

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

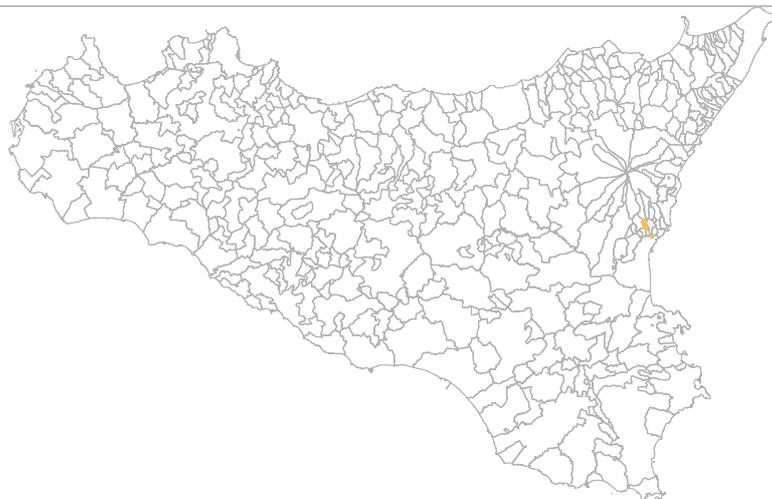
MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione Illustrativa

MS Livello 1

Regione Sicilia

Comune di Tremestieri Etneo



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: Novembre 2013</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------

Indice

1. Introduzione	3
2. Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento.....	11
3. Assetto geologico e geomorfologico dell'area	20
4. Dati geotecnici e geofisici	46
5. Modello del sottosuolo	62
6. Interpretazioni e incertezze	66
7. Metodologie di elaborazione e risultati	72
8. Elaborati cartografici	82
9. Confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati	88
10. Bibliografia	94
11. Allegati	100



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 Tremestieri Etneo (codice istat 087051), 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 espresso 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 dovuti 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 mirati 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 Tremestieri Etneo si riferiscono al primo livello di approfondimento e sono consistiti nella raccolta dei dati esistenti e nella redazione di una serie di elaborati cartografici (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 Tremestieri Etneo si sviluppa lungo il basso versante sud-orientale del Monte Etna, in Sicilia orientale, con un'estensione areale di circa 6 km². Esso comprende anche la frazione di Canalicchio, ubicata più a sud e separata dal resto del territorio comunale dal Comune di Sant'Agata Lì Battiati. In accordo con il Dipartimento Regionale della Protezione Civile, si è stabilito di estendere gli studi di microzonazione sismica di I livello all'intero territorio comunale, in mancanza di indicazioni da parte dell'amministrazione comunale, come da verbale della riunione tecnica del 24/04/2012 tra l'Università di Catania e il Dipartimento di Protezione Civile. Lo studio di MS di livello 1 è stato effettuato utilizzando come base cartografica la Carta Tecnica Regionale alla scala 1:10.000, realizzata dalla Regione Sicilia nel 2008. In particolare l'area di studio ricade all'interno della Sezione CTR 634010, 634020 e 634060 (Fig. 1).

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

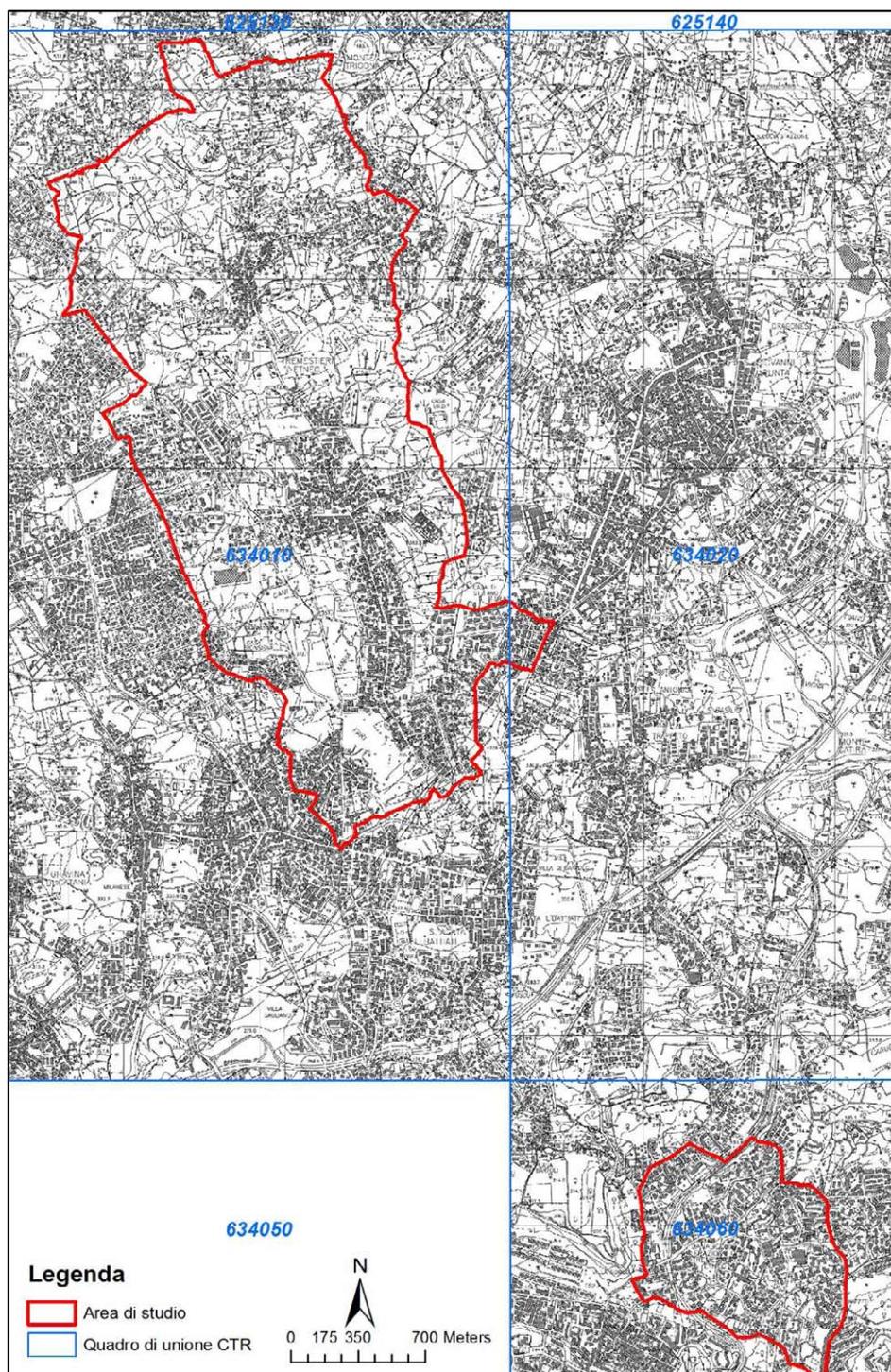


Fig. 1 – Ubicazione dell'area in cui sono stati effettuati gli studi di MS di livello 1 (delimitata in rosso), nel territorio comunale di Tremestieri Etneo, all'interno delle Sezioni CTR 634010, 634020 e 634060.

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 Tremestieri Etneo è stato possibile attingere ad una sufficiente quantità d'informazioni pregresse, anche se quasi esclusivamente di tipo geofisico (misure di microtremore ambientale) concentrate nel settore centro-orientale del centro abitato principale, a cavallo del lineamento tettonico che si estende nel territorio comunale in direzione NNE-SSO (Faglia di Tremestieri). Seppure non omogeneamente distribuiti, i dati raccolti hanno permesso di vincolare la successione stratigrafica dell'area e consentito una sufficiente ricostruzione 3D delle successioni. E' ovvio che livelli di indeterminazione permangono per quanto attiene lo spessore dei terreni di copertura e la reale profondità del substrato nelle aree prive di dati di sottosuolo diretto. In questo caso si è fatto riferimento a proiezioni dei dati disponibili in aree limitrofe, sulla base di una scrupolosa interpretazione delle evidenze di superficie, nella previsione di infittire le indagini nei successivi stadi di approfondimento.

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 poco 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 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



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77
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 a 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 Tremestieri Etneo, relativi a studi e indagini effettuate per lo studio geologico a supporto del Piano Regolatore Generale (P.R.G.) realizzato nel 1999 e a indagini integrative realizzate nel 2006 nell'ambito di studi di approfondimento della Faglia di Tremestieri in località Ravanusa, sono sintetizzati in diversi elaborati di seguito elencati:

Studio geologico a supporto del P.R.G.:

- Relazione P.R.G. definitivo
- Allegato A/1, A/2, A/3, A/4, A/5 - Carta geologica in scala 1:2.000
- Allegato B/1, B/2, B/3, B/4, B/5 - Carta geomorfologica in scala 1:2.000
- Allegato C/1, C/2, C/3, C/4, C/5 - Carta litotecnica in scala 1:2.000

- Allegato D/1, D/2, D/3, D/4, D5 - Carta delle zone a maggior pericolosità sismica locale in scala 1:2.000
- Allegato E/1, E/2, E/3, E/4, E/5 - Carta della pericolosità geologica in scala 1:2.000
- Allegato G - Rapporto indagini geofisiche
- Allegato H - Relazioni di settore
 - Relazione Geologica
 - Relazione Geomorfologica
 - Relazione Litotecnica
 - Relazione sulla pericolosità sismica locale
 - Relazione sulla pericolosità geologica
 - Relazione finale
- Studi ed indagini integrative di una zona a sud della faglia di Tremestieri in località Ravanusa

Nel presente studio sono state utilizzate anche le misure di microtremore ambientale lungo tre transetti che attraversano la Faglia di Tremestieri, effettuate da Lombardo e Rigano (2006).

I dati a nostra 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 microtremori 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



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77
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, 2009; 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 Tremestieri Etneo in provincia di Catania, con riferimento alla storia sismica del Comune 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 Tremestieri Etneo (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 Tremestieri Etneo 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; 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 Tremestieri Etneo viene catalogato con intensità X MCS (Barbano, 1985). La figura 3 riporta il risultato della ricerca sul database DBMI11, che individua 27 eventi significativi per il territorio di Tremestieri Etneo, a partire dall'evento del 1693. La figura 4 riporta il conseguente grafico relativo alla sismicità storica del comune di Tremestieri Etneo.

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

Locality	MCS	Locality	MCS
Acate (Biscari)	X	Massannunziata	X
Aci Bonaccorsi	X	Mazzerano	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 (Centorbi)	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 (Spaccaforno)	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
10	1693 01 11 13:30	Sicilia orientale	185	11 7.41 ±0.15
8-9	1818 02 20 18:15	Catanese	128	9-10 6.23 ±0.12
3	1906 06 02 00:10	MASSA ANNUNZIATA	19	6 3.71 ±0.26
5	1914 05 08 18:01	LINERA	82	9-10 5.29 ±0.26
3	1931 08 03 21:12	FIANDACA	40	6-7 3.94 ±0.26
NF	1947 05 11 06:3	Calabria centrale	254	8 5.70 ±0.13
2-3	1957 03 03 09:27	ZAFFERANA ETNEA	18	6 3.71 ±0.26
5	1980 08 21 15:57	TREMESTIERI ETNEO	3	5-6 3.49 ±0.26
3-4	1980 08 23 07:52	PIZZO CARAMMO	17	6 3.71 ±0.26
2-3	1980 09 28 15:04	C.DA INCHIUSO	27	6 3.71 ±0.26
3	1982 07 06 14:37	C.DA ALGERAZZI	150	6-7 3.94 ±0.26
3	1984 10 19 17:43	ZAFFERANA ETNEA	124	7 4.16 ±0.26
4	1984 10 25 01:11	FLERI	122	8 4.61 ±0.26
NF	1985 03 23 06:43	TORRE DEL GRIFO	18	5-6 3.49 ±0.26
4	1986 01 29 09:07	NICOLOSI	27	6 3.71 ±0.26
NF	1986 10 29 23:18	PIANO PROVENZANA	74	7 4.16 ±0.26
NF	1986 11 03 06:32	C.DA ALGERAZZI	86	6 3.71 ±0.26
NF	1988 10 28 18:48	PIANO PERNICANA	66	6 3.71 ±0.26
6	1990 12 13 00:2	Sicilia sud-orientale	304	7 5.64 ±0.09
3	1998 01 10 08:45	VERSANTE SUD-OCCIDENTALE	44	6 3.71 ±0.26
NF	1998 05 22 11:54	NICOLOSI	29	6 3.71 ±0.26
4	2001 01 09 02:51	ZAFFERANA ETNEA	104	6 3.71 ±0.26
NF	2001 10 28 09:03	S. M. AMMALATI	67	6 3.71 ±0.26
3-4	2002 03 24 23:05	VERSANTE ORIENTALE	40	5-6 3.49 ±0.26
4	2002 11 24 06:59	VERSANTE ORIENTALE	15	5-6 3.49 ±0.26
4	2005 10 31 00:02	TRECASTAGNI	32	6 3.71 ±0.26
3-4	2006 05 20 07:05	VERSANTE SUD-OCCIDENTALE	27	5-6 3.49 ±0.26

Fig. 3 – Eventi sismici significativi per il Comune di Tremestieri Etneo, 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.

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

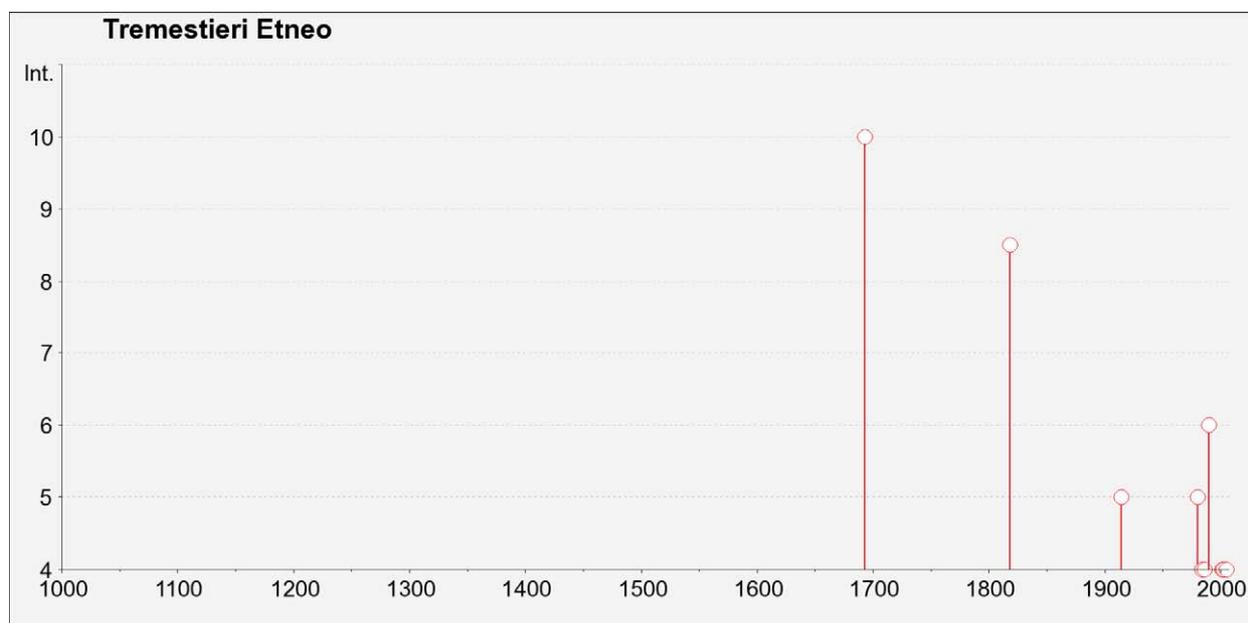


Fig. 4 – Grafico relativo alla sismicità storica del comune di Tremestieri Etneo.

Catalogazione del Comune di Tremestieri Etneo 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 Tremestieri Etneo è univocamente individuata dalle coordinate geografiche internazionali:

LATITUDINE : 37.57 N

LONGITUDINE : 15.057 E

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 ag 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

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

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 Tremestieri Etneo con riferimento al valore di PGA per una probabilità di eccedenza in 50 anni del 10%, del 5% e del 2%.

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.

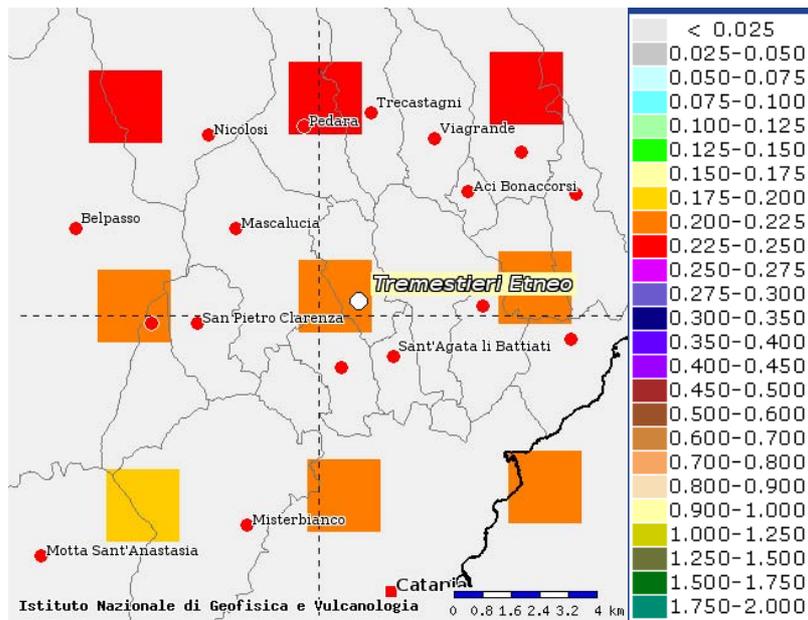


Fig. 6 – Mappa interattiva di pericolosità sismica del territorio di Tremestieri Etneo. I punti della griglia visualizzati si riferiscono a: parametro dello scuotimento $a(g)$, probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

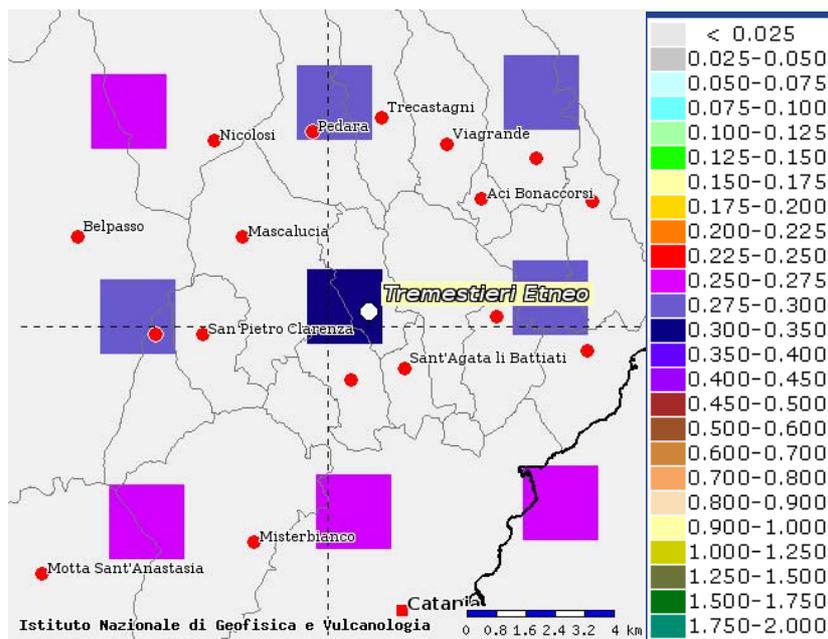


Fig. 7 – Mappa interattiva di pericolosità sismica del territorio di Tremestieri Etneo. I punti della griglia visualizzati si riferiscono a: parametro dello scuotimento $a(g)$, probabilità di superamento del 5% in 50 anni.

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

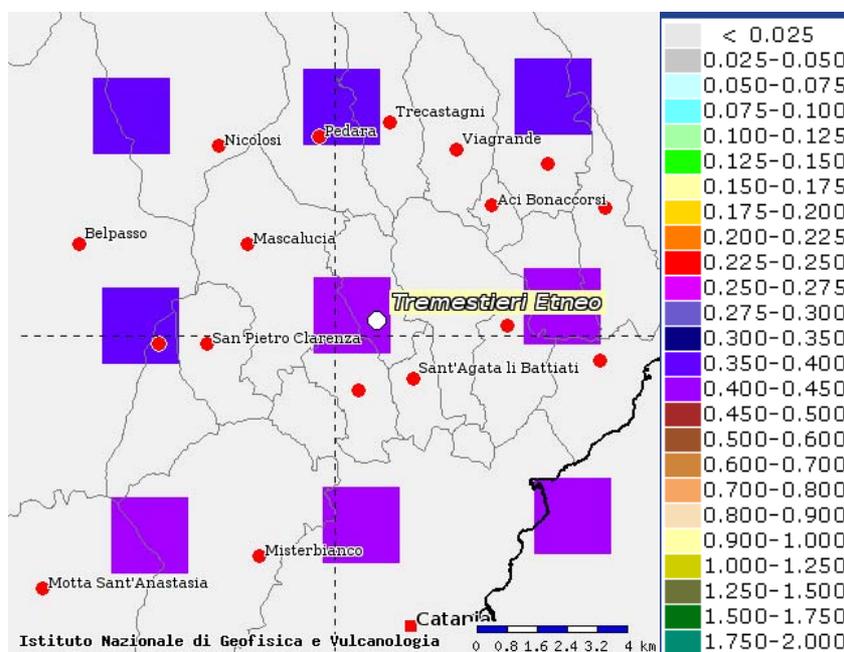


Fig. 8 – Mappa interattiva di pericolosità sismica del territorio di Tremestieri Etneo. I punti della griglia visualizzati si riferiscono a: parametro dello scuotimento $a(g)$, probabilità di superamento del 2% in 50 anni.

I risultati ottenuti per il territorio di Tremestieri Etneo vengono sintetizzati nella tabella 1 di seguito riportata e consentono di calcolare la curva di pericolosità sismica al sito (Fig. 9).

T_R [anni]	a_g [g/10]
475	0.200-0.225
975	0.300-0.350
2475	0.400-0.450

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

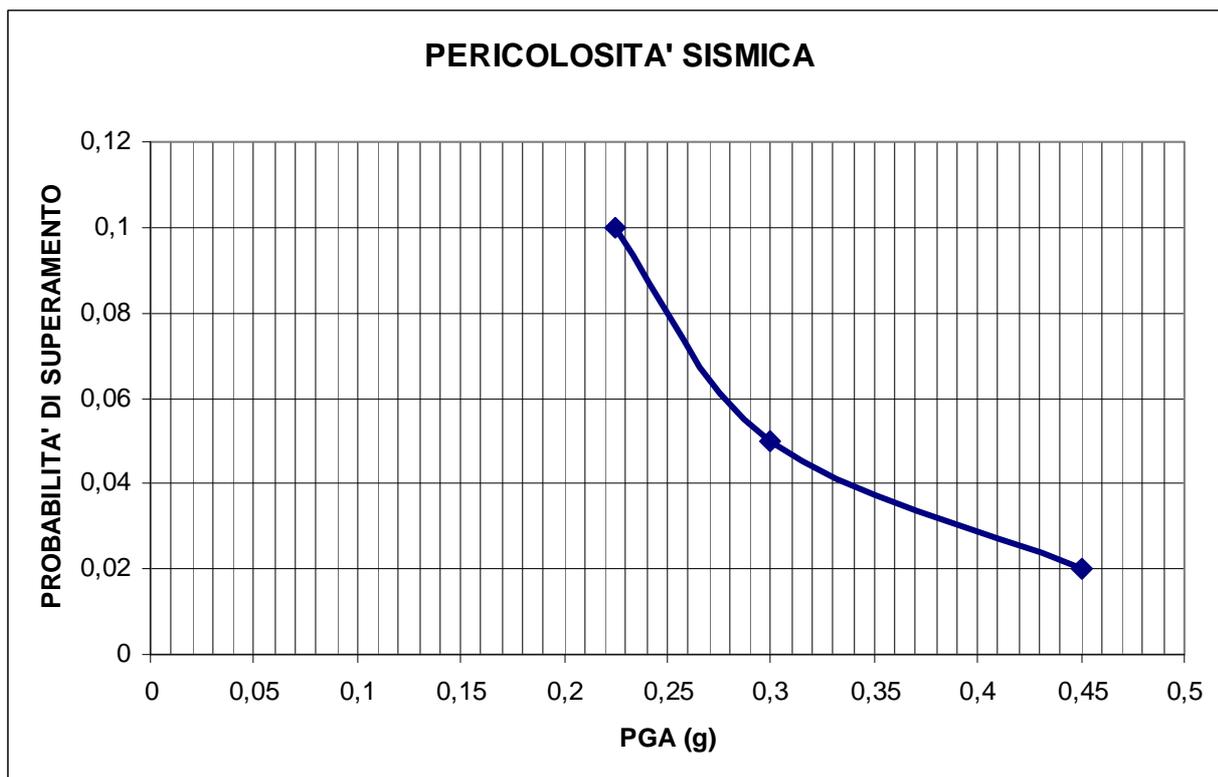


Fig. 9 – Curva di pericolosità sismica al sito per il territorio di Tremestieri Etneo. La curva rappresenta il valore della mediana.

Il territorio del Comune di Tremestieri Etneo è stato individuato sul database DBMI11 (con 27 eventi sismici significativi tra il 1693 ed il 2006) con una intensità macrosismica espressa nella scala MCS che raggiunge il suo valore massimo in MCS = X 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 a_g su suolo rigido (categoria A; $V_{s30} > 800$ m/sec) con probabilità di superamento in 50 anni pari a: 0.200–0.225 per il 10%, 0.300–0.350 per il 5% e 0.400–0.450 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 Tremestieri Etneo.

3. Assetto geologico e geomorfologico dell'area

L'abitato di Tremestieri Etneo ricade nel settore sud-orientale dell'Etna, direttamente esposto ai flussi lavici recenti che si sono originati lungo i sistemi eruttivi del fianco



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 meridionale del vulcano. L'area di studio principale del territorio comunale è allungata in direzione NNO–SSE, circa parallela ai principali flussi lavici, e occupa una porzione del vulcano ad acclività relativamente bassa, da una quota di circa 500 a circa 340 m s.l.m.. L'area di studio secondaria è localizzata più a sud, nelle aree periferiche dell'edificio vulcanico, a quote tra i 200 e i 100 m s.l.m..

L'area del centro urbano è essenzialmente costituita dai campi lavici che sono stati direttamente alimentati dagli apparati eruttivi disposti lungo il Rift meridionale dell'Etna (Kieffer, 1975) e pertanto riferibili alle diverse fasi evolutive del Mongibello Recente, attuale stratovulcano (< 15 ka; Gillot et al., 1994).

Secondo la “Carta geologica del Monte Etna” alla scala 1:50.000 (AA.VV., 1979; Fig. 10) il territorio di Tremestieri Etneo è stato raggiunto dalla colata lavica del **1408** che ricopre una serie di flussi lavici più antichi tutti canalizzati in direzione di una valle parzialmente sepolta, modellata sulle colate attribuite ai Centri Alcalini Antichi (**Ita** in Fig. 10; 168–100 ka, Gillot et al., 1994) o nelle sottostanti Argille marnose azzurre quaternarie (**Qa** in Fig. 10) del substrato sedimentario pre–Etneo. Le porzioni distali dei flussi lavici canalizzati all'interno della valle, incisa nelle argille quaternarie, costituiscono l'area di studio della frazione di Canalicchio. Secondo la carta geologica, in entrambe le zone, per la loro posizione periferica, affiorerebbe una successione di vulcaniti recenti molto sottile che tende ad assottigliarsi ulteriormente verso la periferia del vulcano. I prodotti storici riconosciuti nel centro urbano principale avrebbero, infatti, ricoperto una sottile successione costituita da colate laviche recenti non datate (**lpr** in Fig. 10), poggiati direttamente sui livelli basali del Mongibello Recente (**lpn** in Fig. 10). Al contrario, nella zona di Canalicchio le lave attribuite alla colata lavica del 122 a.C. poggierebbero

direttamente sul substrato sedimentario o su lave pre-oloceniche (ve in Fig. 10). La carta segnala inoltre la presenza nel settore occidentale del territorio comunale di un segmento di faglia, nota come Faglia di Tremestieri, che disloca le colate recenti. Parallela alla struttura, lungo il confine con il limitrofo comune di Mascalucia, è segnalata la presenza della fessura eruttiva cui è stata associata la colata del 1381, nota come Fossa del Cavòlo.

