

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

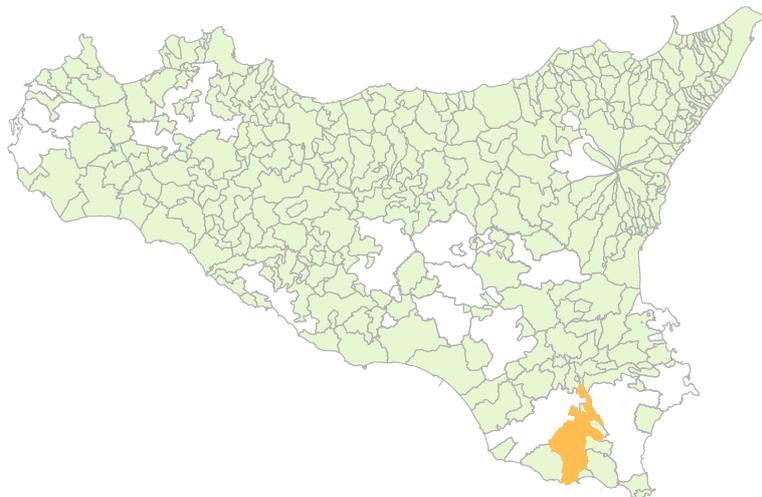
# MICROZONAZIONE SISMICA

## Relazione Illustrativa

### MS Livello 1

Regione Sicilia

Comune di Modica



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: Dicembre 2012</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------

## INDICE

	<b>Premessa</b>	<b>Pag. 4</b>
<b>1.</b>	<b>Introduzione</b>	<b>5</b>
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>	8
1.4	<i>Elenco archivi consultati</i>	9
1.5	<i>Definizione dell'area da sottoporre a microzonazione</i>	9
<b>2.</b>	<b>Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento</b>	<b>10</b>
2.1	<i>Sismicità storica della Sicilia Sud –Orientale</i>	10
2.2	<i>Sismicità storica e pericolosità sismica nel comune di Modica</i>	14
2.3	<i>Faglie attive</i>	21
2.4	<i>Pericolosità geo-idrologica</i>	22
<b>3.</b>	<b>Assetto geologico e geomorfologico</b>	<b>23</b>
3.1	<i>Inquadramento geologico</i>	23
3.2	<i>Assetto Tettonico</i>	24
3.3	<i>Caratteri morfologici, stratigrafici e tettonici del territorio di Modica</i>	25
3.3.1	<i>Caratteri morfologici</i>	25
3.3.2	<i>Litostratigrafia</i>	30
3.3.2.1	<i>Formazione Ragusa</i>	31
3.3.2.2	<i>Formazione Tellaro</i>	32
3.3.2.3	<i>Alluvioni: ghiaie, limi, sabbie e sabbie limose</i>	32
3.3.2.4	<i>Coperture</i>	32
3.3.3	<i>Lineamenti tettonici di Modica</i>	34
<b>4.</b>	<b>Dati geotecnici e geofisici</b>	<b>36</b>
4.1	<i>Il database</i>	36
4.2	<i>Unità geologico – litotecniche</i>	38
4.3	<i>Indagini geofisiche precedenti</i>	39
4.4	<i>Il metodo HVSR</i>	41
4.5	<i>Indagini HVSR</i>	44
<b>5.</b>	<b>Modello del sottosuolo</b>	<b>49</b>
5.1	<i>Il modello e le sezioni rappresentative del sottosuolo</i>	49
5.2	<i>Stime della profondità del tetto del bedrock sismico ottenute da misure HVSR</i>	50
<b>6.</b>	<b>Interpretazioni e incertezze</b>	<b>52</b>
6.1	<i>Incertezze sul modello geologico tecnico del sottosuolo</i>	52
6.2	<i>Breve analisi dei vantaggi e svantaggi dei metodi d'indagine con microtremori</i>	52
6.3	<i>Incertezze sulle stime della profondità del bedrock sismico</i>	53
<b>7.</b>	<b>Metodologie di elaborazione e risultati</b>	<b>55</b>
7.1	<i>Criteri per l'elaborazione della carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica</i>	55
7.2	<i>Standard di archiviazione informatica degli elementi morfologici</i>	56

7.3	<i>Elementi di amplificazione topografica</i>	57
7.4	<i>Criteri adottati per la costruzione della carta delle frequenze</i>	62
<b>8.</b>	<b>Elaborati cartografici</b>	<b>63</b>
8.1	<i>Carta delle indagini</i>	63
8.2	<i>Carta Geologico – tecnica</i>	64
8.2.1	<i>Il substrato geologico</i>	64
8.2.2	<i>I terreni di copertura</i>	64
8.2.3	<i>Dissesti</i>	65
8.3	<i>Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 1)</i>	68
8.3.1	<i>Profili topografici di dettaglio</i>	71
8.4	<i>Carta delle frequenze</i>	95
<b>9.</b>	<b>Confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati</b>	<b>96</b>
<b>10.</b>	<b>Bibliografia</b>	<b>97</b>
<b>11.</b>	<b>Allegati</b>	<b>103</b>

## 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 Modica (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 utilizzato già in fase di pianificazione urbanistica. Risulta essere, quindi, un supporto fondamentale per indirizzare le scelte urbanistiche comunali 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 MS 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 dal testo "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 MS, 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 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 Modica ubicato nel settore centro-meridionale dell'altipiano Ibleo (Sicilia sud-orientale), è tipicamente collinare, ha una superficie di circa 290 Km<sup>2</sup> e una popolazione di circa 55.400 abitanti (01/01/2011 – ISTAT). La densità demografica è pari a 189,7 abitanti per chilometro quadrato.

Il territorio comunale (Fig. 1.1) confina con quello di Ragusa, Buscemi (SR), Modica (RG), Ragusa, Scicli (RG), Pozzallo (RG), Ispica (SR), Rosolini (SR), Noto (SR) e Palazzolo Acreide (SR).

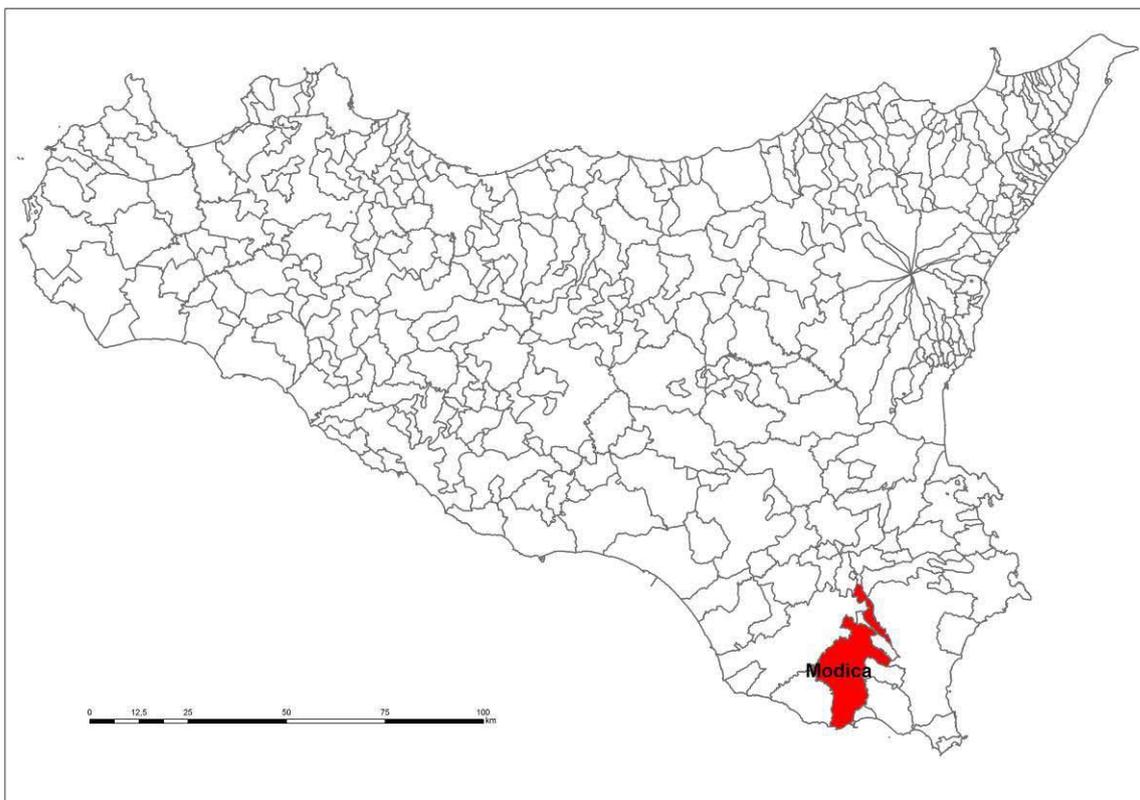


Fig. 1.1 - Ubicazione dell'area.

La città di Modica dista circa 15 Km dal capoluogo. Sorge alle pendici della Serra Meta, si estende in parte su un'area pianeggiante, in parte sui versanti di quattro alture (a nord "il Pizzo", a sud "Monserrato" ad est "Giganta" ed "Idria" ad ovest) ed all'interno di due profonde incisioni torrentizie localmente note come "cave" (Fig. 1.2).

Dal punto di vista idrografico il territorio comunale ricade in massima parte nel distretto idrografico del Torrente Modica ed è solcato da numerosi torrenti che nel tempo hanno generato profonde incisioni dando luogo a veri e propri canyon.

In queste depressioni scorrono diversi corsi d'acqua, a carattere torrentizio, "Pisciotto" "Passo gatto" e "S. Liberale". Il torrente Pisciotto scorre in direzione NO-SE e nel tratto terminale prende il nome di " S. Francesco La Cava". Il torrente Passo di Gatto invece scorre in direzione NE-SO e nel tratto terminale prende il nome di torrente S. Maria. Questi ultimi si congiungono all'interno del centro abitato in piazza Principe di Napoli e quindi subito dopo si uniscono con il torrente S. Liberale che proviene da NE. Questi torrenti nella parte più bassa del centro urbano confluiscono a formare il torrente Modicano. L'alveo di quest'ultimo ricoperto nei primi anni del novecento, in seguito a diverse alluvioni disastrose, (Fig. 1.3) viene utilizzato come strada (Corso Umberto I), che costituisce l'asse principale della città.

Il comune di Modica ha due frazioni Frigintini e Marina di Modica.



Fig.1.2 – Veduta del centro urbano di Modica.

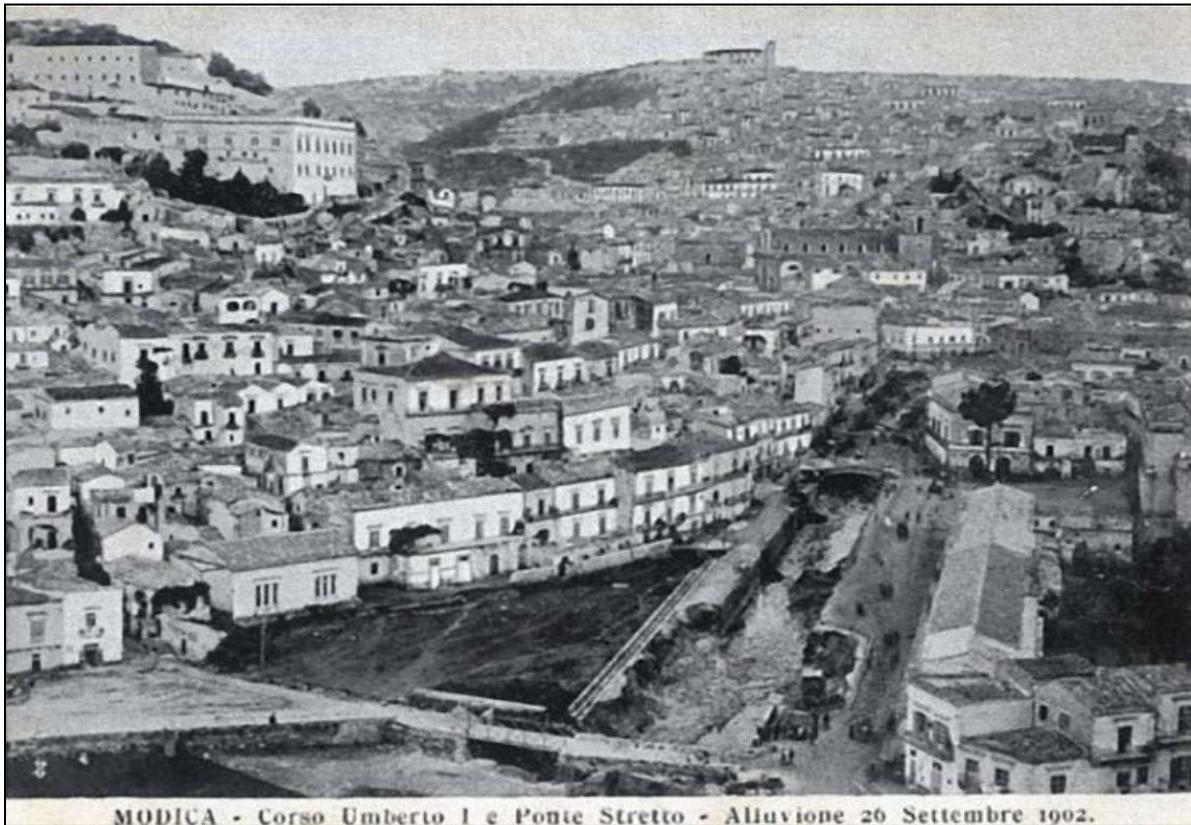


Fig. 1.3- Torrente Modicano dopo la disastrosa alluvione del 1902

### 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. 648090, n. 648100, n.648130 e n. 648140
	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 Modica da sottoporre agli studi di MS di primo livello, in assenza di indicazioni da parte dell'amministrazione comunale, è stato stabilito nella riunione tecnica del 24/04/2012 fra il Dipartimento Regionale della Protezione Civile e l'Università degli Studi di Palermo di procedere alla microzonazione sismica del centro urbano principale e degli immediati dintorni (Fig. 1.4)

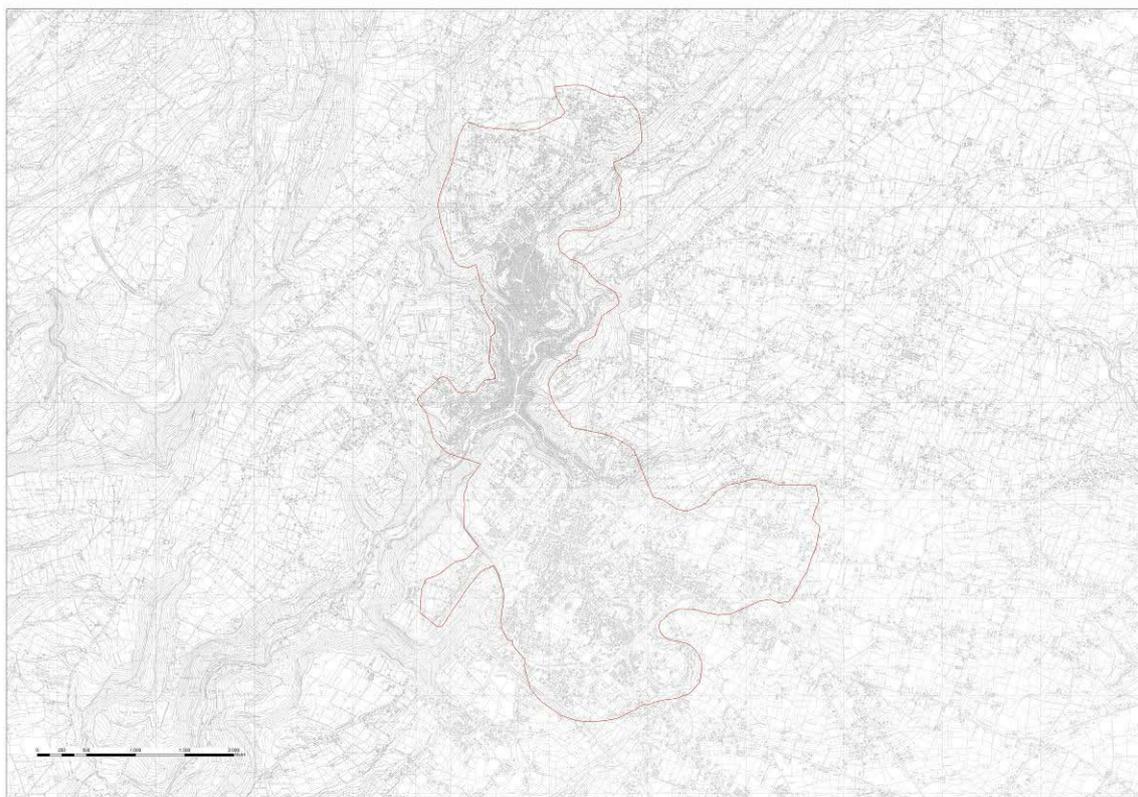


Fig. 1.4 – Comune di Modica: delimitazione dell'area sottoposta a microzonazione sismica.

## 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.

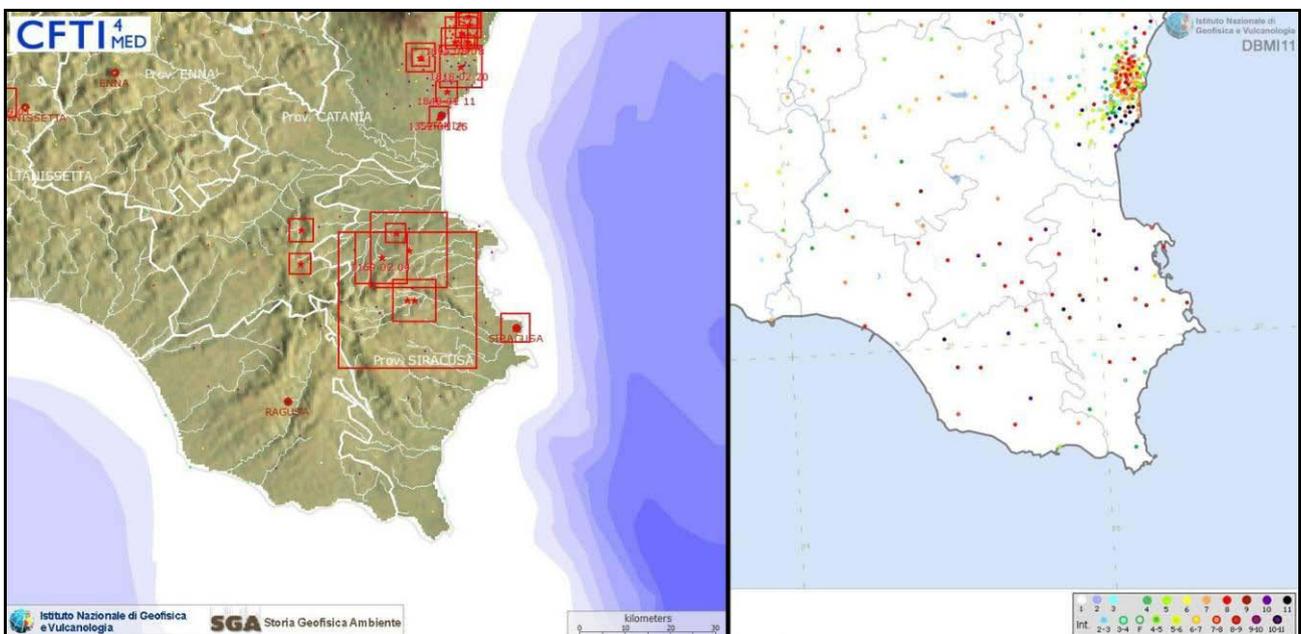


Fig. 2.1 - Epicentri dei forti terremoti (sinistra, Guidoboni et al., 2007) e massime intensità macrosismiche risentite (Locati et al., 2011) in Sicilia Sud-Orientale.

**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<sub>max</sub>=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<sub>max</sub>=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°,  $I_{max}=7.5$ ,  $M_e=5.4$ :** 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 Modica

Il comune di Modica è situato nella parte meridionale della Sicilia orientale, un'area in passato caratterizzata da un'intensa attività sismica 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, localizzati in prossimità del comune di Modica. La sismicità strumentale recente è caratterizzata da eventi poco profondi e di piccola magnitudo.

Gli studi di sismicità storica hanno permesso di individuare numerosi forti terremoti che hanno avuto a Modica effetti macrosismici di notevole intensità.

La Fig. 2.3 mostra la distribuzione degli epicentri di eventi sismici storici, con epicentro prossimo a Modica 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 Modica 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.

In Fig. 2.4 è riportata la storia sismica del comune di Modica estratta dal Database Macrosismico Italiano (DBMI11, Locati et al., 2011). Questa lista mostra come a partire dall'undicesimo secolo ben 26 eventi sismici abbiano avuto a Modica effetti macrosismici documentati spesso di elevato grado.

Il primo evento storico di cui si conoscano importanti risentimenti nel comune di Modica (X grado MCS) è il terremoto del 4 febbraio 1169 ( $M_w=6.41$ ). Di questo antico evento è scarsa la documentazione storica ritrovata per una ricostruzione precisa degli effetti macrosismici. L'area maggiormente interessata dall'evento sembra essere stata quella della Calabria meridionale e della Sicilia orientale, dove si registrarono rilevanti danni. I paesi più importanti e le città della Val di Noto furono tutti seriamente danneggiati. Modica (come anche Catania e Lentini) fu quasi interamente distrutta. Le cronache storiche riferiscono di rilevanti modificazioni alla circolazione delle acque freatiche, con il completo inaridimento di alcune sorgenti e la comparsa di nuove. L'epicentro di tale terremoto è stato posto verosimilmente a mare, lungo la costa tra Catania e Siracusa, come quello successivo del 1693.

Nei secoli successivi la Sicilia sud-orientale fu colpita dal altri importanti eventi come quello del 10 dicembre 1542 ( $M_w=6.77$ ) con epicentro nel Siracusano, con massima intensità macrosismica risentita a Modica pari all'VIII grado MCS ed in particolare dal terremoto 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<sup>2</sup> e causando un numero

complessivo di circa 60.000 vittime. Il terremoto dello 11 gennaio 1693, di Mw 7.41, ebbe a Modica massima intensità macrosismica pari al X grado MCS, causando la quasi totale distruzione della allora Contea di Modica; su 18203 abitanti, ne morirono 3400. Nei mesi successivi seguirono numerose repliche, alcune anche di notevole entità. Conclusasi la crisi sismica l'abitato di Modica 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).

In epoca recente il comune di Modica ha risentito il terremoto del 23 gennaio 1980 (Mw=4.58, V-VI grado MCS) ed in particolare il terremoto del 13 dicembre 1990 (Mw=5.64, VI grado MCS) senza tuttavia riportare danni ingenti.

Il comune di Modica 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).

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 Modica ricada in un'area con pericolosità sismica, espressa in termini di PGA, pari a 0.175-0.200 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 Modica per differenti livelli di probabilità in 50 anni, o differenti periodi di ritorno, e percentile. Vista l'elevata pericolosità sismica, il comune di Modica risulta inserito in Zona Sismica 2 (Fig. 2.8).



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

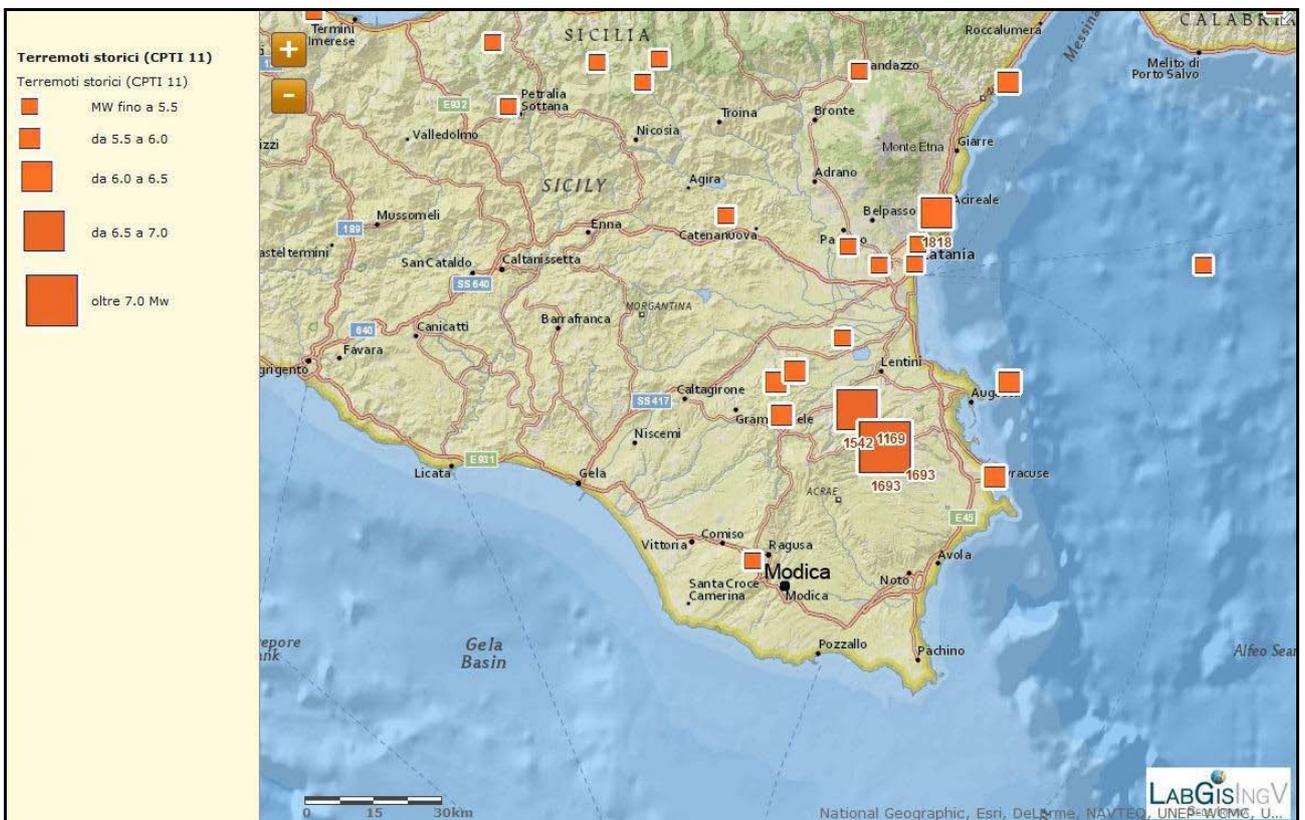


Fig. 2.3 Mappa della distribuzione degli epicentri degli eventi sismici storici estratta dal Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI11, Rovida et al., 2011).

### Storia sismica di Modica [36.858, 14.761]

Numero di eventi: 26

Effetti

In occasione del terremoto del:

I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
10	1169 02 04 07:00	Sicilia orientale	10	10 6.41 ±0.34
8	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
6	1693 02 23	Modica	1	6 4.72 ±0.34
6	1693 04 17 19:00	Val di Noto	4	5 4.30 ±0.34
7	1693 05 12 13:20	Modica	2	6 4.72 ±0.34
6	1693 07 08 17:50	Monti Iblei	7	6 4.94 ±0.64
6-7	1696 04 20 12:00	Modica	2	5-6 4.51 ±0.34
3-4	1727 01 07	NOTO	14	6-7 4.83 ±0.35
F	1783 02 05 12:00	Calabria	356	11 7.02 ±0.08
NE	1823 03 05 16:37	Sicilia settentrionale	107	6.47 ±0.15
5-6	1848 01 11 12:00	Golfo di Catania	41	7-8 5.45 ±0.39
4-5	1895 04 13 15:01	Vizzini	32	6-7 4.89 ±0.45
F	1896 07 02 00:30	CANALE DI SICILIA	10	4 4.21 ±0.56
NE	1905 09 08 01:43	Calabria meridionale	895	7.04 ±0.16
NE	1908 12 10 06:20	NOVARA DI SICILIA	64	7 5.13 ±0.26
6	1908 12 28 04:2	Calabria meridionale-Messina	800	11 7.10 ±0.15
4	1924 08 17 21:40	MONTI IBLEI	22	5 4.73 ±0.24
2-3	1928 03 07 10:5	CAPO VATICANO	30	7-8 5.83 ±0.26
5	1934 09 11 01:1	MADONIE	28	5-6 4.95 ±0.24
7	1949 10 08 03:0	NOTO	32	7 5.20 ±0.27
5-6	1959 12 23 09:29	PIANA DI CATANIA	108	6-7 5.29 ±0.20
2	1978 04 15 23:3	Golfo di Patti	332	6.06 ±0.09
5-6	1980 01 23 21:2	MODICA	122	5-6 4.58 ±0.14
6	1990 12 13 00:2	Sicilia sud-orientale	304	7 5.64 ±0.09
5-6	2004 12 30 04:0	Monti Iblei	49	5 4.17 ±0.17

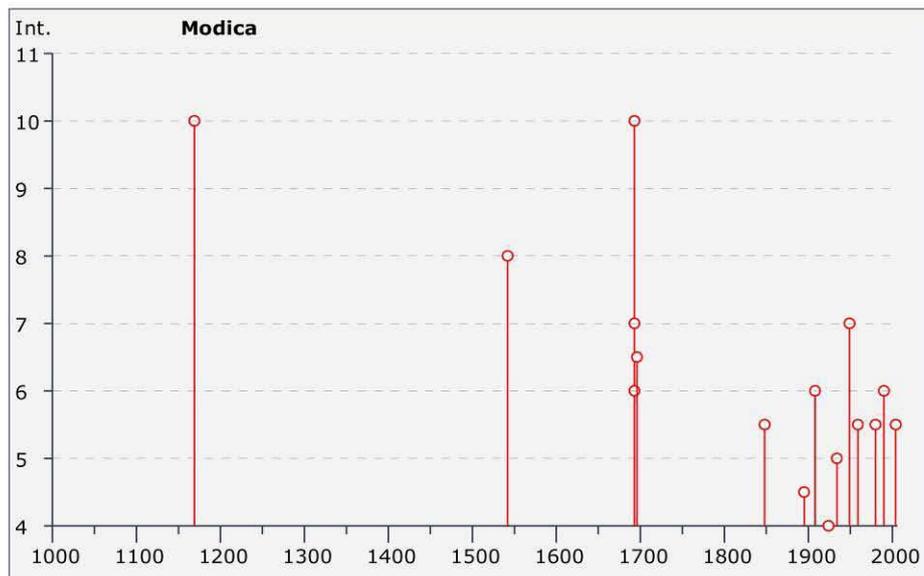


Fig. 2.4 - Storia sismica di Modica estratta dal Database Macrosismico Italiano (DBMI11, Locati et al., 2011); Is è l'intensità macrosismica risentita (MCS); Io è l'intensità macrosismica massima (MCS); Mw è la magnitudo momento dell'evento; Ax indica l'area epicentrale, Np è il numero di località che hanno risentito il terremoto.

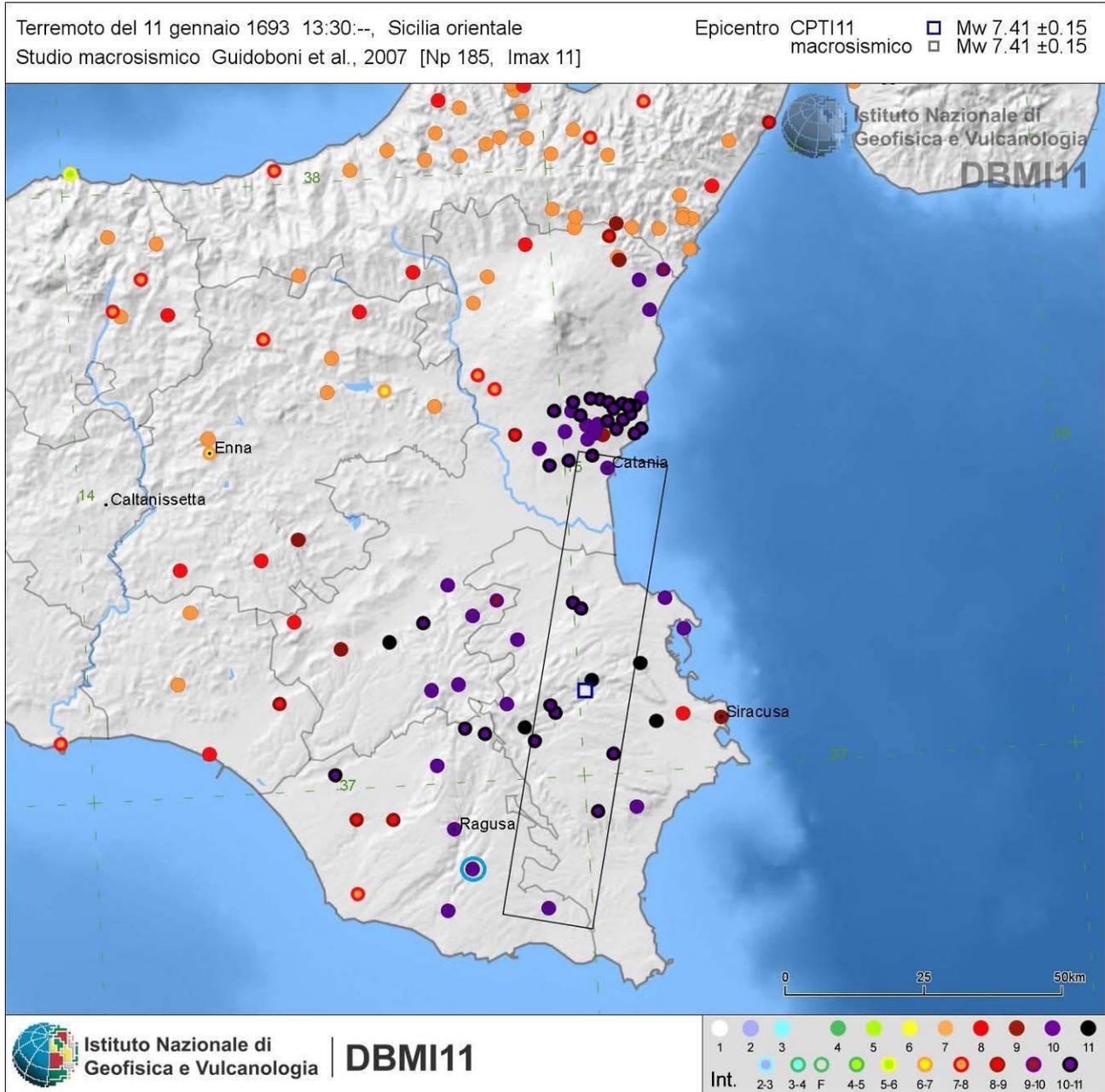


Fig. 2.5 - Mappa delle intensità macrosismiche risentite a seguito dell'evento del 1693, estratta dal catalogo Database Macrosismico Italiano (DBMI11, Locati et al., 2011). Il cerchio azzurro indica il comune di Modica.

