

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

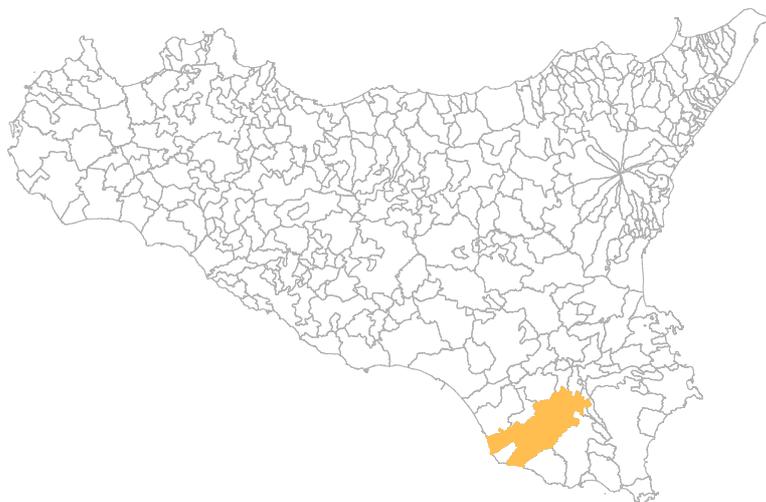
MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione Illustrativa

MS Livello 1

Regione Sicilia

Comune di Ragusa



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

<p>Contraente: Regione Siciliana – Presidenza Dipartimento della Protezione Civile</p> 	<p>Soggetto realizzatore: Università degli Studi di Palermo</p> 	<p>Data: Febbraio 2013</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------

INDICE

	Premessa	Pag. 4
1.	Introduzione	5
1.1	<i>Finalità degli studi</i>	5
1.2	<i>Descrizione generale dell'area</i>	6
1.3	<i>Definizione della cartografia di base</i>	10
1.4	<i>Elenco archivi consultati</i>	10
1.5	<i>Definizione dell'area da sottoporre a microzonazione</i>	10
2.	Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento	12
2.1	<i>Sismicità storica della Sicilia sud – orientale</i>	12
2.2	<i>Sismicità storica e pericolosità sismica nel comune di Ragusa</i>	16
2.3	<i>Faglie attive</i>	22
2.4	<i>Pericolosità geo-idrologica</i>	24
3.	Assetto geologico e geomorfologico	24
3.1	<i>Inquadramento geologico</i>	24
3.2	<i>Assetto Tettonico</i>	26
3.3	<i>Neotettonica</i>	28
3.4	<i>Caratteri morfologici, stratigrafici e tettonici del territorio di Ragusa</i>	28
3.4.1	<i>Caratteri morfologici</i>	28
3.4.2	<i>Litostratigrafia</i>	34
3.4.2.1	<i>Formazione Ragusa</i>	35
3.4.2.2	<i>Formazione Tellaro</i>	36
3.4.2.3	<i>Alluvioni: ghiaie, limi, sabbie e sabbie limose</i>	36
3.4.2.4	<i>Coperture</i>	36
3.4.3	<i>Lineamenti tettonici di Ragusa</i>	38
4.	Dati geotecnici e geofisici	39
4.1	<i>Il database</i>	39
4.2	<i>Unità geologico – litotecniche</i>	41
4.3	<i>Indagini geofisiche precedenti</i>	42
4.4	<i>Il metodo HVSR</i>	43
4.5	<i>Indagini HVSR</i>	46
5.	Modello del sottosuolo	56
5.1	<i>Il modello e le sezioni rappresentative del sottosuolo</i>	56
5.2	<i>Stime della profondità del tetto del bedrock sismico ottenute da misure HVSR</i>	59
6.	Interpretazioni e incertezze	61
6.1	<i>Incertezze sul modello geologico tecnico del sottosuolo</i>	61
6.2	<i>Breve analisi dei vantaggi e svantaggi dei metodi d'indagine con microtrempi</i>	61
6.3	<i>Incertezze sulle stime della profondità del bedrock sismico</i>	62
7.	Metodologie di elaborazione e risultati	63
7.1	<i>Criteri per l'elaborazione della carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica</i>	63

7.2	<i>Standard di archiviazione informatica degli elementi morfologici</i>	64
7.3	<i>Elementi di amplificazione topografica</i>	65
7.4	<i>Criteri adottati per la costruzione della carta delle frequenze</i>	70
8.	Elaborati cartografici	71
8.1	<i>Carta delle indagini</i>	71
8.2	<i>Carta Geologico – tecnica</i>	71
8.2.1	<i>Il substrato geologico</i>	72
8.2.2	<i>I terreni di copertura</i>	72
8.2.3	<i>Dissesti</i>	73
8.3	<i>Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 1)</i>	74
8.3.1	<i>Profili topografici di dettaglio</i>	77
8.4	<i>Carta delle frequenze</i>	97
9.	Confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati	97
10.	Bibliografia	98

PREMESSA

La presente relazione sintetizza le attività di campo, di laboratorio, di acquisizione ed elaborazione dei dati acquisiti ed illustra i risultati relativi allo studio preliminare (livello 1) per la redazione di un'apposita cartografia rivolta alla costruzione ed alla elaborazione della *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica* del comune di Ragusa (Provincia Regionale di Ragusa) redatta sulla base di carte tematiche, indagini esistenti (carta geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche, indagini geognostiche e geofisiche etc.) e sulla base di osservazioni, studi ed indagini condotte direttamente.

Lo studio, ai sensi dell'OPCM 3907/2010, è stato condotto nell'ambito della convenzione del 20/12/2011, stipulata tra le Università di Catania, Messina, Palermo e il Dipartimento Regionale della Protezione Civile (Servizio Regionale di Protezione Civile per la Provincia di Catania).

Lo studio è stato realizzato da ricercatori del Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare (DiSTeM) che si sono avvalsi della collaborazione di personale a contratto:

Personale strutturato: P. Di Stefano, D. Luzio, R. Martorana, P. Renda, E. Rotigliano.

Personale a contratto: M. Alessandro, P. Capizzi, D. Costanzo, N. Messina, T. D'Alessandro, G. Napoli, M. Perricone, S. Todaro, G. Zarcone.

1. INTRODUZIONE

1.1. Finalità degli studi

La microzonazione sismica (MS), è una tecnica di analisi di un territorio che ha lo scopo di riconoscere, a una scala sufficientemente piccola (generalmente sub comunale), le condizioni geologiche e geomorfologiche locali che possono alterare sensibilmente le caratteristiche dello scuotimento sismico, generando sulle strutture presenti, sollecitazioni tali da produrre effetti permanenti e critici. In altri termini tale analisi ha l'obiettivo di prevedere e valutare eventuali effetti di sito a seguito di un sisma. La prima fase della MS consiste nella suddivisione dettagliata del territorio in aree omogenee rispetto al comportamento atteso dei terreni durante un evento sismico. La MS costituisce uno strumento di prevenzione e riduzione del rischio sismico particolarmente efficace se realizzato e applicato già in fase di pianificazione urbanistica. Risulta essere, quindi, un supporto fondamentale agli strumenti di pianificazione urbanistica comunale per indirizzare le scelte urbanistiche verso le aree a minore pericolosità sismica.

Per minimizzare costi e tempi la MS deve essere prioritariamente realizzata nelle aree urbanizzate, in quelle suscettibili di trasformazioni urbanistiche e lungo le fasce a cavallo delle reti infrastrutturali. Le aree in cui realizzare la microzonazione sismica dovrebbero essere indicate dalle Amministrazioni Comunali prima della selezione dei soggetti realizzatori degli studi.

Il riferimento tecnico per la realizzazione di questi studi e per l'elaborazione e la redazione degli elaborati richiesti è costituito da "*Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica*" approvato dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome il 13/11/2008. Nel citato "*Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica*" sono definite le procedure e le metodologie di analisi finalizzate a individuare e caratterizzare: zone stabili, zone stabili suscettibili di amplificazione locale del moto sismico e zone suscettibili di instabilità.

Gli studi di MS possono essere condotti secondo tre livelli di approfondimento.

Il **Livello 1**, che costituisce uno studio propedeutico ed obbligatorio per poter affrontare i successivi livelli, ha per obiettivo la precisazione del quadro conoscitivo di un territorio, derivante, prevalentemente, dalla raccolta ed analisi dei dati preesistenti, integrata se necessario dall'esecuzione di indagini in situ. Questo Livello è finalizzato alla realizzazione della **Carta delle Microzone omogenee in prospettiva sismica**, cioè all'individuazione di aree a comportamento sismico omogeneo;

Le finalità dello studio sono:

- Individuare le aree suscettibili di effetti locali in cui effettuare le successive indagini di microzonazione sismica;
- Definire il tipo di effetti attesi;
- Indicare, per ogni area, il livello di approfondimento necessario;
- Definire il modello geologico che costituisce la base per la microzonazione sismica, in termini di caratteristiche litologiche e geometriche delle unità geologiche del sottosuolo,.

L'analisi di **Livello 2** è richiesta nelle aree nelle quali sono attesi effetti di amplificazione dei parametri di scuotimento ed è ritenuta sufficiente se queste sono prive di particolari complicazioni geologiche e morfologiche,. Per uno studio di secondo livello sono richieste indagini geotecniche e geofisiche di tipo standard e la stima dei fattori di amplificazione può essere effettuata tramite tabelle e formule. E' importante sottolineare che la scelta e l'utilizzo delle tabelle richiedono un'attenta valutazione dei risultati delle indagini stratigrafiche e geofisiche.

Un'analisi più approfondita, di **Livello 3**, è invece richiesta nelle aree in cui sono presenti particolari condizioni di pericolosità locale (valli strette e zone pedemontane con spessori delle coperture rapidamente variabili, terreni potenzialmente liquefacibili ad elevata compressibilità, pendii instabili o potenzialmente instabili) o laddove sono previsti opere ed edifici di rilevante interesse pubblico.

Per le specifiche tecniche per la redazione degli elaborati cartografici della MS di **Livello 1** e per l'allestimento della banca dati, si è tenuto conto anche degli aggiornamenti forniti dalla Commissione Tecnica per il supporto e monitoraggio degli studi di microzonazione sismica (articolo 5, comma 7 dell'OPCM 13 novembre 2010, n. 3907) e, nello specifico, della versione 2.0 (giugno, 2012) degli Standard di Rappresentazione ed archiviazione informatica.

1.2. Descrizione generale dell'area

Il territorio comunale di Ragusa (capoluogo della omonima provincia regionale) è ubicato nel settore centro-meridionale dell'altipiano Ibleo, Sicilia sud-orientale (Fig.1.1). Confina con i territori comunali di Chiamonte Gulfi, Comiso, Giarratana, Modica, Monterosso Almo, Rosolini, Santa Croce Camerina, Scicli e Vittoria e si estende tra una quota di 0 e 700 m. s.l.m.

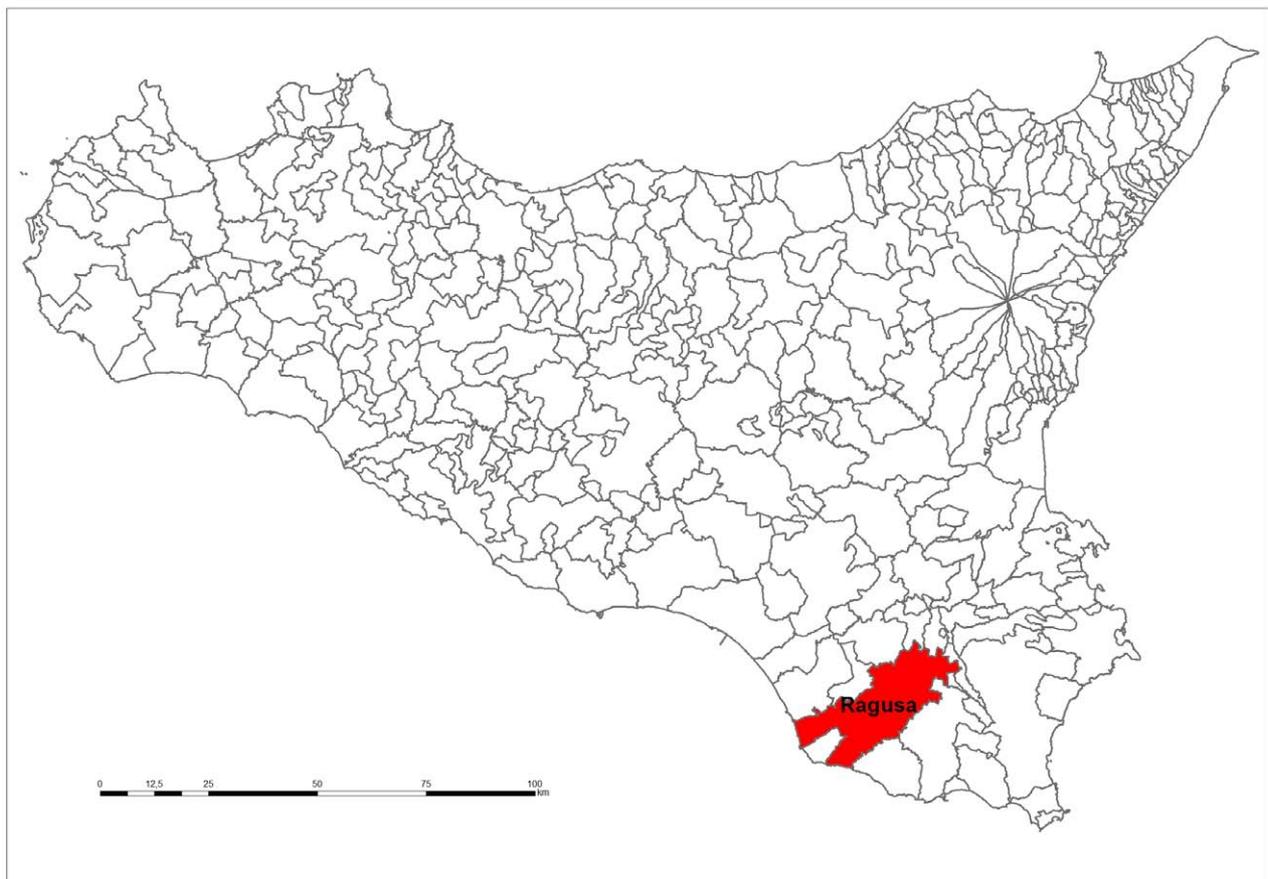


Figura 1.1 - Ubicazione dell'area

Il territorio di Ragusa comprende 45 tra frazioni e nuclei abitativi, tra cui i più importanti sono San Giacomo e Donnafugata ed il centro balneare Marina di Ragusa.

La città si estende sulla parte meridionale dei monti Iblei, è il capoluogo di provincia più a sud d'Italia, l'undicesimo per altitudine e dista mediamente 20 km dal mare in una zona considerata a media sismicità.

La popolazione è di 73.963 abitanti con una densità abitativa di 167 abitanti per Km² (dati ISTAT 2010)

Il centro urbano di Ragusa si estende tra quote di circa 350 e 630 metri s.l.m., ricade alle coordinate 36°55'29"N - 14°43'30"E (riferite alla casa comunale). Sorge su tre colline separate dalle valli San Leonardo e Santa Domenica e si estende su diverse alture bordate a luoghi da scarpate abbastanza ripide o subverticali, dall'incisione del fiume Irminio e da diverse incisioni torrentizie tributarie dello stesso corso d'acqua (Fig. 1.2). A sud e ad ovest invece è limitato da un sistema collinare con acclività variabili (Fig. 1.3).



Figura 1.2 – Scarpate sub verticali che delimitano il versante su cui sorge Ragusa superiore.



Figura 1.3 – Vista panoramica della città di Ragusa.

Le origini di Ragusa probabilmente risalgono al neolitico ed anche se nel territorio ragusano sono state ritrovate tracce di villaggi abitati dai Sicani, i primi insediamenti stabili sono datati al XX secolo a.C.. Comunque il primo centro di una certa importanza, documentato, è la città di Ibla Erea risalente al XIV° secolo A.C. Da questo momento la città con alterne vicende ha ricoperto un ruolo fondamentale nella storia dell'isola fino a quando il devastante terremoto del 1693 causò la distruzione quasi totale dell'intera città, facendo più di cinquemila vittime su quasi diecimila abitanti. La ricostruzione, avvenuta nel XVIII secolo, la divise in due grandi quartieri: da una parte Ragusa superiore, situata sull'altopiano, dall'altra Ragusa Ibla, sorta sulle rovine dell'antica città e ricostruita secondo l'antico impianto medioevale.

E' chiamata anche la "città dei ponti" per la presenza di tre ponti che attraversano la vallata di Santa Domenica (incisione torrentizia che divide in due la città) ed uniscono la Ragusa settecentesca a quella più recente del Novecento (Fig. 1.4). Il quartiere più antico della città, Ragusa Ibla, sorge ad oriente su una collina confinata tra ripide pareti. Il settore settentrionale della città è bordata dal fiume San Leonardo che la separa dal monte Prato. Ad occidente l'abitato di Ragusa superiore si estende sul colle Patro fino a raggiungere l'altopiano (620 metri s.l.m.) dove si sviluppa anche la parte più moderna.



Figura 1.4 - Ragusa, Valle dei ponti. Strutture che collegano la parte antica a quella più recente della città

La città di Ragusa è un'importante centro economico dell'Italia meridionale. Nel suo territorio è abbastanza sviluppato il settore industriale, il settore finanziario e l'industria estrattiva. Molta importanza ricoprono anche il settore agricolo (viticoltura, coltivazioni in serra etc.), zootecnico e terziario e negli ultimi anni è in veloce crescita anche il settore turistico. La città di Ragusa nel 2002 è stata dichiarata, dall'UNESCO, patrimonio dell'umanità, è una delle città d'arte più importanti d'Italia, grazie alle svariate ricchezze artistiche ed archeologiche (possiede ben 18 monumenti iscritti nelle liste dall'Unesco).

Il territorio comunale ricade tra i distretti idrografici del Fiume Irmínio ed Ippari per una superficie totale di circa 442,6 kmq, inoltre è inciso da numerosi corsi d'acqua perenni o a carattere torrentizio che hanno scavato profonde forre e gole. Dal punto di vista idrogeologico la falda idrica, nei dintorni e nell'abitato di Ragusa, fa parte del "bacino idrogeologico centrale degli Iblei" ed è contenuta nei carbonati della formazione Ragusa. Essa è caratterizzata da un acquifero confinato nelle calcareniti del membro Irmínio a profondità compresa tra 100 e 150 metri separato, da un intervallo marnoso-argilloso, da un acquifero più profondo confinato nei carbonati del membro Leonardo. A luoghi i due acquiferi vengono in contatto idraulico per la presenza di strutture tettoniche. Entrambe le falde hanno direzione di scorrimento verso i quadranti meridionali e mediamente si trovano a profondità superiori ai cento metri (GRASSO *et al.*, 2006).

Il territorio è prevalentemente costituito da rocce sedimentarie carbonatiche oligo-mioceniche e da sedimenti alluvionali depositi per lo più al fondo delle incisioni fluviali. I depositi carbonatici sono interessati da carsismo diffuso, condotte carsiche a luoghi fossilizzate unitamente a grotte e speleotemi, abbastanza diffusi nel territorio e nel centro abitato, testimoni della maturità raggiunta dal processo carsico.

1.3 Definizione della cartografia di base

La tabella di seguito riportata riassume il materiale cartografico utilizzato come base per lo studio

Copertura topografica	Carta Tecnica Regionale scala 1:10.000 – ediz. 2008 – Sezioni n. 648050, 648060, 648090 e 648100.
	Foglio IGMI 1:50.000 n. 648, “Ragusa”
Cartografia geologica	Carta Geologica del settore centro – meridionale dell’altipiano Ibleo (Provincia di Ragusa, Sicilia sud-orientale) scala 1:50.000 – Grasso M. – SELCA Firenze 1997
	Carta Geologica della Sicilia sud – orientale scala 1:100.000 – Lentini F. – SELCA Firenze 1984
	Modello Strutturale d'Italia scala 1:500.000 AA.VV. 1990
Ortofoto	Ortofoto Regione Siciliana anno 2007 – 2008. Realizzazione ripresa aerea digitale pixel 0.25 m
DEM	Modello digitale del terreno passo 2 m derivato da dati LIDAR volo ATA 2007 – 2008

1.4 Elenco archivi consultati

ISPRA	Progetto CARG – Catalogo delle formazioni italiane
	ITHACA (ITaly HAZards from CAPable faults) – Catalogo delle faglie attive e capaci
	Archivio nazionale delle indagini del sottosuolo (Legge 464/1984)
ARTA SICILIA	Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI) con aggiornamenti
	Siti di importanza comunitaria (SIC) presenti sul territorio della Regione Sicilia, aggiornati al 2011; zone di protezione speciale (ZPS)
INGV	Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI11)

1.5. Definizione dell’area da sottoporre a microzonazione

Per quanto riguarda la perimetrazione dell’area del Comune di Ragusa da sottoporre agli studi di MS di primo livello, su indicazioni dell’amministrazione Comunale, è stato stabilito nella riunione tecnica del 24/04/2012 fra il Dipartimento Regionale della Protezione Civile e Università degli Studi di Palermo di procedere alla microzonazione sismica del centro urbano principale e degli immediati dintorni (Fig. 1.5).

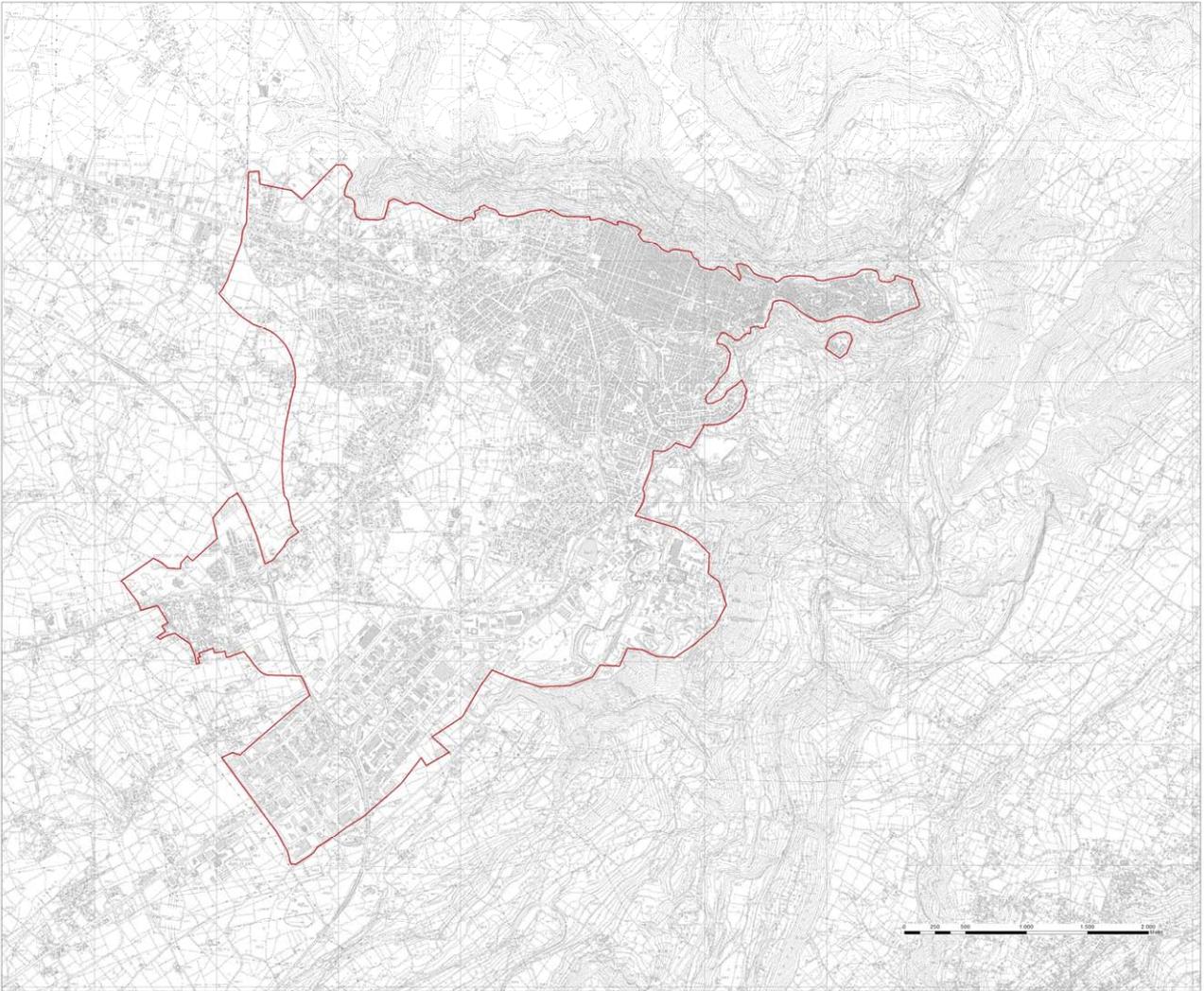


Figura 1.5 – Comune di Ragusa: delimitazione dell'area sottoposta a microzonazione sismica.

2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Sismicità storica della Sicilia Sud-Orientale

Relativamente agli eventi sismici, la pericolosità generalizzata della provincia di Ragusa (probabilità che un certo fenomeno avvenga in un determinato intervallo di tempo) si traduce sovente in un altrettanto generalizzato rischio elevato (probabilità che le conseguenze economiche e sociali di un certo fenomeno di pericolosità superino una determinata soglia) a causa anche dell'articolazione urbanistica del territorio, nonché dalla carenza di piani di difese da catastrofi naturali. Tale rischio è amplificato dal fattore perdita di vite umane, come dimostrano gli eventi calamitosi avvenuti in queste aree nei secoli scorsi.

La Provincia di Ragusa in particolare è soggetta ad un'attività sismica medio-alta, indotta da frequenti terremoti con epicentri ricadenti all'interno del territorio provinciale, e da terremoti più intensi i cui epicentri sono localizzati nelle aree limitrofe specialmente lungo la costa ionica. La mappa di Fig. 2.1 mostra la distribuzione degli epicentri dei forti terremoti (sinistra, Guidoboni et al., 2007) e le massime intensità macrosismiche risentite (Locati et al., 2011) nell'area iblea.

Anche se diversi terremoti hanno colpito la Sicilia Sud-Orientale prima del 1500, non vi sono informazioni sufficienti per ricostruire in maniera dettagliata gli effetti macrosismici risentiti. Tra questi sono comuni degni di nota il terremoto del 04.02.1169 (ore 07:00, lat=37.217°, lon=14.95°, $I_{max}=10$, $M_e=6.4$) e il terremoto del 07.06.1125 (ore 11:00, lat=37.083°, lon=15.283, $I_{max}=8.5$, $M_e=5.8$).

Vengono quindi di seguito descritti i principali terremoti storici che a partire dal 1500 hanno avuto effetti macrosismici significativi nella Sicilia Nord-Orientale. Le informazioni di seguito riportate sono state estratte dal catalogo dei forti terremoti CFTI (Guidoboni et al., 2007) al quale si rimanda per maggiori dettagli.

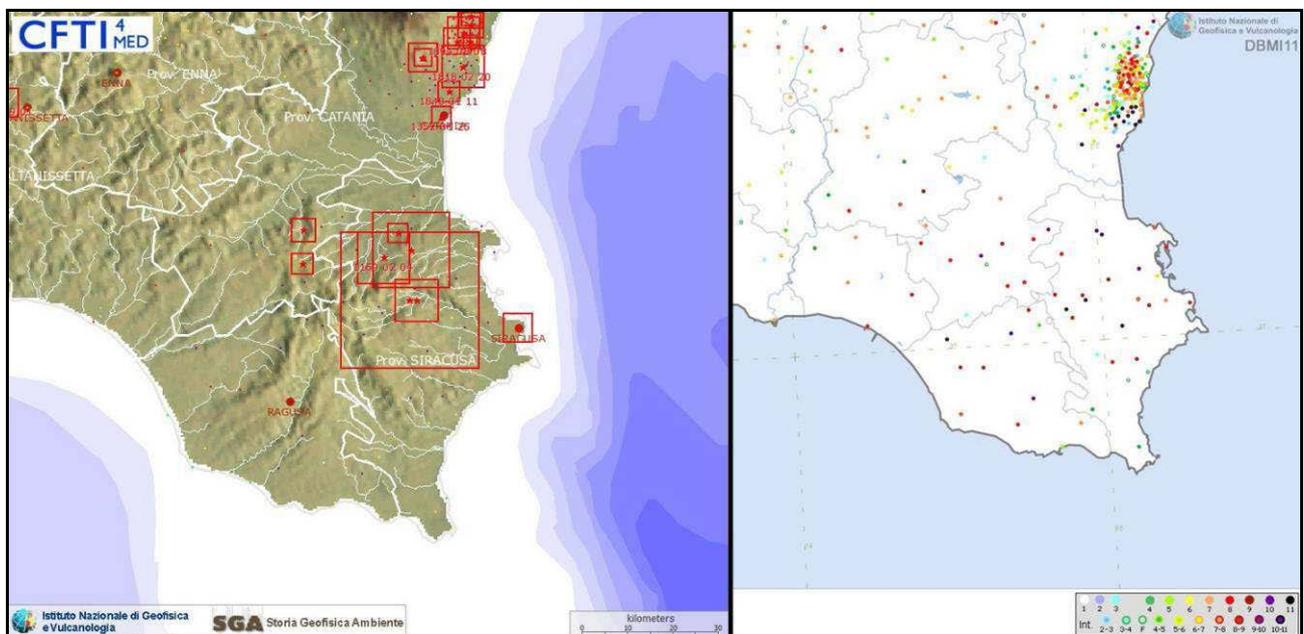


Figura 2.1 - Epicentri dei forti terremoti (sinistra, Guidoboni et al., 2007) e massime intensità macrosismiche risentite (Locati et al., 2011) in Sicilia Sud-Orientale.

Terremoto del 10.12.1542, ore 15:15, lat=37.233°, lon=15.017°, $I_{max}=10$, $M_e=6.8$: la sequenza sismica iniziò il 30 novembre 1542 alle ore 18:40 GMT circa (tra le 2 e le 3 della notte in orario "all'italiana"); questa prima scossa fu sentita fortemente, ma senza danni, a Caltagirone e a

Catania. La scossa distruttiva avvenne il 10 dicembre alle ore 15:15 GMT circa (ore 23 italiane); colpì la Val di Noto e soprattutto l'entroterra collinare e montuoso degli Iblei. Le distruzioni più gravi si estesero su un'area di circa 6000 kmq: i paesi di Melilli e Occhiola furono distrutti pressoché totalmente; a Lentini e Sortino molti edifici crollarono o divennero completamente inagibili; danni molto gravi ed estesi ci furono ad Avola, Buccheri, Ferla, Giarratana, Mineo, Monterosso Almo e Palazzolo Acreide. Le massicce distruzioni furono favorite dalle morfologie urbanistiche, che avevano come comune denominatore la discontinuità altimetrica, e l'irregolarità delle murature degli edifici costruiti in varie fasi. In alcuni paesi, in particolare a Sortino e a Lentini, i danni furono aggravati da frane e scoscendimenti e dal cedimento dei terreni di fondazione. Danni di notevole entità si ebbero anche ad Augusta, Catania, Siracusa e in tutti i centri della Sicilia sudorientale. L'area dei danni più leggeri si estese fino ad Agrigento e all'isola di Malta. La scossa fu sentita in tutta la Sicilia: fu forte, ma senza danni, a Messina e a Palermo. Dopo la scossa principale, per un altro mese circa, furono avvertite repliche molto frequenti ma leggere.

Terremoto del 03.10.1624, ore 17:00, lat=37.267°, lon=14.75°, $I_{max}=9$, Me=5.6: il terremoto colpì un'area limitata, al confine fra i monti Iblei e la piana di Catania. Furono gravemente danneggiati i paesi di Mineo e Militello in Val di Catania, dove numerosi edifici crollarono causando un numero imprecisato di morti e feriti. A Caltagirone la scossa danneggiò leggermente il monastero di S.Benedetto; non sono ricordati effetti in altri centri abitati.

Terremoto 09.01.1693, ore 21:00, lat=37.133°, lon=15.033°, $I_{max}=8.5$, Me=6.2: il terremoto del gennaio 1693 colpì un territorio vastissimo, in due riprese, a distanza di 2 giorni. La prima scossa avvenne il 9 gennaio alle ore 21:00 GMT circa (le ore 4 e mezza in orario "all'italiana"). Nonostante le difficoltà incontrate nel distinguere gli effetti di questo primo evento da quelli del terremoto successivo, è stato possibile attribuire un valore d'intensità a 30 località e delineare, in maniera soddisfacente, il quadro complessivo degli effetti. I danni furono gravissimi soprattutto ad Augusta, dove crollarono poco meno della metà delle abitazioni e si ebbero 200 morti; ad Avola due quartieri furono quasi interamente distrutti; a Noto molti edifici crollarono e ci furono oltre 200 vittime. Danni analoghi si verificarono anche a Floridia, Lentini, Melilli. Crolli totali e vittime si ebbero a Catania, Vizzini, Sortino; lesioni e crolli parziali a Siracusa e a Militello in Val di Catania. La scossa fu sentita senza danni a Messina, Palermo e Agrigento; i limiti dell'area di risentimento sono segnati a nord da Monteleone (l'attuale Vibo Valentia) e a sud dall'isola di Malta. La seconda scossa avvenne l'11 gennaio alle ore 13:30 GMT circa (ore 21 italiane). Gli effetti furono catastrofici anche perché si sovrapposero in parte a quelli della scossa precedente. L'area colpita fu tuttavia molto più vasta: un intero territorio di oltre 14.000 kmq, considerando solo l'area dei danni maggiori, fu sconvolto; complessivamente danni di rilievo sono stati riscontrati in un'area che va dalla Calabria meridionale a Palermo e all'arcipelago maltese. Ovviamente l'ampiezza totale dell'area di risentimento è sconosciuta perché il mare limita il riscontro degli effetti osservabili; tuttavia, sembra accertato che la scossa fu avvertita sensibilmente nella Calabria settentrionale e sulla costa tunisina. Tutte le città più importanti della Sicilia sud orientale furono sconvolte. Catania fu quasi interamente distrutta, così come Acireale e tutti i piccoli insediamenti sparsi sul versante orientale dell'Etna. Distruzioni vastissime si verificarono in tutti i centri della Val di Noto: Vizzini, Sortino, Scicli, Ragusa, Palazzolo Acreide, Modica, Melilli, Lentini, Ispica, Occhiola, Carlentini, Avola, Augusta, Noto. Crolli molto estesi subirono Siracusa, Caltagirone, Vittoria, Comiso. In complesso sono 70 i centri nei quali si verificarono danni uguali o maggiori al IX grado MCS. Crolli e danni gravi subirono anche Messina e alcuni centri della costa nord-orientale, fra cui Patti e Naso; lesioni e crolli parziali si ebbero a Palermo, Agrigento, Reggio Calabria e, più gravi, a Malta; danni più leggeri ci furono in alcuni centri della Calabria meridionale.

Terremoto del 11.01.1693, ore 13:30, lat=37.133°, lon=15.017°, $I_{max}=11$, Me=7.4: il terremoto del gennaio 1693 colpì un territorio vastissimo, in due riprese, a distanza di 2 giorni. La prima scossa avvenne il 9 gennaio alle ore 21:00 GMT circa (le ore 4 e mezza in orario "all'italiana"). Nonostante le difficoltà incontrate nel distinguere gli effetti di questo primo evento da quelli del terremoto successivo, è stato possibile attribuire un valore d'intensità a 30 località e delineare, in maniera soddisfacente, il quadro complessivo degli effetti. I danni furono gravissimi soprattutto ad Augusta, dove crollarono poco meno della metà delle abitazioni e si ebbero 200 morti; ad Avola due quartieri furono quasi interamente distrutti; a Noto molti edifici crollarono e ci furono oltre 200 vittime. Danni analoghi si verificarono anche a Floridia, Lentini, Melilli. Crolli totali e vittime si ebbero a Catania, Vizzini, Sortino; lesioni e crolli parziali a Siracusa e a Militello in Val di Catania. La scossa fu sentita senza danni a Messina, Palermo e Agrigento; i limiti dell'area di risentimento sono segnati a nord da Monteleone (l'attuale Vibo Valentia) e a sud dall'isola di Malta. La seconda scossa avvenne l'11 gennaio alle ore 13:30 GMT circa (ore 21 italiane). Gli effetti furono catastrofici anche perché si sovrapposero in parte a quelli della scossa precedente. L'area colpita fu tuttavia molto più vasta: un intero territorio di oltre 14.000 kmq, considerando solo l'area dei danni maggiori, fu sconvolto; complessivamente danni di rilievo sono stati riscontrati in un'area che va dalla Calabria meridionale a Palermo e all'arcipelago maltese. Ovviamente l'ampiezza totale dell'area di risentimento è sconosciuta perché il mare limita il riscontro degli effetti osservabili; tuttavia, sembra accertato che la scossa fu avvertita sensibilmente nella Calabria settentrionale e sulla costa tunisina. Tutte le città più importanti della Sicilia sud orientale furono sconvolte. Catania fu quasi interamente distrutta, così come Acireale e tutti i piccoli insediamenti sparsi sul versante orientale dell'Etna. Distruzioni vastissime si verificarono in tutti i centri della Val di Noto: Vizzini, Sortino, Scicli, Ragusa, Palazzolo Acreide, Modica, Melilli, Lentini, Ispica, Occhiolà, Carlentini, Avola, Augusta, Noto. Crolli molto estesi subirono Siracusa, Caltagirone, Vittoria, Comiso. In complesso sono 70 i centri nei quali si verificarono danni uguali o maggiori al IX grado MCS. Crolli e danni gravi subirono anche Messina e alcuni centri della costa nord-orientale, fra cui Patti e Naso; lesioni e crolli parziali si ebbero a Palermo, Agrigento, Reggio Calabria e, più gravi, a Malta; danni più leggeri ci furono in alcuni centri della Calabria meridionale.

Terremoto del 01.03.1818, ore 02:45, lat=37.2°, lon=14.75°, $I_{max}=7.5$, Me=5.5: La scossa del 20 febbraio avvenne alle ore 1:10 italiane (18:15 GMT ca.); interessò la regione etnea e fu avvertita fortemente in tutta la Sicilia e, più leggermente, nella Calabria meridionale e a Malta. Gli effetti più gravi riguardarono l'immediato entroterra di Acireale: le borgate di Aci Consolazione e Aci Santa Lucia furono pressoché completamente distrutte; crolli estesi a gran parte dell'abitato si verificarono ad Aci Catena, Aci Platani, Aci San Filippo e Aci Sant'Antonio. Complessivamente quasi 60 centri subirono crolli di edifici o danni generalizzati al patrimonio edilizio, compresi alcuni paesi dei versanti settentrionale e occidentale dell'Etna; in altre 40 località circa avvennero danni più leggeri. In generale, la presenza di scadenti tipologie edilizie amplificò dovunque gli effetti del terremoto. A Catania, in base ai rilievi condotti dall'Intendenza, 1.768 case risultarono danneggiate, di queste oltre il 35% furono dichiarate cadenti e dovettero essere puntellate o demolite. La città era stata interamente ricostruita dopo il terremoto del 1693, era quindi "nuova" dal punto di vista dello stato di conservazione del patrimonio edilizio. Le perizie attestano che il terremoto danneggiò edifici caratterizzati da evidenti e gravi difetti di costruzione: molte case non erano dotate di fondamenta sufficientemente solide, altre erano state innalzate o ampliate in un secondo momento, causando uno squilibrio tra la mole delle costruzioni e le fondazioni. L'1 marzo, alle ore 9:30 italiane (2:45 GMT ca.), una seconda violenta scossa colpì la Sicilia orientale, in particolare la regione iblea, danneggiando gravemente Militello in Val di Catania, Mineo, Ragusa,

Vizzini e numerosi altri centri. La scossa causò ulteriori leggeri danni a Catania e fu sentita fortemente nell'acese.

Terremoto del 13.12.1990, ore 00:24:00, lat=37.267°, lon=14.983°, $I_{max}=7.5$, Me=5.4: La scossa principale avvenne il 13 dicembre 1990 alle ore 0:24 GMT; seguirono numerose repliche, la più forte delle quali avvenne il 16 dicembre alle ore 13:50 GMT. La scossa del 13 dicembre delle ore 0:24 GMT interessò circa 250 località situate in provincia di Siracusa e di Catania e fu risentita anche in alcune località situate in provincia di Reggio di Calabria. I paesi più colpiti furono erano tutti situati o sulla costa o nell'immediato entroterra ionico: si tratta di Carlentini, Augusta, Lentini, Melilli, Militello in Val di Catania, Priolo Gargallo. Furono riscontrati danni leggeri anche a Mineo, Scordia, Palagonia, Siracusa. Subirono alcuni leggeri danni anche Caltagirone, Catania e Noto. Furono dichiarati inagibili 6.830 edifici privati, 220 edifici pubblici e 54 scuole, per un numero complessivo di 7.104 edifici. Nelle località più gravemente colpite furono rilevate gravissime carenze edilizie e altrettanto gravi negligenze nella valutazione delle caratteristiche dei terreni di fondazione. Fu osservato che le strutture di molti edifici erano fatiscenti e prive di manutenzione (anche di quella ordinaria), che, soprattutto nel centro storico di Catania, molti edifici erano stati ristrutturati al loro interno senza tener conto di criteri statici e antisismici. Quanto ai terreni di fondazione, fu rilevato che le caratteristiche di molti di questi avevano esaltato gli effetti del terremoto, che i sistemi di fondazione erano stati spesso scelti senza tenere conto dei terreni di imposta. Ad Augusta, furono rilevati danni gravi nelle nuove strutture edilizie in cemento armato del Rione "Borgata", edificato sui terreni prosciugati di vecchie saline; danni più lievi furono riscontrati nella cosiddetta "isola", caratterizzata da terreni più coerenti. Gli edifici pubblici totalmente inagibili furono 22; gli edifici privati inabitabili furono 368. Le scuole danneggiate furono 19, delle quali 13 furono dichiarate inagibili. A tre giorni dalla scossa principale, fu riscontrato che ad Augusta era stato danneggiato il 30% del patrimonio edilizio abitativo e il 50% di quello scolastico.

A Carlentini furono complessivamente danneggiati 1.595 edifici: 16 edifici pubblici, 4 scuole e 1.575 edifici privati; i danni più gravi furono riscontrati nelle aree in pendio, a nord e a sud dell'abitato. A Lentini la sede della caserma dei Carabinieri fu giudicata inagibile; furono riscontrati danni alla stazione ferroviaria, ai magazzini e ai capannoni adibiti allo stoccaggio e alla lavorazione degli agrumi. Le abitazioni danneggiate nella "Zona 167" erano abitate da 36 famiglie; vi furono oltre 200 ordinanze di sgombero. Secondo una perizia effettuata all'inizio di gennaio dalla Protezione civile furono complessivamente danneggiati 579 edifici: 15 edifici pubblici, 550 edifici privati e 14 scuole. A Melilli il terremoto rese inagibili le scuole, il Municipio, alcuni edifici comunali, metà della caserma dei Carabinieri, il convento dei frati Cappuccini, le chiese barocche; il centro storico fu chiuso. A Militello in Val di Catania il terremoto causò danni soltanto negli edifici più vecchi del centro storico. Le case inabitabili furono 80. L'ala settentrionale del Municipio fu dichiarata inagibile. Su 20 chiese, 7 furono giudicate inagibili: la chiesa di S.Nicola, fatta eccezione del transetto; la Madonna della Stella (totalmente inagibile); S.Sebastiano; S.Giovanni; S.Agata; S.Francesco di Paola e la chiesa dell'ex convento dei Cappuccini. La facciata della chiesa del Circolo fu giudicata pericolante; i resti del convento di S.Leonardo furono giudicati da demolire. Nei quartieri bassi, furono seriamente danneggiati Palazzo Maiorana, la torre del castello Barresi, Palazzo dei Re Burdone e Palazzo Niceforo. In numerose località subirono gravi danni le strutture architettoniche delle chiese. In larga parte della Sicilia sud-orientale, in particolare a Catania e a Noto, sono presenti edifici ecclesiastici di tipologia barocca, ricca di elementi decorativi non strutturali come stucchi, cornicioni sporgenti, balconi, elementi d'angolo, etc.: tali elementi fragili e dalla stabilità assai critica rivelarono una grande vulnerabilità.

La replica del 16 dicembre delle ore 13:50 GMT, localizzata approssimativamente nella stessa area della scossa principale, aggravò i danni causati dalla scossa del giorno 13: furono rilevati crolli di cornicioni, crolli in abitazioni già danneggiate dalla scossa principale, lesioni.

2.2 Sismicità storica e pericolosità sismica del comune di Ragusa

Il comune di Ragusa è situato nella parte meridionale della Sicilia orientale, un'area in passato caratterizzata da un'intensa attività sismica, spesso colpita da forti terremoti, e dalla presenza di numerose faglie sismogenetiche. La Fig. 2.2 mostra la distribuzione degli epicentri dei terremoti localizzati dalla Rete Sismica Nazionale dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia tra il 1981 e il 2011. La mappa mostra negli ultimi 30 anni pochi eventi, perlopiù di piccola e media magnitudo siano stati localizzati in prossimità del comune di Ragusa. La sismicità strumentale recente è caratterizzata da eventi poco profondi e di piccola magnitudo.



Figura 2.2 - Distribuzione degli epicentri dei terremoti strumentali localizzati dalla INGV tra il 1981 e il 2011.

Gli studi di sismicità storica hanno permesso di individuare numerosi forti terremoti che hanno avuto a Ragusa effetti macrosismici di notevole intensità. Fig. 2.3 mostra la distribuzione degli epicentri di eventi sismici storici, con epicentro prossimo a Ragusa e magnitudo momento maggiore di 5.5, estratta dal Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI11, Rovida et al., 2011).

Per alcuni eventi i cui risentimenti potrebbero avere superato a Ragusa la soglia del danno mancano comunque documentazioni che consentano di effettuare attendibili stime di intensità macrosismica relative all'attuale ubicazione del centro urbano e pertanto saranno trascurati nella descrizione seguente.