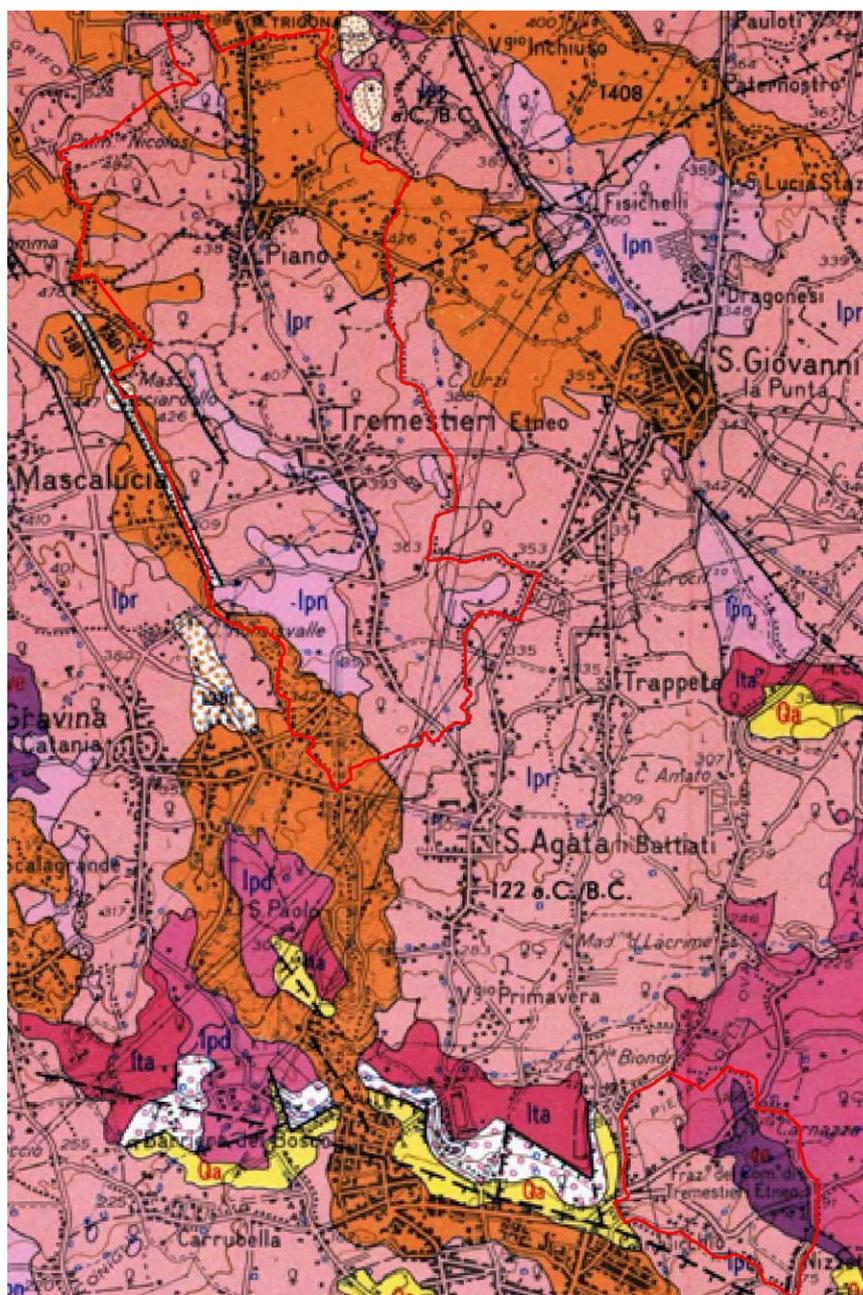


Fig. 10 - Stralcio della Carta geologica del Monte Etna (AA.VV., 1979 mod).

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

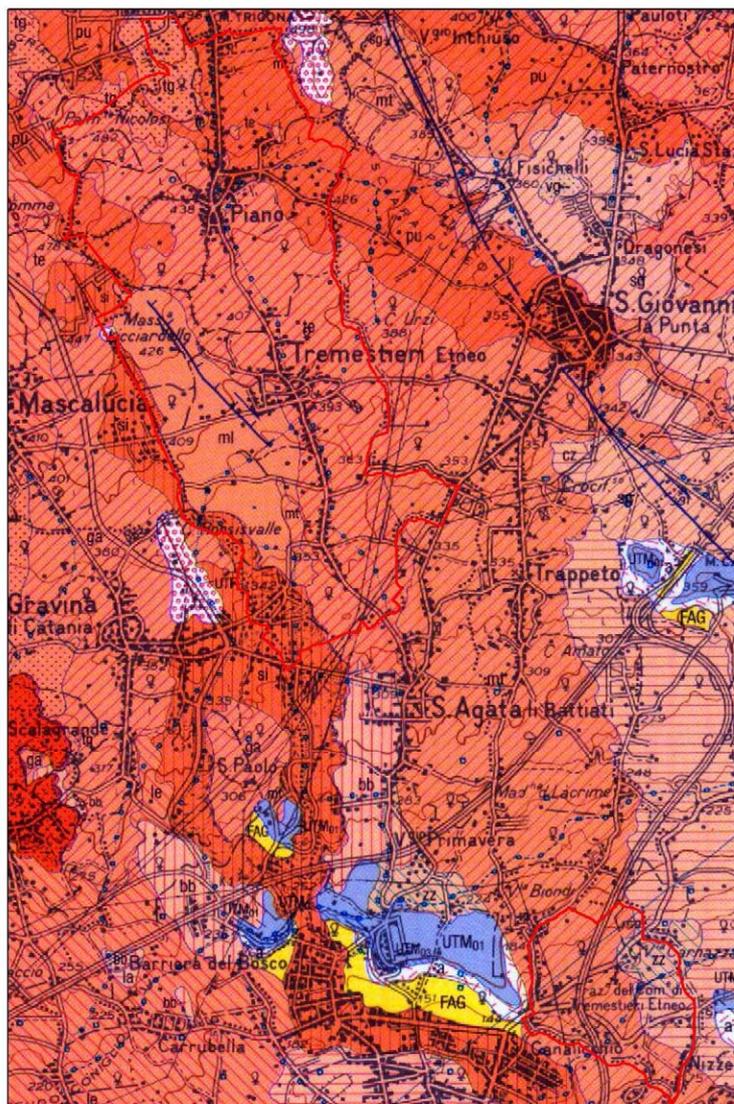


Fig. 11 – Stralcio del Foglio Geologico 634 “Catania” (AA.VV., 2009 mod).

Nello schema di legenda del Foglio Geologico 634 “Catania” (AA.VV., 2009)(Fig. 11), successivamente integrato da Branca et al. (2011) che specificano meglio le datazioni dei prodotti (Fig. 12), la successione vulcanica affiorante nel territorio di Tremestieri comprende almeno due colate storiche (**pu** e **si** in Fig. 11; v. anche **sq¹** e **sm¹** in Fig. 12) per le quali si propone una datazione al 350 e al 1160, alternativa a quella proposta in

AA.VV. (1979). In particolare, la seconda datazione vincolerebbe anche l'età dell'ultima attivazione delle fessure eruttive poste al confine tra gli abitati di Tremestieri Etneo e Mascalucia.

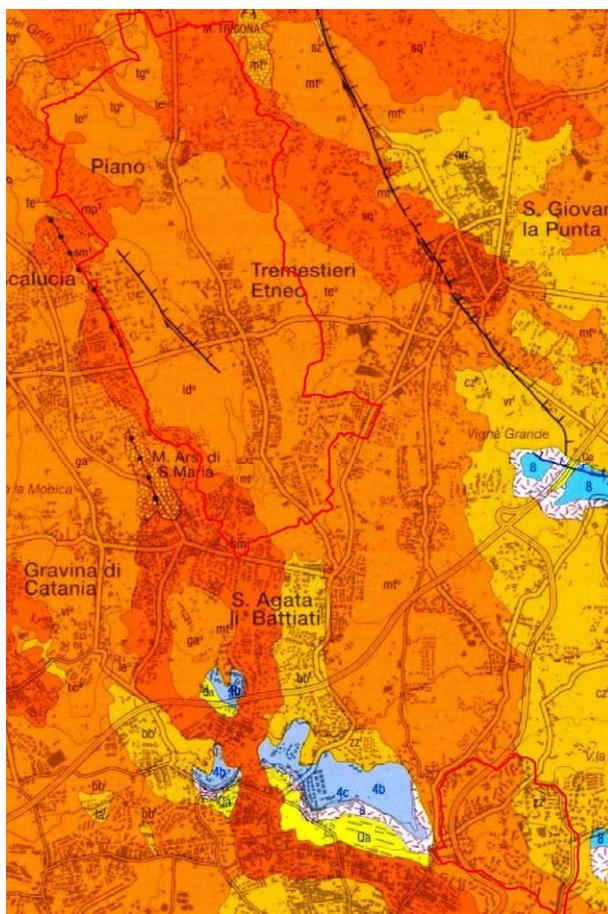


Fig. 12 - Stralcio della Carta Geologica del Vulcano Etna (Branca et al., 2011).

Le colate storiche affioranti nel centro urbano di Tremestieri Etneo poggiano su colate attribuite all'intervallo cronologico 4 ka–122 a.C. (es. **mt** in Fig. 11 o **mt^u** in Fig. 12) che risultano canalizzate nell'asse di una paleovalle modellata su lave di età compresa tra 145 e 121 ka (**UTM₀₁** in Fig. 11 o **4b** in Fig. 12) e sulle sottostanti Argille Grigio–Azzurre del Pleistocene medio (**FAG** in Fig. 11 o **Qa** in Fig. 12), affioranti nei territori comunali confinanti, posti tra l'area di studio principale e quella della frazione di Canalicchio. In quest'area di studio la successione vulcanica di riempimento della paleovalle, per la maggiore distanza dai punti di origine delle diverse colate, è molto ridotta e consiste nell'appoggio di un vasto campo lavico dell'intervallo cronologico 4 ka–122 a.C. (**mt** in

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

Fig. 11 o mt^u in Fig. 12) su colate assegnate all'intervallo 15–4 ka (**cz**, **zz** e **og** in Fig. 11 o **cz'**, **zz'** e **og'** in Fig. 12).

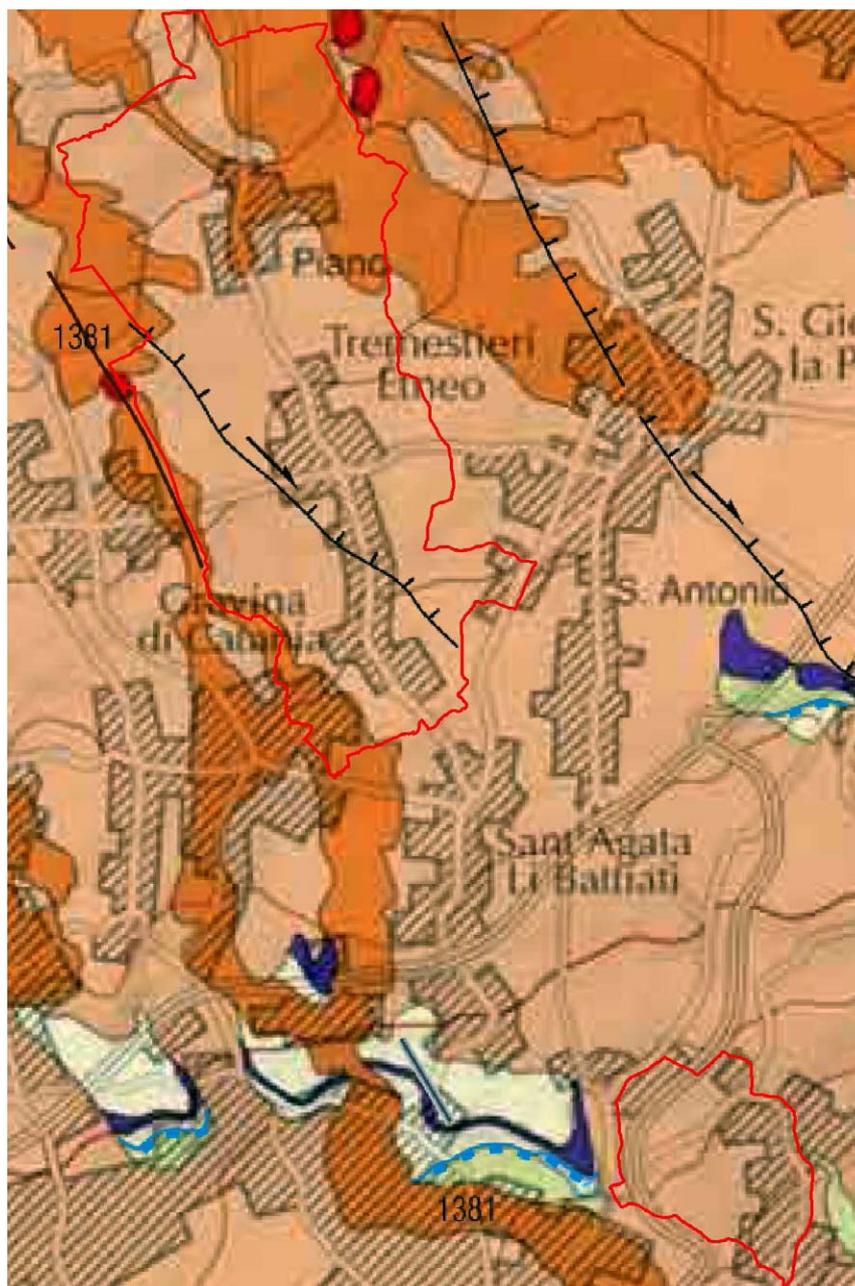


Fig. 13 – Stralcio della Carta Morfotettonica del Monte Etna (Monaco et al., 2008 mod).

La Carta Morfotettonica dell'Etna (Monaco et al., 2010) (Fig. 13) evidenzia sia la traccia della Faglia di Tremestieri, che attraversa con direzione NNO–SSE il centro abitato, sia la imponente fessura eruttiva, indicata comunemente come “Fossa del Cavòlo”, presente lungo il bordo occidentale del territorio comunale, che viene associata dagli Autori all’evento eruttivo del 1381, in analogia a quanto già riportato in AA.VV. (1979).

La Faglia di Tremestieri è un lineamento strutturale ben conosciuto nella letteratura geologica, definito in maniera esaustiva in Azzaro (1999)(Fig. 14) che ne descrive geometria e comportamento cinematico.

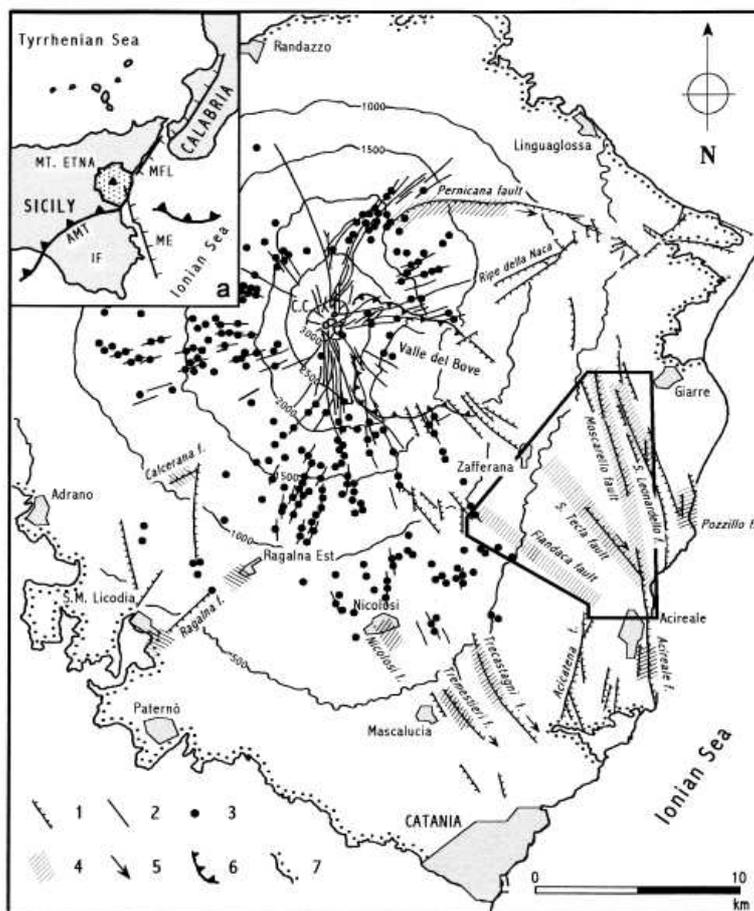


Fig. 1. Simplified structural map of Mt. Etna (after Rasà et al., 1996): 1, faults with bar on downthrown side; 2, eruptive fissures; 3, cinder cones; 4, coseismic surface faulting zones; 5, strike-slip components; 6, caldera rims; 7, limit of Etna volcanics; C.C., central crater. Box indicates area 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. 14 - Carta strutturale del Monte Etna (da Fig. 1 di Azzaro, 1999).

La struttura viene riportata anche nella Carta vulcano–tettonica dell’Etna (Azzaro et al., 2012)(Fig. 15) che mostra i rapporti geometrici tra la struttura e le fessure eruttive presenti al confine con il territorio di Mascalucia.

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

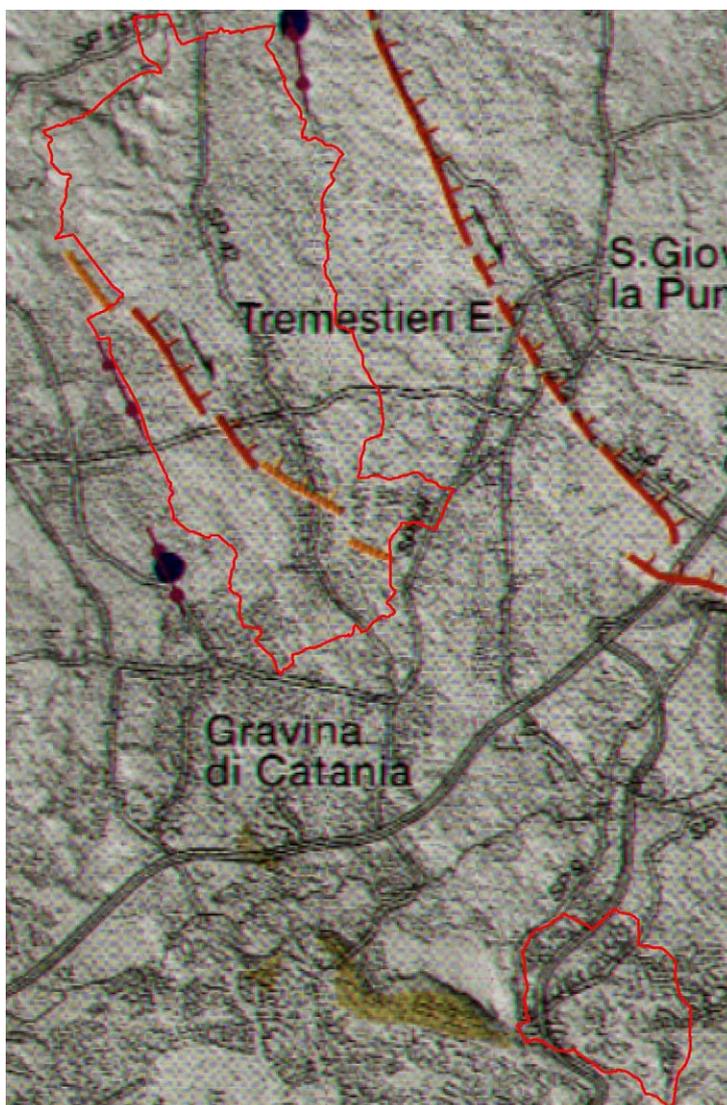


Fig. 15 - Carta vulcano-tettonica del Monte Etna (Azzaro et al., 2012 mod). Il territorio comunale è indicato in rosso.

Il modello cinematico sulle deformazioni attive dell'Etna più accreditato è stato proposto sulla base 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 footwall 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 fatturazione al suolo attiva, si manifestano come discontinuità permanenti nelle immagini DInSAR (Azzaro et al., 2013)(Fig. 16).

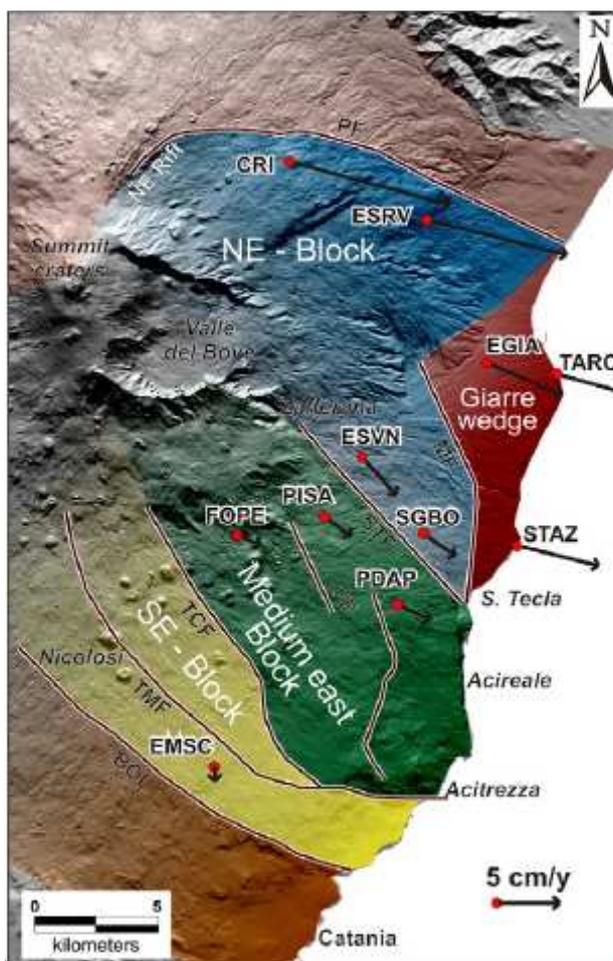


Fig. 16 – Modello cinematico del versante orientale del Monte Etna (da Azzaro et al., 2013).

Nel quadro cinematico attivo sintetizzato nel modello, la Faglia di Tremestieri (TMF in Fig. 16) sembrerebbe giocare un ruolo secondario, in quanto si svilupperebbe all'interno di un blocco cinematico bordato dalla Faglia di Trecastagni (TCF in Fig. 16) e dalla Linea Belpasso–Ognina (BOL in Fig. 16), alle quali andrebbe assegnato un ordine gerarchico superiore. La limitatezza della serie temporale delle misure geodetiche rende

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77
scarsamente significativa questa gerarchia delle strutture, che andrebbe invece valutata
sulla base della lunghezza e dei tassi di movimento di lungo periodo delle strutture.

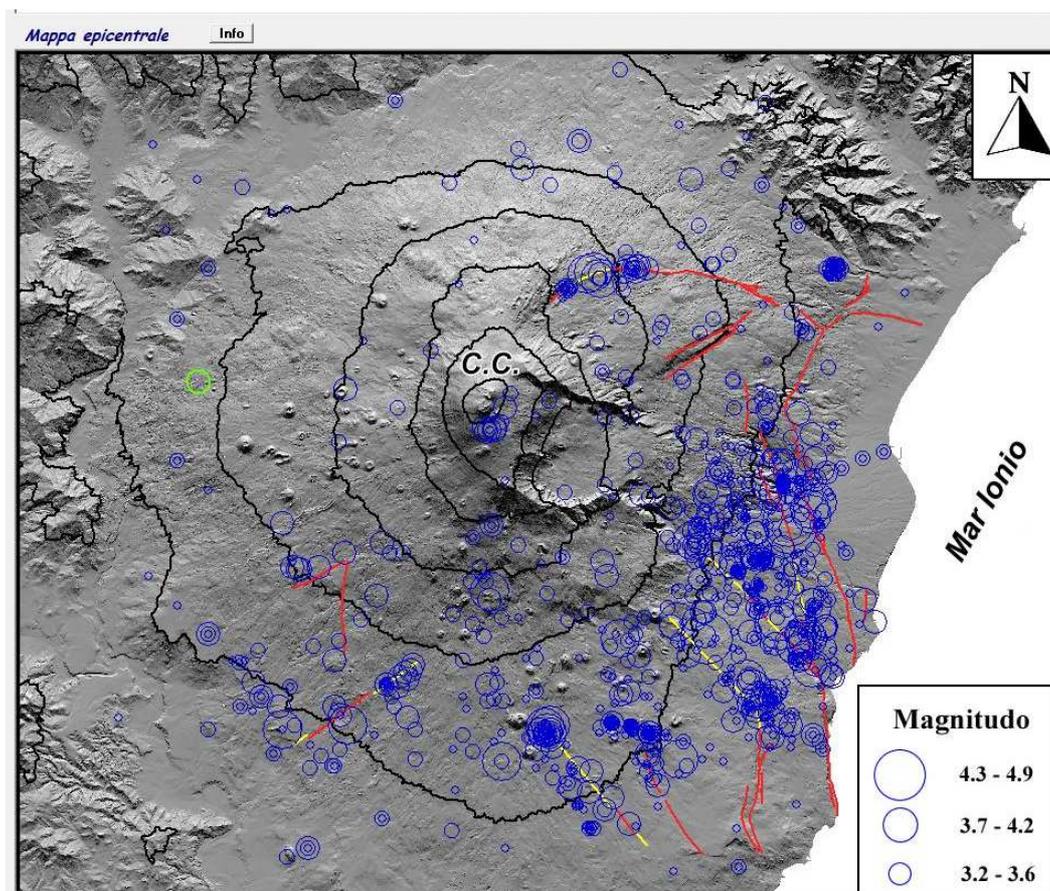


Fig. 17 - Carta sismo-tettonica del Monte Etna riportata nel Catalogo Macrosismico dei Terremoti Etnai dal 1832 al 2005 (Azzaro et al., 2000, 2009).

Queste sono state comunque tutte accreditate di una attività sismica storica, sintetizzata nel il Catalogo Macrosismico dei Terremoti Etnai dal 1832 al 2005 (Azzaro et al., 2000, 2009)(Fig. 17). La traccia della Faglia di Tremestieri riportata nel catalogo si estende verso NO in direzione dei territori di Mascalucia e Nicolosi, lungo un allineamento marcato da una chiaro addensamento di terremoti. E' interessante notare che tutto il tratto settentrionale della struttura è stato riportato come "faglia nascosta" (hidden fault)

ovvero privo di chiare evidenze morfologiche sul terreno, che sono in effetti rinvenibili solo per il breve tratto all'interno dell'abitato di Tremestieri, già segnalato nei lavori precedenti e nella cartografia tematica. Ciò significa che l'estensione verso NO della struttura e la sua presunta continuità in sottosuolo è stata unicamente basata sulla distribuzione degli eventi sismici.

Nel Catalogo della Faglie Capaci (Ithaca), la Faglia di Tremestieri viene in effetti descritta come uno dei segmenti che compongono il Sistema Tremestieri–Nicolosi, composto da tre distinti segmenti, denominati rispettivamente Faglia di Nicolosi (1 in Fig. 18), Faglia di Massa Annunziata (2 in Fig. 18) e Faglia di Tremestieri (3 in Fig. 18).

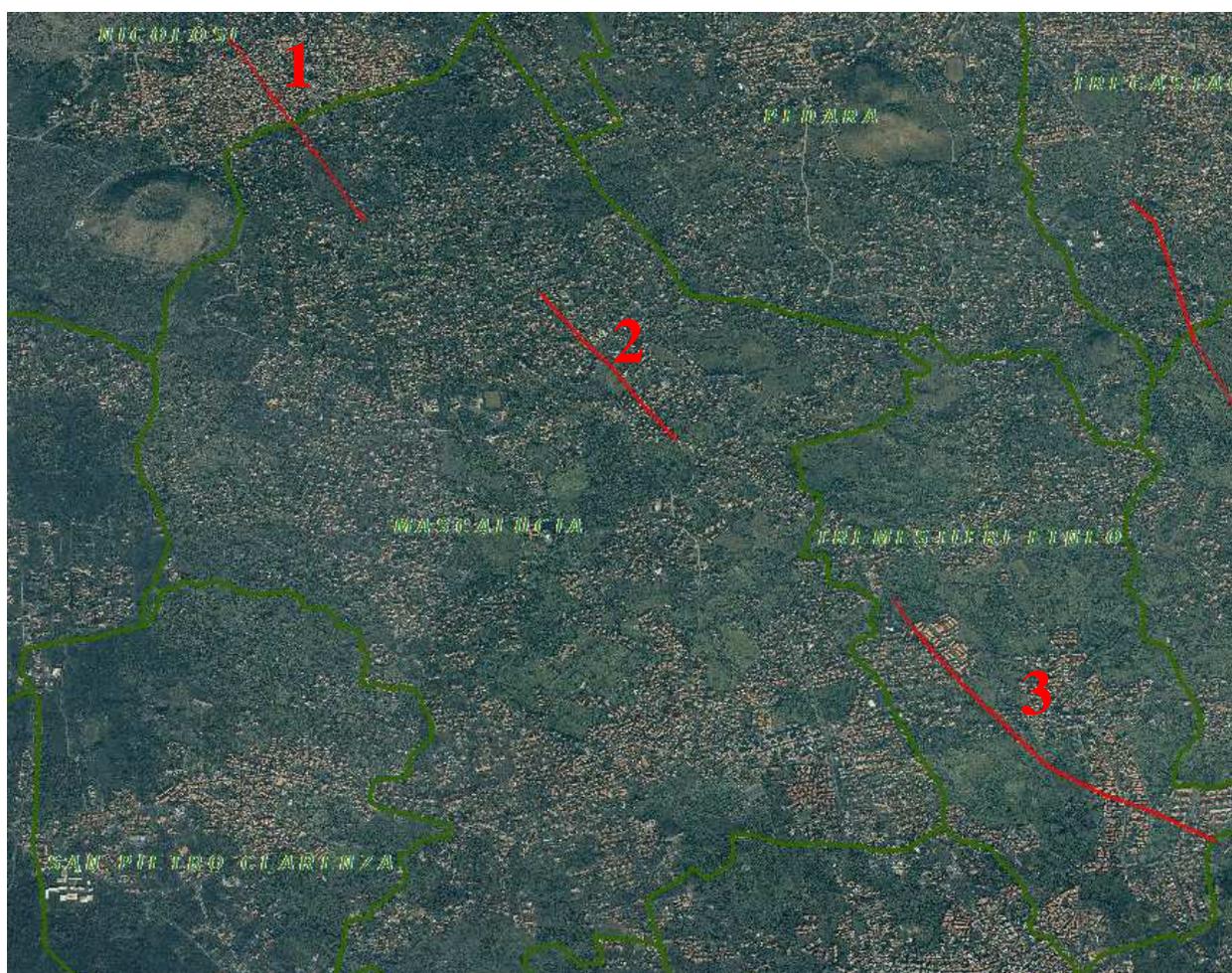


Fig. 18 – Segmenti di faglia attivi lungo il Sistema Tremestieri–Nicolosi, segnalate nel database Ithaca (http://193.206.192.227/wms_dir/Catalogo_delle_Faglie_Capaci_ITHACA.html#)

Secondo il catalogo, le faglie di Nicolosi e Tremestieri sarebbero quelle maggiormente vincolate dai dati disponibili e chiaramente associate ad una sismicità storica documentata. I parametri delle due faglie sono tali da accreditare una magnitudo

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77
massima pari a 4.3 (I=VII), per la Faglia di Nicolosi, e 3.1 (I=VII) per la Faglia di
Tremestieri. Il dettaglio della traccia della Faglia di Tremestieri e le schede riassuntive dei
parametri fisici e dei caratteri geologici della struttura sono riportati in Fig. 19.