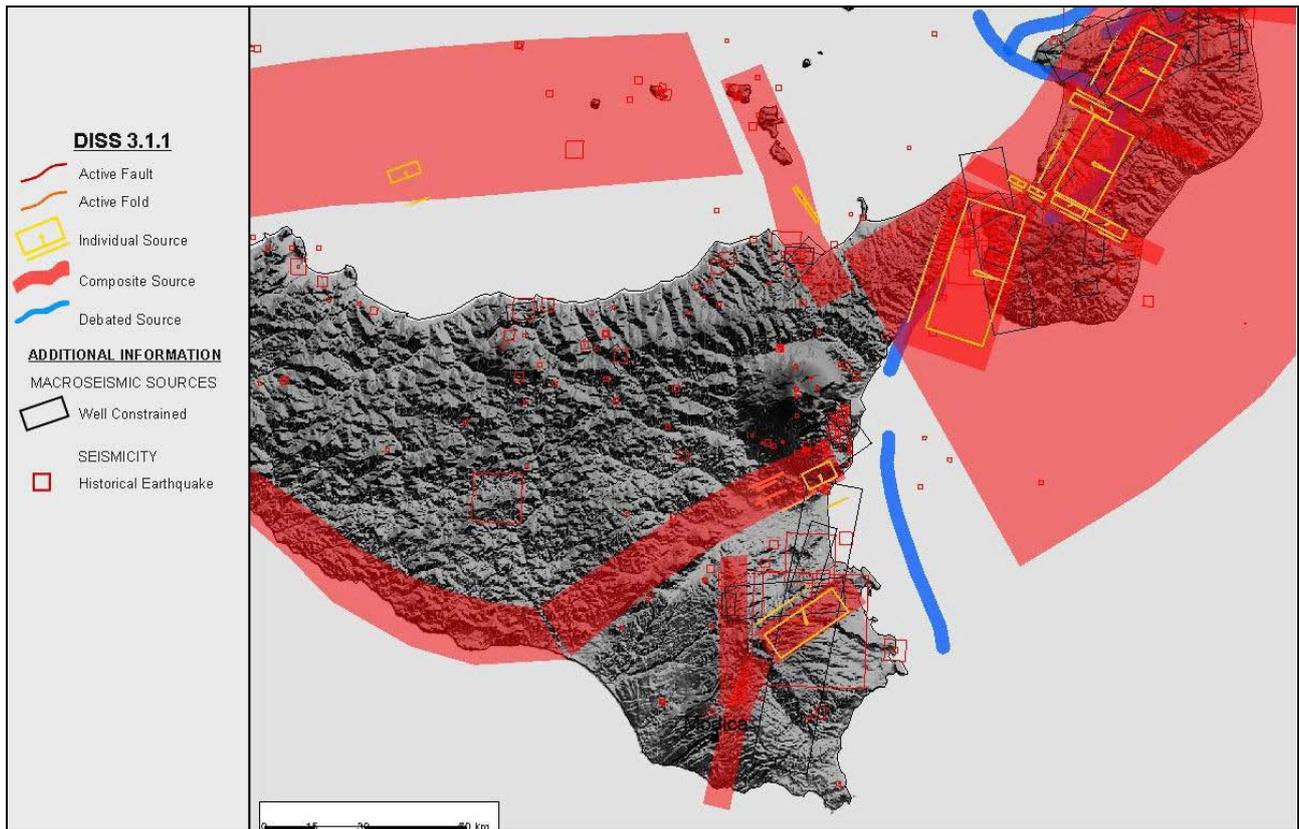


Fig. 2.6 - Mappa delle strutture sismogenetiche estratte dal Database of Individual Seismogenic Sources (Basili et al., 2008).

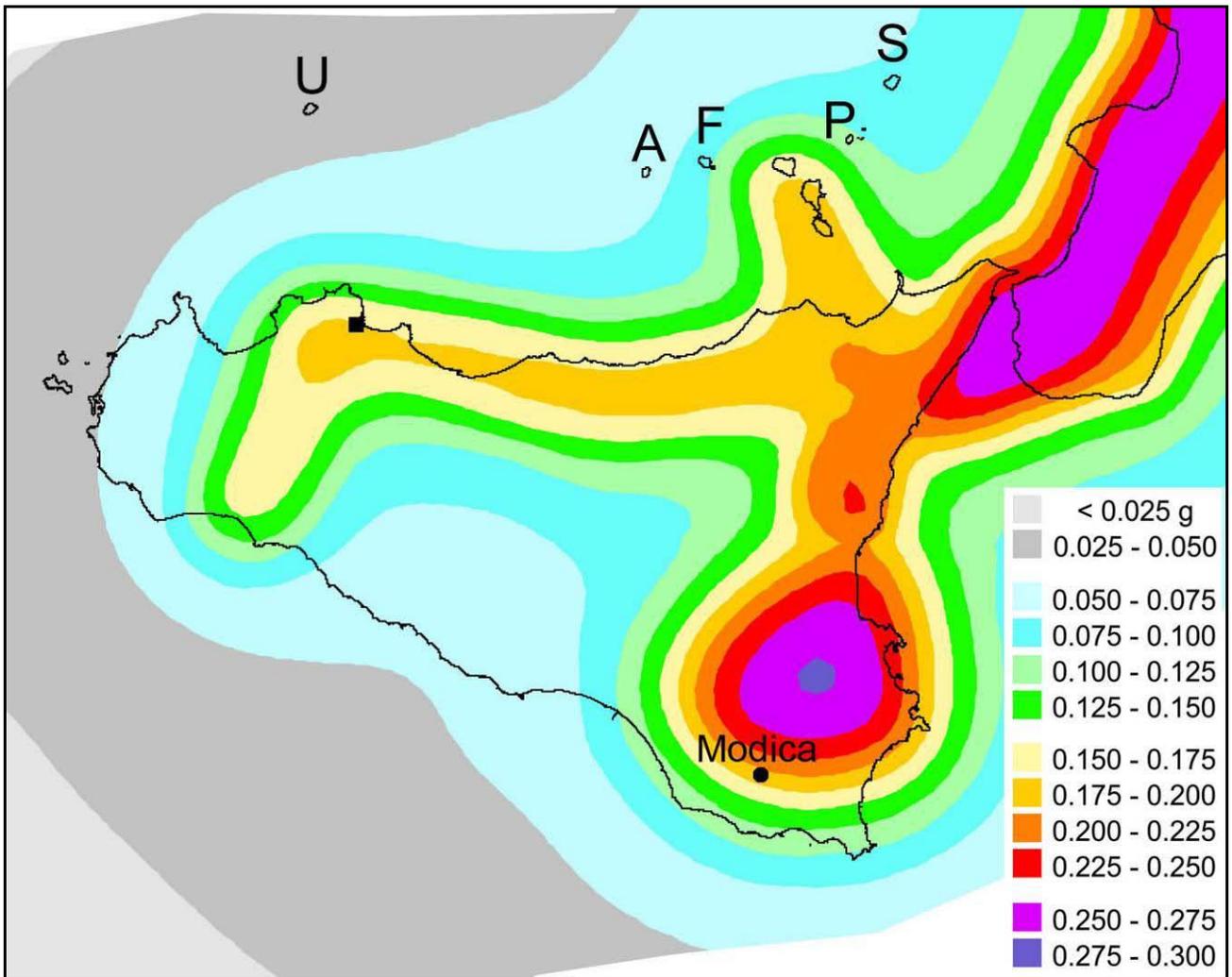


Fig. 2.7 - Mappa della pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ( $V_S > 800/m$ ), Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n. 3519, All.1b; estratta da: <http://zonesismiche.mi.ingv.it>.



Fig. 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.

Parametro di scuotimento <b>PGA (g)</b>		Probabilità in 50 anni/Periodo di ritorno				
		2%	5%	10%	22%	30%
		2475a	975a	475a	201a	140a
Percentile	16	0.3468	0.2233	0.1563	0.0988	0.0807
	50	0.4479	0.2861	0.1973	0.1213	0.0950
	84	0.5498	0.3537	0.2359	0.1410	0.1136

Tab. 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 ( $V_s > 800/m$ ).

### 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** (**I**taly **H**azard from **C**apable 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 succitato catalogo il territorio comunale di Modica sorge nelle vicinanze di due faglie attive. Per una delle due, orientata circa ENE-WSW il catalogo non fornisce alcuna informazione; la seconda denominata nel catalogo "Comiso" è orientata circa NNE-SSW con immersione WNW ed è caratterizzata da cinematica di tipo diretto; nessuna informazione viene fornita riguardo all'entità dei rigetti. Entrambe le faglie, comunque, ricadono al di fuori dell'area da sottoporre agli studi di micro zonazione.

Secondo il catalogo DISS-ID - ITCS 017 edito da INGV, il territorio comunale di Modica ricade nella fascia sismo genetica Scicli-Giarratana, nemmeno tale catalogo però, riporta la presenza di faglie attive all'interno dell'area studiata.

Le faglie che interessano il centro abitato e le immediate vicinanze sono poco esposte per cui non è stato possibile individuare evidenze deformazionali, o indizi morfostrutturali di movimenti recenti.

Sulla base dei dati disponibili non è stato possibile ricostruire l'entità del rigetto e l'età della dislocazione.

## **2.4 Pericolosità geo-idrologica**

Per quanto riguarda la pericolosità derivante da fattori geo-idrologici 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 MS le aree classificate come soggette a rischio idrogeologico molto elevato (R4), qualora non ricadano all'interno di centri urbani. Al fine di ricostruire in modo completo il quadro dei dissesti eventualmente presenti nelle aree studiate, sono state inoltre acquisite tutte le ulteriori informazioni aggiuntive eventualmente disponibili all'interno di altri elaborati tecnici quali ad esempio le relazioni geologiche allegate ai piani regolatori dei Comuni.

Morfologicamente il territorio del comune di Modica non si presenta molto accidentato, fatta eccezione per alcune irregolarità topografiche di lieve entità, in linea generale è caratterizzato dalla presenza di un vasto altipiano che degrada dolcemente verso il mare.

Il centro abitato di Modica si snoda sui fianchi delle vallate di tre torrenti, in corrispondenza delle aree di confluenza degli stessi; ergendosi pertanto su versanti rocciosi con angolo di pendio elevato o molto elevato. Geologicamente affiorano i termini calcarei appartenenti alla Formazione Ragusa che nel complesso presenta buone caratteristiche geotecniche. Tuttavia 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. Tutti i dissesti segnalati in area urbana sono appunto ascrivibili a 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.

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 Modica si estende nel settore centrale dell'area Iblea. Gli Iblei insieme alle aree sommerse del Canale di Sicilia costituiscono un settore dell'avampaese africano. ("Blocco Pelagiano", Burollet 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).

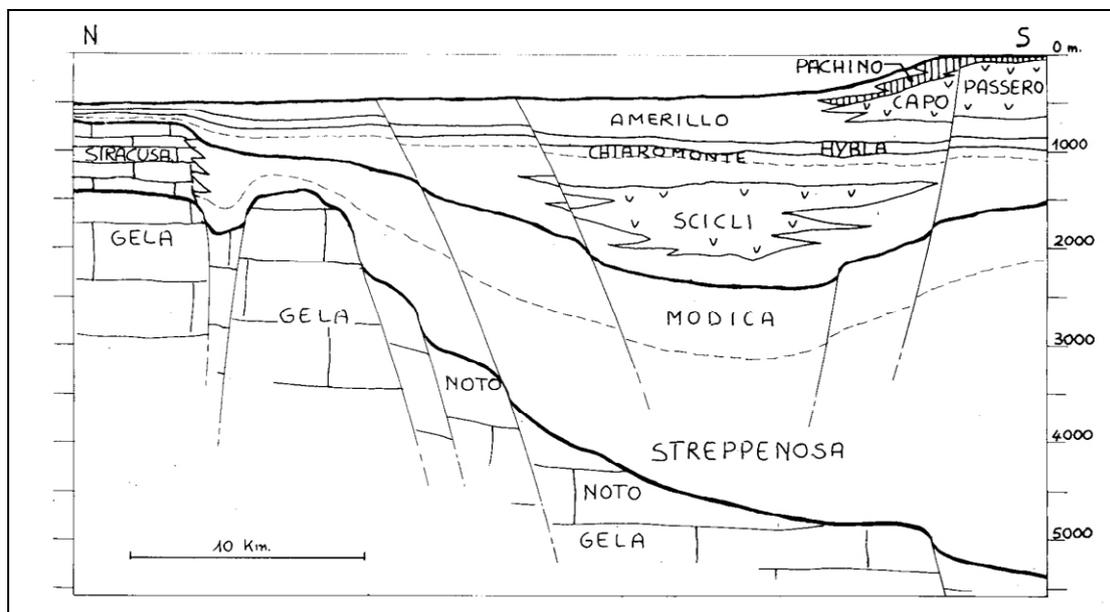


Fig 3.1 - Schema dei rapporti stratigrafici e strutturali dell'area iblea durante il mesozoico (da Catalano & D'Argenio, 1982).

Gli Iblei costituiscono l'avampaese 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).

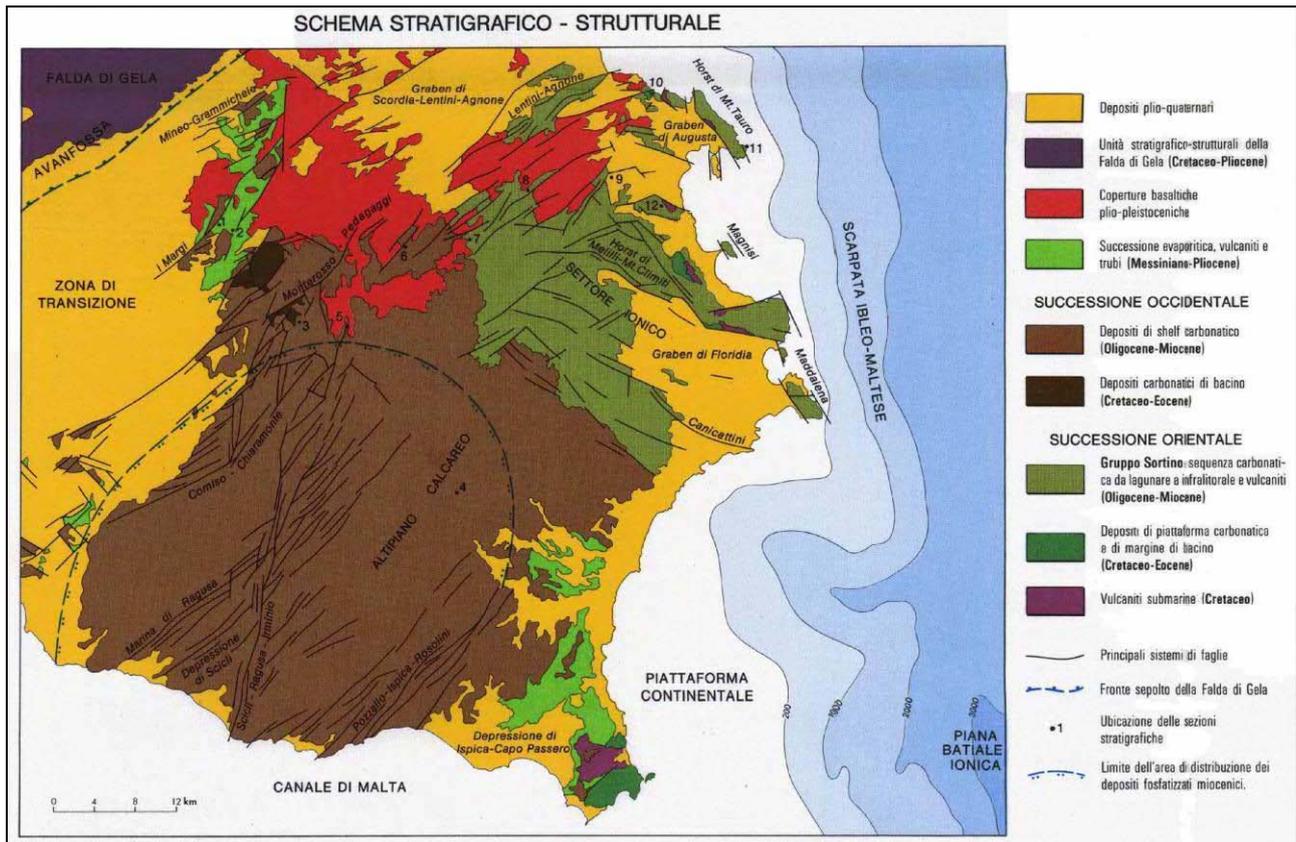


Fig. 3.2 – Schema geologico della Sicilia sud-orientale (da Lentini et al 1984).

### 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 “Comiso-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.

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.

Questa fascia di deformazione attraversa tutto l’altipiano generando un’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.

Alcuni autori riconoscono lungo questa zona di deformazione delle riprese di movimento recenti ascrivibili al tardo quaternario. (Carbone et al., 1982; 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.

Le faglie rilevate nel territorio di Modica sono prevalentemente orientate in senso NE-SO e NNE-SSO ed in minor misura NNO-SSE e N-S. In generale si tratta di dislocazioni estensionali e/o transtensionali che danno luogo ad una sequenza di alti e bassi strutturali (horst e graben), che oltre ad avere influenzato in maniera significativa l'evoluzione del reticolo idrografico dell'area, mostrano un andamento compatibile con il sistema di taglio Scicli-Ragusa disponendosi con geometrie sintetiche ed antitetiche alla master fault.

### 3.3. Caratteri morfologici, stratigrafici e tettonici del territorio di Modica

#### 3.3.1. 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 Comiso-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. 3.3).

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).

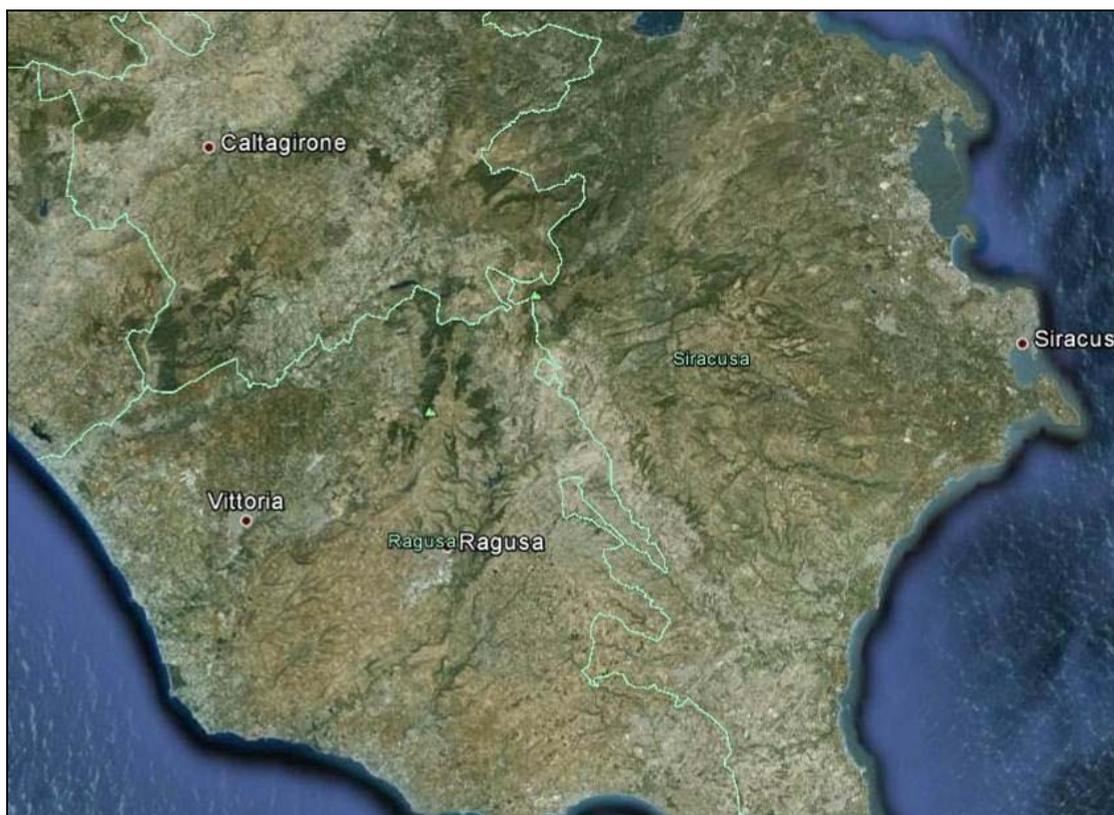


Fig. 3.3 - Foto da satellite del settore Ibleo-ragusano che evidenzia le principali direttrici morfologiche che per lo più coincidono con i principali lineamenti tettonici .

Il territorio comunale di Modica (RG), si sviluppa per una superficie complessiva di poco meno di 300 km<sup>2</sup> ed è localizzato nella porzione sud-orientale del versante meridionale della Sicilia, ricade dentro il Foglio I.G.M.I n. 648 (Fig.3.4) ed è compreso all'interno dei bacini Idrografici del fiume Irminio e del torrente di Modica. La morfologia dell'area è caratterizzata da un territorio che degrada dolcemente verso il mare in direzione Ovest e Sud-Ovest e ribassato dalla presenza di un sistema di faglie orientate NNE-SSO, per le quali si localizzano profonde incisioni in corrispondenza dei corsi d'acqua del fiume Irminio e della Fiumara di Modica, risultato dell'erosione dei fiumi nel lungo corso delle ere geologiche. Queste profonde incisioni rappresentano variazioni, anche di parecchie decine di metri, del livello topografico. L'intesa attività tettonica dal Miocene in poi è altresì responsabile dello sprofondamento della piattaforma carbonatica sotto i depositi plio-quaternari dell'altopiano ibleo. Dal punto di vista orografico, circa due terzi del territorio sono di tipo collinare con un'altitudine media compresa tra i 300m e i 550m s.l.m.. La confluenza dei Torrenti Pisciotto, Passo Gatta e S. Liberale da origine all'asta principale del Torrente di Modica, impostata quasi esclusivamente su terreni calcarei (Fm. Ragusa), che nel tratto compreso tra gli abitati di Modica e di Scikli prende il nome di Fiumara di Modica.

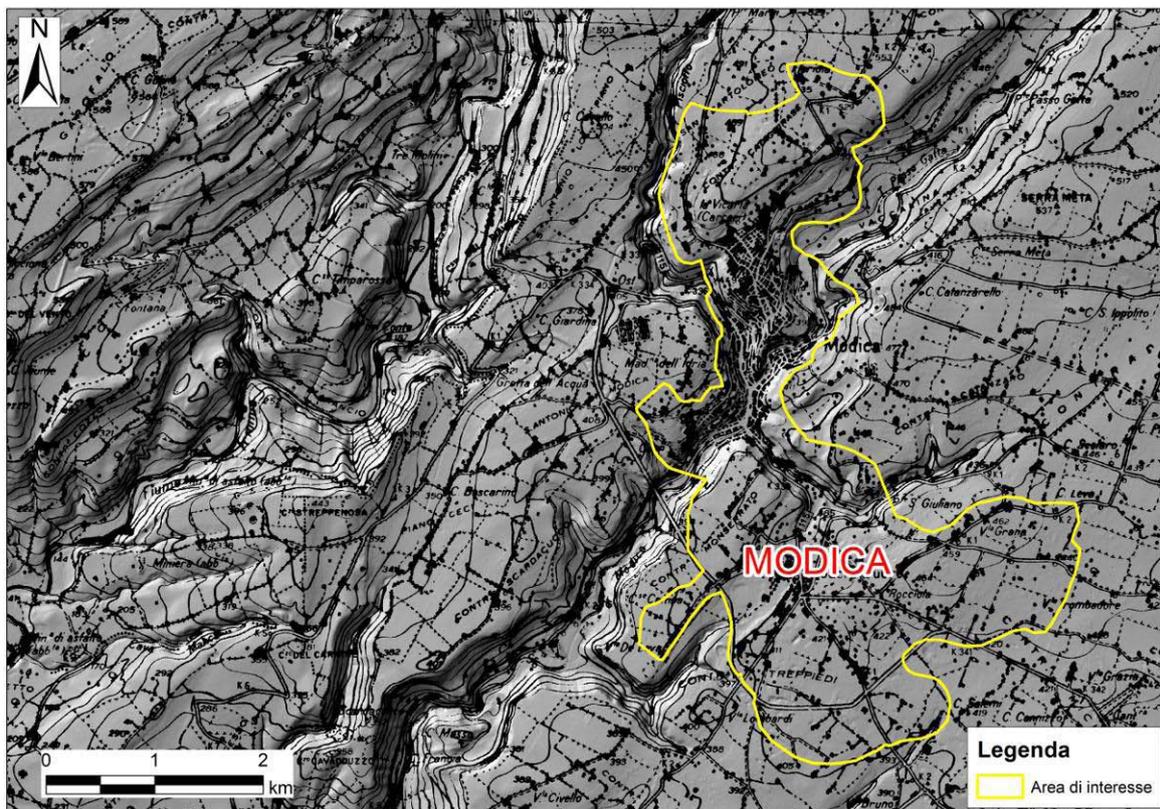


Fig. 3.4 – Stralcio del Foglio 1:50.000 n. 648: assetto morfologico del territorio di Modica (RG) e identificazione delle aree di interesse.

### *Profili topografici di inquadramento*

Per l'area d'interesse individuata all'interno del territorio comunale di Modica, si sono ricostruiti n. 5 profili topografici, al fine di evidenziare le caratteristiche morfologiche e di descrivere l'inquadramento generale (Figg. 3.5 e 3.6).

Il profilo contrassegnato con il codice "Modica 1" si sviluppa in direzione NNO-SSE. Questo taglia ortogonalmente gli altri quattro profili (da "Modica 2" a "Modica 5"), con sviluppo in direzione OSO-ENE. Questi ultimi hanno sviluppo in direzione OSO-ENE. L'area di interesse perimetrata, è caratterizzata da uno sviluppo con asse principale longitudinale lungo più di 6km (Modica 1, Fig. 3.7), e da una larghezza che raggiunge i 3.5km, nel settore più meridionale dell'altopiano (Figg. 3.8, 3.9, 3.10, 3.11).

Il profilo "Modica1" presenta nel suo tratto centrale il forte disturbo topografico costituito dall'attraversamento della Fiumara di Modica, con variazioni di quota superiori ai 100m. I quattro profili trasversali risultano invece più lineari, di fatto sviluppandosi in corrispondenza delle porzioni sommitali del tavolato.

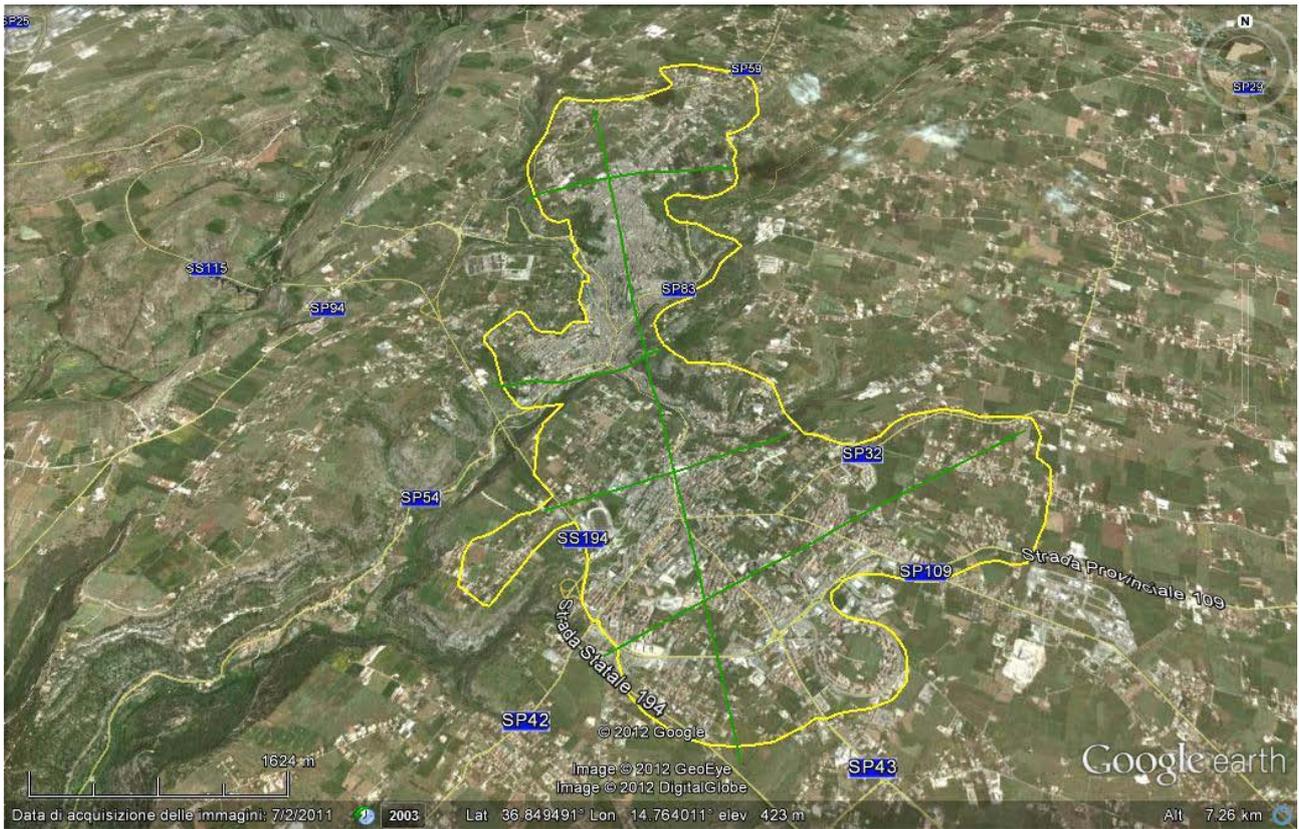


Fig. 3.5 – Immagine Google Earth™ di Modica con i profili topografici realizzati per il centro abitato.

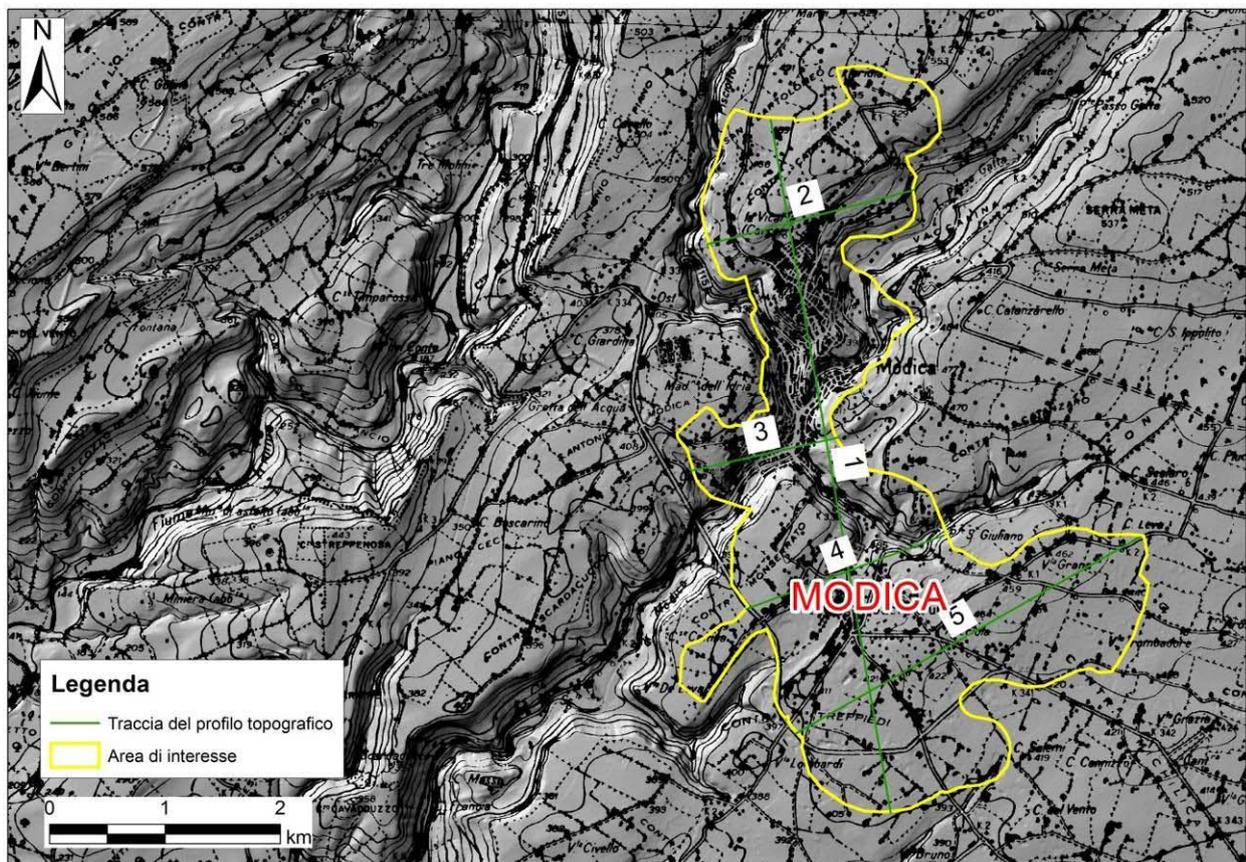


Fig. 3.6 – Centro abitato di Modica: profili topografici di inquadramento.

