

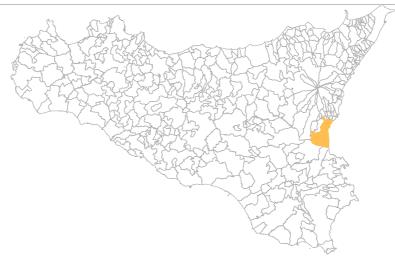




MICROZONAZIONE SISMICA Relazione Illustrativa MS Livello 1

Regione Sicilia

Comune di Catania



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

Contraente:
Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile

Soggetto realizzatore:
Università degli Studi di Catania
Giugno 2013

Indice

1. Introduzione	3
2. Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento	9
3. Assetto geologico e geomorfologico dell'area	23
4. Dati geotecnici e geofisici	54
5. Modello del sottosuolo	59
6. Interpretazioni e incertezze	64
7. Metodologie di elaborazione e risultati	68
8. Elaborati cartografici	82
9. Confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati	88
10. Bibliografia	92
11 Allegati	9.8







1. Introduzione

Gli studi di microzonazione sismica (MS) condotti all'interno del territorio del Comune di Catania (codice istat 087015), 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 determinazione 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 litostratigrafiche e morfologiche di un sito", generalmente espressa in termini quantitativi dal rapporto tra i parametri del moto sismico alla "superficie del sito e quello che si osserverebbe per lo stesso evento sismico su un ipotetico affioramento di roccia rigida con morfologia orizzontale". I fenomeni di instabilità comprendono tutte le "modificazioni permanenti del terreno dovute ad un evento sismico" capaci di produrre danni in aggiunta a quelli legati all'oscillazione del suolo. Tutti gli aspetti connessi alle condizioni locali del sito sono oggetto proprio dell'analisi di pericolosità sismica locale, definita come "componente della pericolosità sismica dovuta alle caratteristiche locali".







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:

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

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

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

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

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

Gli studi condotti nel territorio di Catania si riferiscono al primo livello di approfondimento e sono consistiti nella raccolta dei dati esistenti e nella redazione di una serie di elaborati cartografici (la Carta delle indagini, la Carta geologico tecnica per la MS e la Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica) richiesti dagli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" (Gruppo di lavoro MS, 2008) e nella compilazione di un database, risultato di una profonda e dettagliata elaborazione delle informazioni esistenti. Il territorio del Comune di Catania si sviluppa lungo il basso versante meridionale del Monte Etna in Sicilia orientale con un estensione areale di circa 181 km². L'area interessata dallo studio, concordata con il Dipartimento Regionale della Protezione Civile, deriva dall'unione di due territori relativi a municipalità adiacenti, la municipalità 01- "Centro-San Cristoforo" e 02 - "Ognina-Picanello", per un estensione areale di circa 11,78 km². Tale area comprende al suo interno le zone indicate dall'Amministrazione Comunale con nota prot. N 44550 del 31/10/2011, e oggetto di discussione tra Università di Catania e Dipartimento Regionale di Protezione Civile, nella riunione tecnica del 24/04/2012. La scelta dell'area di studio è stata fatta nel rispetto delle disposizioni dell'art. 7 comma 1 dell'OPCM 3907/2010 e condivisa con il Dipartimento Nazionale di Protezione Civile nel corso di diverse riunioni tecniche.







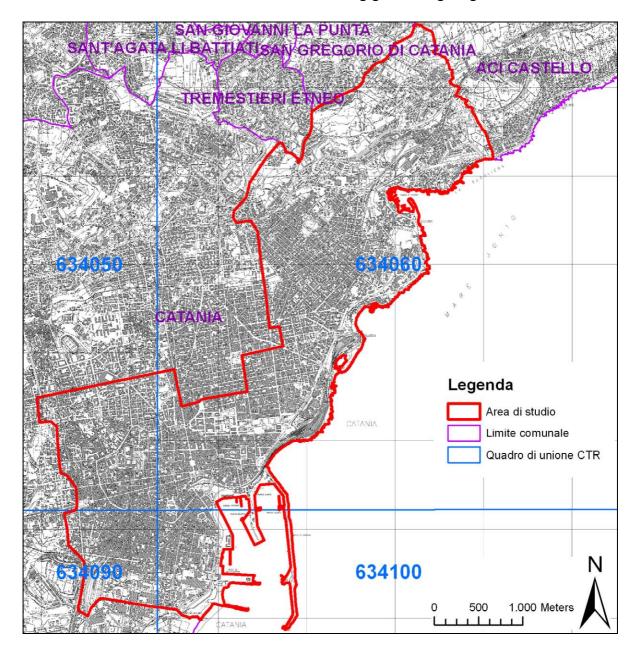


Fig. 1 – Ubicazione dell'area in cui sono stati effettuati gli studi di MS di livello 1 (delimitata in rosso) per il comune di Catania, all'interno delle Sezioni CTR 634050, 634060, 634090 e 634100.

Tale scelta non è stata basata su criteri di valutazione preventiva della pericolosità sismica locale potenziale dei siti prescelti, in quanto essa si può considerare confrontabile con quella propria di tutto il territorio comunale in un contesto di estrema

variabilità dei diversi fattori che controllano la risposta sismica locale, ma deriva dalla possibilità di suddividere l'ampia zona urbana di Catania in due o più aree, con più di 100000 abitanti, in cui effettuare gli studi di microzonazione sismica.

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 634050, 634060, 634090 e 634100 (Fig. 1).

La qualità e l'affidabilità dei risultati sono state chiaramente influenzate dalla disponibilità di dati significativi sui quali operare. Nel caso specifico, per il Comune di Catania è stato possibile attingere ad una buona quantità di indagini pregresse, costituite esclusivamente da sondaggi geognostici distribuiti abbastanza omogeneamente nell'intera area di studio, mentre non sono a noi pervenute indagini geofisiche e indagini di laboratorio. I dati raccolti hanno permesso di vincolare la successione stratigrafica dell'area e consentito una sufficiente ricostruzione 3D delle successioni. E' ovvio che livelli di indeterminazione permangono per quanto attiene lo spessore dei terreni di copertura nelle aree prive di dati diretti di sottosuolo così come la reale profondità del substrato rigido. 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 Catania, relativi ad indagini effettuate per lo studio geologico a supporto del Piano Regolatore Generale (P.R.G.) comprendono l'Allegato 1– "Carta geologica in scala 1:5.000" e l'Allegato 6 " Carta delle ubicazioni dei sondaggi", realizzati nell'ottobre del 2002, oltre ad un grande numero di sondaggi geognostici realizzati tra il 1948 e il 2002. Tali dati sono stati 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 geofisiche effettuate, ad integrazione delle indagini preesistenti.







Lo studio è stato integrato da verifiche di terreno e analisi di aerofotogrammetrie, mirate alla verifica dell'affidabilità del modello geologico proposto. Infine sono state effettuate una serie di misure di microtremori mediante la tecnica di indagine di sismica passiva HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) al fine di determinare il periodo e l'ampiezza delle vibrazioni del suolo, su una griglia di punti omogeneamente distribuiti sull'area investigata, utilizzati per la redazione di una carta delle frequenze. Per il 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, 1999, 2009; Monaco et al., 2000, 2008; Branca et al., 2011) e idrogeologica (Ferrara, 2001) disponibile in Letteratura.

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

Nel presente documento viene definita la pericolosità sismica del Comune di 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 Catania 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 Catania 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 lo = 5-6 e Mw = 3.5. Per tutti i terremoti della sezione, il valore di Mw e la relativa incertezza sono ottenuti dal valore di lo mediante la relazione di Azzaro et al. (2011). Il DBMI11 contiene dati di intensità relativi a 1681 terremoti che fanno parte del 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 del CPTI11; b) 197 terremoti etnei, i cui dati non sono utilizzati per determinare i parametri che fanno parte del 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 possono annoverare il terremoto del 1169 e quello della Val di Noto dell'11 Gennaio 1693, che è quello che più si è impresso nella memoria storica locale dell'intera Sicilia per molte ragioni: la vastità dell'area colpita, la gravità degli effetti, i mutamenti subiti da una intera rete insediativa e infine la straordinaria capacità progettuale che caratterizzò la fase di ricostruzione. Questo disastro sismico costituisce quindi un importante episodio nella storia del popolamento e dell'urbanistica siciliana, nonché un evento di grande interesse per la storiografia e per la sismologia. In figura 2 si riportano i valori dell'intensità macrosismica dell'evento; il Comune di Catania viene catalogato con intensità X-XI MCS (Barbano, 1985). La figura 3 riporta il risultato della ricerca sul database DBMI11, che individua 128 eventi significativi per il territorio di Catania, a partire dall'evento del 1169. La figura 4 riporta il conseguente grafico relativo alla sismicità storica del comune di Catania.







Regione Siciliana – Presidenza Dipartimento della Protezione Civile

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

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

Effetti		In occasione del terremoto d	lel:	
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
10	1169 02 04 07:00	Sicilia orientale	10	10 6.41 ±0.34
7-8	1352 01 25	Catania	1	7-8 5.35 ±0.34
6-7	<u>1536 03 23</u>	CATANIA	1	
5-6	<u>1537 05</u>	CATANIA	1	5-6 4.51 ±0.34
5	<u>1542 11 30 18:40</u>	Val di Noto	3	5 4.30 ±0.34
8	1542 12 10 15:15	Siracusano	32	10 6.77 ±0.32
4-5	1635 08 12	MESSINA	2	5-6 4.51 ±0.34
5	1669 03 10 23:25	Nicolosi	18	8-9 4.84 ±0.26
8	1693 01 09 21:00	Val di Noto	30	8-9 6.21 ±0.31
5-6	1693 01 11 08:00	Val di Noto	8	
10	1693 01 11 13:30	Sicilia orientale	185	11 7.41 ±0.15
6	1693 04 01 07:50	Sicilia orientale	4	4.72 ±0.34
5	1693 07 08 17:50	Monti Iblei	7	6 4.94 ±0.64
5-6	1694 05 16	Acireale	7	5-6 4.51 ±0.34
7-8	1698 01 01	Vizzini	6	7-8 5.86 ±0.71
7	<u>1716 12 01</u>	CATANIA	2	6 4.72 ±0.34
3-4	1727 01 07	NOTO	14	6-7 4.83 ±0.35
5-6	1780 03 28 22:15	Taormina	8	7-8 5.55 ±0.64
5	1783 02 05 12:00	Calabria	356	11 7.02 ±0.08
7	1818 02 20 18:15	Catanese	128	9-10 6.23 ±0.12
6	1818 03 01 02:45	Monti Iblei	24	7-8 5.51 ±0.65
4	1823 03 05 16:37	Sicilia settentrionale	107	6.47 ±0.15
NF	1842 11 18 01:15	BELPASSO	5	6 3.71 ±0.26
6	1846 04 22 19:45	Catanese	9	6 5.02 ±0.62
7	1848 01 11 12:00	Golfo di Catania	41	7-8 5.45 ±0.39
3-4	1850 01 01 11:00	VERSANTE SUD-OCCIDENTALE	3	7-8 4.39 ±0.26
NF	1865 07 19 01:00	FONDO MACCHIA	32	9 5.06 ±0.26
3-4	1878 10 04 00:46	Mineo	7	5-6 4.39 ±0.65







Effetti		In occasione del terremoto d	lel:	
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
4	1879 06 17 06:50	BONGIARDO	25	8-9 4.84 ±0.26
4	1883 03 22 00:15	NICOLOSI	7	8 4.61 ±0.26
4-5	1883 04 05 08:58	NICOLOSI	11	6 3.71 ±0.26
RS	1886 03 06	COSENTINO	11	7-8 5.55 ±0.60
4	1886 06 05 11:13	S. VENERINA	21	6-7 3.94 ±0.26
2-3	1889 12 25 17:23	S. M. AMMALATI	25	7-8 4.39 ±0.26
3	1892 03 16 12:38	ALICUDI	28	7 5.29 ±0.31
3	1893 04 01 07:09	ZAFFERANA ETNEA	8	6 3.71 ±0.26
3	1893 04 22 03:20	MONTALBANO	33	6-7 4.87 ±0.28
4	1894 08 07 12:58	ZERBATE	12	6 3.71 ±0.26
4	1894 08 08 05:16	MAZZASETTE	45	8-9 4.84 ±0.26
4-5	1894 11 16 17:52	Calabria meridionale	303	9 6.07 ±0.10
4	1894 12 27	FILICUDI	12	6 5.18 ±0.34
2	1895 04 13 15:01	Vizzini	32	6-7 4.89 ±0.45
RS	1896 07 02 00:30	CANALE DI SICILIA	10	4 4.21 ±0.56
4	1898 05 14 04:45	S. M. LICODIA	35	7-8 4.39 ±0.26
3	1898 08 12	ROMETTA	69	6-7 4.89 ±0.22
3	1899 09 23 22:11	FOSSA DELL'ACQUA	8	5-6 3.49 ±0.26
2-3	1901 05 11 11:10	NICOLOSI	15	7 4.16 ±0.26
NF	1901 05 11 18:20	NICOLOSI	13	6 3.71 ±0.26
2	1903 02 10 08:04	NOTO	10	5-6 4.58 ±0.62
3	1903 11 20 09:57	VIAGRANDE	19	6 3.71 ±0.26
RS	1905 08 25 20:41	SULMONA	39	6 5.16 ±0.26

Effetti		In occasione del terremoto d	el:	
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
5	1905 09 08 01:43	Calabria meridionale	895	7.04 ±0.16
RS	<u>1905 11 26 06:4</u>	Irpinia	136	7-8 5.21 ±0.13
3-4	1907 10 23 20:28	Calabria meridionale	274	8-9 5.87 ±0.25
2-3	1907 12 07 21:28	FIANDACA	24	7-8 4.39 ±0.26
3	1908 05 26 16:47	VERSANTE ORIENTALE	15	5-6 3.49 ±0.26
2	1908 12 10 06:20	NOVARA DI SICILIA	64	7 5.13 ±0.26
6-7	1908 12 28 04:2	Calabria meridionale-Messina	800	11 7.10 ±0.15
NF	1909 07 01 06:2	CALABRO MESSINESE	35	
RS	1909 08 25 00:22	MURLO	283	7-8 5.37 ±0.10
3	1909 10 21 16:48	S. G. BOSCO	13	7 4.16 ±0.26
3	1911 10 15 08:52	FONDO MACCHIA	48	8-9 4.84 ±0.26
RS	1912 01 30 21:40	ALIMENA	12	5-6 4.69 ±0.25
4	1914 05 07 17:36	FIANDACA	11	6 3.71 ±0.26
5	1914 05 08 18:01	LINERA	82	9-10 5.29 ±0.26
NF	1915 01 13 06:52	Avezzano	1041	11 7.00 ±0.09
3	1924 08 17 21:40	MONTI IBLEI	22	5 4.73 ±0.24
3	<u>1926 08 17</u>	ISOLA DI SALINA	44	7-8 5.41 ±0.23
5	<u>1928 03 07 10:5</u>	CAPO VATICANO	30	7-8 5.83 ±0.26
RS	1930 04 27 01:46	SALERNITANO	30	7 4.76 ±0.28
3	1932 05 22 17:01	MESSINA	11	5 5.15 ±0.07
5	<u>1934 09 11 01:1</u>	MADONIE	28	5-6 4.95 ±0.24
3	<u>1935 06 30 03:25</u>	S. G. BOSCO	6	6-7 3.94 ±0.26
3	1936 10 08 08:04	Patti	16	4.84 ±0.20
NF	<u>1940 01 15 13:1</u>	Golfo di Palermo	60	7-8 5.28 ±0.20
5-6	<u>1949 10 08 03:0</u>	NOTO	32	7 5.20 ±0.27
3	1952 03 01 12:29	ROCCA D'API	22	6-7 3.94 ±0.26
3	1952 03 02 14:14	ROCCA D'API	20	6-7 3.94 ±0.26
3	1957 03 03 09:27	ZAFFERANA ETNEA	18	6 3.71 ±0.26







Effetti		In occasione del terremoto d	lel:	
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
3	1959 11 14 20:38	ZAFFERANA ETNEA	2	6 3.71 ±0.26
6	1959 12 23 09:29	PIANA DI CATANIA	108	6-7 5.29 ±0.20
3	1961 03 24 10:36	ASPROMONTE	59	5-6 4.79 ±0.28
4	1967 10 31 21:0	Monti Nebrodi	60	8 5.46 ±0.19
2-3	1968 01 15 02:0	Valle del Belice	163	10 6.33 ±0.13
F	1968 06 16 13:0	MILITELLO	4	4.89 ±0.22
3-4	1973 08 03 19:49	S. M. AMMALATI	35	7 4.16 ±0.26
2-3	1973 08 18 22:38	GUARDIA	18	7 4.16 ±0.26
F	1974 03 26 22:30	SCIARA	2	6 3.71 ±0.26
2	1975 01 16 00:0	Stretto di Messina	346	7-8 5.20 ±0.09
4-5	1978 04 15 23:3	Golfo di Patti	332	6.06 ±0.09
2-3	1980 01 23 21:2	MODICA	122	5-6 4.58 ±0.14
NF	1980 09 16 02:30	C.DA TRIGONA	22	6 3.71 ±0.26
NF	1980 09 28 15:04	C.DA INCHIUSO	27	6 3.71 ±0.26
NF	1980 11 26 01:38	FORNAZZO	21	6 3.71 ±0.26
NF	1981 09 01 23:32	S. M. AMMALATI	44	5-6 3.49 ±0.26
2-3	1981 09 13 04:49	S. M. AMMALATI	56	6-7 3.94 ±0.26
2-3	1982 07 06 14:37	C.DA ALGERAZZI	150	6-7 3.94 ±0.26
4-5	1983 07 20 22:03	VIAGRANDE	106	7 4.16 ±0.26
2-3	1984 04 15 03:10	VALLONE LICODIA	19	6-7 3.94 ±0.26
2-3	1984 06 19 15:19	FIANDACA	46	7 4.16 ±0.26
2-3	1984 10 19 17:43	ZAFFERANA ETNEA	124	7 4.16 ±0.26
NF	1985 06 13 21:1	ADRANO	57	5-6 4.51 ±0.34

Effetti		In occasione del terremoto d	del:	
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
3	1985 10 10 19:26	LINERA	39	5-6 3.49 ±0.26
2-3	1986 01 12 23:37	S. VENERINA	53	6-7 3.94 ±0.26
2-3	1986 01 18 00:16	DAGALA	35	5-6 3.49 ±0.26
2-3	1986 01 29 09:07	NICOLOSI	27	6 3.71 ±0.26
2-3	1986 02 02 16:10	S. G. BOSCO	63	7 4.16 ±0.26
2-3	1986 10 29 23:18	PIANO PROVENZANA	74	7 4.16 ±0.26
2-3	1987 08 13 07:22	MALETTO	35	5-6 3.49 ±0.26
2-3	1989 01 29 07:30	CODAVOLPE	78	7 4.16 ±0.26
6	1990 12 13 00:2	Sicilia sud-orientale	304	7 5.64 ±0.09
2-3	1993 06 14 05:13	BALLO	46	5-6 3.49 ±0.26
2-3	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
3	1999 08 05 14:57	VERSANTE SUD-OCCIDENTALE	35	5-6 3.49 ±0.26
NF	1999 12 26 14:19	C.DA ILICE	43	5-6 3.49 ±0.26
4	2001 01 09 02:51	ZAFFERANA ETNEA	104	6 3.71 ±0.26
4	2001 07 13 03:15	VERSANTE MERIDIONALE	25	6 3.71 ±0.26
3	2001 10 28 09:03	S. M. AMMALATI	67	6 3.71 ±0.26
3	2002 03 24 23:05	VERSANTE ORIENTALE	40	5-6 3.49 ±0.26
2	2002 04 05 04:5	Isole Eolie	21	5-6 4.47 ±0.09
4	2002 09 06 01:2	PALERMO	132	5.94 ±0.09
4-5	2002 10 29 10:02	BONGIARDO	38	8 4.61 ±0.26
3	2002 10 29 17:14	MILO	17	7 4.16 ±0.26
3-4	2004 07 22 02:11	VERSANTE ORIENTALE	34	6 3.71 ±0.26
3-4	2005 10 31 00:02	TRECASTAGNI	32	6 3.71 ±0.26
3	2006 05 20 07:05	VERSANTE SUD-OCCIDENTALE	27	5-6 3.49 ±0.26

Fig. 3 – Eventi sismici significativi per il Comune di Catania, dal database DBMI11. IMCS = intensità macrosismica espressa in scala MCS; Ax = area epicentrale geografica in cui sono stati riscontrati i maggiori







effetti del terremoto; Np= numero di punti, numero di osservazioni macrosismiche disponibili per il terremoto; Io = Intensità macrosismica epicentrale, da CPTI11, espressa in scala MCS, Mercalli-Cancani-Sieberg; Mw = magnitudo momento.

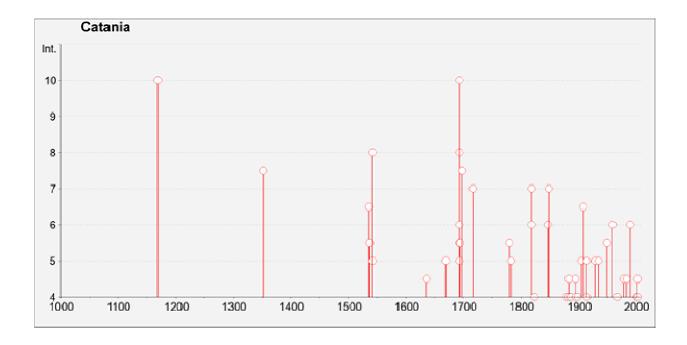


Fig. 4 - Grafico relativo alla sismicità storica del comune di Catania.

Catalogazione del Comune di Catania 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 e Montaldo, 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 Catania è univocamente individuata dalle coordinate

geografiche internazionali:

LATITUDINE: 37.497 N

LONGITUDINE: 15.074 E

Tale punto coincide perfettamente con uno dei punti del reticolo di riferimento e per

esso sono noti direttamente i valori delle accelerazioni al suolo di progetto per diversi

tempi di ritorno. La Figura 5 mostra la probabilità di eccedenza in 50 anni del valore di

PGA riportato sulle mappe interattive di pericolosità sismica, il corrispondente periodo di

18







ritorno e la corrispondente frequenza annuale di superamento. Sono state elaborate carte di pericolosità sismica in termini di a(g) su suolo rigido (categoria A; Vs₃₀>800 m/sec) con probabilità di superamento in 50 anni pari a: 81%, 63%, 50%, 39%, 30%, 22%, 5% e 2% rispettivamente corrispondenti a periodi di ritorno di 30, 50, 72, 100, 140, 200, 975 e 2475 anni (convenzionalmente per gli ultimi due periodi di ritorno si usa parlare di 1000 e 2500 anni). Si riportano nelle Figure 6–8 rispettivamente le mappe interattive di pericolosità sismica del territorio di Catania con riferimento al valore di PGA per una probabilità di eccedenza in 50 anni del 10%, del 5% e del 2%.

