

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

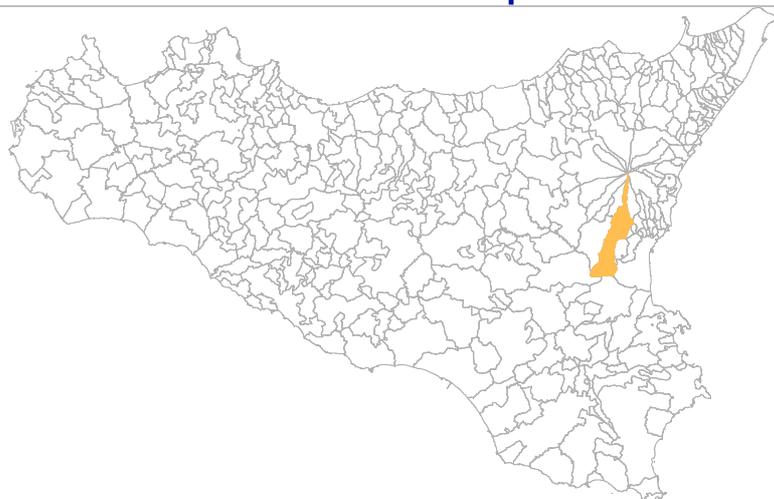
MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione Illustrativa

MS Livello 1

Regione Sicilia

Comune di Belpasso



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

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

Indice

1. Introduzione	3
2. Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento.....	10
3. Assetto geologico e geomorfologico dell'area	20
4. Dati geotecnici e geofisici	41
5. Modello del sottosuolo	48
6. Interpretazioni e incertezze	52
7. Metodologie di elaborazione e risultati	54
8. Elaborati cartografici	62
9. Confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati	66
10. Bibliografia	68
11. Allegati	74



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 Belpasso (codice istat 087007), in Provincia di Catania, oggetto della presente relazione, sono stati eseguiti nell'ambito della Convenzione del 20/12/2011 tra Università di Catania e Dipartimento Regionale di Protezione Civile della Regione Sicilia, che ha previsto l'avvio delle indagini per i comuni siciliani soggetti a più elevata pericolosità sismica. L'attività di microzonazione è stata eseguita seguendo le indicazioni contenute negli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" (Gruppo di lavoro MS, 2008) e tenendo conto anche dei suggerimenti contenuti nel supplemento a "Ingegneria Sismica" (anno XXVIII, n.2, 2011) a cura di Dolce et alii.

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

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



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

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

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

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

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

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

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

Gli studi condotti nel territorio di Belpasso si riferiscono al primo livello di approfondimento e sono consistiti nella raccolta dei dati esistenti e nella redazione di una serie di elaborati cartografici (la Carta delle indagini, la Carta geologico tecnica per la MS e la Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica) richiesti dagli “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica” (Gruppo di lavoro MS, 2008) e nella compilazione di un database, risultato di una profonda e dettagliata elaborazione delle informazioni esistenti. Il territorio del Comune di Belpasso si sviluppa lungo il versante meridionale del Monte Etna, in Sicilia orientale, dal cratere centrale (quota ~3300 m) fino al settore settentrionale dell’antistante Piana di Catania (quota ~20 m), per un’estensione areale di circa 165 km² (Fig. 1). E’ da sottolineare che gli studi sono stati condotti senza il contributo di dati pregressi significativi, in quanto è stato possibile reperire solo le tavole in bianco e nero, su supporto cartaceo originale, degli studi geologici allegati al PRG, di difficile lettura ed interpretazione. La mancanza quasi totale di dati a disposizione ha imposto la scelta di dover procedere a rilievi speditivi ex-novo che colmassero il vuoto di informazioni. Vista questa necessità e la mancanza d’indicazioni differenti da parte dell’Amministrazione comunale, in accordo con i rappresentanti del Dipartimento Regionale della Protezione Civile e a parziale revisione di quanto precedentemente concordato (v. verbale della riunione tecnica del 24/04/2012 tra l’Università di Catania e

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77
il Dipartimento di Protezione Civile) si è deciso di limitare gli studi di microzonazione
sismica di I livello al solo centro urbano principale (Fig. 1). 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 si
estende per circa 3,7 km² e ricade all'interno delle Sezioni CTR 624160 e 633040 (Fig. 1).

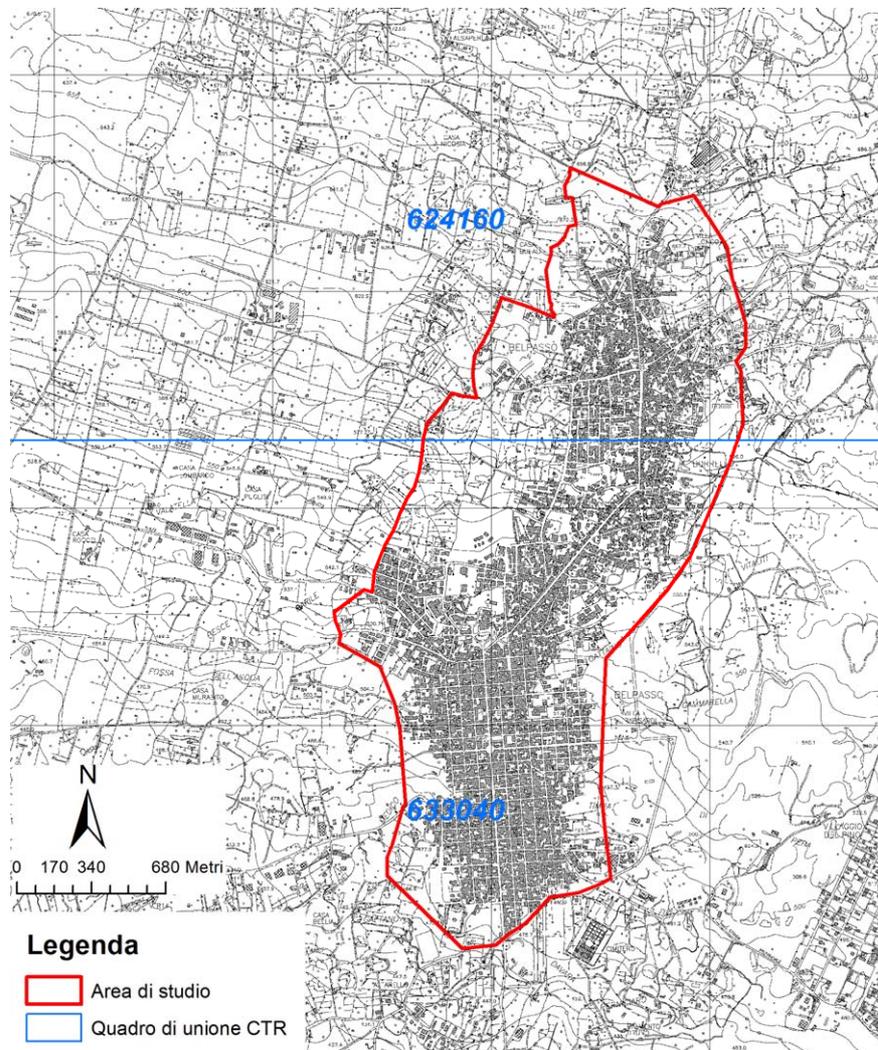


Fig. 1 – Ubicazione dell'area in cui sono stati effettuati gli studi di MS di livello 1 (delimitata in rosso), all'interno delle Sezioni CTR 624160 e 633040.

La qualità e l'affidabilità dei risultati sono state chiaramente influenzate negativamente dalla mancata disponibilità di dati significativi sui quali operare, che si sono limitati a poche informazioni di carattere geofisico. Per questo motivo, la ricostruzione 3D delle successioni affioranti è stata basata sull'analisi della carta geologico-tecnica, la cui redazione ha richiesto un notevole sforzo di raccolta di dati di terreno originali che sono andati ad integrare i dati cartografici più aggiornati, disponibili in letteratura ad una scala di dettaglio inadeguata ai fini della microzonazione, con il risultato di un documento che inevitabilmente è da intendersi preliminare nelle sue reali conclusioni. E' ovvio, infatti, che livelli d'indeterminazione permangono su tutti gli aspetti significativi per la valutazione della risposta di sito, quali lo spessore dei terreni di copertura e la reale profondità del substrato rigido, per i quali si è fatto riferimento alle proiezioni dei dati disponibili di superficie, anche in aree limitrofe. Sebbene l'obiettivo della definizione delle microzone a comportamento omogeneo in prospettiva sismica sia stato raggiunto, è comunque necessario prevedere, ai fini delle successive fasi di approfondimento, una campagna preliminare di rilevamento, associata alla raccolta sistematica di informazioni di sottosuolo, che vada a coprire le lacune di conoscenza riscontrate nel corso dello studio.

I dati messi a disposizione dall'Amministrazione comunale di Belpasso, relativi ad indagini effettuate per lo studio geologico a supporto del Piano Regolatore Generale (P.R.G.), a sue integrazioni e a indagini effettuate per la costruzione di loculi nel cimitero comunale, sono sintetizzati in diversi elaborati di seguito elencati:

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

- Carta geologica in scala 1:10.000 – Allegato n° 1
- Carta idrogeologica in scala 1:10.000 – Allegato n° 3

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

- Carta geomorfologica con lineamenti idrografici in scala 1:10.000 – Tavole A-B-C



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

- Carta della classificazione del territorio in relazione alla suscettività di utilizzazione in scala 1:10.000 – Tavole A-B-C
- Indagini geognostiche – Grafici e tabelle

Studio geologico a supporto dei lavori di costruzione di loculi nel cimitero comunale

- Relazione geologico-tecnica
- Rapporto indagini geofisiche

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

Lo studio è stato integrato da 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 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 (CPT111, DBMI11, CFTI), oltre alla cartografia geologica (AA.VV., 1979, 2010, 2012; Monaco et al., 2008; Branca et al., 2011) 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 Belpasso 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 Belpasso (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 Belpasso 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 del 20 febbraio 1818.

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

Questo terremoto costituisce 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 Belpasso viene catalogato con intensità VII-VIII MCS (Imposa & Lombardo, 1985). La figura 3 riporta il risultato della ricerca sul database DBMI11, che individua 60 eventi significativi per il territorio di Belpasso, a partire dall'evento del 1669. La figura 4 riporta il conseguente grafico relativo alla sismicità storica del comune di Belpasso.

Locality	MCS	Locality	MCS
Aci Bonaccorsi	IX	Mascalucia	IX
Aci Castello	VI	Messina	IV
Aci Catena	IX	Misterbianco	VII
Aci Consolazione	IX	Motta Sant' Anastasia	VIII
Aci Platani	IX	Nicolosi	IX
Acireale	VIII	Nicosia	IV
Aci Sant' Antonio	IX	Noto	IV
Aci San Filippo	IX	Palermo	V
Aci S. Lucia	IX	Palmi	III
Acitrezza	VI	Paternò	VII
Adrano	VI	Piazza Armerina	IV
Belpasso	VIII	Piedimonte Etneo	VIII
Biancavilla	VI	Randazzo	VII
Borrello	VIII	Reggio Calabria	III
Bronte	VII	S. Agata li Battiati	VIII
Calatabiano	VI	San Giacomo	IX
Caltagirone	IV	S. Giovanni Galermo	IX
Camporotondo Etneo	VIII	S. Giovanni la Punta	VIII
Castiglione di Sicilia	VIII	S. Gregorio	IX
Catania	VI-VII	S. Pietro Clarenza	VIII
Enna	IV	Siracusa	IV
Fiumefreddo	VI	Taormina	V
Giarre	VI	Trappeto	VII
Gravina	VIII	Tremestieri	IX
Maletto	VIII	Valverde	VIII
Malta	NE	Zafferana Etnea	VII
Mascali	VI		

Fig. 2 – Intensità macrosismica delle località colpite dal terremoto dell'Etna del 20 febbraio 1818, da Imposa & Lombardo (1985).

Effetti	In occasione del terremoto del:				
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw	
5-6	<u>1669 03 10 23:25</u>	Nicolosi	18	8-9 4.84 ±0.26	
7-8	<u>1818 02 20 18:15</u>	Catanese	128	9-10 6.23 ±0.12	
5-6	<u>1842 11 18 01:15</u>	BELPASSO	5	6 3.71 ±0.26	
6	<u>1846 04 22 19:45</u>	Catanese	9	6 5.02 ±0.62	
7	<u>1850 01 01 11:00</u>	VERSANTE SUD-OCCIDENTALE	3	7-8 4.39 ±0.26	
5	<u>1883 03 22 00:15</u>	NICOLOSI	7	8 4.61 ±0.26	
6-7	<u>1883 03 22 22:30</u>	BELPASSO	2	7 4.16 ±0.26	
3	<u>1885 09 25 07:05</u>	NICOLOSI	2	7 4.16 ±0.26	
4-5	<u>1886 06 05 11:13</u>	S. VENERINA	21	6-7 3.94 ±0.26	
3-4	<u>1893 03 31</u>	NICOLOSI	9	6 3.71 ±0.26	
4	<u>1893 04 01 07:09</u>	ZAFFERANA ETNEA	8	6 3.71 ±0.26	
4-5	<u>1894 08 08 05:16</u>	MAZZASETTE	45	8-9 4.84 ±0.26	
5	<u>1894 11 16 17:52</u>	Calabria meridionale	303	9 6.07 ±0.10	
5-6	<u>1898 05 14 04:45</u>	S. M. LICODIA	35	7-8 4.39 ±0.26	
4	<u>1899 05 03 21:45</u>	S. M. LICODIA	12	5-6 3.49 ±0.26	
3	<u>1901 05 11 11:10</u>	NICOLOSI	15	7 4.16 ±0.26	
NF	<u>1901 05 11 18:20</u>	NICOLOSI	13	6 3.71 ±0.26	
4-5	<u>1903 11 20 09:57</u>	VIAGRANDE	19	6 3.71 ±0.26	
5	<u>1905 09 08 01:43</u>	Calabria meridionale	895	7.04 ±0.16	
NF	<u>1906 06 02 00:10</u>	MASSA ANNUNZIATA	19	6 3.71 ±0.26	
3	<u>1908 05 26 16:47</u>	VERSANTE ORIENTALE	15	5-6 3.49 ±0.26	
6-7	<u>1908 12 28 04:2</u>	Calabria meridionale-Messina	800	11 7.10 ±0.15	
NF	<u>1909 10 21 05:45</u>	S. M. AMMALATI	18	6 3.71 ±0.26	
4	<u>1914 05 08 18:01</u>	LINERA	82	9-10 5.29 ±0.26	
4	<u>1916 05 30 08:50</u>	RAGALNA OVEST	4	5-6 3.49 ±0.26	
3	<u>1918 06 03 21:45</u>	BIANCAVILLA	5	5 4.30 ±0.34	
3	<u>1923 11 15 20:00</u>	PIEDIMONTE ETNEO	14	6 3.71 ±0.26	
NF	<u>1947 05 11 06:3</u>	Calabria centrale	254	8 5.70 ±0.13	

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

3	<u>1957 03 03 09:27</u>	ZAFFERANA ETNEA	18	6 3.71 ±0.26
3	<u>1960 07 25 06:18</u>	ZAFFERANA ETNEA	5	6 3.71 ±0.26
3	<u>1967 10 31 21:0</u>	Monti Nebrodi	60	8 5.46 ±0.19
2	<u>1973 08 03 19:49</u>	S. M. AMMALATI	35	7 4.16 ±0.26
NF	<u>1977 06 05 13:5</u>	MISTRETTA	108	6 4.72 ±0.11
3	<u>1978 04 15 23:3</u>	Golfo di Patti	332	6.06 ±0.09
NF	<u>1980 01 23 21:2</u>	MODICA	122	5-6 4.58 ±0.14
2-3	<u>1982 07 06 14:37</u>	C.DA ALGERAZZI	150	6-7 3.94 ±0.26
4	<u>1983 07 20 22:03</u>	VIAGRANDE	106	7 4.16 ±0.26
4	<u>1984 04 15 03:10</u>	VALLONE LICODIA	19	6-7 3.94 ±0.26
2-3	<u>1984 10 19 17:43</u>	ZAFFERANA ETNEA	124	7 4.16 ±0.26
4	<u>1984 10 25 01:11</u>	FLERI	122	8 4.61 ±0.26
3-4	<u>1985 06 13 21:1</u>	ADRANO	57	5-6 4.51 ±0.34
3	<u>1986 01 29 09:07</u>	NICOLOSI	27	6 3.71 ±0.26
NF	<u>1986 10 29 23:18</u>	PIANO PROVENZANA	74	7 4.16 ±0.26
3	<u>1986 11 03 06:32</u>	C.DA ALGERAZZI	86	6 3.71 ±0.26
3-4	<u>1987 05 06 18:20</u>	VALLONE LICODIA	13	5-6 3.49 ±0.26
5-6	<u>1990 12 13 00:2</u>	Sicilia sud-orientale	304	7 5.64 ±0.09
5	<u>1998 01 10 08:45</u>	VERSANTE SUD-OCCIDENTALE	44	6 3.71 ±0.26
3	<u>1998 05 22 11:54</u>	NICOLOSI	29	6 3.71 ±0.26
4	<u>1999 08 05 14:57</u>	VERSANTE SUD-OCCIDENTALE	35	5-6 3.49 ±0.26
3	<u>1999 12 26 14:19</u>	C.DA ILICE	43	5-6 3.49 ±0.26
4	<u>2001 01 09 02:51</u>	ZAFFERANA ETNEA	104	6 3.71 ±0.26
3-4	<u>2001 04 22 13:56</u>	VERSANTE OCCIDENTALE	55	5-6 3.49 ±0.26
3-4	<u>2001 05 03 21:41</u>	RAGALNA EST	13	6 3.71 ±0.26
4-5	<u>2001 07 13 03:15</u>	VERSANTE MERIDIONALE	25	6 3.71 ±0.26
NF	<u>2001 10 28 09:03</u>	S. M. AMMALATI	67	6 3.71 ±0.26
NF	<u>2002 03 24 23:05</u>	VERSANTE ORIENTALE	40	5-6 3.49 ±0.26

4	2002 10 27 02:50	PIANO PROVENZANA	17	8	4.61 ±0.26
3-4	2004 07 22 02:11	VERSANTE ORIENTALE	34	6	3.71 ±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 Belpasso dal database DBMI11. IMCS = intensità macrosismica espressa in scala MCS; Ax = area epicentrale geografica in cui sono stati riscontrati i maggiori effetti del terremoto; Np= numero di punti, numero di osservazioni macrosismiche disponibili per il terremoto; Io = Intensità macrosismica epicentrale, da CPTI11, espressa in scala MCS, Mercalli-Cancani-Sieberg; Mw = magnitudo momento.

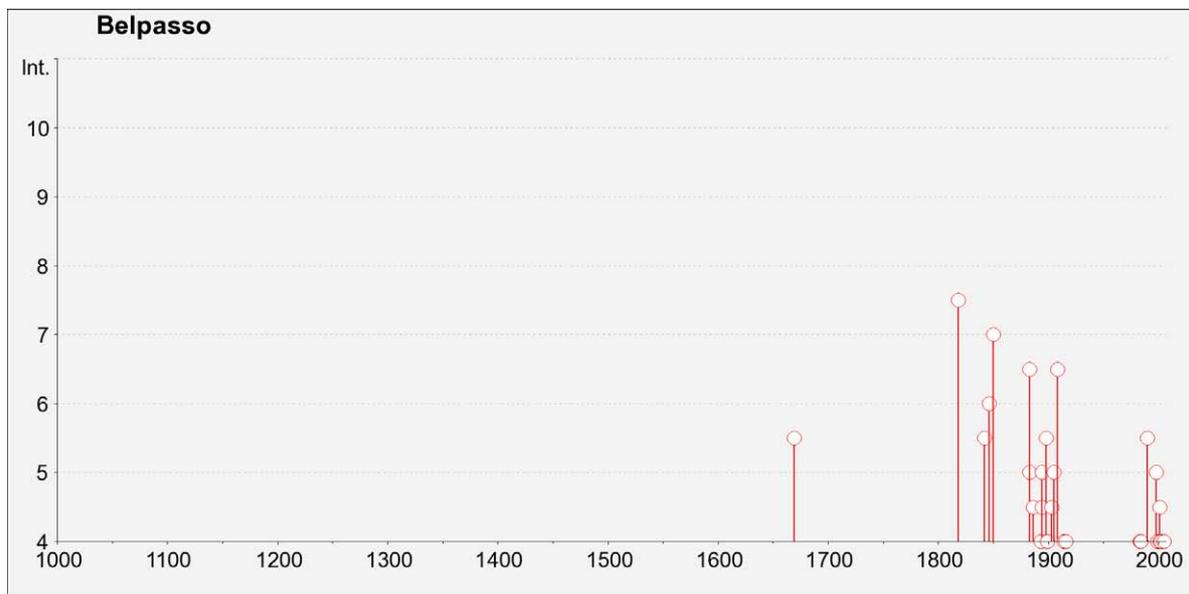


Fig. 4 – Grafico relativo alla sismicità storica del comune di Belpasso.

