

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

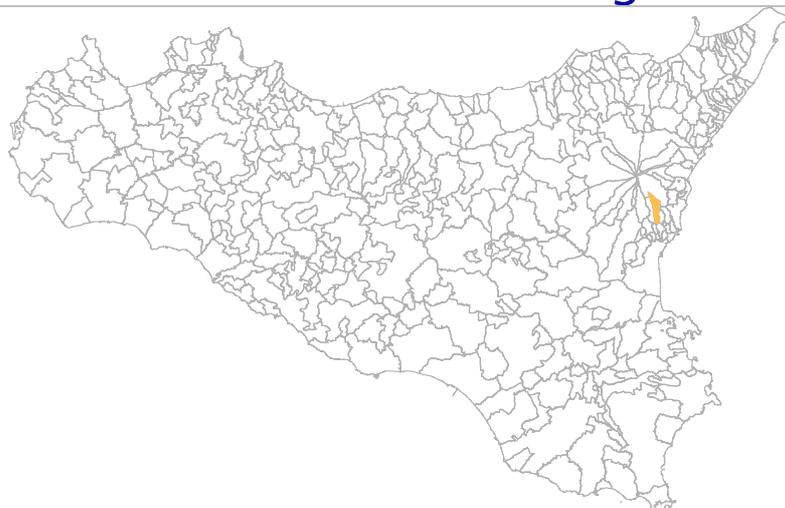
MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione Illustrativa

MS Livello 1

Regione Sicilia

Comune di Trecastagni



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: Dicembre 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	58
7. Metodologie di elaborazione e risultati	62
8. Elaborati cartografici	70
9. Confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati	76
10. Bibliografia	78
11. Allegati	84



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 Trecastagni (codice istat 087050), 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. Questa ha previsto l'avvio delle indagini per alcuni comuni siciliani selezionati tra quelli 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 al.

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 dovuti ad un evento sismico”* capaci di produrre danni in aggiunta a quelli legati all'oscillazione del suolo. Tutti gli aspetti connessi alle condizioni locali del sito sono oggetto proprio dell'analisi di **pericolosità sismica locale**, definita come *“componente della pericolosità sismica dovuta alle caratteristiche locali”*.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

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

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

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

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

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

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

Gli studi condotti nel territorio di Trecastagni si riferiscono al primo livello di approfondimento e sono consistiti nella raccolta dei dati esistenti e nella redazione di una serie di elaborati cartografici (Carta delle indagini, la Carta geologico tecnica per la MS e la Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica) richiesti dagli “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica” (Gruppo di lavoro MS, 2008) e nella compilazione di un database, risultato di una profonda e dettagliata elaborazione delle informazioni esistenti. Il territorio del Comune di Trecastagni si sviluppa lungo il versante sud-orientale del Monte Etna in Sicilia orientale con un'estensione areale di circa 19,18 km². In accordo con il Dipartimento Regionale della Protezione Civile, si è stabilito di effettuare gli studi di microzonazione sismica di I livello all'interno dell'area segnalata dall'amministrazione comunale con nota prot. N 44244 del 28/10/2011, che comprende il centro urbano principale e le zone residenziali periferiche, con un'estensione areale di circa 3,67 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 625130, 625140 e 634010 (Fig. 1).

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

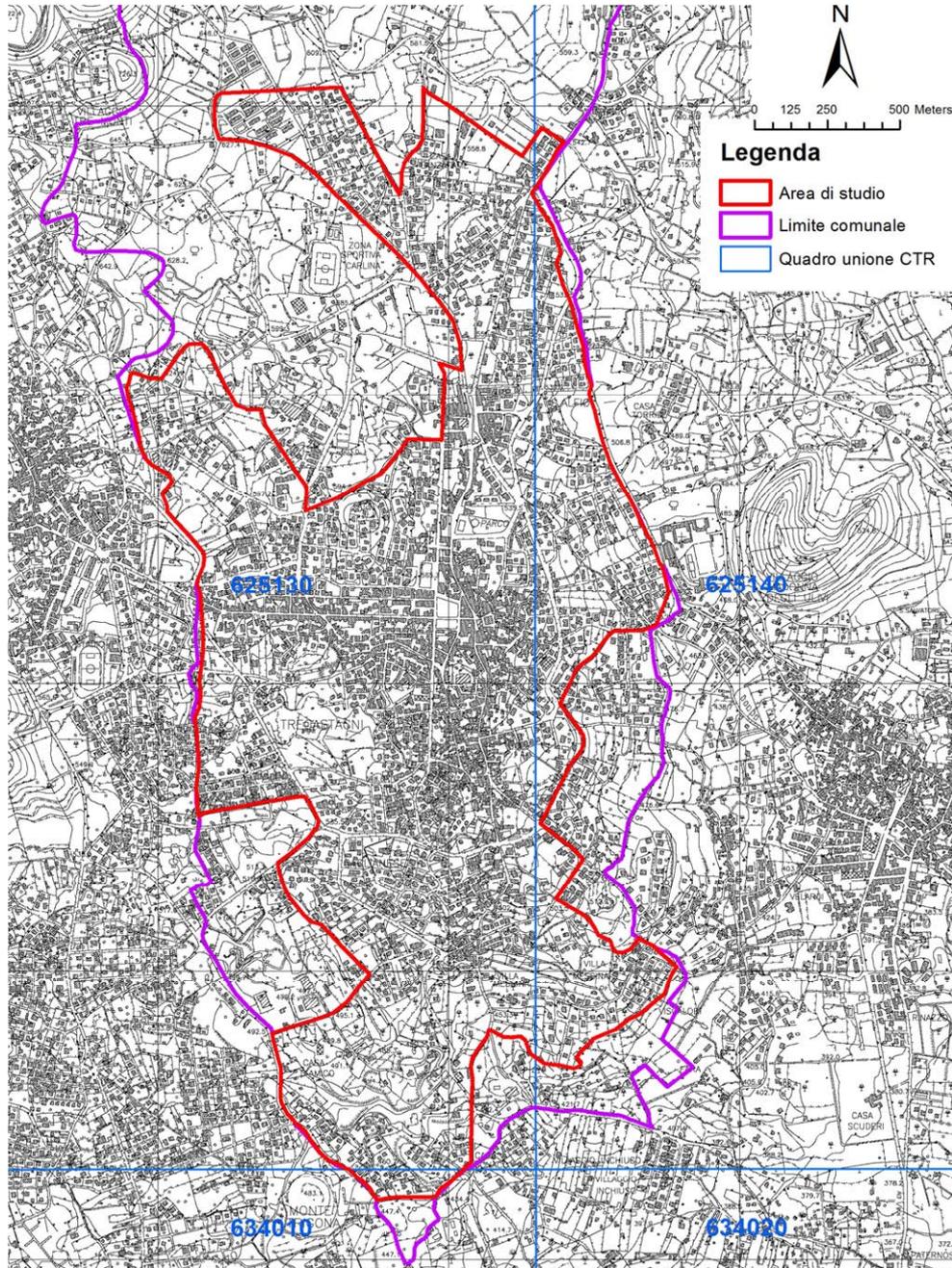


Fig. 1 – Ubicazione dell'area in cui sono stati effettuati gli studi di MS di livello 1 (delimitata in rosso), rispetto al territorio comunale (delimitato in viola) di Trecastagni, all'interno delle Sezioni CTR 625130, 625140 e 634010.

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 Trecastagni è stato possibile attingere ad una quantità limitata d'informazioni pregresse che in parte ricadono immediatamente al di fuori dell'area di studio, precisamente nei pressi della Zona Sportiva "Carlina". Per questo motivo, la ricostruzione 3D delle successioni affioranti è stata basata sull'analisi della carta geologico-tecnica, che ha richiesto un notevole sforzo di raccolta di dati di terreno originali. E' ovvio che livelli di indeterminazione permangono per quanto attiene lo spessore dei terreni di copertura e la reale profondità del substrato rigido nelle aree prive di dati di sottosuolo diretto. In questo caso si è fatto riferimento a proiezioni dei dati disponibili in aree limitrofe, sulla base di una scrupolosa interpretazione delle evidenze di superficie, nella previsione di infittire le indagini nei successivi stadi di approfondimento.

Nel corso degli studi di microzonazione di primo livello, seppure orientati alla raccolta, rielaborazione ed interpretazione complessiva di dati esistenti, è stato necessario definire le modalità con cui condurre rilievi speditivi delle successioni vulcaniche, allo scopo di integrare con dati significativi le informazioni disponibili, generalmente scarsamente rappresentative dell'estrema variabilità laterale e verticale dei prodotti lavici. Sulla base dei rilievi originali condotti, di concerto con il Dipartimento di Protezione Civile Nazionale e Regionale si sono definiti i criteri di rappresentazione dei terreni vulcanici su carte con scala 1:10.000, non previste dagli standard, da utilizzare in attesa di una loro formalizzazione nell'ambito di integrazioni alle linee guida fin qui adottate. I criteri applicati sui terreni vulcanici derivano dalla verifica, basata su un'ampia casistica raccolta nel corso dei rilievi svolti in tutti i comuni etnei interessati dagli studi di microzonazione di primo livello, di una stretta connessione tra morfologie e geometrie di 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



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

raramente la densità di informazioni di sottosuolo è adeguata a ricostruire nel sottosuolo le eterogeneità del substrato vulcanico. Il metodo adottato ha il duplice pregio di fornire, nelle zone prive di sufficienti dati di sottosuolo, uno strumento per poter ricostruire, sulla base del dato di superficie, la tipologia della successione vulcanica da ritenersi litologicamente omogenea in termini di risposta sismica, insieme alla possibilità di stabilire la effettiva trasferibilità areale dei dati puntuali e lineari di sottosuolo.

I dati messi a disposizione dall'amministrazione comunale di Trecastagni, relativi ad indagini effettuate per lo studio geologico a supporto del Piano Regolatore Generale (P.R.G.) realizzato nel 2002 e per lo studio agricolo forestale del territorio comunale realizzato nel 2011, sono sintetizzati in diversi elaborati di seguito elencati:

Piano Regolatore Generale:

- Relazione generale
- Norme di attuazione
- Studio geologico tecnico:
 - Carta geologica in scala 1:2.000, tavole da 1.1 a 1.10
 - Carta geomorfologica in scala 1:2.000, tavole da 2.1 a 2.10
 - Carta litotecnica in scala 1:2.000, tavole da 3.1 a 3.10
 - Carta della pericolosità geologica in scala 1:2.000, tavole da 4.1 a 4.10
 - Carta della pericolosità sismica locale in scala 1:2.000, tavole da 5.1 a 5.10

– Adeguamento alla perimetrazione delle nuove aree boscate – Carta del centro abitato in scala 1:2.000 da P1 ter. a P10 ter.

– Valutazione ambientale strategica (VAS):

– Rapporto preliminare

– Allegato1: Questionario di consultazione

Studio geologico a supporto del P.R.G.

– Allegato 1 – Analisi e prove di laboratorio geotecnico a supporto della revisione del P.R.G.

– Allegato 2 – Prospezioni geofisiche con metodo sismico e tomografico elettrico

– Allegato 3 – Risultati indagini geognostiche

– Piano di gestione “Monte Etna” – Carta dei vincoli in scala 1:10.000, CTR 625090

Studio agricolo forestale del territorio comunale:

– Relazione

– Tavola 1 – Boschi, fasce forestali, oasi di vegetazione mediterranea in scala 1:10.000

– Tavola 2 – Oasi di vegetazione mediterranea – Verde pubblico – Verde attrezzato in scala 1:2.000

– Relazione tecnica integrativa allo studio tecnico forestale in scala 1:4.000

– Relazione tecnica integrativa allo studio tecnico forestale

I dati messi a disposizione, sono stati successivamente analizzati e archiviati secondo gli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica Versione 2.0beta-



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

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

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

Nel presente documento viene definita la pericolosità sismica del Comune di Trecastagni 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 Trecastagni (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 Trecastagni 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 $I_0 = 5-6$ 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 I_0 mediante la relazione di Azzaro et al. (2011). DBMI11 contiene dati di intensità relativi a 1681 terremoti che fanno parte di CPTI11 (Rovida et al., 2011), e in particolare relativi a: a) 1484 terremoti i cui dati sono stati utilizzati per determinare i parametri che fanno parte di CPTI11; b) 197 terremoti etnei, i cui dati non sono utilizzati per determinare i parametri che fanno parte di CPTI11, in quanto i relativi parametri sono stati adottati direttamente dal Catalogo Macrosismico dei Terremoti Etnei (CMTE; <http://www.ct.ingv.it/ufs/macro>; Azzaro et al., 2000; 2006; 2009). Tra gli eventi sismici di maggiore rilevanza sicuramente si può annoverare il terremoto della Val di Noto dell'11 Gennaio 1693, che è quello che più si è impresso nella memoria storica locale dell'intera Sicilia per molte ragioni: la vastità dell'area colpita, la gravità degli effetti, i mutamenti subiti da una intera rete insediativa e infine la straordinaria capacità progettuale che caratterizzò la fase di ricostruzione. Questo disastro sismico costituisce quindi un importante episodio nella storia del popolamento e dell'urbanistica siciliana, nonché un evento di grande interesse per la storiografia e per la sismologia. In figura 2 si riportano i valori dell'intensità macrosismica dell'evento; il Comune di Trecastagni viene catalogato con intensità X-XI MCS (Barbano, 1985). La figura 3 riporta il risultato della ricerca sul database DBMI11, che individua 69 eventi significativi per il territorio di Trecastagni, a

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

partire dall'evento del 1693. La figura 4 riporta il conseguente grafico relativo alla sismicità storica del comune di Trecastagni.

Locality	MCS	Locality	MCS
Acate (Biscari)	X	Massannunziata	X
Aci Bonaccorsi	X	Mazzarino	VII
Aci Castello	X	Melilli	XI
Aci La Consolazione	X	Messina	VIII
Acireale	X	M. Etna	VIII-IX
Aci San Filippo	X	Militello in Val di Catania	IX
Aci Sant' Antonio	X	Mineo	X
Aci Trezza	X	Misterbianco	X
Agrigento (Girgenti)	VI	Modica	IX
Aidone	X	Monterosso Almo	X
Augusta	X	Motta S. Anastasia	X
Avola	X	Naso	VI
Belpasso (Fenicia)	IX	Nicosia	VII-VIII
Biancavilla (Li Greci)	VIII	Niscemi	VIII-IX
Borrello	X	Noto	XI
Bronte	VI- VII	Oriolo	NF
Buccheri	X	Pachino	IX
Butera	VI - VII	Palagonia	IX
Calatabiano	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 (Centorbiy)	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	Scioli	X
Francofonte	X	Scordia	IX
Gela	VII	Siracusa	X
Giarratana	X	Sortino	XI
Grammichele (Occhiolà)	X	Taormina	IX
Ispica (Spaccaforno)	IX	Trapani	NF
Lentini	XI	Trecastagni	X
Licata	VII	Tremestieri	X
Licodia Eubea	IX	Troina	VII-VIII
Linguaglossa	VIII-IX	Valverde	X
Lipari	VI	Viagrande	X
Malta	VIII	Villa San Giovanni	VII
Mascali	IX	Vittoria	VIII
Mascalucia	X	Vizzini	IX

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

Effetti	In occasione del terremoto del:				
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io	Mw
6-7	1634 12 22	TRECASTAGNI	1	6-7	3.94 ±0.26
7-8	1669 03 10 23:25	Nicolosi	18	8-9	4.84 ±0.26
10-11	1693 01 11 13:30	Sicilia orientale	185	11	7.41 ±0.15
8-9	1818 02 20 18:15	Catanese	128	9-10	6.23 ±0.12
3-4	1865 08 19 12:30	S. M. AMMALATI	16	8	4.61 ±0.26
3	1889 12 25 17:23	S. M. AMMALATI	25	7-8	4.39 ±0.26
5-6	1892 07 08 18:50	VERSANTE MERIDIONALE	13	7	4.16 ±0.26
5	1892 07 09 13:32	VERSANTE ORIENTALE	4	5-6	3.49 ±0.26
3-4	1893 03 31	NICOLOSI	9	6	3.71 ±0.26
3	1894 08 07 12:58	ZERBATE	12	6	3.71 ±0.26
5-6	1894 08 08 05:16	MAZZASETTE	45	8-9	4.84 ±0.26
3	1898 05 14 04:45	S. M. LICODIA	35	7-8	4.39 ±0.26
NF	1898 08 12	ROMETTA	69	6-7	4.89 ±0.22
3	1901 05 11 11:10	NICOLOSI	15	7	4.16 ±0.26
NF	1901 05 11 18:20	NICOLOSI	13	6	3.71 ±0.26
5-6	1903 05 26 16:56	TRECASTAGNI	3	5-6	3.49 ±0.26
4-5	1903 11 20 09:57	VIAGRANDE	19	6	3.71 ±0.26
5	1905 09 08 01:43	Calabria meridionale	895	7	7.04 ±0.16
3	1906 06 02 00:10	MASSA ANNUNZIATA	19	6	3.71 ±0.26
3	1907 12 07 21:28	FIANDACA	24	7-8	4.39 ±0.26
3	1909 10 21 05:45	S. M. AMMALATI	18	6	3.71 ±0.26
4	1909 10 21 16:48	S. G. BOSCO	13	7	4.16 ±0.26
4	1911 10 15 08:52	FONDO MACCHIA	48	8-9	4.84 ±0.26
5	1914 05 08 18:01	LINERA	82	9-10	5.29 ±0.26
5-6	1917 07 20	TRECASTAGNI	1	5-6	3.49 ±0.26
3	1920 09 26 02:56	CODAVOLPE	15	7-8	4.39 ±0.26
5	1931 08 03 21:12	FIANDACA	40	6-7	3.94 ±0.26
4	1941 03 27 05:20	FLERI	12	6-7	3.94 ±0.26

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

4	1942 11 15 16:29	NICOLOSI	3	6-7	3.94 ±0.26
NF	1947 05 11 06:3	Calabria centrale	254	8	5.70 ±0.13
4	1955 02 02 05:00	PEDARA	6	5-6	3.49 ±0.26
NF	1957 03 03 09:27	ZAFFERANA ETNEA	18	6	3.71 ±0.26
4	1973 08 03 19:49	S. M. AMMALATI	35	7	4.16 ±0.26
4	1974 05 18 08:43	NICOLOSI	5	5-6	3.49 ±0.26
NF	1975 01 16 00:0	Stretto di Messina	346	7-8	5.20 ±0.09
NF	1977 06 05 13:5	MISTRETTA	108	6	4.72 ±0.11
2	1980 01 23 21:2	MODICA	122	5-6	4.58 ±0.14
4	1980 09 16 02:30	C.DA TRIGONA	22	6	3.71 ±0.26
3	1980 09 28 15:04	C.DA INCHIUSO	27	6	3.71 ±0.26
3	1982 07 06 14:37	C.DA ALGERAZZI	150	6-7	3.94 ±0.26
6	1983 07 20 22:03	VIAGRANDE	106	7	4.16 ±0.26
3	1983 11 30 14:25	BALLO	45	5-6	3.49 ±0.26
3-4	1984 06 19 15:19	FIANDACA	46	7	4.16 ±0.26
3	1984 10 19 17:43	ZAFFERANA ETNEA	124	7	4.16 ±0.26
4	1984 10 25 01:11	FLERI	122	8	4.61 ±0.26
5	1984 11 07 08:56	PEDARA	15	5-6	3.49 ±0.26
4	1985 10 10 19:26	LINERA	39	5-6	3.49 ±0.26
3-4	1986 01 12 23:37	S. VENERINA	53	6-7	3.94 ±0.26
3	1986 01 29 09:07	NICOLOSI	27	6	3.71 ±0.26
2-3	1986 02 01 22:52	S. G. BOSCO	48	6-7	3.94 ±0.26
2-3	1986 02 02 16:10	S. G. BOSCO	63	7	4.16 ±0.26
2-3	1988 04 01 23:43	VERSANTE ORIENTALE	30	6	3.71 ±0.26
NF	1988 10 28 18:48	PIANO PERNICANA	66	6	3.71 ±0.26
3-4	1988 11 21 02:19	C.DA TRIGONA	21	6	3.71 ±0.26
NF	1988 12 19 02:22	BALLO	49	5-6	3.49 ±0.26
4-5	1990 12 13 00:2	Sicilia sud-orientale	304	7	5.64 ±0.09
NF	1993 06 14 05:13	BALLO	46	5-6	3.49 ±0.26
3	1997 11 11 07:27	S. MARIA LA STELLA	35	5-6	3.49 ±0.26

3-4	1997	11	11	18:44	S. MARIA LA STELLA	35	5-6	3.49	±0.26
NF	1998	05	22	11:54	NICOLOSI	29	6	3.71	±0.26
4	1999	12	26	14:19	C.DA ILICE	43	5-6	3.49	±0.26
3-4	2000	01	11	08:20	SANT'ALFIO	39	5-6	3.49	±0.26
4	2001	01	09	02:51	ZAFFERANA ETNEA	104	6	3.71	±0.26
4-5	2001	07	13	03:15	VERSANTE MERIDIONALE	25	6	3.71	±0.26
3	2001	10	28	09:03	S. M. AMMALATI	67	6	3.71	±0.26
3-4	2002	03	24	23:05	VERSANTE ORIENTALE	40	5-6	3.49	±0.26
4	2004	07	22	02:11	VERSANTE ORIENTALE	34	6	3.71	±0.26
5-6	2005	10	31	00:02	TRECASTAGNI	32	6	3.71	±0.26
3	2006	05	20	07:05	VERSANTE SUD-OCCIDENTALE	27	5-6	3.49	±0.26

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

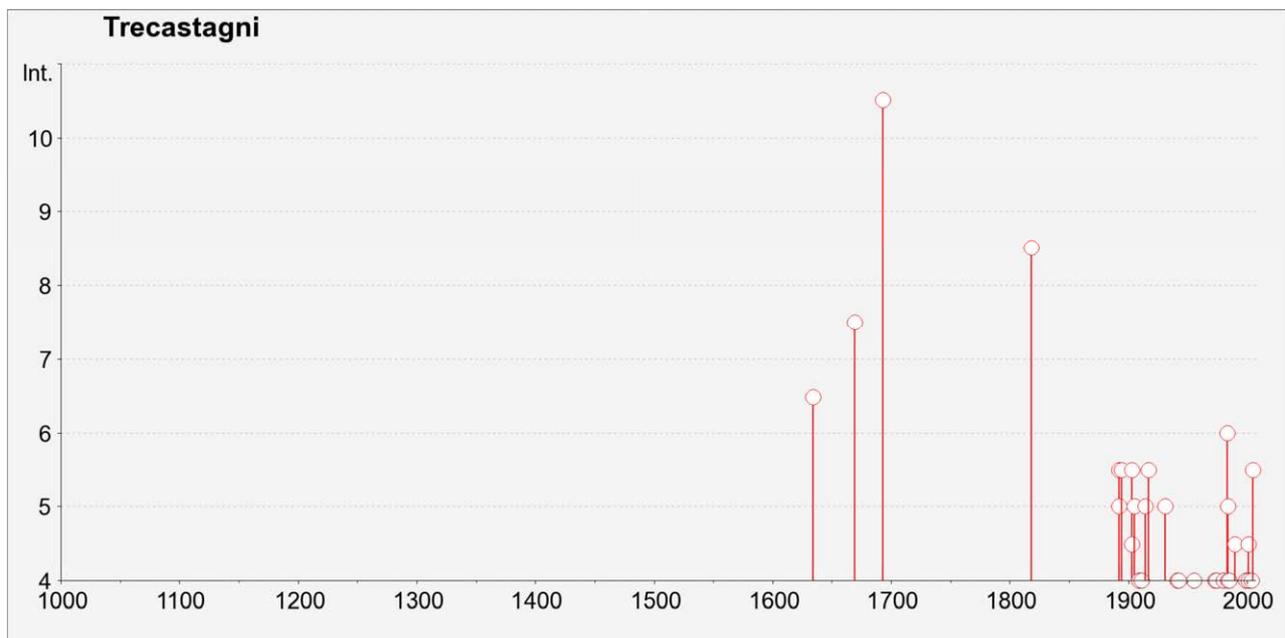


Fig. 4 – Grafico relativo alla sismicità storica del comune di Trecastagni.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

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

LATITUDINE: 37.618

LONGITUDINE: 15.074

Tale punto coincide perfettamente con uno dei punti del reticolo di riferimento e per esso sono noti direttamente i valori delle accelerazioni al suolo di progetto per diversi tempi di ritorno. La figura 5 riporta la probabilità di eccedenza in 50 anni del valore di PGA riportato sulle mappe interattive di pericolosità sismica, il corrispondente periodo di ritorno e la corrispondente frequenza annuale di superamento. Sono state elaborate carte di pericolosità sismica in termini di ag su suolo rigido (categoria A; $V_{s30} > 800$ m/sec) con probabilità di superamento in 50 anni pari a: 81%, 63%, 50%, 39%, 30%, 22%, 5% e 2% rispettivamente corrispondenti a periodi di ritorno di 30, 50, 72, 100, 140, 200, 975 e 2475 anni (convenzionalmente per gli ultimi due periodi di ritorno si usa parlare di 1000 e 2500 anni). Si riportano nelle figure 6–8 rispettivamente le mappe interattive di pericolosità sismica del territorio di Trecastagni con riferimento al valore di PGA per una probabilità di eccedenza in 50 anni del 10%, del 5% e del 2%.

