



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME

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

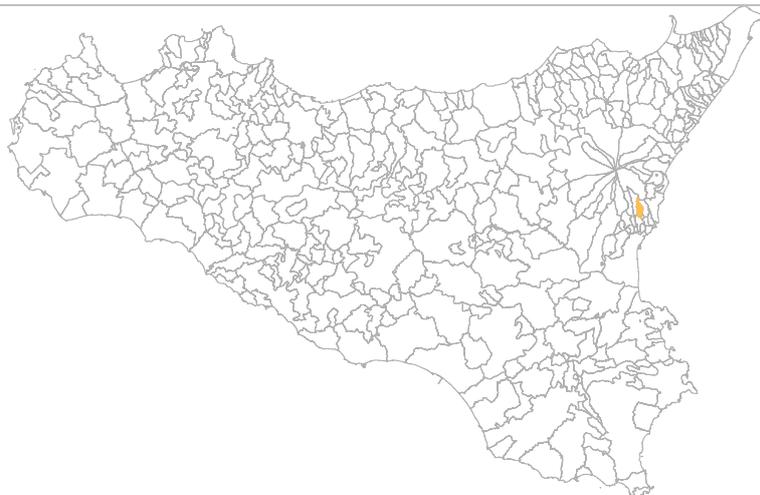
MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione Illustrativa

MS Livello 1

Regione Sicilia

Comune di Viagrande



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

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

Indice

1. Introduzione	3
2. Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento.....	11
3. Assetto geologico e geomorfologico dell'area	23
4. Dati geotecnici e geofisici	44
5. Modello del sottosuolo	52
6. Interpretazioni e incertezze	57
7. Metodologie di elaborazione e risultati	60
8. Elaborati cartografici	69
9. Confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati	75
10. Bibliografia	77
11. Allegati	83



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

1. Introduzione

Gli studi di microzonazione sismica (MS) condotti all'interno del territorio del Comune di Viagrande (codice istat 087053), 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 lito-stratigrafiche e morfologiche di un sito”*, generalmente espressa in termini quantitativi dal rapporto tra i parametri del moto sismico alla *“superficie del sito e quello che si osserverebbe per lo stesso evento sismico su un ipotetico affioramento di roccia rigida con morfologia orizzontale”*. I fenomeni di instabilità comprendono tutte le *“modificazioni permanenti del terreno dovute ad un evento sismico”* capaci di produrre danni in aggiunta a quelli legati all'oscillazione del suolo. Tutti gli aspetti connessi alle condizioni locali del sito sono oggetto proprio dell'analisi di **pericolosità sismica locale**, definita come *“componente della pericolosità sismica dovuta alle caratteristiche locali”*.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

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

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

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

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

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

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

Gli studi condotti nel territorio di Viagrande 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 Viagrande si sviluppa lungo il basso versante sud-orientale del Monte Etna in Sicilia orientale con un estensione areale di circa 10 km² (Fig. 1). In accordo con il Dipartimento Regionale della Protezione Civile, si è stabilito di estendere gli studi di microzonazione sismica di I livello all’interno dell’area segnalata dall’amministrazione comunale con nota prot. N 43815 del 26/10/2011 che comprende il centro urbano principale e le zone residenziali periferiche, con una estensione areale di circa 2,46 km², come da verbale della riunione tecnica del 24/04/2012 tra l’Università di Catania e il Dipartimento di Protezione Civile. Lo studio di MS di livello 1 è stato effettuato utilizzando come base cartografica la Carta Tecnica Regionale alla scala 1:10.000, realizzata dalla Regione Sicilia nel 2008. In particolare l’area di studio ricade all’interno delle Sezioni CTR 625140 e 634020 (Fig. 1).

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

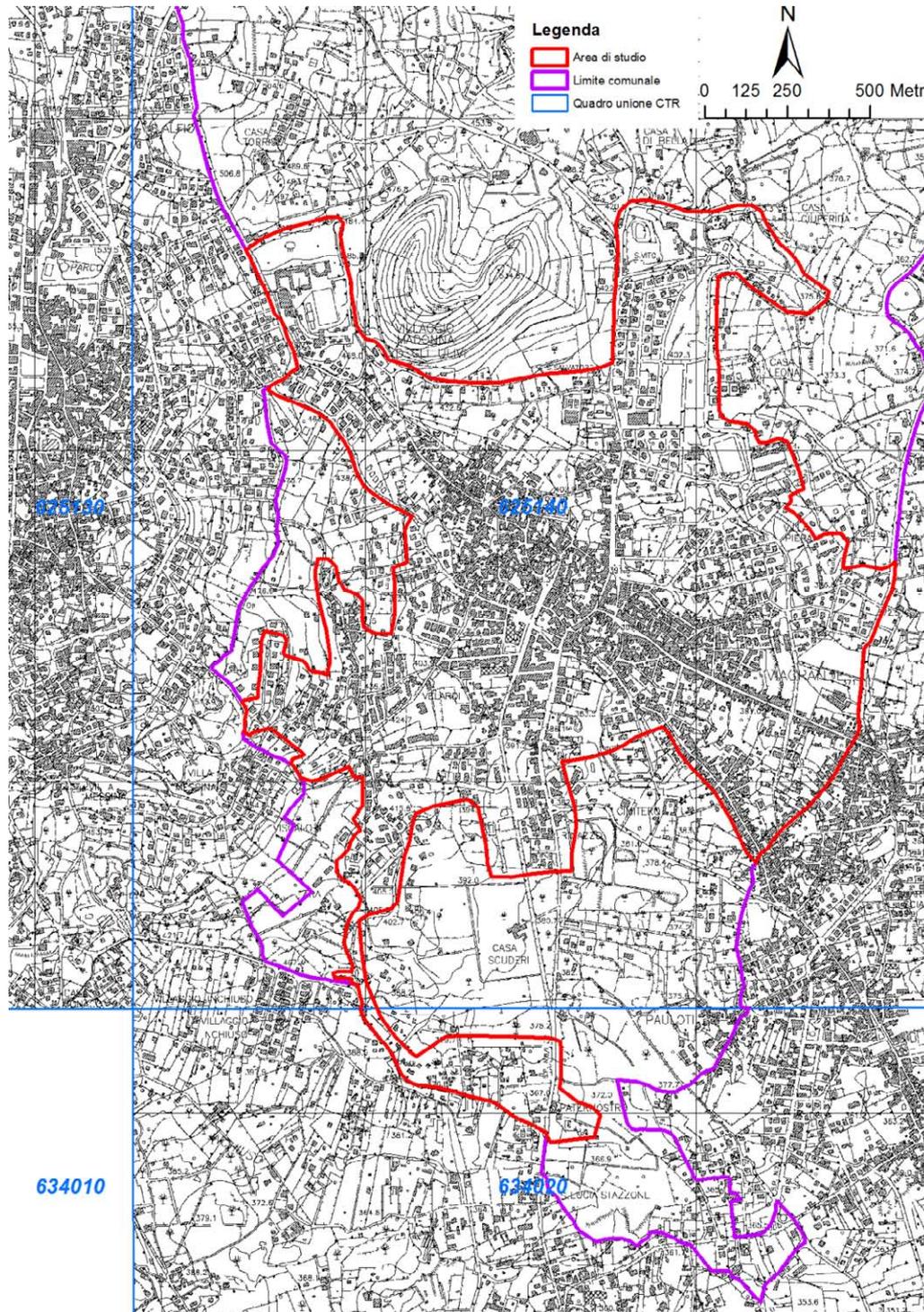


Fig. 1 – Ubicazione dell'area in cui sono stati effettuati gli studi di MS di livello 1 (delimitata in rosso) per il comune di Viagrande, all'interno delle Sezioni CTR 625140 e 634020.

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 Viagrande è stato possibile attingere ad una discreta quantità d'informazioni pregresse, tra le quali però i dati di sottosuolo sono purtroppo concentrati solo in piccole aree del settore centrale, mentre gran parte del territorio investigato ne risulta privo. Seppure non omogeneamente distribuiti, i dati raccolti hanno permesso comunque di verificare la bontà del modello geologico adottato, confermando puntualmente la presenza di successioni stratigrafiche compatibili con la ricostruzione 3D basata sull'interpretazione dei dati di superficie. Nella ricostruzione del modello geologico è stato determinante il contributo dei risultati ottenuti negli studi di microzonazione dei comuni di Trecastagni, San Gregorio di Catania, Aci Sant'Antonio, Valverde e Acicastello, ai quali si farà spesso riferimento nel testo, che hanno consentito di limitare i gradi di libertà nell'interpretazione dei dati geologici pregressi. E' ovvio che livelli di indeterminazione permangono per quanto attiene lo spessore dei terreni di copertura e la reale profondità del substrato rigido nelle aree prive di dati diretti di sottosuolo. In questo caso si propongono geometrie del sottosuolo ricavate da una scrupolosa interpretazione delle evidenze di superficie associate alla proiezione di dati di sottosuolo disponibili in aree limitrofe, nella previsione di infittire le indagini dirette nei successivi stadi di approfondimento.

Nel corso degli studi di microzonazione di primo livello, seppure orientati alla raccolta, rielaborazione ed interpretazione complessiva di dati esistenti, è stato necessario programmare e condurre rilievi speditivi delle successioni vulcaniche, allo scopo di integrare con dati significativi le informazioni disponibili, generalmente scarsamente rappresentative dell'estrema variabilità laterale e verticale dei prodotti lavici, che ha una notevole incidenza nella determinazione delle risposte locali. Sulla base dei rilievi originali condotti, di concerto con il Dipartimento di Protezione Civile Nazionale e Regionale si sono definiti i criteri di rappresentazione dei terreni vulcanici su carte a scala



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77
1:10.000, non previste dagli standard, da utilizzare in attesa di una loro formalizzazione nell'ambito di integrazioni alle linee guida fin qui adottate. I criteri applicati sui terreni vulcanici derivano dalla verifica, basata su un'ampia casistica raccolta nel corso dei rilievi svolti in tutti i comuni etnei interessati dagli studi di microzonazione di primo livello, di una stretta connessione tra morfologie e geometrie di superficie delle lave e la loro litofacies che può essere ricondotta ad alcune tipologie di riferimento, facilmente riconoscibili anche in aree a forte urbanizzazione. I criteri adottati, seppure soggetti a un livello di indeterminazione variabile in funzione dell'effettivo grado di esposizione dei terreni, risultano comunque indispensabili perché raramente la densità di informazioni di sottosuolo è adeguata a ricostruire le eterogeneità del substrato vulcanico. Il metodo adottato ha il duplice pregio di fornire nelle zone prive di sufficienti dati di sottosuolo uno strumento per poter ricostruire, sulla base del dato di superficie, la tipologia della successione vulcanica da ritenersi litologicamente omogenea in termini di risposta sismica, insieme alla possibilità di stabilire l'effettiva trasferibilità areale dei dati puntuali e lineari di sottosuolo.

I dati messi a disposizione dall'amministrazione comunale di Viagrande sono soltanto quelli relativi al Piano Regolatore Generale (P.R.G.), realizzato nel 1998. Altri dati, relativi a singoli interventi di messa in sicurezza di edifici (v. indagini relative alla "Villa dei Principi") sono stati concessi dal Dipartimento della Protezione Civile di Catania, mentre ulteriori informazioni, riguardanti la redazione della variante del P.R.G. Zona 'A' e delle aree inserite nei comparti dei piani di recupero, sono state acquisite in corso d'opera direttamente dai professionisti incaricati. Tutti i suddetti dati sono sintetizzati negli elaborati elencati in seguito:

Piano Regolatore Generale:

- Carta della pericolosità geologica in scala 1:25.000
- Carta geologica in scala 1:10.000

Studio geologico per la redazione della variante del P.R.G. zona "A" e delle aree inserite nei comparti dei piani di recupero:

- Tav. 1 - Carta geologica in scala 1:10.000
- Planimetria indagini
- Certificati stratigrafie sondaggi geognostici
- Tav. 5 - Carta delle indagini in scala 1:10.000
- Tav. 6 - Carta litotecnica in scala 1:10.000
- Andamento morfologico del tetto del basamento sedimentario in scala 1:25.000
- Report indagine geofisica

Lavori di messa in sicurezza relativi alla Villa dei Principi "Turrì Grifeo Partanna":

- Relazione Geologica: 'Indagini Geognostiche'

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

Lo studio è stato integrato da verifiche di terreno e analisi di aerofotogrammetrie, mirate alla verifica della affidabilità del modello geologico proposto. Infine sono state effettuate una serie di misure di microtremori mediante la tecnica di indagine di sismica passiva HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) al fine di determinare il periodo e



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77
l'ampiezza delle vibrazioni del suolo, su una griglia di punti omogeneamente distribuiti sull'area investigata, utilizzati per la redazione di una carta delle frequenze. Per il presente studio, inoltre, sono stati consultati diversi archivi, sia per verificare l'eventuale presenza di instabilità (PAI Regione Sicilia, Progetto IFFI, Progetto Sinkhole, Pubblicazioni scientifiche), che le caratteristiche sismotettoniche (Progetto Ithaca, DISS3) e di sismologia storica e macrosismica (CPTI11, DBMI11, CFTI), oltre alla cartografia geologica (AA.VV., 1979, 2009a, 2009b; Monaco et al., 2008; Catalano & Tortorici, 2010; 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 Viagrande in provincia di Catania, con riferimento alla storia sismica del Comune medesimo, alla sua catalogazione nelle mappe di pericolosità sismica ed alle eventuali sorgenti sismogenetiche presenti nei dintorni e nelle zone limitrofe. Per quanto concerne la catalogazione del territorio di Viagrande (CT) sulle mappe di pericolosità sismica si farà esplicito riferimento alle indicazioni ed alle prescrizioni dettate dall'attuale testo normativo vigente (Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni NTC - approvate con D.M. 14/01/2008 e pubblicate sulla G.U. n. 29 in data 04/02/2008) che si assume a base del progetto.

E' stata effettuata l'individuazione del Comune di Viagrande sui cataloghi sismici, facendo riferimento in particolare al Catalogo Parametrico dei terremoti italiani (CPTI11; Rovida et al., 2011), che nella fattispecie si riferisce al database macrosismico (DBMI11; Locati et al., 2011) e su una base di dati strumentali molto ampia ed aggiornata. Il

catalogo parametrico CPTI11 si compone di due sezioni, una delle quali dedicata ai terremoti etnei (1000–2006). Quest'ultima contiene 198 terremoti localizzati all'interno della zona 936 della zonazione sismogenetica ZS9 (Meletti et al., 2008) relativi al periodo 1000–2006. Le soglie energetiche della sezione terremoti etnei sono $l_0 = 5-6$ e $M_w = 3.5$. Per tutti i terremoti della sezione, il valore di M_w e la relativa incertezza sono ottenuti dal valore di l_0 mediante la relazione di Azzaro et al. (2011). DBMI11 contiene dati di intensità relativi a 1681 terremoti che fanno parte di CPTI11 (Rovida et al., 2011), e in particolare relativi a: a) 1484 terremoti i cui dati sono stati utilizzati per determinare i parametri che fanno parte di CPTI11; b) 197 terremoti etnei, i cui dati non sono utilizzati per determinare i parametri che fanno parte di CPTI11, in quanto i relativi parametri sono stati adottati direttamente dal Catalogo Macrosismico dei Terremoti Etni (CMTE; <http://www.ct.ingv.it/ufs/macro>; Azzaro et al., 2000; 2006; 2009). Tra gli eventi sismici di maggiore rilevanza sicuramente si può annoverare il terremoto della Val di Noto dell'11 Gennaio 1693, che è quello che più si è impresso nella memoria storica locale dell'intera Sicilia per molte ragioni: la vastità dell'area colpita, la gravità degli effetti, i mutamenti subiti da una intera rete insediativa e infine la straordinaria capacità progettuale che caratterizzò la fase di ricostruzione. Questo disastro sismico costituisce quindi un importante episodio nella storia del popolamento e dell'urbanistica siciliana, nonché un evento di grande interesse per la storiografia e per la sismologia. In figura 2 si riportano i valori dell'intensità macrosismica dell'evento; il Comune di Viagrande viene catalogato con intensità X–XI MCS (Barbano, 1985). La figura 3 riporta il risultato della ricerca sul database DBMI11, che individua 77 eventi significativi per il territorio di Viagrande, a partire dall'evento del 1669. La figura 4 riporta il conseguente grafico relativo alla sismicità storica del comune di Viagrande.

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

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

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

Effetti	In occasione del terremoto del:			
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
5-6	<u>1669 03 10 23:25</u>	Nicolosi	18	8-9 4.84 ±0.26
10-11	<u>1693 01 11 13:30</u>	Sicilia orientale	185	11 7.41 ±0.15
8	<u>1818 02 20 18:15</u>	Catanese	128	9-10 6.23 ±0.12
6	<u>1848 01 11 12:00</u>	Golfo di Catania	41	7-8 5.45 ±0.39
3-4	<u>1865 08 19 12:30</u>	S. M. AMMALATI	16	8 4.61 ±0.26
3	<u>1889 12 25 17:23</u>	S. M. AMMALATI	25	7-8 4.39 ±0.26
3-4	<u>1892 07 08 18:50</u>	VERSANTE MERIDIONALE	13	7 4.16 ±0.26
3-4	<u>1893 03 31</u>	NICOLOSI	9	6 3.71 ±0.26
4	<u>1893 04 01 07:09</u>	ZAFFERANA ETNEA	8	6 3.71 ±0.26
4	<u>1894 08 07 12:58</u>	ZERBATE	12	6 3.71 ±0.26
5-6	<u>1894 08 08 05:16</u>	MAZZASETTE	45	8-9 4.84 ±0.26
4	<u>1894 11 16 17:52</u>	Calabria meridionale	303	9 6.07 ±0.10
4	<u>1898 05 14 04:45</u>	S. M. LICODIA	35	7-8 4.39 ±0.26
NF	<u>1901 05 11 11:10</u>	NICOLOSI	15	7 4.16 ±0.26
NF	<u>1901 05 11 18:20</u>	NICOLOSI	13	6 3.71 ±0.26
3-4	<u>1903 05 26 16:56</u>	TRECASTAGNI	3	5-6 3.49 ±0.26
5-6	<u>1903 11 20 09:57</u>	VIAGRANDE	19	6 3.71 ±0.26
5	<u>1905 09 08 01:43</u>	Calabria meridionale	895	7.04 ±0.16
4	<u>1907 12 07 21:28</u>	FIANDACA	24	7-8 4.39 ±0.26
2-3	<u>1908 05 09 10:38</u>	GUARDIA	13	6-7 3.94 ±0.26
3	<u>1908 05 26 16:47</u>	VERSANTE ORIENTALE	15	5-6 3.49 ±0.26
6-7	<u>1908 12 28 04:2</u>	Calabria meridionale-Messina	800	11 7.10 ±0.15
3	<u>1909 10 21 05:45</u>	S. M. AMMALATI	18	6 3.71 ±0.26
3	<u>1911 10 15 08:52</u>	FONDO MACCHIA	48	8-9 4.84 ±0.26
5	<u>1914 05 07 17:36</u>	FIANDACA	11	6 3.71 ±0.26
5	<u>1914 05 08 18:01</u>	LINERA	82	9-10 5.29 ±0.26
6	<u>1914 05 26 08:49</u>	LAVINAIO	8	6-7 3.94 ±0.26
3	<u>1923 06 17 00:06</u>	PIEDIMONTE ETNEO	4	5-6 3.49 ±0.26

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

3	<u>1923 06 17 15:45</u>	MILO	3	6 3.71 ±0.26
4-5	<u>1923 11 15 20:00</u>	PIEDIMONTE ETNEO	14	6 3.71 ±0.26
3	<u>1931 08 03 21:12</u>	FIANDACA	40	6-7 3.94 ±0.26
2	<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
4	<u>1941 03 27 05:20</u>	FLERI	12	6-7 3.94 ±0.26
NF	<u>1947 05 11 06:3</u>	Calabria centrale	254	8 5.70 ±0.13
3	<u>1952 03 01 12:29</u>	ROCCA D'API	22	6-7 3.94 ±0.26
4	<u>1952 03 02 14:14</u>	ROCCA D'API	20	6-7 3.94 ±0.26
4	<u>1952 03 19 08:13</u>	LINERA	105	7-8 4.39 ±0.26
F	<u>1955 02 02 05:00</u>	PEDARA	6	5-6 3.49 ±0.26
4	<u>1973 08 03 19:49</u>	S. M. AMMALATI	35	7 4.16 ±0.26
NF	<u>1975 01 16 00:0</u>	Stretto di Messina	346	7-8 5.20 ±0.09
2	<u>1980 01 23 21:2</u>	MODICA	122	5-6 4.58 ±0.14
3	<u>1980 09 16 02:30</u>	C.DA TRIGONA	22	6 3.71 ±0.26
3	<u>1980 09 28 15:04</u>	C.DA INCHIUSO	27	6 3.71 ±0.26
NF	<u>1981 09 01 23:32</u>	S. M. AMMALATI	44	5-6 3.49 ±0.26
3-4	<u>1981 09 13 04:49</u>	S. M. AMMALATI	56	6-7 3.94 ±0.26
4	<u>1982 07 06 14:37</u>	C.DA ALGERAZZI	150	6-7 3.94 ±0.26
6	<u>1983 07 20 22:03</u>	VIAGRANDE	106	7 4.16 ±0.26
3	<u>1983 11 30 14:25</u>	BALLO	45	5-6 3.49 ±0.26
3	<u>1984 06 19 15:19</u>	FIANDACA	46	7 4.16 ±0.26
3	<u>1984 10 19 17:43</u>	ZAFFERANA ETNEA	124	7 4.16 ±0.26
5	<u>1984 10 25 01:11</u>	FLERI	122	8 4.61 ±0.26
2-3	<u>1985 06 13 21:1</u>	ADRANO	57	5-6 4.51 ±0.34
2-3	<u>1986 02 01 22:52</u>	S. G. BOSCO	48	6-7 3.94 ±0.26
2-3	<u>1986 02 02 16:10</u>	S. G. BOSCO	63	7 4.16 ±0.26
NF	<u>1986 10 29 23:18</u>	PIANO PROVENZANA	74	7 4.16 ±0.26

NF	<u>1986 11 03 06:32</u>	C.DA ALGERAZZI	86	6 3.71 ±0.26
NF	<u>1988 10 28 18:48</u>	PIANO PERNICANA	66	6 3.71 ±0.26
NF	<u>1988 12 19 02:22</u>	BALLO	49	5-6 3.49 ±0.26
5	<u>1990 12 13 00:2</u>	Sicilia sud-orientale	304	7 5.64 ±0.09
3-4	<u>1997 10 29 12:02</u>	FOSSA DELL'ACQUA	22	5-6 3.49 ±0.26
3	<u>1997 11 11 07:27</u>	S. MARIA LA STELLA	35	5-6 3.49 ±0.26
3	<u>1997 11 11 18:44</u>	S. MARIA LA STELLA	35	5-6 3.49 ±0.26
NF	<u>1998 05 22 11:54</u>	NICOLOSI	29	6 3.71 ±0.26
4	<u>1999 12 26 14:19</u>	C.DA ILICE	43	5-6 3.49 ±0.26
3-4	<u>2000 01 11 08:20</u>	SANT'ALFIO	39	5-6 3.49 ±0.26
4	<u>2001 01 09 02:51</u>	ZAFFERANA ETNEA	104	6 3.71 ±0.26
NF	<u>2001 04 22 13:56</u>	VERSANTE OCCIDENTALE	55	5-6 3.49 ±0.26
4-5	<u>2001 07 13 03:15</u>	VERSANTE MERIDIONALE	25	6 3.71 ±0.26
3	<u>2001 10 28 09:03</u>	S. M. AMMALATI	67	6 3.71 ±0.26
3-4	<u>2002 03 24 23:05</u>	VERSANTE ORIENTALE	40	5-6 3.49 ±0.26
NF	<u>2002 09 22 16:01</u>	PIANO PROVENZANA	35	6 3.71 ±0.26
4	<u>2002 11 24 06:59</u>	VERSANTE ORIENTALE	15	5-6 3.49 ±0.26
NF	<u>2002 12 02 12:28</u>	MACCHIA	30	6 3.71 ±0.26
4	<u>2004 07 22 02:11</u>	VERSANTE ORIENTALE	34	6 3.71 ±0.26
5	<u>2005 10 31 00:02</u>	TRECASTAGNI	32	6 3.71 ±0.26
NF	<u>2006 05 20 07:05</u>	VERSANTE SUD-OCCIDENTALE	27	5-6 3.49 ±0.26

Fig. 3 - Eventi sismici significativi per il Comune di Viagrande, 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; lo = Intensità macrosismica epicentrale, da CPTI11, espressa in scala MCS, Mercalli-Cancani-Sieberg; Mw = magnitudo momento.

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

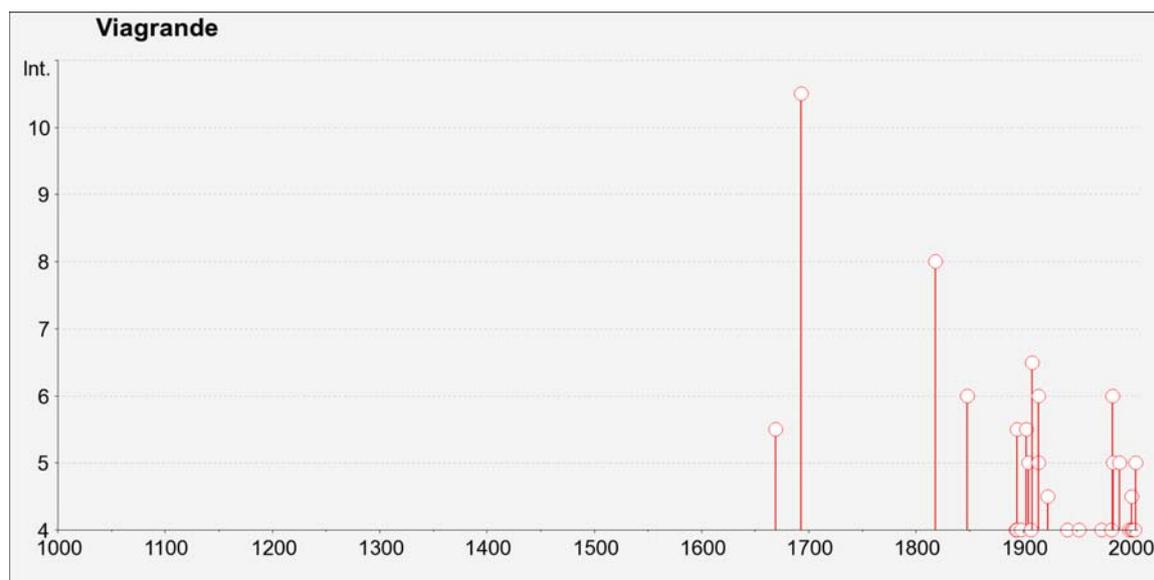


Fig. 4 – Grafico relativo alla sismicità storica del comune di Viagrande.

Catalogazione del Comune di Viagrande sulla mappa interattiva di pericolosità sismica

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

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

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

LATITUDINE: 37.616

LONGITUDINE: 15.098

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

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 e 2500 anni). Si riportano nelle Figure 6–8 rispettivamente le mappe interattive di pericolosità sismica del territorio di Viagrande 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.

