PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile

CONFERENZA DELLE REGIONI E DELLE PROVINCE AUTONOME

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

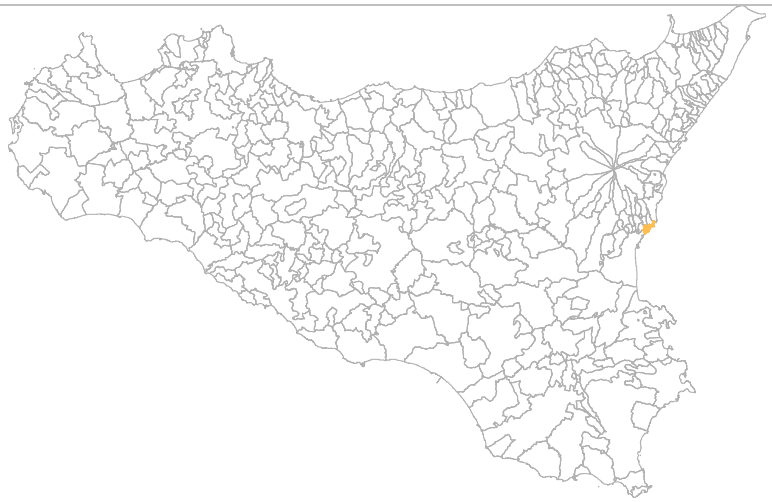
MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione Illustrativa

MS Livello 1

Regione Sicilia

Comune di Aci Castello



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

Contraente:	Soggetto realizzatore:	Data:
Regione Siciliana – Presidenza Dipartimento della Protezione Civile	Università degli Studi di Catania	Febbraio 2013

Indice

1. Introduzione 3

2. Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento.....12

3. Assetto geologico e geomorfologico dell'area 22

4. Dati geotecnici e geofisici 48

5. Modello del sottosuolo 53

6. Interpretazioni e incertezze 56

7. Metodologie di elaborazione e risultati 59

8. Elaborati cartografici 70

9. Confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati 78

10. Bibliografia 80

11. Allegati 86

1. Introduzione

Gli studi di microzonazione sismica (**MS**) condotti all'interno del territorio del Comune di Aci Castello (codice istat 087002), in Provincia di Catania, oggetto della presente relazione, sono stati eseguiti nell'ambito della Convenzione del 20/12/2011 tra Università di Catania e Dipartimento Regionale di Protezione Civile della Regione Sicilia, che ha previsto l'avvio delle indagini per i comuni siciliani soggetti a più elevata pericolosità sismica. L'attività di microzonazione è stata eseguita seguendo le indicazioni contenute negli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" (Gruppo di lavoro MS, 2008) e tenendo conto anche dei suggerimenti contenuti nel supplemento a "Ingegneria Sismica" (anno XXVIII, n.2, 2011) a cura di Dolce et alii.

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

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

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

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

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

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

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

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

Gli studi condotti nel territorio di Aci Castello 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 Aci Castello si sviluppa lungo il basso versante sud-orientale del Monte Etna in Sicilia orientale con un estensione areale di circa 8,7 km^2 (Fig. 1). Seguendo le indicazioni dell'Amministrazione comunale si è proceduto alla microzonazione dell'intero territorio del Comune di Aci Castello, come da verbale della riunione tecnica del 24/04/2012 tra l'Università di Catania e il Dipartimento di Protezione Civile. All'interno del territorio comunale ricadono un'area Sito di Importanza Comunitaria (SIC) e sei aree classificate R4 dal Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI) (Fig. 1) che, ai sensi dell'Art. 5, Comma 4, dell'OPCM 3907/2010, sono escluse dagli studi di microzonazione. Per le aree R4 del PAI, interessate da un'intensa urbanizzazione, comunque vengono riportate tutte le informazioni utili per la successiva classificazione della loro risposta sismica locale. In definitiva, l'area di studio comprende tutto il

territorio comunale ad eccezione dell'area SIC, per una estensione di circa 8,5 km^2 (Fig. 1). Essa occupa la fascia costiera ionica che dall'adiacente territorio comunale di Catania si estende verso nord-est fino alla frazione di Aci Trezza, comprendendo a nord-ovest la frazione di Ficarazzi.

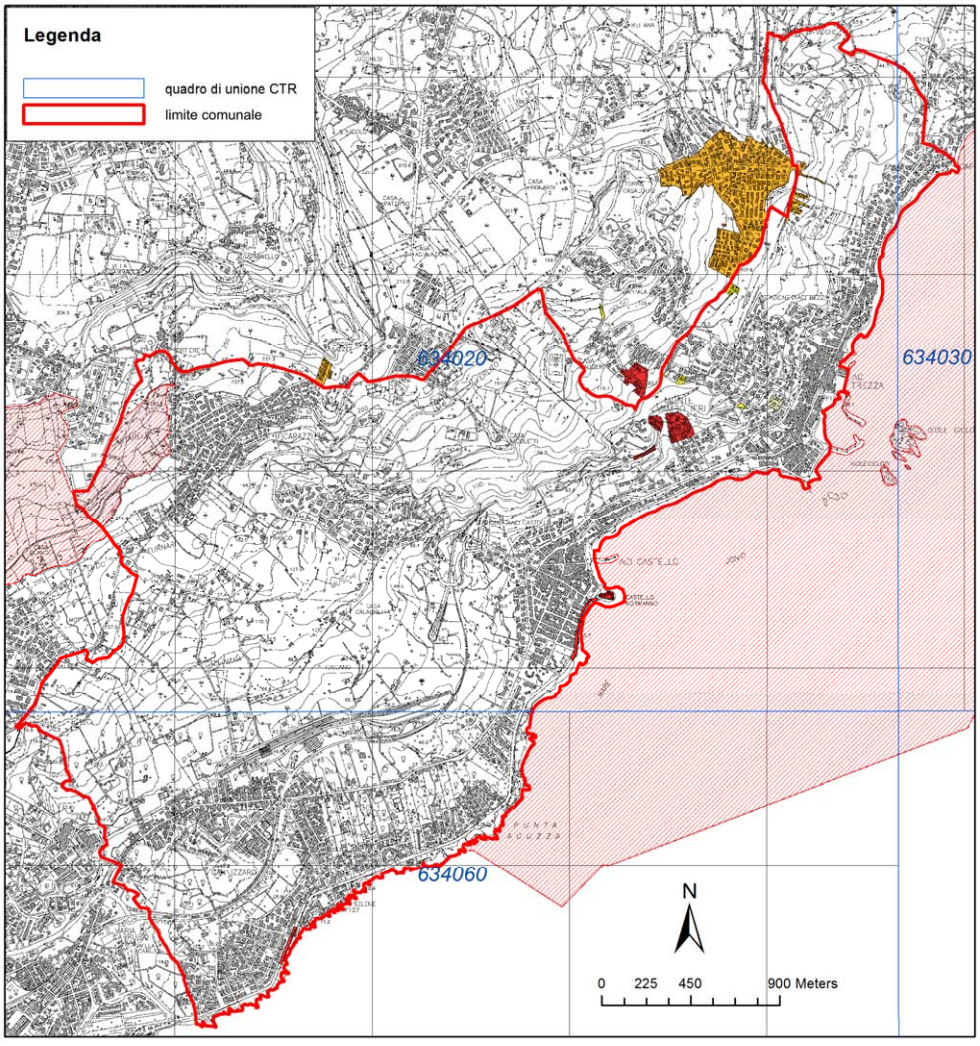


Fig. 1 – Ubicazione del territorio del Comune di Aci Castello (delimitato in rosso), dell'area Sito di Importanza Comunitaria (SIC) (area a rigato obliquo rosso) e delle aree classificate R4 dal Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI) (aree colorate in rosso), all'interno delle Sezioni CTR 634020, 634030, e 634060 (limite quadro unione CTR in azzurro).

Lo studio di MS di livello 1 è stato effettuato utilizzando come base cartografica la Carta Tecnica Regionale alla scala 1:10.000, realizzata dalla Regione Sicilia nel 2008. In particolare l'area di studio ricade all'interno delle Sezioni CTR 634020, 634030, e 634060 (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 Aci Castello è stato possibile attingere ad una limitata quantità d'informazioni pregresse, in gran parte provenienti dallo studio geologico per il Piano Regolatore Generale (P.R.G.) realizzato nel 1997 e dalle indagini integrative effettuate per il monitoraggio delle aree prioritarie in località collina di Vampolieri, interessata da movimenti gravitativi superficiali, realizzate nel 2011. Seppure non omogeneamente distribuiti, i dati raccolti hanno permesso di interpretare la natura dei movimenti gravitativi attivi nell'area e di vincolare la relativa geometria di massima dei terreni interessati. La ricostruzione 3D delle successioni affioranti è stata, invece, basata sull'analisi della carta geologico-tecnica, che ha richiesto un notevole sforzo di raccolta di dati di terreno originali. E' ovvio che livelli d'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 noti, sulla base di una scrupolosa interpretazione delle evidenze di superficie, nella previsione di infittire le indagini nei successivi stadi di approfondimento.

Nel corso degli studi di microzonazione di primo livello, seppure orientati alla raccolta, rielaborazione ed interpretazione complessiva di dati esistenti, è stato necessario definire le modalità con cui condurre rilievi speditivi delle successioni vulcaniche, allo scopo di integrare con dati significativi le informazioni disponibili, generalmente scarsamente rappresentative dell'estrema variabilità laterale e verticale dei prodotti lavici. Sulla base dei rilievi originali condotti, di concerto con il Dipartimento di Protezione Civile Nazionale e Regionale si sono definiti i criteri di rappresentazione dei terreni vulcanici su carte con scala 1:10.000, non previste dagli standard, da utilizzare in

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

I dati messi a disposizione dall'amministrazione comunale di Aci Castello, relativi ad indagini effettuate per lo studio geologico per il Piano Regolatore Generale (P.R.G.), e quelli forniti dal Genio Civile di Catania, relativi ad indagini integrative realizzate per il monitoraggio delle aree prioritarie in località Collina di Vampolieri, sono sintetizzati in diversi elaborati di seguito elencati:

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

- Relazione geologica
- Relazione indagini

- Verifiche di stabilità – Tabulati di calcolo
- Allegato 1 – Ubicazione Sezione 1 scala 1:2.000
- Allegato 2 – Sezione 1 scala 1:2.000
- Allegato 3 – Ubicazione Sezione 2 scala 1:2.000
- Allegato 4 – Sezione 2 scala 1:2.000
- Allegato 5 – Ubicazione Sezione 3 scala 1:2.000
- Allegato 6 – Sezione 4 scala 1:2.000
- Allegato 7 – Ubicazione Sezione 4 scala 1:2.000
- Allegato 8 – Sezione 5 scala 1:2.000
- Allegato 9 – Ubicazione Sezione 5 scala 1:2.000
- Allegato 10 – Sezione 5 scala 1:2.000
- Allegato 11 – Ubicazione Sezione 6 scala 1:2.000
- Allegato 12 – Sezione 6 scala 1:2.000
- Allegato 13 – Ubicazione Sezione 7 scala 1:2.000
- Allegato 14 – Sezione 7 scala 1:2.000
- Allegato 15 – Ubicazione Sezione 8 scala 1:2.000
- Allegato 16 – Sezione 8 scala 1:2.000
- Allegato 17 – Ubicazione Sezione 9 scala 1:2.000
- Allegato 18 – Sezione 9 scala 1:2.000
- Allegato 19 – Ubicazione Sezione 10 scala 1:2.000
- Allegato 20 – Sezione 10 scala 1:2.000
- Tav.1 – Carta Morfologica scala 1:10.000
- Tav. 2 – Carta Geologica scala 1:5.000
- Tav. 3 – Carta Tettonica e Strutturale scala 1:10.000
- Tav. 4 – Carta Geolitologica scala 1:2.000 (Mappa 1)
- Tav. 5 – Carta Geolitologica scala 1:2.000 (Mappa 2)
- Tav. 6 – Carta Geolitologica scala 1:2.000 (Mappa 3
- Tav. 7 – Carta Geolitologica scala 1:2.000 (Mappa 4)

- Tav. 8 – Carta Geolitologica scala 1:2.000 (Mappa 5)
- Tav. 9 – Carta Geolitologica scala 1:2.000 (Mappa 6)
- Tav. 10 – Carta Geolitologica scala 1:2.000 (Mappa 7)
- Tav. 11 – Carta Geolitologica scala 1:2.000 (Mappa 8)
- Tav. 12 – Carta Geolitologica scala 1:2.000 (Mappa 9)
- Tav. 13 – Carta Idrogeologica scala 1:5.000
- Tav. 14 – Carta Geotecnica e della stabilità scala 1:5.000
- Tav. 15 – Sezioni geologiche scala 1:5.000
- Tav. 16 – Carta della Suscettività 1:5.000

Elaborati per il monitoraggio delle aree prioritarie in località Collina di Vampolieri

- Indagini integrative – Ubicazione carotaggi
- Indagini integrative – Colonne stratigrafiche
- Indagini integrative – Allegato fotografico indagini
- Indagini integrative – Schema istallazione inclinometri-piezometri
- Indagini integrative – Ubicazione sistemi monitoraggio fabbricati

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

Lo studio è stato integrato da verifiche di terreno e analisi di aerofotogrammetrie, mirate alla verifica della affidabilità del modello geologico proposto. Infine sono state

effettuate una serie di misure di microtremori mediante la tecnica di indagine di sismica passiva HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) al fine di determinare il periodo e l'ampiezza delle vibrazioni del suolo, su una griglia di punti omogeneamente distribuiti sull'area investigata, utilizzati per la redazione di una carta delle frequenze. Per il presente studio, inoltre, sono stati consultati diversi archivi, sia per verificare l'eventuale presenza di instabilità (PAI Regione Sicilia, Progetto IFFI, Progetto Sinkhole, Pubblicazioni scientifiche), che le caratteristiche sismotettoniche (Progetto Ithaca, DISS3) e di sismologia storica e macrosismica (CPTI11, DBMI11, CFTI), oltre alla cartografia geologica (AA.VV., 1979; Monaco et al., 2008; AA.VV., 2009; 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 Aci Castello 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 Aci Castello 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 Aci Castello 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 Io = 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 Io mediante la relazione di Azzaro et al. (2011). DBMI11 contiene dati di intensità relativi a 1681 terremoti che fanno parte di CPTI11 (Rovida et al., 2011), e in particolare relativi a: a) 1484 terremoti i cui dati sono stati utilizzati per determinare i parametri che fanno parte di CPTI11; b) 197 terremoti etnei, i cui dati non sono utilizzati per determinare i parametri che fanno parte di CPTI11, in quanto i relativi parametri sono stati adottati direttamente dal Catalogo Macrosismico dei Terremoti Etnei (CMTE; http://www.ct.ingv.it/ufs/macro; Azzaro et al., 2000; 2006; 2009). Tra gli eventi sismici di maggiore rilevanza sicuramente si può annoverare il terremoto della Val di Noto dell'11 Gennaio 1693, che è quello che più si è impresso nella memoria storica locale dell'intera Sicilia per molte ragioni: la vastità dell'area colpita, la gravità degli effetti, i mutamenti subiti da una intera rete insediativa e infine la straordinaria capacità progettuale che caratterizzò la fase di ricostruzione. Questo disastro sismico costituisce quindi un importante episodio nella storia del popolamento e dell'urbanistica siciliana, nonché un evento di grande interesse per la storiografia e per la sismologia. In figura 2 si riportano i valori dell'intensità macrosismica dell'evento; il Comune di Aci Castello viene catalogato con intensità X MCS (Barbano, 1985). La figura 3 riporta il risultato della ricerca sul database DBMI11, che individua 22 eventi significativi per il territorio di Aci Castello, a partire dall'evento del 1693. La figura 4 riporta il conseguente grafico relativo alla sismicità storica del comune di Aci Castello.

Catalogazione del Comune di Aci Castello sulla mappa interattiva di pericolosità sismica

Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ha stabilito, approvato ed emesso in data 27/07/2007 il documento "*pericolosità sismica e criteri per la classificazione sismica del territorio nazionale*" con il quale è stata ridefinita la mappatura sismica. La nuova mappatura sismica nazionale consiste in un dettagliato reticolo di riferimento individuato su maglia quadrata di lato 10 km; per ogni punto del reticolo si conoscono le accelerazioni massime attese al bedrock per diversi periodi di ritorno dell'evento sismico. La mappa interattiva di pericolosità sismica (Meletti et al., 2007) su reticolo è attualmente disponibile su http://esse1.mi.ingv.it; è altresì disponibile in allegato alle nuove norme tecniche per le costruzioni (D.M. 14/01/2008) la tabella di riferimento che riporta puntualmente i parametri sismici di progetto al variare del periodo di ritorno dell'evento sismico di progetto. Le mappe riportano due parametri dello scuotimento: a(g) (accelerazione orizzontale massima del suolo, corrispondente a quella che in ambito internazionale viene chiamata PGA) e Se(T) (Spettro di risposta Elastico in funzione del periodo T, in accelerazione). Le mappe in a(g) sono state calcolate per differenti probabilità di superamento in 50 anni (in totale 9, dal 2% all'81%). Per ogni stima è disponibile la distribuzione del 50mo percentile (mappa mediana, che è la mappa di riferimento per ogni probabilità di superamento) e la distribuzione del 16mo e dell'84mo percentile che indicano la variabilità delle stime. Le mappe in Se(T) sono state pure calcolate per le stesse probabilità di superamento in 50 anni (in totale 9, dal 2% all'81%) e per differenti periodi (in totale 10, da 0.1 a 2 secondi). Anche in questo caso per ogni stima è disponibile la distribuzione del 50mo percentile (mappa mediana, che è la mappa di riferimento per ogni probabilità di superamento) e la distribuzione del 16mo e dell'84mo percentile che indicano la variabilità delle stime.

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

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

Effetti	In occasione del terremoto del:			
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io	Mw
10-11	1693 01 11 13:30	Sicilia orientale	185	11	7.41 ±0.15
7	1818 02 20 18:15	Catanese	128	9-10	6.23 ±0.12
6	1848 01 11 12:00	Golfo di Catania	41	7-8	5.45 ±0.39
5	1905 09 08 01:43	Calabria meridionale	895		7.04 ±0.16
EE	1908 12 28 04:2	Calabria meridionale-Messina	800	11	7.10 ±0.15
3	1911 10 15 08:52	FONDO MACCHIA	48	8-9	4.84 ±0.26
3	1931 08 03 21:12	FIANDACA	40	6-7	3.94 ±0.26
NF	1947 05 11 06:3	Calabria centrale	254	8	5.70 ±0.13
NF	1975 01 16 00:0	Stretto di Messina	346	7-8	5.20 ±0.09
NF	1980 01 23 21:2	MODICA	122	5-6	4.58 ±0.14
4	1983 07 20 22:03	VIAGRANDE	106	7	4.16 ±0.26
NF	1984 10 19 17:43	ZAFFERANA ETNEA	124	7	4.16 ±0.26
2-3	1986 02 01 22:52	S. G. BOSCO	48	6-7	3.94 ±0.26
2-3	1986 02 02 16:10	S. G. BOSCO	63	7	4.16 ±0.26
NF	1989 01 29 07:30	CODAVOLPE	78	7	4.16 ±0.26
6	1990 12 13 00:2	Sicilia sud-orientale	304	7	5.64 ±0.09
NF	1997 10 29 12:02	FOSSA DELL'ACQUA	22	5-6	3.49 ±0.26
NF	1997 11 11 07:27	S. MARIA LA STELLA	35	5-6	3.49 ±0.26
NF	1997 11 11 18:44	S. MARIA LA STELLA	35	5-6	3.49 ±0.26
4	2001 01 09 02:51	ZAFFERANA ETNEA	104	6	3.71 ±0.26
NF	2001 04 22 13:56	VERSANTE OCCIDENTALE	55	5-6	3.49 ±0.26
NF	2002 03 24 23:05	VERSANTE ORIENTALE	40	5-6	3.49 ±0.26

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

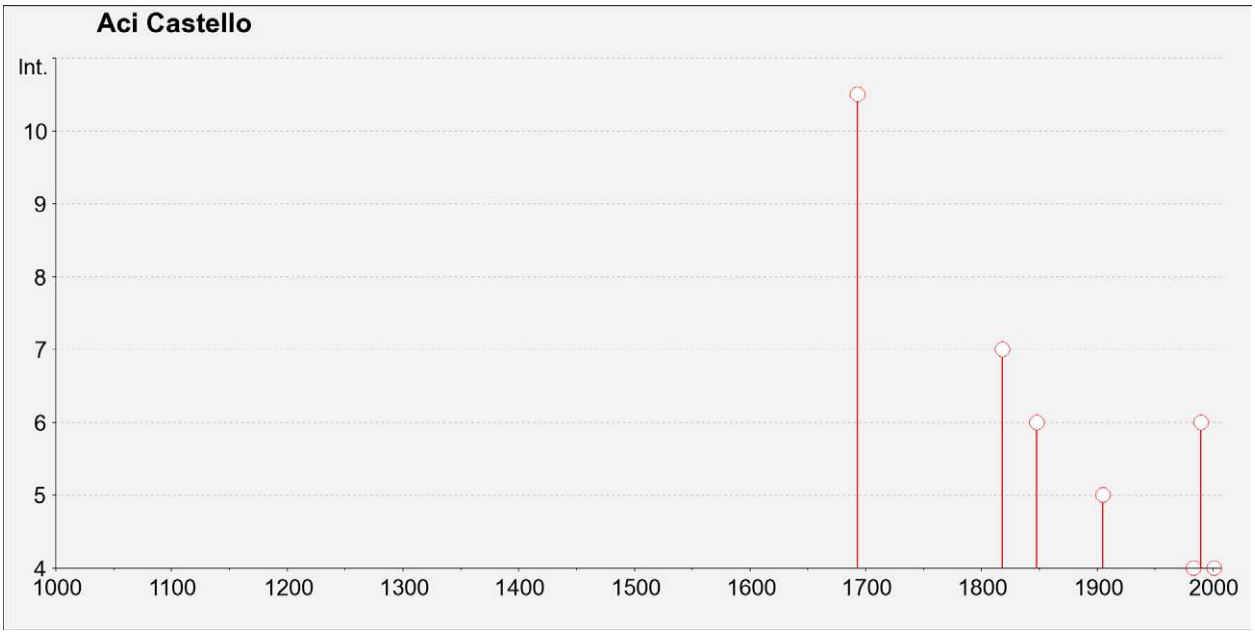


Fig. 4 – Grafico relativo alla sismicità storica del comune di Aci Castello.

L'area di studio del Comune di Aci Castello 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 5 riporta la probabilità di eccedenza in 50 anni del valore di PGA riportato sulle mappe interattive di pericolosità sismica, il corrispondente periodo di ritorno e la corrispondente frequenza annuale di superamento. Sono state elaborate carte di pericolosità sismica in termini di ag su suolo rigido (categoria A; Vs_{30}>800 m/sec) con

probabilità di superamento in 50 anni pari a: 81%, 63%, 50%, 39%, 30%, 22%, 5% e 2% rispettivamente corrispondenti a periodi di ritorno di 30, 50, 72, 100, 140, 200, 975 e 2475 anni (convenzionalmente per gli ultimi due periodi di ritorno si usa parlare di 1000 e 2500 anni). Si riportano nelle Figure 6-8 rispettivamente le mappe interattive di pericolosità sismica del territorio di Aci Castello con riferimento al valore di PGA per una probabilità di eccedenza in 50 anni del 10%, del 5% e del 2%.