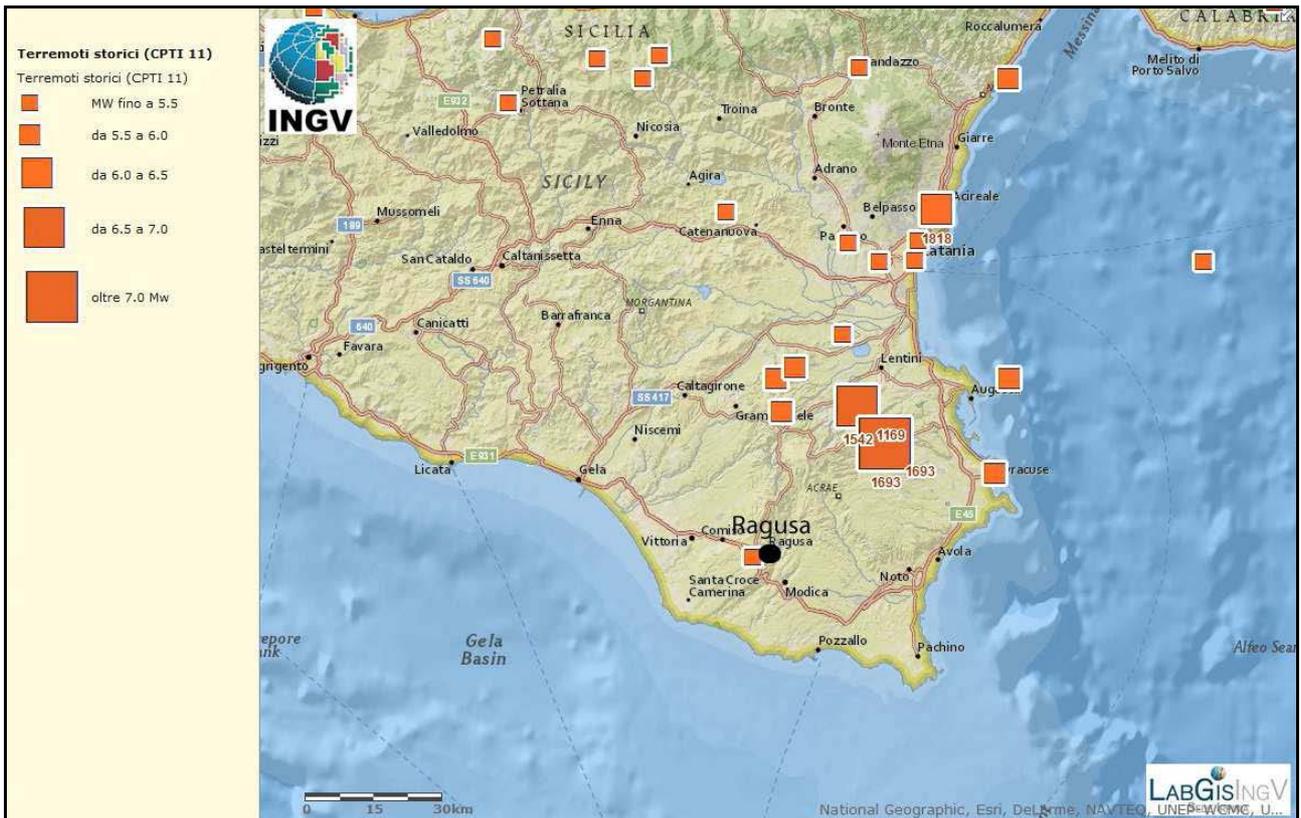


Figura 2.3 - Mappa della distribuzione degli epicentri degli eventi sismici storici estratta dal Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI11, Rovida et al., 2011).

In Fig. 2.4 è riportata la storia sismica del comune di Ragusa estratta dal Database Macrosismico Italiano (DBMI11, Locati et al., 2011). Questa mostra come a partire dal sedicesimo secolo ben 18 eventi sismici abbiano avuto a Ragusa effetti macrosismici documentati spesso di elevato grado.

Il primo evento storico di cui si conoscano importanti risentimenti nel comune di Ragusa è quello dello 11 gennaio del 1693. Questo terremoto, di $M_w=7.41$, rappresenta, assieme al terremoto di Messina del 28 dicembre 1908, l'evento catastrofico di maggiori dimensioni che abbia mai colpito il territorio italiano in tempi storici.

La Fig. 2.5 mostra la mappa delle intensità macrosismiche risentite a seguito dell'evento dello 11 gennaio 1693. L'evento provocò la distruzione totale di oltre 45 centri abitati, interessando con effetti pari o superiori al IX grado MCS una superficie di circa 5600 km^2 e causando un numero complessivo di circa 60.000 vittime. Il terremoto dello 11 gennaio 1693 ebbe a Ragusa massima intensità macrosismica pari al X grado MCS. Il terremoto causò la quasi totale distruzione dell'abitato di Ragusa e la morte di circa 5.000 sui 9.950 abitati dei allora. Nei mesi successivi seguirono numerose repliche, alcune anche di notevole entità. Conclusasi la crisi sismica l'abitato di Ragusa fu quasi interamente ricostruito.

Le caratteristiche dell'evento principale consentono di considerarlo, per molti aspetti, simile al terremoto del 4 febbraio 1169. L'epicentro di questo terremoto è ancora molto dibattuto in quanto alcuni autori sulla base degli studi condotti sullo Tsunami che colpì le coste orientali della Sicilia lo pongono a mare in corrispondenza della Scarpata di Malta, altri autori invece, sulla base della distribuzione degli effetti macrosismici (massimi nell'entroterra) lo attribuiscono alla faglia di Monte Lauro (Database of Individual Seismogenic Sources, DISS, Basili et al., 2008).

Storia sismica di Ragusa [36.925, 14.729]

Numero di eventi: 18

Effetti

In occasione del terremoto del:

I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
NC	1542 12 10 15:15	Siracusano	32	10 6.77 ±0.32
10	1693 01 11 13:30	Sicilia orientale	185	11 7.41 ±0.15
3-4	1727 01 07	NOTO	14	6-7 4.83 ±0.35
F	1818 02 20 18:15	Catanese	128	9-10 6.23 ±0.12
7-8	1818 03 01 02:45	Monti Iblei	24	7-8 5.51 ±0.65
4	1848 01 11 12:00	Golfo di Catania	41	7-8 5.45 ±0.39
5-6	1895 04 13 15:01	Vizzini	32	6-7 4.89 ±0.45
NF	1898 08 12	ROMETTA	69	6-7 4.89 ±0.22
3-4	1898 11 03 05:59	Caltagirone	48	5-6 4.80 ±0.30
3	1905 09 08 01:43	Calabria meridionale	895	7.04 ±0.16
5-6	1959 12 23 09:29	PIANA DI CATANIA	108	6-7 5.29 ±0.20
3	1967 10 31 21:08	Monti Nebrodi	60	8 5.46 ±0.19
F	1978 04 15 23:33	Golfo di Patti	332	6.06 ±0.09
5-6	1980 01 23 21:21	MODICA	122	5-6 4.58 ±0.14
2-3	1987 08 13 07:22	MALETTO	35	5-6 3.49 ±0.26
6	1990 12 13 00:24	Sicilia sud-orientale	304	7 5.64 ±0.09
4	2002 09 06 01:21	PALERMO	132	5.94 ±0.09
4-5	2004 12 30 04:04	Monti Iblei	49	5 4.17 ±0.17

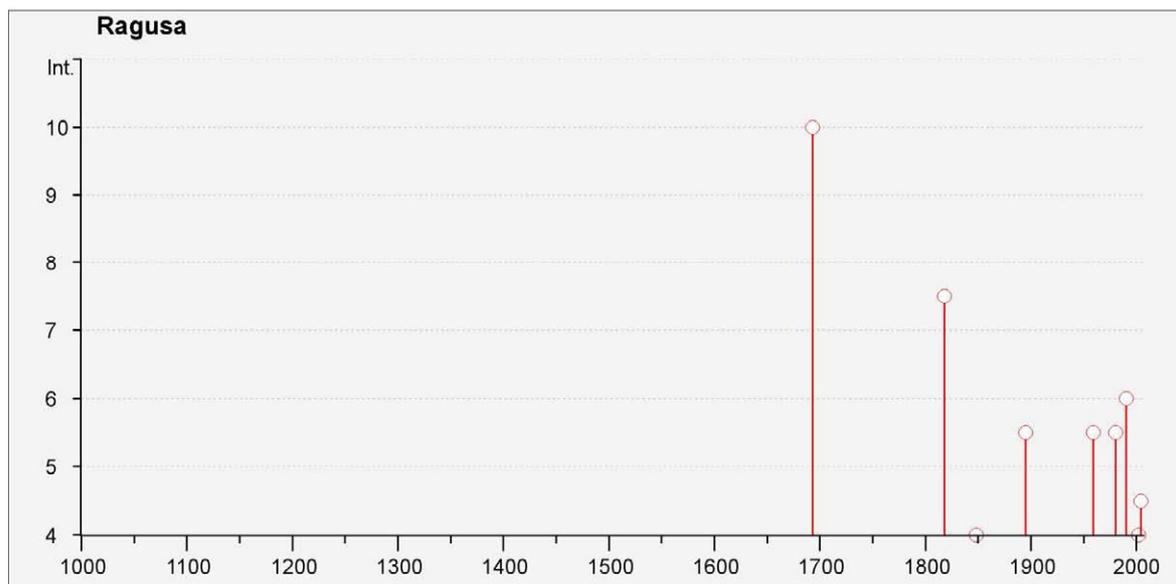


Figura 2.4 - Storia sismica di Ragusa estratta dal Database Macrosismico Italiano (DBMI11, Locati et al., 2011); I_s è l'intensità macro-sismica risentita (MCS); I_o è l'intensità macro-sismica massima (MCS); M_w è la magnitudo momento dell'evento; A_x indica l'area epicentrale, N_p è il numero di località che hanno risentito il terremoto.

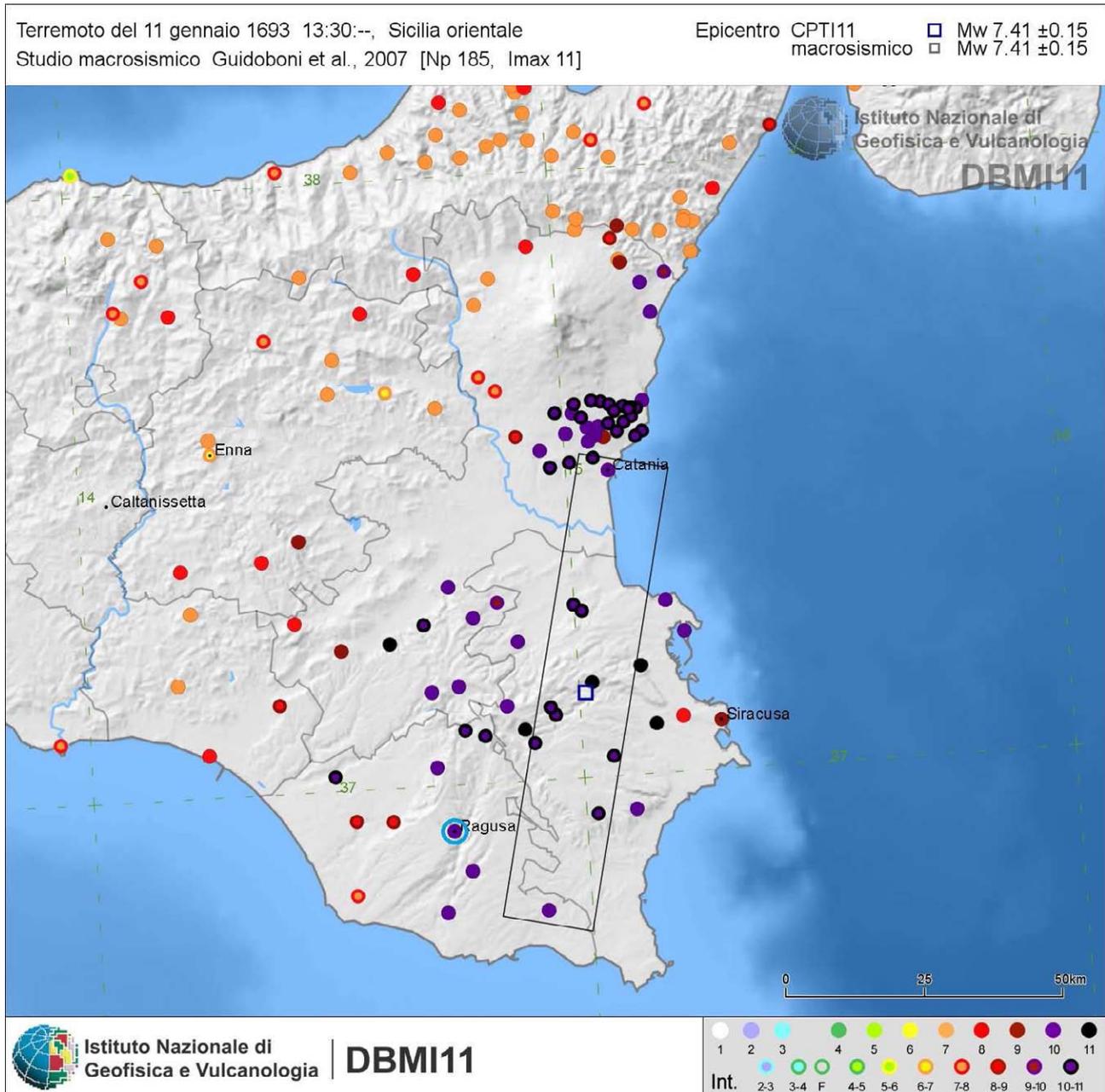


Figura 2.5 - Mappa delle intensità macrosismiche risentite a seguito dell'evento del 1693, estratta dal catalogo Database Macrosismico Italiano (DBMI11, Locati et al., 2011). Il cerchio azzurro indica il comune di Ragusa.

In epoca più recente il comune di Ragusa ha risentito differenti terremoti come quello dello 1 marzo 1818 di Mw 5.51 ed epicentro negli Iblei, quello del 23 dicembre del 1959 di Mw 5.29 ed epicentro nella Piana di Catania, quello del 23 gennaio 1980 di Mw 4.58 ed epicentro in prossimità di Modica ed infine quello del 13 dicembre del 1990 di Mw 5.64. Tali eventi sismici, ad eccezione del primo, non hanno causato danni ingenti nel comune di Ragusa raggiungendo la massima intensità macrosismica del VI grado della scala MCS.

Il comune di Ragusa sorge in prossimità di alcune importanti strutture sismogenetiche quali quella di Ragusa-Palagonia e Scicli-Giarratana e in prossimità della struttura sismogenetica Gela-Catania e di quella di Monte Lauro (Fig. 2.6, DISS, Basili et al., 2008).

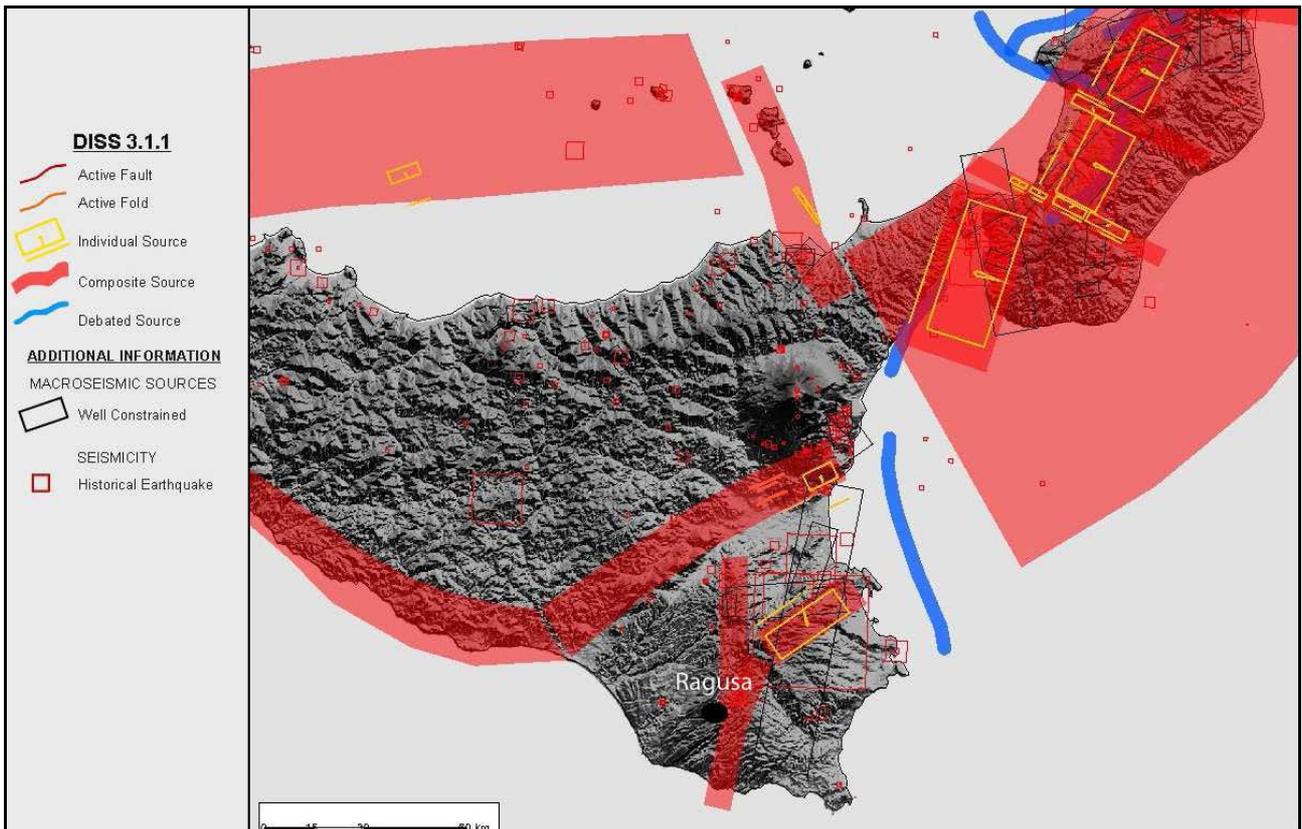


Figura 2.6 - Mappa delle strutture sismogenetiche estratte dal Database of Individual Seismogenic Sources (Basili et al., 2008).

In Fig. 2.7 è riportata la mappa della pericolosità sismica, espressa in termini di accelerazione massima al suolo (PGA) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi ($V_s > 800$ m), come previsto dall'Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n. 3519, All.1b, estratta da: <http://zonesismiche.mi.ingv.it>. I valori di PGA sono stati stimati con la tecnica proposta da Cornell (Cornell, 1968; Bender and Perkins, 1987; Gruppo di Lavoro MPS, 2004).

La mappa mostra come il comune di Ragusa ricada in un'area con pericolosità sismica, espressa in termini di PGA, paria a 0.200-0.225 g e sia comunque prossima ad aree con pericolosità sismica ancora superiore. La Tab. 2.1 riporta i valori di PGA determinati per il comune di Ragusa per differenti livelli di probabilità in 50 anni, o differenti periodi di ritorno, e percentile. Vista l'elevata pericolosità sismica, il comune di Ragusa risulta inserito in Zona Sismica 2 (Fig. 2.8).

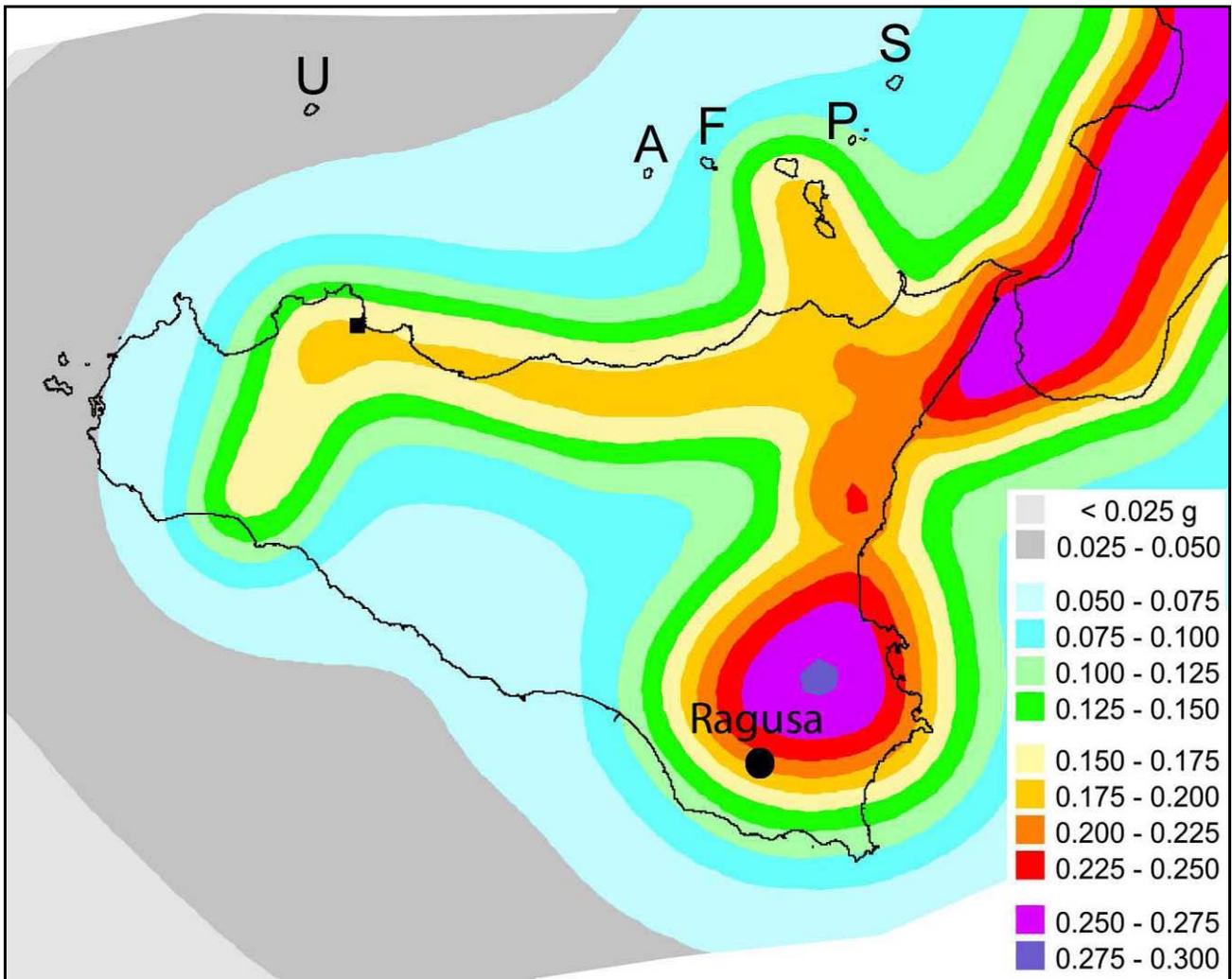


Figura 2.7 - Mappa della pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ($V_S > 800\text{ m}$), Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n. 3519, All.1b; estratta da: <http://zonesismiche.mi.ingv.it>.

Parametro di scuotimento PGA (g)		Probabilità in 50 anni/Periodo di ritorno				
		2%	5%	10%	22%	30%
		2475a	975a	475a	201a	140a
Percentile	16	0.3775	0.2453	0.1757	0.1076	0.0877
	50	0.4929	0.3070	0.2224	0.1325	0.1040
	84	0.5896	0.3818	0.2616	0.1526	0.1227

Tabella 2.1 - Valori di PGA stimati per il comune di Modica per differenti livelli di probabilità in 50 anni, o differenti periodi di ritorno, e percentile. I dati sono stati estratti dalla mappa digitale della pericolosità sismica presente al sito <http://esse1.mi.ingv.it/> e risultano riferiti a suoli rigidi ($V_S > 800\text{ m}$).



Figura 2.8 - Classificazione sismica comunale 2010, Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la delibera della Giunta Regionale della Sicilia n. 408 del 19.12.2003.

2.3 Faglie attive

Rispetto al pericolo derivante dalla presenza di faglie attive e capaci si è fatto riferimento al database on-line predisposto dall'ISPRA. Il progetto **ITHACA** (**IT**aly **H**azard from **CA**pable faults), prevede un database per la raccolta e la facile consultazione di tutte le informazioni disponibili riguardo le strutture tettoniche attive in Italia, con particolare attenzione ai processi tettonici che potrebbero generare rischi naturali. Il progetto si occupa in modo particolare delle faglie capaci, definite come faglie che potenzialmente possono creare deformazione cosismica permanente in superficie. Molte faglie sono state nuovamente analizzate e, rispetto alla versione precedente del database, alcune strutture sono state eliminate ed altre aggiunte. Un miglioramento significativo al database si ha avuto per le regioni Calabria e Sicilia, per le quali sono state aggiunte alcune strutture a mare (Mar Ionio e Canale di Sicilia) che, nonostante le modeste conoscenze, sono certamente attive e capaci di produrre significativi effetti sulle aree costiere circostanti, compresi gli tsunami.

Secondo il suddetto catalogo il centro abitato di Ragusa sorge tra due faglie considerate attive. La prima denominata nel catalogo "Comiso" borda il limite occidentale dell'altipiano Ibleo a nord-ovest del centro abitato di Ragusa. L'orientazione varia da NE-SO del segmento più meridionale a circa NNE-SSO del segmento più settentrionale ed è caratterizzata da cinematica di tipo transtensivo. Nel catalogo nessuna informazione viene fornita riguardo all'entità dei rigetti. La seconda, denominata "Marina di Ragusa" borda, con la sua terminazione settentrionale, l'area meridionale del centro abitato di Ragusa. È orientata circa NE-SO e ha cinematica diretta (Fig. 2.9).



Figura 2.9 – Faglie attive nelle vicinanze del centro abitato di Ragusa (da progetto “ITHACA” – ISPRa)

In letteratura inoltre diversi autori parlano dell’esistenza di lineamenti attivi nell’area. Secondo (Ghisetti & Vezzani, 1980) il territorio di Ragusa è attraversato da un sistema di taglio attivo orientato circa N-S e NNE-SSO noto nella letteratura geologica col nome “Scicli Ragusa” cui sono associate numerose strutture sintetiche mediamente orientate NE-SO. Si tratta di una zona di taglio destra che durante il pleistocene superiore ha subito processi di riattivazioni in sinistra connessi alla convergenza Africa-Europa (Catalano *et al.*, 2006; 2010 con bibliografia) che tra l’altro avrebbero provocato anche fenomeni di inversione positiva tardo pleistocenica lungo il margine settentrionale degli Iblei (Bousquet & Lanzafame, 2004) Lungo questo importante lineamento tettonico secondo Carbone *et al.*, (1982) Catalano *et al.*, (2006, 2008, 2010) sono presenti indizi di movimenti sinistri recenti, costituiti da strie di nuova generazione sui piani di faglia, dalla dislocazione laterale di circa 500 metri delle valli tributarie del fiume Irminio (Catalano *et al.*, 2008) (Fig. 2.10) e dalla anticlinale di Cava D’Aliga che deforma anche depositi di età Tirreniana. Inoltre lungo questa fascia di deformazione sono localizzati diversi epicentri di terremoti Catalano *et al.*, (2010 con bibliografia) indicativi dell’attività recente di questa struttura.

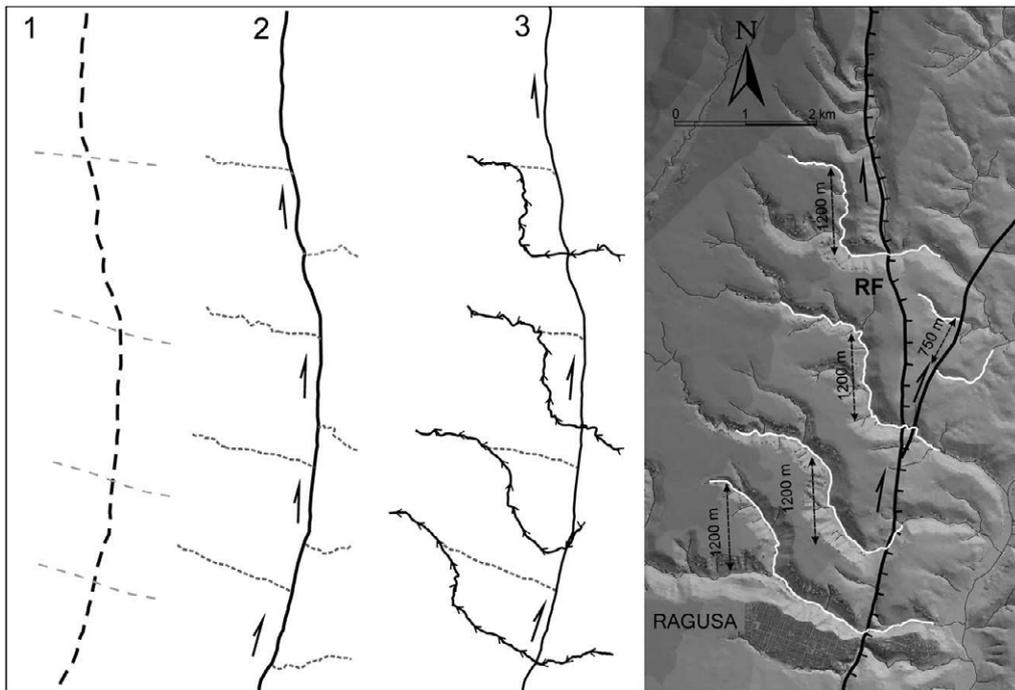


Figura 2.10. Modello della dislocazione laterale delle valli tributarie del Fiume Irminio indotta dal movimento. (mod. da Catalano et al., 2008)

2.4 Pericolosità geo-idrologica

Per quanto riguarda la pericolosità derivante da fattori idrogeologici si è tenuto conto del Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI) elaborato ed aggiornato nel corso di questi anni dalla Regione Sicilia. Come previsto dall'OPCM 3907/2010 art. 5 comma 4, sono da escludere dalla microzonazione le aree classificate come R4, qualora non ricadano all'interno dei centri urbani.

All'interno dell'area sottoposta agli studi di microzonazione sismica per il Comune di Ragusa sono presenti alcune aree soggette a rischio idrogeologico molto elevato (R4). Si tratta di aree situate lungo e al piede delle ripide scarpate che bordano il settore settentrionale e sud orientale del centro abitato, soggette perlopiù a fenomeni di crollo.

Una disamina puntuale dei dissesti censiti, viene comunque svolta al cap. 8.

3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

3.1 Inquadramento geologico

Il territorio comunale di Ragusa si estende nel settore centro-meridionale dell'area Iblea. Gli Iblei insieme alle aree sommerse del Canale di Sicilia costituiscono un settore dell'avampaese africano. ("Blocco Pelagiano", Burolet et al., 1978) una zona stabile a crosta continentale africana spessa circa 30Km che dalla scarpata Ibleo-maltese si estende attraverso il Canale di Sicilia fino in Tunisia ed in Libia.

Il Blocco Ibleo-Pelagiano è costituito da una spessa sequenza carbonatica, clastico carbonatica, calcareo-marnosa e marnosa meso-cenozoica con intercalazioni di vulcaniti basiche a vari livelli stratigrafici. Sul substrato pre-triassico, si hanno poche informazioni, dai dati provenienti dalla geofisica è possibile ipotizzare la presenza di un intervallo carbonatico del Trias medio che poggerebbe su una successione clastica Permo-Triassica (Fig.3.1).

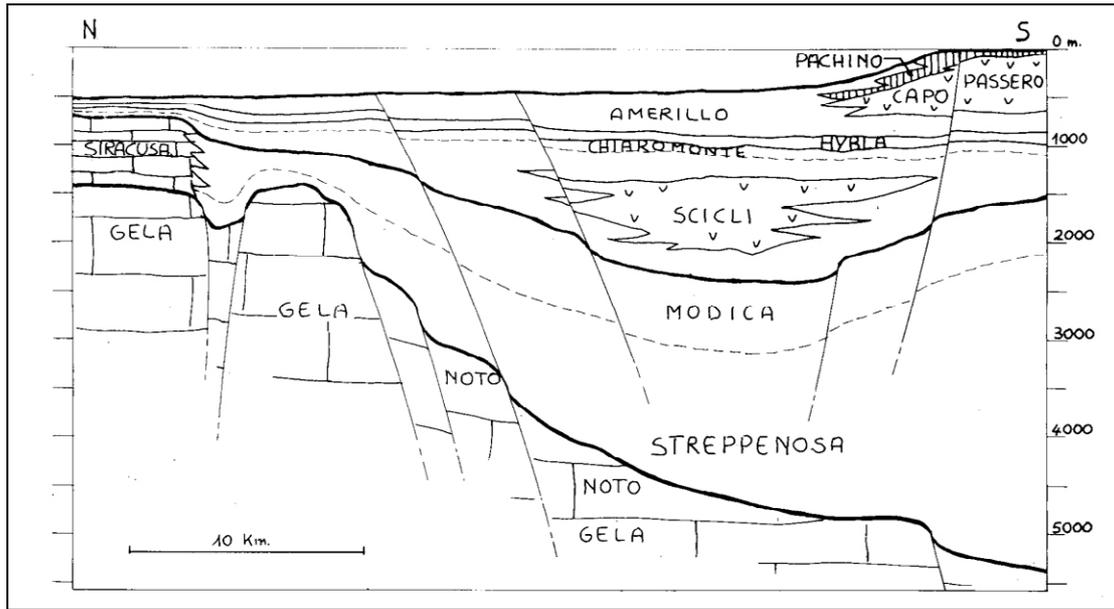


Figura 3.1 - Schema dei rapporti stratigrafici e strutturali dell'area iblea durante il mesozoico (da Catalano & D'Argenio, 1982)

Gli Iblei costituiscono l'avampese dell'orogene siciliano e verso Nord e Nord-Ovest si inflettono nel sottosuolo al di sotto delle coltri della falda di Gela che rappresenta il fronte più esterno della catena Maghrebide (Bianchi et al., 1987) dando luogo ad una depressione nota come avanfossa Gela-Catania (Fig. 3.2).

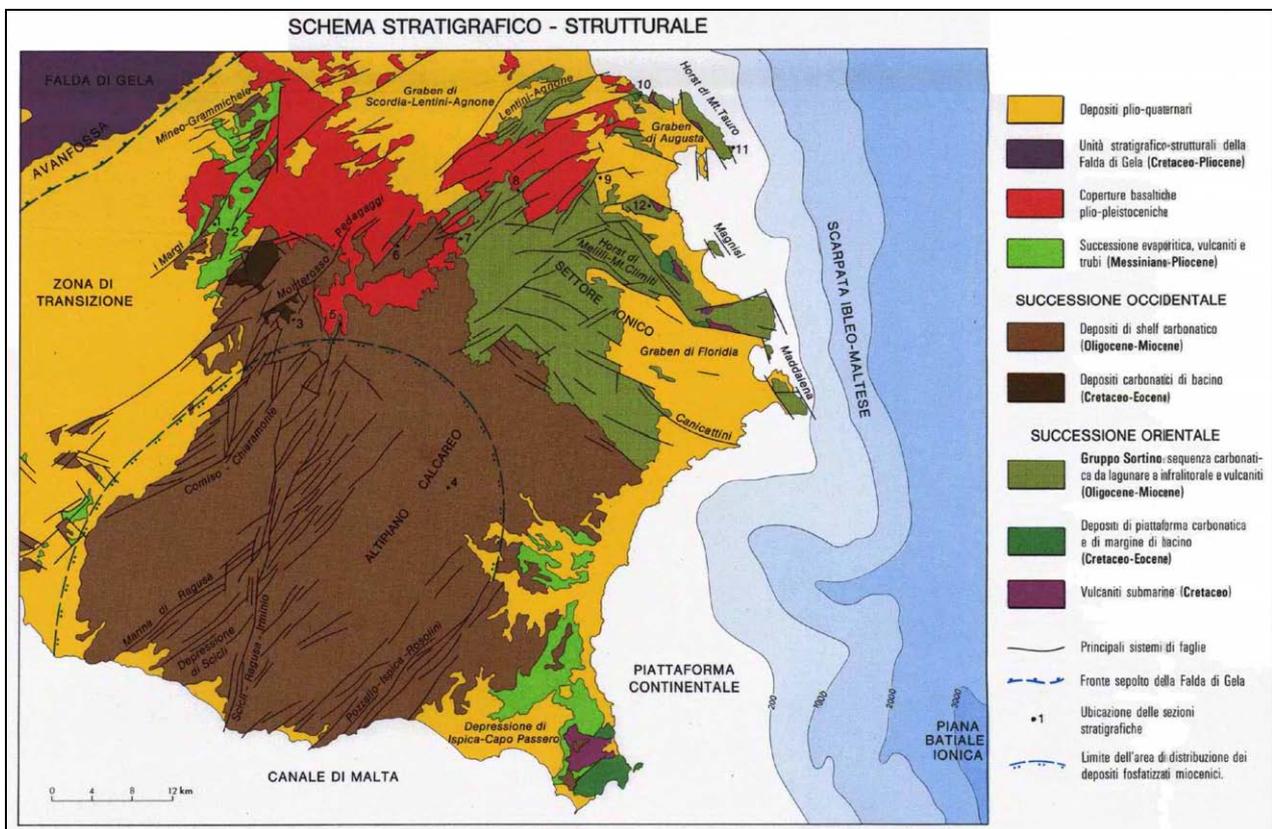


Figura 3.2 – Schema geologico della Sicilia sud-orientale (da Lentini et al 1984)

3.2 Assetto tettonico

Gli Iblei nel loro complesso rappresentano un alto morfostrutturale allungato in senso NE-SO, la cui parte centrale, la più elevata, costituisce un altipiano carbonatico delimitato ad Ovest e Nord-Ovest dal sistema di faglie noto in letteratura come “Ragusa-Chiaramonte” che ribassano gli iblei verso la piana di Gela-Catania, mentre ad Est e Sud-Est è limitato dai sistemi di faglie di Ispica e Rosolini che ribassano verso la Scarpata di Malta (Fig. 3.3).

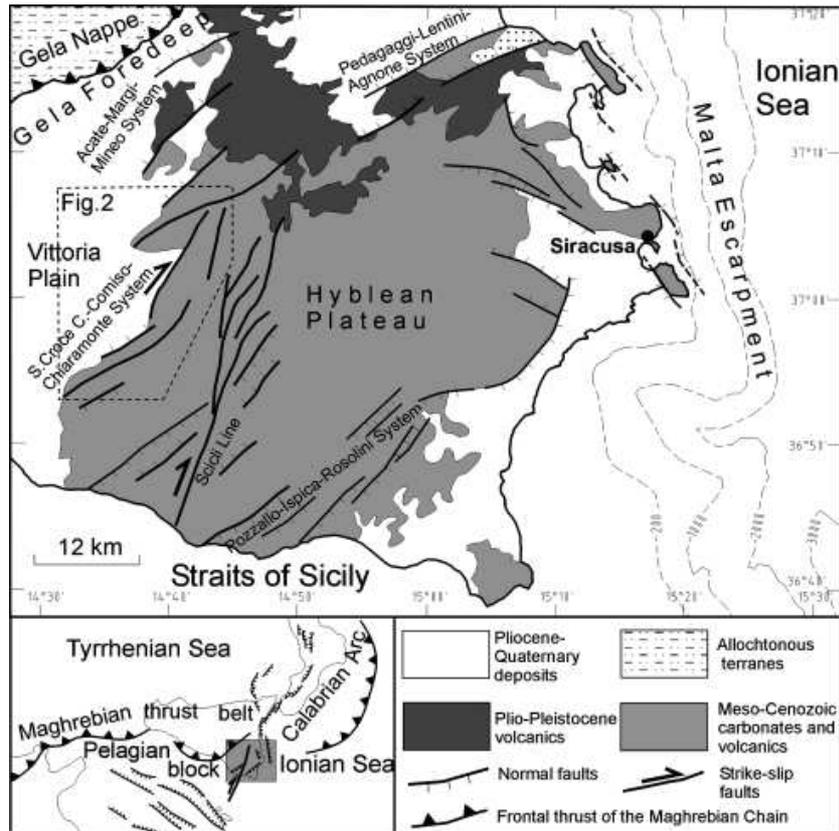


Figura 3.3 - Schema tettonico della Sicilia sud-orientale. Il riquadro in basso a sinistra mostra l'area del Mediterraneo centrale con il sovrascorrimento frontale dell'orogene (linee con triangoli) e le principali faglie quaternarie (linee con tratti). (mod. da Monaco et al 2003)

I depositi prevalentemente carbonatici affioranti mostrano una giacitura sub orizzontale o inclinata di pochi gradi che danno luogo ad estese monoclini.

Gli Iblei sono dislocati da vari sistemi di taglio alcuni dei quali recenti, considerati sismogenetici, orientati NNE-SSO, NO-SE ed E-O.

L'altipiano Ibleo è interessato nella sua porzione centrale da una zona di taglio orientata NNE-SSO ritenuta trascorrente da vari Autori. Questa zona di taglio è costituita da una faglia principale (master fault) nota come “Scicli-Ragusa-Giarratana” cui sono associate numerose strutture di ordine minore sintetiche ed antitetiche (Fig. 3.3).

Questa fascia di deformazione attraversa tutto l'altipiano generando una ampia struttura positiva al cui interno sono presenti sia strutture estensionali e/o transtensionali con geometrie di Horst e Graben, sia strutture compressionali minori con geometrie di tipo fiore positivo.

Il settore centrale ragusano è invece interessato da una zona di taglio destra Plio-Pleistocenica orientata da N-S a NNE-SSO nota come “Scicli-Ragusa” (Ghisetti & Vezzani, 1980), o “linea di Scicli” (Grasso *et al.*, 1986). Questa struttura taglia il plateau ibleo dalla costa meridionale (Cava D’Aliga) fino al margine settentrionale.

Questa zona di taglio, ritenuta sismicamente attiva, attraversa gli abitati di Scicli e Ragusa ed è ben sviluppata lungo il fiume Irmínio dove a luoghi genera sistemi morfostrutturali a gradinata o sistemi ad horst e graben, in altri casi genera blande pieghe di trascinamento (Di Grande & Grasso, 1979) oppure strutture compressive (strutture a fiore positive, es. cozzo Streppenosa) (Fig. 3.4).

Essa è stata interpretata, insieme alla zona di taglio “Comiso-Chiaramonte” come continuazione *onshore* del sistema trasforme destro, orientato SSO-NNE, che nel canale di Sicilia ha accomodato l’apertura del rift di Pantelleria durante il Plio-Pleistocene. (Ghisetti & Vezzani, 1980; Grasso *et alii*, 1986 e Grasso & Reuther, 1988, Monaco *et alii.*, 2003).

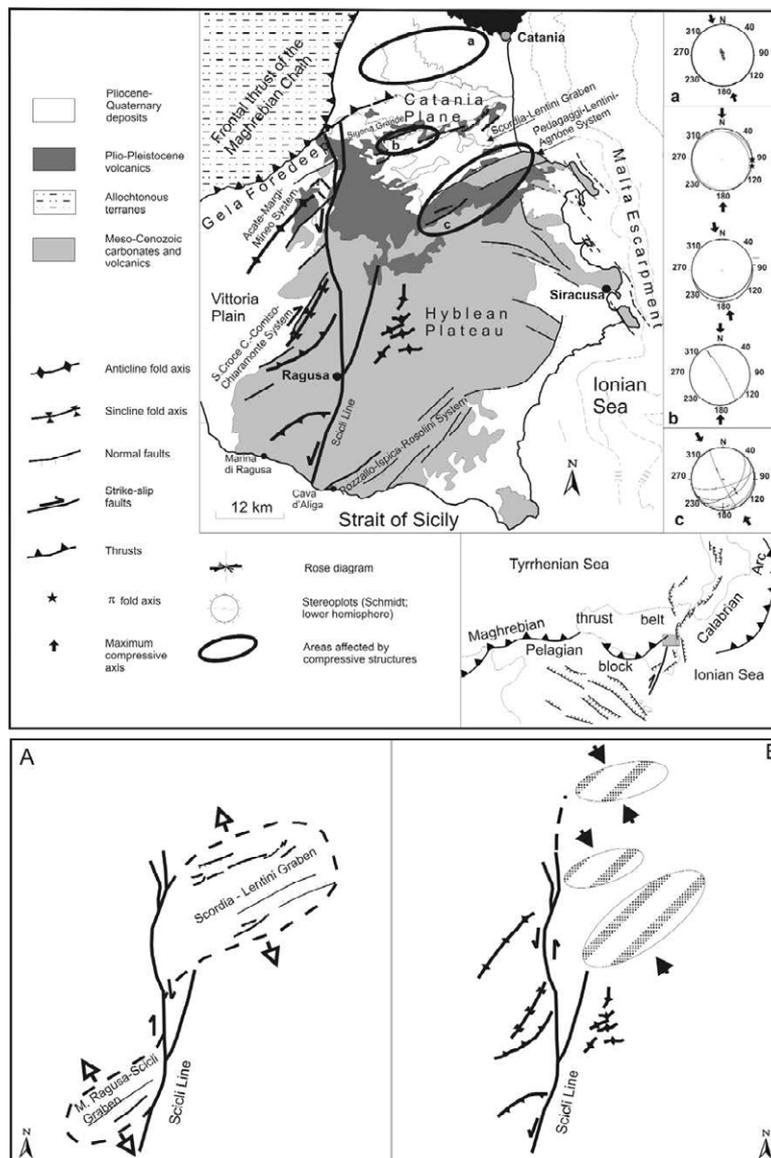


Figura 3.4 - Schema tettonico della Sicilia sud-orientale e principali lineamenti tettonici tardo-quadernari.. Negli schemi in basso sono riportati i modelli cinematici infrapleistocenici (A) e tardo-quadernari (B) del Plateau Ibleo. (mod. da Catalano *et al.* 2006)

L'età di questo sistema deformativo sarebbe riferibile al Plio-Pleistocene con indizi di riattivazioni in sinistra recenti. (Grasso M. & Reuther C.D., 1988 ; Monaco et al., 2003 ; Catalano et al., 2006; 2010 con bibliografia)

3.3 Neotettonica

I depositi che caratterizzano gli Iblei sono prevalentemente carbonatici e mostrano una giacitura sub orizzontale o inclinata di pochi gradi che danno luogo ad estese monoclinali.

Gli Iblei, come già citato nei precedenti paragrafi, sono dislocati da vari sistemi di taglio alcuni dei quali recenti, considerati sismogenetici, orientati NNE-SSO, NO-SE ed E-O note come "S. Croce Camerina- Ragusa- Chiaramonte", "Scicli-Ragusa-Giarratana", "Ispica- Rosolini". Alcune di queste strutture, a cui sono associate numerose strutture di ordine minore sintetiche ed antitetiche, nella letteratura geologica sono ritenute attive.

Il sistema deformativo "S.Croce Camerina-Comiso-Chiaramonte", borda il settore occidentale e nord-occidentale dell'altipiano Ibleo generando una ampia struttura a gradinata al cui interno sono presenti sia strutture estensionali e/o transtensionali, sia strutture compressionali minori con geometrie di tipo fiore positivo. (Monaco et al. 2006)

Il sistema "Ispica-Rosolini" borda il settore sud-orientale, ha un andamento NE-SO ribassa il plateau ibleo, con faglie a gradinata, verso la scarpata di Malta e mostra evidenze di attività recente (Carbone et al., 1982; Grasso et al., 1992; Catalano et al., 2007; 2008, 2010)

Il lineamento "Scicli-Ragusa" interessa tutto il settore centrale degli Iblei, attraversa gli abitati di Scicli e Ragusa e mostra chiari segni di attività recente. Alcuni autori, in particolare, riconoscono lungo questa zona di deformazione delle riprese di movimento recenti ascrivibili al tardo quaternario (Grasso *et al.*, 1986;; Catalano et al., 2010 con bibliografia). Inoltre lungo la fascia di deformazione da essa sottesa sono posizionati diversi epicentri di terremoti avvenuti negli ultimi decenni.