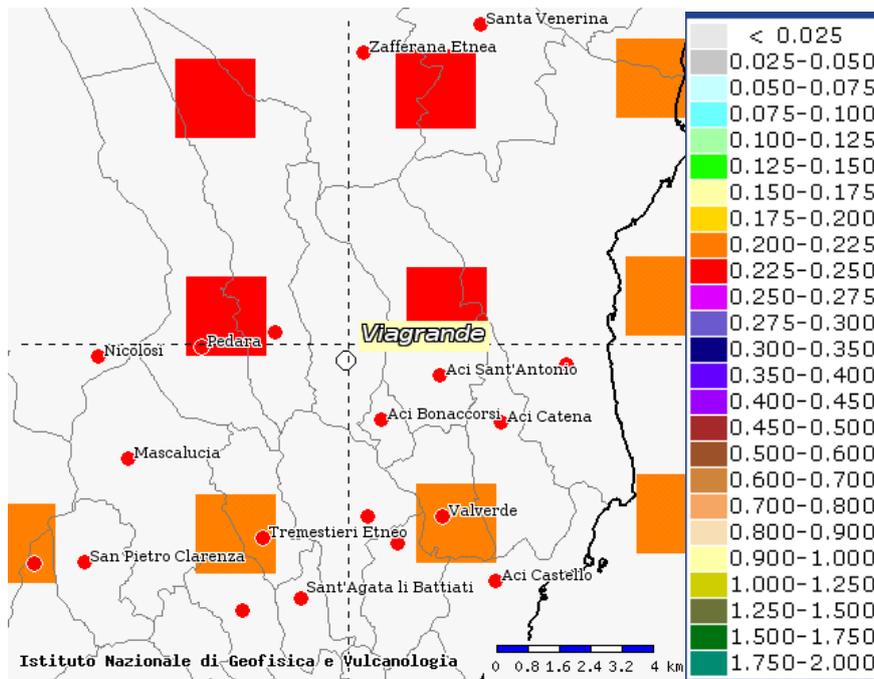


Fig. 6 – Mappa interattiva di pericolosità sismica del territorio di Viagrande. I punti della griglia visualizzati si riferiscono a: parametro dello scuotimento $a(g)$, probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

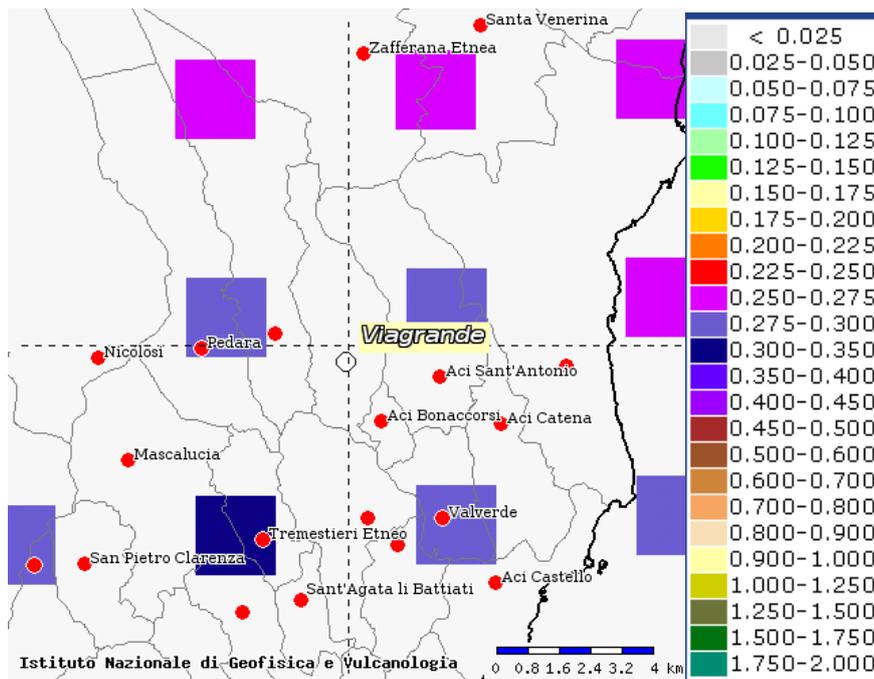


Fig. 7 – Mappa interattiva di pericolosità sismica del territorio di Viagrande. I punti della griglia visualizzati si riferiscono a: parametro dello scuotimento $a(g)$, probabilità di superamento del 5% in 50 anni.

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

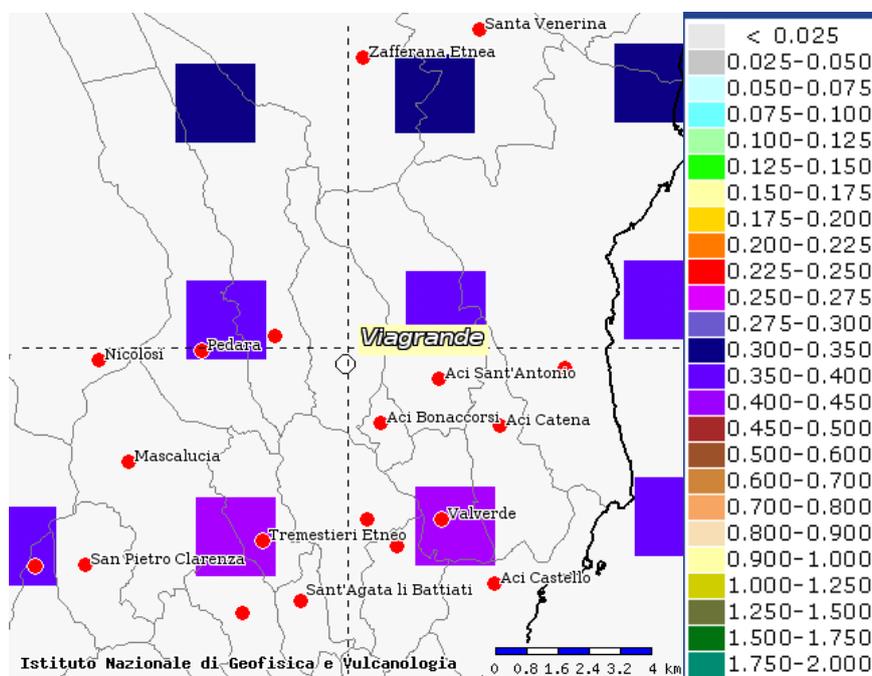


Fig. 8 – Mappa interattiva di pericolosità sismica del territorio di Viagrande. I punti della griglia visualizzati si riferiscono a: parametro dello scuotimento a_g , probabilità di superamento del 2% in 50 anni.

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

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

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

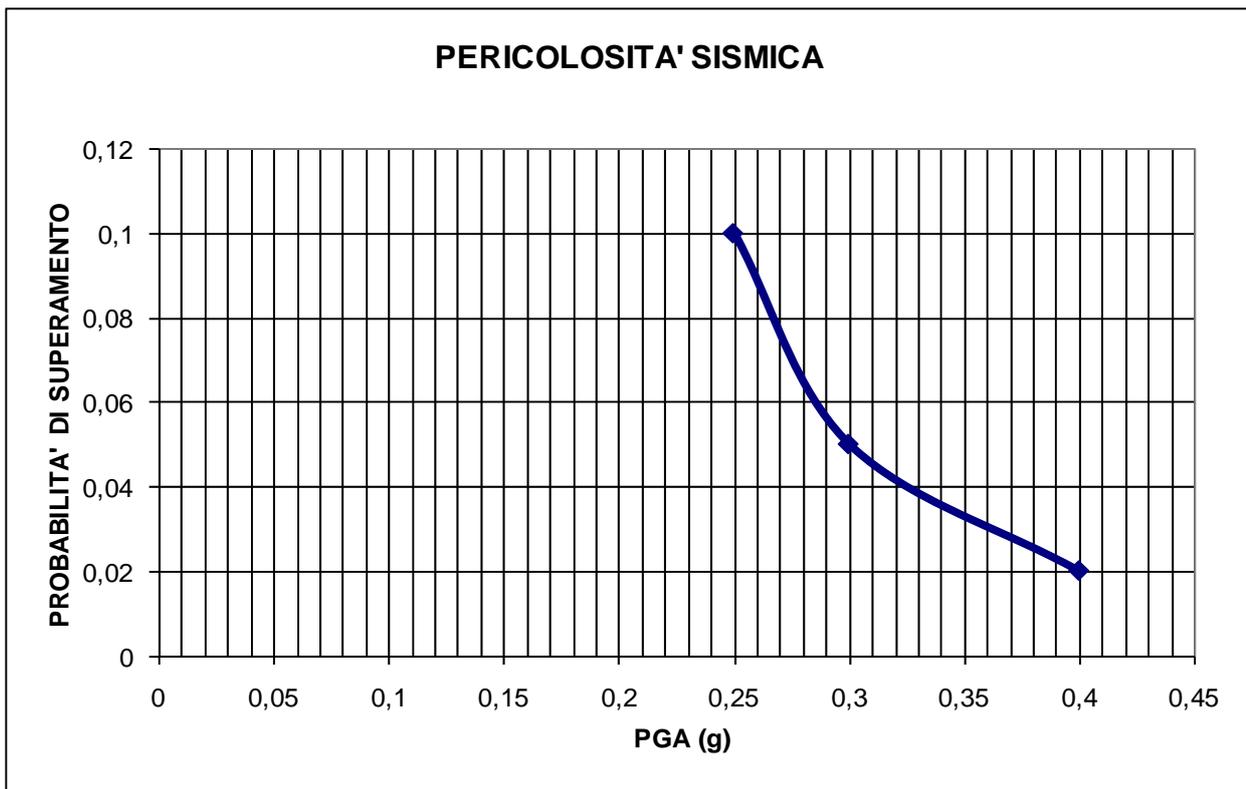


Fig. 9 – Curva di pericolosità sismica al sito per il territorio di Viagrande. La curva rappresenta il valore della mediana.

Il territorio del Comune di Viagrande è stato individuato sul database DBMI11 (con 77 eventi sismici significativi tra il 1669 ed il 2006) con una intensità macrosismica espressa nella scala MCS che raggiunge il suo valore massimo in MCS = 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 a_g su suolo rigido (categoria A; $V_{s30} > 800$ m/sec) con probabilità di superamento in 50 anni pari a: 0.225-0.250 per il 10%, 0.275-0.300 per il 5% e 0.350-0.400 per il 2%, rispettivamente corrispondenti a periodi di ritorno di 475, 975 e 2475 anni. Ciò ha permesso di ricavare la curva di pericolosità sismica al sito per il territorio di Viagrande.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

3. Assetto geologico e geomorfologico dell'area

Il territorio comunale di Viagrande, nel settore sud-orientale dell'Etna, ricade al margine di una zona sub-pianeggiante, dove è ubicato il centro storico, delimitata verso monte da un pendio molto acclive, sul quale è localizzato il settore più occidentale dell'abitato e la frazione di Viscalori. La zona sub-pianeggiante costituisce il margine di una vasta area a bassissima acclività che si sviluppa, da una quota di circa 300 m a 400 m s.l.m., a partire dal ciglio della falesia che delimita gli abitati di San Gregorio, Valverde e Aci Sant'Antonio, verso il versante costiero del settore sud-orientale dell'Etna. La porzione acclive del territorio comunale rappresenta il piede del ripido versante che separa l'abitato di Viagrande da quello del limitrofo comune di Trecastagni.

Secondo la "Carta geologica del Monte Etna" alla scala 1:50.000 (AA.VV., 1979; Fig. 10) il versante ripido che separa Trecastagni da Viagrande è costituito da prodotti lavici di età differente, che sono stati direttamente alimentati dagli apparati eruttivi disposti lungo il Rift meridionale dell'Etna (Kieffer, 1975) e pertanto riferibili alla fase dell'attuale stratovulcano (Mongibello Recente di Gillot et al., 1994). La successione di lave cartografata nell'area comprende prodotti antichi non delimitabili (l_{pn} in Fig. 10), direttamente ricoperti da prodotti molto più recenti (l_{pr} in Fig. 10), di età protostorica, mentre i flussi relativi alle colate di età intermedia (l_{pd} in Fig. 10) risultano localmente assenti. Le due unità laviche sovrapposte pavimentano anche tutta la zona sub-pianeggiante dove è ubicato il centro storico. In particolare le lave protostoriche (l_{pr} in Fig. 10), costituiscono le porzioni più occidentali dei vasti campi lavici che raggiungono, mantellandola, la falesia di San Gregorio, Valverde e Aci Sant'Antonio, costituita dalle lave dei Centri Alcalini Antichi (l_{ta} in Fig. 10), attribuite all'intervallo cronologico 168-100 ka

(Gillot et al., 1994), alla cui base affiora il substrato sedimentario di natura argillosa (Qa in Fig. 10).

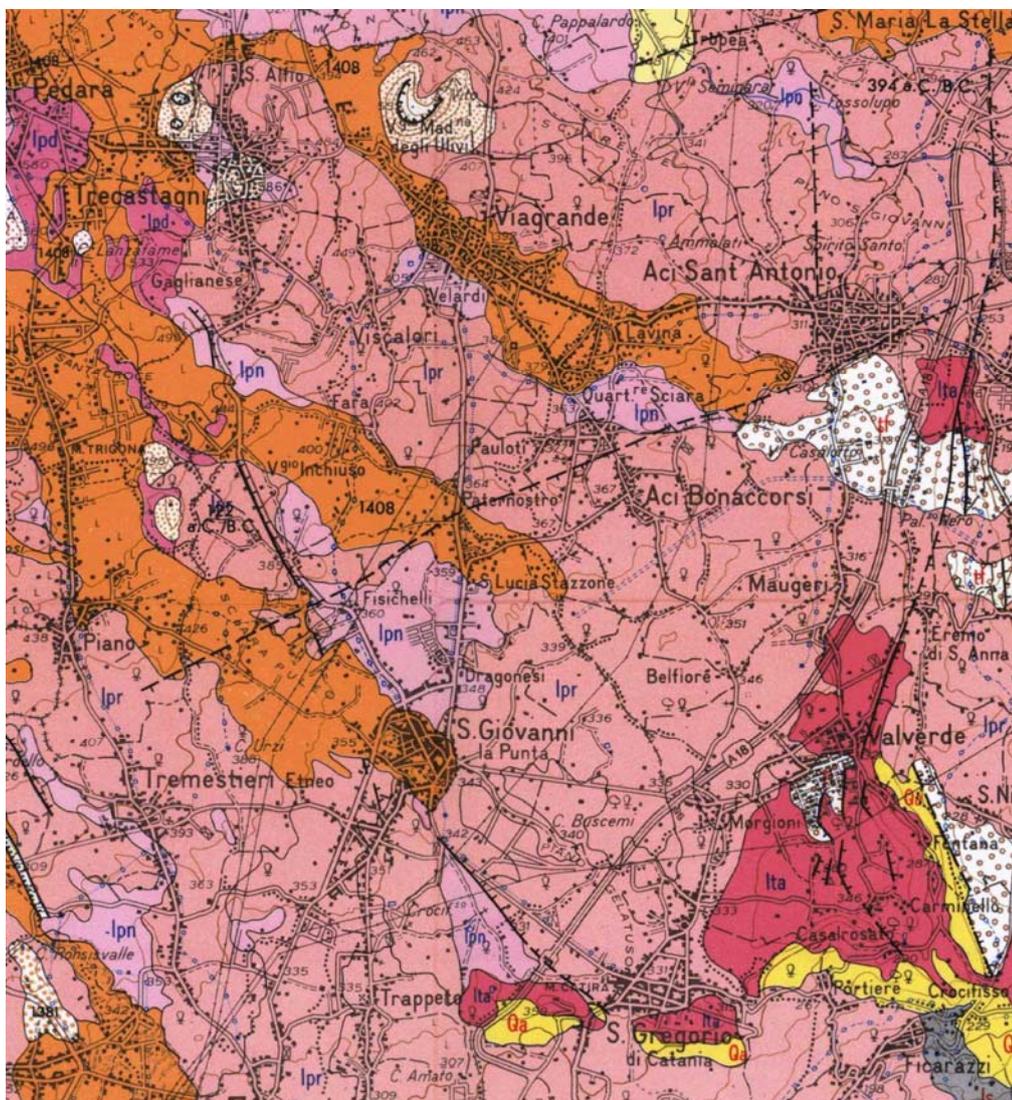


Fig. 10 – Stralcio della Carta geologica del Monte Etna (AA.VV., 1979 mod).

Se vista nel dettaglio (Fig. 11), l'area urbanizzata del centro storico di Viagrande si è sviluppata all'interno della colata lavica del 1408, seguendone a tratti i suoi contorni. Secondo la "Carta geologica del Monte Etna" alla scala 1:50.000, la colata storica poggerebbe in parte sulle lave protostoriche e in parte sugli orizzonti basali delle lave oloceniche, a testimonianza di uno spessore localmente limitato della copertura lavica recente. La mancanza di parte della successione lavica olocenica è riscontrabile già a partire dalle aree limitrofe del comune di Trecastagni, posto immediatamente ad ovest,

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 dove le lave (lpd in Fig. 10) comunemente interposte tra quelle protostoriche (lpr in Fig. 11) e quelle dell'Olocene basale (lpn in Fig. 10), sono state deviate verso sud, non raggiungendo la zone di confine tra i due abitati.

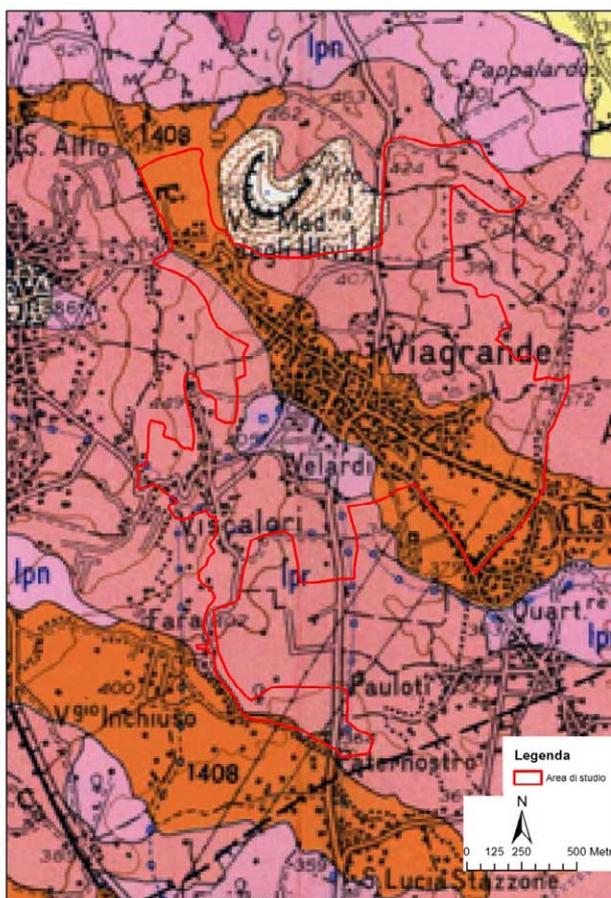


Fig. 11 – Stralcio della Carta geologica del Monte Etna (AA.VV., 1979 mod).

La stessa colata del 1408 si è diramata in due bracci divergenti che hanno aggirato la porzione centrale del rilievo di Trecastagni che, anche in questo caso, ha in parte esercitato un effetto-barriera all'avanzamento delle colate verso l'attuale territorio di Viagrande.

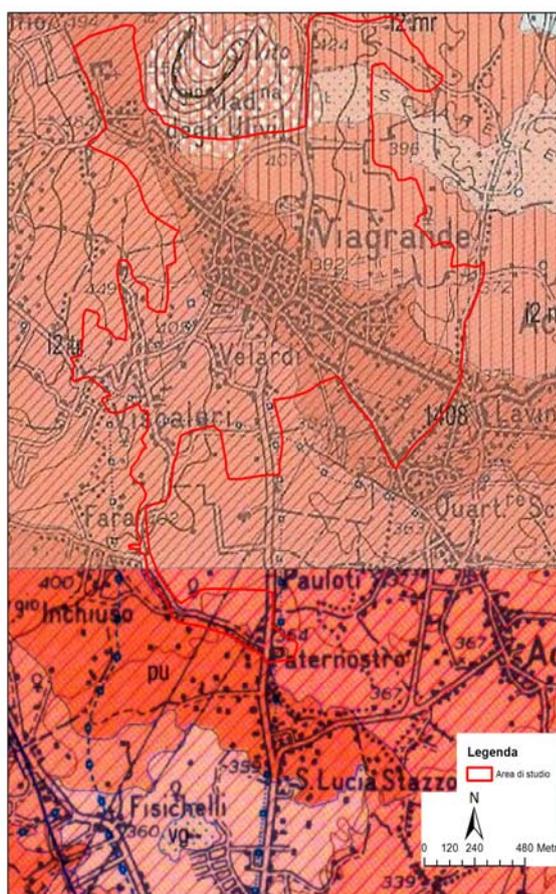


Fig. 12 – Stralcio dei Fogli geologici 625 “Acireale” e 634 “Catania” (AA.VV., 2009a; 2009b mod).

Nello schema di legenda dei Fogli Geologici 625 “Acireale” e 634 “Catania” (AA.VV., 2009a; 2009b)(Fig. 12), i due bracci lavici storici precedentemente attribuiti all’evento eruttivo del 1408 sono stati assegnati ad età differenti tra loro: l’attribuzione al 1408 è stata confermata per la colata lavica su cui è ubicato il centro urbano, mentre il braccio lavico meridionale è stato correlato alla colata di San Giovanni la Punta (350 ± 50 d.C.). Le colate laviche sottostanti ai flussi storici, precedentemente distinte in unità di età differente sulla base dei caratteri morfologici, sono state tutte attribuite ad un intervallo cronologico compreso tra 3.9 ka e il 122 a.C.. Secondo la carta, quindi, anche le lave più profonde affioranti all’interno del territorio comunale, avrebbero una età protostorica, al contrario di quanto riportato nella cartografia precedente. Queste attribuzioni vengono confermate anche nella carta di sintesi dell’intero edificio etneo (Branca et al., 2011)(Fig. 13).

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

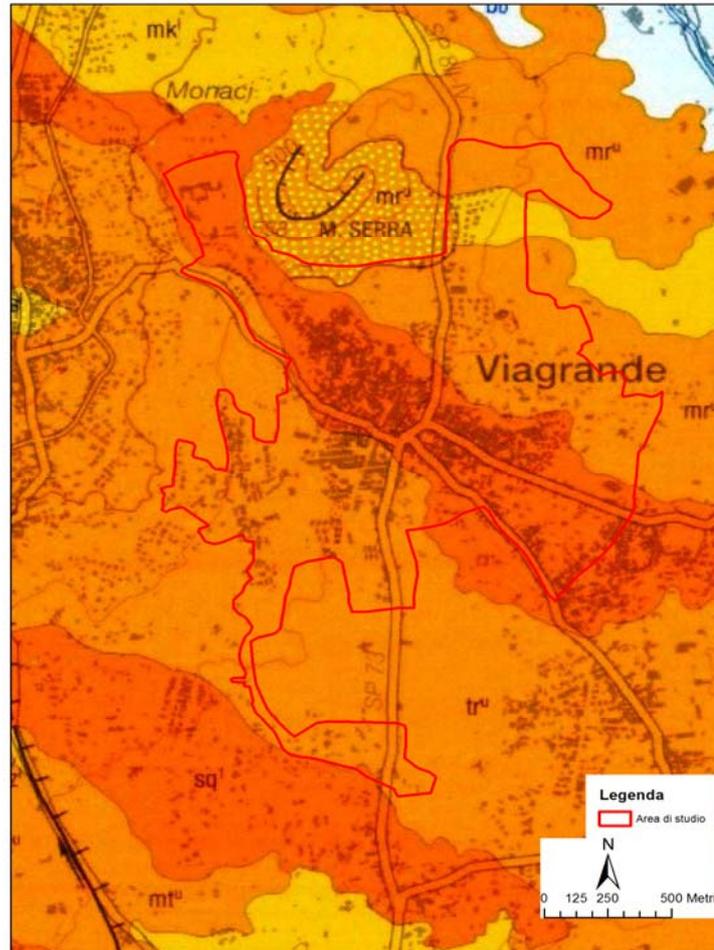


Fig. 13 – Stralcio della Carta Geologica del Vulcano Etna (Branca et al., 2011).

Questo nuovo documento cartografico, rispetto al precedente, evidenzia inoltre le relazioni cogenetiche tra il cono eruttivo di Monte Serra, a nord dell'abitato, e le colate laviche del settore nord-orientale del territorio analizzato (mr^u in Fig. 13). La carta, inoltre, chiarisce meglio l'età e la natura del rilievo dell'abitato di Trecastagni ed i rapporti con le lave che si sono riversate in direzione dell'attuale abitato di Viagrande. La carta (Fig. 14) mostra che alla sommità del rilievo di Trecastagni, in corrispondenza del rilievo della Chiesa Madre (gs in Fig. 14) affiorano vulcanoclastiti di età compresa tra 15 ka e 4 ka, circondate dalle lave più recenti che raggiungono anche il territorio di

Viagrande. La carta quindi documenterebbe la presenza, a monte del territorio di Viagrande, di un edificio piroclastico sepolto culminante nel centro abitato limitrofo di Trecastagni, cui potrebbe essere imputato l'effetto morfologico di sbarramento dei flussi lavici provenienti da nord-ovest, responsabile dello spessore ridotto delle vulcaniti recenti nell'area di Viagrande e di tutto il settore a valle, fino alle zone costiere. La stessa carta (Fig. 14) evidenzia, infatti, che i campi lavici protostorici della zona di Viagrande si sono distribuiti su aree preservate dai flussi lavici degli ultimi 15 ka, poggiando direttamente su diversi termini di età più antica, compresi tra 120 ka (8 in Fig. 14) e 15 ka (25 in Fig. 14).

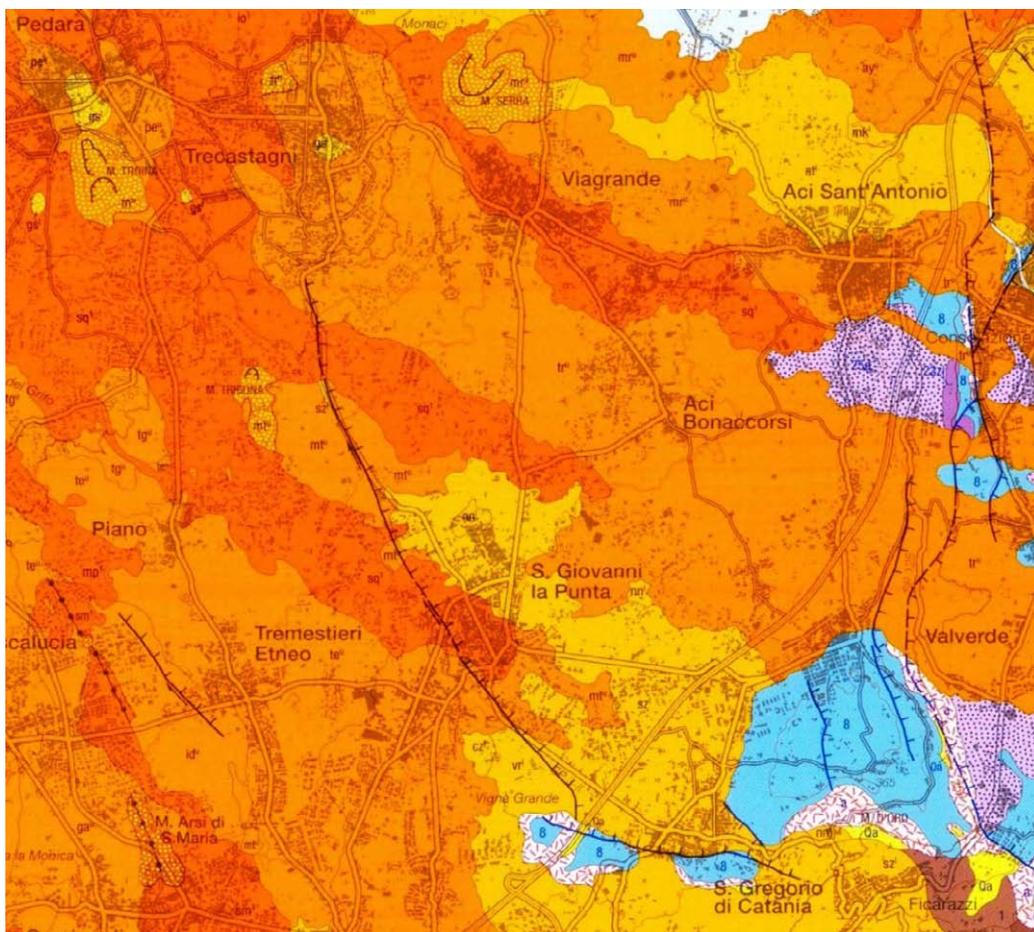


Fig. 14 - Stralcio della Carta Geologica del Vulcano Etna (Branca et al., 2011).

La cartografia geologica disponibile non segnala la presenza di strutture attive interpretabili come possibili sorgenti sismiche. La storia sismica del comune di Viagrande come numero e ricorrenza degli eventi è in gran parte riferibile ai movimenti lungo le strutture catalogate da Azzaro et al. (2000; 2009) nel versante sud-orientale dell'Etna.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

Le strutture tettoniche ubicate nelle aree etnee hanno prodotto eventi generalmente con $M \leq 5$ e I (MCS) $\max = 8$. Il modello cinematico sulle deformazioni attive dell'Etna più accreditato è stato proposto sulla base dei dati geodetici, acquisiti tramite tecniche GPS e DInSAR, che testimoniano l'elevata instabilità dell'intero versante orientale dell'edificio etneo. Questo processo è stato interpretato alternativamente come l'effetto dello scivolamento gravitativo del fianco orientale dell'edificio vulcanico (Borgia et al., 1992) o della deformazione estensionale al footwall di una rift-zone (Monaco et al., 2005). Le serie temporali di misure dei vettori movimento GPS consentono di individuare una serie di blocchi cinematici indipendenti, i cui limiti sono stati identificati lungo lineamenti che, caratterizzati da fratturazione al suolo attiva, si manifestano come discontinuità permanenti nelle immagini DInSAR (Azzaro et al., 2013)(Fig. 15). In questo quadro deformativo, la Faglia di Trecastagni (TCF in Fig. 15), prossima al territorio di Viagrande, costituirebbe un segmento attivo sviluppatosi lungo il confine tra due blocchi adiacenti, i cui vettori movimento di corto periodo vincolano una estensione orientata circa ESE-ONO, in buon accordo con la cinematica delle zone di fratturazione riscontrate sul terreno. Nelle aree prossime all'abitato di Viagrande, sono state segnalate ulteriori linee di dislocazione tettonica attiva, sede di sismicità storica e fratturazione al suolo anche per movimenti di creep-asismico. Nel quadro cinematico attivo sintetizzato nel modello di Fig. 15, la Faglia di Tremestieri (TMF in Fig. 15), a sud-ovest, e la Faglia di Fiandaca (FF in Fig. 15), a nord-est, sembrerebbero giocare un ruolo secondario, in quanto si svilupperebbero all'interno di blocchi cinematici, mentre la Faglia di Santa Tecla (STF in Fig. 15), costituendo un limite principale tra blocchi adiacenti, dovrebbe avere un ruolo più rilevante.