PHISICAL 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 Tremestieri 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 (creeping phenomena observed during earthquake sequences).
FAULT NAME	Tremestieri
FAULT CODE	11200
MACROZONE	7
REGION NAME	Sicilia
SYSTEM NAME	Tremestieri-Nicolosi
RANK	PRIMARY
AVERAGE STRIKE	325
DIP	90
LENGTH (Km)	2.4
GEOMETRY	
SEGMENTATION	no
DEPTH (Km)	5
LOCATION RELIABILITY (MAPPING SCALE)	1:10000
LAST ACTIVITY	Historical (<3,000)
ACTIVITY RELIABILITY	High reliability
RECURRENCE INTERVAL (yr)	20
SLIP-RATE (mm/yr)	
MAX CREDIBLE RUPTURE LENGTH	0.7
MAX CREDIBLE SLIP (m)	0
KNOWN SEISMIC EVENTS	Date I (MSK) 1908/04/30 V-VI 1980/08/21 V 1980/08/23 VI
MAX CREDIBLE MAGNITUDE (Mw)	3.1
MAX CREDIBLE INTENSITY (INQUA scale)	VII
STUDY QUALITY	FAIR
NOTES	M in luogo di Mw by sicilia008

REFERENCES

FAULT CODE	AUTHORS	TITLE	REFERENCES	YEAR
11200	AZZARO R.	Earthquake surface faulting at Mount Etna volcano (Sicily) and implications for active tectonics.	J. Geodynamics, 28, 193-213.	1999
11200	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
11200	AA.VV.	Carta geologica del Monte Etna. Scala 1:50.000.	CNR - Progetto Finalizzato Geodinamica - Istituto Internazionale di Vulcanologia.	1979
11200	LO GIUDICE E.	Particolari aspetti del rischio sismico nell'area Etna.	Istituto Internazionale di Vulcanologia, Pubblicazione n. 281, 1988, 59-85.	1988
11200	IMPOSA S. COCO G. & CORRAO M.	Site effects close to structural lineaments in eastern Sicily (Italy)	Engineering Geology, 72, 331-341	2004
11200	AZZARO R., BARBANO M.S., ANTICHI B. & RIGANO' R.	Macroseismic catalogue of Mt. Etna earthquakes from 1832 to 1998.	Acta Vulcanologica, Vol. 12 (1-2) 2000, 3-36.	2000
11200	RASA' R., AZZARO R. & LEONARDI O.	Aseismic creep on faults and flank instability at Mount Etna volcano, Sicily	From McGuire, W.J., Jones, A. P. & Neuberg, J. (eds), Volcano Instability on the Earth and Other Planets - Geological Society Special Publication, n. 110, pp.179-192	1996

Fig. 19 - Faglie attive che ricadono nel comune di Tremestieri Etneo, segnalate nel database Ithaca (http://193.206.192.227/wms_dir/Catalogo_delle_Faglie_Capaci_ITHACA.html#)

E' interessante notare che i lavori di letteratura citati nel catalogo ai fini della valutazione del potenziale segnalano deformazioni anche per creep-asismico che si sommano a quelle direttamente riferibili ad eventi sismici. I movimenti di creep sono particolarmente intensi nella porzione meridionale della struttura.

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

Rilievo di fratturazioni al suolo nel Comune di Tremestieri Etneo

(Rilevamento del 3 luglio 2012)



Documentazione fotografica



Fig. 20 – Rilievo delle fratturazioni al suolo effettuato il 3/7/2012 dal Dipartimento Regionale della Protezione Civile – Servizio regionale di protezione civile per la Provincia di Catania – SIT.

All'interno dell'abitato di Tremestieri Etneo recenti movimenti asismici si sono manifestati alla fine di Giugno 2012 e gli effetti sui manufatti sono stati puntualmente rilevati e cartografati, nel Luglio 2012, dall'Ufficio SIT del Servizio Regionale di Protezione Civile per la Provincia di Catania (Fig. 20).

La valutazione degli effetti in termini di risposta di sito della Faglia di Tremestieri e dell'adiacente fessura eruttiva del Cavòlo è stata oggetto di alcuni studi geofisici specifici, i cui risultati sono discussi nel successivo capitolo 4.



Fig. 21 - Ubicazione delle sorgenti sismogeniche ITIS106 - Gravina di Catania e ITDS011 - Western Ionian rispetto all'area comunale di Tremestieri Etneo (in rosso) (DISS Working Group 2010, mod.).

Nella storia sismica del comune di Tremestieri Etneo appare evidente che il massimo risentimento si è avuto in occasione dell'evento del 1693, generato da movimenti lungo sorgenti poste al di fuori del sistema di faglie etnee prima descritto. Il DISS (Database of Individual Seismogenic Sources) Version 3.1.1 (DISS Working Group 2010) riporta come una delle possibili sorgenti sismogeniche dell'evento del 1693, una faglia inversa immergente verso NNO, la cui proiezione in superficie comprende la parte meridionale

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 del centro urbano e tutta la frazione di Canalicchio, catalogata come sorgente sismica individuale “ITIS106 – Gravina di Catania” (Fig. 21).

I parametri geometrici e cinematici, significativi per valutare il potenziale della sorgente sono riportati nella scheda di figura 22. Da questi si evince che la sorgente potrebbe produrre un evento di $M_w=6$, ad una profondità massima di 7 km, immediatamente a sud dell’abitato, con effetti disastrosi in superficie, in buon accordo con quanto registrato dai cataloghi macrosismici che valutano una Intensità MCS pari a X gradi degli effetti prodotti dal disastroso terremoto dell’11 Gennaio 1693.

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 M_0 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. 22 – Scheda classificativa della sorgente sismogenica ITIS106 – Gravina di Catania del Diss 3.1.1 (DISS Working Group 2010, mod.).

Nello stesso database, è riportata la presenza di una sorgente sismogenica, classificata come dibattuta e catalogata con il nome ITDS011 – Western Ionian (Fig. 22), 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.

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 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, con la conseguenza di 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), i cui effetti a terra sono 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



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77
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, compatibile con movimenti lungo le linee di faglia sommerse nell'immediato off-shore di Catania.

Ai fini della redazione della carta geologico-tecnica si è fatto riferimento alla cartografia di dettaglio allegata agli studi per la redazione del PRG, le cui tavole alla originaria scala 1:2000 sono state riassunte nella Fig. 23. La Carta Geologica del settore del centro urbano principale distingue le colate laviche storiche, riferite rispettivamente all'eruzione del 122 a.C., all'eruzione del 1381, associata alla fessura del Cavòlo, e all'eruzione del 1408. Le lave storiche sono distribuite su un substrato lavico indifferenziato, indicato come lave a morfologia degradata.

Nella zona della Frazione di Canalicchio, le lave attribuite all'eruzione del 122 a.C. poggiano su un orizzonte più antico, indicato come lave ben delimitabili che, a loro volta, ricoprono le lave riferibili all'attività del Vulcano Ellittico. Lungo il margine occidentale del territorio della frazione di Canalicchio, la carta geologica segnala la presenza in affioramento del substrato sedimentario rappresentato dalle Argille Marnose Azzurre del Pleistocene inferiore-medio. Nella carta è rappresentata la traccia della Faglia di Tremestieri, composta da un segmento settentrionale ad orientazione NNO-SSE, circa parallelo all'adiacente fessura eruttiva del "Cavòlo", ed uno meridionale ad andamento NO-SE. Un'ulteriore faglia è stata posta al contatto tra substrato e lave, nell'area di Canalicchio.

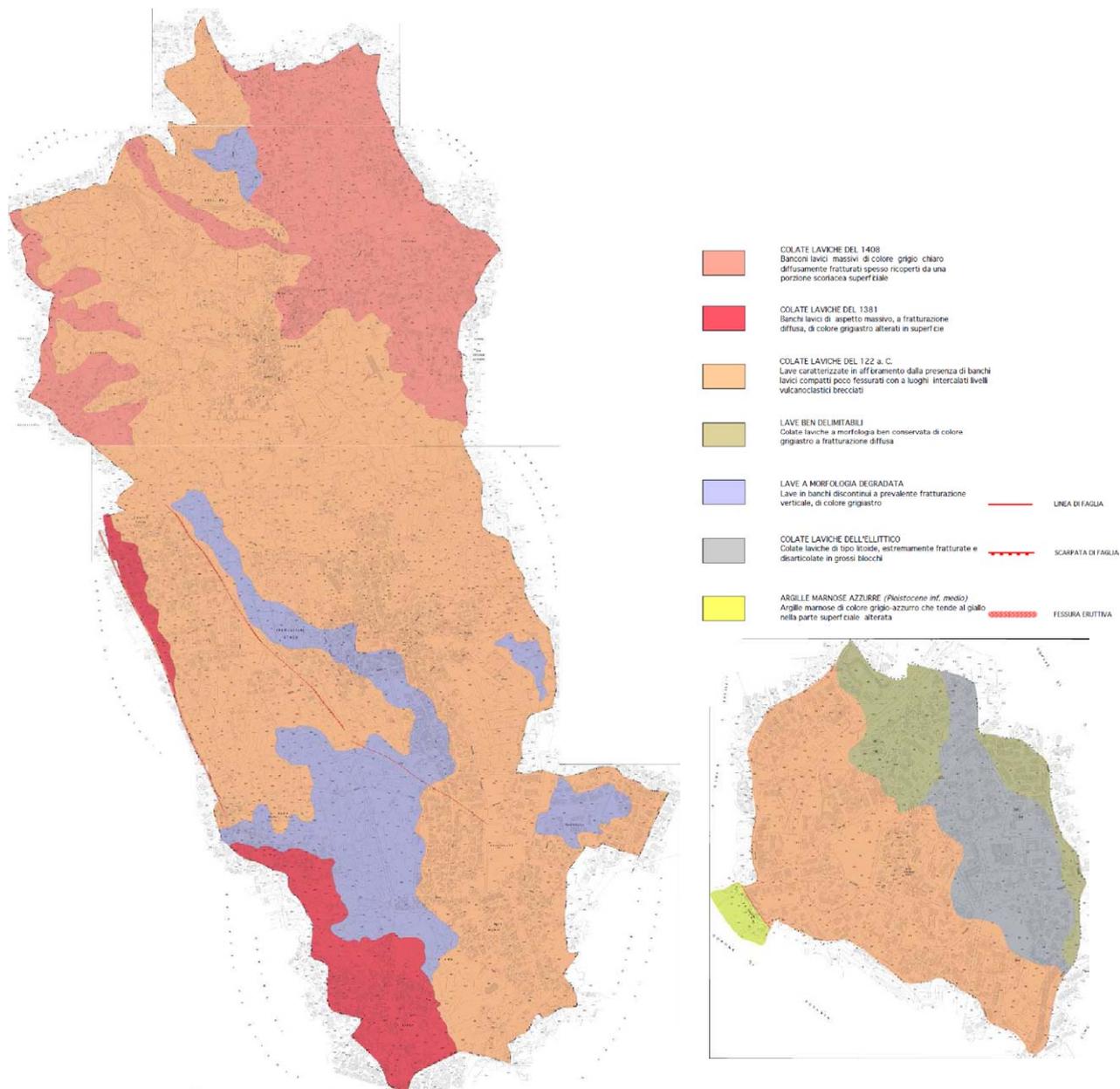


Fig. 23 – Composizione non in scala della Carta geologica alla scala 1:2000 allegata al P.R.G. di Tremestieri Etneo.

Ulteriori informazioni sulla Faglia di Tremestieri sono riportate nella carta delle zone a maggiore pericolosità sismica alla scala 1:2000 allegata agli studi per la redazione del PRG. Questo ulteriore documento cartografico, sintetizzato nella Fig. 24, evidenzia che la struttura ha accumulato una scarpata, oggi riconoscibile a tratti, solo nel segmento orientato NNO-SSE.

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

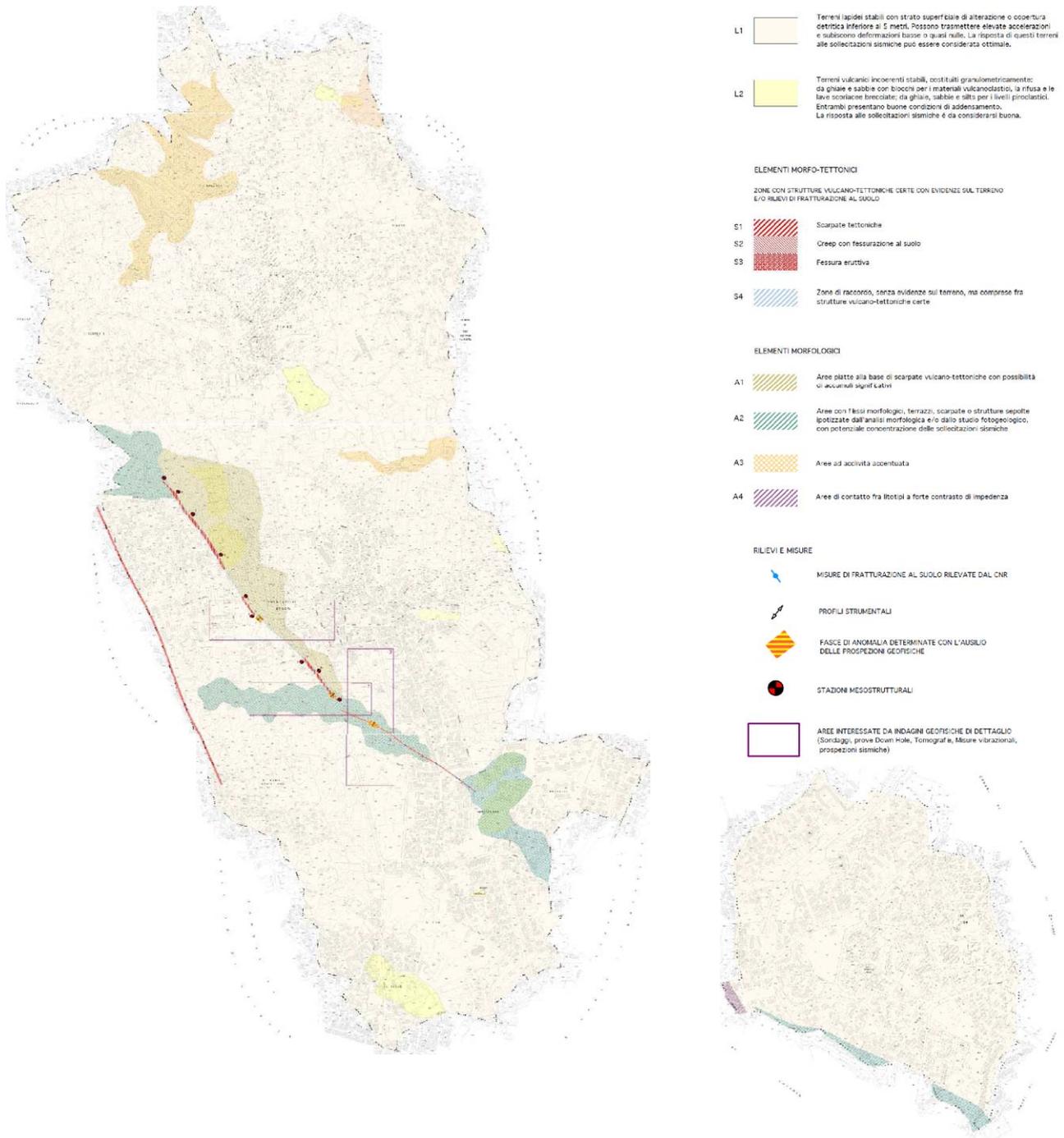


Fig. 24 – Composizione non in scala della Carta delle zone a maggiore pericolosità sismica alla scala 1:2000 allegata al P.R.G. di Tremestieri Etneo.

L'analisi delle stratigrafie dei sondaggi disponibili per l'area di Tremestieri Etneo ha messo in luce che nei primi metri la successione è caratterizzata dalla presenza di più distinti orizzonti vulcanoclastici, oltre ai livelli scoriacei delle colate laviche, che non sono stati rappresentati nella carta geologica (v. colonne stratigrafiche dell'**Allegato 2**).

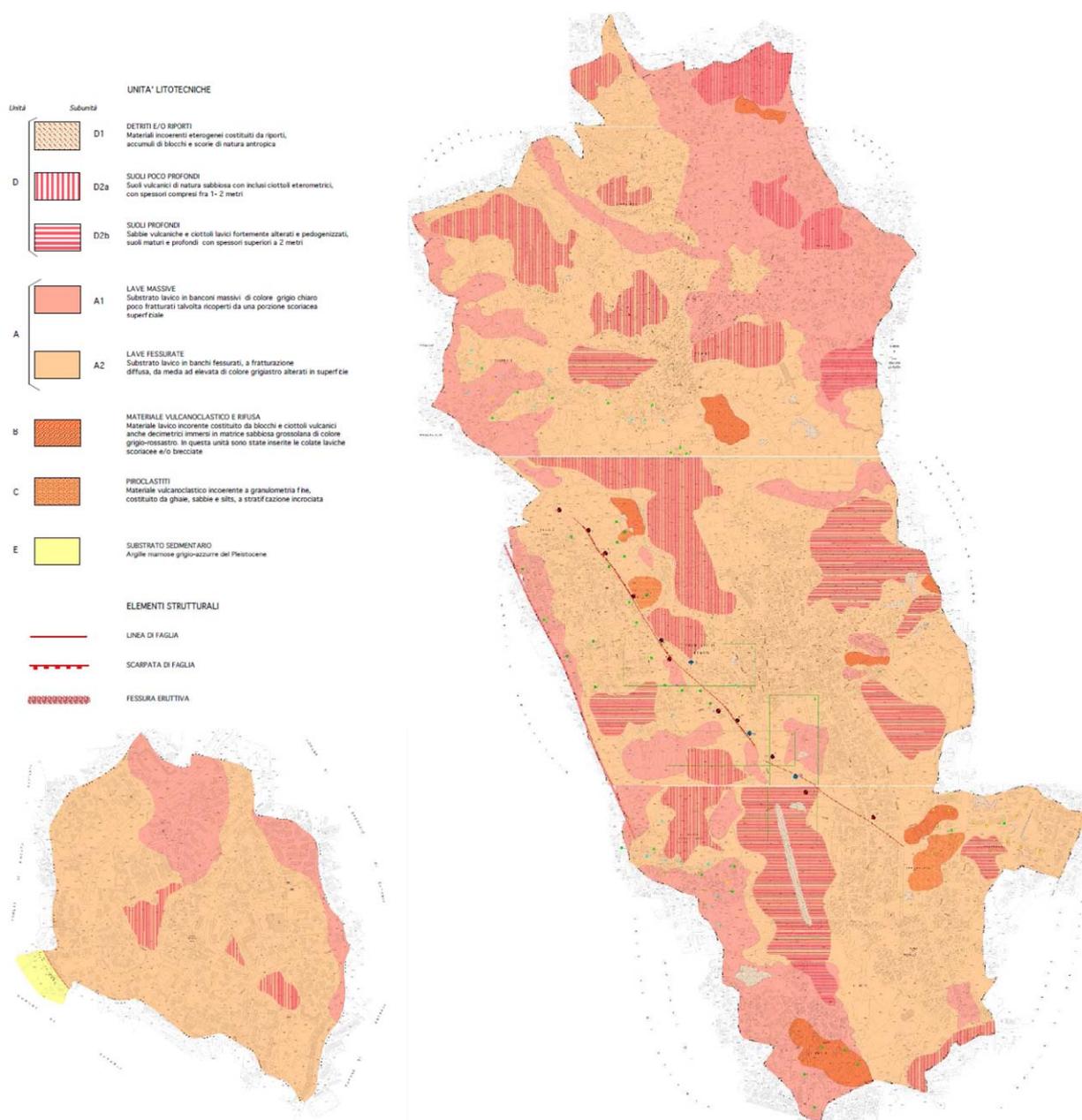


Fig. 25 - Composizione non in scala della Carta litotecnica alla scala 1:2000 allegata al P.R.G. di Tremestieri Etneo.

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

Per il dettaglio sulla distribuzione di suoli di alterazione, dei depositi piroclastici e del materiale vulcanoclastico incoerente affioranti in superficie è stata utilizzata la Carta litotecnica (Fig. 25) e la Carta geomorfologica alla scala 1:2000 (Fig. 26).

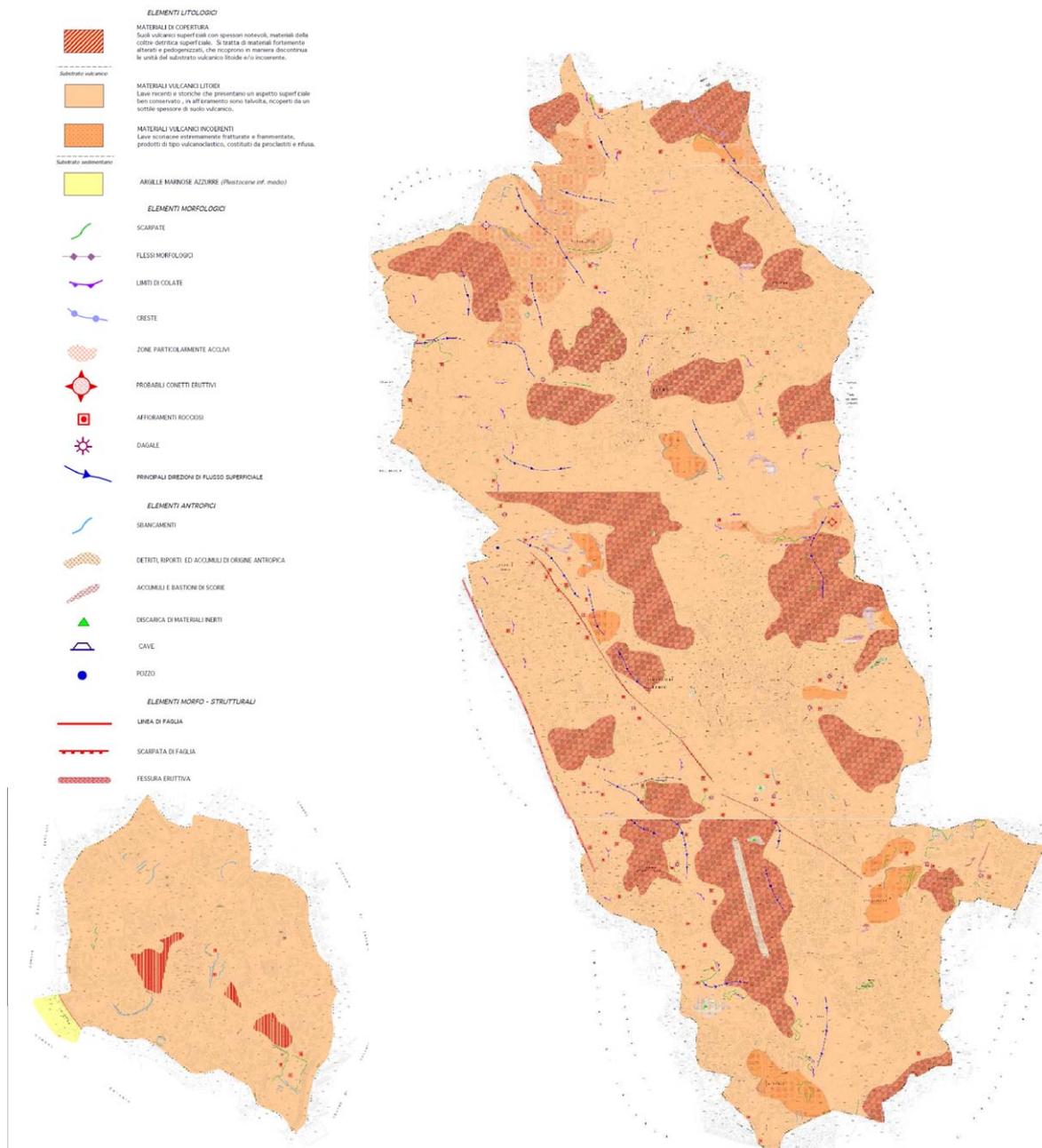


Fig. 26 - Composizione non in scala della Carta geomorfologica alla scala 1:2000 allegata al P.R.G. di Tremestieri Etneo.

La successione geolitologica affiorante nel territorio comunale di Tremestieri Etneo, utilizzata ai fini della redazione della carta geologico-tecnica, è stata ricostruita integrando le informazioni pregresse con i risultati di rilievi originali speditivi e di una accurata analisi di foto aeree, mirati essenzialmente a verificare la distribuzione in superficie dei livelli vulcanostratigrafici attraversati dai diversi sondaggi effettuati nell'area. Nei sondaggi è possibile riconoscere un orizzonte vulcanoclastico di spessore di circa 10 m che separa un livello superficiale, costituito da lave massive alternate a scorie attraversate per spessori fino ad oltre 20 m e assimilato alle lave storiche della cartografia del PRG, da un orizzonte di lave massive, subordinatamente scoriaceo, che costituisce un orizzonte profondo che tende a culminare al letto della Faglia di Tremestieri o nelle aree a sud della terminazione meridionale della struttura. L'orizzonte profondo è stato assimilato alle Lave a morfologia degradata segnalato della cartografia geologica del PRG. Queste lave profonde poggiano su un orizzonte di tufiti mediante l'interposizione di un livello sabbioso-siltoso di color ruggine, rinvenuto in più parti del versante orientale dell'Etna (es. San Gregorio, Santa Venerina), in corrispondenza del contatto basale delle vulcaniti assegnate ad un'età tirreniana.

I rilievi geologici speditivi originali sono stati mirati essenzialmente allo studio della distribuzione dei depositi vulcanoclastici, alla ricostruzione, laddove possibile, dei contorni dei singoli flussi lavici e alla ricostruzione dettagliata della traccia, esposta in superficie o sepolta dai prodotti lavici più recenti, della Faglia di Tremestieri. La nuova cartografia prodotta ha permesso di riconoscere nelle aree settentrionali del territorio comunale i resti di un edificio piroclastico, parzialmente ricoperto da colate laviche apparentemente originate dall'edificio stesso e circondato dal vasto campo lavico comunemente attribuito dagli studi del PRG all'eruzione del 1408. L'edificio poggia sulle lave assegnate al 122 a.C. negli studi del PRG o, più genericamente, all'intervallo 4 ka-122 a.C., nella cartografia ufficiale più aggiornata. Si tratterebbe dunque di depositi al più



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

di età protostorica. Il riconoscimento dell'edificio parzialmente sepolto ha permesso non solo di definire ancora meglio la successione delle unità vulcanostratigrafiche, che è stata sintetizzata nella legenda dei Profili geologici (**Allegato 1**), ma ha permesso anche di fornire un quadro aggiornato sulla distribuzione dei prodotti piroclastici affioranti, indicati con la sigla **SWsc** nella carta geologico-tecnica. Sulla base della posizione delle lave rispetto ai diversi orizzonti vulcanoclastici riconosciuti, le colate laviche sono state suddivise in lave storiche e recenti, lave intermedie e lave di base, direttamente poggiate sull'orizzonte tufitico sepolto (v. profili **Allegato 1**). Alle lave storiche e recenti sono state assegnate anche le colate che si sono originate lungo la fessura del Cavòlo, invadendo con ripetuti flussi lavici le porzioni occidentali dell'attuale territorio comunale.

Nella frazione di Canalicchio, la successione esposta in superficie è molto più banale, in quanto sono state riconosciute una serie di colate sovrapposte che mantellano una paleotopografia ad elevata acclività, molto probabilmente corrispondente alla testata di erosione di una valle incisa nel versante costiero ionico terrazzato che ha drenato i flussi lavici. Nell'area investigata non sono esposti i rapporti tra le lave di riempimento e le unità modellate dall'incisione. I dati geologici raccolti per la microzonazione di primo livello nelle aree del limitrofo comune di San Gregorio hanno evidenziato che i fianchi della valle sono costituiti da antichi spartiacque, a tratti esposti in superficie, dove sono conservati orizzonti lavici antichi poggianti direttamente su un substrato sedimentario di natura argillosa. Ciò suggerisce che nei tratti acclivi le lave probabilmente mantellano i livelli vulcanici antichi, mentre nelle porzioni topograficamente più depresse e a bassa acclività esse poggiano sul substrato argilloso, la cui profondità è direttamente ricollegabile alla profondità della paleovalle riempita dalle lave.

Nella carta geologico–tecnica 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.

