



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

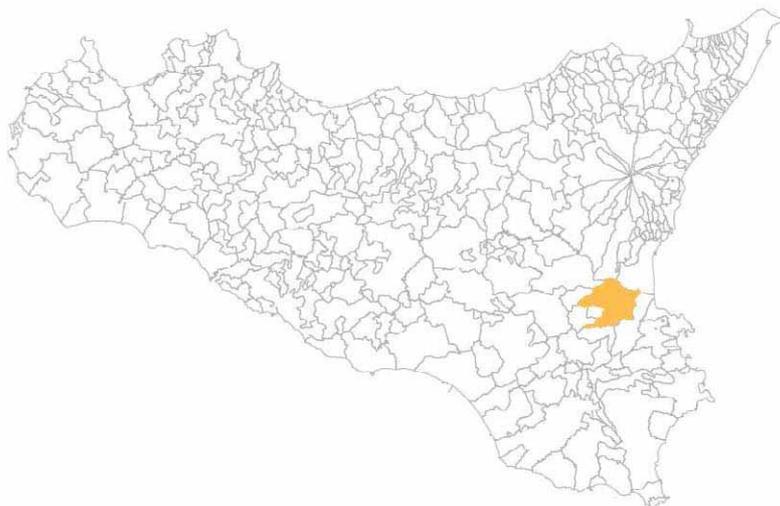
MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione Illustrativa

MS Livello 1

Regione Sicilia

Comune di Lentini



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

Contraente: Regione Siciliana – Presidenza Dipartimento della Protezione Civile	Soggetto realizzatore: Università degli Studi di Catania	Data: Novembre 2012
		

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	34
5. Modello del sottosuolo	43
6. Interpretazioni e incertezze	45
7. Metodologie di elaborazione e risultati	46
8. Elaborati cartografici	61
9. Confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati	66
10. Bibliografia	72
11. Allegati	78



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 Lentini (codice istat 089011), 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 espresso in termini quantitativi dal rapporto tra i parametri del moto sismico alla *“superficie del sito e quello che si osserverebbe per lo stesso evento sismico su un ipotetico affioramento di roccia rigida con morfologia orizzontale”*. I fenomeni di instabilità comprendono tutte le *“modificazioni permanenti del terreno dovuti ad un evento sismico”* capaci di produrre danni in aggiunta a quelli legati all'oscillazione del suolo. Tutti gli aspetti connessi alle condizioni locali del sito sono oggetto proprio dell'analisi di **pericolosità sismica locale**, definita come *“componente della pericolosità sismica dovuta alle caratteristiche locali”*.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

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

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

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

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

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

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

Gli studi condotti nel territorio di Lentini si riferiscono al primo livello di approfondimento e sono consistiti nella raccolta dei dati esistenti e nella redazione di una serie di elaborati cartografici (Carta delle indagini, la Carta geologico tecnica per la MS e la Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica) richiesti dagli “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica” (Gruppo di lavoro MS, 2008) e nella compilazione di un database, risultato di una profonda e dettagliata elaborazione delle informazioni esistenti. Il territorio del Comune di Lentini si sviluppa lungo il margine settentrionale dei Monti Iblei in Sicilia sud-orientale con un estensione areale di circa 215,5 km², comprendendo verso nord anche parte del settore meridionale della Piana di Catania. La delimitazione dell’area su cui effettuare gli studi di MS di livello 1, è stata segnalata dall’amministrazione comunale di Lentini con nota prot. N. 27206 del 18/04/2012 e approvata dal Dipartimento di Protezione Civile. Tale area è ubicata nel settore sud-orientale del territorio comunale, delimitata a est e a sud dal limite comunale, mentre a ovest dal corso del Fiume Zena e del Fiume Reina originato dalla confluenza tra i fiumi Zena e Barbaianni, e a nord dal corso del Fiume San Leonardo originato dalla confluenza tra i fiumi Reina e Trigona, coprendo un’estensione areale di circa 10199184 m². In particolare l’area di studio comprende tutto il centro urbano del Comune di Lentini,

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77
estendendosi dal centro storico fino alle aree più periferiche di C/da Portazza a sud-
ovest, C/da Burione, C/da Stazione C/da e S. Antonio a nord-est (Fig. 1).

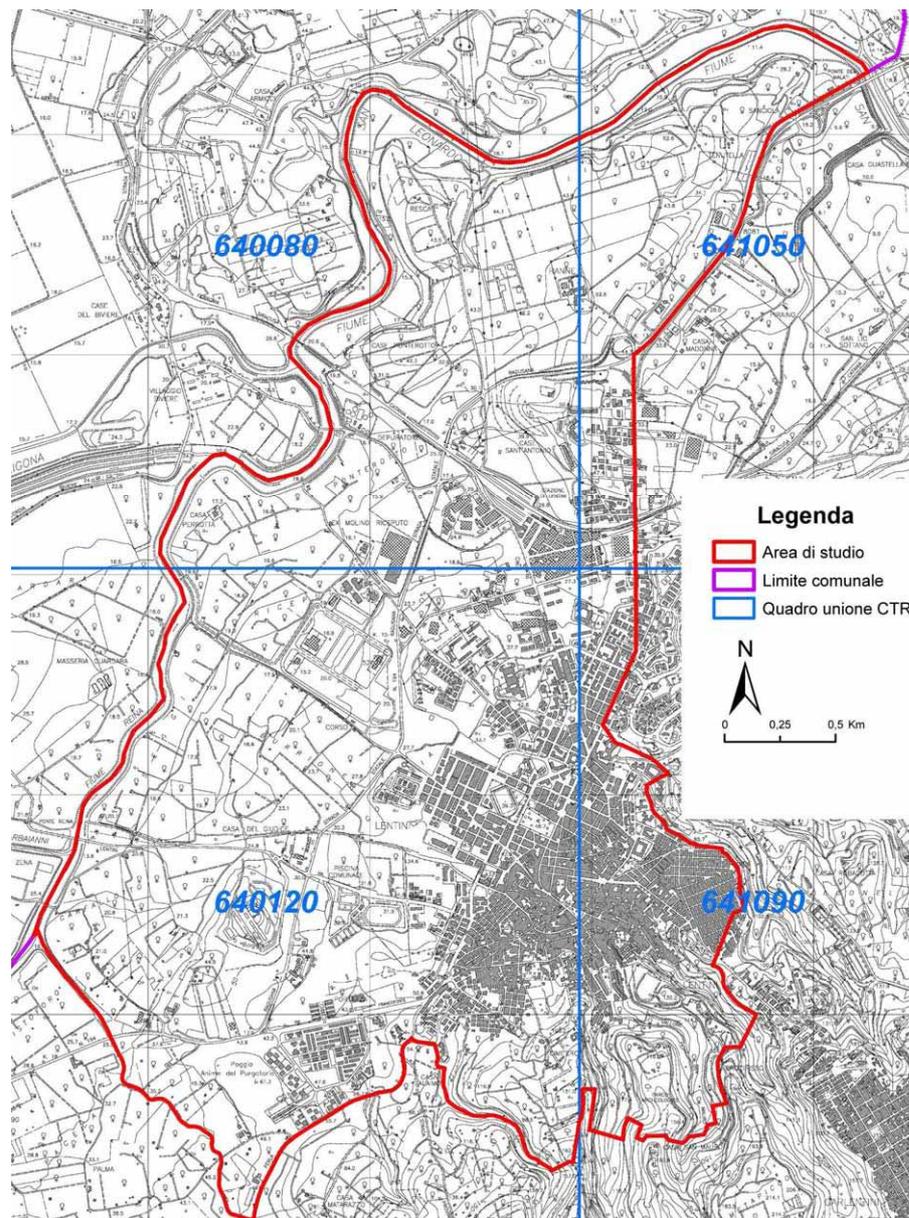


Fig. 1 – Ubicazione dell'area in cui sono stati effettuati gli studi di MS di livello 1 (delimitata in rosso), nel margine sud-orientale del territorio comunale di Lentini (limite in viola), all'interno delle Sezioni CTR 640080, 641050, 640120 e 641090 (limite quadro unione CTR in azzurro).

Lo studio di MS di livello 1 è stato effettuato utilizzando come base cartografica la Carta Tecnica Regionale alla scala 1:10.000, realizzata dalla Regione Sicilia nel 2008. In particolare l'area di studio ricade all'interno delle Sezioni CTR 640080, 641050, 640120 e 641090 (Fig. 1).

La qualità e l'affidabilità dei risultati sono state chiaramente influenzate dalla disponibilità di dati significativi sui quali operare. Nel caso specifico, per il Comune di Lentini è stato possibile attingere ad un'elevata quantità d'informazioni pregresse che, però, sono concentrate in una fascia ristretta che attraversa l'abitato, lungo una direttrice sede di strutture tettoniche di età recente, oggetto di studio per la valutazione della loro pericolosità. Tali studi hanno compreso anche precedenti analisi di microzonazione avviate all'indomani dell'evento sismico del 1990. Seppure non omogeneamente distribuiti, i dati raccolti hanno permesso di vincolare bene la successione stratigrafica dell'area e consentito una buona ricostruzione 3D delle successioni. E' ovvio che livelli di indeterminazione permangono per quanto attiene lo spessore dei terreni di copertura e la reale profondità del substrato rigido nelle aree prive di dati di sottosuolo diretto. In questo caso si è fatto riferimento a proiezioni dei dati noti, sulla base di una scrupolosa interpretazione dei dati di superficie, nella previsione di infittire le indagini nei successivi stadi di approfondimento.

I dati messi a disposizione dall'amministrazione comunale di Lentini sono relativi ad indagini effettuate per lo studio geologico per il Piano Regolatore Generale (P.R.G.) e per lo studio di Microzonazione sismica di zone di P.R.G., sintetizzati in diversi elaborati di seguito elencati:

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

- relazione geologica
- carta geologica scala 1:2.000



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

- carta geomorfologica scala 1:2.000
- carta litotecnica scala 1:2.000
- carta della pericolosità geologica scala 1:2.000
- carta della pericolosità sismica scala 1:2.000
- carta geologica scala 1:25.000 (intero territorio comunale)
- carta geomorfologica scala 1:25.000 (intero territorio comunale)
- carta idrogeologica scala 1:25.000 (intero territorio comunale)
- carta della pericolosità geologica scala 1:25.000 (intero territorio comunale)

Microzonazione sismica di zone di P.R.G.

- relazione generale
- relazione c.da Burrione
- a) indagini geofisiche
- b) sondaggi geognostici
- c) prove di laboratorio
- d) carta ubicazione indagini geognostiche
- relazione c.da Sant'Antonio
- a) indagini geofisiche
- b) prove di laboratorio
- c) sondaggi geognostici
- d) carta ubicazione indagini geofisiche
- e) carta ubicazione indagini geognostiche
- relazione c.da Portazza

- a) indagini geofisiche
- b) sondaggi geognostici
- c) prove di laboratorio
- d) carta ubicazione indagini geofisiche
- e) carta ubicazione indagini geognostiche
- relazione Stazione ferroviaria
- a) sondaggi geognostici
- b) prove di laboratorio
- c) carta ubicazione indagini geofisiche
- d) carta ubicazione indagini geognostiche
- carta d'inquadramento dell'area urbana scala 1.5.000

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

Lo studio è stato integrato da verifiche di terreno e analisi di aerofotogrammetrie, mirate alla verifica della affidabilità del modello geologico proposto. Infine sono state effettuate una serie di misure di microtremori mediante la tecnica di indagine di sismica passiva HVSr (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; Grasso et al., 2004; AA.VV., 2011) e idrogeologica (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 del Comune di Lentini, facendo riferimento alla ricostruzione della storia sismica, alla catalogazione nelle mappe di pericolosità sismica, secondo le 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, ed alle eventuali sorgenti sismogenetiche presenti nei dintorni e nelle zone limitrofe.

La Storia sismica del Comune di Lentini è stata ricostruita facendo ricorso al Catalogo Parametrico dei terremoti italiani (CPTI11; Rovida et al., 2011), che nella fattispecie si riferisce al database macrosismico (DBMI11; Locati et al., 2011) e su una base di dati strumentali molto ampia ed aggiornata. Il catalogo parametrico CPTI11 si compone di due sezioni, una delle quali dedicata ai terremoti etnei (1000–2006). Quest'ultima contiene 198 terremoti localizzati all'interno della zona 936 della zonazione sismogenetica ZS9 (Meletti et al., 2008) relativi al periodo 1000–2006. Le soglie energetiche della sezione terremoti etnei sono $Io = 5-6$ e $Mw = 3.5$. Per tutti i terremoti della sezione, il valore di Mw e la relativa incertezza sono ottenuti dal valore di Io mediante la relazione di Azzaro et al. (2011). DBMI11 contiene dati d'intensità relativi a 1681 terremoti che fanno parte di CPTI11 (Rovida et al., 2011), e in particolare relativi a: a) 1484 terremoti i cui dati sono stati utilizzati per determinare i parametri che fanno parte di CPTI11; b) 197 terremoti etnei, i cui dati non sono utilizzati per determinare i parametri che fanno parte di CPTI11, in quanto i relativi parametri sono stati adottati direttamente dal Catalogo Macrosismico dei Terremoti Etnei (CMTE; <http://www.ct.ingv.it/ufs/macro>; Azzaro et al., 2000; 2006;

2009). Tra gli eventi sismici di maggiore rilevanza sicuramente si possono annoverare il terremoto di Catania del 4 febbraio 1169 ed 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 un'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 Lentini viene catalogato con intensità XI MCS sia per il 1169 che per il 1693 (Lombardo, 1985; Barbano, 1985), mentre con intensità X sul database per il 1169 e con intensità X-XI per il 1693. La figura 3 riporta il risultato della ricerca sul database DBMI11, che individua 23 eventi significativi per il territorio di Lentini, a partire dall'evento sismico del 1169. La figura 4 riporta il conseguente grafico relativo alla sismicità storica del comune di Lentini.

Catalogazione del Comune di Lentini 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)



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77
(accelerazione orizzontale massima del suolo, corrispondente a quella che in ambito internazionale viene chiamata PGA) e Se(T) (Spettro di risposta Elastico in funzione del periodo T, in accelerazione). Le mappe in a(g) sono state calcolate per differenti probabilità di superamento in 50 anni (in totale 9, dal 2% all'81%). Per ogni stima è disponibile la distribuzione del 50mo percentile (mappa mediana, che è la mappa di riferimento per ogni probabilità di superamento) e la distribuzione del 16mo e dell'84mo percentile che indicano la variabilità delle stime. Le mappe in Se(T) sono state pure calcolate per le stesse probabilità di superamento in 50 anni (in totale 9, dal 2% all'81%) e per differenti periodi (in totale 10, da 0.1 a 2 secondi). Anche in questo caso per ogni stima è disponibile la distribuzione del 50mo percentile (mappa mediana, che è la mappa di riferimento per ogni probabilità di superamento) e la distribuzione del 16mo e dell'84mo percentile che indicano la variabilità delle stime.

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

Effetti	In occasione del terremoto del:			
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
10	1169 02 04 07:00	Sicilia orientale	10	10 6.41 ±0.34
9-10	1542 12 10 15:15	Siracusano	32	10 6.77 ±0.32
8	1693 01 09 21:00	Val di Noto	30	8-9 6.21 ±0.31
4-5	1693 01 11 08:00	Val di Noto	8	
10-11	1693 01 11 13:30	Sicilia orientale	185	11 7.41 ±0.15
5	1693 07 08 17:50	Monti Iblei	7	6 4.94 ±0.64
6-7	1718 02 20	SICILIA ORIENTALE	7	6-7 5.32 ±0.66
7	1818 03 01 02:45	Monti Iblei	24	7-8 5.51 ±0.65
6	1908 12 28 04:2	Calabria meridionale-Messina	800	11 7.10 ±0.15
3	1924 08 17 21:40	MONTI IBLEI	22	5 4.73 ±0.24
4	1926 08 17	ISOLA DI SALINA	44	7-8 5.41 ±0.23
3	1936 10 08 08:04	Patti	16	4.84 ±0.20
5	1959 12 23 09:29	PIANA DI CATANIA	108	6-7 5.29 ±0.20
2	1978 04 15 23:3	Golfo di Patti	332	6.06 ±0.09
3-4	1980 01 23 21:2	MODICA	122	5-6 4.58 ±0.14
2	1980 11 23 18:3	Irpinia-Basilicata	1394	10 6.89 ±0.09
7	1990 12 13 00:2	Sicilia sud-orientale	304	7 5.64 ±0.09
3	1997 12 24 09:40	VERSANTE MERIDIONALE	11	5-6 3.49 ±0.26
3	1998 01 10 08:45	VERSANTE SUD-OCCIDENTALE	44	6 3.71 ±0.26
3	1999 02 14 11:4	Patti	101	4.69 ±0.09
NF	2001 01 09 02:51	ZAFFERANA ETNEA	104	6 3.71 ±0.26
4	2002 09 06 01:2	PALERMO	132	5.94 ±0.09
3	2006 05 20 07:05	VERSANTE SUD-OCCIDENTALE	27	5-6 3.49 ±0.26

Fig. 3 – Eventi sismici significativi per il Comune di Lentini, 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.

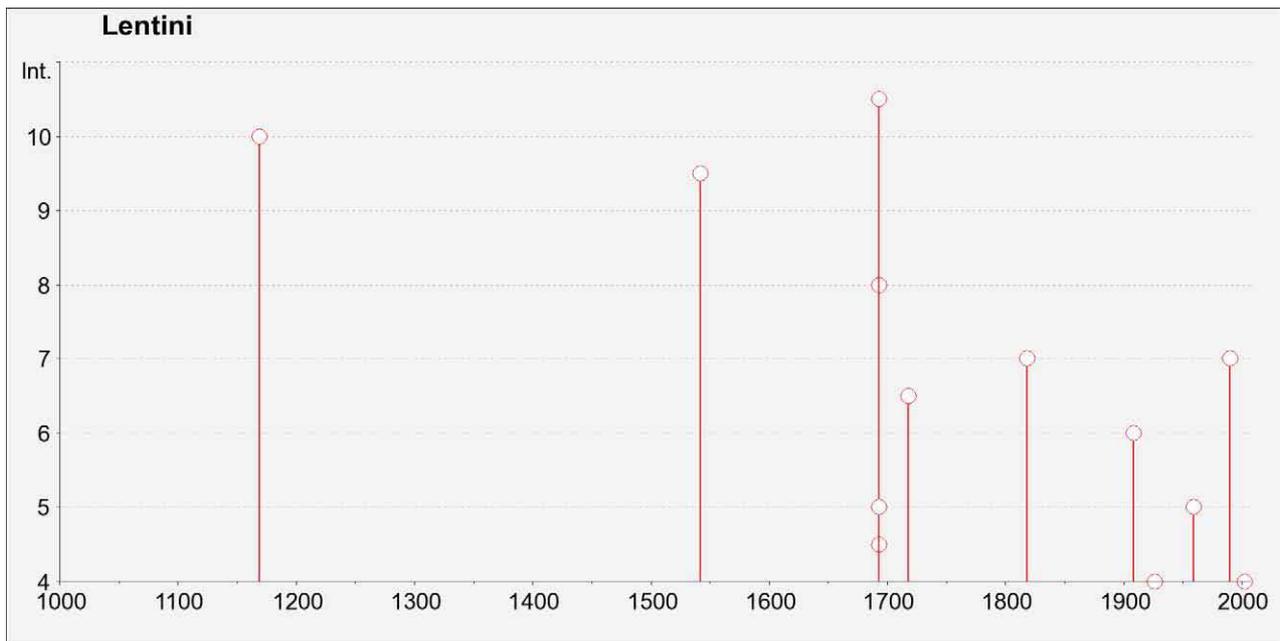


Fig. 4 – Grafico relativo alla sismicità storica del comune di Lentini.

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

LATITUDINE : 37.286

LONGITUDINE : 14.999

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

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77
pericolosità sismica del territorio di Lentini con riferimento al valore di PGA per una
probabilità di eccedenza in 50 anni del 10%, del 5% e del 2%.

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

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

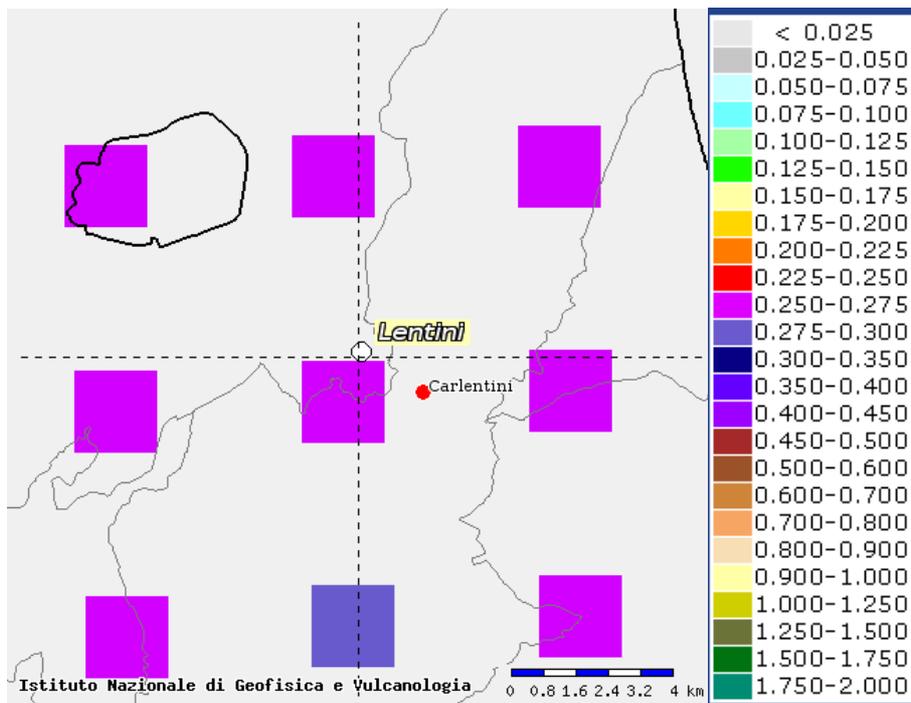


Fig. 6 – Mappa interattiva di pericolosità sismica del territorio di Lentini. I punti della griglia visualizzati si riferiscono a: parametro dello scuotimento $a(g)$, probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

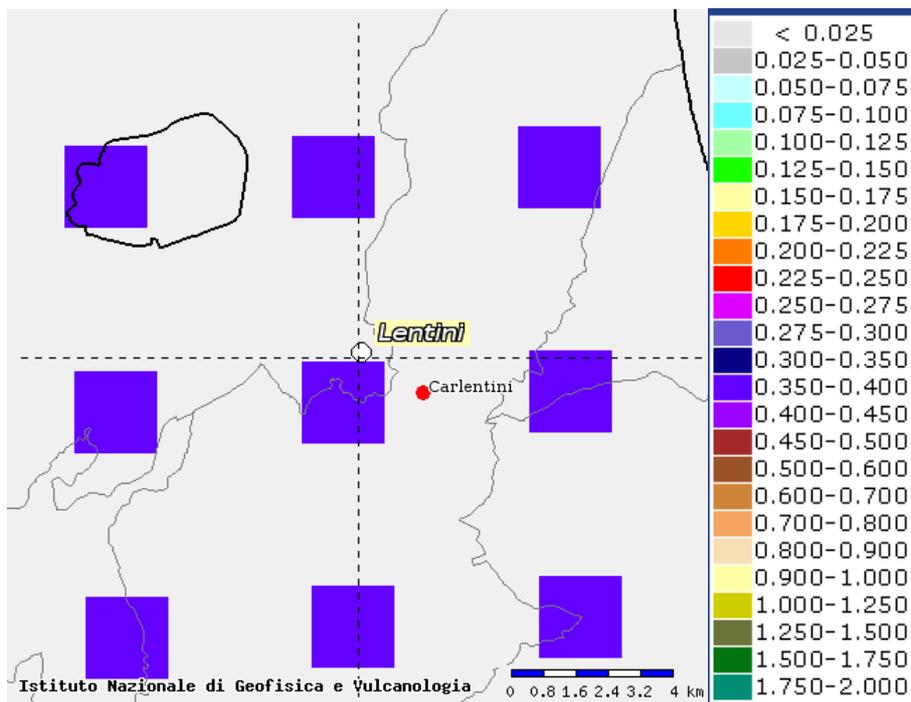


Fig. 7 – Mappa interattiva di pericolosità sismica del territorio di Lentini. I punti della griglia visualizzati si riferiscono a: parametro dello scuotimento $a(g)$, probabilità di superamento del 5% in 50 anni.