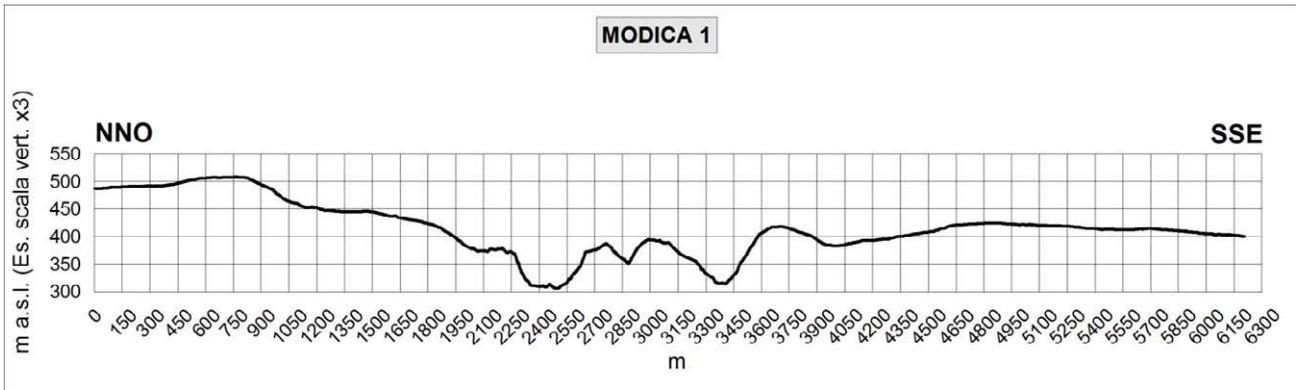


Fig. 3.7 – Profilo topografico di inquadramento Modica 1.

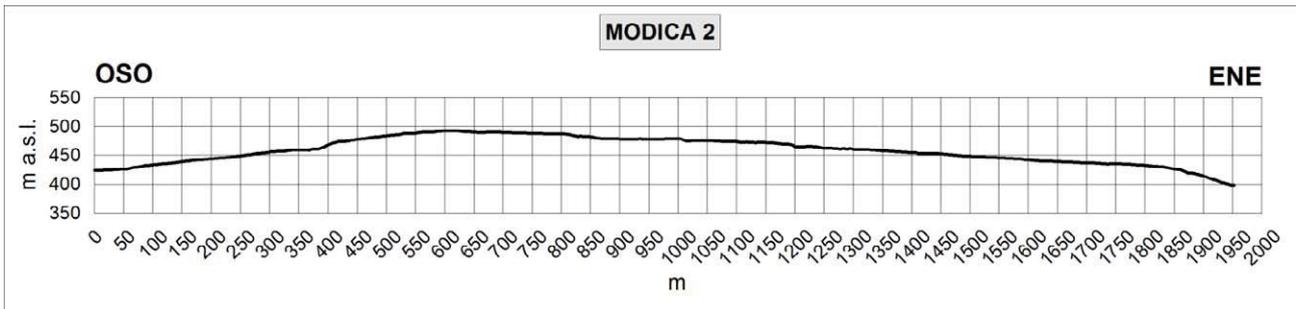


Fig. 3.8 – Profilo topografico di inquadramento Modica 2.

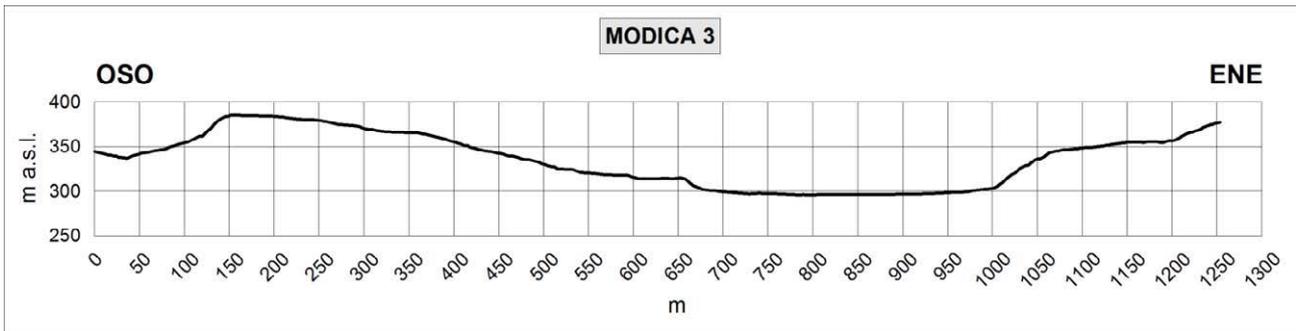


Fig. 3.9 – Profilo topografico di inquadramento Modica 3.

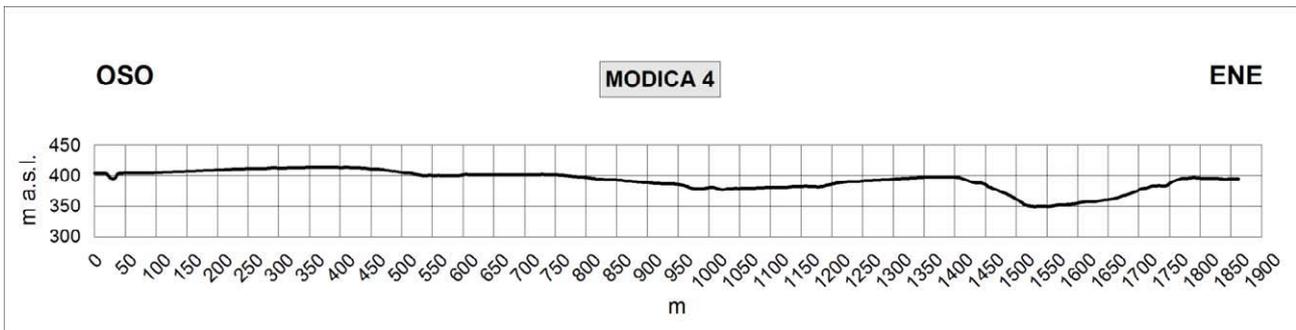


Fig. 3.10 – Profilo topografico di inquadramento Modica 4.

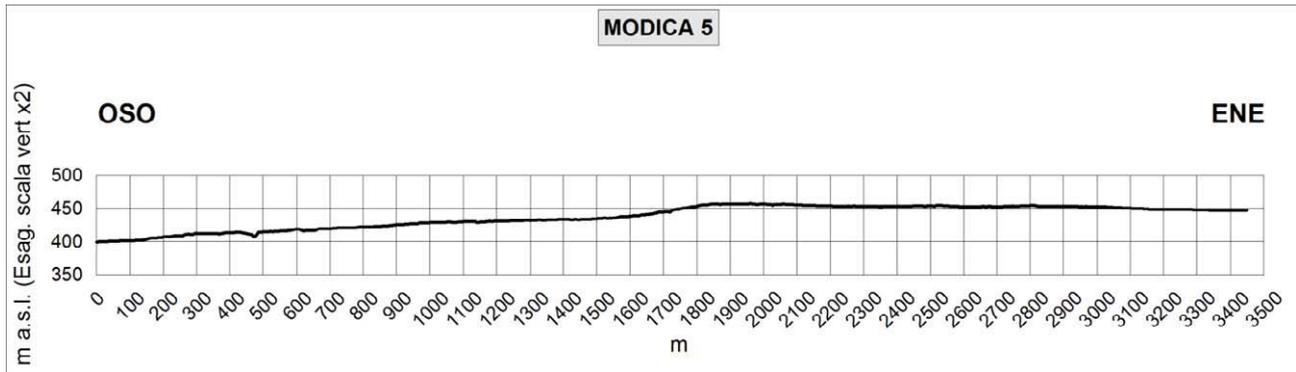
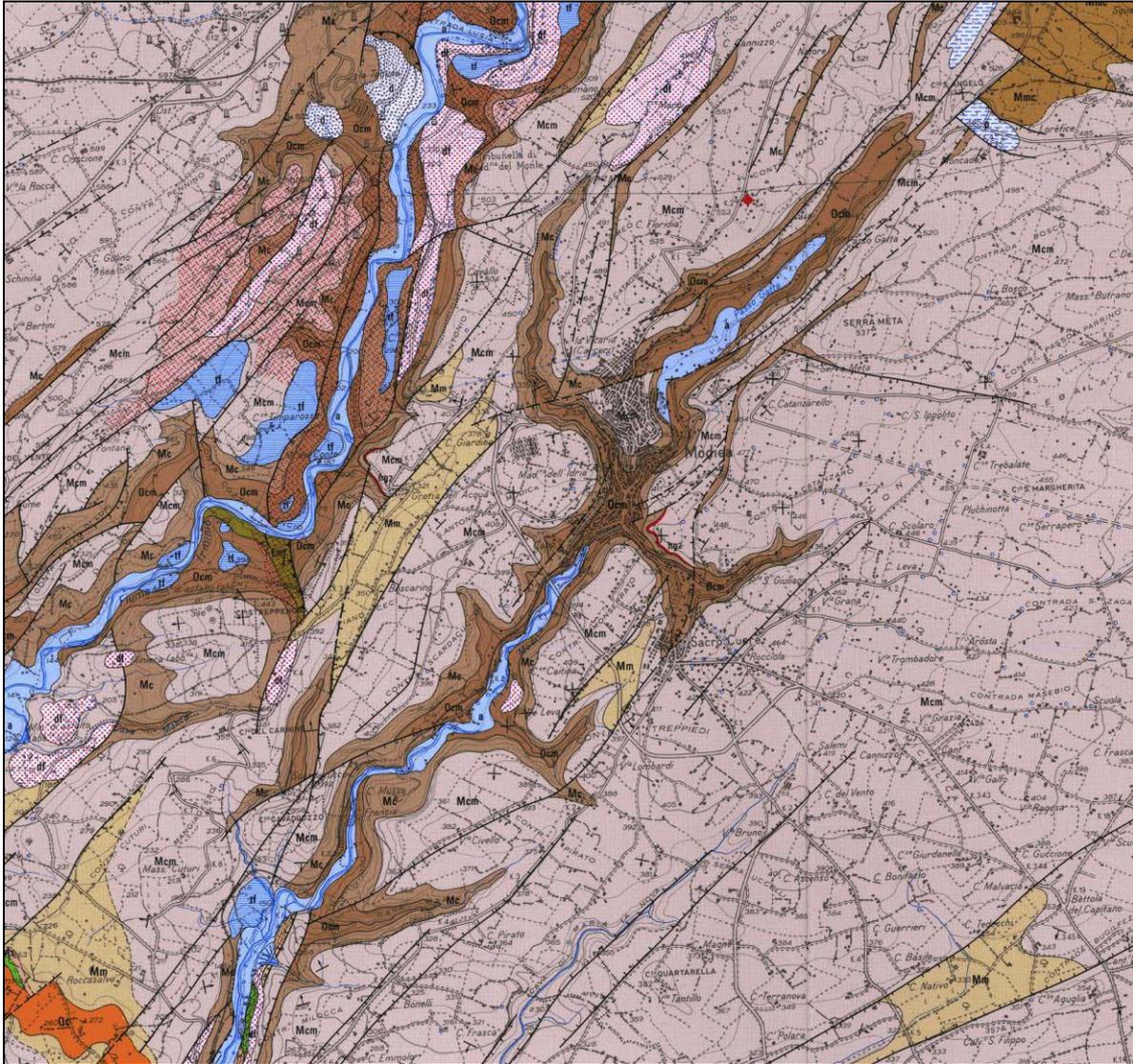


Fig. 3.11 – Profilo topografico di inquadramento Modica 5.

### 3.3.2. Litostratigrafia

Nell'area interessata affiorano successioni cenozoiche prevalentemente carbonatico-marnose Oligo-Mioceniche riferibili alla formazione Ragusa (carta geologica Grasso, 1997, Fig. 3.12) e depositi più francamente marnosi con rare intercalazioni di calcareniti e calcareniti marnose di età Miocene medio e superiore (formazione Tellaro). Nelle aree depresse di fondovalle vengono inoltre riportati spessori significativi di depositi alluvionali recenti ed attuali costituiti prevalentemente da ciottoli carbonatici di dimensioni variabili, da centimetrici a decimetrici, immersi in una matrice perlopiù sabbioso-limoso.



Legenda:

- a) alluvioni fluviali, fondi palustri recenti ed attuali - Olocene
- df) detrito di falda – Pleistocene medio-superiore
- p) depositi palustri antichi – Pleistocene superiore
- tf) alluvioni fluviali terrazzate – Pleistocene medio-Olocene
- 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
- Em) *Formazione Amerillo* – Eocene medio

Fig. 3.12 – Carta geologica dell'area di Modica. Stralcio della “Carta geologica del settore centro-meridionale dell'altipiano ibleo” scala 1:50.000 – M. Grasso - SELCA Firenze (1997).

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

### 3.3.2.1 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 *Miogypsina 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.

### 3.3.2.2 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 del centro abitato confinata in una depressione bordata da due faglie estensionali.

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.

### 3.3.2.3 Alluvioni : ghiaie, limi, sabbie e sabbie limose

Si tratta di depositi fluviali presenti nei fondovalle, all'interno del centro abitato, costituiti da un'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 che nelle aree di fondovalle raggiungono spessori superiori ai tre metri mentre superano i dieci metri nelle aree di confluenza dei torrenti che si uniscono a formare il torrente Modicano. 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.

### 3.3.2.4 Coperture

In molti versanti le successioni descritte, sono ricoperte da detriti di falda costituiti prevalentemente da breccie e ciottoli calcarei immersi in una matrice sabbiosa raramente limosa (Fig. 3.13). A luoghi è presente un certo grado di cementazione che varia da punto a punto. 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 materiale di alterazione ed i suoli coprono in maniera quasi uniforme buona parte del territorio, comunque raramente raggiungono o superano il metro di spessore nelle aree dell'altipiano.



Fig. 3.13 – Depositi di versante visibili all'inizio di Corso Umberto I

	<b>Unità litostratigrafica</b>	<b>età</b>	<b>litologia</b>	<b>spessore</b>
	depositi di versante, terreni di alterazione e di riporto	Attuale	Ghiaie, ghiaie e sabbie	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	2-10 m
	<b>Formazione Tellaro</b>	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.
<b>contatto stratigrafico</b>				
	<b>Formazione Ragusa</b> Membro Irminio Membro Leonardo	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

Tab. 3.1- Rappresentazione schematica della successione litostratigrafica dell'area di Modica.

### 3.3.3. Lineamenti tettonici di Modica

Il centro abitato di Modica è ubicato subito ad est della zona di taglio "Scicli-Ragusa", ritenuta sismo genetica (catalogo DISS-ID - ITCS 017 edito da INGV), si trova sul prolungamento di alcune faglie di ordine minore coniugate ad essa e sorge su un substrato in massima parte carbonatico abbastanza fratturato.

Alla linea “Scicli – Ragusa”, che attraversa tutto il plateau ibleo con direzione NNE-SSO, è stato attribuito il significato di trasforme destra, una zona di taglio che congiunge la zona di rifting quaternario del Canale di Sicilia con il fronte della catena maghrebide. (GHISSETTI & VEZZANI, 1980; GRASSO *et alii*, 1986 e GRASSO & REUTHER, 1988).

In questa ampia fascia di deformazione, che si sviluppa dall’abitato di Scicli fino alle propaggini settentrionali dell’altipiano Ibleo, a volte ritenuta struttura sismogenetica nella letteratura geologica, ricade anche il centro abitato di Modica.

Le faglie e fratture rilevate sono prevalentemente orientate in senso NE-SO e NNE-SSO ed in minor misura NNO-SSE e NO-SE. In generale si tratta di dislocazioni estensionali e/o transtensionali che danno luogo ad una sequenza di alti e bassi strutturali (horst e graben), associabili alla zona di taglio denominata “Scicli-Ragusa”, costituendo per lo più delle strutture sintetiche ed in minor misura antitetiche della stessa.

Le successioni carbonatiche presenti nell’area di Modica hanno avuto un comportamento prevalentemente fragile in risposta alle sollecitazioni tettoniche che hanno interessato la zona, con la conseguente formazione di fratture, joint e faglie estensionali e/o transtensionali ad alto angolo che interessano in modo pervasivo soprattutto gli strati più superficiali delle successioni che costituiscono il sottosuolo dell’area studiata.

Le larghe fasce cataclastiche segnalate nella carta geologica del piano regolatore, a luoghi coincidono o sono associate con le zone di faglia censite. Altre volte invece non hanno apparenti connessioni con le faglie rilevate ma potrebbero rappresentare zone che hanno assorbito lo stress fratturandosi senza raggiungere il fagliamento. In ogni caso queste fasce rappresentano zone di debolezza meccanica dove sono possibili deformazioni permanenti in caso di eventuali riattivazioni.

Nelle immediate vicinanze del centro abitato le successioni carbonatiche mostrano una giacitura sub-orizzontale e/o leggermente monoclinica immergente verso sud-est, con valori di inclinazione che oscillano tra 5° nel settore di nord-ovest fino a circa 15° muovendosi verso sud-est.

Questa variazione di pendenza può essere dovuta alla presenza di alcune faglie estensionali ad alto angolo, orientate circa NE-SO e ENE-OSO, che dislocano gli ammassi carbonatici della Formazione Ragusa, mostrando in alcuni casi rigetti diretti di alcune decine di metri.

Una prima analisi sull’andamento delle deformazioni presenti nell’area ha mostrato che le deformazioni tettoniche cartografate e riportate nella carta geologico-tecnica mostrano un andamento compatibile con i sistemi di faglie che caratterizzano il plateau ibleo.

Non ci sono evidenze tali da far considerare tali faglie come attive e capaci.

## 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 Modica  
Studio geologico allegato al PRG del 1996 redatto dai geologi G. Alfano, S. Busacca, A. Frasca e A. Spadaro;
- b) Comune di Modica – Relazione geologica per il Consolidamento del costone roccioso di via Fontana in Modica (Rg). Redatta dal geologo M. Corrao;
- c) Comune di Modica – Consolidamento del costone roccioso di via Carlo Papa – Modica (RG);
- d) Comune di Modica – Studio Geologico per il Consolidamento del costone roccioso belvedere Santa Lucia, redatto dai geologi Dott. G. Alfano e Dott. G. Brancato;
- e) Dipartimento Protezione Civile – Servizio Sicilia Orientale- U.O.B. XVIII  
Relazione geologico-tecnica per il Consolidamento strutturale e di ripristino funzionale della chiesa di San Giovanni sita in Piazza San Giovanni in Modica, redatta dal Dott. Geol. F. Buscema;
- f) Dipartimento Protezione Civile – Servizio Sicilia Orientale - U.O.B. XVIII  
Studio geologico-tecnico per il Progetto di recupero e conservazione della chiesa di San Domenico in Modica, redatto dal Dott. Geol. G. Punzi;
- g) Dipartimento Protezione Civile – Servizio Sicilia Orientale - U.O.B. XVIII  
Studio geologico-tecnico a supporto del progetto degli interventi di cui all'art.1, lett. A), della legge 31 dicembre 1991, n. 433 da realizzare nella scuola media statale Scrofani, redatto dal Dott. Geol. A Migliore;
- h) Dipartimento Protezione Civile – Servizio Sicilia Orientale - U.O.B. XVIII  
Relazione geologico-tecnica esecutiva per il Progetto di conservazione e recupero della caserma dei Carabinieri, Modica, redatta dal Dott. Geol. G. Guerreri;
- i) Dipartimento Protezione Civile – Servizio Sicilia Orientale - U.O.B. XVIII  
Relazione sulle indagini per il Miglioramento statico e restauro conservativo della chiesa Santa Teresa D'Avila a Modica
- j) Dipartimento Protezione Civile – Servizio Sicilia Orientale - U.O.B. XVIII  
Indagini geognostiche e strutturali a supporto del restauro e consolidamento della chiesa S. Margherita in Modica;
- k) Dipartimento Protezione Civile – Servizio Sicilia Orientale - U.O.B. XVIII  
Indagini geognostiche di supporto ai Lavori di recupero e consolidamento del ponte San Giorgio in Modica (RG);
- l) Dipartimento Protezione Civile – Servizio Sicilia Orientale - U.O.B. XVIII  
Indagini geognostiche e diagnostiche preliminari ai lavori di recupero e consolidamento dell'Istituto Salesiano San Domenico Savio in Modica;
- m) Dipartimento Protezione Civile – Servizio Sicilia Orientale - U.O.B. XVIII  
Indagini geognostiche preliminari al progetto di Recupero e conservazione della chiesa di San Giorgio in Modica;

- n) Provincia Regionale di Ragusa – 19° Settore  
Progetto di rilevamento di parametri finalizzati alla caratterizzazione geologica, fisica e geofisica per la vulnerabilità sismica dell' Istituto Tecnico per Geometri di Modica;
- o) Provincia Regionale di Ragusa – 19° Settore  
Progetto di rilevamento di parametri finalizzati alla caratterizzazione geologica, fisica e geofisica per la vulnerabilità sismica dell' I.T.C. "Archimede" di Modica;
- p) Provincia Regionale di Ragusa – 19° Settore  
Progetto di rilevamento di parametri finalizzati alla caratterizzazione geologica, fisica e geofisica per la vulnerabilità sismica del Liceo Scientifico "Galilei" di Modica;
- q) Provincia Regionale di Ragusa – 19° Settore  
Progetto di rilevamento di parametri finalizzati alla caratterizzazione geologica, fisica e geofisica per la vulnerabilità sismica dell' Istituto Alberghiero "Principe Grimaldi" di Modica.

<b>Indagini Modica</b>	<b>QUANTITA'</b>
<b>Lavori commissionati dalla Provincia</b>	
Sondaggi a carotaggio continuo	21
Prelievo campioni nei sondaggi	41
Indagini sismiche di tipo Down Hole	11
<b>Lavori commissionati dalla Protezione Civile</b>	
Sondaggi a carotaggio continuo	42
Prelievo campioni nei sondaggi	61
Indagini sismiche di tipo Down Hole	10
Prove penetrometriche del tipo SPT	4
Analisi di laboratorio (analisi granulometriche ed indagini geotecniche)	130
Profili sismici a rifrazione	11
Sezioni geologiche	4
Tomografie elettriche	5
<b>Lavori commissionati dal Comune</b>	
Sondaggi a carotaggio continuo	23
Prelievo campioni nei sondaggi	84
Analisi di laboratorio (analisi granulometriche ed indagini geotecniche)	105
Indagini sismiche di tipo Down Hole	2
Indagini idrogeologiche	4
Profili georadar	5
<b>Microtremori a stazione singola (HVSR) Unipa</b>	
Indagini sismiche di tipo HVSR	100

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

<b>TOTALE PROVE: Modica</b>	<b>QUANTITA'</b>
Sondaggi a carotaggio continuo	<b>86</b>
Prelievo campioni nei sondaggi	<b>186</b>
Analisi di laboratorio (analisi granulometriche ed indagini geotecniche)	<b>235</b>
Prove penetrometriche del tipo SPT	<b>4</b>
Indagini idrogeologiche	<b>4</b>
Sezioni geologiche	<b>4</b>
Profili sismici a rifrazione	<b>11</b>
Tomografia elettrica	<b>5</b>
Profili georadar	<b>5</b>
Indagini sismiche di tipo Down Hole	<b>23</b>
Indagini sismiche di Microtremori stazione singola (HVSR)	<b>100</b>

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

#### **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 Modica.

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

I terreni del substrato, in base alle 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 e dai litotipi marnosi e calcareo-marnosi della Formazione Tellaro (Tab. 4.3).

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 quattro differenti tipologie di coperture in funzione delle caratteristiche granulometriche e della loro genesi: "Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo" (GM), Sabbie limose, miscela di sabbia e limo" (SM), "Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità" (ML) e "terreni contenenti resti di attività antropica" (RI). (Tab. 4.4).

### Terreni di substrato

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

Tab. 4.3 – Classificazione dei terreni di substrato

### Terreni di copertura

Depositi alluvionali attuali e recenti	SM – Sabbie limose, miscela di sabbia e limo; ML- Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità.
Depositi alluvionali terrazzati	GM – Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo
Depositi di alterazione, riporto, suoli etc..	RI – Depositi con resti di attività antropica

Tab. 4.4 – Classificazione dei terreni di copertura

### 4.3 Indagini geofisiche precedenti

Il settore geologia e geofisica della provincia regionale di Ragusa ha eseguito le seguenti indagini:

- n° 3 indagini sismiche verticali di tipo Down Hole (088006P34DH264, 088006P37DH272 e 088006P39DH275) per il progetto di rilevamento dei parametri finalizzati alla caratterizzazione geologica, fisica e geofisica per la vulnerabilità sismica dell'ITC "Archimede" di Modica;
- n° 4 indagini sismiche verticali di tipo Down Hole (088006P40DH281, 088006P41DH283, 088006P42DH289 e 088006P43DH291) per il progetto di rilevamento dei parametri finalizzati alla caratterizzazione geologica, fisica e geofisica per la vulnerabilità sismica dell'istituto alberghiero di Modica;
- n° 2 indagini sismiche verticali di tipo Down Hole (088006P46DH299 e 088006P47DH304) per il progetto di rilevamento dei parametri finalizzati alla caratterizzazione geologica, fisica e geofisica per la vulnerabilità sismica dell'ITG "Verga" di Modica;
- n° 2 indagini sismiche verticali di tipo Down Hole (088006P32DH259 e 088006P33DH261) per il progetto di rilevamento dei parametri finalizzati alla caratterizzazione geologica, fisica e geofisica per la vulnerabilità sismica del Liceo Scientifico "G. Garibaldi" di Modica.

Sono presentati i modelli di velocità in funzione della profondità ottenuti con il metodo delle velocità d'intervallo e con il metodo delle dromocrone. Tuttavia una valutazione delle indagini riportate richiederebbe l'analisi dei dati sperimentali che non sono riportati, per cui l'attendibilità di queste indagini va comunque considerata limitata.

Nella relazione per le indagini geognostiche preliminari ai lavori di consolidamento del costone roccioso di via Fontana a Modica sono riportati i risultati di n°2 indagini sismiche di tipo Down Hole (088006P22DH179 e 088006P24DH201). Anche in questo caso, una valutazione del sondaggio Down Hole richiederebbe l'analisi dei dati sperimentali che non sono riportati, per cui l'attendibilità di queste indagini va comunque considerata limitata.

Nella relazione per le indagini geognostiche relative al progetto di recupero e conservazione della Caserma dei Carabinieri di Modica sono riportati i risultati di n°4 indagini sismiche di tipo Down Hole (088006P48DH312, 088006P49DH320, 088006P50DH322 e 088006P51DH324), eseguiti fino ad una profondità di 14 metri. Non sono tuttavia presentati i dati sperimentali e si presentano un numero di misure per sondaggio (4 misure) insufficiente per una corretta ricostruzione dei profili verticali di velocità delle onde elastiche in funzione della profondità. Per queste motivazioni l'attendibilità di queste indagini va considerata limitata.

Nella relazione per le indagini geognostiche relative al progetto di recupero e conservazione della Chiesa di San Domenico a Modica sono riportati i risultati di n°2 indagini sismiche di tipo Down Hole (088006P1DH5 e 088006P3DH23), eseguiti fino ad una profondità di 11 metri. Anche in questo caso non vengono riportati i dati sperimentali, non permettendo una corretta valutazione dell'attendibilità dei risultati riportati. Nella stessa relazione sono riportati i modelli interpretativi di n°2 indagini elettriche tomografiche (088006L2ERT5 e 088006L1ERT6). Anche in questo caso l'attendibilità di questi risultati è limitata dal fatto che non sono riportati i dati e le incertezze sulle stime dei parametri che potrebbero essere significative per problemi di equivalenza dei modelli interpretativi.

Nella relazione per le indagini preliminari ai lavori di consolidamento del costone roccioso di via Carlo Papa a Modica, sono riportati i risultati di alcune indagini georadar (088006L5RAD7, 088006L6RAD8, 088006L7RAD9, 088006L8RAD10 e 088006L9RAD11), eseguite lungo strade pavimentate. Nonostante la bassa qualità delle immagini l'interpretazione di tipo stratigrafico dei profili eseguiti sembra coerente con i profili riportati. La profondità di indagine è limitata a meno di 2 metri.

Nella relazione geologico-tecnica per il progetto di consolidamento strutturale e di ripristino funzionale della Chiesa di San Giovanni sita in Piazza San Giovanni a Modica, sono riportate le dromocrone e i modelli interpretativi di n° 4 sondaggi sismici a rifrazione (088006L10SR12, 088006L11SR13, 088006L12SR14 e 088006L13SR15). Non sono riportati gli scarti tra i dati sperimentali e le risposte dei modelli, non permettendo una corretta valutazione della robustezza dei modelli interpretativi. Inoltre non si può valutare la precisione del picking delle fasi perché manca una rappresentazione dei dati sperimentali.

Nella relazione per il miglioramento statico e il restauro conservativo della Chiesa Santa Teresa D'Avila a Modica, sono riportate le dromocrone e i modelli interpretativi di n° 2 sondaggi sismici a rifrazione (088006L21SR23 e 088006L22SR24), eseguite con 6 geofoni posti ad una distanza di 3.5 metri. La risoluzione dell'indagine risulta bassa. Inoltre non sono riportati i dati sperimentali (per una corretta valutazione del picking) e gli scarti tra i dati sperimentali e le risposte dei modelli, non permettendo una corretta valutazione della robustezza dei modelli interpretativi.

Nello studio geologico-tecnico relativo al progetto dei lavori di recupero e consolidamento del ponte S. Giorgio di Modica, sono riportati n°4 indagini sismiche di tipo Down Hole (088006P78DH469, 088006P70DH424, 088006P72DH437 e 088006P75DH450), eseguiti fino ad una profondità di 16.5 m, 18 m, 40 m e 19.5 m, rispettivamente. Anche in questo caso non vengono riportati i dati sperimentali, ma solo i tempi di picking, non permettendo una corretta valutazione dell'attendibilità dei risultati riportati. Nella stessa relazione sono presentati le dromocrone e i modelli interpretativi di n°2 sondaggi sismici a rifrazione (088006L14SR16 e 088006L15SR17). La mancanza dell'indicazione degli scarti tra i dati sperimentali e le risposte dei

modelli, non permette una corretta valutazione della robustezza dei modelli interpretativi. Inoltre non si può valutare la precisione del picking delle fasi perché manca una rappresentazione dei dati sperimentali.

Nei report relativi alle indagini eseguite per il recupero e la conservazione della chiesa di San Giorgio a Modica sono infine riportati i modelli interpretativi di n°3 tomografie elettriche (088006L16ERT18, 088006L17ERT19 e 088006L23ERT25) e n°3 tomografie sismiche (088006L18SR20, 088006L19SR21 e 088006L20SR22). Per entrambe le tipologie di indagine non sono riportati i metodi, i parametri di inversione e gli scarti tra i dati sperimentali e le risposte dei modelli. Inoltre la mancanza dei dati sperimentali non permette una corretta valutazione della congruità di questi con i modelli interpretativi.

