

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

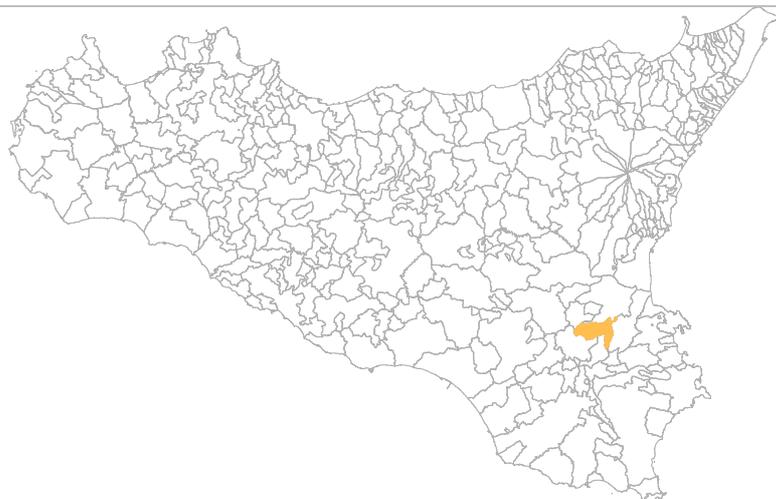
MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione Illustrativa

MS Livello 1

Regione Sicilia

Comune di Francofonte



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

<p>Contraente: Regione Siciliana – Presidenza Dipartimento della Protezione Civile</p> 	<p>Soggetto realizzatore: Università degli Studi di Catania</p> 	<p>Data: Luglio 2014</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------

Indice

1. Introduzione	3
2. Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento.....	11
3. Assetto geologico e geomorfologico dell'area	21
4. Dati geotecnici e geofisici	37
5. Modello del sottosuolo	45
6. Interpretazioni e incertezze	52
7. Metodologie di elaborazione e risultati	69
8. Elaborati cartografici	80
9. Confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati	88
10. Bibliografia	90
11. Allegati	96



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

1. Introduzione

Gli studi di microzonazione sismica (**MS**) condotti all'interno del territorio del Comune di Francofonte (codice istat 089010), in Provincia di Siracusa, 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 **effetti locali (o di sito)**, definiti come *“effetti dovuti al comportamento del terreno in caso di evento sismico per la presenza di particolari condizioni lito-stratigrafiche e morfologiche che determinano **amplificazioni locali e fenomeni di instabilità del terreno (instabilità di versante, liquefazioni, faglie attive e capaci, cedimenti differenziali, ecc.)**”*. I fenomeni di amplificazione locale sono l'effetto della **risposta sismica locale**, definita come *“modificazione in ampiezza, frequenza e durata dello scuotimento sismico dovuta alle specifiche condizioni lito-stratigrafiche e morfologiche di un sito”*, generalmente espressa in termini quantitativi dal rapporto tra i parametri del moto sismico alla *“superficie del sito e quello che si osserverebbe per lo stesso evento sismico su un ipotetico affioramento di roccia rigida con morfologia orizzontale”*. I fenomeni di instabilità comprendono tutte le *“modificazioni permanenti del terreno dovute ad un evento sismico”* capaci di produrre danni in aggiunta a quelli legati all'oscillazione del suolo. Tutti gli aspetti connessi alle condizioni locali del sito sono oggetto proprio dell'analisi di **pericolosità sismica locale**, definita come *“componente della pericolosità sismica dovuta alle caratteristiche locali”*.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

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

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

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

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

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

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

Gli studi condotti nel territorio comunale di Francofonte si riferiscono al primo livello di approfondimento e sono consistiti nella raccolta dei dati esistenti e nella redazione di una serie di elaborati cartografici (la Carta delle indagini, la Carta geologico tecnica per la MS e la Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica) richiesti dagli “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica” (Gruppo di lavoro MS, 2008) e nella compilazione di un database, risultato di una profonda e dettagliata elaborazione delle informazioni esistenti. Il territorio del Comune di Francofonte sviluppa lungo il margine settentrionale dei Monti Iblei in Sicilia sud-orientale, con un'estensione areale di circa 73,85 km². In accordo con il Dipartimento Regionale della Protezione Civile, si è stabilito di estendere gli studi di microzonazione sismica di I livello all'interno dell'area segnalata dall'Amministrazione Comunale, con nota prot. N 26828 del 17/04/2012, che comprende il centro urbano principale e le zone residenziali periferiche, con un'estensione areale di circa 1,78 km², come da verbale della riunione tecnica del 24/04/2012 tra l'Università di Catania e il Dipartimento di Protezione Civile. Lo studio di MS di livello 1 è stato effettuato utilizzando come base cartografica la Carta Tecnica Regionale alla scala 1:10.000, realizzata dalla Regione Sicilia nel 2008. In particolare l'area di studio ricade all'interno della Sezione CTR 640150 (Fig. 1).

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

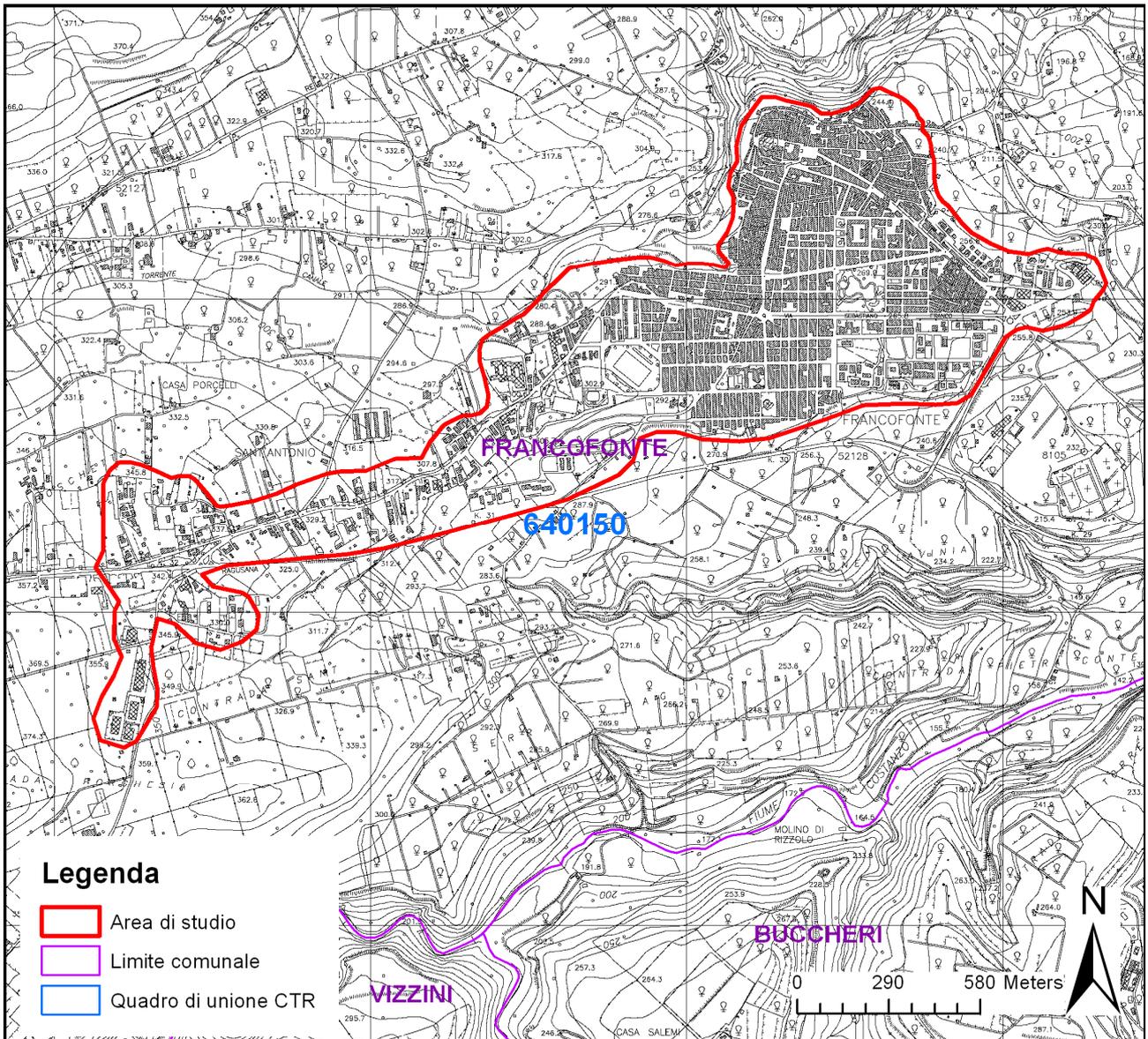


Fig. 1 – Ubicazione dell'area in cui sono stati effettuati gli studi di MS di livello 1 (delimitata in rosso) per il comune di Francofonte, all'interno delle Sezioni CTR 640150.

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 Francofonte è stato possibile attingere ad una buona quantità d'informazioni pregresse disposte in quasi tutta l'area di studio in modo più o meno regolare che derivano da studi pregressi sia a supporto del P.R.G., che precedenti analisi di microzonazione avviate successivamente all'evento sismico del 1990. I dati raccolti hanno permesso di vincolare bene la successione stratigrafica dell'area e di ottenere una buona ricostruzione 3D delle successioni. E' ovvio che livelli di indeterminazione permangono per quanto attiene lo spessore dei terreni di copertura e la reale profondità del substrato rigido nelle aree prive di dati diretti di sottosuolo, come ad esempio nella porzione sud-occidentale dell'area di studio. In questo caso si è fatto riferimento a proiezioni dei dati a proiezioni dei dati noti, sulla base di una scrupolosa interpretazione dei dati di superficie, nella previsione di infittire le indagini nei successivi stadi di approfondimento.

I dati pregressi messi a disposizione dall'Amministrazione Comunale di Francofonte sono relativi ad indagini effettuate per lo studio geologico a supporto del Piano Regolatore Generale (P.R.G.), e allo studio di microzonazione sismica del centro urbano e delle aree di interesse urbanistico, entrambi realizzati nel 1994, mentre il Dipartimento Regionale di Protezione Civile ha fornito i dati relativi a indagini effettuate per la progettazione di una strada e per il recupero di una chiesa. Tali studi sono sintetizzati in diversi elaborati di seguito elencati:

Microzonazione sismica del centro urbano e delle aree di interesse urbanistico :

- Relazione
- Elaborati grafici
- Ubicazione dei punti di indagine
- Carta della accelerazioni al suolo

Studio geologico per il Piano Regolatore Generale :



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

- Relazione
- Tav. 1: Carta geologica scala 1:10000
- Tav. 2: Carta geomorfologica scala 1:10000
- Tav. 3: Carta idrogeologica scala 1:10000
- Tav. 4: Carta clivometrica dell'area del P.R.G. scala 1:2000
- Tav. 5: Carta geolitologica e della permeabilità dell'area del P.R.G. scala 1:2000
- Tav. 6: Carta della suscettività dell'area del P.R.G. scala 1:2000

Via di fuga completamento viabilità di P.R.G. – Studio geologico-tecnico :

All. N. 2a: Relazione con allegati:

- Stralcio Tavoleta 'Francofonte'
- Carta geolitologica in scala 1:5.000
- Profili litostratigrafici
- Carta delle acclività in scala 1:2.000
- Stralcio carta del dissesto idrogeologico
- Ubicazione sondaggi in scala 1:2.000
- Diagrammi S.E.V
- Colonne stratigrafiche sondaggi a carotaggio continuo

- Sezioni litostratigrafiche
- Documentazione fotografica
- All. N. 2b: Analisi e prove di laboratorio

Progetto per il recupero e conservazione della Chiesa Madre 'S. Antonio Abate':

- Relazione geologica
- Relazione tecnica illustrativa – Indagini geognostiche e geofisiche
- Appendice fotografica

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 microtrempi 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 (Carbone et al., 1982; 1986; Beccaluva et al., 1993) e idrogeologica (Ferrara 1970; 1975; Aureli et al., 1989;) disponibile in Letteratura.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

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

Nel presente capitolo viene definita la pericolosità sismica di base del Comune di Francofonte in provincia di Siracusa, 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 Francofonte 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.

La Storia sismica del Comune di Francofonte è stata ricostruita facendo riferimento al Catalogo Parametrico dei terremoti italiani (CPTI11; Rovida et al., 2011), che nella fattispecie si riferisce al database macrosismico DBMI11 (Locati et al., 2011), su una base di dati strumentali molto ampia ed aggiornata.

Il territorio comunale di Francofonte ricade all'interno della zona 935 della zonazione sismogenetica ZS9 (Meletti et al., 2008). Questa zona racchiude diversi eventi sismici distruttivi (MCS 10 = X - XI) (Postpischl, 1985; Boschi et al., 1995; 1997) alcuni dei quali (1169; 1693) nella precedente zonazione (ZS4) erano localizzati nella zona 79 (Scandone & Stucchi, 2000) e associati al sistema che si sviluppa in offshore in corrispondenza della Scarpata Ibleo-Maltese. Il catalogo CPTI (Rovida et al., 2011) ricolloca gli epicentri di questi eventi sismici sulla terraferma, a 10-30 km di distanza dalla costa, sulla base della distribuzione delle massime intensità sviluppate nelle porzioni interne del Plateau (Basili et al., 2008).

Locality	MCS	Locality	MCS
Acate (Biscari)	X	Massannunziata	X
Aci Bonaccorsi	X	Mazzarino	VII
Aci Castello	X	Melilli	XI
Aci La Consolazione	X	Messina	VIII
Acireale	X	M. Etna	VIII-IX
Aci San Filippo	X	Militello in Val di Catania	IX
Aci Sant'Antonio	X	Mineo	X
Aci Trezza	X	Misterbianco	X
Agrigento (Girgenti)	VI	Modica	IX
Aidone	X	Monterosso Almo	X
Augusta	X	Motta S. Anastasia	X
Avola	X	Naso	VI
Belpasso (Fenicia)	IX	Nicosia	VII-VIII
Biancavilla (Li Greci)	VIII	Niscemi	VIII-IX
Borrello	X	Noto	XI
Bronte	VI- VII	Oriolo	NF
Buccheri	X	Pachino	IX
Butera	VI - VII	Palagonia	IX
Calatabiano	VIII – IX	Palazzolo Acreide	X
Calatafimi	VII	Palermo	VII
Caltagirone	VIII – IX	Paternò	VIII-IX
Caltanissetta	VI	Patti	VI-VII
Capomulini	X	Pedara	X
Carlentini	XI	Piazza Armerina	VII
Cassaro	XI	Plachi	X
Castiglione di Sicilia	VIII	Ragusa	IX-X
Catania	X	Randazzo	VII-VIII
Centuripe (Centorbiy)	VIII	Reggio Calabria	VI
Chiaromonte Gulfi	X	San Giovanni La Punta	X
Comiso	VIII	San Gregorio	X
Ferla	XI	San Michele di Ganzeria	VIII
Fiumefreddo	IX	Sant'Agata li Battiati	X
Florida	X	Sciacca	NF
Francaavilla	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).

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

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 Francofonte viene catalogato con intensità X MCS (Barbano, 1985). La Figura 3 riporta il risultato della ricerca sul database DBMI11 della sismicità storica del comune di Francofonte, in cui vengono individuati 12 eventi sismici significativi a partire dall'evento del 1693. La Figura 4 riporta il conseguente grafico relativo alla sismicità storica del comune di Francofonte.

Effetti	In occasione del terremoto del:			
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
8	<u>1693 01 09 21:00</u>	Val di Noto	30	8-9 6.21 ±0.31
10	<u>1693 01 11 13:30</u>	Sicilia orientale	185	11 7.41 ±0.15
6-7	<u>1818 03 01 02:45</u>	Monti Iblei	24	7-8 5.51 ±0.65
4	<u>1894 11 16 17:52</u>	Calabria meridionale	303	9 6.07 ±0.10
4-5	<u>1895 04 13 15:01</u>	Vizzini	32	6-7 4.89 ±0.45
NF	<u>1898 05 14 04:45</u>	S. M. LICODIA	35	7-8 4.39 ±0.26
NF	<u>1905 09 08 01:43</u>	Calabria meridionale	895	7.04 ±0.16
4	<u>1959 12 23 09:29</u>	PIANA DI CATANIA	108	6-7 5.29 ±0.20
3	<u>1978 04 15 23:3</u>	Golfo di Patti	332	6.06 ±0.09

Effetti	In occasione del terremoto del:				
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io	Mw
3	<u>1980 01 23 21:2</u>	MODICA	122	5-6	4.58 ±0.14
6-7	<u>1990 12 13 00:2</u>	Sicilia sud-orientale	304	7	5.64 ±0.09
4-5	<u>2004 12 30 04:0</u>	Monti Iblei	49	5	4.17 ±0.17

Fig. 3 - Eventi sismici significativi per il Comune di Francofonte, 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.

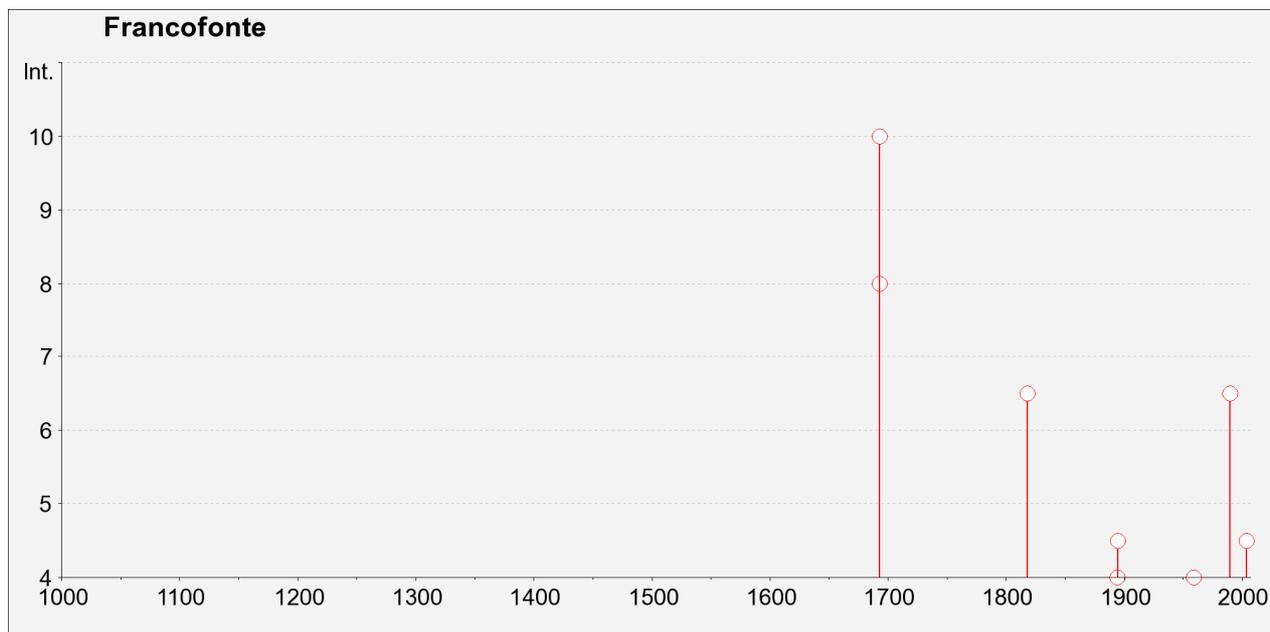


Fig. 4 - Grafico relativo alla sismicità storica del comune di Francofonte.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

Catalogazione del Comune di Francofonte sulla mappa interattiva di pericolosità sismica

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

di riferimento per ogni probabilità di superamento) e la distribuzione del 16mo e dell'84mo percentile che indicano la variabilità delle stime.

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

LATITUDINE: 37.616 N

LONGITUDINE: 15.098 E

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

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

30%	140	0.0071
22%	201	0.0050
10%	475	0.0021
5%	975	0.0010
2%	2475	0.0004

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

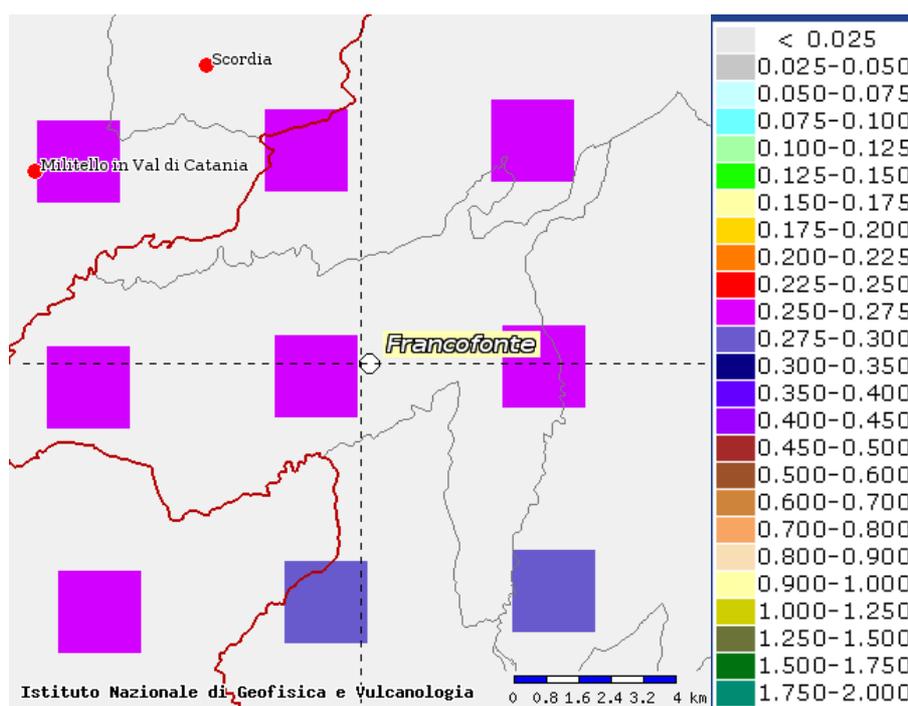


Fig. 6 – Mappa interattiva di pericolosità sismica del territorio di Francofonte. I punti della griglia visualizzati si riferiscono a: parametro dello scuotimento $a(g)$, probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

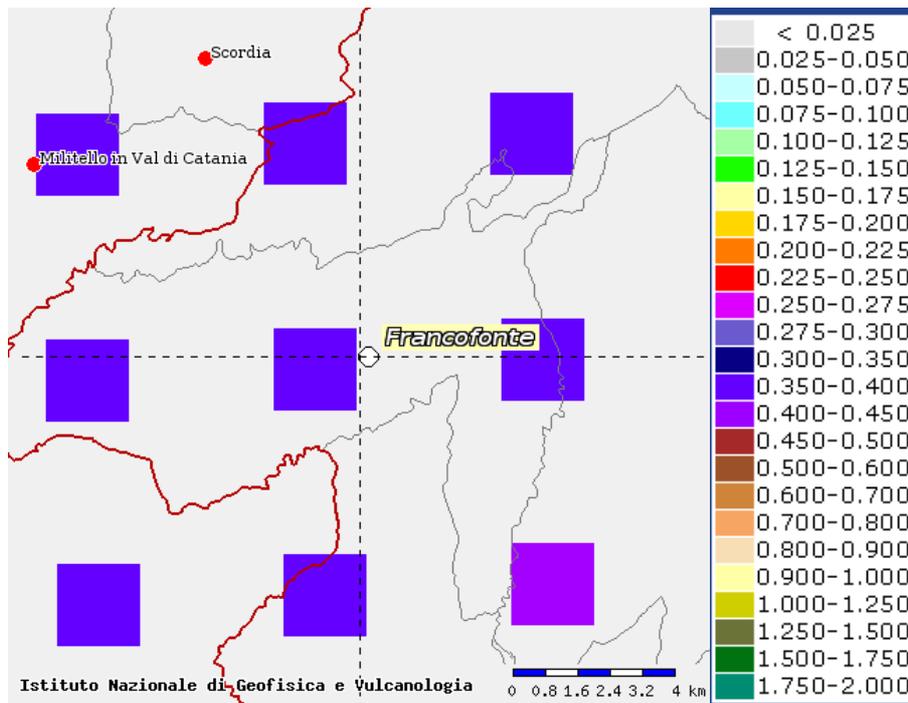


Fig. 7 – Mappa interattiva di pericolosità sismica del territorio di Francofonte. I punti della griglia visualizzati si riferiscono a: parametro dello scuotimento $a(g)$, probabilità di superamento del 5% in 50 anni.

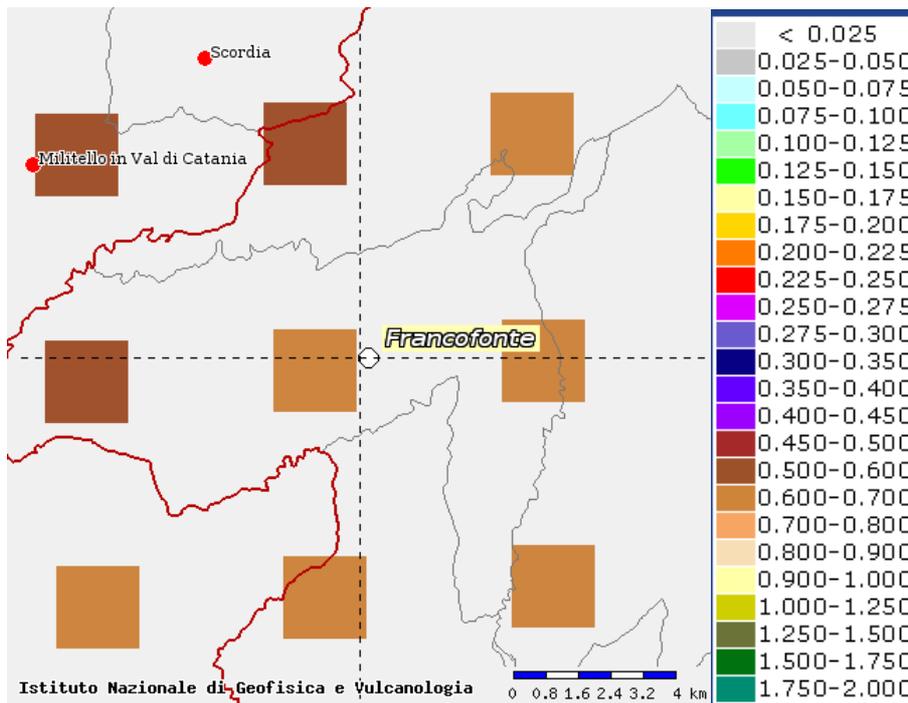


Fig. 8 – Mappa interattiva di pericolosità sismica del territorio di Francofonte. I punti della griglia visualizzati si riferiscono a: parametro dello scuotimento $a(g)$, probabilità di superamento del 2% in 50 anni.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile

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

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

TR[anni]	ag [g/10]
475	0.250-0.275
975	0.350-0.400
2475	0.600-0.700

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

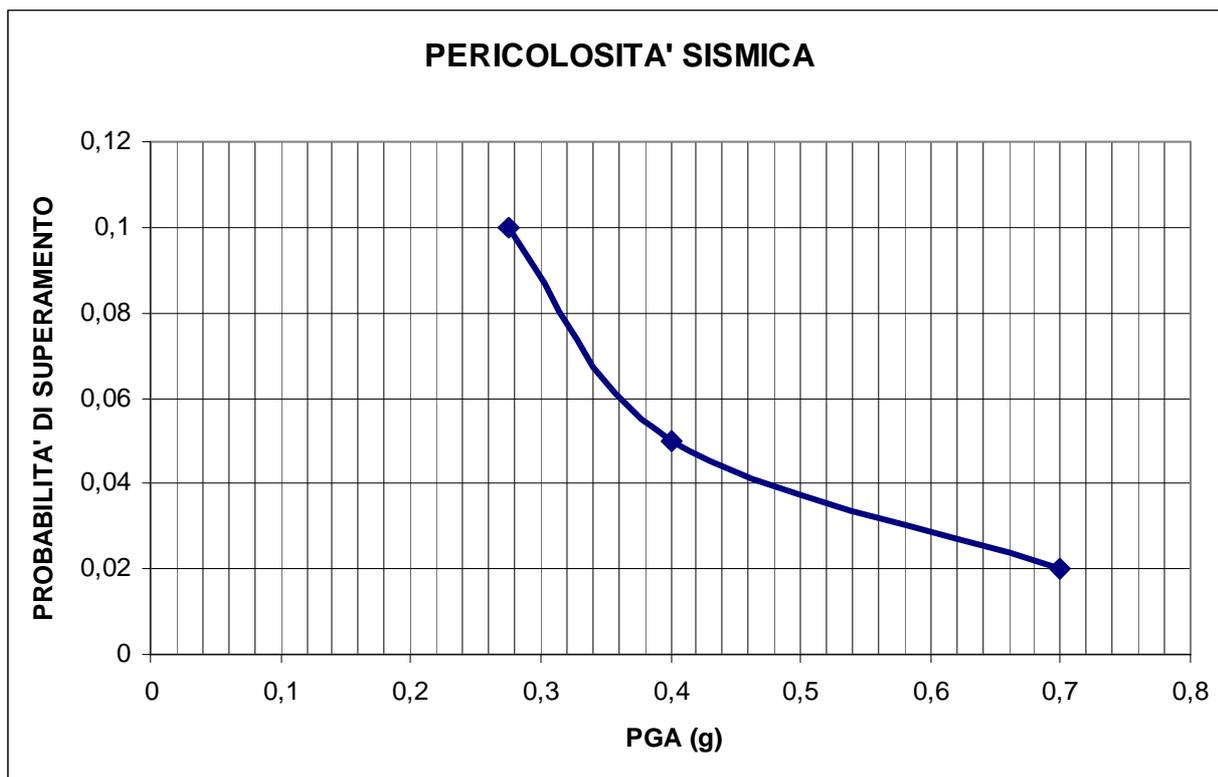


Fig. 9 – Curva di pericolosità sismica al sito per il territorio di Francofonte. La curva rappresenta il valore della mediana.

Il territorio del Comune di Francofonte è stato individuato sul database DBMI11 (con 12 eventi sismici significativi tra il 1693 ed il 2004) con una intensità macrosismica espressa nella scala MCS che raggiunge il suo valore massimo in MCS = X in corrispondenza del terremoto della Val di Noto del 1693. La localizzazione territoriale sulle mappe interattive di pericolosità sismica ha consentito di ricavare i valori di a_g su suolo rigido (categoria A; $V_{s30} > 800$ m/sec) con probabilità di superamento in 50 anni pari a: 0.250–0.275 per il 10%, 0.350–0.400 per il 5% e 0.600–0.700 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 Francofonte.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

3. Assetto geologico e geomorfologico dell'area

Il territorio comunale di Francofonte è ubicato alla terminazione occidentale del Graben di Scordia–Lentini, la depressione tettonica di età Pleistocenica, delimitata da faglie normali orientate in direzione NE–SO, che borda il margine nord–occidentale del Plateau Ibleo (Ghisetti & Vezzani, 1980; Lentini et al., 1994). Questo bacino estensionale si è originato dal collasso delle successioni carbonatiche iblee e delle vulcaniti plio–pleistoceniche ad esse associate (Lentini et al., 1984), sulle quali si è depositata una sequenza sin–tettonica trasgressiva di età compresa tra circa 1.5 a 0.9 Ma (Pedley et al., 2001), caratterizzata da facies calcarenitico–sabbiose marginali, evolventi lateralmente e verso l'alto ad argille marnose, caratteristiche delle zone depocentrali della depressione. Il Graben di Scordia–Lentini è il risultato finale della tettonica di flessurazione che ha provocato il collasso dell'Avampaese verso il fronte dell'Orogene Appenninico–Maghrebide. Secondo le informazioni fornite dalla sismica profonda (Torelli et al. 1998), l'inizio della formazione del graben sarebbe da imputare ad un'importante fase tettonica estensionale tardo–pliocenica, accompagnata dalla deposizione di sedimenti sintettonici associata all'emissione di basalti tholeiitici; la continuazione dell'attività tettonica durante il Pleistocene Inferiore (Butler et al. 1997) avrebbe portato al rimodellamento della depressione, la cui articolazione è evidenziata dalle facies della sequenza trasgressiva infrapleistocenica (1.5–0.9 Ma) (Pedley et al. 2001), caratterizzata da carbonati e sabbie di mare basso sugli alti strutturali evolventi, nelle zone più depresse, a termini argillosi e sabbiosi in facies distali.

L'abitato di Francofonte è ubicato nella zona di contatto tra le sequenze sintettoniche pleistoceniche del graben ed il substrato vulcanico pliocenico. Secondo

Carbone et al. (1986)(Fig. 10), le vulcaniti presenti nell'area di Francofonte sarebbero ascrivibili ad una età suprapliocenica, e comprenderebbero sia prodotti ad affinità tholeiitica che prodotti della serie alcalina (Pv in Figura 10).

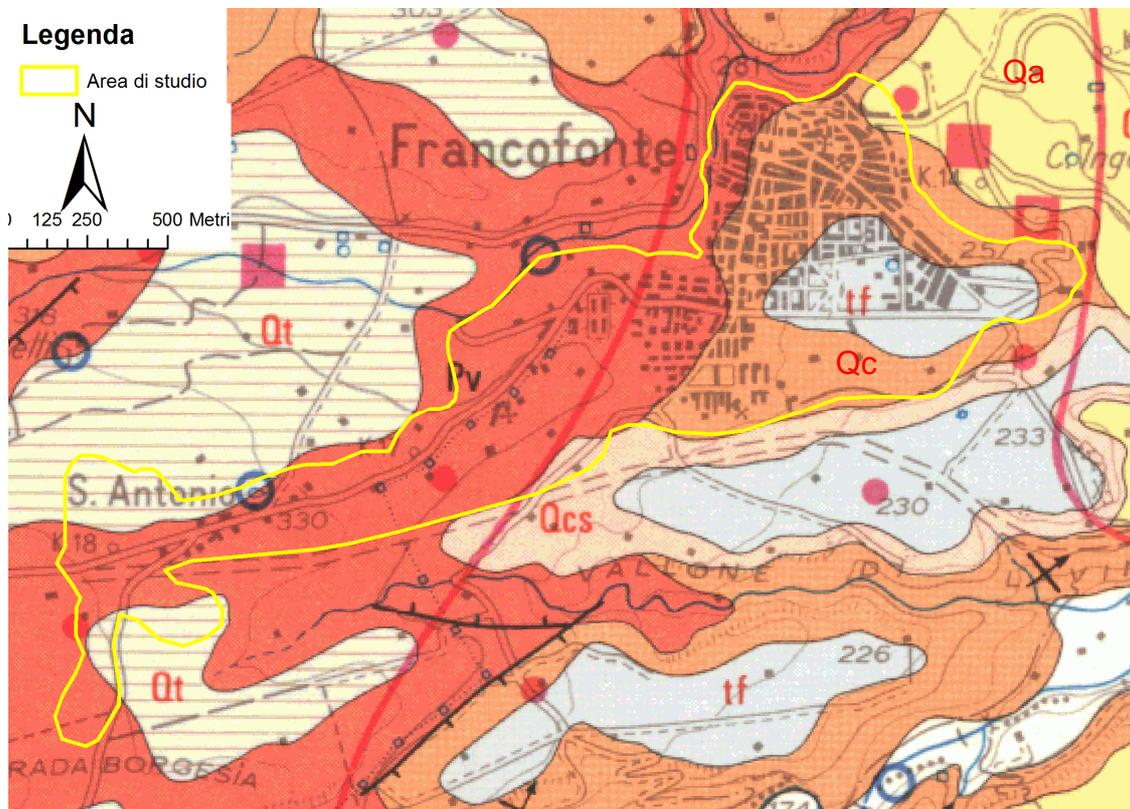


Fig. 10 – Stralcio della Carta geologica del settore nord-orientale ibleo (Sicilia SE) (Carbone et al., 1986 mod).