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

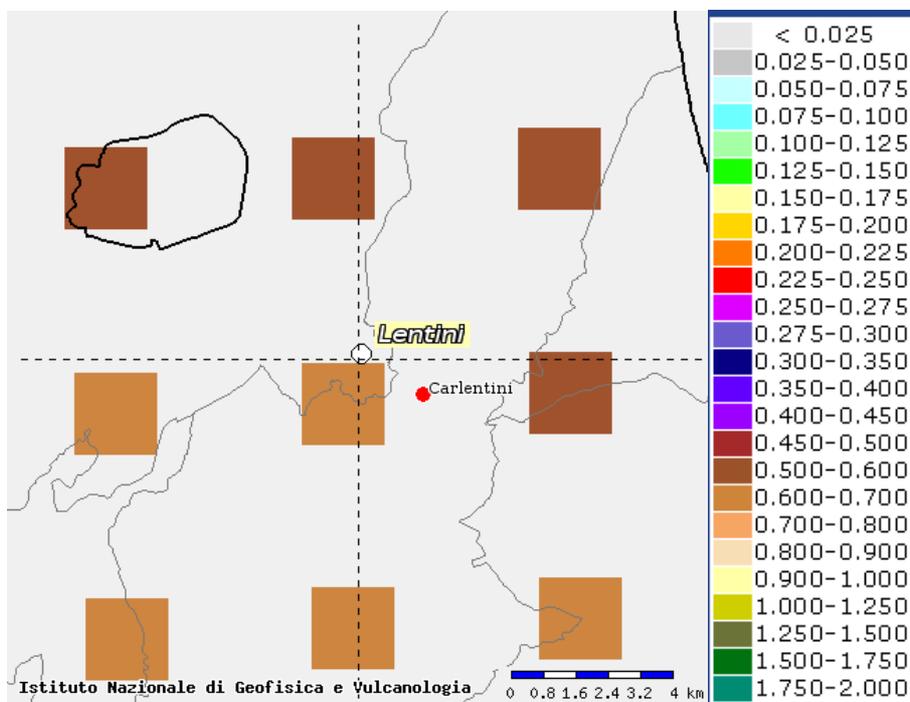


Fig. 8 – Mappa interattiva di pericolosità sismica del territorio di Lentini. I punti della griglia visualizzati si riferiscono a: parametro dello scuotimento $a(g)$, probabilità di superamento del 2% in 50 anni.

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

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

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

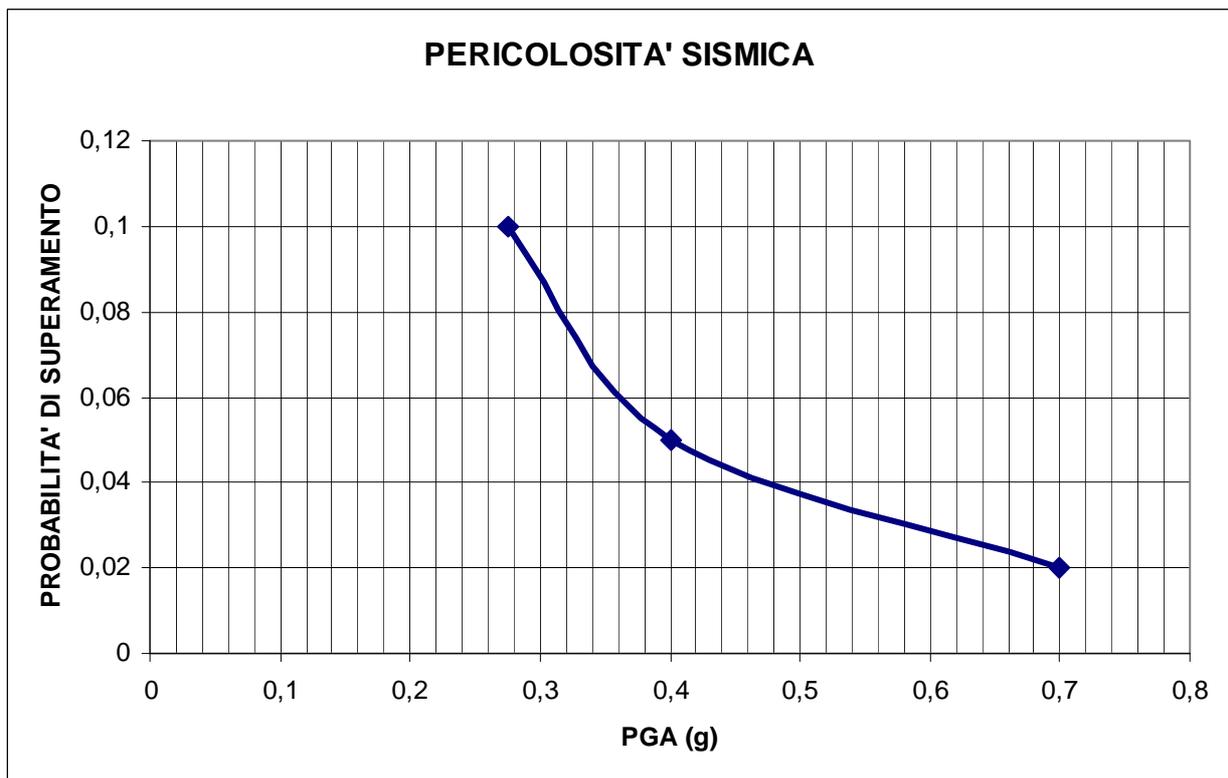


Fig. 9 – Curva di pericolosità sismica al sito per il territorio di Lentini. La curva rappresenta il valore della mediana.

Il territorio del Comune di Lentini è stato individuato sul database DBMI11 (con 23 eventi sismici significativi tra il 1169 ed il 2006) con una intensità macrosismica espressa nella scala MCS che raggiunge il suo valore massimo in MCS = X-XI in corrispondenza dei



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 terremoti di Catania del 1169 e 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 Lentini. La discussione delle potenziali sorgenti sismogeniche sarà affrontata nel dettaglio in seguito alla descrizione dell'assetto geologico complessivo, necessaria per la contestualizzazione delle strutture ritenute attive nell'area.

3. Assetto geologico e geomorfologico dell'area

L'abitato di Lentini è localizzato lungo il bordo settentrionale del Plateau Ibleo (Lentini et al., 1994) al margine di una depressione tettonica delimitata da faglie normali orientate in direzione NE–SO e riempita da sedimenti di età Pleistocenica denominata Graben di Scordia–Lentini (Ghisetti & Vezzani, 1980). 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 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. La geometria del sottosuolo nell'area urbanizzata, nel settore sud–orientale dell'area di studio, è riferibile a due distinti blocchi cinematici con caratteri stratigrafici differenti,

separati da una faglia normale ad alto angolo ad orientazione NE-SO ed immergente verso NO. Questa struttura costituisce l'espressione superficiale di una faglia listrica a basso angolo, posta in profondità, come evidenziato dal chiaro basculamento verso SE del tetto ribassato della faglia, cui si associa un cuneo sedimentario sintettonico che si ispessisce in direzione della faglia. Un'altra faglia orientata NE-SO e immergente sempre verso NO è presente nel settore sud-occidentale dell'area di studio.

L'andamento del substrato ibleo ha controllato la distribuzione delle facies dei depositi di riempimento del graben. Calcareniti organogene mantellano gli alti strutturali e sono a contatto laterale per faglia con sabbie limose fossilifere, depositatesi nelle aree di depocentro dei bacini di crescita. Sia le calcareniti che le sabbie evolvono lateralmente e verso l'alto ad argille grigio azzurre che costituiscono il tetto della successione nelle aree depocentrali.

La struttura geologica complessiva è stata profondamente modellata e reincisa dai corsi d'acqua e sigillata dai depositi alluvionali recenti, che attraversano indisturbati le linee di faglia. Ai due lati della struttura, si è conservata l'originaria differenza di energia del rilievo prodottasi durante il movimento delle faglie che, insieme alle diverse proprietà meccaniche dei terreni, ha concorso ad una chiara differenziazione del paesaggio. Il blocco meridionale rialzato dalla faglia è caratterizzata da valli fortemente incise, a pareti molto ripide, modellate nelle calcareniti. In quest'area è possibile riconoscere gli effetti del carsismo, con forme epigee in alcuni casi collegate a forme ipogee, spesso riutilizzate dall'uomo. Le pareti ripide sono inoltre soggette a frequenti crolli con accumuli conservati alla base dei versanti. La sommità del rilievo è costituita da superfici pianeggianti, nelle quali le calcareniti del substrato sono sovente ricoperte da suolo di alterazione e localmente da materiali di riporto che comunque mostrano spessori inferiori ai 3 metri. Non si esclude che alcuni edifici possano comunque nascondere rilevati artificiali con spessore maggiore. Nel lato ribassato della faglia, si riconosce una minore energia del rilievo cui si associano valli a pendii a bassa acclività modellati nelle alluvioni



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77
o sulle sottostanti successioni argillose. La predominanza di versanti in declinazione, prodotto del dilavamento diffuso, ha favorito la formazione al tetto delle successioni argillose e delle sabbie limose fossilifere di un intervallo superficiale molto alterato, con spessori sicuramente rilevanti ai fini della risposta locale. E' interessante notare che tale intervallo si riconosce anche laddove le argille sono ricoperte dalle alluvioni, a testimonianza di un processo di alterazione prolungato nel tempo. Anche al tetto dei depositi alluvionali è possibile riconoscere un suolo di alterazione di spessore inferiore ai 3 metri.

L'area di Lentini, per l'età relativamente recente delle strutture tettoniche, è stato oggetto di diversi studi finalizzati alla definizione dell'eventuale pericolosità e potenzialità sismogenica. In particolare, la faglia che interessa il centro urbano di Lentini, è stata inserita nel database Ithaca (ITaly HAZard from CAPable faults) e identificata dalla seguente scheda (Fig. 10) come "faglia in corso di definizione".

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 lineamenti del paesaggio, descritto precedentemente, indicano che in età recente il modellamento superficiale sia stato largamente dominante sull'eventuale mobilizzazione delle strutture tettoniche. Ciò significa che le strutture possono considerarsi inattive o caratterizzate da velocità di movimento estremamente bassa. Tale

evidenza è in buon accordo con i dati di sismica a riflessione attraverso la porzione *off-shore* del Graben di Scordia–Lentini (Torelli et al., 1998), disponibili in aree limitrofe, che evidenziano una sostanziale inattività delle strutture estensionali a partire dalla fine del Pleistocene inferiore. Tali conclusioni sono confermate da ulteriori studi condotti nell’area (Bousquet & Lanzafame, 2004; Catalano et al., 2010) che hanno evidenziato una generalizzata inversione tettonica positiva del bordo settentrionale ibleo, con lo sviluppo di una nuova generazione di faglie inverse, a direzione NO–SE e immersione verso sud, che hanno rimobilizzato in compressione l’originario bordo meridionale del Graben di Scordia–Lentini.

FAULT NAME	Graben di Lentini_01
FAULT CODE	10701
MACROZONE	7
REGION NAME	Sicilia
SYSTEM NAME	Graben Scordia–Len
RANK	PRIMARY
AVERAGE STRIKE	0
DIP	NW
KINEMATICS	NORMAL
LOCATION RELIABILITY	0
SURFACE EVIDENCE	well expressed
APPLIED	FS, HS,

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

TECHNIQUES	GM,
EVIDENCE FOR CAPABILITY	EQ, QB
LAST ACTIVITY	Q43
ACTIVITY RELIABILITY	B
STUDY QUALITY	LOW
REFERENCES	Old Ithaca, sicilia053



Fig. 10 – Scheda della faglia di Lentini con ubicazione nel database Ithaca
(http://193.206.192.227/wms_dir/Catalogo_delle_Faglie_Capaci_ITHACA.html#)

I dati geologici aggiornati sono in buon accordo con il DISS (Database of Individual Seismogenic Sources) Version 3.1.1 (DISS Working Group 2010) che riporta una sorgente sismogenica (ITCS036– Monte Lauro), con direzione NE–SO ed immersione verso SE, corrispondente al bordo invertito del Graben Scordia–Lentini (Fig. 11)

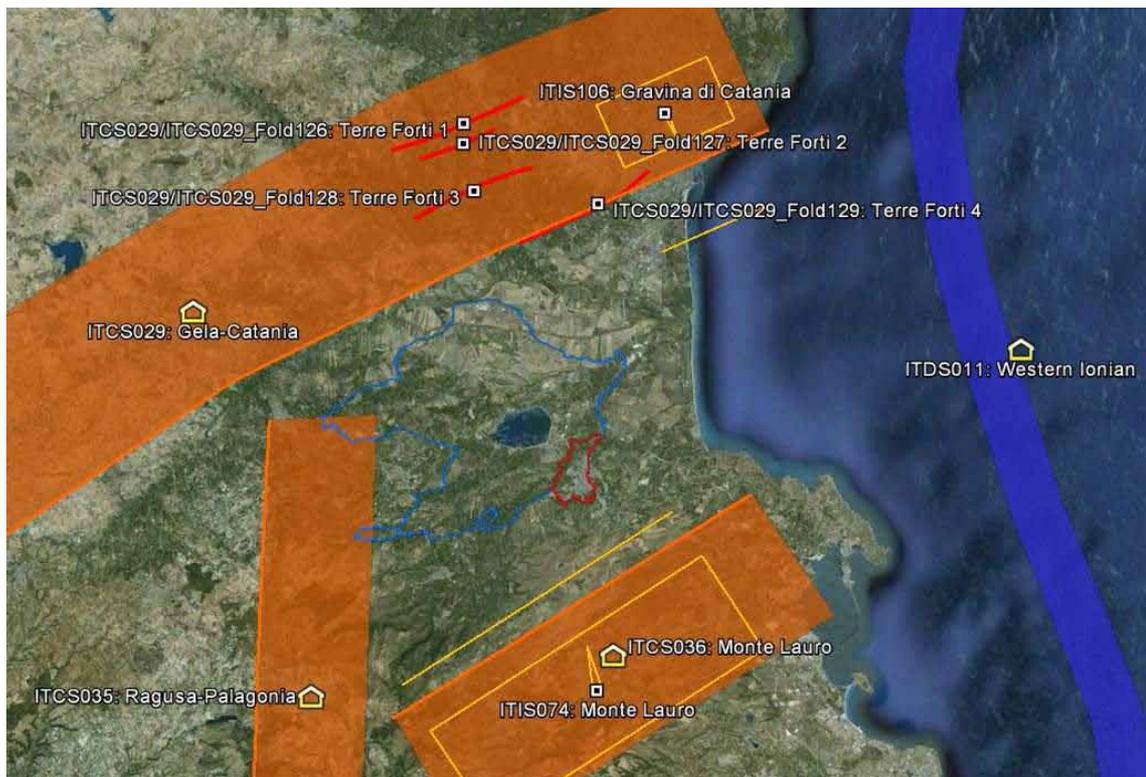


Fig.11 - Ubicazione dell'area comunale di Lentini (in blu) e dell'area di studio (in rosso) rispetto alle sorgenti sismogeniche del Diss 3.1.1 (DISS Working Group 2010, mod.)

Secondo i modelli sismotettonici correnti, quindi, l'abitato di Lentini si troverebbe al letto ribassato di una faglia inversa e quindi soggetto ad una pericolosità sismica di base comunque inferiore rispetto a quella che si prefigurerebbe se fossero ancora attive le faglie che attraversano il territorio comunale.

La successione geolitologica dell'area di studio è stata ricostruita sulla base delle indagini di terreno e sull'interpretazione dei sondaggi geognostici disponibili, che hanno consentito di distinguere le seguenti unità, rappresentate nella carta geologico-tecnica seguendo gli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica-Versione 2.0beta-II":



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

Terreni di copertura

- *Materiale di riporto* e di risulta attuale, rilevati e discariche, affiora in piccoli lembi in c/da Portazza, e in maniera più estesa in c/da Burrione, Carrubazza e Stazione. Si tratta di un deposito eterogeneo in una matrice variabile ma generalmente sabbiosa, talvolta limosa e argillosa, con spessore medio di circa 4 m (**Rizz**).
- *Depositi alluvionali recenti e attuali* sono costituiti in gran parte dell'area di studio da sabbie limose talvolta con ghiaia alternate a limi argilloso sabbiosi, con prevalenza dei livelli sabbioso-limosi per uno spessore complessivo di circa 7 m (**SMin**), e da livelli limoso argillosi, in cda/ Portazza e Stazione, spessi circa 4 m (**OLin**). Localmente, a sud di cda/Burrione, sono rappresentati da miscele di ghiaia, sabbia e limo (**GMin**) con spessore di circa 4 m.
- *Depositi alluvionali terrazzati* costituiti da ghiaie e sabbie, ciottoli e ghiaia con rari blocchi in matrice sabbiosa, affiorano in c/da Ranne, Carrubazza, Burrione, alla sommità di Colle Roggio, a sud del cimitero e in prossimità del parco archeologico (**GWtf**). In c/da Sant'Antonio sono costituiti da sabbie fini limose con ciottoli e da sabbie con ghiaia (**SMtf**). In c/da Burrione le ghiaie e sabbie passano lateralmente sia a un alternanza di sabbie limose debolmente ghiaiose e limi sabbiosi (**SMtf**), sia a limi argilloso sabbiosi (**MLtf**). Lo spessore è variabile da 3 m sino a 7 m circa.
- *Depositi di conoide alluvionale* costituiti da sabbie ghiaie e limi sono presenti esclusivamente a sud-ovest di c/da Portazza (**SMca**)

– Depositi eluvio/colluviali sono rappresentati dai prodotti di alterazione costituiti da sabbie argillose e miscele di sabbia e argilla (**SCec**), e da argille alterate giallastre (**CHec**). Tali depositi affiorano nel settore a nord-ovest della faglia principale, spesso ricoperti in discordanza dai depositi alluvionale recenti ed attuali, e terrazzati. Lo spessore è di circa 5 m.

Substrato geologico

– *Calcareniti organogene clinostratificate* affiorano nei settori rialzati dalle faglie, estesamente a sud-est dell'area di studio, a nord di Colle Roggio e infine nel settore settentrionale dell'area di studio in località Ranne. Tali depositi rappresentano la facies neritica del ciclo infrapleistocenico, e mostrano strutture tipiche di una deposizione sintettonica. Gli spessori variano da 15 m a 80 m.

Per le caratteristiche litologiche tali depositi sono stati assimilati a un substrato geologico rigido granulare cementato (**GRS**), anche se non si hanno certezze riguardo la rigidità, a causa della mancanza di dati.

– *Sabbie fossilifere e argille grigio-azzurre* alle quali le calcareniti organogene passano lateralmente e verso l'alto, hanno sicuramente caratteristiche di substrato geologico non rigido (**NR**). Nell'area di studio tali depositi sono presenti nel sottosuolo, ricoperti da una coltre di alterazione e dai depositi alluvionali, a nord-ovest della faglia principale. In particolare l'interpretazione dei dati di sottosuolo e l'elaborazione di profili geologici suggeriscono la presenza nel sottosuolo della facies sabbiosa esclusivamente a ridosso della faglia principale, con spessori notevoli, per poi passare lateralmente e verso l'alto in direzione nord-ovest alle argille grigio azzurre. Complessivamente lo spessore può superare i 50 m.

– *Lave bollose molto fratturate* infine affiorano nel settore di Colle Roggio e in località Ranne rappresentando un substrato geologico rigido molto fratturato (**LPSF**).



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile

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

I rapporti geometrici tra i litosomi cartografati (coperture e substrato) sono stati rappresentati in tre profili geologici di dettaglio a scala 1:2.000 (**Allegato 1**), redatti sulla base delle indagini di terreno e sull'interpretazione dei sondaggi geognostici disponibili (**Allegato 2**), ubicati direttamente sulle tracce dei profili o proiettati da aree limitrofe.

La scelta delle sezioni è stata fatta sulla base della loro rappresentatività dell'assetto geologico generale dell'area precedentemente descritto, nel tentativo di raffigurare in maniera esemplificativa i rapporti 2D tra le diverse litologie riscontrate in superficie.

La sezione verticale di terreno investigata dai profili è di circa 20 metri, in quanto si è deciso di vincolarla strettamente con la profondità dei sondaggi disponibili. Ciò è stato fatto per ridurre al minimo l'interpretazione speculativa degli stessi profili e per dare un quadro quanto più reale dei rapporti geometrici tra le varie unità distinte sul terreno.

Sezione litotecnica AA'

La sezione litotecnica AA' insiste nel settore meridionale dell'area oggetto di studio, ha un'orientazione ONO-ESE e uno sviluppo longitudinale di circa 600 metri attraverso la Contrada Portazza (**Allegato 1**). Il profilo topografico identifica un pendio debolmente degradante verso il suo settore occidentale, caratterizzato da una quota massima di 56 m s.l.m, nell'estremo settore orientale, e da una quota minima di 45 m s.l.m, nell'estremo settore occidentale. I lineamenti topografici sono condizionati dalla brusca variazione della costituzione litologica del letto e del tetto della faglia che è stata riconosciuta all'interno dell'abitato al bordo meridionale del Graben di Scordia-Lentini, la

cui terminazione meridionale, sepolta sotto i livelli alluvionali recenti, è stata attraversata dalla sezione. Nel profilo è possibile apprezzare che il letto della struttura è costituito da *Calcareniti organogene clinostratificate* (**GRS**). Il tetto ribassato della faglia è invece costituito da una successione di terreni (**NR**), che comprende *Sabbie limose fossilifere basali*, passanti lateralmente e verso l'alto alle *Argille grigio-azzurre*. Le sabbie e le argille non affiorano nella sezione in oggetto, perché ricoperte dai depositi di copertura, ma sono attraversate da numerosi sondaggi. Il passaggio tra le due litologie è attraversato dal sondaggio 089011P46, ad una profondità di circa 10 metri. A distanza di 90 m più ad est, il sondaggio 089011P52 attraversa solo le sabbie, che raggiungono spessori superiori ai 20 m, enfatizzando la presenza di un limite argille-sabbie fortemente immergente verso ovest ed incompatibile con la giacitura sub-orizzontale degli strati delle due formazioni. Ciò suggerisce, in accordo con i dati di letteratura (Pedley et al 2001), la natura parzialmente eteropica del passaggio delle sabbie con le sovrastanti argille. I dati di sottosuolo, coerentemente con quanto fin qui descritto, evidenziano che le *Argille grigio azzurre*, in virtù del passaggio eteropico con le sabbie, mostrano uno spessore progressivamente crescente nei settori centrali e occidentali della sezione, dove sono presenti fino al fondo pozzo dei sondaggi 089011P51 e 089011P45. Al tetto delle argille è stato ricostruito anche lo spessore della porzione alterata, indicata come *Argille alterate giallastre* (**CHec**). Lo strato di alterazione affiora nei settori centrali e occidentali della sezione studiata, dove raggiunge lo spessore massimo di circa 6 metri. I terreni affioranti all'interno del Graben di Scordia-Lentini, sono ricoperti in discordanza per larghi tratti dai *Depositi alluvionali recenti ed attuali* che in questa zona sono costituiti da *limi e limi argillosi di colore bruno scuro* (**OLin**). Tali depositi raggiungono lo spessore massimo di circa 6 metri. E' da rimarcare che tali depositi sigillano la faglia bordiera del graben, presente lungo la traccia del profilo.

Lungo il profilo sono rappresentati due limitati lembi, aventi uno spessore massimo di circa 4 metri, relativi a *Materiale di riporto eterogeneo in matrice sabbiosa-*



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

limoso-argillosa (Rizz). Il materiale di riporto è rappresentato quale riempimento di depressioni naturali modellate sui sottostanti terreni.

Sezione litotecnica BB'

La sezione litotecnica BB' attraversa il settore centro-meridionale dell'area oggetto di studio con un'orientazione circa parallela al precedente, ad una distanza di circa 1 km più a nord. Si sviluppa longitudinalmente per circa 750 metri (**Allegato 1**), attraversando nella sua porzione sud-orientale la faglia bordiera del graben, la cui presenza è testimoniata dalla stratigrafia di due perforazioni situate a meno di 60 metri di distanza (089011P2 e 089011P14), che attraversano successioni totalmente differenti, con la presenza delle *Calcarenti organogene clinostratificate* al letto della struttura e delle *Sabbie limose fossilifere* al tetto. I dati di sottosuolo nel settore più settentrionale (089011P3, 089011P1, 089011P4) evidenziano il passaggio laterale e verso l'alto dalle sabbie limose alle *Argille grigio azzurre*.

Questo profilo si caratterizza per una più articolata geometria delle coperture. Innanzitutto, è stato possibile riconoscere e valutare l'estensione e lo spessore dell'intervallo alterato al tetto delle *sabbie limose*, attraversato dalla perforazione 089011P2 ed indicato con la sigla **SCec**. Il profilo evidenzia inoltre la notevole continuità dell'intervallo alterato delle argille (*Argille alterate giallastre*; **CHec**), con uno spessore simile a quello riscontrato nel profilo precedente (max 6 m). Nel settore centrale della sezione affiorano diversi depositi alluvionali terrazzati in cui possiamo distinguere (dal basso): Depositati alluvionali terrazzati costituiti da ghiaie e sabbie (**GWtf**) aventi uno spessore max di circa 3 metri, *Depositati alluvionali terrazzati costituiti da limi e sabbie fini*

(**MHtf**) presentanti uno spessore massimo di 2 metri e infine *Depositi alluvionali terrazzati costituiti da sabbie limose e miscela di sabbia e limo* (**SMtf**) che raggiungono uno spessore massimo di 6 metri. I rapporti geometrici dei depositi terrazzati suggeriscono che il profilo attraversa perpendicolarmente l'alveo di un'asta torrentizia, ormai fossile, in cui sono riconoscibili lateralmente e inferiormente i depositi più grossolani sormontati dai depositi più fini.

Sui diversi livelli alluvionali, è stato riconosciuto un limitato lembo avente uno spessore massimo di circa 3 metri (sondaggio 089011P2) di *Materiale di riporto eterogeneo in matrice sabbiosa-limoso- argillosa* (**Rizz**).

Sezione litotecnica CC'

La sezione litotecnica CC' insiste nel settore centro-settentrionale dell'area oggetto di studio, nella zona della stazione di Lentini, con un'orientazione NE-SO e uno sviluppo longitudinale di circa 800 metri (**Allegato 1**).