L’intera successione affiorante di natura esclusivamente vulcanica, data l’età e la giacitura delle varie unità laviche che la compongono, comunemente riscontrate in aree limitrofe dove sono esposti i rapporti geometrici con le unità riferibili al basamento pre–etneo e con le unità laviche più antiche, è stata assegnata ai terreni di copertura.

Nella suddivisione dei terreni vulcanici sono state distinte le colate laviche composte da prevalenti orizzonti massivi e subordinati livelli scoriacei (**LC** nella carta geologico–tecnica) che sono state classificate, secondo la codifica provvisoria, come “lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate”. I prodotti degli edifici piroclastici e gli orizzonti di vulcanoclastiti intercalati all’interno della successione, affioranti esclusivamente nell’area del centro urbano principale, sono state invece indicati, sulla base della loro granulometria prevalente sabbiosa e ghiaiosa, come **SWsc**.

Nella legenda della carta sono stati utilizzati sovrassegni areali per indicare la presunta estensione in profondità degli edifici piroclastici, laddove parzialmente o del tutto sepolti dalle lave più recenti, e le aree con cavità sepolte.

Gli elementi tettonici e vulcano–tettonici sono stati distinti in certi o presunti. L’incertezza non si riferisce alla certezza o meno della presenza della struttura, quanto l’esatta localizzazione nel caso essa sia stata sepolta da prodotti lavici recenti.

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

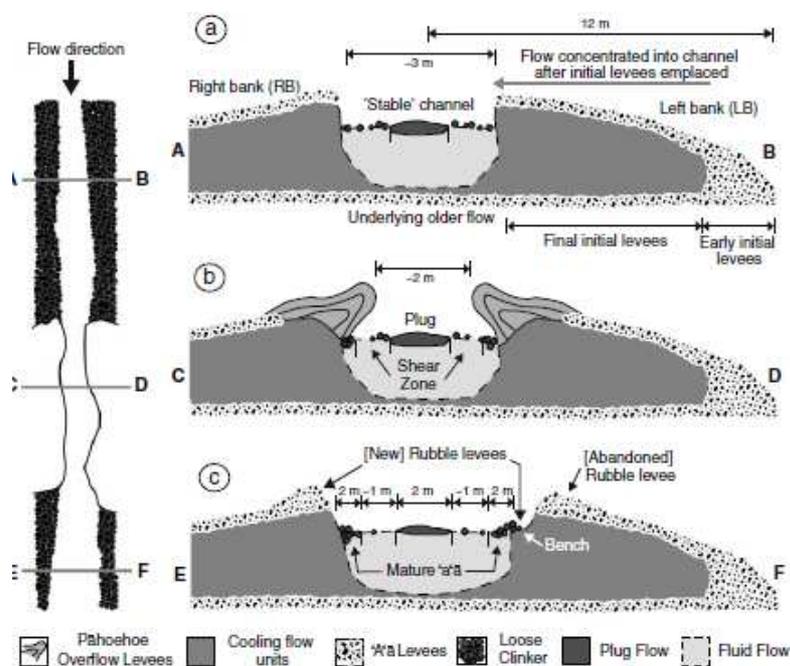


Fig. 33 – Profili di flusso attraverso colate laviche canalizzate nei suoi diversi settori (da Bailey et al., 2006).

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 singole 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. 33).

4. Dati geotecnici e geofisici

I dati geotecnici e geofisici disponibili per l'area di studio, derivano da n. 105 indagini complessive, di cui n. 81 indagini pregresse e n. 24 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", si suddividono in n. 99 indagini puntuali e n. 6 indagini lineari. L'insieme delle indagini puntuali e lineari disponibili (per l'ubicazione si veda la carta delle indagini) sono schematizzate per tipologia nella sottostante tabella 2:

Totale Ind. Punt.	Geologia (GG)		Geofisica (GF)				TOTALE	
	S	SS	HVSR (Università di Catania)	HVSR (Lombardo e Rigano 2006)	HVSR	DH	GG	GF
99	2	1	24	28	41	3	3	96

Totale Ind. Lineari	Geofisica (GF)		Geologia (GG)		TOTALE	
	SR	SGE	GF	GG	GF	GG
6	3	3	3	3	3	3

Tab. 2 - Insieme delle indagini puntuali e lineari relative all'area di studio. Le sigle si riferiscono al tipo d'indagine, secondo gli "Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica - Versione 2.0beta-II"



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

I dati pregressi derivano da indagini realizzate per lo studio geologico a supporto del P.R.G., messi a disposizione dall'amministrazione comunale di Tremestieri Etneo e da indagini effettuate da Lombardo & Rigano, per un lavoro pubblicato nel 2006. In particolare le indagini geognostiche, ubicate immediatamente a ovest del centro abitato, tra Casa Ardizzone e Piano Cani, consistono in n. 3 sondaggi meccanici a carotaggio continuo, 087051P25S25, 087051P26S27 e 087051P27SS29, caratterizzati da profondità di 40,5, 41 e 40 metri, rispettivamente (**Allegato 2**). In questi tre siti puntuali sono state realizzate tre indagini di tipo down-hole (087051P25DH26, 087051P26DH28 e 087051P27DH30) che hanno permesso di misurare le Vp fino a profondità di 34, 40 e 38 metri, rispettivamente (vedi Tab. 2-4 dell'**Allegato 3**). Nella tabella "Parametri puntuali", del database di Access denominato "Cdl_Tabelle" a tali indagini è stata assegnata una attendibilità pari a "3", a causa della mancata corrispondenza tra le velocità in esse riportate e la stratigrafia dei rispettivi sondaggi geognostici. A titolo di esempio, si considerino le Vp misurate nel sondaggio 087051P27 tra 6 e 10 metri, in corrispondenza di rocce basaltiche, che spesso mostrano valori inferiori a quelli misurati nel sottostante livello di rifusa vulcanica (Fig. 34). Le tre coppie di indagini fanno parte di una serie di misure realizzate in tre aree di "prevista espansione urbanistica", attraversate dalla Faglia di Tremestieri (vedi Capitolo 3) e ubicate nel settore centro-meridionale dell'area di studio, al fine di individuare "eventuali zone di pericolosità sismica". In ciascuna area sono state eseguite anche diverse misure di microtremore ambientale, una traversa sismica a rifrazione di tipo shot-point e un profilo elettromagnetico multifrequenza. Quest'ultima tipologia di indagine non è stata archiviata nel "Cdl_Tabelle" in quanto non prevista negli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica-Versione

2.0beta-II” ma è stata presa in considerazione nell’analisi delle tre sezioni, di seguito riportata.

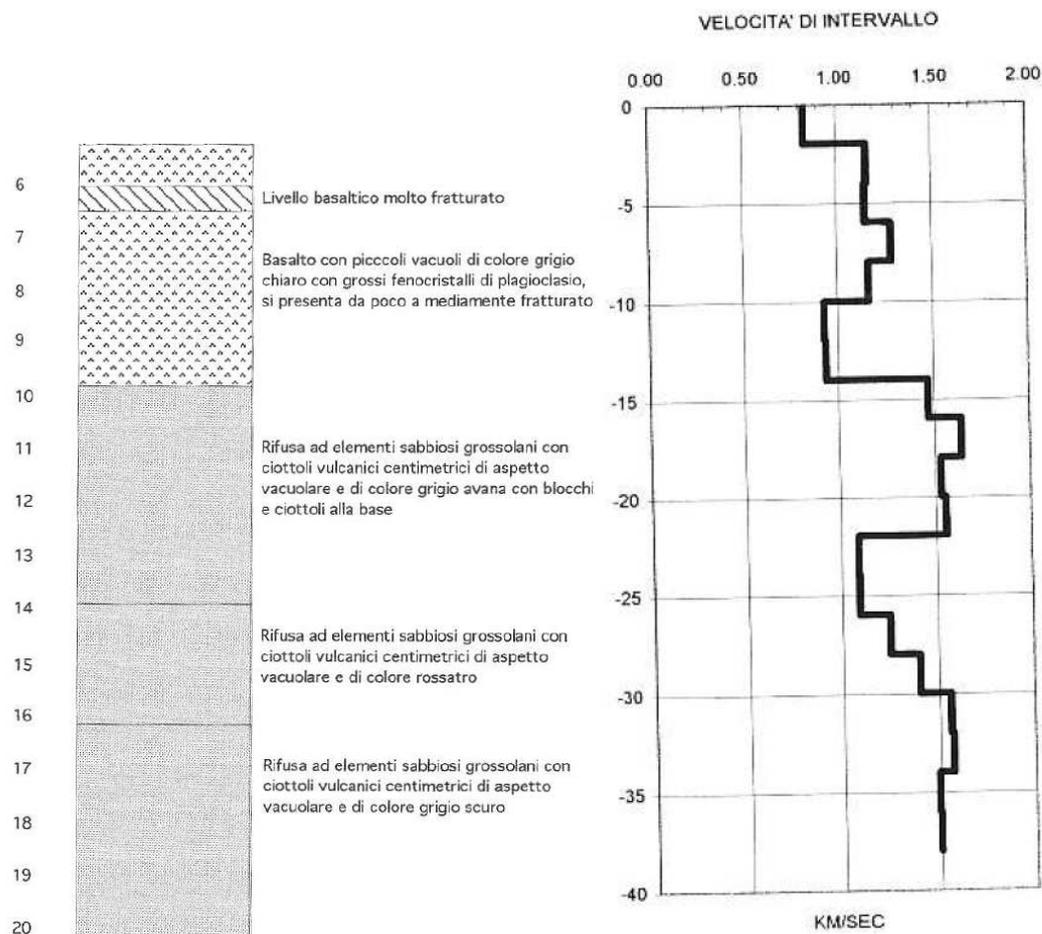


Fig. 34 - Porzione centrale del sondaggio 087051P27SS29 e down-hole 087051P27DH30.

La sezione 1 è ubicata immediatamente a sud di Masseria Licciardello e contiene le indagini di microtremore ambientale da 087051P28 a 087051P42 (vedi Tab. 5 dell’Allegato 3). A queste indagini e alle misure di noise delle altre sezioni è stata assegnata attendibilità pari a “3”, perché la metodologia di elaborazione dei dati utilizzata (move average) restituisce una funzione di amplificazione “ampiezza vs frequenza, anziché il rapporto tra le componenti spettrali orizzontale “H” e verticale “V” (esempio in Fig. 35). Nonostante questo limite, esse permettono di individuare le amplificazioni del terreno e, indicativamente, anche le frequenze a cui si realizzano. Nel caso specifico, come segnalato nell’Allegato G - “Rapporto indagini geofisiche” dello studio geologico per il P.R.G., le amplificazioni riscontrate in corrispondenza delle indagini

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 087051P29HVS32, 087051P30HVS33 e 087051P31HVS34 a frequenze comprese tra 5 e 9 Hz, potrebbero essere messe in relazione alla presenza della Faglia di Tremestieri. La presenza della struttura tettonica sarebbe confermata dalla tomografia elettromagnetica EM-A, (Fig. 36), dove tra 40 e 45 metri si osserva il brusco passaggio da livelli a media conduttività e giacitura orizzontale, a livelli verticali a conduttività molto bassa e, subito dopo, alta. La traversa sismica a rifrazione 087051L1SR1, realizzata a NE della faglia, mette in evidenza la presenza di una copertura caotica ($V_p=280$ m/s), spessa tra 2 e 6 m, sopra materiale caratterizzato da una maggiore velocità delle onde sismiche ($V_p=400$ m/s), costituito probabilmente da prodotti piroclastici (vedi Capitolo 3).

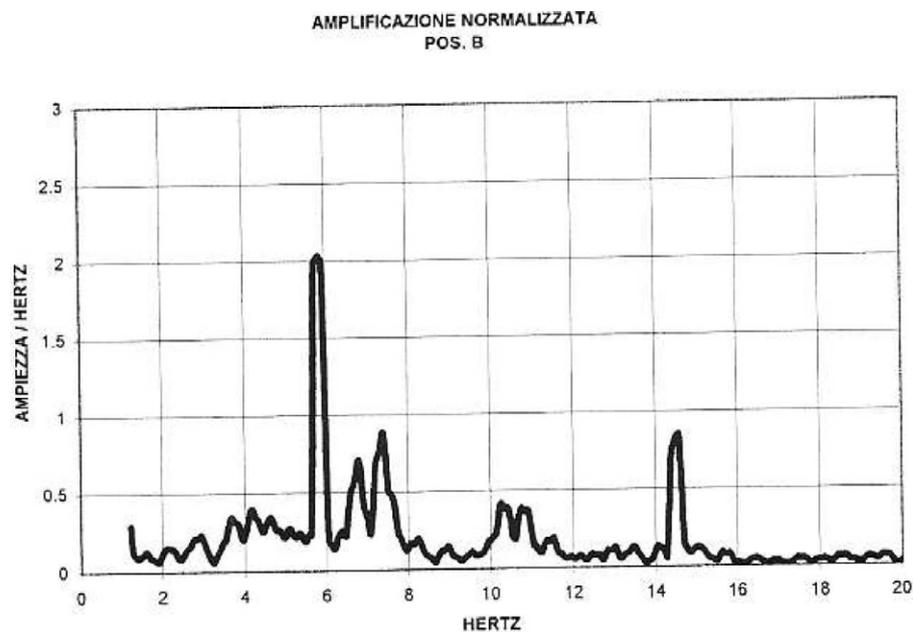


Fig. 35 - Indagine di noise ambientale 87051P29HVS32.

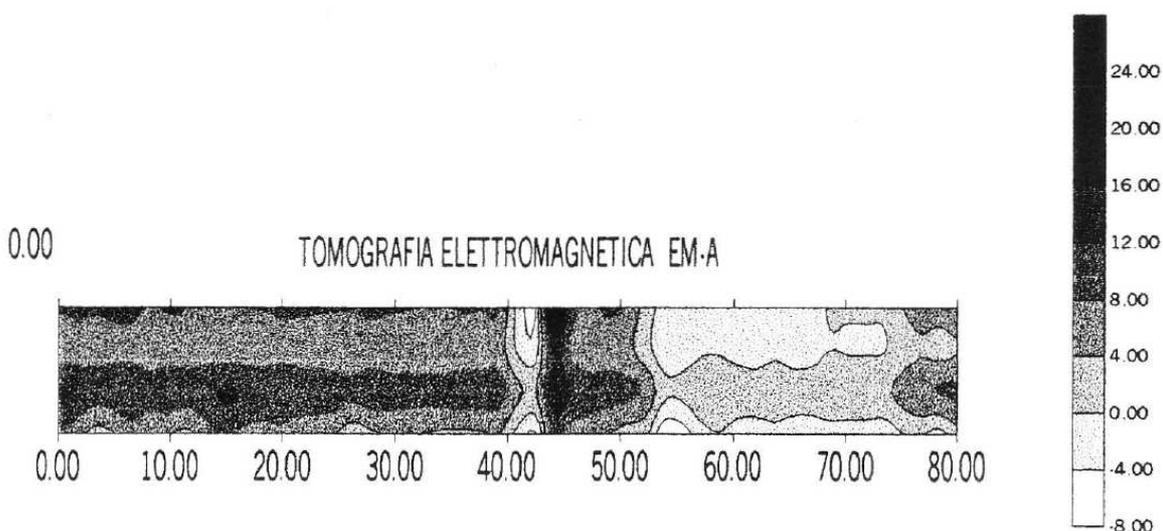


Fig. 36 - Tomografia elettromagnetica EM-A (Allegato G - "Rapporto indagini geofisiche" dello studio geologico per il P.R.G. di Tremestieri Etneo).

Le indagini effettuate nella sezione 2 sono localizzate a est della Faglia di Tremestieri. Conseguentemente, le misure di noise (comprese tra 087051P43HVS46 e 087051P54HVS57) sono caratterizzate da basse amplificazioni, ad eccezione dell'indagine 087051P54HVS57, che probabilmente rientra nella fascia di disturbo della faglia, dove si osserva un picco ad una frequenza orientativa di 2,80 Hz (vedi Tab. 5 dell'**Allegato 3**). Anche in questo caso, la traversa sismica a rifrazione mostra la presenza di una copertura superficiale, il cui spessore varia da 0 a 5 metri, sopra materiale caratterizzato da V_p leggermente superiori ($V_p=380$ m/s), che potrebbe essere costituito da prodotti vulcanoclastici o massivi molto fratturati.

Le indagini condotte nella sezione 3, in località Ospedale, si trovano a cavallo della Faglia di Tremestieri. Ciononostante, la presenza di tale struttura è ipotizzabile esclusivamente attraverso i noise 087051P56HVS59 e 087051P64HVS67, che mostrano amplificazioni considerevoli a frequenze orientative pari a 7,80 e 1,80 Hz (vedi Tab. 5 dell'**Allegato 3**). Nella traversa sismica a rifrazione (087051L3SR3) e nel profilo elettromagnetico EM3 (Fig. 37) si osservano, invece, continue oscillazioni della V_p (230-480 m/s) e della conduttività, indicative dell'estrema variabilità laterale dei terreni lavici.

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

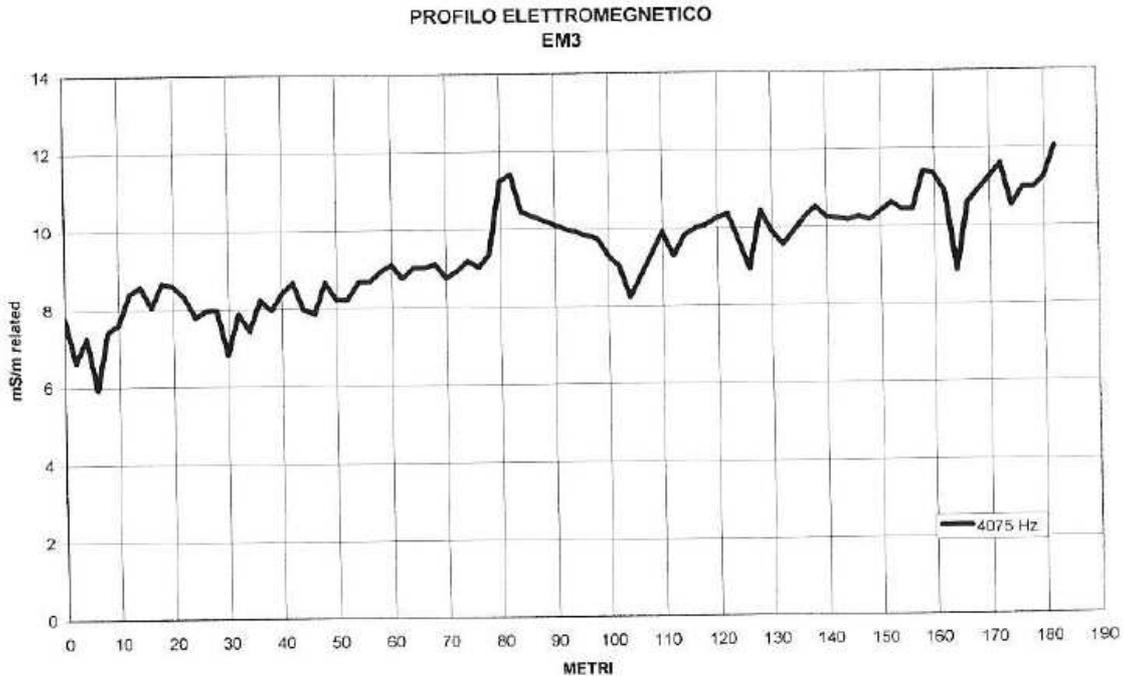


Fig. 37 – Profilo elettromagnetico EM3 (Allegato G – “Rapporto indagini geofisiche” dello studio geologico per il P.R.G. di Tremestieri Etneo.

Nel 2006 l’amministrazione comunale di Tremestieri Etneo ha commissionato degli studi e indagini integrative al P.R.G, allo scopo di verificare se la faglia di Tremestieri prosegue verso SE, in località Ravanusa, dove non è stata cartografata. La figura 38 mostra l’ubicazione di tali indagini. Si tratta di n. 7 profili elettromagnetici, che non sono stati archiviati per i motivi precedentemente esposti, e n. 16 misure microvibrazionali (noise), che non sono state inserite nel “Cdi_Tabelle” in quanto nella carta delle indagini non vengono localizzate con precisione ma viene riportata esclusivamente la direzione (N-S) lungo la quale sono state realizzate (freccia blu in Fig. 38). Ad ogni modo, la relazione “Studi ed indagini integrative di una zona a sud della faglia di Tremestieri in località Ravanusa” è stata inserita, in formato pdf, nella cartella “Documenti”, a sua volta contenuta nella cartella “Indagini”. Le conclusioni cui si perviene è che la presenza della

struttura tettonica sia confermata dalle amplificazioni a bassa frequenza (2,5–2,9 Hz) misurate attraverso i noise (esempio in Fig. 39) e dalle zone di anomalia osservabili nei profili elettromagnetici (esempio in Fig. 40), anche se spostandosi verso SE, cioè verso il tip della faglia, tali evidenze verrebbero meno.

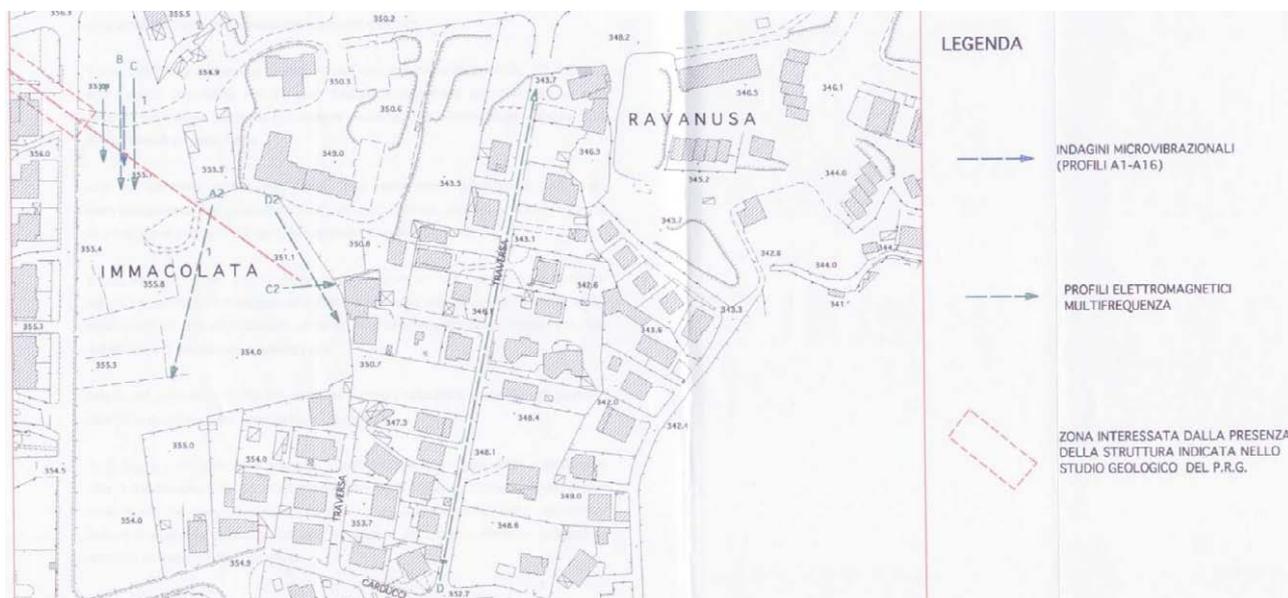


Fig. 38 - Stralcio della carta dell'ubicazione delle indagini inserita negli "Studi ed indagini integrative di una zona a sud della faglia di Tremestieri in località Ravanusa".

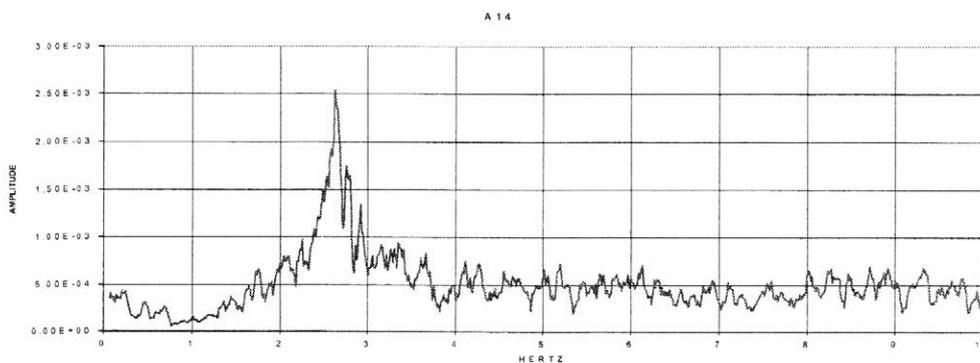


Fig. 39 - Indagine di noise ambientale A14 (Studi ed indagini integrative di una zona a sud della faglia di Tremestieri in località Ravanusa).

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

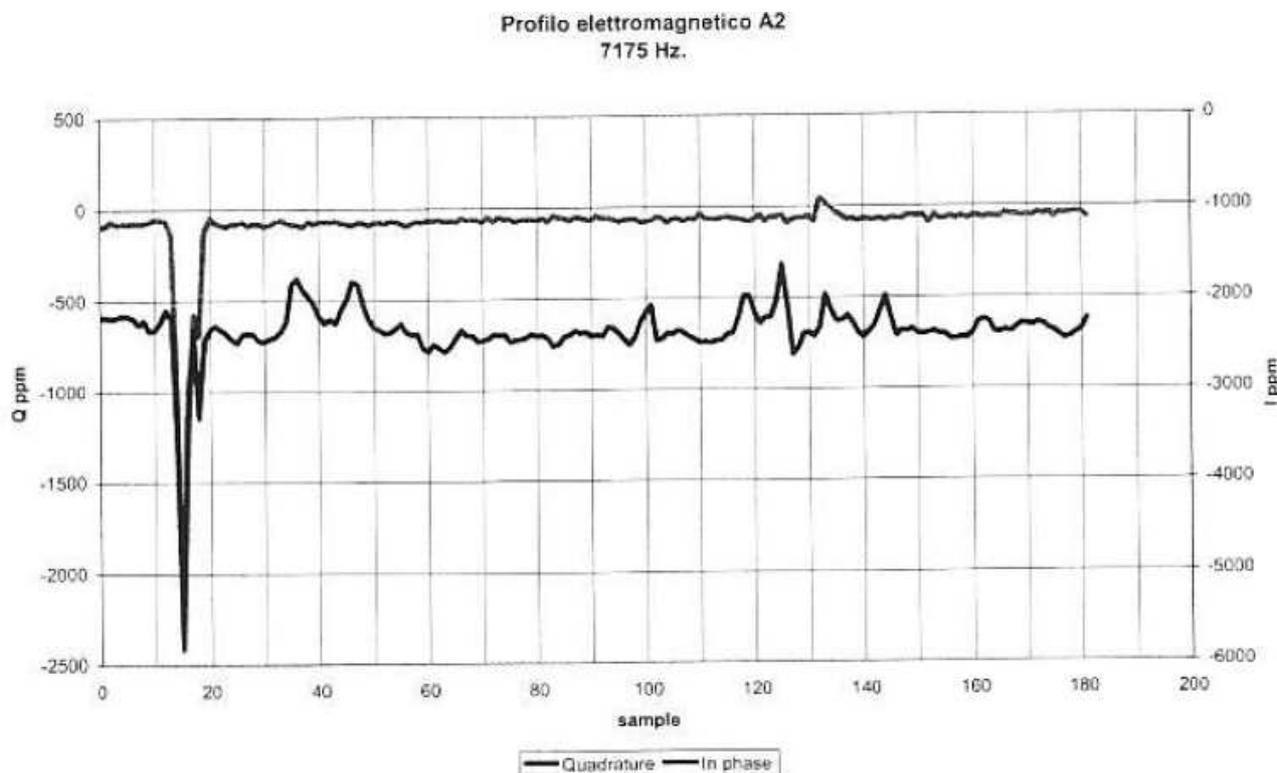


Fig. 40 - Profilo elettromagnetico A2 (Studi ed indagini integrative di una zona a sud della faglia di Tremestieri in località Ravanusa).

La Faglia di Tremestieri è stata oggetto di studi a carattere scientifico da parte di diversi autori. Tra questi, si è deciso di acquisire e archiviare le indagini di estremo dettaglio disponibili nel lavoro pubblicato da Lombardo e Rigano (2006). Gli Autori riportano n. 28 misure di noise ambientale (vedi Tab. 6 dell'Allegato 3), cui è stata assegnata attendibilità paria a "2" esclusivamente perché è stato necessario estrapolare le frequenze di amplificazione dai grafici pubblicati. Le indagini sono disposte lungo tre allineamenti ortogonali alla direzione della struttura e della frattura eruttiva del Cavòlo (vedi Capitolo 3), in cui sono stati realizzati altrettanti profili geologici (087051L4SGE4, 087051L5SGE5 e 087051L6SGE6) (Figg. 41 e 42). Dalle registrazioni effettuate sono stati

notati i diversi intervalli di dispersione dei valori di frequenza e di amplificazione di picco. E' stata, infatti, osservata una distribuzione dei valori di picco in un range di frequenza che varia da 4 a 8 Hz in quelle stazioni localizzate in prossimità della faglia di Tremestieri mentre lo stesso range oscilla fra 4 e 5 Hz per quelle stazioni che si trovano posizionate vicino alla frattura eruttiva. Frequenze di picco variabili fra 1,5-2 Hz sono stati invece correlate alla presenza di coltri di lava alterata e di depositi detritici.