La faglia "Scicli-Ragusa" secondo Monaco *et al.* 2003, insieme al sistema "Comiso-Chiaramonte", potrebbe essere considerata come struttura di accomodamento a terra dello spreading che caratterizza il rift di Pantelleria (Canale di Sicilia) durante il Plio-Pleistocene (Ghisetti & Vezzani, 1980; Reuther & Eisbacher, 1985; Grasso *et alii*, 1986; Reuther, 1987; Reuther *et alii*, 1993).

In questo quadro le faglie presenti nel territorio di Ragusa, prevalentemente orientate in senso N-S e NE-SO ed in minor misura NNO-SSE, generano un sistema di dislocazioni estensionali e/o transtensionali compatibile con il sistema di taglio principale "Scicli-Ragusa" disponendosi con geometrie sintetiche ed antitetiche alla master fault. Queste faglie oltre ad aver dato luogo ad una gradinata morfostrutturale hanno influenzato in maniera significativa l'evoluzione plio-pleistocenica dell'area ed hanno condizionato lo sviluppo del reticolo idrografico. (Grasso *et al.*, 1986; Catalano et al., 2008; 2010 con bibliografia).

3.4 Caratteri morfologici, stratigrafici e tettonici del territorio di Ragusa

3.4.1 Caratteri morfologici

I Monti Iblei costituiscono il settore sud-orientale della Sicilia, delimitato a Sud dal Mare Mediterraneo (Canale di Sicilia), a Est dal Mare Ionio, a Nord dalla piana di Catania e a Ovest dalla piana di Gela. Essi formano un altipiano che dal settore settentrionale, (Monte Lauro 986 metri s.l.m.) degrada verso sud e verso Est fino al livello del mare, a tratti interrotto da valli e scarpate abbastanza ripide.

L'altipiano, prevalentemente carbonatico, è interessato da una rete di valli molto incise disposte, nei settori occidentali, all'incirca in senso meridiano che drenano ed incanalano il deflusso superficiale verso sud sfociando nel canale di Sicilia, mentre nel settore settentrionale e orientale si sviluppano principalmente in senso Ovest-Est con recapito nel mare Ionio.

Aree pianeggianti si sviluppano localmente nel settore occidentale (piana di Ragusa-Vittoria), nel settore sud-occidentale (dintorni dell'abitato di Pachino) e lungo la costa del settore orientale.

Dal punto di vista idrografico l'area presenta un buon sviluppo della idrologia superficiale con la presenza di diversi corsi d'acqua, talvolta perenni, che incidono profondi *canyon* (localmente denominati "cave") nei depositi carbonatici a giacitura prevalentemente tabulare.

Lo sviluppo di alcuni di questi corsi d'acqua, in particolare nella zona settentrionale dell'altipiano, suggerisce una genesi dovuta a controllo strutturale visto il parallelismo esistente tra le valli ed il lineamento tettonico (Scicli-Ragusa) di direzione NNE-SSO e nella porzione sud-occidentale con le faglie ad essa coniugate orientate NE-SO (Fig. 3.5).

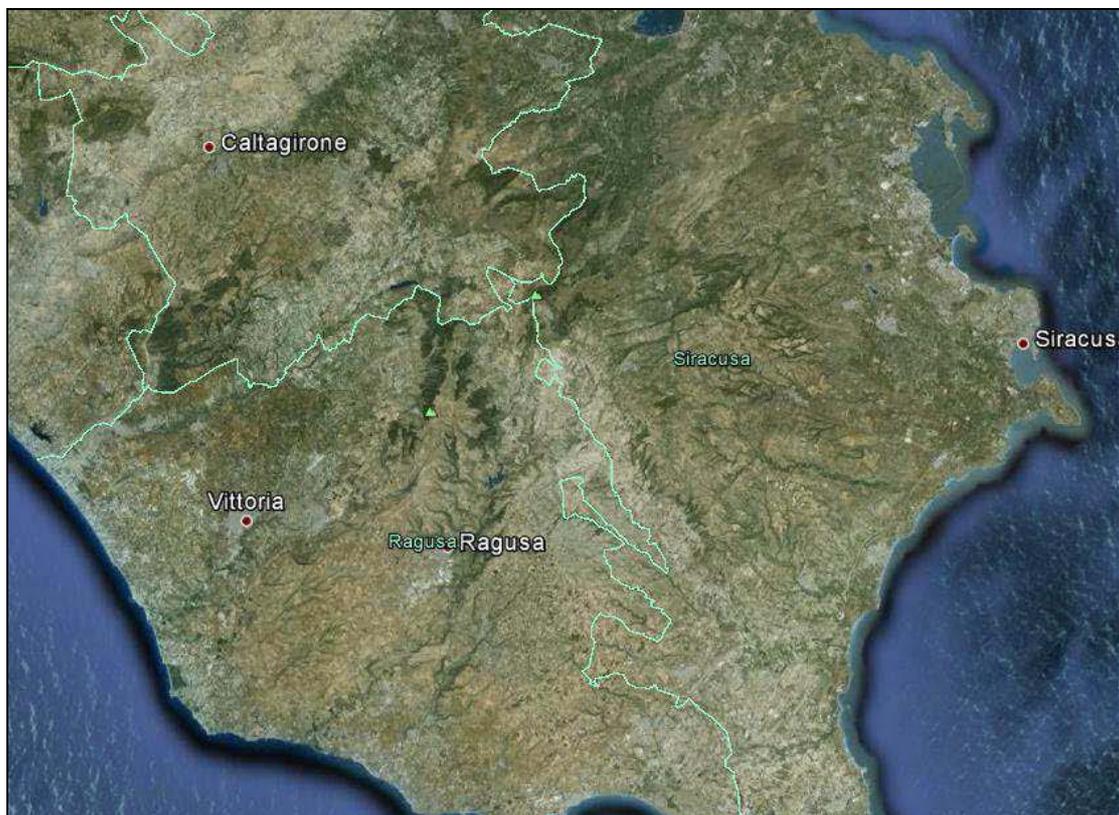


Figura 3.5 - Foto da satellite del settore Ibleo-ragusano che evidenzia le principali direttrici morfologiche che per lo più coincidono con i principali lineamenti tettonici

La natura prevalentemente carbonatica degli Iblei e l'abbondante circolazione idrica sia superficiale che sotterranea ha determinato lo sviluppo di numerosi processi carsici testimoniati sia da diffuse forme superficiali (*karren*, vaschette di dissoluzione, solchi, forre etc.), che ipogee (grotte, condotti carsici, a volte fossili, a vari livelli stratigrafici).

A luoghi sui fondovalle sono presenti inghiottitoi, sovente sepolti al di sotto di coltri alluvionali, dove spesso sono presenti sorgenti che alimentano il deflusso superficiale, emergenti in corrispondenza dei punti di affioramento dei locali livelli piezometrici, oppure attraverso polle ubicate in corrispondenza di fratture lungo il subalveo.

Il carsismo inizia nel Miocene superiore e continua per tutto il Pliocene fino al Quaternario generando un complesso sistema carsico con condotti e gallerie interconnessi, probabilmente

controllato dall'attività tettonica e dalle fluttuazioni glacio-eustatiche plio-pleistoceniche. (Grasso et al., 2000).

Il territorio su cui si estende il centro abitato di Ragusa è caratterizzato dalla presenza diffusa di forme carsiche quali cavità verticali e orizzontali, fratture carsificate a luoghi riempite da terre rosse, banconi calcarei carsificati e crepacci. Alcune di queste forme vengono segnalate da Ruggieri (1990). A luoghi laddove la topografia e l'urbanizzazione lo permette sono visibili cavità sia carsiche che antropiche sulle quali spesso insistono manufatti (Fig. 3.6).



Figura 3.6 – Ragusa. Cavità impostate su pareti sub verticali sulle quali insistono manufatti

Versanti scoscesi, a luoghi accentuati da tagli, sono frequenti specialmente nel settore settentrionale, meridionale e sud-orientale dell'abitato con il conseguente sviluppo di versanti molto acclivi, dove a luoghi pareti sub verticali presentano fenomeni di dissesto, tipo crollo, (Fig. 3.7) diffusi specialmente in corrispondenza di affioramenti carbonatici intensamente fratturati.



Figura 3.7 - Ragusa . Pareti sub verticali sulle quali e ai piedi delle quali si ergono numerosi edifici, a luoghi interessate da fenomeni di crollo.

L'intero territorio comunale di Ragusa (Rg), ricade completamente dentro il Foglio I.G.M.I n. 648. Il Comune di Ragusa, situato nella porzione occidentale del territorio, si estende per una superficie complessiva superiore ai 400 km^2 , in parte ricadenti nel bacino idrografico del fiume Irmínio e in parte nel bacino del fiume Ippari.

La porzione di altopiano ibleo compresa all'interno del territorio studiato, è caratterizzata da morfologia tabulare derivante dalla giacitura suborizzontale delle rocce e che è incisa da profonde e marcate incisioni torrentizie da profondi solchi fluviali che prendono il nome di "cave" interrotta da profonde e marcate incisioni torrentizie (Figg. 3.8 e 3.9).

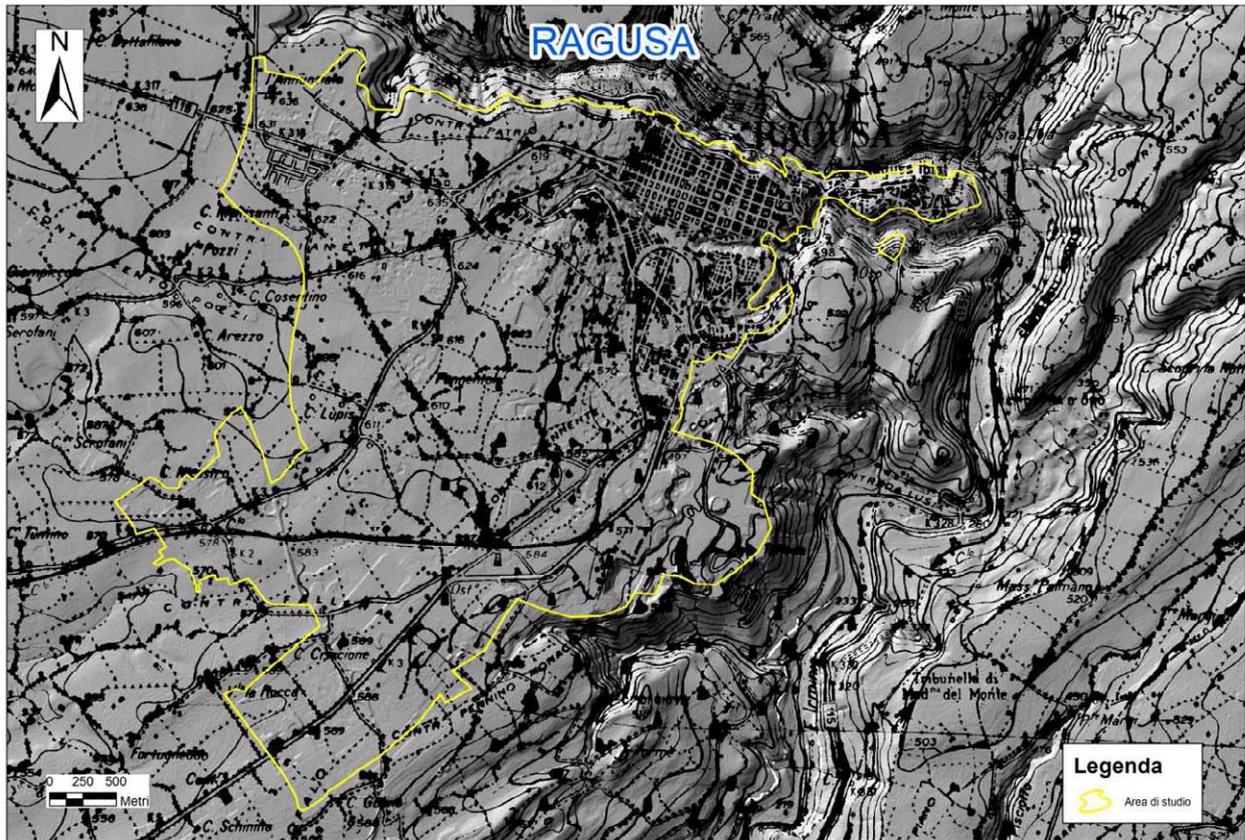


Figura 3.8 – Stralcio del Foglio 1:50.000 n.648: assetto morfologico del territorio di Ragusa (Rg) ed individuazione del Centro abitato principale.



Figura 3.9 – Immagine Google Earth™ di Ragusa: Centro abitato principale.

Profili topografici di inquadramento

Al fine di rilevare le caratteristiche morfologiche dell'area, sono stati realizzati quattro profili topografici d'inquadramento che interessano l'area compresa nel centro abitato principale (Fig. 3.10a-d). Il profilo denominato "Ragusa 1" si sviluppa in direzione N-S ed è ortogonale ai profili "Ragusa 2" e "Ragusa 3" e "Ragusa 4" che invece hanno direzione principale O-E. L'analisi dei profili topografici ricostruiti allo scopo di descrivere la morfologia del centro urbano principale, evidenzia e conferma che questo insiste su un piano tabulare esteso 5000 metri da Nord a Sud e dai 3000 e ai 5000 metri da Ovest a Est. Morfologicamente, la parte settentrionale è caratterizzata dagli impluvi del Fiume Irminio che presentano caratteri diversi, non soltanto in relazione alla natura litologica dei terreni che li costituiscono, ma anche in relazione alla storia tettonica a partire dalla fine del Miocene ad oggi; lo testimonia, tra l'altro, la coincidenza tra la direzione di massimo allungamento del territorio in esame, con il sistema strutturale NE-SW caratterizzante l'area Iblea.

All'interno del territorio interessato dal Comune di Ragusa è possibile distinguere un settore, collocato nella porzione centro settentrionale, nell'area di affioramento dei depositi carbonatici della F.ne Ragusa, con morfologia particolarmente accidentata e valli strette ed incise. Un settore, individuabile nella parte terminale del territorio in studio, nei pressi della foce, che, pur conservando le stesse caratteristiche litologiche del settore precedente, si presenta con vallate meno strette ed incise.

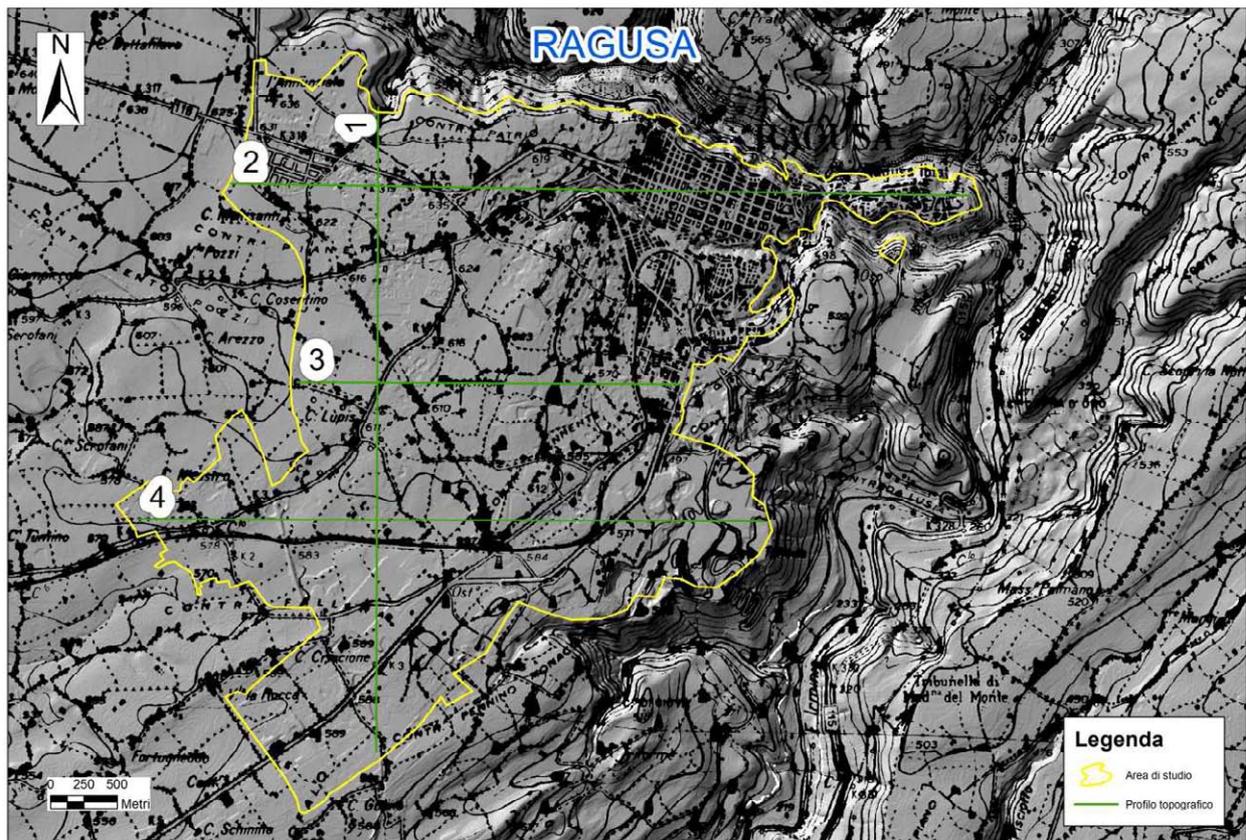


Fig. 3.10 – Ragusa: Centro abitato principale con la traccia dei profili topografici.

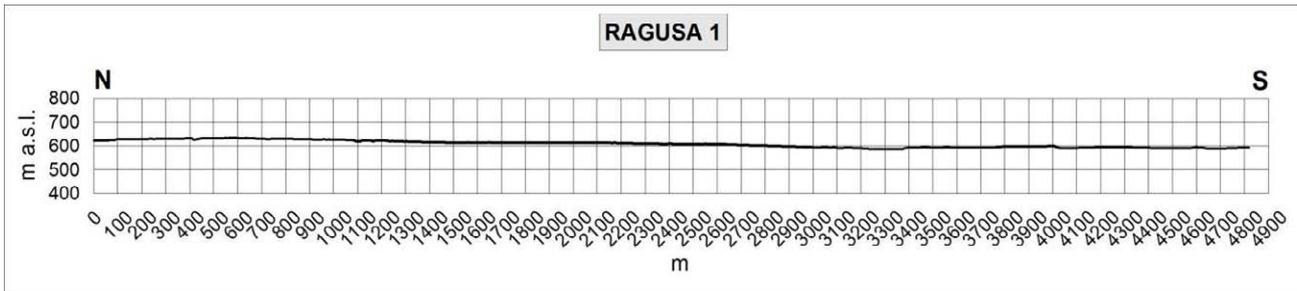


Fig. 3.10a – Profilo topografico di inquadramento Ragusa 1.

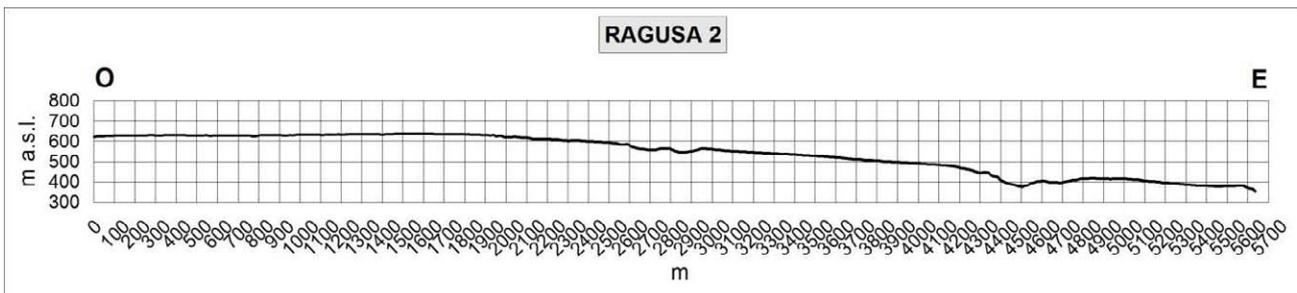


Fig. 3.10b – Profilo topografico di inquadramento Ragusa 2.

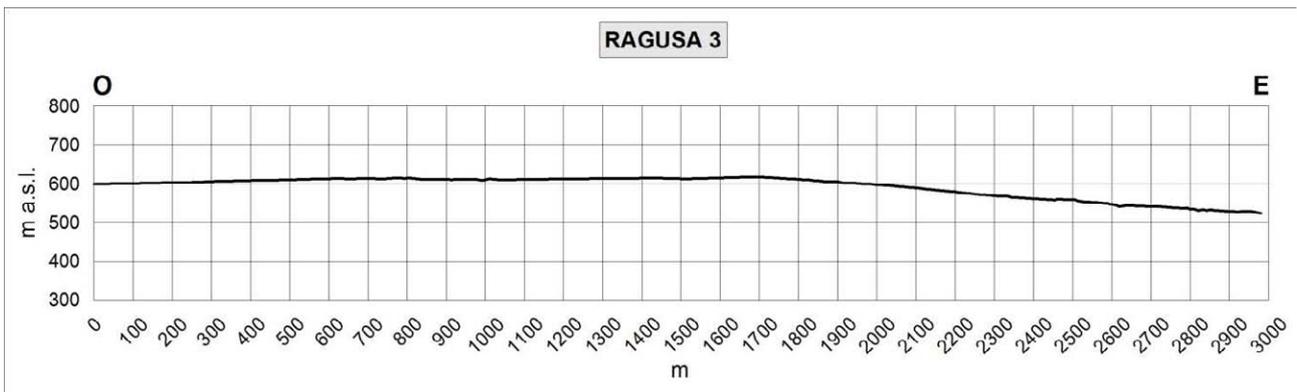


Fig. 3.10c – Profilo topografico di inquadramento Ragusa 3.

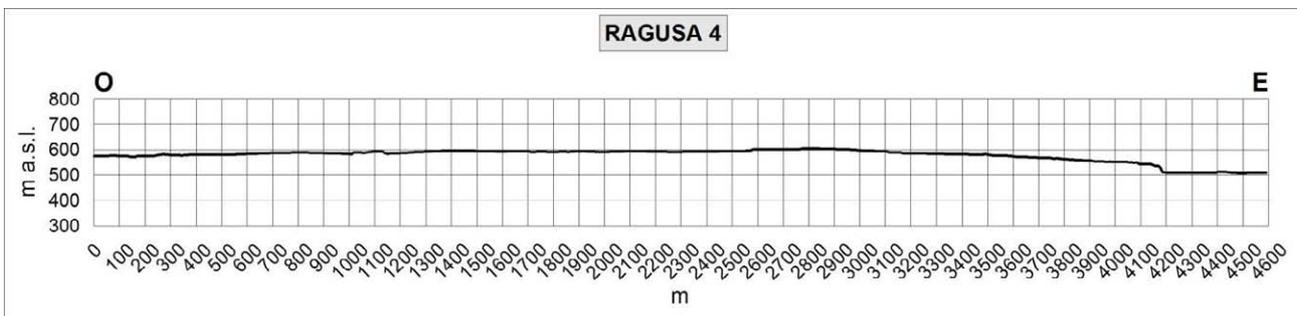


Fig. 3.10d – Profilo topografico di inquadramento Ragusa 4.

3.4.2 Litostratigrafia

Nell'area interessata affiorano le successioni cenozoiche prevalentemente carbonatico-marnose Oligo-Mioceniche riferibili alla formazione Ragusa (carta geologica Grasso, 1997, Fig. 3.11).

Depositi eterometrici ed eterogenei grossolani caratterizzano le piane alluvionali presenti al fondo delle valli, lungo i corsi d'acqua e allo sbocco dei torrenti provenienti dall'altipiano. Depositi di alterazione e falde detritiche sono ampiamente diffuse specialmente lungo i versanti.

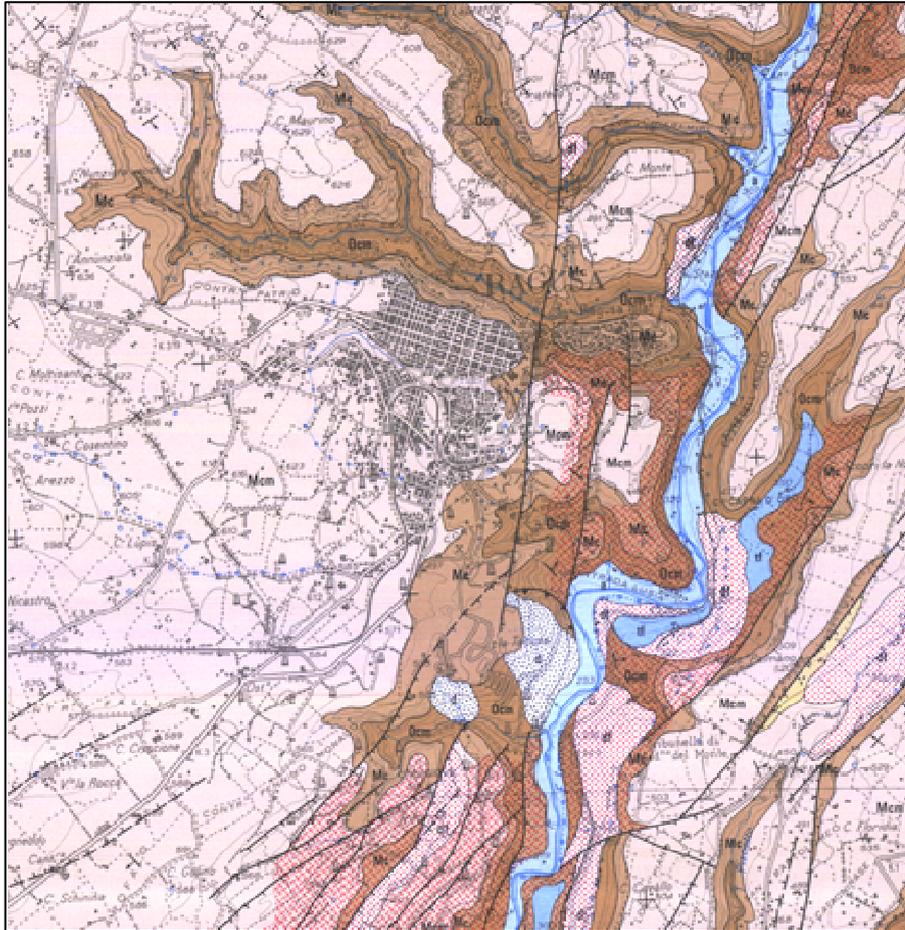


Figura 3.11 – Carta geologica dell'area di Ragusa. Stralcio della “Carta geologica del settore centro-meridionale dell'altipiano ibleo” scala 1:50.000 – M. Grasso - SELCA Firenze (1997).

Legenda:

d) discariche e materiali di risulta di cave

a) alluvioni fluviali, fondi palustri recenti ed attuali – Olocene

tf) alluvioni fluviali terrazzate – Pleistocene medio-Olocene

df) detrito di falda – Pleistocene medio-superiore

Mm) marne grigio azzurre a frattura subconcoide - *Formazione Tellaro* - Serravalliano-Tortoniano superiore

Mcm) *Formazione Ragusa – Mb. Irminio medio* – Burdigaliano superiore-Langhiano inferiore

Mc) *Formazione Ragusa – Mb. Irminio inferiore* – Aquitaniano-Burdigaliano inferiore

Ocm) *Formazione Ragusa – Mb. Leonardo* – Oligocene superiore

La successione litostratigrafica affiorante nel territorio di Ragusa (Tab. 3.1) è costituita da:

3.4.2.1 Formazione Ragusa

La successione che caratterizza questa formazione nella letteratura geologica viene suddivisa in due intervalli: uno inferiore (Membro Leonardo) costituita prevalentemente da calcilutiti e marne di età Oligocene sup., ed una superiore (Membro Irminio) costituita da calcareniti e marne di età Miocene inferiore.

- **Mb. Leonardo** : è data dall'alternanza di calcisiltiti e calcilutiti biancastre in strati potenti 30-100 cm e di marne e calcari marnosi biancastri di 5-20 cm di spessore. L'intervallo basale è caratterizzato da estesi fenomeni di *slumping* .

Lo spessore medio complessivo affiorante è di circa 100 m.

Le associazioni faunistiche a foraminiferi planctonici sono indicative dell' Oligocene sup.

- **Mb. Irminio**: la parte inferiore di questo membro è costituito da calcareniti e calciruditi bianco-grigiastre o bianco-giallastre di media durezza, in banchi di spessore variabile talvolta fino a 10 m, separati da sottili livelli marnoso-sabbiosi. Localmente presenta stratificazione incrociata con struttura a spina di pesce o *hummocky*. A luoghi contiene, nella parte alta, un *hardground* fosfatifero di spessore da pochi centimetri fino a qualche decimetro di colore giallo-brunastro. Microfaune scarse e non determinabili ad eccezione di *Miogipsina sp.* e *Amphistegina sp.* e rari echinoidi.

La parte mediana è costituita da strati di calcareniti grigiastre spesse in media da 30 a 60 cm alternati a strati calcareo-marnosi di uguale spessore. Gli strati calcareo-marnosi contengono faune planctoniche a *Globoquadrina dehiscens*, *Globigerinoides trilobus*, *Praeorbulina sicana*.

Lo spessore dell'intera formazione è di circa 300 metri e, in accordo con i dati di letteratura, è riferibile all'intervallo Oligocene sup-Langhiano.

3.4.2.2 Formazione Tellaro

Questa formazione è costituita da marne grigio-azzurre fittamente stratificate a frattura sub-concoide con rare intercalazioni di livelli calcarenitici di spessore centimetrico. Poggiano in concordanza sul membro Irminio della formazione Ragusa ed a luoghi è possibile individuarne il passaggio graduale. Affiora a sud-est del centro abitato, in un piccolo lembo bordato da una faglia diretta . Le marne contengono una ricca fauna a foraminiferi planctonici.

L'età della formazione Tellaro è riferibile all'intervallo Serravalliano-Tortoniano superiore. Lo spessore affiorante varia tra pochi metri e circa 40 metri

3.4.2.3 Alluvioni : ghiaie, limi, sabbie e sabbie limose.

Si tratta di depositi fluviali presenti nei fondovalle, all'interno del centro abitato e nelle aree di confluenza dei torrenti con il fiume Irminio costituiti da una alternanza irregolare di ghiaie, sabbie, limi, limi sabbiosi con a luoghi intercalazioni di brecce e ciottoli sub-arrotondati di dimensioni centimetriche e lenti di ghiaie miste a limi che nelle aree di fondovalle raggiungono spessori superiori ai tre metri. Anche se in massima parte non sono affioranti per l'intensa urbanizzazione, alcuni sondaggi e l'indagine geofisica hanno permesso di ricostruirne lo spessore e l'estensione.

3.4.2.4 Coperture.

In diversi versanti le successioni descritte, sono ricoperte da detriti di falda costituiti prevalentemente da brecce e ciottoli calcarei immersi in una matrice sabbiosa raramente limosa.

In diversi luoghi le aree depresse sono riempite da depositi di alterazione o riporto di varia natura. Gli spessori, generalmente esigui (minore di tre metri) diventano apprezzabili nelle aree depresse e di fondovalle, in questi casi superano i tre metri di spessore. Il terreno agrario copro in maniera quasi uniforme buona parte del territorio non urbanizzato, raramente raggiunge o supera il metro di spessore ad esclusione delle aree pianeggianti dell'altipiano.

	Unità litostratigrafica	età	litologia	spessore
	depositi di versante, terreni di alterazione e di riporto	Attuale	Ghiaie, ghiaie e sabbie	1-3 m.
	Depositi alluvionali	recenti	alternanza irregolare di ghiaie, sabbie, limi, limi sabbiosi con a luoghi intercalazioni di breccie e ciottoli sub-arrotondati di dimensioni centimetriche e lenti di ghiaie miste a limi	2-8 m
	Formazione Tellaro	Miocene superiore	Prevalenti marne, ed argille marnose con intercalazioni di calcareniti e calcari marnosi in strati da centimetrici a decimetrici. A luoghi intercalazioni di vulcaniti basiche.	40-200 m.
contatto stratigrafico				
	Formazione Ragusa	Oligocene superiore – Miocene inferiore	prevalenti calcari e calcari marnosi in strati da decimetrici a metrici con intercalazioni di marne calcaree in strati da centimetrici a decimetrici.	50-200 m

Tabella 3.1- Rappresentazione schematica della successione litostratigrafica dell'area di Ragusa.

3.4.3. Lineamenti tettonici di Ragusa

Il centro abitato di Ragusa è ubicato lungo una zona di taglio conosciuta in letteratura con diversi nomi “Scicli-Ragusa”, “Scicli-Ragusa-Giarratana”, “Santa Croce Camerina-Scicli-Ragusa” che attraversa il settore centro-meridionale dell’altipiano ibleo con direzione NNE-SSO.

L’area studiata è interessata da una serie di faglie di ordine minore coniugate ad essa e sorge su un substrato carbonatico a luoghi fratturato ed a volte ricoperto da depositi di alterazione colluviali ed eluviali.

La successione carbonatica, del centro urbano e degli immediati dintorni, nel settore orientale mostra giacitura monoclinale immergente verso nord-est, con valori di inclinazione che oscillano tra 5° e 20°. Nel settore centrale dell’abitato ed in quello occidentale le giaciture sono sub-orizzontali, mentre nel settore meridionale gli strati immergono verso SO. Evidenze che mostrerebbero una blanda struttura anticlinale orientata circa NNO-SSE.

Lungo il percorso della fascia deformata sono presenti evidenze di trascorrenza destra con sovrapposti indicatori di movimenti più recenti sinistri. (Catalano et al., 2006, 2010), inoltre lungo questa zona di taglio sono ubicati alcuni epicentri di terremoti recenti (Catalano et al., 2010)

Questa struttura intercetta il centro abitato nel settore orientale generando un basso morfo-strutturale che separa l’antica Hybla dal rimanente centro abitato e tilta verso ovest la successione carbonatica su cui sorge l’antico abitato.

La zona di taglio è espressa da una faglia principale con rigetto verticale non determinabile, che in diversi tratti mostra un andamento sub verticale con direzione N10E°, caratterizzata da fratture ed indicatori cinematici indicativi di movimento estensionale. Le successioni carbonatiche che affiorano all’interno del centro abitato sono interessate da sistemi di faglie che tagliano i terreni di età Oligo- Miocenica con direzioni che variano da N-S a NNE-SSO. Si tratta di dislocazioni transtensive, sub-verticali, il cui rigetto è difficile da definire. Sono strutture di ordine minore associate alla struttura principale “Scicli-Ragusa”.

I quadranti più a sud-ovest dell’area studiata sono anch’essi interessati da diversi set di strutture perlopiù dirette e/o transtensive con direzioni che variano da NNE-SSO a NE-SO.

Ampie fasce cataclastiche (riportate anche nella carta geologica di Grasso, 1997) caratterizzate da fatturazione diffusa, joint e faglie di ordine minore sono presenti nei settori meridionali dell’abitato. Si tratta di settori ampiamente deformati, generalmente allineati secondo le principali direttrici tettoniche, dove i carbonati hanno reagito in maniera fragile (Fig. 3.12).



Figura 3.12 – Ragusa. Scarpate sub verticali, che delimitano il versante su cui sorge Ragusa, fagliate, fratturate ed a luoghi cataclamate.

4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

4.1 Il database

I dati geotecnici e geofisici di base utilizzati per lo studio consistono di:

- 1) Dati pregressi ritenuti utili ai fini degli studi tra quelli resi disponibili da Amministrazioni pubbliche (Tabb. 4.1 e 4.2);
- 2) Rilevamenti geologici di controllo sul terreno;
- 3) Misure passive del rumore ambientale, mediante tecnica a stazione singola (HVSr).

I dati geotecnici raccolti ai fini dello studio derivano da:

- a) Comune di Ragusa - Studio geologico tecnico a supporto del P.R.G. redatto dal Dott. Geol. G. Diquattro
- a) Comune di Ragusa – Studio Geologico dell’area della zona artigianale sita in C/da Mugno redatto dal Dott. Geol. E. Vitale;
- b) Dipartimento Protezione Civile – Servizio Sicilia Orientale - U.O.B. XVIII Lavori di recupero e conservazione dell’edificio ex GIL soprintendenza BB.CC.AA. sito a Ragusa;
- c) Dipartimento Protezione Civile – Servizio Sicilia Orientale - U.O.B. XVIII Recupero e conservazione del convento di Santa Maria del Gesù a Ragusa Ibla
- d) Dipartimento Protezione Civile – Servizio Sicilia Orientale - U.O.B. XVIII

Interventi di restauro e risanamento conservativo della Chiesa S. Francesco all'Immacolata sita a Ragusa Ibla

e) Dipartimento Protezione Civile – Servizio Sicilia Orientale - U.O.B. XVIII

Lavori di recupero e conservazione dell'immobile "Chiesa S. Francesco D'Assisi" sito in Ragusa

f) Provincia Regionale di Ragusa – 19° Settore

Rilevamento di parametri finalizzati alla caratterizzazione geologica, fisica e geofisica per la vulnerabilità degli edifici strategici di pertinenza della Provincia regionale di Ragusa ai fini di protezione Civile:

- Caserma Carabinieri
- Caserma Vigili Del Fuoco
- ASI
- Ex – IPAi
- Palazzo del Governo
- Palazzo della Provincia

Indagini Ragusa	QUANTITA'
Lavori commissionati dalla Protezione Civile	
Sondaggi a carotaggio continuo	15
Prelievo campioni nei sondaggi	48
Analisi di laboratorio (analisi granulometriche ed indagini geotecniche)	97
Indagini sismiche di tipo Down Hole	9
Lavori commissionati dal Comune	
Sondaggi a carotaggio continuo	1
Trincee esplorative	6
Indagini sismiche di tipo SEV	6
Altri lavori commissionati dalla Provincia	
Sondaggi a carotaggio continuo	12
Indagini sismiche di tipo Down Hole	12
Microtremori a stazione singola (HVSR) Unipa	
Indagini sismiche di tipo HVSR	254

Tabella 4.1 - Prove geognostiche, geofisiche e di laboratorio disponibili e di nuova acquisizione che riguardano il territorio comunale di Ragusa con indicazione della provenienza dei dati.

TOTALE PROVE: Ragusa	QUANTITA'
Sondaggi a carotaggio continuo	28
Prelievo campioni nei sondaggi	48
Analisi di laboratorio (analisi granulometriche ed indagini geotecniche)	97
Trincee esplorative	6
Indagini sismiche SEV	6
Indagini sismiche a rifrazione	9
Indagini sismiche di tipo Down Hole	12
Indagini sismiche di Microtremori stazione singola (HVSR)	254

Tabella 4.2 - Sintesi delle prove geognostiche, geofisiche e di laboratorio che riguardano il territorio comunale di Ragusa

4.2. Unità geologico-litotecniche

Sulla base delle caratteristiche litotecniche dei terreni affioranti, dei dati di sottosuolo, delle caratteristiche meccaniche sono state distinte le unità geologico-litotecniche presenti nel territorio di Ragusa.

Le unità geologico-litotecniche sono state differenziate tra terreni di copertura e substrato geologico.

I terreni del substrato, in base a le loro caratteristiche meccaniche ricavate dai dati preesistenti, e in considerazione dei dati geofisici raccolti e interpretati in questa prima fase di studio (cfr. Par.5.1), sono stati distinti in due differenti tipologie:

- alternanza litologica stratificata (ALS - non affiorante), a questa classe sono stati attribuiti i terreni calcareo e calcareo-marnosi della Formazione Ragusa .
- substrato geologico non rigido stratificato (NRS), costituito dalle porzioni di alterazione superficiale e/o di intensa fratturazione dei litotipi calcareo e calcareo marnosi della Formazione Ragusa (Tab. 4.3).

Il contatto tra queste due tipologie di substrato non è dato da un limite stratigrafico ma si individua, all'interno della stessa formazione geologica (Fm. Ragusa), a profondità variabili in funzione di diversi fattori, quali alterazione della successione carbonatica e/o intensità della fratturazione. Di norma, sulla base delle indagini geofisiche esistenti (Down Hole) e di quelle realizzate ex novo dall'Università (HVSR), in situazioni di substrato geologico affiorante costituito dalle successioni carbonatiche della Fm. Ragusa, il passaggio da $V_{s30} < 800$ m/s a $V_{s30} > 800$ m/s è stato riscontrato a profondità variabili da 1,5-3 m fino a circa 20 m.

Per le coperture è stato considerato uno spessore minimo di 3 m. Per descrivere la litologia dei terreni è stato utilizzato l'*Unified Soil Classification System* (leggermente modificato, ASTM, 1985), un sistema di classificazione dei suoli, utilizzato sia in ingegneria che in geologia, che può essere applicato alla maggioranza dei materiali non consolidati ed è composto da una sigla formata da 2 lettere.

Nell'area studiata sono state distinte due differenti tipologie di coperture in funzione delle caratteristiche granulometriche e della loro genesi: "Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo" (GM), "Terreni contenenti resti di attività antropica" (RI) (Tab. 4.4).

Le "ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo" (GM) si trovano al fondo del profondo impluvio che attraversa la città e in un altro piccolo lembo nel settore centro meridionale dell'abitato di Ragusa Ibla e hanno spessore variabile da poco più di 4 m a 8,6 m.

I "terreni contenenti resti di attività antropica" (RI) sono segnalati in diverse aree della zona industriale/artigianale nel settore sud-ovest dell'area studiata. Lo spessore non sempre è determinabile con sicurezza, ma dall'analisi dei dati esistenti e delle misure HVSR realizzate ex-novo, può essere stimato un valore compreso tra 2 m e 10 m.

Terreni di substrato

Unità litostratigrafica	Tipologia di substrato	Sigla	stratificazione	Grado di fratturazione
Porzione superficiale dei calcari marnosi e marne della Formazione Ragusa	Substrato geologico non rigido	NRS	stratificato	Medio-alto
Porzione profonda dei calcari, calcari marnosi e marne della Formazione Ragusa	Alternanza di litotipi	ALS	stratificato	Medio a tratti medio-alto

Tabella 4.3 – Classificazione dei terreni di substrato

Terreni di copertura

Terreni di riporto di varia natura e terreni di alterazione	RI – “Terreni contenenti resti di attività antropica”
Detrito di versante, e conoidi alluvionali	GM - Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo

Tabella 4.4 – Classificazione dei terreni di copertura

4.3 Indagini geofisiche precedenti

Le indagini geofisiche realizzate nell’ambito di studi pregressi, delle quali il Comune di Ragusa ha fornito la documentazione di cui è in possesso sono:

1. Profili di sismica a rifrazione eseguiti prevalentemente nel 1995 nell’ambito dello Studio Geologico tecnico a supporto del Piano Regolatore Generale. Le indagini sismiche riguardano le zone: Centro storico di Ragusa (21 profili), Marina di Ragusa (22 profili), Braccetto (5 profili) e San Giacomo (4 profili).
Tutti i profili sono stati acquisiti con disposizioni assolutamente inadeguate dei sensori e delle sorgenti. Il rapporto segnale – rumore delle tracce è in media basso e le correlazioni dei tempi di primo arrivo sono effettuate in modo non sufficientemente critico. L’inversione delle dromocrone non è effettuata in modo corretto. Per tali motivi i risultati di tali indagini devono essere considerati una rappresentazione molto approssimativa della distribuzione della velocità delle onde P nei primi 10 m di sottosuolo.
2. Dodici indagini sismiche di tipo Down - Hole con profondità massima compresa fra 24 m e 30 m e passo di misura di 1.5 m sono state eseguite fra il 2000 e il 2001 nel centro urbano di Ragusa, in prossimità dei sei siti strategici: caserma dei carabinieri, caserma dei vigili del fuoco, centro ASI, ex IPAI, Palazzo del Governo, Palazzo della Provincia. La relazione non contiene immagini relative ai segnali sismici acquisiti e quindi alla precisione del picking delle fasi P ed S. La tecnica di interpretazione adottata è piuttosto semplicistica, approssimativa ed instabile, come sarebbe stato facile osservare con una analisi degli errori attesi sulle stime. Ad ogni punto di misura, oltre alle stime delle velocità medie delle onde P ed S relative all’intervallo di misura precedente, è associata anche una stima della densità, ma non viene detto come questo parametro sia stato misurato ed inoltre vengono forniti i valori calcolati di quattro parametri elastici, che una analisi di propagazione degli errori indicherebbero molto poco attendibili.

3. Nello studio eseguito nel 2001 presso la Chiesa di San Francesco all'Immacolata vengono riportati i risultati di quattro profili sismici a rifrazione con offset massimo di 25 m. Questi profili, secondo gli esecutori della ricerca permettono di individuare una transizione fra uno strato più alterato ed uno meno alterato ad una profondità variabile fra 0.8 m e 3.0 m. Non essendo riportate nella relazione né rappresentazioni dei segnali sismici acquisiti né grafici dei tempi di arrivo letti in funzione dell'offset, non è possibile esprimere nessuna valutazione sull'attendibilità dei risultati ottenuti.
4. Nello studio geologico della zona artigianale di Contrada Mugno, eseguito nel 2002, sono riportati i risultati di sei SEV. Di questi non vengono menzionati: né il tipo di stendimento elettrodico adottato, né il passo di campionamento delle curve di resistività apparente, né le modalità e strumenti di misura. Inoltre non viene detto come sono stati ricavati i modelli interpretativi, le risposte dei quali, comunque, nell'ipotesi più probabile di stendimenti di tipo Schlumberger non sono in accordo con le corrispondenti curve sperimentali di resistività apparente. L'attendibilità di tale parte dello studio è pertanto da considerare bassa.
5. Nell'area della Chiesa di San Francesco d'Assisi, nell'ambito di uno studio per il recupero e la conservazione dell'immobile realizzato nel 2003, sono stati eseguiti 5 profili di sismica a rifrazione intorno all'edificio e 55 profili GPR in parte all'interno e in parte all'esterno della chiesa.
Dell'indagine sismica sono riportati i tempi diretti e reciproci letti sulle tracce. Non è però possibile stabilirne l'attendibilità perché mancano le restituzioni dei segnali. L'interpretazione in termini di velocità e andamento delle interfacce sembra poco attendibile. Più probabilmente i tempi di percorso riportati indicano la presenza di un'unica transizione significativa fra due strati piuttosto eterogenei lateralmente, con velocità medie dell'ordine di 1600 m/s e 3500 m/s. Gli effetti di questo livello di transizione sono, comunque osservabili soltanto sui profili 1 e 6, lunghi 26 m. Questi due profili indicano anche che gli altri 4 profili sono troppo corti per potere correlare la fase delle onde rifratte criticamente dall'interfaccia.
Non sono riportate immagini dei profili radar, che sono commentati soltanto in modo globale ed eccessivamente sintetico.
6. Lo studio eseguito nel 2008 per il recupero e conservazione del convento di Santa Maria del Gesù a Ragusa Ibla contiene una prospezione elettromagnetica consistente in 16 profili GPR con una lunghezza complessiva di 149 m. Le sezioni radar rappresentate sono poco commentate dai responsabili dello studio, in particolare in termini di interfacce geologiche.