Sul substrato vulcanico di Francofonte, Carbone et al. (1986) riconoscono un unico ciclo marino del Pleistocene inferiore, costituito sia da depositi interpretati come emiciclo trasgressivo di natura calcarenitica (Qc in Fig. 10) e argillosa (Qa in Fig. 10) che da quelli assegnati all'emiciclo regressivo di natura conglomeratico-sabbiosa (Qcs in Fig. 10). Nella carta chiare incongruenze geometriche, quali l'appoggio diretto sul substrato dell'emiciclo regressivo su un alto morfologico scontornato dai depositi dell'emiciclo trasgressivo, rendono comunque problematica l'interpretazione proposta. La carta infine riporta la distribuzione dei depositi terrazzati, marini (Qt in Fig. 10) e fluviali (tf in Fig. 10), oggi terrazzati lungo i corsi d'acqua.

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

Ancora più semplificato è il quadro geologico di Francofonte proposto da Beccaluva et al. (1993)(Fig. 11). In questo documento cartografico, tutte le lave affioranti (7 e 8 in Figura 11) sarebbero di composizione tholeiitica. L'intera successione marina poggiate sul substrato vulcanico è stata assegnata ad una unica formazione di calcareniti e sabbie giallastre (15 in Fig. 11) che costituirebbe un emiciclo regressivo depositato sul bordo del Graben di Scordia–Lentini.

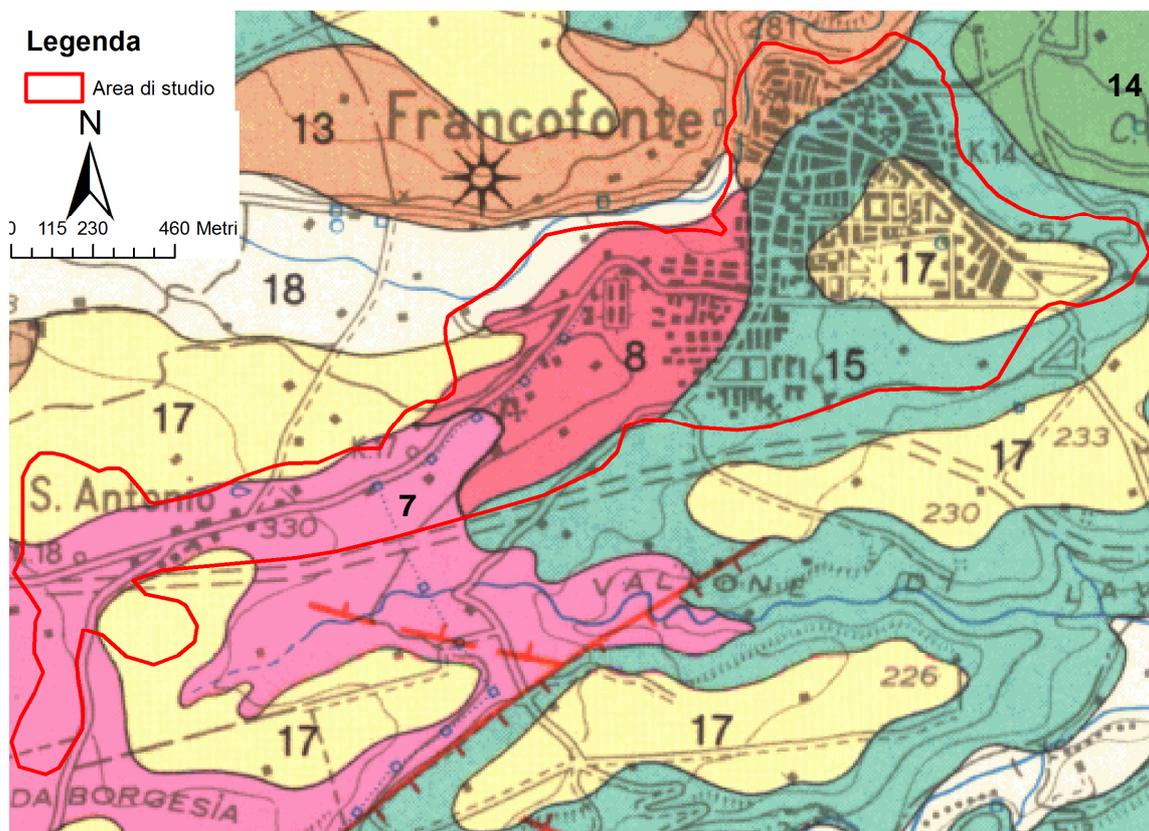


Fig. 11 – Stralcio della Carta geopetrografica dell'area centro-settentrionale iblea (Sicilia sud-orientale) (Beccaluva et al., 1993 mod).

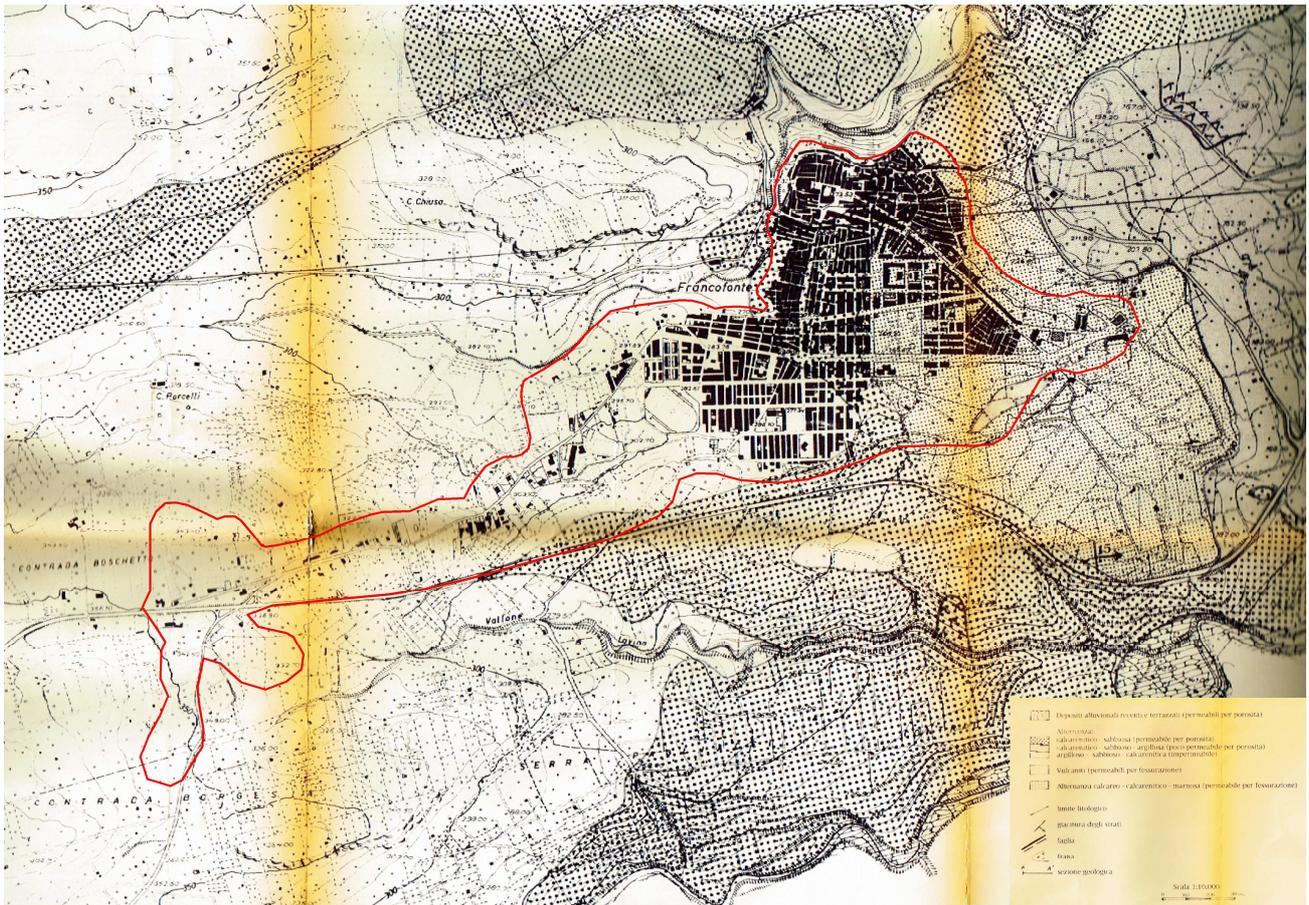


Fig. 12 – Stralcio della Carta geologica in scala 1:10.000 allegata al PRG.

Nella carta geologica allegata agli studi per la realizzazione del PRG (Fig. 12), i depositi sedimentari affioranti al tetto della dorsale di Francofonte sono stati attribuiti ad un unico ciclo, costituito da litofacies eteropiche variabili, da ovest ad est, da calcarenitico-sabbiosa ad argilloso-sabbioso-calcarenitico. Secondo la carta, questa sequenza ricoprirebbe in discordanza sia le lave, che costituiscono l'ossatura della dorsale di Francofonte, che una sequenza calcareo-calcarenitico-marnosa, affiorante a sud-est dell'abitato, andando a suturare un contatto la cui natura e geometria non sono comunque definiti.

Le informazioni ricavate dagli studi geologici progressi hanno fornito un quadro troppo semplificato dei rapporti geometrici tra i differenti terreni affioranti nell'area dell'abitato.

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

Un esempio significativo è fornito dallo stralcio della carta geologica alla scala 1:5000 e dai relativi profili realizzati attraverso il settore settentrionale dell'area urbana per il progetto via di fuga a completamente viabilità del PRG (Fig. 13).

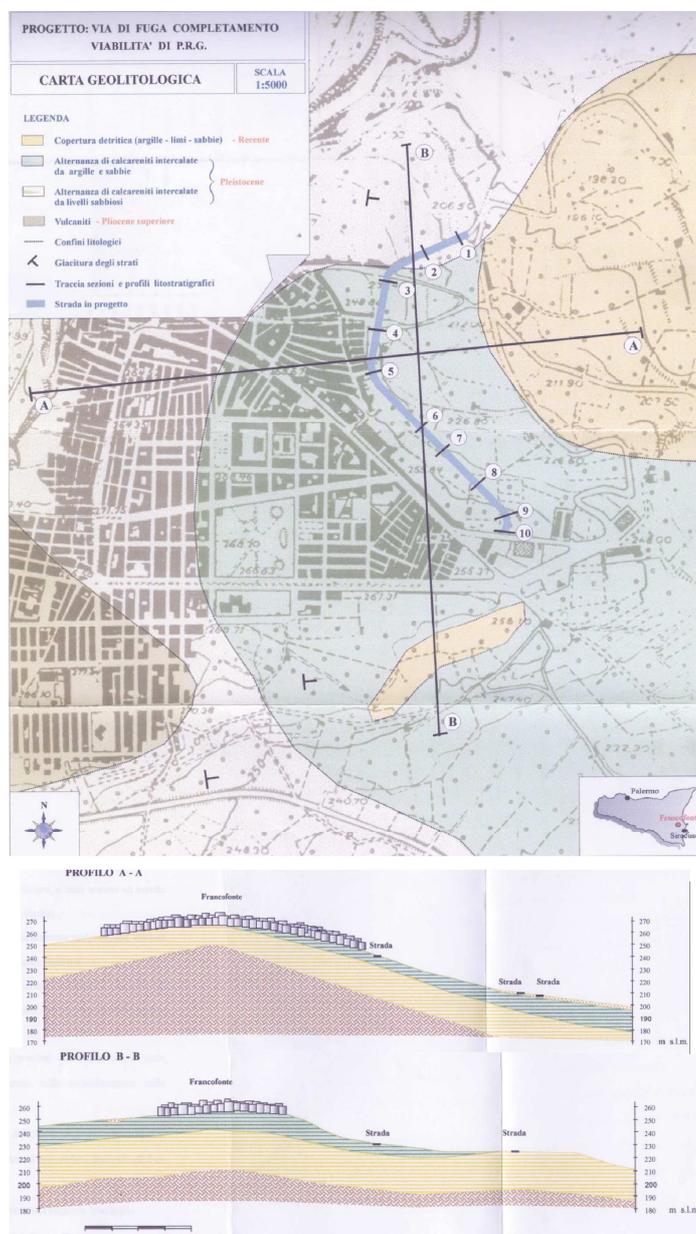


Fig. 13 – Stralcio della Carta geologica e sezioni geologiche del progetto via di fuga completamente viabilità di PRG.

Per ottenere una base cartografica geologica adeguata ai fini della realizzazione degli studi di microzonazione sismica di primo livello, si è reso indispensabile l'esecuzione di un rilevamento geologico originale di una vasta area, significativa non solo per chiarire gli interrogativi ancora aperti, ma anche per permettere la ricostruzione delle geometrie tridimensionali con il dettaglio adeguato alla definizione delle microzone omogenee in prospettiva sismica. Le unità stratigrafiche che costituiscono il substrato su cui è fondato l'abitato di Francofonte sono state quindi ricostruite sulla base di un rilievo alla scala 1:5000, condotto al fine di ricostruire le caratteristiche giaciture ed i rapporti stratigrafici tra le differenti litologie e, conseguentemente, riconoscere la geometria delle strutture tettoniche che hanno interrotto la originaria continuità dei terreni.

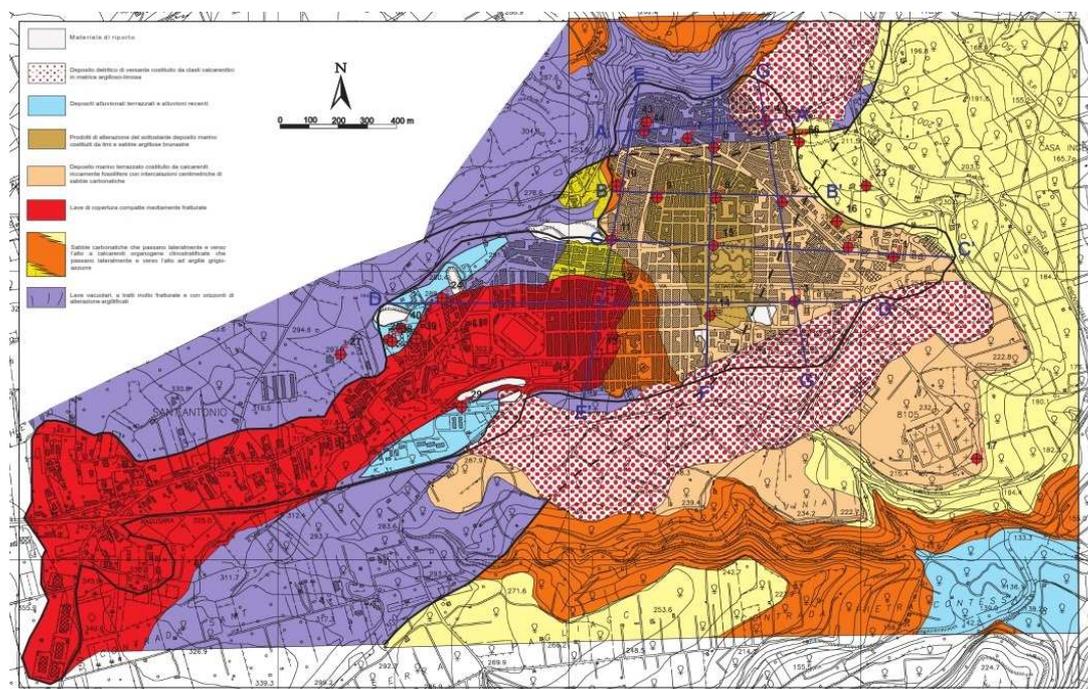


Figura 14 - Carta geologica alla scala 1:5000 del territorio comunale di Francofonte

I risultati degli studi originali condotti (Fig. 14) hanno permesso di delineare un quadro geologico sensibilmente differente da quello proposto dalla cartografia pregressa, dal quale emerge la natura sin-tettonica di gran parte della successione sedimentaria affiorante nell'area di Francofonte.

I nuovi dati evidenziano che la dorsale di Francofonte costituisce il letto di una faglia normale orientata NE-SO, antitetica rispetto al bordo meridionale del Graben di Scordia-



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

Lentini. La faglia, di seguito indicata come Faglia Lavinia-Giardinello, nel tratto di attraversamento dell'area urbana è sepolta sotto depositi più recenti di diversa natura, mentre la linea di faglia riesumata dall'erosione è evidente sia a sud-ovest dell'abitato, in corrispondenza del Vallone Lavinia, che a nord-est del paese, nella zona della Fonte Giardinello. La struttura, non segnalata in alcun documento cartografico precedente, separa un "horst" in cui è ampiamente esposto il substrato vulcanico suprapliocenico, costituito da lave basaltiche (**ALS** nella Carta geologico-tecnica) a luogo mediamente fratturate (**SF** nella Carta geologico-tecnica) con frequenti orizzonti di alterazione argilloso-limosi (vedi **ML** in **Allegato 2**), dalle aree del graben riempite da un ciclo sedimentario costituito da calcareniti (**GRS** nella Carta geologico-tecnica) evolventi verso l'alto ad argille marnose (**NR** nella Carta geologico-tecnica). Facies marginali di questo ciclo, rappresentate da sabbie carbonatiche sciolte, con partimenti limosi-argillosi, che evolvono lateralmente, verso est, a cliniformi di calcareniti organogene alternate a livelli centimetrico-decimetrici di sabbia carbonatica, costituiscono un emiciclo trasgressivo che ha ricoperto anche le porzioni orientali dell'horst. Ancora più ad est, le facies marginali di alto strutturale passano lateralmente a termini pelitici costituiti da argille sabbiose riccamente fossilifere, con rari clasti calcarenitici, che si saldano con il tetto della successione di riempimento dell'adiacente graben. Tale successione è identificabile con il Complesso Carbonatico-Argilloso Quaternario di Grasso et al. (2004), di età infrapleistocenica.

Nella porzione più occidentale della dorsale di Francofonte, parte delle lave precedentemente interpretate come vulcaniti supraplioceniche, costituiscono in effetti una colata lavica il cui fronte ricopre i depositi marginali del ciclo infrapleistocenico, a

dimostrazione di una loro età quaternaria. La presenza della colata lavica più recente ha trovato riscontro nella stratigrafia di numerose perforazioni (es. sondaggio geognostico 089010P39 in **Allegato 2**) che hanno evidenziato uno spessore di lave massive ben conservate, poggianti sul substrato di lave più antiche, maggiormente fratturate e alterate. Per differenziare la loro giacitura, queste lave sono state inserite tra i terreni di copertura (**LC** nella Carta geologico-tecnica).

Gli studi di terreno condotti hanno permesso di riconoscere due ordini di terrazzi marini costituiti da calcareniti fossilifere in strati di 5–30 centimetri e livelli calcarei “a lumachelle”, intercalati a livelli di sabbia carbonatica sciolta giallastra, di spessore decametrico. Il terrazzo più elevato occupa parte della sommità della dorsale di Francofonte, mentre l'ordine inferiore è modellato nel versante orientale della dorsale, rivolto verso le aree del Graben di Scordia–Lentini. I depositi del terrazzo sommitale suturano la Faglia Lavinia–Giardinello, ricoprendo sia le vulcaniti plioceniche, esposte nell'alto strutturale di Francofonte, che la sovrastante successione sedimentaria infrapleistocenica, ribassata tettonicamente al margine del graben. La presenza della struttura sepolta sotto i depositi marini terrazzati è evidenziata dalle stratigrafie dei sondaggi che, raggiunta la base del terrazzo, attraversa calcareniti e lave (**GRS** e **ALS**) nel settore rialzato della struttura e argille (**NR**) nel settore ribassato.

Il bordo interno del terrazzo sommitale, sul quale è ubicato gran parte del centro urbano, è modellato su una vecchia falesia costituita da lave che sono esposte al letto rialzato di una ulteriore faglia, ad andamento circa E–O, che attraversa il settore settentrionale dell'abitato (Fig. 14). Questo segmento costituisce la terminazione di una faglia ad andamento arcuato e immersione verso i quadranti meridionali, di seguito indicata come Faglia dell'Annunziata. Il tratto della struttura orientato NE–SO è, infatti, ben esposto in corrispondenza della Chiesa dell'Annunziata, lungo il tracciato del torrente Canale (Fig. 14), immediatamente ad ovest dell'area microzonata. In questo tratto, la faglia mette a contatto le lave plioceniche, esposte al letto, con i depositi



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile

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

sabbiosi del ciclo infrapleistocenico, presenti al tetto. Il tratto E-O della struttura, che attraversa la porzione settentrionale dell'abitato, collega due delle principali sorgenti storiche, la Fonte Canali, ad ovest, e Fonte Giardinello, ad est, la cui distribuzione è probabilmente connessa alla presenza di una soglia di permeabilità creata dalla struttura stessa. E' interessante notare che la Fonte Canali è ubicata esattamente nella zona di curvatura della Faglia dell'Annunziata, mentre la Fonte Giardinello è ubicata lungo il versante sud-orientale della dorsale di Francofonte, alla intersezione tra la Faglia dell'Annunziata e la Faglia Lavinia-Giardinello (Fig. 14).

Le stratigrafie dei sondaggi che attraversano i depositi del terrazzo sommitale evidenziano, inoltre, la presenza alla base di un orizzonte continuo, seppure di spessore molto limitato, costituito da un livello argilloso ricco in materiale organico di colore bruno-rossastro, assimilabile ad un paleosuolo. Tale orizzonte testimonierebbe la trasgressione marina su una superficie di erosione continentale, modellata sulla successione infrapleistocenica. I depositi marini terrazzati, pertanto, sono presumibilmente riferibili all'ultima trasgressione di età mediopleistocenica, risultando assimilabili alla successione della cosiddetta "panchina milazziana" descritta da Accordi (1963), il quale riconosceva come elemento distintivo la presenza costante di un paleosuolo fra il piastrone calcarenitico del terrazzo ed il substrato. I depositi marini terrazzati si estendono nel sottosuolo di tutto il centro urbano, da una quota massima di 265 m fino alla quota 200 m s.l.m.. Una scarpata di circa 20 m, con il piede posto ad una quota di circa 235 m s.l.m., separa i due ordini di terrazzo marino. I depositi marini terrazzati, nonostante la chiara giacitura tipica di terreni di copertura, per la loro litologia sono stati comunque catalogati come substrato non rigido (GR nella carta geologico-

tecnica), in quanto gli standard non prevedono la possibilità di inserire tra le coperture terreni coerenti.

I nuovi dati di terreno hanno evidenziato anche la presenza di coperture continentali di genesi differente, rilevanti ai fini della microzonazione sismica e della valutazione della risposta sismica locale. Prodotti di alterazione del deposito marino terrazzato, costituiti da argille limose e sabbiose con intercalazioni di clasti carbonatici, sono presenti in una vasta area del centro urbano (**Clec** nella Carta geologico-tecnica). Al piede del versante meridionale ed orientale della dorsale di Francofonte, per vasti tratti, si è accumulata una coltre detritica a matrice argilloso-sabbioso-limosa con elementi di varie dimensioni di calcareniti e vulcaniti (**Clfd** nella Carta geologico-tecnica). Lungo i versanti che delimitano la dorsale di Francofonte sono modellati terrazzi fluviali con depositi alluvionali a prevalente matrice argillosa (**MLtf** nella Carta geologico-tecnica) o sabbiosa (**SMtf** nella Carta geologico-tecnica). Riporti di materiali eterogenei (**Rizz** nella Carta geologico-tecnica), derivante da attività antropica, sono stati, infine, riconosciuti in varie zone del centro abitato.

I nuovi rilievi condotti hanno permesso di ricostruire un quadro tettonico aggiornato della dorsale di Francofonte, che risulta strutturalmente interpretabile come un horst orientato NE-SO, che separa il settore settentrionale e meridionale del Graben di Scordia-Lentini, interrompendone la sua continuità trasversale alla terminazione occidentale della depressione strutturale. Tale connessione è rilevante ai fini della valutazione della pericolosità sismica del sito. L'area del Graben di Scordia-Lentini, per l'età relativamente recente delle strutture tettoniche che lo delimitano, è stata oggetto di diversi studi finalizzati alla definizione dell'eventuale pericolosità e potenzialità sismogenica. In particolare, nel database Ithaca (ITaly HAZard from CApable faults) è stata catalogata come possibile faglia capace, accreditata in maniera dubitativa di una attività negli ultimi 3000 anni, una struttura, denominata Graben di Lentini, ancora in corso di definizione, ubicata lungo il margine meridionale del Graben di Scordia-Lentini, la cui terminazione

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

ricade nel territorio immediatamente a sud-est dell'abitato di Francofonte (Fig. 15). I parametri fisici della presunta faglia capace sono riportati nella scheda allegata alla Figura 15.

1) FAGLIA IN CORSO DI DEFINIZIONE

GEOLOGIC SETTING	
SYNOPSIS	
FAULT NAME	Graben di Lentini
FAULT CODE	10700
MACROZONE	7
REGION NAME	Sicilia
SYSTEM NAME	Scordia-Lentini Graben
RANK	PRIMARY
AVERAGE STRIKE	225
DIP	
LENGTH (Km)	12
GEOMETRY	
SEGMENTATION	no
DEPTH (Km)	0
LOCATION RELIABILITY (MAPPING SCALE)	1:0
LAST ACTIVITY	Historical (<3,000)

ACTIVITY RELIABILITY	Medium reliability
RECURRENCE INTERVAL (yr)	0
SLIP-RATE (mm/yr)	0
MAX CREDIBLE RUPTURE LENGTH	0
MAX CREDIBLE SLIP (m)	0
KNOWN SEISMIC EVENTS	
MAX CREDIBLE MAGNITUDE (Mw)	0
MAX CREDIBLE INTENSITY (INQUA scale)	
STUDY QUALITY	LOW
NOTES	

REFERENCES

FAULT CODE	AUTHORS	TITLE	REFERENCES	YEAR
10700	AZZARO R., BARBANO M. S., RIGANO R. & ANTICHI B.	Contributo alla revisione delle zone sismogenetiche della Sicilia	Le ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica (1996-1999) (Volume GNDT) - Editori Galadini F., Meletti C. & Rebez C.	2000

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

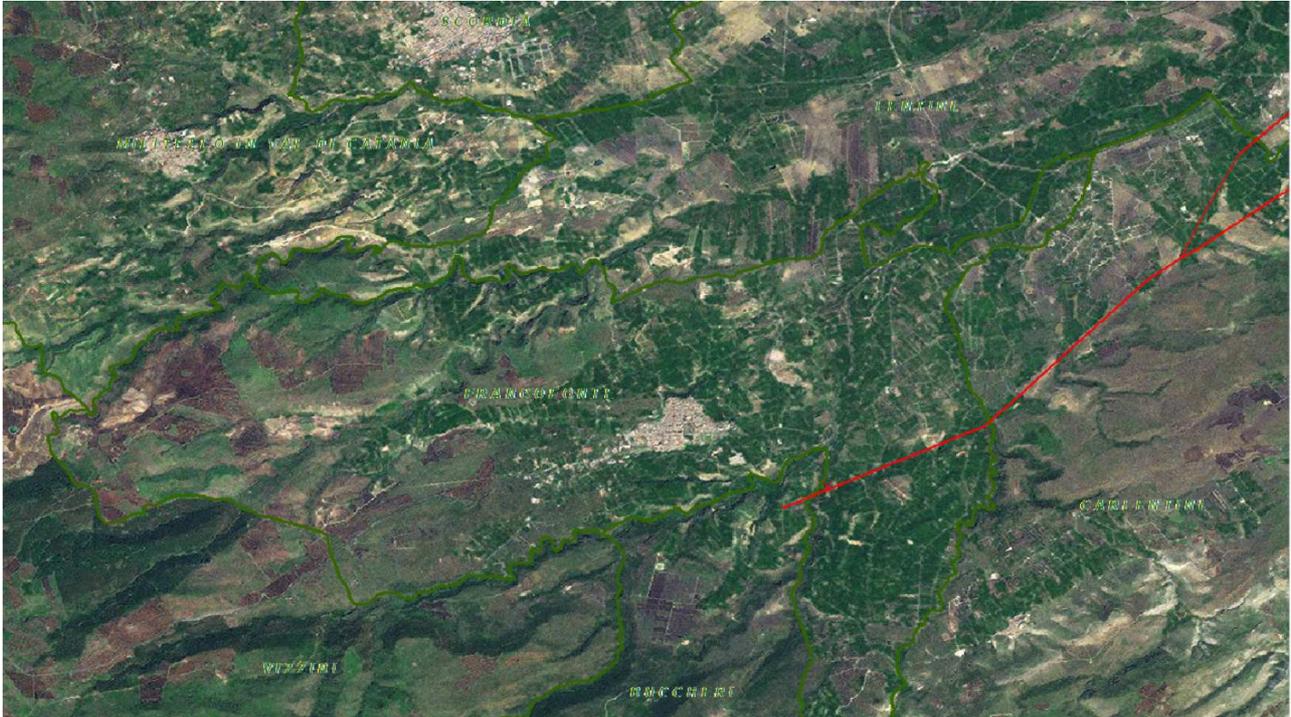


Fig. 15 – Ubicazione e parametri fisici (vedi tabella) della Faglia Graben di Lentini, ricadente nel territorio di Francofonte segnalata nel database Ithaca. Si tratta di una faglia in fase di definizione (http://sgi2.isprambiente.it/website/ithaca/scheda_faglia.asp?tnid=10700).

I primi studi dedicati all'evoluzione neotettonica della regione della Sicilia orientale sono quelli relativi al progetto geodinamica degli anni '70 e '80, (Ghisetti & Vezzani, 1978; Di Geronimo et al., 1978; Carbone et al., 1982) che hanno definito l'evoluzione di lungo periodo dei movimenti verticali recenti, senza chiarire l'effettivo stato di attività delle strutture bordiere del Graben di Scordia-Lentini.

I dati di sismica a riflessione attraverso la porzione *off-shore* del Graben di Scordia-Lentini (Torelli et al., 1998) evidenziano una sostanziale inattività delle strutture estensionali a partire dalla fine del Pleistocene inferiore, in buon accordo con quanto riscontrato a Francofonte, dove i depositi marini terrazzati suturano le principali linee di

faglia riconosciute. Ulteriori studi condotti nell'area (Bousquet & Lanzafame, 2004; Catalano et al., 2010) hanno evidenziato, comunque, una generalizzata inversione tettonica positiva della regione del Graben di Scordia-Lentini, che ha prodotto lo sviluppo di una nuova generazione di faglie inverse, a direzione NE-SO e immersione verso sud, che hanno rimobilizzato in compressione l'originario bordo meridionale della depressione tettonica.

Il database DISS (versione 3.1.1) (Database of Individual Seismogenic Sources) (DISS Working Group 2010) segnala due possibili sorgenti sismogeniche che ricadono in parte nel territorio comunale di Francofonte (Fig. 16). La prima sorgente corrisponde ad una sorgente individuale indicata come ITIS014- Monte Lauro, ubicata lungo il bordo meridionale riattivato del Graben Scordia-Lentini, i cui parametri geometrici e fisici sono sintetizzati nella tabella di Figura 17. La sorgente accreditata di una magnitudo massima attesa pari a $M_w=6.6$ è stata associata ad una delle due scosse del giorno 11 Gennaio 1693, che hanno avuto il massimo risentimento nella storia sismica di Francofonte (I=X).

La seconda sorgente corrisponde ad un'area sismogenica complessa, denominata ITCS035- Ragusa-Palagonia, corrispondente alla porzione settentrionale della Linea di Scicli. A questa struttura, sede di movimenti recenti sinistri nella sua parte meridionale (Catalano et al., 2008), non è stato comunque associato alcun evento storico, anche se sulla base dei parametri geometrici e fisici è accreditata di una potenziale $M_w= 5.6$ (Fig. 18).

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



Fig. 16 – Ubicazione dell'area comunale di Francofonte (in blu) e dell'area di studio (in rosso) rispetto alle sorgenti sismogeniche del Diss 3.1.1 (DISS Working Group 2010, mod.)

DISS 3.1.1: Seismogenic Source ITIS074 - Monte Lauro	
Source Info Summary	Commentary
References	Pictures
General information	
Code	ITIS074
Name	Monte Lauro
Compiled By	Burrato, P., P. Vannoli and G. Valensise
Latest Update	28/09/2007
Parametric information	
	Parameter
	Qual. Evidence
Location (Lat/Lon)	37.1484 / 15.011 OD Inferred from macroseismic and geological data.
Length (km)	24 OD Derived from geological and geomorphological observations.
Width (km)	11.9 OD Derived from geological and geomorphological observations.
Min Depth (km)	4 EJ Constrained from geological and geomorphological observations.
Max Depth (km)	12.4 EJ Constrained from geological and geomorphological observations.
Strike (deg)	57 OD Derived from geological and geomorphological observations.
Dip (deg)	45 OD Derived from geological and geomorphological observations.
Rake (deg)	70 OD Based on geodynamic considerations.
Slip Per Event (m)	1 ER Calculated from Mo using the relationship from Hanks and Kanamori (1979).
Slip Rate (mm/y)	0.1 - 1 EJ Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
Recurrence (y)	1000 - 10000 EJ Inferred from slip rate and average displacement.
Magnitude (Mw)	6.6 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 (1/2) 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. 17 – Scheda classificativa della sorgente sismogenica ITIS074 – Monte Lauro del Diss 3.1.1 (DISS Working Group 2010, mod.).

