

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

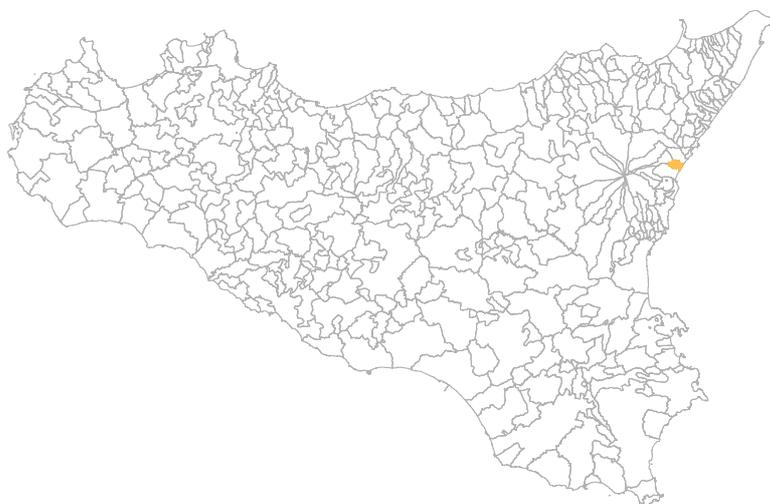
MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione Illustrativa

MS Livello 1

Regione Sicilia

Comune di Fiumefreddo di Sicilia



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: Aprile 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	19
4. Dati geotecnici e geofisici	47
5. Modello del sottosuolo	52
6. Interpretazioni e incertezze	54
7. Metodologie di elaborazione e risultati	58
8. Elaborati cartografici	69
9. Confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati	74
10. Bibliografia	75
11. Allegati	81



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 Fiumefreddo di Sicilia (codice istat 087016), in Provincia di Catania, oggetto della presente relazione, sono stati eseguiti nell'ambito della Convenzione del 20/12/2011 tra Università di Catania e Dipartimento Regionale di Protezione Civile della Regione Sicilia, che ha previsto l'avvio delle indagini per i comuni siciliani soggetti a più elevata pericolosità sismica. L'attività di microzonazione è stata eseguita seguendo le indicazioni contenute negli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" (Gruppo di lavoro MS, 2008) e tenendo conto anche dei suggerimenti contenuti nel supplemento a "Ingegneria Sismica" (anno XXVIII, n.2, 2011) a cura di Dolce et alii.

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

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



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

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

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

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

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

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

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

Gli studi condotti nel territorio di Fiumefreddo di Sicilia si riferiscono al primo livello di approfondimento e sono consistiti nella raccolta dei dati esistenti e nella redazione di una serie di elaborati cartografici (Carta delle indagini, la Carta geologico tecnica per la MS e la Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica) richiesti dagli “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica” (Gruppo di lavoro MS, 2008) e nella compilazione di un database, risultato di una profonda e dettagliata elaborazione delle informazioni esistenti. Il territorio del Comune di Fiumefreddo di Sicilia si sviluppa lungo il basso versante nord-orientale del Monte Etna in Sicilia orientale con un estensione areale di circa 11,9 km². In accordo con il Dipartimento Regionale della Protezione Civile, si è stabilito di estendere gli studi di microzonazione sismica di I livello all’intero dell’area segnalata dall’amministrazione comunale con nota prot. N 44445 del 31/10/2011 che comprende il centro urbano principale e le zone residenziali periferiche, con un estensione areale di circa 4,7 km², come da verbale della riunione tecnica del 24/04/2012 tra l’Università di Catania e il Dipartimento di Protezione Civile. Lo studio di MS di livello 1 è stato effettuato utilizzando come base cartografica la Carta Tecnica Regionale alla scala 1:10.000, realizzata dalla Regione Sicilia nel 2008. In particolare l’area di studio ricade all’interno delle Sezioni CTR 613150 e 625030 (Fig. 1).

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

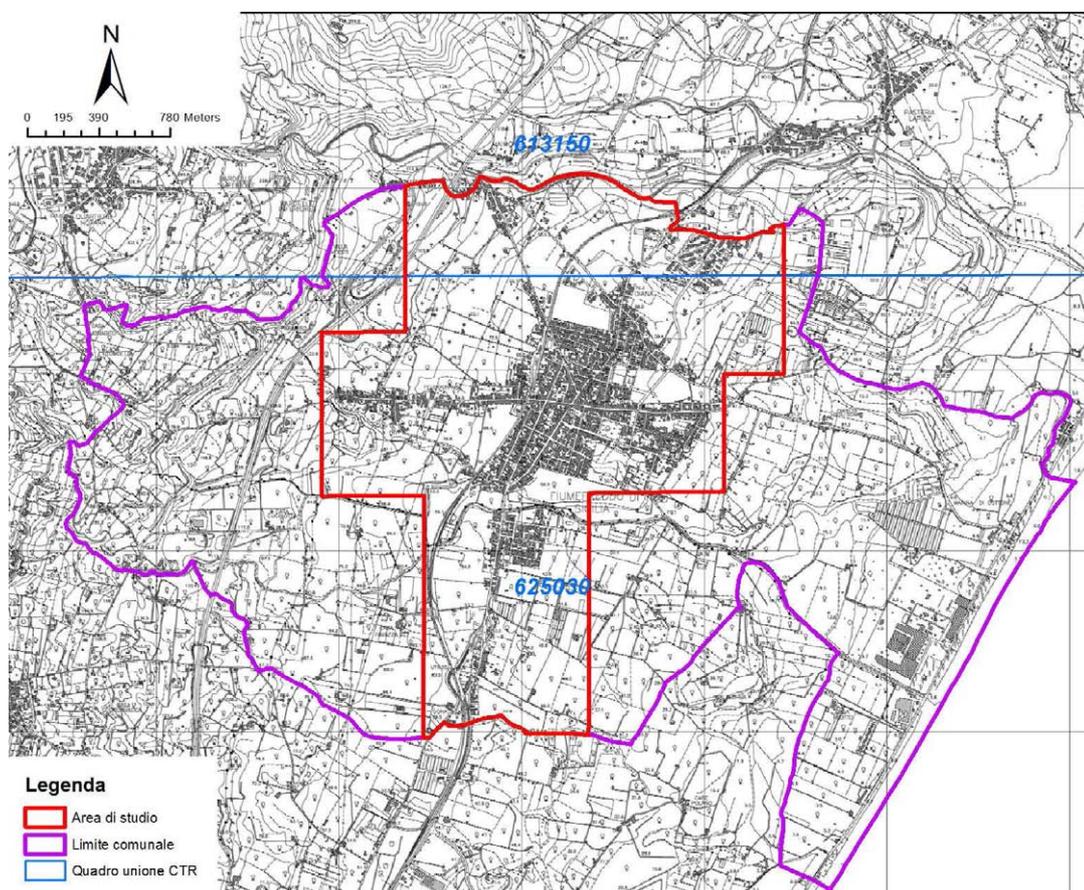


Fig. 1 – Ubicazione dell'area in cui sono stati effettuati gli studi di MS di livello 1 (delimitata in rosso), rispetto al territorio comunale (delimitato in blu) di Fiumefreddo di Sicilia, all'interno delle Sezioni CTR 613150 e 625030.

La qualità e l'affidabilità dei risultati sono state chiaramente influenzate dalla disponibilità di dati significativi sui quali operare. Nel caso specifico, per il Comune di Fiumefreddo di Sicilia è stato possibile attingere ad una buona quantità d'informazioni pregresse distribuite abbastanza omogeneamente nell'area di studio o nelle sue immediate vicinanze, ad eccezione del settore nord-orientale. I dati raccolti hanno, dunque, permesso di vincolare la successione stratigrafica dell'area e consentito una

sufficiente ricostruzione 3D delle successioni. E' ovvio che livelli di indeterminazione permangono per quanto attiene lo spessore dei terreni di copertura e la reale profondità del substrato rigido nelle aree prive di dati di sottosuolo diretto. In questo caso si è fatto riferimento a proiezioni dei dati disponibili in aree limitrofe, sulla base di una scrupolosa interpretazione delle evidenze di superficie, nella previsione di infittire le indagini nei successivi stadi di approfondimento.

I dati messi a disposizione dall'amministrazione comunale di Fiumefreddo di Sicilia, relativi ad indagini effettuate per lo studio geologico a supporto del Piano Regolatore Generale (P.R.G.) realizzato nel 2006, sono sintetizzati in diversi elaborati di seguito elencati:

Elaborati dello studio geologico a supporto del P.R.G.

- Relazione generale ed illustrativa – Studio geologico a supporto del Piano regolatore Generale di Fiumefreddo di Sicilia (CT)
- Allegato 1 – Carta geologica in scala 1:10.000
- Allegato 2 – Carta geomorfologica in scala 1:10.000
- Allegato 3 – Carta idrogeologica in scala 1:10.000
- Allegato 4 – Carta della pericolosità geologica in scala 1:10.000
- Allegato 5 – Indagini geognostiche – Trincea esplorativa – Schema stratigrafico in scala 1:100
- Allegato 6 – Carta geologica di dettaglio in scala 1:2.000 – Tavole da 1 a 11
- Allegato 7 – Carta geomorfologica di dettaglio in scala 1:2.000 – Tavole da 1 a 11
- Allegato 8 – Carta litotecnica in scala 1:2.000 – Tavole da 1 a 11
- Allegato 9 – Carta delle zone a maggior pericolosità sismica locale in scala 1:2.000 – Tavole da 1 a 11



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

- Allegato 10 - Carta della pericolosità geologica di dettaglio in scala 1:2.000 - Tavole da 1 a 11

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

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

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

Nel presente documento viene definita la pericolosità sismica del Comune di Fiumefreddo di Sicilia 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 Fiumefreddo di Sicilia (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 Fiumefreddo di Sicilia 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 di Catania del 20

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

Febbraio 1818. Questo sisma costituisce quindi un importante episodio nella storia del popolamento e dell'urbanistica siciliana, nonché un evento di grande interesse per la storiografia e per la sismologia. In Figura 2 si riportano i valori dell'intensità macrosismica dell'evento; il Comune di Fiumefreddo di Sicilia viene catalogato con intensità VIII MCS (Barbano, 1985). La figura 3 riporta il risultato della ricerca sul database DBMI11, che individua 30 eventi significativi per il territorio di Fiumefreddo di Sicilia, a partire dall'evento del 1818. La figura 4 riporta il conseguente grafico relativo alla sismicità storica del comune di Fiumefreddo di Sicilia.

Locality	MCS	Locality	MCS
Aci Bonaccorsi	IX	Mascalucia	IX
Aci Castello	VI	Messina	IV
Acicatena	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	NF	Zafferana Etnea	VII
Mascali	VI		

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

Effetti	In occasione del terremoto del:					
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io	Mw	
8	1818 02 20 18:15	Catanese	128	9-10	6.23	±0.12
4	1911 10 15 08:52	FONDO MACCHIA	48	8-9	4.84	±0.26
NF	1947 05 11 06:3	Calabria centrale	254	8	5.70	±0.13
NF	1950 04 08 08:47	CODAVOLPE	10	7-8	4.39	±0.26
5	1952 03 19 08:13	LINERA	105	7-8	4.39	±0.26
2-3	1957 03 03 09:27	ZAFFERANA ETNEA	18	6	3.71	±0.26
4	1959 12 23 09:29	PIANA DI CATANIA	108	6-7	5.29	±0.20
3	1975 01 16 00:0	Stretto di Messina	346	7-8	5.20	±0.09
NF	1980 01 23 21:2	MODICA	122	5-6	4.58	±0.14
NF	1982 07 06 14:37	C.DA ALGERAZZI	150	6-7	3.94	±0.26
2-3	1983 07 20 22:03	VIAGRANDE	106	7	4.16	±0.26
NF	1985 06 13 21:1	ADRANO	57	5-6	4.51	±0.34
3-4	1986 11 03 06:32	C.DA ALGERAZZI	86	6	3.71	±0.26
3	1988 04 01 23:43	VERSANTE ORIENTALE	30	6	3.71	±0.26
NF	1988 10 28 18:48	PIANO PERNICANA	66	6	3.71	±0.26
3	1989 07 27 15:08	CASELLE	55	5-6	3.49	±0.26
4-5	1990 12 13 00:2	Sicilia sud-orientale	304	7	5.64	±0.09
NF	1996 12 02 13:01	C.DA LUMINARIA	42	6	3.71	±0.26
3	1998 01 10 08:45	VERSANTE SUD-OCCIDENTALE	44	6	3.71	±0.26
3-4	1999 02 14 11:4	Patti	101		4.69	±0.09
NF	2000 01 11 08:20	SANT'ALFIO	39	5-6	3.49	±0.26
4	2001 01 09 02:51	ZAFFERANA ETNEA	104	6	3.71	±0.26
4	2001 04 22 13:56	VERSANTE OCCIDENTALE	55	5-6	3.49	±0.26
NF	2001 10 28 09:03	S. M. AMMALATI	67	6	3.71	±0.26
NF	2002 03 24 23:05	VERSANTE ORIENTALE	40	5-6	3.49	±0.26
NF	2002 09 22 16:01	PIANO PROVENZANA	35	6	3.71	±0.26
3-4	2002 11 24 06:59	VERSANTE ORIENTALE	15	5-6	3.49	±0.26
NF	2002 12 02 12:28	MACCHIA	30	6	3.71	±0.26
NF	2003 06 01 10:32	PIANO PERNICANA	17	6-7	3.94	±0.26
NF	2004 07 22 02:11	VERSANTE ORIENTALE	34	6	3.71	±0.26

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

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

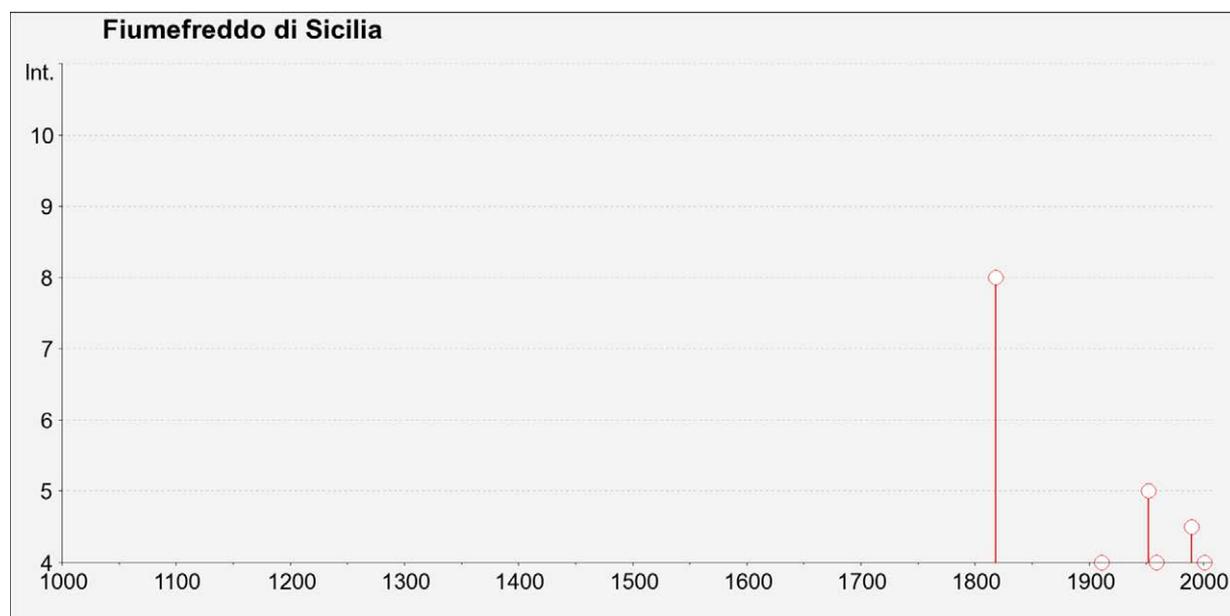


Fig. 4 – Grafico relativo alla sismicità storica del comune di Fiumefreddo di Sicilia.

Catalogazione del Comune di Fiumefreddo di Sicilia sulla mappa interattiva di pericolosità sismica

Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ha stabilito, approvato ed emesso in data 27/07/2007 il documento “pericolosità sismica e criteri per la classificazione sismica del territorio nazionale” con il quale è stata ridefinita la mappatura sismica. La nuova mappatura sismica nazionale consiste in un dettagliato reticolo di riferimento individuato su maglia quadrata di lato 10 km; per ogni punto del reticolo si conoscono le accelerazioni massime attese al bedrock per diversi periodi di ritorno dell’evento sismico. La mappa interattiva di pericolosità sismica (Meletti et al., 2007) su reticolo è attualmente disponibile su <http://esse1.mi.ingv.it>; è altresì disponibile in allegato alle nuove norme tecniche per le costruzioni (D.M. 14/01/2008) la tabella di riferimento che riporta puntualmente i parametri sismici di progetto al variare del periodo di ritorno dell’evento

sismico di progetto. Le mappe riportano due parametri dello scuotimento: $a(g)$ (accelerazione orizzontale massima del suolo, corrispondente a quella che in ambito internazionale viene chiamata PGA) e $Se(T)$ (Spettro di risposta Elastico in funzione del periodo T , in accelerazione). Le mappe in $a(g)$ sono state calcolate per differenti probabilità di superamento in 50 anni (in totale 9, dal 2% all'81%). Per ogni stima è disponibile la distribuzione del 50mo percentile (mappa mediana, che è la mappa di riferimento per ogni probabilità di superamento) e la distribuzione del 16mo e dell'84mo percentile che indicano la variabilità delle stime. Le mappe in $Se(T)$ sono state pure calcolate per le stesse probabilità di superamento in 50 anni (in totale 9, dal 2% all'81%) e per differenti periodi (in totale 10, da 0.1 a 2 secondi). Anche in questo caso per ogni stima è disponibile la distribuzione del 50mo percentile (mappa mediana, che è la mappa di riferimento per ogni probabilità di superamento) e la distribuzione del 16mo e dell'84mo percentile che indicano la variabilità delle stime.

L'area di studio del Comune di Fiumefreddo di Sicilia è univocamente individuata dalle coordinate geografiche internazionali:

LATITUDINE : 37.790

LONGITUDINE : 15.209

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

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 e 2500 anni). Si riportano nelle Figure 6–8 rispettivamente le mappe interattive di pericolosità sismica del territorio di Fiumefreddo di Sicilia 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 d'eccedenza in 50 anni del valore di PGA riportato sulle mappe interattive di pericolosità sismica, il corrispondente periodo di ritorno e la corrispondente frequenza annuale di superamento.

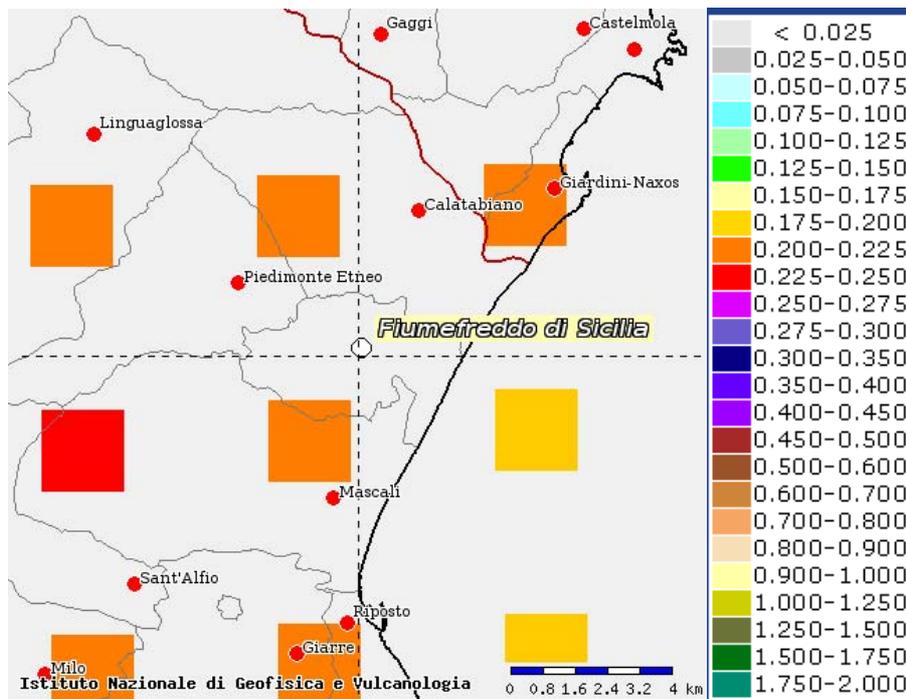


Fig. 6 – Mappa interattiva di pericolosità sismica del territorio di Fiumefreddo di Sicilia. I punti della griglia visualizzati si riferiscono a: parametro dello scuotimento $a(g)$, probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

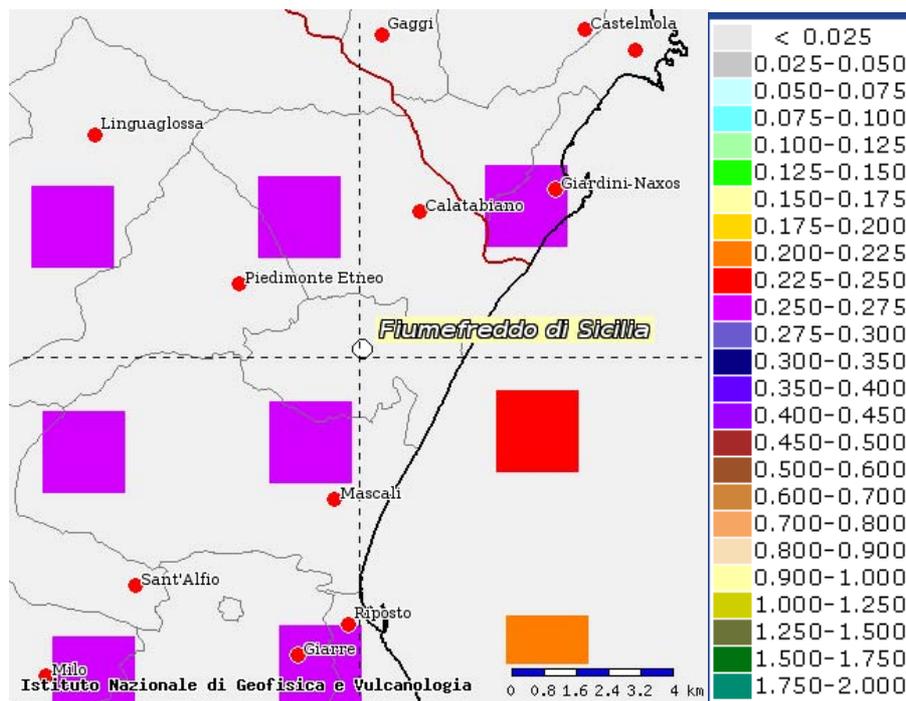


Fig. 7 – Mappa interattiva di pericolosità sismica del territorio di Fiumefreddo di Sicilia. I punti della griglia visualizzati si riferiscono a: parametro dello scuotimento $a(g)$, probabilità di superamento del 5% in 50 anni.

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

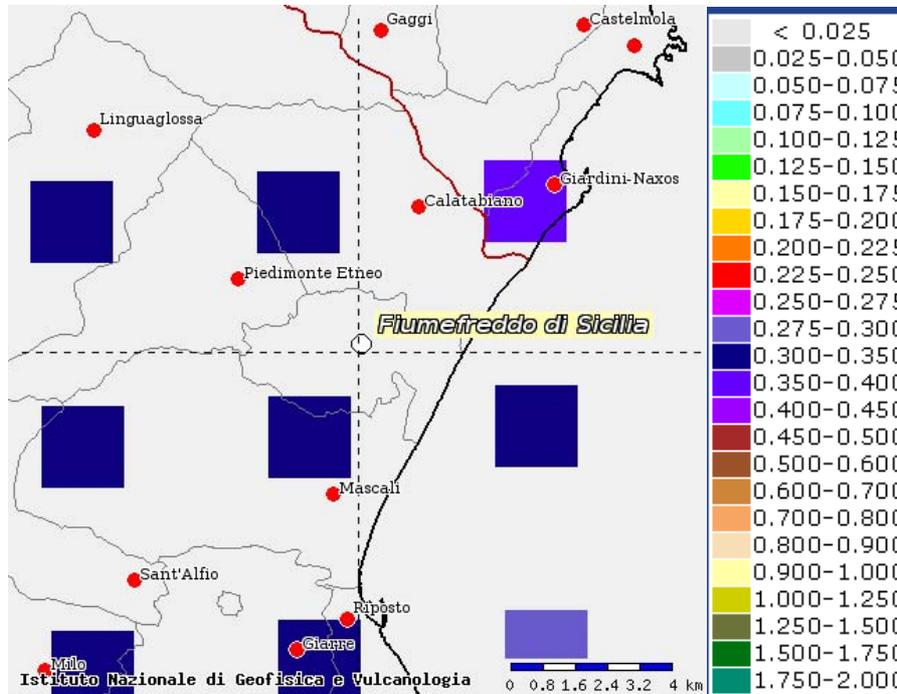


Fig. 8 – Mappa interattiva di pericolosità sismica del territorio di Fiumefreddo di Sicilia. I punti della griglia visualizzati si riferiscono a: parametro dello scuotimento $a(g)$, probabilità di superamento del 2% in 50 anni.

