

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77

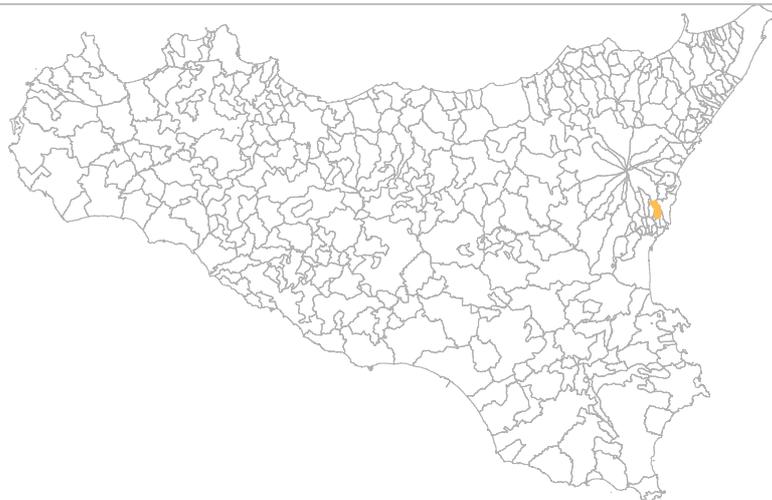
MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione Illustrativa

MS Livello 1

Regione Sicilia

Comune di Aci Sant'Antonio



Convenzione in data 20/12/2011 tra il Dipartimento Regionale della Protezione Civile e l'Università degli Studi di Catania: *Indagini di Microzonazione sismica di Livello I in diversi Comuni della Regione Sicilia ai sensi dell'OPCM 3907/2010*

<p>Contraente: Regione Siciliana – Presidenza Dipartimento della Protezione Civile</p> 	<p>Soggetto realizzatore: Università degli Studi di Catania</p> 	<p>Data: Giugno 2013</p>
--	---	------------------------------

Indice

1. Introduzione	3
2. Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento.....	10
3. Assetto geologico e geomorfologico dell'area	23
4. Dati geotecnici e geofisici	53
5. Modello del sottosuolo	58
6. Interpretazioni e incertezze	62
7. Metodologie di elaborazione e risultati	66
8. Elaborati cartografici	75
9. Confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati	80
10. Bibliografia	81
11. Allegati	88



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77

1. Introduzione

Gli studi di microzonazione sismica (**MS**) condotti all'interno del territorio del Comune di Aci Sant'Antonio (codice istat 087005), in Provincia di Catania, oggetto della presente relazione, sono stati eseguiti nell'ambito della Convenzione del 20/12/2011 tra Università di Catania e Dipartimento Regionale di Protezione Civile della Regione Sicilia, che ha previsto l'avvio delle indagini per i comuni siciliani soggetti a più elevata pericolosità sismica. L'attività di microzonazione è stata eseguita seguendo le indicazioni contenute negli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" (Gruppo di lavoro MS, 2008) e tenendo conto anche dei suggerimenti contenuti nel supplemento a "Ingegneria Sismica" (anno XXVIII, n.2, 2011) a cura di Dolce et alii.

In generale, gli studi di MS mirano a valutare *“la **pericolosità sismica locale** attraverso l'individuazione di zone del territorio caratterizzate da comportamento sismico omogeneo”*. In tale definizione per **pericolosità sismica** si intende la *“stima quantitativa dello scuotimento del terreno dovuto a un evento sismico, in una determinata area. La pericolosità sismica può essere analizzata con metodi deterministici, assumendo un determinato terremoto di riferimento, o con metodi probabilistici, nei quali le incertezze dovute alla grandezza, alla localizzazione e al tempo di occorrenza del terremoto sono esplicitamente considerati”*. La stima di pericolosità di una data regione si articola in un primo stadio che prevede l'analisi della **pericolosità sismica di base**, definita come *“componente della pericolosità sismica dovuta alle caratteristiche sismologiche dell'area (tipo, dimensioni e profondità delle sorgenti sismiche, energia e frequenza dei terremoti)”*. In sostanza, la pericolosità sismica di base è direttamente riferibile ai parametri delle sorgenti sismiche i cui effetti possono avere risentimenti in un

determinato territorio, determinandone la sua storia sismica in termini di magnitudo e frequenza degli eventi sismici. La pericolosità sismica di base viene espressa parametrizzando il moto del suolo (velocità, accelerazione, intensità, ordinate spettrali), riferito all'evento massimo prevedibile in un determinato periodo di tempo, sulla base di un'analisi probabilistica con prefissati valori di eccedenza. I parametri descrivono lo *“scuotimento prodotto dal terremoto in condizioni di suolo rigido e senza irregolarità morfologiche (terremoto di riferimento)”*. La pericolosità sismica di base si riferisce, quindi ad una classificazione sismica a vasta scala, utilizzabile per la *“programmazione delle attività di prevenzione e alla pianificazione dell'emergenza”*, rappresentando la *“base per la definizione del terremoto di riferimento per studi di microzonazione sismica.”* Ai fini della pianificazione del territorio e delle applicazioni nell'ambito degli strumenti di pianificazione urbanistica è necessario procedere ad un livello di conoscenza più dettagliato, mirato alla conoscenza degli **effetti locali (o di sito)**, definiti come *“effetti dovuti al comportamento del terreno in caso di evento sismico per la presenza di particolari condizioni lito-stratigrafiche e morfologiche che determinano **amplificazioni locali e fenomeni di instabilità del terreno (instabilità di versante, liquefazioni, faglie attive e capaci, cedimenti differenziali, ecc.)**”*. I fenomeni di amplificazione locale sono l'effetto della **risposta sismica locale**, definita come *“modificazione in ampiezza, frequenza e durata dello scuotimento sismico dovuta alle specifiche condizioni lito-stratigrafiche e morfologiche di un sito”*, generalmente espressa in termini quantitativi dal rapporto tra i parametri del moto sismico alla *“superficie del sito e quello che si osserverebbe per lo stesso evento sismico su un ipotetico affioramento di roccia rigida con morfologia orizzontale”*. I fenomeni di instabilità comprendono tutte le *“modificazioni permanenti del terreno dovute ad un evento sismico”* capaci di produrre danni in aggiunta a quelli legati all'oscillazione del suolo. Tutti gli aspetti connessi alle condizioni locali del sito sono oggetto proprio dell'analisi di **pericolosità sismica locale**, definita come *“componente della pericolosità sismica dovuta alle caratteristiche locali”*.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77

Gli studi di microzonazione sismica hanno l'obiettivo di suddividere un territorio in zone caratterizzate da differenti comportamenti in caso di evento sismico andando a classificare le diverse zone in tre categorie principali di comportamento:

1. le **zone stabili** in cui il moto sismico non viene modificato rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida e pianeggiante. In queste zone gli scuotimenti attesi sono equiparati a quelli forniti dagli studi di pericolosità di base;
2. le **zone stabili suscettibili di amplificazione** in cui il moto sismico viene modificato rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida e pianeggiante, a causa delle caratteristiche litostratigrafiche e/o morfologiche del terreno del territorio;
3. le **zone suscettibili di instabilità** in cui sono presenti o si possono ipotizzare attivazioni di fenomeni di deformazione permanente del territorio indotti o innescati dal sisma (instabilità di versante, liquefazioni, fagliazione superficiale, cedimenti differenziali, ecc.).

Gli studi di microzonazione sismica si articolano in 3 distinti livelli di approfondimento, ognuno dei quali mirato a stati di conoscenza più dettagliati con obiettivi modulati in sequenza, di seguito definiti:

- *il livello 1 rappresenta un livello propedeutico alla MS e consiste in una raccolta dei dati preesistenti, elaborati per suddividere il territorio in microzone con caratteri litostratigrafici e morfologici qualitativamente omogenei, tali da determinare un comportamento classificabile in una delle 3 categorie sopra descritte. Il prodotto finale del livello è la "Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica".*
- *il livello 2 ha lo scopo di definire quantitativamente il comportamento delle zone omogenee definite nel primo livello, determinando una serie di parametri numerici*

caratteristici del moto del suolo in ciascuna microzona. Il secondo livello di approfondimento può avvalersi di ulteriori e mirate indagini, ove necessarie. Il prodotto finale del secondo livello di approfondimento è la Carta di microzonazione sismica.

- *il **livello 3** restituisce una Carta di microzonazione sismica con approfondimenti su tematiche o aree particolari di un territorio il cui comportamento non può essere esaustivamente parametrizzato con i precedenti livelli di approfondimento. In questo caso si fa riferimento ai risultati di ulteriori studi originali di approfondimento opportunamente progettati in funzione della problematica specifica da affrontare.*

Gli studi condotti nel territorio di Aci Sant'Antonio si riferiscono al primo livello di approfondimento e sono consistiti nella raccolta dei dati esistenti e nella redazione di una serie di elaborati cartografici (la Carta delle indagini, la Carta geologico tecnica per la MS e la Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica) richiesti dagli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" (Gruppo di lavoro MS, 2008) e nella compilazione di un database, risultato di una profonda e dettagliata elaborazione delle informazioni esistenti. Il territorio del Comune di Aci Sant'Antonio si sviluppa lungo il basso versante sud-orientale del Monte Etna in Sicilia orientale con un'estensione areale di circa 14,26 km² (Fig. 1). In accordo con il Dipartimento Regionale della Protezione Civile, non avendo ricevuto indicazioni da parte del Comune, si è stabilito di delimitare gli studi di microzonazione sismica di I livello all'interno di due aree con un'estensione areale complessiva di circa 9 km², così suddivise: un'area a nord (zona 1 della cartografia allegata) che comprende il centro urbano della frazione di Santa Maria la Stella e la porzione settentrionale del territorio comunale ad eccezione dell'area SIC del Bosco di Santa Maria la Stella; e un'area a sud (zona 2 della cartografia allegata) comprendente il centro urbano principale e le zone residenziali periferiche. Lo studio di MS di livello 1 è stato effettuato utilizzando come base cartografica la Carta Tecnica Regionale alla scala

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77

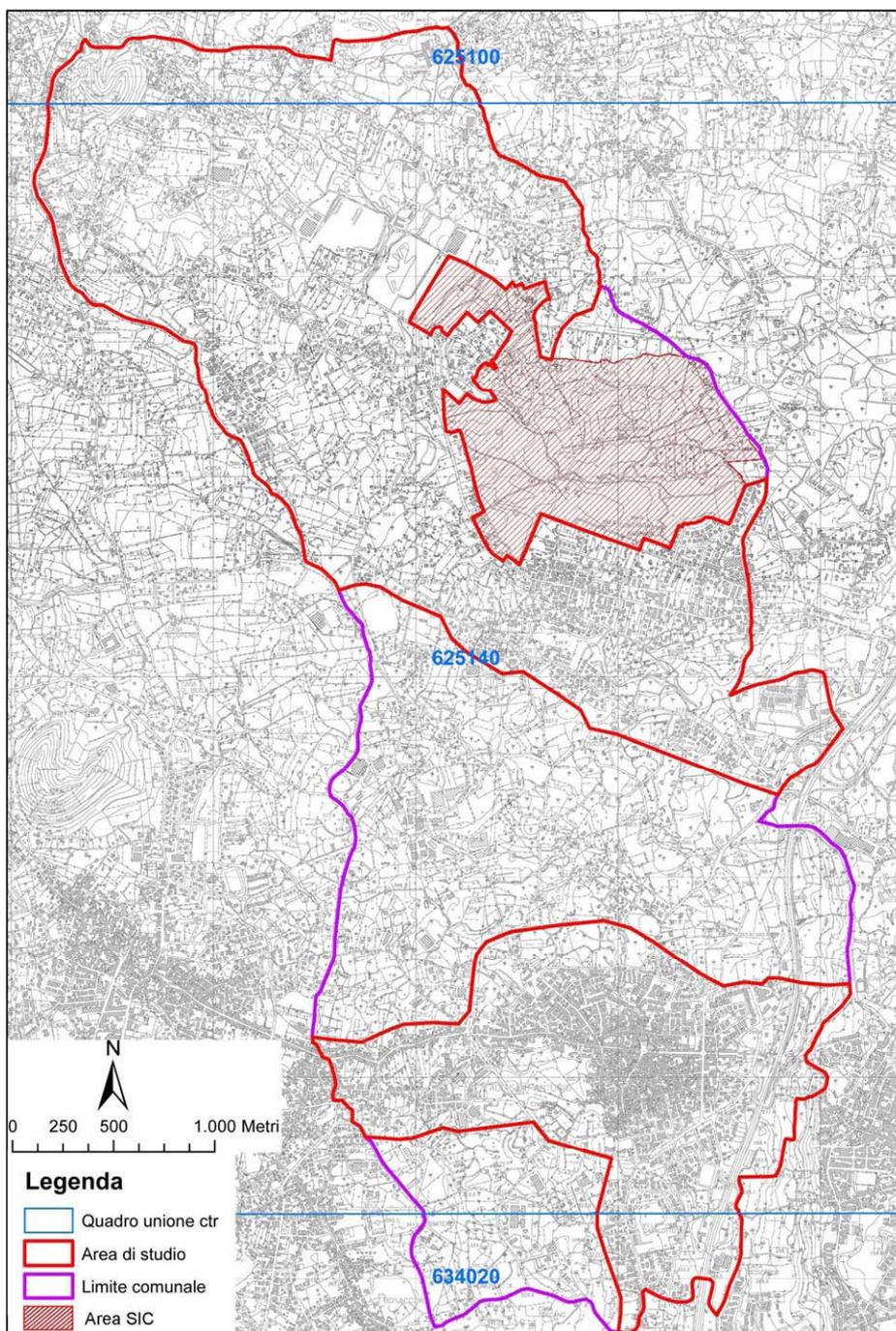


Fig. 1 – Ubicazione dell'area in cui sono stati effettuati gli studi di MS di livello 1 (delimitata in rosso) per il comune di Aci Sant'Antonio, all'interno delle Sezioni CTR 625100, 625140 e 634020.

1:10.000, realizzata dalla Regione Sicilia nel 2008. In particolare l'area di studio ricade all'interno delle Sezioni CTR 625100, 625140 e 634020 (Fig. 1).

La qualità e l'affidabilità dei risultati sono state chiaramente influenzate dalla disponibilità di dati significativi sui quali operare. Nel caso specifico, per il Comune di Acì Sant'Antonio è stato possibile attingere ad una modesta quantità di indagini pregresse, per lo più concentrate in una zona ristretta, Contrada Barbagallo, situata a nord di Santa Maria la Stella, immediatamente al di fuori dell'area di studio 1, mentre l'area di studio 2 è totalmente priva di informazioni di sottosuolo. Per questo motivo, la ricostruzione 3D delle successioni affioranti è stata basata sull'analisi della carta geologico-tecnica, che ha richiesto un notevole sforzo di raccolta di dati di terreno originali. E' ovvio che livelli di indeterminazione permangono per quanto attiene lo spessore dei terreni di copertura e la reale profondità del substrato rigido nelle aree prive di dati diretti di sottosuolo. Nella previsione di infittire le indagini nei successivi stadi di approfondimento, la stesura del modello geologico è stata resa possibile dalla buona esposizione dell'intera successione stratigrafica, comprendente sia le unità assegnate al substrato che quelle riferite ai terreni di copertura. E' chiaro che l'affidabilità delle ricostruzioni del sottosuolo tende a decrescere progressivamente, allontanandosi dalle aree di affioramento delle diverse unità proiettate in profondità.

Nel corso degli studi di microzonazione di primo livello, seppure orientati alla raccolta, rielaborazione ed interpretazione complessiva di dati esistenti, è stato necessario definire le modalità con cui condurre rilievi speditivi delle successioni vulcaniche, allo scopo di integrare con dati significativi le informazioni disponibili, generalmente scarsamente rappresentative dell'estrema variabilità laterale e verticale dei prodotti lavici. Sulla base dei rilievi originali condotti, di concerto con il Dipartimento di Protezione Civile Nazionale e Regionale si sono definiti i criteri di rappresentazione dei terreni vulcanici su carte con scala 1:10.000, non previste dagli standard, da utilizzare in attesa di una loro formalizzazione nell'ambito di integrazioni alle linee guida fin qui



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 adottate. I criteri applicati sui terreni vulcanici derivano dalla verifica, basata su un'ampia casistica raccolta nel corso dei rilievi svolti in tutti i comuni etnei interessati dagli studi di microzonazione di primo livello, di una stretta connessione tra morfologie e geometrie di superficie delle lave e la loro litofacies che può essere ricondotta ad alcune tipologie di riferimento, facilmente riconoscibili anche in aree a forte urbanizzazione. I criteri adottati, seppure soggetti ad un livello di indeterminazione variabile in funzione dell'effettivo grado di esposizione dei terreni, risultano comunque indispensabili perché raramente la densità di informazioni di sottosuolo è adeguata a ricostruire le eterogeneità del substrato vulcanico. Il metodo adottato ha il duplice pregio di fornire nelle zone prive di sufficienti dati di sottosuolo uno strumento per poter ricostruire, sulla base del dato di superficie, la tipologia della successione vulcanica da ritenersi litologicamente omogenea in termini di risposta sismica, insieme alla possibilità di stabilire la effettiva trasferibilità areale dei dati puntuali e lineari di sottosuolo.

I dati messi a disposizione dall'amministrazione comunale di Aci Sant'Antonio, relativi a indagini effettuate per lo studio geologico a supporto del progetto di revisione del Piano Regolatore Generale (P.R.G.) e a indagini effettuate per la progettazione di un edificio pubblico, sono sintetizzati in diversi elaborati di seguito elencati:

Studio geologico e d.l. indagini geognostiche a supporto del progetto di revisione del

P.R.G.:

- Carta geologica in scala 1:10.000 : tavole da 1 a 8
- Carta geomorfologica in scala 1:10.000 : tavole da 1 a 8

- Carta idrogeologica in scala 1:10.000 : tavole da 1 a 8
- Carta della pericolosità geologica in scala 1:10.000 : tavole da 1 a 8
- Relazione Settore Pericolosità geologica

Progetto per la costruzione della scuola media inferiore nella frazione di S. Maria la Stella nel comune di Aci S. Antonio:

- Sondaggi geognostici, prove geotecniche e indagini geofisiche

I dati messi a disposizione, sono stati successivamente analizzati e archiviati secondo gli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica Versione 2.0beta-II”. Oltre ai dati pregressi sono stati analizzati e archiviati dati provenienti da nuove e specifiche indagini effettuate, ad integrazione di quelle preesistenti.

Lo studio è stato integrato da verifiche di terreno e analisi di aerofotogrammetrie, mirate alla verifica della affidabilità del modello geologico proposto. Infine sono state effettuate una serie di misure di microtremiti mediante la tecnica di indagine di sismica passiva HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) al fine di determinare il periodo e l’ampiezza delle vibrazioni del suolo, su una griglia di punti omogeneamente distribuiti sull’area investigata, utilizzati per la redazione di una carta delle frequenze. Per il presente studio, inoltre, sono stati consultati diversi archivi, sia per verificare l’eventuale presenza di instabilità (PAI Regione Sicilia, Progetto IFFI, Progetto Sinkhole, Pubblicazioni scientifiche), che le caratteristiche sismotettoniche (Progetto Ithaca, DISS3) e di sismologia storica e macrosismica (CPTI11, DBMI11, CFTI), oltre alla cartografia geologica (AA.VV., 1979, 2009a, 2009b; Monaco et al., 2008; Catalano & Tortorici, 2010) e idrogeologica (Ferrara, 2001) disponibile in Letteratura.

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

Nel presente documento viene definita la pericolosità sismica del Comune di Aci Sant’Antonio in provincia di Catania, con riferimento alla storia sismica del Comune



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 medesimo, alla sua catalogazione nelle mappe di pericolosità sismica ed alle eventuali sorgenti sismogenetiche presenti nei dintorni e nelle zone limitrofe. Per quanto concerne la catalogazione del territorio di Aci Sant'Antonio (CT) sulle mappe di pericolosità sismica si farà esplicito riferimento alle indicazioni ed alle prescrizioni dettate dall'attuale testo normativo vigente (Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni NTC – approvate con D.M. 14/01/2008 e pubblicate sulla G.U. n. 29 in data 04/02/2008) che si assume a base del progetto.

E' stata effettuata l'individuazione del Comune di Aci Sant'Antonio sui cataloghi sismici, facendo riferimento in particolare al Catalogo Parametrico dei terremoti italiani (CPTI11; Rovida et al., 2011), che nella fattispecie si riferisce al database macrosismico (DBMI11; Locati et al., 2011) e su una base di dati strumentali molto ampia ed aggiornata. Il catalogo parametrico CPTI11 si compone di due sezioni, una delle quali dedicata ai terremoti etnei (1000–2006). Quest'ultima contiene 198 terremoti localizzati all'interno della zona 936 della zonazione sismogenetica ZS9 (Meletti et al., 2008) relativi al periodo 1000–2006. Le soglie energetiche della sezione terremoti etnei sono $l_0 = 5-6$ e $M_w = 3.5$. Per tutti i terremoti della sezione, il valore di M_w e la relativa incertezza sono ottenuti dal valore di l_0 mediante la relazione di Azzaro et al. (2011). DBMI11 contiene dati di intensità relativi a 1681 terremoti che fanno parte di CPTI11 (Rovida et al., 2011), e in particolare relativi a: a) 1484 terremoti i cui dati sono stati utilizzati per determinare i parametri che fanno parte di CPTI11; b) 197 terremoti etnei, i cui dati non sono utilizzati per determinare i parametri che fanno parte di CPTI11, in quanto i relativi parametri sono stati adottati direttamente dal Catalogo Macrosismico dei Terremoti Etnei (CMTE; <http://www.ct.ingv.it/ufs/macro>; Azzaro et al., 2000; 2002; 2006; 2009). Tra gli eventi

sismici di maggiore rilevanza sicuramente si può annoverare il terremoto della Val di Noto dell'11 Gennaio 1693, che è quello che più si è impresso nella memoria storica locale dell'intera Sicilia per molte ragioni: la vastità dell'area colpita, la gravità degli effetti, i mutamenti subiti da una intera rete insediativa e infine la straordinaria capacità progettuale che caratterizzò la fase di ricostruzione. Questo disastro sismico costituisce quindi un importante episodio nella storia del popolamento e dell'urbanistica siciliana, nonché un evento di grande interesse per la storiografia e per la sismologia. In figura 2 si riportano i valori dell'intensità macrosismica dell'evento; il Comune di Viagrande viene catalogato con intensità X–XI MCS (Barbano, 1985). La figura 3 riporta il risultato della ricerca sul database DBMI11, che individua 58 eventi significativi per il territorio di Aci Sant'Antonio, a partire dall'evento del 1669. La figura 4 riporta il conseguente grafico relativo alla sismicità storica del comune di Aci Sant'Antonio.

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77

Locality	MCS	Locality	MCS
Acate (Biscari)	X	Massannunziata	X
Aci Bonaccorsi	X	Mazzerino	VII
Aci Castello	X	Melilli	XI
Aci La Consolazione	X	Messina	VIII
Acireale	X	M. Etna	VIII-IX
Aci San Filippo	X	Militello in Val di Catania	IX
Aci Sant' Antonio	X	Mineo	X
Aci Trezza	X	Misterbianco	X
Agrigento (Girgenti)	VI	Modica	IX
Aidone	X	Monterosso Almo	X
Augusta	X	Motta S. Anastasia	X
Avola	X	Naso	VI
Belpasso (Fenicia)	IX	Nicosia	VII-VIII
Biancavilla (Li Greci)	VIII	Niscemi	VIII-IX
Borrello	X	Noto	XI
Bronte	VI- VII	Oriolo	NF
Buccheri	X	Pachino	IX
Butera	VI - VII	Palagonia	IX
Calatabiano	VIII – IX	Palazzolo Acreide	X
Calatafimi	VII	Palermo	VII
Caltagirone	VIII – IX	Paternò	VIII-IX
Caltanissetta	VI	Patti	VI-VII
Capomulini	X	Pedara	X
Carlentini	XI	Piazza Armerina	VII
Cassaro	XI	Plachi	X
Castiglione di Sicilia	VIII	Ragusa	IX-X
Catania	X	Randazzo	VII-VIII
Centuripe (Centorbiy)	VIII	Reggio Calabria	VI
Chiaromonte Gulfi	X	San Giovanni La Punta	X
Comiso	VIII	San Gregorio	X
Ferla	XI	San Michele di Ganzeria	VIII
Fiumefreddo	IX	Sant' Agata li Battiati	X
Floridia	X	Sciacca	NF
FrancaVilla	VIII-IX	Scicli	X
Francofonte	X	Scordia	IX
Gela	VII	Siracusa	X
Giarratana	X	Sortino	XI
Grammichele (Occhiolà)	X	Taormina	IX
Ispica (Spaccaforro)	IX	Trapani	NF
Lentini	XI	Trecastagni	X
Licata	VII	Tremestieri	X
Licodia Eubea	IX	Troina	VII-VIII
Linguaglossa	VIII-IX	Valverde	X
Lipari	VI	Viagrande	X
Malta	VIII	Villa San Giovanni	VII
Mascali	IX	Vittoria	VIII
Mascalucia	X	Vizzini	IX

Fig. 2 – Intensità macrosismica delle località colpite dal terremoto della Val di Noto dell'11 gennaio 1693, da Barbano (1985).

Effetti	In occasione del terremoto del:				
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw	
NC	<u>1669 03 10 23:25</u>	Nicolosi	18	8-9	4.84 ±0.26
10-11	<u>1693 01 11 13:30</u>	Sicilia orientale	185	11	7.41 ±0.15
9	<u>1818 02 20 18:15</u>	Catanese	128	9-10	6.23 ±0.12
4-5	<u>1875 01 07 23:45</u>	ZERBATE	7	7	4.16 ±0.26
5-6	<u>1894 08 08 05:16</u>	MAZZASETTE	45	8-9	4.84 ±0.26
4	<u>1896 03 18 20:45</u>	FOSSA DELL'ACQUA	4	5-6	3.49 ±0.26
NF	<u>1901 05 11 11:10</u>	NICOLOSI	15	7	4.16 ±0.26
NF	<u>1901 05 11 18:20</u>	NICOLOSI	13	6	3.71 ±0.26
4-5	<u>1903 11 20 09:57</u>	VIAGRANDE	19	6	3.71 ±0.26
5	<u>1905 09 08 01:43</u>	Calabria meridionale	895		7.04 ±0.16
3-4	<u>1907 10 23 20:28</u>	Calabria meridionale	274	8-9	5.87 ±0.25
4	<u>1907 12 07 21:28</u>	FIANDACA	24	7-8	4.39 ±0.26
3-4	<u>1908 05 09 10:38</u>	GUARDIA	13	6-7	3.94 ±0.26
3	<u>1908 05 26 16:47</u>	VERSANTE ORIENTALE	15	5-6	3.49 ±0.26
7	<u>1908 12 28 04:2</u>	Calabria meridionale-Messina	800	11	7.10 ±0.15
3	<u>1909 10 21 05:45</u>	S. M. AMMALATI	18	6	3.71 ±0.26
3	<u>1911 10 15 08:52</u>	FONDO MACCHIA	48	8-9	4.84 ±0.26
5-6	<u>1914 05 08 18:01</u>	LINERA	82	9-10	5.29 ±0.26
5	<u>1919 11 09 17:06</u>	FOSSA DELL'ACQUA	10	5-6	3.49 ±0.26
4-5	<u>1923 11 15 20:00</u>	PIEDIMONTE ETNEO	14	6	3.71 ±0.26
5	<u>1952 03 19 08:13</u>	LINERA	105	7-8	4.39 ±0.26
4	<u>1973 08 03 19:49</u>	S. M. AMMALATI	35	7	4.16 ±0.26
NF	<u>1975 01 16 00:0</u>	Stretto di Messina	346	7-8	5.20 ±0.09
2	<u>1980 01 23 21:2</u>	MODICA	122	5-6	4.58 ±0.14
NF	<u>1981 04 30 12:32</u>	POZZILLO	29	6	3.71 ±0.26
3	<u>1981 09 01 23:32</u>	S. M. AMMALATI	44	5-6	3.49 ±0.26
3-4	<u>1981 09 13 04:49</u>	S. M. AMMALATI	56	6-7	3.94 ±0.26
3	<u>1982 07 06 14:37</u>	C.DA ALGERAZZI	150	6-7	3.94 ±0.26

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77

Effetti	In occasione del terremoto del:			
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
6	<u>1983 07 20 22:03</u>	VIAGRANDE	106	7 4.16 ±0.26
3	<u>1983 11 30 14:25</u>	BALLO	45	5-6 3.49 ±0.26
4	<u>1984 06 19 15:19</u>	FIANDACA	46	7 4.16 ±0.26
3	<u>1984 10 19 17:43</u>	ZAFFERANA ETNEA	124	7 4.16 ±0.26
4	<u>1984 10 25 01:11</u>	FLERI	122	8 4.61 ±0.26
4-5	<u>1985 10 10 19:26</u>	LINERA	39	5-6 3.49 ±0.26
3	<u>1986 01 12 23:37</u>	S. VENERINA	53	6-7 3.94 ±0.26
3	<u>1986 01 18 00:16</u>	DAGALA	35	5-6 3.49 ±0.26
NF	<u>1986 01 29 09:07</u>	NICOLOSI	27	6 3.71 ±0.26
2-3	<u>1986 02 01 22:52</u>	S. G. BOSCO	48	6-7 3.94 ±0.26
2-3	<u>1986 02 02 16:10</u>	S. G. BOSCO	63	7 4.16 ±0.26
3-4	<u>1987 08 13 07:22</u>	MALETTO	35	5-6 3.49 ±0.26
NF	<u>1988 12 19 02:22</u>	BALLO	49	5-6 3.49 ±0.26
3	<u>1989 01 29 07:30</u>	CODAVOLPE	78	7 4.16 ±0.26
5-6	<u>1990 12 13 00:2</u>	Sicilia sud-orientale	304	7 5.64 ±0.09
NF	<u>1993 06 14 05:13</u>	BALLO	46	5-6 3.49 ±0.26
NF	<u>1996 12 02 13:01</u>	C.DA LUMINARIA	42	6 3.71 ±0.26
3	<u>1997 09 02 10:42</u>	ZAFFERANA ETNEA	33	5-6 3.49 ±0.26
4	<u>1997 10 29 12:02</u>	FOSSA DELL'ACQUA	22	5-6 3.49 ±0.26
4	<u>1997 11 11 07:27</u>	S. MARIA LA STELLA	35	5-6 3.49 ±0.26
4	<u>1997 11 11 18:44</u>	S. MARIA LA STELLA	35	5-6 3.49 ±0.26
4	<u>1998 01 10 08:45</u>	VERSANTE SUD-OCCIDENTALE	44	6 3.71 ±0.26
NF	<u>1998 05 22 11:54</u>	NICOLOSI	29	6 3.71 ±0.26

Effetti		In occasione del terremoto del:			
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io	Mw
3-4	1999 08 05 14:57	VERSANTE SUD-OCCIDENTALE	35	5-6	3.49 ±0.26
3-4	2000 01 11 08:20	SANT'ALFIO	39	5-6	3.49 ±0.26
4	2001 01 09 02:51	ZAFFERANA ETNEA	104	6	3.71 ±0.26
NF	2001 04 22 13:56	VERSANTE OCCIDENTALE	55	5-6	3.49 ±0.26
4	2002 03 24 23:05	VERSANTE ORIENTALE	40	5-6	3.49 ±0.26
NF	2002 12 02 12:28	MACCHIA	30	6	3.71 ±0.26
NF	2005 04 19 00:52	CONTRADA CUBISIA	11	5-6	3.49 ±0.26

Fig. 3 – Eventi sismici significativi per il Comune di Aci Sant’Antonio, dal database DBMI11. IMCS = intensità macrosismica espressa in scala MCS; Ax = area epicentrale geografica in cui sono stati riscontrati i maggiori effetti del terremoto; Np= numero di punti, numero di osservazioni macrosismiche disponibili per il terremoto; Io = Intensità macrosismica epicentrale, da CPTI11, espressa in scala MCS, Mercalli-Cancani-Sieberg; Mw = magnitudo momento.