DISS 3.1.1: Seismogenic Source ITCS035 - Ragusa-Palagonia	
Source Info Summary	Commentary
References	Pictures
General information	
Code	ITCS035
Name	Ragusa-Palagonia
Compiled By	Burrato, P., and P. Vannoli
Latest Update	13/09/2007
Parametric information	
	Parameter
	Qual. Evidence
Min Depth (km)	1 OD Based on regional geological and seismological data.
Max Depth (km)	23 OD Based on regional geological and seismological data.
Strike (deg)	355 - 15 OD Based on regional geological data.
Dip (deg)	60 - 90 OD Based on regional geological data.
Rake (deg)	350 - 30 EJ Assumed from geodynamic considerations.
Slip Rate (mm/y)	0.1 - 1 EJ Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
Max Magnitude (Mw)	5.6 OD Based on the strongest earthquake occurred in the region.
Q-keys:	LD = Literature Data; OD = Original Data; ER = Empirical Relationship; AR = Analytical Relationship; EJ = Expert Judgement

Fig. 18 – Scheda classificativa della sorgente sismogenica ITCS035 – Ragusa-Palagonia del Diss 3.1.1 (DISS Working Group 2010, mod.).

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

4. Dati geotecnici e geofisici

I dati geotecnici e geofisici disponibili per l'area di studio, derivano da n. 200 indagini complessive, di cui n. 185 indagini pregresse e n. 15 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. 162 indagini puntuali e n. 38 indagini lineari. L'insieme delle indagini puntuali e lineari (per l'ubicazione si veda la carta delle indagini) sono schematizzate per tipologia nelle sottostanti tabelle 2:

Indagini Puntuali	Geologia (GG)			Geofisica (GF)			Geotecnica in sito (GS)		Geotecnica di laboratorio (GL)				Totale			
	SS	SC	T	HVSR (Unict)	HVSR	DH	SPT	DL	SM	TD	CD	ELL	GG	GF	GS	GL
162	30	26	2	15	9	26	7	12	26	3	1	5	58	50	19	35

Indagini Lineari	Geologia (GG)	Geofisica (GF)	Geoelettrica (GE)	TOTALE		
Totale Ind. Lineari	SGE	SR	SEV	GG	GF	GE
38	12	13	13	12	13	13

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., per la microzonazione sismica del centro urbano, per la progettazione di una strada e per il recupero e conservazione della Chiesa Madre.

Le unità geologico tecniche individuate (vedi Carta geologico-tecnica per gli studi di microzonazione sismica) sono state distinte in unità del substrato geologico e in unità relative ai terreni di copertura 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%		
Organico w_L (essiccato)/ w_L (naturale)	Inorganico	pass. 200 < 5%	Cu $\geq 4 e / 1 < Cc < 3$	GW	Ghiate pulite con granulometria ben assortita miscela di ghiaia e sabbia
			Cu $\geq 4 e / 0 Cc > 3$	GP	Ghiate pulite con granulometria poco assortita miscela di ghiaia e sabbia
Organico w_L (essiccato)/ w_L (naturale)	Inorganico	5% < pass. 200 < 12%	Cu $\geq 4 e / 0 1 < Cc < 3$	GW-GM	Ghiaia limosa ben assortita
			Cu $\geq 4 e / 0 1 < Cc < 3$	GW-GC	Ghiaia argillosa ben assortita
Organico w_L (essiccato)/ w_L (naturale)	Inorganico	pass. 200 > 12%	Cu $< 4 e / 0 Cc > 3$	GP-GM	Ghiaia limosa poco assortita
			Cu $< 4 e / 0 Cc > 3$	GP-GC	Ghiaia argillosa poco assortita
Organico w_L (essiccato)/ w_L (naturale)	Inorganico	pass. 200 > 12%	% fine ML o MH	GM	Ghiaia limosa, miscela di ghiaia sabbia e limo
			% fine ML o MH	GC-GM	Ghiaia limosa e argillosa
Organico w_L (essiccato)/ w_L (naturale)	Inorganico	pass. 200 > 12%	% fine M e C	GC	Ghiate argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla
			% fine CL o CH	SW	Sabbie pulite con granulometria ben assortita sabbie ghiaiose
Organico w_L (essiccato)/ w_L (naturale)	Inorganico	pass. 200 > 12%	Cu $\geq 6 e / 1 < Cc < 3$	SP	Sabbie pulite con granulometria poco assortita miscela di ghiaia e sabbia
			Cu $\geq 6 e / 0 Cc > 3$	SW-SM	Sabbia limosa ben assortita
Organico w_L (essiccato)/ w_L (naturale)	Inorganico	5% < pass. 200 < 12%	% fine ML o MH	SW-SC	Sabbia argillosa ben assortita
			% fine CL o CH	SP-SM	Sabbia limosa poco assortita
Organico w_L (essiccato)/ w_L (naturale)	Inorganico	pass. 200 > 12%	Cu $< 6 e / 0 Cc > 3$	SP-SC	Sabbia argillosa poco assortita
			% fine ML o MH	SM	Sabbie limose miscela di sabbia e limo
Organico w_L (essiccato)/ w_L (naturale)	Inorganico	pass. 200 > 12%	% fine M e C	SC-SM	Sabbie limose e argillose
			% fine CL o CH	SC	Sabbia argillose miscela di sabbia e argilla
Organico w_L (essiccato)/ w_L (naturale)	Inorganico	pass. 200 > 12%	Ip > 7 sopra Linea A	CL	Argille inorganiche di medio-bassa plasticità
			Ip > 7 sopra Linea A	CL-ML	Argilla limosa o limo argilloso di bassa plasticità
Organico w_L (essiccato)/ w_L (naturale)	Inorganico	pass. 200 > 12%	4 < Ip < 7 sopra Linea A	ML	Limi inorganici, limi argillosi di bassa plasticità
			Ip < 4 sotto Linea A	OH	Argille organiche di medio alta plasticità, limi organici
Organico w_L (essiccato)/ w_L (naturale)	Inorganico	pass. 200 > 12%	sopra Linea A	CH	Argille inorganiche di elevata plasticità
			sotto Linea A	MH	Limi inorganici
Organico w_L (essiccato)/ w_L (naturale)	Inorganico	pass. 200 > 12%		OL	Limi organici, argille limose organiche di bassa plasticità

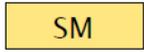
Tab.3 – Classificazione dei terreni secondo il sistema USCS.

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

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

Terreni di copertura

	Materiale di riporto eterogeneo, costituito da risulta e laterizi e da blocchi e ciottoli in matrice sabbiosa (zz)
	Lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate (la)
	Depositi alluvionali terrazzati, costituiti da sabbie fini limose, miscela di sabbia e limo (tf)
	Prodotti di alterazione dei depositi marini terrazzati, costituiti da limi argillosi e agille limoso sabbiose (ec)
	Depositi alluvionali terrazzati costituiti in prevalenza da limi argillosi e sabbie fini limose con ciottoli di natura vulcanica (tf)
	Prodotti di alterazione di depositi marini terrazzati costituiti da argille limose e sabbiose (ec), e coltre detritica argilloso sabbiosa e limosa con blocchi calcarenitici e vulcanici (fd)

Substrato geologico

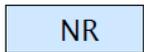
	Lave fratturate con ripetuti orizzonti fortemente alterati con argillificazione più o meno spinta
	Calcareniti organogene clinostratificate in strati decimetrici alternate a strati centimetrici sabbiosi
	Depositi marini terrazzati costituiti da un'alternanza di strati calcarenitici e sabbiosi
	Sabbie carbonatiche e argille limose
	Substrato geologico molto fratturato

Fig. 19 – Unità geologico tecniche rappresentate nella Carta geologico–tecnica per gli studi di microzonazione sismica.

I terreni affioranti nell'area e riconosciuti nella stratigrafia dei sondaggi sono stati, quindi, raggruppati in terreni di copertura e in unità del substrato geologico definendo le unità della carta geologico tecnica per la microzonazione sismica schematizzate in Figura 19. Per ogni categoria riconosciuta, si sono raccolte tutte le informazioni disponibili sui principali caratteri geotecnici che sono stati riassunti nella serie di schede riportate nell'**Allegato 3** alla presente relazione. Nelle schede, per ciascun campione è riportata l'indagine contraddistinta dall'"identificativo indagine puntuale" (ID_INDPU), la profondità di prelievo e la litologia.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

Le numerose indagini disponibili sono distribuite in modo più o meno omogeneo in quasi tutta l'area di studio, ad eccezione di alcune indagini che ricadono nei suoi immediati dintorni. I n. 30 sondaggi geognostici disponibili raggiungono profondità variabili da 10 a 36 m. I valori dell'RQD (vedi Tabb. 1-3 dell'**Allegato 3**) sono estremamente variabili nelle lave di base alterate (ALS) in quanto si passa da basalti vacuolari argillificati per alterazione caratterizzati da valori nulli, a basalti più o meno fratturati, fino a basalti compatti che possono raggiungere valori di RQD pari al 90%, mentre nelle lave di copertura (LC) si hanno valori compresi tra il 50% e il 97%.

Oltre ai prodotti vulcanici, valori dell'RQD sono disponibili solo nelle lumachelle (8% e 21%) che caratterizzano i livelli di base delle calcareniti pleistoceniche (GRS). Non sono presenti valori dell'RQD nelle stratigrafie dei sondaggi che attraversano l'alternanza di calcareniti e sabbie relative ai depositi marini terrazzati (GR).

Nelle lave di base più meno fratturate caratterizzate da orizzonti fortemente alterati con argillificazione più o meno spinta, che rappresentano il substrato geologico fratturato (ALS), prove di laboratorio effettuate su campioni prelevati nel corso di perforazioni geognostiche indicano valori del peso di volume variabile tra 19,25 e 28,57 kN/m³, dell'umidità naturale compresa tra 1 e 2,3% resistenza a compressione compresa tra 205 e 531 kg/cm² (Tab. 4 dell'**Allegato 3**). Prove penetrometriche dinamiche SPT effettuate nelle porzioni alterate argillificate delle lave sono andate a rifiuto (Tab. 5 dell'**Allegato 3**). In uno di questi livelli costituito da argille brune con ciottoli basaltici è stato prelevato un campione sottoposto successivamente ad analisi di laboratorio che hanno permesso di definire l'esatta granulometria del deposito (limi argillosi con ghiaie), e i seguenti

parametri geotecnici: umidità naturale 30,04%; indice plastico 67,11% e limiti di Atterberg (Tabb. 6 e 7 dell'**Allegato 3**).

Nelle argille limose e nelle sabbie carbonatiche limoso argillose che rappresentano il substrato geologico non rigido (NR), le prove penetrometriche dinamiche SPT indicano valori dell' N_{spt} compresi tra 17 e 52 (Tab. 5 e 9 dell'**Allegato 3**). Le analisi di laboratorio disponibili indicano per le argille limose e per i limi argillosi un peso di volume di 18,92 kN/m³, umidità naturale 25,09%, indice plastico 53,55% (Tabb. 6 e 7 dell'**Allegato 3**), coesione 0,0196 MPa e angolo di attrito interno di 26° (Tab. 8 dell'**Allegato 3**). Per le sabbie limose e argillose le analisi di laboratorio disponibili indicano un peso di volume di 18,73 – 18,43 kN/m³, umidità naturale 28,59 – 19,5% , indice plastico 17%, indice dei vuoti 0,71 (Tab. 6, e 10 dell'**Allegato 3**), coesione 0,0049 MPa e angolo di attrito interno di 39° (Tab. 8 dell'**Allegato 3**) e 0,01 MPa e 20° rispettivamente (Tab 11 dell'**Allegato 3**).

Indagini in situ costituite da n. 12 prove penetrometriche dinamiche leggere (DL) effettuate fino profondità comprese tra 2,3 e 4,8 m dal p.c. nel limite orientale dell'area di studio, in corrispondenza delle zone di affioramento delle argille sabbiose, hanno permesso di verificare che lo spessore della copertura di alterazione è inferiore ai 3 m, e di definire tramite correlazioni empiriche alcuni parametri geotecnici (Tab. 12 dell'**Allegato 3**). Oltre ai dati ottenuti dalle analisi di laboratorio e alle indagini in situ, nello "Studio geologico–tecnico per il progetto relativo alla Via di fuga completamento viabilità di P.R.G.", vengono suggeriti i principali parametri geotecnici peso di volume, coesione e angolo di attrito interno, delle varie facies del substrato geologico non rigido (NR). In particolare il peso di volume varia tra 18,8 e 20 kN/m³, la coesione tra 0,01 e 0 MPa e l'angolo di attrito interno tra 20 e 30° rispettivamente dai livelli più limosi e argillosi a quelli più sabbiosi (Tab. 13 dell'**Allegato 3**).

Nei depositi marini terrazzati (GR) e nelle calcareniti clinostratificate pleistoceniche (GRS), non si hanno dati geotecnici disponibili.

Nei terreni di copertura delle lave di base, relativi a depositi di terrazzi fluviali costituiti da limi argillosi e sabbie fini limose (ML), da prove penetrometriche dinamiche



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

SPT, sono stati ottenuti valori dell'Nspt di 28 e 27 (Tab. 5 dell'**Allegato 3**), mentre analisi di laboratorio su un campione prelevato in tali depositi indicano una granulometria costituita da sabbie argillose limose con peso di volume di $18,63 \text{ kN/m}^3$, umidità naturale del 24,8% (Tab. 6 dell'**Allegato 3**), coesione di 0,0049 MPa e angolo di attrito interno di 35° (Tab. 8 dell'**Allegato 3**). Nei depositi di terrazzi fluviali costituiti da sabbie limose (SM) prove penetrometriche dinamiche SPT danno valori dell'Nspt di 52 (Tab. 5 dell'**Allegato 3**), mentre non sono disponibili analisi di laboratorio.

Nei prodotti di alterazione dei depositi marini terrazzati e nella coltre detritica costituita da limi argillosi e argille limose sabbiose, non sono disponibili dati geotecnici.

I dati geofisici disponibili derivano da n. 26 down-hole che raggiungono profondità variabili da 10 a 30 m dal p.c. (Tabb. 14 e 15 dell'**Allegato 3**), n. 13 traverse di sismica a rifrazione, e n. 24 HVSr di cui n. 15 realizzati dall'Università di Catania per il presente studio (**Allegato 4**).

I down-hole indicano velocità V_p variabili da 750 a 2775 m/s e V_s variabili da 400 a 1600 m/s con coefficiente di poisson compreso tra 0,25 e 0,34 nei basalti vacuolari più o meno alterati e più o meno fratturati che rappresentano le lave di base, (ALS), V_p variabili tra 856 e 1550 m/s, e V_s da 457 a 892 m/s con coefficiente di poisson compreso tra 0,3 e 0,38 nelle sabbie argillose e nelle argille sabbiose (NR), V_p variabili tra 905 e 1430 m/s, e V_s da 465 a 764 m/s con coefficiente di poisson compreso tra 0,28 e 0,35 nei depositi marini terrazzati costituiti dall'alternanza di calcareniti e sabbie e nelle calcareniti di base (GR e GRS), V_p variabili tra 1570 e 2550 m/s, e V_s da 800 a 1472 m/s con coefficiente di poisson compreso tra 0,25 e 0,32 nelle lave di copertura (LC), V_p variabili tra 220 e 550 m/s, e V_s da 105 a 264 m/s con coefficiente di poisson compreso tra 0,32 e 0,35 nei

prodotti di alterazione argilloso limosi dei depositi marini terrazzati (OL), V_p variabili tra 260 e 770 m/s, e V_s da 114 a 370 m/s con coefficiente di poisson compreso tra 0,28 e 0,38 nel materiale di riporto (RI), e infine V_p variabili tra 600 e 770 m/s, e V_s da 300 a 400 m/s con coefficiente di poisson compreso tra 0,32 e 0,34 nei depositi alluvionali terrazzati sabbiosi e limosi (SM).

Al fine di valutare le frequenze proprie di oscillazione dei diversi siti, l'Università di Catania ha effettuato n. 15 misure di microtremore ambientale (HVSR), distribuite sull'intera area di studio. I risultati sono sintetizzati nell'allegata carta delle frequenze, nella quale per ogni punto di misura sono riportate le frequenze in cui il moto del terreno viene amplificato per risonanza stratigrafica e l'entità dell'amplificazione quantificata sulla base del rapporto H/V (rapporto tra le componenti spettrali orizzontali, H, e verticale, V, del moto del suolo). Per il dettaglio sulla tecnica adottata si rimanda all'**Allegato 4** della presente relazione. I risultati ottenuti indicano che le frequenze di risonanza F_0 ricadono all'interno di un range molto ristretto, compreso tra ~0,8 e ~2 Hz. In alcuni casi, vengono segnalati due picchi con il secondo picco caratterizzato da frequenze F_1 comprese tra 4 e 7 Hz e solo in un caso a 19 Hz, con valori del rapporto H_1/V_1 maggiori rispetto ai valori H_0/V_0 . I valori di amplificazione sono abbastanza contenuti (inferiori o poco superiori a 2). Fanno eccezione le indagini 089010P71, 089010P75, 089010P80 che, a frequenze comprese tra 1.4 e 1.7 Hz, forniscono valori di H/V pari a 4, 5 e 5.7, rispettivamente. Tali picchi sono associati a frequenze proprie di oscillazioni differenti, riferibili a discontinuità stratigrafiche ubicate a profondità variabili da sito a sito. Le frequenze più basse di amplificazione sono probabilmente legate all'assetto geologico profondo dell'area in esame, viceversa le frequenze più alte possono essere ricondotte a disturbi superficiali quali la presenza di terreni di copertura.

Infine sono disponibili anche indagini geoelettriche costituite da n. 13 sondaggi elettrici verticali (Tab. 2) di cui n. 7 sono stati realizzati per lo "studio geologico-tecnico - Via di fuga completamento viabilità di P.R.G." (Tab. 16 dell'**Allegato 3**), in prossimità del limite orientale dell'area di studio, i cui risultati suggeriscono la presenza di terreni di



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77
copertura superficiali di spessore inferiore ai 3 m che ricoprono il substrato non rigido costituito dalle argille sabbiose e sabbie limose. Gli altri n. 6 sondaggi elettrici verticali realizzati per lo “Studio geologico per il Piano Regolatore Generale”, hanno invece permesso di valutare i valori di resistività nei diversi litotipi (Tab. 17 dell'**Allegato 3**).

5. Modello del sottosuolo

Il modello geologico ricostruito per il territorio comunale di Francofonte, la cui stratigrafia è stata già ampiamente descritta nei paragrafi precedenti, è stato essenzialmente basato sui rilievi geologici di superficie ed ha trovato un puntuale riscontro, almeno per i primi metri di profondità, nelle stratigrafie dei sondaggi disponibili. Il sottosuolo dell'area urbana è caratterizzato da una notevole eterogeneità, determinata dalla concomitante variabilità laterale sia dei terreni assegnati al substrato che delle sovrastanti coperture, che è stata evidenziata mediante una serie di profili geologici, alla scala 1:5000 (**Allegato 1**), orientati circa N-S ed E-O e disposti secondo una griglia a maglie strette, la cui ubicazione è riportata nella allegata carta geologico-tecnica, oltre nella carta geologica di Figura 14. L'interpolazione tra le geometrie 2D riprodotte nei profili fornisce elementi utili a ricostruire anche l'andamento tridimensionale nel sottosuolo dei principali elementi strutturali e geologico-stratigrafici, sulla quale è stata basata la delimitazione delle differenti microzone omogenee. La scelta delle tracce delle sezioni è stata fatta sulla base della loro rappresentatività dell'assetto geologico e sull'interpretazione dei sondaggi geognostici disponibili, ubicati direttamente sulle tracce dei profili o proiettati da aree limitrofe. I profili raffigurano geometrie anche a

profondità superiore a quelle di investigazione diretta dei sondaggi utilizzati, che sono state basate sulla interpretazione dei dati di superficie.

La sezione A-A' è disposta nel letto rialzato della Faglia dell'Annunziata, parallelamente alla struttura, nel suo tratto orientato E-O, che separa il settore settentrionale dal resto dell'abitato. Il profilo evidenzia che questo settore dell'area urbana è costituito da una culminazione antiforme di vulcaniti plioceniche. Queste tendono ad approfondirsi verso est, dove sono ricoperte da un esiguo spessore di calcareniti clinostratificate che passano lateralmente e superiormente alla facies argilloso-sabbiosa del Pleistocene inferiore. La pendenza del contatto lave-copertura sedimentaria è stata tarata sulla base della stratigrafia del sondaggio 089010P4, posto alla terminazione orientale del profilo, che raggiunge il tetto delle vulcaniti ad una profondità approssimativa di 10 metri dal p.c.. Il contatto lave-copertura sedimentaria è stato quindi ottenuto collegando il punto di emersione in superficie con il punto di intersezione nel sondaggio e mantenendo l'inclinazione del limite pressoché costante anche ad est del sondaggio. Nella sezione è stato raffigurato anche il deposito detritico, costituito da clasti calcarenitici in matrice argilloso-limosa, che costituisce l'unico terreno di copertura rinvenibile lungo la traccia, nella sua terminazione orientale.

La sezione B-B', parallela alla precedente, è invece rappresentativa del tetto ribassato della Faglia dell'Annunziata. Il profilo è stato vincolato sulla base di 4 sondaggi geognostici che hanno permesso un riscontro puntuale delle geometrie desunte dai dati di superficie. All'estremità occidentale della sezione, il Sondaggio 089010P10 (**Allegato 1**) attraversa l'intera successione prossimale del ciclo infrapleistocenico, costituita da 10 m di alternanza calcarenitico-sabbiosa poggiante sui livelli sabbiosi basali. Il contatto con le lave sottostanti è stato raggiunto alla profondità di circa 31 m dal p.c.. Questo dato, se comparato all'altezza massima delle lave nel lato rialzato dalla struttura, vincola il rigetto verticale della faglia ad almeno 50 m. I sondaggi ubicati verso est, in accordo con i dati di superficie, evidenziano la presenza del terrazzo marino calcarenitico che ricopre la



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

superficie di abrasione modellata sui depositi del ciclo infrapleistocenico. I sondaggi 089010P8 e 089010P9 vincolano l'appoggio del terrazzo sul substrato calcarenitico, mentre il sondaggio 089010P5 evidenzia la progressiva comparsa delle argille al tetto delle calcareniti. La distribuzione dei differenti termini del ciclo infrapleistocenico sono stati messi in relazione a rapporti di eteropia delle facies trasgressive sull'alto strutturale di Francofonte. Alla terminazione orientale del profilo, è stata raffigurato il tratto sepolto dal terrazzo della Faglia Lavinia-Giardinello, la cui posizione è stata ricavata dall'interpolazione tra il segmento esposto a nord, in corrispondenza della Fonte di Giardinello, e quello riconosciuto a sud, in corrispondenza del Vallone Lavinia (Figura 14). La faglia interrompe il contatto eteropico, ribassando i settori orientali caratterizzati da una spessa e monotona successione argillosa.

La sezione C-C', parallela alla sezione precedente, mostra geometrie del sottosuolo confrontabili con quelle raffigurate nel profilo B-B', ma con evidenti variazioni degli spessori dei diversi orizzonti raffigurati. L'intera traccia è ubicata sui depositi marini terrazzati calcarenitici, che tendono ad assottigliarsi progressivamente verso ovest. La differente quota cui si intercetta il substrato vulcanico nel Sondaggio 089010P11 (260 m s.l.m.), lungo il profilo C-C', rispetto al sondaggio 089010P10 (220 m s.l.m.), lungo il profilo B-B', è indicativa di una immersione del contatto lave-copertura sedimentaria verso i quadranti settentrionali, ben raffigurata sui profili orientati N-S (E-E', F-F' e G-G'). Il confronto tra le stratigrafie dei sondaggi 089010P11 e 089010P15 mostra inoltre la graduale sostituzione laterale tra sabbie e alternanza calcarenitico-sabbiosa del ciclo infrapleistocenico, già evidenziata dai dati di superficie e nelle geometrie del profilo precedente. La differente stratigrafia che caratterizza il sondaggio 089010P15, da un

lato, ed i sondaggi 089010P1 089010P2, dall'altro, è messa in relazione alla presenza della Faglia Lavinia-Giardinello, sepolta sotto il terrazzo, che giustappone lateralmente le calcareniti e le argille del ciclo infrapleistocenico.

La sezione D-D' è la più meridionale tra le sezioni ad orientazione E-O, in cui è ben raffigurata la ulteriore risalita del substrato vulcanico della dorsale di Francofonte, nel settore rialzato della Faglia Lavinia-Giardinello, che risulta anche in questo caso nascosta dai depositi del terrazzo marino sommitale. Nel profilo viene raffigurata la chiusura occidentale del terrazzo, che avviene contro la rampa, immergente verso NE, composta dalle lave e dai sovrastanti depositi infrapleistocenici, costituiti da sabbie che passano lateralmente ad una alternanza tra prevalenti calcareniti bioclastiche e sabbie. I depositi infrapleistocenici, lungo questa traccia, risultano di spessore limitato rispetto alle successioni attraversate dai profili più settentrionali, come conseguenza di un appoggio on-lap contro il substrato vulcanico basculato. Anche lungo questa sezione, è raffigurato il passaggio laterale tra i vari termini infrapleistocenici, vincolati essenzialmente dai dati di superficie, localmente confermati dai dati di sottosuolo (es. 089010P14). La terminazione orientale del profilo si riferisce al tetto ribassato della Faglia Lavinia-Giardinello, costituito dalle sole argille ribassate rispetto alle calcareniti. Il settore occidentale della sezione attraversa invece un'area costituita esclusivamente da lave, tra le quali si riconoscono quelle antiche e fortemente degradate, attribuite al substrato pliocenico, e la colata lavica di età pleistocenica superiore, con morfologia meglio conservata. Questa colata più recente, nel sottosuolo della porzione centrale della sezione, ha ricoperto in discordanza l'originario contatto tra lave antiche e depositi marini infrapleistocenici, andando a ricoprire i depositi costieri di natura sabbiosa. In entrambe le estremità del profilo, sono riconoscibili delle sottili coltri detritiche. Quella a ovest è rappresentata da un deposito alluvionale con spessore non superiore ai 5 metri, costituito da clasti arrotondati di natura vulcanica e calcarenitica, immersi in una matrice sabbioso-limosa. Nella terminazione orientale, invece, la successione è ricoperta dalla



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

sottile falda detritica che si è accumulata alla base della falesia che separa i due ordini di terrazzi marini, riconosciuti nel settore orientale della dorsale di Francofonte.

La sezione E-E' è la prima tra quelle che, con andamento N-S, si intersecano con le sezioni precedentemente descritte. Questa sezione evidenzia che la rampa immergente verso nord-est formata dalle vulcaniti nel sottosuolo di Francofonte è ricollegabile ad una geometria di tipo anticlinale di roll-over, geometricamente connessa al rigetto cumulato lungo la Faglia dell'Annunziata, nel tratto orientato E-O, presente nel settore settentrionale del paese. La subsidenza del tetto della struttura, che ha generato il collasso delle vulcaniti, è stata bilanciata dalla deposizione degli orizzonti trasgressivi del Pleistocene inferiore, che raggiungono lo spessore massimo in prossimità della struttura (vedi sondaggio 089010P10). Gli spessori ingenti della facies sabbiosa di mare basso accumulatisi in corrispondenza della faglia, di gran lunga maggiori rispetto a quelli generalmente riscontrati in altre aree, suggeriscono una attività sinsedimentaria della faglia, il cui movimento ha accompagnato l'accumulo dei sedimenti prossimi alla costa. La linea di faglia è suturata dai depositi del terrazzo marino sommitale. La terminazione settentrionale del profilo raffigura, invece, il letto rialzato della faglia sepolta, corrispondente alla culminazione delle vulcaniti attraversate per 30 metri dai sondaggi ed esposte per varie decine di metri lungo l'incisione del Torrente Canale. Dal lato opposto, è raffigurata la culminazione dell'anticlinale di roll-over, contro la quale si realizza la chiusura dei depositi infrapleistocenici poggianti sul substrato vulcanico che, verso sud, è parzialmente sepolto dalla copertura lavica più recente. Questa viene raffigurata anche al tetto dei depositi sabbiosi infrapleistocenici, dove sigilla una superficie di erosione profondamente incisa nel substrato sedimentario.

Lungo la sezione F-F', è raffigurata una geometria comparabile con quella riportata nel profilo prima descritto, dalla quale differisce per i diversi spessori delle litofacies marine di età infrapleistocenica, essenzialmente connessi alla componente di immersione del substrato vulcanico verso est, in direzione del Graben di Scordia-Lentini che si sovrappone agli effetti di basculamento al tetto della Faglia dell'Annunziata. I sondaggi che attraversano le successioni ai due lati di questa struttura, definiscono chiaramente le differenze di costituzione del sottosuolo. Il sondaggio 089010P6 attraversa la successione al letto della struttura, con il terrazzo calcarenitico sommitale che suturando la faglia, poggia direttamente sulle vulcaniti. I sondaggi 089010P8, 089010P15 e 089010P14, attraversano il tetto della faglia, sepolto sotto il terrazzo calcarenitico sommitale, evidenziando la geometria tipo anticlinale di "roll-over" che coinvolge il substrato vulcanico e i sovrastanti depositi del ciclo infrapleistocenico. Nel settore ribassato della faglia, il maggiore spessore delle calcareniti a scapito delle sabbie infrapleistoceniche è la conseguenza del loro rapporto eteropico, ben evidenziato nelle sezioni trasversali. L'ispessimento del terrazzo calcarenitico sommitale è invece dovuto alla leggera immersione della superficie di abrasione marina basale verso est. Al tetto del terrazzo, presente in quasi tutta la traccia del profilo, sono stati riportati i prodotti di alterazione argilloso-limosi, il riporto antropico e un deposito detritico eterogeneo in matrice argilloso-limosa.

Nella sezione G-G' sono raffigurate entrambe le faglie che attraversano l'abitato. A nord viene intercettata la traccia della Faglia dell'Annunziata, orientata E-O, il cui letto è vincolato dal sondaggio 089010P4, che attraversa circa 2 metri di coltre detritica, 4 metri di argille sabbiose sovrapposte ad un orizzonte decimetrico di calcareniti, direttamente poggianti sul substrato vulcanico rinvenuto ad una profondità di 7 m. Nel settore ribassato della faglia, sepolta sotto il bordo interno del terrazzo calcarenitico sommitale, la successione attraversata dal sondaggio 089010P5 è costituita da un sottile orizzonte della facies argilloso-sabbiosa poggiante su quella calcarenitica. La scarsa profondità raggiunta dai sondaggi non permette di stabilire la quota del substrato vulcanico, che è



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77
stata desunta per estensione dei limiti dalle sezioni adiacenti. Considerato che il profilo taglia attraverso le facies più distali del ciclo infrapleistocenico, è presumibile l'assenza in questo settore dell'area di studio dei termini sabbiosi incontrati ad ovest e il conseguente appoggio diretto delle calcareniti sul substrato vulcanico, come già rappresentato nella parte meridionale del precedente profilo.

Nel modello di sottosuolo dell'abitato di Francofonte l'elemento principale da tenere in considerazione per la determinazione della risposta sismica locale, oltre alla presenza di terreni sciolti di copertura, è rappresentato dal contatto lave-copertura sedimentaria. Sebbene questo contatto avvenga tra terreni classificati come appartenenti al substrato geologico, esso è potenzialmente sede di contrasti di impedenza sismica anche notevoli che non devono essere sottovalutati in termini di effetti di amplificazione locale. In questo senso non solo non è assolutamente definita la correlazione tra substrato geologico e bedrock sismico, ma non è neanche possibile assimilare i singoli intervalli stratigrafici riconosciuti a sismostrati con comportamento omogeneo. Ciò è evidente se consideriamo che le misure di microtremore ambientale, che saranno più diffusamente commentate in seguito, hanno comunque evidenziato fenomeni di amplificazione non solo in aree caratterizzate dalla presenza di coperture, ma anche in quelle in cui affiorano terreni attribuiti al substrato geologico. Va comunque ricordato che molte di queste attribuzioni sono state operate sulla base dei vincoli imposti dagli standard attualmente applicati, che di fatto hanno impedito soluzioni differenti. Limitandoci al solo contatto lave-sedimentario, la complicazione dell'assetto strutturale si riflette in repentine variazioni di profondità del limite che già di per sé dovrebbero tradursi in variazioni della risposta di sito, almeno in termini di frequenze di oscillazione

proprie. La presenza inoltre delle faglie ad alto angolo, lungo le quali avvengono bruschi passaggi laterali tra i terreni a differente competenza, è un elemento di ulteriore complicazione, i cui effetti andrebbero valutati con approfondimenti specifici nelle fasi successive di studio. La risposta di sito deve inoltre tenere conto anche della notevole variabilità laterale delle coperture sedimentarie e delle frequenti inversioni delle velocità delle onde sismiche riconoscibili all'interno di queste successioni. Questi aspetti contribuiscono a definire condizioni al contorno che si discostano da quelle richieste per l'applicazione degli abachi, nelle fasi successive di indagine, e si traducono nell'immediato in una proliferazione delle tipologie di microzone omogenee che potranno eventualmente essere accorpate in futuro, solo dopo attenta verifica della reale incidenza dei diversi fattori considerati nell'effettiva risposta di sito.

6. Interpretazioni ed incertezze

Il modello geologico ricostruito sulla base di rilievi geologici di dettaglio e della revisione di studi precedenti tra cui lo studio di microzonazione sismica, realizzato a seguito dell'evento sismico del 13 dicembre del 1990, ha trovato puntuale riscontro nelle stratigrafie dei sondaggi disponibili per l'area. Grazie alla distribuzione più o meno omogenea dei dati di sottosuolo pregressi, oltre a un sufficiente numero di indagini, è stato possibile effettuare una verifica puntuale del modello geologico su quasi tutta l'intera area di studio, ad eccezione del settore sud-occidentale dove non sono disponibili dati relativi a indagini dirette.

L'analisi dei dati pregressi ha messo in evidenza alcune incertezze riscontrate soprattutto per le indagini geofisiche indirette. Le indagini down-hole realizzate nel corso dello studio di "Microzonazione sismica del centro urbano e delle aree di interesse urbanistico" e nello studio relativo al "Progetto per il recupero e conservazione della Chiesa Madre S. Antonio Abate", forniscono valori medi di velocità di propagazione delle



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

onde sismiche V_p e V_s , raggruppando talvolta più litologie per spessi intervalli di profondità. Ad ampi intervalli di profondità spessi fino a anche 25 m circa, infatti, viene associato un unico valore di velocità di propagazione delle onde sismiche V_p e V_s (vedi Tab. 14 e 15 dell'**Allegato 3** e Fig. 20). Per tale motivo ai valori delle V_p e V_s oltre ai parametri elastici inseriti nella tabella "Parametri_Puntuali" del database di Access denominato "Cdl_tabelle", è stato assegnato un grado di attendibilità pari a "3". Di conseguenza la mancanza di dati dettagliati sulla velocità di propagazione delle onde sismiche pone molti interrogativi, tra cui il possibile verificarsi di inversioni di velocità nelle lave, come riscontrato nei prodotti vulcanici etnei, che andranno risolti nelle indagini per i livelli di approfondimento successivi le quali dovranno essere volte, quindi, ad una accurata misura delle V_s nei diversi corpi geologici, per la valutazione delle amplificazioni di tipo stratigrafico.