4.4. Il metodo HVSR

Il rumore sismico naturale è presente in qualsiasi punto della superficie terrestre e consiste per lo più di vibrazioni del suolo prodotte dall'interferenza di onde di volume e di superficie, prodotte da sorgenti che si ipotizza siano distribuite con caratteristiche di relativa omogeneità e isotropia sulla superficie del suolo e nel sottosuolo. Le sorgenti principali del rumore sismico consistono in fenomeni atmosferici, idrodinamici e processi di circolazione di fluidi e micro-fratturazione nel sottosuolo. Esistono anche sorgenti di natura antropica che producono localmente rumore sismico generalmente a frequenze relativamente alte rispetto a quelle del rumore di origine naturale (superiori in genere a 10 Hz).

Nelle zone in cui non è presente alcuna sorgente di rumore locale e nel caso in cui il basamento roccioso sia affiorante o superficiale, un'analisi statistica degli spettri di potenza dei segnali accelerometrici osservati per tempi di registrazione molto lunghi, ha permesso di definire le curve

limite (Peterson, 1993) mostrate in Fig. 4.1. La curva blu rappresenta il rumore di fondo “minimo” di riferimento secondo il Servizio Geologico Statunitense (USGS) mentre la curva verde rappresenta il “massimo” di tale rumore.

L’andamento dello spettro del rumore di fondo è certamente influenzato dalle caratteristiche delle sorgenti e dal loro peso relativo, ma è anche influenzato da effetti di amplificazione che in certi intervalli di frequenze possono essere prodotti da eterogeneità della distribuzione dei parametri meccanici nel sottosuolo e da complessità della morfologia della superficie del suolo.

Si può dimostrare che in corrispondenza alle frequenze di risonanza di una sequenza di strati, il rapporto tra gli spettri delle componenti orizzontale e verticale delle vibrazioni del suolo prodotte da sorgenti naturali, che viene indagato nel metodo HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) presenta dei picchi generalmente indicativi delle frequenze di risonanza (Fig. 4.2). Ma è ovvio che non necessariamente un picco del segnale HVSR debba essere attribuito ad una frequenza di risonanza di strutture sepolte. Esso potrebbe dipendere da caratteristiche delle sorgenti del rumore o da complessi fenomeni interferenza e focalizzazione di onde P ed S. Opportune tecniche di analisi dei dati permettono, comunque, di discriminare con buona frequenza di successo i picchi spettrali da attribuire alla propagazione ondosa dagli effetti di sorgente.

È comunemente accettato che le caratteristiche dello scuotimento prodotto dalle onde generate da un terremoto sono quasi uniformi al tetto del basamento sismico (*bedrock*) in un’area con dimensioni lineari molto minori della distanza epicentrale. Queste caratteristiche possono essere notevolmente alterate dallo strato di sedimenti che ricopre il *bedrock*, con possibili effetti di amplificazione delle vibrazioni, che assumono valori particolarmente grandi a frequenze prossime alle principali frequenze proprie degli strati di copertura, detti effetti di sito (Ben-Menahem e Singh, 1981; Yuncha e Luzon, 2000). Il metodo dei rapporti spettrali si basa sull’idea che se si individuasse un sito di riferimento, presumibilmente privo di effetti di sito rilevanti, si potrebbero stimare le amplificazioni prodotte da differenti coperture sedimentarie confrontando, per ogni componente del moto, gli spettri del rumore sismico misurato nel sito indagato e in quello di riferimento. Nakamura (1989) propose una tecnica per l’analisi dei microtremori che permette stime attendibili di effetti di amplificazione di sito o almeno delle loro frequenze principali senza l’utilizzo di una stazione di riferimento, permettendo così di operare in campagna con una sola stazione sismica. Nakamura (1989) interpreta i microtremori come il risultato dalla sovrapposizione di onde sismiche superficiali e di volume, considerando che l’effetto di sito sia causato dalla presenza di uno strato sedimentario giacente su di un semispazio rigido (Fig. 4.3).

In queste condizioni si possono definire due spettri relativi alle misure delle vibrazioni superficiali orizzontale (H_f) e verticale (V_f) (Fig. 4.3); tali spettri sono legati agli spettri delle onde di volume e di quelle di superficie dalle seguenti formule:

$$\begin{cases} H_f = A_h * H_b + H_s \\ V_f = A_v * V_b + V_s \end{cases}$$

dove A_h ed A_v sono i fattori di amplificazione del moto orizzontale e verticale delle onde di volume; H_b e V_b sono gli spettri orizzontale e verticale del moto nel *bedrock* e H_s e V_s sono gli spettri del moto orizzontale e verticale delle onde di superficie.

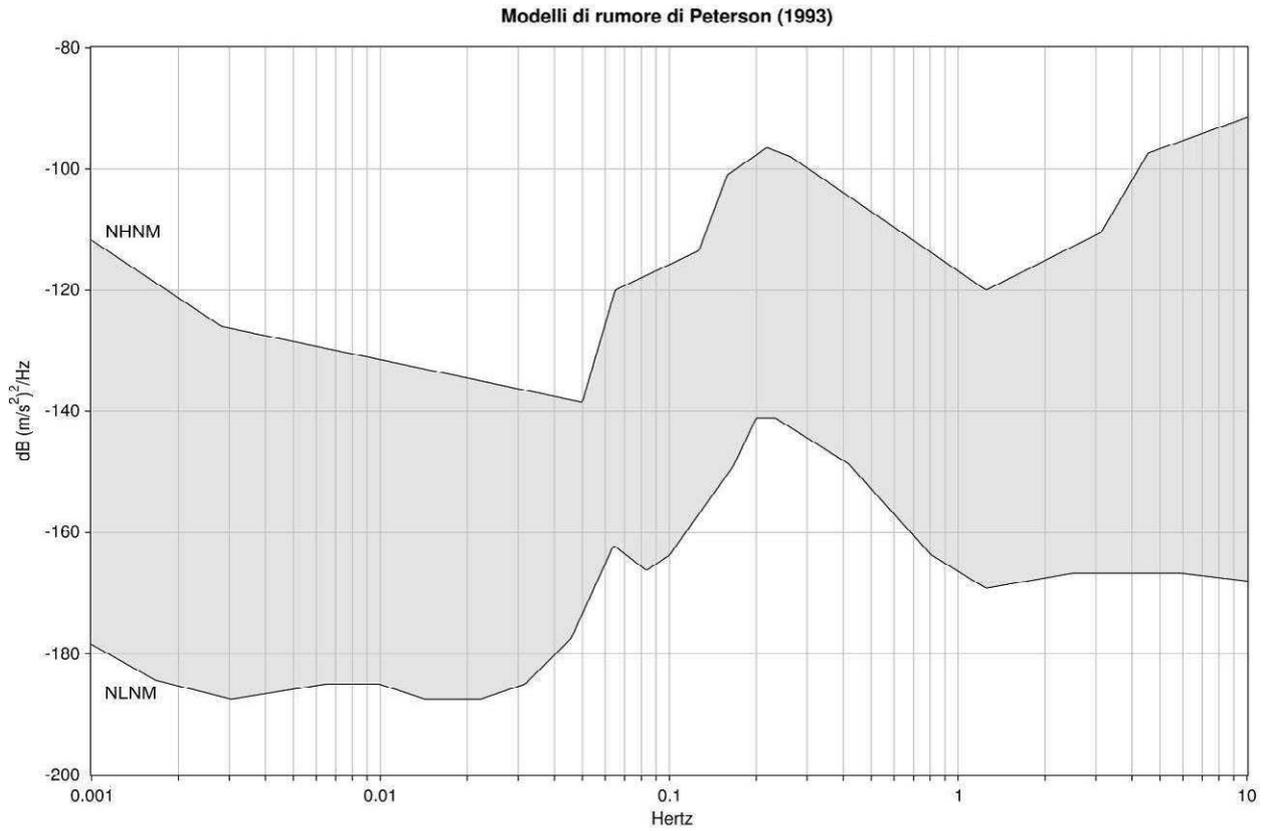


Figura 4.1 – Spettro del rumore sismico (in termini di velocità, componente verticale del moto) minimo e massimo secondo Peterson (1993)

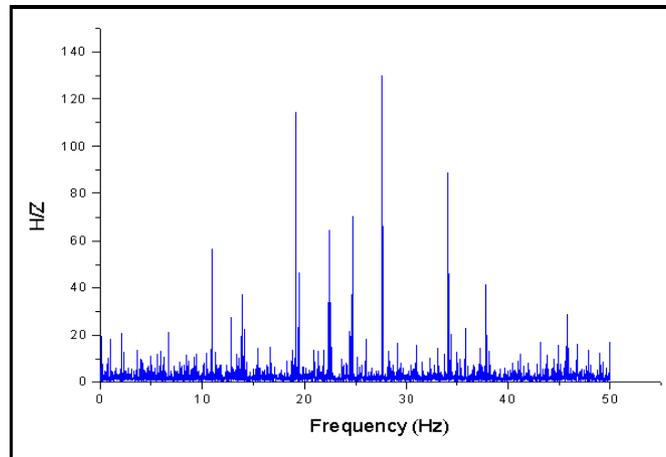


Figura 4.2 – Esempio di spettro di ampiezza del rapporto H/Z di uno specifico sito

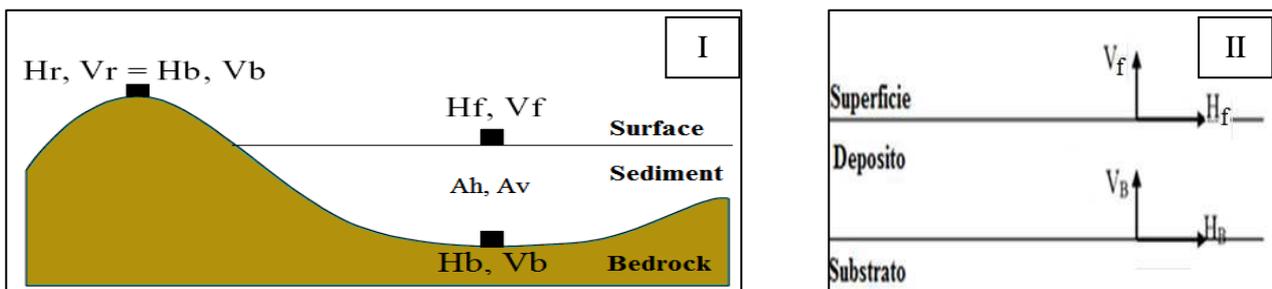


Figura 4.3 – Schema del modello considerato da Nakamura (1989)

Nakamura al fine di rimuovere l'effetto della sorgente nella stima della funzione di amplificazione propose la stima di un *QTS* (Quasi Transfer Spectrum) dall'analisi del rapporto spettrale.

Nel caso in cui il contributo delle onde di Rayleigh sia preponderante, si ha apparentemente:

$$QTS \approx H_s / V_s.$$

Nel caso in cui il contributo delle onde di volume sia pari a quello delle onde superficiali si ha:

$$QTS = \frac{H_f}{V_f} = \frac{A_h * H_b + H_s}{A_v * V_b + V_s} = \frac{H_b}{V_b} \cdot \frac{\left[\frac{A_h + \frac{H_s}{H_b}}{A_v + \frac{V_s}{V_b}} \right]}$$

Tenendo conto del fatto che l'ampiezza della componente verticale delle onde di volume non risente di effetti di amplificazione locale, che il rapporto H/V al tetto del basamento è ≈ 1 e che le ampiezze delle componenti orizzontali e verticali delle onde di Rayleigh diminuiscono bruscamente in corrispondenza alla frequenza fondamentale di risonanza delle onde SH nello strato superficiale, si ottiene: $QTS \approx A_h$.

La tecnica sismica HVSR è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali di risonanza del sottosuolo. Se è nota la velocità delle onde elastiche nei diversi strati di copertura, le frequenze di risonanza possono essere convertite nello spessore degli strati e quindi in un modello stratigrafico.

4.5. Indagini HVSR

La scelta dell'ubicazione dei punti di misura HVSR è stata eseguita secondo quanto specificato nel "Documento Tecnico per l'elaborazione delle indagini e degli studi di microzonazione sismica" secondo le specifiche e le condizioni stabilite dall'OPCM 3907/2010. Considerando l'estensione e la topografia dell'area soggetta alle indagini, sono stati ubicati 10 punti di misura HVSR, come riportato nella carta di ubicazione delle indagini.

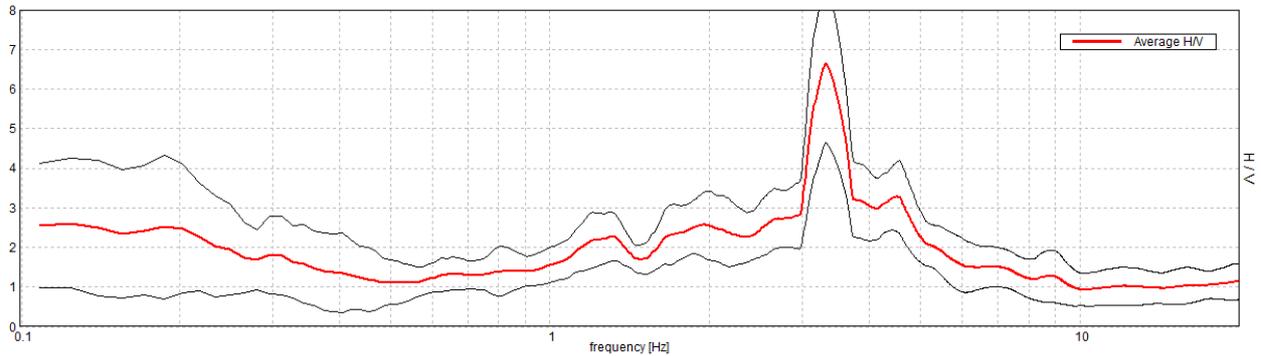
Tutte le misure sono state eseguite utilizzando il rilevatore sismico digitale TROMINO® della Micromed s.p.a., che utilizza una terna di sensori velocimetrici, smorzati criticamente, la cui funzione di trasferimento è dichiarata costante dal costruttore nell'intervallo di frequenze (0.1 ÷ 200) Hz. Il sistema di acquisizione digitale è a basso rumore con dinamica non inferiore a 23 bit. L'accuratezza relativa alle componenti spettrali, dichiarata dalla casa costruttrice, è maggiore di 10^{-4} al di sopra di 0.1 Hz.

Per ogni punto di misura sono state eseguite registrazioni di noise della durata complessiva di 46 minuti, con una frequenza di campionamento pari a 256 Hz. I dati di rumore sismico sono stati elaborati con il software GRILLA della Micromed s.p.a., che consente di eseguire l'analisi HVSR delle tracce acquisite. La trasformata di Fourier viene calcolata su ogni singola traccia suddivisa in finestre temporali non sovrapponibili. Per ogni segnale registrato la scelta delle finestre temporali da analizzare, di durata di 50 s ciascuna, è stata effettuata manualmente, analizzando i grafici della variazione temporale e di quella azimutale dello spettro H/V e scegliendo soltanto le finestre temporali di noise caratterizzate da stime spettrali stazionarie temporalmente e non caratterizzate da chiara dipendenza direzionale, situazioni nelle quali è ipotizzabile una forte dipendenza degli spettri dal fenomeno che genera il noise. Gli effetti di direzionalità spettrale sono stati attribuiti alle caratteristiche del sottosuolo solo se stabilmente osservate nell'arco dei 46 minuti di registrazione. La scelta di estendere la durata della registrazione a 46 minuti, è stata fatta in modo

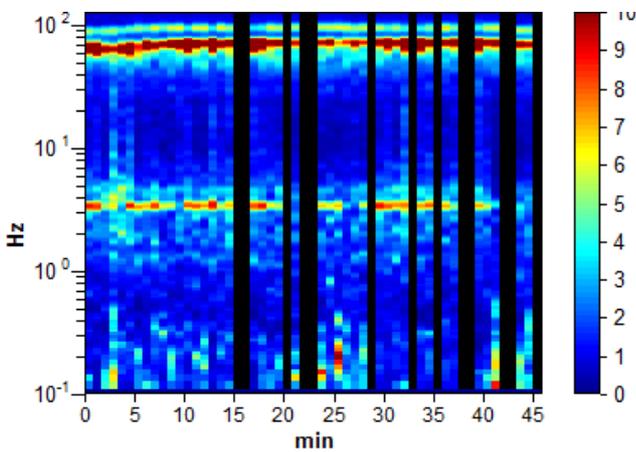
da ottenere un segnale utile, generalmente non inferiore a 30 minuti, (Sesame, 2004). I dati nel dominio della frequenza sono stati filtrati con finestra triangolare per ottenere uno smussamento del 10 %. Un esempio di elaborazione di dati è riportato nella Fig. 4.4

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

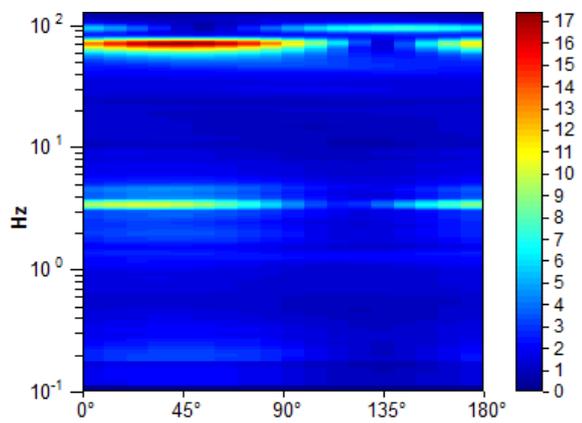
Max. H/V at 3.33 ± 0.0 Hz (in the range 0.1 - 50.0 Hz).



H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA

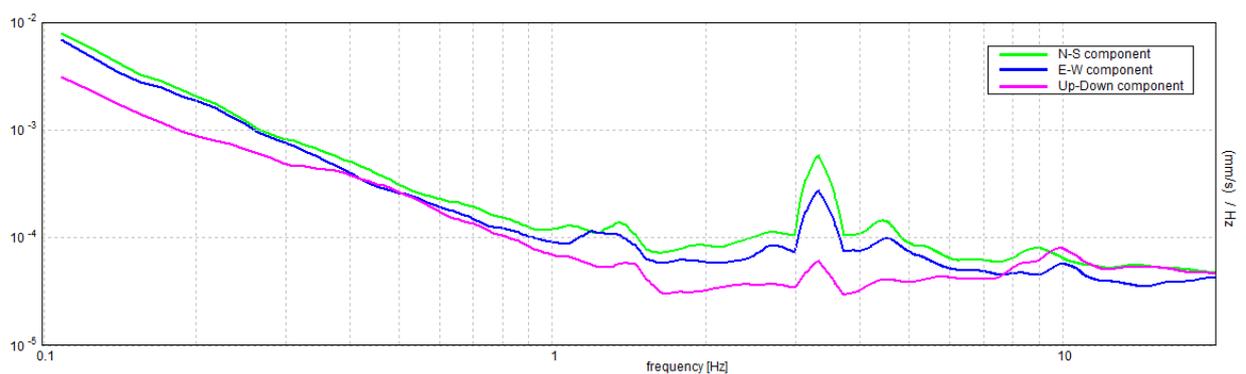


Figura 4.4 – Analisi dei dati relativi al punto di misura 088009P51HVSR208.

Nel territorio di Ragusa sono state acquisite 254 registrazioni di noise sismico, divise in cinque grandi zone caratterizzate da spettri di risposta H/V simili (Fig. 4.5).

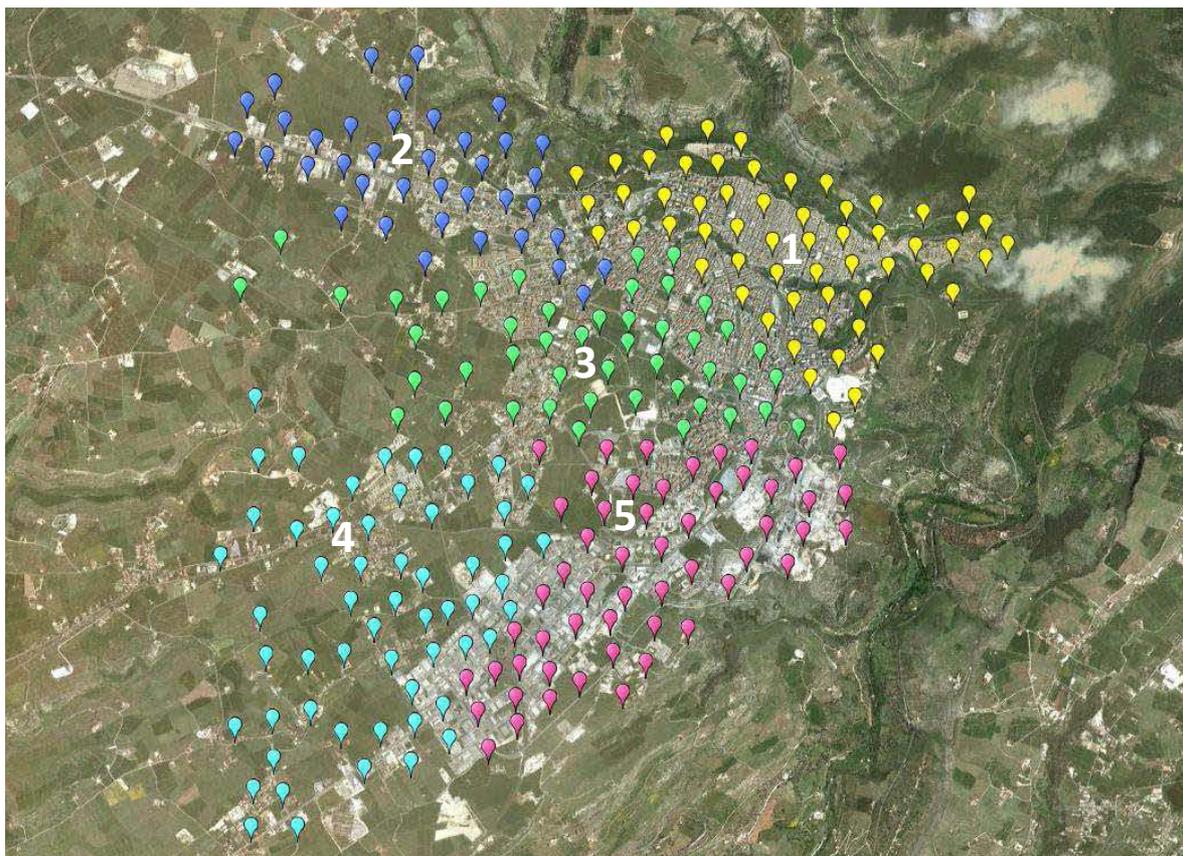


Figura 4.5. Ubicazione delle misure di noise sismico eseguite nel Comune di Ragusa, suddivise in cinque grandi zone e rappresentate con colori diversi.

Nella zona n. 1, comprendente Ibla e la parte nordorientale di Ragusa, sono state acquisite 58 misure HVSR (dalla 088009P35HVSR192 alla 088009P92HVSR249, evidenziate in giallo in fig. 4.5). I rapporti spettrali ottenuti, mostrati nel grafico n. 1 di fig. 4.6, hanno evidenziato la presenza di possibili fenomeni di amplificazione del moto del suolo dovute a fenomeni di risonanza su alcune zone del territorio, a frequenze generalmente comprese tra 2 Hz e 8 Hz.

Nella zona n. 2, comprendente la parte periferica nordoccidentale della città di Ragusa sono state acquisite 38 misure HVSR (dalla 088009P93HVSR250 alla 088009P130HVSR287, evidenziate in blu in fig. 4.5). I rapporti spettrali ottenuti, mostrati nel grafico n. 2 di fig. 4.6, non hanno mostrato evidenziato picchi significativi nella banda compresa tra 0.6 Hz e 20 Hz.

Nella zona n. 3, comprendente la parte centrale della città di Ragusa sono state acquisite 47 misure HVSR (dalla 088009P131HVSR288 alla 088009P177HVSR334, evidenziate in verde in fig. 4.5). I rapporti spettrali ottenuti, mostrati nel grafico n. 3 di fig. 4.6, hanno mostrato alcuni picchi del rapporto spettrale H/V localizzati a circa 3.3 Hz dovuti a fenomeni di risonanza probabilmente riconducibili ad una stessa causa e presenti anche in molte misure della zona 1.

Nella zona n. 4, comprendente la zona periferica sudoccidentale di Ragusa sono state acquisite 56 misure HVSR (dalla 088009P178HVSR335 alla 088009P234HVSR391, evidenziate in celeste in fig. 4.5). I rapporti spettrali ottenuti, mostrati nel grafico n. 4 di fig. 4.6, hanno evidenziato una sostanziale eterogeneità di risposta, con possibili fenomeni di amplificazione del moto del suolo dovute a fenomeni di risonanza a differenti frequenze.

Infine nella zona n. 5, comprendente la zona industriale nella parte sudorientale di Ragusa sono state acquisite 58 misure HVSR (dalla 088009P235HVSR392 alla 088009P288HVSR445, evidenziate in giallo in fig. 4.5). I rapporti spettrali ottenuti, mostrati nel grafico n. 5 di fig. 4.6, hanno evidenziato la presenza di possibili fenomeni di amplificazione del moto del suolo a basse frequenze (minori di 3 Hz).

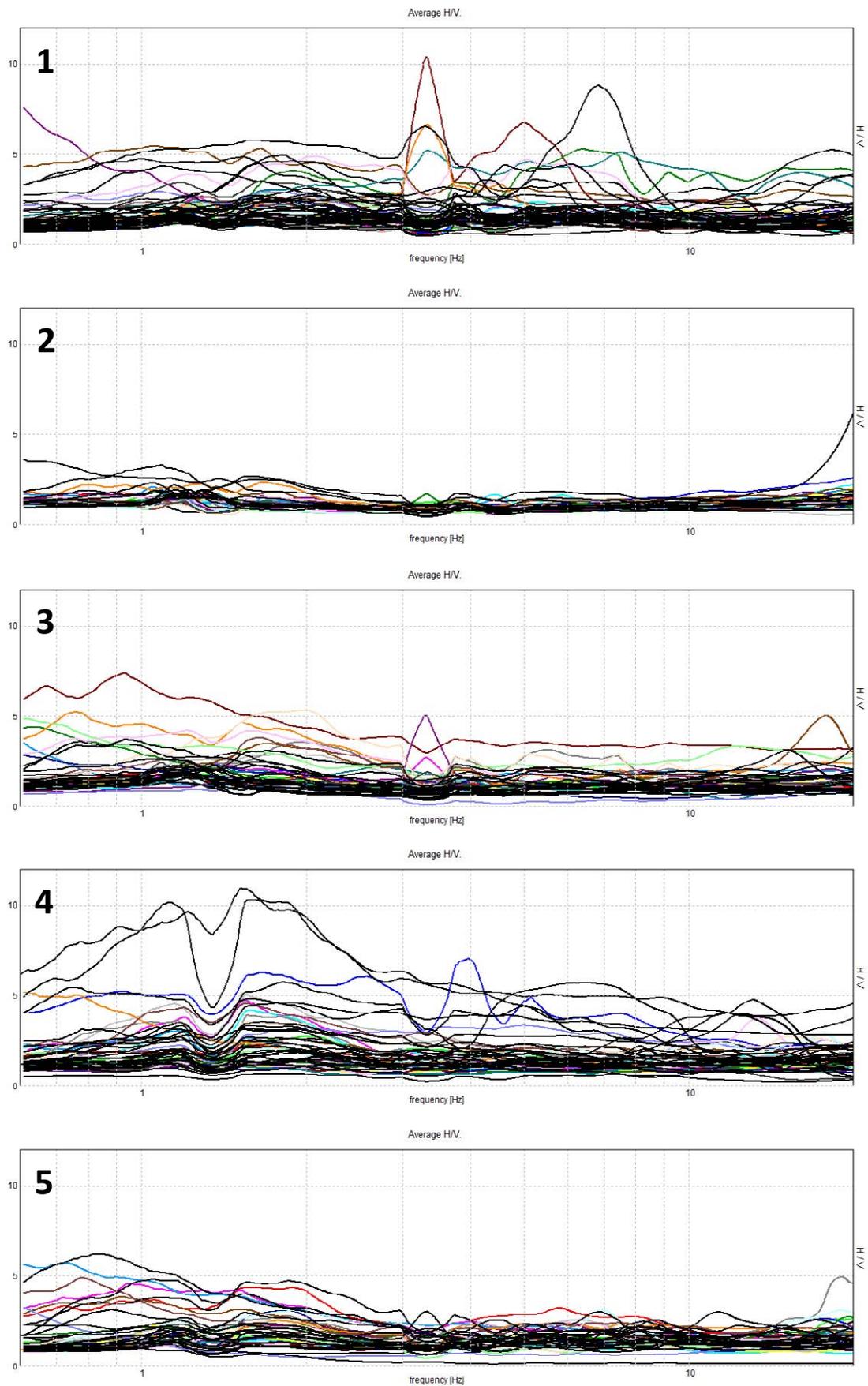


Figura 4.6 – Segnali HVSR registrati da 254 stazioni singole nel Comune di Ragusa, raggruppati in cinque zone (vedi fig. 4.5) caratterizzate da spettri H/V simili.

Tutti i picchi significativi relativi alle curve HVSR sono stati inseriti nella Tab. 4.5. In considerazione delle informazioni geologiche disponibili, alcune delle misure effettuate sono state invertite per stimare la profondità del bedrock sismico, riportata in Tab. 4.5. Dopo avere attribuito ad ogni punto di misura uno o più vettori a 4 componenti contenenti: frequenza del picco, ampiezza dello stesso e coordinate del punto di misura, si è proceduto ad individuare nell'insieme totale di vettori eventuali cluster relativi a insiemi di punti che ricoprivano porzioni significative dell'area totale indagata (Fig. 4.7). Nel caso specifico si è ritenuto di potere discriminare sei cluster.

	F_0	H/V di F_0	F_1	H/V di F_1	F_2	H/V di F_2	Profondità bedrock sismico
088009P35HVS2192	5.8	2	19.9	2.62			
088009P36HVS2193	0.2	1.95	1.3	1.45	17	1.6	
088009P37HVS2194	1.2	1.47					
088009P38HVS2195	1.25	2.67	7.6	2.2			1.5
088009P39HVS2196	1.49	2	1.85	2.3			1.6
088009P40HVS2197	1.21	2.1	12	2			5.5
088009P41HVS2198	1.2	1.8					4
088009P42HVS2199	1.2	2					20
088009P43HVS2200	1.25	1.48	1.47	1.32			1.5
088009P44HVS2201	1.2	1.34	20	2.2			9
088009P45HVS2202	1.13	1.6	1.7	2.6	12.3	2.7	
088009P46HVS2203	1.8	4	3.8	3.4			
088009P47HVS2204	1.8	4	3.8	3.4			
088009P48HVS2205	1.2	1.8	1.8	2.4	18	1.85	
088009P49HVS2206							
088009P50HVS2207	1.04	5.5	1.64	5.3	15.8	3	
088009P51HVS2208	1.29	2.2	1.95	2.57			
088009P52HVS2209	1.16	2.3	1.64	2.8			
088009P53HVS2210	1	2.9	1.75	2.9	7.4	1.9	
088009P54HVS2211	1.23	3.9	2.03	4.9			
088009P55HVS2212	1.1	1.95					
088009P56HVS2213	1	2.3	1.8	2.1			
088009P57HVS2214	1.17	3.38	1.7	3.4	9.5	1.5	2
088009P58HVS2215	1.2	2.3	1.7	1.9	9.4	1.7	1.5
088009P59HVS2216	0.95	1.92	9	1.7			2.5
088009P60HVS2217	1.17	2	1.6	2.65			
088009P61HVS2218	1.15	1.67	2.8	1.57			1.2
088009P62HVS2219	1.16	1.6					1.5
088009P63HVS2220	1.15	1.54	1.74	1.6			1.2
088009P64HVS2221	1.21	1.6	19	3.8			
088009P65HVS2222	1.12	1.4	2.1	2.8	7.4	2.2	
088009P66HVS2223	1.13	1.44	4.7	1.54			
088009P67HVS2224	2.12	2.14	5.71	1.84			1.6
088009P68HVS2225	7	8.6	14	1.76			1.5
088009P69HVS2226	0.2	3.23	0.64	2.4			1.5
088009P70HVS2227	2	3	17.6	2.5			
088009P71HVS2228	1.57	2.67	4.64	4.4			
088009P72HVS2229	1.3	1.87	1.72	2.45	5.93	2.11	
088009P73HVS2230							0

088009P74HVSR231	1.2	1.6	1.6	1.64	19.6	1.7	
088009P75HVSR232	1.2	1.6	1.63	1.55			
088009P76HVSR233	1.78	4.9	18	5.2			
088009P77HVSR234	7	1.56					
088009P78HVSR235	1.21	1.9	6.37	2.1	16.1	2.34	
088009P79HVSR236	1.2	1.85	6.5	2.1			
088009P80HVSR237	2.6	2.5	5.17	1.75			
088009P81HVSR238	1.7	4.3	2	2.4			
088009P82HVSR239							
088009P83HVSR240	1.74	4.6	9.8	2.4			
088009P84HVSR241							
088009P85HVSR242	1.24	1.85	5.174	1.22	16.5	1.25	
088009P86HVSR243							
088009P87HVSR244	1.54	4.8	3.59	3.1			1.6
088009P88HVSR245							
088009P89HVSR246	1.13	2					
088009P90HVSR247	1.21	2.67					2.1
088009P91HVSR248	1.13	1.95	1.63	2.5	4.12	2.2	2.5
088009P92HVSR249	1.27	2					2
088009P93HVSR250	1.33	1.63					2
088009P94HVSR251	1	1.8					
088009P95HVSR252	10	1.84					
088009P96HVSR253	1	1.68					2
088009P97HVSR254							0
088009P98HVSR255							
088009P99HVSR256	1	2.1	1.67	1.52			4.6
088009P100HVSR257							
088009P101HVSR258	14	1.6					
088009P102HVSR259							
088009P103HVSR260							
088009P104HVSR261							
088009P105HVSR262							
088009P106HVSR263	0.7	1.7					
088009P107HVSR264	1.64	1.6	1.64	1.8			
088009P108HVSR265							0
088009P109HVSR266	1.75	1.8	18.3	1.94			1
088009P110HVSR267	1.66	2.3					
088009P111HVSR268	1.38	3.2	16	2.4			
088009P112HVSR269							
088009P113HVSR270							
088009P114HVSR271	0.3	1.59					
088009P115HVSR272							
088009P116HVSR273							
088009P117HVSR274							
088009P118HVSR275	1.19	1.53					
088009P119HVSR276	1.14	2.16					
088009P120HVSR277	1.2	1.93					
088009P121HVSR278	1.23	1.71					
088009P122HVSR279	1.26	1.82					
088009P123HVSR280	1.33	1.9					
088009P124HVSR281							

088009P125HVS282	1.08	0.28					
088009P126HVS283	1.03	2.29	1.64	2.5			
088009P127HVS284	1.06	1.87					
088009P128HVS285							
088009P129HVS286	1.15	1.72					
088009P130HVS287	1.15	1.9					
088009P131HVS288	1.03	1.81	2.01	1.61			
088009P132HVS289	1.2	1.79					2
088009P133HVS290	1.35	2.39					
088009P134HVS291	1.35	2.4					
088009P135HVS292	1.19	1.61					
088009P136HVS293	1.14	1.8	1.72	1.73			
088009P137HVS294							
088009P138HVS295	1.82	2.94					
088009P139HVS296	1.9	3.55	5.36	3.1			
088009P140HVS297	1.3	2.36					
088009P141HVS298	7.3	1.68					2
088009P142HVS299	0.43	4.39	7.4	1.68			2
088009P143HVS300	0.55	3.06					2
088009P144HVS301	8.29	1.97	18.1	2.07			
088009P145HVS302	1.38	2.22	2.75	2.2			
088009P146HVS303							0
088009P147HVS304	1.71	3.48	17.8	5			4.6
088009P148HVS305	0.76	5.2	1.56	4.58			
088009P149HVS306	1.33	3.3	12.15	3.3			
088009P150HVS307	0.23	2.4					
088009P151HVS308	1.23	4.18	1.61	4.2			
088009P152HVS309	1.95	5.3					
088009P153HVS310	1.13	2.6	1.69	3.74	8.15	2	
088009P154HVS311	1.09	2.46	3.34	1.9			
088009P155HVS312	1.16	1.7					0
088009P156HVS313	1.16	1.87	5.31	1.92			
088009P157HVS314	1.21	2.07	16.1	1.6			6.1
088009P158HVS315	1.12	1.8	15.5	3			
088009P159HVS316	1.21	2.1	16.7	1.6			
088009P160HVS317	1.08	2.11					
088009P161HVS318	1.06	2.6	1.69	2.47	5.31	2.15	
088009P162HVS319	1.14	1.85					
088009P163HVS320	1.17	1.87					
088009P164HVS321	1.19	1.7	1.66	1.8	2.57	1.88	
088009P165HVS322	1.29	2.05	12.26	1.6			7.6
088009P166HVS323	1.27	2.02					
088009P167HVS324	1.35	2.05					0
088009P168HVS325	1.35	2.2					
088009P169HVS326	1.27	2.09					
088009P170HVS327	1.23	2.4					
088009P171HVS328	1.44	1.79					
088009P172HVS329							
088009P173HVS330	1.19	1.75	16.5	2.46			
088009P174HVS331	0.77	3.6					
088009P175HVS332	1.17	2.2	1.69	3	5.71	2.22	

088009P176HVS333	0.93	3.68	1.19	2.96			
088009P177HVS334	0.93	3.68	1.5	2.9			
088009P178HVS335							
088009P179HVS336	1.2	1.94	1.1	2			
088009P180HVS337	2.05	2.7	3.4	2			
088009P181HVS338	1.66	6.3	3.94	7	5.12	4.9	
088009P182HVS339	1.2	3.81	1.57	4.64			
088009P183HVS340	0.63	2.1	1.13	3.1	1.59	4.2	
088009P184HVS341	1.12	1.83					
088009P185HVS342	0.5	1.68	1.14	2.83	1.56	2.5	3
088009P186HVS343	1.13	4.5	1.6	4.9	9	1.91	
088009P187HVS344	1.13	3.5	1.66	3.8	3.97	2	
088009P188HVS345	0.24	1.77	1.15	2.7	1.61	2.6	
088009P189HVS346	1.16	1.81					
088009P190HVS347							0
088009P191HVS348							
088009P192HVS349							0
088009P193HVS350							
088009P194HVS351	1.06	1.84					
088009P195HVS352							
088009P196HVS353	1.19	2	1.88	2.7			
088009P197HVS354							
088009P198HVS355	0.65	1.8	1.85	2.07			
088009P199HVS356	1.19	2.2	4.19	3.34	17.8	2.55	
088009P200HVS357	13.5	3.7					
088009P201HVS358							
088009P202HVS359	1.21	2.9	1.6	3.5	15	2.7	
088009P203HVS360	7.21	4.3	1.59	4.5	3.31	2.93	
088009P204HVS361							
088009P205HVS362	1.16	1.81	1.57	2.07	17.4	2.85	
088009P206HVS363							
088009P207HVS364	1.19	1.79	1.71	2.3	3.22	1.99	
088009P208HVS365							
088009P209HVS366	12.6	3.94					
088009P210HVS367							
088009P211HVS368	1.8	5.7	5.12	4.3			
088009P212HVS369	1.2	2.58	1.6	3.51			
088009P213HVS370							
088009P214HVS371	0.76	5.4	1.56	4.8			
088009P215HVS372	11	4.06					
088009P216HVS373	1.17	3.5	1.74	4.5			
088009P217HVS374	1.56	3.1					
088009P218HVS375	1.19	1.91	1.86	2.6			
088009P219HVS376	1.15	2	1.75	2.2			
088009P220HVS377	1.16	3.3	1.88	3.04	17	2.15	
088009P221HVS378	1.13	1.77	1.8	1.9			
088009P222HVS379	1.16	1.79	15.25	2.4			
088009P223HVS380	1.16	1.9					
088009P224HVS381							
088009P225HVS382	1.06	3.2	1.6	3.3			
088009P226HVS383	2.41	2.86					

088009P227HVS384	2.2	2.05	4.94	2.2			
088009P228HVS385	1.94	2	3.8	1.9			
088009P229HVS386							
088009P230HVS387							
088009P231HVS388	1.11	1.97					
088009P232HVS389	0.82	3.1	1.57	2.7	4.85	1.9	
088009P233HVS390	1.14	1.75					
088009P234HVS391	1.64	1.9					
088009P235HVS392	1.05	3.63	1.61	4.34	5.71	3.2	
088009P236HVS393	1.25	1.8	1.61	2.2	5.22	1.7	
088009P237HVS394							
088009P238HVS395	1.07	1.82	1.3	2.05	17.8	2.65	
088009P239HVS396	1.09	2.09	1.57	1.64	14.4	1.76	
088009P240HVS397							
088009P241HVS398	1.07	2.25	6.37	1.98			
088009P242HVS399							
088009P243HVS400	1.56	2.3	6.2	2.54			
088009P244HVS401							
088009P245HVS402	1.57	1.85	1.83	2.7	6.3	2.3	
088009P246HVS403	8	1.77	13.4	1.76			
088009P247HVS404							
088009P248HVS405	1.1	2.1	1.77	2.26	15	1.9	
088009P249HVS406	1.2	1.87	1.8	3			
088009P250HVS407	1.58	2.3	5.97	2.3			
088009P251HVS408	1.74	1.77	17.8	1.99			7
088009P252HVS409	1.21	2.45	1.72	4.2	14.5	2.6	
088009P253HVS410	1.78	2.52					
088009P254HVS411	1.36	1.8					
088009P255HVS412							
088009P256HVS413	1.2	1.57	3.25	2.07	6.2	2.3	4
088009P257HVS414	1.6	2.4					
088009P258HVS415	0.77	4.8	6.67	2.3			
088009P259HVS416							
088009P260HVS417	1.29	2.4	1.87	3.06	6.92	3.1	
088009P261HVS418	0.93	2.64	0.89	3.1			4
088009P262HVS419	0.83	6.17					
088009P263HVS420	1.35	1.78	8.29	2.46			2.2
088009P264HVS421	1.61	2.37					
088009P265HVS422							
088009P266HVS423							
088009P267HVS424							0
088009P268HVS425	1.2	2	1.57	1.94	17	2	0
088009P269HVS426	1.16	1.8	5.57	1.7			
088009P270HVS427							
088009P271HVS428							0
088009P272HVS429							0
088009P273HVS430							
088009P274HVS431	1.9	3.8	1.88	4.7	14.3	1.88	
088009P275HVS432	1.09	3.82	1.61	4.6	14.6	1.88	
088009P276HVS433							0
088009P277HVS434							

088009P278HVSR435	1.09	1.7					
088009P279HVSR436	1.1	2.07	1.56	1.94			
088009P280HVSR437	0.31	2.48					
088009P281HVSR438							
088009P282HVSR439							
088009P283HVSR440	8.15	2.17					
088009P284HVSR441	1.09	1.7	5.17	2.26			
088009P285HVSR442	1.52	2					
088009P286HVSR443							
088009P287HVSR444	1.09	2	1.8	2.1			
088009P288HVSR445	1.2	2.34	1.57	2.67	11.2	3.8	10.2

Tabella. 4.6 – Coordinate dei punti di misura, frequenza e rapporto H/V dei picchi significativi individuati, per il Comune di Ragusa.

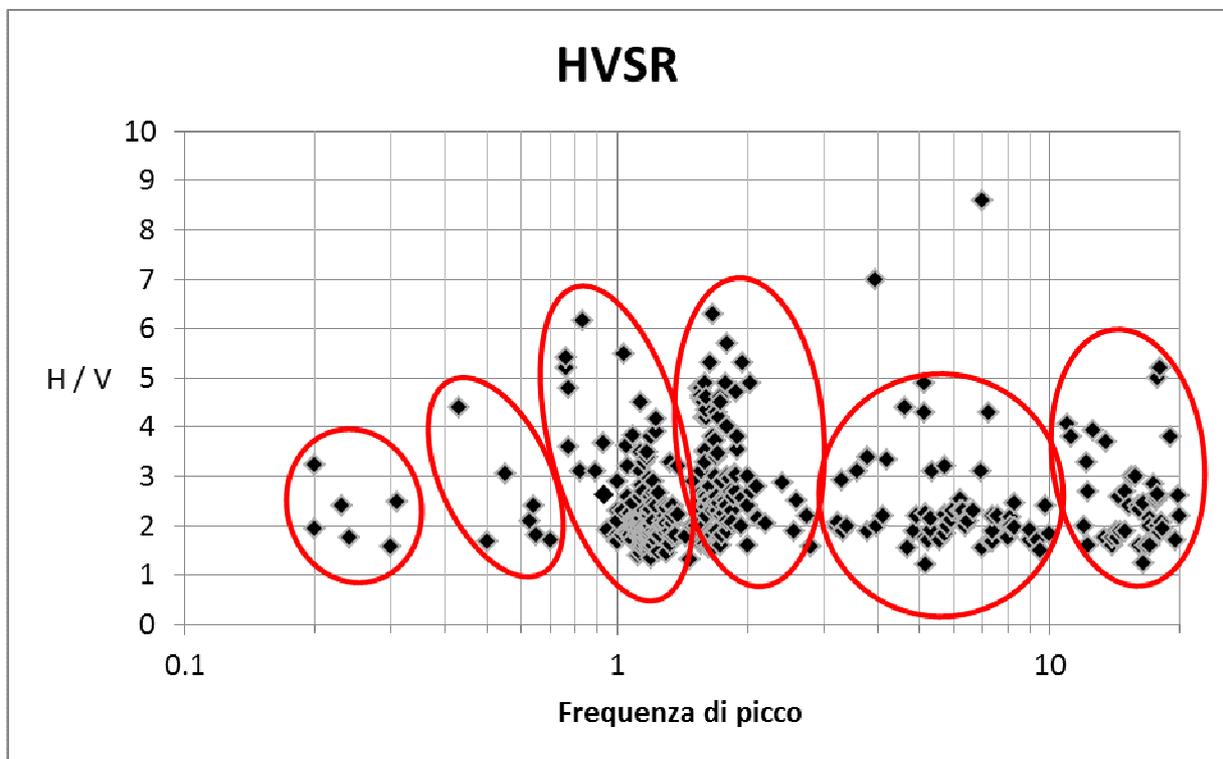


Figura 4.7 – Frequenze di picco registrate nel comune di Ragusa e indicazione dei cluster utilizzati per la costruzione delle carte delle frequenze.