Catalogazione del Comune di Belpasso 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.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

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 Belpasso è univocamente individuata dalle coordinate geografiche internazionali:

LATITUDINE : 37.598

LONGITUDINE : 14.986

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

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

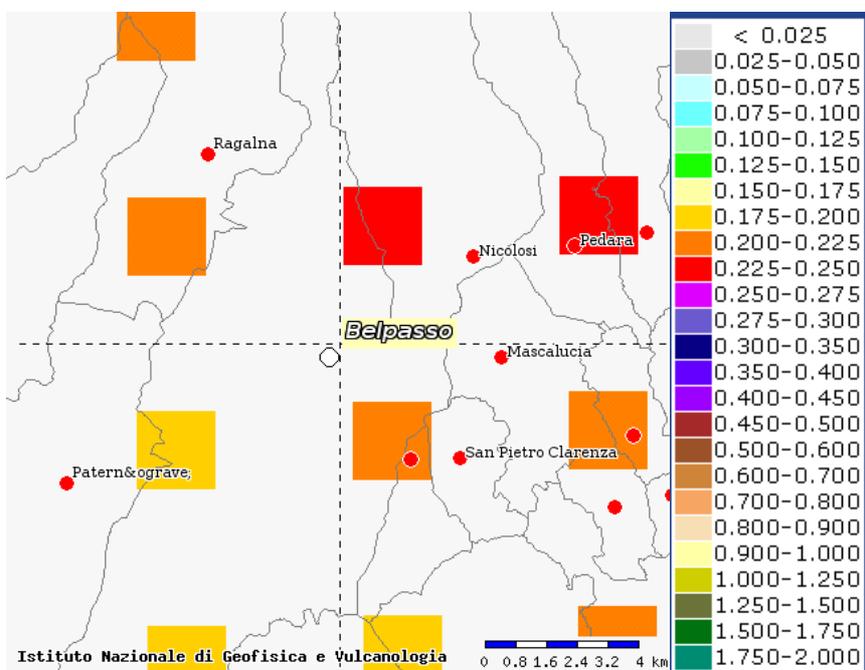


Fig. 6 – Mappa interattiva di pericolosità sismica del territorio di Belpasso. I punti della griglia visualizzati si riferiscono a: parametro dello scuotimento $a(g)$, probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

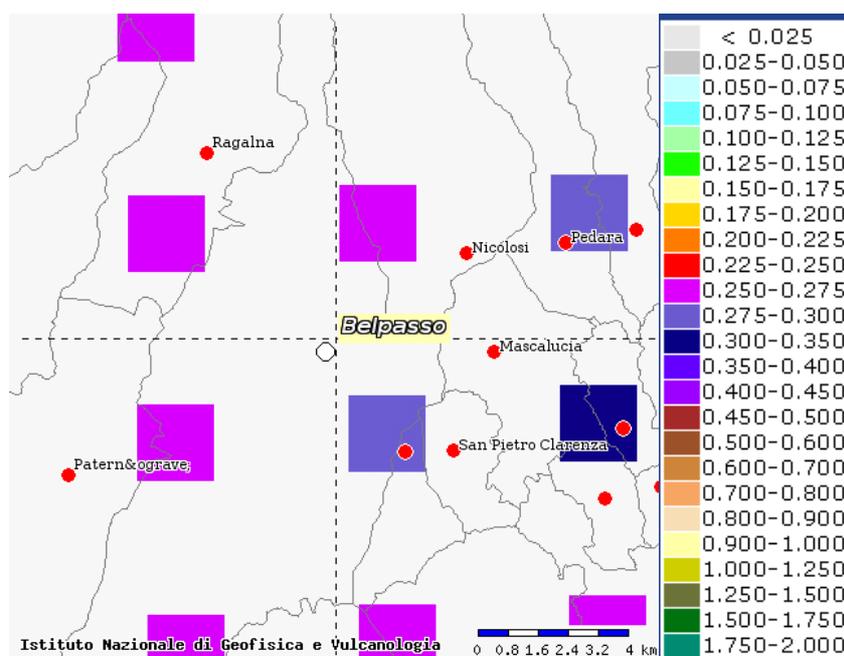


Fig. 7 – Mappa interattiva di pericolosità sismica del territorio di Belpasso. I punti della griglia visualizzati si riferiscono a: parametro dello scuotimento $a(g)$, probabilità di superamento del 5% in 50 anni.

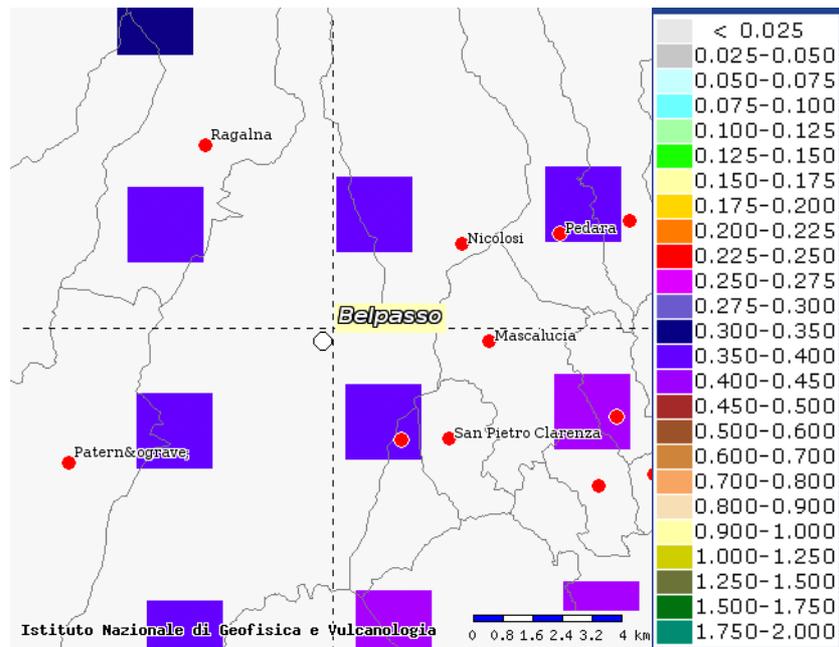


Fig. 8 – Mappa interattiva di pericolosità sismica del territorio di Belpasso. I punti della griglia visualizzati si riferiscono a: parametro dello scuotimento $a(g)$, probabilità di superamento del 2% in 50 anni.

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

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

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

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

PERICOLOSITA' SISMICA

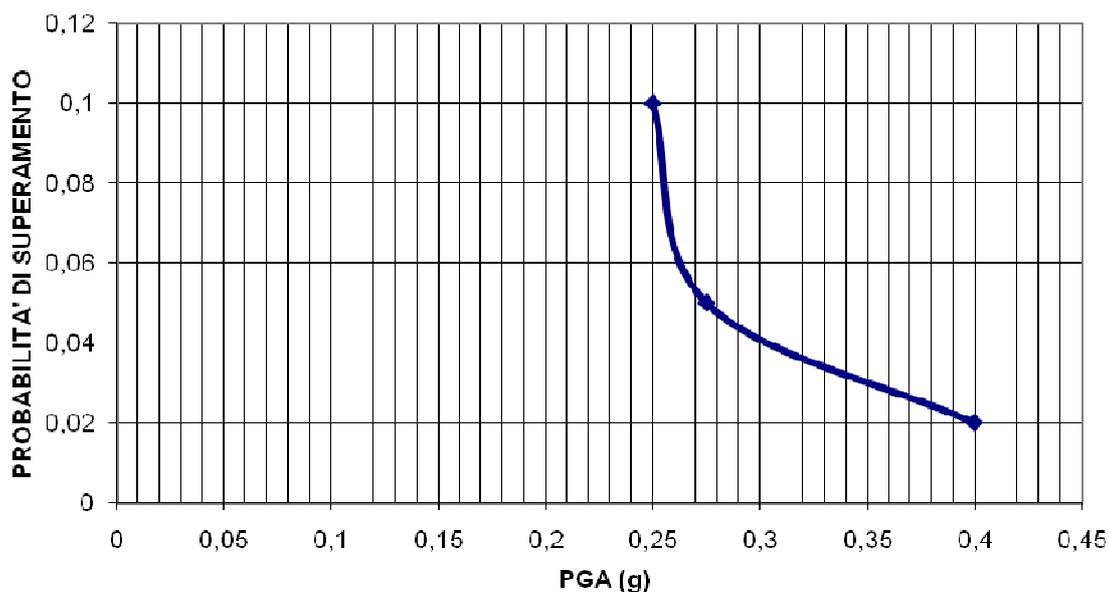


Fig. 9 – Curva di pericolosità sismica al sito per il territorio di Belpasso. La curva rappresenta il valore della mediana.

Il territorio del Comune di Belpasso è stato individuato sul database DBMI11 (con 60 eventi sismici significativi tra il 1669 ed il 2006) con una intensità macrosismica espressa nella scala MCS che raggiunge il suo valore massimo in MCS = VII–VIII in corrispondenza del terremoto dell’Etna del 1818. 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: 0.225–0.250 per il 10%, 0.250–0.275 per il 5% e 0.350–0.400 per il 2%, rispettivamente corrispondenti a periodi di ritorno di 475, 975 e 2475 anni. Ciò ha permesso di ricavare la curva di pericolosità sismica al sito per il territorio di Belpasso.

3. Assetto geologico e geomorfologico dell'area

Il territorio di Belpasso è caratterizzato dalla sovrapposizione di colate laviche alimentate dagli apparati eruttivi disposti lungo il Rift meridionale dell'Etna (Kieffer, 1975) e pertanto riferibili alla fase dell'attuale stratovulcano (Mongibello Recente di Gillot et al., 1994). Generalmente si tratta di campi lavici molto complessi ed articolati che si sono originati da quote intorno ai 1100 m s.l.m. (es. Eruzione di Monte San Leo), raggiungendo i terreni del substrato sedimentario, esposto lungo il margine meridionale dell'edificio vulcanico, a quote di circa 300 m s.l.m.. Per la sua posizione marginale, il territorio di Belpasso è stato oggetto di invasioni laviche ad intervalli ciclici molto lunghi, dell'ordine delle migliaia di anni.

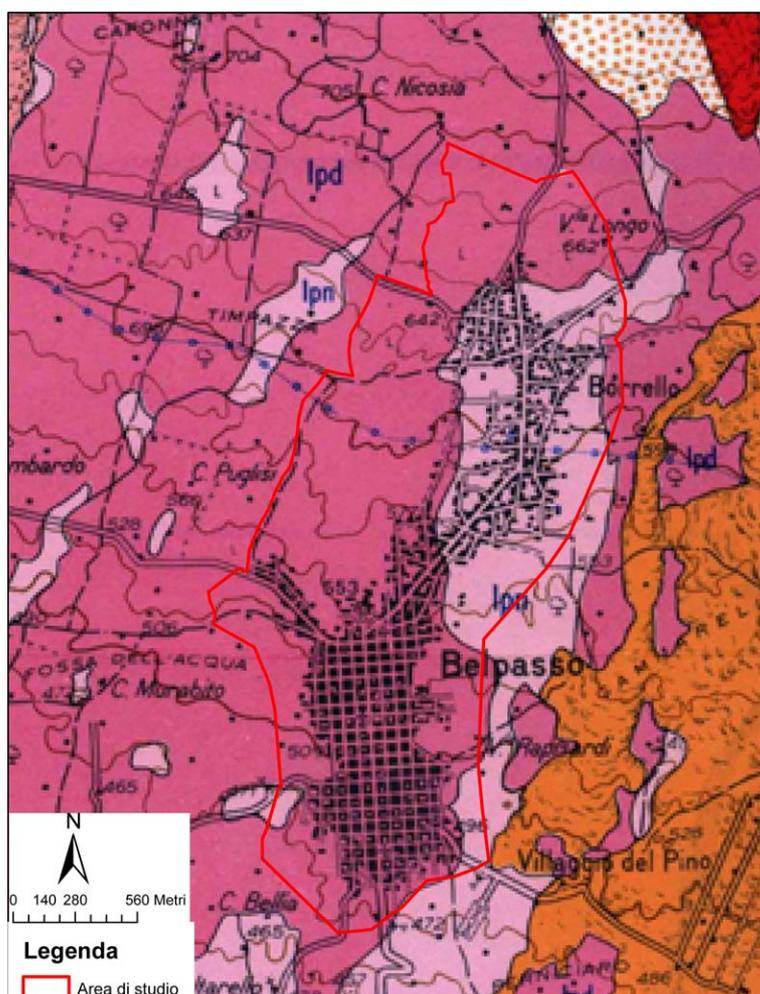


Fig. 10 - Stralcio della Carta geologica del Monte Etna (AA.VV., 1979 mod).

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

Nella “Carta geologica del Monte Etna” alla scala 1:50.000 (AA.VV., 1979; Fig. 10), la distinzione tra le colate è stata operata sulla base del grado di conservazione della originaria morfologia, come elemento di valutazione dell’età. In quest’ottica, il flusso lavico più recente è riferito all’insieme delle lave delimitabili (**lpd** in Fig. 10), relative all’attività del Mongibello Recente (< 15 ka; Gillot et al., 1994) mentre i flussi più antichi sono stati riferiti all’insieme delle lave non delimitabili (**lpn** in Fig. 10), attribuite a fasi di transizione tra il Mongibello Antico e il Mongibello Recente (\approx 15 ka; Gillot et al., 1994).

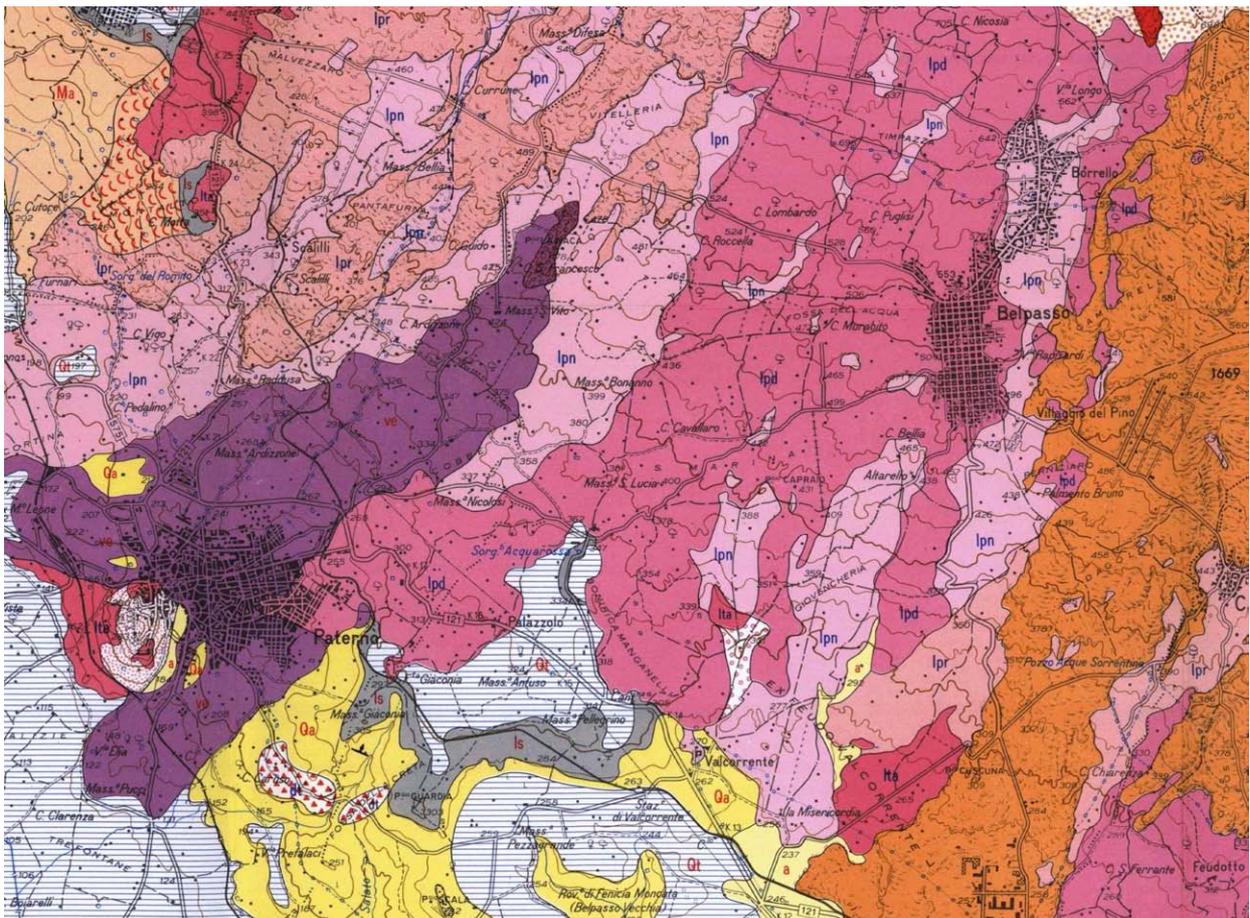


Fig. 11 – Stralcio del versante sud-occidentale dell’Etna della Carta geologica del Monte Etna (AA.VV., 1979 mod).

La carta inoltre evidenzia che i flussi lavici affioranti nel territorio comunale di Belpasso poggiano, verso la periferia del vulcano, sulle lave attribuite ai Centri Alcalini Antichi (**Ita** in Fig. 11; 168–100 ka, Gillot et al., 1994). Queste lave sono limitate verso sud-ovest da un alto topografico costituito dalle Argille Azzurre (**Qa** in Fig. 11; Pleistocene inferiore-medio) e dalle sovrastanti lave sub-alcaline di base (**Is** in Fig. 11; 320–250 ka, Gillot et al., 1994), sulle quali si sono sovrapposti i fronti più avanzati delle colate laviche affioranti a Belpasso. Tali rapporti geometrici suggeriscono che le lave dei Centri Alcalini Antichi riempiono una depressione morfologica della quale è possibile riconoscere il bordo sud-occidentale, mentre è sconosciuta la sua estensione verso nord-est, in direzione del sottosuolo dell'abitato di Belpasso.