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

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

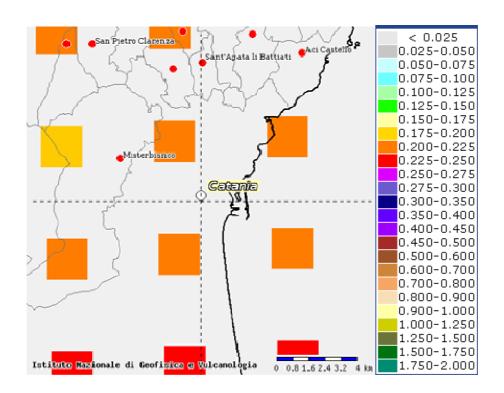


Fig. 6 - Mappa interattiva di pericolosità sismica del territorio di Catania. I punti della griglia visualizzati si riferiscono a: parametro dello scuotimento a(g), probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

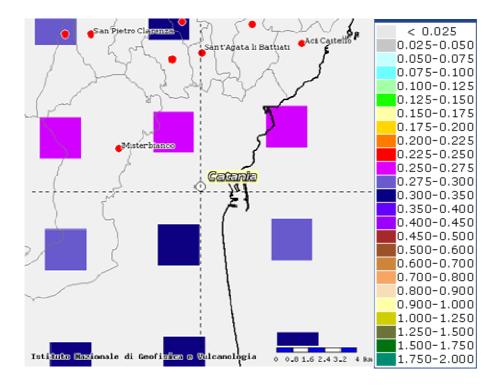


Fig. 7 – Mappa interattiva di pericolosità sismica del territorio di Catania. I punti della griglia visualizzati si riferiscono a: parametro dello scuotimento a(g), probabilità di superamento del 5% in 50 anni.







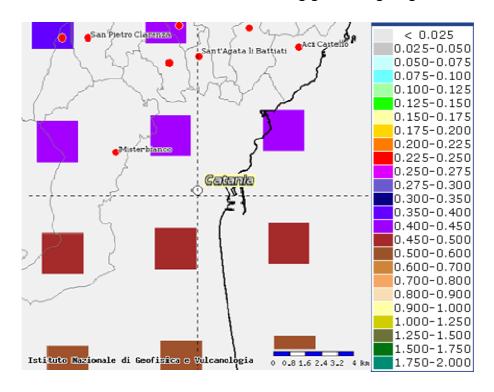


Fig. 8 – Mappa interattiva di pericolosità sismica del territorio di Catania. I punti della griglia visualizzati si riferiscono a: parametro dello scuotimento a(g), probabilità di superamento del 2% in 50 anni.

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

T _R [anni]	a _g [g/10]
475	0.200-0.225
975	0.250-0.275
2475	0.400-0.450

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

eventi sismici significativi tra il 1169 ed il 2006) con una intensità macrosismica espressa nella scala MCS che raggiunge il suo valore massimo in $I_{MCS} = X-XI$ in corrispondenza del terremoto della Val di Noto del 1693. La localizzazione territoriale sulle mappe interattive di pericolosità sismica ha consentito di ricavare i valori di ag su suolo rigido (categoria A; $Vs_{30}>800$ 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 0.400–0.450 per il 2%, rispettivamente corrispondenti a periodi di ritorno di 475, 975 e 2475 anni. Ciò ha permesso di ricavare la curva di pericolosità sismica al sito per il territorio di Catania.

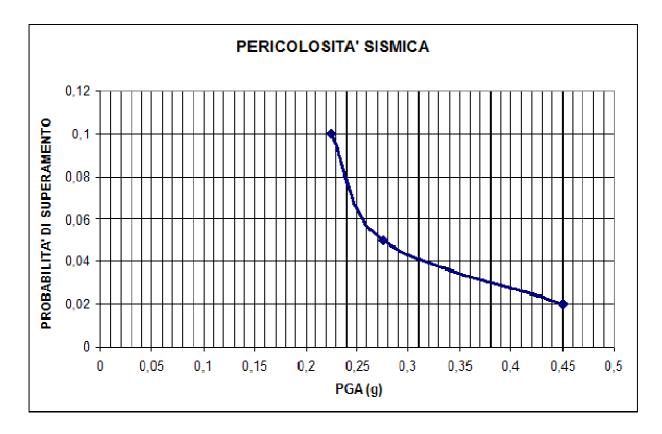


Fig. 9 – Curva di pericolosità sismica al sito per il territorio di Catania. La curva rappresenta il valore della mediana.







3. Assetto geologico e geomorfologico dell'area

La città di Catania si è sviluppata, a sud-est dell'edificio vulcanico etneo, sul versante costiero ionico, interessato da diversi ordini di terrazzi marini. I terrazzi, modellati su un substrato sedimentario di natura argillosa e ricoperti dai prodotti delle diverse fasi eruttive dell'Etna, testimoniano il sollevamento tettonico dell'area contemporaneo al vulcanismo etneo. I terrazzi marini più elevati sono stati ricoperti dai prodotti vulcanici più antichi. Questi ultimi, insieme al substrato sedimentario, sono stati modellati dai terrazzi più bassi e profondamente incisi da valli riempite dalle colate laviche più recenti. Nel sottosuolo della città, quindi, le colate laviche più recenti hanno completamente sigillato una paleotopografia molto articolata, determinando così condizioni di una notevole variabilità laterale delle litologie nelle prime decine di metri di profondità. Nei settori corrispondenti agli antichi spartiacque, la copertura lavica del substrato argilloso è estremamente ridotta o assente, mentre nelle zone coincidenti con antiche valli, oggi sepolte, lo spessore delle lave è molto più elevato. Il riconoscimento dell'ubicazione degli assi delle valli sepolte e delle creste di spartiacque è stato uno degli obiettivi principali nell'analisi e interpretazione dei dati geologici di superficie e di sottosuolo disponibili, per ricostruire con il maggiore dettaglio possibile la geometria 3D dell'interfaccia substrato-lave che rappresenta una delle discontinuità principali ai fini della valutazione della risposta sismica locale nei vari siti dell'area urbana. Va sottolineato, inoltre, che l'articolazione del paesaggio sub-vulcanico ha avuto riflessi anche sulla morfologia e sulle caratteristiche litologiche dei sovrastanti campi lavici, la cui messa in posto è stata chiaramente influenzata dalle variazioni di pendenza della topografia che andavano a ricoprire. L'articolazione del sottosuolo si riflette dunque in una notevole variabilità delle geometrie e dei caratteri litotecnici degli orizzonti stratigrafici prossimi alla superficie.

L'area investigata comprende tutto il centro storico della città, contenuto nella cinta muraria cinquecentesca, che mostra la stratificazione dei diversi insediamenti che si sono succeduti dalla fondazione (VIII sec. a.C.) fino alla ricostruzione successiva all'evento sismico del 1693. L'area di studio si estende a tutta la fascia dell'area urbana prossima alla costa, comprendendo aree urbanizzate in diversi periodi dell'espansione edilizia della città.

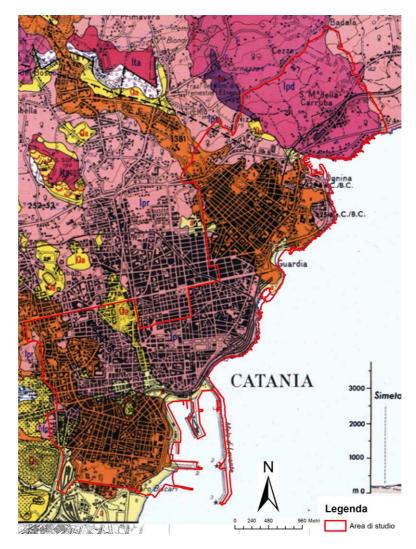


Fig. 10 - Stralcio della Carta geologica del Monte Etna (AA.VV., 1979 mod).

Secondo la "Carta geologica del Monte Etna" alla scala 1:50000 (AA.VV., 1979; Fig. 10) l'area costiera di Catania è costituita dalle porzioni frontali di una serie di colate laviche affiancate, riferibili ad eventi di età storica (1669, 1381, 252, 425 a.C., 693 a.C.) e







olocenica (**Ipr** e **Ipd** in Fig. 10). La carta segnala numerosi affioramenti di Argille marnose azzurre del Pleistocene medio (**Qa** in Fig. 10), circondate dalle colate laviche, che testimoniano vecchi alti topografici risparmiati dalle invasioni laviche. La carta inoltre evidenzia, nel settore meridionale dell'area urbana, l'appoggio della colata lavica del 1669 sui depositi di spiaggia recenti. Le colate che hanno raggiunto la costa di Catania hanno superato l'apice del versante costiero a monte dell'area urbana, dove la presenza delle lave attribuite ai Centri Alcalini Antichi (**Ita** in Fig. 10; 168–100 ka, Gillot et al., 1994), al tetto del substrato argilloso, marca le testate di erosione delle principali incisioni dentro le quali si sono canalizzate le lave recenti. La carta, infine, riporta la presenza di una faglia presunta alla base del versante che da Barriera del Bosco si estende a monte della baia di Ognina, lungo il quale sono ripetutamente esposte in affioramento le argille del substrato pre-etneo.

La Carta Geologica dell'area urbana di Catania (AA.VV., 1999) (Fig. 11) ha fornito una serie di ulteriori preziose informazioni per la ricostruzione dell'andamento del substrato. In questo elaborato cartografico sono stati cartografati una serie di cunei sabbiosi terrazzati, poggianti direttamente sul substrato argilloso e parzialmente ricoperti dalle lave etnee, ognuno dei quali è stato riferito ad un differente stadio di stazionamento del livello marino durante le fasi di alto eustatico succedutesi negli ultimi 240 ka. Nel modello geologico proposto nella carta, i resti dei terrazzi marini sarebbero indicativi della presenza in sottosuolo delle creste delle dorsali spartiacque argillose poste a separazione delle diverse valli incise nel versante terrazzato e sepolte dalle colate laviche che hanno raggiunto la costa. Secondo questa interpretazione, il centro storico di Catania si sarebbe sviluppato in corrispondenza di un alto morfologico di argille (AM in

Fig. 11), ricoperto dai cunei clastici terrazzati (**T6** e **T7** in Fig. 11) riferiti agli alti eustatici di 60 ka (Stadio isotopico 3.3) e 40 ka (Stadio isotopico 3.1) e circondato da entrambi i lati da lave canalizzate in altrettante paleovalli.

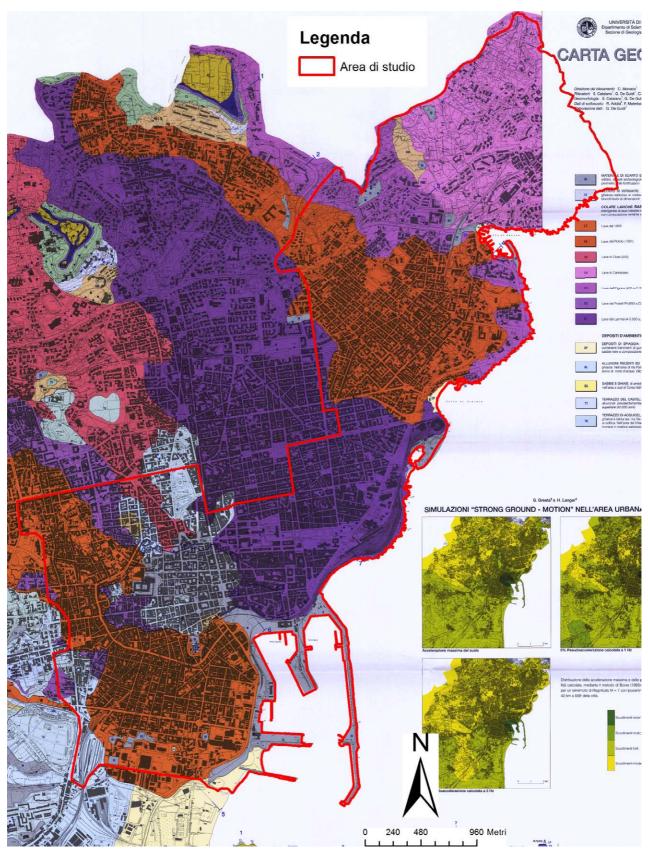








Fig. 11 - Stralcio della Carta geologica dell'area urbana di Catania (AA.VV., 1999 mod).

A nord, l'alto di argille ha confinato il vasto campo lavico riferito alle cosiddette Lave del Larmisi (L₁ in Fig. 11), attribuite ad un'età compresa tra 4000 e 5000 anni. A sud, lo spartiacque di argille ha controllato la direzione della colata detta dei Fratelli Pii (L2 in Fig. 11), attribuite al 693 a.C., e della sovrastante colata del 1669 il cui fronte ha raggiunto i depositi di spiaggia sub-attuali, poggiandosi al bordo esterno del terrazzo T7, identificato nella zona del Castello Ursino.

La presenza nel sottosuolo del centro di Catania di uno spartiacque argilloso, ricoperto da sabbie, compreso tra due valli interamente riempite da lave è ben evidenziata nella Carta delle isopache dei prodotti lavici (Fig. 12), posta a cornice della Carta Geologica dell'area urbana di Catania (AA.VV., 1999). Le variazioni di spessore delle lave, ricavato dall'interpolazione dei dati derivanti da numerose stratigrafie di sondaggio, permettono di visualizzare chiaramente gli assi delle paleovalli, marcate dai valori massimi di spessore, e la cresta dello spartiacque, privo di copertura lavica. La carta dimostrerebbe che sia le Lave del Larmisi, a nord, che le Lave dei Fratelli Pii e la colata del 1669, a sud, costituiscono in effetti il tetto di successioni di riempimento di due valli profondamente incise nel substrato argilloso. La sezione trasversale della valle a nord si estenderebbe fino ad Ognina, essendo confinata a nord-est dal versante allungato tra la Barriera del Bosco e Cannizzaro, lungo il quale è estesamente esposto il substrato argilloso ricoperto da una coltre relativamente sottile di lave. Secondo questa interpretazione, dunque, la faglia presunta segnalata alla base del versante in AA.VV. (1979) corrisponderebbe al contatto lave-substrato lungo la sinistra orografica della valle sepolta. La valle si raccorderebbe con una spianata di abrasione ricoperta da sabbie e ghiaie rinvenuta, alla base delle Lave del Larmisi, a una quota assoluta rispetto al livello del mare di -6 m (v. **SG** in Fig 11).

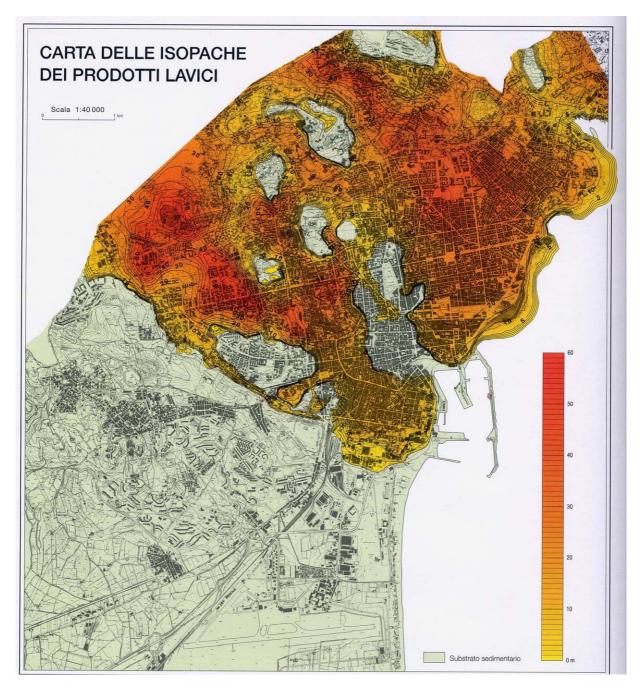


Fig. 12 - Carta delle isopache dei prodotti lavici dalla Carta geologica dell'area urbana di Catania (AA.VV., 1999).

La sezione trasversale della valle posta a sud-ovest del centro storico sembrerebbe invece molto più ristretta, mentre in senso longitudinale appare chiaro l'originario







Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 raccordo tra il profilo della valle e il livello delle alluvioni e delle spiagge recenti, oggi nascosto dalla colata del 1669.

La Carta Geologica dell'area urbana di Catania (Fig. 11) evidenzia, infine, che gran parte del centro storico è caratterizzato dalla presenza di ingenti volumi di materiale di riporto o di natura antropica, in gran parte dovuti alla rielaborazione delle macerie degli eventi sismici storici o alla presenza di resti archeologici sepolti. Generalmente gli accumuli di materiale hanno comportato un annullamento dei precedenti dislivelli e pertanto sono soggetti a notevoli variazioni laterali di spessore, anche su brevi distanze.

Alla luce del modello geologico proposto da AA.VV. (1999), esplicitati in dettaglio in Monaco et al. (2000), la datazione delle colate laviche affioranti nell'area di Catania costituisce un vincolo essenziale per determinare l'età degli elementi topografici sepolti dagli orizzonti lavici e per verificare, su questa base, la compatibilità tra geometrie di sottosuolo proposte e l'evoluzione morfotettonica dell'area. La variazione nel tempo del livello di base dell'erosione nell'area di Catania, è ormai ben conosciuta, in quanto regolata dalla combinazione tra il sollevamento tettonico attivo, con tassi crescenti dalla Piana di Catania (0.8 mm/a) alla città di Catania (1.3 mm/a), e le oscillazioni eustatiche del livello del mare (Catalano et al., 2004). Esiste pertanto la possibilità di verificare la compatibilità tra la profondità di una valle sepolta e l'età delle lave di riempimento.

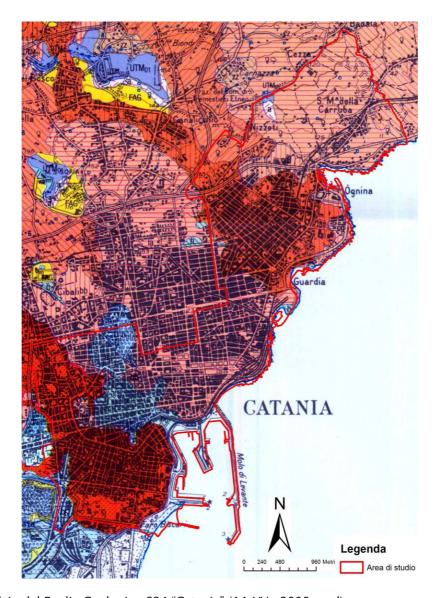


Fig. 13 - Stralcio del Foglio Geologico 634 "Catania" (AA.VV., 2009 mod).







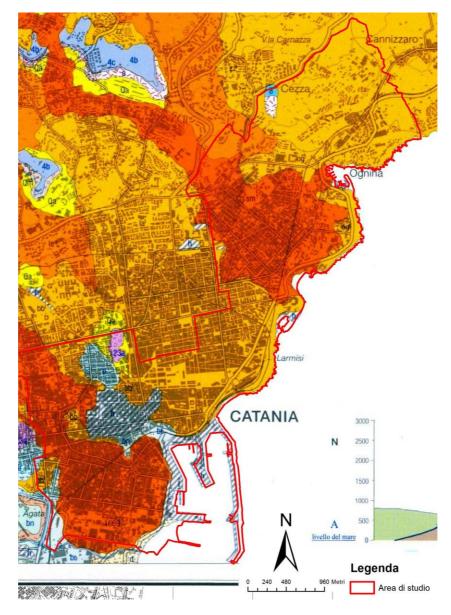


Fig. 14 - Stralcio della Carta Geologica del Vulcano Etna (Branca et al., 2011).

Il Foglio Geologico 634 "Catania" (AA.VV., 2009)(Fig. 13) e la successiva edizione della Carta Geologica del Vulcano Etna (Branca et al., 2011)(Fig. 14) forniscono indicazioni utili per la datazione delle lave affioranti nell'area di Catania, in chiaro contrasto con le attribuzioni contenute nei precedenti documenti cartografici. In

particolare, la nuova cartografia ufficiale attribuisce tutte le colate di riempimento delle valli sepolte, affioranti nell'area investigata di Catania (la, larmisi; og, ognina; cz, cerza; **bb**, barriera del bosco di Fig. 13 o **la**¹, **og**¹, **cz**¹ e **bb**¹ di Fig. 14), ad un intervallo temporale compreso tra 15 e 4 ka, riferendo ad eventi storici solo la colata del quartiere Picanello (si in Fig. 13 o sm¹ in Fig. 14), attribuita ad un'età intorno all'anno 1160, e la colata ben documentata del 1669. I flussi lavici che hanno raggiunto la costa di Catania sono stati canalizzati all'interno di una paleotopografia che modella il terrazzo marino T3 (Fig. 11), assegnato al Tirreniano (125 ka)(Monaco et al., 2005) per la posizione alla base della falesia costituita dalle lave alcaline antiche (UTM01 in Fig. 13 o 4b in Fig. 14) con età radiometrica oscillante tra 168-100 ka (Gillot et al., 1994) successivamente ristretta a circa 134 ka (Branca et al., 2011). Pertanto, con i vincoli cronologici fin qui disponibili, le valli incise nell'area di Catania, con le testate di erosione modellate sulle lave alcaline antiche e sul sottostante terrazzo tirreniano, si sono originate a partire dalle fasi di modellamento del Pleistocene superiore e sono state riempite da lave solo negli ultimi 15 ka, avendo dunque sperimentato l'ultimo abbassamento del livello di base dell'erosione (- 120 m) raggiunto durante il massimo glaciale Wurmiano (stadio 2; 18 ka). Ciò suggerisce che gli assi delle valli sepolte, raccordate in AA.VV. (1999) e Monaco et al (2000) ad un livello di base prossimo a quello attuale, al di sotto del quale si rinverrebbero esclusivamente i terreni del substrato sedimentario, potrebbero essere in effetti molto più profondi dello spessore misurato delle lave, con la possibilità della presenza in profondità di orizzonti di riempimento alluvionali o di lave più antiche di quelle affioranti, erroneamente attribuite al substrato sedimentario.