5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

5.1 Il modello e le sezioni rappresentative del sottosuolo

L'integrazione di tutte le informazioni tratte dalla geologia di superficie e dai dati di sottosuolo provenienti dai sondaggi e dalle indagini HVSR realizzate nell'ambito del presente studio hanno permesso la ricostruzione di un modello geologico-tecnico del sottosuolo presente al di sotto del centro urbano di Ragusa. Il modello è da ritenersi preliminare e la distribuzione e le caratteristiche geotecniche dei corpi rocciosi presenti nel sottosuolo sono da approfondire mediante indagini dirette nei livelli di studio di successivi.

Tale modello è rappresentato da 4 sezioni litotecniche. Le tracce delle sezioni sono riportate nella carta Geologico-Tecnica, mentre nella Fig.5.1 sono riportate le sezioni stesse.

Le sezioni evidenziano come il substrato geologico rigido (ALS), costituito dall'alternanza di litotipi della formazione Ragusa non risulta essere mai affiorante, ma sempre ricoperto da uno spessore variabile (da 1,6 m a più di 20 m) di substrato geologico non rigido (NRS). Il passaggio da substrato geologico non rigido ($V_s < 800$ m/s) ad alternanza litologica stratificata ($V_s > 800$ m/s) è variabile da zona a zona in funzione di diversi fattori, quali il grado di alterazione della roccia, la densità di fratturazione, la presenza di cavità carsiche e/o antropiche.

Nel settore centrale del centro abitato che collega la parte "alta" di Ragusa con Ragusa Ibla il substrato geologico risulta essere intensamente fratturato in funzione delle numerose faglie transtensive che lo attraversano, correlabili alla struttura a carattere regionale denominata "Scicli-Ragusa".

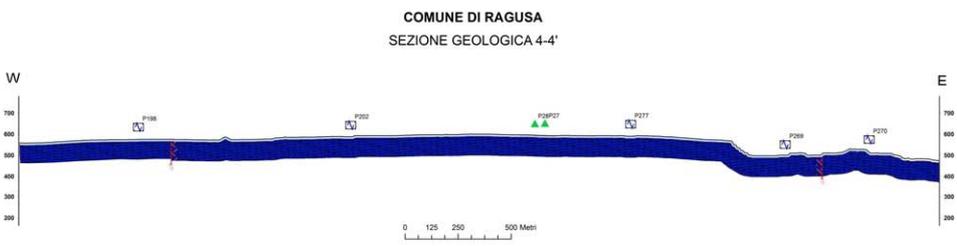
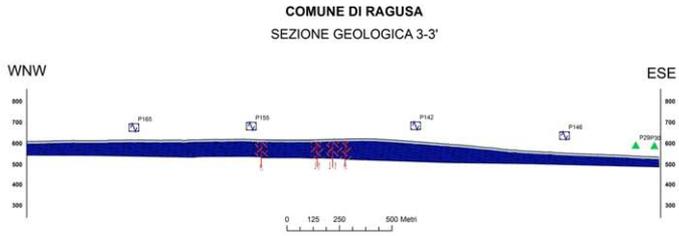
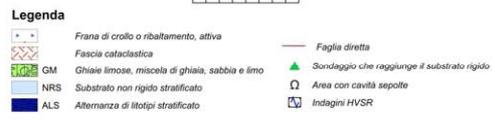
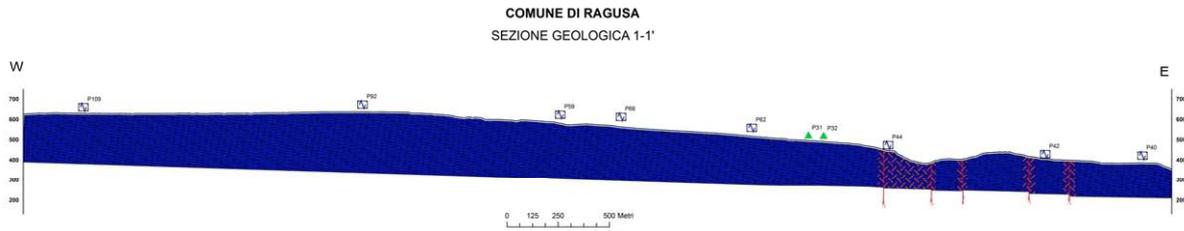


Figura 5.1 – Sezioni geologiche interpretative

5.2 Stime della profondità del tetto del bedrock sismico ottenute da misure HVSR

Sulla base di dati pregressi relativi alla configurazione geologica del sottosuolo, delle informazioni ottenute dai sondaggi geognostici e, parzialmente, anche dei sondaggi geofisici disponibili, è stato possibile tentare una prima identificazione e modellazione dell'interfaccia geologica responsabile dei fenomeni di risonanza che hanno generato i picchi osservati nel segnale HVSR.

Il problema inverso per stimare i parametri geometrici delle strutture del sottosuolo e la loro velocità di propagazione delle onde S dalle curve HVSR è ampiamente sottodeterminato, anche se si ipotizza un sottosuolo rappresentabile mediante strati orizzontali perfettamente elastici, omogenei ed isotropi. E' quindi necessario integrare l'insieme di equazioni di osservazione con equazioni vincolari provenienti da altri tipi di indagine o da ragionevoli ipotesi geologiche e/o fisiche.

Per le motivazioni indicate nel par. 4.3, per l'inversione delle curve HVSR non è stato possibile utilizzare nessun vincolo per i valori di velocità delle onde S superficiali. Le stime di V_s sono state eseguite tenendo in considerazione le informazioni disponibili in letteratura, con i valori di velocità di propagazione delle onde di taglio delle litologie presenti nell'area esaminata. Le stime ottenute sono riportate nella Tab. 4.5.

La ricostruzione lungo determinati profili della profondità dal piano di campagna del bedrock sismico è stata eseguita avvalendosi anche delle informazioni ottenute dall'inversione di alcuni sondaggi HVSR (Fig. 5.2) vicini ai profili, grazie alla relazione che lega i valori della frequenza fondamentale di risonanza alla profondità del bedrock sismico (Aki, 1964; Fäh et al., 2002; Wathelet et al., 2004) e ipotizzando una trascurabile variabilità della velocità delle onde S all'interno di ogni strato. Le inversioni dei dati HVSR hanno tenuto in considerazione tutti i picchi significativi individuati, per ogni punto di misura (Fig. 4.7).

In molte misure HVSR si evidenzia la presenza di massimi a frequenze minori di 4 Hz, che sembrano essere correlati ad una variazione delle velocità di propagazione delle onde di taglio per strati molto profondi. In molte misure comunque non si riscontrano picchi rilevanti, probabilmente perché sono state eseguite in zone dove affiorano calcari poco alterati, caratterizzati da spessori molto grandi e velocità maggiori di 800 m/s. In alcune zone si riscontrano picchi a frequenze elevate (maggiori di 10 Hz), interpretabili con la presenza di zone di alterazione dei calcari affioranti di spessore modesto (generalmente inferiore a 4 m) e caratterizzate da velocità delle onde di taglio di circa 400-500 m/s.

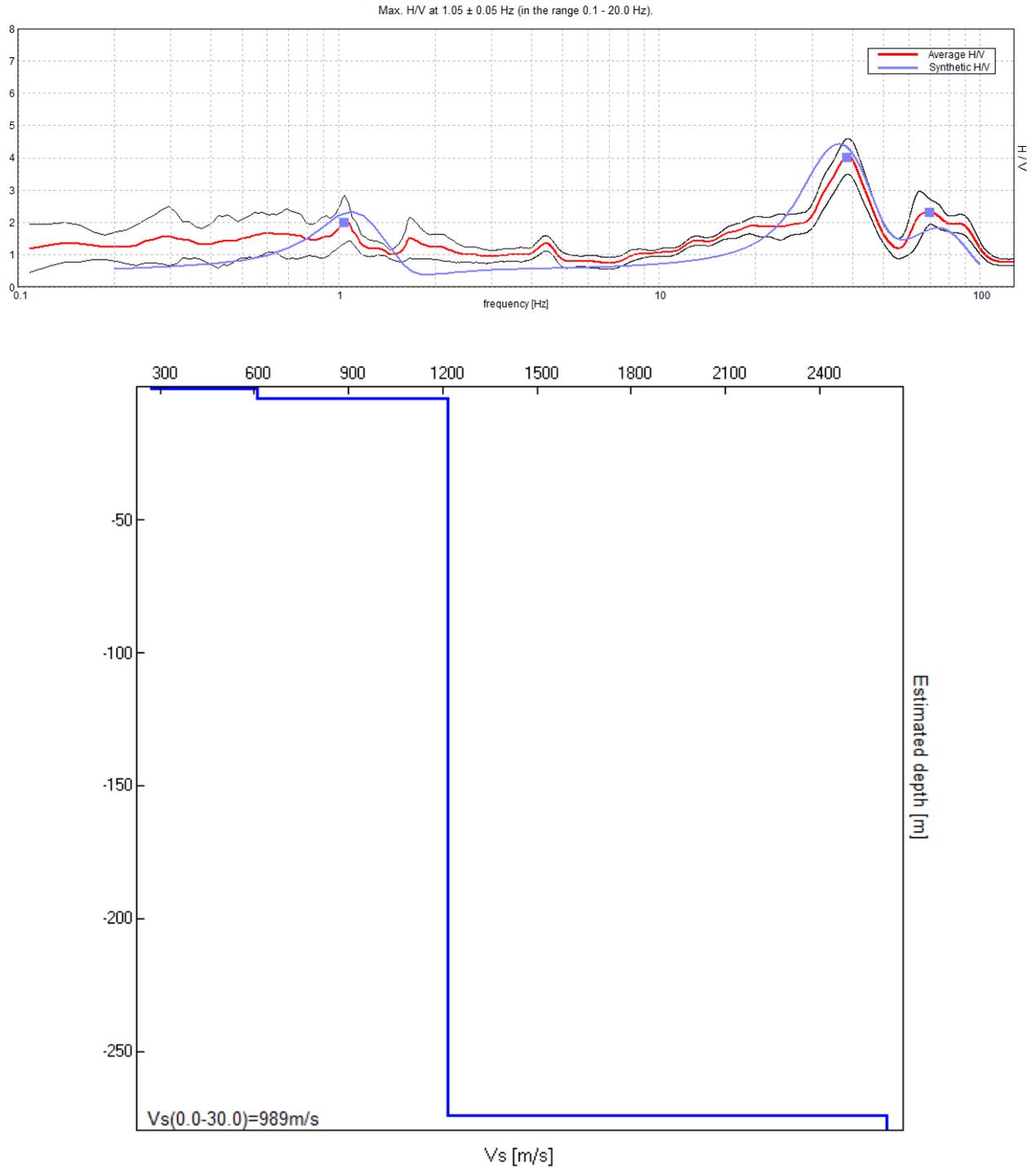


Figura 5.2 – Esempio di modello monodimensionale a strati della velocità delle onde di taglio (in basso) ottenuta dall'inversione del sondaggio 088009P99HVS256 (in alto).

6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

6.1 Incertezze sul modello geologico tecnico del sottosuolo

Le indagini HVSR realizzate e alcune delle indagini già esistenti (carotaggi e prove sismiche Down-Hole) evidenziano la presenza del *bedrock* sismico a profondità variabili da 1,6 m fino a più di 20 m.

Questo orizzonte non sempre è da intendersi come un a variazione litologica bensì come una superficie di variazione della velocità delle onde di taglio, supposta in base alle misure HVSR (cfr. Par. 5.1 e 6.3) e sulla base degli altri dati a disposizione, quali sondaggi meccanici, prove sismiche in foro (Down Hole), ecc.

Fra gli elementi di incertezza si segnalano:

- a) Caratteristiche geotecniche e spessore dei depositi;
- b) Litologia e geometria dei corpi rocciosi al di sotto della coltri di copertura;
- c) Localizzazione di eventuali discontinuità tettoniche nel sottosuolo e quantificazione dei rigetti.
- d) Estensione delle aree interessate da cavità.
- e) Eventuali coltri di coperture non segnalate dalle carte geologiche esistenti

E' evidente come le sezioni geologiche elaborate sulla base dei dati disponibili e con distribuzione irregolare, possano essere considerate soltanto come una prima approssimazione alla definizione di un modello geologico-tecnico di sottosuolo di Ragusa.

Sarà opportuno pertanto definire per il secondo livello di indagini di microzonazione un piano di indagini geofisiche e geotecniche in grado di integrare ed estendere le informazioni acquisite nella fase precedente, al fine di giungere ad una caratterizzazione geometrica e fisico-meccanica del sottosuolo.

Un primo passo nella programmazione delle indagini di esplorazione multidisciplinare del sottosuolo sarà quello di programmare indagini sismiche a rifrazione in onde P ed SH, in grado di:

- a) definire particolari geometrie sepolte potenzialmente amplificanti, attraverso una capacità di definizione bidimensionale degli elementi sepolti;
- b) giungere a profondità d'indagine sufficiente al computo delle Vs30 (tramite misure dirette in termini di Vsh) e relative Categorie di suolo di fondazione.

6.2. Breve analisi dei vantaggi e svantaggi dei metodi d'indagine con microtremori

Il microtremore o rumore sismico naturale è il risultato della sovrapposizione di diverse fasi di onde di volume P ed S e di diversi modi di onde di superficie di Rayleigh e di Love generate da sorgenti distribuite in modo continuo e imprevedibile nel mezzo di propagazione. Malgrado ciò alcune sue caratteristiche spettrali e di correlazione spaziale possono fornire informazioni su caratteristiche medie della sorgente, sulla distribuzione della velocità delle onde P ed S nel sottosuolo, indagato con opportuni array di sismografi a 3 componenti, e sulla funzione di trasferimento di strutture anomale sepolte e topografiche locali. I metodi di indagine che utilizzano i microtremori sono molteplici e tutti presentano alcuni vantaggi rispetto ai metodi sismici attivi:

- 1) sono applicabili ovunque, data l'ubiquità del rumore microsismico;
- 2) hanno impatto ambientale pari a zero perché non è necessario generare campi d'onda caratterizzati da ampiezze delle fasi principali molto maggiori di quelle tipiche del rumore, almeno fino a offset di alcune centinaia di metri;

- 3) il loro uso ha costi molto bassi per quanto appena detto e perché necessitano di strumentazioni relativamente semplici;
- 4) consentono di stimare l'andamento di parametri come la velocità delle onde S, fondamentale per la stima degli effetti sismici di sito, anche in presenza di inversioni di velocità a differenza dei metodi sismici cinematici a grande angolo con sorgenti e stazioni in superficie;

Fra i metodi basati sull'analisi del rumore sismico il metodo HVSR basato sull'analisi del rapporto spettrale H/V è in assoluto il più economico e speditivo, e ciò è alla base della sua crescente diffusione. Questa tecnica, sebbene non consenta di determinare un modello esaustivo del sottosuolo e della risposta sismica locale, fornisce un'informazione diretta sulle frequenze alle quali sono attesi effetti di amplificazione di sito.

Il limite principale di questo metodo, ma che in parte caratterizza anche gli altri metodi basati sull'analisi del microtremore è legato all'aleatorietà della distribuzione spaziale delle sorgenti ed all'incertezza relativa alla composizione del rumore microsismico in termini di onde di superficie e di volume. Tali caratteristiche del rumore microsismico, che rendono necessarie alcune ipotesi sulla stazionarietà nel tempo e nello spazio del segnale, impongono un approccio statistico, oltre che nella fase della sua caratterizzazione anche in quella dell'interpretazione mediante risoluzione di opportuni problemi inversi. Questi comunque in generale risultano sotto determinati rispetto a qualche parametro incognito piuttosto instabili.

6.3 Incertezze sulle stime della profondità del bedrock sismico

Sebbene il rapporto spettrale H/V dipenda dalla distribuzione verticale delle medie orizzontali dei principali parametri meccanici delle strutture geologiche ed in modo particolare da quella della velocità delle onde di taglio, una attendibile interpretazione stratigrafica è possibile solo quando dati stratigrafici relativi ad qualche perforazione vicina al punto di misura e, possibilmente, risultati di misure sismiche in foro permettono di vincolare le stime di un certo numero di parametri incogniti.

La limitata disponibilità di dati geognostici e geofisici nell'area di Ragusa non ha consentito una corretta taratura delle misure eseguite. Inoltre, per le considerazioni espresse nel par. 4.3, le velocità di propagazione delle onde di taglio compatibili con i vincoli sugli spessori degli strati e sulle litologie presenti nell'area sono state adottate nell'inversione di alcune curve HVSR.

Nella valutazione dell'attendibilità della stima della profondità del bedrock sismico (interfaccia litostratigrafica caratterizzata dal passaggio da una velocità delle onde di taglio minore di 800 m/s ad una maggiore), bisogna considerare che gli andamenti rappresentati sono fortemente condizionati dal processo di interpolazione tra i punti di misura HVSR. I valori tra i punti di misura sono infatti da considerarsi solo delle possibili stime nell'ipotesi di minime variazioni laterali. Per evitare interpolazioni tra profondità di interfacce dovute a strutture di diversa natura geologica e stratigrafica, si è deciso di raggruppare e correlare frequenze relative ad uno stesso cluster (Fig. 4.6). Tuttavia non è possibile escludere che anche frequenze appartenenti allo stesso cluster siano dovute a strutture differenti o viceversa.

Nei grafici dei rapporti spettrali HVSR relativi a ogni punto di misura sono stati individuati tutti i picchi significativi. Questi sono stati caratterizzati mediante la loro frequenza centrale e ampiezza. L'insieme delle coppie frequenza di picco/ampiezza HVSR, relative a tutte le misure di microtremore eseguite, è stato rappresentato in un grafico a dispersione per individuare, se possibile in modo puramente visivo, clusters di punti con probabile omogeneità del fenomeno generatore e pertanto interpolabili in una singola mappa, nell'ipotesi di lievi variazioni continue dei parametri meccanici del mezzo di propagazione. Nell'analisi effettuata ci si è limitati ad

individuare non più di tre cluster significativi. Nel grafico frequenza di picco/ampiezza possono essere altresì individuati punti anomali, attribuibili a effetti topografici o alla predominanza di sorgenti antropiche, che non vengono considerati per la costruzione delle carte.

È bene infine precisare che, a causa di variazioni laterali di parametri fisico – meccanici (porosità, contenuto d’acqua, grado di fratturazione, ecc.), non sempre gli spessori determinati attraverso questa tecnica interpretativa, coincidono con gli spessori litologici.

7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

7.1 Criteri per l’elaborazione della carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica

La metodologia adottata per l’elaborazione della carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica si basa sugli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica Parti I, II e III a cura di Bramerini *et al.* (2008).

La Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva sismica di Livello 1 costituisce il livello propedeutico per affrontare i successivi livelli di approfondimento. Pertanto la raccolta ed elaborazione dei dati non possono essere considerati esaustivi e definitivi.

Al fine di individuare le microzone soggette a comportamento omogeneo, sulla base di osservazioni geologiche, geomorfologiche, litostratigrafiche e geofisiche disponibili sulla base di dati pregressi, tali da produrre diversi effetti all’azione sismica, si è proceduto ad individuare tre differenti categorie di zone: a) Zone stabili; b) Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali; c) Zone suscettibili di instabilità.

Le informazioni utilizzabili per la loro identificazione sono state ricavate da:

- morfologia di superficie, ricavata dalla Cartografia Tecnica Regionale in scala 1:10.000 aggiornata al 2008 e dal modello digitale del terreno (DEM) passo 2 m, ricavato dal volo LIDAR effettuato nel 2007-2008;
- litostratigrafia dell’area ricavata dalle carte geologiche fin qui prodotte (CARG, Carta geologica della Provincia di Messina) e dai sondaggi messi a disposizione;
- profondità e morfologia del bedrock sismico ricavato dalle indagini HVSR effettuate e calibrate dai dati di sottosuolo a disposizione;
- distribuzione delle aree interessate da frane attive, inattive e quiescenti così come indicate nella cartografia geologica e geomorfologica ad oggi presente.

I criteri adottati per identificare le **zone stabili**, per le quali non si ipotizzano effetti locali di rilievo di alcuna natura, si sono basati sulla presenza in affioramento del substrato geologico con morfologia pianeggiante o con inclinazione inferiore ai 15° e con litologie caratterizzate da $V_s > 800$ m/s.

A tal fine si è ricavata, attraverso l’estrazione dal DEM con l’utilizzo di procedure di analisi spaziale GIS, la carta delle acclività di versante. Per ogni cella, è stata calcolata la massima variazione di valore tra la cella centrale e le otto presenti al suo intorno utilizzando la tecnica di media massima (Burrough & McDonell, 1998).

Successivamente, è stata riclassificata la carta delle acclività in due classi di valori ($<15^\circ$ e $>15^\circ$) e la si è incrociata con la carta geologico tecnica. L’intersezione tra le aree con acclività minore di 15° e i substrati affioranti caratterizzati da $V_s > 800$ m/s fornisce le aree da considerare stabili a meno di condizioni di alterazione superficiale e/o fratturazione particolarmente pervasive.

Al fine di individuare le **zone stabili suscettibili di amplificazioni locali** si è tenuto conto dell’assetto stratigrafico e della morfologia locale.

I criteri adottati per individuare le zone soggette ad **amplificazione stratigrafica** si sono basati su l'individuazione dei terreni di copertura con spessori superiori ai 3 metri e dei substrati affioranti caratterizzati da velocità di propagazione delle onde di taglio <800 m/s, a causa delle loro caratteristiche litologiche o dello stato di alterazione e/o fratturazione.

Le **discontinuità morfologiche** in grado di determinare l'amplificazione del moto del suolo in seguito a meccanismi di focalizzazione delle onde sismiche, sono state individuate attraverso diverse fasi di lavoro. In una prima fase è stato acquisito ed elaborato il modello digitale di terreno con cella 2 metri (A.R.T.A. 2007/2008), allo scopo di ottenere per le aree studiate la carta delle acclività. A partire da quest'ultima è stato possibile, utilizzando semplici strumenti di analisi spaziale e 3D, individuare le rotture di pendenza significative, in corrispondenza delle quali sono stati delimitati gli eventuali elementi di amplificazione quali linee di scarpata, creste, selle e cime isolate. A questa prima fase di analisi remota della topografia dell'area, è seguita una fase di verifica diretta sul campo e/o remota, in quest'ultimo caso utilizzando strumenti di visualizzazione quali Google Earth™. Infine, sono state verificate le informazioni ottenute, mediante sovrapposizione degli elementi individuati sulle foto aeree e delle informazioni litologiche, in particolare verificando:

- la congruenza tra le forme individuate e le tipologie e geometrie dei depositi presenti;
- la significatività degli elementi individuati nel contesto urbano;
- la consistenza degli elementi cartografati sulla base delle foto aeree, così da escludere eventuali morfologie legate alla presenza di forme antropiche.

7.2 Standard di archiviazione informatica degli elementi morfologici

La tipologia di elementi morfologici mappati fa riferimento alle specifiche tecniche, descritte negli *Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica*, definiti dal Gruppo di lavoro Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome – Dipartimento della Protezione Civile (di seguito, ICMS). Tutti gli elementi sono stati cartografati su sistemi GIS in formato vettoriale (shape file), utilizzando quale struttura di archiviazione, quella indicata negli *Standard dalla Commissione Tecnica per il monitoraggio degli studi di Microzonazione Sismica* (di seguito, SCTMS).

A ciascun elemento mappato è dunque associato un record all'interno di una tabella delle proprietà degli elementi, che vengono differenziate a seconda che si tratti di elementi lineari (Tabb. 7.1a-b) o puntuali (Tabb. 7.2a-b).

Nome del campo	Tipo	Note
ID_el	numero intero	Descrizione: identificativo univoco progressivo dell'elemento lineare
Tipo_el	numero intero	Tipo dell'elemento lineare

Tabella 7.1a – Tabella attributi degli elementi lineari (SCTMS).

Descrizione degli altri elementi lineari	Tipo_el
Orlo di scarpata morfologica (10-20m)	5041
Orlo di scarpata morfologica (>20m)	5042
Orlo di terrazzo fluviale (10-20m)	5051
Orlo di terrazzo fluviale (>20m)	5052
Cresta	5060
Scarpata sepolta	5070
Valle sepolta stretta ($C \geq 0.25$)*	5081
Valle sepolta larga ($C < 0.25$)*	5082

* $C=H/L/2$ con H profondità della valle e L semilarghezza della stessa

Tabella 7.1b – Descrizione per la tipologia degli elementi lineari (SCTMS).

Nome del campo	Tipo	Note
ID_ep	numero intero	Descrizione: identificativo univoco progressivo dell'elemento puntuale
Tipo_ep	numero intero	Tipo dell'elemento puntuale

Tabella 7.2a – Tabella attributi degli elementi puntuali (SCTMS).

Descrizione	Tipo_ep
Picco isolato	6010
Cavità sepolta isolata	6020

Tabella 7.2b – Descrizione per la tipologia degli elementi puntuali (SCTMS).

7.3 Elementi di amplificazione topografica

Secondo la definizione individuata negli ICMS, gli elementi di amplificazione topografica sono discontinuità morfologiche che possono comportare l'amplificazione del moto del suolo a seguito della focalizzazione delle onde sismiche, quali:

- pendii con inclinazione $> 15^\circ$ e dislivello superiore a circa 30 m;
- bordi di terrazzo o zone di ciglio ($H > 10$ m);
- creste rocciose sottili (larghezza in cresta molto inferiore alla larghezza alla base e pendenza media $> 30^\circ$).

Per quanto riguarda le creste (Fig. 7.1), il rilievo è identificato sulla base di cartografie a scala almeno 1:10.000 e la larghezza alla base è scelta in corrispondenza di evidenti rotture morfologiche: sono da considerare creste solo quelle situazioni che presentano il dislivello altimetrico minimo (h) maggiore o uguale a un terzo del dislivello altimetrico massimo (H), con angoli al piede dei due versanti che delimitano la cresta pari almeno a 10°

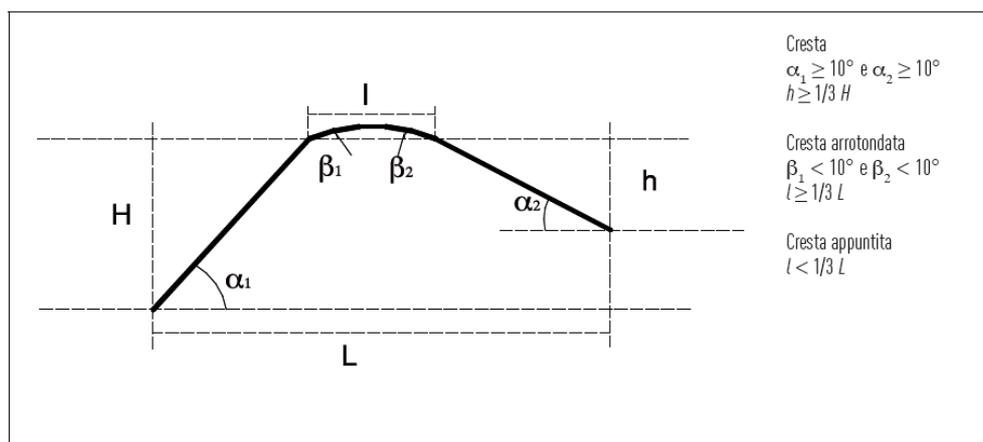


Figura 7.1 - Schemi di riferimento per le creste e criteri di riconoscimento (ICMS).

Per quanto riguarda il riconoscimento delle scarpate, sono state considerate tali quelle situazioni che presentano (Fig. 7.2): un'altezza H , pari almeno a 10m; un fronte superiore di estensione paragonabile al dislivello altimetrico massimo (H) o comunque non inferiore ai 15-20 m; l'inclinazione (β) del fronte superiore, inferiore o uguale a un quinto dell'inclinazione (α) del fronte principale, nel caso delle scarpate in pendenza (per $\beta > 1/5 \alpha$ la situazione è da considerarsi pendio); il dislivello altimetrico minimo (h) minore di un terzo del dislivello altimetrico massimo

(H), nel caso di scarpate in contropendenza (per $h \geq 1/3H$ la situazione è da considerarsi una cresta appuntita); un'inclinazione al piede del fronte principale α pari almeno a 10° .

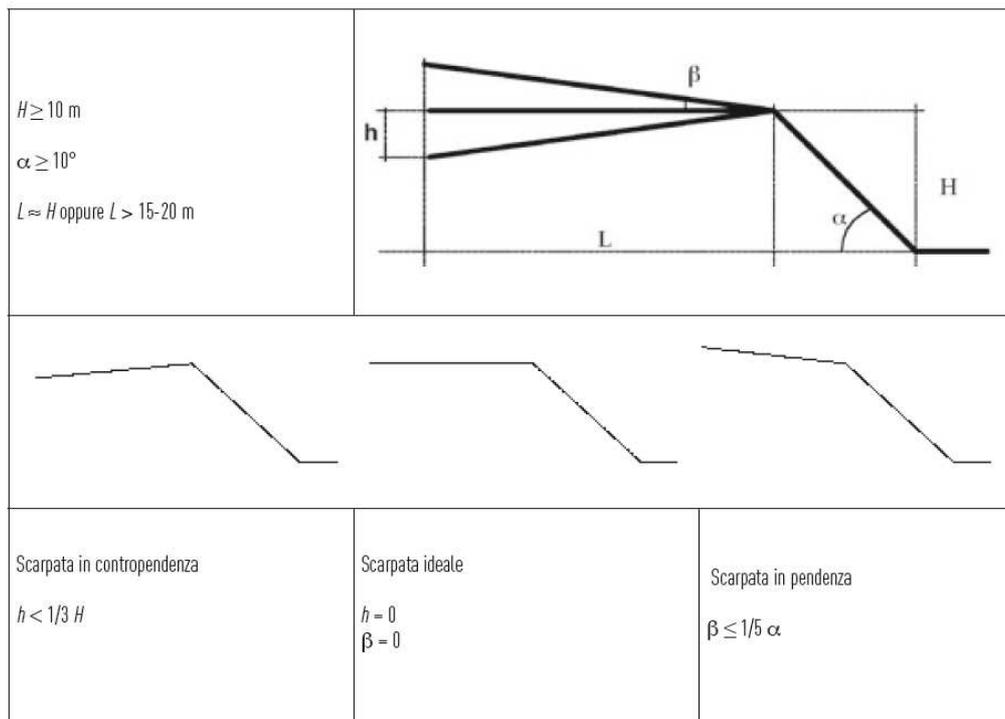


Figura 7.2 - Schemi di riferimento per la scarpata e criteri di riconoscimento (ICMS).

I criteri morfometrici e le soglie che connotano gli elementi morfologici di interesse, in quanto potenzialmente in grado di determinare condizioni di amplificazione sismica, suggeriscono come i concetti di scarpata o cresta normalmente utilizzati in ambito geomorfologico, richiedano nelle applicazioni finalizzate alla microzonazione un adattamento. Infatti, in geomorfologia si intende per scarpata una porzione di versante ad elevata acclività. Non esistono standard assoluti di riferimento circa l'angolo di inclinazione minimo per poter classificare un versante o una sua porzione come scarpata, ma è ben evidente come i valori di riferimento siano nell'ordine delle diverse decine di gradi.

Per questa ragione, il simbolo utilizzato nelle carte geomorfologiche per indicare un elemento che in realtà ha una struttura topologica di tipo areale, è costituito da un elemento lineare, coincidente con l'orlo superiore o linea di scarpata, al quale è poi associato un simbolismo, in direzione di valle, specificativo della morfogenesi associata alla forma. La linea di scarpata può limitare superiormente un versante, che viene classificato in funzione del processo che controlla l'insieme morfogenetico scarpata-versante. Le elevate inclinazioni delle scarpate, d'altra parte, fanno sì che l'estensione areale (su carta) del versante acclive che in realtà rappresentano sia talmente limitata da rendere poco severa l'imprecisione cartografica derivata dall'uso di un elemento lineare nella rappresentazione di una forma areale.

Nel caso dei criteri definiti per la MS, il problema si amplifica, in ragione delle soglie minime sufficienti a definire le scarpate (10° di inclinazione al piede del fronte principale).

In questa sede, si è scelto dunque di seguire una procedura che individua le linee di scarpata, corrispondenti a brusche variazioni di inclinazione, spesso associate a tratti di versante costituenti scarpate "in senso classico" (in parete o con inclinazioni tra 45° e 90°), ancorché, frequentemente, con altezze anche inferiori ai 10m, procedendo poi ad analizzare, mediante la realizzazione di sezioni topografiche di dettaglio, le caratteristiche morfometriche dei versanti, che vengono

limitati superiormente dalle linee di scarpata riconosciute. Per ciascuna linea di scarpata, vengono realizzati uno o più profili, in modo da fornire un'indicazione della variabilità spaziale delle caratteristiche morfometriche; queste ultime dipendono infatti dall'assetto geomorfologico del versante lungo cui si imposta la linea di scarpata, così come dalla morfodinamica del versante stesso.

Analisi delle pendenze

Per l'individuazione degli elementi morfologici quali scarpate, creste e cime isolate sono stati realizzati degli elaborati intermedi, confrontando i quali è stato poi possibile pervenire ad una individuazione sistematica degli elementi di interesse, da condursi all'interno del perimetro del centro abitato. Un primo elaborato preso in considerazione è il modello digitale di terreno ad alta risoluzione. A partire da questo, sono stati realizzati, lungo le principali direttrici di sviluppo dei centri abitati analizzati, alcuni profili topografici di inquadramento, utili al riconoscimento dei principali motivi topografici caratterizzanti l'area indagata (creste, rilievi isolati, pendii, scarpate). Parallelamente, ricavando dal modello digitale di terreno la carta delle pendenze (Fig. 7.3) ed incrociandola con la base topografica in scala 1:10.000, è stato possibile individuare tutti gli allineamenti marcati da notevoli variazioni di pendenza in senso longitudinale. Le classi sono state individuate a partire dalla classe 0-15°, per incrementi successivi di 1/5 del valore soglia della classe precedente, cosicché ad ogni variazione di colore corrisponda una scarpata o pendio significativa in termini di pendenza (Fig. 7.4). Si è deciso di individuare le scarpate a partire dai 15° perché al di sotto dei 15° gli effetti litologici prevalgono sempre su quelli topografici (ICMS).

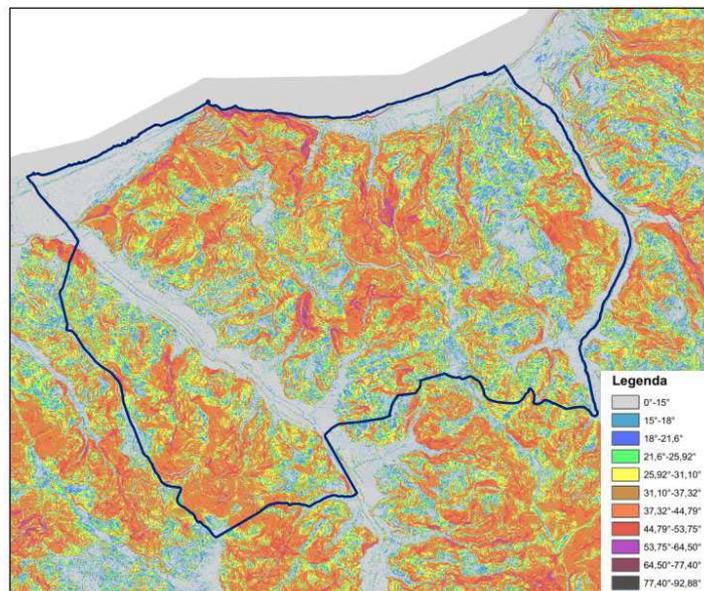


Figura. 7.3 – Esempio di carta della pendenza (esempio: Piraino, Me).

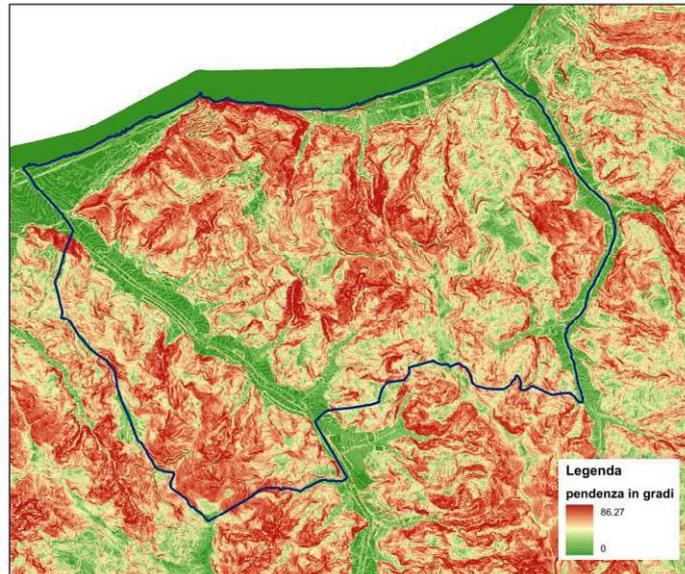


Figura 7.4 – Esempio di riclassificazione della pendenza (esempio: Piraino, Me).

Individuazione degli elementi morfologici

Laddove, ad un'analisi aerofotografica e topografica, questi allineamenti sono risultati limitare superiormente versanti aventi caratteristiche morfometriche rientranti all'interno dei criteri di sopra descritti, si è dunque passati al tracciamento delle linee di scarpata o di cresta o all'indicazione del rilievo isolato (Fig. 7.5).

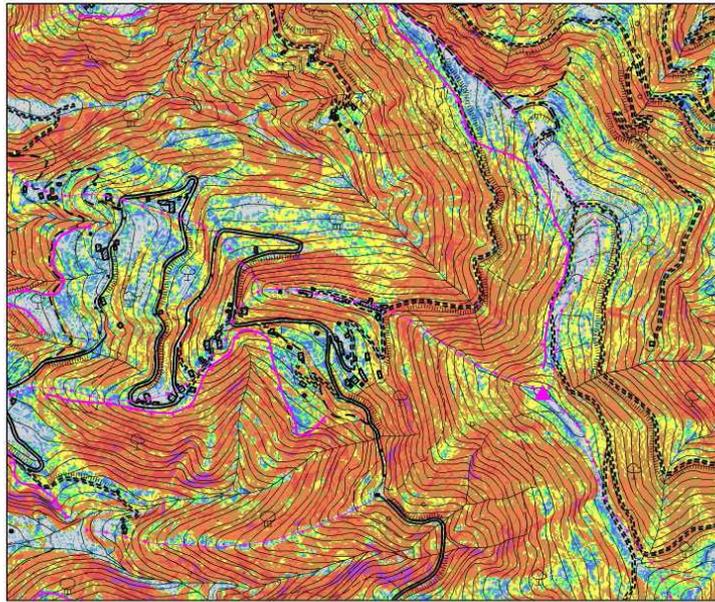
Infine, sono stati selezionati gli elementi antropici per verificare la coerenza tra gli elementi morfologici individuati ed i centri abitati. Quest'ultimo passaggio riguarda in particolare le scarpate, le quali infatti possono non intersecare case o strade, pur trovandosi nelle loro immediate vicinanze (Fig.7.6).

Le aree considerate come **zone suscettibili di instabilità** sono quelle in cui gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio.

Le zone identificano quattro categorie di effetti deformativi:

- instabilità di versante, distinte per tipologia di frana (crollo/ribaltamento, scorrimento, colamento, frana complessa) ed attività (attiva, quiescente, inattiva);
- liquefazione, aree caratterizzate da terreni sabbiosi, sabbiosi – limosi, o sabbiosi – ghiaiosi con superficie della falda < di 15 m
- Faglie attive e capaci, distinte per tipologia (diretta, inversa, trascorrente) e individuazione (accertata, inferita):
- Cedimenti differenziali, aree di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico meccanica molto differenti;

Le instabilità di versante sono state ricavate dal PAI, dalle carte geologiche fin qui prodotte e dal PRG del comune e riclassificate secondo le tipologie adottate dagli standard di rappresentazione.



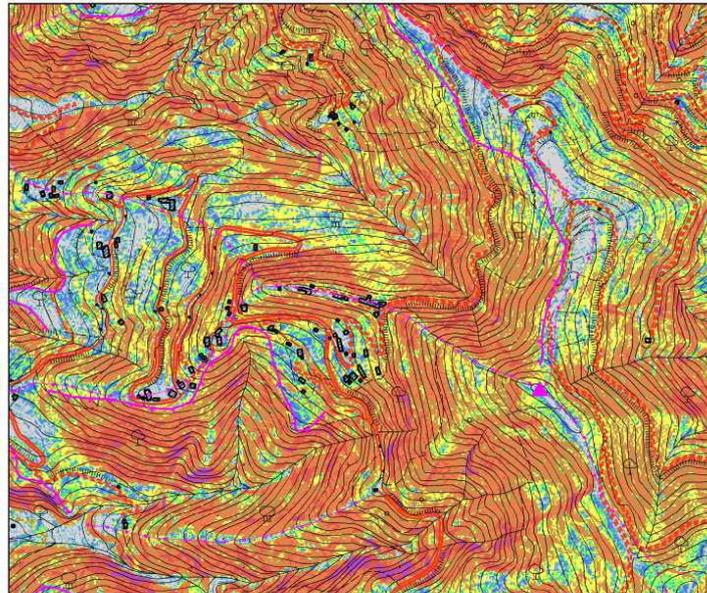
Legenda

0°-15°
15°-18°
18°-21,6°
21,6°-25,92°
25,92°-31,104°
31,10°-37,32°
37,32°-44,79°
44,79°-53,75°
53,75°-64,50°
64,50°-77,40°
77,40°-92,88°

Elementi morfologici

▲	6010 - cime isolate
—	5041 - scarpate con altezza inferiore a 20 metri
—	5042 - scarpate con altezza superiore a 20 metri
—	5060 - creste

Figura 7.5 – Individuazione di elementi morfologici di interesse (esempio: Sant'Angelo di Brolo, Me).



Legenda

0°-15°
15°-18°
18°-21,6°
21,6°-25,92°
25,92°-31,104°
31,10°-37,32°
37,32°-44,79°
44,79°-53,75°
53,75°-64,50°
64,50°-77,40°
77,40°-92,88°

Elementi morfologici

▲ 6010 - cime isolate
— 5041 - scarpate con altezza inferiore a 20 metri
— 5042 - scarpate con altezza superiore a 20 metri
— 5060 - creste
— elementi antropici

Figura 7.6 – Sovrapposizione degli elementi antropici (esempio: Sant'Angelo di Brolo, Me).

7.4 Criteri adottati per la costruzione della carta delle frequenze

La costruzione delle carte delle frequenze di picco del segnale HVSR, redatte a partire dalle misure di microtremore sismico, tenendo conto della complessità dei fenomeni genetici e di propagazione e quindi della molteplicità delle possibili cause di amplificazione del rapporto H/V, è stata realizzata adottando criteri di analisi del segnale finalizzati a discriminare picchi causati da fenomeni di tipo differente (interfacce sismiche più o meno profonde, elevati gradienti topografici, cause antropiche,...) per trascurare quelli attribuibili al fenomeno sorgente e separare quelli attribuibili a diversi aspetti della propagazione ondosa. Per ogni comune indagato, è stata quindi elaborata, la carta delle frequenze, per rappresentare la distribuzione spaziale delle frequenze dei picchi del segnale HVSR. Per ogni punto di misura HVSR viene rappresentata sulla carta l'esatta ubicazione con simbologia definita da protocollo. Inoltre, se lo spettro di H/V presenta picchi significativi compresi nell'intervallo 0.6-20 Hz, per ogni picco la frequenza e l'ampiezza viene riportata numericamente immediatamente al di sopra dell'ubicazione.

8. ELABORATI CARTOGRAFICI

8.1 Carta delle indagini

Le indagini presenti all'interno del territorio del Comune di Ragusa sono state ricavate da precedenti campagne di indagini, rese disponibili da pubbliche amministrazioni e da nuove acquisizioni effettuate per il presente studio (cfr. par. 4.1).

La distribuzione delle indagini esistenti all'interno del territorio studiato è poco omogenea, in quanto le indagini raccolte presso gli enti pubblici risultano perlopiù concentrate nelle aree del centro storico e negli immediati dintorni (Fig. 8.1). Risultano quasi completamente sprovviste di indagini esistenti le zone più a Ovest del centro abitato e le zone centro-meridionali dell'area studiata, ad esclusione di una serie di indagini presenti nell'area industriale/artigianale nei pressi dello stadio Selvaggio.

Le indagini di microtremore sismico (HVSr), realizzate ex novo dal Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare (DiSTeM) dell'Università di Palermo, sono invece distribuite in maniera abbastanza uniforme all'interno del territorio indagato a formare una maglia di 254 punti (Fig. 8.1).

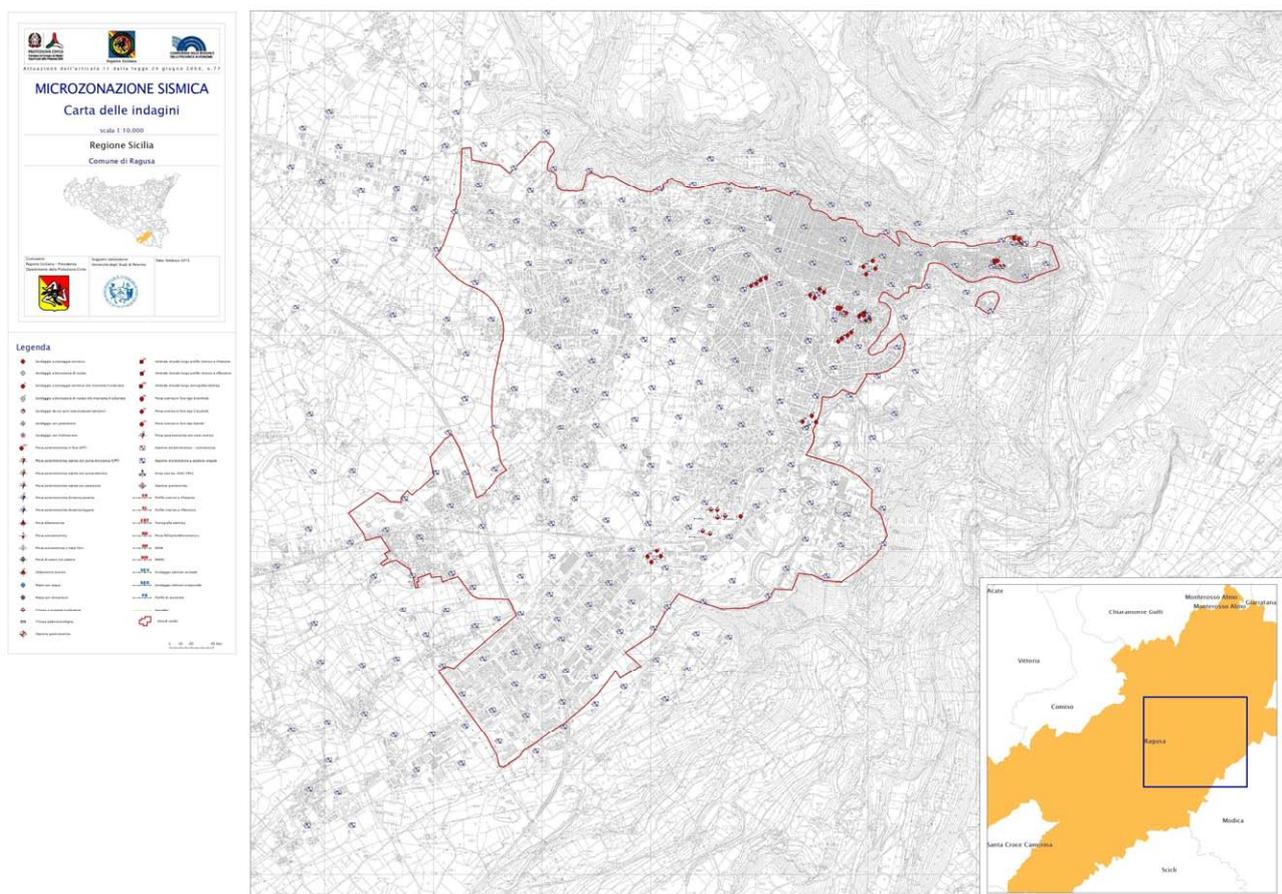


Figura 8.1 – Riduzione della carta delle indagini del territorio di Ragusa (v. PDF cartella plot in banca dati).