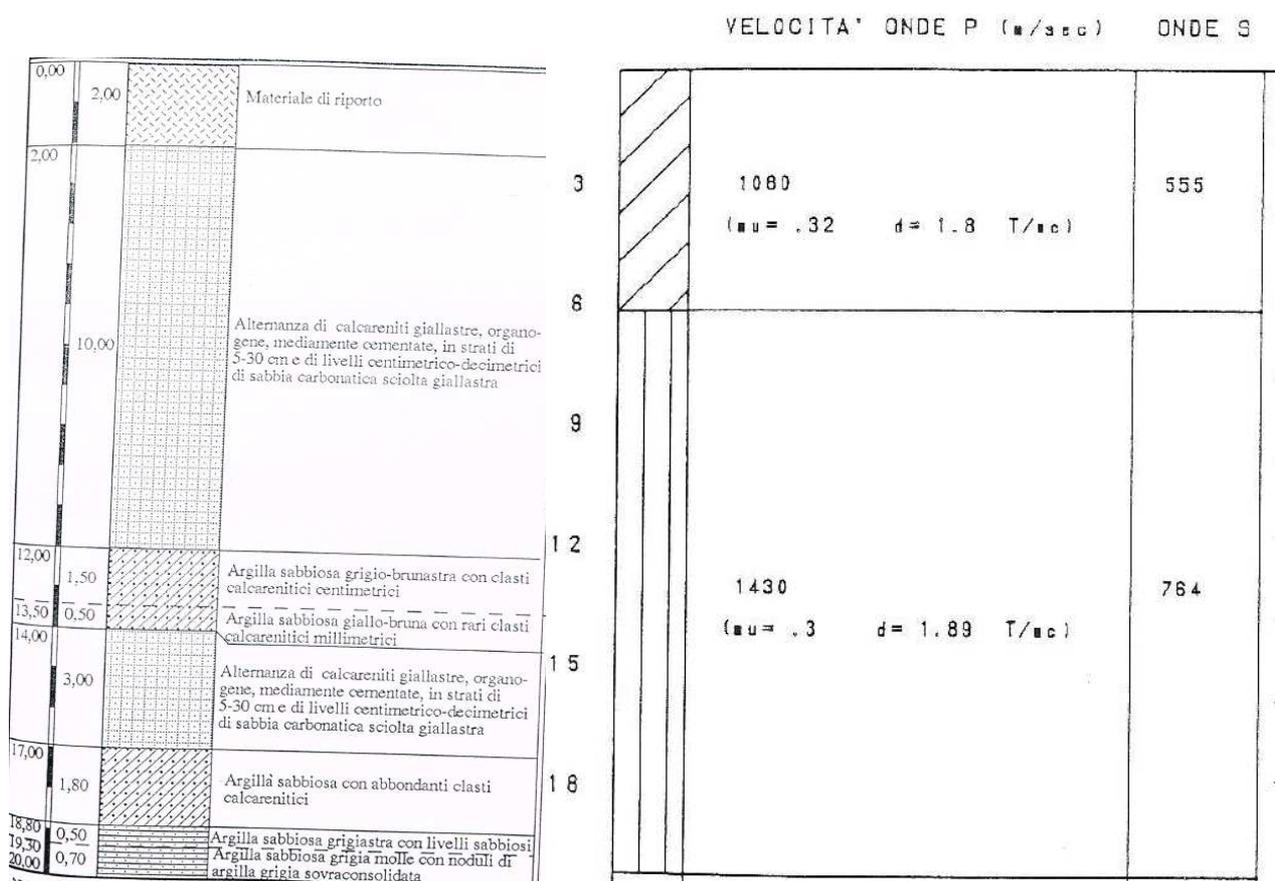


Fig. 20 - Confronto tra il log stratigrafico del sondaggio 089010P3SS7 e le velocità Vp e Vs ottenute dall'indagine down-hole 089010P3DH effettuata nello stesso sito.

Per quanto riguarda le indagini dirette, per archiviare le stratigrafie dei sondaggi secondo gli "Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica - Versione 2.0beta-II", si è scelto di reinterpretare i dati sulla base dei rilievi aerofotogrammetrici e, soprattutto, di campagna. Così, le lave basaltiche di base vacuolari più o meno fratturate caratterizzate da orizzonti di alterazione con argillificazione più o meno spinta sono state classificate come un'alternanza di litotipi stratificata e come un substrato geologico fratturato (ALS SF); l'alternanza di calcareniti giallastre organogene mediamente cementate in strati di 5-30 cm e di livelli centimetrici di sabbia carbonatica sciolta giallastra attraversata nei sondaggi del centro urbano principale, è stata classificata come substrato granulare cementato (GR) se attraversata a basse profondità, essendo stata riferita al deposito marino terrazzato, o come substrato geologico granulare cementato stratificato (GRS) se riferita invece alle calcareniti organogene clinostratificate; le sabbie



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

limose e le argille sabbiose sono state entrambe classificate in un'unica unità come substrato geologico non rigido (NR) se relative ai depositi del pleistocene inferiore; sono state invece classificate come terreni di copertura le lave più recenti che ricoprono in parte i depositi sabbiosi del substrato geologico non rigido (vedi LC nell'**Allegato 2**); anche le sabbie limose e i limi argillosi sabbiosi (SM e ML) dei depositi di terrazzi alluvionali sono stati classificati come terreni di copertura. In particolare per la classificazione dei terreni di copertura, dove non si hanno dati relativi ad analisi granulometriche o ad analisi di laboratorio per la determinazione dei Limiti di Atterberg, nella tabella "Parametri_Puntuali" del database di Access denominato "Cdl_tabelle" è stato assegnato al valore indicativo della litologia un grado di attendibilità pari a "2".

Avendo a disposizione diverse stratigrafie di sondaggi e di indagini down-hole anche se, come detto in precedenza, con valori non dettagliati, si è cercato di correlare i dati pregressi con i risultati delle indagini HVSR effettuate per il presente studio. 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 (V_1 e V_2) e da due diverse densità (ρ_1 e ρ_2) un'onda che viaggia nel mezzo 1 (superiore) viene riflessa (parzialmente) dall'orizzonte che separa i due strati e così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le massime ampiezze (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (λ) risulta 4 volte lo spessore "H" del primo strato (o suoi multipli dispari), ossia la frequenza di risonanza "f" dello primo strato relativa alle onde S è pari a:

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

Equazione 1

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

Nella maggior parte dei casi, a causa dell'attenuazione delle coperture, il solo modo visibile è quello fondamentale. Altresì, l'equazione 1 permette di comprendere come la tecnica H/V possa fornire anche indicazioni di carattere stratigrafico dato che partendo da una misura di microtremore che fornisce f , nota la V_s delle coperture, si può infatti stimare la profondità dei riflettori sismici principali o viceversa.

Per questo motivo le misurazioni, quando possibile, sono state effettuate tenendo conto della collocazione delle indagini precedenti, in modo da confrontare i dati ricavati dalle diverse misure (Fig. 21).

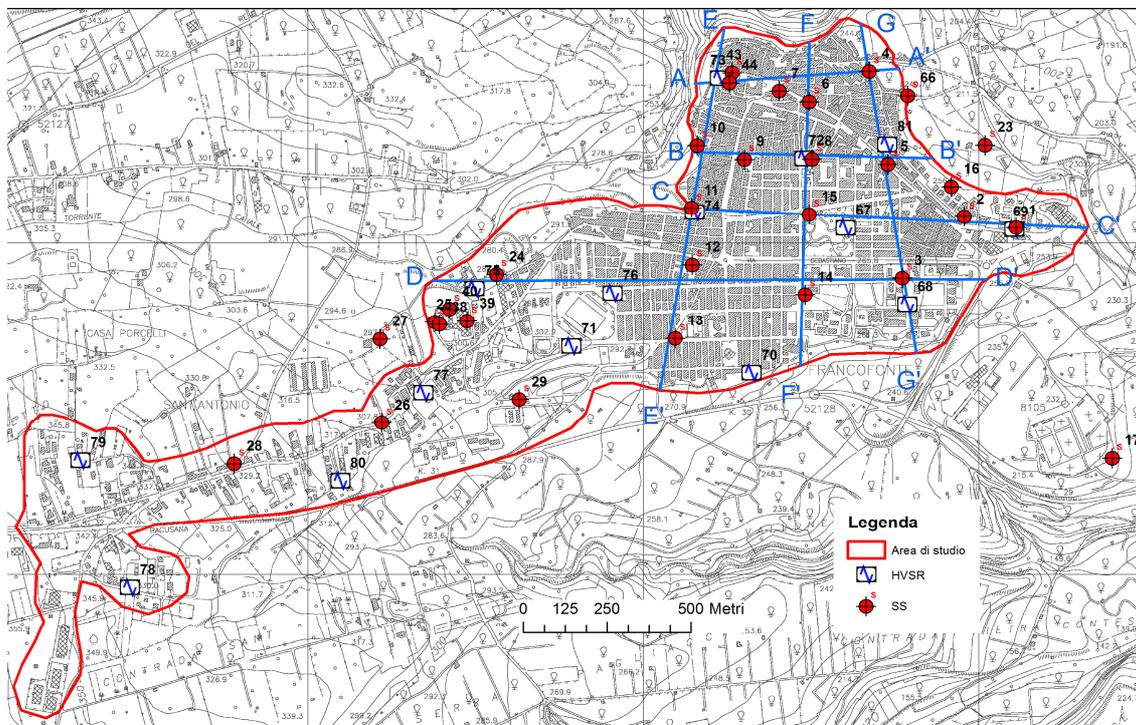


Fig. 21 - Carta delle indagini dove sono rappresentati i sondaggi geognostici disponibili e le misure HVSR effettuate dall'Università di Catania per il presente studio. I numeri permettono di identificare il sito puntuale (es. **13** indica il sito 089010P13).

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

- Nella zona della Chiesa Madre in corrispondenza dell'incrocio delle sezioni A-A' e F-F' (Fig. 21), l'interpretazione dell'indagine HVSR è resa disponibile dalla presenza di due sondaggi geognostici con due down-hole (Fig. 21) eseguiti durante i lavori di recupero della Chiesa Madre. Le stratigrafie dei sondaggi indicano la presenza di basalti vacuolari più o meno alterati e/o fratturati, caratterizzati da velocità Vs che vanno da 230 m/s nelle zone superficiali a 1440 m/s per profondità maggiori di 15 metri (Fig. 22). La misura del rumore ambientale effettuata dall'Università di Catania nel sito 089010P73, mostra un picco di frequenza a 6,35 Hz con fattore di amplificazione H/V di 2,10; la correlazione dei dati a disposizione permette di attribuire il picco al contrasto d'impedenza tra i basalti fratturati dei primi 10 metri e quelli più profondi meno fratturati e alterati. Il livello di incertezza del confronto rimane, purtroppo, abbastanza elevato a causa della scarsa affidabilità delle indagini down-hole che, come detto in precedenza, non sono caratterizzate da misure poco dettagliate (Fig. 17).
- Nell'area dell'Istituto Polivalente l'indagine HVSR effettuata è confrontabile con il sondaggio e il down-hole eseguiti nel punto misura 089010P24 (vedi ubicazione in Fig. 21) in occasione della revisione del Piano Regolatore Generale. Il picco di frequenza misurato in quest'area è un picco a bassa frequenza assimilabile ad un contrasto d'impedenza profondo (Fig. 23).

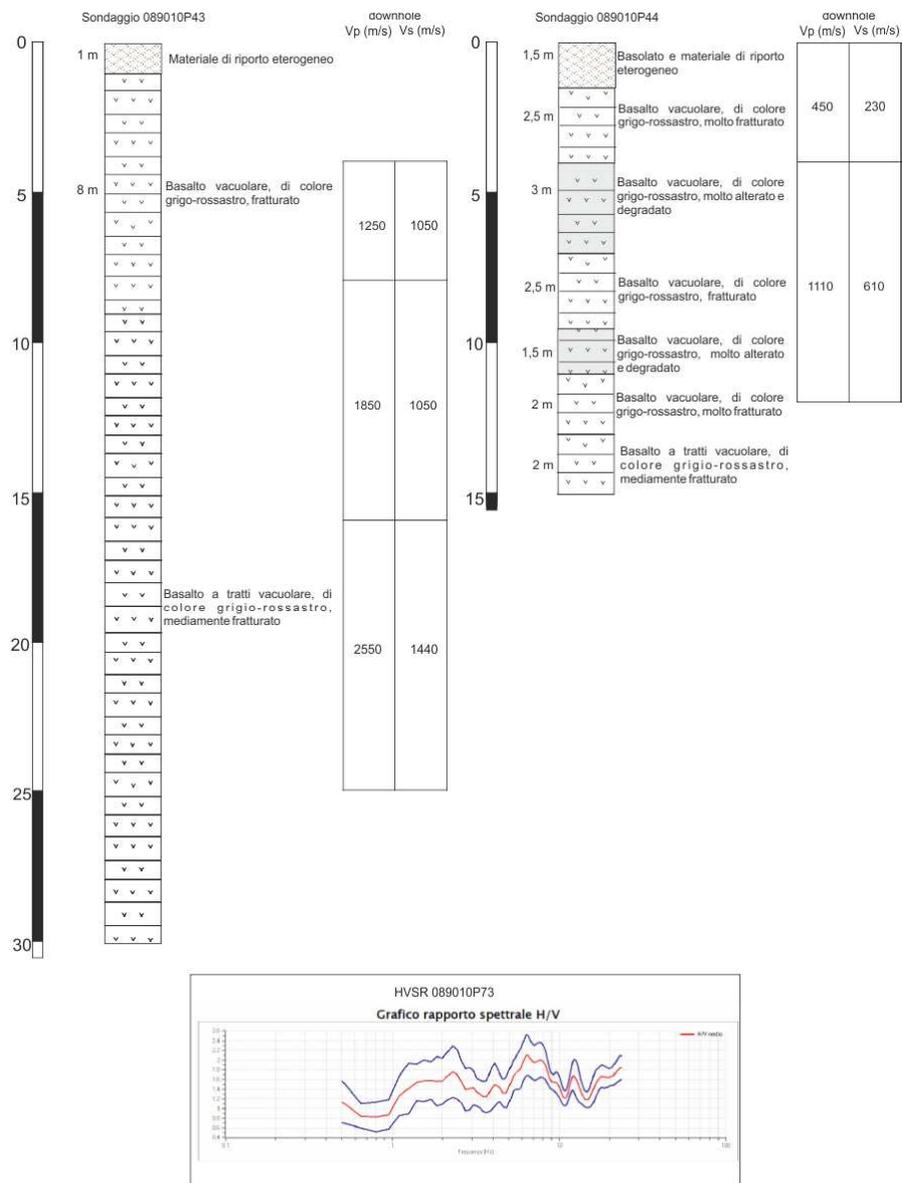


Fig. 22 - Confronto tra l'indagine HVSr del sito 089010P73 e i sondaggi e rispettivi down-hole dei siti 089010P43/P44.

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

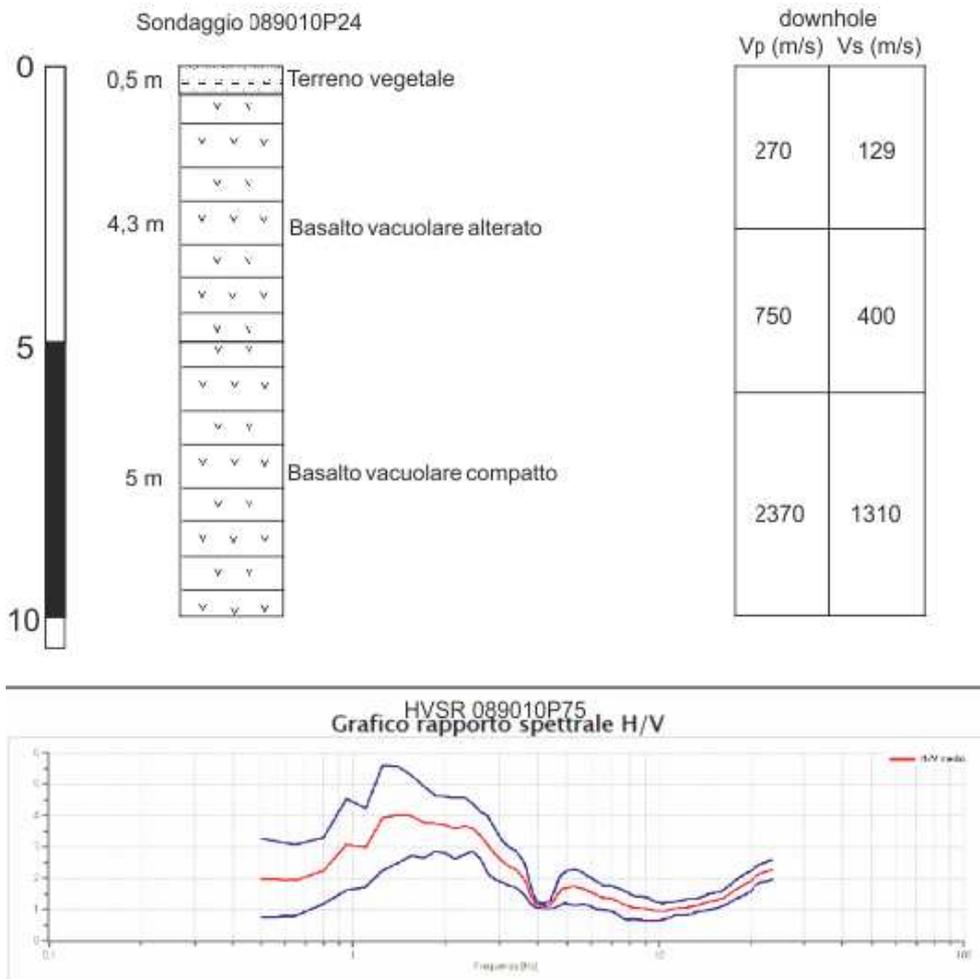


Fig. 23 – Confronto tra l'indagine HVSr 089010P75 e il sondaggio con down-hole realizzato nel sito 089010P24.

- Dalle misurazioni del rumore ambientale effettuate nei pressi della Villa comunale (67 in Fig. 21) è possibile apprezzare la presenza di due picchi uno a frequenza 4,20 Hz e uno a più alta frequenza (10,2 Hz) probabilmente riconducibile ad un limite superficiale (Fig. 24). Considerando una media delle velocità delle onde S della successione sedimentaria è possibile attribuire il picco a frequenza 4,20 al contrasto d'impedenza tra i livelli sedimentari e quelli vulcanici superficiali alterati

e fratturati e le sottostanti lave compatte. Il picco a più alta frequenza è probabilmente da riferire ad una discontinuità più superficiale che potrebbe corrispondere alla diversa densità del deposito detritico costituito da prodotti di alterazione limoso-sabbiosi rispetto ai sottostanti termini calcarenitici.

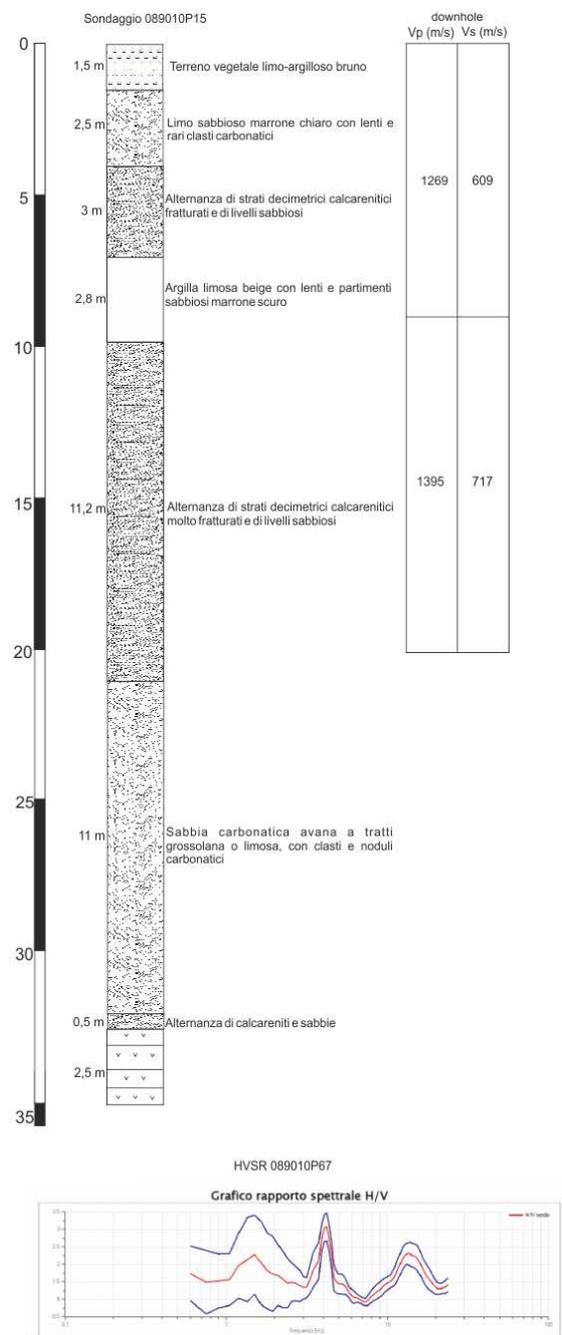


Fig. 1 - Confronto tra l'indagine HVSr 089010P67 e il sondaggio con down-hole realizzato nel sito 089010P15.

- Le indagini effettuate in Via Bassi ovest restituiscono una stratigrafia di 16 metri, con solo tre intervalli relativi alle misure di down-hole effettuate nel sondaggio

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

089010P11 (11 in Fig. 21). L'elaborazione della misura del microtremore (74 in Fig. 21) fornisce un valore della frequenza fondamentale di 6,95 Hz con rapporto H/V di 2,20 (Fig. 25); applicando l'equazione **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** con una velocità delle onde S ottenuta dalla media delle velocità registrate dal down-hole, si ottiene una profondità intorno ai 20 metri, relativa al contrasto d'impedenza tra gli strati superficiali, costituiti sia dall'alternanza calcarenitico sabbiosa sia dai livelli alterati di vulcaniti, e quelli profondi caratterizzati da lave meno alterate.

- L'interpretazione del grafico HVSR (Fig. 26) nella zona nord di Piazza Dante Alighieri (72 in Fig. 21) restituisce un picco di frequenza a 6,20 Hz e corrispondente fattore di amplificazione di 2,04. La correlazione di questo dato con le basse velocità registrate nelle misure down-hole effettuate nel punto misura 089010P8 (8 in Fig. 21), permettono di attribuire coerentemente il contrasto d'impedenza registrato a 6,2 Hz alle diverse caratteristiche di rigidità tra i terreni attraversati dal sondaggio nei primi 8 metri e quelli sottostanti.
- La frequenza fondamentale ottenuta dall'indagine HVSR (Fig. 27) in corrispondenza di Piazza Locatelli (81 in Fig. 21) è di 2 Hz con un rapporto H/V pari a 2,873; in relazione con le basse velocità registrate dalle prove geofisiche effettuate (089010P5), il picco a bassa frequenza permette di ipotizzare uno spessore dei depositi sedimentari di oltre 70 metri, compatibile con le geometrie riportate nella sezione G-G' dell'**Allegato 1**.

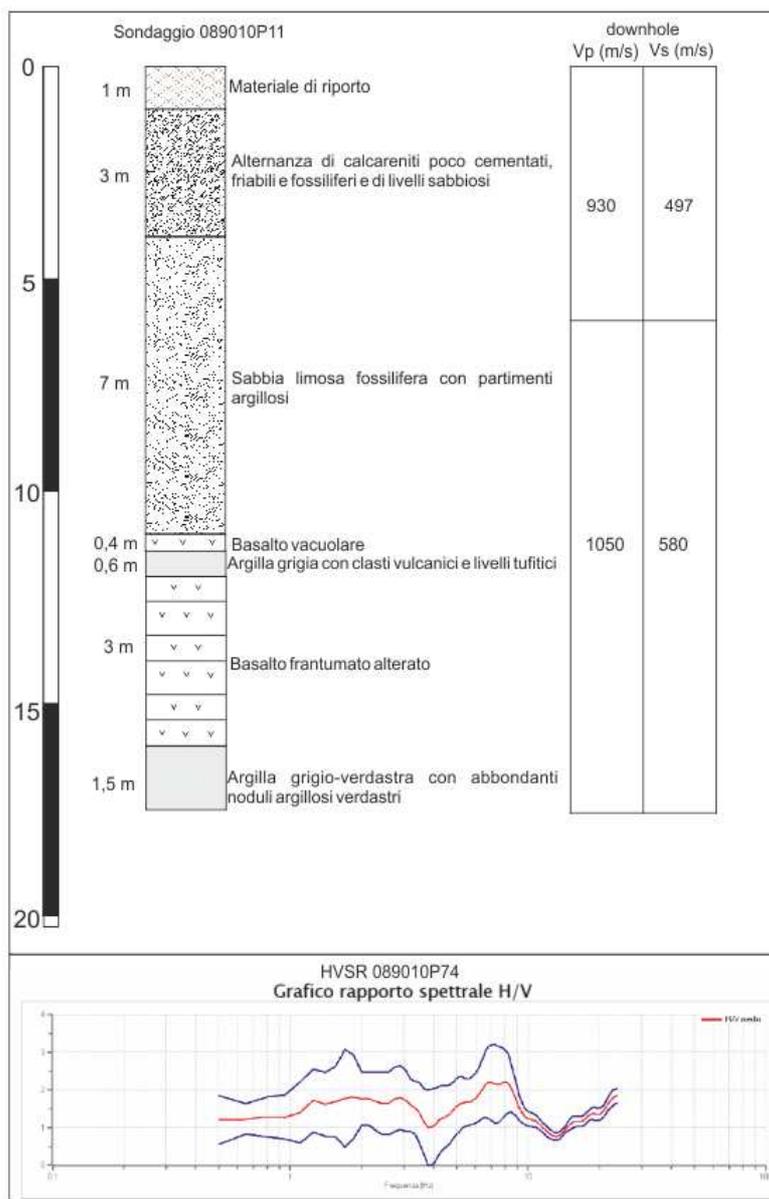


Fig. 25 - Confronto tra l'indagine HVSR 089010P74 e il sondaggio con down-hole realizzato nel sito 089010P11.

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

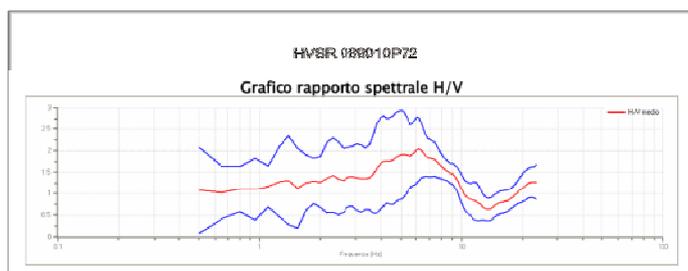
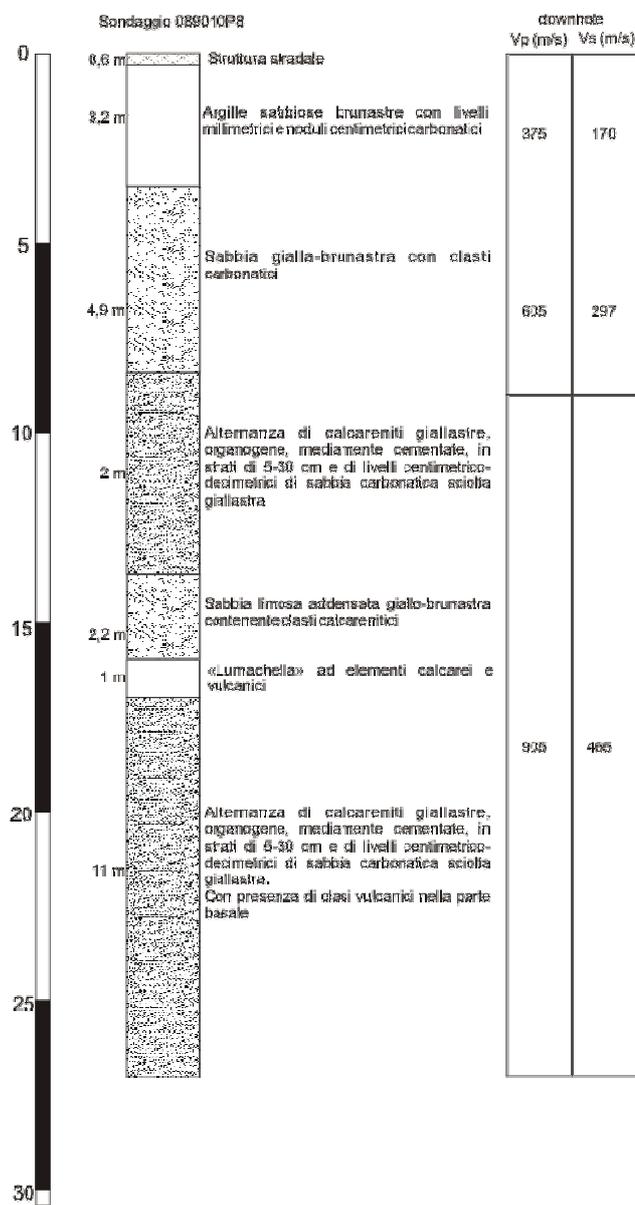


Fig. 26 – Confronto tra l'indagine HVSR 089010P72 e il sondaggio con down-hole realizzato nel sito 089010P8.

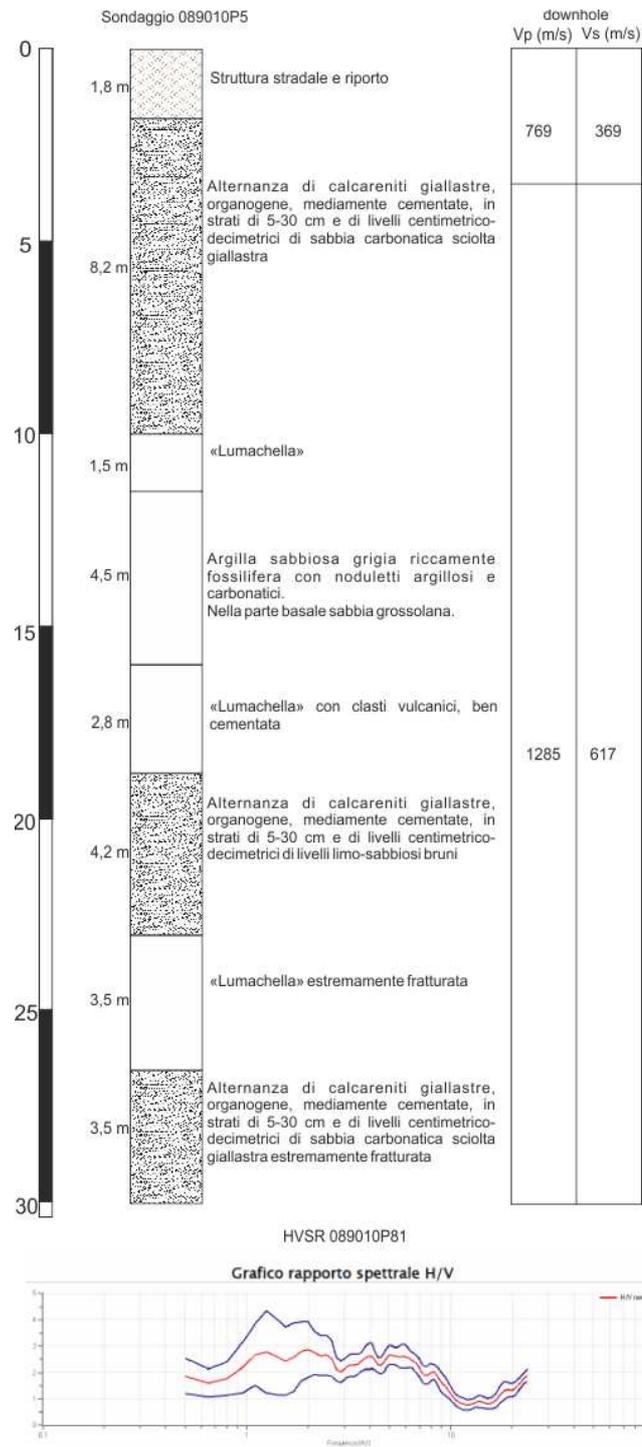


Fig. 27 - Confronto tra l'indagine HVSR 089010P81 e il sondaggio con down-hole realizzato nel sito 089010P5.

- Infine per l'indagine HVSR eseguita sulla Strada Provinciale 99 (69 in Fig. 21) può essere correlato al sondaggio 089010P1 (1 in Fig. 21). Nonostante la limitata affidabilità della misura del microtremore e lo scarso dettaglio del down-hole, la

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

frequenza fondamentale a 1,25 Hz con rapporto H/V di 1,79, è da riferire ad un limite stratigrafico profondo tra la successione sedimentaria e i sottostanti livelli più rigidi costituiti dalle vulcaniti (Fig. 28).