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

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

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

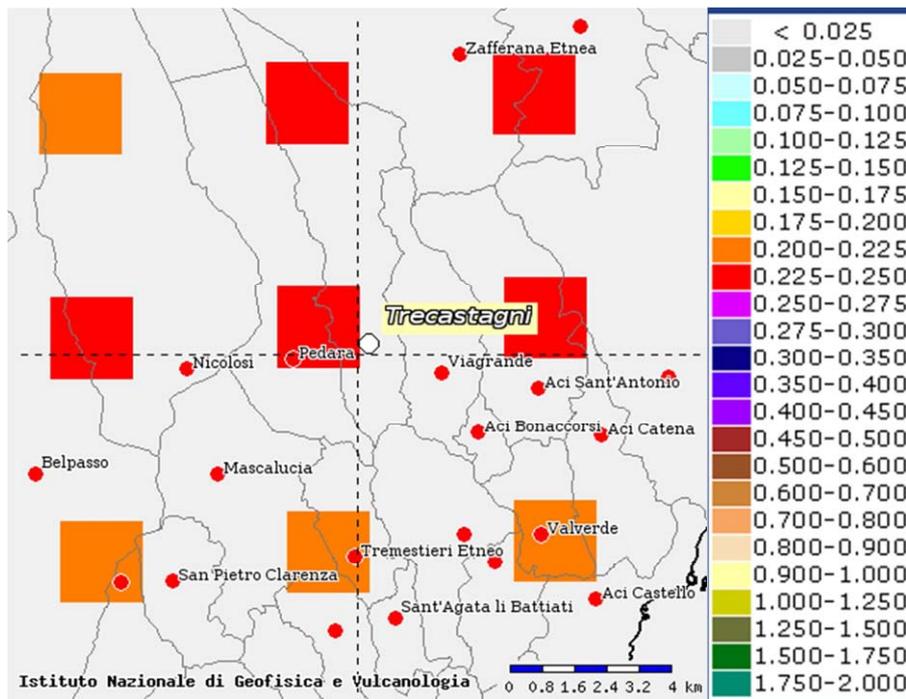


Fig. 6 – Mappa interattiva di pericolosità sismica del territorio di Trecastagni. I punti della griglia visualizzati si riferiscono a: parametro dello scuotimento $a(g)$, probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

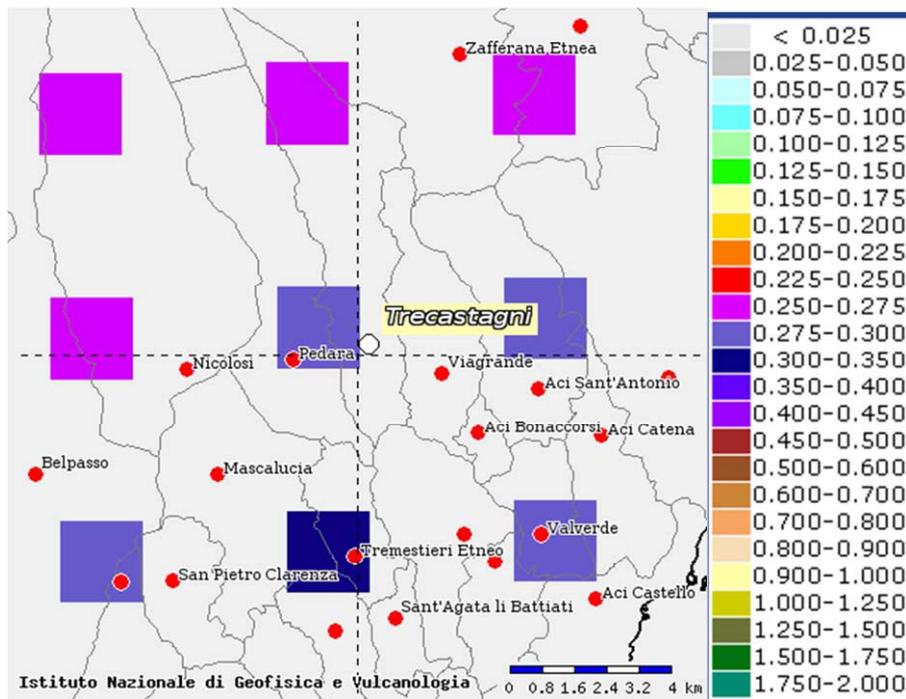


Fig. 7 – Mappa interattiva di pericolosità sismica del territorio di Trecastagni. I punti della griglia visualizzati si riferiscono a: parametro dello scuotimento $a(g)$, probabilità di superamento del 5% in 50 anni.

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

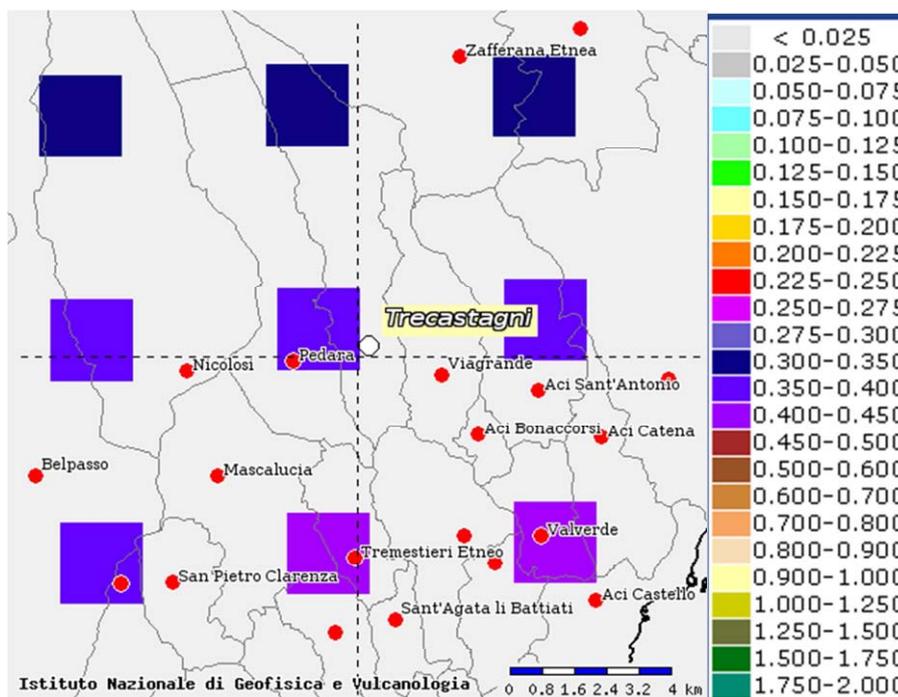


Fig. 8 – Mappa interattiva di pericolosità sismica del territorio di Trecastagni. I punti della griglia visualizzati si riferiscono a: parametro dello scuotimento a_g), probabilità di superamento del 2% in 50 anni.

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

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

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

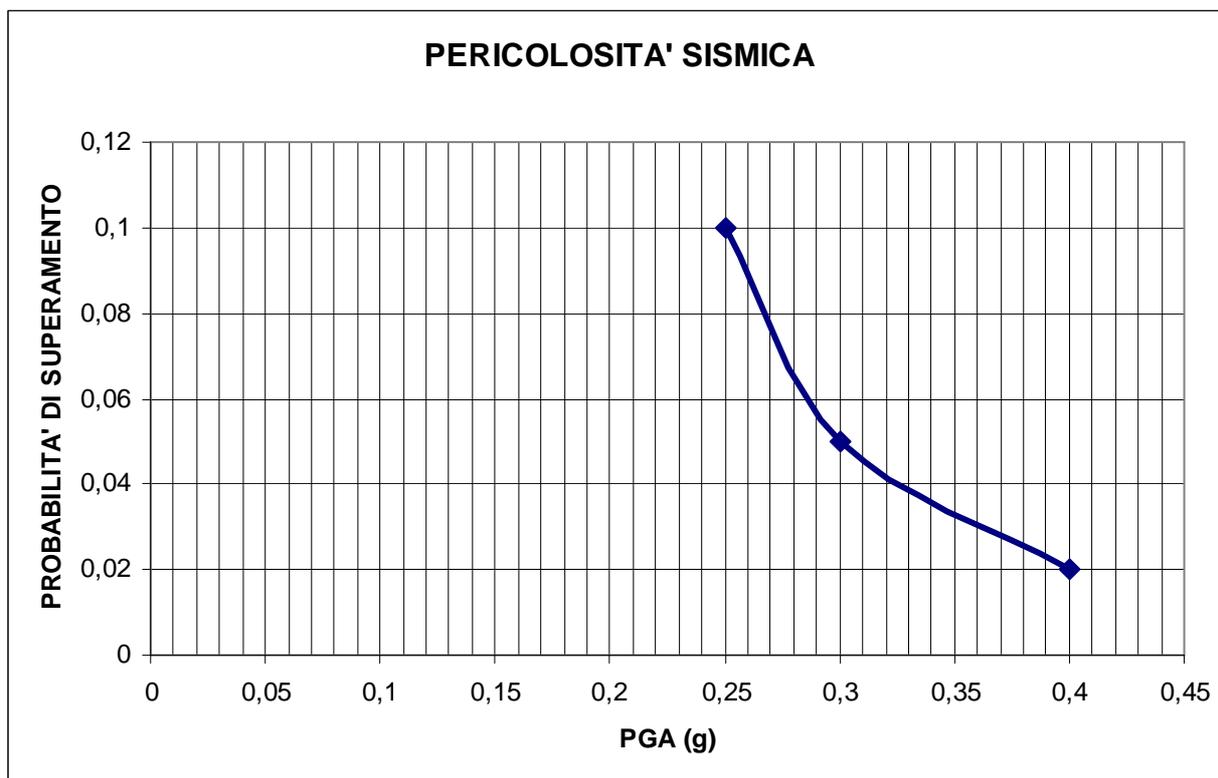


Fig. 9 – Curva di pericolosità sismica al sito per il territorio di Trecastagni. La curva rappresenta il valore della mediana.

Il territorio del Comune di Trecastagni è stato individuato sul database DBMI11 (con 69 eventi sismici significativi tra il 1634 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 Trecastagni.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

3. Assetto geologico e geomorfologico dell'area

Il territorio di Trecastagni ricade nel settore sud-orientale dell'Etna, direttamente esposto ai flussi lavici che hanno percorso il fianco meridionale del vulcano. L'abitato si è sviluppato al margine di un ripiano orografico debolmente inclinato verso sud-est che si estende, dalla quota di circa 600 m fino a 550 m s.l.m., dalle aree limitrofe del comune di Pedara. Verso est, il ripiano orografico è delimitato da un versante più ripido, orientato circa N-S, che separa la porzione orientale dell'abitato dalle aree limitrofe del comune di Viagrande, il cui centro si sviluppa alla base del versante a quote di circa 400 m s.l.m..

Nella parte centrale dell'abitato di Trecastagni, in direzione meridiana, sono distribuiti due principali rilievi, costituiti da resti di antichi coni piroclastici, dove sono ubicati la Chiesa Madre, al centro dell'abitato, e l'antico Mulino a vento, nel settore settentrionale dell'abitato.

La cartografia geologica disponibile evidenzia che il territorio di Trecastagni è essenzialmente costituito da campi lavici 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). All'interno della successione delle colate, sono intercalati i livelli piroclastici che costituiscono gli edifici affioranti nel centro urbano. La parte meridionale del territorio comunale è attraversata dalla terminazione nord-occidentale della Faglia di Trecastagni (Azzaro, 1999) che si estende con direzione NNW-SSE anche nel territorio di San Giovanni la Punta per terminare verso sud in corrispondenza dell'abitato di San Gregorio di Catania.

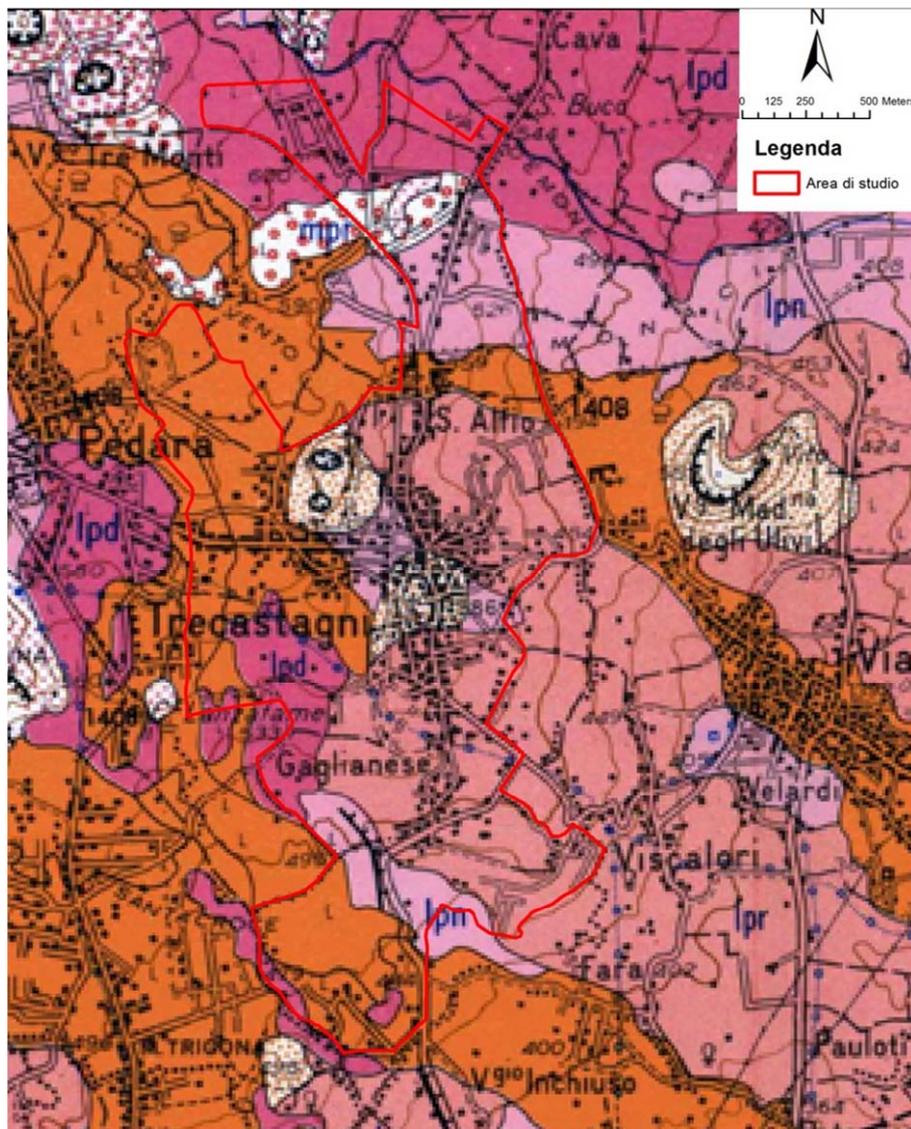


Fig. 10 – Stralcio della Carta geologica del Monte Etna (AA.VV., 1979 mod).

Secondo la “Carta geologica del Monte Etna” alla scala 1:50.000 (AA.VV., 1979; Fig. 10) nella parte centrale dell’abitato di Trecastagni, lungo la sommità del versante che lo separa da Viagrande, affiorano i terreni lavici più antichi, costituiti da lave non delimitabili (lpn in Fig. 10), direttamente ricoperti da prodotti molto più recenti (lpr in Fig. 10), di età protostorica, mentre i flussi relativi alle colate di età intermedia (lpd in Fig. 10), affioranti nella zona sub-pianeggiante occidentale, in corrispondenza del centro abitato sono stati deviati verso sud, risparmiando così il versante ripido del settore più orientale. Secondo l’interpretazione della carta geologica, lo sbarramento di queste colate non sarebbe comunque imputabile alla presenza degli edifici piroclastici (Chiesa Madre e Mulino a vento) affioranti all’interno dell’abitato, che sono stati correlati alle lave protostoriche che

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 mantellano il versante ad est dell'abitato e quindi attribuiti ad una età posteriore a quella dei flussi lavici devianti. La presenza dei rilievi piroclastici ha chiaramente sbarrato l'avanzamento dei flussi lavici storici, attribuiti agli eventi eruttivi del 1408, che si sono diramati in due bracci divergenti che circondano tutto il settore centrale dell'abitato, invadendo le aree alla base degli edifici.

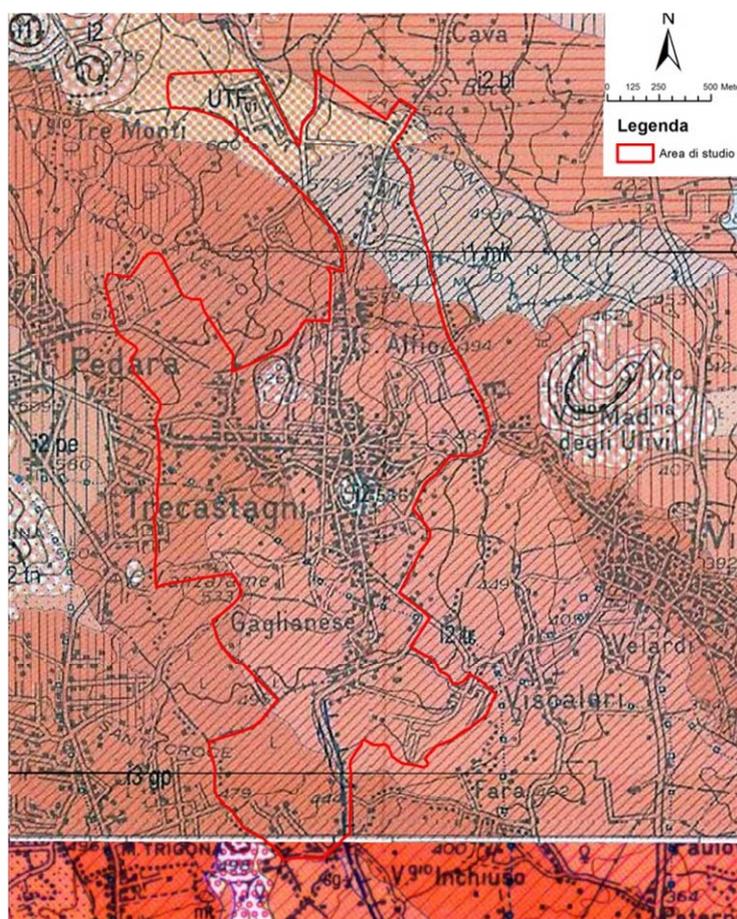


Fig. 11 – Stralcio dei Fogli geologici 625 “Acireale” e 634 “Catania” (AA.VV., 2009a; 2009b mod).

Nello schema di legenda dei Fogli Geologici 625 “Acireale” e 634 “Catania” (AA.VV., 2009a; 2009b)(Fig. 11), tutte le colate laviche e le piroclastiti nel centro urbano di



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

sarebbero riferibili ad una età inferiore a 4 ka e quindi coeve alle lave affioranti nel resto del centro abitato. Queste costituiscono la porzione apicale di un vasto campo lavico esteso, verso la costa ionica, fino agli abitati di Aci Catena e Valverde. La carta quindi documenterebbe la presenza, nel sottosuolo del centro del paese, di un edificio piroclastico in gran parte sepolto dalle lave protostoriche, coevo ai resti dell'edificio esposto nelle aree più settentrionali del territorio investigato, cui potrebbe essere imputato l'effetto morfologico di sbarramento esercitato su alcuni dei flussi rinvenibili nelle porzioni occidentali dell'abitato, come già evidenziato nelle carte geologiche più vecchie.

L'attribuzione delle lave di Trecastagni ad una età inferiore ai 4 ka è inoltre significativa per poter valutare l'entità dei rigetti verticali della Faglia di Trecastagni sulla base dell'altezza della scarpata cumulativa sviluppatasi sulle lave.

La Carta Morfotettonica dell'Etna (Monaco et al., 2010) (Fig. 13) evidenzia che il tratto della Faglia di Trecastagni affiorante all'interno dell'area studiata costituisce un segmento suturato dalle lave del 1408 e indipendente rispetto al resto della struttura che si sviluppa nel territorio comunale limitrofo di San Giovanni la Punta. Secondo Azzaro et al. (2012)(Fig. 14), invece, il segmento di faglia di Trecastagni sarebbe in effetti collegato al resto della struttura anche se a tratti nascosta dai prodotti lavici recenti che ne obliterano le evidenze morfologiche.

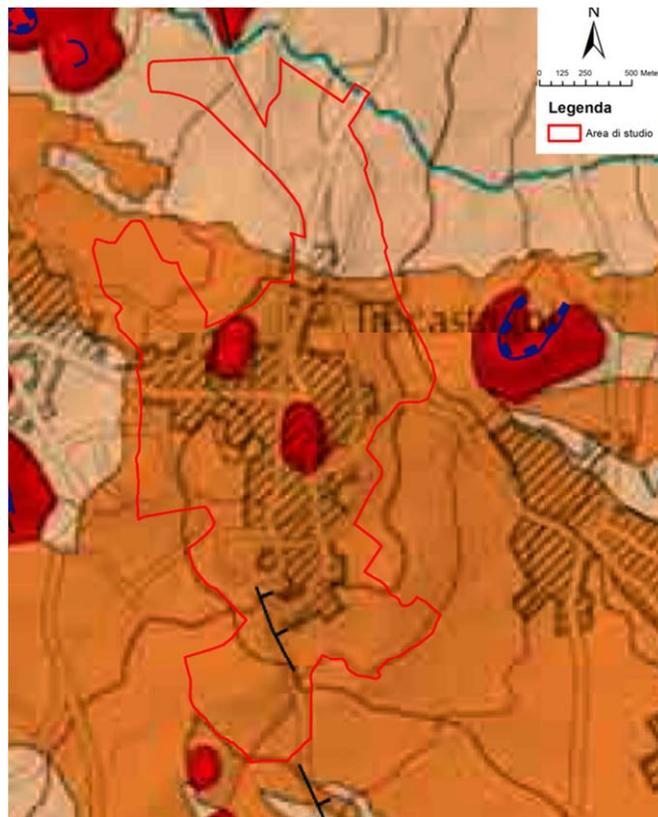


Fig. 13 – Stralcio della Carta Morfotettonica del Monte Etna (Monaco et al., 2008 mod).