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

T_R [anni]	a_g [g/10]
475	0.200–0.225
975	0.250–0.275
2475	0.300–0.350

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

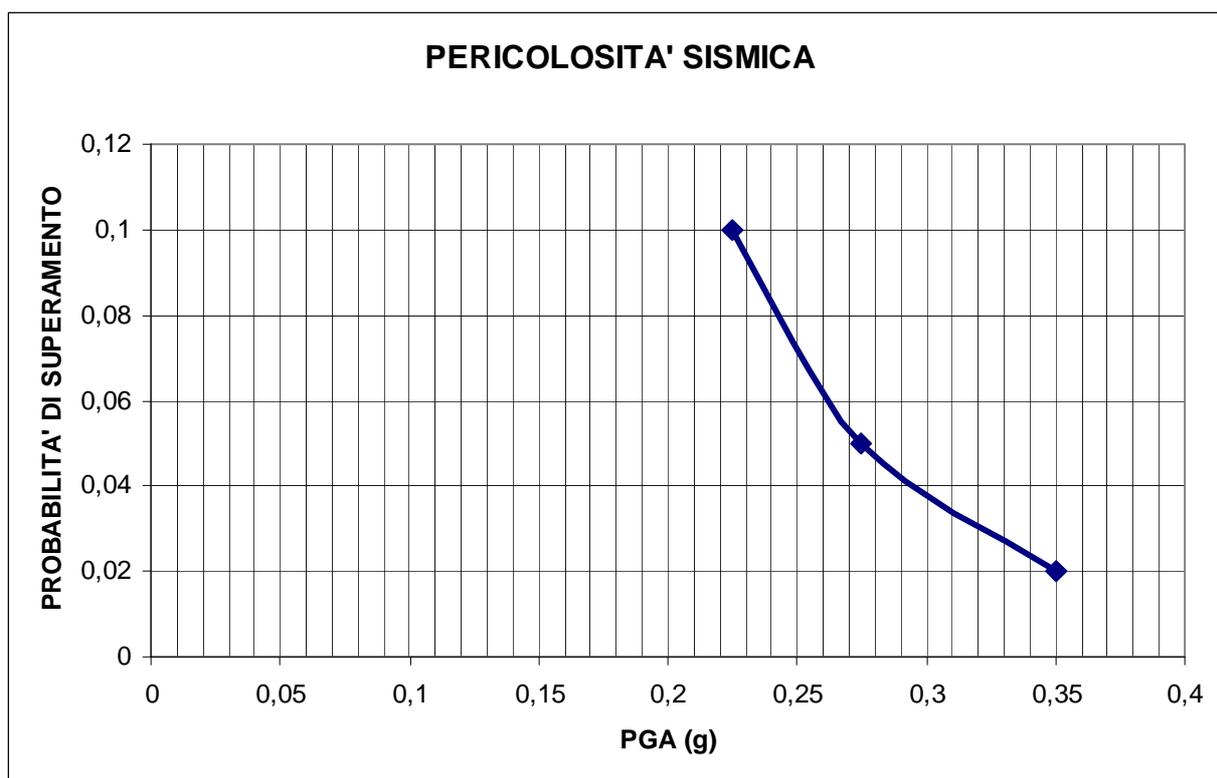


Fig. 9 – Curva di pericolosità sismica al sito per il territorio di Fiumefreddo di Sicilia. La curva rappresenta il valore della mediana.

Il territorio del Comune di Fiumefreddo di Sicilia è stato individuato sul database DBMI11 (con 69 eventi sismici significativi tra il 1818 ed il 2006) con una intensità macrosismica espressa nella scala MCS che raggiunge il suo valore massimo in MCS = VIII in corrispondenza del terremoto di Catania del 1818. La localizzazione territoriale sulle mappe interattive di pericolosità sismica ha consentito di ricavare i valori di ag su suolo rigido (categoria A; $V_{s30} > 800$ m/sec) con probabilità di superamento in 50 anni pari a: 0.200–0.225 per il 10%, 0.250–0.275 per il 5% e 0.300–0.350 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 Fiumefreddo di Sicilia.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

3. Assetto geologico e geomorfologico dell'area

Il territorio di Fiumefreddo di Sicilia è collocato alla base del versante nord-orientale dell'Etna. La parte meridionale del centro abitato è situata su un vasto ripiano orografico che, degradando verso est da una quota di circa 80 m fino a circa 40 m s.l.m., è formato da un vasto espandimento di lave, quasi interamente ricoperto da alluvioni depositate al tetto delle colate. Tutta la cartografia geologica ufficiale (AA.VV., 1979; AA.VV., 2009; AA.VV., 2010; Branca et al., 2012), in accordo con gli studi per la realizzazione del PRG, evidenzia che il bordo esterno del ripiano orografico, corrispondente alla falesia che delimita la piana costiera al di fuori dell'area analizzata, costituisce il limite estremo della copertura lavica etnea. Questa, ridotta a poche decine di metri, poggia su argille infra-mediopleistoceniche del substrato, esposte alla base della falesia.

L'area sub-pianeggiante dove ha sede il centro storico è delimitata verso nord dalla dorsale di Serra S. Biagio, che costituisce un alto morfologico, dove è ampiamente esposto il substrato sedimentario, costituito prevalentemente da depositi calcarenitici (Di Stefano & Branca, 2002), direttamente ricoperto da depositi fluvio-costieri terrazzati del Pleistocene superiore (Catalano & De Guidi, 2003). Questi costituiscono 4 distinti ordini di terrazzo: al tetto della dorsale è presente una superficie sommitale policiclica, attribuita agli stadi 5.5 (125 ka) e 5.3 (100 ka) del Tirreniano, mentre lungo il versante costiero si riconoscono tre superfici di abrasione marina, delimitate da bordi interni dislocati alla quota di 55, 25 e 16 m s.l.m., rispettivamente (Catalano & De Guidi, 2003). Tutto il territorio comunale di Fiumefreddo di Sicilia si trova nel letto ribassato di una faglia normale ad orientazione NE-SW, ubicata lungo il confine nord-occidentale del territorio comunale, conosciuta in letteratura come Faglia di Piedimonte (Monaco et al., 1997;

Azzaro et al., 2012). Nel lato rialzato della faglia, la linea di costa di età tirreniana (125 ka), correlabile con i depositi terrazzati alla sommità della Serra San Biagio, è stata riscontrata ad una quota di circa 250 m s.l.m., con un rigetto verticale cumulativo valutabile intorno ai 140 m, negli ultimi 125 ka. Al letto della faglia, la dorsale di Serra San Biagio ha rappresentato, nel corso dell'evoluzione morfologica dell'area, una barriera per i flussi lavici provenienti dal versante nord-orientale dell'Etna che, mantellando la scarpata della Faglia di Piedimonte, si sono incanalati a sud della dorsale, dove hanno nascosto la paleomorfologia modellata sul substrato sedimentario. L'età delle lave risulta pertanto un elemento dirimente per quanto riguarda l'articolazione della morfologia sub vulcanica, in quanto fissa il momento in cui le forme sono state "congelate" in un contesto complessivo di dinamica morfologica controllata dalla interazione tra sollevamento tettonico dell'area, a tassi di circa 0.8 mm/a), e le variazioni climatiche tardo-quaternarie, che hanno scandito i periodi di re incisione attiva dei corsi d'acqua. La datazione delle lave ha inoltre conseguenze sulla valutazione dei tassi di movimento lungo le linee di faglia recenti ed attive segnalate nell'area, per la quale esistono differenti e a volte contrastanti ricostruzioni da parte dei diversi autori. Seppure con geometrie e sviluppo differenti, la faglia conosciuta nella letteratura geologica come Faglia di Fiumefreddo (Azzaro et al., 2012) è l'unica struttura attiva e capace riportata in tutti gli elaborati cartografici consultati. La faglia, attraversando in direzione circa E-W l'abitato, è marcata da un'evidente scarpata che separa il ripiano su cui è fondato il centro urbano dalle zone meridionali ribassate. Interpretazioni contrastanti, invece, riguardano la natura del versante meridionale di Serra S. Biagio, alla base del quale, alcuni autori ipotizzano la presenza di una faglia che ribassa il settore meridionale, dove ha sede l'abitato di Fiumefreddo di Sicilia.

Nella "Carta geologica del Monte Etna" alla scala 1:50000 (AA.VV., 1979; Fig. 10), le lave affioranti nel territorio di Fiumefreddo di Sicilia sono state assegnate ai prodotti del Vulcano Ellittico (ve in Fig. 10), correlato successivamente ai primi stadi (35-15 ka) dello stratovulcano Mongibello (Mongibello Antico di Gillot et al., 1994). Tale attribuzione

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 vincola l'età della morfologia sub-vulcanica alle fasi di modellamento dello stadio isotopico 3, le cui forme costiere sono attualmente terrazzate ad una quota di circa 20 m s.l.m. (Catalano & De Guidi, 2003). L'età delle lave risulterebbe compatibile con la quota minima del contatto delle lave sub-aeree sul substrato argilloso (Qa in Fig. 10), che si trova sospeso verso mare ad una quota confrontabile con quella della paleo linea di costa. La carta evidenzia inoltre che la dorsale di Serra San Biagio è costituita da una successione sabbioso-arenaceo-conglomeratica (Qs in Fig. 10) posta al tetto delle argille, con geometrie del contatto che suggeriscono rapporti di eteropia tra le due facies.

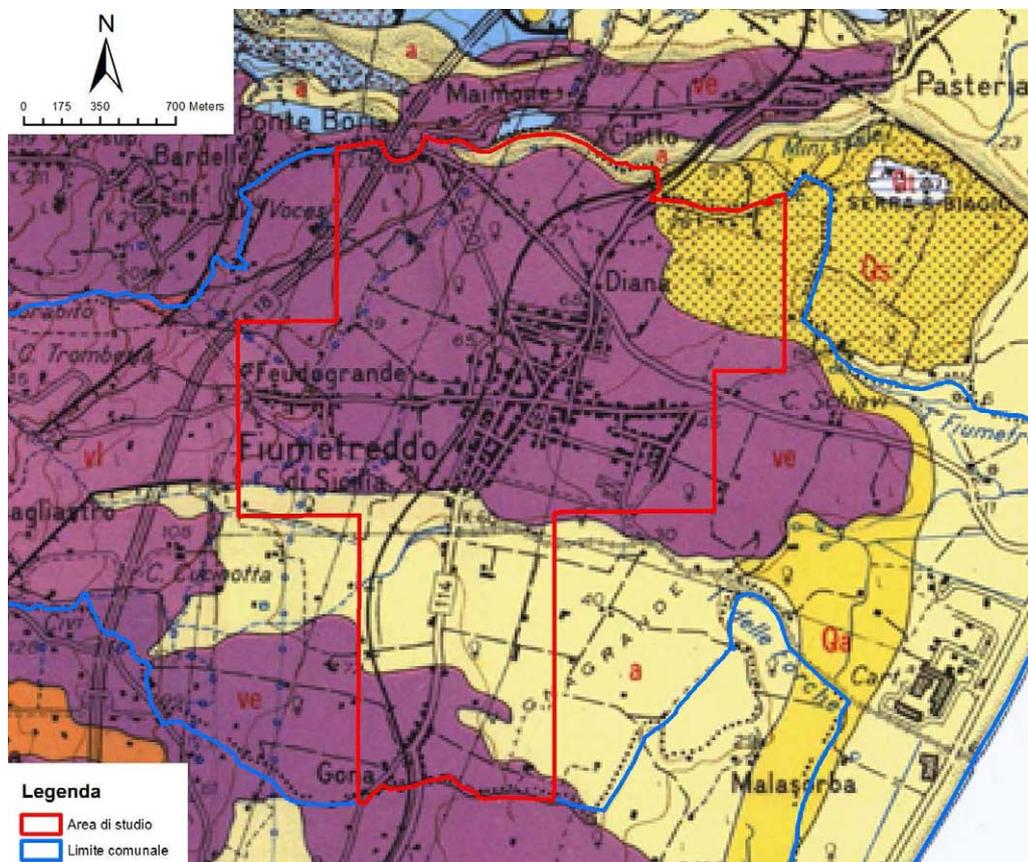


Fig. 10 - Stralcio della Carta geologica del Monte Etna (AA.VV., 1979 mod).

Nella carta geologica è inoltre evidenziata la geometria della Faglia di Fiumefreddo che, sviluppandosi al tipo settentrionale di un segmento orientato NE-SW, sarebbe distinguibile in superficie solo nel settore occidentale del territorio comunale, mentre verso est risulta mascherata da un contatto di alluvioni recenti contro le lave.

Immediatamente a nord-ovest dell'area oggetto di microzonazione, la carta evidenzia inoltre la presenza della Faglia di Piedimonte che secondo Monaco et al (1997)(Fig. 11) sarebbe caratterizzata da tassi di movimento di circa 1.7 mm/a e apparterebbe al fascio di faglie sismogenico del basso versante orientale etneo. Dallo stesso fascio di faglie si dipartirebbe anche la Faglia di Fiumefreddo, come splay di un segmento secondario parallelo alla Faglia di Piedimonte.

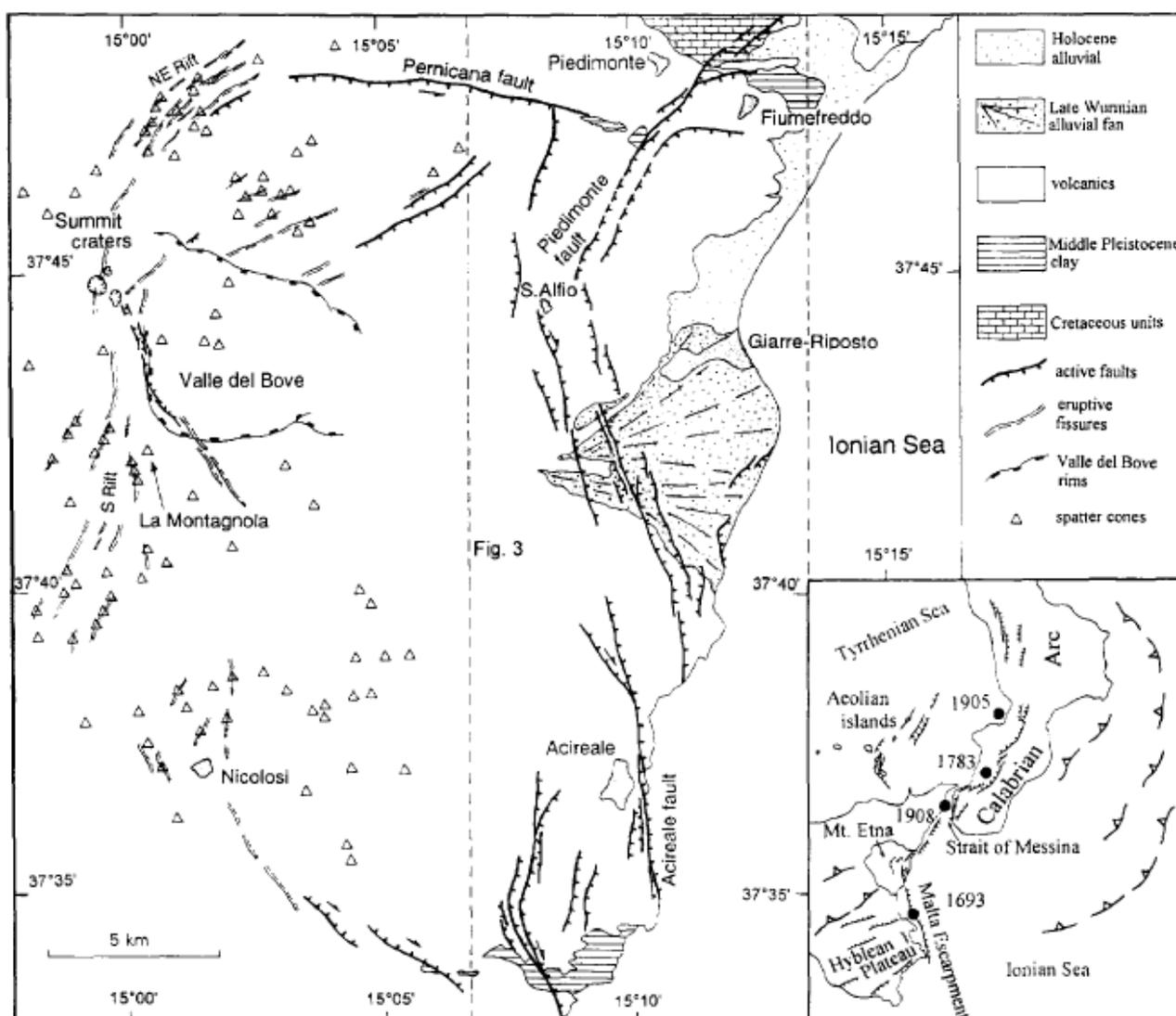


Fig. 11 - Schema strutturale delle faglie attive dell'Etna (da Fig. 1 di Monaco et al., 1997).



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

Secondo Azzaro (1999) (Fig. 12), nel territorio comunale di Fiumefreddo di Sicilia vi sarebbe anche un segmento di faglia attivo localizzato alla base del versante meridionale di Serra San Biagio, classificata successivamente come Faglia di Serra San Biagio nel database Ithaca (ITaly HAZard from CApable faults).

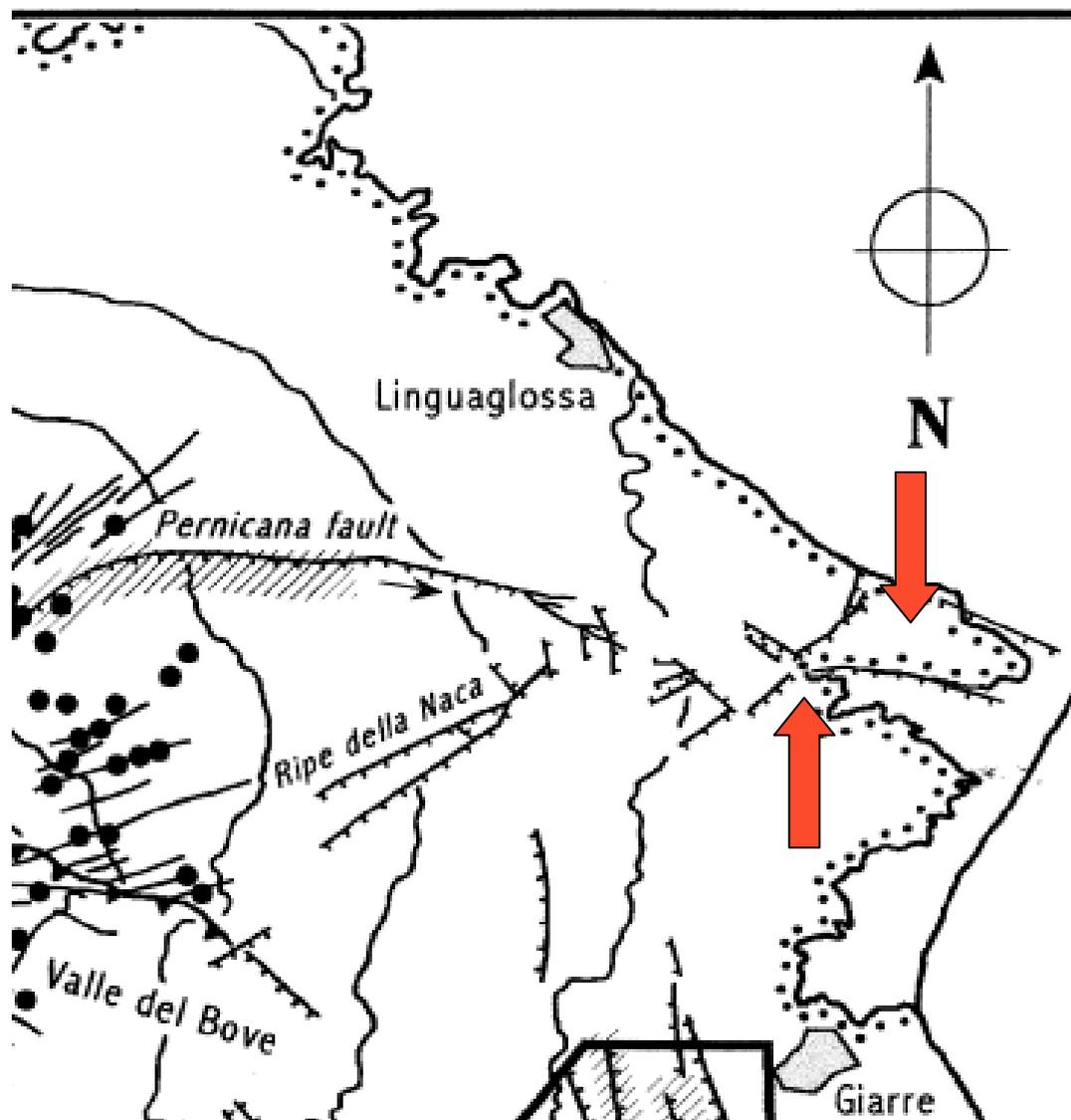


Fig. 12 - Stralcio della Carta Morfostrutturale dell'Etna (da Fig. 1 di Azzaro, 1999). Le frecce rosse indicano la Faglia di Fiumefreddo (a sud) e la Faglia di Serra San Biagio (a nord).

In Branca & Catalano (2000), il versante meridionale di Serra San Biagio che delimita il basso morfologico dove ha sede il centro abitato di Fiumefreddo di Sicilia (Fig. 13) sarebbe il prodotto dell'erosione differenziale tra il substrato argilloso e il substrato sabbioso-arenaceo-conglomeratico, soggetti a differenti entità dell'arretramento delle paleolinee di costa che hanno delimitato i diversi terrazzi marini, sviluppatisi lungo la costa ionica.

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

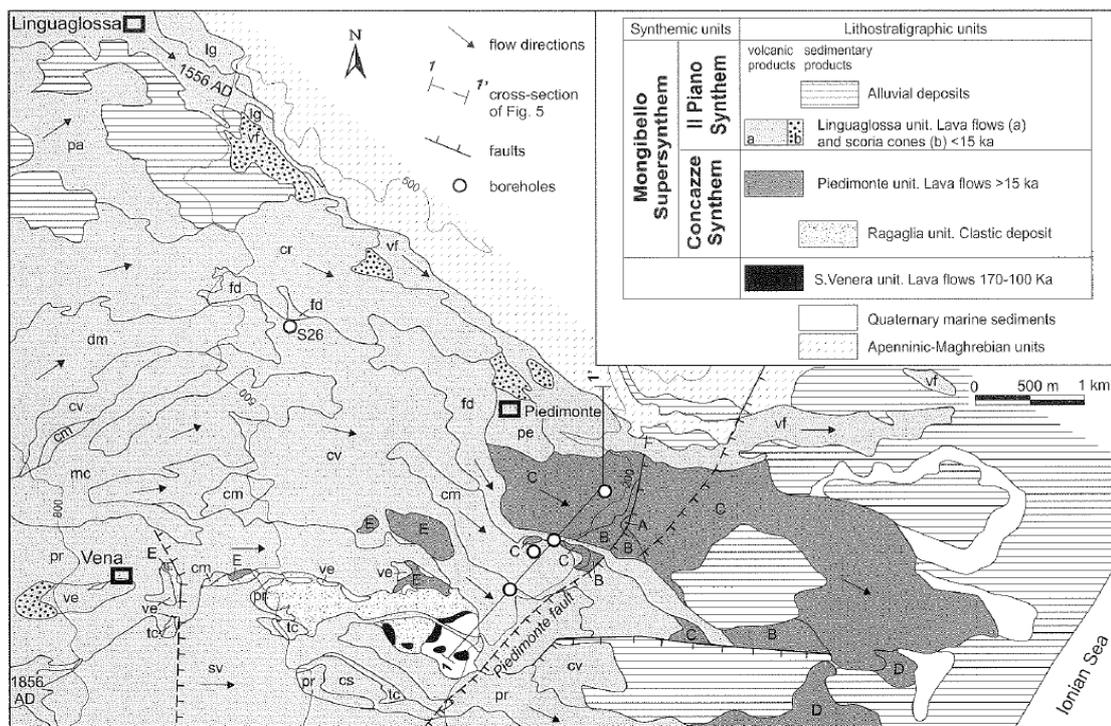


Fig. 13 – Schema geologico del basso versante nord-orientale del Monte Etna (da Fig. 3 di Branca & Catalano, 2000).

Secondo questa interpretazione, le lave presenti nel sottosuolo dell'abitato di Fiumefreddo di Sicilia si sarebbero prevalentemente distribuite su superfici di erosione sub-pianeggianti, delimitate a nord dalla dorsale di Serra San Biagio, poste allo sbocco di un'ampia valle, oggi interamente riempita da lave, presente nel sottosuolo del territorio di Piedimonte Etneo. La valle sepolta costituisce una delle principali linee di drenaggio sotterraneo delle acque provenienti dal versante nord-orientale dell'Etna che hanno il loro naturale deflusso all'interno delle lave che costituiscono il sottosuolo di Fiumefreddo di Sicilia. Questa interpretazione è confortata dalla presenza di numerose sorgenti poste lungo il contatto lave-substrato che borda l'attuale piana costiera, dalle quali si originano brevi corsi fluviali, il maggiore dei quali è il Torrente Fiumefreddo.

La sezione trasversale della paleovalle sepolta è parzialmente esposta in superficie, immediatamente a monte dell'abitato di Fiumefreddo di Sicilia, lungo la scarpata della Faglia di Piedimonte ed è stata ricostruita in dettaglio con l'ausilio di dati di sottosuolo, lungo un profilo attraverso il letto della Faglia di Piedimonte, circa parallelo alla direzione della struttura (Fig. 14).

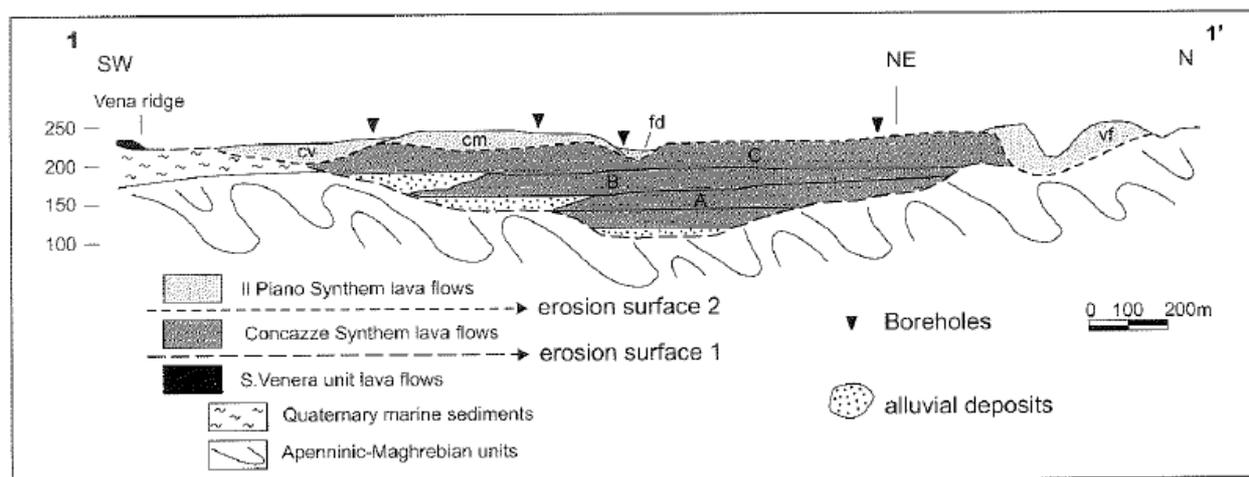


Fig. 14 – Profilo geologico al letto della Faglia di Piedimonte (traccia 1-1' in carta di Fig. 13), nel basso versante nord-orientale del Monte Etna (da Fig. 5 di Branca & Catalano, 2000).