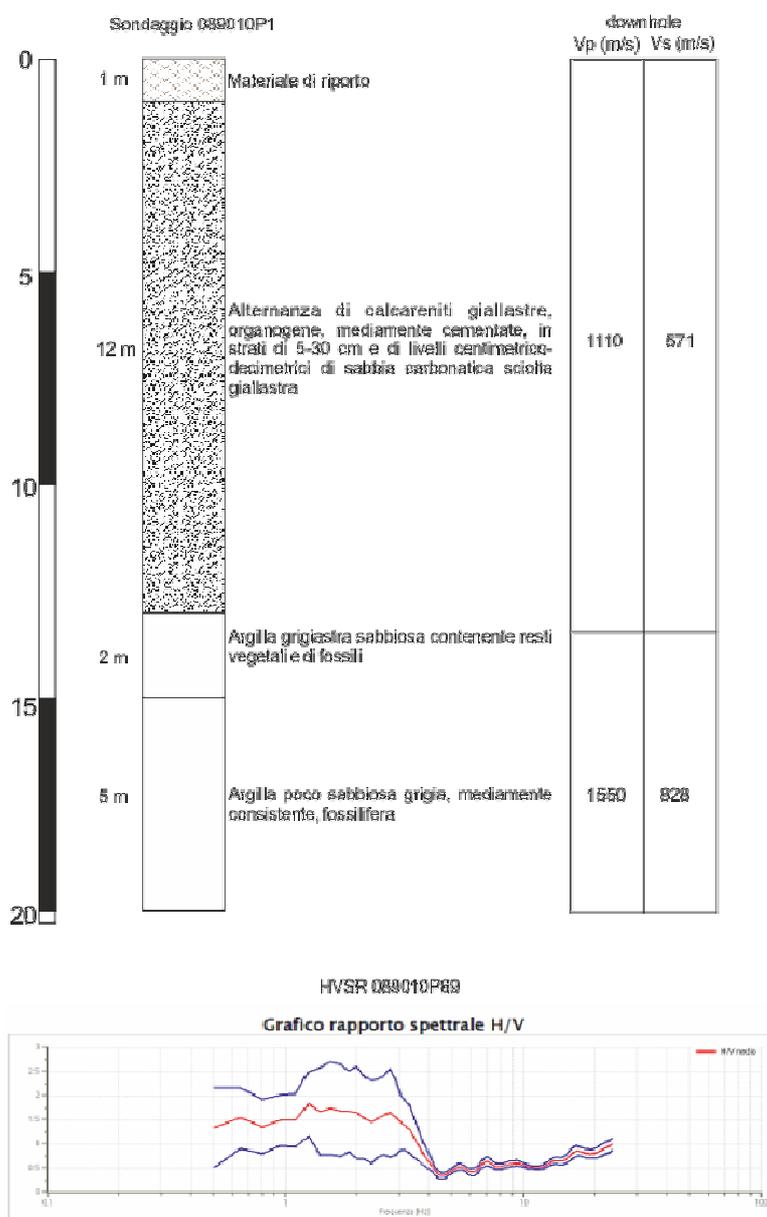


Fig. 28 – Confronto tra l'indagine HVSR 089010P69 e il sondaggio con down-hole realizzato nel sito 089010P1.

ID_INDNL	Prof. Bedrock (m)	Accelerazione al bedrock (g)	Accelerazione massima al suolo (g)
089010P1ACC3	31	0,229	0,256
089010P2ACC6	30	0,229	0,257
089010P3ACC9	29	0,229	0,253
089010P4ACC12	10	0,229	0,234
089010P5ACC15	29	0,229	0,292
089010P6ACC18	15	0,229	0,277
089010P7ACC21	11	0,229	0,232
089010P8ACC24	28	0,229	0,414
089010P9ACC27	34	0,229	0,279
089010P10ACC30	31	0,229	0,239
089010P11ACC33	17	0,229	0,276
089010P12ACC36	7	0,229	0,234
089010P13ACC39	11	0,229	0,229
089010P14ACC42	20	0,229	0,324
089010P15ACC45	32	0,229	0,267
089010P16ACC48	32	0,229	0,278
089010P17ACC51	30	0,229	0,338
089010P18ACC52	28	0,229	0,281
089010P19ACC53	25	0,229	0,29
089010P20ACC54	40	0,229	0,23
089010P21ACC55	9	0,229	0,251
089010P22ACC56	29	0,229	0,239
089010P23ACC62	30	0,229	0,302
089010P24ACC66	10	0,229	0,229
089010P25ACC74	30	0,229	0,287
089010P26ACC78	15	0,229	0,229
089010P27ACC82	20	0,229	0,241
089010P28ACC86	15	0,229	0,23
089010P29ACC92	28	0,229	0,256
089010P30ACC93	28	0,229	0,251
089010P31ACC94	20	0,229	0,234
089010P32ACC95	7	0,229	0,229
089010P33ACC96	25	0,229	0,234
089010P34ACC97	13	0,229	0,234
089010P35ACC98	37	0,229	0,253
089010P36ACC99	20	0,229	0,231
089010P37ACC100	14	0,229	0,235

Tab. 5 - Valori di accelerazione al bedrock e accelerazione massima al suolo ottenute da simulazioni accelerometriche realizzate nel corso dello studio di "Microzonazione sismica del centro urbano e delle aree di interesse urbanistico".

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

Nello studio di “Microzonazione sismica del centro urbano e delle aree di interesse urbanistico” viene proposta una simulazione di registrazioni accelerometriche (Tab. 5), con cui viene stimata l’accelerazione al bedrock, quella massima al suolo e la profondità del bedrock.

Secondo tale studio il basamento rigido viene individuato nei livelli più compatti del substrato geologico vulcanico fratturato (ALS), caratterizzati da una velocità delle onde di taglio maggiore di 1600 m/s. In tale studio, per la ricostruzione dell’andamento della morfologia sepolta del bedrock (Fig. 29) sono stati utilizzati sia i risultati della campagna geognostica che i dati relativi ad alcune perforazioni per ricerche idriche a grande profondità e i dati geofisici e stratigrafici provenienti da fonti diverse.

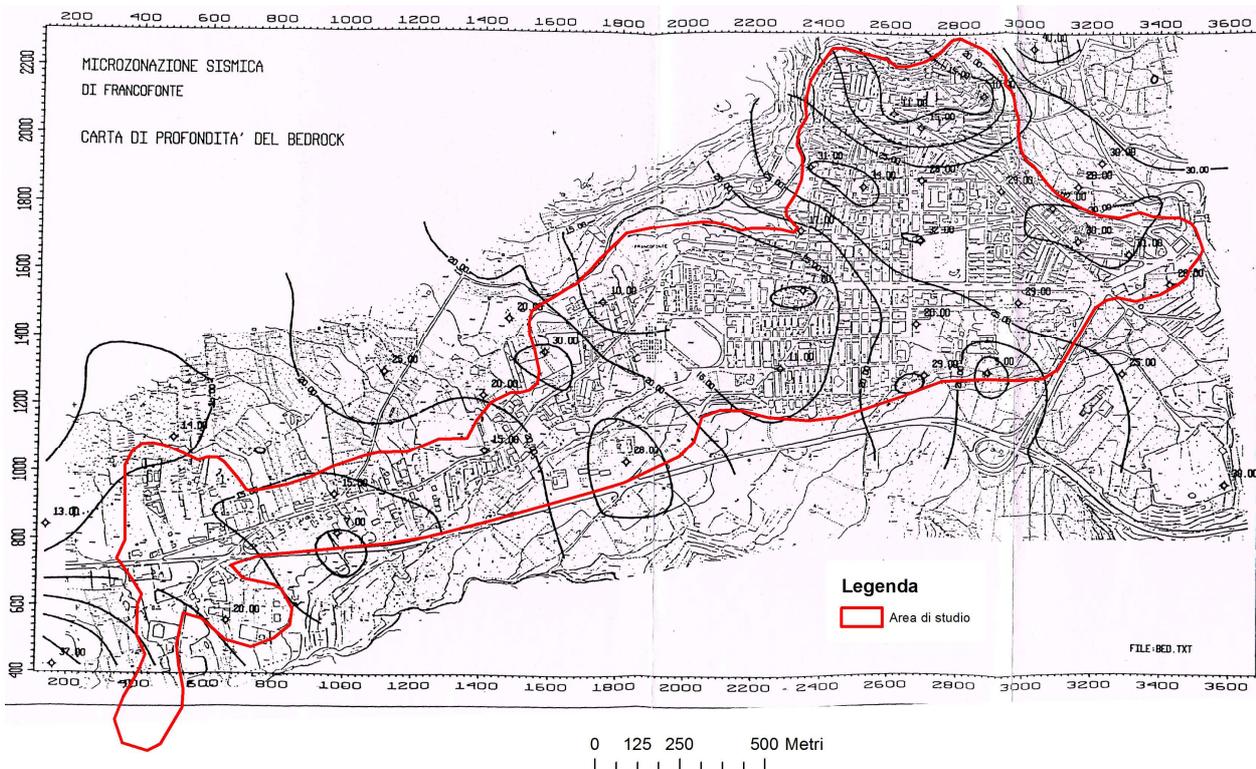


Fig. 28 - Carta di profondità del bedrock in metri (“Microzonazione sismica del centro urbano e delle aree di interesse urbanistico”).

L'individuazione di un vero e proprio bedrock sismico, definito come orizzonte con velocità delle onde S (V_s) permanentemente superiori a 800 m/s, risulta notevolmente complicata dalla presenza di indagini poco attendibili, in quanto le indagini di tipo down-hole a disposizione distinguono pochi sismostrati con spessori ampi. In particolare nelle lave di base, costituite da un'alternanza di orizzonti massivi e orizzonti di alterazione argillificati, la rappresentazione dei sismostrati non riproduce le eterogeneità verticali ed orizzontali, in quanto vengono indicati solo valori medi delle velocità delle onde di taglio, localmente inferiori o superiori alla soglia di definizione di bedrock sismico. A tale proposito appare riduttivo, se non errato, attribuire il carattere di substrato geologico rigido alle unità laviche contraddistinte da questa notevole variabilità laterale delle caratteristiche meccaniche. Questo aspetto è di estrema rilevanza nella successiva fase di individuazione delle microzone omogenee, in termini di individuazione delle reali aree stabili.

Alla luce dei dati disponibili e nonostante le integrazioni di dati originali apportate nel corso del presente studio, è necessario quindi programmare, per i successivi livelli di approfondimento, campagne di indagini geognostiche che vadano a colmare il vuoto di informazioni riscontrato nei settori occidentali, dove non sono presenti sondaggi geognostici pregressi, ma soprattutto indagini geofisiche che permettano di osservare in dettaglio le variazioni in verticale e in orizzontale delle velocità di propagazione delle onde sismiche. Inoltre, attraverso opportune indagini geotecniche in sito e in laboratorio, andrebbero determinati i parametri geotecnici delle litologie dove si hanno poche informazioni, quali gli orizzonti alterati con argillificazione più o meno spinta all'interno delle lave di base, i depositi marini terrazzati, le calcareniti di base pleistoceniche, i prodotti di alterazione dei depositi marini terrazzati, la coltre detritica costituita da limi argillosi e argille limose sabbiose e dei depositi di terrazzi fluviali sabbiosi e limosi.

Infine, la definizione dei caratteri geotecnici e della geometria del bedrock sismico, rimane uno degli obiettivi imprescindibili nelle successive fasi d'approfondimento.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

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 e geotecnica), 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. 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 1:5000 (**Allegato 1**), dove si è cercato di evidenziare quegli elementi di non immediata lettura nella “Carta geologico tecnica” quali i rapporti geometrici tra i depositi alluvionali, i depositi marini terrazzati, i sedimenti sabbioso–calcarenitico–argillosi pleistocenici e le lave sia di copertura che del substrato, e la presenza di due faglie normali sepolte. Per quanto riguarda l’amplificazione per effetti topografici e morfologici viene proposta una procedura che, a partire dal Modello Digitale del Terreno (DEM) e attraverso una serie di elaborazioni effettuate utilizzando software GIS, consente di identificare quei pendii caratterizzati da una inclinazione $> 15^\circ$ e da un dislivello superiore a circa 30 m. Il primo step di tale procedura consiste nell’elaborazione di una carta delle inclinazioni in cui vengono distinti due campi con inclinazione minore e maggiore di 15° (Fig. 29). Nel secondo step è stata costruita una carta dell’energia del rilievo, definita come il dislivello massimo (in metri) esistente in ciascuna superficie unitaria (Ciccacci et al., 1986) che nel caso specifico è un quadrato di 100 metri di lato (Fig. 30). 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. 31).

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

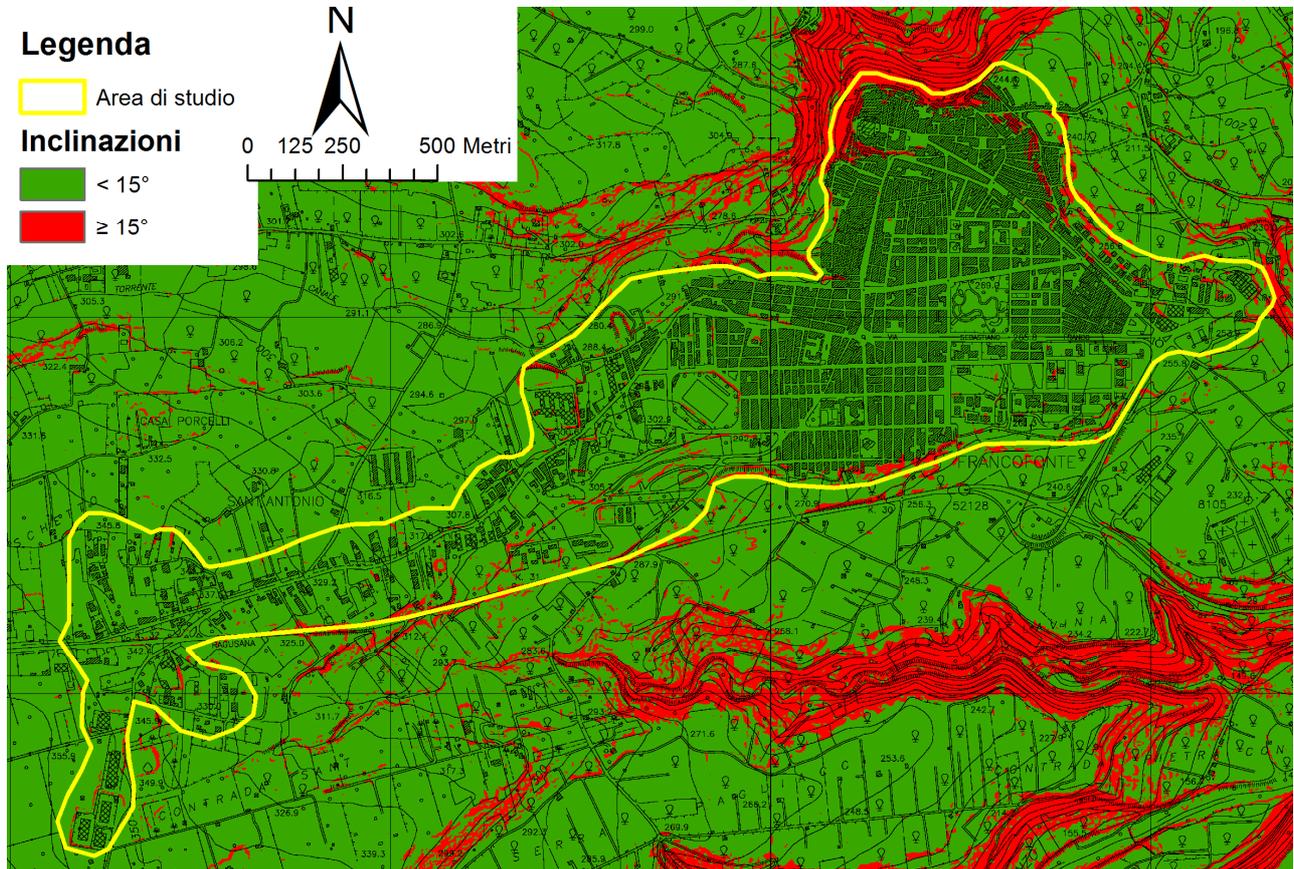


Fig. 29 - Carta delle inclinazioni dell'area di studio. Sono distinte inclinazioni < 15°, in verde, e > 15°, in rosso.

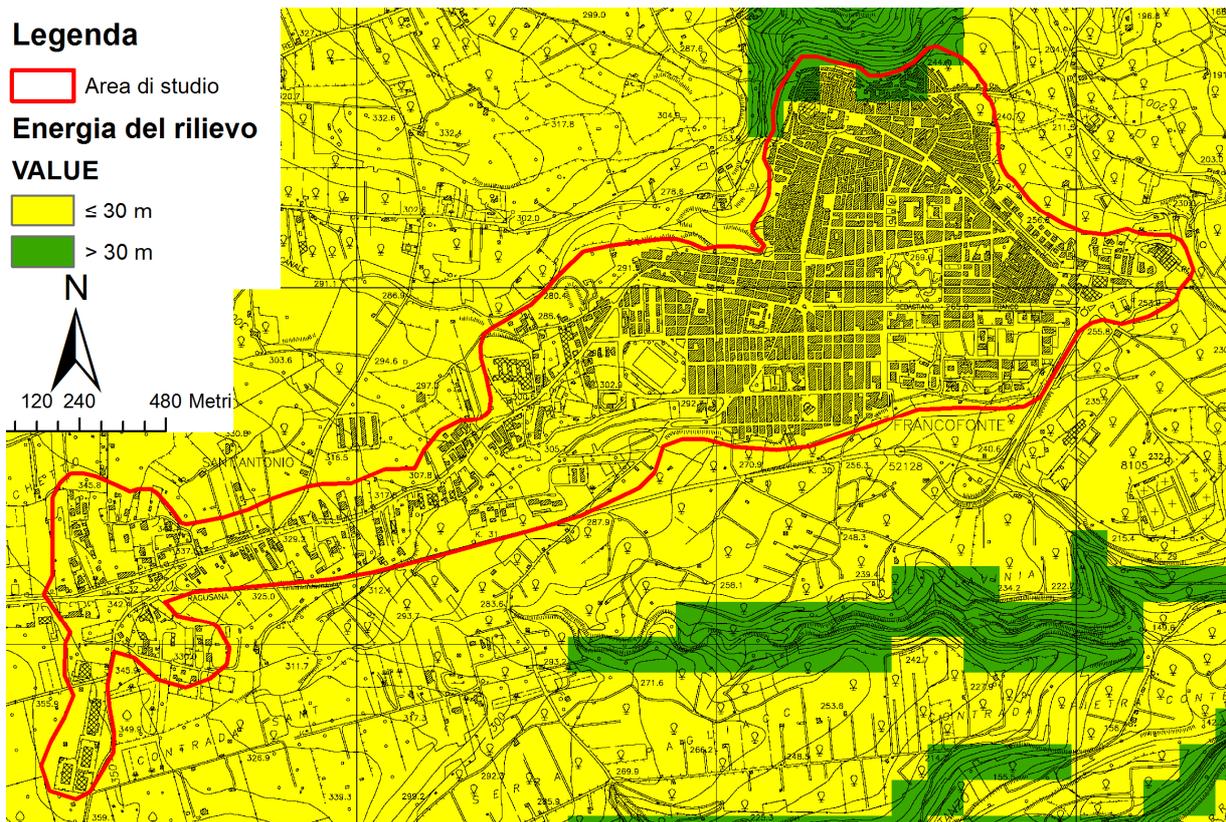


Fig. 30 - Carta dell'energia del rilievo dell'area di studio. Sono distinti dislivelli < 30 m, in giallo, e > 30 m, in verde.

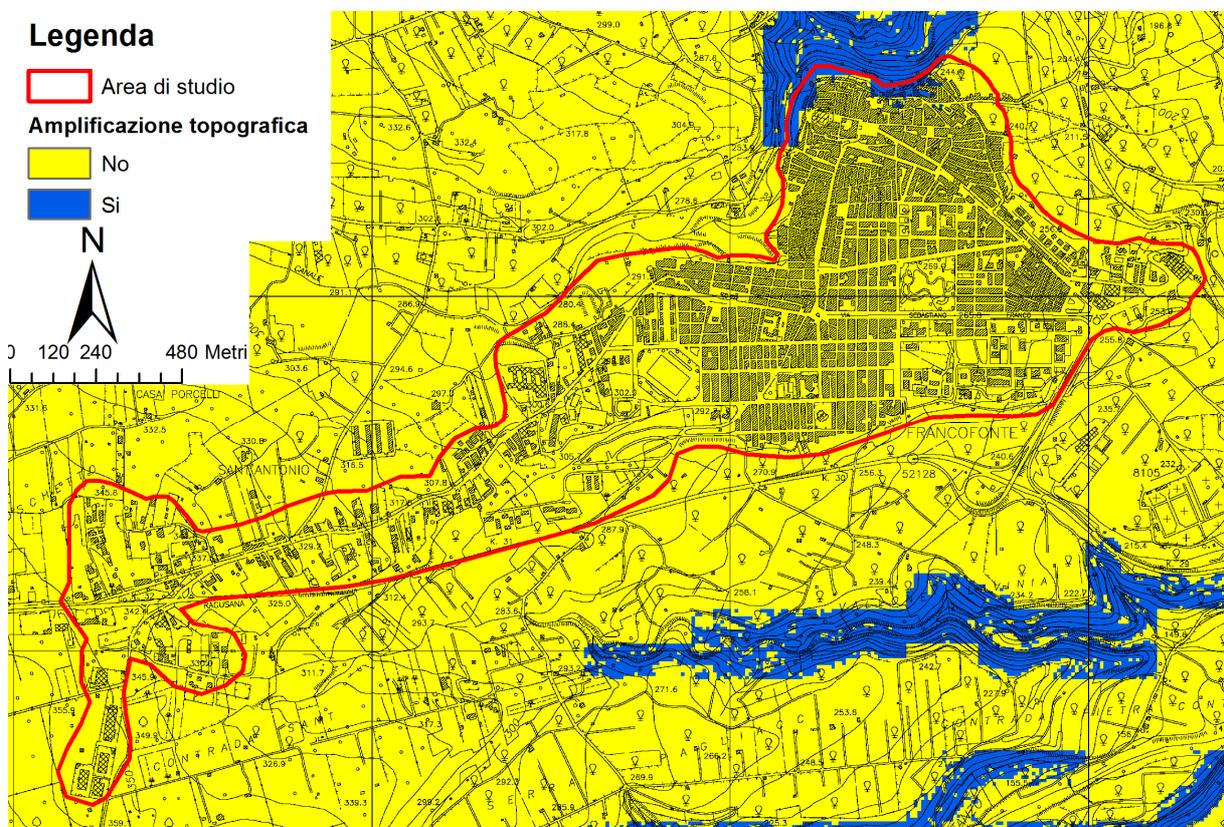


Fig. 31 - Carta dell'amplificazione topografica dell'area di studio. Le aree potenzialmente soggette ad amplificazione topografica sono evidenziate in blu.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

Risulta evidente che tali pendii sono concentrati lungo la scarpata erosionale, impostata nelle rocce laviche del substrato, che si estende lungo il margine nord-orientale dell'area di studio, lungo la sponda destra del Torrente Canale. Ortogonalmente a questa scarpata sono state realizzate due sezioni topografiche in scala 1:5000 (**Allegato 5**), dirette E-O e N-S, come richiesto negli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica" (Gruppo di lavoro MS, 2008).

Per quanto riguarda le instabilità manifeste e potenziali, si è fatto riferimento agli studi pregressi del PAI che hanno trovato riscontro anche dalle analisi morfologiche condotte nell'area tramite analisi di fotogrammetrie e verifiche di terreno nelle aree soggette ad instabilità di versante. Nella "Carta dei dissesti" (Fig. 32) e nella "Carta della pericolosità e del rischio" (Fig. 33) del PAI (Area Territoriale del Bacino del Fiume San Leonardo – 093) viene riportato un dissesto che interessa la scarpata sopra descritta. Si tratta di una frana da crollo e/o ribaltamento che interessa i basalti vacuolari fratturati del substrato geologico, inserita nel presente studio tra le instabilità di versante e catalogata come "crollo o ribaltamento – attiva" (Tipo_i = 3011).

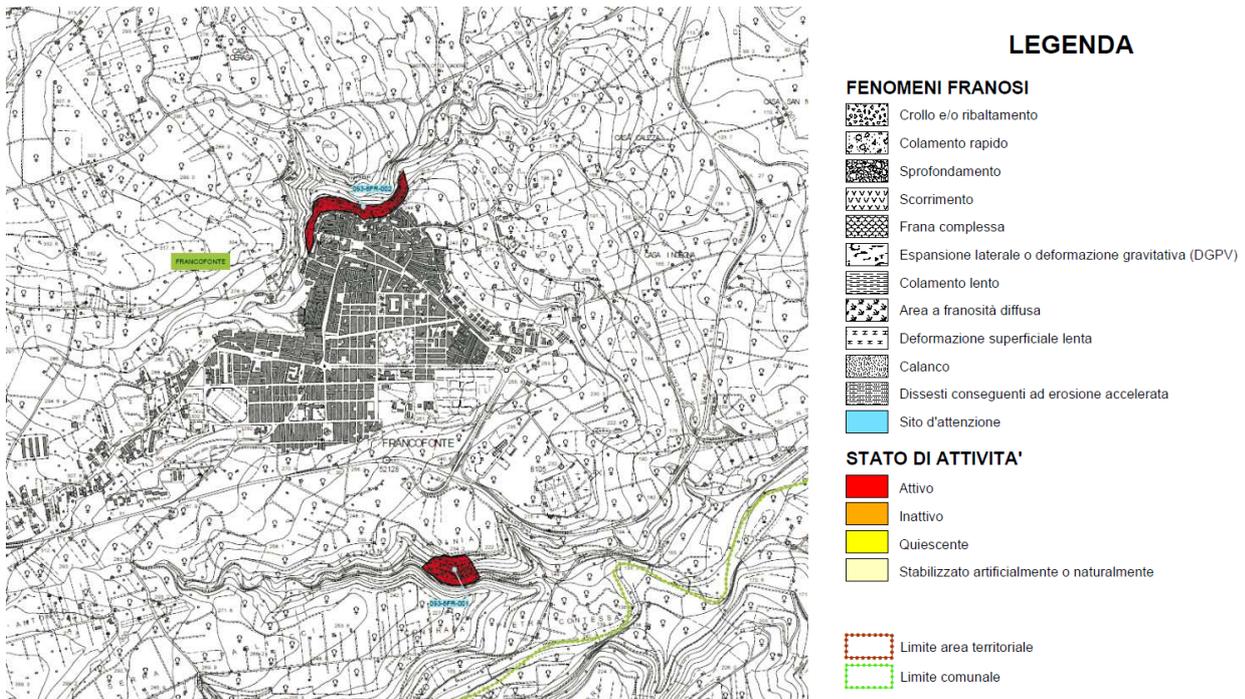


Fig. 32 – Stralcio della “Carta dei dissesti N° 15” (SS D 640150) del PAI.

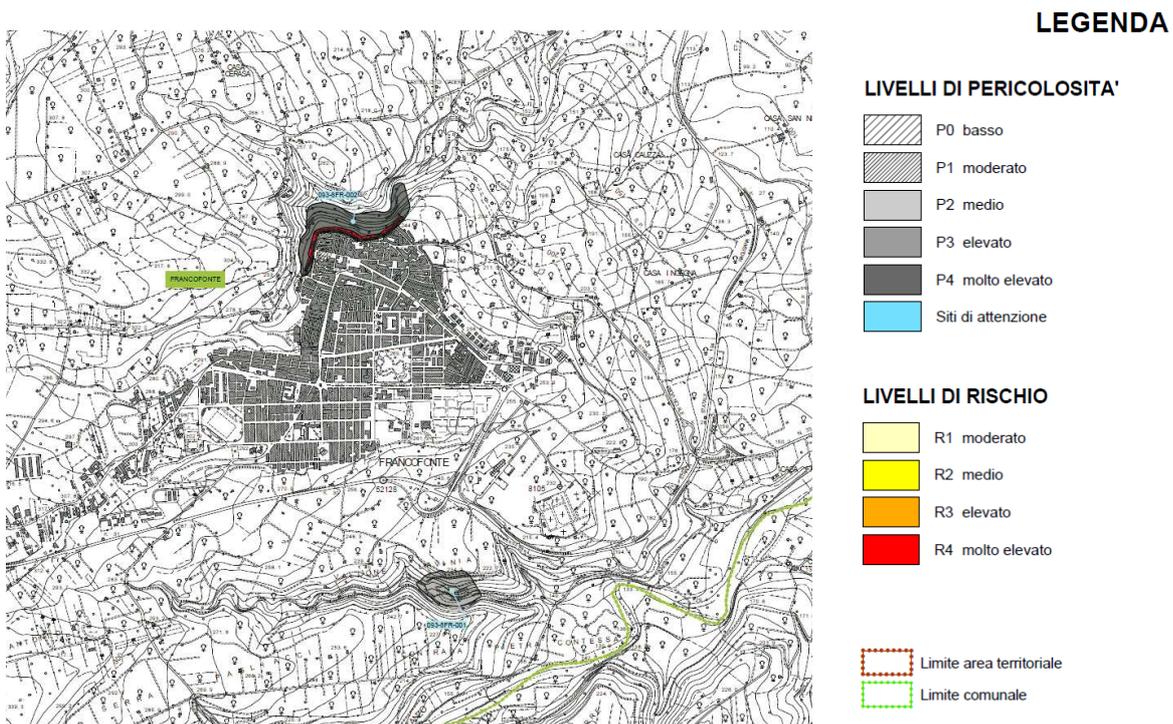


Fig. 33 – Stralcio della “Carta della pericolosità e del rischio N° 15” (SS P R 640150) del PAI.

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

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77
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. 34):

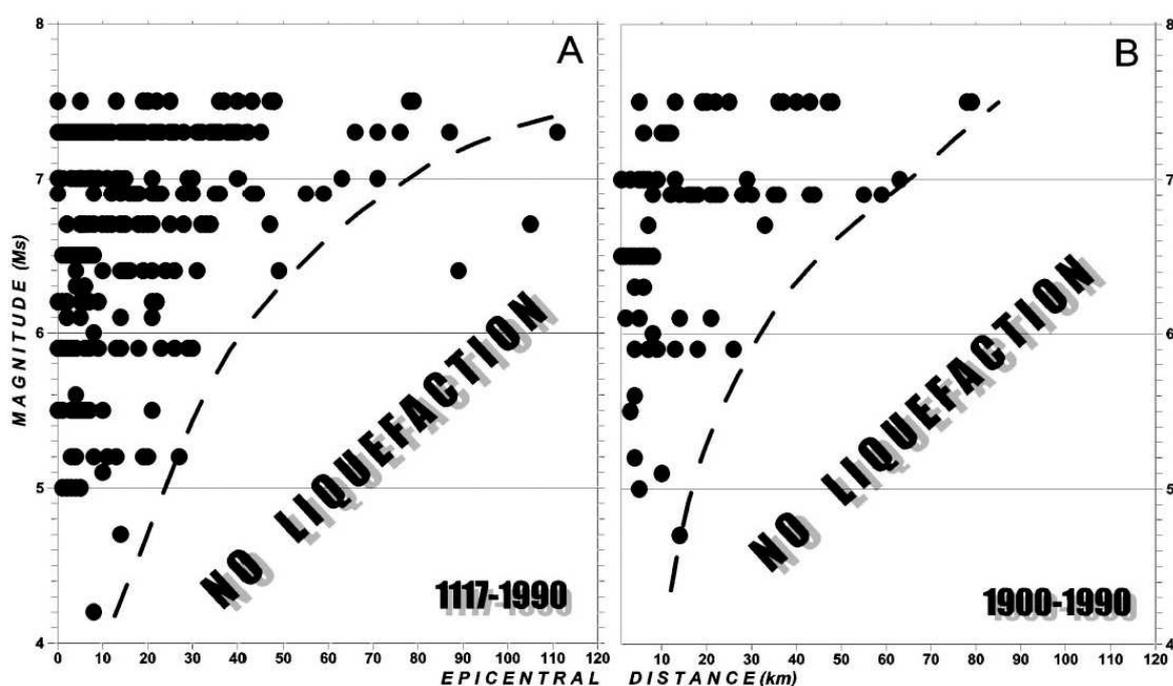


Fig. 34 - Distribuzione di fenomeni di liquefazione indotti da eventi sismici, in termini di Magnitudo e distanza epicentrale, per i periodi 1117–1990 e 1900–1990. (da Galli, 2000).

Nell'ambito della zonazione sismogenetica dell'area italiana (Gruppo di lavoro, 2004), il territorio comunale di Francofonte ricade all'interno della zona 935 (Fig. 35). Come già illustrato nel Capitolo 2, questa zona è caratterizzata da diversi eventi sismici distruttivi (MCS 10 = X - XI)(Postpischl, 1985; Boschi et al, 1995; 1997). Questi dati trovano conferma nella versione più recente del DISS 3.1.1 (DISS Working Group, 2010) che riporta, nei pressi dell'abitato di Francofonte, due sorgenti sismogeniche (Fig. 16): la

sorgente "ITCS035 - Ragusa-Palagonia", con direzione NNO-SSE, per la quale viene ipotizzata una $M_{max}=5.6$, che si trova ad una distanza di ~ 3.5 km dal centro abitato e, ad una distanza di circa 4.8 km, la sorgente sismogenica "ITCS036- Monte Lauro", con direzione NE-SO ed immersione verso SE, per la quale viene ipotizzata una $M_{max}=6.6$. Possiamo, dunque, 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 Francofonte, questa tipologia di terreni è largamente diffusa ed è rappresentata dai depositi marini terrazzati, con la loro porzione superficiale alterata, dai depositi alluvionali terrazzati e alluvioni recenti, e dalle sabbie e argille del substrato geologico.