Il profilo evidenzia che in questo settore il substrato è costituito da una monotona sequenza di *Argille grigio azzurre*, che sono caratterizzate al tetto da uno orizzonte uniforme di *Argille alterate giallastre* (**CHec**), che raggiungono i 9 m di spessore.

Lungo il profilo si è ricostruita la geometria dei depositi alluvionali che, nelle zone nordorientali, costituiscono il riempimento spesso circa 7 m di un paleoalveo, mentre verso sudovest rappresentano i resti di un letto fluviale, spesso al massimo circa 2 m, oggi ricoperto da una coltre di *Materiale di riporto eterogeneo in matrice sabbiosa-limoso- argillosa* (**Rizz**) che raggiunge lo spessore massimo di 4 m. All'interno del paleoalveo sepolto, attraversato dai sondaggi 089011P26, 089011P16 e 089011P23, si riconoscono sia depositi terrazzati costituiti *da sabbie limose e miscela di sabbia e limo* (**SMtf**), che costituiti da *sabbie limose o argillose e limi argillosi* (**MLtf**). Alluvioni a prevalenza argilloso-limosa, simili alle precedenti, costituiscono il letto fluviale sepolto



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

nei settori sudoccidentali. La presenza al tetto di queste alluvioni di ingenti volumi di materiale di riporto è probabilmente da attribuire ai lavori di costruzione della ferrovia.

L'analisi dei dati di superficie unita alla descrizione delle sezioni geologiche tracciate permette di estrapolare alcune considerazioni di massima da utilizzare in seguito nella ricostruzione del modello geologico di riferimento per la microzonazione. Il sottosuolo dell'area studiata è fortemente influenzato dalla presenza di una delle faglie segnalate nella cartografia geologica quale elemento del bordo meridionale del Graben di Scordia-Lentini. Seppure tale faglia ad alto angolo orientata circa NE-SO immergente verso NO non mostri chiari segni di riattivazione recente, essa ha comunque giocato il ruolo di limite tettonico tra aree a diversa evoluzione che si è tradotta in due distinte successioni stratigrafiche aventi caratteristiche totalmente diverse.

Il settore sud-orientale ubicato nel lato rialzato della faglia è caratterizzato dall'affioramento delle calcareniti che costituiscono un substrato rigido e dalla scarsità in affioramento di depositi di copertura. Il settore centrale e settentrionale dell'area studiata, ubicata nel settore ribassato della faglia è costituita da depositi sabbiosi evolventi verso l'alto ad argille di notevole spessore, a giacitura sub orizzontale. Tali depositi rappresentano complessivamente un substrato geologico non rigido e sono caratterizzati al tetto da un apprezzabile spessore di alterazione. Questo settore al contrario di quello precedente vede, inoltre, l'affioramento di estesi depositi di copertura alluvionale, giacenti in discordanza sul substrato che riempiono degli alvei di torrenti generalmente non più attivi.

4. Dati geotecnici e geofisici

I dati geotecnici utilizzati ai fini della caratterizzazione dei terreni che costituiscono il sottosuolo dell'area di studio si riferiscono a precedenti studi di "Microzonazione sismica di zone di P.R.G." del Comune di Lentini eseguiti successivamente all'evento sismico del 13 dicembre del 1990. A tali dati si aggiungono le informazioni contenute nella relazione allegata al PRG del Comune di Lentini che, in assenza dei dettagli sulle stratigrafie delle singole perforazioni considerate e delle profondità di prelievo dei circa 180 campioni analizzati, comunque forniscono un quadro di insieme dei risultati delle indagini disponibili.

Nella relazione allegata nel PRG, si fa riferimento alle caratteristiche meccaniche dei terreni attraversati da diversi sondaggi che possono essere riassunti in alcuni punti essenziali:

1. I terreni del substrato sono caratterizzati da peso di volume variabile tra 1,83 e 2,05 g/cm³;
2. I terreni di copertura hanno peso di volume oscillante tra 1,83 e 1,88 g/cm³;
3. Le variazioni del contenuto d'acqua naturale sono comprese tra il 23%, per i terreni del substrato, e il 36% nei terreni di copertura;
4. Il grado di saturazione è compreso tra il 96% e 100%, con i valori più bassi relativi al substrato;
5. I terreni di copertura sono caratterizzati da una grande componente limoso-argillosa (Fig. 12);

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



Fig. 12 - Fuso granulometrico entro il quale sono comprese le curve granulometriche relative alla sola frazione minore di 2 mm dei campioni analizzati negli studi per il PRG.

6. I terreni di copertura mostrano una matrice argillosa che rientra nei parametri classificativi (Indice di plasticità su Limite di Liquidità) a cavallo tra i campi CH e CL, con caratteri propri delle argille e limi ad alta compressibilità (Fig. 13);
7. I terreni argillosi del substrato ricadono anch'essi a cavallo dei campi CH e CL del diagramma di plasticità, con caratteristiche tipiche delle argille mediamente plastiche con compressibilità da media ad alta;
8. I terreni argillosi presentano un'elevata dispersione dell'Indice di Consistenza ($W_L - W/IP$), con una maggiore concentrazione tra i valori 0.7 e 1, riscontrata a profondità tra i 6 ed i 7 m (Fig. 14);

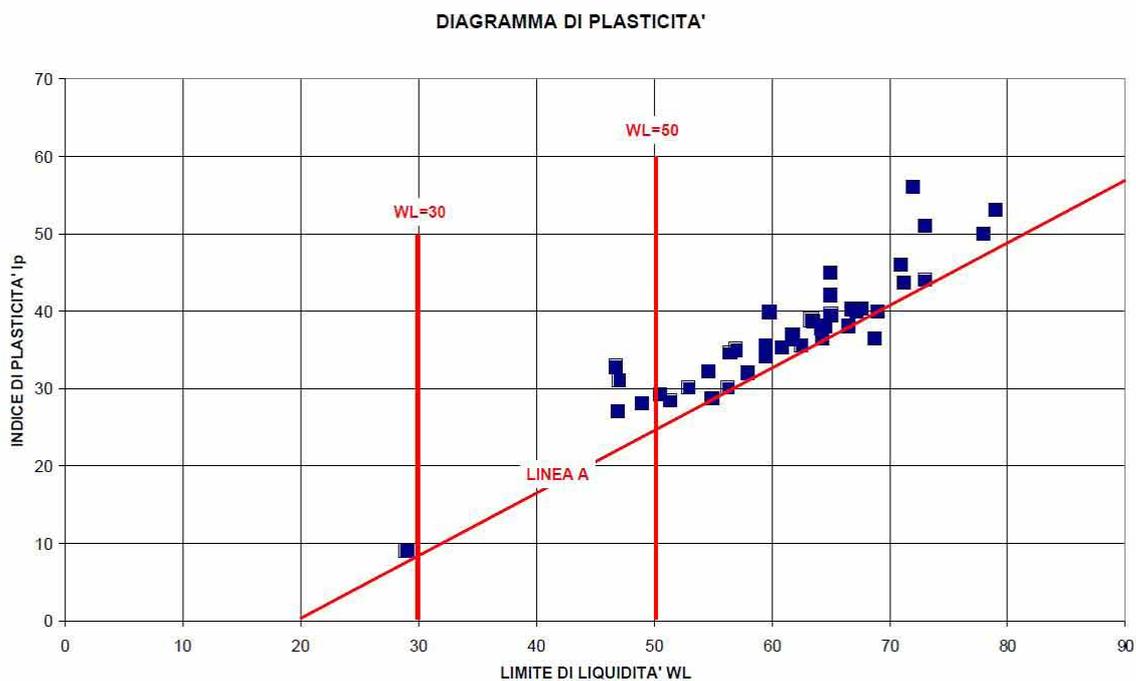


Fig. 13 – fuso granulometrico entro il quale sono comprese le curve granulometriche relative alla sola frazione minore di 2 mm dei campioni analizzati negli studi per il PRG.

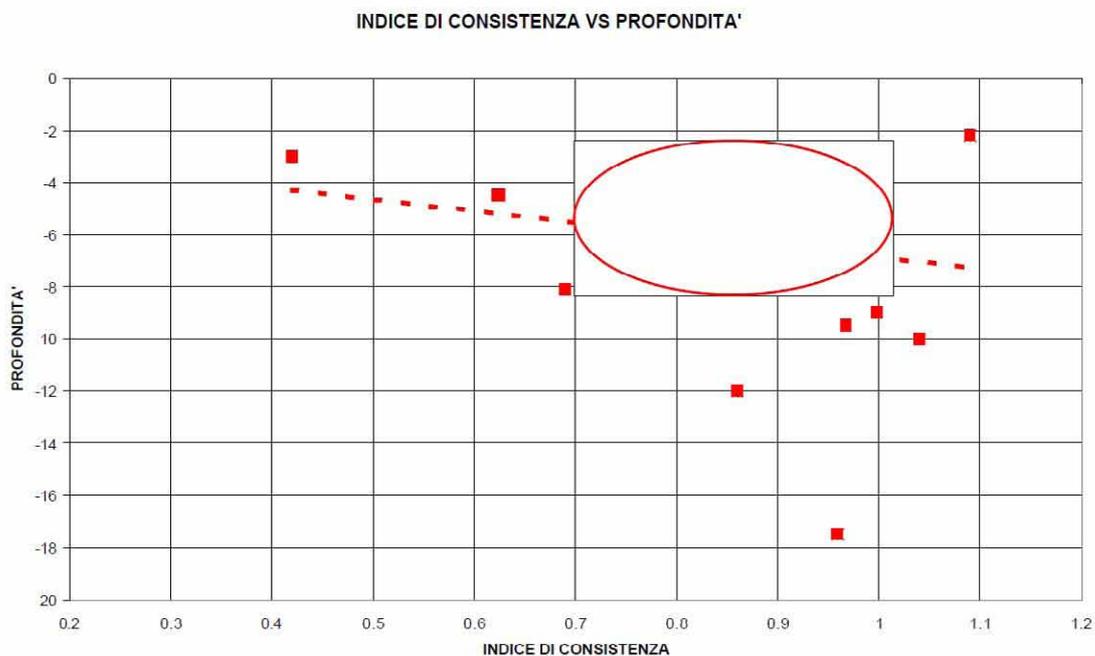


Fig. 14 – valori dell'Indice di Consistenza calcolati per diversi campioni argillosi negli studi per il PRG

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

9. I terreni argillosi del substrato mostrano valori dell'angolo di attrito interno che variano tra 15° e 8° e valori di **cu** (coesione non drenata) compresi tra 1 e 1.5 kg/cm²

I dati geotecnici direttamente consultabili derivano da un complessivo di 205 indagini puntuali, delle quali 185 pregresse, relative a precedenti studi di microzonazione, e 20 (HVSR) realizzate dall'Università di Catania nel corso del presente studio, al fine di redigere una carta delle frequenze. L'insieme delle indagini puntuali prese in considerazione (per l'ubicazione si veda la carta delle indagini) sono riassunte e conteggiate per tipologia nella sottostante tabella (Tab. 2):

Tot. Ind. Punt.	Geotecnica di laboratorio (GL)				Geotecnica in sito (GS)	Geologia (GG)		Geofisica (GF)			Totale			
	SM	ED	CU	UU	SPT	SS	SC	HVSR	DH	UH	GL	GS	GG	GF
205	10	8	6	4	47	40	10	38	39	3	28	47	50	80

Tab. 2 – Insieme delle indagini 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"

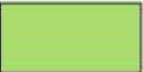
I terreni oggetto di studio sono stati classificati utilizzando il sistema USCS (Tab. 3):

TERRENI A GRANA FINE		TERRENI A GRANA GROSSA	
Passante al setaccio n.200 > 50 %		Trattenuto al setaccio n.200 > 50%	
$w_1 \geq 50 \%$	$w_1 < 50 \%$	% Sabbia % Ghiaia Passante al setaccio n. 4 > 50%	% Ghiaia > % Sabbia Trattenuto al setaccio n.4 > 50%
Organico w_1 (essiccato)/ w_1 (naturale)	Inorganico	pass. 200 > 12%	pass. 200 < 5%
			pass. 200 < 5%
			$Cu \geq 4$ e $1 < Cc < 3$
			$Cu \geq 4$ e/o $Cc > 3$
			% fine ML o MI
			% fine CL o CH
			GP-GM
			GP-GM
			GP-GC
			% fine ML o MH
			% fine CL o CH
			GP-GC
			% fine ML o MH
			% fine M e C
			GC-GM
			% fine CL o CH
			GC
			SW
			$Cu \geq 6$ e $1 < Cc < 3$
			$Cu < 6$ e/o $Cc > 3$
			% fine ML o MH
			SW-SM
			% fine CL o CH
			SW-SC
			% fine ML o WI
			SP-SM
			% fine CL o CH
			SP-SC
			% fine ML o MH
			SM
			% fine M e C
			SC-SM
			% fine CL o CH
			SC
			CL
			Ip > 7 sopra Linea A
			Ip < 4 sotto Linea A
			4 < Ip < 7 sopra Linea A
			CL-ML
			ML
			OH
			CH
			MH
			OL
			Ghiaie pulite con granulometria ben assortita miscele di ghiaia e sabbia
			Ghiaie pulite con granulometria poco assortita miscele di ghiaia e sabbia
			Ghiaia limosa ben assortita
			Ghiaia argillosa ben assortita
			Ghiaia limosa poco assortita
			Ghiaia argillosa poco assortita
			Ghiaia limosa, miscele di ghiaia sabbia e limo
			Ghiaia limosa e argillosa
			Ghiaie argillose, miscele di ghiaia, sabbia e argilla
			Sabbie pulite con granulometria ben assortita sabbie ghiaiose
			Sabbie pulite con granulometria poco assortita miscele di ghiaia e sabbia
			Sabbia limosa ben assortita
			Sabbia argillosa ben assortita
			Sabbia limosa poco assortita
			Sabbia argillosa poco assortita
			Sabbie limose miscele di sabbia e limo
			Sabbie limose e argillose
			Sabbia argillose miscele di sabbia e argilla
			Argille inorganiche di medio-bassa plasticità
			Argilla limosa o limo argilloso di bassa plasticità
			Argille inorganiche di medio alta plasticità, limi organici
			Argille inorganiche di elevata plasticità
			Limmi inorganici
			Limmi organici argille limose organiche di bassa plasticità

Tab.3 - Classificazione dei terreni secondo il sistema USCS

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

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 di seguito riportata (Tab. 4):

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

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

I terreni affioranti nell'area e riconosciuti nella stratigrafia dei sondaggi sono stati, quindi, raggruppati secondo le categorie previste dalla legenda. Per ogni categoria riconosciuta, si sono raccolte tutte le informazioni disponibili sui principali caratteri geotecnici che sono stati riassunti nella serie di schede riportate nell'**Allegato 3** alla presente relazione. Nelle schede, per ciascun campione è riportato il sondaggio contraddistinto dall'"identificativo sito puntuale" (ID_SPU), la profondità di campionamento e l'attribuzione ad una delle unità litotecniche riconosciute. Dalla differente articolazione delle diverse schede è possibile apprezzare che il quadro delle informazioni acquisite è estremamente variabile per le diverse unità litologiche, a causa della disomogenea distribuzione dei dati puntuali (v. carta delle indagini) che non garantiscono una copertura uniforme delle conoscenze per tutte le formazioni.

I dati provenienti dagli studi disponibili sono in buon accordo con quanto riportato nello studio del PRG e possono essere sintetizzati in alcuni punti significativi ai fini della microzonazione di primo livello:

- 1 Le caratteristiche del substrato geologico si riferiscono alle sole successioni argillose di riempimento del Graben di Scorida-Lentini che mostrano proprietà meccaniche simili a quelle evidenziate per gli studi del piano regolatore;
- 2 Il substrato argilloso comunque costituisce un orizzonte a plasticità da media ad elevata e mostra indici di consistenza generalmente minori all'unità, anche a profondità di 18 m e pertanto non è designabile quale substrato rigido;
- 3 Le coperture mostrano parametri meccanici generalmente scadenti, fatta eccezione per alcuni orizzonti sabbioso-ghiaiosi rientranti nella categoria di terreni SC, GM e SP, per i quali sono disponibili solo informazioni derivanti da prove in situ tipo SPT;
- 4 I precedenti studi di microzonazione segnalano la presenza di una falda all'interno dei livelli alluvionali sabbioso-conglomeratici, che risulta confinata laddove ricoperta dai livelli alluvionali più recenti, a prevalenza limosa, caratterizzati da una elevata plasticità, in quanto saturi in acqua per fenomeni di risalita capillare.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

I dati geofisici disponibili sono stati raccolti nel corso di precedenti studi di microzonazione sismica effettuati nell'area, al fine di definire le velocità delle onde sismiche nei diversi orizzonti presenti nel sottosuolo e per valutare le frequenze proprie di oscillazione dei diversi siti. Per perseguire il primo obiettivo sono state realizzate una serie di indagini di Down-hole e prove di Up-hole realizzate su fori con profondità di fondo pozzo comprese tra i 15 e 24 m.. I risultati di queste analisi sono in buon accordo con i parametri ricavati indipendentemente dalle indagini geotecniche e hanno permesso di ricostruire un quadro sintetico delle velocità delle onde sismiche nei diversi litotipi attraversati che, in mancanza di ulteriori dati, può comunque essere preso come riferimento ai fini del presente studio di microzonazione di primo livello. In particolare le V_s misurate per le argille variano tra 0,21 e 0,45 km/s, per le sabbie tra 0,34 e 0,61 km/s e per le alluvioni tra 0.15 e 0.33 km/s. E' interessante notare che tali valori, anche quando riferibili ai terreni assegnati al substrato geologico, non permettono di identificare nei primi 24 metri di profondità il substrato rigido, in tutto il settore interessato dai precedenti studi di microzonazione, estesi in un'ampia fascia del bordo meridionale del Graben di Scordia-Lentini, da Contrada Burrione fino a Contrada Portazza. Il dettaglio delle prove Down-hole e Up-hole disponibili, al fine di collegare i valori ottenuti alle stratigrafie dei diversi sondaggi sono state sintetizzate nell'**Allegato 3** (Tabb. 13-17).

Per quanto concerne la determinazione delle frequenze di sito, sono state realizzate 20 misure di microtremore ambientale (noise), distribuite sull'intero territorio comunale, i cui risultati sono sintetizzate nell'allegata carta delle frequenze, nella quale per ogni punto di misura sono riportate le frequenze alle quali il moto del terreno viene

amplificato per risonanza stratigrafica e l'entità dell'amplificazione quantificata sulla base del rapporto H/V (rapporto tra le componenti spettrali orizzontali, H, e verticale, V, del moto del suolo). Per il dettaglio sulla tecnica adottata si rimanda all'**Allegato 4** alla presente relazione. I risultati ottenuti indicano che le frequenze di risonanza sono comprese tra 0.63 e 5.4 Hz, con amplificazioni molto variabili da punto a punto con picchi massimi registrati nelle aree di affioramento delle coperture con caratteristiche meccaniche più scadenti. Tali picchi sono associati a frequenze proprie di oscillazioni differenti, riferibili a discontinuità stratigrafiche ubicate a profondità differente, da sito a sito. In particolare la misura effettuata nel centro cittadino nella zona di affioramento delle calcareniti clinostratificate evidenzia una tendenza contenuta all'amplificazione associata a bassa frequenza, a suggerire la presenza di un contrasto di impedenza sismica molto profondo.

Durante uno studio realizzato allo scopo di verificare la presenza di effetti di sito nella distribuzione dei danni causati dal terremoto del 1990 a Lentini (Rigano et al., 2006; Lombardo et al., 2007), sono state realizzate misure di noise ambientale su differenti litotipi affioranti sia a NO che a SE della faglia che interessa il centro urbano del Comune di Lentini. A NO della faglia sono state calcolate le funzioni di trasferimento dal bedrock alla superficie mediante la tecnica dei rapporti spettrali H/V (Nakamura, 1989). I rapporti spettrali così ottenuti mostrano la presenza di picchi significativi di amplificazione sia nei siti ubicati sui terreni alluvionali sia sulle argille pleistoceniche. Sono state inoltre realizzate delle modellazioni 1-D le quali indicano che la superficie di discontinuità, che limita inferiormente il pacco di sedimenti soffici responsabili delle amplificazioni osservate, si trova a profondità di circa 50 m. Gli Autori evidenziano che gli effetti di sito riscontrati sono attribuibili oltre che alla presenza di alluvioni e argille, anche all'esistenza di sottostanti livelli calcarenitici in facies sabbiosa e poco cementata. A SE della faglia, inoltre, i risultati dell'HVSR da misure realizzate in vicinanza di cavità, mostrano una forte amplificazione della componente orizzontale nei siti localizzati sulla



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77
volta delle cavità. Inoltre, sono state osservate ulteriori amplificazioni dei picchi spettrali
del rumore ambientale in vicinanza di scarpate.

5. Modello del sottosuolo

Il modello geologico ricostruito per il territorio comunale di Lentini, la cui geometria è stata già ampiamente descritta nei paragrafi precedenti, è stato essenzialmente basato sui rilievi di superficie e tarato, per quanto attiene lo spessore dei livelli più superficiali, con le stratigrafie dei sondaggi disponibili. Con queste premesse è stato possibile ricostruire le successioni stratigrafiche, tipiche dei differenti settori, da utilizzare per definire il comportamento omogeneo delle varie zone (v. carta delle zone omogenee in prospettiva sismica).

La varietà laterale della successione stratigrafica è dovuta al differente substrato geologico nelle aree a nord e a sud della faglia bordiera del Graben di Scordia–Lentini cui si associano localmente differenti geometrie dei terreni di copertura. Va sottolineato che in nessun caso è stato possibile definire la profondità del substrato rigido, con caratteri tipici di un bedrock sismico. Tale substrato va ricercato a profondità oltre i 50 m (Rigano et al., 2006) nelle zone a nordovest della faglia bordiera, dove il substrato geologico è costituito nei livelli più superficiali da argille a comportamento plastico, con velocità delle onde sismiche di taglio comprese tra i 400 m/s e i 320m/s, e dal sovrastante orizzonte di alterazione, con Vs che diminuiscono fino a 250–210 m/s. In queste zone si sono registrati sia effetti di amplificazione del microtremore ambientale a basse frequenze, relative al contatto tra livelli argillosi superficiali e il bedrock sepolto, sia effetti locali a

più alta frequenza, legati al contrasto di impedenza sismica tra coperture con scarsissime caratteristiche meccaniche e il substrato geologico argilloso. A sudest della faglia, laddove il substrato è costituito dalle calcareniti clinostratificate, la totale mancanza d'informazioni sulla velocità di propagazione delle onde sismiche non consente un'univoca interpretazione dei terreni affioranti quale bedrock sismico. Le uniche determinazioni di V_s disponibili si riferiscono a livelli a predominanza sabbiosa, eteropici delle argille a nordovest della faglia, che indicano valori massimi di 610 m/s, ben al di sotto delle velocità previste per designare la presenza del bedrock. Per la mancanza d'informazioni da indagini di sottosuolo pregresse, il modello del sottosuolo di questo settore è stato basato essenzialmente sulla ricostruzione delle successioni esposte lungo i fianchi delle valli fluviali fortemente incise nel substrato geologico. Tali successioni non sono confrontabili con quelle attraversate dai sondaggi a nord della faglia, a dimostrazione del ruolo fondamentale della struttura, non solo quale elemento di dislocazione, ma anche di controllo delle facies sin-tettoniche. L'effetto di amplificazione seppur minimo misurato sul substrato affiorante, associato a frequenze di oscillazioni molto basse, sembrerebbero suggerire la presenza del reale bedrock sismico a profondità abbastanza elevate, ben oltre la profondità di reincisione delle valli fluviali. Tale evidenza è stata segnalata anche in studi precedenti (Rigano et al., 2006) che hanno verificato fenomeni di amplificazione sulle calcareniti clinostratificate

In generale, la geologia di superficie risulta indicativa delle zone passibili di amplificazioni con frequenze più elevate. La delimitazione in pianta delle zone soggette a potenziali amplificazioni a più bassa frequenza non seguono necessariamente limiti geologici esposti in superficie, ma in molti casi le zone sono delimitate da aree derivanti dall'interpolazione dei dati di sottosuolo, con gradi di incertezza funzione della densità delle informazioni.

Va rilevato, infine, che gran parte delle coperture è presente nel settore a nord della faglia, dove si registra, conseguentemente, la maggiore articolazione della geometria di



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile

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

sottosuolo nelle ultime decine di metri, con passaggi laterali anche bruschi tra orizzonti di copertura caratterizzati da Vs variabili da 310 m/s, del tutto confrontabili con quelle delle sottostanti argille del substrato, a 70 m/s, con effetti locali molto differenziati.

6. Interpretazioni ed incertezze

Nel territorio comunale di Lentini, i dati pregressi utilizzati si riferiscono a differenti studi commissionati dall'Amministrazione comunale che mostrano tra loro una discreta coerenza dei dati forniti e delle conclusioni cui pervengono. Va segnalato, inoltre, che il modello geologico ricostruito sulla base della profonda revisione dei rilievi geologici condotti per la realizzazione del PRG ha trovato puntuale riscontro nelle stratigrafie dei sondaggi disponibili per l'area. La validità della ricostruzione della geometria in sottosuolo dei diversi orizzonti stratigrafici affioranti è risultata inoltre coerente con le profondità cui sono stati prelevati i campioni assegnati alle diverse unità litotecniche (vedi tabelle **Allegato 1**).

