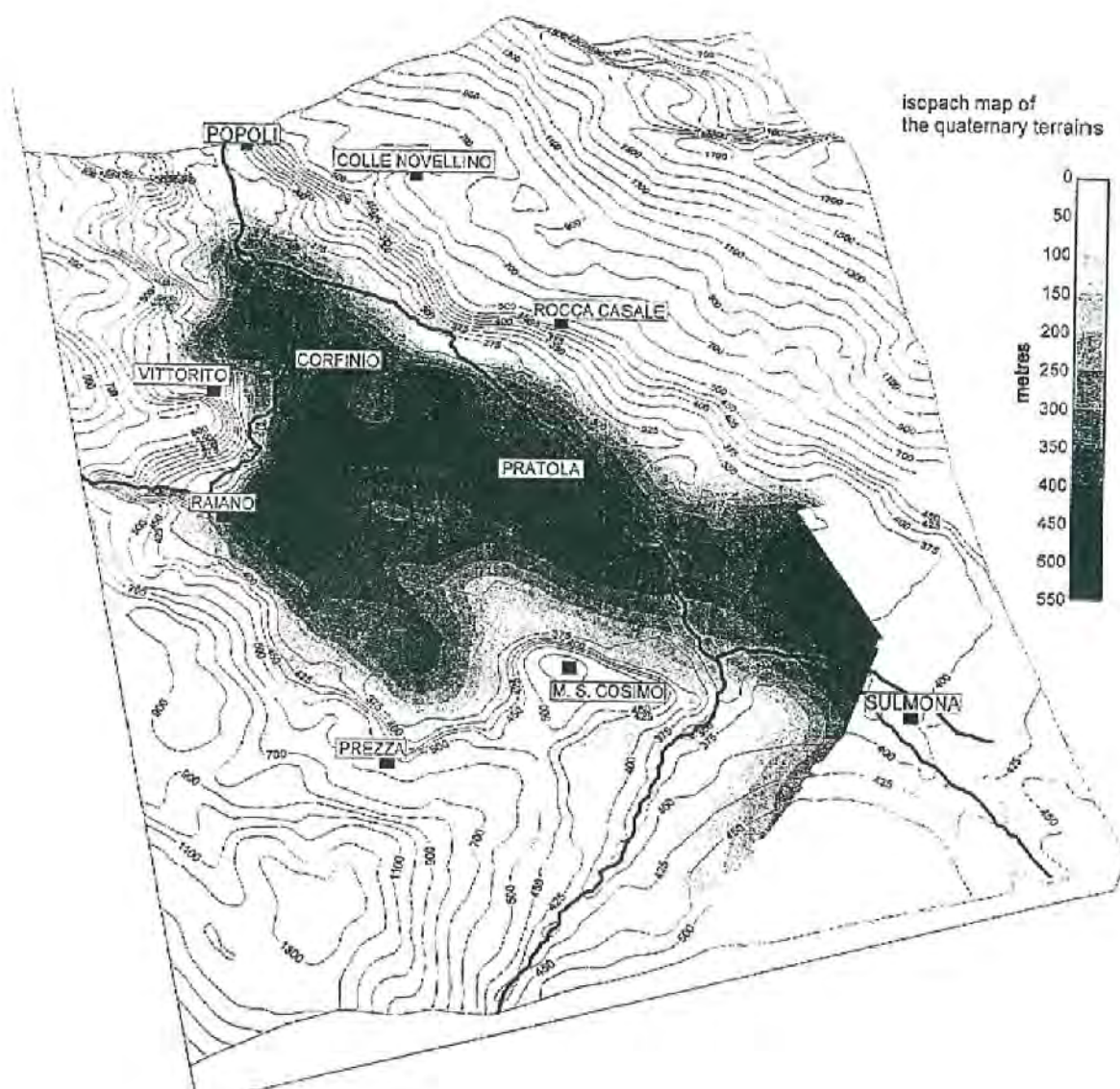


Figura 34 – *Modello tridimensionale della Conca di Sulmona con isopache dei depositi quaternari (da Di Filippo e Miccadei, 1997).*

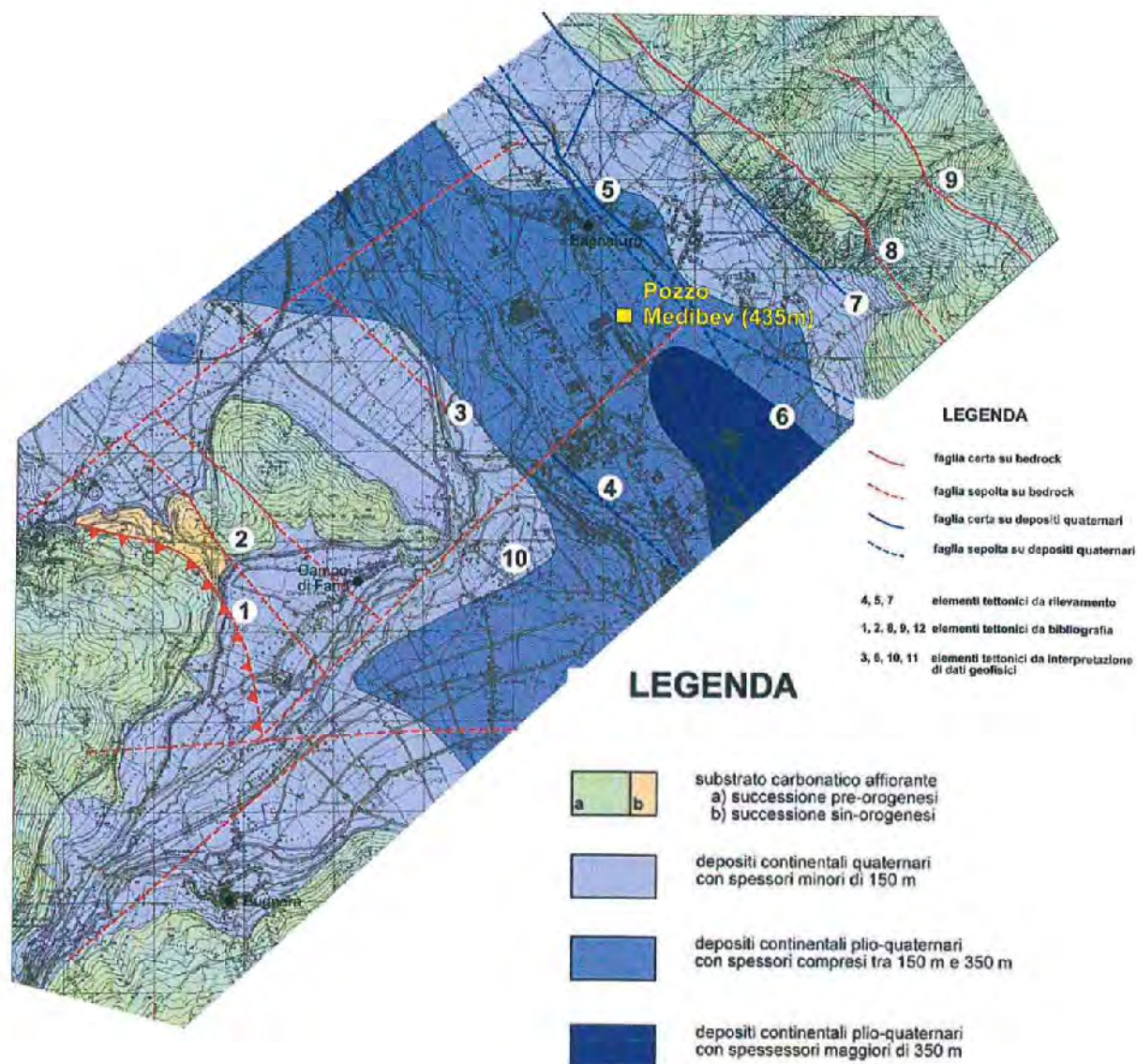


Figura 35 – Stralcio della Carta delle isopache dei depositi continentali plio-quaternari presenti al di sopra del substrato geologico marino, derivata dallo studio gravimetrico di Di Filippo e Miccadei (1997).

6.2. Dati di nuova acquisizione

Lo studio di Microzonazione Sismica di Livello 1 ha previsto una campagna di acquisizione di misure di microtremore. Le stazioni sono state distribuite in modo da garantire una copertura dell'intera area indagata (vedi Cap. 7.2). I picchi F0 ottenuti da tali misure possono essere confrontati con le stratigrafie e con i dati geologici dell'area. A tal fine, i valori di F0 registrati alle varie stazioni sono stati interpolati in modo da ricostruire delle isolinee di uguale valore di F0 (**Fig. 36**). Queste isolinee descrivono un bacino allungato in direzione NO-SE con un depocentro spostato nei settori più orientali della depressione, in corrispondenza dell'area industriale di Sulmona, in accordo con il sondaggio profondo n. 195.

Dalla **Figura 36** si evince che il bacino riduce gradualmente il suo spessore verso i settori meridionali, in corrispondenza di Colle Savente dove affiora il substrato carbonatico, mentre tende a chiudersi repentinamente verso est e verso ovest, dove i gradienti descritti dalle isolinee sono molto più fitti. Tali geometrie sono in accordo con la presenza di una o più faglie bordiere che delimitano il bacino ad est e suggeriscono, analogamente, la probabile presenza di ulteriori faglie lungo il versante orientale del Monte S. Cosismo.

In definitiva, anche le misure di microtremore permettono di individuare un bacino asimmetrico che si sviluppa in direzione NO-SE con una geometria di tipo *halfgraben* ed è bordato da faglie normali ad est e probabilmente da strutture antitetiche ad ovest.

Il confronto tra le misure di microtremore e i dati gravimetrici di Di Filippo e Miccadei (1997) è riportato in **Fig. 37**.

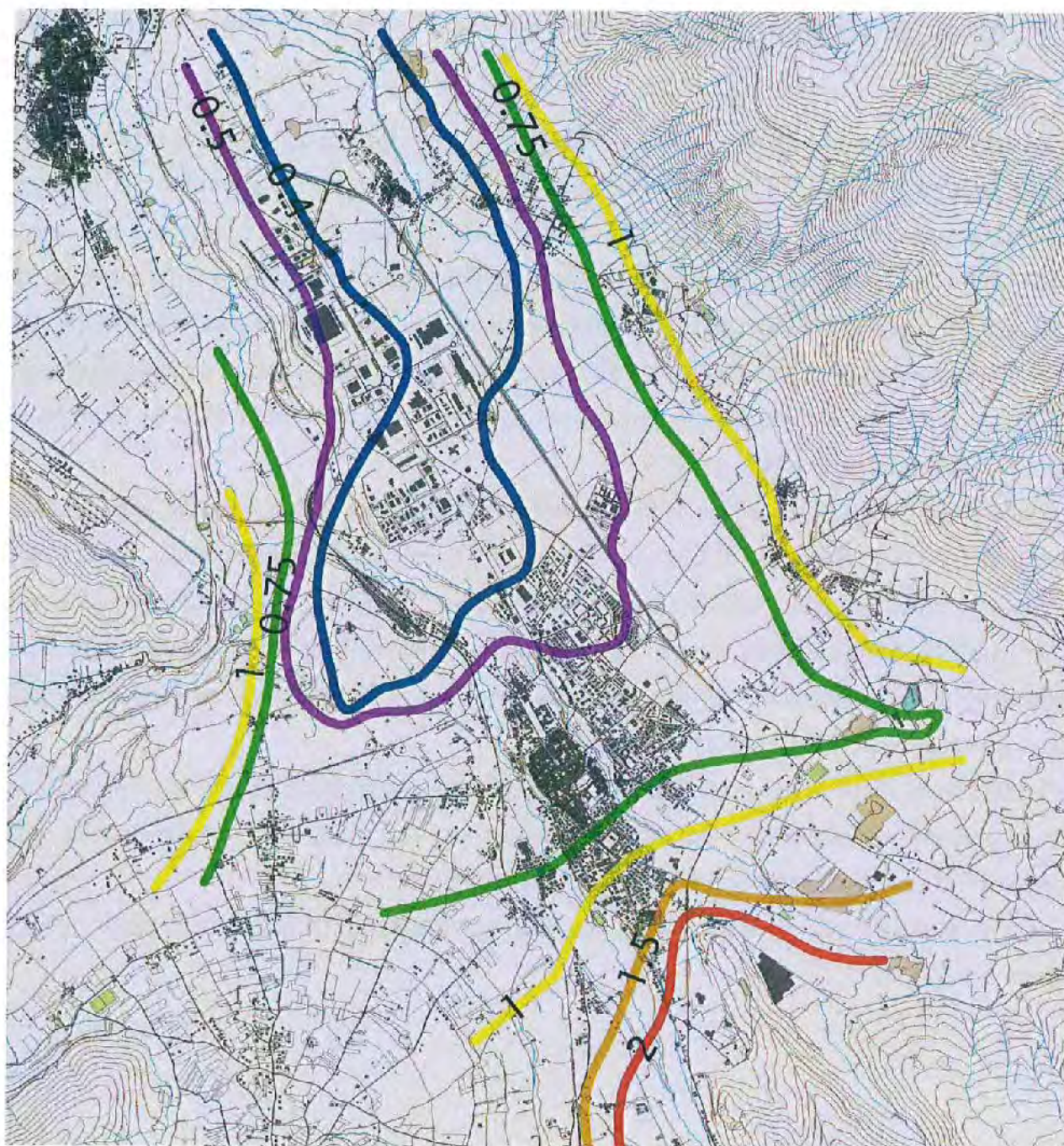


Figura 36 – Isolinee di uguale valore di F_0 ricostruite dall'interpolazione delle misure di microtremore acquisite ex-novo per l'area in esame.

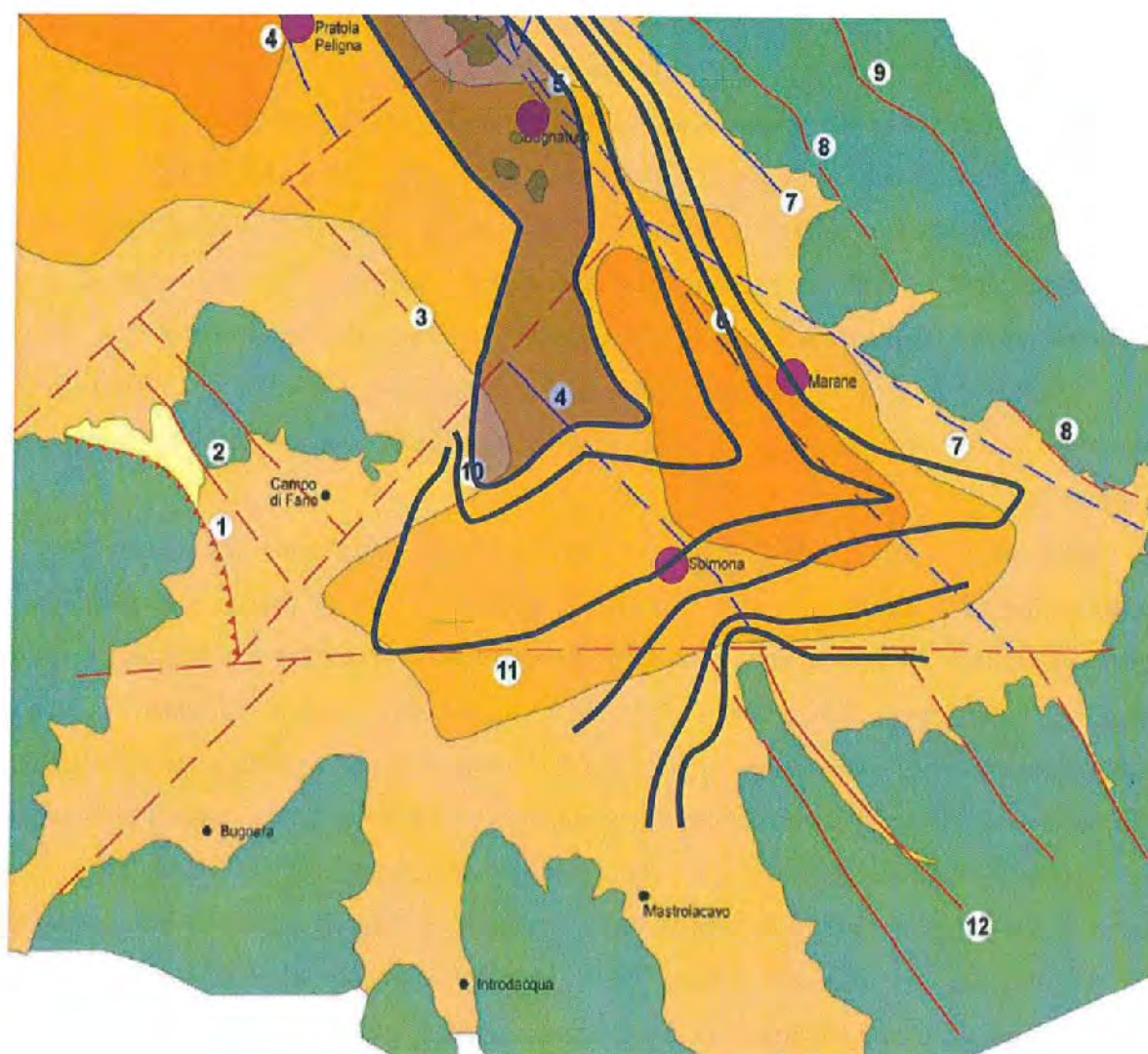


Figura 37 – Confronto tra le isobate (in giallo/arancione) dei depositi continentali da Di Filippo e Miccadei (1997) e l'andamento delle curve di uguale valore di frequenza di risonanza (linee blu) ottenuto in questo lavoro dalle misure di rumore sismico (HVSR). L'area ombreggiata tra Bagnaturo e Campo di Fano indica una non evidente concordanza tra la zona depocentrale ricavata dai dati HVSR e quella dedotta dalla gravimetria (aree in arancione), suggerendo la necessità di ulteriori indagini volte alla ricostruzione profonda 2D e 3D del bacino (es., linee di sismica a riflessione).

6.3 Sezioni Geologico-Tecniche

La sintesi del modello 2D (3D) del sottosuolo è stata ricostruita attraverso 11 sezioni geologico-tecniche di cui nove (A-A'; B-B'; C-C'; D-D'; E-E'; F-F'; G-G'; H-H'; I-I'; J-J') in direzione circa NE-SO, trasversalmente allo sviluppo assiale della piana di Sulmona, intersecate da ulteriori due sezioni longitudinali (L-L'; M-M'), a direzione circa NNO-SSE. Oltre che all'asse del bacino ed all'allineamento dei rilievi carbonatici le sezioni risultano circa trasversali e longitudinali al corso delle principali aste fluviali ed alle corrispondenti scarpate di terrazzo, nonché alle tracce delle faglie dirette attive e capaci. Inoltre, i siti dei transetti sono stati selezionati in base alla maggiore presenza di dati di sottosuolo (in particolare: sondaggi, down-hole e stazioni HVSR). Infine, le sezioni sono state eseguite in modo da coprire adeguatamente le principali aree perimetrate per la microzonazione.

La ricostruzione delle varie unità geologico-tecniche (spessori, geometrie, ecc...) e l'estrapolazione in profondità è stata effettuata, seppur con alcune incertezze, partendo dalle indagini disponibili. In particolare, la correlazione eseguita attraverso le stratigrafie di tutti i sondaggi disponibili ha permesso di rappresentare le variazioni litologiche all'interno delle singole unità riconosciute dal rilevamento di superficie e di estenderle con una buona approssimazione fino alla profondità di circa 20-30 m. A questo proposito, è doveroso notare come l'abbondanza di dettagli nella stratigrafia del sottosuolo corrisponda necessariamente alle zone con maggiore presenza di sondaggi. A titolo di esempio, le intercalazioni e lenti sabbioso-limose e/o limoso-argillose all'interno dei depositi ghiaiosi della Terrazza Alta di Sulmona (at1) risultano ben rappresentate nei tratti di sezione in cui ricadevano numerosi sondaggi. Tuttavia, ciò non implica che dove la presenza di sondaggi è scarsa o assente non siano presenti intercalazioni di sedimenti fini (soprattutto nel settore centro settentrionale del territorio comunale), ma solo che in questo caso non è stato possibile identificare ed estrapolare lateralmente i suddetti orizzonti.

Attraverso le misure di microtremore, invece, si è cercato di "ottenere un'idea" del probabile limite copertura/substrato all'interno del bacino (vedi sezioni longitudinali), non essendo esso mai stato intercettato da alcuna prova geognostica. Attraverso i sondaggi, inoltre, è stato possibile vincolare, con un adeguato livello di confidenza, la base dei depositi ghiaiosi e ghiaioso-sabbiosi attribuibili alla Terrazza Alta di Sulmona (at1) considerando, per ogni sondaggio, la presenza di limi argillosi grigi come indizio del passaggio ai sottostanti depositi lacustri (lac). Nel caso in cui i depositi at1 presentavano abbondanti livelli limosi e limoso-argillosi, rendendo difficile tale distinzione, il limite è stato definito attraverso l'incrocio tra le sezioni e cercando di interpolare i dati di sondaggi limitrofi.



In linea generale, ciò che emerge è la presenza di un bacino tettonico bordato da faglie attive, con un depocentro profondo più di 400 metri (es., sondaggio n. 195) colmato da una potente successione lacustre (lac), costituita essenzialmente da limi argillosi a cui si intercalano corpi ghiaiosi talora cementati, su cui poggiano depositi alluvionali terrazzati ghiaioso-sabbiosi del Pleistocene medio-superiore (Terrazza Alta di Sulmona, at1). Nelle valli dei fiumi che incidono questa unità si rinvengono depositi alluvionali più giovani (Pleistocene superiore-Olocene; at2, at3 e all). In prossimità dei rilievi carbonatici del M. Morrone, ad est, di Colle Savente, a sud, e del M. S. Cosimo, ad ovest, la situazione litostratigrafica è ben diversa in quanto l'apporto clastico dei detriti di falda, dei depositi di versante e delle conoidi alluvionali diviene ha dominato la sedimentazione e controllato i complessi passaggi laterali e verticali con la sedimentazione fine lacustre nel bacino.

Di seguito le sezioni vengono descritte brevemente, a partire da nord verso sud, ponendo l'attenzione sulle incertezze emerse e sugli elementi rilevanti che meriteranno un approfondimento nei livelli successivi di microzonazione.

La **sezione A-A'** attraversa la zona industriale ubicata nella porzione più settentrionale del territorio comunale di Sulmona. Sono ben visibili due ordini di terrazzo rappresentati dai depositi alluvionali ghiaioso-sabbiosi del Pleistocene medio-superiore della Terrazza Alta di Sulmona (at1) e limoso-argillosi del Pleistocene superiore della Terrazza Bassa di Sulmona (at2). Le due unità affiorano a quote differenti e sono delimitate da una scarpata dell'ordine di 50 m lungo cui sono stati riscontrati fenomeni di instabilità quiescenti. Gli spessori delle unità alluvionali terrazzate si aggirano intorno ai 10-20 m. Verso nord, importanti spessori (fino a 10 m) di resti di attività antropica si rinvengono in corrispondenza della zona di attraversamento dell'asse autostradale.

La **sezione B-B'** permette di osservare la superficie sommitale della Terrazza Alta di Sulmona (at1) bordata sia a SO che a NE da scarpate lungo le quali sono stati cartografati, come anche nel resto dell'area di microzonazione, depositi limoso-argillosi eluvio-colluviali. In questa sezione, blocchi metrici di depositi eterogenei ghiaiosi e ghiaioso-sabbiosi si rinvengono al di sopra delle alluvioni antiche e sono stati attribuiti a fenomeni franosi antichi le cui distribuzione, provenienza ed estensione appaiono incerte. Verso nord, la sezione attraversa la località di Badia Bagnaturo ubicata in corrispondenza di depositi ghiaioso-sabbiosi alluvionali recenti (all) che passano ad alluvioni del Pleistocene superiore-Olocene (at3). Tali depositi terrazzati poggiano su ghiaie sabbiose di conoide alluvionale del Pleistocene superiore (at2) passanti a depositi di conoide più antichi (at1) ed in profondità probabilmente a corpi ghiaiosi addensati o, addirittura, cementati attribuibili a depositi di versante e/o ad intercalazioni all'interno della successione lacustre (lac-E4/ver-a-C1). Una faglia potenzialmente attiva ipotizzata disloca questi depositi. Il rigetto minimo



rappresentato (come anche nelle altre sezioni) è puramente indicativo in quanto mancano dati che permettano di caratterizzare geometricamente e cinematicamente tale struttura.

La **sezione C-C'** offre una visione di insieme dell'assetto geologico-strutturale del bacino di Sulmona. Oltre agli elementi già descritti nelle sezioni A e B, la buona copertura di sondaggi nel settore centrale della sezione (che raggiungo anche elevate profondità; vedi sondaggi 194 e 195) ha permesso di evidenziare l'abbondante presenza di sedimenti limoso-argillosi all'interno dell'unità della Terrazza Alta di Sulmona (at1) e, allo stesso tempo, di distinguere corpi ghiaioso-sabbiosi molto addensati (fino a cementati), di spessore anche maggiore ai 20 m, all'interno della successione lacustre. La mancanza di ulteriori dati in questa ed in altre sezioni non ci permette di stabilire l'estensione di tali corpi, sebbene questo sia un chiaro indizio della eterogeneità che caratterizza tali sedimenti, probabilmente associabile all'alternarsi nel tempo di differenti ambienti deposizionali all'interno della piana ed all'importante interferenza con i processi dinamici che caratterizzano e caratterizzavano il versante del M. Morrone.

In questa sezione è riportato il sondaggio più profondo eseguito nell'area che, alla profondità di 435 m, non ha ancora intercettato il substrato carbonatico terminando su depositi argillosi lignitiferi.

La porzione NE della sezione permette di ricostruire in parte il complicato assetto del versante occidentale del M. Morrone. Esso è bordato da una importante faglia attiva e capace che pone a contatto il substrato carbonatico mesozoico (CPL-B1), fortemente cataclasato, con i depositi di falda e di versante antichi e recenti (ver-a, fal-a, fal-b) che passano lateralmente alle alluvioni terrazzate del Pleistocene medio-superiore (at1). Alla base del versante, tali depositi sono dislocati da una seconda faglia la cui traccia è ipotizzata. Le maggiori incertezze si localizzano nel settore compreso tra queste due strutture tettoniche. Misure di microtremore effettuate (es., SU2) non mostrano alcuna frequenza di amplificazione. Questo tipo di risposta potrebbe essere attribuito o alla presenza di substrato carbonatico (es. gradino di faglia ribassato) o di depositi di versante antichi probabilmente via via più addensati c/o cementati in profondità.

La sezione D-D', infatti, mostra come i depositi di versante (la cui presenza fino a 70 m di profondità è documentata dal sondaggio 132) risultino interdigitati ai sedimenti alluvionali e lacustri che colmano la piana. I depositi ghiaioso-sabbiosi delle alluvioni terrazzate dell'unità at1 passano poi verso sud ai coevi depositi essenzialmente ghiaiosi attribuibili all'ampio conoide alluvionale di Introdacqua.

Le sezioni dalla D-D' alla H-H' attraversano il centro storico di Sulmona che risulta ubicato in corrispondenza di un ristretto pianoro, costituito dai depositi alluvionali del Pleistocene medio-superiore (at1), bordato dalle valli dei fiumi Gizio e Vella colmate da depositi alluvionali antichi, in vari ordini di terrazzo (at2 e at3), ed attuali (all). In queste sezioni si osserva uno spessore crescente



dei depositi at1 della Terrazza Alta di Sulmona (fino a 40 m) rispetto ai settori più a nord ed una variazione delle caratteristiche litotecniche associate. Ad ovest del fiume Vella, infatti, tali depositi mostrano una minore presenza di sedimenti sabbiosi ed una prevalenza di ghiaie addensate. In queste sezioni è stato ipotizzato in profondità, nei settori orientali, il passaggio laterale tra i depositi alluvionali della Terrazza Alta di Sulmona e coevi sedimenti di conoide, in accordo anche con la presenza in affioramento di conoidi del Pleistocene superiore (at2). In queste sezioni è da sottolineare la frequente presenza di importanti spessori (fino a circa 10 m) di resti di attività antropiche (ant) in corrispondenza del centro storico, riconducibili agli strati archeologici sovrapposti della Sulmona romana e medievale.

Le sezioni I-I' e J-J' attraversano le porzioni più meridionali dell'area di microzonazione dove i depositi ghiaiosi e ghiaioso-sabbiosi del Pleistocene medio e superiore (at1 e at2) risentono sempre più della presenza di importanti conoidi alluvionali, raggiungendo spessori complessivi dell'ordine dei 60 m.

La sezione J-J' attraversa un settore in cui il bacino di Sulmona comincia a chiudersi ed affiorano piccole strutture carbonatiche (es., Colle Savente) bordate da faglie inattive (con rigetto incerto). Lungo questa sezione è stato proiettato l'unico sondaggio che intercetta il substrato carbonatico ad una profondità di 134 m dal p.c. permettendo una ricostruzione del limite coperture/bedrock confrontando anche le misure di microtremore dell'area (es. SU25). Tale sondaggio, insieme al sondaggio 1, documenta l'abbondante presenza di materiali ghiaiosi all'interno dell'unità lacustre che tendono a divenire prevalenti in prossimità dei rilievi carbonatici.

Le sezioni longitudinali L-L' e M-M' forniscono una visione d'insieme della geometria e dell'assetto del bacino. le misure di microtremore, correlate alle informazioni del sondaggio più profondo disponibile (195), hanno permesso di tentare una ricostruzione del limite coperture/substrato, mostrando come questo si approfondisca da sud verso nord. Attraverso i sondaggi e l'intersezione con le sezioni trasversali, è stato possibile ricostruire la geometria dei depositi della Terrazza Alta di Sulmona. La sommità di tale unità definisce la superficie di un ampio pianoro debolmente inclinato verso nord. Nella stessa direzione si assiste ad un graduale decremento dello spessore dei depositi e ad un passaggio da facies più ghiaiose (E2; correlato alla vicinanza alle aree sorgente di grandi conoidi che alimentano il bacino) a facies con abbondanti apporti di materiali più fini, sabbiosi (E4).

7. Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica e Frequenze di Risonanza

La Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica - Carta delle MOPS - rappresenta il prodotto di sintesi degli studi di Microzonazione Sismica di Livello 1. Essa permette di suddividere l'area investigata del Comune di Sulmona in microzone, ovvero aree ove è possibile prevedere l'occorrenza di effetti superficiali omogenei indotti dall'azione sismica.

In linea con i principi generali della MS di Livello 1 degli ICMS (2008) e delle Linee Guida Regione Abruzzo, la Carta delle MOPS di Sulmona è stata ottenuta attraverso la sintesi dei dati geologici della Carta Geologico-Tecnica e delle Sezioni Geologico-Tecniche, dei dati geognostici puntuali (sondaggi e dati geofisici) e dalla loro integrazione con i valori delle frequenze di risonanza ottenuti da misure di rumore (HVSr; acquisite appositamente per questo lavoro).

Relativamente al primo step, i criteri geologico (es., rapporti genetici di ambiente di sedimentazione, rapporti geometrici: relazioni verticali, laterali e spessori delle unità) e geomorfologico hanno permesso di estrapolare arealmente i dati litotecnici puntuali dedotti dalle indagini e dagli affioramenti anche attraverso l'elaborazione di un cospicuo numero di sezioni geologico-tecniche. I dati dei sondaggi (e dalle relative prove in situ e di laboratorio, ove disponibili) hanno consentito di delimitare in profondità i vari corpi geologici, di suddividere la stessa unità geologica in più unità litotecniche (come nel caso della Terrazza Alta e Terrazza Bassa di Sulmona: rispettivamente at1 e at2 nella Carta Geologico-Tecnica) o di accorpare unità geologiche distinte aventi caratteristiche litotecniche simili (es., at1-E4, at2-E5, at3-E5). Tali suddivisioni, in alcuni casi forse estremamente dettagliate, non hanno, tuttavia, influito negativamente nella costruzione della Carta delle MOPS, anzi, sono servite a valutare meglio i criteri attraverso i quali "raggruppare" differenti unità geologico-tecniche. In tal modo, i dati geologico-tecnicici di dettaglio, provenienti dal rilevamento e dalle indagini, non sono andati perduti e potranno fornire un vincolo prezioso nell'elaborazione dei modelli 2D e 3D di sottosuolo funzionali ai livelli 2 e 3 di MS.

A causa della complessa variabilità sia orizzontale che verticale dei terreni nelle zone al piede dei versanti carbonatici (dovuta all'interdigitazione dei depositi di conoide alluvionale e di versante/falda detritica con i sedimenti lacustri e fluviali della piana) la delimitazione delle MOPS è



stata semplificata, tenendo conto, ove disponibili, dei dati di sondaggio. La complessità delle relazioni litostratigrafiche è schematizzata nel settore orientale delle sezioni geologico-tecniche B-B', C-C', D-D', E-E', G-G', H-H' e I-I', dove i numerosi “?” riportati esprimono le forti incertezze nell'andamento degli strati nel sottosuolo, ulteriormente complicate dalla eventuale presenza di faglie attive e capaci. Queste zone necessitano di ulteriori approfondimenti con indagini e studi mirati alla ricostruzione della litostratigrafia del sottosuolo ed alla definizione degli elementi suscettibili di instabilità.

La Carta riporta anche gli elementi morfologici che possono causare **amplificazioni topografiche**, quali creste, scarpate e valli (sepolte e non), cavità. Anche in questo caso, nei successivi livelli di MS dovrà essere valutato l'effetto di tali elementi sulla risposta sismica locale.

In particolare, per quanto riguarda l'individuazione delle tracce di sezione topografica ai fini della valutazione degli effetti topografici (il DPC prescrive che le tracce dovranno passare esclusivamente per le aree urbanizzate o urbanizzabili), potranno essere utilizzate come sezioni topografiche le stesse tracce utilizzate per la realizzazione delle sezioni geologico-tecniche. Tali sezioni sono in numero sufficiente a descrivere i vari settori interessati dalle scarpate di terrazzo alluvionale e creste, in particolare, le sezioni geologico-tecniche A-A', B-B' e C-C' per la zona industriale e D-D', E-E', G-G', H-H' e I-I' per il centro abitato di Sulmona, sia in destra che in sinistra idrografica dei fiumi Vella e Gizio.

L'interazione tra la Carta Geologico-Tecnica e quella delle frequenze di risonanza dei terreni, ha permesso di suddividere il territorio comunale in due macroaree: 1) microzone ricadenti nella macroarea con $F_0 < 1$ Hz; 2) microzone comprese nella macroarea con $F_0 \geq 1$ Hz). Sebbene questa scelta abbia portato, quasi, ad una duplicazione del numero di microzone, essa è giustificata dal fatto che le aree con $F_0 \geq 1$ Hz hanno un maggior interesse ingegneristico (fenomeno della doppia risonanza).

È fondamentale notare che il limite tra le due macroaree è stato delineato dall'interpolazione, mediante giudizio esperto, delle misure di rumore sismico disponibili che, sebbene numerose e con risultati affidabili, costituiscono dati di natura “puntuale”. È chiaro che una seconda campagna di misure di rumore, ora che è stato possibile mettere a fuoco la problematica, potrà garantire un addensamento del dataset con misure mirate, ed un conseguente affinamento del limite tra le due macroaree.

È da sottolineare che tale suddivisione è stata definita solo sulla base delle misure di microtremore e pertanto deve essere trattata con la dovuta cautela. Il comportamento delle onde

sismiche in caso di terremoto, infatti, potrebbe essere molto più complesso e generare risposte differenti rispetto a ciò che è stato registrato dalle misure di microtremore. È noto come l'interazione delle onde sismiche con articolati assetti morfologici e litostratigrafici all'interno dei bacini intramontani possa generare risposte locali con amplificazioni conosciute come 2D e 3D. Pertanto, non è da escludere la possibilità che all'interno della macroarea con $F0 < 1\text{ Hz}$ (nell'attuale livello 1 di MS) si possano verificare condizioni tali da causare amplificazioni significative ai fini ingegneristici. Tale eventualità, tuttavia, potrà essere analizzata con il dovuto dettaglio e le dovute metodologie (es., analisi *weak motion*) nell'ambito del livello 3 di MS.

Secondo gli ICMS (2008), le microzone possono essere raggruppate in tre categorie principali:

1) **Zone stabili**, senza effetti di modificazione del moto sismico rispetto ad un terreno rigido (terreno caratterizzato da una velocità delle onde di taglio $V_s \geq 800\text{ m/s}$) e pianeggiante (pendenza $< 15^\circ$);

2) **Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**, dove le amplificazioni sono legate a cause litostratigrafiche, cioè alla presenza di terreni non rigidi ($V_s < 800\text{ m/s}$) con spessori $> 5\text{ m}$, e/o a cause topografiche;

3) **Zone suscettibili di instabilità (ZSI)**, nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti del terreno non escludendo anche fenomeni di amplificazione del moto. I principali tipi di instabilità sono: a) instabilità di versante, b) liquefazioni, c) faglie attive e capaci, d) cedimenti differenziali.

Le ZSI verranno trattate approfonditamente nel Cap. 8 insieme alle **Zone di Attenzione per Instabilità (ZAI)** e **Zone Potenzialmente Instabili (ZPI)**. Le ZAI descrivono aree soggette ad instabilità che, tuttavia, non avendo al livello 1 dati sufficienti per classificarle come zone effettivamente instabili, sono state indicate come Zone di Attenzione/ Zone Potenzialmente Instabili, differenziandole in maniera esplicita dalle “zone suscettibili di instabilità”. In questo modo le ZAI e le ZPI potranno, eventualmente, essere classificate come ZSI solo nel momento in cui verranno effettuati approfondimenti di tipo quantitativo, propri del Livello 3 di MS.

Lo stesso principio, anche se trattasi di elemento lineare, è stato adottato per la “faglia diretta potenzialmente attiva e capace sepolta”, che, sulla base delle evidenze geologiche, geomorfologiche e dai dati di letteratura, dovrebbe delimitare la base del versante del M. Morrone costituendo uno “*splay*” più esterno del piano principale della faglia del Morrone.

Qui di seguito sono descritte le colonne stratigrafiche rappresentative delle microzone distinte in carta, specificando le principali caratteristiche ed i rapporti stratigrafici delle unità geologico-tecniche da cui derivano. Le abbreviazioni riportate accanto ad ogni colonna corrispondono a: G =



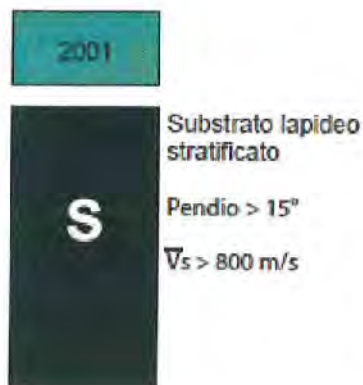
ghiaia; S = sabbia; L = limo; A = argilla; Br = breccia; Cg = conglomerato; Vs = velocità media delle onde di taglio; Sp. = spessore unità geologico-tecnica.

7.1. Zone Stabili

Nell'area indagata non sono state cartografate zone stabili. Infatti, sebbene ai margini dell'area di microzonazione esistano limitati affioramenti di terreni rigidi, riferibili sostanzialmente al bedrock geologico calcareo pre-Quaternario, questi sono caratterizzati da intensa fratturazione (es., versante del M. Morrone e versante occidentale di Colle Savente) e/o da pendenza del versante maggiore di 15°. Tali aree, quindi, sono state ricomprese nelle Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (Zona 2001 e 2099). Si ricorda che il Substrato geologico viene classificato "rigido" o "non rigido", sulla base della velocità delle onde sismiche "S" al suo interno rispettivamente superiore o inferiore a 800 m/s.

7.2. Zone Stabili Suscettibili di Amplificazioni Locali

7.2.1. Microzone dove non sono Presenti Picchi di Risonanza (F_0 Assente)



Zona 2001 – Comprende le aree di affioramento del substrato geologico “rigido” (velocità delle onde sismiche “S” superiore a 800 m/s), caratterizzate, tuttavia, da una pendenza del versante superiore a 15°. Tali aree, ubicate al margine meridionale dell’area di microzonazione, sono riferite agli affioramenti delle formazioni calcaree mesozoico-terziarie presenti nelle propaggini nord-occidentali di Colle Mitra- Colle Savente e Colle Scipione.



7.2.2. Microzone Caratterizzate da Frequenze di Risonanza $F_0 < 1$ Hz

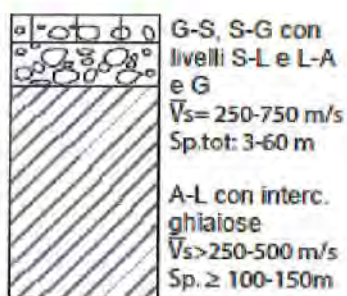
2002



Zona 2002 – Corrisponde al settore meridionale del centro storico di Sulmona (tra P.zza Garibaldi-San Francesco e Via Tirone- Via de Matteis, ove $F_0 < 1$ Hz) e ad un'ampia area ad occidente del centro storico di Sulmona – Stazione ferroviaria, tra il F. Gizio ed il F. Sagittario, e comprende gran parte delle frazioni di Banchette, Case Bruciate, Tratturo, Acquasanta, Aragona.

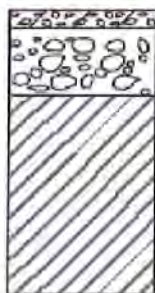
L'area, di morfologia subpianeggiante, è costituita dai depositi alluvionali della Terrazza Alta di Sulmona, che in questo settore più meridionale, sono caratterizzati da ghiaie addensate cui si intercalano rari livelli sabbioso limosi che definiscono l'unità geologico-tecnica at1-E2 Ib. I dati geofisici disponibili (es., down-hole, MASW) indicano, per tale unità, valori medi delle onde di taglio V_s di circa 350-750 m/s. Al disotto è presente l'unità lacustre argilloso-limosa con intercalazioni ghiaiose fluvio-deltizie che diventano preponderanti verso sud. Lo spessore di quest'ultima unità è superiore ai 100-150 m. Le velocità delle onde di taglio V_s nell'unità lacustre, disponibili per profondità fino a 30-60 m dal p.c., indicano valori medi compresi tra 250-500 m/s.

2003



Zona 2003– È presente nel settore sud-occidentale del territorio comunale di Sulmona ad ovest del F. Gizio e comprende la zona della stazione ferroviaria di Introdacqua e la località Torrone. I terreni sono costituiti da ghiaie sabbiose e sabbie ghiaiose da poco a mediamente addensate appartenenti ai depositi alluvionale di conoide e terrazzati della Terrazza bassa di Sulmona (at2) ed all'unità alluvionale terrazzata più recente (at3). Entrambe queste unità sono incassate nell'unità alluvionale più antica della Terrazza alta di Sulmona (at1) costituita da

ghiaie addensate. Lo spessore complessivo dei suddetti depositi alluvionali può raggiungere i 50-60 m. Al disotto delle unità alluvionali terrazzate è presente l'unità lacustre che in questo settore vede un progressivo incremento verso sud delle intercalazioni ghiaiose fluvio-deltizie che diventano preponderanti verso il margine del bacino (Introdacqua). Lo spessore di quest'ultima unità è superiore ai 100-150 m e le velocità delle onde di taglio V_s , disponibili per profondità fino a 30-60 m dal p.c., indicano valori medi compresi tra 250-500 m/s.



G-S Sp.: 3-8 m
G Sp.: 3-50 m
A-L con interc.
ghiaiose
 $V_s > 250-500$ m/s
Sp. $\geq 100-150$ m

Zona 2004 – Comprende delle fasce molto ristrette localizzate tra le località Acquasanta e Case Bruciate e una fascia posta sulla scarpata, sia in destra che in sinistra, del F. Vella ad est del centro storico di Sulmona. La colonna litostratigrafica sintetica di questa MOPS è costituita da uno spesso di 3-8 m di depositi di versante ghiaioso-sabbiosi poco addensati in discordanza sui depositi alluvionali terrazzati più antichi (at1) costituiti da uno spessore fino a 50 m di ghiaie addensate. Questa successione poggia in discordanza sui limi argillosi con livelli ghiaiosi dell'unità lacustre, caratterizzata da spessori superiori a 100-150 m e velocità delle onde di taglio V_s , nei primi 30-60 m dal p.c., comprese tra 250-500 m/s.

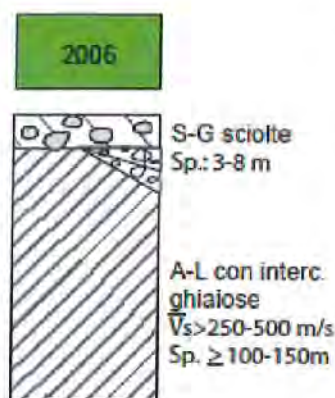


G-S, S-G con
livelli S-L e L-A
 $V_s = 250-400$ m/s
Sp.: 3-40 m
A-L con interc.
ghiaiose
 $V_s > 250-500$ m/s
Sp. $\geq 100-150$ m

Zona 2005 – Costituisce sicuramente la MOPS più estesa dell'intero territorio comunale sviluppandosi, principalmente tra la valle del F. Vella e le pendici del M. Morrone. La litostratigrafia della microzona può essere schematizzata da uno spessore fino a 40 m di depositi alluvionali in appoggio sulla successione lacustre (e fluvio-lacustre) qui caratterizzata da spessori superiori a 100-150 m. In particolare, le unità alluvionali sono costituite da ghiaie-sabbiose e sabbie-ghiaiose, da poco a mediamente addensate, con frequenti intercalazioni e lenti

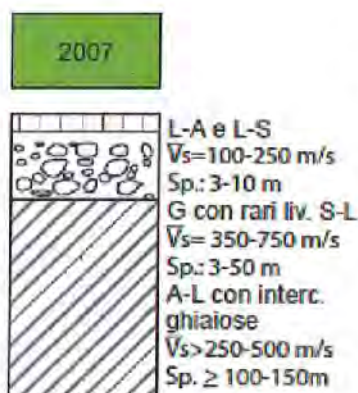
sabbioso-limose e limoso-argillose. Questi depositi sono riferibili alle unità alluvionali terrazzate, di fondovalle e conoide, at1, at2 e at3 della Carta Geologico Tecnica. Da notare che in questo settore, area a nord ed a nord-est del centro storico, l'unità alluvionale più antica, at1 (Terrazza alta di Sulmona), è costituita da ghiaie sabbiose e intercalazioni e lenti sabbioso-limose e limoso-argillose che tendono ad ispessirsi ed essere via via più frequenti verso nord. Per tali caratteristiche stratigrafiche e litotecniche l'unità at1 viene, in questo settore, accorpata con le unità alluvionali terrazzate più recenti at2 e at3. I dati geofisici disponibili (es., down-hole, cross-hole, MASW) indicano, per tale unità (livelli ghiaiosi + livelli sabbioso-limosi e/o limoso-argillosi) valori medi delle onde di taglio V_s di circa 250-450 m/s. Questa successione poggia in discordanza sui limi argillosi con livelli ghiaiosi dell'unità lacustre, caratterizzata da spessori superiori a 100-150 m e velocità delle onde di taglio V_s , nei primi 30-60 m dal p.c., comprese tra 250-500 m/s.





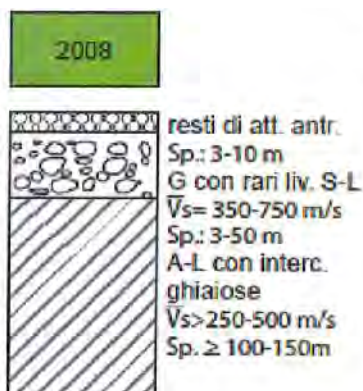
Zona 2006 – La microzona corrisponde, sostanzialmente, alle strette fasce di fondovalle dei fiumi Vella e Gizio fino alla loro confluenza, ancora più a NW, fino alla confluenza con il F. Sagittario. I depositi sono costituiti da alluvioni sciolte recenti ed attuali, prevalentemente sabbioso-ghiaiose, incassate dentro le alluvioni terrazzate più antiche. Tale unità ha uno spessore dai 3 m agli 8 m e può poggiare, in rapporto erosivo, su uno spessore variabile di alluvioni più antiche (at1, at2 e/o at3) o, specie nel settore settentrionale dell'area, direttamente al di

sopra dei limi argillosi con livelli ghiaiosi dell'unità lacustre, qui caratterizzata da spessori superiori a 100-150 m e velocità delle onde di taglio V_s , nei primi 30-60 m dal p.c., comprese tra 250-500 m/s.



Zona 2007 – Corrisponde alle scarpate che raccordano i depositi alluvionali della Terrazza Alta di Sulmona ed il fondovalle del fiume Gizio, sia in destra che in sinistra idrografica, oltre che ad alcune aree ubicate nel centro storico di Sulmona (es. Piazza Garibaldi). I depositi sono costituiti da limi argillosi e limi sabbiosi coesivi e rappresentano una coltre eluvio-colluviale con spessori compresi tra 3 e 10 m e valori medi di velocità delle onde di taglio V_s di 100-250 m/s. Tale unità poggia in discordanza sui depositi alluvionali terrazzati più

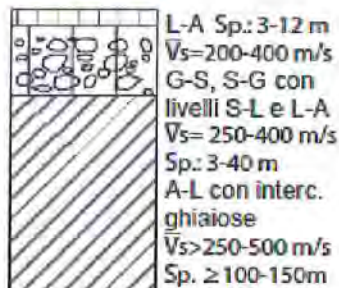
antichi (at1) costituiti da uno spessore fino a 50 m di ghiaie addensate con rari livelli di sabbie e limi e velocità delle onde di taglio V_s comprese tra 350-750 m/s. Questa successione poggia in discordanza sui limi argillosi con livelli ghiaiosi dell'unità lacustre, caratterizzata da spessori superiori a 100-150 m e velocità delle onde di taglio V_s , nei primi 30-60 m dal p.c., comprese tra 250-500 m/s.