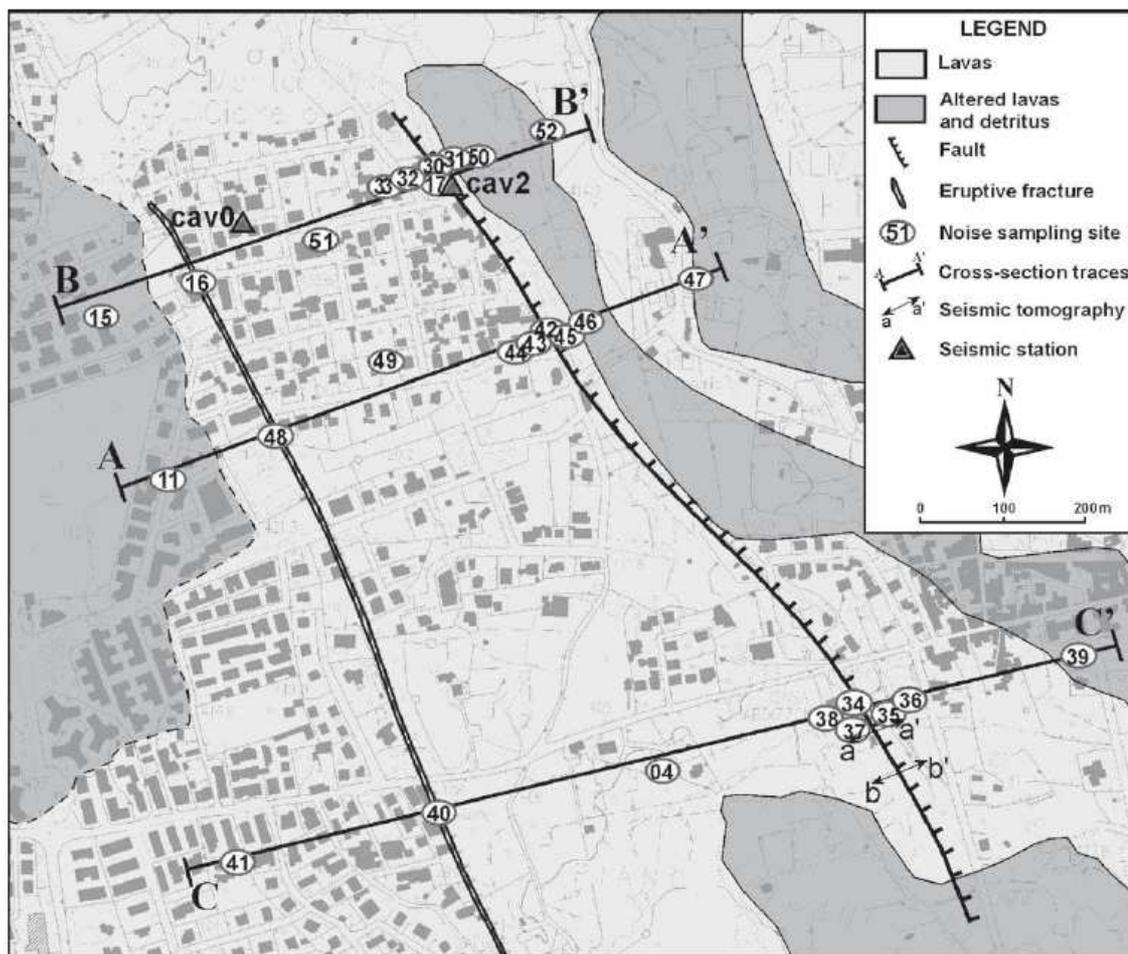


Fig. 2. Geological and structural map of the studied area with location of permanent seismic stations and noise measurement sites.

Fig. 41 - da Lombardo e Rigano (2006).

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

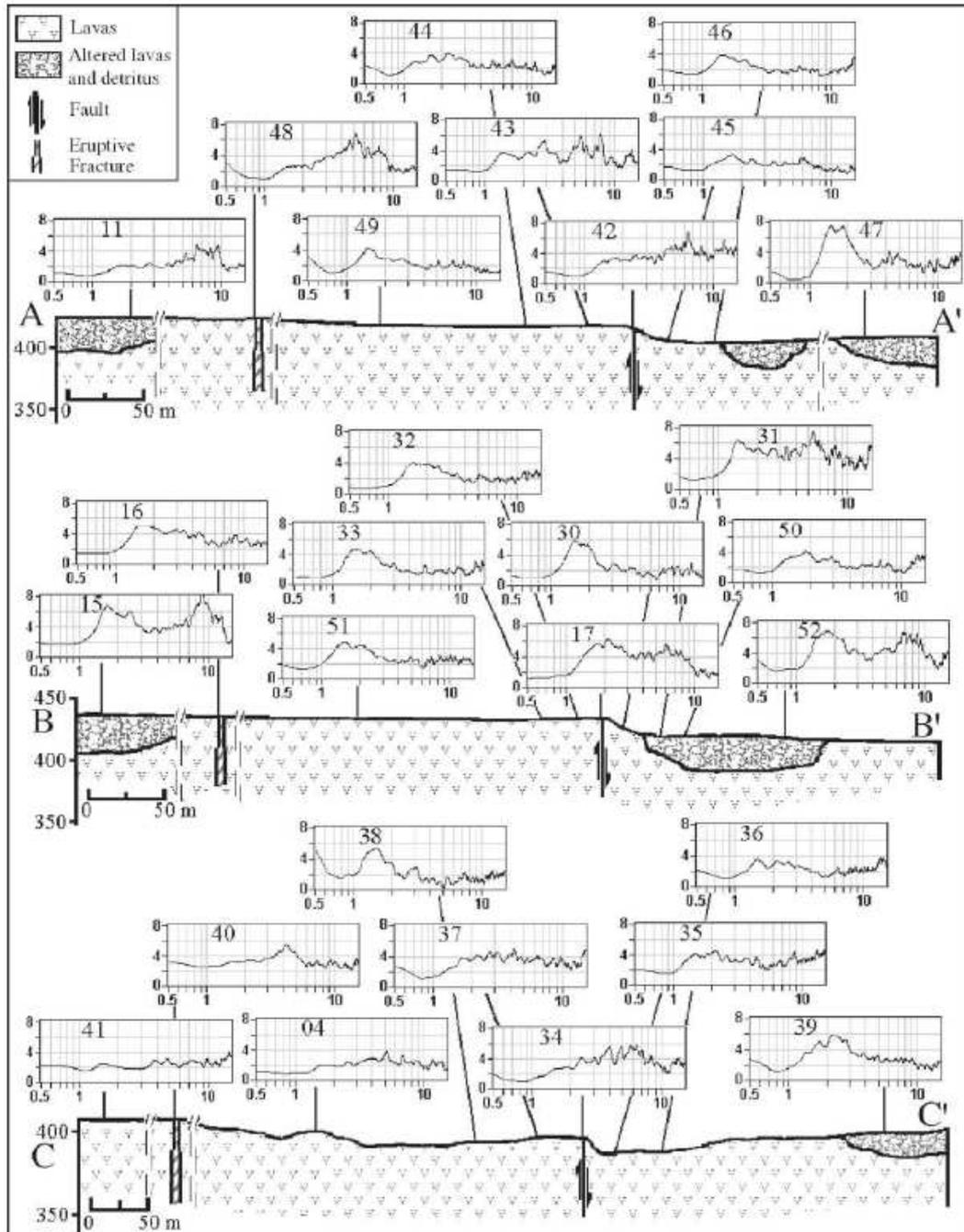


Fig. 3. Schematic geolithological profiles and plots of H/V microtremors spectral ratios.

Fig. 42 - da Lombardo & Rigano (2006).

A conclusioni simili, ma in una porzione più meridionale della Faglia di Tremestieri, si perviene in un altro lavoro scientifico pubblicato da Imposa et. al (2004). Nonostante le misure di noise non siano state archiviate perché viene riportata soltanto la direzione di realizzazione ma non l'esatta ubicazione (Fig. 43), anche in questo caso evidenziano valori di amplificazione di picco variabili da 7-8,5 in un intervallo di frequenza compreso fra 3 e 5 Hz. Allontanandosi dalla struttura in entrambe le direzioni i valori di amplificazione scendono considerevolmente (3,5 e 4), sempre per la stessa banda dei valori di frequenza, fino a sparire (Fig. 44).

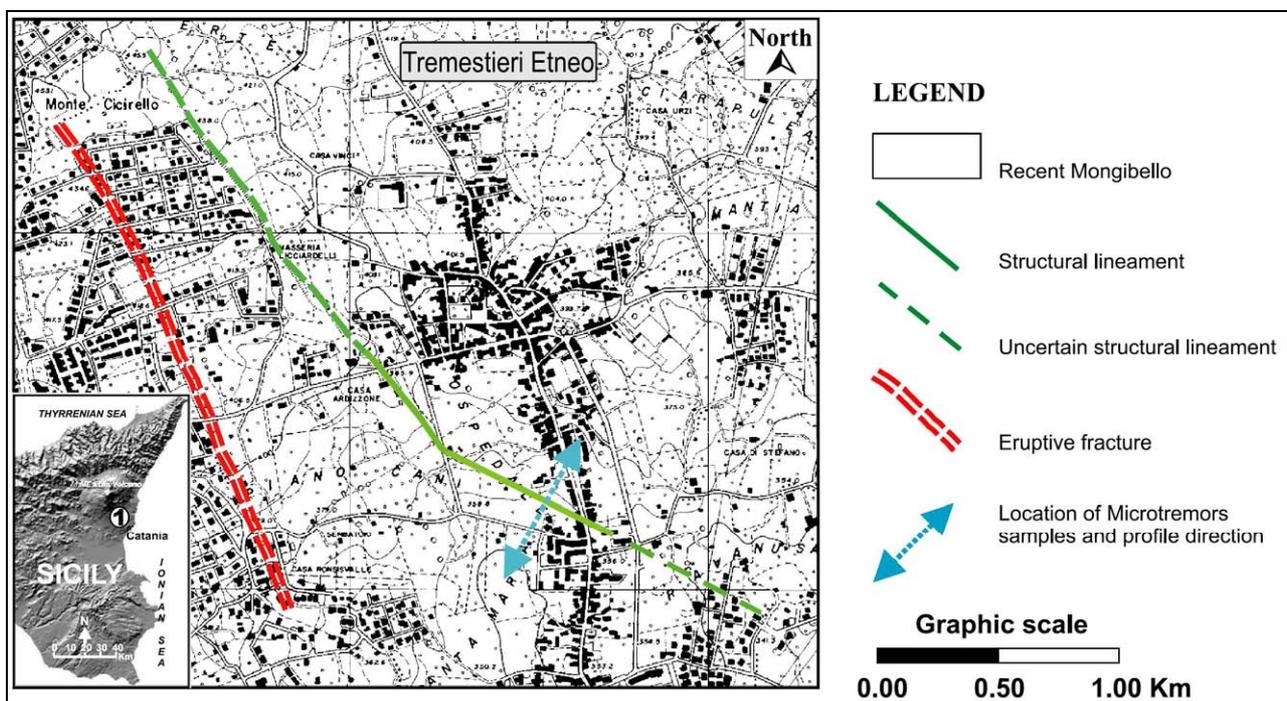


Fig. 43 - Area di studio da Imposa et al. (2004).

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

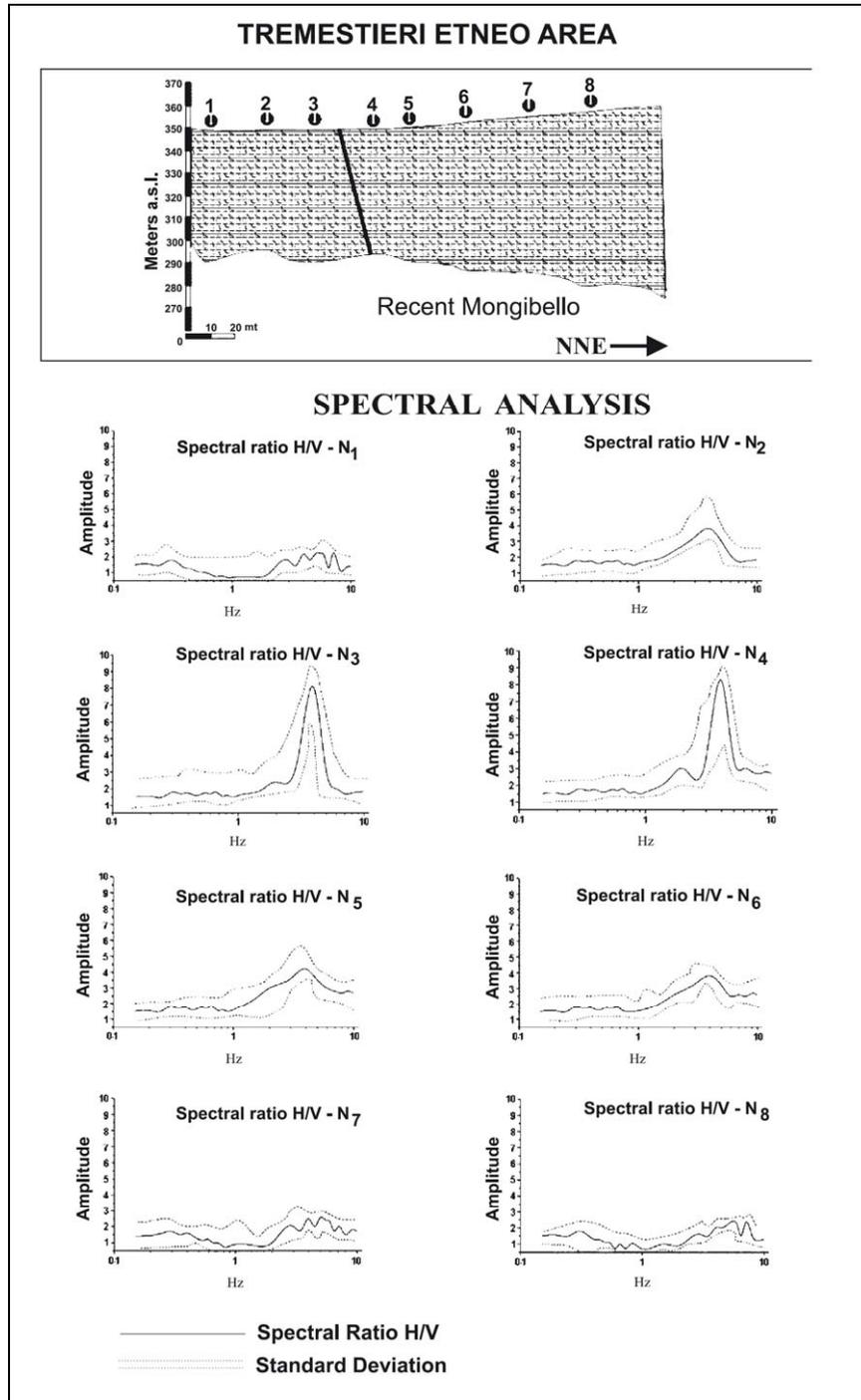


Fig. 44 - Misure di noise ambientale realizzate da Imposa et al. (2004).

Al fine di valutare le frequenze proprie di oscillazione dei diversi siti, l'Università di Catania ha effettuato ulteriori n. 24 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 le frequenze di risonanza ricadono all'interno di un range molto ristretto, compreso fra valori di poco inferiori a 1 Hz e valori di poco superiore a 2 Hz. In alcuni casi, vengono segnalati due o tre picchi, che 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 fenomeni di origine antropica. E' interessante notare come la misura 087051P17 realizzata in località Ravanusa nei pressi della Faglia di Tremestieri, fornisca una frequenza di picco pari a 10,31 Hz, superiore ai valori riportati negli studi a supporto del P.R.G. e nelle pubblicazioni scientifiche sopra descritte, e un valore di amplificazione abbastanza contenuto (1,90).

Per quanto riguarda i dati geotecnici disponibili, nella relazione geologica a supporto del P.R.G. di Tremestieri Etneo, vengono forniti i parametri geomeccanici e geotecnici sia delle lave, da massive a scoriacee, che dei prodotti vulcanoclastici. Si tratta del peso specifico, coesione, angolo di attrito interno e indice RMR. E' da rimarcare però che tali parametri riassunti nella tabella 1 dell'**Allegato 3**, non derivano da indagini a noi pervenute, per cui vengono considerati poco attendibili.



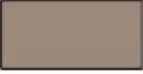
Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

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.

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

I terreni affioranti nell'area e riconosciuti nella stratigrafia dei sondaggi sono stati, quindi, raggruppati secondo le categorie previste dalla legenda. Va infine ricordato che tra i dati acquisiti non sono presenti informazioni relative al substrato geologico rigido. Appare, dunque, evidente che nei successivi livelli di approfondimento sarà necessario predisporre una serie di indagini al fine di poter valutare le caratteristiche fisico-meccaniche sia dei terreni di copertura che del substrato geologico.

5. Modello del sottosuolo

Il modello geologico del sottosuolo del territorio del centro abitato principale di Tremestieri Etneo è condizionato dalla presenza della Faglia di Tremestieri e da una serie di elementi vulcano-tettonici attorno ai quali si sono associati lo sviluppo e la diffusione dei livelli vulcanoclastici intercalati alla successione delle colate laviche, la crescita locale di veri e propri edifici piroclastici e di numerosi flussi lavici sovrapposti. Le geometrie essenziali del modello del sottosuolo, già ampiamente descritto nei paragrafi precedenti, sono state opportunamente sintetizzate nei profili geologici dell'**Allegato 1**. Il Profilo A-A' si riferisce alla zona centro settentrionale del territorio comunale, che si sviluppa nel tetto della Faglia di Tremestieri, e mostra come i livelli vulcanoclastici si riducano progressivamente di spessore verso est, allontanandosi dalle fessure eruttive, possibili aree di emissione dei prodotti. Questa geometria, non direttamente suffragata da dati di sottosuolo, è stata esclusivamente ricostruita sulla base dei dati di superficie e dell'interpretazione del significato delle vulcanoclastiti. Il profilo B-B' si riferisce alle aree meridionali della zona principale di studio, dove si può apprezzare la discontinuità degli orizzonti vulcanici attraverso la Faglia di Tremestieri. Apparentemente, il tetto ribassato della faglia sembra disegnare un'ampia anticlinale di *roll-over* che ha determinato un assottigliamento e, localmente, la completa erosione della copertura lavica storica e recente, con l'affioramento delle sottostanti vulcanoclastiti in asse con la cerniera. Nei due fianchi della struttura, la coltre delle lave recenti e storiche è più spessa. Nel lato del letto rialzato, invece, la successione delle colate storiche e recenti si annulla quasi a zero in corrispondenza della faglia, dove l'intero pacco di lave sovrastante agli orizzonti tufitici mostra uno spessore inferiore ai 35 m (v. sondaggio 087051P27), mentre tende ad ispessirsi regolarmente verso ovest. La presenza della faglia quindi non solo determina condizioni predisponenti all'amplificazione dovuta alla fascia di fratturazione ad essa connessa, ma costituisce una discontinuità laterale netta della geometria di sottosuolo, almeno per quel tratto della struttura, orientata NNO-SSE dove i rigetti verticali sono evidenti. In questo contesto, nelle successive fasi di approfondimento andrebbe valutato



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

l'effetto della risalita a basse profondità del limite lave-tufiti, cui è prevedibilmente associabile una marcata inversione delle velocità delle onde sismiche. Sebbene gli effetti della faglia e dell'adiacente fessura eruttiva sulla risposta di sito siano stati ampiamente descritti da studi precedenti, ulteriori indagini andrebbero dedicate alla discriminazione degli effetti dovuti alle variazioni litologiche da quelli dovuti alla presenza della discontinuità meccanica. In questo senso alcune indicazioni utili possono essere desunte combinando i dati proposti in Lombardo & Rigano (2006) e Imposa et al. (2004). E' interessante infatti notare che effetti di amplificazione concentrati intorno ai 4-5 Hz sono stati riscontrati sia attraverso le fessure eruttive che attraverso la porzione meridionale della Faglia di Tremestieri ad andamento NO-SE. In entrambi i casi è molto presumibile che le due discontinuità, l'una consistente in una frattura estensionale e l'altra in una faglia a prevalente movimento trascorrente destro, non abbiano prodotto apprezzabili dislocazioni verticali dei terreni interessati. Ciò significa che gli effetti misurati potrebbero essere imputabili al solo stato di fratturazione nelle aree prossime alle due strutture. Nel caso invece della porzione settentrionale della Faglia di Tremestieri, caratterizzata da una notevole componente verticale di movimento, l'amplificazione si distribuisce su un *range* di frequenza molto più ampio (4-8 Hz), probabilmente dovuto alla sovrapposizione degli effetti dovuti alla fratturazione e alla discontinuità laterale degli strati.

Nelle zone occidentali e settentrionali del territorio comunale, attraversate dalle fessure eruttive lungo le quali si sono sviluppati edifici piroclastici coalescenti la successione stratigrafica degli ultimi metri è caratterizzata da potenti successioni di vulcanoclastiti a differente grado di compattazione, localmente ricoperte da esigui

spessori di colate laviche massive. In mancanza di dati diretti di Vs misurate, si può fare riferimento ai dati raccolti nell'adiacente comune di Mascalucia che indicano l'ampio spettro di velocità delle onde sismiche, sia di compressione che di taglio, registrato nelle lave massive e nelle vulcanoclastiti. L'eterogeneità è determinata dal grado di fratturazione degli orizzonti lapidei e dal grado di addensamento di quelli clastici sciolti. Frequentemente si è potuto constatare, ad esempio, come livelli clastici addensati mostrino velocità di propagazione delle onde sismiche superiori a quelli registrati all'interno di livelli massivi ad elevata fratturazione. Il massimo di indeterminazione di comportamento è prevedibile nella zona di appoggio delle lave sugli edifici sepolti, dove vi è una transizione determinata dal progressivo assottigliamento della sequenza vulcanoclastica, accompagnata dal concomitante ispessimento della alternanza tra lave massive e scorie, delle colate aggradanti. Infine va sottolineato che in tutto il settore interessato dalla presenza delle fessure eruttive vi è la possibilità di diffuse cavità che, come in alcuni casi documentati dai dati di sottosuolo, possono essere state sede di accumulo di materiale di riporto molto eterogeneo, costituendo pertanto discontinuità non solo suscettibili di instabilità, ma anche di effetti concentrati di amplificazione, con risposte di sito da analizzare in dettaglio nei successivi stadi di approfondimento degli studi.

Il modello di sottosuolo della zona di Canalicchio è invece composto da una sottile coltre di lave che poggia, con contatti fortemente inclinati, su un substrato argilloso e localmente composto da lave di base, il cui andamento dovrà essere opportunamente definito con indagini di sottosuolo, nei successivi stadi di approfondimento.

In tutto il territorio comunale non è stato possibile definire la profondità del substrato rigido, con caratteri tipici di un bedrock sismico. Tale substrato ricade all'interno della successione sedimentaria che costituisce il substrato pre-vulcanico. Nella Carta delle isoipse del tetto del substrato sedimentario allegata alla Carta Morfotettonica dell'Etna (Monaco et al., 2008), il substrato sedimentario nel sottosuolo del centro urbano di Tremestieri Etneo è segnalato ad una quota di circa 300 m s.l.m., a profondità

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77
oscillanti tra i 35 e i 90 m, mentre tende ad approfondirsi fino a circa 250 m sotto il
piano campagna verso nord, dove è stata riconosciuta la presenza di una valle sepolta
sotto la copertura lavica (Fig. 45).

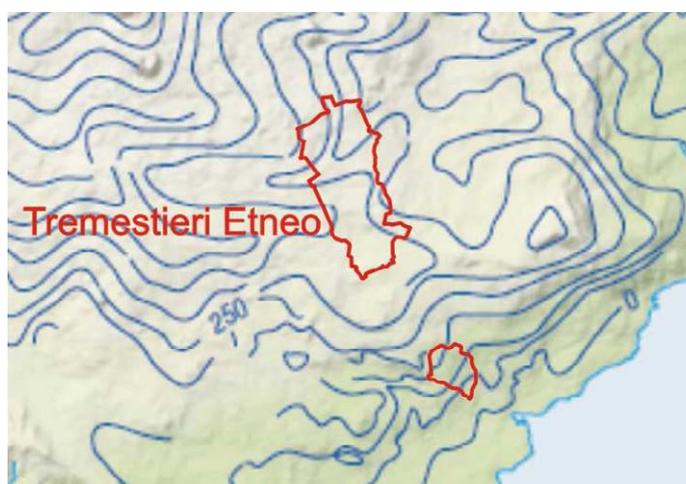


Fig. 45 – Stralcio della Carta delle isoipse del tetto del substrato sedimentario (da Carta Morfotettonica del Monte Etna; Monaco et al., 2008 mod.).

In mancanza di dati diretti sulla natura del substrato, si presume che esso, al di sotto del centro urbano principale, sia composto dalle Argille Grigio-Azzurre del Pleistocene medio (Qa in Fig. 10), che affiorano nella porzione meridionale dell'area di studio, in località Canalicchio, così come in diverse culminazioni, nelle zone limitrofe all'area investigata. 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.

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 di velocità, 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, con frequenze generalmente prossime ai 3 Hz. 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 di verificare quali sono gli elementi delle successioni laviche che invece determinano le differenti ampiezze di oscillazione.

6. Interpretazioni ed incertezze

Nel territorio comunale di Tremestieri Etneo, i dati pregressi utilizzati si riferiscono a indagini effettuate per lo studio geologico per il Piano Regolatore Generale (P.R.G.), a indagini effettuate per lo studio di una zona a sud della faglia di Tremestieri in località Ravanusa e a misure di microtremore ambientale realizzate lungo tre transetti che attraversano la Faglia di Tremestieri, pubblicate nel lavoro di Lombardo e Rigano (2006) . Il modello geologico ricostruito sulla base della profonda revisione dei rilievi geologici



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77
condotti per la realizzazione del P.R.G. ha trovato puntuale riscontro nelle stratigrafie dei sondaggi disponibili per l'area, anche se va segnalato il numero (3) estremamente ridotto di indagini dirette disponibili. Tali indagini sono ubicate immediatamente a ovest del centro abitato, tra Casa Ardizzone e Piano Cani, nel settore centrale del territorio comunale, dove affiorano le colate laviche storiche e recenti e le lave intermedie.

Da quanto finora esposto, risulta chiaro che i dati pregressi messi a disposizione dall'amministrazione comunale di Tremestieri Etneo sono risultati insufficienti nella definizione delle geometrie 3D dei corpi litologici sepolti sotto le lave recenti (vedi Capitolo 5). Anche i profili geolitologici realizzati, in direzione ENE–OSO, da Lombardo & Rigano (2006)(Fig. 42) sono molto schematici e non forniscono informazioni utili ai fini della ricostruzione del modello del sottosuolo, mentre i tre profili litologici riportati nell'Allegato H – Relazioni di settore (pagg.104–106) dello studio geologico per il P.R.G., passanti per i tre sondaggi geognostici, non sono stati ubicati in carta e dunque non è stato possibile archivarli. Si è, quindi, ricorso alle conoscenze pregresse di tutta la regione limitrofa, riguardo l'evoluzione tettonica e morfologica dell'area, che hanno consentito di stabilire i criteri per la ricostruzione della morfologia subvulcanica. Naturalmente, nel corso degli studi di livello superiore, si rende necessario acquisire nuovi dati di sottosuolo al fine di poter meglio stabilire le geometrie sepolte e gli spessori dei diversi corpi geologici, oggi valutati solo sulla base dei loro affioramenti in superficie.

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, il suolo sabbioso è stato catalogato con la sigla “SM” nell'indagine 087051P25, ma nell'indagine 087051P27

viene attraversato un suolo sabbioso vulcanico con inclusi ciottoli e blocchi di lava, che è stato catalogato con la sigla “SW” (vedi **Allegato 2**). In tutti i sondaggi sono stati attraversati a più riprese livelli costituiti da ciottoli vulcanici immersi in una matrice sabbiosa vulcanica, denominati “Rifusa”. Tali livelli sono stati interpretati in base al loro spessore; laddove caratterizzati da spessori inferiori a 5 m sono stati inglobati all’interno delle colate laviche di copertura e definiti con la sigla “LC”, mentre dove mostrano spessori più potenti sono stati interpretati come “SW”. Nell’indagine 087051P27, ad una profondità di 33,3 m, sono state attraversate tufiti sabbioso-siltose di colore rosso (SM). Questi terreni, sono stati riconosciuti anche nelle aree etnee adiacenti, dove sono stati denominati “tufiti e lahars” (vedi **Allegati 1 e 2**), che costituiscono un livello guida in quanto la loro messa in posto è stata correlata alla risalita eustatica Tirreniana (125 ka)(Catalano & Tortorici, 2010). Anche la rifusa (SW) attraversata a partire da 37,3 m di profondità fino a fondo pozzo (40 m) è stata, in questo caso, inserita tra le tufiti e lahars.

Per quanto riguarda le indagini geofisiche, i numerosi dubbi e le incertezze riscontrati nell’analisi dei dati pregressi sono stati già ampiamente discussi nel Capitolo 4. Essi sono di seguito riassunti:

- Non c’è corrispondenza tra le velocità in osservate nei tre down-hole e la stratigrafia dei rispettivi sondaggi geognostici.
- Non è stato possibile archiviare i profili elettromagnetici perché non previsti negli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica-Versione 2.0beta-II”.
- Alle misure di noise realizzate durante gli studi geologici per il P.R.G. delle altre sezioni è stata assegnata attendibilità pari a “3”, a causa della metodologia di elaborazione dei dati utilizzata.
- Le misure di microtremore ambientale inserite nelle indagini effettuate per lo studio di una zona a sud della faglia di Tremestieri in località Ravanusa e



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

nella pubblicazione scientifica di Imposa et al. (2004) non sono state archiviate perché non ubicate con precisione nella relativa carta dell'ubicazione delle indagini.

