

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

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione Illustrativa

MS Livello 1

Regione Sicilia
Comune di Monterosso Almo



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*

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

INDICE

	Premessa	Pag. 4
1.	Introduzione	5
1.1	<i>Finalità degli studi</i>	5
1.2	<i>Descrizione generale dell'area</i>	6
1.3	<i>Definizione della cartografia di base</i>	7
1.4	<i>Elenco archivi consultati</i>	8
1.5	<i>Definizione dell'area da sottoporre a microzonazione</i>	8
2.	Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento	9
2.1	<i>Sismicità storica della Sicilia Sud –Orientale</i>	9
2.2	<i>Sismicità storica e pericolosità sismica nel comune di Monterosso Almo</i>	12
2.3	<i>Faglie attive</i>	19
2.4	<i>Pericolosità geo-idrologica</i>	20
3.	Assetto geologico e geomorfologico	20
3.1	<i>Inquadramento geologico</i>	20
3.2	<i>Assetto Tettonico</i>	22
3.3	<i>Caratteri morfologici, stratigrafici e tettonici del territorio di Monterosso Almo</i>	22
3.3.1	<i>Caratteri morfologici</i>	22
3.3.2	<i>Litostratigrafia</i>	30
3.3.2.1	<i>Formazione Ragusa</i>	31
3.3.2.2	<i>Formazione Tellaro</i>	31
3.3.2.3	<i>Coperture</i>	31
3.3.3	<i>Lineamenti tettonici di Monterosso Almo</i>	32
4.	Dati geotecnici e geofisici	32
4.1	<i>Il database</i>	32
4.2	<i>Unità geologico – litotecnica</i>	33
4.3	<i>Indagini geofisiche precedenti</i>	35
4.4	<i>Il metodo HVSR</i>	35
4.5	<i>Indagini HVSR</i>	38
5.	Modello del sottosuolo	41
5.1	<i>Il modello e le sezioni rappresentative del sottosuolo</i>	41
5.2	<i>Stime della profondità del tetto del bedrock sismico ottenute da misure HVSR</i>	42
6.	Interpretazioni e incertezze	44
6.1	<i>Incertezze sul modello geologico tecnico del sottosuolo</i>	44
6.2	<i>Breve analisi dei vantaggi e svantaggi dei metodi d'indagine con microtremiti</i>	44
6.3	<i>Incertezze sulle stime della profondità del bedrock sismico</i>	45
7.	Metodologie di elaborazione e risultati	46
7.1	<i>Criteri per l'elaborazione della carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica</i>	46
7.2	<i>Criteri adottati per la costruzione della carta delle frequenze di vibrazione</i>	49

8.	Elaborati cartografici	50
8.1	<i>Carta delle indagini</i>	50
8.2	<i>Carta Geologico–tecnica</i>	51
8.3	<i>Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica</i>	51
8.3.1	<i>Profili topografici di dettaglio</i>	53
8.4	<i>Carta delle frequenze</i>	71
9.	Confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati	72
10.	Bibliografia	73
11.	Allegati	79

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 Monterosso Almo (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.

Il territorio comunale di Monterosso Almo rientra in zona 2 secondo la vigente classificazione sismica nazionale (OPCM 3274/2003) ed è classificato come zona 2* dal DGR (Sicilia) 408 del 19/12/2003. (*Zona con pericolosità sismica **media**, dove possono verificarsi terremoti abbastanza forti*). Inoltre i criteri per l'aggiornamento della mappa di **pericolosità sismica** sono stati definiti nell'Ordinanza del PCM n. 3519/2006, che ha suddiviso l'intero territorio nazionale in quattro zone sismiche sulla base del valore dell'accelerazione orizzontale massima su suolo rigido o pianeggiante **ag**, che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni. Accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni $0,15 \leq ag < 0,25g$.

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).

Il lavoro si articola nella raccolta di informazioni per successivi gradi di approfondimento che possono condurre alla determinazione del quadro territoriale di pericolosità sismica.

Relativamente agli eventi sismici, la pericolosità generalizzata del Comune di Monterosso Almo (*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.

Le aree a potenziale rischio di coinvolgimento in eventi sismici corrispondono quindi ai centri abitati e alle loro frazioni, nonché ai relativi dintorni che a volte ne rappresentano le zone di espansione. Tale zonazione, che prevede zone di rischio "potenziale", tiene conto anche della sismicità storica, anche in termini di relazione *magnitudo-distanza epicentrale*, con a luoghi processi di innesco di frane sismoindotte (es.: KEEFER, 1984) , entrambi in termini di relazione *magnitudo evento-tempo di ritorno*.

In accordo con il Servizio di Protezione Civile Regionale della Provincia di Catania e con l'Amministrazione Comunale di Monterosso Almo gli studi di microzonazione sismica di primo livello sono stati condotti nelle aree di effettivo interesse urbanistico, cioè nel centro abitato, nelle aree di potenziale espansione e di riqualificazione urbanistica e lungo le immediate fasce al contorno.

Lo studio è stato realizzato da ricercatori del Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare 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, A. D'Alessandro, G. Napoli, M. Perricone, S. Todaro, G. Zarcone.

1. INTRODUZIONE

1.1. Finalità degli studi

La microzonazione sismica (MS), cioè la suddivisione dettagliata del territorio in aree omogenee rispetto al comportamento atteso dei terreni durante un evento sismico e ai possibili effetti indotti dallo scuotimento, è uno strumento di prevenzione e riduzione del rischio sismico particolarmente efficace se realizzato e applicato già in fase di pianificazione urbanistica. Costituisce, quindi, un supporto fondamentale agli strumenti di pianificazione urbanistica comunale per indirizzare le scelte urbanistiche verso le aree a minore pericolosità sismica.

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

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

Gli studi di microzonazione sismica possono essere condotti secondo tre livelli di approfondimento.

In particolare il **Livello 1** ha per obiettivo uno studio propedeutico ed obbligatorio per poter affrontare i successivi livelli poiché si basa sulla precisazione del quadro conoscitivo di un territorio, derivante dalla raccolta ed analisi dei dati preesistenti nonché 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, in termini di caratteristiche litologiche e geometriche delle unità geologiche del sottosuolo, che costituisce la base per la microzonazione sismica.

L'analisi di **Livello 2** è richiesta e ritenuta sufficiente nelle aree prive di particolari complicazioni geologiche e morfologiche, nelle quali sono attesi solo effetti di amplificazione. Per uno studio di secondo livello sono richieste indagini geotecniche e geofisiche di tipo standard e una stima dei fattori di amplificazione 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 e potenzialmente instabili) o laddove sono previsti opere ed edifici di rilevante interesse pubblico.

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

1.2. Descrizione generale dell'area

Il territorio del Comune di Monterosso Almo (provincia regionale di Ragusa) è ubicato nel settore centrale dell'altipiano Ibleo, Sicilia sud-orientale (Fig.1.1) .Il territorio è limitato a nord dal territorio comunale di Licodia Eubea (CT) ad est dal territorio comunale di Giarratana, a sud da quello di Ragusa e, ad ovest, da quello di Chiaramonte.

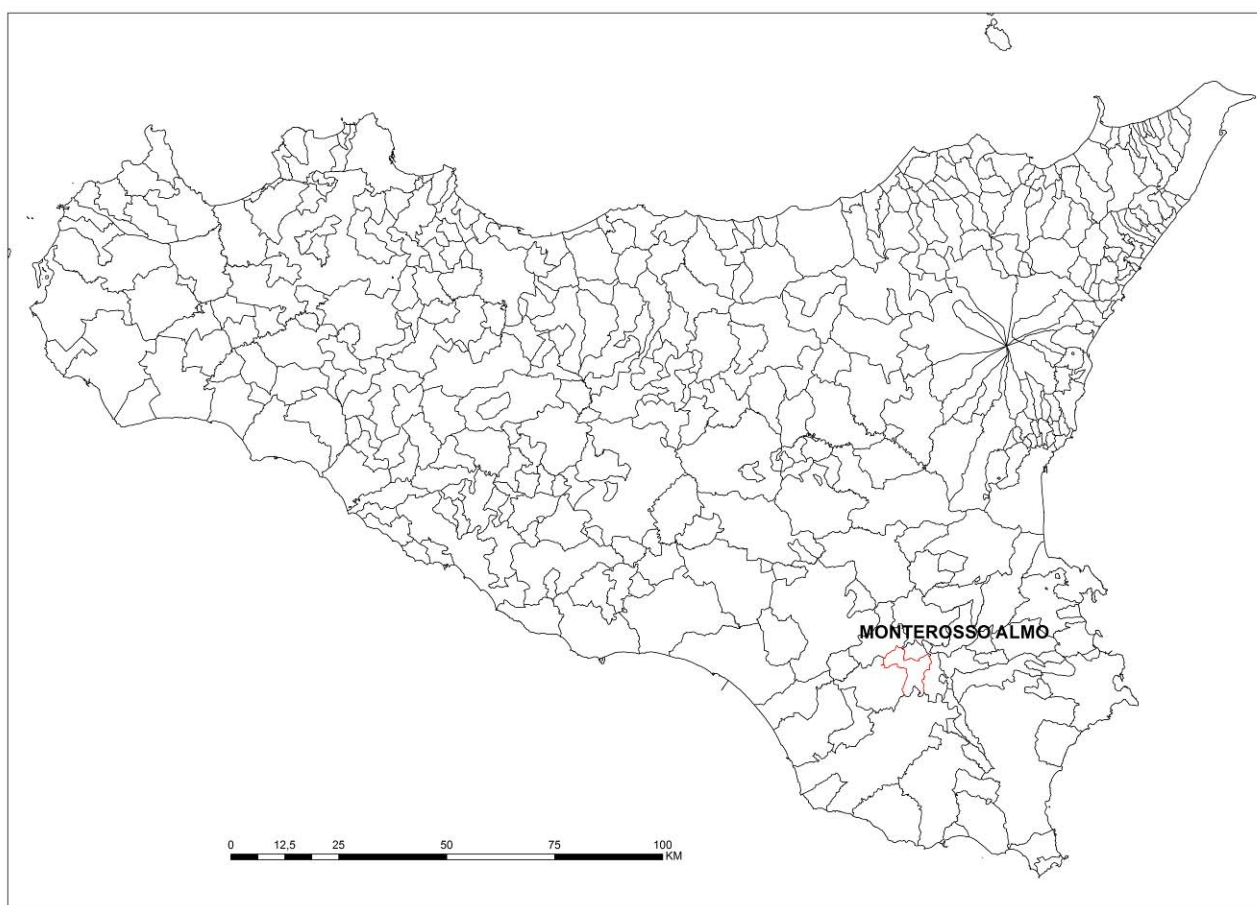


Fig. 1.1 - Ubicazione dell'area

Dal punto di vista idrografico il territorio comunale ricade integralmente nel distretto idrografico del Fiume Amerillo, per una superficie totale di circa 56,3 kmq.

Il centro urbano di Monterosso Almo si estende lungo una stretta cresta delimitata dall'incisione del fiume Amerillo e da diverse incisioni torrentizie tributarie dello stesso corso d'acqua. A sud ed a sud-ovest invece è limitato da un sistema collinare con acclività variabili (Fig. 1.2).



Fig.1.2 – Veduta del centro urbano di Monterosso Almo (da wikipedia) - Foto di Luigi Nifosì

1.3 Definizione della cartografia di base

Ai fini del presente lavoro sono state utilizzate le cartografie ed i dati riportati nelle tabelle:

Copertura topografica	Carta Tecnica Regionale scala 1:10.000 – ediz. 2008 – Sezione n. 645100
	Foglio IGMI 1:50.000 n. 600 “Barcellona Pozzo di Gotto”
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 Monterosso Almo da sottoporre agli studi di microzonazione sismica di primo livello è stato stabilito, in accordo con l'amministrazione comunale e il Dipartimento Regionale della Protezione Civile, di procedere alla microzonazione sismica del centro urbano principale e delle immediate vicinanze poste a sud-est fino a Casa Gazzena (Fig. 1.3).

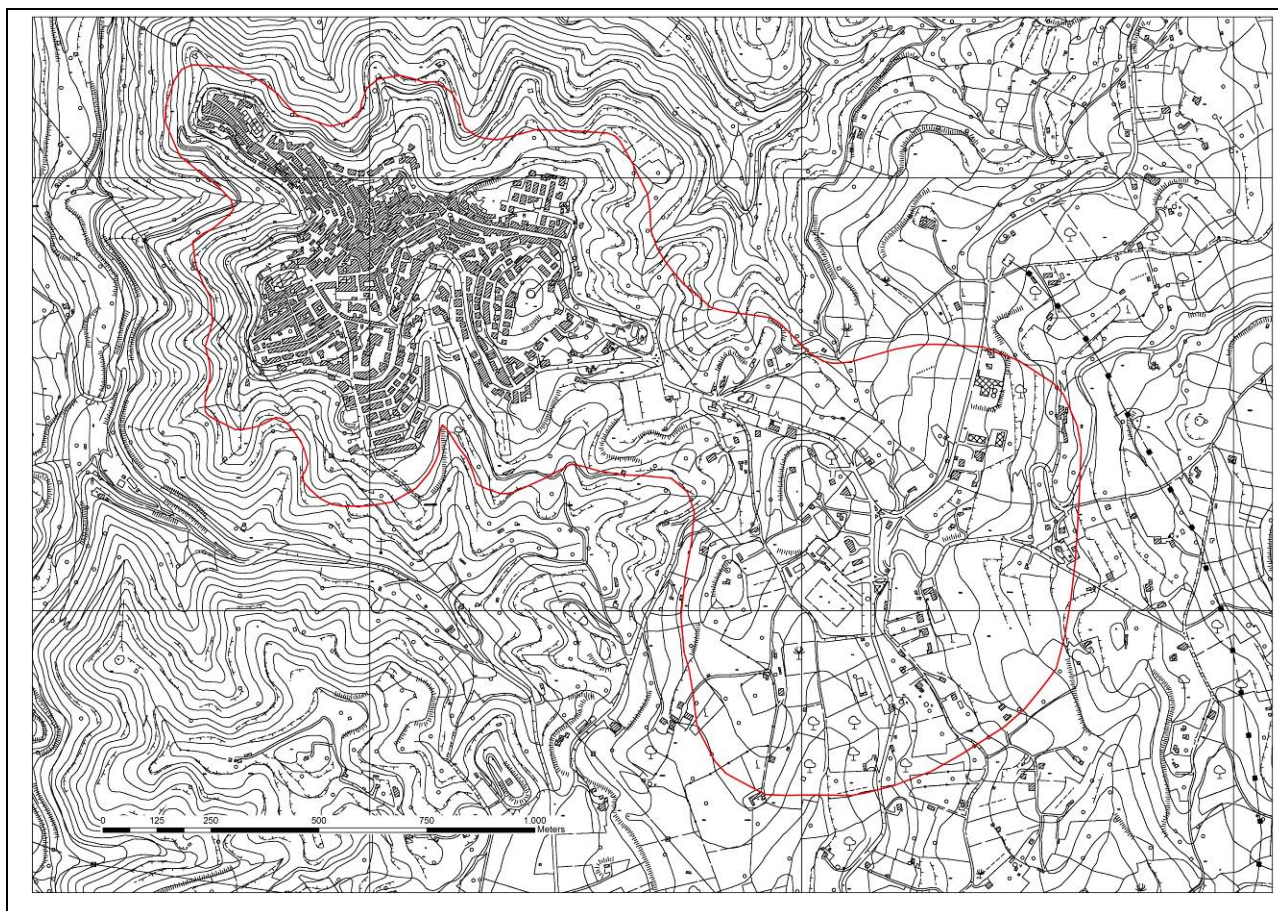


Fig. 1.3 – Comune di Monterosso Almo: delimitazione dell'area sottoposta a microzonazione sismica.

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 terremoti sono comunque 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, $I_{max}=8.5$, $M_e=5.8$).

La magnitudo macrosismica equivalente M_e (Gasperini e Ferrari, 1995, 1997) è stata calcolata attraverso il metodo delle aree di risentimento che si basa su un adeguato campionamento del campo macrosismico.

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.

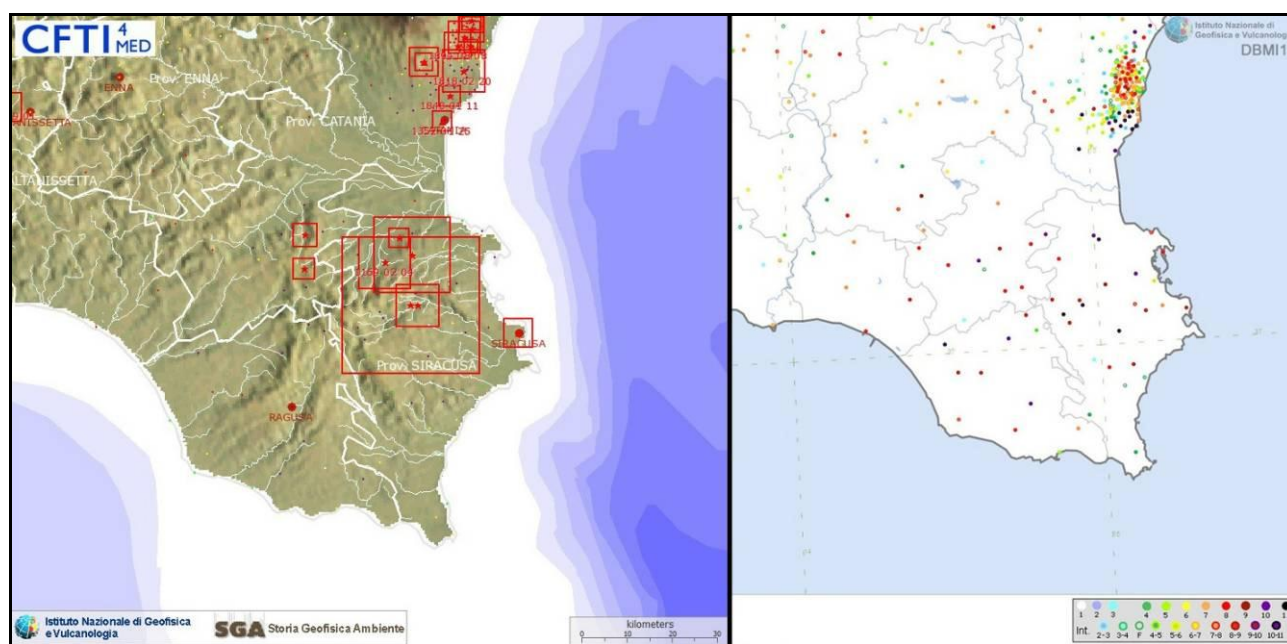


Fig. 2.1 - Epicentri dei forti terremoti (sinistra, Guidoboni et al., 2007) e massime intensità macrosismiche risentite (Locati et al., 2011) in Sicilia Sud-Orientale.

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

Terremoto del 03.10.1624, ore 17:00, lat=37.267, lon=14.75, $I_{\max}=9$, $M_e=5.6$: 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.

Terremoti del 09.01.1693, ore 21:00, lat=37.133, lon=15.033, $I_{\max}=8.5$, $M_e=6.2$ e del 11.01.1693, ore 13:30, lat=37.133, lon=15.017, $I_{\max}=11$, $M_e=7.4$: 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, $I_{max}=7.5$, $M_e=5.5$: 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 Monterosso Almo

Il comune di Monterosso Almo è situato nella parte meridionale della Sicilia orientale, un'area 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 come numerosi eventi di piccola e media magnitudo siano stati localizzati in prossimità del comune di Monterosso Almo. La sismicità strumentale recente è caratterizzata perlopiù da eventi poco profondi di piccola magnitudo.

Gli studi di sismicità storica hanno permesso di individuare diversi forti terremoti che hanno avuto a Monterosso Almo effetti macrosismici di notevole intensità.

La Fig. 2.3, estratta dal Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI11, Rovida et al., 2011), mostra la distribuzione degli epicentri di eventi sismici storici, con epicentro distante meno di 100 km da Monterosso Almo e magnitudo momento maggiore di 5.5.

Per molti degli eventi i cui risentimenti potrebbero avere superato a Monterosso Almo 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.

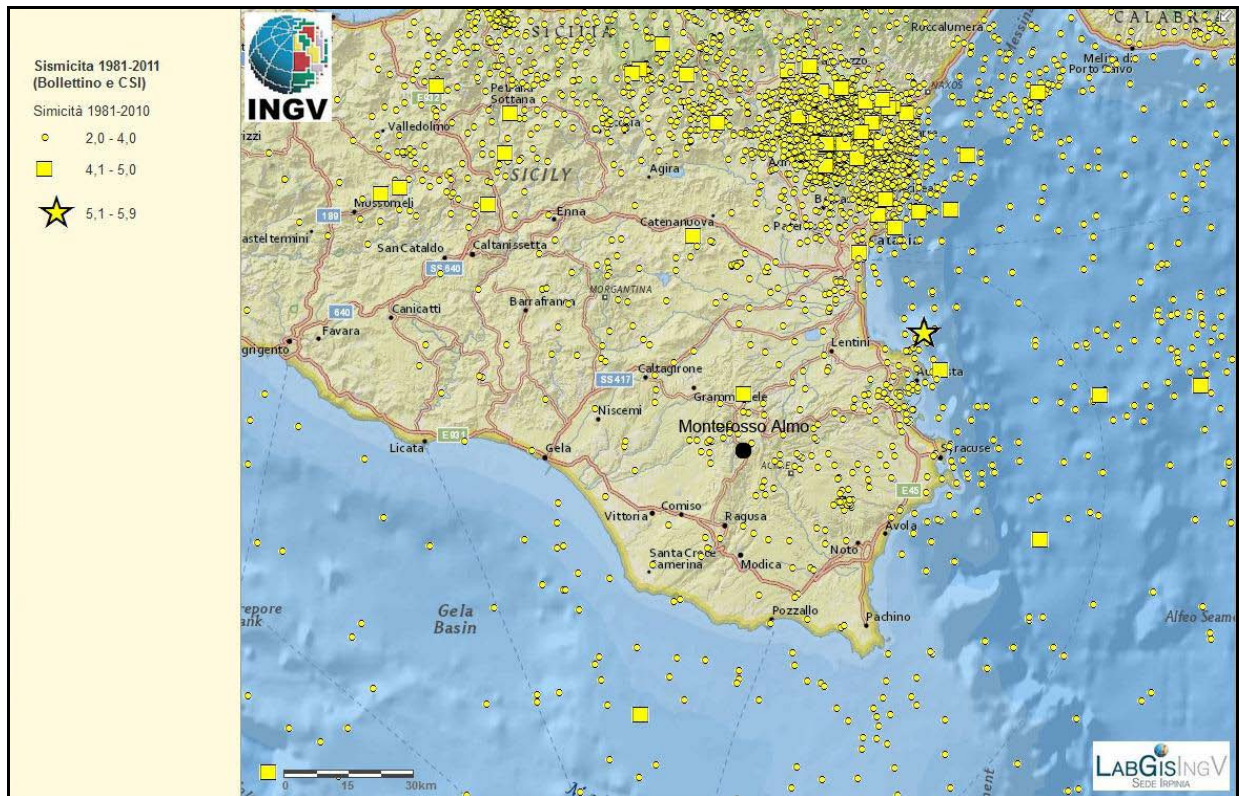


Fig. 2.2 - Distribuzione degli epicentri dei terremoti strumentali localizzati dalla INGV tra il 1981 e il 2011.

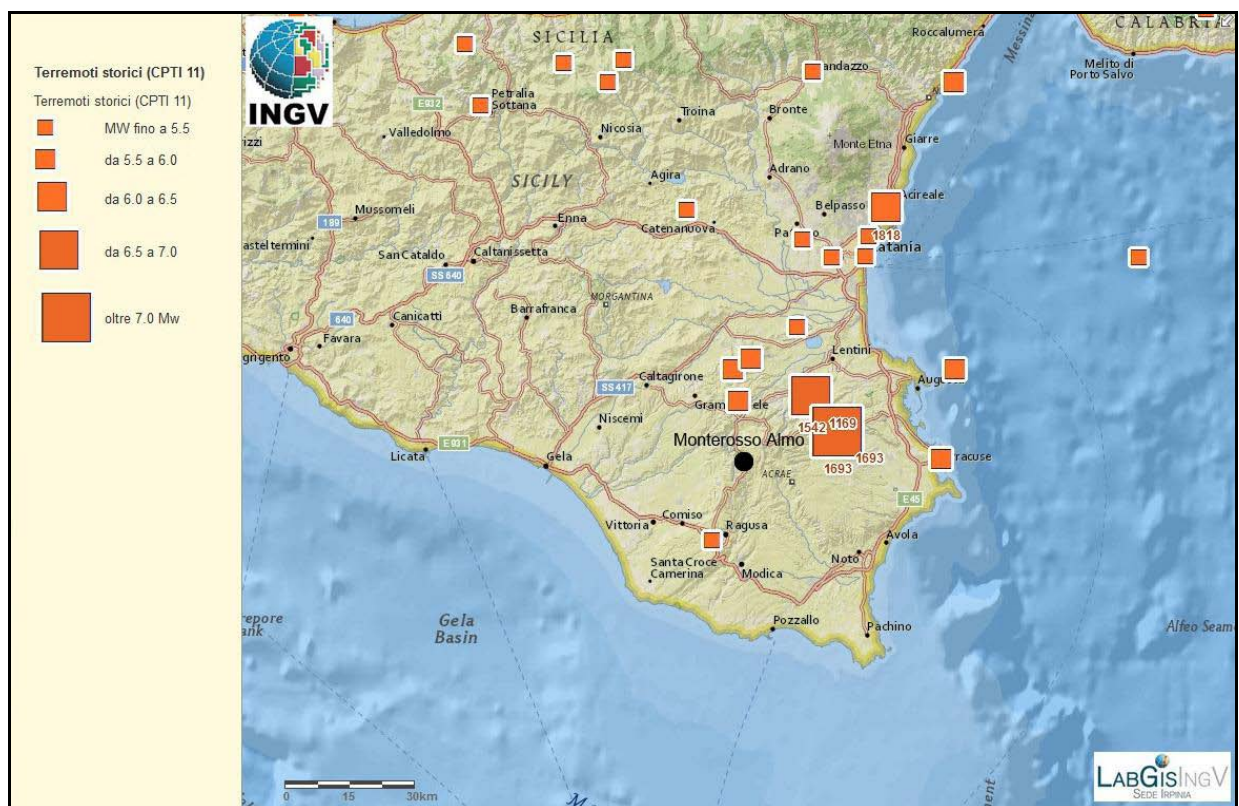


Fig. 2.3 Mappa della distribuzione degli epicentri degli eventi sismici storici estratta dal Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI11, Rovida et al., 2011).

In Fig. 2.4 è riportata la storia sismica del comune di Monterosso Almo estratta dal Database Macrosismico Italiano (DBMI11, Locati et al., 2011).

Il primo terremoto storico di cui si conosca risentimento a Monterosso Almo è quello della Val di Noto del 10 dicembre 1542, ma quello di massima intensità macrosismica risentita è sicuramente quella della Val di Noto dell'11 gennaio 1693. Questo terremoto 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 del 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 km² e causando un numero complessivo di circa 60.000 vittime di cui 232 nel comune di Monterosso Almo allora abitato da 2340 persone (Guidoboni et al., 2007).

La sequenza sismica che comprende questo terremoto, con effetti davvero devastanti, iniziò il giorno 9 gennaio 1693 e si protrasse per circa 2 anni con un numero elevatissimo di repliche. L'evento principale (XI grado MCS) si verificò alle ore 9 della sera dell'11 gennaio, dopo che alcune scosse di minore intensità (circa VIII grado MCS) si erano già fatte sentire dalla sera del giorno 9.

Le caratteristiche dell'evento principale consentono di considerarlo, per molti aspetti, simile al terremoto del 4 febbraio 1169. Basili et al., (2008) nel DISS (Database of Individual Seismogenic Sources) attribuiscono il terremoto del 1693 alla faglia di Monte Lauro.

