

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

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione Illustrativa

MS Livello 1

Regione Sicilia

Comune di NOVARA DI SICILIA (ME)



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

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

INDICE

	Premessa	Pag. 4
1.	Introduzione	5
1.1	<i>Finalità degli studi</i>	5
1.2	<i>Descrizione generale dell'area</i>	6
1.3	<i>Definizione della cartografia di base</i>	9
1.4	<i>Elenco archivi consultati</i>	9
1.5	<i>Definizione dell'area da sottoporre a microzonazione</i>	9
2.	Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento	13
2.1	<i>Sismicità storica della Sicilia Nord – Orientale</i>	13
2.2	<i>Sismicità storica e pericolosità sismica del comune di Novara di Sicilia</i>	17
2.3	<i>Faglie attive</i>	23
3.	Assetto geologico e geomorfologico	25
3.1	<i>Inquadramento geologico</i>	25
3.2	<i>Assetto Tettonico</i>	26
3.2.1	<i>Neotettonica</i>	28
3.3	<i>Caratteri morfologici, stratigrafici e tettonici del territorio di Novara di Sicilia</i>	30
3.3.1	<i>Caratteri morfologici</i>	30
3.3.2	<i>Litostratigrafia</i>	43
3.3.3	<i>Lineamenti tettonici di Novara di Sicilia</i>	50
4.	Dati geotecnici e geofisici	53
4.1	<i>Il database</i>	53
4.2	<i>Unità geologico – litotecniche</i>	54
4.3	<i>Indagini geofisiche precedenti</i>	55
4.4	<i>Il metodo HVSR</i>	55
4.5	<i>Indagini HVSR</i>	58
5.	Modello del sottosuolo	62
5.1	<i>Il modello e le sezioni rappresentative del sottosuolo</i>	62
5.2	<i>Stime della profondità del tetto del bedrock sismico ottenute da misure HVSR</i>	68
6.	Interpretazioni e incertezze	70
6.1	<i>Incertezze sul modello geologico tecnico del sottosuolo</i>	70
6.2	<i>Breve analisi dei vantaggi e svantaggi dei metodi d'indagine con microtremori</i>	70
6.3	<i>Incertezze sulle stime della profondità del bedrock sismico</i>	71
7.	Metodologie di elaborazione e risultati	73
7.1	<i>Criteri per l'elaborazione della carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica</i>	73
7.2	<i>Standard di archiviazione informatica degli elementi morfologici</i>	74
7.3	<i>Elementi di amplificazione topografica</i>	75
7.4	<i>Criteri adottati per la costruzione della carta delle frequenze</i>	80
8.	Elaborati cartografici	81
8.1	<i>Carta delle indagini</i>	81

8.2	<i>Carta Geologico – tecnica</i>	81
8.3	<i>Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica</i>	86
8.4	<i>Carta delle frequenze</i>	104
9.	Confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati	105
10.	Bibliografia	106
11.	Allegati	111

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 ricostruzione ed alla elaborazione della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica del comune di Novara di Sicilia (Provincia Regionale di Messina) redatta sulla base di carte tematiche, indagini esistenti (carte geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche, indagini geognostiche e geofisiche etc.) e sulla base di osservazioni, studi ed indagini condotte direttamente.

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

Lo studio è stato realizzato da ricercatori del Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare 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, L. Perricone, S. Todaro, G. Zarcone.

1. INTRODUZIONE

1.1 Finalità degli studi

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

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

Il riferimento tecnico per la realizzazione di questi studi e per l'elaborazione e la redazione degli elaborati richiesti è costituito 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 MS possono essere condotti secondo tre livelli di approfondimento.

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

Le finalità dello studio sono:

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

L'analisi di **Livello 2** è richiesta 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 previste opere ed edifici di rilevante interesse pubblico.

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

1.2 Descrizione generale dell'area

Novara di Sicilia si trova al confine tra i monti Nebrodi e i Peloritani. Il territorio comunale si estende per circa 48 km² quasi interamente all'interno del bacino idrografico del Torrente Mazzarrà. Il territorio comunale ha una forma rettangolare, allungata in direzione nord-sud, e confina a nord con i comuni di Mazzarrà Sant'Andrea e Rodi Milici, ad est con Fondachelli Fantina, a sud con Francavilla di Sicilia e ad ovest con il Comune di Tripi.