Zona 2008 – Corrisponde a due ristrette fasce comprese tra le località di Case Bruciate e Banchette dove uno spessore fino a 10 m di terreni contenenti resti di attività antropica poggia al di sopra di ghiaie addensate con rari livelli di sabbie e limi e velocità delle onde di taglio V_s comprese tra 350-750 m/s che rappresentano l'unità alluvionale più antica della Terrazza alta di Sulmona (at1). Questa successione è in discordanza sui limi argillosi con livelli ghiaiosi dell'unità lacustre, caratterizzata da spessori superiori a 100-150 m e

velocità delle onde di taglio V_s , nei primi 30-60 m dal p.c., comprese tra 250-500 m/s.

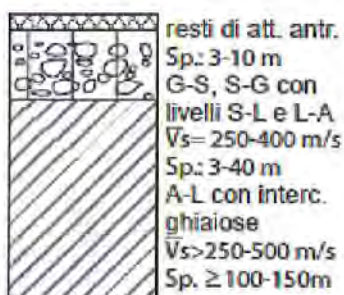
2009



Zona 2009 – Corrisponde a diverse aree localizzate rispettivamente: in un'ampia zona sub-pianeggiante compresa fra la zona industriale e le località di Fonte d'Amore e presso la località di Badia, nel settore NE della carta; in ristrette fasce nella zona di confluenza tra i fiume Gizio e Sagittario; nella zona della stazione ferroviaria di Introdacqua ed in ristrette fasce in destra idrografica del fiume Vella. La litostratigrafia della microzona è descritta da una coltre eluvio-colluviale costituita da limi argillosi e limi sabbiosi coesivi, con spessore fino a 10 m e

velocità delle onde di taglio V_s comprese tra 100-250 m/s poggianti al di sopra di ghiaie sabbiose e sabbie ghiaiose da poco a moderatamente addensate con livelli sabbioso-limosi e limoso-argillosi riferibili alle unità alluvionali terrazzate, di fondovalle e conoide, at1, at2 e at3, per uno spessore fino a 40 m e velocità delle onde di taglio V_s di 250-400 m/s. Al di sotto e/o interdigitati con i depositi alluvionali potrebbero essere presenti lenti di detrito di falda/deposito di versante, non inseriti nel log in quanto, via via più sottili allontanandosi dal versante del M. Morrone. e di versante deL'intera successione poggia in discordanza sui limi argillosi con livelli ghiaiosi dell'unità lacustre, caratterizzata da spessori superiori a 100-150 m e velocità delle onde di taglio V_s , nei primi 30-60 m dal p.c., comprese tra 250-500 m/s.

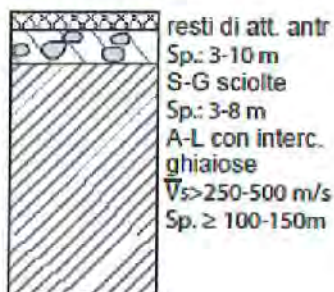
2010



Zona 2010 – Comprende aree abbastanza estese distribuite perlopiù in prossimità del centro abitato della città di Sulmona e della stazione ferroviaria ed altre aree più ristrette nella porzione più settentrionale dell'area di microzonazione. È rappresentata da terreni spessi fino a 10 m contenenti resti di attività antropica e poggianti al di sopra di ghiaie sabbiose e sabbie ghiaiose da poco a moderatamente addensate con livelli sabbioso-limosi e limoso-argillosi riferibili alle unità alluvionali terrazzate, di fondovalle e conoide, at1, at2 e at3, per uno spessore fino

a 40 m e velocità delle onde di taglio V_s di 250-400 m/s. L'intera successione poggia in discordanza sui limi argillosi con livelli ghiaiosi dell'unità lacustre, caratterizzata da spessori superiori a 100-150 m e velocità delle onde di taglio V_s , nei primi 30-60 m dal p.c., comprese tra 250-500 m/s.

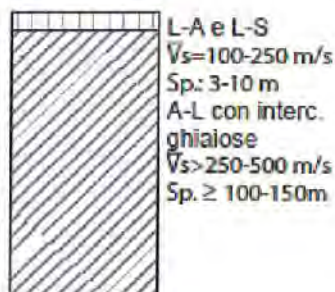
2011



Zona 2011 – Comprende a due aree molto ristrette ad est della stazione ferroviaria di Sulmona e lungo la strada nei pressi di località Tratturo dove terreni spessi fino a 10 m contenenti resti di attività antropica poggiano al di sopra di sabbie ghiaiose sciolte di spessore compreso tra 3 e 8 m riferibili alle unità alluvionali di fondovalle recenti (all). Questa successione è in discordanza sui limi argillosi con livelli ghiaiosi dell'unità lacustre, caratterizzata da spessori superiori a 100-150 m e velocità delle onde di taglio V_s , nei primi 30-60 m dal p.c.,

comprese tra 250-500 m/s.

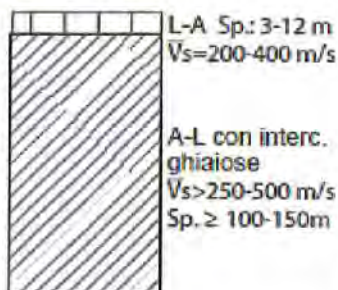
2012



Zona 2012 – Corrisponde alla scarpata che borda con continuità il settore occidentale della Terrazza Alta di Sulmona, ad ovest della zona industriale. I depositi sono costituiti da limi argillosi e limi sabbiosi coesivi e rappresentano una coltre eluvio-colluviale con spessori compresi tra 3 e 12 m e valori medi di velocità delle onde di taglio V_s di 200-400 m/s. Tale unità poggia direttamente sui limi argillosi con livelli ghiaiosi dell'unità lacustre, caratterizzata da spessori superiori a 100-150 m e velocità delle onde di taglio V_s , nei primi 30-60 m dal p.c.,

comprese tra 250-500 m/s.

2013



Zona 2013 – Corrisponde ad un ampio terrazzo alluvionale, riferibile all'unità della Terrazza bassa di Sulmona (at2), localizzato nel settore di confluenza tra i fiumi Gizio e Sagittario. I depositi sono costituiti da limi argillosi coesivi, poco consistenti per uno spessore compreso tra 3 e 12 m e velocità medie delle onde di taglio V_s , stimate da dati geofisici disponibili, di 200-400 m/s. Tale unità poggia direttamente sui limi argillosi con livelli ghiaiosi dell'unità lacustre, caratterizzata da spessori superiori a 100-150 m e velocità delle onde di taglio V_s , nei primi 30-

60 m dal p.c., comprese tra 250-500 m/s.

2014



resti di att. antr.
Sp.: 3-10 m
L-A Sp.: 3-12 m
 $V_s=200-400$ m/s
A-L con interc.
ghiaiose
 $V_s>250-500$ m/s
Sp. $\geq 100-150$ m

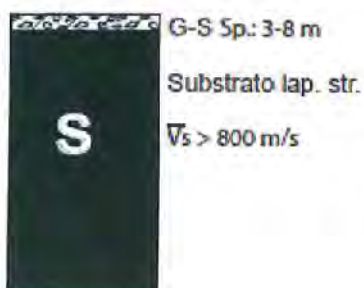
Zona 2014 – Comprende ristrette fasce in cui depositi antropici poggiano al di sopra del terrazzo alluvionale, riferibile all'unità della Terrazza bassa di Sulmona (at2), localizzato nel settore di confluenza tra i fiumi Gizio e Sagittario. I depositi alluvionali sono costituiti da limi argillosi coesivi, poco consistenti per uno spessore compreso tra 3 e 12 m e velocità medie delle onde di taglio V_s , stimate da dati geofisici disponibili, di 200-400 m/s. Questa successione poggia direttamente sui limi argillosi con livelli ghiaiosi dell'unità lacustre,

caratterizzata da spessori superiori a 100-150 m e velocità delle onde di taglio V_s , nei primi 30-60 m dal p.c., comprese tra 250-500 m/s.



7.2.3. Microzone Caratterizzate da Frequenze di Risonanza $F0 \geq 1$ Hz

2015



Zona 2015 – Comprende ristrette fasce lungo i versanti di Colle Mitra e Colle Savente, al margine meridionale dell'area di microzonazione. La colonna litostratigrafica sintetica di questa MOPS è costituita da uno spessore di 3-8 m di depositi di versante ghiaioso-sabbiosi poco addensati poggiati direttamente sul substrato lapideo stratificato, con velocità delle Vs superiore a 800 m/s.

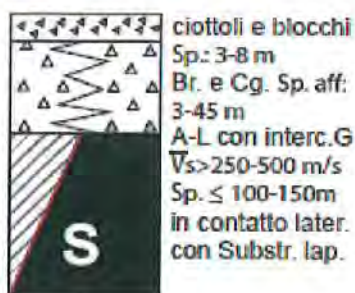
2016



Zona 2016 – Comprende breccie e conglomerati clasto-sostenuti che rappresentano i depositi di falda e di versante antichi che ricoprono il versante del Morrone nel settore NE dell'area di microzonazione. Lo spessore osservabile in affioramento è compreso tra 3 e 45 m sebbene tali depositi possono superare i 100 m. Poggiano al di sopra del substrato lapideo stratificato in contatto laterale per faglia con i limi argillosi con livelli ghiaiosi dell'unità lacustre, caratterizzati da spessori superiori a 100-150 m e velocità delle onde di taglio Vs, nei

primi 30-60 m dal p.c., comprese tra 250-500 m/s.

2017



Zona 2017 – Comprende le aree in cui affiora detrito calcareo sciolto, localmente contenente blocchi metrici, che costituisce i depositi di falda recenti che ricoprono il versante del Morrone nel settore NE dell'area di microzonazione per uno spessore compreso tra 3 e 8 m. Essi poggiano al di sopra dei depositi di falda e di versante più antichi (fal-a e ver-a), con spessori anche maggiori di 100 m, che ricoprono, a loro volta, il substrato lapideo stratificato in contatto laterale per faglia con i limi argillosi con livelli ghiaiosi dell'unità lacustre,

caratterizzati da spessori superiori a 100-150 m e velocità delle onde di taglio Vs, nei primi 30-60 m dal p.c., comprese tra 250-500 m/s.

2018



Zona 2018 – La litostratigrafia della microzona è analoga a quella descritta per la Zona 2002. Le due aree sono state distinte sulla base della stima dei valori di F_0 .

2019



Zona 2019 – Comprende ampie aree alla base del versante del Morrone, a ridosso delle località di Fonte d'Amore, Santa Lucia e Marane. I terreni sono costituiti da ghiaie sabbiose e sabbie ghiaiose, da poco a mediamente addensate, appartenenti ai depositi alluvionale di conoide (at2). Tali depositi mostrano spessori fino a 40 m e poggiano al di sopra dei depositi di falda e di versante antichi (fal-a e ver-a), costituiti da brecce e conglomerati clasto-sostenuti, con spessori anche maggiori di 100 m, che ricoprono, a loro volta, il

substrato lapideo stratificato in contatto laterale per faglia con i limi argillosi con livelli ghiaiosi dell'unità lacustre, caratterizzati da spessori superiori a 100-150 m e velocità delle onde di taglio V_s , nei primi 30-60 m dal p.c., comprese tra 250-500 m/s.

2020



Zona 2020 – Comprende aree sub-pianeggianti che occupano il settore più meridionale dell'area di microzonazione insieme con l'area in località Vallecorno (ad ovest). La litostratigrafia della microzona è descritta da ghiaie sabbiose e sabbie ghiaiose, da poco a mediamente addensate, appartenenti ai depositi alluvionali di conoide e terrazzati (at2), con spessori fino a 40 m, poggianti al di sopra dei depositi alluvionali terrazzati più antichi (at1) costituiti da uno spessore fino a 60 m di ghiaie addensate con rari livelli di sabbie e

limi e velocità delle onde di taglio V_s comprese tra 350-750 m/s. Seguono limi argillosi con livelli ghiaiosi dell'unità lacustre, caratterizzata da spessori che aumentano verso nord e velocità delle onde di taglio V_s , nei primi 30-60 m dal p.c., comprese tra 250-500 m/s. Questa successione poggia in discordanza sul substrato lapideo stratificato con velocità delle V_s superiore a 800 m/s.



2021



Zona 2021 – La litostratigrafia della microzona è analoga a quella descitta per la Zona 2004. Le due aree sono state distinte sulla base della stima dei valori di F0.

2022



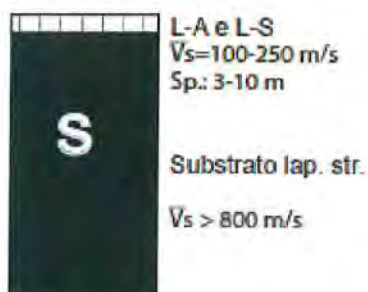
Zona 2022 – La litostratigrafia della microzona è analoga a quella descitta per la Zona 2005. Le due aree sono state distinte sulla base della stima dei valori di F0.

2023



Zona 2023 – La litostratigrafia della microzona è analoga a quella descitta per la Zona 2006. Le due aree sono state distinte sulla base della stima dei valori di F0.

2024



Zona 2024 – Corrisponde ad un'unica fascia ristretta lungo il versante nord-occidentale di Colle Savente. La colonna litostratigrafica di questa MOPS è costituita da uno spessore di 3-10 m di limi argillosi e limi sabbiosi coesivi, riferibili alla coltre eluvio-colluviale, con valori medi delle onde di taglio V_s di circa 100-250 m/s. Tali terreni poggiano direttamente sul substrato lapideo stratificato con velocità delle V_s superiore a 800 m/s.



Zona 2025 – Corrisponde ad un'unica area ristretta localizzata nella porzione più meridionale dell'area di microzonazione in località "cave di pietra", nei pressi di Case Pietre Rege. Qui si rinvennero resti di attività antropica per uno spessore di 3-10 m poggianti direttamente sul substrato lapideo stratificato con velocità delle V_s superiore a 800 m/s.



Zona 2026 – La litostratigrafia della microzona è analoga a quella descritta per la Zona 2007. Le due aree sono state distinte sulla base della stima dei valori di F_0 .



Zona 2027 – La litostratigrafia della microzona è analoga a quella descritta per la Zona 2008. Le due aree sono state distinte sulla base della stima dei valori di F_0 .



Zona 2028 – Corrisponde a ristrette aree alla base del versante del Morrone, a nord di Fonte d'Amore, a sud di Santa Lucia e presso Marane. La colonna litostratigrafica di questa MOPS è costituita da uno spessore di 3-10 m di limi argillosi e limi sabbiosi coesivi, riferibili alla coltre eluvio-colluviale, con valori medi delle onde di taglio V_s di circa 100-250 m/s, poggianti al di sopra di ghiaie sabbiose e sabbie ghiaiose da poco a moderatamente addensate con

livelli sabbioso-limosi e limoso argillosi che rappresentano i depositi alluvionali/conoide (at1 e at2) passanti al di sotto e/o lateralmente a lenti di breccie e conglomerati clasto-sostenuti, riferibili ai depositi versante/detrito di falda antichi (fal-a, ver-a) che tendono ad ispessirsi verso il versante del M. Morrone. Per tale motivo, ed anche al fine di semplificare e ridurre il numero delle MOPS in aree ove i dati di sottosuolo sono scarsi e puntuali, il limite in profondità dei depositi versante/detrito di falda antichi è stato posto “indicativamente” in corrispondenza del limite che suddivide le macroaree con $F0 < 1$ ed $F0 \geq 1$ Hz. Tali unità sono in discordanza substrato lapideo stratificato (con $V_s > 800$ m/s) che è, a sua volta, in contatto laterale per faglia con i limi argillosi con livelli ghiaiosi dell'unità lacustre, caratterizzati da spessori superiori a 100-150 m e velocità delle onde di taglio V_s , nei primi 30-60 m dal p.c., comprese tra 250-500 m/s.

2029



Zona 2029 – La litostratigrafia della microzona è analoga a quella descritta per la Zona 2009. Le due aree sono state distinte sulla base della stima dei valori di $F0$.

2030



Zona 2030 – Comprende ristrette aree distribuite nei settori orientale e meridionale dell'area di microzonazione dove resti di attività antropica, di spessore compreso tra 3 e 10 m, poggiano su ghiaie sabbiose e sabbie ghiaiose, da poco a mediamente addensate, appartenenti ai depositi alluvionali di conoide (at2), con spessori fino a 40 m. A questi terreni seguono depositi di falda e di versante antichi (fal-a e ver-a), costituiti da breccie e conglomerati clasto-sostenuti, con spessori anche maggiori di 100 m, che passano

lateralmente a limi argillosi con livelli ghiaiosi dell'unità lacustre, caratterizzati da spessori che superano i 100-150 m e velocità delle onde di taglio V_s , nei primi 30-60 m dal p.c., comprese tra 250-500 m/s. Questa successione è in discordanza sul substrato lapideo stratificato con velocità delle V_s superiore a 800 m/s.



Substrato
geologico
molto fratturato

Zona 2099 – Corrisponde a settori in cui il substrato lapideo si presenta molto fratturato. Tali zone sono localizzate nella porzione NE dell'area di microzonazione, lungo il versante del Morrone, nel settore ovest, nei pressi di località Tratturo, e nel settore meridionale, nei pressi di località Case Pietre Rege.

7.3. Risultati Derivanti dalle nuove Misure HVSR

Sono state effettuate 43 misure di rumore ambientale, una delle quali fornita dall'INGV sezione di Roma1 (cortesia di Giuliano Milana), nell'area delimitata con il colore rosso in **Figura 38**. In **Figura 39** viene mostrato un ingrandimento della zona del centro storico, dove sono state effettuate delle misure a breve distanza per verificare la possibile influenza dei depositi antropici nelle curve H/V.

I rapporti spettrali tra la componente orizzontale e verticale degli spettri di Fourier permettono di valutare unicamente la frequenza di risonanza dei terreni, ma non forniscono indicazioni attendibili sull'ampiezza dell'amplificazione. La **Figura 40** mostra la frequenza di risonanza calcolata per ogni sito di misura, mentre la **Figura 41** mostra la seconda frequenza di picco, entrambe suddivise in classi.

In generale, si osserva una progressiva diminuzione della frequenza di risonanza da sud a nord (da circa 2 Hz fino a 0.37 Hz), che indica un progressivo ispessimento dei depositi lacustri dall'area di Sulmona a Pratola Peligna. Si osserva altresì l'aumento della frequenza di risonanza a partire dal centro di simmetria del bacino (corrispondente all'ubicazione del centro città) verso il bordo orientale (pendici del M. Morrone). In generale, non ci sono differenze apprezzabili tra le ampiezze delle curve H/V delle due componenti (nord-sud e est-ovest) e il picco in corrispondenza della frequenza di risonanza è quasi sempre molto evidente, soprattutto nella parte centrale del bacino, il che suggerisce un forte contrasto di impedenza sismica tra substrato e depositi sovrastanti. I punti di misura che mostrano un picco poco evidente sono quelli ove i depositi hanno velocità probabilmente paragonabili a quelle del substrato (SU2, SU4, SU13). In particolare, in corrispondenza dei punti di misura SU4 e SU2, i depositi di conoide poggiano presumibilmente sul substrato roccioso, in quanto la curva H/V ha un'ampiezza che supera di poco il valore 2.7 ed il picco in corrispondenza della frequenza di risonanza è poco evidente. In corrispondenza delle stazioni SU11, 12, 14, 16, 20, 22, 24, 26, 30, 31 e 32 si osservano picchi di amplificazione secondari, capaci di generare significative amplificazioni del moto sismico di riferimento anche a frequenze diverse da quella di risonanza. Tali picchi potrebbero essere imputabili alla presenza dei sedimenti alluvionali che, come evidenziano i sondaggi, pur avendo uno spessore variabile, in genere non superano i 30 m di profondità.

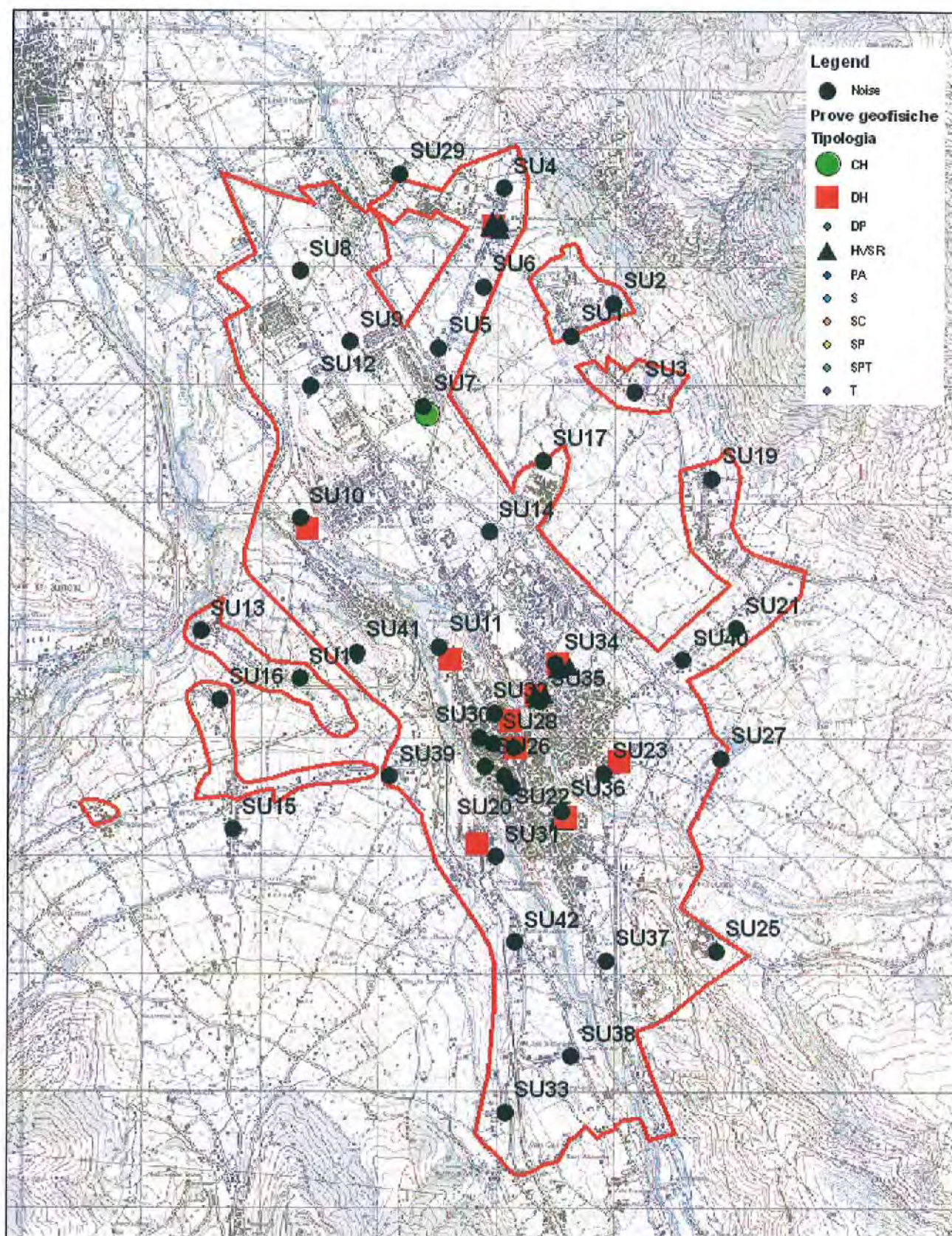


Figura 38 – Ubicazione delle misure di rumore e delle indagini in foro.

Figura 39 – Ingrandimento sul centro storico.

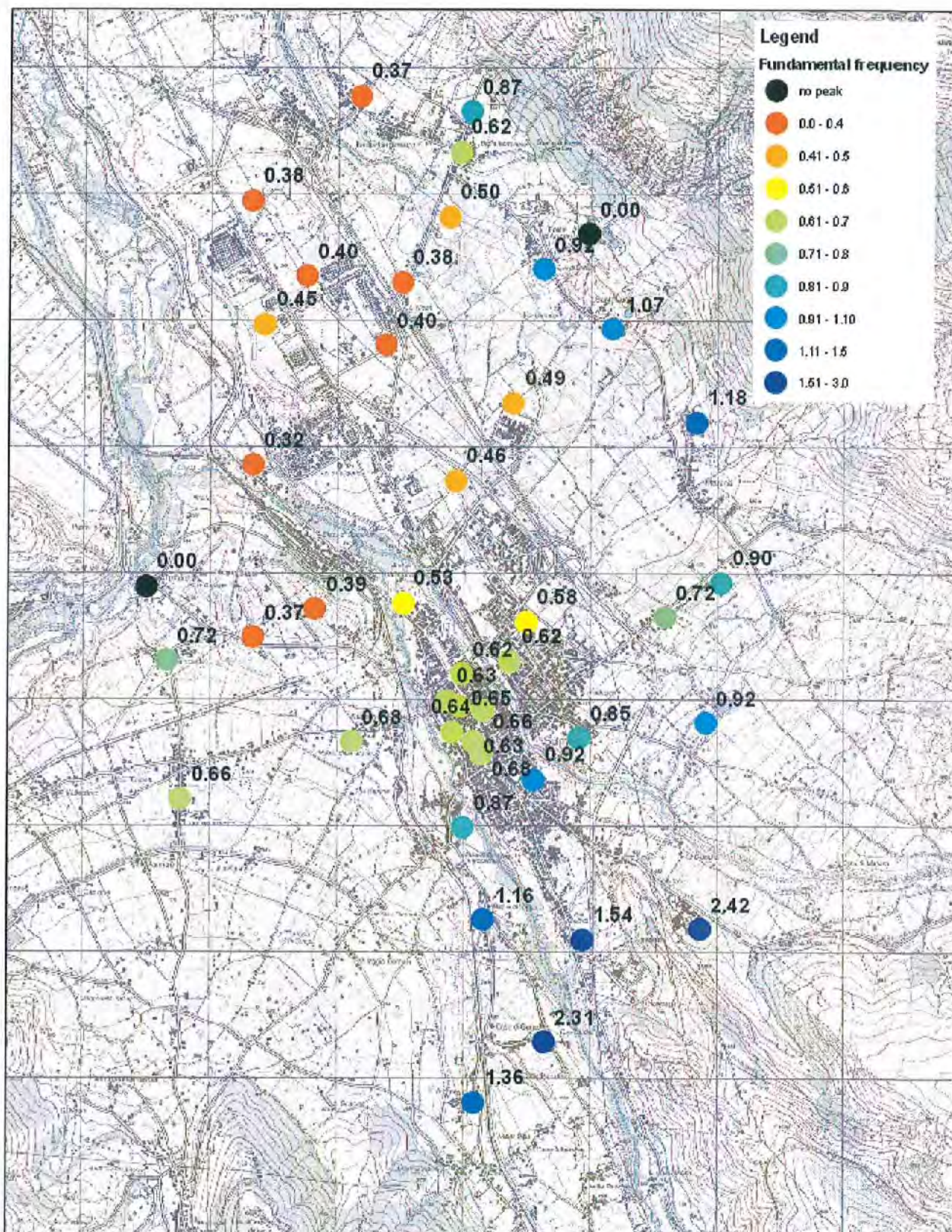


Figura 40 – Mappa della frequenza di risonanza dei siti (i punti di colore nero indicano curve con Fispоста piatta).

8. Zone di Instabilità

In questo capitolo vengono descritte le zone di instabilità distinte in: **Zone suscettibili di instabilità (ZSI), Zone di Attenzione (ZAI) e Zone Potenzialmente Instabili (ZPI).**

Secondo gli ICMS del DPC (2008) il prodotto di sintesi della Microzonazione di livello 1, Carta delle MOPS, prevede l'occorrenza delle **Zone suscettibili di instabilità (ZSI)**, nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti del terreno non escludendo anche fenomeni di amplificazione del moto. I principali tipi di instabilità sono: a) instabilità di versante, b) liquefazioni, c) faglie attive e capaci, d) cedimenti differenziali.

I nuovi orientamenti del DPC Nazionale "Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica di Microzonazione sismica" (Versione 3.0, ottobre 2013), tuttora in esame, prevedono la sostituzione delle "zone suscettibili di instabilità" (2008) con le "zone di attenzione" per instabilità (ZAI). Nonostante questa proposta sia giunta mentre il presente progetto era già in fase di elaborazione finale si è cercato ugualmente di recepire tali indicazioni, in particolare, per quanto riguarda i casi delle "zone di attenzione per Liquefazione" e "zone di attenzione per Cedimenti Differenziali", già essi stessi recepiti dal Tavolo Tecnico Regionale di monitoraggio degli studi di microzonazione sismica (si veda paragrafo 8.2.1.).

Questa suddivisione delle ZONE INSTABILI che oltre alle **Zone suscettibili di instabilità (ZSI)** prevede l'introduzione di **Zone di Attenzione (ZAI) e Zone Potenzialmente Instabili (ZPI)**, che a prima vista sembrerebbe aumentare il grado di complessità della Carta delle MOPS, è stata quindi adottata per soddisfare il principio alla base nelle nuove linee guida del DPC, e cioè che:

le aree dove è possibile prevedere fenomeni di instabilità, in base ad evidenze geologiche di superficie e/o di sottosuolo, per le quali, tuttavia, non si dispone al livello 1 di dati sufficienti per classificarle come zone effettivamente instabili, sono state indicate come Zone di Attenzione (ZAI) o Zone Potenzialmente Instabili (ZPI), differenziandole in maniera esplicita dalle "zone suscettibili di instabilità". In questo modo le ZAI e le ZPI potranno, eventualmente, essere classificate come ZSI solo nel momento in cui vengono effettuati approfondimenti di tipo quantitativo, propri del Livello 3 di MS.




Seguendo le indicazioni fornite dal Tavolo tecnico Regionale per la MZS della Regione Abruzzo, lo stesso principio, anche se trattasi di elemento lineare, è stato adottato con l'introduzione della "faglia diretta potenzialmente attiva e capace sepolta" (vedere paragrafo 8.1.3).

8.1. Zone Suscettibili di Instabilità

Considerando che per il Comune di Sulmona è già in programma il successivo livello di approfondimento (livello 3), nel presente studio di livello 1 sono state inserite come zone **suscettibili di instabilità**, solo le aree in cui sono presenti frane (quiescenti o inattive, rispettivamente con i codici 3024 e 3034), incluse anche nelle cartografie ufficiali della Regione (PAI e IFFI), e le aree interessate da deformazioni dovute a faglie attive e capaci per le quali esistono dati robusti nella bibliografia scientifica nazionale ed internazionale e nei dataset “istituzionali” DISS (INGV: <http://diss.rm.ingv.it/diss/>) e ITHACA (ISPRA: <http://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/ithaca-catalogo-delle-faglie-capaci>), considerando anche dati recentissimi, ancora non pubblicati, da parte dei ricercatori del CNR-DPC (es., trincee paleosismologiche eseguite nel 2013 e 2014 lungo la faglia del M. Morrone dal Dott. P. Galli, comunicazione personale).



8.1.1. Zone Suscettibili di Instabilità di Versante (Frana)

 3024 Frana complessa, quiescente

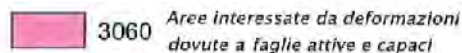
 3034 Frana complessa, inattiva

I fenomeni di frana nell'area di Sulmona sono limitati sia come distribuzione che come dimensioni eccetto che alle pendici del M. Morrone dove è presente un vasto accumulo di paleofrana complessa inattiva a NNE di Marane. Il corpo di frana, già presente nella cartografia geologica ufficiale (es., Foglio CARG, 369) si estende, per una lunghezza planimetrica di c. 1600 m, partendo da una quota intorno ai 400 m (200 m a NNE di Marane), fino a quota di c. 1000 dove la nicchia è delimitata dal piano di faglia attiva e capace del M. Morrone. Nonostante la frana sia inattiva (probabilmente messa in posto nel Pleistocene medio secondo la cartografia ufficiale), l'accumulo di questo enorme volume di materiale lapideo caotico pone il dubbio su un possibile meccanismo di frana sismo-indotta magari a seguito di un paleoterremoto di notevoli dimensioni. Ad un simile meccanismo potrebbero essere collegati i vari blocchi isolati, alcuni di dimensioni decametriche, rinvenuti nell'area industriale di Sulmona e cartografati anch'essi con il codice 3034, in quanto testimoni di una frana complessa inattiva di estensione notevole. Tali blocchi sono infatti costituiti da calcari giurassici ad *ellipsactinie* la cui zona sorgente (del crollo) più plausibile si rinviene attualmente nel versante SO del M. Morrone, ad una quota non inferiore a 1500 m e ad una distanza planimetrica non inferiore a 3 km, lungo una traiettoria altamente improbabile nelle condizioni morfologiche attuali. Anche se l'innescò di questi vasti movimenti franosi presenti da Popoli fino a Pacentro va riferito a condizioni topografiche, geomorfologiche e climatiche molto differenti da quelle attuali, essi sottolineano l'elevata suscettibilità del M. Morrone a fenomeni gravitativi come crolli, *rock-avalanches* e deformazioni gravitative profonde (es., Di Luzio et al., 2004; Bianchi Fasani et al., 2014; Gori et al., 2014).

Per i motivi sopra esposti, la valutazione della pericolosità da instabilità di versante, particolarmente in condizioni dinamiche sismo-indotte, costituisce necessariamente un tema per futuri studi di approfondimento per la microzonazione sismica dei Comuni della Conca Peligna, come anche specificato nel paragrafo 8.3.1.

Zone suscettibili di instabilità di versante per fenomeni franosi complessi quiescenti (codice 3024) sono, inoltre, presenti nella Carta delle MOPS. Si tratta di tre corpi di frana molto circoscritti e limitati alla base delle scarpate di terrazzi alluvionali, di cui due lungo il F. Gizio, a sud del centro storico di Sulmona ed uno lungo il F. Sagittario nell'area industriale.

8.1.2. Zone Suscettibili di Instabilità per Faglia Attiva e Capace



Numerosi sono gli studi di tipo geologico-stratigrafico, strutturale, geomorfologico e geofisico che hanno trattato in modo più o meno specifico della faglia del M. Morrone e dell'associato bacino tettonico di Sulmona (vedere **Tab. 4** alla fine del presente paragrafo).

Alcuni di lavori, in particolare, hanno approfondito gli aspetti relativi all'attività quaternaria della Faglia del M. Morrone (Faglia di Sulmona, secondo altri autori) cercando di documentare e parametrizzare le geometrie, le caratteristiche cinematiche, i tassi di scorrimento, la cronologia della deformazione e degli eventi paleosismici associati (es., Miccadei et al. 1993; 1998; Vittori et al., 1995; Barchi et al., 2000; Galadini e Galli, 2000; Pizzi et al., 2002; Lavecchia et al., 2006; Gori et al., 2009 ai quali si fa riferimento per l'ampia bibliografia riportata). Tali pubblicazioni mostrano, da un lato, una mole consistente e condivisa di dati geologico-geomorfologici e strutturali riguardo all'attività quaternaria s.l. della faglia, dall'altro, invece, sottolineano la grande carenza di dati paleosismologici sull'attività tardoquaternaria, ed in particolare olocenica, non esistendo a tutt'oggi prove conclusive sul potenziale sismogenetico della Faglia del M. Morrone (es., max magnitudo attesa), sugli ultimi terremoti occorsi e relativi tempi di ricorrenza.

In generale, il "sistema" di faglie attive e capaci del M. Morrone mostra una lunghezza complessiva di c. 20-23 km ed è costituito da due principali faglie sub-parallele ad andamento NO-SE, con immersione a SO (subordinatamente a SSO) che generano dei gradini ribassati verso la Conca di Sulmona (**Fig. 42**).

La Faglia più orientale corre lungo il versante medio alto del M. Morrone (Impranezza-Valle Grande-Valle dei Preti) ed è al di fuori dell'area di studio. La faglia più occidentale, correndo lungo il settore basale del M. Morrone, tra Popoli e Pacentro, ricade, invece, al bordo NE dell'area di studio. Essa pone a contatto il substrato carbonatico meso-cenozoico con i depositi di versante, di frana e di conoide alluvionale del Pleistocene, che risultano, a luoghi, chiaramente dislocati e/o tiltati dall'attività della faglia (es., aree in prossimità di Popoli e Roccacasale).

La traccia della faglia occidentale è stata cartografata da diversi autori (es., Vittori et al., 1995; Gori et al., 2014; ISPRA, Progetto ITHACA. Il confronto delle varie carte mostra come per tale faglia ci sia in genere un buon accordo sull'andamento della traccia tra Popoli e Pacentro tranne che nel settore ricadente nel Comune di Sulmona compreso tra Badia Bagnature e SE di Marane. In Vittori et al. (1995) esistono due tracce di faglia che si diramano dalla zona di Badia andando verso SE (**Fig. 43**). La prima sale lungo il versante del M. Morrone fino ad una quota di circa 1100 m (nel



settore compreso tra Colle delle Nocelle e M. Mileto), la seconda corre invece alla base del versante ad una quota tra 400 e 500 m e tende poi a ricongiungersi con quella sovrastante nel tratto compreso tra Marane e Pacentro. Gori et al. (2014), delle due precedenti, riportano invece solo la traccia più alta (Fig. 42). Il sito ufficiale dell'ISPRA – Servizio Geologico d'Italia, Progetto ITHACA, infine, riporta solo la traccia della faglia più bassa (Fig. 44).

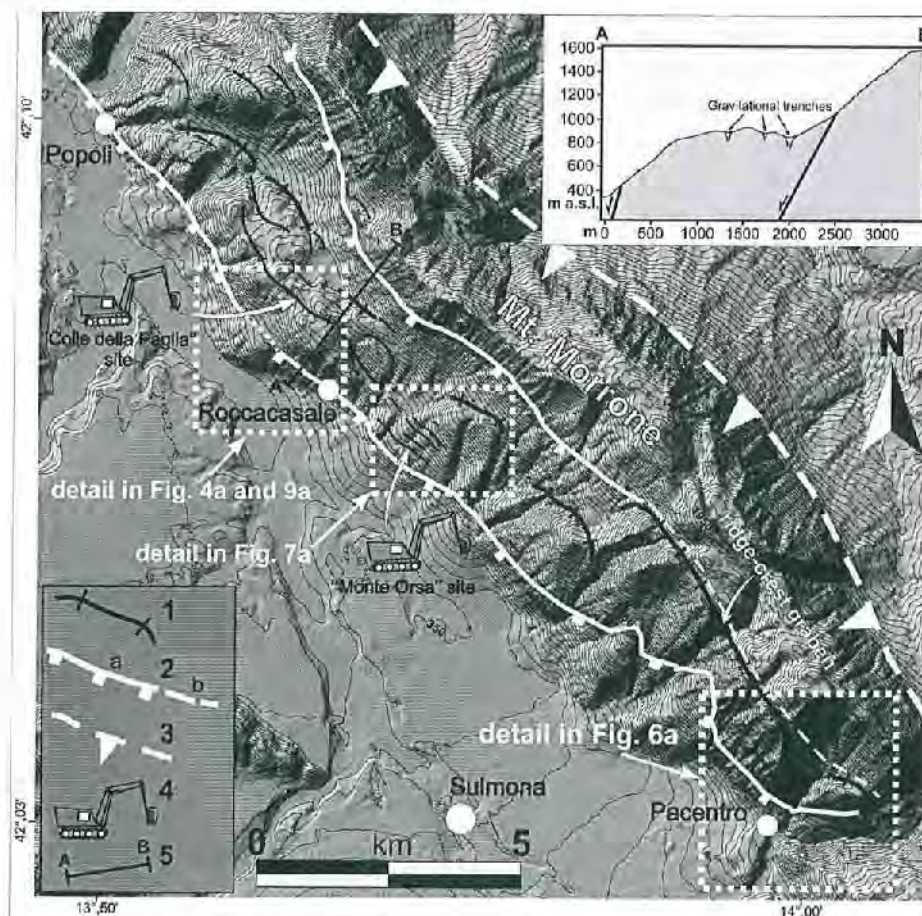


Figura 42 - Modello digitale del terreno del bacino di Sulmona e del M. Morrone con la traccia delle faglie orientale e occidentale, del sistema di faglie normali attive e capaci del M. Morrone. 1) trincee gravitative; 2) piano di faglia normale attivo e zona di deformazione associata; 3) piano di sovrascorrimento inattivo; 4) trincea paleosismologica; 5) traccia di sezione geologica. Da Gori et al. (2014).

Queste diverse cartografie, in realtà non sono in contrasto tra loro in quanto: nel progetto ITHACA la faglia di Sulmona è riportata in modo puramente schematico ed indicativo con un'unica linea; in Gori et al. (2009) viene riportata solo la faglia principale certa che corre al limite tra substrato carbonatico e depositi; Vittori et al. (1995), invece, oltre alla la faglia principale certa al limite tra substrato carbonatico e depositi inseriscono un elemento alla base del versante suggerito

dalle evidenze geomorfologiche e da quelle geologiche di fagliazione dei depositi osservate nella cava di Bagnaturo.

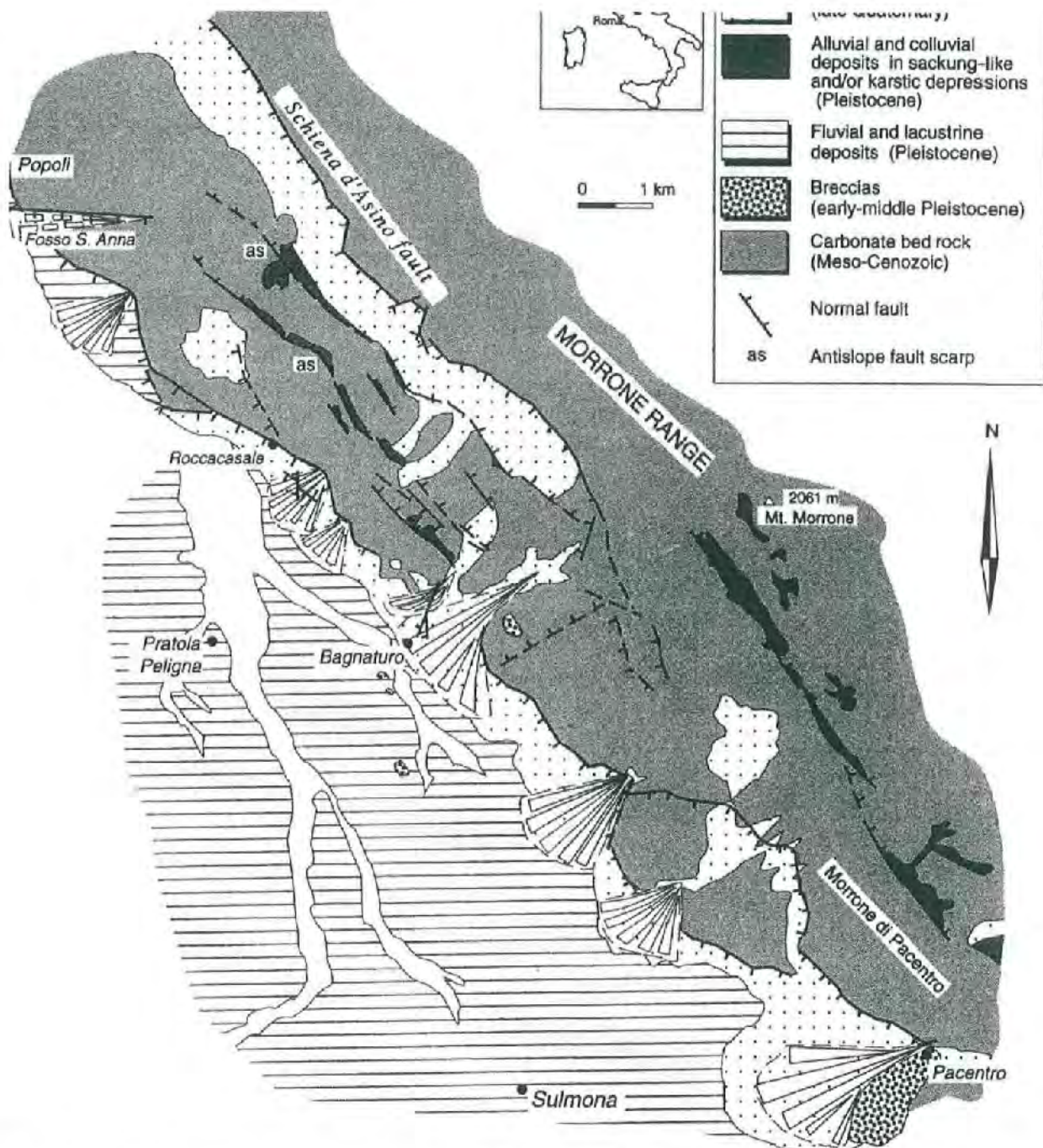


Figura 43 – Schema geologico del Bacino di Sulmona e delle faglie normali del M. Morrone, da Vittori et al. (1995).

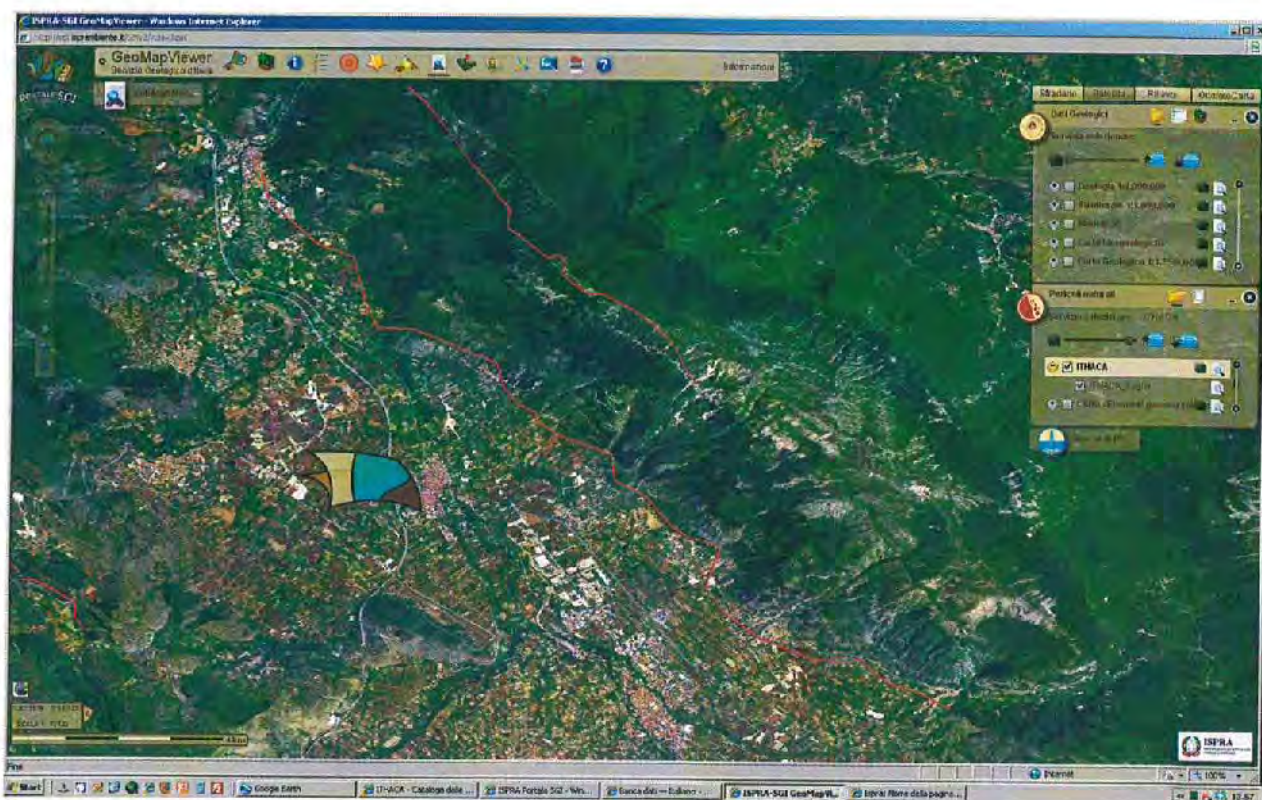


Figura 44 - Schermata dal sito del Progetto ITHACA dell'ISPRA – Servizio Geologico Nazionale che riporta le tracce delle faglie attive e capaci del M. Morrone (ITHACA – Catalogo delle Faglie Attive e Capaci. ISPRA. <http://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/ithaca-catalogo-delle-faglie-capaci>)

Il rilevamento eseguito per il presente progetto ha confermato la presenza della faglia principale al limite tra il bedrock carbonatico ed i depositi continentali quaternari per tutto il tratto compreso tra Bagnaturo, Santuario di Ercole Curino ed il tratto (fino a quota di c. 1100 m) compreso tra Colle delle Nocelle e M. Mileto. Per questa faglia sono stati distinti i tratti aventi “traccia certa” in quanto caratterizzati, in modo pressoché continuo, dall'affioramento dello specchio di faglia nel bedrock carbonatico (**Fig. 45**), da quelli con “traccia incerta” in quanto lo specchio di faglia non è affiorante perché eroso o sepolto al di sotto dei depositi di versante/di frana/alluvionali.