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

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

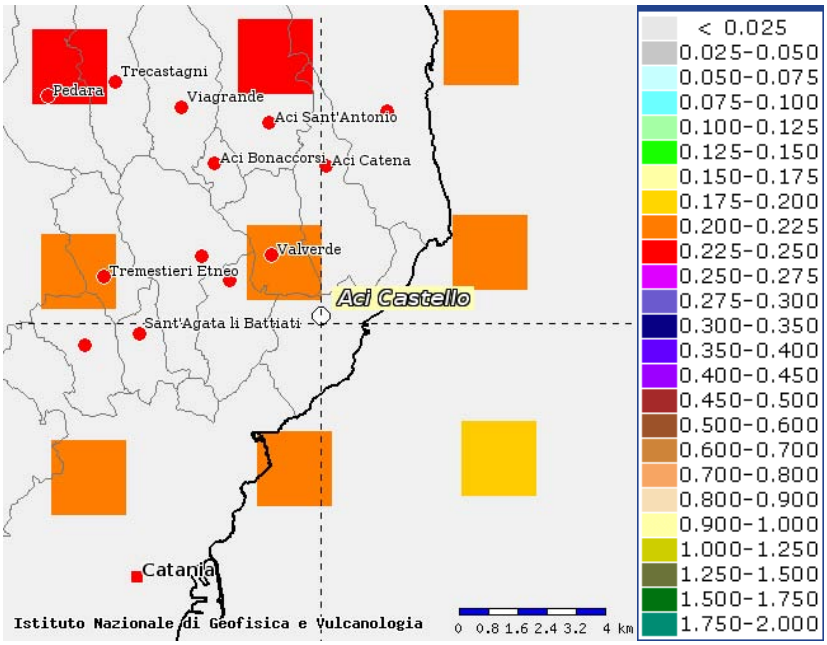


Fig. 6 – Mappa interattiva di pericolosità sismica del territorio di Aci Castello. I punti della griglia visualizzati si riferiscono a: parametro dello scuotimento a(g), probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

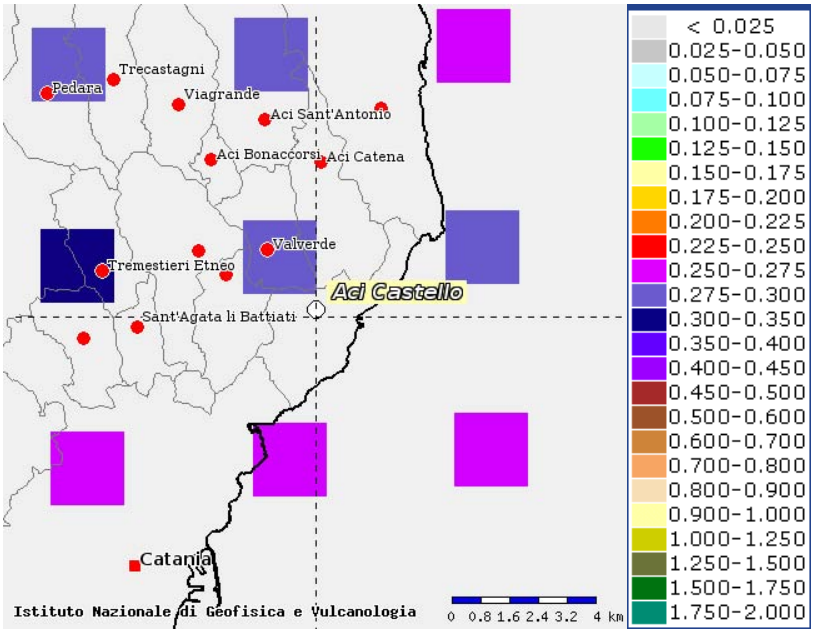


Fig. 7 – Mappa interattiva di pericolosità sismica del territorio di Aci Castello. I punti della griglia visualizzati si riferiscono a: parametro dello scuotimento a(g), probabilità di superamento del 5% in 50 anni.

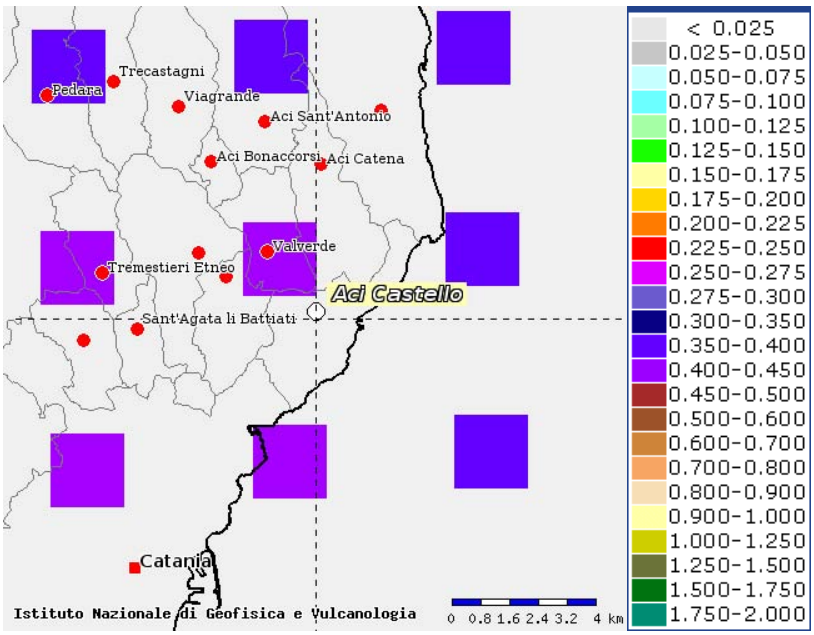


Fig. 8 – Mappa interattiva di pericolosità sismica del territorio di Aci Castello. I punti della griglia visualizzati si riferiscono a: parametro dello scuotimento a(g), probabilità di superamento del 2% in 50 anni.

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

T_R[anni]	a_g [g/10]
475	0.200-0.225
975	0.275-0.300
2475	0.400-0.450

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

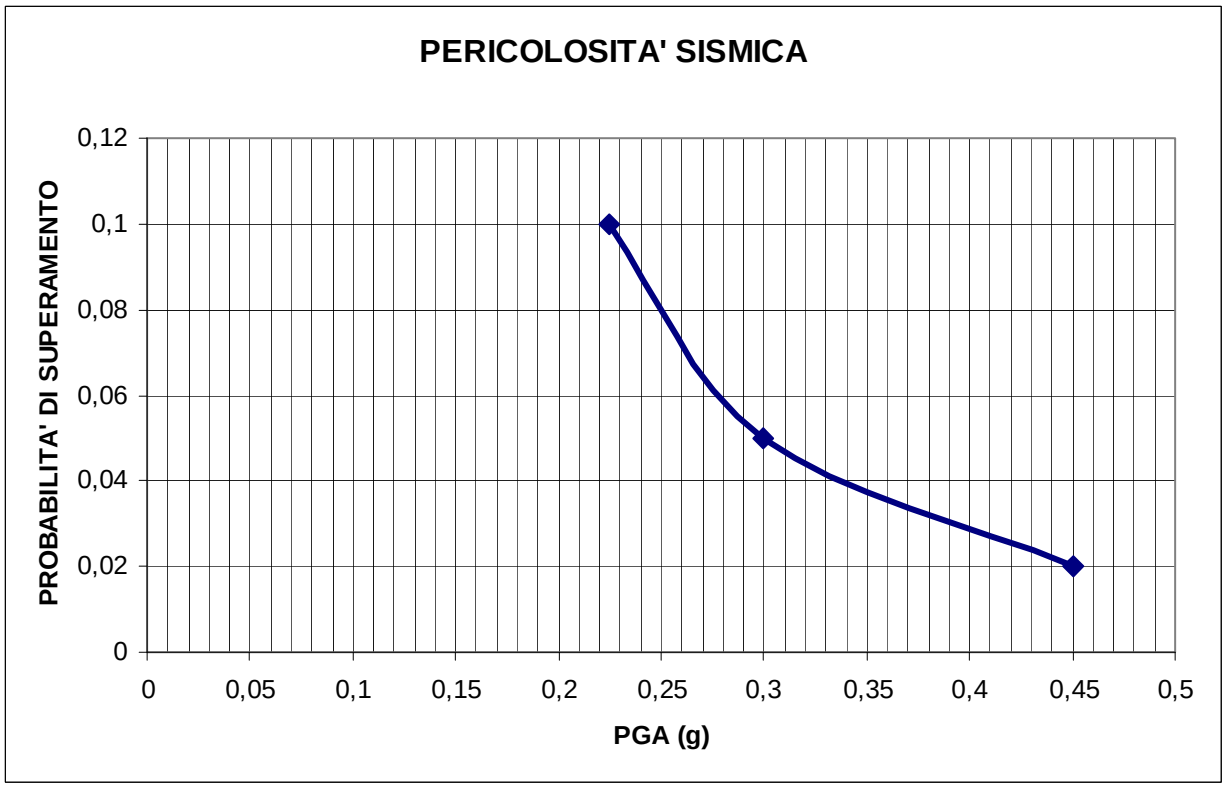


Fig. 9 – Curva di pericolosità sismica al sito per il territorio di Aci Castello. La curva rappresenta il valore della mediana.

Il territorio del Comune di Aci Castello è stato individuato sul database DBMI11 (con 22 eventi sismici significativi tra il 1693 ed il 2002) 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; V_{s30}>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 Aci Castello.

3. Assetto geologico e geomorfologico dell'area

Il comune di Aci Castello ricade in un'area ad intensa dinamica recente che, nel tempo, si è tradotta in un assetto geologico estremamente complesso, connesso all'interazione tra deformazione tettonica, sollevamento e vulcanismo. Gli effetti di lungo periodo sono riscontrabili nella geometria del substrato geologico, che è composto da una successione prevalentemente argillosa di età mediopleistocenica (<0.9 ka; Di Stefano & Branca, 2002) fortemente sollevata, sulla quale sono stati modellati diversi ordini di terrazzi marini di età medio-suprapleistocenica (Monaco et al. 2002; Catalano et al., 2004; Catalano & Tortorici, 2010). L'area ha registrato, inoltre, tutti gli stadi dell'evoluzione del vulcanismo etneo, dalle prime emissioni tholeiitiche fino ai prodotti alcalini recenti. Le lave tholeiitiche, datate tra 0.58 to 0.46 Ma (Gillot et al., 1994), costituiscono orizzonti sottomarini intercalati agli orizzonti sommitali della successione argillosa pleistocenica. Le lave alcaline costituiscono cicli distinti di prodotti subaerei, la cui posizione geometrica rispetto agli elementi morfologici del substrato terrazzato è strettamente connessa alla propria età. Le lave più antiche, datate a 145 ka (Branca et al., 2008), costituiscono resti di originari espandimenti sviluppatisi su un'ampia superficie sub-pianeggiante, modellata al tetto della successione argillosa, oggi ridotta ad un piccolo lembo conservato alla sommità della collina di Aci Trezza. Orizzonti alcalini più recenti, datati intorno a 120 ka (Branca et al., 2008) ricoprono la piattaforma marina terrazzata tirreniana dello stadio isotopico 5.5 (125 ka), mantellando le porzioni più alte del versante terrazzato. Le lave attribuite all'attuale stratovulcano riempiono preferenzialmente gli assi di paleovalli oggi interamente sepolte, ma mantellano estensivamente anche gran parte del versante terrazzato.

La geometria del substrato ha risentito, inoltre, di deformazioni recenti ed attive lungo strutture tettoniche direttamente riconosciute nell'area di studio o presenti in aree limitrofe. La cartografia geologica alla scala 1:50.000 (Carta geologica del Monte Etna (Fig. 10**A**)(AA.VV., 1979) e Foglio Geologico 634 "Catania" (Fig. 10**B**) (AA.VV., 2009) evidenzia in maniera inequivocabile che un allineamento morfologico principale, orientato

circa WNW-ESE, divide il territorio comunale in due distinti settori: nel settore settentrionale, comprendente gran parte della zona abitata della costa da Aci Castello a Capo Mulini e tutta la zona di espansione nelle aree collinari retrostanti (Collina di Vampolieri), è ampiamente esposto il substrato argilloso pleistocenico e i livelli sottomarini tholeiitici ad esso associati, comprese le lave a pillow della rocca del castello di Aci Castello e i prodotti sub vulcanici dei Faraglioni di Aci Trezza; nel settore meridionale, comprendente gli abitati di Ficarazzi e di Cannizzaro, affiorano i prodotti lavici recenti che nascondono quasi interamente il versante terrazzato modellato sul substrato sedimentario. Il diverso assetto geologico dei due settori è chiaramente legato alla presenza nelle aree meridionali di un basso morfologico che ha richiamato tutti i flussi lavici recenti, deviandoli dalle aree delle zone di alto morfologico, localizzate nel settore settentrionale.

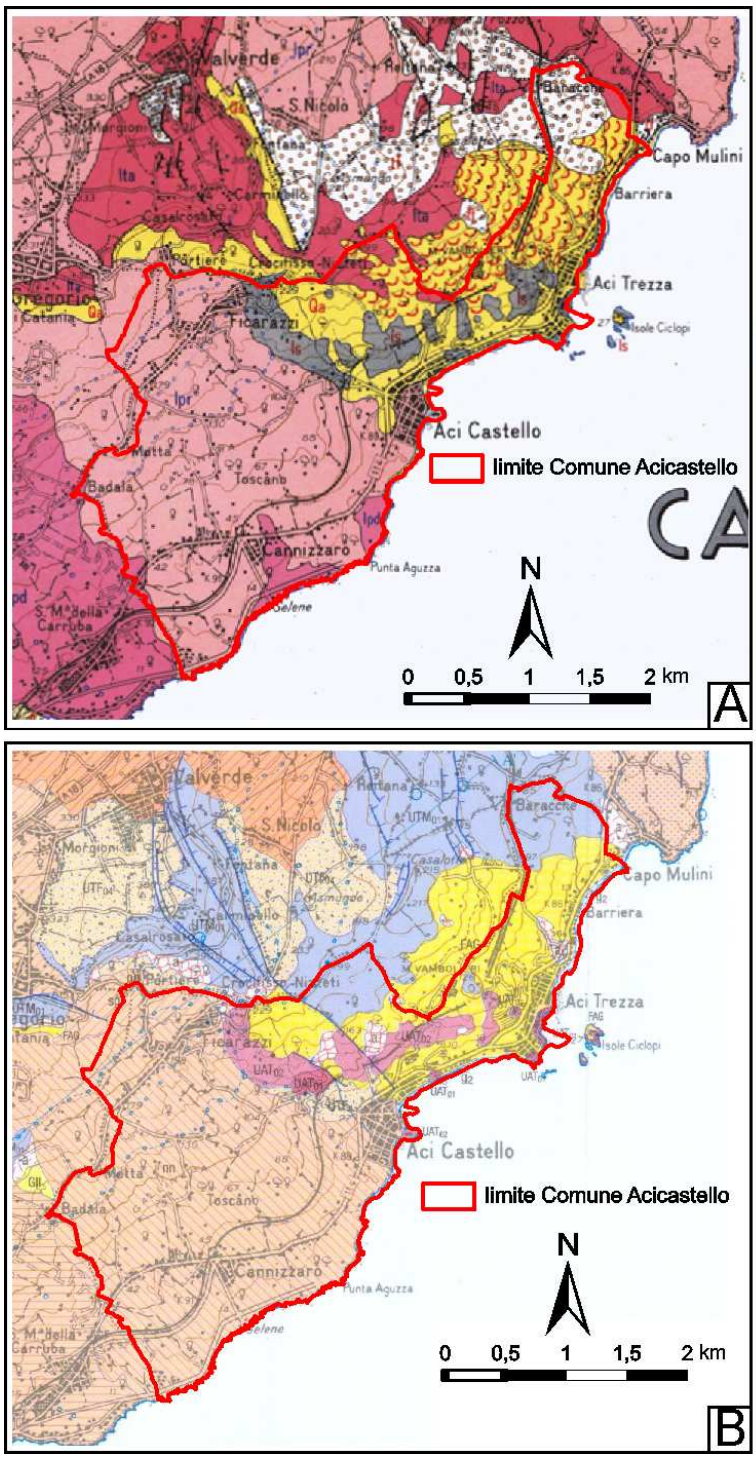


Fig. 10 – Stralcio della Carta geologica del Monte Etna (**A**)(AA.VV., 1979 mod) e stralcio del Foglio Geologico 634 "Catania" (**B**) (AA.VV., 2009 mod).

Nonostante l'evidente differenza dell'evoluzione geologica recente dei due domini adiacenti, la loro origine erosionale o tettonica e la natura ed il significato dell'allineamento che li separa, non sono stati ancora chiariti. Di sicuro va rilevato che nella documentazione scientifica disponibile, nessuna delle carte geologiche (Fig. 10;

AA.VV., 1979 e AA.VV., 2009), morfostrutturali (Fig. 11; Monaco et al., 2008), vulcano-tettoniche (Fig. 12; Azzaro et al., 2012) consultate segnala la presenza di una struttura tettonica lungo il contatto tra i due domini, accreditando così l'origine erosionale del basso morfologico.

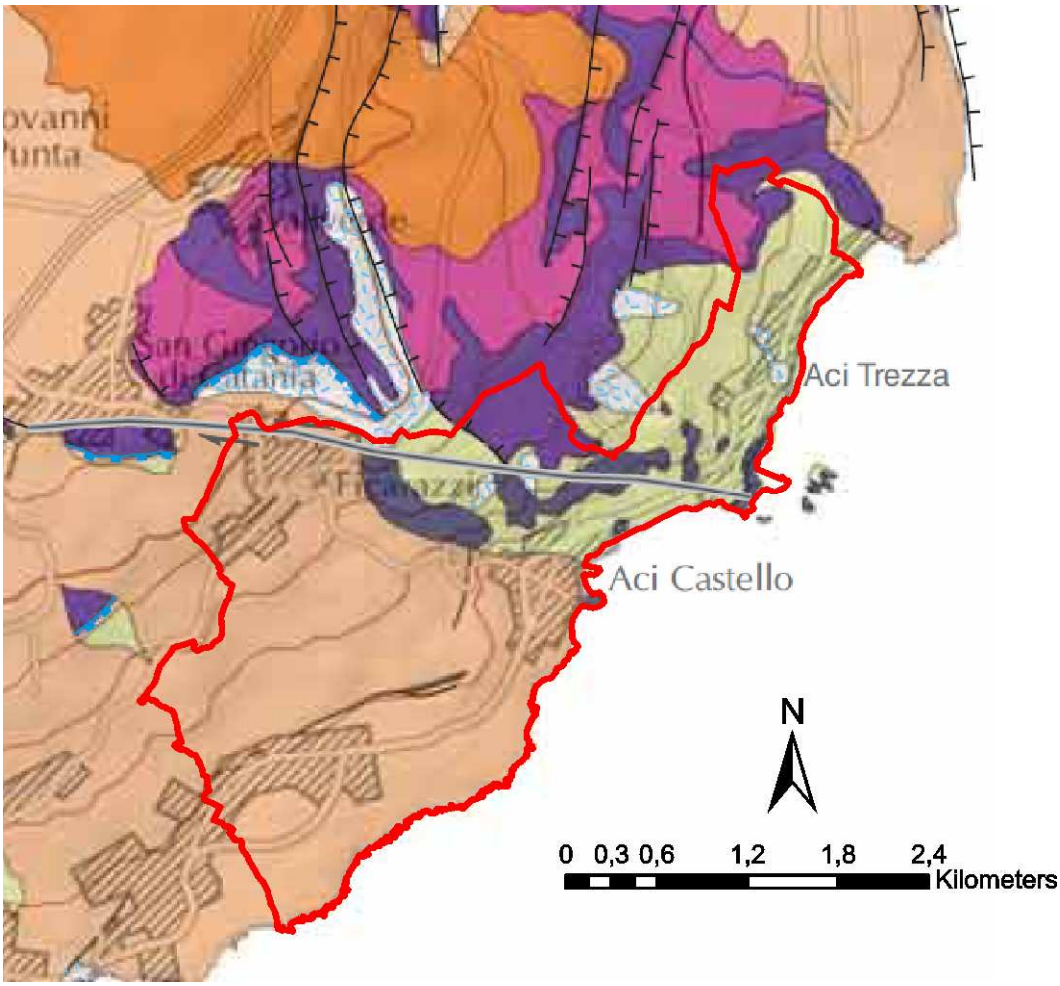


Fig. 11 – Stralcio della Carta Morfotettonica del Monte Etna (Monaco et al., 2008 mod). Il limite comunale è indicato in rosso.

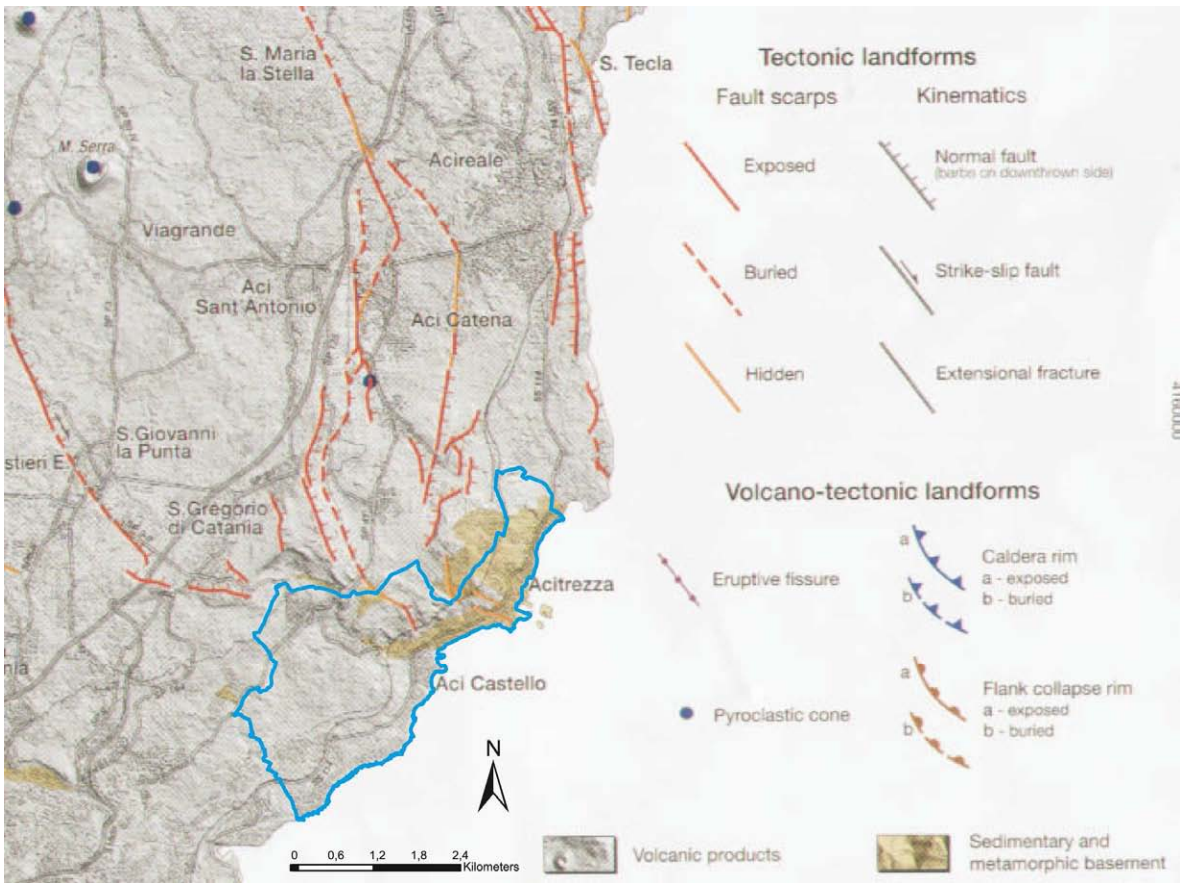


Fig. 12 – Carta vulcano-tettonica del Monte Etna (Azzaro et al., 2012 mod). Il territorio comunale è indicato in azzurro.

Tale ipotesi andrebbe supportata da dati di sottosuolo che confermino la continuità degli orizzonti stratigrafici del substrato attraverso il confine tra i due domini. Nella carta geologico-tecnica è stata segnalata la possibilità della presenza di una struttura sepolta sotto le lave (orientata circa NW-SE), continuazione verso est di strutture riconosciute anche in territori comunali limitrofi (San Gregorio di Catania), non necessariamente attiva, che comunque può aver contribuito all'andamento morfologico complessivo del substrato sedimentario, condizionando la distribuzione dei prodotti lavici più recenti.

