





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

MICROZONAZIONE SISMICA Relazione Illustrativa MS Livello 1

Regione Sicilia

Comune di Valverde



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*



Indice

1. Introduzione
2. Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento11
3. Assetto geologico e geomorfologico dell'area21
4. Dati geotecnici e geofisici
5. Modello del sottosuolo
6. Interpretazioni e incertezze
7. Metodologie di elaborazione e risultati65
8. Elaborati cartografici76
9. Confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati
10. Bibliografia
11. Allegati







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 Valverde (codice istat 087052), in Provincia di Catania, oggetto della presente relazione, sono stati eseguiti nell'ambito della Convenzione del 20/12/2011 tra Università di Catania e Dipartimento Regionale di Protezione Civile della Regione Sicilia, che ha previsto l'avvio delle indagini per i comuni siciliani soggetti a più elevata pericolosità sismica. L'attività di microzonazione è stata eseguita seguendo le indicazioni contenute negli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" (Gruppo di lavoro MS, 2008) e tenendo conto anche dei suggerimenti contenuti nel supplemento a "Ingegneria Sismica" (anno XXVIII, n.2, 2011) a cura di Dolce et alii.

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

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







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:

- 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 Valverde 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 Valverde si sviluppa lungo il basso versante sudorientale del Monte Etna in Sicilia orientale con un estensione areale di circa 5,520 km² (Fig. 1). Preso atto delle indicazioni fornite dall'Amministrazione comunale, di concerto con il committente si è deciso di microzonare l'intero territorio del Comune di Valverde, come da verbale della riunione tecnica del 24/04/2012 tra l'Università di Catania e il Dipartimento Regionale di Protezione Civile della Regione Sicilia. Nell'ambito di tale area si è altresì proceduto all'esclusione di quelle zone che, ai sensi dell'Art. 5, Comma 4, dell'OPCM 3907/2010, non devono essere soggette alla Microzonazione sismica. In particolare, sono state escluse due piccole zone classificate R4 dal Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI), localizzate lungo la scarpata morfologica che si estende









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

immediatamente ad est del centro abitato (Fig. 2). In definitiva, l'area di studio così ottenuta ha un'estensione di circa 5,519 km².



Fig. 1 – Ubicazione dell'area in cui sono stati effettuati gli studi di MS di livello 1 (delimitata in rosso), nel territorio comunale di Valverde, all'interno della Sezione CTR 634020.



Fig. 2 – Ubicazione nel territorio del Comune di Valverde (delimitato in rosso), delle aree classificate R4 dal Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI) (aree colorate in rosso).

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 della Sezioni CTR 634020 (Fig. 1).

La qualità e l'affidabilità dei risultati sono state chiaramente influenzate dalla disponibilità di dati significativi sui quali operare. Nel caso specifico, per il Comune di Valverde è stato possibile attingere ad una buona quantità d'informazioni pregresse che, però, sono in gran parte concentrate in una fascia ristretta che si estende a sud-ovest dell'abitato, oggetto di studi di approfondimento per la valutazione della presenza o







Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 meno di strutture tettoniche attive. Seppure non omogeneamente distribuiti, i dati raccolti hanno permesso di vincolare bene la successione stratigrafica dell'area e consentito una buona ricostruzione 3D delle successioni. E' ovvio che livelli di indeterminazione permangono per quanto attiene lo spessore dei terreni di copertura e la reale profondità del substrato rigido nelle aree prive di dati di sottosuolo diretto. In questo caso si è fatto riferimento a proiezioni dei dati disponibili in aree limitrofe, sulla base di una scrupolosa interpretazione delle evidenze di superficie, nella previsione di infittire le indagini nei successivi stadi di approfondimento.

I dati messi a disposizione dall'amministrazione comunale di Valverde, relativi ad indagini effettuate per studio geologico per il Piano Regolatore Generale (P.R.G.) realizzato nel 2008 e per gli studi di approfondimento che hanno interessato la porzione meridionale e orientale del territorio comunale effettuati nel 2011, sono sintetizzati in diversi elaborati di seguito elencati:

Elaborati dello studio geologico per il P.R.G.

- Relazione geologica
- TAVV. 1.1, 1.2, 1.3, 1.4 Carta geologico-strutturale scala 1:2.000
- TAVV. 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 Carta geomorfologica scala 1:2.000
- TAVV. 3., 3.2, 3.3, 3.4 Carta idrogeologica scala 1:2.000
- TAVV. 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 Carta geolitologica e litotecnica scala 1:2.000
- TAVV. 5.1, 5.2, 5.3, 5.4 Carta delle pericolosità geologiche scala 1:2.000
- TAVV. 6.1, 6.2, 6.3, 6.4 Carta delle zone a maggior pericolosità sismica locale scala 1:2.000

- TAVV. 7.1, 7.2, 7.3, 7.4 Carta delle pericolosità complessive e della suscettività d'uso del suolo scala 1:2.000
- Documentazione fotografica

Le TAVV.1 contengono anche n° 3 sondaggi geognostici, n° 3 tomografie elettriche e n° 8 sezioni geologiche in scala 1:1.000.

Elaborati degli studi di approfondimento del luglio 2011

- Relazione geologica
- Carta geologica del settore SE scala 1:10.000
- Carta geologico-strutturale del settore SE scala 1:2.000
- N° 10 sondaggi geognostici
- N° 4 tomografie elettriche
- N° 9 sezioni geologiche scala 1:1.000

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

Lo studio è stato integrato da verifiche di terreno e analisi di aerofotogrammetrie, mirate alla verifica della affidabilità del modello geologico proposto. Infine sono state effettuate una serie di misure di microtremori mediante la tecnica di indagine di sismica passiva HVSR (Horizzontal 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







Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 (AA.VV., 1979, 2009; Monaco et al., 2008; Catalano & Tortorici, 2010) e idrogeologica (Ferrara, 1990) disponibile in letteratura.

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

Nel presente capitolo viene definita la pericolosità sismica del Comune di Valverde 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 Valverde 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 Valverde sui cataloghi sismici, facendo riferimento in particolare al Catalogo Parametrico dei terremoti italiani (CPTI11; Rovida et al., 2011), che nella fattispecie si riferisce al database macrosismico (DBMI11; Locati et al., 2011) e su una base di dati strumentali molto ampia ed aggiornata. Il catalogo parametrico CPTI11 si compone di due sezioni, una delle quali dedicata ai terremoti etnei (1000–2006). Quest'ultima contiene 198 terremoti localizzati all'interno della zona 936 della zonazione sismogenetica ZS9 (Meletti et al., 2008) relativi al periodo 1000–2006. Le soglie energetiche della sezione terremoti etnei sono lo = 5–6 e Mw = 3.5. Per tutti i terremoti della sezione, il valore di Mw e la relativa incertezza sono ottenuti dal valore di lo mediante la relazione di Azzaro et al. (2011). 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 è rimasto 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 3 si riportano i valori dell'intensità macrosismica dell'evento; il Comune di Valverde viene catalogato con intensità X MCS (Barbano, 1985). La figura 4 riporta il risultato della ricerca sul database DBMI11, che individua 21 eventi significativi per il territorio di Valverde, a partire dall'evento del 1693. La figura 5 riporta il conseguente grafico relativo alla sismicità storica del comune di Valverde.

Catalogazione del Comune di Valverde 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 <u>http://essel.mi.ingv.it</u>; è altresì disponibile in allegato alle nuove norme







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

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

Fig. 3 – Intensità macrosismica delle località colpite dal terremoto della Val di Noto dell'11 gennaio 1693, da Barbano (1985).







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

Effetti		I	n occasione del terremoto	del:		
I[MCS]	Data	a	Ax	Np	Io	Mw
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
5	1914 05 08	18:01	LINERA	82	9-10 5.29	±0.26
4-5	1931 08 03	21:12	FIANDACA	40	6-7 3.94	±0.26
NF	1975 01 16	00:0	Stretto di Messina	346	7-8 5.20	±0.09
2	1980 01 23	21:2	MODICA	122	5-6 4.58	±0.14
3	1982 07 06	14:37	C.DA ALGERAZZI	150	6-7 3.94	±0.26
5	1983 07 20	22:03	VIAGRANDE	106	7 4.16	±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
3-4	1986 01 12	23:37	S. VENERINA	53	6-7 3.94	±0.26
2-3	1986 01 18	00:16	DAGALA	35	5-6 3.49	±0.26
3	1987 08 13	07:22	MALETTO	35	5-6 3.49	±0.26
6	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
4	1997 11 11	07:27	S. MARIA LA STELLA	35	5-6 3.49	±0.26
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	2001 01 09	02:51	ZAFFERANA ETNEA	104	6 3.71	±0.26
NF	2005 04 19	00:52	CONTRADA CUBISIA	11	5-6 3.49	±0.26
4	2005 10 31	00:02	TRECASTAGNI	32	6 3.71	±0.26

Fig. 4 – Eventi sismici significativi per il Comune di Valverde, dal database DBMII1. 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 CPTII1, espressa in scala MCS, Mercalli-Cancani-Sieberg; Mw = magnitudo momento.



Fig. 5 - Grafico relativo alla sismicità storica del comune di Valverde.

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

LATITUDINE: 37.56

LONGITUDINE: 15.136

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 6 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; Vs₃₀>800 m/sec) con probabilità di superamento in 50 anni pari a: 81%, 63%, 50%, 39%, 30%, 22%, 5% e 2% rispettivamente corrispondenti a periodi di ritorno di 30, 50, 72, 100, 140, 200, 975 e 2475 anni (convenzionalmente per gli ultimi due periodi di ritorno si usa parlare di 1000 e 2500 anni). Si riportano nelle Figure 7–9 rispettivamente le mappe interattive di pericolosità sismica del territorio di Valverde 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. 6 – 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. 7 – Mappa interattiva di pericolosità sismica del territorio di Valverde. I punti della griglia visualizzati si riferiscono a: parametro dello scuotimento a(g), probabilità di superamento del 10% in 50 anni.



Fig. 8 – Mappa interattiva di pericolosità sismica del territorio di Valverde. 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. 9 – Mappa interattiva di pericolosità sismica del territorio di Valverde. 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 Valverde vengono sintetizzati nella tabella 1 di seguito riportata e consentono di calcolare la curve di pericolosità sismica al sito (Fig. 10).

T _R [anni]	ag[g/10]
475	0.200-0.225
975	0.275-0.300
2475	0.400-0.450

Tab. 1 - Valori di ag al sito e corrispondente periodo di ritorno.



Fig. 10 – Curva di pericolosità sismica al sito per il territorio di Valverde. La curva rappresenta il valore della mediana.

Il territorio del Comune di Valverde è stato individuato sul database DBMI11 (con 21 eventi sismici significativi tra il 1693 ed il 2005) 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 ag su suolo rigido (categoria A; Vs30>800 m/sec) con probabilità di superamento in 50 anni pari a: 0.200-0.225 per il 10%, 0.275-0.300 per il 5% e 0.400-0.450 per il 2%, rispettivamente corrispondenti a periodi di ritorno di 475, 975 e 2475 anni. Ciò ha permesso di ricavare la curva di pericolosità sismica al sito per il territorio di Valverde. Infine il territorio è interessato dalle faglie di Valverde, di Nizzeti e di Aci Catena.







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

3. Assetto geologico e geomorfologico dell'area

Il territorio di Valverde ricade nel settore sud-orientale dell'Etna, lungo il margine orientale di un ripiano orografico che, estendendosi verso ovest tra le quote di 330 e 350 m s.l.m. fino agli abitati di San Gregorio di Catania e di San Giovanni la Punta, forma una superficie terrazzata, delimitata verso est da una ripida scarpata di forma arcuata, con apice posto in corrispondenza dell'abitato di Valverde a separare un segmento settentrionale, a direzione NNE, ed uno meridionale, orientato NNO. La scarpata, di altezza superiore ai 100 m, borda una superficie sub-pianeggiante più bassa, prospiciente la costa ionica della zona di Aci Castello, posta ad una quota compresa tra i 230 e 200 m s.l.m..

La superficie terrazzata di Valverde è composta da vasti campi lavici recenti, in cui si riconoscono una serie di colate sovrapposte che si sono accumulate sul fianco settentrionale di un rilievo monoclinale, debolmente inclinato verso NO, nel quale sono esposti i livelli basali della copertura lavica etnea, di età superiore ai 120 ka (Branca et al., 2008), che costituiscono il settore meridionale del territorio comunale.

Nella cartografia geologica consultata, si sono riscontrati almeno due distinte interpretazioni del significato della culminazione di Valverde e delle scarpate sul suo bordo orientale.



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

Nella "Carta geologica del Monte Etna" alla scala 1:50000 (AA.VV., 1979; Fig. 11) la monoclinale di Valverde rappresenta una culminazione di origine tettonica del substrato argilloso pre-etneo (Qa in Fig. 11) e delle sovrastanti lave alkaline basali (Ita in Fig. 11) che si sviluppa al letto di una faglia normale orientata NNO che ne costituisce il bordo orientale. Pertanto la scarpata che borda la culminazione sarebbe di origine tettonica e connessa al rigetto verticale cumulato lungo la faglia. Nella carta è evidenziata la presenza di una faglia normale anche alla base della scarpata a direzione NNE che borda il settore settentrionale dell'abitato, coinvolgendo gli orizzonti lavici antichi e le sovrastanti lave recenti (lpr in Fig. 11), che in parte la mantellano. Nella carta sono inoltre riportati una serie di segmenti di faglia, allineati parallelamente alle due faglie principali,







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

che tagliano attraverso la culminazione delle lave antiche affioranti nei settori meridionali del territorio comunale. La carta, come gran parte dei documenti cartografici successivi, non fornisce indicazioni sulla terminazione meridionale dei fasci di faglia rappresentati che tendono ad annullarsi repentinamente verso sud.