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

Storia sismica di Monterosso Almo [37.089, 14.763]

Numero di eventi: 6

Effetti

In occasione del terremoto del:

Is	Data	Ax	Np	Io Mw
8-9	1542 12 10 15:15	Siracusano	32	10 6.77 ±0.32
10-11	1693 01 11 13:30	Sicilia orientale	185	11 7.41 ±0.15
4-5	1895 04 13 15:01	Vizzini	32	6-7 4.89 ±0.45
4	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
4-5	2004 12 30 04:0	Monti Iblei	49	5 4.17 ±0.17

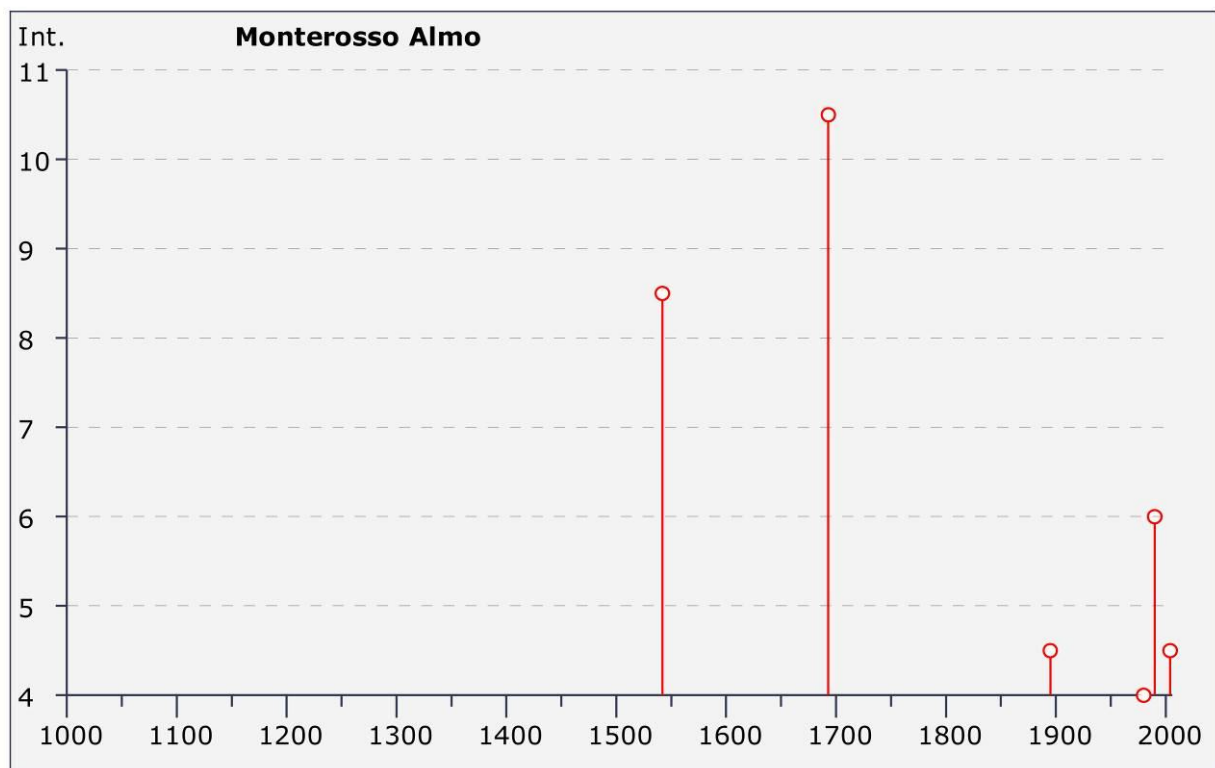


Fig. 2.4 - Storia sismica di Monterosso Almo estratta dal Database Macrosismico Italiano (DBMI11, Locati et al., 2011); Is è l'intensità macrosismica risentita (MCS); Io è l'intensità macrosismica massima (MCS); M_w è la magnitudo momento dell'evento; Ax indica l'area epicentrale, Np è il numero di località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

Recentemente il comune di Monterosso Almo ha risentito il terremoto del 13 dicembre 1990 di M_w 5.6 senza tuttavia riportare danni ingenti (in alcune chiese furono osservate crepe non profonde; una chiesa subì invece lesioni tali da essere chiusa al culto, (CFTI, Guidoboni et al., 2007).

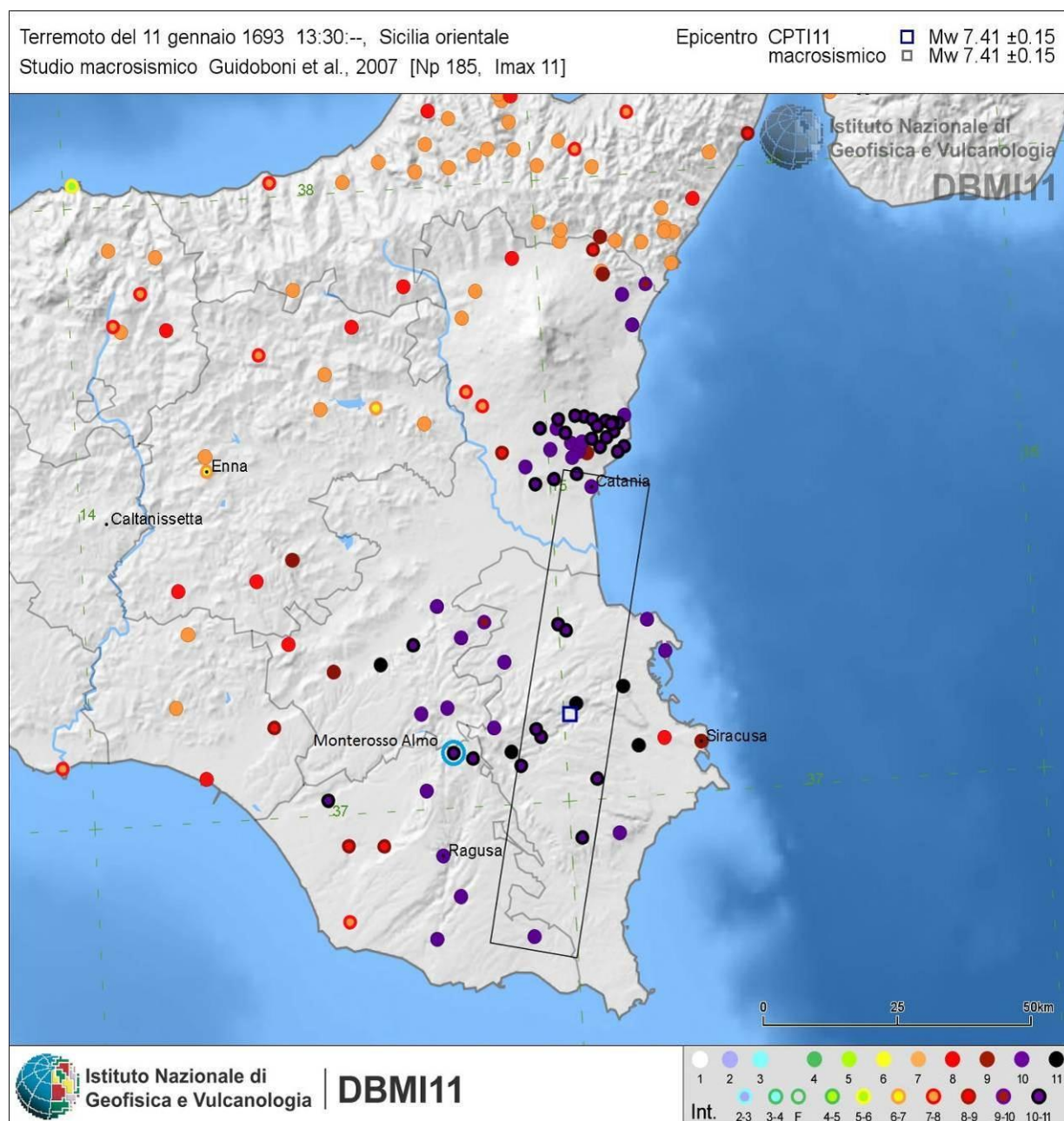


Fig. 2.5 - Mappa delle intensità macrosismiche risentite a seguito dell'evento del 1693, estratta dal catalogo Database Macrosismico Italiano (DBMI11, Locati et al., 2011). Il cerchio azzurro indica il comune di Monterosso Almo; il rettangolo (box sismogenetico) indica l'estensione della probabile sorgente del terremoto.

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 Monterosso Almo abbia una pericolosità sismica, espressa in termini di PGA, pari a 0.275 g. La Tab. 2.1 riporta i valori di PGA determinati per il comune di Monterosso Almo per differenti livelli di probabilità in 50 anni, o differenti periodi di ritorno, e percentile. Vista l'elevata pericolosità sismica, il comune di Monterosso Almo risulta inserito in Zona Sismica 2 (Fig. 2.8).

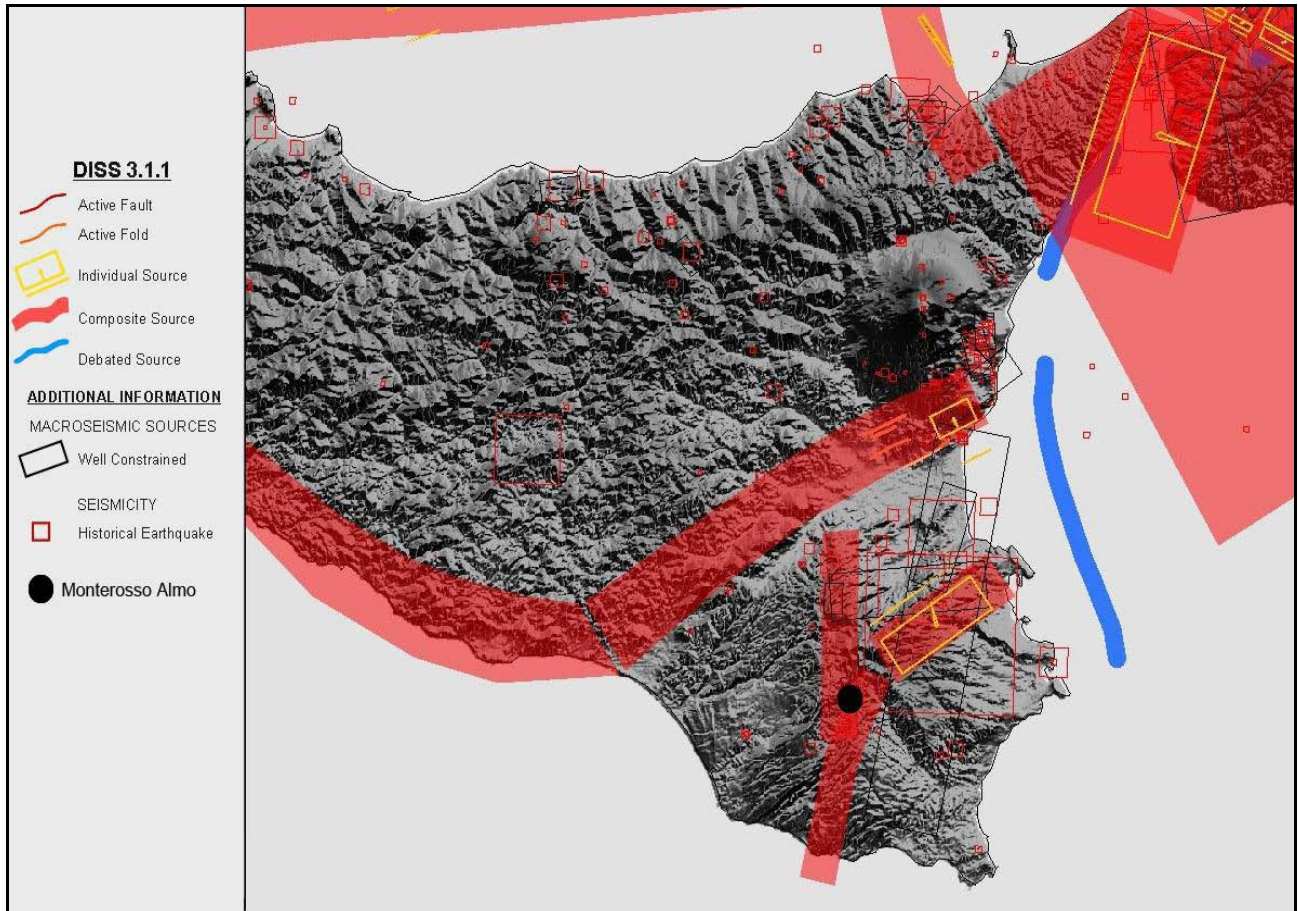


Fig. 2.6 - Mappa delle strutture sismogenetiche estratte dal Database of Individual Seismogenic Sources (Basili et al., 2008).

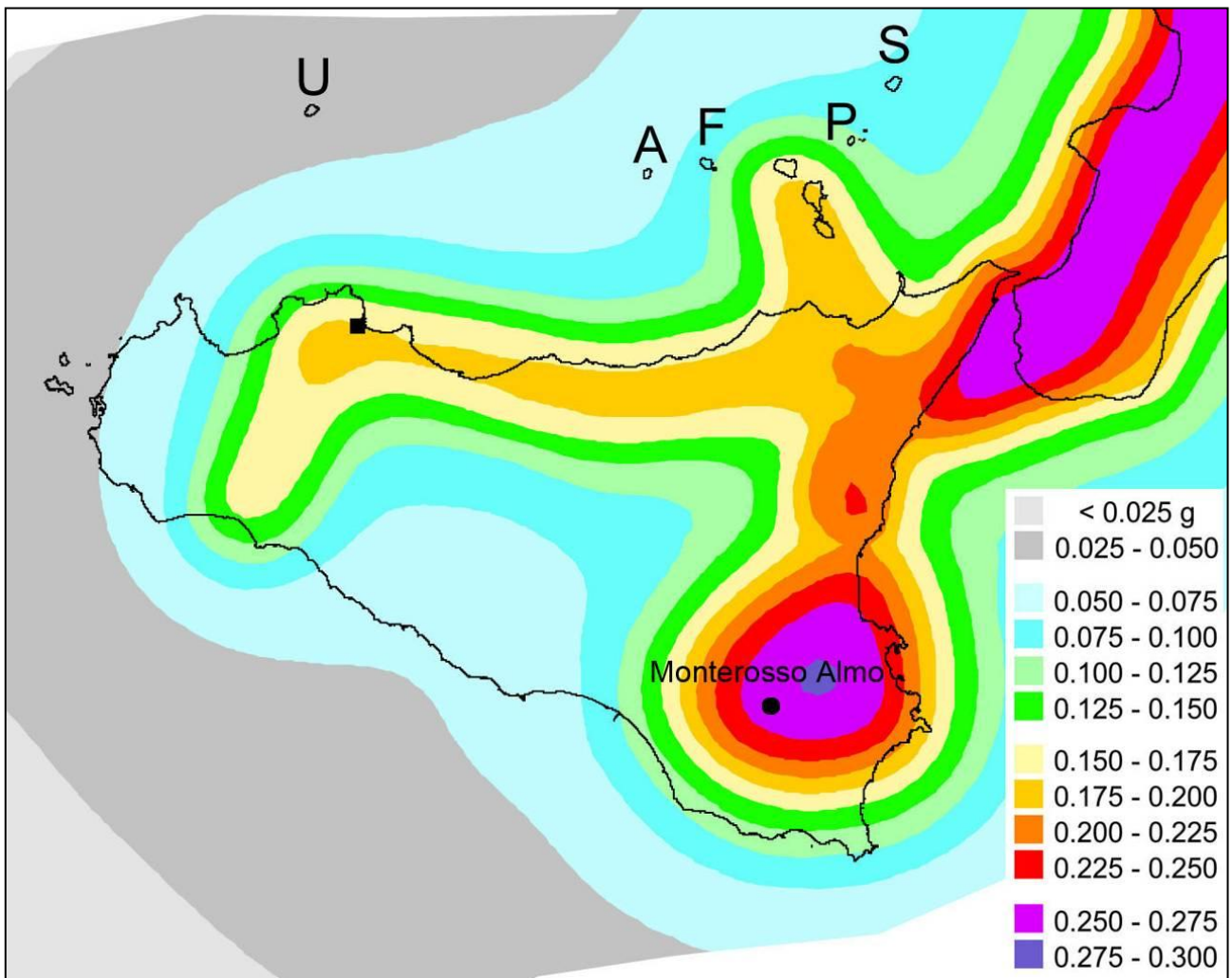


Fig. 2.7 - Mappa della pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ($V_s > 800$ m), Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n. 3519, All.1b; estratta da: <http://zonesismiche.mi.ingv.it>.



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 PGA (g)		Probabilità in 50 anni/Periodo di ritorno				
		2%	5%	10%	22%	30%
		2475a	975a	475a	201a	140a
Percentile	16	0.4507	0.2985	0.2068	0.1306	0.1063
	50	0.5843	0.3690	0.2586	0.1628	0.1296
	84	0.6869	0.4614	0.3062	0.1840	0.1488

Tab. 2.1 - Valori di PGA stimati per il comune di Monterosso Almo 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/s).

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** (Italy **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 Monterosso Almo è attraversato da 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.

Nessuna informazione è fornita riguardo all'unica faglia che attraversa il centro abitato, segnalata negli studi per il PRG, e non è stato possibile dai dati disponibili ricostruire l'entità dei rigetti e l'età della dislocazione. Pertanto in base alla mancanza di informazioni puntuali e ad effetti riscontrabili sul campo, non è stato possibile definirne l'esatta ubicazione, la geometria e i meccanismi cinematici.

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.

Nel caso del Comune di Monterosso Almo, in ragione dell'assetto geomorfologico che non vede la presenza di versanti lungo i quali possano attivarsi fenomeni franosi, all'interno dell'area da sottoporre agli studi di MS per il Comune di Oliveri, non è presente alcuna area R4, né, con l'eccezione di qualche piccolo fenomeno di colata, sono segnalati fenomeni di dissesto che minaccino le aree di interesse, segnalate dai Comuni.

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

3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

3.1 Inquadramento geologico

Il territorio comunale di Monterosso Almo 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).

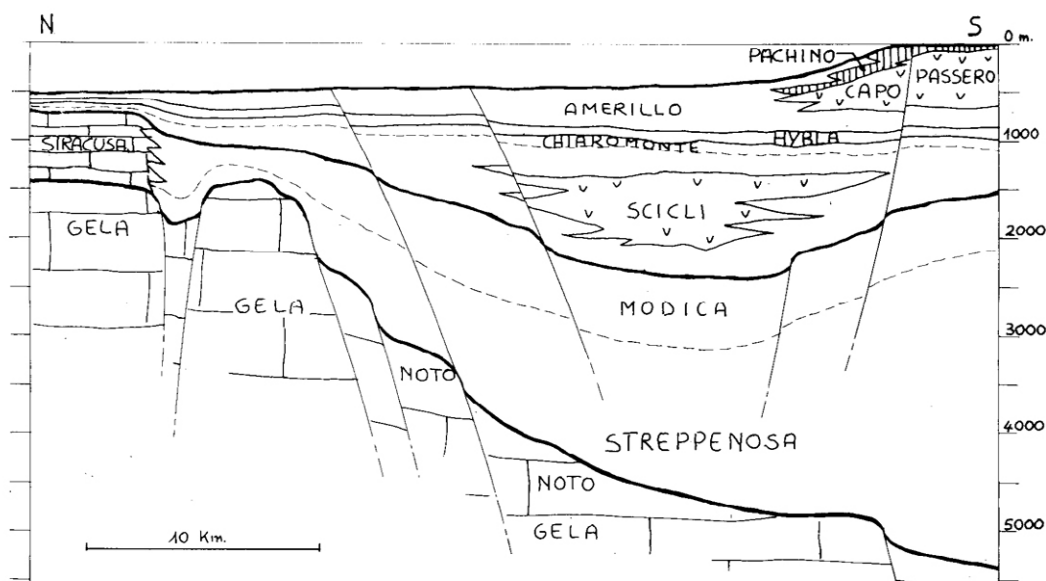


Fig. 3.1 - Schema dei rapporti stratigrafici e strutturali dell'area iblea durante il mesozoico (da Catalano & D'Argenio, 1982)

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)

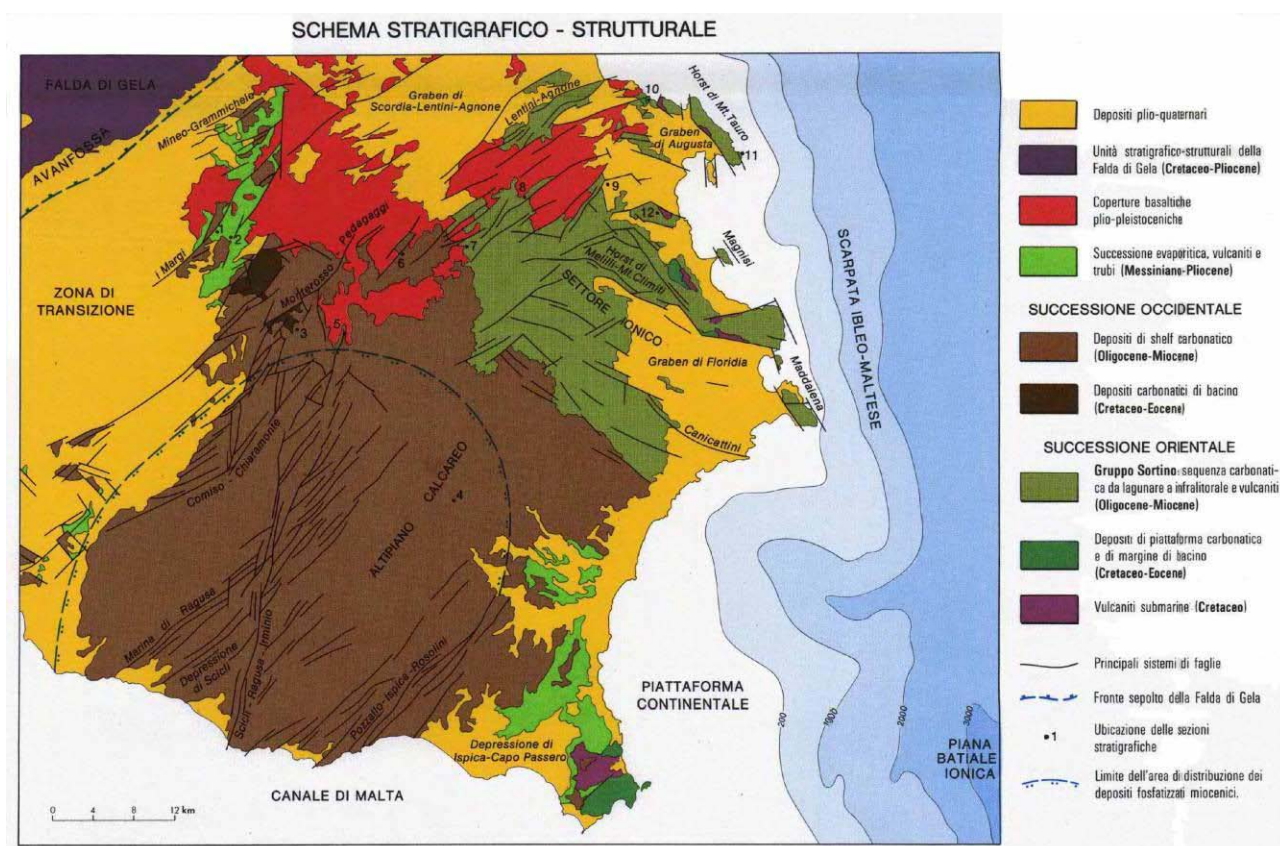


Fig. 3.2 - Schema geologico della Sicilia sud-orientale (da Lentini et al 1984)

3.2 Assetto tettonico

I depositi prevalentemente carbonatici mostrano una giacitura sub orizzontale o inclinata di pochi gradi che dà luogo ad estese monoclinali.

Le successioni presenti nell'area di Monterosso Almo 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.

Le deformazioni tettoniche cartografate e riportate nella carta geologico-tecnica mostrano un andamento compatibile con i sistemi di faglie che caratterizzano il plateau Ibleo.

Le faglie rilevate sono prevalentemente orientate in senso NE-SO 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 tra l'altro hanno influenzato in maniera significativa l'evoluzione del reticolo idrografico dell'area.

3.3. Caratteri morfologici, stratigrafici e tettonici del territorio di Monterosso Almo

3.3.1. Caratteri morfologici

Il territorio comunale di Monterosso Almo ricade nel settore centro settentrionale dei Monti Iblei. 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'altopiano, 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).

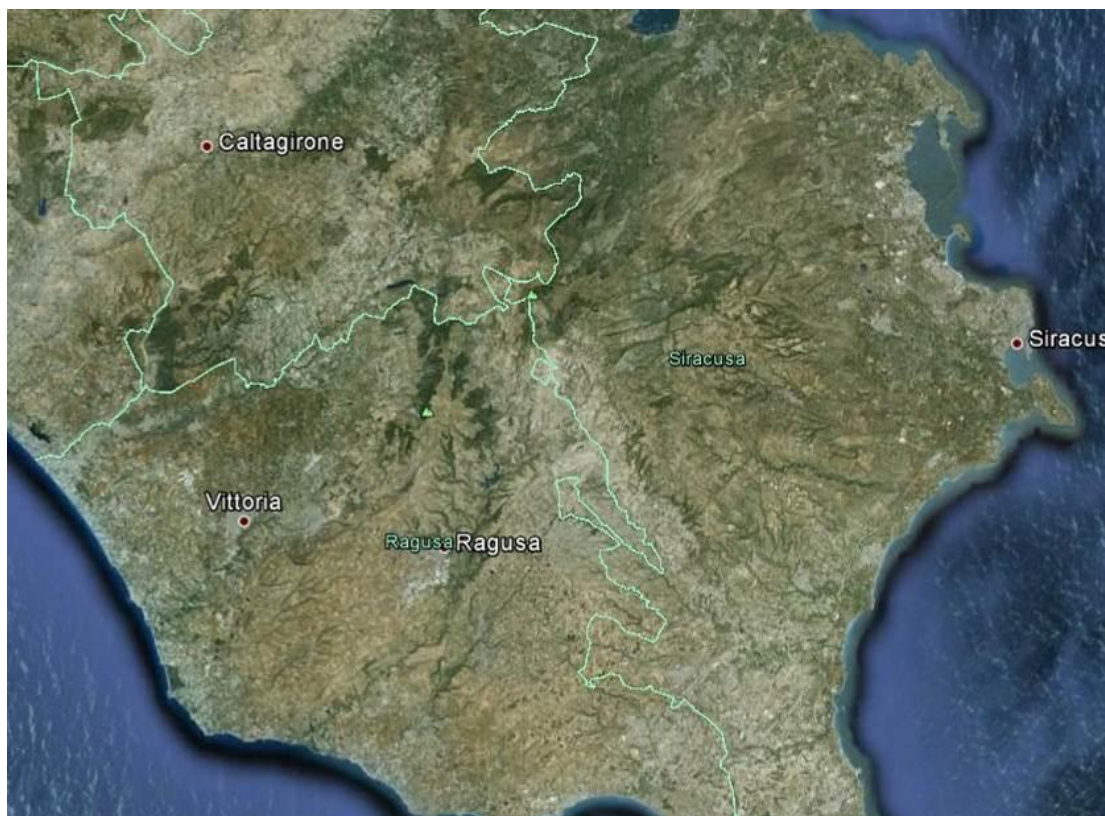


Fig. 3.3 - Foto da satellite del settore Ibleo-ragusano che evidenzia le principali direttrici morfologiche che per lo più coincidono con i principali lineamenti tettonici

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

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

Il carsismo inizia nel Miocene superiore e continua per tutto il Pliocene fino al Quaternario generando un complesso sistema carsico con condotti e gallerie interconnessi, probabilmente controllato dall'attività tettonica e dalle fluttuazioni glacio-eustatiche plio-pleistoceniche. (Grasso et al., 2000).

Il territorio comunale di Monterosso Almo è situato in parte nel bacino idrografico del fiume Dirillo e in parte ricade nel bacino del fiume Irmio si trova sulla sommità di una collina a circa 691 m di altitudine delimitato da poco meno di 100 scarpate molto acclivi di altezza superiore a 20 metri. La morfologia è prevalentemente caratterizzata dalla presenza di stretti valli a V con versanti molto acclivi ad esclusione del settore nord-orientale in cui la pendenza è bassa (minore di 15°). Il centro urbano del comune è situato a circa 700 metri s.l.m.. Una panoramica delle caratteristiche del territorio è rappresentata in Fig. 3.4.