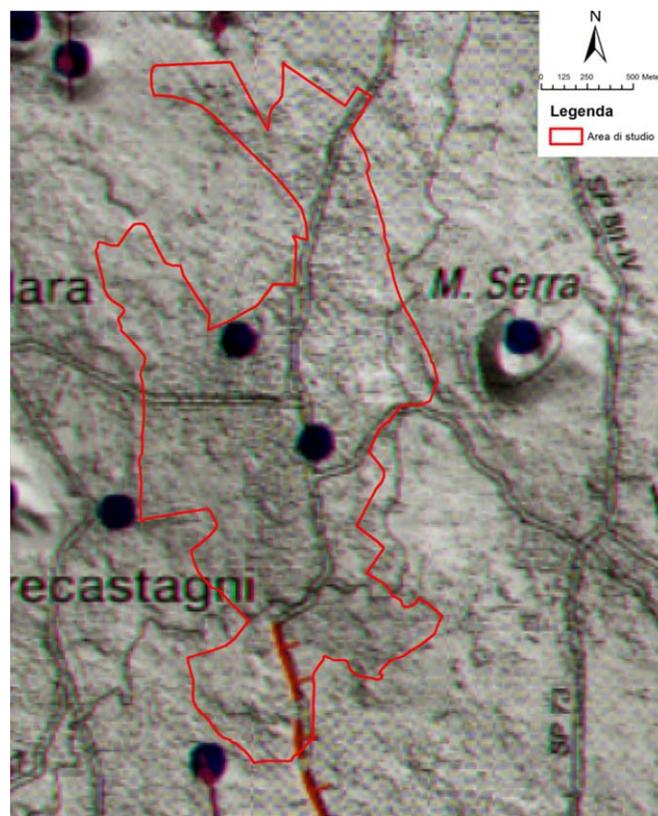
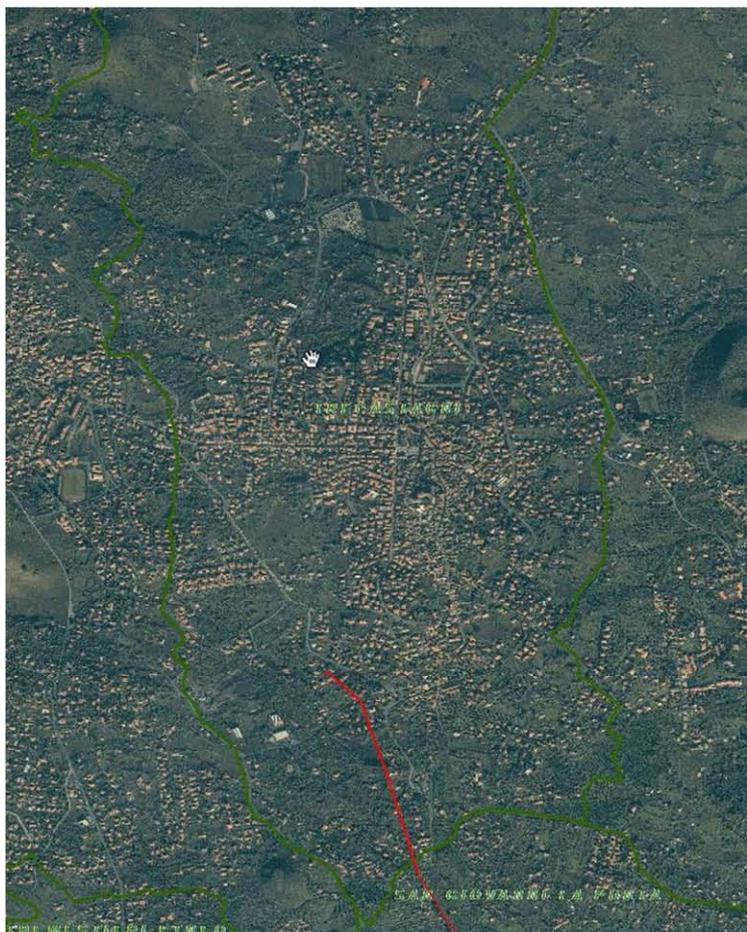


Fig. 14 – Stralcio della Carta vulcano-tettonica del Monte Etna (Azzaro et al., 2012 mod).

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



PHISICAL AND GEOLOGICAL ATTRIBUTES

GEOLOGIC SETTING	This fault is located in the southeastern sector of the Mt. Etna volcano, the largest active strato volcano in Sicily.
SYNOPSIS	The Trecastagni fault is a volcano-tectonic structure and shows recent activity, revealed by ground effects collected during field surveys. The fault is characterized by coseismic (northern and central sectors) and aseismic (southern sector) ruptures.
FAULT NAME	Trecastagni
FAULT CODE	11300
MACROZONE	7
REGION NAME	Sicilia
SYSTEM NAME	Trecastagni
RANK	PRIMARY
AVERAGE STRIKE	330
DIP	90
LENGTH (Km)	5.5
GEOMETRY	
SEGMENTATION	no
DEPTH (Km)	5
LOCATION RELIABILITY (MAPPING SCALE)	1:10000
LAST ACTIVITY	Historical (<3,000)
ACTIVITY RELIABILITY	High reliability
RECURRENCE INTERVAL (yr)	8
SLIP-RATE (mm/yr)	
MAX CREDIBLE RUPTURE LENGTH	0.9
MAX CREDIBLE SLIP (m)	
KNOWN SEISMIC EVENTS	Date I (MSK) 1980/09/16 VI 1980/09/28 VI 1988/11/21 VI
MAX CREDIBLE MAGNITUDE (Mw)	3.4
	VII-VIII

MAX CREDIBLE INTENSITY (INQUA scale)	
STUDY QUALITY	HIGH
NOTES	M in luogo di Mw by sicilia008

Fig. 15 - Faglie attive che ricadono nel comune di Trecastagni, segnalate nel database Ithaca (http://193.206.192.227/wms_dir/Catalogo_delle_Faglie_Capaci_ITHACA.html#)

La presenza di un unico segmento di faglia, di lunghezza pari a 5.5 km, è accreditata anche nel database Ithaca (ITaly HAZard from CAPable faults) dove la Faglia di Trecastagni (Fig. 15) è catalogata come lineamento vulcano-tettonico di rango principale,

caratterizzato da rotture co-sismiche nei tratti centrali e settentrionali e creep asismico nel suo tratto meridionale.

La storia sismica accreditata nel catalogo ITHACA trae spunto dalle informazioni contenute nel Catalogo Macrosismico dei Terremoti Etni dal 1832 al 2005 (Azzaro et al., 2000, 2009)(Fig. 16), che riporta una serie di epicentri localizzati solo nella porzione settentrionale della faglia.

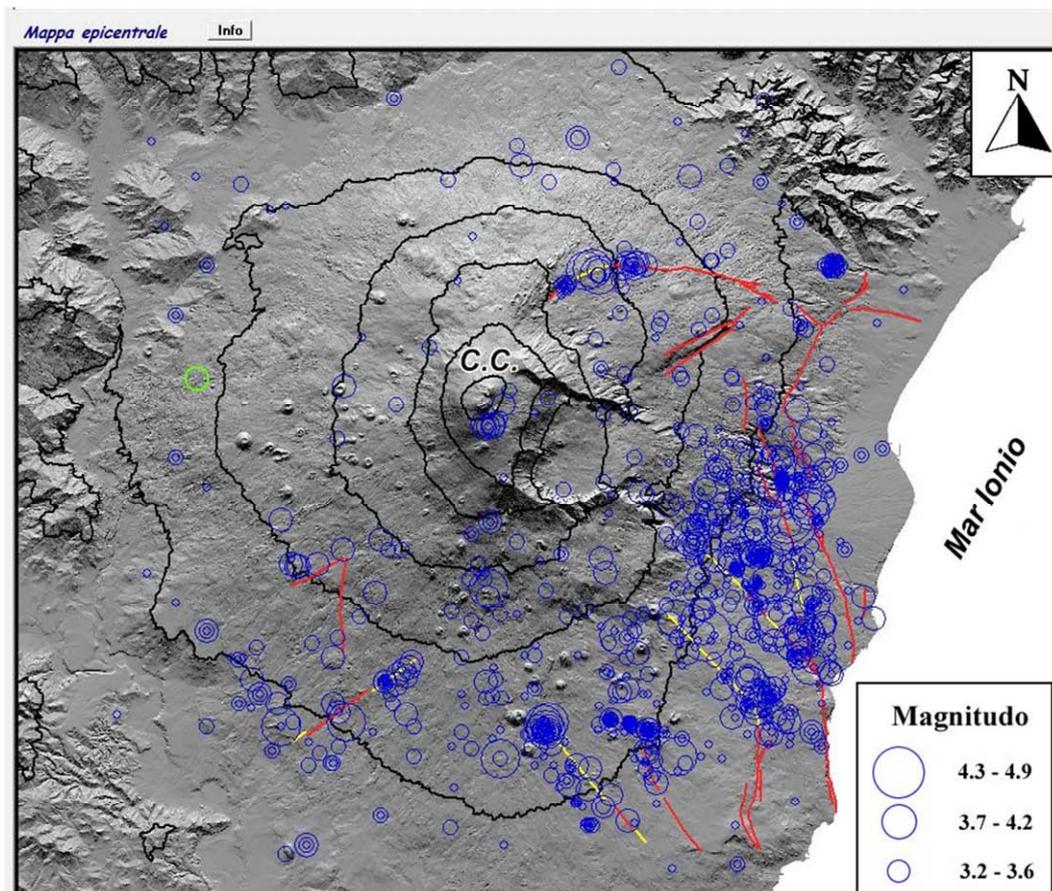


Fig. 16 - Carta sismo-tettonica del Monte Etna riportata nel Catalogo Macrosismico dei Terremoti Etni dal 1832 al 2005 (Azzaro et al., 2000, 2009).

Un recente studio (Gambino et al., 2011) sulle relazioni tra i movimenti lungo la struttura e la sismicità, nell'intervallo 2009-2010, ha evidenziato che anche i tratti più settentrionali della struttura (Fig. 17), monitorati con estensimetri, sono stati interessati, nel periodo considerato, da movimenti di creep asismico, che evidentemente si alternano alle deformazioni cosismiche documentate dai cataloghi.

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

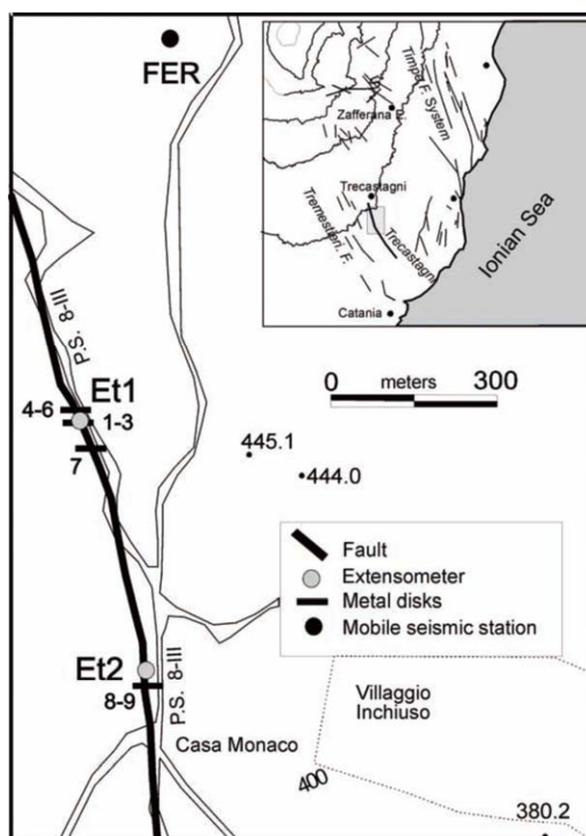


Fig. 17 – Geometria della terminazione settentrionale della Faglia di Trecastagni e ubicazione delle strumentazioni di monitoraggio (da Fig. 2 di Gambino et al., 2011).

La storia sismica del comune di Trecastagni 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, tra cui l'omonima faglia posta immediatamente ad ovest dell'abitato.

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



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77
accordo con la cinematica delle zone di fratturazione riscontrate sul terreno. Nelle aree prossime all'abitato di Trecastagni, 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 figura 18, la Faglia di Tremestieri (TMF in Fig. 18), ad ovest, e la Faglia di Fiandaca (FF in Fig. 18), ad est, sembrerebbero giocare un ruolo secondario, in quanto si svilupperebbero all'interno di blocchi cinematici, mentre la Faglia di Santa Tecla (STF in Fig. 18), costituendo un limite principale tra blocchi adiacenti, dovrebbe avere un ruolo più rilevante. 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.

Oltre alle sorgenti sismiche localizzate nell'area dell'Etna, il territorio di Trecastagni può essere soggetto a risentimenti di eventi sismici generati da movimenti lungo sorgenti poste al margine del territorio comunale, cui vanno riferiti gli eventi più disastrosi della storia sismica del comune (11.01.1693; 20.02.1818).

Il DISS (Database of Individual Seismogenic Sources) Version 3.1.1 (DISS Working Group 2010) riporta come una delle possibili sorgenti sismogeniche dell'evento del 1693, una faglia inversa immergente verso NNW, localizzata lungo il bordo meridionale dell'Etna e catalogata come sorgente sismica individuale "ITIS106 - Gravina di Catania", la cui proiezione in superficie comprende tutto il centro abitato del territorio comunale di Trecastagni (Fig. 19).

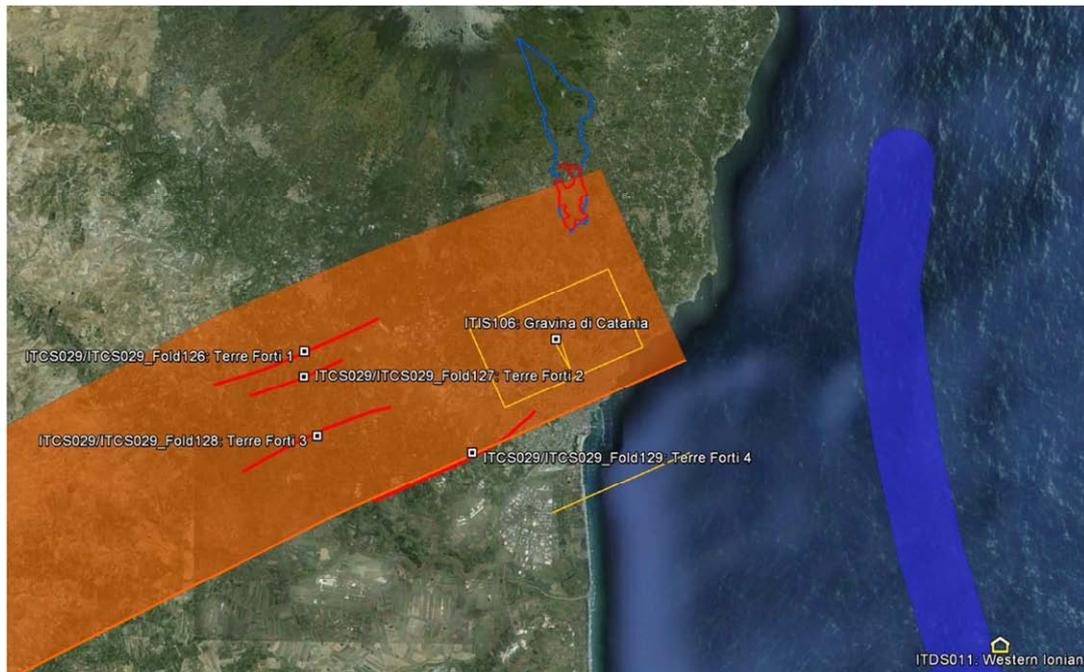


Fig. 19 - Ubicazione delle sorgenti sismogeniche ITIS106 - Gravina di Catania e ITDS011 - Western Ionian rispetto all'area comunale di Trecastagni (in blu) e dell'area di studio (in rosso) (DISS Working Group 2010, mod.).

I parametri geometrici e cinematici, significativi per valutare il potenziale della sorgente sono riportati nella scheda di figura 20. 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 disastroso 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. 19), 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 1693 (2/2)
Penultimate Eq	Unknown
Elapsed Time	307

Fig. 20 – 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.

La successione geolitologica affiorante nel territorio comunale di Trecastagni, utilizzata ai fini della redazione della carta geologico-tecnica, è stata ricostruita integrando le informazioni derivanti dalla cartografia geologica disponibile in Letteratura con i dati relativi alla Carta Geologica allegata al PRG, dalla quale è tratto lo stralcio raffigurato in Fig. 21. L'elaborato cartografico, seppure carente da un punto di vista della rappresentazione grafica, contiene informazioni di dettaglio utili a definire la presenza di due distinti livelli piroclastici, all'interno dell'abitato (Pd e Pr in Fig. 21).

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

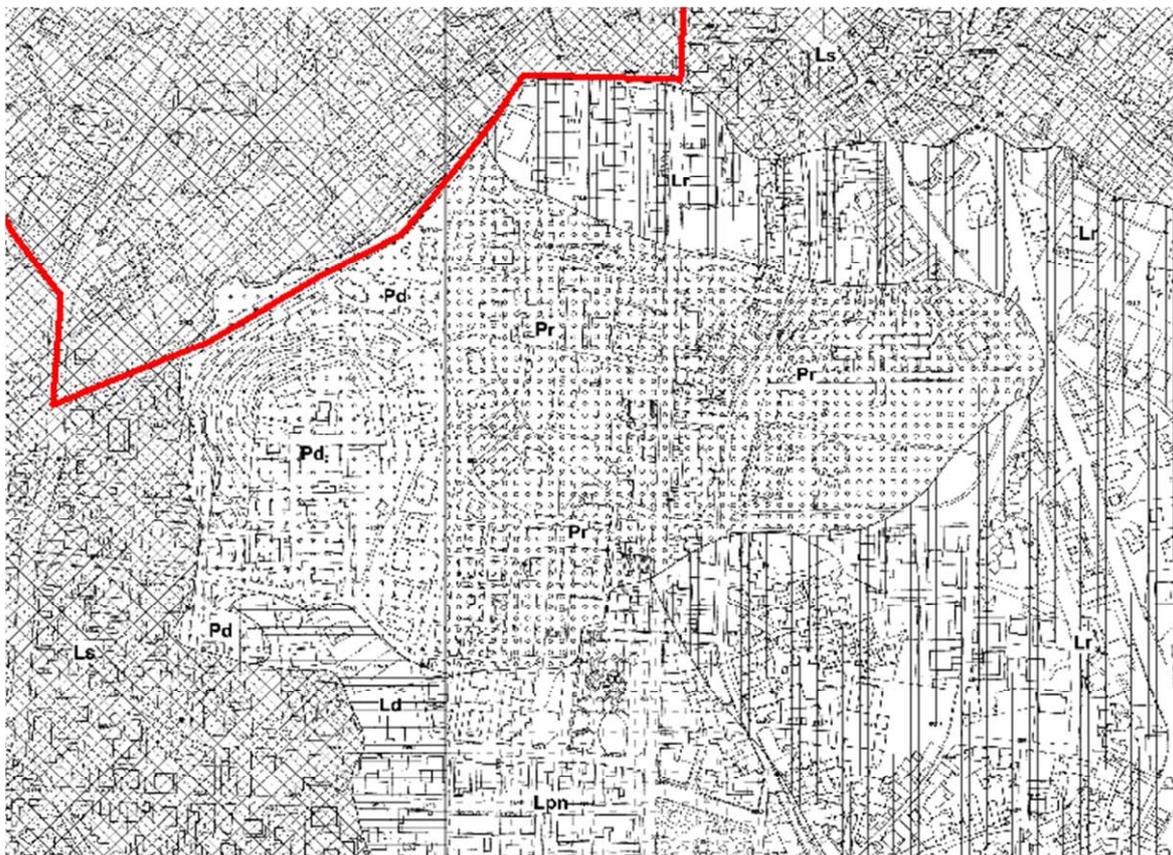


Fig. 21 – Stralcio della carta geologica allegata al PRG, relativo al settore centro-settentrionale dell'abitato.

Il primo, indicato con la sigla Pd, forma i resti del cono del Mulino a vento cui si associano anche colate laviche (Ld in Fig. 21), come già evidenziato dalla cartografia geologica prima esaminata; il secondo livello piroclastico, indicato con Pr, forma un orizzonte, non segnalato nella cartografia geologica citata in precedenza, affiorante alla base delle colate laviche recenti e storiche (Lr e Ls in Fig. 21) che mantellano la parte settentrionale del versante degradante verso l'abitato di Viagrande. Nel documento cartografico emerge una contraddizione tra i rapporti geometrici reciproci e l'età assegnate alle due formazioni piroclastiche: le piroclastiti attribuite ad una età più antica (Pd) risultano, infatti, associate alle morfologie vulcaniche meglio conservate che

sembrano essersi sviluppate al tetto dell'orizzonte piroclastico assegnato, invece, ad una età più recente (Pr). La carta, inoltre, non evidenzia la sovrapposizione delle presunte piroclastiti recenti, né sulle lave indicate come Ld né su quelle riferite ai livelli ancora più antichi ed indicate come Lpn, che vincolerebbe in maniera inequivocabile l'età più recente di Pr rispetto a Pd.

Per risolvere questo e gli altri numerosi aspetti ancora poco vincolati sulla geometria del sottosuolo di Trecastagni, dovuti in gran parte alla mancanza di un numero sufficiente di dati geognostici e geofisici significativi, si è resa indispensabile l'acquisizione di una notevole mole di dati di terreno originali, interpretati alla luce di una dettagliata analisi di foto aeree a scala adeguata, che hanno consentito di sintetizzare i diversi dati cartografici in un unico documento opportunamente verificato. I nuovi dati di terreno hanno permesso di confermare la presenza di due distinte unità piroclastiche e di chiarire meglio la loro posizione geometrica all'interno della successione lavica affiorante. L'unità piroclastica più profonda, indicata come *Depositi vulcanoclastici inferiori* nei profili geologici dell'**Allegato 1** (GMsc della carta geologico-tecnica) costituisce il substrato delle lave che mantellano il versante orientale, degradante in direzione di Viagrande. Le piroclastiti affiorano non solo nel rilievo della Chiesa Madre, dove culminano fino ad una quota massima di 585 m s.l.m. come segnalato anche nella cartografia precedente, ma sono state rinvenute anche lungo il versante, fino a quote di circa 470 m. Le sovrastanti colate laviche mostrano una chiara giacitura a franapoggio, congruente con la geometria del contatto basale sulle piroclastiti, evidenziando che esse mantellano il versante con spessori limitati, mentre l'ossatura del versante è effettivamente costituita dalle piroclastiti. Di conseguenza, il rilievo della Chiesa Madre, come già segnalato in Branca et al. (2011), può essere interpretato come la sommità di un edificio in gran parte sepolto (profilo B-B' in **Allegato 1**) il cui fianco orientale costituisce oggi il versante che separa gli abitati di Trecastagni e Viagrande, ricoperto da lave più recenti, corrispondenti a quelle assegnate ad un'età protostorica (3,9 ka - 122 a.C.) (AA.VV., 2009a; 2009b) ed indicate come *lave intermedie* nei profili dell'**Allegato 1**. La



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

chiusura settentrionale e quella meridionale dell'edificio sepolto, verso le quali si sono diramati i bracci delle colate laviche storiche, sono identificabili laddove le lave intermedie poggiano direttamente su un substrato di colate laviche molto fratturate a morfologia degradata che, costituendo i livelli più profondi della successione riconosciuta in affioramento, sono state indicate come *lave basali* nei profili dell'**Allegato 1**. Le lave basali (**ALSF** nella carta geologico–tecnica) corrispondono a quelle assegnate all'intervallo 15–3.9 ka nei fogli geologici ufficiali (AA.VV., 2009a; 2009b). Gli ingenti volumi di piroclastiti che ricoprono queste lave basali nei settori più settentrionali dell'area investigata, come già evidenziato in Branca et al. (2011), mostrano caratteristiche analoghe a quelle sepolte nel sottosuolo del centro e sono state anch'esse assegnate ai Depositi vulcanoclastici inferiori e riferiti ai resti molto erosi di un ulteriore edificio posto più a nord del centro storico.

I flussi lavici del pianoro che degrada dall'adiacente abitato di Pedara fino alle aree occidentali dell'abitato, parzialmente deviati verso sud in corrispondenza del centro del paese, sono stati interpretati come il tetto della sequenza delle Lave intermedie aggradante contro il versante occidentale dell'edificio sepolto di Trecastagni, costituito dai Depositi vulcanoclastici inferiori (profilo A–A' e B–B' in **Allegato 1**). Questo avrebbe costituito una barriera topografica, aggirata dalle lave alimentate dagli apparati del Rift sud dell'Etna. Laddove queste hanno colmato l'intero dislivello topografico (profilo A–A' in **Allegato 1**) i flussi più recenti delle Lave intermedie hanno avuto la possibilità di superare la barriera sepolta e ricoprire anche il versante orientale dell'edificio, che risulta caratterizzato da uno spessore molto minore della copertura lavica, rispetto al versante occidentale. I dati di superficie hanno permesso di vincolare con una discreta precisione

l'estensione sia verso nord che verso sud dell'edificio sepolto, che verso est ricade all'interno del territorio comunale di Viagrande, mentre la localizzazione della sua base verso ovest presenta un maggior grado di incertezza. In generale le geometrie sepolte rappresentate nei profili dell'**Allegato 1** dovranno essere opportunamente verificate con indagini dirette da prevedere nei livelli successivi d'indagine.