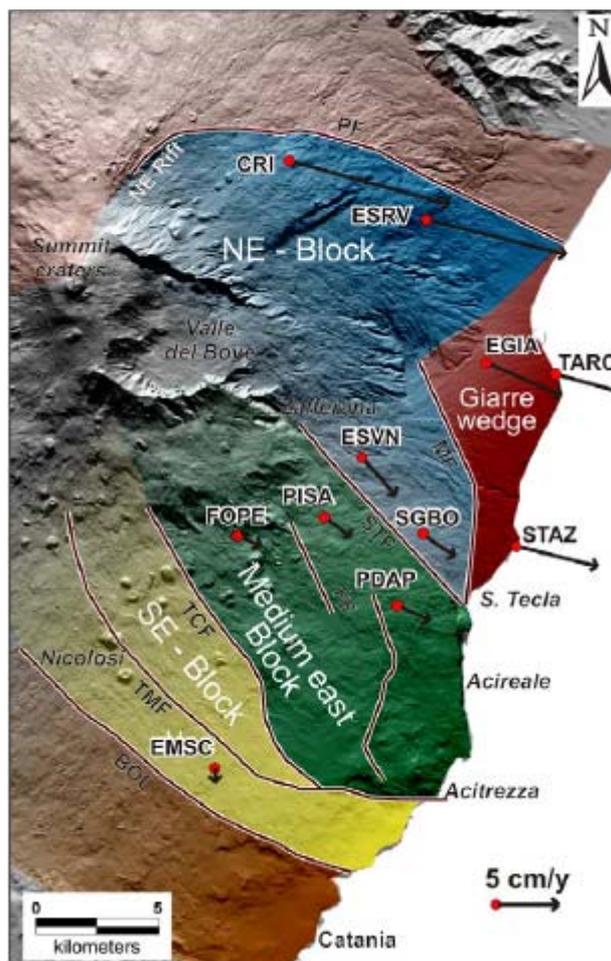


Fig. 15: Modello cinematico del versante orientale del Monte Etna (da Azzaro et al., 2013).

La limitatezza della serie temporale delle misure geodetiche rende scarsamente significativa questa gerarchia delle strutture, che andrebbe invece valutata sulla base della lunghezza e dei tassi di movimento di lungo periodo delle strutture. Queste sono state tutte accreditate di un'attività sismica storica, sintetizzata nel il Catalogo Macrosismico dei Terremoti Etnei dal 1832 al 2005 (Azzaro et al., 2000, 2009)(Fig. 16).

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

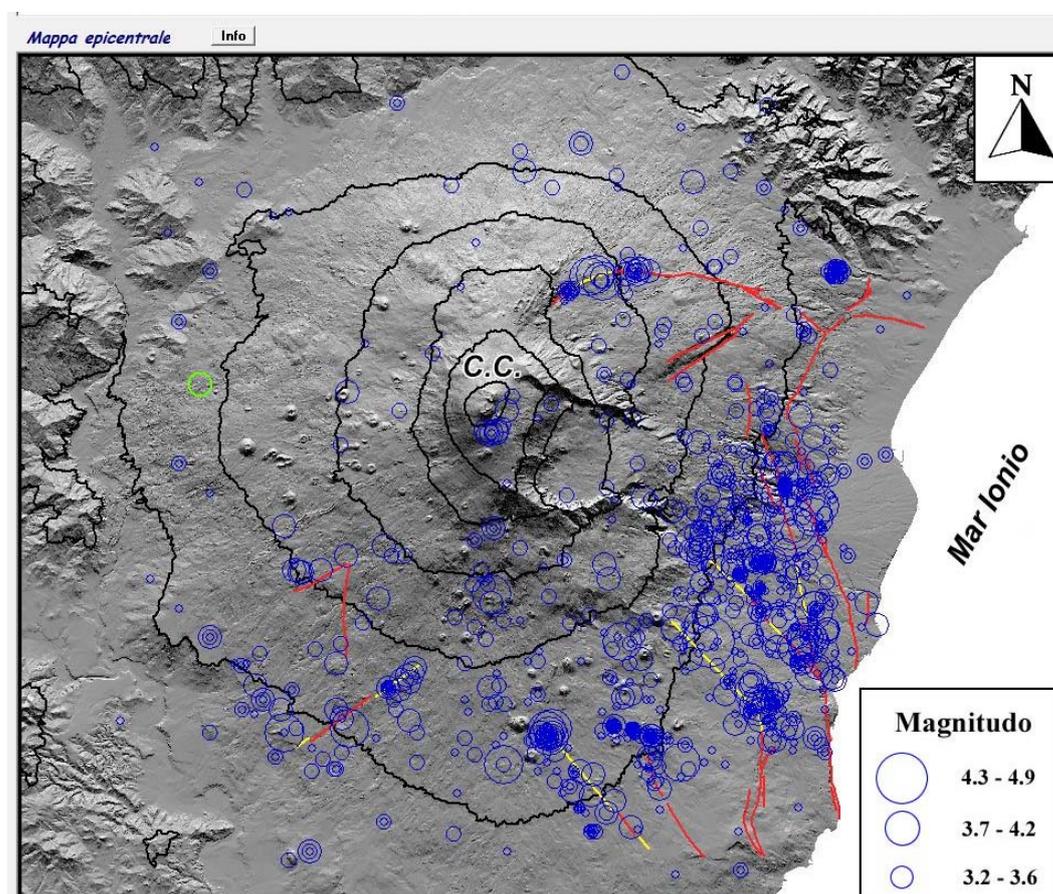


Fig. 16 – Carta sismo-tettonica del Monte Etna riportata nel Catalogo Macrosismico dei Terremoti Etnai dal 1832 al 2008 (Azzaro et al., 2000, 2009).

Il territorio di Viagrande è stato soggetto a forti risentimenti dell'evento sismico del 11.01.1693. Il catalogo DISS (Database of Individual Seismogenic Sources) Version 3.1.1 (DISS Working Group 2010) indica la sorgente sismica individuale "ITIS106 – Gravina di Catania", la cui proiezione in superficie si trova circa 3 km a sud del territorio comunale di Viagrande (Fig. 17), come una delle possibili sorgenti dell'evento.

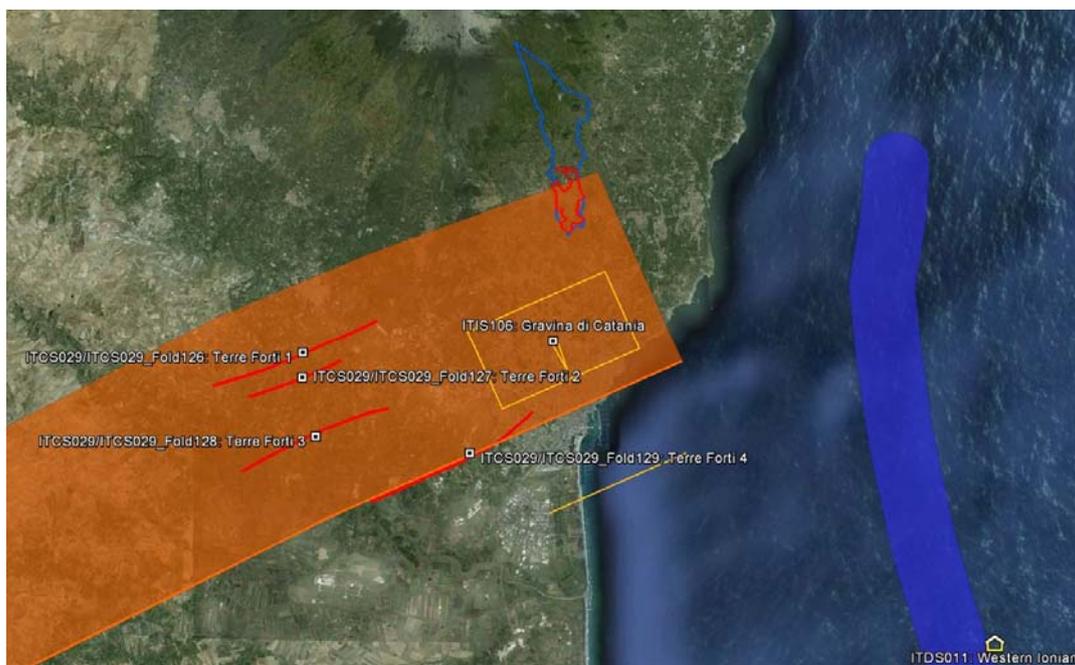


Fig. 17 - Ubicazione delle sorgenti sismogeniche ITIS106 - Gravina di Catania e ITDS011 - Western Ionian rispetto all'area comunale di Viagrande (in blu) e dell'area di studio (in rosso) (DISS Working Group 2010, mod.).

I parametri geometrici e cinematici, significativi per valutare il potenziale della sorgente sono riportati nella scheda di Fig. 18. Da questi si evince che la sorgente potrebbe produrre un evento di $M_w=6$, ad una profondità massima di 7 km sotto l'abitato, con effetti disastrosi in superficie, in buon accordo con quanto registrato dai cataloghi macrosismici che valutano una Intensità MCS pari a X-XI gradi degli effetti prodotti dal terremoto dell'11 Gennaio 1693. Nello stesso database, è riportata la presenza di una sorgente sismogenica, classificata come dibattuta e catalogata con il nome ITDS011 - Western Ionian (Fig. 17), 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.

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

DISS 3.1.1: Seismogenic Source ITIS106 - Gravina di Catania	
Source Info Summary	Commentary
References	Pictures
General information	
Code	ITIS106
Name	Gravina di Catania
Compiled By	Burrato, P., P. Vannoli and G. Valensise
Latest Update	19/09/2007
Parametric information	
	Parameter
	Qual. Evidence
Location (Lat/Lon)	37.5395 / 15.0681
Length (km)	9
Width (km)	5.9
Min Depth (km)	4
Max Depth (km)	7
Strike (deg)	246
Dip (deg)	30
Rake (deg)	90
Slip Per Event (m)	0.8
Slip Rate (mm/y)	0.1 - 0.5
Recurrence (y)	1600 - 8000
Magnitude (Mw)	6
Q-keys:	LD = Literature Data; OD = Original Data; ER = Empirical Relationship; AR = Analytical Relationship; EJ = Expert Judgement
Associated earthquake	
Latest Eq	11 Jan 1893 (2/2)
Penultimate Eq	Unknown
Elapsed Time	307

Fig. 18 - Scheda classificativa della sorgente sismogenica ITIS106 - Gravina di Catania del Diss 3.1.1 (DISS Working Group 2010, mod.).

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

processi dinamici a larga scala (Valensise & Pantosti, 1992). Tale interpretazione implica, inoltre, un drastico ridimensionamento dei parametri di faglia, primo fra tutti la velocità di deformazione, con una rivalutazione al ribasso della magnitudo attesa (DISS Working Group 2010), che comunque non si traduce necessariamente in una diminuzione della pericolosità di base, vista la vicinanza delle strutture ai centri abitati che in parte ricadono al tetto delle strutture attive, nelle prevedibili aree epicentrali di potenziali eventi sismici futuri. Al contrario, l'ipotesi alternativa delle sorgenti a mare associa gran parte dei tassi di sollevamento registrati a terra alle deformazioni (co-sismica e post-sismica) lungo le faglie attive, 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.

Per la ricostruzione del modello geologico del Comune di Viagrande è stato fondamentale fare riferimento a quello ricostruito, nel corso degli studi di microzonazione di primo livello del confinante comune di Trecastagni I dati di superficie disponibili per il Comune di Viagrande, se non inquadrati in un contesto più ampio, risulterebbero infatti scarsamente significativi, in quanto si potrebbero prestare a molteplici interpretazioni. Un vincolo molto importante è stato offerto dalla ricostruzione dettagliata, sintetizzata nei profili geologici allegati allo studio di microzonazione di primo livello del comune di Trecastagni (Fig. 19), dell'edificio sepolto nel sottosuolo

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 dell'abitato, le cui propaggini interessano anche il territorio di Viagrande. Le geometrie evidenziano che le vulcanoclastiti che culminano nel centro di Trecastagni costituiscono la sommità di un edificio in gran parte sepolto (profilo B-B' in Fig. 19) il cui fianco orientale corrisponde al versante che separa gli abitati di Trecastagni e Viagrande, ricoperto dalle sole lave di età protostorica (3,9 ka - 122 a.C.) (AA.VV., 2009a; 2009b), con uno spessore limitato se paragonato a quello che si è accumulato contro il fianco occidentale. L'edificio costituirebbe la barriera morfologica che ha impedito l'espansione dei prodotti olocenici nella zona da Viagrande alla costa ionica, raggiunta solo dai flussi lavici protostorici che hanno superato la barriera, in seguito al suo colmamento (profilo A-A' in Fig. 19).

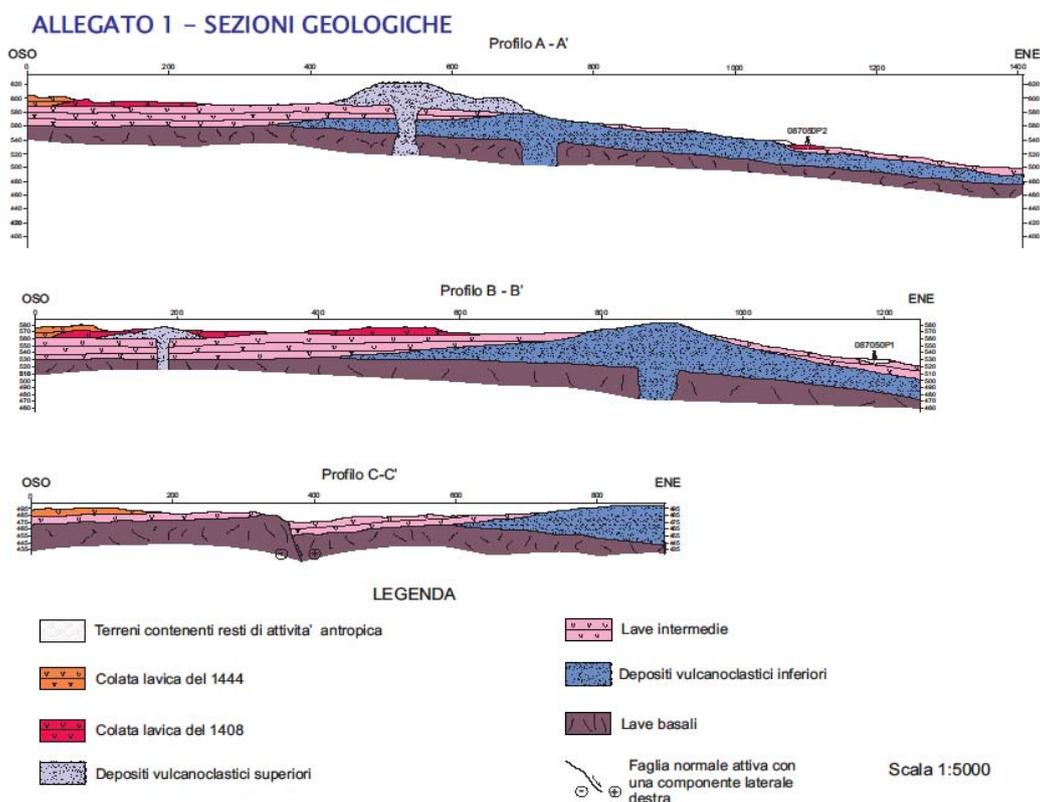


Fig. 19 – Profili geologici allegati agli studi di microzonazione sismica di I livello del comune di Trecastagni

Nella carta geologica allegata agli studi per il P.R.G. (Fig. 20) sono stati distinti 3 orizzonti lavici sovrapposti, costituiti da colate, differenziati per la posizione e per il diverso grado di alterazione dei prodotti. La carta non segnala affioramenti di coperture vulcanoclastiche, ampiamente riconosciute nelle aree limitrofe, la cui presenza risulta invece documentata dai dati di sottosuolo (v. **Allegato 2**). I sondaggi hanno, infatti, intercettato depositi vulcanoclastici interposti tra le lave superficiali (LC in **Allegato 2**) ed un substrato lavico profondo (ALSF in **Allegato 2**). I dati di sottosuolo ripropongono la stessa geometria riconosciuta nel sottosuolo di Trecastagni, con i depositi vulcanoclastici dell'edificio sepolto che separano le lave basali e le lave protostoriche (v. profili di Fig. 19).



Fig. 20 - Stralcio della Carta geologica del P.R.G..

Studi geologici più recenti, relativi alla variante del P.R.G. (Fig. 21), seppure ancora in fase preliminare, ripropongono lo stesso modello geologico già adottato in precedenza, con una nuova suddivisione delle lave secondo gli schemi proposti in Branca

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 et al. (2011). E' interessante notare che, secondo le ricostruzioni riproposte nei profili geologici, il versante acclive che separa Viagrande da Trecastagni sarebbe il risultato della repentina diminuzione dello spessore all'interno delle lave protostoriche.

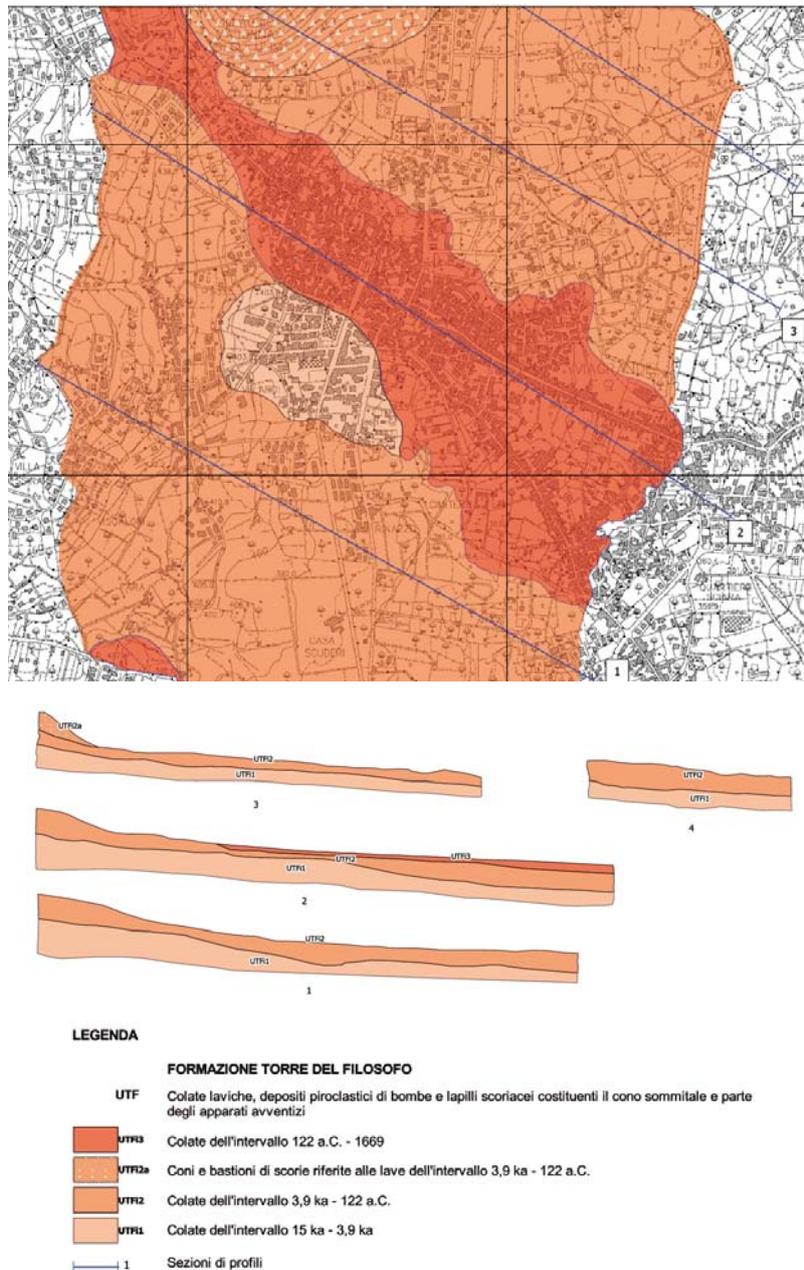
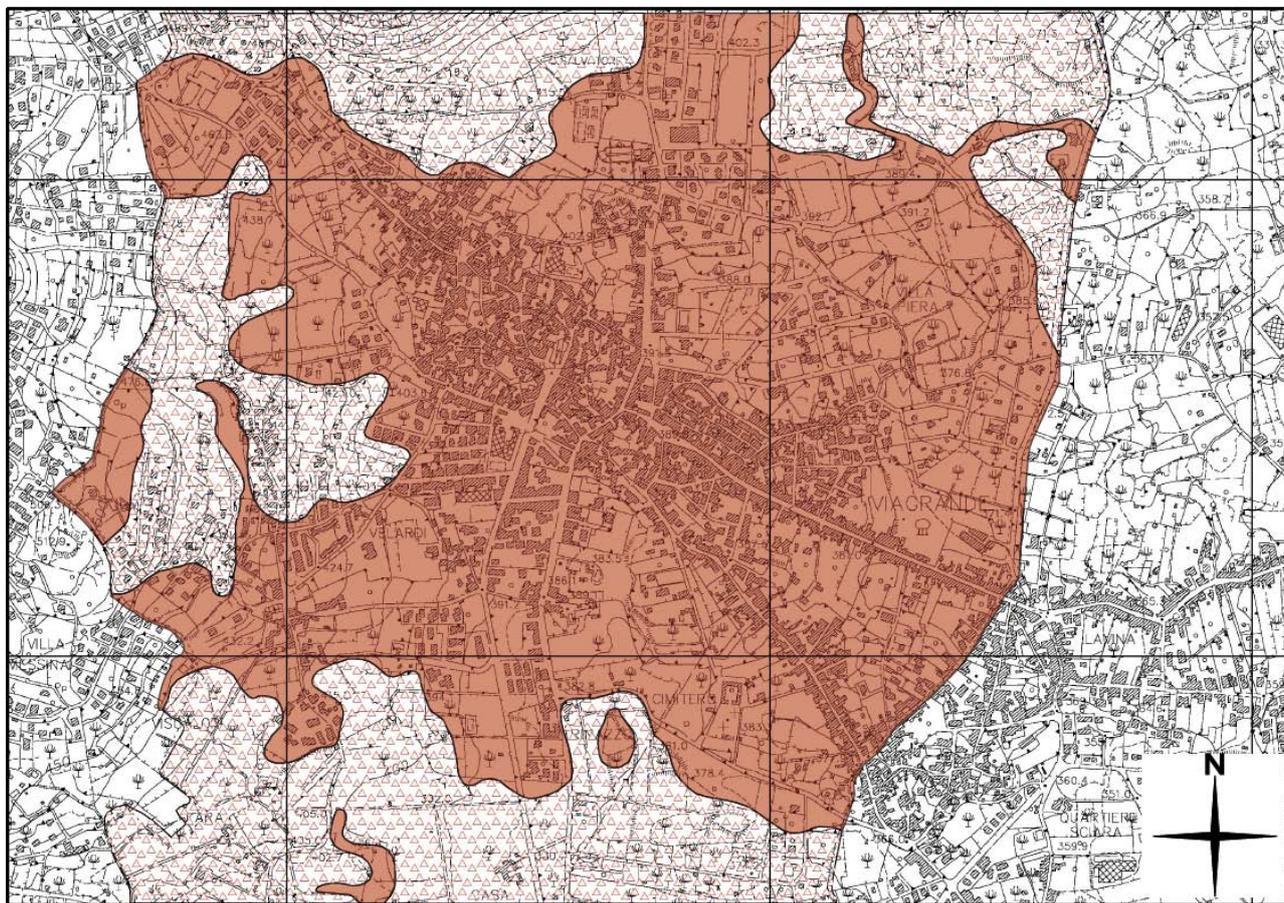


Fig. 21 – Carta geologica (Tav. 1) relativa allo studio geologico per la redazione della variante del P.R.G. zona "A" e delle aree inserite nei comparti dei piani di recupero del Comune di Viagrande.

La distribuzione in superficie dei depositi vulcanoclastici, incontrati nelle perforazioni, è stata invece oggetto della carta litotecnica allegata allo stesso studio geologico (Fig. 22). In questo caso alla carta non sono stati allegati profili che mostrassero la reale geometria 3D dei corpi geologici riconosciuti.



 Prevalenti prodotti vulcanoclastici e/o "rifusa", granulometricamente assimilabili a ghiaie sabbiose con ciottoli e blocchi, associati subordinatamente e localmente a bancate di lave più o meno fessurate.
 $\gamma = 2.0-2.2 \text{ ton/mc}$
 $\phi = 35^\circ-38^\circ$

 Prevalenti lave più o meno fessurate massive e/o in bancate, associate subordinatamente e localmente, in maniera discontinua e casuale sia arealmente che verticalmente, a prodotti vulcanoclastici e scoriaei
 $\gamma = 2.2-2.4 \text{ ton/mc}$
 $\phi = 38^\circ-40^\circ$

Fig. 22 - Carta litotecnica (Tav. 6) relativa allo studio geologico per la redazione della variante del P.R.G. zona "A" e delle aree inserite nei comparti dei piani di recupero del Comune di Viagrande.

Per definire l'effettiva distribuzione in superficie dei livelli vulcanoclastici incontrati nei sondaggi e per verificare l'estendibilità del modello geologico adottato a Trecastagni anche alle aree di Viagrande, è stato necessario condurre rilievi geologici speditivi,



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 associati ad una dettagliata analisi di foto aeree, che hanno consentito di classificare le diverse coperture clastiche presenti nell'area e di riconoscere la loro geometria e significato. I nuovi dati raccolti hanno evidenziato nelle porzioni occidentali più acclivi del territorio di Viagrande, come già in parte segnalato dalla carta litotecnica di Fig. 22, la presenza di vasti affioramenti di vulcanoclastiti, parzialmente ricoperte dalle lave protostoriche, che hanno permesso di estendere all'area la parte bassa del versante orientale dell'edificio vulcanoclastico riconosciuto nel vicino comune di Trecastagni. I dati raccolti sono stati sintetizzati nella carta geologico-tecnica e nei profili geologici (**Allegato 1**).

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

Substrato Geologico

Nell'area di Viagrande, il substrato geologico è stato identificato nelle lave denominate "colate laviche di base" (profili geologici dell'**Allegato 1**) che si riconoscono, sepolte sotto la sottile coltre di prodotti lavici protostorici affioranti, in quasi tutte le stratigrafie dei sondaggi (**ALSF dell'Allegato 2**) che ne testimoniano la continuità laterale

in tutto il sottosuolo dell'area urbana, a differenza delle altre unità laviche sovrastanti, che risultano molto più discontinue. Le lave di substrato rispetto a quelle inserite tra i terreni di copertura si differenziano inoltre per la maggiore compattezza, essendo subordinati i livelli scoriacei alternati ai banchi lavici, e per il più elevato grado di fratturazione.