Il contesto morfologico è prettamente montano con versanti molto acclivi e profondamente incisi da numerosi impluvi di breve lunghezza ed elevata pendenza interessati da intensa dinamica geomorfologia; La cima più alta del territorio è Rocca Novara a 1340 m s.l.m.

Il comune conta 1474 abitanti. Il centro urbano principale si sviluppa lungo un versante a quote fra 550 e 650 metri. Il versante culmina con la cima di Monte Santa Croce a quota 959 m.

Altri centri abitati sono quelli di San Marco, Santa Barbara e Scellia a Nord; di San Basilio, Vallancazza, Badiavecchia e Piano Vigna ad ovest.

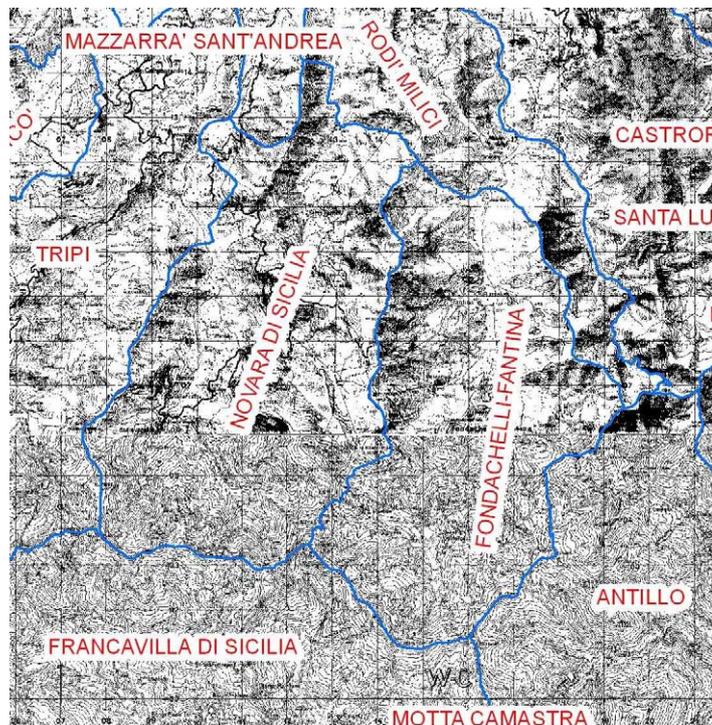


Fig. 1.1 – Inquadramento topografico del territorio comunale di Novara di Sicilia.



Fig. 1.2 – Modello digitale del territorio sul quale si estende il centro abitato di Novara di Sicilia (vista da sud).



Fig. 1.3 – Novara di Sicilia. Panoramica del centro urbano (vista da NE).



Fig. 1.4 Novara di Sicilia. Panoramica da ovest del centro urbano fra la Via San Sebastiano e la Via Duomo.



Fig. 1.5 - Panoramica della frazione di San Basilio.

1.3 Definizione della cartografia di base

Copertura topografica	Carta Tecnica Regionale scala 1:10.000 - ediz. 2008 – sezioni n. 600140
	Fogli IGMI 1:50.000 n. 600 “Barcellona Pozzo di Gotto”
Cartografia geologica	Carta Geologica Provincia di Messina scala 1:50.000 – Lentini F., Catalano S., Carbone S.- SELCA Firenze 2000. CARG-ISPRA Foglio geologico n. 600 “Barcellona Pozzo di Gotto” scala 1:50.000 Modello Strutturale d'Italia scala 1:500.000 AA.VV. 1990
Ortofoto	Ortofoto Regione Siciliana anno 2007-2008. Realizzazione ripresa aerea digitale pixel 0.25m.
DEM	Modello digitale del terreno passo 2m derivato da dati LIDAR volo ATA 2007-2008

1.4 Elenco archivi consultati

ISPRA	Progetto CARG - Catalogo delle formazioni italiane
ISPRA	<u>ITHACA (ITaly HAZards from CAPable faults) - Catalogo delle faglie attive e capaci</u>
ISPRA	Archivio nazionale delle indagini del sottosuolo (Legge 464/1984)
ARTA SICILIA	Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI) con aggiornamenti
ARTA SICILIA	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

Il Comune di Novara di Sicilia ha indicato al Dipartimento di Protezione Civile, con nota prot. n. 3499 del 20/04/2011) i toponimi delle località da sottoporre agli studi di MS di primo livello. Oltre al centro urbano principale sono state segnalate le frazioni di San Basilio, Badia Vecchia e San Marco. Le località indicate sono state quindi perimetrare tenendo conto delle indicazioni ISTAT (Figg. 1.6-1.8).