I nuovi dati geologici raccolti nel corso dello studio hanno invece confermato la presenza di cono piroclastici più recenti, poggianti sulle lave protostoriche e circondati dai flussi delle lave storiche. Questa evidenza suggerisce che la zona di Trecastagni sia stata sede di sistemi di fessure eruttive che sono state attive in ripetute fasi dell'evoluzione recente del vulcano, generando gli edifici piroclastici di differente età, oggi geometricamente sovrapposti.

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

Substrato Geologico

Per la loro continuità laterale che le differenzia dalle altre unità laviche riconosciute, le sole *lave basali* (profili **Allegato 1**) sono state assegnate al substrato geologico e classificate come alternanza di litotipi. Quest'orizzonte lavico profondo, molto degradato in superficie, è costituito da un'alternanza (**ALSF**) di banchi lavici massivi molto fratturati e di livelli piroclastici che, mantenendo caratteri giaciturali e litologici omogenei in tutto il settore di affioramento e tra affioramenti localizzati in aree anche molto distanti, è stato ipotizzato come un livello continuo, presente nel sottosuolo di tutto il territorio analizzato.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

Terreni di copertura

Nel territorio di Trecastagni sono state individuate e suddivise 4 tipologie diverse di coperture. Tra queste sono stati contemplati i due diversi orizzonti piroclastici rappresentati dai **Depositi vulcanoclastici superiori (SWsc)** nella carta geologico–tecnica) e dai **Depositi vulcanoclastici inferiori (GMsc)** nella carta geologico–tecnica), che si differenziano tra loro per il diverso grado di selezione granulometrica, maggiore per l'orizzonte più recente. Tra le coperture sono state comprese anche tutte le **lave intermedie**, di età protostorica e quelle storiche (**LC** nella carta geologico–tecnica) che sono state classificate, secondo la codifica provvisoria, come “lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate”, ad indicare la loro estrema discontinuità laterale, raffigurata nei profili geologici dell'**Allegato 1**, connessa all'esistenza di una paleotopografia sepolta dai prodotti eruttivi.

Nel caso delle lave di copertura (**LC**), nella prospettiva della microzonazione di primo livello è necessario tenere conto anche dell'estrema variabilità laterale delle litofacies che compongono le diverse parti di una singola colata e di contemplare le diverse casistiche di giacitura delle successioni laviche in relazione all'articolazione del substrato sub–vulcanico. La cartografia pregressa da cui attingere le informazioni per la realizzazione degli studi di primo livello, a prescindere dalla scala di dettaglio, è stata basata su suddivisioni dei terreni lavici in unità litostratigrafiche che, fatta eccezione per le colate storiche per le quali sono stati tracciati i limiti, raggruppano più colate laviche senza fornire comunque alcun dettaglio sulla variabilità laterale e verticale dei prodotti. Si è reso dunque necessario procedere ad integrazioni dei rilievi con analisi mirate

all'individuazione, laddove possibile, dei contorni delle singole colate e, all'interno di queste, dei singoli flussi lavici. Nella carta geologico-tecnica, sono stati ricostruiti, con un grado di affidabilità dipendente dalle effettive esposizioni in superficie, i limiti delle singole colate laviche, con l'indicazione dell'ordine di sovrapposizione. Nella lettura ed interpretazione della carta, va rilevato che sia i fianchi che il fronte delle colate sono discontinuità che possono costituire elementi di concentrazione dell'amplificazione sismica in quanto generalmente caratterizzati da una notevole quantità di materiale scoriaceo fittamente alternato a livelli di lave massive, in contrapposizione alle porzioni centrali di riempimento di canali, dove possono prevalere lave massive sormontate da uno spessore variabile di scorie (Fig. 22).

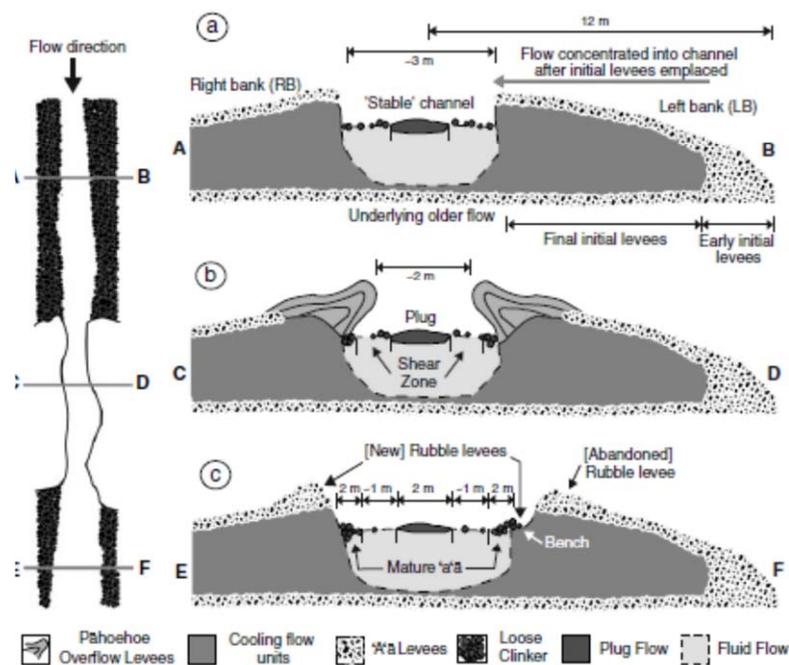


Fig. 22 – Profili di flusso attraverso colate laviche canalizzate nei suoi diversi settori (da Bailey et al., 2006).

Nei profili, all'interno delle lave di copertura sono state differenziate le colate laviche storiche dal resto delle colate, indicate come *lave intermedie*. Queste ultime sono soggette alle maggiori discontinuità laterali avendo maggiormente risentito nella loro distribuzione della presenza degli edifici piroclastici oggi sepolti. La localizzazione in sottosuolo dei repentini passaggi laterali dai livelli prevalentemente massivi delle colate



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile

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

laviche ai depositi incoerenti degli edifici piroclastici sepolti è stata raffigurata tramite un apposito simbolo di forma sepolta. Il sovrassegno adottato visualizza l'estensione in sottosuolo degli edifici sepolti, consentendo di localizzare la proiezione in superficie del limite di contatto obliquo contro il quale avviene l'aggradazione delle lave di copertura sulle piroclastiti. La geometria è analoga a quella comunemente riscontrata in tutta l'area etnea, nel caso di colate che hanno riempito valli o si siano canalizzate parallelamente a versanti pre-esistenti. La casistica fin qui analizzata non ha ancora consentito di definire un'univoca litofacies delle lave da associare a questa geometria. Queste possono essere invariabilmente composte da colate a morfologia semplice, costituite da una successione regolare di banchi lavici massivi con copertura di scorie, o più complessa, con maggiore discontinuità sia laterale che verticale dei livelli massivi e scoriacei. Sarà pertanto necessario, nel corso degli studi di secondo livello, procedere ad indagini specifiche per verificare i caratteri litologici delle lave che costituiscono il sottosuolo del settore occidentale dell'abitato.

Ben differente è la situazione delle lave di copertura poggianti sul fianco orientale dell'edificio. In questo caso, le lave di copertura mostrano differenti geometrie e litofacies, connesse, a parità di gradiente della paleotopografia che esse hanno ricoperto, alle caratteristiche reologiche degli originali flussi lavici. Questi, superato l'apice dell'edificio, si sono riversati sul fianco orientale re-orientandosi secondo la massima pendenza della paleotopografia, tendendo 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. Il risultato è che gli apici dei versanti sono sepolti da una successione di lave poco spessa e costituita da una fitta alternanza di livelli scoriacei e massivi circa paralleli alla superficie paleotopografica. 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 Trecastagni, 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. Poco più a nord, è stato riconosciuto l'apice di un ulteriore ventaglio, che si sviluppa prevalentemente nell'adiacente territorio comunale di Viagrande.

4. Dati geotecnici e geofisici

I dati geotecnici e geofisici disponibili per l'area di studio, derivano da n. 50 indagini complessive, di cui n. 22 indagini pregresse e n. 28 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. 44 indagini puntuali e n. 6 indagini lineari. L'insieme delle indagini puntuali e lineari disponibili (per l'ubicazione si veda la carta delle indagini) sono schematizzate per tipologia nella sottostante tabella 2:

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

Totale Ind. Punt.	Geologia (GG)			Geotecnica di laboratorio (GL)		Geofisica (GF)	TOTALE	
	S	SS	SC	SM	TD	HVSR	GG	GF
44	6	1	3	3	3	28	10	28

Totale Ind. Lineari	Geofisica (GF)	Geoelettrica (GE)	TOTALE	
	SR	ERT	GF	GE
6	3	3	3	3

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

I datipregressi derivano da indagini realizzate per lo studio geologico a supporto del P.R.G. e da uno studio agricolo forestale del territorio comunale, messi a disposizione dall'amministrazione comunale di Trecastagni. In particolare le indagini geognostiche, ricadenti principalmente nel settore settentrionale del centro abitato, consistono in n. 7 sondaggi meccanici a carotaggio continuo, tre dei quali (087050P3, 087050P4 e 087050P5) ricadono immediatamente al di fuori dell'area di studio, precisamente nei pressi della Zona Sportiva "Carlina". Tali sondaggi investigano una profondità limitata (max 12 metri) del sottosuolo. Nel corso di tre perforazioni (087050P1, 087050P3 e 087050P7) sono stati raccolti n. 3 campioni disturbati, di cui uno prelevato in materiale di riporto e due all'interno delle vulcanoclastiti inferiori (vedi Capitolo 3), in seguito sottoposti ad analisi di laboratorio. Si tratta di campioni di terreni analoghi dal punto di vista granulometrico, costituiti da una miscela di ghiaie e sabbie, con limi e argille presenti in quantità inferiore al 25%. Le caratteristiche fisico-meccaniche misurate e archiviate secondo gli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica-Versione 2.0beta-II" sono, dunque, abbastanza simili: il peso dell'unità di volume si attesta intorno ai 19 KN/m³, la coesione efficace è pari a zero e l'angolo di attrito interno varia da 38° a 46°. Solamente il contenuto d'acqua che nei due campioni vulcanoclastici è di circa 10% e

12%, nel campione di materiale di riporto raggiunge il 18,71% (vedi Tabb. 2, 3 e 4 dell'Allegato 3).

I terreni oggetto di studio sono stati classificati utilizzando il sistema USCS (Tab. 3).

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

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

Con alcune modifiche, tale classificazione è stata recepita negli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica-Versione 2.0beta-II", che prevede la

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77
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 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, se si eccettuano due valori di RQD ottenuti durante la perforazione del sondaggio 087050P3 e riportati nella tabella 1 dell'**Allegato 3**, che descrivono la qualità delle lave del substrato "scadente" e "molto scadente".

I dati geofisici disponibili derivano da indagini geoelettriche e geofisiche pregresse costituite da n. 3 profili sismici a rifrazione (SR) e n. 3 tomografie elettriche (ERT). Tali indagini, seppure scarsamente significative per la validazione del modello di sottosuolo, costituiscono esempi molto eloquenti della variabilità laterale e verticale che contraddistingue i campi lavici. A titolo di esempio in figura 23 è stata riportata l'indagine 087050L3SR3, che si riferisce ad un profilo steso all'interno di un campo lavico assegnato alle lave di copertura (LC nella carta geologico-technica), poggiante al tetto delle lave di substrato (ALSF nella carta geologico-technica). Il profilo evidenzia bene uno strato superficiale, spesso circa 4 m, a bassa velocità ($200 < V_p < 800$ m/s), che rappresenta l'intervallo scoriaceo, poggiante su un livello sottostante caratterizzato da una V_p compresa tra 800 e 2000 m/s, costituito dalla porzione massiva della colata, a sua volta caratterizzata da una evidente variabilità laterale. Comparando la profondità di investigazione con i dati di terreno, risulta che il profilo dovrebbe aver attraversato il contatto tra le lave di copertura e le lave di substrato, senza che ciò sia stato rilevato in termini di variazione delle velocità nelle tomografie sismiche. Ciò è conseguenza della variabilità propria dei terreni vulcanici, con l'accostamento tra litotipi con comportamento da bedrock sismico e litotipi con caratteristiche riferibili ai terreni di copertura.

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

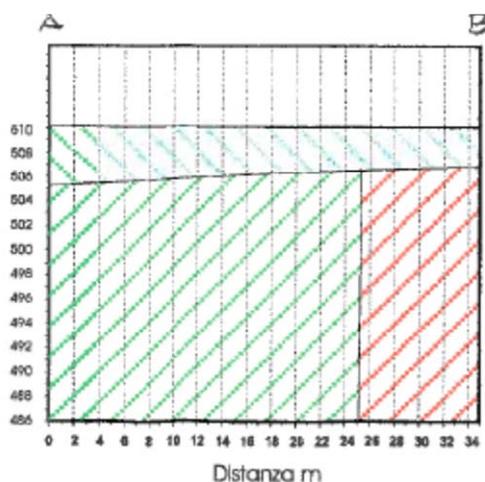


Fig. 23 – Profilo sismico a rifrazione relativo all'indagine 087050L3SR3.

L'estrema variabilità dei terreni vulcanici è anche ben evidenziata dalle tomografie elettriche, all'interno delle quali i differenti valori di resistività sono in gran parte legati al grado di fratturazione delle lave e alla porosità dei terreni vulcanoclastici sciolti, tenuto in debito conto il ruolo della presenza dell'acqua. Nella tomografia elettrica 1 (Fig. 24) (corrispondente all'indagine 087050L4ERT4) la drastica discontinuità dei valori che separa due sismostrati sovrapposti corrisponde al contatto tra i Depositi vulcanoclastici inferiori (**GMsc** nella carta geologico-tecnica) e le sottostanti lave basali (**ALSF** nella carta geologico-tecnica). In questo caso, i valori di resistività delle vulcanoclastiti è analogo a quello riscontrato nella tomografia 3 (087050L6ERT6) (Fig. 24) che evidenzia l'appoggio di materiale di riporto, rappresentato dai livelli a bassa resistività sulla sinistra, contro i Depositi Vulcanoclastici superiori (SWsc), rappresentati dai livelli a più alta resistività sulla destra.

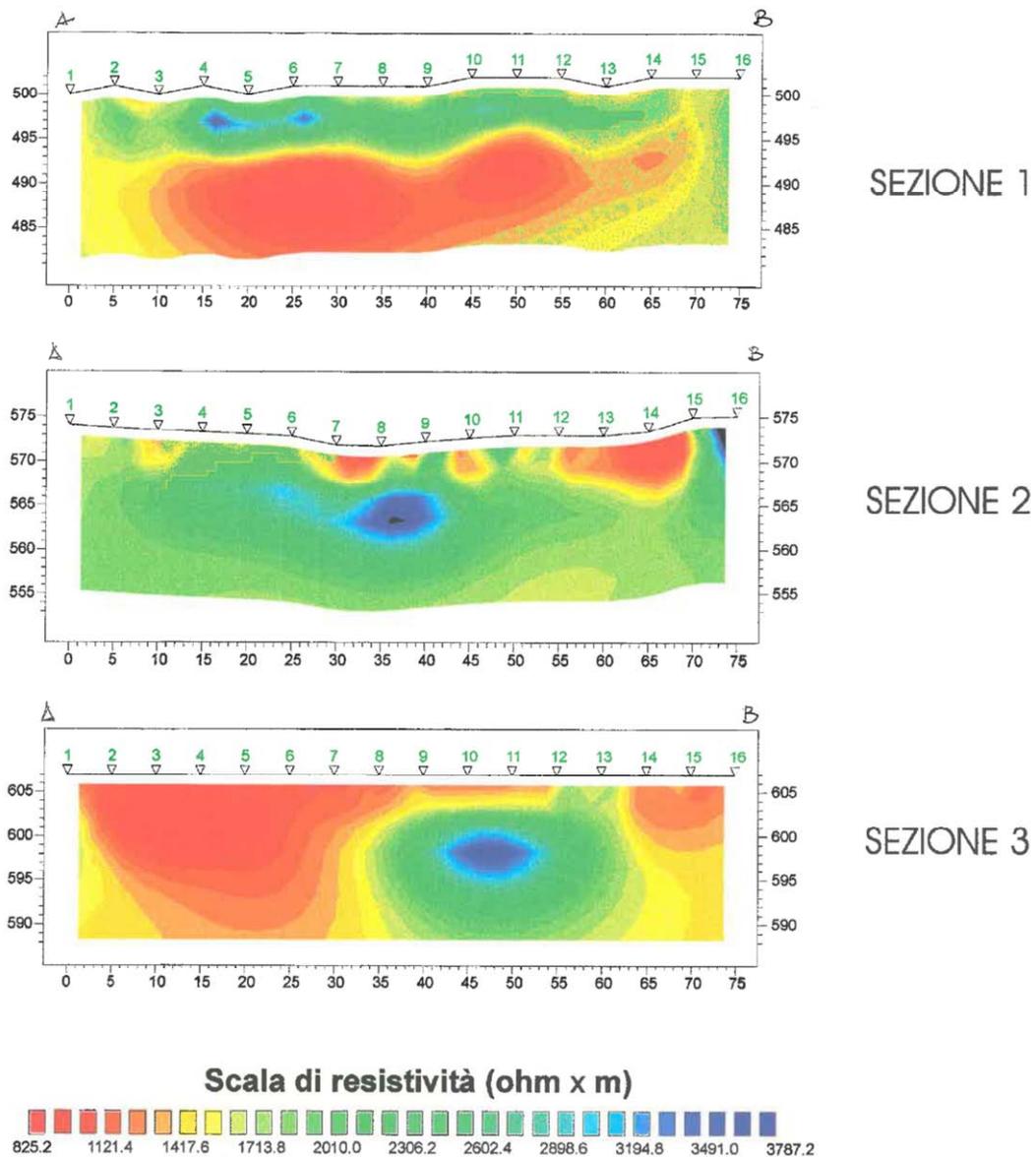


Fig. 24 - Tomografie elettriche relative alle indagini lineari. Sezione 1=087050L4ERT4; Sezione 2=087050L5ERT5; Sezione 3=087050L6ERT6.

I diversi valori di resistività (Fig. 24) misurati delle lave basali, raffigurati nella sezione 1 (087050L4ERT4), e delle lave storiche, raffigurate nella sezione 2 (087050L5ERT5), sono invece in gran parte da addebitare alla diversa incidenza dell'acqua, in quanto le misure della sezione 1 sono riferibili a condizioni di saturazione in acqua delle lave basali.

Nelle Tavole 3 - "Carta litotecnica in scala 1:2.000" allegata alla relazione geologica per il P.R.G. di Trecastagni vengono forniti i parametri geotecnici e geofisici dei principali

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

litotipi affioranti (Fig. 25). Si tratta del peso specifico, coesione, angolo di attrito interno e delle velocità V_s e V_p . E' da rimarcare però che i valori riportati, e riassunti nella tabella 5 dell'**Allegato 3**, non derivano da indagini geotecniche e geofisiche realizzate durante tali studi, ma sono dati desunti dalla Letteratura geologica. La scarsa attendibilità dei dati riportati nella tabella 5 dell'**Allegato 3**, ha dunque impedito il loro utilizzo per la definizione dei parametri geotecnici e delle V_s dei terreni affioranti nell'area oggetto del presente studio.

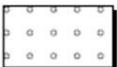
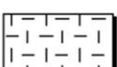
COPERTURA	
E_{sc}	 <p>Piroclastiti e depositi vulcanoclastici rimaneggiati (tuffi) costituiti prevalentemente da materiale sciolto a grana medio-fine inglobanti frammenti spigolosi o arrotondati</p> <p>$\gamma = 14 - 19 \text{ KN/m}^3$ $c' = 0 \text{ KPa}$ $\phi' = 26^\circ - 32^\circ$ $V_s = 0.15 - 0.25 \text{ Km/s}$ $V_p = 0.25 - 0.35 \text{ Km/s}$</p>
SUBSTRATO	
A_1	 <p>Lave massive, da lievemente a mediamente fessurate, generalmente evolventi verso l'alto in breccie autoclastiche a blocchi scoriacei a spigoli vivi. Presentano bollosità da degassazione in prossimità della superficie della unità di flusso</p> <p>$\gamma = 22 - 24 \text{ KN/m}^3$ $c' = 0 \text{ KPa}$ $\phi' = > 35^\circ$ $V_s = 0.70 - 1.00 \text{ Km/s}$ $V_p = 1.00 - 1.80 \text{ Km/s}$</p>
A_2	 <p>Lave a struttura massiva con varie famiglie di fratture con rapporti singolari irregolari, presenti in banchi di spessore variabile, associate a breccie autoclastiche e/o a materiali scoriacei a diversa pezzatura immersi in una matrice medio-fine. In superficie è presente una discontinua copertura di prodotti vulcanoclastici eterometrici immersi in una spesso prevalente matrice limoso-sabbiosa</p> <p>$\gamma = 20 - 22 \text{ KN/m}^3$ $c' = 0 \text{ KPa}$ $\phi' = \geq 40^\circ$ $V_s = 0.40 - 0.80 \text{ Km/s}$ $V_p = 0.80 - 1.50 \text{ Km/s}$</p>
A_3	 <p>Lave massive variamente fessurate e/o pseudostratificate e lave brecciate formate da blocchi di varie dimensioni con struttura caotica. E' presente superficialmente una diffusa e discontinua copertura detritico-eluviale, granulometricamente eterogenea, con percentuale variabile di materiale organico e materiale di riporto, specie nelle zone terrazzate sottoposte a maggiore attività antropica di tipo agricolo</p> <p>$\gamma = 19 - 22 \text{ KN/m}^3$ $c' = 0 \text{ KPa}$ $\phi' = \geq 40^\circ$ $V_s = 0.35 - 0.60 \text{ Km/s}$ $V_p = 0.70 - 1.40 \text{ Km/s}$</p>

Fig. 25 – Legenda delle Tavv. 3 – “Carta litotecnica in scala 1:2.000”

Al fine di valutare le frequenze proprie di oscillazione dei diversi siti, l'Università di Catania ha effettuato n. 28 misure di microtremore ambientale (noise), distribuite sull'intero territorio comunale, i cui risultati sono sintetizzati nell'allegata carta delle

frequenze, nella quale per ogni punto di misura sono riportate le frequenze alle quali il moto del terreno viene amplificato per risonanza stratigrafica e l'entità dell'amplificazione quantificata sulla base del rapporto H/V (rapporto tra le componenti spettrali orizzontali, H, e verticale, V, del moto del suolo). Per il dettaglio sulla tecnica adottata si rimanda all'**Allegato 4** della presente relazione. I risultati ottenuti indicano che la maggior parte dei valori della frequenza di picco non supera i 2 Hz. In alcuni casi, all'interno del range di frequenza considerato (0.6 – 20 Hz), vengono segnalati due o tre picchi, alcuni dei quali abbracciano valori di frequenza più elevati (fino a 18,44 Hz). 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.

5. Modello del sottosuolo

Il modello geologico del territorio comunale di Trecastagni, 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. Nella stesura del modello del sottosuolo adottato, i dati diretti hanno avuto un ruolo marginale, in quanto si riferiscono a profondità di investigazione molto limitate, con risultati scarsamente significativi per vincolare gli elementi geometrici essenziali riprodotti nei profili geologici dell'**Allegato 1**.