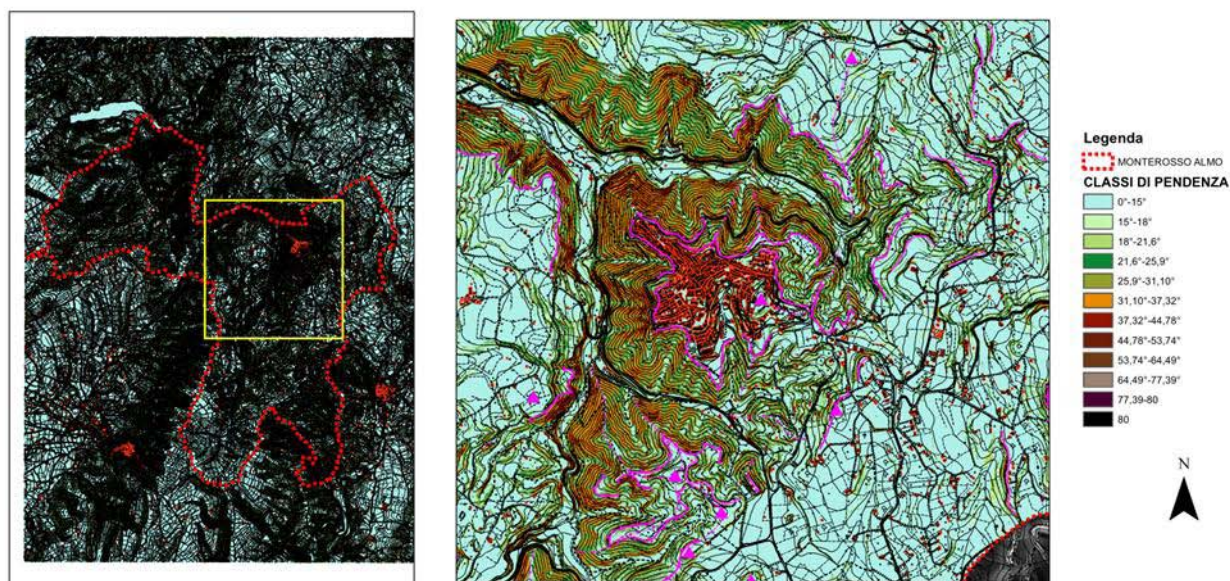


Fig. 3.4 – Carta delle acclività del territorio di Monterosso Almo

Da questo contesto morfologico deriva la buona stabilità generale del territorio comunale, interessato per meno del 5% da forme di instabilità. In questa porzione di territorio, le situazioni litologiche, di acclività, di stratificazione e di utilizzazione del suolo, hanno determinato notevoli dissesti con episodi franosi lungo l'Amerillo.

Nell'area oggetto dello studio non si evidenziano fenomeni di dissesto. Nel resto del territorio comunale fenomeni di dissesto si riscontrano in C.da Boschitello e fuori dall'abitato 4 dissesti PAI (3 frane di scorrimento e un fenomeno di creep superficiale) con moderata pericolosità. Due dei 4 dissesti censiti dal PAI rappresentano paleo-frane di natura sismoindotta.

Cod. Elemento	Tipo Elemento	N° elementi Individuati	Lunghezza Massima (m)	Lunghezza Media (m)
5041	Scapate con altezza inferiore a 20 m	39	1707	578
5042	Scapate con altezza superiore a 20 m	93	5821	748
5060	Creste di displuvio	56	4224	1322
6010	Cime isolate	44		

Tab. 3.1 Tabella degli elementi morfologici individuati dal presente studio e dai dati di letteratura nel territorio comunale di Monterosso Almo.

Profili altimetrici di inquadramento del centro abitato di Monterosso Almo

Il centro abitato del Comune di Monterosso Almo (Rg) sorge su di un rilievo collinare allungato per poco più di 2 km, con asse ad andamento SE – NO, delimitato verso NE e SO da due così d'acqua, che convergono poi più a NO, a limitare il rilievo, prima di confluire sul Fiume Amerillo (Figg. 3.5, 3.6). Verso SE, il rilievo si allarga risalendo fino a raccordarsi con la linea di spartiacque che separa il bacino del Fiume Dirillo da quello del Fiume Irminio. La struttura topografica presenta alcuni "restringimenti" della porzione sommitale, legati all'arretramento localizzato delle scarpate che lo

delimitano, causato dall'azione erosivo-regressiva esercitata da processi fluviali, di dilavamento e gravitativi; questi processi hanno determinato l'incisione dei versanti, preferenzialmente lungo direttrici di debolezza strutturale che li attraversano, in direzione prevalente SO-NE. La larghezza in sommità del rilievo su cui sorge l'abitato mostra dunque valori compresi tra 600m e 200m (nel vertice nord-occidentale ed in corrispondenza del cimitero).

Dal punto di vista geologico, il rilievo su cui sorge Monterosso Almo è costituito dall'affioramento dei terreni della Formazione Ragusa in stratificazione immergente verso SE, con inclinazione crescente da 5° a 20°, andando da NO verso SE.

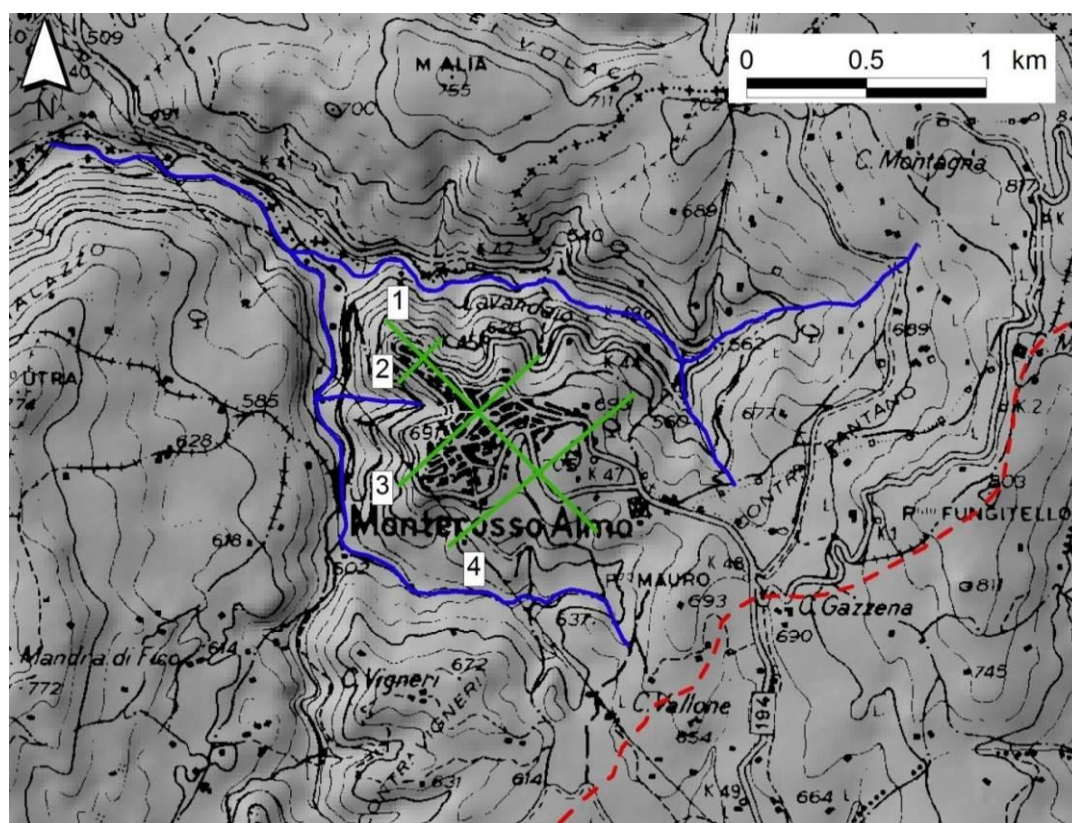


Fig. 3.5 – Stralcio del Foglio 1:50.000 n. 645. In verde vengono riportate le tracce dei profili topografici di inquadramento, in blu elementi della rete idrografica e in rosso un tratto della linea di spartiacque tra i bacini dei Fiumi Amerillo (a NO) e Irminio (a SE).

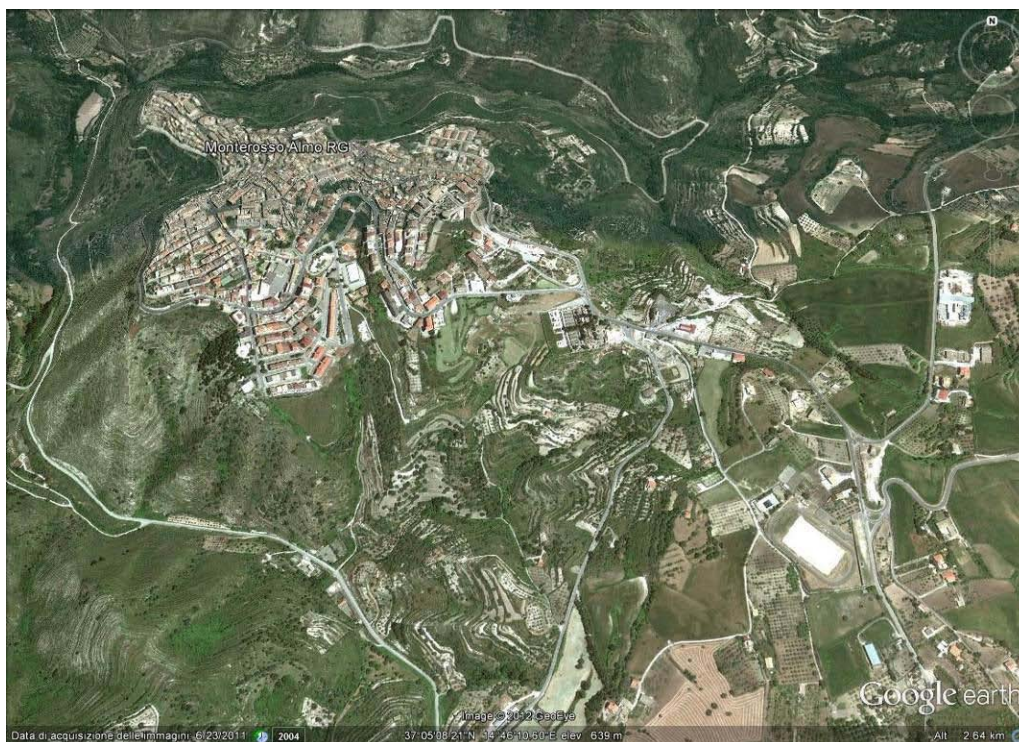


Fig. 3.6 – Immagine Google Earth™ del centro abitato di Monterosso Almo.

Utilizzando le tecniche di analisi topografica descritte al Capitolo 7, è stato possibile individuare e mappare i principali elementi topografici, in grado di modificare la risposta sismica. In Figura 3 viene mostrata la carta degli elementi morfologici, sulla quale sono visibili scarpate rocciose, orli di terrazzi, creste, rilievi isolati e dorsali.

Il rilievo su cui sorge il centro abitato risulta delimitato da scarpate rocciose lungo tutti i bordi. In corrispondenza dei versanti nord-orientali, presumibilmente a causa delle variazioni litologiche, che vedono il passaggio dal membro inferiore al membro superiore della Formazione Ragusa, è possibile riconoscere in larghi tratti una seconda linea di scarpata, subparallela alla prima, ad una quota inferiore. Sono inoltre presenti alcuni rilievi isolati ed un sistema di dorsali, determinate dall'arretramento accentuato delle linee di scarpata, in corrispondenza dei principali impluvi che, dalla sommità del rilievo, raggiungono i due affluenti del Fiume Dirillo. L'estremo settore nord-occidentale del centro abitato, presenta una dorsale terminale stretta ed allungata.

Al fine di ricostruire e descrivere l'assetto morfologico dell'area ricadente all'interno del centro abitato, si sono realizzati quattro profili di inquadramento, secondo le direttrici principali della struttura topografica, indicati con un numero da 1 a 4. Allo stesso tempo, al fine di analizzare e caratterizzare gli elementi morfologici rilevanti ai fini della microzonazione, sono state estratti diversi profili topografici di dettaglio, in modo da evidenziarne con maggiore risoluzione l'assetto morfologico ed il possibile ruolo in termini di amplificazione (*cfr.* cap. 8).

In Figura 3.7 viene fornita una visione su immagine Google Earth™ delle tracce dei profili e degli elementi morfologici rilevati.

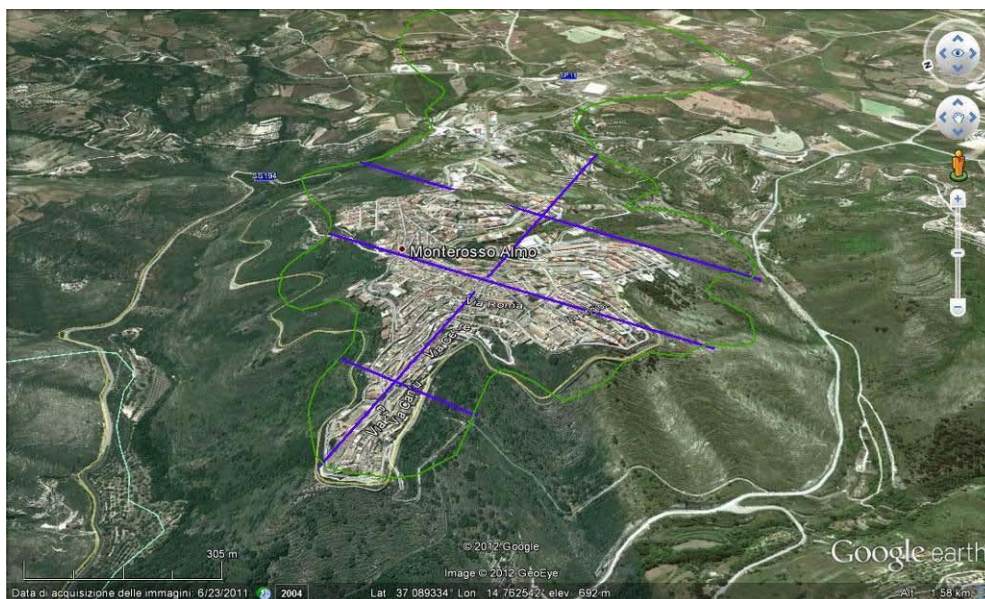


Fig. 3.7 – Inquadramento del centro abitato di Monterosso Almo e collocazione dei profili topografici in un'immagine di Google Earth.

Profili topografici di inquadramento

Al fine di mettere in evidenza le caratteristiche morfologiche dell'area, sono stati realizzati quattro profili topografici di inquadramento (Fig. 3.8). Il profilo 1, si sviluppa parallelamente all'asse principale del rilievo su cui sorge l'abitato, mentre i profili da 2 a 4 sono stati tracciati ortogonalmente a tale direttrice.

Il profilo 1 (Fig. 3.8) ha un'estensione lineare di circa 1300 metri e una direzione prevalente NO-SE e mette in evidenza il raccordo tra la porzione sud-orientale delle colline lungo le quali corre la linea di spartiacque tra i fiumi Irmino e Dirillo ed il rilievo su cui sorge l'abitato. Questi due settori sono separati da una concavità topografica, corrispondente con le zone di arretramento dei bacini di due impluvi di primo ordine, che scorrono poi in verso opposto lungo la direzione SO-NE. A partire da questa concavità, il rilievo sale in direzione NO, fino ad una sommità che tocca i 700m s.l.m., corrispondente al settore centrale del rilievo che ospita il centro abitato. Verso NO, il profilo prosegue senza mostrare irregolarità, fino al limite estremo, in corrispondenza del quale è presente la scarpata rocciosa terminale.

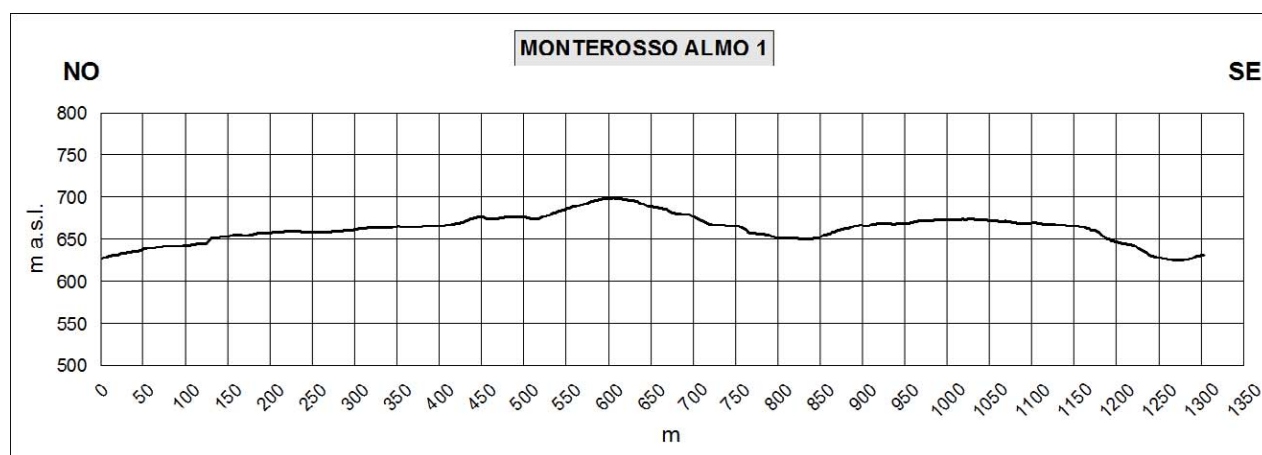


Fig. 3.8 – Profilo topografico di inquadramento Monterosso Almo 1.

Il profilo 2 (Fig. 3.9) ha un'estensione lineare di circa 250m e una direzione SO-NE. La traccia del profilo (Fig. 1) attraversa il rilievo su cui sorge l'abitato ortogonalmente, in corrispondenza della sua estremità nord-occidentale, laddove l'erosione ha portato ad una forte curvatura del sistema di scarpate che lo delimitano. Per tale ragione, il profilo di dettaglio mette bene in evidenza due scarpate ed una cresta centrale, qui molto ravvicinate. La cresta centrale costituisce una cresta di displuvio, che si estende in direzione SE-NO. Questo elemento morfologico è interamente urbanizzato. La larghezza alla base di 250m circa, mentre in cresta è di 80m. In considerazione del valore del parametro $I (<1/3L)$ questa cresta può dunque definirsi come cresta appuntita.

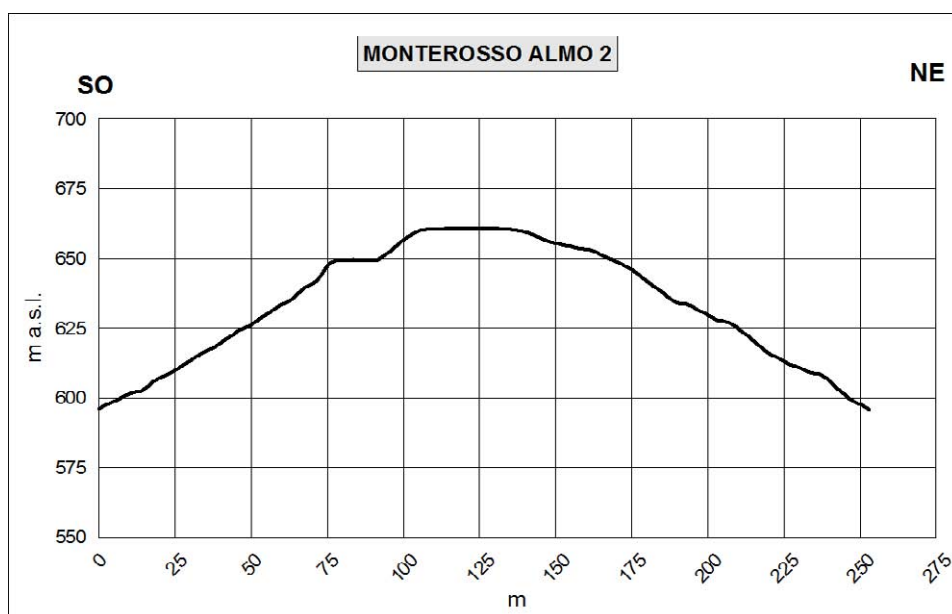


Fig. 3.9 – Profilo topografico di inquadramento Monterosso Almo 2.

Intersecando il rilievo allungato un po' più a SE, in corrispondenza del profilo topografico n. 3 (Fig. 3.10), è possibile osservare come le due scarpate che lo limitano si allontanino e, a causa dell'arretramento della testata di un impluvio ad andamento E-O, si riscontri una concavità centrale piuttosto che una cresta.

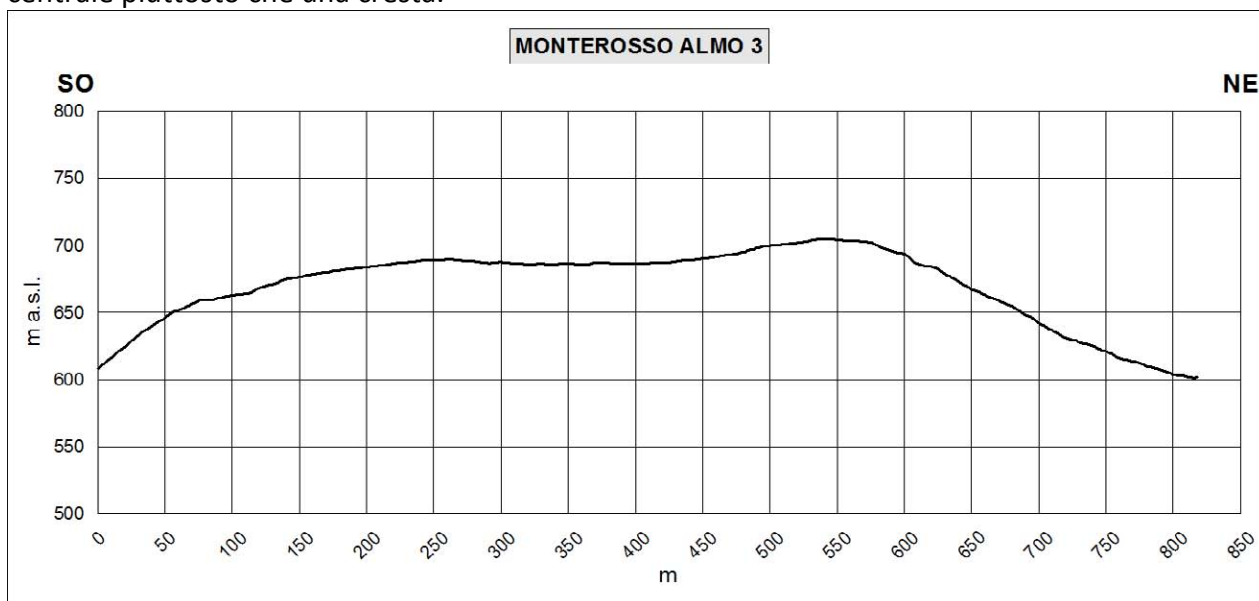


Fig. 3.10 – Profilo topografico di inquadramento Monterosso Almo 3.

Tale andamento risulta ancora più accentuato in corrispondenza del profilo n. 4 (Fig. 3.11), che attraversa il rilievo allungato nella sua porzione più larga, poco più a Nord-Ovest del restringimento che limita la porzione intensamente urbanizzata. Il profilo mette in evidenza l'alternarsi della concavità topografica, costituita dalla testata dell'impluvio ad andamento N-S che già caratterizzava il profilo n. 1, e della cresta centrale, in asse con la direttrice di sviluppo principale del rilievo stesso. Il versante nord-orientale viene inoltre caratterizzato da un sistema di due scarpate, separate tra loro da una superficie sub-orizzontale. Per quanto riguarda la cresta centrale, questa è di tipo arrotondato ed è caratterizzata dai seguenti parametri morfometrici: $\beta_1=5^\circ$; $\beta_2=2^\circ$; $\alpha_1=17^\circ$; $\alpha_2=13^\circ$; $l=150\text{m}$; $L=450\text{m}$.

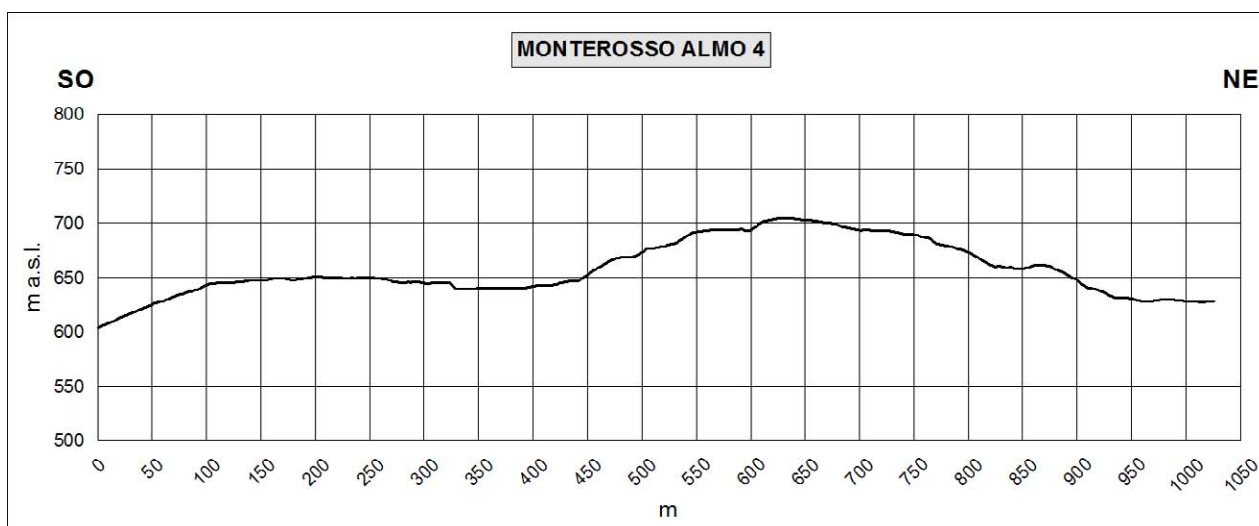
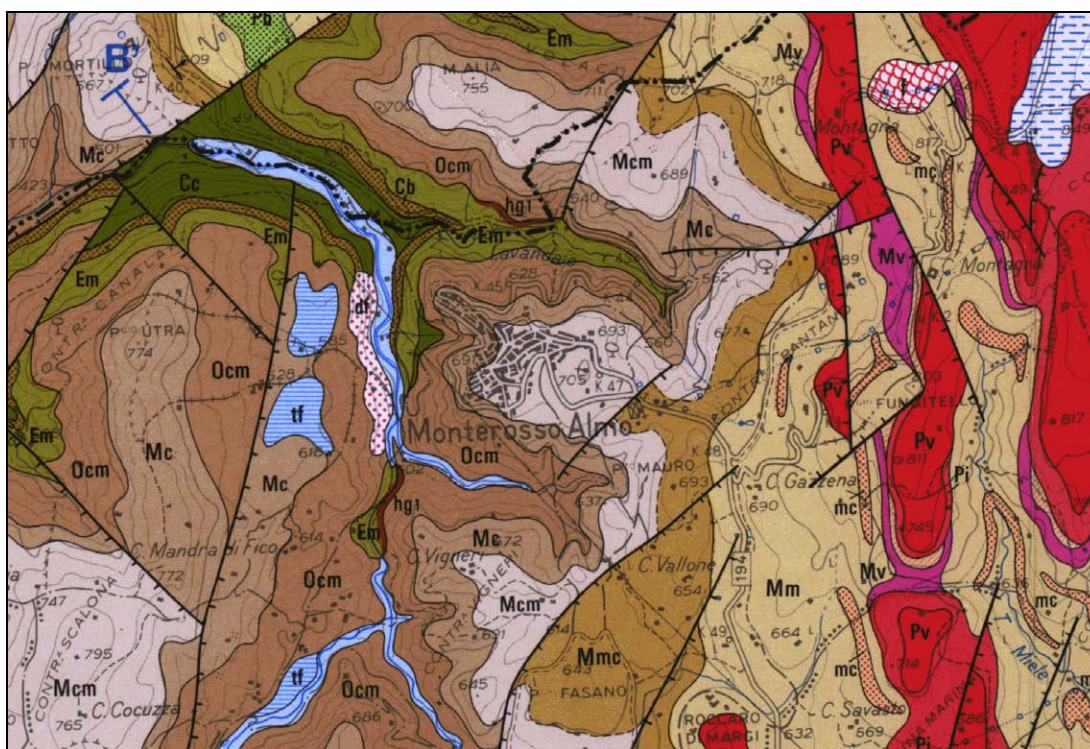


Fig. 3.11 – Profilo topografico di inquadramento Monterosso Almo 4.

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). Un affioramento di lave basaltiche subaeree e ialoclasti (Pliocene superiore?) di spessore metrico, affiorante all'interno del centro abitato, viene segnalato nella carta geologica redatta per il piano regolatore. Tale affioramento non è stato riscontrato durante i rilievi da noi condotti, tuttavia è stata osservata la presenza di blocchi di lave basaltiche nel detrito di falda.



Legenda:

- f) frane di crollo; df) detrito di falda – Pleistocene medio-superiore
- tf) alluvioni fluviali terrazzate – Pleistocene medio-Olocene
- Pv) lave subaeree; Pi) vulcaniti basiche submarine – Pliocene superiore
- Mv) vulcanoclastiti, pillow-breccia e colate laviche submarine – Tortoniano superiore
- Mm) marne grigio azzurre a frattura subconcoide; mc) alternanze calcareo-marnose – *Formazione Tellaro* -Serravalliano-Tortoniano superiore
- Mmc) *Formazione Ragusa* – Mb. Irminio superiore – Langhiano
- 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
- Cb) Breccie carbonatiche e selciose – Cretaceo superiore-Paleocene
- Cc) *Formazione Amerillo* – Cretaceo superiore

Fig. 3.12 – Carta geologica dell'area di Monterosso Almo. 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 Monterosso 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 *Miogipsina sp.* e *Amphistegina sp.* e rari echinoidi.