Secondo Monaco & Ventura (1995) la giacitura delle lave immergenti verso NO della culminazione di Valverde sarebbe originaria e riferibile ai resti del fianco occidentale di un antico edificio vulcanico, denominato edificio di Valverde. Attualmente, la continuità dell'edificio sarebbe interrotta verso est da un fascio arcuato di faglie attive, poste alla base delle scarpate che bordano il ripiano orografico di Valverde. A conferma di ciò, gli Autori individuano i resti delle porzioni orientali dell'edificio di Valverde, ribassati dalle faglie, nella collina a monte della costa di Aci Castello e Aci Trezza, dove i prodotti eruttivi poggiano direttamente sul substrato di argille pre-etnee mediopleistoceniche (900-600 ka; Di Stefano & Branca, 2002). Tale interpretazione ha delle dirette conseguenze sulla potenzialità delle strutture alla base delle scarpate che delimitano il settore orientale del territorio comunale. Se da un lato Monaco & Ventura (2005) (Fig. 12) evidenziano una maggiore continuità dei segmenti di faglia, rispetto a quanto riportato nella Carta Geologica del Monte Etna, dall'altro, segnalando lungo l'intera altezza della scarpata la presenza delle vulcaniti antiche, ridimensionano notevolmente il rigetto delle faglie, riducendolo a qualche decina di metri. Tale stima è certamente incongruente sia con la lunghezza dei segmenti di faglia che con l'altezza della scarpata, salva una diversa interpretazione degli elementi morfostrutturali quali antichi elementi vulcano-tettonici, successivamente ripresi dalla tettonica regionale. Alla stessa maniera andrebbero interpretati i diversi segmenti di faglia che coinvolgono le lave antiche affioranti nel settore meridionale del territorio comunale di Valverde, essenzialmente individuate sulla base delle loro evidenze morfostrutturali, a dispetto di rigetti molto modesti o quasi nulli.



Fig. 2 - Geological sketch map of the Valverde center. Key: 1a, Marly clays (Middle Pleistocene); 1b, pre-Etnean volcanics with tholeiitic affinity (Middle Pleistocene); 2, Cycle I lavas; 3a, Cycle II ash-flow deposits; 3b, Cycle II lavas and strombolian fall deposits; 4, Cycle III pyroclastics; 5, Recent lava flows related to the Mt. Etna activity; 6, debris deposits; 7, fault (dashed where inferred, barbs on hanging-wall); 8, volcano-tectonic collapse scarp; 9, lava flow direction.

Fig. 12 - Schema geologico dell'edificio di Valverde (da Fig. 2 di Monaco & Ventura, 1995).

Recenti datazioni radiometriche (Branca et al., 2007) effettuate sui prodotti attribuiti all'edificio di Valverde, indicano un'età compresa almeno tra 146 ka (località Torre di Casalotto; Fig. 12) a circa 120 ka (località Monte d'Oro; Fig, 12). Questa interpretazione implica che alla base delle scarpate che bordano l'abitato di Valverde, alte fino a 100 m, siano localizzate segmenti di faglia attivi a partire al massimo dagli ultimi 120 ka. I dati contenuti nella "Carta geologica del Monte Etna" alla scala 1:50.000 (AA.VV., 1979; Fig.







Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 11), vincolerebbero un tasso di movimento verticale pari a circa 0,8 mm/a, mentre i dati di Monaco & Ventura (1995) farebbero prefigurare un ruolo secondario della struttura.

Con gli stessi dati di terreno, in studi successivi (Monaco et al., 1997) la faglia bordiera del terrazzo di Valverde, denominata Faglia di Nizzeti, è stata interpretata come un ramo secondario di un sistema regionale di faglie estensionali che borda il fianco orientale dell'Etna (Fig. 13). La faglia all'altezza dell'abitato di Valverde si biforca formando due segmenti arcuati, il primo che corre alla base della scarpata morfologica ed il secondo che taglia la parte alta del versante, interrompendo la continuità del profilo topografico con una ulteriore scarpata di minore altezza. Ai fini delle successive discussioni, il segmento superiore sarà indicato come Faglia di Valverde, mentre quello inferiore sarà indicato come Faglia di Nizzeti. Gli Autori forniscono, sulla base dell'altezza della scarpata della Faglia di Nizzeti, modellata su lave di diversa età, una stima dei tassi di movimento verticale della struttura principale che, a lungo periodo (120 ka) sarebbe di 0.8 mm/a, mentre a corto periodo (2.5 ka) raggiungerebbe i 2 mm/a. Le velocità misurate partono dal presupposto che le scarpate siano interamente di origine tettonica e cumulate per dislocazioni successive lungo la faglia. Nel modello proposto, rimane insoluto il problema della terminazione meridionale della struttura, caratterizzata da un apparente e repentino annullamento del rigetto, e il modo in cui il movimento registrato al centro della struttura si sia trasferito verso altre strutture attive.



Fig. 13 - Schema strutturale delle faglie attive dell'Etna (da Fig. 3 di Monaco et al., 1997).









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

Nella carta geologica allegata al PRG, è confermata la presenza all'interno del territorio comunale della Faglia di Valverde che però, anziché riunirsi alla Faglia di Nizzeti, come segnalato dagli studi precedenti, termina repentinamente a sud-est dell'abitato. Nella carta non è raffigurata la Faglia di Nizzeti, posta alla base della scarpata principale, probabilmente perché ubicata immediatamente al di fuori del territorio comunale. E' interessante notare, comunque, che lungo la scarpata è stato riconosciuto, ad una quota di circa 300 m s.l.m., il contatto tra le lave e le argille del



Fig. 14 - Stralcio della carta geologica allegata al PRG di Valverde.

substrato, in gran parte ricoperto da una coltre uniforme di detrito, in accordo con quanto precedentemente segnalato nella Carta geologica del Monte Etna (AA.VV., 1979). Ciò permette di valutare un rigetto complessivo della Faglia di Nizzeti compatibile con l'origine tettonica dell'intera scarpata. Anche in questo documento, segmenti isolati di faglia, che dislocano le lave più antiche, sono stati cartografati nel settore meridionale del territorio comunale.



Fig. 15 - Stralcio del Foglio Geologico 634 "Catania" (AA.VV., 2009 mod).

Nel Foglio Geologico 634 "Catania" (AA.VV., 2009)(Fig. 15), in contraddizione con quanto riportato nella carta del PRG, si conferma la presenza sia della Faglia di Valverde che della Faglia di Nizzeti, con una geometria che ripropone quella già indicata in Monaco et al. (1997). La carta mostra la continuità del segmento superiore che, sovrapponendosi al segmento di faglia principale localizzato alla base della scarpata a sud-est dell'abitato, tende ad unirsi ad esso alla terminazione meridionale della scarpata. Il segmento principale, secondo i dati riportati in carta, proseguirebbe verso mare in direzione di Aci







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

Castello, dove il rigetto della struttura passa rapidamente da un centinaio di metri a zero, senza alcun elemento per stabilire le modalità del suo trasferimento a strutture limitrofe. Nel dettaglio va notato che in analogia con quanto già riportato in Monaco & Ventura (1995) e Monaco et al. (1997) ed in contraddizione con la carta allegata al PRG, il Foglio Geologico, cui va dato la valenza di documentazione cartografica ufficiale, indica la presenza lungo le scarpate della Faglia di Nizzeti delle lave antiche. Va segnalato, comunque, che gli stessi Autori del Foglio Geologico, in un più recente elaborato cartografico (Branca et al., 2011)(Fig. 16) e in conformità con quanto riportato nella carta allegata al PRG, segnalano invece la presenza, lungo la scarpata della Faglia di Nizzeti, del



Fig. 16 - Stralcio della Carta Geologica del Vulcano Etna (Branca et al., 2011).

contatto lave-argille del substrato, mascherato da una imponente fascia detritica. In Branca et al. (2011) va inoltre evidenziata una diversa geometria delle faglie presenti all'interno della culminazione di Valverde, rispetto a quella rappresentata nel Foglio Geologico 634 Catania.

Nella Carta Morfotettonica dell'Etna (Monaco et al., 2010) (Fig. 17) la Faglia di Valverde e la Faglia di Nizzeti vengono rappresentate come due segmenti arcuati paralleli tra loro, geometricamente distinti.



Fig. 17 - Stralcio della Carta Morfotettonica del Monte Etna (Monaco et al., 2008 mod).







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

La carta inoltre evidenzia un rigetto della Faglia di Nizzeti di almeno 100 m, cumulato dalle lave alkaline basali (< 120 ka), congruente sia con l'altezza della scarpata cumulativa che con i tassi di movimento verticali valutati nella precedente letteratura scientifica (Monaco et al., 1997). Rispetto alle cartografie preesistenti, la carta mostra che la terminazione meridionale della Faglia di Nizzeti è collegata sia geometricamente che cinematicamente ad una faglia destra, orientata circa E–O, che si estende dall'abitato di San Gregorio di Catania fino alla costa ionica, attraverso il territorio comunale di Aci Castello. La carta inoltre segnala la presenza di una copertura discordante di piroclastiti, attribuite ad un'età compresa tra i 60 ka e i 15 ka, che mantella la successione lavica del cosiddetto edificio di Valverde, essendo a sua volta coinvolta lungo le faglie che, orientate parallelamente a quelle bordiere, tagliano attraverso la culminazione.



Fig. 18 – Stralcio della Carta geologico-tecnica degli studi di microzonazione di primo livello del Comune di Aci Castello: in tratto rosso sottile la terminazione meridionale del segmento orientato NO-SE della Faglia di Nizzeti e la sua prosecuzione, in direzione E-O, all'interno del comune di Aci Castello (limite rosso spesso). La geometria della terminazione della Faglia di Nizzeti, con un andamento delle faglie leggermente diverso era stato proposto anche in precedenti studi di microzonazione relativi alle aree contigue di Acicatena e Acireale (Catalano & Tortorici, 2010) e negli studi di microzonazione di primo livello, condotti nel comune di Aci Castello (Fig. 18). I rilievi condotti nel corso degli studi hanno evidenziato che la parte terminale della Faglia di Nizzeti, orientata NO-SE e in parte sepolta da detriti, si ricollega ad un allineamento orientato circa E-O, lungo il quale si realizza la repentina interruzione verso nord dei prodotti tholeiitici (**GR** in Fig. 18), affioranti nella zona di Acitrezza.

Nella recente carta vulcano-tettonica del Monte Etna (Azzaro et al., 2012)(Fig. 19) viene riprodotta di fatto la geometria della Faglia di Valverde e della Faglia di Nizzeti (indicata come Faglia di Aci Catena), del tutto simile a quella riportata in Branca et al. (2011).



Fig. 19 - Carta vulcano-tettonica del Monte Etna (Azzaro et al., 2012 mod). Il territorio comunale è indicato in rosa.







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



Fig. 20 – Stralcio della Carta Geologico-Strutturale allegata allo studio geologico a supporto del PRG relativo all'aggiornamento dell'assetto geologico-strutturale del settore SE del territorio comunale alla luce di nuove indagini geognostiche (anno 2011)

Una parte della fascia del territorio comunale interessata dalla Faglia di Valverde, riportata con geometrie variabili in tutta la cartografia geologica consultata, è stata oggetto di approfondimenti, nell'ambito dello studio geologico per il PRG. Nella carta di dettaglio alla scala 1:2.000 (Fig. 20), prodotta anche sulla base di nuovi dati di sottosuolo, viene rappresentata una continuità degli elementi esposti lungo la scarpata bordiera del territorio comunale che dimostrerebbe, almeno localmente, l'assenza della Faglia di Valverde, come già in precedenza indicato negli studi del PRG del 2008. I dati di sottosuolo utilizzati per questi aggiornamenti saranno in seguito discussi in dettaglio, in sede di descrizione della carta geologico-tecnica e dei relativi profili geologici.

Una sintesi delle faglie attive segnalate nella letteratura geologica nel territorio comunale di Valverde è contenuta nel database Ithaca (ITaly HAzard from CApable faults)



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





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



dove sono state catalogate almeno 9 faglie attive nei dintorni di Valverde (Fig. 21). L'elevato numero di faglie indicate è necessariamente collegato all'estrema eterogeneità dei dati riportati nella cartografia esistente. Pertanto lo schema accreditato nel catalogo appare come una composizione dei vari lineamenti segnalati nei diversi documenti, che trova solo parziali riscontri in ognuno di essi e, in certi casi, fa riferimento a lineamenti che non sono presenti in alcuna carta. In generale, il catalogo è stato redatto associando la genesi di tutte le scarpate morfologiche presenti nell'area alla presenza di una faglia capace e attiva. Questa rigida interpretazione degli elementi morfologici, ispirata più ad un principio di cautela che di un esaustivo riscontro dei parametri fondamentali delle faglie, si traduce in una proliferazione di elementi strutturali, ritenuti potenzialmente attivi, che in alcuni casi hanno pochi dati oggettivi a supporto della stessa esistenza. Ciò appare chiaro dall'analisi delle schede del catalogo relative ad alcuni degli elementi minori catalogati (es. V2, V3, V4, V5, V7 in Fig. 21) che rappresentano segmenti isolati, di una lunghezza largamente inferiore al chilometro, e privi delle informazioni sui parametri fondamentali per la valutazione della loro potenzialità, da cui si evince la necessità di ulteriori approfondimenti. Nel catalogo sono anche riportati lineamenti che sono l'espressione superficiale dell'attività lungo le strutture tettoniche principali, rilevate nei diversi documenti cartografici elaborati nell'area. In particolare le due faglie del bordo orientale del territorio comunale, comunemente rappresentate nelle varie carte, nel catalogo vengono rappresentate come un fascio di segmenti composto da due allineamenti principali. Alla base della scarpata principale è segnalata la presenza di due segmenti en-echelon, Acicatena_01 e Nizzeti_01 (CAT1 e N1 in Fig. 21), che formano un lineamento di lunghezza complessiva di 3.1 km, corrispondente alla Faglia di Nizzeti di Monaco et al. (1997) o alla Faglia di Acicatena (Rasà et al., 1996; Azzaro et al., 2012). La faglia, nel suo complesso, è accreditata di un tasso di movimento di circa 2.1 mm/a, che si manifesta sia sotto forma di creep-asismico che di rotture cosismiche, anche se nessun evento sismico storico è stato direttamente associato alla struttura, né è stata stimata la magnitudo o l'intensità massima associabili alla rimobilizzazione della struttura. Verso sud, le deformazioni lungo la faglia vengono interamente trasferite ad un segmento denominato Nizzeti_2 (N2 in Fig. 21) che si sovrappone, ad ovest, alla faglia Nizzeti_1. Il segmento Nizzeti_2, che secondo il catalogo rilascerebbe l'intero tasso di deformazione (2.1 mm/a) misurato sui segmenti più settentrionali prevalentemente tramite creep-asismico, si prolunga verso Acicastello, per una lunghezza totale di 1.7 km.