Un punto di debolezza dello studio risiede nella disomogenea distribuzione dei dati di sottosuolo resi disponibili dagli Enti, che hanno impedito una verifica puntuale del modello geologico sull'intera area. Infatti, le indagini in nostro possesso sono state realizzate nell'ambito degli studi di di microzonazione sismica, a seguito dell'evento sismico del 13 dicembre del 1990. Studi che hanno riguardato tuttavia esclusivamente le zone della stazione di Lentini, C/da Portazza, C/da Burione e S. Antonio, ricoprendo di fatto la fascia centrale, allungata in direzione nord-sud, dell'area di studio. Rimangono dunque scoperte l'area che si estende a sud-est di tale fascia, caratterizzata

principalmente dalla presenza delle calcareniti pleistoceniche (**GRS**), e l'area a ovest della sopradetta fascia, in cui affiorano estesamente terreni alluvionali.

Nelle successive fasi di approfondimento andrebbero, dunque, caratterizzate dal punto di vista geotecnico le calcareniti pleistoceniche che costituiscono il substrato geologico nell'area a sud dell'abitato. Inoltre, le lacune di conoscenza hanno impedito la definizione, all'interno dell'abitato, di aree di affioramento del substrato rigido con caratteristiche tali da rendere le aree stabili da un punto di vista sismico.

Ulteriori approfondimenti andrebbero sicuramente riservati agli estesi affioramenti dei depositi alluvionali, che dovrebbero essere meglio caratterizzati dal punto di vista granulometrico, e ad una accurata definizione delle curve isopiezometriche della falda superficiale in tali terreni, al fine di poter individuare quelle aree potenzialmente soggette a fenomeni di liquefazione (vedi capitolo 7).

I dati di superficie ed i sondaggi utilizzati non hanno consentito, infine, di definire la natura, i caratteri geotecnici e la geometria del bedrock sismico, anche nei settori più settentrionali, che rimangono obiettivi imprescindibili nelle successive fasi d'approfondimento.

7. Metodologie di elaborazione e risultati

I dati di base e gli elaborati cartografici utilizzati (vedi elenco in capitolo 1), riguardanti diversi aspetti dell'assetto geologico dell'area comunale (geologia, idrogeologia, geomorfologia e pericolosità sismica), sono caratterizzati da un dettaglio variabile dalla grande scala (1:25.000) 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



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

peso delle informazioni di maggiore dettaglio risulta essere preponderante. In particolare le carte geomorfologica e della pericolosità sismica a scala 1:2.000 hanno fornito informazioni molto utili per l'individuazione delle coperture detritiche, dei movimenti franosi e delle aree soggette a possibili fenomeni di liquefazione. Per quanto riguarda, invece, la mappatura dei terreni affioranti e dei principali lineamenti tettonici, a seguito di accurate verifiche di terreno unitamente all'analisi di aerofotogrammetrie, si è dovuto procedere ad una sostanziale revisione dei dati forniti. In questo senso, un ruolo fondamentale è stato rivestito dalle indagini puntuali (principalmente sondaggi a carotaggio continuo, dow-hole e up-hole), messe a disposizione dall'amministrazione comunale di Lentini, analizzate e archiviate secondo gli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica Versione 2.0beta-II". Grazie all'integrazione tra i rilievi di terreno e i dati derivanti dall'interpretazione dei sondaggi geognostici 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, con un'accuratezza variabile in base alla densità delle indagini a disposizione, è stato possibile definire le zone stabili suscettibili di amplificazione locali, 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). Tra gli elementi a nostra disposizione si elencano: la morfologia superficiale, la litostratigrafia, la caratterizzazione geotecnica dei terreni (laddove si dispone delle analisi di laboratorio di campioni indisturbati), profili di velocità delle onde s (V_s)(solo in presenza di indagini geofisiche a supporto). 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. 15). Nel secondo step è stata costruita una carta dell'energia del rilievo, definita come il dislivello massimo (in metri) esistente in ciascuna superficie unitaria (Ciccacci et al., 1988) che nel caso specifico è un quadrato di 100 metri di lato (Fig. 16). 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. 17). Risulta evidente che tali pendii sono concentrati nel settore sud-est dell'area di studio, dove le calcareniti pleistoceniche sono profondamente incise dai corsi d'acqua. In questa zona sono state realizzate due sezioni topografiche in scala 1:5.000 (**Allegato 5**), dirette NE-SO, come richiesto negli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica" (Gruppo di lavoro MS, 2008).

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

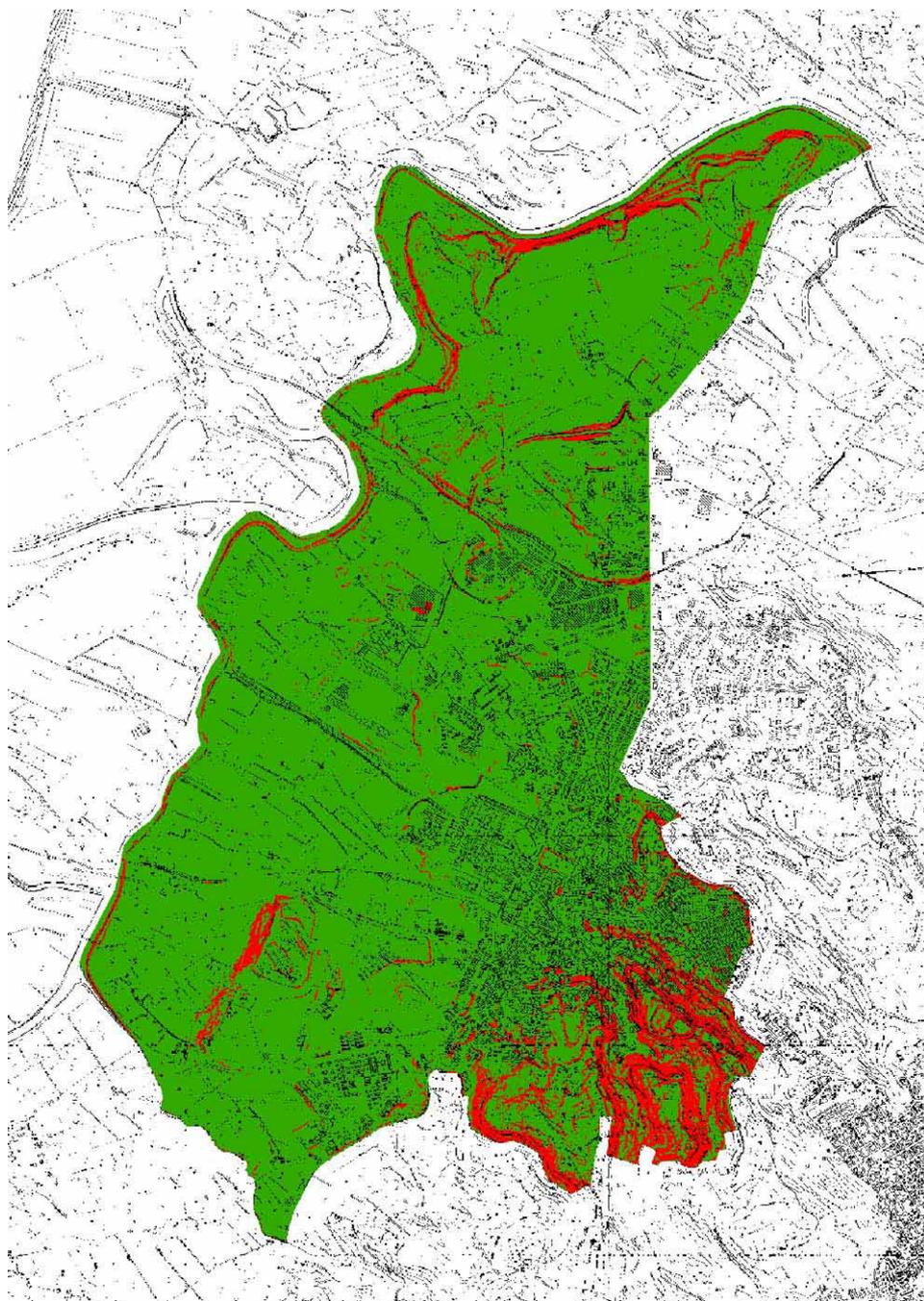


Fig. 15 - Carta delle inclinazioni dell'area di studio. Sono distinte inclinazioni $< 15^\circ$, in verde, e $> 15^\circ$, in rosso.

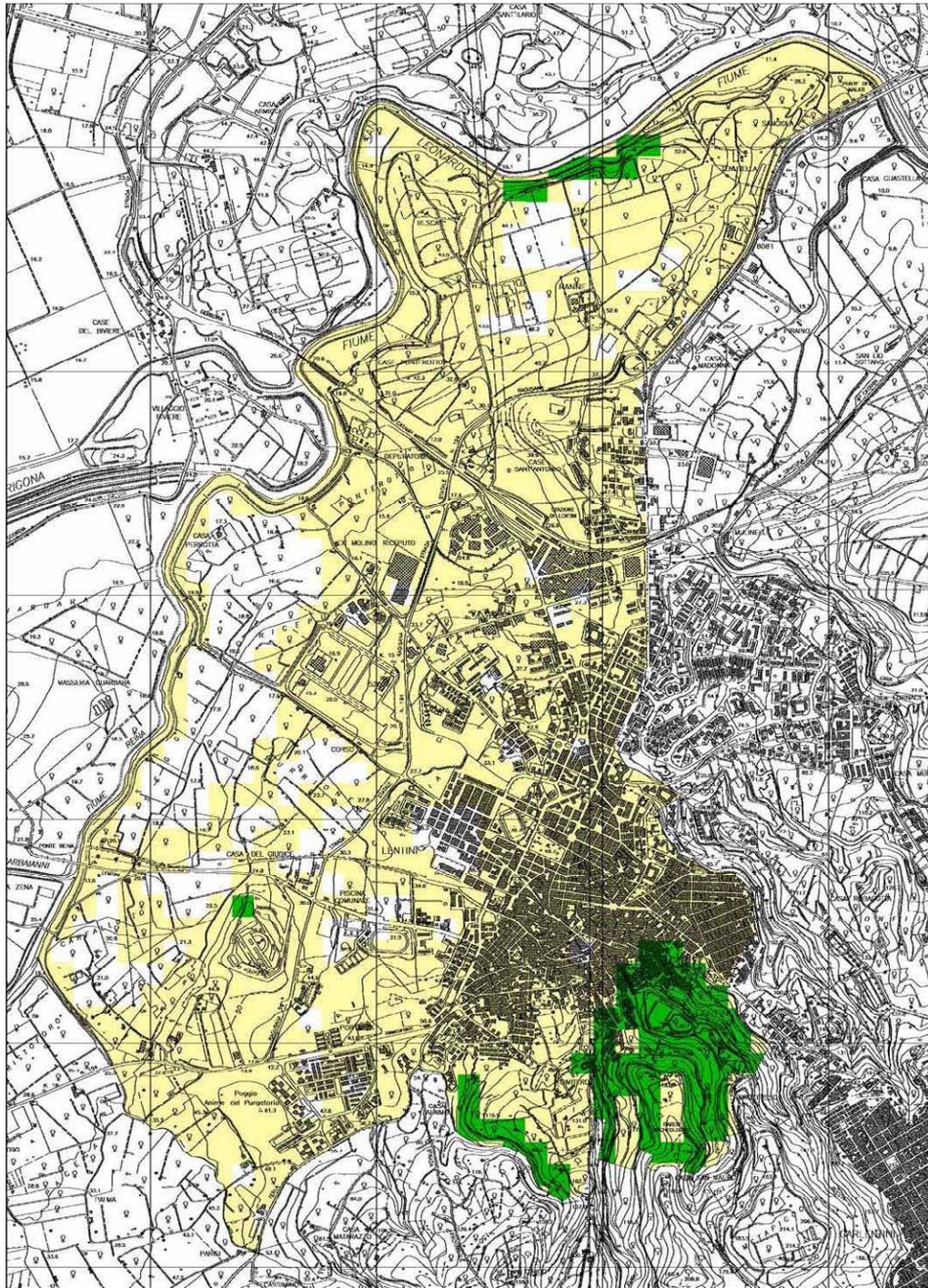


Fig. 16 - Carta dell'energia del rilievo dell'area di studio . Sono distinti dislivelli < 30 m, in bianco e in giallo, e > 30 m, in verde.

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

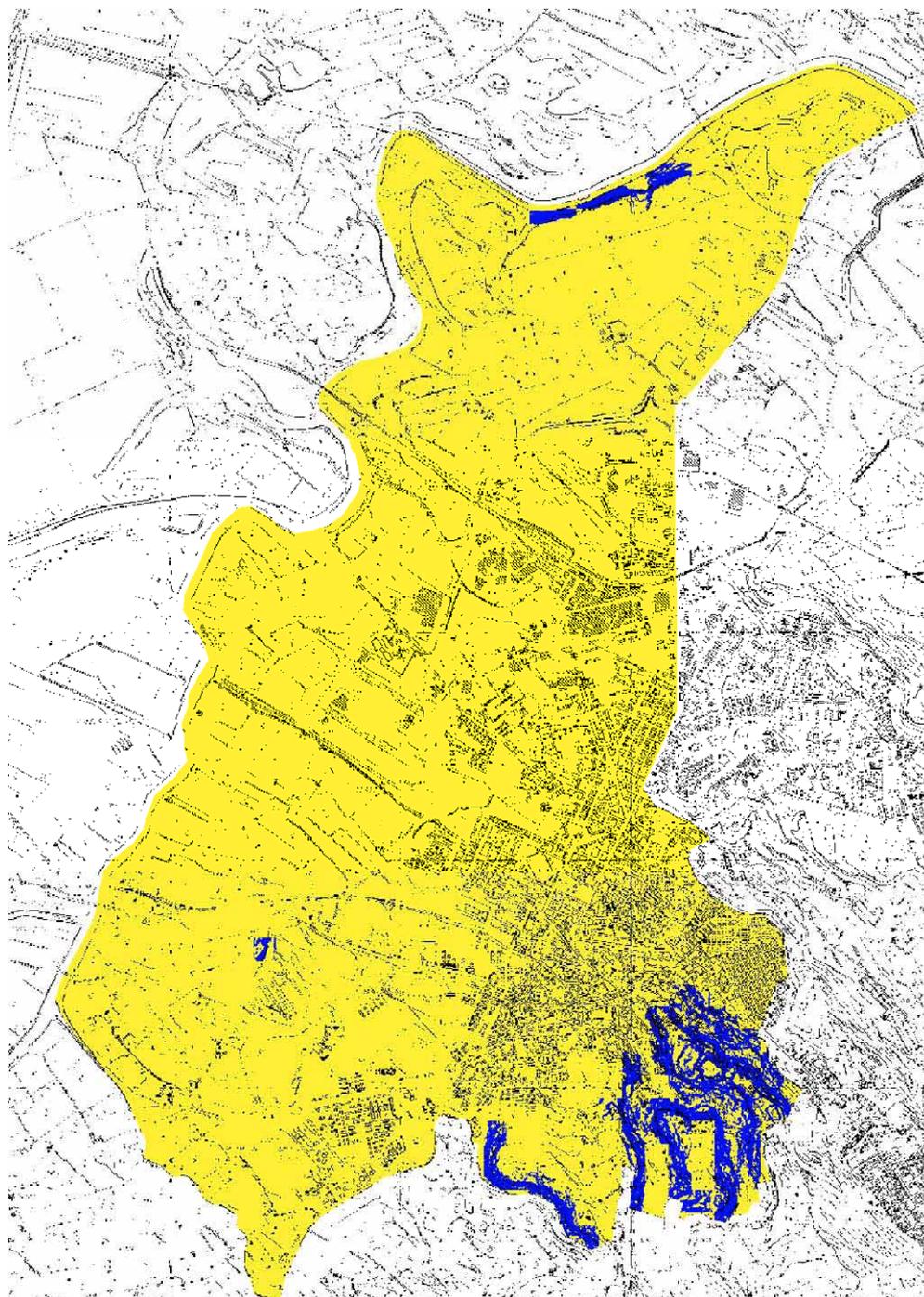


Fig. 17 - Carta dell'amplificazione topografica dell'area di studio . Le aree potenzialmente soggette ad amplificazione topografica sono evidenziate in blu.

Per quanto riguarda le instabilità manifeste e potenziali, si è fatto riferimento agli studi pregressi del PAI (Fig. 18) che hanno trovato riscontro anche dalle analisi morfologiche condotte nell'area tramite analisi di fotogrammetrie e verifiche di terreno nelle aree soggette a fenomeni carsici o ad instabilità di versante. Nella "Carta dei dissesti" del PAI vengono riportati quei dissesti già segnalati nella "carta della pericolosità geologica" dello studio geologico a supporto del P.R.G. Sono stati dunque censiti i seguenti 8 dissesti:

093I-8LE-001: Vallone Ruccia ("ID_i = 7" della feature class "Instab")

093I-8LE-002: Vallone S. Eligio ("ID_i = 6" della feature class "Instab")

093I-8LE-003: Castellaccio ("ID_i = 4" della feature class "Instab")

093I-8LE-004: Quartiere Roggio ("ID_i = 4" della feature class "Instab")

093I-8LE-005: Zona via Sassari e via Gondar ("ID_i = 3" della feature class "Instab")

093I-8LE-006: Vie S. Francesco e Pirandello ("ID_i = 14" della feature class "Instab")

093I-8LE-007: Via Amba Aradan ("ID_i = 2" della feature class "Instab")

093I-8LE-008: Via San Biagio ed Erodico ("ID_i = 3" della feature class "Instab")

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

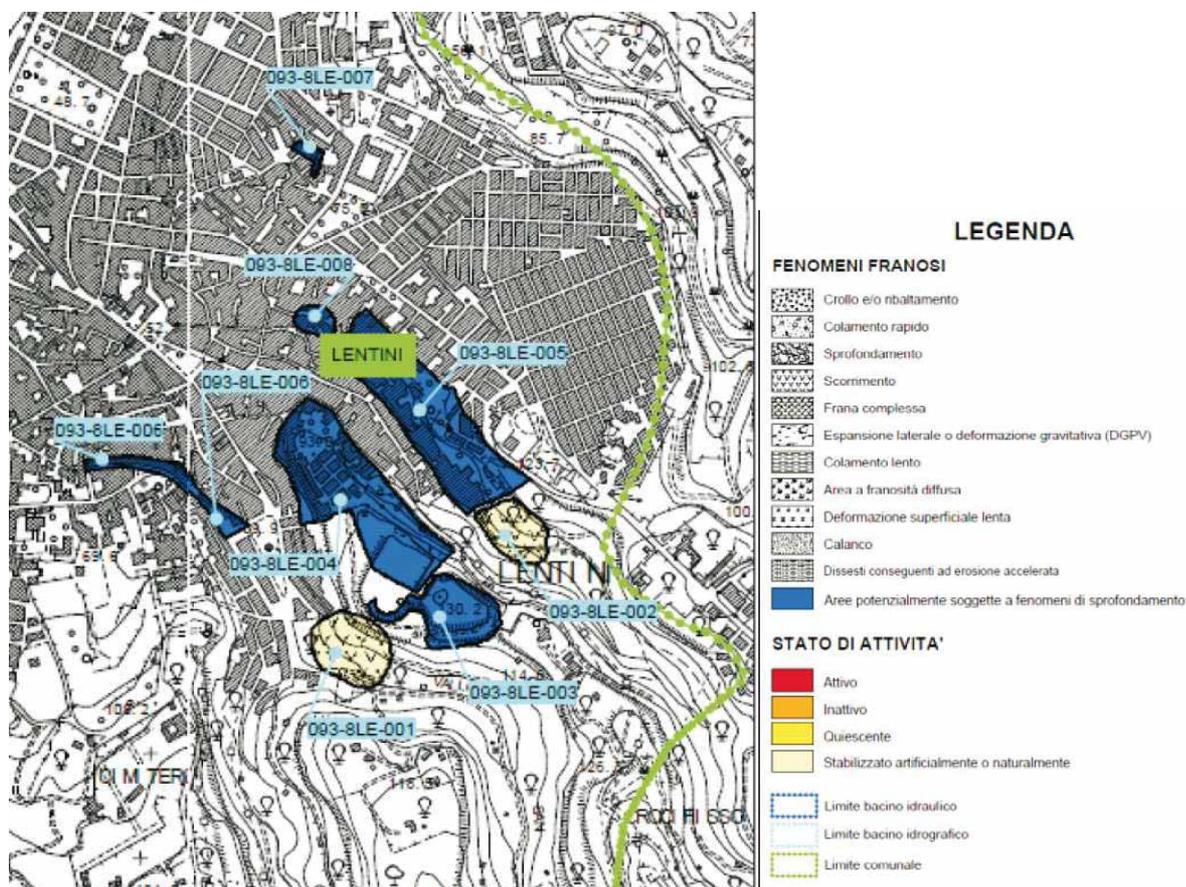


Fig. 18 – Stralcio della “Carta dei dissesti N° 11-12” (SS D 640120–641090) del PAI.

Nello studio geologico a supporto del P.R.G., le prime due aree vengono riportate a seguito di uno studio di Nicoletti e Catalano pubblicato sul Bollettino della Società Geologica Italiana, n° 119 anno 2000. Gli Autori hanno rilevato la presenza di frane di scorrimento rotazionale sviluppatesi nelle calcareniti pleistoceniche, attivate dai forti terremoti del 1169 e 1693, definendo questi fenomeni come riattivabili. Nella “Carta dei dissesti” del PAI (Fig. 18) le due frane vengono considerate di scorrimento stabilizzate artificialmente o naturalmente, anche se vengono segnalati “distacchi di blocchi che

hanno lasciato delle cavità molto evidenti” nelle calcareniti. Nel presente studio si è fatto riferimento alla classificazione adottata dal PAI.

Lo studio geologico del P.R.G. ha individuato altre 6 aree dove la presenza di ingrottati naturali o artificiali (cave sotterranee di tufo calcareo), determina condizioni di instabilità potenziale per il possibile sprofondamento della volta delle cavità stesse (Fig. 19 e 20). Tali aree sono state riportate nella “Carta dei dissesti” del PAI (Fig. 18) come “Aree potenzialmente soggette a fenomeni di sprofondamento”.



Fig. 19 - Fenomeni di crollo nelle calcareniti pleistoceniche. Dal Piano Stralcio di bacino per l’Assetto Idrogeologico (PAI) della Regione Siciliana – Relazione generale.

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



Fig. 20 – Fenomeni di crollo nelle calcareniti pleistoceniche. Dal Piano Stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI) della Regione Siciliana – Relazione generale.

Nel presente studio, le aree segnalate dal PAI sono state in gran parte estese per comprendere altre zone limitrofe in cui i rilievi di campagna hanno evidenziato la presenza di cavità nelle calcareniti pleistoceniche non riportate nella cartografia esistente. Un'altra zona potenzialmente soggetta a cedimenti differenziali si può individuare laddove la faglia principale (vedi capitolo 3) mette a bruscamente a contatto due unità litologiche a competenza estremamente diversa, quali le calcareniti pleistoceniche e le Argille grigio-azzurre. In questo studio è stata dunque segnalata una fascia, ampia 10 metri, che si sviluppa interamente nel blocco letto della faglia, dove affiorano le calcareniti. Inoltre nel Progetto Sinkhole, consultabile presso il “Portale del Servizio

Geologico d'Italia" dell'ISPRA, viene segnalata la presenza di un sinkhole nella zona sud del centro abitato (Fig. 21).

ISPRA Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Home / Scheda sinkhole
SCHEDA SINKHOLE: 89001

UBICAZIONE

ID_AREA	19089001
AREA_SUSCETTIBILE	Lentini
REGIONE	SICILIA
PROVINCIA	SIRACUSA
COMUNE	LENTINI
LOCALITÀ	LENTINI
LAT	37°16'55"
LON	14°59'57"
QUOTA (M SLM)	--

CARTOGRAFIA

> Cartografia Gis

LINK UTILI

> Carta geologica d'Italia 1:50.000
> Carta geologica d'Italia 1:100.000
> Portale del Servizio Geologico

CARATTERISTICHE PRINCIPALI

DATA_FORMAZIONE	11 GEN 1693
FORMA	
DIAMETRO (M)	POCHI METRI
PROFONDITÀ	POCHI METRI
ANNOTAZIONI	FUORIUSCITA DA APERTURE NEL TERRENO DI ACQUA MISTA A FANGO O SABBIA QUASI SEMPRE CON FORMAZIONE DI VULCANELLI; LE FONTANE DI SABBIA RISULTANO DESCRITTE DA TESTIMONI OCULARI

Mappa Satellite Ibrida

200 m 1000 ft Immagini ©2012 - Termini e condizioni d'uso

Fig. 21 - Scheda sinkhole 89001. Dal Progetto Sinkhol

(<http://sgi.isprambiente.it/geoportal/catalog/content/project/sinkhole.page>)

Infine, nell'area del cimitero di Lentini, le calcareniti formano delle superfici pianeggianti lungo i cui bordi si sono verificati dei crolli, testimoniati dalla presenza di blocchi rocciosi ai piedi delle scarpate.