Le nuove carte ufficiali confermano la presenza di affioramenti del substrato sedimentario all'interno del centro storico, indicando che parte dei terreni precedentemente assegnati al terrazzo di 60 ka (AA.VV., 1999) sarebbero invece rappresentati in parte dalle Argille Grigio-Azzurre ($\bf Qa$ in Fig. 14), in parte dai depositi conglomeratico-sabbiosi di un terrazzo alluvionale ($\bf b_{n1}$ in Fig. 13 o $\bf 23a$ in Fig 14) e in







Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 parte da depositi palustri (**e**₅ in Fig. 13 o **e** in Fig. 14). Le due carte evidenziano inoltre l'enorme estensione dei riporti antropici all'interno del centro storico.

E' interessante notare che tutta la cartografia più aggiornata non segnali la presenza di alcun elemento tettonico nell'area prossima al centro urbano di Catania, escludendo così la presenza delle strutture ipotizzate, seppure in maniera dubitativa, in AA.VV. (1979).

A tal proposito, la Carta Morfotettonica del Monte Etna (Monaco et al., 2008)(Fig. 15) pur confermando l'assenza di strutture tettoniche all'interno dell'area urbana, evidenzia comunque la terminazione orientale di un sistema di pieghe e thrust recenti nella periferia sud-occidentale della città.

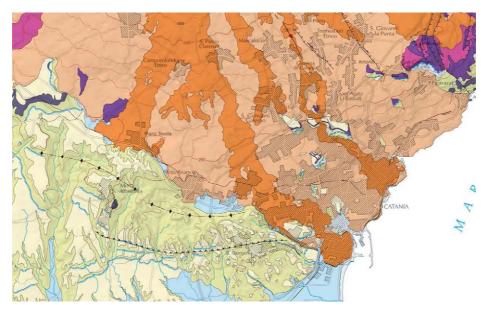


Fig. 15 - Stralcio della Carta Morfotettonica del Monte Etna (Monaco et al., 2008 mod).

In particolare la terminazione del thrust riportato in Monaco et al. (2008) è coincidente con il segmento di faglia attiva classificato nell'ambito del database Ithaca come Faglia di S. Calogero (Fig. 16) ed indicata come elemento di natura vulcano-

tettonica, lunga circa 5.3, ricostruito su dati ritenuti di bassa qualità, cui non è stato associato alcun evento sismico né valutato un potenziale.



Fig. 16 - Faglie attive che ricadono nel comune di Catania, segnalate nel database Ithaca (http://193.206.192.227/wms_dir/Catalogo_delle_Faglie_Capaci_ITHACA.html#)

Il dettaglio della geometria e degli effetti sul terrazzo alluvionale di 40 ka del sistema plicativo a sud-ovest di Catania sono stati descritti in dettaglio in Catalano et al., (2011)(Fig. 17). Gli Autori hanno evidenziato che il sistema a pieghe è attraversato indisturbato dai profili longitudinali dei corsi d'acqua attivi e che pertanto è riferibile ad un'età compresa tra 40 ka e l'inizio dell'Olocene (10 ka).







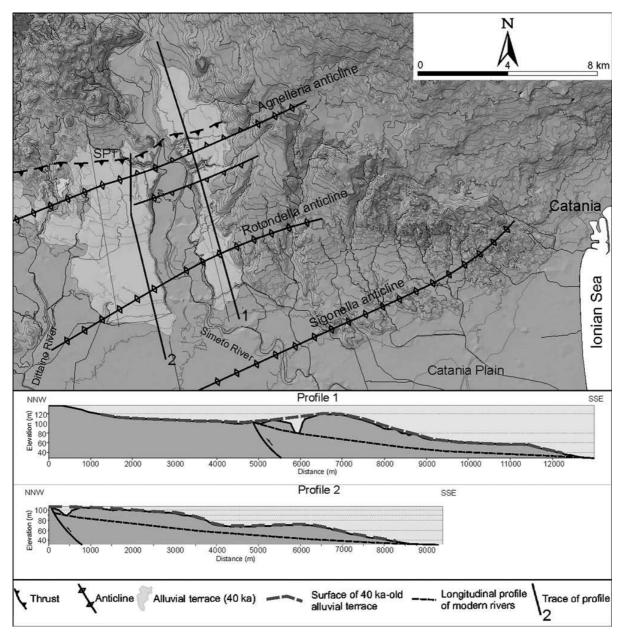


Fig. 17 - Distribuzioni delle pieghe con indizi di movimento recenti a sud dell'Etna (da Fig. 6 di Catalano et al., 2011)

Lo stesso lavoro, però, evidenzia che l'intero sistema a pieghe è delimitato verso sud da una rampa, associata alla Anticlinale di Sigonella (Fig. 17), i cui movimenti hanno avuto effetti sulla morfologia dell'attuale letto fluviale del Simeto (Fig. 18).

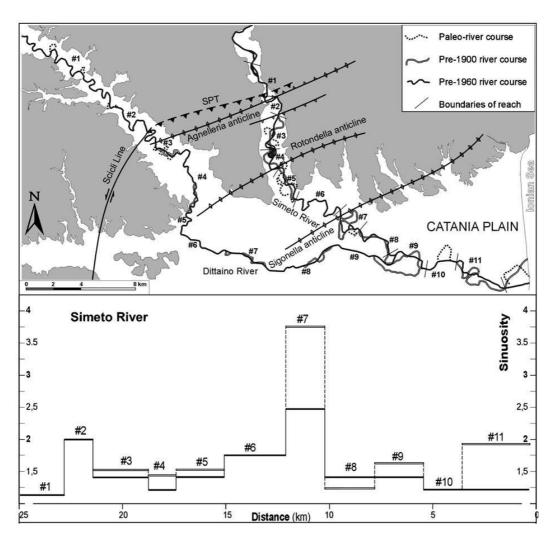


Fig. 18 - Effetti della deformazione al fronte dell'Anticlinale di Sigonella sulla sinuosità del Fiume Simeto (da Fig. 7 di Catalano et al., 2011)

La rampa che delimita l'Anticlinale di Sigonella è stata riconosciuta su profili geoelettrici eseguiti nella Piana di Catania ed è stata rilevata in affioramento nella periferia meridionale di Catania, dove rigetta verticalmente di 10 m depositi attribuiti al terrazzo alluvionale di 80 ka (Fig. 19).







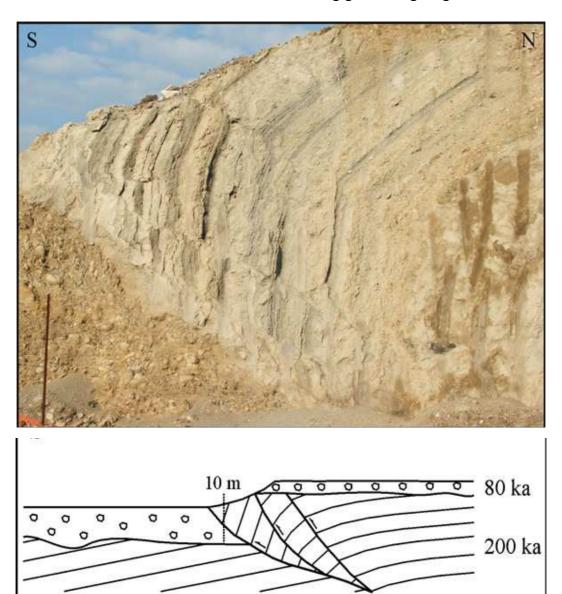


Fig. 19 - Particolare delle strutture contrazionali alla terminazione nord-orientale dell'Anticlinale di Sigonella, nel settore meridionale dell'abitato di Catania (da Fig. 4 di Catalano et al., 2011) (per l'ubicazione v. Fig. 17).

Le strutture plicative poste immediatamente a sud-ovest della città di Catania sono state catalogate nel database DISS (Database of Individual Seismogenic Sources) Version 3.1.1 (DISS Working Group 2010) ed associate ad una possibile sorgente sismogenica composita corrispondente al fronte ancora attivo della Catena Maghrebide siciliana

(ITCS029: Gela-Catania in Fig. 20). All'interno di questa fascia sismogenica, il catalogo riporta una sorgente individuale, corrispondente ad una rampa di thrust immergente verso NE, ubicata in corrispondenza della periferia settentrionale di Catania (ITIS106: Gravina di Catania), con orientazione analoga a quella della struttura documentata nella periferia meridionale della città. Secondo il catalogo, questa struttura avrebbe un ruolo fondamentale nella storia sismica di Catania, in quanto sarebbe indicata come una delle possibili sorgenti di uno dei due eventi sismici principali del 11.01.1693. E' interessante notare come la proiezione in superficie della struttura e quindi la potenziale area epicentrale interesserebbe tutto il settore settentrionale del territorio comunale. I parametri geometrici e cinematici, significativi per valutare il potenziale della sorgente sono riportati nella scheda di Fig. 21.



Fig. 20 - Ubicazione delle sorgenti sismogeniche ITIS106 - Gravina di Catania, ITCS036 - Monte Lauro e ITDS011 - Western Ionian, rispetto all'area comunale di Catania (in blu) (DISS Working Group 2010, mod.).







	DISS 3.1.1: Seismogenic Source ITIS106 - Gravina di Catania										
Source Info Summary Com			tary References Pictures								
			General information								
Code	ITIS106										
Name	Gravina di Catania										
Compiled By	Burrato, P., P. Vanno	li and G. '	Valensise								
Latest Update	19/09/2007										
			Parametric information								
	Parameter	Qual	I. 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; Expert Judgement	OD = Or	riginal Data; ER = Empirical Relationship; AR = Analytical Relationship; EJ =								
			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. 21 - Scheda classificativa della sorgente sismogenica ITIS106 - Gravina di Catania del Diss 3.1.1 (DISS Working Group 2010, mod.).

Il DISS riporta come ulteriore possibile sorgente di una delle due scosse del giorno 11 Gennaio 1693 anche una sorgente posta a sud di Catania in corrispondenza del bordo del Plateau Ibleo, indicata come ITIS074: Monte Lauro (Fig. 20) i cui parametri geometrici e cinematici sono sintetizzati nella scheda di Fig. 22. In questo caso, la relativa lontananza della struttura, a parità di magnitudo dell'evento, dovrebbe causare effetti certamente minori sull'area urbana di Catania.

Source Info Sum	mary (Commenta	<u>ary</u>	References	<u>Pictures</u>					
			General info	ormation						
Code	ITIS074									
Name	Monte Lauro									
Compiled By	Burrato, P., P. Vanno	li and G. 1	Valensise							
Latest Update	28/09/2007									
	Parameter	Oual	Parametric in Evidence	tormation						
Location (Lat/Lon)	37.1484 / 15.011		O Inferred from macroseismic and geological data.							
Length (km)	24	OD		eological and geomorphological of						
Width (km)	11.9	OD	-	ived from geological and geomorphological observations.						
Min Depth (km)	4	EJ		Constrained from geological and geomorphological observations.						
Max Depth (km)	12.4	EJ		om geological and geomorpholog						
Strike (deg)	57	OD	Derived from g	eological and geomorphological of	observations.					
Dip (deg)	45	OD	Derived from g	eological and geomorphological of	observations.					
Rake (deg)	70	OD	Based on geo	dynamic considerations.						
Slip Per Event (m)	1	ER	Calculated fro	m Mo using the relationship from	Hanks and Kanamori (1979).					
Slip Rate (mm/y)	0.1 - 1	EJ	Unknown, valu	ies assumed from geodynamic co	onstraints.					
Recurrence (y)	1000 - 10000	EJ	Inferred from s	lip rate and average displacemen	t					
Magnitude (Mw)	6.6	EJ	Value inferred	from elaboration of the macroseis	smic data.					
Q-keys:	LD = Literature Data; Expert Judgement	OD = Or	iginal Data; ER	= Empirical Relationship; AR = A	nalytical Relationship; EJ =					
			Associated e	arthquake						
Latest Eq	11 Jan 1693 (1/2)		One of two ma	inshocks on the same day.						
Penultimate Eq	Unknown		See "Commen	tary" for information.						
	307									

Fig. 22 – Scheda classificativa della sorgente sismogenica ITIS074 – Monte Lauro del Diss 3.1.1 (DISS Working Group 2010, mod.).

Nello stesso database, è riportata la presenza di una sorgente sismogenica, classificata come dibattuta e catalogata con il nome ITDS011 – Western Ionian (Fig. 20), in quanto segnalata nella Letteratura geologica (Bianca et al., 1999; Monaco & Tortorici, 2000; Catalano et al., 2008) quale sorgente della scossa principale del terremoto del 1693, in alternativa a quella accreditata nel database.

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







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

La città di Catania ha risentito anche della sismicità sviluppatasi lungo i sistemi di faglia attivi nella regione etnea, la cui sismicità storica è stata interpretata e sintetizzata nel Catalogo Macrosismico dei Terremoti Etnei (Azzaro et al., 2000; 2009)(Fig. 23)

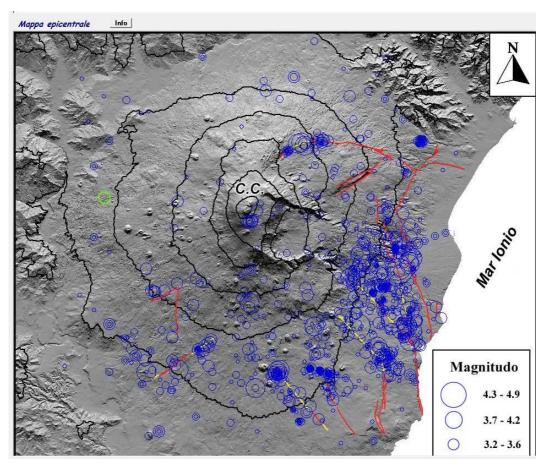


Fig. 23 - Carta sismo-tettonica del Monte Etna riportata nel Catalogo Macrosismico dei Terremoti Etnei dal 1832 al 2005 (Azzaro et al., 2000, 2009).

La sismicità dell'Etna si concentra lungo allineamenti, prevalentemente distribuiti nel settore orientale dell'edificio etneo, che solo in parte coincidono con strutture tettoniche che presentano chiari indizi di movimento recenti. Il più delle volte la sismicità non è associabile a strutture affioranti ed è stata pertanto messa in relazione con faglie "nascoste" (hidden faults di Azzaro, 1999) prive di chiara espressione superficiale, sia geologica che morfologica.







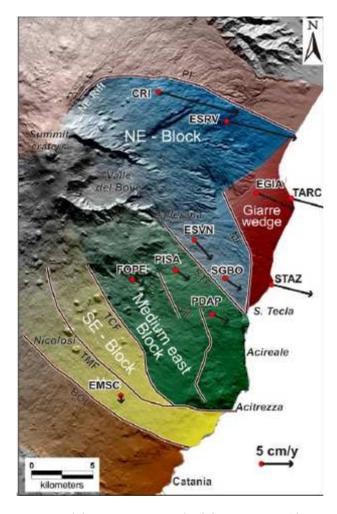


Fig. 24 - Modello cinematico del versante orientale del Monte Etna (da Azzaro et al., 2013).

Il modello cinematico più aggiornato sulle deformazioni attive dell'Etna è stato proposto sulla base dei dati geodetici, acquisiti tramite tecniche GPS e DInSAR, che testimoniano l'elevata instabilità dell'intero versante orientale dell'edificio etneo (Azzaro et al., 2013). Questo processo è stato interpretato alternativamente come l'effetto dello scivolamento gravitativo del fianco orientale dell'edificio vulcanico (Borgia et al., 1992) o della deformazione estensionale al footwall di una rift-zone (Monaco et al., 2005). Le serie temporali di misure dei vettori movimento GPS consentono di individuare una serie di blocchi cinematici indipendenti, i cui limiti sono stati identificati lungo lineamenti che,

caratterizzati da fatturazione al suolo attiva, si manifestano anche come discontinuità permanenti nelle immagini DInSAR (Azzaro et al., 2013)(Fig. 24). I dati geodetici individuano una linea principale di dislocazione attiva, estesa lungo il bordo meridionale dell'Etna con direzione NW-SE dall'abitato di Belpasso alla baia di Ognina a Catania (Belpasso-Ognina Line; BOL in Fig. 24). Questo lineamento che attraversa il settore settentrionale del territorio comunale di Catania, coincidendo in parte con la faglia presunta segnalata in AA.VV. (1979) tra la Barriera del Bosco e Cannizzaro, è stato riconosciuto solo tramite rilievi condotti con la tecnica DInSAR, non avendo alcuna chiara espressione superficiale né geologica né morfologica. I dati geodetici evidenziano lungo la Linea Belpasso-Ognina elevati tassi di movimento obliqui destri, con una componente verticale pari a 4 mm/a ed una componente destra lungo direzione valutata a circa 5 mm/a. Nel quadro cinematico attivo dell'Etna la Linea Belpasso-Ognina giocherebbe il ruolo di margine meridionale dell'intero blocco instabile del fianco orientale del vulcano, in movimento relativo rispetto alle regioni adiacenti. Va sottolineato che, pur non avendo cumulato rigetti visibili in superficie, l'allineamento è caratterizzato da flussi molto elevati di CO2 che attestano quantomeno la presenza di una fascia di fratturazione radicata in profondità, utilizzata come via di risalita preferenziale dai gas. Considerato che la fascia di deformazione attiva attraversa un'area intensamente abitata, interessando anche parte della città di Catania, sarà necessario, nelle successive fasi di approfondimento degli studi di microzonazione, dedicare campagne di rilievi di dettaglio per la individuazione delle eventuali evidenze di superficie della faglia, al fine di trovare riscontri geologici e morfologici per poter validare sul lungo periodo i valori di deformazioni ottenuti tramite la tecnica DInSAR, attribuendoli in maniera più chiara a processi di natura tettonica. Solo dopo questo tipo di riscontro sarà possibile procedere ad un tentativo di valutazione dell'esatta potenzialità sismica del lineamento e prevedere la distribuzione degli effetti in superficie in caso di sua attivazione.







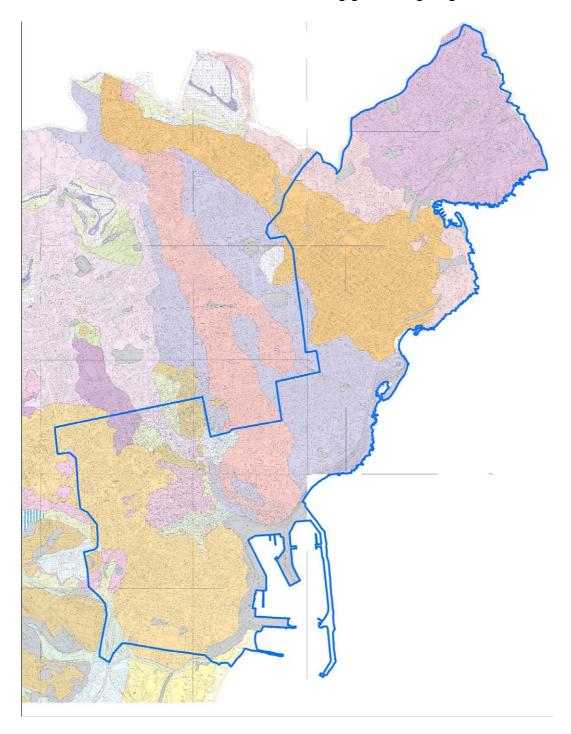


Fig. 25 - Stralcio dell'All.1 - Carta geologica in scala 1:5.000 al PRG (Tav 6-7-10-11-13-18). L'area di studio è evidenziata in blu.



Fig. 26 - Legenda dell'All.1 - Carta geologica in scala 1:5.000 al PRG

Ai fini della redazione della carta geologico tecnica per la microzonazione sismica e della definizione del modello geologico del settore analizzato dell'area urbana di Catania, si è tenuto conto anche degli studi geologici allegati al PRG corredati di una carta geologica alla scala 1:5000 (Fig. 25) la cui legenda (Fig. 26) è risultata particolarmente dettagliata per quanto riguarda la descrizione delle differenti nature e tipologie di depositi superficiali. La carta geologica è stata utilizzata anche come elemento di confronto con la cartografia a scala di dettaglio inferiore, per quanto concerne la suddivisione delle unità laviche, anche se per quanto concerne le attribuzioni cronologiche si è fatto riferimento a quella proposta nella cartografia ufficiale, ritenuta più aderente alle effettive giaciture delle diverse colate laviche. La carta geologica allegata al PRG, nonostante il maggiore dettaglio, non fornisce elementi riguardo la suddivisione delle litofacies scoriacee e massive all'interno delle singole colate laviche rilevate.