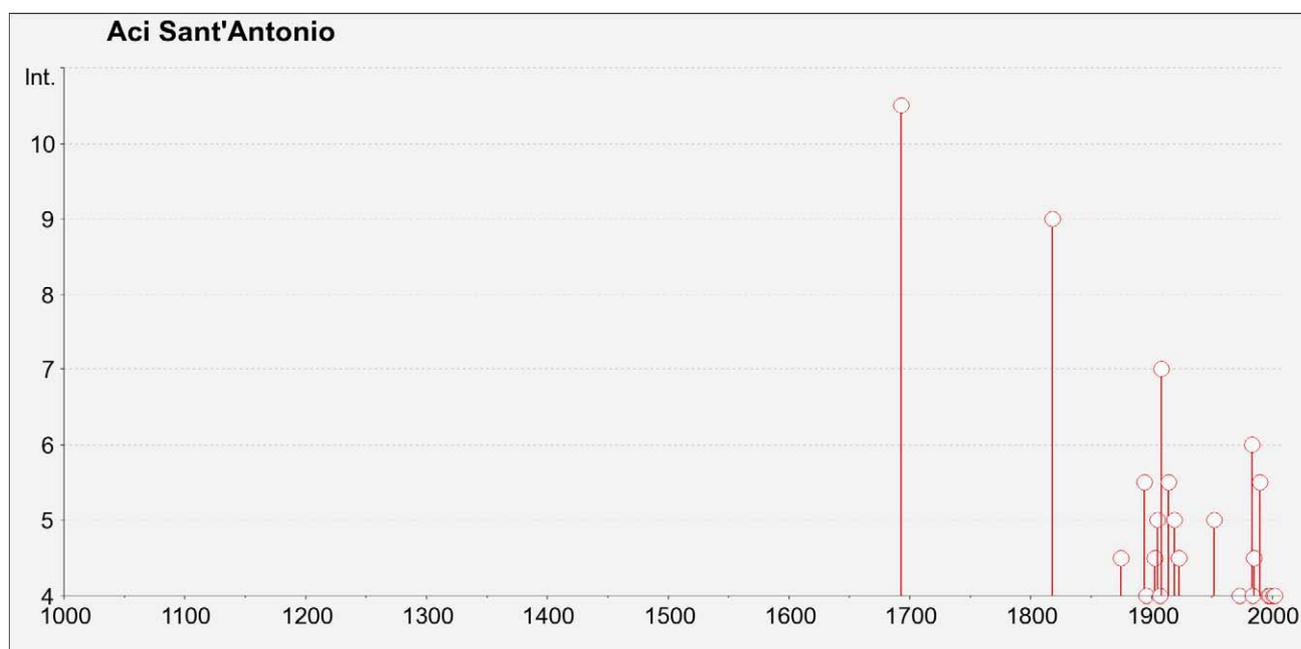


Fig. 4 – Grafico relativo alla sismicità storica del comune di Aci Sant’Antonio.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77

Catalogazione del Comune di Aci Sant'Antonio sulla mappa interattiva di pericolosità sismica

Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ha stabilito, approvato ed emesso in data 27/07/2007 il documento “pericolosità sismica e criteri per la classificazione sismica del territorio nazionale” con il quale è stata ridefinita la mappatura sismica. La nuova mappatura sismica nazionale consiste in un dettagliato reticolo di riferimento individuato su maglia quadrata di lato 10 km; per ogni punto del reticolo si conoscono le accelerazioni massime attese al bedrock per diversi periodi di ritorno dell’evento sismico. La mappa interattiva di pericolosità sismica (Meletti et al., 2007) su reticolo è attualmente disponibile su <http://esse1.mi.ingv.it>; è altresì disponibile in allegato alle nuove norme tecniche per le costruzioni (D.M. 14/01/2008) la tabella di riferimento che riporta puntualmente i parametri sismici di progetto al variare del periodo di ritorno dell’evento sismico di progetto. Le mappe riportano due parametri dello scuotimento: $a(g)$ (accelerazione orizzontale massima del suolo, corrispondente a quella che in ambito internazionale viene chiamata PGA) e $Se(T)$ (Spettro di risposta Elastico in funzione del periodo T , in accelerazione). Le mappe in $a(g)$ sono state calcolate per differenti probabilità di superamento in 50 anni (in totale 9, dal 2% all'81%). Per ogni stima è disponibile la distribuzione del 50mo percentile (mappa mediana, che è la mappa di riferimento per ogni probabilità di superamento) e la distribuzione del 16mo e dell'84mo percentile che indicano la variabilità delle stime. Le mappe in $Se(T)$ sono state pure calcolate per le stesse probabilità di superamento in 50 anni (in totale 9, dal 2% all'81%) e per differenti periodi (in totale 10, da 0.1 a 2 secondi). Anche in questo caso per ogni stima è disponibile la distribuzione del 50mo percentile (mappa mediana, che è la mappa

di riferimento per ogni probabilità di superamento) e la distribuzione del 16mo e dell'84mo percentile che indicano la variabilità delle stime.

L'area di studio del Comune di Aci Sant'Antonio è univocamente individuata dalle coordinate geografiche internazionali:

LATITUDINE: 37.605

LONGITUDINE: 15.121

Tale punto coincide perfettamente con uno dei punti del reticolo di riferimento e per esso sono noti direttamente i valori delle accelerazioni al suolo di progetto per diversi tempi di ritorno. La Figura 5 riporta la probabilità di eccedenza in 50 anni del valore di PGA riportato sulle mappe interattive di pericolosità sismica, il corrispondente periodo di ritorno e la corrispondente frequenza annuale di superamento. Sono state elaborate carte di pericolosità sismica in termini di $a(g)$ su suolo rigido (categoria A; $V_{s30} > 800$ m/sec) con probabilità di superamento in 50 anni pari a: 81%, 63%, 50%, 39%, 30%, 22%, 5% e 2% rispettivamente corrispondenti a periodi di ritorno di 30, 50, 72, 100, 140, 200, 975 e 2475 anni (convenzionalmente per gli ultimi due periodi di ritorno si usa parlare di 1000 e 2500 anni). Si riportano nelle Figure 6–8 rispettivamente le mappe interattive di pericolosità sismica del territorio di Aci Sant'Antonio con riferimento al valore di PGA per una probabilità di eccedenza in 50 anni del 10%, del 5% e del 2%.

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77

Probabilità di eccedenza in 50 anni	Corrispondente periodo di ritorno	Corrispondente frequenza annuale di superamento
81%	30	0.0332
63%	50	0.0199
50%	72	0.0139
39%	101	0.0099
30%	140	0.0071
22%	201	0.0050
10%	475	0.0021
5%	975	0.0010
2%	2475	0.0004

Fig. 5 – Probabilità di eccedenza in 50 anni del valore di PGA riportato sulle mappe interattive di pericolosità sismica, il corrispondente periodo di ritorno e la corrispondente frequenza annuale di superamento.

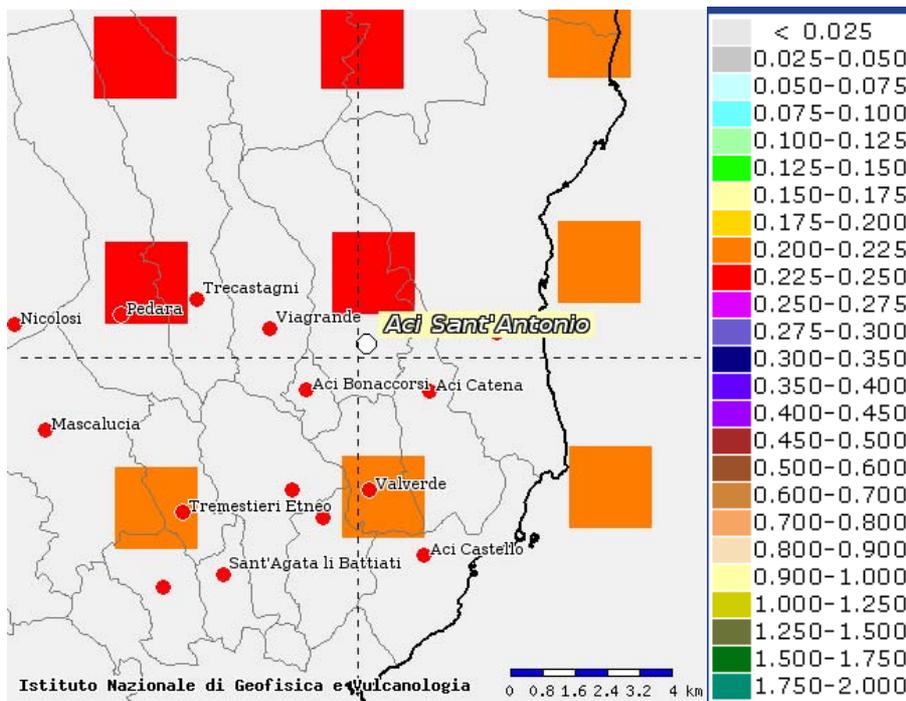


Fig. 6 - Mappa interattiva di pericolosità sismica del territorio di Acì Sant'Antonio. I punti della griglia visualizzati si riferiscono a: parametro dello scuotimento $a(g)$, probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

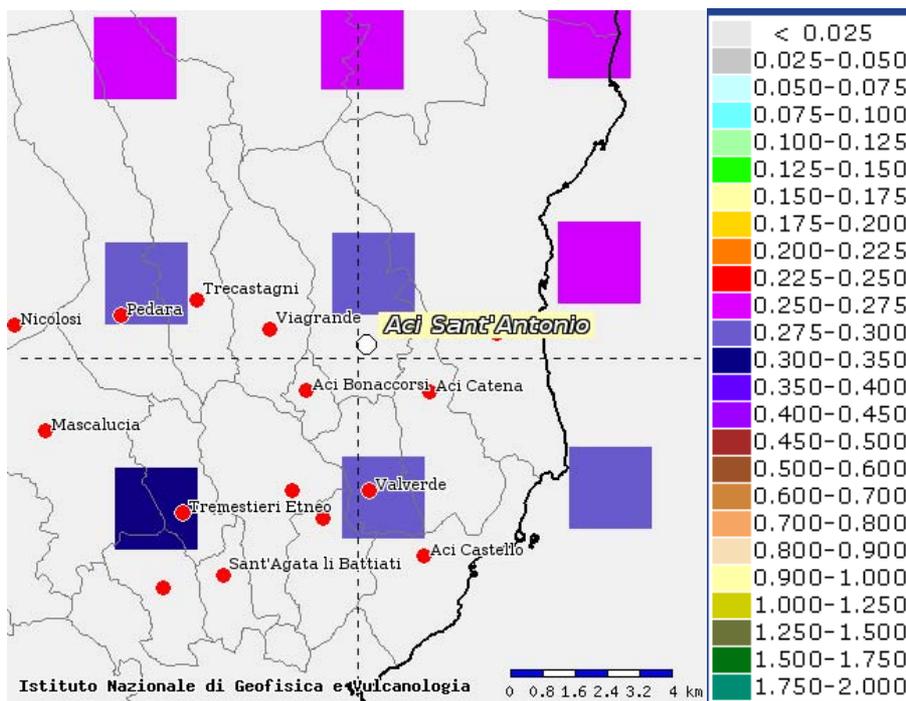


Fig. 7 - Mappa interattiva di pericolosità sismica del territorio di Acì Sant'Antonio. I punti della griglia visualizzati si riferiscono a: parametro dello scuotimento $a(g)$, probabilità di superamento del 5% in 50 anni.

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77

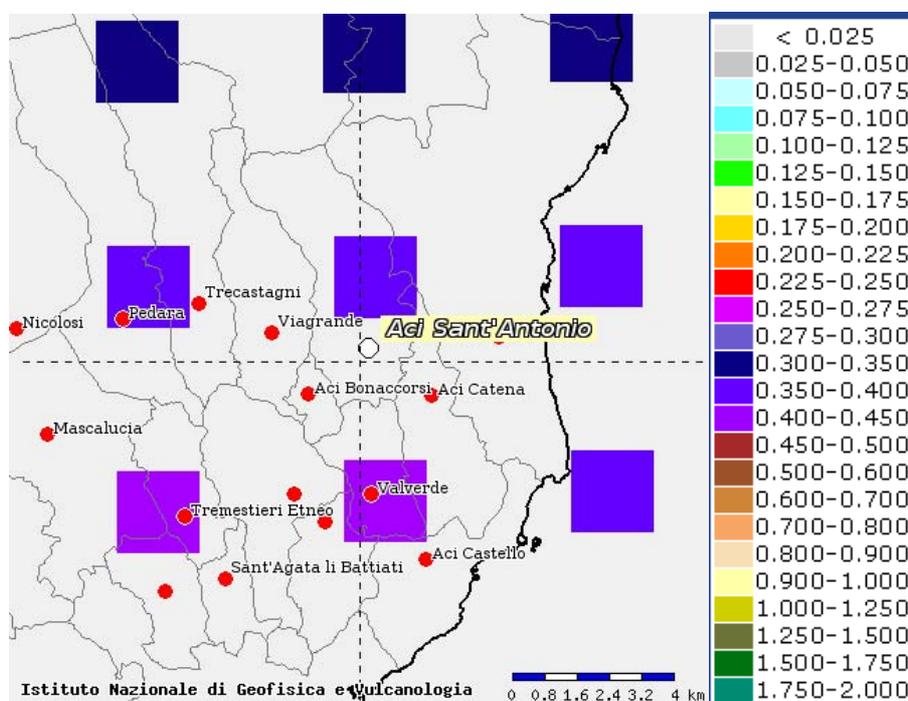


Fig. 8 – Mappa interattiva di pericolosità sismica del territorio di Aci Sant'Antonio. I punti della griglia visualizzati si riferiscono a: parametro dello scuotimento a_g , probabilità di superamento del 2% in 50 anni.

I risultati ottenuti per il territorio di Viagrande vengono sintetizzati nella tabella 1 di seguito riportata e consentono di calcolare la curve di pericolosità sismica al sito (Figura 9).

T_R [anni]	a_g [g/10]
475	0.225-0.250
975	0.275-0.300
2475	0.350-0.400

Tabella 1. Valori di a_g al sito e corrispondente periodo di ritorno.

Il territorio del Comune di Aci Sant'Antonio è stato individuato sul database DBMI11 (con 58 eventi sismici significativi tra il 1693 ed il 2005) con una intensità macrosismica espressa nella scala MCS che raggiunge il suo valore massimo in MCS = X-XI in corrispondenza del terremoto della Val di Noto del 1693. La localizzazione territoriale sulle mappe interattive di pericolosità sismica ha consentito di ricavare i valori di ag su suolo rigido (categoria A; $V_{s30} > 800$ m/sec) con probabilità di superamento in 50 anni pari a: 0.225-0.250 per il 10%, 0.275-0.300 per il 5% e 0.350-0.400 per il 2%, rispettivamente corrispondenti a periodi di ritorno di 475, 975 e 2475 anni. Ciò ha permesso di ricavare la curva di pericolosità sismica al sito per il territorio di Aci Sant'Antonio.

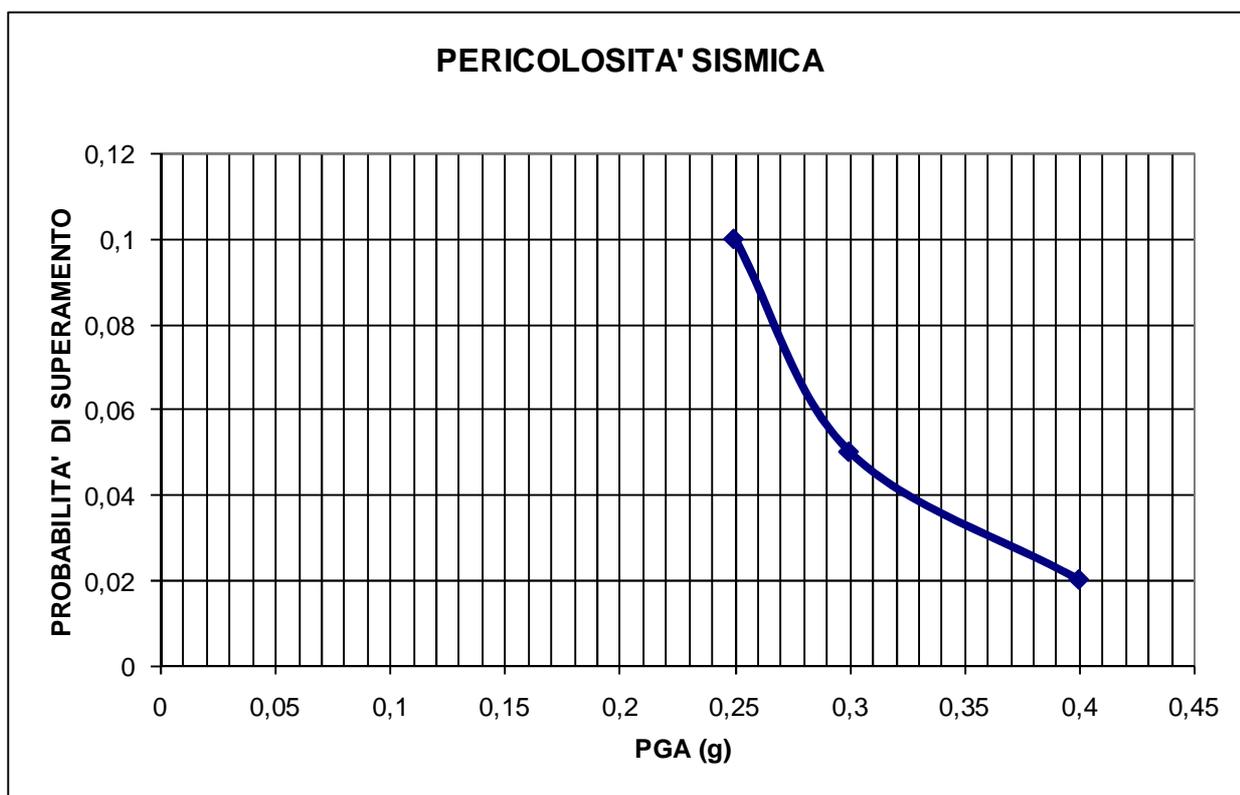


Fig. 9 – Curva di pericolosità sismica al sito per il territorio di Aci Sant'Antonio. La curva rappresenta il valore della mediana.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77

3. Assetto geologico e geomorfologico dell'area

Il territorio di Aci Sant'Antonio si estende, a partire da una quota massima di circa 550 m s.l.m., in una zona del basso versante sud-orientale dell'Etna caratterizzato da una bassa acclività e delimitato verso mare da una ripida scarpata alta circa 90 m, che lo separa dal territorio limitrofo di Aci Catena, il cui orlo è posto a circa 290 m s.l.m.. Il centro urbano, compreso nell'area di studio meridionale, è situato al margine del settore a bassa acclività in prossimità del bordo della scarpata, mentre l'area di studio più settentrionale, da Monterosso a S. Maria La Stella, attraversa in direzione NO-SE tutto il settore a bassa acclività. L'area è interamente interessata dall'affioramento di prodotti lavici etnei, cui localmente si associano depositi alluvionali recenti. La scarpata che delimita ad est il territorio comunale, compresa nell'area di studio meridionale, è costituita da successioni laviche antiche ed è parzialmente mantellata dai prodotti lavici più recenti. Questi costituiscono anche i vasti campi lavici che caratterizzano tutto il settore a bassa acclività, riconoscibili sia nell'area di studio meridionale, a monte della scarpata, che in tutta l'area di studio settentrionale. Alle colate laviche sono associati anche depositi vulcanoclastici, riferibili a piccoli edifici riconosciuti all'interno dello stesso territorio comunale.

La "Carta geologica del Monte Etna" alla scala 1:50.000 (AA.VV., 1979; Fig. 10), evidenzia che i campi lavici che costituiscono l'area di studio settentrionale (zona 1 della cartografia allegata) sono attribuibili all'attività recente dell'Etna. Gran parte dell'area è stata ricoperta da colate laviche storiche, riferite agli eventi eruttivi del 1334 e del 394 a.C., rispettivamente. La colata dell'evento più recente è originata dal sistema eruttivo che ha generato anche il cono piroclastico di Monterosso, all'estremità nord-occidentale del

territorio comunale. Le due colate storiche poggiano su un substrato di lave indifferenziato (**l_{pn}** in Fig. 10), mentre non è chiaro il rapporto tra la colata del 394 a.C. e le altre colate recenti (**l_{pr}** in Fig. 10). I campi lavici sovrapposti presenti nell'area sono bordati verso ovest dal corso del Torrente Lavinaio lungo il quale, per un tratto discreto, si sono accumulati depositi alluvionali che hanno originato una vasta piana alluvionale (**a** in Fig. 10).

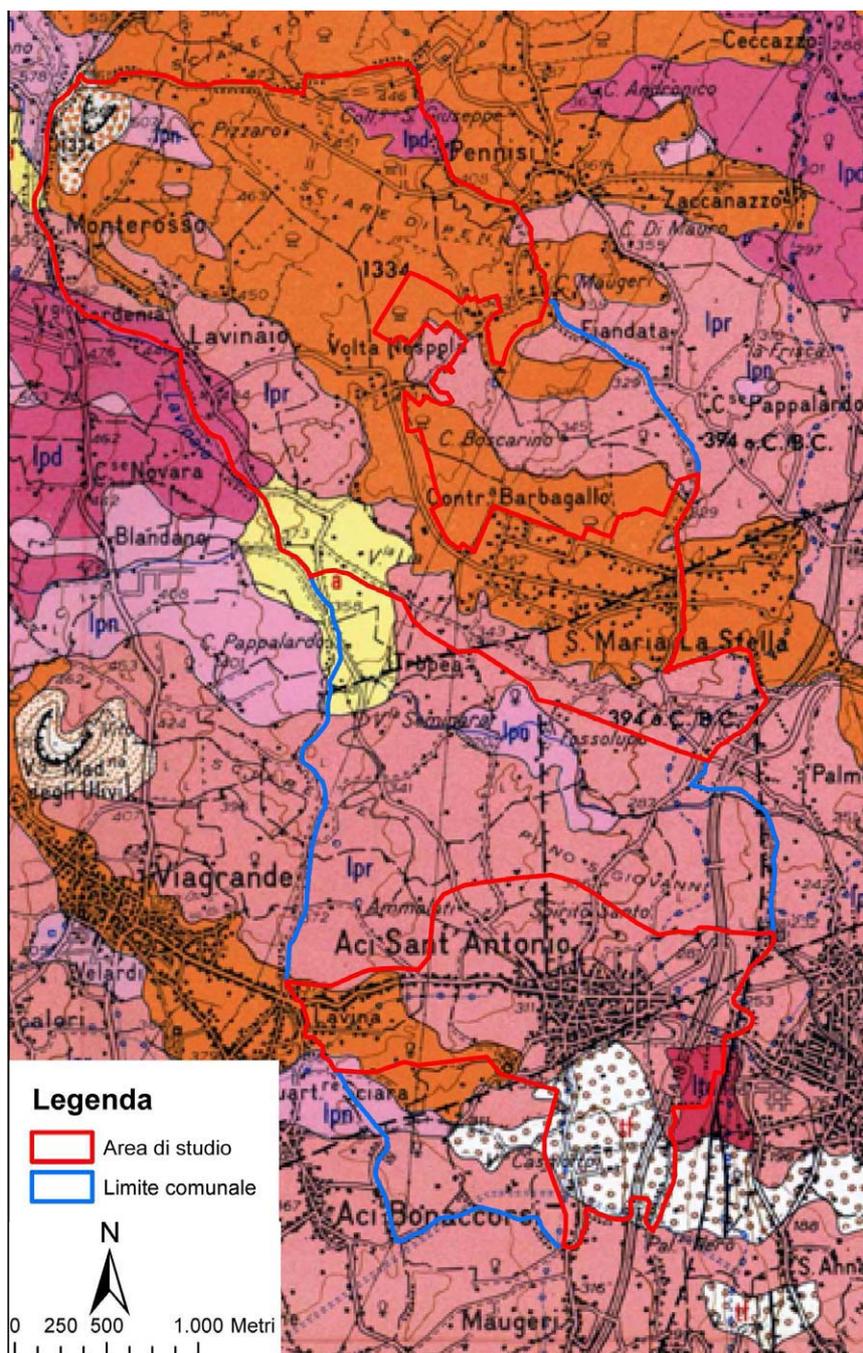


Fig. 10 - Stralcio della Carta geologica del Monte Etna (AA.VV., 1979 mod).



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77

La stessa carta indica che nel settore di studio meridionale (zona 2 della cartografia allegata) si realizza l'appoggio delle colate che formano i campi lavici recenti e storici sui prodotti antichi esposti lungo la scarpata che delimita il territorio comunale. Questi sarebbero rappresentati dalla successione di lave dei Centri Alcalini Antichi, attribuite ad un'età compresa tra 168 e 100 ka (Gillot et al., 1994). La scarpata, sviluppata al letto di una faglia normale ad orientazione circa NNE ricadente lungo il confine con il territorio comunale di Aci Catena, sarebbe mantellata da depositi tufitici (**tf** in Fig. 10), attribuiti ad un'età compresa tra quella delle vulcaniti dei Centri Eruttivi del Trifoglietto (80–63 ka; Gillot et al., 1994) e quella dei prodotti dei Centri eruttivi dell'Ellittico (40 ka–15 ka; Gillot et al., 1994), e dalle lave recenti (**lpr** in Fig. 10) che costituiscono le propaggini orientali dei campi lavici alimentati da ovest. All'interno dell'area di studio è inoltre segnalata la porzione frontale della colata lavica del 1408, che si estende dal limitrofo comune di Viagrande. Anche in questa zona, la carta evidenzia che i campi lavici recenti e storici poggiano su un orizzonte lavico indifferenziato (**lpn** in Fig. 10), comunque riferito all'attività recente dell'Etna (< 15 ka; Gillot et al., 1994).

La carta riporta inoltre la presenza di due faglie presunte, orientate ENE, che attraverserebbero, rispettivamente, gli abitati di Santa Maria La Stella e di Aci Sant'Antonio. In entrambi i casi, gli elementi a favore della presenza della struttura sono molto labili, in quanto esse non rigettano alcun limite geologico né sono marcate da evidenze morfologiche. Va aggiunto che il segmento di faglia più meridionale attraverserebbe indisturbato, non rigettandole, la faglia orientata NNE e la relativa scarpata cumulativa.

Azzaro (1999) nel censire le faglie ed i sistemi di fratture attive nelle aree dell'Etna e le relazioni con la sismicità dell'area, evidenzia due strutture sviluppate, rispettivamente, lungo il confine orientale e nord-orientale del territorio comunale (Fig. 11).

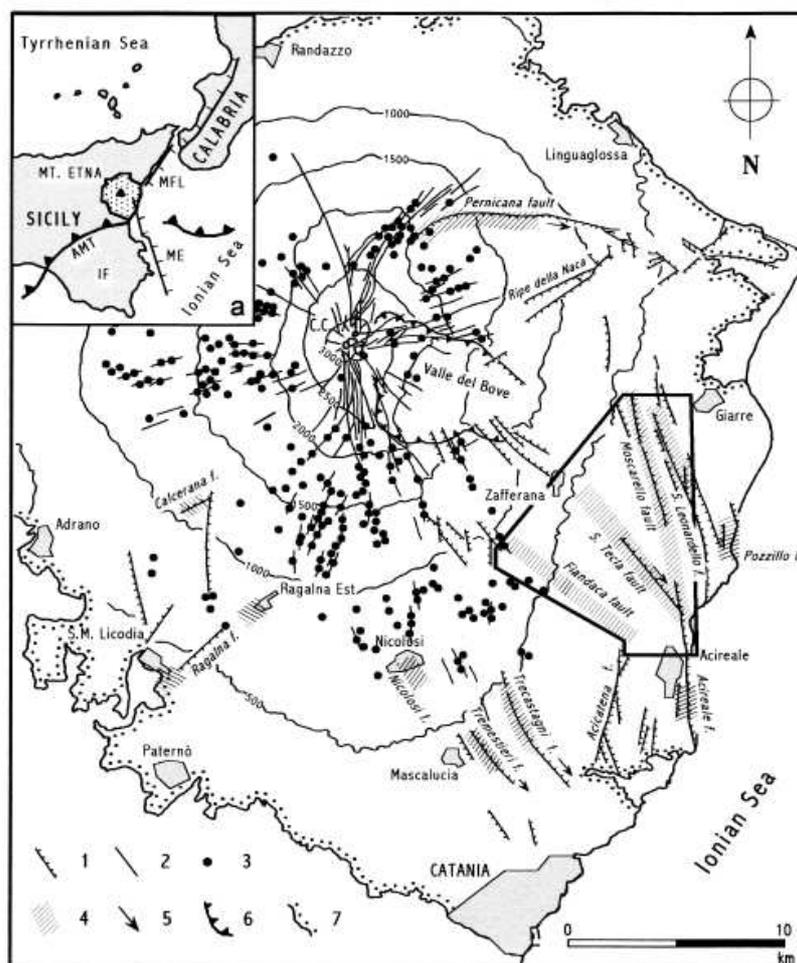


Fig. 1. Simplified structural map of Mt. Etna (after Rasà et al., 1996): 1, faults with bar on downthrown side; 2, eruptive fissures; 3, cinder cones; 4, coseismic surface faulting zones; 5, strike-slip components; 6, caldera rims; 7, limit of Etna volcanics; C.C., central crater. Box indicates area of the 'Timpe' fault system shown in Fig. 2. Inset map (a) shows the regional geological setting: AMF, front of the Apennine-Maghrebian thrust belt; IF, Iblean Foreland; ME, Malta Escarpment; MFL, Messina-Fiumefreddo line.

Fig. 11 - Carta strutturale del Monte Etna (da Fig. 1 di Azzaro, 1999).

La prima struttura, indicata come Faglia di Acicatena, corrisponde alla faglia già segnalata in (AA.VV., 1979) come generatrice della scarpata che separa l'abitato di Acì Sant'Antonio e di Acì Catena. La seconda rappresenta una fascia di deformazione attiva orientata NO-SE, sede di ripetute fratturazioni cosismiche, indicata come Faglia di Fiandaca ed estesa da S.Maria La Stella a Fleri, correndo parallelamente al bordo nord-orientale del territorio comunale di Acì Sant'Antonio (Fig. 12).

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77

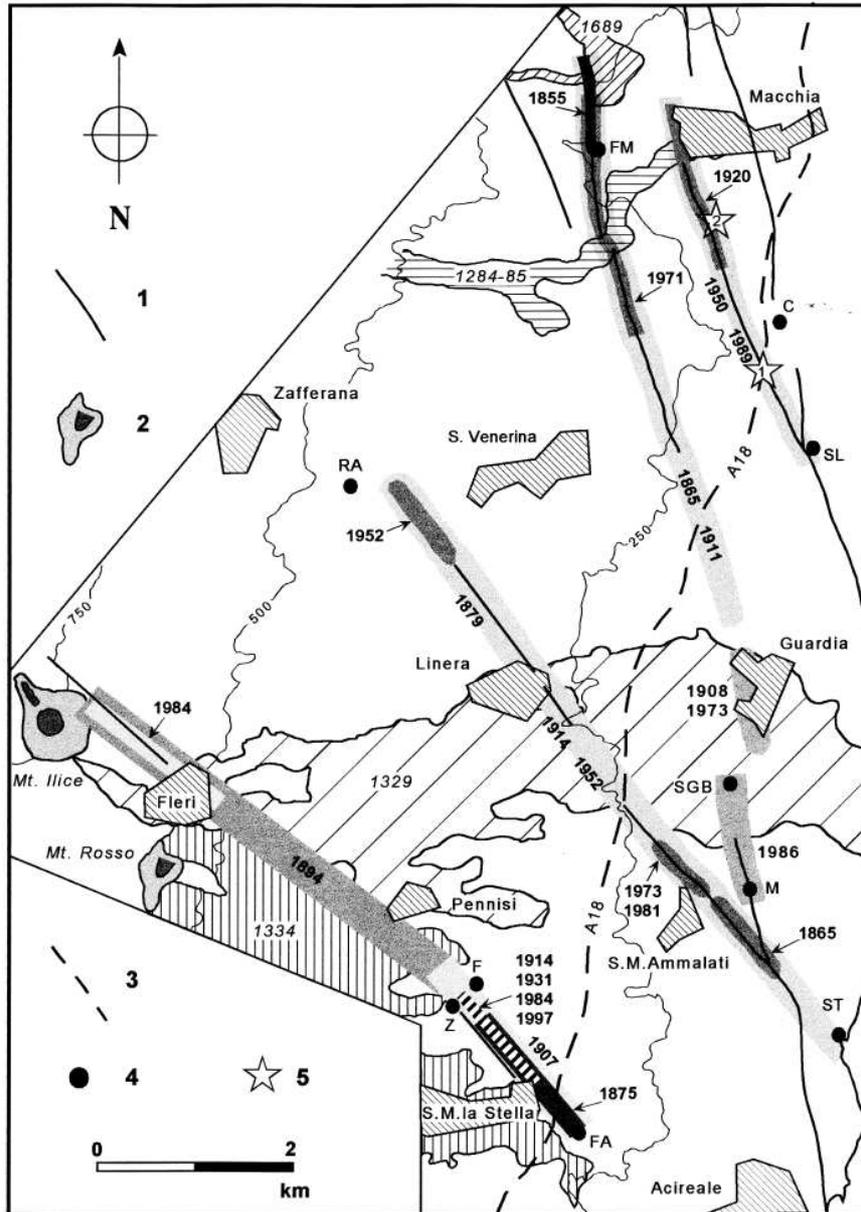


Fig. 2. Detailed map illustrating patterns of earthquake surface faults within the most tectonically active sector of Mt. Etna (modified from Romano, 1979; Lanzafame et al., 1996; Monaco et al., 1997). Historical lava flows denoted by hatched areas overlying undistinguished, older volcanic products (plain in the background). Stippled zones indicate coseismic ruptures related to different events. 1, main faults; 2, cinder cones; 3, layout of the A18 'Catania-Messina' tollway; 4, other localities discussed in the text (C, Codavolpe; F, Fiandaca; FA, Fossa dell'Acqua; M, Mortara; SL, San Leonardello; ST, Santa Tecla; RA, Rocca d'Api; Z, Zerbate); 5, locations of Fig. 3 and 4.

Fig. 12 – Schema sismotettonico del basso versante sud-orientale etneo (da Fig. 2 di Azzaro, 1999).

Nonostante l'Autore classifichi la struttura come "*hidden fault*", per la mancanza di evidenze di superficie, riferisce alla stessa almeno 9 eventi sismici di bassa magnitudo ($M \leq 4.1$), nel periodo compreso tra il 1875 e il 1997, cui sono corrisposti la formazione di fratture al suolo lungo l'allineamento.

In effetti, per la mancanza di evidenze geologiche e morfologiche, la Faglia di Fiandaca non era stata segnalata nella cartografia precedente né è stata riportata nel recente Foglio Geologico 625 "Acireale" (Fig. 13), che invece ricostruisce la geometria della Faglia di Acicatena che viene segnalata con una direzione circa N-S ed in sovrapposizione con un ulteriore segmento, ad orientazione NNO-SSE, che si sviluppa verso nord, estendendosi ad est degli abitati di Aci Sant'Antonio e di Pennisi, attraverso Santa Maria La Stella e Fiandaca.