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

Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77
scatenante del fenomeno è il verificarsi di un evento sismico ad una certa distanza dal sito in oggetto. Distanza che a sua volta dipende dalla Magnitudo del terremoto. A titolo di esempio si riporta la relazione empirica tra la Magnitudo e la distanza epicentrale proposta da Galli (2000)(Fig. 22):

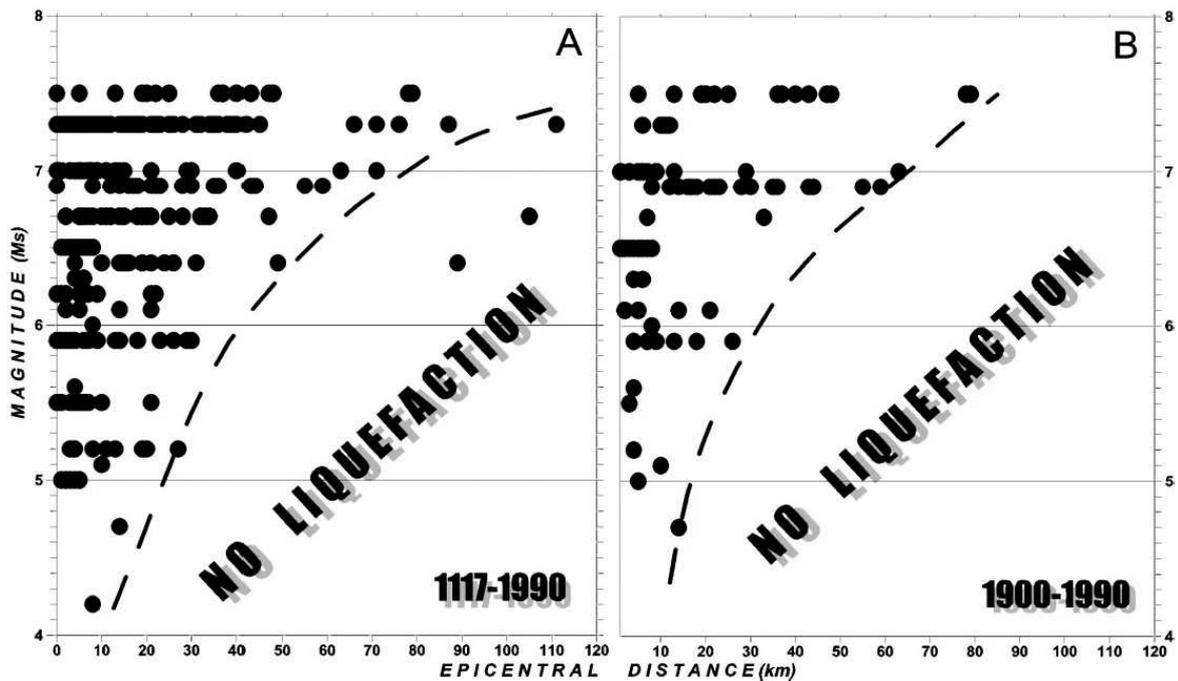


Fig. 22 - Distribuzione di fenomeni di liquefazione indotti da eventi sismici, in termini di Magnitudo e distanza epicentrale, per i periodi 1117–1990 e 1900–1990. (da Galli, 2000).

Nell'ambito della zonazione sismogenetica dell'area italiana (Gruppo di lavoro, 2004), il territorio comunale di Lentini, così come gran parte della regione iblea, ricade all'interno della zona 935 (Fig. 23). Questa zona racchiude diversi eventi sismici distruttivi (MCS IO = 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 (CPTI Working Group, 2008) 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). La versione più recente del DISS 3.1.1 (DISS Working Group, 2010) riporta, nei pressi dell'abitato di Lentini, due sorgenti sismogeniche (Fig. 3): la sorgente "ITCS035– Ragusa–Palagonia", orientata circa N–S e caratterizzata da una sismicità medio–bassa ($M_{max}=5.6$) e la sorgente (ITCS036– Monte Lauro), con direzione NE–SO ed immersione verso SE, per la quale viene ipotizzata una $M_{max}=6.6$, rappresentando dunque una possibile alternativa alla Scarpata Ibleo-Maltese, per l'evento catastrofico del 1693. Non si ha invece nessuna incertezza riguardo la localizzazione del terremoto del 13 dicembre del 1990 ($M=5.4$), che è stato ubicato nell'*off-shore* ionico ad una distanza di 30–40 km da Lentini.

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

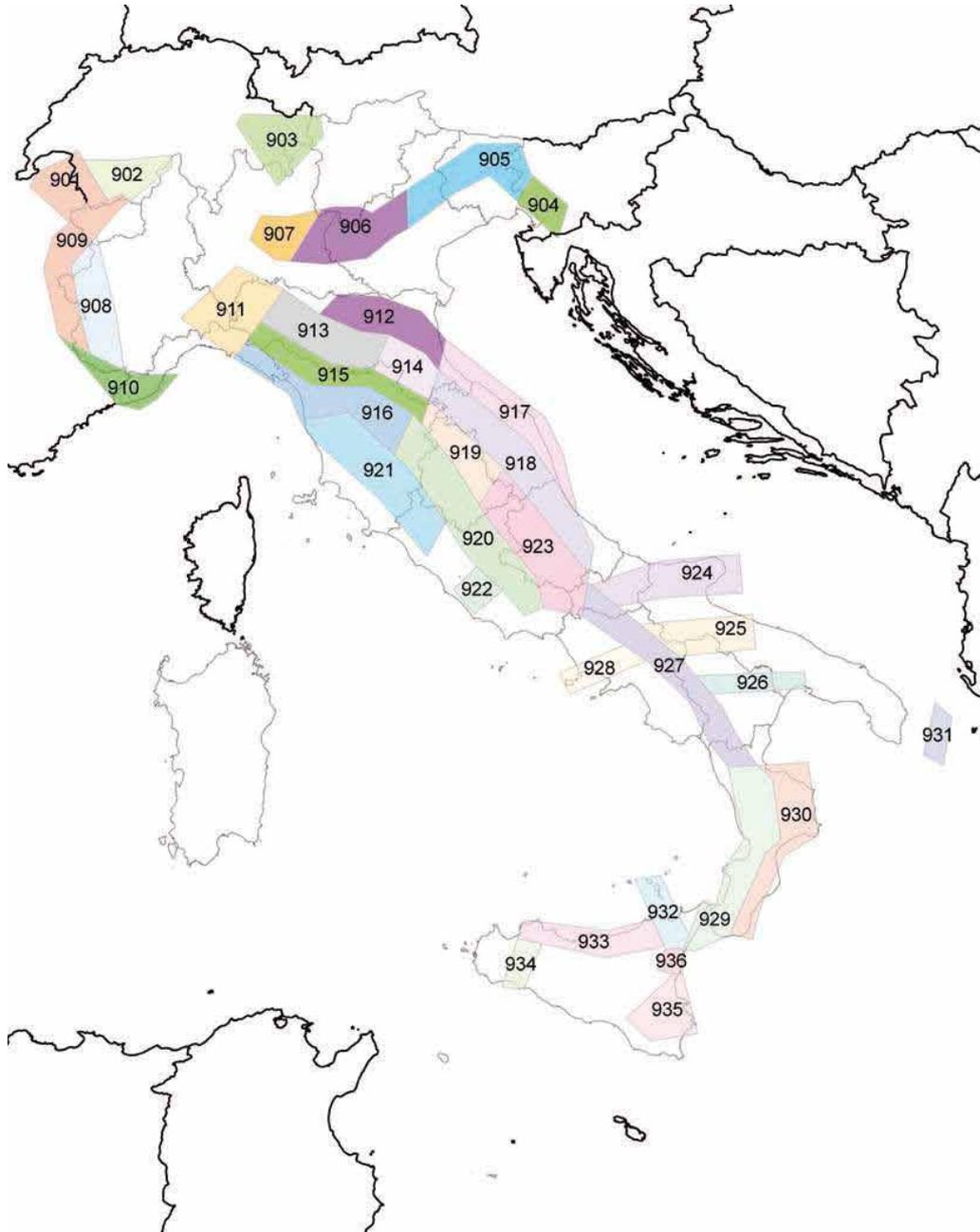


Fig. 23 - Zone sismogenetiche per la mappa di pericolosità sismica di base di riferimento (Gruppo di lavoro, 2004).

In ogni caso, possiamo concludere che il possibile verificarsi di eventi sismici di Magnitudo compresa tra 6 e 7 ad una distanza epicentrale inferiore ai 50 km potrebbe innescare nell'area oggetto di studio fenomeni di liquefazione, in presenza di terreni sciolti (sabbie o ghiaie) e di una falda superficiale. A tal proposito Nicoletti e Catalano (2000) ricordano che il terremoto del 1990 fu causa di probabili liquefazioni a Lentini ed Augusta, anche se non riescono a fornire informazioni dettagliate al riguardo. Anche nello studio geologico per il P.R.G. è stata delimitata un'area, dell'estensione di qualche centinaio di metri quadri, ubicata immediatamente a sud-est della stazione, dove sussiste il pericolo di fenomeni di liquefazione a causa di una <<variabilità possibile delle condizioni freatiche>>.

Nel presente studio, la zona soggetta a possibili fenomeni di liquefazione è stata molto estesa, soprattutto nell'area ad ovest e a nord-ovest del centro urbano, fino a comprendere:

1. aree in cui affiorano depositi alluvionali la cui granulometria sabbioso-ghiaiosa è stata osservata attraverso indagini dirette (sondaggi con o senza prelievo di campioni), che hanno consentito di misurare anche la profondità della falda (in genere inferiore a 5 metri). E' questo il caso della zona della piscina comunale dove, durante le perforazioni, in alcuni casi l'acqua è risalita di alcuni metri, denunciando il fatto che all'interno dell'acquifero, costituito dalle alluvioni poggianti sulle Argille grigio-azzurre, si possono individuare dei livelli limosi che confinano la falda.
2. località caratterizzate dalla presenza di terreni alluvionali dove nella relazione allegata allo studio geologico per il P.R.G. viene segnalata la presenza di una falda molto superficiale. In particolare, in località C/da Alaino la falda acquifera è presente a profondità compresa tra circa 5 e 7 metri, a C/da Burrione il livello acquifero è stato accertato a profondità compresa tra 4 e 5 metri, a C/da Corderia-



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

Riceputo la falda acquifera è talmente superficiale (0,8–3 metri) da affiorare in superficie in occasione degli eventi meteorici più intensi.

3. il settore ovest dell'area di studio, delimitato dai fiumi Reina e San Leonardo dove, nei depositi alluvionali, la cartografia esistente (Aureli et al., 1989) riporta la presenza di una falda libera superficiale ad una quota assoluta di circa 20 metri, poco al di sotto del piano campagna.

8. Elaborati cartografici

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

8.1 Carta delle indagini

Le indagini di sottosuolo pregresse messe a disposizione dall'amministrazione comunale di Lentini, consistono esclusivamente in indagini puntuali, eseguite per lo più in foro, cui si sommano le prove e analisi di laboratorio. 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 78 “Siti_puntuali” (58 relativi a dati pregressi e 20 a misure HVSR realizzate dall’Università di Catania nel corso del presente studio).

Per quanto riguarda le “Indagini_puntuali” sono state inserite 205 indagini appartenenti a diverse classi:

- “Geologia” – a questa classe appartengono i sondaggi a carotaggio continuo e quelli con prelievo di campioni
- “Geotecnica di laboratorio” – si tratta di analisi su campione (si segnala la mancanza di due rapporti di prova), prove edometriche (in tutti i rapporti di prova non è indicato il grado di sovraconsolidazione), prove triassiali consolidate non drenate e prove triassiali non consolidate non drenate (vedi **Allegato 3**)
- “Geotecnica in sito” – sono esclusivamente prove SPT (vedi **Allegato 3**)
- “Geofisica” – si tratta di down-hole, up-hole (vedi **Allegato 3**) e HVSR

E’ da rimarcare la scarsa leggibilità di tutte le misure HVSR pregresse in quanto nell’asse delle ordinate non viene riportato il rapporto H/V, mentre 9 nuove misure di rumore ambientale non hanno fornito una registrazione ottimale.

8.2 Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica

La successione geolitologica dell’area di studio è stata ricostruita sulla base delle indagini di terreno e sull’interpretazione dei sondaggi geognostici disponibili, che hanno consentito di distinguere i diversi terreni di copertura e le diverse unità litologiche rappresentate nella carta geologico-tecnica seguendo gli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica-Versione 2.0beta-II”. Per quanto riguarda i terreni di copertura, si è cercato di classificarli 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.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

Per la descrizione dettagliata delle diverse unità litologiche, delle instabilità, nonché degli elementi lineari e puntuali, si rimanda ai capitoli 3 e 7, dove sono stati descritti in maniera esaustiva. Ulteriori elementi lineari riportati in carta si riferiscono agli orli di terrazzo fluviale, cartografati nel settore settentrionale dell'area di studio e gli orli di scarpata morfologica che si osservano dove l'incisione fluviale ha profondamente inciso le calcareniti pleistoceniche.

E' infine da rimarcare che solo un sondaggio ha interessato le calcareniti organogene clinostratificate, ed è stato classificato come sondaggio che ha raggiunto il substrato geologico rigido, malgrado vi siano incertezze legate all'assenza di indagini che permettano di definire effettivamente «rigido» tale substrato geologico.

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.).

Nel presente studio, i dati in nostro possesso, non hanno consentito l'identificazione di zone stabili anche laddove affiorano le calcareniti clinostratificate. Infatti, la totale mancanza d'informazioni sulla velocità di propagazione delle onde sismiche non consente un'univoca interpretazione dei terreni affioranti quale bedrock sismico. Sono state invece istituite 7 zone stabili suscettibili di amplificazione:

- **Zona 0** – Lave bollose molto fratturate, e calcareniti organogene clinostratificate intensamente fratturate lungo zone di faglia (spessore > 30 m).
- **Zona 1** – Substrato geologico costituito da calcareniti organogene clinostratificate (spessore da 15m a 80m) in pendio con inclinazione > 15° e dislivello > 30 m.
- **Zona 2** – (a) Depositi alluvionali terrazzati costituiti da ciottoli e ghiaie in matrice sabbiosa (spessore medio 3 m) poggianti su un (b) substrato geologico costituito da calcareniti organogene clinostratificate (spessore da 15 m a 80 m) che poggiano localmente su vulcanoclastiti cementate stratificate (spessore > 15 m).
- **Zona 3** – (a) Sabbie alterate passanti lateralmente ad argille alterate giallastre (spessore medio 5m) poggianti su un (b) substrato geologico non rigido costituito da sabbie limose fossilifere passanti lateralmente ad Argille grigio-azzurre (spessore fino a oltre 50m), che a loro volta

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

giacciono su un (c) substrato geologico costituito da calcareniti organogene clinostratificate (spessore da 15 m a 80 m) che poggiano localmente su vulcanoclastiti cementate stratificate (spessore > 15 m).

- **Zona 4** - (a) Depositi alluvionali terrazzati e alluvioni recenti e attuali costituiti da ciottoli, ghiaie, sabbie e limi (spessore medio 4m) che poggiano su (b) sabbie alterate passanti lateralmente ad argille alterate giallastre (spessore medio 5m) a loro volta poggianti su un (c) substrato geologico non rigido costituito da sabbie limose fossilifere passanti lateralmente ad Argille grigio-azzurre (spessore fino a oltre 50m), che giacciono su un (d) substrato geologico costituito da calcareniti organogene clinostratificate (spessore da 15 m a 80 m) che poggiano localmente su vulcanoclastiti cementate stratificate (spessore > 15 m).
- **Zona 5** - Materiale di riporto eterogeneo in matrice sabbiosa-limoso-argillosa (spessore medio 4m) poggiate su un substrato geologico costituito da calcareniti organogene clinostratificate (spessore da 15 m a 80 m) che poggiano localmente su vulcanoclastiti cementate stratificate (spessore > 15 m).
- **Zona 6** - (a) Materiale di riporto eterogeneo in matrice sabbiosa-limoso-argillosa (spessore medio 4m) che poggia su (b) depositi alluvionali terrazzati e alluvioni recenti e attuali costituiti da ciottoli, ghiaie, sabbie e limi (spessore medio 4m), poggianti su sabbie alterate passanti lateralmente ad argille alterate giallastre (spessore medio 5m), a loro volta poggianti su un (c) substrato geologico non rigido costituito da

sabbie limose fossilifere passanti lateralmente ad Argille grigio-azzurre (spessore fino a oltre 50m), che giacciono su un (d) substrato geologico costituito da calcareniti organogene clinostratificate (spessore da 15 m a 80 m) che poggiano localmente su vulcanoclastiti cementate stratificate (spessore > 15 m).

- **Zona 7** – Zona con assenza di indagini che permettano di definire «rigido» il substrato geologico costituito da calcareniti organogene clinostratificate (spessore da 15m a 80m) poggianti localmente su vulcanoclastiti cementate stratificate (spessore >15m).

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

9. Confronto con la distribuzione di danni per eventi passati

La città di Lentini, così come tutta la Sicilia sud-orientale, è stata interessata da diversi eventi sismici sopra la soglia del danno, verificatisi principalmente nel periodo pre-strumentale. In particolare, analizzando la storia sismica di Lentini (Figg. 3 e 4), alcuni eventi sismici storici (1169, 1542, 1693), sono stati catastrofici raggiungendointensità I(MCS) di X-XI.

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).

L'evento del 1169 (Sicilia orientale) raggiunse I(MCS) X. Lentini venne distrutta dal terremoto e secondo il linguaggio medievale, si trovò rinchiusa tra due montagne indicando forse lo scivolamento dell'abitato o grandi frane. Come detto nei capitoli



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



Attuazione dell'Articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n.77 precedenti, uno studio sulle frane sismo-indotte nell'area di studio è stato effettuato da Nicoletti e Catalano (2000).

L'evento del 1542 (siracusano) raggiunse I(MCS) IX-X. La scossa causò la distruzione di gran parte della città; in particolare nella contrada Castelnuovo crollarono totalmente la rocca e tutte le case private, così come nella Cotrada Tirone; gravi rovine avvennero nelle altre zone della città dove crollò la parte alta della fortezza Triquetra. Una relazione del vicerè Ferrando Gonzaga conferma la gravità delle rovine che fecero ritenere conveniente la ricostruzione della città in un altro sito. Pisano Baudo ricorda la distruzione di gran parte del monastero della SS. Trinità e sulla base di un atto notarile del 1548, il crollo quasi totale del monastero e della Chiesa di S. Andrea.

Nel 1693 si verificarono due forti eventi sismici a distanza di pochi giorni, il 9 gennaio e l'11 gennaio. Nell'evento del 9 gennaio (Val di Noto) di intensità I(MCS) VIII si ricorda che la città venne gravemente danneggiata e si ebbe il crollo del convento dei Francescani; la seconda scossa dell'11 gennaio (Sicilia orientale) distrusse totalmente l'abitato raggiungendo I(MCS) X-XI. Tale sisma causò crolli molto estesi soprattutto nei quartieri di S. Giorgio e S. Nicolò; caddero la chiesa e il convento di S. Francesco d'Assisi.

L'evento del 1818 (Monti Iblei) di I(MCS) VII, provocò notevoli danni a case e chiese, ma non causò crolli.

Il terremoto di Messina del 1908 raggiunse I(MCS) VI, causando danni lievi.

Infine il terremoto del 13/12/1990 con epicentro a nord-est di Brucoli, di magnitudo $M > 5$, di I(MCS) VII causò danni al 40% circa degli edifici popolari situati nel

quartiere “Zona 167” (C/da Alaimo e Poggio Anime del Purgatorio), di recente costruzione e in cemento armato. Furono riscontrate lesioni a due ponti situati nei pressi di questa località e anche in alcune abitazioni del centro storico; la sede della caserma dei carabinieri fu dichiarata inagibile. Furono riscontrati danni alla stazione ferroviaria.

Oltre al catalogo CFTI 2, utilissime informazioni sui danni prodotti dal terremoto del 1990, sono state reperite da un lavoro effettuato da Rigano et alii (2006) allo scopo di evidenziare gli eventuali effetti di sito. Tali autori, visionando circa 600 schede di sopralluogo, compilate successivamente al terremoto, hanno ricostruito la carta di distribuzione dei danni per l’abitato di Lentini (Fig. 24), assegnando agli edifici le rispettive classi di vulnerabilità secondo la scala macrosismica EMS-98 (Grunthal, 1998). La carta della distribuzione dei danni rivela una disomogeneità di distribuzione del livello di danneggiamento con quattro aree caratterizzate dalla presenza di danni del 3° grado racchiuse entro zone più ampie, con danni minori (2° grado), a loro volta comprese in un’area più omogenea, estesa all’intero abitato, in cui sono stati registrati danni lievi (1° grado). Le quattro aree con danni del 3° grado sono localizzate rispettivamente in C.da Portazza, nella porzione occidentale del quartiere; in C.da Burrione, a nord-ovest del campo sportivo; in C.da Stazione – C.da S. Antonio a nord della ferrovia; e infine nel Centro storico.

Secondo gli autori la distribuzione anomala del danneggiamento deriva dalle caratteristiche dei terreni di fondazione in quanto le tipologie costruttive risultano piuttosto uniformi in aree attigue.

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

(da Rigano et al. 2006, mod.)

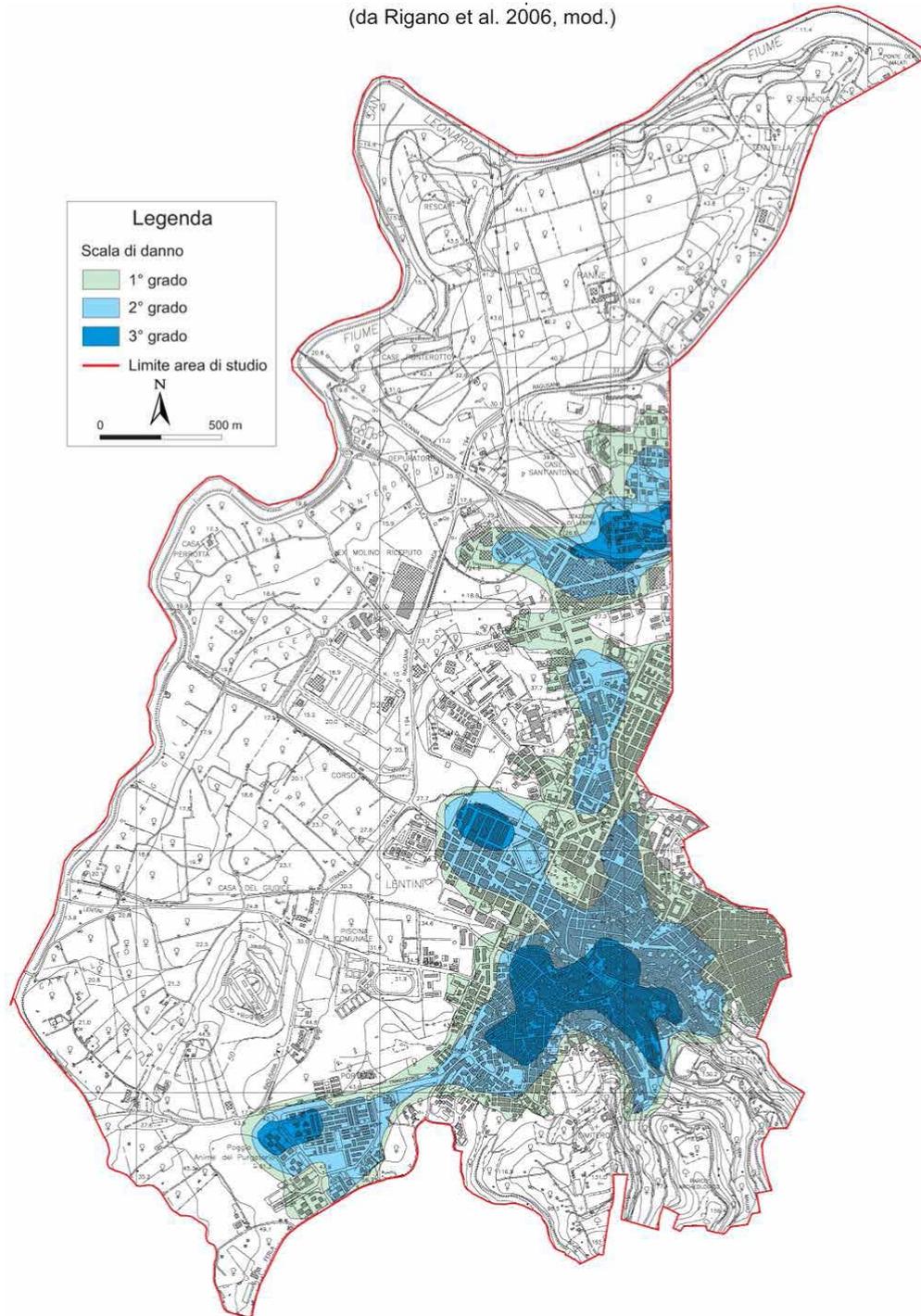


Fig. 24 - Carta della distribuzione dei danni prodotti dal terremoto del 1990 a Lentini (Rigano et al 2006 mod.)