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

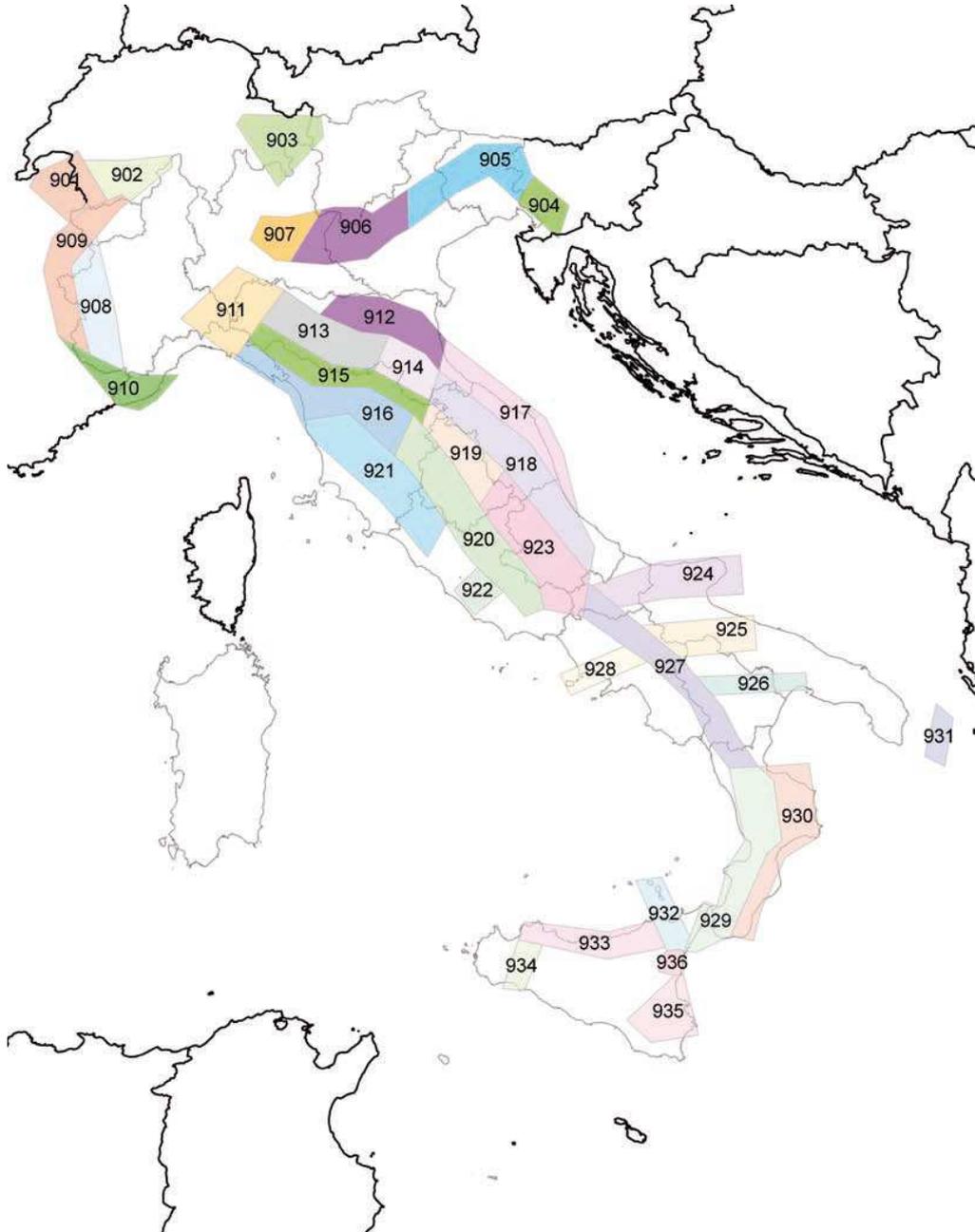
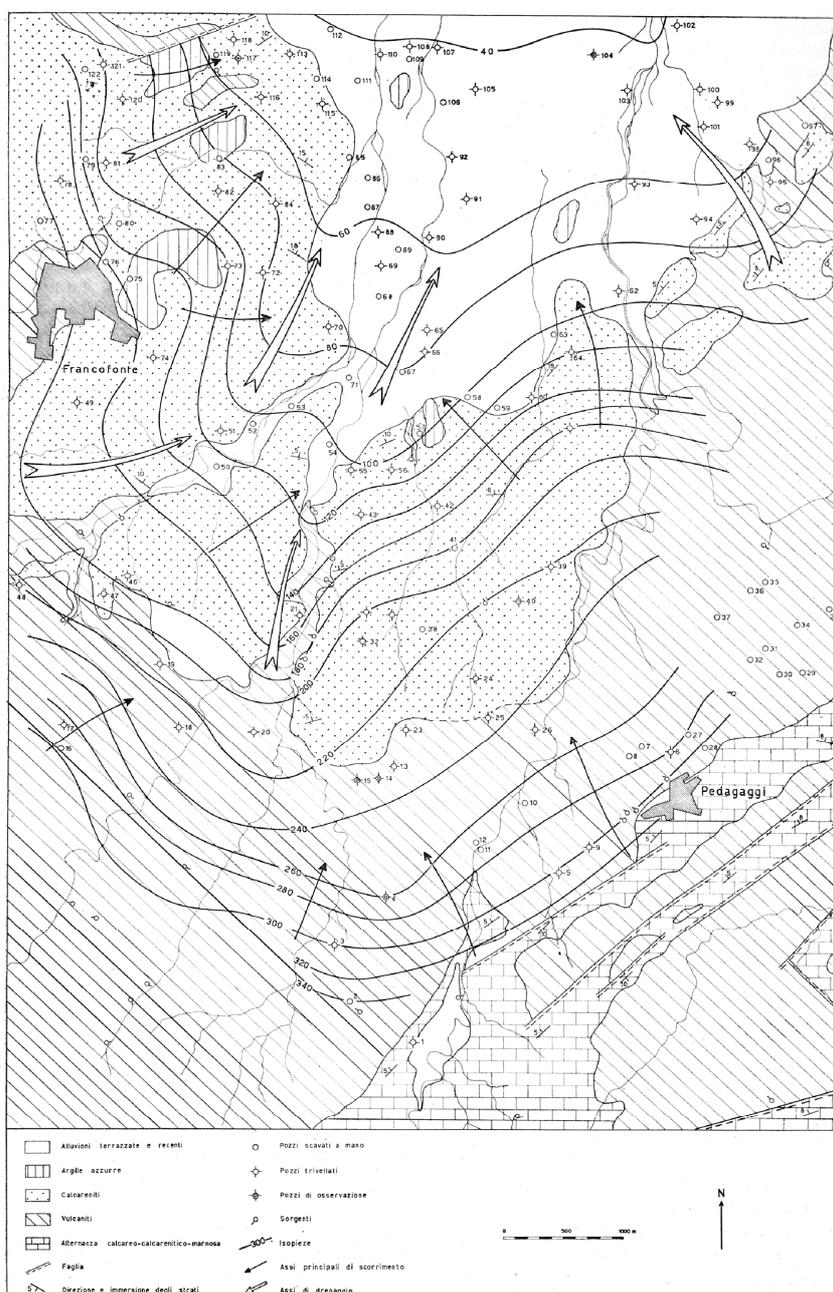


Fig. 35 - Zone sismogenetiche per la mappa di pericolosità sismica di base di riferimento (Gruppo di lavoro, 2004).

Per quanto concerne la possibile presenza di falde superficiali all'interno di tali depositi, le indagini a nostra disposizione sembrerebbero escludere tale eventualità. Questo dato è confermato dalle informazioni disponibili in Letteratura. Negli studi idrogeologici condotti nel territorio di Francofonte da Ferrara negli anni 70', l'abitato viene compreso tra le curve isopiezometriche di 225 e 125 metri (Figg. 36 e 37). Diversamente, nella Carta della vulnerabilità delle falde idriche settore nord-orientale ibleo (Sicilia S.E.) (Aureli et al., 1989), l'area di studio viene collocata tra le curve isopiezometriche di 300 e 150 metri (Fig. 38).



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

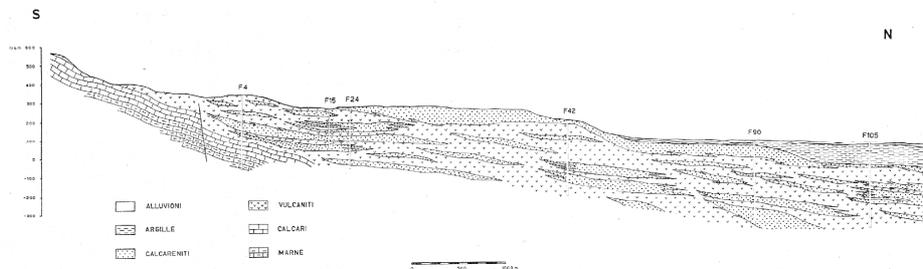


Fig. 7 - Sezione schematica della zona di Francofonte.

Fig. 36 - Schema idrogeologico e sezione della zona di Francofonte (Ferrara, 1970).

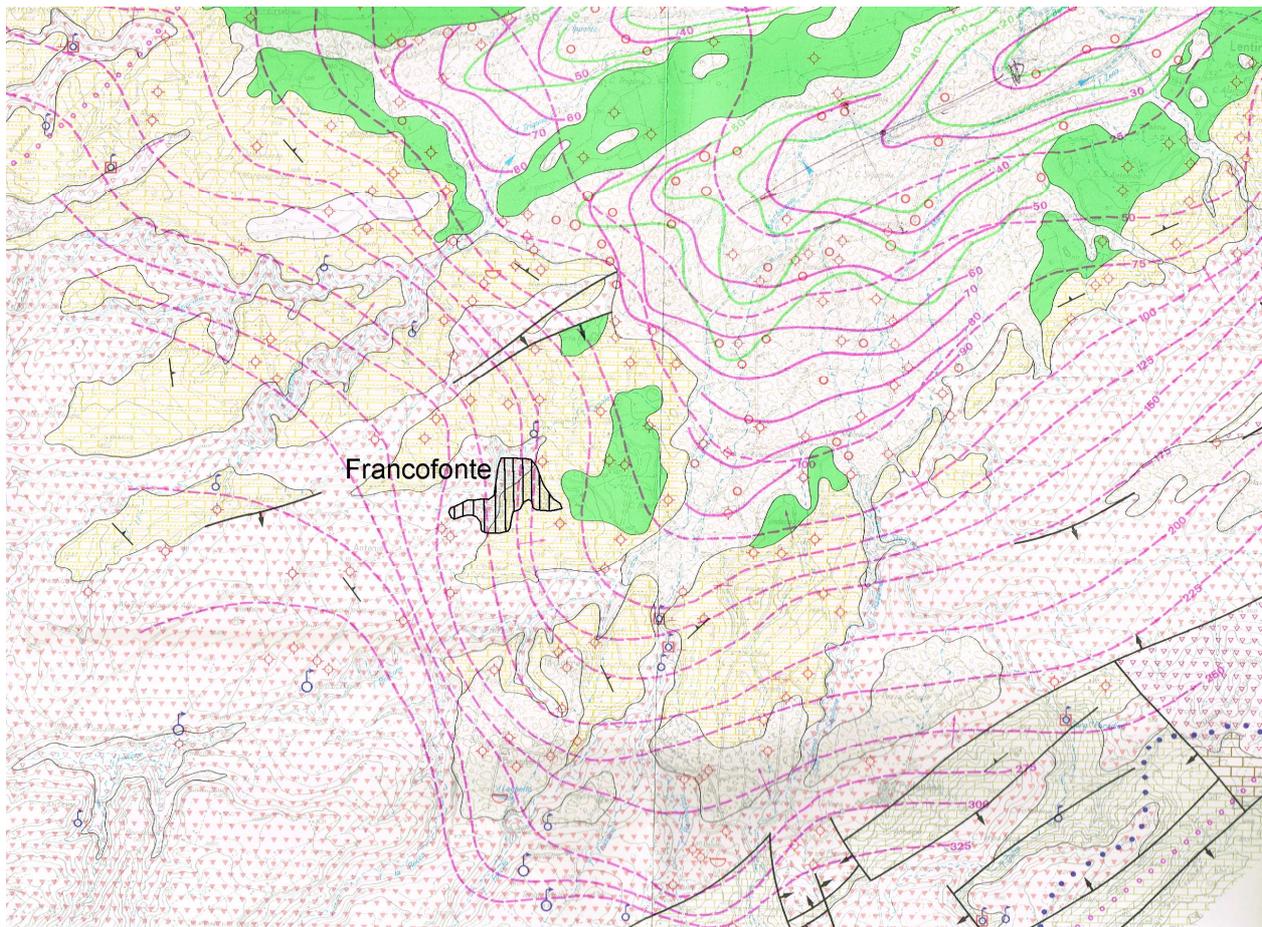


Fig. 37 - Stralcio della Carta idrogeologica del Bacino del Fiume S. Leonardo (Sicilia sud-orientale) (Ferrara 1975).

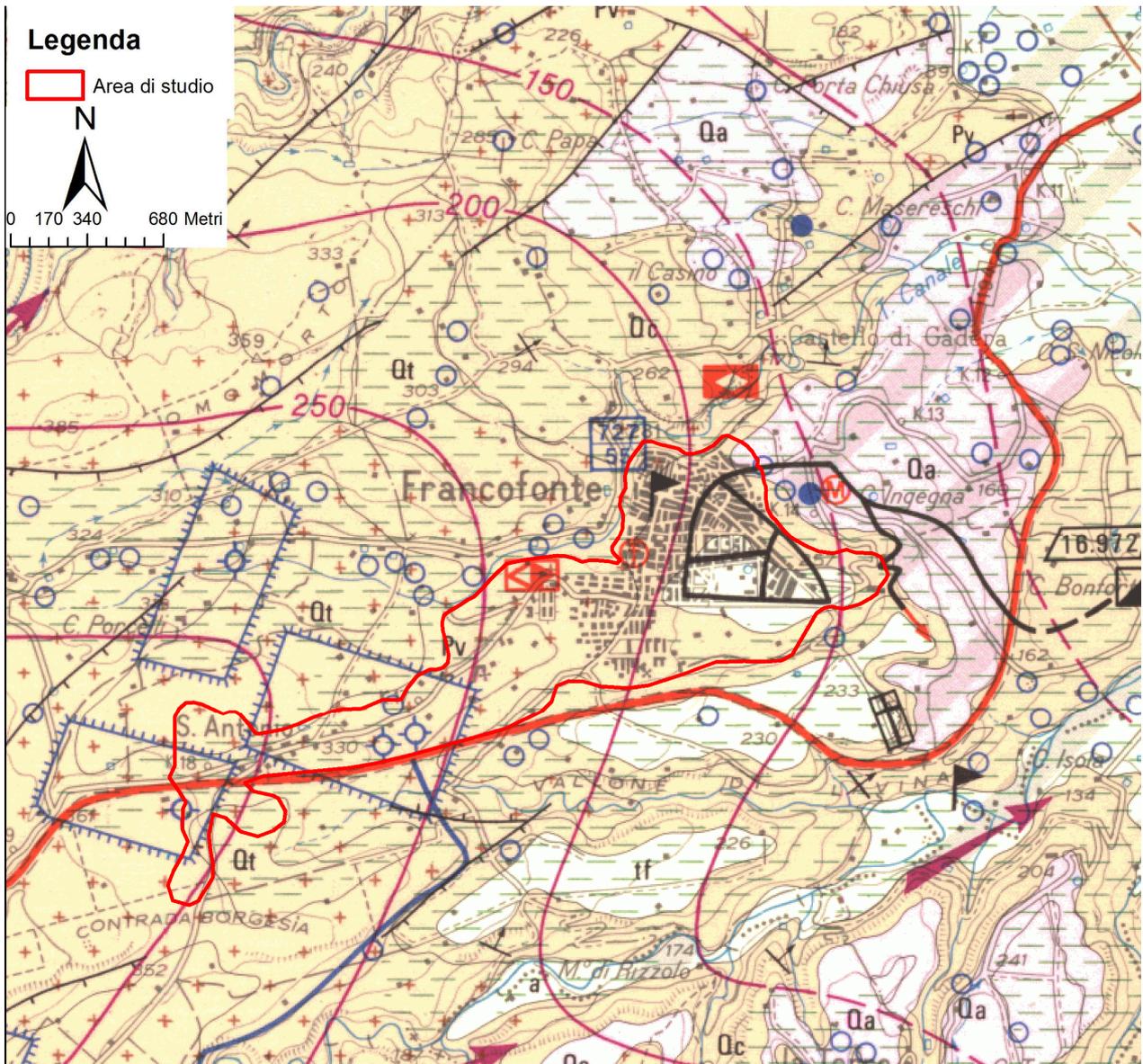


Fig. 38 – Stralcio della Carta della vulnerabilità delle falde idriche settore nord-orientale ibleo (Sicilia S:E.) (Aureli et al., 1989 mod).

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

8. Elaborati cartografici

La sintesi delle attività svolte nel primo livello di approfondimento degli studi di microzonazione sismica si configura nella stesura dei seguenti elaborati cartografici:



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

“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 Francofonte, consistono in indagini puntuali, eseguite esclusivamente in foro, cui si sommano le prove e analisi di laboratorio, e in indagini lineari di tipo geologico e geofisico. Tutti i dati messi a disposizione, unitamente a quelli acquisiti nel corso del presente studio, sono stati analizzati, archiviati in un database di Access denominato “Cdl_tabelle” e rappresentati secondo gli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica Versione 2.0beta-II”. All'interno del database sono stati inseriti 68 “Siti_puntuali” (53 relativi a dati pregressi e 15 a misure HVSr realizzate dall'Università di Catania nel corso del presente studio).

Per quanto riguarda le “Indagini_puntuali” sono state inserite 162 indagini appartenenti a diverse classi:

- “Geologia” – a questa classe appartengono i sondaggi a carotaggio continuo, quelli con prelievo di campioni e i pozzetti esplorativi
- “Geotecnica di laboratorio” – si tratta di analisi effettuate su 26 campioni, prove triassiali, prove di taglio diretto e espansione laterale libera (vedi **Allegato 3**)

- “Geotecnica in sito” – sono costituite da 7 prove penetrometriche dinamiche SPT e 12 penetrometriche dinamiche leggere (vedi **Allegato 3**)
- “Geofisica” – consta di 26 indagini down-hole e n. 24 indagini HVSR, di cui 9 realizzate durante il progetto per il recupero e conservazione della Chiesa Madre ‘S. Antonio Abate’, che non hanno fornito però la frequenza del picco di amplificazione (vedi Capitolo 6) e 15 realizzate dall’Università di Catania (vedi **Allegati 3 e 4**)

Per quanto riguarda le “Indagini_lineari”, sono state inserite n. 13 profili sismici a rifrazione, n. 13 sondaggi elettrici verticali e n. 12 sezioni geologiche. Le problematiche affrontate nell’archiviazione e nell’analisi di tali indagini sono state trattate nel Capitolo 6. Per le informazioni sulle geometrie 3D dei diversi corpi geologici nel sottosuolo, si raccomanda, dunque, di fare riferimento alla sezione geologica realizzata nell’**Allegato 1**.

8.2 Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica

Già ampiamente descritta nei capitoli precedenti, la successione geolitologica dell’area di studio è stata ricostruita sulla base della composizione di rilievi geologici a differente scala. Per la ricostruzione delle geometrie dei corpi litologici presenti nell’area, data la loro complessità, si è dovuto ricorrere a rilievi originali. I dati di sottosuolo, distribuiti abbastanza omogeneamente, hanno comunque fornito un apporto fondamentale 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 stati assimilati ad unità del substrato (**ALS**) o ai terreni di copertura (**LC**), sulla base della loro giacitura rispetto alle ai depositi sedimentari del ciclo infrapleistocenico. Le diverse unità litologiche del substrato, ivi comprese i prodotti lavici, e i diversi terreni di copertura sedimentaria sono state rappresentate nella carta



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 geologico–tecnica seguendo gli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica–Versione 2.0beta–II”. La classificazione dei terreni di copertura, descritta già in dettaglio nei capitoli precedenti, è stata eseguita secondo il sistema USCS. Si fa presente che anche laddove tali terreni non sono stati cartografati, perché di spessore inferiore ai 3 metri, il substrato geologico è sovente ricoperto da suolo di alterazione e localmente da materiali di riporto. Per i terreni vulcanici di copertura si è fatto ricorso a nuovi standard di rappresentazione concordati con la committenza, in attesa di una integrazione delle linee guida nazionali, alla quale si auspica possano utilmente contribuire gli stessi dati contenuti in questo studio. In particolare è stato inserito un nuovo elemento lineare (limite di colata lavica) che insieme agli altri già previsti, consente 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.

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, anche se alcune indagini down-hole indicano la presenza nei primi 20 m di



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile

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

profondità di terreni in cui la Vs supera gli 800 m/s. Si tratta delle indagini 089010P7DH20, che attraversa i basalti vacuolari del substrato geologico e 089010P16DH47, che investiga le calcareniti terrazzate. Come visto nel Capitolo 6, si è però ritenuto di non considerare tali terreni bedrock sismico a causa delle ripetute inversioni di velocità che si possono realizzare sia all'interno delle colate laviche, per la presenza di orizzonti di alterazione argillificati, che nella successione sedimentaria dove la presenza di un substrato geologico argilloso o sabbioso al di sotto delle calcareniti può determinare una brusca diminuzione della Vs (vedi indagine 089010P16DH47). Questa valutazione trova conforto nelle indagini di tremore ambientale effettuate dall'Università di Catania che hanno fornito valori di frequenza di picco generalmente inferiori a 2 Hz, riferibili a contrasti di impedenza che si realizzano ad elevata profondità, anche in quei settori in cui affiora il substrato geologico.

La notevole variabilità laterale dei terreni di copertura affioranti ha, dunque, comportato la definizione di 37 distinte microzone riferite ad aree stabili suscettibili di amplificazione, nonché di una zona suscettibile di instabilità già censita dal PAI come ad elevato rischio di frana:

- **Zona 0** Substrato geologico costituito da lave più o meno fratturate con ripetuti orizzonti fortemente alterati caratterizzati da un'argillificazione più o meno spinta, complessivamente di spessore indefinito oltre 50 m circa.
- **Zona 1** La successione della zona 0 in pendio con inclinazione $>15^\circ$ e dislivello >30 m.
- **Zona 2** Materiale di riporto eterogeneo, con spessore pari a circa 5m, costituito da risulta e laterizi e da blocchi e ciottoli in matrice sabbiosa, che poggia sulla successione della zona 0.
- **Zona 3** Depositi alluvionali terrazzati costituiti in prevalenza da limi argillosi e sabbie fini limose con ciottoli di natura vulcanica, spessi fino a circa 8 m, che poggiano sulla successione della zona 0.
- **Zona 4** Materiale di riporto eterogeneo, con spessore pari a circa 5m, costituito da risulta e laterizi e da blocchi e ciottoli in matrice sabbiosa, che poggia sulla successione della zona 3.

- **Zona 5** Depositi alluvionali terrazzati costituiti da sabbie fini limose, aventi uno spessore fino a circa 6 m, che poggiano sulla successione della zona 0.
- **Zona 6** Coltre detritica argilloso-sabbiosa e limosa con blocchi calcarenitici e vulcanici, spessa fino a circa 10 m, che poggia sulla successione della zona 0.
- **Zona 7** Materiale di riporto eterogeneo, con spessore pari a circa 5m, costituito da risulta e laterizi e da blocchi e ciottoli in matrice sabbiosa, che poggia sulla successione della zona 6.
- **Zona 8** Substrato geologico non rigido costituito da sabbie carbonatiche giallastre limoso-argillose con clasti calcarenitici, spesso fino a circa 25 m, che poggiano sulla successione della zona 0.
- **Zona 9** Calcareniti organogene clinostratificate in strati decimetrici alternate a strati centimetrici sabbiosi, spesse complessivamente circa 25 m, che poggiano sulla successione della zona 0.
- **Zona 10** Sabbie carbonatiche giallastre limoso-argillose con clasti calcarenitici, che passano lateralmente e verso l'alto a calcareniti organogene clinostratificate in strati decimetrici alternate a strati centimetrici sabbiosi, spesse complessivamente circa 25 m, che poggiano sulla successione della zona 0.
- **Zona 11** Lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate che ricoprono con uno spessore di circa 10 m, la successione della zona 0.
- **Zona 12** Lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate che poggiano, con uno spessore di circa 10 m, sulla successione della zona 8.
- **Zona 13** Lave di copertura indefinite su morfologie del substrato articolate che poggiano, con uno spessore di circa 10 m, sulla successione della zona 10.
- **Zona 14** Materiale di riporto eterogeneo a prevalente componente vulcanica, con spessore pari a circa 5 m, costituito da blocchi e ciottoli lavici in matrice sabbiosa, che poggiano sulla successione della zona 11.
- **Zona 15** Depositi marini terrazzati costituiti da un'alternanza di strati calcarenitici e sabbiosi spessi fino a circa 15 m, che poggiano sulla successione della zona 8.
- **Zona 16** Depositi marini terrazzati costituiti da un'alternanza di strati calcarenitici e sabbiosi spessi fino a circa 15 m, che poggiano sulla successione della zona 10.
- **Zona 17** Depositi marini terrazzati costituiti da un'alternanza di strati calcarenitici e sabbiosi spessi fino a circa 15 m, che poggiano sulla successione della zona 9.
- **Zona 18** Calcareniti organogene clinostratificate, spesse fino a circa 30 m in strati decimetrici alternate a strati centimetrici sabbiosi, che passano lateralmente e verso l'alto ad argille poco sabbiose mediamente consistenti, fossilifere, spesse fino a circa 15 m, che nell'insieme poggiano sulla successione della zona 0.
- **Zona 19** Depositi marini terrazzati costituiti da un'alternanza di strati calcarenitici e sabbiosi spessi fino a circa 15 m, che poggiano sulla successione della zona 18.
- **Zona 20** Prodotti di alterazione di depositi marini terrazzati costituiti da argille limose e sabbiose spessi fino a circa 6 m che poggiano sulla successione della zona 16.
- **Zona 21** Prodotti di alterazione di depositi marini terrazzati costituiti da argille limose e sabbiose spessi fino a circa 6 m, o coltre detritica argilloso-sabbiosa e limosa con blocchi calcarenitici e vulcanici, spessa fino a circa 10 m, che poggiano sulla successione della zona 19.
- **Zona 22** Prodotti di alterazione di depositi marini terrazzati costituiti da argille limose e sabbiose spessi fino a circa 6 m che poggiano sulla successione della zona 17.
- **Zona 23** La successione della zona 9 in pendio con inclinazione $>15^\circ$ e dislivello >30 m.

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

- **Zona 24** Depositi marini terrazzati costituiti da un'alternanza di strati calcarenitici e sabbiosi spessi fino a circa 15 m, che poggiano sulla successione della zona 0.
- **Zona 25** Coltre detritica argilloso-sabbiosa e limosa con blocchi calcarenitici e vulcanici, spessa fino a circa 10 m, che poggia sulla successione della 9.
- **Zona 26** Materiale di riporto eterogeneo, con spessore pari a circa 5 m, costituito da risulta e laterizi e da blocchi e ciottoli in matrice sabbiosa, che poggia sulla successione della zona 8.
- **Zona 27** Materiale di riporto eterogeneo, con spessore pari a circa 5 m, costituito da risulta e laterizi e da blocchi e ciottoli in matrice sabbiosa, che poggia sulla successione della zona 19.
- **Zona 28** Materiale di riporto eterogeneo, con spessore pari a circa 5 m, costituito da risulta e laterizi e da blocchi e ciottoli in matrice sabbiosa, che poggia sulla successione della zona 21.
- **Zona 29** La successione della zona 6 in pendio con inclinazione $>15^\circ$ e dislivello >30 m.
- **Zona 30** Coltre detritica argilloso-sabbiosa e limosa con blocchi calcarenitici e vulcanici, spessa fino a circa 10 m, che poggiano sulla successione della zona 18.
- **Zona 31** La successione della zona 30 in pendio con inclinazione $>15^\circ$ e dislivello >30 m.
- **Zona 32** Substrato geologico non rigido costituito da argille sabbiose spesse anche oltre i 30 m, con lenti siltoso-sabbiose verso l'alto.
- **Zona 33** Depositi marini terrazzati costituiti da un'alternanza di strati calcarenitici e sabbiosi spessi fino a circa 15 m, che poggiano sulla successione della zona 32.
- **Zona 34** Coltre detritica argilloso-sabbiosa e limosa con blocchi calcarenitici e vulcanici, spessa fino a circa 10 m, che poggiano sulla successione della zona 33.
- **Zona 35** Materiale di riporto eterogeneo, con spessore pari a circa 5 m, costituito da risulta e laterizi e da blocchi e ciottoli in matrice sabbiosa, che poggia sulla successione della zona 34.
- **Zona 36** Materiale di riporto eterogeneo, con spessore pari a circa 5 m, costituito da risulta e laterizi e da blocchi e ciottoli in matrice sabbiosa, che poggia sulla successione della zona 33.

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

9. Confronto con la distribuzione di danni per eventi passati

Il territorio comunale di Francofonte, 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:

- Per quanto riguarda il terremoto del 1693, il CFT è estremamente sintetico. Citando una fonte storica (Gaudioso) si limita ad osservare che la scossa del 9 gennaio provocò il crollo di diverse abitazioni, soprattutto nella strada nuova, senza tuttavia causare vittime; la scossa dell'11 gennaio, secondo Mongitore, il terremoto distrusse il paese causando la morte di 345 persone.

Dai cenni storici presenti sul sito del comune di Francofonte è possibile trovare ulteriori notizie sulla scossa dell'11 gennaio: ingenti furono i danni alla Chiesa Madre, mentre l'Oratorio dell'Annunziata venne completamente distrutto; furono distrutte anche la Chiesa di S. Agata nel Castello e gran parte del castello e ridusse in rovine la Chiesa del Carmine; arrecò gravi danni all'ex monastero delle Benedettine ma senza causare vittime, mentre il convento di S. Francesco d'Assisi in contrada Silva venne distrutto.

- Per quanto riguarda il terremoto del 1818, il CFT cita una lettera del Segretario di Stato Ministro presso il Luogotenente generale al Ministero degli Interni in cui si rileva che la scossa del 1° marzo causò qualche danno alle abitazioni.
- Nel 1894, secondo quanto riportato dal CTF riferendosi all'"Archivio dell'Ufficio Centrale di Ecologia Agraria, Cartoline Macrosismiche", la scossa



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

del 16 novembre fu avvertita da molti e causò tremolio di oggetti e di vetrate senza provocare danni.

- Il terremoto del 1990 è descritto nel CTF citando varie fonti giornalistiche. In seguito alla scossa del 13 dicembre una persona morì d'infarto per lo spavento e vi furono diversi danni al patrimonio edilizio (ANSA). Secondo quanto riportato dalla Gazzetta del Sud del 14 dicembre 1990, a Francofonte è mancata l'energia elettrica, le chiese «Madre», «Carmine» e «dell'Angelo» e il cimitero hanno subito danni; e quaranta famiglie senza tetto hanno trovato provvisorio rifugio presso una scuola elementare. Secondo una perizia effettuata all'inizio di gennaio dalla Protezione Civile furono complessivamente danneggiati 142 edifici: 3 edifici pubblici, 134 edifici privati e 5 scuole. La replica del 16 dicembre causò il leggero ferimento di 16 persone e ulteriori danni, soprattutto al Municipio (La Sicilia). Da un confronto tra la Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica e la Carta delle accelerazioni al suolo (simulazione dell'evento del 13 dicembre 1990) realizzata durante gli studi di "Microzonazione sismica del centro urbano e delle aree di interesse urbanistico" (Fig. 39), si può osservare come i maggiori danni riscontrati siano localizzati nel settore nord del centro abitato.

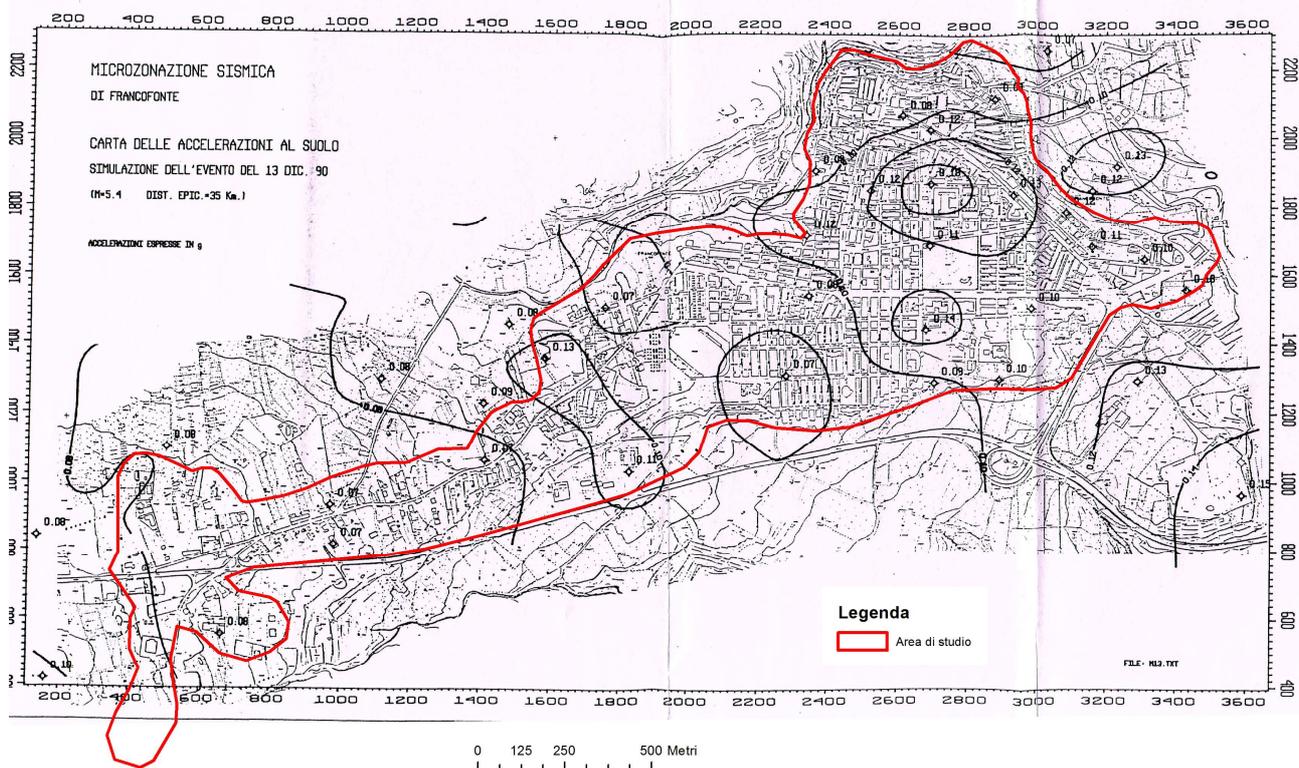


Fig. 39 - Carta delle accelerazioni al suolo (simulazione dell'evento del 13 dicembre 1990) degli studi di "Microzonazione sismica del centro urbano e delle aree di interesse urbanistico".

Quest'area è più o meno coincidente con la **Zona 20**, laddove i depositi marini terrazzati calcarenitico-sabbiosi poggiano su un substrato geologico costituito da sabbie limoso-argillose e calcareniti organogene in rapporto di eteropia, che ricoprono le lave più o meno fratturate del substrato.

10. Bibliografia

Accordi, B.; 1963. Rapporti fra il "Milazziano" della costa iblea (Sicilia sud-orientale) e la comparsa di *elephas mnaidriensis*. *Geologica Romana*, 2, 295-304.

Aureli A., Adorni G., Chiavetta A.F., Fazio F., Fazzina S., Messineo G.; 1989 - Carta della Vulnerabilità delle falde idriche. Settore nord orientale ibleo (Sicilia N.E.). S.EL.Ca, Firenze.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

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.

Beccaluva L., Di Grande A., Lo Giudice A., Macciotta G., Siena F.; 1993 – Carta geopetrografica dell'area centro-settentrionale iblea (Sicilia sud-orientale). Scala 1:50000, 2nd edn., 1993, Università di Catania, S.EL.CA., Firenze.

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.