Operare tale suddivisione nel corso degli studi di microzonazione è risultato pressocchè impossibile, in considerazione della quasi totale urbanizzazione delle aree da investigare. I pochi affioramenti presenti all'interno dell'area urbana investigata sono in gran parte rappresentati da lave massive o da alternanze di orizzonti metrici massivi e scoriacei, non distinguibili ai fini della risposta di sito. E' stato possibile localmente individuare la presenza di livelli scoriacei di spessore superiore ai 3 m solo dai dati delle stratigrafie di alcuni sondaggi. In questo caso l'estensione areale del dato puntuale è stata effettuata sulla base della verifica delle morfologie superficiali delle colate, rilevate tramite una accurata analisi di foto aeree di dettaglio. Nella carta geologico tecnica per la microzonazione sismica sono stati riportati anche simbologie relative alle forme sepolte della paleotopografia, dalle colate laviche che ricoprono gran parte dell'area investigata. L'andamento morfologico del substrato è stato estrapolato mediante l'interpolazione dei dati delle stratigrafie dei sondaggi, interpretati tenendo conto anche dei caratteri morfologici e litologici delle lave sovrastanti, indicativi della acclività del substrato su cui esse si sono messe in posto. Le lave di copertura mostrano infatti differenti geometrie, connesse alle caratteristiche reologiche degli originali flussi lavici, al gradiente della paleotopografia che esse hanno ricoperto e all'orientazione degli elementi morfologici pre-esistenti, rispetto alla direzione del flusso. Le colate tendono ad assumere una forma stretta ed allungata e ad essere caratterizzate da una potente copertura scoriacea o a lastroni, connessa alla frammentazione delle porzioni più esterne raffreddate dove ricoprono un substrato ad elevata acclività. Al contrario, esse tendono a formare ampi campi lavici, con estensione trasversale e longitudinale alla direzione di flusso comparabili, laddove raggiungono un substrato a bassa acclività. In questo caso le lave

sono generalmente contraddistinte da banchi massivi metrici sub-orizzontali con copertura scoriacea limitata o assente, generalmente interessati da intensa fessurazione verticale. Un chiaro esempio può essere offerto dalla colata del 1669 che nel tratto tra Piazza Palestro e Via Plebiscito si restringe in corrispondenza di un salto morfologico che separa i terrazzi marini più bassi dal sistema di retrospiaggia olocenico della zona di Acquicella, dove la parte frontale della colata si è andata ad espandere formando un ampio ventaglio di lave massive, con spessore omogeneo di circa 15 m. I dati di sottosuolo (sondaggi 087015P173-P175) evidenziano che la porzione frontale della colata poggia con un contatto sub-orizzontale su un substrato sabbioso-ghiaioso, interpretabile come il settore della piana costiera e dell'adiacente spiaggia emersa ed indicata nella carta geologico tecnica per la microzonazione sismica con la forma sepolta "superficie di spianamento o di abrasione marina sepolta". Nella carta è stata ipotizzata anche la posizione della linea di costa ricoperta dalle lave, indicata nella carta geologico tecnica con il simbolo di "scarpata sepolta", sull'ideale prosecuzione della costa della Plaja. Questo lineamento sepolto è stato riconosciuto anche più a nord, dove separa i depositi marini terrazzati della zona della Villa Bellini, ad ovest, da un terrazzo sabbiosoghiaioso più basso che si sviluppa a partire dalla Piazza Stesicoro (v. forma sepolta nella carta geologico tecnica). Questo terrazzo che è stato raggiunto dai sondaggi ad una quota di -3 m nelle sue porzioni occidentali (v. sondaggio 087015P100) e -9 m nella sua prosecuzione verso mare (v. sondaggio 087015P92) (v. profilo A-A' in **Allegato 1**), è stato esteso al letto di tutte le lave che ricoprono la zona ad est della via Etnea fino alla costa (v. profilo C-C' in **Allegato 1**). Il bordo settentrionale di questa piattaforma sepolta, già segnalata in Monaco et al. (2000) a sud di Corso Italia, è stato riconosciuto a nord della Baia di Ognina, al piede del versante che degrada dalla zona di Feudo Grande (v. profilo D-D' in **Allegato 1**).

Ad ovest della via Etnea, a monte del bordo interno della piattaforma sepolta dalle lave del settore orientale della città, le lave hanno colmato una paleotopografia articolata in dorsali separate da profonde incisioni vallive. Nella carta geologico tecnica la







localizzazione degli assi delle paleovalli sepolte è stata rappresentata con il simbolo di "valle sepolta larga" e la sua ampiezza visualizzata indicando ai due lati il "limite del versante sepolto" corrispondente al limite affiorante tra terreni di riempimento e terreni modellati dal fianco della valle. I dati di sottosuolo hanno evidenziato che il riempimento delle paleovalli (sondaggi 087015P111, 087015P115, 087015P145) è costituito da una alternanza di livelli di lave massive con orizzonti sabbioso-conglomeratici, limi sabbiosi e argille da giallastre a grigio-azzurre.

Gli assi delle valli sepolte sono stati tracciati anche al di sotto di aree di affioramento dei terrazzi marini (SWtm nella carta geologico-tecnica), che nei modelli di sottosuolo proposti in precedenza (Monaco et al., 2000; 2005; Catalano et al., 2005) erano stati riferiti esclusivamente al tetto delle dorsali spartiacque di natura argillosa. I dati di sottosuolo nella zona di Piazza Dante, sulla collina di Montevergine (sondaggio 087015P131) mostrano chiaramente che le sabbie attribuibili al terrazzo marino di 60 ka (T6 in AA.VV., 1999; SWtm nella carta geologico tecnica del presente studio) poggiano in profondità su orizzonti lavici. I depositi sabbioso-conglomeratici dello stesso terrazzo, nella zona della Villa Bellini (sondaggio 087015P105; **GWtm** nella carta geologico tecnica) poggiano direttamente sulle argille del substrato (NR nella carta geologico tecnica). Tali rapporti sembrerebbero suggerire, a dispetto della topografia attuale, che i depositi del terrazzo marino esteso da Piazza Dante alla Villa Bellini vadano a suturare il riempimento di un'ampia paleovalle, di età antecedente la risalita eustatica dello stadio isotopico 3.3 (60 ka), il cui asse è stato ricostruito lungo la direttrice Piazza Dante-Piazza Università (v. profilo B-B' in Allegato 1). La morfologia attuale sarebbe quindi il risultato di un fenomeno di inversione del rilievo, legato allo smantellamento dell'originaria dorsale

argillosa che delimitava la valle verso sud, ad opera dell'abrasione marina che ha originato il terrazzo dello stadio isotopico 5.1 (40 ka) su cui è fondato il Castello Ursino.

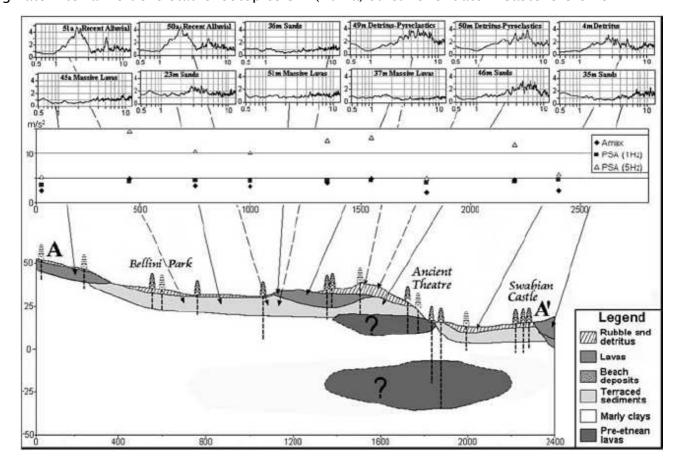


Fig. 27: profilo geologico e diagrammi frequenza/rapporto H/V lungo un transetto attraverso il centro storico di Catania (da Catalano et al., 2005)

La stratigrafia del sondaggio 087015P145 evidenzia che il riempimento della valle sepolta si estende fino alla profondità di circa -39, dove si rinviene il substrato argilloso. All'interno della successione di riempimento sono state comprese le lave che in precedenti studi erano stati assegnati al substrato. Un esempio in tal senso riguarda l'interpretazione di un profilo ricostruito in un settore significativo del centro storico, compreso tra la Villa Bellini e il Castello Ursino, attraverso la zona del Teatro Greco (Catalano et al., 2005). In questo profilo le lave presenti al di sotto dei depositi dei terrazzi marini sono state assegnate agli orizzonti sub-alkalini di base (500-330 ka; Gillot et al., 1994)(Fig. 27). Tale interpretazione è vincolata all'attribuzione della successione prevalentemente argillosa compresa tra le lave ed il terrazzo alle Argille







Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 grigio-azzurre del Pleistocene medio (NR nella carta geologico tecnica). I dati di sottosuolo evidenziano che i livelli attraversati dai sondaggi, compresi tra il terrazzo e le lave profonde, sono in effetti costituiti da orizzonti assimilabili alle diverse coperture alluvionali (GWtf, SWtf, Oltf nella carta geologico tecnica) e pertanto riferibili al riempimento della valle sepolta, la cui profondità risulta maggiore del livello di stazionamento marino olocenico, adottato, in AA.VV. (1999), come livello di base delle valli sepolte nell'area di Catania.

Il versante costiero a nord della baia di Ognina, nella zona di Feudo Grande, è infine caratterizzato dall'appoggio di lave recenti su un alto morfologico di argille del substrato, che costituiscono l'ossatura del versante (v. profilo D-D' in allegato 1) che si estende verso i comuni di San Gregorio, dove le argille sono sormontate da sabbie, e di Acicastello, dove livelli di vulcaniti sub-alkaline sono intercalati nei depositi marini del substrato. L'origine tettonica della culminazione argillosa è attestata dalla stratigrafia dei sondaggi profondi effettuati nelle aree poste alla base del versante costiero (v. sondaggi 087015P8/7) che attraversano una successione di vulcaniti, intercalate ai depositi marini del substrato, analoga a quella esposta al tetto delle argille, tra San Gregorio e Acicastello. Nel profilo geologico viene ipotizzata dunque la presenza di una struttura che delimita verso mare l'alto di argille, suturata dai livelli di vulcaniti che attraversano il versante.

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 litotipi stratificati, o ai terreni di copertura, catalogandoli in funzione della geometria e della giacitura in rapporto ai terreni sedimentari.

Substrato Geologico

Il substrato geologico in tutto il territorio comunale è di natura non rigida (NR) essendo costituito dalle argille marnose del Pleistocene medio, affioranti a tratti in corrispondenza delle dorsali spartiacque parzialmente sepolte sotto le lave. Nelle aree a sud dell'abitato di Catania, la successione argillosa sotto le alluvioni della Piana del Fiume Simeto raggiunge uno spessore di circa 800 m e poggia su livelli Giurassici delle successioni carbonatiche dei Monti Iblei (Pozzo Catania 10; Yellin-Dror et al. 1997; Torelli et al., 1998). In tutta la Sicilia orientale, la successione argillosa è stata datata da circa 1.2 a 0.6 Ma (Di Stefano & Branca, 2002). Nell'adiacente territorio di Acicastello, le argille ospitano orizzonti vulcanici datati tra 0,58 e 0,46 Ma.

Terreni di copertura

Nel territorio di Catania sono state rilevate 5 tipologie diverse di coperture, oltre i riporti di origine antropica (RI). Tra queste sono state contemplate tutte le lave (LC) che, ricoprendo il substrato argilloso ed essendo alternate a depositi vulcanoclastici, 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 sono dunque resi necessari 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 per la microzonazione sismica sono stati ricostruiti, con un grado di affidabilità dipendente dalle effettive esposizioni in superficie, i limiti delle singole colate laviche, con l'indicazione dell'ordine di sovrapposizione. Nella lettura ed interpretazione della carta, va rilevato che sia i 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. 28).

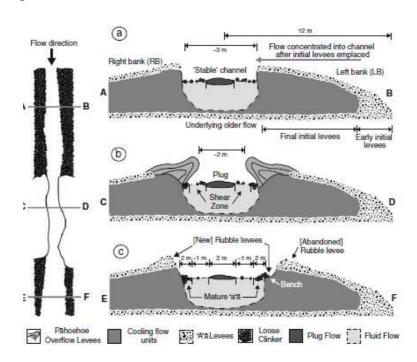


Fig. 28 - Profili di flusso attraverso colate laviche canalizzate nei suoi diversi settori (da Bailey et al., 2006).

Tra i depositi di copertura sono stati inseriti livelli, prevalentemente alluvionali (**tf**) e marina (**tm**, **sp**), di diversa granulometria (**GW**, **SW**, **SM** e **OL**).

4. Dati geotecnici e geofisici

I dati geotecnici e geofisici disponibili per l'area di studio, derivano da n. 536 indagini complessive, di cui n. 484 indagini pregresse e n. 52 nuove indagini geofisiche HVSR, realizzate nel presente studio dall'Università di Catania. Si tratta esclusivamente di indagini puntuali, che sono state archiviate secondo gli "Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica – Versione 2.0beta-II". L'insieme delle indagini puntuali disponibili (per l'ubicazione si veda la carta delle indagini) sono schematizzate per tipologia nella sottostante tabella 2:

	Geologia (GG)			Geofisica (GF)	Geotecnica in sito (GS)	Idrogeologia (IG)	TOTALE					
Totale Ind. Punt.	S	SS	SC	HVSR (Unict)	SPT	SP	GG	GF	GS	IG		
536	178	17	174	52	55	60	369	52	55	60		

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 Catania. In particolare, sono stati forniti ben n. 195 sondaggi geognostici, distribuiti abbastanza omogeneamente nell'area di studio, caratterizzati da profondità estremamente variabili da pochi metri a diverse centinaia di metri. In molti casi, in fase di perforazione, sono stati raccolti uno o più campioni da sottoporre ad analisi di laboratorio. Purtroppo, non si è in possesso dei risultati di queste preziose analisi che avrebbero consentito di definire con precisione le caratteristiche fisico-meccaniche sia dei terreni di copertura che del substrato. Le uniche informazioni in tal senso derivano da n. 55 indagini di geotecnica in sito SPT, i cui risultati sono stati riportati nella tabella 1 dell'Allegato 3. Nella tabella, per ciascuna prova SPT vengono definiti l'"identificativo indagine puntuale" (ID_INDPU), la profondità delle battute, il numero di colpi per ogni intervallo di profondità, il valore dell' N_{SPT}, il litotipo e l'attribuzione ad una delle unità geologico tecniche riconosciute. Dalla tabella si evince che sono stati investigati esclusivamente i terreni di copertura, caratterizzati da un numero N_{SPT} compreso tra 9 e 26, nel caso di terreni sabbioso-limosi, tra 32 e 48, nei depositi vulcanoclastici, tra 26 e 43, per terreni ghiaiosi in matrice







Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 sabbioso-limosa, tra 41 e 62, nel caso di sabbie e ghiaie, e tra 20 e 66, all'interno dei materiali di riporto; in diversi casi la presenza di livelli ghiaiosi o comunque di elementi lapidei matrice-sostenuti ha portato la prova a rifiuto.

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 (Tab. 4).

TERRI										Т										SS	A							
Passante al setaccio n.200 > 50 %								Trattenuto al setaccio n.200 > 50% % Sabbia % Ghiaia Passante al setaccio n. 4 > 50% Trattenuto al setaccio n.4 > 50%									set											
Organico W ₁ (essiccato)/ W ₁ (naturale)	Inorganico		Inorganico		Inorganico				Inorganico			pass. 200 > 12%			3-	5% <pass. 200<12%<="" th=""><th></th><th>1</th><th>pass. 200 < 5%</th><th></th><th>pass. 200 > 12%</th><th></th><th></th><th>5%<pass. 200<12%<="" th=""><th></th><th></th><th></th><th>pass. 200 < 5%</th></pass.></th></pass.>		1	pass. 200 < 5%		pass. 200 > 12%			5% <pass. 200<12%<="" th=""><th></th><th></th><th></th><th>pass. 200 < 5%</th></pass.>				pass. 200 < 5%
	sotto Linea	sopra L		Ip < 4 sotto Linea	4< Ip < 7 so	Ip > 7 sopr					Cu < 6 e/o Cc > 3	-	×	Cu < 6 e/	Cu ≥ 6 e 1					C11 < 4 e/o Cc > 3		C11 > 4 e/o 1 <cc<3< td=""><td>Cu ≥ 4 e/o</td><td>Cn ≥4 e 1< Cc</td></cc<3<>	Cu ≥ 4 e/o	Cn ≥4 e 1< Cc				
	inea A	Linea A		Linea A	sopra Linea A	sopra Linea A	% fine CL o CH	% fine M e C	% fine ML c MH	% fine CL c CH	% fine ML o WI	% fine CL c CH	% fine ML c MH	'o Cc > 3	1 < Cc < 3	% fine CL o CH	% fine M e C	% fine ML c MH	% fine CL o CH	% fine ML c MH	% fine CL o CH	% fine ML o MI	Cc > 3	× C6 × 3				
OL	MH	СН	НО	ML	CL-ML	CL	SC	SC-SM	SM	SP-SC	SP-SM	SW-SC	SW-SM	SP	WS	GC	GC-GM	GM	GP-GC	GP-GM	GW-GC	GW-GM	GP	GW				
Limi organici argille limose organiche di bassa plasticità	Limi inorganici	Argille inorganiche di elevata plasticità	Argille organiche di medio alta plasticità, limi organici	Limi inorganici, limi argillosi di bassa plasticità	Argilla limosa o limo argilloso di bassa plasticità	Argille inorganiche di medio-bassa plasticità	Sabbia argillose miscele di sabbia e argilla	Sabbie limose e argillose	Sabbie limose miscele di sabbia e limo	Sabbia argillosa poco assortita	Sabbia limosa poco assortita	Sabbia argillosa ben assortita	Sabbia limosa ben assortita	Sabbie pulite con granulometria poco assortita miscele di ghiaia e sabbia	Sabbie pulite con granulometria ben assortita sabbie ghiaiose	Ghiaie argillose, miscele di ghiaia, sabbia e argilla	Ghiaia limosa e argillosa	Ghiaia limosa, miscele di ghiaia sabbia e limo	Ghiaia argillosa poco assortita	Ghiaia limosa poco assortita	Ghiaia argillosa ben assortita	Ghiaia limosa ben assortita	Ghiaie pulite con granulometria poco assortita miscele fi ghiaia e sabbia	Ciliate buttle con Brandomenta pen assortita imsecte di Suata e saoota				

Tab.3 - Classificazione dei terreni secondo il sistema USCS







Terreni di coperti	ıra	
	RI	Terreni contenenti resti di attività antropica
5.1150.000.000.000.000.000.000.000.000.0	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
	ОН	Argille organiche di media-alta plasticità, limi organici
	МН	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
	СН	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.

Nell'ultimi quindici anni, il centro urbano di Catania è stato oggetto di numerosi studi di carattere geofisico che, attraverso diverse metodologie di indagini (soprattutto misure di microtremore ambientale) hanno cercato di definire la risposta sismica dell'area, in termini di accelerazione al suolo, scuotimento e amplificazione locale (es. Monaco et al., 2000; Lombardo et al., 2001; Catalano et al., 2005; Panzera et al., 2011).

Tali dati, seppure di notevole interesse ai fini della microzonazione sismica, non sono stati archiviati in quanto non ubicabili con la precisione richiesta, ma vengono comunque commentati nei successivi capitoli.

I dati geofisici archiviati, invece, derivano da n. 52 misure di microtremore ambientale (noise), distribuite sull'intero territorio comunale, che l'Università di Catania ha effettuato al fine di valutare le frequenze proprie di oscillazione dei diversi siti. I risultati sono sintetizzati nell'allegata carta delle frequenze, nella quale per ogni punto di misura sono riportate le frequenze alle quali il moto del terreno viene amplificato per risonanza stratigrafica e l'entità dell'amplificazione quantificata sulla base del rapporto H/V (rapporto tra le componenti spettrali orizzontali, H, e verticale, V, del moto del suolo). Per il dettaglio sulla tecnica adottata si rimanda all'Allegato 4 della presente relazione. I risultati ottenuti indicano che le frequenze di risonanza ricadono all'interno di un range compreso tra ~1 Hz e ~8 Hz, con un massimo tra 4 Hz e 6 Hz, con valori del rapporto H/V rappresentativi compresi tra 2 e 3. E' da notare che nell'indagine 087015P191 è stato rilevato un rapporto $H/V \sim 5$, e che in alcuni casi vengono segnalati due 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. A titolo di esempio, si segnalano le indagini 087015P181 e 087015P188, ubicate nei pressi del limite di due colate laviche giustapposte, per le quali sono stati registrati due picchi di amplificazione H/V pari a 2.93 e 4.10, rispettivamente, ad elevata frequenza (18.88 Hz e 15.94 Hz, rispettivamente).







5. Modello del sottosuolo

Il modello geologico del settore analizzato del territorio comunale di Catania, i cui dettagli sono stati già ampiamente descritti nei paragrafi precedenti, è riferibile a due distinte geometrie standard che caratterizzano le porzioni orientali ed occidentali della città, con un limite tra le due aree orientato N–S e coincidente circa con la posizione della Via Etnea. Le caratteristiche peculiari delle due aree sono ben rappresentate nel profilo A–A' (Allegato 1). Nei settori orientali della città, prossimi alla costa, il sottosuolo è costituito da una copertura di lave prevalentemente massive, di spessore variabile tra i 20 ed i 30 m poggianti, con un contatto sub–orizzontale, debolmente inclinato verso mare, su un terrazzo sabbioso generalmente imbibito di acqua, poggiante a sua volta, a profondità non stimate in quanto non raggiunte dai sondaggi, sul substrato argilloso. In questo caso, la risposta locale di sito può essere influenzata dagli effetti del contrasto di impedenza al contatto argille–sabbie sature e quelli della inversione di velocità delle onde di taglio prevedibile tra sabbie e lave. Per la valutazione delle velocità delle onde sismiche si può fare riferimento alla tabella di Fig. 29 (Panzera et al., 2011).

Table 2 Elastic parameters of main geological formations in the Catania area

	Lithotype	$\rho (Kg/m^3)$	Vp (m/s)	V_{S} (m/s)	σ	Q(s-1)
MC	Marly clay	2,000	1,235	650	0.308	35
Y	Sandy clay	1,950	490	250	0.324	15-20
	Coarse sand and gravel	2,000	2,000	450	0.31	20
	Gravelly sand/sandy clay	1,940	640	330	0.319	22
AT	Fine alluvial deposits	1,900	370	190	0.321	15
	Coarse alluvial deposits	1,850	408	210	0.32	12
S	Beach deposits (Sand)	1,830	430	220	0.323	12
L	Massive lava	2,300	2,300	1,000	0.249	50-100
	Scoriaceous/fractured lava	1,800	1,800	230	0.267	15
	Pyroclastics	1,700	1,700	300	0.288	30
	Massive/scoriaceous lava	1,950	750	400	0.301	20
D	Discard material detritus	1,800	1,800	210	0.31	12

The acronyms in the first column refer to the soil deposits listed in the legend of Fig. 1: MC=Marly Clay; Y=Yellowish sandy clay, sand and coarse gravel; AT=Alluvial and terraced deposit; L=Lava deposit; S=S and; D=Discard material and detritus

Fig. 29 – Parametri fisici delle principali litologie affioranti nell'area di Catania (da Panzera et al., 2011).

L'apparente continuità dei livelli nel settore orientale della città potrebbe fare prevedere, come si evince dalla carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica, un comportamento omogeneo in termini di risposta sismica locale. Va comunque 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 all'interno degli orizzonti lavici, 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 nel caso in cui le lave dovessero mostrare valori elevati delle velocità, comunque non possono essere trattate quale substrato rigido, se poggianti su livelli di copertura a bassa velocità. Ciò è ben evidenziato dalle misure di microtremore ambientale le quali, eseguite sia in questo e che in precedenti studi di microzonazione sismica di aree vulcaniche, hanno evidenziato effetti di amplificazione, più o meno marcati, su lave massive affioranti.

Appare evidente che nei successivi livelli di approfondimento sarà necessario interpretare il ruolo delle inversioni delle velocità nella selezione delle frequenze di







Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 oscillazione proprie dei siti e di verificare quale siano gli elementi delle successioni laviche che invece determinano le differenti ampiezze di oscillazione.