Nelle interpretazioni 3D delle discontinuità stratigrafiche è stato fondamentale il riconoscimento e la mappatura di tutti gli affioramenti di vulcanoclastiti che, insieme all'evidenza di differenti spessori e geometrie delle colate laviche ad ovest ed est dell'abitato, hanno contribuito a riconoscere la presenza dell'edificio vulcanoclastico sepolto che senz'altro costituisce l'elemento più significativo nel sottosuolo dell'abitato.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

Il modello geologico proposto a compimento del primo livello di approfondimento, sulla base del quale saranno definite le microzone omogenee in prospettiva sismica, ha validità da un punto di vista delle geometrie e delle giaciture. Seppure sia stato raggiunto un grado di attendibilità discreto, confermato dalla coerenza tra dato geologico di superficie e le geometrie profonde riprodotte lungo le sezioni geologiche e la loro compatibilità con la storia evolutiva recente, l'acquisizione di nuovi dati di sottosuolo potrà permettere, nel corso degli studi di livello superiore, un miglior vincolo sia dell'ubicazione dei diversi elementi geometrici in cui si articola il sottosuolo sia degli spessori dei diversi orizzonti riconosciuti, oggi valutati solo sulla base delle esposizioni delle successioni in superficie.

In sintesi il sottosuolo dell'abitato di Trecastagni può essere suddiviso in tre distinti settori, disposti in senso meridiano. Il settore occidentale è caratterizzato da una monotona alternanza di livelli lavici massivi e scoriacei, determinati dalla sovrapposizione di più colate laviche. All'interno di questa successione, il passaggio dalle lave assegnate al substrato geologico (**ALSF** nella carta geologico-tecnica) a quelle comprese tra le coperture (**LC** nella carta geologico-tecnica), secondo i dati forniti in allegato al PRG, è marcato da un'inversione di velocità delle onde di taglio, da $V_s=0.35-0.60$ km/s a $V_s=0.40-1$ km/s, che localmente può essere quindi associata anche ad un significativo contrasto di impedenza. I valori stimati dagli studi allegati al PRG tengono conto delle ripetute inversioni delle velocità che caratterizzano l'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.

Nei livelli di approfondimento successivi, mirati alla definizione del modello di risposta di sito, sarebbe opportuno verificare a quali condizioni (giacitura, spessore degli

strati e contrasti di impedenza) le discontinuità presenti all'interno delle differenti unità laviche possano determinare alterazioni del moto del suolo.

Il settore orientale dell'abitato si differenzia da quelli occidentali per la presenza dei notevoli spessori delle Vulcanoclastiti inferiori (**GMsc** della carta geologico-tecnica) alle quali gli studi pregressi associano $V_s=0.15 - 0.25$ km/s, con i caratteri meccanici tipici di una copertura incoerente, che si trova interposta nella successione di colate, già descritta per le aree occidentali. In questo caso, la successione verticale di sottosuolo è caratterizzata da almeno due principali superfici di discontinuità, marcate da bruschi contrasti d'impedenza. La discontinuità più profonda, corrispondente al contatto lave basali-vulcanoclastiti inferiori, è stata ipotizzata con continuità in tutto il sottosuolo e stimata ad una profondità dal piano campagna sempre superiori ai 20 m, generalmente oscillante tra i 40 e i 50 m, sotto il centro abitato. Il contatto determina una drastica diminuzione nella velocità delle onde sismiche, con prevedibili effetti di amplificazione che dovrebbero concentrarsi su frequenze di oscillazione relativamente basse. La discontinuità più superficiale è invece presente solo a tratti, dove le lave di copertura mantellano le vulcanoclastiti. In questo caso, il brusco contrasto d'impedenza è associato ad una netta inversione delle velocità delle onde sismiche di taglio.

Il sottosuolo nell'area centrale dell'abitato rappresenta la zona di passaggio tra i due settori prima descritti, che avviene tramite il progressivo inspessimento dell'orizzonte vulcanoclastico, a bassa velocità, a spese dello spessore delle lave sovrastanti che si rastremano verso est, passando dagli spessori massimi ipotizzati ad ovest a quelli minimi riconosciuti ad est. In questa zona di transizione ci si attende comportamenti della risposta di sito variabili, tra i due estremi riscontrati nelle aree occidentali e orientali del paese.

In generale, le ripetute inversioni delle velocità delle onde sismiche, tra diverse unità o all'interno delle stesse unità laviche, non rientra nei modelli correntemente applicati nella valutazione delle amplificazioni di tipo stratigrafico e pone molti interrogativi che andranno risolti nelle indagini di approfondimento successive. Va sottolineato che i dati



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

Le misure di microtremore ambientale condotte a Trecastagni (v. capitolo 4) hanno confermato quanto comunemente riscontrato in aree vulcaniche, accertando fenomeni di alterazione del rapporto H/V su tutti i terreni affioranti, escludendo che essi possano appartenere al bedrock sismico, inteso come substrato esente da effetti di risposta locali che modificano il moto del suolo indotto da un terremoto. Va rilevato che è possibile riconoscere una certa corrispondenza tra le frequenze di oscillazione proprie dei siti ottenute dalle misure di microtremore e le geometrie di sottosuolo prima descritte. In tutti i settori dove le lave di copertura ricoprono direttamente le lave basali sono state ottenute curve del rapporto H/V che mostrano tre picchi di amplificazione corrispondenti a $f(\text{frequenza})=0.75-1.44$ Hz, $f=1.97-5.47$ Hz e $f>5.3$ Hz, rispettivamente. Al contrario,

dove nel sottosuolo si è ipotizzata la presenza delle vulcanoclastiti interposte tra le lave, si sono registrati generalmente due picchi di frequenza, negli intervalli $f = 0.78 - 1.44$ Hz e $f = 4.84 - 9.06$ Hz. Nel computo sono stati esclusi valori di $f > 15$ Hz, dovuti ad elementi molto superficiali, generalmente di natura antropica. In tutta l'area, appare evidente il contributo di una sorgente profonda, responsabile del picco alla frequenza più bassa, che molto probabilmente è da ricercare lungo discontinuità poste a profondità maggiori di quelle investigate.

In tutto il territorio comunale non è stato possibile definire la profondità del substrato rigido, con caratteri tipici di un bedrock sismico. Tale substrato probabilmente ricade all'interno della potente successione argillosa che costituisce il substrato sedimentario pre-vulcanico. In mancanza di misure dirette sulla velocità delle onde sismiche, facendo riferimento a dati raccolti nell'area di Catania, i valori di V_s ottenuti all'interno dei livelli più superficiali delle argille sono di circa 500–600 m/s, per cui il bedrock sismico va ricercato nei livelli più profondi della successione, in corrispondenza dei quali si raggiungono stabilmente velocità superiori agli 800 m/s.

Gli studi condotti non hanno potuto determinare, per mancanza d'informazioni desumibili dai dati pregressi, lo spessore delle lave 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 lave 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. Ulteriori indicazioni indirette sullo spessore delle lave è fornita da Ferrara (2001)(Fig. 26) che segnala, nella zona di Trecastagni, la presenza di una superficie piezometrica

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

immergente verso ESE da una quota di circa 350 a 250 m s.l.m., ovvero ad una profondità di circa 280 m dal piano campagna.

Questo dato è in buon accordo con la ricostruzione del tetto del substrato sub-vulcanico riportato nella Carta Morfotettonica dell'Etna (Monaco et al, 2008)(Fig. 27) che, nella zona di Trecastagni, vincolerebbe la quota della base delle lave da circa 300 a 200 m s.l.m.

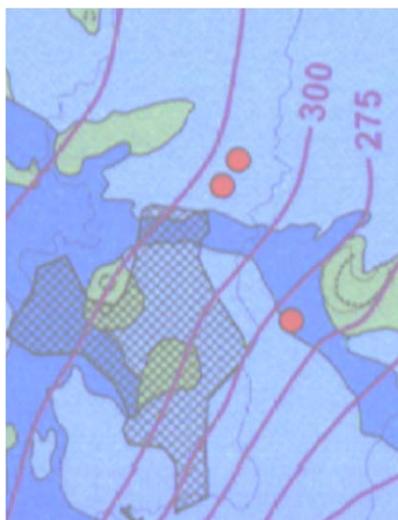


Fig. 26 – Stralcio della Carta idrogeologica del massiccio vulcanico dell'Etna (Ferrara, 2001).



Fig. 27 – 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 Trecastagni, i dati pregressi utilizzati si riferiscono a indagini effettuate per lo studio geologico per il Piano Regolatore Generale (P.R.G.), e ad uno studio agricolo forestale del territorio comunale. I dati geognostici e geofisici risultano in numero assolutamente insufficiente a garantire una verifica puntuale del modello geologico ricostruito sulla base dei dati di superficie. Questa è anche impedita da altre due cause: le indagini disponibili non solo non garantiscono una informazione uniforme sul territorio, ma, al contrario, come nel caso dei sondaggi geognostici 087050P3, 087050P4 e 087050P5, i profili sismici a rifrazione 087050L1 e 087050L2, nonché la misura di microtremore ambientale 087050P10, ricadono al di fuori dell'area di studio; la profondità di investigazione dei dati geognostici (max 12 metri) e dei dati geoelettrici (circa 15 m) è assolutamente inadeguata allo scopo di definire le geometrie 3D dei corpi litologici sepolti sotto le lave recenti (vedi Capitolo 5).

Il modello geologico ricostruito sulla base della profonda revisione e sostanziale reinterpretazione dei rilievi geologici allegati al P.R.G., vincolato tenendo conto delle conoscenze pregresse e delle nuove informazioni acquisite durante gli studi di microzonazione di tutta la regione limitrofa, va inteso come la migliore sintesi possibile, affidabile dal punto di vista dei rapporti giacitureali tra le diverse unità, significativi per la individuazione delle diverse tipologie di microzone omogenee. Va rilevato che l'ubicazione dei limiti tra le diverse microzone è in gran parte basata sulla proiezione in superficie di limiti sepolti. Ne consegue che l'acquisizione, nel corso degli studi di livello superiore, di nuovi dati di sottosuolo è assolutamente necessaria e dovrà supplire alla mancanza di informazioni dirette e indirette sul sottosuolo, con lo scopo di poter meglio stabilire le geometrie delle discontinuità stratigrafiche sepolte e le variazioni laterali di spessore dei diversi corpi geologici, oggi ipotizzati solo sulla base dei loro affioramenti in superficie. Molte delle microzone si differenziano, inoltre, sulla base dell'interposizione di corpi lenticolari vulcanoclastici, caratterizzati da variazioni progressive degli spessori,



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 all'interno di successioni formate dalla sovrapposizione delle colate laviche. In mancanza di modelli di riferimento che definiscano gli spessori minimi di vulcanoclastiti intercalate, in relazione alla loro profondità, necessarie a modificare la risposta di sito, i contorni delle diverse microzone omogenee sono stati rigidamente associati ai limiti geologici di chiusura delle vulcanoclastiti sepolte, ubicati con i gradi di incertezza sopra descritti

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 depositi vulcanoclastici (vedi **Allegati 1 e 2**) e catalogati con le sigle “SW” e “GM”, vengono descritti sia come “Materiale vulcanoclastico rimaneggiato, di colore nerastro, con prevalenza di sabbia e ciottoli”, nelle indagini 087050P3 e 087050P4, che come “Materiale piroclastico rimaneggiato di colore rossastro, costituito da ciottoli e scorie ed immerso in matrice sabbiosa localmente limosa”, nell'indagine 087050P7. In questi casi nella tabella “Parametri_Puntuali” del database di Access denominato “Cdl_tabelle” è stato assegnato un grado di attendibilità pari a “2”. Inoltre, rispetto alla legenda della Carta geologica in scala 1:2.000 del P.R.G. (Fig. 28), è stata considerata la distinzione tra depositi vulcanoclastici inferiori e superiori, interposti alle diverse unità di colate laviche (vedi Capitolo 3).

Come anticipato nel Capitolo 4, vi sono informazioni pregresse sulle principali caratteristiche fisico-meccaniche solo dei depositi vulcanoclastici inferiori, cui si riferiscono due dei 3 campioni analizzati, essendo il terzo prelevato in materiale di riporto. E' fondamentale che nelle successive fasi di approfondimento si analizzino anche campioni opportunamente scelti per caratterizzare i differenti orizzonti di colate laviche e

i depositi vulcanoclastici superiori. Va segnalato che nell'analisi granulometrica riportata nell'indagine 087050P3SM41 viene considerata anche una piccola percentuale di ciottoli, che nel presente studio è stata sommata a quella relativa alla ghiaia, in conformità agli "Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica - Versione 2.0beta-II". Inoltre nelle indagini 087050P7SM43 e 087050P7TD44 si fa riferimento ad un sondaggio 8 che non esiste. Confrontando, però, la profondità di prelievo del campione con quella segnalata nel sondaggio 7, si è deciso di riferire le due indagini a quest'ultimo.

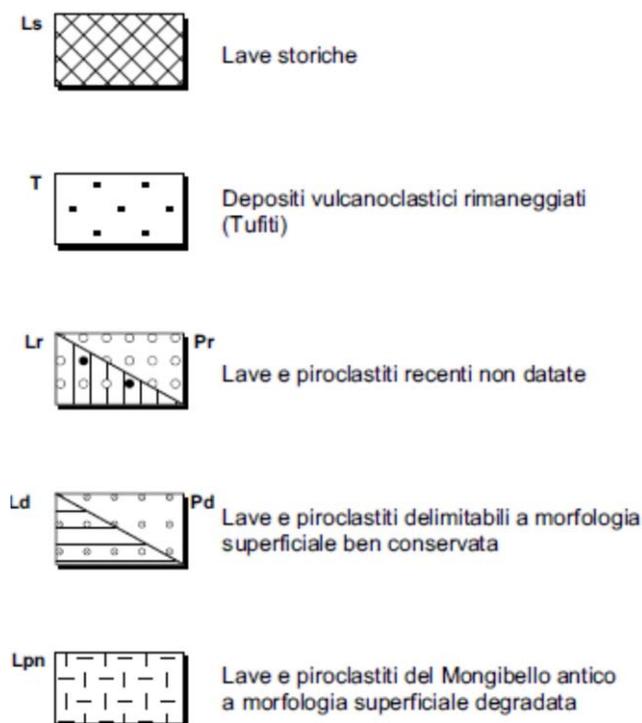


Fig. 28 - Legenda delle Tavv. 1 - "Carta geologica in scala 1:2.000".

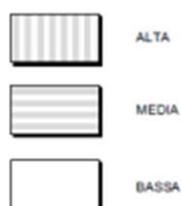
Per quanto riguarda l'aspetto idrogeologico, tra i dati forniti dall'amministrazione comunale di Trecastagni, non si è rinvenuta alcuna informazione. Si dovrebbe, dunque, procedere ad una accurata definizione delle curve isopiezometriche della falda superficiale nei terreni vulcanoclastici, al fine di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

Tra gli elaborati cartografici allegati agli studi per il P.R.G. particolare interesse rivestono le Tavv. 5 "Carta della pericolosità sismica locale in scala 1:2.000", della quale

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 si riporta uno stralcio della legenda (Fig. 29). In tale elaborato l'individuazione nel territorio comunale di Trecastagni di solamente 3 zone appare sicuramente riduttiva rispetto alla definizione delle aree stabili e stabili suscettibili di amplificazione da inserire nella "Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica", che sono state meglio definite negli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" (Gruppo di lavoro MS, 2008) e nei Contributi per l'aggiornamento degli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica" (Dolce et al, 2011), ai quali si è fatto riferimento nel presente studio.

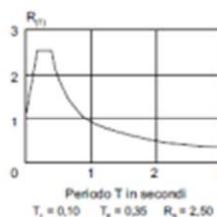
LEGENDA

Aree caratterizzate da elementi morfologici e geologici che potrebbero produrre effetti di amplificazione e risposta sismica differenziata del moto del suolo secondo le seguenti classi di pericolosità sismica locale



TERRENI TIPO S1

Rocce lapidee, con eventuale strato superficiale di alterazione o copertura non superiore a 5 m, o altro materiale caratterizzato comunque da velocità V_s di propagazione delle onde sismiche trasversali superiore a 700 m/s



TERRENI TIPO S2

Materiali incoerenti, sciolti, da poco a mediamente addensati, caratterizzati da velocità medie V_s inferiori a 250 m/s entro profondità comprese tra 5 e 30 m, ed inferiori a 350 m/s a profondità maggiori

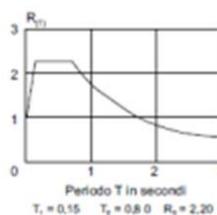


Fig. 29 – Legenda delle Tavv. 5 – “Carta della pericolosità sismica locale in scala 1:2.000”.

Infine, nonostante il tentativo effettuato nello studio geologico allegato al P.R.G. (vedi Capitolo 4), la definizione dei caratteri geotecnici, delle V_s e della geometria del

bedrock sismico, rimane uno degli obiettivi imprescindibili nelle successive fasi d'approfondimento.

7. Metodologie di elaborazione e risultati

I dati di base e gli elaborati cartografici utilizzati (vedi elenco in Capitolo 1), riguardanti diversi aspetti dell'assetto geologico dell'area comunale (geologia, geomorfologia, pericolosità geologica e pericolosità sismica), sono caratterizzati da un buon dettaglio (scala 1:2.000). Tutte le carte tematiche sono state georeferenziate ed inserite in un progetto EsriArcGis, ottenendo così la visualizzazione e la sovrapposizione dei diversi elaborati e 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 e dei principali lineamenti tettonici, a seguito di accurate verifiche di terreno unitamente all'analisi di aerofotogrammetrie, si è dovuto procedere ad una sostanziale revisione dei dati forniti. Grazie all'integrazione tra gli accurati rilievi di terreno e le osservazioni derivanti dall'analisi fotogrammetrica è stato possibile ricostruire la successione geolitologica dell'area di studio (vedi Capitolo 3).

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



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile

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

i rapporti geometrici tra i depositi vulcanoclastici rispetto alle colate laviche sia di copertura che del substrato, e la presenza di edifici vulcanoclastici sepolti, che determinano forti variazioni degli spessori di tali depositi e dei corpi lavici. 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. 30). 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. 31). L'elaborato mostra che nell'area comunale di Trecastagni i pendii con dislivello superiore a 30 m sono rappresentati esclusivamente dai conetti vulcanici ubicati a nord dell'area di studio. Di conseguenza non sono stati individuati pendii soggetti a potenziali fenomeni di amplificazione topografica, come confermato in figura 32, ottenuta combinando le due carte fin qui elaborate. Anche le tre sezioni topografiche in scala 1:5.000 (**Allegato 5**), dirette NE-SO, realizzate ortogonalmente alle scarpate con pendenza maggiore di 15° , mostrano chiaramente che queste ultime non superano i 25 m di altezza.

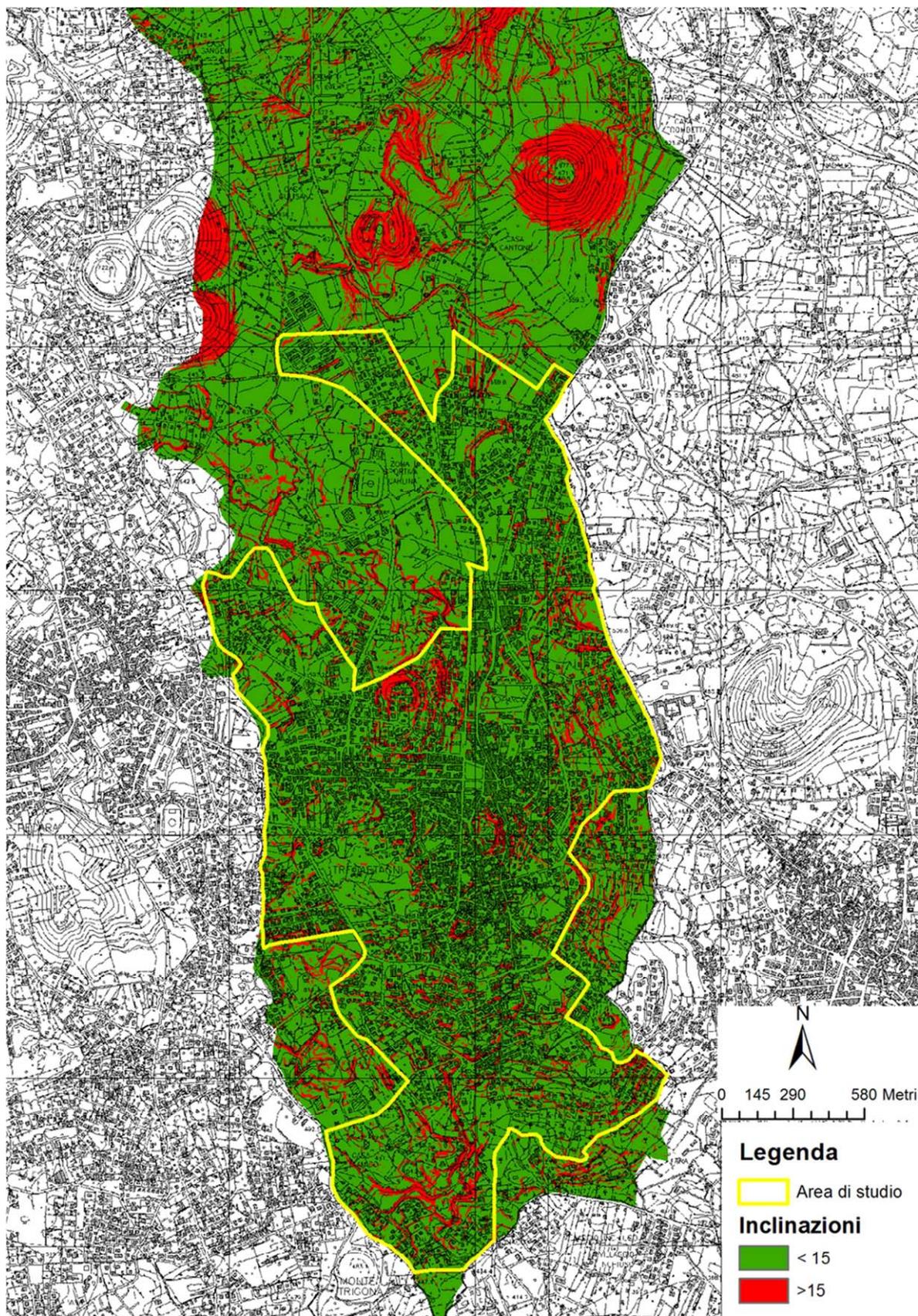


Fig. 30 – Carta delle inclinazioni dell'area di studio. Sono distinte inclinazioni < 15°, in verde, e > 15°, in rosso.