#### 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.

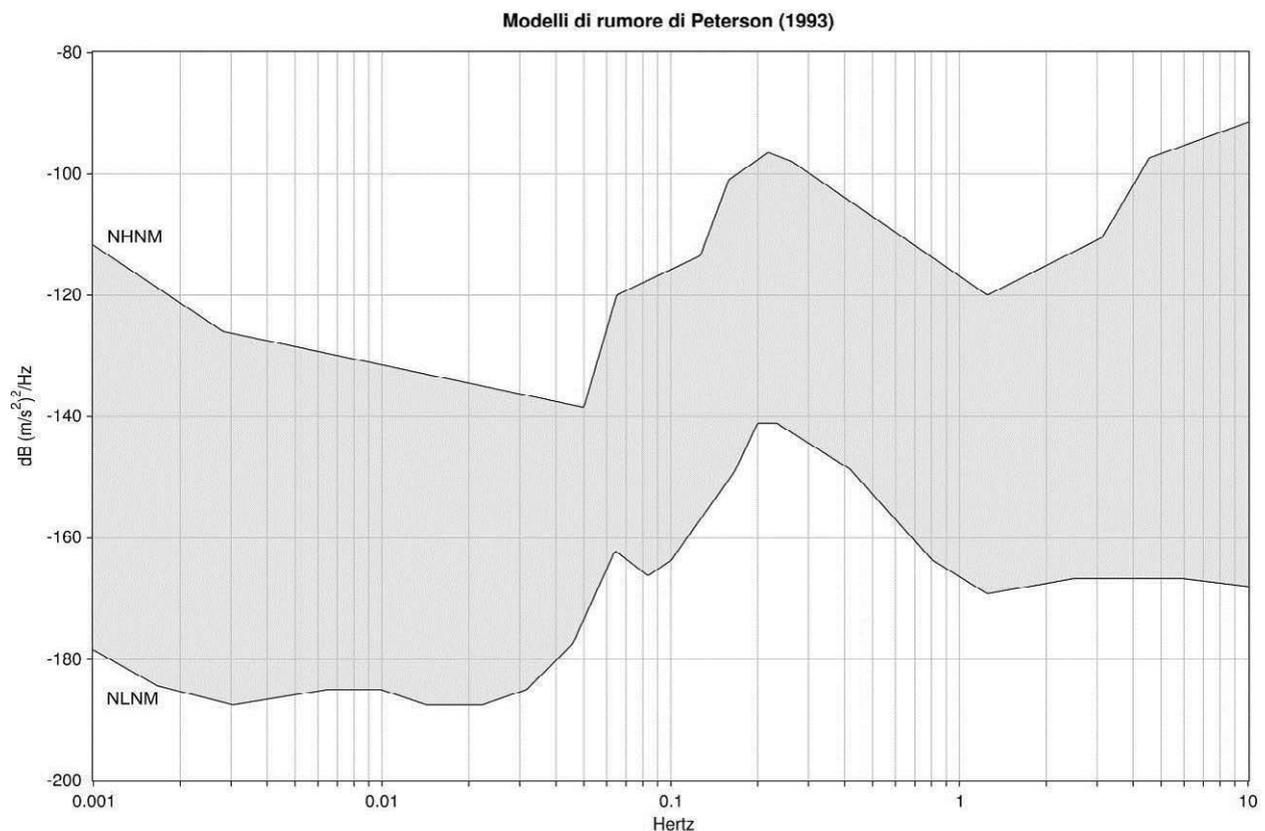


Fig. 4.1 – Spettro del rumore sismico (in termini di velocità, componente verticale del moto) minimo e massimo secondo Peterson (1993)

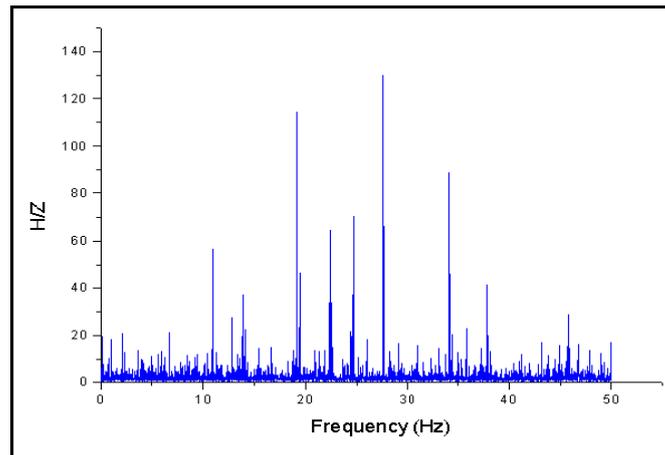


Fig. 4.2 – Esempio di spettro di ampiezza del rapporto H/Z di uno specifico sito

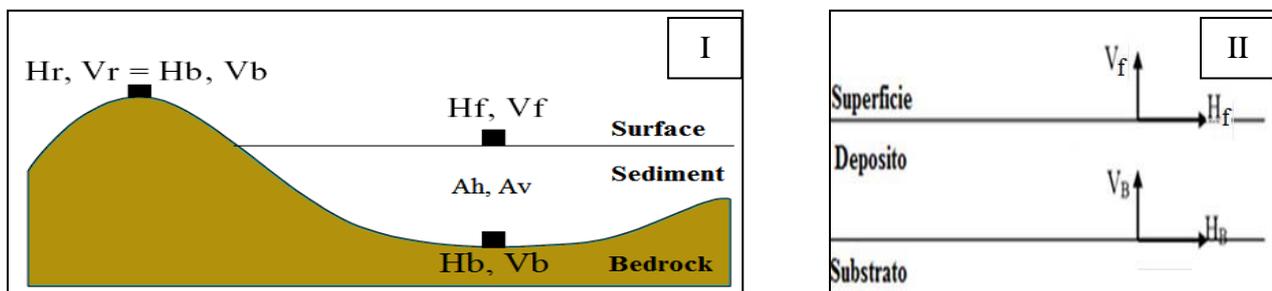


Fig. 4.3 – Schema del modello considerato da Nakamura (1989)

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:

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

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  $\approx 1$  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

“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

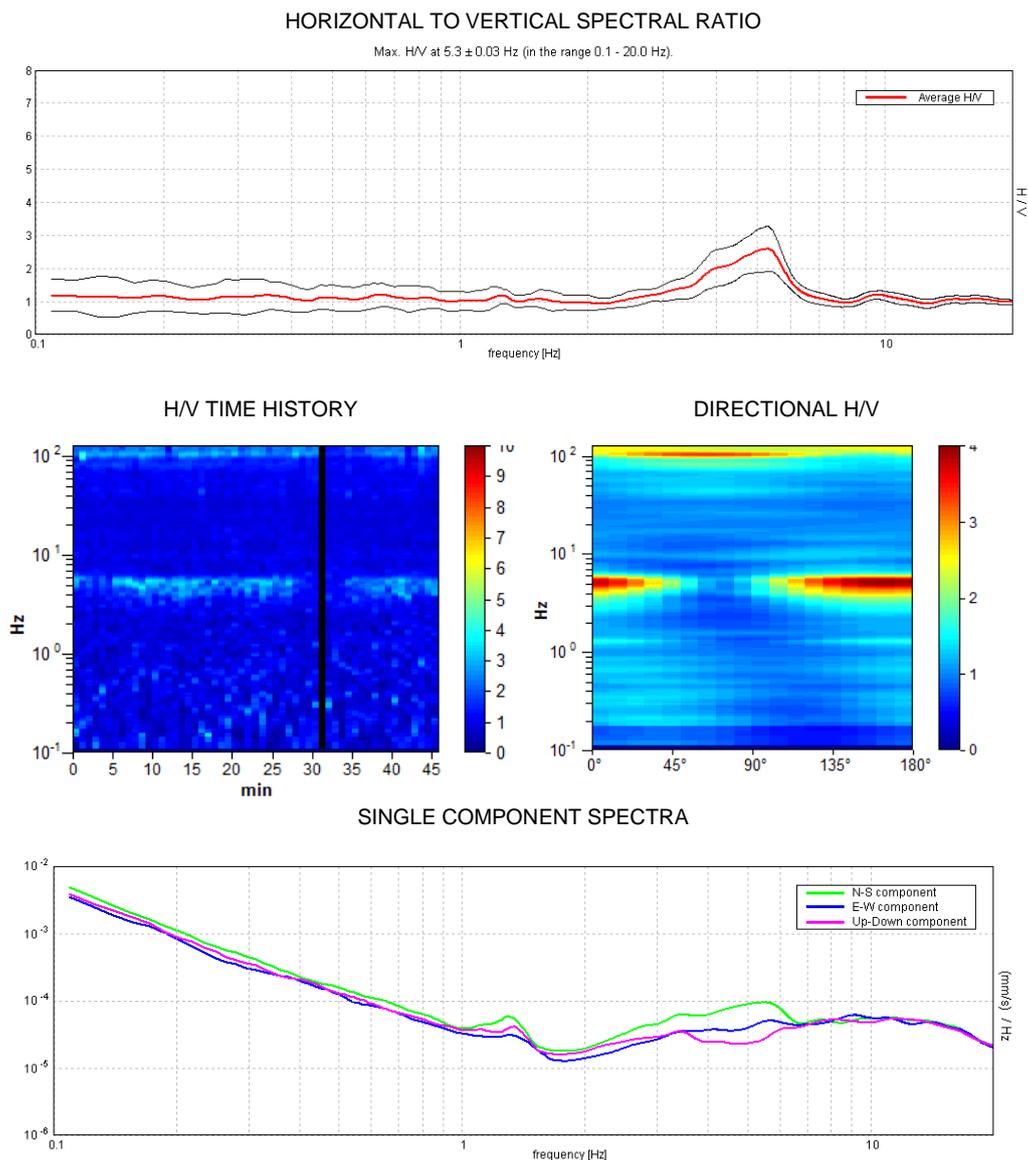


Fig. 4.4 – Analisi dei dati relativi al punto di misura 088006P175-HVSR626.

Le misure HVSR acquisite nel territorio comunale di Modica hanno messo in evidenza la presenza di possibili fenomeni di amplificazione del moto del suolo dovute a fenomeni di risonanza su gran parte del territorio urbano (Fig. 4.5).

Tutti i picchi significativi relativi alle curve HVSR sono stati inseriti nella Tab. 4.6. In considerazione delle informazioni geologiche disponibili, alcune delle misure effettuate sono state invertite per stimare la profondità del bedrock sismico, riportata in Tab. 4.6. 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. 4.6). Nel caso specifico si è ritenuto di potere discriminare tre cluster.

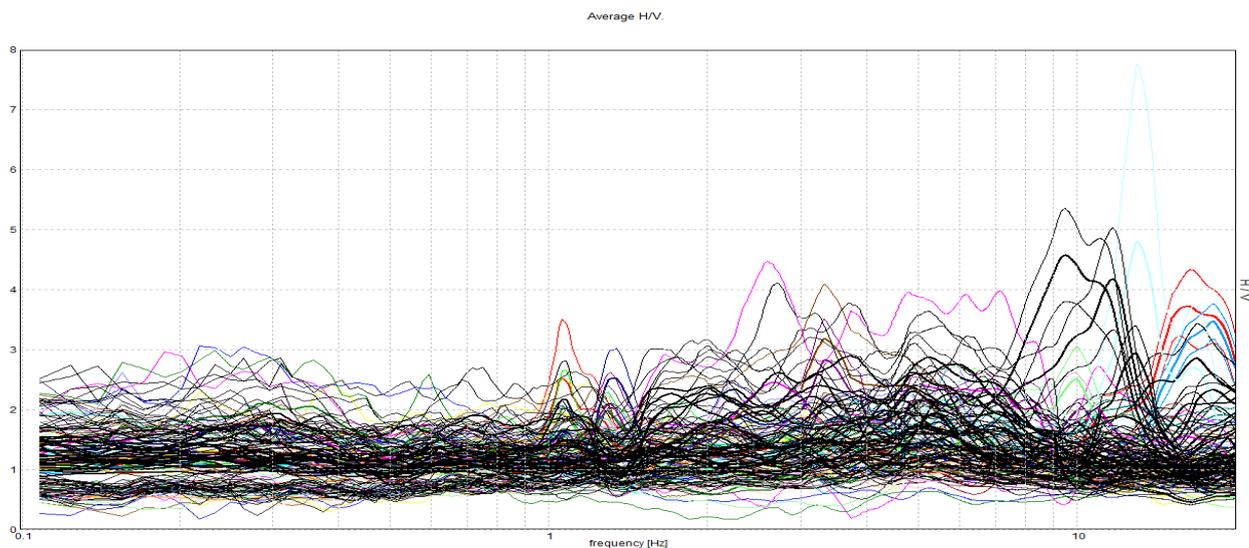


Fig. 4.5 – Segnali HVSR registrati dalle 100 stazioni singole.

	$F_0$	H/V di $F_0$	$F_1$	H/V di $F_1$	$F_2$	H/V di $F_2$	Profondità bedrock sismico
088006P88-HVSR539	1.05	2.5	16.17	3.7			9
088006P89-HVSR540	1.05	2.3	4.38	2.8	10	1.5	
088006P90-HVSR541	1.08	2					
088006P91-HVSR542	1.08	1.8					
088006P92-HVSR543	Non interpretabile						
088006P93-HVSR544	-	-					
088006P94-HVSR545	2.8	1.6	10.9	1.8			7.7
088006P95-HVSR546	1.08	2.3	16.9	3.6			7
088006P96-HVSR547	3.7	1.7	5.6	1.8			
088006P97-HVSR548	1.3	1.8					14
088006P98-HVSR549	1.06	1.9					12
088006P99-HVSR550	-	-					8
088006P100-HVSR551	2.9	1.4	5.3	1.5	18.1	3.4	7.6
088006P101-HVSR552	1.3	1.7					
088006P102-HVSR553	1.35	1.8	5.8	1.8	9.8	1.9	13
088006P103-HVSR554	6.5	2.4					
088006P104-HVSR555	1.08	1.6					3
088006P105-HVSR556	1.08	1.8	7.3	2.9	10.1	2.7	13
088006P106-HVSR557	1.08	1.6	2.4	2	16.86	2.8	
088006P107-HVSR558	1.05	2.2					3
088006P108-HVSR559	-	-					
088006P109-HVSR560	1.08	1.6					
088006P110-HVSR561	-	-					3
088006P111-HVSR562	1.08	1.5	3.2	1.6	5.05	1.7	4.5
088006P112-HVSR563	1.31	2.5	2.2	1.9	4.3	2	
088006P113-HVSR564	3.4	2.1	4.33	2.2	5.05	2	11.8
088006P114-HVSR565	1.08	1.6	1.4	2.1	3.33	2.8	
088006P115-HVSR566	1.4	1.7	5.06	2			

088006P116-HVSR567	1.08	1.6	1.4	1.7	3.7	1.8	3
088006P117-HVSR568	1.08	1.8	2	1.7	4.1	1.7	
088006P118-HVSR569	1.4	1.6	3.33	3	5	2.4	
088006P119-HVSR570	1.25	1.9	4.3	1.5			
088006P120-HVSR571	1.08	1.5					
088006P121-HVSR572	5.7	1.5					
088006P122-HVSR573	2.97	1.5					
088006P123-HVSR574	6.4	2.1	10	2.5			
088006P124-HVSR575	2.1	1.8	5.88	2.2	7.1	1.9	
088006P125-HVSR576	1.6	2.1	3.7	3.3	5.28	3.9	
088006P126-HVSR577	-	-					
088006P127-HVSR578	8.52	4.8	13	2.4	16	3.5	
088006P128-HVSR579	-	-					
088006P129-HVSR580	2.7	2.15	3.7	2.25	5.16	2.5	6.6
088006P130-HVSR581	14.95	1.9					
088006P131-HVSR582	7.73	1.9	13	1.8			1.5
088006P132-HVSR583	1.4	2	2.2	1.7	3.44	2.3	
088006P133-HVSR584	6.06	2.3					
088006P134-HVSR585	6	2	12.97	4.8			
088006P135-HVSR586	-	-					
088006P136-HVSR587	2.72	2.6	4.3	2.2	7	1.8	
088006P137-HVSR588	-	-					
088006P138-HVSR589	2.03	1.8					
088006P139-HVSR590	3.19	1.6					
088006P140-HVSR591	2	2.4	3.1	2.2	12.91	3	
088006P141-HVSR592	-	-					
088006P142-HVSR593	2	2.3	3.1	2.4	5.25	2.9	4
088006P143-HVSR594	Non interpretabile						
088006P144-HVSR595	4.33	2.15					4
088006P145-HVSR596	5.31	3.1	9.7	2.4			18
088006P146-HVSR597	4.92	2.4					3
088006P147-HVSR598	4.3	3.2	9.48	5.3			19.5
088006P148-HVSR599	5.5	2.3	11.72	4.2			
088006P149-HVSR600	4.33	2					29
088006P150-HVSR601	2	2.3	3.7	2.9	6	2.8	
088006P151-HVSR602	2.3	2	3.44	2.4	4.6	2.3	
088006P152-HVSR603	5.41	2					
088006P153-HVSR604	-	-					
088006P154-HVSR605	4.89	2.4	7.1	2			
088006P155-HVSR606	2.08	1.6					
088006P156-HVSR607	5.47	2					
088006P157-HVSR608	1.06	1.6					
088006P158-HVSR609	5.4	1.6					
088006P159-HVSR610	2.94	1.5	5	1.5			
088006P160-HVSR611	1.72	2.3					
088006P161-HVSR612	3.58	2.1					
088006P162-HVSR613	6.22	2.2					
088006P163-HVSR614	-	-					
088006P164-HVSR615	9.52	4.5					
088006P165-HVSR616	10.55	2.3					
088006P166-HVSR617	-	-					2

088006P167-HVSR618	3.1	1.8	5.16	1.85			3
088006P168-HVSR619	-	-					
088006P169-HVSR620	2.98	1.8					
088006P170-HVSR621	-	-					
088006P171-HVSR622	-	-					
088006P172-HVSR623	-	-					
088006P173-HVSR624	-	-					
088006P174-HVSR625	-	-					
088006P175-HVSR626	5.3	2.7					
088006P176-HVSR627	-	-					
088006P177-HVSR628	-	-					
088006P178-HVSR629	-	-					
088006P179-HVSR630	1.06	1.9					
088006P180-HVSR631	0.3	3.1					
088006P181-HVSR632	0.31	2.4	0.6	2.3	4.8	1.8	
088006P182-HVSR633	4.38	2					
088006P183-HVSR634	0.33	3.2	0.78	2			
088006P184-HVSR635	-	-					
088006P185-HVSR636	-	-					
088006P186-HVSR637	1.08	2.2	2.2	2.35	4.97	2.6	2.5
088006P187-HVSR638	3.84	3.1	5.6	2.7			10.9

Tabella. 4.5 – Coordinate dei punti di misura, frequenza e rapporto H/V dei picchi significativi individuati.

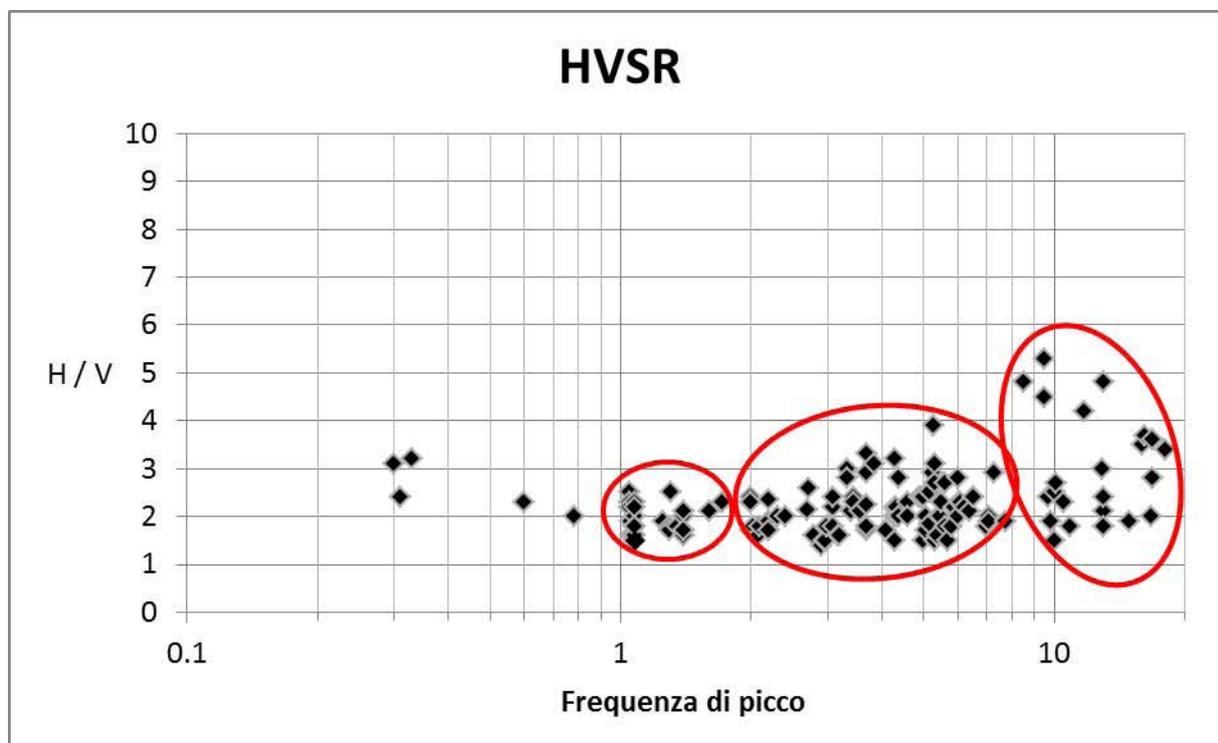


Fig. 4.6 – Frequenze di picco registrate e indicazione dei cluster utilizzati per la costruzione delle carte delle frequenze.

## 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 Modica. 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 2 m a più di 30 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.

Il substrato a tratti è ricoperto da depositi alluvionali costituiti in alcuni casi da depositi alluvionali sabbioso-limosi (SM), in altri da depositi a prevalente componente limosa (ML), in altri ancora da depositi ghiaioso-sabbiosi (GM). Distribuiti in varie aree del territorio inoltre si riscontrano piccole sacche di terreni di riporto di varia natura (RI).

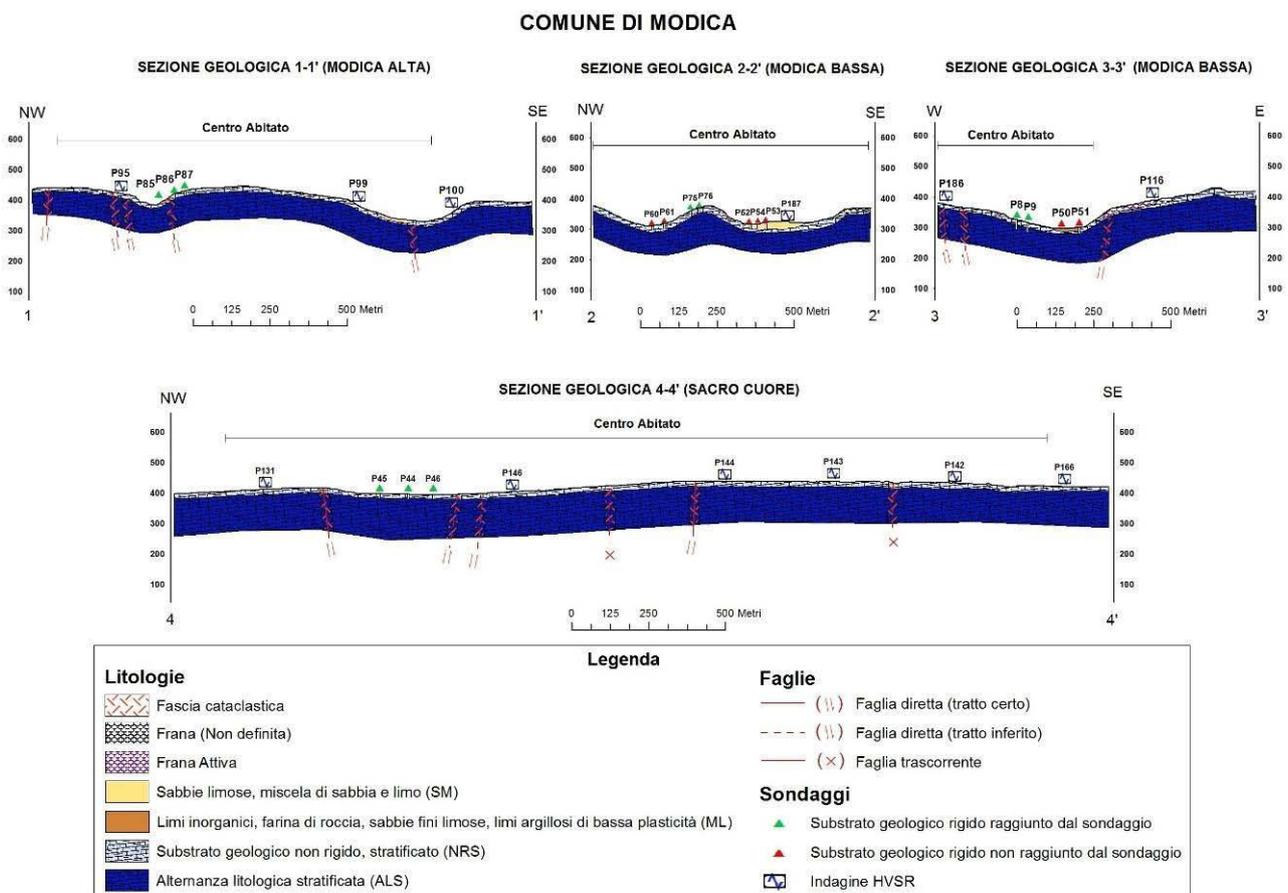


Fig. 5.1 – Sezioni geologiche interpretative

## 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 sismici di tipo Down Hole 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. 4.6).

In quasi tutte le misure HVSR, si evidenzia la presenza di un massimo intorno ad 1.08 Hz, che sembra essere correlato ad una variazione delle velocità di propagazione delle onde di taglio in profondità. Tuttavia velocità attribuibili ad un bedrock sismico (circa 800 m/s) si riscontrano a minori profondità. Per la determinazione della profondità del substrato sismico sono quindi state considerate le profondità relative alla frequenza  $F_1$  e  $F_2$ , indicate in tabella 4.5 e in due casi (088006P166 HVSR617 e 088006P110 HVSR561), massimi con frequenze maggiori di 20 Hz.

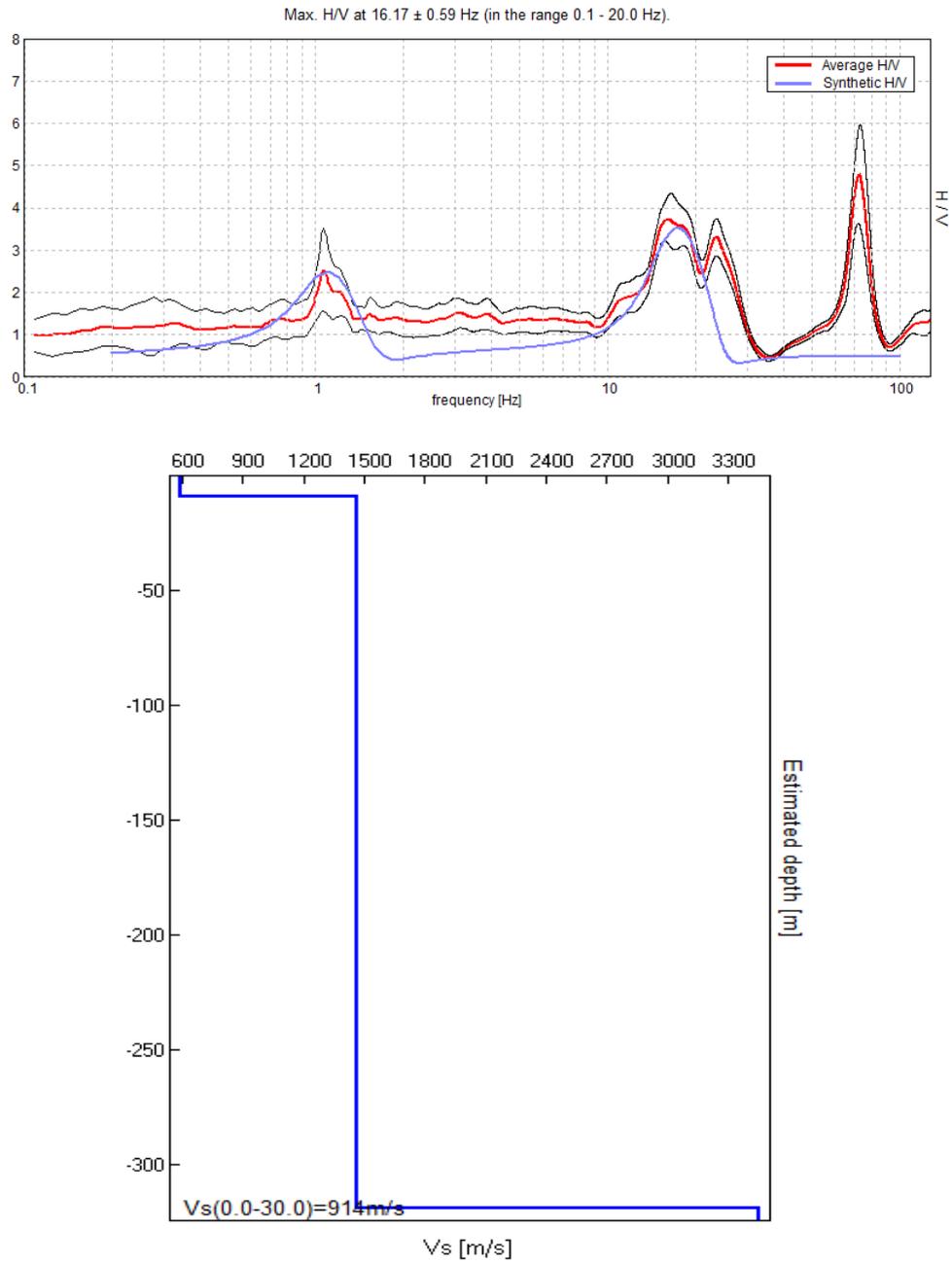


Fig. 5.2 – Esempio di modello monodimensionale a strati della velocità delle onde di taglio (in basso) ottenuta dall'inversione del sondaggio 088006P88HVS539 (in alto).

## 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 3 m fino a circa 30 m. Questo orizzonte non è da intendersi come un livello litologico 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..

Inoltre si segnala che spesso in alcuni sondaggi e nella cartografia tematica esistenti viene riportata la presenza di cavità di diversa natura (carsica e/o antropica) e dimensione a diverse profondità all'interno dei litotipi calcareo marnosi della Formazione Ragusa. Queste aree, così come previsto dagli standard, sono state delimitate e riportate nella carta geologico-tecnica, tuttavia i dati a disposizione non sempre hanno permesso di definire con certezza la reale estensione, sia in orizzontale che in verticale, delle cavità.

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 coltre di copertura;
- c) Localizzazione di eventuali discontinuità tettoniche nel sottosuolo e quantificazione dei rigetti.
- d) Estensione delle aree interessate da cavità.

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 Modica.

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 microtremitori

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 microtremitori 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 Modica 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 stati adottati 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° e >15°) 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
<b>ID_el</b>	numero intero	Descrizione: identificativo univoco progressivo dell'elemento lineare
<b>Tipo_el</b>	numero intero	Tipo dell'elemento lineare

Tab. 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

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

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

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

Descrizione	Tipo_ep
Picco isolato	6010
Cavità sepolta isolata	6020

Tab. 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  $10^\circ$ .

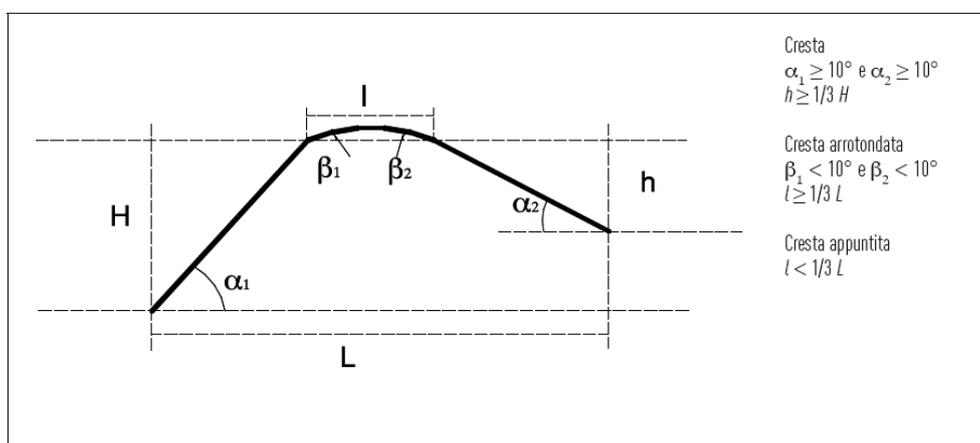


Fig. 7.1 - Schemi di riferimento per le creste e criteri di riconoscimento (ICMS).

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 ( $\beta$ ) del fronte superiore, inferiore o uguale a un quinto dell'inclinazione ( $\alpha$ ) 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  $h \geq 1/3 H$  la situazione è da considerarsi una cresta appuntita); un'inclinazione al piede del fronte principale  $\alpha$  pari almeno a  $10^\circ$ .

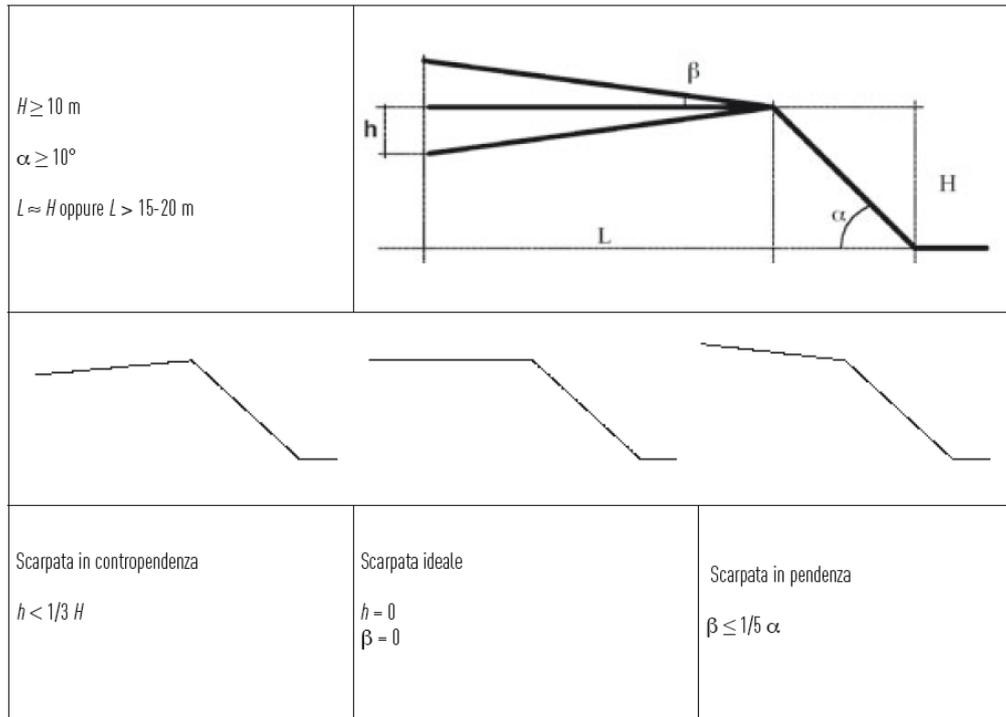


Fig. 7.2 - Schemi di riferimento per la scarpata e criteri di riconoscimento (ICMS).

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 ( $10^\circ$  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  $45^\circ$  e  $90^\circ$ ), 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).

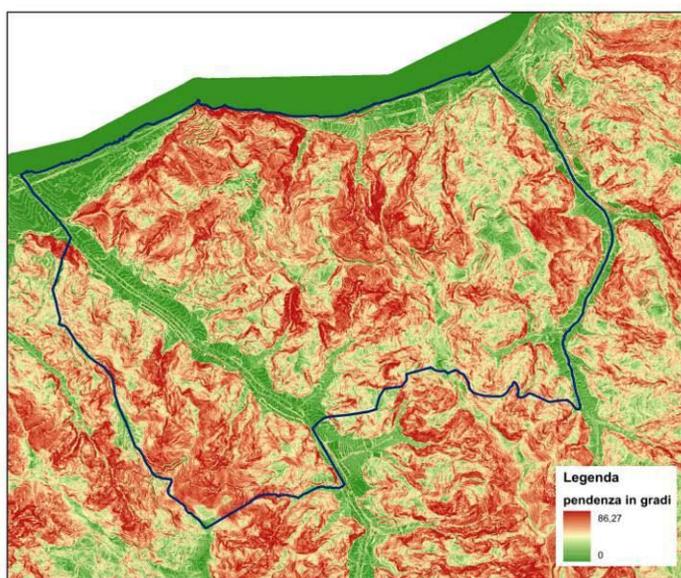


Fig. 7.3 – Esempio di carta della pendenza (esempio: Piraino, Me).