I dati del microtremore raccolti in studi precedenti nell'area urbana di Catania sono stati interpretati associando i valori misurati alle principali discontinuità tra le diverse unità litologiche (es. profilo in Fig. 30).

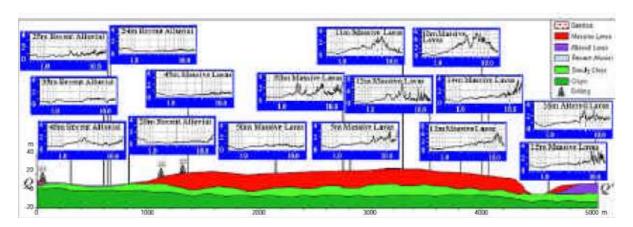


Fig. 30 - Rapporti Spettrali H/V lungo un transetto orientato NE-SW nell'area costiera di Catania (da Lombardo et al., 2001).

In particolare, sarebbe opportuno verificare anche a quali condizioni (giacitura, spessore degli strati e contrasti di impedenza) le discontinuità all'interno degli orizzonti lavici, connesse all'alternanza tra scorie e lave all'interno dei singoli campi lavici complessi, dove le lave massive sono sormontate o confinate lateralmente da porzioni maggiormente scoriacee, possano determinare alterazioni del moto del suolo.

Il settore occidentale di Catania è invece caratterizzato da una notevole variabilità laterale del sottosuolo, determinata dall'alternanza tra dorsali costituite dal substrato argilloso, sormontate da spessori limitati o assenti di coperture, e profonde incisioni,

colmate da ingenti spessori di materiale di natura variabile dalle lave massive alle argille, in strati spesso interdigitati, con caratteri meccanici profondamente diversi. Esistono quindi due gradi di variabilità laterale, l'uno a lunghezza d'onda maggiore determinata dall'ampiezza delle valli sepolte, l'altro a lunghezza d'onda minore, collegato alla variabilità dei terreni di riempimento delle valli.

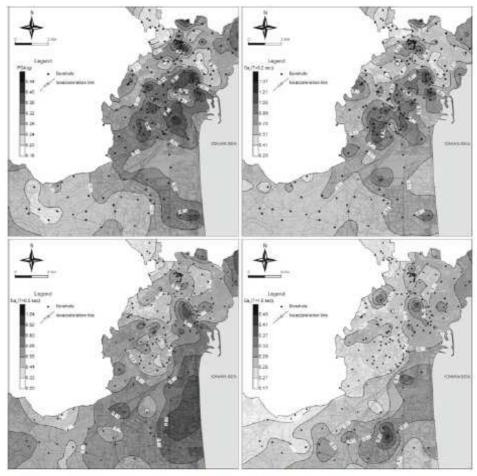


Fig. 4 Contour of PGA and ground motion distribution in term of acceleration response spectral ordinates at 0.2, 0.5 and 1s period, 5% damping, obtained for a destructive scenario (1693 earthquake)

Fig. 31 - Simulazioni dell'accelerazione del moto del suolo per eventi di differente magnitudo e per diversi periodi di oscillazione nell'area di Catania (Panzera et al., 2011).

L'estrema eterogeneità della risposta sismica locale nel settore occidentale dell'abitato di Catania risulta evidente dalle simulazioni dell'accelerazione del moto del suolo per eventi di differente magnitudo e per diversi periodi di oscillazione (Fig. 31).







In questo caso risulta molto difficile anche modellizzare una risposta sismica locale standard, mentre sembra più opportuno prevedere indagini che coinvolgano il terzo livello di approfondimento.

Per quanto riguarda le zone di culminazione delle dorsali argillose, effetti di amplificazione sono prevedibili laddove si riscontra la presenza di coperture. In queste aree vanno incluse anche quelle poste nella zona di Feudo Grande, dove un cuneo di lave che si ispessisce progressivamente verso nord ricopre direttamente il substrato argilloso esposto al tetto di una rampa di thrust ipotizzata nel sottosuolo. In questo settore, la risposta sismica locale potrà essere ulteriormente condizionata dalla diversa profondità cui si attesta la discontinuità meccanica costituita dal contatto lave di copertura/substrato argilloso.

Non va escluso che un'amplificazione a frequenze basse possa caratterizzare anche le zone di affioramento delle argille del substrato. I valori di Vs ottenuti all'interno dei livelli più superficiali delle argille sono, infatti, di circa 500–600 m/s, per cui il bedrock sismico va ricercato nei livelli più profondi della successione, in corrispondenza dei quali si raggiungono stabilmente velocità superiori agli 800 m/s. Per tale motivo, nella redazione della carta delle microzone omogenee, si è optato per indicare anche le aree di affioramento delle argille del substrato geologico come suscettibili di amplificazione.

Sulla base del modello geologico adottato, nei successivi stadi di approfondimento sarà necessario affrontare con studi specifici almeno altri due aspetti che potrebbero avere una ricaduta sulla valutazione della risposta sismica locale. Il primo riguarda il ruolo delle linee tettoniche e dei sistemi plicativi recenti segnalati nell'area, sia per

quanto attiene il potenziale sismico associabile ad essi che per quanto si riferisce alla valutazione delle eventuali deformazioni permanenti o movimenti differenziali prodotti in caso di rimobilizzazione co-sismica. In particolare andrebbe stabilita l'eventuale connessione della struttura sepolta, ipotizzata al piede del versante costiero di Feudo Grande, con le deformazioni e la risalita di fluidi profondi evidenziati lungo l'allineamento tettonico Belpasso-Ognina.

Un altro aspetto riguarda il ruolo delle acque sotterranee, il cui deflusso è chiaramente influenzato dalla complessa geometria del sottosuolo, che localmente potrebbero modificare, anche in maniera significativa, i parametri meccanici delle rocce contribuendo così ad una amplificazione degli effetti sismici locali.

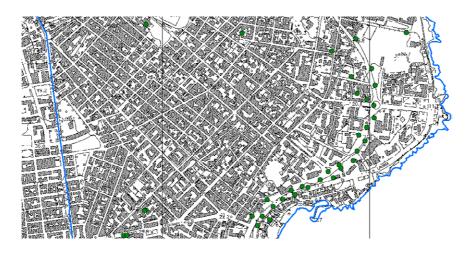
6. Interpretazioni ed incertezze

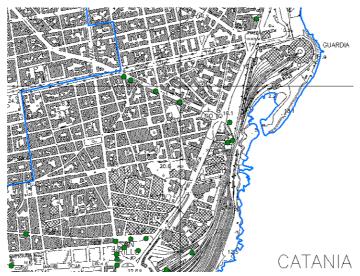
Nel territorio comunale di Catania, i dati pregressi utilizzati si riferiscono a indagini effettuate per lo studio geologico a supporto del Piano Regolatore Generale (P.R.G.). Il modello geologico ricostruito sulla base della profonda revisione dei rilievi geologici condotti per la realizzazione del P.R.G. ha trovato puntuale riscontro nelle stratigrafie dei sondaggi geognostici disponibili, presenti in numero adeguato e distribuiti abbastanza omogeneamente nell'intera area di studio. Rimangono alquanto carenti di informazioni dirette sui terreni del sottosuolo solamente alcuni settori del quartiere di "Picanello", le zone comprese tra il "Viale Ionio" e "Corso Italia", a nord, e il quartiere di "San Birillo", a sud, e l'area che si estende da "Via della Concordia" fino al limite meridionale dell'area di studio (Fig. 32). Anche quei sondaggi che ricadono immediatamente al di fuori dell'area di studio (indagini 087015P2 e 087015P129) o che forniscono informazioni non del tutto attendibili (ad es. la profondità delle indagini 087015P89 e 087015P96 è stata stimata graficamente – Fig. 33) sono stati utilizzati per la definizione dell'assetto geologico profondo del territorio comunale.











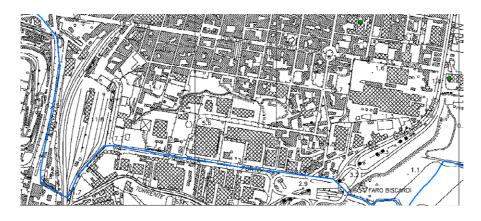


Fig. 32 – Ubicazione dei sondaggi geognostici (pallini verdi) in tre settori dell'area di studio (linea blu). Precisamente nel quartiere di "Picanello" (sopra), tra "Corso Italia" e il quartiere di "San Birillo" (al centro) e a sud di "Via della Concordia".

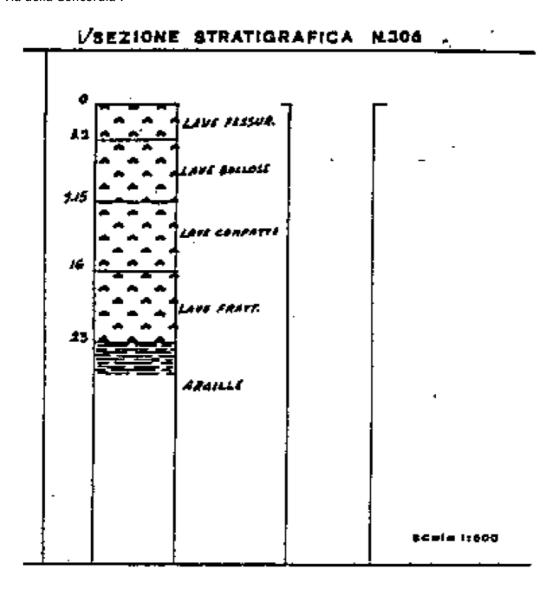


Fig. 33 - Indagine 087015P89.

Per archiviare le stratigrafie dei sondaggi secondo gli "Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica – Versione 2.0beta–II", si è scelto di reinterpretare i dati sulla base dei rilievi aerofotogrammetrici e di campagna, e delle conoscenze maturate attraverso l'esperienza acquisita sul campo. Così, i terreni da noi raggruppati all'interno depositi marini terrazzati (vedi **Allegati 1** e **2**) e catalogati con le sigle "GW", "SW" e "SM", vengono descritti come "tufi", nell'indagine 087015P92, come "tufiti sottilmente stratificati", nell'indagine 087015P98, come "tufiti e ialoclastiti", nell'indagine







087015P115, e come "tufiti", nell'indagine 087015P132. In diversi sondaggi sono stati attraversati a più riprese livelli scoriacei, descritti in svariati modi, da cenere vulcanica (087015P24) a vulcanosclatiti in matrice sabbiosa e sabbie vulcaniche (087015P55). In generale, tali livelli sono stati inglobati all'interno delle colate laviche di copertura e definiti con la sigla "LC" (ad. es. nel 087015P82), mentre dove mostrano spessori potenti sono stati interpretati come "SW" (ad es. nel 087015P55).

Come visto nel Capitolo 4, la totale deficienza di dati geofisici disponibili, ad eccezione delle misure HVSR realizzate nel presente studio, ha impedito la caratterizzazione sismica delle varie unità, così come l'assenza dei risultati delle analisi di laboratorio sui numerosi campioni prelevati durante le perforazioni, ha impedito la caratterizzazione geotecnica e granulometrica dei terreni affioranti. Le informazioni geofisiche, geotecniche e fisico-meccaniche saranno, dunque, uno degli obiettivi imprescindibili nelle successive fasi d'approfondimento.

Per quanto riguarda l'aspetto idrogeologico, la fitta rete di sondaggi geognostici messi a disposizione dall'amministrazione comunale di Catania, ha fornito un quadro abbastanza dettagliato sulla circolazione delle acque sotterranee. Nel dettaglio 60 perforazioni su 195 segnalano la presenza di acqua nel sottosuolo (v. Capitolo 4). Tali indagini, catalogate nel database "Cdl_tabelle" come "SP" (Tab. 2), hanno consentito la definizione delle aree potenzialmente soggette a fenomeni di liquefazione cartografate nella "Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica" (v. Capitolo 7). Ulteriori approfondimenti andrebbero riservati ai depositi marini terrazzati, affioranti tra Piazza Dante e la via Plebiscito, e ai depositi alluvionali terrazzati, affioranti tra Piazza Stesicoro

e Piazza Carlo Alberto (rispettivamente, SWtm e SWtf nella carta geologico tecnica per la microzonazione sismica), per i quali non si è in possesso di dati di pozzo.

Infine, nell'area di studio non è stato possibile individuare il bedrock sismico a causa della mancanza di informazioni riguardo la velocità di propagazione delle onde sismiche. Tuttavia, anche nel caso in cui le lave dovessero mostrare valori elevati delle velocità, comunque non possono essere trattate come substrato rigido, se poggianti su livelli di copertura a bassa velocità.

7. Metodologie di elaborazione e risultati

I dati di base e gli elaborati cartografici utilizzati (vedi elenco in Capitolo 1), riguardanti l'assetto geologico dell'area comunale, sono caratterizzati dal dettaglio della scala 1:5.000. 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. In particolare, la Carta geologica in scala 1:5.000 e, soprattutto, i dati provenienti dalle numerose perforazioni messe a disposizione dall'amministrazione comunale, hanno svolto un ruolo fondamentale per la mappatura dei terreni affioranti in un'area fortemente antropizzata qual è il centro urbano della città di Catania. In questo senso, a seguito di accurate verifiche di terreno unitamente all'analisi aerofotogrammetrie, si è dovuto procedere ad una parziale revisione dei dati forniti. Grazie all'integrazione tra gli accurati rilievi di terreno e le osservazioni derivanti dall'interpretazione dei sondaggi geognostici, analizzati e archiviati secondo gli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica Versione 2.0beta-II", è stato possibile ricostruire la successione geolitologica dell'area di studio (vedi Capitolo 3).







Una volta distinte le diverse unità geologico tecniche affioranti e stabiliti i loro rapporti geometrici nel sottosuolo, con un'accuratezza variabile in base alla densità delle indagini a disposizione, 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 determinazione di tali zone è stato svolto dalle sezioni geologiche a scala 1:5.000 (Allegato 1), dove si è cercato di evidenziare quegli elementi di non immediata lettura nella "carta geologico tecnica" quali i ventagli di lava sepolti e gli espandimenti lavici su superfici di spianamento sepolte, che determinano forti variazioni degli spessori e della giacitura dei corpi lavici stessi, e la presenza di un substrato geologico argilloso molto articolato, caratterizzato da paleovalli sepolte riempite da colate laviche di copertura e da depositi terrazzati, sia fluviali che marini. Sono rappresentati, inoltre, terreni che non affiorano nell'area di studio quali i depositi palustri di riempimento di paleovalli e i tufi del Pleistocene inferiore-medio.

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° 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., 1986) 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 le 3 sezioni topografiche in scala 1:5.000 (Allegato 5), dirette NO-SE, ONO-ESE e circa N-S realizzate nell'area di studio, ortogonalmente alle scarpate con pendenza maggiore di 15°, mostrano chiaramente che queste ultime non superano i 25 m di altezza (profilo topografico 1 Allegato 5).







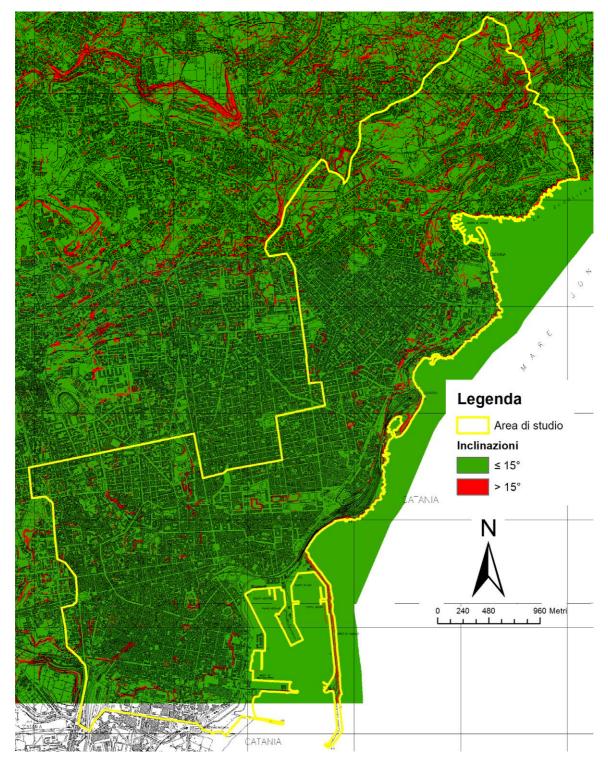


Fig. 34 - Carta delle inclinazioni dell'area di studio. Sono distinte inclinazioni $< 15^\circ$, in verde, $e > 15^\circ$, in rosso.

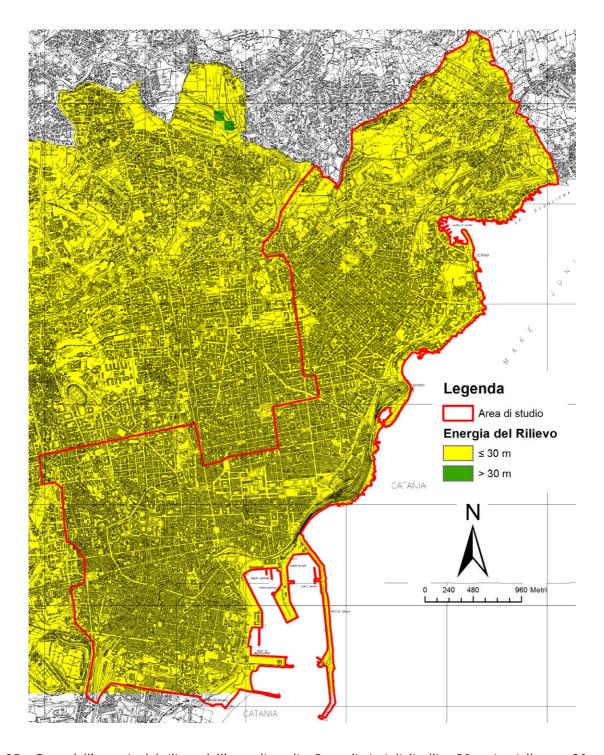


Fig. 35 – Carta dell'energia del rilievo dell'area di studio. Sono distinti dislivelli < 30 m, in giallo, e > 30 m, in verde.







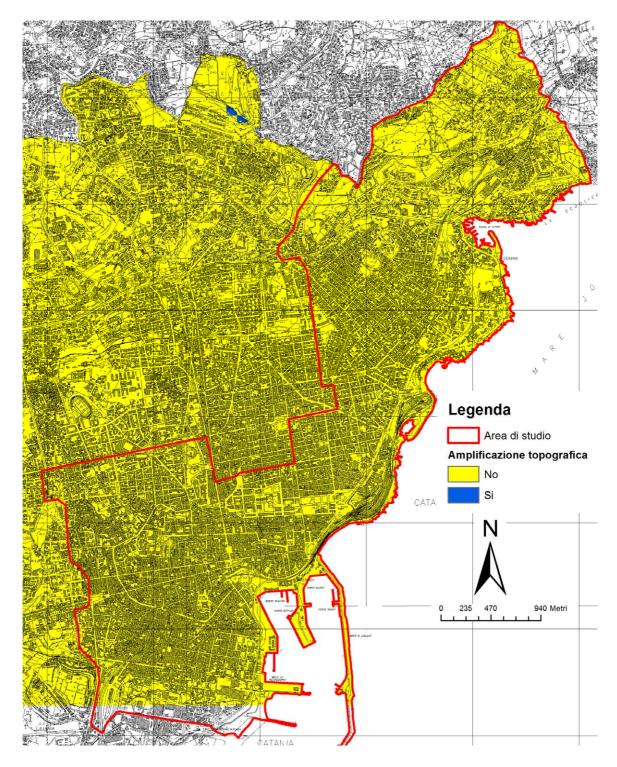


Fig. 36 - Carta dell'amplificazione topografica dell'area di studio. Le aree potenzialmente soggette ad amplificazione topografica sono evidenziate in blu.

Per quanto riguarda le instabilità di versante manifeste e potenziali, si è fatto riferimento agli studi pregressi del PAI che hanno trovato riscontro anche nelle analisi morfologiche condotte nell'area tramite analisi di fotogrammetrie e verifiche di terreno. 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 F. Alcantara – 095) vengono riportati 15 dissesti, elencati nella tabella 5.

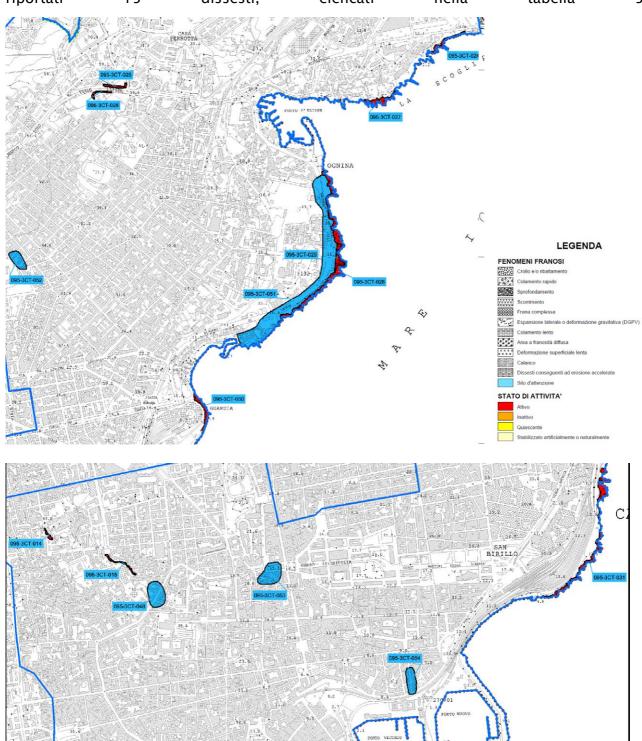


Fig. 37 - Stralci della "Carta dei dissesti N° 26-27" (A095 D 634050 e 634060 mod.) del PAI.