Il profilo evidenzia numerose informazioni che possono essere utili alla ricostruzione del substrato nelle aree ribassate di Fiumefreddo di Sicilia. La paleovalle si è approfondita all'interno del substrato sedimentario, costituito da unità alloctone caotiche, sulle quali poggiano un centinaio di metri di argille pleistoceniche e le lave etnee di età pre-tirreniana (Unità di Santa Venera in Fig. 14; Centri Alcalini Antichi di Gillot et al., 1994), oggi conservate alla sommità del fianco meridionale della valle. La valle è in gran parte riempita da lave attribuibili al Sintema Concazze (<40 ka; Calvari et al., 1994), assimilabile al Vulcano Ellittico o Mongibello Antico (AA.VV., 1979; Gillot et al., 1994). Ciò comporta che la valle si è formata nelle fasi di reincisione fluviale relativi agli stadi isotopici 5 (125–80 ka) e 3 (60–40 ka), prima di essere sepolta dalle lave. Il profilo, inoltre, evidenzia la presenza di una chiara superficie di erosione che separa i prodotti recenti e olocenici (Lave del Sintema il Piano in Fig. 14) dal resto della copertura lavica e dal substrato sedimentario, a testimonianza di una fase di reincisione fluviale, coeva

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 dell'ultima deglaciazione, che ha generato valli che hanno canalizzato le lave recenti che hanno raggiunto anche le porzioni più occidentali del territorio comunale.

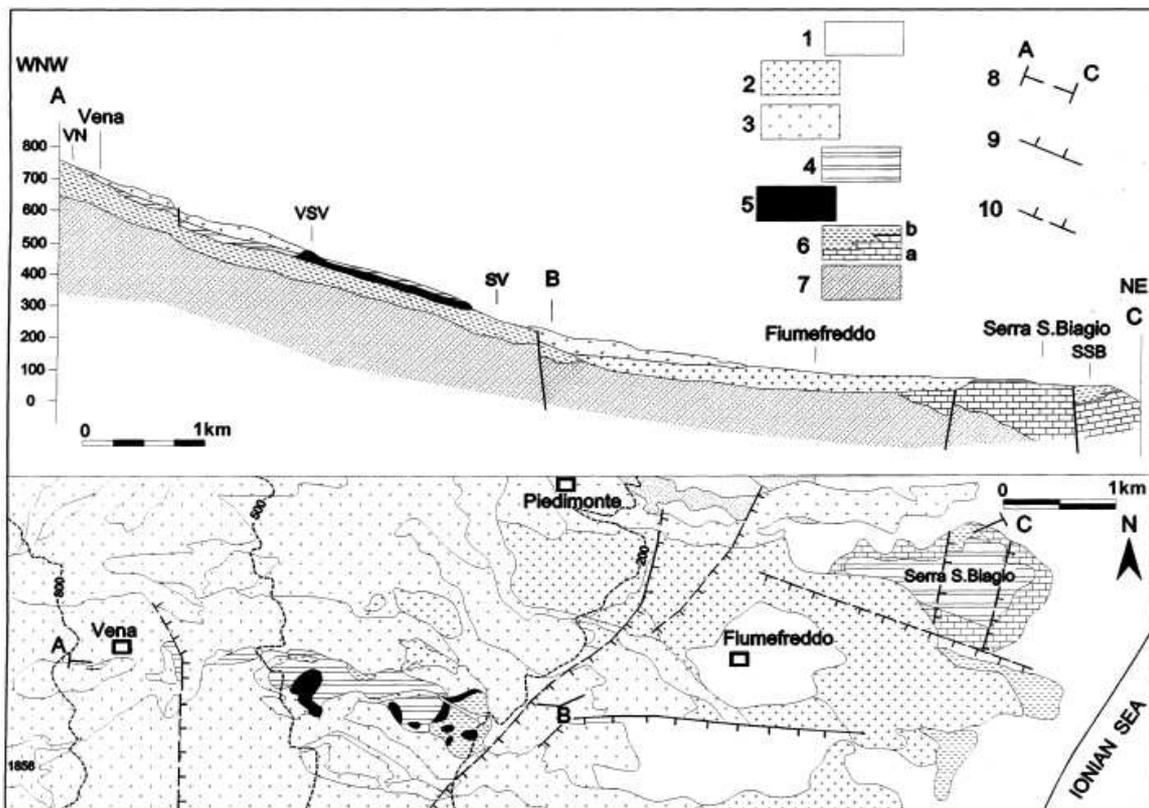


Fig. 3 Geological sketch map of the lower northeastern flank of Etna (modified after Branca and Catalano, 2000) and geological cross-section from Serra S. Biagio hill to Vena village. Along the cross-section, the locations of the sampled outcrops are pointed out. 1, Recent alluvial deposits; 2, volcanics of the last 15 kyr of eruptive activity; 3, volcanics of the Ellittico eruptive centre (40–15 ka); 4, old debris-alluvial deposit; 5, volcanics of the initial phase of the alkaline eruptive activity (170–100 ka); 6, Pleistocene marine sediments: a – marly clays and b – calcarenites; 7, Apenninic–Maghrebian units; 8, path of geological cross-section; 9, faults; 10, buried faults.

Fig. 15 – Schema geologico del basso versante nord-orientale del Monte Etna versante (da Fig. 3 di Di Stefano & Branca, 2000)

In Di Stefano & Branca (2002) viene proposta una ricostruzione stratigrafica della successione pleistocenica affiorante nell'area di Fiumefreddo di Sicilia, che, contrariamente a quanto proposto in AA.VV. (1979) viene interpretata come una sequenza trasgressiva con una generalizzata aggradazione delle facies argillose distali su

quelle sabbioso-arenaceo-conglomeratiche. Pertanto, le sequenze argillose presenti alla base delle lave, nel sottosuolo di Fiumefreddo di Sicilia, sarebbero state ribassate, lungo la Faglia di Serra San Biagio, rispetto alle sequenze basali sabbioso-arenaceo-conglomeratiche esposte nella dorsale.

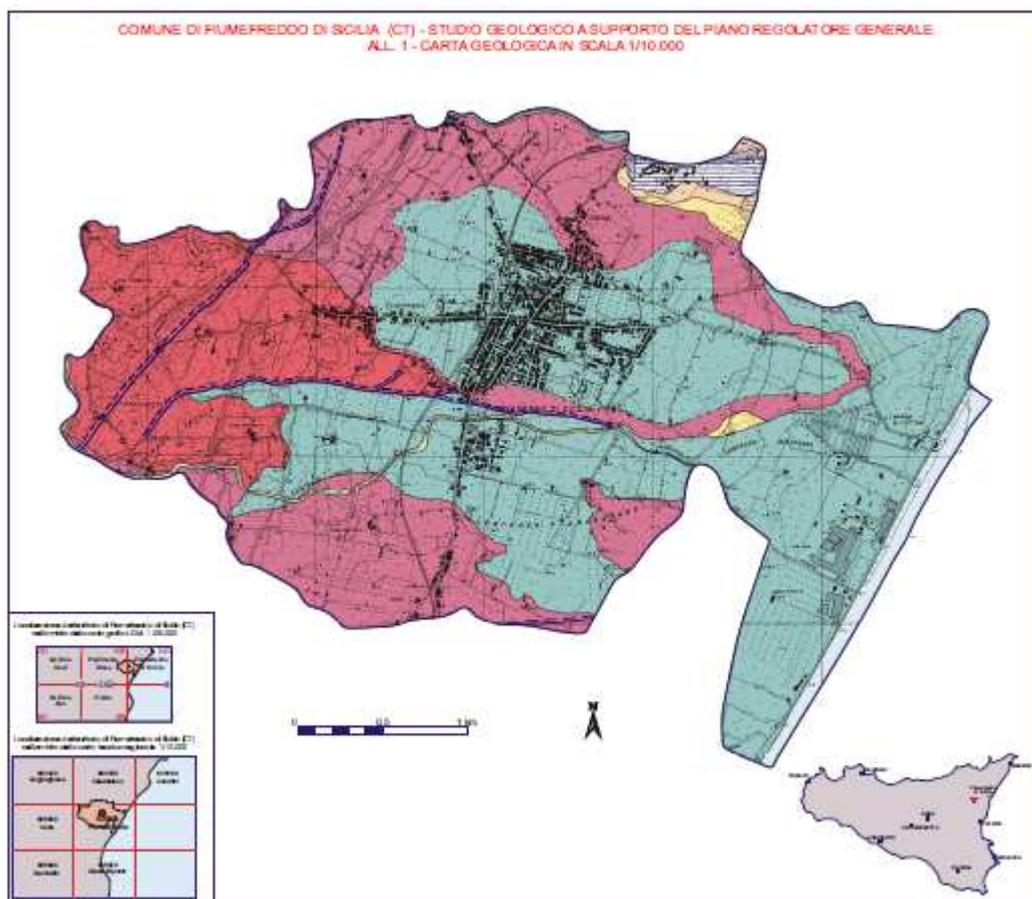


Fig. 16 - Stralcio della carta geologica (scala 1:10.000) dello studio geologico a supporto del PRG.

Negli studi geologici a supporto del PRG (Fig. 16), sono stati evidenziati alcuni aspetti fondamentali, adottati per la ricostruzione del modello del sottosuolo: 1) le lave affioranti nel territorio comunale, generalmente attribuite alle prime fasi dell'attuale stratovulcano, poggiano su un substrato costituito da argille pleistoceniche; 2) le lave sono ricoperte da depositi alluvionali che, al letto della Faglia di Fiumefreddo, risultano terrazzate insieme alle sottostanti lave, mentre nel lato ribassato della faglia si raccordano, verso mare, alle alluvioni che costituiscono la piana costiera; 3) la Faglia di Fiumefreddo è stata in parte cancellata dall'accumulo delle alluvioni anche se essa è stata



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile

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

riconosciuta anche laddove non sono chiare le evidenze morfologiche, mentre non è stata tracciata la sua continuità verso la piana costiera; 4) sono ben chiare le evidenze morfologiche e geologiche della Faglia di Piedimonte; 5) la successione pleistocenica sabbioso-arenaceo-conglomeratica affiorante nella dorsale di Serra San Biagio costituisce il tetto della successione argillosa riconosciuta alla base delle lave e nella porzione inferiore del versante meridionale di Serra San Biagio, a testimonianza dell'assenza della Faglia di Serra San Biagio ipotizzata da diversi autori.

I recenti fogli geologici 625 “Acireale” (AA.VV., 2009) e 613 “Taormina” (AA.VV., 2010) (Fig. 17) hanno evidenziato che parte delle lave che hanno raggiunto le porzioni sud-occidentali del territorio comunale di Fiumefreddo di Sicilia sono in effetti riferibili all'attività recente dello strato vulcano (Mongibello Recente di Gillot et al., 1994; < 15 ka) e possono essere assimilate come età a quelle che, nella zona di Piedimonte Etneo, hanno sigillato la superficie di erosione olocenica (Fig. 14). Va segnalato che la carta riporta, anche se presunta, la traccia della Faglia di Serra San Biagio. Gli stessi autori, in un documento cartografico più recente (Branca et al., 2011; Fig. 18), in gran parte coincidente con il precedente, escludono la presenza della Faglia di Serra San Biagio ed evidenziano, immediatamente a sud dell'area microzonata, la presenza di un'ulteriore zona di faglia, rappresentata da una serie di segmenti trascorrenti sinistri, orientati circa NW-SE, disposti con geometria en-echelon, corrispondenti alla terminazione orientale della Faglia della Pernicana (Azzaro, 1999), indicata quale segmento di S. Venera da Azzaro et al. (2012).

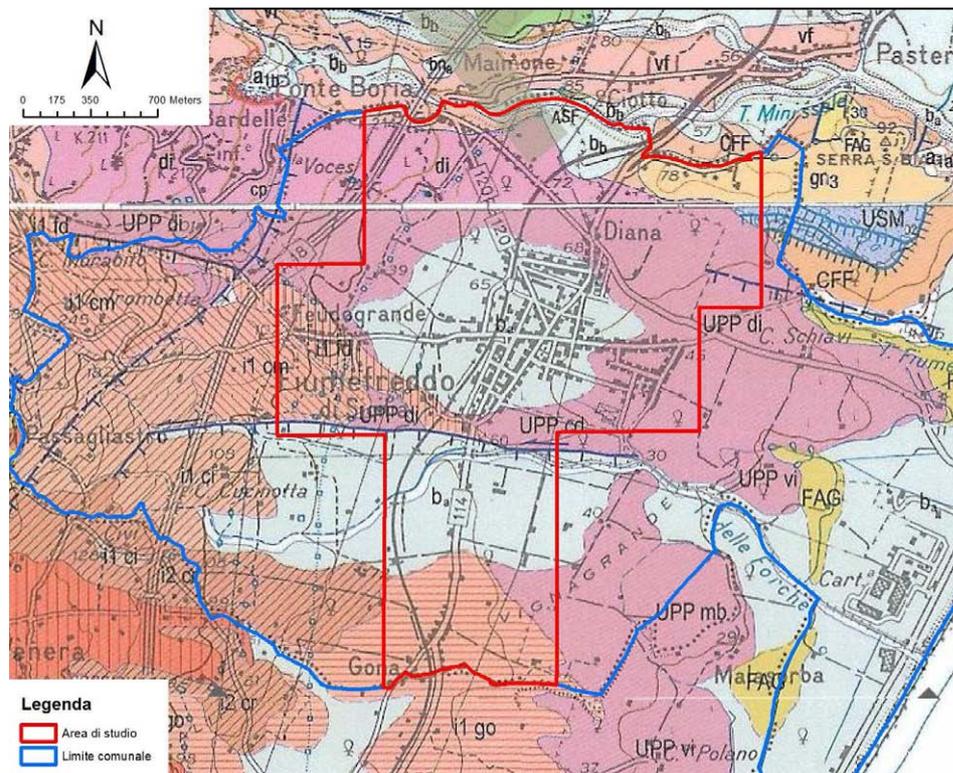


Fig. 17 – Stralcio dei Fogli Geologici 625 “Acireale” (AA.VV., 2009 mod) e 613 “Taormina” (AA.VV., 2010 mod).

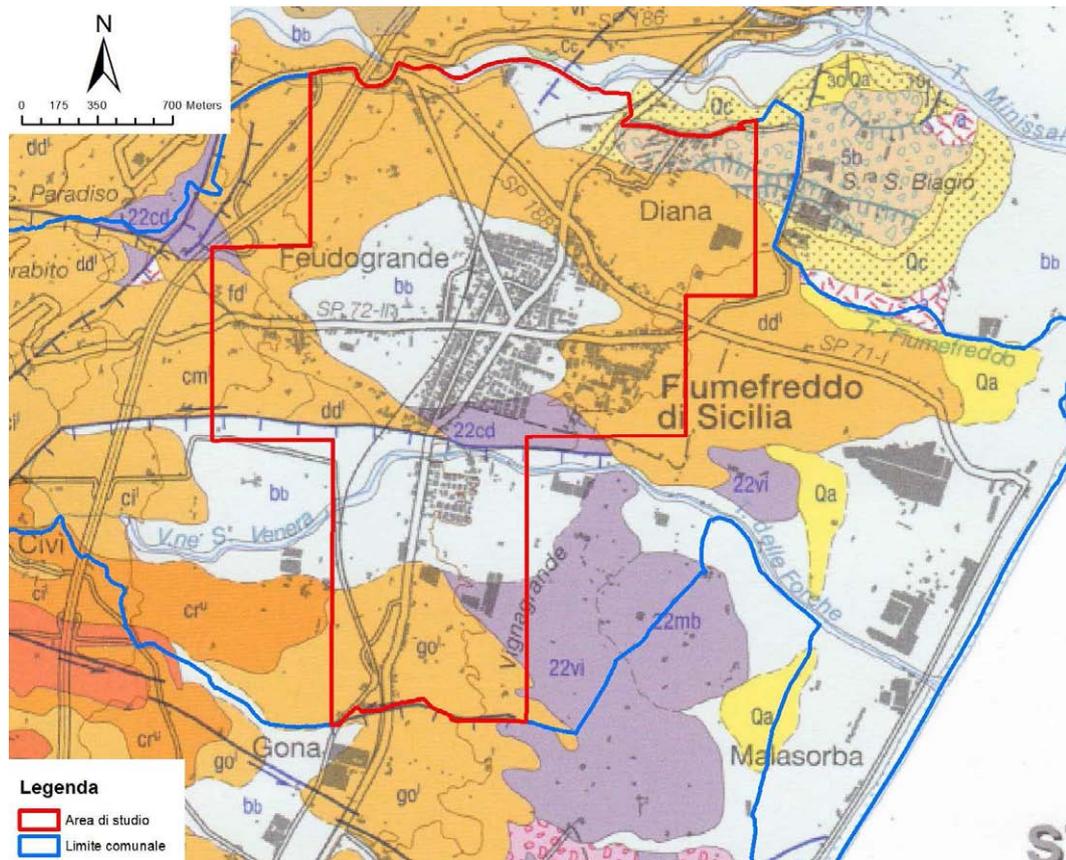


Fig. 18 – Stralcio della Carta Geologica del Vulcano Etna (Branca et al., 2011).

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

Una geometria delle faglie sostanzialmente coincidente con quest'ultimo elaborato cartografico è rappresentata, infine, nella Carta Morfotettonica dell'Etna (Monaco et al., 2008) (Fig. 19), nella quale risulta chiara la connessione tra la Faglia di Fiumefreddo e il fascio di segmenti che compongono la Faglia di Piedimonte.

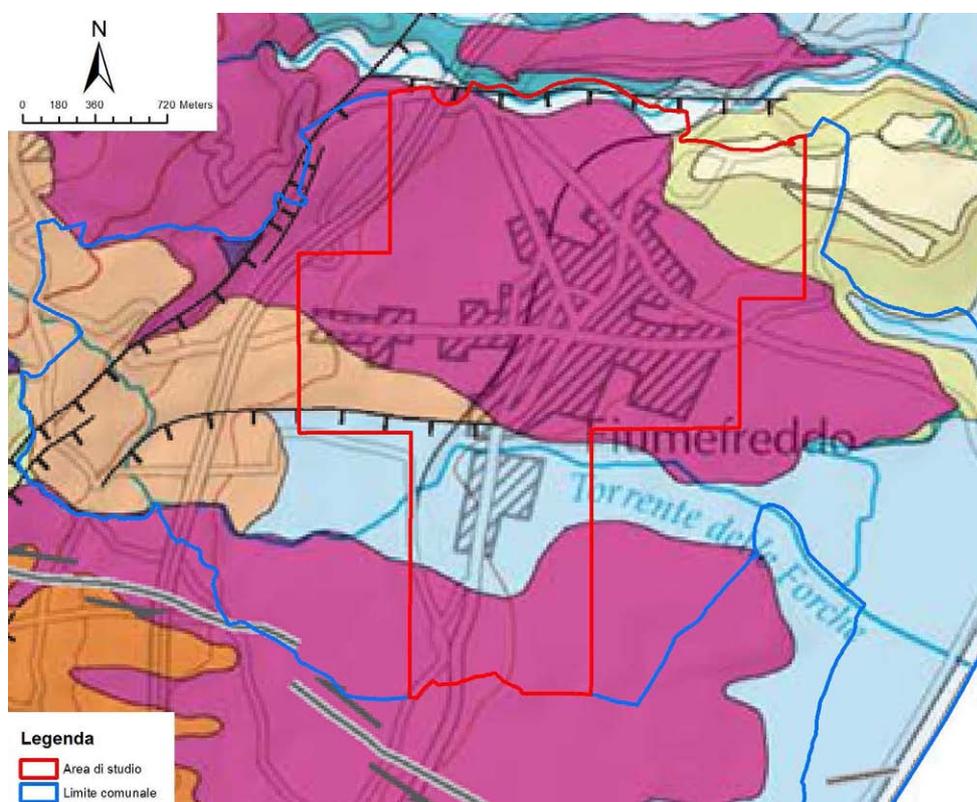


Fig. 19 – Stralcio della Carta Morfotettonica del Monte Etna (Monaco et al., 2008 mod).

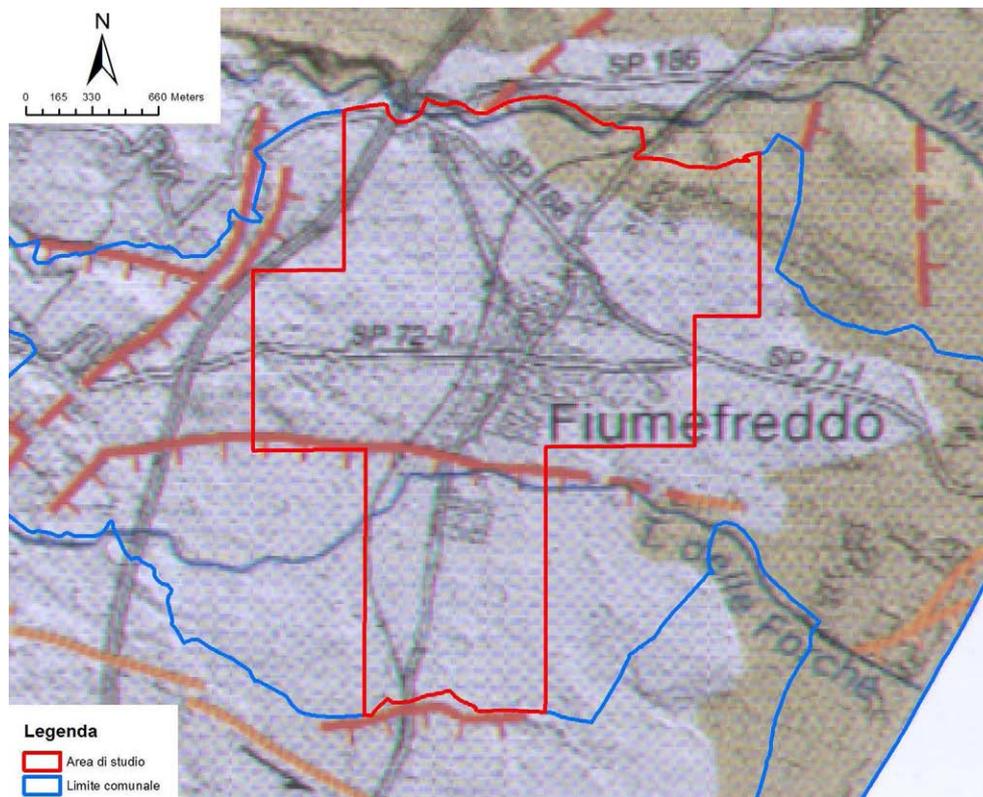


Fig. 20 – Carta vulcano-tettonica del Monte Etna (Azzaro et al., 2012 mod). Il territorio comunale è indicato in rosso.

Un quadro sintetico delle faglie presenti nel territorio comunale di Fiumefreddo di Sicilia è proposto in Azzaro et al. (2012)(Fig. 20) che accredita quali strutture recenti ed attive nell'area la Faglia di Piedimonte, la Faglia di Fiumefreddo, che viene prolungata come traccia presunta almeno fino alla piana costiera, e la Faglia di S. Venera.

Nel database Ithaca (ITaly HAZard from CAPable faults), nel territorio di Fiumefreddo di Sicilia vengono catalogate tre distinti segmenti attivi e capaci, due dei quali direttamente ricadenti all'interno della zona da microzonare (Fig. 21), rappresentati dalla Faglia di Fiumefreddo (F1 in Fig. 21), la cui prosecuzione orientale è il sistema di Marina di Cottone (F2 in Fig. 21), e dalla Faglia di Serra San Biagio (F3 in Fig. 21). I parametri delle 3 faglie sono elencati negli schemi di Fig. 22.