8.2 Carta geologico tecnica

La caratterizzazione dei terreni nei dintorni del centro urbano di Ragusa unitamente ai dati di sottosuolo e geofisici ha permesso di cartografare la distribuzione degli affioramenti del substrato geologico e delle coperture oltre agli elementi tettonici e morfologici caratterizzanti l'area.

8.2.1 Il substrato geologico

Come già accennato nei precedenti capitoli nell'area studiata il substrato geologico è rappresentato dalle successioni calcaree e calcareo marnose della Formazione Ragusa.

Per quanto riguarda le successioni carbonatiche della Fm. Ragusa le indagini preesistenti e quelle di nuova realizzazione mostrano che non sempre tali depositi sono caratterizzati da velocità di propagazione delle onde S > 800 m/s, non sempre quindi possono essere definiti come substrato geologico rigido (ALS). L'analisi delle indagini già esistenti raccolte presso i diversi enti e i risultati della campagna di indagini HVSR realizzata ex novo hanno mostrato come questi depositi raggiungono la velocità di 800 m/s a profondità variabile in funzione di diversi fattori, quali il grado di alterazione, la densità di fratturazione, la presenza di cavità carsiche o antropiche. In funzione di ciò, il substrato geologico rigido non risulta essere mai affiorante ma sempre sepolto al di sotto di un orizzonte di spessore variabile (da 1,6 m a circa 20 m) di substrato geologico non rigido (NRS) (Figg. 8.2 e 5.1). Quest'ultimo affiora diffusamente in tutta l'area studiata. (Fig. 8.2)

8.2.2 I terreni di copertura

I terreni di copertura rilevati nell'area studiata sono limitati ad alcune depressioni presenti nell'area industriale/artigianale a sud-ovest del centro abitato e al fondo della profonda incisione che attraversa Ragusa alta in direzione Ovest-Est (vallata S. Domenica) e che va a confluire nel fiume Irmínio nel settore più orientale dell'abitato di Ragusa Ibla.

I depositi dell'area industriale/artigianale sono per lo più costituiti da detriti di varia natura ed origine (RI) ed occupano alcune depressioni di natura tettonica bordate da faglie dirette.

In quest'area non vi sono sondaggi che permettono di definire meglio la natura e lo spessore di questi depositi, che comunque sono stati mappati in quanto riportati nella cartografia ufficiale disponibile (studio geologico a supporto del PRG).

I depositi presenti al fondo della valle S. Domenica sono costituiti da sabbie color nocciola con clasti carbonatici di dimensione centimetrica e limi chiari (GM). Questi depositi, misti a materiale di riporto non meglio classificato sono intercettati da due sondaggi presenti nell'area e hanno spessore variabile da 6,5 m a 8,6 m (088009P33-SS188 e 088009P34-SS190).

Un'altra piccola sacca di materiale detritico di natura sabbiosa con la presenza di ciottoli carbonatici di dimensione centimetrica (GM) è stato rinvenuta in due sondaggi (088009P18-SS123 e 088009P19-SS134) realizzati in via Terranova a Ragusa Ibla (Fig. 8.2).

Nella carta sono anche riportate le tracce delle sezioni geologiche e i sondaggi che intercettano il substrato.

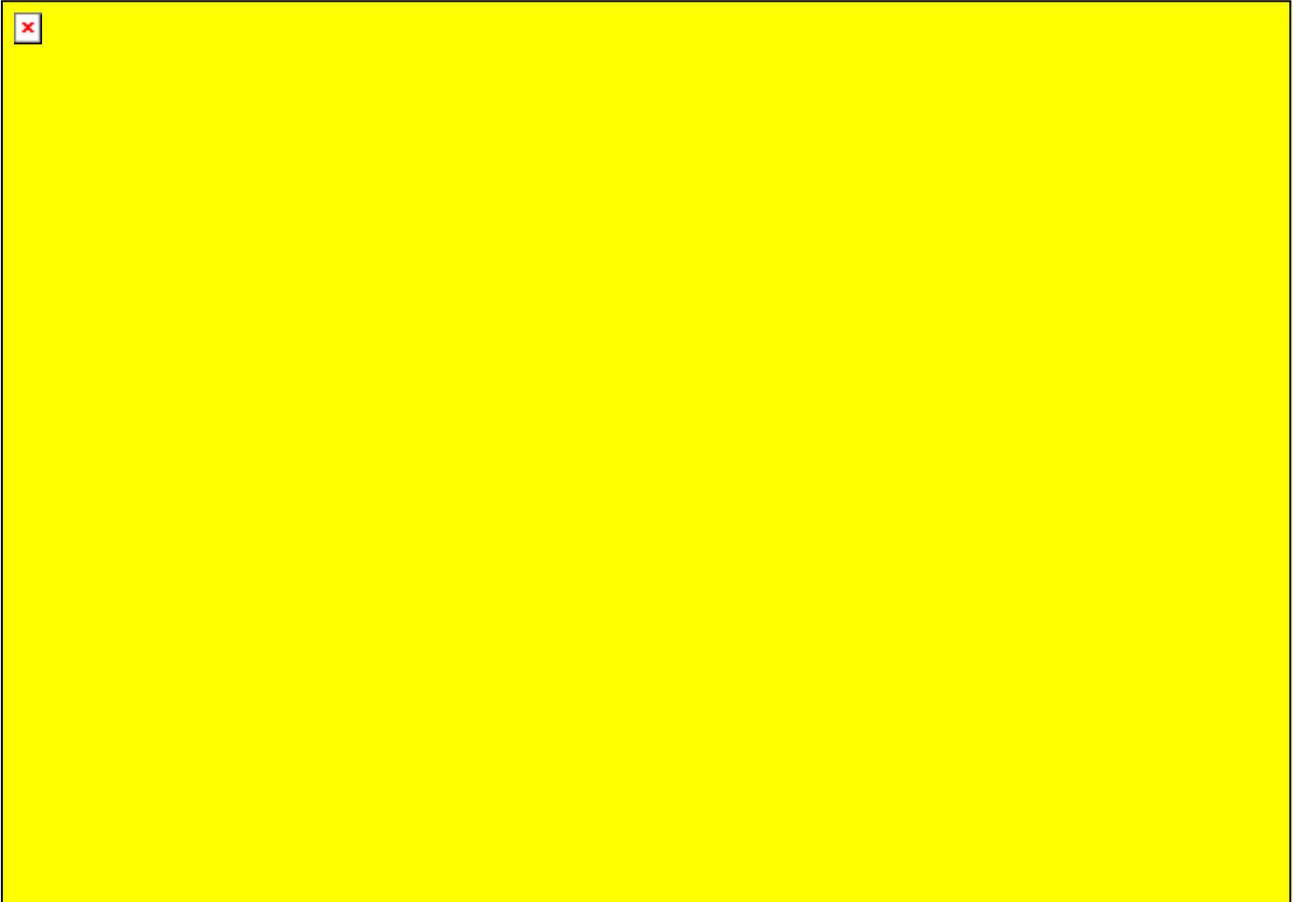


Figura 8.2 – Riduzione della carta Geologico-Tecnica delle aree perimetrare del territorio del Comune di Ragusa (v. PDF cartella plot in banca dati).

8.2.3 Dissesti

I dissesti gravitativi che sono stati analizzati per l'area di interesse perimetrata per il Comune di Ragusa sono essenzialmente ascrivibili a processi di crollo, di scorrimento e di erosione accelerata, in subordine a franosità diffusa e localizzati nella porzione Settentrionale e Nord-orientale del centro abitato in corrispondenza dei versanti incassati dagli impluvi fortemente incisi.

In questa sede sono stati presi in considerazione tutti i dissesti segnalati nel PAI (Piano Assetto Idrogeologico), predisposto dall'Assessorato regionale Territorio e Ambiente (Fig.8.3). Facendo riferimento alle aree di interesse segnalate dall'amministrazione del Comune di Ragusa, si procede dunque alla analisi/revisione dei dissesti segnalati all'interno del centro abitato e nelle immediate vicinanze:

Fenomeni PAI 082 - 7RA – 014, PAI 082 - 7RA – 015, PAI 082 - 7RA – 025, PAI 082 - 7RA – 051, PAI 082 - 7RA – 052, PAI 082 - 7RA – 053, PAI 082 - 7RA – 082 - 7RA – 055, PAI 082 - 7RA – 056, PAI 082 - 7RA – 057, PAI 082 - 7RA – 058, PAI 082 - 7RA – 059, PAI 082 - 7RA – 060

Le condizioni di stabilità delle porzioni più superficiali dell'ammasso roccioso risultano spesso essere compromesse principalmente, oltre che dall'alto grado di alterazione delle rocce stesse, anche dalla presenza di giunti di fratturazione e/o dalla eventuale esistenza di cavità carsiche.

I dissesti segnalati in area urbana, sono quindi catalogabili come fenomeni di crollo e/o ribaltamento che coinvolgono i fronti rocciosi, con distacco di massi di varie dimensioni e/o

formazione di ammassi detritici o porzioni di roccia metastabili, che rappresentano un serio pericolo oltre che per gli insediamenti abitativi anche per le infrastrutture presenti nel territorio.

I dissesti, codificati con la sigla 082-7RA-014 e 082-7RA-015, di Cava San Leonardo, a nord del centro abitato, sono dovuti a processi di scorrimento, e connessi all'attività tettonica delle direttrici dell'altopiano Ibleo ad orientamento NE-SW; L'altopiano a morfologia tabulare sia su cui sorge il cimitero di Ragusa, che quella ad essa immediatamente contigua rappresentano probabilmente la testata di due corpi di frana, a conferma di ciò, in ambedue i siti si nota un evidente restringimento della sezione valliva, accompagnato nel sito codificato 082-7RA-014 da una deviazione altrettanto evidente (Nicoletti, Adorni, Scalzo, 1999). Ambedue i siti allo stato attuale si presentano stabilizzati, non rappresentando pertanto un pericolo per l'ambiente circostante. Il dissesto identificato dal codice 082-7RA-055 di Via del Mercato a Ragusa Ibla, si riferisce ad un'area a franosità diffusa scaturita dalla presenza sul pendio di un instabile detrito di versante e materiale di risulta accumulato nel corso degli anni.

Si specifica la presenza di n° 19 siti di attenzione ubicati nel centro urbano di Ragusa; si tratta di aggrottati naturali e latomie presenti al disotto del tessuto urbano della città. Tali cavità costituiscono un potenziale pericolo per le strutture e le infrastrutture sovrastanti, in quanto interessate da fratture beanti con possibili movimenti relativi tra i blocchi lapidei. Le aree sovrastanti le latomie potrebbero essere soggette a fenomeni di sprofondamento.

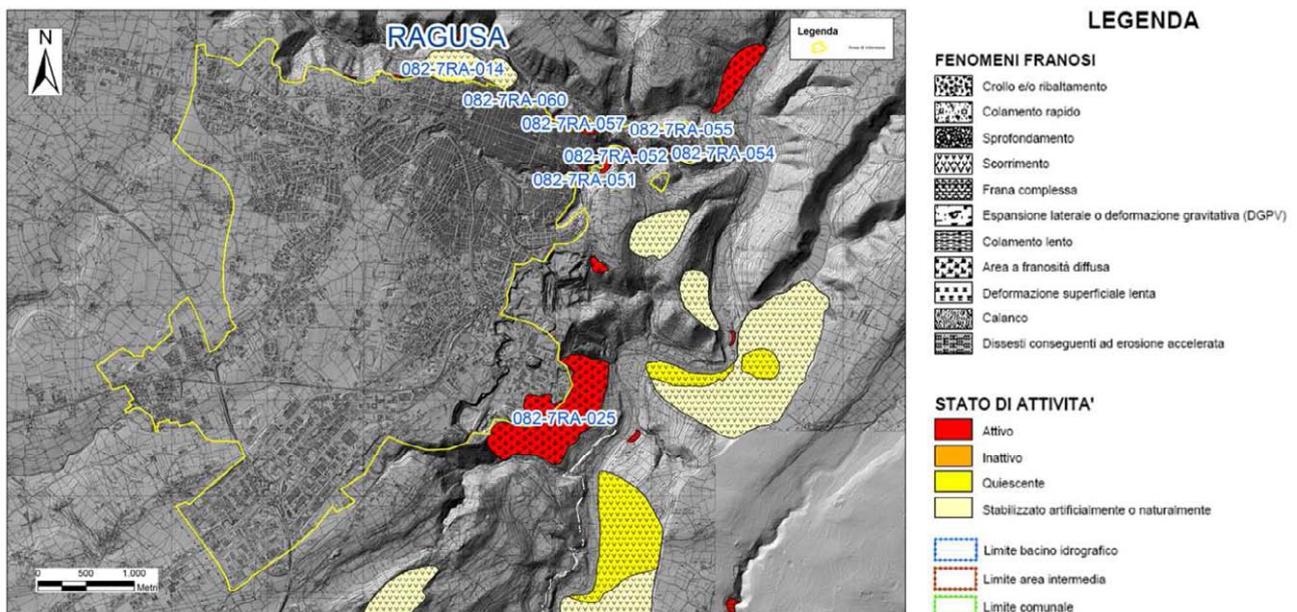


Figura 8.3 – Comune di Ragusa – Aree di interesse: carta dei dissesti censiti nel PAI.

8.3 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 1)

La carta delle microzone del comune di Ragusa, ha un estensione totale di circa 1679 ettari (Fig. 8.4). Non è stata individuata alcuna zona che può essere considerata stabile.

Sono state distinte cinque zone stabili suscettibili di amplificazioni locali e due tipologie di zone suscettibili di instabilità; zone soggette a instabilità di versante attiva e zone soggette a instabilità di versante non definita.

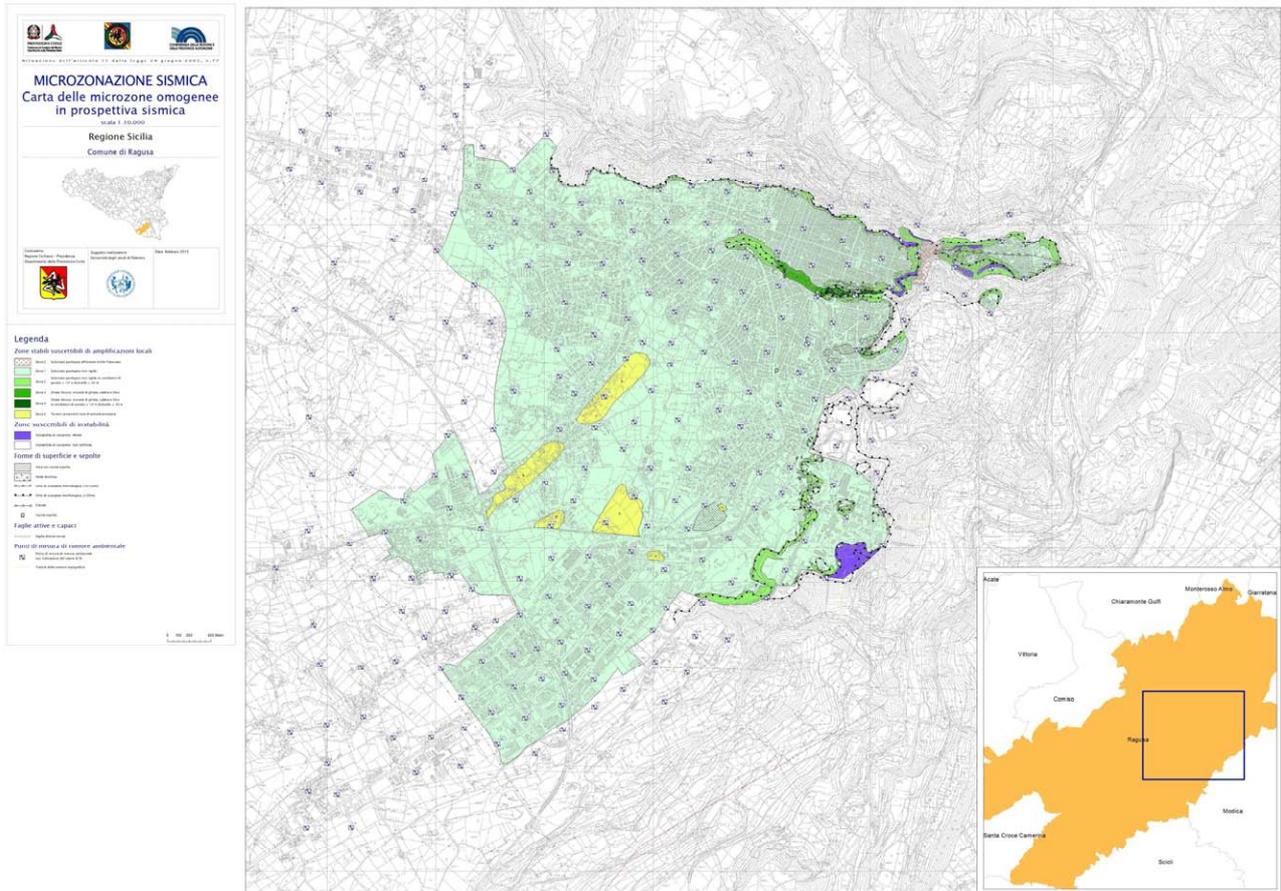


Fig. 8.4 – Riduzione della carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica delle aree perimetrate relative ai centri urbanizzati del Comune di Ragusa (v. PDF cartella plot in banca dati).

In Figura 8.5 sono state ricostruite cinque colonne stratigrafiche esemplificative delle diverse condizioni di amplificazione locale presenti.

Nella tabella 8.1 vengono differenziate le tipologie di zone stabili suscettibili di amplificazione locali e le zone suscettibili di instabilità presenti nel territorio comunale di Ragusa. Sono indicati anche i potenziali effetti attesi e il livello di approfondimento richiesto per gli studi di microzonazione sismica.

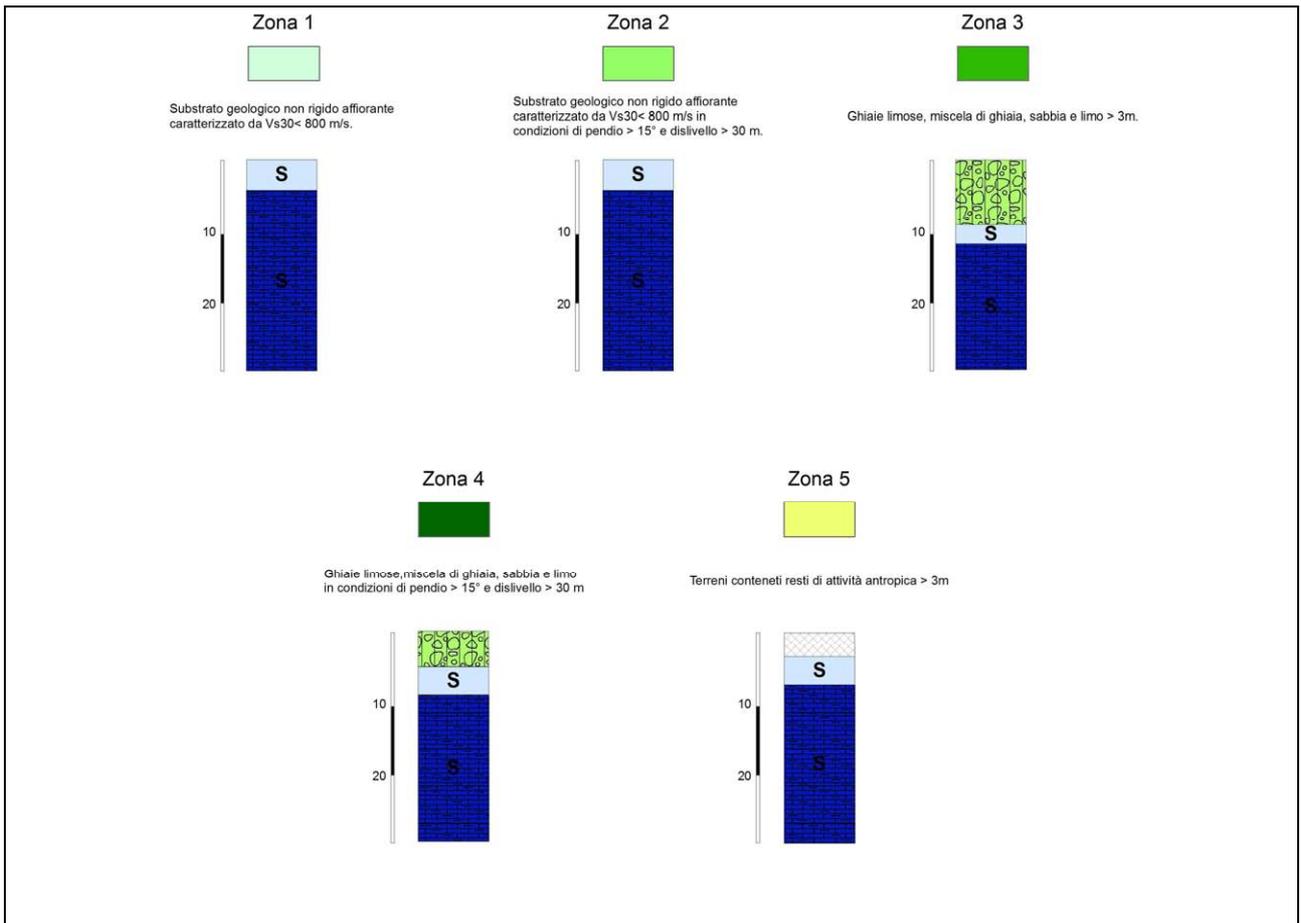


Fig. 8.5 – Colonne stratigrafiche esemplificative delle possibili condizioni di amplificazione locale presenti nel territorio di Ragusa.

ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI				
	Condizioni geologiche e geomorfologiche	Classe litologica	Effetti attesi	Livello di approfondimento
Zona 1	Substrato geologico non rigido affiorante caratterizzato da $V_{s30} < 800$ m/s.	NRS	Amplificazione stratigrafica	Secondo livello ed eventuale terzo livello
Zona 2	Substrato geologico non rigido affiorante caratterizzato da $V_{s30} < 800$ m/s in condizioni di pendio $> 15^\circ$ e dislivello > 30 m.	NRS	Amplificazione stratigrafica e topografica	Secondo livello ed eventuale terzo livello
Zona 3	Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo > 3 m.	GM	Amplificazione stratigrafica	Secondo livello ed eventuale terzo livello
Zona 4	Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo in condizioni di pendio $> 15^\circ$ e dislivello > 30 m	GM	Amplificazione stratigrafica e topografica	Secondo livello ed eventuale terzo livello
Zona 5	Terreni contenenti resti di attività antropica > 3 m	RI	Amplificazione stratigrafica	Secondo livello ed eventuale terzo livello

Codice	Condizioni geologiche	DESCRIZIONE	Livello di approfondimento
3011	Instabilità di versate	Crollo o ribaltamento/attiva	Secondo livello ed eventuale terzo livello
3014	Instabilità di versante	Complessa/attiva	Secondo livello ed eventuale terzo livello
3042	Instabilità di versante	Scorrimento/Non definita	Secondo livello ed eventuale terzo livello

Tabella 8.1 - Condizioni geologiche e morfologiche che possono determinare effetti locali nel territorio comunale di Ragusa. Sono indicati anche i potenziali effetti attesi e il livello di approfondimento richiesto per gli studi di microzonazione sismica

8.3.1 Profili topografici di dettaglio

L'individuazione degli assetti topografici in grado di condizionare la risposta sismica di sito richiede il riconoscimento di tutti gli elementi morfologici di attenzione (dorsali, creste, scarpate, selle,

cime isolate), che intersechino le aree di interesse, e la successiva analisi e caratterizzazione morfometrica degli stessi.

L'approccio utilizzato nella predisposizione del presente elaborato (cfr. Cap. 7), si è dunque articolato in due fasi: una prima fase di riconoscimento sistematico degli elementi morfologici lineari e puntuali che intersechino le aree di interesse proposte dalle amministrazioni comunali; la successiva analisi degli assetti morfologici e delle caratteristiche morfometriche dei versanti delimitati al piede o in scarpata dagli elementi riconosciuti, condotta attraverso la analisi di profili topografici di dettaglio rappresentativi. Nel territorio comunale di Ragusa, in ragione dell'assetto geologico e geomorfologico, marcato sia dalla presenza di numerosi lineamenti tettonici sia dalla presenza di rocce in affioramento a differente grado di erodibilità, sono stati individuati diversi elementi morfologici, sia nel settore del centro abitato, che nelle altre aree di interesse individuate e analizzati (Fig. 8.6).

Di seguito si procede ad una analisi degli elementi riconosciuti, per ciascuno degli ambiti territoriali segnalati dall'Amministrazione Comunale.

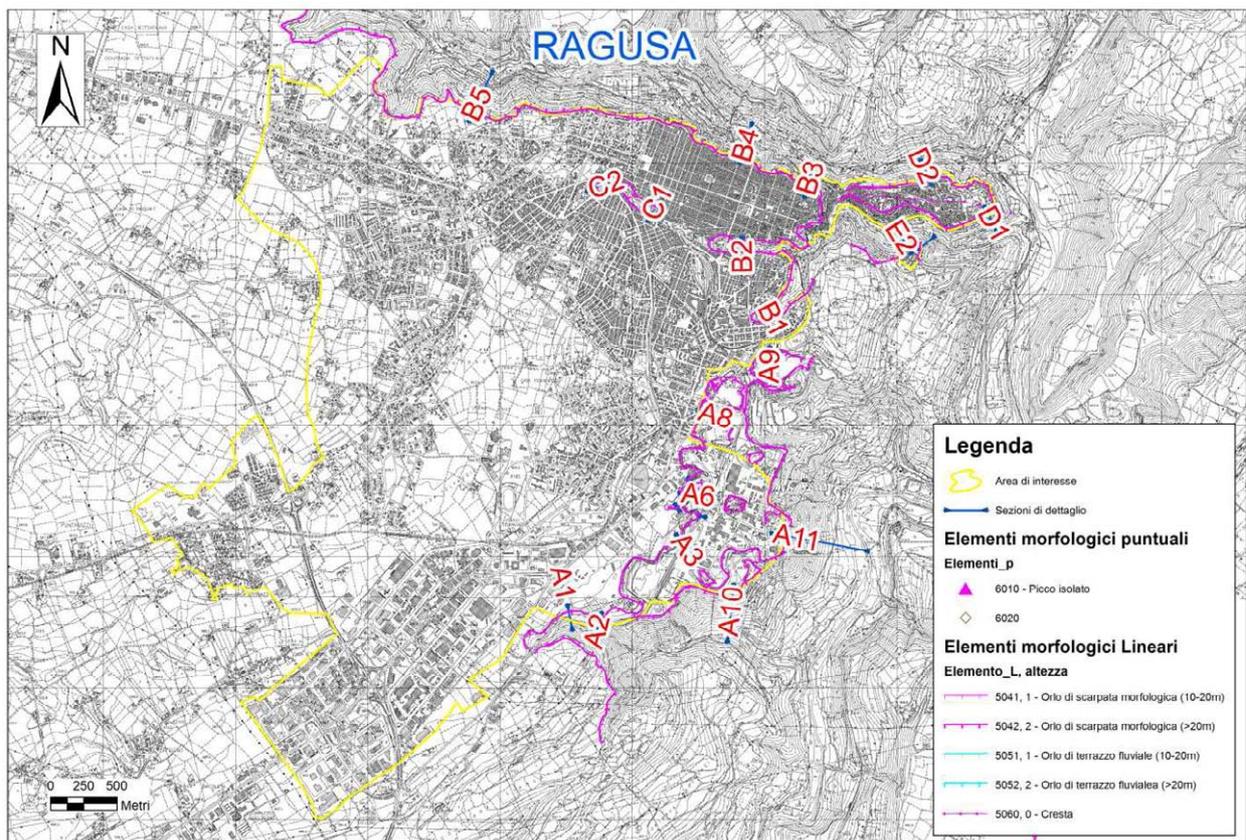


Figura 8.6 – Carta degli elementi morfologici e tracce dei profili topografici di dettaglio (centro abitato).

All'interno del centro abitato principale, utilizzando i criteri di riconoscimento illustrati al capitolo 7, sono state riconosciute due diverse allineamenti di scarpata principali (codificate Scarpata A e Scarpata B) che delimitano rispettivamente, l'estensione dell'edificato urbano, a Nord e verso Est; nell'area di interesse, si riconoscono anche altre 3 lineamenti di scarpata morfologica, due di questi, bordano e isolano un sella morfologica riconoscibile nella porzione a Nord-Est del centro abitato (Scarpata D e Scarpata E). La scarpata C è, invece, una scarpata di tipo fluviale perimetrata

all'interno dell'edificato principale. Queste marcano variazioni di pendenza significative e con spiccata continuità lineare in corrispondenza degli impluvi più incisi (Fig.8.7).

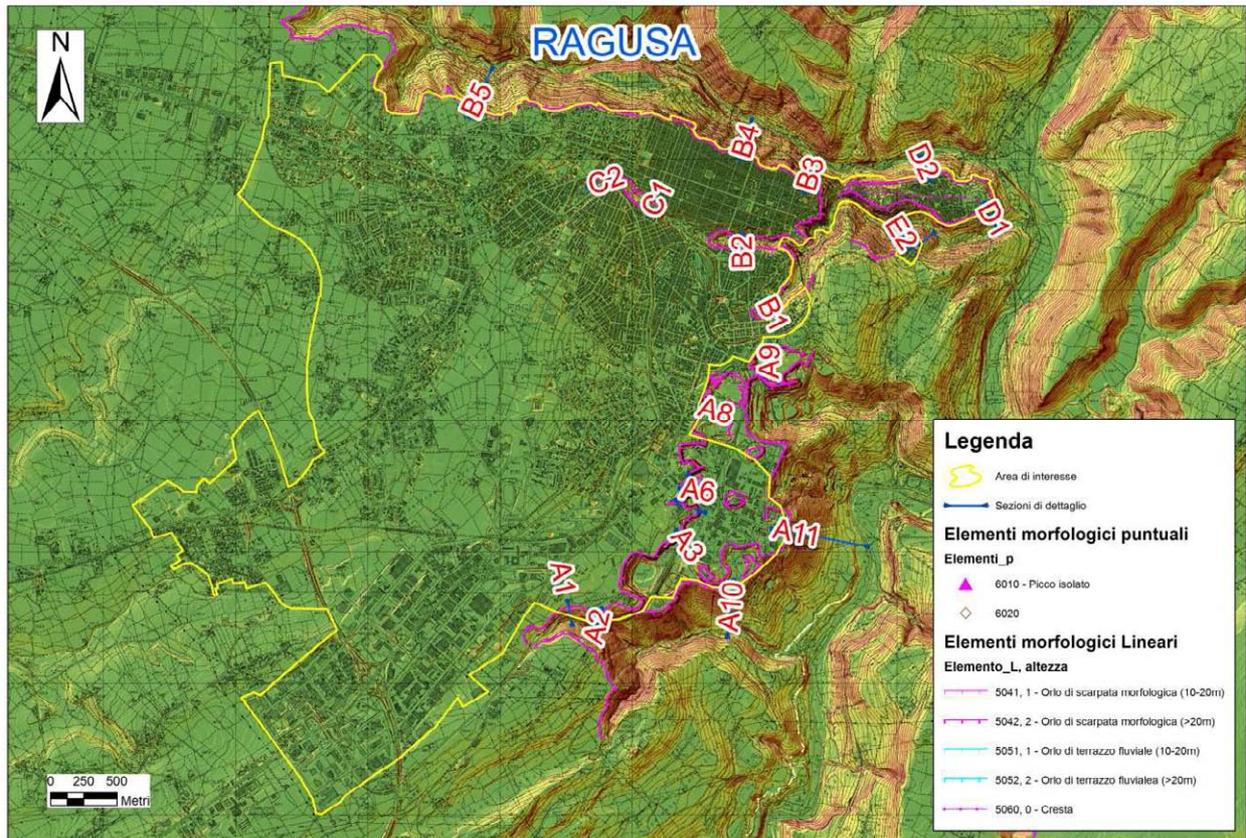


Figura 8.7 – Carta degli elementi morfologici e tracce dei profili topografici di dettaglio (centro abitato).

Scarpata A

La linea di scarpata A (Fig. 8.8), si sviluppa a quote comprese tra 350m e 600m s.l.m., per circa 3000m, da Sud verso Nord, limitando verso Est il centro abitato. La linea presenta un andamento molto frastagliato e marcato da numerose rientranza laddove insistono le linee di impluvio delle acque che poi confluiscono nel Fiume Irminio.

La scarpata è stata analizzata realizzando nove profili posizionati in corrispondenza di quei tratti più rappresentativi della scarpata (Fig.8.9). In corrispondenza del tratto centro-meridionale della scarpata, sono stati ricostruiti due profili di dettaglio. I profili di dettaglio A1 e A2 (Figg. 8.10 – 8.13), con direzione rispettivamente NNO-SSE e NNE-SSO. Questi rivelano in gradino morfologico dovuto all'incisione fluviale adoperata all'azione di erosione concentrata delle acque meteoriche. In Questo tratto la scarpata è caratterizzata da un fronte superiore piano (A1) o debolmente inclinato (A2) con un'altezza del fronte principale in grado di raggiungere quasi i 100 metri (Fig. 8.12) e dei valori angolari al piede del versante di 28° per il profilo A1 fino ai 35° per il profilo A2.

La localizzazione del profilo di dettaglio A3, con direzione NO-SE, permette di ricostruire il salto morfologico di questa porzione della spianata, che si trova ribassata dalla restante parte di circa 30 metri, con un fronte superiore con un valore di β pari a 7° e un angolo α maggiore dei 40° (Fig. 8.14).



Figura 8.8 – Immagine Street View (Google Earth™) della scarpata A.

Nel profilo A4 si può riconoscere la scarpata morfologica di una dei testimoni morfologici presenti in questo settore dell'area di interesse. Generalmente, queste sono forme relitte di natura carbonatica che presentano un fronte superiore pianeggianti o sub-pianeggianti e pareti sub verticali. L'altezza del fronte principale può raggiungere i 20 metri e il valore angolare al piede del versante è di 48° , nel caso del profilo A4 (Fig.8.15).

L'alto morfologico su cui sorge l'abitato è limitato ad Oriente dalla scarpata A. I profili A8 e A9 evidenziano le caratteristiche morfometriche della scarpata che in alcuni tratti presenta lineamenti di scarpate morfologiche, legati all'arretramento localizzato delle scarpate che lo delimitano, causato dall'azione erosivo-regressiva esercitata da processi fluviali, di dilavamento e gravitativi; questi processi hanno determinato l'incisione dei versanti, preferenzialmente lungo direttrici di debolezza strutturale, che li attraversano in direzione prevalente N-S. L'analisi morfologica della linea di scarpata è stata realizzata in corrispondenza di tre sezioni di dettaglio (A8-A9; figg. 8.19-8.20-8.21). La scarpata presenta in generale un'altezza del fronte principale sempre superiore a 50m, superando anche i 180 metri in corrispondenza della sezione codificata come "Ragusa A8" ed una pendenza sempre maggiore di 40° . L'altezza della scarpata raggiunge anche i 225 metri in corrispondenza del profilo A9 e una pendenza di 28° . In questo tratto la scarpata è una scarpata ideale avendo $\beta=0^\circ$.

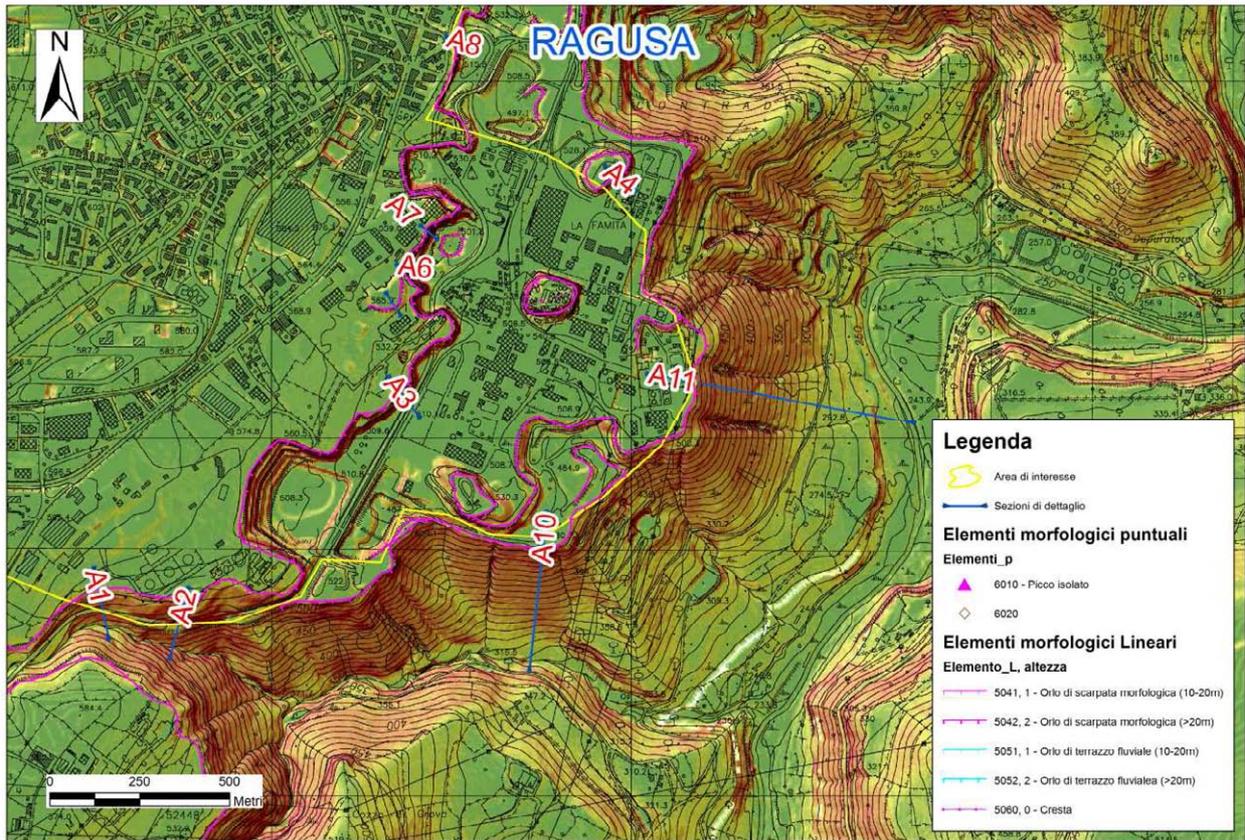


Figura 8.9 – Immagine di dettaglio (Google Earth™) della scarpata A.

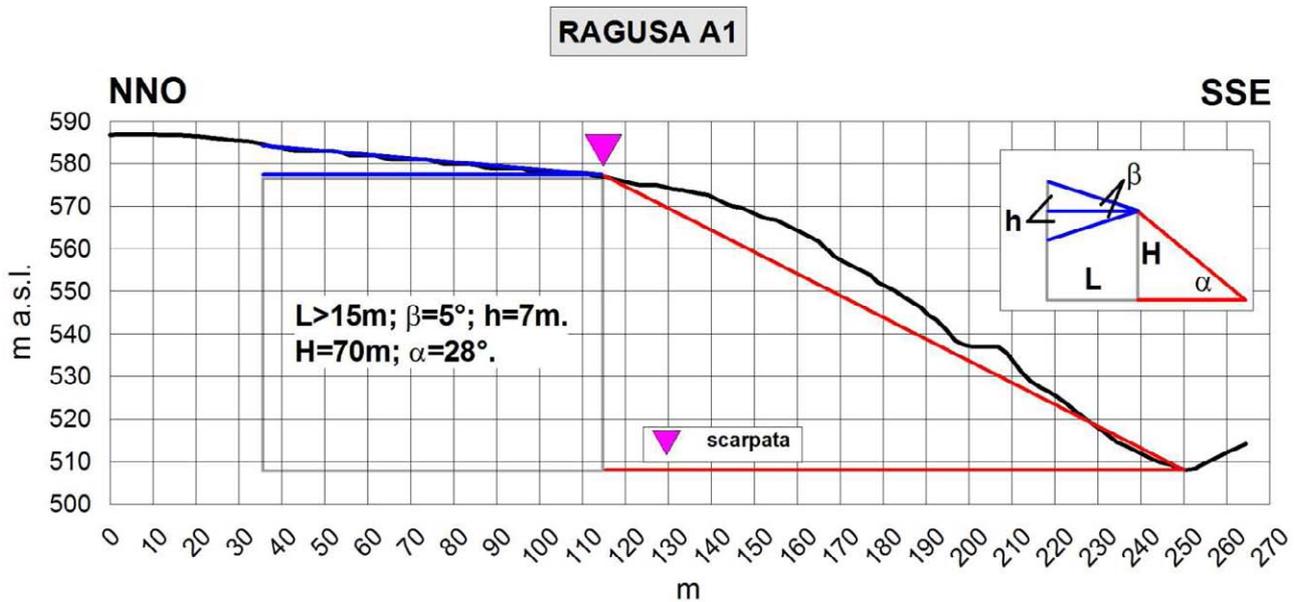


Figura 8.10 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Ragusa A1.

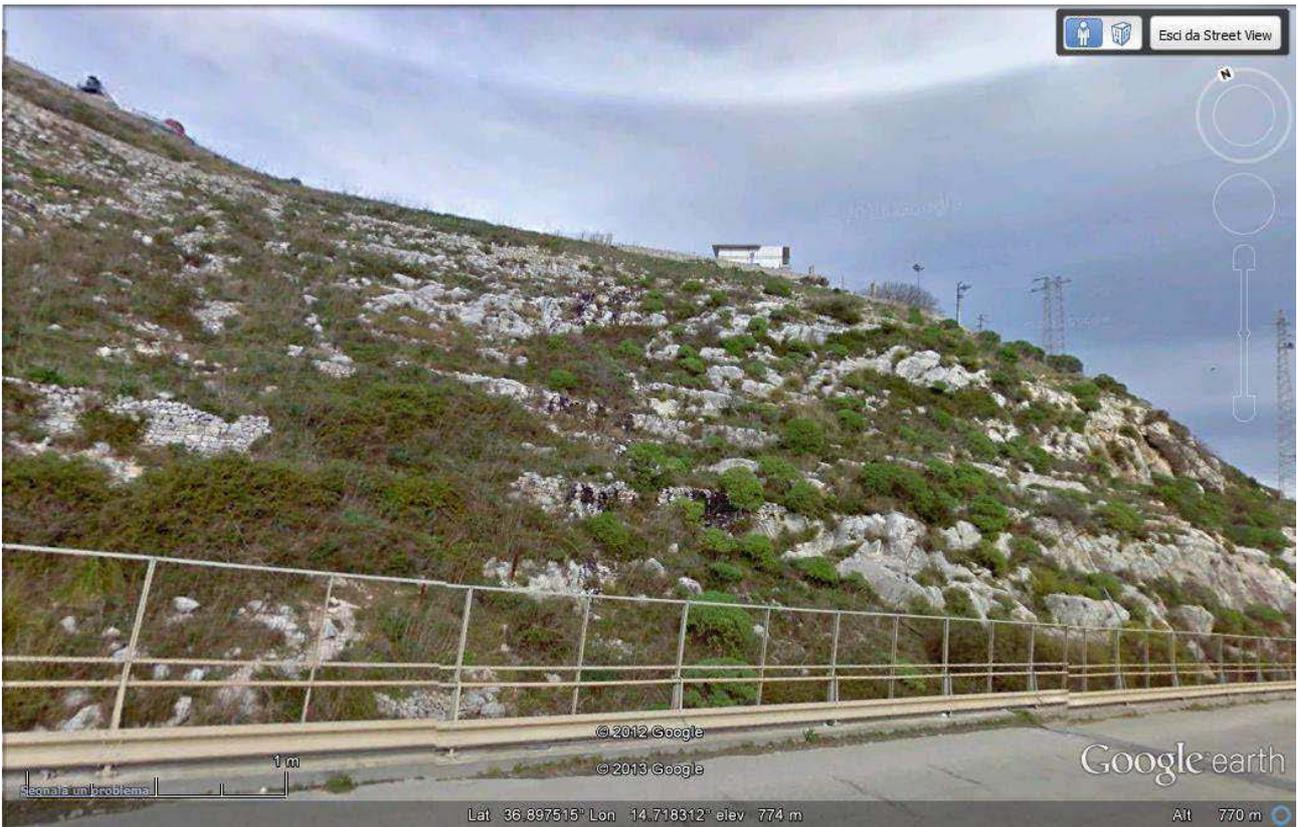


Figura 8.11 – Immagine Street View (Google Earth™) della scarpata A in corrispondenza del profilo di dettaglio A1.