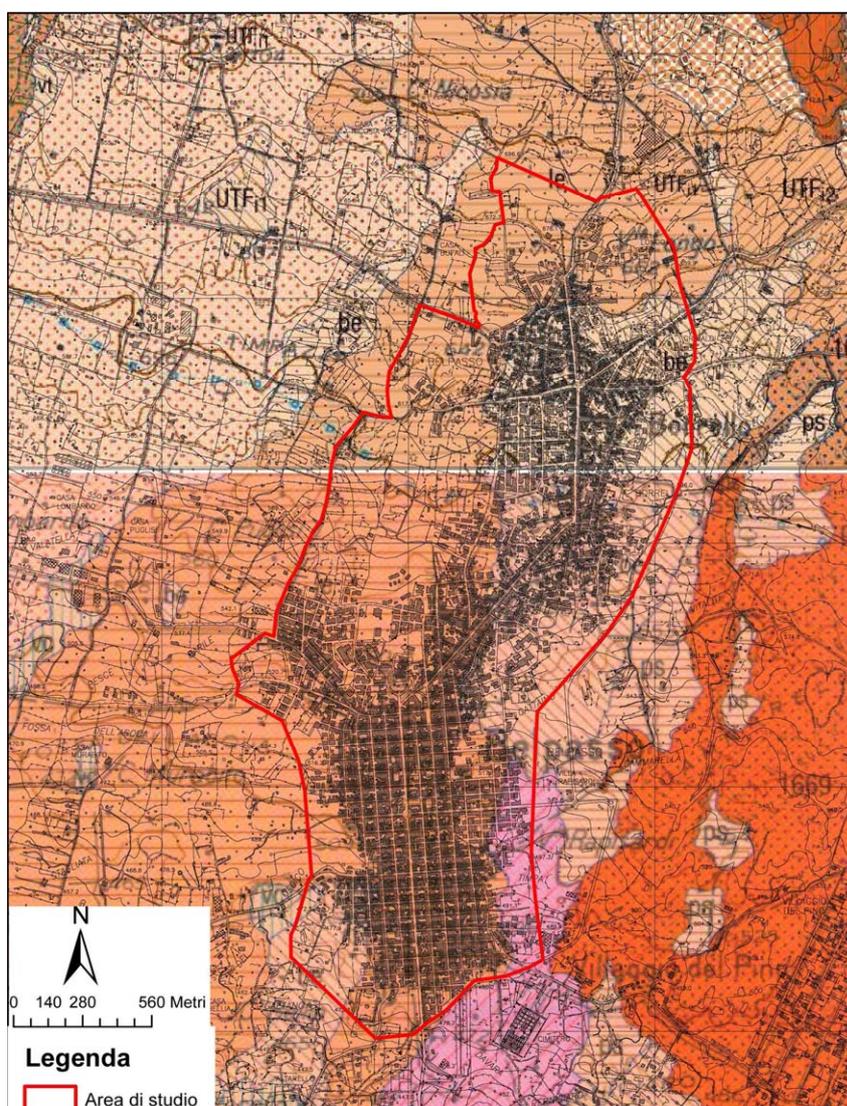


Fig. 12 – Stralcio dei Fogli Geologici 624 “Monte Etna” (AA.VV., 2012 mod) e 633 “Paternò” (AA.VV., 2010 mod).



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

Il Foglio Geologico 633 “Paternò” (AA.VV., 2010)(Fig. 12) sebbene confermi l’età delle lave affioranti nella zona di Belpasso, rispetto alla cartografia precedente, fornisce informazioni del tutto diverse riguardo la geometria delle lave più antiche e, di conseguenza, sui vincoli per ricostruire l’andamento del substrato al letto delle colate esposte in superficie. Nella nuova carta geologica vengono, infatti, distinte quattro differenti colate sovrapposte (**le**, **be**, **ps** e **vc** in Fig. 12), con flussi orientati circa N-S riferibili all’attività degli ultimi 15 ka (corrispondente al Mongibello Recente, Gillot et al., 1994). La colata su cui è fondata la parte meridionale dell’abitato (**le** in Fig. 12) è stata riferita all’intervallo tra 4 ka e il 122 a.C., mentre le altre tre (**be**, **ps** e **vc** in Fig. 12) sono state attribuite all’intervallo 15–4 ka. In aree limitrofe a quelle direttamente investigate ai fini della microzonazione, la nuova cartografia ufficiale riferisce all’attività dell’attuale stratovulcano (< 15 ka)(**ea** in Fig. 13) parte delle lave precedentemente attribuite ai Centri Alcalini Antichi in AA.VV. (1979), riconoscendo inoltre il loro appoggio sulle lave attribuite all’attività del Vulcano Ellittico (**dv** e **vo** in Fig. 13), corrispondenti ai prodotti del Mongibello Antico (> 15 ka; Gillot et al., 1994). Secondo le nuove attribuzioni, le lave del Vulcano Ellittico risulterebbero incastrate all’interno di una topografia incisa all’interno delle Argille grigio-azzurre (**FAG** in Fig. 13) che oggi riconosciamo in affioramento in corrispondenza di alti topografici del substrato pre-vulcanico, preservati dalla copertura lavica etnea. Oltre a quello già evidenziato nella cartografia precedente, allungato parallelamente al bordo meridionale dell’edificio e costituito dal substrato argilloso e le sovrastanti lave tholeitiche (310–260 ka; LCD in Fig. 13), la nuova carta evidenzia un affioramento del substrato argilloso immediatamente a sud di Belpasso, dove la cartografia precedente ubicava depositi alluvionali (**a** in Fig. 11), a suggerire la presenza

di un'ulteriore dorsale sepolta, allungata in senso N-S. Questo elemento morfologico sepolto, circondato dalle lave recenti, può essere interpretato come l'emergenza in superficie di uno spartiacque di un antico reticolo fluviale che è stato interamente colmato dalle colate laviche etnee. A supporto di questa ipotesi, è interessante notare che ai due lati della culminazione sepolta del substrato sedimentario, al letto delle colate recenti affiorano lave di età differente, molto più antica ad ovest (160 ka; **SIM₀₁** in Fig. 13) che ad est (60–15 ka; **dv** in Fig. 13). Ciò suggerisce che le lave di età differente si sono incanalate in due distinte paleo-valli, separate dalla dorsale argillosa.

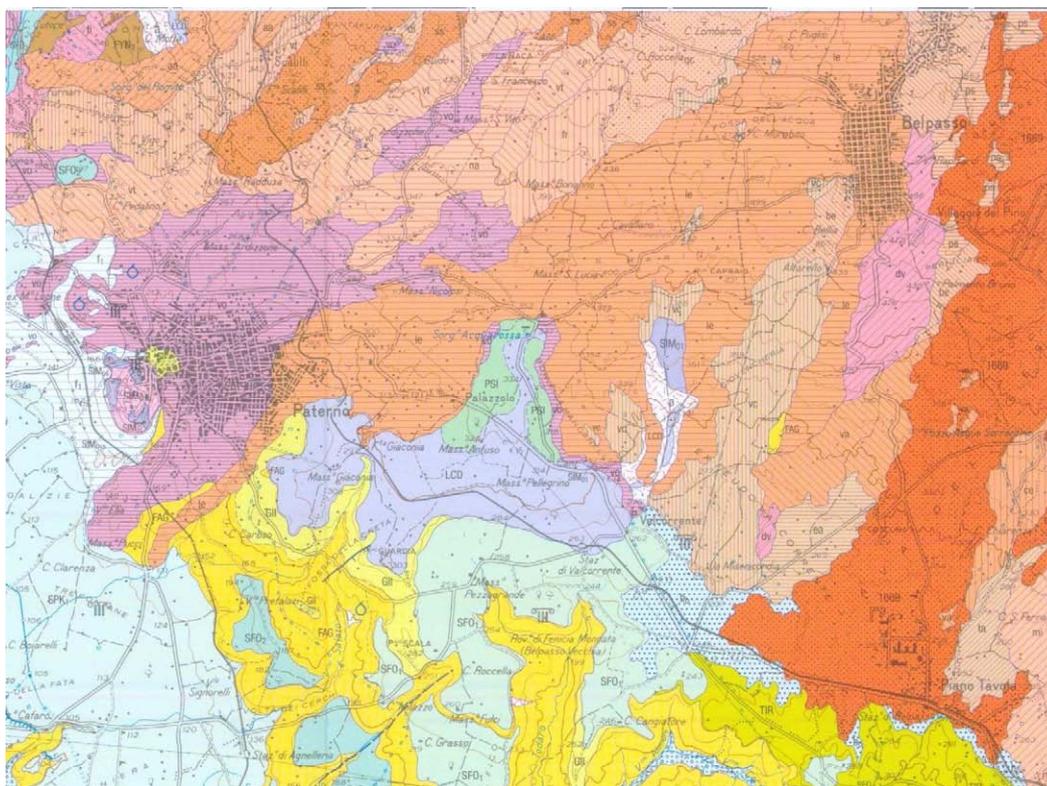


Fig. 13 – Stralcio del Foglio Geologico 633 “Paternò” (AA.VV., 2010 mod).

Branca et al. (2011) modificano parzialmente la geometria e le attribuzioni delle colate affioranti nell'area di Belpasso, riconoscendo 3 colate laviche sovrapposte (**em^u**, **be^l** e **Is^l** in Fig. 14) tutte attribuite alle fasi eruttive degli ultimi 15 ka. La colata più recente, rappresentata da un braccio laterale del campo lavico generato dall'eruzione del M. San Leo, è stata riferita al periodo compreso tra 4 ka e il 122 a.C., mentre le due colate sottostanti, sono state attribuite all'intervallo compreso tra 15 e 4 ka. Non vengono

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77
pertanto riconosciuti in affioramento i prodotti dell'attività del Vulcano Ellittico, come
segnalato all'interno dei Fogli Geologici della cartografia ufficiale.

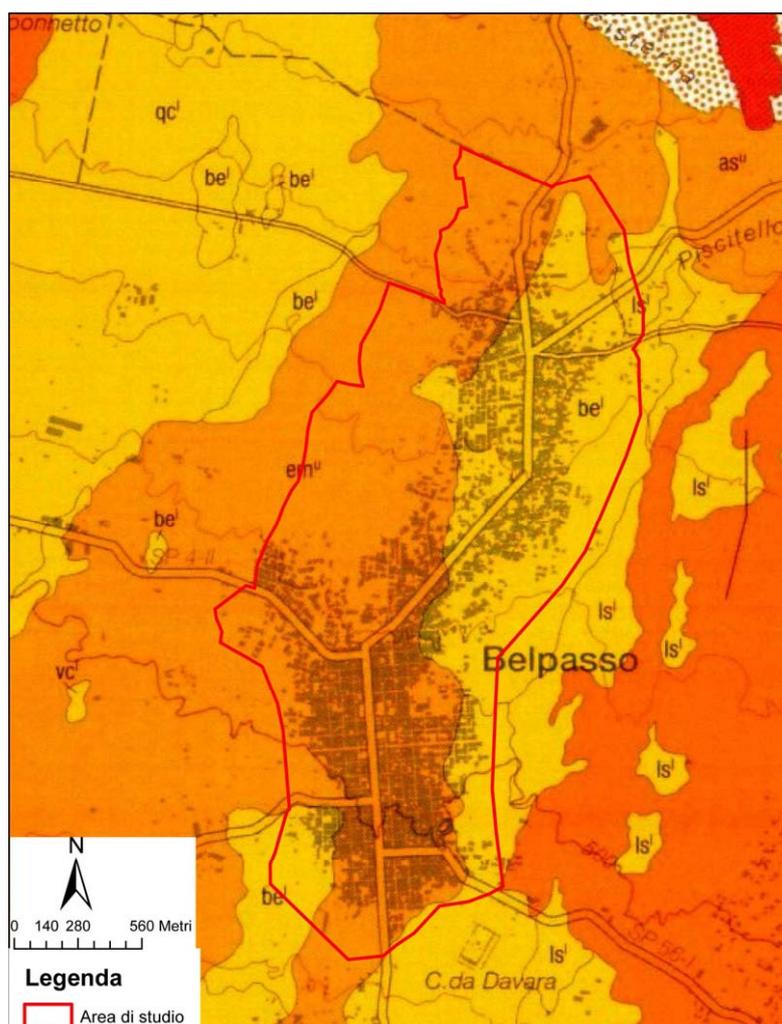


Fig. 14 – Stralcio della Carta Geologica del Vulcano Etna (Branca et al., 2011).

Le nuove attribuzioni risultano ancora più chiare se vengono analizzati i rapporti tra le varie unità laviche, nell'area a sud di Belpasso (Fig.15). Nella nuova versione della carta dell'Etna, viene confermata la presenza della culminazione del substrato pre-vulcanico, anche se costituito da sabbie (Qs in Fig. 15) e non da argille, come precedentemente

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

La Carta Morfotettonica dell'Etna (Fig. 16, Monaco et al., 2008) e la Carta vulcano-tettonica dell'Etna (Fig. 17, Azzaro et al., 2012), nelle quali sono sintetizzati i principali lineamenti tettonici dell'edificio etneo, non forniscono ulteriori informazioni sulla stratigrafia dei terreni affioranti, ma attesterebbero l'assenza nella regione di Belpasso di linee di dislocazione attive o recenti, sia di natura tettonico-regionale che di natura vulcano-tettonica.

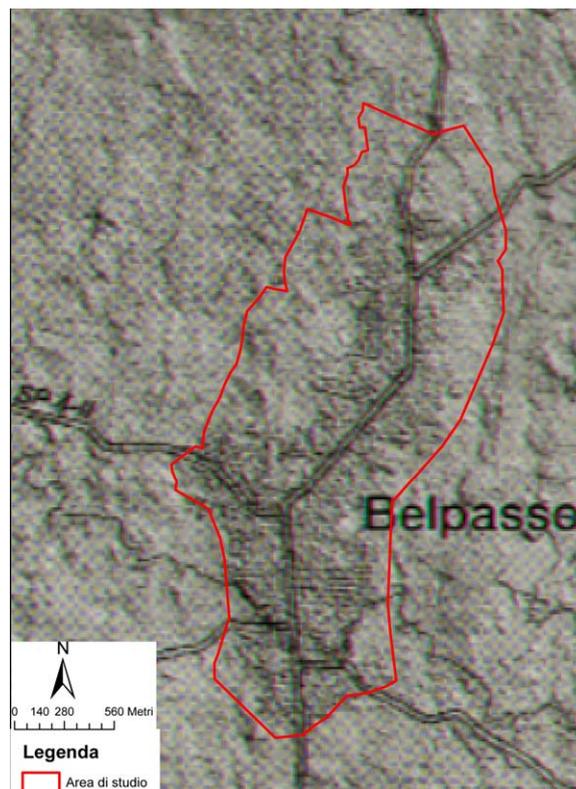


Fig. 17 - Carta vulcano-tettonica del Monte Etna (Azzaro et al., 2012 mod). L'area di studio è indicata in rosso.

Il "Catalogo Macrosismico dei Terremoti Etnei dal 1832 al 2005" (Azzaro et al., 2000, 2009) riporta almeno due eventi storici (A.D. 18.11.1842 e 22.03.1883) di bassa

magnitudo ($M_w \leq 3.7$) ubicati nel territorio di Belpasso, oltre a numerosi eventi (es. 1883, 1885 e 1901; $M \leq 4.1$) localizzati nel vicino territorio di Nicolosi (Fig. 18).

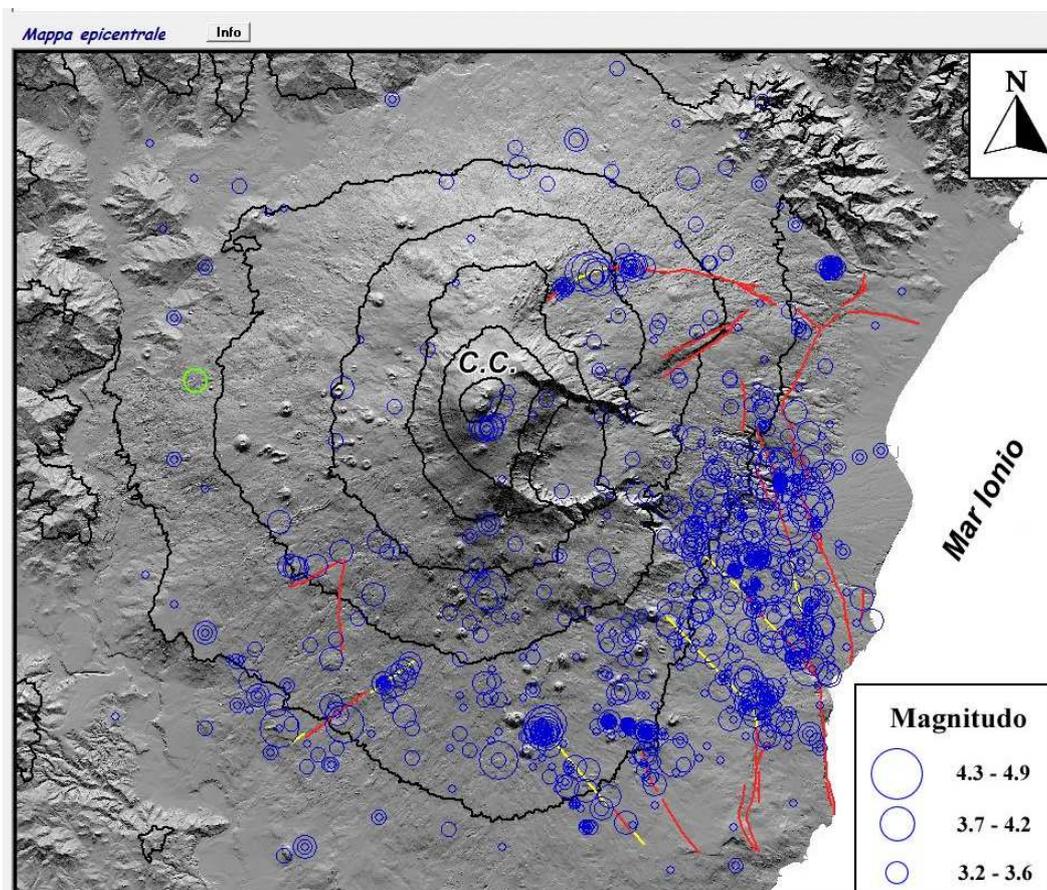


Fig. 18 - Carta sismo-tettonica del Monte Etna riportata nel Catalogo Macrosismico dei Terremoti Etnei dal 1832 al 2005 (Azzaro et al., 2000, 2009).

Va comunque segnalato che i risentimenti maggiori nell'area di Belpasso sono stati associati ad eventi sismici generatisi lungo le principali strutture del versante orientale dell'Etna, dove si realizza la massima concentrazione degli eventi storici a più elevata magnitudo (vedi anche Timpe System di Azzaro et al., 2012; Fig. 19).

La sismicità minore misurata nell'area di Belpasso può essere comunque sintomatica della presenza di strutture profonde, completamente obliterate dalla copertura lavica recente, che non si manifestano in superficie con morfostrutture cumulative, per la bassa magnitudo degli eventi che esse hanno prodotto di recente. Nel catalogo macrosismico (Fig. 18), nel settore meridionale dell'Etna, sono abbastanza evidenti gli allineamenti orientati NO-SE di eventi storici non direttamente collegati a strutture affioranti. In effetti

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 nella letteratura geologica recente sono stati proposti almeno due distinti modelli cinematici, ottenuti dall'analisi di dataset indipendenti e con tecniche differenti, che ipotizzano la presenza, nel sottosuolo del settore meridionale dell'Etna comprendente il territorio di Belpasso, di un lineamento tettonico di importanza regionale, orientato NO-SE.