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

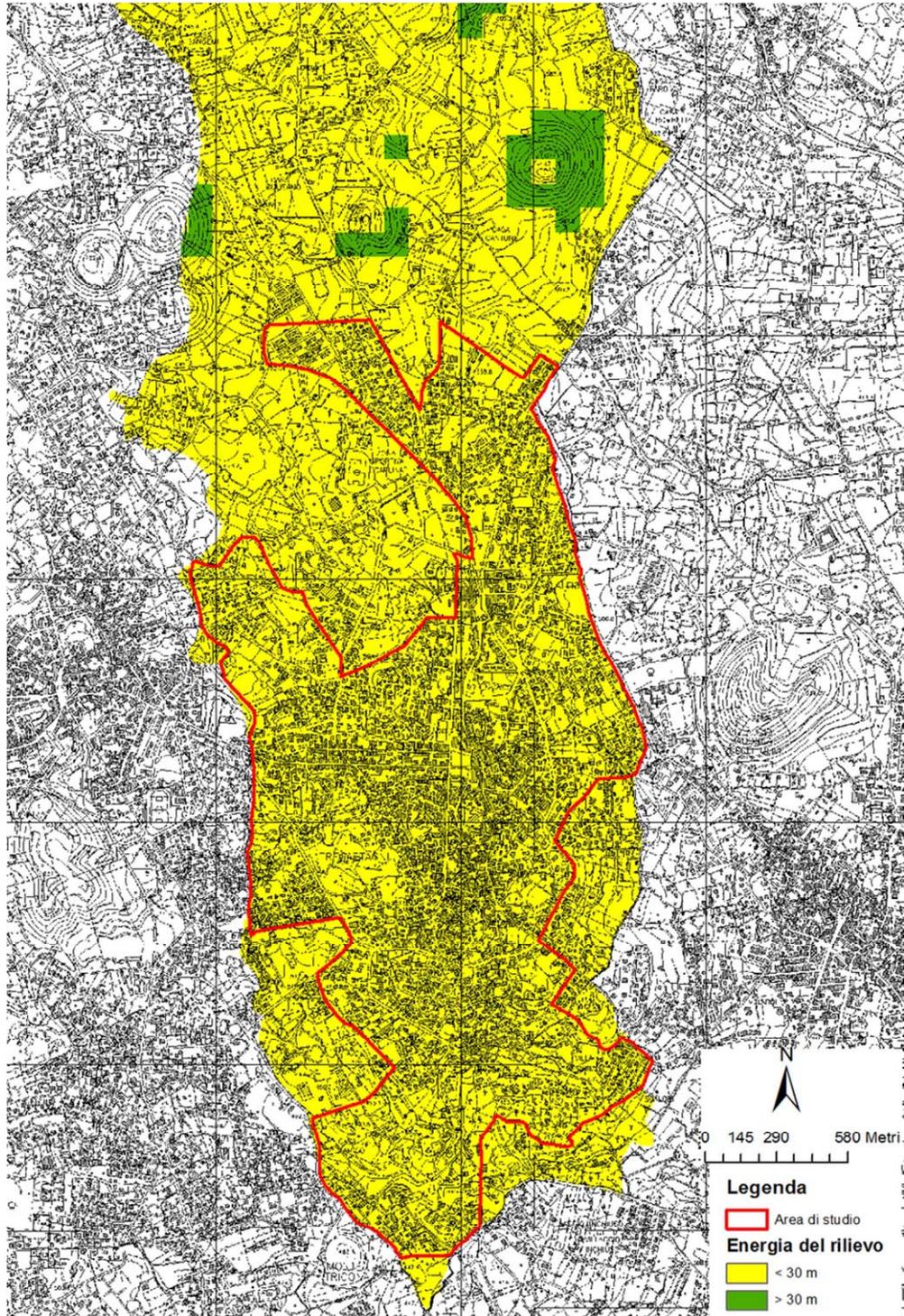


Fig. 31 – Carta dell'energia del rilievo dell'area di studio. Sono distinti dislivelli < 30 m, in giallo, e > 30 m, in verde.

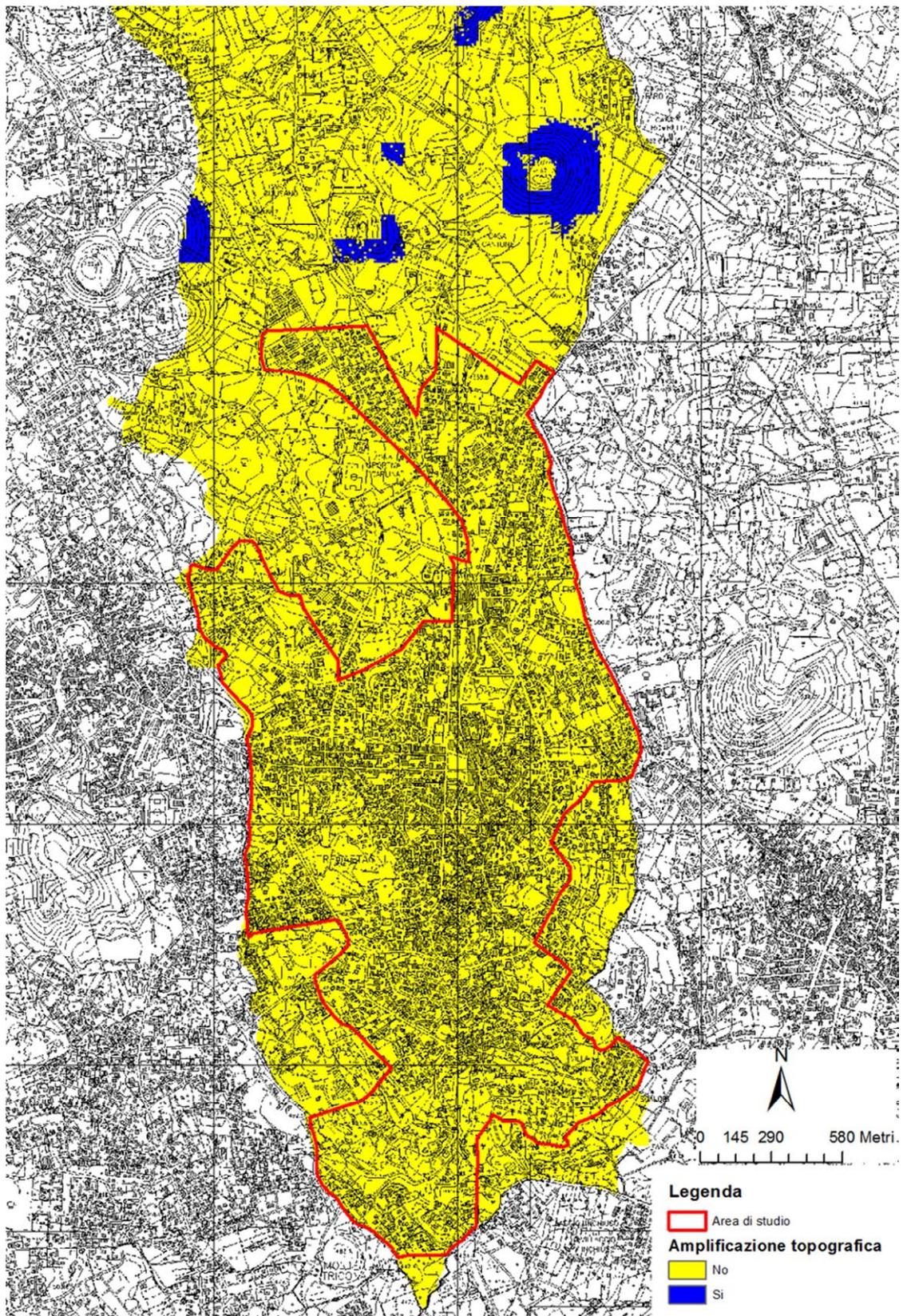


Fig. 32 - Carta dell'amplificazione topografica dell'area di studio. Le aree potenzialmente soggette ad amplificazione topografica sono evidenziate in blu.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

Per quanto riguarda le instabilità manifeste e potenziali, si è fatto riferimento agli studi pregressi del PAI. Il comune di Trecastagni 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.

L'unica tipologia di instabilità è strettamente connessa alla presenza della Faglia di Trecastagni, che si sviluppa per una lunghezza di circa 750 metri, in direzione NNO–SSE, nel settore meridionale dell'area di studio. A cavallo di questa faglia attiva e capace è stata segnalata la presenza di “Aree interessate da deformazioni dovute a faglie attive e capaci” (Tipo_i = 3060), rappresentata da una fascia ampia 50 metri.

Un discorso più articolato deve essere condotto riguardo 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. 33):

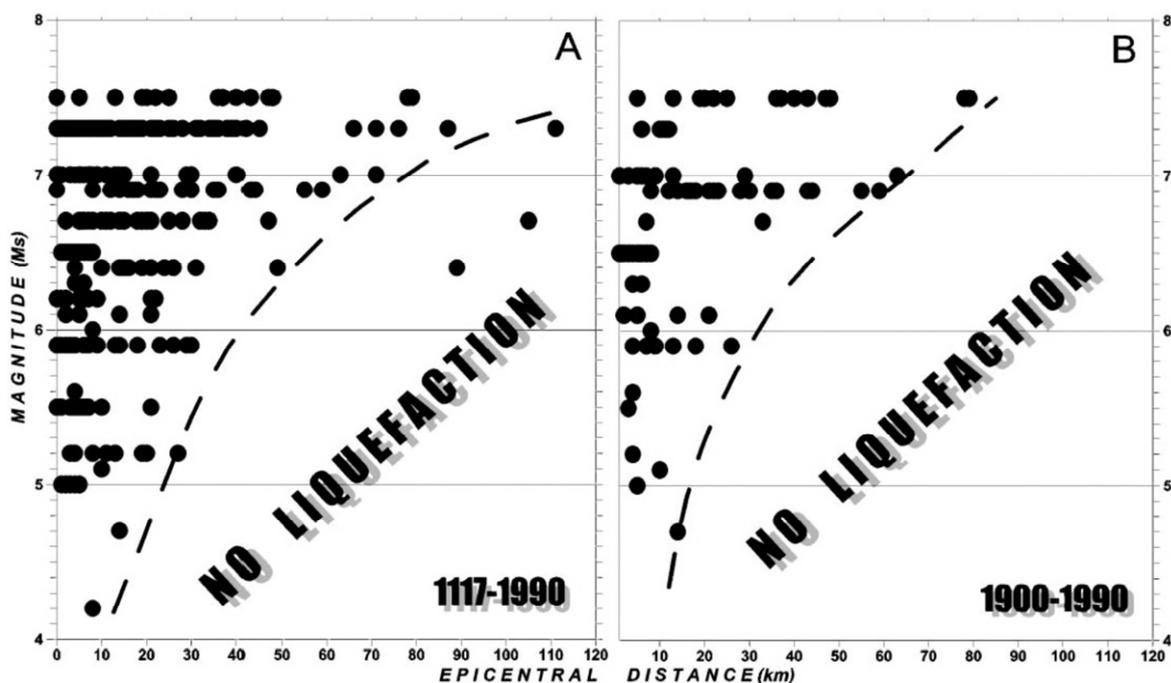


Fig. 33 - Distribuzione di fenomeni di liquefazione indotti da eventi sismici, in termini di Magnitudo e distanza epicentrale, per i periodi 1117-1990 e 1900-1990. (da Galli, 2000).

Nell'ambito della zonazione sismogenetica dell'area italiana (Gruppo di lavoro, 2004), il territorio comunale di Trecastagni, così come tutta l'area etnea, ricade all'interno della zona 936 (Fig. 34). Questa zona racchiude diversi eventi sismici di Magnitudo medio bassa ($M_w = 3-4$), mentre nel 1818 e nel 1848 si sono verificati due terremoti caratterizzati da $M_w \sim 6$ e $M_w \sim 5$, rispettivamente (CPT111; Rovida et al., 2011). Questi dati trovano conferma nella versione più recente del DISS 3.1.1 (DISS Working Group, 2010) che riporta la presenza della sorgente sismogenica "ITIS106 - Gravina di Catania" orientata NE-SO e caratterizzata da una $M_w = 6$, la cui terminazione orientale si trova ~ 4 km a sud del territorio comunale di Trecastagni (Fig. 19). 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 17 km di distanza nell'*off-shore* ionico, viene segnalata la presenza della sorgente sismogenica "ITDS011 - Western Ionian" (Fig. 19), per la quale dati di letteratura indicano una $M \geq 7$ (Bianca et al., 1999; Catalano et al. 2008).

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

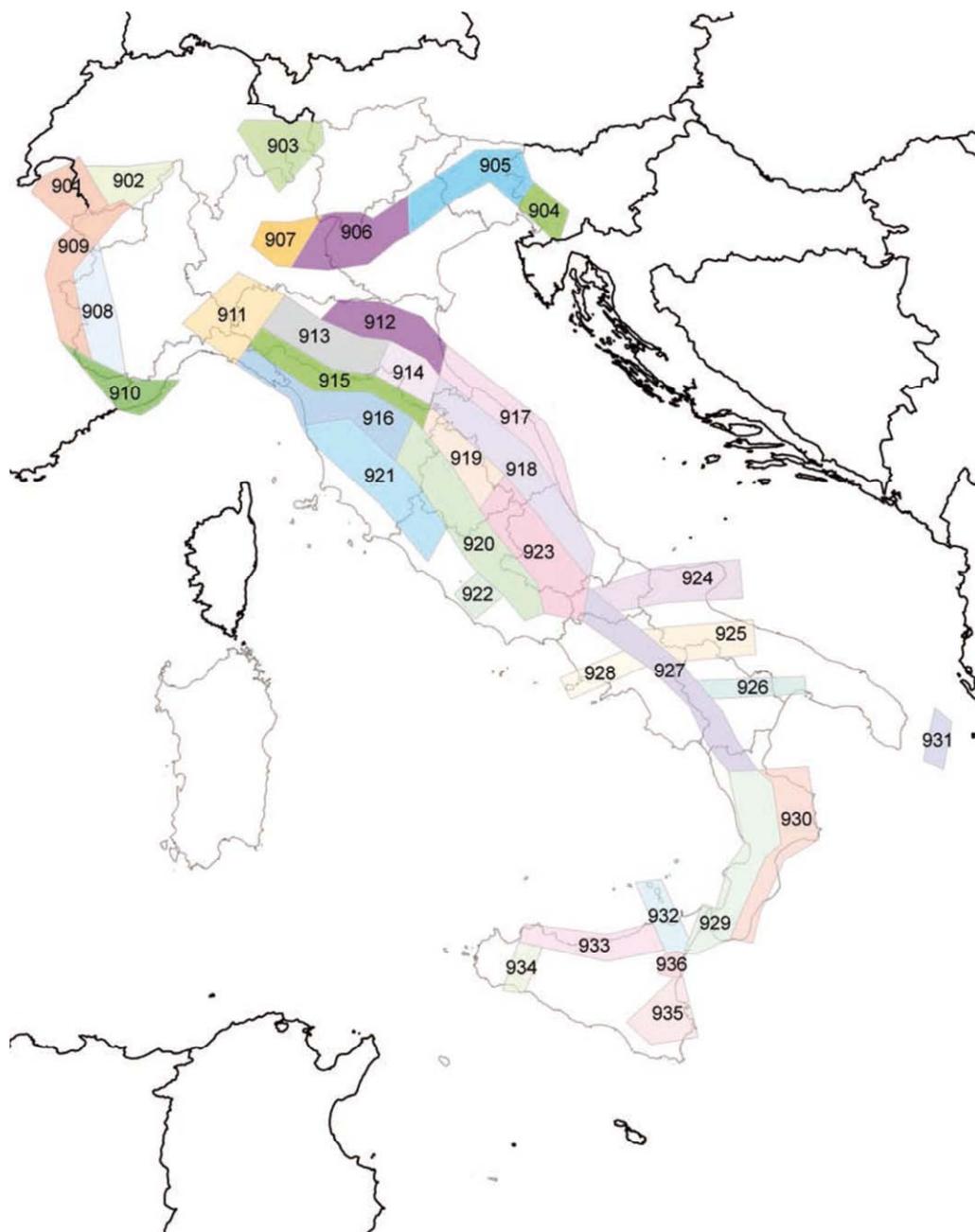


Fig. 34 - Zone sismogenetiche per la mappa di pericolosità sismica di base di riferimento (Gruppo di lavoro, 2004).

In ogni caso, possiamo concludere che il possibile verificarsi di eventi sismici di Magnitudo compresa tra 4 e 6 in zone molto prossime all'area oggetto di studio potrebbe innescare fenomeni di liquefazione, in presenza di terreni sciolti (sabbie o ghiaie) e di una falda superficiale. Nel territorio comunale di Trecastagni, questa tipologia di terreni è rappresentata dai depositi vulcanoclastici, affioranti principalmente a nord dell'area di studio. Per quanto concerne la possibile presenza di falde superficiali all'interno di tali depositi, a causa dell'assenza di misure dirette e di informazioni di carattere idrogeologico da parte dello studio geologico effettuato per il P.R.G., si è fatto riferimento alle informazioni disponibili in Letteratura. Nella Carta idrogeologica del massiccio vulcanico dell'Etna (Ferrara, 2001) il territorio di Trecastagni oggetto del presente studio, localizzato ad una quota compresa tra 630 e 430 metri, ricade tra le curve isopiezometriche di 350 e 250 metri (Fig. 26).

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 Trecastagni, 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



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 studio, sono stati analizzati, archiviati in un database di Access denominato “Cdl_tabelle” e rappresentati secondo gli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica Versione 2.0beta-II”. All’interno del database sono stati inseriti 35 “Siti_puntuali” (7 relativi a dati pregressi e 28 a misure HVSR realizzate dall’Università di Catania nel corso del presente studio).

Per quanto riguarda le “Indagini_puntuali” sono state inserite 44 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, prove di taglio diretto (vedi **Allegato 3**)
- “Geofisica” – consta di n. 28 indagini HVSR (vedi **Allegato 4**)

Per quanto riguarda le “Indagini_lineari”, sono state inserite n. 3 tomografie elettriche e n. 3 profili sismici a rifrazione.

8.2 Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica

Già ampiamente descritta nei capitoli precedenti, la successione geologica dell’area di studio è stata ricostruita sulla base della composizione di rilievi geologici a differente scala. Per la ricostruzione delle geometrie dei corpi lavici presenti nell’area si è dovuto ricorrere a rilievi originali per la mancanza di informazioni pregresse indispensabili. I dati di sottosuolo, abbastanza scarsi e in parte ubicati al di fuori dell’area

di studio, 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 (ventaglio di lava ed edificio vulcanoclastico sepolto) che, insieme agli altri già previsti, consentono una visualizzazione immediata degli elementi della morfologia sub-vulcanica.

8.3 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica

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



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

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 10 distinte microzone riferite ad aree stabili suscettibili di amplificazione e di una zona suscettibile di instabilità.

Contrariamente a quanto risultato in territori comunali limitrofi, nei quali ai terreni vulcanici è stata associata una notevole varietà di microzone, la copertura lavica, costituita da colate sovrapposte poggianti su un substrato sub-pianeggiante è stata inserita prevalentemente in una unica microzona. In termini realistici, non è prevedibile che l'estrema eterogeneità laterale dei terreni vulcanici si traduca effettivamente in un comportamento omogeneo, come codificato per altri tipi di terreno. E' molto più

probabile che il concetto di microzona omogenea, nel caso dei terreni vulcanici vada intesa come area all'interno delle quali i parametri di variazione locale del moto oscillano nell'ambito di intervalli definiti, differenti da quelli di microzone adiacenti. I vari intervalli potranno essere stabiliti solo in seguito alla definizione di un abaco di riferimento che tenga conto, ad esempio del contributo degli orizzonti scoriacei o clastici comunemente intercalati tra le diverse colate di copertura e della variabilità laterale delle litofacies all'interno delle singole colate. A queste considerazioni di carattere generale vanno aggiunti i limiti di incertezza, già descritti nel capitolo 6, che riguardano l'esatta localizzazione dei limiti tra microzone che si differenziano per progressiva sostituzione laterale di terreni a diverso comportamento.

A titolo di esempio, si segnala la possibilità che all'interno di una microzona omogenea si possano manifestare effetti di particolare amplificazione lungo determinati allineamenti, come nel caso dei bordi di colata dove le misure di microtremore ambientale hanno evidenziato fenomeni di amplificazione a frequenze relativamente elevate. Un simile comportamento è legato all'estrema eterogeneità laterale di litologia, molto comune in ambiente vulcanico, che andrebbe considerata alla stessa stregua delle variazioni litologiche verticali, già previste negli abachi. E' chiaro che i passaggi laterali si proietterebbero in carta come linee, al contrario dei passaggi verticali che sono già contemplati nella stratigrafia relativa alle singole microzone. Pertanto, in attesa della definizione degli abachi, in aggiunta alle microzone omogenee riportate in carta, si consiglia di considerare tutti i bordi di colata riportati nella Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica come elementi lineari lungo i quali vi è la possibilità di un sostanziale incremento locale dell'amplificazione.

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

- **Zona 0** Substrato geologico fratturato costituito da un'alternanza di colate laviche di base fratturate e prodotti piroclastici, con spessore complessivo indefinito oltre 40 m circa.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

- **Zona 1** Depositi vulcanoclastici inferiori costituiti da blocchi, ciottoli e ghiaie in matrice sabbiosa e talvolta limosa (sc), che danno luogo a edifici vulcanoclastici in prossimità dei quali si hanno spessori che possono raggiungere i 70 m circa, poggiati sulla successione della Zona 0.
- **Zona 2** Lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (la), costituite da un'alternanza di scorie vulcaniche, lave vacuolari e massive da mediamente a molto fessurate con presenza di cavità e materiale vulcanoclastico alterato, con spessore compreso tra 5 e 50 m circa, che poggiano sulla successione della Zona 0.
- **Zona 3** Lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (la), che poggiano lungo i fianchi degli edifici piroclastici inferiori sepolti (sc), tendendo a diminuire di spessore da circa 40 m a 0. Le lave assieme alle piroclastiti poggiano sulla successione della Zona 0.
- **Zona 4** Depositi vulcanoclastici superiori costituiti da ghiaie e sabbie (sc), spessi fino a circa 30 m, che danno luogo a edifici piroclastici che ricoprono sia la successione della Zona 3.
- **Zona 5** Depositi vulcanoclastici superiori costituiti da ghiaie e sabbie (sc), spessi fino a circa 20 m, che danno luogo a edifici piroclastici che poggiano sulla Successione della Zona 2.
- **Zona 6** Materiale di riporto eterogeneo (zz) a prevalente componente vulcanica costituito da blocchi e ciottoli lavici eterometrici in una matrice sabbiosa e localmente limosa, con spessore inferiore a 8 m circa, che poggia sulla successione della Zona 3.
- **Zona 7** Materiale di riporto eterogeneo (zz) a prevalente componente vulcanica costituito da blocchi e ciottoli lavici eterometrici in una matrice sabbiosa e localmente limosa, con spessore inferiore ai 5 m circa, che poggia sulla successione della Zona 5.
- **Zona 8** Lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (la), che poggiano lungo i fianchi degli edifici piroclastici superiori sepolti (sc), tendendo a diminuire di spessore da 20 m a 0. Le lave assieme alle piroclastiti superiori poggiano sulla successione della Zona 2.
- **Zona 9** Lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (la), in strati inclinati che danno luogo a ventagli di lava che mantellano preesistenti pendii acclivi, con spessore variabile da un minimo di pochi metri all'apice a un massimo di oltre 50 m al piede del ventaglio, poggiati sulla successione della Zona 2.

Per finire, la carta riporta anche una fascia ristretta allungata parallelamente alla Faglia di Trecastagni. Questa fascia non ha il significato di zona di rispetto, ma sta ad indicare una deformazione non concentrata lungo discrete linee di dislocazione, ma piuttosto diffusa in un'area nell'intorno della struttura.

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

9. Confronto con la distribuzione di danni per eventi passati

Il territorio comunale di Trecastagni, così come tutta la Sicilia sud-orientale, è stato interessato da diversi eventi sismici sopra la soglia del danno ($I_{MCS} > V$), verificatisi principalmente nel periodo pre-strumentale (Figg. 2 e 3).

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

- Il terremoto del 10 marzo 1669 precedette l'eruzione dell'11 marzo del 1669 dell'Etna e causò il crollo di qualche abitazione a causa della violenza e della frequenza delle scosse registrate anche nei giorni precedenti. La popolazione abbandonò le abitazioni e si accampò all'aperto. I maggiori danni furono quelli causati dall'eruzione, che fu una delle più devastanti dell'Etna.
- A seguito dell'evento sismico dell'11 gennaio 1693 rimasero in piedi soltanto 3 delle 750 case che costituivano l'abitato. I morti furono 1000 su un totale di circa 3300 abitanti.
- Anche l'evento sismico del 1818 ebbe effetti disastrosi. La località di Trecastagni fu inserita fra quelle in cui si verificarono danni generalizzati al patrimonio edilizio. È attestato il danneggiamento della chiesa e del convento dei PP. Mendicanti, della chiesa S. Maria della Misericordia con l'annesso Conservatorio dell'Immacolata. Rimasero danneggiate, inoltre, le chiese di S. Nicolò, S. Andrea, la chiesa delle anime del Purgatorio o di S.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

Antonio Abate, la chiesa della Madonna dell’Aiuto e la Chiesa e casa dei Proietti. Le tavole sinottiche redatte a cura dell’Intendenza di Catania e riproducenti i risultati delle perizie ufficiali riportano il numero di 239 case danneggiate: di queste 45 furono classificate come cadute, 60 come cadenti e 134 come lesionate.