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

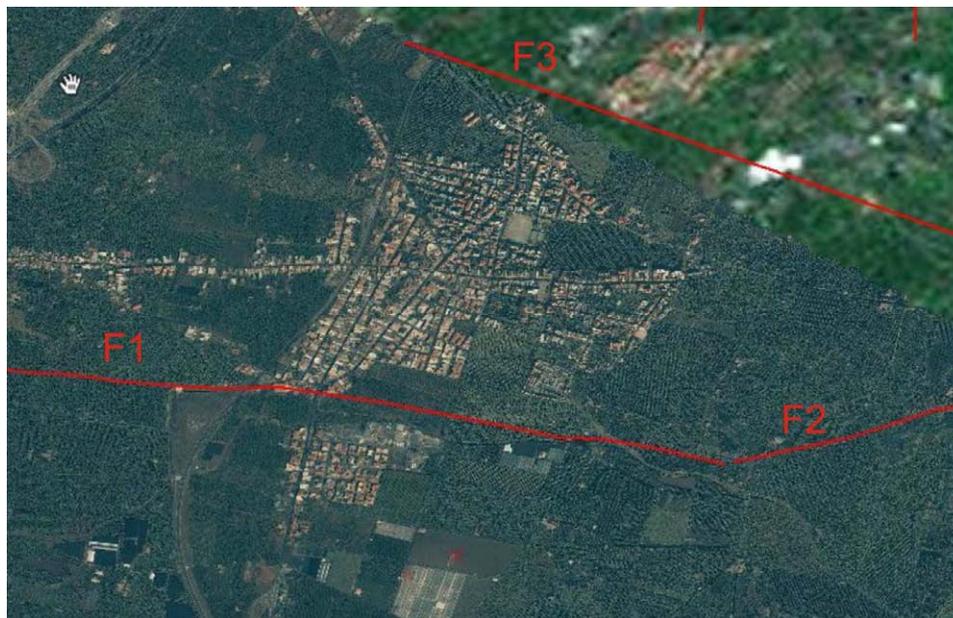


Fig. 21 – Faglie attive che ricadono nel comune di Fiumefreddo di Sicilia, segnalate nel database Ithaca (http://193.206.192.227/wms_dir/Catalogo_delle_Faglie_Capaci_ITHACA.html#)

GPCI ORIC SETTING	The Druwanzana-Bamirana-Fiumefreddo system, located in the north-eastern flank of Mt. Etna (the largest active stratovolcano in Sicily), crosses the volcano edifice from the central crater to the sea. The Fiumefreddo fault represents the eastern sector of this system.
SYNOPSIS	The Fiumefreddo fault shows recent left strike-slip kinematics (with vertical component) and high activity as revealed by geomorphological data. The fault is characterized by aseismic ruptures which damage human structures and lifelines. This structure is clear for a length of 3 km, but vanishes under the alluvial cover near the coast, although geochemical evidence and marine geology investigations would suggest its continuation as far as the Ionian sea. This very active system plays an important role in the geodynamic and morphologic evolution of the Etna volcano and it seems to be the northern boundary of an unstable sector.
FAULT NAME	Fiumefreddo
FAULT CODE	12301
MACROZONE	7
REGION NAME	Sicilia
SYSTEM NAME	Druwanzana-Bamirana-Fiumefreddo
RANK	PRIMARY
AVERAGE STRIKE	95
DIP	90
LENGTH (Km)	3.5
GEOMETRY	no
DECOMPOSITION	no
DEPTH (Km)	5
LOCATION RELIABILITY (MAPPING SCALE)	1:12500
LAST ACTIVITY	Historical (<3,000)
ACTIVITY RELIABILITY	High reliability
RECURRENCE INTERVAL (yr)	1
SLIP-RATE (mm/yr)	1
MAX CREDIBLE RUPTURE LENGTH	4
MAX CREDIBLE SLIP (m)	
KNOWN SEISMIC EVENTS	
MAX CREDIBLE MAGNITUDE (M _W)	
MAX CREDIBLE INTENSITY (INQUA scale)	
STUDY QUALITY	HIGH
NOTES	

GEOLOGIC SETTING	This fault is located in the north-eastern sector of the Mt. Etna volcano, the largest active strato volcano in Sicily.
SYNOPSIS	The Marina di Cottone fault is a volcano-tectonic structure and shows recent activity, revealed by surface ruptures and damages on anthropic structures
FAULT NAME	Marina di Cottone
FAULT CODE	14800
MACROZONE	7
REGION NAME	Sicilia
SYSTEM NAME	Marina di Cottone
RANK	PRIMARY
AVERAGE STRIKE	60
DIP	90
LENGTH (km)	1.9
GEOMETRY	
SEGMENTATION	no
DEPTH (km)	
LOCATION RELIABILITY (MAPPING SCALE)	1:10000
LAST ACTIVITY	Historical (<3,000)
ACTIVITY RELIABILITY	
RECURRENCE INTERVAL (yr)	
SLIP-RATE (mm/yr)	
MAX CREDIBLE RUPTURE LENGTH	
MAX CREDIBLE SLIP (m)	
KNOWN SEISMIC EVENTS	
MAX CREDIBLE MAGNITUDE (Mw)	
MAX CREDIBLE INTENSITY (INQUA scale)	
STUDY QUALITY	LOW
NOTES	inserire in bibliotapat da redigere

GEOLOGIC SETTING	The fault is located in the north-eastern flank of Mt. Etna, the largest active strato volcano in Sicily.
SYNOPSIS	
FAULT NAME	Serra San Biagio_04
FAULT CODE	13204
MACROZONE	7
REGION NAME	Sicilia
SYSTEM NAME	Serra San Biagio
RANK	PRIMARY
AVERAGE STRIKE	170
DIP	90
LENGTH (km)	2.2
GEOMETRY	
SEGMENTATION	no
DEPTH (km)	
LOCATION RELIABILITY (MAPPING SCALE)	1:75000
LAST ACTIVITY	
ACTIVITY RELIABILITY	Low reliability
RECURRENCE INTERVAL (yr)	
SLIP-RATE (mm/yr)	
MAX CREDIBLE RUPTURE LENGTH	
MAX CREDIBLE SLIP (m)	
KNOWN SEISMIC EVENTS	
MAX CREDIBLE MAGNITUDE (Mw)	
MAX CREDIBLE INTENSITY (INQUA scale)	
STUDY QUALITY	LOW
NOTES	

Fig. 22 - Parametri delle faglie attive che ricadono nel comune di Fiumefreddo di Sicilia, segnalate nel database Ithaca (http://193.206.192.227/wms_dir/Catalogo_delle_Faglie_Capaci_ITHACA.html#)

La verifica della reale distribuzione di segmenti di faglia attivi all'interno del territorio comunale ha costituito una priorità assoluta nel corso degli studi effettuati. Ciò ha richiesto un'analisi accurata di tutti gli elementi morfostrutturali segnalati quali scarpate di faglie capaci e attive. Particolare attenzione è stata rivolta alla Faglia di Fiumefreddo che attraversa l'area oggetto di microzonazione in senso E-W, con una lunghezza complessiva di circa 3.5 km.

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

La faglia è caratterizzata da un movimento obliquo sinistro con tassi molto elevati, i cui effetti sono evidenti lungo il segmento che attraversa l'abitato di Fiumefreddo di Sicilia (Fig. 23, 24 e 25).

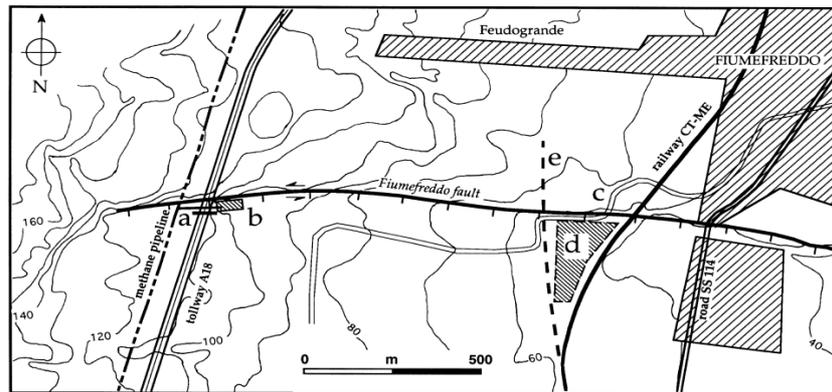


Fig. 23 - Schema della traccia della Faglia di Fiumefreddo e delle principali infrastrutture interessate (da Azzaro et al., 1998)

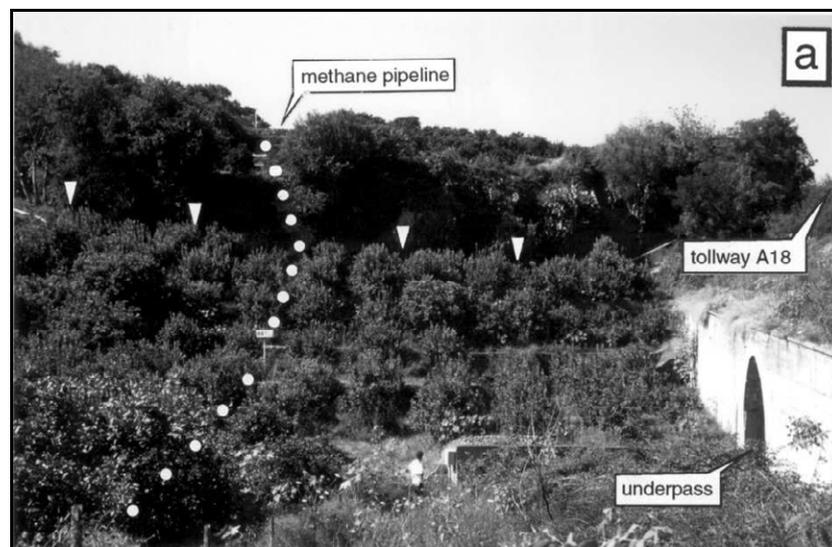


Fig. 24 - Scarpata di faglia (h= 15m) lungo la traccia della Faglia di Fiumefreddo, nel punto di attraversamento del gasdotto e dell'Autostradaa 18 (da Azzaro et al., 1998).



Fig. 25 - Danni causati ad un sottopasso della A18 dal movimento sinistro lungo la Faglia di Fiumefreddo di Sicilia (da Serva, 2011).

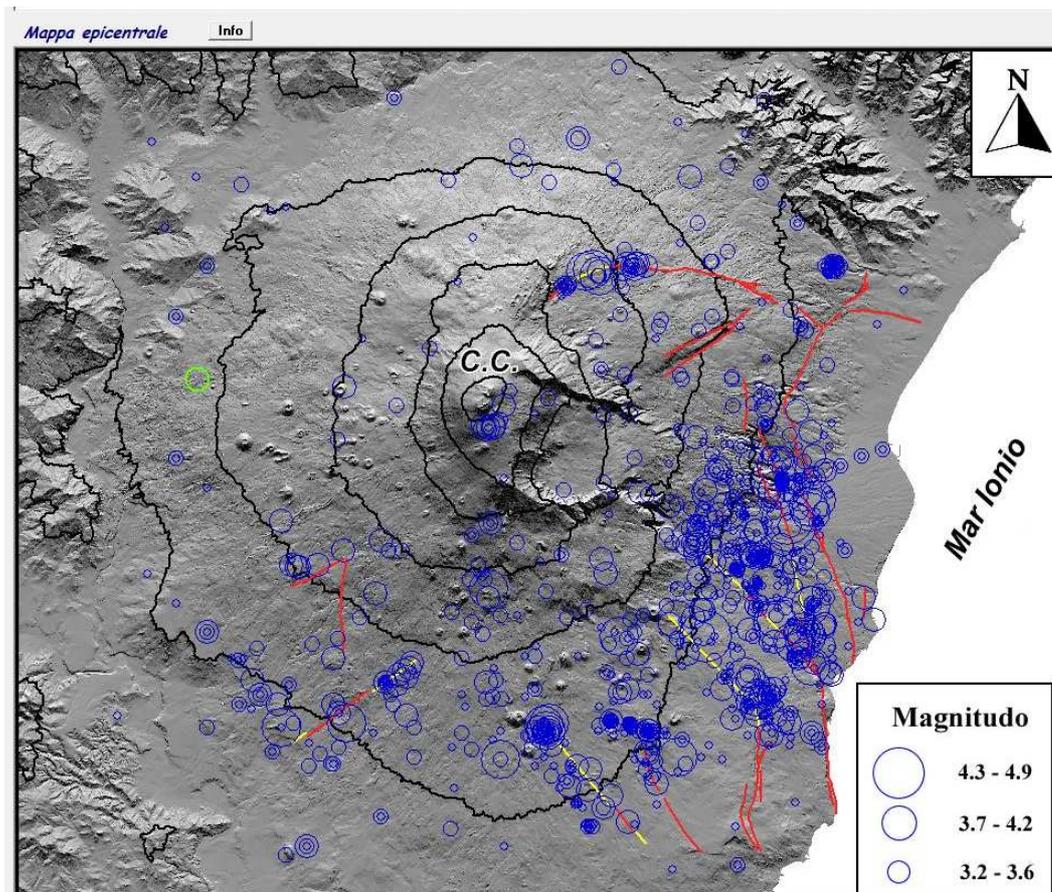


Fig. 26 - Carta sismo-tettonica del Monte Etna riportata nel Catalogo Macrosismico dei Terremoti Etnai dal 1832 al 2005 (Azzaro et al., 2000, 2009).



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

Nonostante la presenza nel territorio comunale di Fiumefreddo di Sicilia di linee di dislocazione attive, il Catalogo Macrosismico dei Terremoti Etni dal 1832 al 2005 (Azzaro et al., 2000, 2009)(Fig. 26) non riporta eventi storici di elevata magnitudo associati a queste strutture, evidenziando che gran parte della sismicità è concentrata più a sud, lungo le direttrici orientate NNW–SSE.

In accordo con il catalogo macrosismico, anche il catalogo delle sorgenti sismogeniche DISS 3 (DISS Working Group, 2010) segnala nell'area prossima al territorio comunale di Fiumefreddo di Sicilia solo la presenza di una sorgente dibattuta, catalogata come ITDS008 – Taormina, corrispondente alla Faglia di Taormina, riconosciuta come struttura attiva ed interpretata come gap sismico del Rift Siculo–Calabro (Monaco & Tortorici, 2000), che collega le faglie sismogeniche della Calabria meridionale e quelle della Sicilia sud–orientale Catalano & De Guidi, 2003; De Guidi et al., 2003; Catalano et al., 2008).

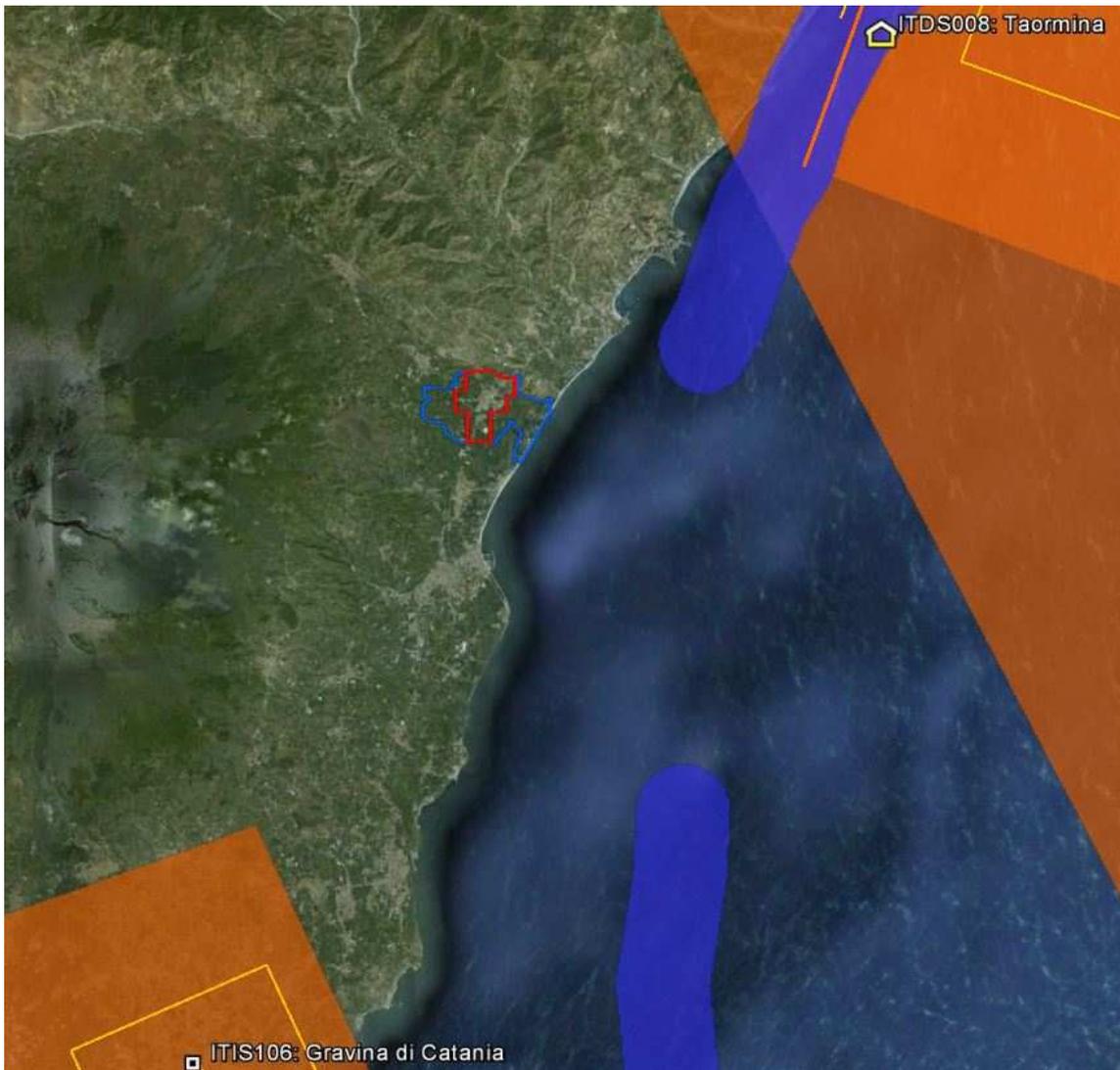


Fig. 27 - Ubicazione delle sorgenti sismogeniche ITIS106 - Gravina di Catania, ITDS008- Taormina e ITDS011 - Western Ionian rispetto all'area comunale di Fiumefreddo di Sicilia (in rosso) (DISS Working Group 2010, mod.).

DISS 3.1.1: Seismogenic Source ITDS008 - Taormina					
Source Info Summary	Commentary				
References	Pictures				
General information					
Code	ITDS008				
Name	Taormina				
Compiled By	Burrato, P., P. Vannoli and G. Valensise				
Latest Update	20/11/2009				
Questionnaire Summary					
Group A	Group B	Group C	Group D	Total	Grand Total

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

DISS 3.1.1: Seismogenic Source ITDS011 - Western Ionian			
Source Info Summary	Commentary	References	Pictures

General information

Code	ITDS011
Name	Western Ionian
Compiled By	Burrato, P., P. Vannoli and G. Valensise
Latest Update	04/12/2009

Questionnaire Summary

Group A	Group B	Group C	Group D	Total	Grand Total
---------	---------	---------	---------	-------	-------------

DISS 3.1.1: Seismogenic Source ITIS106 - Gravina di Catania			
Source Info Summary	Commentary	References	Pictures

General information

Code	ITIS106
Name	Gravina di Catania
Compiled By	Burrato, P., P. Vannoli and G. Valensise
Latest Update	19/09/2007

Parametric information

Parameter	Qual.	Evidence
Location (Lat/Lon)	37.5395 / 15.0681	OD Inferred from macroseismic and geological data.
Length (km)	9	OD Derived from geological and geomorphological observations.
Width (km)	5.9	OD Derived from geological and geomorphological observations.
Min Depth (km)	4	OD Derived from geological and geomorphological observations.
Max Depth (km)	7	OD Derived from geological and geomorphological observations.
Strike (deg)	246	OD Derived from geological and geomorphological observations.
Dip (deg)	30	OD Derived from geological and geomorphological observations.
Rake (deg)	90	OD Based on geodynamic considerations.
Slip Per Event (m)	0.8	ER Calculated from Mo using the relationship from Hanks and Kanamori (1979).
Slip Rate (mm/y)	0.1 - 0.5	EJ Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
Recurrence (y)	1600 - 8000	EJ Inferred from slip rate and average displacement.
Magnitude (Mw)	6	EJ Value inferred from elaboration of the macroseismic data.

Q-keys: LD = Literature Data; OD = Original Data; ER = Empirical Relationship; AR = Analytical Relationship; EJ = Expert Judgement

Associated earthquake

Latest Eq	11 Jan 1693 (2/2)	One of two mainshocks on the same day.
Penultimate Eq	Unknown	See "Commentary" for information.
Elapsed Time	307	As of year 2000 (assigned datum).

Fig. 28 – Schede classificative delle sorgenti sismogeniche ITDS0086 – Taormina e ITDS011 – Western Ionian ITIS 106 – 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 quelle a più elevata pericolosità di base a livello nazionale, è in gran parte basato sui dati di sismicità storica. Oltre alle considerazioni di carattere macrosismico che hanno indirizzato le differenti interpretazioni, vi sono evidenze morfologiche che vanno prese in seria considerazione per quanto attiene la rivalutazione della pericolosità di base dell'area. In particolare, tutta la costa bordata dalla Faglia di Taormina è caratterizzata da un tasso di sollevamento tettonico più elevato rispetto ai settori adiacenti, dovuto ad una componente aggiuntiva che si esaurisce a nord della dorsale di Serra San Biagio, per trasferirsi verso est, lungo il letto rialzato della Faglia di Piedimonte, dove il tasso di sollevamento medio, dal Tirreniano ad oggi, è valutabile intorno a circa 2 mm/a sulla base dell'altezza della linea di costa dello stadio 5.5 (125 ka) (Branca & Catalano, 2000). La distribuzione altimetrica dei terrazzi, rispetto alla localizzazione delle linee di faglia, suggerisce un legame cinematico tra la Faglia di Taormina e la Faglia di Piedimonte (Catalano et al., 2008), che costituirebbe la prosecuzione a terra del fascio di faglie di Taormina. Alla terminazione meridionale, la Faglia di Piedimonte si raccorda con il fascio di faglie sismogeniche del basso versante orientale dell'Etna, orientate NNW-SSE. Pertanto, il segmento di faglia posto immediatamente a monte dell'abitato di Fiumefreddo di Sicilia costituirebbe l'elemento di transizione tra il gap sismico della Sicilia nord-orientale e la zona sismogenica etnea (Fig. 29), entrambi appartenenti al Rift Siculo-Calabro (Catalano et al., 2008). In questo contesto, alla Faglia di Piedimonte è stato associato l'evento del 19.07.1865 ($M=5.6$), compatibile con i parametri della faglia.

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

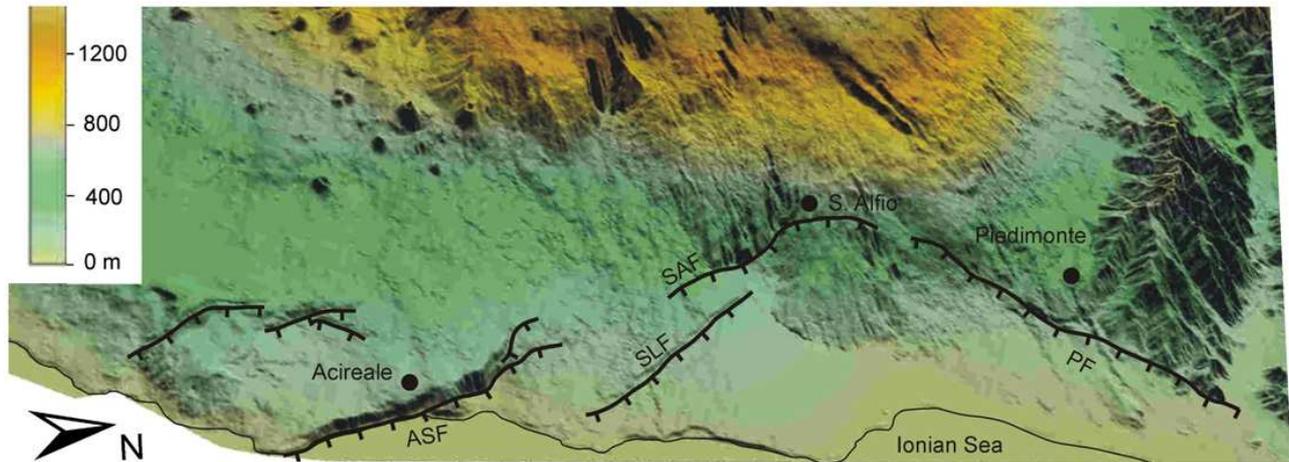


Fig. 29 - Geometria delle faglie del ramo etneo del Rift Siculo-Calabro (da Catalano et al., 2008, mod.).

I dati di letteratura non associano una sismicità storica certa alle altre linee di dislocazione attive nell'area (Faglia di Fiumefreddo e di Marina di Cottone), che sembrerebbero essere piuttosto interessate da fenomeni di creep asismico, con effetti comunque rilevanti sul territorio attraversato.

La zona di Fiumefreddo di Sicilia potrebbe risentire di eventi generati da sorgenti poste in aree limitrofe. Il catalogo delle sorgenti sismogeniche DISS 3 (DISS Working Group, 2010) riporta una sorgente a terra nella zona di Catania (ITIS106 - Gravina di Catania), cui sono stati associati eventi di $M=6$, e la sorgente sismica dibattuta ITDS011 - Western Ionian, segnalata nella Letteratura geologica (Bianca et al., 1999; Monaco & Tortorici, 2000; Catalano et al., 2008) quale sorgente della scossa principale del terremoto del 1693, in alternativa a quella accreditata nel database ed ubicata lungo il bordo settentrionale dei Monti Iblei.

Nella ricostruzione della successione geolitologica affiorante nel territorio comunale di Fiumefreddo di Sicilia si è tenuto conto di tutto l'insieme delle informazioni discusse in precedenza che sono state sintetizzate in un unico modello di riferimento. E' stato

necessario procedere ad una sostanziale revisione dei rilievi disponibili, sia con ulteriori rilievi di terreno che tramite un'accurata analisi di foto aeree a differente scala di dettaglio. Per quanto concerne la geometria del substrato sedimentario, è stata accreditata l'ipotesi degli studi geologici a supporto del PRG che evidenziano la continuità dei terreni mediopleistocenici, che implica anche la continuità dei terrazzi suprapleistocenici tra la dorsale di Serra San Biagio e l'antistante zona depressa ricoperta dalle lave. La copertura lavica è stata invece suddivisa in cicli di età differente, che hanno riempito paleomorfologie subvulcaniche distinte, in quanto relative a differenti stadi della reincisione del versante costiero terrazzato. Le nuove suddivisioni litostratigrafiche, sintetizzate nelle sezioni geologiche dell'**Allegato 1**, tengono in considerazione l'età delle lave rispetto alle principali fasi glacioeustatiche che hanno profondamente condizionato la stratigrafia di tutto il versante orientale dell'Etna, come già messo in luce in precedenti studi di microzonazione in aree limitrofe (Catalano & Tortorici, 2010). Le geometrie riprodotte nelle sezioni geologiche sono il frutto dell'interpretazione dei dati di sottosuolo che, opportunamente selezionati, hanno permesso di confermare modelli desunti dall'accurata interpretazione dei dati di superficie. Laddove esistevano differenze tra i vari documenti cartografici, il contributo dei dati di sottosuolo è stato decisivo per optare tra le diverse ipotesi proposte. Alcuni aspetti, quale gli spessore della copertura lavica e dei livelli alluvionali ad essa associati e la profondità e geometria del substrato sedimentario sepolto, sono state desunte essenzialmente andando a considerare l'evoluzione delle forme del paesaggio subvulcanico in relazione all'età della copertura lavica sovrastante. L'eventuale acquisizione di nuovi dati di sottosuolo, specialmente in tutto il settore ricoperto dalle lave, potrebbe contribuire ad una migliore taratura degli spessori dei differenti orizzonti raffigurati nelle sezioni.

Nelle tre sezioni geologiche è possibile distinguere il substrato argilloso, con i livelli sommitali del Pleistocene superiore, profondamente modellato da una superficie di erosione, sigillata dai diversi cicli di prodotti eruttivi. Nei profili sono state distinte le lave inferiori, precedenti alle fasi di reincisione dell'ultima deglaciazione, che ricoprono



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile

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

superfici di abrasione marina modellate sulle argille, le lave intermedie, che riempiono le incisioni sviluppate nel corso dell'ultima deglaciazione, e le lave superiori, che ricoprono le lave più antiche ed i depositi alluvionali ad essi associati. Le lave inferiori, relative alle prime fasi dell'evoluzione del moderno stratovulcano (35–15 ka), poggiano su un terrazzo posto ad una quota tra i 30 e i 20 m s.l.m. (profilo C–C', **Allegato 1**), correlabile con la piattaforma di abrasione dello stadio isotopico 3 (60 ka) riconosciuta lungo il versante costiero di Serra San Biagio, preservato dalle lave (Catalano & De Guidi, 2003). Le lave inferiori sono ricoperte da un livello di alluvioni, attraversato dal Sondaggio 087016P45 (**Allegato 2**) e rappresentato nella sua geometria 2D nel profilo C–C' (**Allegato 1**). Le lave intermedie, costituiscono un livello sottile dove ricoprono le alluvioni terrazzate, mentre si inspessiscono notevolmente dove costituiscono il riempimento di valli sepolte, in corrispondenza delle quali possono poggiare direttamente sulle lave inferiori o sul substrato sedimentario. Le lave intermedie sono in gran parte ricoperte da un ingente spessore di alluvioni, attraversate da numerosi sondaggi (**Allegato 1**). Le lave superiori costituiscono una copertura di spessore molto limitato che poggia sia sui livelli alluvionali che sulle lave sottostanti.