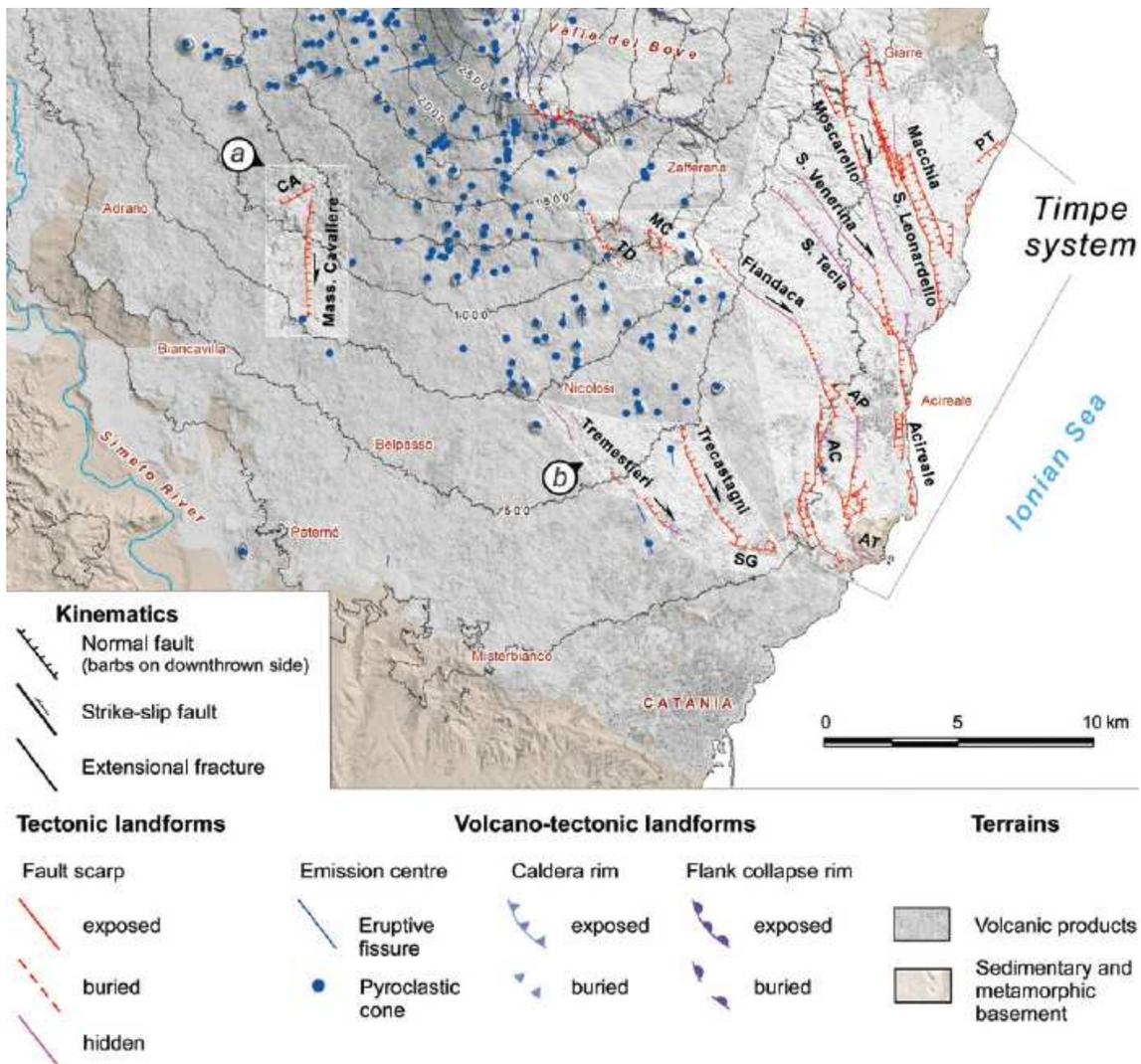


Fig. 19 - Schema strutturale delle faglie attive dell'Etna (da Fig. 2 di Azzaro et al., 2012).

In uno studio sulle relazioni tra magmatismo e deformazioni tardo-quadernarie della regione etnea, Catalano et al. (2004) delineano la presenza di una zona di faglia trasforme, che separa un dominio estensionale, a nord-est, da un dominio contrazionale, a sud-ovest (Fig. 20).

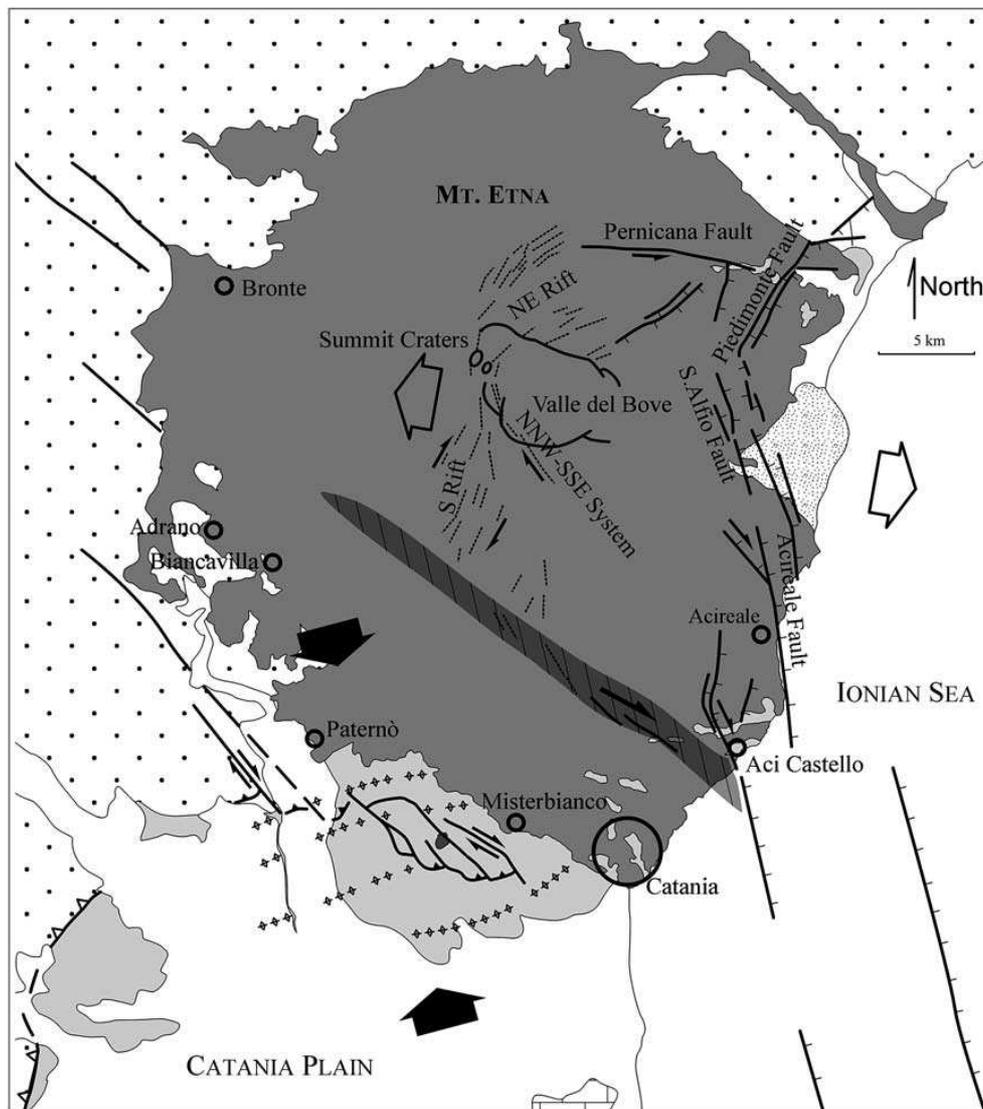


Fig. 20 - Modello cinematico dell'Etna (da Fig. 15 di Catalano et al., 2004).

Conclusioni analoghe vengono proposte da Bonforte et al. (2013)(Fig. 21) che, combinando dati sulla fratturazione attiva al suolo, dati geodetici e dati geochimici, hanno individuato una zona di faglia "nascosta", estesa da Catania a Belpasso (Belpasso-Ognina Line; BOL in Fig. 22). Essa costituisce una discontinuità permanente nel campo delle velocità geodetiche misurate all'Etna, che si manifesta sul terreno con deformazioni attive del suolo associate ad emissioni di CO₂ e Radon, a testimonianza del radicamento

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77
crostale della struttura tettonica. E' interessante notare che la Linea Belpasso–Ognina,
insieme alla struttura circa parallela che si estende da Acitrezza a Nicolosi, sono quasi
coincidenti con i bordi della fascia trasforme proposta in Catalano et al. (2004) e con
l'ubicazione dei terremoti storici proposti da Azzaro et al. (2000; 2009).

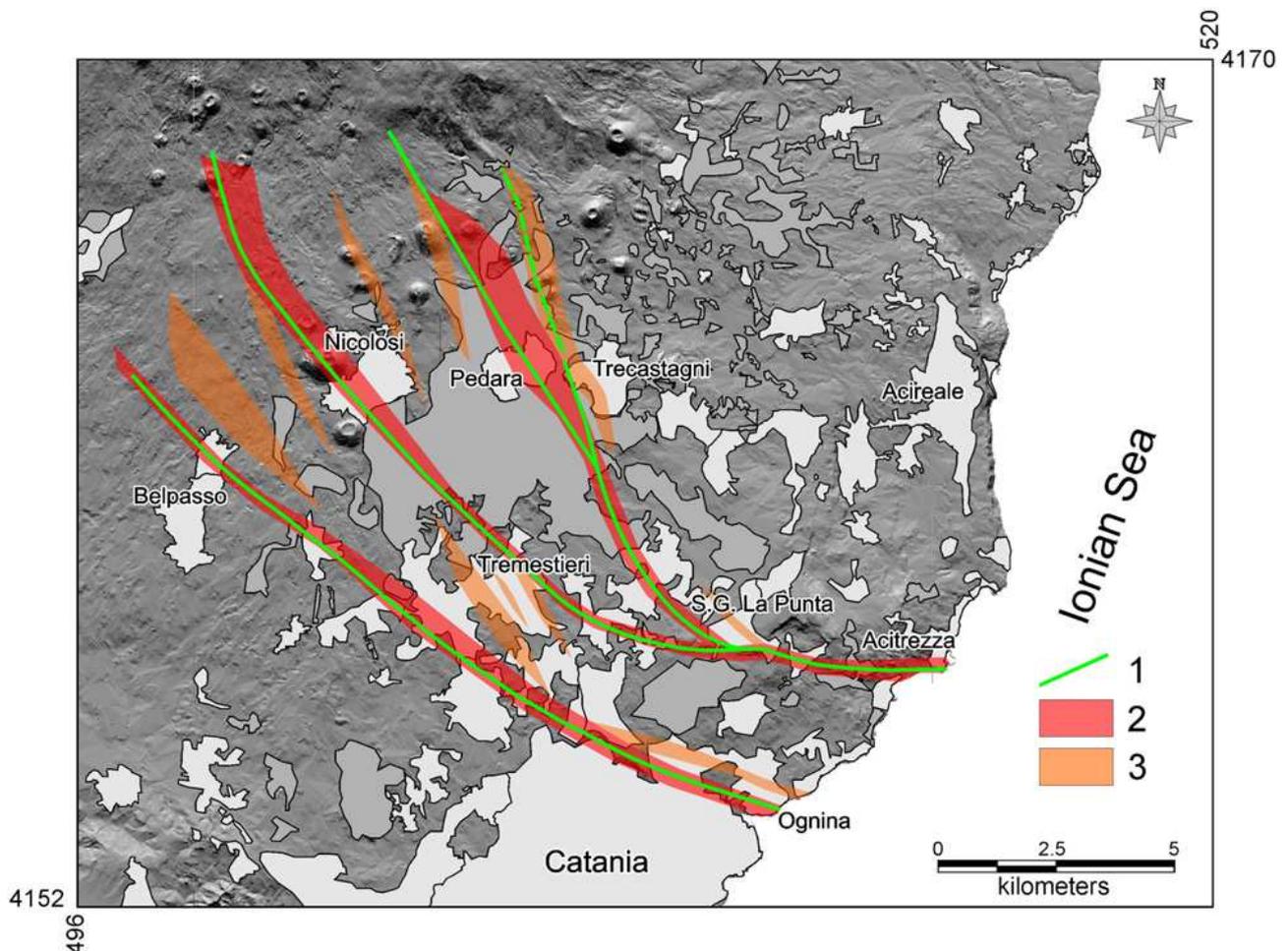


Fig. 21 - Schema delle linee di dislocazione attive nel settore meridionale dell'Etna (da Fig. 7 di Bonforte et al., 2013).

La Linea Belpasso–Ognina è stata inquadrata nel modello cinematico sulle deformazioni attive dell'Etna più aggiornato, proposto sulla base dei dati geodetici, acquisiti tramite tecniche GPS e DInSAR, che testimonia l'elevata instabilità dell'intero

versante orientale dell'edificio etneo (Azzaro et al., 2013). 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 fratturazione al suolo attiva, si manifestano come discontinuità permanenti nelle immagini DInSAR (Azzaro et al., 2013)(Fig. 22).

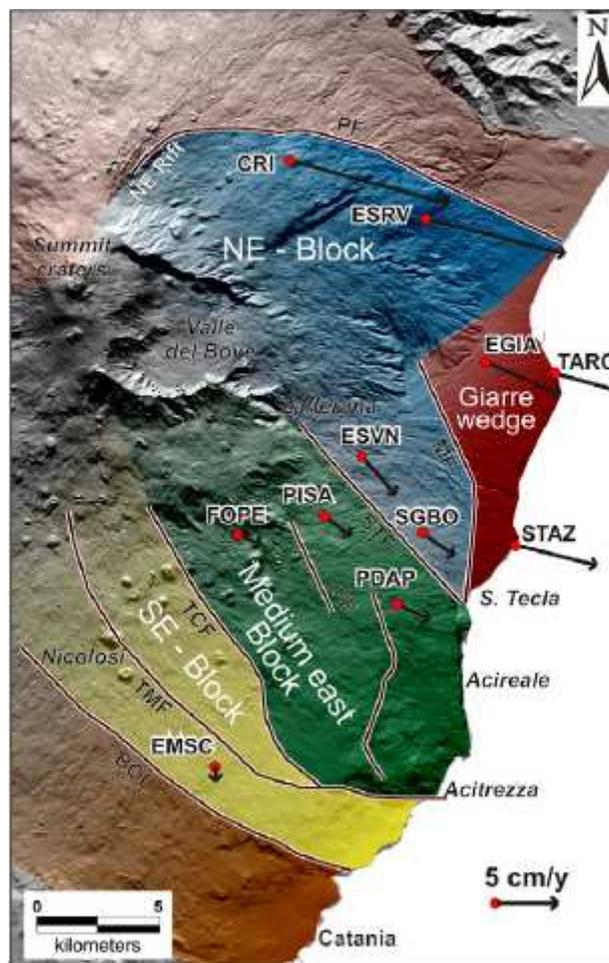


Fig. 22: Modello cinematico del versante orientale del Monte Etna (da Azzaro et al., 2013).

In questo quadro deformativo, la Linea Belpasso–Ognina (BOL in Fig. 22) costituirebbe il limite meridionale di un blocco cinematico indipendente (SE Block in Fig. 22), con lo stesso rango assegnato ad alcune delle strutture sismogeniche principali (es.

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

MF e STF in Fig. 22). La limitatezza della serie temporale delle misure geodetiche rende comunque scarsamente significativa la reale gerarchia delle strutture attive dell'Etna, che andrebbe invece valutata sulla base della loro lunghezza e dei tassi di movimento di lungo periodo.

Nel catalogo delle Faglie Capaci ITHACA, (http://193.206.192.227/wms_dir/Catalogo_delle_Faglie_Capaci_ITHACA.html#), sono riportati, come potenziali strutture sismogeniche affioranti, solo i segmenti di faglia del Sistema di Tremestieri–Nicolosi, (corrispondente a TMF in Fig. 22), tra i quali la Faglia di Nicolosi risulta la più vicina al territorio di Belpasso. I parametri fisici e i caratteri geologici della faglia sono sintetizzati nelle tabelle di Fig. 23.

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 Nicolosi fault is a volcano-tectonic structure and shows recent activity, revealed by ground effects collected during field surveys. The fault is characterized by coseismic ruptures
FAULT NAME	Nicolosi
FAULT CODE	11201
MACROZONE	7
REGION NAME	Sicilia
SYSTEM NAME	Tremestieri-Nicolosi
RANK	PRIMARY
AVERAGE STRIKE	310
DIP	90
LENGTH (Km)	1.4

GEOMETRY	
SEGMENTATION	no
DEPTH (Km)	5
LOCATION RELIABILITY (MAPPING SCALE)	1:10000
LAST ACTIVITY	Historical (<3,000)
ACTIVITY RELIABILITY	High reliability
RECURRENCE INTERVAL (yr)	25
SLIP-RATE (mm/yr)	
MAX CREDIBLE RUPTURE LENGTH	0.9
MAX CREDIBLE SLIP (m)	0
KNOWN SEISMIC EVENTS	Date I (MSK) 1885/10/02 VI-VII 1901/05/11 VII 1986/01/29 VI-VII 1998/05/22 VI-VII
MAX CREDIBLE MAGNITUDE (Mw)	4.29
MAX CREDIBLE INTENSITY (INQUA scale)	VII
STUDY QUALITY	HIGH
NOTES	Mw by INGV - CATALOGO PARAMETRICO DEI TERREMOTI ITALIANI vers.2

REFERENCES

FAULT CODE	AUTHORS	TITLE	REFERENCES	YEAR
11201	AZZARO R.	Earthquake surface faulting at Mount Etna volcano (Sicily) and implications for active tectonics.	J. Geodynamics, 28, 193-213.	1999
11201	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
11201	ARCIDIACONO S.	Il terremoto di Nicolosi dell'11 Maggio 1901 e le sue repliche.	Bollettino Accademia Gioenia di Scienze Naturali in Catania. Fascicolo 70 (luglio 1901), 2-15.	1901
11201	LO GIUDICE E.	Particolari aspetti del rischio	Istituto Internazionale di	1988

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

		sismico nell'area Etna.	Vulcanologia, Pubblicazione n. 281, 1988, 59-85.	
11201	IMPOSA S. COCO G. & CORRAO M.	Site effects close to structural lineaments in eastern Sicily (Italy)	Engineering Geology, 72, 331-341	2004
11201	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
11201	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
11201	LA DELFA S., PATANE' G. & TANGUY J.C.	Kilometer-scale heterogeneities inside volcanoes revealed by using a set of geophysical methods: variable stress field at Mount Etna, Sicily	Physics of the Earth and Planetary Interiors 121, 157-173	2000

Fig. 23 – Parametri fisici della Faglia di Nicolosi, prossima al territorio comunale di Belpasso, segnalata nel database Ithaca (http://193.206.192.227/wms_dir/Catalogo_delle_Faglie_Capaci_ITHACA.html#)

La fondazione dell'attuale abitato di Belpasso è conseguenza della delocalizzazione del precedente insediamento di Fenicia Moncada, in gran parte distrutto dal terremoto del 1693. Il sito di Belpasso non ha, quindi, sperimentato gli effetti dell'ultimo evento catastrofico della Sicilia orientale che, anche se non inserito nella storia sismica del comune, è da considerarsi, comunque, quale terremoto di riferimento. La localizzazione dell'evento e la sua relazione con le strutture attive presenti nella regione sono ancora molto dibattute. In particolare, il DISS (Database of Individual Seismogenic Sources) Version 3.1.1 (DISS Working Group 2010) indica come possibile responsabile di uno degli

eventi dell'11.01.1693 (ITIS106 - Gravina di Catania in Fig. 24) una sorgente molto prossima a Belpasso, la cui proiezione in superficie è contenuta all'interno di una fascia più ampia, indicata quale sorgente sismogenica composta Gela-Catania (ITCS029 in Fig. 24), che comprende al suo interno anche la parte meridionale del territorio comunale di Belpasso.



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

I parametri geometrici e cinematici, significativi per valutare il potenziale della sorgente sono riportati nella scheda di Fig. 25.

Nello stesso database, è segnalata la presenza di una sorgente sismogenica, classificata come dibattuta e catalogata con il nome ITDS011 - Western Ionian (Fig. 24), in quanto riportata 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 ed ubicata lungo il bordo settentrionale dei Monti Iblei.