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

La parte apicale è costituita da marne biancastre a frattura concoide in strati di spessore metrico, alternate a strati calcareo-marnosi grigiastri di spessore medio di 50-60 cm. Contengono una ricca fauna a foraminiferi planctonici indicativi di un'età Langhiana.

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: è costituita da marne grigio-azzurre fittamente stratificate a frattura sub-concoide. Poggiano in concordanza sul membro Irminio della formazione Ragusa ed a luoghi è possibile individuarne il passaggio graduale.

La porzione superiore è costituita da una alternanza di calcari marnosi e marne giallastre ben stratificate che contengono una ricca fauna a foraminiferi planctonici. A luoghi si rinvencono intercalazioni metriche (spessore circa 30 metri) di vulcaniti alcaline costituite da brecce e colate sottomarine.

L'età della formazione Tellaro è riferibile all'intervallo Serravalliano-Tortoniano superiore. Lo spessore dell'intera formazione affiorante varia da poche decine di metri ad alcune centinaia di metri nelle aree più settentrionali (alto bacino del Fiume Irminio).

3.3.2.3 Coperture: in quasi tutti i versanti le successioni descritte, sono ricoperte da detriti di falda costituiti prevalentemente da brecce e ciottoli calcarei immersi in una matrice sabbiosa raramente limosa. 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 tutto il territorio, comunque raramente raggiungono o superano il metro di spessore.

	Unità litostratigrafica	età	litologia	spessore
	depositi eluviali, depositi di versante e terreni di alterazione	Attuale	Sabbie, ghiaie e limi	3-10 m.
	Formazione Tellaro	Miocene superiore	Prevalenti marne, ed argille marnose con intercalazioni di calcareniti e calcari marnosi in strati da centimetrici a decimetrici. A luoghi intercalazioni di vulcaniti basiche.	40-200 m.
contatto stratigrafico				
	Formazione Ragusa 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

Tab. 3.2- rappresentazione schematica della successione litostratigrafica del centro abitato di Monterosso Almo.

3.3.3. Lineamenti tettonici di Monterosso Almo

La successione del centro urbano di Monterosso mostra una giacitura monoclinale immergente verso sud-est, con valori di inclinazione che oscillano tra 5° nel settore di nord-ovest fino a circa 20° a sud-est.

Questa variazione di pendenza può essere dovuta alla presenza di tre faglie estensionali ad alto angolo, orientate circa NE-SO. La prima di queste faglie intercetta le quote più elevate del centro abitato e produce una debole dislocazione all'interno dei carbonati della formazione Ragusa. La seconda faglia ubicata in prossimità del cimitero comunale ribassa la fm. Ragusa verso sud-est e il suo rigetto non è quantificabile. La terza faglia decorre in prossimità della località pozzo S. Mauro e produce una debole dislocazione all'interno della formazione Tellaro. 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 e/o private /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 Monterosso Almo – Studio Geologico allegato al PRG (Dott. Geol. Rosario Ruggieri, 2001)
- b) Comune di Monterosso Almo – Studio Geologico per il Progetto di realizzazione di un' elisuperficie in Via P.Pio (Dott. Geol. Marcello Drago)
- c) Comune di Monterosso Almo – Studio Geologico per il Progetto di consolidamento del muro di Via U. La Malfa (Dott. Geol. Marcello Drago)

Indagini Monterosso Almo	QUANTITA'
Revisione PRG	
Sondaggi a carotaggio continuo	3
Prelievo campioni nei sondaggi	3
Prove penetrometriche del tipo SPT	3
Analisi di laboratorio (analisi granulometriche ed indagini geotecniche)	4
Indagini sismiche di tipo Down Hole	3
Profili sismici a rifrazione	30
Altri lavori commissionati dal Comune	
Sondaggi a carotaggio continuo	3
Microtremori a stazione singola (HVSr) Unipa	
Indagini sismiche di tipo HVSr	12

Tab. 4.1: Prove geognostiche, geofisiche e di laboratorio disponibili e di nuova acquisizione che riguardano il territorio comunale di Monterosso Almo con indicazione della provenienza dei dati.

TOTALE PROVE: Monterosso Almo	QUANTITA'
Sondaggi a carotaggio continuo	6
Prelievo campioni nei sondaggi	3
Analisi di laboratorio (analisi granulometriche ed indagini geotecniche)	4
Prove penetrometriche del tipo SPT	3
Profili sismici a rifrazione	30
Indagini sismiche di tipo Down Hole	3
Indagini sismiche di Microtremori stazione singola (HVSr)	12

Tab. 4.2: sintesi delle prove geognostiche, geofisiche e di laboratorio che riguardano il territorio comunale di Monterosso Almo.

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 Monterosso Almo.

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

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

- lapideo non stratificato (LP), costituito dalle vulcaniti basaltiche che presentano un elevato grado di fratturazione;
- alternanza di litotipi (AL), a questa classe sono stati attribuiti i terreni calcareo e calcareo-marnosi delle Formazioni Ragusa e Tellaro.
- substrato geologico stratificato non rigido (NRS), costituito dalle porzioni di alterazione superficiale e/o di intensa fratturazione dei litotipi calcareo e calcareo marnosi delle Formazioni Ragusa e 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 due differenti tipologie di coperture in funzione delle caratteristiche granulometriche e della loro genesi: "ghiaie limose, miscela di ghiaie, sabbie e limo" (GM) e "terreni contenenti resti di attività antropica" (RI). (Tab. 4.4).

Terreni di substrato

Unità litostratigrafica	Tipologia di substrato	Sigla	stratificazione	Grado di fratturazione
Vulcaniti basaltiche	lapideo	LP	Non stratificato	elevato
Porzione superficiale delle Marne e calcari marnosi della formazione Tellaro e dei Calcari, calcari marnosi e marne della Formazione Ragusa	Substrato geologico non rigido	NRS	stratificato	Medio-basso
Marne e calcari marnosi della formazione Tellaro. Calcari, calcari marnosi e marne della Formazione Ragusa	Alternanza di litotipi	AL	stratificato	Medio-basso

Tab. 4.3 – Classificazione dei terreni di substrato

Terreni di copertura

Depositi alluvionali attuali e non, depositi eluviali e colluviali	GM Ghiaie limose, miscele 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

Nella relazione sulle Indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche in situ ed in laboratorio di supporto allo Studio Geologico per la rielaborazione del Piano Regolare Generale di Monterosso Almo (RG), sono presenti n°30 sondaggi sismici a rifrazione.

Una valutazione delle tomografie sismiche riportate richiederebbe l'analisi dei dati sperimentali che non sono riportati in relazione.

Infine non sono riportati gli scarti tra i dati sperimentali e le risposte dei modelli, non permettendo una corretta valutazione della robustezza dei 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).

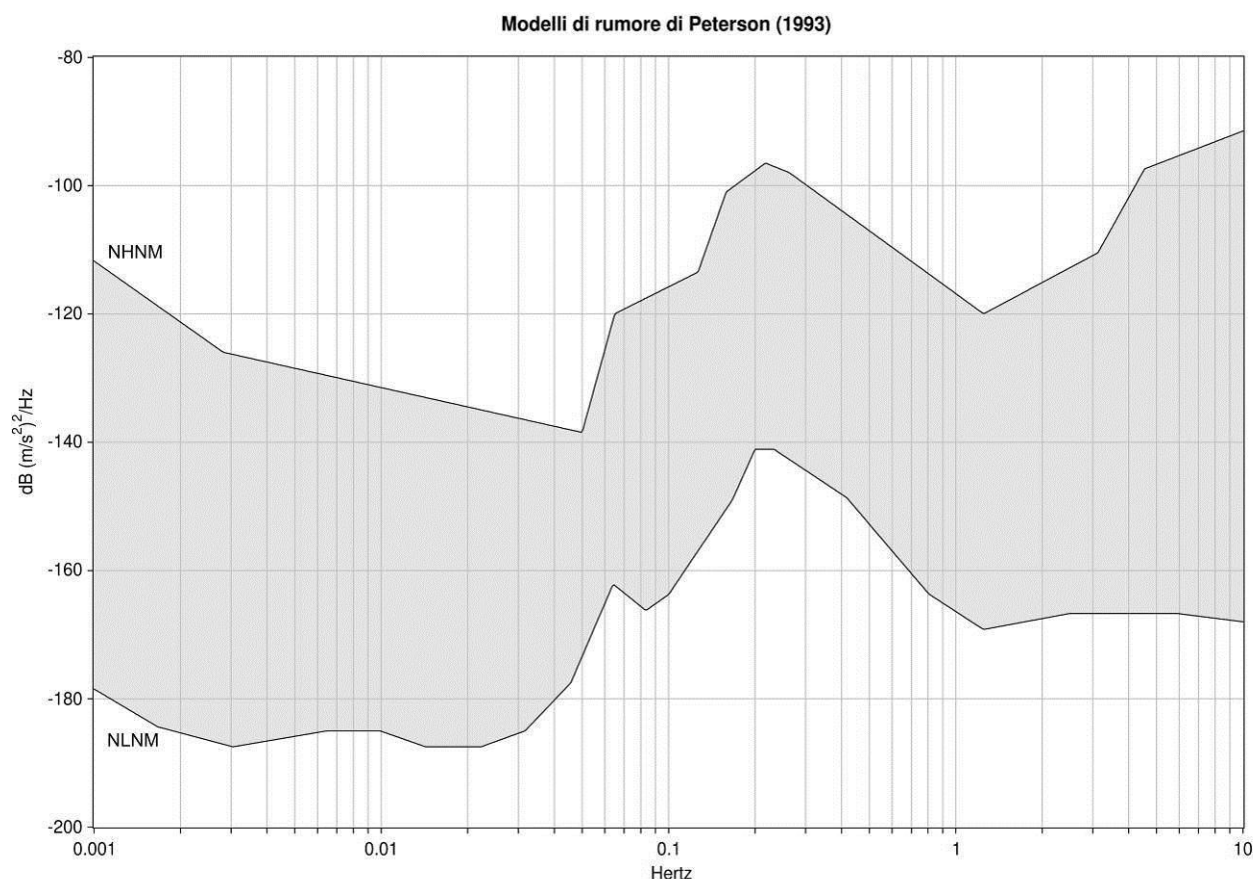


Fig. 4.1 – Spettro del rumore sismico (in termini di velocità, componente verticale del moto) minimo e massimo secondo Peterson (1993)

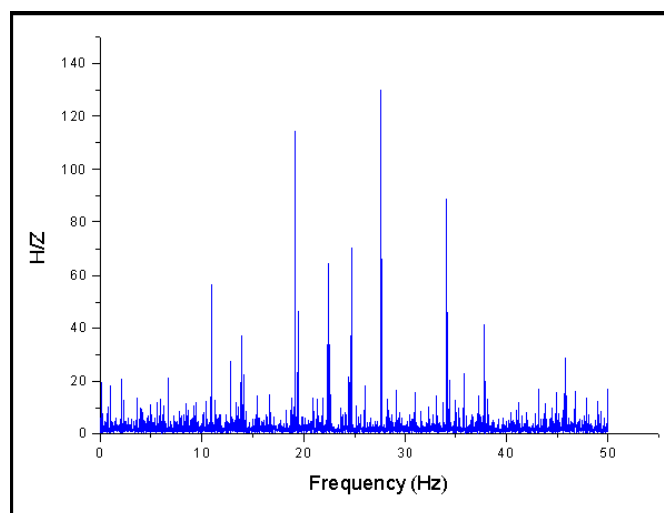


Fig. 4.2 – Esempio di spettro di ampiezza del rapporto H/Z di uno specifico sito

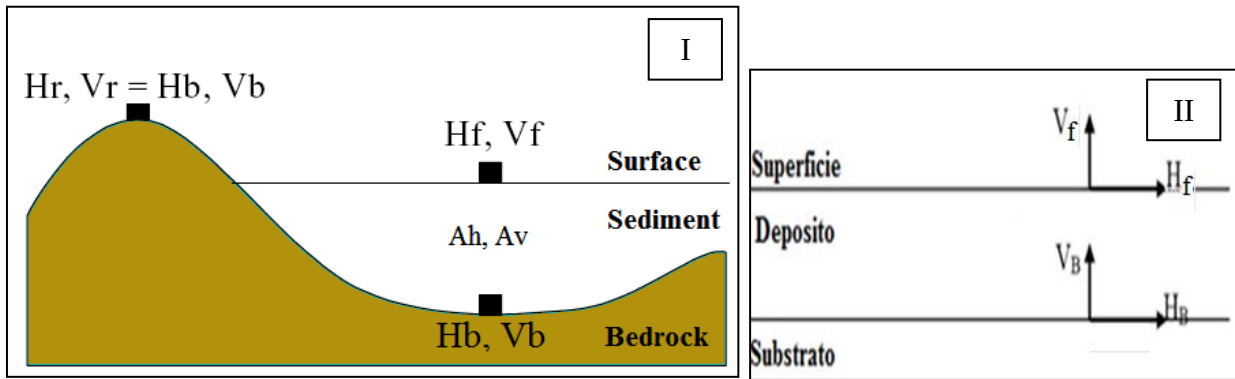


Fig. 4.3 – Schema del modello considerato da Nakamura (1989)

In queste condizioni si possono definire due spettri relativi alle misure del moto superficiale (H_f) orizzontale 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.

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 ≈ 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 frequenza di risonanza è ricercata al primo picco individuato dal rapporto della componente orizzontale su quella verticale dei segnali registrati.

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

4.5. Indagini HVSR

La scelta dell'ubicazione dei punti di misura HVSR è stata eseguita secondo quanto specificato nel "Documento Tecnico per l'elaborazione delle indagini e degli studi di microzonazione sismica" secondo le specifiche e le condizioni stabilite dall'OPCM 3907/2010. Considerando l'estensione e la topografia dell'area soggetta alle indagini, sono stati ubicati 12 punti di misura HVSR, come riportato nella carta 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 rumore microsismico 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 secondi 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 segnale 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 rumore. 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

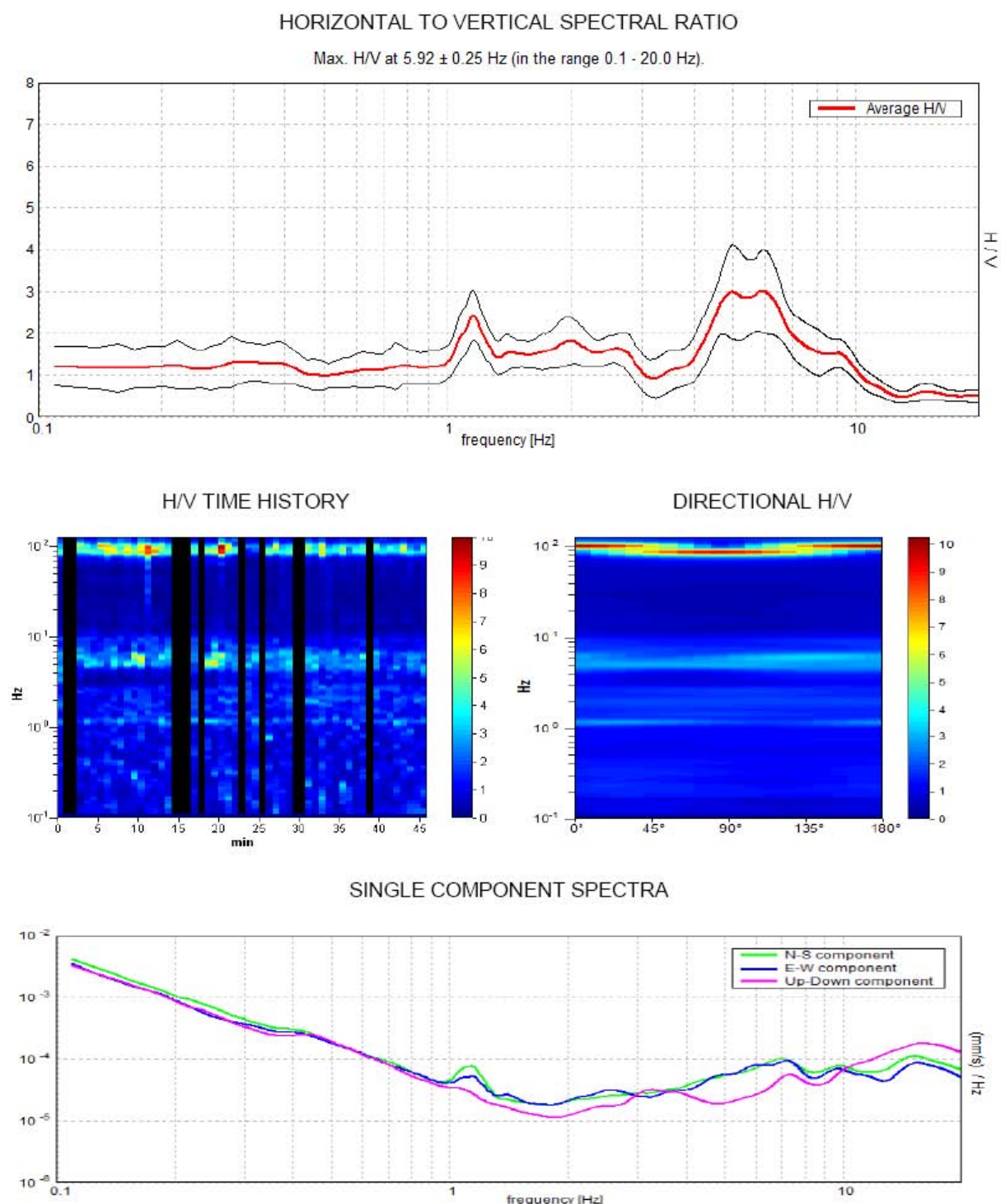


Fig. 4.4 – Analisi dei dati relativi al punto di misura 088007P14HVSR25.

Le misure HVSR acquisite nel territorio comunale di Monterosso Almo 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. 4.5. In considerazione delle informazioni geologiche disponibili, alcune delle misure effettuate sono state invertite per stimare la profondità del bedrock sismico, riportata in Tab. 4.5. Dopo avere attribuito ad ogni punto di misura uno o più vettori a 4 componenti contenenti: frequenza del picco, ampiezza dello stesso e coordinate del punto di misura, si è proceduto ad individuare nell'insieme totale di vettori eventuali cluster relativi a

insiemi di punti che ricoprissero porzioni significative dell'area totale indagata (Fig. 4.6). Nel caso specifico si è ritenuto di potere discriminare due cluster.

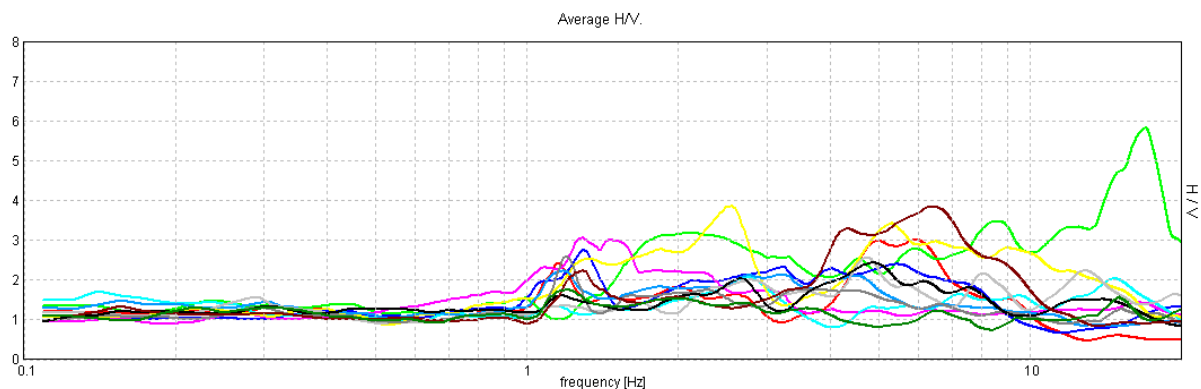


Fig. 4.5 – Segnali HVSR registrati dalle 12 stazioni singole.

	F_0	H/V di F_0	F_1	H/V di F_1	F_2	H/V di F_2	Profondità bedrock sismico
088007P14HVSR25	1.2	2.5	5	3	5.9	3.1	14
088007P15HVSR26	1.2	1.3	2.77	2.1			30
088007P16HVSR27	1.3	2.5	2.55	3.9	5.1	3.5	30
088007P17HVSR28	1.2	2.3					
088007P18HVSR29	4.7	2.5					16
088007P19HVSR30	1.2	2.6					
088007P20HVSR31	1.2	1.5	2.8	2	4.84	2.5	16
088007P21HVSR32	1.3	2.2	4.1	3.3	6.4	3.8	11.5
088007P22HVSR33	1.2	1.7					
088007P13HVSR24	2	3	8.3	3.5	16.95	5.8	4.3
088007P23HVSR34	1.3	2.8					
088007P24HVSR35	1.3	3.1					

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

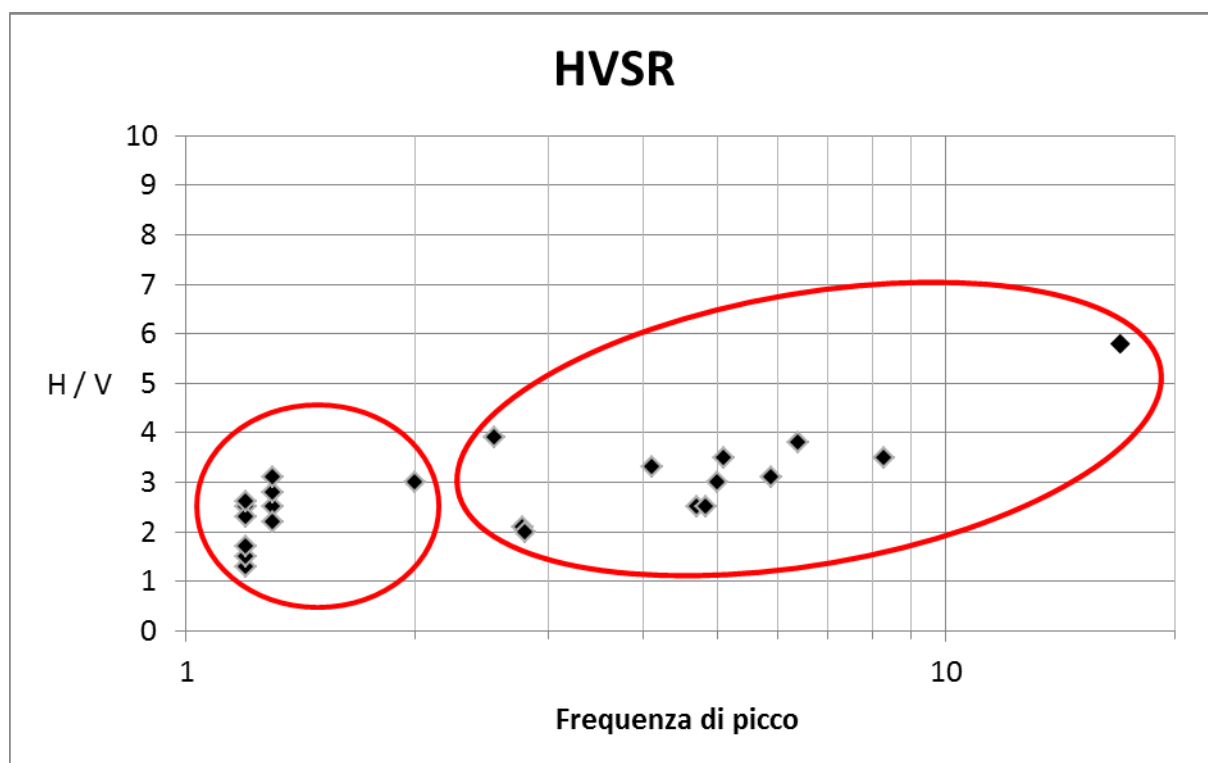


Fig. 4.6 – Frequenze di picco registrate e indicazione dei cluster individuati.

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 del centro urbano di Monterosso Almo e degli altri insediamenti oggetto di studio. 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 2 sezioni litotecniche (Fig. 5.1). Le tracce delle sezioni sono riportate nella carta Geologico-Tecnica.

Le sezioni evidenziano la presenza di un substrato rigido affiorante, costituito dall'alternanza di litotipi della formazione Ragusa (settore occidentale del centro abitato) che, localmente, in base alle indagini HVSR mostra un discreto grado di alterazione, per spessori che superano i tre metri. Tale tipologia di substrato è definibile come substrato geologico non rigido stratificato. Anche nel settore sud-orientale è presente un substrato geologico non rigido, costituito dai terreni della formazione Tellaro. I dati geofisici evidenziano in tale settore la presenza del bedrock sismico a profondità variabile tra 10 e 40 metri.

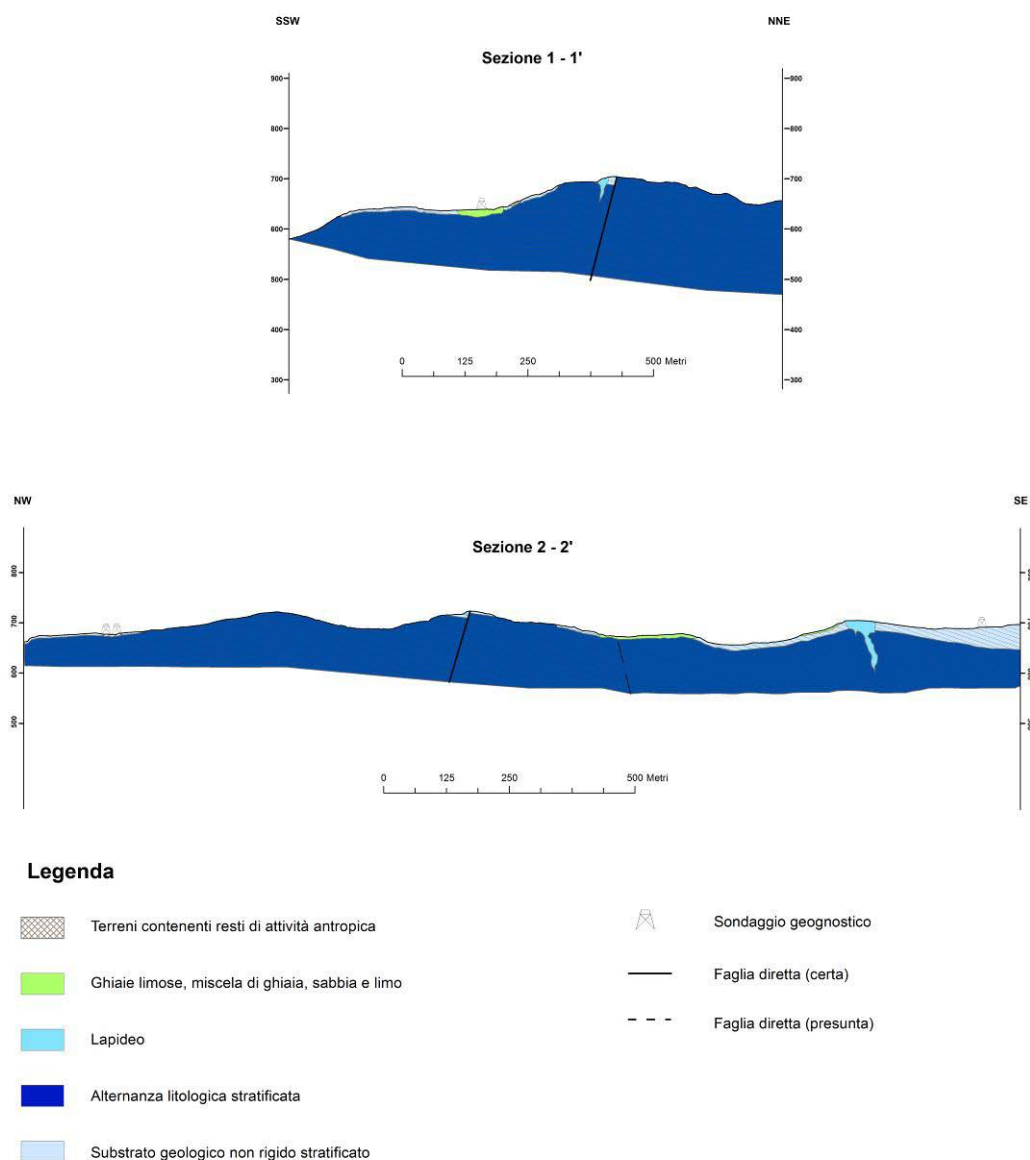


Fig. 5.1 – Sezioni geologico tecniche

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 e di informazioni dedotte da misure dirette in foro (sondaggio 083063P4-DH11) 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.