La sezione geologica A–A' (**Allegato 1**) evidenzia le geometrie dei terreni attraverso la Faglia di Fiumefreddo che, nonostante sia stata descritta come faglia obliqua, sembra aver accumulato un notevole rigetto verticale, che appare del tutto nascosto dal notevole accumulo di materiale alluvionale sul tetto ribassato della struttura. La crescita della faglia ha avuto conseguenze evidenti anche sulla circolazione sotterranea delle acque. Il lato rialzato della struttura ospita l'acquifero nelle lave inferiori che, seppure in gran parte drenato a monte da opere di captazione, ancora oggi alimenta numerose sorgenti

poste al bordo della piana costiera, al contatto lave-substrato argilloso. Le maggiori portate sono registrate nelle sorgenti poste allo sbocco della paleovalle sepolta raffigurata nel profilo B-B', posta immediatamente a sud di Serra San Biagio, che costituisce una linea preferenziale di deflusso sotterraneo. La paleovalle, già segnalata nella carta idrogeologica allegata agli studi a supporto del PRG, alimenta le sorgenti Bagnara Saucò (150 l/s) e Capodacqua (1100 l/s) da cui ha origine il Torrente Fiumefreddo.

Nel lato ribassato della Faglia di Fiumefreddo è stato possibile ricostruire un cuneo clastico che ha accompagnato la crescita della struttura. Il cuneo clastico è sede di una modesta circolazione di acque sotterranee che, canalizzate dal contatto di permeabilità rappresentato dal substrato argilloso rialzato dalla struttura, riemergono sotto forma di polle nella zona della piana costiera, immediatamente ad est dell'area oggetto di microzonazione. Un approfondimento delle caratteristiche idrogeologiche del cuneo clastico di crescita della Faglia di Fiumefreddo dovrebbe essere oggetto di specifici studi da programmare nei futuri stadi di approfondimento, al fine di valutare le possibilità di fenomeni di liquefazione anche in aree distanti dalla piana costiera.

Nel profilo B-B' è infine rappresentato l'accavallamento del substrato pre-Quaternario, costituito dai terreni alloctoni caotici di natura argillosa (Argille Scagliose) che ricoprono la successione quaternaria di Serra San Biagio. La struttura è chiaramente suturata dai depositi del Pleistocene superiore. I dati a disposizione non consentono di stabilire univocamente la profondità del substrato alloctono nel lato ribassato dell'accavallamento. Le sezioni misurate nel lato rialzato della Faglia di Piedimonte, lungo il confine occidentale del territorio comunale di Fiumefreddo di Sicilia, indicherebbero uno spessore complessivo della successione quaternaria di circa 100 m. Tale dato è da intendersi come spessore minimo da considerare nel sottosuolo delle aree interessate dalla microzonazione, in quanto non vi sono elementi per stabilire lo spessore di sedimenti asportato dall'erosione del letto della faglia.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

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

Nel caso di Fiumefreddo di Sicilia, tutti i terreni affioranti, compresi i prodotti vulcanici, sono stati classificati come terreni di copertura.

Terreni di copertura

Sono stati suddivisi 4 tipologie diverse di coperture. Tra queste sono state contemplate tutte le lave (**LC**) che, ricoprendo formazioni superficiali di natura clastica, determinano ripetute inversioni nei profili verticali di velocità delle onde sismiche. Nel caso delle coperture laviche (**LC**), nella prospettiva della microzonazione di primo livello si è tenuto conto dell’estrema variabilità laterale delle litofacies che compongono le diverse parti di una singola colata. La cartografia pregressa da cui attingere le informazioni per la realizzazione degli studi di primo livello, a prescindere dalla scala di dettaglio, è stata basata su suddivisioni dei terreni lavici in unità litostratigrafiche che, fatta eccezione per le colate storiche per le quali sono stati tracciati i limiti, raggruppano più colate laviche senza fornire comunque alcun dettaglio sulla variabilità laterale e verticale dei prodotti. Si è reso dunque necessario procedere ad integrazioni con rilievi

originali mirati ad una dettagliata suddivisione dei terreni lavici tentando di individuare, laddove possibile, i contorni delle singole colate e, all'interno di queste, i singoli flussi lavici. Nella carta geologico-tecnica, sono stati ricostruiti, con un grado di affidabilità dipendente dalle effettive esposizioni in superficie, i limiti delle singole colate laviche, con l'indicazione dell'ordine di sovrapposizione.

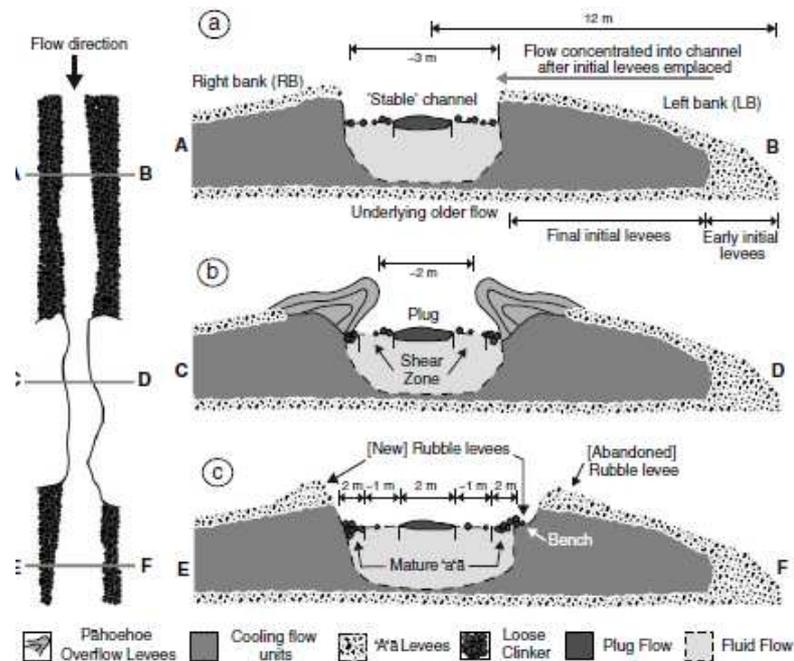


Fig. 30 - Profili di flusso attraverso colate laviche canalizzate nei suoi diversi settori (da Bailey et al. , 2006).

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). Va rilevato che, in alcuni casi, i bordi di colate sono nascosti dai depositi alluvionali più recenti, che generalmente si accumulano a monte degli sbarramenti lavici.

Tra i depositi di copertura sono stati inseriti i livelli superficiali alterati del substrato argilloso (CL), corrispondente alla porzione più allentata per imbibizione, la cui

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77
distribuzione è stata ricostruita sulla base delle stratigrafie dei sondaggi analizzati, i depositi alluvionali terrazzati (**SW**) ed il materiale di riporto (RI) i piroclastiti (**SM**), depositi alluvionali (**SW**) e il materiale di riporto (**RI**).

Le aree di affioramento del substrato caotico alloctono, per le caratteristiche scadenti dei terreni, sono state indicate come soggette a instabilità di versante.

La carta riporta anche tutti gli elementi utili alla ricostruzione degli elementi morfologici quale l'ubicazione delle valli o l'estensione delle superfici terrazzate sepolte dalle lave, che possono trovare immediato riscontro anche nei profili dell'**Allegato 1**.

4. Dati geotecnici e geofisici

Le informazioni di carattere geologico disponibili per l'area di studio, derivano da un'indagine lineare e da n. 59 indagini puntuali complessive, di cui n. 44 indagini pregresse e n. 15 nuove indagini geofisiche HVSR, realizzate nel presente studio dall'Università di Catania. Le indagini puntuali disponibili (per l'ubicazione si veda la carta delle indagini), archiviate secondo gli "Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica - Versione 2.0beta-II", sono schematizzate per tipologia nella sottostante tabella (**Tab. 2**):

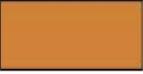
	Geofisica (GF)	Geologia (GG)				Idrogeologia	TOTALE		
	HVSR	T	TP	S	SS	SP	GF	GG	IG
Totale Ind. Puntuali	15	1	1	27	3	12	15	32	12

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

I dati pregressi derivano da indagini realizzate per lo studio geologico a supporto del P.R.G. messi a disposizione dall'amministrazione comunale di Fiumefreddo di Sicilia.

In particolare le indagini geognostiche ricadenti nell'area di studio o in zone limitrofe, consistono in n. 30 sondaggi meccanici a carotaggio continuo, caratterizzati da profondità comprese tra 10 e 20 metri, tre dei quali hanno raggiunto il substrato argilloso pre-etneo. Per quanto le stratigrafie dei sondaggi siano molto schematizzate e poco dettagliate, sono state reinterpretate e utilizzate per la ricostruzione del modello geologico del sottosuolo (vedi Capitolo 5)

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

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

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

I terreni affioranti nell'area e riconosciuti nella stratigrafia dei sondaggi sono stati, quindi, raggruppati secondo le categorie previste dalla legenda.

Nel Capitolo 7 della Relazione geologica per il P.R.G. di Fiumefreddo di Sicilia vengono forniti i parametri geotecnici e geomeccanici dei principali litotipi affioranti, riportati anche nella carta litotecnica in scala 1:2.000 allegata. Si tratta del peso di volume, coesione, coesione non drenata, angolo di attrito interno e angolo di attrito non drenato. E' da rimarcare però che i valori riportati nella relazione, e riassunti nell'**Allegato 3**, non derivano da indagini geotecniche effettuate in occasione degli studi per il P.R.G., ma sono informazioni desunte da dati di Letteratura geotecnica riferiti agli stessi litotipi. La scarsa attendibilità dei dati riportati nell'**Allegato 3**, ha dunque impedito il loro utilizzo



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77
per la definizione dei parametri geotecnici dei terreni affioranti nell'area oggetto del
presente studio.

In assenza di indagini pregresse, gli unici dati geofisici disponibili derivano da n. 15 misure di microtremore ambientale (noise), distribuite sull'intero territorio comunale, realizzate dall'Università di Catania al fine di valutare le frequenze proprie di oscillazione dei diversi siti. I risultati di questa campagna di misure sono sintetizzati nell'allegata carta delle frequenze, nella quale per ogni punto di misura sono riportate le frequenze alle quali il moto del terreno viene amplificato per risonanza stratigrafica e l'entità dell'amplificazione quantificata sulla base del rapporto H/V (rapporto tra le componenti spettrali orizzontali, H, e verticale, V, del moto del suolo). Per il dettaglio sulla tecnica adottata si rimanda all'**Allegato 4** della presente relazione. I risultati ottenuti indicano che le frequenze di risonanza ricadono all'interno di un range abbastanza ampio, compreso tra ~1 e ~10 Hz. In alcuni casi, vengono segnalati due o tre picchi, alcuni dei quali abbracciano valori di frequenza più elevati. Tali picchi sono associati a frequenze proprie di oscillazioni differenti, riferibili a discontinuità stratigrafiche ubicate a profondità variabili da sito a sito. Le frequenze più basse di amplificazione sono probabilmente legate all'assetto geologico profondo dell'area in esame, viceversa le frequenze più alte possono essere ricondotte a disturbi superficiali quali la presenza di terreni detritici di copertura o depositi caotici di frana o fenomeni di origine antropica.

E' da notare, infine, che nella maggior parte dei casi si osservano amplificazioni superiori a 2; nelle indagini 087016P1 e 087016P8 si misurano $H/V > 5$. Tra questi, i picchi più alti si registrano a frequenze non troppo basse (> 7 Hz), suggerendo una loro connessione ad una paleomorfologia, impostata sulle argille pleistoceniche del substrato,

costituita da paleovalli riempite dalle lave di copertura e dai depositi alluvionali, che affiorano estesamente nell'area di studio.

5. Modello del sottosuolo

I dettagli per la stesura del modello geologico del territorio comunale di Fiumefreddo di Sicilia sono stati ampiamente discussi nei paragrafi precedenti. I dati di superficie e le informazioni di sottosuolo sono stati sufficienti a ricostruire il modello di sottosuolo che risulta comunque basato sull'applicazione di vincoli di carattere stratigrafico, geologico-strutturale e geomorfologico, derivanti da studi condotti in aree limitrofe negli ultimi anni. Nella stesura del modello, i dati diretti del sottosuolo hanno comunque ulteriormente vincolato il modello adottato ed hanno avuto un ruolo fondamentale nel riconoscimento delle principali discordanze stratigrafiche che separano i differenti orizzonti lavici.

La totale mancanza di misure delle velocità delle onde di taglio all'interno dei diversi orizzonti che costituiscono il sottosuolo, ha impedito di definire un riconoscimento univoco della profondità del bedrock sismico. Risulta improbabile che il limite ricada all'interno delle argille pleistoceniche, classificabili come substrato non rigido. Facendo riferimento ai dati raccolti sulle stesse argille nell'area di Catania, i valori di V_s ottenuti all'interno dei livelli più superficiali sono di circa 500–600 m/s. Considerato che nell'area di Fiumefreddo di Sicilia la successione argillosa ha uno spessore ridotto, appare inverosimile che il bedrock sismico possa risiedere nei suoi livelli basali, che comunque hanno subito carichi limitati. Il limite del bedrock sismico, piuttosto, dovrebbe essere costituito dalle unità alloctone che formano il substrato pre-Quaternario, la cui profondità può essere stimata ad almeno un centinaio di metri dalla superficie.

I terreni di copertura costituiscono un orizzonte continuo in tutta l'area, con spessori variabili da pochi metri, nella zona di Serra San Biagio (profilo B-B'; **Allegato 1**), a circa 30–40 m, in tutto il resto dell'area, (vedi profili Allegato 1). L'orizzonte di copertura



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME

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

è caratterizzato da una notevole variabilità sia laterale che verticale delle diverse litofacies che si riflette in profili di velocità delle onde di taglio contraddistinti da repentine variazioni, con frequenti inversioni di velocità anche nei livelli di sottosuolo più prossimi alla superficie. La variabilità laterale è determinata dall'eterogeneità dei terreni lavici e dalla loro alternanza con depositi di natura alluvionale. La variabilità insita nell'orizzonte di copertura è ulteriormente enfatizzata dal contatto molto articolato tra copertura e substrato e dalla presenza di discontinuità tettoniche che, oltre a marcare zone di instabilità, sono sede di repentine variazioni litologiche, cui sono associabili variazioni della velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio (vedi profilo A-A'; **Allegato 1**).

Le prerogative dei livelli di copertura che contraddistinguono il sottosuolo di Fiumefreddo di Sicilia non rientrano nei modelli correntemente applicati nella valutazione delle amplificazioni di tipo stratigrafico e pone molti interrogativi che andranno risolti nelle indagini di approfondimento successive. Va sottolineato che i dati raccolti in aree vulcaniche in occasione di precedenti studi di microzonazione (OPCM 3278/2003) nella zona del comune di Santa Venerina hanno evidenziato una estrema variabilità laterale e verticale delle Vs, con frequenti inversioni di velocità, con valori che oscillano dai 450 m/s ai 1150 m/s, in funzione del diverso rapporto tra prodotti scoriacei e lave massive. Anche quando le lave raggiungono valori elevati, comunque non possono essere trattate quale substrato rigido, in quanto poggianti su livelli a bassa velocità. Ciò è confermato dalle misure di microtremore ambientale effettuate su lave massive affioranti che hanno evidenziato effetti di amplificazione, più o meno marcati, con frequenze generalmente prossime ai 3 Hz. Amplificazioni a frequenze più elevate si registrano in aree contraddistinte dalla presenza di una copertura detritica sulle lave. Appare evidente che

nei successivi livelli di approfondimento sarà necessario interpretare il ruolo delle inversioni delle velocità nella selezione delle frequenze di oscillazione proprie dei siti e di verificare quale sono gli elementi delle successioni laviche che invece determinano le differenti ampiezze di oscillazione.

6. Interpretazioni ed incertezze

Nel territorio comunale di Fiumefreddo di Sicilia, i dati pregressi utilizzati si riferiscono a indagini effettuate per lo studio geologico per il Piano Regolatore Generale (P.R.G.). Il modello geologico ricostruito sulla base di una revisione dei rilievi geologici condotti per la realizzazione del P.R.G. ha trovato puntuale riscontro nelle stratigrafie dei sondaggi disponibili, che coprono quasi interamente l'area di studio ad eccezione del settore nord-occidentale. Come già indicato in precedenza, tali sondaggi forniscono solo stratigrafie molto schematizzate e poco dettagliate, distinguendo i seguenti litotipi (Fig. 31):



Fig. 31 – Legenda delle stratigrafie dei n. 30 sondaggi geognostici realizzati per lo studio geologico a supporto del P.R.G.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile

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

Per archiviare le stratigrafie di tali sondaggi secondo gli “Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica – Versione 2.0beta-II”, si è scelto di reinterpretrare i dati sulla base delle stratigrafie dettagliate dei due sondaggi geognostici realizzati per lo studio a supporto del P.R.G. assegnando un grado di attendibilità pari a 2 per ogni litotipo distinto. Ad esempio i tre litotipi vulcanici (evidenziati in rosso in Fig. 31) sono stati raggruppati in un unico campo, denominato “lave di copertura” (**LC** – vedi Capitolo 3).

Un discorso a parte va fatto per il substrato geologico, costituito dalle argille grigio-azzurre del Pleistocene inferiore e medio e dalle argille scagliose del Cretaceo superiore, affiorante, seppur ricoperto da una sottile (~ 3 m) coltre argillosa di alterazione, nel settore nord-orientale dell’area di studio e intercettato solamente in tre sondaggi lì ubicati. Nella ricostruzione del modello geologico del sottosuolo (vedi capitolo 5), la profondità del substrato geologico è stata dunque desunta dagli affioramenti mappati nelle carte geologiche e litologiche allegate al P.R.G., lungo la costa ionica, al di fuori dell’area di studio. Forti dubbi permangono nel settore meridionale, dove non è stato possibile ricostruire l’andamento del substrato geologico (vedi profilo **AA’** – **Allegato 1**).

Come visto nel Capitolo 4, la totale assenza di analisi di laboratorio ha impedito la caratterizzazione geotecnica e granulometrica dei terreni affioranti, ed in particolare delle scorie vulcaniche e dei depositi alluvionali e marini. Questa sarà, dunque, uno degli obiettivi imprescindibili nelle successive fasi d’approfondimento.

Per quanto riguarda l’aspetto idrogeologico, nella relazione geologica realizzata per il P.R.G. viene riportato un elenco di sorgenti e di pozzi, dodici dei quali rientrano

nell'area di studio e, conseguentemente, sono stati inseriti nel database "tabelle" secondo gli "Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica - Versione 2.0beta-II". Non essendo chiaro però se il campo "profondità" dell'elenco si riferisca al pozzo o alla falda, per tali indagini non è stato possibile compilare la tabella "Parametri_Puntuali" del database.

Tra gli elaborati cartografici allegati agli studi per il P.R.G. particolare interesse rivestono le Tavole dell'Allegato 9 "Carta delle zone a maggior pericolosità sismica locale scala 1:2.000". Facendo riferimento alla Circolare del 31/01/1995 n. 2222 della Regione Siciliana Assessorato del Territorio e dell'Ambiente, si è infatti tentato di suddividere il territorio comunale di Fiumefreddo di Sicilia in zone a maggior pericolosità sismica in funzione degli effetti attesi (Fig. 32).

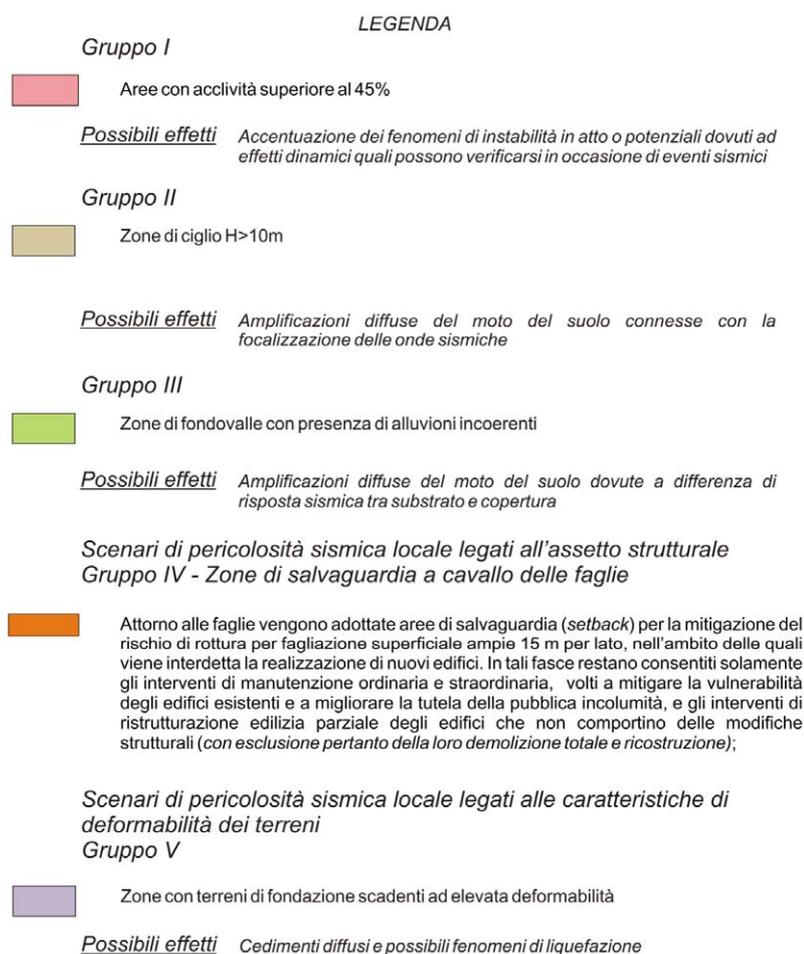


Fig. 32 - Legenda delle Tavole dell'Allegato 9 - "Carta delle zone a maggior pericolosità sismica locale scala 1:2.000" agli studi per il P.R.G. del comune di Fiumefreddo di Sicilia.

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

Tra queste zone rientrano alcune di particolare interesse per la definizione delle aree stabili e stabili suscettibili di amplificazione da inserire nella “Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica”. Naturalmente, nella redazione di questo elaborato le zone riportate nella legenda di figura 32 sono state meglio definite per adeguarle a quelle elencate negli “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica” (Gruppo di lavoro MS, 2008) e nei Contributi per l’aggiornamento degli “Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica” (Dolce et al, 2011).

Inoltre, <<Per individuare se la faglia di Fiumefreddo continuasse nella zona ove si perde l’evidenza morfologica e per definire con esattezza la sua posizione>> è stata realizzata una trincea esplorativa (indagine 087016P16) diretta NNE–SSO, ortogonalmente alla struttura (Allegato 5 agli studi geologici per il P.R.G.). La figura 33 mostra lo schema geologico della trincea e la foto del punto in cui si dovrebbe osservare la deformazione dovuta all’attività della faglia. Dato che le geometrie 2D riprodotte nello schema non sembrano confermate da ciò che si osserva nella foto, si è deciso di inserire l’indagine nel database “tabelle”, attribuendole un’attendibilità bassa (pari a “3”).

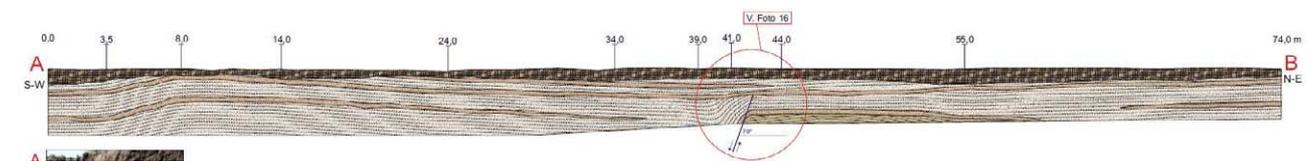


Foto 16

Fig. 33 – Schema geologico della trincea esplorativa e relativa foto realizzata durante gli studi per il P.R.G. del comune di Fiumefreddo di Sicilia (Allegato 5 alla relazione geologica).

Infine, la totale assenza di indagini sismiche che consentano di ottenere accurati valori delle Vs ha impedito di definire sia la profondità e la geometria del bedrock sismico che il comportamento dei diversi corpi vulcanici (bancate laviche e livelli scoriacei) che costituiscono le lave di copertura (vedi Capitolo 3).

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, idrogeologia, geomorfologia, litotecnica e pericolosità sismica del territorio), sono caratterizzati da un dettaglio variabile dalla grande scala (1:10.000) alla piccola scala (1:2.000). Tutte le carte tematiche sono state georeferenziate ed inserite in un progetto EsriArcGis, ottenendo così la visualizzazione e la sovrapposizione dei diversi elaborati garantendo la corrispondenza delle coordinate geografiche, della scala e quindi delle distanze. Naturalmente, nella stesura degli elaborati cartografici prodotti nel presente studio, il peso delle informazioni di maggiore dettaglio risulta essere preponderante. Per l'individuazione delle coperture detritiche, dei movimenti franosi si è fatto riferimento principalmente all'analisi fotogrammetrica e contemporaneamente al contributo fornito da studi pregressi. Per quanto riguarda, invece, la mappatura dei terreni affioranti e dei principali lineamenti tettonici, a seguito di accurate verifiche di terreno unitamente all'analisi di aerofotogrammetrie, si è dovuto procedere ad una sostanziale revisione dei dati forniti. Grazie all'integrazione tra gli accurati rilievi di terreno e le osservazioni derivanti dall'analisi fotogrammetrica è stato possibile ricostruire la successione geolitologica dell'area di studio (vedi Capitolo 3).

Una volta distinte le diverse unità geolitologiche affioranti e stabiliti i loro rapporti geometrici nel sottosuolo è stato possibile definire le zone stabili suscettibili di amplificazione locale, sulla base degli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica" (Gruppo di lavoro MS, 2008) e dei Contributi per l'aggiornamento degli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica" (Dolce et al, 2011). Un ruolo fondamentale per la



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77
determinazione di tali zone è stato svolto dalle sezioni geologiche a scala 1:5.000, dove si è cercato di evidenziare quegli elementi di non immediata lettura nella “Carta geologico tecnica” quali i rapporti geometrici tra i depositi alluvionali e le colate laviche, le forti variazioni degli spessori dei corpi lavici sepolti dovute alla presenza di una paleovalle, e la presenza di una faglia inversa sepolta, suturata di depositi alluvionali terrazzati del Pleistocene superiore.