- Alle misure di noise riportate in Lombardo & Rigano (2006) è stata assegnata attendibilità pari a “2”, in quanto si è reso necessario estrapolare le frequenze di amplificazione dai grafici pubblicati.

Tra i dati geofisici, particolare interesse è rivestito dai tre down-hole realizzati nei sondaggi geognostici. Infatti, nonostante i dubbi sopra esposti, analizzando le Vs medie nei diversi litotipi, appare evidente che la stratigrafia dei terreni vulcanici degli ultimi metri dalla superficie 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. 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.

Tra gli elaborati cartografici allegati agli studi per il P.R.G. particolare interesse rivestono le Tavole dell'Allegato D “Carta delle zone a maggior pericolosità sismica locale in scala 1:2.000”. Facendo riferimento alle indicazioni sia dell'Eurocodice sismico sia del Progetto Finalizzato Geodinamica, si è infatti tentato di suddividere il territorio comunale di Tremestieri Etneo in zone a maggior pericolosità sismica in funzione degli effetti attesi (Fig. 46).

- | | | |
|----|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| L1 | | <p>Terreni lapidei stabili con strato superficiale di alterazione o copertura detritica inferiore ai 5 metri. Possono trasmettere elevate accelerazioni e subiscono deformazioni basse o quasi nulle. La risposta di questi terreni alle sollecitazioni sismiche può essere considerata ottimale.</p> |
| L2 | | <p>Terreni vulcanici incoerenti stabili, costituiti granulometricamente: da ghiaie e sabbie con blocchi per i materiali vulcanoclastici, la rifuca e le lave scoriacee brecciate; da ghiaie, sabbie e silts per i livelli piroclastici. Entrambi presentano buone condizioni di addensamento. La risposta alle sollecitazioni sismiche è da considerarsi buona.</p> |

ELEMENTI MORFO-TETTONICI

ZONE CON STRUTTURE VULCANO-TETTONICHE CERTE CON EVIDENZE SUL TERRENO E/O RILIEVI DI FRATTURAZIONE AL SUOLO

- | | | |
|----|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| S1 | | Scarpate tettoniche |
| S2 | | Creep con fessurazione al suolo |
| S3 | | Fessura eruttiva |
| S4 | | Zone di raccordo, senza evidenze sul terreno, ma comprese fra strutture vulcano-tettoniche certe |

ELEMENTI MORFOLOGICI

- | | | |
|----|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A1 | | Aree piatte alla base di scarpate vulcano-tettoniche con possibilità di accumuli significativi |
| A2 | | Aree con fessi morfologici, terrazzi, scarpate o strutture sepolte ipotizzate dall'analisi morfologica e/o dallo studio fotogeologico, con potenziale concentrazione delle sollecitazioni sismiche |
| A3 | | Aree ad acclività accentuata |
| A4 | | Aree di contatto fra litotipi a forte contrasto di impedenza |

Fig. 46 - Legenda delle Tavole dell'Allegato D - "Carta delle zone a maggior pericolosità sismica locale in scala 1:2.000" agli studi per il P.R.G. del comune di Tremestieri Etneo.

Tra queste zone rientrano alcune di particolare interesse per la definizione delle aree stabili suscettibili di amplificazione da inserire nella "Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica". Naturalmente, nella redazione di questo elaborato le zone riportate nella legenda di figura 46 sono state meglio definite per adeguarle a quelle elencate negli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" (Gruppo di lavoro MS, 2008) e nei Contributi per l'aggiornamento degli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica" (Dolce et al, 2011).



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

Come visto nel Capitolo 4, la totale assenza di analisi di laboratorio ha impedito la caratterizzazione geotecnica e granulometrica dei terreni affioranti. Questa sarà, dunque, uno degli obiettivi imprescindibili nelle successive fasi d'approfondimento.

Per quanto riguarda l'aspetto idrogeologico, tra i dati forniti dall'amministrazione comunale di Tremestieri Etneo, non si è rinvenuta alcuna informazione. Si dovrebbe, dunque, procedere ad una accurata definizione delle curve isopiezometriche della falda superficiale nei terreni vulcanoclastici, al fine di poter individuare quelle aree potenzialmente soggette a fenomeni di liquefazione (vedi Capitolo 7).

Va inoltre segnalata la totale assenza di indagini nella frazione di Canalicchio, se si eccettuano le tre misure di noise realizzate dall'Università di Catania (087051P21, 087051P22 e 087051P23).

Infine, la definizione dei caratteri geotecnici e della geometria del bedrock sismico, rimane uno degli obiettivi imprescindibili nelle successive fasi d'approfondimento.

7. Metodologie di elaborazione e risultati

I dati di base e gli elaborati cartografici utilizzati (vedi elenco in Capitolo 1), riguardanti diversi aspetti dell'assetto geologico dell'area comunale (geologia, geofisica, litotecnica, geomorfologia, pericolosità geologica e pericolosità sismica), sono caratterizzati da un buon dettaglio (scala 1:2.000). 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. Naturalmente, nella stesura degli elaborati cartografici prodotti nel presente studio, il peso delle informazioni di maggiore dettaglio risulta essere preponderante. Per l'individuazione delle coperture detritiche, e degli eventuali movimenti franosi si è fatto riferimento principalmente all'analisi fotogrammetrica e contemporaneamente al contributo fornito da studi pregressi. Per quanto riguarda, invece, la mappatura dei terreni affioranti e dei principali lineamenti tettonici, a seguito di accurate verifiche di terreno unitamente all'analisi di aerofotogrammetrie, si è dovuto procedere ad una sostanziale revisione dei dati forniti. In questo senso, un contributo fondamentale è stato svolto dagli studi accurati, condotti nell'ultimo decennio, sia a carattere scientifico (Imposa et al., 2004; Lombardo & Rigano, 2006) che svolti nell'ambito della stesura della relazione geologica a supporto del P.R.G. di Tremestieri Etneo (vedi Capitoli 3 e 4). 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 (vedi 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



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 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 rispetto alle colate laviche sia di copertura che del substrato, e la presenza della Faglia di Tremestieri che disloca, con movimento normale, tutti i terreni attraversati.

Per quanto riguarda l'amplificazione per effetti topografici e morfologici 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. 47). 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., 1986) che nel caso specifico è un quadrato di 100 metri di lato (Fig. 48). Nell'area di studio non si realizza mai un dislivello superiore a 30 m. Di conseguenza non sono stati individuati pendii soggetti a potenziali fenomeni di amplificazione topografica, come confermato in figura 49, ottenuta combinando le due carte fin qui elaborate. Anche le 5 sezioni topografiche in scala 1:5.000 (**Allegato 5**), dirette NE-SO, NO-SE e ENE-OSO realizzate nell'area di studio, ortogonalmente alle scarpate con pendenza maggiore di 15° , mostrano chiaramente che queste ultime non superano i 25 m di altezza (profilo topografico 3).

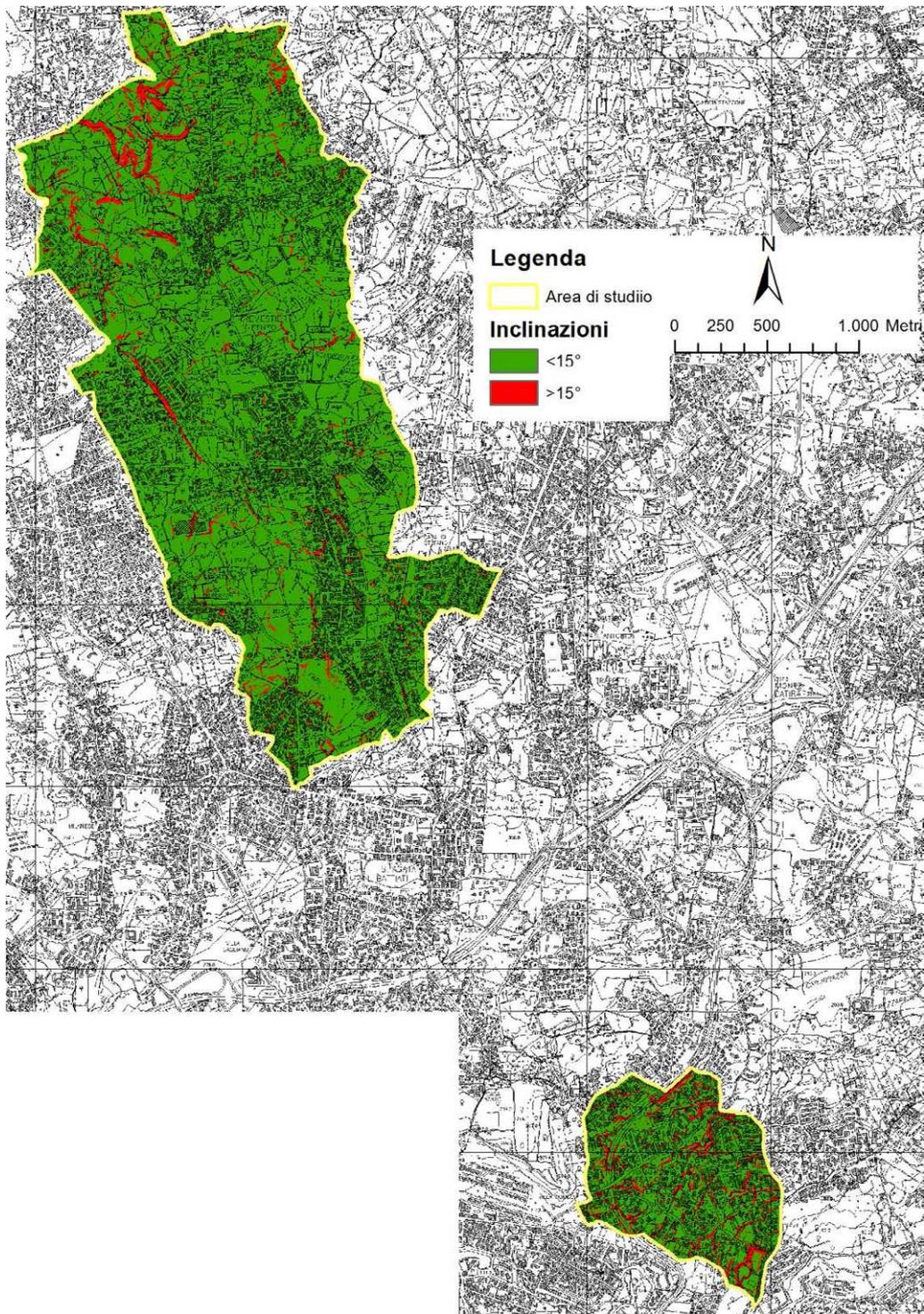


Fig. 47 - Carta delle inclinazioni dell'area di studio. Sono distinte inclinazioni $< 15^\circ$, in verde, e $> 15^\circ$, in rosso.

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

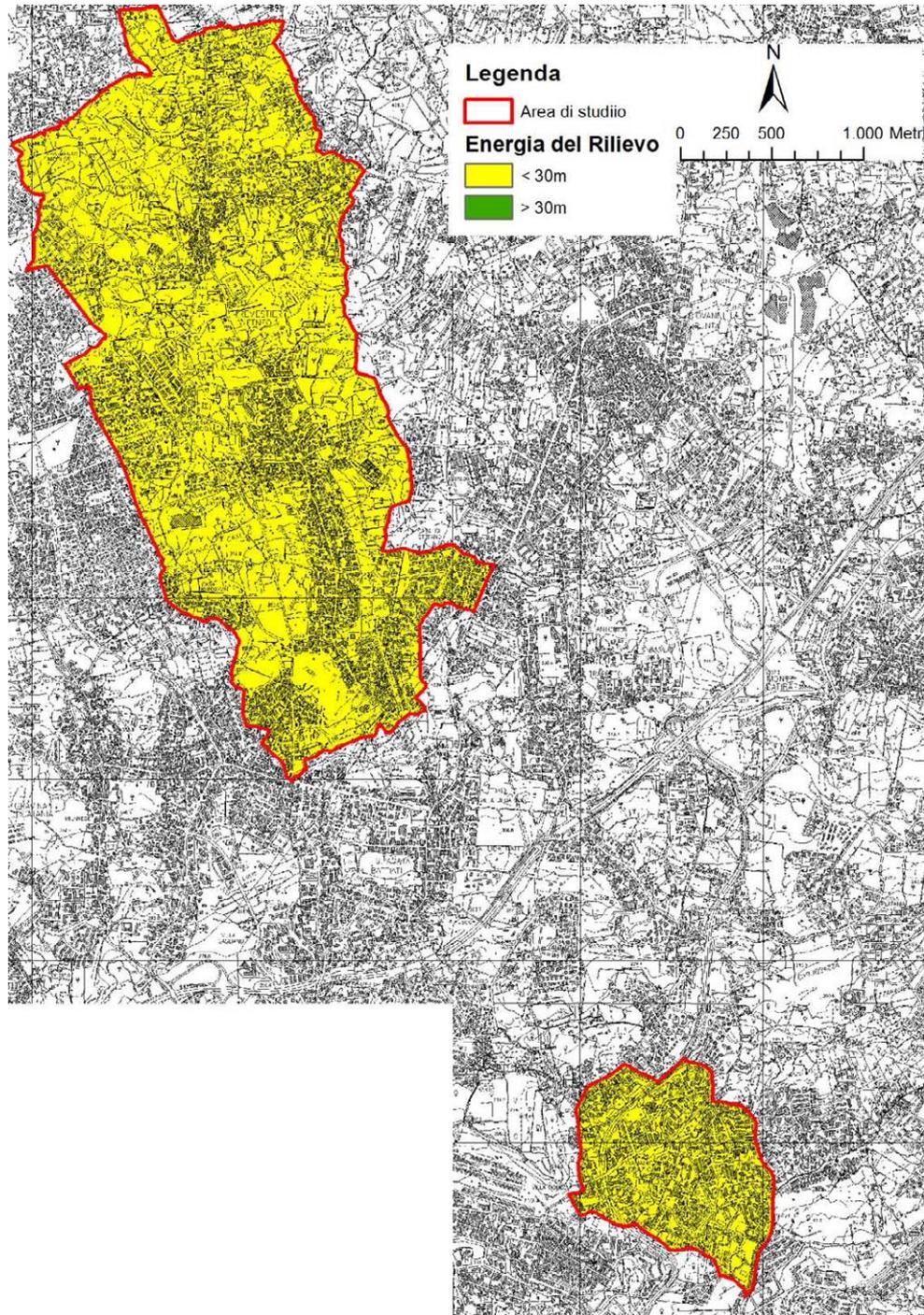


Fig. 48 – Carta dell'energia del rilievo dell'area di studio. Sono distinti dislivelli < 30 m, in giallo, e > 30 m, in verde.

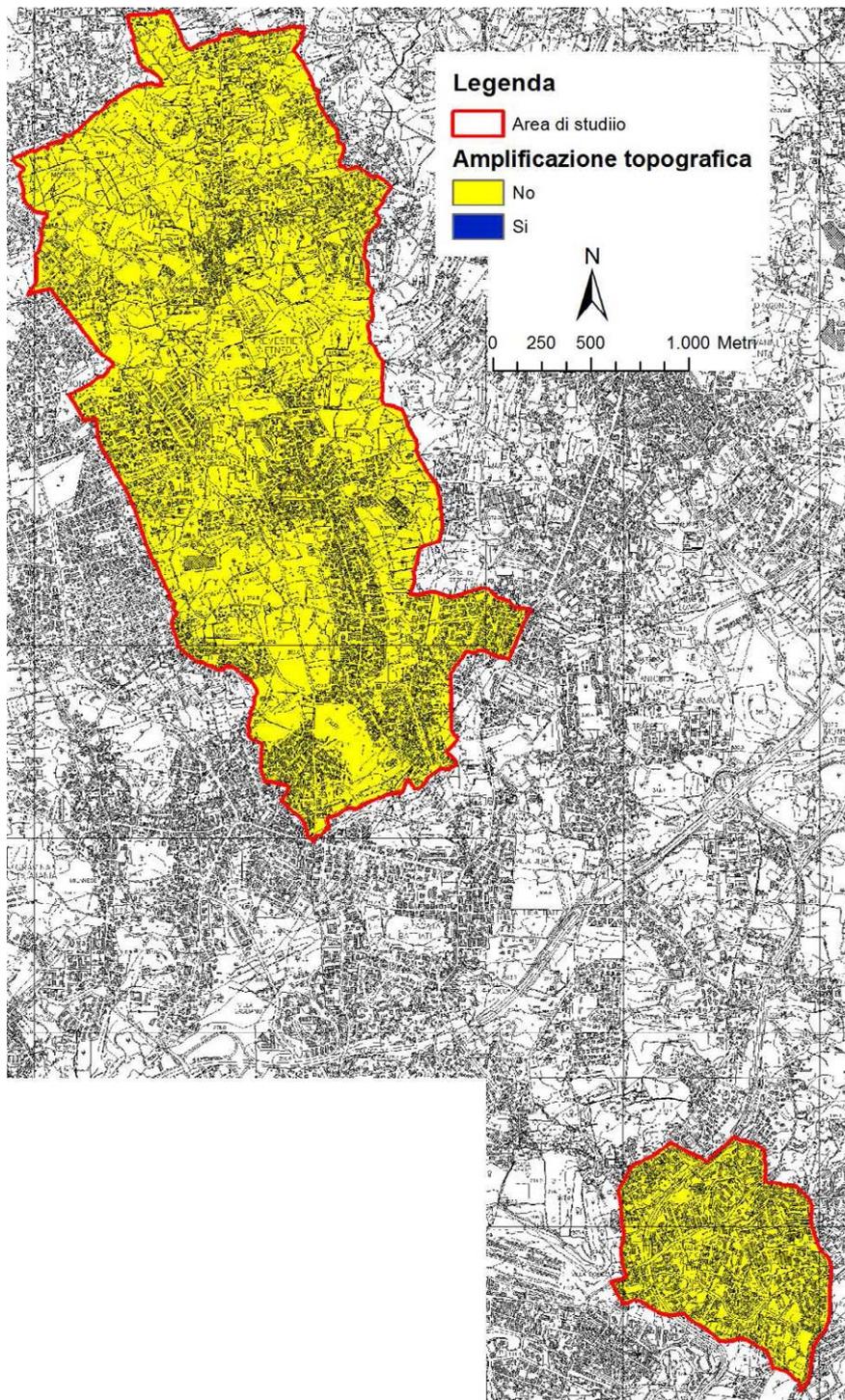


Fig. 49 - Carta dell'amplificazione topografica dell'area di studio . Le aree potenzialmente soggette ad amplificazione topografica sono evidenziate in blu.

Per quanto riguarda le instabilità manifeste e potenziali, a seguito di accurate analisi morfologiche condotte nell'area tramite analisi di fotogrammetrie non è stato rinvenuto alcun dissesto. Questo dato è in accordo con le Tavole dell'Allegato B "Carta geomorfologica in scala 1:2.000" dello studio geologico effettuato per il P.R.G. e con la



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

“Carta dei dissesti” e la “Carta della pericolosità e del rischio” del PAI (Area Territoriale tra i bacini del F. Alcantara e del F. Simeto – 095), in cui non sono segnalati fenomeni franosi.

Le uniche tipologie di instabilità sono connesse alla presenza di fratture eruttive e della Faglia di Tremestieri, che attraversa la porzione occidentale del territorio comunale di Tremestieri Etneo in direzione NO-SE, per proseguire nell’adiacente Comune di Mascalucia, al confine con il quale si estende la frattura eruttiva del Cavòlo, orientata NNO-SSE. In particolare a cavallo della faglia di Tremestieri è stata inserita l’instabilità relativa ad “Aree interessate da deformazioni dovute a faglie attive e capaci” (Tipo_i = 3060), mentre nelle fratture eruttive l’instabilità è relativa a possibili “Cedimenti differenziali” (Tipo_i = 3080), per la presenza di cavità. Infine laddove le due instabilità si sovrappongono, come nel caso della frattura del Cavòlo, è stata assegnata l’instabilità relativa alla “Sovrapposizione di zone suscettibili di instabilità” (Tipo_i = 3070).

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. Distanza che a sua volta dipende 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. 50):

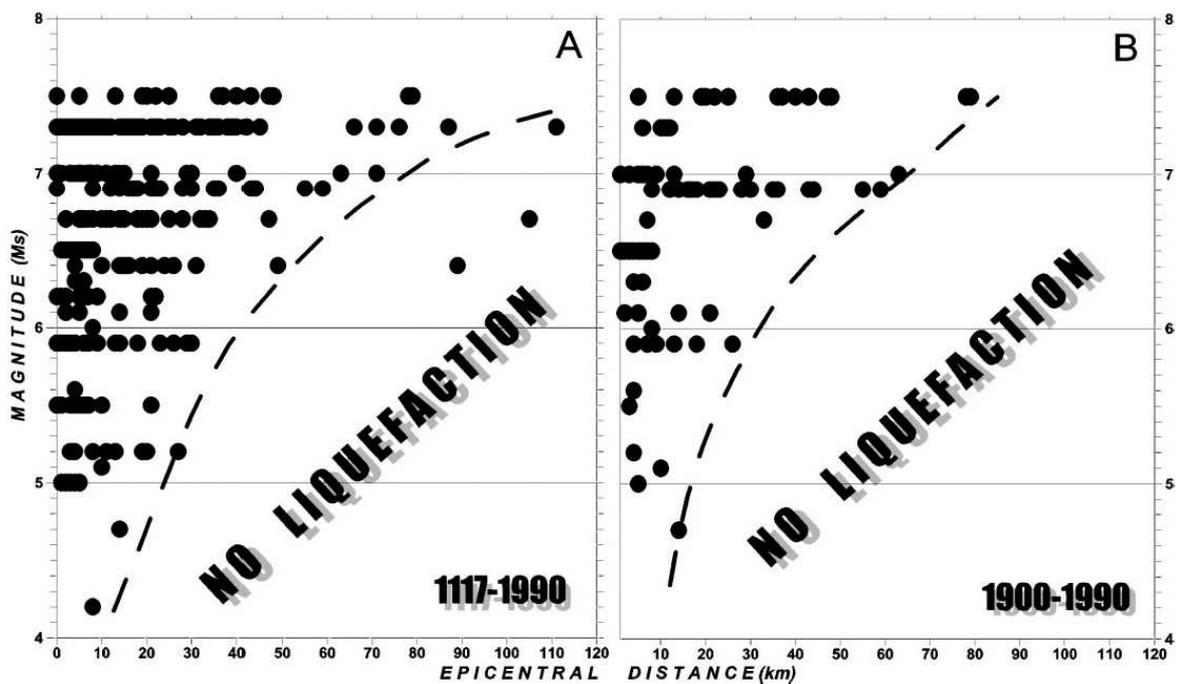


Fig. 50 - Distribuzione di fenomeni di liquefazione indotti da eventi sismici, in termini di Magnitudo e distanza epicentrale, per i periodi 1117-1990 e 1900-1990. (da Galli, 2000).

Nell'ambito della zonazione sismogenica dell'area italiana (Gruppo di lavoro, 2004), il territorio comunale di Tremestieri Etneo, così come tutta l'area etnea, ricade all'interno della zona 936 (Fig. 51). 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 (CPTI11; 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 $M_w = 6$, che ingloba interamente la frazione di Canalicchio e interseca l'estremità meridionale del territorio comunale di Tremestieri Etneo (Fig. 21). 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 19 km di distanza nell'*off-shore* ionico, viene segnalata la presenza della sorgente sismogenica "ITDS011 - Western Ionian" come dibattuta (Fig. 21), per la quale altri autori suggeriscono una correlazione con l'evento sismico catastrofico del 1693 per il quale è stata stimata una $M \geq 7$ (Bianca et al., 1999; Catalano et al. 2008).

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

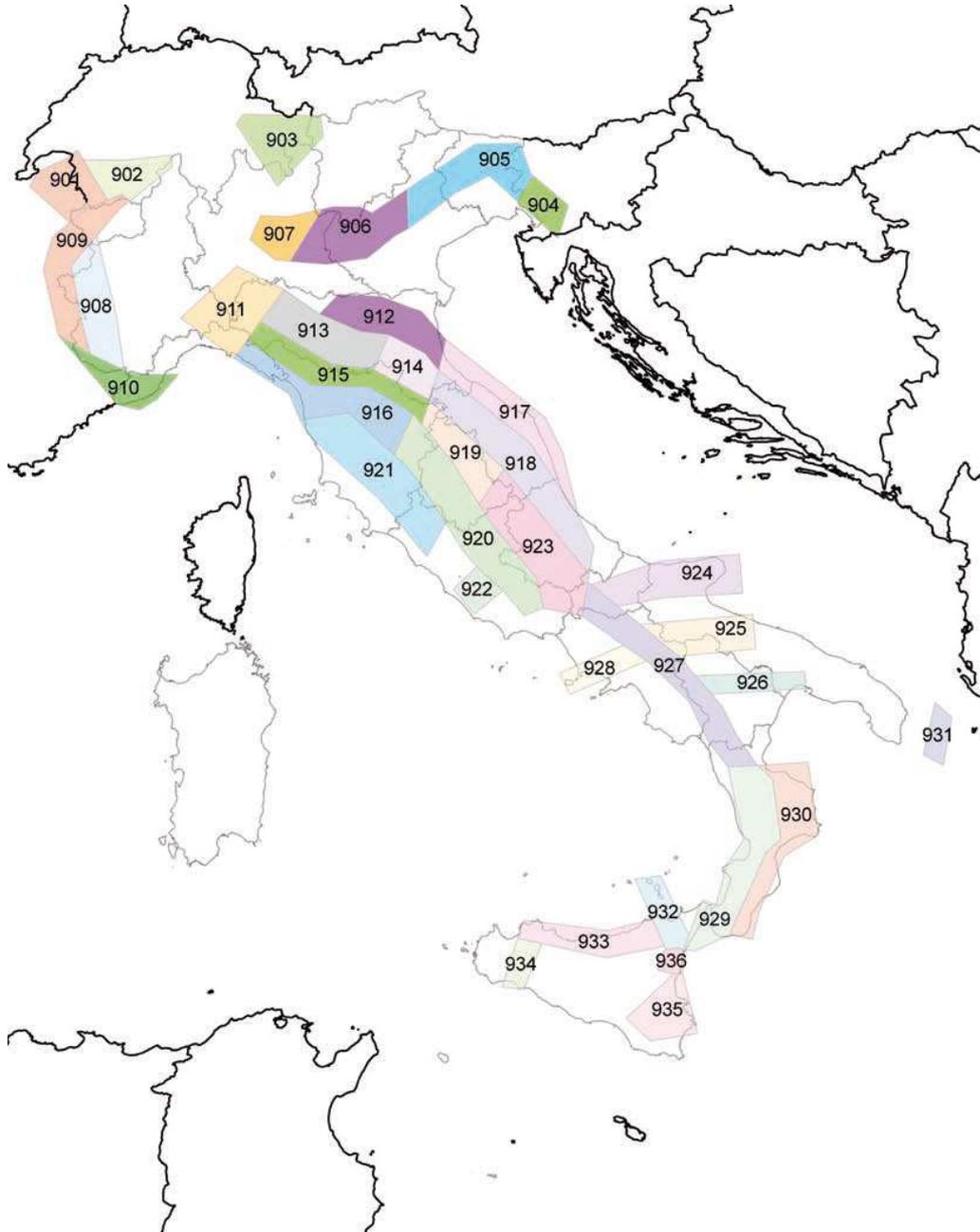


Fig. 51 - Zone sismogenetiche per la mappa di pericolosità sismica di base di riferimento (Gruppo di lavoro, 2004).

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 Tremestieri Etneo, questa tipologia di terreni è rappresentata dai depositi vulcanoclastici, affioranti estesamente in tutta l'area di studio. Per quanto concerne la possibile presenza di falde superficiali all'interno di tali depositi, non essendo in possesso di misure dirette (vedi Capitolo 6), ad eccezione dei tre sondaggi disponibili, dove fino a circa 40 m di profondità non è stata riscontrata alcuna falda, si è fatto riferimento alle informazioni disponibili in Letteratura. Nella Carta idrogeologica del massiccio vulcanico dell'Etna (Ferrara, 2001) il territorio di Tremestieri Etneo oggetto del presente studio, localizzato ad una quota compresa tra circa 515 e 340 metri, ricade tra le curve isopiezometriche di 300 e 200 metri (Fig. 52). Conseguentemente nell'area di studio non è stata definita alcuna zona soggetta a possibili fenomeni di liquefazione. Naturalmente, nei successivi livelli di approfondimento degli studi di microzonazione sismica sarà necessario programmare indagini necessarie a verificare l'assenza di possibili falde nei primi 20 m di profondità dal p.c..