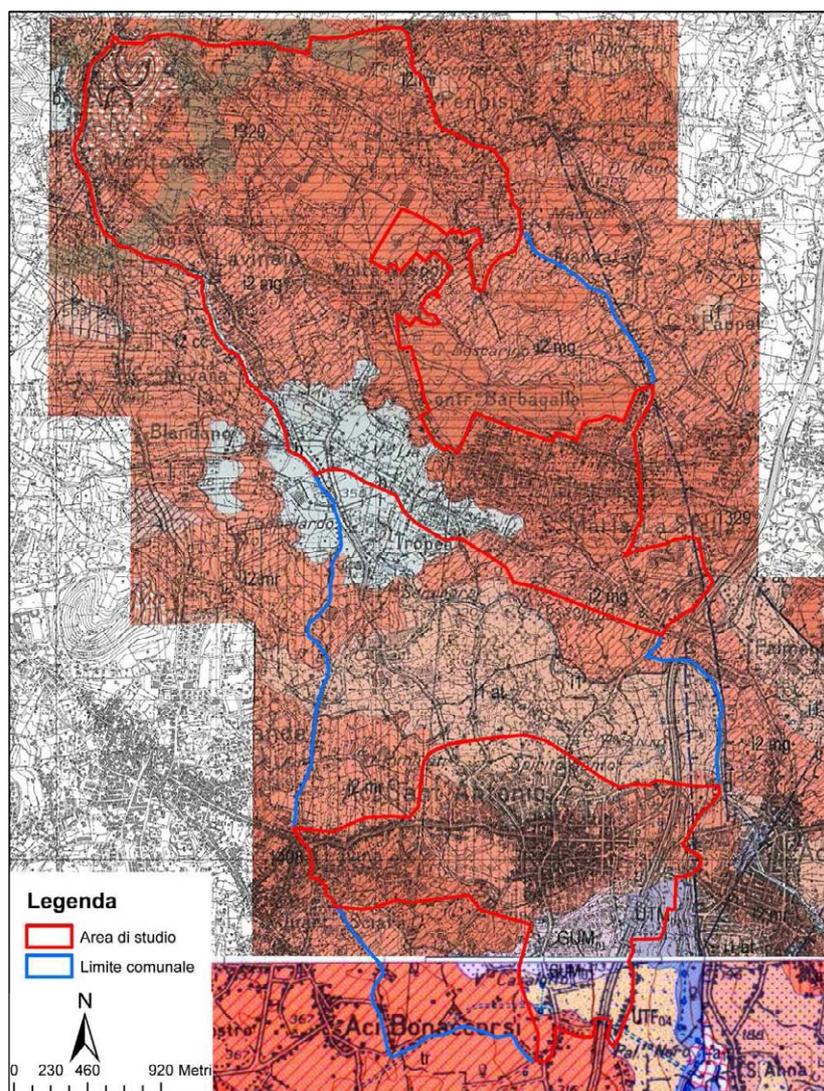


Fig. 13 – Stralcio dei Fogli geologici 625 "Acireale" e 634 "Catania" (AA.VV., 2009a; 2009b mod).

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77

Nella Carta Morfotettonica dell'Etna (Monaco et al., 2008) (Fig. 14) la Faglia di Fiandaca viene indicata come struttura trascorrente destra, orientata da NNO a NO, che si ricollega alla terminazione settentrionale della Faglia di Acicatena, composta da un segmento principale, orientato circa N-S, da cui si dirama un segmento secondario, orientato NNE.

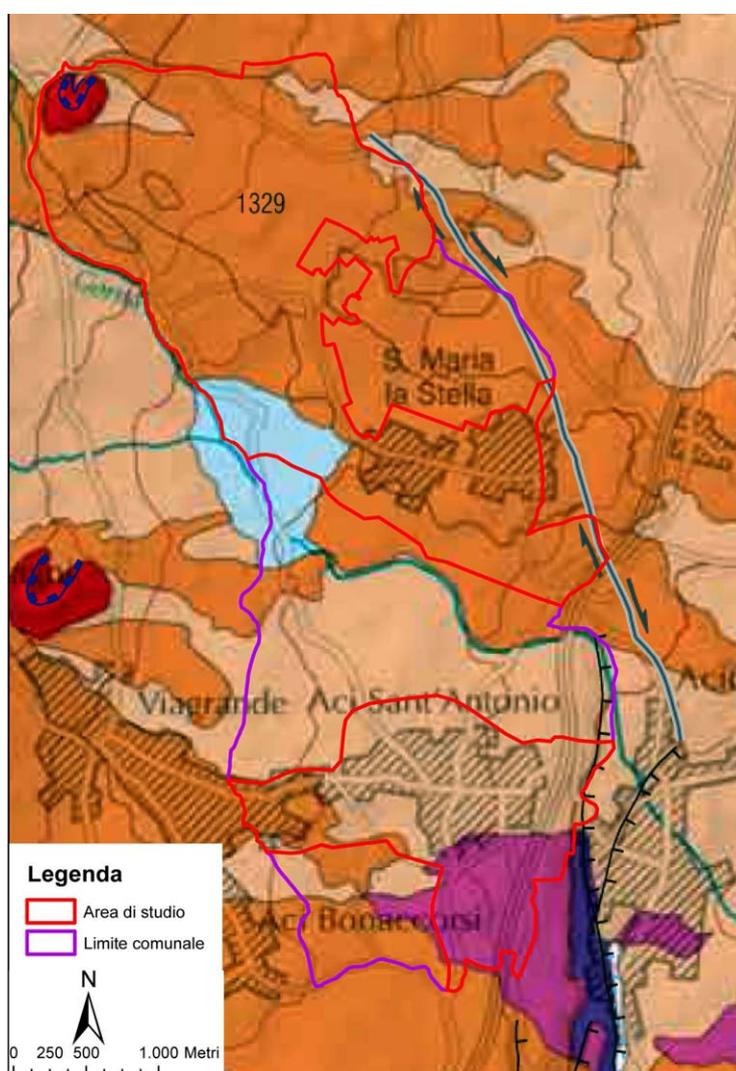


Fig. 14 – Stralcio della Carta Morfotettonica del Monte Etna (Monaco et al., 2008 mod).

Un quadro aggiornato delle faglie attive della regione etnea (Azzaro et al., 2012)(Fig. 15) mostra che il territorio comunale di Aci Sant’Antonio è in effetti bordato da strutture che potrebbero potenzialmente costituire sorgenti di eventi sismici o essere interessate da deformazioni co-sismiche permanenti. Nel nuovo schema strutturale, in cui la Faglia di Fiandaca viene ancora classificata come “nascosta”, si evince che questo termine assume il significato di faglia priva di evidenze, diverso da struttura “sepolta” che viene altresì riferita a strutture riconosciute in affioramento che localmente sono ricoperte da terreni più recenti.

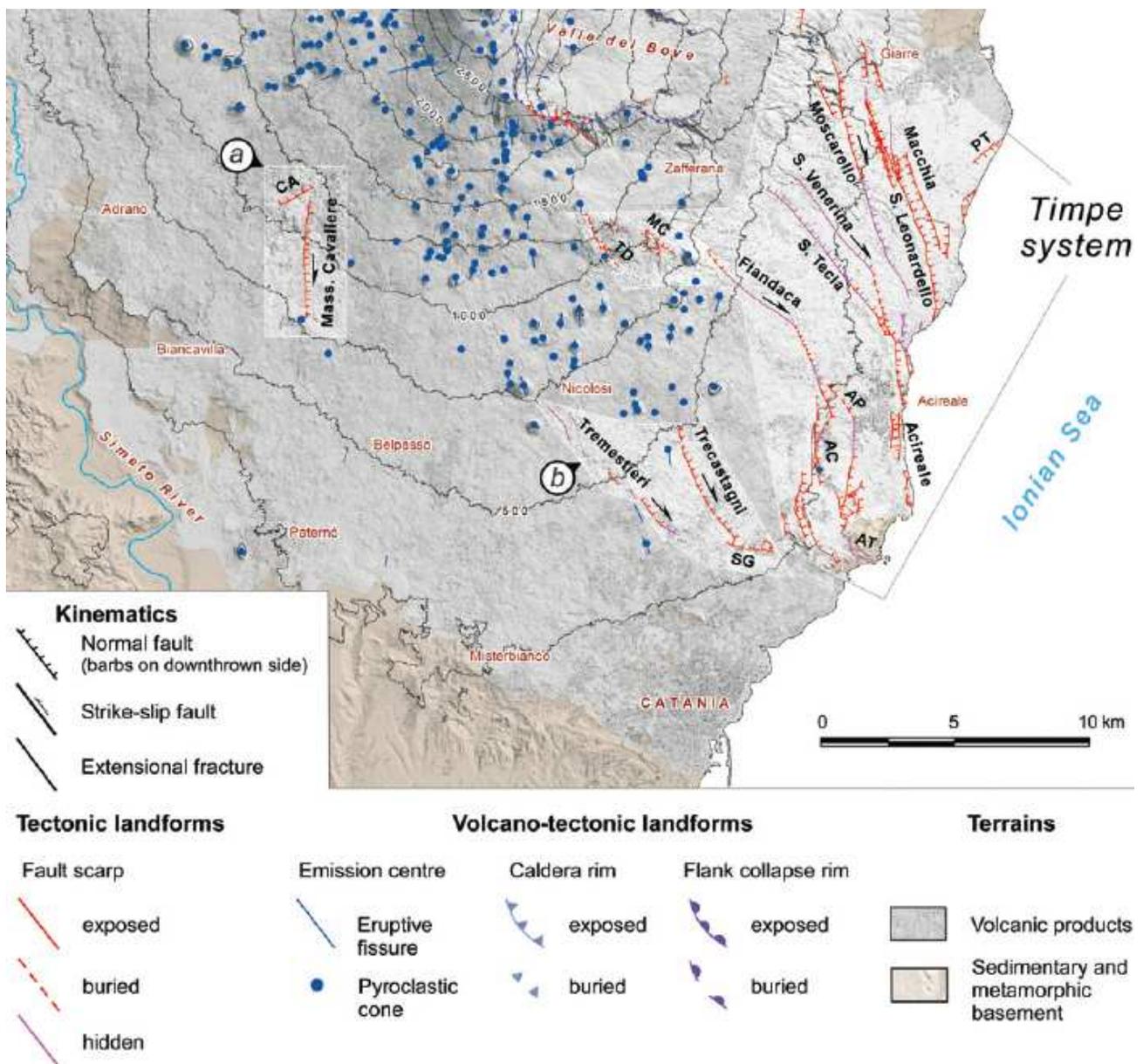


Fig. 15 - Schema strutturale delle faglie attive dell’Etna (da Fig. 2 di Azzaro et al., 2012).

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77

Il dettaglio dello schema strutturale relativo all'area adiacente al territorio di Aci Sant'Antonio (Fig. 16) mostra una geometria delle faglie attive, simile a quella già proposta in Monaco et al. (2008), in cui la faglia “nascosta” di Fiandaca, orientata NO-SE, è collegata alla terminazione settentrionale della Faglia di Acicatena, orientata N-S, tramite un segmento orientato NNO, costituito da tratti di faglia esposti in superficie, parti sepolte e parti “nascoste”.

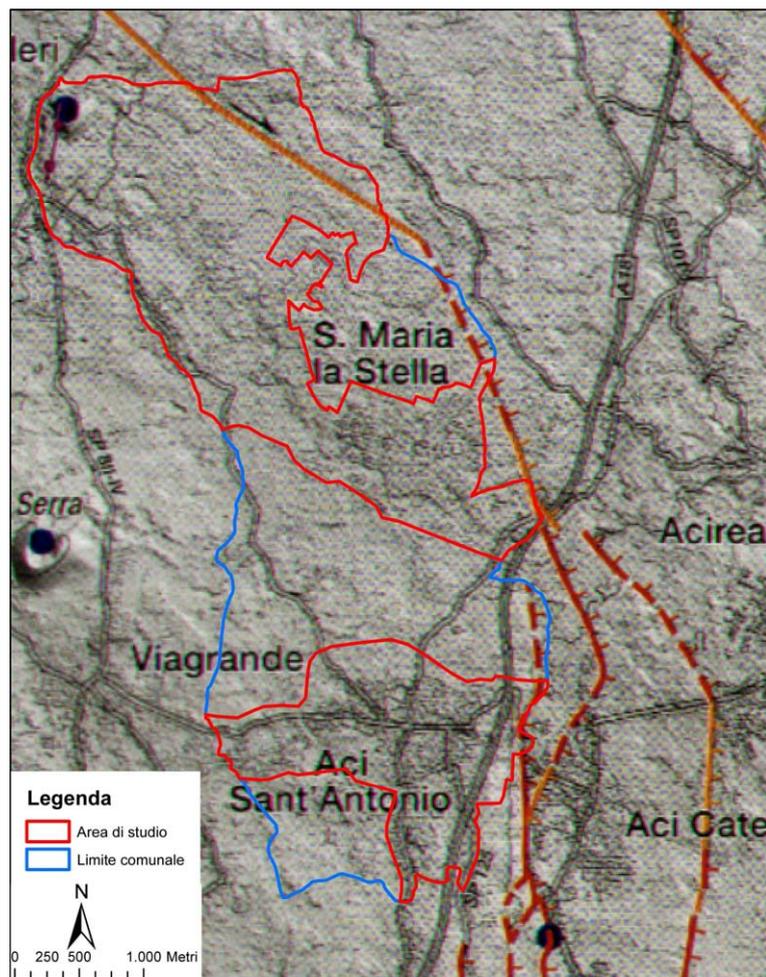


Fig. 16 - Carta vulcano-tettonica del Monte Etna (Azzaro et al., 2012 mod). L'area di studio è indicata in rosso, mentre il territorio comunale in azzurro.

Una sintesi efficace della localizzazione delle faglie e dei sistemi di fratture attive nelle vicinanze di Aci Sant'Antonio è proposta in precedenti studi di microzonazione (OPCM n. 3278; <http://sit.protezionecivilesicilia.it/opcm3278/>) (Fig. 17).



Fig. 17 – Fratturazione al suolo e sismicità storica nei comuni adiacenti ad Aci Sant'Antonio da studi di Microzonazione sismica del versante orientale dell'Etna , Ordinanza Presidente Consiglio dei Ministri n. 3278 del 04/04/2003 (<http://sit.protezionecivilesicilia.it/opcm3278/>), modificato.

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77

Questo nuovo documento, che tiene conto di tutta la letteratura prodotta sull'argomento, evidenzia come la cosiddetta Faglia di Fiandaca costituisca in effetti un allineamento, orientato prevalentemente NNO, di sistemi di frattura discontinui, solo in parte corrispondente alla traccia arcuata segnalata in Monaco et al. (2008) e Azzaro et al. (2012), lungo i quali sono state documentate rimobilizzazioni co-sismiche per tratti discreti ed effetti di deformazione per *creep-asismico*, concentrati prevalentemente tra Aci Catena e S. Maria La Stella.

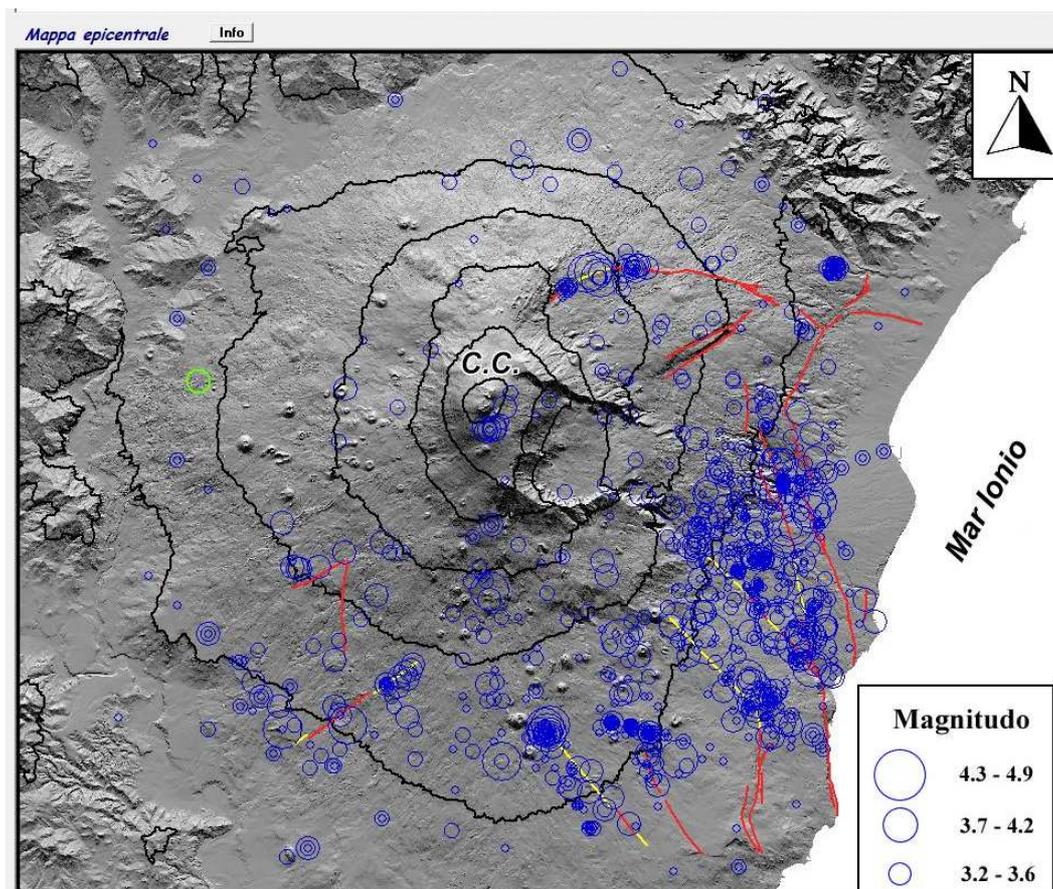


Fig. 18 – Carta sismo-tettonica del Monte Etna riportata nel Catalogo Macrosismico dei Terremoti Etnei dal 1832 al 2005 (Azzaro et al., 2000, 2009).

Il catalogo macrosismico dei terremoti etnei (Azzaro et al., 2000; 2009) riferisce alle faglie che delimitano a est il territorio comunale di Aci Sant'Antonio un elevato numero di eventi sismici, avvenuti nel periodo dal 1832 al 2005, particolarmente concentrati nella zona di collegamento tra la terminazione sud-orientale della Faglia di Fiandaca e la terminazione settentrionale della Faglia di Acicatena.

L'attività sismica lungo tali strutture può essere riferita ad una dinamica locale che trova riscontro nel modello cinematico sulle deformazioni attive dell'Etna oggi più accreditato, frutto dell'interpretazione dei dati geodetici, acquisiti tramite tecniche GPS e DInSAR, che testimoniano l'elevata instabilità dell'intero versante orientale dell'edificio etneo. Questo processo è stato interpretato alternativamente come l'effetto dello scivolamento gravitativo del fianco orientale dell'edificio vulcanico (Borgia et al., 1992) o della deformazione estensionale al letto di una *rift-zone* (Monaco et al., 2005). Le serie temporali di misure dei vettori movimento GPS consentono di individuare una serie di blocchi cinematici indipendenti, i cui limiti sono stati identificati lungo lineamenti che, caratterizzati da fratturazione al suolo attiva, si manifestano come discontinuità permanenti nelle immagini DInSAR (Azzaro et al., 2013)(Fig. 19).

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77

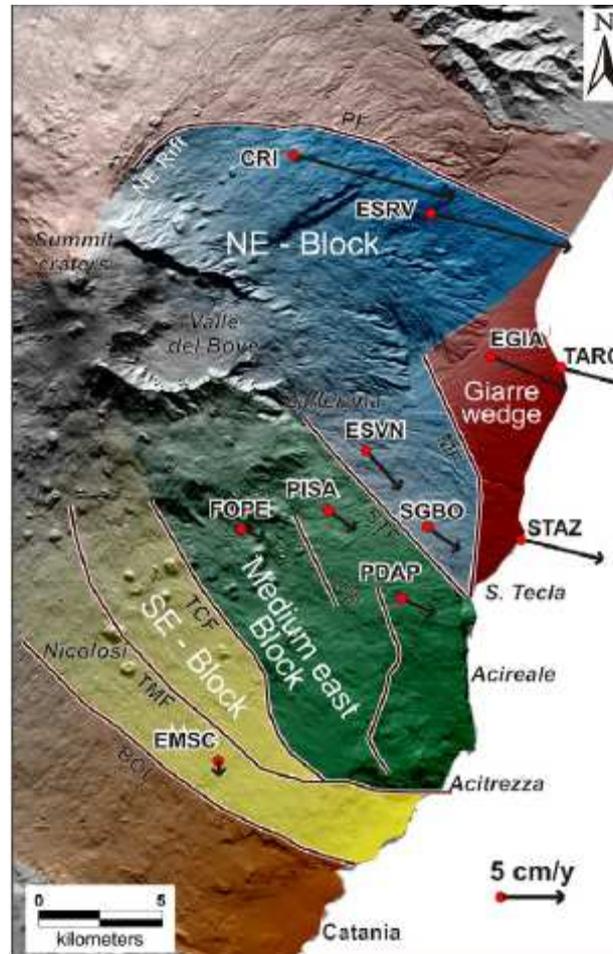


Fig. 19 – Modello cinematico del versante orientale del Monte Etna (da Azzaro et al., 2013).

In questo quadro deformativo, sia la Faglia di Fiandaca (FF in Fig. 19) che quella adiacente di Acicatena sembrerebbero giocare un ruolo secondario, in quanto si svilupperebbero all'interno di un blocco cinematico bordato, a NE, dalla Faglia di Santa Tecla (STF in Fig. 19) e, a sud-ovest, dalla Faglia di Trecastagni (TCF in Fig. 19) che dovrebbero pertanto avere un ruolo più rilevante.

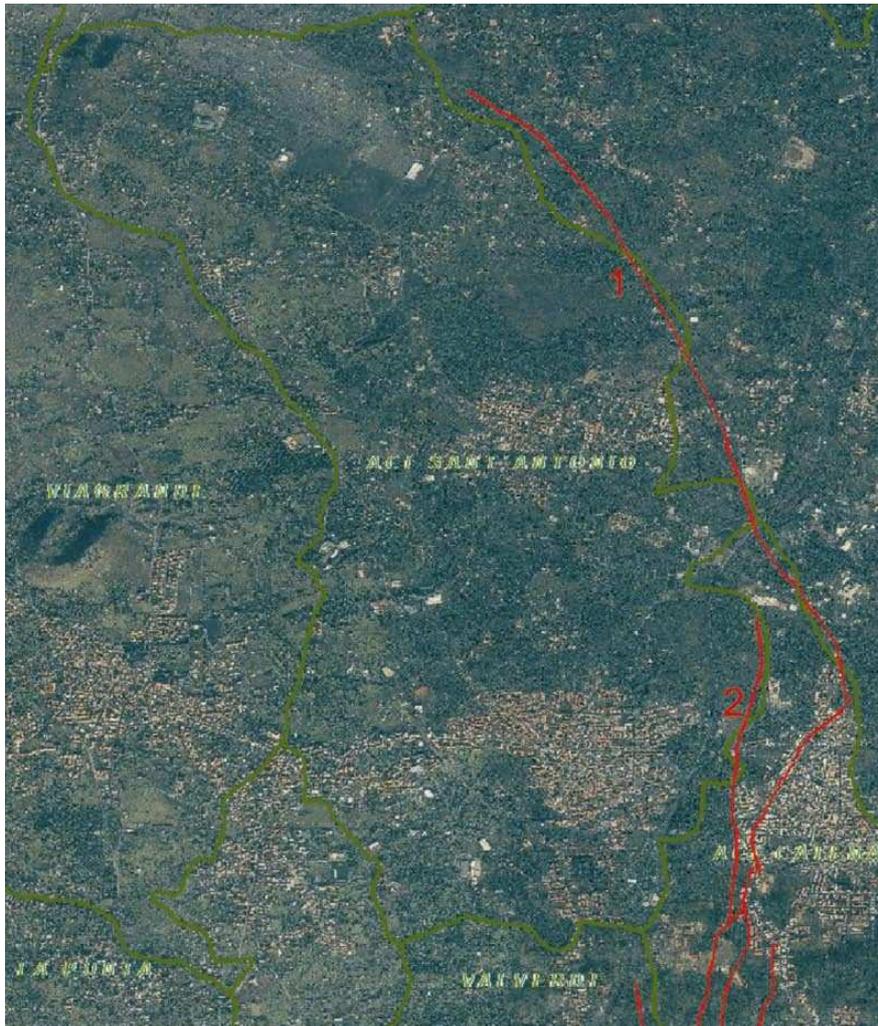


Fig. 20 – Faglie attive che ricadono nel comune di Acì Sant'Antonio, segnalate nel database Ithaca (http://193.206.192.227/wms_dir/Catalogo_delle_Faglie_Capaci_ITHACA.html#)

La limitatezza della serie temporale delle misure geodetiche rende scarsamente significativa questa gerarchia delle strutture, che andrebbe invece valutata sulla base della lunghezza e dei tassi di movimento di lungo periodo delle strutture.

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77

1) PHYSICAL AND GEOLOGICAL ATTRIBUTES

GEOLOGIC SETTING	This fault is located in the southeastern sector of the Mt. Etna volcano, the largest active strato volcano in Sicily.		
SYNOPSIS	The Fiandaca fault is a volcano-tectonic structure and shows recent activity, revealed by ground effects collected during field surveys. The fault is characterized by coseismic ruptures.		
FAULT NAME	Fiandaca		
FAULT CODE	12500		
MACROZONE	7		
REGION NAME	Sicilia		
SYSTEM NAME	Fiandaca		
RANK	PRIMARY		
AVERAGE STRIKE	340		
DIP	90		
LENGTH (Km)	4.9		
GEOMETRY			
SEGMENTATION			
DEPTH (Km)	5		
LOCATION RELIABILITY (MAPPING SCALE)	1:10000		
LAST ACTIVITY	Historical (<3,000)		
ACTIVITY RELIABILITY	High reliability		
RECURRENCE INTERVAL (yr)	18		
SLIP-RATE (mm/vr)	2		
MAX CREDIBLE RUPTURE LENGTH	4.5		
MAX CREDIBLE SLIP (m)	2		
KNOWN SEISMIC EVENTS	Date I (MSK) 1875/01/07 VII 1894/08/08 VII-VIII 1907/12/07 VII 1914/05/07 V-VI 1931/08/03 VII 1984/06/17 V 1984/06/19 VI-VII 1984/10/25 VIII 1997/11/11 VI		
MAX CREDIBLE MAGNITUDE (Mw)	5.23		
MAX CREDIBLE INTENSITY (INQUA scale)	VIII		
STUDY QUALITY	HIGH		
NOTES	Mw by INGV - CATALOGO PARAMETRICO DEI TERREMOTI ITALIANI vers.2 Inserire altra biblio da revisione Bella		

REFERENCES

FAULT CODE	AUTHORS	TITLE	REFERENCES	YEAR
12500	AZZARO R.	Earthquake surface faulting at Mount Etna volcano (Sicily) and implications for active tectonics.	J. Geodynamics, 28, 193-213.	1999
12500	PLATANIA G.	Il terremoto del 7 dicembre 1907	Rendiconti e mem. Regia Accademia Zelanti di Acireale. 3, 6, 13-20	1907
12500	PLATANIA G.	Sul periodo sismico del maggio 1914 nella regione orientale dell'Etna	Tip. Orario delle Ferrovie - Pubblicazioni dell'Ist. Geograf. Fisica e Vulc. - Univ. di Catania	1915
12500	LO GIUDICE E.	Particolari aspetti del rischio sismico nell'area Etna.	Istituto Internazionale di Vulcanologia, Pubblicazione n. 281, 1988, 59-85.	1988
12500	G. PATANE' & S. IMPOSA	Atlas of isoseismal maps of etnean earthquakes from 1971 to 1991	CNR- GNGTS - Università degli Studi di Catania	1995

Fig. 21 – Parametri geologici e fisici della Faglia Fiandaca segnalati nel database Ithaca
http://193.206.192.227/wms_dir/Catalogo_delle_Faglie_Capaci_ITHACA.html#

Nel catalogo delle Faglie Capaci Ithaca (Fig. 20) sia la Faglia di Fiandaca (1 in Fig. 20) che quella di Acicatena (Faglia Acicatena 04; 2 in Fig. 20) sono indicate come potenziali sorgenti sismogeniche. Il catalogo associa alla Faglia di Fiandaca, caratterizzata da rotture al suolo cosismiche, 9 eventi sismici, a partire dal 1875, con intensità massima $I(\text{MSK})=\text{VIII}$, accreditando un potenziale sismogenico capace di produrre eventi di magnitudo momento massima $M_w=5.2$ (Fig. 21). Al contrario, per la Faglia Acicatena 04 (Fig. 22) sono segnalati esclusivamente movimenti per *creep*-asismico, anche se viene ipotizzata anche un'attività storica della faglia. Va rilevato comunque che la Faglia Acicatena 04 rappresenterebbe un segmento subordinato connesso al più ampio sistema di faglie di Acicatena, che si sviluppa più a sud bordando tutta la scarpata che separa l'altopiano di Aci Sant'Antonio, Valverde e San Gregorio di Catania, dalle aree costiere tra Acireale e Aci Castello. Alla base della scarpata principale è segnalata la presenza di due segmenti en-echelon, Acicatena_01 e Nizzeti_01 (ACI CAT1 e N1 in Fig. 22), che formano un lineamento di lunghezza complessiva di 3.1 km, corrispondente alla Faglia di Nizzeti di Monaco et al. (1997) o Faglia di Acicatena (Rasà et al., 1996; Azzaro et al., 2012). La faglia, intesa come insieme dei vari segmenti che la compongono, è accreditata di un tasso di movimento di circa 2.1 mm/a che si manifesta sia sotto forma di *creep*-asismico che di rotture cosismiche, anche se nessun evento sismico storico è stato direttamente associato alla struttura, né è stata stimata la magnitudo o l'intensità massima derivante da una rimobilizzazione della struttura.

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77

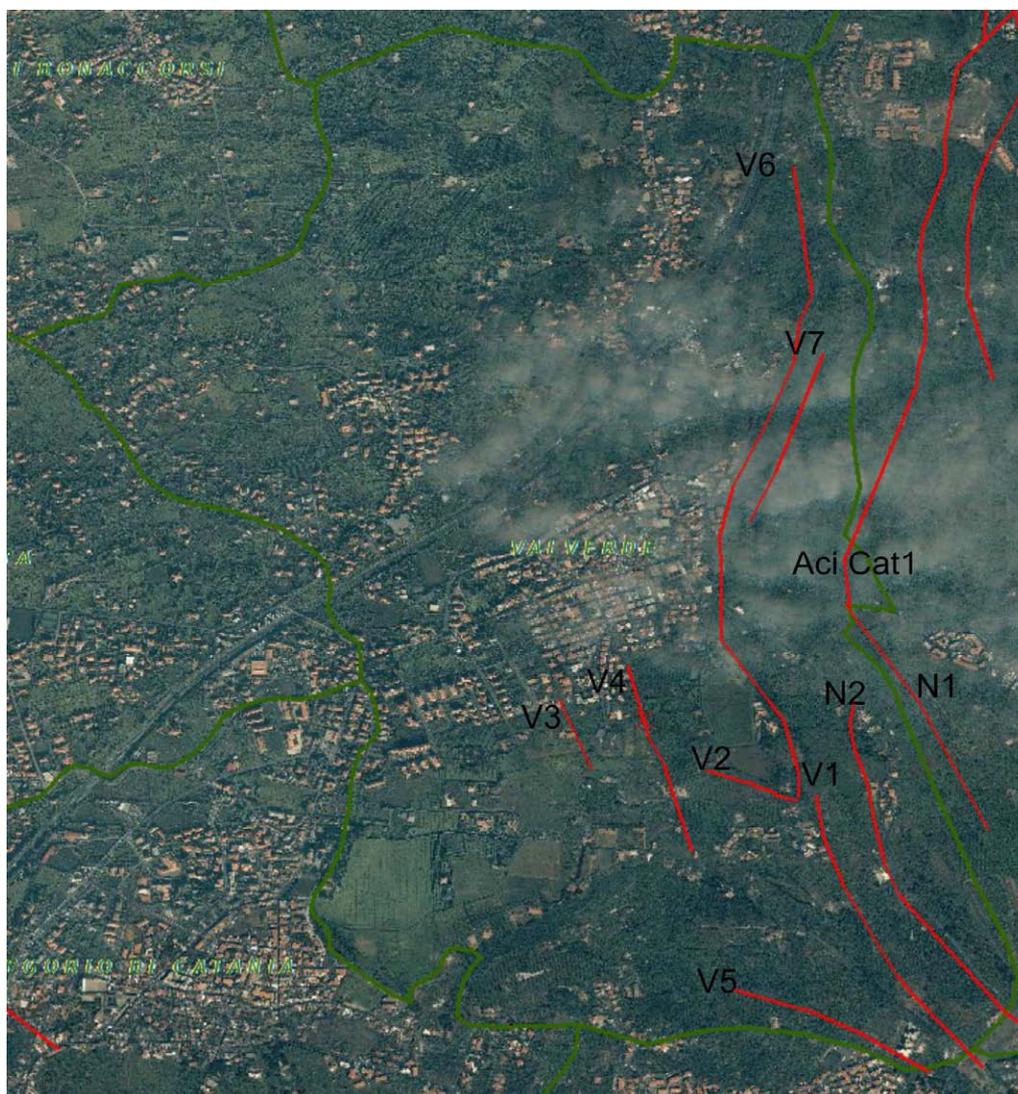


Fig. 22 - Distribuzione dei segmenti di faglia lungo nel territorio comunale di Valverde
(http://193.206.192.227/wms_dir/Catalogo_delle_Faglie_Capaci_ITHACA.html#)

I parametri e le relazioni con la sismicità del segmento di faglia indicato nel catalogo come Faglia Acicatena 04 sono sintetizzati nella tabella di figura 23.

2) PHYSICAL AND GEOLOGICAL ATTRIBUTES

GEOLOGIC SETTING	This fault is one of the most outstanding tectonic feature in the Mt. Etna volcano south-eastern flank.
SYNOPSIS	The Acicatena_04 is a subordinate fault linked to the Acicatena fault system that shows recent extensional kinematics and activity as revealed by geomorphological data. The fault is characterized by aseismic creep.
FAULT NAME	Acicatena 04
FAULT CODE	11404
MACROZONE	7
REGION NAME	Sicilia
SYSTEM NAME	Acicatena
RANK	SUBORDINATE
AVERAGE STRIKE	5
DIP	90
LENGTH (Km)	2.2
GEOMETRY	
SEGMENTATION	no
DEPTH (Km)	
LOCATION RELIABILITY (MAPPING SCALE)	1:10000
LAST ACTIVITY	Historical (<3,000)
ACTIVITY RELIABILITY	High reliability
RECURRENCE INTERVAL (vr)	
SLIP-RATE (mm/vr)	
MAX CREDIBLE RUPTURE LENGTH	
MAX CREDIBLE SLIP (m)	
KNOWN SEISMIC EVENTS	
MAX CREDIBLE MAGNITUDE (Mw)	
MAX CREDIBLE INTENSITY (INQUA scale)	
STUDY QUALITY	FAIR
NOTES	inserire in biblio RT APAT a seguito di revisione Bella

REFERENCES

FAULT CODE	AUTHORS	TITLE	REFERENCES	YEAR
11404	AZZARO R.	Seismicity and active tectonics in the Etna region: constraints for a sesmotectonic model.	Mt. Etna: Volcano Laboratory. Geophysical Monograph Series, 143. American Geophysical Union. 10.1029/143GM13, 205-220.	2004
11404	MONACO C., PETRONIO L. & ROMANELLI M.	Tettonica estensionale nel settore orientale del Monte Etna (Sicilia): dati morfotettonici e sismici.	Studi Geologici Camerti, 1995/2, 363-374.	1995

Fig. 23 – Parametri geologici e fisici della Faglia Acicatena 04 segnalati nel database Ithaca
http://193.206.192.227/wms_dir/Catalogo_delle_Faglie_Capaci_ITHACA.html#

Un quadro sismotettonico molto differente è offerto dal catalogo delle sorgenti sismogeniche DISS (Database of Individual Seismogenic Sources) Version 3.1.1 (DISS Working Group 2010), che riporta una sorgente sismogenica (ITIS106 – Gravina di Catania) connessa ad una struttura contrazionale collegata alle aree frontali dell'orogene

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 siciliano, la cui proiezione in superficie lambisce il limite sud-occidentale del territorio comunale (Fig. 24).