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

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

Il dibattito ancora aperto sulla reale distribuzione delle sorgenti sismogeniche nella regione, tra l'altro a più elevata pericolosità di base a livello nazionale, è in gran parte basato sui dati di sismicità storica. Al di là delle considerazioni di carattere macrosismico che hanno indirizzato le differenti interpretazioni, queste implicano una diversa definizione della relazione tra deformazione cosismica e sollevamento tettonico dell'area. L'accreditamento di sorgenti a terra, presuppone la considerazione che la deformazione cosismica abbia prodotto solo modificazioni locali, in un contesto di un processo di sollevamento regionale, indipendente dal movimento lungo le strutture e legato a

processi dinamici a larga scala (Valensise & Pantosti, 1992). Tale interpretazione implica, inoltre, un drastico ridimensionamento dei parametri di faglia, primo fra tutti la velocità di deformazione, con una rivalutazione al ribasso della magnitudo attesa (DISS Working Group 2010), che comunque non si traduce necessariamente in una diminuzione della pericolosità di base, vista la vicinanza delle strutture ai centri abitati che in parte ricadono al tetto delle strutture attive, nelle prevedibili aree epicentrali di potenziali eventi sismici futuri. Al contrario, l'ipotesi alternativa delle sorgenti a mare associa gran parte dei tassi di sollevamento registrati a terra alle deformazioni (co-sismica e post-sismica) lungo le faglie attive. Ne consegue una quantificazione di elevati tassi di movimento lungo le strutture che, rapportati alla frequenza degli eventi storici, implicano rigetti cosismici connessi a terremoti di più elevata magnitudo (Bianca et al., 1999). In questo caso, gli effetti a terra sarebbero parzialmente mitigati dalla maggiore distanza delle sorgenti dai centri abitati, che comunque sarebbero ubicati al letto delle strutture, al di fuori delle potenziali aree epicentrali di eventi futuri. La seconda tesi, ancora non pienamente accreditata nel database delle sorgenti, sembra avere un riscontro oggettivo nelle variazioni del tasso di sollevamento misurato che aumenta repentinamente dalla Piana di Catania verso la costa (Catalano et al., 2004), risultando massima nell'area costiera della Sicilia orientale, tra Catania e Acireale (Firth et al., 1996). Tale comportamento suggerirebbe la presenza di una componente aggiuntiva del sollevamento, compatibile con movimenti lungo le linee di faglia sommerse nell'immediato off-shore di Catania.

Un aspetto di primaria importanza ai fini delle considerazioni sulla pericolosità sismica di Belpasso è la valutazione del reale potenziale sismogenetico delle faglie "nascoste" nel sottosuolo della regione, sulla quale esistono indicazioni estremamente contrastanti. I dati geodetici accrediterebbero, sul cortissimo periodo, tassi di movimento e lunghezza della discontinuità compatibili con una struttura con un potenziale medio-alto, mentre sia la sismicità storica che, soprattutto, l'assenza di dislocazioni cumulate della topografia, suggerirebbero un basso potenziale dell'eventuale sorgente sepolta. E' chiaro che la prossimità dell'ipotetica sorgente all'abitato dovrebbe indurre a porre tra le



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile

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

priorità assolute dei successivi stadi di approfondimento, la necessità di condurre le indagini opportune per caratterizzare al meglio la geometria, il tasso di movimento e il reale potenziale sismico delle strutture che formano l'allineamento Belpasso–Ognina.

La geometria dei terreni affioranti nel territorio comunale di Belpasso è stata ricostruita sulla base di un'attenta revisione della cartografia esistente, che ha comportato un'analisi dettagliata di foto aeree, supportata da rilievi speditivi di terreno. Le nuove indagini si sono rese necessarie per colmare i limiti dei dati cartografici pregressi, che non riproducono la reale variabilità litologica riscontrata nei campi lavici complessi che caratterizzano la zona di Belpasso. I terreni affioranti a Belpasso si riferiscono alle aree distali di colate laviche di notevoli dimensioni, che si caratterizzano per gli elevati spessori dei campi lavici principali, i cui margini sono sovente mantellati da canali lavici secondari, di spessore modesto, che si originano a partire da diffuse bocche effimere. In queste condizioni, i fianchi delle colate laviche principali sono quindi riconoscibili per la presenza di scarpate, di altezza dell'ordine della decina di metri, parzialmente mascherate dai flussi lavici secondari.

Nella carta geologico–tecnica le unità laviche riconosciute sono state rappresentate seguendo una nuova codifica di campi, concordata con il Dipartimento di Protezione Civile Nazionale e Regionale, in quanto non prevista negli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica–Versione 2.0beta–II”. La codifica adottata 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. Nel caso specifico del territorio del comune di Belpasso, tutti i prodotti vulcanici affioranti sono stati attribuiti ai terreni di copertura e

classificati come lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (**LCIa** della carta geologico-tecnica). Nella prospettiva della microzonazione di primo livello si è tenuto conto dell'estrema variabilità laterale delle litofacies che compongono le diverse parti dei campi lavici complessi. Le suddivisioni proposte nella carta geologico-tecnica si riferiscono non solo ai contorni delle singole colate, ma anche, all'interno di queste, dei singoli flussi lavici che è stato possibile riconoscere dall'analisi delle foto aeree, compatibilmente con le effettive esposizioni dei limiti in superficie. Il risultato è molto differente rispetto alle rappresentazioni della cartografia pregressa, 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. Nella lettura ed interpretazione della carta, va rilevato che sia i margini 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. 26). Gli effetti di amplificazione potrebbero essere ancora più marcati laddove i margini delle colate sono caratterizzati da scarpate. Va rilevato, infine, che non è stato possibile attingere a dati sulla distribuzione di cavità sotterranee che potrebbero essere invece molto diffuse, vista la natura complessa dei campi lavici e la presenza di numerose bocche effimere. Quest'ultime potrebbero infatti rappresentare lo sbocco di ingrottamenti lavici parzialmente svuotati, la cui individuazione e definizione deve necessariamente costituire una tematica prioritaria da affrontare con molta cura nel corso dei successivi livelli di approfondimento. Una rappresentazione della variabilità laterale dei campi lavici è fornita dai profili geologici dell'**Allegato 1**. Questi si limitano alla sola copertura lavica superficiale, per la totale mancanza di dati di sottosuolo che possano in qualche maniera vincolare la geometria del substrato. A tal fine, va ricordato che i dati geologici disponibili risultano abbastanza

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 contraddittori sia sulla natura che sulle geometrie dei terreni del substrato. Nella prospettiva di procedere ai successivi livelli di approfondimento, è dunque necessario pianificare una adeguata campagna di indagini che preveda sia l'esecuzione di nuovi rilievi di terreno che l'acquisizione di dati di sottosuolo che possano vincolare univocamente i dati di superficie.

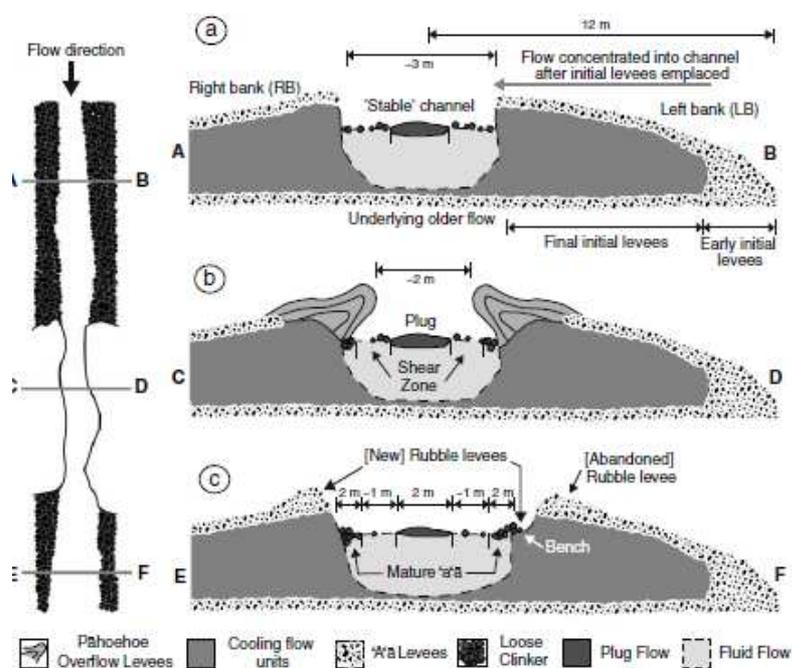


Fig. 26 – Profili di flusso attraverso colate laviche canalizzate nei suoi diversi settori (da Bailey et al. , 2006).

Tra i depositi di copertura sono stati inseriti anche gli accumuli di materiale di riporto (RI), segnalati nelle carte esistenti o identificati tramite analisi di telerilevamento.

4. Dati geotecnici e geofisici

I dati geotecnici e geofisici disponibili per l'area di studio, derivano da n. 33 indagini complessive, di cui n. 17 indagini pregresse e n. 16 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. 16 indagini puntuali e n. 17 indagini lineari.

I dati pregressi derivano da indagini realizzate per gli studi geologici a supporto sia del P.R.G. che dei lavori di costruzione di loculi nel cimitero comunale. Si tratta esclusivamente di indagini lineari di tipo geofisico che consistono in n. 16 profili sismici a rifrazione (SR) e di una indagine MASW. In particolare, tra i n. 30 profili sismici realizzati per il P.R.G. sono stati selezionati n. 7 profili ricadenti all'interno dell'area di studio e n. 8 profili ubicati al di fuori di quest'ultima, in un raggio di 1 km. La quantità dei dati è purtroppo scarsamente risolutiva ai fini della microzonazione sismica, anche perché non avendo avuto a disposizione le relazioni di descrizione delle indagini non è stato possibile evincere in maniera univoca se i valori riportati si riferissero alla velocità delle onde di compressione o di taglio. In figura 27, a titolo di esempio, viene raffigurata la restituzione di un profilo a rifrazione (indagine 087007L5SR5), nel quale si individuano 2 sismostrati, separati da un contatto debolmente inclinato. La semplicità del modello raffigurato, se comparato con la complessità delle geometrie dei terreni affioranti, è indicativo del valore puntuale della misura e delle obiettive difficoltà di trasferimento delle informazioni a più ampia scala. I profili sismici hanno permesso di individuare fino a tre sismostrati, dei quali quello più superficiale è caratterizzato da velocità inferiori a ~ 350 m/s, quello intermedio mostra velocità comprese tra ~ 500 e ~ 700 m/s e quello inferiore è caratterizzato da velocità maggiori di 1000 m/s (vedi Tab. 1 dell'**Allegato 2**).

Un modello 2D a tre sismostrati è confermato anche dalla tomografia sismica a rifrazione (087007L17SR17) (Fig. 28) realizzata per i lavori di costruzione di loculi nel cimitero comunale, la quale, nonostante si riferisca a terreni situati immediatamente a sud dell'area di studio, ha permesso di identificare: uno strato superiore di spessore pari a 2,5 m, caratterizzato da $V_p < 350$ m/s, interpretato come terreno di riporto; uno strato compreso tra 2,5 e 5 m di profondità, caratterizzato da V_p comprese tra 400 e 650 m/s,



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 interpretato come lave molto fratturate alternate a termini scoriacei; uno strato che si trova a profondità maggiore di 5 m, con $V_p > 900$ m/s, interpretato come lave compatte e poco fratturate (vedi Tab. 1 dell'**Allegato 2**). Attraverso questa indagine sono stati stimati anche alcuni parametri fisico-meccanici dei tre strati, quali il peso di volume, la coesione e l'angolo di attrito interno, i cui valori sono riassunti nella tabella 2 dell'**Allegato 2**.

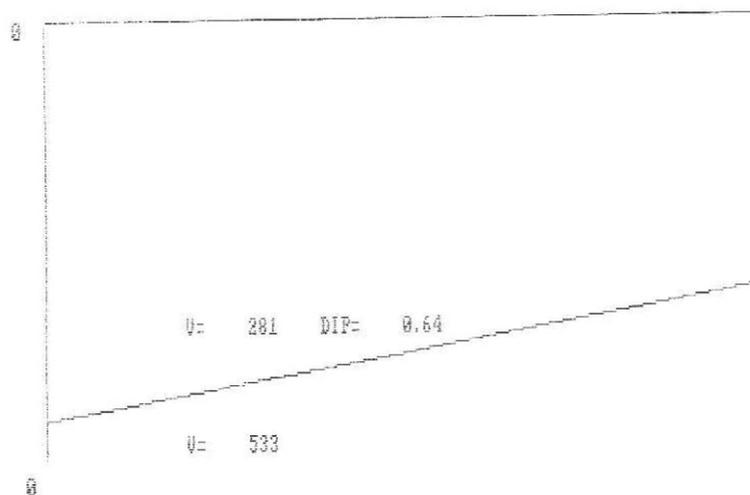


Fig. 27 – Profilo sismico a rifrazione relativo all'indagine 087007L5SR5.

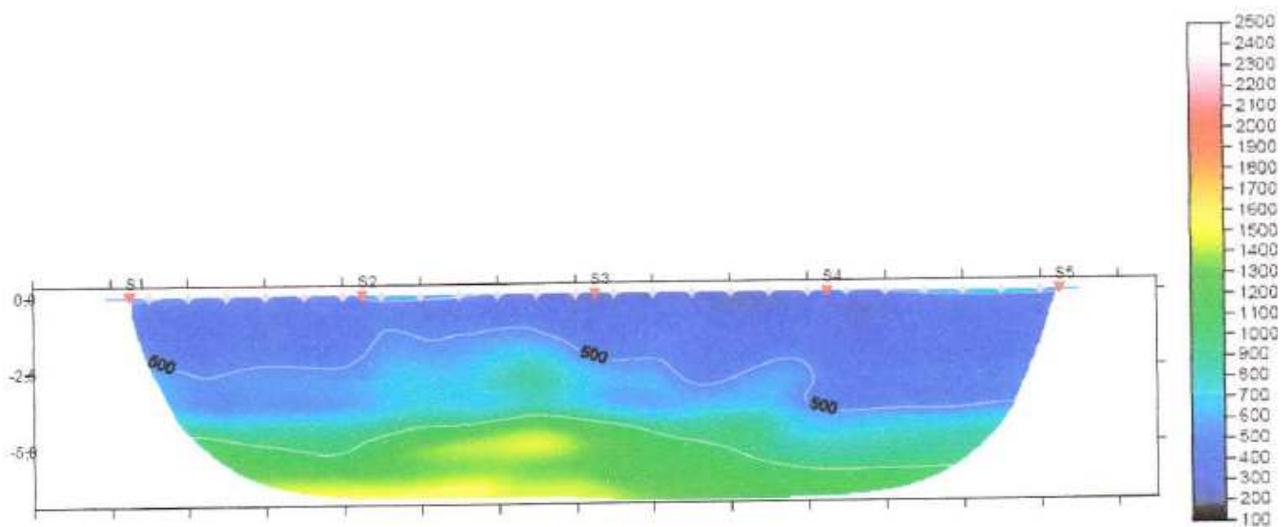


Fig. 28 - Tomografia sismica a rifrazione (087007L17SR17).

Per quanto detto nel capitolo precedente, un modello 2D così semplificato male si sposa con l'estrema variabilità sia verticale che laterale dei terreni lavici. Ciò appare evidente considerando l'indagine MASW 087007L16MASW16, realizzata nel cimitero comunale sulla stessa traccia della tomografia sismica, che mostra un'inversione della velocità misurata nei primi 3 metri (Fig. 29).

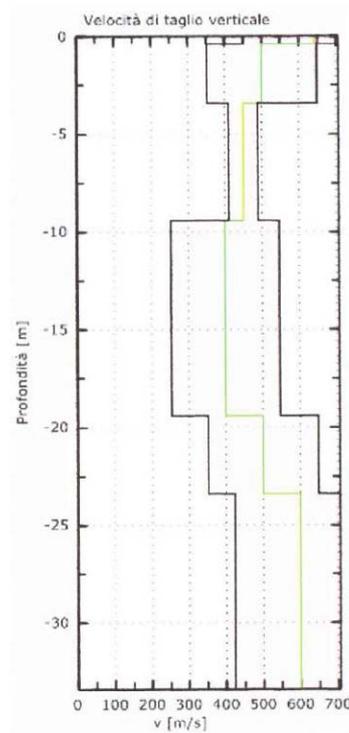


Fig. 29 - indagine MASW 087007L16MASW16.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

Alla luce di quanto finora esposto, risulta chiaro che i dati pregressi messi a disposizione dall'Amministrazione Comunale di Belpasso sono stati insufficienti nella caratterizzazione esaustiva dei terreni oggetto di studio. Non si dispone, infatti, di alcuna indagine diretta di sottosuolo (sondaggi geognostici e/o prove geotecniche in sito). In particolare sarebbe stato opportuno avere a disposizione dati geotecnici significativi delle diverse porzioni dei campi lavici complessi, di cui si compone il sottosuolo di Belpasso, che potessero meglio definire le proprietà delle diverse porzioni delle colate evidenziate nella carta geologico-tecnica. I terreni oggetto di studio sono stati, dunque, classificati utilizzando gli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica-Versione 2.0beta-II" che, recependo con modifiche il sistema USCS (Tab. 2), prevedono la suddivisione in cinque gruppi principali a loro volta suddivisi in sottogruppi in relazione ad alcune proprietà indice. Tale classificazione è stata così tradotta in legenda della carta geologico-tecnica secondo la tabella 3. Nella prospettiva di acquisire nuovi dati utili ad implementare le informazioni per i successivi livelli di approfondimento, è da prescrivere la classificazione dei terreni, sia nelle legende delle carte geologico-tecniche che nella descrizione delle stratigrafie dei sondaggi, secondo gli standard adottati.

TERRENI A GRANA FINE		TERRENI A GRANA GROSSA			
Passante al setaccio n.200 > 50 %		Trattenuto al setaccio n.200 > 50%			
$w_1 \geq 50\%$	$w_1 < 50\%$	% Sabbia Passante al setaccio n. 4 > 50%	% Ghiaia Trattenuto al setaccio n.4 > 50%		
Organico w_1 (essiccato)/ w_1 (naturale)	Inorganico	pass. 200 < 5%	Cu ≥ 4 e $1 < Cc < 3$	GW	Ghiaie pulite con granulometria ben assortita miscela di ghiaia e sabbia
			Cu ≥ 4 e/o $1 < Cc > 3$	GP	Ghiaie pulite con granulometria poco assortita miscela di ghiaia e sabbia
Organico	Inorganico	5% < pass. 200 < 12%	Cu ≥ 4 e/o $1 < Cc < 3$	GW-GM	Ghiaia limosa ben assortita
			Cu ≥ 4 e/o $1 < Cc > 3$	GW-GC	Ghiaia argillosa ben assortita
Organico	Inorganico	pass. 200 > 12%	Cu < 4 e/o $Cc > 3$	GP-GM	Ghiaia limosa poco assortita
			Cu < 4 e/o $Cc > 3$	GP-GC	Ghiaia argillosa poco assortita
Organico	Inorganico	pass. 200 > 12%	% fine ML o MH	GM	Ghiaia limosa, miscela di ghiaia sabbia e limo
			% fine M e C	GC-GM	Ghiaia limosa e argillosa
Organico	Inorganico	pass. 200 > 12%	% fine CL o CH	GC	Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla
			Cu ≥ 6 e $1 < Cc < 3$	SW	Sabbie pulite con granulometria ben assortita sabbie ghiaiose
Organico	Inorganico	pass. 200 > 12%	Cu < 6 e/o $Cc > 3$	SP	Sabbie pulite con granulometria poco assortita miscela di ghiaia e sabbia
			Cu ≥ 6 e $1 < Cc < 3$	SW-SM	Sabbia limosa ben assortita
Organico	Inorganico	5% < pass. 200 < 12%	% fine ML o MH	SW-SM	Sabbia limosa ben assortita
			Cu ≥ 6 e $1 < Cc < 3$	SW-SC	Sabbia argillosa ben assortita
Organico	Inorganico	5% < pass. 200 < 12%	% fine CL o CH	SP-SM	Sabbia limosa poco assortita
			Cu < 6 e/o $Cc > 3$	SP-SC	Sabbia argillosa poco assortita
Organico	Inorganico	pass. 200 > 12%	% fine ML o MH	SM	Sabbie limose miscela di sabbia e limo
			% fine M e C	SC-SM	Sabbie limose e argillose
Organico	Inorganico	pass. 200 > 12%	% fine CL o CH	SC	Sabbie argillose miscela di sabbia e argilla
			Cu < 6 e/o $Cc > 3$	CL	Argille inorganiche di medio-bassa plasticità
Organico	Inorganico	pass. 200 > 12%	Ip > 7 sopra Linea A	CL	Argille inorganiche di medio-bassa plasticità
			4 < Ip < 7 sopra Linea A	CL-ML	Argilla limosa o limo argilloso di bassa plasticità
Organico	Inorganico	pass. 200 > 12%	Ip < 4 sotto Linea A	ML	Limi inorganici, limi argillosi di bassa plasticità
			sopra Linea A	OH	Argille organiche di medio alta plasticità, limi organici
Organico	Inorganico	pass. 200 > 12%	sopra Linea A	CH	Argille inorganiche di elevata plasticità
			sotto Linea A	MH	Limi inorganici
Organico	Inorganico	pass. 200 > 12%	OL	OL	Limi organici argille limose organiche di bassa plasticità

Tab.2 – Classificazione dei terreni secondo il sistema USCS

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. 3 - Legenda della carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica: terreni di copertura

Al fine di valutare le frequenze proprie di oscillazione dei diversi siti, l'Università di Catania ha effettuato n. 16 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 3** della presente relazione. I risultati ottenuti indicano che le frequenze di risonanza ricadono all'interno di un range molto ristretto, compreso tra 0.8 e ~2 Hz. Nella quasi totalità delle misure, vengono segnalati due picchi, alcuni dei quali abbracciano valori di frequenza molto 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 livelli scoriacei o fenomeni di origine antropica.