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

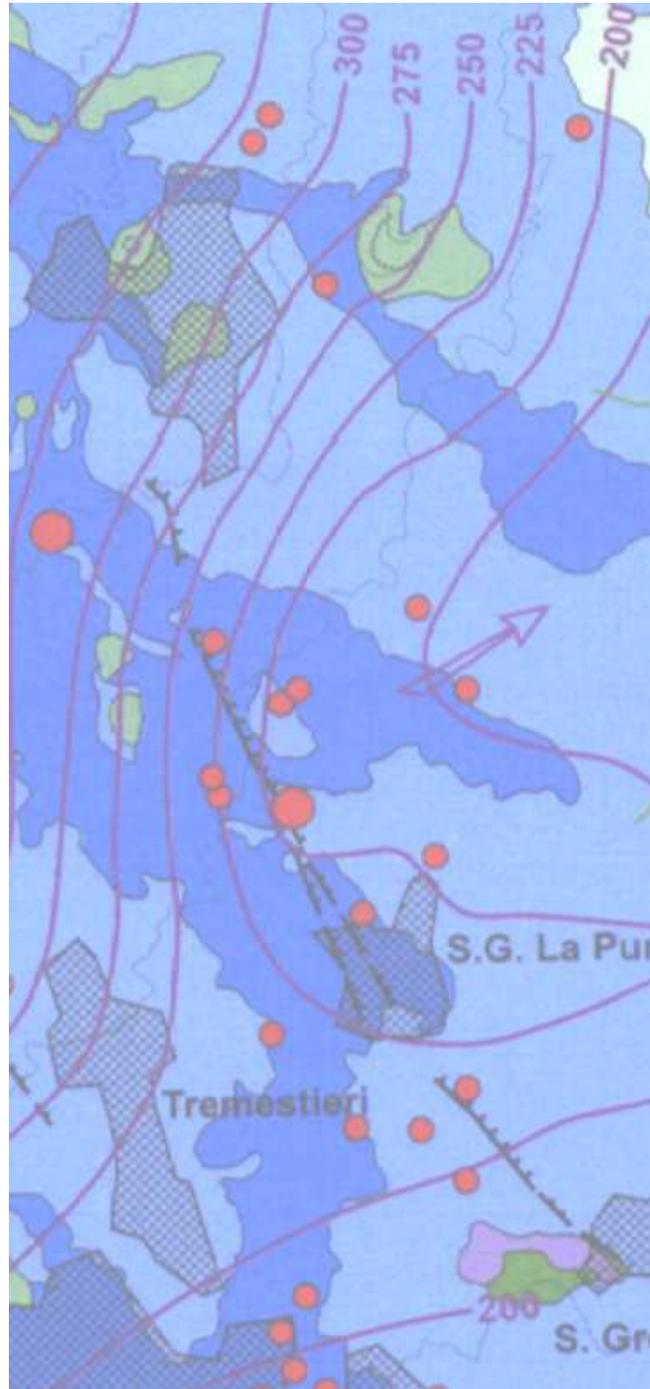


Fig. 52 – Stralcio della Carta idrogeologica del massiccio vulcanico dell'Etna (Ferrara, 2001).

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 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 Tremestieri Etneo, consistono in indagini puntuali, eseguite esclusivamente in foro, e in indagini lineari di tipo geofisico e geologico. 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 96 “Siti_puntuali” (72 relativi a dati pregressi e 24 a misure HVSR realizzate dall'Università di Catania nel corso del presente studio).

Per quanto riguarda le “Indagini_puntuali” sono state inserite 99 indagini appartenenti nella quasi totalità alla classe “Geofisica”. Si tratta di n. 3 indagini down-hole e n. 93 indagini HVSR (vedi **Allegati 3 e 4**), così suddivisi: n. 41 noise eseguiti durante lo studio geologico a supporto del P.R.G., cui è stata attribuita attendibilità pari a “3”; n. 28 noise relativi al lavoro pubblicato in Lombardo & Rigano (2006), cui è stata assegnata attendibilità pari a “2”; n. 24 misure HVSR realizzate dall'Università di Catania, delle quali si sottolinea l'ottima attendibilità delle registrazioni. Le rimanenti n. 3 “indagini puntuali” appartengono alla classe “Geologia” e sono costituite da sondaggi a carotaggio continuo.

Per quanto riguarda le “Indagini_lineari”, sono state inserite n. 3 profili sismici a rifrazione e n. 3 sezioni geologiche molto schematiche (tratte da Lombardo & Rigano,



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 (2006). Ad ogni modo, 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. I dati di sottosuolo, molto scarsi e mal distribuiti, hanno avuto un ruolo marginale nella ricostruzione della stratigrafia delle unità riportate nella carta. Le colate laviche sono state assimilate esclusivamente ai terreni di copertura (LC), sulla base della loro giacitura rispetto alle altre formazioni superficiali (unità di copertura) presenti nell'area. Le altre unità geologico tecniche costituite da diversi terreni di copertura di origine vulcanica e antropica, e dal substrato geologico sedimentario sono state rappresentate nella carta geologico-tecnica seguendo gli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica-Versione 2.0beta-II”. La classificazione dei terreni di copertura, descritta già in dettaglio nei capitoli precedenti, è stata eseguita secondo il sistema USCS. In questo senso un utile contributo è stato fornito dalle Tavole dell'Allegato D “Carta litotecnica in scala 1:2.000” dello studio geologico a supporto del P.R.G., dove è stata segnalata la presenza di suoli di spessore superiore ai 2 metri. Per le lave 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 sia nuovi elementi lineari (limite di colata lavica) che elementi areali (edificio vulcanoclastico sepolto) che insieme agli altri già previsti, consentono una visualizzazione immediata degli elementi della morfologia sub-vulcanica.

Con queste premesse è stato possibile ricostruire un quadro molto complesso dei terreni di copertura che inevitabilmente si traduce in un'estrema parcellizzazione delle zone con caratteri stratigrafici omogenei (successione litologica, giacitura, rapporti geometrici con il substrato), da utilizzare successivamente per la definizione delle microzone omogenee in prospettiva sismica.

La mancanza di un abaco di riferimento per i terreni vulcanici ha comportato un certo grado di indeterminazione ed arbitrarietà nella selezione degli aspetti geologici, litologici e geomorfologici significativi per la distinzione delle microzone omogenee. La scelta adottata è stata quella di suddividere le unità laviche sulla base dei loro caratteri morfologici, facilmente riconoscibili in superficie, cui comunemente si associano caratteri litologici specifici, puntualmente riscontrati in affioramento. Il risultato è una rappresentazione del sottosuolo di natura vulcanica che, pur con tutte le possibili imprecisioni, tende a riprodurre geometrie tipo in relazione all'andamento della topografia sepolta. Questa, discostandosi dai classici schemi litostratigrafici, è apparsa, in assenza totale di dati diretti, l'unica soluzione praticabile per il raggiungimento degli obiettivi propri del primo livello di approfondimento.

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 (vedi Capitolo 5), è stato possibile realizzare la Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica, secondo gli "Indirizzi e Criteri per la



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile

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

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 notevole variabilità laterale dei terreni di copertura affioranti ha comportato la definizione di 8 distinte microzone riferite ad aree stabili suscettibili di amplificazione, nonché 3 distinte zone suscettibili di instabilità.

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, significativi per la individuazione delle diverse tipologie di microzone omogenee. Va rilevato che l'ubicazione dei limiti tra le diverse microzone è in gran parte basata sulla proiezione in superficie di limiti sepolti. 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 le geometrie delle discontinuità stratigrafiche sepolte e le variazioni laterali di spessore dei diversi corpi geologici, oggi ipotizzati solo sulla base dei loro affioramenti in superficie. Molte delle microzone si differenziano, inoltre, sulla base dell'interposizione di corpi lenticolari vulcanoclastici, caratterizzati da variazioni progressive degli spessori, all'interno di successioni formate dalla sovrapposizione delle colate laviche. In mancanza di modelli di riferimento che definiscano gli spessori minimi di vulcanoclastiti intercalate, in relazione alla loro profondità, necessarie a modificare la risposta di sito, i contorni delle diverse microzone omogenee sono stati rigidamente associati ai limiti geologici di chiusura delle vulcanoclastiti sepolte, ubicati con i gradi di incertezza sopra descritti.

Contrariamente a quanto risultato in territori comunali limitrofi, nei quali ai terreni vulcanici è stata associata una notevole varietà di microzone, la copertura lavica, costituita da colate sovrapposte poggianti su un substrato sub-pianeggiante 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 o clastici comunemente intercalati tra le diverse colate di copertura e della variabilità laterale delle litofacies



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 all'interno delle singole colate. A queste considerazioni di carattere generale vanno aggiunti i limiti di incertezza, già descritti nel capitolo 6, che riguardano l'esatta localizzazione dei limiti tra microzone che si differenziano per progressiva sostituzione laterale di terreni a diverso comportamento. A titolo di esempio, si segnala la possibilità che all'interno di una microzona omogenea si possano manifestare effetti di particolare amplificazione lungo 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 della definizione 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 1** Colate laviche sovrapposte (a), costituite da campi lavici complessi caratterizzati da un'alternanza di livelli scoriacei e massivi con una notevole variabilità verticale e orizzontale delle litofacies. Lo spessore complessivo è generalmente oltre i 50 m.
- **Zona 2** Lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (a), che poggiano lungo i fianchi di edifici piroclastici sepolti (b) inclinati di circa 35° tendendo a diminuire di spessore verso le zone sommitali dell'edificio.

- **Zona 3** Depositi vulcanoclastici (a) costituiti da sabbie e ghiaie, con spessori che possono superare i 30 m, che danno luogo ad edifici piroclastici che si sviluppano lungo la frattura eruttiva del Cavò e lungo il settore nord-occidentale dell'area di studio che poggiano sulla zona 5.
- **Zona 4** Materiale vulcanoclastico a granulometria prevalentemente sabbiosa (a) e scorie laviche a granulometria ghiaiosa in matrice sabbiosa (c) con spessore di circa 10 m alternate a lave di copertura indefinite (b), di uguale spessore, su morfologie del substrato articolate (b), costituite da lave vacuolari e massive da mediamente a molto fessurate con presenza di cavità.
- **Zona 5** Lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (a), costituite da lave vacuolari e massive da mediamente a molto fessurate con presenza di cavità spesse complessivamente circa 10 m, alternate a scorie laviche a granulometria ghiaiosa (b) in matrice sabbiosa e materiale vulcanoclastico a granulometria prevalentemente sabbiosa (c) di uguale spessore.
- **Zona 6** Lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (a) che ricoprono sia altri terreni di copertura che diversi termini del substrato geologico, le cui geometrie sepolte andranno definite nell'ambito degli studi di secondo livello.
- **Zona 7** Materiale di riporto eterogeneo eterometrico in matrice sabbiosa, spesso fino a circa 5 m che poggia sulla successione della zona 6.
- **Zona 8** Argille marnose di colore grigio-azzurro al taglio fresco, giallastre per alterazione nelle porzioni sommitali che rappresentano il substrato sedimentario non rigido con spessori non valutabili dell'ordine delle centinaia di metri.

Le 3 zone di instabilità comprendono: 1) le fasce ristrette allungate a cavallo delle faglie potenzialmente attive presenti nell'area; tali fasce non hanno il significato di zone di rispetto, ma piuttosto stanno ad indicare una deformazione non concentrata lungo discrete linee di dislocazione, ma piuttosto diffuse in un'area nell'intorno delle strutture; 2) i cedimenti differenziali che si realizzano lungo le fratture eruttive; 3) la sovrapposizione tra le prime due zone di instabilità.

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 Tremestieri Etneo, 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. 53, 54 e 55).



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile

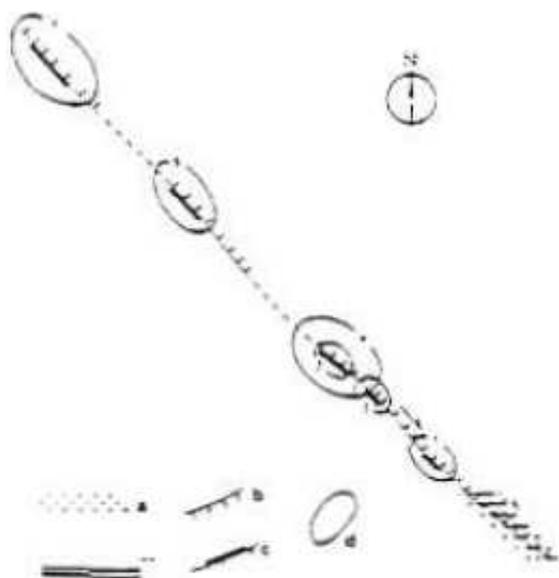


Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77

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), nonché le pubblicazioni scientifiche di Lo Giudice et al. (1982) e un report di Lo Giudice & Longo (1986). Procedendo dal più antico al più recente si elencano:

- L'evento sismico dell'11 gennaio 1693 causò il crollo di 280 delle 350 case di cui faceva parte il paese (80%) mentre le rimanenti furono gravemente danneggiate ed inagibili. Vengono segnalati circa 90 morti su 1000 abitanti.
- A seguito del dell'evento sismico del 20 febbraio 1818 la località di Tremestieri Etneo fu inserita, nel quadro riassuntivo delle perizie, tra quelle in cui si verificarono i danni maggiori. Tra gli edifici sacri furono danneggiati la chiesa Madre, che peraltro mancava assolutamente di adeguate fondamenta e le chiese di S. Vito, S. Antonino, S. Antonio, dell'Immacolata Concezione, la chiesa dell'Indirizzo, la chiesa della Pace e della Madonna delle Grazie. Tra le case danneggiate dal terremoto le fonti sincrone ne segnalano 41. Le tavole sinottiche redatte a cura dell'Intendenza di Catania, riproducenti i risultati delle perizie ufficiali, riportarono il numero di 276 case danneggiate delle quali 86 furono classificate come cadute, 52 come cadenti e le restanti 138 come lesionate.
- L'8 maggio 1914 si verificò una scossa sismica molto forte che provocò molto panico fra gli abitanti. Tuttavia non sono segnalati danni ai principali edifici sacri ed agli edifici privati.

- Nei mesi di agosto e settembre del 1980 si verificò una crisi sismica con associati fenomeni di fratturazione al suolo e di creepings, messa in relazione da Lo Giudice et al. (1982) e da Lo Giudice & Longo (1986) alla frattura eruttiva del Cavolo e alla faglia di Tremestieri (Figg. ?, !, X).



Crisi sismica dell'agosto 1980 lungo la struttura nell'area Cavòlo Idria (Lo Giudice, Rasà)

a = creeping b = scarpata di faglia
 c = fessurazioni al suolo cosmiche d = area mesosismica

Fig. 53 - Studio morfostrutturale e mesosismico della frattura eruttiva del Cavolo realizzato a seguito della crisi sismica del 1980 (da Lo Giudice et al., 1982).

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

Rilievi macrosismici dell'area

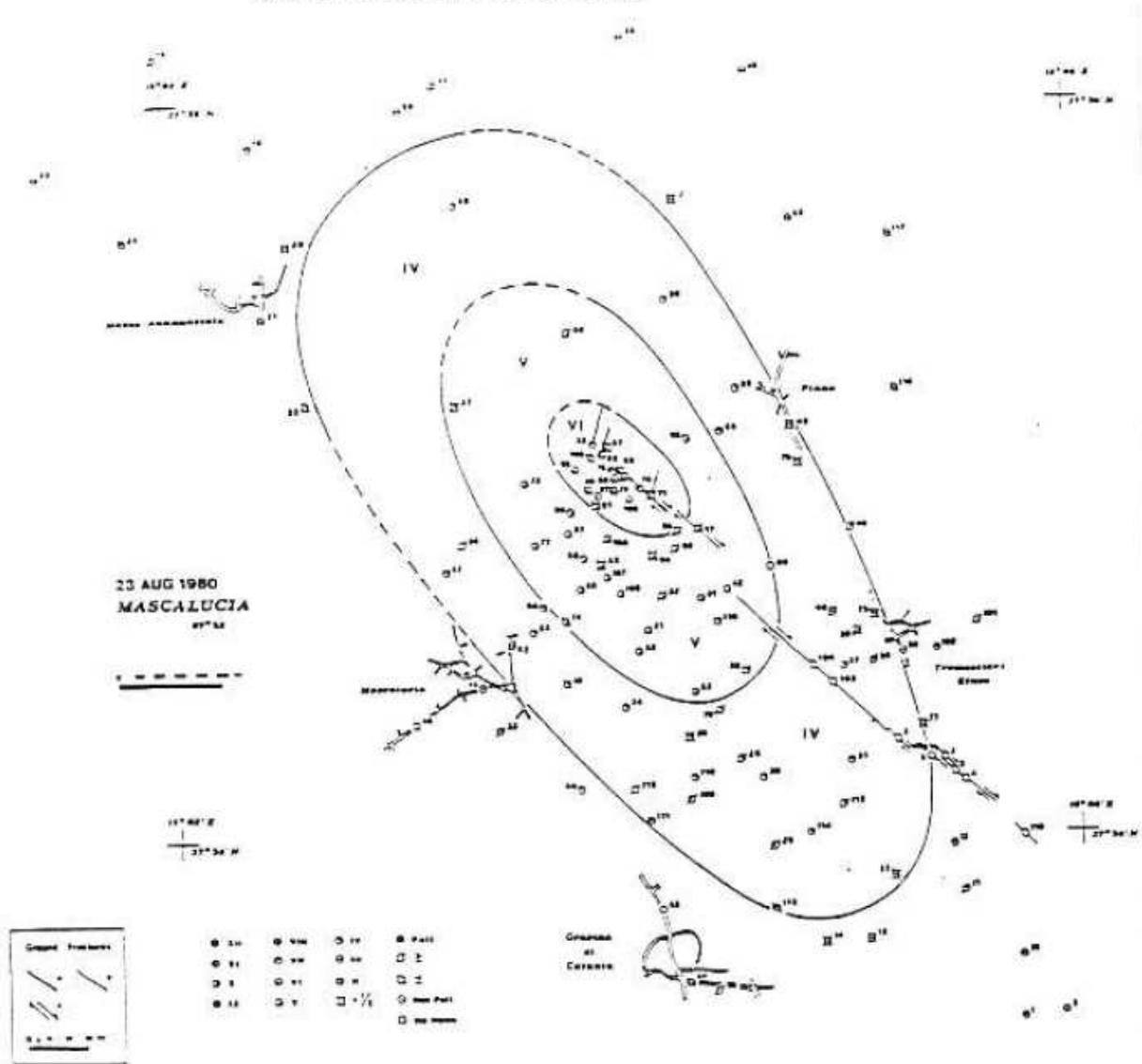


Fig. 54 – Rilievi macrosismici effettuati a seguito della scossa sismica del 23 agosto 1980 (da Lo Giudice & Longo, 1986).

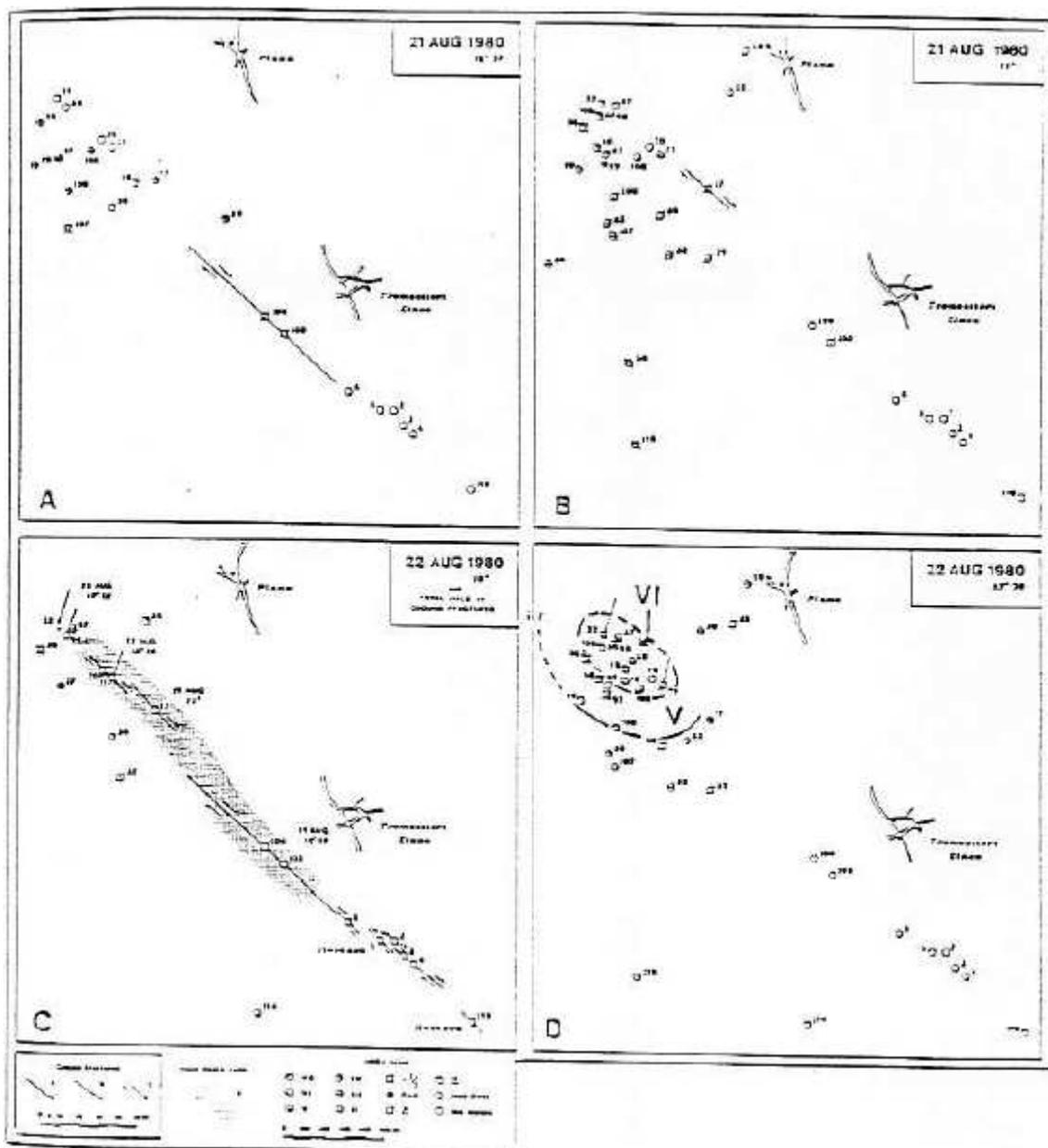


Fig. 55 - Rilievi macrosismici nell'area compresa tra la fossa del Cavolo, S. Maria M.ti Arsi e C.da Immacolata, nel territorio comunale di Tremestieri Etneo, realizzati a seguito della crisi sismica dell'agosto 1980 (da Lo Giudice & Longo, 1986).

- A seguito del terremoto del 13 dicembre 1990 alcune scuole e la chiesa della Madonna della Pace di Piano Tremestieri furono giudicate inagibili. Furono in oltre danneggiati 2 edifici privati. Infine, vennero effettuati 8 sopralluoghi su 11 richieste da parte degli abitanti.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

- Il terremoto 31 ottobre 2005 costituisce l'evento principale di una sequenza sismica di circa 50 scosse localizzate nel medio versante meridionale del vulcano, tra Pedara e Tarderìa. La scossa, accompagnata da un boato, è stata avvertita in quasi tutto il settore orientale etneo ed ha avuto i massimi effetti nella zona di Trecastagni ma alcune scosse successive furono avvertite pure nell'abitato di Tremestieri Etneo, per il quale è stata stimata una $I = 3-4$.

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 Tremestieri Etneo.

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 – 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. Geodyn.*, 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 magnitude of historical earthquakes from macroseismic intensity 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.

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.

Borgia A., Ferrari L., Pasquarè G.; 1992 – Importance of gravitational spreading in the tectonic and volcanic evolution of Mount Etna, *Nature*, 357, 231–235, doi:10.1038/357231a0.

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., 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 “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.

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.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

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.

Kieffer, G.; 1975 – Sur l'existence d'une "riftzone" à l'Etna. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris D 280: 263–266.

Imposa S., Coco G., Corrao M.; 2004 – Site effects close to structural lineaments in eastern Sicily (Italy). Engineering Geology, 72, 331–341.

Lo Giudice E., Longo V.; 1986 – La crisi sismica etnea dell'Agosto – Settembre 1980. CNR–IIV Open File Report 4 (86), 6 pp.

Lo Giudice E., Patanè G., Rasà R., Romano R.; 1982 – The structural framework of Etna. Mem. Soc. Geol. It., 23, 125–158.

Lombardo G., Rigano R.; 2006 – Amplification of ground motion in fault and fracture zones: Observations from the Tremestieri fault, Mt. Etna (Italy). Journal of Volcanology and Geothermal Research, 153, 167–176.

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., Ferlito C., Gresta S., Musumeci C., Tortorici L.; 2005 – Tectonic control on the eruptive dynamics at Mt. Etna volcano (eastern Sicily during the 2001 and 2002–2003 eruptions. J. Volc. Geotherm. Res., 144: 221–233.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

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).

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>

Progetto ITHACA – Faglie Capaci ((ITaly HAZard from CAPable faults). Consultabile presso il “Portale del Servizio Geologico d'Italia” dell'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale).

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

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

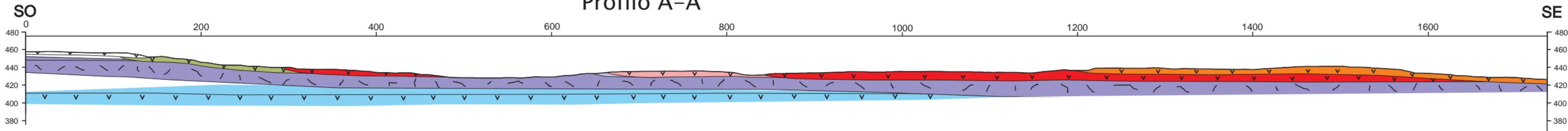
Allegato 5 – Sezioni topografiche

Allegato 6 – Schemi dei rapporti litostratigrafici più significativi

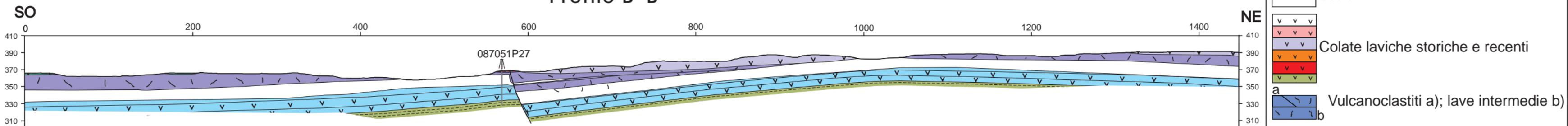
Allegato 1 – Sezioni geologiche

Scala 1:5000

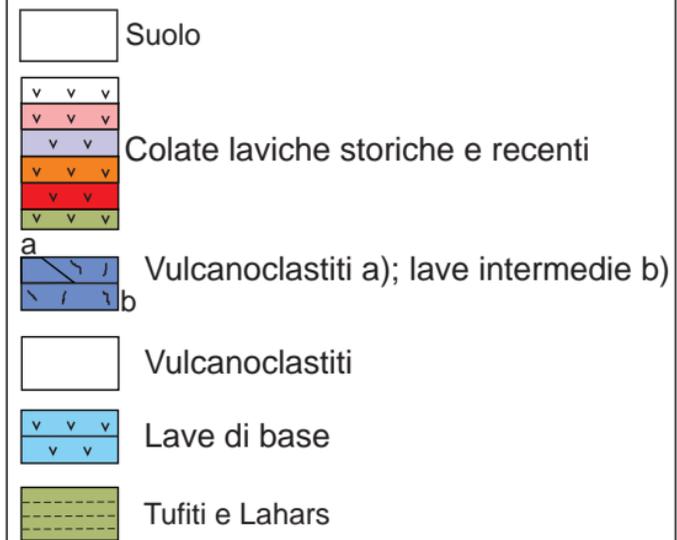
Profilo A-A'



Profilo B-B'