In particolare, le velocità medie delle onde S delle coperture sono state considerate dell'ordine dei 200÷250 m/s in corrispondenza del materiale detritico/alluvionale e circa 350÷450 m/s in corrispondenza dei litotipi della Formazione Tellaro. La ricostruzione lungo determinati profili della profondità dal piano campagna del bedrock sismico è stata eseguita avvalendosi anche delle informazioni ottenute dall'inversione di alcuni sondaggi HVSR (Fig. 5.2) vicini ai profili. La ricostruzione lungo determinati profili della profondità dal piano 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 (Fig. 4.6).

In quasi tutte le misure HVSR (ad esclusione dei punti 088007P18HVSR29 e 088007P13HVSR24), si evidenzia la presenza di un massimo nel range 1.2-1.3 Hz, che sembra essere correlato ad una variazione delle velocità di propagazione delle onde di taglio in profondità, oltre i 40-50 metri. 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 alle frequenze F_1 e F_2 , indicate in tabella 4.5.

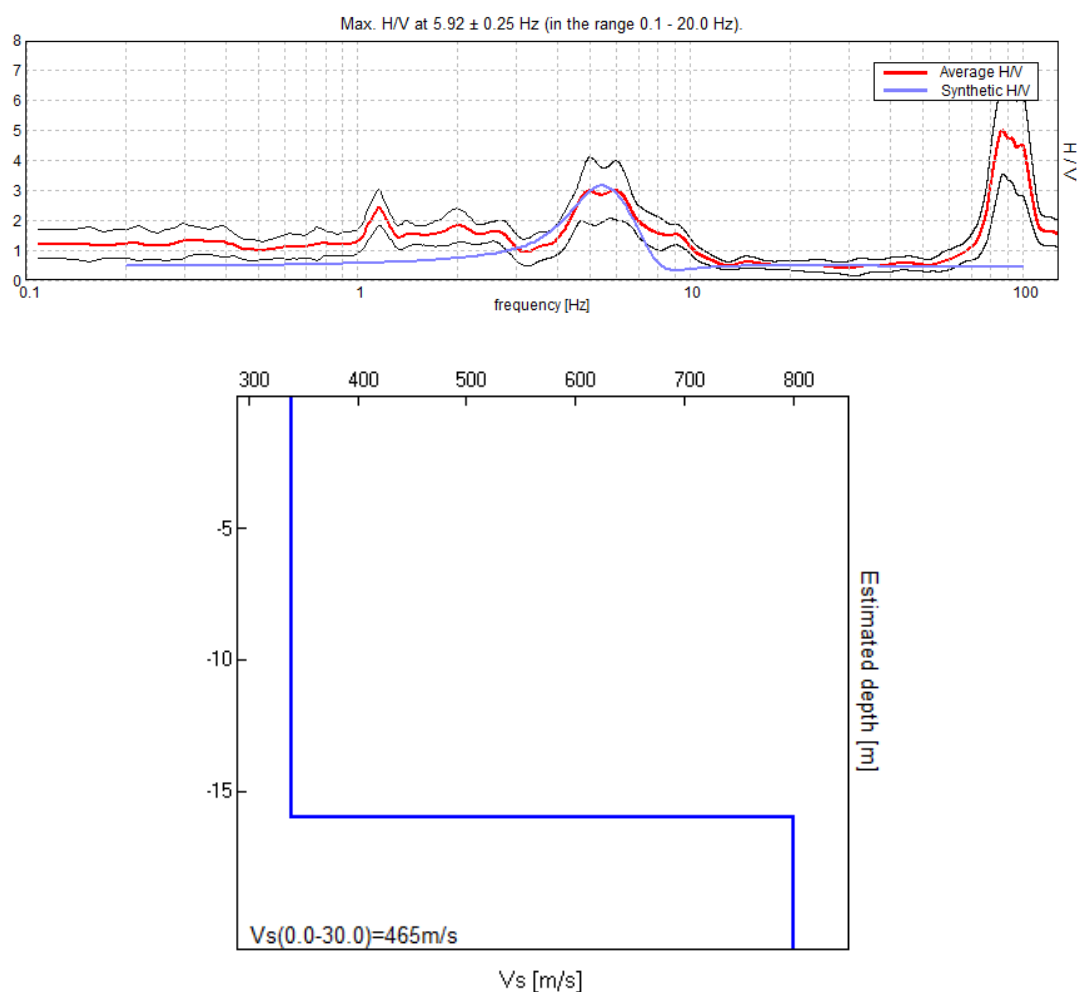


Fig. 5.2 – Esempio di modello monodimensionale a strati della velocità delle onde di taglio (in basso) ottenuta dall'inversione di un sondaggio HVSR (in alto).

6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

6.1 Incertezze sul modello geologico tecnico del sottosuolo

Le indagini HVSR evidenziano la presenza del *bedrock* sismico a profondità variabili da 0 m fino a 40-50 m nelle aree a sud-est del centro abitato (C/da Gazzena).

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).

Fra gli elementi di incertezza si segnalano:

- a) Caratteristiche geotecniche e spessore dei depositi;
- b) Litologia e geometria dei corpi rocciosi al di sotto della coltri di copertura;
- c) Localizzazione di eventuali discontinuità tettoniche nel sottosuolo e quantificazione dei rigetti.

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 Monterosso Almo.

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

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

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

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

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

- 1) sono applicabili ovunque, data l'ubiquità del rumore microsismico;
- 2) hanno impatto ambientale pari a zero perché non è necessario generare campi d'onda caratterizzati da ampiezze delle fasi principali molto maggiori di quelle tipiche del rumore, almeno fino a offset di alcune centinaia di metri;
- 3) il loro uso ha costi molto bassi per quanto appena detto e perché necessitano di strumentazioni relativamente semplici;
- 4) consentono di stimare l'andamento di parametri come la velocità delle onde S, fondamentale per la stima degli effetti sismici di sito, anche in presenza di inversioni di velocità a differenza dei metodi sismici cinematici a grande angolo con sorgenti e stazioni in superficie;

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

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

6.3. Incertezze sulle stime della profondità del bedrock sismico

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

La limitata disponibilità di dati geognostici e geofisici nell'area di Monterosso Almo non ha consentito una sufficiente taratura delle stime effettuate. Per le considerazioni espresse nel par. 4.4, 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.

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;
- Presenza e andamento della falda acquifera ricavata dai sondaggi e dalla carta delle isofreatiche allegata al PRG.

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

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

Successivamente è stata riclassificata la carta delle acclività in due classi di valori ($<15^\circ$ e $>15^\circ$) e la si è incrociata con la carta geologico tecnica. L'intersezione tra le aree $<15^\circ$ 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 sull'individuazione dei terreni di copertura con spessori superiori ai 3 m 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 (Zone 0, 5-10,12) (Tabb. 4.3 e 4.4).

Per quanto riguarda le discontinuità morfologiche che possono comportare l'amplificazione del moto del suolo connesso con la focalizzazione delle onde sismiche, si è tenuto conto dei seguenti casi particolari:

- Pendii con inclinazioni $>15^\circ$ e dislivelli >30 metri
- Bordi di terrazzi e scarpate >10 m
- Creste rocciose sottili

Si è proceduto pertanto a ricavare dal DEM, tutte le celle che avessero un'inclinazione superiore ai 15° e un dislivello superiore ai 30 m, in un intorno di ricerca di 100 m. A tal fine si è utilizzato un operatore di ricerca focale, basato su un kernel rettangolare di dimensione 50×50 (100m x 100m) con un range > 30 m, e si è incrociato questo risultato con la carta delle acclività già ricavata per la classe superiore ai 15° .

Le forme quali creste e bordi di terrazzi e scarpate >10 m sono state individuate attraverso diverse fasi di lavoro.

In una prima fase è stato elaborato il modello digitale di terreno con cella 2 m (A.R.T.A. 2007/2008) allo scopo di ottenere una carta delle pendenze; da quest'ultima sono state individuate rotture di pendenza significative in corrispondenza delle quali sono stati delimitati gli elementi di amplificazione quali scarpate, creste e cime isolate.

In una fase successiva sono state verificate le informazioni ottenute mediante sovrapposizione degli elementi individuati alle foto aeree ed alle informazioni litologiche, in particolare sono state verificate:

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

Gli elementi morfologici finora individuati sono i seguenti:

- Scarpate: per queste si propone una legenda riferita sia alla genesi, sia allo stato di attività e che tenga conto anche delle dimensioni delle scarpate stesse come articolato all'interno delle linee guida.
- Creste
- Cime isolate

Nell'individuare gli elementi morfologici sono state prese in considerazione le prescrizioni degli ICMS secondo cui sono da considerare scarpate solo quelle situazioni che presentano:

- un fronte superiore di estensione paragonabile al dislivello altimetrico massimo (H) o comunque non inferiore ai 15 – 20 m;

- l'inclinazione (β) del fronte superiore, inferiore o uguale a un quinto dell'inclinazione (α) del fronte principale, nel caso delle scarpate in pendenza (per $\beta > 1/5 \alpha$ la situazione è da considerarsi pendio);
- il dislivello altimetrico minimo (h) minore a 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).

Per le creste invece 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) (Fig. 7.1).

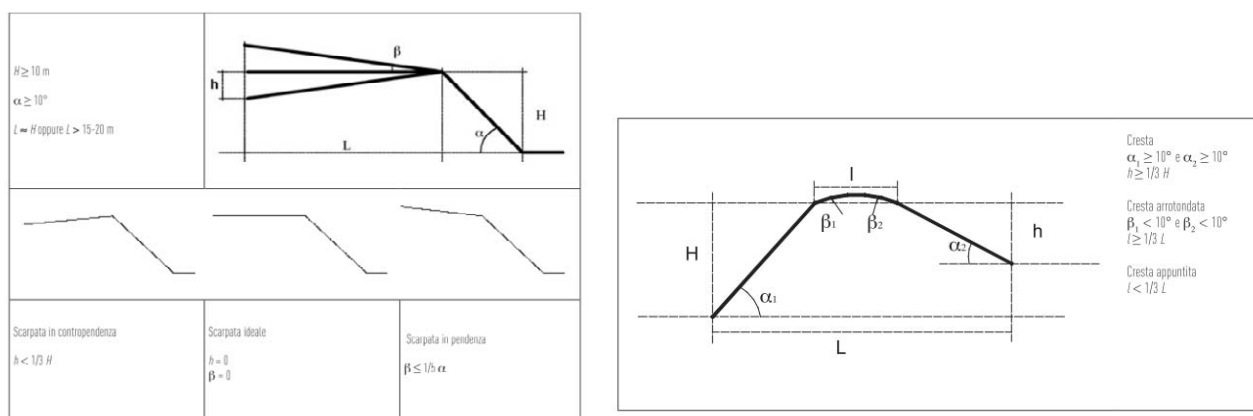


Fig. 7.1 – Schema di individuazione delle creste morfologiche

L'individuazione vera e propria degli elementi è stata effettuata sovrapponendo la tavola delle pendenze significative alla CTR. L'utilizzo delle curve di livello è stato fondamentale per determinare l'altezza delle scarpate ed associare così i codici specifici agli elementi. Le cime isolate sono state individuate a partire dai singoli punti quotati delle CTR con una verifica puntuale. Infine sono stati selezionati gli elementi antropici per verificare la coerenza tra gli elementi morfologici individuati ed i centri abitati.

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-gliaiosi 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.

Le aree soggette a possibili fenomeni di liquefazione sono state individuate in base alla distribuzione di terreni prevalentemente sabbiosi negli ultimi 20 m dal p.c. in presenza di una falda freatica posizionata a meno di 15 m dal piano di campagna.

La presenza di faglie attive e capaci è stata ricavata sulla base dei dati di letteratura (Bigi *et al.*, 1992; Working Group CPTI, 2004.; Billi *et al.*, 2006; Argnani, 2009; Sulli *et al.*, 2012) e del Catalogo del Progetto ITHACA dell'ISPRA (Fig 3.2). Per quanto riguarda la presenza di faglie attive al di sotto dei centri abitati si è tenuto conto delle indicazioni fornite dal Gruppo di lavoro che ha lavorato alla Microzonazione del Comune di Norcia (2006), come riportato nell' Appendice 3.1.4 degli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (2008). Al fine di identificare una zona soggetta a instabilità, in considerazione del grado di incertezza sull'ubicazione della faglia, è stato applicato un buffer di 150 m (75+75) attraverso la traccia della faglia riportata nel Catalogo ITHACA.

Le aree di contatto soggette a cedimenti differenziali sono state indicate utilizzando un buffer di 30 m attraverso i contatti di natura stratigrafica e tettonica tra litologie e/o coperture con comportamenti meccanici differenti.

7.2. Criteri adottati per la costruzione della carta delle frequenze di vibrazione

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 Monterosso Almo 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).

Per quanto riguarda la loro distribuzione, esse sono abbastanza ben distribuite sull'interno territorio comunale. In particolare due sondaggi a carotaggio continuo (088007P1 e 088007P3) si trovano all'estremità nordoccidentale del centro abitato in via U. La Malfa. Un altro sondaggio (088007P2) si trova in via P. Pio sul fianco di un impluvio nella parte centrale dell'abitato. Altri due sondaggi a carotaggio continuo (088007P5 e 088007P6) nei quali sono state eseguite due prove sismiche in foro di tipo *Down Hole*, sono localizzati nell'area Est del centro abitato, in prossimità del serbatoio comunale. Infine, un altro sondaggio (088007P4) nel quale sono state eseguite tre prove penetrometriche SPT, una prova sismica in foro *Down Hole* e dal quale sono stati prelevati tre campioni sui quali sono state eseguite indagini di laboratorio (determinazione parametri caratteristici e prova di taglio), si trova nell'area di espansione a Sud-Est del centro abitato, in prossimità del campo sportivo comunale.

Per quanto riguarda i 30 profili simici a rifrazione, questi risultano essere ben distribuiti su buona parte dell'area da sottoporre a microzonazione, ad esclusione della porzione nordoccidentale del nucleo abitativo.

I 12 siti dove sono stati eseguite le acquisizioni dei microtremori a stazione singola (HVSr) si trovano distribuiti in modo piuttosto uniforme all'interno dell'area sottoposta a microzonazione.

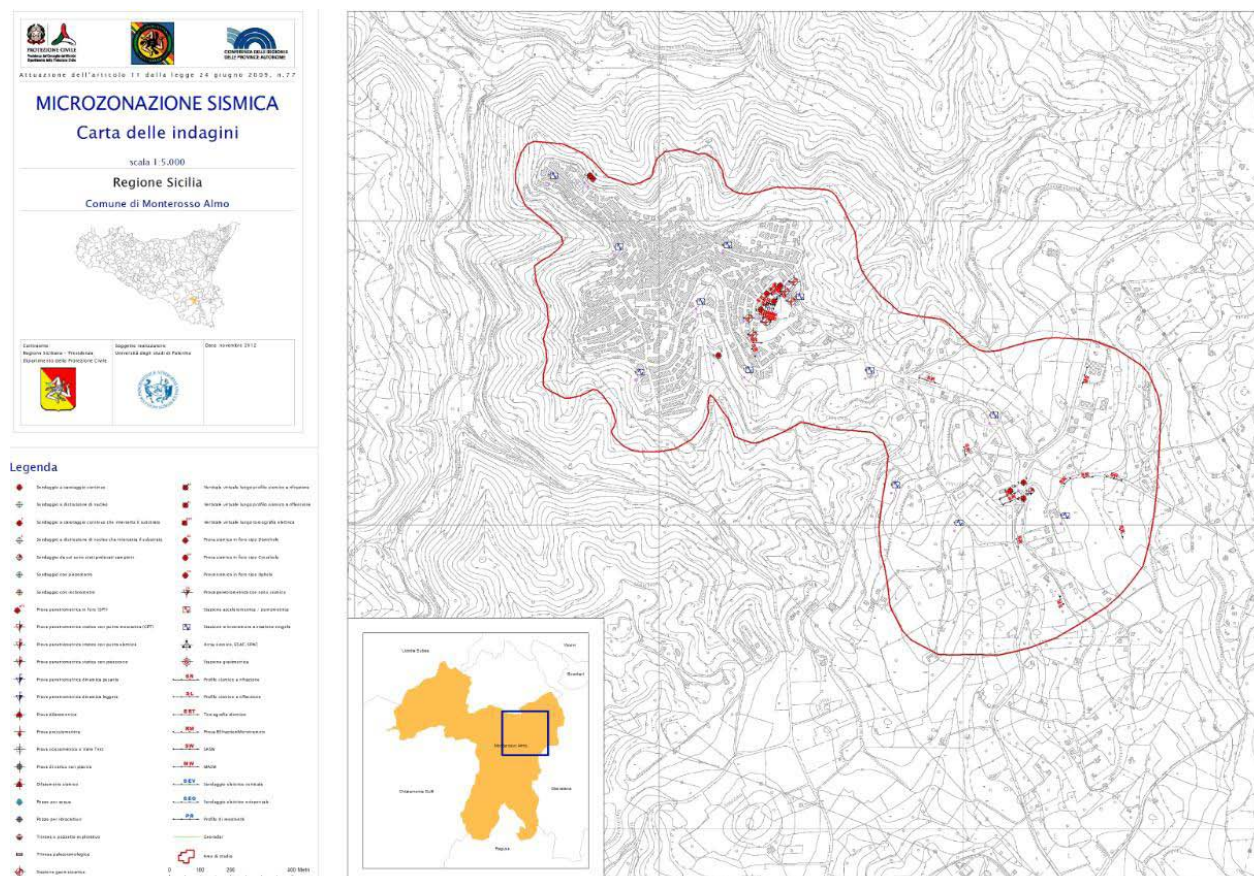


Fig. 8.1 – Riduzione della carta delle indagini (v. cartella PLOT)

8.2 Carta Geologico-tecnica

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

Il substrato geologico rigido (ALS) affiora nella parte centrale del centro abitato.

L'area di espansione a sud est del centro abitato è invece caratterizzata dalla presenza di un substrato geologico non rigido stratificato (NRS).

Le coperture, costituite da depositi costituiti da ghiaie miste a limo e sabbie di diversa origine sono localizzati nell'area in prossimità del cimitero e in corrispondenza di un impluvio nella parte più meridionale del centro abitato. (Fig. 8.2)

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

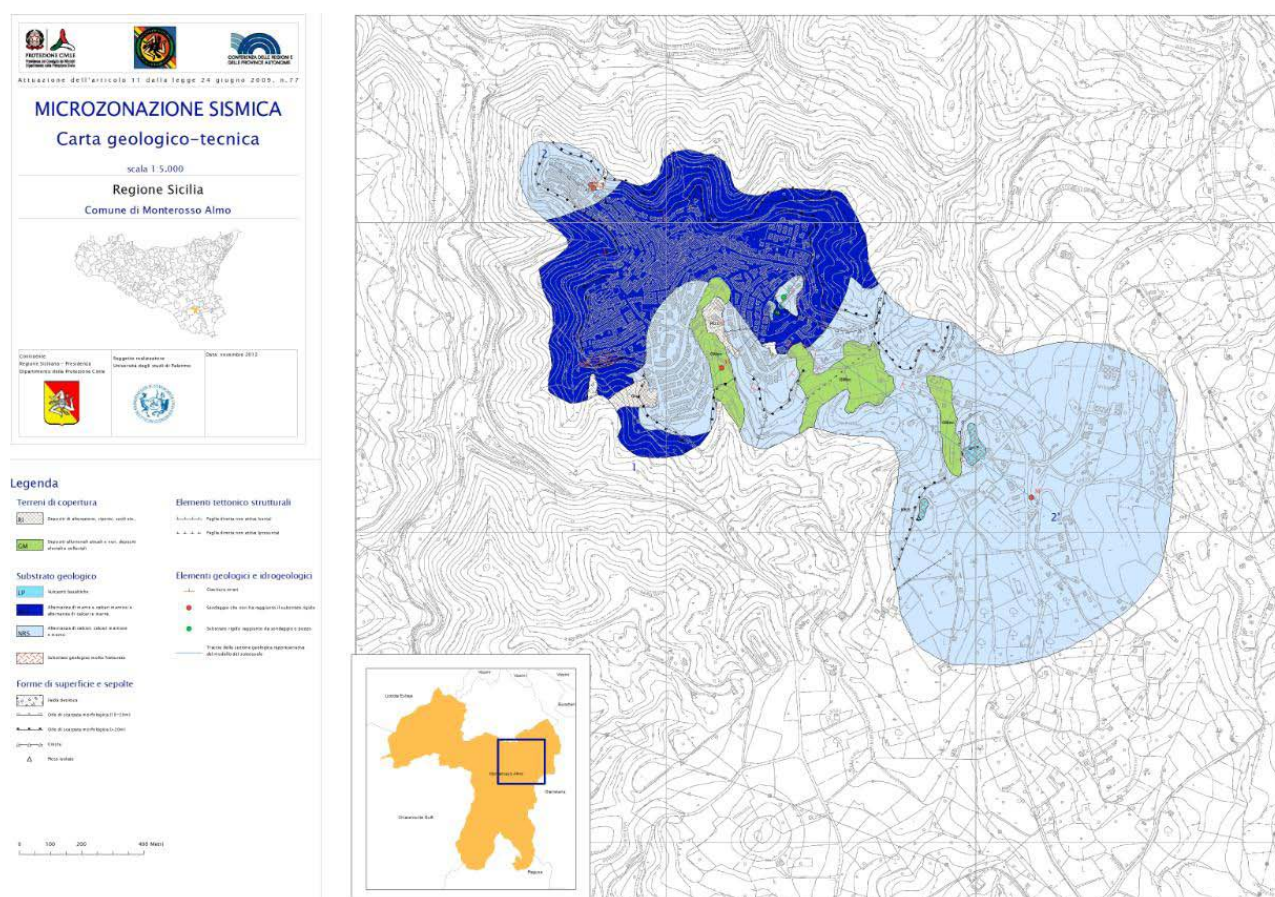


Fig.8.2 – Riduzione della carta Geologico-Tecnica (v. cartella PLOT).

8.3 - Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica

La carta delle microzone del comune di Monterosso Almo, ha un estensione di circa 175 ettari (Fig. 8.4).

Non è stata individuata alcuna zona che può essere considerata stabile.

Sono state distinte sette zone stabili suscettibili di amplificazioni locali.

In Figura 8.3 sono state ricostruite tre colonne stratigrafiche esemplificative delle diverse condizioni di amplificazione locale presenti.

Mentre al contatto tra litotipi con differenti caratteristiche meccaniche è stata indicata una fascia di 30 metri come area soggetta a cedimenti differenziali.

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

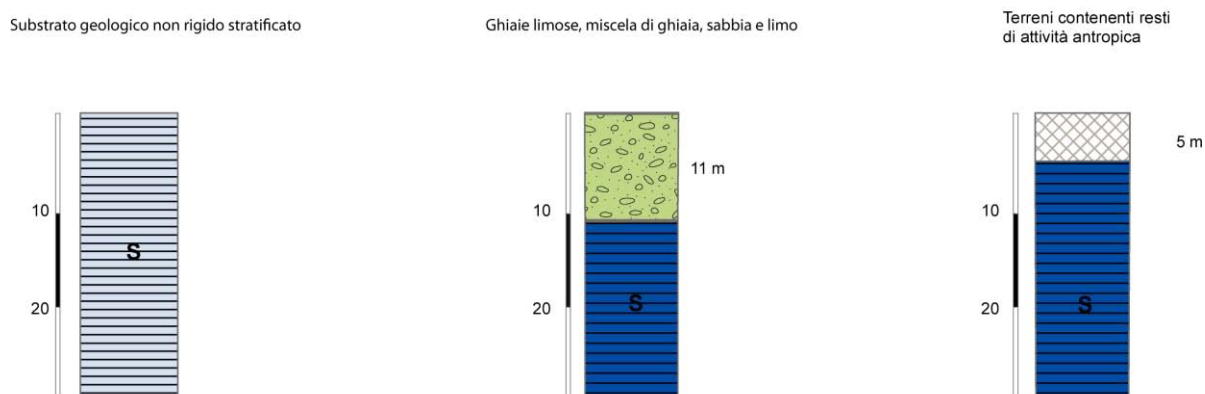


Fig. 8.3 – Colonne stratigrafiche esemplificative delle possibili condizioni di amplificazione locale presenti nel territorio di Monterosso Almo.

ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI				
	Condizioni geologiche e geomorfologiche	Classe litologica	Effetti attesi	Livello di approfondimento
Zona 1	Versanti con acclività > 15° e dislivello > 30 m.	AL	Amplificazione topografica	Secondo livello ed eventuale terzo livello
Zona 2	RI – Terreni contenenti resti di attività antropica > 3 m	RI	Amplificazione stratigrafica	Secondo livello ed eventuale terzo livello
Zona 3	GM Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo > 3 m	GM	Amplificazione stratigrafica	Secondo livello ed eventuale terzo livello
Zona 4	Area caratterizzata da assenza di indagini		Possibili effetti di amplificazione stratigrafica	Secondo livello ed eventuale terzo livello
Zona 5	Substrato non rigido affiorante caratterizzato da $V_s < 800$ m/s	NRS	Amplificazione stratigrafica	Secondo livello ed eventuale terzo livello
Zona 6	Versanti con acclività > 15° e dislivello > 30 m.	NRS	Amplificazione topografica	Secondo livello ed eventuale terzo livello
Zona 0	Substrato geologico molto fratturato	AL - LP	Amplificazione stratigrafica	Secondo livello ed eventuale terzo livello

ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITA'				
Codice	Condizioni geologiche	DESCRIZIONE	Effetti attesi	Livello di approfondimento
3080	Aree soggette a cedimenti differenziali	Zone di contatto tra terreni con caratteristiche litotecniche differenti	Amplificazione per effetti stratigrafici	secondo livello ed eventuale terzo livello

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

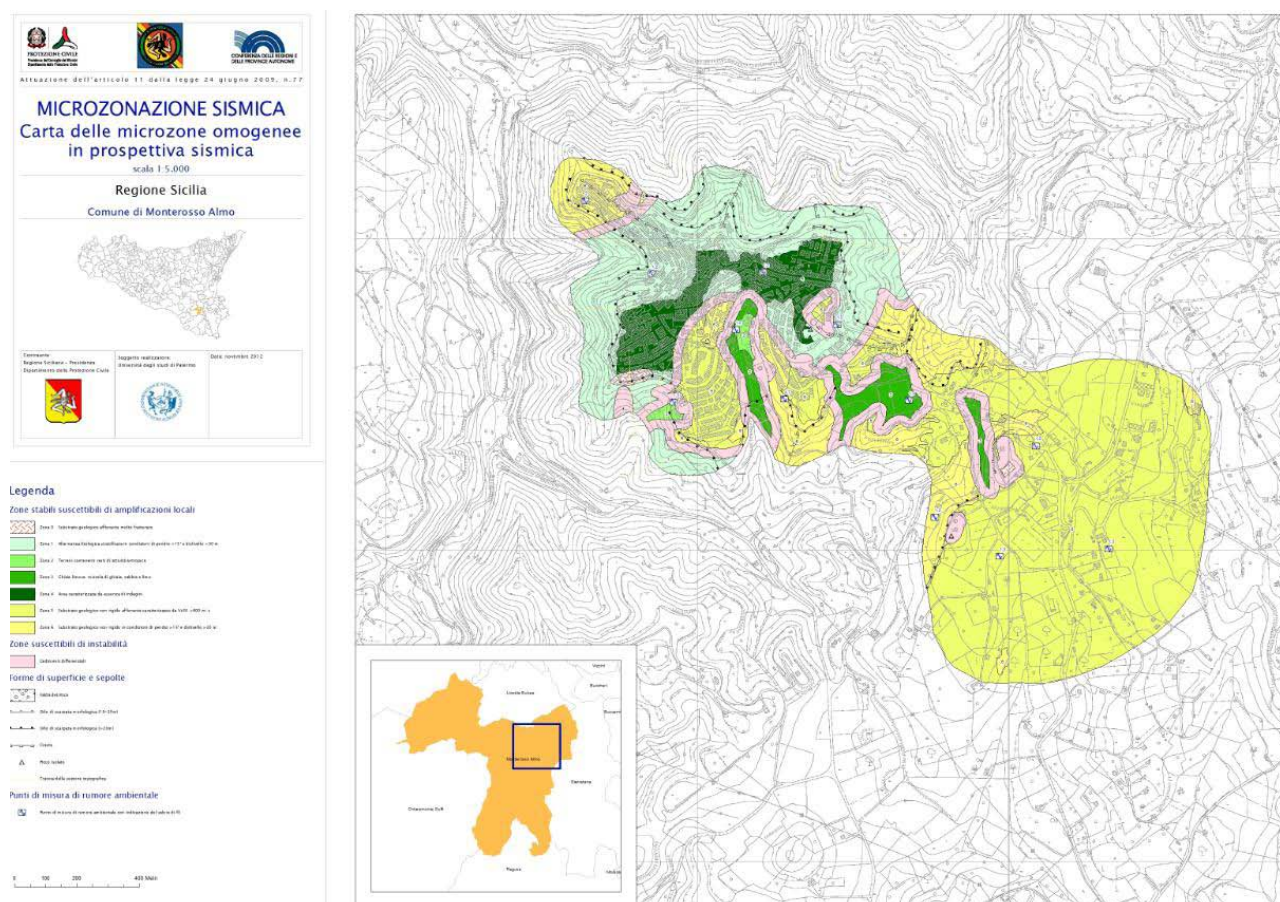


Fig. 8.4 – Riduzione della carta delle microzone in prospettiva sismica (v. cartella PLOT)

8.3.1 Profili topografici di dettaglio

Nell'area del centro abitato di Monterosso Almo sono stati infatti riconosciute numerose scarpate (Fig. 8.5). Ferma restando la continuità geomorfologica degli elementi topografici riconosciuti, è possibile procedere ad una descrizione degli stessi suddividendoli in base ad un criterio di continuità topografica. Al fine di individuare gli elementi morfologici in grado di esercitare, secondo gli standard ICMS (Bramerini *et al.*, 2008), un ruolo nella risposta sismica di sito, è stata dunque condotta una analisi topografica di dettaglio, limitatamente alla sola area del centro urbano, lungo profili topografici che intersecano ortogonalmente le principali scarpate e creste riconosciute. Infatti, le irregolarità topografiche, pur nella semplicità di assetto geomorfologico del

rilievo, fanno sì che l'analisi morfometrica possa essere condotta solo per profili rappresentativi, i quali possono consentire di riconoscere per ciascun elemento riconosciuto "caratteristiche estreme" (in termini di effetti di amplificazione).