Terreni di copertura

Nel territorio di Viagrande sono state individuate 4 tipologie diverse di coperture. Tra queste è stato incluso il livello vulcanoclastico (Depositi vulcanoclastici **nell'Allegato 1**) attribuito al fianco orientale dell'edificio sepolto tra Trecastagni e Viagrande. Gli orizzonti delle vulcanoclastiti, affioranti lungo il pendio acclive dei settori occidentali, mostrano facies generalmente più sabbiose (**SWsc** nella carta geologico-tecnica) rispetto ai livelli ghiaioso-sabbioso-limosi attraversati in profondità da alcuni sondaggi (**GM** e **GW** nell'**Allegato 2**), al di sotto delle lave protostoriche. Questi ultimi sono stati interpretati come i livelli basali dell'edificio, esumati dall'erosione del piede del versante, prima dell'arrivo delle lave soprastanti (v. profilo A-A' dell'**Allegato 1**). Pertanto è ipotizzabile che anche alla base delle facies sabbiose affioranti dei Depositi vulcanoclastici si possano rinvenire, in profondità, le facies ghiaioso-sabbioso-limose, peraltro simili a quelle che caratterizzano gli stessi depositi nella zona del limitrofo abitato di Trecastagni. Verso nord, le vulcanoclastiti dell'edificio sepolto si saldano ai prodotti del cono eruttivo di Monte Serra. Seppure litologicamente assimilabili, le vulcanoclastiti di Monte Serra costituiscono un orizzonte intercalato tra le lave che ricoprono l'edificio di Trecastagni, assegnate all'intervallo cronologico compreso tra 3.9 ka e il 122 a.C.. Tra le coperture sono state comprese anche tutte le colate laviche (**LC** nella carta geologico-tecnica) che ricoprono i depositi vulcanoclastici o riempiono paleomorfologie modellate sulle colate laviche basali. Le lave di copertura, classificate secondo la codifica provvisoria di "lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate", si differenziano da quelle del substrato per la loro estrema discontinuità laterale, raffigurata nei profili geologici



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 dell'**Allegato 1**, connessa all'esistenza di una paleotopografia sepolta dai prodotti eruttivi. Associate alle lave di copertura sono stati riconosciuti depositi alluvionali sabbioso-ghiaioso-limosi che costituiscono una vasta conoide (**SMca** nella carta geologico-tecnica) e un terrazzo fluviale (**SMtf** nella carta geologico-tecnica). Questi livelli clastici costituirebbero il prodotto del parziale smantellamento del versante orientale dell'edificio di Trecastagni, di età quindi compresa tra quella dell'edificio (15–4 ka; Branca et al., 2011) e quella delle sovrastanti lave protostoriche (< 3.9 ka; Branca et al., 2011). I livelli alluvionali costituiscono un orizzonte guida, intercalato all'interno della successione delle lave, che separa le **colate laviche storiche e protostoriche**, poste al tetto, dalle colate più antiche, poste alla base (v. **Allegato 1**). Tra queste sono state distinte quelle che ricoprono le vulcanoclastiti, corrispondenti alle **colate laviche recenti** dell'**Allegato 1**, da quelle che sono state ricoperte dalle vulcanoclastiti, indicate come **colate laviche oloceniche** nell'**Allegato 1**. La presenza di una valle sepolta orientata circa NO-SE, riempita dalle lave oloceniche, seppure totalmente nascosta dalle lave recenti e i sovrastanti depositi alluvionali, è stata riconosciuta nel settore sud-occidentale del territorio comunale, nei pressi della località Velardi, sulla base dei dati dei sondaggi geognostici disponibili. Le stratigrafie dei sondaggi 087053P1-P6 confrontate con quella del sondaggio 087053P9 evidenziano che al disotto della colata lavica affiorante (colata lavica recente nel profilo B-B' dell'**Allegato 1**), i primi attraversano la successione costituita dalle vulcanoclastiti e dalle sottostanti lave di substrato (colate laviche basali nel profilo B-B' dell'**Allegato 1**), mentre il sondaggio 087053P9, rimane sempre all'interno di un'alternanza di banchi metrici di lave massive e orizzonti scoriacei sovrapposti, con caratteri litologici profondamente differenti dalle lave di substrato, alle quali potrebbero essere correlate per posizione. Pertanto, la stratigrafia del sondaggio

087053P9 è stata riferita al riempimento di un'antica valle modellata sugli orizzonti lavici basali e riempita da lave che pre-datano i depositi vulcanoclastici (v. profilo B-B' dell'**Allegato 1**). L'asse della paleovalle inserita nella carta geologico-tecnica coincide con quella già indicata nella ricostruzione del tetto del substrato sedimentario, proposto in allegato con lo studio geologico della variante del P.R.G. (v. Fig. 25 del Capitolo 5) e quindi potrebbe rappresentare un'eredità dei lineamenti della paleotopografia sub-vulcanica.

Tenendo conto dell'attribuzione delle colate laviche basali all'intervallo cronologico 15-4 ka (Branca et al., 2011), la formazione della paleovalle è molto probabilmente attribuibile alle fasi di modellamento connesse alla deglaciazione post-Wurmiana, dalla quale discende l'età olocenica delle lave di riempimento. Di conseguenza le sovrastanti vulcanoclastiti, anch'esse riferite all'intervallo cronologico 15-4 ka (Branca et al., 2011), dovrebbero, in effetti, avere una età posteriore ai 10 ka.

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

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 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. 23).

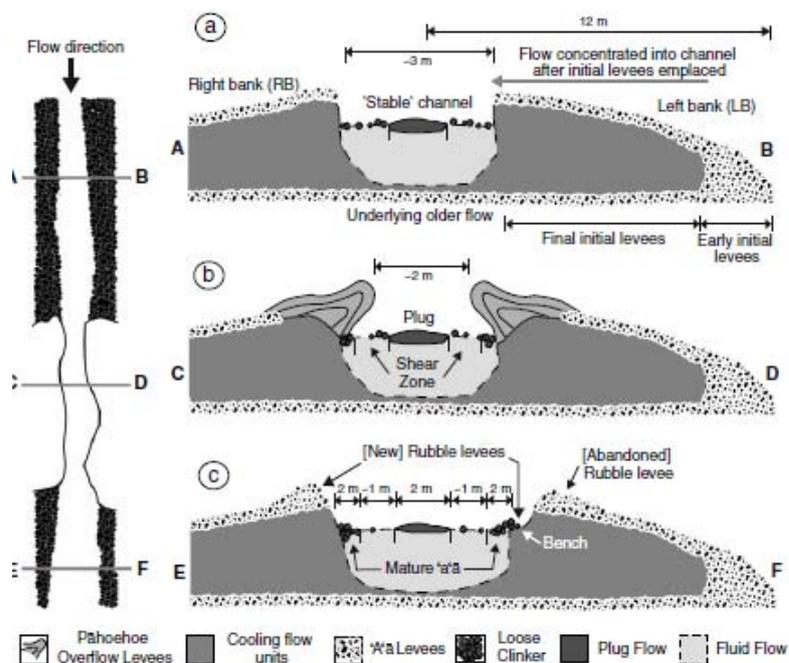


Fig. 23 – Profili di flusso attraverso colate laviche canalizzate nei suoi diversi settori (da Bailey et al. , 2006).

Nei profili, all'interno delle lave di copertura sono state differenziate le **colate laviche storiche e protostoriche** dalle colate di riempimento di paleovalli, indicate come **lave oloceniche**. Queste ultime sono soggette alle maggiori discontinuità laterali avendo maggiormente risentito dell'articolazione del substrato. La localizzazione in sottosuolo dell'asse della valle sepolta dalle lave oloceniche è stata raffigurata tramite un apposito

simbolo di forma sepolta. Le lave storiche e protostoriche e i depositi di conoide ad esse associati sono stati, localmente, contrassegnati da un simbolo adottato per visualizzare la presenza in sottosuolo degli edifici vulcanoclastici sepolti, consentendo così di localizzare la proiezione in superficie della loro estensione in profondità. I flussi che mantellano gli edifici sepolti possono mostrare differenti geometrie e litofacies, connesse, a parità di gradiente della paleotopografia che esse hanno ricoperto, dalle caratteristiche reologiche degli originali flussi lavici. Nella maggior parte dei casi, essi tendono a mantellare, con spessori generalmente esigui, le porzioni di versante ad elevata acclività. In corrispondenza delle rotture di pendio, le colate si restringono e la loro morfologia è caratterizzata da una potente copertura scoriacea, generata dalla frammentazione delle porzioni più esterne ad opera del flusso interno accelerato in corrispondenza del cambio di pendenza. Una differente geometria delle lave di copertura si può riconoscere al piede dei versanti sepolti, nel caso di colate poco alimentate e di elevata viscosità. Queste tendono a formare flussi sovrapposti che si dispongono a ventaglio, dando luogo ad una fitta alternanza di scorie e banchi massivi clinostratificati, caratterizzati da notevole discontinuità sia laterale che verticale. I ventagli di lava mostrano spessori minimi all'apice e al piede, mentre raggiungono spessori massimi nella loro parte centrale, in corrispondenza della verticale del piede del pendio sepolto dalle lave. Nel caso di Viagrande, un ventaglio di lava, indicato nella carta geologico-tecnica come forma di superficie mediante un apposito sovrassegno sulle lave di copertura, si è sviluppato lungo il fianco sud-orientale dell'edificio sepolto.

4. Dati geotecnici e geofisici

I dati geotecnici e geofisici disponibili per l'area di studio, derivano da n. 41 indagini complessive, di cui n. 30 indagini pregresse e n. 11 nuove indagini geofisiche HVSR, realizzate nel presente studio dall'Università di Catania. Le indagini, archiviate secondo gli "Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica - Versione 2.0beta-II", si suddividono in n. 35 indagini puntuali e n. 6 indagini lineari. L'insieme delle indagini

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77
puntuali e lineari disponibili (per l'ubicazione si veda la carta delle indagini) sono
schematizzate per tipologia nella sottostante tabella 2:

	Geologia (GG)			Geofisica (GF)		Geotecnica di lab. (GL)		TOTALE		
Totale Ind. Punt.	S	SS	SC	HVSR (Unict)	DH	SM	TD	GG	GF	GL
35	2	7	2	11	7	3	3	11	18	6

	Geofisica (GF)	TOTALE
Totale Ind. Lineari	MASW	GF
6	6	6

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

I dati pregressi derivano da indagini realizzate per lo studio geologico per la redazione del P.R.G. e di una sua variante, e da indagini effettuate per lavori di messa in sicurezza relativi alla Villa dei Principi 'Turrisi Grifeo Partanna', forniti dall'amministrazione comunale di Viagrande e dal Dipartimento della Protezione Civile di Catania. In particolare le indagini geognostiche, ricadenti nel settore centro-settentrionale dell'area di studio, consistono in n. 9 sondaggi meccanici a carotaggio continuo, da 087053P1 a 087053P9, caratterizzati da profondità compresa tra 15 e 30 metri. Nel corso delle perforazioni relative alle indagini 087053P1 e 087053P2, sono stati raccolti n. 5 e n. 4 campioni disturbati, rispettivamente, in seguito sottoposti ad analisi di laboratorio, consistenti in prove di compressione monoassiale su campioni rocciosi e prove di taglio diretto sulla porzione scoriacea. Tali prove hanno fornito valori di peso di volume umido $\sim 26 \text{ KN/m}^3$ e $\sim 20 \text{ KN/m}^3$, rispettivamente in roccia basaltica compatta e bollosa, e $\text{PV}=18.14 \text{ KN/m}^3$, nelle scorie laviche sabbiose. Questi ultimi terreni sono anche caratterizzati da coesione nulla e da un angolo di attrito in tensioni efficaci compreso tra $33,4^\circ$ e $37,8^\circ$ (v. Tab. 2 dell'Allegato 3).

Nella Carta Litotecnica redatta a sostegno dello “Studio Geologico per la redazione della variante al P.R.G. zona A e nella aree inserite nei comparti dei piani di recupero” per il Comune di Viagrande, vengono forniti i parametri geotecnici delle lave massive più o meno fessurate e dei prodotti vulcanoclastici ad esse associati. Si tratta del peso di volume e dell’angolo di attrito interno. E’ da rimarcare però che i valori riportati in tale studio, e riassunti nella tabella 1 dell’**Allegato 3**, non derivano da indagini geotecniche dirette, ma sono dati desunti dalla Letteratura geologica e geotecnica. La scarsa attendibilità dei dati riportati nella tabella 1 dell’**Allegato 3**, ha dunque impedito il loro utilizzo per la definizione dei parametri geotecnici dei terreni affioranti nell’area oggetto del presente studio.

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

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

Tab.3 – Classificazione dei terreni secondo il sistema USCS.

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

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

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

I terreni affioranti nell’area e riconosciuti nella stratigrafia dei sondaggi sono stati, quindi, raggruppati secondo le categorie previste dalla legenda. Per ogni categoria riconosciuta, si sono raccolte tutte le informazioni disponibili sui principali caratteri geotecnici che sono stati riassunti nella serie di schede riportate nell’**Allegato 3** alla



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 presente relazione. Nelle schede, per ciascun campione è riportato il sondaggio contraddistinto dall' "identificativo indagine puntuale" (ID_INDPU), la profondità di prelievo e la litologia. Va inoltre ricordato che tra i dati acquisiti non sono presenti informazioni relative al substrato geologico rigido.

I dati geofisici disponibili derivano da n. 7 down-hole (profondità 30 m), da n. 6 MASW.

Le indagini down-hole di cui siamo in possesso hanno permesso una valutazione delle velocità V_s nei litotipi attraversati nei primi 30 m di profondità (v. Tabb. 3-6 e 7-9 dell'**Allegato 3**). Le V_s misurate confermano che le successioni litostratigrafiche dell'area di studio sono caratterizzate da un'alternanza di terreni rigidi e terreni soffici, che si traduce in ripetute inversioni di velocità delle onde sismiche lungo la verticale. In alcuni casi si osservano livelli caratterizzati da valori di $V_s > 800$ m/s, probabilmente rappresentati da porzioni massive delle colate laviche, compresi tra livelli caratterizzati da V_s molto più basse (400-500 m/s), rappresentati sia da prodotti piroclastici che da porzioni scoriacee delle singole colate laviche (v. Capitolo 3). Ad ogni modo, questi corpi lavici sono stati assegnati ai terreni di copertura. E' da rimarcare, inoltre, che per le indagini 087053P7DH20, 087053P8DH22 e 087053P9DH24 il calcolo empirico della velocità media delle onde S per i primi 30 metri (V_{s30}) ha consentito di classificare il sottosuolo, in tutti e tre i casi, nella categoria "B", come previsto dalle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni NTC, approvate con D.M. del 14 Gennaio 2008 (v. tabb. 10-12 dell'**Allegato 3**).

Le prospezioni sismiche MASW, realizzate tramite stendimenti di lunghezza compresa tra 40 e 50 metri, forniscono un assetto del sottosuolo molto più omogeneo. Esso appare caratterizzato, salvo alcune eccezioni, da un incremento continuo della Vs al crescere della profondità. Data la loro vicinanza (< 10 m) è possibile confrontare l'indagine 087053L1MASW1 e l'indagine down-hole 087053P9DH24, con l'ausilio del sondaggio geognostico 087053P9S23 (Fig. 24).

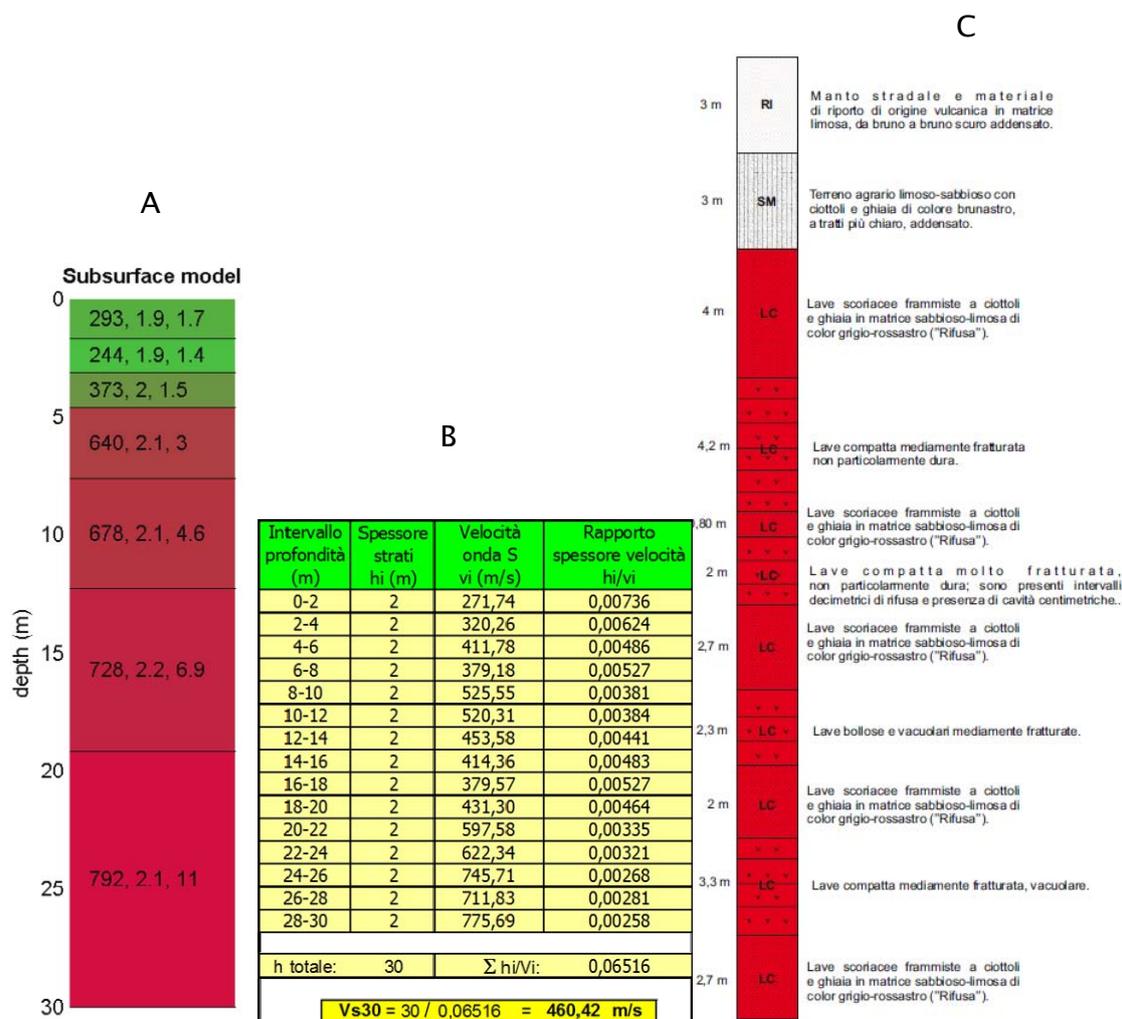


Fig. 24 - Colonna sismostratigrafica relativa all'indagine 087053L1MASW1 (A). Indagine down-hole 087053P9DH24 (B). Sondaggio geognostico 087053P9S23 (C).

Dal confronto delle tre indagini, appare chiaro che i diversi intervalli di Vs evidenziati nel down-hole meglio rappresentano la realtà geologica del sottosuolo, in cui si realizza un brusco alternarsi di lave scoriaee, compatte, o da mediamente a molto



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77
fratturate. Al contrario, i sismo strati dedotti dall'indagine MASW mostrano valori di Vs molto costanti e quasi sempre superiori rispetto ai singoli valori riportati nel down-hole.

Nonostante i limiti evidenziati le indagini di tipo MASW confermano la presenza in sottosuolo nei primi metri di terreni di copertura, caratterizzati da bassi valori di Vs. Inoltre, le porzioni più profonde delle indagini 087053L2MASW2, 087053L4MASW4 e 087053L6MASW6 mostrano sismostrati con $V_s > 800$ m/s che potrebbero rappresentare le colate laviche da noi assegnate al substrato geologico rigido.

Al fine di valutare le frequenze proprie di oscillazione dei diversi siti, l'Università di Catania ha effettuato n. 11 misure di microtremore ambientale (noise), distribuite sull'intero territorio comunale, i cui risultati sono sintetizzati nell'allegata carta delle frequenze. In essa, 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 molte frequenze di risonanza ricadono all'interno di un range estremamente ristretto, compreso tra $\sim 0,75$ e $\sim 1,69$ Hz, ma altre raggiungono valori medio-alti. In alcuni casi, vengono segnalati due o tre picchi, alcuni dei quali abbracciano valori di frequenza più elevati. Tali picchi sono associati a frequenze proprie di oscillazioni differenti, riferibili a discontinuità stratigrafiche ubicate a profondità variabili da sito a sito. Le frequenze più basse di amplificazione sono probabilmente legate all'assetto geologico profondo dell'area in esame, viceversa le frequenze più alte possono essere ricondotte a disturbi superficiali quali la presenza di terreni detritici di copertura o depositi caotici di frana o fenomeni di

origine antropica. A titolo di esempio, si segnalano le indagini 087053P13 e 087053P13, ubicate al contatto tra i terreni di riporto antropico e le colate laviche da essi ricoperte, che mostrano due picchi, uno a bassa frequenza (circa 1 Hz) e uno a media frequenza (circa 4,5 Hz).

5. Modello del sottosuolo

Il modello geologico del territorio comunale di Viagrande, i cui dettagli sono stati già ampiamente descritti nei paragrafi precedenti, è stato essenzialmente ricostruito sulla base dei dati di superficie ricavati da studi pregressi e dalle sostanziali integrazioni condotte nel corso degli studi di microzonazione, alla luce del modello già adottato per gli analoghi studi condotti nel vicino abitato di Trecastagni. Nella stesura del modello del sottosuolo, i dati diretti disponibili hanno consentito di verificare, anche se per aree ristrette e profondità relativamente limitate (≤ 30 m), la validità del modello con il puntuale riscontro tra gli orizzonti di sottosuolo previsti e quelli effettivamente attraversati dai sondaggi.

In sintesi il sottosuolo dell'abitato di Viagrande è stato suddiviso in due settori, disposti in senso circa meridiano, che si differenziano essenzialmente per la presenza o meno di uno spessore significativo di vulcanoclastiti intercalato alle successioni laviche degli ultimi 30 m. L'andamento del sottosuolo nel settore occidentale, caratterizzato dalla presenza delle vulcanoclastiti, è stato ben vincolato sulla base delle esposizioni in superficie, della presenza di dati geognostici particolarmente significativi e della congruenza con le geometrie già ricostruite nel vicino comune di Trecastagni. La diversa geometria del sottosuolo nei settori orientali del territorio comunale è invece frutto di interpretazione dei dati di superficie e della geometria complessiva delle vulcanoclastiti, suggerita anche dai risultati delle analisi del microtremore ambientale, ma non supportata da alcuna informazione diretta di sottosuolo. In questo caso il grado di attendibilità è da ritenersi molto più limitato che nei settori occidentali, con la necessità



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77
di una sostanziale raccolta di dati per l'acquisizione di nuovi vincoli nel corso degli studi
di livello superiore.

Secondo il modello proposto, le vulcanoclastiti presenti nel settore occidentale costituiscono il versante di un edificio, parzialmente sepolto da una sottile copertura di colate laviche storiche e protostoriche, che poggia su orizzonti lavici profondi, assegnati al substrato geologico. I dati disponibili sulle velocità di propagazione delle onde di taglio indicano chiaramente che all'interno dell'orizzonte lavico profondo si raggiungono valori di $V_s > 800$ m/s e che il passaggio con le sovrastanti vulcanoclastiti è marcato da una repentina diminuzione delle velocità (da $V_s = 1008-748$ m/s a $V_s = 561-410$), che non necessariamente si attesta in corrispondenza del contatto tra le due litologie, ma può interessare le stesse porzioni più superficiali delle lave, che risultano fortemente fratturate e alterate. Al contrario, le lave di copertura delle vulcanoclastiti, per la notevole diffusione di materiale scoriaceo fittamente alternato ai banchi lavici massivi, presentano valori di V_s confrontabili con quelle delle altre coperture di natura clastica. Ciò comporta che il passaggio tra vulcanoclastiti e le lave sovrastanti non corrisponde a sostanziali variazioni delle velocità. E' chiaro che questo comportamento, riscontrato in tutti i siti oggetto di indagini down-hole, potrebbe essere profondamente diverso laddove sulle vulcanoclastiti dovessero poggiare coperture laviche costituite da livelli prevalentemente massivi. In questo caso si determinerebbero le condizioni per la presenza di una netta inversione di velocità delle onde sismiche di taglio lungo discontinuità prossime alla superficie. Nelle zone attraversate dalla valle sepolta, le indagini down-hole hanno evidenziato che le velocità delle onde sismiche di taglio misurate all'interno delle lave di copertura variano da un massimo di circa $V_s = 790$ m/s, per gli orizzonti massivi, a un

minimo di circa $V_s = 510$ m/s per gli orizzonti scoriacei, con velocità costantemente più elevate nelle lave di riempimento della paleovalle ($V_s = 790 - 615$ m/s) rispetto a quelle che la sigillano ($V_s = 610 - 510$ m/s), ma in assenza di limiti netti di contrasti di impedenza tali da fare prevedere particolari effetti di amplificazione localizzati. Al contrario, nelle fasi successive di approfondimento andrebbero verificati con particolare cura eventuali effetti al bordo della valle sepolta, conseguenza della geometria di appoggio delle lave di riempimento a diverso comportamento rispetto alle lave del substrato in cui esse sono incassate.

Nel settore orientale dell'abitato, il modello di sottosuolo proposto prevede una monotona alternanza di livelli lavici massivi e scoriacei, determinati dalla sovrapposizione di più colate laviche. Tale geometria di sottosuolo è stata essenzialmente basata sull'assunzione che, allontanandosi dalla porzione centrale dell'edificio sepolto nel sottosuolo dell'abitato di Trecastagni, i livelli vulcanoclastici vadano progressivamente a chiudere verso est. L'ipotesi di un diverso assetto del sottosuolo delle aree orientali di Viagrande è suffragato anche dai dati di misura del microtremore ambientale. In analogia a quanto già verificato negli studi di microzonazione di primo livello del comune di Trecastagni, le aree caratterizzate dalla presenza delle vulcanoclastiti all'interno della successione vulcanica presentano due distinti picchi di amplificazione, negli intervalli $f = 0.75 - 2.31$ Hz e $f = 4.47 - 7$ Hz. Nell'unica misura effettuata nei settori orientali, si registra la presenza di tre distinti picchi di amplificazione ($f = 1,13$ Hz; $f = 8.69$ Hz; $f = 11.03$ Hz), secondo un comportamento che nella zona di Trecastagni è stato correlato con l'appoggio delle lave di copertura, direttamente sulle lave del substrato, senza l'interposizione di orizzonti vulcanoclastici di spessore significativo.

In generale, le ripetute inversioni delle velocità delle onde sismiche, tra diverse unità o all'interno delle stesse unità laviche, non rientrano nei modelli correntemente applicati nella valutazione delle amplificazioni di tipo stratigrafico e pone molti interrogativi che andranno risolti nelle indagini di approfondimento successive. Va sottolineato che i dati raccolti in aree vulcaniche in occasione di precedenti studi di microzonazione (OPCM



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 (3278/2003) nella zona del comune di Santa Venerina hanno evidenziato una estrema variabilità laterale e verticale delle Vs, con frequenti inversioni di velocità, con valori che oscillano dai 450 m/s ai 1150 m/s, in funzione del diverso rapporto tra prodotti scoriacei e lave massive. Anche 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 eseguite in questo e in precedenti studi di microzonazione in aree vulcaniche, che su lave massive affioranti hanno evidenziato effetti di amplificazione, più o meno marcati.

Appare evidente che nei successivi livelli di approfondimento sarà necessario interpretare il ruolo delle inversioni delle velocità nella selezione delle frequenze di oscillazione proprie dei siti e di verificare quale siano gli elementi delle successioni laviche che invece determinano le differenti ampiezze di oscillazione. In particolare, sarebbe opportuno verificare a quali condizioni (giacitura, spessore degli strati e contrasti di impedenza) le discontinuità 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.

In tutto il territorio comunale non è stato possibile definire lo spessore delle colate laviche basali e, di conseguenza, stabilire il tipo di substrato sul quale poggiano. Tenendo conto dell'età cui sono state assegnate (AA.VV., 2009a; 2009b) e facendo riferimento alle successioni vulcaniche esposte in aree limitrofe, alla periferia del vulcano, è possibile immaginare che sotto le colate laviche basali vi possa essere l'intera successione delle lave alcaline antiche (Gillot et al., 1994), suddivise in recenti studi di

microzonazione del basso versante orientale dell'Etna (Catalano & Tortorici, 2010) in lave Tirreniane e pre-Tirreniane. Studi di microzonazione di primo livello condotti nei vicini comuni di San Gregorio e Valverde, ad est di Trecastagni, hanno evidenziato che la successione delle lave Tirreniane e pre-Tirreniane, che nell'insieme possono raggiungere spessori fino a 210 m, poggia su un substrato di natura argillosa. Questo dato è in accordo con la ricostruzione del tetto del substrato sedimentario, proposto in allegato con lo studio geologico della variante del P.R.G. (Fig. 25), che è indicato ad una profondità di circa 200 m (200 m s.l.m.) in corrispondenza dell'abitato di Viagrande.