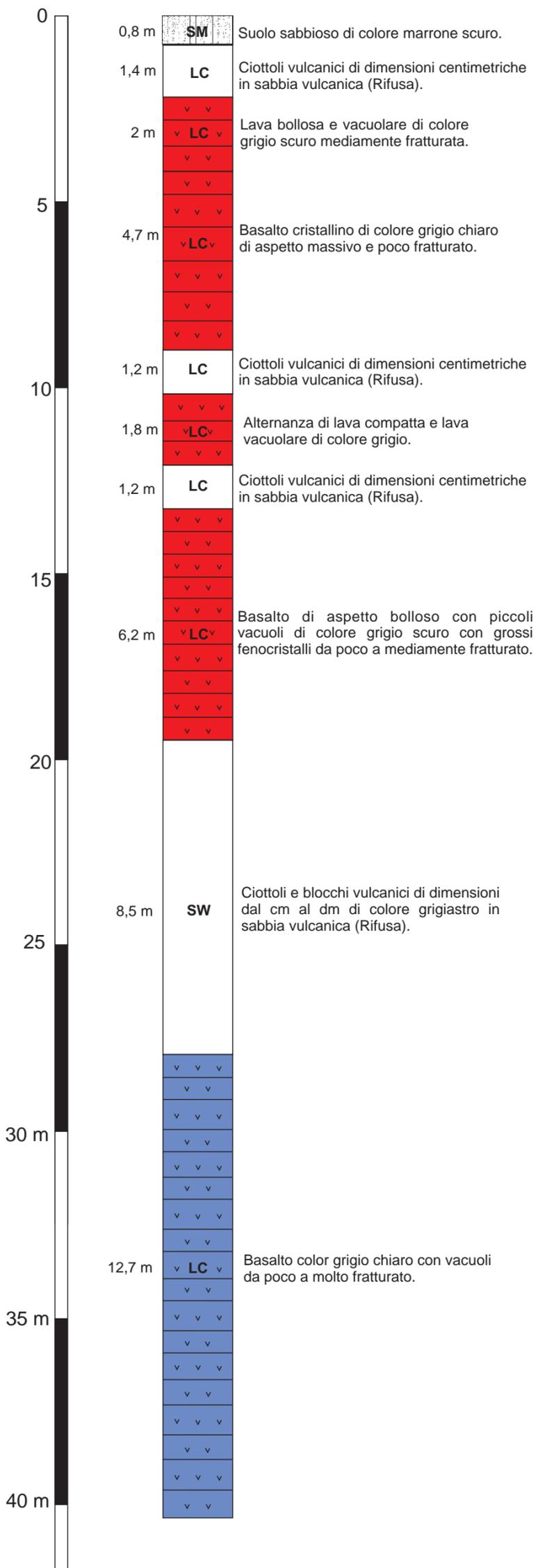


Legenda

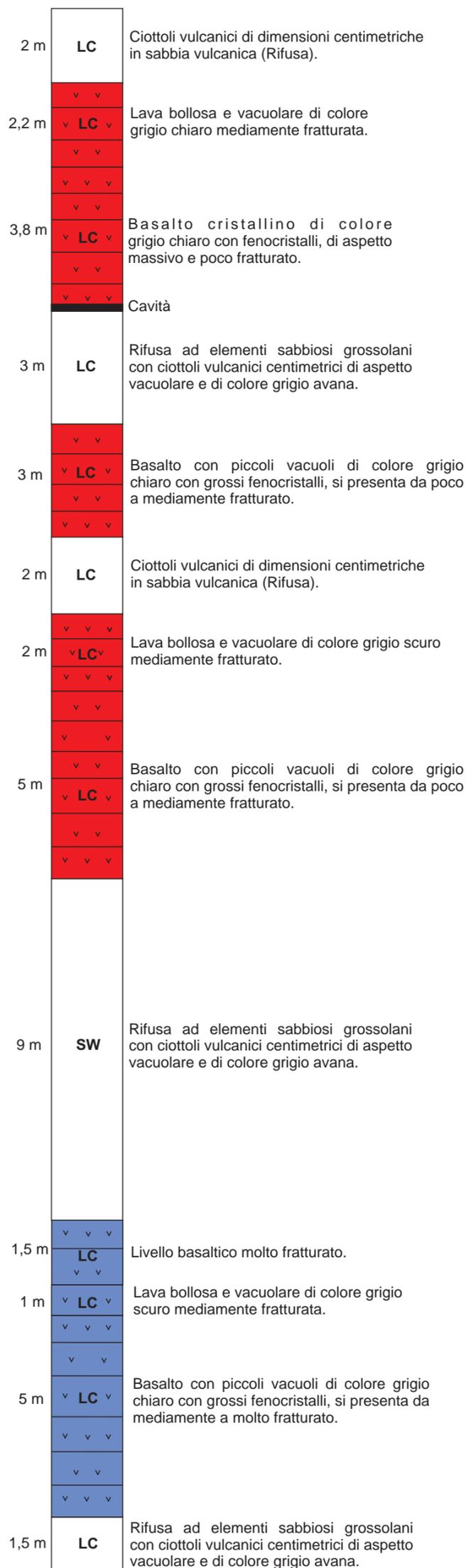


Allegato 2 – Sondaggi

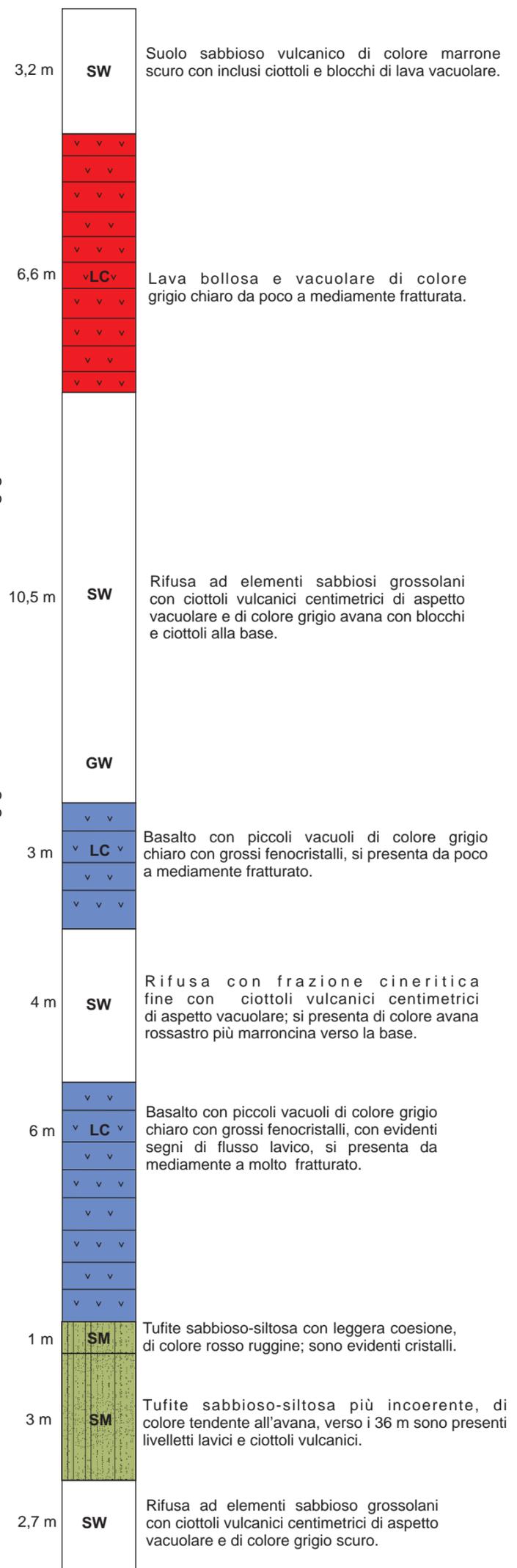
Sondaggio 087051P25



Sondaggio 087051P26



Sondaggio 087051P27



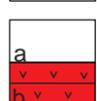
Legenda



Suolo



Lave di copertura indefinite su morfologia del substrato articolate; lave scoriacee (a) e lave massive fratturate (b).



Rifusa e lave scoriacee con ciottoli vulcanici in matrice sabbiosa



Lave di copertura indefinite su morfologia del substrato articolate, massive fratturate.



Tufiti e Lahars

Allegato 3 – Dati geotecnici e geofisici

Unità litotecniche		Parametri geotecnici - Classificaz. di Bieniawski 1979					
Litotipo	Descrizione litotipo	Peso Specifico [γ(KN/m ³)]	Coesione [c' (KN/m ²)]	Angolo attrito interno (φ')	Indice RMR	Classe	Qualità ammasso roccioso
LC	Lave affioranti in banchi di aspetto da massivo a colonnare ma con basso grado di fratturazione verticale dovuta a contrazione per raffreddamento (A1).		2,0 - 3,0	40° - 45°	70 - 90	II	Buona
LC	Lave affioranti di aspetto prettamente colonnare ma con un grado di fratturazione da medio ad elevato (A2).		1,5 - 2,0	35° - 40°	50 - 70	III	Discreta
LC	Lave scoriacee estremamente fratturate e frammentate e prodotti lavici vulcanoclastici (B).	18 - 19	0,0	34° - 40°	Parametri geomeccanici medi riferiti a dati di letteratura		
SW	Materiali vulcanici piroclastici costituiti da sabbie medio fini a sabbie finissime; tuffiti riscontrate solo in profondità (C).	17,5 - 18,5	0,0	32° - 36°	Parametri geomeccanici medi riferiti a dati di letteratura		

Tab. 1 – Principali parametri geotecnici inerenti alcuni litotipi del Comune di Tremestieri Etneo. Valori estratti dalla relazione a supporto del P.R.G. di Tremestieri. Dati desunti da Letteratura Geologica.

ID_INDPU: 087051P25DH26		ID_INDPU: 087051P26DH28		ID_INDPU: 087051P27DH29	
Profondità (m)	Velocità onde P [Vp (m/s)]	Profondità (m)	Velocità onde P [Vp (m/s)]	Profondità (m)	Velocità onde P [Vp (m/s)]
0,8	250	2,0	400	2,0	820
3,0	500	4,0	900	4,0	1180
5,0	600	6,0	1100	6,0	1160
7,0	950	8,0	1000	8,0	1290
9,0	1090	10,0	1350	10,0	1190
11,0	1200	12,0	1400	12,0	950
13,0	1050	14,0	1200	14,0	930
32,0	1350	16,0	1000	16,0	1490
34,0	1260	18,0	1050	18,0	1650
		20,0	1150	20,0	1540
		22,0	1280	22,0	1500
		24,0	1300	24,0	1110
		26,0	1350	26,0	1120
		28,0	1440	28,0	1280
		30,0	1500	30,0	1420
		32,0	1450	32,0	1590
		36,0	1250	34,0	1600
		38,0	1480	36,0	1520
		40,0	1850	38,0	1530

Tab. 2, 3 e 4 – Risultati di indagini Down-hole e relative Velocità delle onde sismiche Vp nei vari intervalli considerati del sottosuolo. Dati estratti dall'allegato G degli "Studi Geologici" effettuati a supporto del P. R. G. del Comune di Tremestieri Etneo.

Indagine	1 ^a frequenza di picco (hertz)	ampiezza/hertz (hertz)	2 ^a frequenza di picco (hertz)	ampiezza/hertz (hertz)	3 ^a frequenza di picco (hertz)	ampiezza/hertz (hertz)
087051P28HVSR31	5,80	0,60	10,25	0,75		
087051P29HVSR32	5,90	2,10	7,60	0,85	14,60	0,80
087051P30HVSR33	5,85	0,70	9,40	1,60	11,80	0,90
087051P31HVSR34	3,90	1,00	5,10	1,45	7,10	1,50
087051P32HVSR35	7,00	0,75				
087051P33HVSR36	2,70	0,70				
087051P34HVSR37	6,70	0,75				
087051P35HVSR38	2,10	0,55				
087051P36HVSR39	--	--				
087051P37HVSR40	--	--				
087051P38HVSR41	--	--				
087051P39HVSR42	2,50	0,70				
087051P40HVSR43	6,80	0,80	8,20	2,10	14,10	0,65
087051P41HVSR44	9,90	1,10	11,40	0,60	14,20	0,60
087051P42HVSR45	4,50	0,50				
087051P43HVSR46	2,00	0,90	4,00	0,65	12,20	0,60
087051P44HVSR47	2,50	0,85	10,20	0,75		
087051P45HVSR48	3,00	1,10	6,00	0,55		
087051P46HVSR49	3,50	0,75	10,70	0,60		
087051P47HVSR50	2,30	0,75	5,00	0,65		
087051P48HVSR51	2,50	0,75	3,50	0,70	4,80	0,75
087051P49HVSR52	2,50	0,80	15,90	1,55	17,00	0,65
087051P50HVSR53	2,10	1,40	4,50	0,55		
087051P51HVSR54	1,60	0,70	4,00	0,70	8,80	0,55
087051P52HVSR55	2,00	1,55	3,00	0,65		
087051P53HVSR56	--	--				
087051P54HVSR57	2,80	2,95				
087051P55HVSR58	2,00	3,00	4,00	1,40	4,90	3,60
087051P56HVSR59	2,80	1,25	7,00	1,65	7,80	2,25
087051P57HVSR60	1,80	1,40	3,00	1,00	7,20	1,80
087051P58HVSR61	3,00	0,80	6,00	0,50	7,20	0,55
087051P59HVSR62	2,20	2,00	5,40	0,80	12,20	1,70
087051P60HVSR63	1,80	1,20	6,10	2,25	7,20	1,00
087051P61HVSR64	1,80	2,60	3,00	2,00	5,50	3,20
087051P62HVSR65	3,75	3,25	10,80	2,60	16,00	3,30
087051P63HVSR66	2,40	0,75	4,90	0,80	8,00	1,10
087051P64HVSR67	1,80	3,25	3,75	1,80	12,50	1,35
087051P65HVSR68	2,70	1,80	5,50	1,80	6,80	1,40
087051P66HVSR69	2,30	2,75	4,60	1,40	14,00	0,95
087051P67HVSR70	13,00	0,75				
087051P68HVSR71	--	--				

Tab. 5 – Misure di noise ambientale con valori del picco di massima frequenza e del relativo valore di amplificazione espresso attraverso il rapporto degli spettri in ampiezza su frequenza (ampiezza/hertz) secondo la tecnica dei rapporti spettrali tra il sito in esame ed un sito di riferimento (bedrock). Dati estratti dall'allegato G degli "Studi Geologici" a supporto del P. R. G. del comune di Tremestieri Etneo.

Indagine	1 ^a frequenza di picco (hertz)	H ₀ /V ₀	2 ^a frequenza di picco (hertz)	H ₀ /V ₀	3 ^a frequenza di picco (hertz)	H ₀ /V ₀
087051P69HVS72	5,50	4,80	9,20	4,80		
087051P70HVS73	4,00	6,80	7,90	5,20		
087051P71HVS74	1,40	4,10				
087051P72HVS75	1,60	3,90	2,20	4,00		
087051P73HVS76	3,00	5,20	5,40	6,00	7,80	6,20
087051P74HVS77	6,30	6,80				
087051P75HVS78	1,70	3,40				
087051P76HVS79	1,40	4,00				
087051P77HVS80	1,50	7,20	4,10	4,00		
087051P78HVS81	1,60	6,90	2,40	6,00	8,70	> 8
087051P79HVS82	1,60	5,00	8,50	4,00		
087051P80HVS83	1,50	5,00	2,00	4,50		
087051P81HVS84	1,60	4,80	5,10	2,50		
087051P82HVS85	1,60	4,00	5,00	2,80		
087051P83HVS86	2,10	6,20	6,00	5,90		
087051P84HVS87	1,60	5,90	3,00	2,90		
087051P85HVS88	1,40	6,20	5,30	7,40	8,00	5,80
087051P86HVS89	1,80	4,00	2,90	3,60		
087051P87HVS90	1,70	6,80	6,80	6,80		
087051P88HVS91	4,80	3,20	9,70	3,20		
087051P89HVS92	4,20	5,50				
087051P90HVS93	5,10	4,00	6,80	3,40		
087051P91HVS94	1,60	5,50	3,10	3,00	7,30	2,20
087051P92HVS95	2,80	4,80	4,20	5,00		
087051P93HVS96	2,40	4,00	4,00	5,80		
087051P94HVS97	2,10	4,60	8,90	4,50		
087051P95HVS98	1,60	3,90	2,10	3,50	6,20	2,60
087051P96HVS99	1,70	5,20	2,10	6,00		

Tab. 6 – Valori del picco di massima frequenza e dei relativi valori di amplificazione H/V ricavati attraverso la registrazione di noise ambientale con la tecnica di Nakamura. Dati estratti da una pubblicazione scientifica di Lombardo & Rigano (2006) riguardante l'osservazione delle registrazioni di noise ambientale per lo studio della Faglia di Tremestieri Etneo.

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).

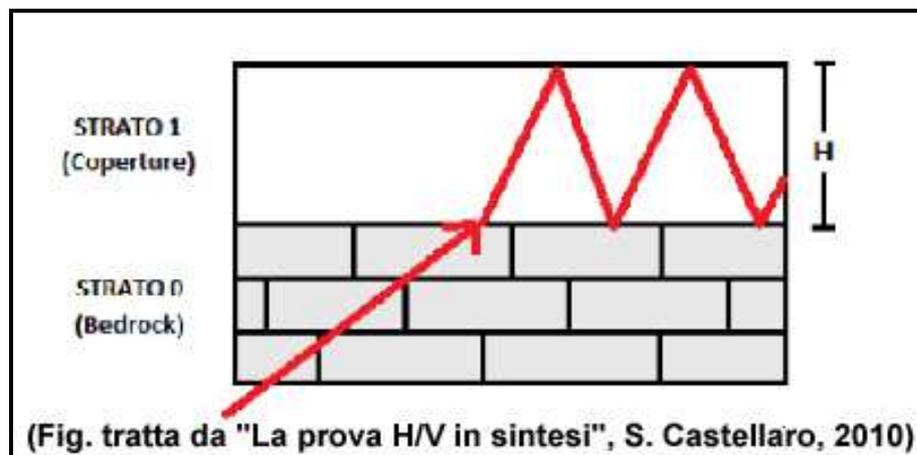
Ciò premesso, riconosciuta l'importanza degli effetti di sito, al progettista serve conoscere la *funzione di trasferimento* al sito, ossia come il moto dal bedrock si trasferisce in superficie; ne consegue che la condizione ideale risulta la misurazione e non il calcolo (che richiederebbe la modellazione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

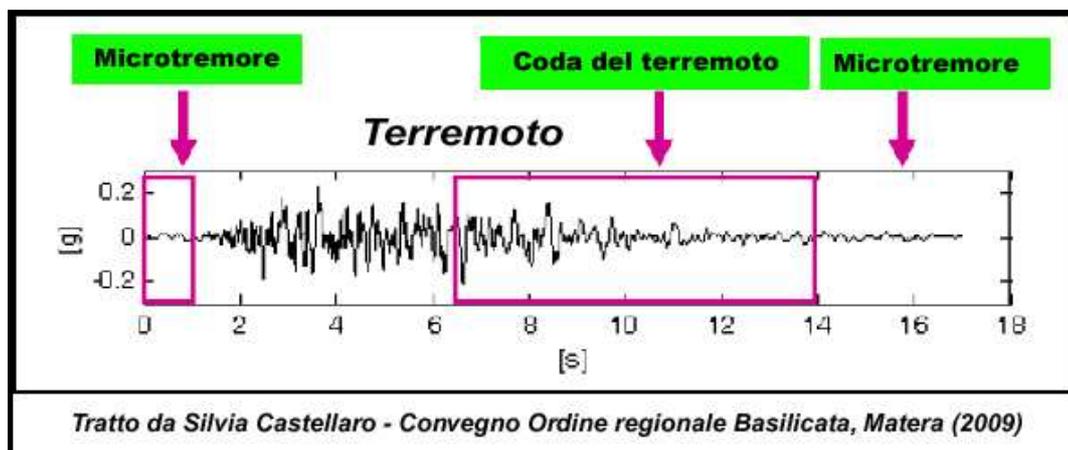
A tal proposito va rilevato, quindi, come lo studio del microtremore ambientale (noise), attraverso le prove di sismica passiva a stazione singola H/V (o HVSR), sia in grado di mettere in luce le frequenze alle quali il moto del terreno viene amplificato per risonanza stratigrafica; tale prova, comunemente 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.), *V_s* 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 *V_s* 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.

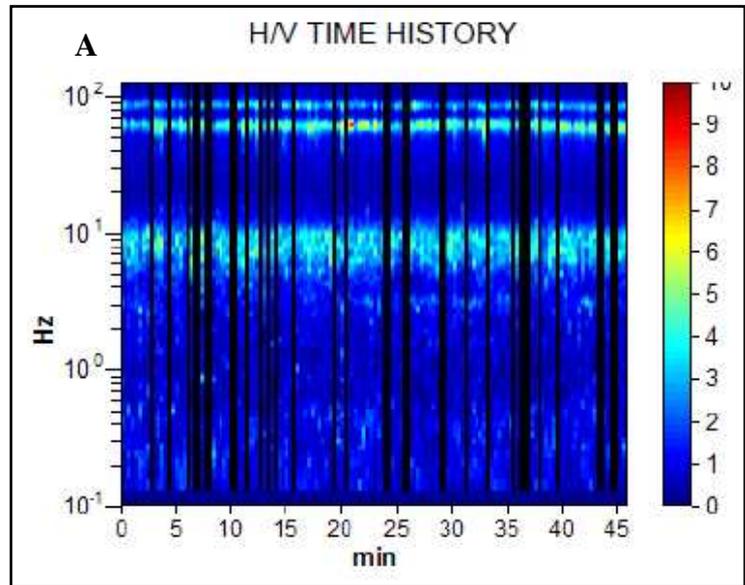
Nello specifico, considerando l'estensione e la topografia dell'area, questo studio ha comportato l'esecuzione di "24" misure, secondo le indicazioni del progetto di ricerca europeo SESAME ("Guidelines for the implementation of the H\|V spectral ratio technique on ambient vibrations" - European Commission, 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 artefattualmente *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 tomografo-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. Tremestieri - 087051P19).



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.

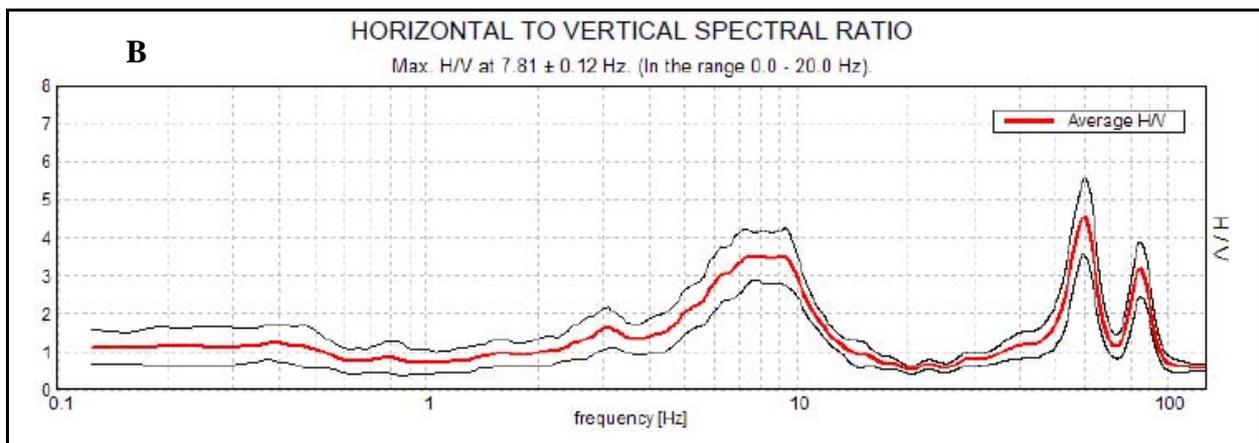


Figura 1: Serie Temporale H/V (A) e Rapporto Spettrale orizzontale/verticale (B) relativo all'indagine 087051P19 a Tremestieri.

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 24 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 poco inferiori a 1 Hz e valori di poco superiore a 2 Hz, raramente sono stati osservati valori più elevati (di circa 5, 7, 10 e 19 Hz). 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 (fino a 19,97 Hz). E’ da notare, inoltre, che nella maggior parte dei casi si osservano amplificazioni superiori a 2; nell’indagine 087051P8 è stata rilevato un rapporto $H/V \sim 4$.

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
087051P1	N185	505665,40	4161293,41	1,41	2,61	3,88	3,40	16,25	2,10
087051P2	N186	506047,23	4161081,74	1,53	2,54	5,00	2,51	14,59	1,67
087051P3	N187	506394,32	4160437,45	1,56	1,99	4,00	2,30		
087051P4	N188	506071,00	4160405,00	1,22	2,33	3,06	2,41		
087051P5	N189	505771,82	4160657,55	2,19	3,11	8,38	3,18		
087051P6	N190	506675,76	4160267,85	1,22	2,16	13,00	3,93		
087051P7	N191	505923,19	4160018,84	5,31	3,39				
087051P8	N192	506087,78	4159503,06	1,00	1,86	7,94	4,01		
087051P9	N193	505647,23	4159451,72	1,25	2,44				
087051P10	N194	505551,60	4159864,37	1,44	2,59	6,16	2,66		
087051P11	N195	506432,18	4159432,32	1,50	2,05	4,91	3,27		
087051P12	N196	506545,69	4158802,25	1,88	1,98	6,16	2,25	19,97	2,94
087051P13	N197	505905,34	4159044,73	1,56	3,35				
087051P14	N198	505485,86	4159152,06	2,56	1,87				
087051P15	N199	506026,16	4158207,97	6,41	1,67				
087051P16	N200	506607,40	4157767,26	4,69	2,92				
087051P17	N201	506680,44	4158136,69	10,31	1,90				
087051P18	N202	505938,49	4158441,12	0,81	1,22				
087051P19	N203	506999,86	4157389,19	7,81	3,52				
087051P20	N204	506138,60	4157648,12	19,97	2,47				
087051P21	N206	508725,02	4154527,36	5,88	1,12				
087051P22	N207	508950,77	4154904,81	5,28	1,15				
087051P23	N208	508223,56	4155064,93	4,81	1,09				
087051P24	N209	507283,51	4158217,08	19,53	1,16				

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

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÷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 due siti di misura HVSR presenti nella carta delle frequenze allegata, mostrandone i valori di frequenza ed ampiezza dei picchi significativi (due 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).

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]					
$f_0 > 10 / L_w$	7.81 > 0.50	OK			
$n_c(f_0) > 200$	16250.0 > 200	OK			
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 376 times	OK			
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]					
Exists f^- in $[f_0/4, f_0] A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	4.719 Hz	OK			
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	11.625 Hz	OK			
$A_0 > 2$	3.52 > 2	OK			
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0.00752 < 0.05	OK			
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.05876 < 0.39063	OK			
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.3128 < 1.58	OK			
L_w	window length				
n_w	number of windows used in the analysis				
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles				
f	current frequency				
f_0	H/V peak frequency				
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency				
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$				
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0				
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f				
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$				
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$				
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided				
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve				
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$				
Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Figura 3: tabelle dei criteri per una curva H/V affidabili e per un picco H/V chiaro relativi all'indagine 087051P19 di Tremestieri 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.

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]					
$f_0 > 10 / L_w$	6.16 > 0.50	OK			
$n_c(f_0) > 200$	12928.1 > 200	OK			
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 296 times	OK			
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]					
Exists f^- in $[f_0/4, f_0] A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO		
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	9.25 Hz	OK			
$A_0 > 2$	2.66 > 2	OK			
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.07084 < 0.05$		NO		
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.4361 < 0.30781		NO		
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.3728 < 1.58	OK			
L_w	window length				
n_w	number of windows used in the analysis				
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles				
f	current frequency				
f_0	H/V peak frequency				
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency				
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$				
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0				
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f				
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$				
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$				
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided				
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve				
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$				
Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Figura 4: tabelle dei criteri per una curva H/V affidabili e per un picco H/V chiaro relativi all'indagine 087051P10 di Tremestieri 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.

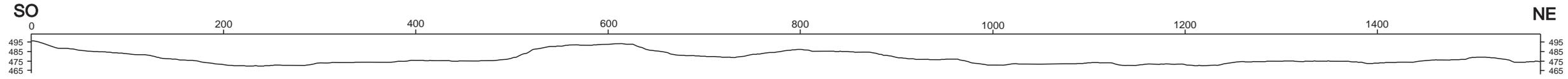
Nogoshi M., Igarashi T.; 1970 – On the propagation characteristics of microtremors. J. Seism. Soc. Japan, 23, 264–280.

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>.

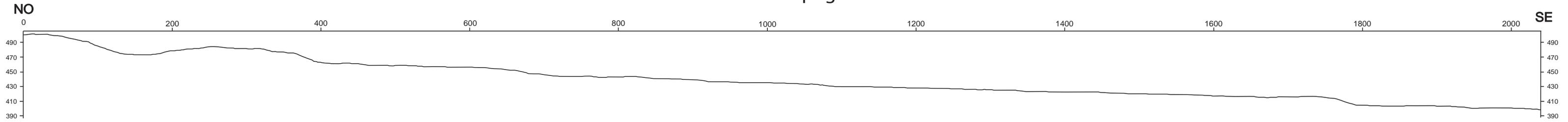
Allegato 5 – Sezioni Topografiche

Scala 1:5000

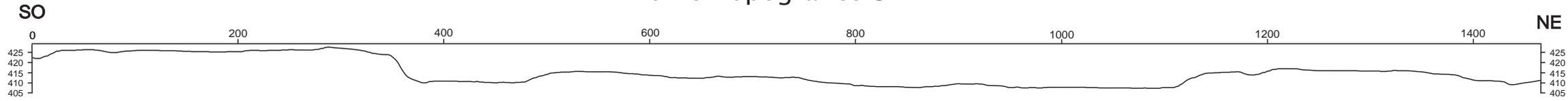
Profilo Topografico 1



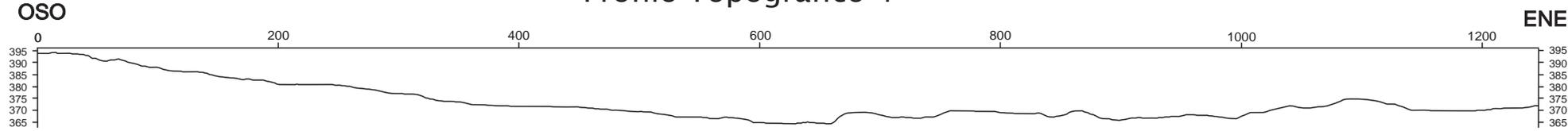
Profilo Topografico 2



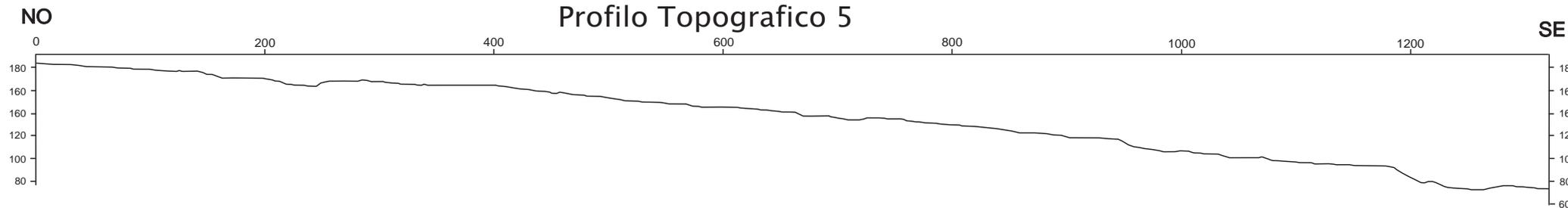
Profilo Topografico 3



Profilo Topografico 4



Profilo Topografico 5



Allegato 6 – Schemi dei rapporti litostratigrafici più significativi

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