- La scossa del 25 dicembre 1889 fu avvertita solo da una piccola parte della popolazione. Non sono segnalati danni ad edifici in seguito a questo evento.
- Il terremoto dell’8 agosto 1894 fu avvertito molto violentemente dalla popolazione e causò leggeri danni negli edifici. Da alcune testimonianze storiche si evince che le località (borgate) di Fleri (3 morti e 7 feriti) e Pisano (6 morti e 5 feriti) furono totalmente distrutte. Nelle cronache dell’epoca viene fatto riferimento anche alle contrade Pennisi e Zerbati, dove furono estratte dalle macerie altre vittime in seguito al crollo di alcune abitazioni, mentre quelle rimaste in piedi furono, tuttavia, dichiarate inagibili. Altre testimonianze forniscono informazioni riguardo gli effetti del sisma sull’ambiente. Si aprirono un gran numero di fratture sulla superficie (le più rilevanti interessarono la contrada Zerbate e l’area di Monte Ilice) e lungo i versanti del Monte Rosso si verificò una frana di notevoli dimensioni.
- L’evento sismico dell’8 settembre 1905 fu valutato da Rizzo di intensità pari al V grado della scala Mercalli. Non si è in possesso di ulteriori informazioni.
- L’8 maggio 1914 si verificò una scossa sismica molto forte che, però, non produsse danni agli edifici dell’abitato.

- Il terremoto del 13 dicembre 1990 non causò particolari danni se si eccettua la caduta di un cornicione in via Vittorio Emanuele 80.
- Il terremoto del 31 ottobre 2005 costituisce l'evento principale di una sequenza sismica di circa 50 scosse localizzate nel medio versante meridionale del vulcano, tra Pedara e Tarderìa. La scossa, accompagnata da un boato, è stata avvertita in quasi tutto il settore orientale etneo ed ha avuto i massimi effetti nella zona di Trecastagni. In tale località si sono verificati lievi danni (ad es. la caduta calcinacci e la riapertura di lesioni preesistenti) in vecchi edifici in muratura. L'assenza di effetti macrosismici più rilevanti, data l'elevata magnitudo registrata ($M_d = 3.6$), è probabilmente dovuta alla profondità dell'ipocentro. 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 Trecastagni.

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 Trecastagni.

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 634 "Catania". A cura di Serafina Carbone e Fabio Lentini. Ed. S.EL.CA, Firenze (IT).

AA.VV.; 2009b – 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.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

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

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

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

Azzaro R., Branca S., Gwinner K., Coltelli M.; 2012 – The volcano–tectonic map of Etna volcano, 1:100.000 scale: an integrated approach based on a morphotectonic analysis from high–resolution DEM constrained by geologic, active faulting and seismotectonic data. *Ital. J. Geosci. (Boll. Soc. Geol. It.)*, 131, n. , 153–170. DOI: 10.3301/IJG.2011.29

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

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

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

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

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

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

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

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

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.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

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.

Gambino S., Bonforte A., Carnazzo A., Falzone G., Ferrari F., Ferro A., Guglielmino F., Laudani G., Maiolino V., Puglisi G.; 2011 – Displacement across the Trecastagni Fault (Mt. Etna) and induced seismicity: The October 2009 to January 2010 episode. Annals of Geophysics, 54 (4), 414–423.

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

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

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

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

Kieffer, G.; 1975 – Sur l'existence d'une "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,



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

<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 (Ms 7 1/2). Terra Nova, 4, 472–483.

11. Allegati

Allegato 1 – Sezioni geologiche

Allegato 2 – Sondaggi sezioni geologiche

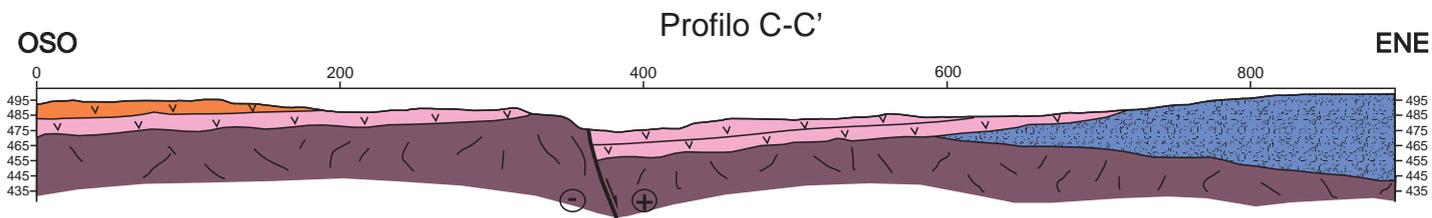
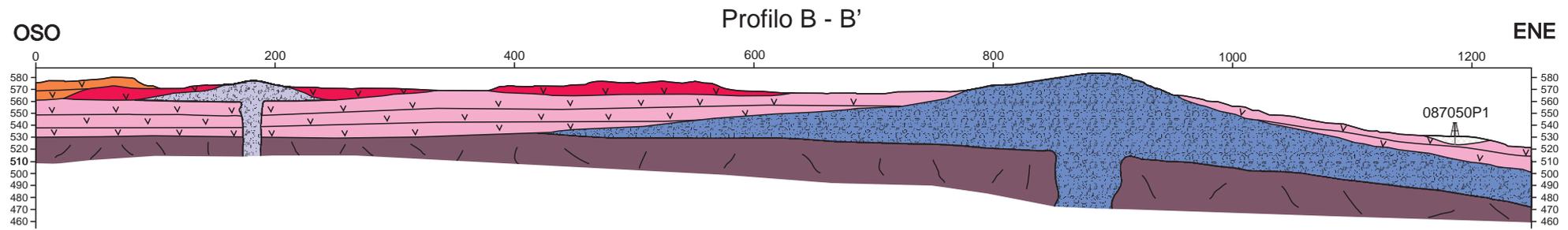
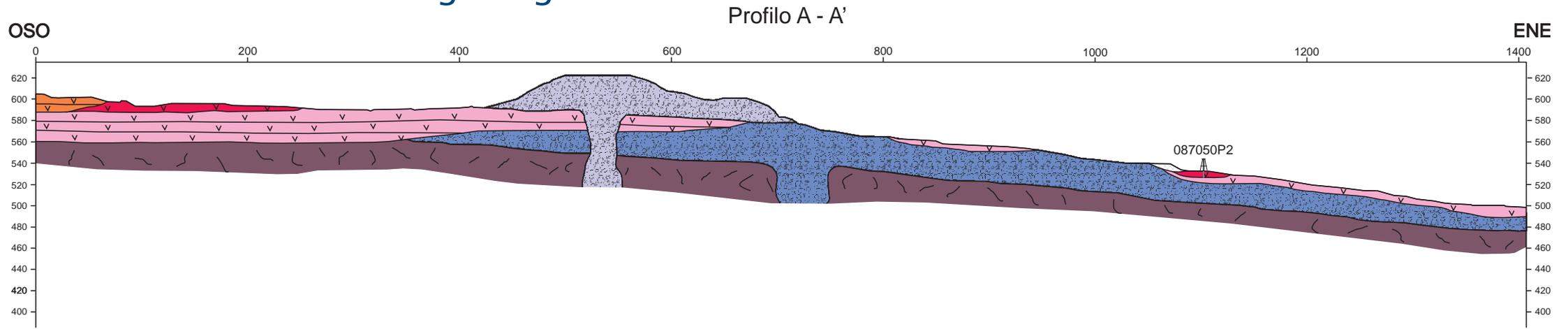
Allegato 3 – Dati geotecnici e geofisici

Allegato 4 – Misure di microtremore ambientale

Allegato 5 – Sezioni topografiche

Allegato 6 – Schemi dei rapporti litostratigrafici più significativi

ALLEGATO 1 – Sezioni geologiche



LEGENDA

Terreni contenenti resti di attivita' antropica

Colata lavica del 1444

Colata lavica del 1408

Depositi vulcanoclastici superiori

Lave intermedie

Depositi vulcanoclastici inferiori

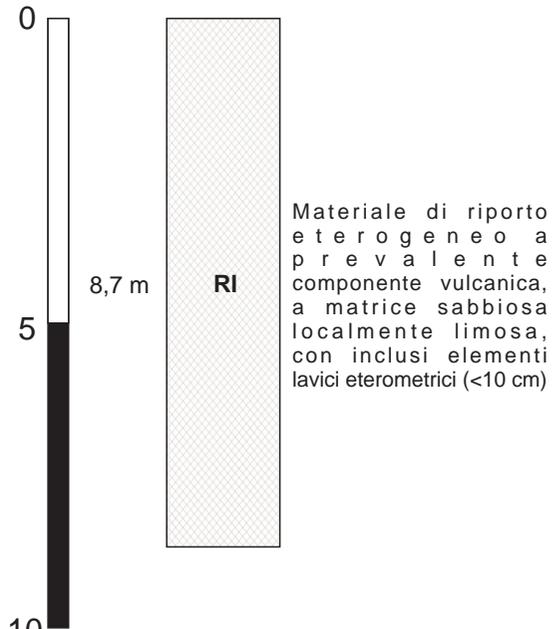
Lave basali

Faglia normale attiva con una componente laterale destra

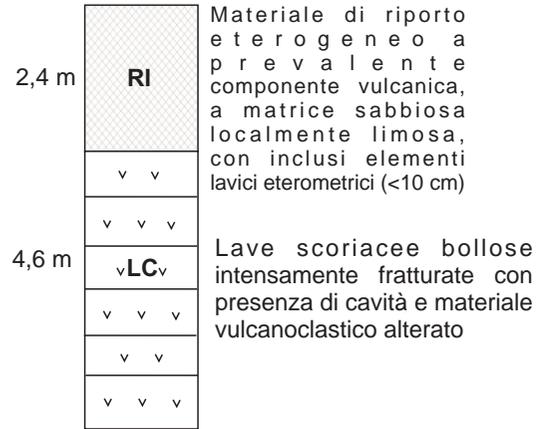
Scala 1:5000

ALLEGATO 2 – Sondaggi sezioni geologiche

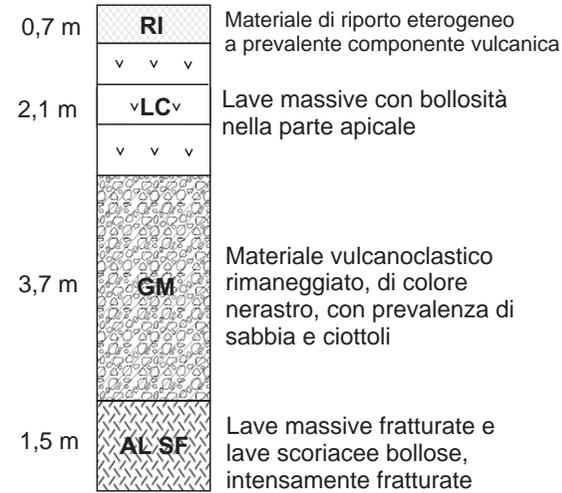
Sondaggio 087050P1



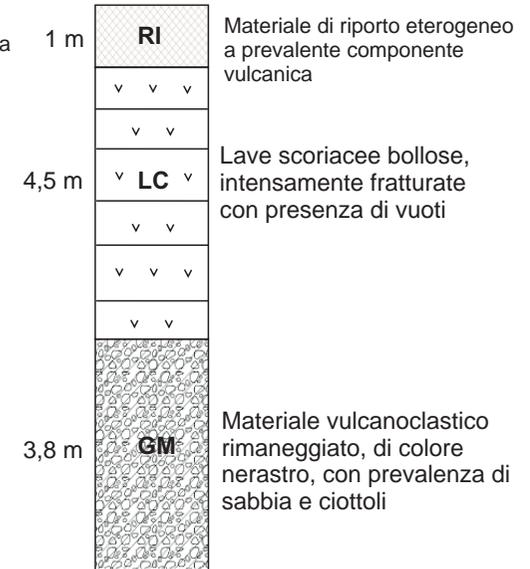
Sondaggio 087050P2



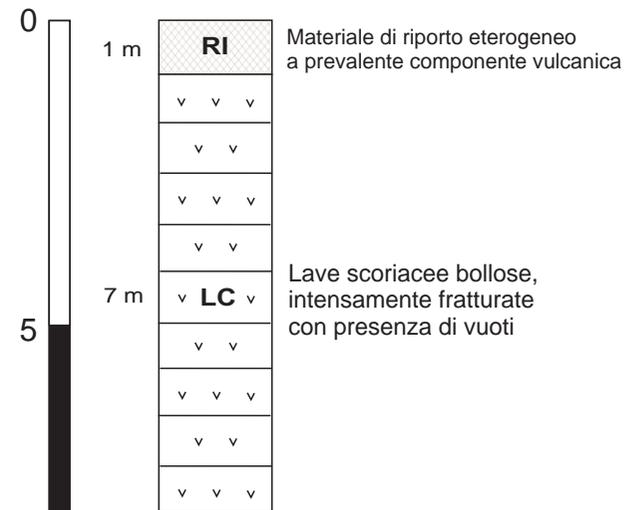
Sondaggio 087050P3



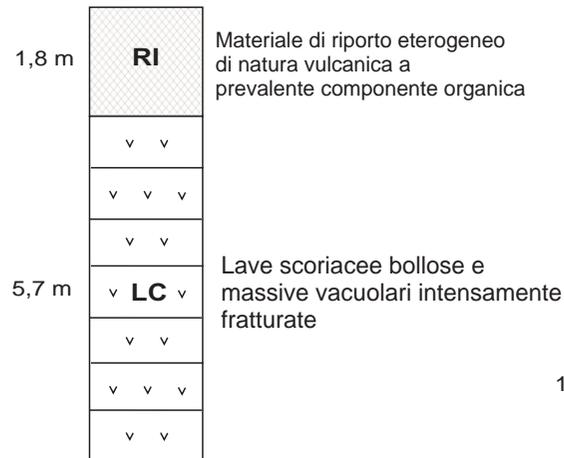
Sondaggio 087050P4



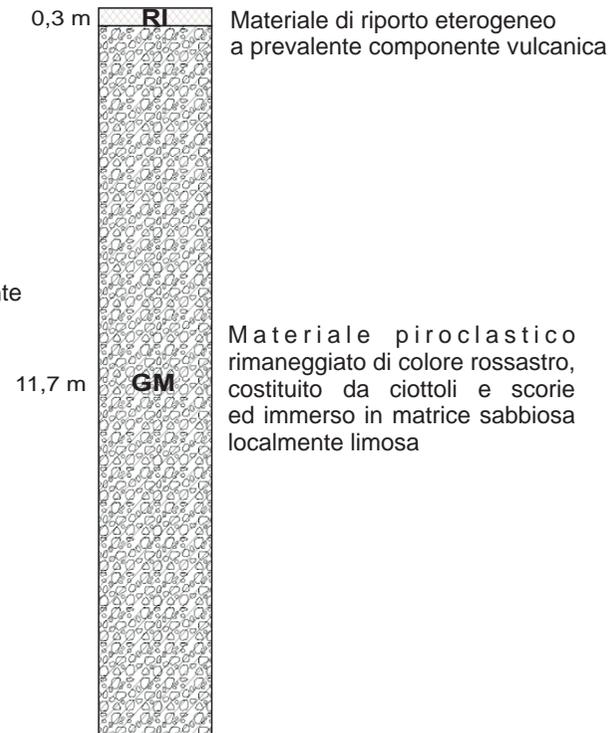
Sondaggio 087050P5



Sondaggio 087050P6



Sondaggio 087050P7



LEGENDA

- Materiale di riporto
- Lave di copertura
- Vulcanoclastiti inferiori
- Lave basali

ALLEGATO 3 – Dati geotecnici e geofisici

Litotipo	Descrizione litotipo	Numero sondaggio	Sito sondaggio	Profondità top (m)	Profondità bottom (m)	Spessore campione (m)	Valore RQD (%)	Qualità della roccia
LCla	lave massive con bollosità nella parte apicale	S03	V.le dello sport	0,7	1,5	0,8	90	buona-eccellente
AL	lave massive fratturate	S03	V.le dello sport	6,5	7,5	1,0	30	scadente
AL	lave scoriacee bollose intensamente fratturate	S03	V.le dello sport	7,5	8,0	0,5	10	molto scadente
GMsc	trovante lavico con ciottoli	S04	Via Collodi	7,5	8,3	0,8	75	discreta-buona
LCla	lave massive vacuolari intensamente fratturate	S06	Via Rosina Anselmi	3,2	3,8	0,6	40	scadente
LCla	lave massive vacuolari intensamente fratturate	S06	Via Rosina Anselmi	4,2	5,0	0,8	50	scadente-discreta
LCla	lave massive vacuolari intensamente fratturate	S06	Via Rosina Anselmi	6,3	6,6	0,3	72	discreta-buona

Tabella 1 – Tabella relativa ai valori di RQD (tratto dall'allegato 3 dello studio geologico a supporto del P.R.G. di Trecastagni).

Sondaggio	Via Papa Giovanni n°24/a - Campione c1S01 - profondità intervallo di campionatura 2,50 ÷ 3,50 m							
Descrizione geotecnica del campione	Litologia GMcs: campione sabbioso-ghiaioso non coesivo di colore nero, non plastico, poco addensato. Classificazione secondo A.G.I. 1977: terra a granulometria non uniforme / Sabbia con ghiaia limosa							
Risultati analisi granulometrica		Ciottoli 0,00%	Ghiaia 30,16%	Sabbia 50,51%	Limo 14,56%	Argilla 4,77%		
Parametri da analisi di laboratorio	PV umido [γ (KN/m ³)]	PV dei grani [γ_s (KN/m ³)]	PV secco [γ_d (KN/m ³)]	PV saturo γ_{sat} (KN/m ³)	Contenuto in acqua "w"	Indice dei vuoti "e"	Indice di porosità "n"	Saturazione "Sr"
	18,93	26,5	15,95	19,85	18,71%	0,662	39,82%	76,43%
Prova di taglio diretto C.D. ; d = 63,5mm ; h = 20 mm	Coesione (c') = 0,00 KN/m ² media su tre misurazioni			Angolo attrito interno (ϕ') = 44,2° media su tre misurazioni				

Tabella 2 – Tabella relativa ai risultati delle indagini di laboratorio effettuate sul campione c1S01 estratto dal sondaggio P1 (tratto dall'allegato 1 dello studio geologico a supporto del P.R.G. di Trecastagni).

Sondaggio	Viale dello Sport - Campione c1S03 - profondità intervallo di campionatura 5,20 ÷ 5,60 m							
Descrizione geotecnica del campione	Litologia GMsc: campione ghiaioso-sabbioso non coesivo di colore nero, non plastico, poco addensato. Classificazione secondo A.G.I. 1977: terra a granulometria non uniforme / Ghiaia con sabbia ciottolosa debolmente limosa							
Risultati analisi granulometrica		Ciottoli 12,60%	Ghiaia 47,75%	Sabbia 31,24%	Limo 7,95%	Argilla 0,45%		
Parametri da analisi di laboratorio	PV umido [γ (KN/m ³)]	PV dei grani [γ_s (KN/m ³)]	PV secco [γ_d (KN/m ³)]	PV saturo γ_{sat} (KN/m ³)	Contenuto in acqua "w"	Indice dei vuoti "e"	Indice di porosità "n"	Saturazione "Sr"
	19,28	28,64	17,13	21,07	12,52%	0,672	40,18%	54,44%
Prova di taglio diretto C.D. ; d = 63,5mm ; h = 20 mm	Coesione (c') = 0,00 KN/m ² media su tre misurazioni			Angolo attrito interno (ϕ') = 46° media su tre misurazioni				

Tabella 3 – Tabella relativa ai risultati delle indagini di laboratorio effettuate sul campione c1S03 estratto dal sondaggio P3 (tratto dall'allegato 1 dello studio geologico a supporto del P.R.G. di Trecastagni).

Sondaggio 087050P7SC10	Via Archimede n° 14 - Campione c1S07 - profondità intervallo di campionatura 4,50 ÷ 4,80 m							
Descrizione geotecnica del campione	Litologia GMsc: campione ghiaioso-sabbioso non coesivo di colore rossastro, non plastico, poco addensato. Classificazione secondo A.G.I. 1977: terra a granulometria non uniforme / Sabbia con ghiaia limosa							
Risultati analisi granulometrica		Ciottoli 0,00%	Ghiaia 35,20%	Sabbia 41,33%	Limo 20,04%	Argilla 3,43%		
Parametri da analisi di laboratorio	PV umido [γ (KN/m ³)]	PV dei grani [γ_s (KN/m ³)]	PV secco [γ_d (KN/m ³)]	PV saturo γ_{sat} (KN/m ³)	Contenuto in acqua "w"	Indice dei vuoti "e"	Indice di porosità "n"	Saturazione "Sr"
	18,91	27,11	17,13	20,74	10,38%	0,583	36,83%	49,23%
Prova di taglio diretto C.D. ; d = 63,5mm ; h = 20 mm			Coesione (c') = 0,00 KN/m ² media su tre misurazioni		Angolo attrito interno (ϕ') = 38° media su tre misurazioni			

Tabella 4 – Tabella relativa ai risultati delle indagini di laboratorio effettuate sul campione c1S07 estratto dal sondaggio P7 (tratto dall'allegato 1 dello studio geologico a supporto del P.R.G. di Trecastagni).

Unità litotecniche		Principali valori geotecnici e geofisici				
Litotipo	Descrizione litotipo	Peso Specifico [γ (KN/m ³)]	Coesione [c' (KN/m ²)]	Angolo attrito interno (ϕ')	Velocità onde P [Vp(m/s)]	Velocità onde S [Vs(m/s)]
GM	Piroclastiti e depositi vulcanoclastici rimaneggiati (tufiti) costituiti prevalentemente da materiale sciolto a grana medio fine inglobanti frammenti spigolosi ed arrotondati	14 - 19	0,0	26° - 32°	250 - 350	150 - 250
LC	Lave massive da lievemente a mediamente fessurate, generalmente evolventi verso l'alto in breccie autoclastiche a blocchi scoriacei a spigoli vivi. Presentano bollosità da degassazione in prossimità della superficie	22 - 24	0,0	≥35°	1000 - 1800	700 - 1000
LC	Lave a struttura massiva con varie famiglie di fratture presenti in banchi di spessore variabile, associate a breccia autoclastiche ed a materiali scoriacei a diversa pezzatura immersi in una matrice medio fine	20 - 22	0,0	≥40°	800 - 1500	400 - 800
LC	Lave massive mediamente fessurate e/o pseudostratificate e lave brecciate formate da blocchi di varie dimensioni con struttura caotica. E' presente in superficie una diffusa e discontinua copertura detritico-eluviale	19 - 22	0,0	≥40°	700 - 1400	350 - 600

Tabella 5 – Tabella relativa ai valori dei principali parametri geotecnici e geofisici tratti dalle carte litotecniche, scala 1:2000, redatte in seguito allo Studio Geologico a supporto del Piano Regolatore Generale del Comune di Trecastagni. Dati desunti dalla Letteratura geologica.

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).