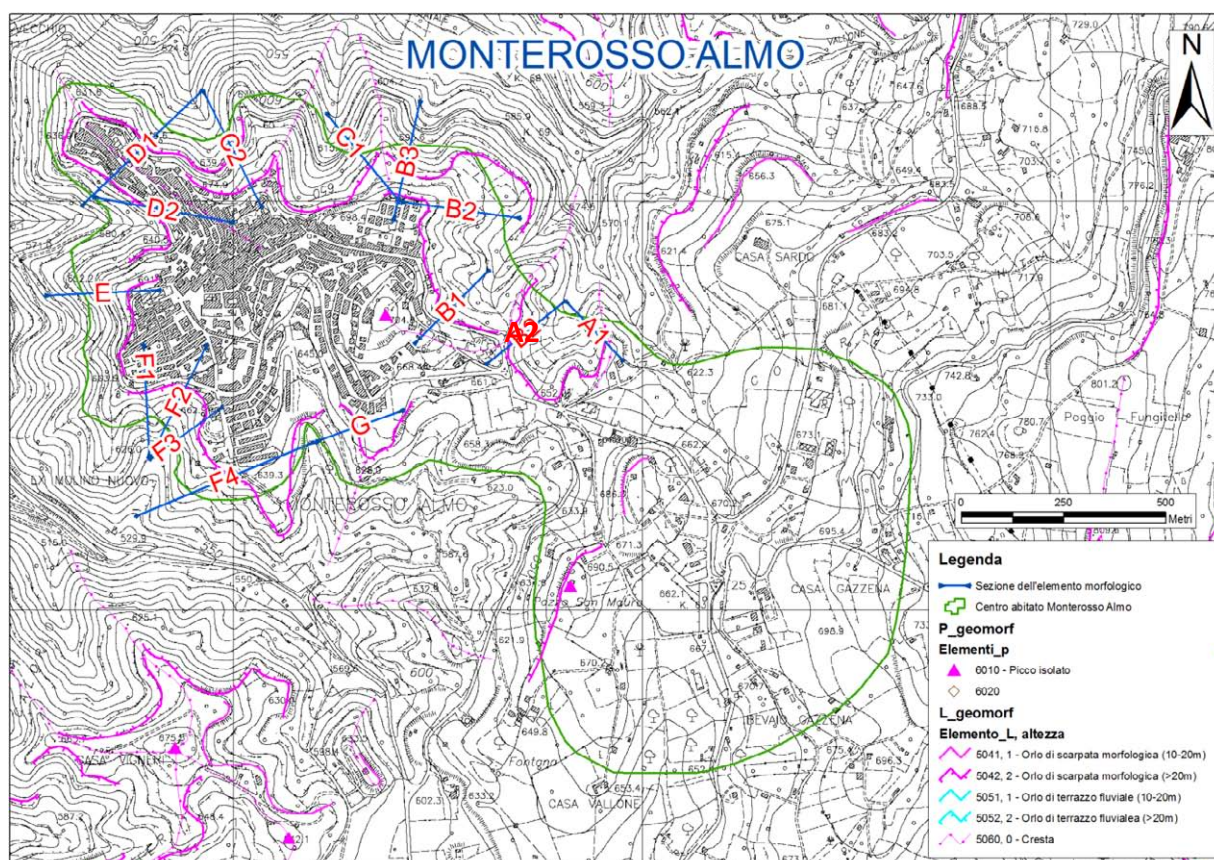


Fig. 8.5 – Carta degli elementi morfologici e tracce dei profili topografici di inquadramento e di dettaglio.

L'alternarsi sui versanti delimitati dalle linee di scarpata riconosciute, di tratti in marcata incisione e di tratti in accumulo (falde di detrito), altera fortemente le caratteristiche geometriche delle scarpate stesse. A questo scopo, si sono eseguiti alcuni profili topografici a maggiore dettaglio, con campionamento della quota ogni 2m, che intersecano ortogonalmente gli elementi di sopra descritti, al fine di metterne in evidenza i parametri morfometrici utili per una caratterizzazione in termini di riposta sismica.

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

Profilo topografico	Codice identificativo in banca dati
A1	31
A2	29
B1	30
B2	32
B3	40
C1	33
C2	43
D1	34
D2	41
E	35
F1	36
F2	37
F3	38
F4	39
G	42

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

Scarpata A

L'elemento è costituito da una linea di scarpata curvilinea, che presenta uno sviluppo totale di circa 650m ed una forma marcatamente concava, con profilo irregolare, caratterizzato da una stretta curvatura secondaria (Fig. 8.5). Il limite superiore o orlo della scarpata si sviluppa ad una quota massima di circa 680m s.l.m. (Fig. 8.6) e limita i versanti nord-orientali del rilievo su cui sorge l'abitato, immediatamente a sud-est del centro urbano. La scarpata è stata attraversata da due profili topografici convergenti, disposti in direzione SE-NO (A1) e SO-NE (A2).

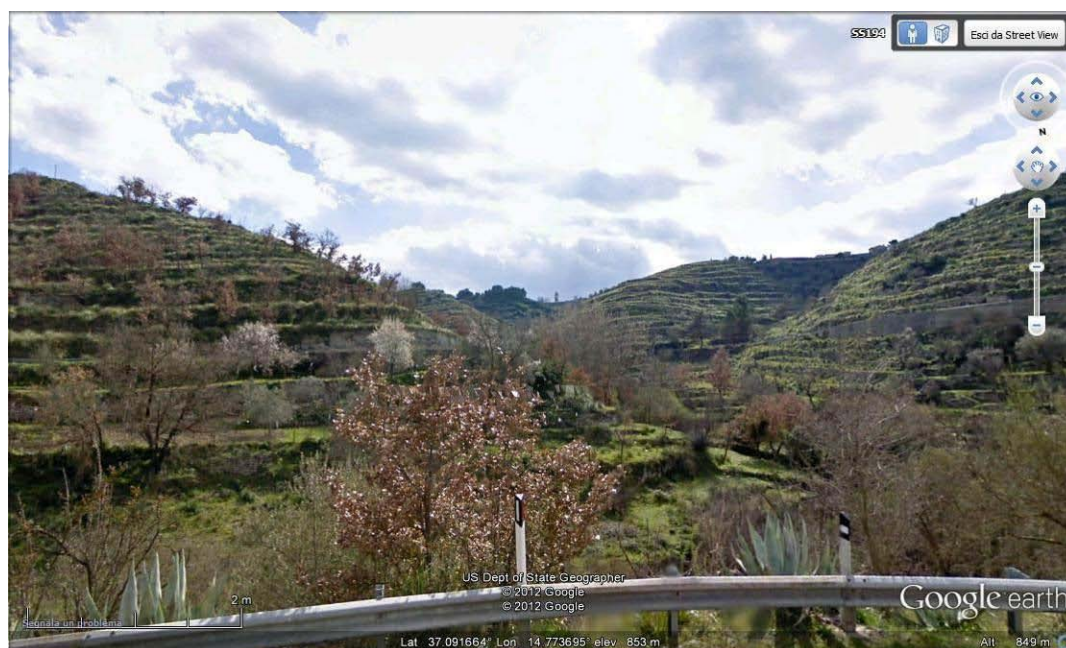


Fig. 8.6 – Immagine Street View (Google Earth™) della scarpata A (in primo piano, vista del fianco destro).

Il profilo A1 (Fig. 8.7) mette in evidenza una scarpata con profilo longitudinale convesso, che vede un fronte principale con un angolo al piede α pari a 18° ed un'altezza H di 39 m. L'estensione del fronte superiore è maggiore di 20 m, mentre la sua inclinazione β è pari a zero (scarpata ideale). La continuità del profilo A2 (Fig. 8.8) viene invece interrotta dalla presenza di una superficie sub-orizzontale, posta a quota 628m, che determina la presenza piuttosto due differenti scarpate ideali, poste a quote 670m e 628m, che conferiscono al profilo un andamento rettilineo-concavo-rettilineo. Le due scarpate mostrano caratteristiche, con altezza del fronte principale di poco inferiore ai 30m ed angolo al piede α di poco superiore ai 20° .

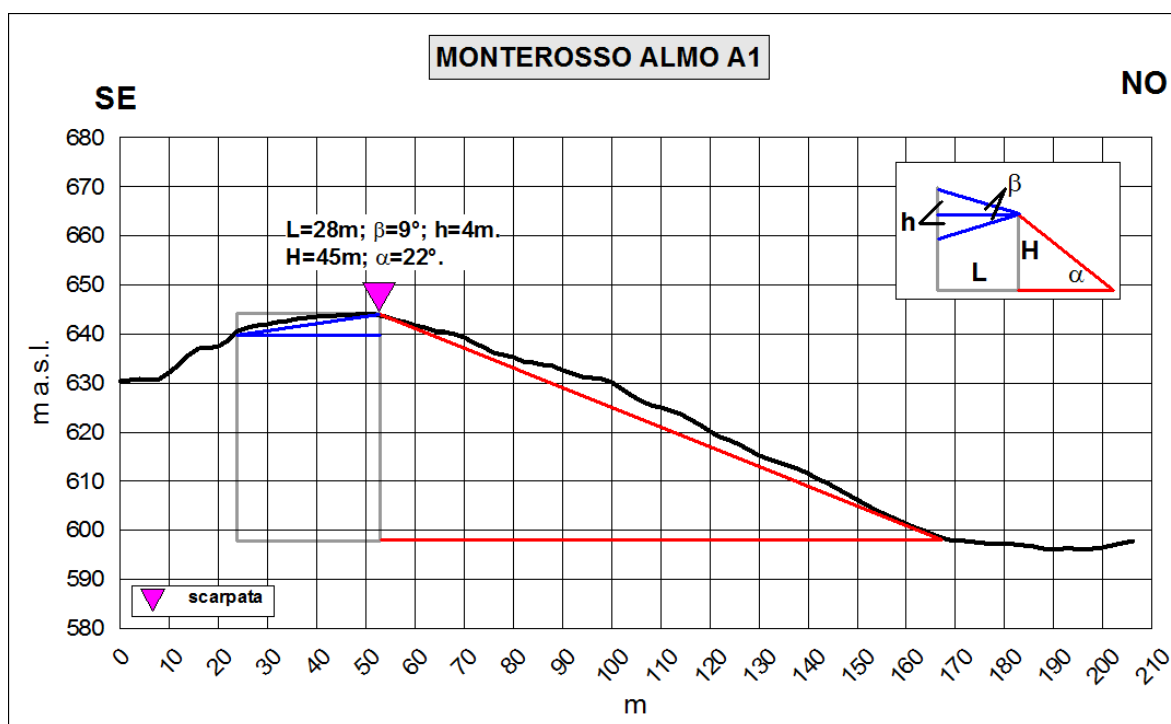


Fig. 8.7 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Monterosso Almo A1.

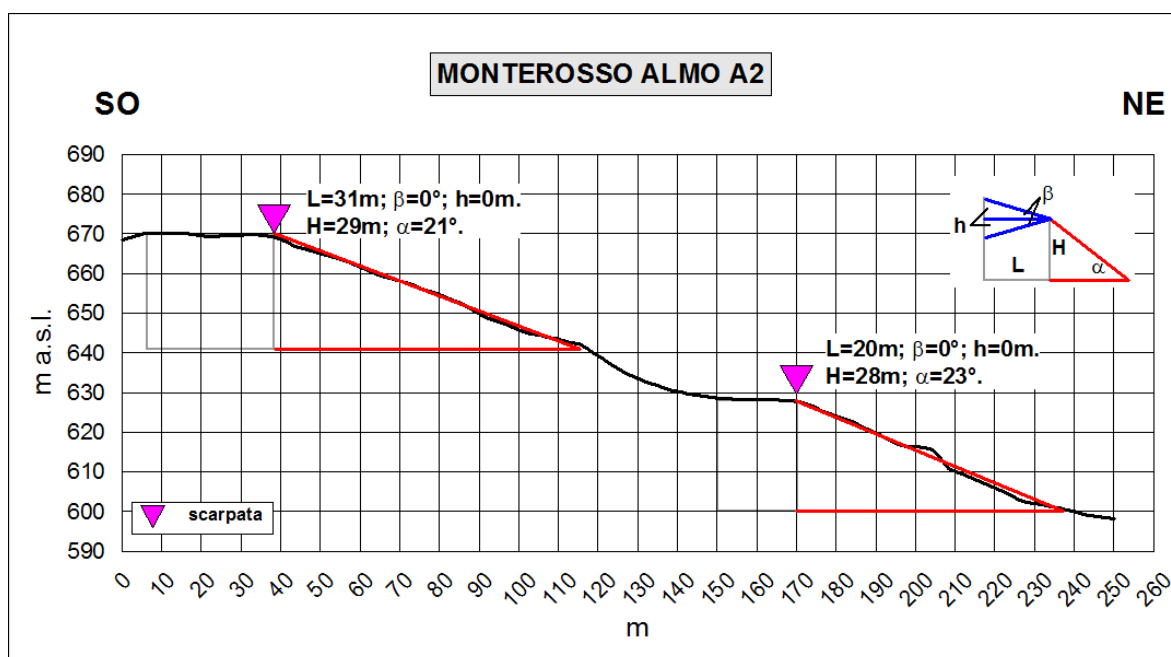


Fig. 8.8 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Monterosso Almo A2.

Scarpata B

La linea di scarpata presenta un andamento sigmoidale, con asse prevalente N-S e lunghezza totale di circa 600m, marcato da una concavità ed una convessità angolari, in corrispondenza delle terminazioni S e N, rispettivamente (Fig. 8.5). Il limite superiore o orlo della scarpata si sviluppa ad una quota di 685m s.l.m. Lungo il versante delimitato dalla scarpata è riconoscibile un secondo lineamento curvilineo a sviluppo SE-NO, con andamento planare convesso-concavo.

La scarpata è stata analizzata attraverso tre profili topografici di dettaglio. Uno di questi si trova nel suo tratto meridionale (B1), con direzione SO-NE (Fig. 8.9), mentre altri due profili sono stati realizzati con geometria convergente (B2: ONO-ESE; B3: NNO-SSE), in corrispondenza della piegatura verso ONO, che costituisce la terminazione settentrionale della scarpata (Fig. 8.10).

Il profilo B1 (Fig. 8.11) mette in evidenza la presenza di un versante esposto a NE, lungo il quale si può riconoscere un sistema doppio di scarpate ideali. Una prima scarpata principale (in tratteggio, in figura) coinvolge un lungo tratto del profilo, presentando una altezza di 50m ed un'inclinazione al piede di 18°; la seconda scarpata, annidata, presenta uno sviluppo minore, con altezza di 24m ed angolo al piede di 20°.

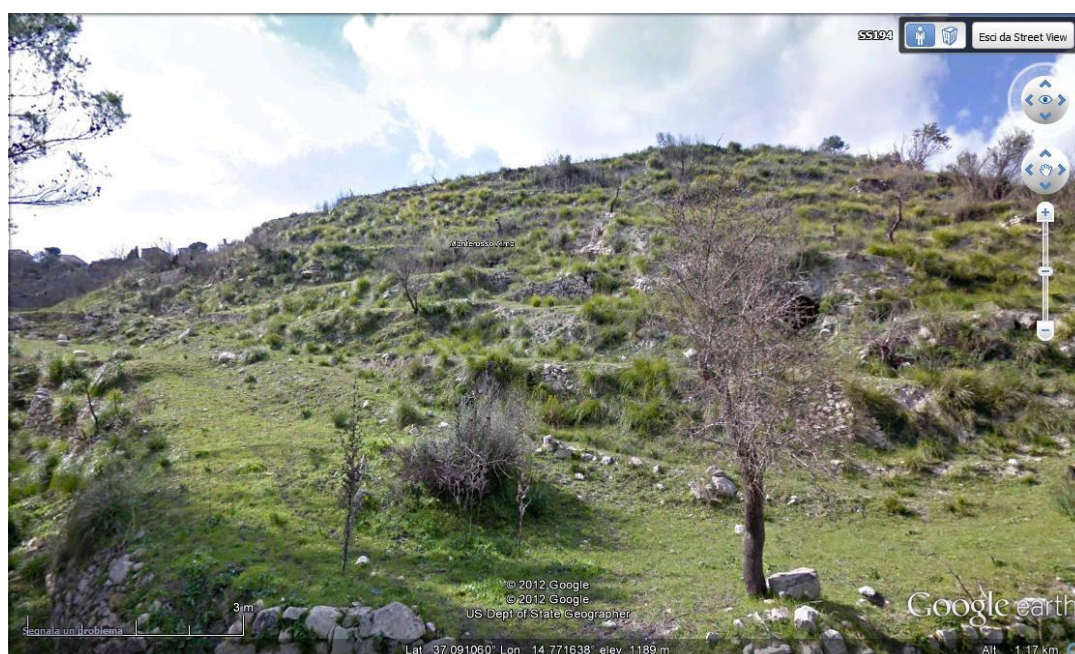


Fig. 8.9 – Immagine Street View (Google Earth™) della scarpata B, in corrispondenza del profilo B1 (vista dal piede).

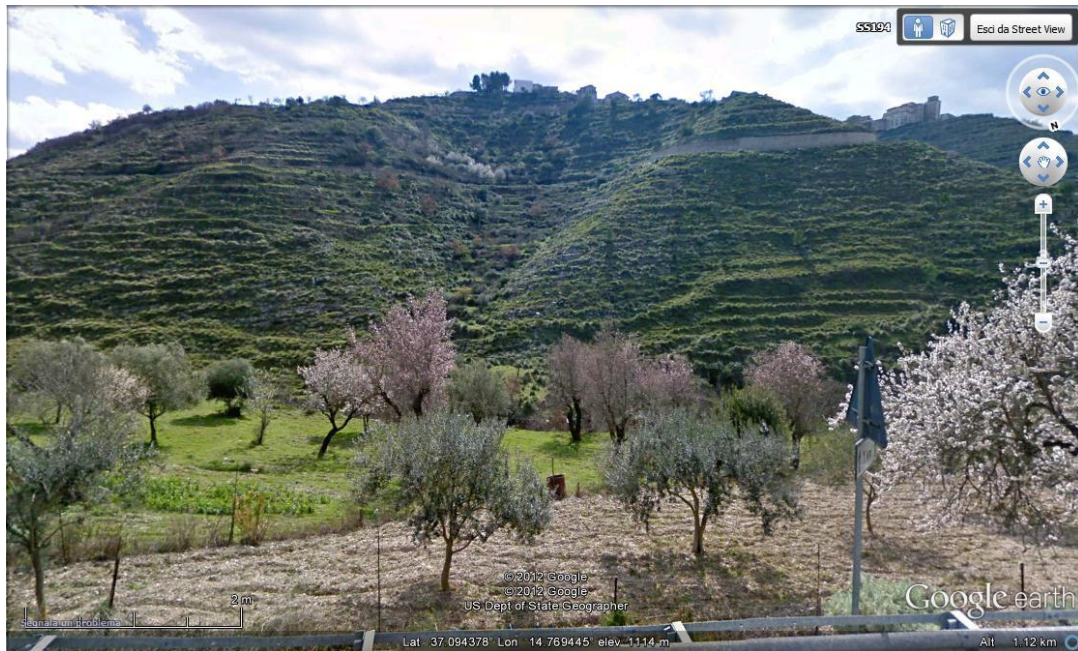


Fig. 8.10 – Immagine Street View (Google Earth™) della scarpata B, in corrispondenza dei profili B2 e B3 (vista dal piede).

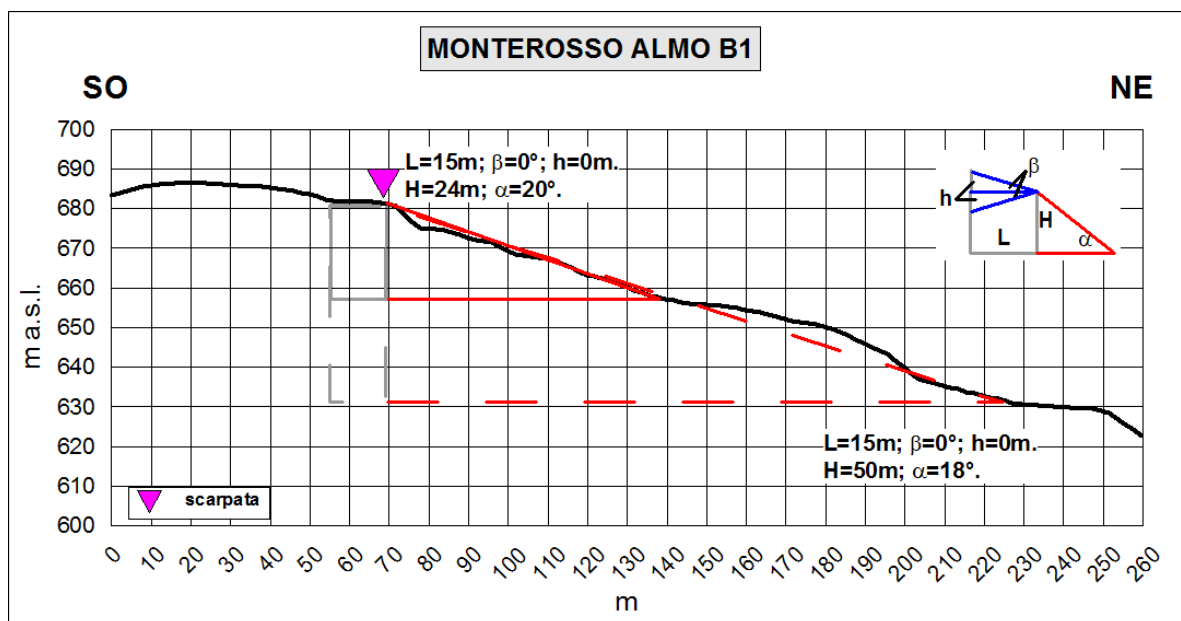


Fig. 8.11 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Monterosso Almo B1.

Anche nel caso del profilo di dettaglio B2 (Fig. 8.12), si riconosce un sistema doppio di scarpate in pendenza (fronte superiore: $L>20\text{m}$; $\beta=3^\circ$; $h=4\text{m}$), costituito da una scarpata principale ($H=19\text{m}$; $\alpha=20^\circ$) ed una scarpata secondaria annidata ($H=52\text{m}$; $\alpha=20^\circ$).

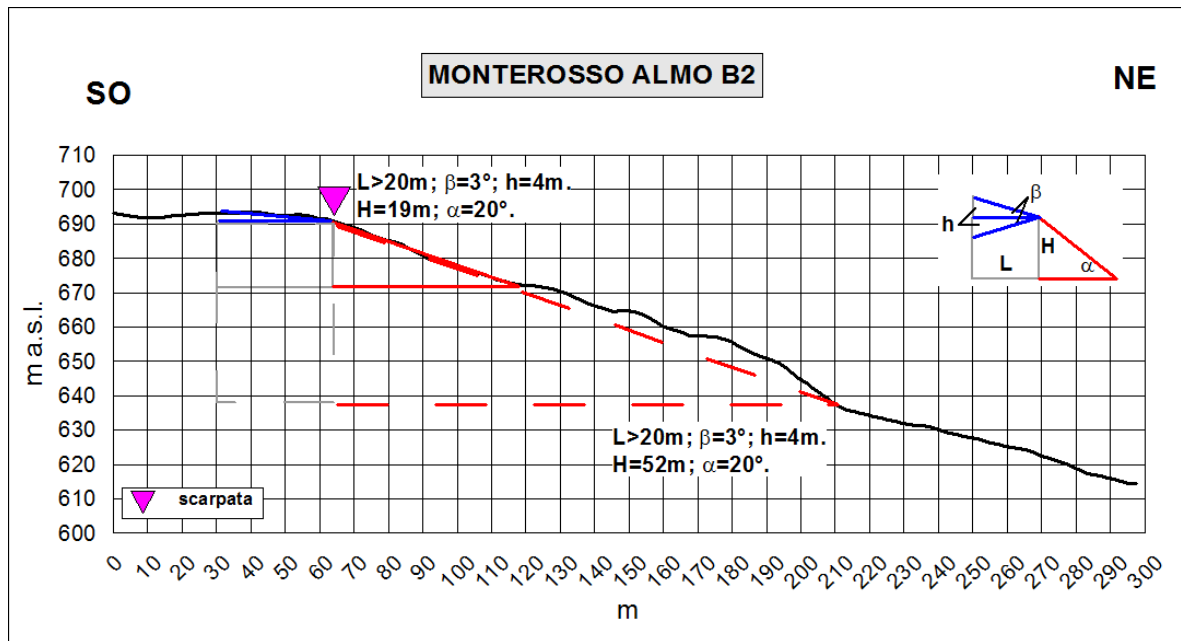


Fig. 8.12 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Monterosso Almo B2.

In corrispondenza del profilo B3 (Fig. 8.13), la morfologia del sistema doppio ritorna ad essere ideale, con fronte superiore orizzontale, scarpata principale con $H=94\text{m}$ ed $\alpha=28^\circ$ e scarpata secondaria annidata con $H=25\text{m}$ e $\alpha=31^\circ$.

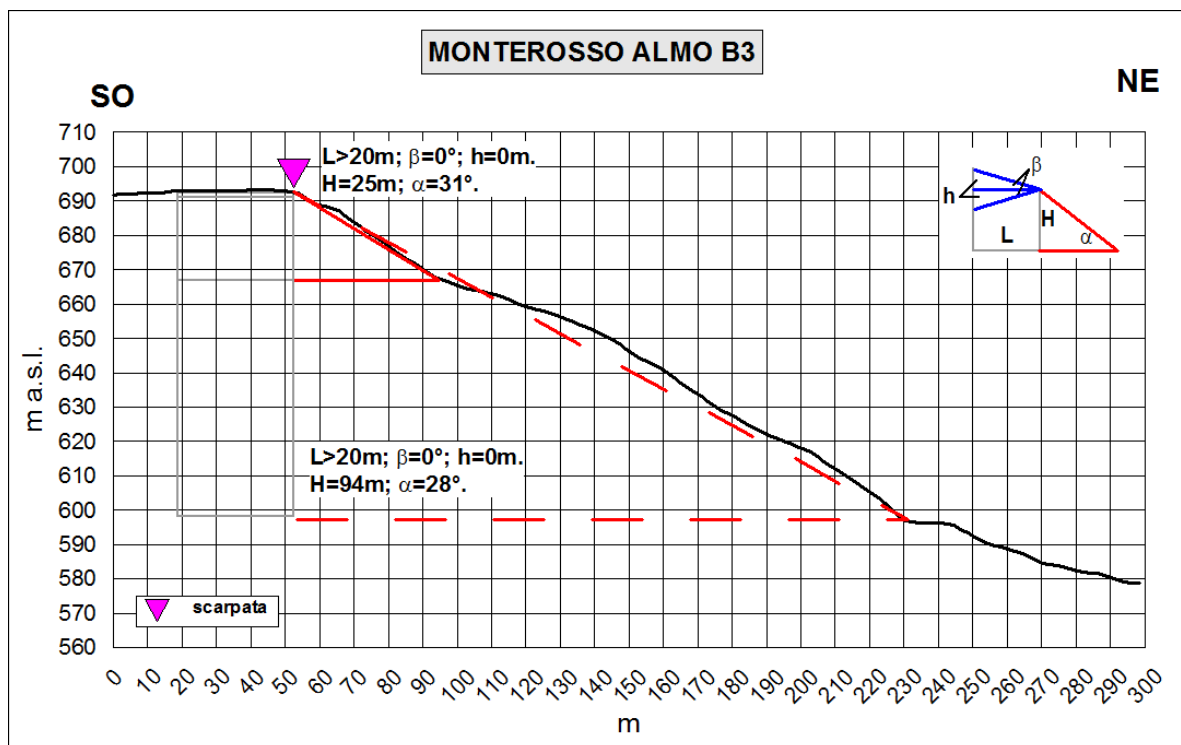


Fig. 8.13 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Monterosso Almo B3.