Fig. 24 - Ubicazione delle sorgenti sismogeniche ITIS106 - Gravina di Catania e ITDS011 - Western Ionian rispetto all'area di studio di Aci Sant'Antonio (in rosso) (DISS Working Group 2010, mod.).

I parametri geometrici e cinematici, significativi per valutare il potenziale della sorgente sono riportati nella scheda di figura 25, dalla quale si evince che la struttura è associata ad una delle scosse del terremoto del 11 gennaio 1693, che rappresenta l'evento storico che ha fatto registrare le intensità massime ($I_{(MCS)} = X-XI$) nel territorio di Aci Sant'Antonio.

Nello stesso database, è riportata la presenza di una sorgente sismogenica, classificata come dibattuta e catalogata con il nome ITDS011 - Western Ionian (Fig. 24), in quanto segnalata nella Letteratura geologica (Bianca et al., 1999; Monaco & Tortorici,

2000; Catalano et al., 2008) quale sorgente della scossa principale del terremoto del 1693, in alternativa a quella accreditata nel database.

DISS 3.1.1: Seismogenic Source ITIS106 - Gravina di Catania	
Source Info Summary	Commentary
References	Pictures
General information	
Code	ITIS106
Name	Gravina di Catania
Compiled By	Burrato, P., P. Vannoli and G. Valensise
Latest Update	19/09/2007
Parametric information	
Parameter	Qual. Evidence
Location (Lat/Lon)	37.5395 / 15.0681 OD Inferred from macroseismic and geological data.
Length (km)	9 OD Derived from geological and geomorphological observations.
Width (km)	5.9 OD Derived from geological and geomorphological observations.
Min Depth (km)	4 OD Derived from geological and geomorphological observations.
Max Depth (km)	7 OD Derived from geological and geomorphological observations.
Strike (deg)	246 OD Derived from geological and geomorphological observations.
Dip (deg)	30 OD Derived from geological and geomorphological observations.
Rake (deg)	90 OD Based on geodynamic considerations.
Slip Per Event (m)	0.8 ER Calculated from Mo using the relationship from Hanks and Kanamori (1979).
Slip Rate (mm/y)	0.1 - 0.5 EJ Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
Recurrence (y)	1600 - 8000 EJ Inferred from slip rate and average displacement.
Magnitude (Mw)	6 EJ Value inferred from elaboration of the macroseismic data.
Q-keys:	LD = Literature Data; OD = Original Data; ER = Empirical Relationship; AR = Analytical Relationship; EJ = Expert Judgement
Associated earthquake	
Latest Eq	11 Jan 1693 (2/2) One of two mainshocks on the same day.
Penultimate Eq	Unknown See "Commentary" for information.
Elapsed Time	307 As of year 2000 (assigned datum).

Fig. 25 - Scheda classificativa della sorgente sismogenica ITIS106 - Gravina di Catania del Diss 3.1.1 (DISS Working Group 2010, mod.).

Il dibattito ancora aperto sulla reale distribuzione delle sorgenti sismogeniche nella regione, tra l'altro a più elevata pericolosità di base a livello nazionale, è in gran parte basato sui dati di sismicità storica. Al di là delle considerazioni di carattere macrosismico che hanno indirizzato le differenti interpretazioni, queste implicano una diversa definizione della relazione tra deformazione cosismica e sollevamento tettonico dell'area. L'accreditamento di sorgenti a terra, presuppone la considerazione che la deformazione cosismica abbia prodotto solo modificazioni locali, in un contesto di un processo di sollevamento regionale, indipendente dal movimento lungo le strutture e legato a processi dinamici a larga scala (Valensise & Pantosti, 1992). Tale interpretazione implica, inoltre, un drastico ridimensionamento dei parametri di faglia, primo fra tutti la velocità



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 di deformazione, con una rivalutazione al ribasso della magnitudo attesa (DISS Working Group 2010), che comunque non si traduce necessariamente in una diminuzione della pericolosità di base, vista la vicinanza delle strutture ai centri abitati che in parte ricadono al tetto delle strutture attive, nelle prevedibili aree epicentrali di potenziali eventi sismici futuri. Al contrario, l'ipotesi alternativa delle sorgenti a mare associa gran parte dei tassi di sollevamento registrati a terra alle deformazioni (co-sismica e post-sismica) lungo le faglie attive. Ne consegue una quantificazione di elevati tassi di movimento lungo le strutture che, rapportati alla frequenza degli eventi storici, implicano rigetti cosismici connessi a terremoti di più elevata magnitudo (Bianca et al., 1999). In questo caso, gli effetti a terra sarebbero parzialmente mitigati dalla maggiore distanza delle sorgenti dai centri abitati, che comunque sarebbero ubicati al letto delle strutture, al di fuori delle potenziali aree epicentrali di eventi futuri. La seconda tesi, ancora non pienamente accreditata nel database delle sorgenti, sembra avere un riscontro oggettivo nelle variazioni del tasso di sollevamento misurato che aumenta repentinamente dalla Piana di Catania verso la costa (Catalano et al., 2004), risultando massima nell'area costiera della Sicilia orientale, tra Catania e Acireale (Firth et al., 1996). Tale comportamento suggerirebbe la presenza di una componente aggiuntiva del sollevamento nell'immediato off-shore dell'area, compatibile con un'origine dai movimenti lungo le linee di faglia sommerse.

Un aspetto di primaria importanza ai fini delle considerazioni sulla pericolosità delle faglie ubicate nel territorio tra Aci Sant'Antonio e Valverde riguarda la loro possibile connessione geometrica e cinematica con le faglie del Rift Siculo-Calabro, già ipotizzata in Monaco et al. (1997) e successivamente ripresa da Bianca et al. (1999), Monaco &

Tortorici (2000) e Catalano et al. (2008)(Fig. 26). Secondo questi Autori, il fascio di faglie che termina nel territorio comunale di Aci Sant’Antonio costituirebbe parte dello stesso sistema cui è attribuibile la sorgente dibattuta ITDS011 – Western Ionian. Va comunque sottolineato che le faglie nei dintorni di Aci Sant’Antonio (es. Faglia di Acicatena e/o Faglia di Nizzeti) riconducibili in profondità ad una unica struttura crustale, presentano lunghezze limitate che presuppongono, anche in caso di riattivazioni co-sismiche, una loro potenzialità in termini di magnitudo degli eventi associati non particolarmente elevata, anche se la prossimità della sorgente all’abitato dovrebbe indurre a porre tra le priorità assolute la necessità di condurre ulteriori approfondimenti per aggiornare i cataloghi e definire meglio la reale pericolosità delle strutture.

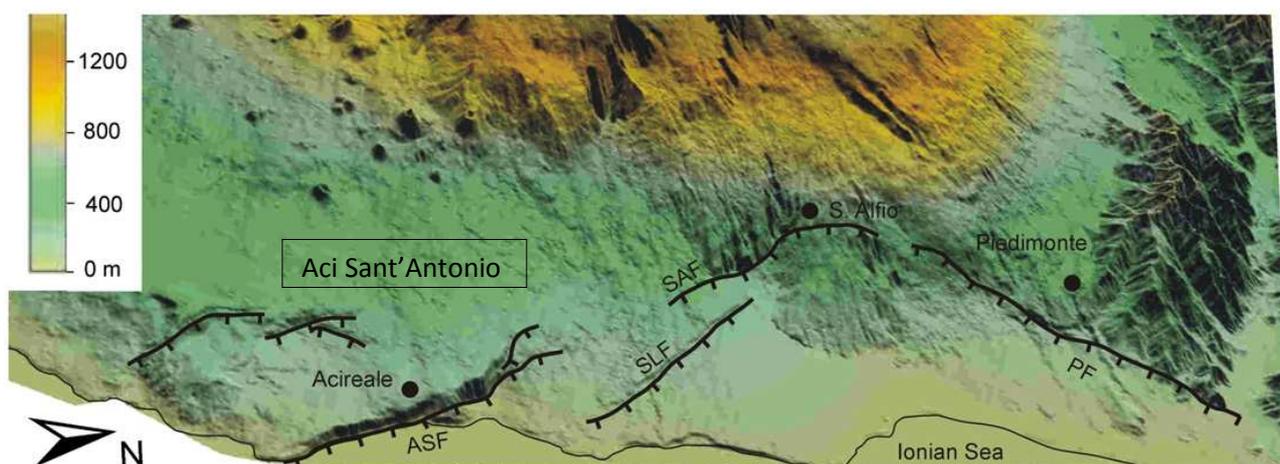


Fig. 26 - Geometria delle faglie del ramo etneo del Rift Siculo-Calabro (da Catalano et al., 2008, mod.)

La successione geolitologica affiorante nel territorio comunale di Aci Sant’Antonio è stata ricostruita adottando come riferimento lo schema stratigrafico contenuto nella carta di sintesi proposta da Branca et al. (2011) (Fig. 27), dalla quale è possibile identificare la posizione e l’età delle unità vulcaniche fondamentali che costituiscono il sottosuolo dell’abitato di Aci Sant’Antonio.

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77

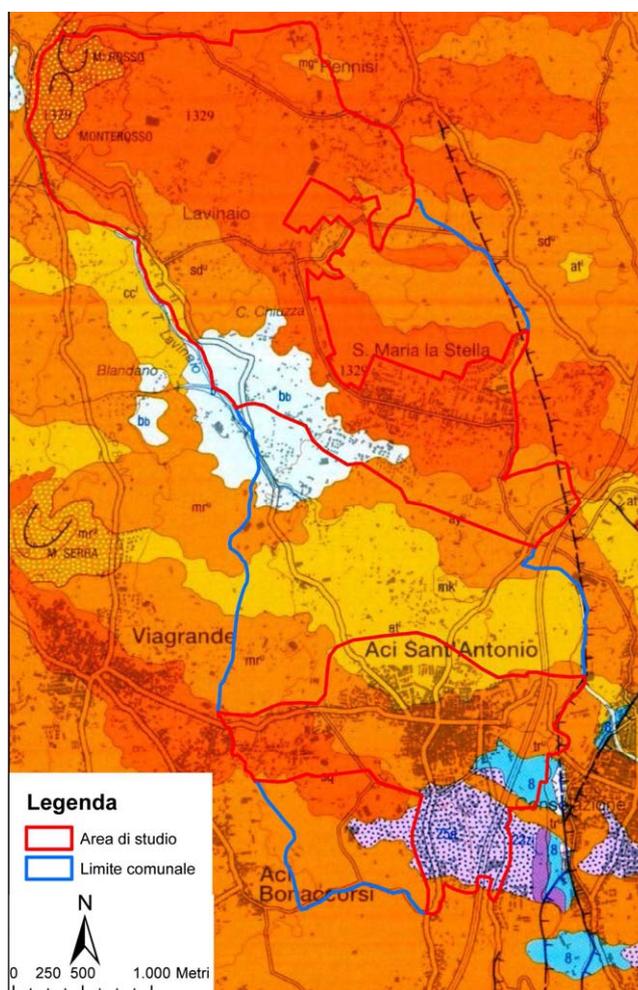


Fig. 27 – Stralcio della Carta Geologica del Vulcano Etna (Branca et al., 2011)

Secondo la carta più aggiornata, la successione esposta lungo la scarpata della Faglia di Acicatena, estendendosi anche nel sottosuolo del centro storico (zona 2 della cartografia allegata), è costituita non solo da lave antiche, assegnate alla Formazione Valverde (8 in Fig. 27) di età compresa tra 120 e 110 ka, corrispondente alle lave dei Centri Alcalini Antichi di AA.VV. (1979), ma comprenderebbe anche prodotti riferiti alle fasi eruttive del Vulcano Ellittico (40–30 ka; corrispondente al Mongibello Antico di Gillot et al., 1994), rappresentati dalla colata lavica di Consolazione (22 zi in Fig. 27), affiorante



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77

La stessa carta mette in luce alcuni aspetti che contrastano con l'interpretazione proposta. In particolare, le piroclastiti affioranti nell'area meridionale del territorio comunale mostrano, in aree periferiche del vulcano, uno spessore maggiore (> 15 m) rispetto a quello massimo calcolato per il deposito nelle aree sommitali e, a dispetto della loro prevedibile continuità laterale, chiudono repentinamente verso nord, dove le colate degli ultimi 15 ka (**mr^u** e **tr^u** in Fig. 27) poggiano direttamente sui prodotti antichi (**8** in Fig. 27; >110 ka). Gli studi geologici allegati al P.R.G. ricollegano le piroclastiti affioranti nel settore meridionale del territorio comunale (zona 2 della cartografia allegata) alla presenza di un cono piroclastico, localizzato in corrispondenza di Villa Casalotto (Fig. 28), che meglio spiegherebbe lo spessore elevato dei depositi e la loro repentina chiusura laterale. Alla luce di questa evidenza di terreno, rimane da chiarire la reale età dei diversi orizzonti. Se confermata l'età di 30–40 ka delle lave, riportata da Branca et al. (2011), le piroclastiti dovrebbero risalire almeno alle prime fasi del Vulcano Ellittico. Al contrario, la conferma di un'età olocenica, segnalata da AA.VV. (1979), sarebbe compatibile con l'assegnazione delle piroclastiti alle fasi di chiusura del Vulcano Ellittico. In termini di ricostruzioni del sottosuolo, questa seconda ipotesi comporterebbe, in gran parte dell'area, la presenza, tra i prodotti lavici recenti superficiali e le lave antiche (>110 ka), di un orizzonte piroclastico di spessore inferiore ai 10 m; nel caso dell'ipotesi alternativa, le piroclastiti potrebbero essere circoscritte, come ipotizzato anche negli studi allegati al P.R.G., non costituendo necessariamente un orizzonte guida continuo in profondità. In mancanza di dati di sottosuolo a supporto dell'una o dell'altra ipotesi, la geometria e l'estensione areale dei depositi vulcanoclastici rimane un aspetto da chiarire nelle successive fasi di approfondimento. Il livello di indeterminazione sulla geometria delle

piroclastiti si riflette anche nella definizione delle microzone omogenee, la cui distinzione è stata inevitabilmente basata sulla sola geometria dei prodotti recenti più superficiali, senza adottare come elemento discriminante la presenza o meno delle piroclastiti in profondità.

D'altra parte, Branca et al. (2011), in analogia con quanto già segnalato nella cartografia pre-esistente, segnalano che l'intera successione di lave etnee poggia sulla Formazione delle Argille grigio-azzurre del Pleistocene inferiore-medio (Qa in Fig. 29), esposta alla base della scarpata della Faglia di Acicatena, nella sua prosecuzione meridionale, lungo il confine tra i limitrofi comuni di Valverde e Aci Catena.

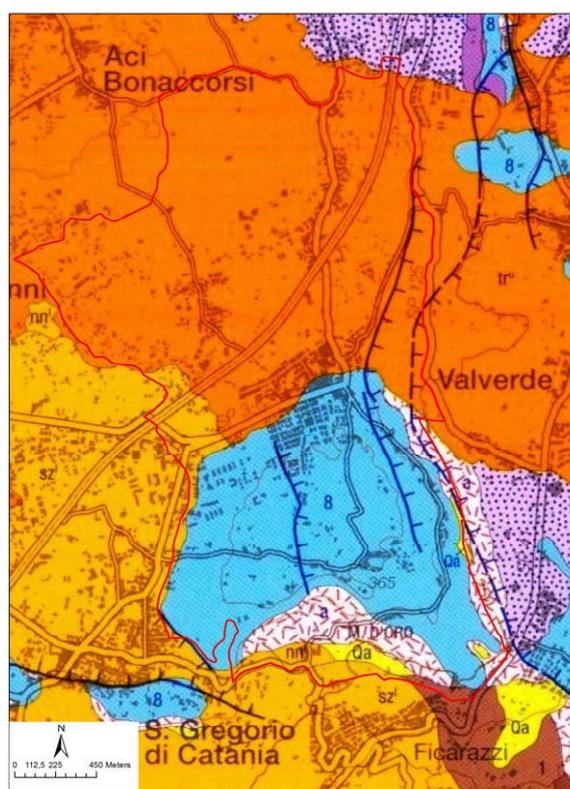


Fig. 29 – Stralcio della Carta Geologica del Vulcano Etna nell'area dell'abitato di Valverde (Branca et al., 2011).

La nuova carta di Branca et al. (2011) (Fig. 27) si discosta dalla carta geologica allegata al P.R.G. (Fig. 28) anche per quanto riguarda la delimitazione dei diversi flussi lavici relativi alle unità più recenti, che occupano tutto il settore analizzato più settentrionale (zona 1 della cartografia allegata). Queste colate, secondo lo schema stratigrafico proposto in Branca et al. (2011), si riferiscono alle diverse fasi eruttive degli



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77

ultimi 15 ka (Mongibello Recente di Gillot et al., 1994). L'incongruenza tra i dati pregressi ha richiesto una sostanziale revisione dei rilievi disponibili finalizzata alla redazione di una carta geologica di sintesi con la ricostruzione dettagliata della geometria dei campi lavici sovrapposti e dei rapporti tra le lave e gli altri depositi superficiali (alluvioni, orizzonti e coni piroclastici).

La nuova base geologica ottenuta è stata utilizzata per la stesura della carta geologico-tecnica, all'interno della quale le unità riconosciute sono state rappresentate seguendo gli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica-Versione 2.0beta-II", per quel che riguarda le tipologie già codificate, mentre si è fatto ricorso per la prima volta alle nuove suddivisioni dei terreni vulcanici, secondo una nuova codifica di campi concordata con il Dipartimento di Protezione Civile Nazionale e Regionale. Questa prevede l'attribuzione dei prodotti lavici alternativamente al substrato geologico, indicandoli come alternanza di strati, o alle coperture, catalogandoli in funzione della geometria e della giacitura in rapporto ai terreni sedimentari.

Substrato Geologico

Al substrato geologico sono stati assegnati gli orizzonti lavici antichi, corrispondenti alle lave dei Centri Alcalini Antichi (**Ita** in Fig. 10) o Formazione di Valverde (**8** in Fig.27), costituiti da una alternanza di orizzonti lavici massivi molto fratturati e di livelli piroclastici, a giacitura sub-orizzontale. Tali lave, seppure poggianti su una chiara superficie di erosione, sono state comprese, per la loro continuità laterale al tetto delle argille, nel substrato geologico e classificate quale alternanza di litotipi (**ALSF**). Nel corso degli studi di microzonazione sismica, in accordo con la cartografia geologica esistente, la continuità di questo orizzonte è stata verificata, almeno in senso N-S, in tutto il

sottosuolo della regione sud-orientale dell'Etna, compresa tra Aci Sant'Antonio e Catania, mentre è stata ipotizzata la sua presenza in sottosuolo, verso ovest, almeno fino alle aree di Trecastagni. Sulla base di queste considerazioni, le lave del substrato, affioranti nel settore sud-orientale dell'area, sono state rappresentate nei profili come un livello probabilmente continuo in tutto il sottosuolo del territorio comunale di Aci Sant'Antonio, in rapido approfondimento verso nord e ovest (Colate laviche di base dell'**Allegato 1**).

Terreni di copertura

Nel territorio di Aci Sant'Antonio sono state individuate 4 tipologie diverse di coperture, oltre ai riporti di natura antropica. I terreni di copertura sono in gran parte costituiti da colate laviche (**LC** nella carta geologico-tecnica) che sono state classificate secondo la codifica provvisoria di "lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate", le quali si differenziano da quelle del substrato per la loro estrema discontinuità laterale (v. **Allegato 1**). Esse formano campi lavici composti sovrapposti, ognuno dei quali caratterizzato da repentine variazioni laterali e verticali di facies, da lave massive a livelli scoriacei sciolti, che ricoprono superfici sub-pianeggianti modellate sulle colate laviche basali (**ALSF**) o, localmente, sui sovrastanti depositi vulcanoclastici (Depositati vulcanoclastici inferiori dell'**Allegato 1**), raffigurati a tratti nei profili. La presenza in sottosuolo delle vulcanoclastiti è, comunque, molto dubitativa e non è mai stata documentata da dati diretti, ma solo dedotta sulla base dell'interpretazione dell'origine dei prodotti. Associati alle lave di copertura sono stati riconosciuti depositi alluvionali sabbioso-ghiaioso-limosi che costituiscono una vasta conoide (**SMca** nella carta geologico-tecnica), frutto dello sbarramento del corso del Torrente Lavinaio da parte dei flussi lavici di età recenti, attribuiti da Branca et al. (2011) agli ultimi 4 ka. Lo spessore complessivo stimato del pacco di lave di copertura è generalmente superiore ai 50 m e tende ad aumentare da sud-est, dove affiora il substrato, verso nord ed ovest. All'interno del pacco di lave recenti sono stati riconosciuti e cartografati livelli di vulcanoclastiti (**SWsc**) che, nella zona 1 della cartografia allegata, formano orizzonti discontinui



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 intercalati alle colate laviche massive (v. profili A-A' e B-B' in **Allegato 1**), mentre nella zona 2 costituiscono i resti di un edificio piroclastico circondato da lave di età protostorica. Un orizzonte più recente di vulcanoclastiti (**GWsc** della carta geologico-tecnica; Depositi vulcanoclastici superiori dell'**Allegato 1**) costituisce un cono piroclastico, riferito all'attività del 1329 A.D. (Branca et al., 2011), ubicato nell'estremità nord-occidentale della zona 1 (Monte Rosso) e una serie di affioramenti, allungati secondo una fascia diretta verso SE, che ricoprono i campi lavici recenti a valle della bocca eruttiva. Depositi di smantellamento del cono eruttivo di Monte Rosso, accumulatisi alla base del versante settentrionale dell'edificio, sono stati indicati nella carta geologico-tecnica con la sigla **GWfd**.

Nel caso delle lave di copertura (LC), nella prospettiva della microzonazione di primo livello è necessario tenere conto anche dell'estrema variabilità laterale delle litofacies che compongono le diverse parti di una singola colata e di contemplare le diverse casistiche di giacitura delle successioni laviche in relazione all'articolazione del substrato sub-vulcanico. La cartografia pregressa da cui attingere le informazioni per la realizzazione degli studi di primo livello, a prescindere dalla scala di dettaglio, è stata basata su suddivisioni dei terreni lavici in unità litostratigrafiche che, fatta eccezione per le colate storiche per le quali sono stati tracciati i limiti, raggruppano più colate laviche senza fornire comunque alcun dettaglio sulla variabilità laterale e verticale dei prodotti. Si è reso dunque necessario procedere ad integrazioni dei rilievi con analisi mirate all'individuazione, laddove possibile, dei contorni delle singole colate e, all'interno di queste, dei singoli flussi lavici. Nella carta geologico-tecnica, sono stati ricostruiti, con un grado di affidabilità dipendente dalle effettive esposizioni in superficie, i limiti delle

single colate laviche, con l'indicazione dell'ordine di sovrapposizione. Nella lettura ed interpretazione della carta, va rilevato che sia i fianchi che il fronte delle colate sono discontinuità che possono costituire elementi di concentrazione dell'amplificazione sismica in quanto generalmente caratterizzati da una notevole quantità di materiale scoriaceo fittamente alternato a livelli di lave massive, in contrapposizione alle porzioni centrali di riempimento di canali, dove possono prevalere lave massive sormontate da uno spessore variabile di scorie (Fig. 30).

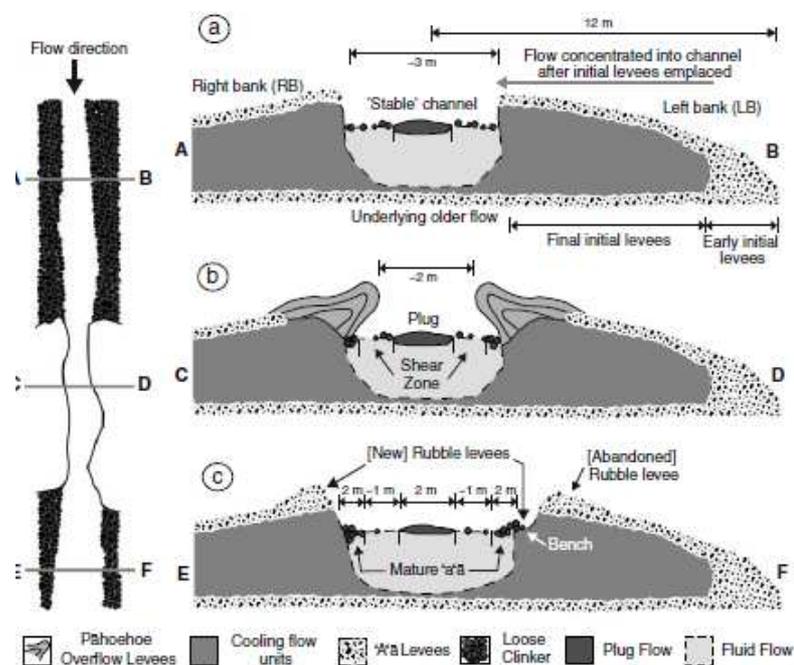


Fig. 30 - Profili di flusso attraverso colate laviche canalizzate nei suoi diversi settori (da Bailey et al. , 2006).

Infine, la carta geologico-tecnica riporta, come faglia presunta la traccia della Faglia di Fiandaca, così come segnalata da alcuni autori (Bonforte et al., 2011; Azzaro et al., 2012; Barreca et al., 2013), all'interno del territorio comunale di Aci Sant'Antonio, lungo il margine nord-orientale dell'area di studio 1. Va ricordato comunque che in tutti i documenti cartografici consultati e descritti in precedenza, la Faglia di Fiandaca o non è riportata o ricadrebbe al di fuori del territorio comunale. Pertanto permangono notevoli incertezze non solo sull'ubicazione, ma anche sul reale significato della struttura e sulla sua incidenza, come fascia soggetta a potenziali instabilità.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77

4. Dati geotecnici e geofisici

I dati geotecnici e geofisici disponibili per l'area di studio, derivano da n. 85 indagini complessive, di cui n. 15 indagini pregresse e n. 70 nuove indagini geofisiche HVSR, realizzate nel presente studio dall'Università di Catania. Le indagini, archiviate secondo gli "Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica - Versione 2.0beta-II", rappresentano esclusivamente indagini di tipo puntuale. L'insieme delle indagini puntuali (per l'ubicazione si veda la carta delle indagini) sono schematizzate per tipologia nella sottostante tabella 2:

Indagini Puntuali	Geologia (GG)		Geofisica (GF)		Geotecnica in sito (GS)	Geotecnica di laboratorio (GL)		Totale			
Totale Ind. Punt.	S	SC	HVSR	DH	SPT	SM	TD	GG	GF	GS	GL
85	5	2	70	1	4	2	1	7	71	4	3

Tab. 2 - Insieme delle indagini disponibili per il Comune di Aci Sant'Antonio. Le sigle si riferiscono al tipo d'indagine, secondo gli "Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica - Versione 2.0beta-II"

I dati pregressi, messi a disposizione dall'Amministrazione comunale, derivano da indagini realizzate per lo studio geologico a supporto del "Progetto per la costruzione della scuola media inferiore nella frazione di S. Maria la Stella nel comune di Aci S. Antonio", in C/da Barbagallo, in prossimità del limite nord-orientale dell'area di studio 1. Le indagini consistono in n. 5 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, con una profondità di investigazione che varia da 10 m (sondaggio 087005P3), a 15 m (sondaggi 087005P1, 087005P2 e 087005P4) fino ad un massimo di 30 m (sondaggio 087005P5). L'esecuzione di tali sondaggi geognostici è stata corredata da prove in sito, prelievo di campioni su cui sono state effettuate prove geotecniche di laboratorio e indagini geofisiche. In particolare, nel corso delle perforazioni relative alle indagini 087005P3 e

087005P4 sono stati raccolti n. 2 campioni, uno per ciascun sondaggio, in corrispondenza di litotipi incoerenti, in seguito sottoposti ad analisi geotecniche di laboratorio, quali analisi su campione. Una prova di taglio diretta è stata condotta, inoltre, sul solo campione prelevato durante la perforazione del sito 087005P4. Trattandosi di campioni di terreni incoerenti e prevalentemente sabbiosi, prelevati in aree limitrofe, le prove hanno fornito valori di peso di volume molto simili, che si attestano intorno ai 17 KN/m^3 (v. Tab. 1 dell'**Allegato 3**). Oltre al peso di volume sono anche disponibili dati relativi all'analisi granulometrica dei campioni, coesione e angolo di attrito interno. Si tratta di scorie laviche sciolte miste a sabbie vulcaniche con frequenti blocchi e ciottoli lavici, caratterizzate da c' pari a zero e $\phi'=47,2$.

I terreni oggetto di studio sono stati classificati utilizzando il sistema USCS (Tab. 3). Con alcune modifiche, tale classificazione è stata recepita negli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica–Versione 2.0beta–II", che prevede la suddivisione in cinque gruppi principali a loro volta suddivisi in sottogruppi in relazione ad alcune proprietà indice, tradotta in legenda della carta geologico–tecnica secondo la tabella 4.

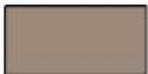
I terreni affioranti nell'area e riconosciuti nella stratigrafia dei sondaggi sono stati, quindi, raggruppati secondo le categorie previste dalla legenda. Per ogni categoria riconosciuta, si sono raccolte tutte le informazioni disponibili sui principali caratteri geotecnici che sono stati riassunti nella serie di schede riportate nell'**Allegato 3** alla presente relazione. Nelle schede, per ciascun campione è riportato il sondaggio contraddistinto dall' "identificativo indagine puntuale" (ID_INDPU), la profondità di prelievo e la litologia. Va inoltre ricordato che tra i dati acquisiti non sono presenti informazioni relative al substrato geologico rigido, affiorante nel settore meridionale dell'area di studio.

I dati geofisici disponibili derivano da un down-hole realizzato in corrispondenza del sondaggio 087005P5S12 in località S. Maria La Stella e da 70 indagini HVSR.

L'indagine down-hole messa a disposizione (profondità: 30 m - step tra misure consecutive: 1 m) ha permesso una valutazione delle velocità Vs nei litotipi attraversati dal sondaggio 087005P5S12 (v. Tab. 2 dell'**Allegato 3**) ed in particolare nel materiale di riporto e nelle colate laviche con le loro porzioni scoriacee. Le Vs misurate per i terreni di riporto non superano i 150 m/s e raggiungono valori massimi di circa 1100-1200 m/s in corrispondenza dei livelli di lave compatte e molto compatte. La presenza di livelli scoriacei intervallati alle colate laviche, interpretabili come scorie superficiali di colata lavica, viene evidenziata da valori di velocità Vs che si attestano mediamente a circa 570 m/s.

Gli altri dati, relativi al Modulo di Young (E), Modulo di taglio (G), Modulo di Poisson (CP) e Vp sono consultabili nella tabella 2 dell'**Allegato 3**.

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77

Terreni di copertura		
	RI	Terreni contenenti resti di attività antropica
	GW	Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie
	GP	Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia
	GM	Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo
	GC	Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla
	SW	Sabbie pulite e ben assortite, sabbie ghiaiose
	SP	Sabbie pulite con granulometria poco assortita
	SM	Sabbie limose, miscela di sabbia e limo
	SC	Sabbie argillose, miscela di sabbia e argilla
	OL	Limi organici, argille limose organiche di bassa plasticità
	OH	Argille organiche di media-alta plasticità, limi organici
	MH	Limi inorganici, sabbie fini, Limi micacei o diatomitici
	ML	Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità
	CL	Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre
	CH	Argille inorganiche di alta plasticità, argille grasse
	PT	Torbe ed altre terre fortemente organiche

Tab. 4 – Legenda della carta geologico–tecnica per la microzonazione sismica: terreni di copertura

Al fine di valutare le frequenze proprie di oscillazione dei diversi siti, l'Università di Catania ha effettuato n. 70 misure di microtremore ambientale (noise), distribuite sull'intero territorio comunale, i cui risultati sono sintetizzati nell'allegata carta delle frequenze, nella quale per ogni punto di misura sono riportate le frequenze alle quali il moto del terreno viene amplificato per risonanza stratigrafica e l'entità dell'amplificazione quantificata sulla base del rapporto H/V (rapporto tra le componenti spettrali orizzontali, H, e verticale, V, del moto del suolo). Per il dettaglio sulla tecnica

adottata si rimanda all'**Allegato 4** della presente relazione. I risultati ottenuti indicano che la maggior parte delle frequenze di risonanza ricadono all'interno di un range molto ristretto, compreso tra ~1 Hz e ~3 Hz e secondariamente tra ~3 Hz e ~7 Hz, con valori del rapporto H/V rappresentativi compresi tra 2 e 3 ed in misura minore tra 3 e 4. In alcuni casi, vengono segnalati due o tre picchi, alcuni dei quali abbracciano valori di frequenza più elevati. Tali picchi sono associati a frequenze proprie di oscillazioni differenti, riferibili a discontinuità stratigrafiche ubicate a profondità variabili da sito a sito. Le frequenze più basse di amplificazione sono probabilmente legate all'assetto geologico profondo dell'area in esame, viceversa le frequenze più alte possono essere ricondotte a disturbi superficiali quali la presenza di terreni detritici di copertura o depositi caotici di frana o di origine antropica. A titolo di esempio, si segnalano le indagini 087005P6, 087005P11, 087005P31, e 087005P68, che mostrano tre picchi; uno ad elevata frequenza (circa 14 e 19 Hz) e due a basse frequenze (comprese tra 1 e 5 Hz). I siti in cui ricadono queste misure sono, infatti, caratterizzati dalla presenza di coperture di diversa natura (vulcanoclastiti, depositi di conoide alluvionale e materiale detritico) che poggiano su successioni laviche di spessore indefinito appartenenti sia alle coperture che al substrato geologico.