Un secondo allineamento di faglie, costituito dai segmenti Valverde_6 e Valverde_1 (V6 e V1 in Fig. 21), per una lunghezza totale di 3.3 km, corrisponderebbe al segmento descritto in precedenza come Faglia di Valverde. L'attività recente della struttura (< 3 ka) è accreditata solo su base morfostrutturale, senza ulteriori informazioni sui tassi di movimento e su eventuali magnitudo o intensità attese per eventi generati dalla faglia.

La verifica della reale distribuzione di segmenti di faglia attivi all'interno del territorio comunale ha costituito una priorità assoluta nel corso degli studi effettuati. Ciò ha richiesto un'analisi accurata di tutti gli elementi morfostrutturali segnalati quali scarpate di faglie capaci e attive. Ai fini della valutazione della pericolosità, va rilevato che i segmenti di scarpata isolati e di dimensioni ridotte non sono allineati lungo strutture tettoniche di maggiori dimensioni, potenzialmente pericolose se riattivate per tutta la loro lunghezza e, in alcuni casi, sono del tutto indipendenti dalla presenza di strutture. Alla luce dei rilievi originali, i cui risultati sono stati riversati nella carta geologico-tecnica allegata, l'interpretazione dei dati di sottosuolo evidenzia, ad esempio, la natura erosionale delle scarpate attribuite nel catalogo Ithaca alle faglie capaci Valverde_2 e Valverde_3 (V2 e V3 in Fig. 21). Tali scarpate, infatti, costituiscono orli di erosione di colate reincise e in arretramento parallelo per scalzamento alla base. In particolare, la

36






Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 scarpata associata alla faglia Valverde_2 (V2 in Fig. 21) costituisce un orlo di erosione fluviale modellato sulla colata attraversata dal sondaggio 087052P1 (vedi **Allegato 2**).

Nel caso della scarpata modellata sulle lave antiche, indicata come faglia Valverde_4 (V4 in Fig. 21), i dati geologici di superficie, combinati con i dati di sottosuolo (Allegato 2: sondaggi 087052P1 e 087052P2), suggeriscono la presenza nel presunto lato ribassato della faglia di almeno 20 m di materiale clastico, ricoperto da lave recenti e poggiante direttamente sulle argille del substrato, senza l'interposizione delle lave antiche. Tali rapporti geometrici contrastano con l'ipotesi della presenza della faglia, che avrebbe previsto la presenza delle lave antiche ribassate nel tetto della struttura, suggerendo piuttosto l'origine erosionale della scarpata. Essa è stata infatti interpretata come la parte esposta di un versante modellato su lave antiche, in gran parte sepolto dalla successione attraversata dai sondaggi (vedi Allegato 1: sezioni geologiche B-B' e C-C').

Nel caso della scarpata indicate come faglia Valverde_5, seppure ricoperta da un ingente volume di detrito, la presenza in affioramento delle argille del substrato nel presunto lato ribassato della struttura e delle lave antiche esposte nel versante a monte della scarpata e attraversate sotto il detrito anche dal sondaggio 087052P10 (vedi **Allegato 2**) sono in netta contraddizione con la presenza della faglia.

Nel caso della scarpata indicata come faglia Valverde_1, la sezione geologica D-D', vincolata dai dati dei sondaggi 087052P10 e 087052P6 mostra chiaramente l'assenza di dislocazione del substrato argilloso in corrispondenza della presunta struttura.

All'interno del territorio comunale di Valverde, in seguito alla revisione dei dati geologici disponibili e alla luce dei nuovi dati raccolti e delle interpretazioni dei dati di sottosuolo, è stato possibile riconoscere effetti di riattivazioni recenti lungo la Faglia di Valverde, la struttura a forma arcuata già individuata da Monaco et al. (1997), come diramazione della Faglia di Nizzeti. Tale struttura comprende parte del segmento Valverde_6 e del segmento Nizzeti_2 del catalogo Ithaca. La faglia è stata attraversata dalle sezioni geologiche B-B', C-C' e D-D' (vedi **Allegato 1**), che mostrano la chiara diminuzione del rigetto verticale lungo la struttura, da nord verso sud. Questo comportamento è molto probabilmente legato al progressivo trasferimento del rigetto lungo la faglia Nizzeti_1 del catalogo Ithaca (Faglia di Nizzeti di Monaco et al., 1997; o Faglia di Acicatena di Rasà et al., 1996; Azzaro, 1999; Azzaro et al., 2012), posta più a est, alla base della scarpata che borda l'intero territorio comunale.



Fig. 22 - Carta sismo-tettonica del Monte Etna riportata nel Catalogo Macrosismico dei Terremoti Etnei dal 1832 al 2005 (Azzaro et al., 2000, 2009).









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

All'interno del catalogo Ithaca, non risultano eventi sismici storici associati alle faglie attive ricadenti all'interno del territorio comunale di Valverde. Anche il Catalogo Macrosismico dei Terremoti Etnei dal 1832 al 2005 (Azzaro et al., 2000, 2009)(Fig. 22) evidenzia in maniera chiara l'assenza di sismicità lungo le faglie della zona di Valverde. In virtù di questo comportamento, gli Autori dei cataloghi attribuiscono gli effetti dei movimenti recenti ed attuali lungo le strutture ad un meccanismo di creep-asismico.

La storia sismica del comune di Valverde è stata in gran parte determinata da movimenti lungo sorgenti poste al margine del territorio comunale. In particolare il DISS (Database of Individual Seismogenic Sources) Version 3.1.1 (DISS Working Group 2010) riporta una sorgente sismogenica (ITIS106 – Gravina di Catania), la cui proiezione in superficie lambisce il limite sud-occidentale del territorio comunale (Fig. 23).



Fig. 23 - Ubicazione delle sorgenti sismogeniche ITIS106 - Gravina di Catania e ITDS011 - Western Ionian rispetto all'area comunale di Valverde (in rosso) (DISS Working Group 2010, mod.).

I parametri geometrici e cinematici, significativi per valutare il potenziale della sorgente sono riportati nella scheda di Fig. 24.

Nello stesso database, è riportata la presenza di una sorgente sismogenica, classificata come dibattuta e catalogata con il nome ITDS011 – Western Ionian (Fig. 23), 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 ed ubicata lungo il bordo settentrionale dei Monti Iblei.

W	DISS 3.1.1: Seismogenic Source ITIS106 - Gravina di Catania										
Source Info Summ	nary <u>Com</u>	menta	ry <u>References</u>	Pictures							
Cada	ITIE 100		General information								
Nome	Cravina di Catania										
Name Compliad Bu	Gravina di Catania Rumata R. D. Manadi a		(alamaia a								
Complied by	Durrato, P., P. Varinoli ar	10 G. 1	valensise								
Latest Update	19/09/2007										
			Parametric information								
	Parameter	Qual.	Evidence								
Location (Lat/Lon)	37.5395 / 15.0681	OD	Inferred from macroseismic and geological data	a.							
Length (km)	9	OD	Derived from geological and geomorphological observations.								
Width (km)	5.9	OD	Derived from geological and geomorphological observations.								
Min Depth (km)	4	OD	Derived from geological and geomorphological observations.								
Max Depth (km)	7	OD	Derived from geological and geomorphological observations.								
Strike (deg)	246	OD)erived from geological and geomorphological observations.								
Dip (deg)	30	OD	Derived from geological and geomorphological observations.								
Rake (deg)	90	OD	Based on geodynamic considerations.								
Slip Per Event (m)	0.8	ER	Calculated from Mo using the relationship from Hanks and Kanamori (1979).								
Slip Rate (mm/y)	0.1 - 0.5	EJ	Unknown, values assumed from geodynamic constraints.								
Recurrence (y)	1600 - 8000	EJ	Inferred from slip rate and average displacement.								
Magnitude (Mw)	6	EJ	Value inferred from elaboration of the macroseismic data.								
Q-keys:	LD = Literature Data; OD = Original Data; ER = Empirical Relationship; AR = Analytical Relationship; EJ = Expert Judgement										
			Associated earthquake								
Latest Eq	11 Jan 1693 (2/2)		One of two mainshocks on the same day.								
Penultimate Eq	Unknown		See "Commentary" for information.								
Elapsed Time	307		As of year 2000 (assigned datum).								

Fig. 24 - 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







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

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 sorgente di una componente aggiuntiva del sollevamento nell'immediato off-shore dell'area, compatibile con una origine dai movimenti lungo le linee di faglia sommerse.

Un aspetto di primaria importanza ai fini delle considerazioni sulla pericolosità delle faglie ubicate nel territorio di Valverde riguarda la loro possibile connessione geometrica e cinematica con le faglie del Rift Siculo-Calabro, già ipotizzata in Monaco et al. (1997) e successivamente ripresa da Bianca et al. (1999), Monaco & Tortorici (2000) e Catalano et al. (2008)(Fig. 25). Secondo questi Autori, le faglie di Valverde costituirebbero parte dello stesso sistema cui è attribuibile la sorgente dibattuta ITDS011 – Western lonian. Va comunque sottolineato che la Faglia di Valverde e l'adiacente Faglia di Nizzeti, riconducibili in profondità ad una unica struttura, presentano lunghezze limitate che presuppongono, anche in caso di riattivazioni co-sismiche, una loro potenzialità in termini di magnitudo degli eventi associati non particolarmente elevata, anche se la prossimità della sorgente all'abitato dovrebbe indurre a porre tra le priorità assolute la necessità di condurre ulteriori approfondimenti per aggiornare i cataloghi e definire meglio la reale pericolosità delle strutture.



Fig. 25 - Geometria delle faglie del ramo etneo del Rift Siculo-Calabro (da Catalano et al., 2008, mod.)

La successione geolitologica affiorante nel territorio comunale di Valverde è stata ricostruita essenzialmente sulla base delle informazioni derivanti dalla cartografia pregressa, integrata da indagini di terreno svolte nel corso del presente studio. Questi hanno permesso di riconoscere, all'interno delle successioni vulcaniche esposte nella





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



culminazione a sud dell'abitato e sepolte sotto le lave recenti in tutto il settore settentrionale, prodotti riferibili a cicli di età differente. Ad ognuno di essi si associano diverse giaciture rispetto al substrato che hanno ricoperto e posizioni geometriche rispetto ad orizzonti clastici (sia vulcanoclastici che detritici), in questo studio adottati come orizzonti guida nella ricostruzione della successione. Le nuove suddivisioni litostratigrafiche, sintetizzate nelle sezioni geologiche dell'Allegato 1, tengono in considerazione l'età delle lave rispetto alle principali fasi glacioeustatiche che hanno profondamente condizionato la stratigrafia di tutto il versante orientale dell'Etna, come già messo in luce in precedenti studi di microzonazione in aree limitrofe (Catalano & Tortorici, 2010). Da questi studi è emerso chiaramente che all'interno delle successioni laviche si riconoscono orizzonti epiclastici di spessore variabile, generalmente poggianti su superfici di erosione profondamente incise, la cui deposizione si è concentra in periodi di tempo ristretti, coincidenti con le fasi di risalita eustatica dei principali picchi caldi tardo-quaternari, corrispondenti agli stadi isotopici 5.5 (Tirreniano; 125 ka), 3.3 (60 ka) e 1 (Olocene; < 10 ka). I rapporti tra lave ed epiclastiti, ben vincolati dagli affioramenti nelle zone della Timpa di Acireale e puntualmente riconosciuti nelle numerose stratigrafie di sondaggi nella zona di Santa Venerina, a nord di Valverde, hanno evidenziato che i grossi fenomeni di smantellamento degli edifici vulcanici e ridistribuzione del detrito alla base dei versanti è collegato alle fasi climatiche, associabili stratigraficamente ai depositi dei differenti cicli eustatici. Rapporti giaciturali tra lave e corpi detritici epiclastici significativi per una suddivisione della successione lavica in più unità sono stati riconosciuti anche negli affioramenti del territorio di Valverde e puntualmente confermati nelle stratigrafie dei pochi sondaggi geognostici disponibili che, per la loro disomogenea

distribuzione sul territorio, sono risultati utili per convalidare il modello lito-stratigrafico, piuttosto che per vincolare una puntuale ricostruzione dell'andamento del sottosuolo. In questo senso va sottolineato che, in gran parte del territorio comunale, le geometrie riprodotte nelle sezioni geologiche è frutto dell'interpretazione, seppure accurata, dei soli dati di superficie. Ne consegue, che l'eventuale acquisizione di nuovi dati, specialmente in tutto il settore settentrionale ed occidentale del territorio comunale potrebbe risultare fondamentale per tarare gli spessori dei differenti orizzonti raffigurati nelle sezioni. Nelle sezioni geologiche viene riprodotta, sia in senso NNO-SSE che in senso OSO-ENE la geometria della monoclinale di lave basali, poggianti direttamente sul substrato argilloso, che, verso nord e verso ovest, è ricoperta dalle lave recenti che si sono accumulate al margine della culminazione. E' interessante notare che, verso est, la monoclinale è bordata dalle faglie normali, ampiamente descritte in precedenza, e la componente di inclinazione degli strati verso ovest può essere in parte imputata alla deformazione indotta dalle faglie. I sondaggi posti in prossimità delle faglie (vedi Allegato 2) evidenziano una chiara interruzione in profondità dei livelli lavici basali che vengono lateralmente sostituiti da potenti successioni clastiche direttamente poggianti sulle argille. Come già ampiamente trattato in precedenza, la continuità delle argille del substrato impedisce di attribuire la discontinuità laterale delle lave alla presenza di una faglia, segnalata in parte delle carte geologiche pubblicate e inserita anche nel catalogo Ithaca con la denominazione Valverde_4. Nel modello geologico proposto, l'interruzione delle lave viene messa in relazione alla presenza di una superficie di erosione, rappresentata con un profilo di versante regolarizzato, sepolto al di sotto della successione detritica. Questa costituirebbe un orizzonte di separazione tra le lave ricoperte in discordanza e le colate superficiali che, in tutti gli elaborati cartografici precedenti erano state attribuite ad un'unica successione vulcanica. Le datazioni radiometriche di campioni prelevati dalla colata superiore (località Monte d'Oro; Branca et al., 2007) indicano un'età di 120 ka, mentre l'età delle lave inferiori può essere compresa tra i 146 ka e i 132 ka sulla base delle datazioni radiometriche della successione in aree





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



limitrofe (località Villa Papale, Gillot et al. 1994; località Torre di Casalotto, Branca et al., 2007). Le età delle lave sono compatibili con l'attribuzione dei depositi clastici interposti e della superficie di discordanza da essi ricoperta alle fasi di crisi climatica connessa alla deglaciazione e risalita eustatica dello stadio 5.5 (125 ka). Da ciò consegue l'attributo "pre-Tirreniano" riservato alle lave e ai livelli piroclastici basali che sono stati modellati dalla superficie di erosione e di "Tirreniano" riservato alle lave sovrastanti il detrito. La revisione dei rilievi ha evidenziato, inoltre, che la scarpata della Faglia di Nizzeti che borda ad est il territorio comunale, rappresentata nelle cartografia pre-esistente alternativamente costituita da lave o da detrito, è in effetti ricoperta da depositi detritici, a tratti mantellati da colate provenienti dal terrazzo di Viagrande. Nell'interpretazione adottata, come rappresentata nei profili B-B' e C-C', le colate laviche sovrapposte al detrito sono state attribuite alle colate laviche tirreniane. Tale attribuzione oltre a vincolare il rigetto lungo la Faglia di Valverde evidenzia che, almeno nel tratto attraversato dai profili, la scarpata della Faglia di Nizzeti è di età pre-tirreniana. Nel complesso i dati suggeriscono di limitare le deformazioni attive a quelle registrate lungo la Faglia di Valverde e progressivamente trasferite all'adiacente Faglia di Nizzeti, che risulterebbe riattivata alla sua terminazione meridionale, con un tasso di movimento verticale medio valutabile a circa 0,4 mm/a, a partire dal Tirreniano.