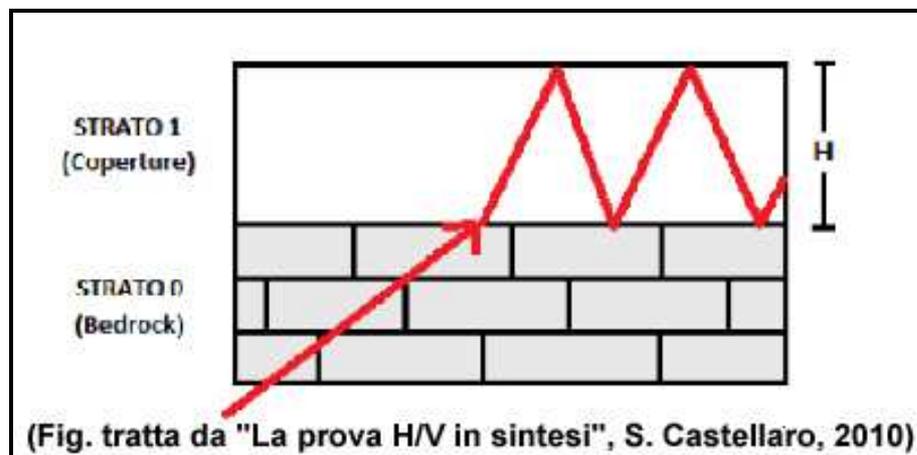
Ciò premesso, riconosciuta l'importanza degli effetti di sito, al progettista serve conoscere la *funzione di trasferimento* al sito, ossia come il moto dal bedrock si trasferisce in superficie; ne consegue che la condizione ideale risulta la misurazione e non il calcolo (che richiederebbe la modellazione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

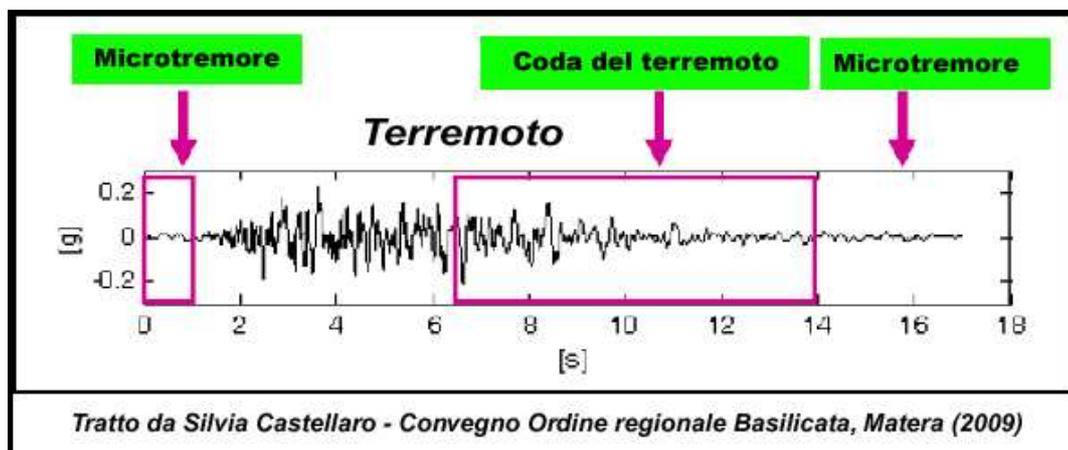
A tal proposito va rilevato, quindi, come lo studio del microtremore ambientale (noise), attraverso le prove di sismica passiva a stazione singola H/V (o HVSR), sia in grado di mettere in luce le frequenze alle quali il moto del terreno viene amplificato per risonanza stratigrafica; tale prova, comunemente 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.), Vs ed H rappresentano rispettivamente la velocità delle onde di taglio e lo spessore dello strato che risuona.

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

Altresì, l'*equazione 1* permette di 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 Vs delle coperture, si può infatti stimare la profondità dei riflettori sismici principali o viceversa; la prima applicazione in questo senso risale al 1999 ad opera di Ibs-von Seht e Wohlenberg, che ricostruirono la profondità del bedrock lungo il bacino del Reno in Germania a partire da misure di risonanza del sottosuolo.

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

Nello specifico, considerando l'estensione e la topografia dell'area, questo studio ha comportato l'esecuzione di "28" misure, secondo le indicazioni del progetto di ricerca europeo SESAME ("Guidelines for the implementation of the H\|V spectral ratio technique on ambient vibrations" - European Commission, dic. 2004); tutte le registrazioni dei microtremori sono state effettuate con tromografi digitali portatili serie Tromino (Micromed S.p.A.), progettati specificamente per l'acquisizione del rumore sismico, dotati di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) ortogonali ed orientati N-S, E-W e verticalmente, alimentati da 2 batterie da 1,5 V e senza alcun cavo esterno; il rumore sismico ambientale è stato acquisito ad una frequenza di campionamento di 256 Hz, amplificato, digitalizzato a 24 bit equivalenti e registrato per circa 45 minuti in corrispondenza di ciascuna delle stazioni di misura ubicate all'interno del comprensorio esaminato.

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

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

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

I risultati di ciascuna analisi sono stati ottenuti col software Grilla in dotazione al tomografo-Tromino per cui il segnale acquisito dai velocimetri è stato digitalizzato a 24 bit; il software Grilla per ciascuna delle tre componenti del moto, previa divisione del tracciato in finestre temporali di 20 secondi, ha calcolato il rapporto spettrale HVSR ad ogni frequenza per ciascuna finestra (Es. Trecastagni - 087050P9).

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.

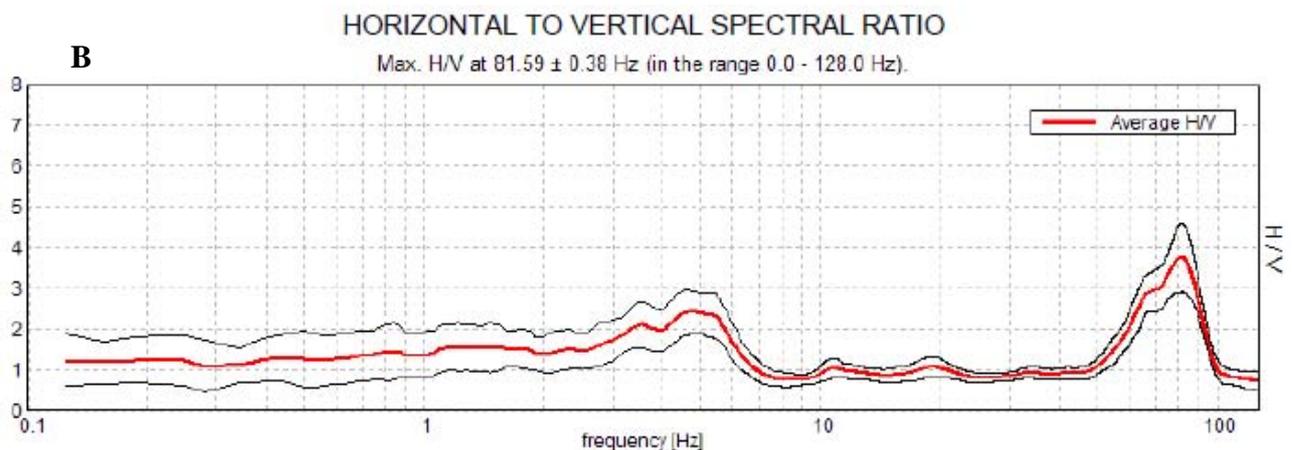
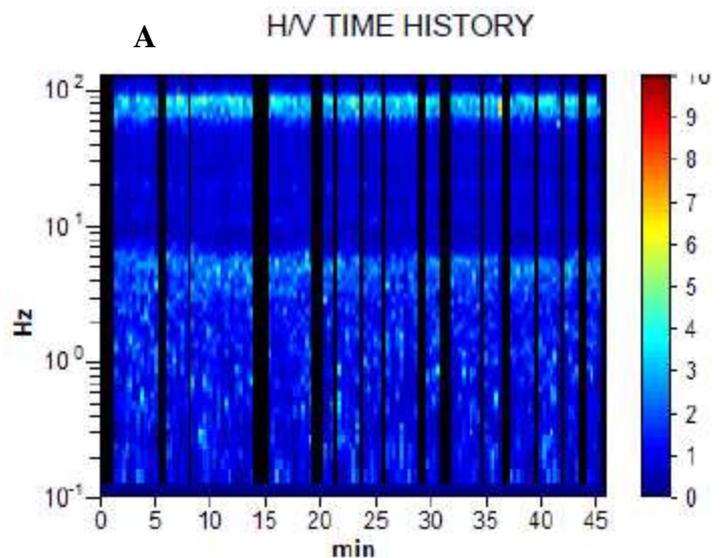


Figura 1: Serie Temporale H/V (A) e Rapporto Spettrale orizzontale/verticale (B) relativo all'indagine 087050P9 a Trecastagni.

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

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

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

Elaborazione delle misure

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

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

La Tabella 1 mostra i valori delle frequenze di picco, in un range compreso tra 0.6 e 20 Hz, relativi ai 28 siti di misura ubicati all'interno dell'area di studio. Si può osservare che la maggior parte dei valori della frequenza di picco non supera i 2 Hz. In alcuni casi, all'interno del range di frequenza considerato (0.6 - 20 Hz), vengono segnalati due o tre picchi, alcuni dei quali abbracciano valori di frequenza più elevati (fino a 18,44 Hz). E' da notare, inoltre, che nella maggior parte dei casi si osservano amplificazioni superiori a 2; nell'indagine 087050P13 si misurano $H/V > 5$.

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

ID_SPU	NOME	UTMx	UTMy	F ₀	H ₀ /V ₀	F ₁	H ₁ /V ₁	F ₂	H ₂ /V ₂
087050P8	N01-S7	507080,00	4164676,00	1,34	3,27	2,19	3,76	6,16	2,38
087050P9	N02-S2	507236,00	4163711,00	1,13	1,68	4,84	2,38		
087050P10	N05-S5	506606,00	4163779,00	3,13	2,86	5,09	3,27		
087050P11	N06	506211,00	4164940,00	4,38	2,76				
087050P12	N08	506847,00	4164635,00	1,16	2,31	8,69	2,26		
087050P13	N09	506913,00	4164963,00	1,38	2,36	5,75	3,88	7,69	4,43
087050P14	N14	507423,00	4165000,00	0,94	1,93	5,59	3,75	18,44	1,41
087050P15	N15	507423,00	4164645,00	0,94	2,25	2,38	1,43	5,91	2,59
087050P16	N17	507480,00	4164034,00	0,88	2,13	4,94	2,21	16,06	1,68
087050P17	N19	507136,00	4164364,00	0,94	2,51	5,50	3,76	12,69	1,05
087050P18	N25	505955,00	4163656,00	0,75	2,35	2,81	2,10	7,38	3,10
087050P19	N27	507440,00	4163806,00	0,94	2,41	4,56	2,50	7,06	2,92
087050P20	N30	506224,00	4163087,00	0,72	1,67	1,97	1,92	5,31	4,22
087050P21	N33	507451,00	4163500,00	0,78	1,79	6,88	2,22		
087050P22	N34	506946,00	4163400,00	1,00	2,54	6,06	2,25	16,56	1,25
087050P23	N36	506148,00	4163466,00	0,75	2,15	4,69	2,43	6,56	2,42
087050P24	N40	507186,00	4163124,00	0,91	2,36	9,06	2,12		
087050P25	N42	506870,00	4162789,00	0,91	2,41	2,00	1,86	7,50	1,63
087050P26	N44	506166,00	4162828,00	0,78	3,04	3,125	2,33	7,78	3,05
087050P27	N46	507198,00	4162458,00	1,41	1,91	6,25	1,78	12,81	2,51
087050P28	N51	506530,00	4162564,00	0,91	2,57	5,47	2,04	12,50	1,69
087050P29	N55	507523,00	4161870,00	0,78	2,76	3,13	2,44	13,00	2,37
087050P30	N56	507413,00	4162222,00	1,44	2,54	6,66	3,12		
087050P31	N61	506940,00	4161226,00	1,44	3,14	4,69	2,36		
087050P32	N63	506405,00	4161700,00	1,44	3,86				
087050P33	N66	506821,00	4162207,00	0,94	3,04	9,38	2,21	16,88	1,64
087050P34	N67	506808,00	4162039,00	1,25	2,86	4,16	2,45	15,25	1,17
087050P35	N68	506804,00	4161657,00	1,06	3,14	3,97	2,32	9,94	2,89

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

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

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

- $0.6 \leq f < 2.0$ Hz questa fascia riguarda strutture di dimensioni grandi (> 10÷20 piani, indicativamente);

- $2.0 \leq f < 10.0$ Hz questa fascia riguarda strutture di dimensioni medio-piccole (1-10 piani, indicativamente);
- $10.0 \leq f < 20.0$ Hz questa fascia riguarda strutture di piccole dimensioni (< 3 m altezza, indicativamente).

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



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

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	81.59 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	176242.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 2792 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0] A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	58.875 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	93.906 Hz	OK	
$A_0 > 2$	3.74 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0.00234 < 0.05	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.19077 < 4.07969	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.4206 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Figura 3: tabelle dei criteri per una curva H/V affidabili e per un picco H/V chiaro relativi all'indagine 087050P9 i cui requisiti vengono soddisfatti.

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

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

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	5.09 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	11919.4 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 246 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.406 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	7.344 Hz	OK	
$A_0 > 2$	3.26 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.23043 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	1.17377 < 0.25469		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.4751 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Figura 4: tabelle dei criteri per una curva H/V affidabili e per un picco H/V chiaro relativi all’indagine 087050P10 i cui requisiti non vengono soddisfatti.

Dunque, alla luce delle elaborazioni e di quanto suindicato tutte le misure eseguite

risultano avere un valore d'attendibilità pari ad "1".

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

Bibliografia

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

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

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

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

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

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

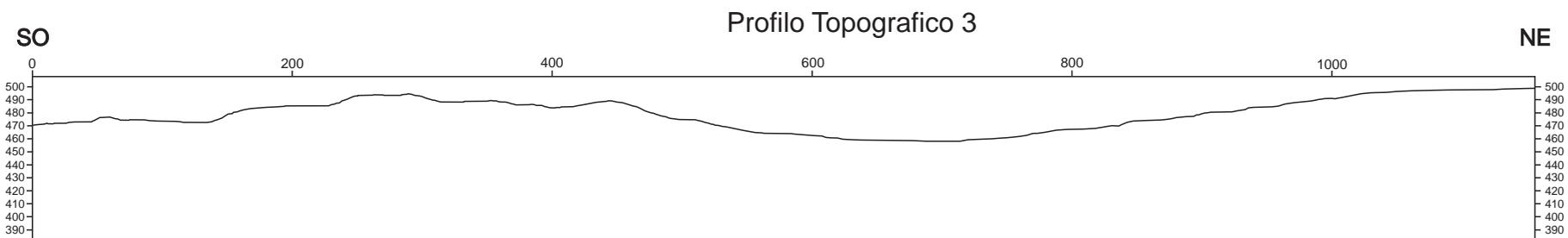
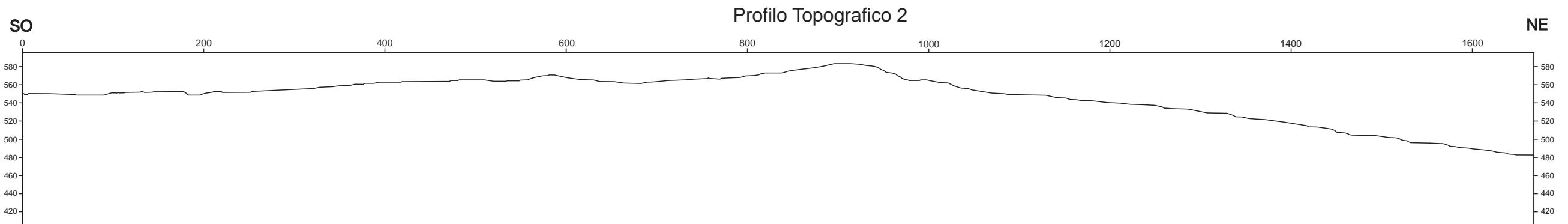
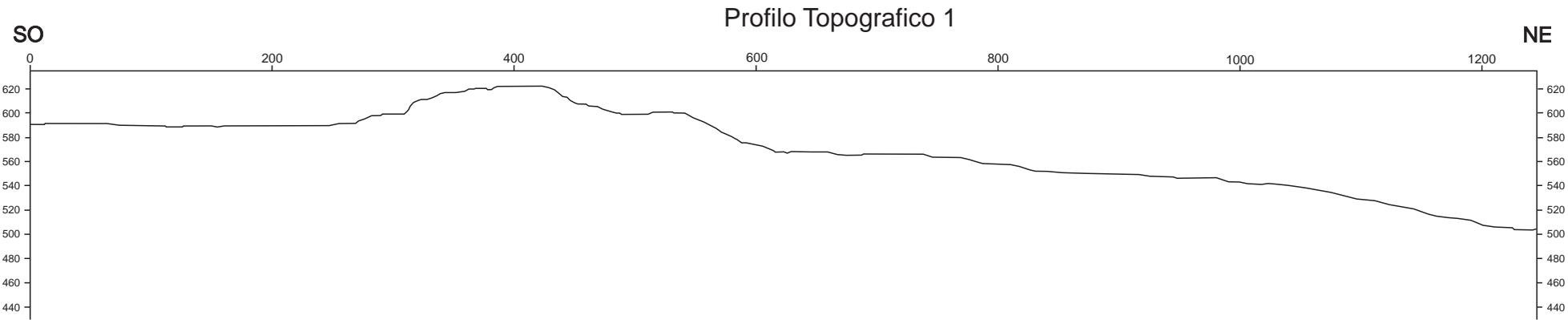
Mucciarelli M., Gallipoli M.R.; 2001 – A critical review of 10 years of microtremor HVSR technique. Boll. Geofis. Teorica Appl., 42, 255–266.

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

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

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

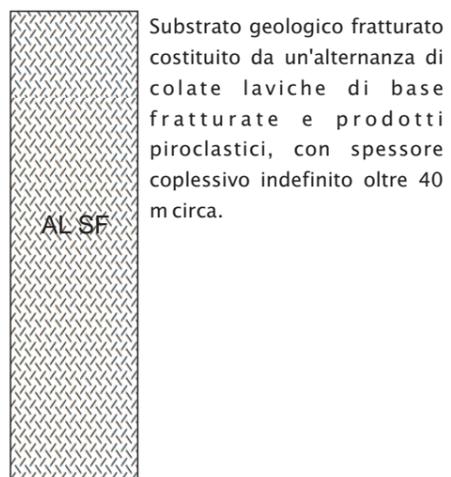
Allegato 5 - Sezioni Topografiche



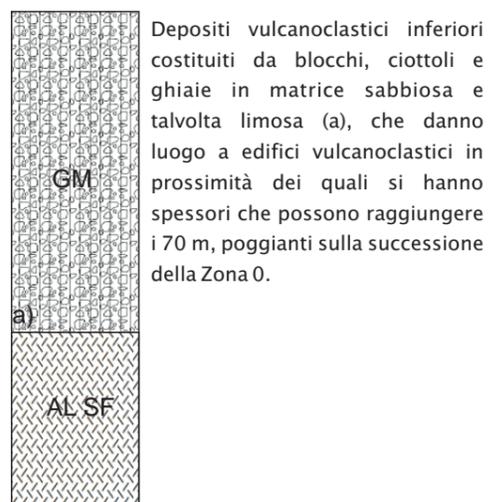
Allegato 6 – Schemi dei rapporti litostratigrafici più significativi

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

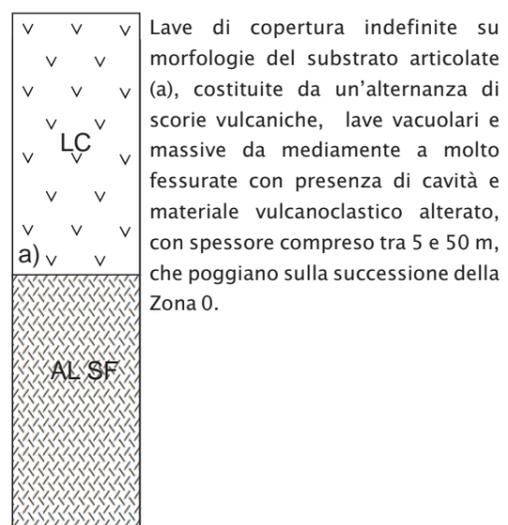
Zona 0



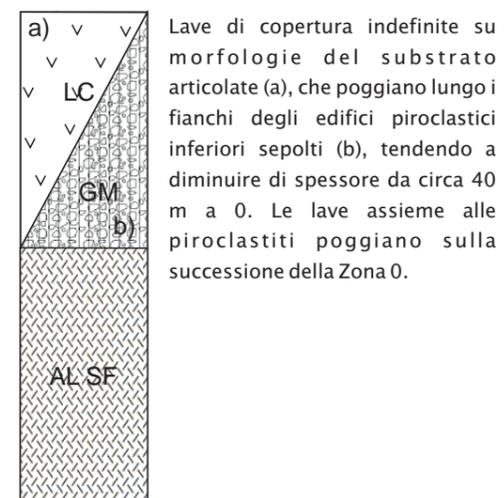
Zona 1



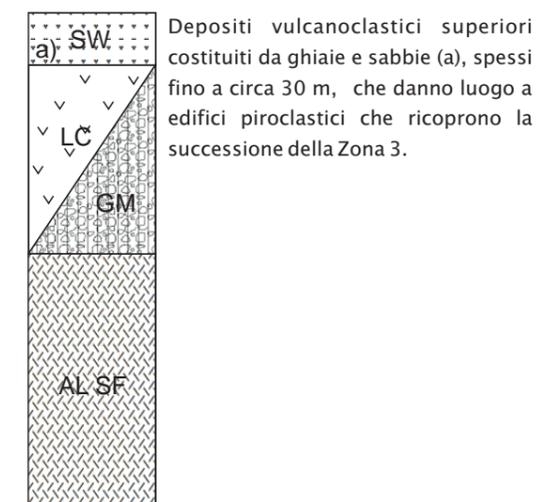
Zona 2



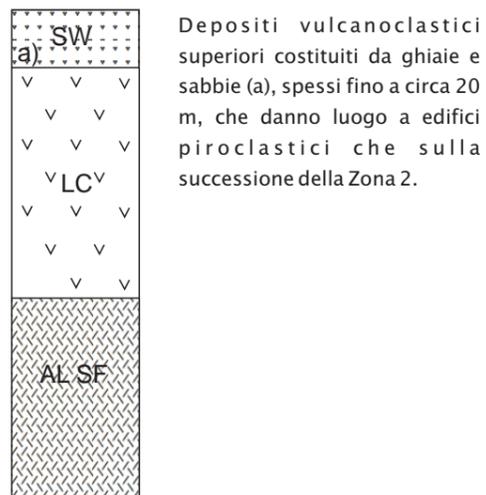
Zona 3



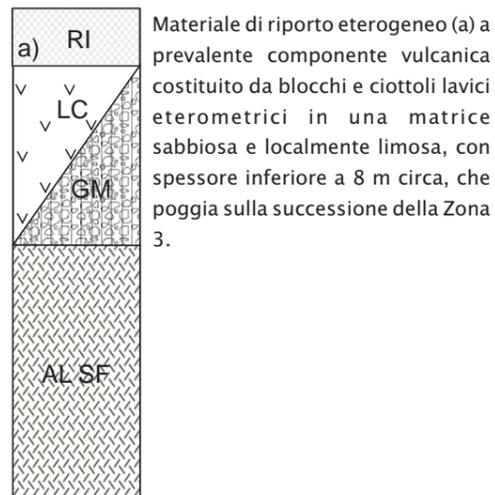
Zona 4



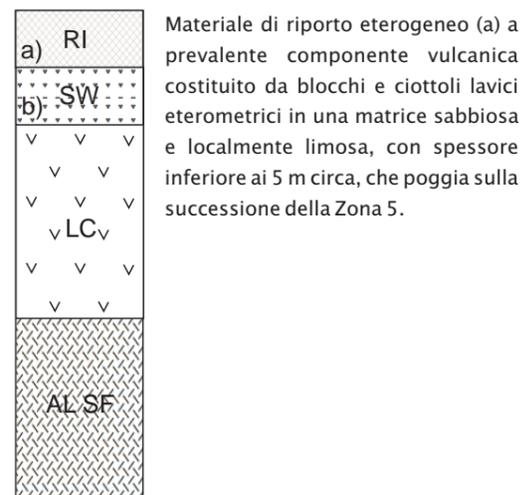
Zona 5



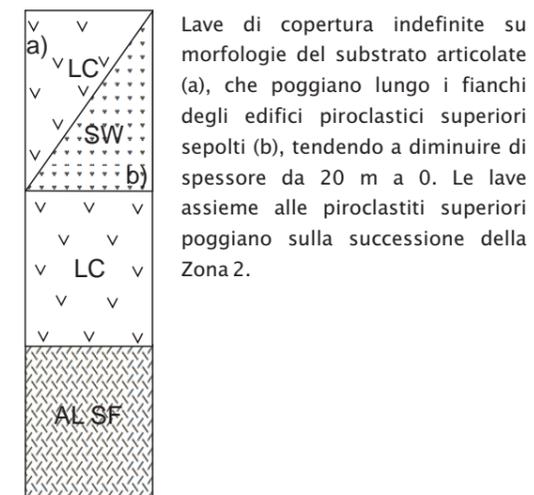
Zona 6



Zona 7



Zona 8



Zona 9