Scarpata C

A questa linea di scarpata corrisponde in realtà un sistema composito costituito da una doppia linea di scarpata curvilinea concava aperta. La lunghezza totale del sistema di linee di scarpate è di 700m, mentre l'orlo che le delimita si sviluppa ad una quota di poco superiore ai 670m s.l.m. Per ciascuna delle due scarpate che costituiscono questo elemento topografico, è stato realizzato un profilo topografico di dettaglio con sviluppo SE-NO (Fig. 8.14).

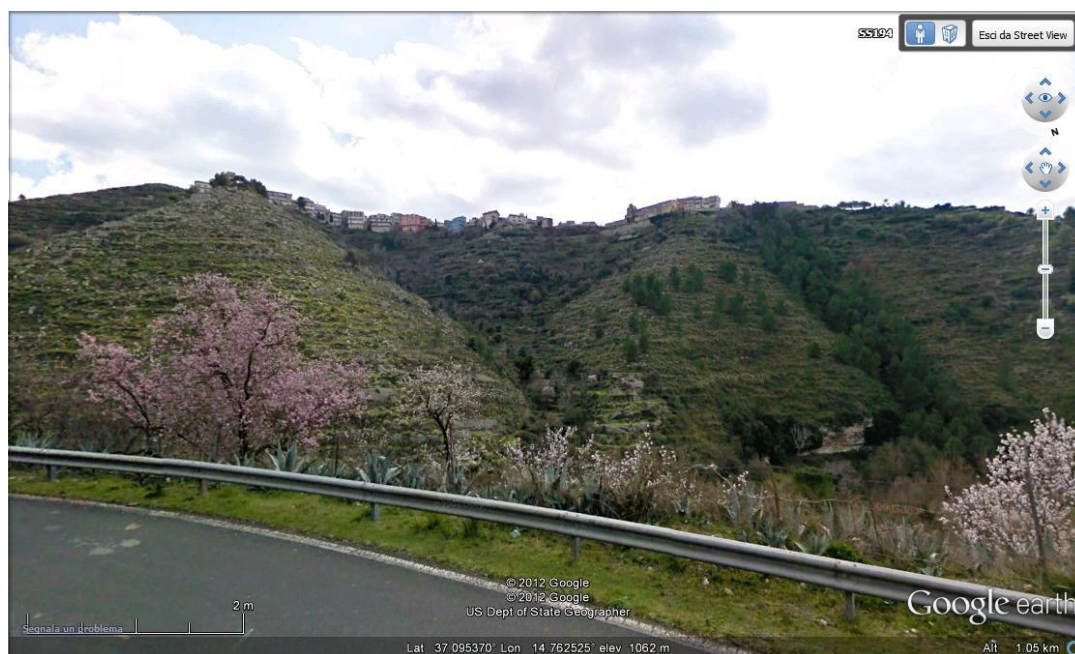


Fig. 8.14 – Immagine Street View (Google Earth™) della doppia scarpata C (vista dal piede).

Il profilo C1 (Fig. 8.15) mette in evidenza la possibilità di individuare lungo il pendio limitato dalla scarpata due elementi coniugati. Una scarpata ideale, più a monte, con quota massima di 692m, altezza di 21m ed angolo al piede $\alpha=23^\circ$. Al piede della scarpata di monte, si individua il fronte superiore di una scarpata ideale che si sviluppa fino alla base del profilo, con altezza $H=78m$ ed angolo al piede $\alpha=32^\circ$.

In corrispondenza del profilo C2 (Fig. 8.16) si perde la complicazione di sopra descritta, individuandosi un sistema semplificato, costituito da una scarpata ideale, con fronte superiore ridotto, inclinazione di 28° ed altezza pari a 86m.

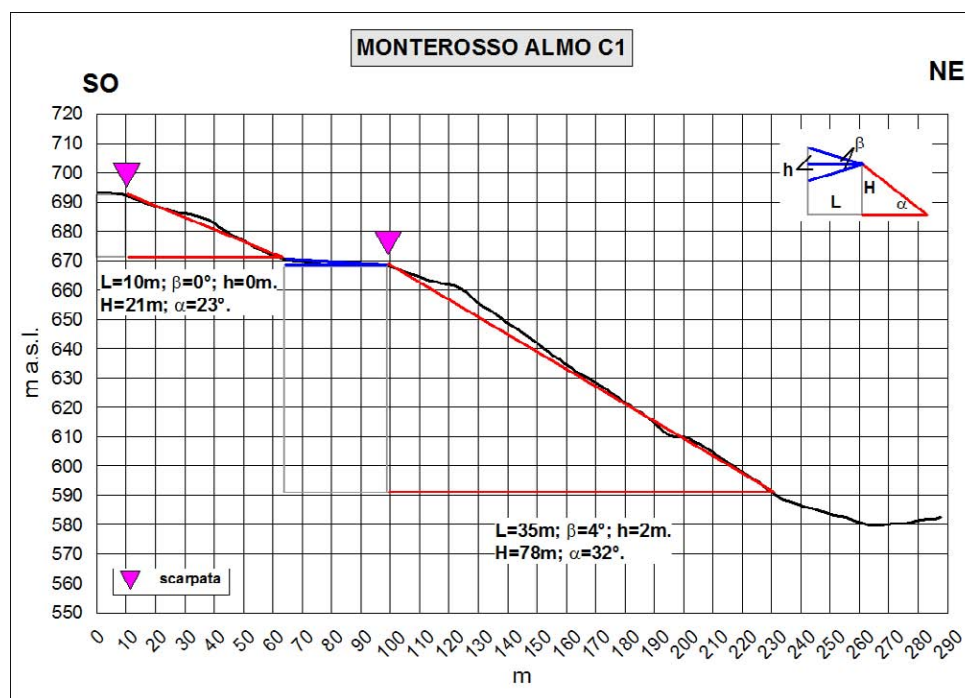


Fig. 8.15 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Monterosso Almo C1.

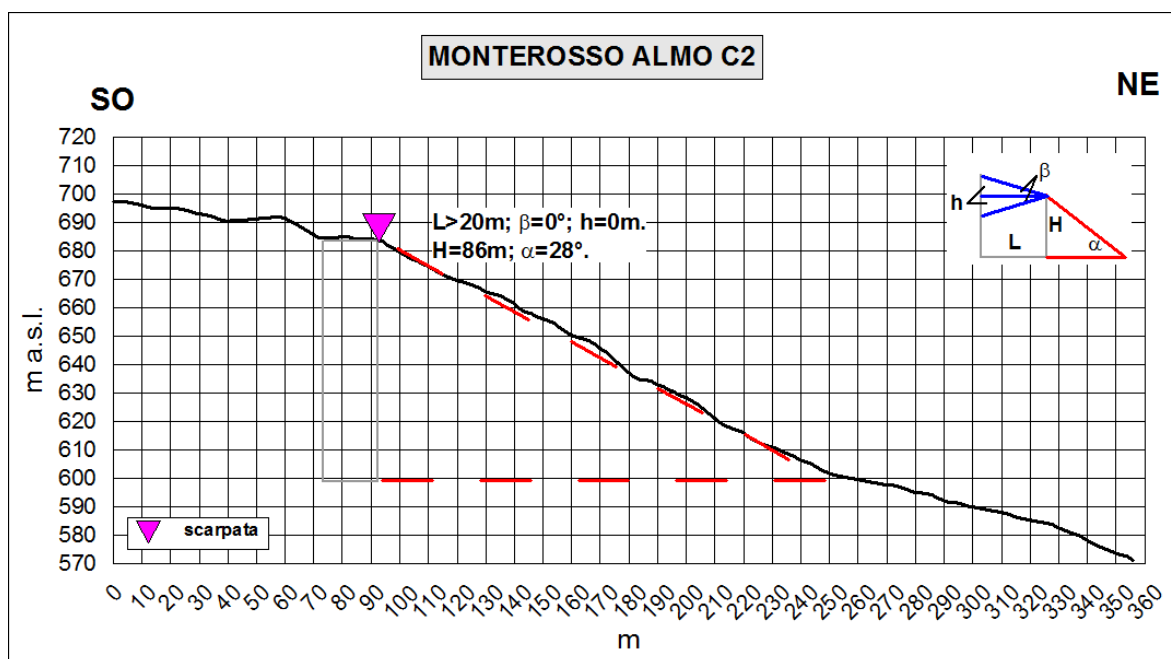


Fig. 8.16 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Monterosso Almo C1.

Scarpata D

La linea di scarpata D costituisce la chiusura dell'estremità nord-occidentale del rilievo su cui sorge il centro abitato. La linea di scarpata presenta un andamento curvilineo con due estremità secondarie, con geometria concava aperta, ed un tratto centrale di tipo convesso chiuso. La lunghezza totale della linea di scarpata è di 1.100m, mentre la quota media alla quale si sviluppa il suo orlo è di 640m s.l.m.. Le caratteristiche geometriche del tratto convesso chiuso determinano la possibilità di individuare una cresta in posizione centrale.

Al fine di mettere in evidenza le caratteristiche topografiche della scarpata, sono stati realizzati due profili topografici di dettaglio. Il primo (Fig. 8.17) ortogonalmente al tratto convesso chiuso della linea di scarpata (D1), il secondo (Fig. 8.18) a tagliare il tratto concavo chiuso che costituisce la terminazione sud-occidentale dell'intera linea di scarpata (D2).

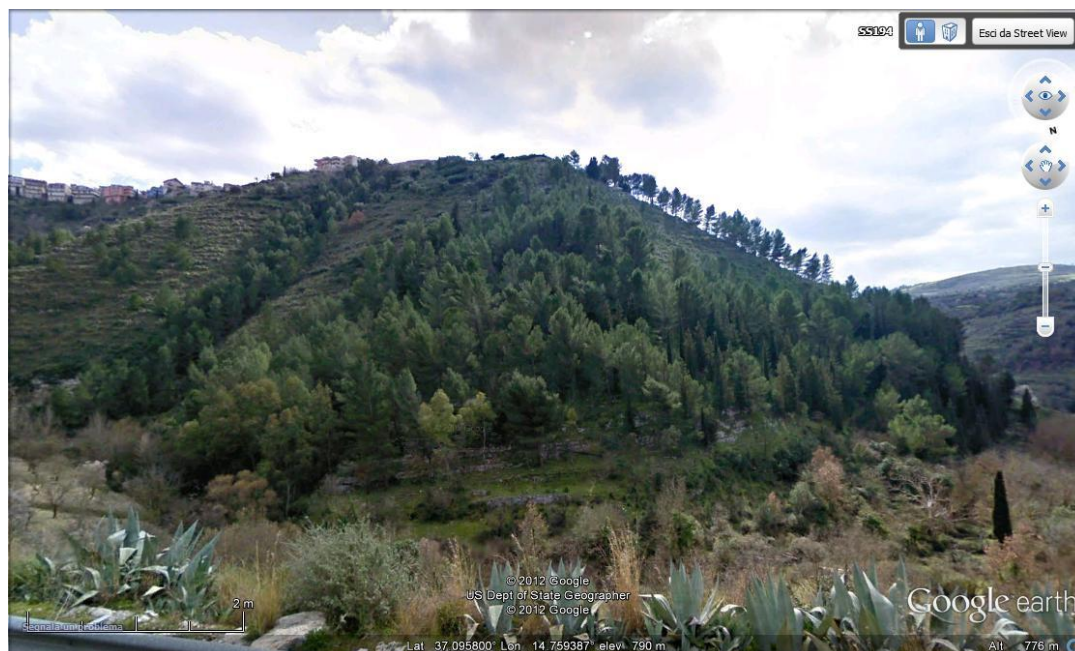


Fig. 8.17 – Immagine Street View (Google Earth™) della scarpata D (vista dal piede del fronte convesso, tagliato dal profilo di dettaglio D1).

Il profilo D1 (Fig. 8.19) mette in evidenza la presenza di due scarpate antitetiche sui due versanti che limitano un alto topografico centrale, che costituisce un fronte superiore inclinato verso NE, con altezza $h = 8\text{m}$ ed angolo $\beta=5^\circ$: una scarpata in contropendenza, sul versante sud-occidentale ($L>20\text{m}$, $H=84\text{m}$ e $\alpha=28^\circ$) ed una scarpata in pendenza, sul versante nord-orientale ($L>20\text{m}$, $H=76\text{m}$ e $\alpha=33^\circ$).

L'analisi del profilo D2 (Fig. 8.20) consente di individuare un sistema multiplo di quattro piccole scarpate ideali ($H=10\text{m}$, con $h=0$), con angoli al piede α compresi tra 33° e 35° . Le tre scarpate più a monte risultano coniugate, essendo il piede della prima sul fronte superiore della successiva. La quarta, posta ad una quota di 640m s.l.m., risulta isolata.

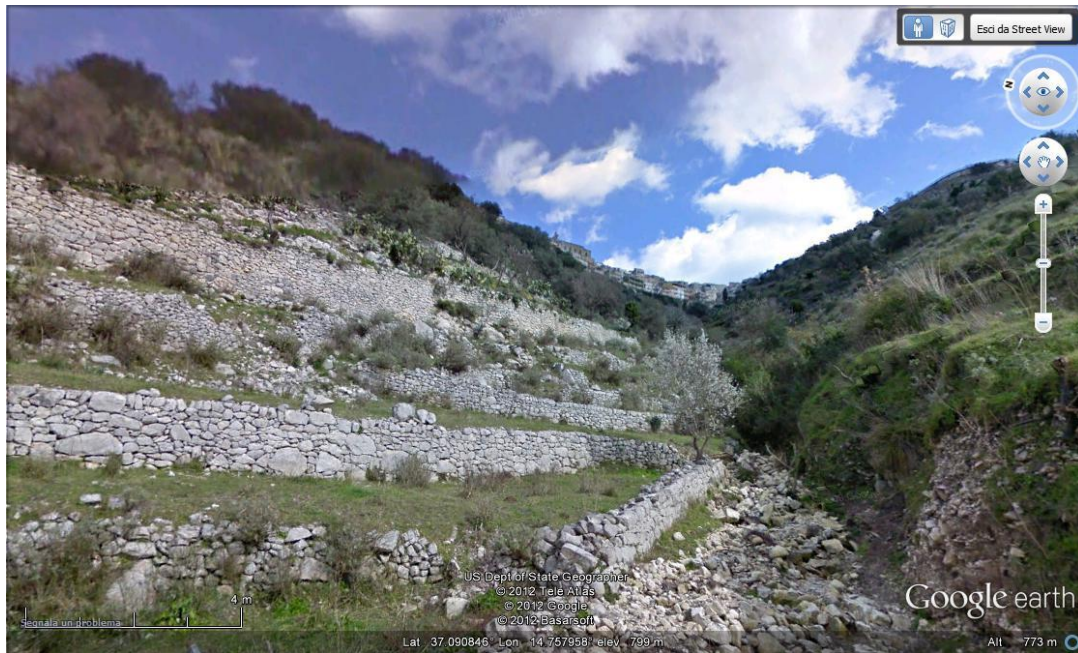


Fig. 8.18 – Immagine Street View (Google Earth™) della scarpata D (vista dal piede del fronte concavo sud-occidentale).

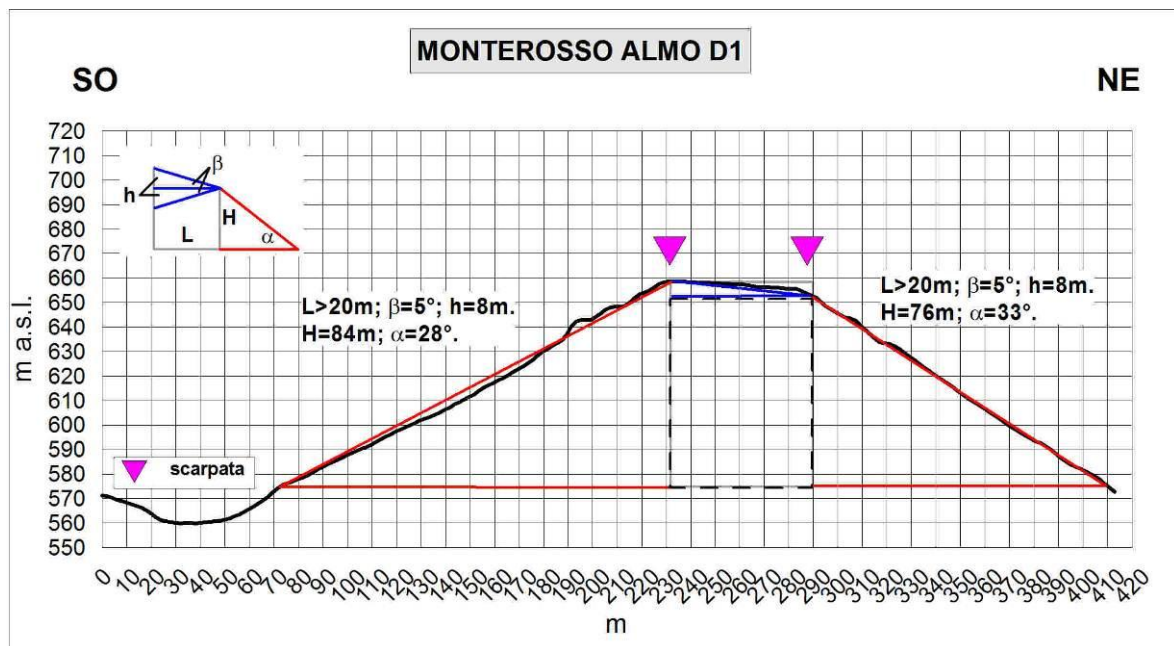


Fig. 8.19 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Monterosso Almo D2.

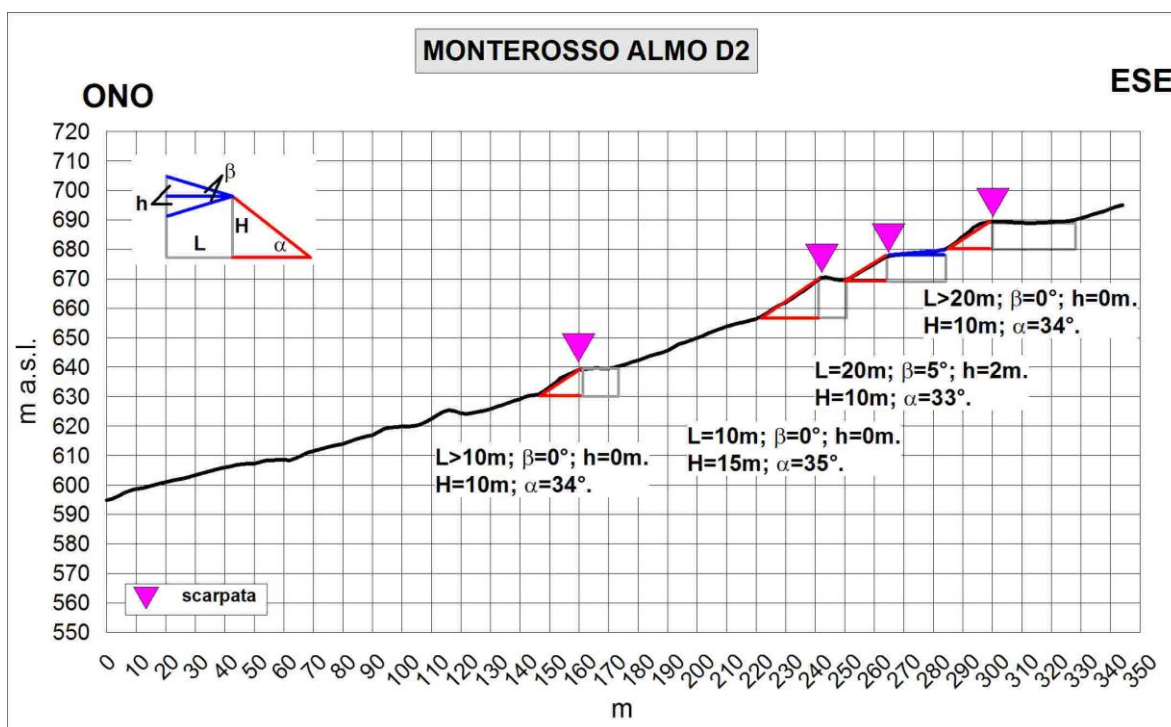


Fig. 8.20 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Monterosso Almo D2.

Scarpata E

La linea di scarpata presenta una linea con sviluppo curvilineo poco accentuato con andamento convesso-concavo-convesso, uno sviluppo totale di 300m, un asse di allungamento medio con direzione SSO-NNE ed una quota di 660m s.l.m.

La scarpata è stata analizzata in corrispondenza di un profilo che la attraversa nel suo tratto concavo (Fig. 8.21).

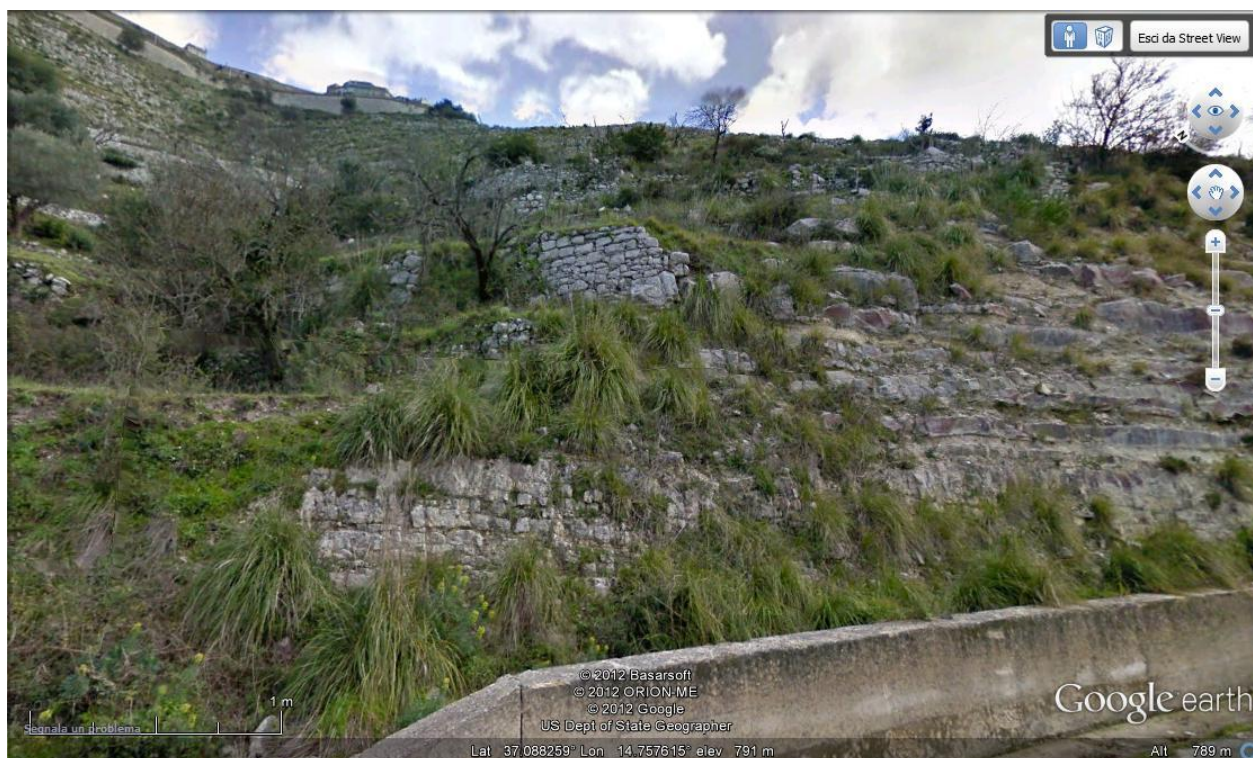


Fig. 8.21 – Immagine Street View (Google Earth™) della scarpata E (vista dal piede del fronte concavo).

Il profilo della scarpata (Fig. 8.22) mostra un sistema di due scarpate ideali coniugate. La prima, ad una quota di 690m s.l.m., presenta un'altezza H di soli 10m ed un angolo al piede α di 20° . Il piede del fronte principale di questa scarpata poggia sul fronte superiore della seconda scarpata, che presenta un'altezza H di 105m ed un angolo al piede α di 28° .

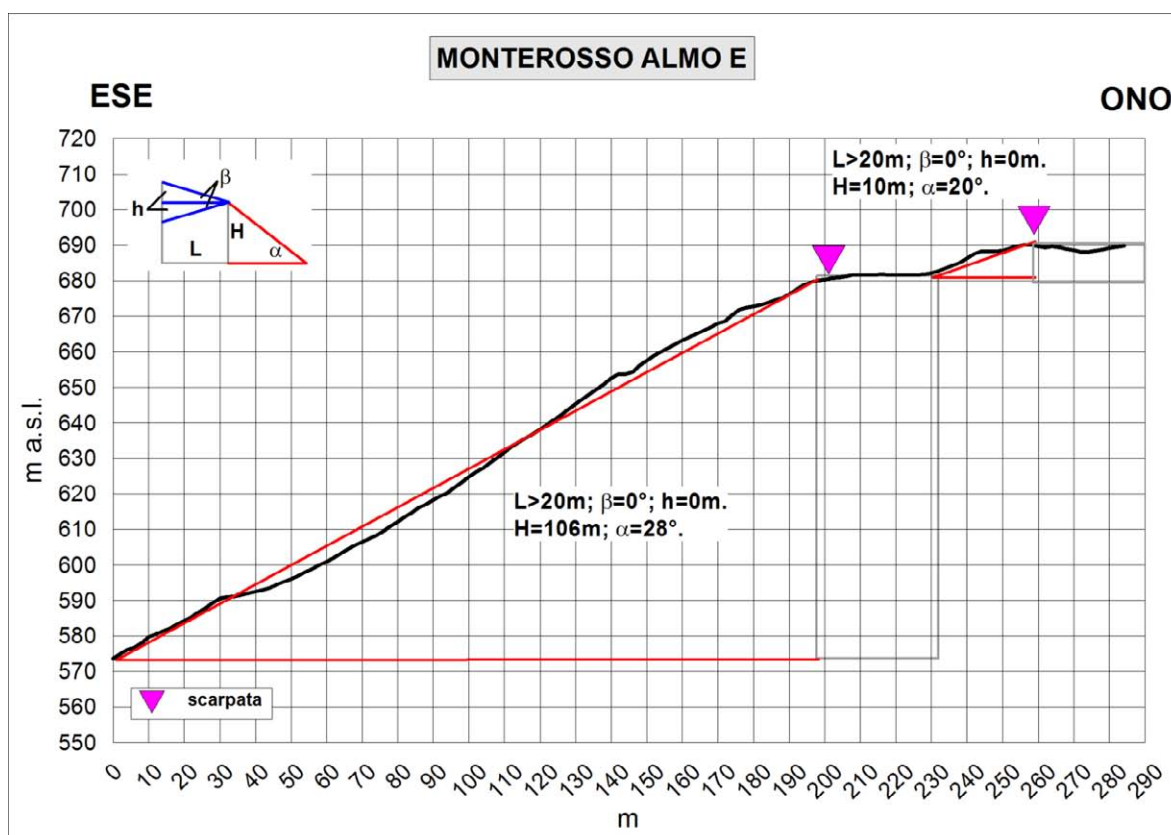


Fig. 8.22 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Monterosso Almo E.

Scarpata F

La linea di scarpata è costituita da un lungo orlo che limita la porzione meridionale del rilievo collinare su cui sorge l'abitato (Fig. 8.5). Lo sviluppo, procedendo nella descrizione in senso antiorario, presenta una concavità aperta, cui seguono prima due convessità, la prima delle quali poco accentuata, mentre la seconda molto marcata o chiusa. La linea della scarpata si sviluppa per circa 1km, ad una quota compresa tra 600 e 650 m s.l.m.