5. Modello del sottosuolo

Il modello geologico del sottosuolo del territorio comunale di Belpasso, i cui dettagli sono stati già ampiamente descritti nei paragrafi precedenti, è stato essenzialmente ricostruito sulla base dei dati di superficie, ricavati mediante rilievi speditivi condotti nel corso degli studi di microzonazione e rielaborati alla luce delle informazioni pregresse. Il modello di sottosuolo proposto, raffigurato nei profili geologici (**Allegato 1**), si riferisce alla sola copertura lavica, in quanto la totale assenza di dati di sottosuolo ha impedito una ricostruzione, anche se preliminare, dell'andamento del substrato. Di riflesso, fatta eccezione per le aree interessate dalla presenza di riporti antropici, l'intero territorio comunale ricade all'interno di un'unica zona a comportamento omogeneo. Tale omogeneità va, però, rapportata alla natura vulcanica dei terreni affioranti che, per loro intrinseca caratteristica, presentano una notevole variabilità verticale e laterale delle proprietà meccaniche, peraltro dimostrata dalle poche indagini geofisiche disponibili. Queste indicano, ad esempio, velocità delle onde sismiche di compressione variabili da valori inferiori ai 350 m/s fino a valori superiori ai 900 m/s. Una rappresentazione più completa del comportamento delle lave si può desumere dai dati raccolti nel corso di precedenti studi di microzonazione (OPCM 3278/2003) nella zona del comune di Santa Venerina, che hanno evidenziato una estrema variabilità laterale e verticale delle Vs, con



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

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. In generale, le ripetute inversioni delle velocità delle onde sismiche, tra diverse unità o all'interno delle stesse unità laviche, 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, anche nel caso in cui le lave dovessero mostrare valori elevati delle velocità, comunque esse non possono essere trattate quale substrato rigido, se poggianti su livelli di copertura a bassa velocità. L'appartenenza delle lave ai terreni di copertura che concorrono alla modificazione del moto del suolo è ben evidenziata anche dalle misure di microtremore ambientale fin qui eseguite in aree vulcaniche su lave massive ($V_s > 800$ m/s) affioranti, che hanno mostrato effetti di amplificazione, più o meno marcati, impedendo di assimilare tali terreni ad un bedrock sismico affiorante. Appare evidente che nei successivi livelli di approfondimento sarà necessario interpretare il ruolo delle inversioni delle velocità nella selezione delle frequenze di oscillazione proprie dei siti e verificare quale siano gli elementi delle successioni laviche che invece determinano le differenti ampiezze di oscillazione.

Una definizione delle geometrie del substrato geologico avrebbe potuto permettere un maggior dettaglio nella suddivisione delle microzone omogenee. Le unità esposte lungo il margine meridionale dell'edificio vulcanico, a sud dell'abitato di Belpasso, consentono di ricostruire i lineamenti principali del substrato al letto delle colate cartografate nell'area urbana. Esso è costituito da lave antiche che sigillano una paleotopografia modellata in una successione argillosa, ricoperta alla sommità da depositi sabbiosi. Come già descritto nell'inquadramento, la distribuzione delle lave di

differente età e le loro relazioni con i terreni del substrato sedimentario permette di riconoscere la presenza di una valle sepolta principale, ad andamento circa NO-SE, posta all'estrema periferia del vulcano, verso la quale confluivano due valli secondarie, orientate circa N-S. Queste hanno canalizzato le lave nella parte bassa del fianco meridionale dell'Etna, nella zona immediatamente a sud di Belpasso, lasciando scoperte le zone dell'originaria dorsale spartiacque, evidenziata dalla presenza di affioramenti del substrato sedimentario, che sono scontornati dalle colate laviche più recenti. I rapporti geometrici esposti in superficie, quindi, evidenziano come, nell'area oggetto di studio, le lave recenti possano poggiare indifferentemente sia su prodotti lavici più antichi che direttamente sulle unità del substrato sedimentario, in funzione della loro posizione rispetto ai lineamenti della paleotopografia colmata dalle lave etnee. Ai fini della ricostruzione dettagliata del sottosuolo risulta, dunque, fondamentale poter definire preliminarmente l'andamento dei lineamenti della paleomorfologia sub-vulcanica. Da questo punto di vista, nel sottosuolo di Belpasso si possono immaginare due ipotesi limite, che andrebbero verificate tramite campagne mirate di indagine. La prima ipotesi consiste nella prosecuzione in sottosuolo delle due paleovalli ad andamento meridiano, fino alle zone dell'abitato. In questo caso, le indagini di sottosuolo avrebbero lo scopo primario di definire la posizione dello spartiacque sepolto, al fine ultimo di discriminare le aree in cui le lave affioranti poggiano direttamente sul substrato sedimentario di natura sabbiosa o argillosa dalle aree in cui esse ricoprono spessori variabili di lave di riempimento delle paleovalli. In alternativa, le due valli potrebbero essere delimitate da un ventaglio di erosione posto a sud dell'abitato, che quindi potrebbe poggiare sulla copertura lavica accumulatasi su una superficie terrazzata a bassa o nulla energia di rilievo, modellata sul substrato sedimentario. In questo caso, è prevedibile una maggiore uniformità delle geometrie di sottosuolo, che dovrebbe essere evidenziata dalla continuità laterale degli orizzonti investigati dalle indagini di sottosuolo. Questa ipotesi sembra essere suffragata dalla "Carta delle isoipse del substrato sedimentario" posta a cornice della "Carta Morfotettonica dell'Etna" (Monaco et al., 2008)(Fig. 30), che evidenzia

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

la presenza di ampi ventagli di erosione fluviale, oggi riempiti da lave, che si sviluppano a sud dell'abitato di Belpasso, il quale è invece ubicato sulla verticale di una superficie planare, inclinata verso SSO.



Fig. 30 – Stralcio della Carta delle isoipse del tetto del substrato sedimentario (da Carta Morfotettonica del Monte Etna; Monaco et al., 2008 mod.).

E' evidente che i numerosi gradi di libertà nella costruzione del modello di sottosuolo, in mancanza dei necessari vincoli forniti dalle indagini dirette ed indirette, impediscono una definizione dell'andamento delle unità più profonde. Ciò potrebbe dare le indicazioni necessarie per poter stabilire gli eventuali effetti di amplificazione sulle frequenze d'onda più basse. Le misure di microtremore ambientale condotte a Belpasso (v. **Allegato 3**) hanno confermato quanto comunemente riscontrato in aree vulcaniche, accertando fenomeni di alterazione del rapporto H/V su tutti i terreni affioranti. Tali fenomeni di amplificazione portano a escludere che questi terreni possano appartenere al bedrock sismico, inteso come substrato esente da effetti di risposta locali che modificano il moto del suolo indotto da un terremoto. In tutti i siti, ubicati sulle lave di copertura,

sono state ottenute curve del rapporto H/V che mostrano due picchi di amplificazione. Il primo picco, direttamente imputabile a sorgenti profonde, ricade in uno stretto intervallo di $f(\text{frequenza})=0.8-3.2$ Hz, mentre il secondo è disperso su valori di $f>3.5$ ed è apparentemente controllato dalla morfologia superficiale dei campi lavici. Gli effetti massimi di amplificazione sembrerebbero, infatti, realizzarsi in corrispondenza dei bordi delle diverse colate.

In tutto il territorio comunale non è stato possibile definire la profondità del substrato rigido, con caratteri tipici di un bedrock sismico. Tale substrato probabilmente ricade all'interno della potente successione argillosa che costituisce il substrato sedimentario pre-vulcanico. In mancanza di misure dirette sulla velocità delle onde sismiche, si è fatto riferimento a dati raccolti nell'area di Catania, dove il substrato argilloso è stato caratterizzato dal punto di vista geofisico. Qui 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.

6. Interpretazioni ed incertezze

L'affidabilità delle interpretazioni e il diverso grado di incertezza sono stati oggetto di analisi dettagliata nel corso della trattazione dei diversi argomenti. Le poche indagini rese disponibili a supporto degli studi sono state archiviate secondo gli "Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica - Versione 2.0beta-II", anche se non è stato inserito alcun parametro relativo alla sismica a rifrazione, perché non è specificato se la velocità misurata si riferisca alle onde "P" o alle onde "S". Per quanto riguarda l'indagine MASW, non è possibile ricavare il valore della V_s per i singoli intervalli di profondità dalla tabella e dai grafici allegati, per cui è stato inserito soltanto il valore della V_{s30} , al quale è stato assegnato un grado di attendibilità pari a "3".

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

Non si dispone, inoltre, di alcun sondaggio geognostico o di altri tipi di indagine diretta.



Fig. 31 - Stralcio dell'Allegato 1 "Carta Geologica in scala 1:10.000" della relazione geologica per il P.R.G. di Belpasso e relativa legenda.

Va rilevata la necessità di un aggiornamento della cartografia geologica a supporto dei documenti di pianificazione, in quanto quella esistente (Fig. 31) risulta chiaramente datata rispetto agli avanzamenti delle conoscenze della letteratura geologica. Nel corso della descrizione dell'assetto geologico e del modello del sottosuolo sono stati delineati i possibili obiettivi su cui tarare le indispensabili campagne di indagine dirette ed indirette da svolgersi in occasione dei successivi livelli di approfondimento degli studi di microzonazione.

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.

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, geomorfologia, idrogeologia e geotecnica), sono caratterizzati dal dettaglio della scala 1:10.000. 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. Come visto nei capitoli 4 e 6, nella stesura degli elaborati cartografici prodotti nel presente studio, il peso delle informazioni messe a disposizione dall'amministrazione comunale di Belpasso è risultato insufficiente. Per quanto riguarda, infatti, la mappatura dei terreni affioranti e la definizione della successione geolitologica dell'area di studio si è dovuto effettuare un accurato rilievo di terreno, che è stato integrato dalle osservazioni derivanti dall'analisi fotogrammetrica (vedi Capitolo 3).



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

Una volta distinte le diverse unità geologiche 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). La grande omogeneità dei terreni affioranti (vedi Capitolo 3), unitamente all’assenza di indagini dirette che consentano di definire con accuratezza le geometrie profonde delle colate laviche e l’eventuale presenza di depositi piroclastici o di altra natura, ha portato all’individuazione di due sole microzone, distinte in base alla presenza o meno del materiale di riporto. Ciò si è tradotto anche nella realizzazione di due sezioni geologiche a scala 1:5.000 (**Allegato 1**) estremamente semplificate, in cui sono state rappresentate le diverse colate laviche storiche e recenti sovrapposte, che poco aggiungono agli elementi desumibili dalla lettura della “Carta geologico tecnica”.

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. 32). Nel secondo step è stata costruita una carta dell’energia del rilievo, definita come il dislivello massimo (in metri) esistente in ciascuna superficie unitaria (Ciccacci et al., 1988) che nel caso specifico è un quadrato di 100 metri di lato (Fig. 33). L’elaborato mostra che nell’area comprendente il centro urbano di Belpasso non si ritrovano pendii con dislivello

superiore a 30 m. Di conseguenza, nell'area di studio, non sono state individuate zone soggette a potenziali fenomeni di amplificazione topografica. Ciò è confermato dai profili topografici in scala 1:5.000 (**Allegato 4**), diretti N-S e NO-SE, realizzati ortogonalmente alle scarpate con pendenza maggiore di 15°, i quali mostrano chiaramente che queste ultime non superano i 20 m di altezza.

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

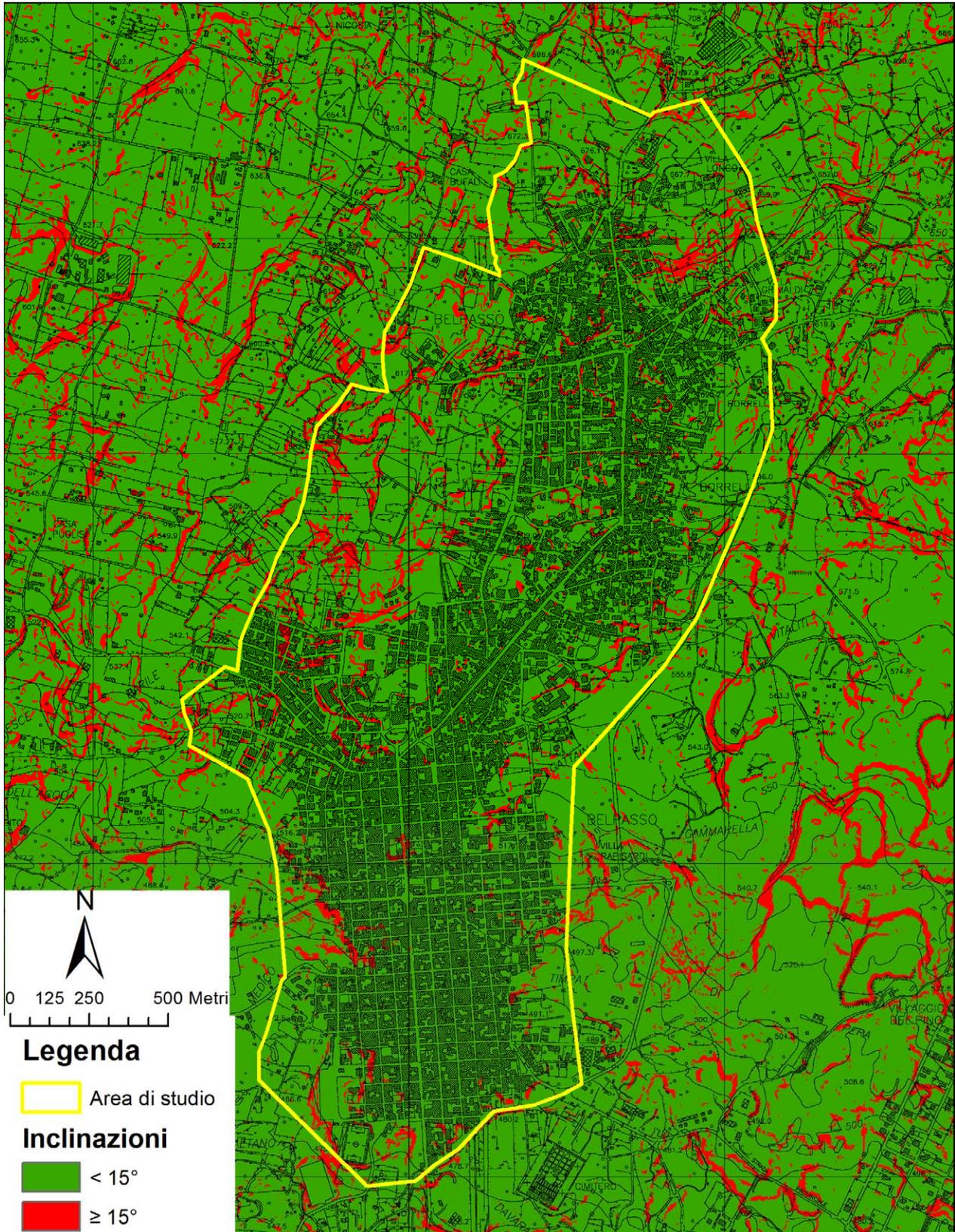


Fig. 32 - Carta delle inclinazioni dell'area di studio. Sono distinte inclinazioni $< 15^\circ$, in verde, e $\geq 15^\circ$, in rosso.

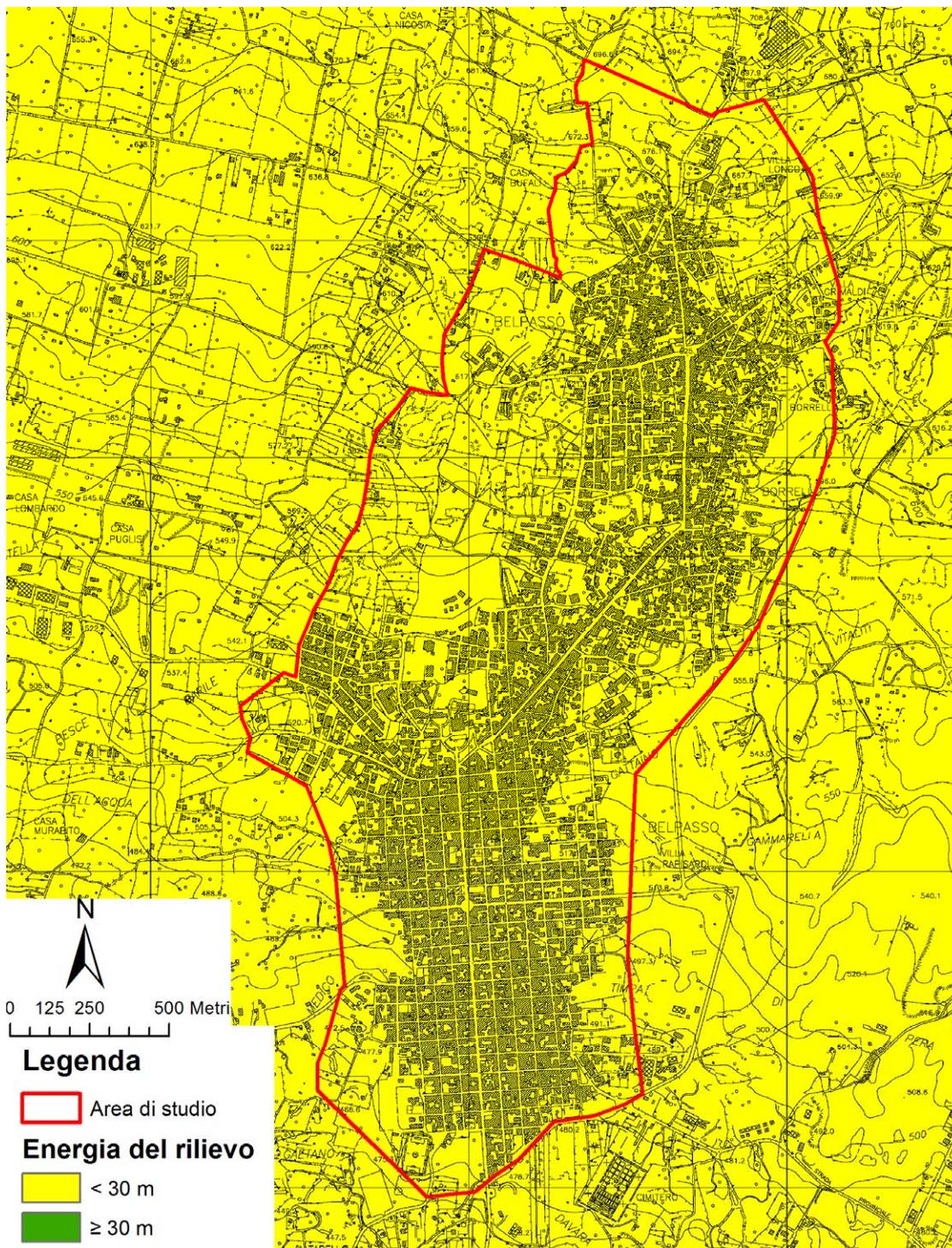


Fig. 33 - Carta dell'energia del rilievo dell'area di studio. Sono distinti dislivelli < 30 m, in giallo, e > 30 m, in verde.