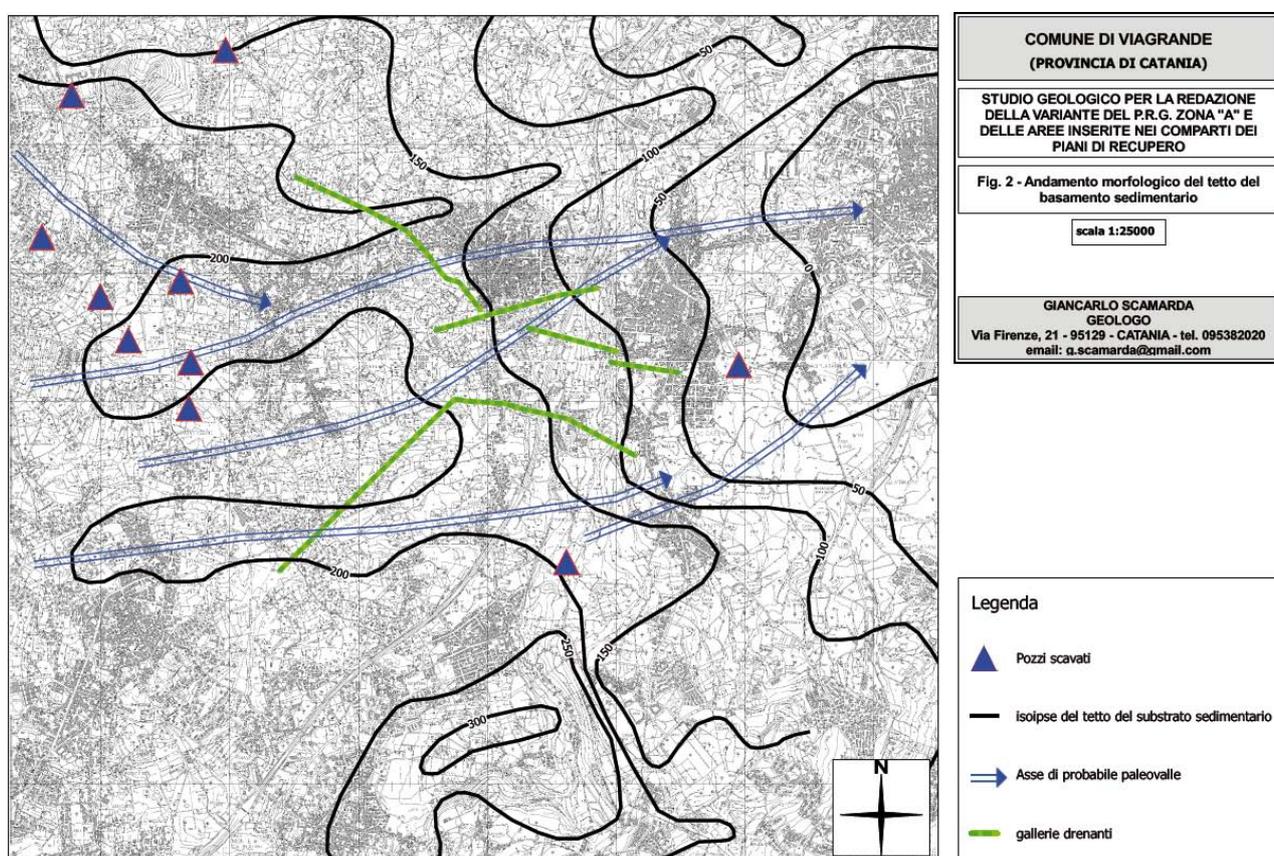


Fig. 25 - Andamento morfologico del tetto del substrato sedimentario dello studio geologico per la variante del P.R.G. zona "A" e delle aree inserite nei comparti dei piani di recupero del Comune di Viagrande.

Una stima confrontabile della profondità del substrato è riportata anche nella ricostruzione del tetto del substrato sub-vulcanico riportato nella Carta Morfotettonica dell'Etna (Monaco et al, 2008)(Fig. 26) che, nella zona di Viagrande, vincolerebbe la quota della base delle lave a circa 200 m s.l.m..

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

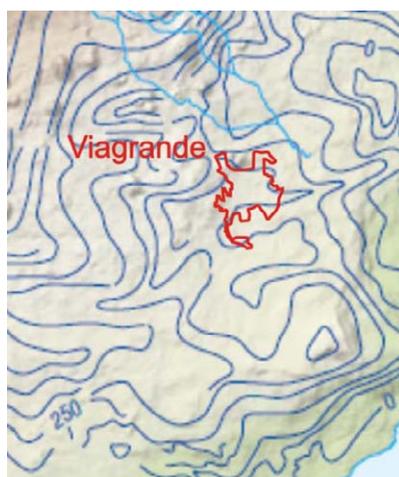


Fig. 26 – Stralcio della Carta delle isoipse del tetto del substrato sedimentario (da Carta Morfotettonica del Monte Etna; Monaco et al., 2008 mod.).

6. Interpretazioni ed incertezze

Nel territorio comunale di Viagrande, i dati pregressi utilizzati si riferiscono a indagini effettuate per lo studio geologico per la redazione del P.R.G. e di una sua variante, e da indagini effettuate per lavori di messa in sicurezza relativi alla Villa dei Principi ‘Turrisi Grifeo Partanna’. 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 a carotaggio continuo disponibili per l’area. Tali indagini sono ubicate lungo una fascia, diretta NNO–SSE, che occupa il settore centrale dell’area di studio.

Gli elaborati cartografici allegati agli studi per il P.R.G. e alla successiva variante al P.R.G. della zona A non hanno fornito informazioni esaustive sulle diverse tematiche trattate. Le carte geologiche hanno seguito fedelmente gli schemi adottati nella

cartografia geologica esistente all'epoca (Carta geologica del Monte Etna scala 1:50.000; AA.VV., 1979; Branca et al., 2011), adottando un dettaglio delle unità litologiche inadeguato a rappresentare la variabilità delle litofacies di interesse per la microzonazione sismica. Conseguentemente, i profili geologici realizzati a corredo della carta (Fig. 21 e 27) risentono di un'eccessiva semplificazione nella definizione dei diversi corpi litologici sovrapposti, non essendo pertanto inseriti nel database di Access denominato "Cdl_tabelle" e rappresentati secondo gli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica Versione 2.0beta-II".

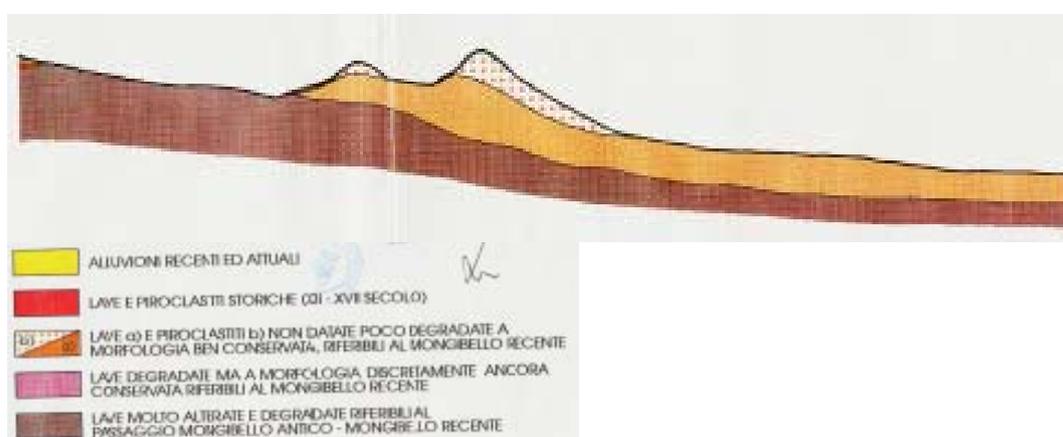


Fig. 27 - Profilo geologico della Carta geologica a supporto del P.R.G..

Alla luce dei dati disponibili e nonostante le integrazioni apportate nel corso degli studi di primo livello è necessario quindi programmare, per i livelli di approfondimento successivi, un rilievo geologico-tecnico dettagliato di tutte le aree interessate.

In questa prima fase si sono trovati elementi di rilievo per la microzonazione nella "Carta litotecnica" (Tav. 6) allegata allo studio geologico per la redazione della variante del P.R.G. zona "A" (Fig. 22), utili alla definizione della distribuzione dei depositi vulcanoclastici, anche se ciò ha comunque richiesto una integrazione di dati originali.

Come già evidenziato in precedenza, nelle fasi di approfondimento successive, è necessario prevedere campagne di indagini di sottosuolo, mirate a vincolare il modello



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

3D dei corpi litologici sepolti sotto le lave recenti, che vadano a colmare il vuoto di informazioni riscontrato su vaste aree del territorio non oggetto dei dati pregressi messi a disposizione dall'amministrazione comunale di Viagrande e dal Dipartimento della Protezione Civile di Catania. I modelli adottati per il primo livello risultano comunque compatibili con i dati e le conoscenze acquisite in tutta la regione limitrofa e con i vincoli imposti dall'evoluzione tettonica e morfologica dell'area etnea.

Per archiviare le stratigrafie dei sondaggi secondo gli “Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica – Versione 2.0beta-II”, si è scelto di reinterpretare i dati sulla base dei rilievi aerofotogrammetrici e, soprattutto, di campagna. Così, i terreni da noi raggruppati all'interno dei prodotti piroclastici (v. **Allegati 1 e 2**) e catalogati con le sigle “GM”, “GW” e “SW”, vengono descritti come “Frammenti di lava scoriacea, con piroclastiti di colore rosso-violaceo”, nell'indagine 087053P1, come “Sabbie sciolte color grigio con presenza di frammenti di lava scoriacea e trovanti lavici”, nelle indagini 087053P2 e 087053P4, come “Vulcanoclastiti di colore rosso mattone e sabbie sciolte color grigio con presenza di trovanti”, nell'indagine 087053P3, ed infine come “Sabbie fini color grigio scuro con presenza di frammenti lava scoriacea”, nelle indagini 087053P5 e 087053P6.

Come visto nel Capitolo 4, è stato possibile determinare le principali caratteristiche fisico-meccaniche di n. 9 campioni prelevati nelle indagini 087053P1 e 087053P2 e rappresentativi delle porzioni massive e scoriacee delle colate laviche. Nelle successive fasi di approfondimento bisognerà dunque analizzare anche i prodotti piroclastici e i depositi alluvionali, sia terrazzati che di conoide. Questi ultimi dovrebbero essere meglio caratterizzati anche dal punto di vista granulometrico e si dovrebbe procedere ad una accurata definizione delle curve isopiezometriche della falda superficiale in tali terreni, al

fine di poter individuare quelle aree potenzialmente soggette a fenomeni di liquefazione (v. Capitolo 7).

Tra i dati provenienti da studi precedenti, particolare interesse è rivestito dai 7 down-hole realizzati nell'area di studio. Analizzando, infatti, le V_s medie nei diversi litotipi, appare evidente che la stratigrafia dei terreni vulcanici degli ultimi metri dalla superficie è caratterizzata da ripetute inversioni delle velocità delle onde sismiche. Questo fenomeno trova conferma nei dati raccolti in aree vulcaniche in occasione di precedenti studi di microzonazione (OPCM 3278/2003) nella zona del comune di Santa Venerina (v. Capitolo 5). Tale prerogativa non rientra nei modelli correntemente applicati nella valutazione delle amplificazioni di tipo stratigrafico e pone molti interrogativi che andranno risolti nelle indagini di approfondimento successive, che dovranno essere volte ad una accurata misura delle V_s nei diversi corpi geologici.

Infine, come visto nel Capitolo 4, i sismostrati caratterizzati da $V_s > 800$ m/s, evidenziati in tre prospezioni sismiche MASW, potrebbero rappresentare le porzioni più profonde delle colate laviche da noi assegnate al substrato geologico. Pertanto, i caratteri del bedrock sismico non solo non interessano le lave di copertura, ma neanche le porzioni più superficiali delle colate laviche basali che, a causa dell'elevata fratturazione e degradazione dei prodotti lavici, mostrano velocità di propagazione delle onde di taglio più basse. Va inoltre sottolineato che l'incertezza sulla natura e sulle caratteristiche dei terreni del substrato pre-vulcanico, impediscono di individuare univocamente il bedrock sismico già a partire dalle lave di base, in quanto queste potrebbero poggiare su livelli a velocità delle onde di taglio inferiori a 800 m/s.

7. Metodologie di elaborazione e risultati

I dati di base e gli elaborati cartografici utilizzati (v. elenco in Capitolo 1), riguardanti diversi aspetti dell'assetto geologico dell'area comunale (geologia, idrogeologia, litotecnica e pericolosità geologica), sono caratterizzati da un dettaglio variabile dalla scala 1:25.000 alla scala 1:10.000. Tutte le carte tematiche sono state



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 georeferenziate ed inserite in un progetto EsriArcGis, ottenendo così la visualizzazione e la sovrapposizione dei diversi elaborati garantendo la corrispondenza delle coordinate geografiche, della scala e quindi delle distanze. Naturalmente, nella stesura degli elaborati cartografici prodotti nel presente studio, il peso delle informazioni di maggiore dettaglio risulta essere preponderante. Per l'individuazione delle coperture detritiche e dei movimenti franosi si è fatto riferimento principalmente all'analisi fotogrammetrica e contemporaneamente al contributo fornito da studi pregressi. Per quanto riguarda invece la mappatura dei terreni affioranti, a seguito di accurate verifiche di terreno unitamente all'analisi di aerofotogrammetrie, si è dovuto procedere ad una sostanziale revisione dei dati forniti. Grazie all'integrazione tra gli accurati rilievi di terreno e le osservazioni derivanti dall'analisi fotogrammetrica è stato possibile ricostruire la successione geolitologica dell'area di studio (v. Capitolo 3).

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

l'amplificazione per effetti topografici e morfologici viene proposta una procedura che, a partire dal Modello Digitale del Terreno (DEM) e attraverso una serie di elaborazioni effettuate utilizzando software GIS, consente di identificare quei pendii caratterizzati da una inclinazione $> 15^\circ$ e da un dislivello superiore a circa 30 m. Il primo step di tale procedura consiste nell'elaborazione di una carta delle inclinazioni in cui vengono distinti due campi con inclinazione minore e maggiore di 15° (Fig. 28). Nel secondo step è stata costruita una carta dell'energia del rilievo, definita come il dislivello massimo (in metri) esistente in ciascuna superficie unitaria (Ciccacci et al., 1988) che nel caso specifico è un quadrato di 100 metri di lato (Fig. 29). L'elaborato mostra che nell'area comunale di Viagrande i pendii con dislivello superiore a 30 m sono rappresentati esclusivamente dal cono eruttivo di Monte Serra ubicato a nord dell'area di studio. Di conseguenza non sono stati individuati pendii soggetti a potenziali fenomeni di amplificazione topografica, come confermato in figura 30, ottenuta combinando le due carte fin qui elaborate. Anche le tre sezioni topografiche in scala 1:5.000 (**Allegato 5**), realizzate ortogonalmente alle scarpate con pendenza maggiore di 15° , mostrano chiaramente che queste ultime non superano i 30 m di altezza.

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

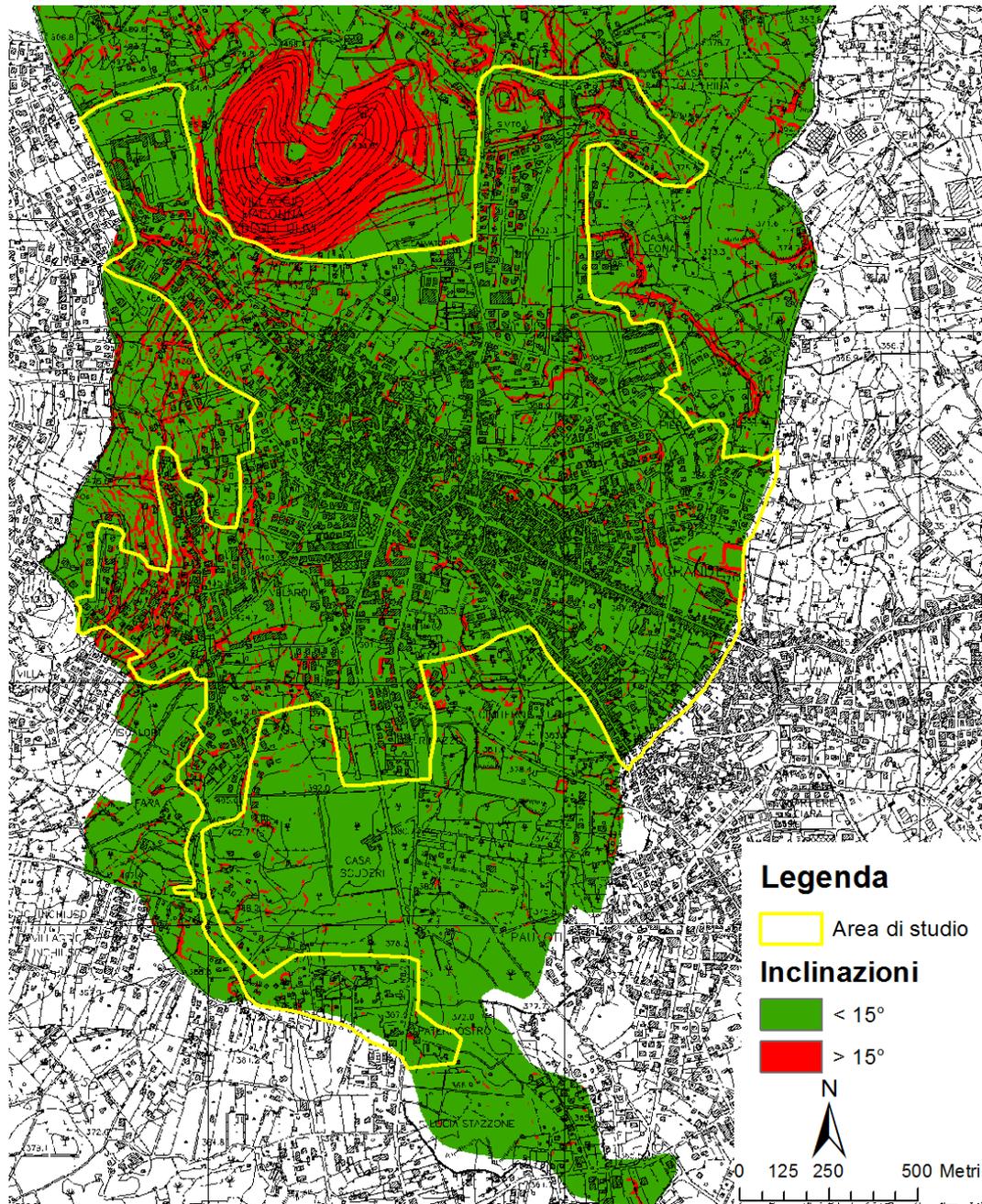


Fig. 28 - Carta delle inclinazioni dell'area di studio. Sono distinte inclinazioni < 15°, in verde, e > 15°, in rosso.

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

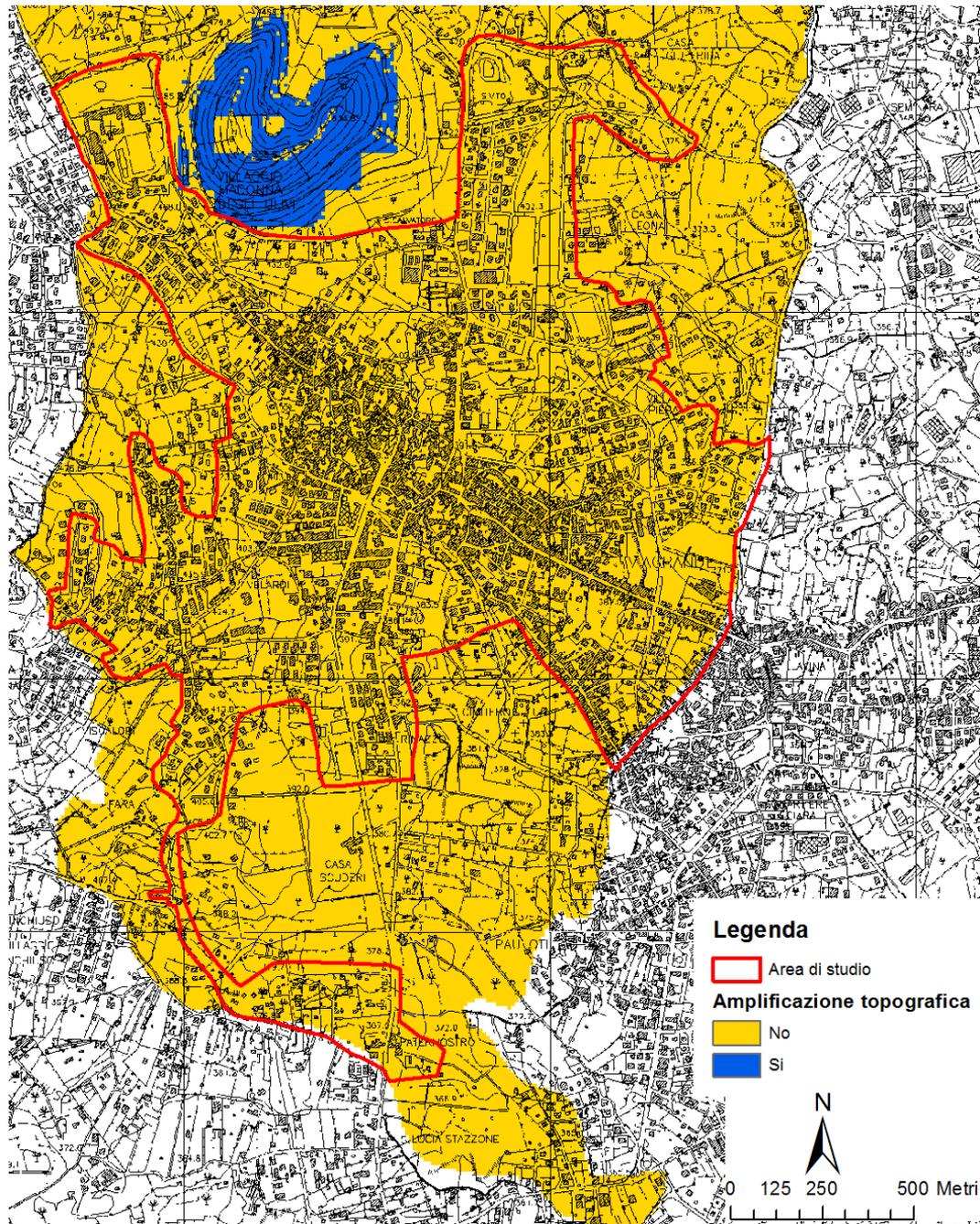


Fig. 30 - Carta dell'amplificazione topografica dell'area di studio. Le aree potenzialmente soggette ad amplificazione topografica sono evidenziate in blu.

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

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. 31):

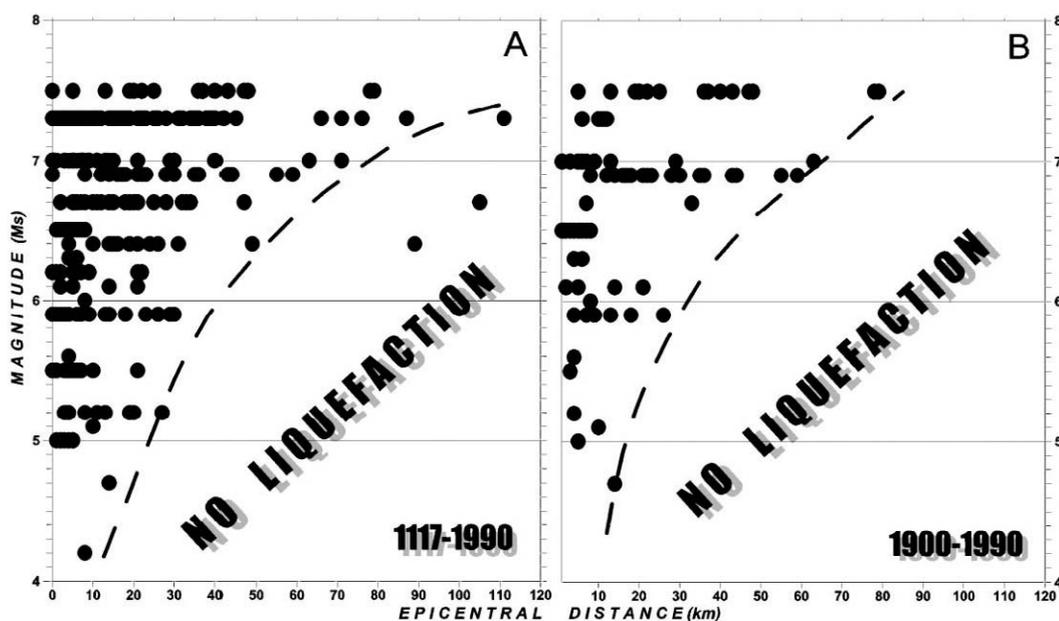


Fig. 31 - Distribuzione di fenomeni di liquefazione indotti da eventi sismici, in termini di Magnitudo e distanza epicentrale, per i periodi 1117-1990 e 1900-1990. (da Galli, 2000).



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

Nell'ambito della zonazione sismogenetica dell'area italiana (Gruppo di lavoro, 2004), il territorio comunale di Viagrande, così come tutta l'area etnea, ricade all'interno della zona 936 (Fig. 32). Questa zona racchiude diversi eventi sismici di Magnitudo medio bassa ($M_w = 3-4$), mentre nel 1818 e nel 1848 si son verificati due terremoti caratterizzati da $M_w \sim 6$ e $M_w \sim 5$, rispettivamente (CPTI11; Rovida et al., 2011). Questi dati trovano conferma nella versione più recente del DISS 3.1.1 (DISS Working Group, 2010) che riporta la presenza della sorgente sismogenica "ITIS106 - Gravina di Catania" orientata NE-SO e caratterizzata da una $M_w = 6$, la cui terminazione orientale si trova circa 3 km a sud dell'area di studio (Fig. 17). Tuttavia in passato l'area di studio è stata seriamente danneggiata dal sisma del 1693, di $M_w \geq 7$ (Postpischl, 1985; Boschi et al, 1995; 1997), verificatisi però nella zona sismogenetica 935. Per finire, nel DISS 3.1.1 (DISS Working Group, 2010), a circa 16 km di distanza nell'*off-shore* ionico, viene segnalata la presenza della sorgente sismogenica "ITDS011 - Western Ionian" (Fig. 17), per la quale dati di Letteratura indicano una $M \geq 7$ (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 Viagrande, questa tipologia di terreni è rappresentata dai depositi alluvionali, sia terrazzati che di conoide, affioranti nel settore occidentale dell'area di studio, e dai prodotti piroclastici cartografati a sud-est e a nord del centro abitato. Per quanto concerne la possibile presenza di falde superficiali all'interno di tali depositi, non essendo in possesso di misure dirette, si è fatto

riferimento alle informazioni disponibili in Letteratura e provenienti dai dati pregressi. Nella Carta idrogeologica del massiccio vulcanico dell'Etna (Ferrara, 2001) il territorio di Viagrande oggetto del presente studio, localizzato ad una quota compresa tra 490 e 370 metri, ricade tra le curve isopiezometriche di 275 e 150 metri (Fig. 33).