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. 34). 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. 35). Nell'area di studio non si realizza mai un dislivello superiore a 30 m. Di conseguenza non sono stati individuati pendii soggetti a potenziali fenomeni di amplificazione topografica, come confermato in figura 36, ottenuta combinando le due carte fin qui elaborate. Anche la sezione topografica in scala 1:5.000 (**Allegato 5**), diretta NNE-SSO, realizzata nel settore occidentale dell'area di studio, ortogonalmente alle scarpate con pendenza maggiore di 15° , mostra chiaramente che queste ultime non superano i 20 m di altezza.

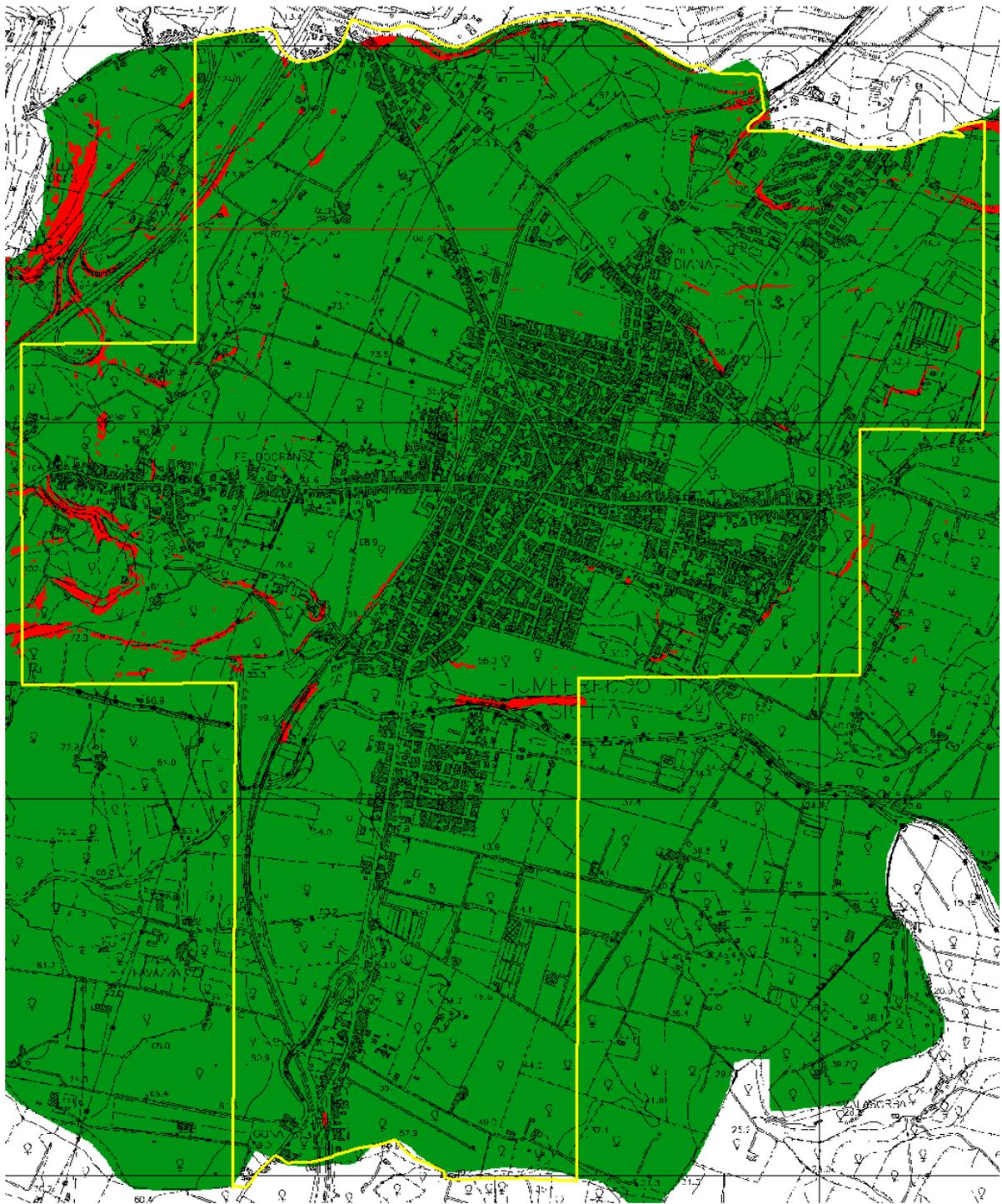


Fig. 34 - Carta delle inclinazioni dell'area di studio. Sono distinte inclinazioni $< 15^\circ$, in verde, e $> 15^\circ$, in rosso.

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

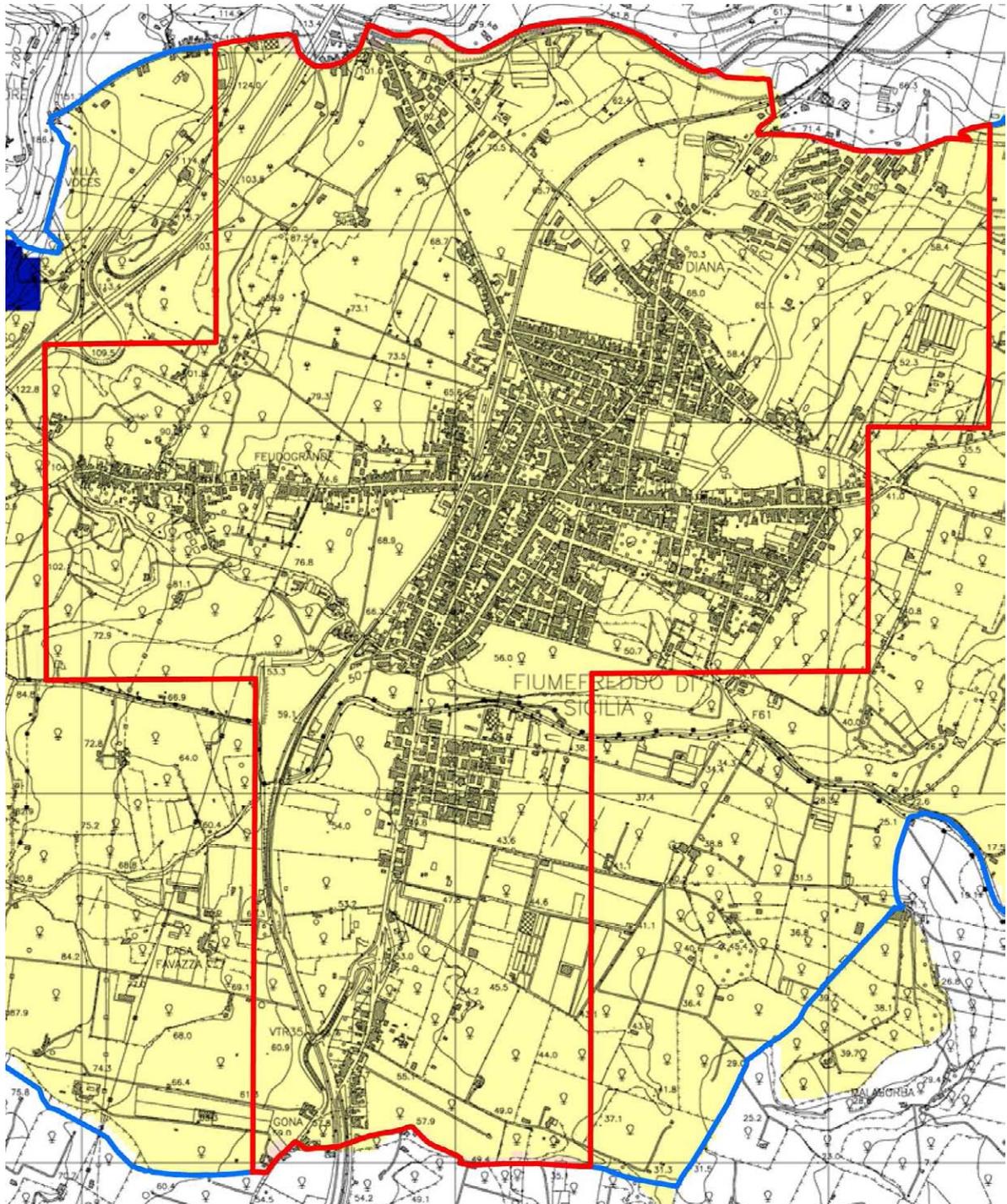


Fig. 35 – Carta dell'energia del rilievo dell'area di studio. Sono distinti dislivelli < 30 m, in giallo, e > 30 m, in blu.

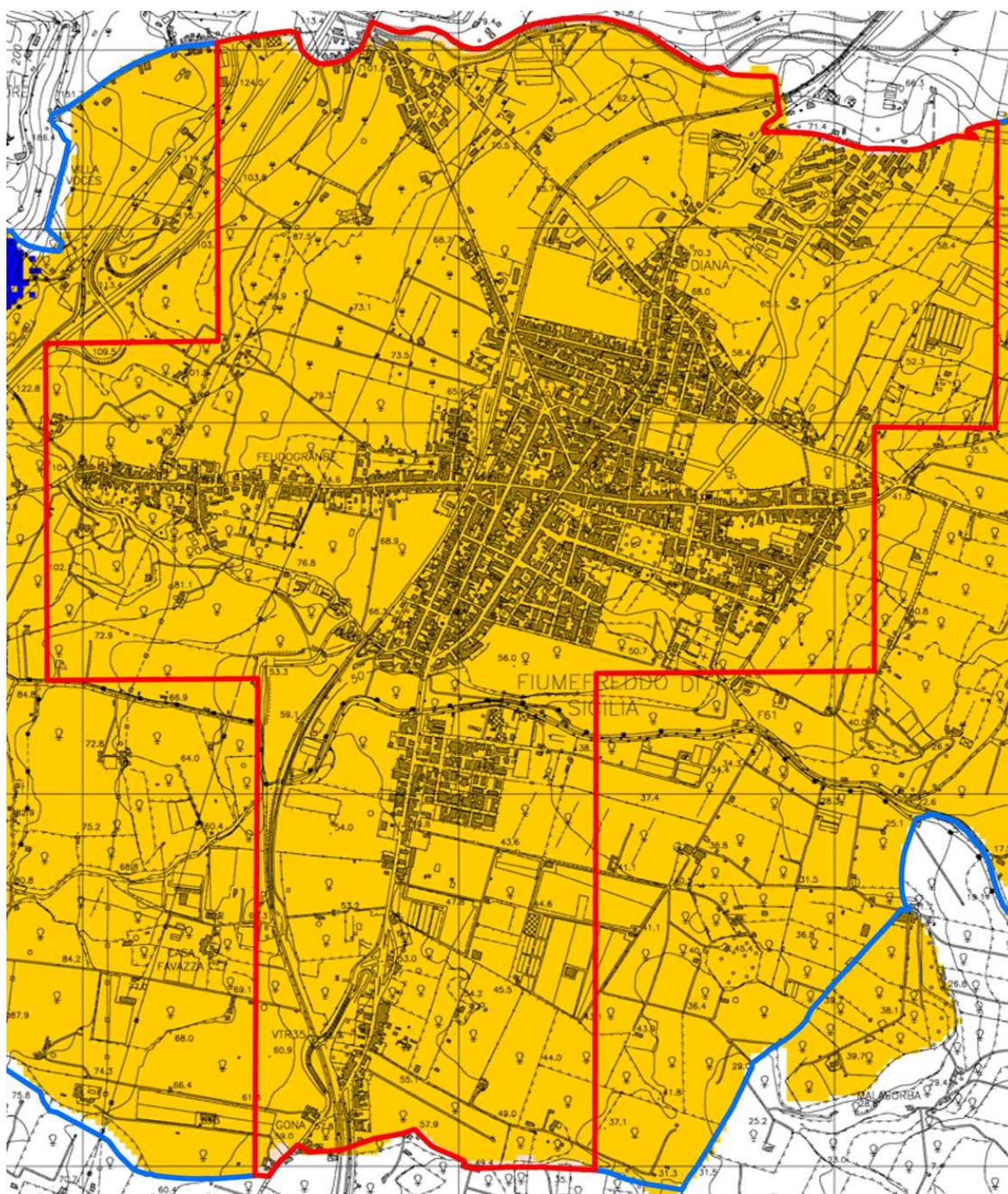


Fig. 36 - Carta dell'amplificazione topografica dell'area di studio. Le aree potenzialmente soggette ad amplificazione topografica sono evidenziate in blu.

Per quanto riguarda le instabilità manifeste e potenziali, si è fatto riferimento agli studi pregressi del PAI che hanno trovato riscontro anche dalle analisi morfologiche condotte nell'area tramite analisi di fotogrammetrie e verifiche di terreno nelle aree soggette ad instabilità di versante. Nella "Carta dei dissesti" (Fig. 37) e nella "Carta della pericolosità e del rischio" (Fig. 38) del PAI (Area Territoriale tra i bacini del F. Simeto e del

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

F. Alcantara - 095) vengono riportati 2 dissesti che ricadono nell'area di studio.

LEGENDA

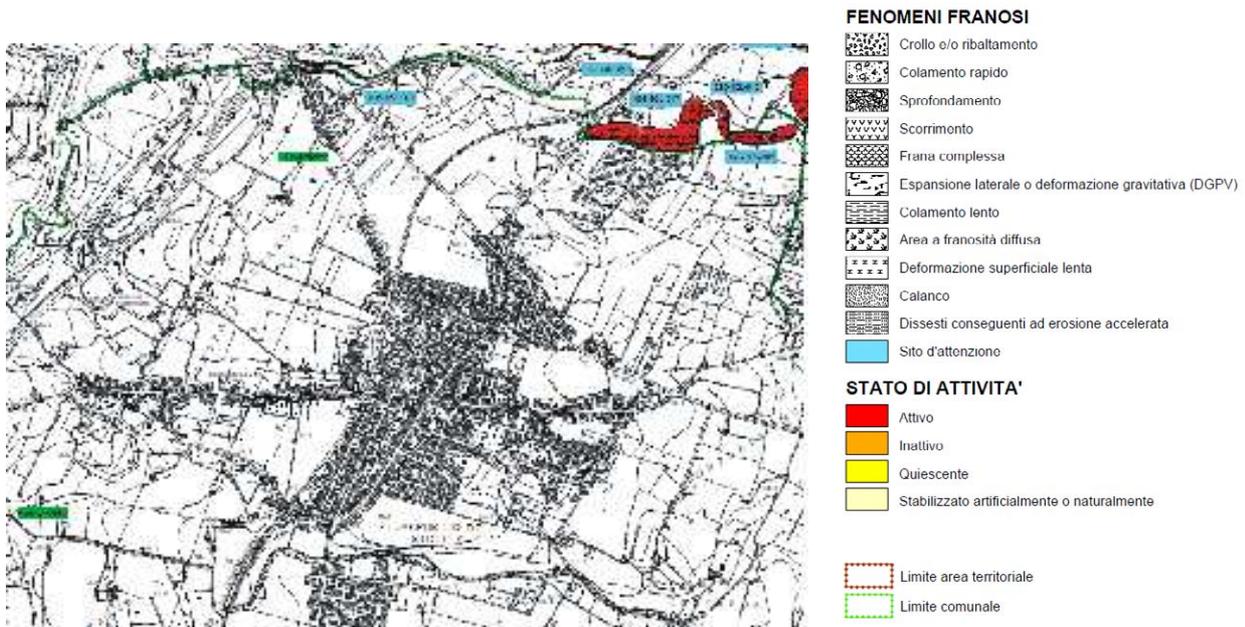


Fig. 37 - Stralcio della "Carta dei dissesti N° 5-10" (A 095 D 613150-625030) del PAI.

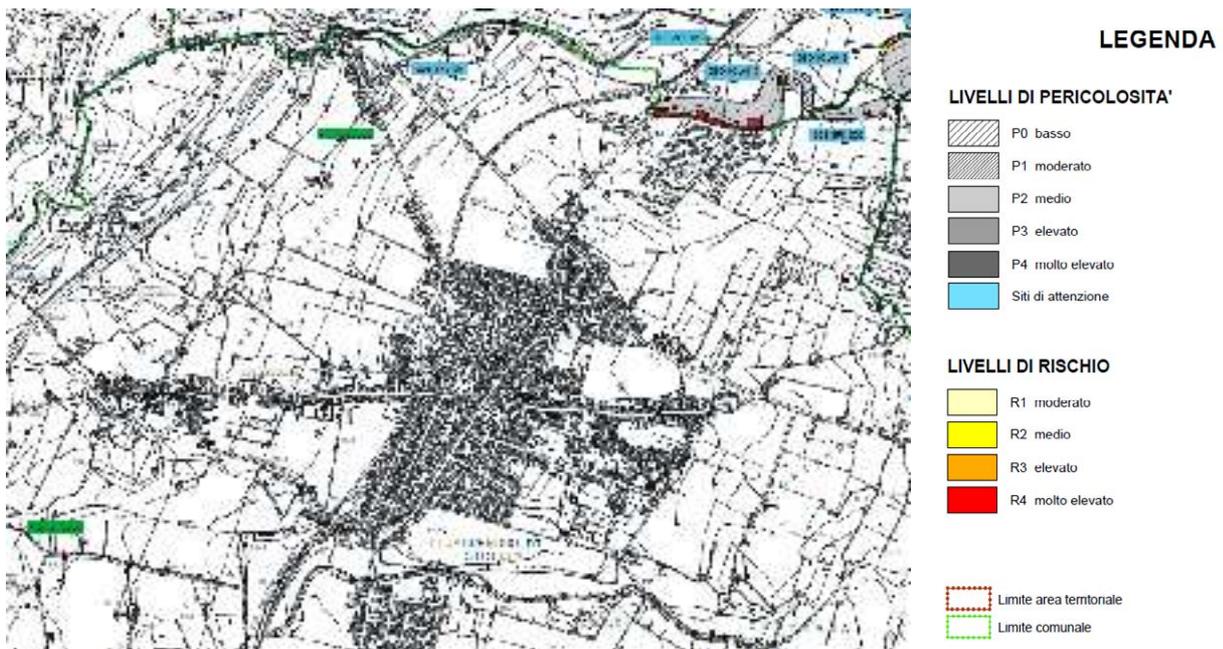


Fig. 38 - Stralcio della "Carta della pericolosità e del rischio N° 5-10" (A 095 D 613150-625030) del PAI.

Si tratta dei dissesti 095-3FS-001 ("ID_i = 2" della feature class "Instab") e 095-3FS-002 ("ID_i = 1" della feature class "Instab"), entrambi ubicati lungo il bordo settentrionale del limite comunale, in località Vallone Fogliarino e Serra San Biagio, rispettivamente. Nel presente studio, le due aree segnalate dal PAI come dissesti attivi dovuti ad erosione accelerata e caratterizzati da pericolosità moderata e media, rispettivamente, sono state inserite tra le instabilità di versante attive - non definite (Tipo_i = 3015). A questi due dissesti se ne aggiunto un terzo, della stessa tipologia, ubicato anch'esso in località Serra San Biagio, segnalato nell'Allegato 4 al P.R.G. "Carta della pericolosità geologica in scala 1:10.000" come "Area caratterizzata da fenomeni di movimenti di massa superficiali e di plasticizzazione dei terreni".

Altre tipologie di instabilità sono strettamente connesse alla presenza della Faglia di Fiumefreddo, che attraversa tutto il territorio comunale di Fiumefreddo di sicilia in direzione est-ovest, e dei due piccoli segmenti di faglia normale che si estendono nel blocco rialzato di quest'ultima, in direzione NE-SO. (vedi Capitolo 3). A cavallo di queste faglie attive e capaci è stata segnalata la presenza di "Aree interessate da deformazioni dovute a faglie attive e capaci" (Tipo_i = 3060), rappresentata da una fascia ampia 50 metri.

Un discorso più articolato deve essere condotto riguardo al 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. 39):

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

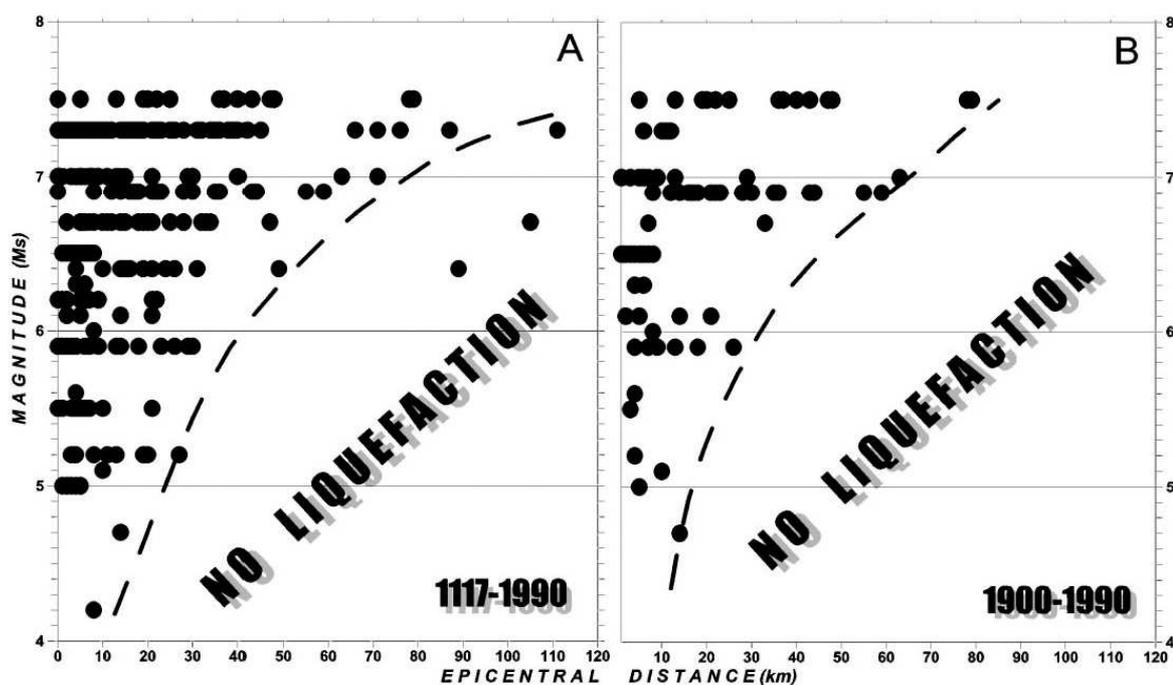


Fig. 39 – Distribuzione di fenomeni di liquefazione indotti da eventi sismici, in termini di Magnitudo e distanza epicentrale, per i periodi 1117–1990 e 1900–1990. (da Galli, 2000).

Nell'ambito della zonazione sismogenetica dell'area italiana (Gruppo di lavoro, 2004), il territorio comunale di Fiumefreddo di Sicilia, così come tutta l'area etnea, ricade all'interno della zona 936 (Fig. 40). 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 "ITDS008 – Taormina" orientata NE-SO e caratterizzata da una $M_w = 7$ (Catalano et. al., 2008), la cui terminazione meridionale si trova a circa 7 km dal territorio comunale di Fiumefreddo di Sicilia (Fig. 27). Inoltre, nel DISS 3.1.1 (DISS Working Group, 2010), a circa 18 km di distanza nell'*off-shore* ionico, viene segnalata la presenza della sorgente sismogenica

“ITDS011 - Western Ionian” (Fig. 23), per la quale dati di letteratura indicano una $M \geq 7$ (Bianca et al., 1999; Catalano et al. 2008), mentre nell’entroterra, ~ 20 km a sud dell’area di studio, è riportata la sorgente “ITIS106 - Gravina di Catania”, cui sono stati associati eventi di $M=6$.

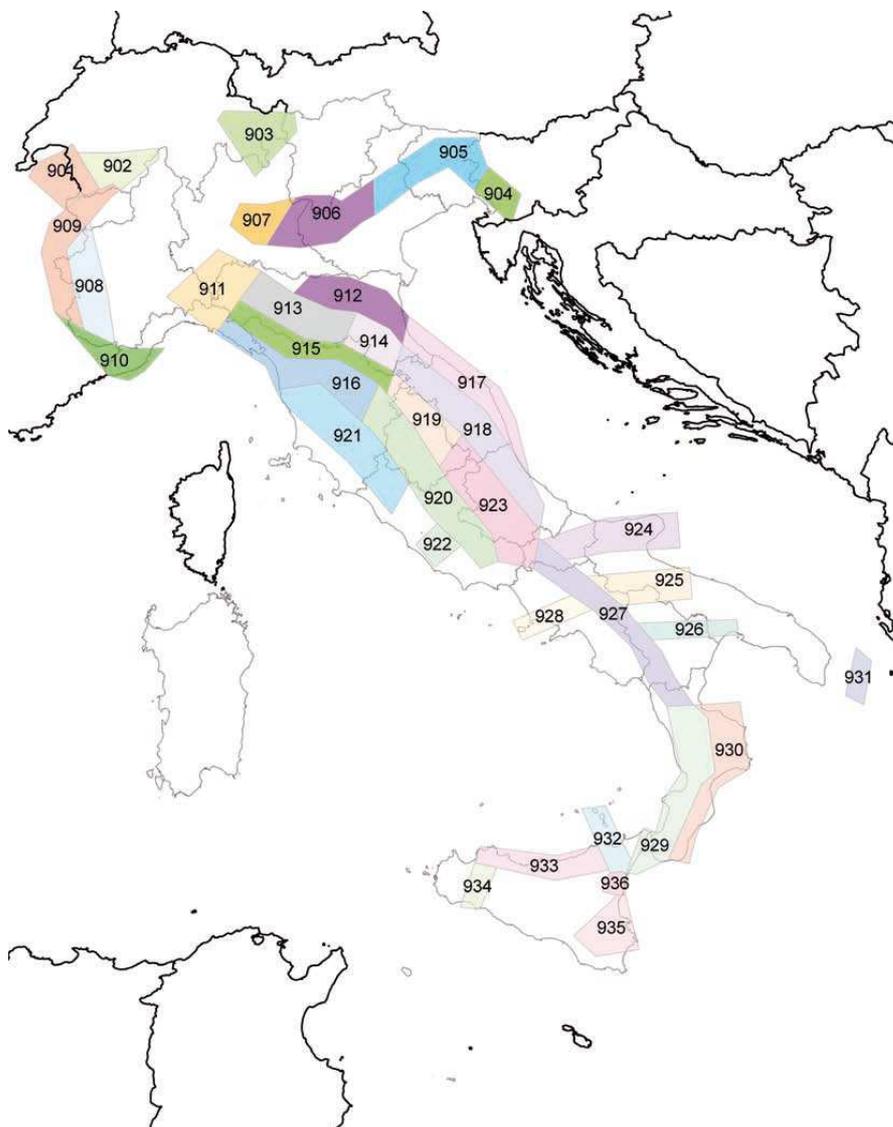


Fig. 40 - Zone sismogenetiche per la mappa di pericolosità sismica di base di riferimento (Gruppo di lavoro, 2004).