Appare altrettanto evidente che nei diversi documenti cartografici consultati sono rappresentate geometrie delle strutture recenti ed attive spesso contraddittorie. Esse costituirebbero dei rami secondari di strutture tettoniche principali, unanimemente riconosciute dai diversi Autori al di fuori del territorio comunale. Le strutture proposte nei

diversi lavori sono state ubicate generalmente in corrispondenza di zone di fatturazione al suolo attive nel territorio comunale (es. Azzaro et al., 2012). Nel corso degli studi di microzonazione è stato possibile verificare che lungo tali lineamenti raramente si riconoscono rigetti cumulati nel tempo, sia della superficie topografica che dei terreni coinvolti, che siano chiara testimonianza della natura tettonica delle deformazioni riscontrate al suolo. In alcuni casi, si è constatato che segmenti di faglia effettivamente riscontrabili per tratti sul terreno, in quanto contraddistinti da chiari rigetti cumulati, sono stati arbitrariamente prolungati in aree dove dagli stessi dati rappresentati in carta è possibile desumere la continuità laterale degli elementi geologici e quindi l'assenza di discontinuità tettoniche. In molti casi, come verrà dettagliatamente descritto in seguito, alcune delle zone di fatturazione possono essere messe in relazione a fenomeni di movimenti gravitativi molto superficiali, senza escludere che questi possano comunque marcare aree già intensamente deformate dalla tettonica. Nel corso degli studi di microzonazione sono stati accreditati quale espressione superficiale di strutture tettoniche profonde solo quei segmenti di zone di fratture cui è stato possibile associare anche evidenze chiare di rigetto cumulato dei terreni coinvolti. L'andamento delle singole faglie è stato poi ricostruito considerando il principio della conservazione dell'entità del rigetto lungo la struttura, per tratti sufficientemente lunghi rapportati alla lunghezza totale. Seguendo questi criteri, nella carta geologico-tecnica è riportata la presenza, immediatamente a nord dell'abitato di Aci Castello, della terminazione meridionale della Faglia di Acicatena (Azzaro et al., 2012; o Faglia di Nizzeti di Monaco et al., 1997) orientata NW-SE, già rappresentata nel Foglio Geologico 634 "Catania" alla scala 1:50.000 (AA.VV., 2009; Fig. 10**B**), nella Carta Morfotettonica del Monte Etna (Monaco et al., 2008;

Fig. 11) e nella Carta vulcano-tettonica del Monte Etna (Azzaro et al., 2012; Fig. 12). Contrariamente a quanto riportato nella cartografia esistente, la continuazione della faglia è stata riconosciuta lungo un allineamento orientato circa E-W, lungo il quale si realizza la repentina interruzione verso nord dei prodotti tholeiitici affioranti nella zona di Aci Trezza, come già riportato in Catalano & Tortorici (2010), in precedenti studi di microzonazione relativi alle aree contigue di Acicatena e Acireale. La continuazione della struttura, sepolta sotto i detriti, è stata tracciata in via dubitativa anche attraverso parte dell'abitato di Aci Trezza, fino a raggiungere la costa a nord del porto. Sarebbe opportuno, nel corso degli studi di secondo livello, dedicare particolare attenzione a questo allineamento, per verificare la consistenza dell'interpretazione, lo stato di attività e la connessione cinematica con la Faglia di Nizzeti, valutando l'eventuale tasso di deformazione. La Faglia di Nizzeti, infatti, nel suo tratto orientato NW-SE è già stata catalogata nel database Ithaca (ITaly HAzard from CApable faults) e identificata, con il nome di Faglia Nizzeti_02, come faglia soggetta a movimenti di creep asismico (Fig. 13), con attendibilità elevata dell'attività, anche se poco supportata da studi qualitativamente significativi.

PHISICAL AND GEOLOGICAL ATTRIBUTES

GEOLOGIC SETTING	This fault is one of the most outstanding tectonic feature in the Mt. Etna volcano south-eastern flank.
SYNOPSIS	The Nizzeti_02 is a subordinate fault linked to the Acicatena fault system that shows recent extensional kinematics (with a right component) and activity as revealed by geomorphological data. The fault is characterized by aseismic creep.
FAULT NAME	Nizzeti_02
FAULT CODE	11406
MACROZONE	7
REGION NAME	Sicilia
SYSTEM NAME	Acicatena
RANK	SUBORDINATE
AVERAGE STRIKE	335
DIP	90
LENGTH (Km)	1.7
GEOMETRY	
SEGMENTATION	no
DEPTH (Km)	
LOCATION RELIABILITY (MAPPING SCALE)	1:10000
LAST ACTIVITY	Historical (<3,000)
ACTIVITY RELIABILITY	High reliability
RECURRENCE INTERVAL (yr)	
SLIP-RATE (mm/yr)	2.1
MAX CREDIBLE RUPTURE LENGTH	
MAX CREDIBLE SLIP (m)	
KNOWN SEISMIC EVENTS	
MAX CREDIBLE MAGNITUDE (Mw)	
MAX CREDIBLE INTENSITY (INQUA scale)	
STUDY QUALITY	LOW
NOTES	inserire in biblio rt apat a seguito revisione Bella

REFERENCES

FAULT CODE	AUTHORS	TITLE	REFERENCES	YEAR
11406	AZZARO R.	Seismicity and active tectonics in the Etna region: constraints for a sesmotectonic model.	Mt. Etna: Volcano Laboratory. Geophysical Monograph Series, 143. American Geophysical Union. 10.1029/143GM13, 205-220.	2004
11406	MONACO C., PETRONIO L. & ROMANELLI M.	Tettonica estensionale nel settore orientale del Monte Etna (Sicilia): dati morfotettonici e sismici.	Studi Geologici Camerti, 1995/2, 363-374.	1995
11406	RASA' R., AZZARO R. & LEONARDI O.	Aseismic creep on faults and flank instability at Mount Etna vocano, Sicily	From McGuire, W.J., Jones, A. P. & Neuberg, J. (eds), Volcano Instability on the Earth and Other Planets - Geological Society Special Publication, n. 110, pp.179-192	1996
11406	G. PATANE' & S. IMPOSA	Atlas of isoseismal maps of etnean earthquakes from 1971 to 1991	CNR- GNGTS - Università degli Studi di Catania	1995

Fig. 13 – Scheda della faglia di Nizzeti nel database Ithaca (http://193.206.192.227/wms_dir/Catalogo_delle_Faglie_Capaci_ITHACA.html#)

Nello stesso catalogo è stata inserita anche un'altra linea di dislocazione attiva che attraversa l'abitato di Aci Trezza. Tale struttura è stata ricostruita in dettaglio da Azzaro et al. (2012), sulla base di evidenti danni a manufatti ed edifici distribuiti lungo allineamenti ben definiti. Gli Autori hanno così identificato due linee di fatturazione al suolo sub parallele, a direzione circa NW-SE, che, sviluppandosi alla terminazione di una faglia presunta a direzione N-S, denominata Faglia di Aci Trezza, attraversano l'abitato formando una geometria a "coda di cavallo" (Fig. 14).

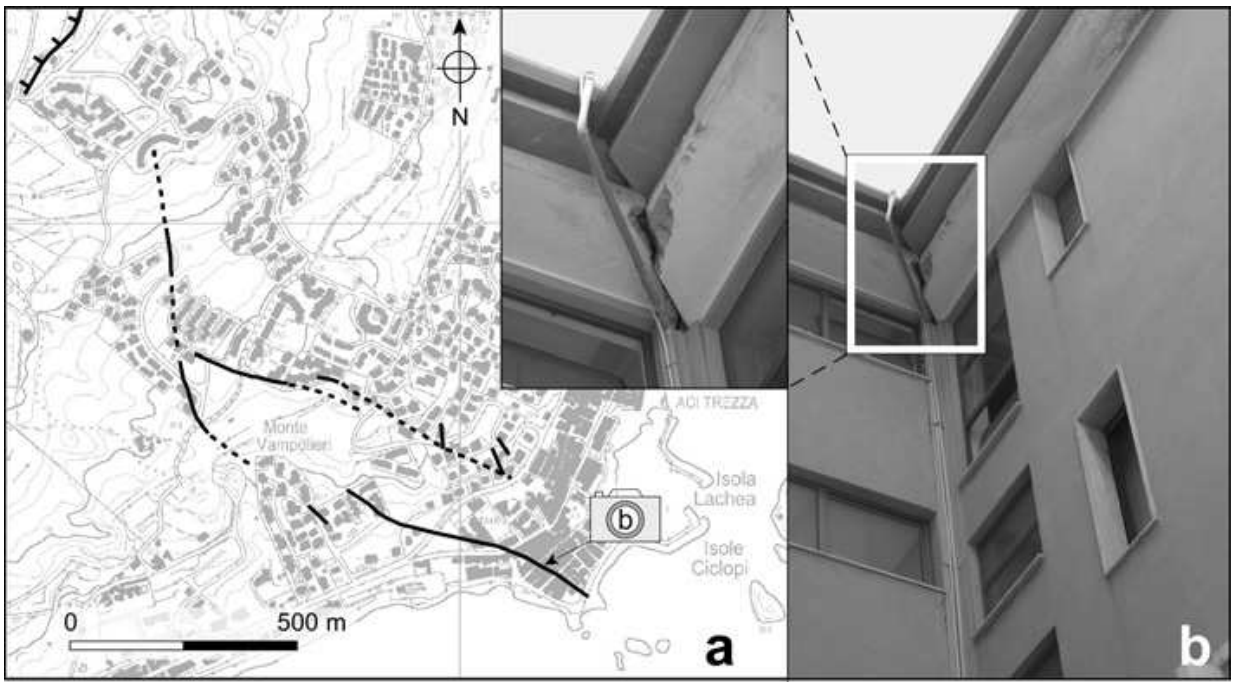


Fig. 14 – Andamento della terminazione meridionale della faglia presunta di Aci Trezza (da Azzaro et al., 2012)

Gli Autori classificano le strutture come "nascoste" in quanto non marcate da chiare evidenze geologiche o geomorfologiche.

PHISICAL AND GEOLOGICAL ATTRIBUTES

GEOLOGIC SETTING	This fault is located in the southern sector of the Mt. Etna volcano, the largest active strato volcano in Sicily.
SYNOPSIS	The Acitrezza fault is a volcano-tectonic structure and shows recent activity, revealed by surface ruptures and damages on bildings.
FAULT NAME	Acitrezza
FAULT CODE	14700
MACROZONE	7
REGION NAME	Sicilia
SYSTEM NAME	Acitrezza
RANK	PRIMARY
AVERAGE STRIKE	310
DIP	90
LENGTH (Km)	0.76
GEOMETRY	
SEGMENTATION	no
DEPTH (Km)	
LOCATION RELIABILITY (MAPPING SCALE)	1:10000
LAST ACTIVITY	Historical (<3,000)
ACTIVITY RELIABILITY	Medium reliability
RECURRENCE INTERVAL (yr)	
SLIP-RATE (mm/yr)	
MAX CREDIBLE RUPTURE LENGTH	
MAX CREDIBLE SLIP (m)	
KNOWN SEISMIC EVENTS	
MAX CREDIBLE MAGNITUDE (Mw)	0
MAX CREDIBLE INTENSITY (INQUA scale)	
STUDY QUALITY	LOW
NOTES	Field studies permitted to map Acitrezza fault. Inserire biblio rapporto apat da redigere a seguito revisione Bella

REFERENCES

FAULT CODE	AUTHORS	TITLE	REFERENCES	YEAR
14700	G. PATANE' & S. IMPOSA	Atlas of isoseismal maps of etnean earthquakes from 1971 to 1991	CNR- GNGTS - Università degli Studi di Catania	1995

Fig. 15 – Scheda della faglia di Aci Trezza nel database Ithaca

(http://193.206.192.227/wms_dir/Catalogo_delle_Faglie_Capaci_ITHACA.html#

La scheda descrittiva della Faglia di Aci Trezza riportata nel database Ithaca (Fig. 15) evidenzia che la struttura è caratterizzata dalla giacitura sub verticale del piano e una lunghezza inferiore al chilometro. La scheda sottolinea inoltre una affidabilità media a fronte di una bassa qualità dei vincoli a supporto della presenza della struttura e della sua natura cosismica.

Il quadro complessivo delle linee di dislocazione attive inserite nel Catalogo ITHACA delle faglie capaci nel territorio di Aci Trezza è rappresentata in Fig. 16, dalla quale si desume che solo la faglia Nizzeti è connessa a strutture principali ricadenti in aree limitrofe, mentre la Faglia di Aci Trezza costituirebbe un segmento attivo isolato e di estensione limitata, non ricollegabile ad alcuna struttura geologica, anche non attiva, presente nell'area.

Le indagini svolte nel corso degli studi di microzonazione hanno evidenziato che l'allineamento degli edifici e manufatti danneggiati lungo la presunta Faglia di Aci Trezza corrisponde al contatto tra il corpo sub vulcanico tholeiitico, che costituisce il substrato lungo la fascia costiera dell'abitato di Aci Trezza, ed un ampio ventaglio detritico che, originatosi dalla Collina di Vampolieri, si estende lungo la costa tra Aci Castello e Aci Trezza. Sul corpo detritico insistono aree in cui si concentrano parziali riattivazioni del movimento, che hanno determinato condizioni locali di elevato rischio idrogeologico (vedi aree R4 in Fig. 1).

Fig. 16 – Faglie capaci ricadenti nel territorio di Aci Castello segnalate nel database Ithaca: 1) Faglia di Nizzeti_02; 2) Faglia di Aci Trezza. (2).

Per analogia, la zona di fratturazione al suolo che è stata attribuita ai movimenti lungo la presunta Faglia di Aci Trezza, per la sua lunghezza limitata e la mancanza di connessione ad una struttura geologica riconoscibile sul terreno, viene interpretata come l'espressione di cedimenti differenziali al contatto tra detrito, soggetto a parziali rimobilizzazioni, e il substrato vulcanico stabile. Pertanto la struttura viene evidenziata nella sola carta delle microzone omogenee, essendo rappresentata nella carta geologico-tecnica dal limite stratigrafico tra detrito e il substrato.

La storia sismica del comune di Aci Castello 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. 17).

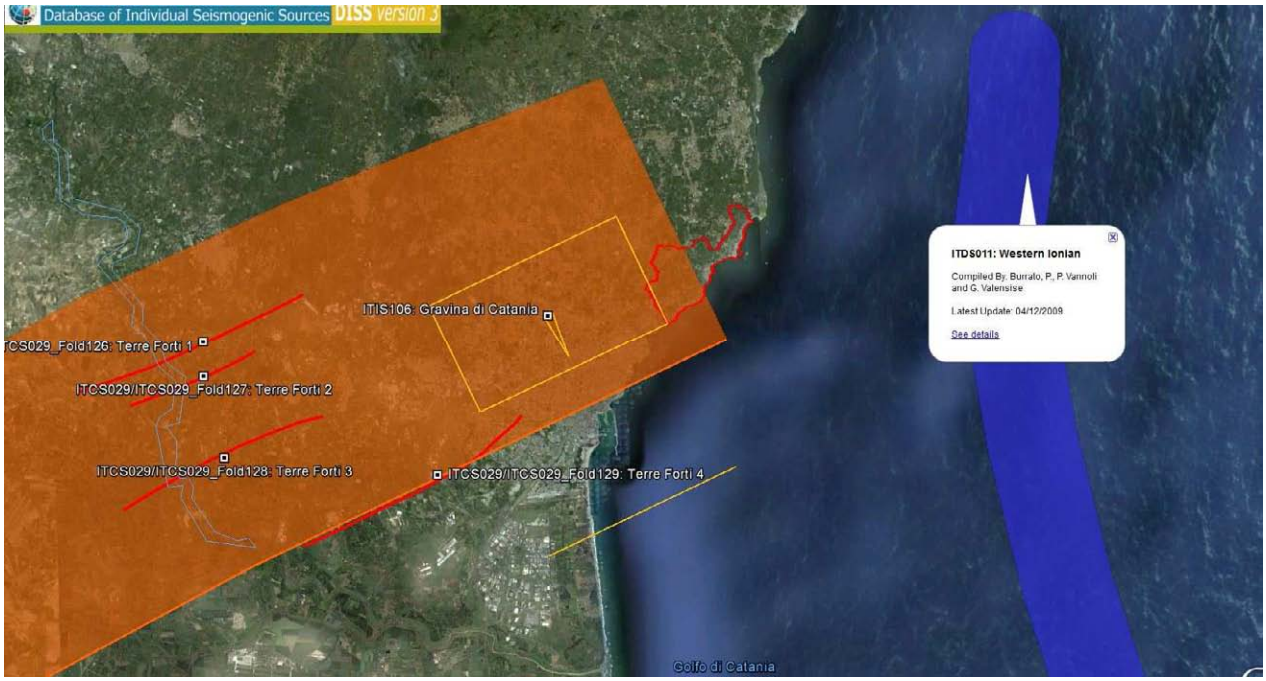
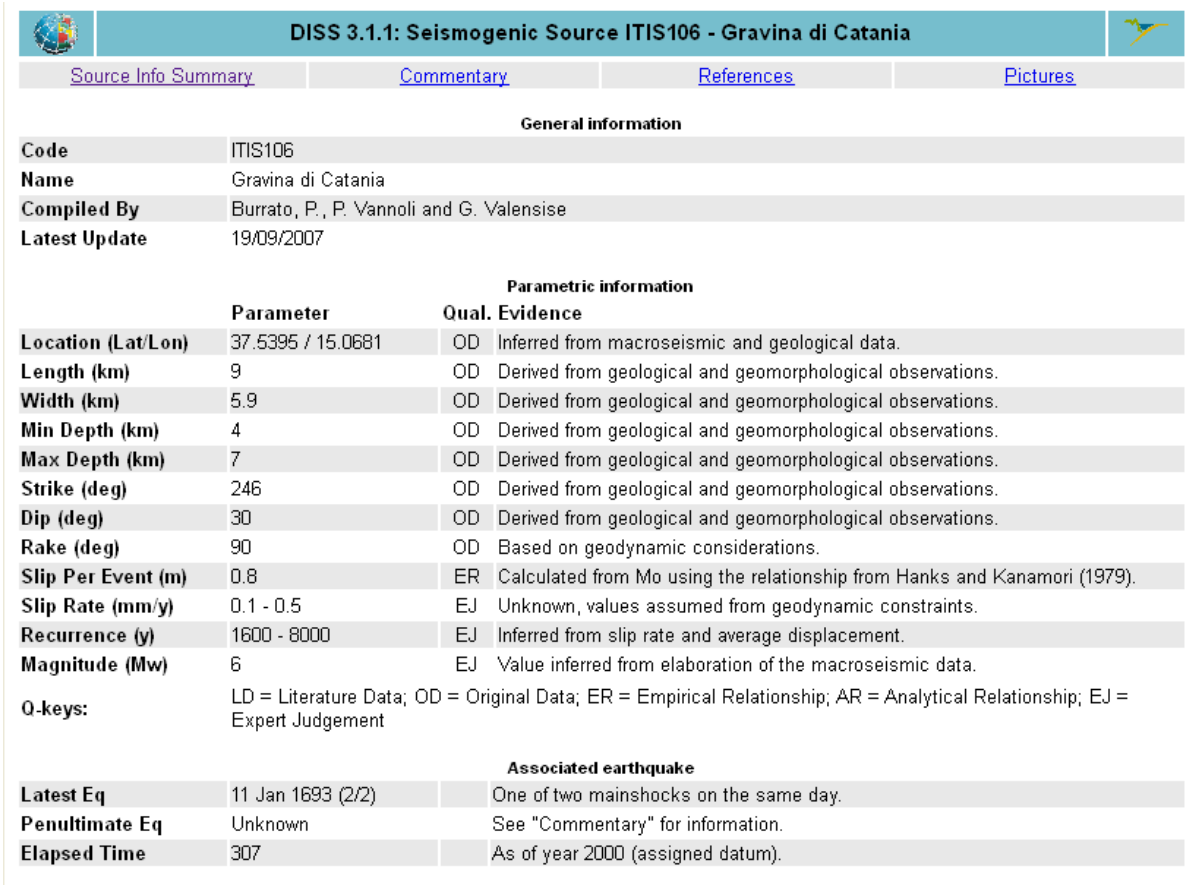


Fig. 17 – Ubicazione delle sorgenti sismogeniche ITIS106 – Gravina di Catania e ITDS011 – Western Ionian rispetto all'area comunale di Aci Castello (in rosso) (DISS Working Group 2010, mod.).

I parametri geometrici e cinematici, significativi per valutare il potenziale della sorgente sono riportati nella scheda di Fig. 18.

Nello stesso database, è riportata la presenza di una sorgente sismogenica, classificata come dibattuta e catalogata con il nome ITDS011 – Western Ionian (Fig. 17), in quanto segnalata nella Letteratura geologica (Bianca et al., 1999; Monaco & Tortorici, 2000; Catalano et al., 2008) quale sorgente della scossa principale del terremoto del 1693, in alternativa a quella accreditata nel database ed ubicata lungo il bordo settentrionale dei Monti Iblei.



DISS 3.1.1: Seismogenic Source ITIS106 - Gravina di Catania

Source Info Summary | Commentary | References | Pictures

General information

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

Parametric information

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

Associated earthquake

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

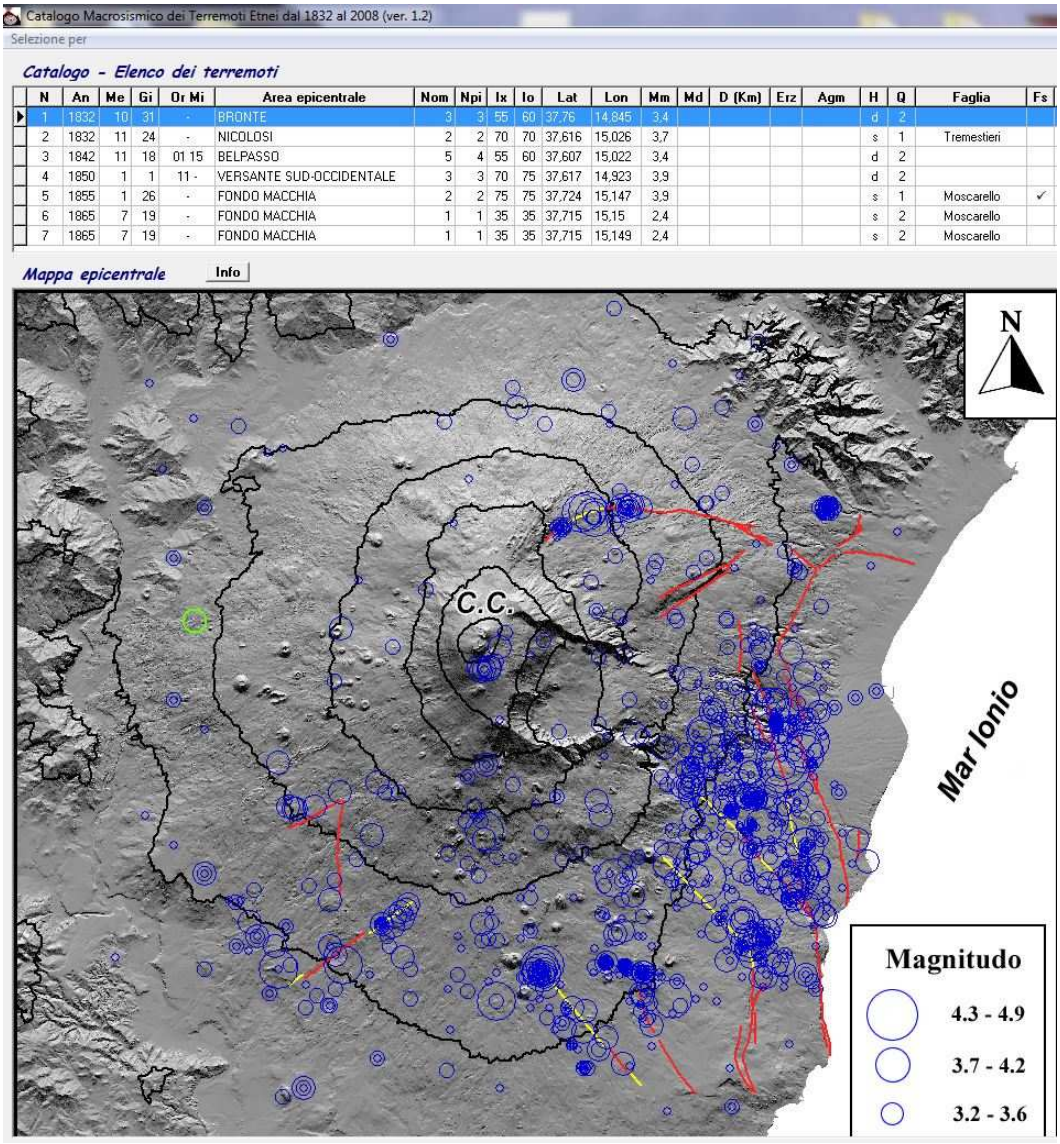
Fig.18 – Scheda classificativa della sorgente sismogenica ITIS106 – Gravina di Catania del Diss 3.1.1 (DISS Working Group 2010, mod.).