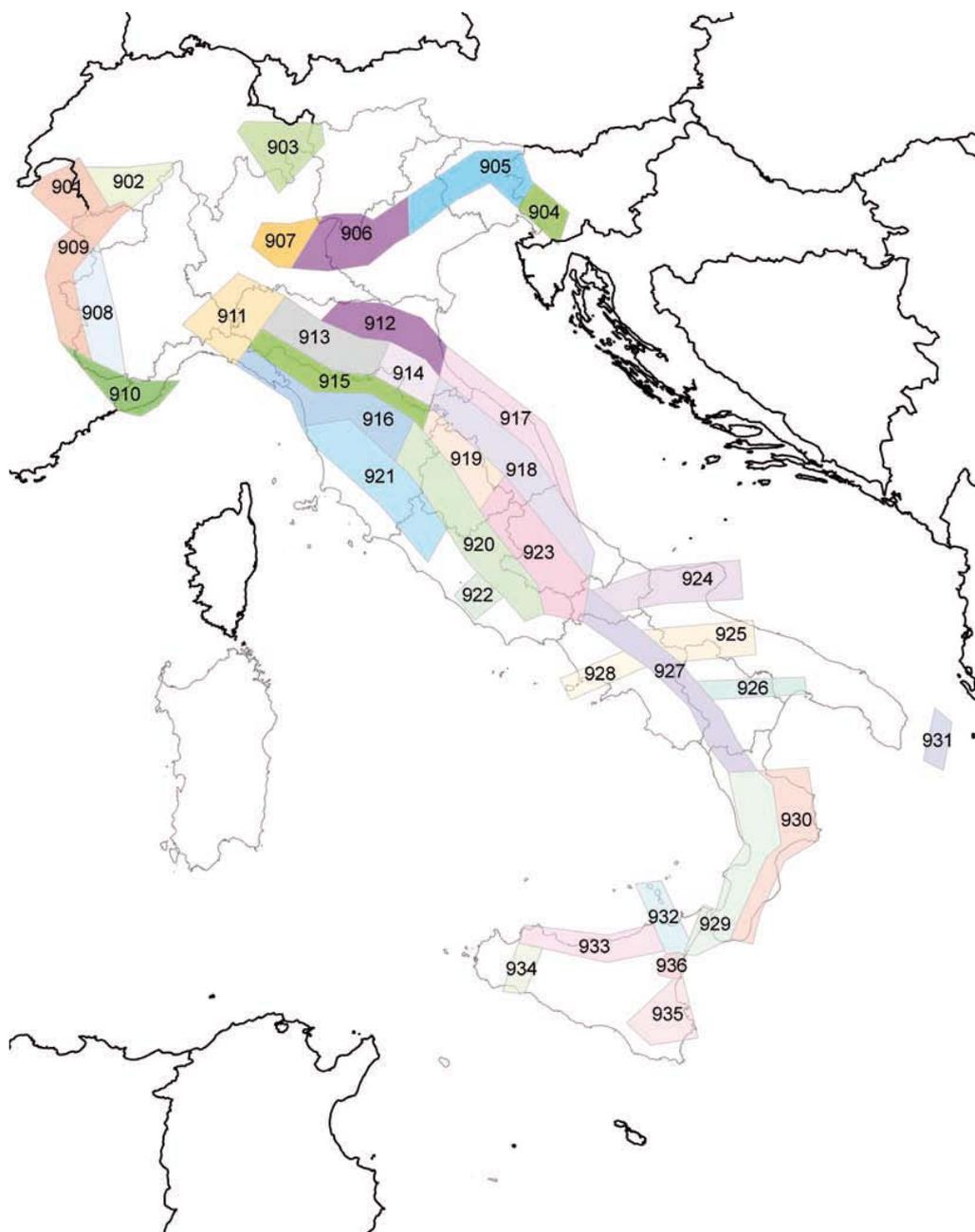


Fig. 32 - Zone sismogenetiche per la mappa di pericolosità sismica di base di riferimento (Gruppo di lavoro, 2004).

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



Fig. 33 – Stralcio della Carta idrogeologica del massiccio vulcanico dell’Etna (Ferrara, 2001 mod).

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

8. Elaborati cartografici

La sintesi delle attività svolte nel primo livello di approfondimento degli studi di microzonazione sismica si configura nella stesura dei seguenti elaborati cartografici: “Carta delle 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 Viagrande e dal Dipartimento della Protezione Civile di Catania, consistono

in indagini puntuali, eseguite esclusivamente in foro, cui si sommano le prove e analisi di laboratorio e in indagini lineari di tipo geofisico. Tutti i dati messi a disposizione, unitamente a quelli acquisiti nel corso del presente studio, sono stati analizzati, archiviati in un database di Access denominato “CdI_tabelle” e rappresentati secondo gli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica Versione 2.0beta-II”. All’interno del database sono stati inseriti 20 “Siti_puntuali” (9 relativi a dati pregressi e 11 a misure HVSR realizzate dall’Università di Catania nel corso del presente studio).

Per quanto riguarda le “Indagini_puntuali” sono state inserite 35 indagini appartenenti a diverse classi:

- “Geologia” – a questa classe appartengono i sondaggi a carotaggio continuo e quelli con prelievo di campioni
- “Geotecnica di laboratorio” – si tratta di analisi effettuate su tre campioni, consistenti in prove di compressione monoassiale e prove di taglio diretto (v. **Allegato 3**)
- “Geofisica” – consta di n.7 indagini down-hole e n. 11 indagini HVSR (v. **Allegati 3 e 4**)

Per quanto riguarda le “Indagini_lineari”, sono state inserite n. 6 prospezioni sismiche MASW. Infine, a causa delle argomentazioni addotte nel Capitolo 6, non è stato possibile inserire n. 3 sezioni geologiche. Per le informazioni sulle geometrie 3D dei diversi corpi geologici nel sottosuolo, si raccomanda di fare riferimento alle sezioni geologiche realizzate nell’**Allegato 1**.

8.2 Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica

Già ampiamente descritta nei capitoli precedenti, la successione geolitologica dell’area di studio è stata ricostruita sulla base della composizione di rilievi geologici a differente scala. Per la ricostruzione delle geometrie dei corpi lavici presenti nell’area si è



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 dovuto ricorrere a rilievi originali per la mancanza di informazioni pregresse indispensabili. I dati di sottosuolo, molto scarsi e mal distribuiti, hanno avuto un ruolo marginale nella ricostruzione della stratigrafia delle unità riportate nella carta. I terreni lavici sono stati assimilati ad unità del substrato (AL) o 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 i terreni vulcanici di copertura si è fatto ricorso a nuovi standard di rappresentazione concordati con la committenza, in attesa di una integrazione delle linee guida nazionali, alla quale si auspica possano utilmente contribuire gli stessi dati contenuti in questo studio. In particolare, sono stati inseriti sia nuovi elementi lineari (limite di colata lavica) che elementi areali (Edificio vulcanoclastico sepolto e ventaglio di lava) che insieme agli altri già previsti, consentono una visualizzazione immediata degli elementi della morfologia sepolta dalle colate laviche.

8.3 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica

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

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

I dati raccolti, non hanno consentito l'identificazione di zone stabili, in quanto in nessun luogo è stato riconosciuto un substrato affiorante con i caratteri di bedrock sismico. La notevole variabilità laterale dei terreni di copertura affioranti ha comportato la definizione di 13 distinte microzone riferite ad aree stabili suscettibili di amplificazione, mentre non è stata individuata alcuna zona suscettibile di instabilità.

La copertura lavica, costituita da colate sovrapposte poggianti su un substrato articolato, laddove non è alternata a depositi clastici, è stata inserita prevalentemente in una unica microzona. In termini realistici, non è prevedibile che l'estrema eterogeneità laterale dei terreni vulcanici si traduca effettivamente in un comportamento omogeneo,



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 come codificato per altri tipi di terreno. E' molto più probabile che il concetto di microzona omogenea, nel caso dei terreni vulcanici vada intesa come area all'interno delle quali i parametri di variazione locale del moto oscillano nell'ambito di intervalli definiti, differenti da quelli di microzone adiacenti. I vari intervalli potranno essere stabiliti solo in seguito alla definizione di un abaco di riferimento che tenga conto, ad esempio, del contributo degli orizzonti scoriacei associati alle colate laviche massive, che determinano l'estrema variabilità laterale e verticale delle litofacies all'interno delle singole colate. A titolo di esempio, si segnala la possibilità che all'interno di una microzona omogenea si possano manifestare effetti di particolare amplificazione lungo determinati allineamenti, come nel caso dei bordi di colata dove le misure di microtremore ambientale hanno evidenziato fenomeni di amplificazione a frequenze relativamente elevate. Un simile comportamento è legato all'estrema eterogeneità laterale di litologia, molto comune in ambiente vulcanico, che andrebbe considerata alla stessa stregua delle variazioni litologiche verticali, già previste negli abachi. E' chiaro che i passaggi laterali si proietterebbero in carta come linee, al contrario dei passaggi verticali che sono già contemplati nella stratigrafia relativa alle singole microzone. Pertanto, in attesa della definizione degli abachi, in aggiunta alle microzone omogenee riportate in carta, si consiglia di considerare tutti i bordi di colata riportati nella Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica come elementi lineari lungo i quali vi è la possibilità di un sostanziale incremento locale dell'amplificazione.

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

- **Zona 1** Colate laviche sovrapposte (a), costituite da campi lavici caratterizzati da un'alternanza di livelli scoriacei e massivi con una notevole variabilità verticale e orizzontale delle litofacies che

poggiano sul substrato geologico fratturato (b) costituito da un'alternanza di colate laviche di base fratturate e prodotti piroclastici e/o livelli di depositi di lahars limoso-sabbiosi brunastri di notevole spessore.

- **Zona 2** Materiale di riporto eterogeneo ed eterometrico costituito da ciottoli e lapilli vulcanici con qualche ciottolo di origine antropica in matrice sabbiosa e limosa con spessori fino a circa 5 m che poggia sulla successione della zona 1.
- **Zona 3** Lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (a), con spessori anche oltre i 20 metri circa che poggiano lungo i fianchi di edifici piroclastici sepolti (b) inclinati di circa 35°, dando luogo localmente a ventagli di lava. Tale successione poggia complessivamente sul substrato geologico fratturato (c).
- **Zona 4** Depositi vulcanoclastici costituiti da sabbie e ghiaie, con spessori che possono superare i 30 m, che danno luogo ad edifici piroclastici che poggiano sulla successione della zona 1, della zona 3 e sulle lave di riempimento di una paleovalle.
- **Zona 5** Lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (a), con spessori fino a 20 metri circa che poggiano sulla successione della zona 4.
- **Zona 6** Depositi alluvionali terrazzati con spessore inferiore ai 10 metri circa, costituiti da sabbie limose con ghiaie e ciottoli vulcanici che poggiano sulle lave della zona 1, sui fianchi e sulle lave di riempimento di una paleovalle.
- **Zona 7** Lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (a), con spessore inferiore ai 10 metri circa, che poggiano sulla successione della zona 6.
- **Zona 8** Materiale di riporto eterogeneo ed eterometrico costituito da ciottoli e lapilli vulcanici con qualche ciottolo di origine antropica in matrice sabbiosa e limosa con spessori fino a circa 5 m che poggia sulla successione della zona 3.
- **Zona 9** Depositi di conoide alluvionale costituiti da sabbie limose con ghiaie con spessore variabile da 0 a 20 metri circa che poggiano sulla successione della zona 6.
- **Zona 10** Depositi di conoide alluvionale costituiti da sabbie limose con ghiaie con spessore variabile da 0 a 20 metri circa che poggiano sulla successione della zona 4.
- **Zona 11** Lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (la) con spessore inferiore ai 10 metri circa che poggiano sulla successione della zona 10.
- **Zona 12** Depositi di conoide alluvionale costituiti da sabbie limose con ghiaie con spessore variabile da 0 a 20 metri circa che poggiano sulla successione della zona 3.
- **Zona 13** Materiale di riporto eterogeneo ed eterometrico costituito da sabbie con presenza di blocchi lavici con spessori fino a circa 7,5 m che poggia sulla successione della zona 9.

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



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

9. Confronto con la distribuzione di danni per eventi passati

Il territorio comunale di Viagrande, 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 sismici passati sono state ottenute consultando il Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1990 (CFTI 2 Boschi et al., 1997) e il Catalogo Macrosismico dei Terremoti Etnei (CMTE; Azzaro et al., 2000; 2006; 2009). Procedendo dal più antico al più recente si elencano:

- Evento del 10 marzo 1669

A causa della violenza e della frequenza delle scosse, la popolazione abbandonò le abitazioni e si accampò all'aperto. Le numerosi fonti analizzate durante la ricerca evidenziano, più o meno direttamente, la correlazione tra le scosse che caratterizzano il periodo sismico e la contemporanea eruzione dell'Etna fu una delle più importanti del periodo.

- Evento dell'11 gennaio 1693

In seguito a questo terremoto l'abitato di Viagrande fu completamente distrutto, ad eccezione di tre case. I morti furono 200 su circa 1600 abitanti in totale.

- Evento del 20 febbraio 1818

La località di Viagrande fu inserita, nel quadro riassuntivo delle perizie, tra quelle in cui si verificarono danni generali alle abitazioni. Tra gli edifici sacri

risultarono danneggiate dalle scosse le chiese di S. Antonio, S. Biagio e S. Maria Addolorata. Le tavole sinottiche, redatte a cura dell'Intendenza di Catania e riproducenti i risultati delle perizie ufficiali, riportarono il numero di 362 case danneggiate. Di queste 1/6 furono classificate come cadute, altrettante come cadenti e i restanti 4/6 come lesionate. Dieci case di abitazione di proprietari meno abbienti necessitarono di interventi per la loro stabilizzazione, consistenti in puntellamenti, demolizioni e ricostruzioni parziali.

- Evento del 25 dicembre 1889

Questo terremoto fu solo avvertito leggermente dalla popolazione e non causò danni ingenti alle abitazioni o alla popolazione. Le fonti segnalano, comunque, che la maggior parte delle case crollate durante questo evento, erano costruite in modo non adeguato o non erano in buone condizioni statiche.

- Evento dell'8 agosto 1894

Questa scossa fu avvertita in maniera netta da parte della popolazione e causò leggere lesioni in alcune case. In tutta l'area colpita dal terremoto si aprirono delle spaccature nel terreno e furono osservate diverse frane.

- Evento del 28 dicembre 1908

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

- Evento dell'8 maggio 1914

Questo evento sismico fu avvertito in maniera molto forte dalla popolazione. Anche in questo caso però non ci sono informazioni sui danni causati agli edifici.

- Evento del 13 dicembre 1990



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

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

- Evento del 31 ottobre 2005

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

Tra gli altri eventi registrati, le scosse di giorno 30 delle ore 05:42 ($M_d = 3.1$) e delle ore 06.06 ($M_d = 1.9$), sono state avvertite lievemente ($I = 3-4$) in numerose località, tra cui Viagrande.

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

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

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

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

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

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

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

Azzaro R., D'Amico S., Tuvè T.; 2011 – Estimate the magnitude 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 Iseismic Maps of Italian Earthquakes*, PFG-CNR, Quad. Ric. Scie. 2A, 114, Bologna.

Basili R., Valensise G., Vannoli P., Burrato P., Fracassi U., Mariano S., Tiberti M.M., Boschi E.; 2008 – The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3:



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77
summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology, *Tectonophysics*, 453,
20–43.

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

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

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

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

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

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

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

Catalano S., Tortorici G.; 2010 – La carta geologica del basso versante orientale del Monte Etna: nuovi vincoli geologici per la ricostruzione del sottosuolo. In “Microzonazione sismica del versante orientale dell’Etna. Studi di primo livello”, Autori Vari. Le Nove Muse Editrice, Catania, 113–141.

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

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

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

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

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

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

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.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Valensise G., Pantosti D.; 1992 – A 125 Kyr-long geological record of seismic source repeatability: the Messina Straits (southern Italy) and the 1908 earthquake ($M_s 7 \frac{1}{2}$). *Terra Nova*, 4, 472–483.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

11. Allegati

Allegato 1 – Sezioni geologiche

Allegato 2 – Sondaggi

Allegato 3 – Dati geotecnici e geofisici

Allegato 4 – Misure di microtremore ambientale

Allegato 5 – Sezioni topografiche

Allegato 6 – Schemi dei rapporti litostratigrafici più significativi

ALLEGATO 1 – SEZIONI GEOLOGICHE

Scala 1:5.000

LEGENDA



Materiale di riporto



Colate laviche storiche e protostoriche



Conoide alluvionale



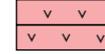
Depositi alluvionali



Colate laviche recenti



Depositi vulcanoclastici

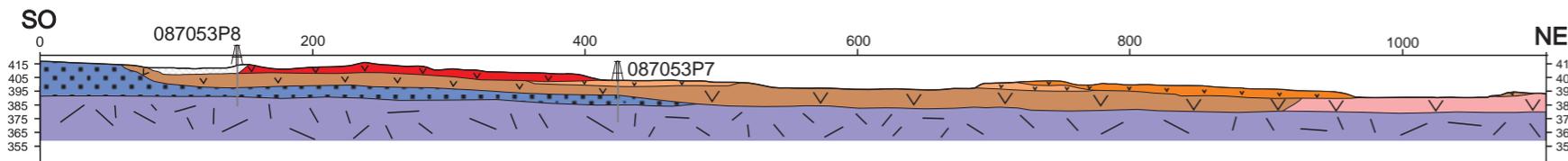


Colate laviche oloceniche

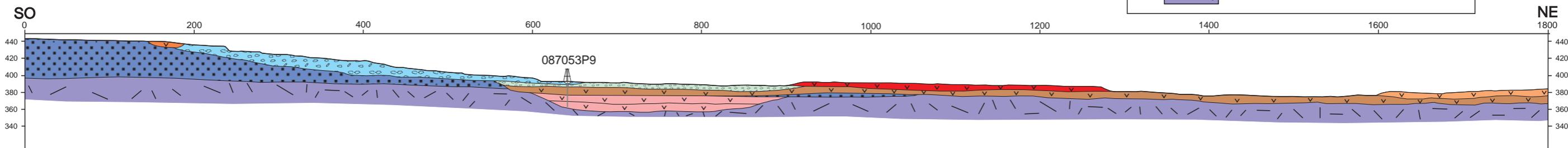


Colate laviche di base

Profilo A - A'

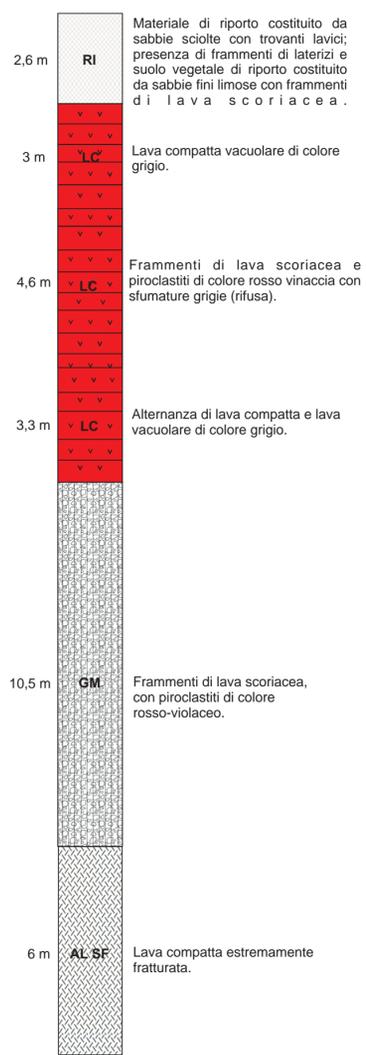


Profilo B - B'

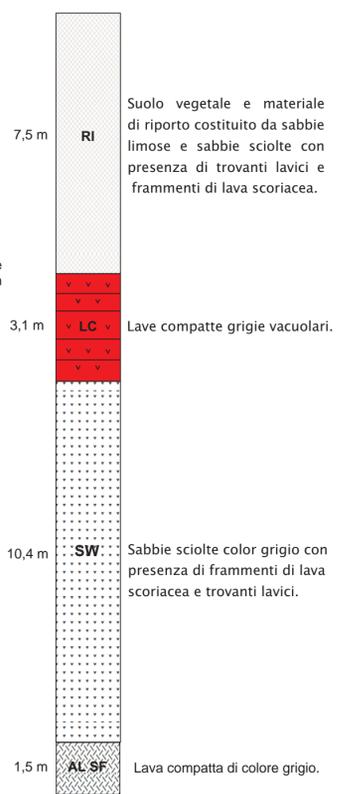


Allegato 2 – Sondaggi

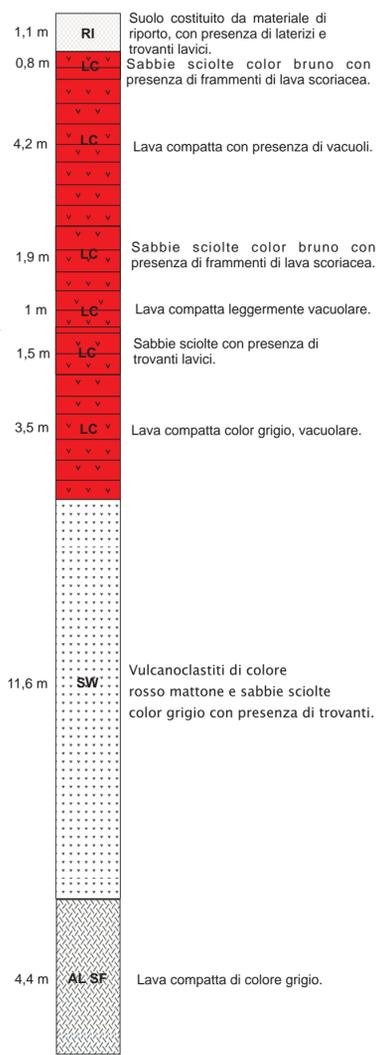
Sondaggio 087053P1



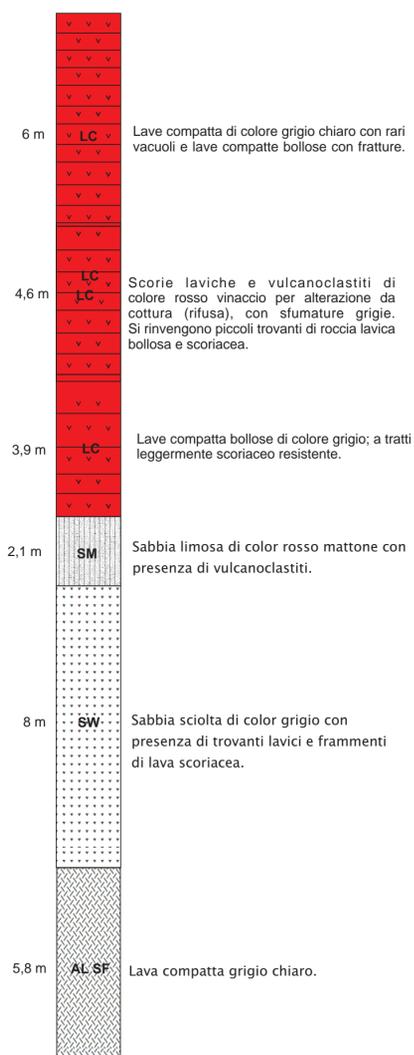
Sondaggio 087053P2



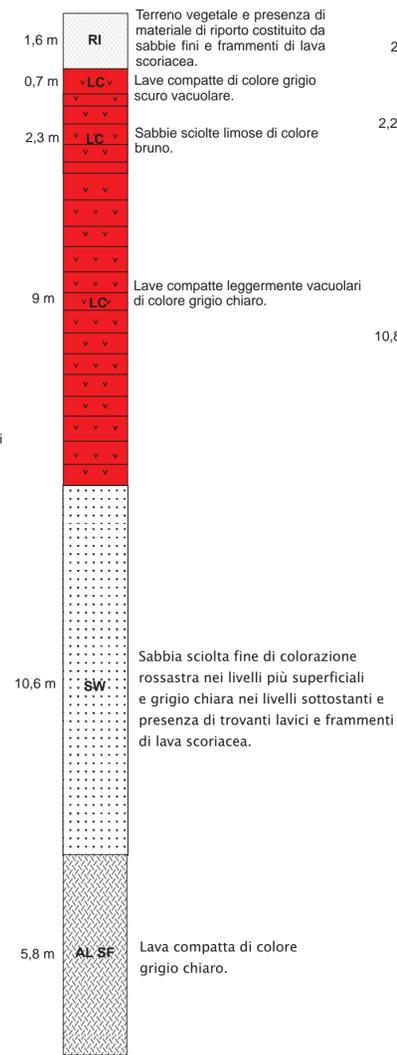
Sondaggio 087053P3



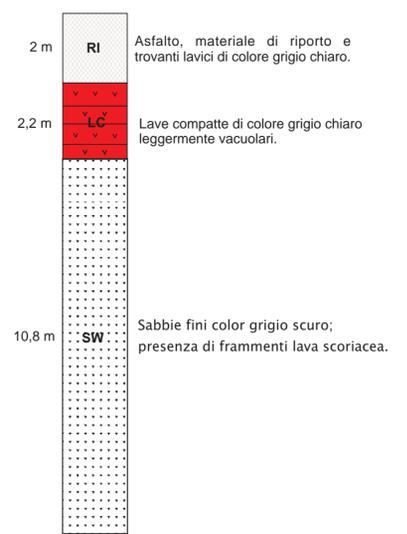
Sondaggio 087053P4



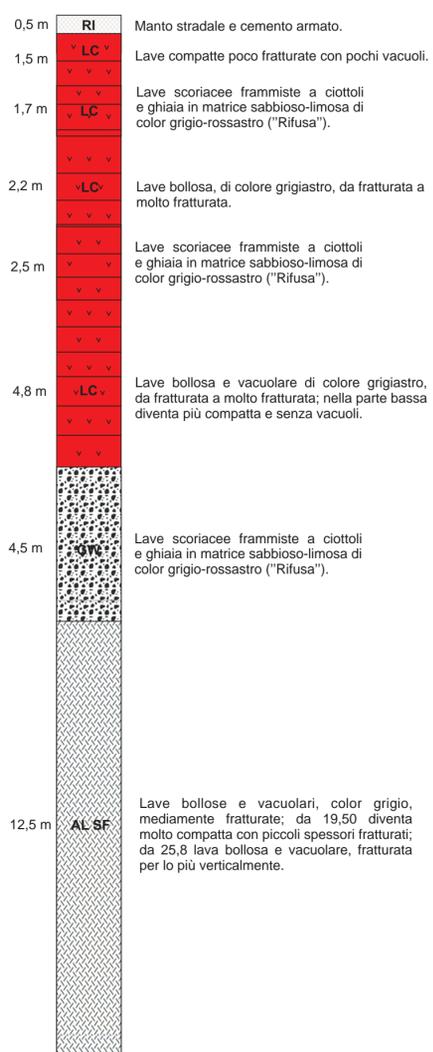
Sondaggio 087053P5



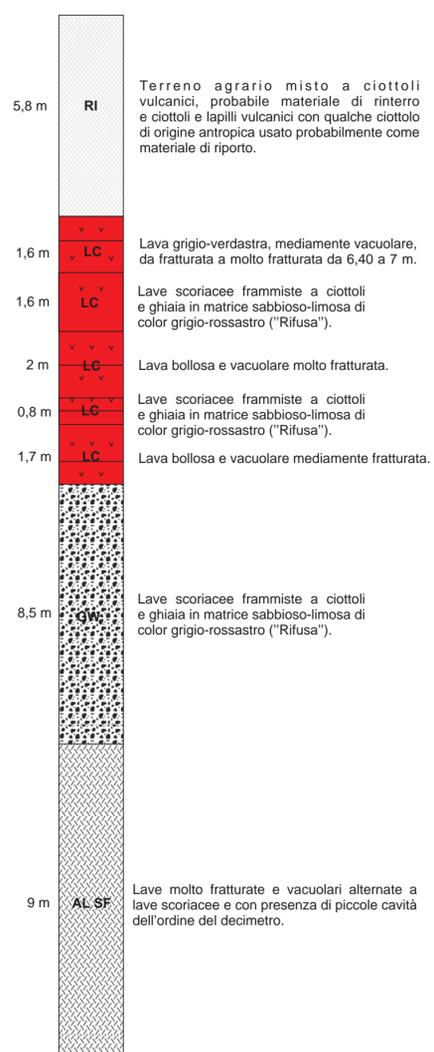
Sondaggio 087053P6



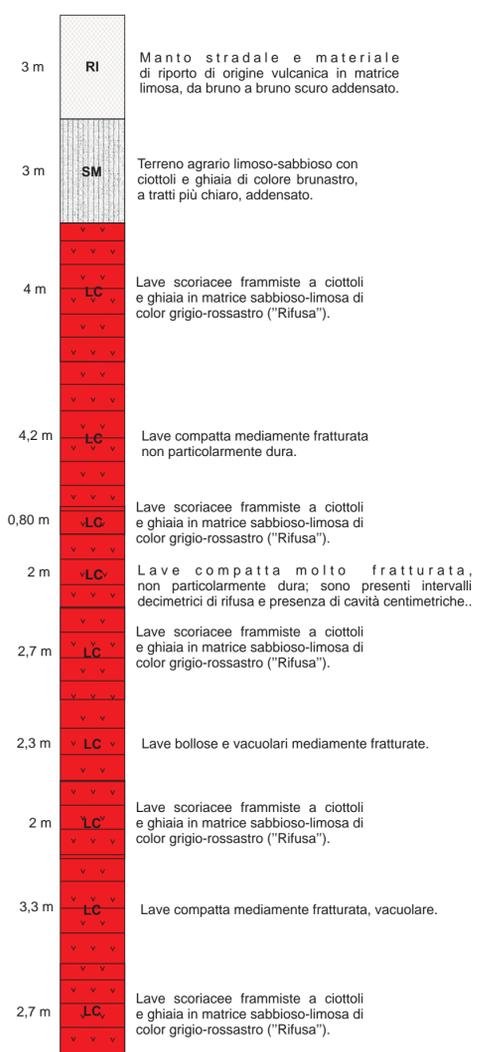
Sondaggio 087053P7



Sondaggio 087053P8



Sondaggio 087053P9



Allegato 3 – Dati geotecnici e geofisici

Litotipo	descrizione litotipo	Parametri geotecnici	
		Peso di Volume PV [KN/m ³]	angolo di attrito ϕ
LC	Prevalenti prodotti vulcanoclastici e/o "rifusa", granulometricamente assimilabili a ghiaie sabbiose con ciottoli e blocchi, associati subordinatamente e localmente a bancate di lave più o meno fessurate	20 - 22	35° - 38°
	Prevalenti lave più o meno fessurate massive e/o in bancate, associate subordinatamente e localmente, in maniera discontinua e casuale sia arealmente che verticalmente, a prodotti vulcanoclastici e scoriacei	22 - 24	38° - 40°

Tabella 1: Principali parametri geotecnici dei litotipi affioranti estrapolati dalla Carta Litotecnica redatta a sostegno dello “Studio Geologico per la redazione della variante al P.R.G. zona “A” e nella aree inserite nei comparti dei piani di recupero” per il Comune di Viagrande. Dati desunti dalla Letteratura geologica.