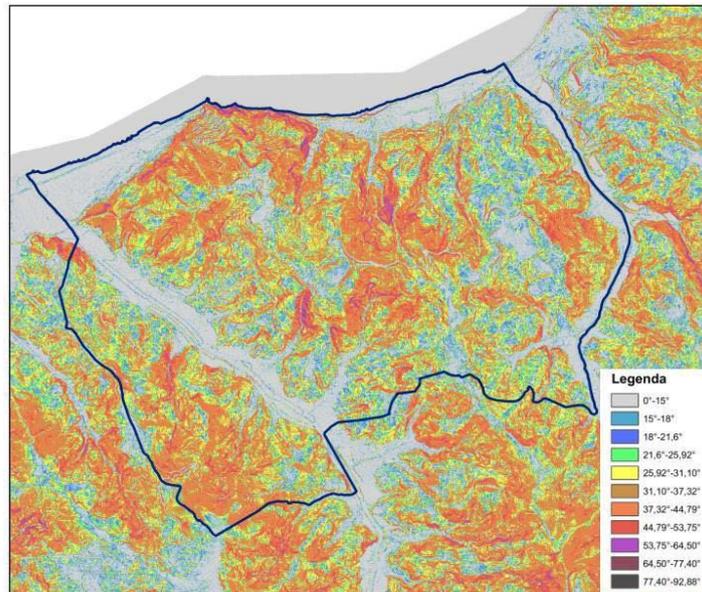


Fig. 7.4 – Esempio di riclassificazione della pendenza (esempio: Piraino, Me).

### ***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).

### ***Individuazione degli elementi antropici***

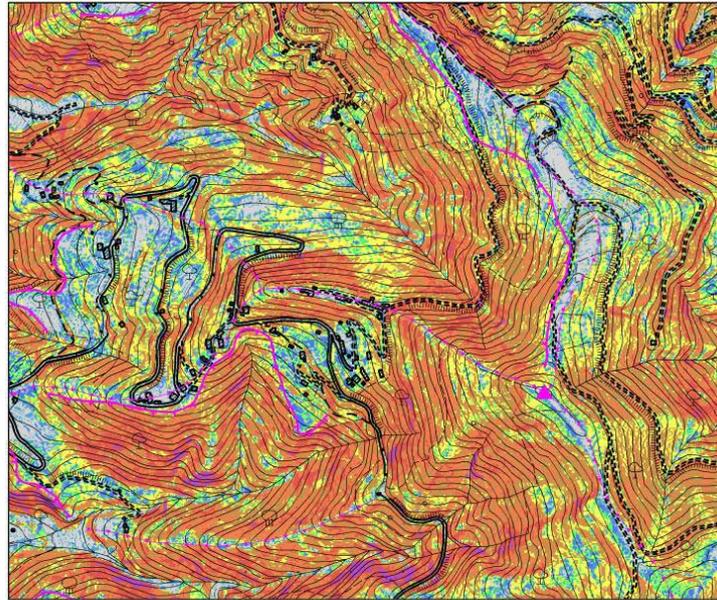
Infine, sono stati selezionati gli elementi antropici per verificare la coerenza tra gli elementi morfologici individuati ed i centri abitati. Quest'ultimo passaggio riguarda in particolare le scarpate, le quali infatti possono non intersecare case o strade, pur trovandosi nelle loro immediate vicinanze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

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

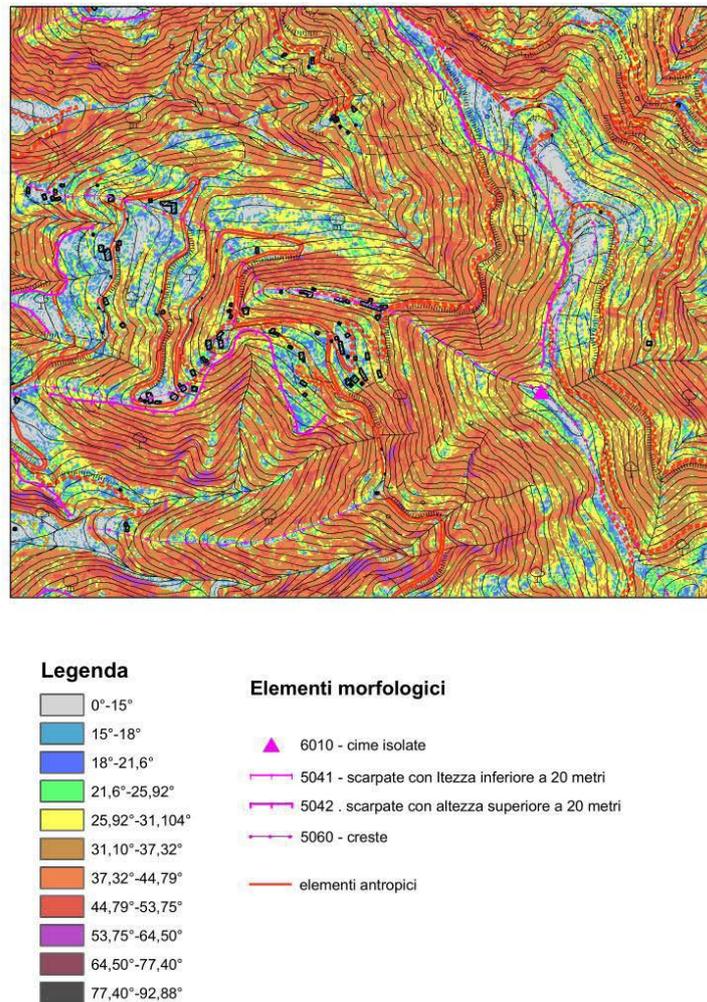


Fig. 7.6 – Sovrapposizione degli elementi antropici (esempio: Sant'Angelo di Brolo, Me).

#### 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 Modica 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), molte in prossimità delle chiese e di edifici storici. Le aree più settentrionali (C/da Catagirase) e sud-orientali (Modica Sacro Cuore e C/da Treppiedi) risultano quasi completamente sprovviste di indagini pregresse ad eccezione della zona denominata "Caitina" dove sono presenti un buon numero di indagini in prossimità dei diversi istituti scolastici che sorgono in quest'area.

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 uniforme all'interno del territorio indagato a formare una maglia di 100 punti di acquisizione (Fig. 8.1).

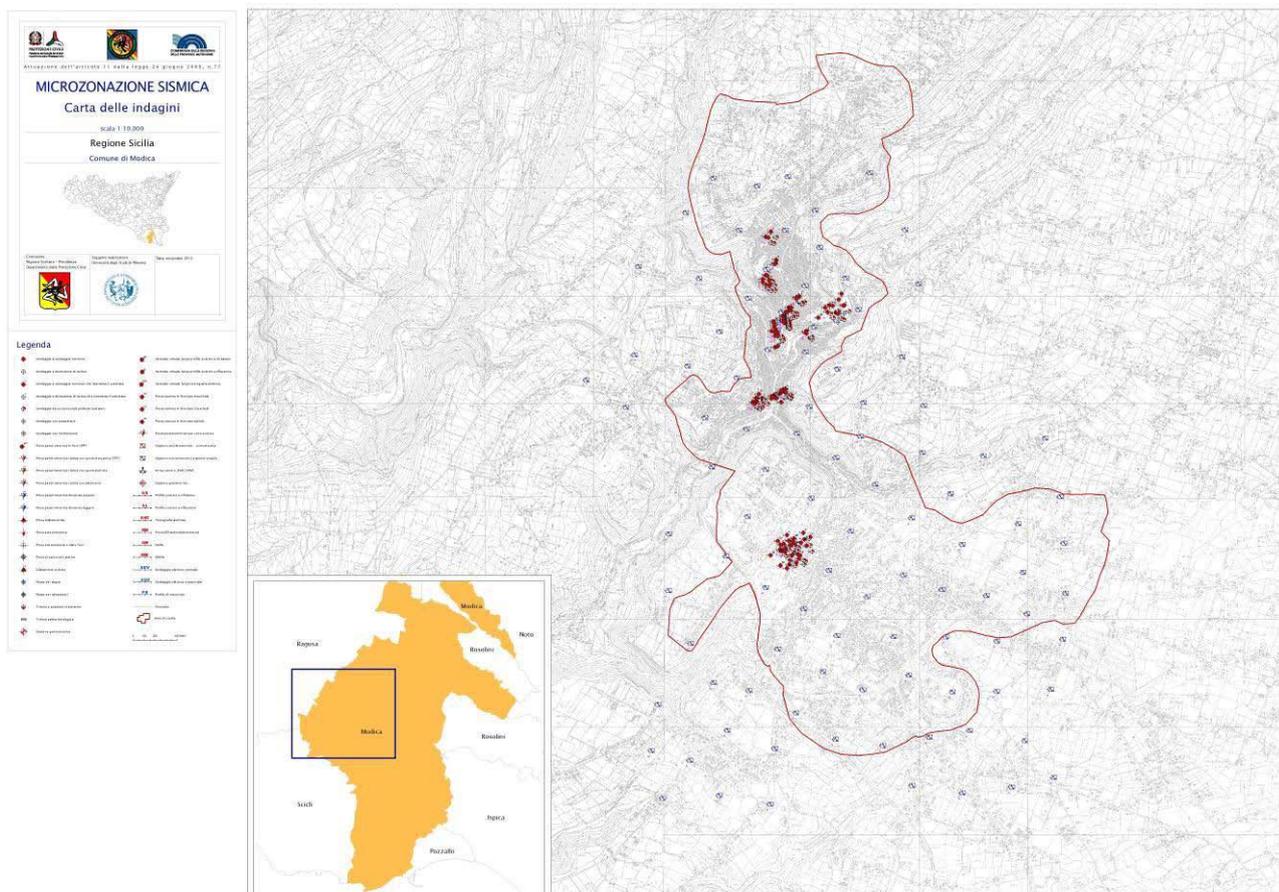


Fig. 8.1 – Riduzione della carta delle indagini del territorio di Modica (v. PDF cartella plot in banca dati).

## 8.2 Carta Geologico tecnica

La caratterizzazione dei terreni nei dintorni del centro urbano di Modica 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 e dai depositi marnosi e calcareo marnosi della Formazione Tellaro. Come si evince dalle indagini precedenti tuttavia tali depositi non sempre 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 o la densità di fratturazione. 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 1/2 m a 30/35) m di substrato geologico non rigido (NRS) (Figg. 8.2 e 5.1).

### 8.2.2 I terreni di copertura

Le coperture occupano principalmente il fondo valle all'interno dei quali si sviluppa parte del centro abitato. Queste coperture sono state classificate come "ML" nell'area che va da Piazza Principe di Napoli, attraversando Corso Umberto I e Piazza Matteotti, fino a Piazza Rizzone e la parte iniziale di Via Tirella e Via Medaglie D'oro. Nella parte centrale dell'area, nei pressi di Piazza Matteotti le coperture hanno spessori maggiori di 14 m. Sono state inoltre rilevate due sacche di depositi sabbioso-limosi a partire da Piazza Principe di Napoli spostandosi lungo Via Marchesa Tedeschi e continuando verso Nord nell'area compresa tra via Fontana e la Via Gerratana/S.P. n. 51. Questi depositi, classificati come "SM", nelle zone più a valle raggiungono anche spessori di circa 5 m. La cartografia esistente dell'area riporta anche la presenza di alluvioni fluviali terrazzate costituite da depositi ghiaioso-sabbiosi, nei pressi di Piazzale Falcone e Borsellino, che sono stati classificati come "GM" nella carta geologico tecnica. Un'ulteriore area caratterizzata da depositi ghiaiosi e sabbiosi (GM) è stata individuata nei pressi di via Caitina nella zona Sacro Cuore, dove i sondaggi evidenziano spessori di depositi detritico-colluviali fino a più di 6 m di profondità. Infine sono state rilevate diverse aree caratterizzate dalla presenza di materiali di riporto di varia natura e composizione (RI). Queste aree, tutte di dimensioni ridotte si trovano principalmente o alla base di alcuni pendii abbastanza inclinati o in corrispondenza di limitate depressioni di originale naturale o antropica (Fig. 8.2).

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

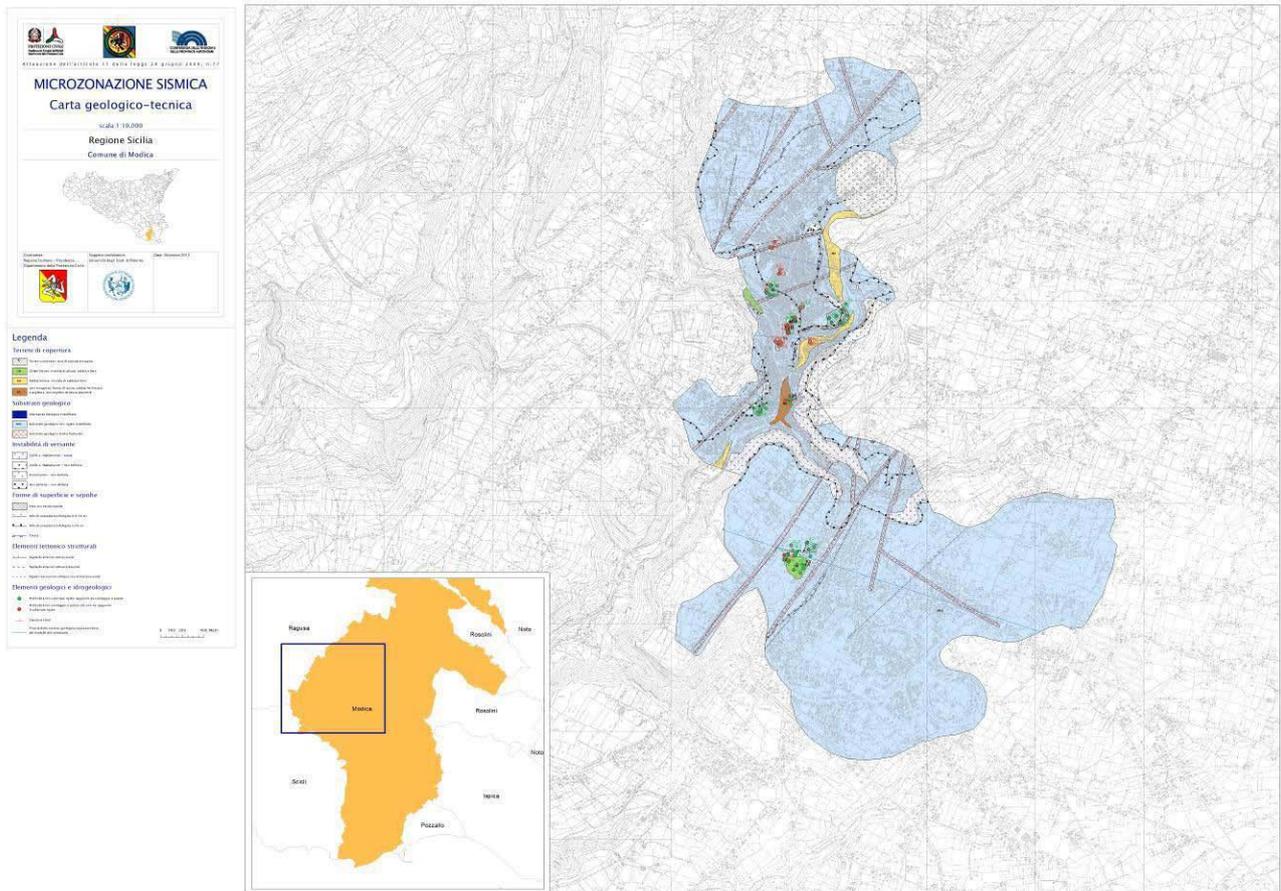


Fig.8.2 – Riduzione della carta Geologico-Tecnica delle aree perimetrate del territorio del Comune di Modica (v. PDF cartella plot in banca dati).

### 8.2.3 Dissesti

Lo studio geomorfologico realizzato ha permesso di definire il quadro di dissesto gravitativo dell'area di studio. Per il territorio indagato i dissesti geomorfologici, censiti nel PAI (Piano Assetto Idrogeologico – Fig. 8.3) e predisposto dall'Assessorato Regionale Territorio e Ambiente, sono concentrati laddove la presenza di litologie a componente calcarea dell'alternanza arenaceo-pelitica e dei conglomerati del Flysch di Capo d'Orlando, facilitano l'innescio di fenomeni di crollo nelle porzioni più superficiali dell'ammasso roccioso, con distacco di elementi lapidei di vario volume.

Sono, infatti, presenti numerose frane di crollo, ampliamenti diffuse in tutto il territorio Comunale che coinvolgono prevalentemente i fronti rocciosi e le scarpate rocciose, talora anche le scarpate formate da rocce molto fratturate. Tutti i dissesti censiti all'interno dell'area urbana sono appunto ascrivibili a fenomeni di crollo e/o ribaltamento che coinvolgono i fronti rocciosi. Più in particolare, i dissesti indicati con i codici:

PAI 083 - 7MO – 002, PAI 083 - 7MO – 003, PAI 083 - 7MO – 004 e PAI 083 - 7MO – 005, Sono fenomeni di crollo e/o ribaltamento attivi o riattivati che determinano anche situazioni di rischio medio-elevato per la presenza di abitazioni in prossimità dell'area colpita. I fenomeni di crollo PAI 083 - 7MO – 002 e PAI 083 - 7MO – 005, identificati rispettivamente in località collina Giacanta e nell'area urbana a monte di via Scala presentano problemi di stabilità legati anche alla presenza di cavità carsiche spesso di notevoli dimensioni.

Nel settore a NO del Centro Abitato principale, in corrispondenza delle contrade Utra – T. Passo Gatta e Gallinara, si identificano e perimetrano due processi di scorrimento stabilizzati: PAI 083 - 7MO – 019 e PAI 083 - 7MO – 020. Il primo dei due è apparso come uno scorrimento di roccia, perimetrato come un unico dissesto nel PAI, ma molto più probabilmente si tratta dell'accorpamento di almeno due o tre scorrimenti più piccoli per i quali non sono facilmente riconoscibili i limiti dei singoli fenomeni.

# LEGENDA

## FENOMENI FRANOSI

	Crollo e/o ribaltamento
	Colamento rapido
	Sprofondamento
	Scorrimento
	Frana complessa
	Espansione laterale o deformazione gravitativa (DGPV)
	Colamento lento
	Area a franosità diffusa
	Deformazione superficiale lenta
	Calanco
	Dissesti conseguenti ad erosione accelerata

## STATO DI ATTIVITA'

	Attivo
	Inattivo
	Quiescente
	Stabilizzato artificialmente o naturalmente
	Limite bacino idrografico
	Limite area intermedia
	Limite comunale

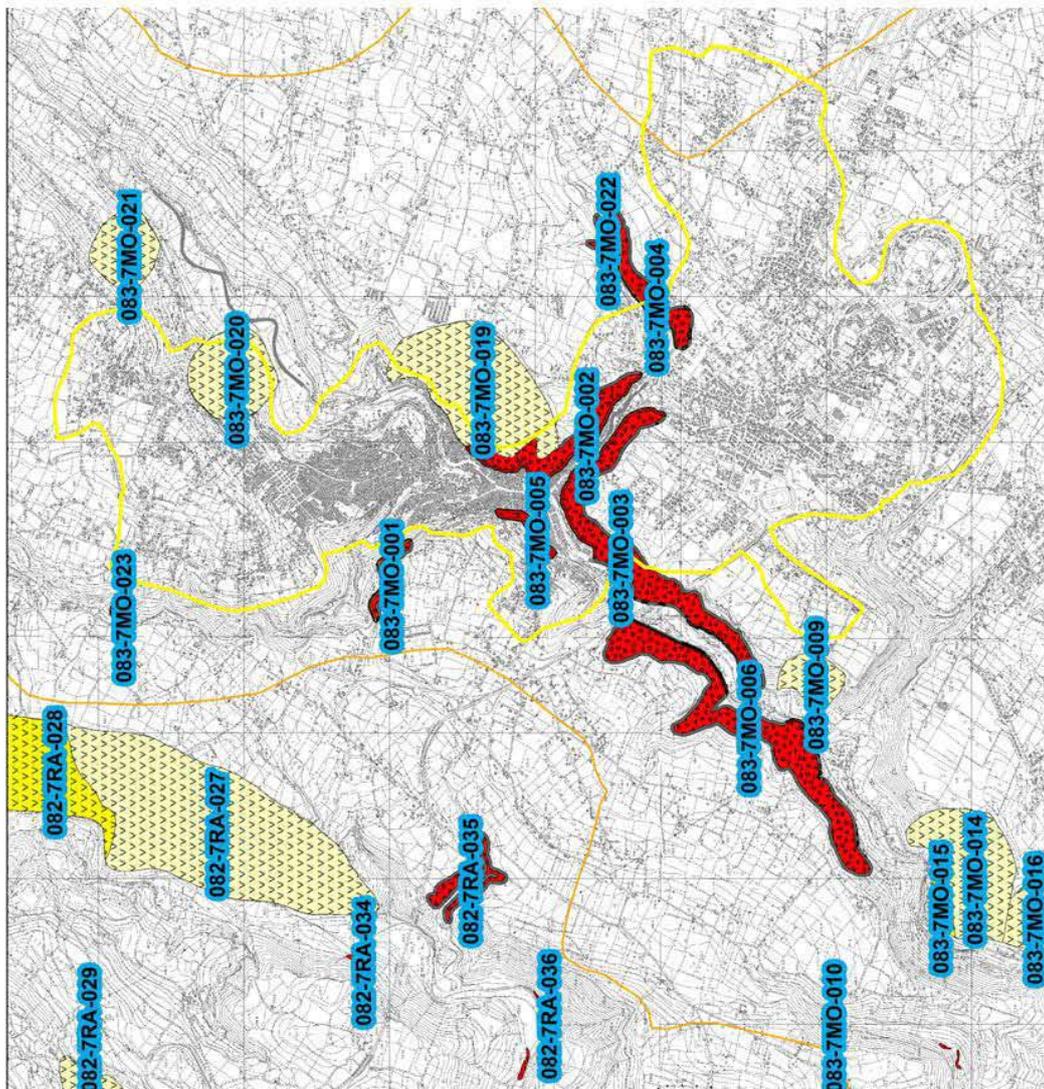


Fig. 8.3 – Comune di Modica – centro abitato principale: carta dei dissesti censiti nel PAI.

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

La carta delle microzone del comune di Modica, ha un'estensione di circa 1161 ettari (Fig. 8.5). Non è stata individuata alcuna zona che può essere considerata stabile. Sono state distinte otto zone stabili suscettibili di amplificazioni locali.

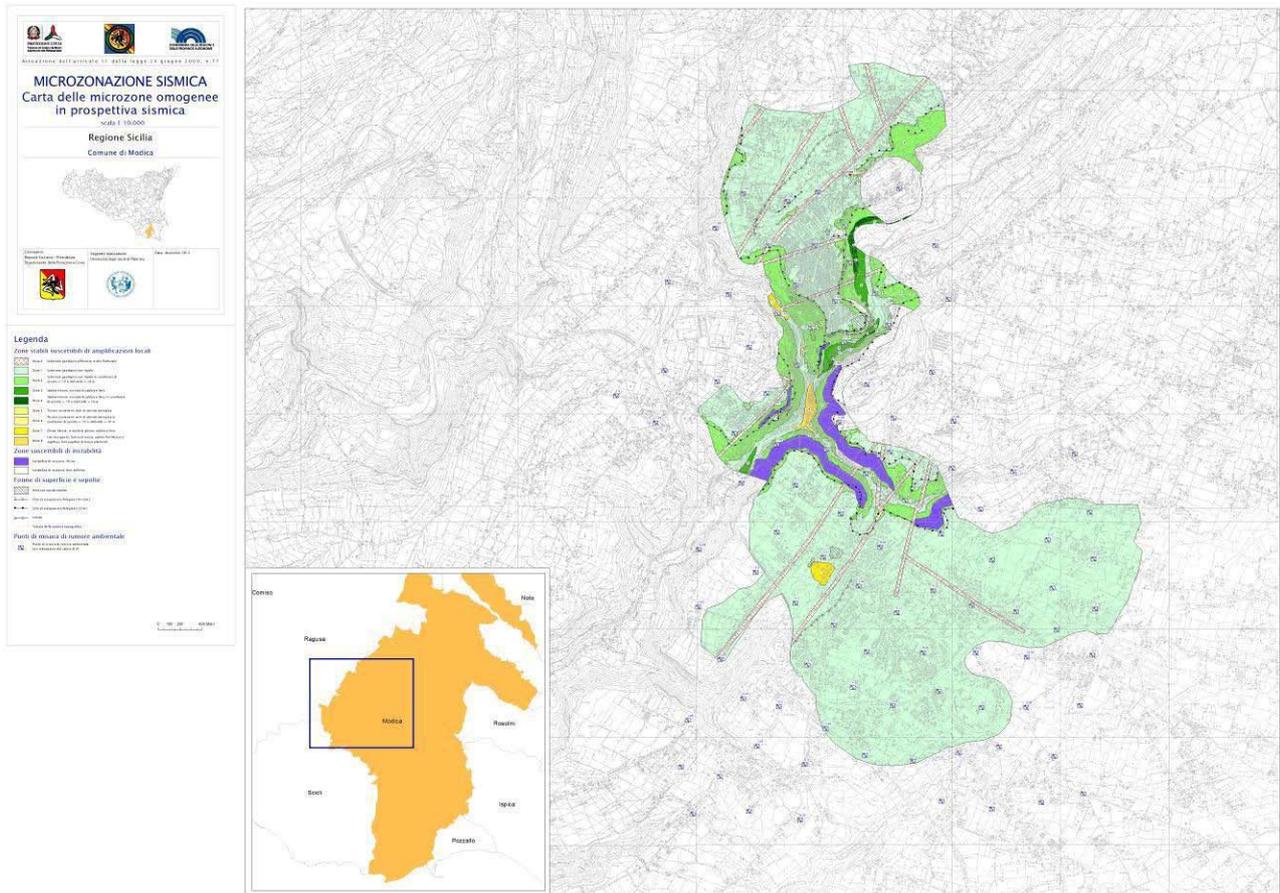


Fig. 8.4 – Riduzione della carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica delle aree perimetrate relative ai centri urbanizzati del Comune di Modica (v. PDF cartella plot in banca dati).

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

Sono state individuate due tipologie di zone suscettibili di instabilità: instabilità di versante attiva e instabilità di versante e instabilità di versante non definita.

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 Modica. Sono indicati anche i potenziali effetti attesi e il livello di approfondimento richiesto per gli studi di microzonazione sismica.

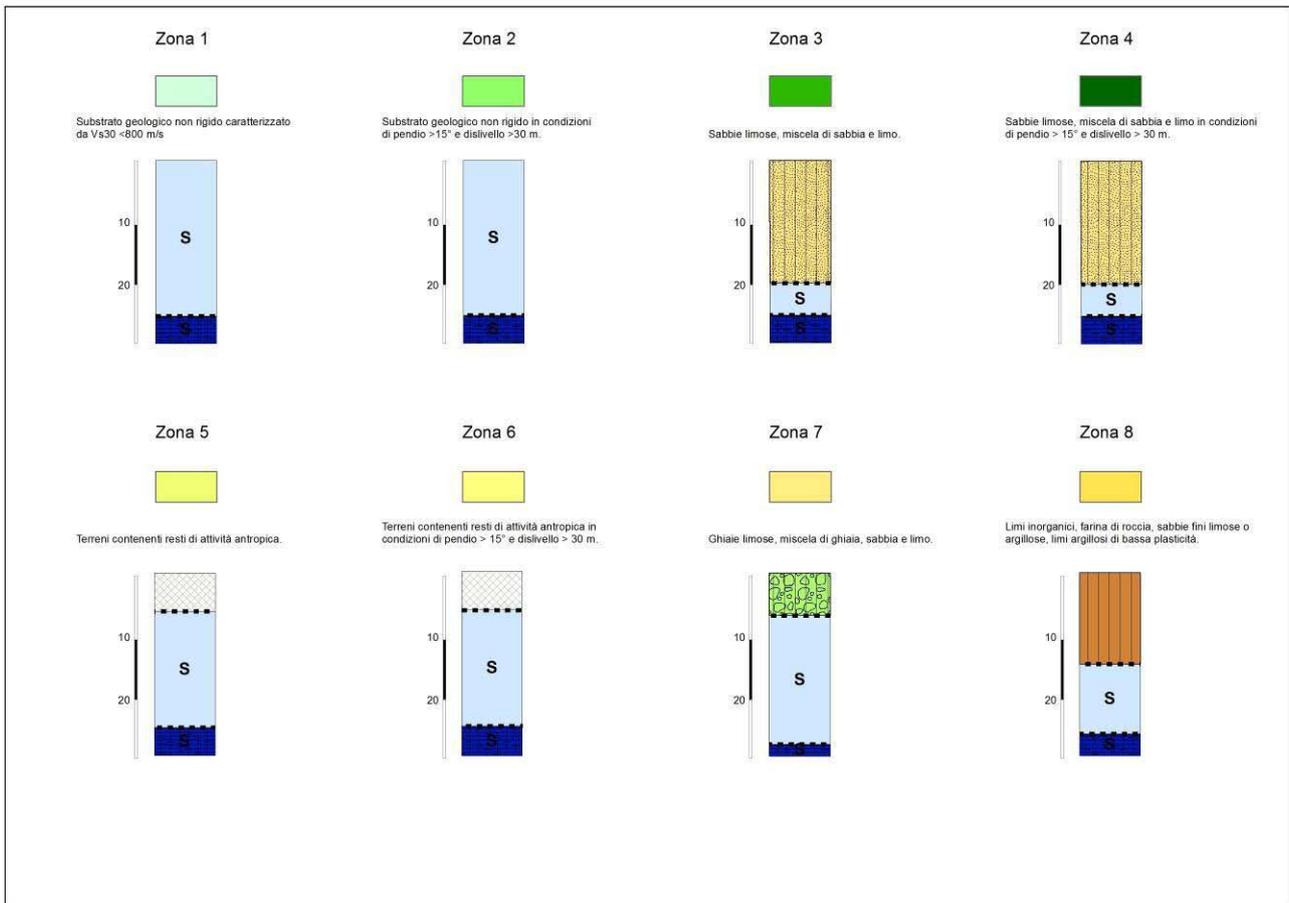


Fig. 8.5 – Colonne stratigrafiche esemplificative delle possibili condizioni di amplificazione locale presenti nel territorio di Modica.

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	Secondo livello ed eventuale terzo livello
Zona 3	Sabbie limose, miscela di sabbia e limo $> 3$ m.	SM	Amplificazione stratigrafica	Secondo livello ed eventuale terzo livello
Zona 4	Sabbie limose, miscela di sabbia e limo $> 3$ m in condizioni di pendio $> 15^\circ$ e dislivello $> 30$ m..	SM	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
Zona 6	Terreni contenenti resti di attività antropica $> 3$ m in condizioni di pendio $> 15^\circ$ e dislivello $> 30$ m.	RI	Amplificazione stratigrafica e topografica	Secondo livello ed eventuale terzo livello
Zona 7	Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla	GM	Amplificazione stratigrafica	Secondo livello ed eventuale terzo livello
Zona 8	Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità	ML	Amplificazione stratigrafica	Secondo livello ed eventuale terzo livello

Codice	Condizioni geologiche	DESCRIZIONE	Livello di approfondimento
3011	Instabilità di versante	Crollo o ribaltamento/Attiva	Secondo livello ed eventuale terzo livello
3041;3042;3045	Instabilità di versante	Crollo o ribaltamento;scorrimento; non definita/Non definita	Secondo livello ed eventuale terzo livello

Tabella 8.1 - Condizioni geologiche e morfologiche che possono determinare effetti locali nel territorio comunale di Modica. 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 d'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.

Specificatamente al territorio comunale di Modica, sono stati riconosciuti e cartografati gli elementi morfologici che ricadono all'interno dell'area d'interesse perimetrata che bordano le strette ed incassate valli formate dal Torrente Modica e dal Torrente Passo Gatta. Questi elementi contano soprattutto scarpate morfologiche in prossimità del sistema alluvionale della Fiumara medesima.

All'interno del territorio comunale di Modica è stata perimetrata un'area d'interesse per la quale sono state riconosciute e cartografate otto principali linee di scarpata utilizzando i criteri di riconoscimento illustrati al capitolo 7. La carta degli elementi morfologici presentati in Fig. 8.6 rende evidente come il centro abitato di Modica insista su un'area per la quale si riconoscono numerosi elementi che possono dar luogo a effetti di amplificazione sismica, configurandosi come potenziali siti di attenzione nello studio delle condizioni di microzonazione sismica.