Per quanto riguarda le instabilità manifeste e potenziali, si è fatto riferimento agli studi pregressi del PAI. Il comune di Belpasso ricade, infatti, a cavallo tra il “Bacino



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

idrografico del Fiume Simeto – 094” e l’“Area Territoriale tra i bacini del F. Alcantara e del F. Simeto – 095”. Sia nella “Carta dei dissesti” che nella “Carta della pericolosità e del rischio” del PAI non è stato censito alcun fenomeno franoso ricadente nell’area di studio. Ciò ha trovato riscontro anche negli studi geologici effettuati per il P.R.G. e nelle analisi morfologiche condotte nell’area tramite analisi di fotogrammetrie e verifiche di terreno, per cui non sono state cartografate instabilità di versante.

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. 34):

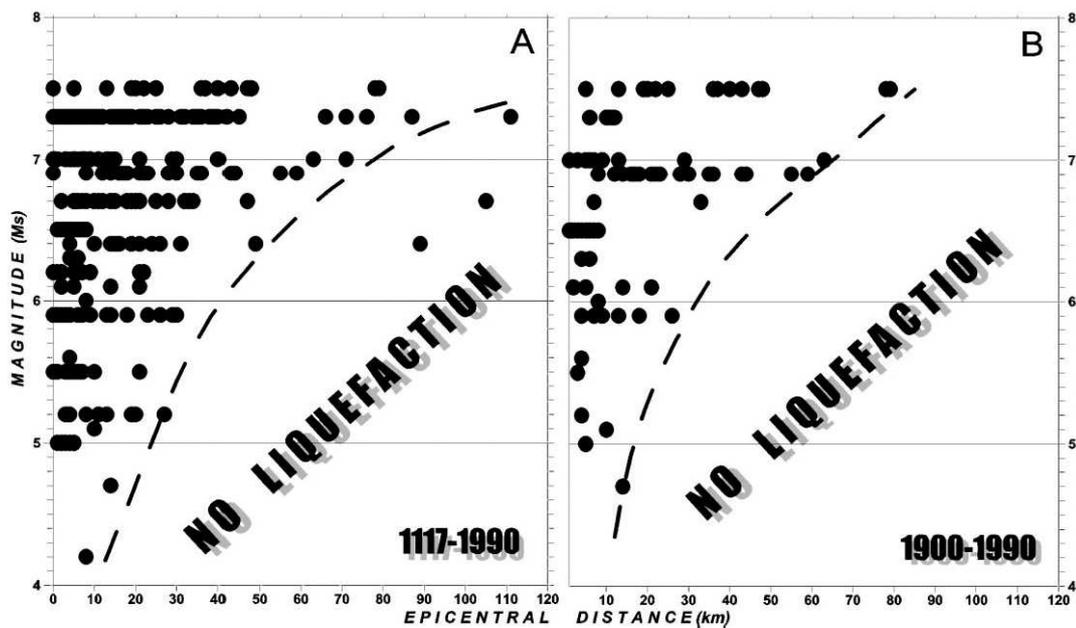


Fig. 34 – Distribuzione di fenomeni di liquefazione indotti da eventi sismici, in termini di Magnitudo e distanza epicentrale, per i periodi 1117–1990 e 1900–1990. (da Galli, 2000).

Nell'ambito della zonazione sismogenetica dell'area italiana (Gruppo di lavoro, 2004), il territorio comunale di Belpasso, così come tutta l'area etnea, ricade all'interno della zona 936 (Fig. 35). Questa zona racchiude diversi eventi sismici di Magnitudo medio bassa ($M_w = 3-4$), mentre nel 1818 e nel 1848 si son verificati due terremoti caratterizzati da $M_w \sim 6$ e $M_w \sim 5$, rispettivamente (CPT111; Rovida et al., 2011). Questi dati trovano conferma nella versione più recente del DISS 3.1.1 (DISS Working Group, 2010) che riporta la presenza della sorgente sismogenica "ITIS106 - Gravina di Catania" orientata NE-SO e caratterizzata da una $M_w = 6$, la cui terminazione occidentale dista circa 5 km dall'area di studio (Fig. 24). Tuttavia in passato l'area di studio è stata seriamente danneggiata dal sisma del 1693, di $M_w \geq 7$ (Postpischl, 1985; Boschi et al, 1995; 1997), verificatisi però nella zona sismogenetica 935. Per finire, nel DISS 3.1.1 (DISS Working Group, 2010), a circa 26,5 km di distanza nell'*off-shore* ionico, viene segnalata la presenza della sorgente sismogenica "ITDS011 - Western Ionian" (Fig. 24), per la quale dati di Letteratura indicano una $M \geq 7$ (Bianca et al., 1999; Catalano et al. 2008).

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

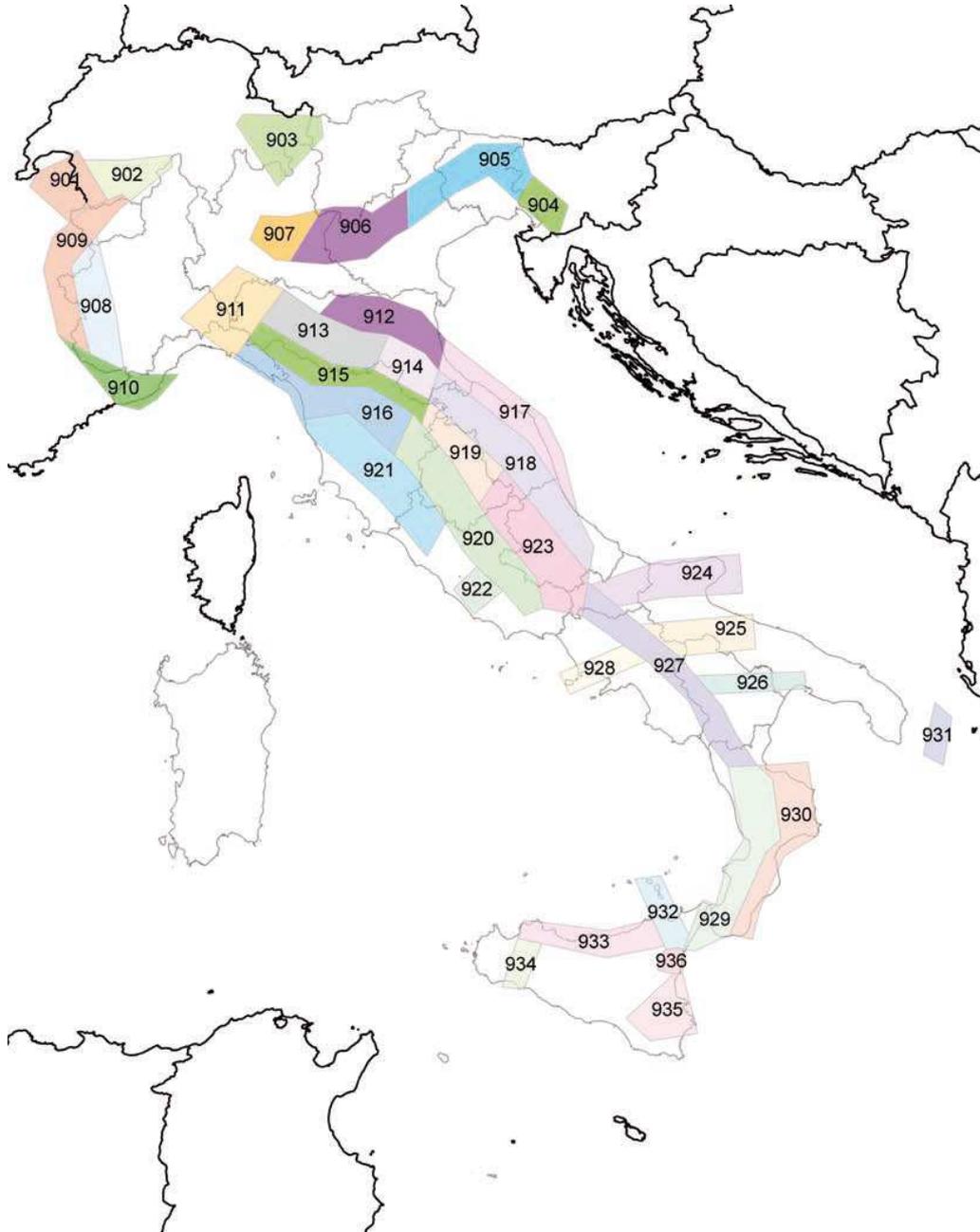


Fig. 35 - Zone sismogenetiche per la mappa di pericolosità sismica di base di riferimento (Gruppo di lavoro, 2004).

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 Belpasso, all'interno dell'area di studio, entrambe le condizioni non sembrano essere soddisfatte, in quanto essa è caratterizzata dalla presenza esclusiva delle colate laviche storiche e recenti, mentre nella Carta idrogeologica del massiccio vulcanico dell'Etna (Ferrara, 2001) essa si colloca tra le curve isopiezometriche di 450 e 375 metri (Fig. 36). Questo dato è stato leggermente modificato nella "Carta idrogeologica in scala 1:10.000" allegata allo studio geologico per il P.R.G. (Fig. 37), nel quale il centro abitato è compreso tra le curve isopiezometriche di 400 e 350 metri.

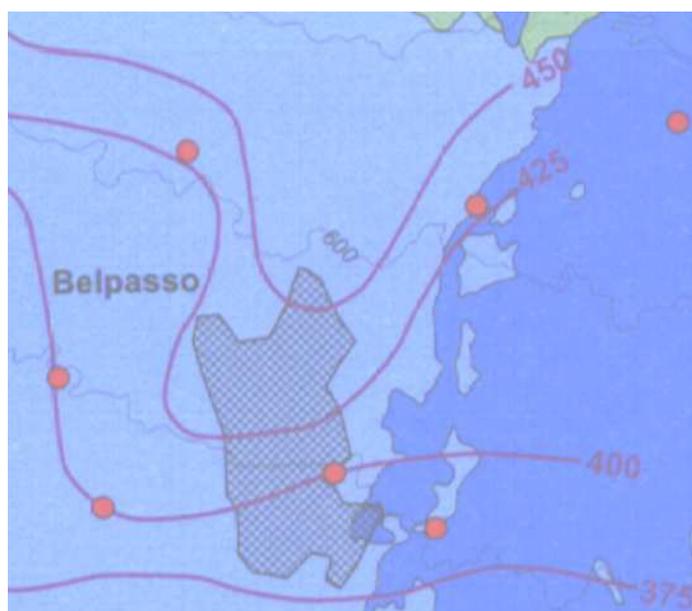


Fig. 36 - Stralcio della Carta idrogeologica del massiccio vulcanico dell'Etna (Ferrara, 2001).

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

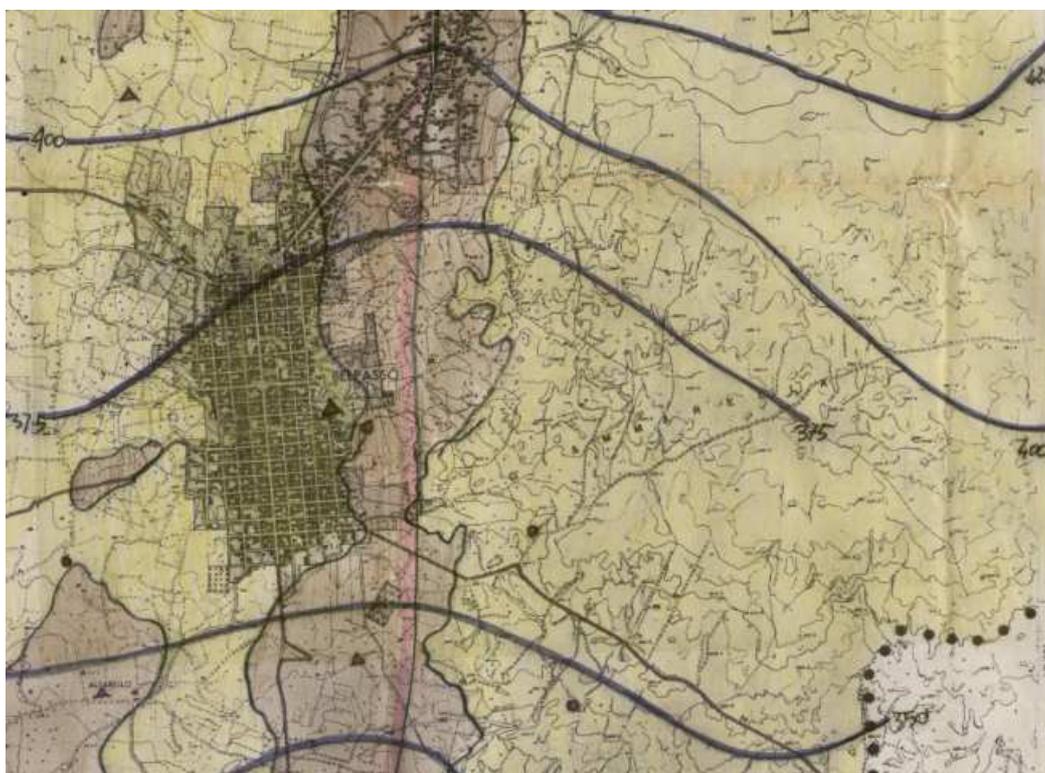


Fig. 37 – Stralcio della “Carta idrogeologica in scala 1:10.000” – Allegato 3 della relazione geologica per il P.R.G. di Belpasso.

Conseguentemente, nell’area di studio non è stata definita alcuna zona soggetta a possibili fenomeni di liquefazione.

8. Elaborati cartografici

La sintesi delle attività svolte nel primo livello di approfondimento degli studi di microzonazione sismica si configura nella stesura dei seguenti elaborati cartografici: “Carta delle 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 Belpasso, consistono esclusivamente in indagini lineari di tipo geofisico. 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 "Cdl_tabelle" e rappresentati secondo gli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica Versione 2.0beta-II". All'interno del database sono stati inserite 16 "Indagini_puntuali" costituite da misure HVSR realizzate dall'Università di Catania nel corso del presente studio (vedi **Allegato 3**)

Per quanto riguarda le "Indagini_lineari", sono state inserite n. 16 profili sismici a rifrazione (SR) e una indagine MASW.

8.2 Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica

Già ampiamente descritta nei capitoli precedenti, la successione geolitologica dell'area di studio è stata ricostruita sulla base della composizione di rilievi geologici a differente scala. Per la ricostruzione delle geometrie dei corpi lavici presenti nell'area si è dovuto ricorrere a rilievi originali per la mancanza di informazioni pregresse indispensabili. I dati di sottosuolo, molto scarsi e mal distribuiti, hanno avuto un ruolo marginale nella ricostruzione della stratigrafia delle unità riportate nella carta. I terreni lavici, seppure in gran parte poggianti su superfici di erosione modellate sul basamento pre-vulcanico, sono stati assimilati esclusivamente ai terreni di copertura (**LC**). Tali terreni sono stati rappresentati nella carta geologico-tecnica seguendo gli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica-Versione 2.0beta-II". La classificazione dei terreni di copertura, descritta già in dettaglio nei capitoli precedenti, è stata eseguita secondo il sistema USCS. Si fa presente che gli unici terreni di copertura classificabili secondo tale sistema sono costituiti dai materiali di riporto, caratterizzati da uno



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

spessore superiore a 3 metri, presenti nella porzione centrale e meridionale dell'area di studio. Come visto nei precedenti capitoli, infatti, l'intero territorio è caratterizzato da estesi affioramenti di coperture vulcaniche, per la cui rappresentazione si è fatto ricorso a nuovi standard 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. Nel caso specifico è stato inserito un nuovo elemento lineare, il "limite di colata lavica" che insieme agli altri già previsti, consente una visualizzazione immediata degli elementi della morfologia sub-vulcanica.

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 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 20 distinte microzone riferite ad aree stabili suscettibili di amplificazione, nonché 4 distinte zone suscettibili di instabilità.

Una notevole varietà di microzone è stata prevista per le aree ricadenti su terreni vulcanici, per le quali non sono state ancora definite linee guida da adottare. Non è escluso che, una volta definito l'abaco di riferimento, alcune delle suddivisioni proposte possano risultare pleonastiche, non avendo riscontro in termini di risposta sismica locale differente. Ciò implica la possibilità che microzone omogenee, oggi distinte sulla base di differenti caratteri stratigrafici e giaciture, possano avere un medesimo comportamento di modificazione del moto del suolo e quindi essere successivamente accorpate in un'unica microzona omogenea. In termini più realistici, è prevedibile che l'estrema eterogeneità dei terreni vulcanici poco si presti alla definizione di una microzona a comportamento omogeneo, ma piuttosto in microzone all'interno delle quali i parametri di variazione locale del moto oscillano nell'ambito di range definiti, differenti da quelli di microzone adiacenti.

Con queste premesse, sono state distinte due aree stabili soggette ad amplificazione, mentre non è stata individuata alcuna zona suscettibile di instabilità:

- **Zona 1** Lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (a) costituite da campi lavici composti, formati da più unità laviche sovrapposte e



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

affiancate, caratterizzate da notevole variabilità verticale e orizzontale delle litofacies scoriacee e massive. Gli elementi morfovolcanici riconoscibili sono rappresentati da bocche effimere e canali lavici. Tale successione poggia su un substrato vulcanico non definito.

- **Zona 2** Materiale di riporto eterogeneo ed eterometrico in matrice sabbiosa che poggia sulla successione della Zona 1.

L'**Allegato 5** 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 Belpasso, così come tutta la Sicilia sud-orientale, è stato interessato da diversi eventi sismici sopra la soglia del danno ($I_{MCS} > V$), verificatisi principalmente nel periodo pre-strumentale (Figg. 3 e 4).

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

- Evento del 10 marzo 1669

A causa della violenza e della frequenza delle scosse, la popolazione abbandonò le abitazioni e si accampò all'aperto. Le numerosi fonti analizzate durante la ricerca evidenziano, più o meno direttamente, la correlazione tra le

scosse che caratterizzano il periodo sismico e la contemporanea eruzione dell'Etna che fu una delle più importanti del periodo.

- Evento dell'11 gennaio 1693

Questo violento terremoto causò la distruzione di due terzi delle abitazioni e due chiese del precedente insediamento di Fenicia Moncada, e la morte di 14 abitanti su circa 1.650. L'abitato di Belpasso è nato proprio dalla delocalizzazione di Fenicia Moncada a seguito di questo evento catastrofico.

- Evento del 20 febbraio 1818

Questo evento sismico danneggiò, tra gli edifici di culto, la Casa del Salvatore, le chiese delle Anime del Purgatorio, di S. Giuseppe, di S. Maria della Grazia, di S. Anna, dell'Altarello ed il convento di S. Maria del Gesù. In oltre la Collegiata fu resa inabitabile mentre la chiesa del Carmine crollò completamente.

La località di Belpasso fu inserita, nel quadro riassuntivo delle perizie, tra quelle in cui si verificarono danni di media entità rispetto alle località dell'area epicentrale. Le tavole sinottiche redatte a cura dell'Intendenza di Catania e riproducenti i risultati delle perizie ufficiali riportarono il numero di 389 case danneggiate delle quali 1/16 furono classificate come cadute (24), i 3/16 come cadenti (72) e 12/16 lesionate (293).