ID_INDPU - Sondaggio	ID_PARPU - Campione	Descrizione litotipo	intervallo prelievo campione (m)	PV umido [γ_w (KN/m ³)]	Prova di compressione monoassiale			Prova taglio diretto C. D.	
					geometria e dimensioni (cm)	area di carico [cm ²]	carico a rottura [MPa]	coesione [c (Mpa)]	angolo di attrito ϕ
087053P1SS1	087053P1SC2CAM5	Roccia basaltica compatta di colore grigio con rari vacuoli ($1 < \phi < 2$ mm)	3,30 - 3,60	26,29	cilindrica $\phi = 8,13$ $h = 16.31$	51,91	86,90		
087053P1SS1	087053P1SC2CAM6	scorie laviche sabbiose medio fini grigio chiaro - rossastre con frammenti di lava scoriacea brecciata grigio e marrone	9,00 - 9,50	18,14				0,00	35,3°
087053P2SS6	087053P2SC7CAM92	scorie laviche sabbiose medio fini grigio chiaro con frammenti di lava scoriacea brecciata grigio e marrone	5,00 - 5,50	18,14				0,00	37,8°
087053P2SS6	087053P2SC7CAM93	roccia basaltica bollosa di colore grigio con vacuoli ($1 < \phi < 35$ mm)	7,50 - 7,60	20,15	cilindrica $\phi = 8,15$ $h = 16.21$	52,17	43,30		
087053P2SS6	087053P2SC7CAM94	scorie laviche sabbiose medio fini grigio chiaro - rossastre con frammenti di lava scoriacea brecciata grigio e marrone	11,25 - 12,00	18,14				0,00	33,4°

Tabella 2: Principali parametri geotecnici ottenuti attraverso analisi di laboratorio eseguite su campioni rimaneggiati prelevati durante la campagna di indagini geognostiche nell’ambito del “progetto di messa in sicurezza della Villa dei Principi Turrisi – Grifeo – Partanna”, sita nel Comune di Viagrande.

- Esecuzione di sondaggi sismici in foro (down hole)

ID_INDPU: 087053P1DH5											
Profondità (m)	Tp [msec]	Tp corretto	Ts [msec]	Ts corretto	densità [g/cm3]	Velocità onde P [Vp (m/s)]	Velocità onde S [Vs (m/s)]	Coeff. Poisson	Modulo di taglio [G (Mpa)]	Modulo di Young [E (Mpa)]	Mdulo di Bulk [K (Mpa)]
2,0	4,34	3,88	10,21	9,13	1,80	515	219	0,390	84,33719	235,3596	353,0394
4,0	5,35	5,19	11,98	11,62	2,20	1534	803	0,311	1372,931	3628,4605	3236,1945
6,0	6,56	6,47	14,21	14,02	2,20	1556	835	0,298	1470,9975	3922,66	3236,1945
8,0	8,36	8,3	17,67	17,53	1,90	1096	569	0,316	598,20565	1569,064	1470,9975
10,0	10,45	10,4	22,04	21,93	1,90	951	455	0,352	382,45935	1078,7315	1176,798
12,0	11,43	11,39	23,76	23,68	2,20	2015	1145	0,262	2843,9285	7158,8545	5001,3915
14,0	12,65	12,62	26	25,93	2,20	1630	887	0,290	1667,1305	4412,9925	3432,3275
16,0	14,62	14,59	30,21	30,15	1,90	1013	474	0,360	421,68595	1176,798	1372,931
18,0	17,02	16,99	25,22	25,17	1,90	833	399	0,351	294,1995	804,1453	892,40515
20,0	19,5	19,48	40,11	40,06	1,90	806	409	0,327	313,8128	823,7586	794,33865
22,0	21,7	21,68	44,78	44,73	1,90	908	428	0,357	343,23275	921,8251	1078,7315
24,0	23,89	23,87	49,65	49,61	1,90	913	410	0,373	313,8128	862,9852	1176,798
26,0	24,93	24,91	51,7	51,66	2,20	1919	973	0,327	2059,3965	5393,6575	5197,5245
28,0	26,02	26	53,75	53,72	2,20	1832	974	0,303	2059,3965	5295,591	4511,059
30,0	27,1	27,08	55,74	55,71	2,20	1849	1003	0,291	2157,463	5589,7905	4511,059

ID_INDPU: 087053P3DH13											
Profondità (m)	Tp [msec]	Tp corretto	Ts [msec]	Ts corretto	densità [g/cm3]	Velocità onde P [Vp (m/s)]	Velocità onde S [Vs (m/s)]	Coeff. Poisson	Modulo di taglio [G (Mpa)]	Modulo di Young [E (Mpa)]	Mdulo di Bulk [K (Mpa)]
2,0	3,97	3,55	9,21	8,24	1,8	563	243	0,386	107,87315	284,39285	421,68595
4,0	4,89	4,74	11,89	11,53	2,2	1676	607	0,425	794,33865	2255,5295	5001,3915
6,0	5,98	5,9	15,05	14,85	2,2	1732	604	0,431	784,532	2255,5295	5393,6575
8,0	8,3	8,24	18	17,86	1,9	856	663	-0,252	823,7586	1274,8645	274,5862
10,0	9,76	9,71	21,55	21,44	1,9	1355	558	0,398	578,59235	1667,1305	2647,7955
12,0	10,88	10,84	24,56	24,48	2,2	1769	660	0,419	941,4384	2647,7955	5491,724
14,0	11,85	11,82	28,32	28,25	2,2	2046	530	0,464	608,0123	1765,197	8237,586
16,0	13,67	13,64	31,21	31,15	1,9	1097	689	0,173	882,5985	2059,3965	1078,7315
18,0	15,87	15,85	35,21	35,16	1,9	908	499	0,284	460,91255	1176,798	921,8251
20,0	17,66	17,64	38,22	38,17	1,9	1116	663	0,227	823,7586	1961,33	1274,8645
22,0	19,66	19,64	41,55	41,51	1,9	999	600	0,218	666,8522	1667,1305	970,85835
24,0	21,87	21,85	44,61	44,57	1,9	904	653	-0,043	794,33865	1470,9975	460,91255
26,0	23,5	23,48	47,78	47,74	1,9	1226	630	0,32	735,49875	1961,33	1765,197
28,0	24,51	24,49	50,78	50,75	2,2	1977	666	0,436	961,0517	2745,862	7158,8545
30,0	25,39	25,38	54,21	54,18	2,2	2269	583	0,465	735,49875	2157,463	9806,65

ID_INDPU: 087053P4DH15											
Profondità (m)	Tp [msec]	Tp corretto	Ts [msec]	Ts corretto	densità [g/cm3]	Velocità onde P [Vp (m/s)]	Velocità onde S [Vs (m/s)]	Coeff. Poisson	Modulo di taglio [G (Mpa)]	Modulo di Young [E (Mpa)]	Mdulo di Bulk [K (Mpa)]
2,0	2,5	2,24	5,86	5,24	1,9	894	382	0,389	274,5862	755,11205	1176,798
4,0	3,33	3,23	7,31	7,09	2,2	2011	1081	0,297	2549,729	6570,4555	5393,6575
6,0	4,11	4,05	8,74	8,62	2,2	2429	1308	0,296	3726,527	9610,517	7845,32
8,0	5,88	5,83	12,34	12,24	1,9	1123	552	0,341	568,7857	1569,064	1569,064
10,0	7,81	7,77	16,26	16,18	1,9	1033	508	0,34	480,52585	1274,8645	1372,931
12,0	8,75	8,72	18	17,94	2,2	2109	1137	0,295	2745,862	7256,921	5883,99
14,0	9,64	9,62	19,88	19,83	2,2	2233	1057	-	2451,6625	6570,4555	7551,1205
16,0	10,88	10,86	22,3	22,26	1,9	1609	824	0,322	1274,8645	3334,261	3138,128
18,0	12,87	12,85	26,43	26,39	1,9	1004	484	0,349	431,4926	1176,798	1274,8645
20,0	14,54	14,52	30,21	30,17	1,9	1196	529	0,379	519,75245	1470,9975	1961,33
22,0	16,43	16,41	34,5	34,46	1,9	1058	466	0,38	402,07265	1078,7315	1569,064
24,0	18,12	18,1	38,23	38,2	1,9	1183	536	0,371	539,36575	1470,9975	1863,2635
26,0	19,11	19,1	40,21	40,18	2,2	2017	1008	0,333	2157,463	5883,99	5883,99
28,0	20,03	20,02	42,32	42,29	2,2	2171	947	0,383	1961,33	5393,6575	7551,1205
30,0	21,06	21,05	44,4	44,38	2,2	1940	960	0,338	1961,33	5295,591	5491,724

ID_INDPU: 087053P5DH17											
Profondità (m)	Tp [msec]	Tp corretto	Ts [msec]	Ts corretto	densità [g/cm3]	Velocità onde P [Vp (m/s)]	Velocità onde S [Vs (m/s)]	Coeff. Poisson	Modulo di taglio [G (Mpa)]	Modulo di Young [E (Mpa)]	Mdulo di Bulk [K (Mpa)]
2,0	7,6	6,8	17,11	15,3	1,8	294	131	0,377	30,400615	83,356525	107,87315
4,0	8,99	8,72	20,02	19,42	1,9	1040	486	0,36	441,29925	1176,798	1470,9975
6,0	10,62	10,48	23,57	23,25	1,9	1140	523	0,367	509,9458	1372,931	1765,197
8,0	12,02	11,93	26,1	25,9	2,2	1378	755	0,285	1274,8645	3138,128	2451,6625
10,0	13,32	13,25	28,54	28,4	2,2	1507	800	0,304	1372,931	3628,4605	3040,0615
12,0	14,11	14,06	30,03	29,93	2,2	2477	1309	0,306	3726,527	9610,517	8335,6525
14,0	15,11	15,07	31,88	31,8	2,2	1980	1068	0,295	2451,6625	6374,3225	5197,5245
16,0	16,89	16,86	35,5	35,43	1,9	1120	551	0,341	568,7857	1470,9975	1569,064
18,0	18,97	18,94	39,98	39,92	1,9	960	446	0,363	372,6527	980,665	1176,798
20,0	20,65	20,62	43,41	43,36	1,9	1188	582	0,342	627,6256	1667,1305	1765,197
22,0	22,87	22,85	47,95	47,9	1,9	900	440	0,343	362,84605	970,85835	980,665
24,0	24,66	24,64	52,03	51,98	1,9	1116	490	0,381	451,1059	1274,8645	1765,197
26,0	25,89	25,87	54,28	54,24	2,2	1623	887	0,287	1667,1305	4412,9925	3432,3275
28,0	26,71	26,69	55,79	55,75	2,2	2433	1321	0,291	3726,527	9708,5835	7747,2535
30,0	27,61	27,59	57,4	57,37	2,2	2218	1239	0,273	3334,261	8433,719	6178,1895

Tabelle 3-6: Tabelle dei valori di velocità delle onde sismiche e dei parametri elastici relativi all'esecuzione di n. 4 prove down hole in foro realizzate durante la campagna di indagini geognostiche eseguite per il "progetto di messa in sicurezza della Villa dei Principi Turrisi – Grifeo – Partanna", sita nel Comune di Viagrande.

- Esecuzione di sondaggi sismici in foro (down hole)

ID_INDPU: 087053P7DH20													
Profondità (m)	Tp [msec]	Ts [msec]	Tp corretto	Ts corretto	Velocità onde P [Vp(m/s)]	Velocità onde S [Vs(m/s)]	γ^* [g/cm ³]	Modulo di taglio [G (Mpa)]	Mdulo di Bulk [K (Mpa)]	Modulo di Young [E (Mpa)]	Coeff. Poisson	Vp/Vs	Impedenza sismica Kg*cm ⁻² *sec
2,0	2,43	5,1	1,52	3,19	1317,52	627,76	1,90	749,228	2304,6	2030,0	0,35	2,10	1,19
4,0	4,1	8,4	3,48	7,12	1021,04	507,97	1,90	490,333	1323,9	1314,1	0,34	2,01	0,97
6,0	5,6	10,9	5,17	10,06	1181,73	680,65	1,90	880,637	1480,8	2206,5	0,25	1,74	1,29
8,0	7,17	15,2	6,84	14,51	1194,46	449,79	1,90	384,421	2196,7	1088,5	0,42	2,66	0,85
10,0	8,7	19,2	8,44	18,63	1252,65	485,6	1,95	459,932	2441,9	1294,5	0,41	2,58	0,95
12,0	10,1	23,33	9,89	22,84	1381,73	474,73	1,95	439,338	3138,1	1255,3	0,43	2,91	0,93
14,0	11,6	28,1	11,42	27,66	1305,77	414,7	1,90	326,561	2804,7	943,4	0,44	3,15	0,79
16,0	13,07	31,6	12,91	31,22	1338,73	561,99	1,90	600,167	2608,6	1667,1	0,39	2,38	1,07
18,0	14,4	34,22	14,26	33,89	1481,73	748,09	1,95	1088,538	2824,3	2902,8	0,33	1,98	1,46
20,0	15,87	37,73	15,75	37,44	1347,38	564,33	2,10	668,814	2922,4	1863,3	0,39	2,39	1,19
22,0	17,2	40,9	17,09	40,64	1489,69	625,04	2,10	820,817	3569,6	2284,9	0,39	2,38	1,31
24,0	18,57	43,75	18,47	43,51	1449,22	695,39	2,10	1019,892	3059,7	2745,9	0,35	2,08	1,46
26,0	19,73	46,53	19,64	46,32	1710,34	713,82	2,00	1019,892	4491,4	2843,9	0,39	2,40	1,43
28,0	20,9	49,1	20,82	48,91	1698,13	772,48	2,00	1196,411	4177,6	3265,6	0,37	2,20	1,54
30,0	22,03	51,55	21,95	51,37	1759,46	810,87	2,00	1314,091	4442,4	3589,2	0,37	2,17	1,62
* il valore di γ è stimato													

ID_INDPU: 087053P8DH22													
Profondità (m)	Tp [msec]	Ts [msec]	Tp corretto	Ts corretto	Velocità onde P [Vp(m/s)]	Velocità onde S [Vs(m/s)]	γ^* [g/cm ³]	Modulo di taglio [G (Mpa)]	Mdulo di Bulk [K (Mpa)]	Modulo di Young [E (Mpa)]	Coeff. Di Poisson	Vp/Vs	Impedenza sismica Kg*cm ⁻² *sec
2,0	4,33	9,2	3,46	7,36	577,37	271,74	1,80	133,37	422,67	360,88	0,36	2,12	0,49
4,0	7,37	14,53	6,9	13,6	581,95	320,26	1,80	184,37	363,83	473,66	0,28	1,82	0,58
6,0	9,93	19,03	9,63	18,46	731,86	411,78	1,90	322,64	588,40	816,89	0,27	1,78	0,78
8,0	12	24,15	11,79	23,74	925,52	379,18	1,85	265,76	1225,83	744,32	0,4	2,44	0,7
10,0	14,07	27,85	13,91	27,54	943,45	525,55	1,95	538,39	1019,89	1372,93	0,28	1,8	1,02
12,0	16,13	31,63	16,01	31,39	956,43	520,31	1,95	527,60	1078,73	1363,12	0,29	1,84	1,01
14,0	18,27	36	18,17	35,8	925,67	453,58	1,90	391,29	1108,15	1049,31	0,34	2,04	0,86
16,0	20,27	40,8	20,18	40,62	992,32	414,36	1,90	326,56	1431,77	910,06	0,39	2,39	0,79
18,0	22	46,05	21,92	45,89	1147,78	379,57	1,90	273,61	2137,85	787,47	0,44	3,02	0,72
20,0	23,43	50,67	23,36	50,53	1388,53	431,3	1,90	353,04	3187,16	1019,89	0,45	3,22	0,82
22,0	24,67	54	24,61	53,87	1601,95	597,58	1,95	696,27	4079,57	1980,94	0,42	2,68	1,17
24,0	25,87	57,2	25,82	57,09	1657,33	622,34	2,00	774,73	4462,03	2196,69	0,42	2,66	1,24
26,0	27,33	59,87	27,28	59,77	1365,18	745,71	2,00	1108,15	2245,72	2863,54	0,29	1,83	1,49
28,0	28,8	62,67	28,76	62,58	1356,73	711,83	2,10	1068,92	2441,86	2785,09	0,31	1,91	1,49
30,0	30,05	65,24	30,01	65,16	1595,22	775,69	2,10	1265,06	3657,88	3402,91	0,35	2,06	1,63
* il valore di γ è stimato													

ID_INDPU: 087053P9DH24													
Profondità (m)	Tp [msec]	Ts [msec]	Tp corretto	Ts corretto	Velocità onde P [Vp(m/s)]	Velocità onde S [Vs(m/s)]	γ^* [g/cm ³]	Modulo di taglio [G (Mpa)]	Mdulo di Bulk [K (Mpa)]	Modulo di Young [E (Mpa)]	Coeff. Di Poisson	Vp/Vs	Impedenza sismica Kg*cm ⁻² *sec
2,0	3,8	7,83	3,04	6,26	657,89	319,28	1,80	183,38	534,46	494,26	0,35	2,06	0,57
4,0	6,43	14,05	6,02	13,16	671,01	290,22	1,80	152,00	608,01	419,72	0,38	2,31	0,52
6,0	8,57	19,17	8,31	18,6	872,02	367,5	1,85	250,07	1068,92	695,29	0,39	2,37	0,68
8,0	10,75	24,1	10,57	23,69	888,2	392,96	1,90	293,22	1108,15	809,05	0,38	2,26	0,75
10,0	12,67	27,93	12,53	27,62	1018,36	508,42	1,90	491,31	1314,09	1314,09	0,33	2	0,97
12,0	14,13	31,27	14,02	31,03	1341,33	586,93	1,95	671,76	2608,57	1853,46	0,38	2,29	1,14
14,0	15,57	34,62	15,48	34,42	1369,39	589,2	1,95	676,66	2755,67	1873,07	0,39	2,32	1,15
16,0	16,9	37,87	16,83	37,7	1487,18	609,44	1,95	724,71	3344,07	2029,98	0,4	2,44	1,19
18,0	18,87	41,7	18,8	41,56	1010,82	519,31	1,90	511,91	1255,25	1353,32	0,32	1,95	0,99
20,0	20,6	44,93	20,54	44,8	1151,09	615,72	1,95	739,42	1598,48	1922,10	0,3	1,87	1,2
22,0	22,23	47,95	22,18	47,84	1222,34	659,03	1,90	824,74	1735,78	2137,85	0,3	1,85	1,25
24,0	23,7	50,57	23,65	50,47	1355,62	759,71	1,95	1127,76	2079,01	2863,54	0,27	1,78	1,48
26,0	24,94	53,1	24,9	53,01	1606,75	787,3	2,00	1235,64	3510,78	3324,45	0,34	2,04	1,57
28,0	26,07	55,67	26,03	55,59	1763,55	775,66	2,10	1265,06	4844,49	3491,17	0,38	2,27	1,63
30,0	27,15	58,2	27,12	58,13	1845,95	788,3	1,90	1176,80	4903,33	3275,42	0,39	2,34	1,5

* il valore di γ è stimato

Table 7-9: Tables of seismic wave velocities and elastic parameters relative to the execution of n. 3 down hole tests in boreholes realized during the geophysical investigation campaign carried out for the redaction of the "Detailed Plans of the P.R.G." of the Municipality of Viagrande.

ID_INDPU: 087053P7DH20

Intervallo profondità (m)	Spessore strati hi (m)	Velocità onda S vi (m/s)	Rapporto spessore velocità hi/vi
0-2	2	627,76	0,00319
2-4	2	507,97	0,00394
4-6	2	680,65	0,00294
6-8	2	449,79	0,00445
8-10	2	485,60	0,00412
10-12	2	474,73	0,00421
12-14	2	414,70	0,00482
14-16	2	561,99	0,00356
16-18	2	748,09	0,00267
18-20	2	564,33	0,00354
20-22	2	625,04	0,00320
22-24	2	695,39	0,00288
24-26	2	713,82	0,00280
26-28	2	772,48	0,00259
28-30	2	810,87	0,00247
h totale:	30	Σ hi/vi:	0,05137
$V_{s30} = 30 / 0,05137 = 583,98 \text{ m/s}$			

ID_INDPU: 087053P8DH22

Intervallo profondità (m)	Spessore strati hi (m)	Velocità onda S vi (m/s)	Rapporto spessore velocità hi/vi
0-2	2	271,74	0,00736
2-4	2	320,26	0,00624
4-6	2	411,78	0,00486
6-8	2	379,18	0,00527
8-10	2	525,55	0,00381
10-12	2	520,31	0,00384
12-14	2	453,58	0,00441
14-16	2	414,36	0,00483
16-18	2	379,57	0,00527
18-20	2	431,30	0,00464
20-22	2	597,58	0,00335
22-24	2	622,34	0,00321
24-26	2	745,71	0,00268
26-28	2	711,83	0,00281
28-30	2	775,69	0,00258
h totale:	30	Σ hi/vi:	0,06516
$V_{s30} = 30 / 0,06516 = 460,42 \text{ m/s}$			

ID_INDPU: 087053P9DH24

Intervallo profondità (m)	Spessore strati hi (m)	Velocità onda S vi (m/s)	Rapporto spessore velocità hi/vi
0-2	2	319,28	0,00626
2-4	2	290,22	0,00689
4-6	2	367,50	0,00544
6-8	2	392,96	0,00509
8-10	2	508,42	0,00393
10-12	2	586,93	0,00341
12-14	2	589,20	0,00339
14-16	2	609,44	0,00328
16-18	2	519,31	0,00385
18-20	2	615,72	0,00325
20-22	2	659,03	0,00303
22-24	2	759,71	0,00263
24-26	2	787,30	0,00254
26-28	2	775,66	0,00258
28-30	2	788,30	0,00254
h totale:	30	Σ hi/vi:	0,05813
$V_{s30} = 30 / 0,05813 = 516,11 \text{ m/s}$			

Tabelle 10-12: Tabelle riportate dalla relazione “Report_geofisica_Viagrande” relative alla redazione dei “Piani Particolareggiati del P.R.G.” del Comune di Viagrande. Calcolo del parametro VS30 relativamente alle indagini riportate nelle tabelle 7-9, a seguito del quale il sottosuolo è stato inserito, in tutti e 3 i casi, nella categoria “B”, come previsto dalle nuove “N.T.C” emanate con D.M. del 14 Gennaio 2008.

- Studio del parametro R.Q.D.

ID_INDPU: 087053P1SS1						
Litologia	Descrizione litotipo	Intervallo profondità (m)	Profondità top (m)	Profondità bottom (m)	spessore battuta (m)	R.Q.D. (%)
LC	lava compatta vacuolare di colore grigio. I vacuoli, molto frequenti, hanno diametro di 2 - 3 mm	2,60 - 3,40	2,60	5,60	3,00	49
	lava compatta di colore grigio poco vacuolare	3,40 - 5,30				
	lava scoriacea, vacuolare, di colore grigio con sfumature rosso vinaccia	5,30 - 5,60				
	lava bollosa con vacuoli di diametro di 3-10 mm che nelle sezioni inferiori diminuiscono di diametro ma aumentano in percentuale	10,20 - 11,20	10,20	13,30	3,10	70
	lava compatta di colore grigio	11,20 - 12,00				
	lava bollosa	12,00 - 12,40				
	lava compatta di colore grigio	12,40 - 13,30				

ID_INDPU: 087053P2SS6						
Litologia	Descrizione litotipo	Intervallo profondità (m)	Profondità top (m)	Profondità bottom (m)	spessore battuta (m)	R.Q.D. (%)
LC	lava compatta di colore grigio con vacuoli di medie dimensioni aventi diametro compreso fra 20 e 30 mm	7,50 - 10,60	7,50	10,60	3,10	26
AL	lava compatta di colore grigio	21,00 - 22,50	21,00	22,50	1,50	56

ID_INDPU: 087053P3SS12						
Litologia	Descrizione litotipo	Intervallo profondità (m)	Profondità top (m)	Profondità bottom (m)	spessore battuta (m)	R.Q.D. (%)
LC	sabbie sciolte color bruno chiaro con presenza di frammenti di lava scoriacea	1,10 - 1,90	1,10	6,10	5,00	67
	lava compatta con presenza scarsa di vacuoli di dimensioni medie comprese fra 10 - 30 mm.	1,90 - 6,10				
	lava compatta leggermente vacuolare con vacuoli di diametro compreso fra 20 - 30 mm.	8,00 - 9,00	8,00	10,50	2,50	12
	sabbia sciolta di color grigio scuro con presenza di trovanti lavici	9,00 - 10,50				
LC	lava compatta color grigio scuro	16,40 - 17,00	16,40	17,00	0,60	80
AL	lava compatta color grigio chiaro	25,60 - 27,70	25,60	30,00	4,40	48
	lava compatta color grigio scuro con sfumature rossastre, molto fragile, caratterizzata da microfratturazione concentrica	27,70 - 30,00				

ID_INDP: 087053P4SS14						
Litologia	Descrizione litotipo	Intervallo profondità (m)	Profondità top (m)	Profondità bottom (m)	spessore battuta (m)	R.Q.D. (%)
LC	lava compatta di colore grigio chiaro con rari vacuoli di forma allungata di medie dimensioni con diametro compreso fra 10 - 30 mm.	0,00 - 0,80	0,00	6,00	6,00	56
	lava compatta bollosa con fratture da subverticale a 45° le cui superfici presentano patine di alterazione di colore giallo bruno. Vacuoli con diametro 10 - 30 mm.	0,80 - 2,00				
	lava compatta con rarissimi vacuoli di medie dimensioni con fratture a 45° e superfici con patina di alterazione	2,00 - 6,00				
	lava compatta discretamente bollosa di colore grigio chiaro. I vacuoli hanno diametro fino a 30 mm. Il litotipo si presenta a tratti leggermente scoriaceo e resistente	10,60 - 14,20	10,60	14,50	3,90	46
	Lava compatta bollosa di colore grigio con sfumature rosso vinaccia	14,20 - 14,50				
AL	lava compatta grigio chiaro	24,60 - 30,40	24,60	30,40	5,80	84

ID_INDP: 087053P5SS16						
Litologia	Descrizione litotipo	Intervallo profondità (m)	Profondità top (m)	Profondità bottom (m)	spessore battuta (m)	R.Q.D. (%)
LC	lava compatta di colore grigio chiaro leggermente vacuolare con vacuoli di ridotte dimensioni	8,00 - 13,50	8,00	13,50	5,50	67
AL	lava compatta di colore grigio chiaro	24,20 - 30,00	24,20	30,00	5,80	62

ID_INDP: 087053P6SS18						
Litologia	Descrizione litotipo	Intervallo profondità (m)	Profondità top (m)	Profondità bottom (m)	spessore battuta (m)	R.Q.D. (%)
LC	lava compatta di colore grigio chiaro leggermente vacuolare con vacuoli di medie dimensioni comprese fra 20 e 30 mm.	2,00 - 4,20	2,00	4,20	2,20	80

Tabelle 13-18: Classificazione geotecnica delle rocce attraverso il valore R.Q.D. (Rock Quality Designation) ricavato in seguito all'esecuzione di sondaggi relativamente alla campagna di indagini geognostiche effettuate nell'ambito del "progetto di messa in sicurezza della Villa dei Principi Turrisi – Grifeo – Partanna", sita nel Comune di Viagrande.

- Studio del parametro R.Q.D.