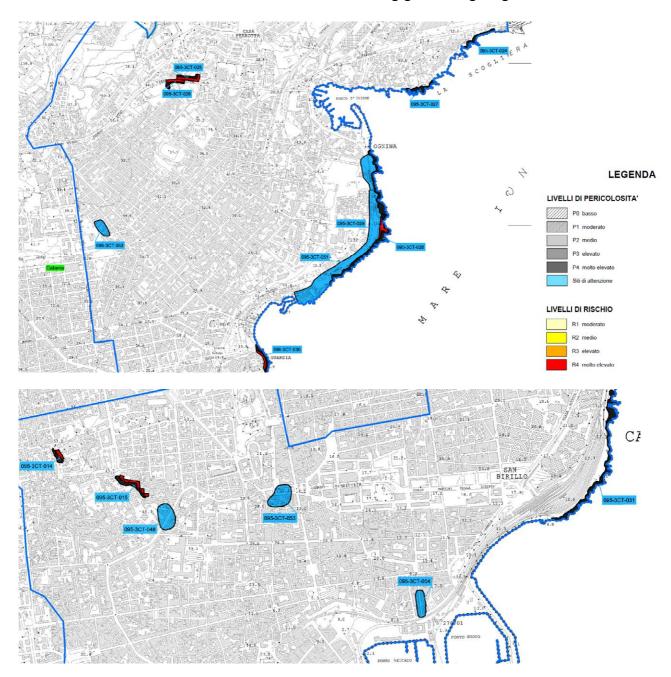


Fig. 38 - Stralci della "Carta della pericolosità e del rischio N° 26-27" (A095 PR 634050 e 634060 mod.) del PAI.

Sigla	ID_i	Località	Tipologia	Attività	Pericolosità	Rischio
095-3CT-024	1	La Scogliera	Crollo e/o ribaltamento	Attivo	Molto elevata	_
095-3CT-027	2	Lungomare Ognina	Crollo e/o ribaltamento	Attivo	Molto elevata	_
095-3CT-028	3	La Scogliera	Crollo e/o ribaltamento	Attivo	Molto elevata	-
095-3CT-025	5	Viale Ulisse	Crollo e/o ribaltamento	Attivo	Molto elevata	Molto elevato
095-3CT-026	6	Viale Ulisse	Crollo e/o ribaltamento	Attivo	Molto elevata	Molto elevato
095-3CT-030	7	Guardia – Caito	Crollo e/o ribaltamento	Attivo	Molto elevata	Molto elevato
095-3CT-031	8	Stazione	Crollo e/o ribaltamento	Attivo	Molto elevata	-
095-3CT-014	9	Via Rametta	Crollo e/o ribaltamento	Attivo	Molto elevata	Molto elevato
095-3CT-015	10	Piazza Fusinato - Via Petraro	Crollo e/o ribaltamento	Attivo	Molto elevata	Molto elevato
095-3CT-029	15	Piazza Nettuno	Sprofondamento	Attivo	Molto elevata	Molto elevato
095-3CT-051	16	Viale Artale Alagona	Sito d'attenzione	-	_	-
095-3CT-052	17	Bordighera	Sito d'attenzione	-	_	-
095-3CT-054	18	Via Mons. Ventimiglia	Sito d'attenzione	-	-	-
095-3CT-053	19	Piazza Stesicoro	Sito d'attenzione	-	-	-
095-3CT-048	20	Via Plebiscito	Sito d'attenzione	-	-	-

Tab. 5 - Elenco dissesti ricadenti nell'area di studio con relativo livello di pericolosità e rischio (da PAI modificato).

Nel presente studio, le prime 9 aree segnalate dal PAI sono state inserite tra le instabilità di versante e catalogate come "crollo o ribaltamento – attiva" (Tipo_i = 3011). Si tratta, infatti, di crolli che si generano nelle colate laviche, lungo la falesia che si estende dalla Scogliera, a nord, fino alla stazione ferroviaria della città di Catania (Fig. 39), o lungo scarpate subverticali residue di attività estrattive, come nel caso del dissesto di Via Rametta (Fig. 40), o per la realizzazione della circumvallazione, come nel caso dei dissesti di Viale Ulisse. L'area di Piazza Nettuno soggetta a sprofondamenti e i siti di attenzione <<pre>perché suscettibili a sprofondamento>>, come si legge nella relazione del PAI, sono stati classificati come instabilità per "cedimenti differenziali" (Tipo_i = 3080).









Fig. 39 - Dissesto 095-3CT-030, in località Guardia-Caito. Dal Piano Stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI) della Regione Siciliana - Relazione generale.



Fig. 40 - Dissesto 095-3CT-014, in Via Rametta. Dal Piano Stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI) della Regione Siciliana - Relazione generale.

Un discorso più articolato deve essere condotto riguardo il fenomeno della liquefazione. La definizione del glossario degli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica" (Gruppo di lavoro MS, 2008) recita: <<Fenomeno per cui, in conseguenza dell'applicazione di azioni dinamiche quali le azioni sismiche agenti in condizioni non drenate, un terreno perde la propria resistenza al taglio>>. Appare chiaro che il fattore scatenante del fenomeno è il verificarsi di un evento sismico ad una certa distanza dal sito in oggetto. Distanza che a sua volta dipende dalla Magnitudo del terremoto. A titolo di esempio si riporta la relazione empirica tra la Magnitudo e la distanza epicentrale proposta da Galli (2000)(Fig. 41):

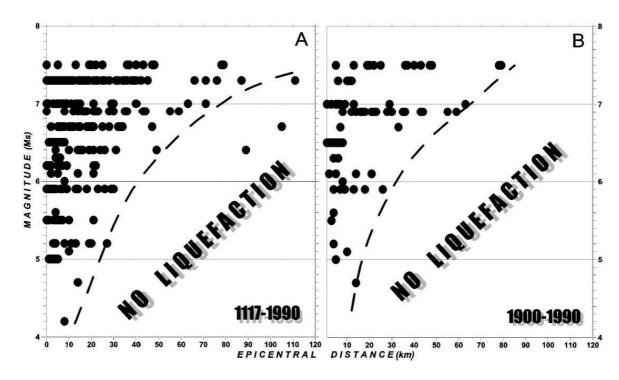


Fig. 41 – Distribuzione di fenomeni di liquefazione indotti da eventi sismici, in termini di Magnitudo e distanza epicentrale, per i periodi 1117–1990 e 1900–1990. (da Galli, 2000).

Nell'ambito della zonazione sismogenetica dell'area italiana (Gruppo di lavoro, 2004), il territorio comunale di Catania, così come tutta l'area etnea, ricade all'interno della zona 936 (Fig. 42). Questa zona racchiude diversi eventi sismici di Magnitudo medio bassa (Mw = 3-4), mentre nel 1818 e nel 1848 si son verificati due terremoti caratterizzati da Mw ~ 6 e Mw ~ 5, rispettivamente (CPTI11; Rovida et al., 2011). Questi







Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 dati trovano conferma nella versione più recente del DISS 3.1.1 (DISS Working Group, 2010) che riporta la presenza della sorgente sismogenica "ITIS106 – Gravina di Catania" orientata NE-SO e caratterizzata da una Mw = 6, ubicata nel settore settentrionale del territorio comunale di Catania (Fig. 20). Tuttavia in passato l'area di studio è stata seriamente danneggiata dai sismi del 1169 e del 1693, di $Mw \ge 7$ (Postpischl, 1985; Boschi et al, 1995; 1997), verificatisi però nella zona sismogenetica 935. Per finire, nel DISS 3.1.1 (DISS Working Group, 2010), a circa 16 km di distanza nell'*off-shore* ionico, viene segnalata la presenza della sorgente sismogenica "ITDS011 – Western Ionian" dibattuta (Fig. 20), alla quale Altri autori hanno associato l'evento principale del 1693 con una $M \ge 7$ (Bianca et al., 1999; Catalano et al. 2008).

In ogni caso, possiamo concludere che il possibile verificarsi di eventi sismici di Magnitudo compresa tra 4 e 6 in zone molto prossime all'area oggetto di studio potrebbe innescare fenomeni di liquefazione, in presenza di terreni sciolti (sabbie o ghiaie) e di una falda superficiale. Nel territorio comunale di Catania, questa tipologia di terreni è rappresentata dai depositi terrazzati, sia alluvionali che marini, dai depositi di spiaggia, dai depositi vulcanoclastici e dal materiale di riporto. Essi affiorano principalmente nel settore meridionale dell'area di studio.

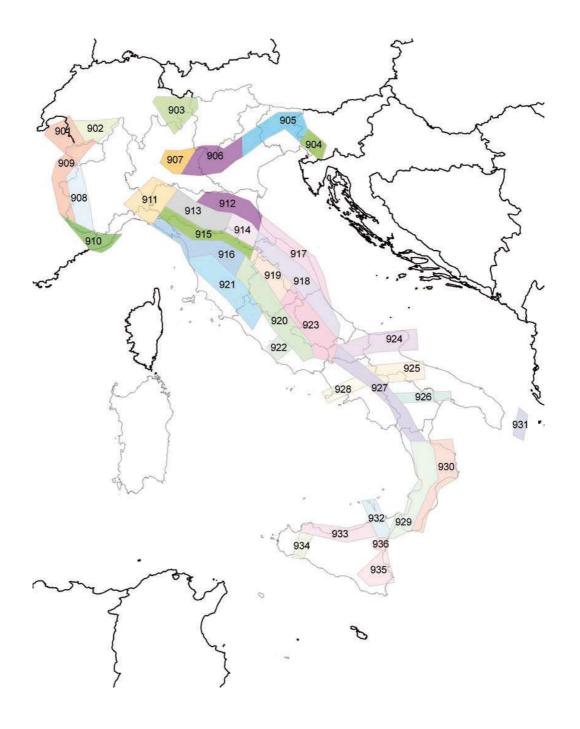


Fig. 42 – Zone sismogenetiche per la mappa di pericolosità sismica di base di riferimento (Gruppo di lavoro, 2004).

La presenza di falde superficiali all'interno di tali depositi è stata definita grazie all'elevato numero (195) di sondaggi geognostici messi a disposizione dall'amministrazione comunale di Catania. Nel presente studio sono state dunque individuate le seguenti zone soggette a possibili fenomeni di liquefazione:







- 1. Zona della Villa Bellini, in cui nei depositi marini terrazzati, le perforazioni evidenziano la presenza di una falda a profondità compresa tra 7 e 14,5 metri.
- 2. Zona di Castello Ursino-Corso Sicilia-Porto Vecchio, dove viene segnalata la presenza di acqua a profondità variabili da 1 a 19 metri, in depositi sabbiosi alluvionali o di ripoto e in depositi marini terrazzati.
- 3. Zona del Molo di Mezzogiorno-Faro Biscardi, caratterizzata dalla presenza di depositi di spiaggia in cui è stata rinvenuta una falda ad una profondità di circa 3 metri.
- 4. Zona della Stazione di Acquicella, dove i sondaggi 087015P170 e 087015P172 sembrano escludere la presenza di acqua nei primi 10 m di profondità nei depositi sabbiosi, sia di spiaggia che di terrazzo marino, che la caratterizzano. Le perforazioni ubicate nei dintorni, che investigano profondità maggiori (ad es. l'indagine 087015P169, che raggiunge una profondità di 30,7 m), dopo aver attraversato la colata lavica del 1669, mostrano la presenza di una falda acquifera che interessa tali terreni sabbiosi ad una profondità compresa tra 7,5 e 17,3 metri. Si è dunque deciso di considerare quest'area come potenzialmente soggetta a fenomeni di liquefazione, anche se si raccomanda di definire meglio la circolazione idrica sotterranea in tali terreni, attraverso nuove indagini da realizzare nelle successive fasi di approfondimento.

Restano, infine, da caratterizzare dal punto di vista idrogeologico i depositi marini terrazzati affioranti tra Piazza Dante e la via Plebiscito, e i depositi alluvionali terrazzati affioranti tra Piazza Stesicoro e Piazza Carlo Alberto (v. Capitolo 7).

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 Catania, consistono in indagini puntuali, eseguite esclusivamente in foro, cui si dovrebbero sommare le prove e analisi di laboratorio, i cui risultati però non sono in nostro possesso. 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. 229 "Siti_puntuali" (177 relativi a dati pregressi e 52 a misure HVSR realizzate dall'Università di Catania nel corso del presente studio).

Per quanto riguarda le "Indagini_puntuali" sono state inserite n. 536 indagini appartenenti a diverse classi:

- "Geologia" a questa classe appartengono i sondaggi a carotaggio continuo e quelli con prelievo di campioni
- "Geotecnica in sito" sono esclusivamente prove SPT (v. Allegato 3)
- "Idrogeologia" consta di n. 60 perforazioni da cui è possibile ricavare informazioni sulla soggiacenza della falda
- "Geofisica" n. 52 indagini HVSR (v. Allegato 4)







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. I terreni lavici, seppure in gran parte poggianti su superfici di erosione modellate sul basamento prevulcanico, sono stati assimilati esclusivamente ai terreni di copertura (LC), sulla base della loro giacitura rispetto alle altre formazioni superficiali (unità di copertura) presenti nell'area. Le diverse unità litologiche del substrato, ivi comprese i prodotti lavici, e i diversi terreni di copertura sedimentaria sono state rappresentate nella carta geologico tecnica seguendo gli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica-Versione 2.0beta-II". La classificazione dei terreni di copertura, descritta già in dettaglio nei capitoli precedenti, è stata eseguita secondo il sistema USCS. 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 le lave di copertura si è fatto ricorso a nuovi standard di rappresentazione concordati con la committenza, in attesa di una integrazione delle linee guida nazionali, alla quale si auspica possano utilmente contribuire gli stessi dati contenuti in questo studio. In particolare, sono stati inseriti sia nuovi elementi lineari (limite di colata lavica e limite di versante sepolto con inclinazione compresa tra 15° e 45°) che elementi areali (ventaglio di lava e superficie di spianamento o di abrasione marina sepolta) che insieme agli altri già previsti, consentono una visualizzazione immediata degli elementi della morfologia sub-vulcanica.

8.3 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica

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

- 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 18 distinte microzone riferite ad aree stabili suscettibili di amplificazione, nonché 3 distinte tipologie di zone suscettibili di instabilità.

Una notevole varietà di microzone è stata prevista per le aree ricadenti su terreni vulcanici, per le quali non sono state ancora definite linee guida da adottare. Non è escluso che, una volta definito l'abaco di riferimento, alcune delle suddivisioni proposte







possano risultare pleonastiche, non avendo riscontro in termini di risposta sismica locale differente. Ciò implica la possibilità che microzone omogenee, oggi distinte sulla base di differenti caratteri stratigrafici e giaciturali, possano avere un medesimo comportamento di modificazione del moto del suolo e quindi essere successivamente accorpate in un'unica microzona omogenea. In termini realistici, non è prevedibile che l'estrema eterogeneità laterale dei terreni vulcanici si traduca effettivamente in un comportamento omogeneo, come codificato per altri tipi di terreno. E' molto più probabile che il concetto di microzona omogenea, nel caso dei terreni vulcanici, vada intesa come area all'interno delle quali i parametri di variazione locale del moto oscillano siano compresi 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 queste considerazioni di carattere generale vanno aggiunti i limiti di incertezza, già descritti nel capitolo 6, che riguardano l'esatta localizzazione dei limiti tra microzone che si differenziano per progressiva sostituzione laterale di terreni a diverso comportamento. A titolo di esempio, si segnala la possibilità che all'interno di una microzona omogenea si possano manifestare effetti di particolare amplificazione lungo determinati allineamenti, come nel caso dei bordi di colata dove le misure di microtremore ambientale hanno evidenziato fenomeni di amplificazione a frequenze relativamente elevate. Un simile comportamento è legato all'estrema eterogeneità laterale di litologia, molto comune in ambiente vulcanico, che andrebbe considerata alla stessa stregua delle variazioni litologiche verticali, già previste negli abachi. E' chiaro che i passaggi laterali si proietterebbero in carta come linee, al contrario dei passaggi verticali che sono già contemplati nella stratigrafia relativa alle singole microzone. Pertanto, in attesa della definizione degli abachi, in aggiunta alle microzone omogenee riportate in carta, si consiglia di considerare tutti i bordi di colata riportati nella Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica come elementi lineari lungo i quali vi è la possibilità di un sostanziale incremento locale dell'amplificazione.

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

- **Zona 1** Argille siltoso-marnose grigio-azzurre (a) del Pleistocene inferiore-medio che raggiungono spessori notevoli oltre i 200 m e rappresentano il substrato pre-etneo.
- **Zona 2** Materiale di riporto eterogeneo ed eterometrico costituito da blocchi lavici in matrice sabbiosa. Lo spessore medio è di circa 6 metri. Il materiale di riporto poggia sulla successione della zona 1.
- Zona 3 Lave di copertura indefinite (a) su morfologie del substrato articolate che mantellano con spessori costanti pendii sepolti costituiti da diversi termini del substrato geologico, le cui geometrie sepolte andranno definite nell'ambito degli studi di secondo livello.
- **Zona 4** Materiale di riporto eterogeneo ed eterometrico costituito da blocchi lavici in matrice sabbiosa e rilevato stradale. Lo spessore medio è di circa 6 metri. Il materiale detritico poggia sulla successione della della zona 3.
- Zona 5 Lave di copertura indefinite (a) su morfologie del substrato articolate costituite da una fitta alternanza di banchi massivi e livelli scoriacei metrici in strati inclinati che danno luogo a ventagli di lava che mantellano preesistenti pendii acclivi, con spessore variabile da un minimo di pochi metri all'apice a un massimo di oltre 50 m al piede del ventaglio, poggianti su diversi termini del substrato geologico le cui geometrie sepolte andranno definite nell'ambito degli studi di secondo livello.
- **Zona 6** Lave di copertura indefinite (a) su morfologie del substrato articolate che ricoprono depositi marini terrazzati costituiti da sabbie e ghiaie, caratterizzati dalla presenza di una falda libera, su substrato geologico o su lave di copertura più antiche.
- Zona 7 Materiale di riporto eterogeneo ed eterometrico costituito da blocchi lavici in matrice sabbiosa, scarti edilizi, resti archeologici, materiale derivante da crolli di edifici storici (area del centro storico all'interno del perimetro delle fortificazioni cinquecentesche), materiale di costruzione di scogliera artificiale e moli (a). Lo spessore medio è di circa 6 metri. Il materiale di riporto poggia sulla successione della zona 6.
- Zona 8 Depositi marini terrazzati costituiti principalmente da sabbie, ghiaie e argille-limose con spessori anche oltre i 20 m che costituiscono la parte superiore della successione di riempimento delle paleovalli rappresentata da un'alternanza di lave e livelli conglomeratico-sabbiosi (b).
- **Zona 9** Lave di copertura indefinite (a) su morfologie del substrato articolate che ricoprono successioni di riempimento di paleovalli della zona 8.
- **Zona 10** Materiale di riporto eterogeneo ed eterometrico costituito da blocchi lavici in matrice sabbiosa, scarti edilizi, resti archeologici, materiale derivante da crolli di edifici storici (area del







centro storico all'interno del perimetro delle fortificazioni cinquecentesche), materiale di costruzione di scogliera artificiale e moli (a). Lo spessore medio è di circa 6 metri. Il materiale di riporto poggia sulla successione della zona 9.

- Zona 11 Materiale di riporto eterogeneo ed eterometrico costituito da blocchi lavici in matrice sabbiosa, scarti edilizi, resti archeologici, materiale derivante da crolli di edifici storici (area del centro storico all'interno del perimetro delle fortificazioni cinquecentesche), materiale di costruzione di scogliera artificiale e moli (a). Lo spessore medio è di circa 6 metri. Il materiale di riporto poggia sulla successione della zona 8.
- **Zona 12** Depositi di spiaggia costituiti da blocchi, ciottoli e ghiaia vulcanica sulla successione della zona 6.
- **Zona 13** Depositi alluvionali terrazzati costituiti da sabbie e ghiaie che poggiano sulla successione della zona 6.
- **Zona 14** Materiale di riporto eterogeneo ed eterometrico costituito da blocchi lavici in matrice sabbiosa. Lo spessore medio è di circa 6 metri. Il materiale di riporto poggia sulla successione della zona 13.
- **Zona 15** Depositi alluvionali terrazzati costituiti da sabbie e ghiaie che poggiano sulla successione della zona 3.
- **Zona 16** Lave di copertura indefinite (a) su morfologie del substrato articolate, che poggiano su depositi marini e alluvionali terrazzati e sul substrato geologico.
- **Zona 17** Depositi alluvionali terrazzati costituiti da sabbie e ghiaie che poggiano sulla successione della zona 9.
- Zona 18 Depositi marini sabbiosi di spiaggia che poggiano sulla successione della zona 8.

Le 3 tipologie di instabilità comprendono le aree caratterizzate da instabilità di versante attiva, già censite dal PAI come ad elevato rischio di frana, nonchè le aree segnalate dal PAI come siti d'attenzione e inserite come zone soggette a instabilità per cedimenti differenziali. A queste si aggiungono le aree suscettibili di instabilità per liquefazione.

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

Le informazioni sui danni prodotti dagli eventi passati sono state ottenute consultando il Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1990 (CFTI 2 Boschi et al., 1997), il Catalogo Macrosismico dei Terremoti Etnei (CMTE; Azzaro et al., 2000; 2006; 2009), nonché una pubblicazione scientifica di Azzaro et al. (1999). Procedendo dal più antico al più recente si elencano:

Evento del 4 febbraio 1169

Numerose fonti dell'epoca riportano la distruzione totale della città e la morte di 15.000 persone, cifra che, in altre fonti medievali, oscilla tra 10.000 e 20.000. Ci fu anche un forte tsunami che causò la morte di 5.000 persone e la distruzione del villaggio di Casal Simeto (Azzaro et al., 1999).

Evento del 10 dicembre 1542

A seguito di questo evento sismico la città di Catania subì danni considerevoli. Diverse chiese e monasteri furono danneggiati e molte abitazioni crollarono, mentre altre furono puntellate o ristrutturate. Anche se, nel settore occidentale della città un intero quartiere fu distrutto, solamente sei persone persero la vita (Azzaro et al., 1999).

• Evento del 10 marzo 1669

Durante l'evento sismico del 1669 le scosse furono avvertite fortemente ma non causarono alcun danno. La città venne, invece, danneggiata dall'eruzione vulcanica.

• Eventi del 9 e dell'11 gennaio 1963







La prima scossa causò la rovina di poche case, provocando la morte di 16 persone. Alcune chiese, conventi e monasteri (ad es. il monastero dei Benedettini), nonché moltissimi palazzi e abitazioni subirono crolli parziali, lesioni alle pareti e danni alle travature dei tetti. La seconda scossa provocò danni molto più ingenti, anche perché si andarono a sommare a quelli della scossa precedente. Le fonti descrivono, infatti, la città di Catania come una pila di rovine. Rimasero in piedi solamente le cappelle laterali della cattedrale, la chiesa di Santa Maria della Rotonda, il castello Ursino, la cappella di Sant'Agata, alcuni tratti delle mura di cinta, le porte di accesso e pochi edifici (Fig. 43). Secondo la relazione allegata alla lettera del Viceré del 14 maggio, il terremoto causò la completa distruzione della città, provocando la morte di 11.964 persone su una popolazione totale di circa 19.000 abitanti. Altre fonti riportano, invece, il decesso di 20.000 abitanti su un totale di 23.000–27.000 (Azzaro et al., 1999).