- Evento dell'8 agosto 1894

Questa scossa fu avvertita in maniera netta da parte della. In tutta l'area colpita dal terremoto si aprirono delle spaccature nel terreno e furono osservate diverse frane. Il 16 novembre dello stesso anno, un'altra scossa fu avvertita fortemente dalla popolazione, ma non furono registrati ingenti danni alle abitazioni o alla popolazione.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

- Evento del 28 dicembre 1908

Questo terremoto fu molto forte e causò qualche danno agli edifici ma non si hanno notizie più dettagliate a riguardo.

- Evento dell'8 maggio 1914

Questo terremoto fu di mediocre intensità (4.0). Non ci sono notizie circa eventuali danni ai manufatti ed alla popolazione della località di Belpasso.

- Evento del 13 dicembre 1990

Attraverso uno studio macrosismico condotto dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, basato su questionari e sopralluoghi tecnici, gli effetti sono stati stimati di intensità compresa tra il V e il VI grado della scala MCS.

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 Belpasso.

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.; 2010 – Note illustrative Foglio Geologico 633 “Paternò”. A cura di Serafina Carbone e Fabio Lentini. Ed. S.EL.CA, Firenze (IT).

AA.VV.; 2012 – Note illustrative Foglio Geologico 624 “Monte Etna”. A cura di Luigi Tortorici. Ed. S.EL.CA, Firenze (IT).

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. *Quad. Geof.*, 72, 39 pp.

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

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



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

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

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

Bonforte A., Federico C., Giammanco S., Guglielmino F., Liuzzo M., Neri M.; 2013 – Soil gases and SAR measurements reveal hidden faults on the sliding flank of Mt. Etna (Italy). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 251, 27–40.

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

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

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

Branca S., Coltelli M, 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.

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.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

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.

Imposa S., Lombardo G.; 1985 – The Etna earthquake of February 20, 1818. In: Postpischl, D. (ed), *Atlas of Iseismic Maps of Italian Earthquakes*, PFG–CNR, Quad. Ric. Scie. 2A, 114, Bologna, pp. 80–81.

Kieffer, G.; 1975 – Sur l'existence d'une "rift-zone" à l'Etna. *C. R. Ac. Sci.*, D 280, 263–266.

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

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

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

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

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

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

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>

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



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

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 ($M_s 7 \frac{1}{2}$). Terra Nova, 4, 472–483.

11. Allegati

Allegato 1 – Sezioni geologiche

Allegato 2 – Dati geotecnici e geofisici

Allegato 3 – Misure di microtremore ambientale

Allegato 4 – Profili topografici Belpasso

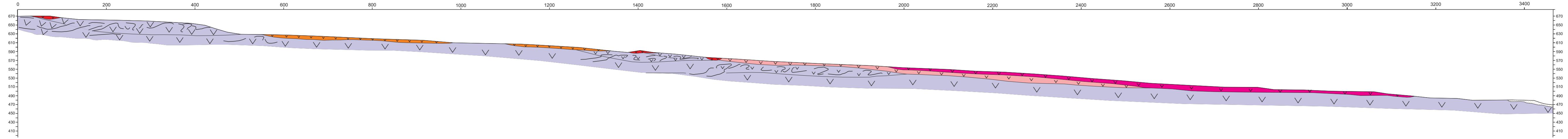
Allegato 5 – Schemi dei rapporti litostratigrafici più significativi

ALLEGATO 1 – SEZIONI GEOLOGICHE

Profilo A - A'

NNE

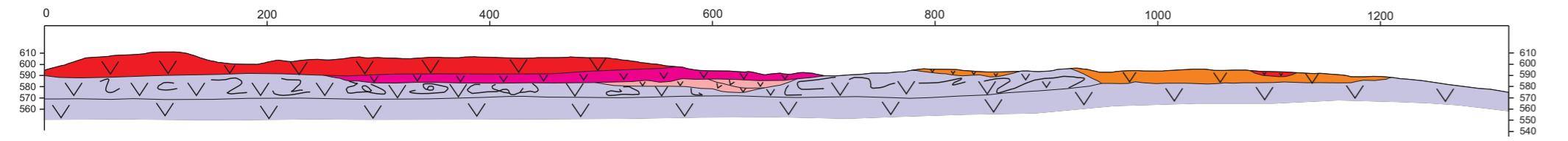
SSO



Profilo B - B'

ONO

ESE



Colate laviche storiche e recenti

Allegato 2: Dati geotecnici e geofisici

ID_INDPU	strato	spessore (m)	spessore in A (m)	spessore in B (m)	velocità (m/sec)	velocità in A (m/sec)	velocità in B (m/sec)
087007L1SR1	1	3,4 - 1,9	3,4	1,9	513	313	714
	2	indef.	indef.	indef.	1228	1207	1250
087007L2SR2	1	4,6 - 7,9	4,6	7,9	416	474	358
	2	indef.	indef.	indef.	1169	1081	1250
087007L3SR3	1	0,7 - 1,0	0,7	1	300	300	300
	2	indef.	indef.	indef.	508	492	526
087007L4SR4	1	4,0 - 7,0	4,0	7,0	295	321	270
	2	indef.	indef.	indef.	678	689	667
087007L5SR5	1	1,3 - 0,9	1,3	0,9	281	312	250
	2	indef.	indef.	indef.	533	543	524
087007L6SR6	1	4,9 - 2,7	4,9	2,7	260	262	258
	2	indef.	indef.	indef.	483	583	417
087007L7SR7	1	2,7 - 1,4	2,7	1,4	304	358	250
	2	indef.	indef.	indef.	513	595	455
087007L8SR8	1	0,3 - 1,7	0,3	1,7	281	313	250
	2	4,2 - 5,10	4,2	5,9	368	370	366
	3	indef.	indef.	indef.	694	676	714
087007L9SR9	1	4,1 - 0,9	4,1	0,9	305	316	294
	2	5,6 - 1,8	5,6	1,8	497	588	435
	3	indef.	indef.	indef.	685	1000	532
087007L10SR10	1	2,8 - 2,2	2,8	2,2	375	357	392
	2	indef.	indef.	indef.	592	592	592
087007L11SR11	1	4,6 - 4,0	4,6	4,0	224	210	238
	2	indef.	indef.	indef.	753	766	741
087007L12SR12	1	1,2 - 2,1	1,2	2,1	294	316	273
	2	indef.	indef.	indef.	563	550	577
087007L13SR13	1	0,9 - 1,1	0,9	1,1	360	387	333
	2	indef.	indef.	indef.	923	917	929
087007L14SR14	1	0,7 - 0,8	0,7	0,8	343	353	333
	2	indef.	indef.	indef.	709	684	737
087007L15SR15	1	6,4 - 5,0	6,4	5,0	334	284	383
	2	indef.	indef.	indef.	1067	885	1351

Tabella 1: Valori di velocità di propagazione delle onde sismiche e degli spessori dei sismostrati riconosciuti in sottosuolo. Dati ottenuti attraverso la campagna di indagini realizzata relativamente allo “Studio Geologico integrativo a supporto del Piano Regolatore Generale”.

strato	litotipo	profondità media (m)	velocità onde P (m/sec)	PV [γ (KN/m ³)]	Coesione c' [C (MPa)]	angolo di attrito interno Φ' [$F1$ (°)]	087007L16MASW16 087007L17SR17
1	terreni di risulta o di alterazione superficiale	0,0 - 2,5	VP < 350	1,70 - 1,80	0,0	30 - 31	360 < Vs30 < 800
2	lave molto fratturate alternate a termini scoriacei	2,5 - 5,0	400 < VP < 650	1,90 - 2,00	0,0	34 - 38	categoria sottosuolo
3	lave compatte e poco fratturate	5,0 - indef.	VP > 900	2,00 - 2,20	0,0	40 - 42	"B"

Tabella 2: Valori di velocità di propagazione delle onde sismiche, dei principali parametri geotecnici e valutazione del parametro Vs30 con relativa individuazione della categoria di sottosuolo. Dati ottenuti attraverso la campagna di indagini realizzate relativamente ai "Lavori di costruzione di loculi nel cimitero comunale".

Allegato 3: Misure di microtremore ambientale

Nell'ambito degli studi per la riduzione del rischio sismico, l'approccio numerico fornisce un ulteriore strumento d'indagine. Per risposta sismica locale (od 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.

La tecnica più utilizzata per stimare la risposta sismica di un sito in termini di frequenza fondamentale e amplificazione, è quella dei rapporti spettrali orizzontali e verticali HVSR di Nakamura (Langston, 1979; Nakamura, 1989). Per lo studio degli effetti di sito si usano i rapporti spettrali H/V tra le componenti orizzontali (N, E) e la componente verticale (Z) di ogni stazione (Nakamura, 1989), questa procedura permette di eliminare gli effetti dovuti alla sorgente. Le principali assunzioni fatte da Nakamura sono che i microtremori derivano da onde Rayleigh e che la componente verticale (V) del noise nel passare dal bedrock alla superficie non subisce amplificazione. Nel dominio delle frequenze, l'amplificazione del suolo dovuta ad una superficie di strato a bassa velocità è data da:

$$H(f) = [h_n(f)^2 + h_u(f)^2]^{1/2}$$

Il segnale sismico di sollecitazione (noise ambientale), è dato da vibrazioni a basso contenuto energetico indotte nel terreno da cause naturali o artificiali.

Lo studio sugli effetti di sito fornisce, in chiave di spettro di risposta locale, il comportamento dei terreni del sito investigato in caso di sisma e, dal confronto con gli spettri di riferimento dell'EC8 (1988), si può verificare quali frequenze vengono notevolmente amplificate per una determinata classe di terreni.

Con l'utilizzo della tecnica di Nakamura, si è in grado di determinare con buona approssimazione la frequenza fondamentale del sito, la quale è un parametro da non sottovalutare per non incorrere in problemi di risonanza con la struttura da edificare.

Come accennato, la tecnica HVSR permette in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste condizioni sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate.

Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione. Tale registrazione deve essere effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti.

Si esegue un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del suddetto progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce.

Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.

Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a tapering e/o lisciamento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee.

Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea.

Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing. Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.

Le registrazioni del Noise ambientale sono state effettuate con un Geofono 3D (N-S, E-W e verticale) della CGE a 2Hz collegato ad un Sismografo DaQlink III della Sesmic Source (Made in USA) con convertitore A/D a 24 bit e range dinamico fino a 144 dB. Il segnale è stato acquisito con un campionamento di 1200 s (20 min), intervallo di 1,00 msec e frequenza di campionamento di 500 hz, ovvero, per un totale di 600.000 campioni. Tutte le misure sono state eseguite mantenendo il primo asse nella direzione N-S per garantire l'omogeneità della "direzionalità" degli input.

L'elaborazione del dato è stata eseguita utilizzando il software EasyHVSR della Geostru, software sviluppato secondo quanto previsto secondo nelle indicazioni del progetto di ricerca europeo SESAME ("Guidelines for the implementation of the H\|V spectral ratio technique on ambient vibrations" - European Commission, 2004).

Operativamente l'elaborazione è stata confinata in un range di frequenze 0.6 - 20 Hz, con un passo di frequenza a 0.15 Hz e con una dimensione temporale finestre di

20.00 s; il segnale sismico è stato filtrato con un lisciamento di tipo “Triangolare proporzionale” con una percentuale di del 10%, mentre la somma direzionale è di tipo media aritmetica.

Nell’area da investigare del comune di Belpasso in vista dello studio di Microzonazione sismica di I Livello, sono state eseguite 16 misure di noise, presentate di seguito nella **Tabella 1**. La maggior parte dei valori della frequenza di picco ricade all’interno di un range molto ristretto, compreso tra 0.8 e ~2 Hz, anche se nella quasi totalità delle indagini sono state osservate ulteriori amplificazioni a più alte frequenze. I valori di amplificazione sono abbastanza contenuti (inferiori o poco superiori a 2). Picchi più elevati si rinvencono laddove sono state osservate più frequenze di amplificazione. In particolare nell’indagine 087011P10, ad una frequenza di 14.45 Hz è stata misurata un $H/V = 15.66$ (Figura 1).

ID_SPU	Nome	UTMx	UTMy	F ₀	H ₀ /V ₀	F ₁	H ₁ /V ₁
087007P1	BLP1	497900	4159113	3,2	2,07	8,3	4,2
087007P2	BLP2	497781	4159573	0,8	1,15	11,3	4,38
087007P3	BLP3	497969	4159953	1,4	1,21	2,9	1,97
087007P4	BLP4	498286	4160041	1,25	1,44	11,45	3,24
087007P5	BLP5	498376	4160542	1,55	1,54	18,65	2,68
087007P6	BLP6	498867	4160948	2,15	2,19		
087007P7	BLP7	498405	4161192	1,7	2,16	26,45	3,95
087007P8	BLP8	498643	4161651	1,25	0,78	14,9	2,02
087007P9	BLP9	498004	4160424	2,15	2,18	10,7	4,82
087007P10	BLP10	497876	4160758	2,3	2,61	14,45	15,66
087007P11	BLP11	498328	4159494	1,10	1,35	3,35	2,35
087007P12	BLP12	497476	4160449	1,4	1,29	4,25	2,8
087007P13	BLP13	498257	4161558	1,1	2,89	4,25	5,06
087007P14	BLP14	498609	4162122	1,25	2,02	9,95	3,59
087007P15	BLP23	500023	4161873	0,8	1,58	8,45	2,93
087007P16	BLP29	500192	4162452	1,2	0,76	7,35	1,27

Tab. 1 – Siti di misura a stazione singola dei microtremori ricadenti nell’area di studio del comune di Belpasso.

Grafico rapporto spettrale H/V

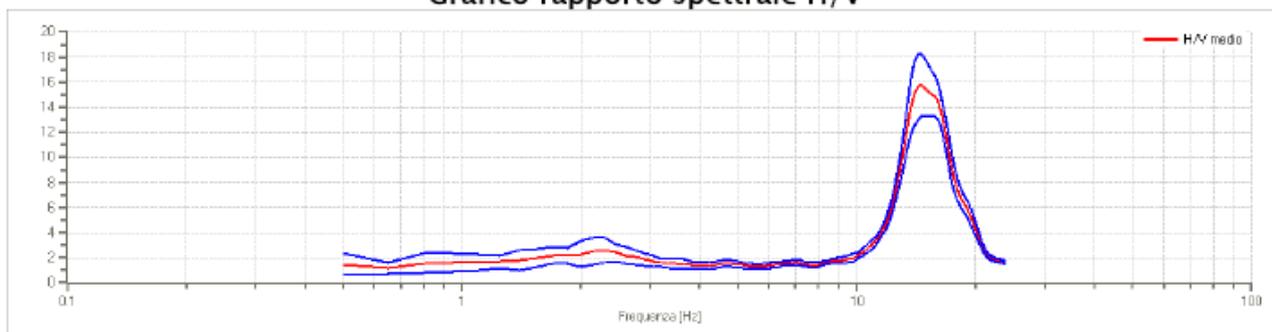
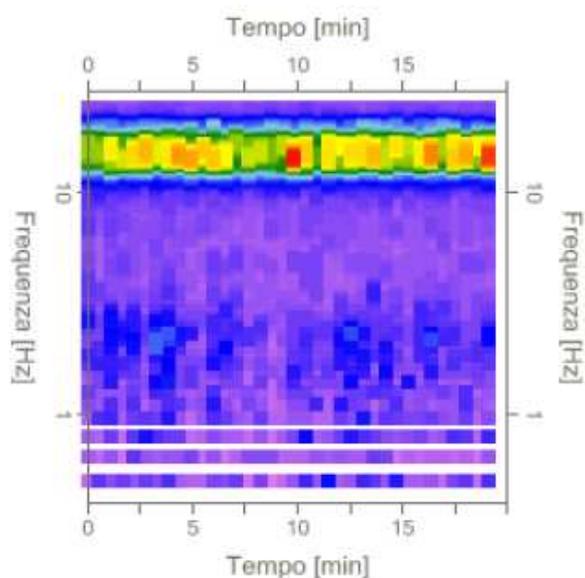


Fig. 1 - Serie Temporale e Rapporto Spettrale H/V relativo all'indagine 087007P10 a Belpasso, per la quale è stata osservata un'amplificazione pari a 15.66.



L'ubicazione dei siti di misura è stata

impiegata per la redazione della carta delle frequenze allegata (Figura 2).



Fig. 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).

Per l'area investigata del territorio del comune di Belpasso, 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). Dunque, tutte le misure eseguite risultano avere un valore d'affidabilità pari ad "1".

Criteri di affidabilità della curva H/V		
Verifica	Limiti o range	Esito
$f_0 > 10/l_w$	6.41 > 0.50	SI
$n_c(f_0) > 200$	10121.9 > 200	SI
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$		SI
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$		SI
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	5.0 Hz	SI
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	7.25 Hz	SI
$A_0 > 2$	6.07 > 2	SI
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	27576 < 0.05	SI
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	1.76657 < 0.32031	SI
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.9346 < 1.58	SI

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w \cdot n_w \cdot f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma < \varepsilon(f_0)$
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 $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
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
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Fig. 3 – Tabelle dei criteri di affidabilità della curva H/V relativi all'indagine 087007P10 di Belpasso i cui requisiti vengono tutti soddisfatti.

Bibliografia

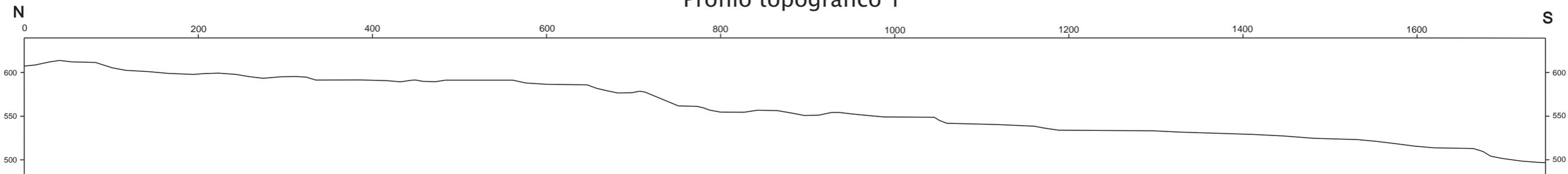
Langston C. A.; 1979 – Structure under Mount Rainier, Washington, inferred from teleseismic body waves. *J. Geophys. Res.*, 84, 4749–4762.

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.

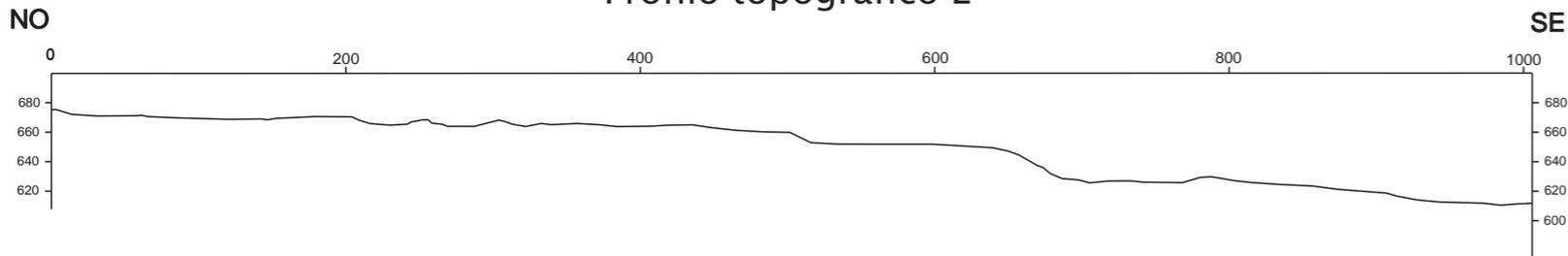
SESAME Working Group (2004) – Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation. <http://sesamefp5.obs.ujf-grenoble.fr/index.htm>.

Allegato 4 – Profili topografici Belpasso

Profilo topografico 1



Profilo topografico 2



Allegato 5 – Schemi dei rapporti litostratigrafici più significativi

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