Nel corso del rilevamento è stato riconosciuto un ulteriore livello clastico che si interpone tra le lave tirreniane e le lave recenti. Questo orizzonte, per la posizione occupata, dovrebbe costituire il prodotto dello smantellamento durante la fase climatica di risalita eustatica olocenica. La continuità del detrito è stata ipotizzata in tutto il settore nord-occidentale della carta (sezione geologica A-A'), mentre i dati di superficie certificano la sua assenza in tutto il settore orientale, dove le lave recenti poggiano direttamente sul substrato lavico più antico, rialzato lungo le linee di faglia attive. Secondo l'interpretazione proposta, il detrito olocenico formerebbe, sotto le lave recenti, un cuneo sin-tettonico connesso al basculamento complessivo del letto della Faglia di Nizzeti (sensu Monaco et al., 1997 o di Acicatena sensu Azzaro et al., 2012). Questa ipotesi potrebbe guidare le successive analisi necessarie per vincolare meglio distribuzione e spessori del detrito da condurre necessariamente, viste le possibile ricadute nella valutazione delle risposta di sito dell'abitato, durante le successive indagini di livello superiore.

Depositi alluvionali, infine, pavimentano valli a fondo piatto, debolmente incise nella monoclinale del settore meridionale del territorio comunale, che confluiscono in una vasta piana posta al contatto tra lave antiche e recenti, dove è ubicata gran parte dell'abitato.

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

Il substrato geologico in tutto il territorio comunale è in gran parte di natura non rigida (**NR**), essendo costituito dalle argille marnose del Pleistocene medio, interpretate come depositi di riempimento dell'originaria Avanfossa Gela-Catania (Lentini, 1982).







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

Nell'area non è esposta la base della successione, per cui non è possibile valutarne lo spessore totale né stabilire la natura del substrato. Nelle aree limitrofe di Catania, l'omologa successione sepolta sotto le alluvioni della Piana del fiume Simeto raggiunge uno spessore di circa 800 m e poggia su livelli Giurassici delle successioni carbonatiche dei Monti Iblei (Pozzo Catania 10; Yellin-Dror et al. 1997; Torelli et al., 1998). In tutta la Sicilia orientale, la successione argillosa è stata datata da circa 1.2 a 0.6 Ma (Di Stefano & Branca, 2002). Nell'adiacente territorio di Acicastello, le argille ospitano orizzonti vulcanici datati tra 0,58 e 0,46 Ma. Ciò suggerisce che i livelli affioranti nella zona tra Aci Castello e Valverde rappresentino i livelli sommitali dell'intera successione e che la profondità della base sia valutabile nell'ordine delle diverse centinaia di metri.

Al tetto del substrato sedimentario poggia un'alternanza (ALSF) di orizzonti lavici massivi molto fratturati e di livelli piroclastici, a giacitura sub-orizzontale, indicati nei profili geologici (Allegato 1) come Lave pre-tirreniane che, seppure poggianti su una chiara superficie di erosione sono state comprese, per la loro continuità laterale al tetto delle argille, nel substrato geologico e classificate quale alternanza di litotipi.

Terreni di copertura

Nel territorio di Valverde sono stati suddivisi 4 tipologie diverse di coperture. Tra queste sono state contemplate tutte le lave (LC) che, ricoprendo formazioni superficiali di natura clastica, determinano ripetute inversioni nei profili verticali di velocità delle onde sismiche. Il livello più antico di lave di copertura è costituito dalle lave tirreniane (vedi Allegato 1) che, affiorando nel settore meridionale del comune, hanno ricoperto il tetto della monoclinale del substrato, mantellando i depositi clastici accumulati al piede dei

versanti meridionale ed orientale (scarpata della faglia di Nizzeti) della struttura. Nel settore settentrionale, le lave di copertura sono costituite dalle colate laviche oloceniche (vedi **Allegato 1**) che hanno invaso le aree di depressione strutturale delle lave antiche, circondando la struttura monoclinalica.

Nel caso delle coperture laviche (LC), nella prospettiva della microzonazione di primo livello si è tenuto conto dell'estrema variabilità laterale delle litofacies che compongono le diverse parti di una singola colata. La cartografia pregressa da cui attingere le informazioni per la realizzazione degli studi di primo livello, a prescindere dalla scala di dettaglio, è stata basata su suddivisioni dei terreni lavici in unità litostratigrafiche che, fatta eccezione per le colate storiche per le guali sono stati tracciati i limiti, raggruppano più colate laviche senza fornire comunque alcun dettaglio sulla variabilità laterale e verticale dei prodotti. Si è reso dunque necessario procedere ad integrazioni con rilievi originali mirati ad una dettagliata suddivisione dei terreni lavici tentando di individuare, laddove possibile, i contorni delle singole colate e, all'interno di queste, i singoli flussi lavici. Nella carta geologico-tecnica, sono stati ricostruiti, con un grado di affidabilità dipendente dalle effettive esposizioni in superficie, i limiti delle singole colate laviche, con l'indicazione dell'ordine di sovrapposizione. Nella lettura ed interpretazione della carta, va rilevato che sia i margini che il fronte delle colate sono discontinuità che possono costituire elementi di concentrazione dell'amplificazione sismica in quanto generalmente caratterizzati da una notevole quantità di materiale scoriaceo fittamente alternato a livelli di lave massive, in contrapposizione alle porzioni centrali di riempimento di canali, dove possono prevalere lave massive sormontate da uno spessore variabile di scorie (Fig. 26).



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



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

Tra i depositi di copertura sono stati inseriti livelli superficiali di piroclastiti (**SM**), depositi alluvionali (**SW**) e il materiale di riporto (**RI**).

Una falda detritica anche di ingente spessore si è accumulata alla base dei ripidi versanti costituiti dalle lave pre-tirreniane, in arretramento parallelo per scalzamento alla base delle sottostanti argille. Costituita da una matrice caotica prevalente di argille a bassa consistenza, contenente blocchi a spigoli vivi, di dimensioni variabili da decimetrico a metrico, di lave massive, questa coltre si è probabilmente originata da fenomeni di frammentazione delle coperture laviche accumulatesi sulle argille ancora non consolidate e drenate che, portate a rottura, hanno prodotto cedimenti ed espandimenti laterali delle sovrastanti lave e il loro successivo crollo e commistione con la matrice argillosa. L'età tirreniana della falda detritica è testimoniata dalla presenza al tetto, in più punti, delle colate laviche tirreniane. La falda detritica sutura il contatto argille-lave che scontorna la monoclinale di Valverde e culmina nella parte centrale del letto della Faglia di Valverde. La presenza della coltre detritica è predisponente a fenomeni di instabilità che possono coinvolgere, in particolari condizioni topografiche, anche le sovrastanti lave di copertura. Oltre che dai caratteri litologici, le cause predisponenti al dissesto sono essenzialmente connesse allo stato d'imbibizione della massa detritica che, ricoprendo in discordanza il contatto di permeabilità tra lave etnee e substrato argilloso, drena una notevole quantità di acqua. Nell'area si realizzano le stesse condizioni geologiche, topografiche e idrogeologiche che caratterizzano la vicina collina di Aci Trezza, sede di diffusi movimenti gravitativi che si sono manifestati e progressivamente aggravati con l'aumentare dell'urbanizzazione. Nel caso della carta geologico-tecnica di Valverde, tutte le porzioni di falda detritica poggianti direttamente sulle argille del substrato e prospicienti a versanti molto ripidi sono state contrassegnate con il simbolo di instabilità di versante, a significare una elevata suscettibilità all'instabilità potenziale, anche in condizioni statiche, a prescindere che si siano già manifestati movimenti gravitativi. All'interno del campo di instabilità sono stati ovviamente inseriti anche tutte le coperture, sia di natura lavica che clastica, che sarebbero inevitabilmente coinvolte in eventuali movimenti gravitativi.

4. Dati geotecnici e geofisici

I dati geotecnici e geofisici disponibili per l'area di studio, derivano da n. 84 indagini complessive, di cui n. 64 indagini pregresse e n. 20 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. 57 indagini puntuali e n. 27 indagini lineari. L'insieme







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

delle indagini puntuali e lineari disponibili (per l'ubicazione si veda la carta delle indagini) sono schematizzate per tipologia nella sottostante tabella (Tab. 2):

	Geotecni	ca di labora	atorio (GL)	Geotecnica in sito (GS) Geologia (GG)				Geofisica (GF)	Totale					
Totale Ind. Punt.	SM	CD	ELL	SPT	SS	S	SC	HVSR	SP	GL	GS	GG	GF	IG
57	4	3	2	5	10	3	8	20	2	9	5	21	20	2

	Geologia (GG)	Totale						
Totale Ind. Lineari	SGE	SR	ERT	GG	GF	GE		
27	17	3	7	17	3	7		

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

I dati pregressi derivano da indagini realizzate per lo studio geologico a supporto del P.R.G. e da indagini integrative realizzate per studi di approfondimento che hanno interessato la porzione meridionale e orientale del territorio comunale, messi a disposizione dall'amministrazione comunale di Valverde. In particolare le indagini geognostiche ricadenti nell'area di studio, consistono in n. 13 sondaggi meccanici a carotaggio continuo, caratterizzati da profondità comprese tra 10 e 30 metri, dieci dei quali hanno raggiunto il substrato argilloso pre-etneo. Nel corso delle perforazioni, sono stati raccolti n. 11 campioni indisturbati, in seguito sottoposti a prove di laboratorio per la determinazione delle principali caratteristiche fisico-meccaniche (anche se siamo in possesso solamente delle analisi effettuate su n. 4 campioni prelevati nelle indagini 087025P11 e 087025P33), sono state eseguite n. 5 prove penetrometriche del tipo Standard Penetration Test (SPT), e sono stati inseriti due piezometri idraulici. I dati in nostro possesso hanno fornito informazioni utili ai fini della caratterizzazione fisico- meccanica dei terreni attraversati dai diversi sondaggi, che possono essere riassunti in alcuni punti essenziali, riassunti nell'Allegato 3:

- Il substrato argilloso è caratterizzato da un peso di volume pari a 19 kN/m3, valore simile a quello misurato nei terreni di copertura, oscillante tra 18 e 19 kN/m³;
- La porzione sommitale alterata del substrato argilloso rientra nei parametri classificativi (Indice di plasticità su Limite di Liquidità) del campo OL (Fig. 27);
- I terreni argillosi del substrato ricadono nel campo CL del diagramma di plasticità (Fig. 27);



Fig. 27 - Diagramma di plasticità relativo ai due campioni di argilla prelevati nell'indagine 087025P11

- Il contenuto d'acqua naturale varia dal 27%, nella porzione sommitale (OL) del substrato argilloso, e il 23% in quest'ultimo;
- I terreni di copertura sono caratterizzati da una grande componente limosoargillosa (OL) o sabbiosa (SM);
- I terreni argillosi, sia di copertura che del substrato, sono caratterizzati da una coesione di 0,02 MPa e da un angolo di attrito interno pari a 20°-21°, mentre le sabbie di copertura presentano valori di 0,005 MPa e 32°, rispettivamente;







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

• I terreni argillosi di copertura mostrano un valore di resistenza non drenata di 0,072 MPa, valore che sale a 0,103 nelle argille del substrato.

Nelle prove penetrometiche di tipo SPT, i terreni investigati, prevalentemente sabbioso-limosi, sono caratterizzati da un numero NSPT pari a 46-47; Nspt decisamente maggiori (69, 80 e una prova è andata a rifiuto) si hanno nelle vulcanoclastiti a granulometria sabbiosa con elementi litici lavici centimetrici.

Inoltre, nei sondaggi 087025P6 e 087025P7 è stata rinvenuta la presenza di una falda acquifera il cui livello piezometrico si attesta, in entrambi i casi, a 3 metri di profondità dal piano campagna.