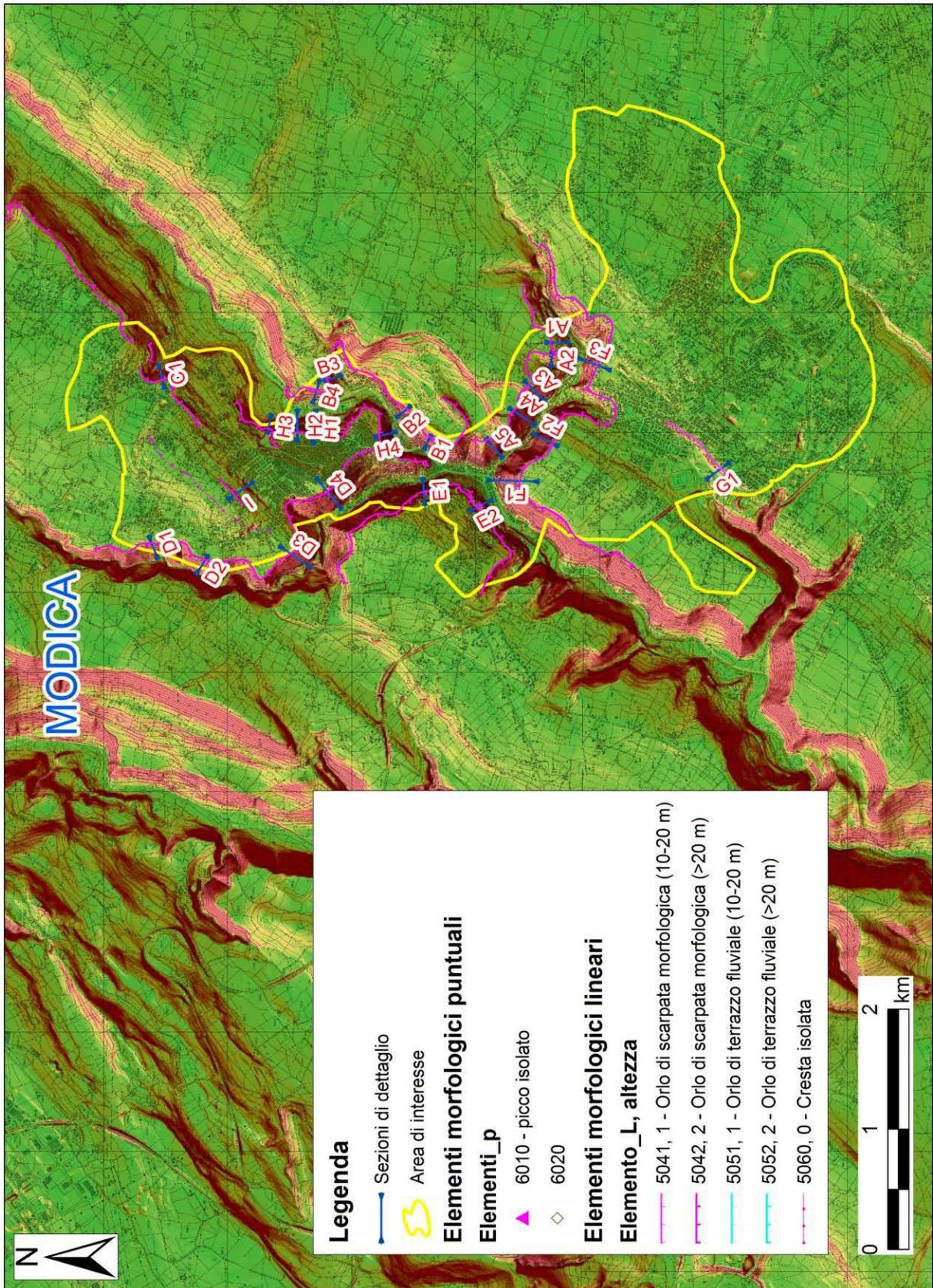


Fig. 8.6 – Carta degli elementi morfologici e tracce dei profili topografici di inquadramento e di dettaglio.

Di seguito si presenta una descrizione degli elementi intersecati, per ciascuno dei profili di dettaglio, fornendone anche i principali parametri morfometrici, indispensabili nella caratterizzazione microsismica.

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	86
A2	87
A3	88
A4	89
A5	90
B1	91
B2	92
B3	93
B4	94
C1	95
D1	96
D2	97
D3	98
D4	99
E1	100
E2	101
F1	102
F2	103
H3	104
F3	105
G1	106
H2	107
H1	108
H4	109
I	110

Tab. 8.2 - corrispondenza fra profili topografici e codici identificativi in banca dati.

### *Scarpata A*

La linea di scarpata A (Figg. 8.7, 8.8 e 8.9), si sviluppa per circa 2300 metri, a quote comprese tra 300 m e i 450 m s.l.m., in direzione NO-SE bordando il limite orientale del centro abitato. La scarpata A, orientata ad Ovest, rappresenta il fianco in destra idrografica della valle sul fondo della quale corre verso il centro di Modica la Via Nazionale (Figg. 8.10-8.15). L'andamento della scarpata è marcato da forti concavità e convessità angolari e in corrispondenza dei tratti rettilinei della scarpata sono stati realizzati i profili di dettaglio (Modica A1-A5). Dai profili di dettaglio, che di seguito sono presentati (Figg. 8.10, 8.11, 8.13, 8.14 e 8.15), si evince che la scarpata A si caratterizza come una scarpata con un fronte superiore planare o sub-planare debolmente pendente ( $\beta=3-4^\circ$ ) con un'altezza media di  $H=60-70$  metri e con i valori angolari delle pendenze medie costantemente superiore ai  $20^\circ$  e raggiungendo il suo valore massimo di  $\alpha=30^\circ$  in corrispondenza della porzione di versante evidenziata con il profilo Modica A3 (Fig. 8.13). In questo settore la scarpata raggiunge un'altezza del fronte principale di 100 metri.





Fig. 8.9 – Immagine Street View (Google Earth™) della scarpata A.

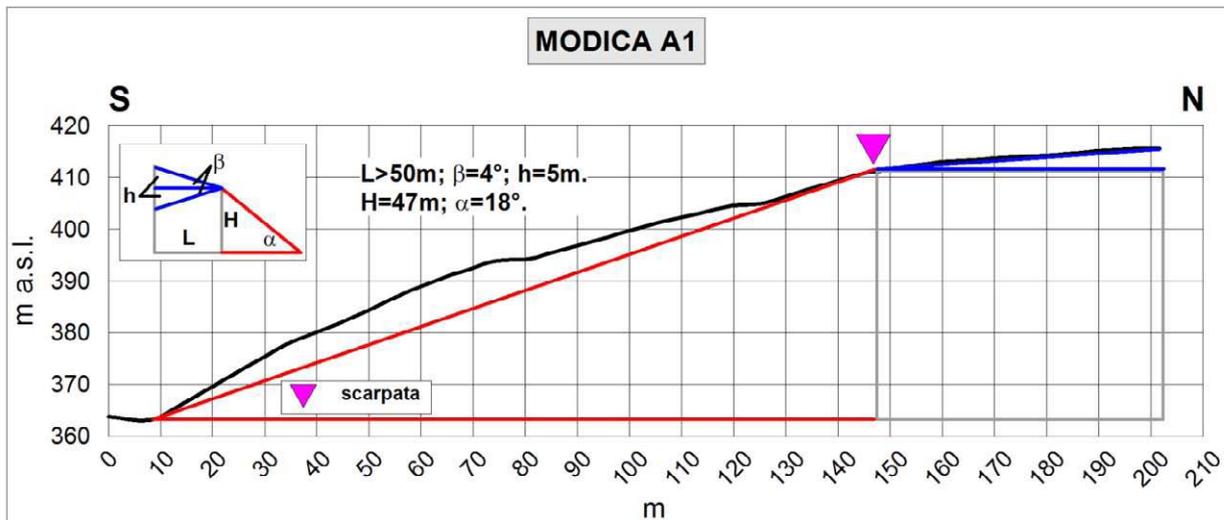


Fig. 8.10 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Modica A1.

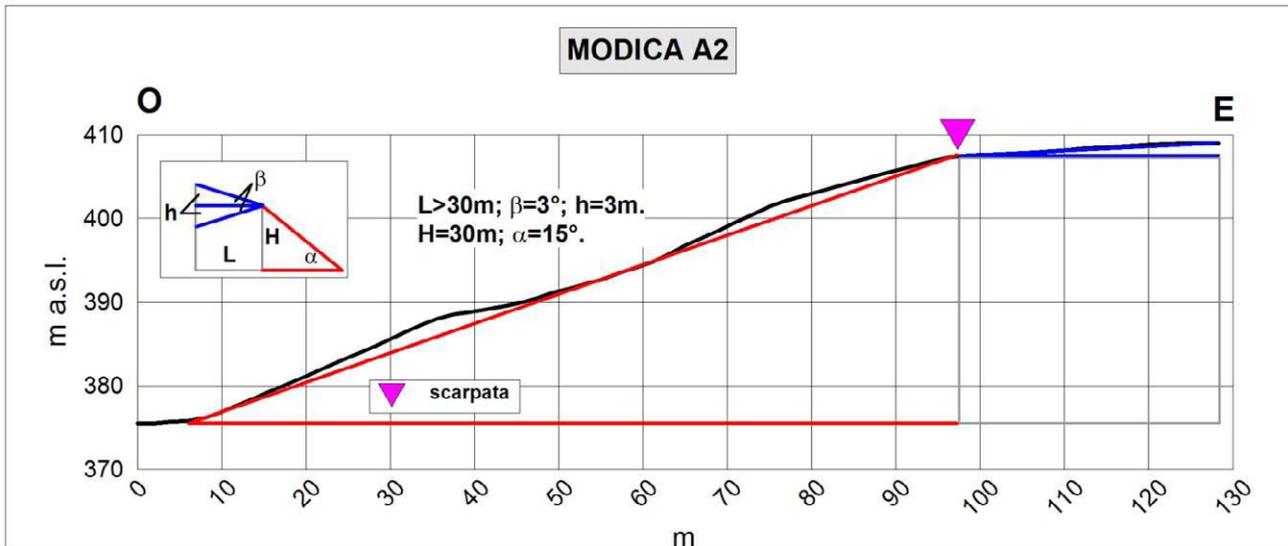


Fig. 8.11 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Modica A2.



Fig. 8.12 – Immagine Street View (Google Earth™) della sezione di dettaglio Modica A2.

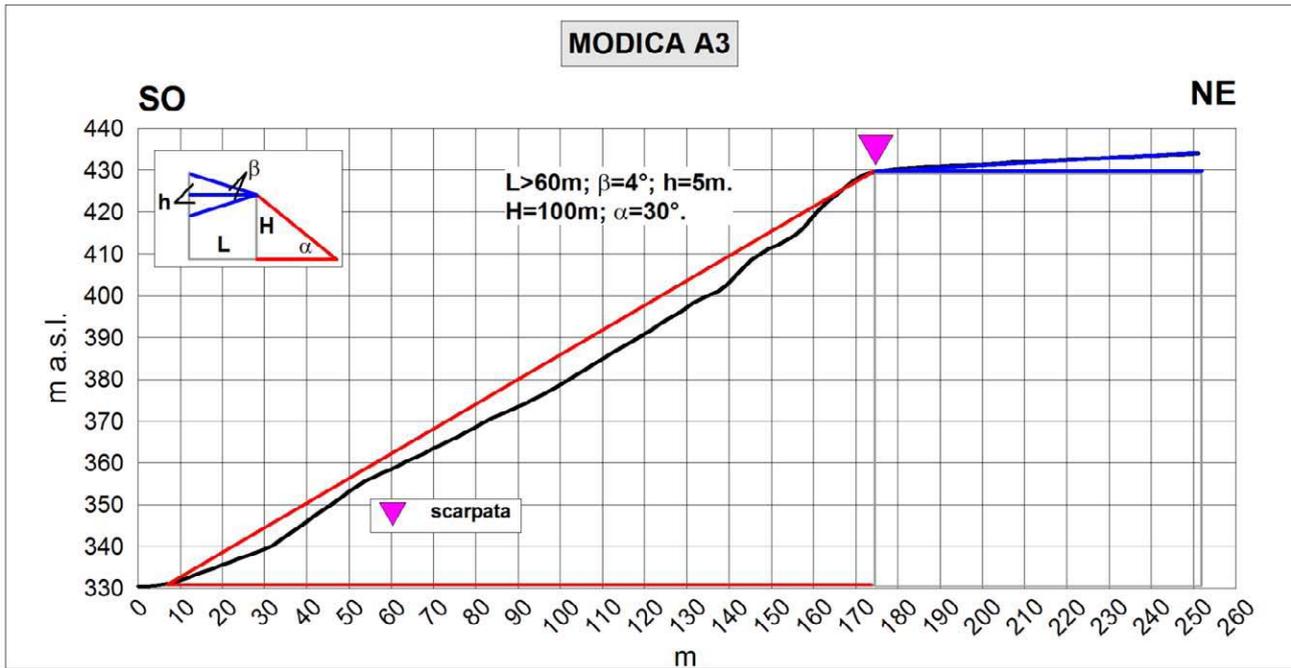


Fig. 8.13 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Modica A3.

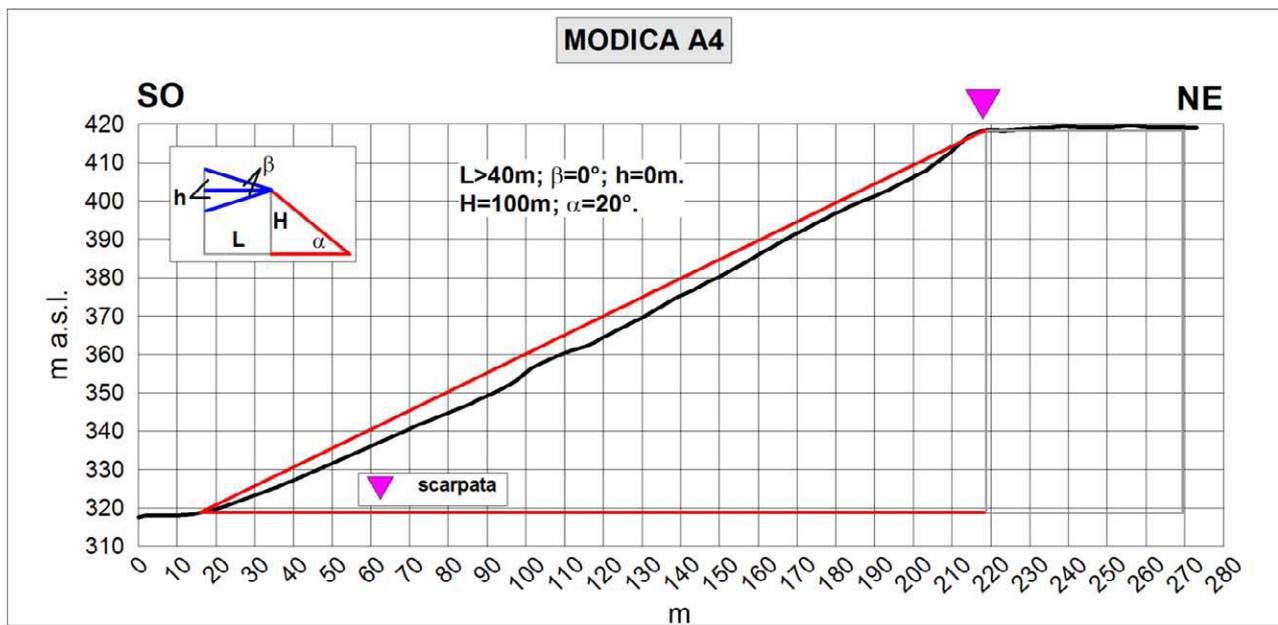


Fig. 8.14 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Modica A4.

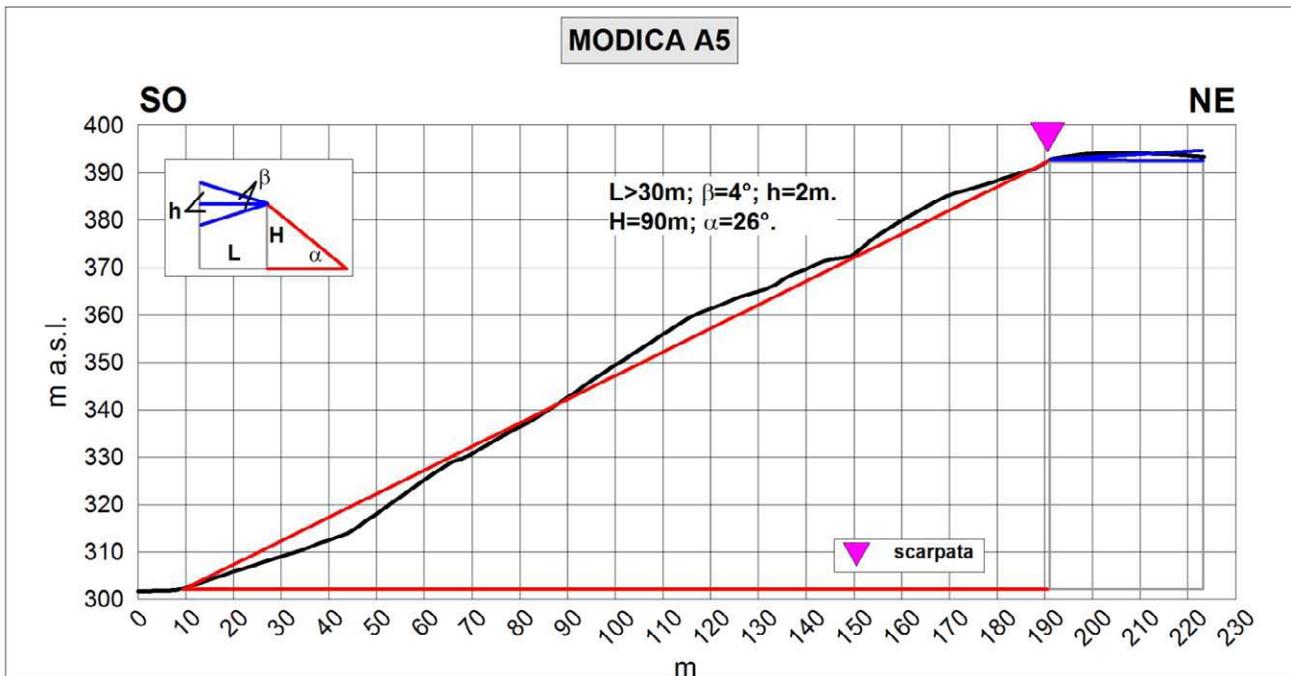


Fig. 8.15 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Modica A5.

### Scarpata B

Procedendo verso Nord lungo la linea di scarpata A, che segue e delimita il limite orientale del centro abitato di Modica, si è riconosciuta e cartografata la scarpata B, che si sviluppa per più di 3000 metri (Figg. 8.16 e 8.17) condividendo con la scarpata A l'altopiano con morfologia sub-planare che ne costituisce il fronte superiore. Diversamente dall'allineamento morfologico della scarpata A, la linea di scarpata B, ha un orientamento prevalente SO-NE come gli altri allineamenti tettonici che bordano il fianco destro della Fiumara di Modica.

Per la scarpata B sono stati realizzati quattro diversi profili topografici di dettaglio (MODICA B1, MODICA B2, MODICA B3, MODICA B4) ortogonali allo sviluppo principale con direzione ONO-ESE in corrispondenza dei tratti rettilinei della stessa (Figg. 8.18, 8.20, 8.21 e 8.22).

Studiando il profilo MODICA B1 (Figg. 8.18, 8.19) è possibile individuare due differenti rotture morfologiche in pendenza accolte nella rottura della scarpata B. Una scarpata minore, che presenta un'altezza poco superiore ai 23 metri ed è caratterizzata da un elevato valore ( $55^\circ$ ) di pendenza angolare. Questa si configura con una scarpata in pendenza avente l'angolo  $\beta=8^\circ$ . Per l'approccio descritto (cfr. Cap. 7), la rottura di pendenza evidenziata con il profilo Modica B1, non si configura come una scarpata pur essendo contraddistinta da una pendenza al piede della scarpata un angolo di circa  $35^\circ$  e da un'altezza superiore ai 70 metri, ma con un  $\beta=8^\circ$  non viene rispettato il requisito  $\beta=1/5\alpha$ . I profili di dettaglio codificati come MODICA B2, MODICA B3, MODICA B4 (Figg. 8.20, 8.21 e 8.22), confermano le caratteristiche morfometriche prevalenti della linea di scarpata B. Questa scarpata in pendenza ( $\beta \approx 4^\circ$ ), è caratterizzata da uno sviluppo altimetrico che oscilla dai 300 ai 400 metri s.l.m. definendo versanti inclinati mediamente  $20-30^\circ$ .

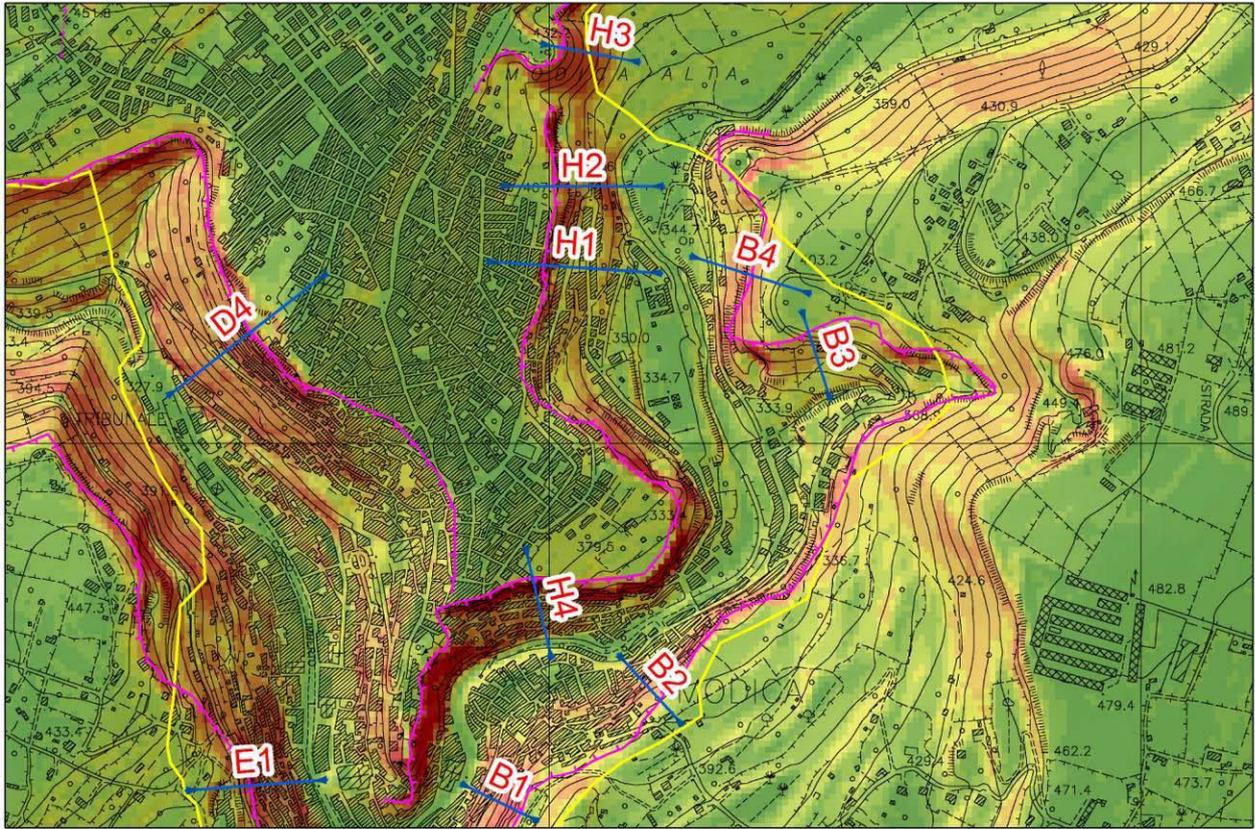


Fig. 8.16 – Carta degli elementi morfologici e tracce dei profili topografici di dettaglio delle scarpate B e H.

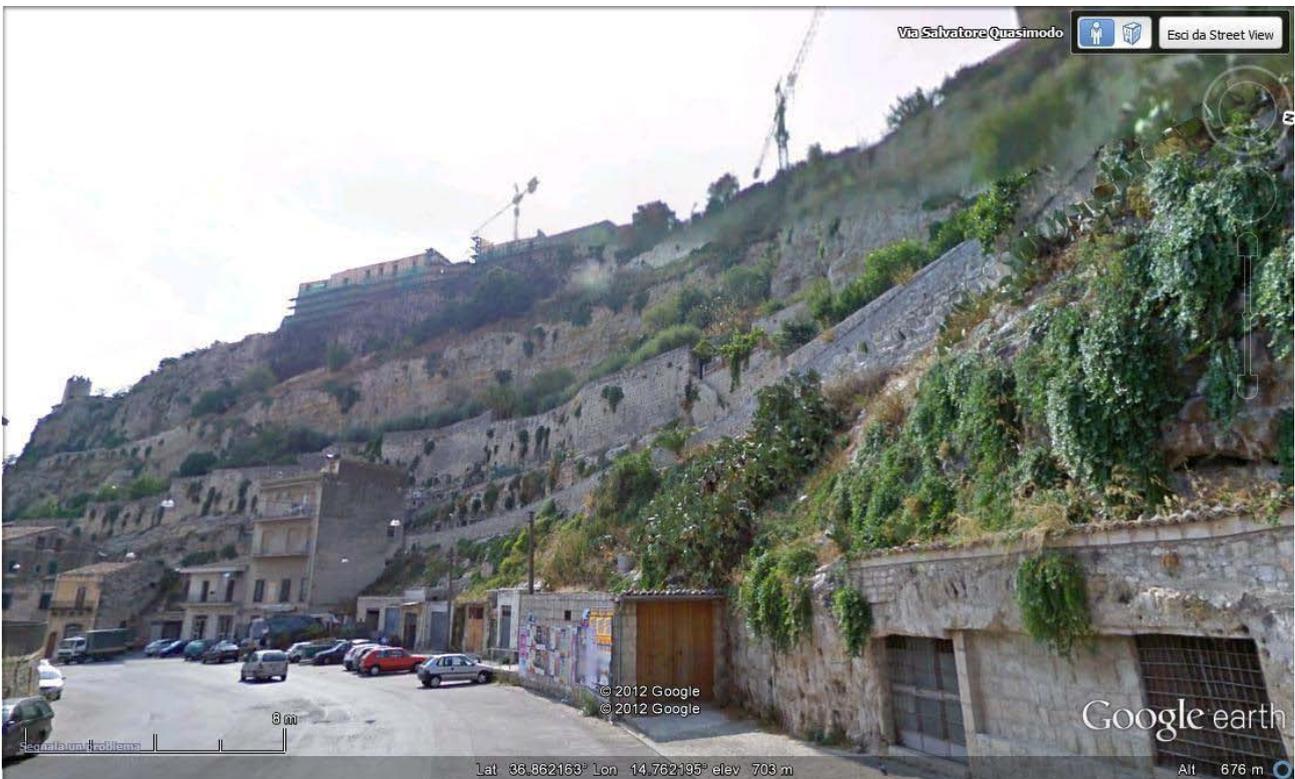


Fig. 8.17- Immagine Street View (Google Earth™) della scarpata B.

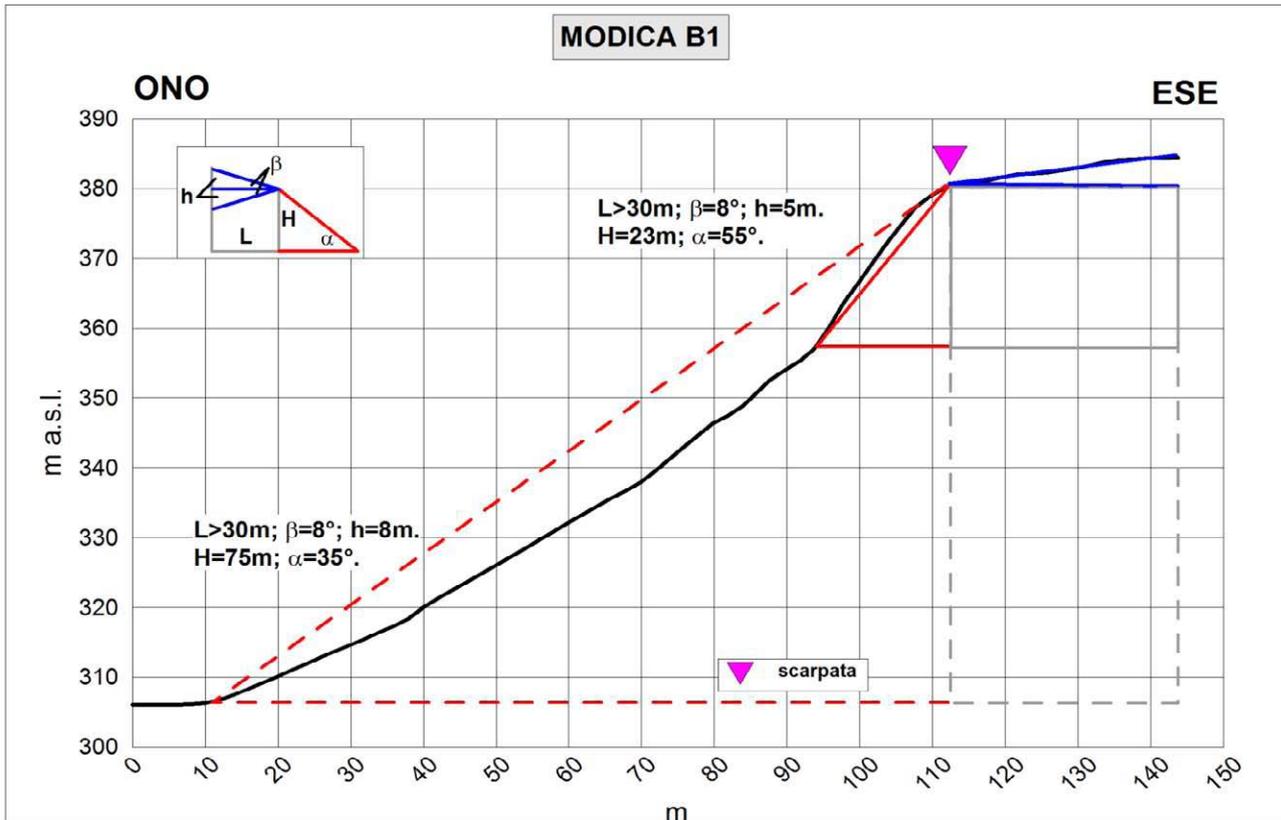


Fig. 8.18 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Modica B1.

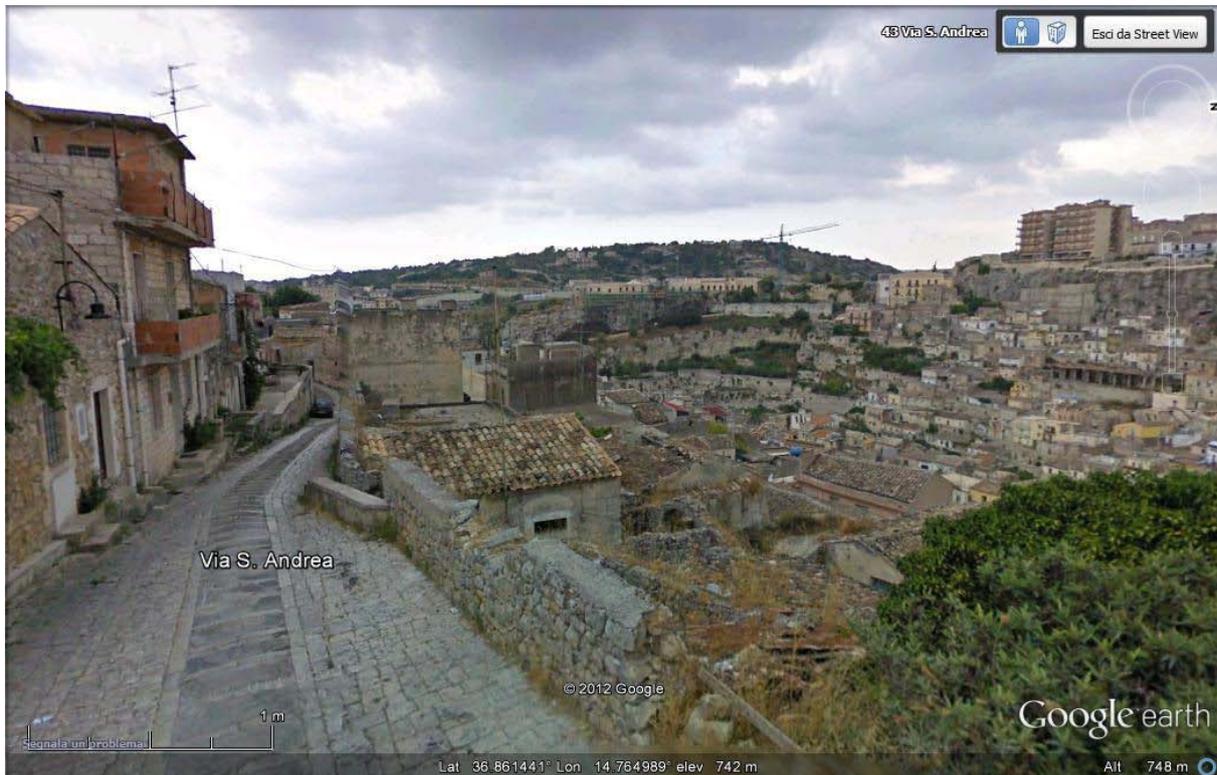


Fig. 8.19 – Immagine Street View (Google Earth™) della scarpata B in corrispondenza del profilo di dettaglio B1.

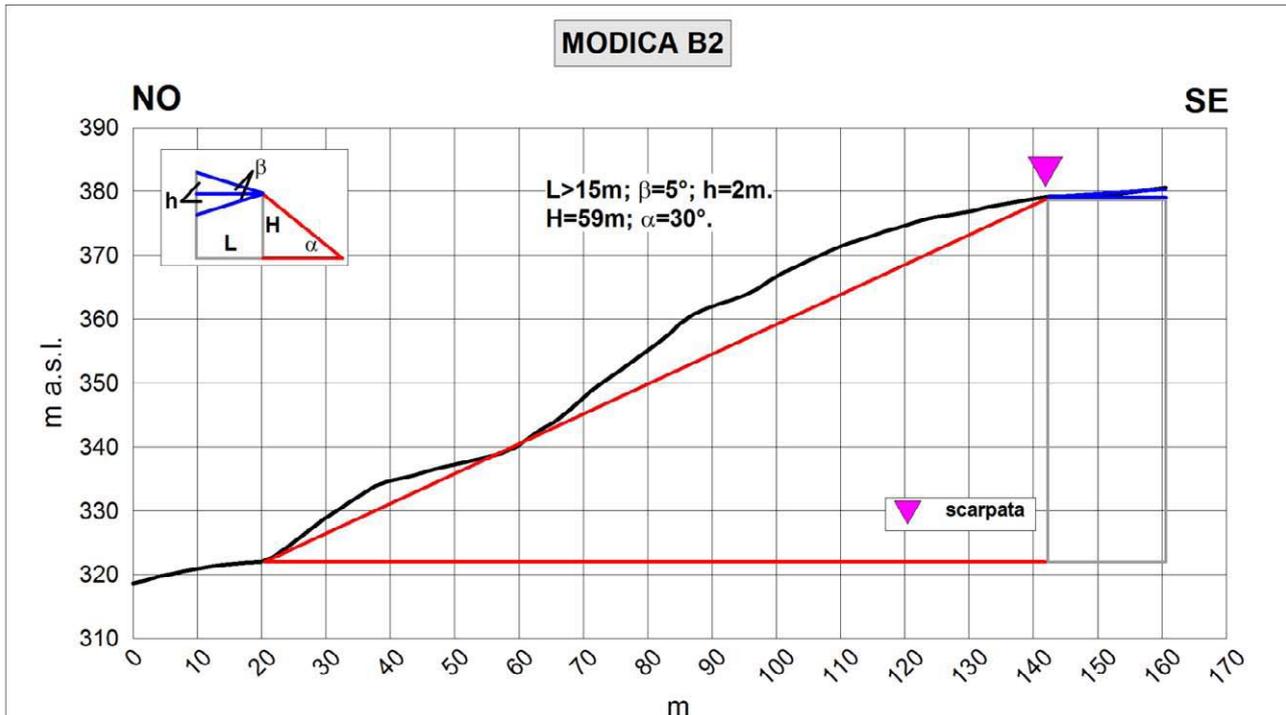


Fig. 8.20 – Profilo topografico di dettaglio Modica B2 della scarpata Modica B.