È stato quindi effettuato un confronto tra la carta della distribuzione dei danni di Rigano et alii (2006) e gli elaborati del presente studio “carta geologico–tecnica” e “carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica”:

– in C.da Portazza i maggiori danni sono concentrati in corrispondenza di un'area orientata circa ENE–WSW che interessando le zone 2003, 2006 e 2004 della “carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica” (vedi anche **Allegato 5**) da ovest verso est, è intersecata dalla sezione litotecnica A–A' (**Allegato 1**), in cui ricadono due sondaggi (**Allegato 2**), il sondaggio 089011P51, e il sondaggio 089011P45. In dettaglio la successione litostratigrafica della Zona 2003 e 2006 è caratterizzata dalla presenza di materiale di riporto (RIzz) con spessore variabile da 1 a 4 m circa, poggiante sulle argille contraddistinte da una copertura di alterazione (CHec) spessa da 5 a 3 m circa rispettivamente. A est del sondaggio 089011P45, nella Zona 2004 sulle argille alterate spesse circa 4 m poggiano 3 m di depositi alluvionali recenti e attuali costituiti da limi e limi argillosi bruno scuro (OLin) e limi compatti sabbiosi (MLin) con rari elementi di ghiaia minuta, con sopra circa 1,5 m di materiale di riporto (sondaggio 089011P46, **Allegato 2**). Le frequenze fondamentali di tre misure HVSR disponibili in quest'area hanno valori di 5,2 Hz, 5 Hz e 3 Hz.

– in C.da Burrione, i maggiori danni sono localizzati all'interno di un'area orientata circa NW–SE a nord–ovest del campo sportivo, in cui ricadono i sondaggi geognostici 089011P5 e 089011P6, segnalata come zona suscettibile di instabilità per fenomeni di liquefazione nella “carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica”. Nel sondaggio 089011P5, la successione delle unità geologico–tecniche è costituita da materiale di riporto in matrice sabbioso–limosa di 1,5 m di spessore che poggia su depositi alluvionali terrazzati costituiti da ghiaie e sabbie con spessore di 2 m. Al di sotto della copertura alluvionale si ha la copertura di alterazione plastica delle argille spessa circa 1 m, e il substrato argilloso plastico nei primi metri. Nel sondaggio è segnalata la presenza di una falda a 2,5 m dal piano campagna. Nel sondaggio 089011P6, invece,



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile



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

sotto al materiale di riporto in matrice sabbioso-limosa di 4 m di spessore, i depositi alluvionali terrazzati spessi circa 2,4 m, costituiti da sabbie e ghiaia in matrice limosa, sono ricoperti da depositi alluvionali terrazzati costituiti da limi sabbiosi con rara ghiaia spessi circa 3,4 m. Al di sotto della copertura alluvionale si hanno le argille semiplastiche. Nel sondaggio è segnalata la presenza di una falda in pressione che è stata rinvenuta a 7,4 m dal piano campagna ed è risalita a 4,2 m. Anche più a sud-est altri sondaggi indicano la presenza di una falda superficiale a circa 4-5 m dal piano campagna. Difatti questo settore è caratterizzato dalla presenza di una piccola valle sepolta dai depositi alluvionali ghiaiosi, e sabbioso-limosi con asse diretto NW-SE, che risultano essere in falda. Per tali caratteristiche quest'area è stata segnalata come zona suscettibile di instabilità per fenomeni di liquefazione nella "carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica". La frequenza fondamentale dell'unica misura HVSR disponibile in quest'area ha valori di 3,5 Hz.

- nei pressi della Stazione ferroviaria di Lentini e della C.da S. Antonio, i maggiori danni sono distribuiti lungo un area diretta NE-SW, che interessa le zone 2003, 2006 e 2004 della "carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica" (vedi anche **Allegato 5**), La porzione nord-orientale della sezione litotecnica C-C' (**Allegato 1**) passa poco più a nord. I due sondaggi gognostici disponibili, ricadenti in quest'area sono il sondaggio 089011P15 e 089011P20. La successione geologico-tecnica è costituita da materiale di riporto e/o terreno vegetale spessi complessivamente circa 1 m, che poggiano sulla copertura alterata delle argille (CHec) di spessore variabile tra 5 e 7 m circa, sulle sottostanti argille. A differenza delle precedenti aree con maggiori danni, non sono presenti depositi alluvionali, nè la falda superficiale, mentre risulta notevolmente spessa

la copertura di alterazione delle argille. Altra differenza è legata alla morfologia per la presenza di un lieve pendio. Dai sopralluoghi effettuati all'indomani del sisma, i geologi dell'ARTA chiamano in causa, per i danni subiti da quest'area, anche le modalità costruttive (gradazioni artificiali, strutture non intelaiate, ecc.) e la natura abusiva di buona parte delle strutture presenti. La frequenza fondamentale di diverse misure HVSR disponibili in quest'area ha valori compresi tra 3 Hz e 5 Hz.

– infine nel centro storico di Lentini caratterizzato da edifici della stessa tipologia costruttiva, i danni gravi sono limitati a un'area in parte edificata su depositi alluvionali, segnalata come zona suscettibile di instabilità per fenomeni di liquefazione nella “carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica”, e nei suoi immediati dintorni, in corrispondenza della zona 2007, dove il substrato geologico costituito da calcareniti organogene clinostratificate, (spessore da 15m a 80m), poggianti localmente su vulcanoclastiti cementate, stratificate (spessore >15m). La localizzazione dei danni nell'area in cui è esposto il substrato suggerisce che le caratteristiche meccaniche non siano quelle proprie di un substrato rigido. L'unica indagine disponibile nell'area si riferisce a una misura HVSR che evidenzia fenomeni di amplificazione con frequenza fondamentale di 4,69 Hz. Per caratterizzare quest'area saranno necessarie future indagini che possano definitivamente sciogliere il dubbio del comportamento in un vasto settore dell'abitato

10. Bibliografia

AA.VV.; 2011 – Note illustrative Foglio Geologico 641 “Augusta”. A cura di Serafina Carbone Ed. S.EL.CA.

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

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

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

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

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

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.

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–Maghrebian chain in Eastern Sicily (Italy): geodynamic implications for Mt. Etna. *GeoActa*, 3, 165–177.

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.

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

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.

Grünthal G.; 1998 – European Macroseismic Scale 1998. *Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie*, 15, Luxembourg.

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.

Lombardo, G.; 1985 - The Catania earthquake of February 4, 1169. In: Postpischl, D. (ed.), Atlas of Isoseismal Maps of Italian Earthquakes, PFG-CNR, Quad. Ric. Scie. 2A, 114, Bologna, pp. 12-13.

Lombardo G., Rigano R., Barbano M.S., Cosentino M.; 2007 - Hazard and local seismic response evaluation in the Lentini area (south-eastern Sicily). Riassunti estesi delle comunicazioni, GNGTS 26° Convegno Nazionale Roma 13-15 Novembre 2007, Consiglio Nazionale delle Ricerche, 352-353.

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.

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.



Regione Siciliana – Presidenza
Dipartimento della Protezione Civile

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

Nicoletti P.G., Catalano E.; 2000 – Frane e sbarramenti fluviali di antica origine sismica in Sicilia sud-orientale. III parte: Ricognizione sul Foglio 274 – Siracusa. Boll. Soc. Geol. It., 119, 97–104.

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

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.

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

Rigano R., Lombardo G, Barbano M.S., Cosentino M., Distefano G.; 2006 – Pericolosità e risposta sismica locale nell'area di Lentini (sicilia sud-orientale). Riassunti estesi delle comunicazioni, GNGTS 25° Convegno Nazionale Roma 28-30 Novembre 2006, Consiglio Nazionale delle Ricerche, 226-228.

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

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

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 litotecniche

Allegato 2 – Sondaggi sezioni litotecniche

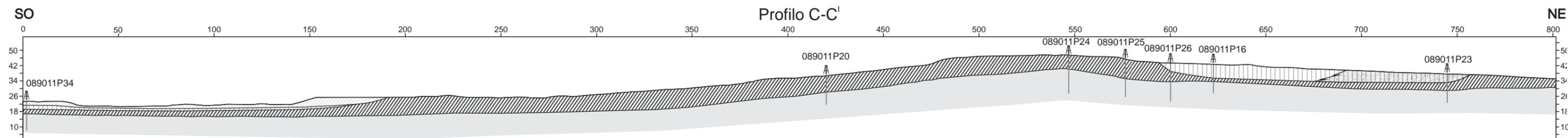
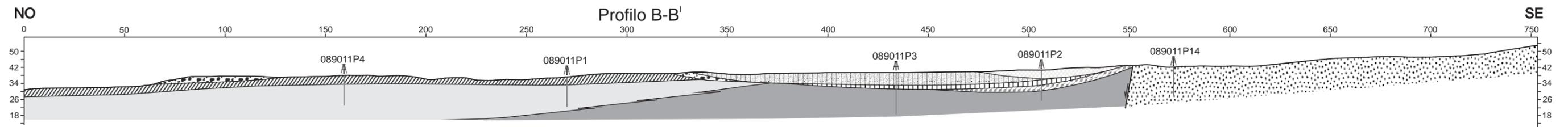
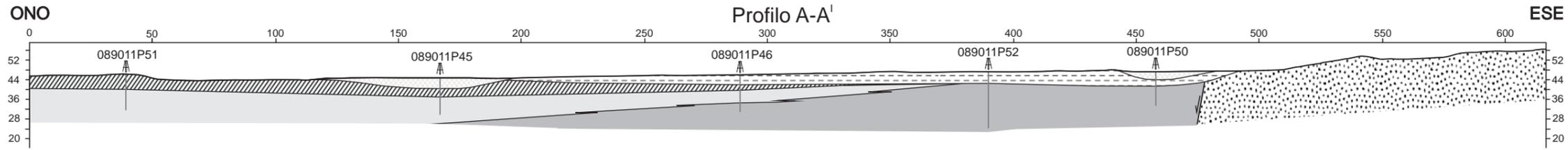
Allegato 3 – Dati geotecnici e geofisici

Allegato 4 – Misure di microtremore ambientale

Allegato 5 – Sezioni topografiche

Allegato 6 – Schemi dei rapporti litostratigrafici più significativi

Allegato 1 – Sezioni litotecniche



Legenda

Materiale di riporto eterogeneo in matrice sabbiosa-limoso-argillosa (Rizz)

Depositi alluvionali recenti ed attuali costituiti da limi e limi argillosi bruno scuro (OLIn)

Depositi alluvionali terrazzati (SMtf) costituiti da sabbie limose, miscela di sabbia e limo

Depositi alluvionali terrazzati costituiti da limi e sabbie fini (MHtf)

Depositi alluvionali recenti ed attuali (MLIn) e depositi alluvionali terrazzati costituiti da sabbie limose o argillose, limi argillosi (MLtf)

Depositi alluvionali terrazzati costituiti da ghiaie e sabbie (GWtf)

Prodotti di alterazione costituiti da sabbie argillose, miscela di sabbia e argilla (SCec)

Argille alterate giallastre (CHec)

Argille grigio azzurre (NR)

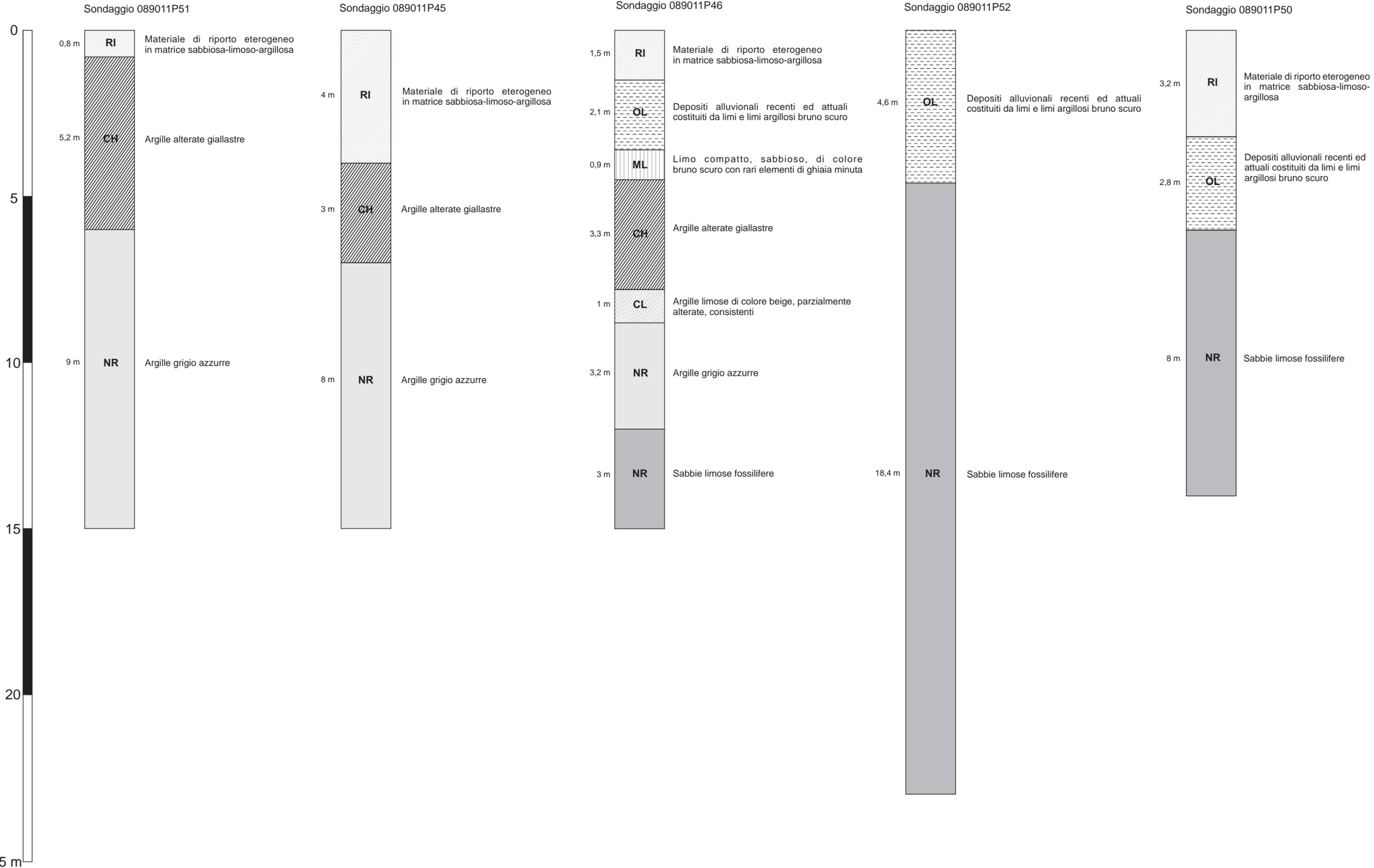
Sabbie limose fossilifere (NR)

Calcareniti organogene, clinostatificate (GRS)

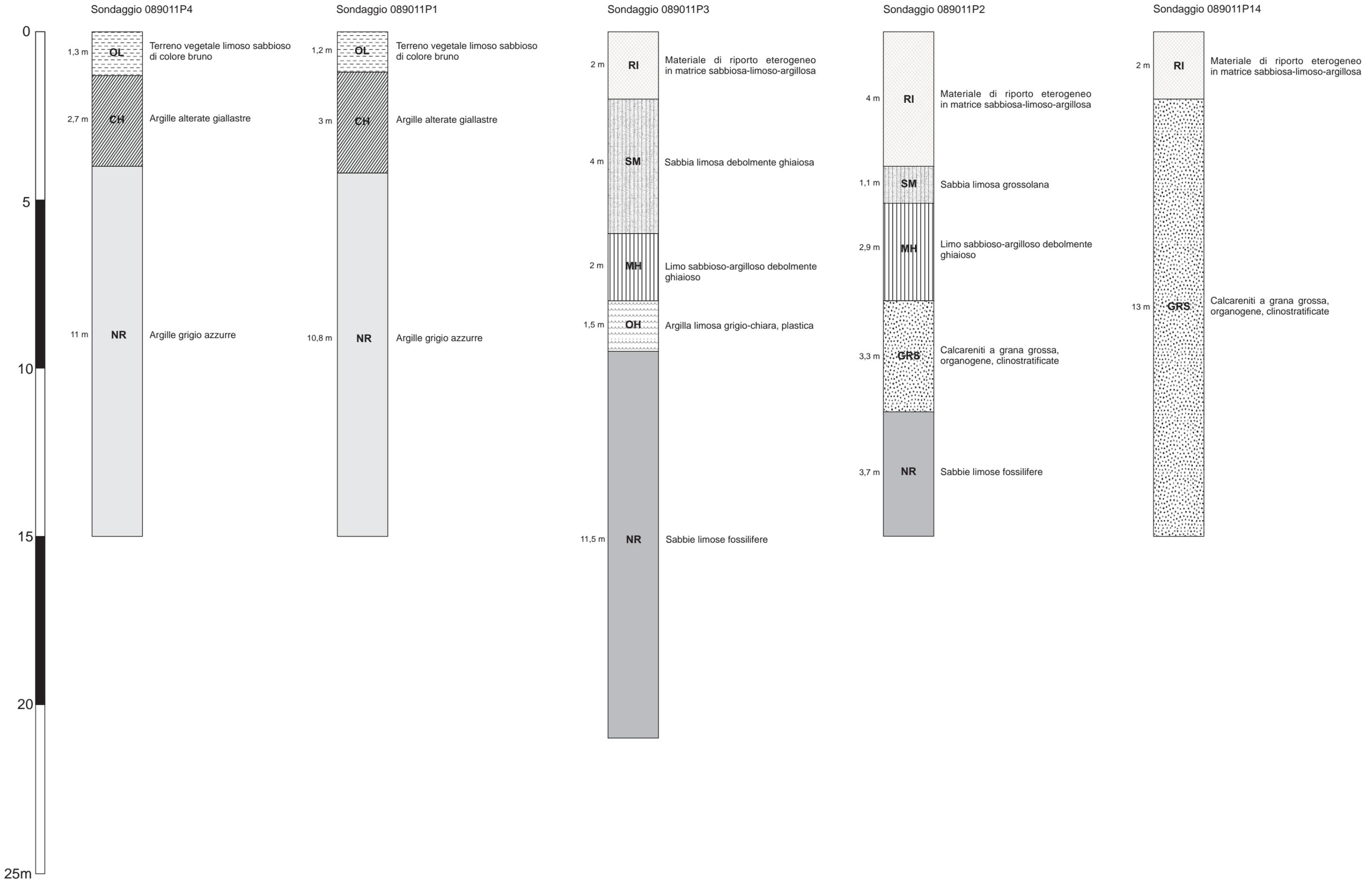
Faglia

089011P3
Sondaggio stratigrafico

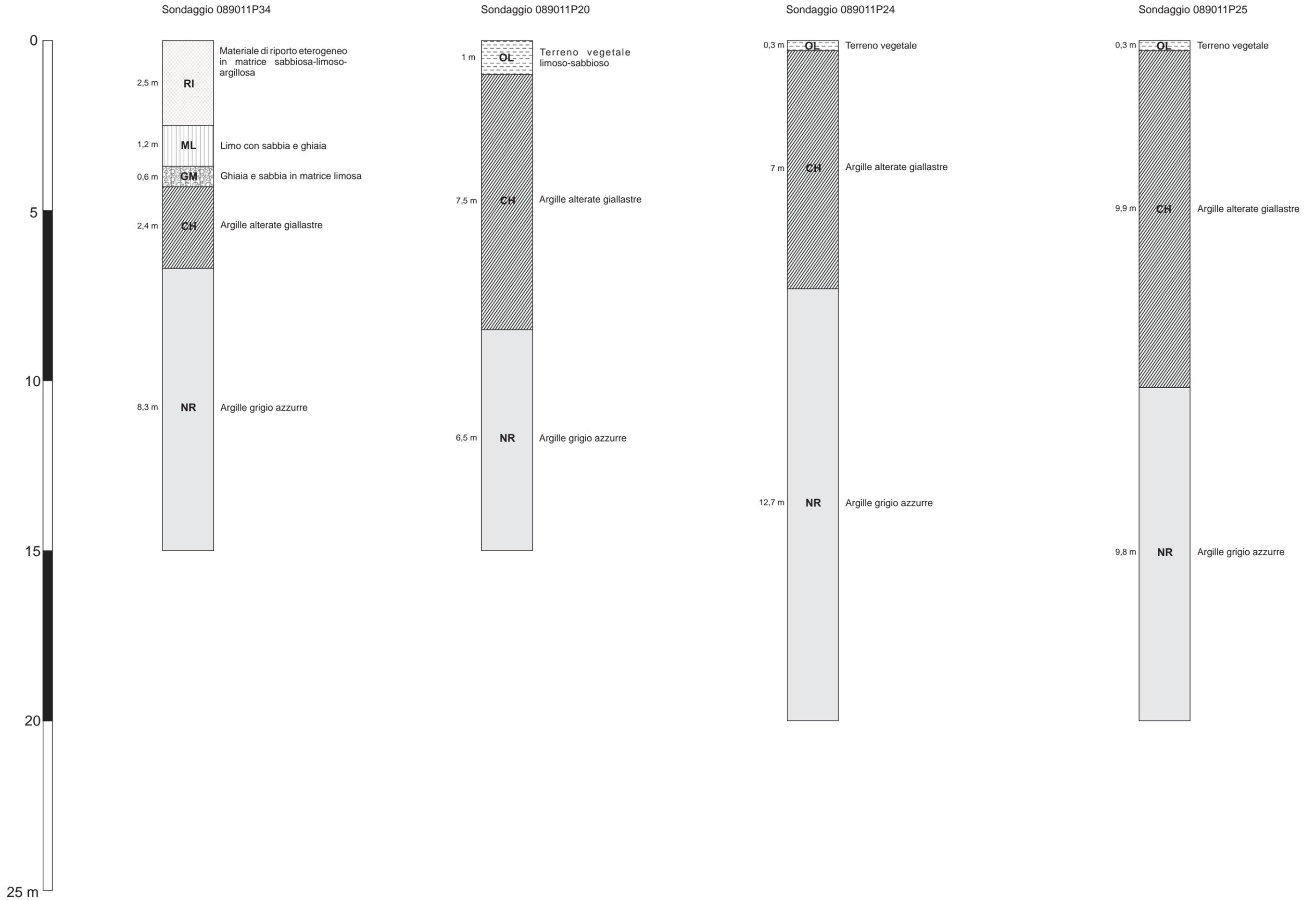
Allegato 2 – Sondaggi Profilo A-A'



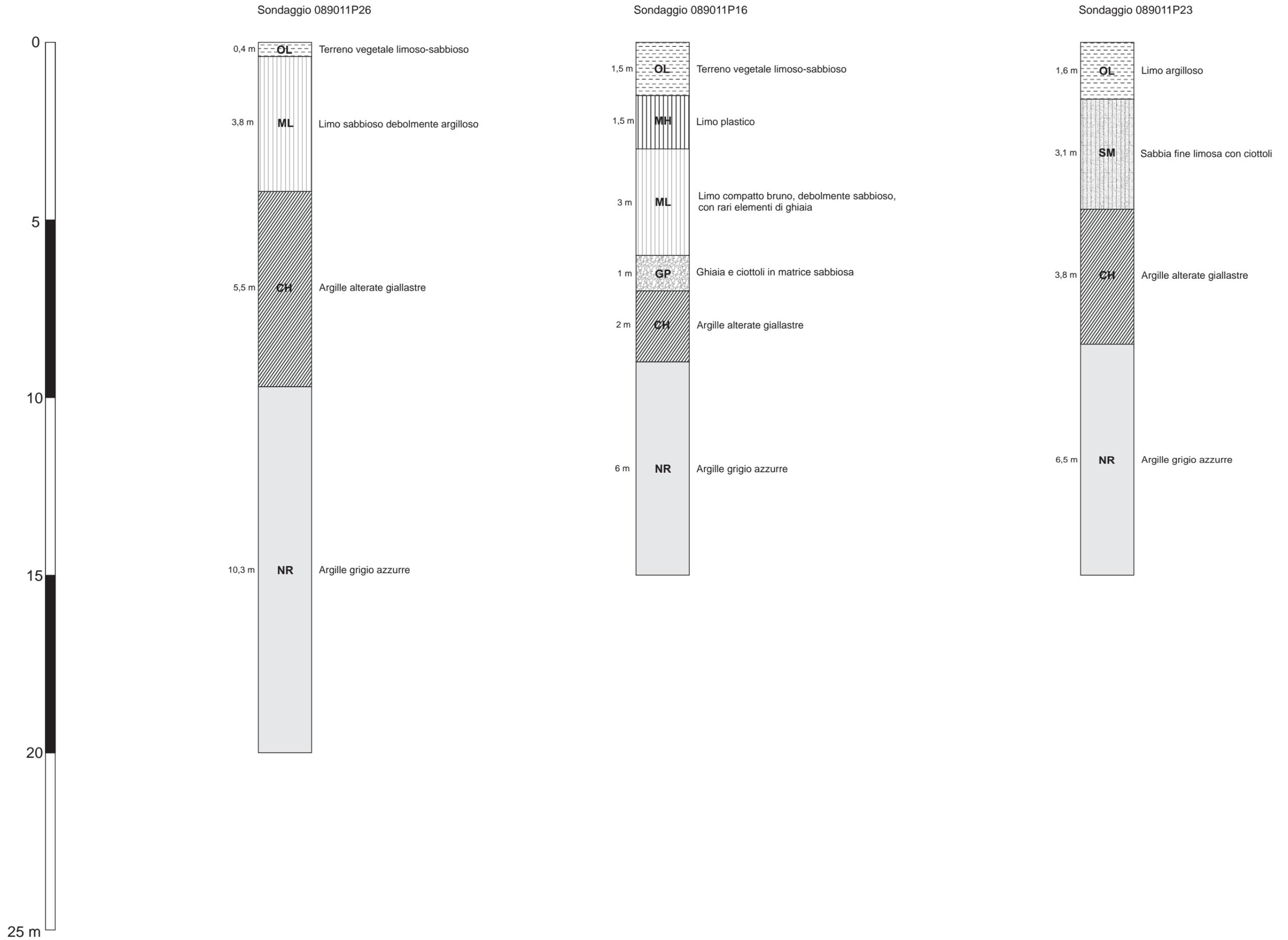
Allegato 2 – Sondaggi Profilo B-B'