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

TERRENI A GRANA FINE							TERRENI A GRANA GROSSA																	
Passante al setaccio n.200 > 50 %								Trattenuto al setaccio n.200 > 50%																
$w_1 \ge 50$	0 %			w1<	50 %			% Sabbia % Ghiaia Passante al setaccio n. 4 > 50%% Ghiaia Trattenur n. 4								a > % Sabbia to al setaccio > 50%								
Organico w ₁ (essiccato)/ w ₁ (naturale)	Inorganico		Inorganico			Inorganico					-	5% <pass. 200<12%<="" td=""><td></td><td></td><td>$pass_200 < 5\%$</td><td></td><td>pass. 200 > 12%</td><td></td><td></td><td>5%<pass. 200<12%<="" td=""><td></td><td></td><td></td><td>pass. 200 < 5%</td></pass.></td></pass.>			$pass_200 < 5\%$		pass. 200 > 12%			5% <pass. 200<12%<="" td=""><td></td><td></td><td></td><td>pass. 200 < 5%</td></pass.>				pass. 200 < 5%
	sopra L sotto L			Ip < 4 sotto	4< Ip < 7 sop	Ip > 7 sopra					Cu < 6 e/o Cc > 3	Ca To CI TO C	C 11 > 6 = 1 < C c < 3	Cu < 6 e/o	$Cu \ge 6 e 1$					Cu < 4 e/o Cc > 3		C11 > 4 e/o 1 <cc<3< td=""><td>$Cu \ge 4 e/c$</td><td>Cu ≥ 4 e 1</td></cc<3<>	$Cu \ge 4 e/c$	Cu ≥ 4 e 1
	iea A	nea A		Linea A	ra Linea A	Linea A	% fine CL o CH	% fine M e C	% fine ML o MH	% fine CL o CH	% fine ML o WI	% fine CL o CH	% fine ML o MH	Cc > 3	< Cc < 3	% fine CL o CH	% fine M e C	% fine ML o MH	% fine CL o CH	% fine ML o MH	% fine CL o CH	% fine ML o MI	Cc > 3	< Cc < 3
IO	MH	CH	HO	ML	CL-ML	CL	SC	SC-SM	SM	SP-SC	SP-SM	SW-SC	SW-SM	SP	WS	GC	GC-GM	GM	GP-GC	GP-GM	GW-GC	GW-GM	GP	GW
Limi organici argille limose organiche di bassa plasticità	Limi inorganici	Argille inorganiche di elevata plasticità	Argille organiche di medio alta plasticità, limi organici	Limi inorganici, limi argillosi di bassa plasticità	Argilla limosa o limo argilloso di bassa plasticità	Argille inorganiche di medio-bassa plasticità	Sabbia argillose miscele di sabbia e argilla	Sabbie limose e argillose	Sabbie limose miscele di sabbia e limo	Sabbia argillosa poco assortita	Sabbia limosa poco assortita	Sabbia argillosa ben assortita	Sabbia limosa ben assortita	Sabbie pulite con granulometria poco assortita miscele di ghiaia e sabbia	Sabbie pulite con granulometria ben assortita sabbie ghiaiose	Ghiaie argillose, miscele di ghiaia, sabbia e argilla	Ghiaia limosa e argillosa	Ghiaia limosa, miscele di ghiaia sabbia e limo	Ghiaia argillosa poco assortita	Ghiaia limosa poco assortita	Ghiaia argillosa ben assortita	Ghiaia limosa ben assortita	Ghiaie pulite con granulometria poco assortita miscele fi ghiaia e sabbia	Ghiaie pulite con granulometria ben assortita miseele di ghaia e sabbia

Tab.3 - Classificazione dei terreni secondo il sistema USCS







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

Terreni di copertu	ıra	
	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
	ОН	Argille organiche di media-alta plasticità, limi organici
	МН	Limi inorganici, sabbie fini, Limi micacei o diatomitici
	ML	Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità
	CL	Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre
	СН	Argille inorganiche di alta plasticità, argille grasse
	РТ	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 sito puntuale" (ID_SPU), la profondità di realizzazione della prova SPT e l'attribuzione ad una delle unità litotecniche riconosciute. Va inoltre ricordato che tra i dati acquisiti non sono presenti informazioni relative al substrato geologico rigido.

I dati geofisici disponibili derivano da indagini geoelettriche e geofisiche pregresse costituite da n. 7 tomografie elettriche (ERT) e 3 profili sismici a rifrazione (SR) che, però, non sono a noi pervenuti. Cionondimeno, le sezioni tomografiche fornite confermano la bontà dell'assetto geologico e del modello del sottosuolo proposti (vedi Capitoli 3 e 5). Nelle sezioni tomografiche si possono, infatti, distinguere principalmente tre elettrostrati: un livello a elevata resistività (> 650 ohm) che dovrebbe rappresentare le colate laviche massive; un livello a resistività molto variabile lungo i profili, compresa tra 70 e 650 ohm, che potrebbe rappresentare il deposito detritico con inclusi blocchi lavici; un livello conduttivo (resistività < 23 ohm) che rappresenterebbe il substrato argilloso pre-etneo. Di particolare interesse risulta l'indagine 087052L7, che si estende per 207 m in direzione circa E-O, attraversando diagonalmente il segmento di faglia che interessa il settore orientale del territorio comunale di Valverde, in località Fontana. La sezione tomografica in questione mostra, infatti, una brusca crescita della resistività che, interpretata negli studi di approfondimento del 2011 come legata alla presenza di un incluso litico all'interno di materiale piroclastico, potrebbe invece rappresentare il passaggio laterale dal materiale detritico, presente nel lato rialzato della faglia, alle colate laviche tirreniane che si trovano nel settore ribassato (vedi profili B-B' e C-C' dell'Allegato 1).

Al fine di valutare le frequenze proprie di oscillazione dei diversi siti l'Università di Catania ha effettuato n. 20 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







Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 adottata si rimanda all'**Allegato 4** della presente relazione. I risultati ottenuti indicano che le frequenze di risonanza ricadono all'interno di un range molto ristretto, compreso tra ~0,6 e ~3,5 Hz. In alcuni casi, vengono segnalati due o tre picchi, che non superano comunque i 9,5 Hz circa. 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 Valverde, 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. I dati di superficie sono stati sufficienti a ricostruire il modello di sottosuolo delle aree meridionali del territorio comunale, dove gli elementi significativi sono esposti lungo le scarpate che bordano la struttura monoclinale che costituisce l'area. Nella stesura del modello del sottosuolo adottato, i dati diretti hanno avuto un ruolo fondamentale nel riconoscimento delle principali discordanze stratigrafiche e discontinuità tettoniche.

Nelle interpretazioni 3D delle discontinuità stratigrafiche nella parte meridionale del territorio comunale, è stato fondamentale il contributo dell'enorme mole di conoscenze acquisite in tutta la regione limitrofa, sull'evoluzione tettonica e morfologica dell'area, che ha consentito di stabilire una relazione tra età dei prodotti coinvolti e geometria delle discontinuità. Seppure è 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 della 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 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 Vs 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.

Alle lave del substrato, per quanto assimilabili ad un substrato lapideo molto fratturato, sono state assegnate, nello studio per il P.R.G., velocità delle onde superiori ai 700 m/s. Considerato l'elevato grado di fatturazione e la presenza di numerosi orizzonti vulcanosclastici intercalati, in mancanza di misure dirette che confermino il contrario, si è ritenuto opportuno non classificare le lave di substrato come substrato rigido con significato di "bedrock" sismico.

I livelli di copertura, costituiti da alternanze di orizzonti clastici e lave, sono contraddistinti da ripetute inversioni delle velocità delle onde sismiche. Tale prerogativa non rientra nei modelli correntemente applicati nella valutazione delle amplificazioni di tipo stratigrafico e pone molti interrogativi che andranno risolti nelle indagini di approfondimento successive. Va sottolineato che i dati raccolti in aree vulcaniche in







Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 occasione di precedenti studi di microzonazione (OPCM 3278/2003) nella zona del comune di Santa Venerina hanno evidenziato una estrema variabilità laterale e verticale delle Vs, con frequenti inversioni di velocità, con valori che oscillano dai 450 m/s ai 1150 m/s, in funzione del diverso rapporto tra prodotti scoriacei e lave massive. Anche quando le lave raggiungono valori elevati, comunque non possono essere trattate quale substrato rigido, in quanto poggianti su livelli a bassa velocità. Ciò è confermato dalle misure di microtremore ambientale effettuate su lave massive affioranti che hanno evidenziato effetti di amplificazione, più o meno marcati, con frequenze generalmente prossime ai 3 Hz. Amplificazioni a frequenze più elevate si registrano in aree contraddistinte dalla presenza di una copertura detritica sulle lave. Appare evidente che nei successivi livelli di approfondimento sarà necessario interpretare il ruolo delle inversioni delle velocità nella selezione delle frequenze di oscillazione proprie dei siti e di verificare quale sono gli elementi delle successioni laviche che invece determinano le differenti ampiezze di oscillazione.

6. Interpretazioni ed incertezze

Nel territorio comunale di Valverde, i dati pregressi utilizzati si riferiscono a indagini effettuate per lo studio geologico per il Piano Regolatore Generale (P.R.G.), e ad indagini integrative realizzate per gli studi di approfondimento che hanno interessato l'area di Crocifisso Nizzeti. Il modello geologico ricostruito sulla base della profonda revisione dei rilievi geologici condotti per la realizzazione del P.R.G. ha trovato puntuale riscontro nelle stratigrafie dei sondaggi disponibili per l'area, anche se va segnalata la distribuzione disomogenea delle indagini dirette disponibili. Tali indagini sono infatti concentrate nel settore meridionale del territorio comunale, dove affiorano i terreni del substrato geologico e le lave di copertura tirreniane. Viceversa, nel settore settentrionale, dove affiorano estesamente i prodotti lavici recenti che nascondono quasi interamente i terreni sottostanti, le indagini pregresse si limitano a due sezioni geologiche a scala 1:1.000 (087052L11 e 087052L12), ubicate immediatamente a NE del centro abitato. Le due indagini lineari, a causa della limitata estensione (223 e 280 metri, rispettivamente), sono risultate insufficienti nella definizione delle geometrie 3D dei corpi litologici sepolti sotto le lave recenti (vedi Capitolo 5). Si è, dunque, ricorso alle conoscenze pregresse di tutta la regione limitrofa, riguardo l'evoluzione tettonica e morfologica dell'area, che hanno consentito di stabilire i criteri per la ricostruzione della morfologia subvulcanica e dell'andamento del substrato sedimentario al di sotto della copertura lavica che caratterizza l'area. Naturalmente, nel corso degli studi di livello superiore, si rende necessario acquisire nuovi dati di sottosuolo al fine di poter meglio stabilire le geometrie sepolte e gli spessori dei diversi corpi geologici, oggi valutati solo sulla base dei loro affioramenti in superficie.

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 della copertura detritica inferiore (vedi Allegati 1 e 2) e catalogati con la sigla "SM", vengono alternativamente descritti come "complesso piroclastico inferiore non rimaneggiato" (ad es. nell'indagine 087025P1), "limi argillosi di colore giallo bruno" (ad es. nell'indagine 087025P3), "Tufiti" (ad es. nell'indagine 087025P7) e "vulcanoclastite" (ad es. nell'indagine 087025P9). Con il termine "Tufiti" (ad es. nell'indagine 087025P7 e 087025P8) sono stati indicati i terreni archiviati nel presente studio come prodotti piroclastici olocenici (SM). In questi casi nella tabella "Parametri_Puntuali" del database di Access denominato "CdI_tabelle" è stato assegnato un grado di attendibilità pari a "2" per ogni litotipo distinto.









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

Per quanto riguarda le indagini geofisiche, come visto in precedenza (Capitolo 4), mancano i tre profili sismici a rifrazione (SR) segnalati nelle relazioni geologiche fornite dall'amministrazione comunale.

Rimanendo nell'ambito delle indagini lineari, tra queste si annoverano n. 17 sezioni geologiche (SGE) a scala 1:1.000, di cui 8 realizzate nel 2008 per studi geologici per la redazione del P.R.G. e 9 realizzate nel 2011 per gli studi di approfondimento. Tutte le sezioni sono state redatte su carte geologico-strutturali in scala 1:2.000, anche se il supporto cartografico del 2008 sembra risentire dell'influenza della letteratura geologica esistente (Carta geologica del Monte Etna scala 1:50.000; AA.VV., 1979) (Fig. 28A) mentre nelle carte realizzate nel 2011 viene proposta una legenda più aggiornata e, in qualche modo, più vicina a quella adottata nel presente studio (Fig. 28B). Nonostante la scala a cui sono stati realizzati, i profili realizzati nel 2008 risentono di una certa semplificazione nella definizione dei diversi corpi litologici sovrapposti (esempio in Fig. 29), mentre i profili più recenti appaiono più dettagliati (esempio in Fig. 30). Entrambi i profili mostrano alcune lacune, la più evidente delle quali è il rigetto estremamente limitato che la faglia che interessa il settore orientale del territorio comunale di Valverde, denominata in questa relazione Faglia di Nizzeti, causa nel substrato argilloso, a fronte di una scarpata morfologica molto pronunciata (~ 100 metri).



Fig. 28 - Legende delle carte geologico-strutturali scala 1:2.000 realizzate nel 2008 (A) e nel 2011 (B)



Fig. 29 - Sezione geologica scala 1:1.000 del 2008 (087052L12)



Fig. 30 - Sezione geologica scala 1:1.000 del 2011 (087052L21)







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

E' importante segnalare che la Faglia di Nizzeti, la cui attività è stata esclusa nelle conclusioni degli studi di approfondimento del 2011, è stata considerata e dunque catalogata come "Faglia attiva e capace" (Tipo_el= 5011 e 5012), sulla base dell'interpretazione dei dati preesistenti (vedi Capitoli 3 e 4).

Come visto nel Capitolo 4, è stato possibile determinare le principali caratteristiche fisico-meccaniche di n. 4 campioni prelevati nelle indagini 087025P11 e 087025P33. Nelle successive fasi di approfondimento bisognerà, dunque, analizzare anche le lave (sia di copertura che del substrato), i prodotti pirosclastici e i depositi alluvionali. Questi ultimi dovrebbero essere meglio caratterizzati anche dal punto di vista granulometrico e si dovrebbe procedere ad una accurata definizione delle curve isopiezometriche della falda superficiale in tali terreni, al fine di poter individuare quelle aree potenzialmente soggette a fenomeni di liquefazione (vedi Capitolo 7).

Tra gli elaborati cartografici allegati agli studi per il P.R.G. particolare interesse rivestono le Tavv. 6 "Carta delle zone a maggior pericolosità sismica locale scala 1:2.000". Facendo riferimento alla Circolare del 31/01/1995 n. 2222 della Regione Siciliana Assessorato del Territorio e dell'Ambiente, si è infatti tentato di suddividere il territorio comunale di Valverde in zone a maggior pericolosità sismica in funzione degli effetti attesi (Fig. 31). Tra queste zone rientrano alcune di particolare interesse per la definizione delle aree stabili e stabili suscettibili di amplificazione da inserire nella "Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica", anche se esse 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).