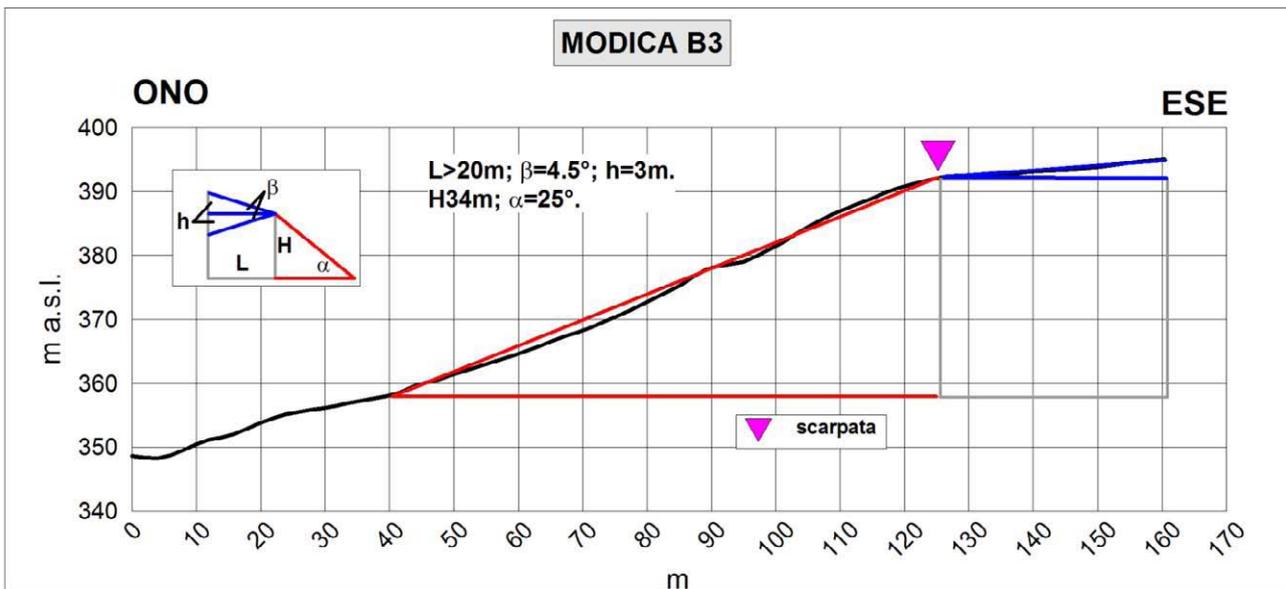


Fig. 8.21 – Profilo topografico di dettaglio Modica B3 della scarpata Modica B.

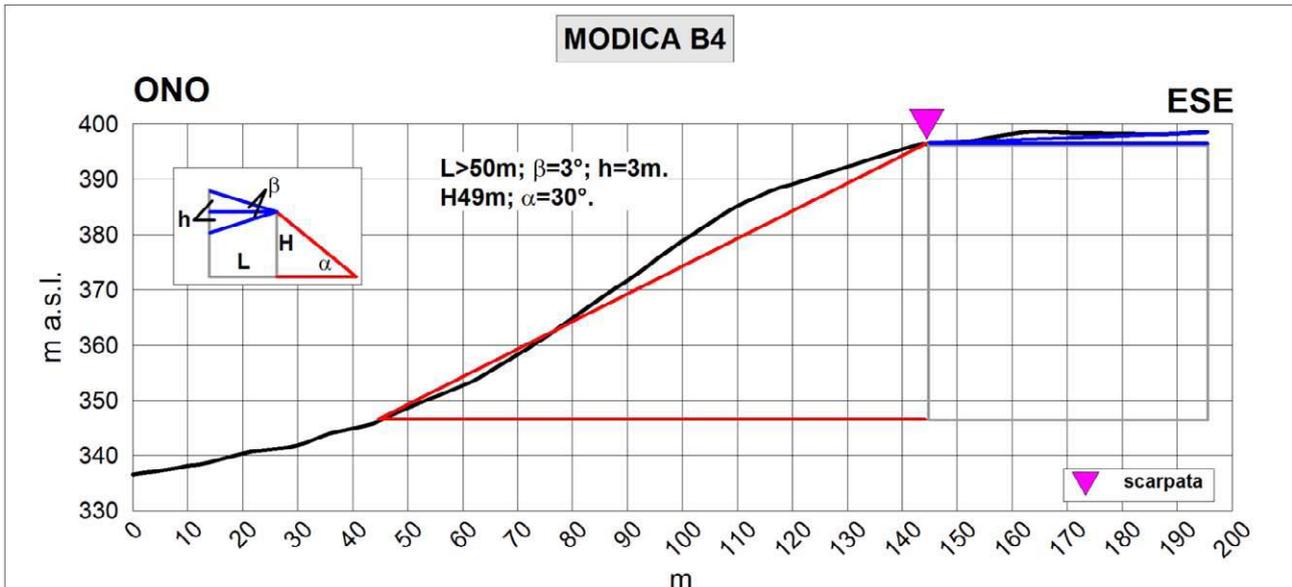


Fig. 8.22 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Modica B4.

### Scarpata C

Nella porzione più settentrionale dell'area d'interesse perimetrata per il territorio comunale di Modica si può riconoscere la porzione terminale meridionale della scarpata C (Figg. 8.23, 8.24). Nel suo complesso, la scarpata C ha un'estensione longitudinale di circa 3000 metri in direzione SO-NE e costituisce il fianco sinistro della valle fluviale fortemente incassata del torrente Passo Gatta. Il profilo di dettaglio Modica C è stato ricostruito per quella parte della scarpata che, pur avendo caratteristiche morfologiche meno accentuate della porzione esterna all'area perimetrata, è caratterizzata da un'altezza del fronte principale di quasi 60 metri ed un angolo al piede del versante di 28°. La scarpata C si configura come una scarpata in pendenza avendo  $\beta=4^\circ$  raggiungere i  $42^\circ$ .

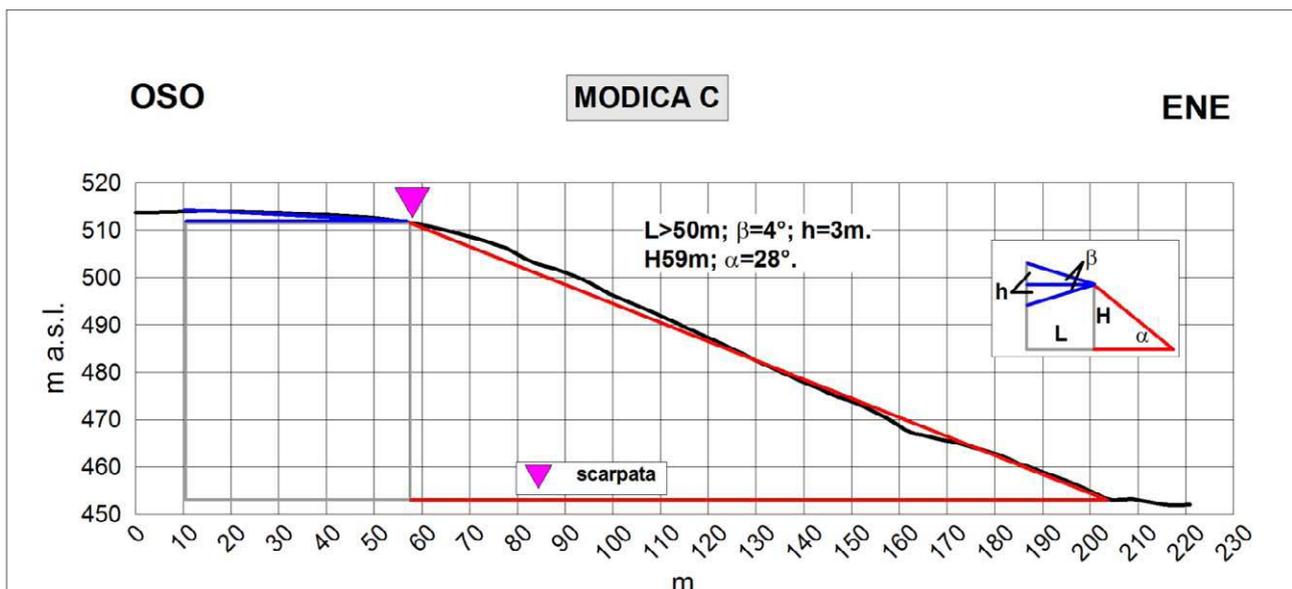


Fig. 8.23 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Modica C.



Fig. 8.24 – Immagine Street View (Google Earth™) della scarpata C.

### *Scarpata D*

La linea di scarpata D è formata dal gradino morfologico costituito dal versante in destra idrografica della Fiumara di Modica. Quest'allineamento di scarpata, borda l'intero limite Occidentale dell'area d'interesse individuata per gli studi di microzonazione sismica e che comprende al suo interno l'abitato di Modica. La linea di scarpata D (Figg. 8.25 e 8.26), si estende prevalentemente lungo una direttrice N-S per più di 3500 metri ed è compresa tra quote che vanno dai 300 ai 450 metri s.l.m. Per questa scarpata i profili MODICA D1, MODICA D2, MODICA D3, MODICA D4 (Figg. 8.27-8.30), mostrano che l'altezza del fronte principale è costantemente superiore ai 50 metri, raggiungendo anche un salto altimetrico di 125 metri in corrispondenza del profilo di dettaglio Modica D4 che si configura anche come una scarpata ideale con  $\beta$  del fronte superiore pari a  $0^\circ$  (Figg. 8.30 e 8.31). Differentemente, come si evince dagli altri profili di dettaglio realizzati, la linea di scarpata D si configura come una scarpata leggermente in pendenza avente un  $\beta$  del fronte superiore compreso tra i  $4^\circ$  e i  $5^\circ$ . La pendenza dei versanti su cui insiste la scarpata D rimane costantemente maggiore di  $25^\circ$ , ma in corrispondenza delle forti incisioni che si ritrovano lungo le linee di impluvio degli affluenti della Fiumara, le pendenze possono raggiungere anche i  $40-45^\circ$ .

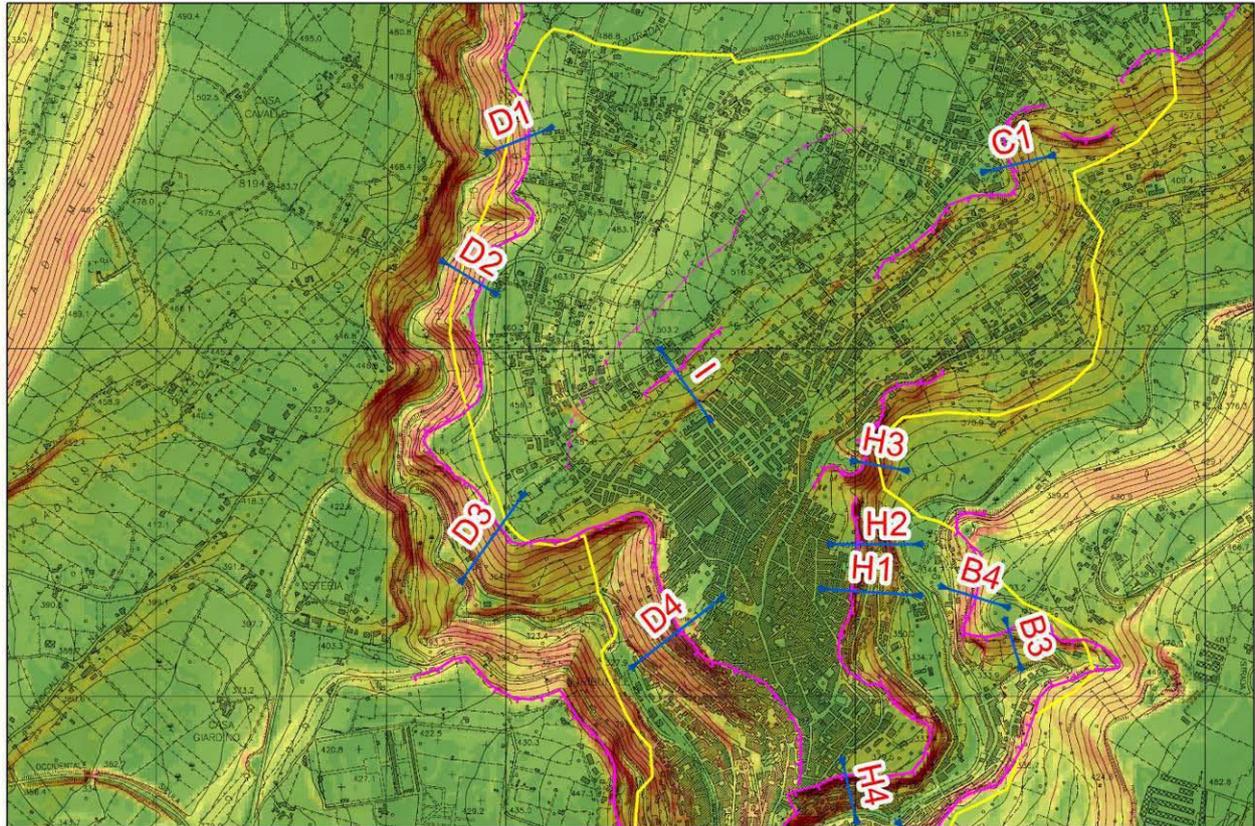


Fig. 8.25 – Carta degli elementi morfologici e tracce dei profili topografici di dettaglio della scarpata D.



Fig. 8.26 – Immagine Street View (Google Earth™) della scarpata D.

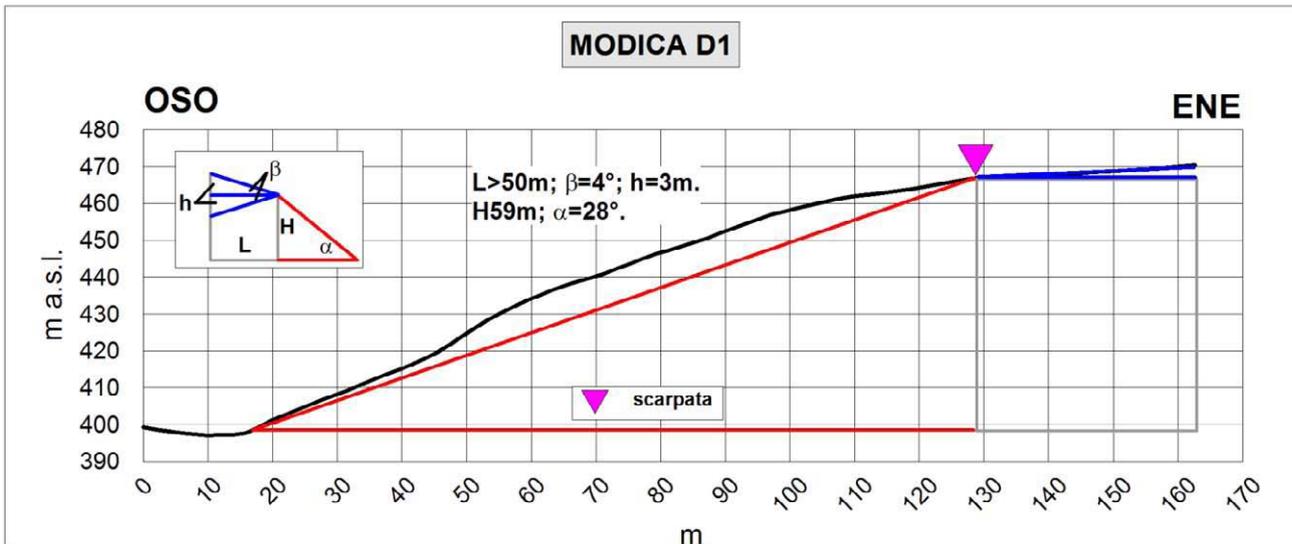


Fig. 8.27 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Modica D1.

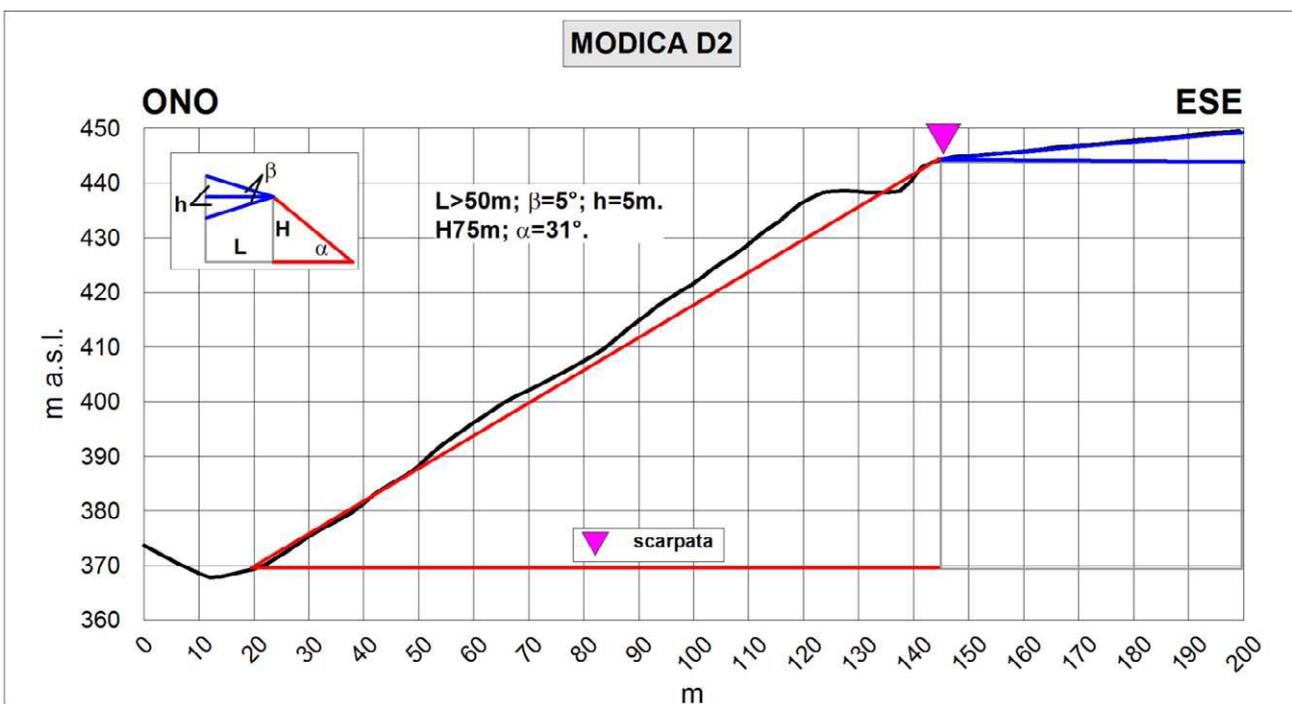


Fig. 8.28 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Modica D2.

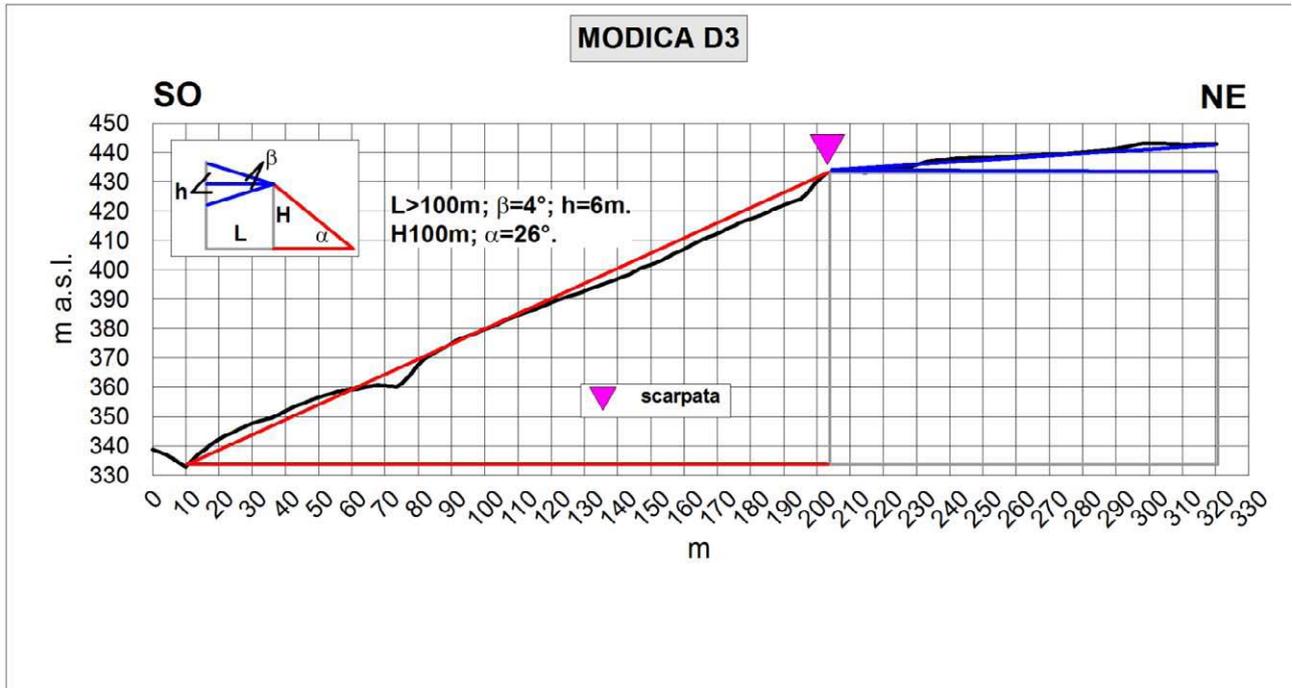


Fig. 8.29 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Modica D2.

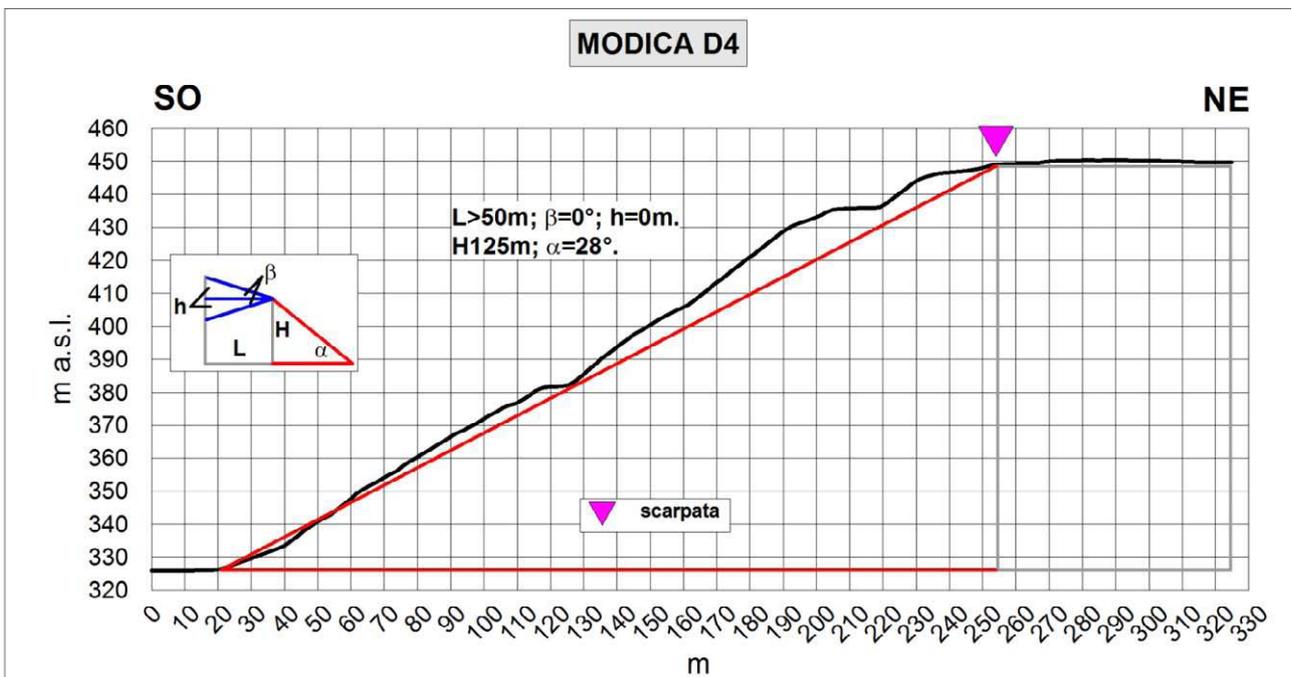


Fig. 8.30 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Modica D4.



Fig. 8.31 – Immagine Street View (Google Earth™) della scarpata D.

### Scarpata E

Sul versante opposto a quello interessato dalla presenza della scarpata D, lungo il fianco in sinistra idrografica della Fiumara di Modica, si riconosce e si cartografa la linea di scarpata codificata come Modica E che si allunga per circa 2500 metri all'interno del territorio comunale di Modica (Figg. 8.32, 8.33). La linea di scarpata E presenta un andamento a sviluppo prevalente N-S, con i tratti estremi che si estendono lungo una direttrice O-E, attribuendo alla scarpata una convessità verso Est. In corrispondenza del tratto rettilineo nella porzione centrale della scarpata, è stato realizzato un profilo di dettaglio in direzione O-E (Fig. 8.34) che ha reso evidente come, in effetti, in questo tratto del versante, la testata risalga verso monte andando a definire una scarpata alta 60m, con un angolo al piede di 36°. Il profilo Modica E1 configura una scarpata ideale con un angolo  $\beta$  del fronte superiore pari a zero gradi.

Dal profilo Modica E2 (Fig. 8.35), è possibile riconoscere lungo il versante le caratteristiche morfometriche di due rotture di pendenza che presentano entrambe un'altezza del fronte principale inferiore ai 20 metri ed entrambe sono caratterizzate da pendenza maggiori di 40°.

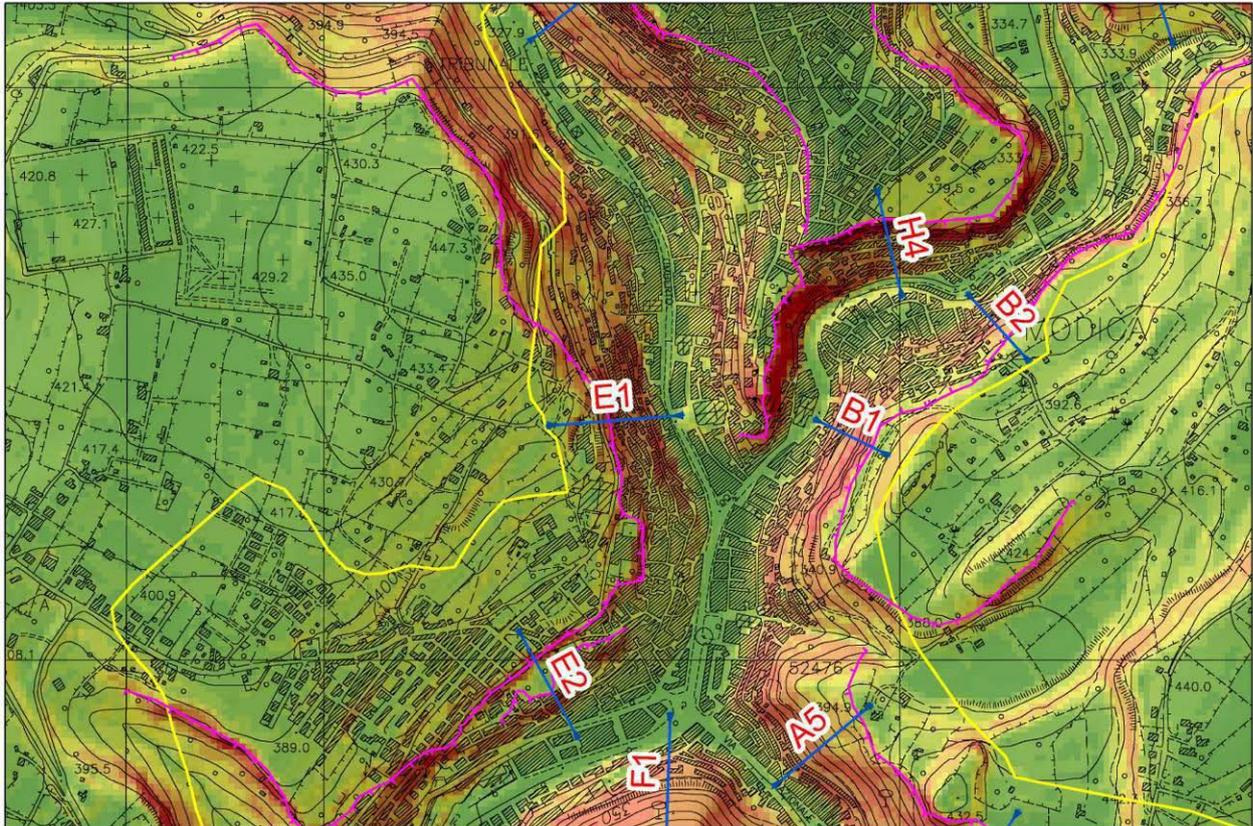


Fig. 8.32 – Carta degli elementi morfologici e tracce dei profili topografici di dettaglio delle scarpata E.

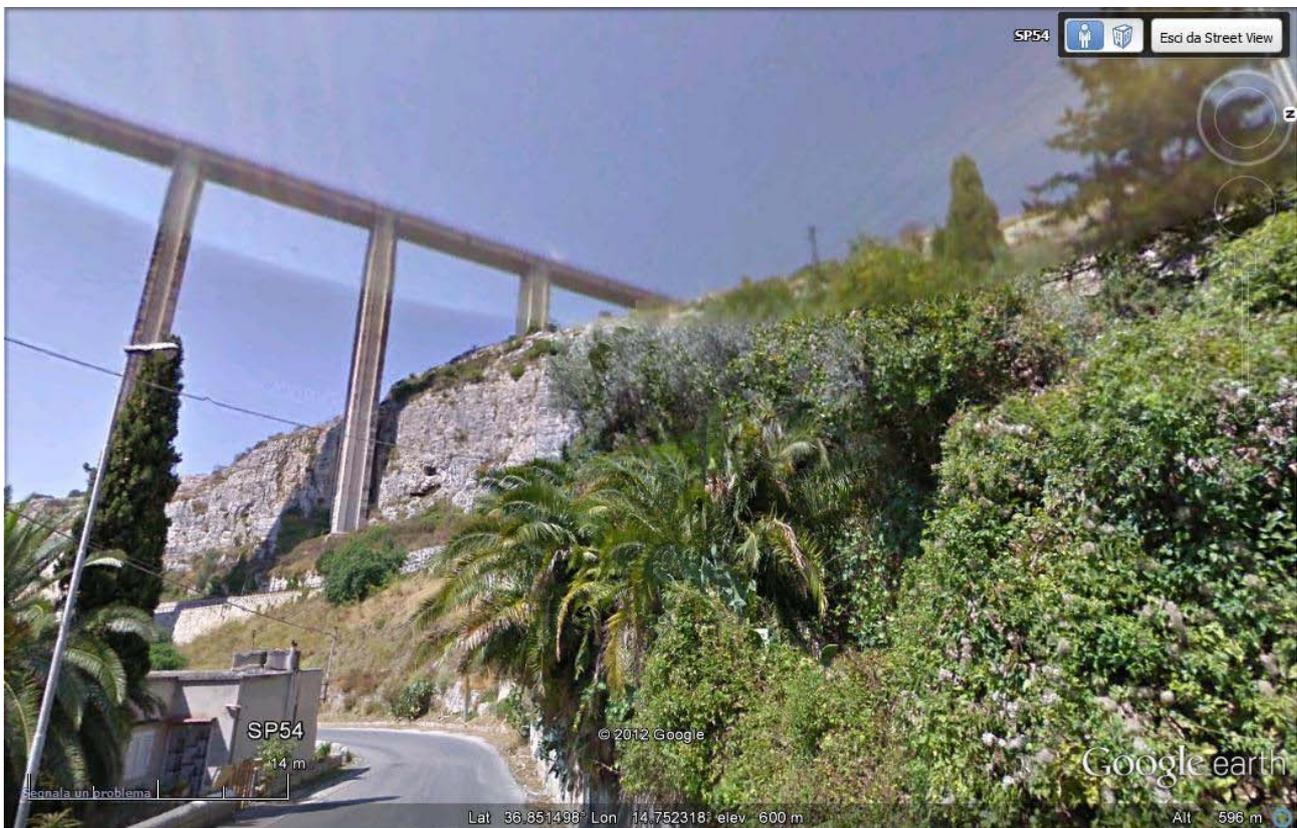


Fig. 8.33 – Immagine Street View (Google Earth™) della scarpata E.



Fig. 8.34– Profilo topografico di dettaglio della scarpata Modica E1.