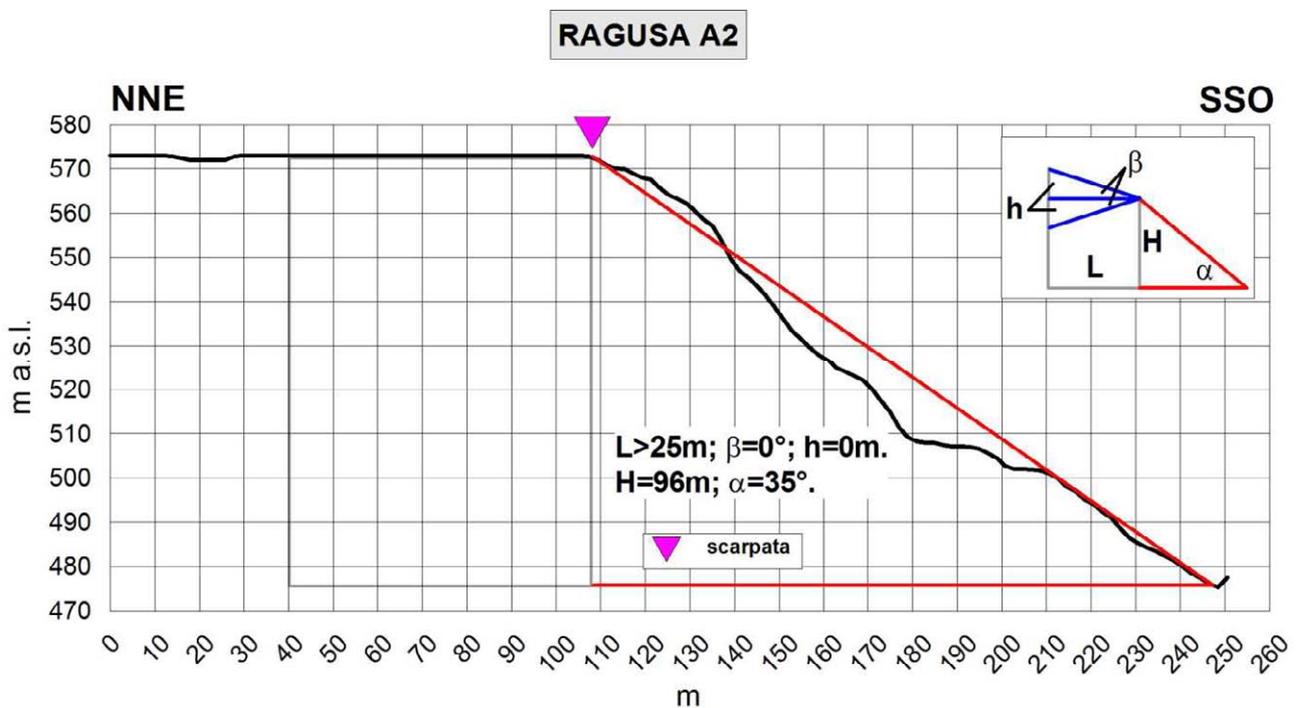


Figura 8.12 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Ragusa A2.

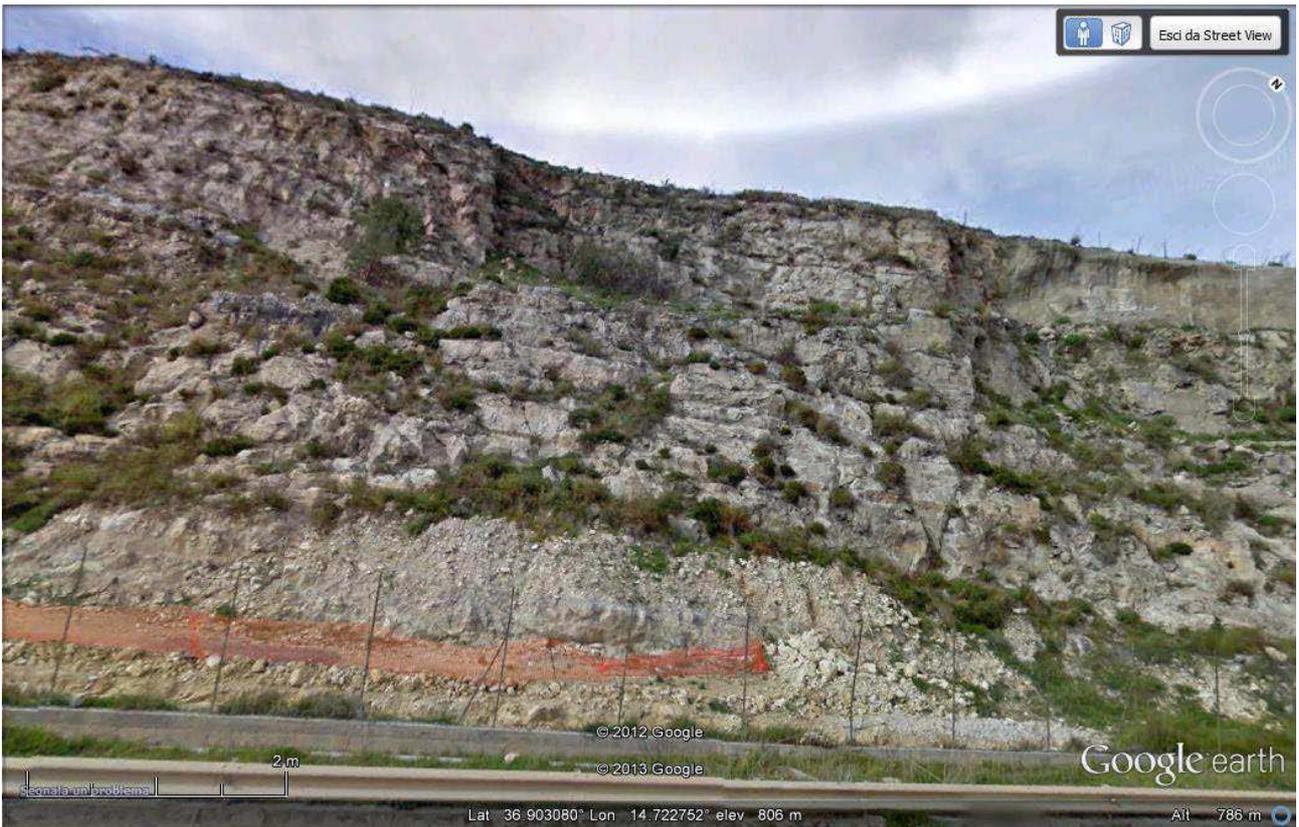


Figura 8.13 – Immagine Street View (Google Earth™) della scarpata A in corrispondenza del profilo di dettaglio A2.

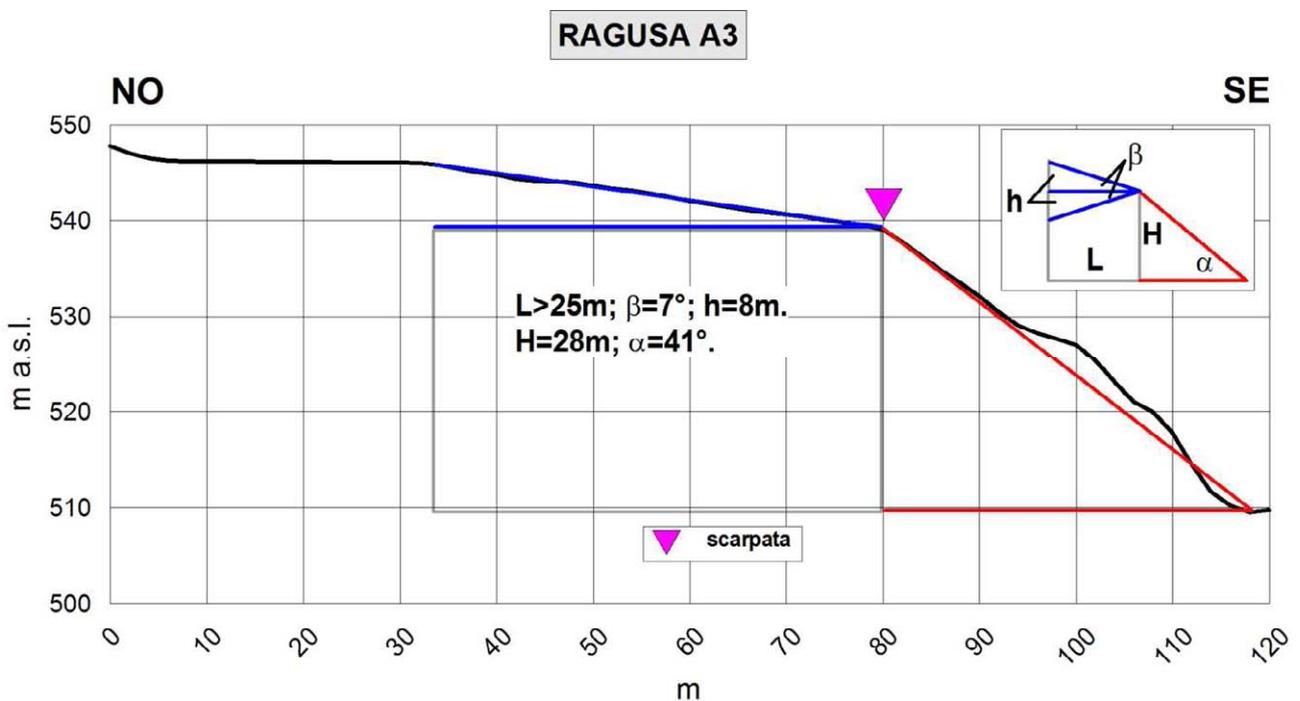


Figura 8.14 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Ragusa A3

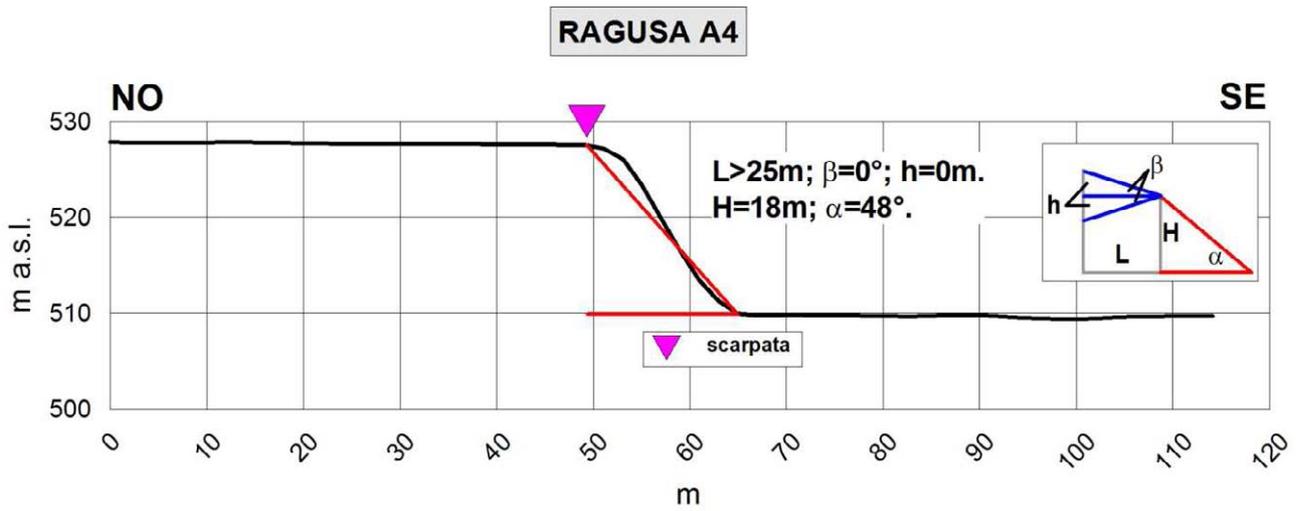


Figura 8.15 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Ragusa A4

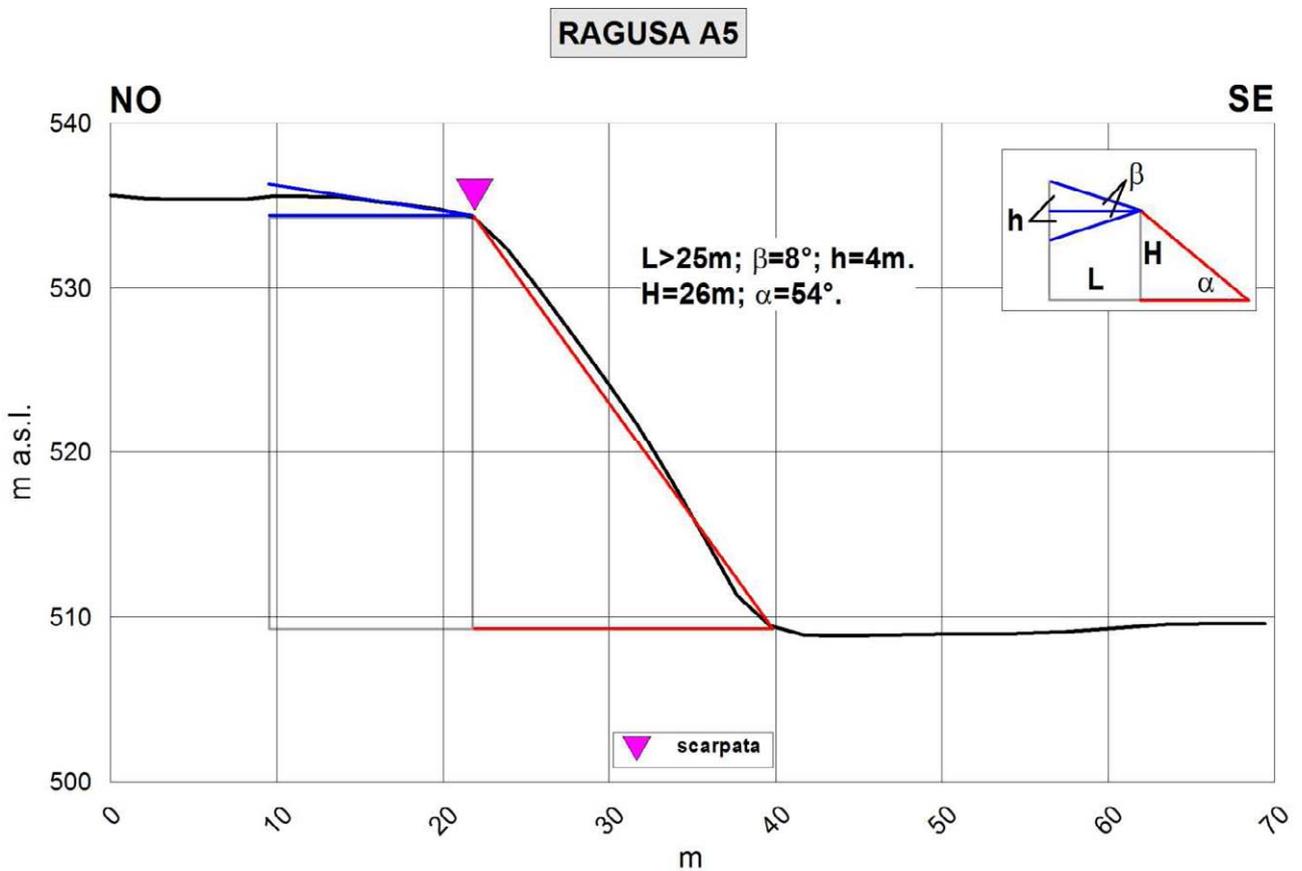


Figura 8.16 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Ragusa A5

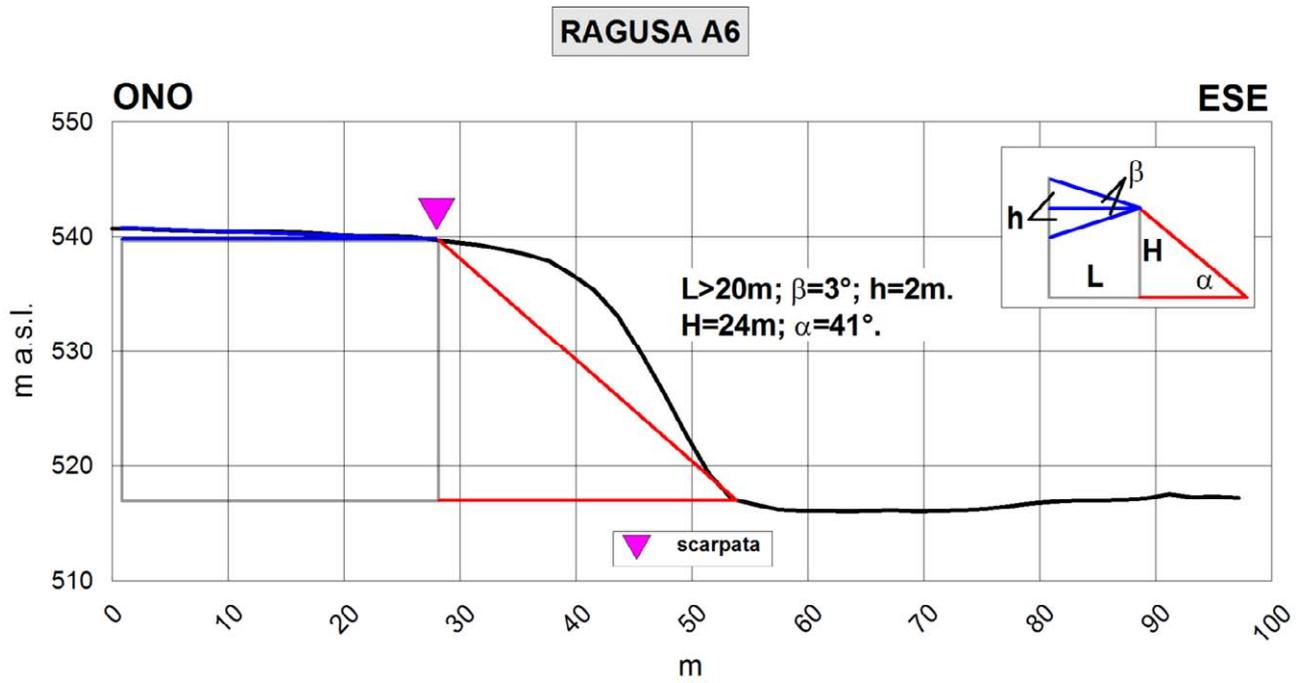


Figura 8.17 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Ragusa A6

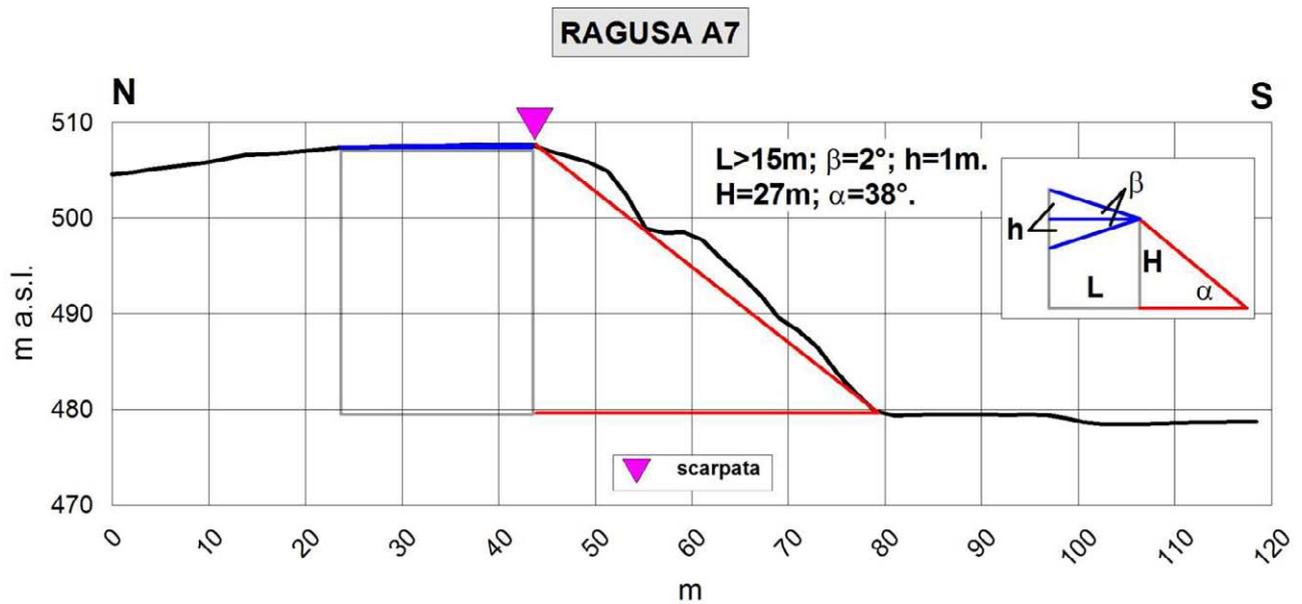


Figura 8.18 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Ragusa A7

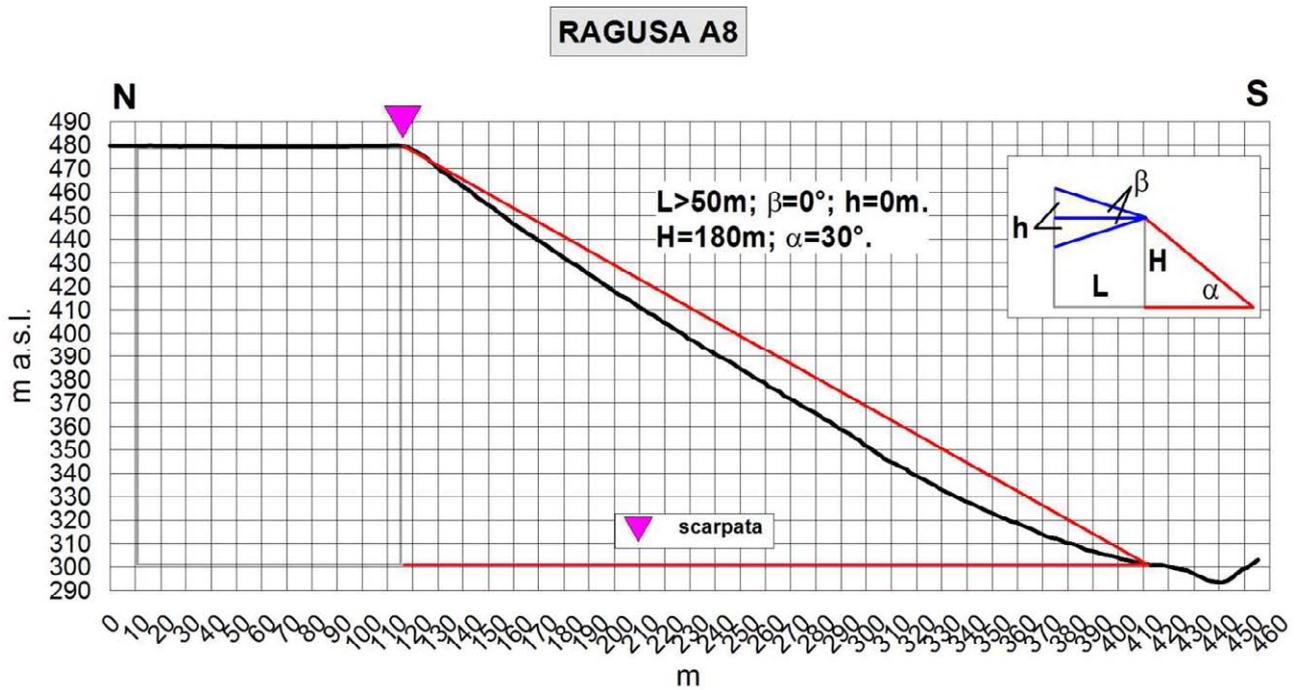


Figura 8.19 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Ragusa A8

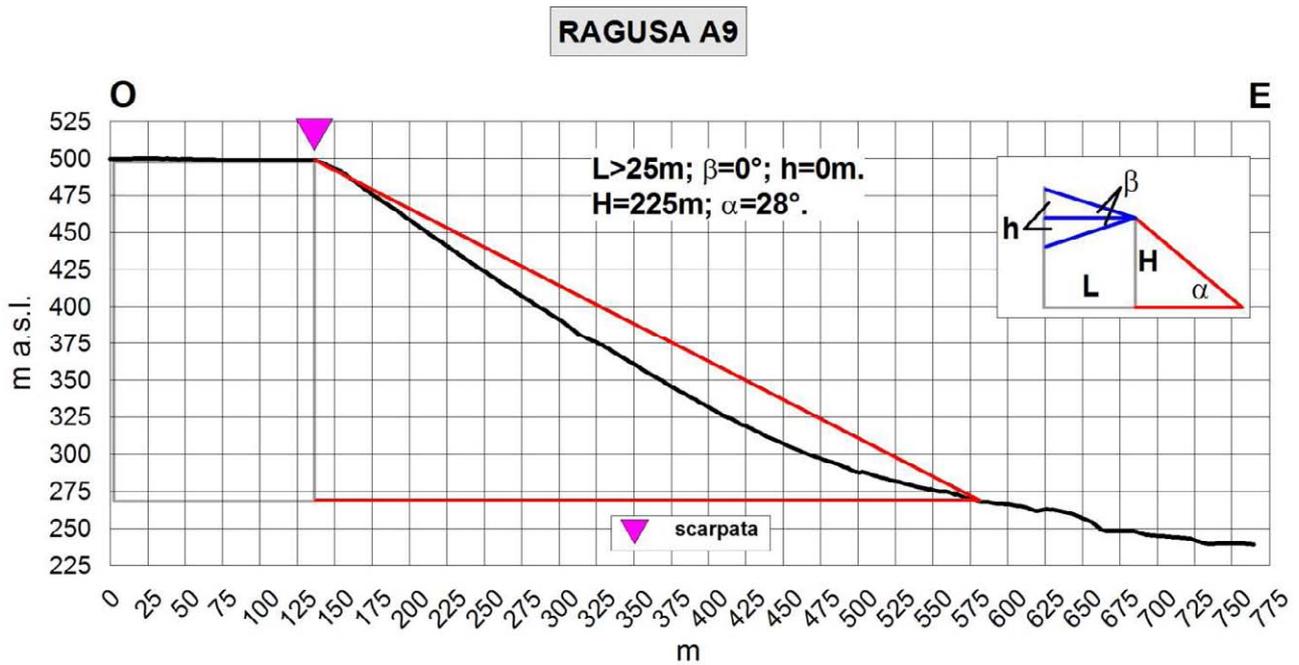


Figura 8.20 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Ragusa A9

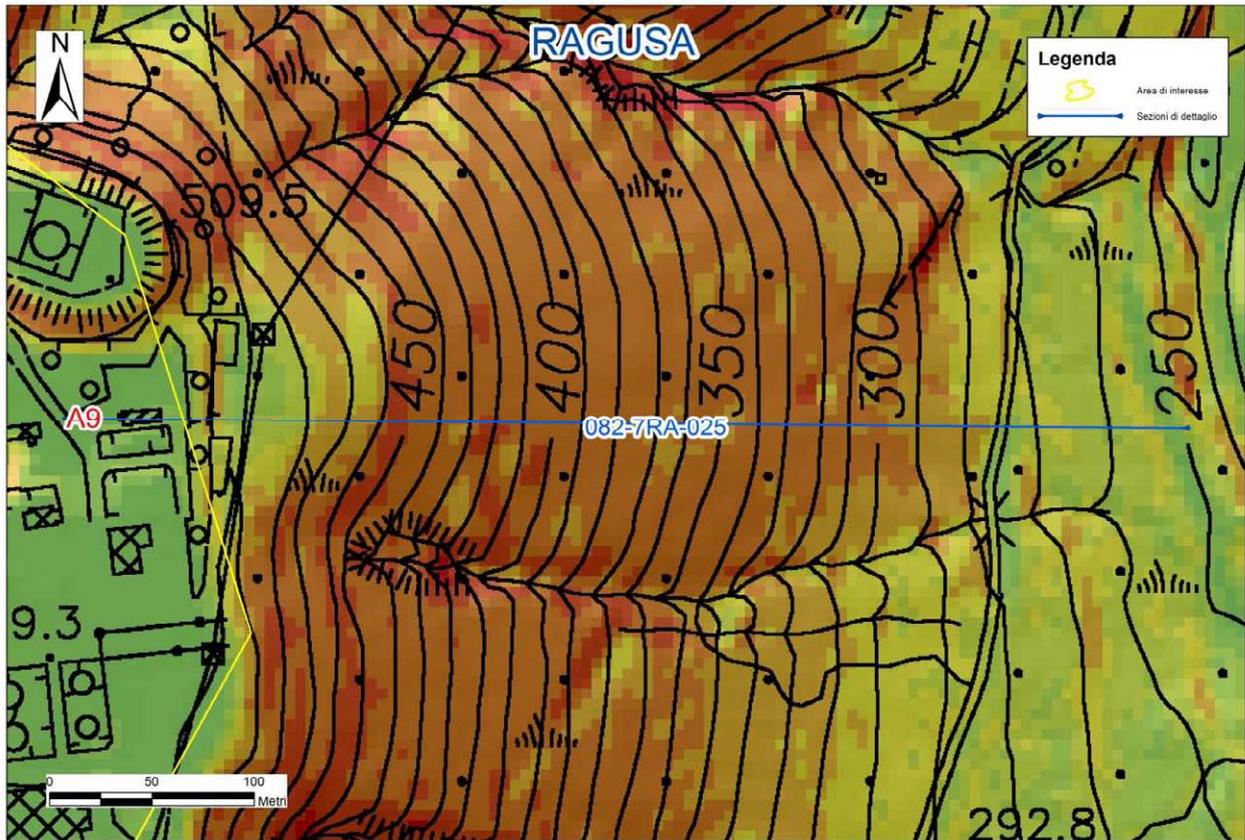


Figura 8.21 – Dettaglio della sezione ricostruita in corrispondenza della scarpata Ragusa A9

Scarpata B

La linea di scarpata B (Figg. 8.22-8.29), si sviluppa per circa 2500 metri limitando lo sviluppo a Nord di Ragusa.

Sono stati realizzati quattro profili di dettaglio prevalentemente in direzione N-S appunto, che hanno evidenziato come, in effetti, in questo tratto del versante, la testata risalga verso monte, limitando l'estensione del fronte superiore e andando a definire una scarpata alta circa 30 metri, con un angolo al piede di 27-30°.

In corrispondenza dei tratti B2 e B3 la scarpata può essere definita come una "scarpata in pendenza" avendo un valore di β di 3-4°. Mentre il valore angolare ai piedi della stessa si mantiene sempre molto elevato (35° in corrispondenza del tratto B3) raggiungendo i 43 per il tratto B2.

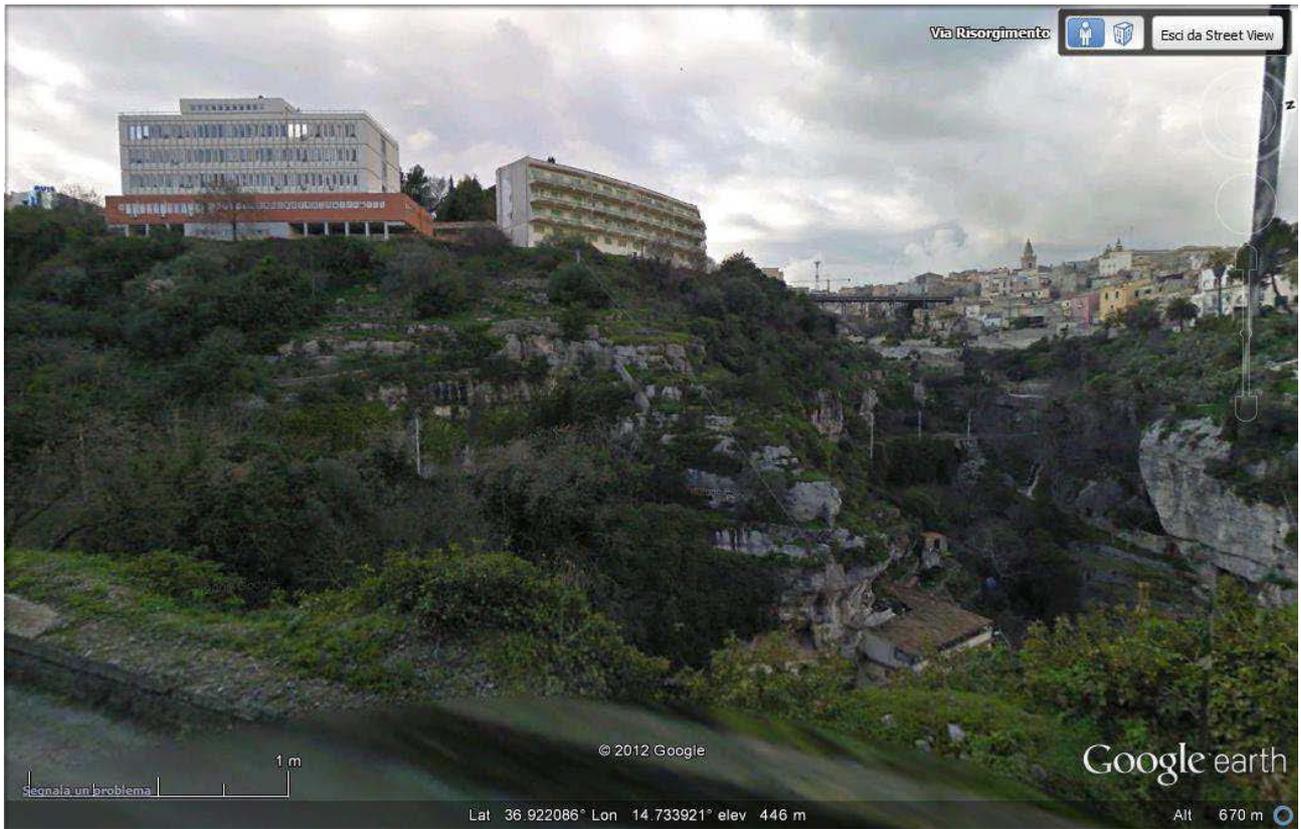


Figura 8.22 – Immagine Street View (Google Earth™) della scarpata B.

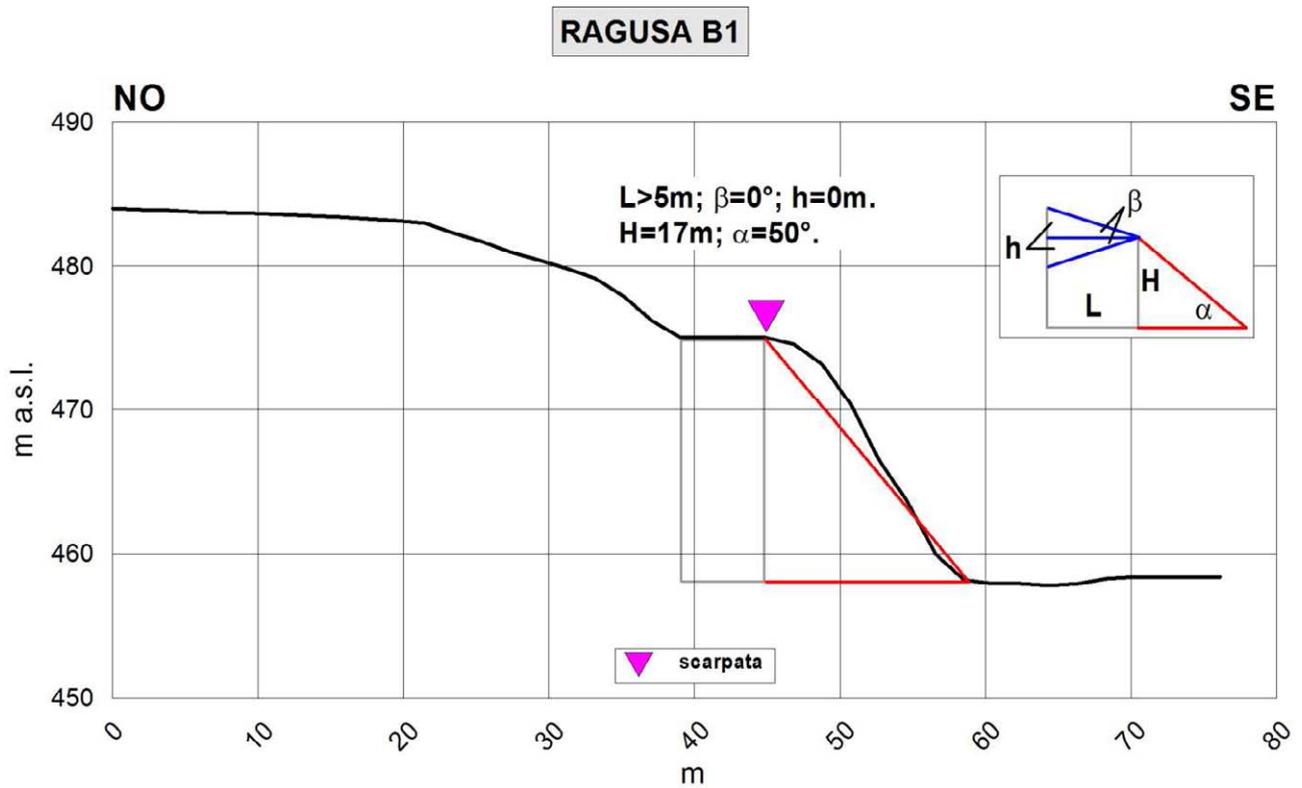


Figura 8.23 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Ragusa B1.

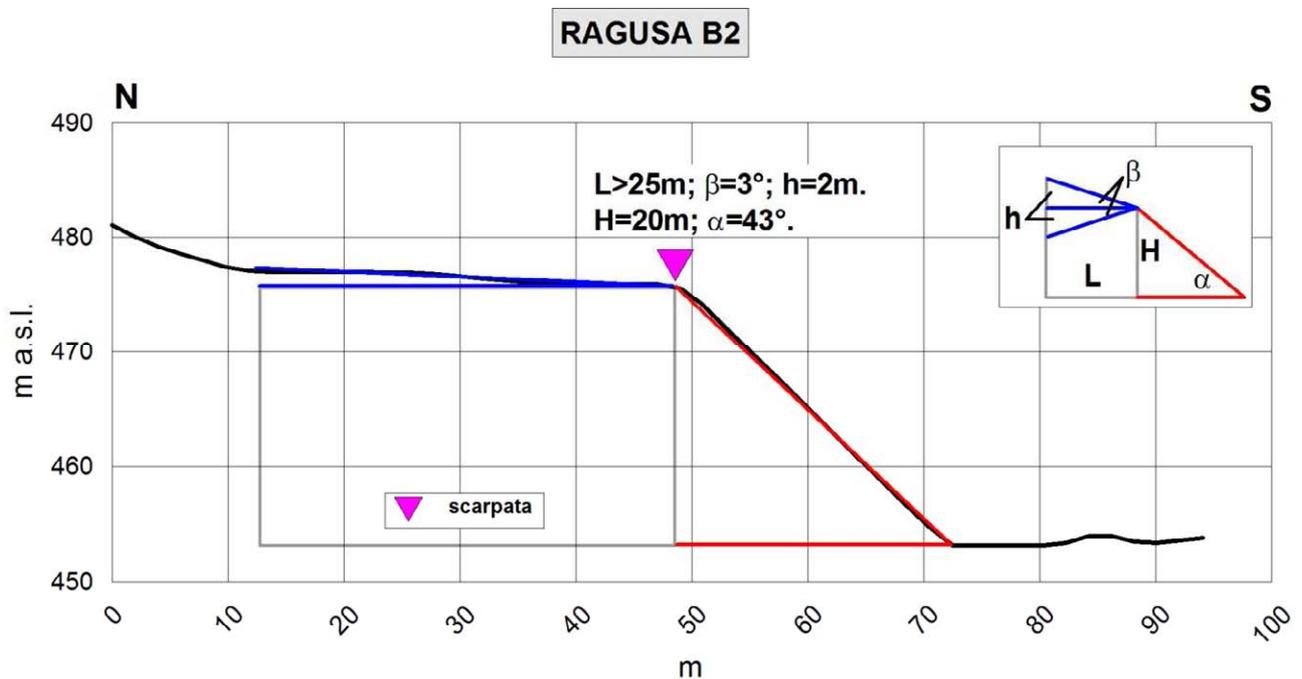


Figura 8.24 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Ragusa B2.

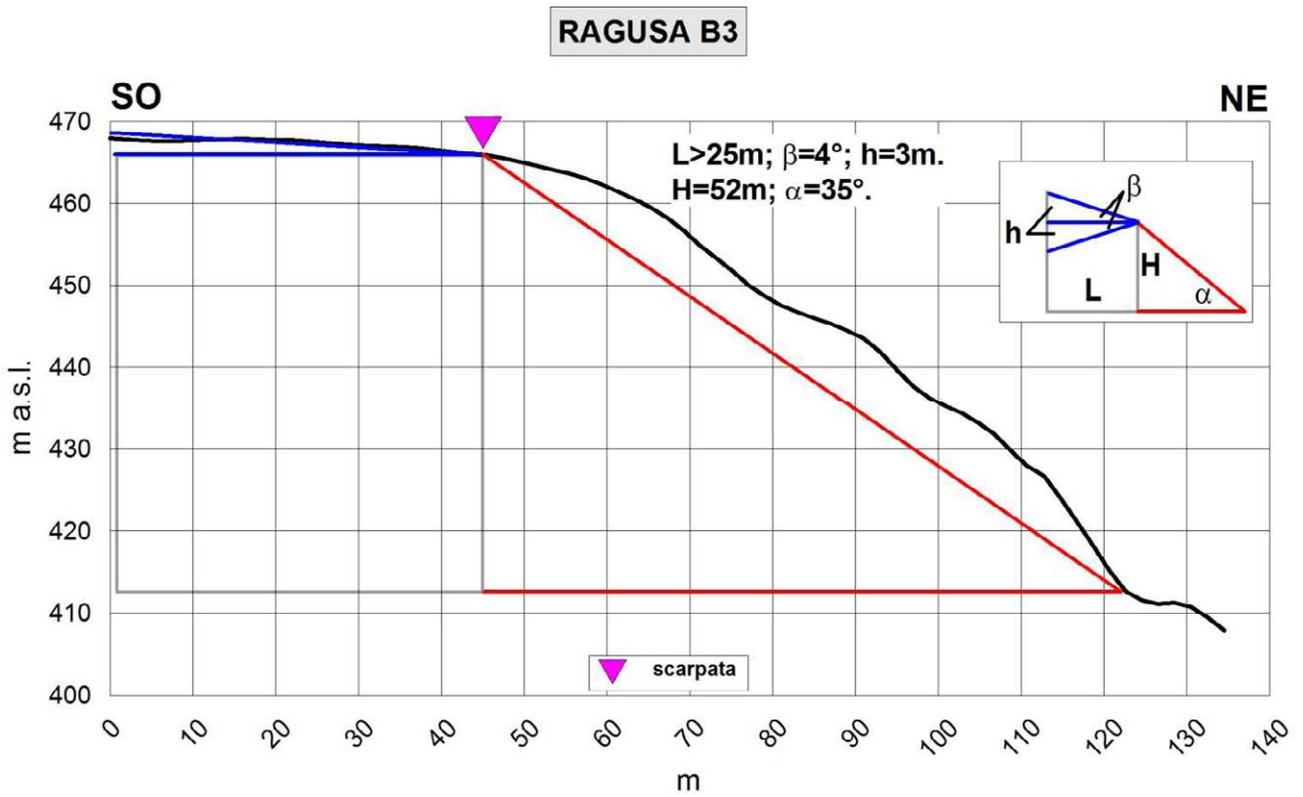


Figura 8.25 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Ragusa B3.



Figura 8.26 – Immagine Street View (Google Earth™) della scarpata B3.

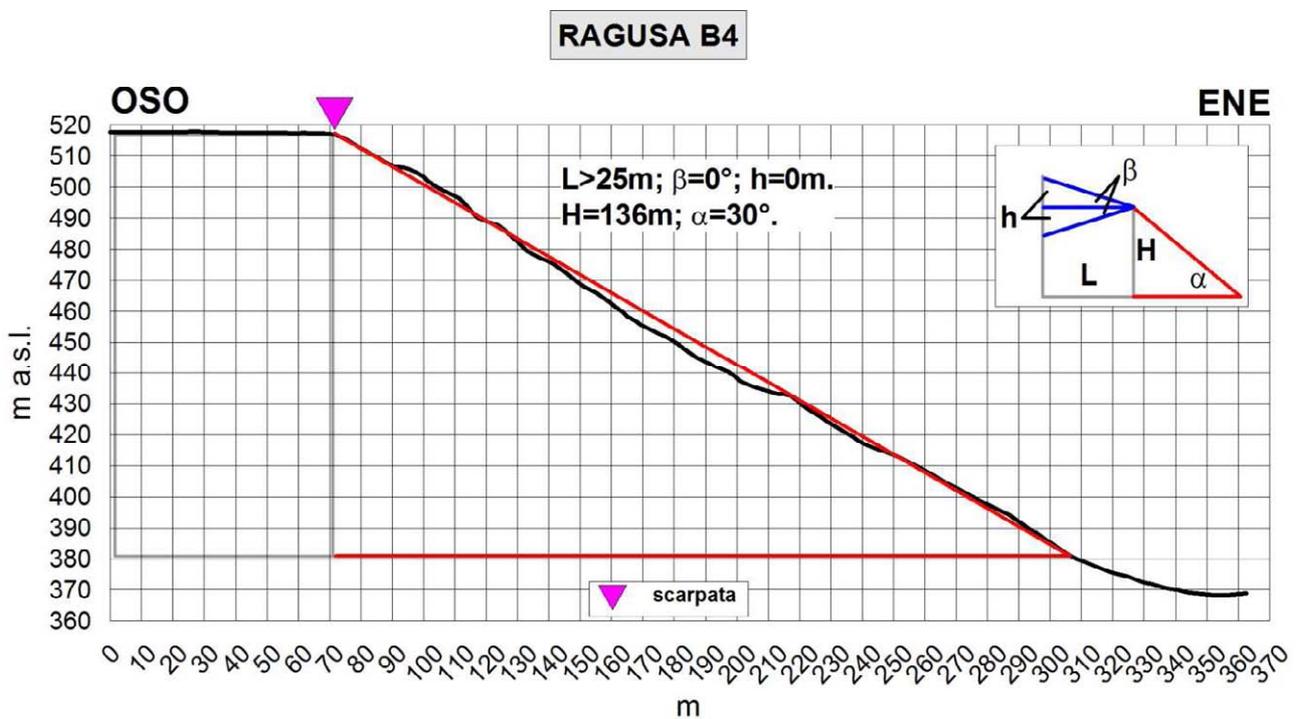


Figura 8.27 – Immagine Street View (Google Earth™) della scarpata B4.