ID_INDPU: 087053P7S19						
Litologia	Descrizione litotipo	Intervallo profondità (m)	Profondità top (m)	Profondità bottom (m)	spessore battuta (m)	R.Q.D. (%)
LC	lave compatte poco fessurate con pochi vacuoli dell'ordine del millimetro, sono ben visibili minerali come olivina e pirosseni	0,80 - 1,80	0,80	1,80	1,00	70
	"rifusa": lave scoriacee frammiste a ciottoli e ghiaia in matrice sabbioso-limoso di colore grigio rossastro	3,00 - 3,50	3,00	4,00	1,00	70
	lava bollosa e vacuolare di colore grigio da fratturata a molto fratturata in maniera subverticale con faccia delle fratture ricoperte di una patina di alterazione color tabacco	3,50 - 4,00				
	lava bollosa e vacuolare di colore brunastro da fratturata a molto fratturata in maniera subverticale con facce delle fratture patinate di incrostazioni color tabacco. Nella parte bassa diventa più compatta e senza vacuoli di colore grigio	4,00 - 4,50	4,00	4,50	1,00	100
		8,50 - 11,50	8,50	13,00	4,50	70
	11,50 - 13,00	50				
	lava microbollosa, di colore grigio con incrostazioni color tabacco, mediamente fratturata, contenente cristalli di olivina, pirosseni ed abbondanti plagioclasti. Da 19,60 metri diventa molto compatta con piccoli spessori fratturati di color grigio chiaro	17,50 - 20,50	17,50	25,80	8,30	80
		20,50 - 23,00				90
		23,00 - 24,50				100
		24,50 - 25,80				50
	lava bollosa e vacuolare di colore brunastro fratturata con facce delle fratture patinate di incrostazioni color tabacco, a volte rossastre, con presenza di olivina, pirosseni ed abbondanti plagioclasti	25,80 - 27,00	25,80	30,00	4,20	50
		27,00 - 29,00				80
		29,00 - 30,00				90

N.B. Negli intervalli non presenti R.Q.D. = 0%

ID_INDPU: 087053P8S21						
Litologia	Descrizione litotipo	Intervallo profondità (m)	Profondità top (m)	Profondità bottom (m)	spessore battuta (m)	R.Q.D. (%)
LC	lava grigia verdastra, mediamente vacuolare, da fratturata a molto fratturata da 6,40 a 7,00 metri. Presenza di olivina, pirosseni e plagioclasti	5,80 - 7,40	5,80	7,40	1,60	30
	"rifusa": lave scoriacee frammiste a ciottoli e ghiaia in matrice sabbioso-limoso di colore grigio rossastro	7,40 - 8,50	7,40	9,00	1,60	30
		8,50 - 9,00				10
	lava bollosa e vacuolare di colore grigio scuro, molto fratturata con faccia delle fratture patinate di incrostazioni color tabacco	9,00 - 11,00	9,00	11,00	2,00	10
	"rifusa": lave scoriacee frammiste a ciottoli e ghiaia in matrice sabbioso-limoso di colore grigio rossastro	11,00 - 11,80	11,00	11,80	0,80	10
	lava bollosa e vacuolare che diventa compatta da 12,70 metri in poi. Mediamente fratturata	11,80 - 13,50	11,80	13,50	1,70	40
	"rifusa": lave scoriacee frammiste a ciottoli e ghiaia in matrice sabbioso-limoso di colore grigio rossastro	13,50 - 14,00	13,50	14,00	0,50	40
	lava molto fratturata, vacuolare, con incrostazioni color tabacco, contenente cristalli di olivina, pirosseni e plagioclasti.	24,00 - 26,00	24,00	26,00	2,00	40
	lava compatta mediamente fratturata e vacuolare con facce delle fratture patinate di incrostazioni color tabacco, con presenza di olivina, pirosseni ed abbondanti plagioclasti	26,80 - 30,00	26,80	30,00	3,20	80

N.B. Negli intervalli non presenti R.Q.D. = 0%

ID_INDPU: 087053P9S23						
Litologia	Descrizione litotipo	Intervallo profondità (m)	Profondità top (m)	Profondità bottom (m)	spessore battuta (m)	R.Q.D. (%)
LC	"rifusa": lave scoriacee frammiste a ciottoli e ghiaia in matrice sabbioso-limosa di colore grigio rossastro	9,00 - 10,00	9,00	10,00	1,00	30
	lava compatta mediamente fratturata, non particolarmente dura, contenente plagioclasti ed abbondanti minuscoli minerali di olivina, sono presenti intervalli decimetrici di "rifusa"	10,00 - 11,00	10,00	14,20	4,20	30
		11,00 - 13,00				20
		13,00 - 14,20				40
	"rifusa": lave scoriacee frammiste a ciottoli e ghiaia in matrice sabbioso-limosa di colore grigio rossastro	14,20 - 14,80	14,20	14,80	0,60	40
	"rifusa": lave scoriacee frammiste a ciottoli e ghiaia in matrice sabbioso-limosa di colore grigio rossastro	18,70 - 19,70	18,70	22,00	3,30	50
	lava bollosa e vacuolare (dimensioni da millimetriche a centimetriche) mediamente fratturata. Presenza di olivina, pirosseni e plagioclasti	19,70 - 20,20				50
		20,20 - 22,00				90
	lava compatta, mediamente fratturata, vacuolare (dimensioni da millimetriche a centimetriche) con sfumature brunastre. Da 25,40 i vacuoli diminuiscono e diventa compatta. Le facce delle fratture sono patinate di incrostazioni color tabacco o rossastre. Presenza di olivina, pirosseni e plagioclasti	24,00 - 25,00	24,00	27,30	3,30	70
		25,00 - 27,30				95
N.B. Negli intervalli non presenti R.Q.D. = 0%						

Tabelle 19-21: Classificazione geotecnica delle rocce attraverso il valore R.Q.D. (Rock Quality Designation) ricavato in seguito all'esecuzione di sondaggi effettuati per la redazione dei "Piani Particolareggiati del P.R.G." del Comune di Viagrande.

- Indagine sismica attraverso metodologia MASW

ID_INDLN: 087053L1MASW1									
Strato	Vs (m/s)	Spessore (m)	Densità (gr/cm ³)	Modulo di Taglio G (Mpa)	Vp* (m/s)	Modulo di Poisson *	Profondità sismostrato (m)	Valore medio Vs (m/s)	Vs30 (m/s)
Strato 1	293	1,70	1,94	167	632	0,36	0,00÷1,70	293	596
Strato 2	244	1,40	1,90	113	530	0,37	1,70÷3,10	244	
Strato 3	373	1,50	2,00	278	786	0,35	3,10÷4,60	373	
Strato 4	640	3,00	2,13	873	1371	0,36	4,60÷7,60	640	Categoria
Strato 5	678	4,60	2,14	985	1447	0,36	7,60÷12,20	678	
Strato 6	728	6,90	2,17	1148	1589	0,37	12,20÷19,10	728	"B"
Semi-spazio	792	Semi-infinito	2,14	1339	1399	0,26	19,10÷30,00	792	
* valori stimati									

ID_INDLN: 087053L2MASW2									
Strato	Vs (m/s)	Spessore (m)	Densità (gr/cm ³)	Modulo di Taglio G (Mpa)	Vp * (m/s)	Modulo di Poisson *	Profondità sismostrato (m)	Valore medio Vs (m/s)	Vs30 (m/s)
Strato 1	185	2,00	1,83	63	398	0,36	0,00÷2,00	185	564
Strato 2	258	2,40	1,90	126	524	0,34	2,00÷4,40	258	
Strato 3	504	3,60	2,07	525	1061	0,35	4,40÷8,00	504	Categoria
Strato 4	740	4,00	2,16	1183	1554	0,35	8,00÷12,00	740	
Strato 5	736	5,40	2,19	1188	1773	0,4	12,00÷17,40	736	"B"
Semi-spazio	958	Semi-infinito	2,23	2047	2063	0,36	17,40÷30,00	958	
* valori stimati									

ID_INDLN: 087053L3MASW3									
Strato	Vs (m/s)	Spessore (m)	Densità (gr/cm ³)	Modulo di Taglio G (Mpa)	Vp* (m/s)	Modulo di Poisson *	Profondità sismostrato (m)	Valore medio Vs (m/s)	Vs30 (m/s)
Strato 1	215	3,10	1,86	86	445	0,35	0,00÷3,10	215	445
Strato 2	271	1,70	1,89	139	514	0,31	3,10÷4,80	271	
Strato 3	419	1,20	2,04	357	928	0,37	4,80÷6,00	419	
Strato 4	446	5,30	2,03	403	900	0,34	6,00÷11,30	446	Categoria
Strato 5	434	4,40	2,04	383	926	0,36	11,30÷15,70	434	
Strato 6	577	5,60	2,11	701	1238	0,36	15,70÷21,30	577	"B"
Semi-spazio	708	Semi-infinito	2,12	1064	1326	0,30	21,30÷30,00	708	
* valori stimati									

ID_INDLN: 087053L4MASW4									
Strato	Vs (m/s)	Spessore (m)	Densità (gr/cm ³)	Modulo di Taglio G (Mpa)	Vp* (m/s)	Modulo di Poisson *	Profondità sismostrato (m)	Valore medio Vs (m/s)	Vs30 (m/s)
Strato 1	274	4,60	1,91	143	547	0,33	0,00÷4,60	274	489
Strato 2	361	6,50	1,99	259	568	0,36	4,60÷11,10	361	
Strato 3	617	5,20	2,13	810	1348	0,37	11,10÷16,30	617	
Strato 4	591	3,00	2,11	737	1263	0,36	16,30÷19,30	591	Categoria
Semi-spazio	824	Semi-infinito	2,15	1463	1511	0,29	19,30÷30,00	824	"B"
* valori stimati									

ID_INDLN: 087053L5MASW5									
Strato	Vs (m/s)	Spessore (m)	Densità (gr/cm ³)	Modulo di Taglio G (Mpa)	Vp* (m/s)	Modulo di Poisson *	Profondità sismostrato (m)	Valore medio Vs (m/s)	Vs30 (m/s)
Strato 1	220	1,70	1,86	90	454	0,35	0,00÷1,70	220	500
Strato 2	361	2,70	2,01	261	818	0,38	1,70÷4,40	361	
Strato 3	255	2,20	1,91	124	551	0,36	4,40÷6,60	255	
Strato 4	590	4,20	2,11	733	1238	0,35	6,60÷10,80	590	Categoria
Strato 5	621	4,90	2,12	816	1296	0,35	10,80÷15,70	621	
Semi-spazio	678	Semi-infinito	2,14	986	1452	0,36	15,70÷30,00	678	"B"
* valori stimati									

ID_INDLN: 087053L6MASW6									
Strato	Vs (m/s)	Spessore (m)	Densità (gr/cm ³)	Modulo di Taglio G (Mpa)	Vp* (m/s)	Modulo di Poisson *	Profondità sismostrato (m)	Valore medio Vs (m/s)	Vs30 (m/s)
Strato 1	232	2,70	1,88	101	486	0,35	0,00÷2,70	232	504
Strato 2	321	4,40	1,95	201	648	0,34	2,70÷7,10	321	
Strato 3	473	6,40	2,04	457	955	0,34	7,10÷13,50	473	Categoria
Strato 4	746	6,90	2,16	1199	1517	0,34	13,50÷20,40	746	
Strato 5	745	4,70	2,16	1201	1578	0,36	20,40÷25,10	745	"B"
Semi-spazio	941	Semi-infinito	2,19	1940	1755	0,30	25,10÷30,00	941	
* valori stimati									

Tabelle 22-27: Tabelle dei valori delle velocità delle onde sismiche, dei valori dei principali parametri elastici e dei relativi calcoli del parametro VS30. Dati ricavati dalla campagna di indagini eseguita in riferimento alla redazione dei Piani Particolareggiati del P.R.G. del Comune di Viagrande.

Allegato 4 – Misure di microtremore ambientale

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

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

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

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

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

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

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

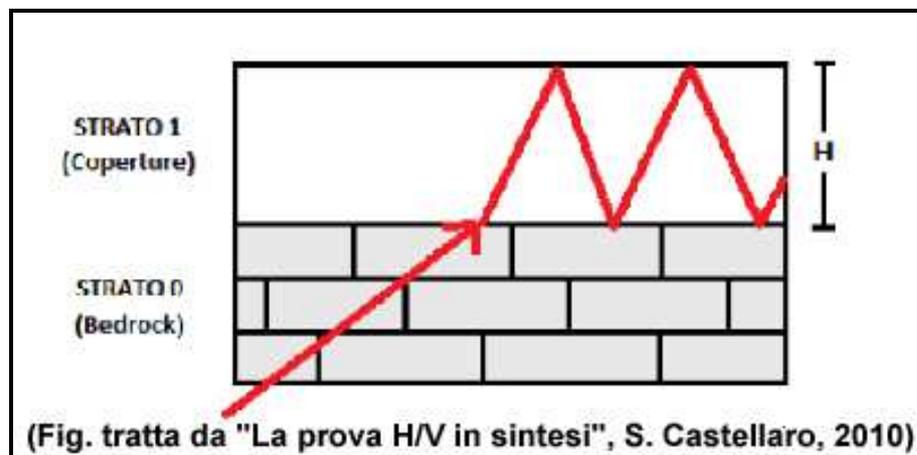
Ciò premesso, riconosciuta l'importanza degli effetti di sito, al progettista serve conoscere la *funzione di trasferimento* al sito, ossia come il moto dal bedrock si trasferisce in superficie; ne consegue che la condizione ideale risulta la misurazione e non il calcolo (che richiederebbe la modellazione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

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

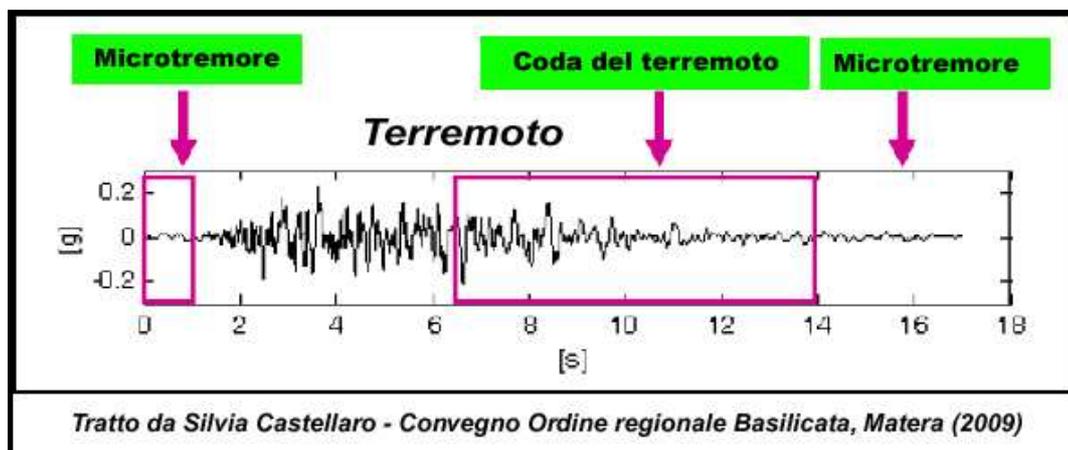
A tal proposito va rilevato, quindi, come lo studio del microtremore ambientale (noise), attraverso le prove di sismica passiva a stazione singola H/V (o HVSR), sia in grado di mettere in luce le frequenze alle quali il moto del terreno viene amplificato per risonanza stratigrafica; tale prova, comunemente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

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

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



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



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

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

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

Equazione 1

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

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

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

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

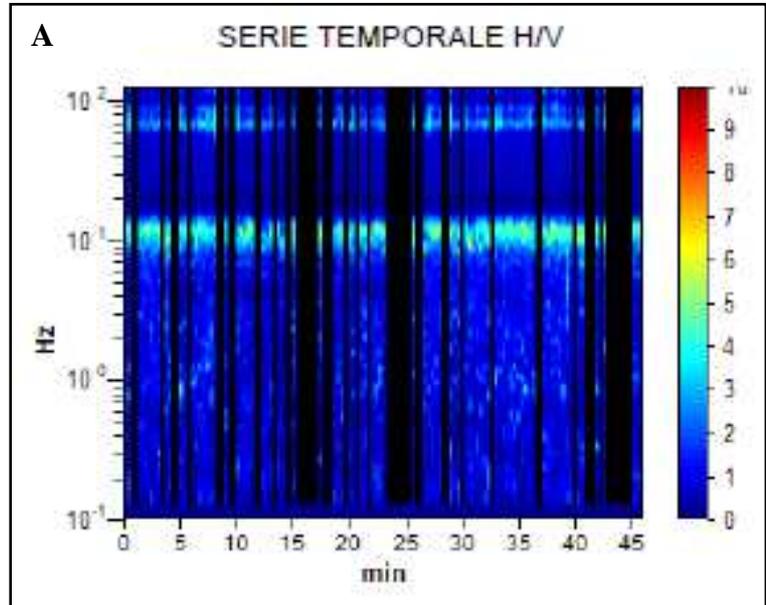
Nello specifico, considerando l'estensione e la topografia dell'area, questo studio ha comportato l'esecuzione di "11" misure, secondo le indicazioni del progetto di ricerca europeo SESAME ("Guidelines for the implementation of the H\|V spectral ratio technique on ambient vibrations" - European Commission, dic. 2004); tutte le registrazioni dei microtremori sono state effettuate con tromografi digitali portatili serie Tromino (Micromed S.p.A.), progettati specificamente per l'acquisizione del rumore sismico, dotati di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) ortogonali ed orientati N-S, E-W e verticalmente, alimentati da 2 batterie da 1,5 V e senza alcun cavo esterno; il rumore sismico ambientale è stato acquisito ad una frequenza di campionamento di 256 Hz, amplificato, digitalizzato a 24 bit equivalenti e registrato per circa 45 minuti in corrispondenza di ciascuna delle stazioni di misura ubicate all'interno del comprensorio esaminato.

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

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

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

I risultati di ciascuna analisi sono stati ottenuti col software Grilla in dotazione al tromografo-Tromino per cui il segnale acquisito dai velocimetri è stato digitalizzato a 24 bit; il software Grilla per ciascuna delle tre componenti del moto, previa divisione del tracciato in finestre temporali di 20 secondi, ha calcolato il rapporto spettrale HVSR ad ogni frequenza per ciascuna finestra (Es. Viagrande - 087053P16, in Figura 1).



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

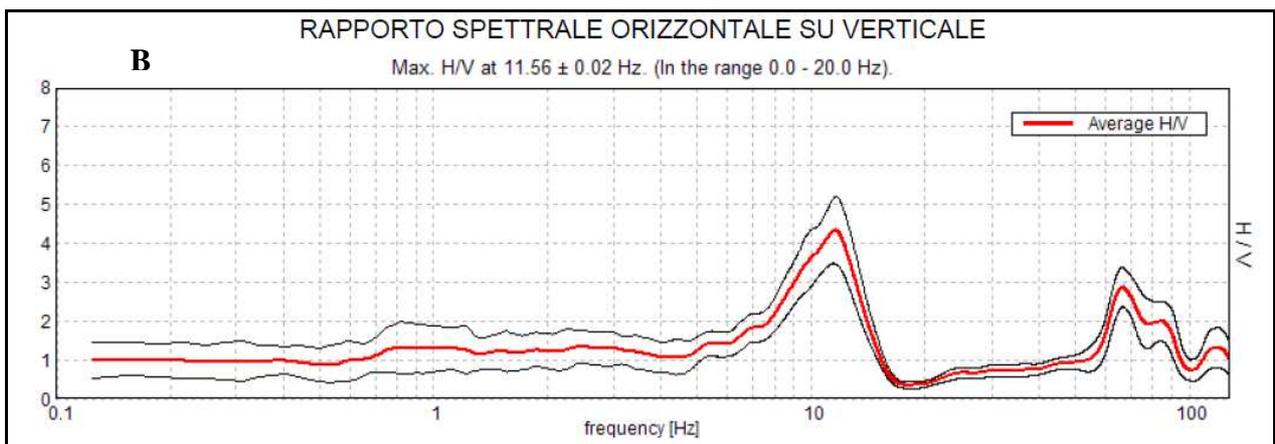


Figura 1: Serie Temporale H/V (A) e Rapporto Spettrale orizzontale/verticale (B) relativo all'indagine 087053P16 di Viagrande.

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 agli 11 siti di misura ubicati all’interno dell’area di studio. Si può osservare che i picchi di amplificazione sono legati sia a frequenze basse, comprese tra 0,75 e 1,69 Hz, che a frequenze medio-alte. In alcuni casi, all’interno del range di frequenza considerato (0.6 - 20 Hz), vengono segnalati due o tre picchi, alcuni dei quali abbracciano valori di frequenza più elevati (fino a 17,69 Hz). Per quanto riguarda i valori di amplificazione, si può osservare che questi non raggiungono valori molto elevati ma si aggirano su bassi rapporti H/V raggiungendo il valore massimo nell’indagine 087053P16, in cui si registra un valore di amplificazione di 4,34 in relazione al secondo picco presente, avente frequenza pari a 11,56 Hz.

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

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

ID_SPU	Nome	UTMx	UTMy	F ₀	H ₀ /V ₀	F ₁	H ₁ /V ₁	F ₂	H ₂ /V ₂
087053P10	N28	507736,00	4163389,00	0,75	1,99	4,50	2,35		
087053P11	N209	507929,65	4163106,99	8,44	2,80				
087053P12	N210	508438,93	4163055,35	1,69	1,97	7,00	2,65		
087053P13	N211	508993,56	4163514,16	1,13	2,06	4,59	2,63		
087053P14	N212	508948,13	4163082,51	1,28	2,58	4,38	3,13		
087053P15	N213	509080,19	4162573,42	1,13	1,79	8,69	2,04	11,03	2,02
087053P16	N214	509246,70	4162049,94	10,00	3,63	11,56	4,34		
087053P17	N215	508500,44	4162457,42	2,31	1,70	6,16	2,82		
087053P18	N216	508409,01	4162105,63	1,56	1,84	4,47	1,73		
087053P19	N217	507998,57	4162107,45	1,22	1,96	6,47	1,97	8,69	1,94
087053P20	N218	508230,83	4161093,64	1,50	2,47	2,00	2,16	17,69	2,15

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

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 ≤ f < 2.0 Hz** questa fascia riguarda strutture di dimensioni grandi (> 10÷20 piani, indicativamente);
- **2.0 ≤ f < 10.0 Hz** questa fascia riguarda strutture di dimensioni medio-piccole (1-10 piani, indicativamente);
- **10.0 ≤ f < 20.0 Hz** questa fascia riguarda strutture di piccole dimensioni (< 3 m altezza, indicativamente).

L'ubicazione dei siti di misura è stata impiegata per la redazione della carta delle frequenze allegata, dove, per ogni singolo sito di misura, vengono mostrati i valori di

frequenza e di ampiezza relativi all'asse centrale del picco o dei picchi caratteristici riconosciuti (Figura 2).

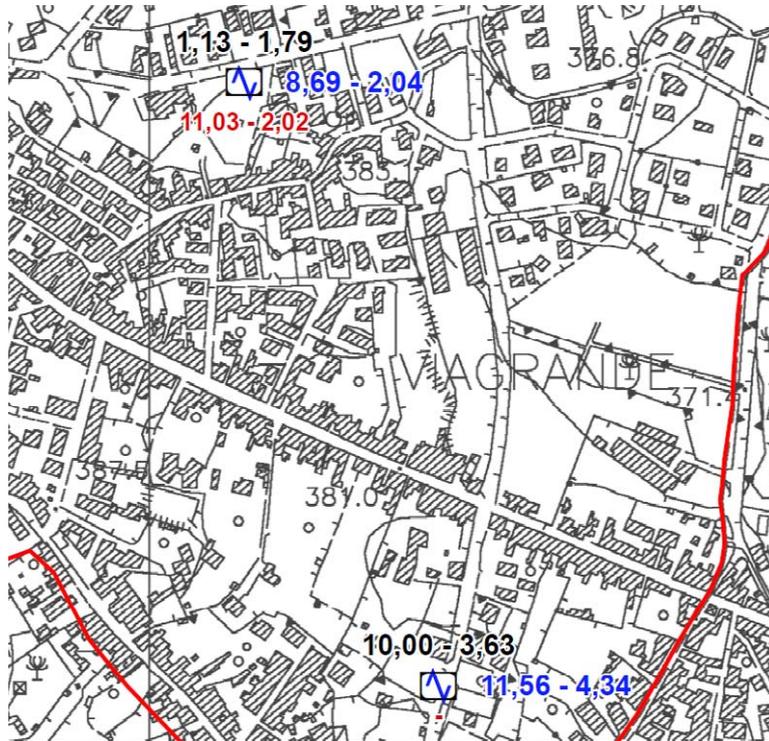


Figura 2: Esempio di due siti di misura HVSR presenti nella carta delle frequenze allegata, mostrandone i valori di frequenza ed ampiezza dei picchi significativi (due e tre in questo caso).

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

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

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

- perché un edificio che inizi a danneggiarsi strutturalmente diminuisce le frequenze dei propri modi di vibrare, potendo entrare in risonanza con il sottosuolo nelle fasi finali del terremoto,

• perché i modelli basati su onde di volume (onde S) suggeriscono a volte possibilità di amplificazione anche a frequenze maggiori di quelle rilevate con la tecnica dei microtremori. Questo accade in particolare per le registrazioni effettuate su suoli artificiali rigidi (cfr. Castellaro e Mulargia, 2009).

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

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]					
$f_0 > 10 / L_w$	11.56 > 0.50	OK			
$n_c(f_0) > 200$	19425.0 > 200	OK			
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 556	OK			
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]					
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	7.969 Hz	OK			
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	13.938 Hz	OK			
$A_0 > 2$	4.34 > 2	OK			
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00087 < 0.05$	OK			
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.01005 < 0.57813	OK			
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.4323 < 1.58	OK			
L_w	lunghezza della finestra				
n_w	numero di finestre usate nell'analisi				
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi				
f	frequenza attuale				
f_0	frequenza del picco H/V				
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V				
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$				
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0				
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f				
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$				
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$				
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa				
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$				
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$				
Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Figura 3: tabelle dei criteri per una curva H/V affidabili e per un picco H/V chiaro relativi all'indagine 087053P16 di Viagrande i cui requisiti vengono soddisfatti.

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

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

Criteri per una curva H/V affidabile					
[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]					
$f_0 > 10 / L_w$	1.56 > 0.50	OK			
$n_c(f_0) > 200$	2312.5 > 200	OK			
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 76	OK			
Criteri per un picco H/V chiaro					
[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]					
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO		
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO		
$A_0 > 2$	1.84 > 2		NO		
$f_{\text{picco}} [A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0346 < 0.05$	OK			
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.05406 < 0.15625$	OK			
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2831 < 1.78$	OK			
L_w	lunghezza della finestra				
n_w	numero di finestre usate nell'analisi				
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi				
f	frequenza attuale				
f_0	frequenza del picco H/V				
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V				
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$				
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0				
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f				
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$				
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$				
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa				
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$				
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$				
Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Figura 4: tabelle dei criteri per una curva H/V affidabili e per un picco H/V chiaro relativi all'indagine 087053P18 di Viagrande i cui requisiti non vengono soddisfatti.

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

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

Bibliografia

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

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

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

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

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

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

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

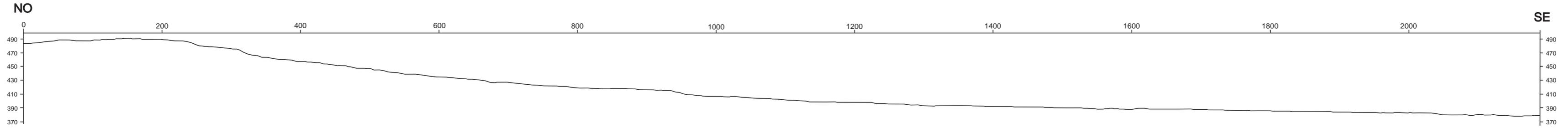
Nakamura Y.; 1989 – A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, Q.R.Railway Tech. Res. Inst., 30, 25–33.

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

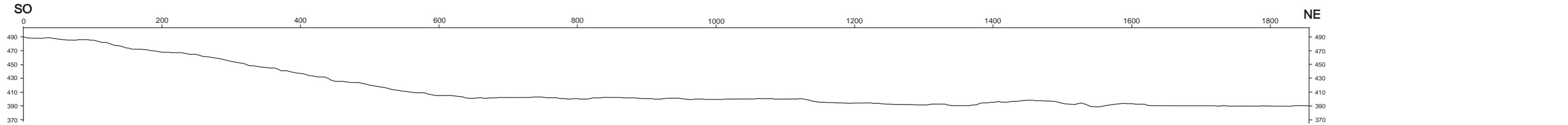
SESAME Working Group (2004) – Guidelines for the implementation of the h/v spectral ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation. <http://sesamefp5.obs.ujf-grenoble.fr/index.htm>.

Allegato 5 – Sezioni Topografiche

Profilo Topografico 1



Profilo Topografico 2



Profilo Topografico 3



Allegato 6 – Schemi dei rapporti litostratigrafici più significativi

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