In ogni caso, possiamo concludere che il possibile verificarsi di eventi sismici di Magnitudo compresa tra 5 e 7 in zone abbastanza prossime all’area oggetto di studio potrebbe innescare fenomeni di liquefazione, in presenza di terreni sciolti (sabbie o ghiaie) e di una falda superficiale. Nell’area di studio, questa tipologia di terreni è



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 rappresentata dai depositi alluvionali, affioranti estesamente nel centro abitato, e dai depositi del terrazzo marino ubicato a nord-est. Abbiamo già visto (Capitolo 6) che nell'area di studio sono stati realizzati n. 12 pozzi elencati in una tabella della relazione geologica realizzata per il P.R.G.; nella quale, però, non è specificato se la profondità riportata si riferisca al pozzo o alla falda. Nella stessa relazione viene segnalata la presenza di diverse sorgenti e di zone di emergenza di polle d'acqua ubicate nel settore orientale del territorio comunale (al di fuori dell'area di studio), lungo la costa ionica, al contatto tra i depositi alluvionali con i depositi più fini della piana costiera e con il substrato argilloso che in questo settore si trova a bassa profondità (vedi Capitolo 3). Ulteriori informazioni riguardo la profondità della falda superficiale possono essere desunte dall'Allegato 3 "Carta idrogeologica in scala 1:10.000" alla relazione geologica per il P.R.G. (Fig. 41), nel quale vengono riprodotte le cosiddette "curve di livello del muro di ricoprimento resistente" che dovrebbero rappresentare il tetto del substrato impermeabile. Nella Carta idrogeologica del massiccio vulcanico dell'Etna (Ferrara, 2001) si può, invece, osservare come l'abitato di Fiumefreddo di Sicilia si trovi tra le curve isopiezometriche comprese tra 75 e 10 metri (Fig. 42). L'insieme dei dati idrogeologici non consente di escludere la presenza al di sotto dei depositi alluvionali di una falda acquifera a profondità inferiori a 20 metri. A causa di tali incertezze, nella "Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica" tra le instabilità non sono state inserite aree potenzialmente soggette a liquefazione, anche se nei successivi stadi di approfondimento sarà necessario programmare indagini, sia dirette che geofisiche, al fine di ricostruire in dettaglio l'andamento della falda superficiale.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

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 Fiumefreddo di Sicilia, consistono di un’indagine lineare e indagini puntuali, eseguite esclusivamente in foro, ad eccezione di una trincea esplorativa. 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 inseriti n. 58 “Siti_puntuali” (43 relativi a dati pregressi e 15 a misure HVSR realizzate dall’Università di Catania nel corso del presente studio).

Per quanto riguarda le “Indagini_puntuali” sono state inserite n. 59 indagini che constano di n. 15 indagini HVSR, n. 42 sondaggi a carotaggio continuo e la trincea esplorativa, archiviata anche come trincea paleosismologica nonostante le remore espresse nel Capitolo 6.

L'unica "Indagine_lineare" inserita è rappresentata dalla sezione geologica riportata in figura 33.

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 e sull'interpretazione dei sondaggi geognostici disponibili, che hanno consentito di distinguere i diversi terreni di copertura e le diverse unità litologiche rappresentate nella carta geologico-tecnica seguendo gli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica-Versione 2.0beta-II". La classificazione dei terreni di copertura, descritta già in dettaglio nei capitoli precedenti, è stata eseguita secondo il sistema USCS. Si fa presente che anche laddove tali terreni non sono stati cartografati, perché di spessore inferiore ai 3 metri, il substrato geologico è sovente ricoperto da suolo di alterazione e localmente da materiali di riporto.

Per quanto riguarda i terreni vulcanici, essi sono stati considerati unità di copertura (LC) sulla base della loro giacitura rispetto alle altre formazioni superficiali. La loro rappresentazione ha seguito i 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.

8.3 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica

Sulla base delle unità caratterizzate e cartografate nella carta geologico tecnica e del modello del sottosuolo (vedi Capitolo 5) è stato possibile realizzare la Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica, Secondo gli "Indirizzi e Criteri per la



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77
"Microzonazione Sismica" (Gruppo di lavoro MS, 2008) in tale elaborato cartografico si
individuano tre tipi di microzone:

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

I dati raccolti, non hanno consentito l'identificazione di zone stabili, in quanto in nessun luogo è stato riconosciuto un substrato affiorante con i caratteri di bedrock sismico. La notevole variabilità laterale dei terreni di copertura affioranti ha comportato la definizione di 12 distinte microzone riferite ad aree stabili suscettibili di amplificazione, nonché 2 distinte zone suscettibili di instabilità.

La copertura lavica, costituita da colate sovrapposte poggianti su un substrato sub-pianeggiante è stata inserita prevalentemente in una unica microzona. In termini realistici, non è prevedibile che l'estrema eterogeneità laterale dei terreni vulcanici si

traduca effettivamente in un comportamento omogeneo, come codificato per altri tipi di terreno. E' molto più probabile che il concetto di microzona omogenea, nel caso dei terreni vulcanici vada intesa come area all'interno della quale i parametri di variazione locale del moto oscillano nell'ambito di intervalli definiti, differenti da quelli di microzone adiacenti. I vari intervalli potranno essere stabiliti solo in seguito alla definizione di un abaco di riferimento che tenga conto, ad esempio del contributo degli orizzonti scoriacei o clastici comunemente intercalati tra le diverse colate di copertura e della variabilità laterale delle litofacies all'interno delle singole colate. A titolo di esempio, si segnala la possibilità che all'interno di una microzona omogenea si possano manifestare effetti di particolare amplificazione lungo determinati allineamenti, come nel caso dei bordi di colata o di paleovalle incisa nel substrato argilloso, che potrebbero spiegare i fenomeni di amplificazione a frequenze relativamente elevate osservati nelle misure di microtremore ambientale. Queste eterogeneità laterali di litologia, molto comuni in ambiente vulcanico, andrebbero considerate alla stessa stregua delle variazioni litologiche verticali, già previste negli abachi. E' chiaro che i passaggi laterali si proietterebbero in carta come linee, al contrario dei passaggi verticali che sono già contemplati nella stratigrafia relativa alle singole microzone. Pertanto, in attesa della definizione degli abachi, in aggiunta alle microzone omogenee riportate in carta, si consiglia di considerare tutti i bordi di colata riportati nella Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica come elementi lineari lungo i quali vi è la possibilità di un sostanziale incremento locale dell'amplificazione.

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

- **Zona 1** Lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (la), che raggiungono anche i 30 m di spessore, alternate a depositi alluvionali terrazzati, costituiti da sabbie limose e ghiaie più o meno sabbiose (tf), per uno spessore massimo fino a circa 40 m, di riempimento di paleovalli o in appoggio su versanti sepolti sul substrato geologico non rigido costituito da argille marnose grigio-azzurre, che rappresentano il substrato pre-etneo con spessori non valutabili, nell'ordine dei centinaia di metri.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

- **Zona 2** Materiale di riporto eterogeneo ed eterometrico in matrice sabbiosa e limosa (zz) con spessore fino a 4,5 m che poggia su lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (la) spesse fino a 30 m, di riempimento di paleovalli sul substrato geologico non rigido costituito da argille marnose grigio-azzurre.
- **Zona 3** Depositi alluvionali terrazzati costituiti da sabbie limose e ghiaie più o meno sabbiose (tf) spessi fino a circa 10 m alternati a lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (la) spesse fino a circa 30 m, per uno spessore complessivo fino a circa 40 m, di riempimento di paleovalli o in appoggio su versanti sepolti sul substrato geologico non rigido costituito da argille marnose grigio-azzurre.
- **Zona 4** Materiale di riporto eterogeneo ed eterometrico in matrice sabbiosa e limosa (zz) con spessore fino a 4,5 m che poggia sulla successione della microzona 3.
- **Zona 5** Copertura eluvio-colluviale costituita da argille limose alterate (ec) con spessore di 3-3,5 m circa che poggia sul substrato geologico non rigido costituito da argille marnose grigio-azzurre o da argille scagliose.
- **Zona 6** Materiale di riporto eterogeneo ed eterometrico in matrice sabbiosa e limosa (zz) con spessore fino a 4,5 m, poggiate sulla successione della microzona 5.
- **Zona 7** Depositi marini terrazzati costituiti da sabbie calcaree bioclastiche, ghiaie e ciottoli (tm), e depositi alluvionali terrazzati costituiti da sabbie limose e ghiaie più o meno sabbiose (tf), con spessore medio di circa 5m, che poggiano sulla copertura eluvio-colluviale (ec), costituita da argille limose alterate con spessore di 3-3,5 m circa, del substrato geologico non rigido.
- **Zona 8** Materiale di riporto eterogeneo ed eterometrico in matrice sabbiosa e limosa (zz), con spessore fino a 4,5 m, che poggia sulla successione della microzona 7.
- **Zona 9** Lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (la), con spessore compreso tra 5 e 12m, che ricoprono altri terreni di copertura, le cui geometrie sepolte andranno definite nell'ambito degli studi di secondo livello.
- **Zona 10** Depositi alluvionali costituiti da sabbie limose e ghiaie più o meno sabbiose (tf), spessi fino a circa 30 m in prossimità della faglia, che assieme alle lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (la), poggiano su altri terreni di copertura e/o su diversi termini del substrato geologico, le cui geometrie andranno definite negli studi di secondo livello.
- **Zona 11** Lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (la), con spessore compreso tra 5 e 12 m circa, alternate a depositi alluvionali terrazzati, costituiti da sabbie limose e ghiaie più o meno sabbiose (tf) spessi fino a circa 10 m, per uno spessore complessivo fino a circa 30 - 40 m, che ricoprono una superficie sub-orizzontale di spianamento o di abrasione marina modellata sul substrato geologico non rigido costituito da argille marnose grigio-azzurre.
- **Zona 12** Depositi alluvionali terrazzati costituiti da sabbie limose e ghiaie più o meno sabbiose (tf) spessi fino a circa 10 m, alternati a lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (la), spesse fino a circa 15 m, per uno spessore complessivo fino a circa 30 - 35 m, che ricoprono

una superficie sub-orizzontale di spianamento o di abrasione marina modellata sul substrato geologico non rigido costituito da argille marnose grigio-azzurre.

- **Zona 13** Lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (la), costituite da più colate sovrapposte, che complessivamente raggiungono circa 20 m di spessore, di riempimento di paleovalli sul substrato geologico non rigido costituito da argille marnose grigio-azzurre.
- **Zona 14** Depositi alluvionali terrazzati costituiti da sabbie limose e ghiaie più o meno sabbiose (tf) spessi fino a circa 10 m, che poggiano sulla successione della microzona 13.
- **Zona 15** Lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (la) che poggiano sulla successione della microzona 14.

Le due zone di instabilità comprendono le aree già censite dal PAI come ad elevato rischio di frana, nonché quella, in località Serra San Biagio, segnalata nell'Allegato 4 al P.R.G. "Carta della pericolosità geologica in scala 1:10.000".

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

L'**Allegato 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 Fiumefreddo di Sicilia, 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. 2 e 3).

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:

- A seguito del terremoto del 20 febbraio 1818, la località di Fiumefreddo di Sicilia fu inserita, nel quadro riassuntivo delle perizie, tra quelle in cui si verificarono danni di media entità rispetto ai paesi dell'area epicentrale.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

Risultarono gravemente danneggiate le carceri che si trovavano nella torre del castello, dove crollò l'ultimo piano e rimase gravemente lesionato un muro. Furono lesionati la chiesa parrocchiale e il castello feudale, crolli parziali furono rilevati nel mulino principale. Le tavole sinottiche redatte a cura dell'Intendenza di Catania, riproducenti i risultati delle perizie ufficiali ed altre relazioni peritali, riportarono il numero di 190 case danneggiate, di queste 2/16 erano classificate come cadute, 2/16 come cadenti e 12/16 lesionate, una casa necessitava di puntellatura.

- La scossa verificatasi l'11 ottobre 1911 venne avvertita dagli abitanti anche se nel catalogo non sono segnalati danni a cose o alla popolazione.
- Non sono note descrizioni degli effetti dell'evento sismico dell'11 maggio 1975. Bottari & Lo Giudice (1975) hanno valutato l'intensità della scossa di III grado MCS.
- Infine secondo uno studio macrosismico condotto dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), basato su questionari e sopralluoghi tecnici, gli effetti del terremoto del 13/12/1990 sono stati stimati di intensità pari al IV-V grado MCS.

10. Bibliografia

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

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

AA.VV.; 2010 – Note illustrative Foglio Geologico 613 “Taormina”. A cura di Fabio Lentini. Ed. S.EL.CA, Firenze (IT).

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

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

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. <http://www.ct.ingv.it/ufs/macro/>

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



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

Azzaro R., Ferreli L., Michetti A. M., Serva L., Vittori E.; 1998 – Environmental Hazard of Capable Faults: The Case of the Pernicana Fault (Mt. Etna, Sicily). *Natural Hazards*, Vol. 17, Issue 2, 147–162.

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

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

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

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

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.

Bottari A., Lo Giudice E.; 1975 – Studio macrosismico del terremoto di Reggio Calabria del 16 Gennaio 1975. *Annali di Geofisica*, 28, 151–176.

Branca S., Catalano S.; 2000 – Stratigraphical and morphological criteria for the reconstruction of UBSU in the peripheral area of MT. Etna (Italy). *Mem. Soc. Geol. It.*, 55, 381–387.

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.

Calvari S., GropPELLI G., Pasquare´G.; 1994 – Preliminary geological data on the south–western wall of the Valle del Bove, Mt. Etna, Sicily. *Acta Vulcanol.*, 5, 15–30.

Catalano S., De Guidi G.; 2003 – Late Quaternary uplift of northeastern Sicily: relation with the active normal faulting deformation. *Journal of Geodynamics* 36, 445–467.

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., 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.

De Guidi G., Catalano S., Monaco C., Tortorici L.; 2003 – Morphological evidence of Holocene coseismic deformation in the Taormina region (NE Sicily). *Journal of Geodynamics*, 36, 193–211.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

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.

Di Stefano A., Branca S.; 2002 – Long-term uplift rate of the volcano basement (southern Italy) based on biochronological data from Pleistocene sediments. *Terra Nova*, 14, 61–68.

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).

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

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

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

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

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

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

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

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

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



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

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

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>

Serva L.; 2011 – La valutazione del terremoto di riferimento per la progettazione di impianti a rischio di incidente rilevante. ENEA, Giornata di studio “LEZIONI DAL TERREMOTO DI TOHOKU” Roma, 1 luglio 2011.

11. Allegati

Allegato 1 – Sezioni geologiche

Allegato 2 – Sondaggi sezioni geologiche

Allegato 3 - Dati geotecnici

Allegato 4 - Misure di microtremore ambientale

Allegato 5 - Sezioni topografiche

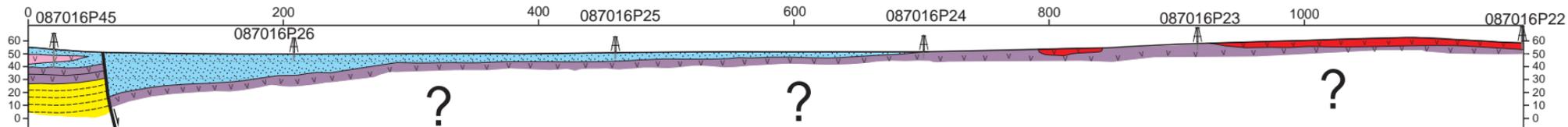
Allegato 6 - Schemi dei rapporti litostratigrafici più significativi

ALLEGATO 1 – SEZIONI GEOLOGICHE

NNE

SSO

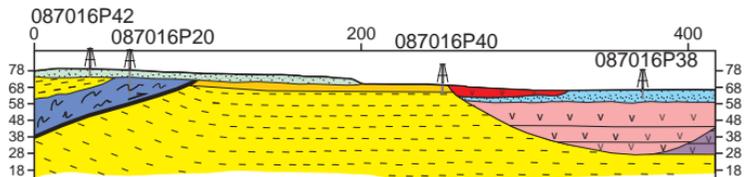
Profilo A-A'



NE

Profilo B-B'

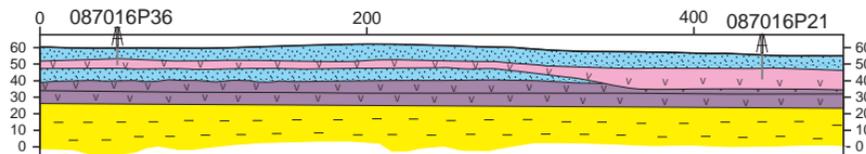
SO



NNE

Profilo C-C'

SSO



LEGENDA

- Lave superiori
- Depositi alluvionali recenti ed attuali
- Lave intermedie
- Lave inferiori
- Depositi alluvionali terrazzati (Pleistocene superiore)
- Copertura alterata delle argille grigio azzurre
- Argille grigio-azzurre (Pleistocene inferiore-medio)
- Argille scagliose (Cretaceo superiore)

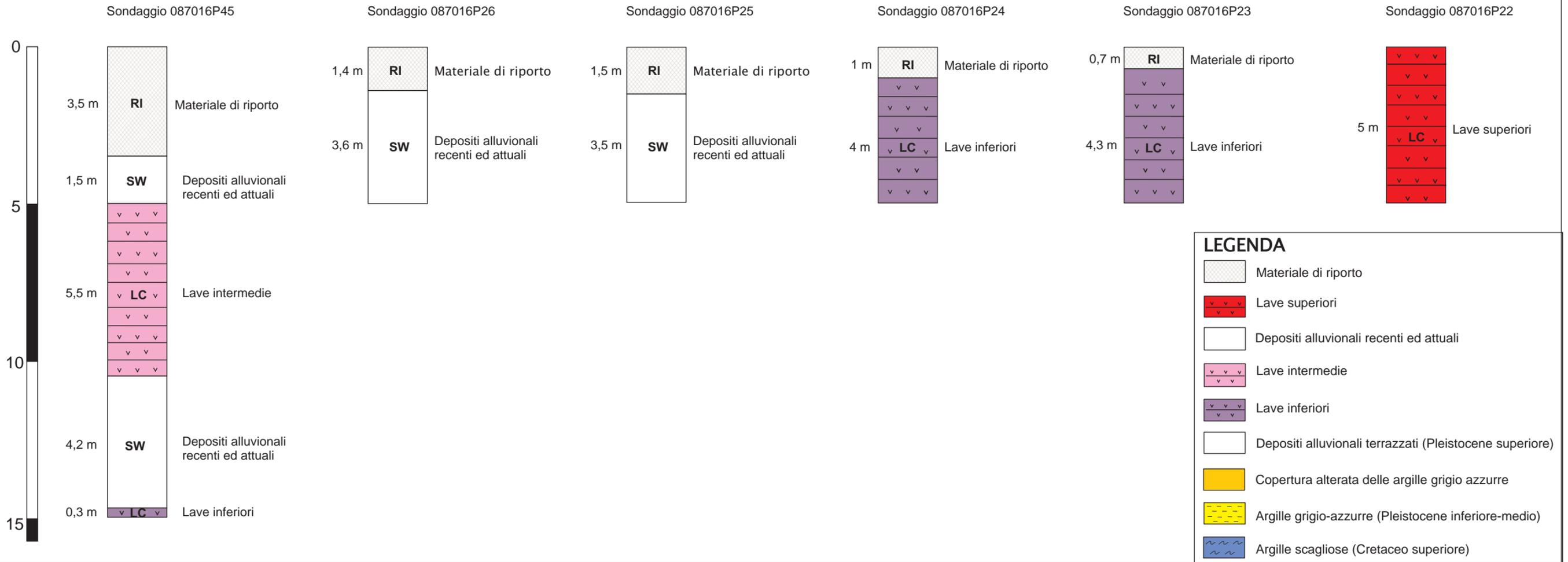
Faglia normale attiva

Faglia inversa

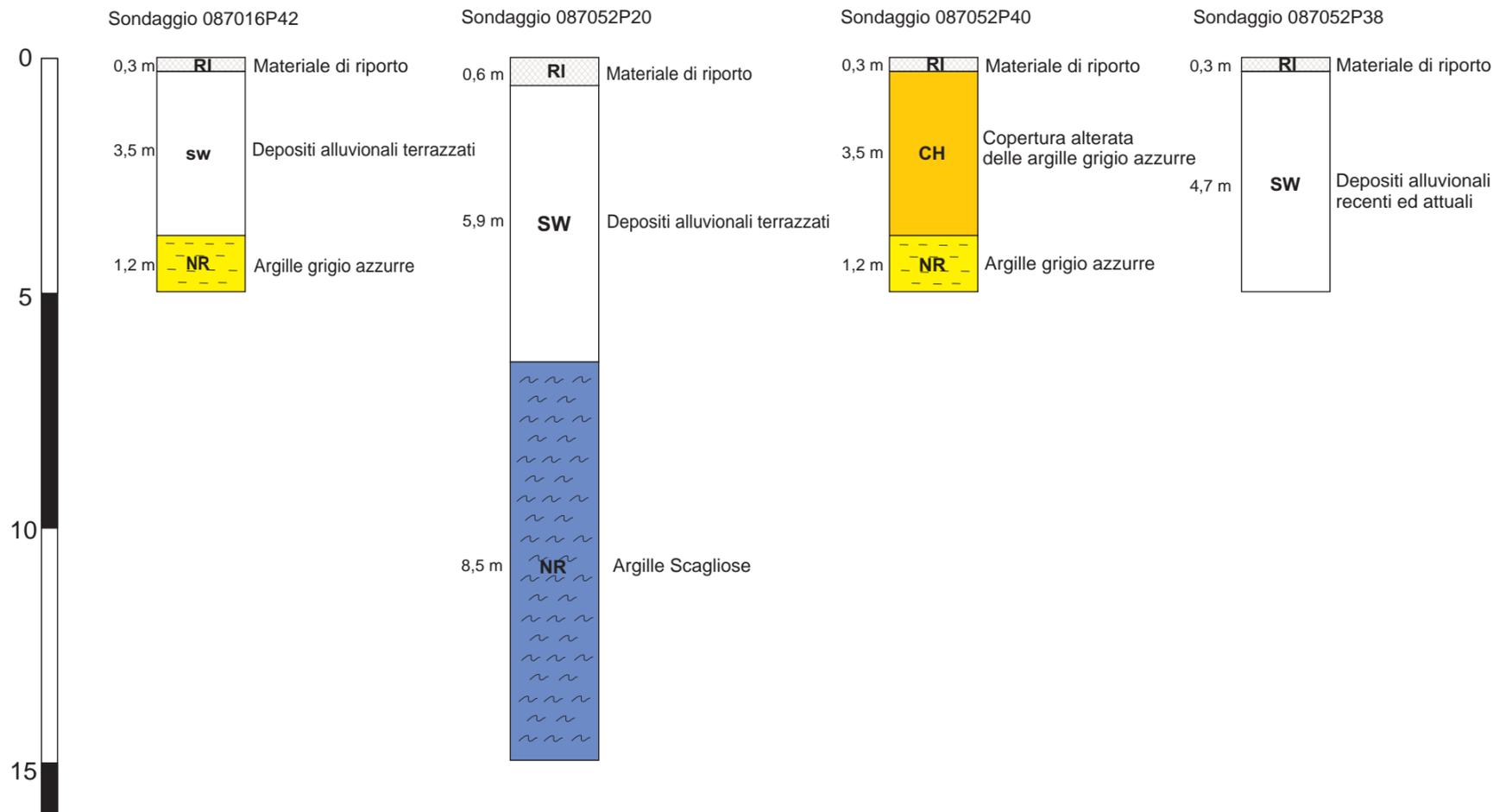
Scala 1:5000

ALLEGATO 2 – Sondaggi sezioni geologiche

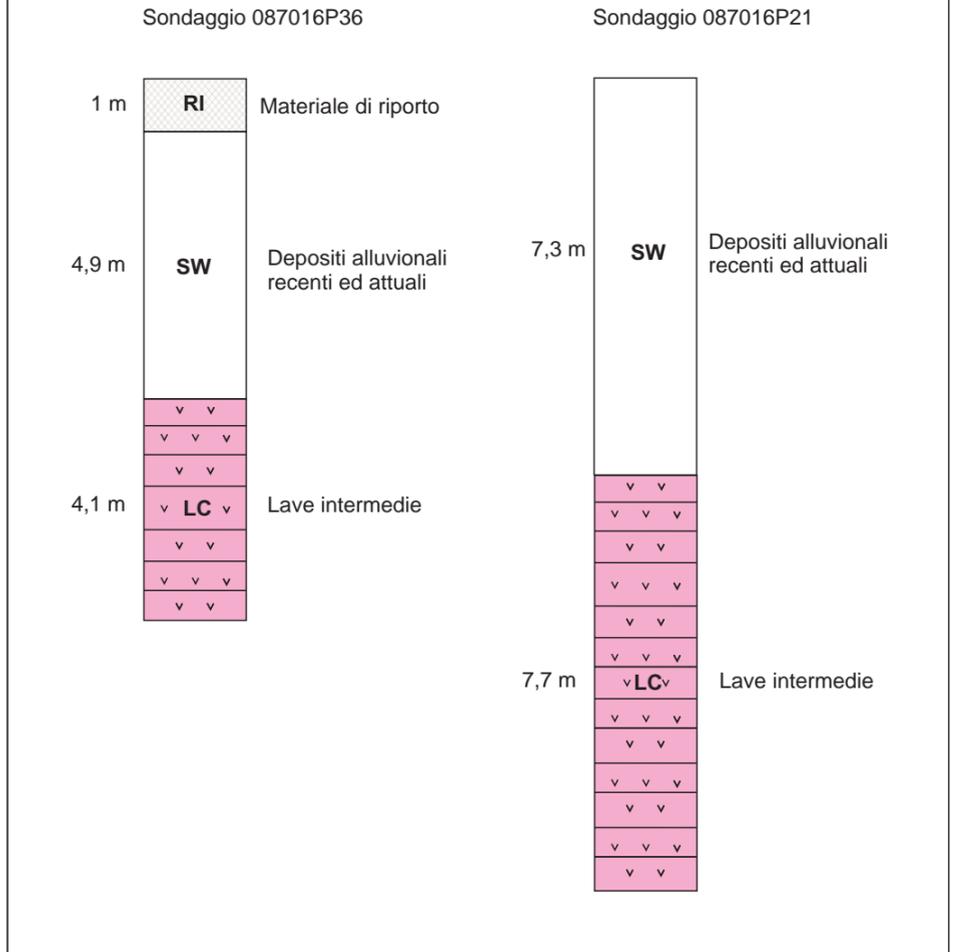
Profilo A – A'



Profilo B – B'



Profilo C – C'