LEGENDA

	LITOLOGIA E	VELOCITA' DELLE ONDE S	SPETTRO DI RISPOST	TA <mark>NORMALIZZATO*</mark>				
COPERTURE		Sabble limoso argillose a granulometria medio-fine con inclusi vulcanici di varia pezzatura. Vs media = 140 m/s		SPETTRO ELASTICO DI ACCELENAZIONE NORMALIZZATO PER CONDIZIONI LOCALI TEPO 52 T1 = 0.15 TD = 0.8 RG = 2.2				
TO	+++	Vulcaniti prevalentemente lapidee variamente fratturate e fessurate (Lave alcaline antiche). Vs > 700 m/s	sector: s					
SUBSTRA		Vulcaniti costituite da lave lapidee fratturate, scorie, brecce vulcanodastiche, tufiti, piroclastiti. Vs media = 225 m/s	9 (1) 9 (1)	SPETTRO ELASTICO DI ACCELERAZIONE NORMALIZZATO PER CONDUCTOR LOCAL TER 32				
		Argille marnose grigio-azzurre Vs media = 233 m/s		T1 = 0.15 T0 = 0.8 R0 = 2.2				



Fig. 31 - Legenda delle Tavv. 6 - "Carta delle zone a maggior pericolosità sismica locale scala 1:2.000".

Nonostante nel presente studio la legenda di Figura 31 sia stata decisamente modificata (vedi Capitolo 3), essa pone l'accento su una questione di fondamentale importanza nell'ambito della microzonazione sismica di quei centri abitati che, come Valverde, sono localizzati alle pendici del vulcano etneo. Analizzando, infatti, le Vs medie nei diversi litotipi, appare evidente che la stratigrafia dei terreni vulcanici degli ultimi metri dalla superficie è caratterizzata da ripetute inversioni delle velocità delle onde







Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 sismiche. Questo fenomeno trova conferma nei dati raccolti in aree vulcaniche in occasione di precedenti studi di microzonazione (OPCM 3278/2003) nella zona del comune di Santa Venerina (vedi Capitolo 5). Tale prerogativa non rientra nei modelli correntemente applicati nella valutazione delle amplificazioni di tipo stratigrafico e pone molti interrogativi che andranno risolti nelle indagini di approfondimento successive, che dovranno essere volte ad una accurata misura delle Vs nei diversi corpi geologici.

7. Metodologie di elaborazione e risultati

I dati di base e gli elaborati cartografici utilizzati (vedi elenco in Capitolo 1), riguardanti diversi aspetti dell'assetto geologico dell'area comunale (geologia, idrogeologia, geomorfologia, tettonica, geotecnica e suscettività del territorio), sono caratterizzati da un dettaglio variabile dalla grande scala (1:10.000) alla piccola scala (1:2.000). Tutte le carte tematiche sono state georeferenziate ed inserite in un progetto EsriArcGis, ottenendo così la visualizzazione e la sovrapposizione dei diversi elaborati garantendo la corrispondenza delle coordinate geografiche, della scala e quindi delle distanze. Naturalmente, nella stesura degli elaborati cartografici prodotti nel presente studio, il peso delle informazioni di maggiore dettaglio risulta essere preponderante. Per l'individuazione delle coperture detritiche, dei movimenti franosi si è fatto riferimento principalmente all'analisi fotogrammetrica e contemporaneamente al contributo fornito da studi pregressi. Per quanto riguarda, invece, la mappatura dei terreni affioranti e dei principali lineamenti tettonici, a seguito di accurate verifiche di terreno unitamente all'analisi di aerofotogrammetrie, si è dovuto procedere ad una sostanziale revisione dei dati forniti. In questo senso, un buon contributo è stato dato dalle indagini puntuali messe a disposizione dall'amministrazione comunale di Valverde che, nonostante siano concentrate esclusivamente nella porzione meridionale dell'area di studio, sono state analizzate e archiviate secondo gli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica Versione 2.0beta-II". Grazie all'integrazione tra gli accurati rilievi di terreno e le osservazioni derivanti dall'analisi fotogrammetrica è stato possibile ricostruire la successione geolitologica dell'area di studio (vedi Capitolo 3).

Una volta distinte le diverse unità geolitologiche affioranti e stabiliti i loro rapporti geometrici nel sottosuolo è stato possibile definire le zone stabili suscettibili di amplificazione locale, sulla base degli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica" (Gruppo di lavoro MS, 2008) e dei Contributi per l'aggiornamento degli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica" (Dolce et al, 2011). Un ruolo fondamentale per la determinazione di tali zone è stato svolto dalle sezioni geologiche a scala 1:5.000, dove si è cercato di evidenziare quegli elementi di non immediata lettura nella "Carta geologico tecnica" quali i rapporti geometrici tra le diverse coperture detritiche e i diversi prodotti piroclastici rispetto alle colate laviche sia di copertura che del substrato. Per quanto riguarda l'amplificazione per effetti topografici e morfologici viene proposta una procedura che, a partire dal Modello Digitale del Terreno (DEM) e attraverso una serie di elaborazioni effettuate utilizzando software GIS, consente di identificare quei pendii caratterizzati da una inclinazione > 15° e da un dislivello superiore a circa 30 m. Il primo step di tale procedura consiste nell'elaborazione di una carta delle inclinazioni in cui vengono distinti due campi con inclinazione minore e maggiore di 15° (Fig. 32). Nel secondo step è stata costruita una carta dell'energia del rilievo, definita come il dislivello massimo (in metri) esistente in ciascuna superficie unitaria (Ciccacci et al., 1988) che nel caso specifico è un quadrato di 100 metri di lato (Fig. 33). Infine, combinando due le carte fin qui elaborate, è stata ottenuta la carta in cui sono evidenziati i pendii soggetti a potenziali fenomeni di amplificazione topografica (Fig. 34). Risulta evidente che tali pendii sono concentrati nel settore meridionale dell'area di studio, lungo la scarpata tettonica della Faglia di Nizzeti e lungo la scarpata erosionale di Monte D'Oro, impostata sulle lave pre-tirreniane. Ortogonalmente a queste scarpate sono state realizzate due









Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 sezioni topografiche in scala 1:5.000 (**Allegato 5**), dirette NNO-SSE e OSO-ENE, come richiesto negli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica" (Gruppo di lavoro MS, 2008).



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



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







Regione Siciliana - Presidenza Dipartimento della Protezione Civile

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



Fig. 34 - Carta dell'amplificazione topografica dell'area di studio . Le aree potenzialmente soggette ad amplificazione topografica sono evidenziate in blu.

Per quanto riguarda le instabilità manifeste e potenziali, si è fatto riferimento agli studi pregressi del PAI che hanno trovato riscontro anche dalle analisi morfologiche condotte nell'area tramite analisi di fotogrammetrie e verifiche di terreno nelle aree soggette ad instabilità di versante. Nella "Carta dei dissesti" (Fig. 35) e nella "Carta della pericolosità e del rischio" (Fig. 36) del PAI (Area Territoriale tra i bacini del F. Simeto e del F. Alcantara – 095) vengono riportati 8 dissesti, elencati nella tabella 5.







Fig. 35 - Stralcio della "Carta dei dissesti N° 23" (SS D 634020) del PAI.







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



Fig. 36 - Stralcio della "Carta della pericolosità e del rischio N° 23" (SS D 634020) del PAI.

Sigla	ID_i	Tipologia	Attività	Pericolosità	Rischio
095-2VA-001	17	Crollo e/o ribaltamento	Attiva	Molto elevata	Molto elevato
095-3VA-002	1	Crollo e/o ribaltamento	Attiva	Molto elevata	_
095-3VA-003	2	Crollo e/o ribaltamento	Attiva	Molto elevata	_
095-3VA-004	6	Crollo e/o ribaltamento	Attiva	Molto elevata	_
095-3VA-005	16	Crollo e/o ribaltamento	Attiva	Molto elevata	-
095-3VA-006	15	Crollo e/o ribaltamento	Attiva	Molto elevata	_
095-3VA-007	14	Deformazione superficiale lenta	Attiva	Media	Elevato
095-3VA-008	13	Crollo e/o ribaltamento	Attiva	Molto elevata	-

Tab. 5 - Elenco dissesti ricadenti nell'area di studio con relativo livello di pericolosità e rischio (da PAI modificato). Gli ultimi 5 dissesti ricadono a cavallo tra il comune di Valverde e i comuni di Aci Castello e Aci Catena.

Nel presente studio, le aree segnalate dal PAI sono state in gran parte estese per comprendere altre zone limitrofe in cui i rilievi di campagna hanno evidenziato la presenza di coltri detritiche che ricoprono il substrato geologico (vedi Capitolo 3), nelle quali si possono innescare movimenti gravitativi superficiali complessi (Tipo_i = 3044). Tali instabilità interessano estesamente la scarpata della Faglia di Nizzeti e la scarpata di Monte D'Oro. In località Crocifisso Nizzeti, parte del materiale detritico si è rimobilizzato dando origine a due colamenti (Tipo_i = 3043). Tali fenomeni gravitativi sono stati segnalati nella relazione del PAI, in cui si legge: <<In località Crocifisso Nizzeti, le acque circolanti nei terreni lavici permeabili causano lo scadimento delle caratteristiche meccaniche delle argille del substrato affiorante, innescando fenomeni di creep nel detrito di falda>>.

Bisogna inoltre segnalare che il dissesto 095-3VA-007, definito dal PAI una deformazione superficiale lenta, è stato interpretato come una instabilità di versante non definita (Tipo_i = 3015).

Altre tipologie di instabilità sono strettamente connesse alla presenza della Faglia di Nizzeti, che si estende, da nord a sud, per tutta la lunghezza del territorio comunale di Valverde (vedi Capitolo 3). 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. Immediatamente ad est di località Garminello, dove questa fascia interseca un corpo detritico, è stata segnalata la presenza di un'area contrassegnata da "sovrapposizione di zone suscettibili di instabilità differenti" (Tipo_i = 3070).

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






Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 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. 37):



Fig. 37 – 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 Valverde, così come tutta l'area etnea, ricade all'interno della zona 936 (Fig. 38). Questa zona racchiude diversi eventi sismici di Magnitudo medio bassa (Mw = 3-4), mentre nel 1818 e nel 1848 si son verificati due terremoti caratterizzati da Mw ~ 6 e Mw ~ 5, rispettivamente (CPTI11; Rovida et al., 2011). Questi dati trovano conferma nella versione più recente del DISS 3.1.1 (DISS Working Group, 2010) che riporta la presenza della sorgente sismogenica "ITIS106 – Gravina di Catania"

orientata NE-SO e caratterizzata da una Mw = 6,la cui terminazione orientale si trova a meno di 1 km dal territorio comunale di Valverde (Fig. 23). Tuttavia in passato l'area di studio è stata seriamente danneggiata dal sisma del 1693, di Mw \geq 7 (Postpischl, 1985; Boschi et al, 1995; 1997), verificatisi però nella zona sismogenetica 935. Per finire, nel DISS 3.1.1 (DISS Working Group, 2010), a circa 16 km di distanza nell'*off-shore* ionico, viene segnalata la presenza della sorgente sismogenica "ITDS011 – Western Ionian" (Fig. 23), per la quale dati di letteratura indicano una M \geq 7 (Bianca et al., 1999; Catalano et al. 2008).

In ogni caso, possiamo concludere che il possibile verificarsi di eventi sismici di Magnitudo compresa tra 4 e 6 in zone molto prossime all'area oggetto di studio potrebbe innescare fenomeni di liquefazione, in presenza di terreni sciolti (sabbie o ghiaie) e di una falda superficiale. Nel territorio comunale di Valverde, questa tipologia di terreni è rappresentata dai depositi piroclastici, (pre-tirreniani e olocenici), affioranti in piccoli lembi in località Crocifisso Nizzeti, Villa Scammacca, Casa Tropea, Palazzo Nero e nei pressi del cimitero, e dai depositi alluvionali affioranti estesamente nel centro abitato. Tra i sondaggi presenti in questi depositi, soltanto nel 087052P7 è stata segnalata la presenza di una falda acquifera con piezometrica a 3 metri di profondità ma nei sondaggi limitrofi (087052P5 e 087052P8) non se ne ritrova traccia. Anche le informazioni disponibili in Letteratura non forniscono dati di dettaglio a riguardo. Nella Carta della vulnerabilità all'inquinamento dell'acquifero vulcanico dell'Etna (Ferrara, 1990) le curve isopiezometriche si interrompono proprio in corrispondenza del territorio di Valverde (Fig. 39). Rifacendosi probabilmente a questa carta, nelle Tavv. 2 allegate al P.R.G. (Carte idrogeologiche a scala 1:2.000) viene segnalata la presenza di un "acquifero di significativo interesse" con piezometrica compresa tra 50 e 150 metri dal piano campagna nelle vulcaniti etnee, mentre falde sospese possono essere presenti localmente all'interno dei depositi sabbiosi che corrispondono in parte alle piroclastiti e ai depositi alluvionali del presente studio.







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



Fig. 38 - Zone sismogenetiche per la mappa di pericolosità sismica di base di riferimento (Gruppo di lavoro, 2004).



Fig. 39 - Stralcio della Carta della vulnerabilità all'inquinamento dell'acquifero vulcanico dell'Etna (Ferrara, 1990).

Conseguentemente, in mancanza di dati relativi alla circolazione delle acque sotterranee, 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".







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

8.1 Carta delle indagini

Le indagini di sottosuolo pregresse messe a disposizione dall'amministrazione comunale di Valverde, consistono in indagini puntuali, eseguite esclusivamente in foro, cui si sommano le prove e analisi di laboratorio e in indagini lineari di tipo sia geofisico che geologico. Tutti i dati messi a disposizione, unitamente a quelli acquisiti nel corso del presente studio, sono stati analizzati, archiviati in un database di Access denominato "Cdl_tabelle" e rappresentati secondo gli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica Versione 2.0beta-II". All'interno del database sono stati inseriti 33 "Siti_puntuali" (13 relativi a dati pregressi e 20 a misure HVSR realizzate dall'Università di Catania nel corso del presente studio).