Seguendo le indicazioni delle Linee Guida per la MZS di 1° livello della Regione Abruzzo (**Fig. 46**), il tracciamento delle zone suscettibili di instabilità per faglia diretta attiva e capace (codice 3060) è stato dimensionato nel seguente modo:

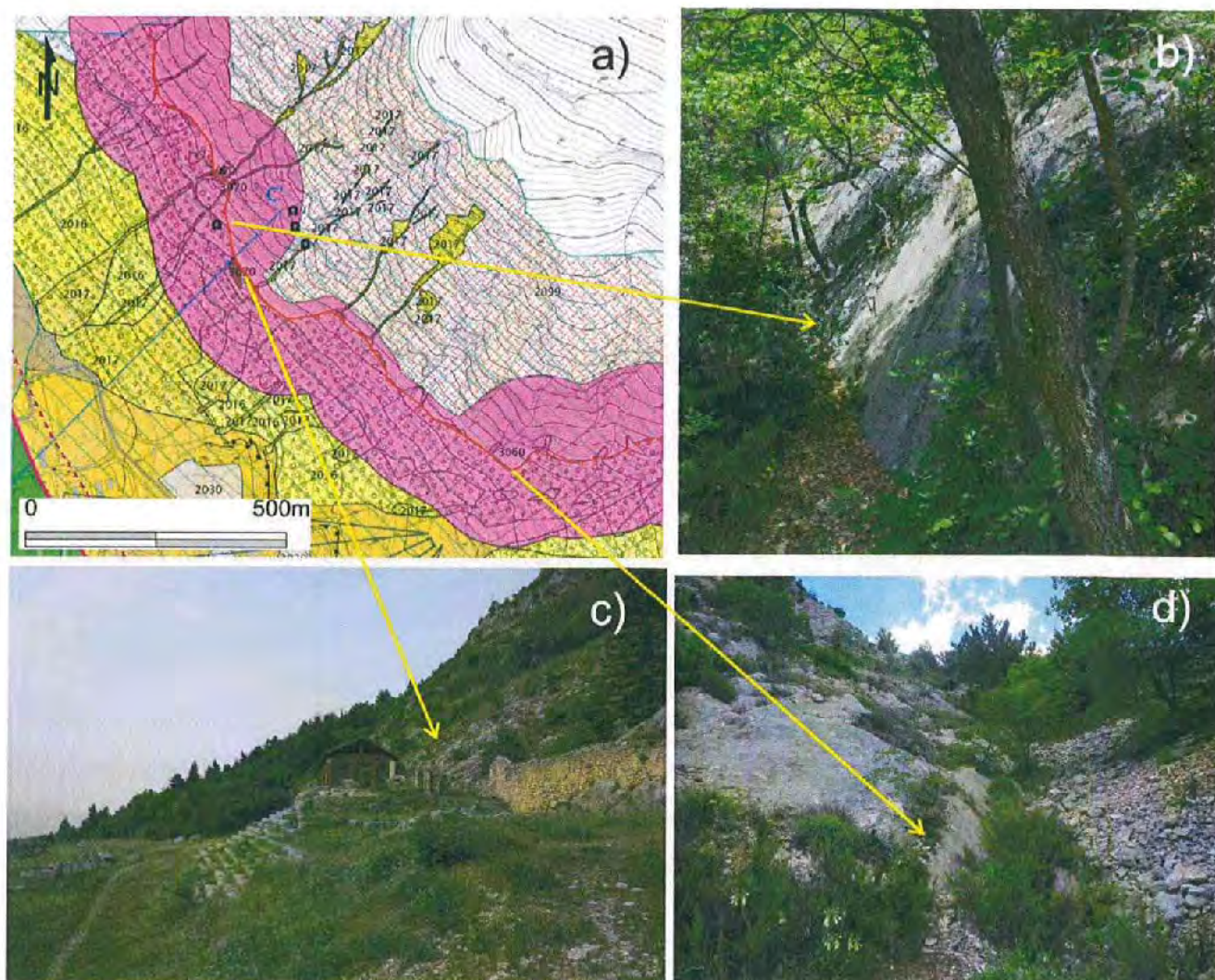


Figura 45 - Dimensionamento delle zone suscettibili di instabilità (codice 3060) per la faglia diretta attiva e capace del M. Morrone. a) Carta delle MOPS, la fascia rosa (codice 3060) delimita la zona suscettibile di instabilità: 150 m al tetto e 30 m al letto della traccia nei tratti dove la faglia ha una "traccia certa", ad es., specchio di faglia affiorante, come per i siti in b), c), d); 150 m + 150 m, nei settori, invece, dove la faglia ha una "traccia incerta".

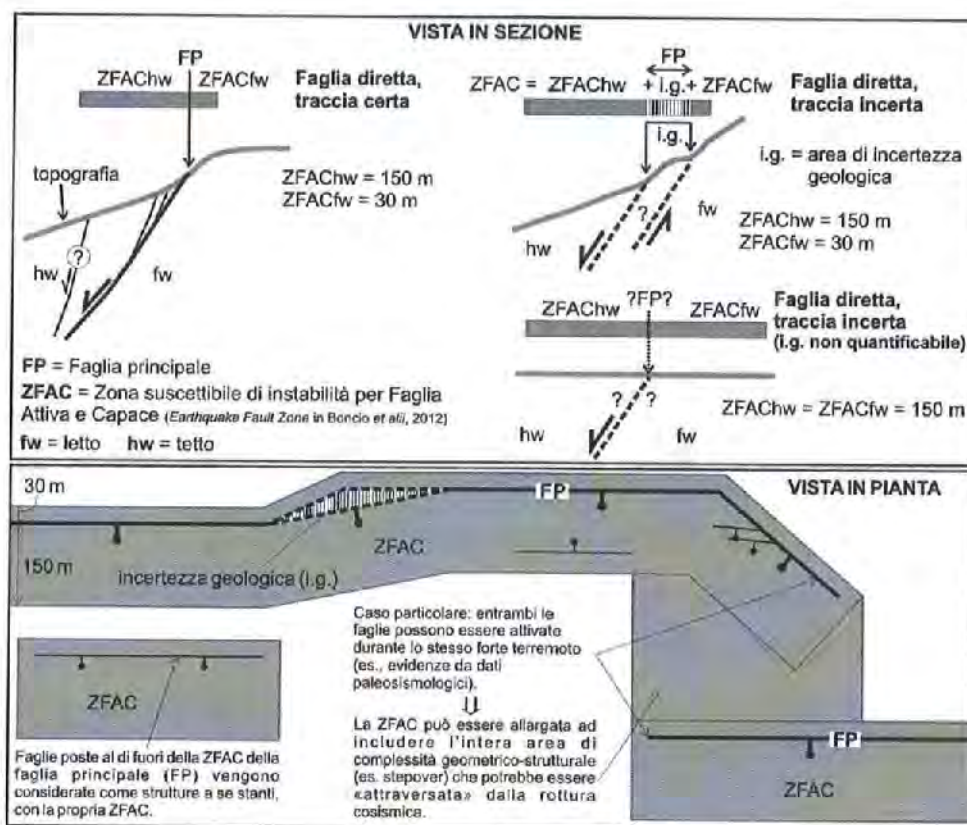


Figura 46 - Proposta di tracciamento delle zone suscettibili di instabilità per Faglia Attiva e Capace riportata nelle Linee Guida di MZS della Regione Abruzzo riportata nelle Linee Guida di MZS di I livello della Regione Abruzzo.

- **faglia diretta attiva e capace cartografata con certezza (traccia certa), il bordo della zona è posto ad una distanza dalla faglia di 30 m nel blocco di letto e 150 m nel blocco di tetto.**
- **faglia diretta attiva e capace in cui la traccia della faglia è incerta, zona simmetrica rispetto alla più probabile traccia della faglia, di estensione complessiva pari a 300 m.**

Si ricorda (Linee Guida di MZS della Regione Abruzzo), che le Zone suscettibili di instabilità per Faglia Attiva e Capace:

1. delimitano zone in cui è probabile che si verifichino deformazioni permanenti del terreno (fagliazione cosismica di superficie) in occasione di un forte terremoto generato dalla faglia in questione, ma è anche probabile che tale fenomeno non interessi tutta la zona, ma solo porzioni di essa, con elevata probabilità lungo la traccia e nelle immediate vicinanze della faglia principale (entro 15-40 m, si veda ad esempio Boncio et al., 2012);

2. l'ampiezza piuttosto elevata della zona (150 m + 30 m) è dettata dal fatto che si può avere fagliazione di superficie anche lungo strutture secondarie che spesso non sono riconoscibili con le

metodologie standard di analisi geologica utilizzate durante la MS di Livello 1; le osservazioni sui terremoti generati da faglie dirette suggeriscono che tali deformazioni secondarie avvengono perlopiù all'interno delle distanze suggerite.

Osservando la Carta delle MOPS si nota come la zona tracciata suscettibile di instabilità abbia in realtà uno scarso impatto nel caso specifico di Sulmona, in quanto, esclusa l'area archeologica del santuario di Ercole Curino e l'eremo di S. Onofrio, non racchiude aree edificate.

Un discorso a parte, invece, deve essere fatto per la **faglia potenzialmente attiva e capace** tracciata ai piedi del versante del M. Morrone (si veda il paragrafo 8.3.2).

Di seguito si riporta la **Tabella 4** contenente i vari riferimenti bibliografici per la faglia del M. Morrone, presente nel sito DISS dell'INGV.

DISS 3.1.1: Seismogenic Source ITCS040 - Poggio Picenze-Sulmona

References

Number of references: 40

Author	Year	Title	Reference
Bagh, S., L. Chiaraluce, P. De Gori, M. Moretti, A. Govoni, C. Chiarabba, P. Di Bartolomeo and M. Romanelli	2007	Background seismicity in the Central Apennines of Italy: The Abruzzo region case study.	Tectonophysics, 444, 80-92, 10.1016/j.tecto.2007.08.009.
Barchi, M., F. Galadini, G. Lavecchia, P. Messina, A. M. Michetti, L. Peruzza, A. Pizzi, E. Tondi and E. Vittori (A cura di)	2000	Sintesi delle conoscenze sulle faglie attive in Italia Centrale: parametrizzazione ai fini della caratterizzazione della pericolosità sismica.	CNR-GNDT, volume congiunto dei prog. 5.1.2 e 5.1.1, Roma, 62 pp.
Billi, A., M. M. Tiberti, G. P. Cavinato, D. Cosentino, E. Di Luzio, J. Keller, C. Kluth, L. Orlando, M. Parotto, A. Pratorlon, M. Romanelli, F. Storti and N. Wardell	2006	First results from the CROP-11 deep seismic profile, central Apennines, Italy: evidence of mid-crustal folding.	J. Geol. Soc., 163, 4, 583-586.
Blumetti, A. M., F. Dramis and A. M. Michetti	1993	Fault-generated mountain fronts in the Central Apennines (Central Italy): geomorphological features and seismotectonic implications.	Earth Surf. Proc. Land., 18, 203-223.
Boncio, P., D. P. Tinari, G. Lavecchia, F. Visini and G. Milana	2009	The instrumental seismicity of the Abruzzo Region in Central Italy (1981-2003): Seismotectonic Implications.	B. Soc. Geol. Ital., 128, 2, 367-380, 10.3301/IJG.2009.128.2.367.
Boncio, P., G. Lavecchia and B. Pace	2004	Defining a model of 3D seismogenic sources for Seismic Hazard Assessment applications: The case of central Apennines (Italy).	J. Seismol., spec. vol., 8, 3, 407-425.
Boncio, P., G. Lavecchia, G. Milana and B. Rozzi	2004	Seismogenesis in Central Apennines, Italy: an integrated analysis of minor earthquake sequences and structural data in the Amatrice-Campotosto area.	Ann. Geophys.-Italy, 47, 6, 1723-1742.
Boschi, E., E. Guidoboni, G. Ferrari, D. Mariotti, G. Valensise and P. Gasperini	2000	Catalogue of Strong Italian Earthquakes, 461 b.C to 1997.	Ann. Geofis., 43, 609-868, with database on CD-ROM.
Calamita, F., E. Centamore, G. Deiana and M. Ridolfi	1995	Caratterizzazione geologico-strutturale dell'area marchigiano-abruzzese esterna (Appennino centrale).	in: G. Cello, G. Deiana and P. P. Pierantoni (eds), Atti del Convegno "Geodinamica e tettonica attiva del

			sistema Tirreno-Appennino", Camerino, 9-10/02/1995. Studi Geologici Camerti, spec. vol. 1995/1, 171-182.
Cavinato, G. P., and E. Miccadei	1995	Sintesi preliminare delle caratteristiche tettoniche e sedimentarie dei depositi quaternari della conca di Sulmona (L'Aquila).	Il Quaternario, 8, 1, 129-140.
Ceccaroni, E., G. Ameri, A. A. Gómez Capera and F. Galadini	2009	The 2nd century AD earthquake in central Italy: archaeoseismological data and seismotectonic implications.	Nat. Hazards, online first, 10.1007/s11069-009-9343-x.
Chiarabba, C., P. De Gori and F. Speranza	2008	The southern Tyrrhenian subduction zone: Deep geometry, magmatism and Plio-Pleistocene evolution.	Earth Planet. Sc. Lett., 268, 408-423, 10.1016/j.epsl.2008.01.036.
Chiarabba, C., S. Bagh, I. Bianchi, P. De Gori and M. Barchi	2010	Deep structural heterogeneities and the tectonic evolution of the Abruzzi region (Central Apennines, Italy) revealed by microseismicity, seismic tomography, and teleseismic receiver functions.	Earth Planet. Sc. Lett., 295, 462-476, 10.1016/j.epsl.2010.04.028.
De Luca, G., R. Scarpa, L. Filippi, A. Gorini, S. Marcucci, P. Marsan, G. Milana and E. Zambonelli	2000	A detailed analysis of two seismic sequences in Abruzzo, Central Apennines, Italy.	J. Seismol., 4, 1-21.
Di Bucci, D., and G. Valensise	2009	Surface faults, seismogenic sources and their morphotectonic signature: lessons from the 6 April 2009 L'Aquila earthquake and applications to adjacent areas (Middle Aterno).	Epitome, 3, 173, Geolitalia 2009, Rimini 9-11 September 2009.
Di Luzio, E., G. Mele, M. M. Tiberti, G. P. Cavinato and M. Parotto	2009	Moho deepening and shallow upper crustal delamination beneath the central Apennines.	Earth Planet. Sc. Lett., 280, 1-12, 10.1016/j.epsl.2008.09.018.
Fubelli, G., S. Gori, E. Falcucci, F. Galadini and P. Messina	2008	Geomorphic signatures of recent normal fault activity versus geological evidence of inactivity: Case studies from the central Apennines (Italy).	Tectonophysics, in press, 10.1016/j.tecto.2008.10.026.
Galadini, F.	2006	Quaternary tectonics and large-scale gravitational deformations with evidence of rock-slide displacements in the Central Apennines (central Italy).	Geomorphology, 82, 201-228, 10.1016/j.geomorph.2006.05.003.
Galadini, F.	2007	Final Report of RU 2.8.	In "Assessing the seismogenic potential and the probability of strong earthquakes in Italy", Project funded within the 2004-2006 agreement between INGV and the Italian Civil Defence.
Galadini, F., and P. Galli	2000	Active tectonics in the Central Apennines (Italy) - Input data for seismic hazard assessment.	Nat. Hazards, 22, 225-270.
Galadini, F., and P. Messina	2004	Early-Middle Pleistocene eastward migration of the Abruzzi Apennine (central Italy) extensional domain.	J. Geodyn., 37, 57-81.
Ghisetti, F., and L. Vezzani	2000	Detachments and normal faulting in the Marche fold-and-thrust belt (central Apennines, Italy): inferences on fluid migration paths.	J. Geodyn., 29, 345-369.
Giaccio, B., P. Messina, A. Sposato, M. Voltaggio, G. Zanchetta, F. Galadini, S. Gori and R. Santacroce	2009	Tephra layers from Holocene lake sediments of the Sulmona Basin, central Italy: implications for volcanic activity in Peninsular Italy and tephrostratigraphy in the central Mediterranean area.	Quaternary Sci. Rev., 28, 25-26, 2710-2733, 10.1016/j.quascirev.2009.06.009.
Gori, S., F. Dramis, F. Galadini and P. Messina	2007	The use of geomorphological markers in the footwall of active faults for kinematic evaluations: examples from the central Apennines.	Boll. Soc. Geol. It., 126, 2, 365-374.
Gruppo di Lavoro CPTI	2004	Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04).	INGV Bologna. http://emidius.mi.ingv.it/CPTI/
Guidoboni, E., G. Ferrari, D. Mariotti, A. Comastri, G. Tarabusi and G. Valensise	2007	CFTI4Med, Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and Mediterranean Area (760 B.C.-1500).	INGV-SGA. Available from http://storing.ingv.it/cfti4med/ .
Mariucci, M. T., P. Montone and S. Pierdominici	2010	Present-day stress in the surroundings of 2009 L'Aquila seismic sequence (Italy).	Geophys. J. Int., 10.1111/j.1365-246X.2010.04679.x.
Montone, P., M. T. Mariucci, S.	2004	An improved stress map for Italy and	J. Geophys. Res., 109, B10410,



Pondrelli and A. Amato		surrounding regions (central Mediterranean).	10.1029/2003JB002703.
Pace, B., P. Boncio, F. Brozzetti, G. Lavecchia and F. Visini	2008	From regional seismic hazard to "scenario earthquakes" for seismic microzoning: A new methodological tool for the Celano Project.	Soil Dyn. Earthq. Eng., 28, 866-874, 10.1016/j.soldyn.2007.11.001.
Patacca, E., P. Scandone, E. Di Luzio, G. P. Cavinato and M. Parotto	2008	Structural architecture of the central Apennines: Interpretation of the CROP 11 seismic profile from the Adriatic coast to the orographic divide.	Tectonics, 27, TC3006, 10.1029/2005TC001917.
Pizzi, A, F. Calamita, M. Coltorti and P. Pieruccini	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., vol. spec. 1, II, 923-929.
Pizzi, A.	2007	Final Report of RU 2.14.	In "Assessing the seismogenic potential and the probability of strong earthquakes in Italy", Project funded within the 2004-2006 agreement between INGV and the Italian Civil Defence.
Pizzi, A., and F. Galadini	2009	Pre-existing cross-structures and active fault segmentation in the northern-central Apennines.	Tectonophysics, in press, 10.1016/j.tecto.2009.03.018.
Pondrelli, S., S. Salimbeni, G. Ekström, A. Morelli, P. Gasperini and G. Vannucci	2006	The Italian CMT dataset from 1977 to the present.	Phys. Earth Planet. In., 159, 286-303.
Satolli, S., and F. Calamita	2008	Differences and similarities between the central and the southern Apennines (Italy): Examining the Gran Sasso versus the Matese-Frosolone salients using paleomagnetic, geological, and structural data.	J. Geophys. Res., 113, B10101, 10.1029/2008JB005699.
Slejko, D., A. Caporali, M. Stirling and S. Barba	2010	Occurrence probability of moderate to large earthquakes in Italy based on new geophysical methods.	J. Seismol., 14, 27-51, 10.1007/s10950-009-9175-x.
Tondi, E., and G. Cello	2003	Spatiotemporal evolution of the Central Apennines fault system (Italy).	J. Geodyn., 36, 113-128.
Vezzani, L, and F. Ghisetti	1998	Carta Geologica dell'Abruzzo.	In: Vezzani, L., and F. Ghisetti (eds), Carta Geologica dell'Abruzzo, scale 1:100,000, S.E.L.C.A., Firenze.
Vezzani, L., F. Ghisetti and A. Festa	2009	Caratterizzazione strutturale dei principali sistemi di faglie dell'Abruzzo Aquilano.	Geitalia, 28, 4-12, 10.1474/Geitalia-28-03.
Vittori, E., G. P. Cavinato and E. Miccadei	1995	Active Faulting Along the Northeastern Edge of the Sulmona Basin, Central Apennines, Italy.	In: L. Serva and D. B. Slemmons (eds), "Perspectives in Paleoseismology", A.E.G. Special Publication, 6, 115-126.

Tabella 4 – Riferimenti bibliografici tratti dal sito DISS dell'INGV (<http://diss.rm.ingv.it/diss/>) relativi alle pubblicazioni scientifiche che hanno trattato, in modo più o meno specifico il sistema di faglie attive e capaci del M. Morrone (Sulmona), riferito nel DISS-INGV come allineamento Pienze-Sulmona.



8.1.3. Faglia Diretta Potenzialmente Attiva e Capace (Sepolta)

▲ ▲ ▲ ▲ 5014 Faglia diretta potenzialmente attiva e capace sepolta

Sulla base delle evidenze geologiche, geomorfologiche del rilevamento e dei dati di letteratura scientifica, è stata individuata la traccia di una faglia potenzialmente attiva e capace alla base del versante del M. Morrone (nel tratto tra Bagnaturo e fino a circa 500 m a SE di Marane), che potrebbe costituire un segmento secondario sub-parallelo, più occidentale rispetto al piano principale della faglia del Morrone.

Le analisi geomorfologiche, infatti, hanno mostrato che lungo alcuni tratti, il limite tra la piana di Sulmona ed il piede dei depositi di conoide alluvionale e di paleofrana è marcato dall'allineamento di evidenti scarpate morfologiche.

Lungo il settore più nord-occidentale di questo allineamento (cava in località Bagnaturo, subito al di fuori dell'area in esame), in accordo con Vittori et al. (1995), all'interno dei depositi di conoide coalescenti riferibili al Pleistocene medio finale e superiore, sono state osservate alcune faglie a rigetto decimetrico e metrico, in genere sepolte, che potrebbero rappresentare dei segmenti secondari più occidentali (verso il bacino) della *master fault* al limite tra substrato e depositi quaternari (Fig. 47, da Vittori et al., 1995).



Figura 47 - Faglie dirette osservate nella cava di Bagnaturo (base del versante del M. Morrone), da Vittori et al. (1995), che dislocano con rigetti metrici i depositi di conoide alluvionale contenenti paleosuoli e livelli di vulcanoclastici attribuiti al Pleistocene superiore.


Tuttavia, considerando che lungo questa faglia al momento delle indagini di livello 1, non esistono studi paleosismologici specifici che attestino la fagliazione cosismica di superficie negli ultimi 40.000 anni e si riscontra una oggettiva difficoltà nella mappatura della traccia della faglia stessa, essa è stata definita, in accordo con le specifiche del Tavolo Tecnico di MZS di 1° livello della Regione Abruzzo, come “faglia potenzialmente attiva e capace”.

Sempre secondo le specifiche del Tavolo Tecnico regionale, la “faglia potenzialmente attiva e capace” sepolta, è stata indicata nella Carta delle MOPS con una linea a tratteggio di colore fucsia (codice 5014), senza il tracciamento della zona suscettibile di instabilità per faglia attiva e capace, che potrà, eventualmente, essere tracciata solo a seguito dei necessari approfondimenti nel livello 3 di MS.

Questi ultimi dovranno prevedere indagini specifiche quali trincee paleosismologiche ed indagini geofisiche mirate (es., profili di sismica a riflessione e/o resistività elettrica).



8.1.4. Zone Suscettibili di Instabilità per Sovrapposizione

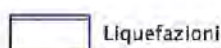
 3070 Sovrapposizione di zone suscettibili di instabilità differenti

Questa zona è stata cartografata solo in corrispondenza della paleofrana complessa inattiva a NNE di Marane ed in particolare dove questa si sovrappone all'area di instabilità per faglia attiva e capace circa 1-2 km a SE dell'Eremo di S. Onofrio.

8.2. Zone di Attenzione (per Instabilità)

In base a quanto specificato nell'Introduzione del Cap. 8, le Zone di Attenzione per instabilità comprendono: 1) la Zona di attenzione per liquefazione e 2) Zona di attenzione per cedimenti differenziali, di seguito descritte.

8.2.1. Zone di Attenzione per Liquefazione



Le zone delimitate come ZAI per Liquefazione sono sostanzialmente due. La prima, corrisponde ai tratti stretti ed allungati dei fondovalle recenti dei fiumi Vella, Gizio e Sagittario, la zona poi si amplia notevolmente in corrispondenza della confluenza tra Gizio e Sagittario, nell'area che ricade tra la stazione ferroviaria di Sulmona, a sud, e Loc. Santa Rufina, a nord. La seconda zona, più limitata, è ubicata nel tratto vallivo compreso tra Badia Bagnaturo e la zona industriale di Sulmona.

In particolare, la prima zona è caratterizzata dalla presenza, almeno fino a 15-20 m di profondità, di terreni sabbioso-ghiaiosi, da poco addensati a sciolti, conteneti livelli e lenti limoso-sabbiose e limoso-argillose appartenenti ai depositi alluvionali del terzo ordine (at3) ed attuali (all), che nella zona della Stazione-S. Rufina, inglobano anche una vasta area dei depositi alluvionali del secondo ordine (at2), qui caratterizzati da granulometrie prevalentemente fini limoso-sabbiose e limoso-argillose come documentato dai vari sondaggi eseguiti (es., sondaggi 4, 5, 8, 65, 95, 100, 108 riportati nella carta delle indagini e nel database).

Anche nella zona nei pressi di Badia la stratigrafia dei primi 15-20 m di profondità comprende terreni sabbioso-ghiaiosi, da poco addensati a sciolti, contenti livelli e lenti limoso-sabbiose e limoso-argillose facenti parte dei depositi alluvionali del terzo ordine (at3) ed attuali (all).

Entrambe le zone, ricadenti nei settori di incisione valliva recente, sono caratterizzate da una profondità media stagionale della falda inferiore a 15 m (Desiderio et al., 2011).

Le indicazioni espresse dal Tavolo Tecnico Regionale di monitoraggio degli studi di microzonazione sismica, sia sulla base della normativa esistente in materia (es. Norme Tecniche per le Costruzioni Capitolo 7 Progettazione per azioni sismiche par. 7.11.3.4 - Stabilità nei confronti della liquefazione), che delle indicazioni fornite dal Dipartimento della Protezione Civile,



evidenziano che, allo stato delle conoscenze attuali, si possono sviluppare fenomeni di liquefazione nel sottosuolo se si presentano le seguenti 4 condizioni:

1. nella successione litologica sono presenti orizzonti di argilla sabbiosa, limi sabbiosi, sabbie, sabbie limose, sabbie ghiaiose, sabbie argillose e ghiaie sabbiose ad una profondità minore di 20 m dal p.c.;
2. nel sottosuolo è presente una falda a profondità media stagionale inferiore a 15 m dal piano campagna;
3. accelerazione massima attesa su roccia uguale o superiore a 0.10 g;
4. eventi sismici attesi di magnitudo M superiore a 5.

Nel caso delle aree alluvionali suddette, le condizioni 3 e 4 sono soddisfatte (si veda Cap. 3). Tuttavia, non disponendo al livello 1 di dati sufficienti, in particolare delle caratteristiche geologiche/geotecniche, per classificarle come zone effettivamente instabili, queste vengono indicate come Zone di Attenzione (ZAI), differenziandole in maniera esplicita dalle “zone suscettibili di instabilità”. In questo modo le ZAI potranno, eventualmente, essere classificate come ZSI solo nel momento in cui verranno effettuati approfondimenti di tipo quantitativo, propri del Livello 3 di MS. Infatti, nonostante le caratteristiche geologiche/geotecniche lasciano supporre la possibilità di processi di liquefazione, questi non possono essere meglio definiti e perimetrati sia per la discontinuità laterale dei corpi geologici potenzialmente suscettibili di tale instabilità, sia per la scarsità di indagini disponibili. In definitiva, per tali aree, con possibili importanti variazioni tridimensionali alla scala di sito delle caratteristiche geotecniche dei materiali fini alluvionali, che potrebbero determinare fenomeni di liquefazione, si raccomandano ulteriori approfondimenti (livello 3 di MS) necessari per definire i possibili elementi di instabilità.

Quali indicazioni sui metodi di analisi dei livelli di approfondimento successivi, si suggerisce la trivellazione di alcuni sondaggi geognostici all'interno di siti significativi delle aree di attenzione insieme all'esecuzione di un congruo numero di prove penetrometriche statiche (es., CPTU) e prove di laboratorio (es., analisi granulometriche), mirate alla valutazione dei parametri di input da applicare a modelli semplificati per la valutazione del fattore di sicurezza alla liquefazione e potenziale di liquefazione.

Per la rappresentazione della Zona di Attenzione per liquefazione la simbologia proposta prevede la sovrapposizione al colore della zona stabile suscettibile di amplificazione di un retino blu orizzontale. Questa rappresentazione conserva le informazioni sulla litostratigrafia della microzona,

permettendo, nel caso in cui gli approfondimenti del Livello 3 non confermassero l'instabilità per liquefazione, di trattare la stessa microzona come stabile suscettibile di amplificazione e caratterizzarla secondo i parametri propri di questo tipo di zona.

Si ricorda, che l'area delimitata come Zona di Attenzione per Liquefazione è riportata con la stessa simbologia anche nella Carta delle Indagini, in quanto zona che necessita di ulteriori approfondimenti.



8.2.2. Zone di Attenzione per Cedimenti Differenziali



Nel caso di aree urbane con spesse stratificazioni antropiche (livelli archeologici sovrapposti), particolare rilevanza assume la ricostruzione della morfologia sepolta e delle differenti caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali di fondazione. In particolare, le brusche variazioni degli spessori e delle caratteristiche geotecniche dei livelli antropici, nonché l'eventuale presenza di cavità, possono condurre in condizioni dinamiche connesse allo scuotimento sismico a fenomeni di instabilità per cedimenti differenziali dei terreni di fondazione.

La Zona di Attenzione per cedimenti differenziali corrisponde sostanzialmente al centro storico di Sulmona compreso tra la Villa Comunale a nord, Piazza Garibaldi- San Francesco a sud, limitato ad est ed ovest dalle mura cittadine (area della Sulmo romana e medievale).

Come avvenuto per altre importanti città storiche dell'Abruzzo e dell'Appennino ricadenti in zona sismica, il materiale proveniente dai crolli e dalle demolizioni conseguenti a terremoti veniva in parte recuperato per la ricostruzione ed in parte andava a costituire discariche (es., ai piedi di scarpate) o veniva utilizzato per colmare gli accumuli di macerie che restavano in sito perché di difficile rimozione. L'accumulo delle macerie degli edifici distrutti dai terremoti ha dato origine così ad una stratificazione millenaria – di pezzatura, consistenza e spessore irregolari – costituente l'attuale terreno di sedime di parte degli edifici del centro storico. Ciò è chiaramente documentato dalla diffusa presenza di edifici (domus, mura strutture fognarie, ecc) rinvenuti casualmente o durante campagne di scavo archeologiche all'interno del perimetro della Sulmo romana. Anche il caratteristico sfalsamento a varie quote dei piani terra degli edifici in centro storico riflette, probabilmente brusche variazioni di spessore e litologia dei terreni di fondazione. Inoltre, i dati delle stratigrafie dei sondaggi nel centro storico rivelano la presenza di terreni di riporto con spessori medi intorno a 2 m, con frequenti approfondimenti intorno a 3.5 m (es., Largo Tommasi) e spessori massimi fino ad oltre 5 m, come risulterebbe a S. Francesco della Scarpa. Non si esclude, inoltre, che spessori, anche notevoli, di materiali edili possano essere stati riversati lungo le scarpate che dal centro storico degradano verso i fiumi Vella e Gizio. A sostegno di questa ipotesi vi sono ad esempio i grossi spessori di materiali di risulta perforati nel sondaggio (n. 9 del database) relativo alla costruzione dell'ascensore (collegamento verticale parcheggio Iapasseri-Via Turati) che testimoniano l'aggradazione della scarpata utilizzate nel tempo come discarica (Mancini, 2010).



In realtà, già nella fase finale del livello 1 di MZ ci si è resi conto che il problema dei cedimenti differenziali – legato all'estremo carattere puntuale del tipo e spessore delle stratificazioni archeologiche al di sotto del Centro storico di Sulmona – rischia di esulare da quelle che sono le finalità della MS avente per obiettivo la delimitazione di aree per le quali sia possibile modellizzare e quantificare il grado di pericolosità in termini di amplificazione e/o instabilità cosismica. Infatti, nonostante nel livello 1 sia stato tentato un primo controllo incrociato con approccio multidisciplinare, affiancando ai dati geologici e geognostici, quelli geofisici delle misure HVSR e dell'analisi sul danneggiamento da terremoti passati, non è stato ottenuto un risultato univoco e soddisfacente che potesse indicare la possibilità di suddividere l'area del centro storico in zone aventi caratteristiche di suscettibilità da instabilità omogenee.

In ogni caso, si ritiene che l'area delimitata come ZAI per cedimenti differenziali debba essere necessariamente area di approfondimenti sia nei livelli successivi di MS che durante indagini geotecniche puntuali in studi professionali. Procedendo nel livello 3 di MS, la cui realizzazione è già prevista per il Comune di Sulmona, dovrà essere opportunamente considerata la possibilità e la validità di attuare o meno onerosi investimenti nella ricostruzione dettagliata e puntuale del sottosuolo del centro storico di Sulmona attraverso studi multidisciplinari geologici, archeologici, architettonici ed ingegneristici e fitte campagne di indagini geognostiche/geotecniche (es., sondaggi con prove in situ e di laboratorio) e geofisiche (es., Georadar).

Per la rappresentazione della Zona di Attenzione per **cedimenti differenziali** la simbologia proposta prevede la sovrapposizione al colore della zona stabile suscettibile di amplificazione di un retino viola obliquo. **Questa rappresentazione conserva le informazioni sulla litostratigrafia della microzona, permettendo, nel caso in cui gli approfondimenti del Livello 3 non confermassero l'instabilità per cedimento differenziale, di trattare la stessa microzona come stabile suscettibile di amplificazione e caratterizzarla secondo i parametri propri di questo tipo di zona.**

Si ricorda, che l'area delimitata come Zona di Attenzione per **cedimenti differenziali** è riportata, con la stessa simbologia, anche nella Carta delle Indagini, in quanto zona che necessita di ulteriori approfondimenti.



8.3. Zone Potenzialmente Instabili

L'inserimento della ZPI è dovuta alla necessità di identificare aree che potrebbero essere di "elevata pericolosità" per fenomeni di crollo di ammassi rocciosi in occasione di eventi sismici importanti, ma che non possono essere delimitate in carta sia perché la potenziale instabilità non è prevista nella legenda ICMS 2008 per le Carte di MS di livello 1, sia perché esse si necessita di approfondimenti di tipo quantitativo di Livello 3 di MS, come nel caso delle ZAI.

Per quanto riguarda le ZPI queste sono riferite esclusivamente ad instabilità di versante per fenomeni di crollo al di sotto delle pareti rocciose del M. Morrone. La "potenziale" instabilità è in realtà già documentata dal distacco di alcuni massi avvenuto in occasione del terremoto aquilano del 2009, che ha portato alla temporanea chiusura dell'Eremo di S. Onofrio e della relativa strada di accesso. In relazione a questo evento è stata anche richiesta una variante *ad hoc* del Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI).

8.3.1. Zona Potenzialmente Instabile per Instabilità di Versante (Frana da Crollo)



Instabilità di Versante

La zona potenzialmente instabile per "instabilità di versante" è stata inserita per evidenziare la pericolosità legata al potenziale innesco di frane da crollo di ammassi rocciosi alle pendici del M. Morrone, particolarmente in occasione dello scuotimento conseguente ad un forte evento sismico.

La necessità di introdurre questo simbolo è dovuta al fatto che mentre la zona suscettibile di instabilità (ZSI) può essere delimitata nella carta delle MOPS, utilizzando l'involuppo tra la nicchia di frana e la zona di accumulo, in quanto la frana (attiva, quiescente o inattiva) è già avvenuta e quindi è già presente e cartografata nella Carta G-T, la **"Zona Potenzialmente Instabile" (ZPI)** non ha un corpo di frana definito o definibile, al più è possibile delimitare singoli blocchi già crollati, e quindi non è possibile definire le aree di distacco e delimitare l'area di transito e di accumulo di eventuali blocchi senza studi specifici (es., analisi geomeccanica dell'ammasso roccioso) e modellazioni che considerino diversi valori di accelerazione di input (in funzione della diversa magnitudo del terremoto atteso), nonché le possibili traiettorie e cinematismo dei blocchi.

Queste differenti condizioni sono ben evidenti alla base del versante del M. Morrone dove, nel settore più meridionale è cartografato il gigantesco corpo di frana antico ed inattivo che, nella carta delle MOPS è infatti riportato tra le Zone suscettibili di instabilità per frana complessa inattiva (codice n. 3034), area a NNE a monte di Marane, l'accumulo per frana di crollo inattiva che ha sepolto nel I sec. a.C. il complesso del Santuario di Ercole Curino (rappresentato con il codice n. 3070, in quanto sovrapposto alla Zona suscettibile di Instabilità per faglia attiva e capace) ed i due blocchi crollati a seguito della crisi sismica del 2009 in prossimità del sentiero che conduce all'eremo di S. Onofrio (anch'essi indicati con il codice n. 3070). L'evidenza estremamente limitata, a livello cartografico, di questi due blocchi indica chiaramente come il fenomeno dei crolli alla base del M. Morrone non possa essere espresso in modo chiaro ed esauriente dalla semplice cartografia dei corpi franati ma debba essere analizzato su areali significativi attraverso studi mirati a tale problematica. In altre parole, il problema è che aree che sottendono l'accumulo di antichi movimenti gravitativi è probabile che si siano in parte stabilizzate a seguito dell'occorrenza stessa delle paleofrane, mentre aree a queste adiacenti potrebbero essere attualmente in situazioni di stabilità critica.

Pertanto, l'area contrassegnata dal sovrassimbolo della ZPI, delimita il settore del versante del M. Morrone in cui, con i dati disponibili al livello 1, è possibile solo individuare dei fattori



predisponenti all'instabilità di versante (es., parete rocciosa con estesi piani di frattura che delimitano grossi blocchi lapidei), per la quale sono assolutamente necessari approfondimenti di tipo quantitativo (Livello 3 di MS), come rappresentato anche nella Carta delle Indagini.

Per la rappresentazione della Zona potenzialmente instabile per "instabilità di versante" la simbologia proposta prevede la sovrapposizione al colore della zona stabile suscettibile di amplificazione di un retino verde obliquo. **Questa rappresentazione conserva le informazioni sulla litostratigrafia della microzona, permettendo, nel caso in cui gli approfondimenti del Livello 3 non confermassero la pericolosità per frana di crollo, di trattare la stessa microzona come stabile suscettibile di amplificazione e caratterizzarla secondo i parametri propri di questo tipo di zona.**

Si ricorda, che l'area delimitata come potenzialmente instabile per "instabilità di versante" è riportata, con la stessa simbologia, anche nella Carta delle Indagini, in quanto zona che necessita di ulteriori approfondimenti.



9. Storia Urbanistica del Centro Storico e Indagini di Sismologia Storica ai Fini della Microzonazione Sismica

Fabrizio Galadini¹, Roberto Carrozzo²

1 – Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Roma

2 – Sezione di Archivio di Stato, Sulmona

Introduzione - Il centro di Sulmona riassume una storia urbanistica e architettonica plurimillenaria, manifesta nelle emergenze di epoca romana e medievale, nelle numerose chiese e nei palazzi che costituiscono riferimenti insostituibili per il residente e richiami per il visitatore. Inoltre, come in ogni tessuto cittadino storico, è ovviamente l'insieme del costruito a creare quell'ambiente urbano qualificante la cui tutela si traduce anche in azioni volte alla mitigazione del rischio sismico.

In questo quadro, nell'ambito della microzonazione sismica dell'intero abitato, si è ritenuto opportuno condurre indagini finalizzate a chiarire se all'interno del centro storico di Sulmona siano identificabili settori caratterizzati da diversa risposta sismica, ovvero se alcune zone piuttosto che altre possano essere caratterizzate da un diverso comportamento in caso di sollecitazione sismica.

Generalmente, questa prospettiva è affrontata – e così è stato anche nel caso delle indagini condotte per la microzonazione di Sulmona – mediante analisi sismometriche *ad hoc*. Tuttavia, considerando la rilevanza storica della città e la ricchezza della sua storia sismica, si è ritenuto opportuno affiancare alle moderne tecniche sismometriche uno studio finalizzato a dettagliare la distribuzione del danno in occasione dei più forti terremoti che in epoca contemporanea hanno interessato la città (1915, 1933, 1984, 2009) e a considerare altresì la distribuzione degli effetti in occasione del terremoto del 1706, l'evento che più di tutti nella storia sismica di Sulmona recò danni all'abitato. In pratica, con questo approccio si è tentato di individuare tendenze nella "stratigrafia" del danno a Sulmona evidenti in ricorrenze in alcune zone o in una specifica zona piuttosto che in altre. Ciò costituirebbe un motivo a supporto dell'eventuale identificazione di più microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS). L'approccio non rappresenta certamente una novità, poiché distribuzioni del danno sismico sono già state utilizzate, a esempio nel caso di Roma, proprio al fine di individuare settori con diverso danneggiamento in funzione delle differenti



caratteristiche geologiche locali (Ambrosini et al., 1986; Donati et al., 1999; Bozzano et al., 2011). In ambito ingegneristico, inoltre, il trattamento della distribuzione del danno in funzione della vulnerabilità degli edifici danneggiati ha fornito spunti per valutazioni quantitative sulla risposta sismica locale (Goretti, 2004; Goretti e Dolce, 2004; Speranza et al., 2006). Peraltro, l'approccio è discusso nell'ambito degli *Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica* (Gruppo di Lavoro MS, 2008).

Di seguito, dopo una sintesi sull'evoluzione urbanistica e sulla storia sismica di Sulmona, verranno presentate le indagini storiche finalizzate all'identificazione della stratigrafia del danno attraverso i terremoti del 1706, 1915, 1933, 1984 e 2009. Del quadro ottenuto saranno discusse le implicazioni.

Storia urbanistica di Sulmona; possibili implicazioni per l'identificazione delle MOPS -La città romana e il successivo impianto altomedievale, con un'impostazione persistente fino al secolo XII, avevano una forma in pianta all'incirca quadrangolare, compresa tra l'attuale inizio di Corso Ovidio a nord e la Fontana del Vecchio a sud e i corsi d'acqua del Vella e del Gizio, rispettivamente a est e a ovest (Giannantonio, 1988; 1994). In pratica, la città medievale insisteva sui resti di età romana – come poi insisterà la città moderna – da essi separata da uno spessore variabile di terreni di riporto. Nel complesso, in ciò si identifica la stratigrafia tipica di tanti altri contesti urbani plurimillennari caratterizzati da crescita verticale, con limitata espansione laterale nel corso di molti secoli e senza delocalizzazioni. Quindi, il settore dell'attuale centro storico delimitato come detto rappresenta certamente la parte la cui storia ricopre il più ampio ambito cronologico. Inoltre, è chiaro che gli attuali edifici insistono su spessori e consistenza assai variabili di sedimenti “culturali” che in altri settori cittadini sono assenti o di spessore ridotto. Ciò è chiaramente visibile nelle stratigrafie desumibili dai sondaggi geognostici a carotaggio continuo, da cui si evincono spessori di riporti sulla città romana variabili tra più di 3 m e 10 m e l'assenza dei medesimi depositi nel settore meridionale.

L'attuale centro storico, comunque più ampio del settore inurbato in epoca romana e altomedievale, è il risultato di un'espansione edilizia avvenuta tra i secoli XIII e XIV (Giannantonio, 1988, 1994; Mattiocco, 1994). In sostanza, al settore più antico, si aggiunsero verso sud i cosiddetti Borgo S. Agata, Borgo S. Maria della Tomba, Borgo Magnaporci (cioè il nucleo oggi corrispondente al quartiere su cui insistono le vie Borghetto I e II) e Borgo Pacentrano (Giannantonio, 1988, 1994; Mattiocco, 1994).

Questa espansione, tuttavia, non sembra definire settori del centro storico caratterizzati da edilizia sistematicamente più recente di quella che interessa l'area con le radici nell'abitato romano.

In effetti, nel settore centro-settentrionale, cioè quello che insiste sulla *Sulmo* romana, non sono evidenti diffuse emergenze – anche inglobate nei più moderni muri – di età precedente alla documentata espansione medievale.

In generale, ovunque nell'attuale centro storico, le più importanti emergenze monumentali – sia a carattere civile che religioso – presentano sostanziali interventi o vengono edificate nelle forme attuali nel periodo compreso tra i secoli XV e XVII (Giannantonio, 1988). Inoltre, per quanto riguarda l'edilizia privata, si può osservare che la gran parte dell'edificato nell'intero centro storico è da attribuire ai secoli XVIII e XIX. E' presumibile che buona parte di questa edificazione rappresenti in realtà la ricostruzione post-1706, ma è evidente che, al di là delle cause, l'attuale tessuto edilizio si presenta – dal punto di vista della cronologia degli impianti – piuttosto omogeneo. Anche la tipologia muraria – muri in pietra di grande spessore – è praticamente la stessa all'interno dell'intero centro storico (Giannantonio, 1988).

Si potrà notare comunque, nel settore a nord di Largo Mazara e di Piazza Garibaldi, la persistenza di elementi architettonici (in genere portali e finestre) precedenti al 1706 – presumibilmente inglobati in strutture ricostituite dopo il terremoto – con una frequenza non riscontrabile nei borghi meridionali. Ciò significa che, mediamente, emergenze di lacerti murari più antichi del secolo XVIII caratterizzano i settori centro-settentrionali piuttosto che quelli meridionali.

Si potrà vedere, nel prosieguo, che questi aspetti non sembrano avere avuto effetti particolari sulla distribuzione del danno *intra moenia*.

In questa sede, valutando la storia urbana nella prospettiva di identificare settori del centro storico con diverse caratteristiche del sottosuolo più prossimo – onde fornire dati d'ingresso per la definizione delle MOPS – è opportuno ribadire che la porzione centro-settentrionale è caratterizzata da una stratigrafia assai più articolata, per la presenza di riporti e resti sepolti della città romana, rispetto a quella che dovrebbe riguardare l'area meridionale, disabitata fino all'espansione edilizia di età medievale. La distinzione non sembra banale, in considerazione dei problemi di risposta sismica che possono derivare dalla presenza di spessori non trascurabili di riporti. A esempio, nel caso delle amplificazioni del moto del suolo recentemente evidenziate per l'area centrale di Roma, sembrerebbe chiarito che tra i fattori che influenzano la risposta sismica sono da considerare anche i fenomeni di risonanza monodimensionali cui contribuiscono gli spessori plurimetrici dei depositi culturali (Pagliaroli et al., 2013a; 2013b).

Storia sismica di Sulmona - La storia sismica di Sulmona è particolarmente ricca di eventi con effetti al di sopra della soglia del danno (**Fig. 48**). Il catalogo DBMI11 (Locati et al., 2011) riporta 12 terremoti con Intensità (I) al sito valutata con i gradi da 6 a 9-10 della scala Mercalli-Cancani-



Sieberg (MCS). A ciò si devono aggiungere il terremoto del Gran Sasso del 1950, responsabile di lievi effetti sulle costruzioni valutati con il grado 5-6 MCS (Tertulliani et al., 2006) e il recente terremoto del 2009 che ha comportato danni non trascurabili soprattutto al centro storico ma che nel complesso incidono sul costruito dell'intero abitato in misura da non consentire una valutazione superiore al grado 5 della scala MCS (Galli e Camassi, 2009).

A questa lista di eventi sismici va aggiunto il terremoto del II secolo d.C., riportato in vari cataloghi sismici a partire da Guidoboni (1989a). In Boschi et al. (1995) e nelle successive compilazioni, fino al catalogo parametrico del Gruppo di Lavoro CPTI (2004) e al catalogo CFTI4Med (Guidoboni et al., 2007), il terremoto è attribuito alla zona di San Valentino in Abruzzo Citeriore. Inoltre, nelle pubblicazioni più recenti tra quelle citate, ad esso viene riferita l'età convenzionale 101 d.C. Il terremoto è noto per via epigrafica (CIL IX, 3046), grazie all'iscrizione conservata in San Clemente a Casauria che tratta delle riparazioni a una pesa pubblica del *Pagus Interpromium*, attribuita al II secolo d.C. (Burnand, 1984; Guidoboni, 1989b).

Tuttavia, l'attribuzione dell'area epicentrale a San Valentino in Abruzzo Citeriore è il risultato di erronea individuazione del sito del *Pagus*, che la letteratura tende invece ad identificare con la stessa zona di San Clemente a Casauria (De Petra e Calore 1900–1901; Coarelli e La Regina 1984; Staffa 2004; Bucci 2006 e bibliografia).

Per meglio caratterizzare questo evento sismico, si è tentato in passato di individuare possibili effetti del terremoto nelle fonti archeologiche (Galadini e Galli, 2001; Ceccaroni et al., 2009). In generale, le diffuse tracce di distruzione e ricostruzione compatibili con gli effetti dell'evento sismico farebbero ipotizzare che l'area epicentrale sia da individuarsi nella Valle Peligna e che la sua origine sia da ricondursi all'attivazione della faglia del M. Morrone. Inoltre, varie indicazioni archeologiche, ma soprattutto una moneta di Antonino Pio rinvenuta in un'unità di crollo a Corfinio e attribuita al 147-148 d.C., fanno ipotizzare che il terremoto sia da attribuirsi alla metà del II secolo d.C.

Nel complesso, considerato che questo forte evento di età romana, responsabile di ingenti crolli diffusi nell'area peligna, fu presumibilmente originato dall'attivazione della faglia del Morrone (Galadini e Galli, 2001; Ceccaroni et al., 2009), è altrettanto verosimile – data la prossimità della sorgente sismogenetica e le chiare evidenze archeologiche di diffusa distruzione – che esso rappresenti il più forte terremoto della storia sismica locale.

Per quanto concerne Sulmona, sono compatibili con questo evento sismico: *i*) l'abbandono e la spoliatura della *domus* dell'Annunziata dopo il crollo delle strutture (Tuteri, 1995; Ceccaroni et al., 2009); *ii*) le tracce di abbandono (che includono una moneta di Antonino Pio) rinvenute in un muro in opera reticolata che costituisce l'attuale fondazione del convento di San Francesco della Scarpa

(ASBAA, 1997-1998; Ceccaroni et al., 2009); *iii*) la nuova attività edilizia a partire dalla metà del II secolo d.C., mediante restauro delle preesistenze (via Mazara e viale Roosevelt: mosaici del II secolo d.C. in strutture di età precedente; Tuteri, 1996; Ceccaroni, 2001), rasatura dei muri precedenti al II secolo (via Barbato; ASBAA 1997-1998), ampliamento delle strutture (via Barbato e chiesa di San Gaetano; ASBAA 1997-1998; Tuteri, 1995), nuova edificazione con mura e mosaici attribuiti al II secolo d.C. (via Acuti, via Corfinio, via San Cosimo, viale Matteotti; van Wonterghem 1984; Tuteri, 1997) senza tracce di preesistenze, indizio dell'espansione urbana in settori prima disabitati (Ceccaroni, 2001).