Bousquet J.C., Lanzafame G.; 2004 – Compression and Quaternary tectonic inversion on the Northern edge of the Hyblean Mountains, foreland of the Apennine-Maghrebic chain in Eastern Sicily (Italy): geodynamic implications for Mt. Etna. GeoActa, 3, 165–177.

Butler R.W.H., Grasso M., Gardiner W., Sedgely D.; 1997 – Depositional pattern and their tectonic controls within the Plio-Quaternary carbonate sands and muds of onshore and offshore SE Sicily (Italy). Marine and Petroleum Geology, Vol. 14 (7–8), 879–892.

Carbone S., Di Geronimo I., Grasso M., Iozzia S., Lentini F.; 1982 – I terrazzi marini quaternari dell'area iblea (Sicilia sud-orientale). C.N.R. – Progetto finalizzato geodinamica – Sottoprogetto neotettonica. Contributi conclusivi per la realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia. Pubbl. n. 506, 1–35.

Carbone S., Grasso M., Lentini F.; 1986 – Carta geologica del settore nord-orientale ibleo (Sicilia SE), scala 1:50000 S.EL.CA., Firenze.

Catalano S., De Guidi G., Romagnoli G., Torrisi S., Tortorici G., Tortorici L.; 2008 – The migration of plate boundaries in SE Sicily: influence on the large-scale kinematic model of the African promontory in southern Italy. *Tectonophysics*, 449, 41–62.

Catalano S., Romagnoli G., Tortorici G.; 2010 – Kinematics and dynamics of the late quaternary rift-flank deformation in the Hyblean Plateau (SE Sicily). *Tectonophysics*, 486, 1–14.

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.

Di Geronimo I., Ghisetti F., Lentini F., Vezzani L.; 1978 – Lineamenti neotettonici della Sicilia orientale. *Mem. Soc. Geol. It.*, 19, 543–549.

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

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



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

Ferrara V.; 1970 – Idrogeologia della zona di Francofonte. Atti del Convegno internazionale sulle acque sotterranee. Palermo, 6–8 dicembre 1970, 287–311.

Ferrara V.; 1975 – Carta idrogeologica del Bacino del Fiume S. Leonardo (Sicilia sud-orientale). Grafica Editoriale Cartografica S.p.A., Roma.

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

Ghisetti F., Vezzani L.; 1978 – Dati preliminary sulla neotettonica dei Fogli 252 (Naso), 253 (Castroreale), 254 (Messina–Reggio C), 261 (Bronte) e 262 (M. Etna). In: *Contributi preliminari alla realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia*. Pubbl. n. 155 del P.F. Geodinamica, 247–260.

Ghisetti F., Vezzani L.; 1980 – The structural features of the Hyblean Plateau and the Mount Judica area (South–Eastern Sicily): a microtectonic contribution to the deformational history of the Calabrian Arc. *Boll. Soc. Geol. It.*, 99, 55–102.

Grasso M., Behncke B., Di Geronimo I., Giuffrida S., La Manna F., Maniscalco R., Pedley H.M., Raffi S., Schmincke H.–U., Strano D., Sturiale G.; 2004 – Carta geologica del bordo nord–occidentale dell'Avampese Ibleo e del fronte della Falda di Gela. Scala 1:25.000. S.EL.Ca, Firenze.

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., Carbone S., Catalano S., Grasso M.; 1994 – Principali lineamenti strutturali della Sicilia nord-orientale. Studi Geologici Camerti, volume speciale, 1995/2, 319–329.

Lentini F., Carbone S., Grasso M.; 1984 – Carta geologica della Sicilia sud-orientale, scala 1:100.000. S.EL.Ca, Firenze.

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.

Pedley H.M., Grasso M., Maniscalco R., Behncke B., Di Stefano A., Giuffrida S., Sturiale G.; 2001 – The sedimentology and palaeoenvironment of Quaternary temperate carbonates and their distribution around the northern Hyblean Mountains (SE Sicily). Boll. Soc. Geol. It., 121, 233–255.

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



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

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 – CPT11, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPT1>

Scandone P., Stucchi M.; 2000 – La zonazione sismogenetica ZS4 come strumento per la valutazione della pericolosità sismica. In: Galadini, F., Meletti, C., Rebez, A. (eds.), 2000. Ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica (1996–1999). CNR–GNDT, Roma, 3–14.

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.

11. Allegati

Allegato 1 – Sezioni geologiche

Allegato 2 – Sondaggi

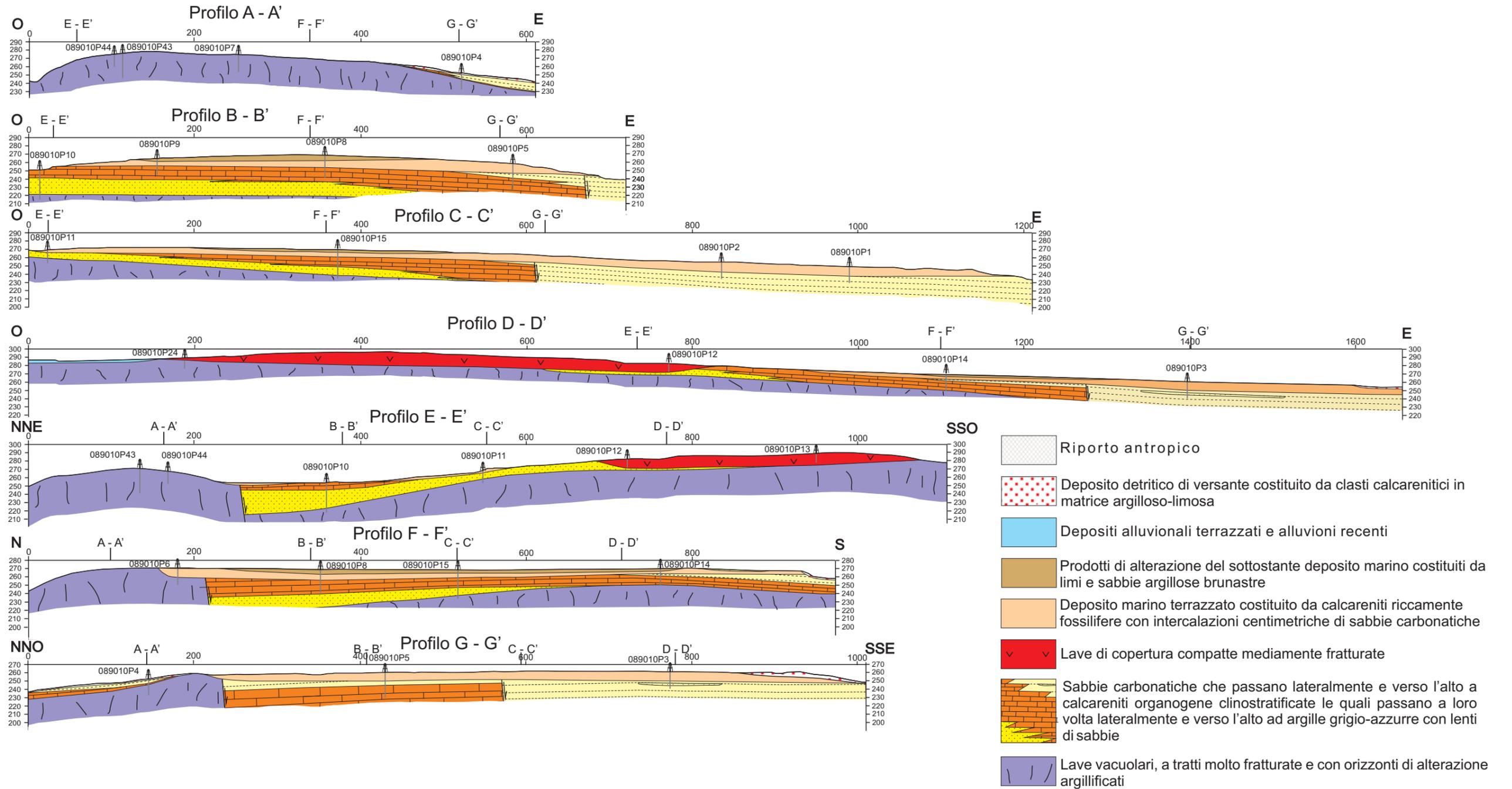
Allegato 3 – Parametri geotecnici e geofisici

Allegato 4 – Misure di microtremore ambientale

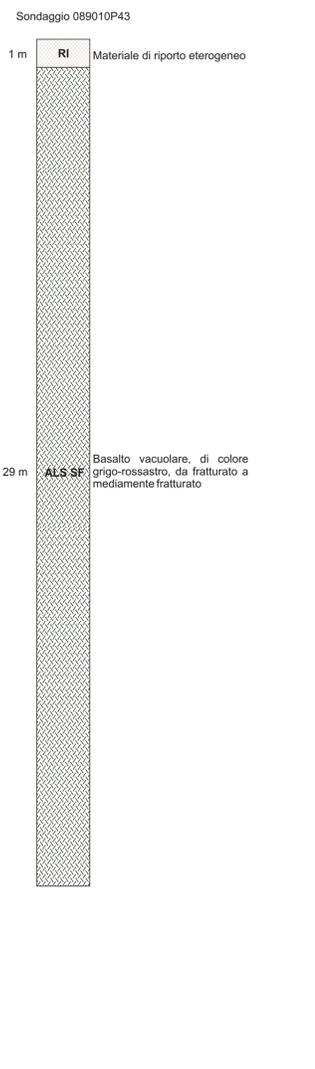
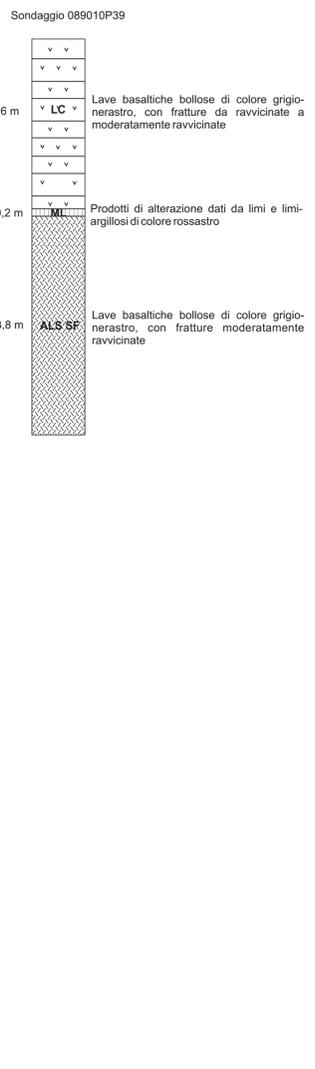
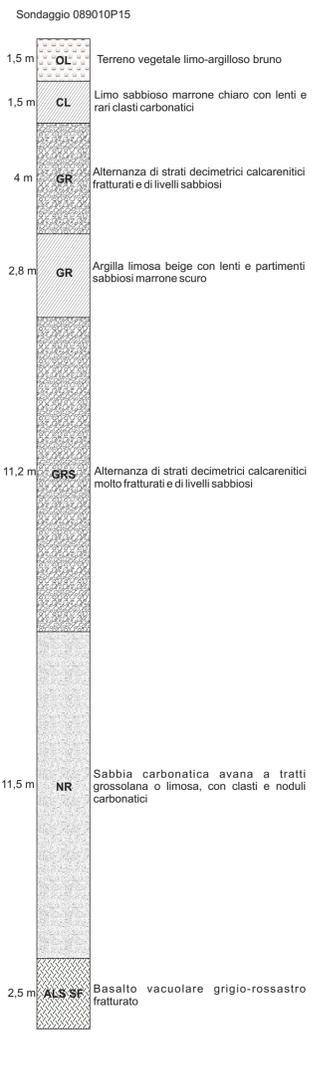
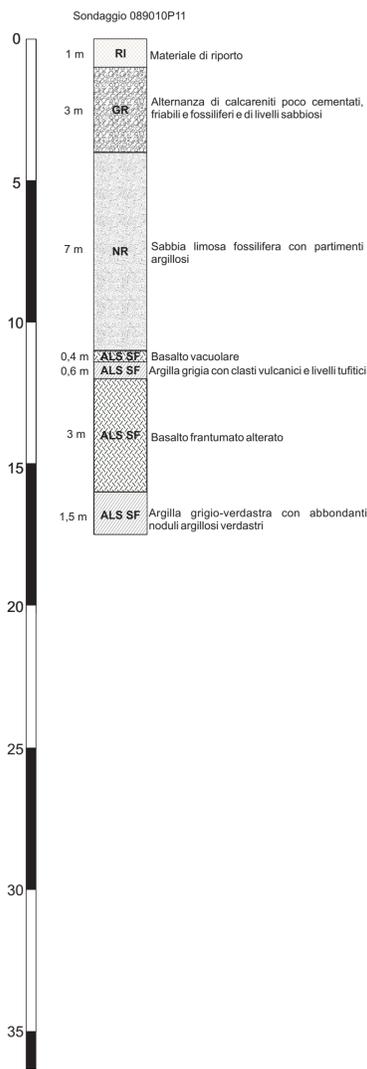
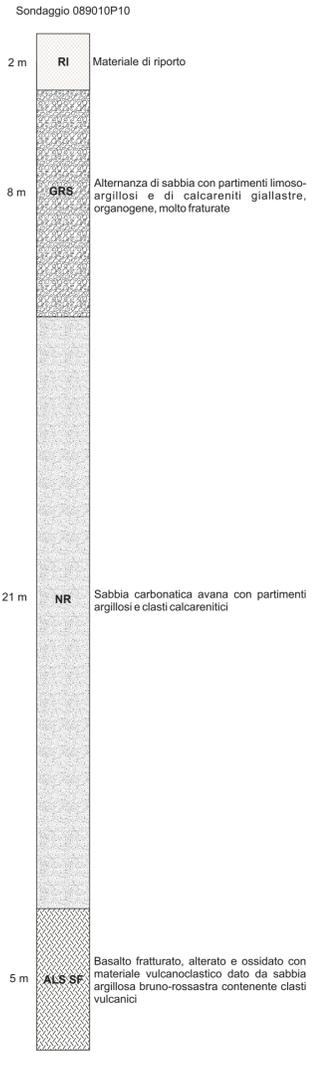
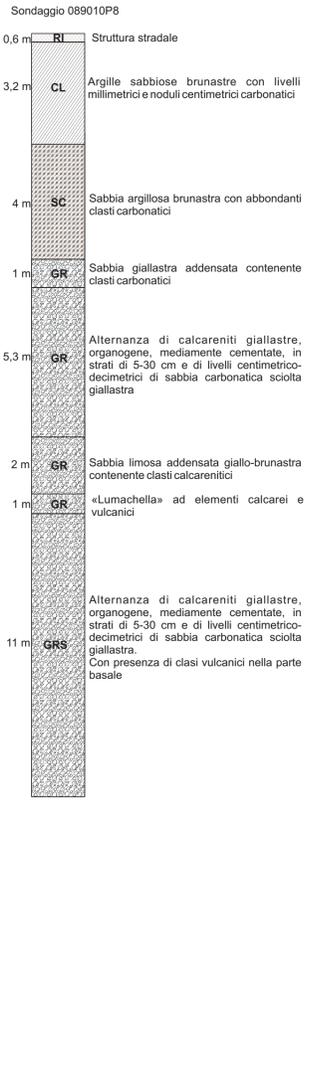
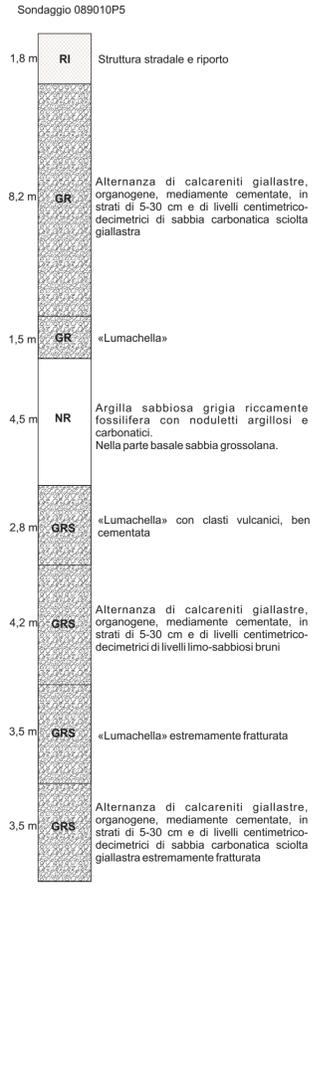
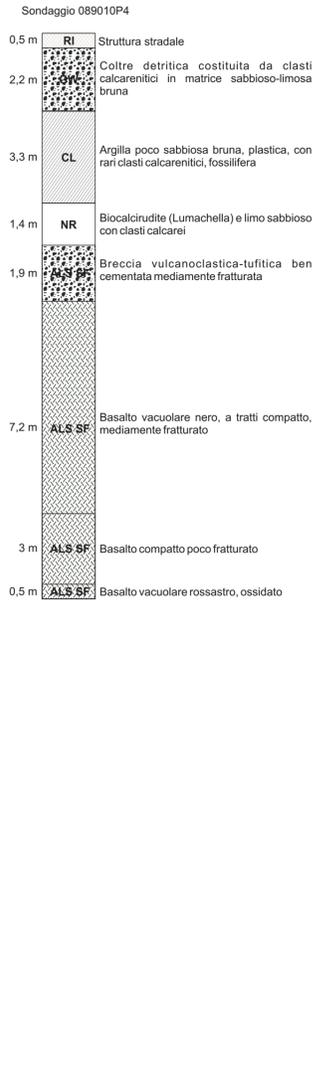
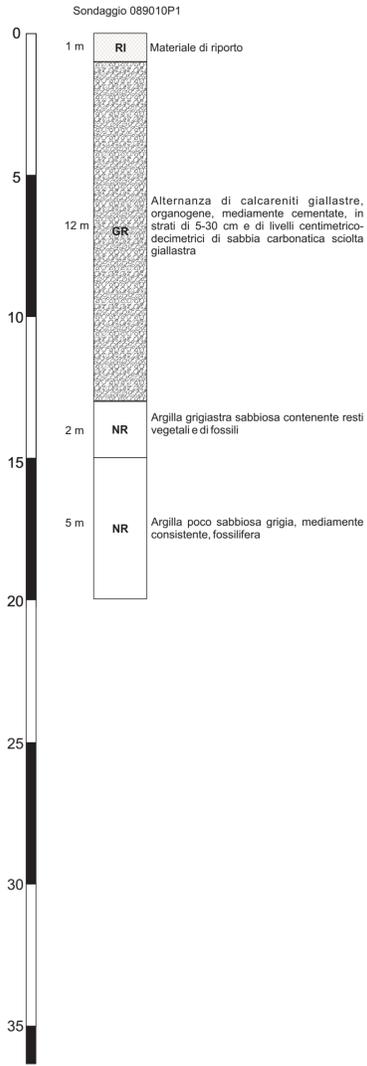
Allegato 5 – Sezioni topografiche

Allegato 6 – Schemi dei rapporti litostratigrafici più significativi

ALLEGATO 1 – SEZIONI GEOLOGICHE



Allegato 2 – Sondaggi



Allegato 3: Parametri geotecnici e geofisici

ID_INDPU: 089010P24SS63			
Descrizione litotipo	Intervallo profondità (m)	R.Q.D. (%)	litologie
basalto vacuolare di colore rossastro alterato	0,50 - 3,70	10	ALS
basalto vacuolare bruno nerastro molto alterato	3,7 - 5,00	0	ALS
basalto vacuolare nerastro compatto	5,00 - 10,00	89	ALS
ID_INDPU: 089010P26SS75			
Descrizione litotipo	Intervallo profondità (m)	R.Q.D. (%)	litologie
basalto vacuolare rossastro con rari livelli argillosi	1,50 - 15,00	69	LC
ID_INDPU: 089010P27SS79			
Descrizione litotipo	Intervallo profondità (m)	R.Q.D. (%)	litologie
basalto vacuolare bruno rossastro fratturato	1,50 - 20,00	31	ALS
ID_INDPU: 089010P28SS83			
Descrizione litotipo	Intervallo profondità (m)	R.Q.D. (%)	litologie
basalto vacuolare nerastro con intercalazioni argillose	1,50 - 15,00	50	LC
ID_INDPU: 089010P29SS87			
Descrizione litotipo	Intervallo profondità (m)	R.Q.D. (%)	litologie
basalto vacuolare bruno rossastro molto alterato e fratturato e con intercalazioni limoso sabbiose	4,30 - 20,50	50	ALS
basalto vacuolare bruno rossastro molto alterato e fratturato e con intercalazioni limoso sabbiose	20,50 - 25	16	ALS

Tab. 1 - Valori dell'RQD valutato nel corso di alcune perforazioni geognostiche realizzate nello "Studio geologico per il Piano Regolatore Generale".

ID_INDPU: 089010P4SS10			
Descrizione litotipo	Intervallo profondità (m)	R.Q.D. (%)	litologie
breccia vulcanoclastica tufitica ben cementata mediamente fratturata	7,40 - 9,30	34	ALS
basalto vacuolare nero a tratti compatto mediamente fratturato	6,70 - 16	43	ALS
basalto vacuolare fratturato	16 - 16,50	0	ALS

basalto compatto poco fratturato	16,50 - 20	83	ALS
ID_INDPU: 089010P5SS13			
Descrizione litotipo	Intervallo profondità (m)	R.Q.D. (%)	litologie
lumachella con clasti vulcanici ben cementata	16,00 - 18,8	21	GRS
ID_INDPU: 089010P6SS16			
Descrizione litotipo	Intervallo profondità (m)	R.Q.D. (%)	litologie
lumachella molto fratturata	6,7 - 11	8	GRS
vulcanoclastiti tufitiche molto fratturate	11 - 13	5	ALS
basalto vacuolare fratturato	15,1 - 17,30	11	ALS
basalto compatto mediamente fratturato	17,30 - 20	35	ALS
ID_INDPU: 089010P7SS19			
Descrizione litotipo	Intervallo profondità (m)	R.Q.D. (%)	litologie
basalto rossastro vacuolare mediamente fratturato	0,7 - 9,15	32	ALS
basalto compatto	9,15 - 10,6	86	ALS
basalto vacuolare fratturato	10,6 - 14,50	28	ALS
basalto compatto poco fratturato	14,50 - 17	67	ALS
basalto vacuolare fratturato	17 - 18	0	ALS
basalto compatto mediamente fratturato	18 - 20	58	ALS
ID_INDPU: 089010P12SS34			
Descrizione litotipo	Intervallo profondità (m)	R.Q.D. (%)	litologie
basalto compatto mediamente fratturato	1,5 - 4	73	LC
basalto vacuolare mediamente fratturato	4 - 6,5	48	LC
basalto compatto	6,5 - 7,5	97	LC
basalto vacuolare mediamente fratturato	7,50 - 11	51	LC
ID_INDPU: 089010P13SS37			
Descrizione litotipo	Intervallo profondità (m)	R.Q.D. (%)	litologie
basalto compatto mediamente fratturato	1,5 - 6,5	50	LC
basalto vacuolare mediamente fratturato	6,5 - 11	51	LC
ID_INDPU: 089010P14SS40			
Descrizione litotipo	Intervallo profondità (m)	R.Q.D. (%)	litologie
basalto vacuolare poco fratturato	19,5 - 21	85	ALS
ID_INDPU: 089010P15SS43			
Descrizione litotipo	Intervallo profondità (m)	R.Q.D. (%)	litologie
basalto vacuolare fratturato	32,5 - 35	37	ALS

Tab. 2 - Valori dell'RQD valutato nel corso di alcune perforazioni geognostiche realizzate nello studio per la "Microzonazione sismica del centro urbano e delle aree di interesse urbanistico".

ID_INDPU: 089010P43SS106			
Descrizione litotipo	Intervallo profondità (m)	R.Q.D. (%)	litologie
basalto vacuolare di colore grigio rossastro fratturato	1,00 - 9,00	33	ALS
basalto a tratti vacuolare di colore grigio rossastro mediamente fratturato	9,00 - 30,00	40	ALS
ID_INDPU: 089010P44SS128			
Descrizione litotipo	Intervallo profondità (m)	R.Q.D. (%)	litologie
basalto vacuolare di colore grigio rossastro molto fratturato	1,50 - 4,00	16	ALS
basalto vacuolare di colore grigio rossastro fratturato	7,00 - 9,50	31	ALS
basalto vacuolare di colore grigio rossastro molto fratturato	11,00 - 13,00	18	ALS
basalto di colore grigio rossastro mediamente fratturato	13,00 - 15,00	38	ALS

Tab. 3 - Valori dell'RQD valutato nel corso di alcune perforazioni geognostiche realizzate nel corso dello studio per il "Progetto per il recupero e conservazione della Chiesa Madre 'S. Antonio Abate'".

ID_INDP	profondità prelievo (m)	litotipo	Resistenza a compressione monoassiale		Analisi su campione (SM)	
			Resistenza a compressione provino saturo (kg/cm ²)	Resistenza a compressione provino asciutto (kg/cm ²)	umidità naturale [Wn (%)]	PV [γ (KN/m ³)]
089010P43SC107	1,10 - 1,30	basalto vacuolare di colore grigio rossastro fratturato	386	387,5	2,00	26,96
089010P43SC109	3,80 - 4,00	basalto vacuolare di colore grigio rossastro fratturato	205	206	2,30	19,25
089010P43SC111	5,60 - 5,80	basalto vacuolare di colore grigio rossastro fratturato	236	236,8	1,80	19,47
089010P43SC113	7,5 - 7,7	basalto vacuolare di colore grigio rossastro fratturato	225	226,7	1,90	21,12
089010P43SC115	9 - 9,2	basalto a tratti vacuolare di colore grigio rossastro mediamente fratturato	264	265,4	1,70	24,61
089010P43SC117	10,2 - 10,4	basalto a tratti vacuolare di colore grigio rossastro mediamente fratturato	426	427,9	1,30	26,31
089010P43SC119	11,8 - 12	basalto a tratti vacuolare di colore grigio rossastro mediamente fratturato	459	461	1,10	26,49
089010P43SC121	13,5 - 13,7	basalto a tratti vacuolare di colore grigio rossastro	507	508,3	1,00	27,7
089010P43SC123	15,6 - 15,8	basalto a tratti vacuolare di colore grigio rossastro	249	250,5	1,8	21,64
089010P43SC125	17 - 17,2	basalto a tratti vacuolare di colore grigio rossastro	531	532,8	1	28,57
089010P44SC129	2,7 - 2,9	basalto vacuolare di colore grigio rossastro molto fratturato	223	223,9	2,10	19,41
089010P44SC131	7,2 - 7,4	basalto vacuolare di colore grigio rossastro fratturato	497	498,3	1,40	27,12
089010P44SC133	8,3 - 8,5	basalto vacuolare di colore grigio rossastro fratturato	455	456,7	1,10	27,78
089010P44SC135	11,6 - 11,8	basalto vacuolare di colore grigio rossastro molto fratturato	245	246	2,20	19,67
089010P44SC137	13,4 - 13,6	basalto di colore grigio rossastro mediamente fratturato	411	413	1,90	26,75
089010P44SC139	14 - 14,2	basalto di colore grigio rossastro mediamente fratturato	447	448	1,30	27,58

Tab. 4 - Valori dei parametri geotecnici ottenuti attraverso prove di laboratorio effettuate su campioni prelevati nel corso delle due perforazioni geognostiche realizzate nello studio per il "Progetto per il recupero e conservazione della Chiesa Madre 'S. Antonio Abate".

ID_INDPU	profondità (m)	litologia	descrizione litotipo	S.P.T. (Nspt)
089010P23SPT60	2,6 - 3,05	NR	Sabbia con limo e argilla che passa verso il basso ad argille	3 - 8 - 9 (17)
089010P25SPT70	1,5 - 1,95	ML	Sabbia e limo con rari ciottoli	6 - 11 - 17 (28)
089010P25SPT71	3 - 3,45	ML	Sabbia e limo con rari ciottoli	5 - 9 - 18 (27)
089010P25SPT72	15,5 - 15,73	ALS	Argilla bruna con ciottoli basaltici	5 - >50 (R)
089010P29SPT89	3 - 3,45	SM	Sabbia limosa con ciottoli basaltici	20 - 16 - 36 (52)
089010P29SPT90	4 - 4,37	SM - ALS	Sabbia limosa con ciottoli basaltici - basalto vacuolare alterato e fratturato	18 - 21 - >50 (R)

Tab. 5 - Valori del Nspt ottenuti prove geotecniche in sito, penetrometriche dinamiche (SPT) effettuate nel corso di alcune perforazioni geognostiche realizzate nello "Studio geologico per il Piano Regolatore Generale".

litologia	ID_INDPU	Analisi su campione (SM)				Analisi granulometrica (SM)			
		profondità di prelievo (m)	umidità naturale [Wn (%)]	PV [γ (KN/m ³)]	Indice Plastico [IP (%)]	Ghiaia [GH (%)]	Sabbia [SA (%)]	Limo [LM (%)]	Argilla [AR (%)]
argilla giallastra (NR)	089010P23SC58	4,5 - 5,7	25,09	18,92	53,55	0,1	6,17	47,73	46
sabbia con limo e argilla a tratti cementata (NR)	089010P23SC59	9 - 9,5	28,59	18,73		0,33	42,46	33,21	24
basalto vacuolare compatto (ALS)	089010P24SC64	9 - 9,5		23,43					
sabbia e limo (ML)	089010P25SC68	2,6 - 3	24,80	18,63		5,83	48,38	21,99	23,8
argilla bruna con ciottoli basaltici (ALS)	089010P25SC69	14,2 - 14,5	30,04		67,11	13,2	6,5	43,3	37
Basalto vacuolare con rari livelli argillosi (LC)	089010P26SC76	9,3 - 9,8		22,35					
Basalto vacuolare fratturato (ALS)	089010P27SC80	16,6 - 17		23,14					
Basalto vacuolare con intercalazioni argillose (ALS)	089010P28SC84	13,5 - 14		21,77					
Basalto vacuolare molto alterato e fratturato con intercalazioni limoso sabbiose (ALS)	089010P29SC88	4,7 - 5,2		21,28					

Tab. 6 - Valori dei parametri geotecnici ottenuti prove di laboratorio (SM) effettuate su campioni prelevati nel corso delle perforazioni geognostiche realizzate nello "Studio geologico per il Piano Regolatore Generale".

Limiti di Atterberg (SM)					
litologia	ID_INDPU	Limite di Liquidità [LL (%)]	Limite di Plasticità [LP (%)]	Indice di Plasticità [IP (%)]	Indice di Consistenza [IC]
argilla giallastra (NR)	089010P23SC58	69,18	15,64	53,55	0,82
sabbia con limo e argilla a tratti cementata (NR)	089010P23SC59	34,9	N.P:		
argilla bruna con ciottoli basaltici (ALS)	089010P25SC69	82,78	15,68	67,11	0,79

Tab. 7 - Limiti di Atterberg ottenuti da prove di laboratorio (SM) effettuate su campioni prelevati nel corso delle perforazioni geognostiche realizzate nello "Studio geologico per il Piano Regolatore Generale".

litologia	ID_INDPU	Prova di Taglio Diretto (TD)		Triassiale (CD)	
		Coesione c' [C (MPa)]	angolo di attrito interno Φ' [F1 (°)]	Coesione c' [C (MPa)]	angolo di attrito interno Φ' [F1 (°)]
argilla giallastra (NR)	089010P23SC58			0,0196	26
sabbia con limo e argilla a tratti cementata (NR)	089010P23SC59	0,0049	39		
sabbia e limo (ML)	089010P25SC68	0,0049	35		

Tab. 8 - Valori dei parametri geotecnici ottenuti da prove di laboratorio (TD e CD) effettuate su campioni prelevati nel corso delle perforazioni geognostiche realizzate nello "Studio geologico per il Piano Regolatore Generale".

ID_INDPU	profondità (m)	litologia	descrizione litotipo	S.P.T. (Nspt)
089010P66SPT167	3,5 - 3,95	NR	Alternanza di sabbie limose e sabbie limoso-argillose con intercalazioni calcarenitiche di spessore centimetrico	11 - 18 - 14 (32)

Tab. 9 - Valore dell'Nspt ottenuto da una prove geotecnica in sito, penetrometrica dinamica (SPT) effettuata nel corso di una perforazioni geognostica realizzate nello "Studio geologico-tecnico - Via di fuga completamento viabilità di P.R.G.".

litologia	ID_INDPU	Analisi su campione (SM)					Analisi granulometrica (SM)			
		profondità di prelievo (m)	umidità naturale [Wn (%)]	PV [γ (KN/m ³)]	E1 Indice dei vuoti	Indice Plastico [IP (%)]	Ghiaia [GH (%)]	Sabbia [SA (%)]	Limo [LM (%)]	Argilla [AR (%)]
alternanza di sabbie limose e limoso argillose con intercalazioni calcarenitiche (NR)	089010P66SC164	4,2 - 4,4	19,5	18,43	0,71	17	45	30	7	18

Tab. 10 - Valori dei parametri geotecnici ottenuti prove di laboratorio (SM) effettuate su un campione prelevato nel corso delle perforazioni geognostiche realizzate nello "Studio geologico-tecnico - Via di fuga completamento viabilità di P.R.G.".

litologia	ID_INDPU	Prova di Taglio Diretto (TD)	
		Coesione c' [C (MPa)]	angolo di attrito interno Φ' [F1 (°)]
alternanza di sabbie limose e limoso argillose con intercalazioni calcarenitiche (NR)	089010P66SC164	0,01	20

Tab. 11 - Valori dei parametri geotecnici ottenuti da prove di laboratorio (TD) effettuate su un campione prelevato nel corso delle perforazioni geognostiche realizzate nello "Studio geologico-tecnico - Via di fuga completamento viabilità di P.R.G.".