Il dibattito ancora aperto sulla reale distribuzione delle sorgenti sismogeniche nella regione, tra l'altro a più elevata pericolosità di base a livello nazionale, è in gran parte basato sui dati di sismicità storica. Al di là delle considerazioni di carattere macrosismico che hanno indirizzato le differenti interpretazioni, queste implicano una diversa definizione della relazione tra deformazione cosismica e sollevamento tettonico dell'area. L'accreditamento di sorgenti a terra, presuppone la considerazione che la deformazione cosismica abbia prodotto solo modificazioni locali, in un contesto di un processo di sollevamento regionale, indipendente dal movimento lungo le strutture e legato a processi dinamici a larga scala (Valensise & Pantosti, 1992). Tale interpretazione implica, inoltre, un drastico ridimensionamento dei parametri di faglia, prima 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.

Per completare il quadro sismotettonico dell'area, va segnalata tutta la storia sismica connessa ai sistemi di faglia etnei che è stata sintetizzata in Fig. 19, dove insieme alla mappa degli epicentri dei terremoti storici inseriti nel Catalogo Macrosismico dei Terremoti Etnei dal 1832 al 1998 (Azzaro et al., 2000, 2009), è riportata una tabella con i terremoti con maggiore risentimento nell'area di Aci Castello. Anche in questo caso, non vi è un'interpretazione unanime sulle reali cause dinamiche di questa sismicità minore, comunque caratterizzata da una maggiore frequenza degli eventi con magnitudo medio-

basse, a testimonianza della scarsa capacità di accumulo di energia lungo le faglie ubicate nell'area vulcanica.



N	An	Me	Gi	Or Mi	Area epicentrale	Nom	Npi	Ix	Io	Lat	Lon	Mm	Md	D (Km)	Erz	Agm	H	Q	Faglia	Fs
1	1832	10	31	-	BRONTE	3	3	55	60	37,76	14,845	3,4					d	2		
2	1832	11	24	-	NICOLOSI	2	2	70	70	37,616	15,026	3,7					s	1	Tremestieri	
3	1842	11	18	01 15	BELPASSO	5	4	55	60	37,607	15,022	3,4					d	2		
4	1850	1	1	11 -	VERSANTE SUD-OCCIDENTALE	3	3	70	75	37,617	14,923	3,9					d	2		
5	1855	1	26	-	FONDO MACCHIA	2	2	75	75	37,724	15,147	3,9					s	1	Moscarello	✓
6	1865	7	19	-	FONDO MACCHIA	1	1	35	35	37,715	15,15	2,4					s	2	Moscarello	
7	1865	7	19	-	FONDO MACCHIA	1	1	35	35	37,715	15,149	2,4					s	2	Moscarello	

Fig.19 – Carta sismo-tettonica del Monte Etna riportata nel Catalogo Macrosismico dei Terremoti Etnei dal 1832 al 1998 (Azzaro et al., 2000, 2009).

La successione geolitologica affiorante nel territorio comunale di Aci Castello è stata ricostruita essenzialmente sulla base delle informazioni derivanti dalla cartografia pregressa, integrata da indagini di terreno svolte nel corso degli studi, con puntuale riscontri nelle stratigrafie dei pochi sondaggi geognostici disponibili. 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). 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). Nel territorio di Aci Castello, le argille ospitano corpi sub-vulcanici costituiti da vulcaniti colonnari (**LPS_SF**), ed intercalazioni di lave e brecce a pillow (**GR**), datate tra 0,58 e 0,46 Ma. Ciò suggerisce che i livelli affioranti rappresentino i livelli sommitali dell'intera successione e che la profondità della base sia valutabile nell'ordine delle diverse centinaia di metri. Il substrato geologico è estesamente affiorante nel settore settentrionale del territorio comunale, mentre è quasi del tutto sepolto nei settori

meridionali, sotto potenti successioni di lave recenti indicate quali terreni di copertura. Dove esposta in superficie, la successione argillosa è ricoperta da lembi di lave molto fratturate (**ALS_SF**), a giacitura sub-orizzontale, che, seppure poggianti su una chiara superficie di erosione modellata sulle argille, sono state comprese nel substrato geologico e classificate quale alternanza di litotipi. Nelle aree meridionali, al tetto della successione argillosa sepolta sono presenti depositi marini sabbiosi, riconosciuti in affioramento nelle aree limitrofe del comune di San Gregorio e ipotizzati in parte del sottosuolo lungo il confine occidentale del territorio comunale (vedi **Allegato 1**, sezione B-B').

Terreni di copertura

Il territorio di Aci Castello è caratterizzato dalla notevole varietà laterale dei terreni di copertura, che contribuisce a definire un quadro del sottosuolo molto variegato che, inevitabilmente, si riflette nell'estrema parcellizzazione della prevedibile risposta sismica locale.

Nella zona di culminazione del substrato sedimentario, nel settore settentrionale del territorio comunale, i terreni di copertura, fatta eccezioni per pochi lembi residui di terrazzi marini (**GC**) e fasce ristrette di depositi di spiaggia (**GW**) lungo costa, sono in gran parte costituite da una coltre detritica, di spessore variabile, che ricopre larghe porzioni del versante costiero della Collina di Vampolieri. 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 (Fig. 20), 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 colamento lento che ha prodotto la commistione con la matrice argillosa.

Fig.20 – Aspetto della coltre detritica che mantella i versanti della Collina di Aci Trezza.

Attualmente, la coltre detritica è alimentata da crolli e ribaltamenti delle lave antiche, al tetto delle argille, esposte in antiche falesie sospese, affioranti all'interno dei territori comunali confinanti (Valverde e Aci Catena). La distribuzione del detrito non è limitata agli originali accumuli posti alla base delle scarpate laviche oggi terrazzate alla sommità del rilievo, ma è molto più ampia ed estesa a tutto il versante costiero emerso durante le fasi finali del sollevamento dell'area. Il detrito, infatti, oggi forma sia una regolare copertura di pochi metri dei pendii argillosi che spessi corpi di accumulo all'interno di valli o in corrispondenza del piede del versante costiero. Il detrito in posizione originaria è riconoscibile per il suo appoggio in profondità su un orizzonte di argille marnose, definite di media consistenza, di spessore variabile da 1 a 5 metri che, riconoscibile in molte stratigrafie di perforazioni, rappresenta la testimonianza della zona

di scorrimento che ha innescato il fenomeno di espandimento laterale della massa lavica. Nelle aree in cui si è accumulato per rimobilizzazione successiva, il detrito, generalmente frammisto ad argille a media consistenza con inclusi litici, raggiunge spessori fino a 30 m e ricopre direttamente una superficie di erosione modellata sulle argille indisturbate (vedi perforazioni 087002P3SS17 e 087002P5SS33) incastrata al disotto dei livelli detritici terrazzati.

La presenza della coltre detritica nella collina di Aci Trezza ha determinato condizioni di diffusa instabilità dei pendii. 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. Questo fenomeno è dimostrato dalle numerose venute d'acqua, permanenti o stagionali, che si possono riconoscere in diversi tratti dei pendii ricoperti dalla massa detritica. Le particolari condizioni idrogeologiche del pendio contribuiscono ad aumentare la plasticità della matrice argillosa, con il risultato di una diffusione del fenomeno di creeping dei pendii naturali che possono essere localmente accentuati laddove i carichi di edifici determinano lo sviluppo di sovrappressioni neutre all'interno della massa argillosa. Il quadro morfologico così complesso non ha ancora avuto una rappresentazione univocamente condivisa.

Nell'"Atlante delle aree in frana a scala" 1:25.000 del Progetto AVI (Aree Vulnerate Italiane) (AA.VV., 1999-2001), sono stati rappresentati solo i maggiori accumuli di detrito che si sviluppano dalla collina di Aci Trezza fino al mare, risparmiando solo poche aree del centro abitato prospiciente la zona del porto e del lungomare (Fig. 21).

Nella banca dati del Progetto IFFI (Inventario dei fenomeni franosi in Italia) (Fig. 22), sono invece riportate le aree della massa detritica soggette a movimenti gravitativi accelerati, ben evidenziati da fenomeni di rottura di manufatti e, molto probabilmente, direttamente ricollegabili al sovraccarico imposto sulla massa detritica.

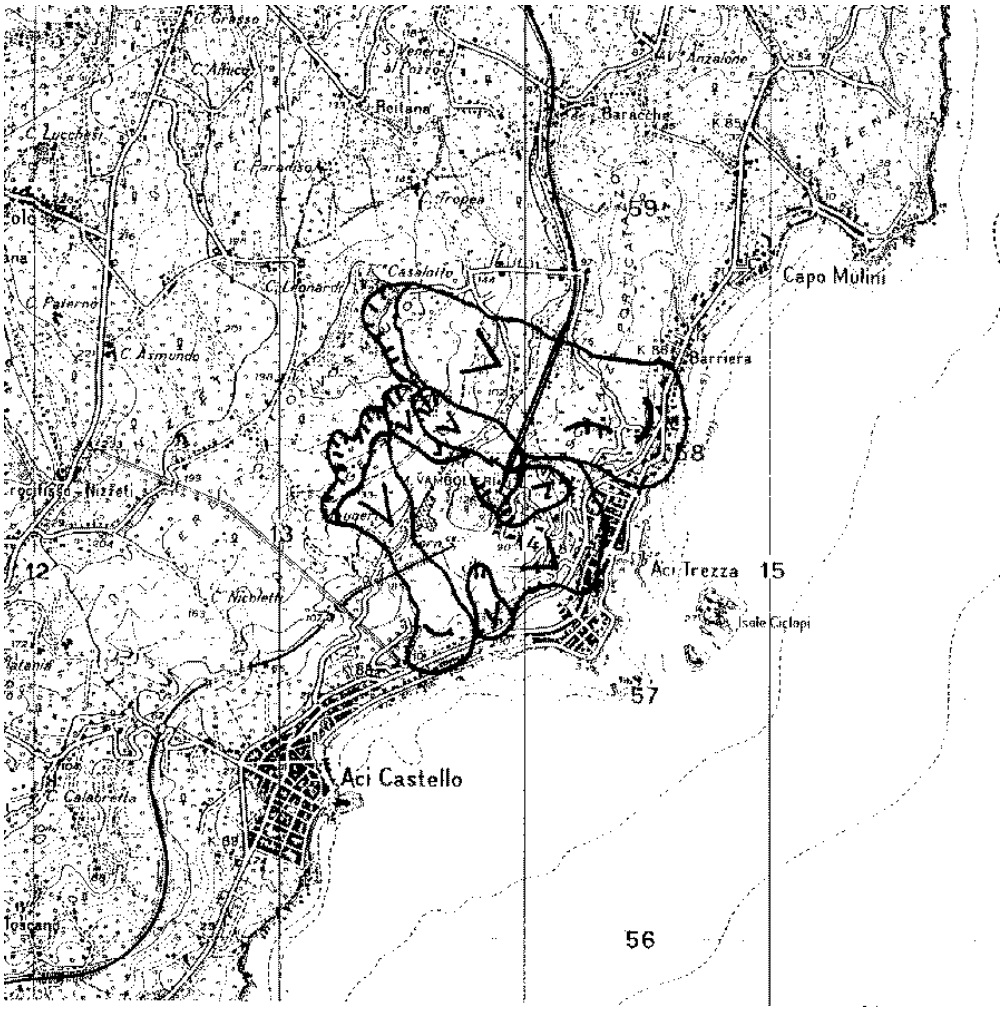


Fig.21 – Stralcio dell'Atlante delle aree in frana a scala 1:25.000 del Progetto AVI (Aree Vulnerate Italiane) (AA.VV., 1999-2001).

http://avi.gndci.cnr.it/docs/schedes3/mains3_it.htm

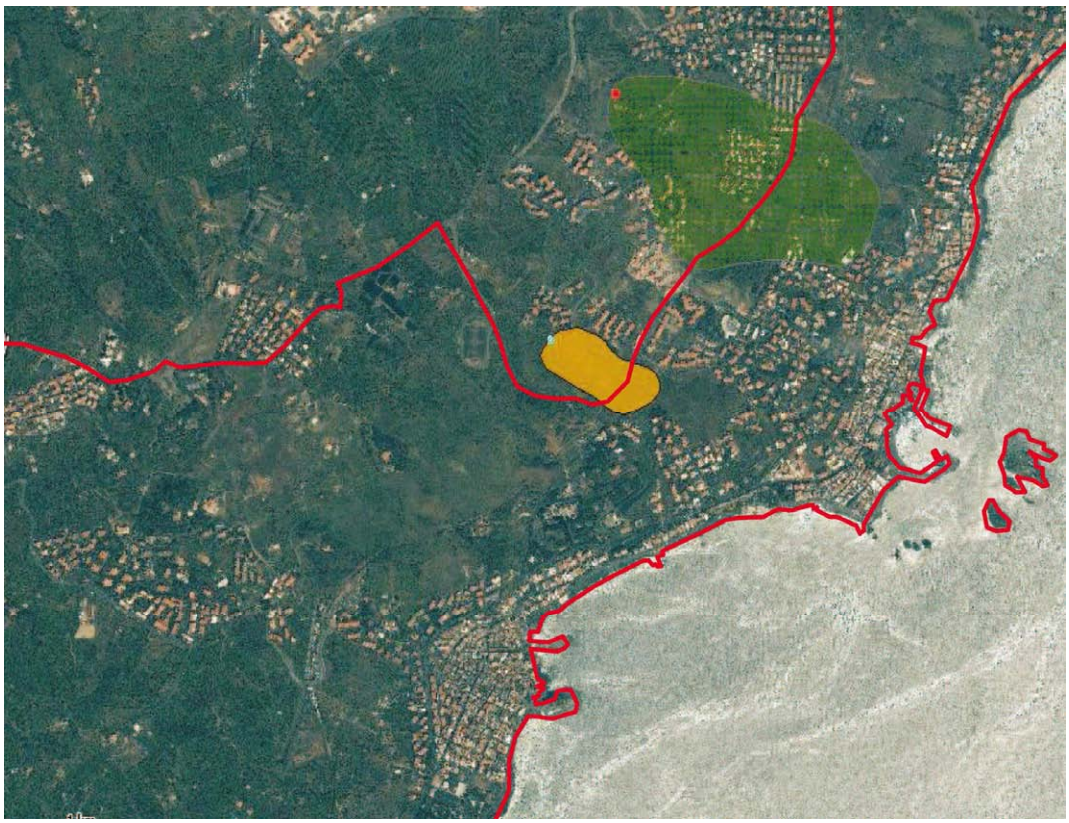


Fig.22 – Fenomeni franosi ricadenti nel territorio di Aci Castello segnalate nella banca dati del Progetto IFFI (Inventario dei fenomeni franosi in Italia). Il limite comunale è indicato in rosso.

(http://sgi1.isprambiente.it/GeoMapViewer/index.html)

Nella cartografia prodotta per il PAI (vedi Fig. 1) sono stati censiti movimenti attivi al momento dei rilievi, fornendo un quadro che, alla luce delle indagini svolte, appare parziale e suscettibile di ampliamento nel momento in cui si dovessero manifestare movimenti in altre aree con le medesime caratteristiche del sottosuolo di quelle oggi attive.

Nella carta geologico-tecnica è stata evidenziata una distribuzione molto più ampia delle aree ricoperte da masse detritiche potenzialmente soggette a dissesti e instabilità di versante. Queste aree non solo comprendono quelle già segnalate dai vari cataloghi e quelle dove la presenza di manufatti indicano la presenza di movimenti gravitativi in atto, ma anche zone i cui caratteri, già descritti in precedenza, sono predisponenti ai movimenti. Va ricordato che ai fini della previsione degli effetti di sito, l'instabilità di versante va trattata considerando le condizioni dinamiche e pertanto deve

contemplare possibili scenari che vanno ben oltre quelle che sono le manifestazioni verificabili in condizioni statiche. In quest'ottica, tutte le aree della Collina di Vampolieri in cui uno spessore maggiore di 3 m di detrito ricopre le argille sono da considerarsi non solo suscettibili di amplificazione delle onde sismiche, ma anche potenzialmente soggette a instabilità, in caso di evento sismico di elevata magnitudo.

Una natura e geometria dei terreni di copertura completamente diverse caratterizzano tutto il settore meridionale del territorio comunale, dove le colate laviche recenti hanno estesamente ricoperto l'originaria morfologia sub-vulcanica. Nel caso delle coperture laviche (**LC**), nella prospettiva della microzonazione di primo livello è necessario tenere conto dell'estrema variabilità laterale delle litofacies che compongono le diverse parti di una singola colata e di contemplare le diverse casistiche di giacitura delle successioni laviche in relazione all'articolazione del substrato sub-vulcanico. La cartografia pregressa da cui attingere le informazioni per la realizzazione degli studi di primo livello, a prescindere dalla scala di dettaglio, è stata basata su suddivisioni dei terreni lavici in unità litostratigrafiche che, fatta eccezione per le colate storiche per le quali sono stati tracciati i limiti, raggruppano più colate laviche senza fornire comunque alcun dettaglio sulla variabilità laterale e verticale dei prodotti. Si è reso dunque necessario procedere ad integrazioni 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 fianchi

che il fronte delle colate sono discontinuità che possono costituire elementi di concentrazione dell'amplificazione sismica in quanto generalmente caratterizzati da una notevole quantità di materiale scoriaceo fittamente alternato a livelli di lave massive, in contrapposizione alle porzioni centrali di riempimento di canali, dove possono prevalere lave massive sormontate da uno spessore variabile di scorie (Fig. 23).

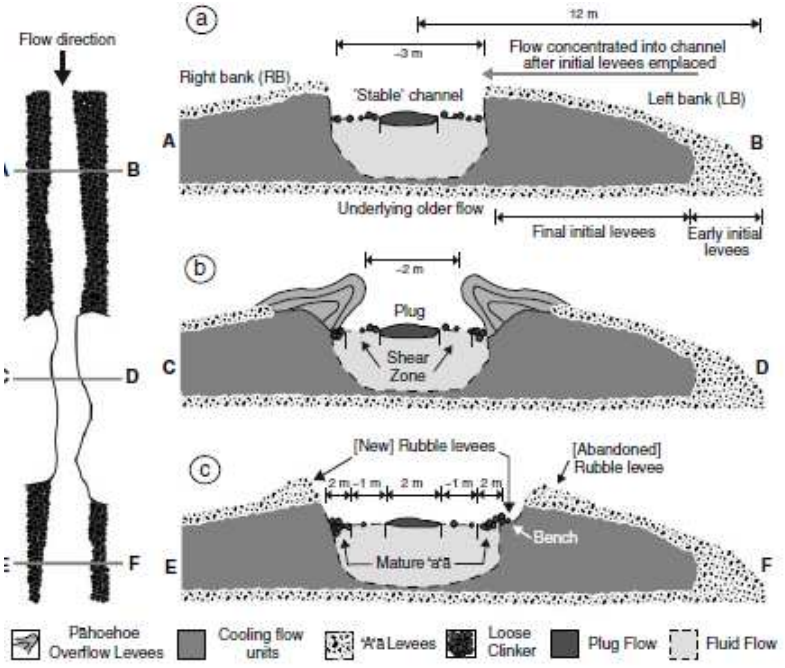


Fig. 23 – Profili di flusso attraverso colate laviche canalizzate nei suoi diversi settori (da Bailey et al. , 2006).

Nella carta geologico-tecnica sono stati riportati anche simbologie relative a forme sepolte della morfologia sub vulcanica (scarpate, versanti, valli, superfici di spianamento e di abrasione marina) e a forme di superficie (ventagli di lava) che hanno permesso di rappresentare in carta le diverse tipologie di geometrie 3D caratteristiche dei corpi lavici rilevati, ben rappresentate nelle tre sezioni geologiche dell'**Allegato 1**. Nei profili, le lave sono state suddivise in unità litostratigrafiche e sono riprodotte nella loro giacitura rispetto alla articolazione del substrato, rappresentato da un versante costiero terrazzato (Fig. 24). Tale ricostruzione è stata in gran parte basata sugli elementi esposti lungo la costa tra Catania e Aci Trezza, in territori comunali limitrofi. Ai fini dell'ubicazione delle

falesie e dei terrazzi sepolti si è fatto riferimento alla geometria delle sovrastanti colate laviche, mentre le quote dei bordi interni dei terrazzi dei diversi stadi isotopici sono state ricavate estrapolando i dati rilevati dalla Piana di Catania ad Acireale (Catalano et al., 2004; Catalano & Tortorici, 2010).

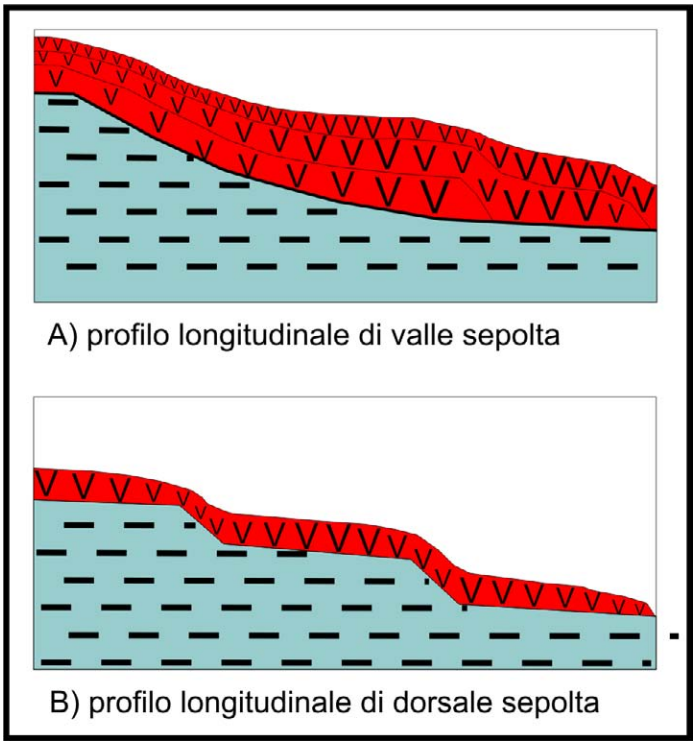


Fig. 24 – Esempi di rapporti geometrici tra copertura lavica e substrato sedimentario (da Catalano & Tortorici , 2010).

Nel Profilo A-A' (**Allegato 1**) sono stati raffigurati lembi discontinui di depositi di due distinti ordini di terrazzi marini, attribuibili rispettivamente agli Stadi Isotopici dell'Ossigeno (OIS) 5.1 (80 ka) e 3.3 (60 ka), oltre alla piattaforma olocenica posta in corrispondenza dell'attuale livello del mare. Nella porzione occidentale del profilo B-B' è

possibile riconoscere la copertura sabbiosa delle argille marnose, ricoperta da lave alcaline antiche e modellate dalla superficie di abrasione marina dello stadio isotopico OIS 5.3 (100 ka), mentre nella porzione centrale ed orientale sono riprodotti i terrazzi degli stadi OIS 5.1 (80 ka), senza deposito, e OIS 3.3 (60 ka) con deposito. Infine nel profilo C-C' è rappresentata la faglia presunta, sepolta da detrito e lave, che separa l'alto morfologico della Collina di Vampolieri dal basso morfologico occupato dalle lave recenti. Alla struttura viene attribuita una cinematica obliqua destra, analoga a quella riscontrata lungo la Faglia di San Gregorio, riconosciuta nel territorio comunale limitrofo, cui essa sembra ricollegarsi geometricamente. Nel lato ribassato della struttura sono riconoscibili 4 distinte spianate di abrasione, con o senza deposito, corrispondenti ai terrazzi degli Stadi Isotopici 5.5 (125 ka), 5.3 (100 ka) e 3.3 (60 ka) e alla piattaforma olocenica.

Le lave di copertura mostrano differenti geometrie, connesse alle caratteristiche reologiche degli originali flussi lavici, al gradiente della paleotopografia che esse hanno ricoperto e all'orientazione degli elementi morfologici pre-esistenti, rispetto alla direzione del flusso. Il versante sepolto dalle lave nel settore meridionale del territorio comunale è stato raggiunto da flussi lavici circa ortogonali. In questo caso, le singole colate laviche tendono a mantellare, con spessori generalmente esigui, le porzioni di versante ad elevata acclività circa ortogonali al flusso, presentando spessori minimi in corrispondenza di orli di scarpata. In questi tratti, generalmente le colate si restringono e la loro morfologia è caratterizzata da una potente copertura scoriacea o a lastroni, connessa alla frammentazione delle porzioni più esterne raffreddate causata dall'accelerazione del flusso interno in corrispondenza del cambio di pendenza. Il risultato è che gli apici delle scarpate sepolte e tutti i tratti più acclivi dei versanti sono sepolti da una successione di lave poco spessa e costituita da una fitta alternanza di livelli scoriacei e massivi circa paralleli al versante sepolto. Una netta differenziazione delle geometrie delle lave di copertura contraddistingue le rotture di pendio al piede dei versanti sepolti. Nel caso di colate poco alimentate e di elevata viscosità, la colata tende a formare ventagli, caratterizzati da una fitta alternanza di scorie e banchi massivi

clinostratificati, caratterizzati da notevole discontinuità sia laterale che verticale. I ventagli di lava sono caratterizzati da spessori minimi all'apice e al piede, mentre raggiungono spessori massimi di oltre 50 m nella parte centrale, in corrispondenza della verticale del piede del pendio sepolto dalle lave.