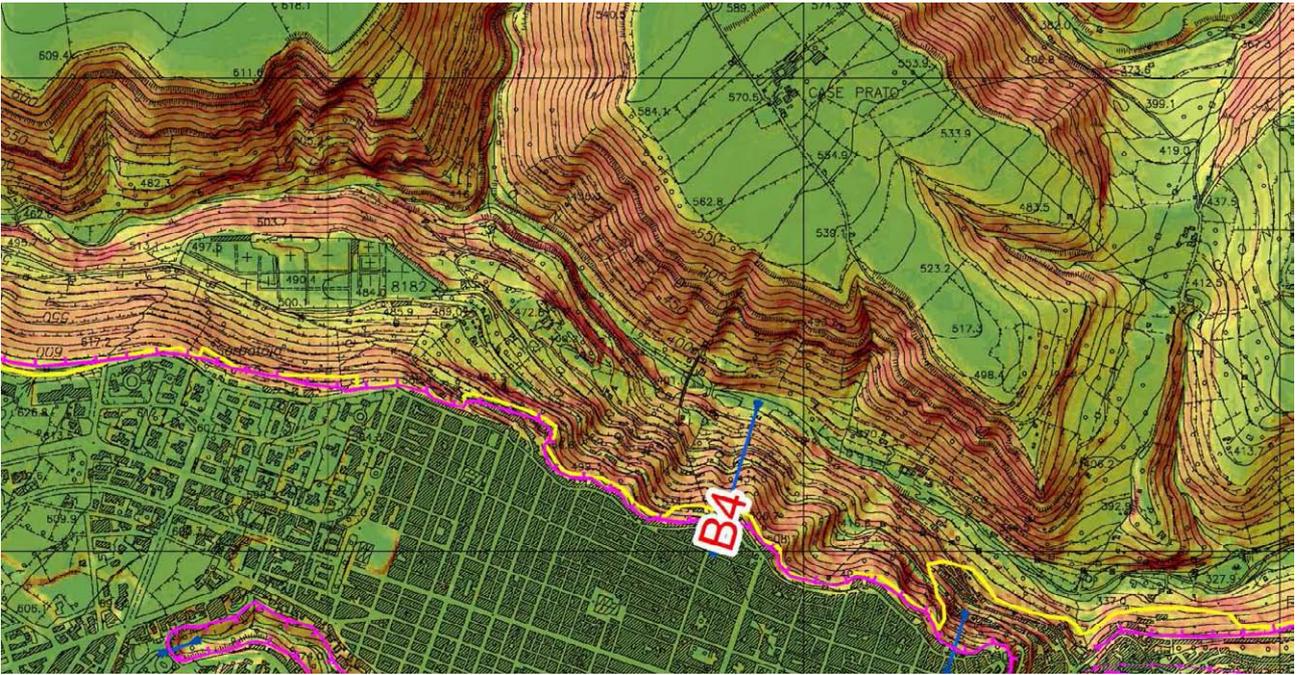


Figura 8.28 – Dettaglio della sezione ricostruita in corrispondenza della scarpata Ragusa B4.

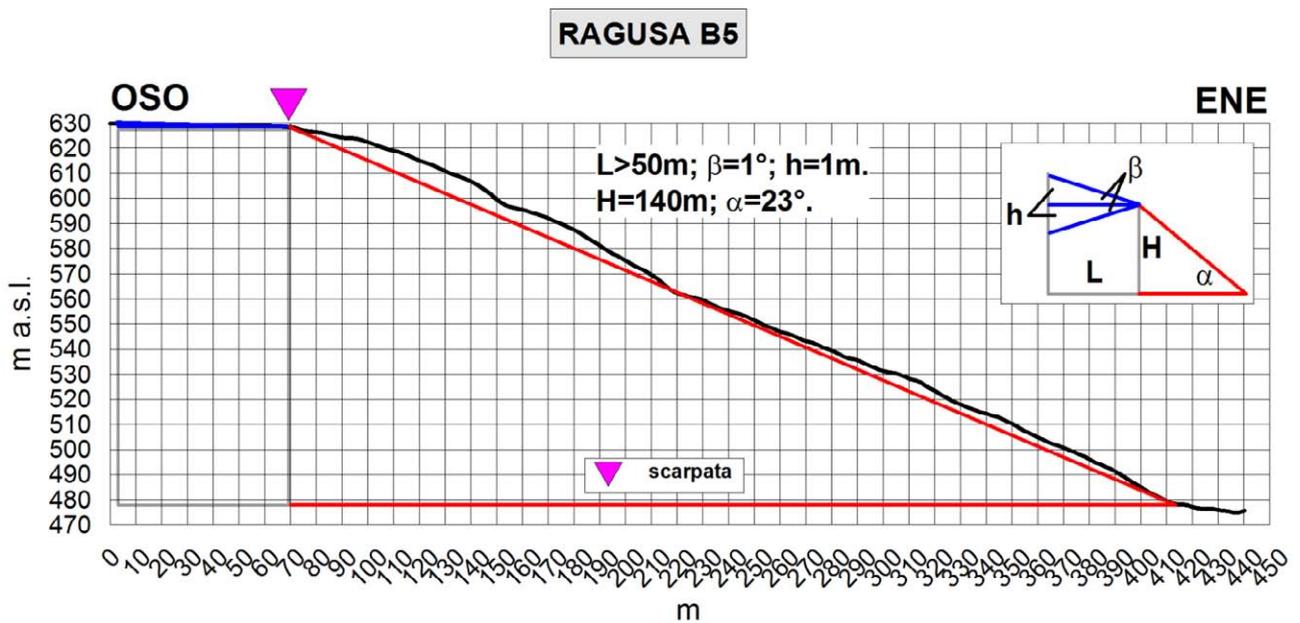


Figura 8.29 – Dettaglio della sezione ricostruita in corrispondenza della scarpata Ragusa B5.

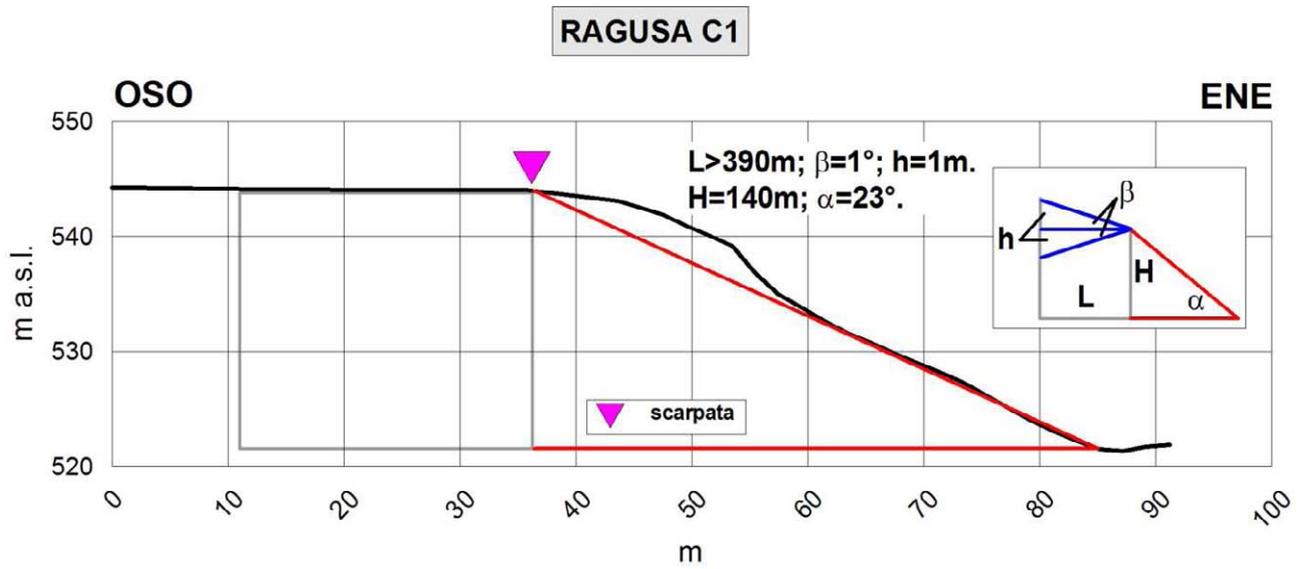


Figura 8.30 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Ragusa C1.

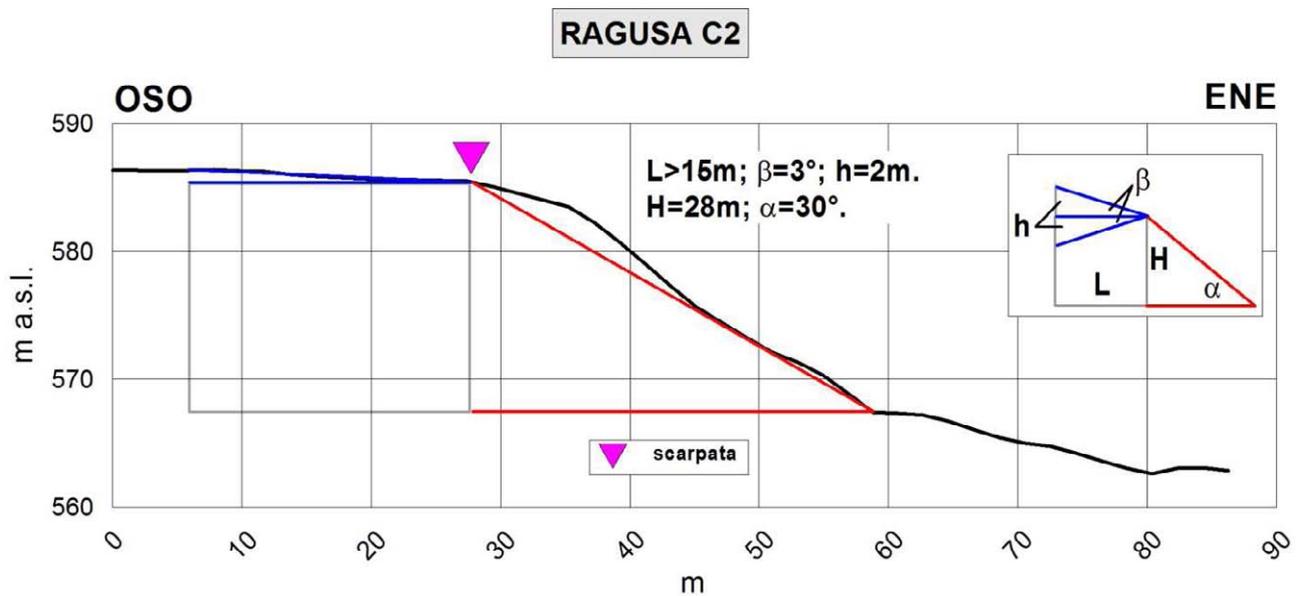


Figura 8.31 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Ragusa C2.

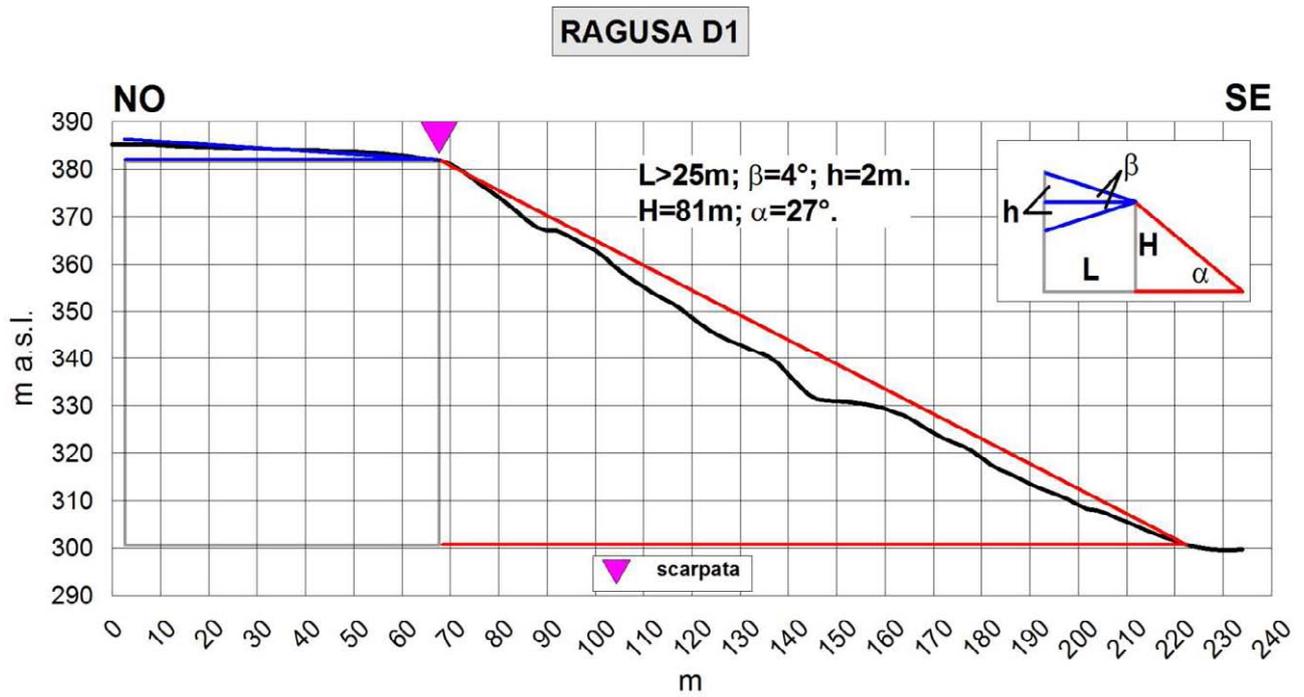


Figura 8.32 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Ragusa D1.

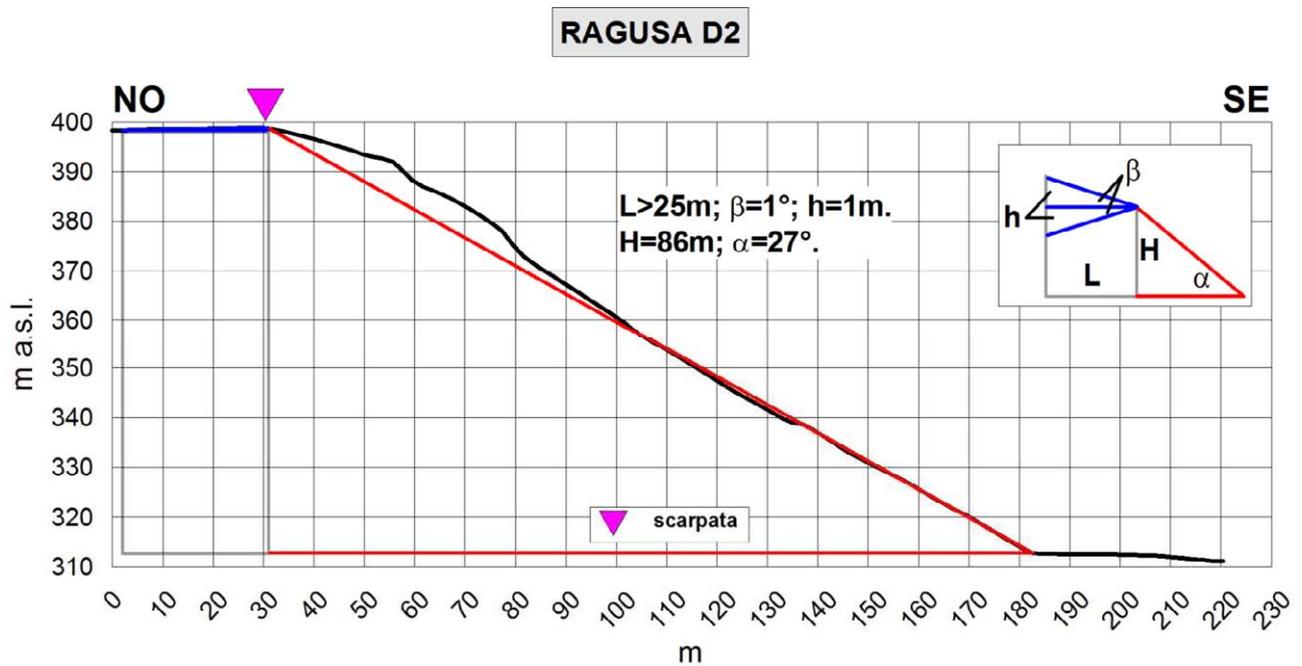


Figura 8.33 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Ragusa D2.

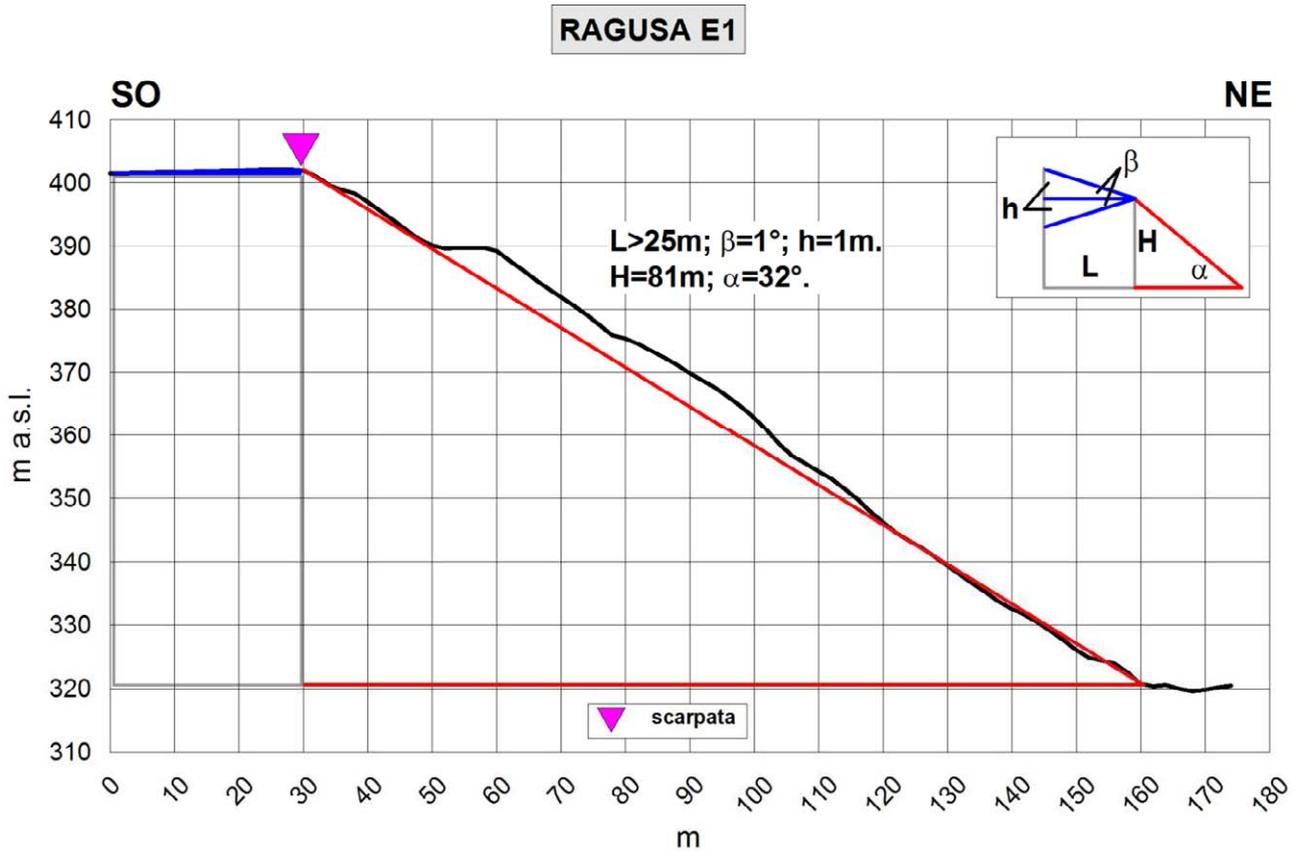


Figura 8.34 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Ragusa E1.

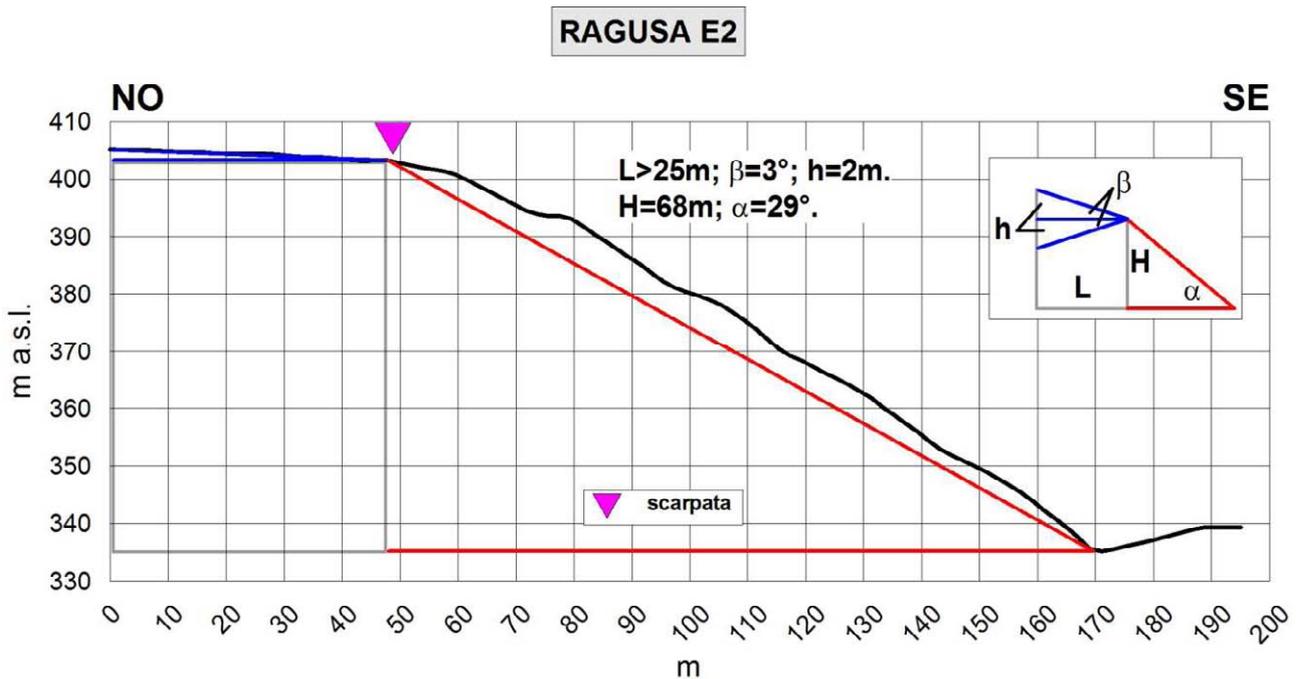


Figura 8.35 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Ragusa E2.

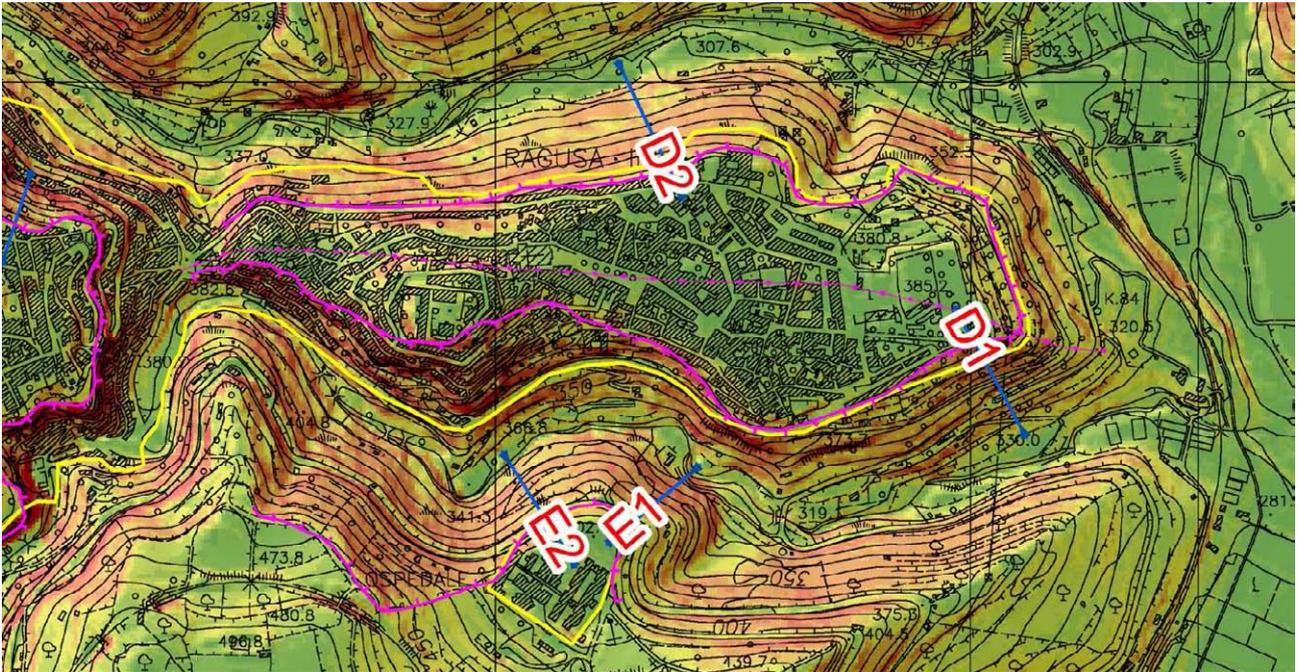


Figura 8.36 – Immagine di dettaglio delle Scarpate D ed E

Nella tabella 8.2 sotto riportata viene indicata la corrispondenza fra profili topografici e codici identificativi in banca dati.

Profilo topografico	Codice identificativo in banca dati
A1	65
A2	66
A3	67
A4	84
A5	68
A6	69
A7	70
A8	82
A9	83
B1	71
B2	72
B3	73
B4	74
B5	75
C1	76
C2	77
D1	78
D2	79
E1	81
E2	80

Tabella 8.2 - Corrispondenza fra profili topografici e codici identificativi in banca dati.

8.4. Carta delle frequenze

La maggior parte dei punti di misura ubicati nel centro abitato di Ragusa mostrano la presenza di fenomeni di possibile amplificazione del moto sismico del suolo a bassa frequenza (circa 0.2 -2.0 Hz) e quindi di scarso interesse ingegneristico se non per manufatti di grandi dimensioni. Inoltre in alcune misure sono presenti fenomeni di possibile amplificazione limitata del moto sismico a media frequenza (2.5 – 6 Hz). Poche misure mostrano infine fenomeni di risonanza anche a maggiori frequenze, fino a 20 Hz.

Tutte le frequenze riconosciute sono state riportate in una mappa delle frequenze di vibrazione misurate in sito attraverso l'esecuzione di prove HVSr (Fig. 8.35).

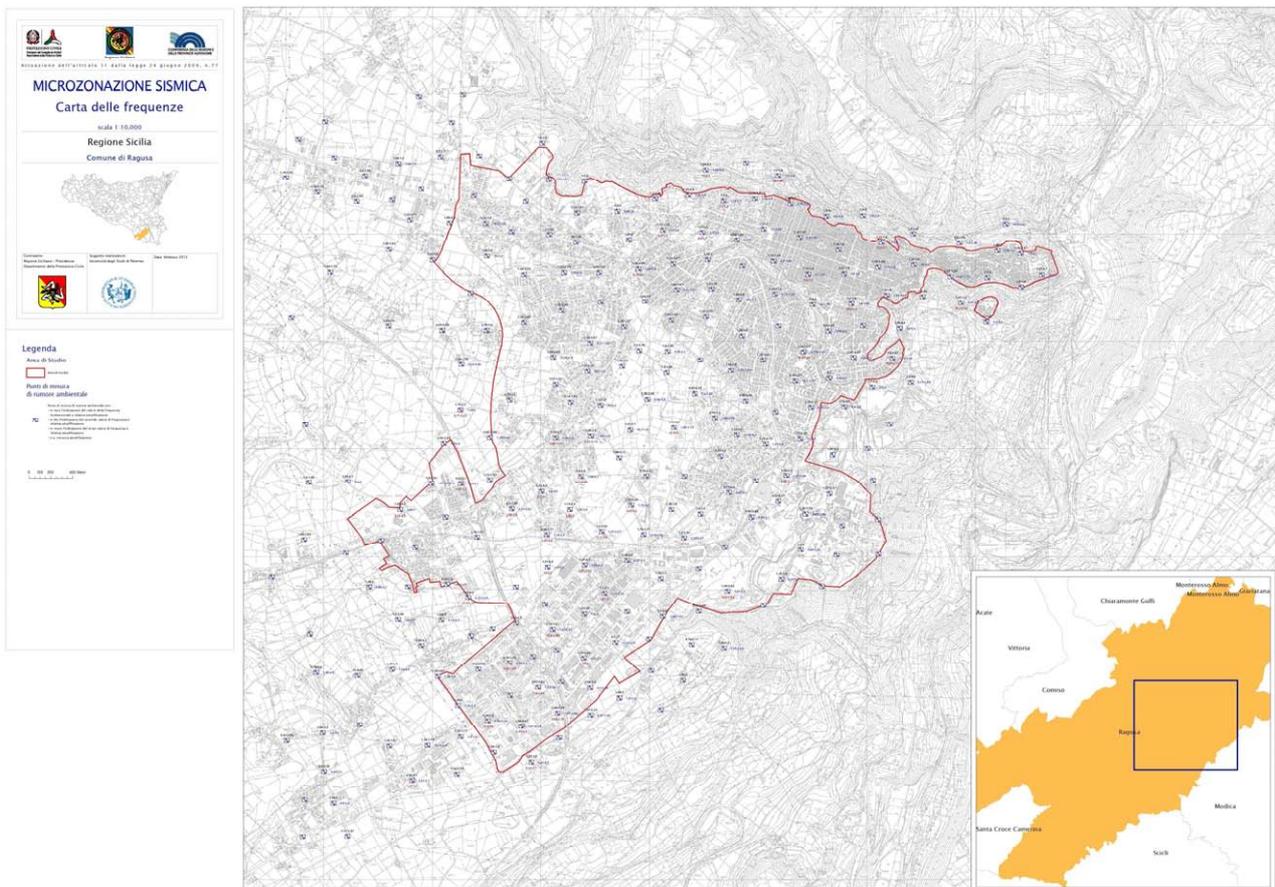


Figura 8.37 – Riduzione della carta delle frequenze delle aree perimetrare relative ai dei centri urbanizzati del Comune di Ragusa (v. PDF cartella plot in banca dati).

9. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DI DANNI PER EVENTI PASSATI

Il tremendo terremoto che distrusse la Sicilia orientale l'11 gennaio del 1693 causò la distruzione quasi totale dell'intera città, mietendo più di cinquemila vittime. La ricostruzione, avvenuta nel XVIII secolo, la divise in due grandi quartieri: da una parte Ragusa superiore, situata sull'altopiano, dall'altra Ragusa Ibla, sorta dalle rovine dell'antica città e ricostruita secondo l'antico impianto medioevale.

Nell'area del territorio comunale di Ragusa non sono presenti dati macrosismici, con una densità spaziale sufficiente per distinguere aree con diversa risposta sismica locale.

10. BIBLIOGRAFIA

AKI K. (1964) - *A note on the use of microseisms in determining the shallow structures of the earth's crust*. *Geophysics*, 29, 665–666.

ALBARELLO D., CESI C., EULILLI V., GUERRINI F., LUNEDI E., PAOLUCCI E., PILEGGI D., PUZZILLI L.M. (2010) - *The contribution of the ambient vibration prospecting in seismic microzoning: an example from the area damaged by the 26th April 2009 l'Aquila (Italy) earthquake*. *Boll. Geofis. Teor. Appl.*, Vol. 52, n.3, pp. 513-538.

AMATO, A., AZZARA, R., BASILI, A., CHIARABBA, C., COCCO, M., DI BONA, M. & SELVAGGI, G., 1995: *Main shock and aftershocks of the December 13, 1990, Eastern Sicily earthquake*, *Annali di Geofisica*, 38 (2), 255-266.

ANTONELLI M., FRANCIOSI R., PEZZI G., QUERCI A., RONCO G.P. & VEZZANI F. (1988) – *Paleogeographic evolution and structural setting of the northern side of the Sicily Channel*. *Mem. Soc. Geol. It.*, 41, 141-157, 5 ff., 3 tavv.

AZZARO R. & BARBANO M.S. (2000a) – *Analysis of seismicity of southeastern Sicily: proposal of a tectonic interpretation*. *Annali di geofisica*, 43 (1), 171-188.

AZZARO R. & BARBANO M.S. (2000b) – *Contributo alla compilazione della carta delle faglie attive della Sicilia*. *Le ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica (1996-99)*, CNR – Gruppo Nazionale per la difesa dai Terremoti, Roma 227-235.

AZZARO R. & BARBANO M.S. (2000c) – *Seismogenic features of SE Sicily and scenario earthquakes for Catania*. *The Catania project: earthquake damage scenarios for high risk area in the Mediterranean*, CNR – Gruppo Nazionale per la difesa dai Terremoti, Roma, 9-13.

AZZARO R., BARBANO M.S., RIGANO R. & ANTICHI B. (2000) – *Contributo alla revisione delle zone sismogenetiche della Sicilia*. *Le ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica (1996-99)*, CNR – Gruppo Nazionale per la difesa dai Terremoti, Roma.

BARBANO M.S. & RIGANO R. (2001) – *Earthquake sources and seismic hazard in south-eastern Sicily*. *Annali di geofisica*, 44 (4), 723-738.

BARNETT J.A.M., MORTIMER J., RIPPON J.H., WALSH J.J. & WATTERSON J. (1987) – *Displacement geometry in the volume containing a single normal fault*. *A.A.P.G. Bulletin*, Vol. 71-8, 925-937.

BASILI R., G., VALENSISE, P., VANNOLI, P., BURRATO, U., FRACASSI, S., MARIANO, M.M., TIBERTI, E., BOSCHI (2008), *The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology*, *Tectonophysics*, doi: 10.1016/j.tecto.2007.04.014.

BENDER B., AND PERKINS, D.M.,(1987). *SEISRISK III: a computer program for seismic hazard estimation*. *U.S. Geological Survey Bulletin*, 1772, 48 pp.

BEN-MENAHEN A. E SINGH S.J., 1981. *Seismic Waves and Sources*, Springer-Verlag, New York.

- BEN AVRAHAM Z. & GRASSO M. (1990) – *Collisional zone segmentation in Sicily and surrounding areas in the Central Mediterranean*. Annales Tectonicæ, special issue – Vol. IV – n. 2: 131-139.
- BIANCA M., MONACO C., TORTORICI L. & CERNOBORI L. (1999) - *Quaternary normal faulting in southeastern Sicily (Italy). A seismic source for the 1693 large earthquake*. Geophys. J. Int., 139, 370-394.
- BIANCHI F., CARBONE S., GRASSO M., INVERNIZZI G., LENTINI F., LONGARETTI G., MERLINI S. & MOSTARDINI F. (1987) – *Sicilia orientale: profilo geologico Nebrodi-Iblei*. Mem. Soc. Geol. It., 38, 429-458, 8ff., 1 tav. f.t.
- BILLI A., PORRECA M., FACCENNA C. & MATTEI M. (2006) – *Evoluzione non-cilindrica del rialzo periferico dell'avampaese Ibleo (Sicilia) da dati magnetici e strutturali*. Rend. Soc. Geol. It., 2, Nuova Serie, 82.
- BOSCHI E. (1994) - *“Sismicità storica della Sicilia: le ricerche dell’Istit. Naz. Geofisica dal 1987 al 1994”*. Atti “1° Congresso Reg.le dell’ordine dei Geologi di Sicilia”, Marina di Ragusa (Rg).
- BUROLLET P.F., MUGNIOT J.M. & SWEENEY P. (1978) – *The geology of the Pelagian block: the margin and basins off southern Tunisia and Tripolitania*. The ocean basins and margins. The western Mediterranean. Vol. 4/B, 330-359.
- CARBONE S. & LENTINI F. (1981) – *Rapporti tra vulcanesimo miocenico e tettonica nel settore orientale dei M. Iblei (Sicilia sud-orientale)*. Rend. Soc. Geol. It., 4, 245-248, 2 ff.
- CARBONE S., COSENTINO M., GRASSO M., LENTINI F., LOMBARDO G. & PATANÈ G. (1982) – *Elementi per una prima valutazione dei caratteri sismotettonici dell'avampaese ibleo (Sicilia sud-orientale)*. Mem. Soc. Geol. It., 24, 507-520, 6 ff.
- CARBONE S., GRASSO M., LENTINI F. & PEDLEY H. M. (1987) – *The distribution and palaeoenvironment of early Miocene phosphorites of southeast Sicily and their relationships with the maltese phosphorites*. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 58: 35-53.
- CARBONE S., GRASSO M. & LENTINI F. (1987) – *Lineamenti geologici del Plateau Ibleo (Sicilia S.E.). Presentazione delle carte geologiche*. Mem. Soc. Geol. It., 38, 127-135.
- CASHMAN S. & CASHMAN K. (2000) - *Cataclasis and deformation band formation in unconsolidated marine terrace sand, Humboldt County, California*. Geology, 28, 111–114.
- CATALANO R. & D'ARGENIO B. (1982) - *Schema Geologico della Sicilia*. In CATALANO R & D'ARGENIO (eds) : “Guida alla Geologia della Sicilia Occidentale”, Guide geologiche Regionali, Mem. Soc. Geol. It. Suppl. A, 24, 9-41.
- CATALANO R., FRANCHINO A., MERLINI S. & SULLI A. (2000) – *Central western Sicily structural setting interpreted from seismic reflection profiles*. Mem. Soc. Geol. It., 55, 5-16, 8 ff., 1 tab., 2 tavv. f.t.

CATALANO S., DE GUIDI G., LANZAFAME G., MONACO C., TORRISI S., TORTORICI G. & TORTORICI L. (2006) – *Inversione tettonica positiva tardo-quadernaria nel Plateau Ibleo (Sicilia SE)*. Rend. Soc. Geol. It., 2, Nuova Serie, 118-120, 1 f.

CATALANO S., ROMAGNOLI G., DE GUIDI G., TORRISI S., TORTORICI G. & TORTORICI L. (2007) – *Evoluzione neogenico-quadernaria della Linea del Tellaro: relazioni con la dinamica del Plateau Ibleo (Sicilia SE)*. Rend. Soc. Geol. It., 2, Nuova Serie, 118-120, 1 fig.

CATALANO S., ROMAGNOLI G., DE GUIDI G., TORRISI S., TORTORICI G. & TORTORICI L. (2008) – *The migration of plate boundaries in SE Sicily: influence on the large-scale kinematic model of the African promontory in southern Italy*. Tectonophysics 449, 41-62.

CORNELL, C. A., (1968)- *Engineering seismic risk analysis*. Bull. Seism. Soc. Am., 58, 1583-1606.

D'ADDEZIO G. & VALENSISE G. (1991) – *Metodologie per l'individuazione della struttura sismogenetica responsabile del terremoto del 13 dicembre 1990*. In: "Contributi allo Studio del Terremoto della Sicilia Orientale del 13 Dicembre 1990", edited by E. BOSCHI and A. BASILI, Publication of Istituto Nazionale di Geofisica, Roma, No. 537, 115-125.

FÄH D., KIND F. AND GIARDINI D. (2002)- *Inversion of local S-wave velocity structures from average H/V ratios, and their use for the estimation of site effects*. Journal of Seismology, 7, 449-467.

FINETTI I.R. & DEL BEN A. (1996) – *Crustal tectono-stratigraphic setting of the Pelagian foreland from new CROP seismic data*. In: Finetti I.R. (Ed.), CROP PROJECT: Deep Seismic Exploration of the Central Mediterranean and Italy, pp. 581-595. Chapter 26.

GELI L., BARD P.Y., JULLIEN B. (1988). *The effect of topography on earthquake ground motion: a review and new result*. Bull. Seism. Soc. of America, Vol.78, No.1.

GHISSETTI 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, 57-102.

GHISSETTI F. & VEZZANI L. (1981) – *Contribution of structural analysis to understanding the geodynamic evolution of the Calabrian arc (Southern Italy)*. Journal Structural Geology, 3 (4), 371-381.

GRASSO M. (1997) - *Carta geologica del settore centro-meridionale dell'altopiano ibleo*. Università di Catania, Istituto di geologia e geofisica.

GRASSO M., PHILPS B., REUTHER C.D., GAROFALO P., STAMILLA R., ANFUSO G., DONZELLA G. & CULTRONE G. (2000) – *Pliocene-Pleistocene tectonics on the western margin of the Hyblean Plateau and Vittoria Plain (SE Sicily)*. Mem. Soc. Geol. It., 55, 35-44, 9 ff.

GRASSO M., PEDLEY H.M., MANISCALCO R. & RUGGIERI R. (2000) – *Geological context and explanatory notes of the «Carta Geologica del settore centro-meridionale dell'Altopiano Ibleo»*. Mem. Soc. Geol. It., 55, 45-52, 1 tav. f.t.

GRASSO M., REUTHER C.D., BAUMANN H. & BECKER A. (1986) – *Shallow crustal stress and neotectonic framework of the Malta Platform and the Southeastern Pantelleria Rift*. Geol. Romana, 25, 191-212.

GRASSO M. & REUTHER C.D. (1988) – *The western margin of the Hyblean Plateau: a neotectonic transform system on the S.E. Sicilian foreland*. Annales Tectonicae, 2, 107-120.

GRUPPO DI LAVORO MPS (2004)- Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici.

GRUPPO DI LAVORO MS (2008) *Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Conferenza delle Regioni e delle Province autonome* – Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 vol. e Cdrom)

GUIDOBONI, E., FERRARI, G., MARIOTTI, D., COMASTRI, A., TARABUSI, G., VALENSISE, G. (2007), *Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (CFTI)*, 461 B.C. - 1997 and Mediterranean Area 760 B.C. - 1500, <http://storing.ingv.it/cfti4med/>.

KAFKA F.T. & KIRKBRIDE R.K. (1959) – *The Ragusa oil field, Sicily*. Fifth World Petr. Congr. Sect. 1/12. New York.

INGV, SEZIONE DI PALERMO (2004) - *“Piano di Tutela delle Acque della Regione Sicilia”* Palermo.

LENTINI F., DI GERONIMO I. GRASSO M., CARBONE S., SCIUTO F., SCAMARDA G., CUGNO G., IOZZIA S. ROMEO M. (1984) - *Carta geologica della Sicilia sud-orientale*. Scala 1:100.000. SELCA, Firenze

LOCATI, M., CAMASSI, R., E STUCCHI, M., (2011) - (a cura di), DBMI11, *la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano*. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>.

LONGARETTI G. & ROCCHI S. (1990) – *Il magmatismo dell'Avampese Ibleo (Sicilia Orientale) tra il Trias e il Quaternario: dati stratigrafici e petrologici di sottosuolo*. Mem. Soc. Geol. It., 45, 911-925, 10 ff., 5 tabb. 1 tav.

MALINVERNO A. & RYAN W.B.F. (1986) – *Extension in the Tyrrhenian Sea and shortening in the Apennines as results of arc migration driven by sinking of the lithosphere*. Tectonics, 5, 227-245.

MONACO C., ALICATA A., DE GUIDI G. & NUCIFORA S. (2003) - *Tettonica trascorrente pleistocenica lungo il margine occidentale del Plateau Ibleo (Sicilia sud-orientale)*. Boll. Soc. Geol. It., 122, 355-364, 10 ff.

MUSUMECI C., PATANÈ D., SCARFI L. & GRESTA S. (2005) – *Stress directions and shear-wave anisotropy: observations from local earthquakes in Southeastern Sicily, Italy*. Bull. Seism. Soc. Amer. 95 (4), 1359-1374.

MYERS R. & AYDIN A. (2004) – *The evolution of faults by shearing across joint zones in sandstone*. Journal of Structural Geology 26, 947-966.

NAKAMURA, Y. (1989) - *A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface*. Quarterly Report of RTRI, 30 (1), 25-33.

NIGRO F. & RENDA P. (2000) – *Un modello di evoluzione tettono-sedimentaria dell'avanfossa neogenica siciliana*. Boll. Soc. Geol. It., 119, 667-686.

PATACCA E., SCANDONE P., GIUNTA G. & LIGUORI V. (1979) - *Mesozoic paleotectonic evolution of the Ragusa zone (Southeastern Sicily)*. Geol. Romana, 18, 331-369.

PATANÈ G. & IMPOSA S. (1987) – *Tentativo di applicazione di un modello reologico per l'Avampese Ibleo ed aree limitrofe*. Mem. Soc. Geol. It., 38, 341-359, 8 ff., 1 tab.

PETERSON, J. (1993), *Observations and modeling of seismic background noise*, Open-File Report, 93-322, US Geological Survey, Albuquerque, NM.

PIATANESI A. & TINTI S. (1998) – *A revision of 1693 Sicily earthquake and tsunamis*. J. Geophys. Res., 103 (B2), 2749-2758.

REUTHER C.D., AVRAHAM Z.B. & GRASSO M. (1993) - *Origin and role of major strike-slip transfers during plate collision in the central Mediterranean*. Terra Nova, 5, 249-257.

RIGO M. & BARBIERI R. (1959) – *Stratigrafia pratica applicata in Sicilia*. Boll. Serv. Geol. Ital., 80, 1-92.

ROMAGNOLI G., CATALANO S., RIGANO A., TORRISI S., TORTORICI G. & TORTORICI L. (2008) – *Tettonica estensionale quaternaria del Plateau Ibleo*. Rend. online S.G.I., 1, Note Brevi, 148-152, 3 figg.

ROVIDA, A., CAMASSI, R., GASPERINI, P., E STUCCHI, M. (2011) -(a cura di) *CPTI11, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani*. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>

RUGGIERI R. (1997) – *Il Carsismo negli Iblei (Sicilia sud-orientale)*. Atti del Convegno “Il carsismo nell'area mediterranea”. Supplemento al n. 23 di Thalassia Salentina: 47-55.

RUGGIERI R. (2000) - *Studio sulle risorse idriche disponibili della Provincia di Ragusa*. Regione Siciliana, Ufficio del Genio Civile di Ragusa

RUGGIERI R. & GRASSO M., (2000) – *Caratteristiche stratigrafiche e strutturali dell'altipiano Ibleo ragusano e sue implicazioni sulla morfogenesi carsica*. Atti del 1° Seminario di Studi sul carsismo negli Iblei e nell'area sud Mediterranea. Speleologia Iblea, Vol. 8: 19-35.

SESAME Project (2004) - *Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations. Measurements, processing and interpretation*, WP12, deliverable no. D23.12, http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/Papers/HV_User_Guidelines.pdf.

TORTORICI G., DE GUIDI G. & STURIALE G. (2006) – *Evoluzione tettonica quaternaria del margine settentrionale del Plateau Ibleo (Sicilia sud-orientale)*. Boll. Soc. Geol. It., 125, 21-37, 13 ff.

YUNCHA, Z.A., LUZON, F. (2000) - *On the horizontal-to-vertical spectral ratio in sedimentary basins*. Bulletin of the Seismological Society of America. 90, 4, 1101-1106.

WATHELET M., JONGMANS D., OHRNBERGER M. (2004) *Surface-wave inversion using a direct search algorithm and its application to ambient vibration measurements*. Near Surface Geophysics, 2004, 211-221.

Siti web consultati:

www.comune.Ragusa.gov.it

www.ingv.it

www.isprambiente.gov.it

www.sitr.regione.sicilia.it/pai/

www.regione.sicilia.it/presidenza/protezionecivile/