Allegato 3 – Dati geotecnici

Litotipo	Unità litotecnica	Descrizione litotipo	Litotipo	γ [PV (T/mc)]	c' [C (T/mq)]	Φ [F1 (°)]	C_u [CU (T/mq)]	Φ_u [F1 (°)]
SWtf	Depositi alluvionali recenti e terrazzati	Successione di terreni medio-fini (sabb. lim.) e terreni grossolani (sabb. ghiaiose con inclusi elementi decim. litici vulcanici) a comportamento incoerente, medio grado di addensamento e deformabilità medio-bassa.		1,90	0	28° - 30°		
Lcla	Terreni di copertura delle colate laviche	Materiale misto di prodotti piroclastici e porzioni scoriaee a diff. grado di cementaz. La granul. varia dalle ceneri alle sabbie e ghiaie, con inclusi ciottoli. Il comportamento è di tipo incoerente, grado di addensamento medio-alto, deformabilità è medio-bassa.		1,8 - 1,9	0	32° - 35°		
LClA	Colate laviche	Sovrapposizione di emissioni laviche basaltiche in spessori metrici, cui risultano occasionalmente intercalati strati di piroclastiti. L'ammasso lavico presenta fratture dovute ai fenomeni contrazione per raffreddamento e di origine tettonica, che lo suddividono in poliedri giustapposti di volume roccioso unitario in genere superiore al metro cubo.	Per ciò che concerne la caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso si è fatto riferimento ad una roccia di classe IV della classificazione di Barton (Fair Quality Rock Mass), caratterizzata da valori di resistenza UCS della matrice rocciosa di 700 (kg/cm ²). I parametri di resistenza al taglio, sono stati calcolati con il metodo di Hoek e Brown, in funzione dei valori di σ_n applicati, e vengono riportati nella sottostante figura.					
Clec	Terreni di copertura delle Argille Varicolori	Depositi caotici di materiali clastici a grana da medio-fine (sabbie lim. e limi sabb. inglobanti ciottoli spigolosi) a fine, (limi argill. od argille inglobanti ciottoli spigolosi). Comportamento pseudocoerente, stato di consistenz plastico, deformabilità alta, bassa resistenza al taglio.		1,9 - 2,0			4,0 - 6,0	0°
NR	Argille Varicolori	Depositi caotici di materiali sciolti a grana fine (limi argill. od argille inglobanti ciottoli spigolosi di varia natura). Materiali a comportamento pseudocoerente, con stato di consistenza da solido-plastico a semisolido, deformabilità medio-bassa e medi valori di resistenza al taglio.		2,0 - 2,1			10,0 - 12,0	0°
Rizz	Terreni di copertura delle Sabbie Arenarie e Conglomerati	Terreni, dati da sabbie con minori percentuali di limi e ghiaie ed inclusi ciottolosi di natura lavica ed arenacea. Si tratta di materiali a comportamento incoerente e discreti valori di resistenza al taglio.		1,80			0,0	30°
SWtm	Sabbie Arenarie e Conglomerati	Alternanza di materiale sciolto dato da sabbie quarzose giallastre e materiale variamente cementato (arenarie ben compatte e conglomerati poligenici a cementazione variabile). Successione assimilabile a terreni sciolti a comportamento incoerente, addensamento medio-alto.		1,90			0,0	32°
CLec	Terreni di copertura delle Argille marnose grigio azzurre	Depositi caotici di materiali sciolti a grana da medio-fine (sabbie lim. e limi sabb. inglobanti ciottoli) a fine (limi argill. od argille inglobanti ciottoli). Materiali a comportamento pseudocoerente, stato di consistenz plastico, deformabilità alta, bassa resistenz al taglio.		1,9 - 2,0			5,0 - 8,0	0°
NR	Argille marnose grigio-azzurre	Successioni ordinate composte da depositi di materiali clastici a grana fine (limi argill. a volte debolmente sabbiosi). Terreni a comportamento pseudocoerente, con stato di consistenza da solido-plastico a semisolido, deformabilità medio-bassa e medi valori di resist. al taglio.		2,0 - 2,1			12,0 - 15,0	0°

Tab. 1: dati litologici, geotecnici e geomeccanici tratti da "Barbagallo G.; Barbagallo O. – Studio geologico a supporto del Piano regolatore Generale di Fiumefreddo di Sicilia (CT) – 13 settembre 2006" (valori desunti da studi precedenti sugli stessi litotipi).



Fig. 1: Dettaglio riguardante i parametri di resistenza al taglio per le colate laviche calcolati con il metodo di Hoek e Brown, in funzione dei valori di σ_n applicati.

Allegato 4 – Misure di microtremore ambientale

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

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

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

Per risposta sismica locale (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.

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

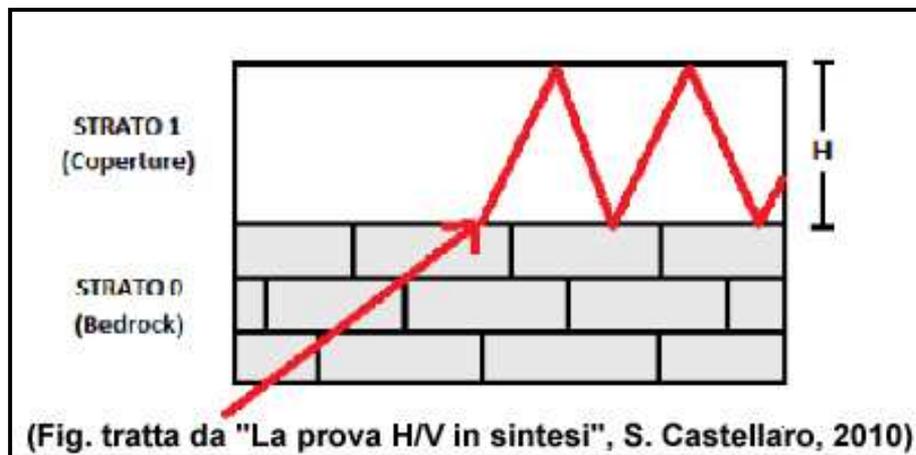
Ciò premesso, riconosciuta l'importanza degli effetti di sito, al progettista serve conoscere la *funzione di trasferimento* al sito, ossia come il moto dal bedrock si trasferisce in superficie; ne consegue che la condizione ideale risulta la misurazione e non il calcolo (che richiederebbe la modellazione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

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

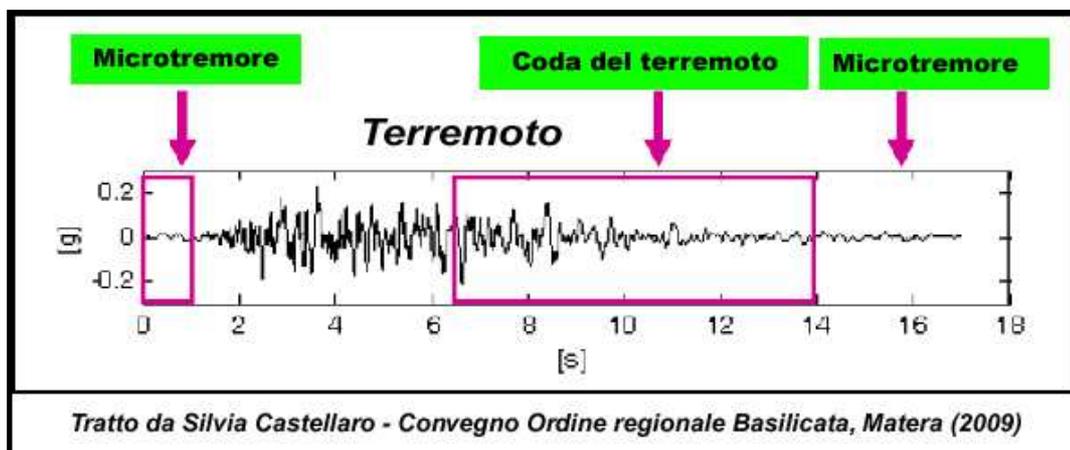
A tal proposito va rilevato, quindi, come lo studio del microtremore ambientale (noise), attraverso le prove di sismica passiva a stazione singola H/V (o HVSR), sia in grado di mettere in luce le frequenze alle quali il moto del terreno viene amplificato per risonanza stratigrafica; tale prova, comunemente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

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

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



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



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

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

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

Equazione 1

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

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

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

Quando si effettua una modellazione per ricavare la risposta sismica di sito (per esempio in termini di funzione di amplificazione del moto alle varie frequenze), si

dovranno riprodurre almeno le frequenze sperimentalmente misurate tramite H/V_{tremore} pur differendo le ampiezze per i motivi su esposti.

Nello specifico, considerando l'estensione e la topografia dell'area, questo studio ha comportato l'esecuzione di "15" misure, secondo le indicazioni del progetto di ricerca europeo SESAME ("Guidelines for the implementation of the H\|V spectral ratio technique on ambient vibrations" – European Commission, dic. 2004); tutte le registrazioni dei microtremori sono state effettuate con tromografi digitali portatili serie Tromino (Micromed S.p.A.), progettati specificamente per l'acquisizione del rumore sismico, dotati di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) ortogonali ed orientati N-S, E-W e verticalmente, alimentati da 2 batterie da 1,5 V e senza alcun cavo esterno; il rumore sismico ambientale è stato acquisito ad una frequenza di campionamento di 256 Hz, amplificato, digitalizzato a 24 bit equivalenti e registrato per circa 45 minuti in corrispondenza di ciascuna delle stazioni di misura ubicate all'interno del comprensorio esaminato.

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

Occorre, altresì, ricordare come il posizionamento dello strumento su suolo artificiale rigido (asfalto, cemento, pavimentazioni) assume un certo rilievo nel definire il grado di amplificazione locale in quanto la misura eseguita su un suolo artificiale più rigido del terreno sottostante genera un'inversione di velocità sismica scendendo in profondità che si manifesta in una curva H/V con ampiezza minore di 1 fino a frequenze anche di 2-1 Hz.; le ampiezze H/V registrate potrebbero pertanto essere artefattualmente *sottostimate* rispetto a quelle reali per le ragioni descritte in Castellaro e Mulargia (2009).

I risultati di ciascuna analisi sono stati ottenuti col software Grilla in dotazione al tromografo-Tromino per cui il segnale acquisito dai velocimetri è stato digitalizzato a 24 bit; il software Grilla per ciascuna delle tre componenti del moto, previa divisione del tracciato in finestre temporali di 10 secondi, ha calcolato il rapporto spettrale HVSR ad ogni frequenza per ciascuna finestra (Es. Fiumefreddo di Sicilia - 087016P1).

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

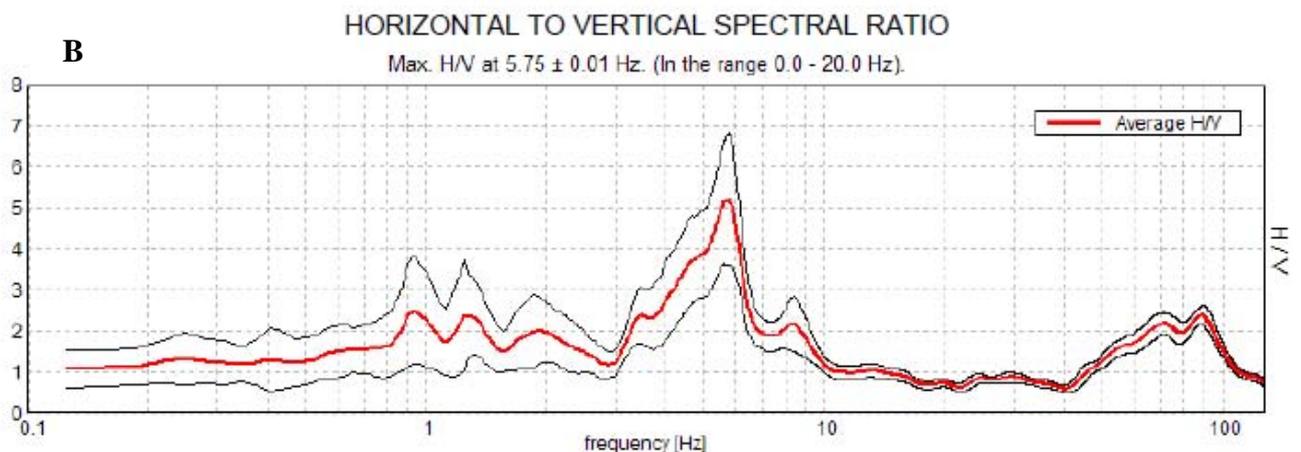
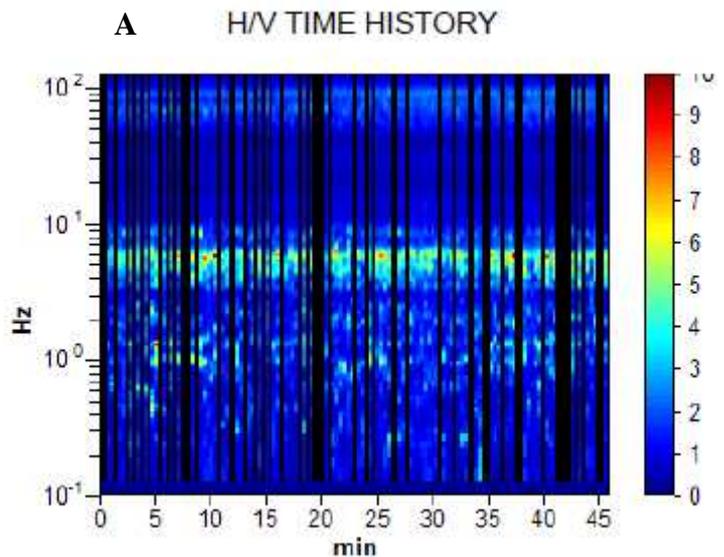


Figura 1: Serie Temporale H/V (A) e Rapporto Spettrale orizzontale/verticale (B) relativo all'indagine 087016P1 a Fiumefreddo di Sicilia.

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

In considerazione delle finalità del presente studio, la tecnica utilizzata, totalmente non invasiva e molto "rapida", si è ben adattata ai luoghi di indagine in quanto non ha

avuto necessità di alcuna ulteriore perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazioni esterne diverse dal rumore ambientale che in natura è ovunque presente.

Elaborazione delle misure

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

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

La Tabella 1 mostra i valori delle frequenze di picco, in un range compreso tra 0.6 e 20 Hz, relativi ai 15 siti di misura ubicati all'interno dell'area di studio. Si può osservare che la frequenza di picco mostra valori molto variabili, compresi tra ~ 1 e ~ 10 Hz. In alcuni casi, all'interno del range di frequenza considerato (0.6 - 20 Hz), vengono segnalati due o tre picchi, alcuni dei quali abbracciano valori di frequenza più elevati. E' da notare, inoltre, che nella maggior parte dei casi si osservano amplificazioni superiori a 2; nelle indagini 087016P1 e 087016P8 si misurano $H/V > 5$.

Attraverso la stima dei valori di H/V dei diversi siti, ricadenti all'interno dell'area comunale, sarà possibile distinguere in prima approssimazione, in funzione del range di frequenza considerato, le aree dove ci si aspetta la presenza nel sottosuolo di variazioni significative del contrasto di impedenza sismica (e conseguentemente di un maggior grado di amplificazione) rispetto a quelle zone dove questi contrasti hanno ampiezze ridotte.

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

ID_SPU	NOME	UTMx	UTMy	F ₀	H ₀ /V ₀	F ₁	H ₁ /V ₁	F ₂	H ₂ /V ₂
087016P1	143	517644,49	4183927,07	0,94	2,51	1,31	2,35	5,75	5,21
087016P2	144	518179,79	4183905,68	9,38	4,74				
087016P3	145	519053,95	4183441,78	1,16	1,94				
087016P4	146	518937,16	4182928,93	12,19	3,73				
087016P5	147	518244,12	4181801,23	5,31	2,08	9,56	2,51		
087016P6	148	518220,13	4181098,88	2,94	1,85				
087016P7	149	517576,29	4181147,4	3,5	2,18	4,69	2,99	9,69	4,33
087016P8	150	516883,03	4182965,51	3,66	1,89	21,88	5,36		
087016P9	151	516807,82	4182286,35	2,94	1,60	11,88	2,86		
087016P10	152	517541,14	4181527,88	17,19	2,24				
087016P11	153	518493,26	4183001,15	5,63	1,78				
087016P12	154	517738,85	4182946,23	7,44	3,93				
087016P13	155	517582,66	4182367,76	5,16	1,92				
087016P14	156	518330,7	4182463,79	8,44	2,62				
087016P15	157	518802,63	4182465,96	6,44	2,90	15,31	2,00		

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

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

- **0.6 ≤ f < 2.0 Hz** questo intervallo riguarda strutture di dimensioni grandi (> 10÷20 piani, indicativamente);
- **2 .0 ≤ f < 10.0 Hz** quest'altro intervallo riguarda strutture di dimensioni medio-piccole (1-10 piani, indicativamente);
- **10.0 ≤ f < 20.0 Hz** questo range riguarda strutture di piccole dimensioni (< 3 m altezza, indicativamente).

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

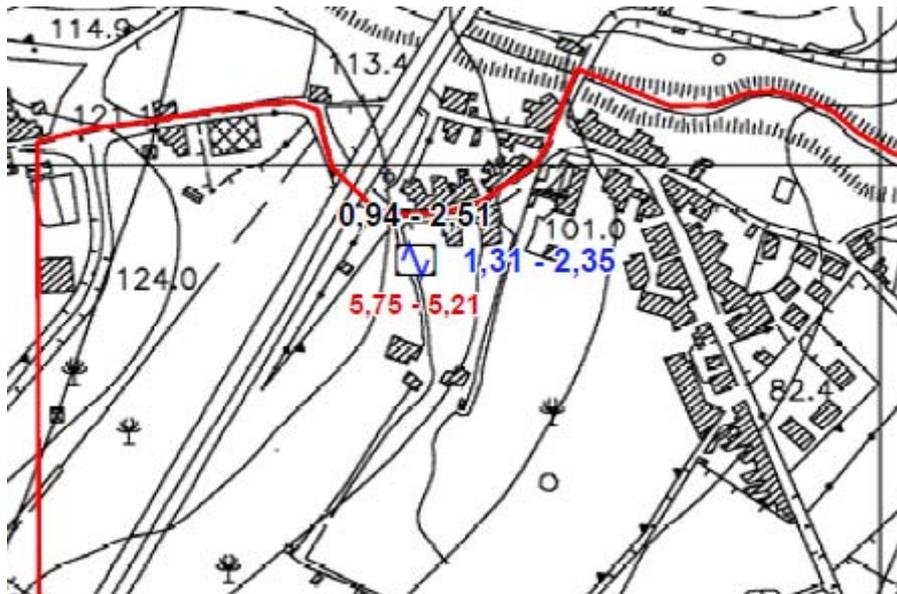


Figura 2: Esempio di due siti di misura HVSR presenti nella carta delle frequenze allegata, mostrante i valori di frequenza ed ampiezza dei picchi significativi (due in questo caso).

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

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

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

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

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

Max. H/V at 5.75 ± 0.01 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).					
Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]					
$f_0 > 10 / L_w$	5.75 > 0.50	OK			
$n_c(f_0) > 200$	9890.0 > 200	OK			
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 277 times	OK			
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]					
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	3.938 Hz	OK			
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	6.469 Hz	OK			
$A_0 > 2$	5.21 > 2	OK			
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0.00103 < 0.05	OK			
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.00592 < 0.2875	OK			
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.7978 < 1.58	OK			
L_w n_w $n_c = L_w n_w f_0$ f f_0 σ_f $\varepsilon(f_0)$ A_0 $A_{H/V}(f)$ f^- f^+ $\sigma_A(f)$ $\sigma_{\log H/V}(f)$ $\theta(f_0)$	window length number of windows used in the analysis number of significant cycles current frequency H/V peak frequency standard deviation of H/V peak frequency threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ H/V peak amplitude at frequency f_0 H/V curve amplitude at frequency f frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$ frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$ 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 standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$				
Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Figura 3: tabelle dei criteri per una curva H/V affidabili e per un picco H/V chiaro relativi all'indagine 087016P1 i cui requisiti vengono soddisfatti.

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

I picchi principali di risonanza per ciascuna delle misure non sempre risultano significativi e chiari, come evidenziato dal fatto che non vengono soddisfatti tutti i sei criteri analizzati della Tabella relativa ai “Criteri per un picco H/V chiaro” (esempio in Figura 4), i quali indicano se il “picco” è significativo dal punto di vista statistico; va detto che cinque di questi sei criteri andrebbero soddisfatti e che il mancato soddisfacimento dei requisiti non implica una cattiva registrazione del segnale, ma soltanto la mancanza di contrasti d’impedenza tali da dar origine a picchi significativi.

Max. H/V at 2.94 ± 0.46 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).					
Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]					
$f_0 > 10 / L_w$	2.94 > 0.50	OK			
$n_c(f_0) > 200$	4582.5 > 200	OK			
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 142 times	OK			
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]					
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.156 Hz	OK			
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	9.906 Hz	OK			
$A_0 > 2$	1.85 > 2		NO		
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0.07818 < 0.05		NO		
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.22966 < 0.14688		NO		
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.3049 < 1.58	OK			
L_w window length n_w number of windows used in the analysis $n_c = L_w n_w f_0$ number of significant cycles f current frequency f_0 H/V peak frequency σ_f standard deviation of H/V peak frequency $\varepsilon(f_0)$ threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ A_0 H/V peak amplitude at frequency f_0 $A_{H/V}(f)$ H/V curve amplitude at frequency f f^- frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$ f^+ frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$ $\sigma_A(f)$ standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided $\sigma_{\log H/V}(f)$ standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve $\theta(f_0)$ threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$					
Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Figura 4: tabelle dei criteri per una curva H/V affidabili e per un picco H/V chiaro relativi all’indagine 087016P6 i cui requisiti non vengono soddisfatti.

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

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

Bibliografia

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

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

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

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

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

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

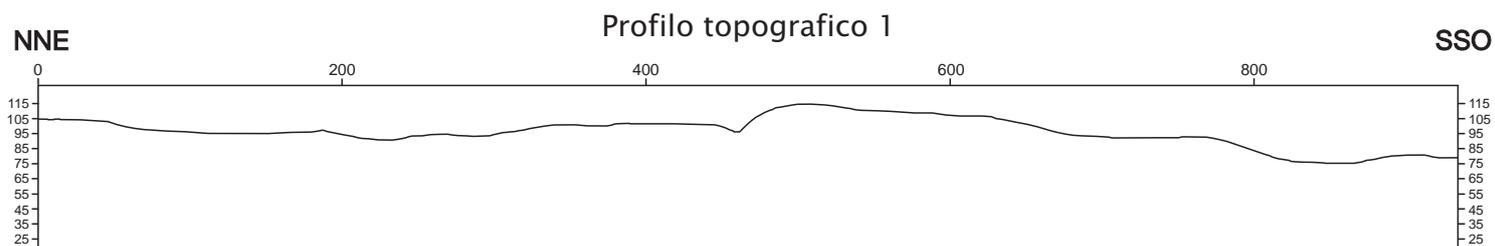
Mucciarelli M., Gallipoli M.R.; 2001 – A critical review of 10 years of microtremor HVSR technique. Boll. Geofis. Teorica Appl., 42, 255–266.

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

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

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

Allegato 5 – Sezioni topografiche



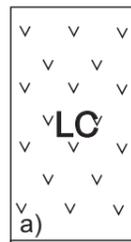
Allegato 6 – Schemi dei rapporti litostratigrafici più significativi

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali





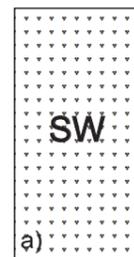
Zona 9



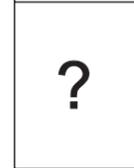
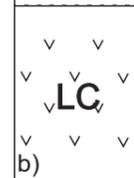
Lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (a), con spessore compreso tra 5 e 12m, che ricoprono altri terreni di copertura, le cui geometrie sepolte andranno definite nell'ambito degli studi di secondo livello.



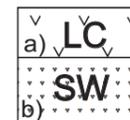
Zona 10



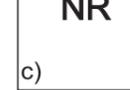
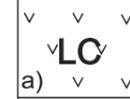
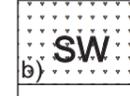
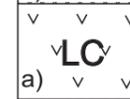
Depositi alluvionali costituiti da sabbie limose e ghiaie più o meno sabbiose (a), spessi fino a circa 30 m in prossimità della faglia, che assieme alle lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (b), poggiano su altri terreni di copertura e/o su diversi termini del substrato geologico, le cui geometrie andranno definite negli studi di secondo livello.



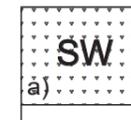
Zona 11



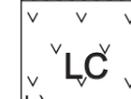
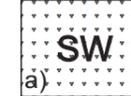
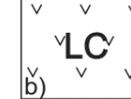
Lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (a), con spessore compreso tra 5 e 12 m circa, alternate a depositi alluvionali terrazzati, costituiti da sabbie limose e ghiaie più o meno sabbiose (b) spessi fino a circa 10 m, per uno spessore complessivo fino a circa 30 - 40 m, che ricoprono una superficie sub-orizzontale di spianamento o di abrasione marina modellata sul substrato geologico non rigido costituito da argille marnose grigio-azzurre(c).



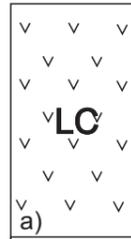
Zona 12



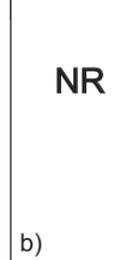
Depositi alluvionali terrazzati costituiti da sabbie limose e ghiaie più o meno sabbiose (a) spessi fino a circa 10 m, alternati a lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (b), spesse fino a circa 15 m, per uno spessore complessivo fino a circa 30 - 35 m, che ricoprono una superficie sub-orizzontale di spianamento o di abrasione marina modellata sul substrato geologico non rigido costituito da argille marnose grigio-azzurre(c).



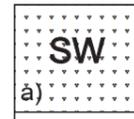
Zona 13



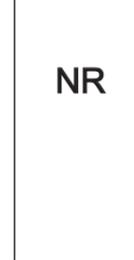
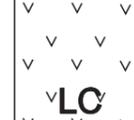
Lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (a), costituite da più colate sovrapposte, che complessivamente raggiungono circa 20 m di spessore, di riempimento di paleovalli sul substrato geologico non rigido costituito da argille marnose grigio-azzurre.



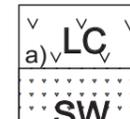
Zona 14



Depositi alluvionali terrazzati costituiti da sabbie limose e ghiaie più o meno sabbiose (a) spessi fino a circa 10 m, che poggiano sulla successione della microzona 13.



Zona 15



Lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (a) che poggiano sulla successione della microzona 14.