5. Modello del sottosuolo

Il modello geologico di sottosuolo del territorio comunale di Aci Sant'Antonio, i cui dettagli sono stati già ampiamente descritti nei paragrafi precedenti, è desumibile dalla combinazione delle informazioni raccolte nelle aree settentrionali (zona 1 della cartografia allegata) e meridionali (zona 2 della cartografia allegata). Nella stesura del modello del sottosuolo adottato, i dati diretti di sottosuolo non hanno avuto alcun ruolo, per cui è necessario prevedere l'acquisizione di ulteriori nuove informazioni nella prospettiva di procedere alle fasi successive di approfondimento.

Nelle interpretazioni 3D è stato raggiunto un grado di attendibilità discreto, fondato essenzialmente sulla verifica dettagliata dei rilievi disponibili interpretati alla luce del



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77

contributo dell'enorme mole di conoscenze acquisite in tutta la regione limitrofa, e confermato dalla coerenza tra il dato geologico di superficie e le geometrie profonde riprodotte lungo le sezioni geologiche e dalla loro compatibilità con la storia evolutiva recente. Tuttavia, l'acquisizione di nuovi dati di sottosuolo potrà permettere, nel corso degli studi di livello superiore, un miglior vincolo sia dell'ubicazione dei diversi elementi geometrici in cui si articola il sottosuolo sia degli spessori dei diversi orizzonti riconosciuti, oggi valutati solo sulla base delle esposizioni delle successioni in superficie. Nuovi dati sarebbero, infine, decisivi per stabilire la reale distribuzione in sottosuolo dei depositi piroclastici ipotizzati tra le lave di substrato e quelle di copertura.

Il modello ricostruito è profondamente dominato, fino a profondità che possono superare i 50 m dalla superficie, da campi lavici contraddistinti da un'estrema eterogeneità, sia verticale che laterale, dei caratteri meccanici delle rocce, che fanno prevedere frequenti discontinuità delle velocità delle onde sismiche, anche con fenomeni di inversioni di velocità, da ipotizzare anche in livelli di sottosuolo molto prossimi alla superficie. In tutto il territorio comunale non è stato possibile definire la profondità del substrato rigido, con caratteri tipici di un bedrock sismico. Tale substrato probabilmente ricade all'interno della potente successione argillosa che costituisce il substrato sedimentario pre-vulcanico. Una stima della profondità del substrato argilloso può essere fatta considerando che lo spessore complessivo delle unità laviche assegnate al substrato, comprese tra la coltre superficiale delle lave di copertura ed il substrato sedimentario, è stato valutato intorno ai 200 m, nella aree dei comuni limitrofi di Valverde e di San Gregorio. Questo dato è in perfetto accordo con la ricostruzione del tetto del substrato sub-vulcanico riportato nella Carta Morfotettonica dell'Etna (Monaco

et al, 2008) (Fig. 31), che nelle zone di affioramento delle lave di substrato, all'estremità orientale della zona 2, segnalano la presenza in sottosuolo del contatto lave–basamento sedimentario ad una quota assoluta di 100 m s.l.m., equivalente ad una profondità di circa 190 m dal tetto delle sovrastanti lave di substrato.

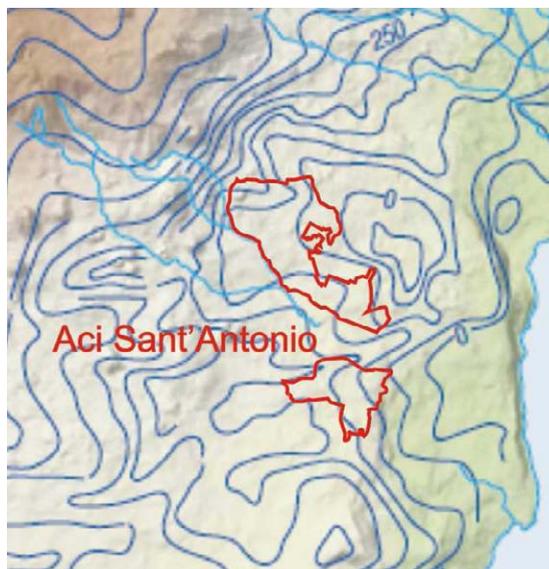


Fig. 31 – Stralcio della Carta delle isoipse del tetto del substrato sedimentario (da Carta Morfotettonica del Monte Etna; Monaco et al., 2008 mod).

In mancanza di misure dirette sulla velocità delle onde sismiche, facendo riferimento a dati raccolti nell'area di Catania, i valori di V_s ottenuti all'interno dei livelli più superficiali delle argille sono di circa 500–600 m/s, per cui il bedrock sismico va ricercato nei livelli più profondi della successione, in corrispondenza dei quali si raggiungono stabilmente velocità superiori agli 800 m/s.

Anche gli orizzonti lavici assegnati al substrato, seppure in mancanza di dati diretti misurati, in considerazione del loro stato di estrema fatturazione e della presenza di ripetute intercalazioni di livelli vulcanoclastici, sono probabilmente caratterizzati da velocità inferiori agli 800 m/s, in analogia a quanto misurato all'interno delle colate laviche di copertura. Ciò è confermato dalla misura di microtremore ambientale eseguita sulle lave di substrato che ha evidenziato effetti di amplificazione alle frequenze intorno ai 2 e ai 6 Hz. Sulla base di queste considerazioni, in mancanza di misure dirette della



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77
velocità delle onde di taglio che confermino il contrario, si è ritenuto opportuno non classificare le lave di substrato come substrato rigido con significato di “bedrock” sismico.

I livelli di copertura, costituiti da alternanze di orizzonti clastici e lave, sono contraddistinti da ripetute inversioni delle velocità delle onde sismiche. Tale prerogativa non rientra nei modelli correntemente applicati nella valutazione delle amplificazioni di tipo stratigrafico e pone molti interrogativi che andranno risolti nelle indagini di approfondimento successive. Va sottolineato che i dati raccolti in aree vulcaniche in occasione di precedenti studi di microzonazione (OPCM 3278/2003) nella zona del comune di Santa Venerina hanno evidenziato una estrema variabilità laterale e verticale delle Vs, con frequenti inversioni di velocità, con valori che oscillano dai 450 m/s ai 1150 m/s, in funzione del diverso rapporto tra prodotti scoriacei e lave massive. Anche quando le lave raggiungono valori elevati, comunque non possono essere trattate quale substrato rigido, in quanto poggianti su livelli a bassa velocità. Ciò è confermato dalle misure di microtremore ambientale effettuate su lave massive affioranti che hanno evidenziato effetti di amplificazione, più o meno marcati, distribuiti su più frequenze, generalmente inferiori a 7 Hz, variabili in funzione della distribuzione verticale delle diverse litofacies vulcaniche. Amplificazioni a frequenze più elevate si registrano in aree contraddistinte dalla presenza di una copertura detritica sulle lave. Appare evidente che nei successivi livelli di approfondimento sarà necessario interpretare il ruolo delle inversioni delle velocità nella selezione delle frequenze di oscillazione proprie dei siti e verificare quali sono gli elementi delle successioni laviche che invece determinano le differenti ampiezze di oscillazione.

6. Interpretazioni ed incertezze

Nel territorio comunale di Aci Sant'Antonio, i dati pregressi utilizzati si riferiscono a indagini effettuate in occasione della realizzazione della scuola media inferiore nella frazione di S. Maria La Stella e da alcuni elaborati cartografici che sono stati redatti a seguito dello studio geologico a supporto della revisione del Piano Regolatore Generale (P.R.G.). Di quest'ultimo non è stata fornita alcuna relazione e nessuna documentazione relativa all'esecuzione di indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche. Per quanto riguarda i dati disponibili, il modello geologico ricostruito per il territorio di Aci Sant'Antonio si è basato sulla consultazione e revisione dell'esiguo numero di documenti disponibili. Va ricordato che all'esiguità del numero delle indagini disponibili va aggiunta anche la scarsa copertura areale di queste per il territorio comunale in questione. Gli unici sondaggi e prove in sito e di laboratorio sono disponibili per un'area circoscritta della frazione di S. Maria La Stella di Aci Sant'Antonio (in C.da Barbagallo) e relativa al sito di realizzazione di un edificio scolastico pubblico, ubicati, tra l'altro, subito oltre il limite dell'area comunale da sottoporre allo studio di Microzonazione Sismica. Tali sondaggi, caratterizzati da profondità di 10, 15 e 30 m, sono assolutamente insufficienti allo scopo di definire le geometrie 3D dei corpi litologici sepolti sotto le lave recenti (v. Capitolo 5).

Il modello geologico ricostruito sulla base della profonda revisione e sostanziale reinterpretazione dei rilievi geologici allegati al P.R.G., vincolato tenendo conto delle conoscenze pregresse e delle nuove informazioni acquisite durante gli studi di microzonazione di tutta la regione limitrofa, va inteso come la migliore sintesi possibile, affidabile dal punto di vista dei rapporti giacitureali tra le diverse unità, che sono stati ritenuti significativi per la individuazione delle diverse tipologie di microzone omogenee. Come già segnalato in precedenza, va ribadito che, a causa della totale mancanza di informazioni, l'ubicazione dei limiti tra le diverse microzone non ha potuto tenere conto della più che probabile articolazione del substrato delle lave di copertura. Anche se queste ultime in molti casi superano i 50 m di spessore, le variazioni litologiche



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77

profonde, non contemplate per la differenziazione delle microzone omogenee, potrebbero comunque influenzare la risposta di sito, specialmente per quanto riguarda gli effetti di amplificazione a bassa frequenza. Ne consegue che l'acquisizione, nel corso degli studi di livello superiore, di nuovi dati di sottosuolo è assolutamente necessaria e dovrà supplire alla mancanza di informazioni dirette e indirette sul sottosuolo, con lo scopo di poter meglio stabilire la natura e la geometria degli orizzonti profondi, che sostituisca le ipotesi raffigurate nei profili geologici allegati, i quali allo stato attuale hanno il solo intento di proporre un possibile modello da confermare nei livelli di approfondimento successivi. Eventuali ulteriori suddivisioni delle microzone proposte potrebbero essere determinate dal riconoscimento univoco dell'estensione in sottosuolo dei corpi lenticolari vulcanoclastici che si interpongono all'interno delle successioni formate dalla sovrapposizione delle colate laviche. In questo caso, andrebbe valutato quali siano gli spessori minimi di vulcanoclastiti intercalate, in relazione alla loro profondità, necessarie a modificare realmente la risposta di sito, per definire, conseguentemente, la proiezione in superficie dei contorni delle diverse microzone omogenee da isolare.

Per archiviare le stratigrafie dei sondaggi secondo gli "Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica - Versione 2.0beta-II", si è scelto di reinterpretare i dati sulla base dei rilievi aerofotogrammetrici e, soprattutto, di campagna. Così, le scorie laviche attraversate in tutti i sondaggi a nostra disposizione (vedi **Allegato 2**) sono state catalogate con le sigle "SW" e "GM", e nella tabella "Parametri_Puntuali" del database di Access denominato "Cdl_tabelle" gli è stato assegnato un grado di attendibilità pari a "2",

ad eccezione di quei livelli da cui sono stati prelevati i campioni sottoposti ad analisi granulometrica, ai quali è stato assegnato il grado di attendibilità massima (“1”).

Per quanto riguarda la cartografia relativa al P.R.G. fornita dall’amministrazione comunale di Aci Sant’Antonio, va detto che, in generale, la mancanza di una relazione finale non permette di comprendere il criterio secondo il quale il territorio esaminato è stato suddiviso, delimitando aree con caratteristiche differenti. Non si riesce, inoltre, a evincere quali siano le eventuali fonti originarie da cui sono stati estrapolati i dati impiegati, la tipologia di indagini e rilievi di campagna che sono stati condotti al fine di caratterizzare le differenti aree distinte nelle varie carte tematiche fornite. Vanno annoverati, tra i vari esempi, il criterio di discriminazione e di delimitazione delle aree caratterizzate da differente impedenza sismica (ADC), le informazioni relative alle zone caratterizzate da fenomeni di soliflusso e ruscellamento diffuso della carta geomorfologica, oltre alla esiguità di dati forniti da questa carta tematica. Quest’ultima problematica si riscontra anche per quanto riguarda la carta idrogeologica allegata agli studi di revisione del P.R.G., per la quale si fa riferimento alle sole cartografie pubblicate da Ferrara nel 1975 e nel 1980 (Fig. 32).

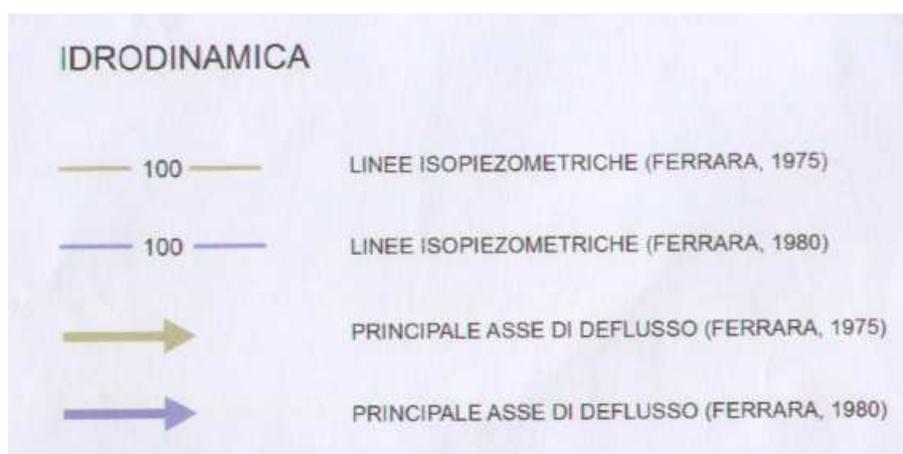


Fig. 32 – Stralcio della legenda della Carta idrogeologica in scala 1:10.000” allegata al P.R.G.

Tra i pochi dati provenienti da studi precedenti, particolare interesse è rivestito dal down-hole realizzato nel sondaggio 087005P5. Analizzando, infatti, le Vs medie nei diversi litotipi, appare evidente che la stratigrafia dei terreni vulcanici nei primi metri di



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77

profondità è caratterizzata da ripetute inversioni delle velocità delle onde sismiche. Questo fenomeno trova conferma nei dati raccolti in aree vulcaniche in occasione di precedenti studi di microzonazione (OPCM 3278/2003) nella zona del comune di Santa Venerina (v. Capitolo 5). Tale prerogativa non rientra nei modelli correntemente applicati nella valutazione delle amplificazioni di tipo stratigrafico e pone molti interrogativi che andranno risolti nelle indagini di approfondimento successive, che dovranno essere volte ad una accurata misura delle Vs nei diversi corpi geologici. Comunque, anche nel caso del down-hole in questione, oltre all'attendibilità del dato, posta uguale ad 1, si tratta di una indagine geofisica isolata che interessa un'area posta fuori dal territorio comunale oggetto di studio. Tale indagine, incapace da sola di caratterizzare sismicamente l'area di studio, è stata tenuta in considerazione a causa della sua vicinanza all'area di analisi e per la mancanza di qualsiasi altra tipologia di indagine all'interno di questa. Lo stesso discorso può essere affrontato per le prove SPT e le indagini di laboratorio.

Alla luce di quanto descritto sopra, la definizione dei caratteri geotecnici e della geometria del bedrock sismico, rimane uno degli obiettivi imprescindibili nelle successive fasi d'approfondimento, nel corso delle quali bisognerà analizzare meglio anche il materiale detritico, i prodotti vulcanoclastici e i depositi alluvionali. Risulterebbe di particolare interesse procedere anche ad una accurata definizione delle curve isopiezometriche della falda superficiale in tali terreni, al fine di poter individuare quelle aree potenzialmente soggette a fenomeni di liquefazione (v. Capitolo 7).

Un'altra incertezza è legata all'ubicazione dei segmenti di faglia attivi, segnalati in numerosi lavori scientifici, con geometrie spesso contrastanti. Le maggiori incertezze riguardano la ricostruzione della traccia della Faglia di Fiandaca, spesso non indicata

nella cartografia geologica, sulla quale esistono numerose divergenze per quanto attiene la sua ubicazione, la sua reale estensione ed il reale significato.

7. Metodologie di elaborazione e risultati

I dati di base e gli elaborati cartografici utilizzati (scala 1:10.000 – v. elenco in Capitolo 1), riguardano diversi aspetti dell'assetto geologico dell'area comunale (geologia, idrogeologia, geomorfologia e geotecnica). Tutte le carte tematiche sono state georeferenziate ed inserite in un progetto EsriArcGis, ottenendo così la visualizzazione e la sovrapposizione dei diversi elaborati garantendo la corrispondenza delle coordinate geografiche, della scala e quindi delle distanze. Come visto nei capitoli 4 e 6, nella stesura degli elaborati cartografici prodotti nel presente studio, il peso delle informazioni messe a disposizione dall'amministrazione comunale di Aci Sant'Antonio è risultato insufficiente. Per quanto riguarda, infatti, la mappatura dei terreni affioranti nell'area di studio la scarsità dei dati ha reso necessario effettuare accurate verifiche di terreno unitamente all'analisi di aerofotogrammetrie, con conseguente sostanziale revisione dei dati cartografici forniti. Grazie all'integrazione tra gli accurati rilievi di terreno e le osservazioni derivanti dall'analisi fotogrammetrica è stato possibile ricostruire la successione geolitologica dell'area di studio (v. Capitolo 3).

Una volta distinte le diverse unità geolitologiche affioranti e stabiliti i loro rapporti geometrici nel sottosuolo è stato possibile definire le zone stabili suscettibili di amplificazione locale, sulla base degli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica" (Gruppo di lavoro MS, 2008) e dei Contributi per l'aggiornamento degli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica" (Dolce et al, 2011). Dato il numero esiguo di indagini a nostra disposizione, un ruolo fondamentale per la determinazione di tali zone è stato svolto dalle sezioni geologiche a scala 1:5.000 (**Allegato 1**), dove si è cercato di evidenziare quegli elementi di non immediata lettura nella "Carta geologico tecnica" quali i rapporti geometrici tra i depositi vulcanoclastici e le colate laviche sia di copertura che del substrato. Per quanto riguarda l'amplificazione per effetti topografici e morfologici



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77

viene proposta una procedura che, a partire dal Modello Digitale del Terreno (DEM) e attraverso una serie di elaborazioni effettuate utilizzando software GIS, consente di identificare quei pendii caratterizzati da una inclinazione $> 15^\circ$ e da un dislivello superiore a circa 30 m. Il primo step di tale procedura consiste nell'elaborazione di una carta delle inclinazioni in cui vengono distinti due campi con inclinazione minore e maggiore di 15° (Fig. 33). Nel secondo step è stata costruita una carta dell'energia del rilievo, definita come il dislivello massimo (in metri) esistente in ciascuna superficie unitaria (Ciccacci et al., 1988) che nel caso specifico è un quadrato di 100 metri di lato (Fig. 34). Infine, combinando le due carte fin qui elaborate, è stata ottenuta la carta in cui sono evidenziati i pendii soggetti a potenziali fenomeni di amplificazione topografica (Fig. 35).

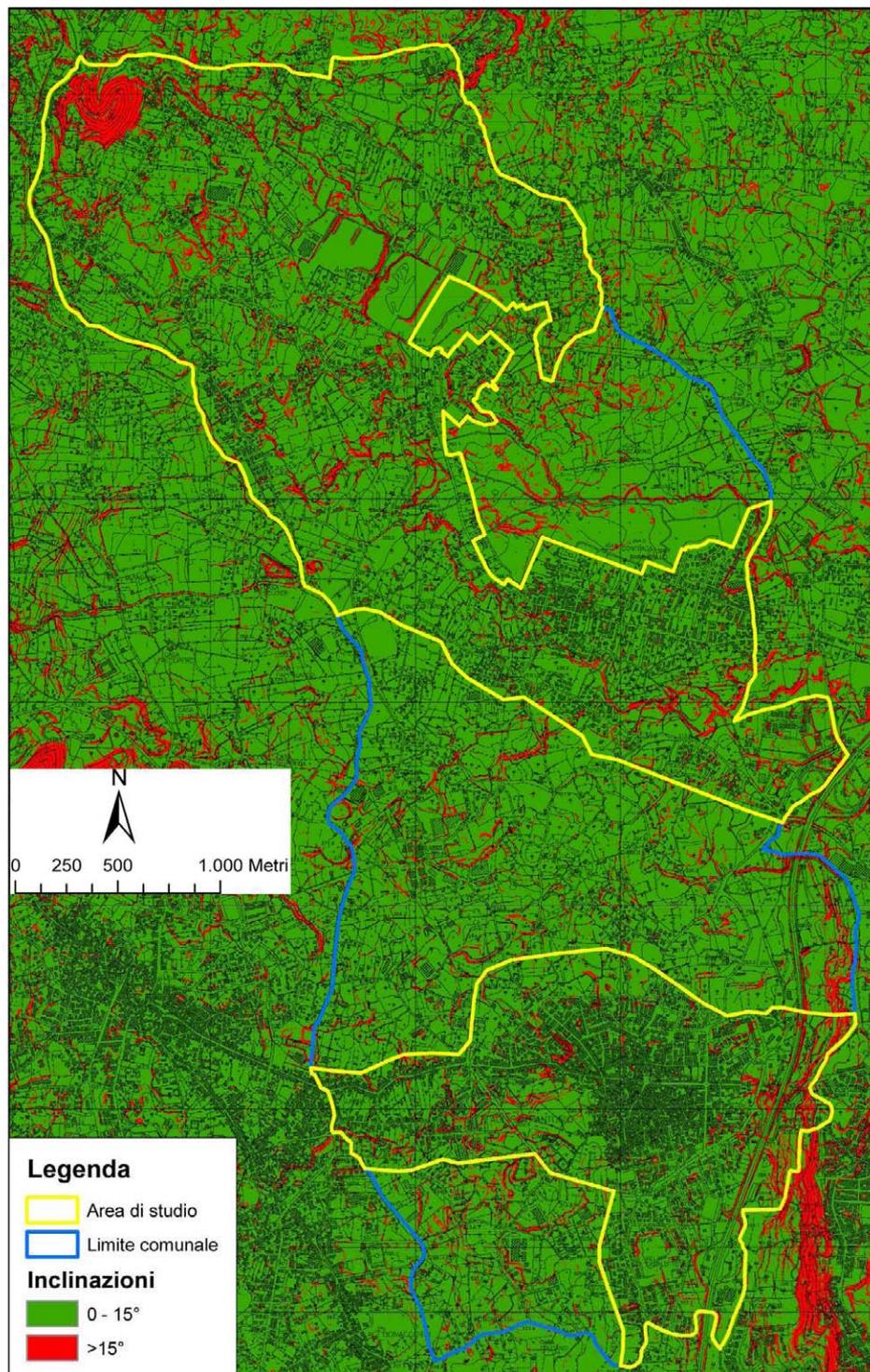


Fig. 33 - Carta delle inclinazioni dell'area di studio. Sono distinte inclinazioni $< 15^\circ$, in verde, e $> 15^\circ$, in rosso.

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77

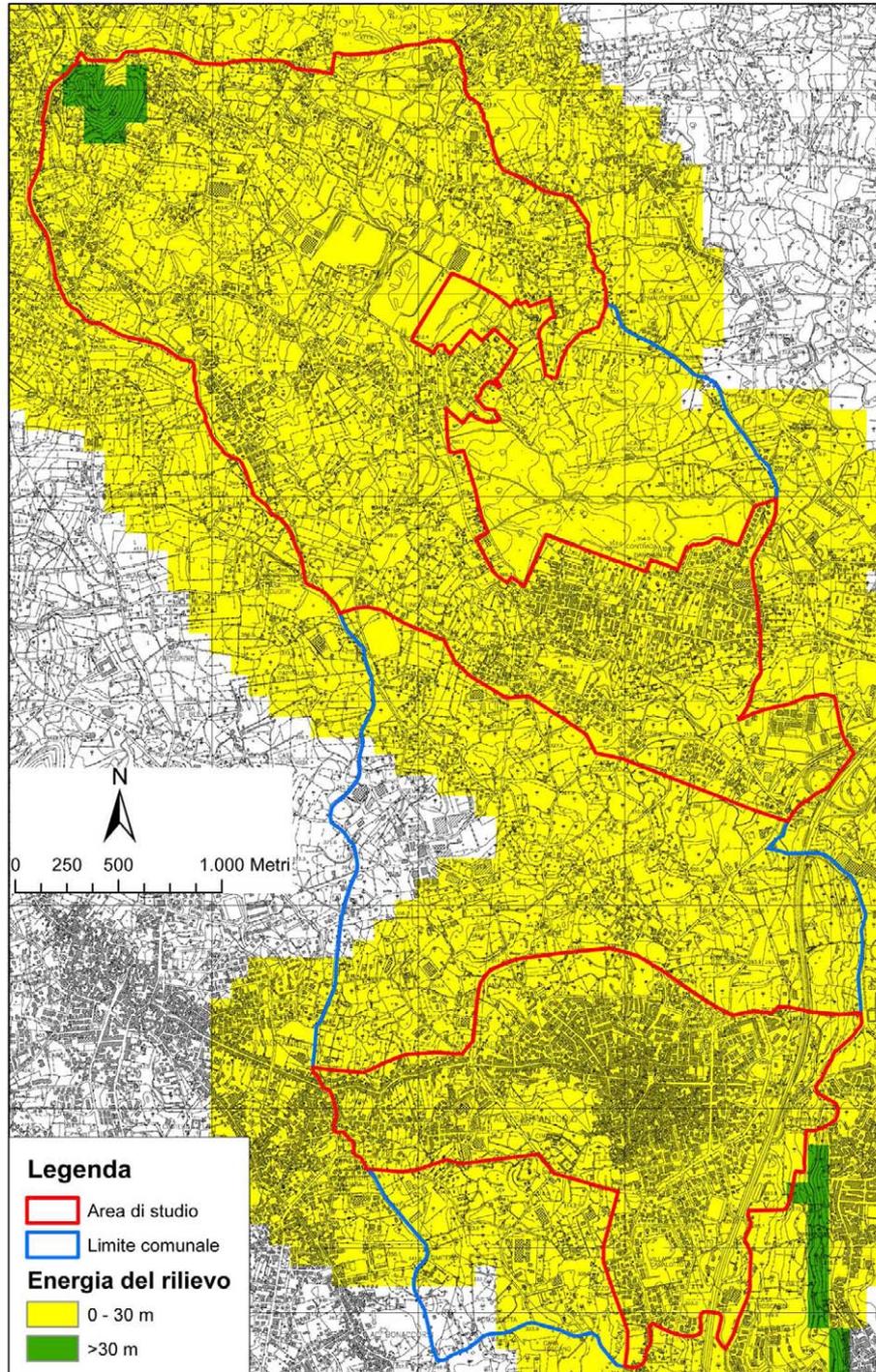


Fig. 34 – Carta dell'energia del rilievo dell'area di studio. Sono distinti dislivelli < 30 m, in giallo, e > 30 m, in verde.

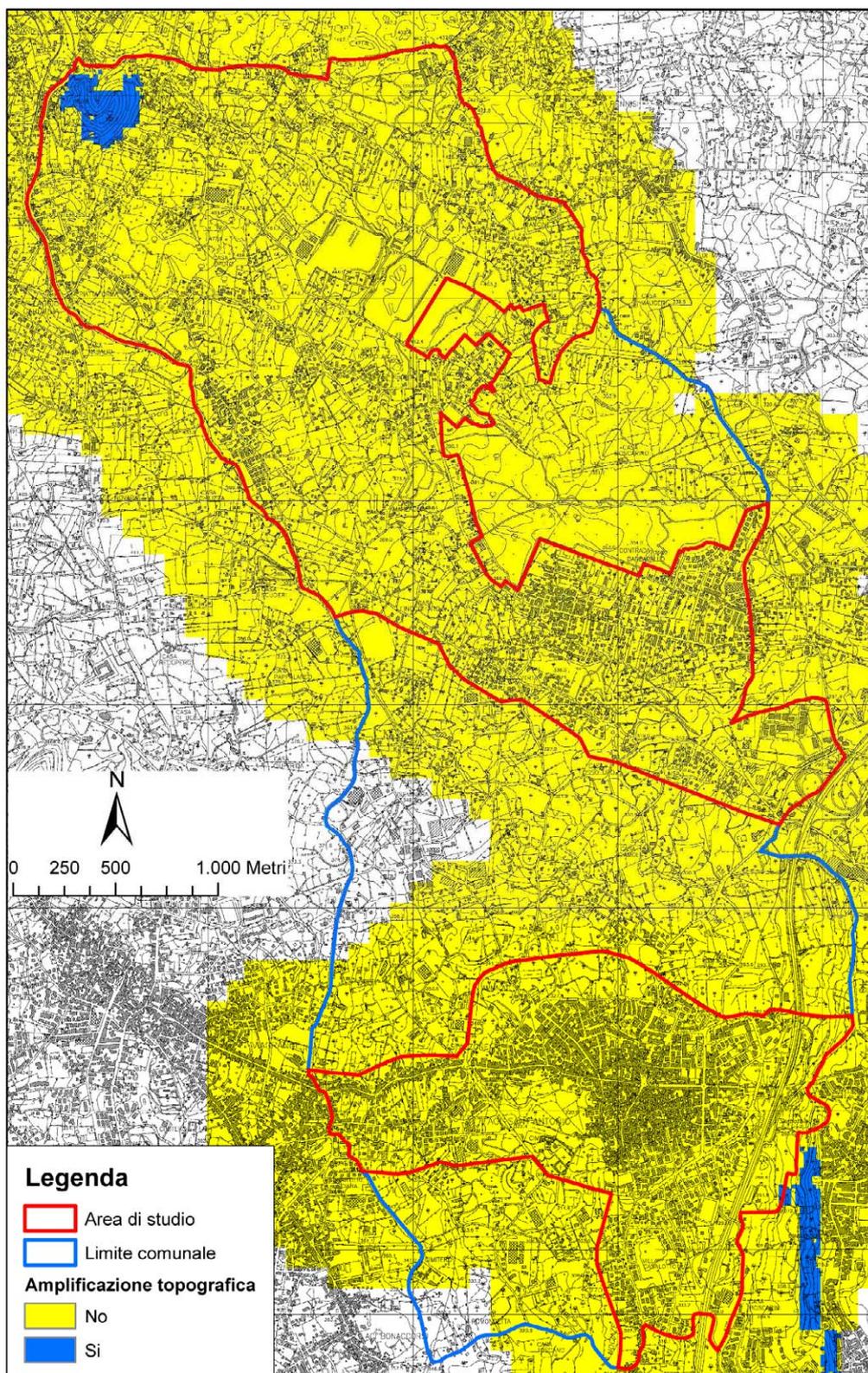


Fig. 35 - Carta dell'amplificazione topografica dell'area di studio. Le aree potenzialmente soggette ad amplificazione topografica sono evidenziate in blu.

Nel territorio comunale di Aci Sant'Antonio, tali pendii sono concentrati solamente in corrispondenza dei fianchi del conetto di scorie di Monterosso, ubicato nel settore



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 nord-occidentale del territorio comunale in questione. Quest'area è stata attraversata da una delle tre sezioni in scala 1:5.000 (**Allegato 5**), come richiesto negli “Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica” (Gruppo di lavoro MS, 2008).

Per quanto riguarda le instabilità manifeste e potenziali, si è fatto riferimento agli studi pregressi del PAI. Il comune di Aci Sant'Antonio ricade nell'“Area Territoriale tra i bacini del F. Alcantara e del F. Simeto – 095”. Sia nella “Carta dei dissesti” che nella “Carta della pericolosità e del rischio” del PAI non è stato censito alcun fenomeno franoso ricadente nell'area di studio. Ciò ha trovato riscontro anche negli studi geologici effettuati per il P.R.G. e nelle analisi morfologiche condotte nell'area tramite analisi di fotogrammetrie e verifiche di terreno, per cui non sono state cartografate instabilità di versante.

L'unica tipologia di instabilità è strettamente connessa alla presenza della Faglia di Fiandaca, che interessa il settore orientale dell'area di studio, con direzione NNO-SSE. A cavallo di questa faglia attiva e capace è stata segnalata la presenza di “Aree interessate da deformazioni dovute a faglie attive e capaci” (Tipo_i = 3060), rappresentata da una fascia ampia 50 metri.