Evento del 20 febbraio 1818

Anche questo evento sismico ebbe effetti disastrosi, tanto che, nel quadro riassuntivo delle perizie, la città di Catania fu inserita tra quelle in cui si verificarono danni generalizzati al patrimonio edilizio. Tra gli edifici danneggiati si annoverano le carceri, il Castello Ursino, L'Albergo dei Poveri, la Regia Casa d'Educazione, l'ospedale di Santa Marta (dove furono demolite le volte di due corridoi), il Reclusorio del Bambino (dove fu necessario demolire un dormitorio), il convento di Sant'Agata la Vetere, il Reclusorio della Provvidenza, il convento di San Francesco di Paola, l'ospedale di San Marco, il

Collegio delle Arti, il Reclusorio delle Repentite e la Porta Ferdinandea. Tra gli edifici religiosi, furono segnalati danni nelle chiese dei Crociferi, dei Minoriti e di Santa Chiara, e nei monasteri di San Giuliano e dei Benedettini. Le tavole sinottiche redatte a cura dell'Intendenza di Catania e riproducenti i risultati delle perizie ufficiali riportano il numero di 1.768 case danneggiate. Di queste nessuna venne classificata come caduta; 6/16 come cadenti e 10/16 come lesionate". A dispetto degli effetti disastrosi del terremoto, non sono state segnalate vittime.

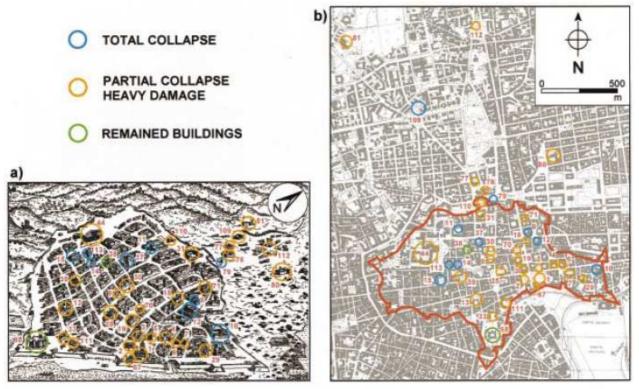


Figure 4. Location of the 1693 damaged buildings (cumulative effects) identified by the analysis of the historical sources, a) Historical map showing the plan of Catania before the 1669 aruption (detail, from Dufour and Raymond, 1992), b) The same representation using a modern topographic map (original scale; 1:10,000). Numbers refer to the original legand of the historical map indicating the main edificies of the city; 1) Cathedral; 2) Seants-House; 3) Seaminary, 4) Dominican Fathers of S. Catarina, 5) Monstary of S. Agata, 6) M. of S. Deixid, 8) M. of S. Deixid, 9) M. of S. Deixid, 9) M. of S. Benedetro, 10) M. of S. Giuliano, 11) M. of Monte Vergine; 120 M. of Porto Salvo, 13) M. of S. Chizar, 14) M. of S. Giuliano, 15) M. of the Holy Trinity, 15) Franciscan Friar, of 5) Communical Fathers of S. Francesco; 29) Terevinian Fr.; 30) College of Jesuit Fr.; 31) Franciscan Fr. of the strict Observants; 33) Trinity Fr.; 37) Tower of D. Lorenzo, 38) Rotonda church; 39) Augustinian Fr.; 44) Benedictine Fr.; 67) bishop's palace; 68) Uraino castle; 70) Collegiate (S. M. dell'Elemonina); 71) Minorite Fr.; 77) Dominican Fr.; 78) Capuchin Fr. (Convent of S.M. della Sparanza); 79) Carcars di S. Agata alla Fornacco or S. Biagio); 80) Dominican Fr.; 76) Capuchin Fr. (Convent of S.M. della Minorite Fr.; 67) Bishop's palace; 68) Uraino castle; 70) (For full colour reproduction of this figure, see Appendix at the end of this issue.)

Fig. 43 – Ubicazione degli edifici danneggiati a seguito del terremoto del 1693 su una mappa che descrive la Pianta di Catania prima dell'eruzione del 1669 (a)(da Doufour & Raymond, 1992) e su una base topografica moderna a scala 1:10.000 (da Azzaro et al., 1999).

• Evento dell'11 gennaio 1848

Si tratta dell'evento sismico più recente che ha causato ingenti danni alla città di Catania. Infatti, nonostante solamente poche case crollarono, fratture







estensionali interessarono un gran numero di abitazioni. E' da rimarcare che il terremoto non provocò alcun danno agli edifici rinforzati in occasione dell'evento del 1818.

• Evento del 28 dicembre 1908

Il forte sisma che colpì con molta violenza la zona dello Stretto di Messina, causò grandissimo panico nella popolazione di Catania. Molti edifici, soprattutto quelli di vecchia costruzione, subirono lesioni più o meno gravi e alcuni vennero evacuati.

• Evento del 13 dicembre 1990

A seguito di tale evento sismico furono ferite tra 10 e 20 persone, mentre i danni risultarono concentrati soprattutto nel centro storico. Tra gli edifici comunali danneggiati si annoverano le sedi dell'assessorato ai servizi sociali, la sede della prefettura e dell'archivio di stato, il Palazzo degli Elefanti, il Palazzo Santa Chiara (che era stato da poco ristrutturato). Il Palazzo dei Chierici fu dichiarato inagibile a causa del crollo del secondo piano. Furono, inoltre, riscontrati danni anche nelle seguenti chiese: la cattedrale, i Benedettini, Santa Maria la Grande, San Giuseppe al Transito, San Giuliano, la Mercede. Alcune vie della città vennero chiuse al traffico per la caduta dei cornicioni dagli edifici. Diversi edifici storici, tra cui Palazzo Biscari, Palazzo Bruca, Palazzo Ferrarotto e molte scuole risultarono lesionati. Al 24 dicembre erano pervenute 6.320 richieste di sopralluoghi. Fu dichiarata l'inagibilità per 36 scuole, 3 chiese, 271 abitazioni e 14 edifici pubblici. Furono complessivamente danneggiati 432 edifici: 44 edifici pubblici, 368 edifici privati e 20 scuole.

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

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.; 1999 - Carta geologica dell'area urbana di Catania. Scala 1:10.000. A cura di Carmelo Monaco e Luigi Tortorici. Ed. S.EL.CA, Firenze (IT).

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

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

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

Azzaro R., Barbano M.S., Moroni A., Mucciarelli M., Stucchi M.; 1999 – The seismic history of Catania. J. of Seism., 3, 235–252.

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

Azzaro R., 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., Scarfì L., Tuvè T.; 2009 – Terremoti con effetti macrosismici in Sicilia orientale nel periodo Gennaio 2006 – Dicembre 2008. Quad. Geof., 72, 39 pp.

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

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

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.

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.

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

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

Catalano S., De Guidi G., Gresta S., Langer H., Lombardo G., Monaco C., Rigano R., Tortrici L.; 2005 – Geolithological features and site response in the town of Catania. Seismic Prevention of Damage, A Case Study in a Mediterranean City. Edited by: Michele Maugeri, Università di Catania, Italy, Series: Advances in Earthquake Engineering, Vol 14.

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

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

Catalano S., Torrisi S., Tortorici G. & Romagnoli G.; 2011 – Active folding along a rift-flank: the Catania region case history (SE Sicily). Journal of Geodynamics, 51, 53–63. ISSN: 0264–3707 doi:10.1016/j.jog.2010.08.001.

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

DISS Working Group; 2010 – Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.1.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. http://diss.rm.ingv.it/diss/, © INGV 2010 – Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – All rights reserved.







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.

Dufour L., Raymond H.; 1992 – 1693. Catania: rinascita di una città. Sanfilippo ed., Catania.

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

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

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

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

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

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

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

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

Lombardo G., Coco G., Corrao M., Imposa S., Azzara R., Cara F., Rovelli A.; 2001 – Results of microtremor measurements in the urban area of Catania, Italy. Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata, 42 (3–4), 317–334.

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

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

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

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

Monaco C., Catalano S., De Guidi G., Gresta S., Langer H., Tortorici L.; 2000 – The geological map of the urban area of Catania (eastern Sicily): morphotectonic and seismotectonic implication. Mem. Soc. Geol. It., 55, 425–438.

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







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

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

Panzera F., Rigano R., Lombardo G., Cara F., Di Giulio G., Rovelli A.; 2011 – The role of alternating outcrops of sediments and basaltic lavas on seismic urban scenario: the study case of Catania, Italy. Bulletin of Earthquake Engineering, 9, 411–439.

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

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

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

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

Progetto ITHACA - Faglie Capaci ((ITaly HAzard from CApable faults). Consultabile presso il "Portale del Servizio Geologico d'Italia" dell'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale).

http://sgil.isprambiente.it/geoportal/catalog/content/project/ithaca.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

Torelli L., Grasso M., Mazzoldi G., Peis D.; 1998 – Plio-Quaternary tectonic evolution and structure of the Catania foredeep, the northern Hyblean Plateau and the Ionian shelf (SE Sicily). Tectonophysics., 298, 209-221.

Valensise G., Pantosti D.; 1992 - A 125 Kyr-long geological record of seismic source repeatability: the Messina Straits (southern Italy) and the 1908 earthquake (Ms 7 1/2). Terra Nova, 4, 472-483.

Yellin- Dror A., Grasso M., Ben Avrham Z., Tibor G.; 1997 - The subsidence history of the northern Hyblean plateau margin, southeastern Sicily. Tectonophysics. 282, 277-289.

11. Allegati

Allegato 1 - Sezioni geologiche

Allegato 2 - Sondaggi

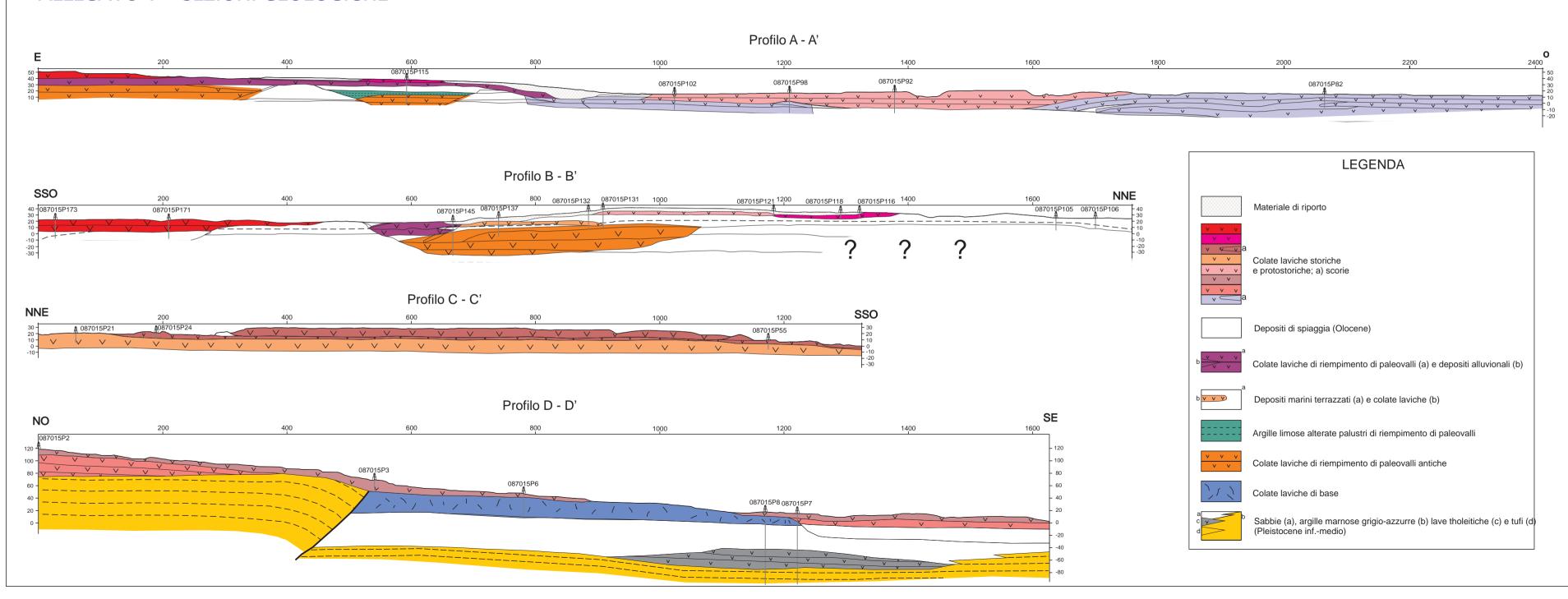
Allegato 3 - Parametri geotecnici

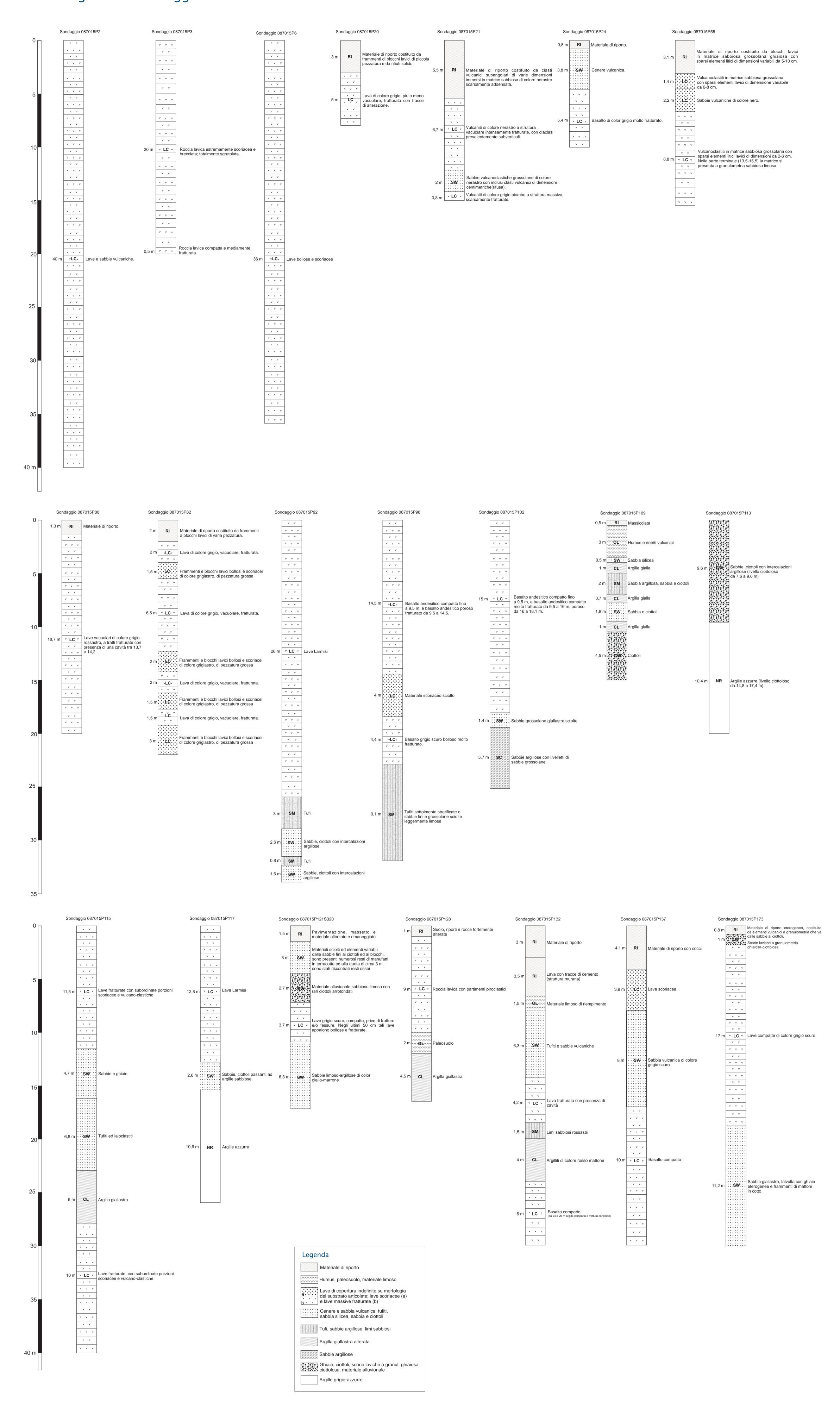
Allegato 4 - Misure di microtremore ambientale

Allegato 5 - Sezioni topografiche

Allegato 6 - Schemi dei rapporti litostratigrafici più significativi

ALLEGATO 1 – SEZIONI GEOLOGICHE





Allegato 3 - Parametri geotecnici

ID INDPU	intervallo di prova (m)	Numero di colni	Nspt	descrizione litotipo	litotipo
15_11151 0	4,40 - 4,55	12	respe	vulcanoclastiti in matrice sabbiosa con sparsi	псопро
087015P48SPT133	4,55 - 4,70	14	32	elementi litici lavici di dimensione variabile	SW
	4,70 - 4,85	18		da 2 a 8 cm	
	7,00 - 7,15	13		vulcanoclastiti in matrice sabbiosa con sparsi	
087015P48SPT134	7,15 - 7,30	16	36	elementi litici lavici di dimensione variabile	SW
	7,30 - 7,45	20		da 2 a 8 cm	
	4,50 - 4,65	12		vulcanoclastiti in matrice sabbiosa con sparsi	
087015P49SPT140	4,65 - 4,80	15	34	elementi litici lavici di dimensione variabile	SW
	4,80 - 4,95	19		da 4 a 8 cm	
	12,20 - 12,35	14		vulcanoclastiti in matrice sabbiosa frammisti	
087015P51SPT146	12,35 - 12,50	20	48	ad elementi litici lavici di dimensioni anche	SW
	12,50 - 12,65	28		decimetrici	
	6,10 - 6,25	10		vulcanoclastiti in matrice sabbiosa grossolana	
087015P53SPT153	6,25 - 6,40	16	39	e talvolta fine con sparsi elementi litici lavici	SW
	6,40 - 6,55	23		di dimensione variabile da 4 a 8 cm	
	5,50 - 5,65	13		ar annensione variable au Tu com	
087015P55SPT159	5,65 - 5,80	18	42	sabbie vulcaniche di colore nero	SW
	5,80 - 5,95	24			
	4,70 - 4,85				
087015P104SPT277	4,85 - 5,00		17	sabbia fine limosa con ghiaietto	SM
	5,00 - 5,15				
	6,55 - 6,70				
087015P104SPT278	6,70 - 6,85		26	alternanza di sabbia limosa e limo sabbioso	SM
	6,85 - 7,00			con ghiaietto e ciottoli	
	8,55 - 8,70				
087015P104SPT279	8,70 - 8,85		26	alternanza di sabbia limosa e limo sabbioso	SM
	8,85 - 9,00			con ghiaietto e ciottoli	· · · ·
	12,55 - 12,70				
087015P104SPT280	12,70 - 12,85		15	sabbia limosa con alternanza di limo	SM
	12,85 - 13,00		20	sabbioso con ciottoli	· · · ·
	14,55 - 14,70				
087015P104SPT281	14,70 - 14,85		17	sabbia limosa con alternanza di limo	SM
	14,85 - 15,00			sabbioso con ciottoli	
	1,65 - 1,80				
087015P107SPT293	1,80 - 1,95		20	alternanza di sabbia limosa e limo sabbioso	SM
	1,95 - 2,10			con ghiaietto e ciottoli	-
	3,65 - 3,80				
087015P107SPT294	3,80 - 3,95		9	limo sabbioso con ciottoli	SM
	3,95 - 4,10				-
	7,65 - 7,80				
087015P107SPT295	7,80 - 7,95		16	argilla debolmente limosa grigia con vene	CL
	7,95 - 8,10			brunastre e tracce di sabbia	
	15,65 - 15,80				
087015P107SPT296	15,80 - 15,95		26	sabbia cementata di tipo conglomeratico con	SM
	15,95 - 16,10			ciottoli	
	17,65 - 17,80				
087015P107SPT297	17,80 - 17,95		20	sabbia limosa con ghiaia e ciottoli	SM
	17,95 - 18,10			0 11111	-
	19,65 - 19,80				
087015P107SPT298	19,80 - 19,95		22	sabbia limosa e ghiaia con argilla	SM
3.3	19,95 - 20,10			8	
	21,65 - 21,80				
087015P107SPT299	21,80 - 21,95		20	sabbia limosa con ghiaietto e ciottoli	SM
	21,95 - 22,10			B 8	2.**
	23,65 - 23,80				
087015P107SPT300	23,80 - 23,95		18	sabbia fine limosa con ghiaietto e ciottoli	SM
55,015, 10,51 1500	23,95 - 24,10		10	sassia iliic iliiosa con ginaretto e dotton	3.41
	23,33 - 24,10				