Nel caso di colate ben alimentate e molto fluide, la colata tende ad espandersi lateralmente sulle superfici sub-pianeggianti, dando luogo a banchi massivi metrici sub-orizzontali, con notevole continuità laterale, generalmente interessati da intensa fessurazione verticale, con copertura scoriacea limitata o assente. In alcuni casi, gli espandimenti possono raggiungere anche spessori fino a circa 25 m.

Repentine discontinuità laterali si registrano tra colate laviche e substrato nel caso di colate che hanno riempito valli o si siano canalizzate parallelamente a versanti pre-esistenti. In entrambi i casi, in cui si registra l'appoggio di livelli sub-orizzontali di lave su pendii inclinati, non è stato possibile verificare una connessione tra litofacies prevalente e giacitura delle lave. Queste possono essere invariabilmente composte da colate a morfologia semplice, costituita da una successione regolare di banchi lavici massivi con copertura di scorie, o più complessi, avvicinandosi alla tipologia tipicamente riscontrata nei ventagli di lava, con maggiore discontinuità sia laterale che verticale dei livelli massivi e scoriacei. Sarà pertanto necessario, nel corso degli studi di secondo livello, procedere ad indagini specifiche per verificare i caratteri litologici delle lave di riempimento delle paleovalli riconosciute.

4. Dati geotecnici e geofisici

I dati geotecnici e geofisici disponibili per l'area di studio, derivano da n. 97 indagini complessive, di cui n. 63 indagini pregresse e n. 34 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. 70 indagini puntuali e n. 27 indagini lineari. L'insieme delle indagini puntuali e lineari disponibili (per l'ubicazione si veda la carta delle indagini) sono schematizzate per tipologia nella sottostante tabella (Tab. 2):

	Geotecnica in sito (GS)	Geologia (GG)		Geofisica (GF)	Idrogeologia (IG)		Totale			
Tot. Ind. Punt.	SPT	SS	SI	HVSR	LF	SP	GS	GG	GF	IG
70	12	5	3	34	14	2	12	8	34	16

	Geofisica (GF)	Geologia (GG)
Tot. Ind. Linea.	RAD	SGE
27	18	9

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., messi a disposizione dall'amministrazione comunale di Aci Castello, e da indagini integrative realizzate per il monitoraggio delle aree prioritarie in località Collina di Vampolieri, fornite dal Genio Civile di Catania. In particolare le indagini geognostiche ricadenti nell'area di studio, realizzate per il monitoraggio delle aree prioritarie, consistono in cinque sondaggi meccanici a carotaggio continuo (ID_INDPU: 087002P1SS1, 087002P2SS9, 087002P3SS17, 087002P4SS25 e 087002P5SS33), che raggiungono profondità variabili da 30 a 40 metri. Nel corso delle prime quattro perforazioni sono state effettuate tre prove penetrometriche S.P.T. per ogni sondaggio. Esse costituiscono le uniche informazioni sulle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni attraversati dai sondaggi. L'esiguità di tali dati non permette di effettuare una caratterizzazione completa del sottosuolo, in quanto si hanno informazioni esclusivamente per litotipi costituiti da

materiale detritico ghiaioso con clasti vulcanici in matrice argillosa, Argille grigio-azzurre del substrato pre-etneo, argille brune derivanti dall'alterazione di queste ultime. Nelle prove penetrometiche di tipo SPT, i terreni investigati, prevalentemente ghiaiosi, sono caratterizzati da un numero NSPT maggiore di 50 (una volta la prova è andata a rifiuto); Nspt maggiori compresi tra 27 e 35 si hanno nel substrato argilloso, mentre la porzione alterata di quest'ultimo ha fornito valori leggermente più bassi (NSPT = 21-27). I risultati delle prove SPT, distinte per ogni litotipo sono schematizzati nelle tabelle 1, 2 e 3 dell'**Allegato 2**.

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

Tab.3 – Classificazione dei terreni secondo il sistema USCS

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

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

I terreni affioranti nell'area e riconosciuti nella stratigrafia dei sondaggi sono stati, quindi, raggruppati secondo le categorie previste dalla legenda. Per ogni categoria riconosciuta, si sono raccolte tutte le informazioni disponibili sui principali caratteri geotecnici che sono stati riassunti nella serie di schede riportate nell'**Allegato 2** (tabelle 1-3) 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. Nel Capitolo 8 della Relazione geologica per il P.R.G. di Aci Castello vengono forniti i parametri geotecnici e geomeccanici dei principali litotipi affioranti. Si tratta del peso di volume, coesione, coesione residua e coesione non drenata, angolo di attrito interno e angolo di attrito interno residuo. E' da rimarcare però che i valori riportati nella relazione, e riassunti nella tabella 4 dell'**Allegato 2**, non derivano da indagini geotecniche effettuate in occasione degli studi per il P.R.G., ma sono dati desunti da <<innumerevoli esperienze di prove geotecniche in situ e in laboratorio disponibili sia nella letteratura geologica e geotecnica, sia in studi per altri lavori negli stessi litotipi>>. La scarsa attendibilità dei dati riportati nella tabella 4 dell'**Allegato 2**, ha dunque impedito il loro utilizzo per la definizione dei parametri geotecnici dei terreni affioranti nell'area oggetto del presente studio.

I dati geofisici disponibili derivano da indagini geofisiche pregresse costituite da n. 18 prospezioni elettromagnetiche effettuate tramite G.P.R. (Georadar). Tutte le indagini ricadono nelle aree di affioramento delle "Lave di copertura" (LC) ed investigano una profondità di 10 metri, mettendo in evidenza la presenza pressoché costante di un esiguo spessore (max 1 m) di materiale di riporto (indicato nelle indagini come livello "A"), al di sotto del quale si individuano trovano due colate laviche sovrapposte (livelli "B" e "C") caratterizzate da una superficie di contatto molto articolata. Particolare interesse è rivestito dall'indagine 087002L3, che si estende per 32 m in direzione NE-SO, attraversando quasi ortogonalmente il segmento di faglia che interessa il settore occidentale del territorio comunale di Aci Castello, in località Ficarazzi. Il profilo elettromagnetico in questione mostra, infatti, una superficie di contatto tra i due livelli lavici che ad una distanza di 7-8 m dal punto A presenta una scarpata molto ripida, alta circa 3 m, che potrebbe essere legata all'attività della faglia.

Al fine di valutare le frequenze proprie di oscillazione dei diversi siti l'Università di Catania ha effettuato n. 34 misure di microtremore ambientale (noise), distribuite

sull'intero territorio comunale, i cui risultati sono sintetizzati nell'allegata carta delle frequenze, nella quale per ogni punto di misura sono riportate le frequenze alle quali il moto del terreno viene amplificato per risonanza stratigrafica e l'entità dell'amplificazione quantificata sulla base del rapporto H/V (rapporto tra le componenti spettrali orizzontali, H, e verticale, V, del moto del suolo). Per il dettaglio sulla tecnica adottata si rimanda all'**Allegato 3** 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 ~7 Hz. In alcuni casi, all'interno del suddetto range di frequenza, vengono segnalati due o tre picchi, che abbracciano un po' tutti i valori dell'intervallo considerato. Tali picchi sono associati a frequenze proprie di oscillazioni differenti, riferibili a discontinuità stratigrafiche ubicate a profondità differente, 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 Aci Castello, 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 settentrionali del territorio comunale,

dove gli elementi significativi ai fini della microzonazione sono riconducibili al classico modello a due strati, con un substrato non rigido, non classificabile quale bedrock sismico, sul quale insiste una coltre detritica di spessore molto variabile e notevole continuità laterale. Nella stesura del modello del sottosuolo adottato, i dati diretti hanno avuto un ruolo molto marginale, anche se hanno permesso di discriminare i caratteri tipo delle sequenze detritiche con la distinzione di sequenze direttamente riferibili al processo gravitativo che le ha generate (espandimenti laterali e successivo colamento lento) e sequenze invece da attribuire a successivi fenomeni di rimobilizzazione della massa detritica originaria. Queste due tipologie sono state discriminate anche in base alle forme del rilievo, in quanto il detrito originario è stato riconosciuto mantellare la pre-esistente topografia, mentre i detriti rimobilizzati si presentano come forme di accumulo che raggiungono il piede del versante.

Nelle interpretazioni 3D proposte per la 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 i criteri per la ricostruzione della morfologia subvulcanica e dell'andamento del substrato sedimentario al di sotto della copertura lavica che caratterizza l'area. Nonostante 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 delle Vs 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. Tale modello prevede quindi che, almeno per tutta la porzione superiore delle argille vi sia un profilo verticale di velocità delle onde di taglio con una diminuzione continua e graduale delle Vs. Nei settori settentrionali del territorio comunale, l'unica discontinuità di rilievo, ai fini della risposta di sito, potrà essere riferita al contatto detrito-argille. In quest'area le misure di microtremore ambientale indicano in alcuni siti di affioramento del detrito massimi di amplificazione nel range di frequenza tra 2,5 e 10 Hz circa, testimoniando una profondità limitata del limite di contrasto di impedenza.

Una situazione molto più complessa è stata ricostruita nel settore meridionale del territorio comunale, dove la stratigrafia dei terreni vulcanici degli ultimi metri dalla superficie è caratterizzata 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 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 oscillanti tra 5 e 15 Hz, sugli espandimenti lavici, e intorno ai 3 Hz in corrispondenza dei ventagli di lava, che non dovrebbero manifestarsi nel caso di bedrock sismico affiorante. 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 Aci Castello, 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 il monitoraggio delle aree prioritarie in località Collina di Vampolieri, forniti dal Genio Civile di Catania. Il modello geologico ricostruito sulla base della profonda revisione dei rilievi geologici condotti per la realizzazione del PRG ha trovato puntuale riscontro nelle stratigrafie dei sondaggi disponibili per l'area, anche se va segnalato l'esiguo numero (5) di indagini dirette disponibili. Tali indagini sono costituite da sondaggi a carotaggio continuo ubicati nel settore nord-orientale del territorio comunale, interessato da estesi movimenti gravitativi superficiali che coinvolgono le coperture detritiche che ricoprono il substrato geologico pre-etneo (vedi Capitolo 3). Nonostante in tutti i sondaggi siano state effettuate diverse prove Le Franc a varie profondità, tra i dati forniti dal Genio Civile di Catania non vi è traccia dei valori del coefficiente di conducibilità idraulica da esse misurati; così come non si dispone dei valori della soggiacenza misurata nei sondaggi 087002P4SS25 e 087002P5SS33. Anche le

misure registrate attraverso tre tubi inclinometrici (087002P1SI5, 087002P2SI13 e 087002P3SI21) non sono in nostro possesso.

Per quanto riguarda le indagini geofisiche, i profili elettromagnetici realizzati attraverso metodologia Georadar hanno consentito di investigare esclusivamente gli orizzonti lavici più superficiali (vedi Capitolo 4).

Infine, anche le indagini geotecniche risultano estremamente deficitarie (vedi Capitolo 4).

Anche gli elaborati cartografici allegati agli studi per il P.R.G. non forniscono informazioni esaustive sulle diverse tematiche trattate. A titolo di esempio, la Tav. 13 "Carta Idrogeologica scala 1:5.000" (Fig. 25) si limita a suddividere i terreni in base alla loro permeabilità, senza fornire alcuna informazione sugli acquiferi, né sulla presenza e sull'andamento in sottosuolo di una o più falde. Gli allegati 1-20 rappresentano, invece, n. 10 sezioni topografiche e relativa ubicazione, in ognuna delle quali viene immaginata una superficie di discontinuità litologica parallela al profilo topografico e una superficie di scivolamento determinata non si capisce bene secondo quali criteri (Fig. 26). Utilizzando dati geotecnici di letteratura, attraverso un software di calcolo, per ogni sezione è stata effettuata una verifica di stabilità che si è tradotta nella determinazione di un "coefficiente di stabilità", ipotizzando il verificarsi di condizioni statiche, dinamiche (scuotimento sismico del terreno), presenza oppure assenza di falda acquifera (Fig. 26). Naturalmente, nel presente studio, questo tipo di approccio non è stato considerato attendibile.

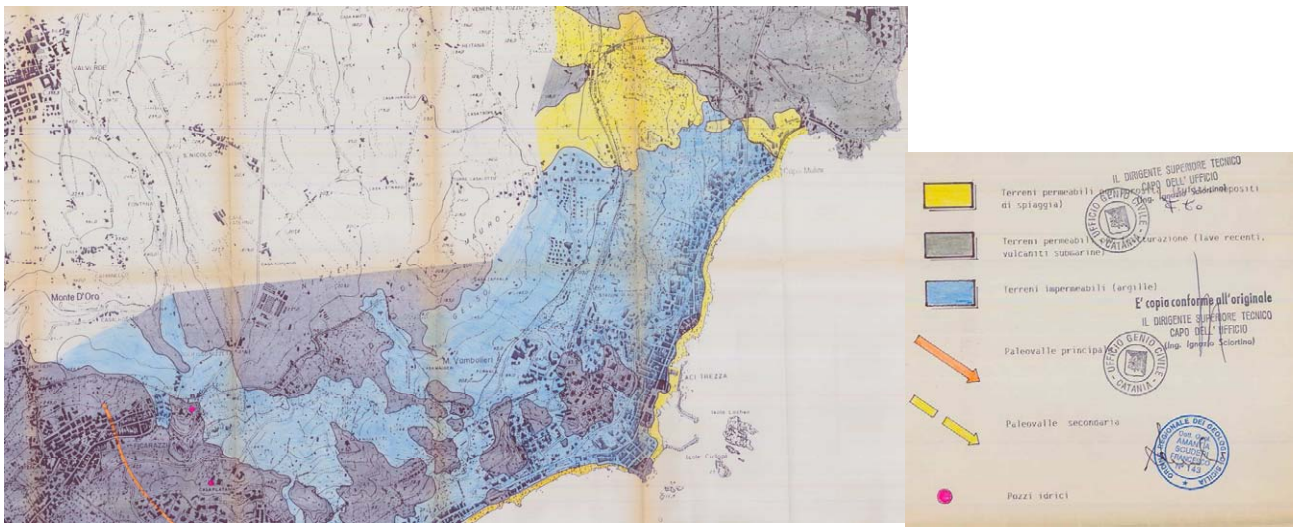


Fig. 25 – Carta Idrogeologica allegata agli studi per il P.R.G. di Aci Castello e relativa legenda.

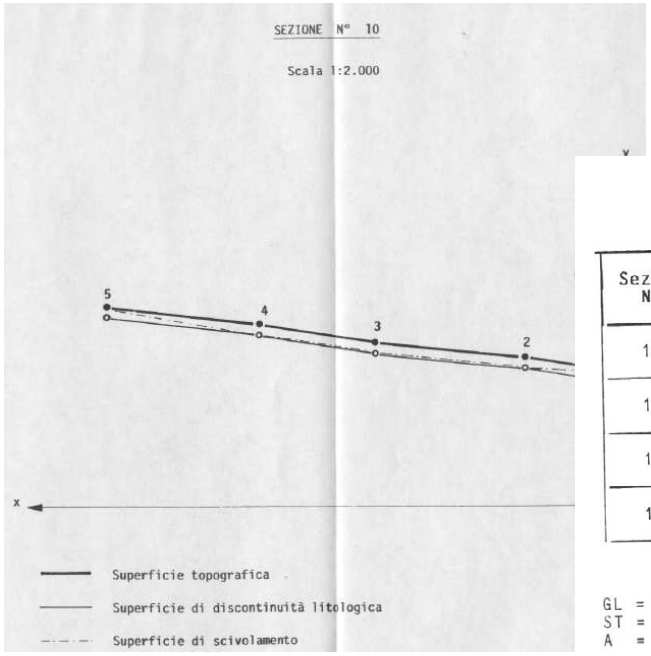


TABELLA 4

Sezione N°	Verifica GL - LOC	Condizioni ST - SIS	Falda A - P	Coefficiente di stabilità
10	GL	ST	A	1,65
10	GL	SIS	A	1,01
10	GL	ST	P	0,81
10	GL	SIS	P	0,45

GL = verifica globale
ST = condizioni statiche
A = falda assente
LOC = verifica locale
SIS = condizioni sismiche
P = falda presente

Fig. 26– Sezione topografica 10 e relativa tabella di verifica della stabilità riportata nella relazione geologica per il P.R.G. di Aci Castello.

Alla luce di quanto sopra esposto, nelle successive fasi di approfondimento si suggerisce di analizzare meglio dal punto di vista geotecnico e idrogeologico i litotipi che costituiscono il substrato geologico (Argille grigio-azzurre e corpi lavici che le ricoprono) e i terreni di copertura. Particolare attenzione andrebbe riservata alle coperture detritiche responsabili dei movimenti gravitativi superficiali in atto o che si potrebbero attivare in occasione di un evento sismico. Tali terreni andrebbero caratterizzati dal punto di vista

granulometrico e andrebbero misurati con accuratezza il loro contenuto d'acqua e i parametri geotecnici. Bisognerebbe, inoltre, reperire i dati forniti dai tre tubi inclinometrici per meglio definire la profondità della superficie di scorrimento e procedere ad una accurata ricostruzione delle curve isopiezometriche della falda superficiale in tali terreni, che ne riducono la resistenza al taglio, oltre che nei depositi marini terrazzati che affiorano nella porzione nord-orientale dell'area di studio, al fine di poter individuare quelle aree potenzialmente soggette a fenomeni di liquefazione.

Inoltre, la totale assenza di indagini sismiche che consentano di ottenere accurati valori delle Vs e la povertà dei dati di superficie ed i sondaggi utilizzati non hanno permesso, di definire la natura, i caratteri geotecnici e la geometria del bedrock sismico, che rimangono obiettivi imprescindibili nelle successive fasi d'approfondimento.

7. Metodologie di elaborazione e risultati

I dati di base e gli elaborati cartografici utilizzati (vedi elenco in Capitolo 1), riguardanti diversi aspetti dell'assetto geologico dell'area comunale (geologia, 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 contributo non del tutto soddisfacente è stato dato dalle indagini puntuali (messe a disposizione dal Genio Civile di Catania), rappresentate da n. 5 sondaggi a carotaggio continuo, 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). Dato il numero esiguo di indagini a nostra disposizione, un ruolo fondamentale per la determinazione di tali zone è stato svolto dalle sezioni geologiche a scala 1:5.000, dove si è cercato di evidenziare quegli elementi di non immediata lettura nella "Carta geologico tecnica" quali i ventagli di lava sepolti e gli espandimenti lavici su superfici di spianamento sepolte, che determinano forti variazioni degli spessori e della giacitura dei corpi lavici stessi. 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. 27). 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. 28). Infine, combinando le due carte fin qui elaborate, è stata ottenuta la carta in cui sono evidenziati i pendii soggetti a potenziali fenomeni di amplificazione topografica (Fig. 29).

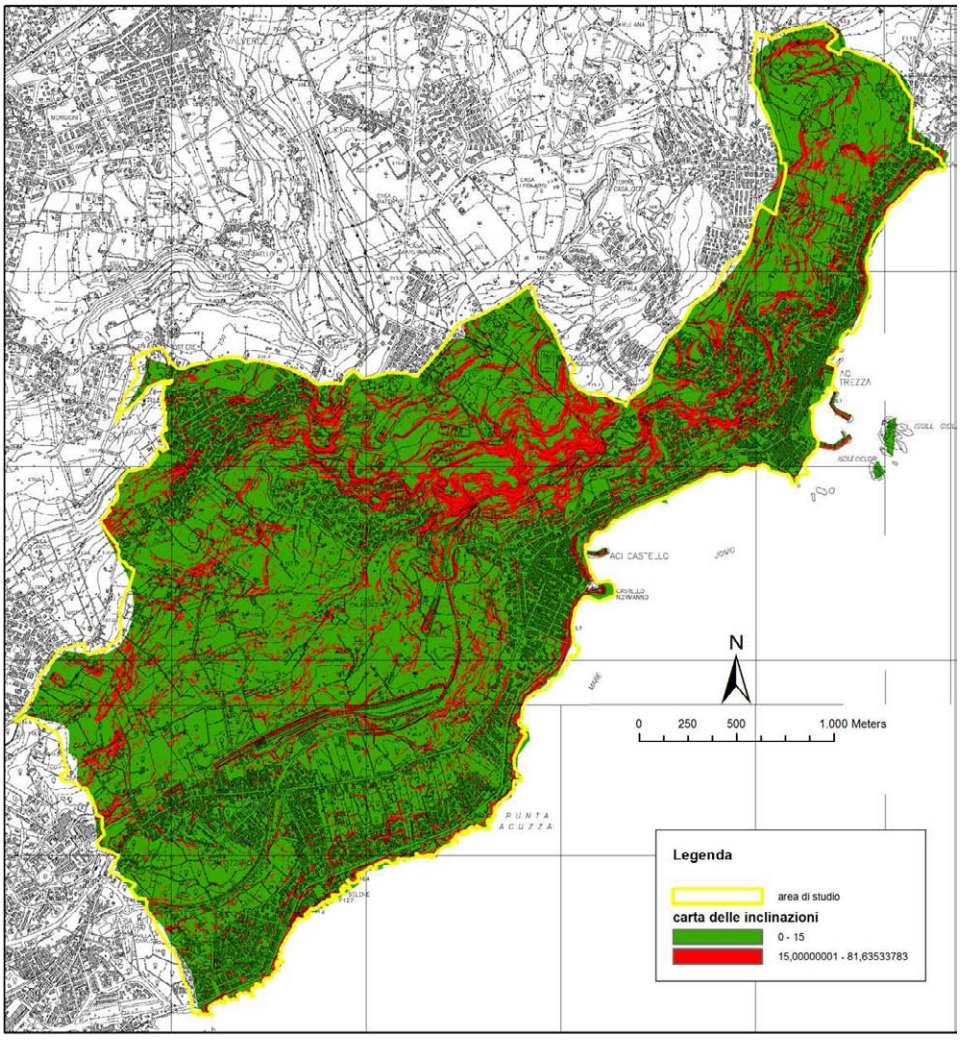


Fig. 27 – Carta delle inclinazioni dell'area di studio. Sono distinte inclinazioni < 15°, in verde, e > 15°, in rosso.