A parte l'evento sismico del II secolo d.C., tra quelli degli ultimi secoli, assai meglio definiti per quanto concerne la distribuzione del danno, è certo che gli effetti maggiori debbano essere attribuiti al terremoto del 3 novembre 1706, con epicentro nell'area della Maiella, valutati con I 9-10 MCS (Locati et al., 2011). Secondo il *database* DBMI11 (Locati et al., 2011), danni consistenti (I 8-9 MCS) ha subito la città anche con il terremoto del 1349, presumibilmente originato nella zona di Venafro (Galli e Naso, 2009), e con i terremoti del 1456 (Molise, I 8 MCS), 1915 (Marsica, I 8 MCS) e 1933 (Maiella, I 8 MCS).

Danni meno significativi (I 7 MCS) sono stati attribuiti a un evento sismico con origine locale avvenuto il 25 agosto 1905 e ancor meno importanti (I 6-7 MCS) al grande terremoto che il 14 gennaio 1703 interessò l'Appennino umbro-reatino e a quello del Parco Nazionale del 7 maggio 1984. Lievi danni (I 6 MCS) sono infine da attribuirsi all'altro terremoto del Parco (11 maggio 1984) e a eventi sismici con aree epicentrali distanti dalla città, vale a dire quello che il 31 luglio 1901 ha interessato prevalentemente la zona di Sora e quello avvenuto il 3 luglio 1987 nelle Marche meridionali (Locati et al., 2011). Il già citato *database* DBMI11 riporta altresì il grado 6 MCS per il terremoto che interessò la provincia di Chieti il 10 settembre 1881. Tuttavia, recentemente, questa valutazione è stata ridimensionata al grado 5-6 (Savarese et al., 2011).

Nel complesso, si può notare che, dopo L'Aquila, Sulmona presenta la storia sismica più ricca della regione abruzzese. In questo quadro, è da notare che alcuni terremoti con origine ben al di fuori del bacino sulmonese hanno causato ingenti danni alla città, a fronte di assai più limitati danni (o di assenza di danni) negli abitati limitrofi. Ciò è vero per il forte terremoto del 1933, con origine nel settore meridionale della Maiella, Magnitudo (M_w) 5,9 (Rovida et al., 2011), che come detto comportò danni valutati con il grado 8 MCS a Sulmona. Questo elevato livello di danneggiamento si pone in un quadro complessivo di danni agli abitati limitrofi decisamente minori, ove il solo Campo di Giove (peraltro più prossimo all'area epicentrale) presentò danni oggi valutati con il grado 7 MCS. Nella zona peligna, per il resto, furono osservati danni meno significativi, oggi valutati con il grado 6-7 MCS (Pacentro, Cansano, Pettorano sul Gizio, Introdacqua, Bugnara,



Prezza, Raiano, Vittorito e Corfinio) o con il grado 6 MCS (Pratola Peligna, Roccacasale). Medesima valutazione, consultando il DBMI11 (Locati et al., 2011) si può fare con terremoti più piccoli, con area epicentrale più distante e comunque abbastanza recenti da presentare distribuzioni del danno relativamente affidabili. Si tratta *i*) del citato terremoto del 1950 (Gran Sasso, M 5,7), che ha comportato danni a Sulmona valutati con grado 5-6 MCS (Tertulliani et al., 2006), in un contesto di abitati che – a parte Pratola Peligna, cui pure è attribuito il grado 5-6 MCS – presentano intensità MCS pari al grado 5 (Pettorano, Bugnara, Raiano, Vittorito e Corfinio); *ii*) del terremoto del 3 luglio 1987 (Porto San Giorgio, Marche meridionali; M 5,1) che ha causato danni a Sulmona valutati col grado 6 MCS, in un contesto di abitati che hanno presentato effetti valutati con i gradi 4 MCS (Bugnara, Pratola Peligna, Raiano) e 3 MCS (Roccacasale) (Locati et al., 2011).

Meno chiara risulta al proposito la distribuzione del danno relativa al terremoto che il 10 settembre 1881 (M 5,6) ha interessato la provincia di Chieti. In effetti, in area peligna sono disponibili solo due punti d'intensità (Savarese et al., 2011): Sulmona (5-6 MCS) e Popoli (5 MCS). Ciò vale a dire che almeno lievi danni interessarono Sulmona, mentre nel caso di Popoli si sarebbe trattato di un forte risentimento.

In un altro caso, il terremoto della zona di Sora del 31 luglio 1901 (M 5,2), Sulmona compare nella distribuzione delle intensità come l'unico abitato danneggiato nella valle peligna (grado 6 MCS) (Locati et al., 2011). Non si può escludere, tuttavia, che altri centri della zona abbiano risentito di questo evento sismico ma che le fonti consultate fino ad oggi non rechino traccia degli effetti. Ovviamente, medesima considerazione può essere fatta per il forte terremoto che il 14 gennaio 1703 interessò l'Appennino umbro-reatino (M 6,7). Anche in questo caso, l'unico punto che reca evidenza di danneggiamento nella zona peligna è Sulmona (grado 6-7 MCS) (Locati et al., 2011) e ovviamente non è escludibile che altri abitati limitrofi abbiano subito danni e che di questi danni non sia finora stata rinvenuta traccia nelle fonti storiche.

A parte queste considerazioni sull'utilizzo del dato storico, sembra comunque probabile che almeno in occasione di alcuni terremoti (1933, 1950, 1987; forse 1881, 1703 e 1901) Sulmona abbia subito danni più significativi degli altri abitati dell'area.

Ciò, invece, non sembrerebbe essere avvenuto col terremoto del 1915 (Marsica, M 7), con quelli del 1984 (M 5,9 e 5,5) e con quello del 2009 (M 6,3). Nel primo caso, il grado 8 MCS oltre che a Sulmona è attribuito a Introdacqua, Bugnara, Raiano, Vittorito, Corfinio, Pratola Peligna, Roccacasale e Popoli (Molin et al., 1999). Nel caso dei terremoti del 1984, se per la prima scossa è stato attribuito a Sulmona il grado 6-7 MCS, è pur vero che la medesima valutazione è stata fatta per Campo di Giove, mentre a Prezza è stato attribuito il grado 7 e a Bugnara addirittura il grado 7-8 MCS (Locati et al., 2011). Per contro è vero che danni minori sono stati riferiti a Cansano,



Pacentro, Introdacqua, Raiano, Pratola Peligna, Roccacasale, Popoli (6 MCS), Corfinio e Vittorito (5-6 MCS) (Locati et al., 2011). Per quanto riguarda la scossa dell'11 maggio, come a Sulmona, il grado 6 MCS è stato riferito a Pacentro, Pettorano e Popoli (Locati et al., 2011). Infine, nel caso del terremoto del 2009, è piuttosto evidente che a parte i casi di Bugnara e Popoli (6 MCS), Sulmona presenta il grado 5 MCS come tutti gli altri abitati della zona, a parte Pratola Peligna e Corfinio (5-6 MCS) (Galli e Camassi, 2009).

Nel complesso, i dati macrosismici facilmente consultabili sul DBMI11 non sembrano evidenziare in modo conclusivo un comportamento sismico proprio della città di Sulmona, sistematicamente diverso da quello degli altri abitati della zona. Si osserva tale comportamento, nettamente, nel caso dei terremoti del 1933, 1950 e 1987; si può forse ipotizzare per il terremoto del 1881; non si può escludere per i terremoti del 1703 e del 1901; certamente si esclude nei casi del 1915 e del 2009, mentre meno chiaro è il significato della distribuzione del danno legata ai terremoti del 1984. Infatti, se intensità maggiori furono attribuite a Prezza e a Bugnara, è pur vero che l'intensità a Sulmona è superiore a quella di tutti gli altri abitati della conca peligna.

In sostanza, se ci si limitasse alla valutazione dei dati relativi ai terremoti del 1933, 1950, 1987 e forse 1881 e 7 maggio 1984, si potrebbe ipotizzare che Sulmona abbia risentito dello scuotimento sismico più degli abitati limitrofi. Ciò in genere viene interpretato come il risultato di effetti di sito condizionati dalle locali caratteristiche geologiche. Tuttavia, è altrettanto vero che soprattutto i danni dei terremoti del 1915 e del 2009 mostrano un'omogeneità della distribuzione degli effetti nella zona peligna che – al contrario – renderebbero meno evidenti le conseguenze degli effetti di sito.

“Stratigrafia” del danno a Sulmona - Considerata la ricca storia sismica di Sulmona sopra delineata, ai fini della microzonazione – e quindi a una scala più grande di quella cui si riferisce la discussione nel paragrafo precedente – si è ritenuto opportuno valutare se le informazioni sulle distribuzioni del danno nel centro storico, in occasione di alcuni eventi sismici, potessero definire o meno settori con entità del danneggiamento sistematicamente differente. L'identificazione di tali settori avrebbe come conseguenza l'ipotesi che ad essi corrispondano zone caratterizzate da diversa risposta sismica.

Per condurre questo tipo d'indagine sono stati selezionati i terremoti per i quali maggiori informazioni sono disponibili sugli effetti nel centro storico di Sulmona, vale a dire gli eventi del 1706, 1915, 1933, 1984 e 2009.

Gli effetti del terremoto del 1706

Come già osservato, guardando alla storia più recente dell'abitato, quella successiva all'espansione medievale, il danno maggiore è attribuibile al terremoto del 1706 (I 9-10 MCS).



Questo evento sismico colpì una città che, dopo la citata espansione, dovette presentare una certa omogeneità costruttiva, con impianti cronologicamente comparabili tra i vari settori cittadini e tuttavia di età distribuita in un intervallo cronologico plurisecolare, dal secolo XIII-XIV in poi.

Per quanto riguarda la distribuzione del danno all'interno del centro storico, non è al momento possibile rendere un dettaglio paragonabile a quello che verrà fornito per i più recenti terremoti, a partire dal 1915. Vari indizi, tuttavia, suggeriscono che l'intero abitato all'interno delle mura, senza distinzioni di zone più o meno colpite, ebbe a soffrire ingenti danni. Ciò è testimoniato, a esempio, dalla ricostruzione post-sisma, da cui emerge gran parte del centro storico attuale, pure omogeneo nella frequenza degli edifici dei secoli XVIII e XIX. In effetti, nell'ipotesi di distribuzione del danno proposta da Giannantonio (1988), anche basata sulle analisi delle emergenze architettoniche, sono individuati edifici danneggiati dal terremoto un po' ovunque all'interno della cerchia muraria. Per esempio, si ipotizza che danni abbiano interessato l'intero Borgo di Santa Maria della Tomba, vari edifici nel Borgo Pacentrano, una parte consistente del Borghetto e numerosi fabbricati omogeneamente distribuiti nell'area centro-settentrionale, ma soprattutto nel settore via Corfinio-via Quatrario e in una parte dell'attuale via Papa Innocenzo VII.

In linea con questa ipotesi di omogenea distribuzione del danno è anche l'azione governativa post-sisma che si materializza nella suddivisione della città in sei quartieri, con le attività proprie dell'emergenza coordinate da quattro persone per ogni settore (Carrozzo, 2004). La parte più antica dell'abitato venne suddivisa in quattro parti; il borgo della Tomba e il borgo Pacentrano costituirono gli ulteriori due settori (Carrozzo, 2004). In sostanza, nessuna parte dell'attuale centro storico rimase al di fuori dell'area interessata dalle attività emergenziali relative allo sgombero delle macerie e all'estrazione dei cadaveri.

Sebbene per quanto concerne gli effetti di questo terremoto non si disponga di precise indicazioni sulla distribuzione del danno *intra moenia*, le informazioni generali suggeriscono che gli effetti non abbiano risparmiato specifici settori cittadini. In base alle attuali conoscenze si può quindi osservare che non sussistono elementi per poter distinguere, all'interno del centro storico, zone con entità del danno diverso dalle altre.

Gli effetti dei terremoti del 1915, 1933, 1984, 2009

Per definire la distribuzione degli effetti dei terremoti del 1915, 1933, 1984 e 2009, si è provveduto a consultare documenti disponibili presso *i*) la Sezione di Archivio di Stato di Sulmona (SASS), *ii*) presso l'Archivio di Stato dell'Aquila (ASA) e *iii*) presso il Comune di Sulmona. In particolare, dalle prime due sedi archivistiche derivano le informazioni sugli effetti dei terremoti del 1915 e del 1933; negli uffici comunali, cioè nell'Ufficio tecnico e nell'Ufficio sisma (IV Settore), è

stato possibile reperire le informazioni sui danni legati rispettivamente al terremoto del 1984 e a quello del 2009. Per il primo si è fatto riferimento alle schede di monitoraggio per gli interventi di riparazione/ricostruzione; per il più recente agli elenchi degli esiti di agibilità, peraltro disponibili in rete all'indirizzo <http://www.comune.sulmona.aq.it/elenchi-esiti-di-agibilita.html>.

Per quanto concerne il terremoto del 1915, le informazioni presso la SASS sono contenute in tre buste del V deposito dell'Archivio Civico Sulmonese (ACS), categoria 10: i) classe 9 (002058), *Danni Terremoto 1915, a) privati, b) edifici comunali*; ii) classe 9 (002059), *Contributi terremoto 13-1-1915, dalla lettera D alla lettera I*; iii) Lavori Pubblici, *Pratiche varie relative al terremoto del 1915*. Da notare che quanto disponibile al punto ii (soltanto "dalla lettera D alla lettera I") chiarisce che l'informazione complessiva sul danno dovuto al 1915 ricostruibile dal citato fondo ACS è assai probabilmente incompleta. Presso il medesimo archivio, inoltre, numerose indicazioni sugli edifici danneggiati sono state reperite nei registri del Catasto Fabbricati. Questi registri sono stati utili sia per l'esatta ubicazione di edifici il cui danneggiamento era definito da altre fonti documentarie, sia per l'individuazione di fabbricati danneggiati non segnalati altrove. In effetti, sui registri, in caso di danneggiamento venivano citate "l'inabitabilità" o "l'inabitabilità parziale a seguito terremoto 13-1-1915 giusta elenco verifiche Ufficio Tecnico Finanza"; a ciò spesso si accompagna la dicitura "terremotato".

Nel caso dell'Archivio di Stato dell'Aquila, informazioni sono state reperite nel fondo Prefettura, Serie II, Affari speciali dei comuni, VII versamento, b. 560, *Sulmona (1905-1917)*, nonché dai Fogli degli Annunzi Legali, ove venivano certificate le proprietà degli edifici nel quadro delle pratiche relative alla ricostruzione.

La definizione della distribuzione del danno dovuto al terremoto del 1933 ha beneficiato di documenti reperiti in quattro buste presso la SASS, di cui tre relative all'Archivio Civico Sulmonese (V deposito, categoria 10, classe 9), rispettivamente: i) 2118, *Terremoto 1933*; ii) 2122, *Terremoto 1933*; iii) 002034, *Edilizia Ufficio Tecnico (1933-1950)*. Una quarta busta che fornisce informazioni sui danni si riferisce invece all'Archivio della Casa Santa dell'Annunziata (II° deposito, *Lavori di riparazione ai fabbricati danneggiati dal terremoto del 1933*). Tuttavia, la maggior parte delle informazioni è stata reperita nel Catasto Fabbricati, ove venivano utilizzati riferimenti come "danni terremoto 26-9-1933 Elenco Ufficio Tecnico di Finanza del 27-2-934". Indicazioni sono state altresì reperite anche presso l'Archivio di Stato dell'Aquila, nel fondo Prefettura (Serie II, Affari speciali dei comuni, IX versamento, b. 855, *Sulmona*). Infine, una notevole quantità di informazioni sugli edifici danneggiati è stata acquisita dai già citati Fogli degli Annunzi Legali (1934-1937).



Nel complesso, i dati disponibili hanno consentito di individuare l'indirizzo di edifici che certamente hanno subito il danno in occasione di uno o più terremoti tra quelli sopra citati. Da notare che, nel caso del terremoto del 1915, i numeri civici degli stabili danneggiati sono, nelle varie vie del centro, diversi da quelli attuali. Sono altresì variate le denominazioni di alcune vie del centro storico. Pertanto, l'ubicazione degli edifici, qualora non si sia trattato di casi ben definiti perché appartenenti al patrimonio monumentale pubblico e privato sulmonese, ha potuto essere effettuata soltanto mediante una ricerca su verbali della Commissione Edilizia o, come detto, soprattutto mediante la consultazione del Catasto Fabbricati – nei casi di riferimento catastale moderno – oppure, in pochissimi casi, mediante il conteggio dei numeri civici a partire da punti a numerazione nota. Il problema è meno significativo nel caso del terremoto del 1933, poiché seppure i numeri civici non corrispondono agli attuali, i riferimenti catastali (analoghi a quelli odierni) sono spesso ben espressi nei documenti visionati.

Ovviamente, il problema dell'individuazione dei fabbricati non si pone nel caso dei terremoti del 1984 e del 2009, essendo le coordinate espresse dai numeri civici analoghe a quelle odierne.

In generale, le caratteristiche del danno non sono ben specificate per quanto attiene i terremoti del 1915 e del 1933. Tuttavia, in entrambi i casi si deve essere trattato di danni consistenti, poiché *i*) per il 1915 gli effetti del terremoto si sono risolti nella "inabitabilità" o nella "inabitabilità parziale" e *ii*) nel caso del 1933 si può constatare dai registri catastali la netta riduzione della rendita dell'immobile rispetto a quella pre-sisma.

Le caratteristiche del danno sono invece ben definite per i più recenti eventi sismici del 1984 e del 2009. In entrambi i casi sono stati identificati gli edifici che dai vari documenti disponibili risultano essere i più danneggiati, cioè quelli riportati con priorità "A" e "B equiparata ad A", vale a dire con ordinanza di sgombero, per il terremoto del 1984 e quelli definiti come "B" (temporaneamente inagibile, tutto o in parte), "C" (parzialmente inagibile) ed "E" (inagibile) per il terremoto del 2009.

Nel complesso, sono stati mappati 147 punti di danneggiamento relativi al terremoto del 1915, 312 relativi al 1933, 78 relativi al 1984 (**Fig. 49**) e 90 relativi al 2009 (**Fig. 50**). Si tenga presente che, nel caso del terremoto del 1984, se si considerano anche gli edifici senza ordinanza di sgombero, ma certamente danneggiati – poiché sono stati prodotti ed approvati dal Comune in passato i progetti di riparazione/ricostruzione – i punti mappati diventano 139.

Per tutti i terremoti analizzati non si evidenziano chiari addensamenti di danni in specifiche aree cittadine. In sostanza, il dato sul danneggiamento non identifica in modo evidente settori più e meno sistematicamente danneggiati. Si nota comunque che nel caso del terremoto del 1933 si ha un certo addensamento nel settore orientale, a ridosso della scarpata che delimita il ripiano del centro storico

dal fiume Vella. Nel caso del 1915 e del 1984, si può altresì notare una rarefazione di punti di danneggiamento nel settore centrale, a favore di maggiori addensamenti a ridosso delle scarpate di Vella e Gizio. Ciò suggerisce di indirizzare l'attenzione delle future indagini alla valutazione del ruolo dei suddetti pendii negli effetti di sito che potrebbero interessare il centro storico.

Le distribuzioni dei danni evidenziano altresì una certa "integrità" attraverso i terremoti del settore compreso tra via Manlio D'Eramo e la chiesa di Santa Maria della Tomba, a parte un piccolo addensamento di punti del terremoto del 1933 a ridosso della parte occidentale di Vico del Tempio. Analogamente, sembrano meno addensati i punti di danno relativi ai vari terremoti *i)* nel settore est del tratto meridionale del Corso, tra Piazza Don Minzoni e Porta Napoli, *ii)* nel settore nord, di forma triangolare, delimitato dalle mura, via Panfilo Scudieri e via Solimo, *iii)* nell'area di forma rettangolare delimitata da via S. Cosimo, via Peligna, via Corfinio e via Mazara.

Tuttavia, nel complesso, se si dovesse utilizzare questo tipo di informazione – insieme a quella già discussa, ma meno precisa, sul terremoto del 1706 – si dovrebbe concludere che le informazioni storiche non forniscono chiare indicazioni sulla presenza nel centro storico di settori sistematicamente caratterizzati da diversa entità del danneggiamento. Ciò, evidentemente, non sembra fornire spunti per l'eventuale identificazione di MOPS.

Altro aspetto di particolare interesse che emerge dal confronto tra la mappa dei punti relativi al 1915 e quelle dei terremoti successivi è l'incremento del danno nel settore nord-orientale, all'incirca compreso tra il Corso Ovidio, via Pantaleo, via Morrone e le mura, nonché nel Borgo Pacentrano. E' possibile che per questo aspetto un ruolo predisponente sia stato giocato proprio dal terremoto del 1915, forse responsabile di un incremento della vulnerabilità degli edifici nei citati settori cittadini senza, tuttavia, cospicui danni.

Nel complesso, il dato che viene dai terremoti del 1915, 1933, 1984 e 2009 fornisce anche indicazioni sul ruolo che la vulnerabilità degli edifici può aver avuto nel danneggiamento sismico. Ciò risulta piuttosto evidente dal fatto che più di novanta edifici del centro storico (includendo nella valutazione gli edifici danneggiati nel 1984 ma per i quali non è stata prodotta l'ordinanza di sgombero) risultano pluriterremotati, avendo generalmente subito danni ingenti in almeno due dei terremoti sopra citati, in più di dieci casi in tre terremoti e in due casi in tutti i terremoti analizzati (**Fig. 51**). Come il danneggiamento, anche queste "ricorrenze" sono equamente distribuite nel centro storico, essendo presenti sia nel settore centro-settentrionale che in quello meridionale. Si può notare, tuttavia, una maggiore frequenza di ricorrenze nel settore orientale, in una fascia a ridosso della scarpata del Vella. E' particolarmente evidente che il fenomeno della ripetizione del danno ha colpito un numero non trascurabile di edifici nel Borgo Pacentrano e anche nel settore compreso tra Largo Palizze e via Pansa.



Per chiarire le implicazioni di quanto esposto, si ricorderà che i terremoti citati non hanno area epicentrale nella Valle Peligna. Essi, pertanto, non hanno generato scuotimenti paragonabili a quelli che ci si potrebbero attendere, a esempio, dall'attivazione della faglia sismogenetica del Monte Morrone, né hanno avuto effetti paragonabili a quelli del terremoto del 1706. In sostanza, considerando la successione dei terremoti citati, cui sono state attribuite intensità a Sulmona variabili tra il grado 8 MCS (1915 e 1933), il grado 6-7 (1984) e il grado 5 (2009), è presumibile che – dati gli effetti non catastrofici dello scuotimento – edifici che in maniera ricorrente hanno subito il danno avrebbero forse potuto evitarlo se si fosse proceduto, tra un evento e l'altro, a restauri realmente mirati al miglioramento sismico. E' evidente che restauri di questo tipo, in alcuni casi, non sono stati attuati o sono stati mal realizzati. Del resto, l'inerzia nei confronti del recupero degli edifici a seguito di un terremoto emerge nei registri catastali, ove in riferimento ad abitazioni danneggiate nel 1915 e/o nel 1933 il termine "terremotato" viene riportato anche nei riferimenti datati agli Cinquanta.

In altri casi, si osserva che le distribuzioni dei danni ai singoli edifici nei vari terremoti definiscono delle figure complementari. Ciò suggerisce che assai spesso gli interventi ai fabbricati sono stati condotti correttamente. Inoltre, ciò evidenzia ancora una volta il ruolo centrale della vulnerabilità degli edifici negli effetti legati a terremoti che non hanno origine nella Valle Peligna, poiché è evidente che agli avvenuti interventi di restauro e manutenzione post-sisma deve essere attribuita la mancanza di effetti nei terremoti successivi a quello responsabile del danneggiamento. A questo proposito, possono essere citati i casi del "Borghetto" e del Borgo di Santa Maria della Tomba nel passaggio 1984-2009. Nel 2009 entrambe le zone presentano un'evidente rarefazione dei danni rispetto alla situazione del 1984; ciò suggerisce che interventi siano stati correttamente effettuati a molti degli edifici danneggiati dai terremoti del 1984. Analogamente, si potrà notare che l'intero settore nord-occidentale, compreso tra l'Annunziata e via di Porta Romana, cui è rapportabile un danneggiamento diffuso nel 1915, nel 1933 e nel 1984, si presenta nel 2009 come uno dei settori meno colpiti. Di nuovo a proposito del "Borghetto", nella medesima prospettiva di chiarire il ruolo della vulnerabilità, si potrà notare l'evidente complementarità del danno nel confronto tra il 1915 e il 1933. E ancora, rapportando il danno del 1915 a quello del 1933, analoghi suggerimenti vengono dal fianco meridionale di Piazza Garibaldi – danneggiato nel 1915 – cui il più recente dei due eventi non sembra aver generato danni apprezzabili.

Conclusioni - Nel complesso, la distribuzione del danno nel centro storico dovuto ai terremoti del 1706, 1915, 1933, 1984 e 2009 non consente la netta individuazione di zone caratterizzate da un

sistematico e tipico risentimento. Il danneggiamento causato dai citati terremoti con origine esterna alla conca peligna sembra omogeneamente distribuito nell'ambito del centro storico, nonostante la diversa storia urbanistica ed edilizia, nonché una certa diversità geologica dell'immediato sottosuolo nei settori centro-settentrionale e meridionale. Al più sembra possibile individuare un certo addensamento di punti di danno nelle fasce a ridosso delle scarpate di Vella e Gizio. Ciò suggerisce di indirizzare proprio in quei settori le future indagini geologiche e sismometriche. In attesa di questi approfondimenti, al fine dell'identificazione di Microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS), le informazioni storiche suggerirebbero di definire un'unica microzona inglobante l'intero centro di Sulmona.

Le medesime informazioni sulla distribuzione del danno legato ai terremoti del XX secolo e del 2009 sembrerebbero porre soprattutto l'accento sul ruolo della qualità del costruito nella distribuzione del danno. Ciò è indicato sia dal notevole numero di edifici che hanno più volte subito danni sismici (più di novanta), sia dall'evidenza contraria, vale a dire la presenza di alcuni settori in cui i danni presentano distribuzioni complementari nel confronto tra terremoti consecutivi, oppure assenza di effetti col terremoto successivo a quello che ha generato il danno.

Questo ruolo centrale della qualità dell'edificato che emerge dalle informazioni storiche rappresenta un richiamo per l'Amministrazione comunale e per i cittadini a far meglio di quanto fatto in passato in tema di interventi per la riduzione della vulnerabilità degli edifici.

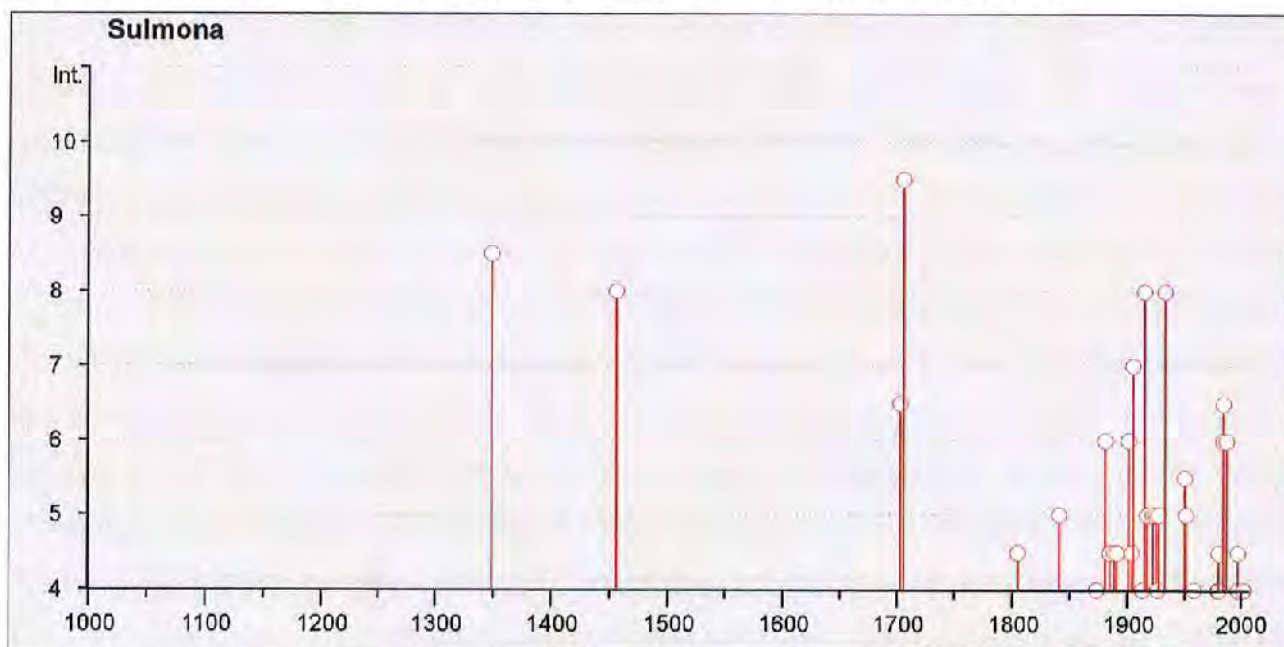


Figura 48– *Storia sismica di Sulmona (da Locati et al., 2011).*



Figura 49 – *Distribuzione del danno nel centro storico di Sulmona; terremoti del 1984. In nero i punti di danno relativi a edifici con ordinanza di sgombero; in rosso i punti di danno relativi a edifici senza ordinanza di sgombero.*



Figura 50 – *Distribuzione del danno nel centro storico di Sulmona; terremoto del 2009.*



Figura 51 – Edifici del centro storico che hanno subito danni a causa di più terremoti della serie 1915, 1933, 1984, 2009 (in viola i punti di danno riferibili a due terremoti; in nero i punti riferibili a tre terremoti; in arancio i punti riferibili a quattro terremoti).

10. Considerazioni Conclusive, Incertezze ed Indicazioni per Successivi Approfondimenti

La Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica riassume i risultati scaturiti dallo studio di MS di livello 1 di Sulmona. In essa il territorio comunale indagato è stato suddiviso in aree ove è possibile prevedere l'occorrenza di effetti superficiali omogenei indotti dall'azione sismica (MOPS).

Considerando che le aree urbanizzate ed urbanizzabili ricadono quasi completamente in aree caratterizzate da spesse coperture di depositi continentali quaternari (successione fluvio-lacustre del bacino tettonico di Sulmona) le MOPS sono esclusivamente rappresentate da "Zone Stabili Suscettibili di Amplificazione Locale", oltre che dalla presenza di "Zone Instabili".

L'interazione tra i dati Geologico-Tecnici e quelli delle frequenze di risonanza dei terreni (ottenuti in questo studio), ha permesso di suddividere il territorio comunale in due macroaree: 1) Zone Stabili Suscettibili di Amplificazione Locale ricadenti nella macroarea con $f_0 < 1$ Hz; 2) Zone Stabili Suscettibili di Amplificazione Locale comprese nella macroarea con $f_0 \geq 1$ Hz). Sebbene questa scelta abbia portato, quasi, ad una duplicazione del numero di microzone, essa è giustificata dal fatto che le aree con $f_0 \geq 1$ Hz hanno un maggior interesse ingegneristico (fenomeno della doppia risonanza).

Alla problematica delle Zone Instabili è stato dedicato l'intero Cap. 8. In sintesi, sono state inserite come "Zone suscettibili di Instabilità" (ZSI) per "instabilità di versante" e "instabilità per faglia attiva e capace", solo le frane e le faglie attive già presenti nella cartografia ufficiale e ampiamente riconosciute nella letteratura scientifica (es., PAI, IFFI, DISS-INGV, ITHACA-ISPRA). Mentre, le aree dove, secondo questo studio, è possibile prevedere fenomeni di instabilità, ma per le quali non si dispone (livello 1) di dati sufficienti per classificarle come zone effettivamente instabili, sono state indicate come Zone di Attenzione (ZAI) o Zone Potenzialmente Instabili" (ZPI), per le quali sono necessari studi ed approfondimenti di livello 3 di MS.



10.1. Incertezze ed Indicazioni per Successivi Approfondimenti

L'assetto litostratigrafico dell'immediato sottosuolo (primi 15-30 m) della piana di Sulmona è abbastanza ben conosciuto escludendo la zona romana-medievale del capoluogo. Le maggiori incertezze riguardano:

- 1) le zone alla base dei versanti, ad esempio, frazioni di Badia, S. Lucia, Fonte d'Amore, Marane, dove i dati di sottosuolo sono scarsi, la complessità stratigrafica è elevata ed i fenomeni di instabilità sono diffusi;
- 2) la ricostruzione della litostratigrafia e della geometria profonda del bacino;
- 3) le Zone di Attenzione (ZAI) o Zone Potenzialmente Instabili" (ZPI).

Riguardo al punto 1), successive indagini geologiche e geognostiche e geofisiche (es., rilevamenti di dettaglio, trincee, sondaggi, prove DH, e profili sismici e geoelettrici) dovrebbero approfondire i temi delle interdigitazioni dei depositi alla base dei versanti (conoide alluvionale, detriti di versante e paleofrane) con quelli alluvionali e lacustri nella piana;

Relativamente al punto 2), occorre ricordare che per l'area di Sulmona, costituita da un bacino fluvio-lacustre con sedimenti profondi (> 300-400 m), si possono attendere amplificazioni del moto sismico di riferimento di diversa entità. A titolo di esempio, in **Figura 52**, vengono mostrati i rapporti spettrali di alcune stazioni significative ubicate nella piana di Gubbio (PG), molto simile per assetto geologico – strutturale alla piana di Sulmona (Bindi et al. 2009).

La frequenza di risonanza di alcune postazioni di misura della piana di Gubbio, è visibile nella colonna di destra, determinata dai rapporti H/V. Nella colonna a sinistra vengono invece mostrati i rapporti spettrali tra la media delle componenti orizzontali di ogni sito in esame e la media delle componenti orizzontali di una stazione di riferimento, ubicata su roccia. Dalla figura si evince come siano possibili amplificazioni del moto del suolo non solo in corrispondenza della frequenza di risonanza, ma anche in corrispondenza di un'ampia banda di frequenza che va da 0.3 a 5Hz. Nell'area di Gubbio è stata inoltre individuata nelle registrazioni la presenza di onde di superficie generate all'interno del bacino lacustre. Queste possono causare l'allungamento del segnale e il conseguente incremento del contenuto di energia.

Tenuto conto delle analogie geologico-strutturali tra due aree, le zone stabili suscettibili di amplificazione, individuate attraverso il livello 1, necessitano di un approfondimento conoscitivo di livello 2 o 3, per individuare possibili differenze dell'amplificazione.

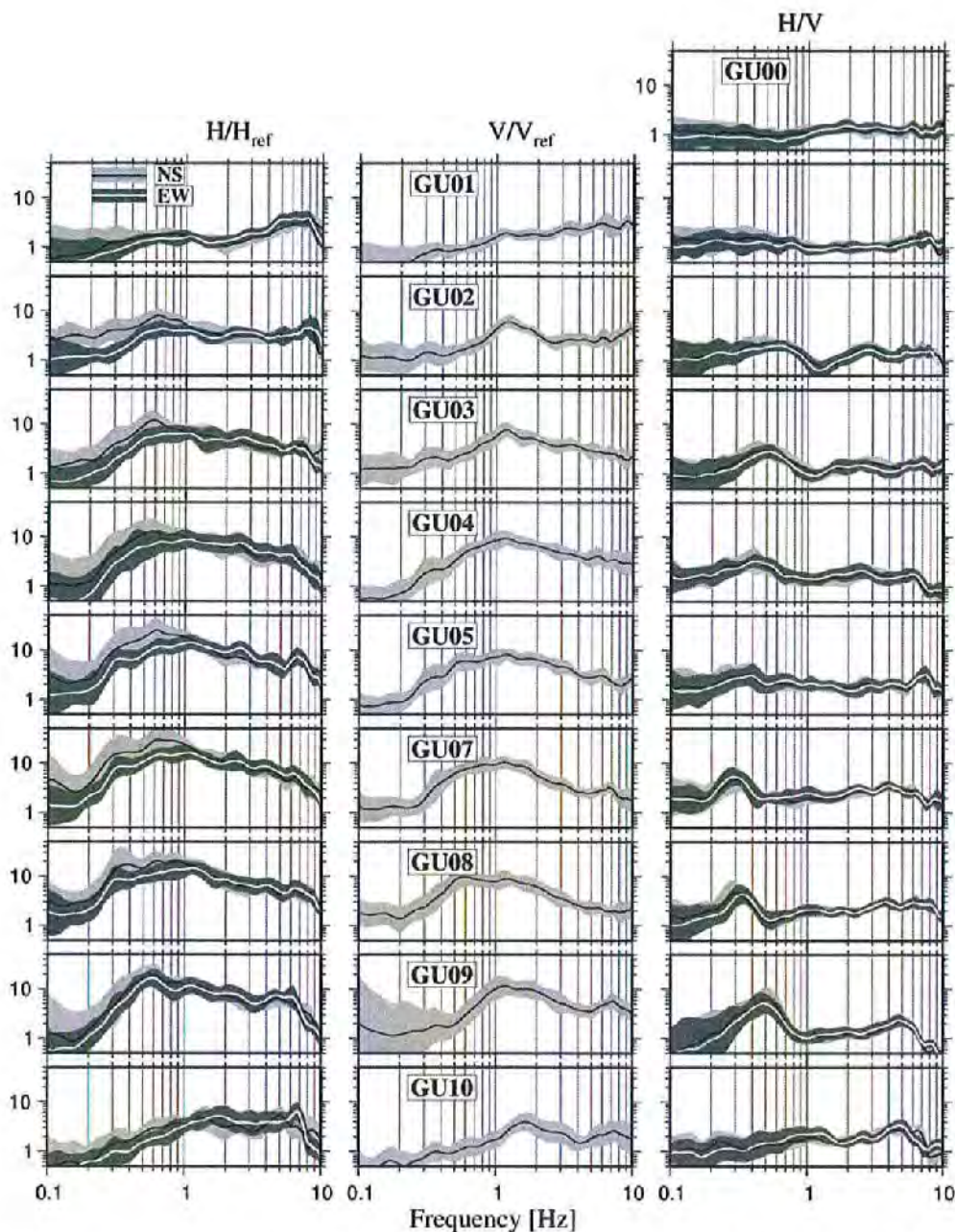


Figura 52 – Rapporti spettrali per alcune stazioni della piana di Gubbio (PG). Colonna sinistra: H/H_{ref} ; Colonna centrale: V/V_{ref} ; colonna destra H/V (Da Bindi et al, 2009).

L'installazione di una rete sismica temporanea di monitoraggio è preferibile rispetto all'applicazione di abachi o modellazioni numeriche, in quanto le indagini pregresse non raggiungono il bedrock sismico, che si trova a profondità notevoli, stimabili solo attraverso prospezioni geofisiche *ad hoc*.

Le registrazioni di terremoti permetterebbero di analizzare in dettaglio la presenza dei picchi di amplificazione secondari, osservati nei rapporti H/V delle misure di rumore in corrispondenza delle stazioni (SU11, 12, 14, 16, 20, 22, 24, 26, 30, 31 e 32). Infine, sarebbe possibile identificare l'eventuale presenza di effetti 2D, come la generazione di onde di superficie all'interno del bacino o

l'amplificazione topografica in corrispondenza delle scarpate del terrazzo alluvionale del centro storico di Sulmona. I risultati ottenuti dalle misure di rumore (rapporti H/V) sono di estrema utilità per individuare i siti da monitorare.

Alternativamente, o congiuntamente alla rete di monitoraggio, può essere commissionato uno studio per la valutazione della velocità delle onde di taglio sino al bedrock sismico con tecniche di sismica passiva (array di microtremore) per alcuni siti chiave, e procedere alla modellazione numerica 1D o 2D. In questo caso le curve di H/V ottenute da misure di rumore a singola stazione possono essere utilizzate per verificare la funzione di trasferimento teorica in termini di frequenza di risonanza. Si consigliano 4 array (in corrispondenza del centro storico con f_0 tra 0.6-0.7 Hz, della zona industriale con f_0 0.4-0.5 Hz, dei conoidi con f_0 pari a circa 1 Hz e dell'area a sud del centro storico con f_0 tra 1 e 2 Hz);

- infine, per quanto riguarda il punto 3) si sottolinea che le Zone di Attenzione (ZAI) e le Zone Potenzialmente Instabili (ZPI) necessitano di approfondimenti di tipo quantitativo propri del Livello 3 di MS, rimandando a quanto già ampiamente illustrato nel Cap. 8. Si ricorda, inoltre, che tutte le aree che necessitano di ulteriori indagini ed approfondimenti sono state delimitate con dei poligoni nella Carta delle Indagini.

11. Bibliografia

- Ambrosini S., Castenetto S., Cevolani F., Di Loreto E., Funicello R., Lipari L., Molin D. (1986) – Risposta sismica dell'area urbana di Roma in occasione del terremoto del Fucino del 13-1-1915. *Mem. Soc. Geol. It.*, 35, 445-452.
- Amoroso S. (2009) – Centro storico di Sulmona: studi di microzonazione sismica e proposta per la mitigazione del rischio. Report DISAT, Università di L'Aquila, pp. 64.
- APAT (2006) – Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 369 "Sulmona". APAT, S.EL.CA., Firenze.
- ASBAA, Archivio della Soprintendenza per i Beni Archeologici dell'Abruzzo, 1997-1998. Sulmona (AQ). Centro storico: via Acuti, via Mazara, via Barbato, via Corfinio. Lavori per la nuova rete fognante. Giornale di scavo (Campagna di scavo 1997-98). Dattiloscritto inedito, 120 pp.
- Bagnaia R., D'Epifanio A. e Sylos Labini S. (1989) – Aquila and Subequan basins: an example of Quaternary evolution in Central Apennines. *Quaternaria Nova*, 1, 1-23.
- Barchi M., Galadini F., Lavecchia G., Messina P., Michetti A.M., Peruzza L., Pizzi A., Tondi E. 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, p. 62.
- Beneo E. (1942) – Foglio Sulmona della Carta Geologica d'Italia al 100.000. Regio Ufficio Geologico d'Italia, Roma.
- Beneo E. (1943) – Note illustrative della carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 – Foglio 146 "Sulmona". Regio Ufficio Geologico d'Italia, Roma.
- Bertini T. e Bosi C. (1978) – Dati preliminari sulla tettonica dei Fogli 145 "Avezzano" e 146 "Sulmona". CNR, Prog. Final. "Gedimamica", 155, 21-34.
- Bianchi Fasani G., Di Luzio E., Esposito C., Evans S.G. e Scarascia Mugnozza G. (2014) – Quaternary, catastrophic rock avalanches in the Central Apennines (Italy): Relationships with inherited tectonic features, gravity-driven deformations and geodynamic frame. *Geomorphology*, 211, 22-52.
- Bigi S., Calamita F. e Paltrinieri W. (1997a) – Modi e tempi della strutturazione della catena centro-appenninica abruzzese dal Gran Sasso alla costa adriatica. *Studi Geol. Camerti*, vol. spec. 1995/2, 77-85.
- Bigi S., Cantalamessa G., Centamore E., Didascalou P., Micarelli A., Nisio P., Pennesi T. e Potetti M. (1997b) – The periadriatic basin (Marche – Abruzzi sector, Central Italy) during the Plio-Pleistocene. *Giorn. Geol.*, 59(1-2), 245-259.
- Bindi D., Parolai S., Cara F., Di Giulio G., Ferretti G., Luzi L., Monachesi G., Pacor F. e Rovelli A. (2009) – Site Amplifications Observed in the Gubbio Basin, Central Italy: Hints for Lateral Propagation Effects, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 99(2A), 741-760, doi:10.1785/0120080238.
- Boncio P., Galli P., Naso G. e Pizzi A. (2012) – Zoning Surface Rupture Hazard along Normal Faults: Insight from the 2009 Mw 6.3 L'Aquila, Central Italy, Earthquake and Other Global Earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 102/3, 918-935, doi: 10.1785/0120100301.
- Boschi E., Ferrari G., Gasperini P., Guidoboni E., Smriglio G. e Valensise G. (1995) – Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1980. Istituto Nazionale di Geofisica, SGA storia geofisica ambiente, Bologna, 973 pp.
- Bosi C. (1975) – Osservazioni preliminari su faglie probabilmente attive nell'Appennino centrale. *Boll. Soc. Geol. It.*, 94(4), 827-859.



- Bosi C. e Bertini T. (1970) – Geologia della media valle dell'Aterno. *Mem. Soc. Geol. It.*, 9(4), 719-777.
- Bosi C., Galadini F. e Messina P. (1995) – Stratigrafia plio-pleistocenica della conca del Fucino. *Il Quaternario*, 8(1), 83-94.
- Bosi C. e Messina P. (1990) – Elementi di stratigrafia neogenico-quadernaria tra il Fucino e la valle del Giovenco (L'Aquila). *Mem. Descr. Carta Geol. It.*, 38, 85-96.
- Bosi C. e Messina P. (1992) – Ipotesi di correlazione morfo-litostratigrafiche plio-pleistoceniche nell'Appennino Laziale-Abruzzese. *Studi Geol. Camerti*, vol. spec. 1991/2, 257-263.
- Bozzano F., Giacomini A. C., Martino S., Comando Prov. Vigili del Fuoco Roma (2011) – Damage scenario induced in the city of Rome by the L'Aquila seismic sequence of April 2009 (Italy). *Italian J. Eng. Geol. Environ.*, 2, 5-22.
- Bramerini F., Castanetto S., Naso G. e Quadrio B. (2012) – Standard di rappresentazione e archiviazione informatica Microzonazione Sismica, v. 2.0. Roma.
- Bramerini F., Castanetto S., Naso G. e Quadrio B. (2013) – Standard di rappresentazione e archiviazione informatica Microzonazione Sismica, v. 3.0. Roma.
- Bucci I. (2006) – Studio topografico del territorio compreso tra la Valle del Pescara e la Valle dell'Orta. *Accademia Historico-Iuridico-Theologica Petrus Tocanel, Istituti Teologici Francescani Roman, Studia et Documenta*, 12, 238 pp.
- Burnand Y. (1984) – *Terrae Motus. La documentation épigraphique sur le tremblement de terre dans l'Occident romain.* In: B. Helly, A. Pollino (a cura di): *Tremblements de terre histoire et archéologie. IVème Rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes (2-4 Nov 1983)*, Valbonne, pp. 173-182.
- Calamita F., Coltorti M., Farabollini P. e Pizzi A. (1994) – Le faglie normali quadernarie nella dorsale appenninica umbro-marchigiana: proposta di un modello di tettonica di inversione. *Studi Geol. Cam.*, spec. vol. 1, 211-225.
- Calamita F., Coltorti M., Pieruccini P. e Pizzi A. (1999) – Evoluzione strutturale e morfogenesi Plio-Quadernaria dell'Appennino Umbro-Marchigiano tra il Pedepennino Umbro e la costa Adriatica. *Boll. Soc. Geol. It.*, 118, 125-139.
- Calamita F. e Pizzi A. (1994) – Recent and active extensional tectonics in the southern umbro-marchean Apennines (central Italy). *Mem. Soc. Geol. It.*, 48, 541-548.
- Carrozzo R. (2004) – Il terremoto del 1706 nel Sulmonese. Effetti, primi interventi, la ricostruzione. In: R. Colapietra, G. Marinangeli, P. Muzi (a cura di), *Settecento abruzzese. Eventi sismici, mutamenti economico-sociali e ricerca storiografica. Atti del Convegno, L'Aquila 29-30-31 ottobre 2004*, L'Aquila, pp. 133-230.
- Cavinato G.P., Cosentino D., De Rita D., Funicello R. e Parotto M. (1994) – Tectonic-sedimentary evolution of intrapenninic basins and correlation with the volcano-tectonic activity in Central Italy. *Mem. Descr. Carta. Geol. d'It.*, 49, 63-76, Roma.
- Cavinato G.P. e Miccadei E. (1995) – Sintesi preliminare delle caratteristiche tettoniche e sedimentarie dei depositi quadernari della conca di Sulmona (L'Aquila). *Il Quaternario*, 8(1), 129-140.
- Cavinato G.P. e Miccadei E. (1995) – Sintesi preliminare delle caratteristiche tettoniche e sedimentarie dei depositi quadernari della Conca di Sulmona (L'Aquila). *Il Quaternario*, 8(1), 129-140.
- Ceccaroni E. (2001) – Nuovi dati per l'archeologia di Sulmona e del territorio. In: *Tra memoria e futuro. Sulmona e il territorio dall'archeologia ad Internet*, Corfinio, pp. 25-54.
- Ceccaroni E., Ameri G., Gomez Capera A.A., Galadini F. (2009) – The 2nd century AD earthquake in central Italy: archaeoseismological data and seismotectonic implications. *Natural Hazards*, 50, 335-359.