ID_INDPU: 089010P54DL151					
Profondità dal p.c. (m)	N. colpi medio (Nc)	Indice di consistenza (Ic)	Coesione non drenata [Cu (kg/cm ²)]	Peso di volume [γ (KN/m ³)]	Consistenza terreno
0,00 - 1,00	<5	0	0	14,709975	molto soffice
1,00 - 1,30	7	0,5	0,45	17,65197	plastica
1,30 - 3,50	13	0,75	0,7	18,632635	dura
3,60 - R					
ID_INDPU: 089010P55DL152					
Profondità dal p.c. (m)	N. colpi medio (Nc)	Indice di consistenza (Ic)	Coesione non drenata [Cu (kg/cm ²)]	Peso di volume [γ (KN/m ³)]	Consistenza terreno
0,00 - 1,00	5	0,2	0,25	15,69064	soffice
1,00 - 1,90	10	0,6	0,7	17,65197	plastica
1,90 - 2,2	7	0,3	0,4	17,65197	plastica
2,20 - 3,20	15	0,85	0,9	18,632635	dura
3,20 - 3,50	>20	1	1,2	19,1229675	molto dura
3,60 - R					
ID_INDPU: 089010P56DL153					
Profondità dal p.c. (m)	N. colpi medio (Nc)	Indice di consistenza (Ic)	Coesione non drenata [Cu (kg/cm ²)]	Peso di volume [γ (KN/m ³)]	Consistenza terreno
0,00 - 1,30	5	0,2	0,25	15,69064	soffice
1,30 - 4,30	15	0,85	0,9	18,632635	dura
4,4 - R					
ID_INDPU: 089010P57DL154					
Profondità dal p.c. (m)	N. colpi medio (Nc)	Indice di consistenza (Ic)	Coesione non drenata [Cu (kg/cm ²)]	Peso di volume [γ (KN/m ³)]	Consistenza terreno
0,00 - 1,20	<5	0	0	14,709975	molto soffice
1,20 - 2,40	7	0,5	0,6	17,65197	plastica
2,4 - 3,7	13	0,8	0,85	18,632635	dura
3,7 - 4	>20	1	1,2	19,1229675	molto dura
4,1 - R					
ID_INDPU: 089010P58DL155					
Profondità dal p.c. (m)	N. colpi medio (Nc)	Indice di consistenza (Ic)	Coesione non drenata [Cu (kg/cm ²)]	Peso di volume [γ (KN/m ³)]	Consistenza terreno
0,00 - 1,10	5	0,2	0,25	14,709975	molto soffice
1,10 - 1,50	7	0,5	0,55	17,65197	plastica
1,5 - 1,9	9	0,55	0,6	18,632635	dura
1,9 - 3,3	15	0,58	0,9	19,1229675	molto dura
3,4 - R					
ID_INDPU: 089010P59DL156					
Profondità dal p.c. (m)	N. colpi medio (Nc)	Indice di consistenza (Ic)	Coesione non drenata [Cu (kg/cm ²)]	Peso di volume [γ (KN/m ³)]	Consistenza terreno
0,00 - 1,20	<5	0	0	14,709975	molto soffice
1,20 - 1,70	7	0,5	0,55	17,65197	plastica
1,7 - 2,4	9	0,55	0,6	17,65197	plastica
2,4 - 3,9	15	0,85	0,9	18,632635	dura
4,00 - R					
ID_INDPU: 089010P60DL157					
Profondità dal p.c. (m)	N. colpi medio (Nc)	Indice di consistenza (Ic)	Coesione non drenata [Cu (kg/cm ²)]	Peso di volume [γ (KN/m ³)]	Consistenza terreno
0,00 - 1,00	<5	0	0	14,709975	molto soffice
1,00 - 1,50	7	0,5	0,55	17,65197	plastica
1,5 - 2,4	10	0,55	0,6	17,65197	plastica
2,4 - 4,1	15	0,85	0,9	18,632635	dura
4,20 - R					

ID_INDPU: 089010P61DL158					
Profondità dal p.c. (m)	N. colpi medio (Nc)	Indice di consistenza (Ic)	Coesione non drenata [Cu (kg/cm ²)]	Peso di volume [γ (KN/m ³)]	Consistenza terreno
0,00 - 0,8	<5	0	0	14,709975	molto soffice
0,8 - 2,10	7	0,5	0,55	17,65197	plastica
2,1 - 3,3	15	0,85	0,9	18,632635	dura
3,4 - R					
ID_INDPU: 089010P62DL159					
Profondità dal p.c. (m)	N. colpi medio (Nc)	Indice di consistenza (Ic)	Coesione non drenata [Cu (kg/cm ²)]	Peso di volume [γ (KN/m ³)]	Consistenza terreno
0,00 - 1,6	5	0,2	0,2	15,69064	soffice
1,6 - 2,00	9	0,55	0,6	17,65197	plastica
2,00 - 3,90	15	0,85	0,9	18,632635	dura
4,00 - R					
ID_INDPU: 089010P63DL160					
Profondità dal p.c. (m)	N. colpi medio (Nc)	Indice di consistenza (Ic)	Coesione non drenata [Cu (kg/cm ²)]	Peso di volume [γ (KN/m ³)]	Consistenza terreno
0,00 - 0,60	<5	0	0	14,709975	molto soffice
0,60 - 1,40	7	0,5	0,55	17,65197	plastica
1,4 - 2,8	13	0,8	0,85	18,632635	dura
2,8 - 3,00	>20	1	1,2	19,1229675	molto dura
3,10 - R					
ID_INDPU: 089010P64DL161					
Profondità dal p.c. (m)	N. colpi medio (Nc)	Indice di consistenza (Ic)	Coesione non drenata [Cu (kg/cm ²)]	Peso di volume [γ (KN/m ³)]	Consistenza terreno
0,00 - 1,00	5	0,2	0,2	15,69064	soffice
1,00 - 1,50	7	0,5	0,55	17,65197	plastica
1,50 - 2,40	15	0,85	0,9	18,632635	dura
2,50 - R					
ID_INDPU: 089010P65DL162					
Profondità dal p.c. (m)	N. colpi medio (Nc)	Indice di consistenza (Ic)	Coesione non drenata [Cu (kg/cm ²)]	Peso di volume [γ (KN/m ³)]	Consistenza terreno
0,00 - 1,30	5	0,2	0,25	15,69064	soffice
1,30 - 2,20	15	0,85	0,9	18,632635	dura
2,30 - R					

Tab. 12 - Valori dei parametri geotecnici ricavati tramite correlazioni empiriche da prove geotecniche in sito penetrometriche dinamiche leggere (DL) effettuate nel corso dello "Studio geologico-tecnico - Via di fuga completamente viabilità di P.R.G.".

Sabbie con intercalazioni limo-argillose	
Peso di volume [γ (KN/mc)]	19,5
Coesione c' [C (MPa)]	0
angolo di attrito interno Φ' [F1 (°)]	26
Calcareniti con intercalazioni di sabbie limose	
Peso di volume [γ (KN/mc)]	20
Coesione c' [C (MPa)]	0
angolo di attrito interno Φ' [F1 (°)]	30
Alternanza di sabbie limose con intercalazioni calcarenitiche di spessore centimetrico	
Peso di volume [γ (KN/mc)]	19,5
Coesione c' [C (MPa)]	0
angolo di attrito interno Φ' [F1 (°)]	28
Alternanza di sabbie limose con intercalazioni calcarenitiche di spessore centimetrico e limi argillosi	
Peso di volume [γ (KN/mc)]	19
Coesione c' [C (MPa)]	0
angolo di attrito interno Φ' [F1 (°)]	26
livelli argillosi - limosi	
Peso di volume [γ (KN/mc)]	18,8
Coesione c' [C (MPa)]	0,01
angolo di attrito interno Φ' [F1 (°)]	20

Tab. 13 - Valori dei parametri geotecnici proposti nello "Studio geologico-tecnico - Via di fuga completamente viabilità di P.R.G."

089010P1DH2					
Prof. (m)	Litotipo	Descrizione	Vs (m/sec)	Vp (m/sec)	Coefficiente di Poisson CP
0-13	GR	Riporto + calcareniti e sabbie	571	1110	0,32
13-20	NR	Argilla sabbiosa	828	1550	0,3
089010P2DH5					
0-4	RI-GR	Riporto + calcareniti e sabbie	114	260	0,38
4-12	GR	Calcareniti e sabbie	596	1160	0,32
12-20	NR	Argilla sabbiosa	892	1670	0,3
089010P3DH8					
0-6	RI-GR	Riporto + calcareniti e sabbie	555	1080	0,32
6-20	GR-NR-GRS	Calacareniti, sabbie e argille sabbiose	764	1430	0,3
089010P4DH11					
0-4	RI_GW-CL	Riporto + clasti calcarenitici e argille sabbiose	356	645	0,28
4-13	CL-NR-ALS	Argille e limi sabbiosi + basalti fratturati	874	1515	0,25
089010P5DH14					
0-3	RI-GR	Riporto + calcareniti e sabbie	369	769	0,35
3-28	GR-NR-GRS	Calacareniti, sabbie e argille sabbiose	617	1285	0,35
089010P6DH17					
0-4	RI-CL-GR	Riporto + argilla sabbiosa + calcareniti e sabbie	211	440	0,35
4-11	GR	Calcareniti e sabbie	566	1010	0,27
11-15	ALS	Vulcanoclastiti e argille sabbiose rossastre	701	1250	0,27
15-20	ALS	Basalti vacuolari e compatti fratturati	1443	2500	0,25
089010P7DH20					
0-13	RI-CL-ALS	Riporto + argilla sabbiosa + basalti fratturati	926	1650	0,27
13-20	ALS	Basalti vacuolari e compatti fratturati	1602	2775	0,25
089010P8DH23					
0-4	RI-CL	Riporto + argilla sabbiosa	170	375	0,37
4-9	SC-GR	Sabbia argillosa + calcareniti e sabbie	297	605	0,34
9-28	GR-GRS	Calcareniti e sabbie	465	905	0,32
089010P9DH26					
0-7	RI-SW-CL-GR	Riporto + calcareniti e sabbie + argilla sabbiosa	288	635	0,37
7-20	GR-GRS	Calcareniti e sabbie	737	1335	0,28
089010P10DH29					
0-10	RI-GRS	Riporto + calcareniti e sabbie	578	1175	0,34
10-30	NR-ALS	Sabbia carbonatica + basalti e vulcanoclastiti	988	1850	0,3
089010P11DH32					
0-11	RI-GR-NR	Riporto + calcareniti e sabbie + sabbie limose	497	930	0,3
11-17	ALS	Basalto frantumato alterato e argille	580	1050	0,28
089010P12DH35					
0-7	RI-LC	Riporto + lave di copertura	663	1200	0,28
7-12	LC	Lave di copertura	1472	2550	0,25
089010P13DH38					
0-11	RI-LC	Riporto + lave di copertura	1353	2345	0,25
089010P14DH41					
0-5	RI-CL-GR	Riporto + terreno argilloso-limoso + calcareniti e sabbie	215	475	0,37
5-20	GR-NR-GRS-ALS	Calacareniti, sabbie e argille sabbiose + basalto vacuolare	551	1120	0,34
089010P15DH44					
0-11	OL-CL-GR-GRS	Limi argillosi e sabbiosi + calcareniti e sabbie	609	1269	0,35
11-20	GRS-NR-ALS	Calcareniti e sabbie + sabbia carbonatica + basalto vacuolare	717	1395	0,32
089010P16DH47					
0-9	RI-OL-CL-GR	Riporto + terreno argilloso-limoso + calcareniti e sabbie	823	1540	0,3
9-20	GR-NR-NR	Calcareniti e sabbie + argilla sabbiosa + sabbia	581	1050	0,3
089010P17DH50					
0-10	RI-GR	Riporto + calcareniti e sabbie	355	740	0,35
10-20	NR-NR	Sabbia argillosa + argilla sabbiosa	576	1200	0,35

089010P23DH61					
0-4	OL-NR-NR	Terreno vegetale + sabbia + argilla	105	220	0,35
4-12	NR-NR	Argilla + sabbia con limo e argilla	457	856	0,3
12-20	NR	Sabbia con limo e argilla	730	1660	0,38
089010P24DH65					
0-2	OL-ALS	Terreno vegetale + basalto vacuolare alterato	129	270	0,35
2-4	ALS	Basalto vacuolare da alterato a molto alterato	400	750	0,3
4-10	ALS	Basalto vacuolare da molto alterato a compatto	1310	2370	0,28
089010P25DH73					
0-4	OL-ML-ALS	Terreno vegetale + sabbia e limo + basalto vacuolare	264	550	0,35
4-8	ALS	Basalto vacuolare da poco a molto alterato	422	790	0,3
8-20	ALS	Lava alterata in matrice argillosa + argilla	684	1390	0,34
089010P26DH77					
0-2	OL-LC	Terreno vegetale + basalto vacuolare alterato	187	390	0,35
2-15	LC	Lave di copertura	1210	2190	0,28
089010P27DH81					
0-4	OL-ALS	Terreno vegetale + basalto vacuolare alterato e fratturato	138	270	0,32
4-16	ALS	Basalto vacuolare fratturato	881	1650	0,3
089010P28DH85					
0-2	RI-LC	Riporto + basalto vacuolare alterato	139	290	0,35
2-15	LC	Lave di copertura	807	1570	0,32
089010P29DH91					
0-2	RI-SM	Riporto + sabbia e limo	129	270	0,35
2-6	SM-ALS	Sabbia limosa + basalto vacuolare alterato e fratturato	396	770	0,32
6-25	ALS	Basalto vacuolare alterato e fratturato	807	1570	0,32

Tab. 14 - Valori di velocità di propagazione delle onde sismiche e dei parametri elastici del sottosuolo ottenuti attraverso l'esecuzione di indagini down-hole realizzate nel corso dello studio di "Microzonazione sismica del centro urbano e delle aree di interesse urbanistico".

089010P43DH127							
Prof. (m)	Litotipo	Descrizione	Vs (m/sec)	Vp (m/sec)	Coefficiente di Poisson CP	Modulo di Young E (Mpa)	Modulo di taglio G (Mpa)
4-8	RI-ALS	Riporto + basalto vacuolare fratturato	1050	1250	0,28	2452,35	957,95
8-16	ALS	Basalto vacuolare fratturato	1050	1850	0,26	6043,99	2398,41
16-25	ALS	Basalto a tratti vacuolare mediamente fratturato	1440	2500	0,25	11974,01	4789,61
089010P44DH141							
0-4	RI-ALS	Riporto + basalto vacuolare molto fratturato	230	450	0,32	726,8	92,72
4-12	ALS	Basalto vacuolare molto alterato e fratturato	610	1100	0,28	1860,61	244,72

Tab. 15 - Valori di velocità di propagazione delle onde sismiche e dei parametri elastici del sottosuolo ottenuti attraverso l'esecuzione di indagini down-hole realizzate nel corso dello studio per il "Progetto per il recupero e conservazione della Chiesa Madre 'S. Antonio Abate".

S.E.V. 1 - ID_INDL: 089010L13SEV13				
Strato	Intervallo di resistività [ρ_1 - ρ_2 (Ωm)]	Spessore (m)	Profondità tetto dal p.c. (m)	Descrizione litotipo
1	18 - 7,5	1,2	0,00	Riporto/ suolo agrario
2	-	indefinito	1,2	Sabbie limose e limo-argillose
S.E.V. 2 - ID_INDL: 089010L14SEV14				
Strato	Intervallo di resistività [ρ_1 - ρ_2 (Ωm)]	Spessore (m)	Profondità tetto dal p.c. (m)	Descrizione litotipo
1	15,5 - 54,25	1	0,00	Riporto/ suolo agrario
2	27 - 8	2,22	1	Alternanza di sabbie limose e livelli calcarenitici
3	-	indefinito	3,22	Sabbie limose e limo-argillose
S.E.V. 3 - ID_INDL: 089010L15SEV15				
Strato	Intervallo di resistività [ρ_1 - ρ_2 (Ωm)]	Spessore (m)	Profondità tetto dal p.c. (m)	Descrizione litotipo
1	20 - 6,5	1,7	0,00	Riporto/ suolo agrario
2	-	indefinito	1,7	Sabbie limose e limo-argillose
S.E.V. 4 - ID_INDL: 089010L16SEV16				
Strato	Intervallo di resistività [ρ_1 - ρ_2 (Ωm)]	Spessore (m)	Profondità tetto dal p.c. (m)	Descrizione litotipo
1	24 - 7,6	2,5	0,00	Riporto/ suolo agrario
2	-	indefinito	2,5	Sabbie limose e limo-argillose
S.E.V. 5 - ID_INDL: 089010L17SEV17				
Strato	Intervallo di resistività [ρ_1 - ρ_2 (Ωm)]	Spessore (m)	Profondità tetto dal p.c. (m)	Descrizione litotipo
1	19-ago	2,2	0,00	Riporto/ suolo agrario
2	-	indefinito	2,2	Sabbie limose e limo-argillose
S.E.V. 6 - ID_INDL: 089010L18SEV18				
Strato	Intervallo di resistività [ρ_1 - ρ_2 (Ωm)]	Spessore (m)	Profondità tetto dal p.c. (m)	Descrizione litotipo
1	19 - 75	1,7	0,00	Riporto/ suolo agrario
2	28 - 8,5	2,42	1,7	Alternanza di sabbie limose e livelli calcarenitici
3	-	indefinito	4,12	Sabbie limose e limo-argillose
S.E.V. 7 - ID_INDL: 089010L19SEV19				
Strato	Intervallo di resistività [ρ_1 - ρ_2 (Ωm)]	Spessore (m)	Profondità tetto dal p.c. (m)	Descrizione litotipo
1	22 - 90	1,95	0,00	Riporto/ suolo agrario
2	20,5 - 9,5	3,25	1,95	Alternanza di sabbie limose e livelli calcarenitici
3	-	indefinito	5,2	Sabbie limose e limo-argillose
S.E.V. 7 - ID_INDL: 089010L19SEV19				
Strato	Intervallo di resistività [ρ_1 - ρ_2 (Ωm)]	Spessore (m)	Profondità tetto dal p.c. (m)	Descrizione litotipo
1	20 - 100	1,8	0,00	Riporto/ suolo agrario
2	41 - 6,75	6,88	1,8	Alternanza di sabbie limose e livelli calcarenitici
3	-	indefinito	8,68	Sabbie limose e limo-argillose

Tab. 16 – Indagini geoelettriche SEV realizzate nello “Studio geologico-tecnico - Via di fuga completamento viabilità di P.R.G.”

S.E.V. n. 1 - ID_INDL: 089010L34SEV34				
Strato	Resistività [ρ (Ohm*m)]	Spessore (m)	Profondità tetto dal p.c. (m)	Descrizione litotipo
1	12	9,5	0,00	Altrenanza calcarenitico-sabbioso-algillosa
2	5	5	9,5	
3	10	1	14,5	
4	30	indefinito	34,5	
S.E.V. n. 2 - ID_INDL: 089010L35SEV35				
Strato	Resistività [ρ (Ohm*m)]	Spessore (m)	Profondità tetto dal p.c. (m)	Descrizione litotipo
1	8	4	0,00	Sedimenti di facies submarina
2	25	12	4	
3	12	4	16	
4	70	indefinito	20	Basalti +/- compatti
S.E.V. n. 3 - ID_INDL: 089010L36SEV36				
Strato	Resistività [ρ (Ohm*m)]	Spessore (m)	Profondità tetto dal p.c. (m)	Descrizione litotipo
1	7	2	0,00	Vulcaniti +/- scoriacee e fratturate
2	23	13	2	
3	15	10	15	
4	70	indefinito	25	Basalti compatti
S.E.V. n. 4 - ID_INDL: 089010L37SEV37				
Strato	Resistività [ρ (Ohm*m)]	Spessore (m)	Profondità tetto dal p.c. (m)	Descrizione litotipo
1	30	4	0,00	Sedimenti di facies submarina
2	18	24	4	
3	50	indefinito	28	Basalti +/- compatti
S.E.V. n. 5 - ID_INDL: 089010L38SEV38				
Strato	Resistività [ρ (Ohm*m)]	Spessore (m)	Profondità tetto dal p.c. (m)	Descrizione litotipo
1	5	5	0,00	Banchi della sequenza vulcanica
2	15	12	5	
3	10	20	17	
4	30	indefinito	37	

Tab. 17 – Indagini geoelettriche SEV realizzate nello “Studio geologico per il Piano Regolatore Generale”.

Allegato 4: Misure di microtremore ambientale

Nell'ambito degli studi per la riduzione del rischio sismico, l'approccio numerico fornisce un ulteriore strumento d'indagine. 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.

La tecnica più utilizzata per stimare la risposta sismica di un sito in termini di frequenza fondamentale e amplificazione, è quella dei rapporti spettrali orizzontali e verticali HVSR di Nakamura (Langston, 1979; Nakamura, 1989). Per lo studio degli effetti di sito si usano i rapporti spettrali H/V tra le componenti orizzontali (N, E) e la componente verticale (Z) di ogni stazione (Nakamura, 1989), questa procedura permette di eliminare gli effetti dovuti alla sorgente. Le principali assunzioni fatte da Nakamura sono che i microtremori derivano da onde Rayleigh e che la componente verticale (V) del noise nel passare dal bedrock alla superficie non subisce amplificazione. Nel dominio delle frequenze, l'amplificazione del suolo dovuta ad una superficie di strato a bassa velocità è data da:

$$H(f) = [h_n(f)^2 + h_u(f)^2]^{1/2}$$

Il segnale sismico di sollecitazione (noise ambientale), è dato da vibrazioni a basso contenuto energetico indotte nel terreno da cause naturali o artificiali.

Lo studio sugli effetti di sito fornisce, in chiave di spettro di risposta locale, il comportamento dei terreni del sito investigato in caso di sisma e, dal confronto con gli spettri di riferimento dell'EC8 (1988), si può verificare quali frequenze vengono notevolmente amplificate per una determinata classe di terreni.

Con l'utilizzo della tecnica di Nakamura, si è in grado di determinare con buona approssimazione la frequenza fondamentale del sito, la quale è un parametro da non sottovalutare per non incorrere in problemi di risonanza con la struttura da edificare.

Come accennato, la tecnica HVSR permette in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste condizioni sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate.

Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione. Tale registrazione deve essere effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti.

Si esegue un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del suddetto progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce.

Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.

Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a tapering e/o lisciamento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee.

Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea.

Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing. Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.

Le registrazioni del Noise ambientale sono state effettuate con un Geofono 3D (N-S, E-W e verticale) della CGE a 2Hz collegato ad un Sismografo DaQlink III della Sesmic Source (Made in USA) con convertitore A/D a 24 bit e range dinamico fino a 144 dB. Il segnale è stato acquisito con un campionamento di 1200 s (20 min), intervallo di 1,00 msec e frequenza di campionamento di 500 hz, ovvero, per un totale di 600.000 campioni. Tutte le misure sono state eseguite mantenendo il primo asse nella direzione N-S per garantire l'omogeneità della "direzionalità" degli input.

L'elaborazione del dato è stata eseguita utilizzando il software EasyHVSR della Geostru, software sviluppato secondo quanto previsto secondo nelle indicazioni del progetto di ricerca europeo SESAME ("Guidelines for the implementation of the H\|V spectral ratio technique on ambient vibrations" - European Commission, 2004).

Operativamente l'elaborazione è stata confinata in un range di frequenze 0.6 - 20 Hz, con un passo di frequenza a 0.15 Hz e con una dimensione temporale finestre di

20.00 s; il segnale sismico è stato filtrato con un lisciamento di tipo “Triangolare proporzionale” con una percentuale di del 10%, mentre la somma direzionale è di tipo media aritmetica.

Nell’area da investigare del comune di Francofonte in vista dello studio di Microzonazione sismica di I Livello, sono state eseguite 15 misure di noise, presentate di seguito nella **Tabella 1**. La maggior parte dei valori della frequenza di picco ricade all’interno di un range molto ristretto, compreso tra ~0,8 e ~3 Hz. In alcuni casi, vengono segnalati due picchi con il secondo picco caratterizzato da frequenze F1 comprese tra 4 e 7 Hz e solo in un caso a 19 Hz, con valori del rapporto H1/V1 maggiori rispetto ai valori H0/V0. I valori di amplificazione sono abbastanza contenuti (inferiori o poco superiori a 2). Fanno eccezione le indagini 089010P71, 089010P75, 089010P80 che, a frequenze comprese tra 1.4 e 1.7 Hz, forniscono valori di H/V pari a 4, 5 e 5.7, rispettivamente (Figura 1).

ID_SPU	Nome	UTMx	UTMy	F ₀	H ₀ /V ₀	F ₁	H ₁ /V ₁
089010P67	FF1	489601	4120050	1,5	2,28	4,2	3,07
089010P68	FF2	489785	4119819	1,7	2,02	19,25	2,19
089010P69	FF3	490104	4120046	1,25	1,79		
089010P70	FF4	489321	4119611	2,75	2,83	4,1	3,03
089010P71	FF5	488783	4119691	1,4	4,03		
089010P72	FF6	489478	4120258	1,4	1,31	6,2	2,04
089010P73	FF7	489226	4120501	2,3	1,76	6,35	2,1
089010P74	FF8	489150	4120098	1,25	1,72	6,95	2,2
089010P75	FF9	488495	4119867	1,7	5,7		
089010P76	FF10	488906	4119853	1,25	2,17		
089010P77	FF11	488343	4119551	1,25	3,01	5,9	3,38
089010P78	FF12	487467	4118965	0,8	2,08		
089010P79	FF13	487320	4119347	1,55	3,6		
089010P80	FF14	488095	4119286	1,55	5,01		
089010P81	FF15	489725	4120300	2	2,87		

Tab. 1 – Siti di misura a stazione singola dei microtremori ricadenti nell’area di studio del comune di Francofonte.

Grafico rapporto spettrale H/V

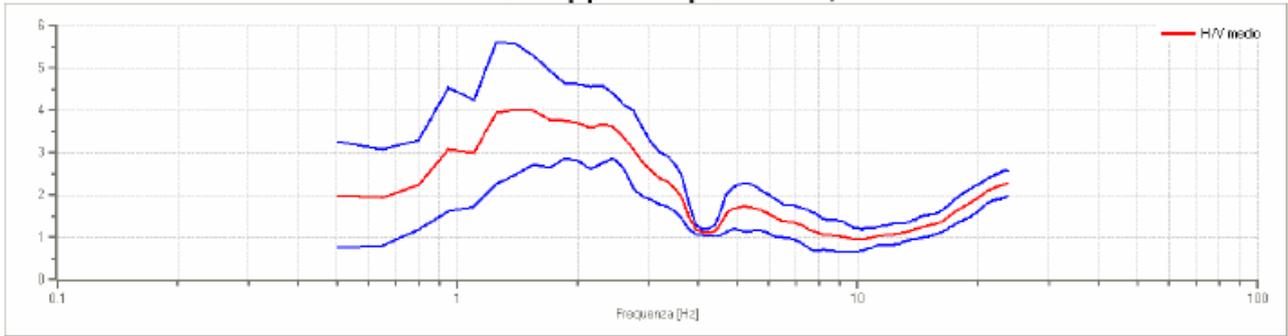
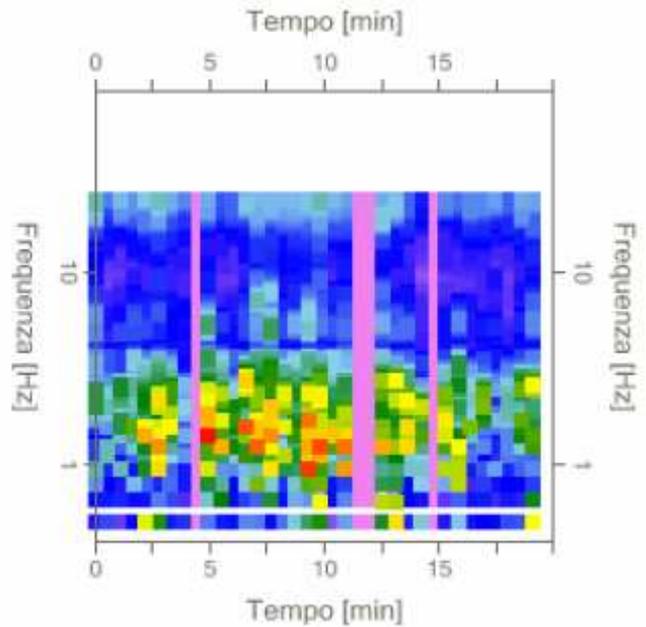


Fig. 1 - Serie Temporale e Rapporto Spettrale H/V relativo all'indagine 089010P75 a Francofonte, per la quale è stata osservata un'amplificazione pari a 15.66.



L'ubicazione dei siti di misura è stata impiegata per la redazione della carta delle frequenze allegata (Figura 2).

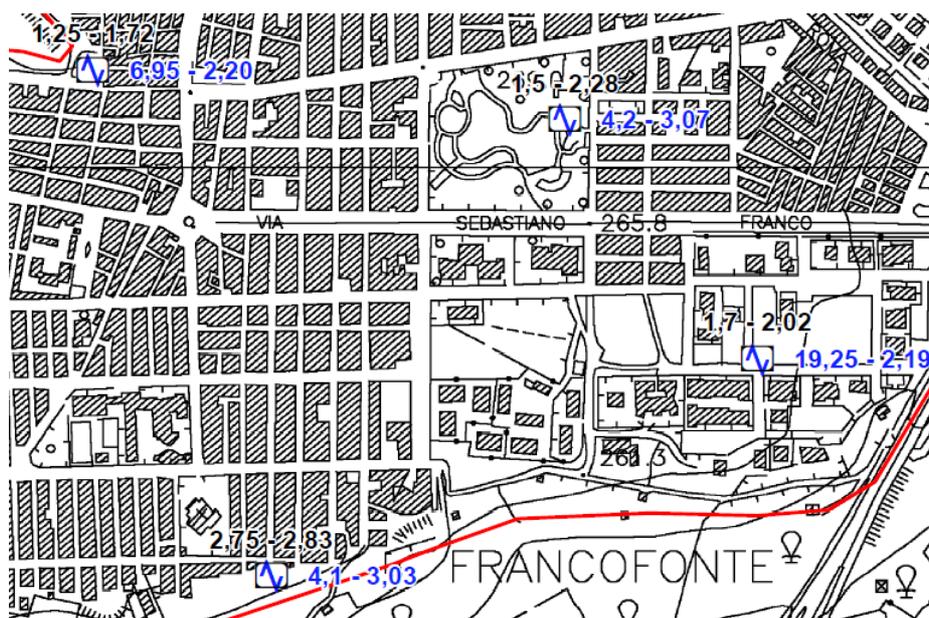


Fig. 2 - Esempio di quattro siti di misura HVSR presenti nella carta delle frequenze allegata, mostrante i valori di frequenza ed ampiezza dei picchi significativi (due in questo caso).

Per l'area investigata del territorio del comune di Francofonte, l'esito dei test statistici (linee guida SESAME, 2004) evidenzia che per la quasi totalità delle misure effettuate vengono soddisfatti i criteri di bontà d'esecuzione, analisi ed affidabilità (esempio in Figura 3). Solamente all'indagine 089010P69, che non soddisfa appieno i criteri della tabella SESAME "Criteri di affidabilità della curva H\V" (esempio in Figura 4), è stato attribuito un valore di attendibilità dell'indagine pari a "3".

Frequenza di picco: 1.70 Fattore di Amplificazione: 5.70					
Criteri di affidabilità della curva H/V					
Verifica	Limiti o range	Esito			
$f_0 > 10/l_w$	6.41 > 0.50	SI			
$n_c(f_0) > 200$	10121.9 > 200	SI			
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$		SI			
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$					
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	5.0 Hz	SI			
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	7.25 Hz	SI			
$A_0 > 2$	6.07 > 2	SI			
$f_{\text{picco}} A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f) = f_0 \pm 5\%$	27576 < 0.05	SI			
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	1.76657 < 0.32031	SI			
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.9346 < 1.58	SI			
L_w n_w $n_c = L_w n_w f_0$ f f_0 σ $\varepsilon(f_0)$ A_0 $A_{H/V}(f)$ f^- f^+ $\sigma_A(f)$ $\sigma_{\log H/V}(f)$ $\theta(f_0)$	window length number of windows used in the analysis number of significant cycles current frequency H/V peak frequency standard deviation of H/V peak frequency threshold value for the stability condition $\sigma < \varepsilon(f_0)$ H/V peak amplitude at frequency f_0 H/V curve amplitude at frequency f frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$ frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$ 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 standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$				
Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
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
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Fig. 3 – Tabelle dei criteri di affidabilità della curva H\V relativi all'indagine 089010P75 di Francofonte i cui requisiti vengono tutti soddisfatti.

Frequenza di picco: 1.25
Fattore di Amplificazione: 1.79

Criteri di affidabilità della curva H/V		
Verifica	Limiti o range	Esito
$f_0 > 10/l_w$	6.41 > 0.50	SI
$n_c(f_0) > 200$	10121.9 > 200	SI
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$		SI
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	5.0 Hz	NO
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	7.25 Hz	SI
$A_0 > 2$	6.07 > 2	NO
$f_{picco} [A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	27576 < 0.05	NO
$\sigma_f < \epsilon(f)$	1.76657 < 0.32031	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.9346 < 1.58	SI

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	standard deviation of H/V peak frequency
$\epsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma < \epsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

	Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$				
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\epsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Fig. 4 – Tabelle dei criteri di affidabilità della curva H/V relativi all'indagine 089010P69 di Francofonte i cui requisiti non vengono soddisfatti.

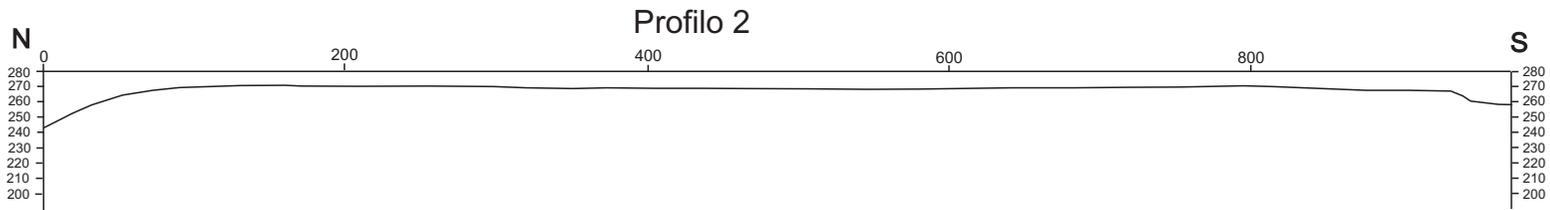
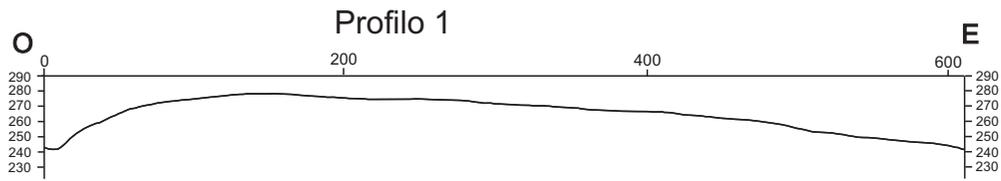
Bibliografia

Langston C. A.; 1979 – Structure under Mount Rainier, Washington, inferred from teleseismic body waves. J. Geophys. Res., 84, 4749–4762.

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.

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

ALLEGATO 5 – SEZIONI TOPOGRAFICHE



Allegato 6 – Schemi dei rapporti litostratigrafici più significativi

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