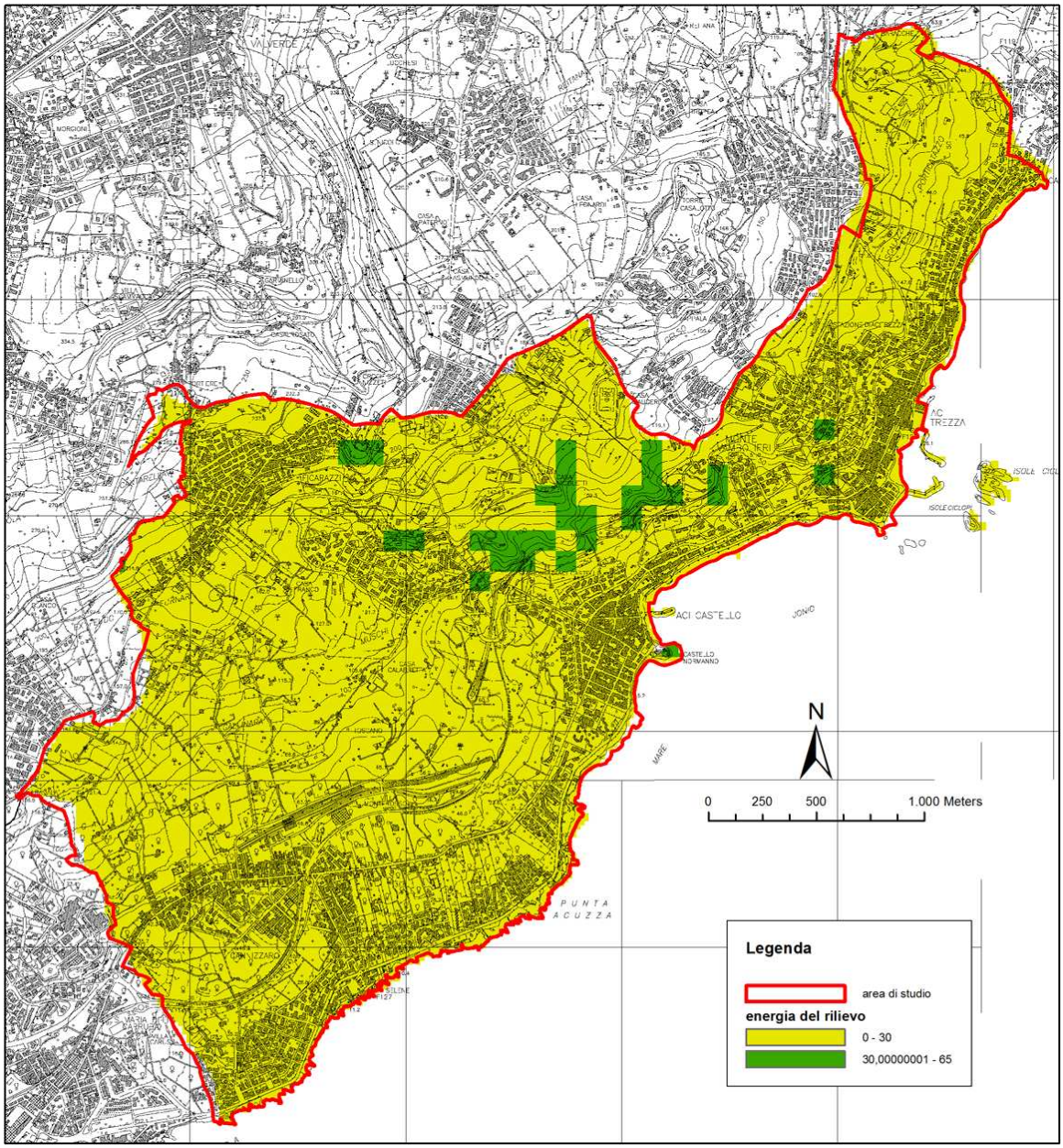


Fig. 28 – Carta dell'energia del rilievo dell'area di studio . Sono distinti dislivelli < 30 m, in giallo, e > 30 m, in verde.

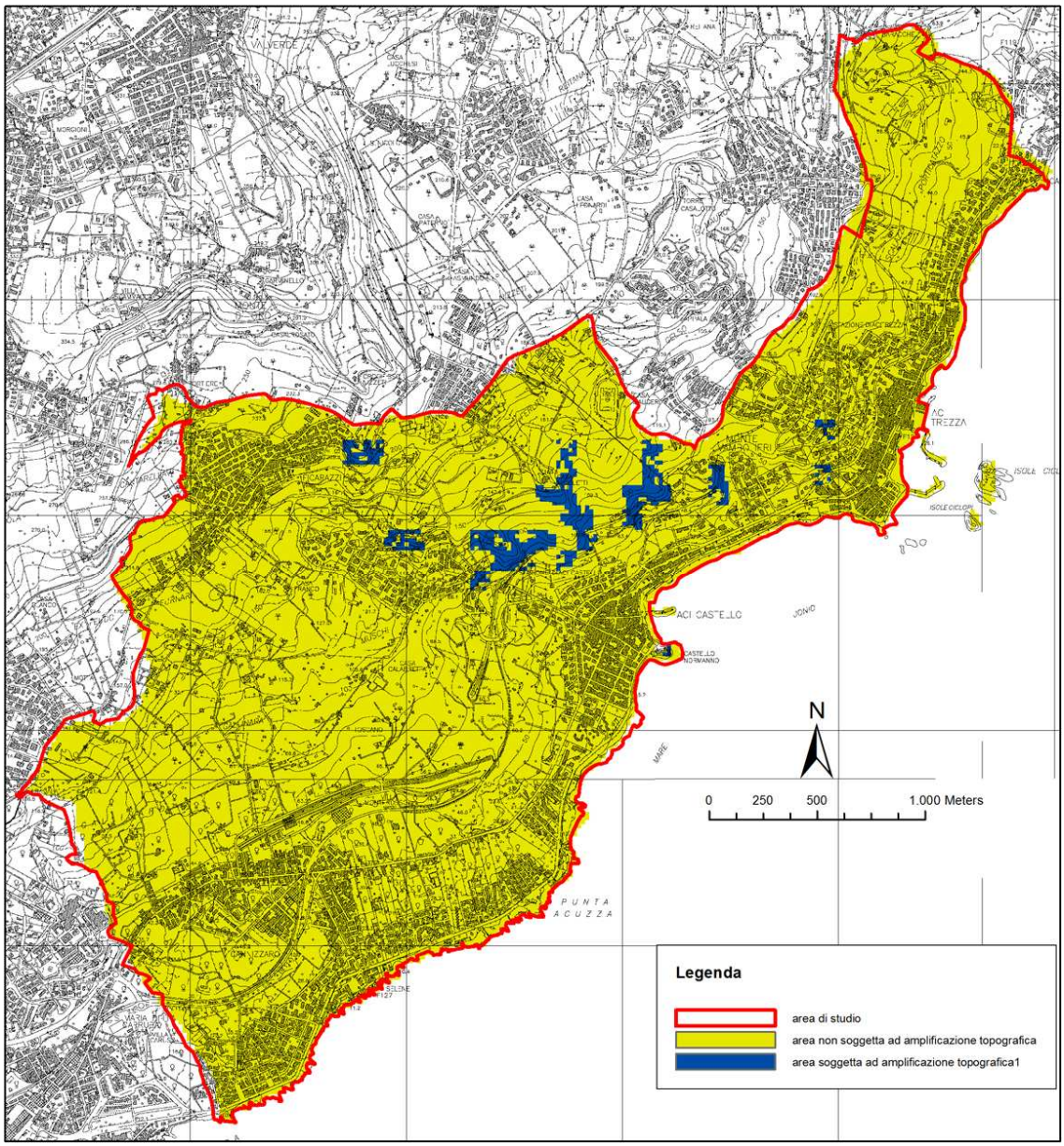


Fig. 29 – Carta dell'amplificazione topografica dell'area di studio . Le aree potenzialmente soggette ad amplificazione topografica sono evidenziate in blu.

Per quanto riguarda le instabilità manifeste e potenziali, si è fatto riferimento agli studi pregressi del PAI (Fig. 30) 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" del PAI (Area Territoriale tra i bacini del F. Simeto e del F. Alcantara – 095) vengono riportati 28 dissesti, elencati nella seguente tabella:

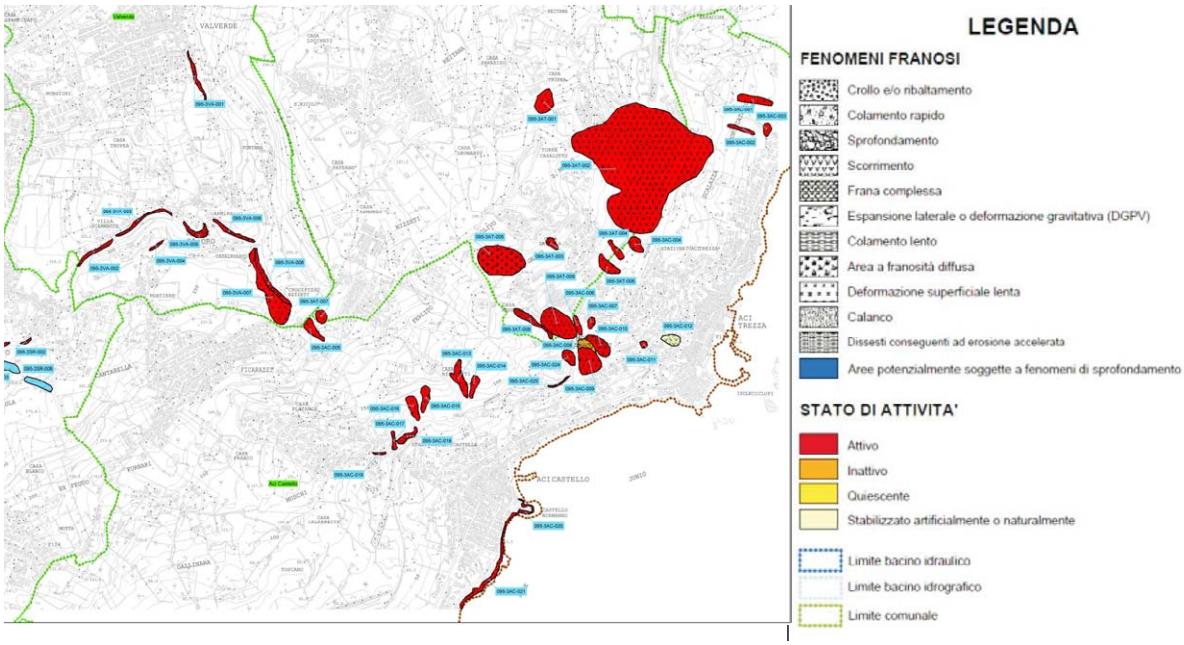


Fig. 30 – Stralcio della "Carta dei dissesti N° 23-27" (SS D 634020-634060) del PAI.

Sigla	ID_i	Tipologia	Attività	Pericolosità	Rischio
095-3AC-001	19	Deformazione superficiale lenta	Attiva	Bassa	–
095-3AC-002	21	Deformazione superficiale lenta	Attiva	Bassa	–
095-3AC-003	20	Deformazione superficiale lenta	Attiva	Bassa	–
095-3AC-004	21	Deformazione superficiale lenta	Attiva	Bassa	–
095-3AC-005	44	Deformazione superficiale lenta	Attiva	Bassa	–
095-3AC-006	26	Deformazione superficiale lenta	Attiva	Bassa	–
095-3AC-007	30	Deformazione superficiale lenta	Attiva	–	Medio
095-3AC-008	33	Scorrimento	Inattiva	Bassa	–
095-3AC-009	34	Deformazione superficiale lenta	Attiva	–	Molto elevato
095-3AC-010	29	Deformazione superficiale lenta	Attiva	Bassa	–
095-3AC-011	31	Deformazione superficiale lenta	Attiva	–	Medio
095-3AC-012	32	Scorrimento	–	–	Moderato
095-3AC-013	37	Deformazione superficiale lenta	Attiva	Bassa	–
095-3AC-014	38	Deformazione superficiale lenta	Attiva	Bassa	–
095-3AC-015	39	Deformazione superficiale lenta	Attiva	Bassa	–
095-3AC-016	40	Deformazione superficiale lenta	Attiva	Bassa	–
095-3AC-017	41	Deformazione superficiale lenta	Attiva	Bassa	–
095-3AC-018	42	Crollo e/o ribaltamento	Attiva	Elevata	–
095-3AC-019	43	Complessa	Attiva	Media	–
095-3AC-020	45	Deformazione superficiale lenta	Attiva	Molto elevata	–
095-3AC-021	46	Crollo e/o ribaltamento	Attiva	Elevata	–
095-3AC-024	35	Scorrimento	Attiva	–	Molto elevato

095-3AC-025	36	Deformazione superficiale lenta	Attiva	–	Molto elevato
095-3AT-002	22	Deformazione superficiale lenta	Attiva	Media	Elevato
095-3AT-004	25	Deformazione superficiale lenta	Attiva	Bassa	–
095-3AT-006	24	Deformazione superficiale lenta	Attiva	Bassa	–
095-3AT-007	28	Deformazione superficiale lenta	Attiva	Bassa	–
095-3AT-009	26	Scorrimento	Attiva	Elevata	Elevato

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 i comuni di Aci Castello e Aci Catena.

Tra questi il dissesto 095-3AT-009 viene segnalato anche nella carta redatta nel Progetto IFFI (Inventario dei fenomeni franosi in Italia) (Fig. 22).

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 colamenti generatisi all'interno delle coltri detritiche che ricoprono il substrato geologico (vedi Capitolo 3). Tali colamenti interessano estesamente il rilievo collinare che si estende dall'abitato di Aci Castello alla frazione di Aci Trezza, così come segnalato anche nell'Atlante delle aree in frana a scala 1:25.000 del Progetto AVI (Aree Vulnerate Italiane)(Fig. 21; AA.VV., 1999-2001). Per spiegare la grande diffusione dei colamenti all'interno del territorio comunale, nella relazione del PAI si legge: << L'intensa urbanizzazione degli ultimi trent'anni ha modificato, condizionato e in molti casi obliterato l'originario reticolo idrografico, tanto che, in occasione di eventi piovosi intensi, il deflusso avviene lungo gli assi viari. D'altra parte, la scarsa capacità della rete drenante favorisce la possibilità di ristagni e infiltrazioni concentrate in corrispondenza dei frequenti accumuli detritici e degli ammassi rocciosi permeabili determinando così continui processi di imbibizione e plasticizzazione delle argille che causano lo scadimento delle caratteristiche geomeccaniche e delle condizioni di stabilità. Sono

pertanto diffuse le aree in dissesto per deformazioni più o meno superficiali che molto spesso coinvolgono i manufatti>>.

Bisogna inoltre segnalare che il dissesto 095-3AC-025, definito dal PAI una deformazione superficiale lenta, è stato interpretato come una frana da crollo o ribaltamento (Tipo_i = 3011).

Altre tipologie di instabilità sono strettamente connesse alla presenza di due strutture tettoniche attive e capaci. Si tratta della faglia normale che si sviluppa quasi per intero nell'adiacente comune di San Gregorio, la cui terminazione orientale si estende, con direzione NO-SE, per una lunghezza di circa 415 m e della faglia trascorrente destra che attraversa in direzione est-ovest l'intero territorio comunale all'altezza dell'abitato di Aci Trezza (vedi Capitolo 3). A cavallo di questi segmenti di faglia attivi e capaci è stata segnalata la presenza di "Aree interessate da deformazioni dovute a faglie attive e capaci" (Tipo_i = 3060), rappresentate da fasce ampie 50 metri ciascuna.

Nel presente studio la struttura tettonica segnalata da Azzaro et al. (2012) nella frazione di Aci Trezza (Fig. 14) è stata interpretata come il bordo di una grande frana che interessa gran parte del rilievo collinare che si trova a nord dell'abitato di Aci Castello (vedi Capitolo 3). Laddove il corpo di frana è a contatto con le lave tholeiitiche è stata dunque segnalata una fascia, ampia 10 metri, in cui la differenza di competenza tra i due litotipi genera cedimenti differenziali (Tipo_i = 3080) con conseguente fratturazione al suolo.

Un discorso più articolato deve essere condotto riguardo il fenomeno della liquefazione. La definizione del glossario degli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica" (Gruppo di lavoro MS, 2008) recita: <<Fenomeno per cui, in conseguenza dell'applicazione di azioni dinamiche quali le azioni sismiche agenti in condizioni non drenate, un terreno perde la propria resistenza al taglio>>. Appare chiaro che il fattore scatenante del fenomeno è il verificarsi di un evento sismico ad una certa distanza dal

sito in oggetto. Distanza che a sua volta dipende dalla Magnitudo del terremoto. A titolo di esempio si riporta la relazione empirica tra la Magnitudo e la distanza epicentrale proposta da Galli (2000)(Fig. 31):

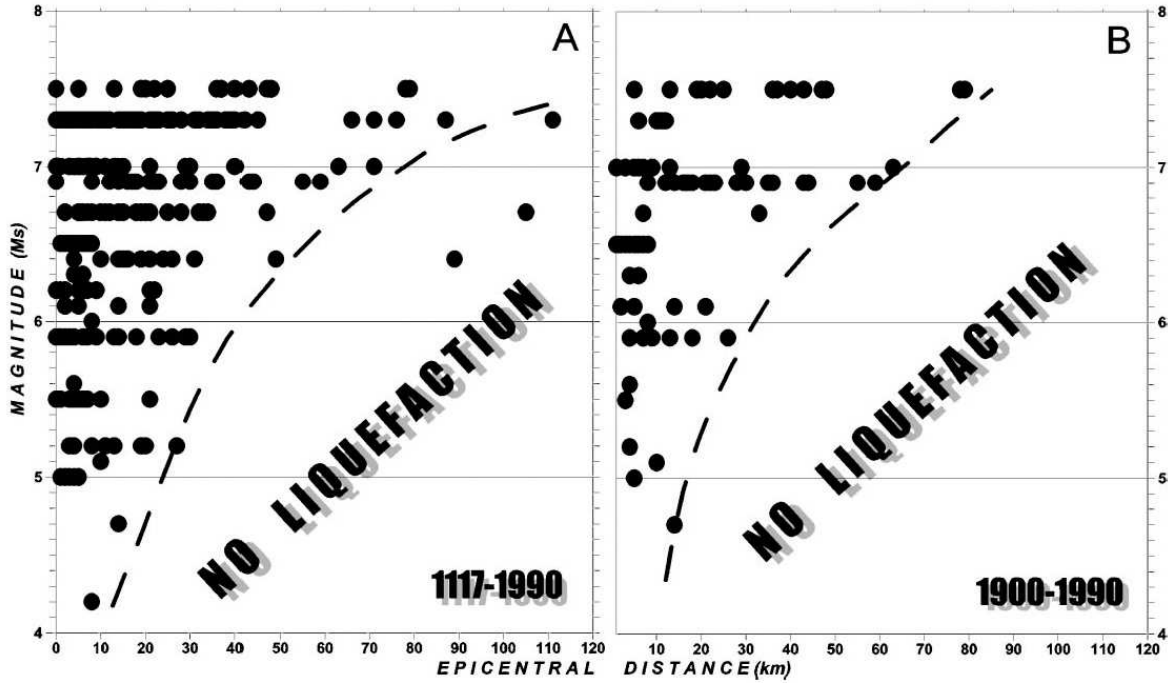


Fig. 31 – Distribuzione di fenomeni di liquefazione indotti da eventi sismici, in termini di Magnitudo e distanza epicentrale, per i periodi 1117–1990 e 1900–1990. (da Galli, 2000).

Nell'ambito della zonazione sismogenetica dell'area italiana (Gruppo di lavoro, 2004), il territorio comunale di Aci Castello, così come tutta l'area etnea, ricade all'interno della zona 936 (Fig. 32). 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 rientra nel territorio comunale di Aci Castello (Fig. 17). Tuttavia in passato l'area di studio è stata seriamente danneggiata da eventi sismici (1169, 1693 e 1908) di Mw ≥ 7 (Postpischl, 1985; Boschi et al, 1995; 1997), verificatisi però nelle zone sismogenetiche limitrofe (929 e 935). Per finire, nel DISS 3.1.1 (DISS Working Group, 2010), a circa 13 km di distanza nell'*off-shore* ionico, viene segnalata la presenza della sorgente sismogenica "ITDS011 – Western Ionian" (Fig. 17), per la quale dati di letteratura indicano una M ≥ 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 Aci Castello, questa tipologia di terreni è rappresentata dai depositi marini terrazzati affioranti limitatamente nel settore nord-orientale, per i quali non è stata definita alcuna zona soggetta a possibili fenomeni di liquefazione a causa della mancanza di dati relativi alla circolazione delle acque sotterranee.

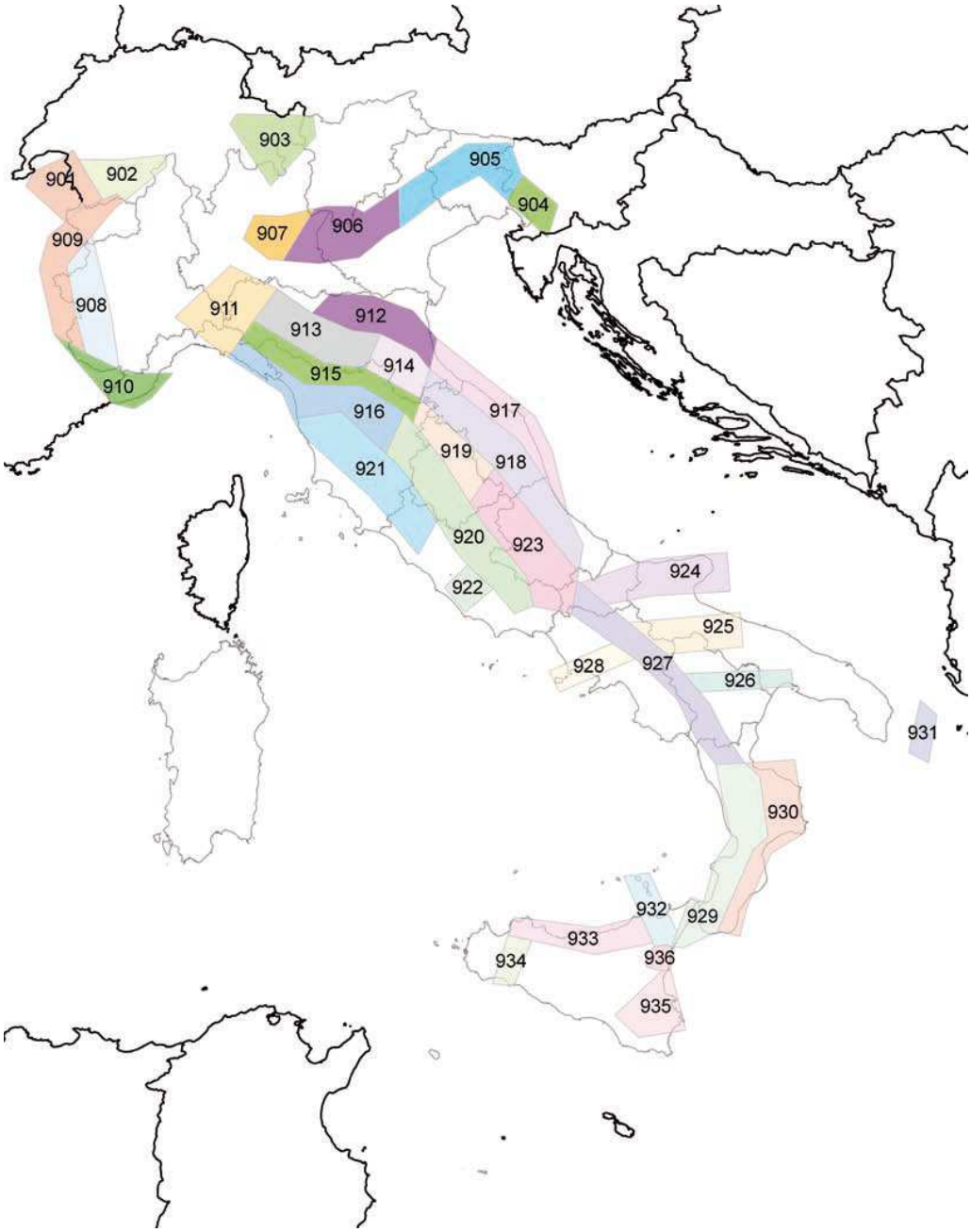


Fig. 32 – Zone sismogenetiche per la mappa di pericolosità sismica di base di riferimento (Gruppo di lavoro, 2004).

8. Elaborati cartografici

La sintesi delle attività svolte nel primo livello di approfondimento degli studi di microzonazione sismica si configura nella stesura dei seguenti elaborati cartografici: "Carta delle indagini", "Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica" e "Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica".

8.1 Carta delle indagini

Le indagini di sottosuolo pregresse messe a disposizione dall'amministrazione comunale di Aci Castello e dal Genio Civile di Catania, consistono in indagini puntuali, eseguite esclusivamente in foro, 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 "CdI_tabelle" e rappresentati secondo gli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica Versione 2.0beta-II". All'interno del database sono stati inseriti 39 "Siti_puntuali" (5 relativi a dati pregressi e 34 a misure HVSR realizzate dall'Università di Catania nel corso del presente studio).

Per quanto riguarda le "Indagini_puntuali" sono state inserite 70 indagini appartenenti a diverse classi:

- "Geologia" – a questa classe appartengono n. 5 sondaggi a carotaggio continuo, in tre dei quali sono stati installati dei tubi inclinometrici. Purtroppo, però, non siamo in possesso dei dati da questi misurati
- "Geotecnica in sito" – sono esclusivamente prove SPT (vedi **Allegato 2**)
- "Idrogeologia" – si tratta di 14 prove Le Franc (sono state realizzate più prove per ogni sondaggio) e due piezometri, inseriti nei sondaggi 087002P4 e 087002P5. Anche in questo caso, però, non vi è traccia dei valori del coefficiente di conducibilità idraulica e della soggiacenza misurati

- "Geofisica" – consta di n. 34 indagini HVSR. Si sottolinea l'ottima attendibilità delle registrazioni (vedi **Allegato 3**)

Per quanto riguarda le "Indagini_lineari", sono state inserite n. 18 indagini geofisiche e n. 9 indagini geologiche. Le prime sono costituite da prospezioni elettromagnetiche effettuate tramite G.P.R. (Georadar) che investigano una profondità di 10 metri. Le seconde sono, invece, delle sezioni geolitologiche a scala 1:1.000 e 1:2.000 riportate nello studio geologico per il P.R.G. di Aci Castello. 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. Per cui, per le informazioni sulle geometrie 3D dei diversi corpi geologici nel sottosuolo, si raccomanda di fare riferimento alle sezioni geologiche realizzati nell'**Allegato 1**.