- Centamore E., Cantalamessa G., Micarelli A., Potetti M., Berti S., Bigi S., Morelli C. e Ridolfi M. (1992) – Stratigrafia ed analisi di facies dei depositi del Miocene e del Pliocene inferiore dell'avanfossa marchigiano-abruzzese e delle zone limitrofe. *Studi Geol. Cam.*, spec. vol. 1991/2, 125-135.
- Centamore E., Crescenti U., Dramis F. (2006) – Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 369 "Sulmona". ISPRA, S.EL.CA., Firenze, pp. 154.
- Ciccacci S., D'Alessandro L., Dramis F. e Miccadei E. (1998) – Geomorphological evolution and neotectonics of the Sulmona intramontane basin (Abruzzi, Apennine, Central Italy). *Geogr. Fis. Dinam. Quat.*
- Coarelli F. e La Regina A. (1984) – Abruzzo e Molise, Guida archeologica. Bari, pp. 346.
- Colacicchi R. (1967) – Geologia della Marsica orientale. *Geologica Romana*, 6189-316.
- D'Alessandro L., Miccadei E., Barbieri R. e Piacentini T. (2000) – Elementi morfostrutturali della regione Peligna (Appennino centrale, Abruzzo). *Atti 80a Riunione estiva della Società Geologica Italiana: "Tra Alpi, Dinaridi e Adriatico"*, Trieste, 6-8 settembre 2000, 182-183.
- De Petra G. e Calore P.L. (1900–1901) – Interpromium et Ceii. In: *Atti della Regia Accademia di Napoli*, 21, 155–192.
- Demangeot J. (1965) – Géomorphologie des Abruzzes Adriatiques. Centre Recherche et Documentation Cartographique, Memoires et Documents, CNRS, Paris, 403 pp.
- Desiderio G., Folchi Vici C., Nanni T., Ruggeri G. e Rusi S. (2011) – Schema idrogeologico della Piana di Sulmona (AQ). CNR GNDICI L.4 U.O. 10N.
- Di Filippo M. e Miccadei E. (1997) – Studio gravimetrico della conca di Sulmona. *Il Quaternario*, 10(2), 489-494.
- Di Luzio E., Saroli M., Esposito C., Bianchi Fasani G., Cavinato G.P. e Scarascia Mugnozza G. (2004) – Influence of structural frame work on mountain slope deformation in the Maiella anticline (Central Apennines, Italy). *Geomorphology*, 60, 417-432.
- DISS Working Group (2010) – Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.1.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, © INGV 2010 - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, doi:10.6092/INGV.IT-DISS3.1.1.
- Donati S., Funicello R. e Rovelli A. (1999) – Seismic response in archaeological areas: the case histories of Rome. *J. Appl. Geophys.*, 41, 229–239.
- Dramis F. (1992) – Il ruolo dei sollevamenti tettonici a largo raggio nella genesi del rilievo appenninico. *Studi Geol. Camerti*, vol. spec. 1992/1, 9-15.
- Galadini F. e Galli P. (2000) – Active tectonics in the Central Apennines (Italy) – input data for Seismic Hazard Assessment. *Nat. Hazards*, 22, 225-270, doi:10.1023/A:1008149531980.
- Galadini F. e Galli P. (2001) – Archaeoseismology in Italy: case studies and implications on long-term seismicity. *Journal of Earthquake Engineering*, 5, 35-68.
- Galli P. e Camassi R. (2009) – Rapporto sugli effetti del terremoto aquilano del 6 aprile 2009. Rapporto congiunto DPC-INGV, 12pp., <http://www.earth-prints.org/handle/2122/5416>.
- Galli P. e Naso G. (2009) – Unmasking the 1349 earthquake source (southern Italy). Paleoseismological and archaeoseismological indications from the Aquae Iuliae fault. *Journal of Structural Geology*, 31, 128-149.
- Ghisetti F. e Vezzani L. (1999) – Depth and modes of Pliocene-Pleistocene crustal extension of the Apennine (Italy). *Terra Nova*, 11, 67-72, doi:10.1046/j.1365-3121.1999.00227.x.
- Giaccio B., Messina P., Sposato A., Voltaggio M., Zanchetta G., Galadini F., Gori S. e Santacroce R. (2009) – Tephra layers from Holocene lake sediments of the Sulmona Basin, central Italy: implications for volcanic activity in



- Peninsular Italy and tephrostratigraphy in the central Mediterranean area. *Quaternary Science Reviews*, 28, 2710-2733.
- Giannantonio R. (1988) – Il terremoto del 1706 a Sulmona: la ricostruzione degli edifici sacri. *Opus I-1988*, 119-144.
- Giannantonio R. (1994) – Sulmona. Storia urbana, documenti, disegni. San Salvo (CH), 145 pp.
- Giraudi C. (1988) – Evoluzione geologica della Piana del Fucino (Abruzzo), negli ultimi 30000 anni. *Il Quaternario*, 1(2), 31-59.
- Giuliani R. e Sposato A. (1995) – Evoluzione quaternaria del sistema di depressioni del Tirino (Appennino Abruzzese). *Il Quaternario*, 8(1), 217-228.
- Gori S., Giaccio B., Galadini F., Falcucci E., Messina P., Sposato A. e Dramis F. (2009) – Active normal faulting along the Mt. Morrone south-western slope (central Apennines, Italy). *Int. J. Earth Sci.*
- Gori S., Falcucci E., Dramis F., Galadini F., Galli P., Giaccio B., Messina P., Pizzi A., Sposato A. e Cosentino D. (2014) – Deep-seated gravitational slope deformation, large-scale rock failure, and active normal faulting along Mt. Morrone (Sulmona basin, Central Italy): Geomorphological and paleoseismological analyses. *Geomorphology*, 208, 88-101.
- Gruppo di lavoro CPTI (2004) – Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04), INGV, Bologna, doi: 10.6092/INGV.IT-CPTI04.
- Gruppo di Lavoro MS (2008) – Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Conferenza delle Regioni e delle Province autonome – Dipartimento della protezione civile, Roma, 3 voll. e Cd-rom.
- Gruppo di Lavoro per le attività di Microzonazione sismica (2012) – Linee Guida Regione Abruzzo. Standard di rappresentazione cartografica e archiviazione informatica, v. 1.2. L'Aquila, Regione Abruzzo.
- Guidoboni E. (1989a) – Catalogo. In: E. Guidoboni (a cura di), I terremoti prima del Mille in Italia e nell'area mediterranea, Bologna, 574-717.
- Guidoboni E. (1989b) – Catalogo delle epigrafi latine riguardanti terremoti. In: E. Guidoboni (a cura di), I terremoti prima del Mille in Italia e nell'area mediterranea, Bologna, 135-168.
- Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G. e Valensise G. (2007) – CFTI4Med, Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and Mediterranean Area (760 B.C.-1500). INGV-SGA. Available from <http://storing.ingv.it/cfti4med/>.
- Gruppo di Lavoro MS (2008) – Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Conferenza delle Regioni e Province autonome – Dipartimento della Protezione Civile, Roma.
- ISPSEL (2006) – Progetto di Ricerca: "Elaborazione di un modello integrato di analisi dell'interazione tra rischi geologici ed impianti produttivi ad elevato impatto, anche in relazione ad eventuali effetti domino – Area di Sulmona". A cura di: D'Alessandro L. (Resp. Scientifico) e Miccadei E.
- ITHACA – Catalogo delle Faglie Attive e Capaci. ISPRA. <http://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/ithaca-catalogo-delle-faglie-capaci>
- Konno K. e Ohmachi T. (2006) – Ground-Motion Characteristics Estimated from Spectral Ratio between Horizontal and Vertical Components of Microtremor, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 88(1), 228-241.
- Kotsakis T., Palombo M.R. e Petronio C. (1978) – *Mammuthus chosaricus* e *Cervus elaphus* del Pleistocene superiore di Via Flaminia (Roma). *Geol. Romana*, 17, 411-445.
- Lavecchia G., Brozzetti F., Barchi M., Menichetti M. e Keller J.V.A. (1994) – Seismotectonic zoning in east-central Italy deduced from an analysis of the Neogene to present deformations and related stress fields. *GSA Bull.*, 106(9), 1107-1120, doi:10.1130/0016-7606(1994)106<1107:SZIECI>2.3.CO;2.

- Lavecchia G., Boncio P., Brozzetti F., De Nardis R., Pace B. e Visini F. (2006) – Studio della Pericolosità sismica della Regione Abruzzo. Lavoro realizzato nell'ambito della Convenzione fra Regione Abruzzo e Università "G. D'Annunzio" di Chieti dal titolo "Studio della Pericolosità sismica della Regione Abruzzo e ulteriori attività di supporto tecnico-scientifico da realizzare nell'ambito del Coordinamento delle Università abruzzesi per la ricerca applicata alla mitigazione del Rischio sismico". Rapporto interno, GeoSisLab – Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Chieti 2006, 31 pp, 5 tav. f.t.
- Leuci G. e Scorziello R. (1972) – Su alcuni resti di *Elephas antiquus* sp. rinvenuti nelle alluvioni terrazzate della Conca di Sulmona (Pratola Peligna, L'Aquila, Abruzzo). Boll. Soc. Natur. It., 81, 303-312.
- Locati M., Camassi R. e Stucchi M. (2011) – Database macrosismico italiano, versione DBMI11, Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/dbmi11/>.
- Mancini A.A. (2010) – Trasposizione sul PRG delle scarpate morfologiche e delle previsioni del P.A.I. Relazione geologica. Comune di Sulmona, pp. 34.
- Manuel M.R. (2007) – Dalle indagini al modello geologico-tecnico per la definizione della Risposta Sismica Locale finalizzata alla Microzonazione Sismica di pianure alluvionali e costiere. Tesi di Dottorato in Scienze della Terra, XX Ciclo, Università di Roma La Sapienza, pp. 336.
- Mattiocco E. (1994) – Sulmona. Città e contado nel catasto del 1376. Pescara, pp. 334.
- Miccadei E. (1993) – Geologia dell'area Alto Sagittario-Alto Sangro (Abruzzo, Appennino Centrale). *Geologica Romana*, 29, 463-481.
- Miccadei E., Cavinato G.P. e Vittori E. (1992) – Elementi neotettonici della Conca di Sulmona. *Studi Geol. Camerti*, vol. spec. 1992/1, 165-174.
- Miccadei E., D'Alessandro L., Barberi R. e Piacentini T. (2000). Elementi morfostrutturali della regione Peligna (Appennino centrale, Abruzzo). In Atti della 80ª Riunione Estiva della S.G.I., Volume riassunti delle comunicazioni a cura di Carulli G. B. & Longo Salvador G., 6-8 settembre 2000, Trieste.
- Miccadei E., Cavinato G.P. e Vittori E. (1993) – Elementi neotettonici della Conca di Sulmona. In: *Evoluzione geomorfologica e tettonica quaternaria dell'Appennino centro-meridionale*. A cura di Farabollini P., Invernizzi C., Pizzi A., Cavinato G.P. e Miccadei E., *Studi Geol. Camerti*, vol. spec. 1992/1, 165-174.
- Miccadei E., Barberi R. e Cavinato G.P. (1998) – La geologia quaternaria della conca di Sulmona (Abruzzo, Italia centrale). *Geol. Romana* 34, 59-86.
- Miccadei E., Barberi R. e De Caterini G. (1997) – Nuovi dati geologici sui depositi quaternari della Conca Subequana (Appennino abruzzese). *Il Quaternario*, 10(2), 483-486.
- Miccadei E., Barberi R. e Cavinato G. P. (1999). La geologia quaternaria della Conca di Sulmona (Abruzzo, Italia centrale). *Geologica Romana*, 34, 58-86
- Miccadei E. e Parotto M. (1999) – Geologia dell'area di M. Rotella-M. Pizzalto-M. Porrara (Abruzzo, Appennino centrale). *Geologica Romana*, 34.
- Molin D., Galadini F., Galli P., Mucci L. e Rossi A. (1999) – Terremoto del Fucino del 13 gennaio 1915. Studio macrosismico. In S. Castenetto, F. Galadini (a cura di): "13 gennaio 1915, il terremoto nella Marsica", Servizio Sismico Nazionale e C.N.R. Istituto di Ricerca sulla Tettonica Recente, Roma, 321-340.
- Nakamura Y. (2000) – Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications, *Proc. of the 12th World Conference on Earthquake Engineering*, Auckland, New Zealand.
- Nakamura Y. e Samizo M. (1989) – Site Effect Evaluation of Surface Ground using Strong Motion Records (in Japanese), *Proc. 20th JSCE Earthquake Eng. Symposium*, 133-136.



- Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (2008). Ministero delle Infrastrutture. Decreto 14 Gennaio 2008.
- Ori G.G. e Rusciadelli G. – Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 351 "Pescara". ISPRA, pp. 118. http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/note_illustrative/351_Pescara.pdf
- Pagliaroli A., Moscatelli M., Raspa G. e Naso G. (2013a) – Seismic microzonation of the central archaeological area of Rome: results and uncertainties. *Bull. Earthquake Eng.*, doi: 10.1007/s10518-013-9480-1.
- Pagliaroli A., Quadrio B., Lanzo G. e Sanò T. (2013b) – Numerical modelling of site effects in the Palatine Hill, Roman Forum, and Coliseum Archaeological Area. *Bull. Earthquake Eng.*, doi:10.1007/s10518-013-9436-5.
- Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico – Carta Geomorfologica, Tav 369 E, scala 1:25.000. Autorità dei Bacini di Rilievo Regionale dell'Abruzzo e del Bacino Interregionale del Fiume Sangro - Regione Abruzzo, Servizio Difesa del Suolo.
- Piano Stralcio Difesa Alluvioni – Carta della Pericolosità Idraulica, Bacino dell'Aterno-Pescara-Fiume Sagittario, scala 1:10.000. Regione Abruzzo.
- Pizzi A., Calamita F., Coltorti M. e 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.*, vol. spec. I, 923-929.
- Pizzi A. e Galadini F. (2009) – Pre-existing cross-structures and active fault segmentation in the northern-central Apennines (Italy). *Tectonophysics*, 476, 304-319, doi:10.1016/j.tecto.2009.03.018.
- Progetto IFFI – Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia. Dipartimento Difesa del Suolo – ISPRA.
- Progetto S.I.S.M.A. (2006). Respons. Scarascia Mugnozza G., Comune di Sulmona, Regione Abruzzo.
- Radmilli M. (1984) – Le Svolte di Popoli (Abruzzo). In: *I primi abitanti d'Europa*. De Luca Editore, Firenze, 141-143.
- Rovida A., Camassi R., Gasperini P. e Stucchi M. (2011) – CPTI11, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/cpti>.
- Savarese F., Tertulliani A. e Galadini F. (2011) – Le fonti sul terremoto del 10 settembre 1881 in provincia di Chieti: revisione critica e nuove conoscenze. *Bullettino della Deputazione di Storia Patria negli Abruzzi*, 102, pp. 155-177.
- Site Effects Assessment using Ambient Excitations (SESAME) Europeanproject (2005) Deliverable D23.12— Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations: measurements, processing and interpretation. <http://www.sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr>.
- Speranza E., Goretti A. e Dolce M. (2006) – Historical damage data and microzonation: an application to 1930 Senigallia earthquake. *Atti 1st European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, Geneva, Switzerland, 3-8 September 2006, Paper no. 1267, 10 pp.
- Staffa A. R. (2004) – Carta archeologica della provincia di Pescara. Mosciano S. Angelo, pp. 174.
- Sylos Labini S., Bagnaia R. e D'Epifanio A. (1993) – Studi sulla neotettonica della Conca di Sulmona. *Quaternaria Nova*, 3, 343-360.
- Tertulliani A., Galadini F., Mastino F., Rossi A. e Vecchi M. (2006) – Studio macrosismico del terremoto del Gran Sasso del 5 settembre 1950: implicazioni sismotettoniche. *Il Quaternario*, 19, 195-214.
- Totani G., Monaco P., Marchetti S. e Marchetti D. (2009) – Vs measurements by seismic dilatometer (SDMT) in non-penetrable soils. In: *Proceedings of 17th ICSMGE*, vol 2. Alexandria, Egypt, pp 977-980.
- Totani G., Scarascia Mugnozza G. e Naso G. (2007) – Microzonazione Sismica di Secondo Livello del Centro Abitato di Sulmona (Aq). Indagini e Risultati ai fini della Progettazione Esecutiva della Microzonazione Sismica. Rapporto finale Università degli Studi dell'Aquila-Regione Abruzzo.
- Tuteri R. (1995) – Pavimenti antichi a Sulmona. Relazione preliminare sulle nuove acquisizioni. In: *Atti del II*

- Colloquio AISCOM (Associazione Italiana per lo Studio e la conservazione del Mosaico), Roma, 5-7 Dec 1994. Bordighera, 71-84.
- Tuteri R. (1996) – Il contesto urbano: le porte malchiuse dell'antica Sulmo, In: E. Mattiocco and G. Papponetti (eds), *Sulmona città d'arte e poeti*, Pescara, pp. 30-40.
- Tuteri R. (1997) – La strada che non c'era. ABC (Abruzzo Beni Culturali), ottobre-dicembre 1997, p 27.
- Van Wonterghem F. (1984) – Superaequum, Corfinium, Sulmo. *Forma Italiae*, regio IV, Firenze, 340 pp.
- Vittori E., Cavinato G.P. e Miccadei E. (1995) – Active faulting along the northeastern edge of the Sulmona basin, Central Apennines, Italy, In: L. Serva and D. B. Slemmons (eds), *Perspectives in Paleoseismology*, Ass. of Eng. Geologists 6, 83-100.
- Zarlenga F. (1987) – I depositi continentali del bacino del Fucino (L'Aquila, Italia Centrale). *Geologica Romana*, 26, 223-253.



Appendice 1: Schede delle stazioni di misura di microtremore

Station: SUL1

Recording duration: 38:06 [min:sec] (dt = 0.01 [s])

Measurement by: INGV-MI

Instrument: Lennartz LE-3D/5s

Analysis performed on 40 windows (33:20 [min:sec])

Window length (l_w) = 50 [s]

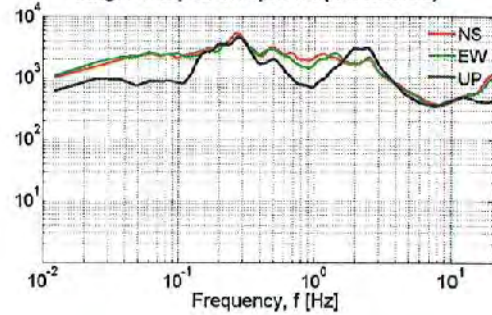
Minimum expected $f_0 = 0.2$ [Hz]

Deconvolution: no

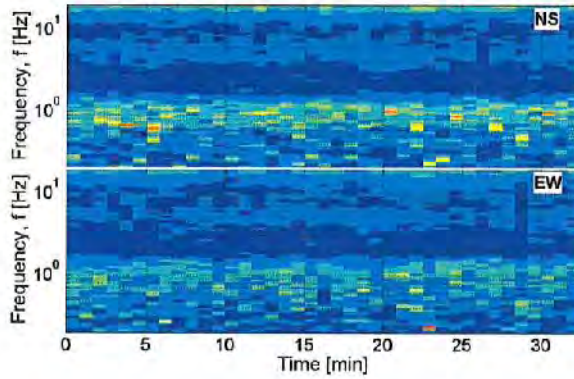
Butterworth filter: LP = 0.1 [Hz] - HP = 20 [Hz] - ord. = 4

Taper: 5 [%] - Konno & Ohmachi smoothing: b = 40

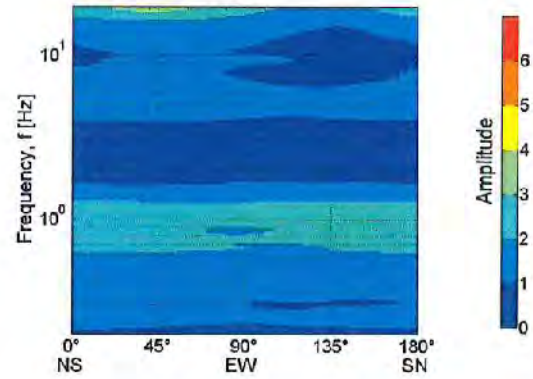
Single component spectra (not filtered)



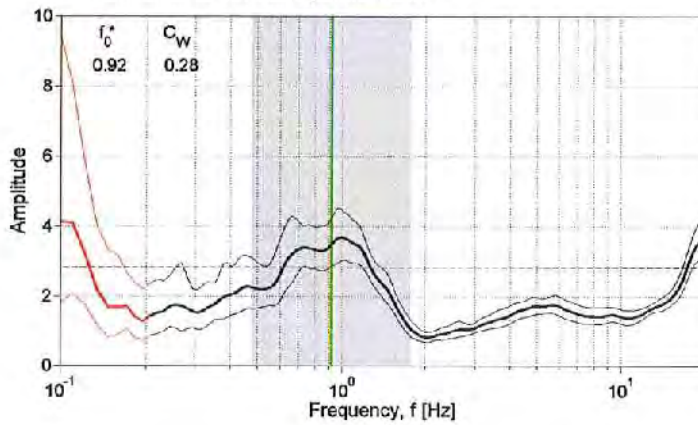
HVSR time histories



Directional HVSR



Horizontal to Vertical Spectral Ratio ⁽¹⁾



SESAME (2004) criteria ⁽²⁾

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)		
i) $\exists f \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	==> Yes	
ii) $\exists f' \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	==> Yes	
iii) $A_0 > 2$	==> Yes	
iv) $f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_d(f)] = f_0 \pm 5\%$	==> Yes	
v) $\sigma_f < \sigma(f_0)$	==> No	
vi) $\sigma_d(f_0) < \sigma(f_0)$	==> Yes	
$f_0^* = 0.92$ - Fulfilled crit.: 5/6		

(1) based on horizontal components merged through vectorial sum
(2) based on horizontal components merged through geometric mean

Station: SUL2

Recording duration: 39:09 [min:sec] (dt = 0.01 [s])

Measurement by: INGV-MI

Instrument: Lennartz LE-3D/5s

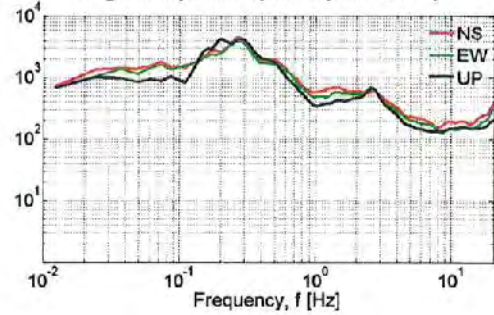
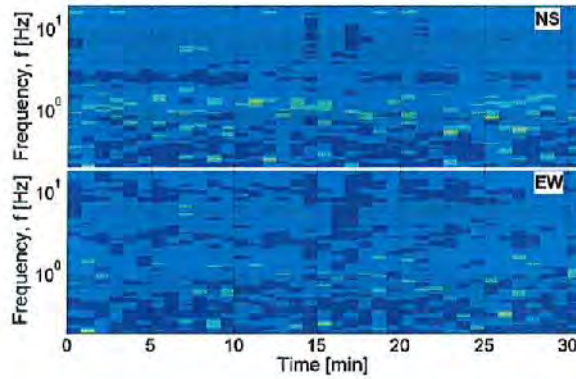
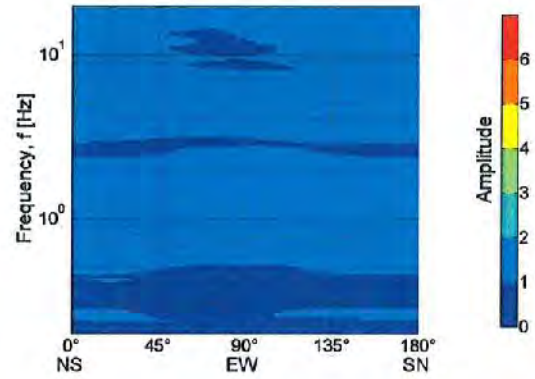
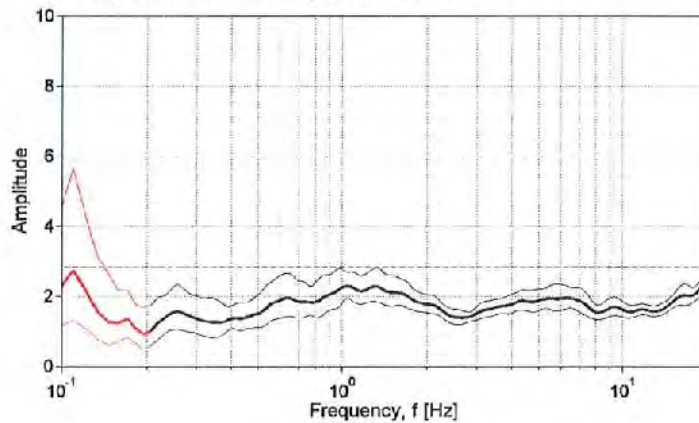
Analysis performed on 38 windows (31:40 [min:sec])

Window length (l_w) = 50 [s]Minimum expected $f_0 = 0.2$ [Hz]

Deconvolution: no

Butterworth filter: LP = 0.1 [Hz] - HP = 20 [Hz] - ord. = 4

Taper: 5 [%] - Konno & Ohmachi smoothing: b = 40

Single component spectra (not filtered)**HVSR time histories****Directional HVSR****Horizontal to Vertical Spectral Ratio ⁽¹⁾**⁽¹⁾ based on horizontal components merged through vectorial sum

Station: SUL3

Recording duration: 31:33 [min:sec] (dt = 0.01 [s])

Measurement by: INGV-MI

Instrument: Lennartz LE-3D/5s

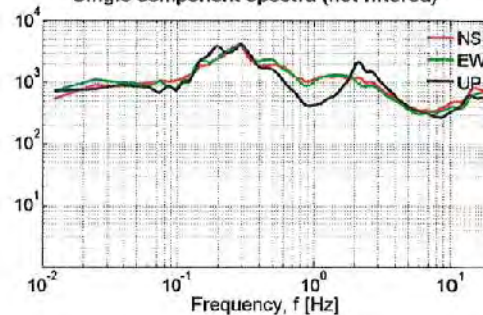
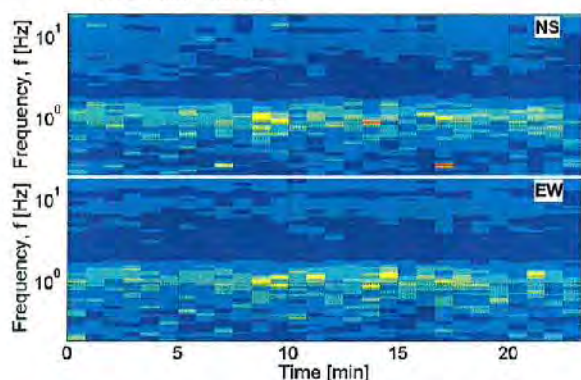
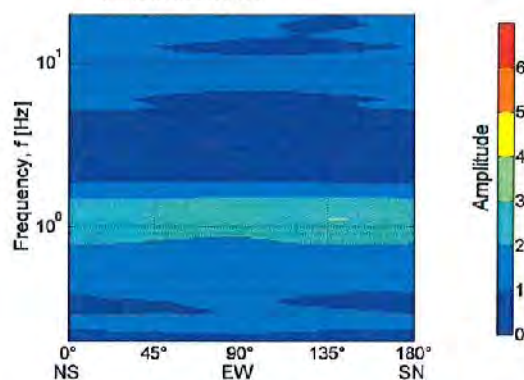
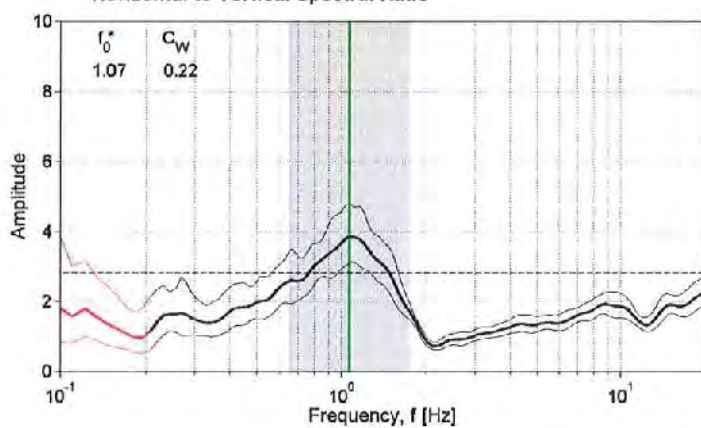
Analysis performed on 29 windows (24:010 [min:sec])

Window length (l_w) = 50 [s]Minimum expected $f_0 = 0.2$ [Hz]

Deconvolution: no

Butterworth filter: LP = 0.1 [Hz] - HP = 20 [Hz] - ord. = 4

Taper: 5 [%] - Konno & Ohmachi smoothing: b = 40

Single component spectra (not filtered)**HVSR time histories****Directional HVSR****Horizontal to Vertical Spectral Ratio ⁽¹⁾****SESAME (2004) criteria ⁽²⁾**

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)		
i) $\exists f^* \in [f_0/4, f_0] \mid A_{HV}(f^*) < A_0/2$	==>	Yes
ii) $\exists f^* \in [f_0, 4f_0] \mid A_{HV}(f^*) < A_0/2$	==>	Yes
iii) $A_0 > 2$	==>	Yes
iv) $f_{peak}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	==>	Yes
v) $\sigma_A < \sigma(f_0)$	==>	No
vi) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	==>	Yes

 $f_0^* = 1.07$ - Fulfilled crit.: 5/6

(1) based on horizontal components merged through vectorial sum
 (2) based on horizontal components merged through geometric mean



Station: SUL4

Recording duration: 37:23 [min:sec] (dt = 0.01 [s])

Measurement by: INGV-MI

Instrument: Lennartz LE-3D/5s

Analysis performed on 36 windows (30:00 [min:sec])

Window length (l_w) = 50 [s]

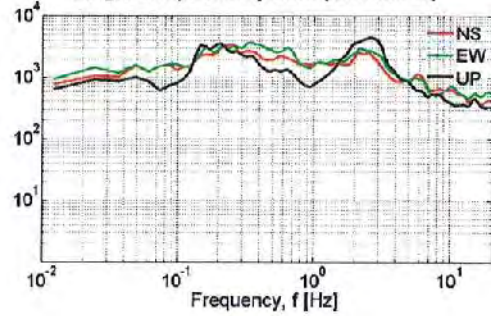
Minimum expected $f_0 = 0.2$ [Hz]

Deconvolution: no

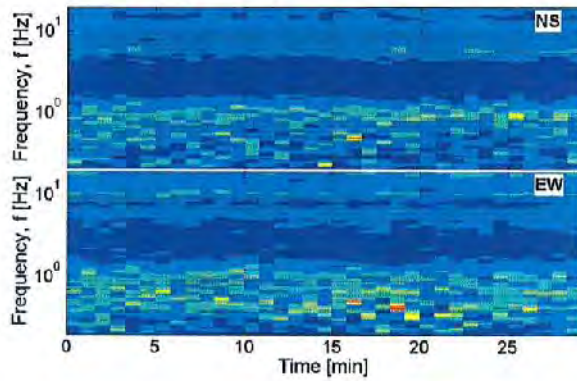
Butterworth filter: LP = 0.1 [Hz] - HP = 20 [Hz] - ord. = 4

Taper: 5 [%] - Konno & Ohmachi smoothing; b = 40

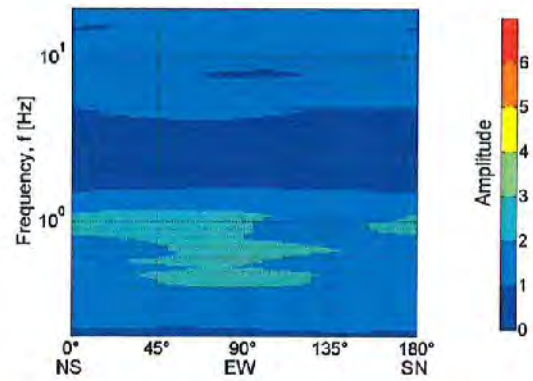
Single component spectra (not filtered)



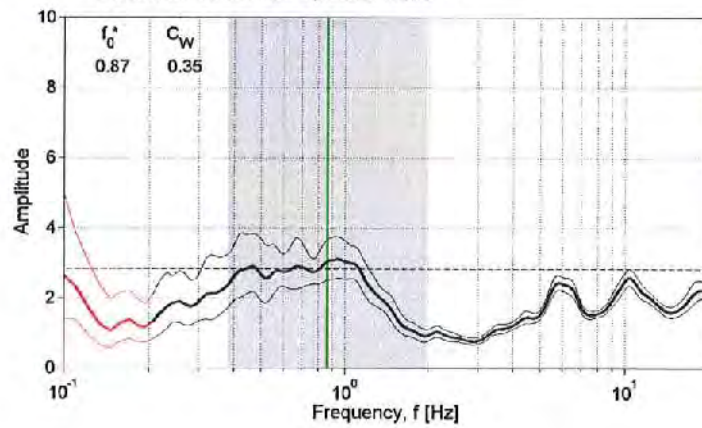
HVSr time histories



Directional HVSr



Horizontal to Vertical Spectral Ratio ⁽¹⁾



SESAME (2004) criteria ⁽²⁾

Criteria for a clear HV peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)	
i) $\exists f \in [f_0/4, f_0] \mid A_{HV}(f) < A_0/2$	yes> Yes
ii) $\exists f' \in [f_0, 4f_0] \mid A_{HV}(f') < A_0/2$	yes> Yes
iii) $A_0 > 2$	yes> Yes
iv) $I_{peak}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	yes> Yes
v) $\sigma_f < 0.1 f_0$	yes> No
vi) $\sigma_A(f_0) < 0.1 f_0$	yes> Yes

$f_0^* = 0.87$ - Fulfilled crit.: 5/6

(1) based on horizontal components merged through vectorial sum

(2) based on horizontal components merged through geometric mean



Station: SUL5

Recording duration: 38:17 [min:sec] (dt = 0.01 [s])

Measurement by: INGV-MI

Instrument: Lennartz LE-3D/5s

Analysis performed on 32 windows (26:40 [min:sec])

Window length (t_w) = 50 [s]

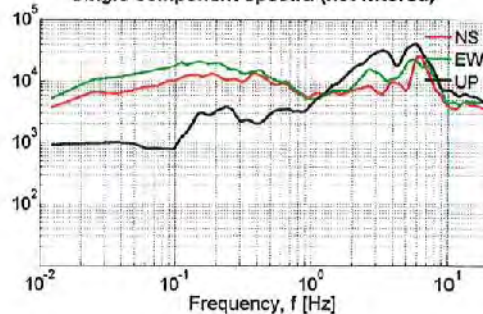
Minimum expected f_c = 0.2 [Hz]

Deconvolution: no

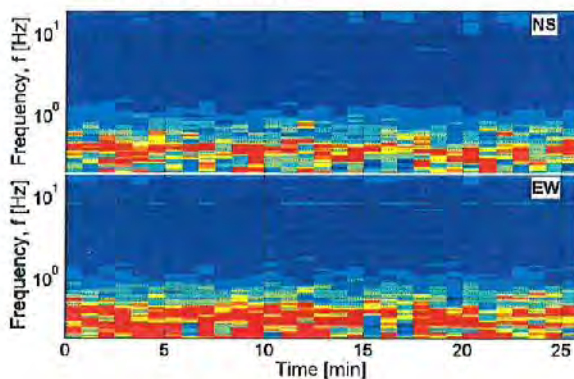
Butterworth filter: LP = 0.1 [Hz] - HP = 20 [Hz] - ord. = 4

Taper: 5 [%] - Konno & Ohmachi smoothing: b = 40

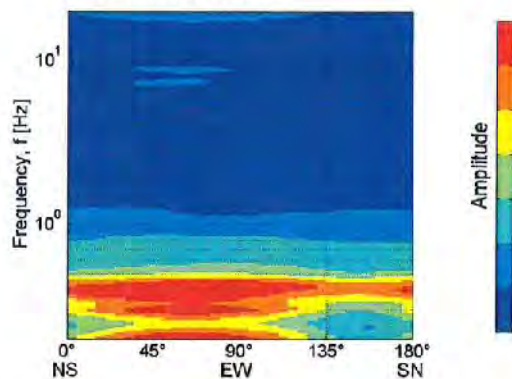
Single component spectra (not filtered)



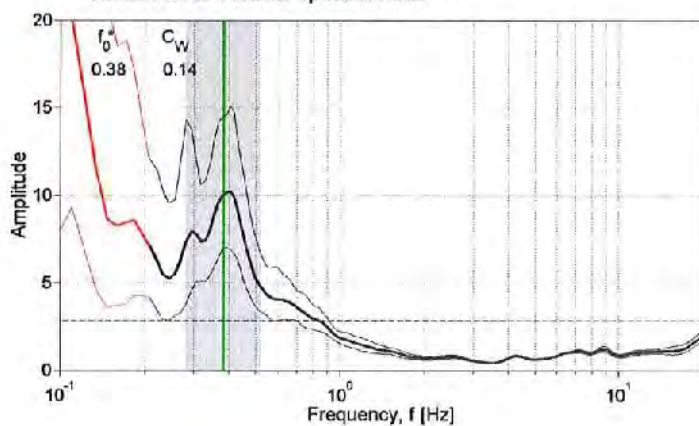
HVSR time histories



Directional HVSR



Horizontal to Vertical Spectral Ratio ⁽¹⁾



SESAME (2004) criteria ⁽²⁾

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)		
i) $\exists f \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	==>	Yes
ii) $\exists f' \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	==>	Yes
iii) $A_0 > 2$	==>	Yes
iv) $f_{peak}(A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)) = f_0 \pm 5\%$	==>	No
v) $\sigma_1 < \sigma(f_0)$	==>	Yes
vi) $\sigma_A(f_0) < 8 \cdot (f_0)$	==>	Yes

$f_0^* = 0.38$ - Fulfilled crit.: 5/6

(1) based on horizontal components merged through vectorial sum
(2) based on horizontal components merged through geometric mean



Station: SUL6

Recording duration: 48:22 [min:sec] (dt = 0.01 [s])

Measurement by: INGV-MI

Instrument: Lennartz LE-3D/5s

Analysis performed on 49 windows (40:50 [min:sec])

Window length (l_w) = 50 [s]

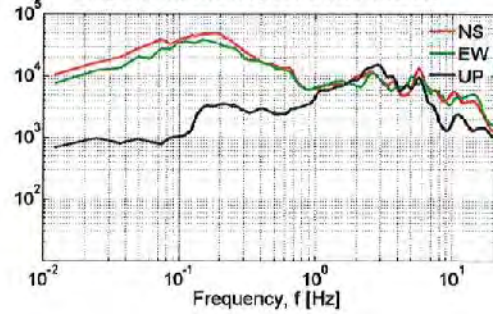
Minimum expected $f_0 = 0.2$ [Hz]

Deconvolution: no

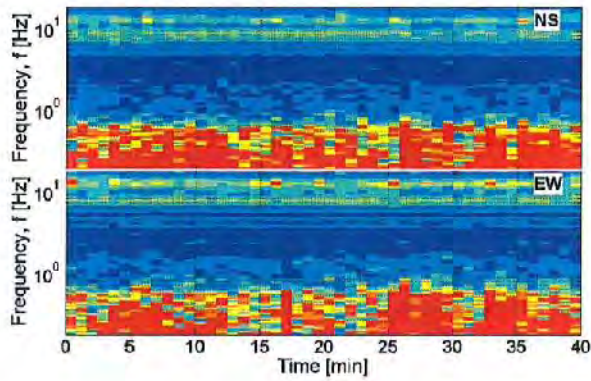
Butterworth filter: LP = 0.1 [Hz] - HP = 20 [Hz] - ord. = 4

Taper: 5 [%] - Konno & Ohmachi smoothing: b = 40

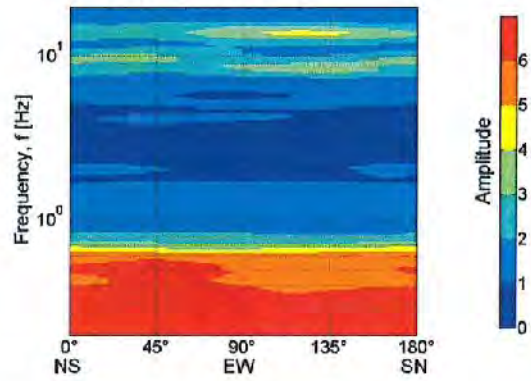
Single component spectra (not filtered)



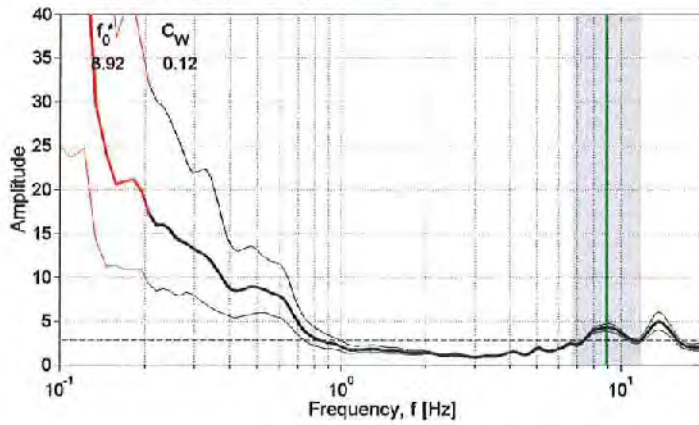
HVSR time histories



Directional HVSR



Horizontal to Vertical Spectral Ratio ⁽¹⁾



SESAME (2004) criteria ⁽²⁾

Criteria for a clear H/V peak (at least 6 out of 6 criteria fulfilled)	
I) $\exists f \in [f_0/4, f_0] \mid A_{HV}(f) < A_0/2$	==> Yes
II) $\exists f' \in [f_0, 4f_0] \mid A_{HV}(f') < A_0/2$	==> Yes
III) $A_0 > 2$	==> Yes
IV) $f_{peak}(A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)) = f_0 \pm 5\%$	==> No
V) $\sigma_f < \sigma(f_0)$	==> No
VI) $\sigma_A(f_0) < 0.1(f_0)$	==> Yes

$f_0^* = 8.92$ - Fulfilled crit.: 4/6

(1) based on horizontal components merged through vectorial sum
(2) based on horizontal components merged through geometric mean



Station: SUL7

Recording duration: 47:16 [min:sec] (dt = 0.01 [s])

Measurement by: INGV-MI

Instrument: Lennartz LE-3D/5s

Analysis performed on 26 windows (21:40 [min:sec])

Window length (l_w) = 50 [s]

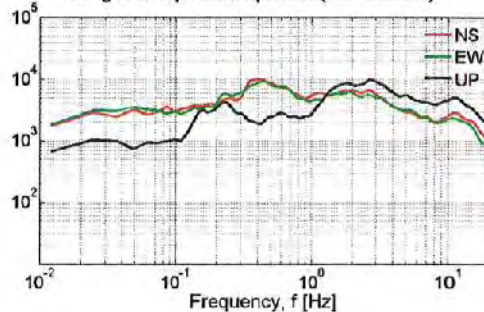
Minimum expected $f_0 = 0.2$ [Hz]

Deconvolution: no

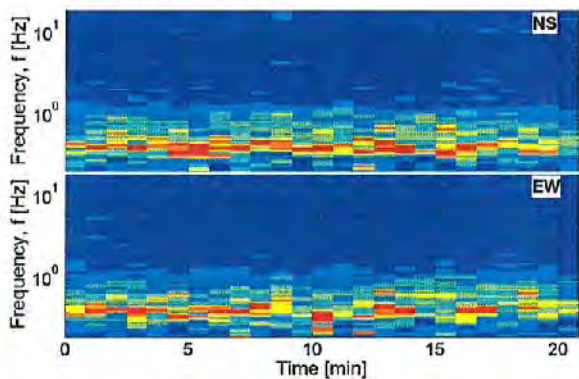
Butterworth filter: LP = 0.1 [Hz] - HP = 20 [Hz] - ord. = 4

Taper: 5 [%] - Konno & Ohmachi smoothing: b = 40

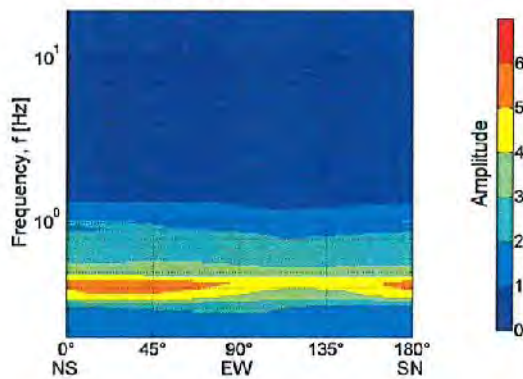
Single component spectra (not filtered)



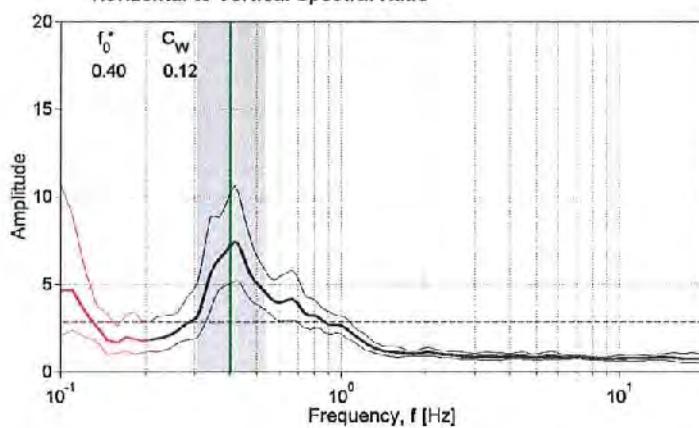
HVSr time histories



Directional HVSr



Horizontal to Vertical Spectral Ratio ⁽¹⁾



SESAME (2004) criteria ⁽²⁾

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)		
I) $\exists f^* \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^*) < A_0/2$	==>	Yes
II) $\exists f^* \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^*) < A_0/2$	==>	Yes
III) $A_0 > 2$	==>	Yes
IV) $f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	==>	Yes
V) $\sigma_A < \sigma(f_0)$	==>	Yes
VI) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	==>	Yes

$f_0^* = 0.40$ - Fulfilled crit.: 6/6

(1) based on horizontal components merged through vectorial sum
(2) based on horizontal components merged through geometric mean



Station: SUL8

Recording duration: 41:59 [min:sec] (dt = 0.01 [s])

Measurement by: INGV-MI

Instrument: Lennartz LE-3D/5s

Analysis performed on 45 windows (37:30 [min:sec])

Window length (t_w) = 50 [s]

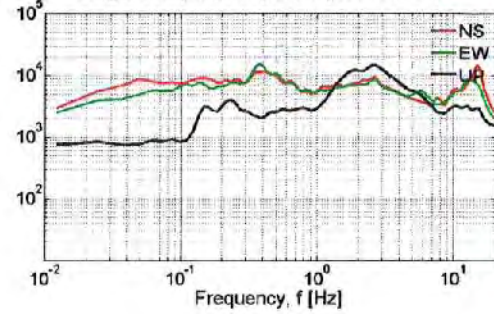
Minimum expected $f_0 = 0.2$ [Hz]

Deconvolution: no

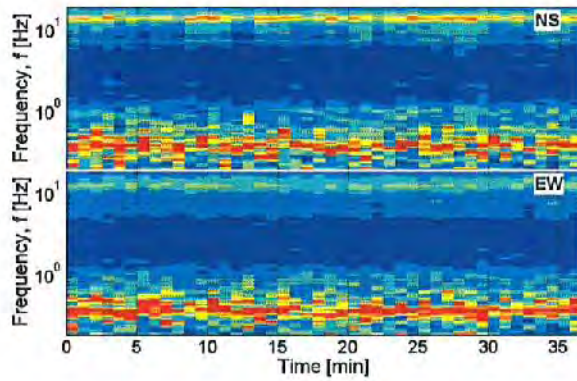
Butterworth filter: LP = 0.1 [Hz] - HP = 20 [Hz] - ord. = 4

Taper: 5 [%] - Konno & Ohmachi smoothing: b = 40

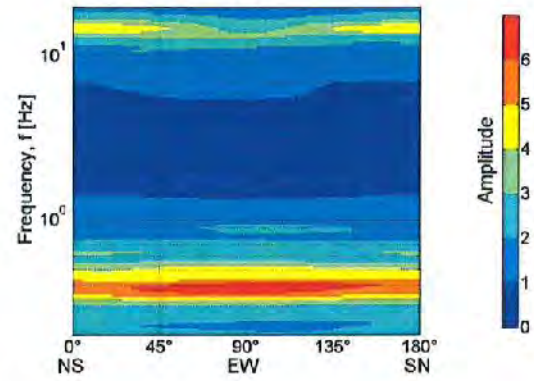
Single component spectra (not filtered)



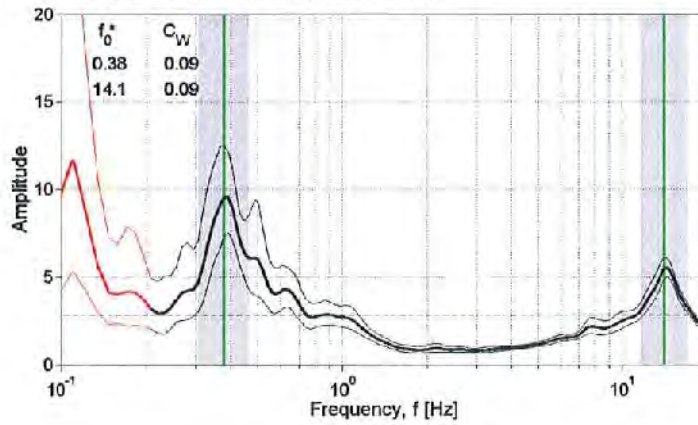
HVSr time histories



Directional HVSr



Horizontal to Vertical Spectral Ratio ⁽¹⁾



SESAME (2004) criteria ⁽²⁾

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)		
i) $\exists f' \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	==>	Yes
ii) $\exists f' \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	==>	Yes
iii) $A_0 > 2$	==>	Yes
iv) $f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	==>	Yes
v) $\sigma_1 < \sigma(f_0)$	==>	Yes
vi) $\sigma_A(f_0) < 0.1(f_0)$	==>	Yes

$f_{01}^* = 0.38$ - Fulfilled crit.: 6/6

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)		
i) $\exists f' \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	==>	Yes
ii) $\exists f' \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	==>	Yes
iii) $A_0 > 2$	==>	Yes
iv) $f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	==>	Yes
v) $\sigma_1 < \sigma(f_0)$	==>	Yes
vi) $\sigma_A(f_0) < 0.1(f_0)$	==>	Yes

$f_{02}^* = 14.15$ - Fulfilled crit.: 6/6

(1) based on horizontal components merged through vectorial sum

(2) based on horizontal components merged through geometric mean



Station: SUL9

Recording duration: 38.44 [min:sec] (dt = 0.01 [s])

Measurement by: INGV-MI

Instrument: Lennartz LE-3D/5s

Analysis performed on 39 windows (32:30 [min:sec])