Per quanto riguarda le "Indagini_puntuali" sono state inserite 57 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 su campione (si segnala la mancanza di 7 rapporti di prova su 11), prove triassiali consolidate drenate e prove espansione laterale libera (vedi Allegato 3)
- "Geotecnica in sito" sono esclusivamente prove SPT (vedi Allegato 3)
- "Geofisica" consta di n. 20 indagini HVSR. Si sottolinea l'ottima attendibilità delle registrazioni (vedi Allegato 3)

Per quanto riguarda le "Indagini_lineari", sono state inserite n. 7 indagini geoelettriche, n. 3 indagini geofisiche e n. 17 indagini geologiche. Le prime sono costituite da tomografie elettriche, le seconde sono profili sismici a rifrazione di cui non siamo in possesso, le ultime sono, invece, delle sezioni geologiche a scala 1:1.000. Tali sezioni, sono state realizzate sulla base dei dati inseriti nelle carte geolitologiche a scala 1:2.000 che, nel presente studio, hanno subito modifiche sostanziali. A causa di ciò, unitamente alle argomentazioni addotte nel Capitolo 6, per le informazioni sulle geometrie 3D dei diversi corpi geologici nel sottosuolo, si raccomanda di fare riferimento alle sezioni geologiche realizzate nell'**Allegato 1**.

8.2 Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica

Già ampiamente descritta nei capitoli precedenti, la successione geolitologica dell'area di studio è stata ricostruita sulla base della composizione di rilievi geologici a differente scala. Per la ricostruzione delle geometrie dei corpi lavici presenti nell'area si è dovuto ricorrere a rilievi originali per la mancanza di informazioni pregresse indispensabili. I dati di sottosuolo, mal distribuiti, hanno avuto un ruolo importante solo nell'area sud-orientale del territorio comunale, dove hanno vincolato la presenza di una singola faglia attiva, rispetto a precedenti quadri tettonici molto più complessi. I terreni lavici, seppure in gran parte poggianti su superfici di erosione modellate sul basamento pre-vulcanico, sono state assimilate ad unità del substrato (ALS) 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

78







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

8.3 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica

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

- zone stabili in cui il moto sismico non viene modificato rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida e pianeggiante. In queste zone gli scuotimenti attesi sono equiparati a quelli forniti dagli studi di pericolosità di base;
- 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 15 distinte microzone riferite ad aree stabili suscettibili di amplificazione, nonchè 4 distinte zone suscettibili 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 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 stato verificato anche al margine dei depositi alluvionali incastrati all'interno d'incisioni modellate sulle lave. Entrambi i casi rappresentano esempi di eterogeneità laterali di litologia, molto comuni in ambiente vulcanico, che andrebbero considerati alla stessa stregua delle variazioni litologiche







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

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 delle 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 fino a circa 80 m.
- **Zona 1** Argille marnose di colore grigio-azzurro al taglio fresco, giallastre per fenomeni di alterazione nelle porzioni sommitali in facies sabbioso-limose o limo-sabbiose, che rappresentano il substrato pre-etneo con spessori non valutabili nell'ordine dei centinaia di metri.
- **Zona 2** Lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (la) di riempimento di versanti sepolti spesse fino a circa 20 m su diversi termini del substrato geologico le cui geometrie sepolte andranno definite nell'ambito degli studi di secondo livello.
- Zona 3 Prodotti piroclastici a granulometria sabbiosa debolmente limosa di colore bruno con rari elementi litici lavici centimetrici (sc) di spessore da pochi metri fino a circa 15 m, sul substrato geologico fratturato spesso fino a circa 80 m, costituito da un'alternanza di colate laviche di base fratturate e prodotti piroclastici.
- **Zona 4** Prodotti piroclastici a granulometria sabbiosa debolmente limosa di colore bruno con rari elementi litici lavici centimetrici (sc) di spessore da pochi metri fino a circa 15 m, sul substrato geologico fratturato spesso fino a circa 80 m, costituito da un'alternanza di colate laviche di base fratturate e prodotti piroclastici.
- **Zona 5** Substrato geologico fratturato costituito da un'alternanza di colate laviche di base fratturate e prodotti piroclastici in pendio con inclinazione >15° e dislivello >30 m, con spessore complessivo fino a circa 80 m.
- **Zona 6** Lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (la) costituite da più colate separate localmente da materiale detritico sabbioso (fd) (copertura detritica superiore), la cui estensione andrà meglio definita nell'ambito degli studi di secondo livello, di spessore inferiore a 10

m, che ricoprono, con spessori fino a circa 45 m, i prodotti piroclastici a granulometria sabbiosolimosa (sc) o diversi termini del substrato geologico, le cui geometrie sepolte andranno definite nell'ambito degli studi di secondo livello.

- Zona 7 Lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (la) costituite da più colate in pendio inclinato > 15° e dislivello > 30 m, che ricoprono, con spessori fino a circa 45 m, prodotti piroclastici a granulometria sabbioso-limosa (sc) o diversi termini del substrato geologico, le cui geometrie sepolte andranno definite nell'ambito degli studi di secondo livello.
- Zona 8 Depositi alluvionali terrazzati (tf) costituiti da sabbie e ghiaie di origine vulcanica con spessore da 3 a circa 5 m, e materiale detritico superficiale (copertura detritica superiore) costituito da sabbie limose con piccoli inclusi vulcanici spesso circa 3 m (fd), che poggiano su lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (la) e/o prodotti piroclastici a granulometria sabbioso-limosa (sc).
- Zona 9 Lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (la) che ricoprono, con spessori fino a circa 30 m, materiale detritico caotico (copertura detritica inferiore) spesso fino a 40 m circa, costituito da blocchi di origine vulcanica di dimensioni talora metrici, immersi in una matrice con granulometria variabile da sabbie grossolane limose ad argille alterate, con inclusi di origine vulcanica di svariate dimensioni, che si appoggia su un versante sepolto con inclinazione compresa tra 15° e 45°.
- Zona 10 Lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (la) in pendio con inclinazione > 15° e dislivello > 30 m che ricoprono, con spessori fino a circa 30 m, materiale detritico caotico (copertura detritica inferiore) spesso fino a 40 m circa, costituito da blocchi di origine vulcanica di dimensioni talora metrici, immersi in una matrice con granulometria variabile da sabbie grossolane limose ad argille alterate, con inclusi di origine vulcanica di svariate dimensioni, che si appoggia su un versante sepolto con inclinazione compresa tra 15° e 45° del substrato geologico fratturato, spesso fino a circa 80 m, costituito da un'alternanza di colate laviche di base fratturate e prodotti piroclastici.
- Zona 11 Depositi alluvionali terrazzati (tf) costituiti da sabbie e ghiaie di origine vulcanica con spessore da 3 a circa 5 m, e materiale detritico superficiale (copertura detritica superiore) costituito da sabbie limose con piccoli inclusi vulcanici spesso circa 3 m (fd),che poggiano su lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (la) con spessori fino a circa 30 m e/o materiale detritico caotico (copertura detritica inferiore) spesso fino a 40 m circa, costituito da blocchi di origine vulcanica di dimensioni talora metrici, immersi in una matrice con granulometria variabile da sabbie grossolane limose ad argille alterate, con inclusi di origine vulcanica di svariate dimensioni, che si appoggia su un versante sepolto con inclinazione compresa tra 15° e 45° del substrato geologico fratturato, costituito da un'alternanza di colate laviche di base fratturate e prodotti piroclastici.
- Zona 12 Materiale di riporto eterogeneo ed eterometrico a granulometria compresa tra la sabbia e i ciottoli, con inclusi lapidei di origine vulcanica di varia dimensione (zz) su lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (la) costituite da più colate separate localmente da materiale detritico sabbioso (fd) di spessore inferiore a 10 m, che ricoprono, con spessori fino a circa 45 m, prodotti piroclastici a granulometria sabbioso-limosa (sc) o diversi termini del substrato geologico, le cui geometrie sepolte andranno definite nell'ambito degli studi di secondo livello.
- Zona 13 Materiale di riporto eterogeneo ed eterometrico a granulometria compresa tra la sabbia e i ciottoli, con inclusi lapidei di origine vulcanica di varia dimensione (zz) su prodotti piroclastici a granulometria sabbiosa debolmente limosa di colore bruno con rari elementi litici lavici centimetrici







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

(sc) di spessore da pochi metri fino a circa 15 m, sul substrato geologico fratturato spesso fino a circa 80 m, costituito da un'alternanza di colate laviche di base fratturate e prodotti piroclastici.

• **Zona 14** Lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (la) che mantellano con spessori costanti pendii sepolti costituiti da diversi termini del substrato geologico, le cui geometrie sepolte andranno definite nell'ambito degli studi di secondo livello.

Le 4 zone di instabilità comprendono tutte le aree già censite dal PAI come ad elevato rischio di frana, nonché tutte le porzioni dei versanti sud-orientali del territorio comunale ricoperte da detrito, sia nella sua giacitura originaria ed in stato quiescente sia rimobilizzato in corpi di frana con movimenti attivi o quiescenti. Nelle zone indicate come potenzialmente instabili, a causa delle particolari condizioni idrogeologiche che caratterizzano il contatto argille-detrito che in caso di sismi di elevata magnitudo potrebbero generare locali sovrappressioni dei fluidi determinanti per l'innesco di movimenti gravitativi, andrebbero comunque valutati anche gli effetti di amplificazione stratigrafica legati alla presenza del detrito superficiale, che si dovrebbero comunque manifestare anche in assenza di fenomeni di instabilità.

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

L'**Allegato 5** fornisce un quadro completo delle zone stabili suscettibili di amplificazione mentre, per quanto riguarda le zone suscettibili di instabilità si rimanda al Capitolo 7.

9. Confronto con la distribuzione di danni per eventi passati

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

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

- Nei documenti storici redatti dopo il terremoto del 1693, la località di Valverde, viene ricordata come una delle terre distrutte dal sisma; alcuni autori hanno precisato anche il numero delle vittime, che sarebbe pari a 15.
- L'evento sismico del 1818 ebbe effetti disastrosi. Furono danneggiati gravemente, il convento di Santa Maria e 26 case, che vennero restaurate a carico completo del governo. Vengono, inoltre, riportate notizie su richieste di aiuti da parte dei padri del Convento di Valverde, i quali chiedevano alla commissione qualche provvedimento per dare riparo ai danni. In altri archivi si deduce che la popolazione dell'abitato di Valverde constava all'epoca di circa 1000 persone e che gli effetti di questo evento non portarono a molti crolli ma la maggior parte degli edifici fu interessata da lesioni molto rilevanti.
- Nel 1914 si verificò una scossa sismica molto forte che provocò molto panico fra gli abitanti. Non si ritrovano notizie più specifiche su eventuali danni ad edifici o alla popolazione
- Infine a seguito del terremoto del 13/12/1990 si verificò il crollo di due vecchi casolari e di alcuni tetti. Furono effettuati sette sopralluoghi dietro richiesta da parte degli abitanti.







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

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 Valverde.

10. Bibliografia

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

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

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

Azzaro R., 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.

Azzaro R., D'Amico S., Mostaccio A., Scarfi L., Tuvè T.; 2009 – Catalogo Macrosismico dei Terremoti Etnei dal 1832 al 1998 e Aggiornamento 2006-2008. <u>http://www.ct.ingv.it/ufs/macro/</u>

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

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

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

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

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

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

86







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

Branca S., Coltelli M., De Beni E., Wijbrans J.; 2008 – Geological evolution of Mount Etna volcano (Italy) from earliest products until the first central volcanism (between 500 and 100 ka ago) inferred from geochronological and stratigraphic data. Bull. Volcanol., 97, 135–152.

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

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

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

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

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

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

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

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

Ferrara V.; 1990 - Carta della vulnerabilità all'inquinamento dell'acquifero vulcanico dell'Etna. Ed. S.EL.CA, Firenze (IT).

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

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

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

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

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

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









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

Lentini F.; 1982 - The geology of the Mt. Etna basement. Mem. Soc. Geol. It., 23, 7-25.

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

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

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

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

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

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

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

Monaco C., Ventura G.; 1995 – Magmatic and structural features of the "Valverde Center" (Mt. Etna, Sicily). Studi Geologici Camerti, 13, 89–101.

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

Rasà R., Azzaro R., Leonardi O.; 1996 – Aseismic creep on faults and flank instability at Mt. Etna volcano, Sicily. In: McGuire W.C., Jones A.P. & Neuberg J. (eds.), «Volcano Instability on the Earth and Other Planets». Geological Society Special Publication, 110, 179–192.

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

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

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

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

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

90







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

Valensise G., Pantosti D.; 1993 – A 125 Kyr-long geological record of seismic source repeatability: the Messina Straits (southern Italy) and the 1908 earthquake (Ms 7 1/2). Terra Nova, 4, 472-483.

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

11. Allegati

- Allegato 1 Sezioni geologiche
- Allegato 2 Sondaggi 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



Sondaggi sezione geologica C-C' Allegato 2 –

Sondaggi sezione geologica D-D'



ALLEGATO 3 – DATI GEOTECNICI

				Parametri Analisi su campione (SM)							Param.	Triassiale		
Sondaggio	Litotipo	Prof. Camp. (m)	γ [PV (kN/m³)]	e [E1]	W (%)	IP	GH	SA	LM	AR	с' [С (Мра)]	Φ' [F1 ()]	си [CU (Мра)]	Тіро
087025P11	Limi argillosi giallastri (OL-Porzione sommitale alterata delle argille grigio- azzurre)	5,0 - 5,5	19		27	15		17	60,51	22,44	0,02	20	0,072	CU

Tab. 1: dati geotecnici relativi alla categoria di terreni OL (copertura di alterazione delle argille grigio-azzurre).

				Parametri Analisi su campione (SM)					Param. Triassiale					
Sond.	Litotipo	Prof. Camp. (m)	γ [PV (kN/m³)]	γ[PV(kN/m³)] e[E1] W(%) IP GH SA LM AR c'					C' [C (Mpa)]	Φ' [F1 ()]	cu [CU (Mpa)]	Тіро		
087025P11	Agille grigio-azzurre (NR)	7,6 - 8,1	19		23	28		13	32,7	53,98	0,02	21	0,103	CU

Tab. 2: dati geotecnici relativi alla categoria di terreni NR (substrato geologico costituito dalle argille grigio-azzurre).

				I	Parametri	Analisi s	u campion	e (SM)				Param.	Triassiale		SP	'T
Sond.	Litotipo	Prof. Camp. (m)	γ [PV (kN/m³)]	e [E1]	W (%)	IP	GH	SA	LM	AR	c' [C (Mpa)]	Φ' [F1 ()]	cu [CU (Mpa)]	Тіро	Prof. (m)	Valore
	Tufiti a gran. sabbiosa debolmente															
087052P5	limosa (SMsc - Prodotti piroclastici														3,5 - 3,95	46
	olocenici)															1
087025P5	Tufiti a gran. sabbiosa debolmente limosa (SMsc - Prodotti piroclastici olocenici)														6,0 - 6,45	47

Tab. 3: dati geotecnici relativi alla categoria di terreni SMsc (prodotti piroclastici olocenici).