8.2 Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica

La successione geolitologica dell'area di studio è stata ricostruita sulla base della composizione di rilievi geologici a differente scala, in gran parte originali per la mancanza di informazioni pregresse indispensabili per la ricostruzione delle geometrie dei corpi lavici presenti nell'area. I dati di sottosuolo, molto scarsi e mal distribuiti, hanno avuto un ruolo marginale nella ricostruzione della stratigrafia delle unità riportate nella carta. I terreni lavici, 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 unità sedimentarie.

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 è stata eseguita secondo il sistema USCS. Si fa presente che anche laddove tali terreni non sono stati cartografati, perché di spessore inferiore ai 3 metri, il substrato geologico è sovente ricoperto da suolo di alterazione e localmente da materiali di riporto. Per i terreni vulcanici di copertura si è fatto ricorso a nuovi standard di rappresentazione concordati con la committenza, in attesa di una integrazione delle linee guida nazionali, alla quale si auspica possano utilmente contribuire gli stessi dati contenuti in questo studio. In particolare, sono stati inseriti sia nuovi elementi lineari (limite di colata lavica) che elementi areali (ventaglio di lava, limite di versante sepolto con inclinazione compresa tra 15° e 45° e superficie di spianamento o di abrasione marina sepolta) che insieme agli altri già previsti, consentono una visualizzazione immediata degli elementi della morfologia sub-vulcanica.

Con queste premesse è stato possibile ricostruire un quadro molto complesso dei terreni di copertura che inevitabilmente si traduce in un'estrema parcellizzazione delle zone con caratteri stratigrafici omogenei (successione litologica, giacitura, rapporti geometrici con il substrato), da utilizzare successivamente per la definizione delle microzone omogenee in prospettiva sismica. Il quadro è inoltre complicato dalla presenza di numerose linee di dislocazione attive, sia di natura tettonica che gravitativa, lungo le quali si sono sviluppate aree di deformazione soggette a movimenti differenziali.

La mancanza di un abaco di riferimento per i terreni vulcanici ha comportato un certo grado di indeterminazione ed arbitrarietà nella selezione degli aspetti geologici, litologici e geomorfologici significativi per la distinzione delle microzone omogenee. La scelta adottata è stata quella di suddividere le unità laviche sulla base dei loro caratteri morfologici, facilmente riconoscibili in superficie, cui comunemente si associano caratteri litologici specifici, puntualmente riscontrati in affioramento. Il risultato è una

rappresentazione del sottosuolo di natura vulcanica che, pur con tutte le possibili imprecisioni, tende a riprodurre geometrie tipo in relazione all'andamento della topografia sepolta che, discostandosi dai classici schemi litostratigrafici, è apparsa, in assenza totale di dati diretti, l'unica soluzione praticabile per il raggiungimento degli obiettivi propri del primo livello di approfondimento.

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:

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

innescati dal sisma (instabilità di versante, liquefazioni, fagliazione superficiale, cedimenti differenziali, ecc.).

I dati raccolti, non hanno consentito l'identificazione di zone stabili, in quanto in nessun luogo è stato riconosciuto un substrato affiorante con i caratteri di bedrock sismico. La notevole variabilità laterale dei terreni di copertura affioranti ha comportato al definizione di 20 distinte microzone riferite ad aree stabili suscettibili di amplificazione, nonchè 6 distinte zone suscettibili di instabilità.

Una notevole varietà di microzone è stata prevista per le aree ricadenti su terreni vulcanici, per le quali non sono state ancora definite linee guida da adottare. Non è escluso che, una volta definito l'abaco di riferimento, alcune delle suddivisioni proposte possano risultare pleonastiche, non avendo riscontro in termini di risposta sismica locale differente. Ciò implica la possibilità che microzone omogenee, oggi distinte sulla base di differenti caratteri stratigrafici e giaciturali, possano avere un medesimo comportamento di modificazione del moto del suolo e quindi essere successivamente accorpate in un'unica microzona omogenea. In termini più realistici, è prevedibile che l'estrema eterogeneità dei terreni vulcanici poco si presti alla definizione di una microzona a comportamento omogeneo, ma piuttosto in microzone all'interno delle quali i parametri di variazione locale del moto oscillano nell'ambito di range definiti, differenti da quelli di microzone adiacenti.

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

- **Zona 0** Substrato geologico fratturato costituito da lave massive a fessurazione colonnare di spessore non valutabile, esposto in superficie fino a 70 m che formano laccoliti all'interno del substrato argilloso pre-etneo, e da un'alternanza di colate laviche di base fratturate e prodotti piroclastici con uno spessore complessivo fino a circa 35 m;
- **Zona 1** Argille marnose grigio-azzurre di aspetto omogeneo del Pleistocene inferiore-medio che raggiungono spessori notevoli oltre i 50 m e rappresentano il substrato pre-etneo.
- **Zona 2** Depositi marini terrazzati (tm) tardo-quaternari costituiti da ghiaie e ciottoli vulcanici in matrice argillosa di spessore fino a 10 m, poggianti sul substrato pre-etneo costituito dalle Argille marnose grigio-azzurre.

- **Zona 3** Substrato geologico granulare cementato costituito da brecce a pillows di spessore fino a circa 30 m poggianti sul substrato argilloso pre-etneo.
- **Zona 4** Depositi di spiaggia (sp) costituiti da blocchi decimetrici e ciottoli di natura vulcanica con spessore fino a circa 5 m, presenti lungo il tratto costiero in località Aci Trezza che poggiano sul substrato geologico argilloso pre-etneo.
- **Zona 5** Depositi marini terrazzati (tm) tardo-quaternari costituiti da ghiaie e ciottoli vulcanici in matrice argillosa di spessore fino a 10 m, poggianti o sul substrato geologico fratturato costituito da un'alternanza di colate laviche di base fratturate e prodotti piroclastici con uno spessore fino a circa 35 m, o su un substrato geologico costituito da brecce a pillows spesse fino a circa 30 m.
- **Zona 6** Materiale di riporto eterogeneo in matrice argillosa e sabbiosa (zz) di spessore da 3 m a circa 5 m, che poggia sul substrato pre-etneo costituito da Argille marnose grigio-azzurre di aspetto omogeneo spesse oltre i 50 m.
- **Zona 7** Materiale di riporto eterogeneo in matrice argillosa e sabbiosa (zz) di spessore da 3 m a circa 5 m, che poggia sul substrato geologico fratturato costituito da lave massive con fratture colonnari spesse fino a circa 30 m e da un'alternanza di colate laviche di base fratturate e prodotti piroclastici con uno spessore complessivo fino a circa 35 m.
- **Zona 8** Materiale di riporto eterogeneo in matrice argillosa e sabbiosa (zz) di spessore da 3 m a circa 5 m, su pendio con inclinazione > 15° e dislivello > 30 m che poggia sul substrato geologico granulare cementato costituito brecce a pillows di spessore fino a 30 m circa.
- **Zona 9** Lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (la) costituite da una fitta alternanza di banchi massivi e livelli scoriacei metrici in strati inclinati che danno luogo a ventagli di lava che mantellano preesistenti pendii acclivi , con spessore variabile da un minimo di pochi metri all'apice a un massimo di oltre 50 m al piede del ventaglio, poggianti su diversi termini del substrato geologico le cui geometrie sepolte andranno definite nell'ambito degli studi di secondo livello.
- **Zona 10** 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.
- **Zona 11** Lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (la) di riempimento di paleovalli o in appoggio su versanti sepolti, su diversi termini del geologico.
- **Zona 12** Materiale di riporto eterogeneo in matrice argillosa e sabbiosa (zz) di spessore da 3 m a circa 5 m, poggiante su lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (la) caratterizzate da banchi lavici metrici sub-orizzontali localmente fessurati a notevole continuità laterale con copertura scoriacea limitata o assente, spesse fino a circa 25 m, che ricoprono una superficie sub-orizzontale di spianamento o di abrasione marina modellata sul substrato geologico.
- **Zona 13** Lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (la) caratterizzate da banchi lavici metrici sub-orizzontali localmente fessurati a notevole continuità laterale con copertura scoriacea limitata o assente, spesse fino a circa 25 m che ricoprono una superficie sub-orizzontale di spianamento o di abrasione marina modellata sul substrato geologico ;

- **Zona 14** Lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (la) costituite da più colate che ricoprono una superficie sub-orizzontale su substrato geologico o su lave di copertura più antiche caratterizzate da banchi lavici metrici sub-orizzontali localmente fessurati a notevole continuità laterale con copertura scoriacea limitata o assente, spesse fino a circa 25 m che ricoprono una superficie sub-orizzontale di spianamento o di abrasione marina modellata sul substrato argilloso pre-etneo.
- **Zona 15** Materiale di riporto eterogeneo in matrice argillosa e sabbiosa (zz) di spessore da 3 m a circa 5 m, poggiante su lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (la) spesse fino a circa 25 m, sul substrato argilloso pre-etneo spesso oltre i 50 m.
- **Zona 16** Materiale di riporto eterogeneo in matrice argillosa e sabbiosa (zz) di spessore da 3 m a circa 5 m, che poggia su lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (la) costituite da una fitta alternanza di banchi massivi e livelli scoriacei metrici in strati inclinati che danno luogo a ventagli di lava che mantellano preesistenti pendii acclivi , con spessore variabile da un minimo di pochi metri all'apice a un massimo di oltre 50 m al piede del ventaglio, poggianti sul substrato argilloso pre-etneo.
- **Zona 17** Substrato geologico granulare cementato costituito da brecce a pillows di spessore fino a circa 30 m, su pendio inclinato >15° e dislivello > 30 m, poggianti sul substrato argilloso pre-etneo.
- **Zona 18** Substrato geologico fratturato costituito da lave massive a fessurazione colonnare di spessore non valutabile, esposto in superficie fino a 70 m che formano laccoliti all'interno del substrato argilloso pre-etneo, e da un'alternanza di colate laviche di base fratturate e prodotti piroclastici con uno spessore complessivo fino a circa 35 m, su pendio con inclinazione >15° e dislivello > 30 m.
- **Zona 19** Lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (la) che mantellano con spessori costanti, circa 20 m, diversi termini del substrato geologico le cui geometrie sepolte andranno definite nell'ambito degli studi di secondo livello su pendio con inclinazione >15° e dislivello >30 m.

Le 6 zone di instabilità comprendono tutte le aree già censite dal PAI come ad elevato rischio di frana, nonché tutte le porzioni dei versanti argillosi della zona settentrionale 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 e a zone di cedimenti differenziali, riconosciute lungo alcuni contatti tra substrato geologico e corpi di detrito. 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 Aci Castello, 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:

- L'evento del 1169 (Sicilia orientale) raggiunse I(MCS)= X. L'abitato di Aci Castello, in seguito al terremoto, fu completamente distrutto e ricostruito in pianura. Le fonti reperibili hanno volto maggiormente la loro attenzione

sulla coeva eruzione del vulcano etneo più che agli effetti causati sul territorio dal terremoto che devastò l'area.

- Nel 1693 si verificarono due forti eventi sismici a distanza di pochi giorni, il 9 gennaio e l'11 gennaio. Le informazioni a nostra disposizione parlano di un abitato costituito da circa 100 case delle quali, in seguito al terremoto ne rimasero in piedi otto. Di queste, sei rimasero notevolmente danneggiate; i morti furono 32 su 330 abitanti.

- A seguito dell'evento del 1818 (Catanese) di I(MCS)= IX-X, la località di Aci Castello fu inserita nel quadro riassuntivo delle perizie, tra quelle in cui si verificarono danni lievi in seguito alla scossa. Risultò danneggiata la chiesa di S. Giuseppe. Le tavole sinottiche redatte a cura dell'Intendenza di Catania e riproducenti i risultati delle perizie ufficiali riportano il numero di 176 case danneggiate, delle quali l'1% risultano cadute; il 20% cadenti ed il 70% lesionate.

- Per terremoto di Messina del 1908 è stata stimata una I(MCS)= XI. Circa 5 minuti dopo il terremoto si verificarono dei piccoli tshunami successivi; infatti, il mare si ritirò dal lido ritornandovi con tre ondate successive la cui altezza massima fu di 3,5 m. causando danni lievi.

- Infine in occasione del terremoto del 13/12/1990 secondo uno studio macrosismico condotto dall'Istituto Nazionale di Geofisica, basato su questionari e sopralluoghi tecnici, gli effetti sono stati stimati di intensità di VI° MCS.

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 Aci Castello.

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

Azzaro R., D'Amico S., Mostaccio A., Scarfì L., Tuvè T.; 2009 – Terremoti con effetti macrosismici in Sicilia orientale nel periodo Gennaio 2006 – Dicembre 2008. 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., 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., Scarfì L., Tuvè T.; 2009 - Catalogo Macrosismico dei Terremoti Etnei dal 1832 al 1998 e Aggiornamento 2006-2008. http://www.ct.ingv.it/ufs/macro/

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.

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.

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.

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., Bianca M., Catalano S., De Guidi G., Tortorici L.; 2002 – Sudden change in the Late Quaternary tectonic regime in eastern Sicily: evidences from geological and geomorphological features. Boll. Soc. Geol. Ital. Vol. Spec. 1, 901-913.

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

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

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

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

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

Progetto AVI (Aree Vulnerate Italiane). Consultabile presso il sito del GNDCI (Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche) del CNR (Centro Nazionale delle Ricerche). http://avi.gndci.cnr.it/

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

11. Allegati

Allegato 1 – Sezioni geologiche

Allegato 2 – Dati geotecnici

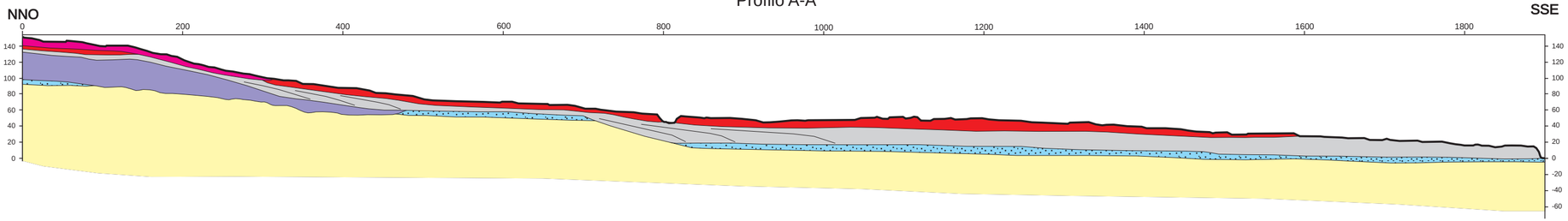
Allegato 3 – Misure di microtremore ambientale

Allegato 4 – Sezioni topografiche

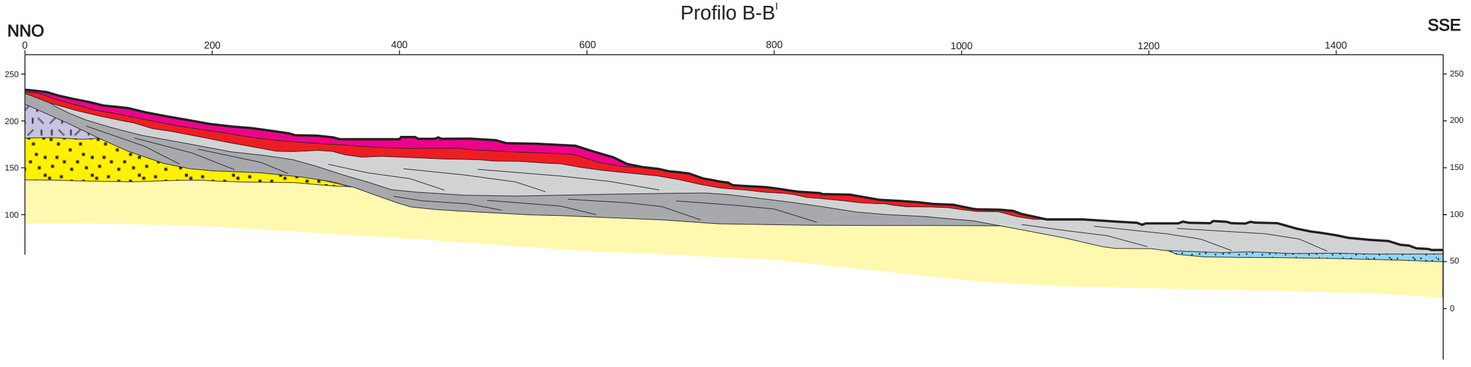
Allegato 5 – Schemi dei rapporti litostratigrafici più significativi

Allegato 1 – Sezioni geologiche

Profilo A-A'



Profilo B-B'

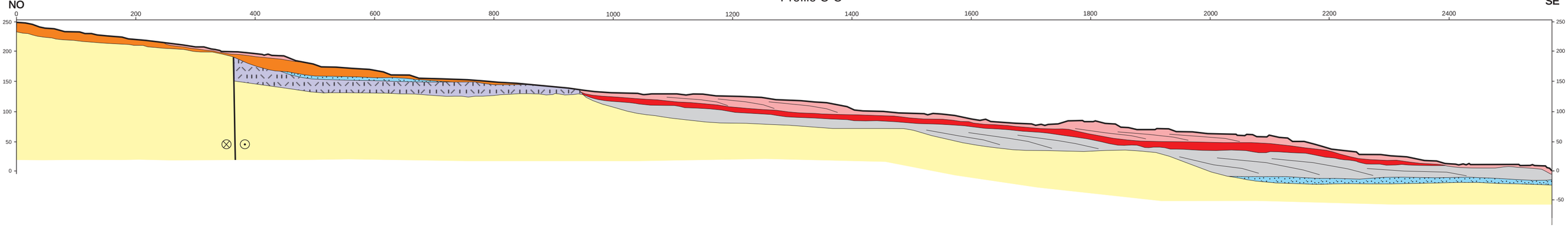


Legenda

- Lave Oloceniche e Storiche (LC)
- Lave wurmiane (LC)
- Terrazzi marini (GW)
- Lave pleistoceniche (AL)
- Sabbie pleistoceniche (NR)
- Argille grigio-azzurre pleistoceniche (NR)
- Faglia trascorrente destra

Scala 1:5000

Profilo C-C'



ALLEGATO 2 – DATI GEOTECNICI

		SPT	
ID_SPU	**Litotipo**	**Prof. (m)**	**Valore**
087002P1	MATERIALE DETRITICO	3.00-3.18	RIFIUTO
087002P3	GHIAIE VULCANICHE DI COLORE BRUNO E CLASTI VULCANICI DECIMETRICI MISTI AD ARGILLE	10.00-10.34	>50
		15.00-15.45	77

Tab. 1: dati geotecnici relativi alla categoria di terreni GC.

		SPT	
ID_SPU	**Litotipo**	**Prof. (m)**	**Valore**
087002P1	ARGILLE GRIGIO-AZZURRO A GRANA FINE E MEDIA CONSISTENZA CON INCLUSI LITICI	10.00-10.45	21
087002P2	ARGILLE GRIGIO-AZZURRO A GRANA FINE E MEDIA CONSISTENZA	3.00-3.45	23
087002P3	ARGILLE BRUNE	3.00-3.45	20
087002P4	ARGILLE BRUNE	12.00-12.45	27

Tab. 2: dati geotecnici relativi alla categoria di terreni CH.

		SPT	
ID_SPU	**Litotipo**	**Prof. (m)**	**Valore**
087002P1	ARGILLE MARNOSE DI COLORE GRIGIO-AZZURRO A GRANA FINE E ASPETTO OMOGENEO	15.00-15.45	30
087002P2	ARGILLE MARNOSE DI COLORE GRIGIO-AZZURRO A GRANA FINE E ASPETTO OMOGENEO	10.00-10.45	32
087002P2	ARGILLE MARNOSE DI COLORE GRIGIO-AZZURRO A GRANA FINE E ASPETTO OMOGENEO	15.00_15.45	35
087002P4	ARGILLE DI COLORE GRIGIO-AZZURRO CONSISTENTI	18.00_18.45	27
087002P4	ARGILLE DI COLORE GRIGIO-AZZURRO CONSISTENTI	20.00_20.45	32

Tab. 3: dati geotecnici relativi alla categoria di terreni NR.

		Comportamento meccanico dei terreni: valori medi					
Litotipo	Descrizione	γ [PV (T/mc)]	c' [C (T/mq)]	Φ' [F1 (°)]	Cr [C (T/mq)]	Φr [F1 (°)]	Cu [CU (T/mq)]
GW	Ghiaie con ciottoli e blocchi	2,0	0	32°			
GC	Sabbie limose con ghiaia	2,0	0	35°			
Copertura detritica	Argille gialle alterate e rimaneggiate	2,0			0 - 1,0	12° - 13°	
NR	Argille limose debolmente sabbiose	2,1	3,0 - 4,0	23°			1,0 - 1,2
LP_SF / AL_SF	Banconi massivi fratturati	2,4	0	≥ 45°			
LC	Livelli scoriacei	2,2	0	≥ 40°			
GR	Lave a submarine e antiche	2,4	0	≥ 40°			

Tab. 4: parametri geotecnici e geomeccanici dei principali litotipi riportati nella relazione geologica del P.R.G. di Aci Castello. γ [PV (T/mc)] = peso di volume; c' [C (T/mq)] = coesione; Φ' [F1 (°)] = angolo di attrito interno; Cr [C (T/mq)] = coesione residua; Φr [F1 (°)] = angolo di attrito interno residuo; Cu [CU (T/mq)] = coesione non drenata.

Allegato 3 – Misure di microtremore ambientale

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

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

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

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

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

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

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

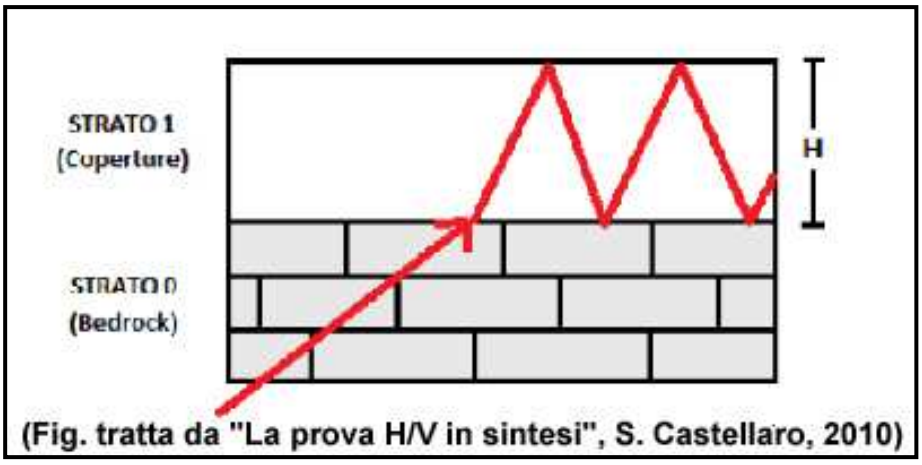
Ciò premesso, riconosciuta l'importanza degli effetti di sito, al progettista serve conoscere la *funzione di trasferimento* al sito, ossia come il moto dal bedrock si trasferisce in superficie; ne consegue che la condizione ideale risulta la misurazione e non il calcolo (che richiederebbe la modellazione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

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

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

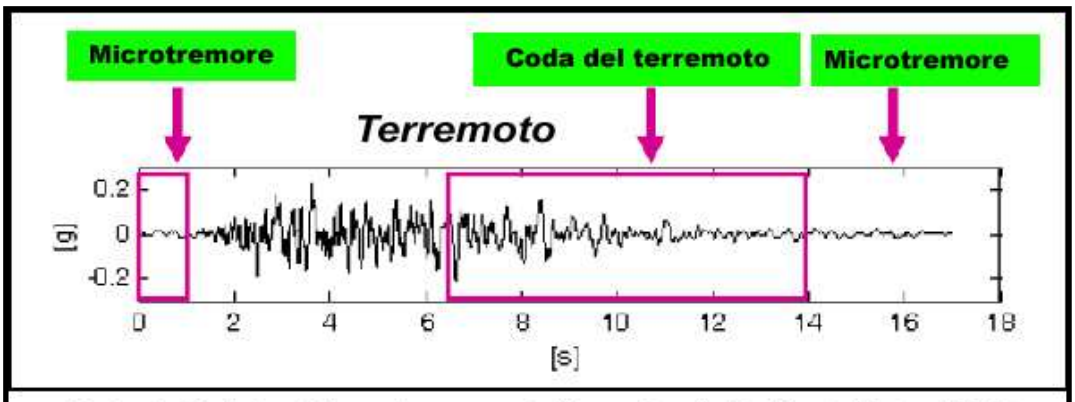
Nella letteratura internazionale è ampiamente riconosciuto che le curve H/V ottenute dai microtremori indicano le frequenze di risonanza del sito così come è altrettanto riconosciuto che le ampiezze di detti rapporti spettrali H/V sono l'indicatore dell'amplificazione "minima" attesa al sito in caso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

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



(Fig. tratta da "La prova H/V in sintesi", S. Castellaro, 2010)

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



Tratto da Silvia Castellaro - Convegno Ordine regionale Basilicata, Matera (2009)

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

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

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

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.