Un discorso più articolato deve essere condotto riguardo il fenomeno della liquefazione. La definizione del glossario degli “Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica” (Gruppo di lavoro MS, 2008) recita: <<Fenomeno per cui, in conseguenza dell'applicazione di azioni dinamiche quali le azioni sismiche agenti in condizioni non drenate, un terreno perde la propria resistenza al taglio>>. Appare chiaro che il fattore scatenante del fenomeno è il verificarsi di un evento sismico ad una certa distanza dal sito in oggetto, quest'ultima dipendente dalla Magnitudo del terremoto. A titolo di

esempio si riporta la relazione empirica tra la Magnitudo e la distanza epicentrale proposta da Galli (2000)(Fig. 36):

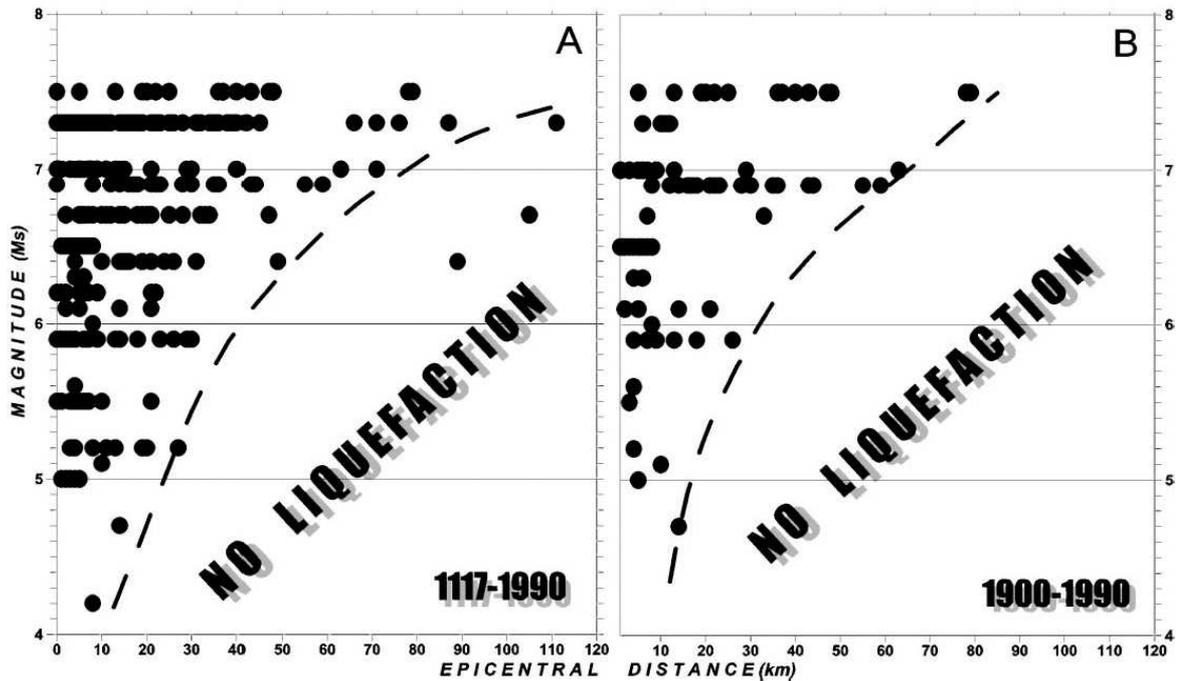


Fig. 36 – Distribuzione di fenomeni di liquefazione indotti da eventi sismici, in termini di Magnitudo e distanza epicentrale, per i periodi 1117–1990 e 1900–1990. (da Galli, 2000).

Nell’ambito della zonazione sismogenetica dell’area italiana (Gruppo di lavoro, 2004), il territorio comunale di Aci Sant’Antonio, così come tutta l’area etnea, ricade all’interno della zona 936 (Fig. 37). Questa zona racchiude diversi eventi sismici di Magnitudo medio bassa ($M_w = 3-4$), mentre nel 1818 e nel 1848 si son verificati due terremoti caratterizzati da $M_w \sim 6$ e $M_w \sim 5$, rispettivamente (CPT111; Rovida et al., 2011). Questi dati trovano conferma nella versione più recente del DISS 3.1.1 (DISS Working Group, 2010) che riporta la presenza della sorgente sismogenica “ITIS106 – Gravina di Catania” orientata NE-SO e caratterizzata da una $M_w = 6$, la cui terminazione orientale lambisce il territorio comunale di Aci Sant’Antonio (Fig. 24). Tuttavia in passato l’area di studio è stata seriamente danneggiata dal sisma del 1693, di $M_w \geq 7$ (Postpischl, 1985; Boschi et al, 1995; 1997), verificatisi però nella zona sismogenetica 935. Per finire, nel DISS 3.1.1 (DISS Working Group, 2010), a circa 16,5 km di distanza nell’*off-shore* ionico, viene segnalata la presenza della sorgente sismogenica “ITDS011 – Western

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77

Ionian” (Fig. 24), per la quale dati di Letteratura indicano una $M \geq 7$ (Bianca et al., 1999; Catalano et al. 2008).

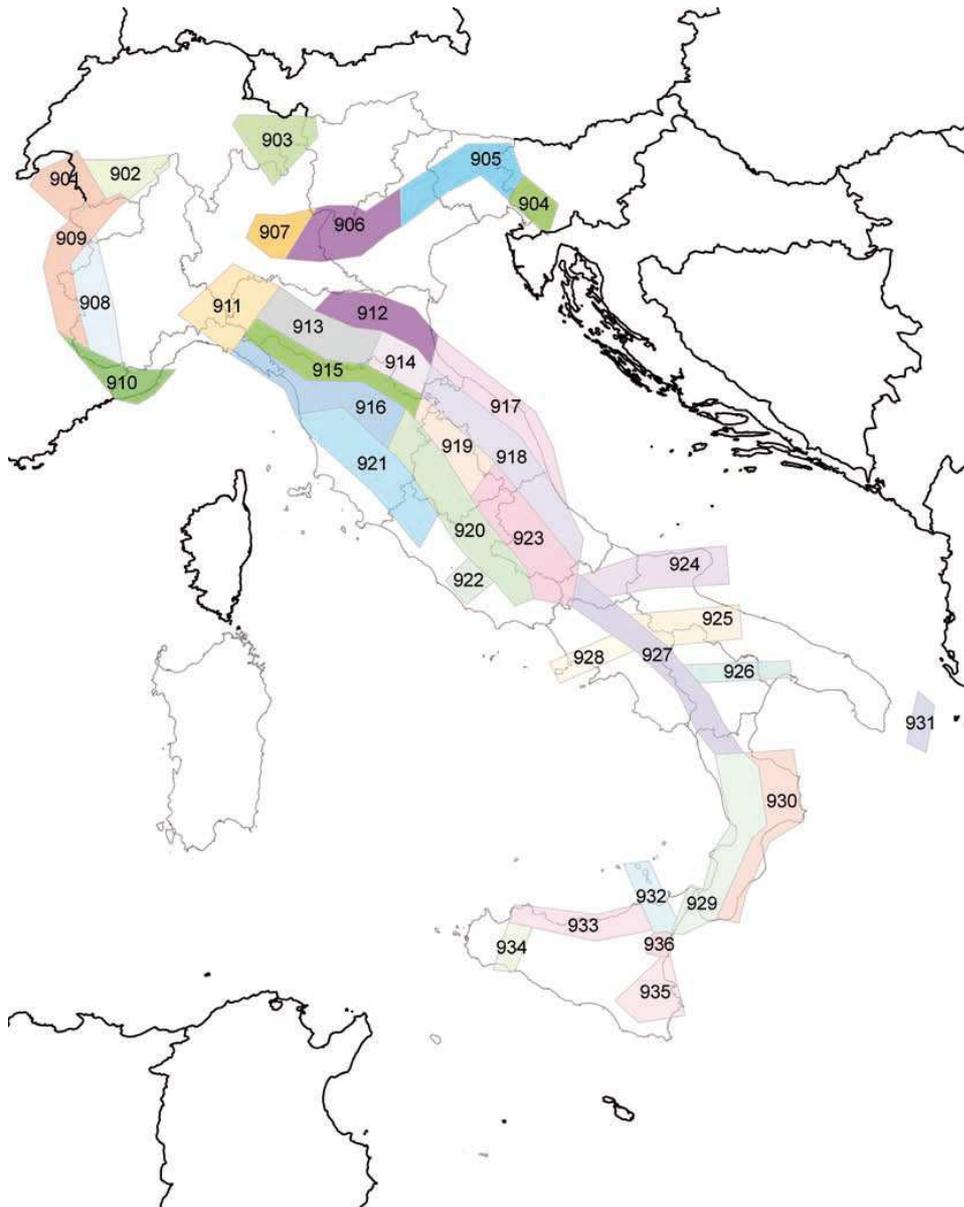


Fig. 37 - Zone sismogenetiche per la mappa di pericolosità sismica di base di riferimento (Gruppo di lavoro, 2004).

In ogni caso, possiamo concludere che il possibile verificarsi di eventi sismici di Magnitudo compresa tra 4 e 6 in zone molto prossime all'area oggetto di studio potrebbe innescare fenomeni di liquefazione, in presenza di terreni sciolti (sabbie o ghiaie) e di una falda superficiale. Nel territorio comunale di Aci Sant'Antonio, questa tipologia di terreni è rappresentata dai corpi detritici, affioranti principalmente a nord-est del centro abitato, dai depositi piroclastici, posti nel settore settentrionale della zona 1 e in quello meridionale della zona 2 della cartografia allegata, dai depositi di conoide alluvionale ubicati a ovest dell'abitato di Santa Maria La Stella. Per quanto concerne la possibile presenza di falde superficiali all'interno di tali depositi, non essendo in possesso di misure dirette, si può fare riferimento alle informazioni disponibili in Letteratura e provenienti dai dati pregressi. Nella Carta idrogeologica del massiccio vulcanico dell'Etna (Ferrara, 2001) il territorio di Aci Sant'Antonio oggetto del presente studio, localizzato ad una quota compresa tra 590 e 230 metri, ricade tra le curve isopiezometriche di 150 e 200 metri (Fig. 38).

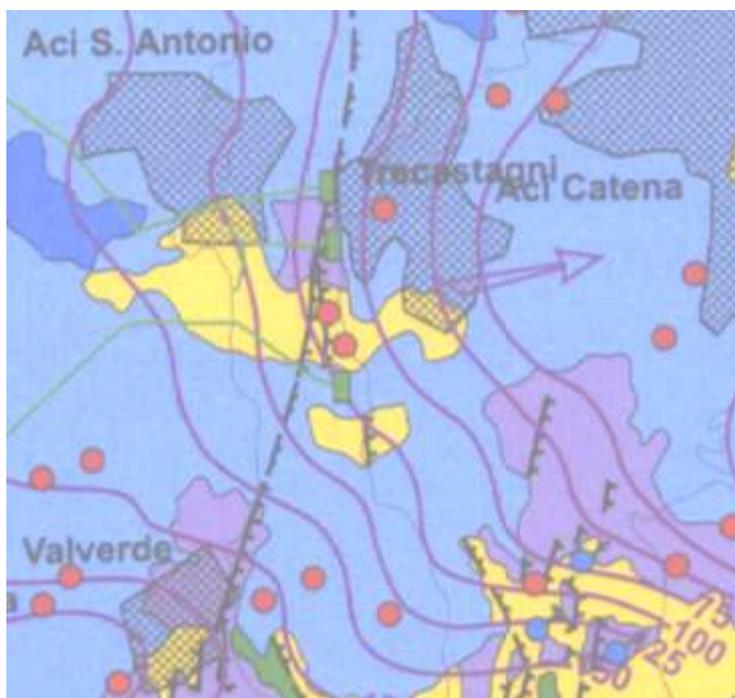


Fig. 38 – Stralcio della Carta idrogeologica del massiccio vulcanico dell'Etna (Ferrara, 2001).



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77

Conseguentemente, in mancanza di dati che indichino la circolazione di acque sotterranee a profondità minore di 15–20 metri, nell'area di studio non è stata definita alcuna zona soggetta a possibili fenomeni di liquefazione.

8. Elaborati cartografici

La sintesi delle attività svolte nel primo livello di approfondimento degli studi di microzonazione sismica si configura nella stesura dei seguenti elaborati cartografici: “Carta delle frequenze” “Carta delle indagini”, “Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica” e “Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica”.

8.1 Carta delle indagini

Le indagini di sottosuolo pregresse messe a disposizione dall'amministrazione comunale di Aci Sant'Antonio, numericamente insufficienti, consistono in indagini puntuali, eseguite esclusivamente in foro, cui si sommano le prove e analisi di laboratorio e prove SPT. Tutti i dati messi a disposizione, unitamente a quelli acquisiti nel corso del presente studio, sono stati analizzati, archiviati in un database di Access denominato “CdI_tabelle” e rappresentati secondo gli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica Versione 2.0beta-II”. All'interno del database sono stati inseriti 75 “Siti_puntuali” (5 relativi a dati pregressi e 70 a misure HVSR realizzate dall'Università di Catania nel corso del presente studio).

Per quanto riguarda le “Indagini_puntuali” sono state inserite 85 indagini appartenenti a diverse classi:

- “Geologia” – a questa classe appartengono sondaggi a carotaggio continuo e quelli con prelievo di campioni
- “Geotecnica di laboratorio” – si tratta di analisi effettuate su due campioni e prove di taglio diretto (v. **Allegato 3**)
- “Geofisica” – consta di una indagine down-hole e n. 70 indagini HVSR (v. **Allegati 3 e 4**)

Va ricordato che le indagini fornite dall’amministrazione comunale di Aci Sant’Antonio sono ubicate subito al di fuori del limite comunale da studiare. Per tali ragione, unitamente all’esiguità numerica dei dati forniti, per le informazioni sulle geometrie 3D dei diversi corpi geologici nel sottosuolo, si raccomanda di fare riferimento alle sezioni geologiche realizzate nell’**Allegato 1**.

8.2 Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica

Già ampiamente descritta nei capitoli precedenti, la successione geolitologica dell’area di studio è stata ricostruita sulla base della composizione di rilievi geologici a differente scala. Per la ricostruzione delle geometrie dei corpi lavici presenti nell’area si è dovuto ricorrere a rilievi originali per la mancanza di informazioni pregresse indispensabili. I dati di sottosuolo, molto scarsi e mal distribuiti, hanno avuto un ruolo marginale nella ricostruzione della stratigrafia delle unità riportate nella carta. I terreni lavici sono stati assimilati ad unità del substrato (**ALSF**) o ai terreni di copertura (**LC**), sulla base della loro giacitura rispetto alle altre formazioni superficiali (unità di copertura) presenti nell’area. I prodotti lavici e i diversi terreni di copertura sedimentaria sono stati rappresentati nella carta geologico-tecnica seguendo gli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica-Versione 2.0beta-II”. La classificazione dei terreni di copertura,



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 descritta già in dettaglio nei capitoli precedenti, è stata eseguita secondo il sistema USCS. Si fa presente che anche laddove tali terreni non sono stati cartografati, perché di spessore inferiore ai 3 metri, il substrato geologico è sovente ricoperto da suolo di alterazione e localmente da materiali di riporto. Per i terreni vulcanici di copertura si è fatto ricorso a nuovi standard di rappresentazione concordati con la committenza, in attesa di una integrazione delle linee guida nazionali, alla quale si auspica possano utilmente contribuire gli stessi dati contenuti in questo studio. In particolare, sono stati inseriti nuovi elementi lineari (limite di colata lavica) che insieme agli altri già previsti, consentono una visualizzazione immediata degli elementi della morfologia sepolta dalle colate laviche.

8.3 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica

Sulla base delle unità caratterizzate e cartografate nella carta geologico tecnica e del modello del sottosuolo (v. Capitolo 5) è stato possibile realizzare la Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica, Secondo gli “Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica” (Gruppo di lavoro MS, 2008) in tale elaborato cartografico si individuano tre tipi di microzone:

1. **zone stabili** in cui il moto sismico non viene modificato rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida e pianeggiante. In queste zone gli scuotimenti attesi sono equiparati a quelli forniti dagli studi di pericolosità di base;

2. **zone stabili suscettibili di amplificazione** in cui il moto sismico viene modificato rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida e pianeggiante, a causa delle caratteristiche litostratigrafiche e/o morfologiche del terreno del territorio;
3. **zone suscettibili di instabilità** in cui sono presenti o si possono ipotizzare attivazioni di fenomeni di deformazione permanente del territorio indotti o innescati dal sisma (instabilità di versante, liquefazioni, fagliazione superficiale, cedimenti differenziali, ecc.).

I dati raccolti, non hanno consentito l'identificazione di zone stabili, in quanto in nessun luogo è stato riconosciuto un substrato affiorante con i caratteri di bedrock sismico. La variabilità laterale dei terreni di copertura affioranti ha comportato la definizione di 10 distinte microzone riferite ad aree stabili suscettibili di amplificazione, nonché una zona suscettibili di instabilità in quanto interessate da deformazioni dovute a faglie attive e capaci.

La copertura lavica, costituita da colate sovrapposte poggianti su un substrato articolato, laddove non è alternata a depositi clastici, è stata inserita prevalentemente in una unica microzona. In termini realistici, non è prevedibile che l'estrema eterogeneità laterale dei terreni vulcanici si traduca effettivamente in un comportamento omogeneo, come codificato per altri tipi di terreno. E' molto più probabile che il concetto di microzona omogenea, nel caso dei terreni vulcanici vada intesa come area all'interno delle quali i parametri di variazione locale del moto oscillano nell'ambito di intervalli definiti, differenti da quelli di microzone adiacenti. I vari intervalli potranno essere stabiliti solo in seguito alla definizione di un abaco di riferimento che tenga conto, ad esempio, del contributo degli orizzonti scoriacei associati alle colate laviche massive, che determinano l'estrema variabilità laterale e verticale delle litofacies all'interno delle singole colate. A titolo di esempio, si segnala la possibilità che all'interno di una microzona omogenea si possano manifestare effetti di particolare amplificazione lungo



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77

determinati allineamenti, come nel caso dei bordi di colata dove le misure di microtremore ambientale hanno evidenziato fenomeni di amplificazione a frequenze relativamente elevate. Un simile comportamento è legato all'estrema eterogeneità laterale di litologia, molto comune in ambiente vulcanico, che andrebbe considerata alla stessa stregua delle variazioni litologiche verticali, già previste negli abachi. E' chiaro che i passaggi laterali si proietterebbero in carta come linee, al contrario dei passaggi verticali che sono già contemplati nella stratigrafia relativa alle singole microzone. Pertanto, in attesa delle definizioni degli abachi, in aggiunta alle microzone omogenee riportate in carta, si consiglia di considerare tutti i bordi di colata riportati nella Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica come elementi lineari lungo i quali vi è la possibilità di un sostanziale incremento locale dell'amplificazione.

Con queste premesse, sono state distinte le sottoelencate aree stabili soggette ad amplificazione:

- **Zona 0** Substrato geologico fratturato costituito da un'alternanza di colate laviche di base fratturate e prodotti piroclastici con spessore indefinito oltre a 30 m circa.
- **Zona 1** Depositi vulcanoclastici costituiti da sabbie e ghiaie che poggiano sulla successione della zona 0.
- **Zona 2** Materiale di riporto eterogeneo a prevalente componente vulcanica costituito da blocchi e ciottoli lavici eterometrici in matrice sabbiosa localmente limosa che ricoprono la successione della zona 1.
- **Zona 3** Lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (a) costituite da campi lavici compositi, formati da più unità laviche sovrapposte e affiancate, caratterizzate da notevole variabilità verticale e orizzontale delle litofacies scoriacee e massive. Gli elementi morfovolcanici riconoscibili sono rappresentati da bocche effimere e canali lavici. Tale successione, con spessore che tende ad aumentare verso ovest, poggia su un substrato vulcanico che può comprendere le zone 0 e 1.
- **Zona 4** Materiale di riporto eterogeneo a prevalente componente vulcanica costituito da blocchi e ciottoli lavici eterometrici in matrice sabbiosa localmente limosa che ricoprono la successione della zona 3.

- **Zona 5** Depositi vulcanoclastici costituiti da sabbie e ghiaie che possono superare i 30 m, sviluppatasi intorno all'edificio piroclastico di Monterosso, che ricoprono le successioni laviche della zona 3.
- **Zona 6** Depositi di conoide alluvionale costituiti da sabbie e limi che poggiano sulle successioni laviche della zona 3.
- **Zona 7** Materiale detritico costituito da ghiaie e sabbie che ricopre la successione della zona 3.
- **Zona 8** Materiale detritico costituito da ghiaie e sabbie che ricopre la successione della zona 5.
- **Zona 9** Depositi vulcanoclastici costituiti da sabbie e ghiaie che possono superare i 30 m, sviluppatasi intorno all'edificio piroclastico di Monterosso, che ricoprono le successioni laviche della zona 3 in pendio con inclinazione $>15^\circ$ e dislivello > 30 m.

Per finire, la carta riporta anche fasce ristrette allungate parallelamente alla faglia di Fiandaca, potenzialmente attiva, presente nell'area. Tali fasce non hanno il significato di zone di rispetto, ma stanno ad indicare una deformazione non concentrata lungo discrete linee di dislocazione, ma piuttosto diffusa in un'area nell'intorno delle strutture.

L'**Allegato 6** fornisce un quadro completo delle zone stabili suscettibili di amplificazione mentre, per quanto riguarda le zone suscettibili di instabilità si rimanda al Capitolo 7.

9. Confronto con la distribuzione di danni per eventi passati

Il territorio comunale di Aci Sant'Antonio, così come tutta la Sicilia sud-orientale, è stato interessato da diversi eventi sismici sopra la soglia del danno ($I_{MCS} > V$), verificatisi principalmente nel periodo pre-strumentale (Figg. 3 e 4).

Le informazioni sui danni prodotti dagli eventi passati sono state ottenute consultando il Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1990 (CFTI 2 Boschi et al., 1997) e il Catalogo Macrosismico dei Terremoti Etnei (CMTE; Azzaro et al., 2000; 2006; 2009). Procedendo dal più antico al più recente si elencano:

- Nell'Ottobre del 1669 le scosse che si susseguirono causarono spavento, ma la distruzione del paese avvenne in seguito all'eruzione vulcanica (Squillaci P. - Relazione del fuoco di Mongibello e di quel che seguì, 1669).
- Durante il terremoto dell'11 Gennaio 1693 eccetto poche case, il paese fu distrutto. Insieme ad Aci San Filippo si ebbero 1335 morti su 6700 abitanti circa.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77

- A causa del terremoto del 20 Febbraio 1818 fu danneggiato il Conservatorio dell'Orfanelle, furono riparate completamente a spese del Governo 18 case di poveri. Risultarono danneggiate le carceri, la località fu inserita, nel quadro riassuntivo delle perizie, tra quelle in cui si verificarono i danni maggiori. Gravissime lesioni, che ne imposero la chiusura al culto, sono attestate dalla documentazione coeva nelle chiese di Santa Maria la Grazia, Santa Maria la Santità.
- La scossa dell'8 Agosto 1894 causò leggere lesioni in alcune case.
- Il terremoto dell'8 Settembre 1905 fu valutato da Rizzo (1907) di intensità pari al V grado della scala Mercalli. Non si hanno altre informazioni.
- La scossa del 23 Ottobre 1907 fu avvertita in modo sensibile.
- Il terremoto del 28 Dicembre 1908 fu molto forte e causò gravi lesioni negli edifici.
- Il terremoto dell'8 Maggio 1914 fu avvertito ma non provocò danni di rilievo.
- Per il terremoto del 13 Dicembre 1990, secondo uno studio macrosismico condotto dall'Istituto Nazionale di Geofisica, basato su questionari e sopralluoghi tecnici, gli effetti sono stati stimati di un'intensità incerta fra il V e il VI grado MCS (De Rubeis et al., 1991).

Oltre ai terremoti di elevata I(MCS) sopra descritti, l'area di studio ha risentito e risente di una sismicità propria dell'area etnea, caratterizzata da eventi di più bassa intensità ma più superficiali e vicini al comune di Aci Sant'Antonio.

10. Bibliografia

AA.VV.; 1979 – Geological Map of Mt. Etna. 1:50.000 scale. C.N.R., Progetto Finalizzato Geodinamica, Ed. S.EL.CA, Firenze (IT).

AA.VV.; 2009 (a) – Note illustrative Foglio Geologico 625 “Acireale”. A cura di Giorgio Pasquarè. CNR IDPA Sezione di Milano e Laboratorio S.I.T. – DISAT – Università di Milano Bicocca.

AA.VV.; 2009 (b) – Note illustrative Foglio Geologico 634 “Catania”. A cura di Serafina Carbone e Fabio Lentini. Ed. S.EL.CA, Firenze (IT).

Azzaro R.; 1999 – Earthquake surface faulting at Mount Etna volcano (Sicily) and implications for active tectonics. *J. Geodynamics*, 28, 193–213.

Azzaro R., Barbano M.S., Antichi B., Rigano R.; 2000 – Macroseismic catalogue of Mt. Etna earthquakes from 1832 to 1998. *Acta Vulcanol.*, 12, 1–2, 3–36.

Azzaro R., Bonforte A., Branca S., Guglielmino F.; 2013 – Geometry and kinematics of the fault systems controlling the unstable flank of Etna volcano (Sicily). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 251, 5–15.

Azzaro R., Branca S., Gwinner K., Coltelli M.; 2012 – The volcano–tectonic map of Etna volcano, 1:100.000 scale: an integrated approach based on a morphotectonic analysis from high–resolution DEM constrained by geologic, active faulting and seismotectonic data. *Ital. J. Geosci. (Boll. Soc. Geol. It.)*, 131, n. , 153–170. DOI: 10.3301/IJG.2011.29

Azzaro R., D'Amico S., Mostaccio A., Scarfi L., Tuvè T.; 2006 – Terremoti con effetti macrosismici in Sicilia orientale nel periodo Gennaio 2002 – Dicembre 2005. *Quad. Geof.*, 41, 62 pp.

Azzaro R., D'Amico S., Mostaccio A., Scarfi L., Tuvè T.; 2009 – Terremoti con effetti macrosismici in Sicilia orientale nel periodo Gennaio 2006 – Dicembre 2008. *Quaderni di Geofisica*, 72, 39 pp.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77

Azzaro R., D'Amico S., Tuvè T.; 2011 – Estimate the magnitudo of historical earthquakes from macroseismic intensità data: new relationships for the volcanic region of Mount Etna (Italy). *Seism. Res. Lett.*, 82, 4, 533–544.

Bailey J.E., Harris A.J.L., Dehn J., Calvari S., Rowland S.K.; 2006 – The changing morphology of an open lava channel on Mt. Etna. *Bull. Volcanol.*, 68, 498–515. DOI: 10.1007/s00445-005-0025-6

Barbano, M.S.; 1985 – The Val di Noto earthquake of December 10, 1542. In: Postpischl, D. (ed.), *Atlas of Isoseismal Maps of Italian Earthquakes*, PFG-CNR, Quad. Ric. Scie. 2A, 114, Bologna.

Barreca G., Bonforte A., Neri M.; 2013 – A pilot GIS database of active faults of Mt. Etna (Sicily): A tool for integrated hazard evaluation. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 251, 170–186.

Basili R., Valensise G., Vannoli P., Burrato P., Fracassi U., Mariano S., Tiberti M.M., Boschi E.; 2008 – The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology, *Tectonophysics*, 453, 20–43.

Bianca M., Monaco C., Tortorici L., Cernobori L.; 1999 – Quaternary normal faulting in southeastern Sicily (Italy): A seismic source for the 1693 large earthquake. *Geophys. J. Int.*, 139, 370–394.

Bonforte A., Guglielmino F., Coltelli M., Ferretti A., Puglisi G.; 2011 – Structural assessment of Mount Etna volcano from Permanent Scatterers analysis. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 12, 19 pp.

Borgia A., Ferrari L., Pasquarè G.; 1992 – Importance of gravitational spreading in the tectonic and volcanic evolution of mount Etna. *Nature*. 357, 231–235.

Boschi E., Ferrari G., Gasperini P., Guidoboni E., Smeriglio G., Valensise G.; 1995 – Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.c. al 1980. Istituto Nazionale di Geofisica, Roma, 973 pp.

Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Valensise G., Gasperini P.; 1997 – Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.c. al 1990. Istituto Nazionale di Geofisica, Roma, 644 pp.

Branca S., Coltelli M., De Beni E., Wijbrans J.; 2008 – Geological evolution of Mount Etna volcano (Italy) from earliest products until the first central volcanism (between 500 and 100 ka ago) inferred from geochronological and stratigraphic data. *Bull. Volcanol.*, 97, 135–152.

Branca S., Coltelli M., Groppelli G., Lentini F.; 2011 – Geological map of Etna volcano, 1:50,000 scale. *It. J. Geosci. (Boll. Soc. Geol. It.)*, 130 (3), 265–291.

Catalano S., De Guidi G., Monaco C., Tortorici G., Tortorici L.; 2008. Active faulting and seismicity along the Siculo–Calabrian rift zone. *Tectonophysics*, 453, 177–192.

Catalano S., Torrisi S., Ferlito C.; 2004 – The relationship between Late Quaternary deformation and volcanism of Mt. Etna (eastern Sicily): new evidence from the sedimentary substratum in the Catania region. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 132, 311–334.

Catalano S., Tortorici G.; 2010 – La carta geologica del basso versante orientale del Monte Etna: nuovi vincoli geologici per la ricostruzione del sottosuolo. In



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77

“Microzonazione sismica del versante orientale dell’Etna. Studi di primo livello”, Autori Vari. Le Nove Muse Editrice, Catania, 113–141.

Ciccacci S., Fredi P., Lupia Palmieri E., Salvini F.; 1986 – An approach to the quantitative analysis of the relations between drainage pattern and fracture trend. *International Geomorphology*, II. Wiley & Sons, Chichester, pp. 49–68.

De Rubeis V., Gasparini C., Maramai A., Anzidei A.; 1991 – Il terremoto siciliano del 13 dicembre 1990, in ‘Contributi allo studio del terremoto della Sicilia orientale del 13 Dicembre 1990’, a cura di E. Boschi e A. Basili. National Institute of Geophysics. Roma, pp. 9–44.

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 – All rights reserved.

Dolce M. e altri 15 Autori; 2011 – Contributi per l’aggiornamento degli “Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica”. *Ingegneria Sismica XXVIII*, n.2. Supplemento alla rivista trimestrale.

Ferrara V.; 2001 – Carta idrogeologica del massiccio vulcanico dell’Etna. Ed. S.EL.CA, Firenze (IT).

Firth C., Stewart I., Mcguire W.J., Kershaw, S., Vita-Finzi C.; 1996 – Coastal elevation changes in eastern Sicily: Implications for volcano instability at Mount Etna. *Geological Society Special Publication*, 110, 153–167.

Galli P.; 2000 – New empirical relationships between magnitude and distance for liquefaction. *Tectonophysics*, 324, 169–187.

Gillot P.Y., Kieffer G., Romano R.; 1994 – The evolution of Mount Etna in the light of potassium–argon dating. *Acta Vulcanol.*, 5, 81–87.

Gruppo di lavoro, 2004 – Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri N. 3274 del 20/3/03. Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano–Roma, aprile 2004.

Gruppo di lavoro MS; 2008 – Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica, 3° Vol. e DVD.

Gruppo di lavoro MS; 2008 – Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica, Glossario.

Locati M., Camassi R., Stucchi M.; 2011. DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>

Meletti C., Montaldo V.; 2007 – Stime di pericolosità sismica per diverse probabilità di superamento in 50 anni: valori di ag. Progetto DPC–INGV S1, Deliverable D2,

<http://esse1.mi.ingv.it/d2.html>

Meletti C., Galadini F., Valensise G., Stucchi M., Basili R., Barba S., Vannucci G., Boschi E.; 2008 – A seismic source model for the seismic hazard assessment of the Italian territory. *Tectonophysics*, 450(1), 85–108. DOI:10.1016/j.tecto.2008.01.003.

Monaco C., Catalano S., Cocina O., De Guidi G., Ferito C., Gresta S., Musumeci C., Tortorici L.; 2005 – Tectonic control on the eruptive dynamics at Mt.Etna Volcano (Sicily) during the 2001 and 2002–2003 eruptions. *J Volcanol. Geotherm. Res.* 144, 211–233.

Monaco C., De Guidi G., Catalano S., Ferlito C., Tortorici G., Tortorici L.; 2008 – La Carta Morfotettonica del Monte Etna. Litografia Artistica Cartografica, Firenze (IT).



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77

Monaco C., Tapponnier P., Tortorici L., Gillot P.Y.; 1997 – Late Quaternary slip rates on the Acireale–Piedimonte normal faults and tectonic origin of Mt. Etna (Sicily). *Earth Planet. Sci. Lett.*, 147, 125–139.

Monaco C., Tortorici L.; 2000 – Active faulting in the Calabrian arc and eastern Sicily. *J. Geodyn.*, 29, 407–424.

NTC; 2008 – Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni. D.M. 14/01/2008. G.U. n. 29 del 04/02/2008 (Suppl. Ordinario n. 30).

Postpischl, D., 1985. *Catalogo dei terremoti italiani dall'anno 1000 al 1980*. CNR, P.F. Geodinamica, Graficoop Bologna, 239 pp.

Progetto Database nazionale dei Sinkholes. Consultabile presso il “Portale del Servizio Geologico d'Italia” dell'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale). <http://sgi.isprambiente.it/geoportal/catalog/content/project/sinkhole.page>

Progetto IFFI (banca dati inventario fenomeni franosi d'Italia). Consultabile presso il “Portale del Servizio Geologico d'Italia” dell'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale).

<http://sgi.isprambiente.it/geoportal/catalog/content/project/iffi.page>

Rasà R., Azzaro R., Leonardi O.; 1996 – Aseismic creep on faults and flank instability at Mt. Etna volcano, Sicily. In: McGuire W.C., Jones A.P. & Neuberg J. (eds.), «Volcano Instability on the Earth and Other Planets». Geological Society Special Publication, 110, 179–192.

Regione Sicilia; 2004 – Piano Stralcio di bacino per l’Assetto Idrogeologico (PAI) della Regione Siciliana – Relazione generale.

http://www.sitr.regione.sicilia.it/pai/CD_PAI/RELAZIONE_GENERALE_P.A.I.pdf

Rizzo G. B.; 1907 – Contributo allo studio del terremoto della Calabria del giorno 8 Settembre 1905. Atti della Reale Accademia Peloritana, 22, 3–86).

Rovida A., Camassi R., Gasperini P., Stucchi M.; 2011 – CPTI11, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani. Milano, Bologna.

<http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>

Valensise G., Pantosti D.; 1993 – A 125 Kyr–long geological record of seismic source repeatability: the Messina Straits (southern Italy) and the 1908 earthquake (Ms 7 1/2). Terra Nova, 4, 472–483.