Allegato 2 – Sondaggi Profilo C-C'



Allegato 2 – Sondaggi Profilo C-C'



Allegato 3 – Dati geotecnici e geofisici

ID_SPU	Litotipo	Prof. Camp. (m)	ED	Parametri Analisi su campione (SM)								Param. Triassiale			SPT		
				γ [PV (kN/m ³)]	e [E1]	W (%)	IP	GH	SA	LM	AR	c' [C (Mpa)]	Φ' [F1 (°)]	cu [CU (Mpa)]	Tipo	Prof. (m)	Valore
089011P1	ARGILLA ALTERATA BRUNO GIALLA STRA	2.00-2.50		19,14	0,78	28,46	49,5		4	40	56	0,029	24	0,049	CU		
089011P1	ARGILLA ALTERATA BRUNO GIALLA STRA															1.50-1.95	14
089011P4	ARGILLA ALTERATA BRUNO GIALLA STRA	3.50-4.00		18,7	0,926	34,14	55,8		4	27	69	0,0098	23	0,029	CU		
089011P4	ARGILLA ALTERATA BRUNO GIALLA STRA															1.50-1.95	18
089011P16	ARGILLE PARZIALMENTE ALTERATE DI COLORE GRIGIO-GIALLASTRO CON BANDE DI OSSIDAZIONE OCRACEE	8.50-9.00		18,87	0,897	33,19	51,7		2	23	75			0,156	UU		
089011P35	ARGILLA ALTERATA GIALLA STRA	3.00-3.50		18,28	0,918	33,37	32,9		22	30	48	0,039	26	0,014	CU		
089011P35	ARGILLA ALTERATA GIALLA STRA	4.30-4.80															
089011P45	ARGILLE LIMOSE PLASTICHE, PARZIALMENTE ALTERATE, DI COLORE BEIGE, CON BANDE DI OSSIDAZIONE OCRACEE	6.5-7.0		18,16	1,02	37,3	48,3		6	34	60	0,024	24	0,058	CU		
089011P51	ARGILLE GIALLASTRE ALTERATE MEDIAMENTE CONSISTENTI	1.50-2.00		18,6	0,963	35,66	56,1		5	23	72	0,0098	23	0,029	CU		
	Valori medi			18,63	0,917	33,69	49,05		7,17	29,50	63,33	0,0223	24,00	0,056			

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

ID_SPU	Litotipo	Prof. Camp. (m)	ED	Parametri Analisi su campione (SM)								Param. Triassiale				SPT		
				γ [PV (kN/m ³)]	e [E1]	W (%)	IP	GH	SA	LM	AR	c' [C (Mpa)]	Φ' [F1 (°)]	cu [CU (Mpa)]	Tipo	Prof. (m)	Valore	
089011P1	ARGILLA GRIGIO AZZURRA	5.5-6.0		18,78	0,878	32,62	41,2			4	35	61			0,176	UU		
089011P1	ARGILLA GRIGIO AZZURRA																4.50-4.95	18
089011P2	SABBIA ADDENSATA GRIGIA, FOSSILIFERA, CON PARTIMENTI CENTIMETRICI ARGILLOSI																12.0-12.25	>50
089011P3	SABBIE FINISILTOSE DI COLORE GRIGIO, FOSSILIFERE BEN ADDENSATE CON PARTIMENTI CENTIMETRICI DI ARGILLA																11.50-11.75	>50
089011P4	ARGILLA GRIGIO AZZURRA	7.50-8.00		18,809	0,909	33,57	40,1			3	36	61			0,147	UU		
089011P9	SABBIE FINI LIMOSE ADDENSATE, FOSSILIFERE DI COLORE GRIGIO CON PARTIMENTI CENTIMETRICI DI ARGILLA																13.00-13.45	79
089011P11	SABBIA GIALLASTRA FOSSILIFERA, BEN ADDENSATA, CON LIVELLI DECIMETRICI DEBOLMENTE CEMENTATI																7.50-7.95	39
089011P11	SABBIA GIALLASTRA FOSSILIFERA, BEN ADDENSATA, CON LIVELLI DECIMETRICI DEBOLMENTE CEMENTATI																9.00-9.45	65
089011P18	ARGILLE GRIGIO AZZURRE CON BANDE DI OSSIDAZIONE GIALLASTRE	7.50-8.00																
089011P36	ARGILLA GRIGIO AZZURRA	7.50-8.00		18,76	0,925	34,56	34,7			3	32	65			0,166	UU		
089011P47	SABBIE MEDIE DEBOLMENTE LIMOSE, FOSSILIFERE, MOLTO ADDENSATE, DI COLORE GRIGIO CON LIVELLI CENTIMETRICI DEBOLMENTE CEMENTATI																10.50-10.95	38
089011P48	SABBIE LIMOSE, FOSSILIFERE, DI COLORE GIALLO, ADDENSATE																4.50-4.95	40
089011P48	SABBIE FINI LIMOSE, FOSSILIFERE, MOLTO ADDENSATE, DI COLORE GRIGIO																6.00-6.26	>50
089011P48	SABBIE MEDIO-FINI, DEBOLMENTE LIMOSE, FOSSILIFERE, ADDENSATE DI COLORE GRIGIO																10.50-10.95	38
089011P50	SABBIE FOSSILIFERE A GRANA MEDIO-GROSSA DI COLORE GRIGIO, DEBOLMENTE CEMENTATE CON LIVELLI DECIMETRICI PIU' CEMENTATI																7.10-7.55	33
Valori medi				18,78	0,904	33,58	38,67			3,33	34,33	62,33			0,163			

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

ID_SPU	Litotipo	SPT	
		Prof. (m)	Valore
089011P2	LIMO SABBIOSO BRUNO	5.20-5.65	10
089011P2	LIMO ARGILLOSO DEBOLMENTE GHIAIOSO	6.50-6.95	11
089011P3	LIMO SABBIOSO GIALLASTRO/LIMO ARGILLOSO GRIGIO CHIARO CON INCLUSI GHIAIOSI	7.0-7.45	19
089011P9	LIMO DEBOLMENTE SABBIOSO DI COLORE BRUNO	3.00-3.45	4
089011P16	LIMO BEIGE PLASTICO	1.50-1.95	20

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

ID_SPU	Litotipo	SPT	
		Prof. (m)	Valore
089011P3	SABBIE LIMOSE DEBOLMENTE GHIAIOSE DI COLORE BRUNO CHIARO	2.00-2.45	23
089011P3	LIMO SABBIOSO	4.00-4.45	10
089011P3	SABBIE LIMOSE PASSANTI A LIMI SABBIOSI	5.50-5.95	6
089011P10	SABBIA FINE LIMOSA DI COLORE BEIGE	4.50-4.95	8
089011P10	SABBIA FINE LIMOSA DI COLORE BEIGE	6.00-6.45	17
089011P47	SABBIE GROSSE LIMOSE, GIALLASTRE POCO ADDENSATE	6.00-6.45	8

Tab. 4: dati geotecnici relativi alla categoria di terreni SM

ID_SPU	Litotipo	Prof. Camp. (m)	ED	Parametri Analisi su campione (SM)									Param. Triassiale			SPT	
				γ [PV (kN/m ³)]	e [E1]	W (%)	IP	GH	SA	LM	AR	c' [C (Mpa)]	Φ' [F1 (°)]	cu [CU (Mpa)]	Tipo	Prof. (m)	Valore
089011P6	LIMO BRUNO NERASTRO CON RARA GHIAIA															4.20-4.65	7
089011P6	LIMO BRUNO NERASTRO CON RARA GHIAIA															6.50-6.95	13
089011P6	LIMO BRUNO NERASTRO CON RARA GHIAIA	6.00-6.50															
089011P7	LIMO ARGILLOSO MARRONE A TRATTI SABBIOSO	2.00-2.50		19,07	0,809	30,19	35	3	20	26	51	0,019	26	0,049	CU		
089011P7	LIMO ARGILLOSO MARRONE A TRATTI SABBIOSO															2.50-2.95	9
089011P7	LIMO ARGILLOSO, SABBIOSO CON PARTIMENTI SABBIOSI, DI COLORE BEIGE															5.50-5.95	6
089011P11	LIMO BRUNO PLASTICO, ARGILLOSO INGLOBANTE RARI FRAMMENTI CALCARENITICI. ALLUVIONALE.															3.00-3.45	6
089011P16	LIMO COMPATTO BRUNO, DEBOLMENTE SABBIOSO CON RARA GHIAIA															3.00-3.45	28
089011P34	LIMO CON SABBIA E GHIAIA															3.00-3.45	19
089011P46	LIMO COMPATTO, SABBIOSO, DI COLORE BRUNO SCURO CON RARI ELEMENTI DI GHIAIA MINUTA															3.50-3.95	18
089011P47	LIMO SABBIOSO BRUNO, SATURO E MOLLE															4.50-4.95	11
Valori medi				19,07	0,809	30,19	35	3	20	26	51	0,019	26	0,049			

Tab. 5: dati geotecnici relativi alla categoria di terreni ML

ID_SPU	Litotipo	SPT	
		Prof. (m)	Valore
089011P7	SABBIE MEDIO GROSSE DI COLORE GRIGIO, FOSSILIFERE, BEN ADDENSATE, A TRATTI DEBOLMENTE CEMENTATE, CON PARTIMENTI CENTIMETRICI DI ARGILLA	7.25-7.60	>85

Tab. 6: dati geotecnici relativi alla categoria di terreni SC

ID_SPU	Litotipo	SPT	
		Prof. (m)	Valore
089011P8	SABBIA E GHIAIA IN MATRICE LIMOSA	4.50-4.95	35
089011P9	SABBIA E GHIAIA IN MATRICE LIMOSA DI COLORE BEIGE	5.50-5.95	47
089011P9	SABBIA E GHIAIA IN MATRICE DEBOLMENTE LIMOSA	7.50-7.95	57
089011P10	SABBIA E GHIAIA CON RARI CIOTTOLI IN MATRICE LIMOSA	8.20-8.40	>50

Tab. 7: dati geotecnici relativi alla categoria di terreni GM

ID_SPU	Litotipo	SPT	
		Prof. (m)	Valore
089011P10	TERRENO VEGETALE LIMOSO SABBIOSO DI COLORE BRUNO	1.20-1.65	15
089011P10	LIMO ARGILLOSO PLASTICO DI COLORE BRUNO	3.00-3.45	8
089011P36	LIMO ARGILLOSO GIALLASTRO CON INCLUSI GHIAIOSI DI NATURA CALCARENITICA	4.30-4.75	19
089011P46	LIMO ARGILLOSO DI COLORE BRUNO	1.50-1.95	13
089011P50	LIMO ARGILLOSO SATURO	5.20-5.65	4

Tab. 8: dati geotecnici relativi alla categoria di terreni OL

ID_SPU	Litotipo	SPT	
		Prof. (m)	Valore
089011P12	SABBIA E GHIAIA CON RARI BLOCCHI IN MATRICE SABBIOSA	4.00-4.45	40

Tab. 9: dati geotecnici relativi alla categoria di terreni SW

		SPT	
ID_SPU	Litotipo	Prof. (m)	Valore
089011P21	SABBIA CON GHIAIA IN MATRICE LIMOSA	4.00-4.39	>81

Tab. 10: dati geotecnici relativi alla categoria di terreni SP

		SPT	
ID_SPU	Litotipo	Prof. (m)	Valore
089011P47	MATERIALE DI RIPORTO ETEROGENEO IN MATRICE LIMOSO- SABBIOSA	3.00-3.45	11

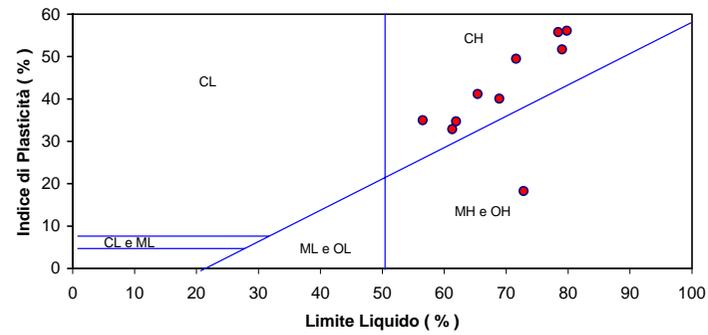
Tab. 11: dati geotecnici relativi alla categoria di terreni RI

		SPT	
ID_SPU	Litotipo	Prof. (m)	Valore
089011P48	ARGILLE PLASTICHE, SABBIOSE, DI COLORE GIALLASTRO, ALTERATE, CON CALCINELLI	3.00-3.45	16

Tab. 12: dati geotecnici relativi alla categoria di terreni CL

CARTA DI PLASTICITA'

	LL	IP	
1	71,60	49,50	CL
2	65,40	41,20	CL
3	78,40	55,80	CL - ML
4	68,90	40,10	-
5	56,50	35,00	CL
6	79,00	51,70	MH e OH
7	61,30	32,90	ML e OH
8	61,90	34,70	CH
9	72,80	18,30	MH e OH
10	79,80	56,10	CH



Legenda:

- ML Limi inorganici, limi argillosi, sabbie molto fini limose
- CL Argille inorganiche di media-bassa plasticità; argille limose sabbiose o ghiaiose
- OL Limi organici e argille; limi organici di bassa plasticità
- MH Limi inorganici, limi argillosi
- CH Argille inorganiche di alta plasticità
- OH Argille organiche e argille limose di media-alta plasticità

Fig. 1: Diagramma di plasticità dei campioni relativi alla classe CH e MN-OH

089011P1 DH C.da Burrione				
Prof. (m)	Vp	Vs	Terreno	Litotipo
2	320	60	OL	Terr. Veg.
4	1322	250	CH	Arg. Alter.
6	1538	320	NR	Arg. g/az
8	1599	340	NR	Arg. g/az
10	1649	340	NR	Arg. g/az
12	1666	430	NR	Arg. g/az
14	1684	440	NR	Arg. g/az
15	1702	440	NR	Arg. g/az

089011P2 DH C.da Burrione				
Prof. (m)	Vp	Vs	Terreno	Litotipo
2	770	/	RI	Riporto
4	1379	/	RI	Riporto
6	1454	/	SM/MH	Sabb. lim/Limo sabb.
8	1509	/	MH	Lim. arg/Lim. Sabb
10	1807	/	SC	Calcar. Gross.
12	1828	/	SC/NR	Calc. Gros./sabb add
14	1290	/	NR	Sabbia add.
15	1333	/	NR	Sabbia add.

089011P3 DH C.da Burrione				
Prof. (m)	Vp	Vs	Terreno	Litotipo
2	310	70	RI	Riporto
4	1333	240	SM	Sabbie lim.
6	1333	260	SM	Sabbie lim.
8	1481	330	MH	Limo
10	1379	310	OH	Arg.lim.
12	1333	460	NR	Sabbie
14	1428	510	NR	Sabbie
16	1355	550	NR	Sabbie
18	1403	570	NR	Sabbie
20	1391	610	NR	Sabbie

089011P4 DH C.da Burrione				
Prof. (m)	Vp	Vs	Terreno	Litotipo
2	360	/	OL	Terr. Veg
4	1290	/	CH	Arg. Alter.
6	1379	/	NR	Arg. g/az
8	1666	/	NR	Arg. g/az
10	1538	/	NR	Arg. g/az
12	1739	/	NR	Arg. g/az
14	1777	/	NR	Arg. g/az
15	1818	/	NR	Arg. g/az

Tab. 13a: Downhole C.da Burrione (per localizzazione v. carta delle indagini)

089011P5 DH C.da Burrione				
Prof. (m)	Vp	Vs	Terreno	Litotipo
2	810	/	RI	Riporto
4	1538	/	GW/CH	Ciott. e Gh/arg.
6	1600	/	CH/NR	Arg/Arg. g/az
8	1739	/	NR	Arg. g/az
10	1904	/	NR	Arg. g/az
12	1818	/	NR	Arg. g/az
14	1904	/	NR	Arg. g/az
15	2000	/	NR	Arg. g/az

089011P6 DH C.da Burrione				
Prof. (m)	Vp	Vs	Terreno	Litotipo
2	150	/	RI	Riporto
4	950	/	RI	Riporto
6	1380	/	ML	Limo
8	1430	/	ML/GM	Limo/sabb-Gh in lim
10	1550	/	GM	Sabbia e Gh in lim
12	1650	/	NR	Arg. g/az
14	1670	/	NR	Arg. g/az
15	1720	/	NR	Arg. g/az

089011P7 DH C.da Burrione				
Prof. (m)	Vp	Vs	Terreno	Litotipo
2	720	/	RI	Riporto
4	1333	/	ML	Limo arg
6	1538	/	ML	Limo arg
8	1600	/	ML/SC	Limo arg sab/Sabb
10	1538	/	SC	Sabb
12	1509	/	SC	Calc. Gros./sabb
14	1600	/	SC	sabbie

089011P8 DH C.da Burrione				
Prof. (m)	Vp	Vs	Terreno	Litotipo
2	1000	/	RI	Riporto
4	1333	/	RI	Riporto
6	1538	/	GM/CH	Sab-Gh in lim/arg
8	1600	/	NR	Arg. g/az
10	1584	/	NR	Arg. g/az
12	1509	/	NR	Arg. g/az
14	1584	/	NR	Arg. g/az

Tab. 13b: Downhole C.da Burrione (per localizzazione v. carta delle indagini)

089011P9 DH C.da Burrione				
Prof. (m)	Vp	Vs	Terreno	Litotipo
2	727	/	OL	Terr. Veg
4	1142	/	MH/SM	Limo/sabbia lim
6	1666	/	MH/GM	Limo sabb./Sa-Gh in lim
8	1599	/	GM	Sabb-Gh in lim.
10	1729	/	GM/ML	Sa-Gh in lim/Limo arg sab
12	1904	/	NR	Arg g/az

089011P10 DH C.da Burrione				
Prof. (m)	Vp	Vs	Terreno	Litotipo
2	770	/	OL	Terr. Veg
4	840	/	SM/OL	Sab lim/limo arg
6	950	/	SM/OL	Sab lim/limo arg
8	1550	/	SM	Sabb lim
10	1610	/	GM	Sab-Gh in lim
12	1870	/	NR	Arg g/az
14	1860	/	NR	Arg g/az
16	1910	/	NR	Arg g/az
18	1960	/	NR	Arg g/az

089011P11 DH C.da Burrione				
Prof. (m)	Vp	Vs	Terreno	Litotipo
2	650	/	RI	Riporto
4	1080	/	ML	Lim arg
6	1150	/	ML	Lim arg
8	1450	/	SM	Limo/limo con sabb
10	1650	/	NR	Sabbie
12	1590	/	NR	Sabbie
14	1670	/	NR	Sabbie
15	1690	/	NR	Sabbie

089011P12 DH C.da Burrione				
Prof. (m)	Vp	Vs	Terreno	Litotipo
2	450	/	OL/GW	Ter. Veg/Ciot-Gh in sab
4	650	/	GW/SW	Ciot-Gh in sab/Sa-Gh in lim
6	1230	/	SW/CH	Sab-Gh in lim/arg alt
8	1570	/	NR	Arg g/az
10	1690	/	NR	Arg g/az
12	1770	/	NR	Arg g/az
14	1830	/	NR	Arg g/az
15	1820	/	NR	Arg g/az

Tab. 13c: Downhole C.da Burrione (per localizzazione v. carta delle indagini)

089011P15 DH C.da SA				
Prof. (m)	Vp	Vs	Terreno	Litotipo
2	590	/	RI/CH	Riporto/Argille alter
4	1280	/	CH	Arg
6	1480	/	CH	Arg
8	1530	/	NR	Arg g/az
10	1550	/	NR	Arg g/az
12	1660	/	NR	Arg g/az
14	1750	/	NR	Arg g/az
15	1810	/	NR	Arg g/az

089011P16 DH C.da SA				
Prof. (m)	Vp	Vs	Terreno	Litotipo
2	480	40	OL	Terr. Veg.
4	1330	220	MH	Limo
6	1430	260	ML	Limo compatto
8	1450	290	GP	Ghiaia e ciott.in sab.
10	1570	310	CH	Arg.
12	1740	400	NR	Arg. g/az
14	1081	450	NR	Arg. g/az

089011P17 DH C.da SA				
Prof. (m)	Vp	Vs	Terreno	Litotipo
2	380	/	OL	Terr veg
4	930	/	CH	Limo arg/arg alt
6	1430	/	CH	Limo arg/arg alt
8	1480	/	NR	Arg g/az
10	1740	/	NR	Arg g/az
12	1740	/	NR	Arg g/az
14	1790	/	NR	Arg g/az
15	1810	/	NR	Arg g/az

Tab. 14a: Downhole C.da S.Antonio (per localizzazione v. carta delle indagini)

089011P18 DH C.da SA				
Prof. (m)	Vp	Vs	Terreno	Litotipo
2	660	/	SM/SW	Sabbie lim/Sab con Gh e ciot
4	960	/	SW	Sabb con Ghiaia e Ciott.
6	1380	/	CH	Arg alt
8	1430	/	NR	Arg g/az
10	1580	/	NR	Arg g/az
12	1680	/	NR	Arg g/az
14	1760	/	NR	Arg g/az
15	1790	/	NR	Arg g/az

089011P19 DH C.da SA				
Prof. (m)	Vp	Vs	Terreno	Litotipo
2	970	/	OL	Limo arg
4	1430	/	CH	Arg alt
6	1610	/	CH	Arg alt
8	1540	/	NR	Arg g/az
10	1560	/	NR	Arg g/az
12	1650	/	NR	Arg g/az
14	1810	/	NR	Arg g/az

Tab. 14b: Downhole C.da S.Antonio (per localizzazione v. carta delle indagini)

089011P20 DH C.da SA				
Prof. (m)	Vp	Vs	Terreno	Litotipo
2	670	/	OL/CH	Terr veg/Arg alt
4	1290	/	CH	Arg alt
6	1410	/	CH	Arg alt
8	1450	/	CH	Arg alt
10	1650	/	NR	Arg g/az
12	1710	/	NR	Arg g/az
14	1750	/	NR	Arg g/az
15	1830		NR	Arg g/az

089011P21 DH C.da SA				
Prof. (m)	Vp	Vs	Terreno	Litotipo
2	440	60	OL	Terr. Veg.
4	1170	210	OL	Limo arg. Comp.
6	1330	300	SP	Sabbia con gh.in lim.
8	1430	290	CH	Arg.
10	1640	380	NR	Arg. g/az
12	1740	440	NR	Arg. g/az
14	1790	460	NR	Arg. g/az

Tab. 14c: Downhole C.da S.Antonio (per localizzazione v. carta delle indagini)

089011P33 DH C.da ST				
Prof. (m)	Vp	Vs	Terreno	Litotipo
2	420	50	RI/OL	Riporto/Lim. Arg.
4	1140	210	CH	Arg. alter.
6	1380	250	CH	Arg. alter.
8	1610	310	NR	Arg. g/az
10	1740	310	NR	Arg. g/az
12	1770	390	NR	Arg. g/az
14	1790	420	NR	Arg. g/az
15	1820	440	NR	Arg. g/az

089011P34 DH C.da ST				
Prof. (m)	Vp	Vs	Terreno	Litotipo
2	420	/	RI	Riporto
4	880	/	ML/GM	Limo con sab e Gh/Gh e sa in lim
6	1310	/	CH	Arg alter
8	1450	/	CH/NR	Arg alter/Arg g/az
10	1510	/	NR	Arg g/az
12	1540	/	NR	Arg g/az
14	1700	/	NR	Arg g/az
15	1310	/	NR	Arg g/az

Tab. 15a: Downhole C.da Stazione ferroviaria (per localizzazione v. carta delle indagini)

089011P35 DH C.da ST				
Prof. (m)	Vp	Vs	Terreno	Litotipo
2	670	50	RI/OL	Riporto/lim. arg.
4	1060	200	OL/CH	Limo arg./Arg. alter.
6	1360	250	CH	Arg. alterata
8	1550	300	CH	Arg. alterata
10	1690	310	NR	Arg. g/az
12	1750	380	NR	Arg. g/az
14	1780	410	NR	Arg. g/az
15	1800	430	NR	Arg. g/az

089011P36 DH C.da ST				
Prof. (m)	Vp	Vs	Terreno	Litotipo
2	440	/	RI	Riporto
4	1380	/	OL	Limo compatto
6	1190	/	OL/GM	Limo comp/Lim arg/Gh minuta in lim
8	1350	/	CH	Arg alter
10	1630	/	CH/NR	Arg alter/Arg g/az
12	1650	/	NR	Arg g/az
14	1760	/	NR	Arg g/az
15	1790	/	NR	Arg g/az

Tab. 15b: Downhole C.da Stazione ferroviaria (per localizzazione v. carta delle indagini)

089011P44 DH C.da PO				
Prof. (m)	Vp	Vs	Terreno	Litotipo
2	570	/	RI	Riporto
4	910	/	RI/CH	Riporto/Arg lim/arg
6	1120	/	CH	Arg limose
8	1250	/	CH	Arg limose
10	1420	/	CH/NR	Arg limose/Arg g/az
12	1530	/	NR	Arg g/az
14	1620	/	NR	Arg g/az

089011P45 DH C.da PO				
Prof. (m)	Vp	Vs	Terreno	Litotipo
2	480	/	RI	Riporto
4	870	/	RI	Riporto
6	1230	/	CH	Arg limose
8	1390	/	CH/NR	Arg limose/Arg g/az
10	1540	/	NR	Arg g/az
12	1670	/	NR	Arg g/az
14	1750	/	NR	Arg g/az

Tab. 16a: Downhole C.da Portazza (per localizzazione v. carta delle indagini)

089011P46 DH C.da PO				
Prof. (m)	Vp	Vs	Terreno	Litotipo
2	590	150	RI	Riporto
4	800	160	OL	Limo arg.
6	1110	220	ML/CH	Limo comp./ Arg lim
8	1330	270	CH	Arg alter.
10	1550	340	CL/NR	Arg lim/Arg g/az
12	1420	340	NR	Arg g/az
14	1530	340	NR	Sabbie fini

089011P47 DH C.da PO				
Prof. (m)	Vp	Vs	Terreno	Litotipo
2	660	/	RI	Riporto
4	1080	/	RI	Riporto
6	1290	/	ML	Limo sabb.
8	1360	/	SM	Sabb lim
10	1680	/	SM/NR	Sa lim/Arg sa/sa lim
12	1650	/	NR	Sabb lim
14	1810	/	NR	sabb lim

Tab. 16b: Downhole C.da Portazza (per localizzazione v. carta delle indagini)

089011P48 DH C.da PO				
Prof. (m)	Vp	Vs	Terreno	Litotipo
2	610	/	RI	Riporto
4	860	/	RI/CL	Riporto/Arg sabb
6	1050	/	NR	Sabb lim
8	1250	/	NR	Sabb lim
10	1610	/	NR	Sabb lim
12	1690	/	NR	Sabb lim
14	1770	/	NR	Sabb lim

089011P49 DH C.da PO				
Prof. (m)	Vp	Vs	Terreno	Litotipo
2	290	30	OL	Terr. Veg.
4	890	150	CH	Arg. alter.
6	1290	210	CH	Arg. alter.
8	1420	280	NR	Arg. g/az
10	1450	380	NR	Sabb./calcar.gross.
12	1660	430	NR	Sabbia fine silt. molto add.
14	1760	460	NR	Sabbia fine silt. molto add.