ID_INDPU	intervallo di prova (m)	Numero di colpi	Nspt	descrizione litotipo	litotipo
_	5,70 - 5,85	11		materiale alluvionale sabbioso limoso con	
087015P121SPT321	5,85 - 6,00	19	43		GW
	6,00 - 6,15	24		rari ciottoli arrotondati	
	1,50 - 1,65	14		sabbie limose bruno rossastre con ghiaie	
087015P148SPT380	1,65 - 1,80	18	48	ciottoli e blocchi per lo più di natura	RI
	1,80 - 1,95	30		vulcanica	
	3,00 - 3,15	19		sabbie limose bruno rossastre con ghiaie	
087015P148SPT381	3,15 - 3,30	20	47	ciottoli e blocchi per lo più di natura	RI
	3,30 - 3,45	27		vulcanica	
	4,50 - R	5		sabbie limose bruno rossastre con ghiaie	
087015P148SPT382			> 50	ciottoli e blocchi per lo più di natura	RI
				vulcanica	
	1,00 - 1,15	7		sabbie limose bruno rossastre con ghiaie	
087015P149SPT384	1,15 - 1,30	15	36	ciottoli e blocchi per lo più di natura	RI
	1,30 - 1,45	21		vulcanica	
	2,50 - 2,65	13		sabbie limose bruno rossastre con ghiaie	
087015P149SPT385	2,65 - 2,80	18	48	ciottoli e blocchi per lo più di natura	RI
	2,80 - 2,95	30		vulcanica	
	4,00 - 4,15	19		sabbie limose bruno rossastre con ghiaie	
087015P149SPT386	4,15 - 4,30	21	54	ciottoli e blocchi per lo più di natura	RI
	4,30 - 4,45	33		vulcanica	
	1,00 - 1,15	18			
087015P150SPT388	1,15 - 1,30	24	52	sabbia limosa rossastra con ghiaia e ciottoli a	RI
0070131 13001 1300	1,30 - 1,45	28		tratti più scura e limosa con qualche blocco	• • •
	2,50 - 2,65	14			
087015P150SPT389	2,65 - R	R	> 50	sabbia limosa rossastra con ghiaia e ciottoli a	RI
0070131 13031 1303	2,05 - 1		7 30	tratti più scura e limosa con qualche blocco	141
	4,00 - 4,15	21			
087015P150SPT390	, , , , , , , , , , , , , , , , , , ,	27	66	sabbia limosa rossastra con ghiaia e ciottoli a	RI
08/013/1303/1390	4,15 - 4,30		00	tratti più scura e limosa con qualche blocco	IVI
	4,30 - 4,45	39 3			
087015P152SPT394	2,00 - 2,15	14	35	blocchi con ciottoli e sabbia limosa	RI
06/015/1525/1594	2,15 - 2,30		33	biocciii coii ciottoii e sabbia iiiilosa	ΚI
	2,30 - 2,45	21		+	
087015P152SPT395	3,50 - 3,65	7	> 50	blocchi con ciottoli e sabbia limosa	DI
06/015P1525P1595	3,65 - 3,80	24	> 50	biocciii coii ciottoii e sabbia iiiilosa	RI
	3,80 - R	R			
087015P153SPT397	1,60 - 1,61	R	> 50	macroconglomerato costituito da blocchi di	DI.
08/015P1535P139/			> 50	lava e cls	RI
	4.60.4.75	-			
0070450454607300	1,60 - 1,75	5	22	wiferen augustalaun.	DI
087015P154SPT399	1,75 - 1,90	14	33	rifusa grossolana	RI
	1,90 - 2,05	19			
007045045505404	1,00 - 1,15	14	50	and a data at the at	D.
087015P155SPT401	1,15 - 1,30	21	50	materiale di riporto	RI
	1,30 - 1,45	29			
	2,50 - 2,65	7			
087015P155SPT402	2,65 - 2,80	19	40	materiale di riporto	RI
	2,80 - 2,95	21			
007045-1-0	1,00 - 1,15	9			
087015P156SPT404	1,15 - 1,30	11	25	materiale di riporto	RI
	1,30 - 1,45	14			
	2,50 - 2,65	7			
087015P156SPT405	2,65 - 2,80	13	34	materiale di riporto	RI
	2,80 - 2,95	21			
	4,00 - R	10			
087015P156SPT406		3	> 50	materiale di riporto	RI

ID_INDPU	intervallo di prova (m)	Numero di colpi	Nspt	descrizione litotipo	litotipo
	1,00 - 1,15	4			
087015P157SPT408	1,15 - 1,30	11	25	materiale di riporto	RI
	1,30 - 1,45	14			
	2,50 - 2,65	3			
087015P157SPT409	2,65 - 2,80	18	39	materiale di riporto	RI
	2,80 - 2,95	21			
	4,00 - R	R			
087015P157SPT410			> 50	materiale di riporto	RI
	3,90 - 4,05	13		ghiaie di natura prevalentemente vulcanica	
087015P165SPT430	4,05 - 4,20	35	85	in matrice limoso sabbiosa di colore	GW
	4,20 - 4,35	50		giallastro	
	4,30 - 4,45	11		ghiaie eterogenee prevalentemente di	
087015P166SPT438	4,45 - 4,60	16	35	natura vulcanica in matrice sabbioso limosa	GW
	4,60 - 4,75	19		con ciottoli di natura vulcanica	
	8,00 - 8,15	8		ghiaie eterogenee prevalentemente di	
087015P166SPT439	8,15 - 8,30	14	32	natura vulcanica in matrice sabbioso limosa	GW
	8,30 - 8,45	18		con ciottoli di natura vulcanica	
	7,50 - 7,65	11		ghiaie eterogenee in matrice sabbioso	
087015P168SPT456	7,65 - 7,80	12	26	limosa	GW
	7,80 - 7,95	14		IIIIOSa	
	9,00 - 9,15	13		ghiain ataraganan in matrica cabbiasa	
087015P168SPT457	9,15 - 9,30	15	31	ghiaie eterogenee in matrice sabbioso	GW
	9,30 - 9,45	16		limosa	
	1,00 - 1,15	33		sabbia a ghiaia rimanaggiata dabalmanta	
087015P170SPT462	1,15 - 1,30	10	20	sabbie e ghiaie rimaneggiate debolmente limose	RI
	1,30 - 1,45	10		imose	
	20,00 - 20,15	17	49	sabbie e ghiaie eterogenee con ciottoli	
087015P171SPT466	20,15 - 20,30	21		vulcanici arrotondati. Sono presenti	SW
	20,30 - 20,45	28		frammenti di cotti e trovanti lavici	
	26,00 - 26,15	17		sabbie e ghiaie eterogenee con ciottoli	
087015P171SPT467	26,15 - 26,30	28	62	vulcanici arrotondati. Sono presenti	SW
	26,30 - 26,45	34		frammenti di cotti e trovanti lavici	
	20,00 - 20,15	10			
087015P173SPT475	20,15 - 20,30	18	41	sabbie di colore giallo scuro	SW
	20,30 - 20,45	23			
	22,00 - 22,15	24			
087015P173SPT476	22,15 - R	R	> 50	sabbie con ghiaie eterogenee debolmente limose con frammenti di mattoni in cotto	SW
				imose con trammenti di mattoni in cotto	
	19,00 - 19,15	10			
087015P174SPT480	19,15 - 19,30	12	27	sabbie giallastre a granulometria grossolana	SW
	19,30 - 19,45	15			
	22,00 - 22,15	13			
087015P174SPT481	22,15 - 22,30	19	40	sabbie giallastre a granulometria grossolana	SW
	22,30 - 22,45	21			
	18,80 - 18,95	10		cabbio giallactra debalmanta abiaisas	
087015P175SPT488	18,95 - 19,10	15	34	sabbie giallastre debolmente ghiaiose e con	SM
	19,10 - 19,25	19		frammenti di conchiglia	
	22,00 - 22,15	11		sabbia siallastra dabalas ata abiaisa	
087015P175SPT489	22,15 - 22,30	17	40	sabbie giallastre debolmente ghiaiose e con	SM
	22,30 - 22,45	23		frammenti di conchiglia	

Tabella 1: Valori del numero di colpi e del parametro "Nspt" registrati durante l'esecuzione di prove penetrometriche dinamiche SPT realizzate all'interno del territorio comunale di Catania a supporto del Piano Regolatore Generale (P.R.G.)

Allegato 4 - Misure di microtremore ambientale

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

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

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

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

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

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

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

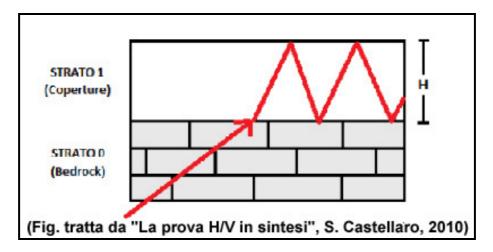
Ciò premesso, riconosciuta l'importanza degli effetti di sito, al progettista serve conoscere la *funzione di trasferimento* al sito, ossia come il moto dal bedrock si trasferisce in superficie; ne consegue che la condizione ideale risulta la misurazione e non il calcolo (che richiederebbe la modellazione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

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

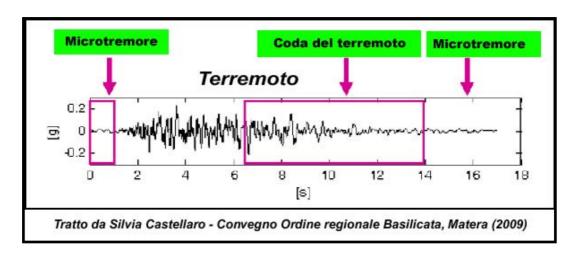
A tal proposito va rilevato, quindi, come lo studio del microtremore ambientale (noise), attraverso le prove di sismica passiva a stazione singola H/V (o HVSR), sia in grado di mettere in luce le frequenze alle quali il moto del terreno viene amplificato per risonanza stratigrafica; tale prova, comunemente 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 (ρ 1 e ρ 2) 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:

$$f = n \frac{Vs}{4H} \qquad n = 1, 3, 5, \dots$$

Equazione 1

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

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

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

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

Nello specifico, considerando l'estensione e la topografia dell'area, questo studio ha comportato l'esecuzione di "52" misure, secondo le indicazioni del progetto di ricerca europeo SESAME ("Guidelines for the implementation of the H\V spectral ratio technique on ambient vibrations" – European Commission, dic. 2004); tutte le registrazioni dei microtremori sono state effettuate con tromografi digitali portatili serie Tromino (Micromed S.p.A.), progettati specificamente per l'acquisizione del rumore sismico, dotati di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) ortogonali ed orientati N-S, E-W e verticalmente, alimentati da 2 batterie da 1,5 V e senza alcun cavo esterno; il rumore sismico ambientale è stato acquisito ad una frequenza di campionamento di 256 Hz, amplificato, digitalizzato a 24 bit equivalenti e registrato per circa 45 minuti in corrispondenza di ciascuna delle stazioni di misura ubicate all'interno del comprensorio esaminato.

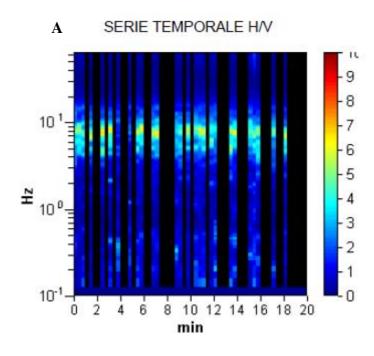
Per quel che riguarda il posizionamento gli strumenti sono stati ubicati con il proprio asse maggiore nella direzione N-S per garantire un'omogeneità della "direzionalità" degli input energetici ed allo stesso tempo sono stati posti sulla superficie naturale mediante dei piedini lunghi o corti attraverso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

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

Hz.; le ampiezze H/V registrate potrebbero pertanto essere artefattualmente *sottostimate* rispetto a quelle reali per le ragioni descritte in Castellaro e Mulargia (2009).

I risultati di ciascuna analisi sono stati ottenuti col software Grilla in dotazione al

tromografo-Tromino per cui il segnale acquisito dai velocimetri è stato digitalizzato a 24 bit; il software Grilla per ciascuna delle tre componenti del moto, previa divisione del tracciato in finestre temporali di 20 secondi, ha calcolato il rapporto spettrale HVSR ad ogni frequenza per ciascuna finestra (Es. Catania 087015P191).



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.

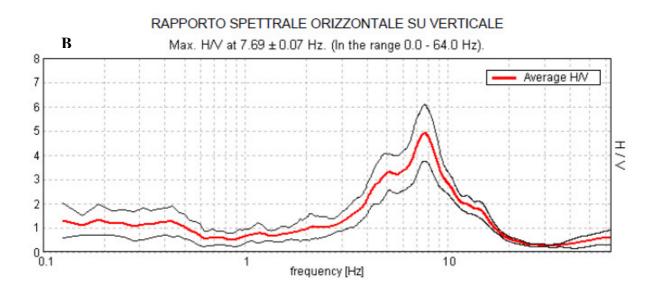


Figura 1: Serie Temporale H/V (A) e Rapporto Spettrale orizzontale/verticale (B) relativo all'indagine 087015P191 a Catania.

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 52 siti di misura ubicati all'interno dell'area di studio. Si può osservare che la maggior parte delle frequenze di picco oscillano fra valori di ~1 Hz e ~8 Hz, con un picco tra 4 Hz e 6 Hz, anche se, data l'elevata mole di dati, è stato riscontrato un discreto numero di valori più elevati. Nelle indagini 087015P187, 087015P199, 087015P204 e 087015P209 vengono segnalati due picchi, alcuni dei quali abbracciano valori di frequenza molto elevati (fino a 19,49 Hz). E' da notare, inoltre, che nella maggior parte dei casi non si osservano amplificazioni superiori a 2–3; nell'indagine 087015P191 è stato rilevato un rapporto H/V ~ 5.

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

significative del contrasto di impedenza sismica (e conseguentemente di un maggior grado di amplificazione) rispetto a quelle zone dove questi contrasti hanno ampiezze ridotte.

ID_SPU	Nome	UTMx	UTMy	F ₀	H ₀ /V ₀	F ₁	H ₁ /V ₁
087015P178	1	509367,20	4154758,43	12,94	1,75		
087015P179	2	510340,10	4154749,35	10,31	2,98		
087015P180	3	509457,73	4154021,96	6,5	1,71		
087015P181	4	509978,36	4154082,40	18,88	2,93		
087015P182	5	509598,03	4153775,02	16,5	6,1		
087015P183	6	508603,04	4153477,38	10,22	2,07		
087015P184	7	509078,77	4153539,79	5,71	2,14		
087015P185	8	509161,07	4153500,17	7,09	2,36		
087015P186	9	509396,22	4153319,26	6,97	3,1		
087015P187	10	509649,68	4153201,06	11,69	3,57	19,49	3,27
087015P188	11	510050,72	4153127,38	15,94	4,10		
087015P189	12	508534,54	4153187,32	5,06	1,82		
087015P190	13	508942,57	4153157,39	4,78	3,05		
087015P191	14	509110,16	4153107,29	7,69	4,91		
087015P192	15	509291,43	4152982,25	5,91	2,71		
087015P193	16	509095,81	4152892,75	4,56	2,39		
087015P194	17	509714,10	4152833,43	8,75	3,13		
087015P195	18	509915,20	4152814,57	8,66	2,44		
087015P196	19	508869,80	4152701,79	12,63	3,13		
087015P197	20	509690,59	4152647,04	4,97	3,09		
087015P198	21	509954,05	4152660,75	7,5	2,39	7.00	
087015P199	22	509097,97	4152600,01	4,66	2,26	7,22	2
087015P200	23	508628,21	4152437,62	7,56	2,45		
087015P201	24	509292,44	4152254,81	5,63	2,28		
087015P202	25	509134,49	4151918,77	5,63	2,63		
087015P203	26	508868,48	4151571,53	18,44	2,77	10.07	1.00
087015P204	27	506247,47	4151478,40	3,6	2,51	16,67	1,68
087015P205	28	507693,25	4151390,31	20 4,06	1,93		
087015P206	29 30	506706,60	4151176,37 4151232,35	25,91	3,83 1,2		
087015P207		508669,14	-	,			
087015P208 087015P209	31 32	506274,93 506899,04	4151013,14 4150929,29	4,16 3,63	2,46 2,37	17,5	2,68
087015F209 087015P210	33	507175,34	4150823,27	5,62	3,01	17,5	2,00
087015P210	34	506471,09	4150576,04	3,44	1,36		
087015P211	35	506886,01	4150661,81	4,97	2,08		
087015P212	36	508216,22	4150698,24	12,48	1,00		
087015P213	37	506894,55	4150488,87	6,88	1,34		
087015F214	38	507631,15	4150500,59	2,81	1,95		
087015F216	39	507139,06	4150410,59	2,41	1,24		
087015F217	40	506466,33	4150322,89	4,06	1,42		
087015P218	41	506960,06	4150290,64	20,63	1,51		
087015P219	42	506515,91	4150231,28	5,91	1,50		
087015P220	43	506795,23	4150100,39	15,31	1,63		
087015P221	44	507234,90	4150022,34	18,13	2,69		

ID_SPU	Nome	UTMx	UТМy	F _o	H ₀ /V ₀	F ₁	H ₁ /V ₁
087015P222	45	507812,43	4150090,58	12,66	1,61		
087015P223	46	506775,16	4149837,40	17,88	1,79		
087015P224	47	507063,30	4149822,64	24,69	2,00		
087015P225	48	507584,41	4149894,25	17,47	2,12		
087015P226	49	507809,26	4149924,37	9,69	2,16		
087015P227	50	507514,15	4149550,44	15,31	3,43		
087015P228	51	507740,17	4149550,15	1,25	1,24		
087015P229	52	507352,96	4149260,66	2,28	1,28		

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

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.

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

- 0.6 \leq f < 2.0 Hz questa fascia riguarda strutture di dimensioni grandi (> 10÷20 piani, indicativamente);
- 2 .0 \leq f < 10.0 Hz questa fascia riguarda strutture di dimensioni medio-piccole (1-10 piani, indicativamente);
- \cdot 10.0 \leq f < 20.0 Hz questa fascia riguarda strutture di piccole dimensioni (< 3 m altezza, indicativamente).

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

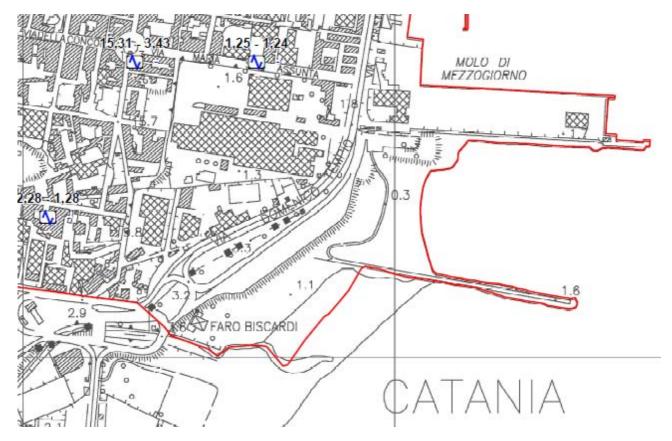


Figura 2: Esempio di tre siti di misura HVSR presenti nella carta delle frequenze allegata, mostrante i valori di frequenza ed ampiezza dei picchi significativi (uno in questo caso).

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).

	una curva H/V affidabile vrebbero risultare soddisfatti]		
f ₀ > 10 / L _w	7.69 > 0.50	OK	
n _o (f ₀) > 200	4151.3 > 200	OK	
$\sigma_A(f) \le 2 \text{ per } 0.5f_0 \le f \le 2f_0 \text{ se } f_0 \ge 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) \le 3 \text{ per } 0.5f_0 \le f \le 2f_0 \text{ se } f_0 \le 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 370	OK	
	er un picco H/V chiaro		
	er un picco H/V chiaro 8 dovrebbero essere soddisfatti]		
		ок	
[Almeno 5 su	6 dovrebbero essere soddisfatti]	OK OK	
[Almeno 5 su Esiste f in [f ₀ /4, f ₀] A _{H/V} (f) < A ₀ / 2	8 dovrebbero essere soddisfatti] 4.125 Hz		
[Almeno 5 su Esiste f in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0 / 2$ Esiste f in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0 / 2$	6 dovrebbero essere soddisfatti] 4.125 Hz 10.781 Hz	OK	
[Almeno 5 su Esiste f in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0 / 2$ Esiste f in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0 / 2$ $A_0 > 2$	4.125 Hz 10.781 Hz 4.91 > 2	OK OK	

Lw	lunghezza della finestra
n _w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
fo	frequenza del picco H/V
O _f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
ε(f ₀)	valore di soglia per la condizione di stabilità σ _f < ε(f ₀)
Ap	ampiezza della curva H/V alla frequenza f₀
A _{HV} (f)	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f -	frequenza tra f ₀ /4 e f ₀ alla quale A _{H/V} (f) < A ₀ /2
f *	frequenza tra fo e 4fo alla quale A _{HV} (f *) < A ₀ /2
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{logH/V}(f)$	deviazione standard della funzione log A _{HN} (f)
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità σ _A (f) < θ(f ₀)

Valori di soglia per σ₁e σ₄(f₀)								
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0			
ε(f ₀) [Hz]	0.25 f ₀	0.2 f ₀	0.15 f ₀	0.10 f ₀	0.05 fo			
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58			
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20			

Figura 3: tabelle dei criteri per una curva H/V affidabili e per un picco H/V chiaro relativi all'indagine 087015P191 di Catania 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.

40 C 10 C	una curva H/V affidabile vrebbero risultare soddisfatti]		
f ₀ > 10 / L _w	63.97 > 0.50	OK	1
$n_o(f_0) > 200$	34543.1 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2 \text{ per } 0.5f_0 < f < 2f_0 \text{ se } f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3 \text{ per } 0.5f_0 < f < 2f_0 \text{ se } f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 1026	OK	
	er un picco H/V chiaro		
[Almeno 5 su	6 dovrebbero essere soddisfatti]	OK	T
[Almeno 5 su Esiste f in [f ₀ /4, f ₀] A _{H/V} (f) < A ₀ / 2		ок	NO
[Almeno 5 su	6 dovrebbero essere soddisfatti]	ок	NO
[Almeno 5 su Esiste f in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0 / 2$ Esiste f in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0 / 2$ $A_0 > 2$	6 dovrebbero essere soddisfatti]		NO NO
[Almeno 5 su Esiste f in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$ Esiste f in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	6 dovrebbero essere soddisfatti] 54.375 Hz 3.38 > 2		1

Lw	lunghezza della finestra
n _w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
fo	frequenza del picco H/V
σ_{t}	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità σ _r < ε(f _o)
Ao	ampiezza della curva H/V alla frequenza fo
A _{HV} (f)	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f	frequenza tra f ₀ /4 e f ₀ alla quale A _{HV} (f) < A ₀ /2
f*	frequenza tra f ₀ e 4f ₀ alla quale A _{HV} (f ⁺) < A ₀ /2
$\sigma_{\text{A}}(f)$	deviazione standard di A _{HIV} (f), σ _A (f) è il fattore per il quale la curva A _{HIV} (f) media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{logH/V}(f)$	deviazione standard della funzione log A _{HN} (f)
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ₁e σ₄(f₀)								
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0			
ε(f ₀) [Hz]	0.25 f ₀	0.2 f ₀	0.15 f ₀	0.10 f ₀	0.05 f ₀			
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58			
$\log \theta(f_0) \operatorname{per} \sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20			

Figura 4: tabelle dei criteri per una curva H/V affidabili e per un picco H/V chiaro relativi all'indagine 087015P210 di Catania 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 – Acritical 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.