Window length (l_w) = 50 [s]

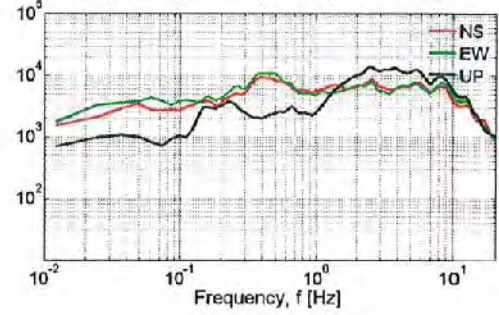
Minimum expected $f_0 = 0.2$ [Hz]

Deconvolution: no

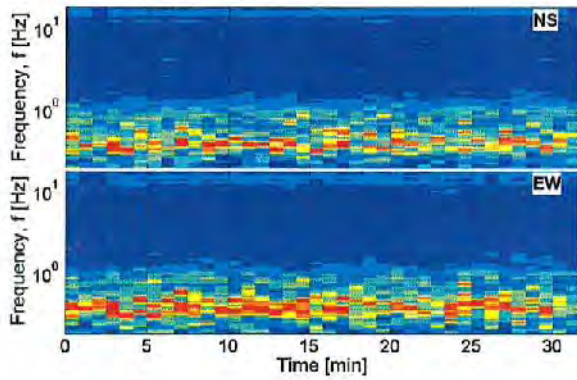
Butterworth filter: LP = 0.1 [Hz] - HP = 20 [Hz] - ord. = 4

Taper: 5 [%] - Konno & Ohmachi smoothing: b = 40

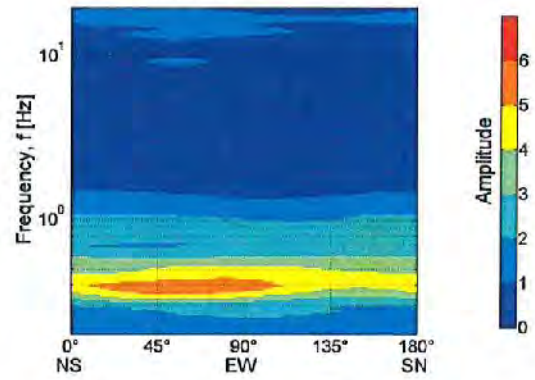
Single component spectra (not filtered)



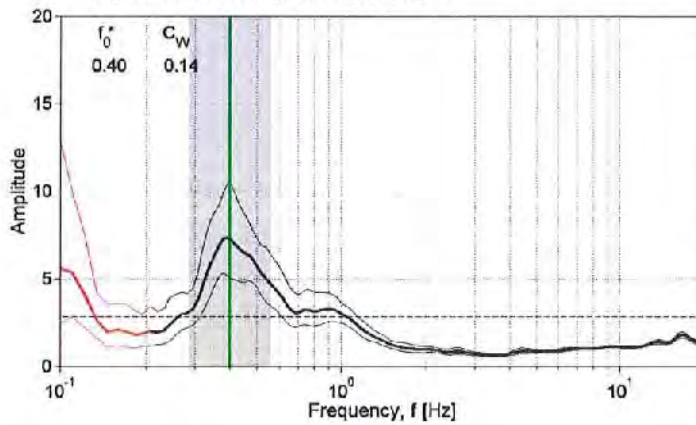
HVSr time histories



Directional HVSr



Horizontal to Vertical Spectral Ratio ⁽¹⁾



SESAME (2004) criteria ⁽²⁾

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

$f_0^* = 0.40$ - Fulfilled crit.: 6/6

(1) based on horizontal components merged through vectorial sum
(2) based on horizontal components merged through geometric mean



Station: SU10

Recording duration: 25:42 [min:sec] (dt = 0.01 [s])

Measurement by: INGV-MI

Instrument: Lennartz LE-3D/5s

Analysis performed on 25 windows (20:50 [min:sec])

Window length (t_w) = 50 [s]

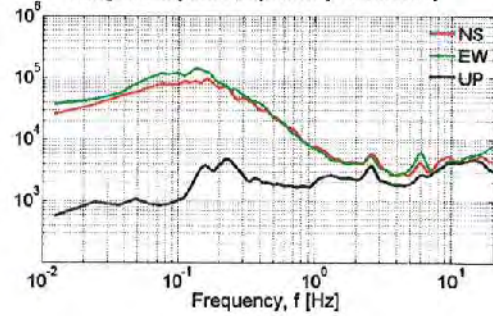
Minimum expected $f_0 = 0.2$ [Hz]

Deconvolution: no

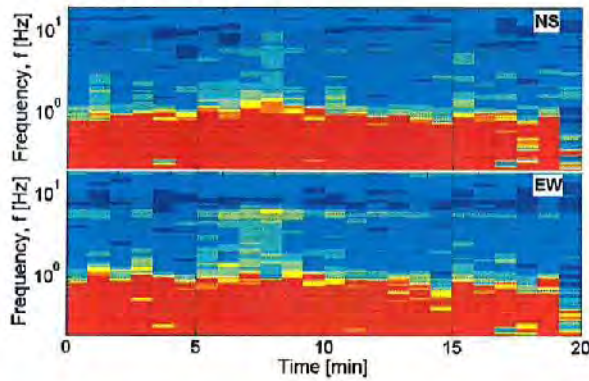
Butterworth filter: LP = 0.1 [Hz] - HP = 20 [Hz] - ord. = 4

Taper: 5 [%] - Konno & Ohmachi smoothing: b = 40

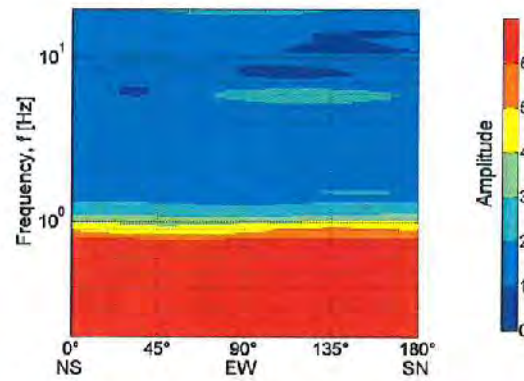
Single component spectra (not filtered)



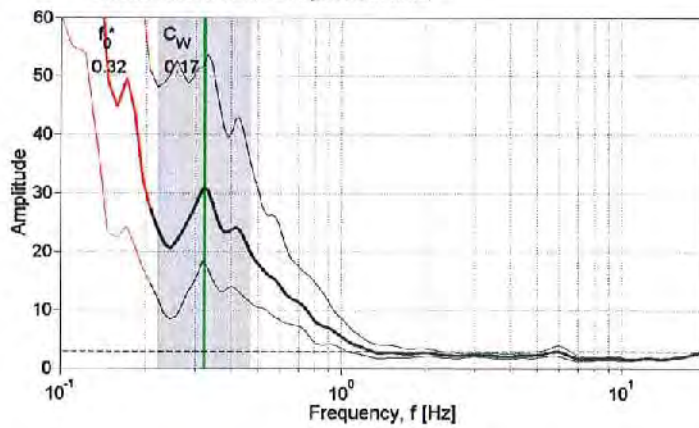
HVSr time histories



Directional HVSr



Horizontal to Vertical Spectral Ratio ⁽¹⁾



SESAME (2004) criteria ⁽²⁾

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)		
I) $\exists f' \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	==>	No
II) $\exists f' \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	==>	Yes
III) $A_0 > 2$	==>	Yes
IV) $f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \alpha_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	==>	No
V) $\alpha_V < \alpha(f_0)$	==>	Yes
VI) $\alpha_A(f_0) < 0.1$	==>	Yes

$f_0^* = 0.32$ - Fulfilled crit.: 4/6

(1) based on horizontal components merged through vectorial sum

(2) based on horizontal components merged through geometric mean



Station: SU11

Recording duration: 41:13 [min:sec] (dt = 0.01 [s])

Measurement by: INGV-MI

Instrument: Lennartz LE-3D/5s

Analysis performed on 38 windows (31:40 [min:sec])

Window length (l_w) = 50 [s]

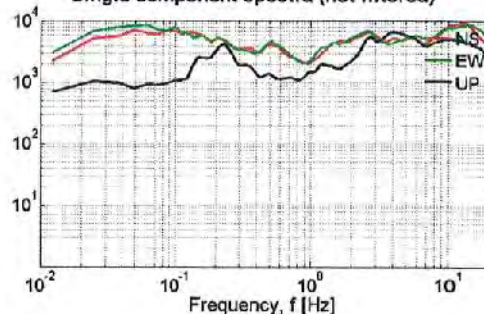
Minimum expected $f_0 = 0.2$ [Hz]

Deconvolution: no

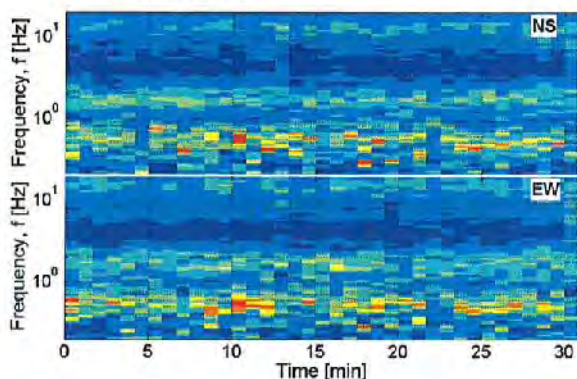
Butterworth filter: LP = 0.1 [Hz] - HP = 20 [Hz] - ord. = 4

Taper: 5 [%] - Konno & Ohmachi smoothing: b = 40

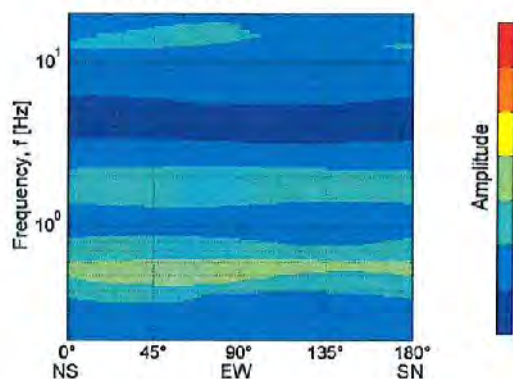
Single component spectra (not filtered)



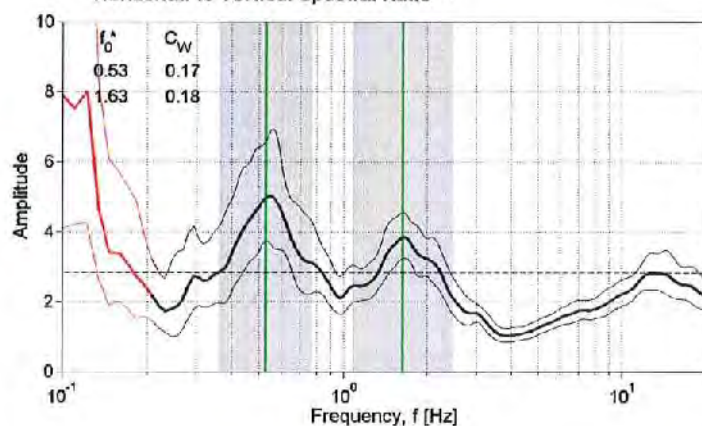
HVSr time histories



Directional HVSr



Horizontal to Vertical Spectral Ratio ⁽¹⁾



SESAME (2004) criteria ⁽²⁾

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)		
I) $\exists f' \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	==>	Yes
II) $\exists f' \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	==>	Yes
III) $A_0 > 2$	==>	Yes
IV) $f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	==>	Yes
V) $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	==>	Yes
VI) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	==>	Yes

$f_{01}^* = 0.53$ - Fulfilled crit.: 6/6

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)		
I) $\exists f' \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	==>	Yes
II) $\exists f' \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	==>	Yes
III) $A_0 > 2$	==>	Yes
IV) $f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	==>	No
V) $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	==>	Yes
VI) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	==>	Yes

$f_{02}^* = 1.63$ - Fulfilled crit.: 5/6

(1) based on horizontal components merged through vectorial sum
(2) based on horizontal components merged through geometric mean



Station: SU12

Recording duration: 37:58 [min:sec] (dt = 0.01 [s])

Measurement by: INGV-MI

Instrument: Lennartz LE-3D/5s

Analysis performed on 37 windows (30:50 [min:sec])

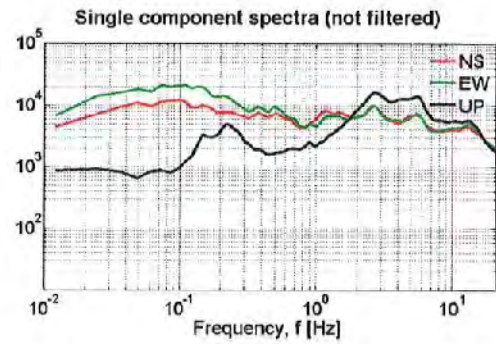
Window length (l_w) = 50 [s]

Minimum expected $f_0 = 0.2$ [Hz]

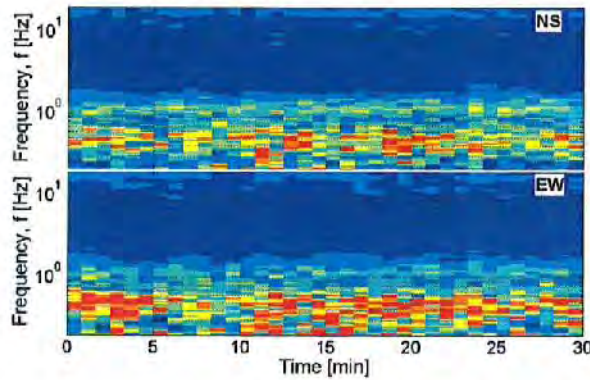
Deconvolution: no

Butterworth filter: LP = 0.1 [Hz] - HP = 20 [Hz] - ord. = 4

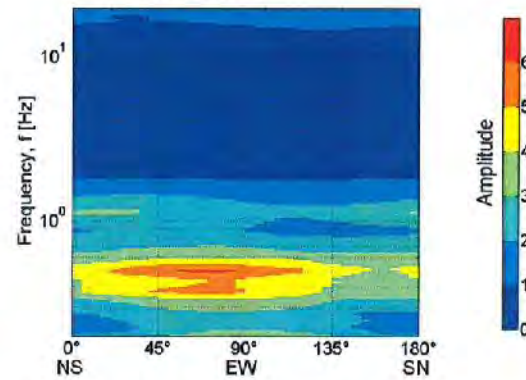
Taper: 5 [%] - Konno & Ohmachi smoothing: b = 40



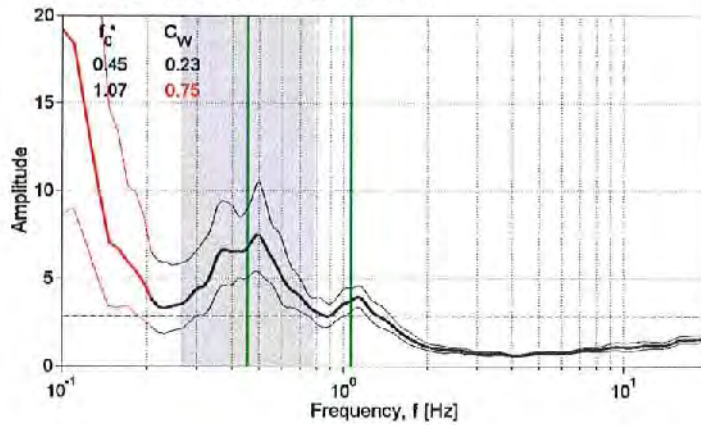
HVSR time histories



Directional HVSR



Horizontal to Vertical Spectral Ratio ⁽¹⁾



SESAME (2004) criteria ⁽²⁾

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

- | | |
|---|---------|
| i) $\exists f' \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$ | ==> Yes |
| ii) $\exists f' \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$ | ==> Yes |
| iii) $A_0 > 2$ | ==> Yes |
| iv) $f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | ==> Yes |
| v) $\sigma_f < 1/2 f_0$ | ==> Yes |
| vi) $\sigma_A(f_0) < 0.1 f_0$ | ==> Yes |

$f_{01}^* = 0.45$ - Fulfilled crit.: 6/6

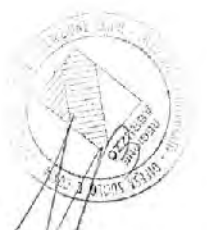
Criteria for a clear H/V peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)

- | | |
|---|---------|
| i) $\exists f' \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$ | ==> Yes |
| ii) $\exists f' \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$ | ==> Yes |
| iii) $A_0 > 2$ | ==> Yes |
| iv) $f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | ==> No |
| v) $\sigma_f < 1/2 f_0$ | ==> No |
| vi) $\sigma_A(f_0) < 0.1 f_0$ | ==> Yes |

$f_{02}^* = 1.07$ - Fulfilled crit.: 4/6

(1) based on horizontal components merged through vectorial sum

(2) based on horizontal components merged through geometric mean



Station: SU13

Recording duration: 31:45 [min:sec] (dt = 0.01 [s])

Measurement by: INGV-MI

Instrument: Lennartz LE-3D/5s

Analysis performed on 31 windows (25:50 [min:sec])

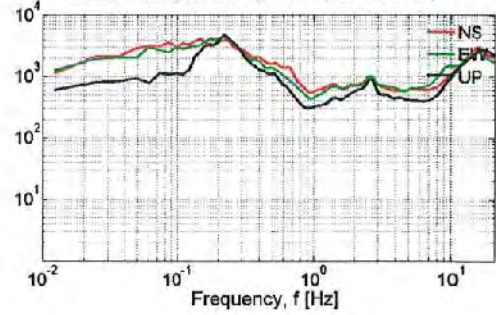
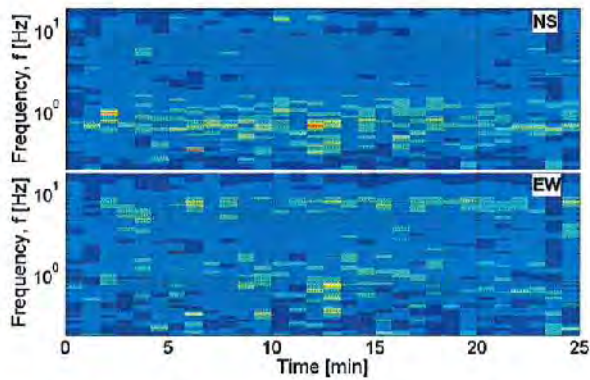
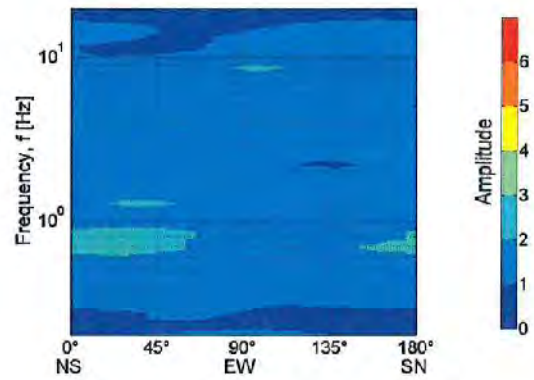
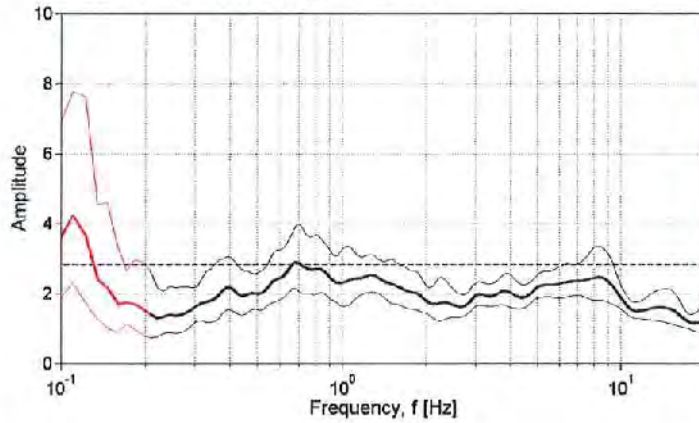
Window length (l_w) = 50 [s]

Minimum expected $f_0 = 0.2$ [Hz]

Deconvolution: no

Butterworth filter: LP = 0.1 [Hz] - HP = 20 [Hz] - ord. = 4

Taper: 5 [%] - Konno & Ohmachi smoothing: b = 40

Single component spectra (not filtered)**HVSR time histories****Directional HVSR****Horizontal to Vertical Spectral Ratio ⁽¹⁾**

(1) based on horizontal components merged through vectorial sum



Station: SU14

Recording duration: 27:15 [min:sec] (dt = 0.01 [s])

Measurement by: INGV-MI

Instrument: Lennartz LE-3D/5s

Analysis performed on 25 windows (20:50 [min:sec])

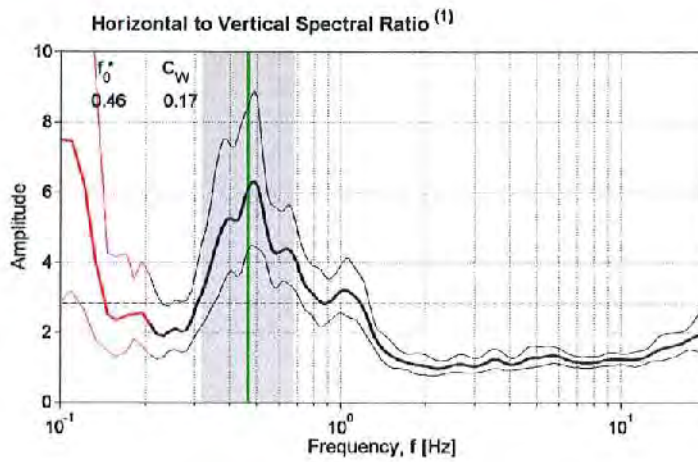
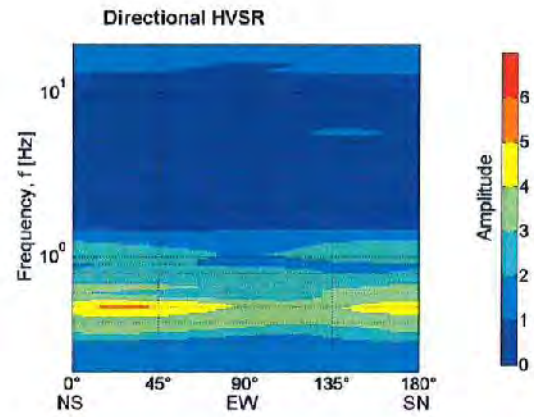
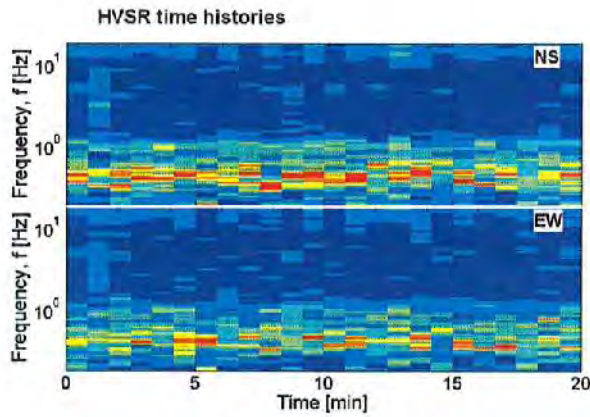
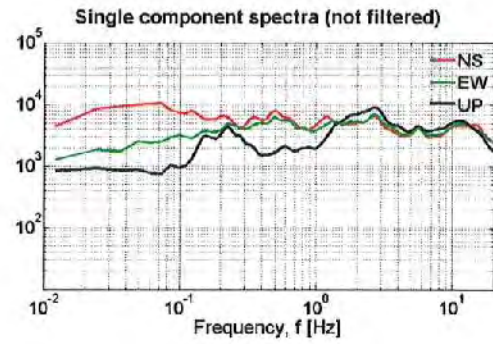
Window length (t_w) = 50 [s]

Minimum expected $f_0 = 0.2$ [Hz]

Deconvolution: no

Butterworth filter: LP = 0.1 [Hz] - HP = 20 [Hz] - ord. = 4

Taper: 5 [%] - Konno & Ohmachi smoothing: b = 40



SESAME (2004) criteria ⁽²⁾

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)		
i) $\exists f' \in [f_0/4, f_0] \mid A_{HV}(f') < A_0/2$	==>	Yes
ii) $\exists f' \in [f_0, 4f_0] \mid A_{HV}(f') < A_0/2$	==>	Yes
iii) $A_0 > 2$	==>	Yes
iv) $f_{peak}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	==>	Yes
v) $\sigma_1 < \psi(f_0)$	==>	Yes
vi) $\sigma_A(f_0) < 0$ (f_0)	==>	Yes

$f_0^* = 0.46$ - Fulfilled crit.: 6/6

(1) based on horizontal components merged through vectorial sum

(2) based on horizontal components merged through geometric mean



Station: SU15

Recording duration: 38:29 [min:sec] (dt = 0.01 [s])

Measurement by: INGV-MI

Instrument: Lennartz LE-3D/5s

Analysis performed on 39 windows (32:30 [min:sec])

Window length (l_w) = 50 [s]

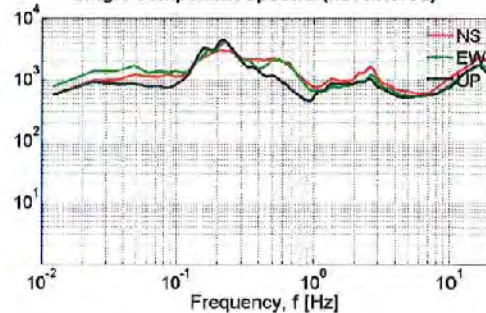
Minimum expected $f_0 = 0.2$ [Hz]

Deconvolution: no

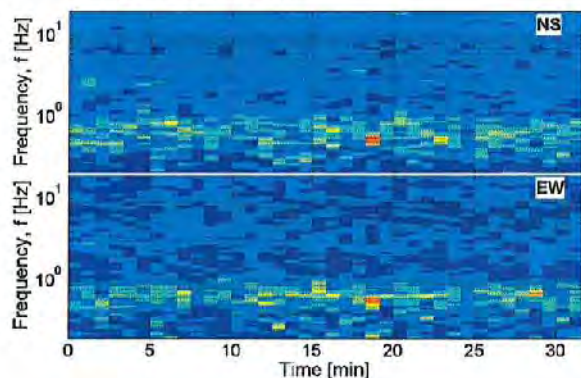
Butterworth filter: LP = 0.1 [Hz] - HP = 20 [Hz] - ord. = 4

Taper: 5 [%] - Konno & Ohmachi smoothing: b = 40

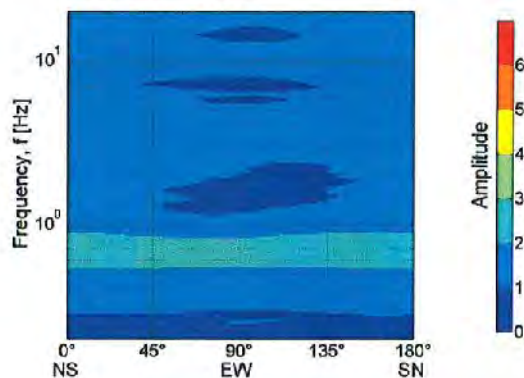
Single component spectra (not filtered)



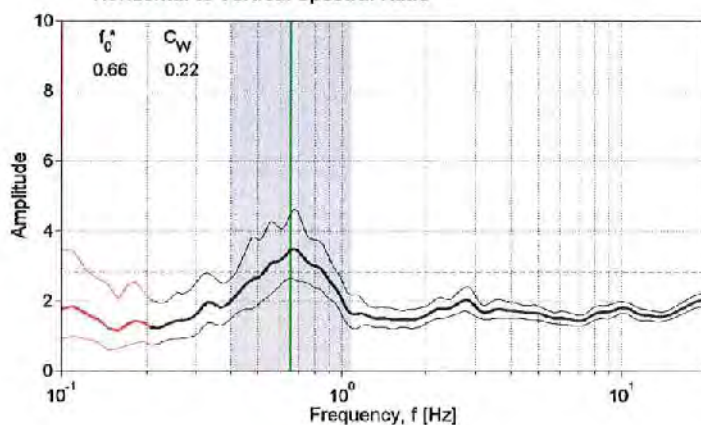
HVSR time histories



Directional HVSR



Horizontal to Vertical Spectral Ratio ⁽¹⁾



SESAME (2004) criteria ⁽²⁾

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)		
i) $\exists f' \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	==>	Yes
ii) $\exists f' \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	==>	Yes
iii) $A_0 > 2$	==>	Yes
iv) $f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	==>	Yes
v) $\sigma_1 < \varepsilon(f_0)$	==>	Yes
vi) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	==>	Yes

$f_0^* = 0.66$ - Fulfilled crit.: 6/6

(1) based on horizontal components merged through vectorial sum
(2) based on horizontal components merged through geometric mean



Station: SU16

Recording duration: 25:36 [min:sec] (dt = 0.01 [s])

Measurement by: INGV-MI

Instrument: Lennartz LE-3D/5s

Analysis performed on 23 windows (19:010 [min:sec])

Window length (t_w) = 50 [s]

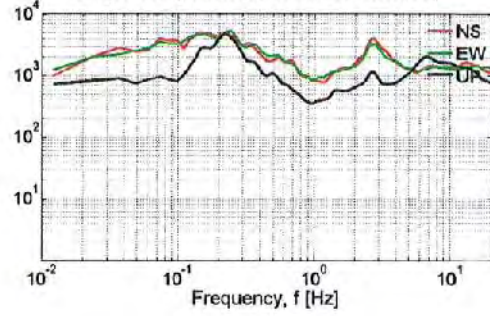
Minimum expected $f_0 = 0.2$ [Hz]

Deconvolution: no

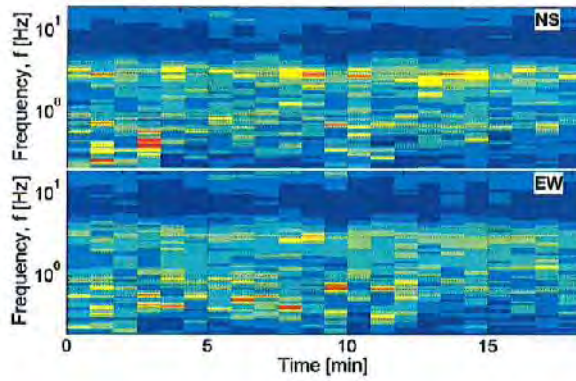
Butterworth filter: LP = 0.1 [Hz] - HP = 20 [Hz] - ord. = 4

Taper: 5 [%] - Konno & Ohmachi smoothing: b = 40

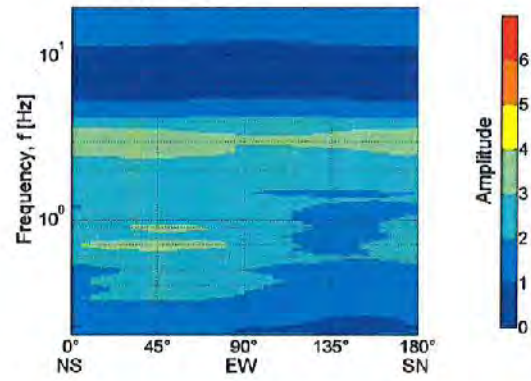
Single component spectra (not filtered)



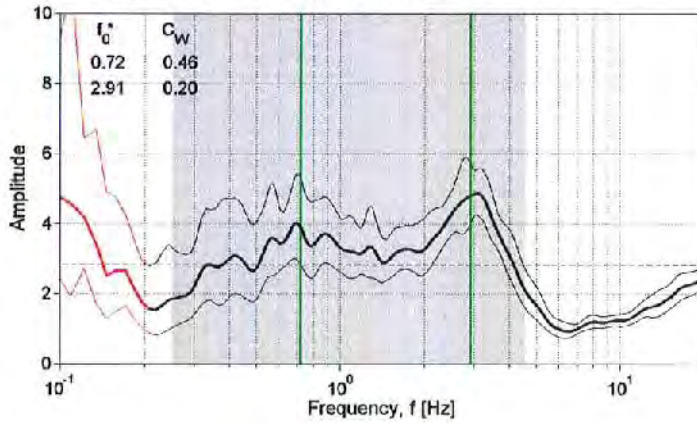
HVSr time histories



Directional HVSr



Horizontal to Vertical Spectral Ratio ⁽¹⁾



SESAME (2004) criteria ⁽²⁾

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

- i) $\exists f' \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$ ==> Yes
- ii) $\exists f' \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$ ==> No
- iii) $A_0 > 2$ ==> Yes
- iv) $f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ ==> Yes
- v) $\sigma_f < \alpha(f_0)$ ==> No
- vi) $\sigma_A(f_0) < \beta(f_0)$ ==> Yes

$f_{01}^* = 0.72$ - Fulfilled crit.: 4/6

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

- i) $\exists f' \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$ ==> No
- ii) $\exists f' \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$ ==> Yes
- iii) $A_0 > 2$ ==> Yes
- iv) $f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ ==> Yes
- v) $\sigma_f < \alpha(f_0)$ ==> No
- vi) $\sigma_A(f_0) < \beta(f_0)$ ==> Yes

$f_{02}^* = 2.91$ - Fulfilled crit.: 4/6

(1) based on horizontal components merged through vectorial sum

(2) based on horizontal components merged through geometric mean



Station: SU17

Recording duration: 48:54 [min:sec] (dt = 0.01 [s])

Measurement by: INGV-MI

Instrument: Lennartz LE-3D/5s

Analysis performed on 44 windows (36:40 [min:sec])

Window length (l_w) = 50 [s]

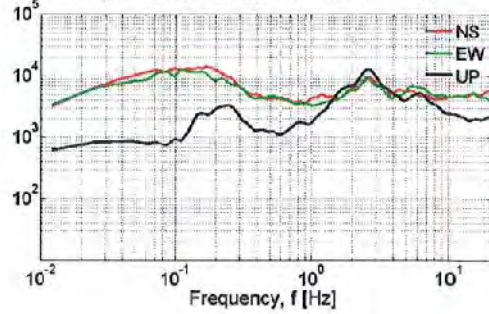
Minimum expected $f_0 = 0.2$ [Hz]

Deconvolution: no

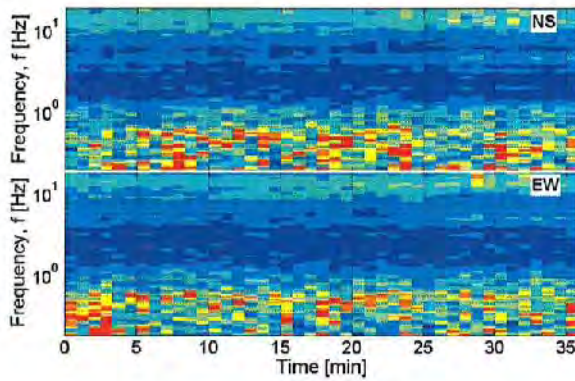
Butterworth filter: LP = 0.1 [Hz] - HP = 20 [Hz] - ord. = 4

Taper: 5 [%] - Konno & Ohmachi smoothing: b = 40

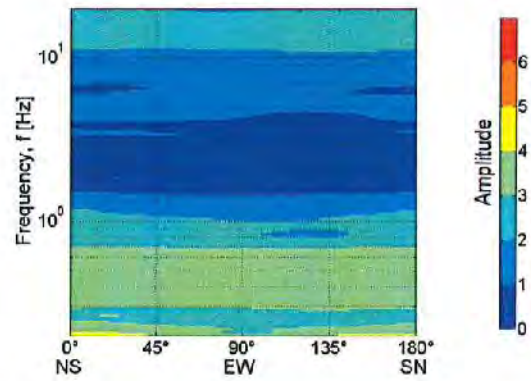
Single component spectra (not filtered)



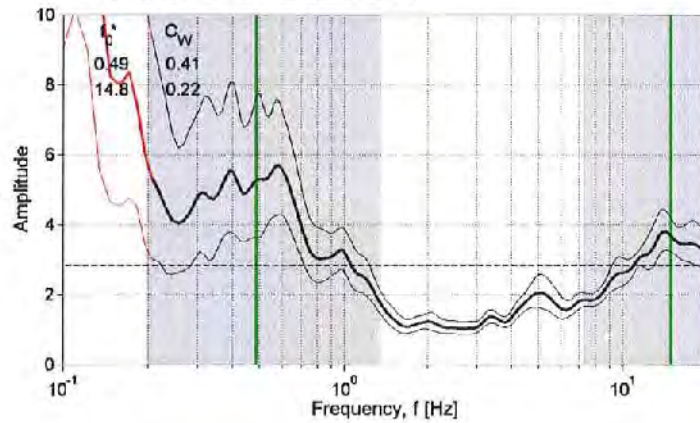
HVSr time histories



Directional HVSr



Horizontal to Vertical Spectral Ratio ⁽¹⁾



SESAME (2004) criteria ⁽²⁾

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)		
I) $\exists f' \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	==>	No
II) $\exists f' \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	==>	Yes
III) $A_0 > 2$	==>	Yes
IV) $f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	==>	No
V) $\sigma_f < v(f_0)$	==>	Yes
VI) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	==>	Yes

$f_{01}^* = 0.49$ - Fulfilled crit.: 4/6

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)		
I) $\exists f' \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	==>	Yes
II) $\exists f' \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	==>	No
III) $A_0 > 2$	==>	Yes
IV) $f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	==>	Yes
V) $\sigma_f < v(f_0)$	==>	No
VI) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	==>	Yes

$f_{02}^* = 14.82$ - Fulfilled crit.: 4/6

⁽¹⁾ based on horizontal components merged through vectorial sum

⁽²⁾ based on horizontal components merged through geometric mean



Station: SU18

Recording duration: 56.47 [min:sec] (dt = 0.01 [s])

Measurement by: INGV-MI

Instrument: Lennartz LE-3D/5s

Analysis performed on 58 windows (48:20 [min:sec])

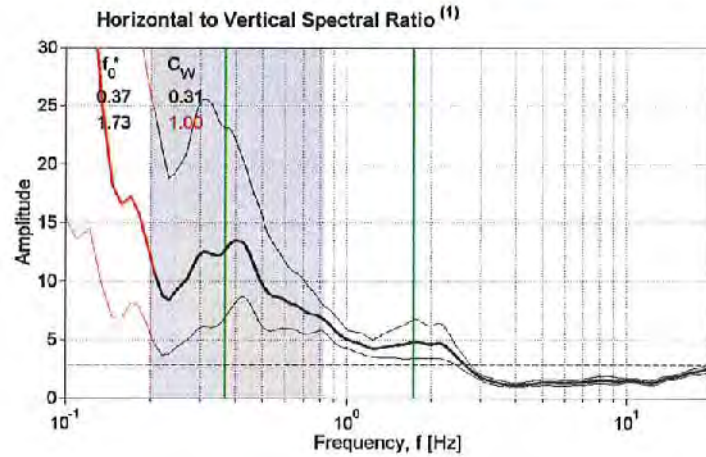
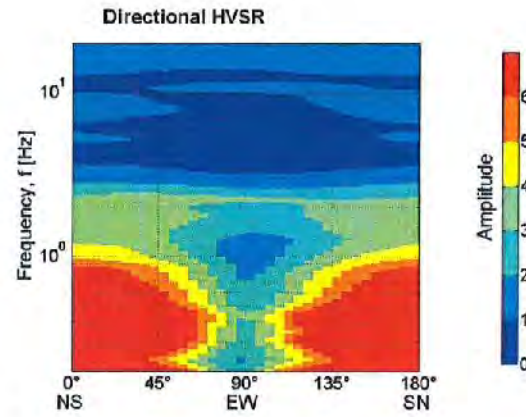
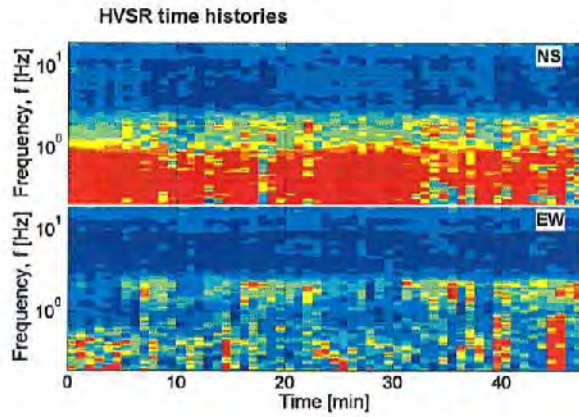
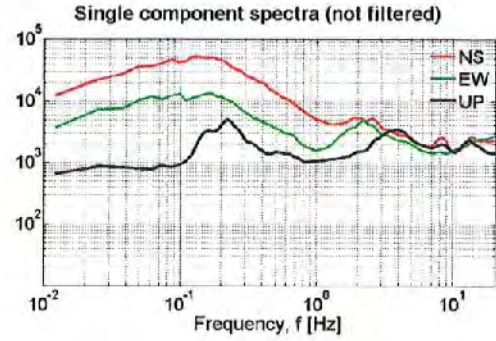
Window length (t_w) = 50 [s]

Minimum expected $f_0 = 0.2$ [Hz]

Deconvolution: no

Butterworth filter: LP = 0.1 [Hz] - HP = 20 [Hz] - ord. = 4

Taper: 5 [%] - Konno & Ohmachi smoothing: b = 40



SESAME (2004) criteria ⁽²⁾

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

- | | |
|---|---------|
| i) $\exists f^* \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^*) < A_0/2$ | ==> No |
| ii) $\exists f^* \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^*) < A_0/2$ | ==> Yes |
| iii) $A_0 > 2$ | ==> Yes |
| iv) $f_{peak}[A_{H/V}(f)] \pm \sigma_A(f) = f_0 \pm 5\%$ | ==> No |
| v) $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | ==> No |
| vi) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | ==> Yes |

$f_{01}^* = 0.37$ - Fulfilled crit.: 3/6

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

- | | |
|---|---------|
| i) $\exists f^* \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^*) < A_0/2$ | ==> Yes |
| ii) $\exists f^* \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^*) < A_0/2$ | ==> Yes |
| iii) $A_0 > 2$ | ==> Yes |
| iv) $f_{peak}[A_{H/V}(f)] \pm \sigma_A(f) = f_0 \pm 5\%$ | ==> No |
| v) $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | ==> No |
| vi) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | ==> Yes |

$f_{02}^* = 1.73$ - Fulfilled crit.: 4/6

(1) based on horizontal components merged through vectorial sum

(2) based on horizontal components merged through geometric mean



Station: SU19

Recording duration: 37:21 [min:sec] (dt = 0.01 [s])

Measurement by: INGV-MI

Instrument: Lennartz LE-3D/5s

Analysis performed on 39 windows (32:30 [min:sec])

Window length (l_w) = 50 [s]

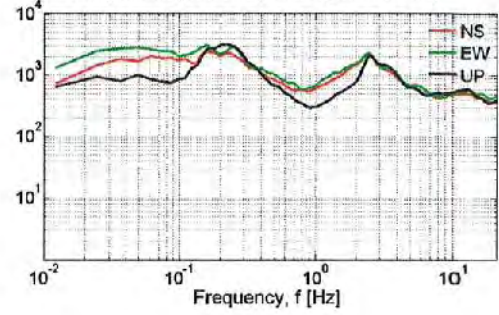
Minimum expected $f_0 = 0.2$ [Hz]

Deconvolution: no

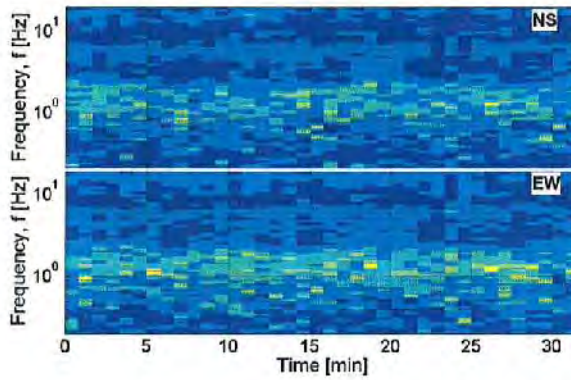
Butterworth filter: LP = 0.1 [Hz] - HP = 20 [Hz] - ord. = 4

Taper: 5 [%] - Konno & Ohmachi smoothing: b = 40

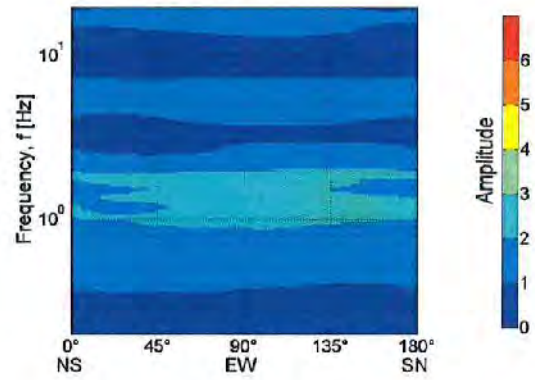
Single component spectra (not filtered)



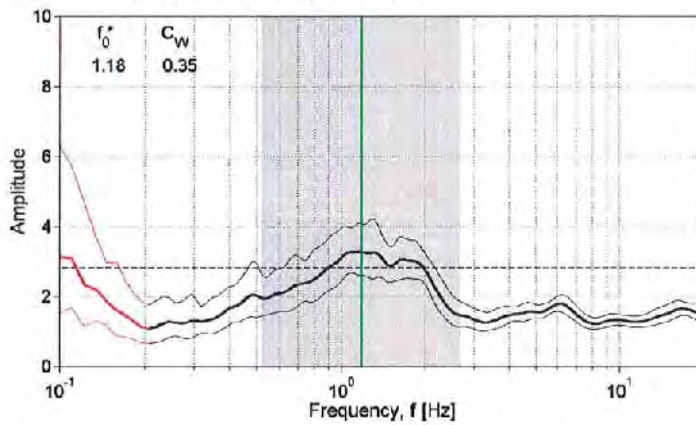
HVSR time histories



Directional HVSR



Horizontal to Vertical Spectral Ratio ⁽¹⁾



SESAME (2004) criteria ⁽²⁾

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)		
i) $\exists f' \in [f_0/4, f_0] \mid A_{HV}(f') < A_0/2$	==>	Yes
ii) $\exists f'' \in [f_0, 4f_0] \mid A_{HV}(f'') < A_0/2$	==>	Yes
iii) $A_0 > 2$	==>	Yes
iv) $f_{peak}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	==>	Yes
v) $\sigma_1 < s(f_0)$	==>	No
vi) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	==>	Yes

$f_0^* = 1.18$ - Fulfilled crit.: 5/6

(1) based on horizontal components merged through vectorial sum

(2) based on horizontal components merged through geometric mean



Station: SU20

Recording duration: 36:38 [min:sec] (dt = 0.01 [s])

Measurement by: INGV-MI

Instrument: Lennartz LE-3D/5s

Analysis performed on 34 windows (28:20 [min:sec])

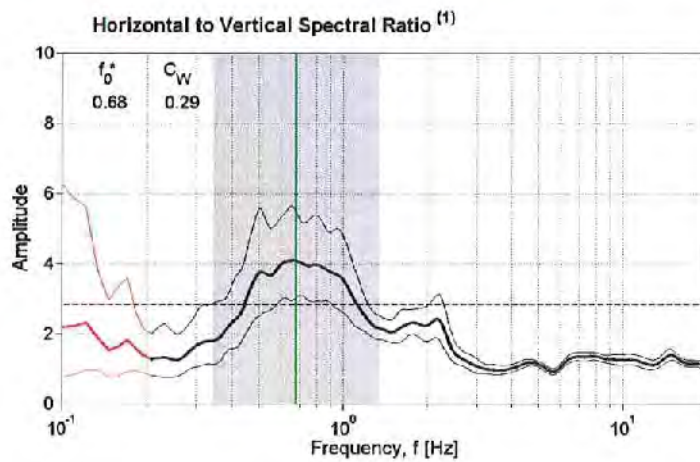
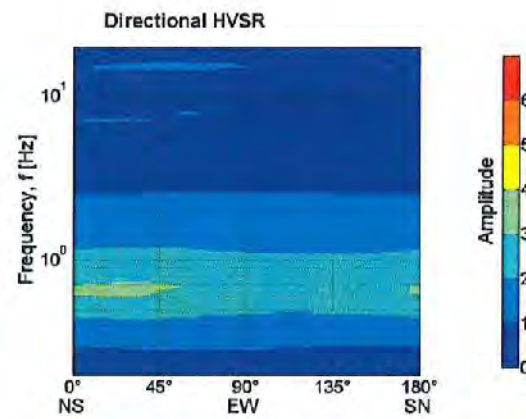
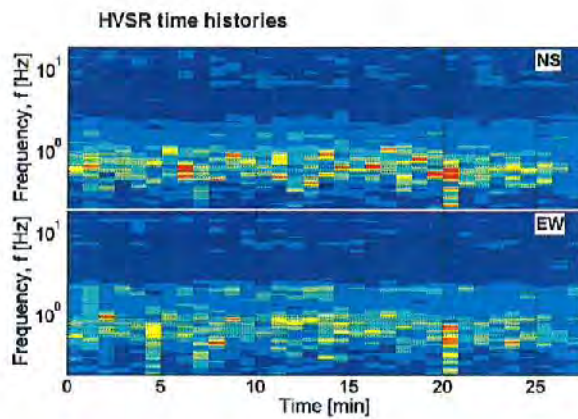
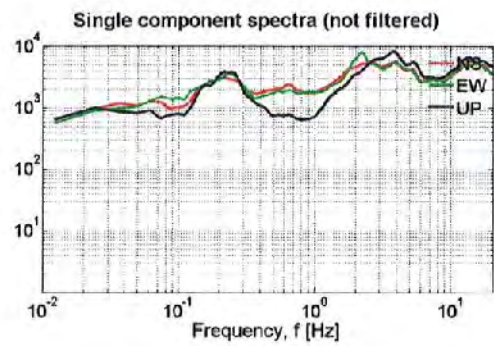
Window length (t_w) = 50 [s]