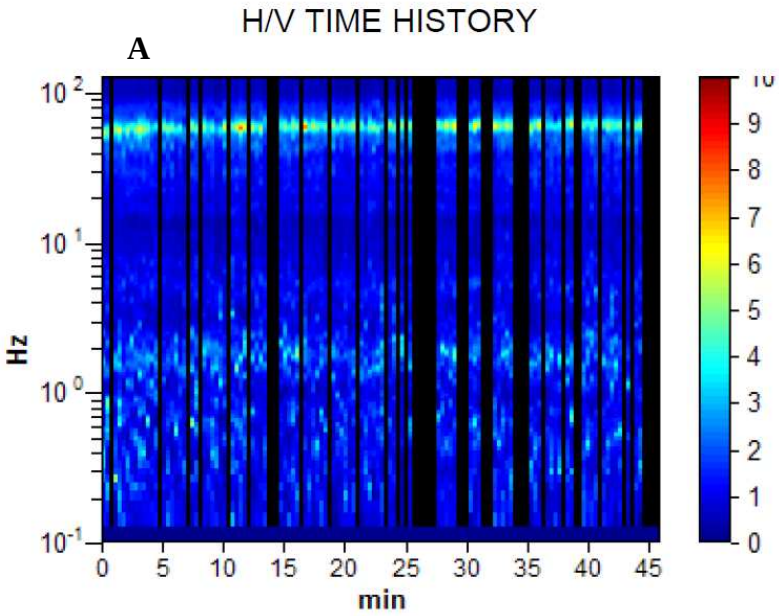
Nello specifico, considerando l'estensione e la topografia dell'area, questo studio ha comportato l'esecuzione di "**34"** misure, secondo le indicazioni del progetto di ricerca europeo SESAME ("Guidelines for the implementation of the H\V spectral ratio technique on ambient vibrations" – European Commission, dic. 2004); tutte le registrazioni dei microtremori sono state effettuate con tromografi digitali portatili serie Tromino (Micromed S.p.A.), progettati specificamente per l'acquisizione del rumore sismico, dotati di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) ortogonali ed orientati N-S, E-W e verticalmente, alimentati da 2 batterie da 1,5 V e senza alcun cavo esterno; il rumore sismico ambientale è stato acquisito ad una frequenza di campionamento di 256 Hz, amplificato, digitalizzato a 24 bit equivalenti e registrato per circa 45 minuti in corrispondenza di ciascuna delle stazioni di misura ubicate all'interno del comprensorio esaminato.

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

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

I risultati di ciascuna analisi sono stati ottenuti col software Grilla in dotazione al tromografo-Tromino per cui il segnale acquisito dai velocimetri è stato digitalizzato a 24 bit; il software Grilla per ciascuna delle tre componenti del moto, previa divisione del tracciato in finestre temporali di 10 secondi, ha calcolato il rapporto spettrale HVSR ad ogni frequenza per ciascuna finestra (Es. AciCastello – 087002P17).

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.



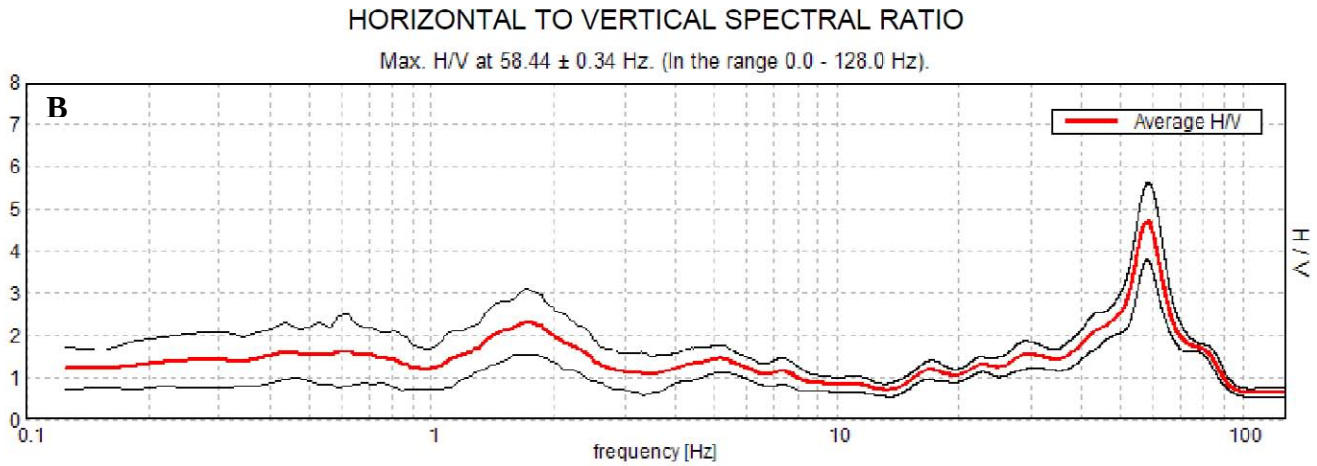


Figura 1: Serie Temporale H/V (A) e Rapporto Spettrale orizzontale/verticale (B) relativo all'indagine 087002P17 ad Aci Castello.

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 34 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 ~7 Hz. In alcuni casi, all'interno del suddetto range di frequenza, vengono segnalati due o tre picchi, che abbracciano un po' tutti i valori dell'intervallo considerato.

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

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

ID_SPU	Nome	X	Y	F0	F0_H0V0	F1	F1_H1 V1	F2	F2_H2V2	Attendibilità
087002P6	69	511068	4154225	5.31	3.37					1
087002P7	71	511819	4154817	6.65	1.37					1
087002P8	76	511225	4154701	5.12	2.10					1
087002P9	77	511725	4155312	6.25	2.08					1
087002P10	84	511072	4155346	13.13	2.52					1
087002P11	92	512815	4156332	6.66	2.13	12.00	2.37			1
087002P12	99	512967	4156552	5.25	1.68					1
087002P13	96	513507	4156994	0.72	1.50					1
087002P14	105	514514	4158090	1.88	1.78					1
087002P15	109	514493	4159138	10.84	1.44					1
087002P16	114	514072	4158745	7.28	1.07					1
087002P17	120	514180	4157829	1.72	2.32					1
087002P18	124	513807	4157448	1.47	1.86	9.50	1.81			1
087002P19	127	513516	4157489	5.31	3.23					1
087002P20	133	511235	4157565	9.47	1.84	13.06	3.38			1
087002P21	134	511709	4157285	0.63	1.65	14.06	2.15			1
087002P22	135	512565	4157271	1.56	2.34					1
087002P23	136	512080	4156894	1.94	1.78	5.17	2.20	8.88	2.71	1
087002P24	137	510912	4156845	0.69	2.16	7.41	2.19	17.44	2.25	1
087002P25	138	511914	4156336	4.19	1.36	15.94	1.53			1
087002P26	139	512458	4155546	6.75	5.15					1
087002P27	140	511696	4155723	6.41	6.07					1
087002P28	141	510640	4156127	2.88	0.92					1
087002P29	142	510753	4155611	3.72	1.97	11.41	1.38			1
087002P30	83	511061	4155080	3,71	1,71					1
087002P31	103	514222	4157560	2,68	2,05					1
087002P32	104	514482	4157793	1,56	1,79					1
087002P33	116	513848	4158280	0,59	1,58					1
087002P34	118	514116	4158262	0,62	1,33	2,06	1,33			1
087002P35	119	514272	4158056	1,97	1,51					1
087002P36	121	514037	4157522	9,43	2,24					1
087002P37	122	513982	4157824	1,53	1,78	5	1,45	10,37	1,6	1
087002P38	125	513860	4158036	1,25	1,62					1
087002P39	126	513615	4157721	1,4	1,72					1

Tabella 1: siti di misura a stazione singola dei microtremori ricadenti nell'area di studio del comune di Aci Castello; vengono mostrati anche i valori relativi alle frequenze di picco e alle ampiezze corrispondenti, nonché il valore dell'attendibilità dell'indagine (1: alta; 2: media; 3: bassa).

Infatti, in funzione della relazione tipica esistente tra l'altezza di un edificio e la frequenza del primo modo di vibrare per le strutture in c.a (Masi et al., 2008)

andrebbero evidenziate, a grande "scala", 3 fasce di frequenza di interesse ingegneristico:

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

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

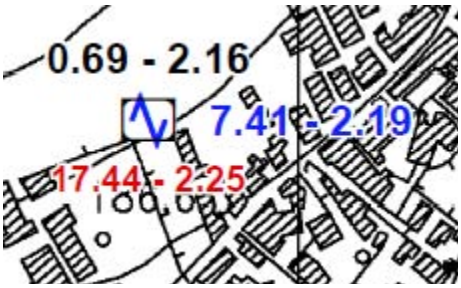


Figura 2: Esempio di sito di misura HVSR presente nella carta delle frequenze allegata, mostrante i valori di frequenza ed ampiezza dei picchi significativi (tre in questo caso).

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 opportuno che questi tre criteri siano tutti soddisfatti.

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	58.44 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	112200.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$Hz $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$Hz	Exceeded 0 out of 2806 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	47.906 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	67.313 Hz	OK	
$A_0 > 2$	4.70 > 2	OK	
$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.00294| < 0.05	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.17175 < 2.92188	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.4578 < 1.58	OK	

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

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{logH/V}(f_0)$	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 087002P17 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 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.

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

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	21.56 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	48731.3 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$Hz $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$Hz	Exceeded 0 out of 1036 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	15.656 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	29.688 Hz	OK	
$A_0 > 2$	4.24 > 2	OK	
$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.06184| < 0.05		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	1.33345 < 1.07813		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.453 < 1.58	OK	

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

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

Figura 4: tabelle dei criteri per una curva H/V affidabili e per un picco H/V chiaro relativi all'indagine 87002P7 i cui requisiti non vengono soddisfatti.

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.

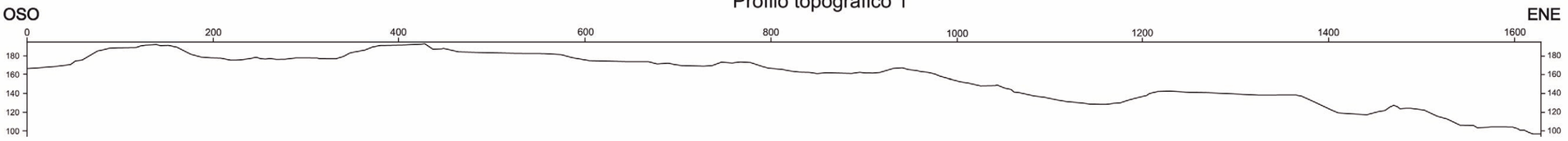
Nakamura Y.; 1989 – A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, Q.R.Railway Tech. Res. Inst., 30, 25-33.

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

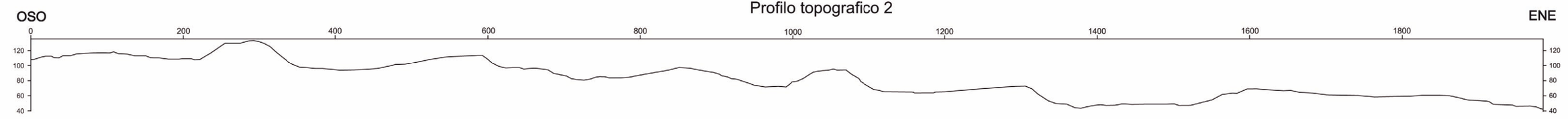
SESAME Working Group (2004) – Guidelines for the implementation of the h/v spectral ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation. http://sesamefp5. obs.ujf-grenoble.fr/index.htm.

Allegato 4 – Sezioni Topografiche

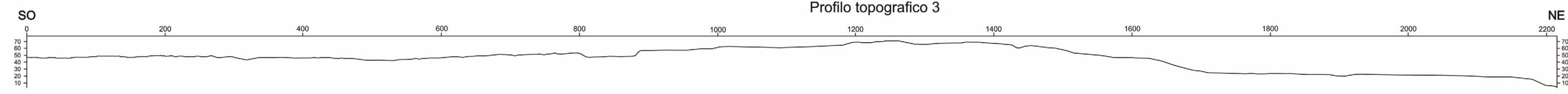
Profilo topografico 1



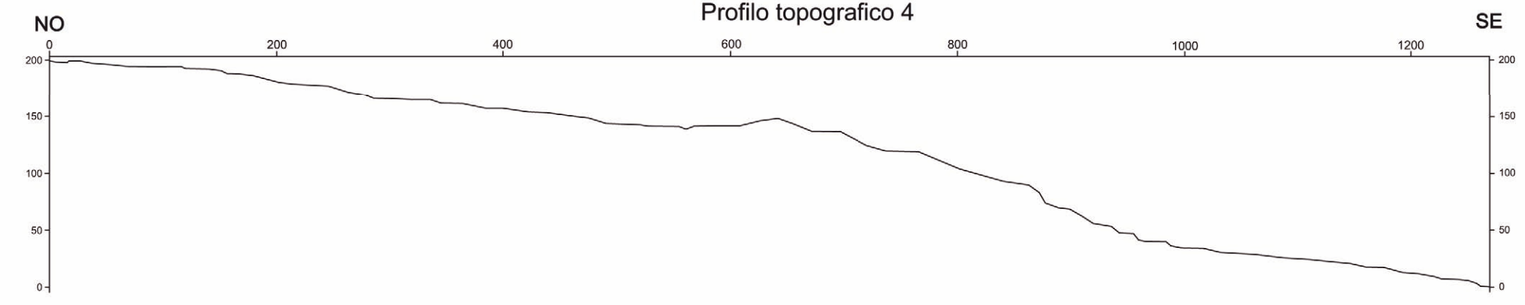
Profilo topografico 2



Profilo topografico 3



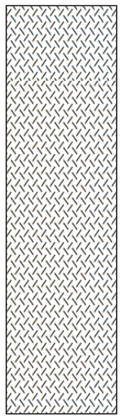
Profilo topografico 4



Allegato 5 – Schemi dei rapporti litostratigrafici più significativi

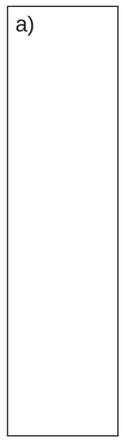
Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

Zona 0



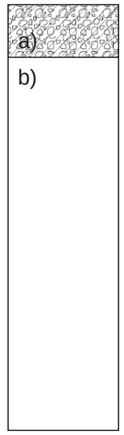
Substrato geologico fratturato costituito da lave massive a fessurazione colonnare di spessore non valutabile, esposto in superficie fino a 70 m che formano laccoliti all'interno del substrato argilloso pre-etneo, e da un'alternanza di colate laviche di base fratturate e prodotti piroclastici con uno spessore complessivo fino a circa 35 m

Zona 1



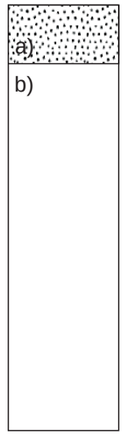
Argille marnose grigio-azzurre (a) di aspetto omogeneo del Pleistocene inferiore-medio che raggiungono spessori notevoli oltre i 50 m e rappresentano il substrato pre-etneo

Zona 2



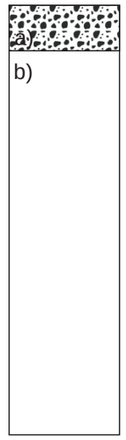
Depositi marini terrazzati (tm) tardo-quaternari costituiti da ghiaie e ciottoli vulcanici in matrice argillosa di spessore fino a 10 m, poggianti sul substrato pre-etneo (b) costituito dalle argille marnose grigio-azzurre

Zona 3



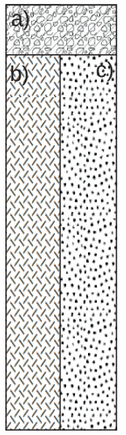
Substrato geologico granulare cementato (a) costituito da brecce a pillows di spessore fino a circa 30 m poggianti sul substrato argilloso pre-etneo (b).

Zona 4



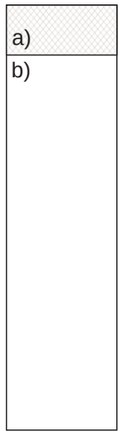
Depositi di spiaggia (sp) costituiti da blocchi decimetrici e ciottoli di natura vulcanica con spessore fino a circa 5 m, presenti lungo il tratto costiero in località Aci Trezza che poggiano sul substrato argilloso pre-etneo.

Zona 5



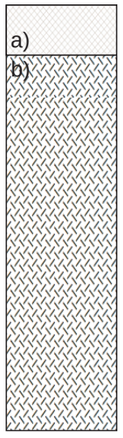
Depositi marini terrazzati (tm) tardo-quaternari costituiti da ghiaie e ciottoli vulcanici in matrice argillosa di spessore fino a 10 m, poggianti o sul substrato geologico fratturato costituito da un'alternanza di colate laviche di base fratturate e prodotti piroclastici con uno spessore fino a circa 35 m, o su un substrato geologico costituito da brecce a pillows spesse fino a circa 30 m

Zona 6



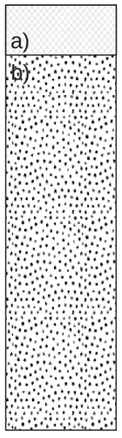
Materiale di riporto eterogeneo (a) in matrice argillosa e sabbiosa (zz) di spessore da 3 m a circa 5 m, che poggia sul substrato pre-etneo (b) costituito da argille marnose grigio-azzurre di aspetto omogeneo spesse oltre i 50 m.

Zona 7



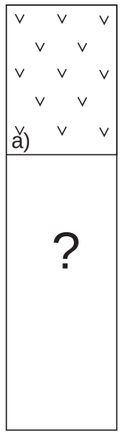
Materiale di riporto eterogeneo (a) in matrice argillosa e sabbiosa (zz) di spessore da 3 m a circa 5 m, che poggia sul substrato geologico fratturato (b) costituito da lave massive con fratture colonnari spesse fino a circa 30 m, da un'alternanza di colate laviche di base fratturate e da prodotti piroclastici con uno spessore complessivo fino a circa 35 m.

Zona 8



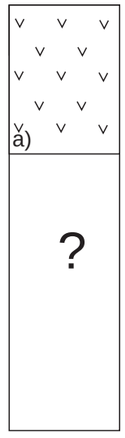
Materiale di riporto eterogeneo (a) in matrice argillosa e sabbiosa (zz) di spessore da 3 m a circa 5 m, su pendio con inclinazione > 15° e dislivello > 30 m che poggia sul substrato geologico granulare cementato (b) costituito brecce a pillows di spessore fino a 30 m circa.

Zona 9



Lave di copertura indefinite (a) su morfologie del substrato articolate (la) costituite da una fitta alternanza di banchi massivi e livelli scoriacei metrici in strati inclinati che danno luogo a ventagli di lava che mantellano preesistenti pendii acclivi , con spessore variabile da un minimo di pochi metri all'apice a un massimo di oltre 50 m al piede del ventaglio, poggianti su diversi termini del substrato geologico le cui geometrie sepolte andranno definite nell'ambito degli studi di secondo livello.

Zona 10

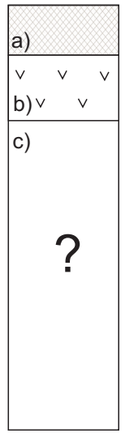


Lave di copertura indefinite (a) su morfologie del substrato articolate (la) che mantellano con spessori costanti pendii sepolti costituiti da diversi termini del substrato geologico, le cui geometrie sepolte andranno definite nell'ambito degli studi di secondo livello.

Zona 11

Lave di copertura indefinite (a) su morfologie del substrato articolate (la) di riempimento di paleovalli o in appoggio su versanti sepolti, su diversi termini del substrato geologico b).

Zona 12



Materiale di riporto eterogeneo (a) in matrice argillosa e sabbiosa (zz) di spessore da 3 m a circa 5 m, poggiante su lave di copertura indefinite (b) su morfologie del substrato articolate (la) caratterizzate da banchi lavici metrici sub-orizzontali localmente fessurati a notevole continuità laterale con copertura scoriacea limitata o assente, spesse fino a circa 25 m, che ricoprono una superficie sub-orizzontale di spianamento o di abrasione marina modellata sul substrato geologico (c).

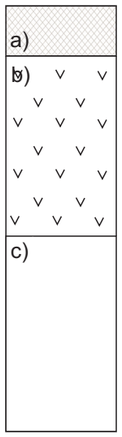
Zona 13

Lave di copertura indefinite (a) su morfologie del substrato articolate (la) caratterizzate da banchi lavici metrici sub-orizzontali localmente fessurati a notevole continuità laterale con copertura scoriacea limitata o assente, spesse fino a circa 25 m che ricoprono una superficie sub-orizzontale di spianamento o di abrasione marina modellata sul substrato geologico (b).

Zona 14

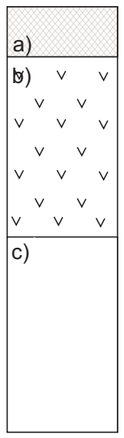
Lave di copertura indefinite (a) su morfologie del substrato articolate (la) costituite da più colate che ricoprono una superficie sub-orizzontale su substrato geologico o su lave di copertura più antiche.

Zona 15



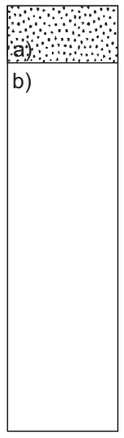
Materiale di riporto eterogeneo (a) in matrice argillosa e sabbiosa (zz) di spessore da 3 m a circa 5 m, poggiante su lave di copertura indefinite (b) su morfologie del substrato articolate (la) spesse fino a circa 25 m, che poggiano sul substrato argilloso pre-etneo (c) spesso oltre i 50 m.

Zona 16



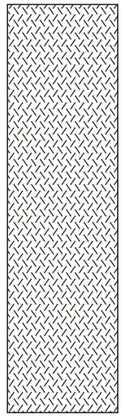
Materiale di riporto eterogeneo (a) in matrice argillosa e sabbiosa (zz) di spessore da 3 m a circa 5 m, che poggia su lave di copertura indefinite (b) su morfologie del substrato articolate (la) costituite da una fitta alternanza di banchi massivi e livelli scoriacei metrici in strati inclinati che danno luogo a ventagli di lava che mantellano preesistenti pendii acclivi , con spessore variabile da un minimo di pochi metri all'apice a un massimo di oltre 50 m al piede del ventaglio, poggianti sul substrato argilloso pre-etneo (c).

Zona 17



Substrato geologico granulare cementato (a) costituito da brecce a pillows di spessore fino a circa 30 m, su pendio inclinato >15° e dislivello > 30 m, poggianti sul substrato argilloso pre-etneo (b).

Zona 18



Substrato geologico fratturato costituito da lave massive a fessurazione colonnare di spessore non valutabile, esposto in superficie fino a 70 m che formano laccoliti all'interno del substrato argilloso pre-etneo, e da un'alternanza di colate laviche di base fratturate e prodotti piroclastici con uno spessore complessivo fino a circa 35 m, su pendio con inclinazione >15° e dislivello > 30 m.

Zona 19

Lave di copertura indefinite (a) su morfologie del substrato articolate (la) che mantellano con spessori costanti, circa 20 m, diversi termini del substrato geologico le cui geometrie sepolte andranno definite nell'ambito degli studi di secondo livello su pendio con inclinazione >15° e dislivello >30 m.