Tab. 16c: Downhole C.da Portazza (per localizzazione v. carta delle indagini)

089011P50 DH C.da PO				
Prof. (m)	Vp	Vs	Terreno	Litotipo
2	570	/	RI	Riporto
4	1110	/	RI/OL	Riporto/Terr veg
6	990	/	OL	Terr veg/Limo arg
8	1110	/	NR	Sabbie
10	920	/	NR	Sabbie
12	1250	/	NR	Sabbie
14	1390	/	NR	Sabbie

089011P51 DH C.da PO				
Prof. (m)	Vp	Vs	Terreno	Litotipo
2	580	/	RI/CH	Riporto/Arg
4	1220	/	CH	Arg
6	1450	/	CH	Arg
8	1530	/	NR	Arg g/az
10	1570	/	NR	Arg g/az
12	1650	/	NR	Arg g/az
14	1670	/	NR	Arg g/az

Tab. 16d: Downhole C.da Portazza (per localizzazione v. carta delle indagini)

089011P12 UH C.da Burrione				
Prof. (m)	Vp	Vs	Terreno	Litotipo
9,6	1050-1100	/	OL/GW/SW/CH/NR	VEDI 089011P12DH
15	1750-1850	/	NR	VEDI 089011P12DH

089011P18 UH C.da SA				
Prof. (m)	Vp	Vs	Terreno	Litotipo
4,2	1000-1200	/	SM/SW	VEDI 089011P18DH
15	1600-1800	/	CH/NR	VEDI 089011P18DH

089011P44 UH C.da PO				
Prof. (m)	Vp	Vs	Terreno	Litotipo
7,7	100-1400	/	RI/CH	VEDI 089011P44DH
15	1600-1800	/	CH/NR	VEDI 089011P44DH

Tab. 17: Uphole C.da Burrione, C.da S. Antonio, D.da Portazza (per localizzazione v. carta delle indagini)

Allegato 4 – Misure di microtremore ambientale

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

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

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

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

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

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

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

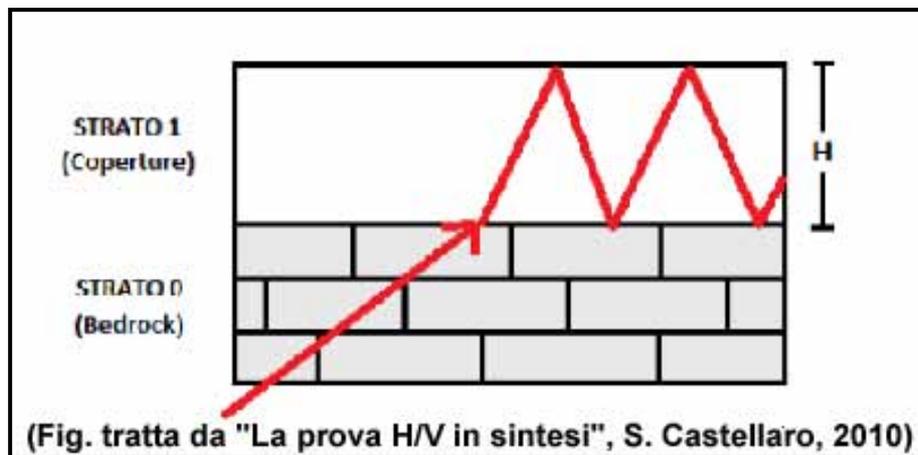
Ciò premesso, riconosciuta l'importanza degli effetti di sito, al progettista serve conoscere la *funzione di trasferimento* al sito, ossia come il moto dal bedrock si trasferisce in superficie; ne consegue che la condizione ideale risulta la misurazione e non il calcolo (che richiederebbe la modellazione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

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

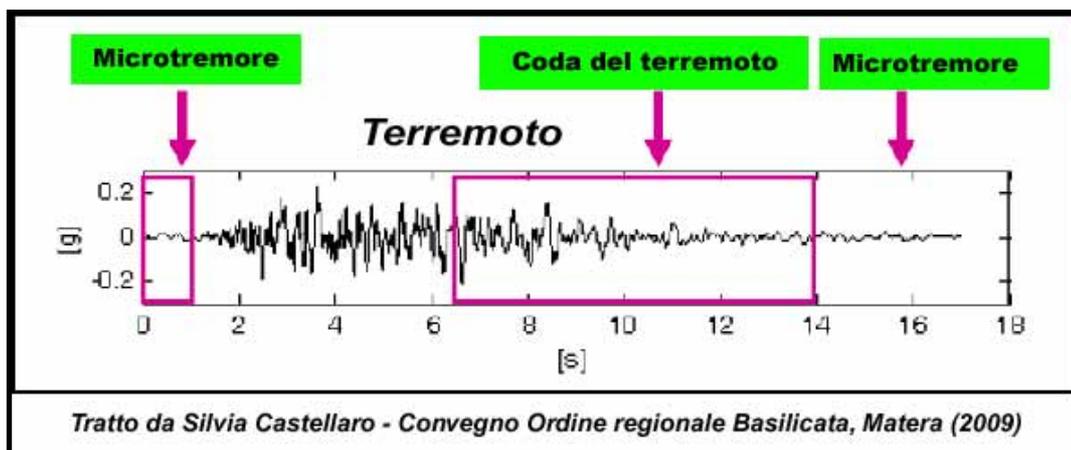
A tal proposito va rilevato, quindi, come lo studio del microtremore ambientale (noise), attraverso le prove di sismica passiva a stazione singola H/V (o HVSR), sia in grado di mettere in luce le frequenze alle quali il moto del terreno viene amplificato per risonanza stratigrafica; tale prova, comunemente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

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

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



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



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

Le basi teoriche dell'HVSR sono relativamente semplici; in un sistema stratificato in cui i parametri variano solo con la profondità, considerando un sistema a due strati caratterizzati da due diverse velocità (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 :

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

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

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

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

Equazione 1

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

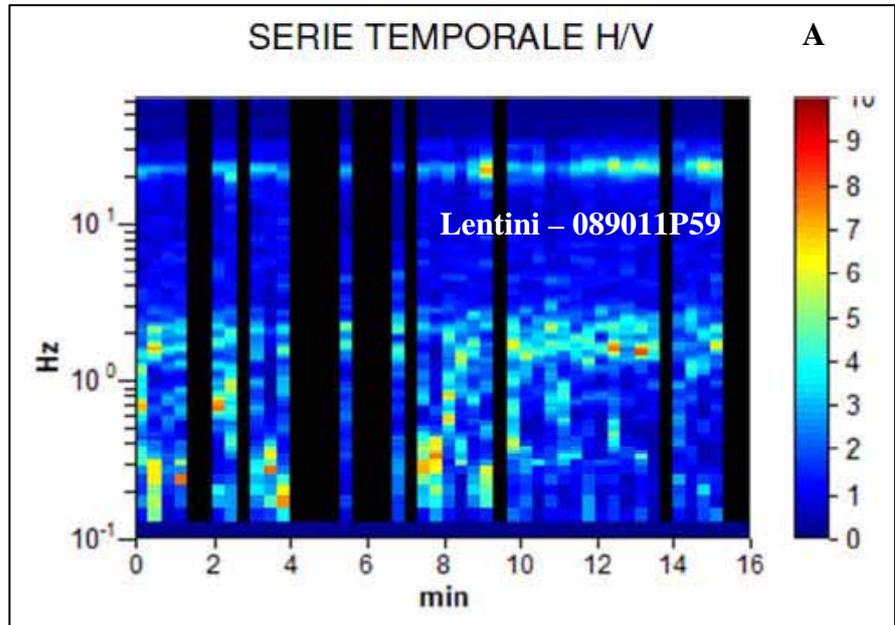
Nello specifico, considerando l'estensione e la topografia dell'area, questo studio ha comportato l'esecuzione di "20" misure, secondo le indicazioni del progetto di ricerca europeo SESAME ("Guidelines for the implementation of the H\|V spectral ratio technique on ambient vibrations" - European Commission,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

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

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

artefattualmente *sottostimate* rispetto a quelle reali per le ragioni descritte in Castellaro e Mulargia (2009a).

I risultati di ciascuna analisi sono stati ottenuti col software Grilla in dotazione al tromografo-Tromino per cui il segnale acquisito dai velocimetri è stato digitalizzato a 24 bit; il software Grilla per ciascuna delle tre componenti del moto,



previa divisione del tracciato in finestre temporali di 10 secondi, ha calcolato il rapporto spettrale HVSR ad ogni frequenza per ciascuna finestra (Es. Lentini - 089011P59).

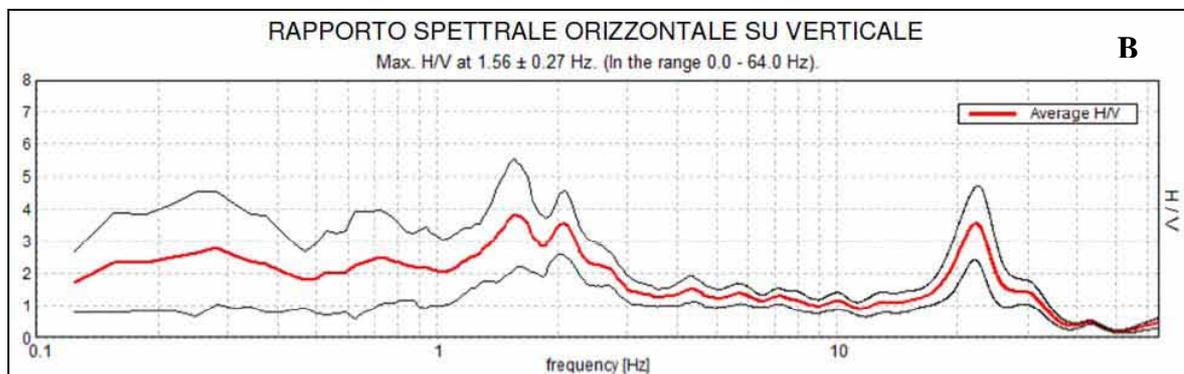


Fig. 1 - Serie Temporale H/V (A) e Rapporto Spettrale orizzontale/verticale (B) relativo all'indagine 089011P59 a Lentini.

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

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

In considerazione delle finalità del presente studio, la tecnica utilizzata, totalmente non invasiva e molto “rapida”, si è ben adattata ai luoghi di indagine in quanto non ha avuto necessità di alcuna ulteriore perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazioni esterne diverse dal rumore ambientale che in natura è ovunque presente.

Elaborazione delle misure

Per l’elaborazione delle misure si è fatto riferimento agli indirizzi ed i criteri descritti in “Microzonazione Sismica Parti I, II e III” (*Bramerini et al. ,2008*), “Microzonazione Sismica” (Castenetto S., 2011), “Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola” (*D. Albarello, S. Castellano, 2011*).

All’interno del territorio comunale di Lentini sono state precedentemente eseguite misure di noise (HVSr) commissionate da parte del comune e finalizzate allo studio di “Microzonazione sismica di zone di PRG”. Le indagini HVSr sono state eseguite in tre contrade distinte, C.da S. Antonio, C.da Stazione e C.da Portazza, per un totale di 18 misure, 6 per ogni contrada. I risultati forniti, relativi a tali indagini, vengono riassunti nella **Tabella 1**, che mostra il valore della frequenza (Hz) caratteristica di ogni picco ed il valore di attendibilità associato ad ogni indagine.

HVSr	ID_PARPU	Località	F ₀	Attendibilità
1	089011P27HVSr107FR378	C.da S. Antonio - Lentini	5,15	3
2	089011P28HVSr108FR379	C.da S. Antonio - Lentini	3	3
3	089011P29HVSr109FR380	C.da S. Antonio - Lentini	2,9	3
4	089011P30HVSr110FR381	C.da S. Antonio - Lentini	3,3	3
5	089011P31HVSr111FR382	C.da S. Antonio - Lentini	4,925	3
6	089011P32HVSr112FR383	C.da S. Antonio - Lentini	3	3
7	089011P38HVSr134FR471	C.da Stazione - Lentini	4	3
8	089011P39HVSr135FR472	C.da Stazione - Lentini	4,1	3
9	089011P40HVSr136FR473	C.da Stazione - Lentini	4,825	3
10	089011P41HVSr137FR474	C.da Stazione - Lentini	3,9	3
11	089011P42HVSr138FR475	C.da Stazione - Lentini	3,5	3
12	089011P43HVSr139FR476	C.da Stazione - Lentini	3,7	3
13	089011P53HVSr180FR617	C.da Portazza - Lentini	3	3
14	089011P54HVSr181FR618	C.da Portazza - Lentini	2,7	3
15	089011P55HVSr182FR619	C.da Portazza - Lentini	5,3	3
16	089011P56HVSr183FR620	C.da Portazza - Lentini	5,2	3
17	089011P57HVSr184FR621	C.da Portazza - Lentini	5,2	3
18	089011P58HVSr185FR622	C.da Portazza - Lentini	4,5	3

Tab. 1– siti di misura di noise ricadenti nel territorio comunale di Lentini eseguiti precedentemente al presente studio e commissionati dal Comune di Lentini per lo studio di “*Microzonazione sismica di zone di PRG*”.

Si noti come a queste misure sia stata associata un’attendibilità pari a 3, dettata dal fatto che alcune delle informazioni relative all’esecuzione della misura stessa risultano frammentarie o mancanti.

Nell’ambito degli studi di Microzonazione Sismica di primo livello, nuove 20 misure di noise, presentate di seguito, sono state condotte nell’area di studio da investigare.

La **Tabella 2** mostra i valori delle frequenze di picco, in un range compreso tra 0.6 e 20 Hz, relativi ai 20 siti di misura ubicati all’interno dell’area di studio, ai quali viene anche associata una stima dell’attendibilità dell’indagine. In alcuni casi, all’interno del suddetto range di frequenza, vengono segnalati due picchi, per gran parte ricadenti tra 0.6 e 7.0 Hz.

ID_SPU	X	Y	F0	F0_H0V0	F1	F1_H1V1	F2	F2_H2V2	Attendibilità
089011P59	500000	4128615,44	1,56	3,85	2,1	3,5			1
089011P60	499876,91	4127999,11	2,38	3,6					1
089011P61	499409,19	4128461,37	3,5	3,4	5,63	4			1
089011P62	500024,62	4127536,86	4	2,75	6,78	4			1
089011P63	499482,95	4127105,45	3,5	1,1					1
089011P64	499236,72	4126858,94	2,75	3,5					1
089011P65	498596,42	4126057,8	1,25	1,75	3,5	1,5			1
089011P66	500024,62	4126427,48	4,69	2					1
089011P67	499827,66	4127752,58	0,75	1,9					2
089011P68	498645,62	4125811,26	5	1,75					3
089011P69	498620,95	4125533,92	4,3	3,8					3
089011P70	498074,07	4125944,82	0,63	4,5	0,92	2			2
089011P71	498916,58	4126458,36	3	1,3					3
089011P72	498350,25	4126427,64	0,8	7	19,9	3,15			3
089011P73	498965,93	4127259,58	0,78	8					2
089011P74	499409,12	4127506,07	0,85	3,2					3
089011P75	498793,72	4128214,91							3
089011P76	499359,99	4129016,07							3
089011P77	499360,03	4129478,32							3
089011P78	500123,08	4129077,68	5,4	3,6					3

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

Fanno eccezione tre misure anomale (089011P75; 089011P76; 089011P77), per le quali non è stato possibile dedurre picchi di frequenza significativi, per problemi relativi all'esecuzione della misura (Figura 2).

Queste indagini, alle quali sono stati assegnati valori di attendibilità pari a 3 (bassa), andrebbero pianificate ed eseguite ex novo, al fine di ricoprire in maniera omogenea, con misure HVSR affidabili, l'area di studio.

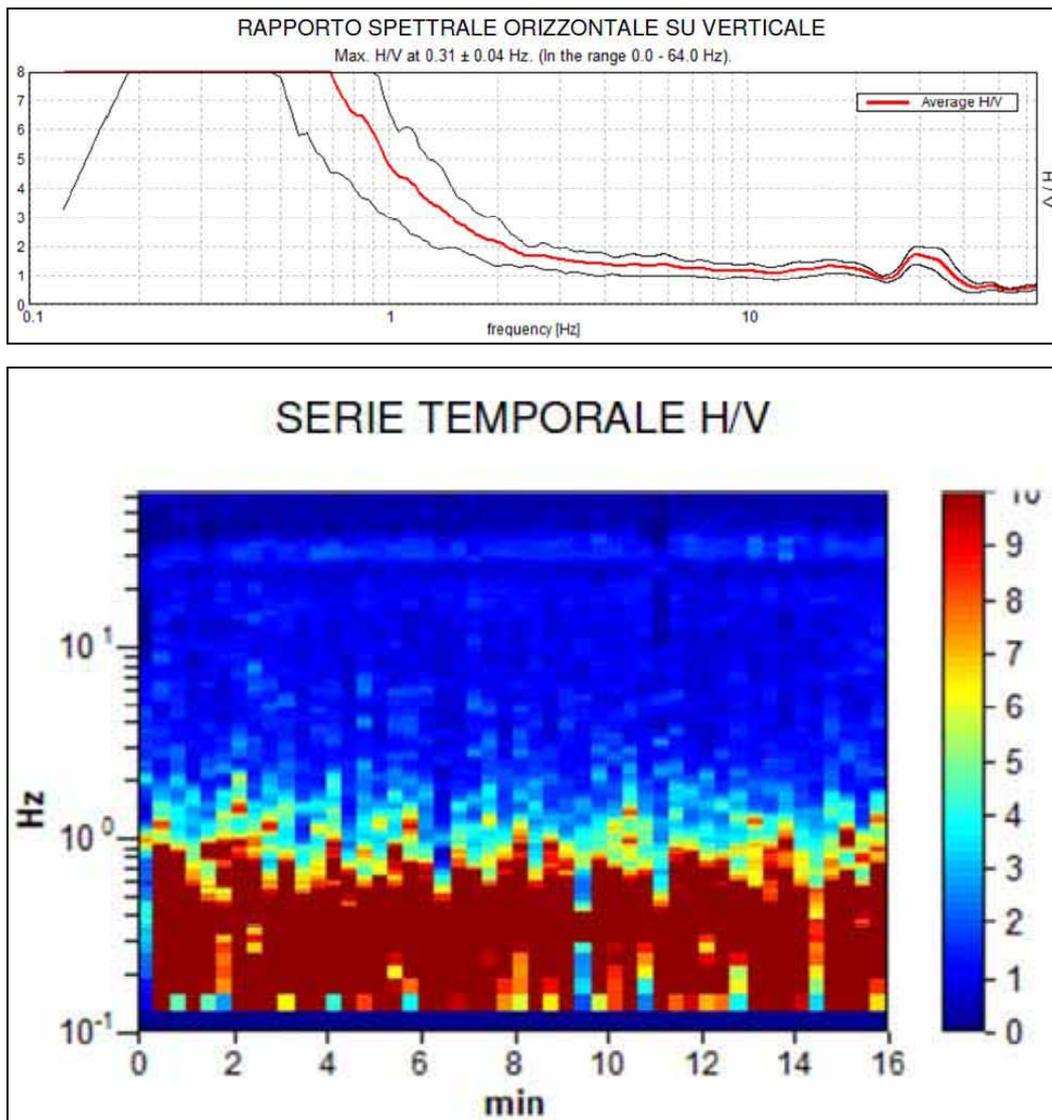


Fig. 2 – Serie Temporale e Rapporto Spettrale H/V relativo all'indagine 089011P75 a Lentini, per la quale non è stato possibile definirne i picchi di frequenza.

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

ricognosciuti (Figura 3).



Fig. 3- Esempio di sito di misura HVSR presenti nella carta delle frequenze allegata, mostrandone i valori di frequenza ed ampiezza dei picchi significativi (due in questo caso).

Per l'area investigata del territorio del comune di Lentini, l'esito dei test statistici (linee guida SESAME, 2004) evidenzia che per la maggior parte delle misure effettuate vengono soddisfatti i criteri di bontà d'esecuzione, analisi ed affidabilità (esempio in Figura 4), ad eccezione delle tre misure suddette, 089011P75, 089011P76 e 089011P77, per le quali almeno uno dei tre criteri della tabella SESAME "Criteri per una curva H|V affidabile" non viene soddisfatto (esempio in Figura 5).

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	1.56 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	1031.3 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 76	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^* in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H V}(f^*) < A_0 / 2$	0.5 Hz	OK	
Esiste f^* in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H V}(f^*) < A_0 / 2$	2.813 Hz	OK	
$A_0 > 2$	3.84 > 2	OK	
$f_{\text{picco}} [A_{H V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.08282 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.12941 < 0.15625$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.829 < 1.78$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^*	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H V}(f^*) < A_0/2$
f^*	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H V}(f^*) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

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

Fig. 4 - tabelle dei criteri per una curva H/V affidabili e per un picco H/V chiaro relativi all'indagine 089011P59 i cui requisiti vengono soddisfatti.

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

I picchi principali di risonanza per ciascuna delle misure non sempre risultano significativi e chiari, come evidenziato dal fatto che non vengono soddisfatti tutti i sei criteri analizzati della Tabella relativa ai "Criteri per un picco H|V chiaro", i quali indicano

se il “picco” è significativo dal punto di vista statistico; va detto che cinque di questi sei criteri andrebbero soddisfatti e che il mancato soddisfacimento dei requisiti non implica una cattiva registrazione del segnale, ma soltanto la mancanza di contrasti d’impedenza tali da dar origine a picchi significativi.

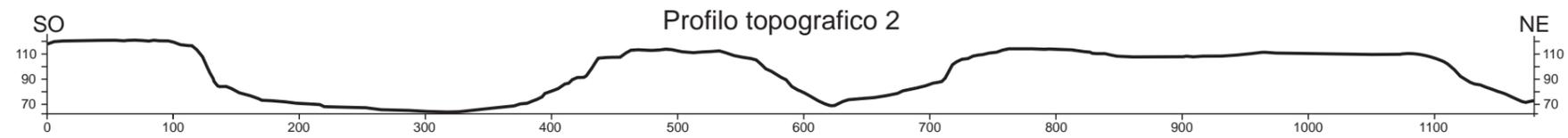
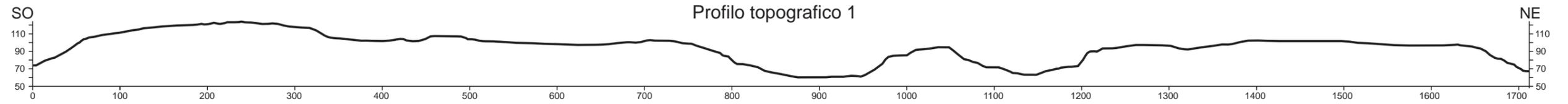
Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	0.31 > 0.50		NO
$n_c(f_0) > 200$	300.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 16 volte su 16		NO
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.094 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	0.563 Hz	OK	
$A_0 > 2$	23.32 > 2	OK	
$f_{\text{picco}} [A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.05915 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.01848 < 0.0625	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	5.0061 < 2.5		NO

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

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

Fig. 5 – tabelle dei criteri per una curva H/V affidabile e per un picco H/V chiaro relativi all’indagine 089011P75 i cui requisiti non vengono soddisfatti.

Allegato 5 – Sezioni topografiche



Scala 1:5000

Allegato 6 – Schemi dei rapporti litostratigrafici più significativi

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