Minimum expected $f_0 = 0.2$ [Hz]

Deconvolution: no

Butterworth filter: LP = 0.1 [Hz] - HP = 20 [Hz] - ord. = 4

Taper: 5 [%] - Konno & Ohmachi smoothing: b = 40



SESAME (2004) criteria ⁽²⁾

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)		
I) $\exists f \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	==> Yes	
II) $\exists f \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	==> Yes	
III) $A_0 > 2$	==> Yes	
IV) $f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \alpha_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	==> No	
V) $\alpha_f < \alpha(f_0)$	==> No	
VI) $\alpha_A(f_0) < \theta(f_0)$	==> Yes	

$f_0^* = 0.68$ - Fulfilled crit.: 4/6

(1) based on horizontal components merged through vectorial sum
(2) based on horizontal components merged through geometric mean



Station: SU21

Recording duration: 39:11 [min:sec] (dt = 0.01 [s])

Measurement by: INGV-MI

Instrument: Lennartz LE-3D/5s

Analysis performed on 41 windows (34:010 [min:sec])

Window length (l_w) = 50 [s]

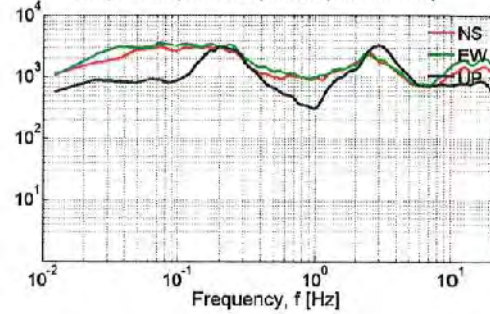
Minimum expected $f_0 = 0.2$ [Hz]

Deconvolution: no

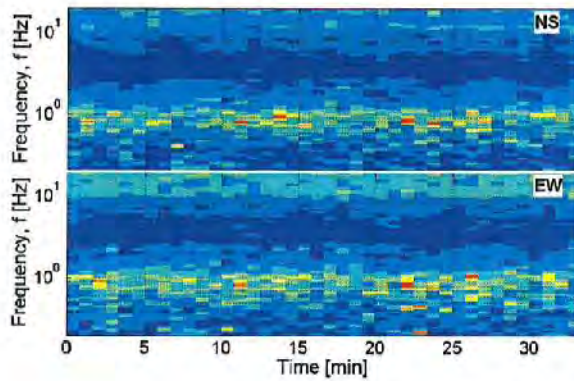
Butterworth filter: LP = 0.1 [Hz] - HP = 20 [Hz] - ord. = 4

Taper: 5 [%] - Konno & Ohmachi smoothing: b = 40

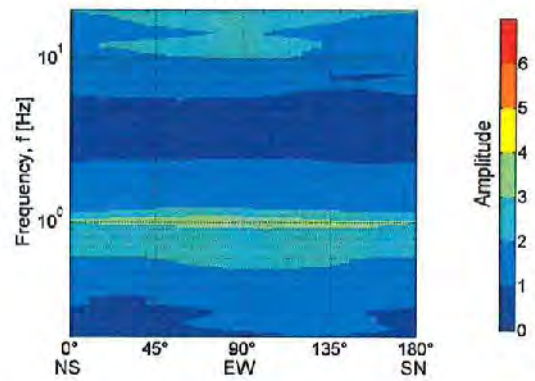
Single component spectra (not filtered)



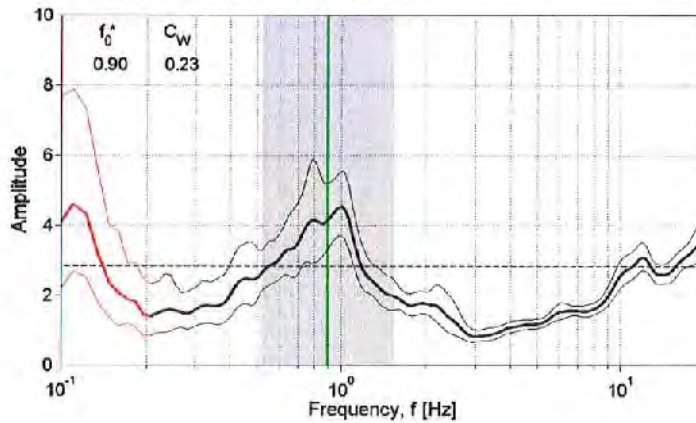
HVSr time histories



Directional HVSr



Horizontal to Vertical Spectral Ratio ⁽¹⁾



SESAME (2004) criteria ⁽²⁾

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 out of 8 criteria fulfilled)		
i) $\exists f \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	==>	Yes
ii) $\exists f^* \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^*) < A_0/2$	==>	Yes
iii) $A_0 > 2$	==>	Yes
iv) $f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	==>	Yes
v) $\sigma_1 < \varepsilon(f_0)$	==>	Yes
vi) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	==>	Yes

$f_0^* = 0.90$ - Fulfilled crit.: 6/6

- (1) based on horizontal components merged through vectorial sum
(2) based on horizontal components merged through geometric mean



Station: SU22

Recording duration: 36:44 [min:sec] (dt = 0.01 [s])

Measurement by: INGV-MI

Instrument: Lennartz LE-3D/5s

Analysis performed on 33 windows (27:30 [min:sec])

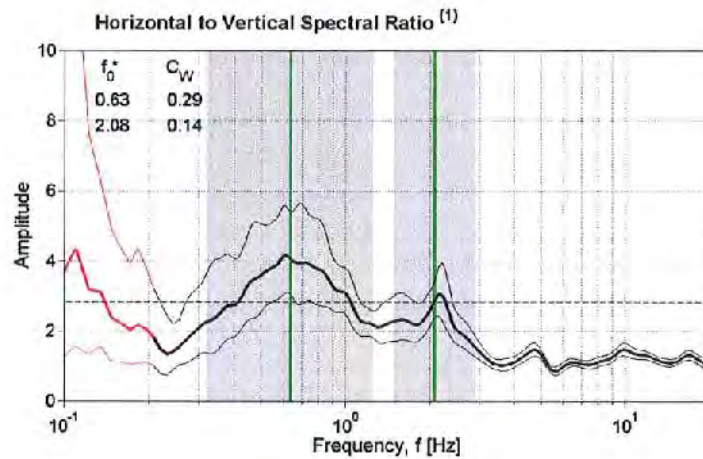
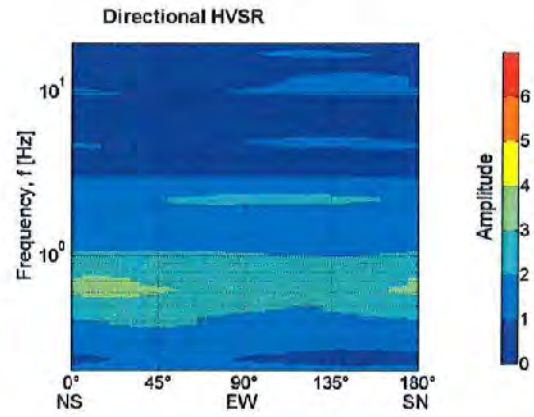
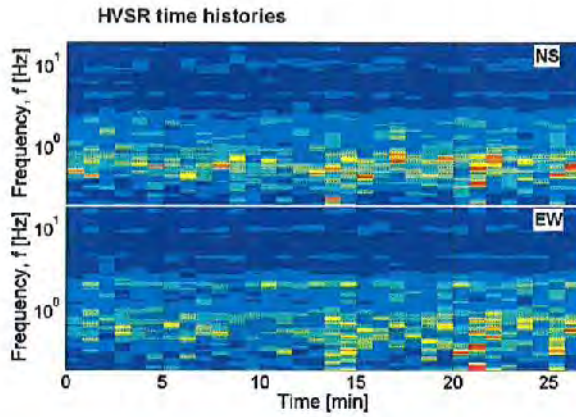
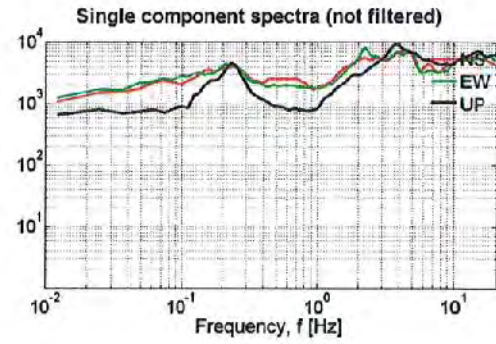
Window length (t_w) = 50 [s]

Minimum expected $f_0 = 0.2$ [Hz]

Deconvolution: no

Butterworth filter: LP = 0.1 [Hz] - HP = 20 [Hz] - ord. = 4

Taper: 5 [%] - Konno & Ohmachi smoothing: b = 40



SESAME (2004) criteria ⁽²⁾

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)		
I) $\exists f' \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	==>	Yes
II) $\exists f' \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	==>	Yes
III) $A_0 > 2$	==>	Yes
IV) $f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	==>	Yes
V) $\sigma_f < \alpha(f_0)$	==>	No
VI) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	==>	Yes

$f_{01}^* = 0.63$ - Fulfilled crit.: 5/6

Criteria for a clear H/V peak (at least 3 out of 6 criteria fulfilled)		
I) $\exists f' \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	==>	No
II) $\exists f' \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	==>	Yes
III) $A_0 > 2$	==>	Yes
IV) $f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	==>	Yes
V) $\sigma_f < \alpha(f_0)$	==>	No
VI) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	==>	Yes

$f_{02}^* = 2.08$ - Fulfilled crit.: 4/6

(1) based on horizontal components merged through vectorial sum
(2) based on horizontal components merged through geometric mean



Station: SU23

Recording duration: 35:44 [min:sec] (dt = 0.01 [s])

Measurement by: INGV-MI

Instrument: Lennartz LE-3D/5s

Analysis performed on 36 windows (30:00 [min:sec])

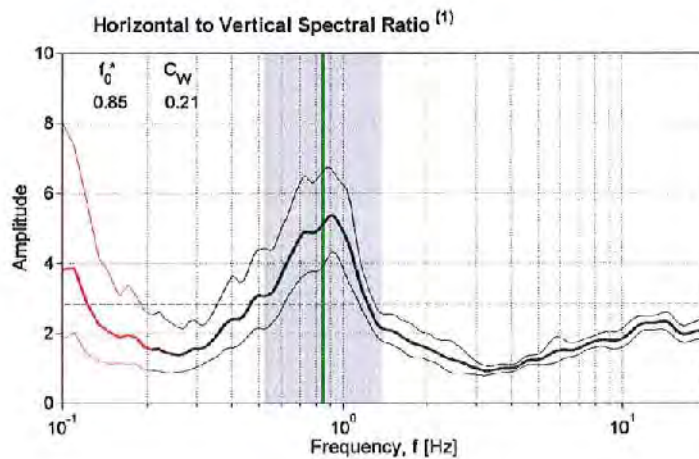
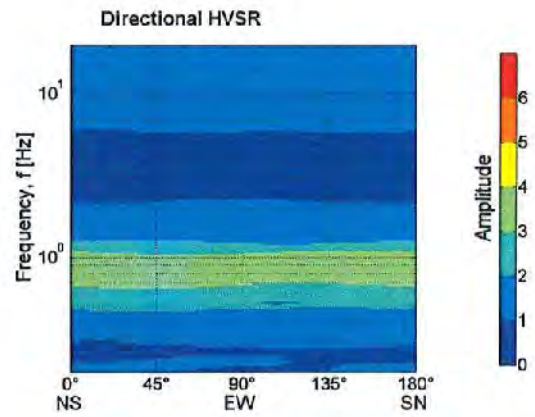
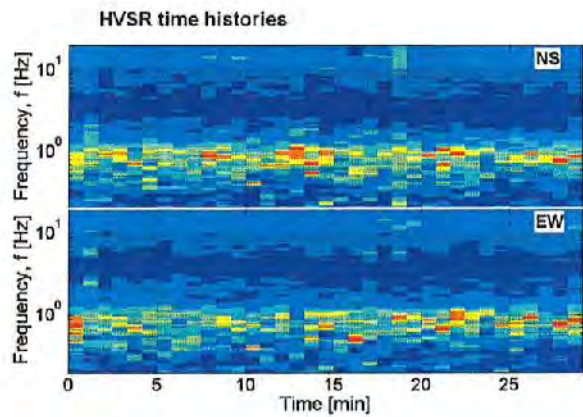
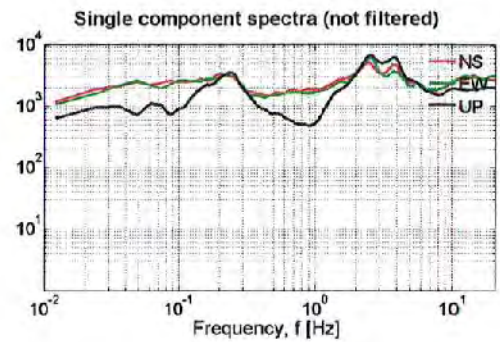
Window length (l_w) = 50 [s]

Minimum expected $f_0 = 0.2$ [Hz]

Deconvolution: no

Butterworth filter: LP = 0.1 [Hz] - HP = 20 [Hz] - ord. = 4

Taper: 5 [%] - Konno & Ohmachi smoothing: b = 40



SESAME (2004) criteria ⁽²⁾

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)		
I) $\exists f' \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	==>	Yes
II) $\exists f' \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	==>	Yes
III) $A_0 > 2$	==>	Yes
IV) $f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	==>	Yes
V) $\sigma_1 < u(f_0)$	==>	Yes
VI) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	==>	Yes

$f_0^* = 0.85$ - Fulfilled crit.: 6/6

- (1) based on horizontal components merged through vectorial sum
(2) based on horizontal components merged through geometric mean



Station: SU24

Recording duration: 43.010 [min:sec] (dt = 0.01 [s])

Measurement by: INGV-MI

Instrument: Lennartz LE-3D/5s

Analysis performed on 29 windows (24.010 [min:sec])

Window length (t_w) = 50 [s]

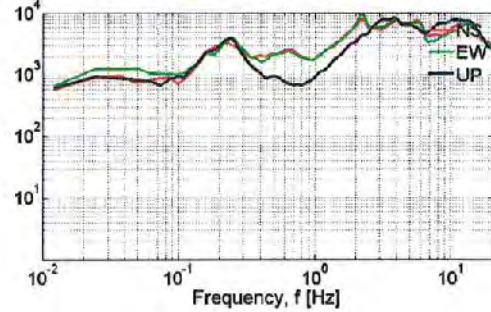
Minimum expected f_c = 0.2 [Hz]

Deconvolution: no

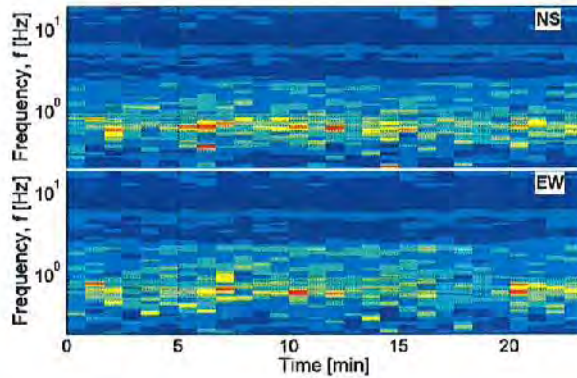
Butterworth filter: LP = 0.1 [Hz] - HP = 20 [Hz] - ord. = 4

Taper: 5 [%] - Konno & Ohmachi smoothing: b = 40

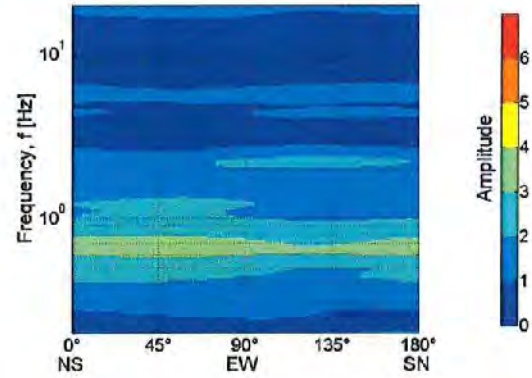
Single component spectra (not filtered)



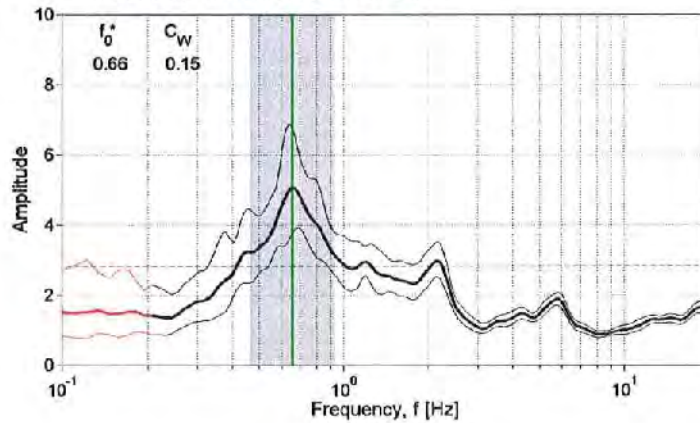
HVSr time histories



Directional HVSr



Horizontal to Vertical Spectral Ratio ⁽¹⁾



SESAME (2004) criteria ⁽²⁾

- Criteria for a clear HV peak
(at least 5 out of 6 criteria fulfilled)
- i) $\exists f^* \in [f_0/4, f_0] \mid A_{HV}(f^*) < A_0/2$ Yes
 - ii) $\exists f^* \in [f_0, 4f_0] \mid A_{HV}(f^*) < A_0/2$ Yes
 - iii) $A_0 > 2$ Yes
 - iv) $f_{peak}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ Yes
 - v) $\sigma_1 < s(f_0)$ Yes
 - vi) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ Yes
- $f_0^* = 0.66$ - Fulfilled crit.: 6/6

- (1) based on horizontal components merged through vectorial sum
(2) based on horizontal components merged through geometric mean



Station: SU25

Recording duration: 24:54 [min:sec] (dt = 0.01 [s])

Measurement by: INGV-MI

Instrument: Lennartz LE-3D/5s

Analysis performed on 20 windows (16:40 [min:sec])

Window length (t_w) = 50 [s]

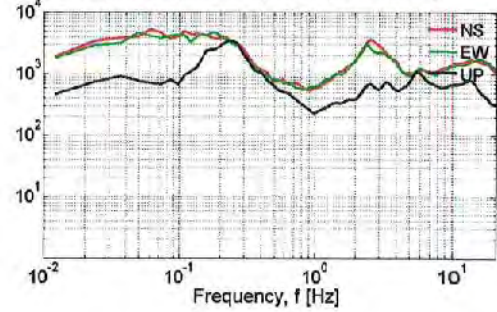
Minimum expected f_c = 0.2 [Hz]

Deconvolution: no

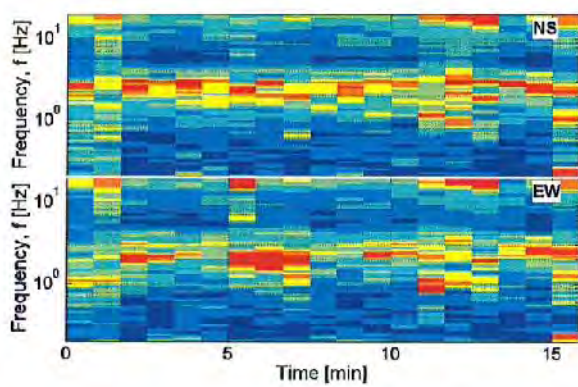
Butterworth filter: LP = 0.1 [Hz] - HP = 20 [Hz] - ord. = 4

Taper: 5 [%] - Konno & Ohmachi smoothing: b = 40

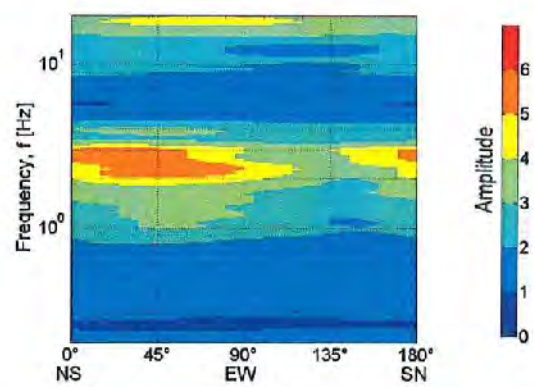
Single component spectra (not filtered)



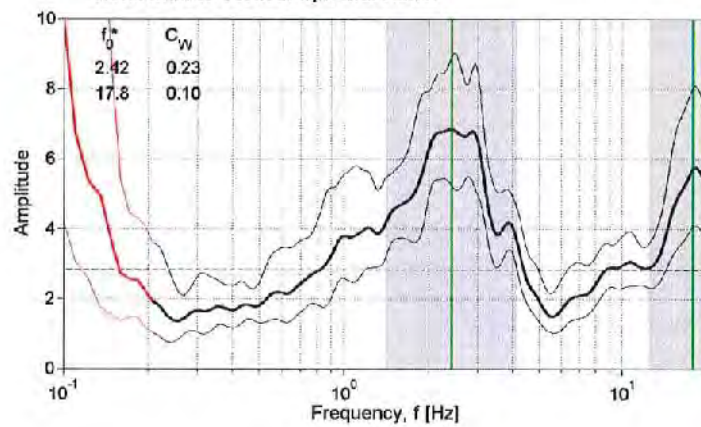
HVSr time histories



Directional HVSr



Horizontal to Vertical Spectral Ratio ⁽¹⁾



SESAME (2004) criteria ⁽²⁾

Criteria for a clear HV peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)		
i) $\exists f' \in [f_0/4, f_0] \mid A_{HV}(f') < A_0/2$	==>	Yes
ii) $\exists f' \in [f_0, 4f_0] \mid A_{HV}(f') < A_0/2$	==>	Yes
iii) $A_0 > 2$	==>	Yes
iv) $f_{peak}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	==>	Yes
v) $\sigma_A < 0.1(f_0)$	==>	No
vi) $\sigma_A(f_0) < 0.1(f_0)$	==>	Yes

$f_{01}^* = 2.42$ - Fulfilled crit.: 5/6

Criteria for a clear HV peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)		
i) $\exists f' \in [f_0/4, f_0] \mid A_{HV}(f') < A_0/2$	==>	Yes
ii) $\exists f' \in [f_0, 4f_0] \mid A_{HV}(f') < A_0/2$	==>	No
iii) $A_0 > 2$	==>	Yes
iv) $f_{peak}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	==>	Yes
v) $\sigma_A < 0.1(f_0)$	==>	No
vi) $\sigma_A(f_0) < 0.1(f_0)$	==>	Yes

$f_{02}^* = 17.82$ - Fulfilled crit.: 4/6

(1) based on horizontal components merged through vectorial sum

(2) based on horizontal components merged through geometric mean



Station: SU26

Recording duration: 37:35 [min:sec] (dt = 0.01 [s])

Measurement by: INGV-MI

Instrument: Lennartz LE-3D/5s

Analysis performed on 38 windows (31:40 [min:sec])

Window length (l_w) = 50 [s]

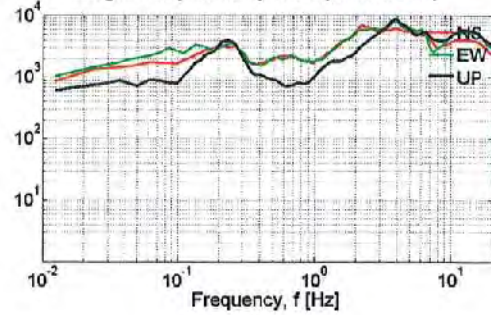
Minimum expected $f_0 = 0.2$ [Hz]

Deconvolution: no

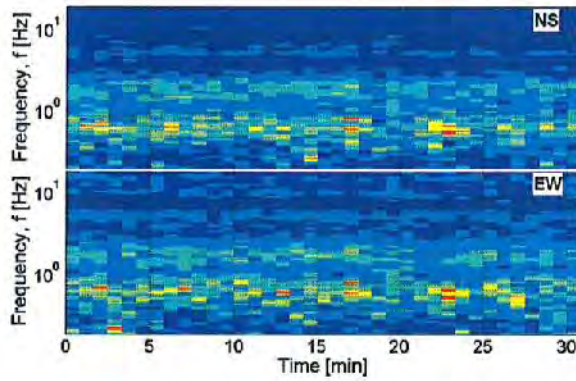
Butterworth filter: LP = 0.1 [Hz] - HP = 20 [Hz] - ord. = 4

Taper: 5 [%] - Konno & Ohmachi smoothing: b = 40

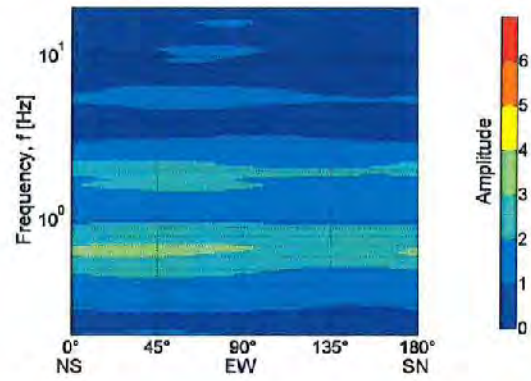
Single component spectra (not filtered)



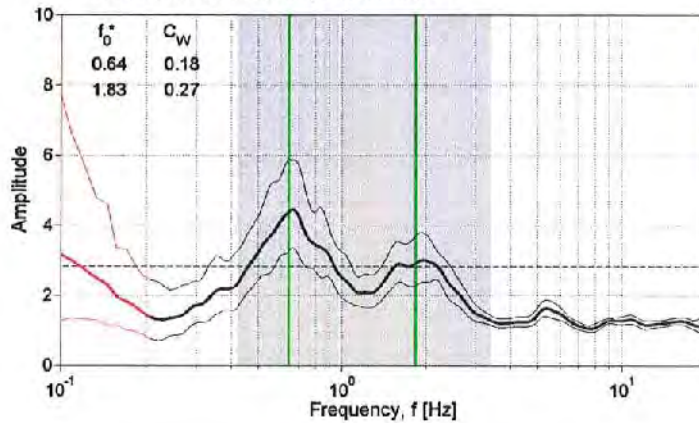
HVSr time histories



Directional HVSr



Horizontal to Vertical Spectral Ratio ⁽¹⁾



SESAME (2004) criteria ⁽²⁾

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)	
I) $\exists f \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	==> Yes
II) $\exists f' \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	==> Yes
III) $A_0 > 2$	==> Yes
IV) $f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	==> Yes
V) $\sigma_f < \alpha(f_0)$	==> Yes
VI) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	==> Yes

$f_{01}^* = 0.64$ - Fulfilled crit.: 6/6

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)	
I) $\exists f \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	==> Yes
II) $\exists f' \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	==> Yes
III) $A_0 > 2$	==> Yes
IV) $f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	==> Yes
V) $\sigma_f < \alpha(f_0)$	==> No
VI) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	==> Yes

$f_{02}^* = 1.83$ - Fulfilled crit.: 5/6

(1) based on horizontal components merged through vectorial sum

(2) based on horizontal components merged through geometric mean



Station: SU27

Recording duration: 33:03 [min:sec] (dt = 0.01 [s])

Measurement by: INGV-MI

Instrument: Lennartz LE-3D/5s

Analysis performed on 33 windows (27:30 [min:sec])

Window length (l_w) = 50 [s]

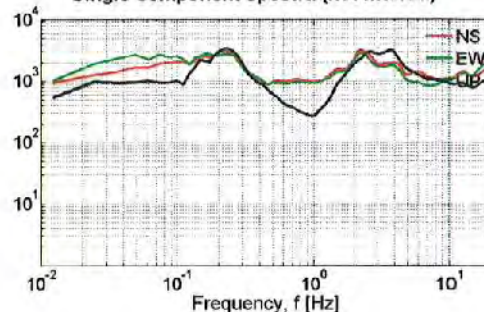
Minimum expected $f_0 = 0.2$ [Hz]

Deconvolution: no

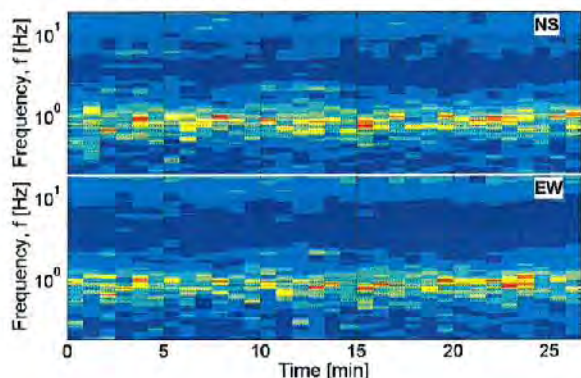
Butterworth filter: LP = 0.1 [Hz] - HP = 20 [Hz] - ord. = 4

Taper: 5 [%] - Konno & Ohmachi smoothing: b = 40

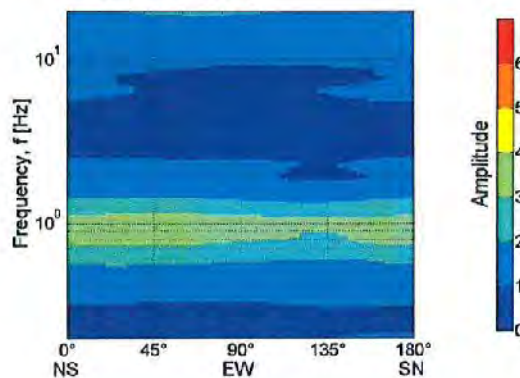
Single component spectra (not filtered)



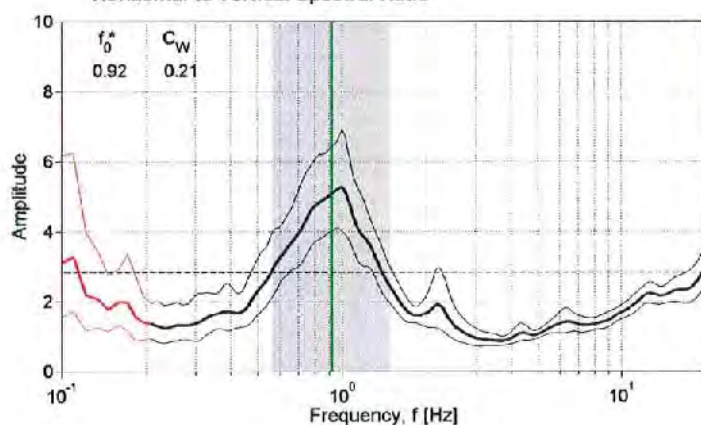
HVSr time histories



Directional HVSr



Horizontal to Vertical Spectral Ratio ⁽¹⁾



SESAME (2004) criteria ⁽²⁾

Criteria for a clear HV peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)		
i) $\exists f^* \in [f_0/4, f_0] : A_{HV}(f^*) < A_0/2$	\Rightarrow	Yes
ii) $\exists f^* \in [f_0/4, f_0] : A_{HV}(f^*) < A_0/2$	\Rightarrow	Yes
iii) $A_0 > 2$	\Rightarrow	Yes
iv) $f_{peak}[A_{HV}(f)] \pm \sigma_A(f) = f_0 \pm 5\%$	\Rightarrow	Yes
v) $\sigma_1 < 0.1 f_0$	\Rightarrow	Yes
vi) $\sigma_A(f_0) < 0.1 f_0$	\Rightarrow	Yes

$f_0^* = 0.92$ - Fulfilled crit.: 6/6

- (1) based on horizontal components merged through vectorial sum
(2) based on horizontal components merged through geometric mean

Station: SU28

Recording duration: 36:46 [min:sec] (dt = 0.01 [s])

Measurement by: INGV-MI

Instrument: Lennartz LE-3D/5s

Analysis performed on 39 windows (32:30 [min:sec])

Window length (l_w) = 50 [s]

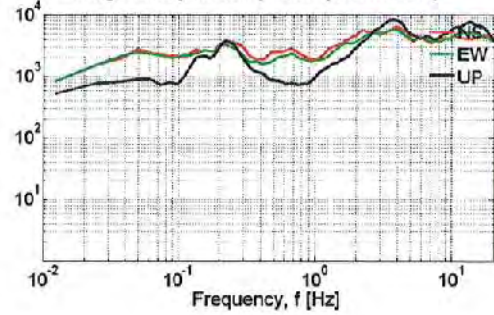
Minimum expected $f_0 = 0.2$ [Hz]

Deconvolution: no

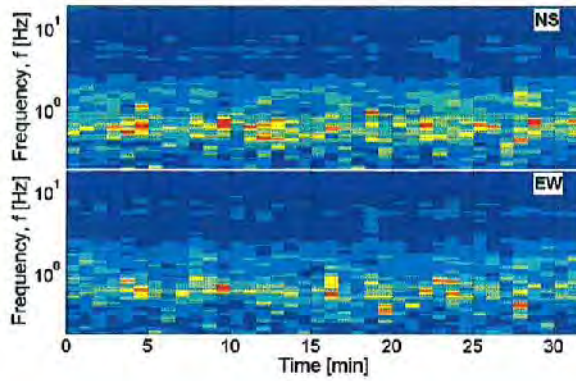
Butterworth filter: LP = 0.1 [Hz] - HP = 20 [Hz] - ord. = 4

Taper: 5 [%] - Konno & Ohmachi smoothing: b = 40

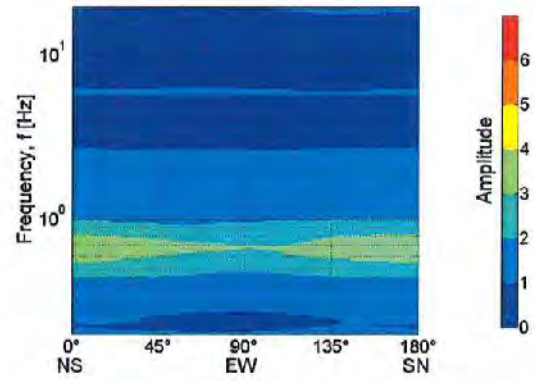
Single component spectra (not filtered)



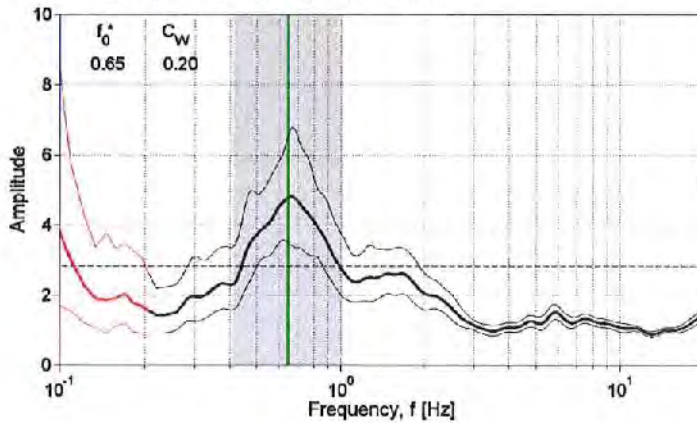
HVSr time histories



Directional HVSr



Horizontal to Vertical Spectral Ratio ⁽¹⁾



SESAME (2004) criteria ⁽²⁾

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)	
i) $\exists f^* \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^*) < A_0/2$	Yes
ii) $\exists f^* \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^*) < A_0/2$	Yes
iii) $A_0 > 2$	Yes
iv) $f_{peak}[A_{H/V}(f)] \pm \sigma_A(f) = f_0 \pm 5\%$	Yes
v) $\sigma_A < s(f_0)$	No
vi) $\sigma_A(f_0) < \hat{\sigma}(f_0)$	Yes

$f_0^* = 0.65$ - Fulfilled crit.: 5/6

(1) based on horizontal components merged through vectorial sum

(2) based on horizontal components merged through geometric mean



Station: SU29

Recording duration: 26:34 [min:sec] (dt = 0.01 [s])

Measurement by: INGV-MI

Instrument: Lennartz LE-3D/5s

Analysis performed on 24 windows (20:00 [min:sec])

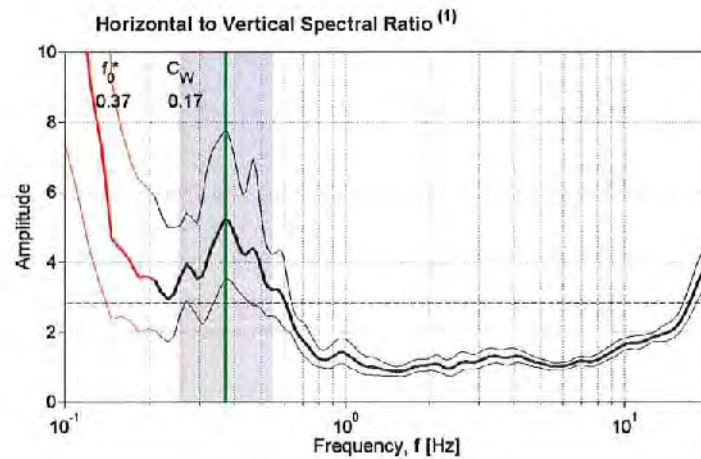
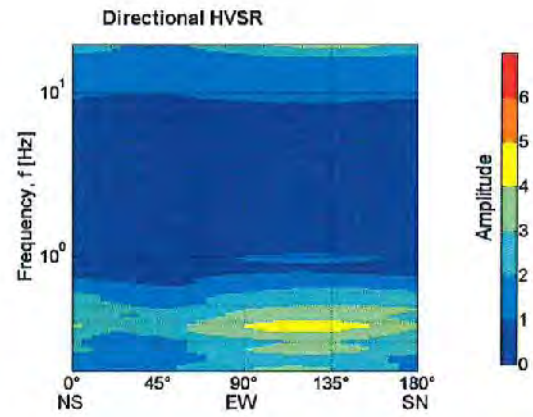
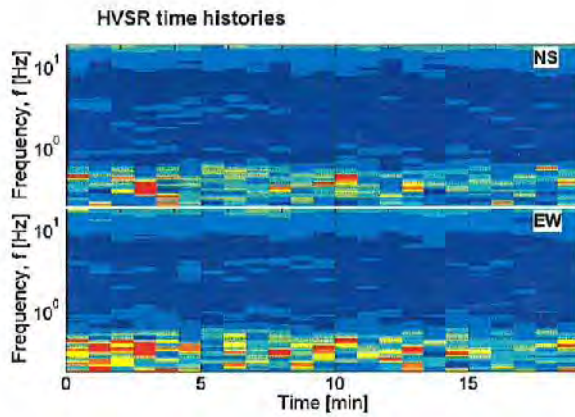
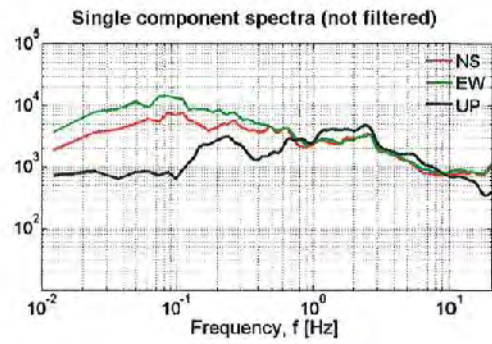
Window length (t_w) = 50 [s]

Minimum expected $f_0 = 0.2$ [Hz]

Deconvolution: no

Butterworth filter: LP = 0.1 [Hz] - HP = 20 [Hz] - ord. = 4

Taper: 5 [%] - Konno & Ohmachi smoothing: b = 40



SESAME (2004) criteria ⁽²⁾

- Criteria for a clear HV peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)
- i) $\exists f^* \in [f_0/4, f_0] \mid A_{HV}(f^*) < A_0/2$ => No
 - ii) $\exists f^* \in [f_0, 4f_0] \mid A_{HV}(f^*) < A_0/2$ => Yes
 - iii) $A_0 > 2$ => Yes
 - iv) $f_{peak}(A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)) = f_0 \pm 5\%$ => Yes
 - v) $\omega_1 < \omega(f_0)$ => Yes
 - vi) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ => Yes

$f_0^* = 0.37$ - Fulfilled crit.: 5/6

- (1) based on horizontal components merged through vectorial sum
(2) based on horizontal components merged through geometric mean



Station: SU30

Recording duration: 39:31 [min:sec] (dt = 0.01 [s])

Measurement by: INGV-MI

Instrument: Lennartz LE-3D/5s

Analysis performed on 41 windows (34:010 [min:sec])

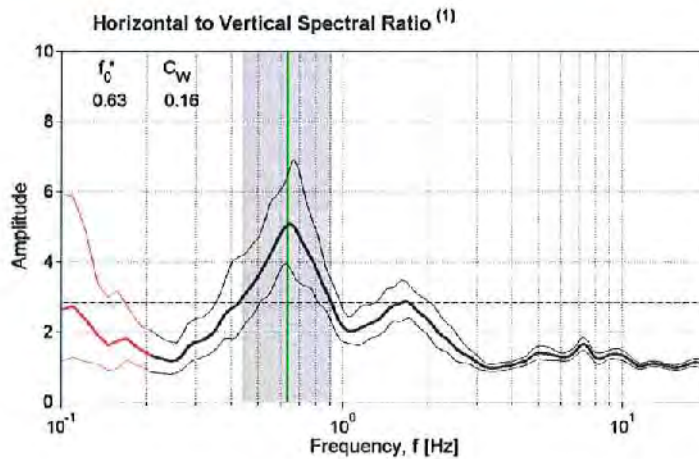
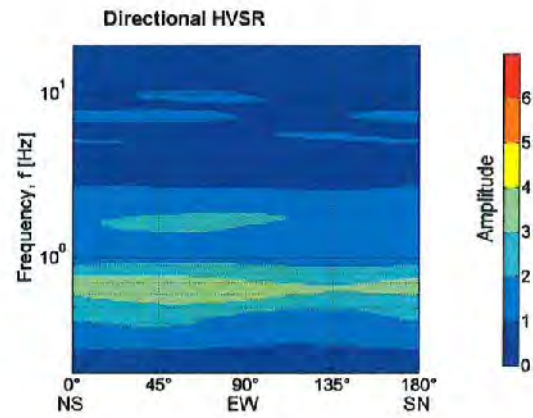
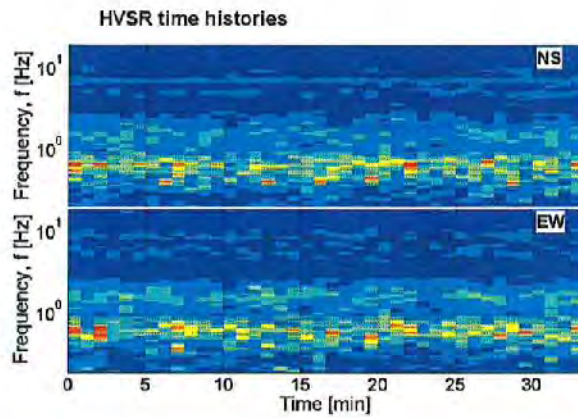
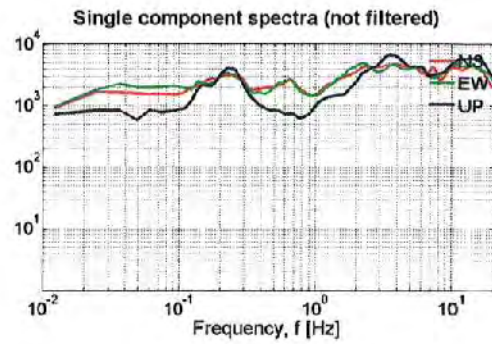
Window length (l_w) = 50 [s]

Minimum expected $f_0 = 0.2$ [Hz]

Deconvolution: no

Butterworth filter: LP = 0.1 [Hz] - HP = 20 [Hz] - ord. = 4

Taper: 5 [%] - Konno & Ohmachi smoothing: b = 40



SESAME (2004) criteria ⁽²⁾

- Criteria for a clear H/V peak
(at least 5 out of 6 criteria fulfilled)
- i) $\exists f \in [f_0/4, f_0] \mid A_{HV}(f) < A_0/2$ ==> Yes
 - ii) $\exists f^* \in [f_0, 4f_0] \mid A_{HV}(f^*) < A_0/2$ ==> Yes
 - iii) $A_0 > 2$ ==> Yes
 - iv) $f_{peak}(A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)) = f_0 \pm 5\%$ ==> Yes
 - v) $\sigma_f < f_0$ ==> Yes
 - vi) $\sigma_A(f_0) \leq 9 (f_0)$ ==> Yes

$f_0^* = 0.63$ - Fulfilled crit.: 6/6

(1) based on horizontal components merged through vectorial sum
(2) based on horizontal components merged through geometric mean



Station: SU31

Recording duration: 33:12 [min:sec] (dt = 0.01 [s])

Measurement by: INGV-MI

Instrument: Lennartz LE-3D/5s

Analysis performed on 33 windows (27:30 [min:sec])

Window length (l_w) = 50 [s]

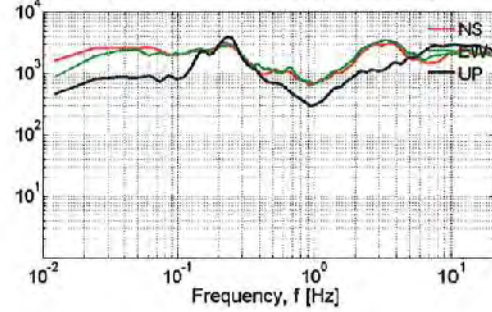
Minimum expected f_c = 0.2 [Hz]

Deconvolution: no

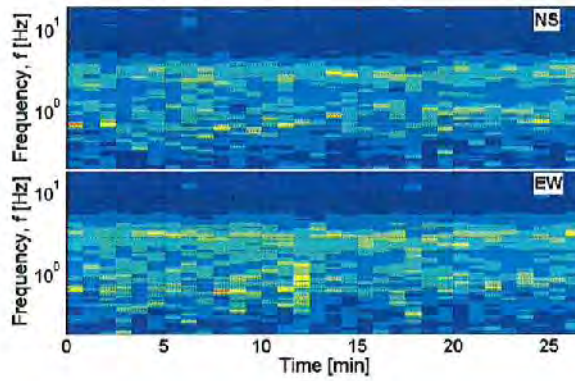
Butterworth filter: LP = 0.1 [Hz] - HP = 20 [Hz] - ord. = 4

Taper: 5 [%] - Konno & Ohmachi smoothing: b = 40

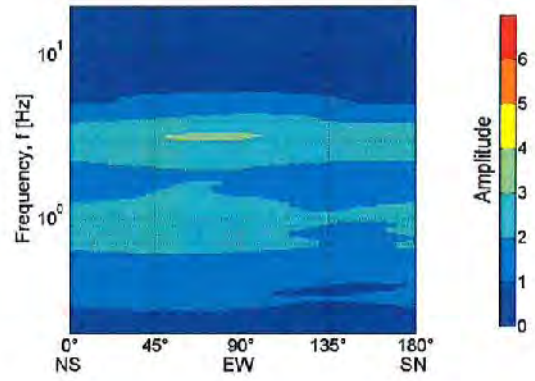
Single component spectra (not filtered)



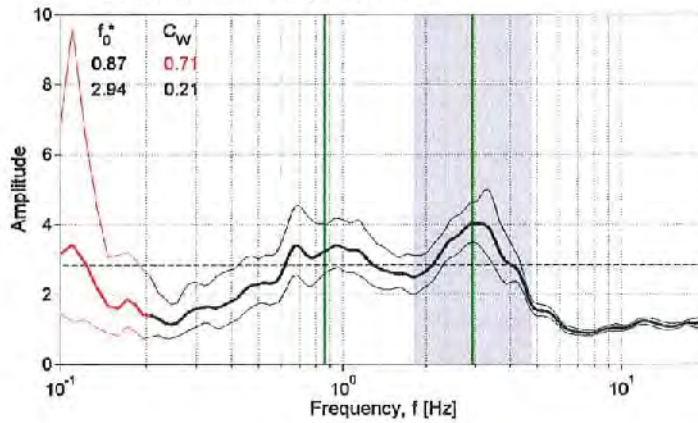
HVSr time histories



Directional HVSr



Horizontal to Vertical Spectral Ratio ⁽¹⁾



SESAME (2004) criteria ⁽²⁾

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)		
I) $\exists f \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	==>	Yes
II) $\exists f' \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	==>	No
III) $A_0 > 2$	==>	Yes
IV) $f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	==>	No
V) $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	==>	No
VI) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	==>	Yes

$f_{01}^* = 0.87$ - Fulfilled crit.: 3/6

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)		
I) $\exists f \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	==>	No
II) $\exists f' \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	==>	Yes
III) $A_0 > 2$	==>	Yes
IV) $f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	==>	Yes
V) $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	==>	No
VI) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	==>	Yes

$f_{02}^* = 2.94$ - Fulfilled crit.: 4/6

(1) based on horizontal components merged through vectorial sum
(2) based on horizontal components merged through geometric mean



Station: SU32

Recording duration: 33:06 [min:sec] (dt = 0.01 [s])

Measurement by: INGV-MI

Instrument: Lennartz LE-3D/5s

Analysis performed on 34 windows (28:20 [min:sec])

Window length (t_w) = 50 [s]

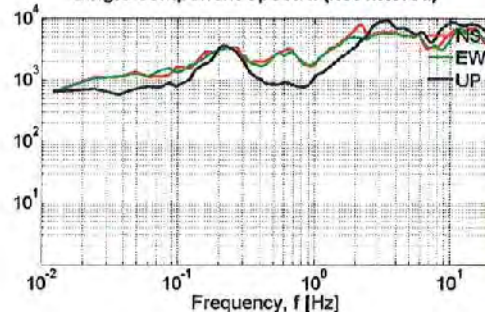
Minimum expected $f_0 = 0.2$ [Hz]