11. Allegati

Allegato 1 – Sezioni geologiche

Allegato 2 – Sondaggi

Allegato 3 – Dati geotecnici e geofisici

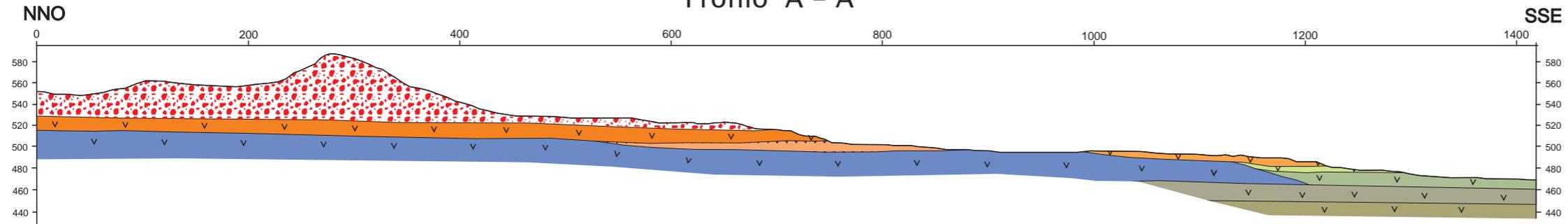
Allegato 4 – Misure di microtremore ambientale

Allegato 5 – Sezioni topografiche Aci Sant’Antonio

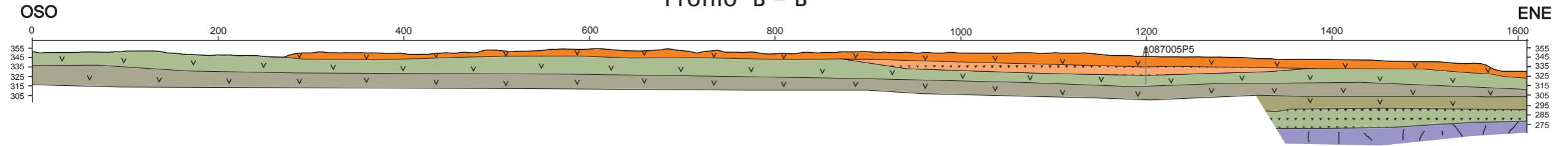
Allegato 6 – Schemi dei rapporti litostratigrafici più significativi

Allegato 1 – Sezioni geologiche

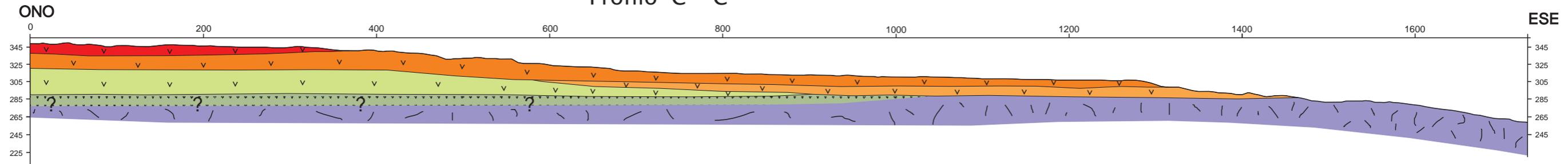
Profilo A – A'



Profilo B – B'



Profilo C – C'



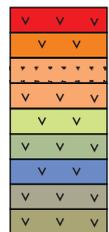
LEGENDA



Depositi vulcanoclastici superiori



Depositi vulcanoclastici inferiori



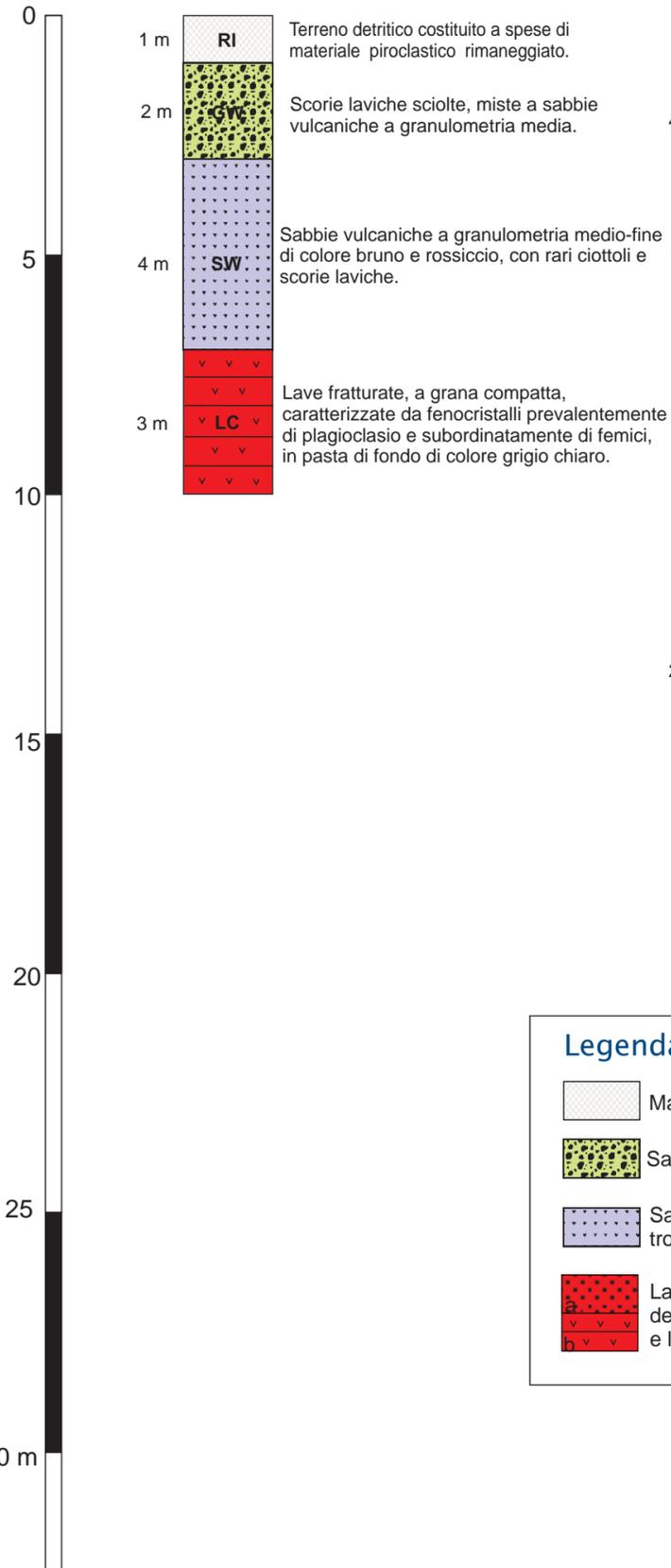
Colate laviche e vulcanoclastiti (a) storiche e recenti



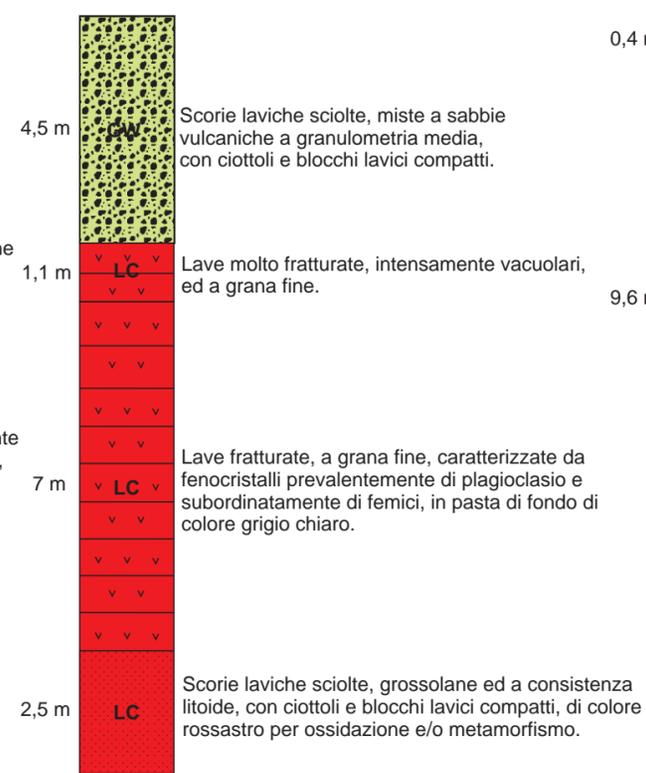
Colate laviche di base

Allegato 2 – Sondaggi

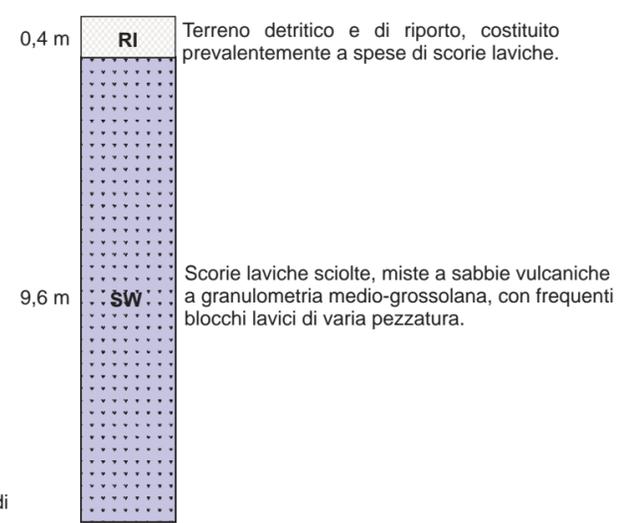
Sondaggio 087005P1



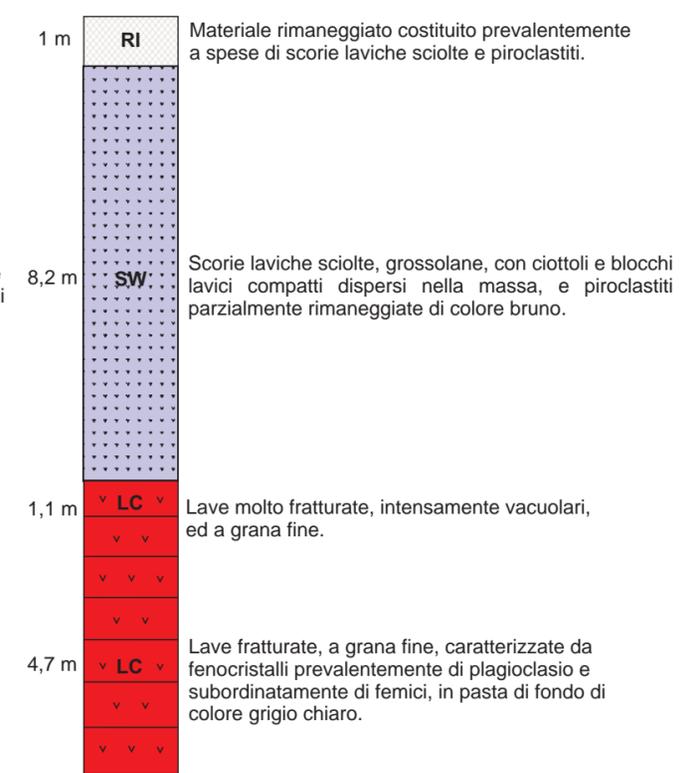
Sondaggio 087005P2



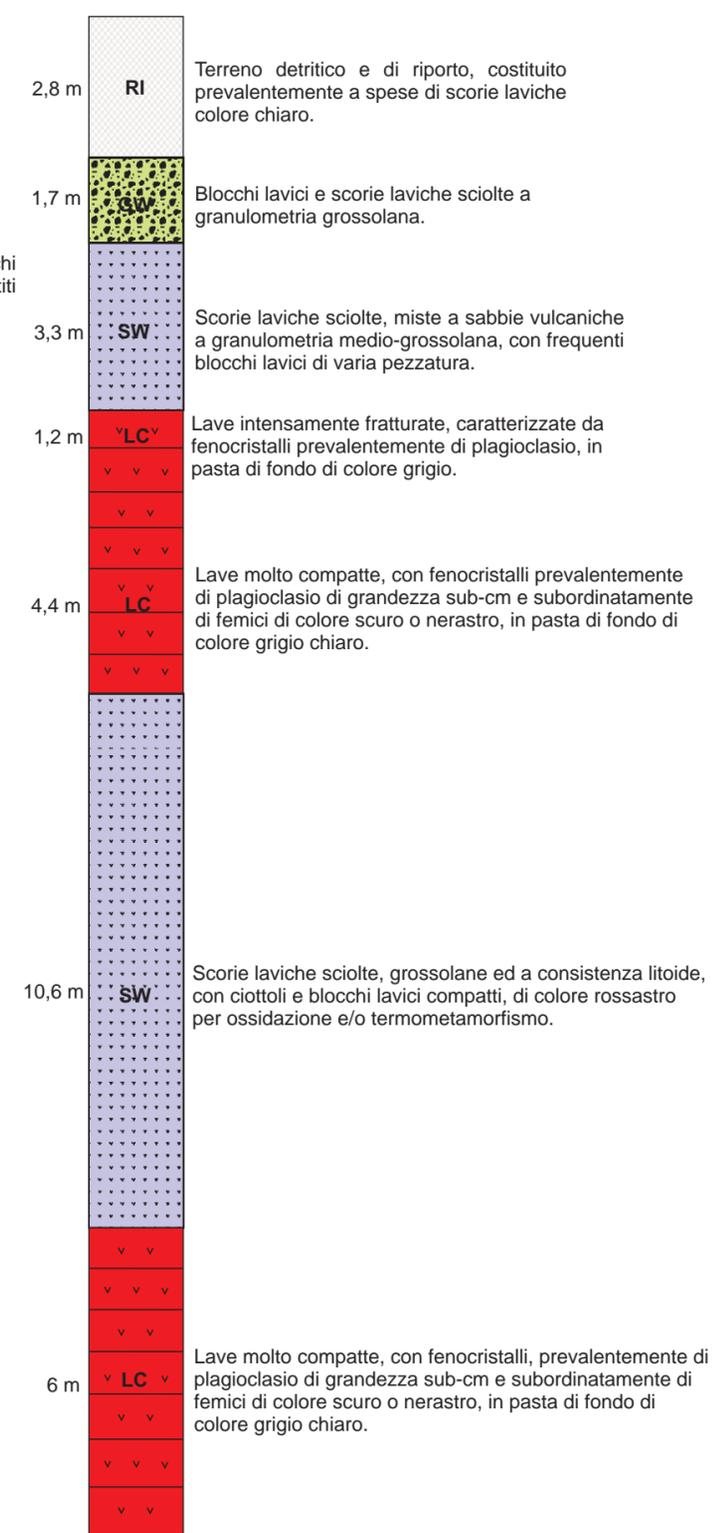
Sondaggio 087005P3



Sondaggio 087005P4



Sondaggio 087005P5



Legenda

-  Materiale di riporto
-  Sabbie e scorie
-  Sabbie fini con presenza di lava scoriacea e trovanti lavici
-  Lave di copertura indefinite su morfologia del substrato articolate; lave scoriacee (a) e lave massive fratturate (b)

ALLEGATO 3 – DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

Sito ind.	Litotipo	Prof. Camp. (m)	Parametri Analisi su campione (SM)								Param. Triassiale				SPT	
			γ [PV (kN/m ³)]	e [E1]	W (%)	IP	GH	SA	LM	AR	c' [C (Mpa)]	Φ' [F1 (°)]	cu [CU (Mpa)]	Tipo	Prof. (m)	Valore
087005P3	"Scorie laviche sciolte miste a sabbie vulcaniche a granulometria media-grossolane con frequenti blocchi lavici di varia pezzatura" (SW)	2,7 - 3,5 m dal p.c.	16,67	0,56	6,44		38,6	61	0,2	0,3						
087005P4	"Scorie laviche sciolte grossolane con ciottoli e blocchi lavici compatti dispersi nella massa e piroclastiti parzialmente rimaneggiate di colore bruno" (SW)														3,0 - 3,45	34
087005P4	"Scorie laviche sciolte grossolane con ciottoli e blocchi lavici compatti dispersi nella massa e piroclastiti parzialmente rimaneggiate di colore bruno" (SW)														4,5 - 4,95	40
087005P4	"Scorie laviche sciolte grossolane con ciottoli e blocchi lavici compatti dispersi nella massa e piroclastiti parzialmente rimaneggiate di colore bruno" (SW)	3,50 - 4,00 m dal p.c.	17,64	0,53	9,1		12,2	86,3	1,3	0,2	0,000	47,2				
087005P5	"Terreno detritico e di riporto costituito prevalentemente a spese di scorie laviche di colore chiaro (Rl) / Blocchi lavici e scorie laviche sciolte a granulometria grossolana"														2,5 - 2,95	41
087005P5	"Blocchi lavici e scorie laviche sciolte a granulometria grossolana"														3,5 - 2,95	47

Tab. 1 – Parametri riguardanti le analisi su campione e prove SPT relativi ai sondaggi disponibili.

087005P5DH15 Località: S. Maria La Stella							
Prof. (m)	E (Mpa)	G (Mpa)	CP	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Terreno	Litotipo
1	59	21	0,39	265,31	111,11	RI	Terreno detritico e di riporto, costituito prevalentemente a spese di scorie laviche di colore chiaro
2	66	24	0,40	283,38	117,97	RI	Terreno detritico e di riporto, costituito prevalentemente a spese di scorie laviche di colore chiaro
3	92	34	0,38	315,9	140,44	RI/GW	Terreno detritico e di riporto, costituito prevalentemente a spese di scorie laviche di colore chiaro / Blocchi lavici e scorie laviche sciolte a granulometria grossolana
4	99	38	0,41	364,73	145,5	GW	Blocchi lavici e scorie laviche sciolte a granulometria grossolana
5	165	60	0,38	418,24	182,07	GW/SW	Blocchi lavici e scorie laviche sciolte a granulometria grossolana/ Scorie laviche sciolte, miste a sabbie vulcaniche a granulometria medio-grossolana, con frequenti blocchi lavici di varia pezzatura
6	442,3	162	0,36	632,72	291,86	SW	Scorie laviche sciolte, miste a sabbie vulcaniche a granulometria medio-grossolana, con frequenti blocchi lavici di varia pezzatura
7	472	171	0,38	643,95	285,46	SW	Scorie laviche sciolte, miste a sabbie vulcaniche a granulometria medio-grossolana, con frequenti blocchi lavici di varia pezzatura
8	611	220	0,39	722,22	309,29	SW	Scorie laviche sciolte, miste a sabbie vulcaniche a granulometria medio-grossolana, con frequenti blocchi lavici di varia pezzatura
9	1334	496	0,35	955,85	464,48	LC	Lave intensamente fratturate, caratterizzate da fenocristalli prevalentemente di plagioclasio, in pasta di fondo di colore grigio - Lave molto compatte, con fenocristalli prevalentemente di plagioclasio di grandezza sub-centimetrica e subordinatamente di
10	4276	1628	0,31	1610,49	841,1	LC	Lave molto compatte, con fenocristalli prevalentemente di plagioclasio di grandezza sub-centimetrica e subordinatamente di femici di colore scuro o nerastro, in pasta di fondo di colore grigio scuro
11	7002	2697	0,30	2022,31	1082,1	LC	Lave molto compatte, con fenocristalli prevalentemente di plagioclasio di grandezza sub-centimetrica e subordinatamente di femici di colore scuro o nerastro, in pasta di fondo di colore grigio scuro
12	5227	2010	0,30	1749,57	934,55	LC	Lave molto compatte, con fenocristalli prevalentemente di plagioclasio di grandezza sub-centimetrica e subordinatamente di femici di colore scuro o nerastro, in pasta di fondo di colore grigio scuro
13	2432	932	0,31	1326,89	700,14	LC/SW	Lave molto compatte, con fenocristalli prevalentemente di plagioclasio di grandezza sub-centimetrica e subordinatamente di femici di colore scuro o nerastro, in pasta di fondo di colore grigio scuro / Scorie laviche sciolte, grossolane ed a consistenza li
14	1324	478	0,39	1187,28	501,14	SW	Scorie laviche sciolte, grossolane ed a consistenza litoide, con ciottoli e blocchi lavici compatti, di colore rossastro per ossidazione e/o termometamorfismo
15	1275	463	0,37	1070,90	481,24	SW	Scorie laviche sciolte, grossolane ed a consistenza litoide, con ciottoli e blocchi lavici compatti, di colore rossastro per ossidazione e/o termometamorfismo
16	1579	574	0,38	1205,42	535,37	SW	Scorie laviche sciolte, grossolane ed a consistenza litoide, con ciottoli e blocchi lavici compatti, di colore rossastro per ossidazione e/o termometamorfismo
17	1638	580	0,41	1377,2	538,32	SW	Scorie laviche sciolte, grossolane ed a consistenza litoide, con ciottoli e blocchi lavici compatti, di colore rossastro per ossidazione e/o termometamorfismo
18	1775	653	0,36	1217,35	571,33	SW	Scorie laviche sciolte, grossolane ed a consistenza litoide, con ciottoli e blocchi lavici compatti, di colore rossastro per ossidazione e/o termometamorfismo
19	1344	481	0,40	1221,64	489,93	SW	Scorie laviche sciolte, grossolane ed a consistenza litoide, con ciottoli e blocchi lavici compatti, di colore rossastro per ossidazione e/o termometamorfismo
20	1991	744	0,34	1225,19	610,21	SW	Scorie laviche sciolte, grossolane ed a consistenza litoide, con ciottoli e blocchi lavici compatti, di colore rossastro per ossidazione e/o termometamorfismo
21	2589	971	0,34	1398,83	696,73	SW	Sabbie vulcaniche e scorie laviche sciolte, tendenzialmente monogranulari, con rari ciottoli e blocchi lavici compatti dispersi nella massa
22	2010	753	0,33	1230,71	613,55	SW	Sabbie vulcaniche e scorie laviche sciolte, tendenzialmente monogranulari, con rari ciottoli e blocchi lavici compatti dispersi nella massa
23	2334	858	0,36	1405,09	654,86	SW	Sabbie vulcaniche e scorie laviche sciolte, tendenzialmente monogranulari, con rari ciottoli e blocchi lavici compatti dispersi nella massa
24	2099	759	0,38	1407,59	615,92	SW	Sabbie vulcaniche e scorie laviche sciolte, tendenzialmente monogranulari, con rari ciottoli e blocchi lavici compatti dispersi nella massa
25	3589	1314	0,36	1639,85	756,13	LC	Lave intensamente fratturate e vucolari / Lave molto compatte, con fenocristalli prevalentemente di plagioclasio di grandezza sub-centimetrica e subordinatamente di femici di colore scuro o nerastro, in pasta di fondo di colore grigio chiaro
26	6933	2707	0,28	1963,71	1084,69	LC	Lave molto compatte, con fenocristalli prevalentemente di plagioclasio di grandezza sub-centimetrica e subordinatamente di femici di colore scuro o nerastro, in pasta di fondo di colore grigio chiaro
27	9130	3423	0,33	2446,73	1219,39	LC	Lave molto compatte, con fenocristalli prevalentemente di plagioclasio di grandezza sub-centimetrica e subordinatamente di femici di colore scuro o nerastro, in pasta di fondo di colore grigio chiaro
28	5933	2226	0,33	1970,48	982,93	LC	Lave molto compatte, con fenocristalli prevalentemente di plagioclasio di grandezza sub-centimetrica e subordinatamente di femici di colore scuro o nerastro, in pasta di fondo di colore grigio chiaro
29	7012	2736	0,28	1973,18	1091,61	LC	Lave molto compatte, con fenocristalli prevalentemente di plagioclasio di grandezza sub-centimetrica e subordinatamente di femici di colore scuro o nerastro, in pasta di fondo di colore grigio chiaro
30	9238	3462	0,33	2459,99	1227,11	LC	Lave molto compatte, con fenocristalli prevalentemente di plagioclasio di grandezza sub-centimetrica e subordinatamente di femici di colore scuro o nerastro, in pasta di fondo di colore grigio chiaro

Tab. 2 – Dati riguardanti l'indagine down-hole condotta in corrispondenza del sondaggio 087005P5 in località S. Maria La Stella.

Allegato 4 – Misure di microtremore ambientale

Negli ultimi decenni si è assistito ad un notevole sviluppo delle tematiche relative agli studi microzonazione sismica sebbene l'osservazione degli effetti del danneggiamento sismico, a causa delle condizioni locali dei terreni, ha origine molto antiche e tradizioni più o meno consolidate.

A partire dagli anni '50 dello scorso secolo, in seguito a disastrosi terremoti (Valdivia Cile -1960, Isole Curuli Russia -1963, Stretto di Prince William Alaska-1964) ed a cospicui interessi economici, legati soprattutto alla realizzazione di infrastrutture strategiche (centrali nucleari e ad altre grandi opere ingegneristiche), è accresciuto sempre più l'interesse circa la stima della pericolosità sismica e del rischio sismico delle aree da edificare attraverso la definizione di modelli di comportamento e la valutazione di tutti quei parametri in grado di quantificare il danno atteso in un determinato sito relativamente ad un evento sismico di riferimento allo scopo di mitigarne gli effetti.

Numerosi e recenti studi scientifici hanno, dunque, evidenziato sempre più come le caratteristiche del sito (inteso come "area d'interesse ai fini ingegneristici e con dimensioni areali variabili da quelle di un manufatto a quelle di un centro abitato"), in termini stratigrafici e topografici, possono modificare l'azione sismica riducendo od esaltando localmente il moto sismico atteso in superficie (outcropping) rispetto a quello di riferimento su terreno rigido (bedrock).

Per risposta sismica locale (o effetto di sito), dal punto di vista strettamente fisico, si intende l'insieme delle modifiche in termini di ampiezza, durata, contenuto in frequenza e direzione di propagazione che le onde sismiche subiscono nella parte finale del loro viaggio dalla sorgente alla superficie attraversando gli strati di terreno sovrastanti una formazione rocciosa di base ed attribuibili alle caratteristiche topografiche e geotecniche degli stessi depositi superficiali.

La rappresentazione del moto sismico può essere espressa sia nel dominio del tempo che in quello delle frequenze.

I parametri più frequentemente utilizzati, nel dominio temporale, per descrivere le caratteristiche di un terremoto sono il valore massimo (o di picco) di accelerazione (o velocità o spostamento) e la durata definibili attraverso un accelerogramma.

Diversamente lo spettro di Fourier rappresenta la più immediata rappresentazione del moto sismico per visualizzarne la distribuzione in termini di frequenza per poter operare svariate trasformazioni analitiche; ai fini ingegneristici è certamente più significativa (e dunque la più adoperata) un'altra rappresentazione numerica dei segnali sismici, nel dominio delle frequenze, rappresentata dallo spettro di risposta dell'oscillatore semplice che definisce la legge di variazione della massima ampiezza (in accelerazione, velocità o spostamento) del moto prodotto da un segnale sismico applicato alla base di un oscillatore semplice di fissato smorzamento al variare del suo periodo naturale (Risposta sismica locale – Lanzo & Silvestri, 1999).

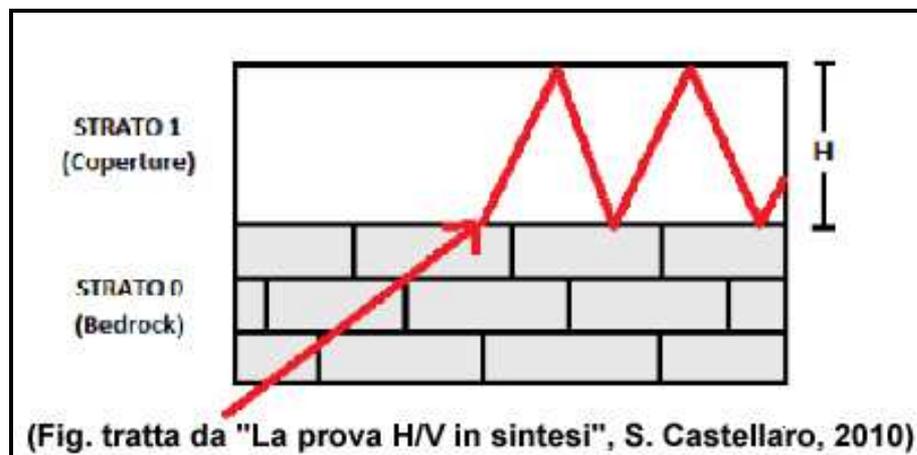
Ciò premesso, riconosciuta l'importanza degli effetti di sito, al progettista serve conoscere la *funzione di trasferimento* al sito, ossia come il moto dal bedrock si trasferisce in superficie; ne consegue che la condizione ideale risulta la misurazione e non il calcolo (che richiederebbe la modellazione del moto di input e del suolo) della funzione suddetta anche in assenza del terremoto.

Infatti, un suolo vibra con maggiore ampiezza a specifiche frequenze (per l'appunto di risonanza) non solo quando è eccitato da un terremoto ma anche quando è eccitato da un tremore di qualsiasi origine, tanto che la misura delle frequenze di risonanza dei terreni diviene possibile ovunque ed in modo semplice.

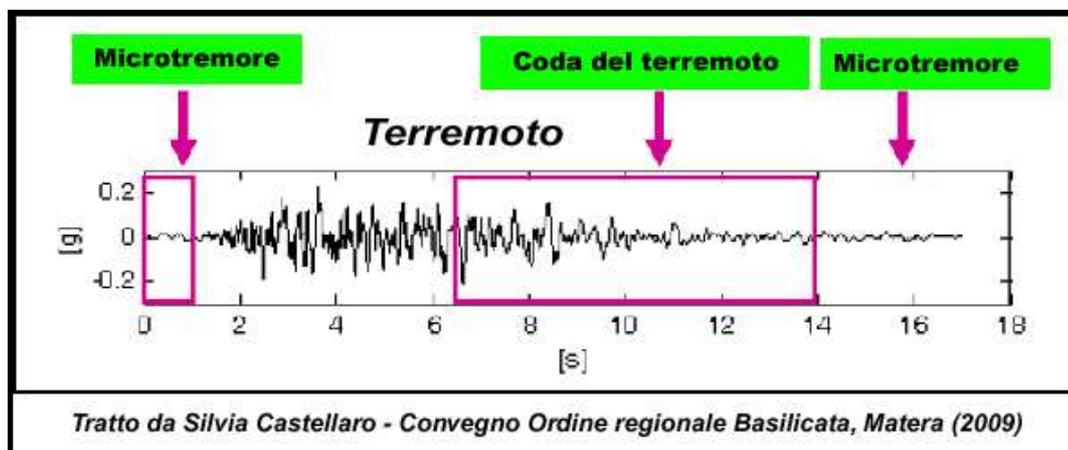
A tal proposito va rilevato, quindi, come lo studio del microtremore ambientale (noise), attraverso le prove di sismica passiva a stazione singola H/V (o HVSR), sia in grado di mettere in luce le frequenze alle quali il moto del terreno viene amplificato per risonanza stratigrafica; tale prova, comunemente nota con il termine H/V (rapporto tra le componenti spettrali orizzontali, H, e verticale, V) fu applicata per la prima volta da Nogoshi e Igarashi (1970) e resa popolare da Nakamura (1989).

Nella letteratura internazionale è ampiamente riconosciuto che le curve H/V ottenute dai microtremori indicano le frequenze di risonanza del sito così come è altrettanto riconosciuto che le ampiezze di detti rapporti spettrali H/V sono l'indicatore dell'amplificazione "minima" attesa al sito in caso di terremoto.

In altre parole, se consideriamo un terremoto composto di onde di volume (dominanti nella prima fase - primi secondi - dell'evento) e di onde di superficie (dominanti nella seconda fase del terremoto), l'amplificazione registrata con il microtremore coincide con quella attesa per il treno di onde di superficie del terremoto (la cosiddetta "coda" del terremoto) mentre può essere inferiore a quella reale nei primi secondi del terremoto.



Le curve H/V del microtremore sismico ambientale (costituito prevalentemente da un campo d'onde di superficie -Rayleigh e Love- che si attenuano meno rapidamente delle onde di volume) possono differire da quelle H/V del terremoto in funzione della distanza dall'epicentro (Mucciarelli et al., 2001) cosicché nel campo lontano (dove



dominano le onde di superficie anche negli H/V da terremoto) può verificarsi la coincidenza delle ampiezze tra gli H/V_{terremoto} e quelle degli H/V_{tremore} mentre nel campo vicino, ossia in prossimità dell'epicentro, tale coincidenza viene meno.

Le basi teoriche dell'HVSR sono relativamente semplici; in un sistema stratificato in cui i parametri variano solo con la profondità, considerando un sistema a due strati caratterizzati da due diverse velocità (V1 e V2) e da due diverse densità (ρ1 e ρ2) un'onda che viaggia nel mezzo 1 (superiore) viene riflessa (parzialmente) dall'orizzonte che separa i due strati e così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le massime ampiezze (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (λ) risulta 4 volte lo spessore "H" del primo strato (o suoi multipli dispari), ossia la frequenza di risonanza "f" dello primo strato relativa alle onde S è pari a:

$$f = n \frac{V_s}{4H} \quad n = 1, 3, 5, \dots$$

Equazione 1

dove *n* indica l'ordine del modo di vibrare (fondamentale, primo superiore ecc.), Vs ed H rappresentano rispettivamente la velocità delle onde di taglio e lo spessore dello strato che risuona.

Nella maggior parte dei casi, a causa dell'attenuazione delle coperture, il solo modo visibile è quello fondamentale.

Altresì, l'*equazione 1* permette di comprendere come la tecnica H/V possa fornire anche indicazioni di carattere stratigrafico dato che partendo da una misura di microtremore che fornisce *f*, nota la Vs delle coperture, si può infatti stimare la profondità dei riflettori sismici principali o viceversa; la prima applicazione in questo senso risale al 1999 ad opera di Ibs-von Seht e Wohlenberg, che ricostruirono la profondità del bedrock lungo il bacino del Reno in Germania a partire da misure di risonanza del sottosuolo.

Quando si effettua una modellazione per ricavare la risposta sismica di sito (per esempio in termini di funzione di amplificazione del moto alle varie frequenze), si dovranno riprodurre almeno le frequenze sperimentalmente misurate tramite H/V_{tremore} pur differendo le ampiezze per i motivi su esposti.

Nello specifico, considerando l'estensione e la topografia dell'area, questo studio ha comportato l'esecuzione di "70" misure, secondo le indicazioni del progetto di ricerca europeo SESAME ("Guidelines for the implementation of the H\|V spectral ratio technique on ambient vibrations" - European Commission, dic. 2004); tutte le registrazioni dei microtremori sono state effettuate con tromografi digitali portatili serie Tromino (Micromed S.p.A.), progettati specificamente per l'acquisizione del rumore sismico, dotati di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) ortogonali ed orientati N-S, E-W e verticalmente, alimentati da 2 batterie da 1,5 V e senza alcun cavo esterno; il rumore sismico ambientale è stato acquisito ad una frequenza di campionamento di 256 Hz, amplificato, digitalizzato a 24 bit equivalenti e registrato per circa 45 minuti in corrispondenza di ciascuna delle stazioni di misura ubicate all'interno del comprensorio esaminato.