Al fine di analizzare le caratteristiche delle scarpate delimitate da questa linea, sono stati realizzati quattro profili di dettaglio. I primi tre sono disposti in modo concentrico sul tratto concavo e sul suo bordo rettilineo (Fig. 8.23), mentre il quarto indaga la porzione convessa chiusa meridionale (Fig. 8.24).

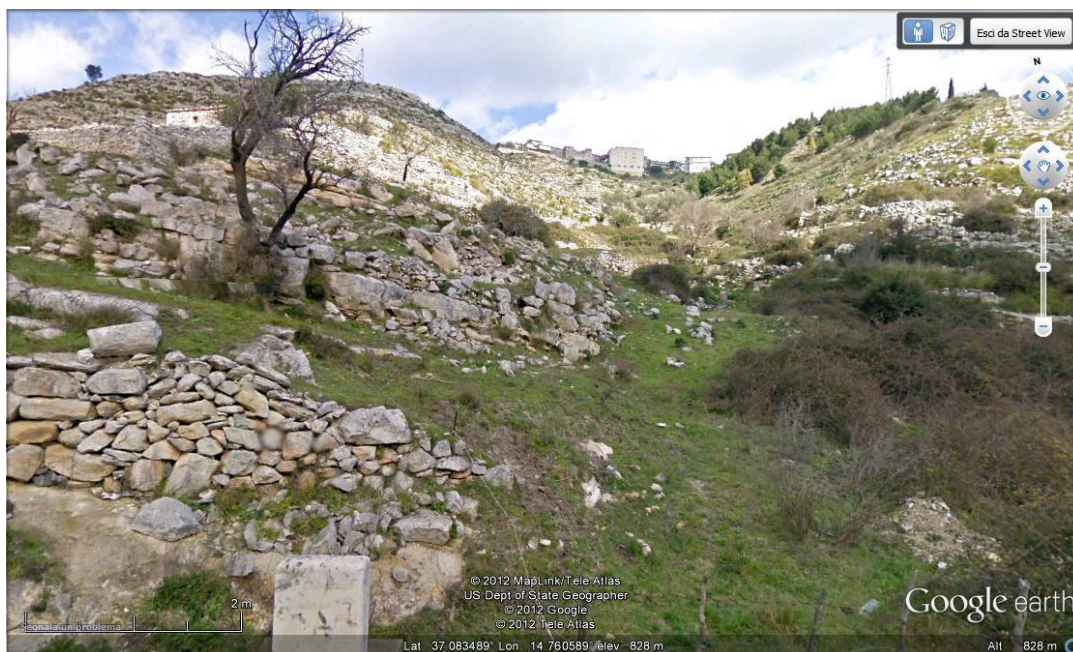


Fig. 8.23 – Immagine Street View (Google Earth™) della scarpata F (vista dal piede del tratto concavo).

I tre profili di dettaglio concentrici, F1, F2 e F3, a causa della variabilità lungo lo stesso fronte delle caratteristiche morfometriche dei versanti che lo delimitano, presentano caratteristiche differenti. Una scarpata in pendenza il profilo F1 (Fig. 8.25), con altezza del fronte principale H di 94m ed angolo al piede α di 20° ; una scarpata ideale di dimensioni più ridotte ($H=36m$, 50m), ma angolo al piede maggiore ($\alpha=28^\circ$, 33°), il profilo F2 (Fig. 8.26) ed il profilo F3 (Fig. 8.27), rispettivamente.



Fig. 8.24 – Immagine Street View (Google Earth™) della scarpata F (vista dal piede del tratto convesso chiuso).

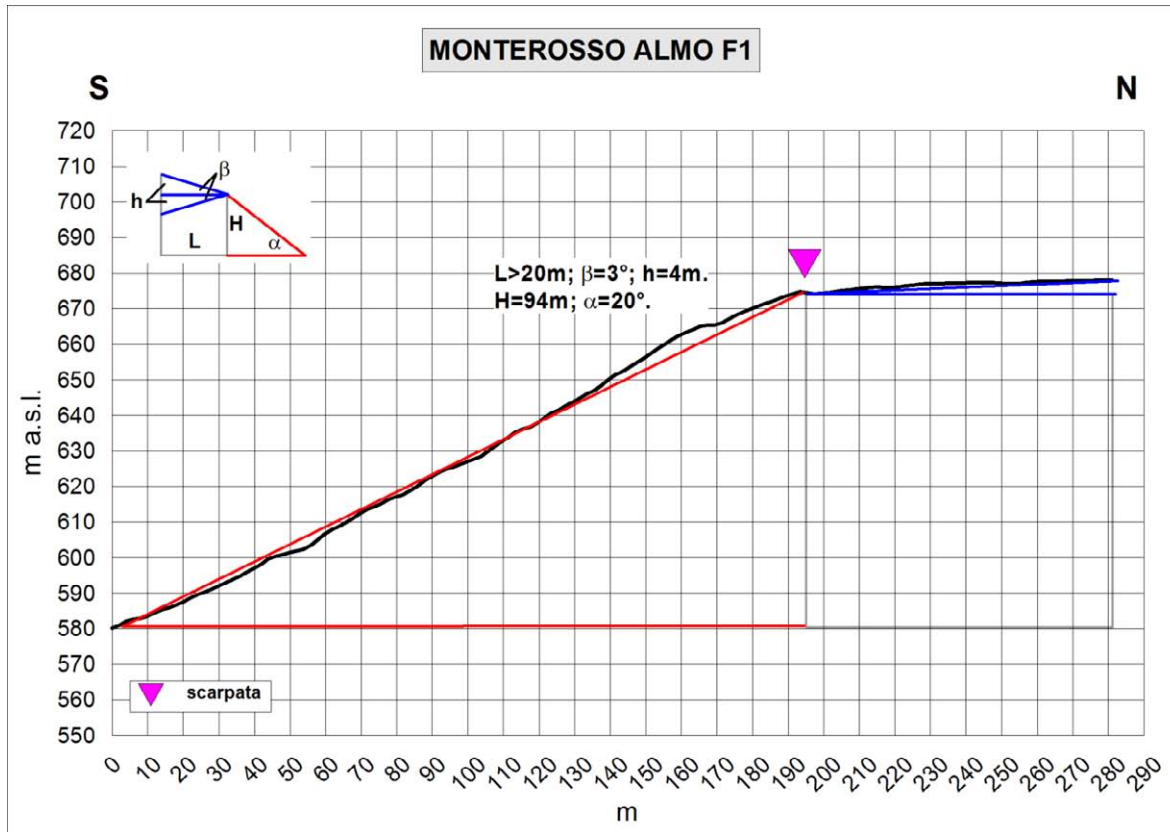


Fig. 8.25 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Monterosso Almo F1.

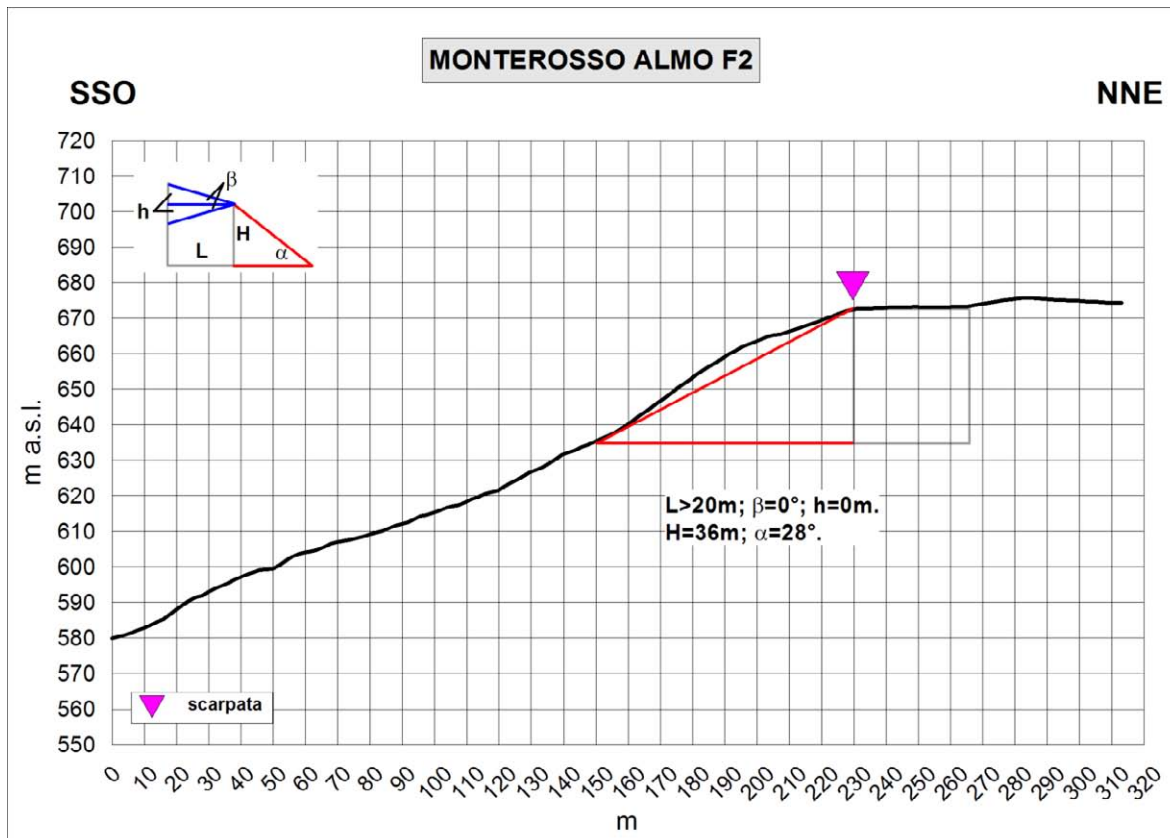


Fig.8.26 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Monterosso Almo F2.

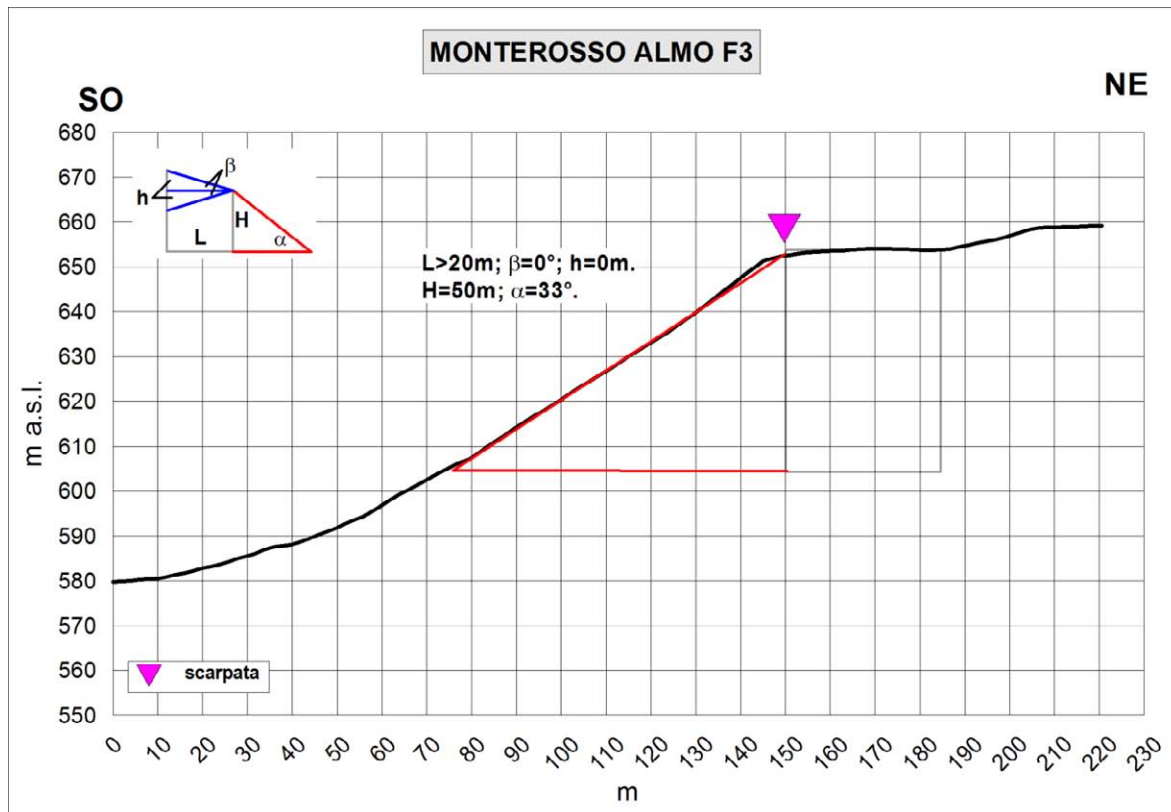


Fig. 8.27 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Monterosso Almo F3.

Il profilo F4 (Fig. 8.28) mostra due scarpate ideali coniugate sul versante sud-occidentale, con altezza H pari a 30m e 50m, rispettivamente, ed un angolo al piede α di 20° . Le due scarpate si collocano ad una quota di 632m e 600m s.l.m., rispettivamente.

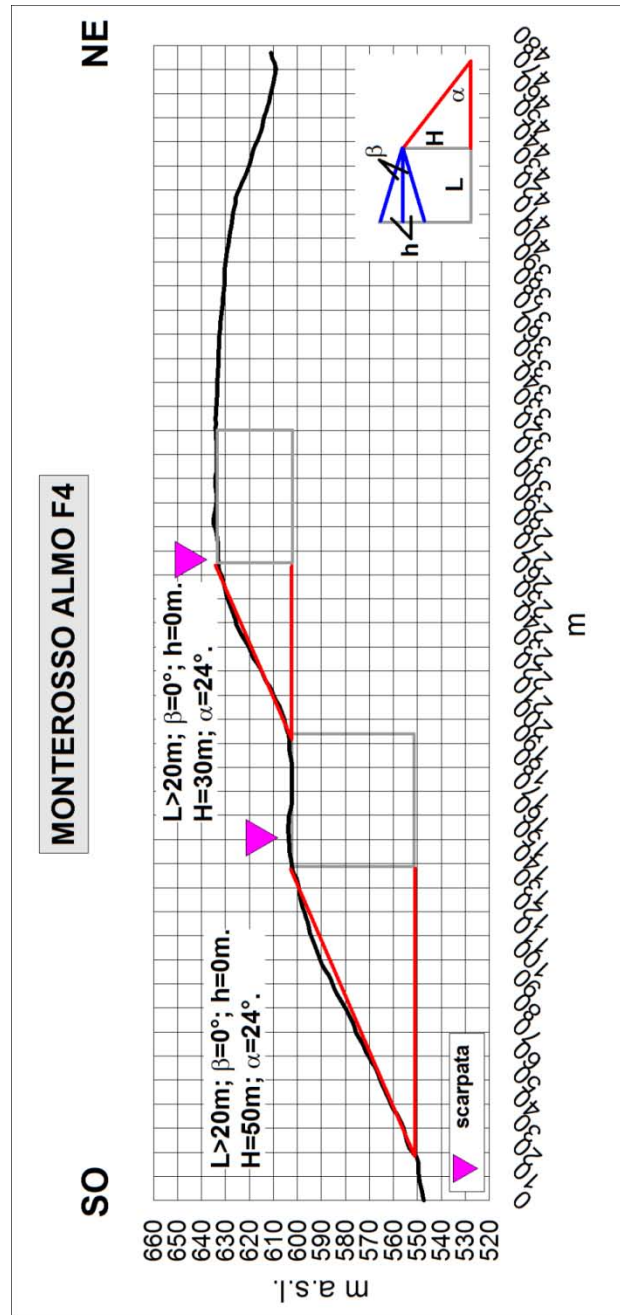


Fig. 8.28 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Monterosso Almo F4.

Scarpata G

Scarpata G: si tratta di una piccola scarpata ad andamento curvilineo convesso chiuso, che presenta una lunghezza di 350m ed una quota media di 650m s.l.m. La scarpata è stata analizzata, realizzando un profilo di dettaglio che ne taglia ortogonalmente il lato convesso chiuso (Fig. 8.29). Il profilo mette in evidenza (Fig. 8.30) la presenza, lungo il versante sud-occidentale, di una scarpata ideale con altezza $H=58\text{m}$ ed angolo α al piede pari a 22° .



Fig. 8.29 – Immagine Street View (Google Earth™) della scarpata G (vista laterale, da NE).

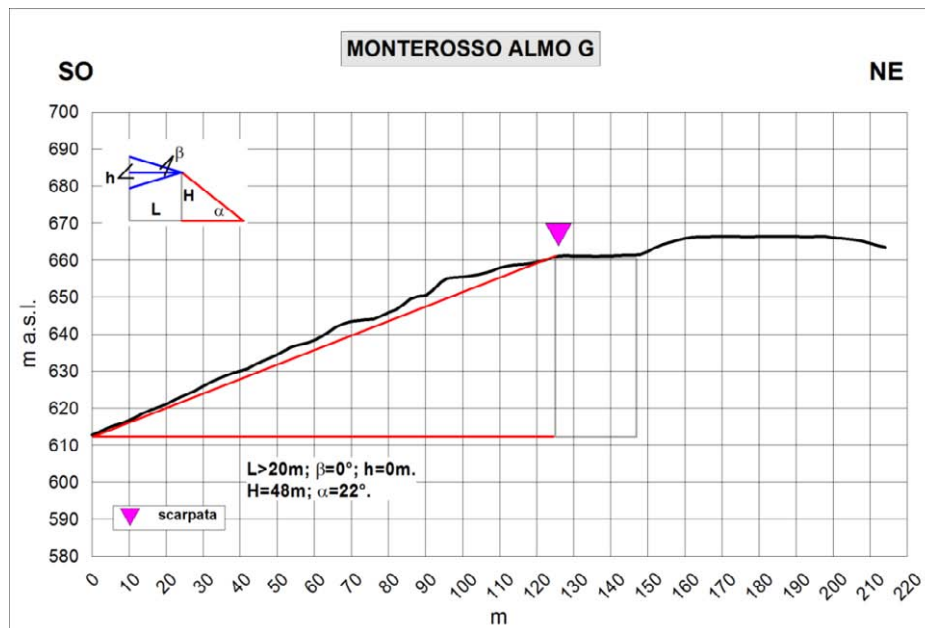


Fig. 8.30 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Monterosso Almo G.

8.4. Carta delle frequenze

La maggior parte dei punti di misura, ad esclusione dei punti 088007P18HVS29 e 088007P13HVS24, mostrano la presenza di fenomeni di possibile amplificazione del moto sismico del suolo in bassa frequenza (1.2-1.3 Hz) e quindi di scarso interesse ingegneristico se non per manufatti di grandi dimensioni. È stata inoltre evidenziata anche una ampia porzione del territorio analizzato (ad esclusione dei punti 088007P17HVS28, 088007P19HVS30, 088007P22HVS33, 088007P23HVS34e 088007P24HVS35), caratterizzata da possibili fenomeni di amplificazione su più alte frequenze (maggiori di 2.5 Hz) di maggiore interesse per la pianificazione territoriale. Tutte le frequenze riconosciute sono state riportate in una mappa delle frequenze di vibrazione misurate in sito attraverso l'esecuzione di prove HVSr (Fig. 8.31).

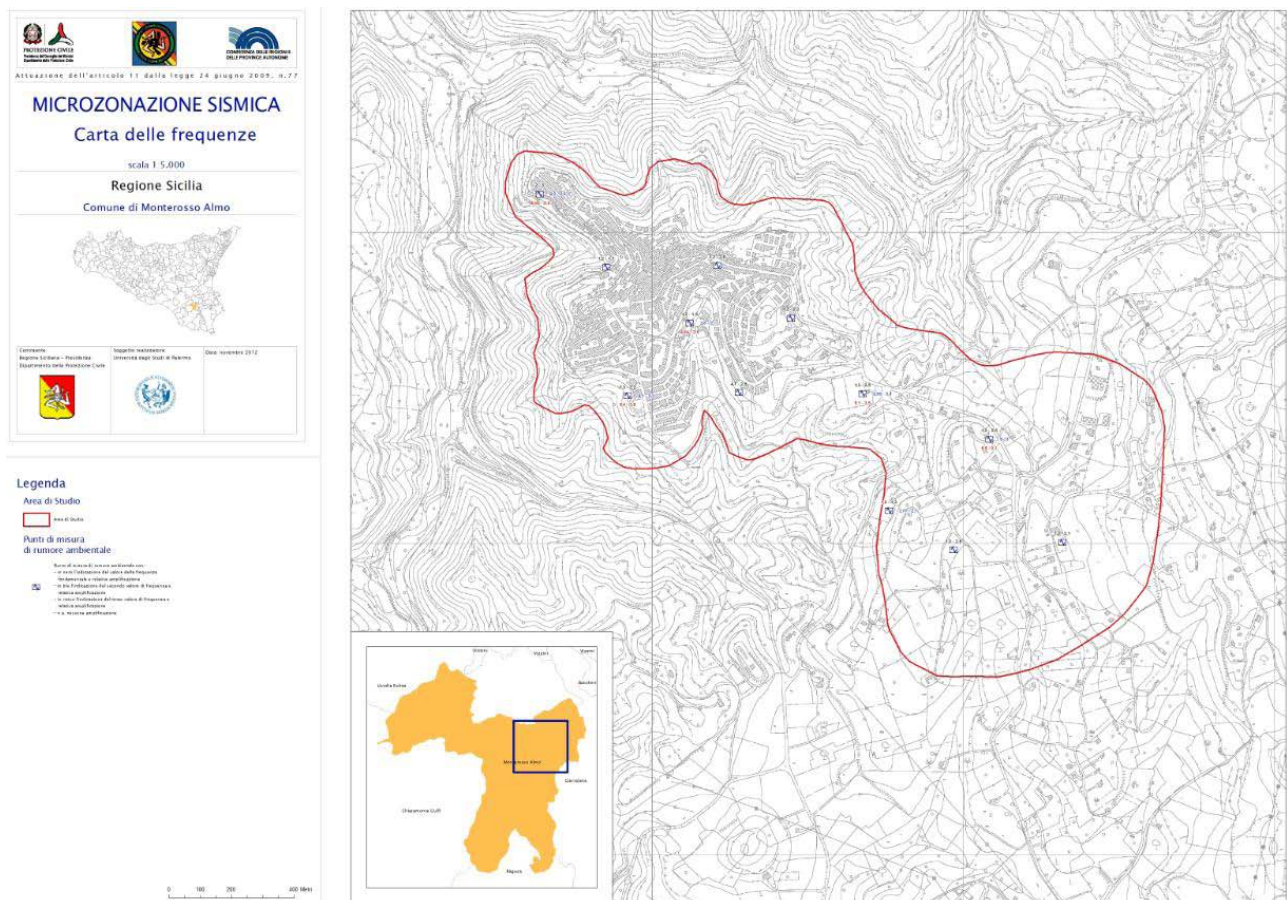


Fig. 8.31 – Riduzione della carta delle frequenze (v. cartella PLOT)

9. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DI DANNI PER EVENTI PASSATI

L'11 gennaio del 1693 anche Monterosso fu colpito dal tremendo terremoto che distrusse la Sicilia orientale, vi furono circa 200 morti e solo pochi ruderi resistettero, quali la cappella di S. Antonio e il Mulino Vecchio. Da allora il paese è stato ricostruito sempre più in cima al monte, assumendo l'attuale assetto topografico.

La chiesa madre e la chiesa di S. Antonio, a causa del terremoto, crollarono interamente, mentre la chiesa di S. Giovanni crollò solo in parte. Questo spiega il fatto che per i primi due anni dopo quel disastroso evento, avendo già il titolo di succursale, ricoprì anche la funzione di chiesa Madre, la quale doveva trovarsi ancora in costruzione. Le strutture e la vecchia fabbrica della chiesa di S. Giovanni resistite al sisma vennero successivamente inglobate nelle nuove. La chiesa di S. Anna sembra non essere stata danneggiata seriamente se, appena un anno dopo, il guardiano del convento di Sant'Anna dei Minori Riformati dichiara di avere celebrato sedici messe "ad intenzione dell'ecc. mo Conte di Modica".

Il terremoto segnò comunque per sempre la sorte di interi quartieri e di chiese. Alcuni quartieri furono abbandonati, altri furono ricostruiti o si ingrandirono inglobando quelli che dopo il terremoto avevano vista diminuita la loro importanza e perso anche la propria autonoma identità con la scomparsa del nome. Stesso discorso per le chiese, alcune, distrutte totalmente come la chiesa di S. Pietro e quella di S. Francesco, non furono più ricostruite, altre furono ricostruite sullo stesso luogo o come la chiesa di S. Antonio cambiarono sito, altre ancora, danneggiate in parte come la chiesa di S. Giovanni Battista, furono risistemate. (Fonti: • Dal libro "Monterosso e S. Giovanni, sette secoli tra storia e devozione" di Angelo Schembari • Archivio Parrocchiale).

Non essendo nota l'ubicazione degli edifici danneggiati o distrutti dal terremoto del 1693 non è possibile effettuare un confronto tra i danni subiti nell'area e quelli attesi.

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 Tectonicae, 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.
- 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-quaternaria 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.

GHISETTI F. & VEZZANI L. (1980) – *The structural features of the Hyblean Plateau and the Mount Judica area (South-Eastern Sicily): a microtectonic contribution to the deformational history of the Calabrian Arc*. Boll. Soc. Geol. It., 99, 57-102.

GHISETTI 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'Avampaese Ibleo (Sicilia Orientale) tra il Trias e il Quaternario: dati stratigrafici e petrologici di sottosuolo*. Mem. Soc. Geol. It., 45, 911-925, 10 ff., 5 tabb. 1 tav.

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

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

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

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

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

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

- PATACCA E., SCANDONE P., GIUNTA G. & LIGUORI V. (1979) - *Mesozoic paleotectonic evolution of the Ragusa zone (Southeastern Sicily)*. Geol. Romana, 18, 331-369.
- PATANÈ G. & IMPOSA S. (1987) - *Tentativo di applicazione di un modello reologico per l'Avampese Ibleo ed aree limitrofe*. Mem. Soc. Geol. It., 38, 341-359, 8 ff., 1 tab.
- PETERSON, J. (1993), *Observations and modeling of seismic background noise*, Open-File Report, 93-322, US Geological Survey, Albuquerque, NM.
- PIATANESI A. & TINTI S. (1998) - *A revision of 1693 Sicily earthquake and tsunamis*. J. Geophys. Res., 103 (B2), 2749-2758.
- REUTHER C.D., AVRAHAM Z.B. & GRASSO M. (1993) - *Origin and role of major strike-slip transfers during plate collision in the central Mediterranean*. Terra Nova, 5, 249-257.
- RIGO M. & BARBIERI R. (1959) - *Stratigrafia pratica applicata in Sicilia*. Boll. Serv. Geol. Ital., 80, 1-92.
- ROMAGNOLI G., CATALANO S., RIGANO A., TORRISI S., TORTORICI G. & TORTORICI L. (2008) - *Tettonica estensionale quaternaria del Plateau Ibleo*. Rend. online S.G.I., 1, Note Brevi, 148-152, 3 figg.
- ROVIDA, A., CAMASSI, R., GASPERINI, P., E STUCCHI, M. (2011) -(a cura di) *CPTI11, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani*. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>
- RUGGIERI R. (1997) - *Il Carsismo negli Iblei (Sicilia sud-orientale)*. Atti del Convegno "Il carsismo nell'area mediterranea". Supplemento al n. 23 di Thalassia Salentina: 47-55.
- RUGGIERI R. (2000) - *Studio sulle risorse idriche disponibili della Provincia di Ragusa*. Regione Siciliana, Ufficio del Genio Civile di Ragusa
- RUGGIERI R. & GRASSO M., (2000) - *Caratteristiche stratigrafiche e strutturali dell'altipiano Ibleo ragusano e sue implicazioni sulla morfogenesi carsica*. Atti del 1° Seminario di Studi sul carsismo negli Iblei e nell'area sud Mediterranea. Speleologia Iblea, Vol. 8: 19-35.
- SCHEMBARI A. (.....) - *"Monterosso e S. Giovanni, sette secoli tra storia e devozione"*. Archivio Parrocchiale. Monterosso almo.
- SESAME Project (2004) - *Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations. Measurements, processing and interpretation, WP12, deliverable no. D23.12*, http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/Papers/HV_User_Guidelines.pdf.
- TORTORICI G., DE GUIDI G. & STURIALE G. (2006) - *Evoluzione tettonica quaternaria del margine settentrionale del Plateau Ibleo (Sicilia sud-orientale)*. Boll. Soc. Geol. It., 125, 21-37, 13 ff.
- YUNCHA, Z.A., LUZON, F. (2000) - *On the horizontal-to-vertical spectral ratio in sedimentary basins*. Bulletin of the Seismological Society of America. 90, 4, 1101-1106.

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

11. ALLEGATI