					Parametri	Analisi s	u campion	e (SM)				Param.	Friassiale		SP	Т
Sond.	Litotipo	Prof. Camp. (m)	γ [PV (kN/m³)]	e [E1]	W (%)	IP	GH	SA	LM	AR	с' [С (Мра)]	Φ' [F1 (ゥ]	си [CU (Мра)]	Тіро	Prof. (m)	Valore
087025P33	Sabbia con limo argillosa ghiaiosa (Copertura detritica inferiore)	4,0 - 4,5	18,5				19	54,62	21,26	5,11	0,005	32				
087025P33	Sabbia limoso ghiaosa poco argillosa (Copertura detritica inferiore)	16,0 - 16,5	18				11	46,87	29,18	12,87						
087025P8	Vulcanoclastite a gran. sabbiosa con inserti litici lavici centimetrici (Copertura detritica inferiore)														16,5 - 16,53	>50
087025P12	Copertura detritica inferiore														8,0 - 8,45	69
087052P6	Vulcanoclastite a gran. sabbiosa con sparsi elementi litici lavici centimetrici (Copertura detritica inferiore)														15,0 - 15,45	80

Tab. 4: parametri geotecnici e geomeccanici della copertura detritica inferiore costituita da sabbie limose con blocchi lavici.

Allegato 4 - Misure di microtremore ambientale

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

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

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

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

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

1

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).

2

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

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



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



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

Le basi teoriche dell'HVSR sono relativamente semplici; in un sistema stratificato in cui i parametri variano solo con la profondità, considerando un sistema a due strati caratterizzati da due diverse velocità (V1 e V2) e da due diverse densità (ρ 1 e ρ 2) un'onda che viaggia nel mezzo 1 (superiore) viene riflessa (parzialmente) dall'orizzonte che separa i due strati e così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le massime ampiezze (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (λ) risulta 4 volte lo spessore "H" del primo strato (o suoi multipli dispari), ossia la frequenza di risonanza "**f**" dello primo strato relativa alle onde S è pari a:

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

Equazione 1

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

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

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

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

Nello specifico, considerando l'estensione e la topografia dell'area, questo studio ha comportato l'esecuzione di "20" misure, secondo le indicazioni del progetto di ricerca europeo SESAME ("Guidelines for the implementation of the H\V spectral ratio technique on ambient vibrations" – European Commission, dic. 2004); tutte le registrazioni dei microtremori sono state effettuate con tromografi digitali portatili serie Tromino (Micromed S.p.A.), progettati specificamente per l'acquisizione del rumore sismico, dotati di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) ortogonali ed orientati N-S, E-W e verticalmente, alimentati da 2 batterie da 1,5 V e senza alcun cavo esterno; il rumore sismico ambientale è stato acquisito ad una frequenza di campionamento di 256 Hz, amplificato, digitalizzato a 24 bit equivalenti e registrato per circa 45 minuti in corrispondenza di ciascuna delle stazioni di misura ubicate all'interno del comprensorio esaminato.

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

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

5

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

ogni frequenza per ciascuna finestra (Es. Valverde -087031P13).

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 087031P13 a Valverde.

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 20 siti di misura ubicati all'interno dell'area di studio, ai quali viene anche associata una stima dell'attendibilità dell'indagine. La maggior parte dei valori della frequenza di picco ricade all'interno di un range molto ristretto, compreso tra 0.6 e ~3.5 Hz. In alcuni casi, all'interno del range di frequenza considerato (0.6 – 20 Hz), vengono segnalati due o tre picchi, che abbracciano i valori di frequenza più elevati (ad es. ~6, ~9 e ~11 Hz).

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

7

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

ID_SPU	Nome	Х	Y	FO	F0_H0V0	F1	F1_H1V1	F2	F2_H2V2
087031P13	N165	510571	4158197	2,66	3,95	6,19	2,25	9,53	1,73
087031P14	N166	510874	4158159	2,16	2,33	2,94	2,74	3,75	2,66
087031P15	N167	511463	4157911	0,56	1,52				
087031P16	N168	511681	4158228	1,69	1,52				
087031P17	N169	510449	4158479	2,69	2,23	9,94	2,71		
087031P18	N170	510646	4158642	2,72	2,15	6,25	1,67		
087031P19	N171	511624	4159468	3,44	1,34				
087031P20	N172	511716	4158985	3,13	1,01				
087031P21	N173	511558	4160501	1,63	2,16				
087031P22	N174	511096	4160556	1,84	1,90				
087031P23	N175	510173	4160663	1,88	1,83	11,25	1,67		
087031P24	N176	510194	4160108	1,66	2,22				
087031P25	N177	510654	4160044	1,97	2,11				
087031P26	N178	510453	4159041	2,19	2,07				
087031P27	N179	511008	4159015	2,19	2,18	3,59	2,78	6,22	1,79
087031P28	N180	511072	4159476	3,03	2,38				
087031P29	N181	511505	4160136	2,09	2,63				
087031P30	N182	511001	4160063	2,16	1,84				
087031P31	N183	510396	4159511	1,84	2,38				
087031P32	N184	509845	4159442	1,50	1,61				

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

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 questo intervallo riguarda strutture di dimensioni grandi (> 10÷20 piani, indicativamente); • 2 .0 \leq f < 10.0 Hz quest'altro intervallo riguarda strutture di dimensioni medio-piccole (1-10 piani, indicativamente);

• 10.0 \leq f < 20.0 Hz questo range riguarda strutture di piccole dimensioni (< 3 m altezza, indicativamente).

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



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

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.

$f_0 > 10 / L_w$	2.66 > 0.50	OK	
$n_{c}(f_{0}) > 200$	3771.9 > 200	OK	
$\begin{array}{l} \sigma_A(f) < 2 \mbox{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0 \mbox{ if } f_0 > 0.5Hz \\ \sigma_A(f) < 3 \mbox{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0 \mbox{ if } f_0 < 0.5Hz \end{array}$	Exceeded 0 out of 128 times	OK	
Criteri [At least	a for a clear H/V peak 5 out of 6 should be fulfilled]		
Criteri [At least Exists f ⁻ in [f ₀ /4, f ₀] A _{H/V} (f ⁻) < A ₀ / 2	a for a clear H/V peak 5 out of 6 should be fulfilled] 1.781 Hz	ок	
$\label{eq:criteria} \begin{array}{c} Criteria \\ [At least \\ Exists f^{-} in \ [f_0/4, f_0] \mid A_{HV}(f^{-}) < A_0 \ / \ 2 \\ Exists f^{+} in \ [f_0, 4f_0] \mid A_{HV}(f^{+}) < A_0 \ / \ 2 \end{array}$	a for a clear H/V peak 5 out of 6 should be fulfilled] 1.781 Hz 4.375 Hz	ок	
$\label{eq:criteric} \begin{array}{c} \text{Criteric} \\ \text{[At least]} \\ \hline \text{Exists } f^{-} \text{ in } \left[f_0/4, f_0 \right] \mid A_{H/V}(f^{-}) < A_0 \mid 2 \\ \hline \text{Exists } f^{+} \text{ in } \left[f_0, 4f_0 \right] \mid A_{H/V}(f^{+}) < A_0 \mid 2 \\ \hline A_0 > 2 \end{array}$	a for a clear H/V peak 5 out of 6 should be fulfilled] 1.781 Hz 4.375 Hz 3.95 > 2	OK OK OK	
$\begin{array}{c} \text{Criteri} \\ [\text{At least} \\ \hline \\ \text{Exists } f^{-} \text{ in } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^{-}) < A_0 \ / \ 2 \\ \hline \\ \text{Exists } f^{+} \text{ in } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^{+}) < A_0 \ / \ 2 \\ \hline \\ A_0 > 2 \\ \hline \\ f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\% \end{array}$	a for a clear H/V peak 5 out of 6 should be fulfilled] 1.781 Hz 4.375 Hz 3.95 > 2 [0.0068] < 0.05	ОК ОК ОК ОК	
$\begin{array}{c} \mbox{Criteri} & [At least \\ \mbox{Exists } f^{-} in \ [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^{-}) < A_0 \ / \ 2 \\ \mbox{Exists } f^{+} in \ [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^{+}) < A_0 \ / \ 2 \\ A_0 > 2 \\ f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\% \\ \sigma_f < \epsilon(f_0) \end{array}$	a for a clear H/V peak 5 out of 6 should be fulfilled] 1.781 Hz 4.375 Hz 3.95 > 2 [0.0068] < 0.05 0.01805 < 0.13281	ОК ОК ОК ОК	

Lw	window lengui
nw	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
fo	H/V peak frequency
σ _f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f \leq \epsilon(f_0)$
An	H/V peak amplitude at frequency fo
A _{HA} (f)	H/V curve amplitude at frequency f
f	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{HV}(f^-) < A_0/2$
f ⁺	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{HV}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_{A}(f)$	standard deviation of $A_{HA}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{HA}(f)$ curve should
	be multiplied or divided
(f)	standard deviation of log A _{HN} (f) curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$
 ~1.0/	

1991 IN	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						
ε(f ₀) [Hz]	0.25 f ₀	0.2 f ₀	0.15 f ₀	0.10 f ₀	0.05 f ₀						
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58						
log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{logH/V}(f_0)$	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 087031P13 i cui requisiti vengono 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

	[4	All 3 should be fulfilled]		
fo	> 10 / L _w	0.56 > 0.50	OK	Ŭ.
nc	$(f_0) > 200$	900.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.50 \\ \sigma_A(f) < 3 \text{ for } 0.50 \\ \sigma_A(f) < 3 \text{ for } 0.50 \\ \sigma_A(f) < 3 \text{ for } 0.50 \\ \sigma_A(f) < 0.50 \\ $	$f_0 < f < 2f_0 \text{ if } f_0 > 0.5\text{Hz}$ $f_0 < f < 2f_0 \text{ if } f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 28 times	OK	
	Criter [At least	a for a clear H/V peak 5 out of 6 should be fulfilled]		
Exists f in [fo	$[4, f_0] A_{HV}(f) < A_0 / 2$			NO
Exists f ⁺ in [f ₀	$(4f_0] A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.125 Hz	OK	
	$A_0 > 2$	1.52 > 2		NO
fneak [AHV(f)	$\pm \sigma_{A}(f) = f_{0} \pm 5\%$	0.04758 < 0.05	OK	
peaks internet	$5_{\epsilon} < \epsilon(f_0)$	0.02676 < 0.08438	OK	
σA	$(f_0) < \Theta(f_0)$	0.3181 < 2.0	OK	1
		\$2. A CARA 28		9 <u>1</u>
Lw	window length			
nw	number of windows us	sed in the analysis		
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant of	cycles		
f	current frequency			
fo	H/V peak frequency			
Of	standard deviation of I	H/V peak frequency		
e(fn)	threshold value for the	stability condition $\sigma_f < \epsilon(f_0)$		
An	H/V peak amplitude at	frequency fo		
Aug (f)	H/V curve amplitude a	t frequency f		
f	frequency between fo/	4 and f_0 for which $A_{\mu\nu}(f) < A_0/2$		
f ⁺	frequency between for	and $4f_0$ for which $A_{HN}(f^+) < A_0/2$		
(f)	standard deviation of	$A_{\mu\nu}(f)$, $\sigma_{\lambda}(f)$ is the factor by which the	e mean Aux (f)	curve sho
CALL	be multiplied or divide	d	HV(·)	
	standard deviation of I			
(f)	standard deviautin th			

	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						
ε(f ₀) [Hz]	0.25 f ₀	0.2 f ₀	0.15 f ₀	0.10 f _o	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 $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20						

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.

Figura 4: tabelle dei criteri per una curva H/V affidabili e per un picco H/V chiaro relativi all'indagine 087031P15 i cui requisiti non vengono soddisfatti.

Dunque, alla luce delle elaborazioni e di quanto suindicato tutte le misure eseguite, nella tabella "Parametri_Puntuali" del database di Access denominato "Cdl_tabelle", risultano avere un valore d'attendibilità pari ad "1", ad eccezione dell'indagine 087031P14, per la quale, nonostante i criteri dei test statistici (linee guida SESAME, 2004) vengano soddisfatti, più del 50 % del segnale risulta disturbato (Fig. 5), per cui è stata attribuita un'attendibilità pari ad "2".





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

Bibliografia

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

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

Gruppo di lavoro MS; 2008 - Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica, 3° Vol. e DVD. Ibs-von Seht M., Wholenberg J.; 1999 - Microtremor measurements used to map thickness of soft sediments. Bull. Seism. Soc. Am., 89, 250-259.

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

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

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

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

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

SESAME Working Group (2004) – Guidelines for the implementation of the h/v spectral ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation. http://sesamefp5.obs.ujf-grenoble.fr/index.htm.
Allegato 5 - Sezioni Topografiche



Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



andranno definite nell'ambito degli studi di secondo

livello.

granulometria variabile da sabbie grossolane limose ad

argille alterate, con inclusi di origine vulcanica di svariate dimensioni, che si appoggia su un versante sepolto con inclinazione compresa tra 15° e 45° del substrato

geologico fratturato (e).



Zona 5

Substrato geologico fratturato costituito da un'alternanza di colate laviche di base fratturate e prodotti piroclastici in pendio con inclinazione >15° e dislivello >30 m, con spessore complessivo fino a circa 80 m.

Zona 10



Lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (a) in pendio con inclinazione $> 15^{\circ}$ e dislivello > 30 m che ricoprono, con spessori fino a circa 30 m, materiale detritico caotico (copertura detritica inferiore) spesso fino a 40 m circa, costituito da blocchi di origine vulcanica di dimensioni talora metrici, immersi in una matrice con granulometria variabile da sabbie grossolane limose ad argille alterate, con inclusi di origine vulcanica di svariate dimensioni, che si appoggia su un versante sepolto con inclinazione compresa tra 15° e 45° del substrato geologico fratturato (c).



di colate laviche di base fratturate e prodotti

piroclastici (c).

Zona 14

Lave di copertura indefinite (a) su morfologie del substrato articolate (la) che mantellano con spessori costanti pendii sepolti costituiti da diversi termini del substrato geologico, le cui geometrie sepolte andranno definite nell'ambito degli studi di secondo livello.