Per quel che riguarda il posizionamento gli strumenti sono stati ubicati con il proprio asse maggiore nella direzione N-S per garantire un'omogeneità della "direzionalità" degli input energetici ed allo stesso tempo sono stati posti sulla superficie naturale mediante dei piedini lunghi o corti attraverso i quali è stato possibile garantire un buon accoppiamento col terreno agendo alternativamente sulle viti micrometriche fino a quando la bolla d'aria della livella incorporata non ha raggiunto il centro.

Occorre, altresì, ricordare che il posizionamento dello strumento su suolo artificiale rigido (asfalto, cemento, pavimentazioni) assume un certo rilievo nel definire il grado di amplificazione locale in quanto la misura eseguita su un suolo artificiale più rigido del terreno sottostante genera un'inversione di velocità sismica scendendo in profondità che si manifesta in una curva H/V con ampiezza minore di 1 fino a frequenze anche di 2-1 Hz.; le ampiezze H/V registrate potrebbero pertanto essere sottostimate rispetto a quelle

reali per le ragioni descritte in Castellaro e Mulargia (2009).

I risultati di ciascuna analisi sono stati ottenuti col software Grilla in dotazione al tromografo-Tromino per cui il segnale acquisito dai velocimetri è stato digitalizzato a 24 bit; il software Grilla per ciascuna delle tre componenti del moto, previa divisione del tracciato in finestre temporali di 20 secondi, ha calcolato il rapporto spettrale HVSR ad ogni frequenza per ciascuna finestra (Es. Aci Sant'Antonio - 087005P75 in Figura 1).

La funzione HVSR finale è rappresentata dalla media degli HVSR di ciascuna finestra; per produrre l'HVSR finale le componenti orizzontali sono mediate tra loro con la media quadratica e vengono poi divise per la componente verticale.

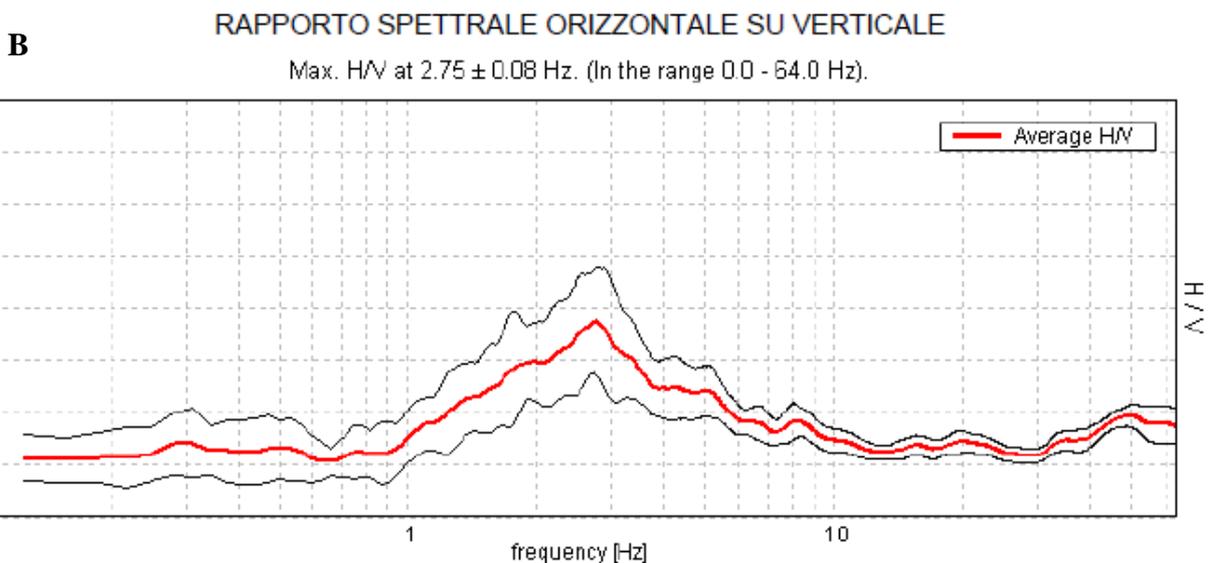
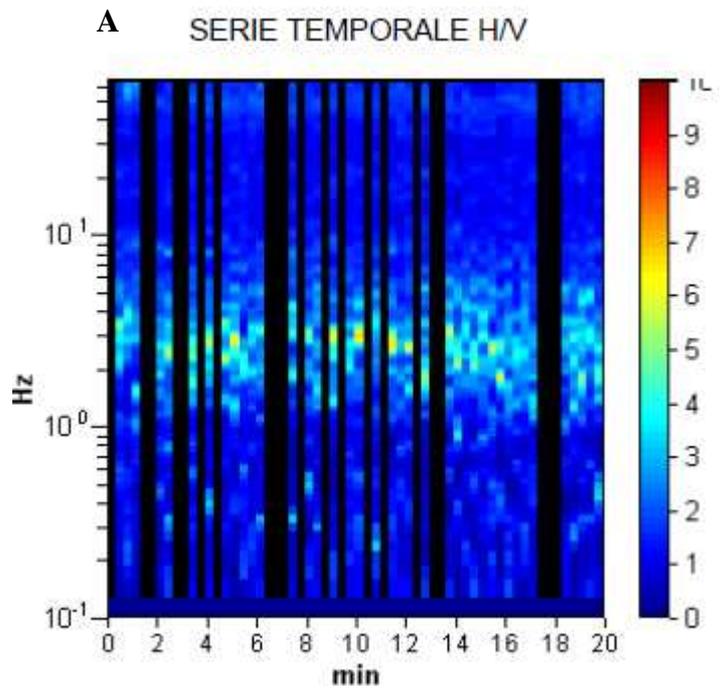


Figura 1: Serie Temporale H/V (A) e Rapporto Spettrale orizzontale/verticale (B) relativo all'indagine 087005P75 ad Aci Sant'Antonio.

Tutti i grafici presentati in questo lavoro sono stati ricavati operando un lisciamento della frequenza centrale pari al 10% dell'ampiezza.

In considerazione delle finalità del presente studio, la tecnica utilizzata, totalmente non invasiva e molto "rapida", si è ben adattata ai luoghi di indagine in quanto non ha avuto necessità di alcuna ulteriore perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazioni esterne diverse dal rumore ambientale che in natura è ovunque presente.

Elaborazione delle misure

Per l'elaborazione delle carte delle microzone omogenee in prospettiva sismica si è fatto riferimento agli indirizzi ed i criteri descritti in "Microzonazione Sismica Parti I, II e III" (Gruppo di lavoro MS, 2008), e ai "Contributi per l'aggiornamento degli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica" (Dolce et al, 2011).

Le Carte delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) di Livello 1 costituiscono il livello propedeutico per affrontare i successivi livelli di approfondimento; pertanto la raccolta ed elaborazione dei dati non possono essere considerati esaustivi e definitivi.

La Tabella 1 mostra i valori delle frequenze di picco, in un range compreso tra 0.6 e 20 Hz, relativi ai 70 siti di misura ubicati all'interno dell'area di studio. Si può osservare che la maggior parte delle frequenze di picco oscillano fra valori di ~1 Hz e ~6 Hz, anche se, data l'elevata mole di dati, è stato riscontrato un discreto numero di valori più elevati. In alcuni casi, all'interno del range di frequenza considerato (0.6 - 20 Hz), vengono segnalati due o tre picchi, alcuni dei quali abbracciano valori di frequenza molto elevati. E' da notare, inoltre, che nella maggior parte dei casi si osservano amplificazioni superiori a 2, mentre in alcune indagini è stata rilevato un rapporto $H/V > 5$.

Attraverso la stima dei valori di H/V dei diversi siti, ricadenti all'interno dell'area comunale, sarà possibile distinguere in prima approssimazione, in funzione del range di frequenza considerato, le aree dove ci si aspetta la presenza nel sottosuolo di variazioni significative del contrasto di impedenza sismica (e conseguentemente di un maggior

grado di amplificazione) rispetto a quelle zone dove questi contrasti hanno ampiezze ridotte.

ID_SPU	Nome	UTMx	UTMy	F ₀	H ₀ /V ₀	F ₁	H ₁ /V ₁	F ₂	H ₂ /V ₂
087006P6	1	508310,36	4167067,17	0,59	2,97	3,57	4,38	15,89	2,75
087005P7	2	508847,85	4167151,77	6,87	4,28	8,72	5,46	14,38	5,04
087005P8	3	509162,69	4167137,58	9,66	2,5	12,16	2,72		
087005P9	4	509996,53	4167160,62	3,31	2,54	16,56	2,59		
087005P10	5	509464,40	4166958,96	2,5	2,52	11,88	3,64	14,74	3,09
087005P11	6	508681,08	4166696,94	0,93	2,07	4,08	3,04	18,44	3,16
087005P12	7	509875,22	4166728,68	3,29	1,67	8,67	3,3		
087005P13	8	510305,68	4166544,59	5,97	2,47				
087005P14	9	510841,32	4166557,92	1,45	2,52	19,71	2,77		
087005P15	10	509340,91	4166402,65	3,85	2,48	17,5	4,86		
087005P16	11	509872,78	4166261,70	2,72	1,96				
087005P17	12	510509,46	4166269,37	4,32	2,42	14,5	3,55	17,44	3,41
087005P18	13	509034,88	4166080,57	0,86	2,51	5,87	2,16		
087005P19	14	510942,23	4165999,42	3,31	2,37	16,53	3,71		
087005P20	15	509269,31	4165908,56	3,75	2,27	16,42	2,51		
087005P21	16	509669,63	4165937,28	4,85	2,83	10,28	3,49		
087005P22	17	510567,66	4165878,58	4,29	2,75	19,06	3,04		
087005P23	18	509487,72	4165777,64	11,09	3,6				
087005P24	19	509268,22	4165539,75	2,03	2,54	13,78	3,41		
087005P25	20	509153,70	4165401,91	5,88	2,72	10,07	2,25		
087005P26	21	510435,56	4165481,00	5,31	2,8	6,38	2,79	8,96	2,64
087005P27	22	509913,79	4165377,64	10,63	2,81				
087005P28	23	509281,16	4164930,56	1,49	2,2				
087005P29	24	509820,48	4164833,55	5,77	2,79				
087005P30	25	510126,07	4164672,49	1,47	2,59	6,12	3,39	7,59	3,65
087005P31	26	509896,98	4164470,41	2,97	3,17	5,31	2,96	13,35	3,01
087005P32	27	510490,90	4164554,24	12,78	7,35				
087005P33	28	510974,69	4164575,50	2,28	2,29	13,59	3,99		
087005P34	29	511278,48	4164587,78	6,22	2,86				
087005P35	30	510706,50	4164329,18	1,04	2,35	3,02	2,46	20	7,03
087005P36	31	510988,87	4164330,55	2	2,29	15	5,03		
087005P37	32	511134,78	4164356,93	1,41	2,07	5,31	2,79	14,16	3,54
087005P38	33	510320,23	4164215,75	5,82	2,95	13,13	4,25	17,81	4,31
087005P39	34	510788,16	4164030,62	8,06	2,29				
087005P40	35	511900,99	4164047,13	5,82	2,12	19,72	4,82		
087005P41	36	511377,89	4163841,03	6,39	2,42				
087005P42	37	511954,68	4163778,27	2,36	2,48	5,75	2,58		
087005P43	38	511764,06	4163405,78	2,04	2,00	22,44	2,59		

087005P44	39	510680,48	4162707,34	1,66	2,61				
087005P45	40	511152,63	4162633,53	1,97	3,14				
087005P46	41	510245,90	4162456,07	10,63	3,56				
087005P47	42	510659,35	4162389,37	1,88	2,58	9,82	2,17	18,91	1,97
087005P48	43	511208,92	4162324,29	2,03	4,34	4,25	2,91	7,91	3,02
087005P49	44	511586,32	4162400,14	1,72	2,39	6,43	2,57	2,59	2,65
087005P50	45	509513,57	4162233,17	1,18	2,13	7,72	5,59		
087005P51	46	510274,14	4162226,70	1,43	2,37	8,39	3,35	16,15	4,74
087005P52	47	511130,89	4162147,33	1,34	2,38				
087005P53	48	511356,01	4162201,74	1,87	2,88	19,88	4,95		
087005P54	49	511410,43	4162127,06	2,59	2,32				
087005P55	50	509946,38	4162128,80	3,75	2,83	19,07	5,62		
087005P56	51	511493,42	4162038,92	1,84	3,91				
087005P57	52	510263,55	4162032,72	1,44	3,36	2,03	3,06	4,06	3,48
087005P58	53	510915,08	4161930,93	1,88	2,57	7,66	1,88		
087005P59	54	511266,62	4161956,03	1,50	2,47	9,34	2,01		
087005P60	55	511796,86	4161917,14	2,19	2,96				
087005P61	56	511940,12	4161900,21	2,19	3,23				
087005P62	57	509834,56	4161933,63	1,88	2,36	13,38	1,53		
087005P63	58	510238,71	4161917,80	1,44	3,51	5,23	2,55		
087005P64	59	511399,38	4161831,96	2,09	3,17	11,66	3,84		
087005P65	60	511549,10	4161829,76	1,78	5,48	11,21	2,44		
087005P66	61	510100,09	4161807,79	1,64	2,65	8,74	2,58		
087005P67	62	510678,77	4161726,83	1,47	2,36	1,88	2,41	9,04	1,6
087005P68	63	511174,45	4161624,81	1,47	2,5	2,47	2,93	18,29	1,83
087005P69	64	511651,17	4161540,15	2,09	3,27	5,87	2,99		
087005P70	65	511088,27	4161394,93	1,97	4,14	2,44	4,64	8,11	2,41
087005P71	66	511871,63	4161342,84	2,81	3,89				
087005P72	67	511220,28	4161034,01	1,87	4,55	2,50	5,22	6,38	4,24
087005P73	68	511589,51	4161083,76	2,72	5,06				
087005P74	69	511132,77	4160851,18	1,68	2,46				
087005P75	70	511628,49	4160901,76	2,75	3,76				

Tabella 1: siti di misura a stazione singola dei microtremori ricadenti nell'area di studio del comune di Aci Sant'Antonio.

In funzione delle frequenze stimate risultano maggiormente vulnerabili le strutture che abbiano frequenza propria prossima o leggermente superiore alle stesse per le ragioni che saranno espone in seguito.

Infatti, in funzione della relazione tipica esistente tra l'altezza di un edificio e la frequenza del primo modo di vibrare per le strutture in c.a (Masi et al., 2008) andrebbero evidenziate, a grande "scala", 3 fasce di frequenza di interesse ingegneristico:

- $0.6 \leq f < 2.0$ Hz questa fascia riguarda strutture di dimensioni grandi ($> 10 \div 20$ piani, indicativamente);
- $2.0 \leq f < 10.0$ Hz questa fascia riguarda strutture di dimensioni medio-piccole (1-10 piani, indicativamente);
- $10.0 \leq f < 20.0$ Hz questa fascia riguarda strutture di piccole dimensioni (< 3 m altezza, indicativamente).

L'ubicazione dei siti di misura è stata impiegata per la redazione della carta delle frequenze allegata, dove, per ogni singolo sito di misura, vengono mostrati i valori di frequenza e di ampiezza relativi all'asse centrale del picco o dei picchi caratteristici riconosciuti (Figura 2).

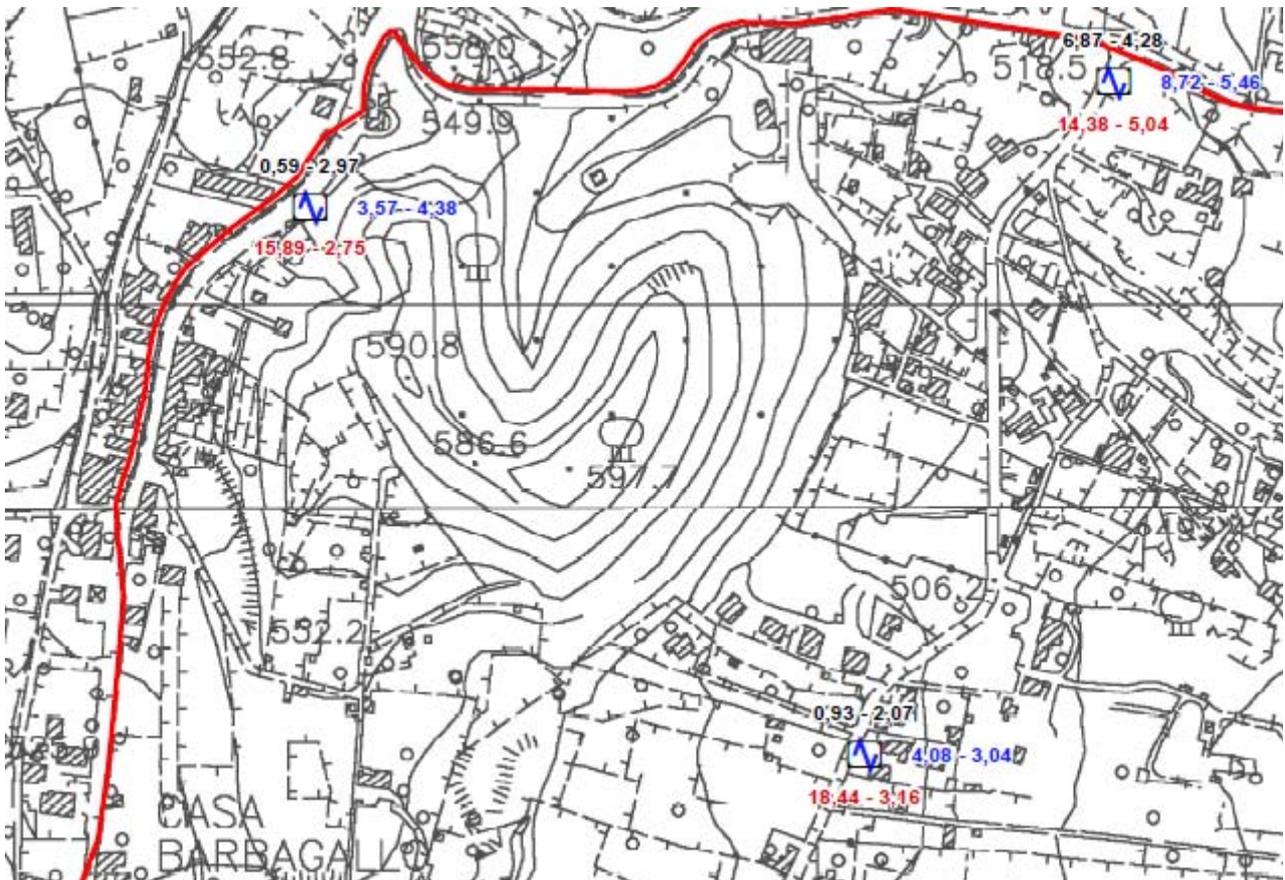


Figura 2: Esempio di tre siti di misura HVSR presenti nella carta delle frequenze allegata, mostrandone i valori di frequenza ed ampiezza dei picchi significativi (tre in questo caso).

Nei grafici dei rapporti spettrali HVSR relativi a ogni stazione di misura sono stati individuati tutti i picchi significativi caratterizzati da un' amplificazione minima attesa per il range di frequenza esaminato; si ribadisce, dunque, che l'amplificazione minima corrisponde al massimo della curva H/V nell'intervallo di frequenza considerato.

E' essenziale ricordare che una struttura si ritiene salva dalla possibilità di doppia risonanza col terreno solo quando la frequenza propria del terreno risulta superiore a quelle principali della struttura stessa; quando le due frequenze coincidono, si parla di vulnerabilità per doppia risonanza.

Quando la frequenza propria della struttura è superiore a quella del sottosuolo (entro un 25% o più) si parla comunque di possibile vulnerabilità per due ragioni:

- perché un edificio che inizi a danneggiarsi strutturalmente diminuisce le frequenze dei propri modi di vibrare, potendo entrare in risonanza con il sottosuolo nelle fasi finali del terremoto,
- perché i modelli basati su onde di volume (onde S) suggeriscono a volte possibilità di amplificazione anche a frequenze maggiori di quelle rilevate con la tecnica dei microtremori. Questo accade in particolare per le registrazioni effettuate su suoli artificiali rigidi (cfr. Castellaro e Mulargia, 2009).

Per l'area investigata, l'esito dei test statistici (linee guida SESAME, 2004) evidenzia che per tutte le misure effettuate vengono soddisfatti i criteri di bontà d'esecuzione, analisi ed affidabilità (esempio in Figura 3).

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	2.75 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	2145.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 133	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.188 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	5.938 Hz	OK	
$A_0 > 2$	3.76 > 2	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01427 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.03925 < 0.1375	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.485 < 1.58	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Figura 3: tabelle dei criteri per una curva H/V affidabili e per un picco H/V chiaro relativi all'indagine 087005P75 di Acì Sant'Antonio i cui requisiti vengono soddisfatti.

Occorre notare, in generale, che i primi tre criteri di tale tabella dicono se la registrazione è stata condotta per un tempo sufficientemente lungo rispetto alla frequenza del picco considerata; è necessario che questi tre criteri siano tutti soddisfatti.

I picchi principali di risonanza per ciascuna delle misure non sempre risultano significativi e chiari, come evidenziato dal fatto che non vengono soddisfatti tutti i sei criteri analizzati della Tabella relativa ai "Criteri per un picco H/V chiaro" (esempio in Figura 4), i quali indicano se il "picco" è significativo dal punto di vista statistico; va detto

che cinque di questi sei criteri andrebbero soddisfatti e che il mancato soddisfacimento dei requisiti non implica una cattiva registrazione del segnale, ma soltanto la mancanza di contrasti d'impedenza tali da dar origine a picchi significativi.

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	$25.31 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$11137.5 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 1216	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	18.719 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	34.719 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.55 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.05996 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$1.51768 < 1.26563$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4116 < 1.58$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Figura 4: tabelle dei criteri per una curva H/V affidabili e per un picco H/V chiaro relativi all'indagine 087005P12 di Aci Sant'Antonio i cui requisiti non vengono soddisfatti.

Dunque, alla luce delle elaborazioni e di quanto suindicato tutte le misure eseguite risultano avere un valore d'attendibilità pari ad "1".

Occorre, altresì, evidenziare come alcuni "picchi" riscontrati, in maniera più o meno

evidente, in tutte le stazioni di misura del tremore (per l'intero range di frequenza esaminato) siano da correlare a disturbi antropici (artefatti dovuti ad esempio: intenso traffico veicolare e/o particolari attività lavorative) caratterizzati da picchi stretti ("delta") presenti in tutte e tre le componenti spettrali con diversa ampiezza.

Bibliografia

Castellaro S., Mulargia F.; 2009 – Vs30 estimates using constrained H/V measurements, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 99, 761–773.

Dolce M. e altri 15 Autori; 2011 – Contributi per l'aggiornamento degli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica". *Ingegneria Sismica XXVIII*, n.2. Supplemento alla rivista trimestrale.

Gruppo di lavoro MS; 2008 – Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica, 3° Vol. e DVD.

Ibs-von Seht M., Wholenberg J.; 1999 – Microtremor measurements used to map thickness of soft sediments. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 89, 250–259.

Lanzo G., Silvestri F.; 1999 – *Risposta Sismica Locale. Teoria ed esperienze*. Hevelius Edizioni. Marzo 1999.

Masi A., Vona M., Manfredi V.; 2008 – A parametric study on RC existing buildings to compare different analysis methods considered in the European seismic code (EC8–3). *Proc. of 14th World Conference on Earthquake Engineering*, Beijing, China, October 2008.

Mucciarelli M., Gallipoli M.R.; 2001 – A critical review of 10 years of microtremor HVSR technique. *Boll. Geofis. Teorica Appl.*, 42, 255–266.

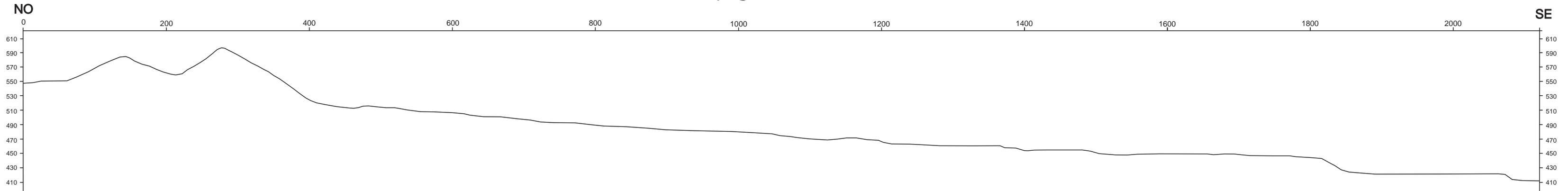
Nakamura Y.; 1989 – A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, *Q.R.Railway Tech. Res. Inst.*, 30, 25–33.

Nogoshi M., Igarashi T.; 1970 – On the propagation characteristics of microtremors. *J. Seism. Soc. Japan*, 23, 264–280.

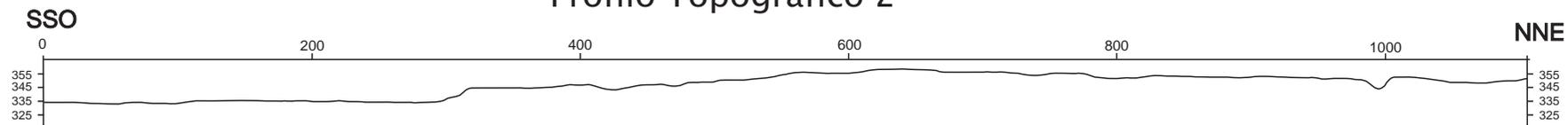
SESAME Working Group (2004) - Guidelines for the implementation of the h/v spectral ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation. <http://sesamefp5.obs.ujf-grenoble.fr/index.htm>.

Allegato 5 – Sezioni Topografiche Aci Sant'Antonio

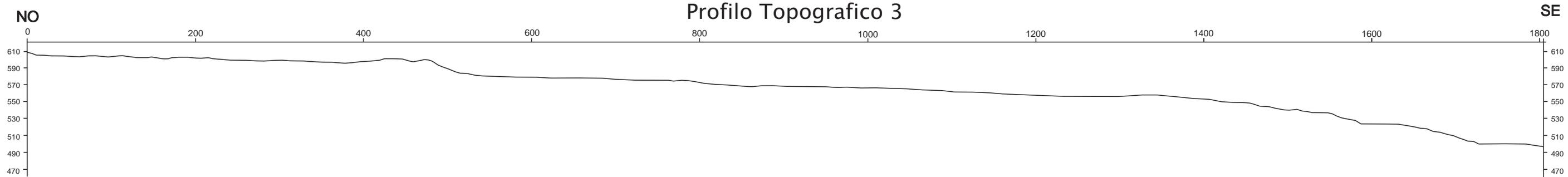
Profilo Topografico 1



Profilo Topografico 2



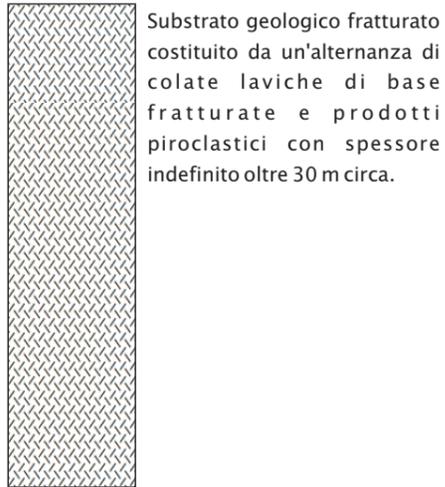
Profilo Topografico 3



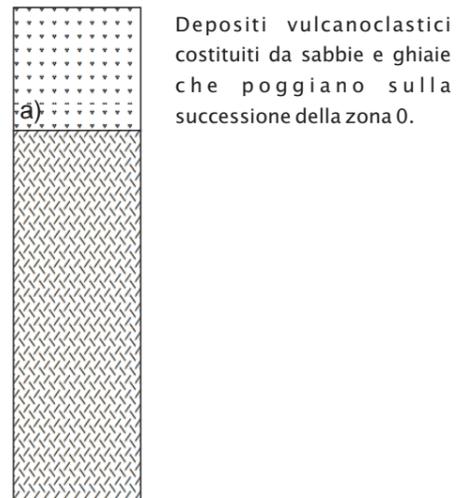
Allegato 6 – Schemi dei rapporti litostratigrafici più significativi

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

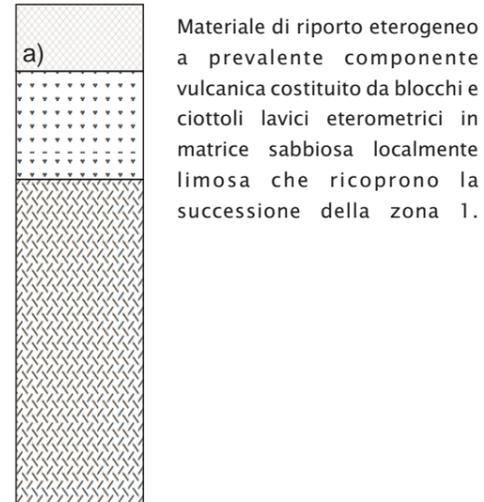
Zona 0



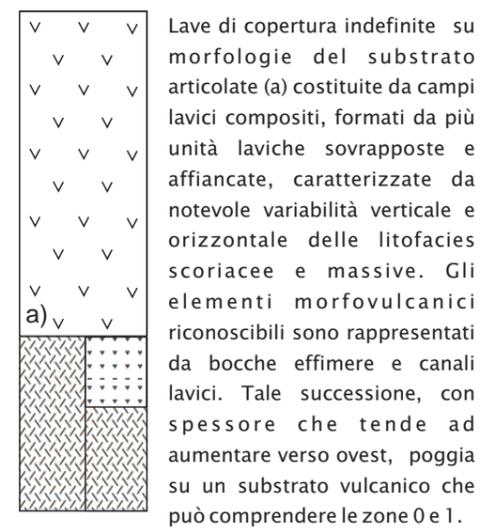
Zona 1



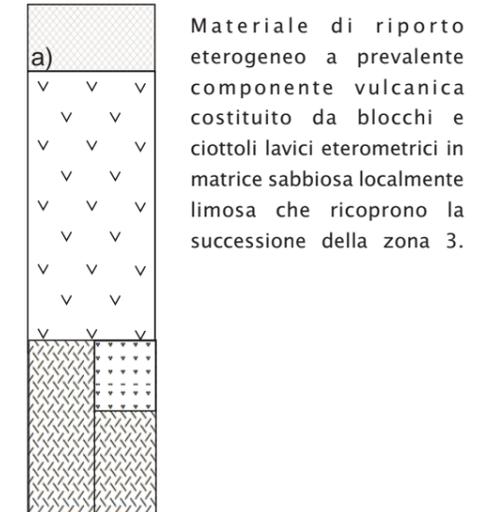
Zona 2



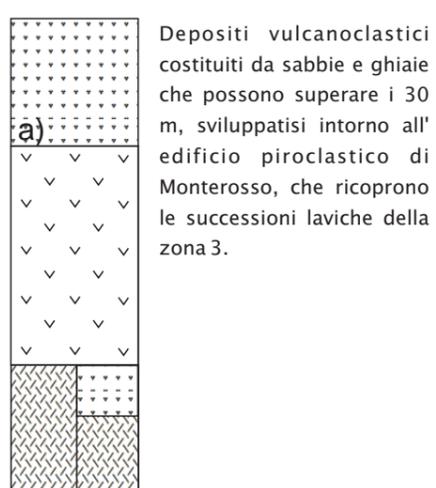
Zona 3



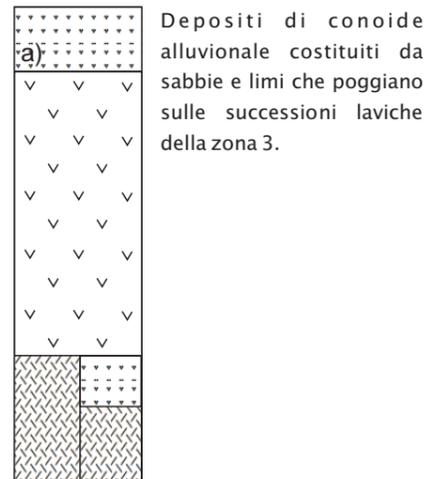
Zona 4



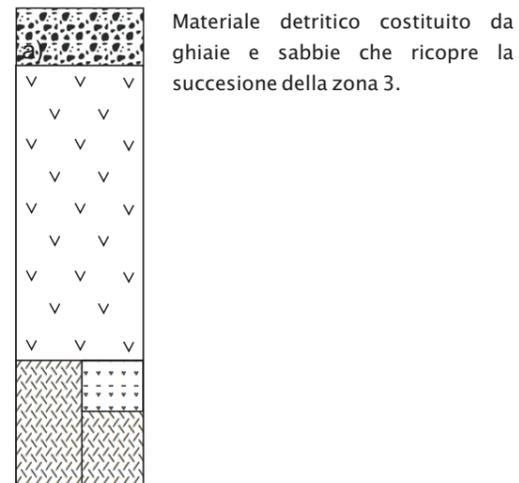
Zona 5



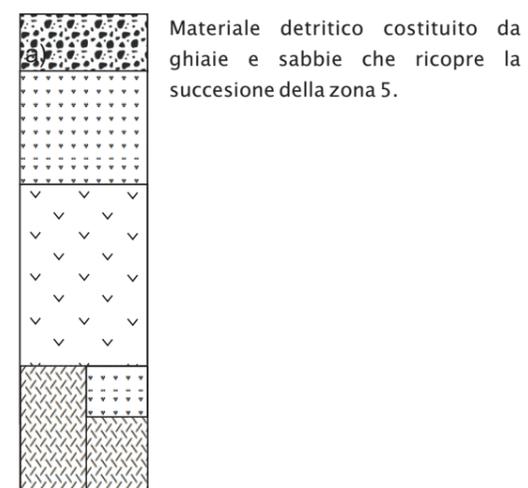
Zona 6



Zona 7



Zona 8



Zona 9