Deconvolution: no

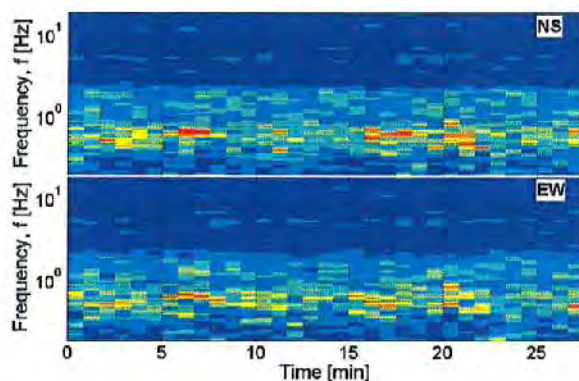
Butterworth filter: LP = 0.1 [Hz] - HP = 20 [Hz] - ord. = 4

Taper: 5 [%] - Konno & Ohmachi smoothing: b = 40

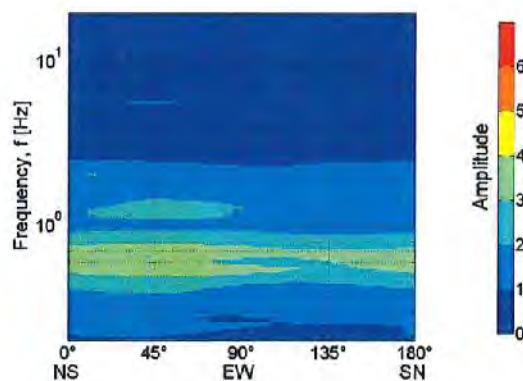
Single component spectra (not filtered)



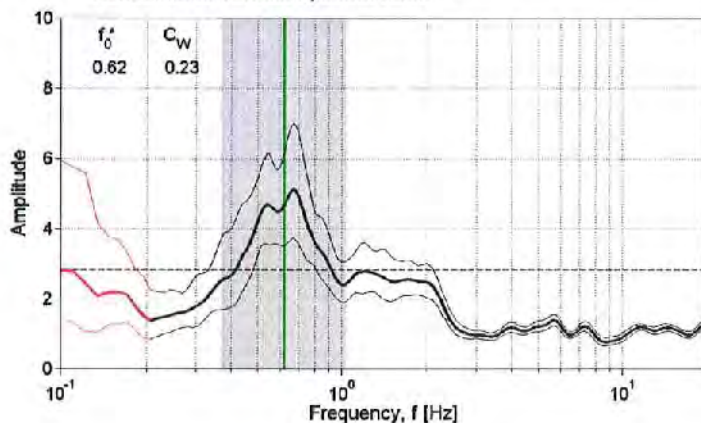
HVSR time histories



Directional HVSR



Horizontal to Vertical Spectral Ratio ⁽¹⁾



SESAME (2004) criteria ⁽²⁾

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)		
i) $\exists f^* \in [f_0/4, f_0] \mid A_{HV}(f^*) < A_0/2$	==>	Yes
ii) $\exists f^* \in [f_0, 4f_0] \mid A_{HV}(f^*) < A_0/2$	==>	Yes
iii) $A_0 > 2$	==>	Yes
iv) $f_{peak}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	==>	Yes
v) $\sigma_1 < v(f_0)$	==>	Yes
vi) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	==>	Yes

$f_0^* = 0.62$ - Fulfilled crit.: 6/6

(1) based on horizontal components merged through vectorial sum
(2) based on horizontal components merged through geometric mean



Station: SU33

Recording duration: 27:20 [min:sec] (dt = 0.01 [s])

Measurement by: INGV-MI

Instrument: Lennartz LE-3D/5s

Analysis performed on 27 windows (22:30 [min:sec])

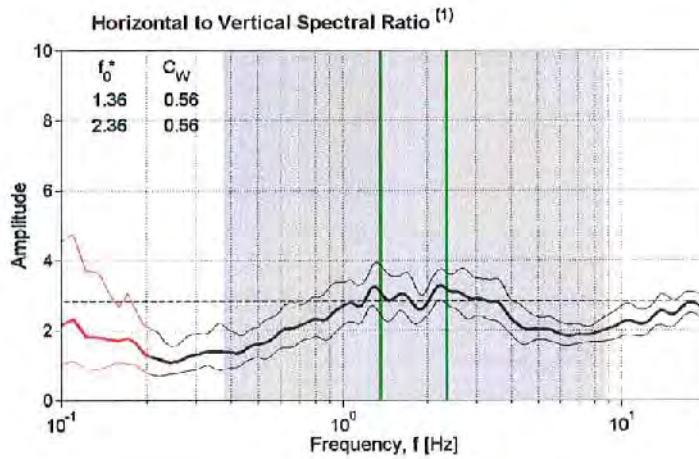
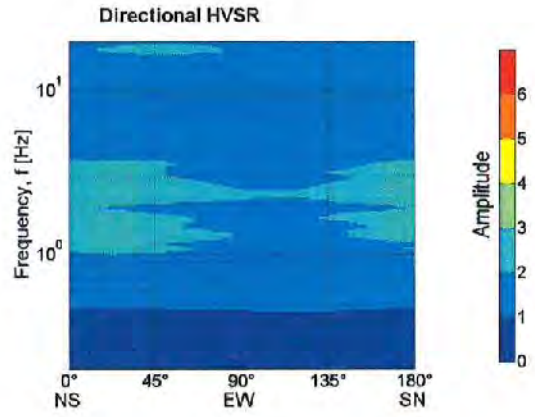
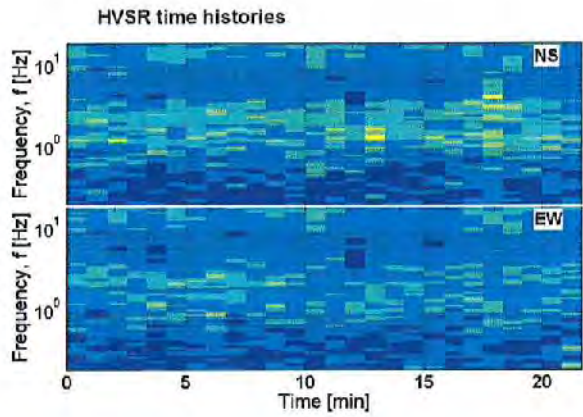
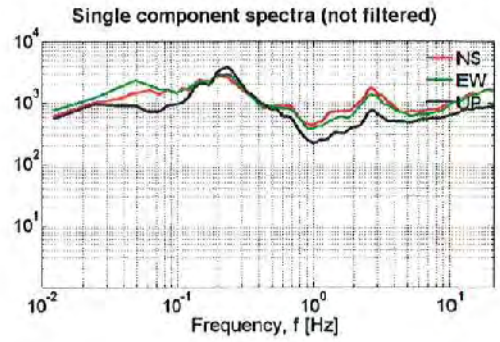
Window length (l_w) = 50 [s]

Minimum expected f_0 = 0.2 [Hz]

Deconvolution: no

Butterworth filter: LP = 0.1 [Hz] - HP = 20 [Hz] - ord. = 4

Taper: 5 [%] - Konno & Ohmachi smoothing: b = 40



SESAME (2004) criteria ⁽²⁾

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)		
i) $\exists f' \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	==>	Yes
ii) $\exists f'' \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f'') < A_0/2$	==>	No
iii) $A_0 > 2$	==>	Yes
iv) $f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	==>	Yes
v) $\sigma_f < 0.1(f_0)$	==>	No
vi) $\sigma_A(f_0) < 0.1(f_0)$	==>	Yes

$f_{01}^* = 1.36$ - Fulfilled crit.: 4/6

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)		
i) $\exists f' \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	==>	No
ii) $\exists f'' \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f'') < A_0/2$	==>	No
iii) $A_0 > 2$	==>	Yes
iv) $f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	==>	No
v) $\sigma_f < 0.1(f_0)$	==>	No
vi) $\sigma_A(f_0) < 0.1(f_0)$	==>	Yes

$f_{02}^* = 2.36$ - Fulfilled crit.: 2/6

(1) based on horizontal components merged through vectorial sum
(2) based on horizontal components merged through geometric mean



Station: SU34

Recording duration: 55:37 [min:sec] (dt = 0.01 [s])

Measurement by: INGV-MI

Instrument: Lennartz LE-3D/5s

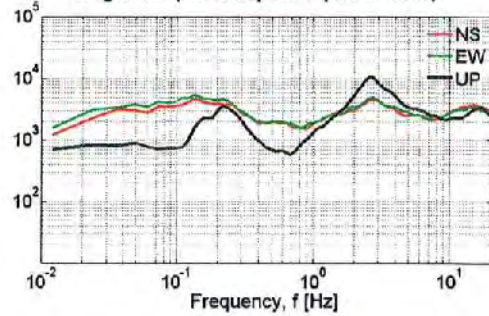
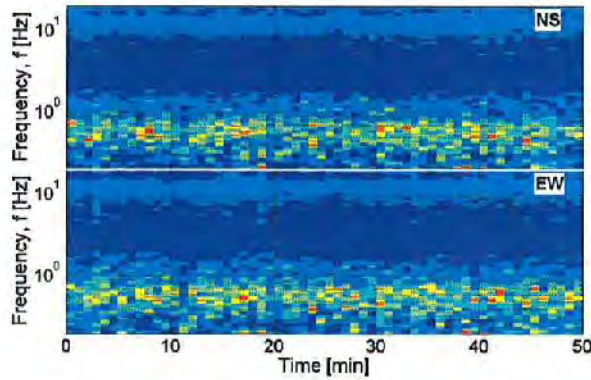
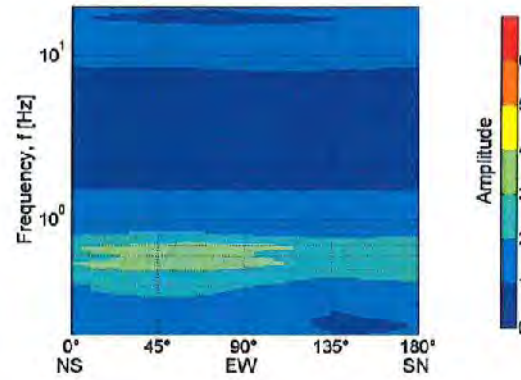
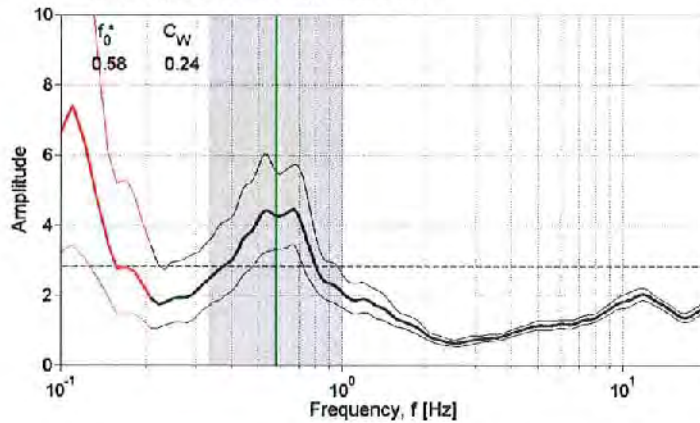
Analysis performed on 61 windows (50:50 [min:sec])

Window length (t_w) = 50 [s]Minimum expected $f_0 = 0.2$ [Hz]

Deconvolution: no

Butterworth filter: LP = 0.1 [Hz] - HP = 20 [Hz] - ord. = 4

Taper: 5 [%] - Konno & Ohmachi smoothing: b = 40

Single component spectra (not filtered)**HVSR time histories****Directional HVSR****Horizontal to Vertical Spectral Ratio ⁽¹⁾****SESAME (2004) criteria ⁽²⁾**

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)		
I) $\exists f' \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	==>	Yes
II) $\exists f' \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	==>	Yes
III) $A_0 > 2$	==>	Yes
IV) $f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	==>	Yes
V) $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	==>	Yes
VI) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	==>	Yes

 $f_0^* = 0.58$ - Fulfilled crit.: 6/6

(1) based on horizontal components merged through vectorial sum

(2) based on horizontal components merged through geometric mean



Station: SU35

Recording duration: 32:03 [min:sec] (dt = 0.01 [s])

Measurement by: INGV-MI

Instrument: Lennartz LE-3D/5s

Analysis performed on 32 windows (26:40 [min:sec])

Window length (l_w) = 50 [s]

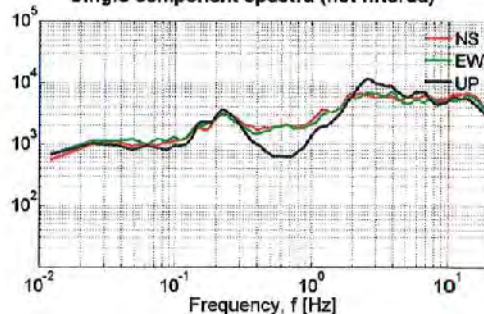
Minimum expected $f_0 = 0.2$ [Hz]

Deconvolution: no

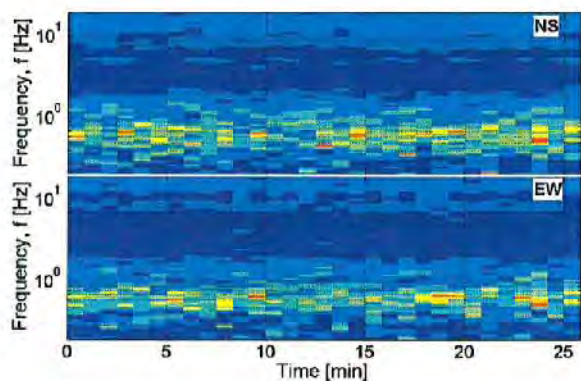
Butterworth filter: LP = 0.1 [Hz] - HP = 20 [Hz] - ord. = 4

Taper: 5 [%] - Konno & Ohmachi smoothing: b = 40

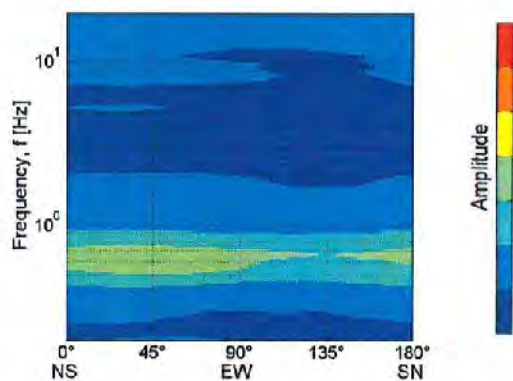
Single component spectra (not filtered)



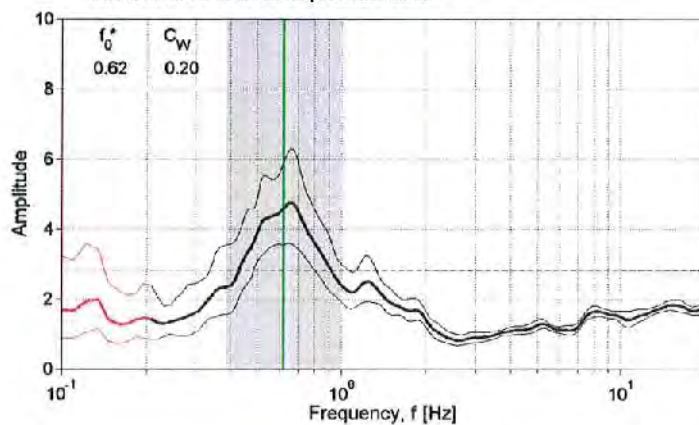
HVSr time histories



Directional HVSr



Horizontal to Vertical Spectral Ratio ⁽¹⁾



SESAME (2004) criteria ⁽²⁾

- Criteria for a clear H/V peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)
- i) $\exists f \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$ ==> Yes
 - ii) $\exists f^* \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^*) < A_0/2$ ==> Yes
 - iii) $A_0 > 2$ ==> Yes
 - iv) $f_{peak}(A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)) = f_0 \pm 5\%$ ==> Yes
 - v) $\sigma_f < \epsilon(f_0)$ ==> Yes
 - vi) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ ==> Yes
- $f_0^* = 0.62$ - Fulfilled crit.: 6/6

(1) based on horizontal components merged through vectorial sum
(2) based on horizontal components merged through geometric mean



Station: SU36

Recording duration: 41:37 [min:sec] (dt = 0.01 [s])

Measurement by: INGV-MI

Instrument: Lennartz LE-3D/5s

Analysis performed on 43 windows (35:50 [min:sec])

Window length (l_w) = 50 [s]

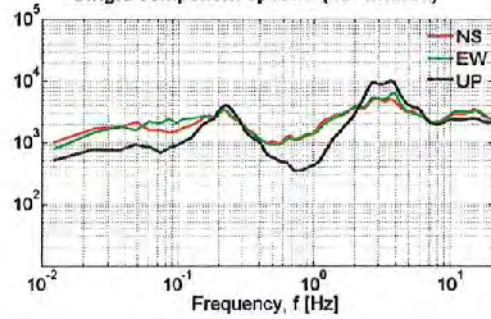
Minimum expected $f_0 = 0.2$ [Hz]

Deconvolution: no

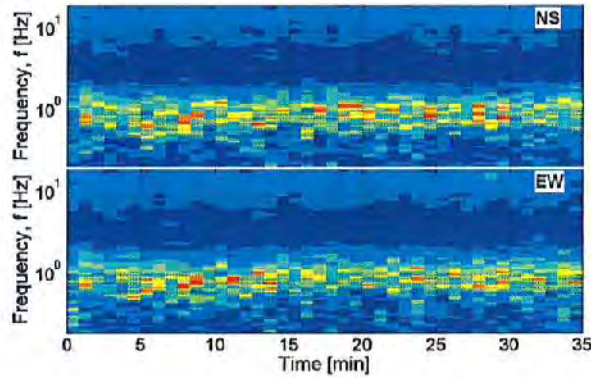
Butterworth filter: LP = 0.1 [Hz] - HP = 20 [Hz] - ord. = 4

Taper: 5 [%] - Konno & Ohmachi smoothing: b = 40

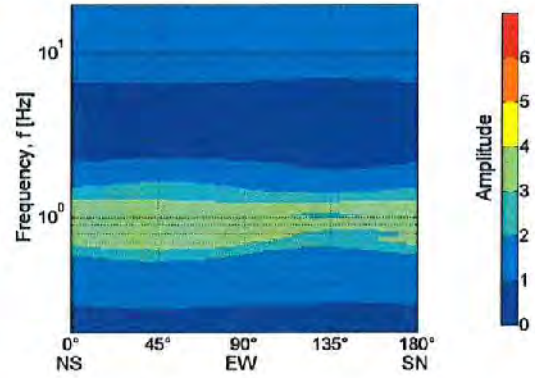
Single component spectra (not filtered)



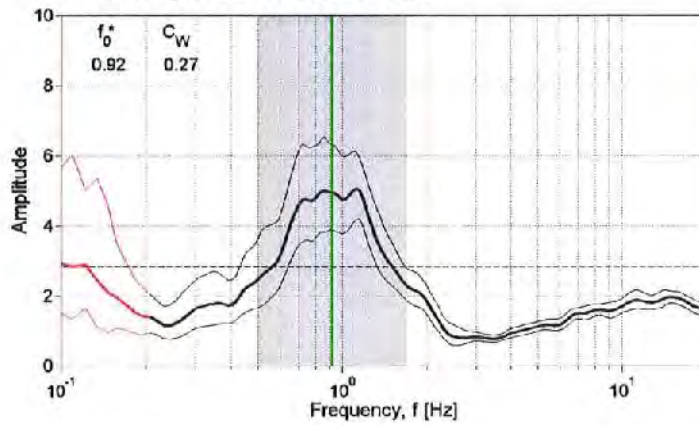
HVSr time histories



Directional HVSr



Horizontal to Vertical Spectral Ratio ⁽¹⁾



SESAME (2004) criteria ⁽²⁾

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)		
i) $\exists f' \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	==>	Yes
ii) $\exists f' \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	==>	Yes
iii) $A_0 > 2$	==>	Yes
iv) $f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	==>	No
v) $\sigma_1 < \alpha(f_0)$	==>	No
vi) $\sigma_A(f_0) < 0 \mid f_0$	==>	Yes

$f_0^* = 0.92$ - Fulfilled crit.: 4/6

(1) based on horizontal components merged through vectorial sum

(2) based on horizontal components merged through geometric mean



Station: SU37

Recording duration: 25:38 [min:sec] (dt = 0.01 [s])

Measurement by: INGV-MI

Instrument: Lennartz LE-3D/5s

Analysis performed on 23 windows (19:010 [min:sec])

Window length (l_w) = 50 [s]

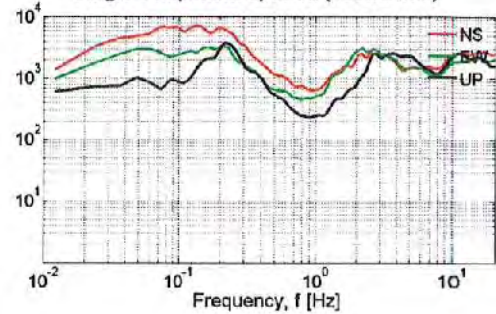
Minimum expected $f_0 = 0.2$ [Hz]

Deconvolution: no

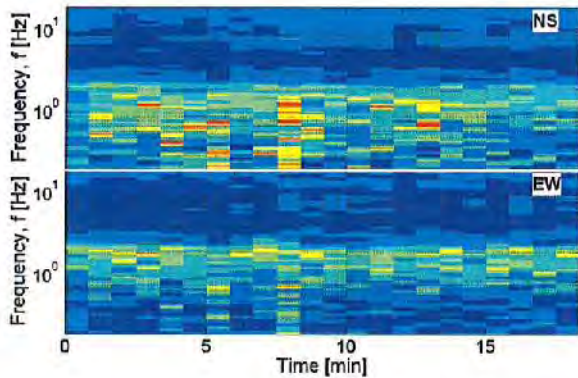
Butterworth filter: LP = 0.1 [Hz] - HP = 20 [Hz] - ord. = 4

Taper: 5 [%] - Konno & Ohmachi smoothing: b = 40

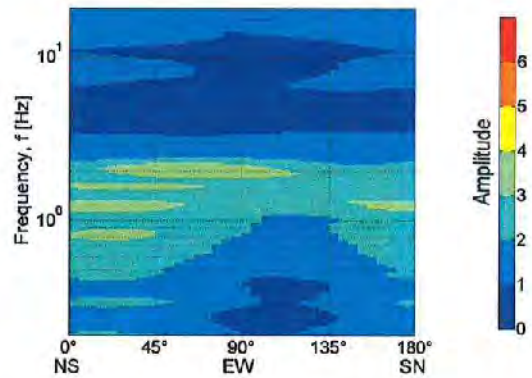
Single component spectra (not filtered)



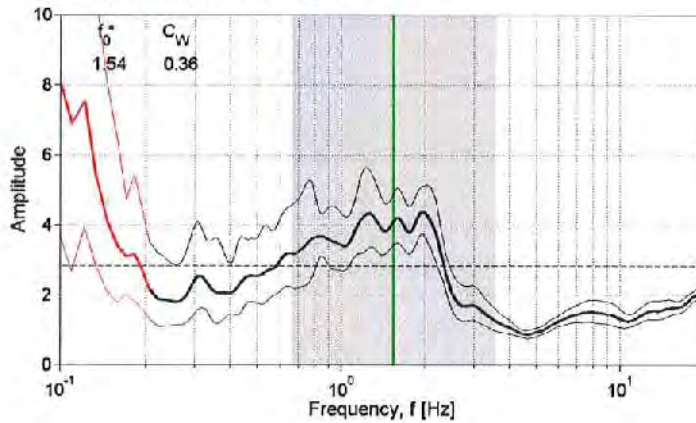
HVSr time histories



Directional HVSr



Horizontal to Vertical Spectral Ratio ⁽¹⁾



SESAME (2004) criteria ⁽²⁾

Criteria for a clear HV peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)		
i) $\exists f^* \in [f_0/4, f_0] \mid A_{HV}(f^*) < A_0/2$	\Rightarrow	Yes
ii) $\exists f^* \in [f_0, 4f_0] \mid A_{HV}(f^*) < A_0/2$	\Rightarrow	Yes
iii) $A_0 > 2$	\Rightarrow	Yes
iv) $f_{peak}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	\Rightarrow	No
v) $\sigma_1 < 0.5(f_0)$	\Rightarrow	No
vi) $\sigma_A(f_0) < 0.5(f_0)$	\Rightarrow	Yes

$f_0^* = 1.54$ - Fulfilled crit.: 4/6

(1) based on horizontal components merged through vectorial sum

(2) based on horizontal components merged through geometric mean



Station: SU38

Recording duration: 46:41 [min:sec] (dt = 0.01 [s])

Measurement by: INGV-MI

Instrument: Lennartz LE-3D/5s

Analysis performed on 47 windows (39:010 [min:sec])

Window length (l_w) = 50 [s]

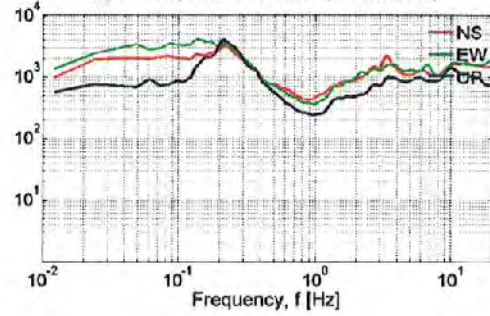
Minimum expected $f_0 = 0.2$ [Hz]

Deconvolution: no

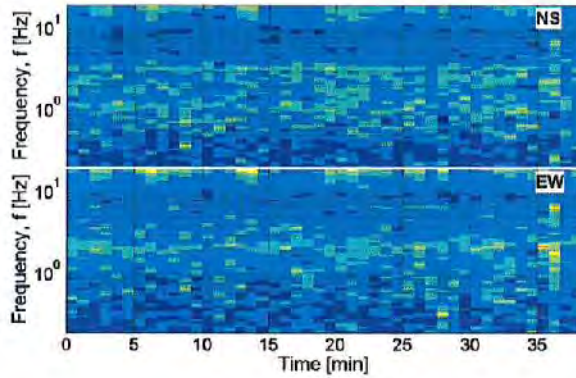
Butterworth filter: LP = 0.1 [Hz] - HP = 20 [Hz] - ord. = 4

Taper: 5 [%] - Konno & Ohmachi smoothing: b = 40

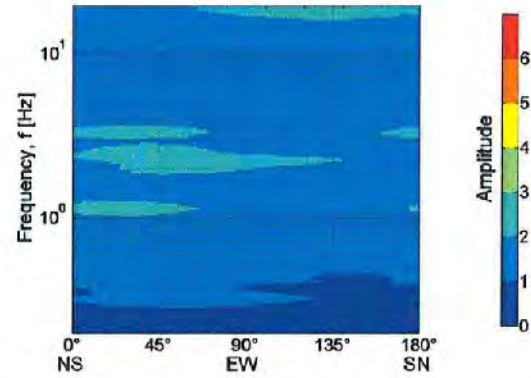
Single component spectra (not filtered)



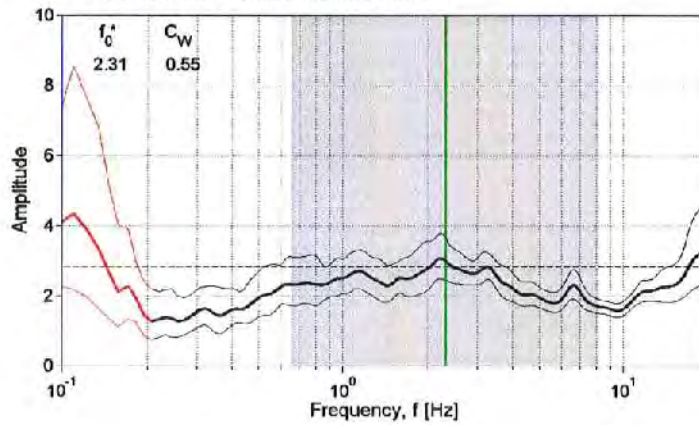
HVSr time histories



Directional HVSr



Horizontal to Vertical Spectral Ratio ⁽¹⁾



SESAME (2004) criteria ⁽²⁾

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)		
i) $\exists f' \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	==>	No
ii) $\exists f' \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	==>	No
iii) $A_0 > 2$	==>	Yes
iv) $f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	==>	No
v) $\sigma_f < \sigma(f_0)$	==>	No
vi) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	==>	Yes

$f_0^* = 2.31$ - Fulfilled crit.: 2/6

(1) based on horizontal components merged through vectorial sum

(2) based on horizontal components merged through geometric mean



Station: SU39

Recording duration: 32:47 [min:sec] (dt = 0.01 [s])

Measurement by: INGV-MI

Instrument: Lennartz LE-3D/5s

Analysis performed on 33 windows (27:30 [min:sec])

Window length (l_w) = 50 [s]

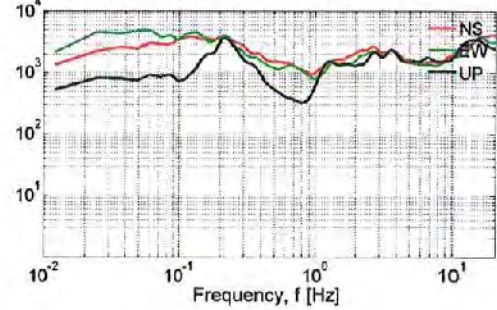
Minimum expected $f_0 = 0.2$ [Hz]

Deconvolution: no

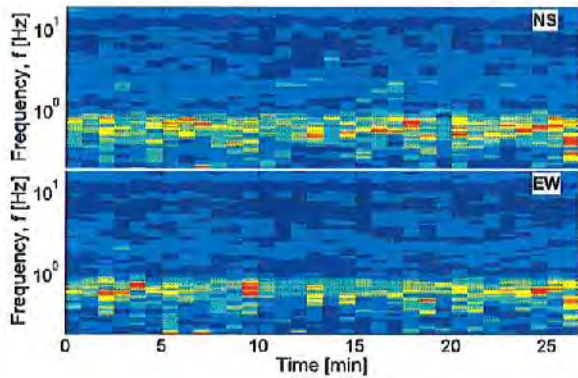
Butterworth filter: LP = 0.1 [Hz] - HP = 20 [Hz] - ord. = 4

Taper: 5 [%] - Konno & Ohmachi smoothing: b = 40

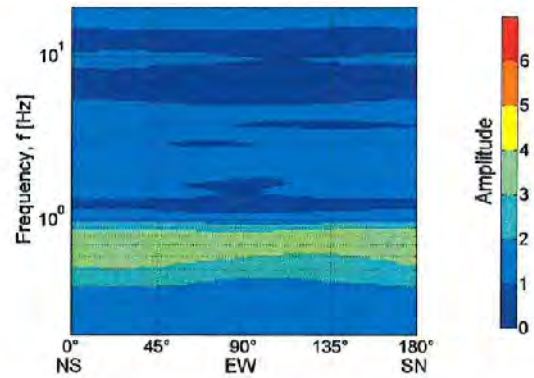
Single component spectra (not filtered)



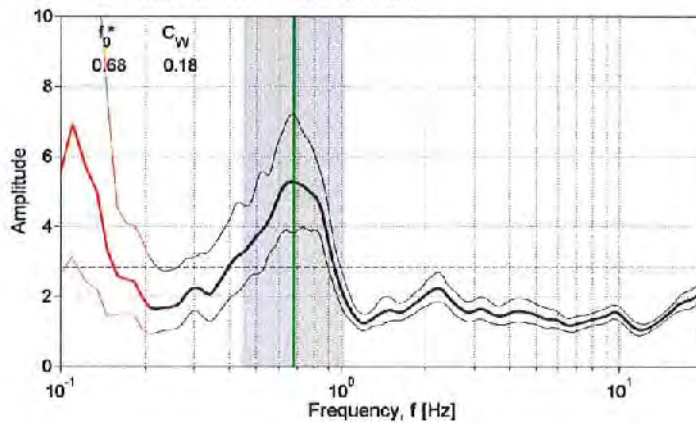
HVSr time histories



Directional HVSr



Horizontal to Vertical Spectral Ratio ⁽¹⁾



SESAME (2004) criteria ⁽²⁾

Criteria for a clear HV peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)		
i) $\exists f^* \in [f_0/4, f_0] \mid A_{HV}(f^*) < A_0/2$	==>	Yes
ii) $\exists f^* \in [f_0, 4f_0] \mid A_{HV}(f^*) < A_0/2$	==>	Yes
iii) $A_0 > 2$	==>	Yes
iv) $f_{peak}(A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)) = f_0 \pm 5\%$	==>	Yes
v) $\sigma_1 < \sigma(f_0)$	==>	Yes
vi) $\sigma_A(f_0) < 0$	==>	Yes

$f_0^* = 0.68$ - Fulfilled crit.: 6/6

(1) based on horizontal components merged through vectorial sum

(2) based on horizontal components merged through geometric mean



Station: SU40

Recording duration: 44:38 [min:sec] (dt = 0.01 [s])

Measurement by: INGV-MI

Instrument: Lennartz LE-3D/5s

Analysis performed on 44 windows (36:40 [min:sec])

Window length (l_w) = 50 [s]

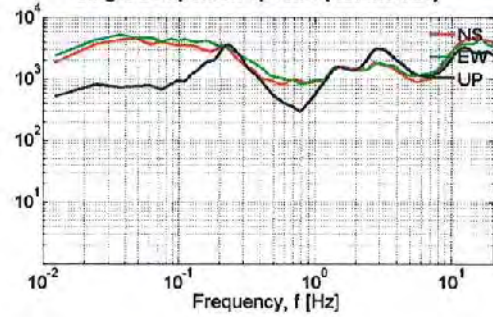
Minimum expected $f_0 = 0.2$ [Hz]

Deconvolution: no

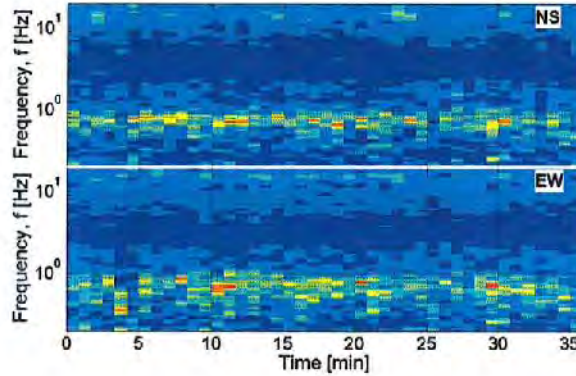
Butterworth filter: LP = 0.1 [Hz] - HP = 20 [Hz] - ord. = 4

Taper: 5 [%] - Konno & Ohmachi smoothing: b = 40

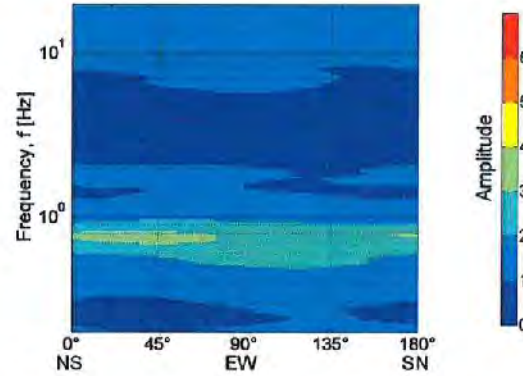
Single component spectra (not filtered)



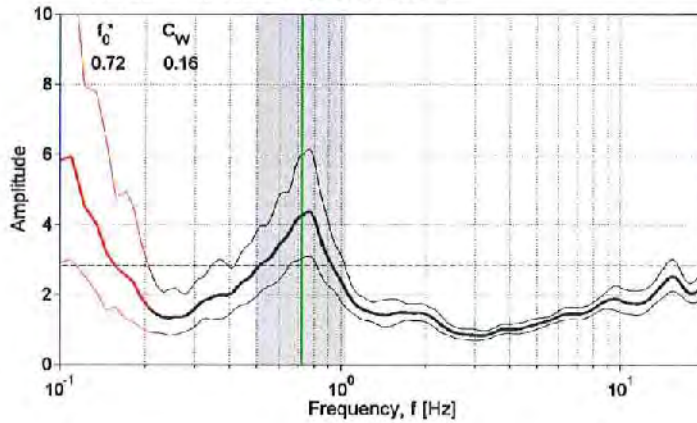
HVSr time histories



Directional HVSr



Horizontal to Vertical Spectral Ratio ⁽¹⁾



SESAME (2004) criteria ⁽²⁾

Criteria for a clear HVV peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)	
i) $\exists f' \in [f_0/4, f_0] \mid A_{HVV}(f') < A_0/2$	==> Yes
ii) $\exists f' \in [f_0, 4f_0] \mid A_{HVV}(f') < A_0/2$	==> Yes
iii) $A_0 > 2$	==> Yes
iv) $f_{peak}[A_{HVV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	==> Yes
v) $\sigma_f < 0.1 f_0$	==> Yes
vi) $\sigma_A(f_0) < 0.1 f_0$	==> Yes

$f_0^* = 0.72$ - Fulfilled crit.: 6/6

(1) based on horizontal components merged through vectorial sum
(2) based on horizontal components merged through geometric mean



Station: SU41

Recording duration: 34:06 [min:sec] (dt = 0.01 [s])

Measurement by: INGV-MI

Instrument: Lennartz LE-3D/5s

Analysis performed on 16 windows (13:20 [min:sec])

Window length (l_w) = 50 [s]

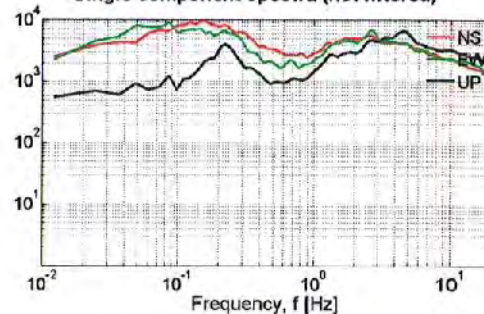
Minimum expected $f_0 = 0.2$ [Hz]

Deconvolution: no

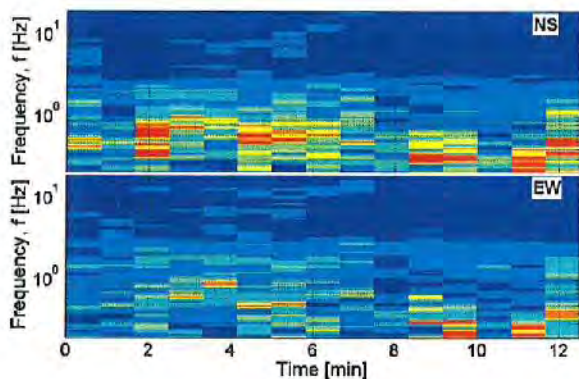
Butterworth filter: LP = 0.1 [Hz] - HP = 20 [Hz] - ord. = 4

Taper: 5 [%] - Konno & Ohmachi smoothing: b = 40

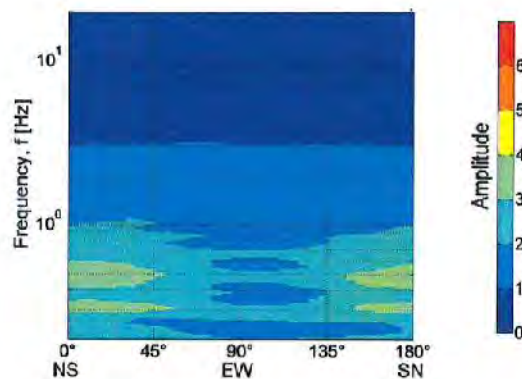
Single component spectra (not filtered)



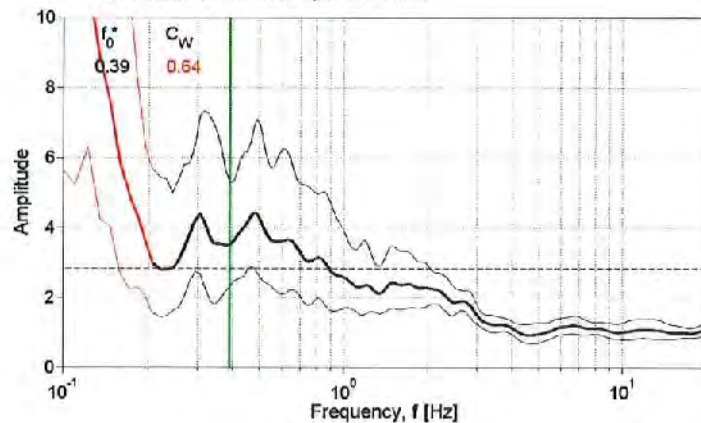
HVSr time histories



Directional HVSr



Horizontal to Vertical Spectral Ratio ⁽¹⁾



SESAME (2004) criteria ⁽²⁾

Criteria for a clear HV peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)	
i) $\exists f^* \in [f_0/4, f_0] \mid A_{HV}(f^*) < A_0/2$	==> No
ii) $\exists f^* \in [f_0, 4f_0] \mid A_{HV}(f^*) < A_0/2$	==> No
iii) $A_0 > 2$	==> Yes
iv) $f_{peak}[A_{HV}(f)] \pm \sigma_H(f) = f_0 \pm 5\%$	==> No
v) $\sigma_1 < v(f_0)$	==> No
vi) $\sigma_H(f_0) < 0(f_0)$	==> Yes

$f_0^* = 0.39$ - Fulfilled crit.: 2/6

(1) based on horizontal components merged through vectorial sum

(2) based on horizontal components merged through geometric mean



Station: SU42

Recording duration: 31:28 [min:sec] (dt = 0.01 [s])

Measurement by: INGV-MI

Instrument: Lennartz LE-3D/5s

Analysis performed on 32 windows (26:40 [min:sec])

Window length (t_w) = 50 [s]

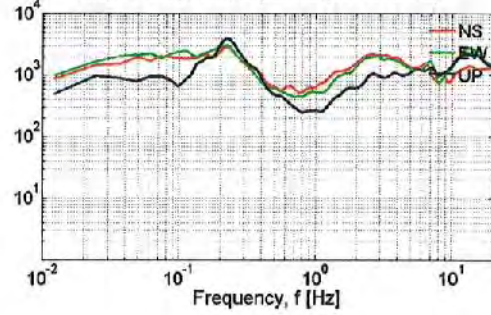
Minimum expected f_0 = 0.2 [Hz]

Deconvolution: no

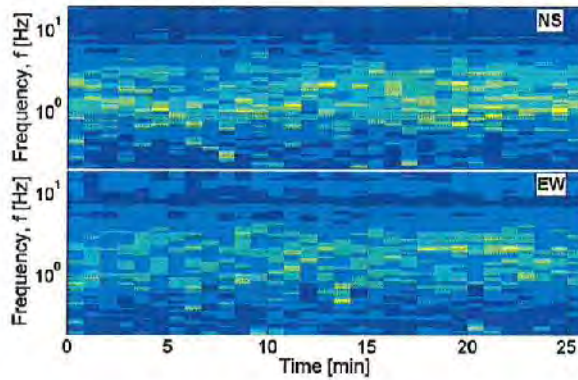
Butterworth filter: LP = 0.1 [Hz] - HP = 20 [Hz] - ord. = 4

Taper: 5 [%] - Konno & Ohmachi smoothing: b = 40

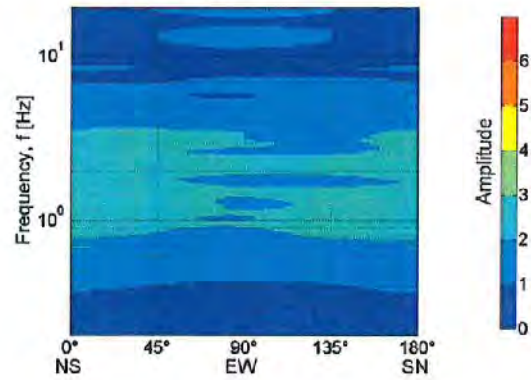
Single component spectra (not filtered)



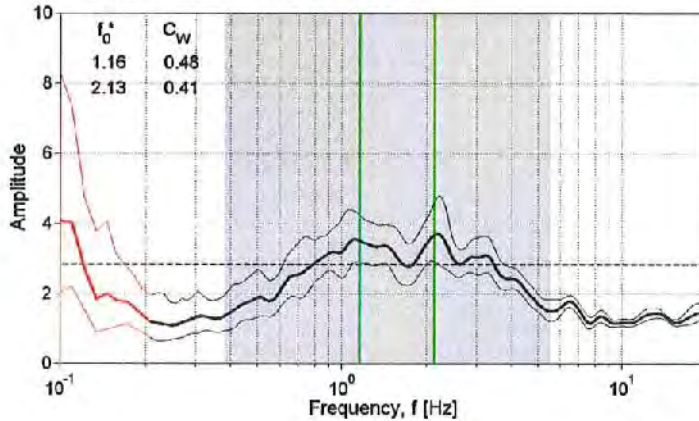
HVSr time histories



Directional HVSr



Horizontal to Vertical Spectral Ratio ⁽¹⁾



SESAME (2004) criteria ⁽²⁾

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)		
i) $\exists f^* \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^*) < A_0/2$	==>	Yes
ii) $\exists f^* \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^*) < A_0/2$	==>	No
iii) $A_0 > 2$	==>	Yes
iv) $f_{peak}[A_{H/V}(f)] \pm \sigma_A(f) = f_0 \pm 5\%$	==>	Yes
v) $\sigma_f < \epsilon(f_0)$	==>	No
vi) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	==>	Yes

$f_{01}^* = 1.16$ - Fulfilled crit.: 4/6

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)		
i) $\exists f^* \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^*) < A_0/2$	==>	Yes
ii) $\exists f^* \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^*) < A_0/2$	==>	Yes
iii) $A_0 > 2$	==>	Yes
iv) $f_{peak}[A_{H/V}(f)] \pm \sigma_A(f) = f_0 \pm 5\%$	==>	No
v) $\sigma_f < \epsilon(f_0)$	==>	No
vi) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	==>	Yes

$f_{02}^* = 2.13$ - Fulfilled crit.: 4/6

(1) based on horizontal components merged through vectorial sum
(2) based on horizontal components merged through geometric mean

Station: SU 43 "BADIA"

Recording duration: 66:40 [min:sec] (dt = 0.004 [s])

Measurement by: INGV-Roma1

Instrument: Lennartz LE-3D/5s

Analysis performed on 75 windows (62:30 [min:sec])

Window length (l_w) = 50 [s]

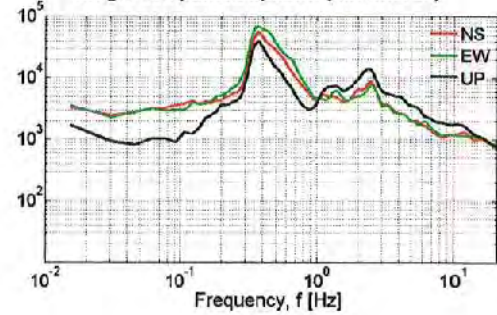
Minimum expected $f_0 = 0.2$ [Hz]

Deconvolution: no

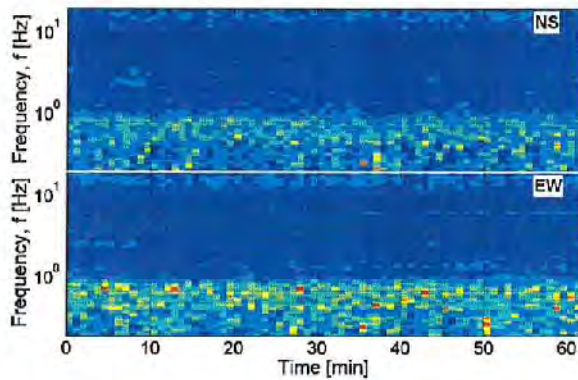
Butterworth filter: LP = 0.1 [Hz] - HP = 20 [Hz] - ord. = 4

Taper: 5 [%] - Konno & Ohmachi smoothing: b = 40

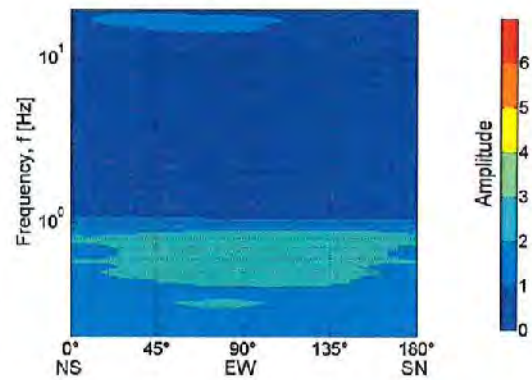
Single component spectra (not filtered)



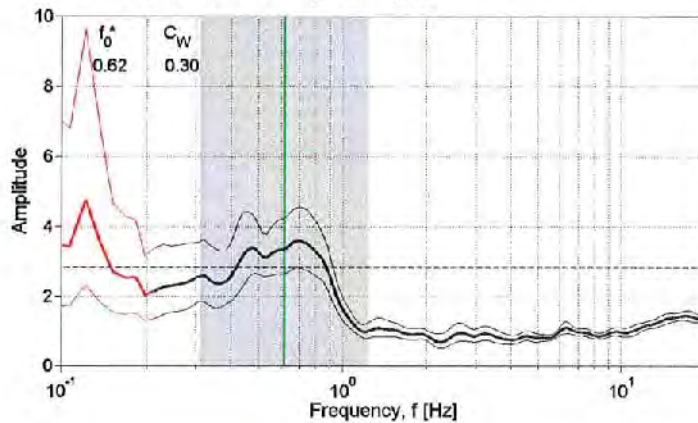
HVSR time histories



Directional HVSR



Horizontal to Vertical Spectral Ratio ⁽¹⁾



SESAME (2004) criteria ⁽²⁾

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 out of 8 criteria fulfilled)		
I) $\exists f \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	==>	No
II) $\exists f' \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	==>	Yes
III) $A_0 > 2$	==>	Yes
IV) $f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	==>	Yes
V) $\sigma_1 < \varepsilon(f_0)$	==>	No
VI) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	==>	Yes

$f_0^* = 0.62$ - Fulfilled crit.: 4/6

(1) based on horizontal components merged through vectorial sum

(2) based on horizontal components merged through geometric mean