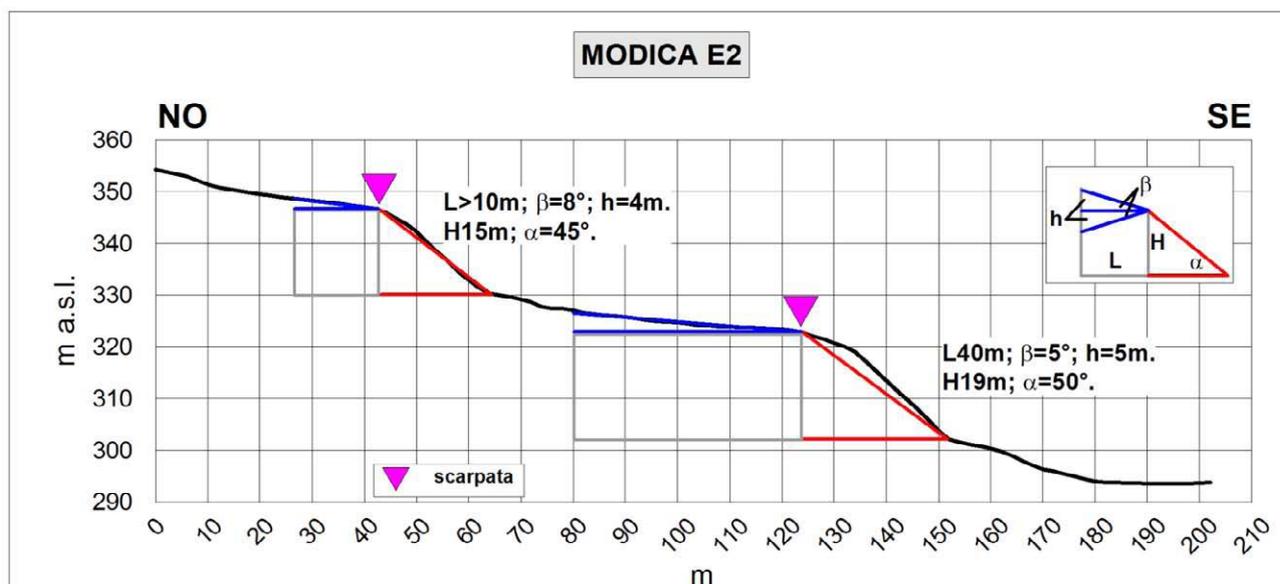


Fig. 8.35 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Modica E2.

### Scarpata F

Nel versante opposto alla scarpata codificata come Modica A, in sinistra idrografica, è presente una linea di scarpata (F) che supera i 5000 metri di lunghezza con direzione prevalente N-S (Fig. 8.7 e 8.36). Per questa scarpata sono stati realizzati tre profili di dettaglio per evidenziarne le caratteristiche morfometriche, denominati rispettivamente F1, F2 e F3 (Figg. 8.37, 8.38, 8.39). Come appare evidente dal profilo Modica F1 (Fig. 8.36), il fronte principale della scarpata F consiste in un vasto altopiano debolmente pendente che si interrompe proprio in corrispondenza della scarpata con un salto morfologico anche superiore ai 100 metri (Modica F2, Fig. 8.38). La linea di scarpata F divide fisicamente il settore settentrionale da quello meridionale di Modica,

coincidente con la porzione del territorio che degrada debolmente verso il mare dove insiste il quartiere Sorda.



Fig. 8.36 – Immagine Street View (Google Earth™) della scarpata F.

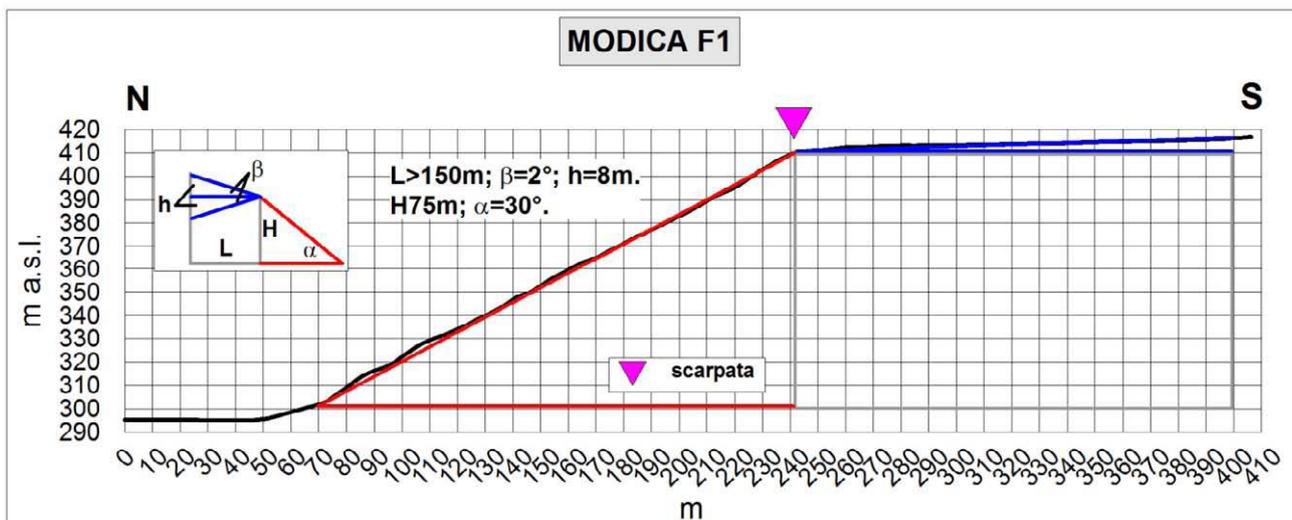


Fig. 8.37 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Modica F1.

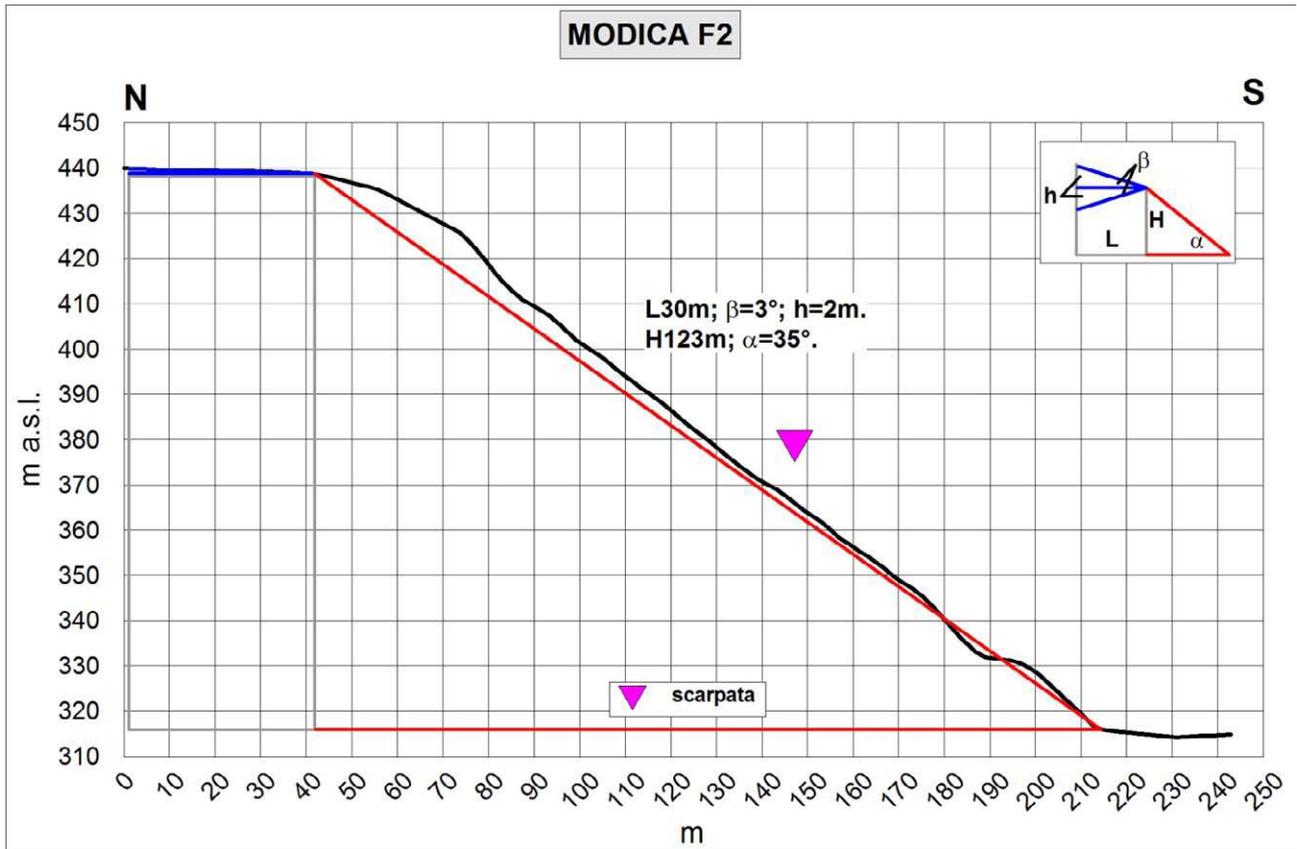


Fig. 8.38 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Modica F2.

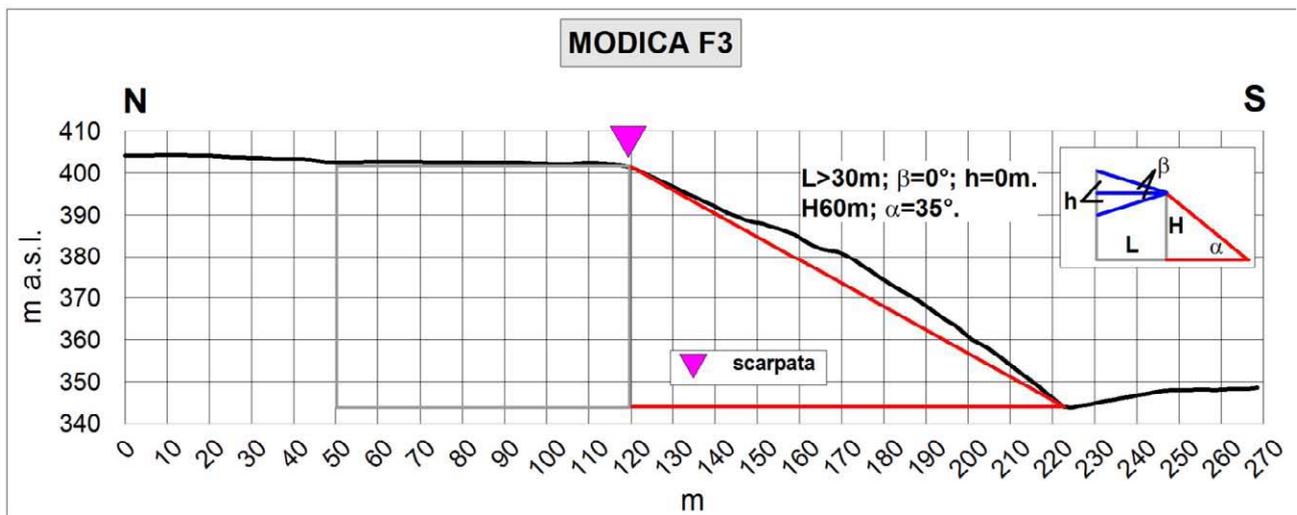


Fig. 8.39 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Modica F3.

### Scarpata G

La vasta area pianeggiante che occupa tutta la porzione meridionale dell'area d'interesse, è interessata dalla presenza di scarpata G situata a Sud-Ovest del centro abitato. Il dislivello altimetrico per la scarpata G raggiunge i 30 metri (Fig. 8.40). L'allineamento della Scarpata G delimita verso Sud l'area adiacente allo stadio Comunale "Caitina". Il profilo di dettaglio MODICA G (Fig. 8.41), avente direzione NO-SE, evidenzia una linea di scarpata in pendenza ( $\beta=4^\circ$ ) avente un angolo  $\alpha$  al piede del versante pari a  $25^\circ$ .



Fig. 8.40 – Carta degli elementi morfologici e tracce dei profili topografici di dettaglio della scarpata G.

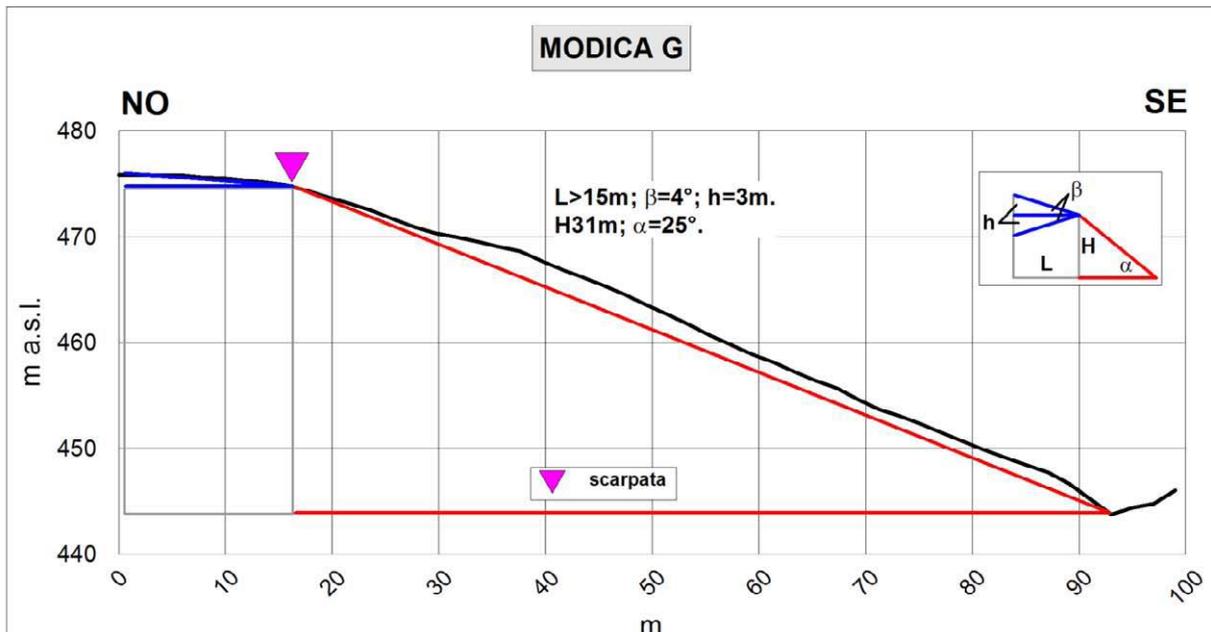


Fig. 8.41 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Modica G.

### Scarpata H

Dalla figura 8.16, lungo il versante diametralmente opposto a quello occupato dalla scarpata B, è presente l'allineamento rappresentato dalla scarpata H. La scarpata H1 delimita verso Est il nucleo abitativo di Modica e si sviluppa per più di 1500 metri in direzione N-S. Questa scarpata in pendenza ( $\beta \approx 5^\circ$ ), è caratterizzata da uno sviluppo altimetrico che oscilla dai 300 ai 420 metri s.l.m. definendo versanti inclinati mediamente  $35^\circ$  (Fig. 8.42).

Analizzando il profilo MODICA H2, che si sviluppa da Ovest verso Est, (Fig. 8.43) è possibile individuare due differenti scarpate annidate nel versante. La scarpata superiore, con un angolo  $\alpha$  di  $66^\circ$  si presenta come una scarpata ideale avente un angolo  $\beta = 0^\circ$  e un'altezza del fronte

principale di circa 60 metri. Mentre la seconda scarpata, a quote altimetriche inferiori ha un angolo al piede del versante di  $31^\circ$  e un'altezza di 33 metri. Anche il profilo di dettaglio MODICA H3 (Fig. 8.44) conferma la morfometria generale della scarpata H, mantenendo costante un'altezza (H) del fronte superiore maggiore di 50 metri ed una pendenza  $\alpha$  superiore ai  $25^\circ$ . La figura 8.45, mostra il profilo di dettaglio Modica H4, con direzione NNO-SSE, per il quale la pendenza al piede del versante raggiunge i  $70^\circ$  e l'altezza del fronte della scarpata è di poco inferiore ai trenta metri.

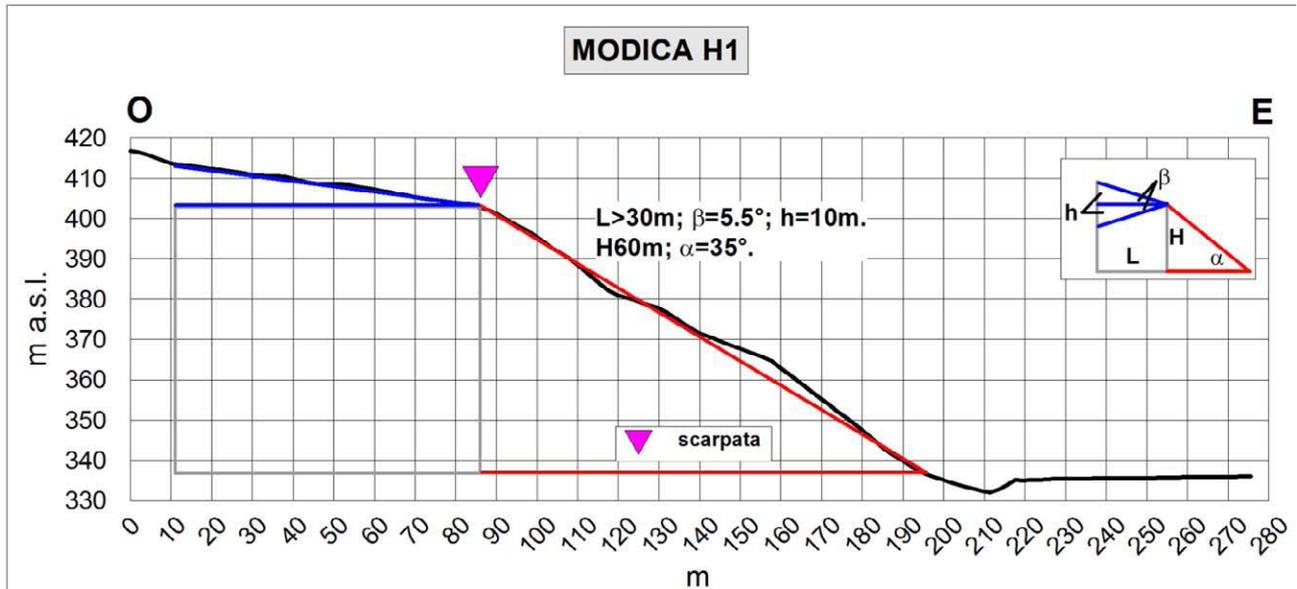


Fig. 8.42 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Modica H1.

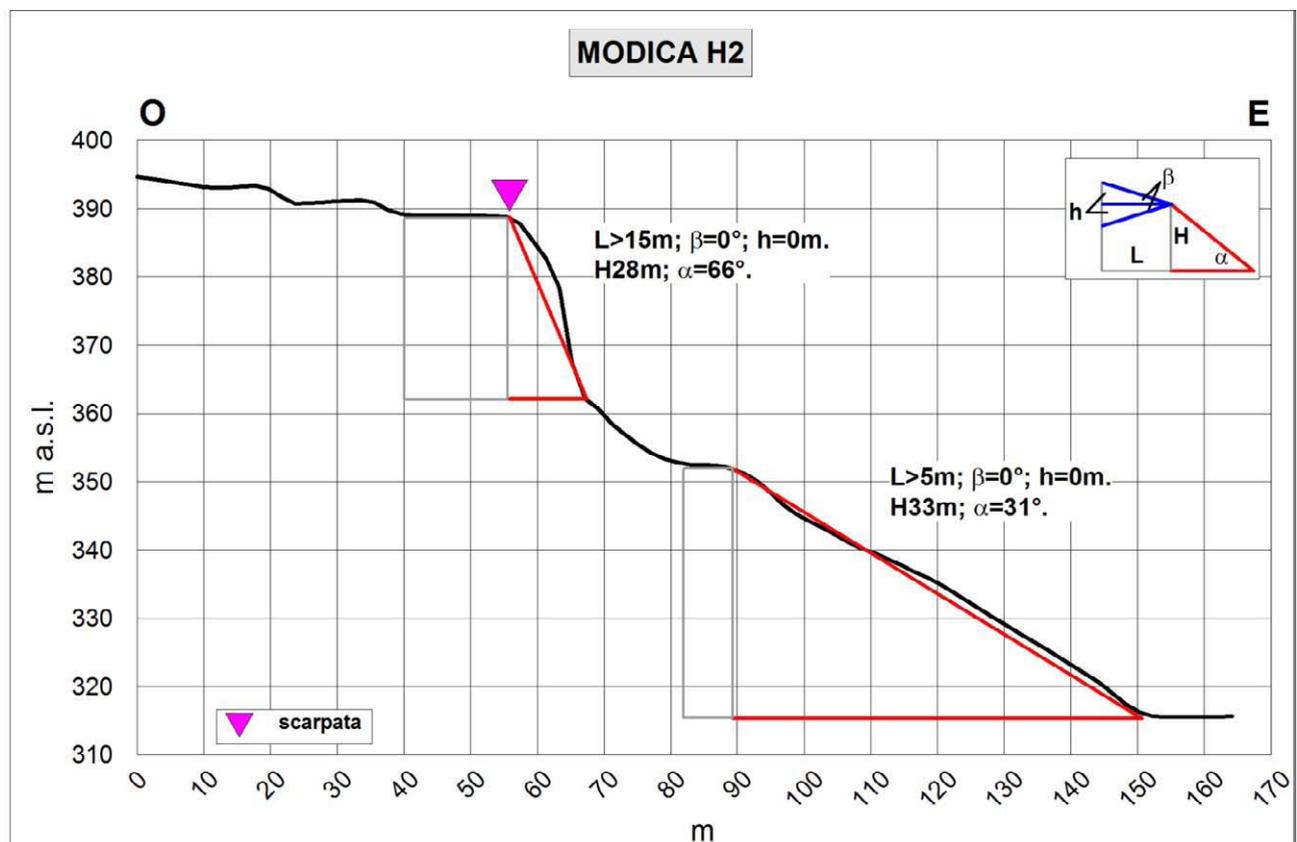


Fig. 8.43 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Modica H2.

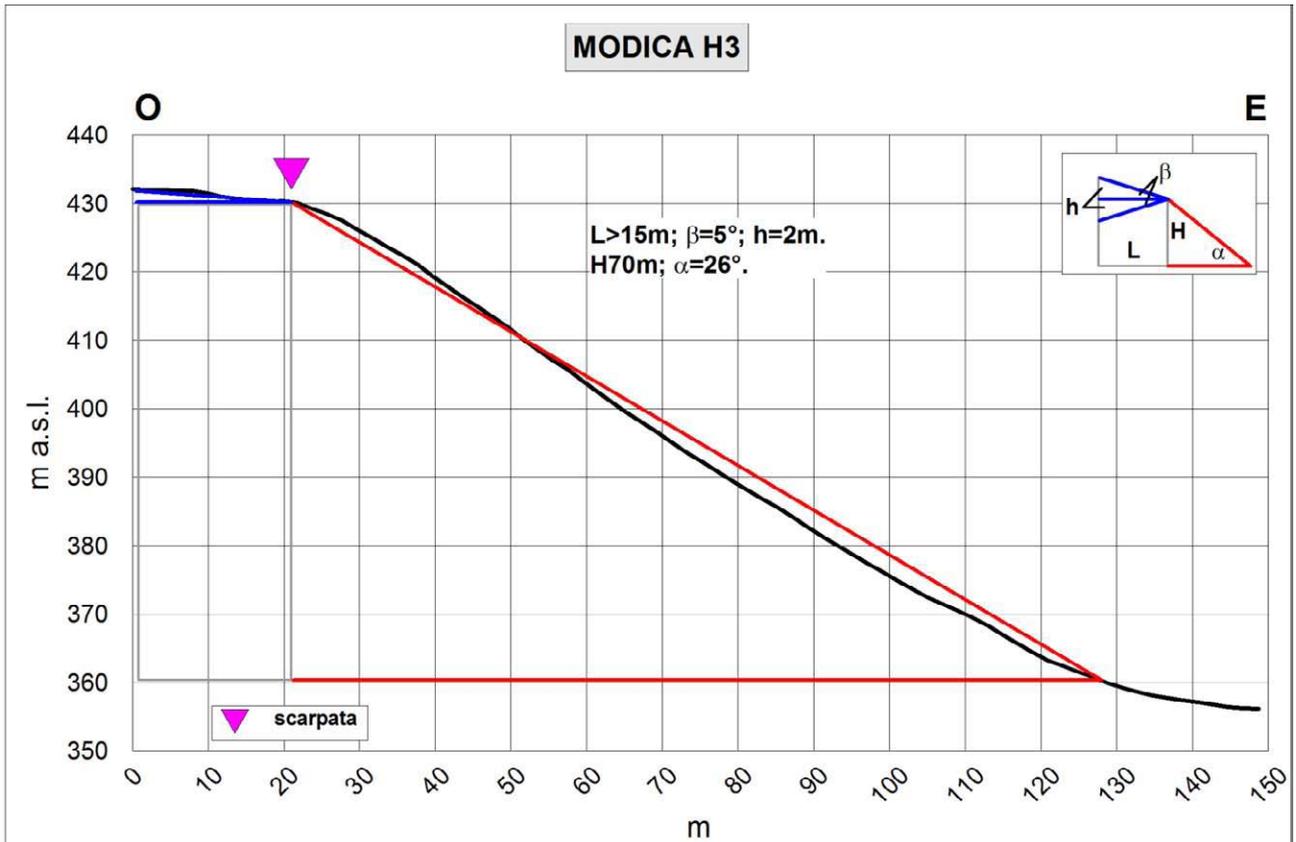


Fig. 8.44 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Modica H3.



Fig. 8.45 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Modica H4.

### Scarpata I

A nord del centro abitato di Modica, è stata riconosciuta e cartografata una linea di scarpata (I) lunga circa 300 metri che si estende in direzione NO-SE (Fig.8.25). Ortogonalmente alla linea di scarpata I, è stato ricostruito un profilo topografico di dettaglio allo scopo di poterne definire le principali caratteristiche morfometriche di dettaglio (Fig. 8.46). Dal profilo Modica I, si può dedurre un fronte di scarpata alto più di 40 metri con un angolo di scarpata superiore di  $22^\circ$ . La scarpata I si classifica come scarpata in pendenza essendo il suo fronte superiore caratterizzato di un altipiano debolmente pendente ( $\beta=3^\circ$ ) verso SE.

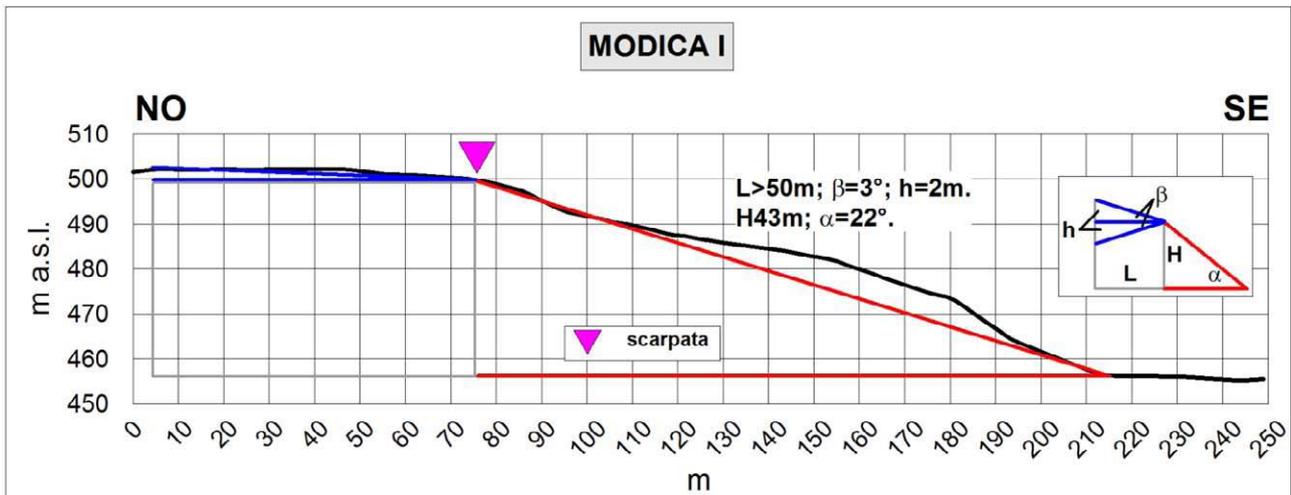


Fig. 8.46 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Modica I.

### 8.4. Carta delle frequenze

La maggior parte dei punti di misura, mostrano la presenza di fenomeni di possibile amplificazione del moto sismico del suolo a bassa frequenza (1.05-1.08 Hz) e quindi di scarso interesse ingegneristico se non per manufatti di grandi dimensioni. Quasi tutte le misure mostrano inoltre fenomeni di risonanza anche a maggiori frequenze, fino a 17 Hz. Per l'elevato livello di rumore non è stato possibile interpretare le misure 088006P92-HVSR543 e 088006P143-HVSR594 e le basse frequenze (minori di Hz) delle misure 088006P172-HVSR623 e 088006P178-HVSR629. Tutte le frequenze riconosciute sono state riportare in una mappa delle frequenza di vibrazione misurate in sito attraverso l'esecuzione di prove HVSR (Fig. 8.47).

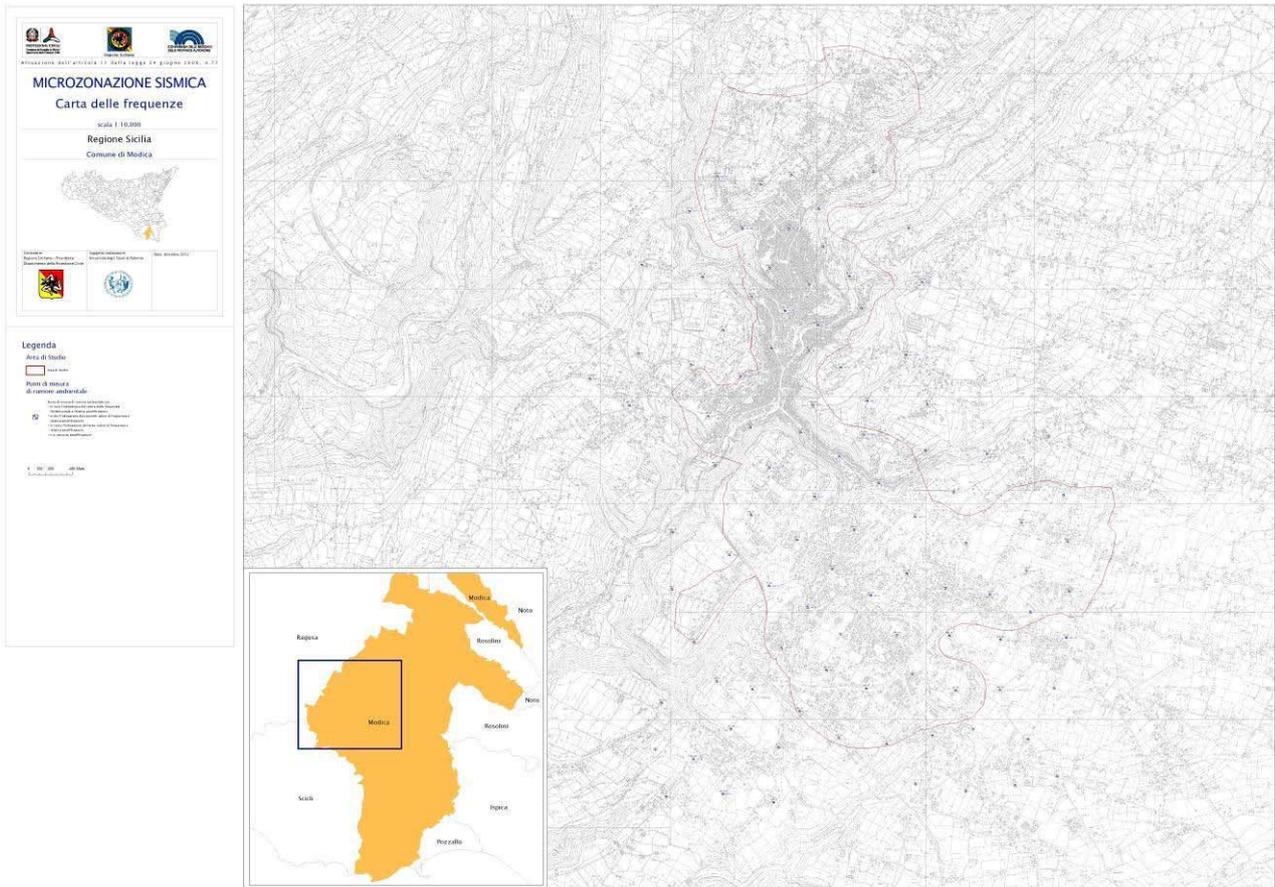


Fig. 8.47 – Riduzione della carta delle frequenze delle aree perimetrate relative ai dei centri urbanizzati del Comune di Modica (v. PDF cartella plot in banca dati).

## 9. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DI DANNI PER EVENTI PASSATI

L'11 gennaio del 1693 anche Modica fu colpita dal tremendo terremoto che distrusse la Sicilia orientale, vi furono circa 3400 morti. A differenza di altri centri vicini, nonostante avesse subito enormi danni, la città non fu ricostruita per intero in un altro luogo ma sulla base di quanto era rimasto in piedi.

Nell'area del territorio comunale di Modica 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'avampese 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'avampese 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 tsunami*. 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) *CPT111, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani*. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPT1>

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](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.modica.gov.it](http://www.comune.modica.gov.it)

[www.ingv.it](http://www.ingv.it)

[www.isprambiente.gov.it](http://www.isprambiente.gov.it)

[www.sitr.regione.sicilia.it/pai/](http://www.sitr.regione.sicilia.it/pai/)

[www.regione.sicilia.it/presidenza/protezionecivile/](http://www.regione.sicilia.it/presidenza/protezionecivile/)

**11. ALLEGATI**