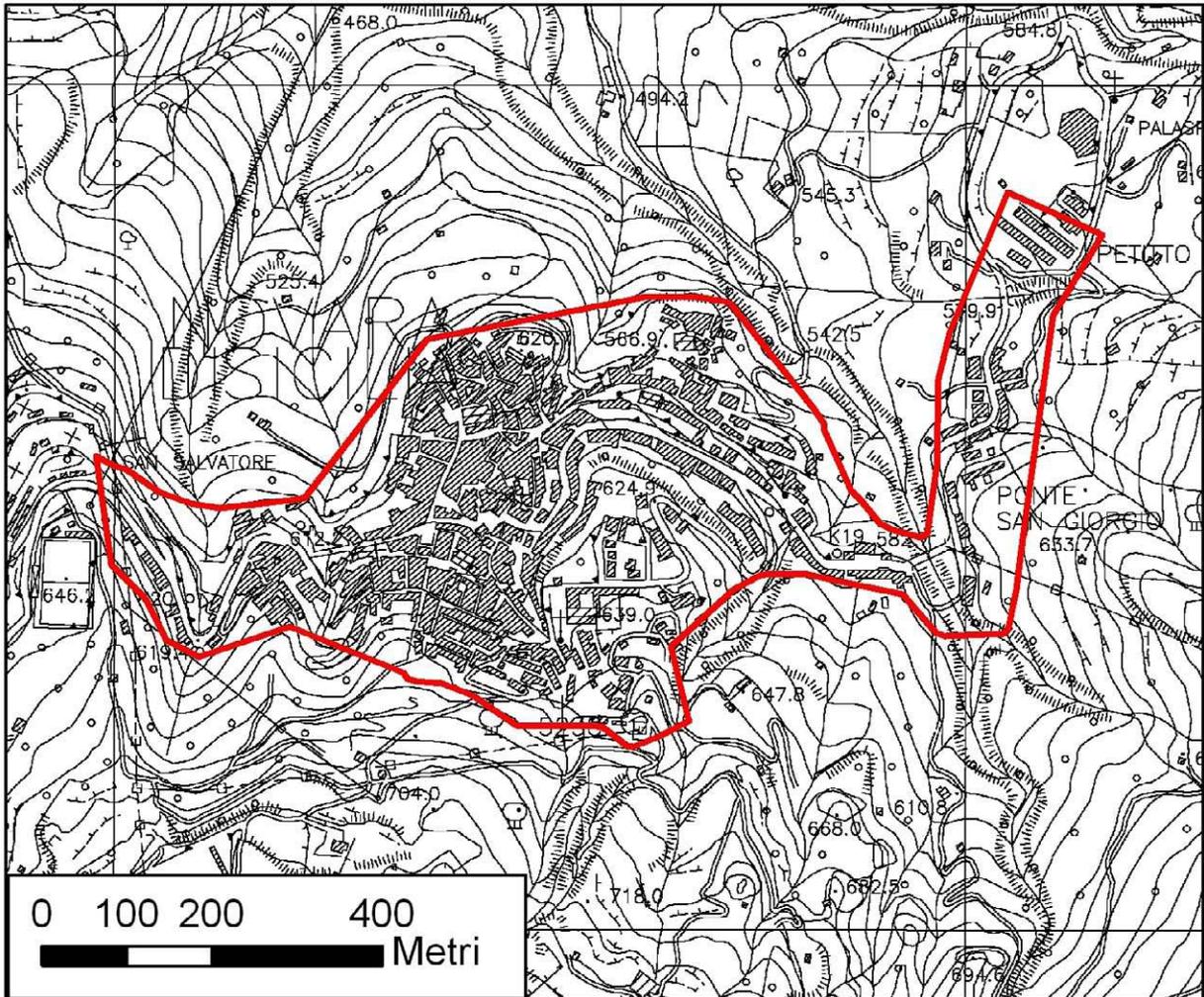


Fig. 1.6 - Comune di Novara di Sicilia Centro Urbano: perimetrazione dell'area da sottoporre a MS.

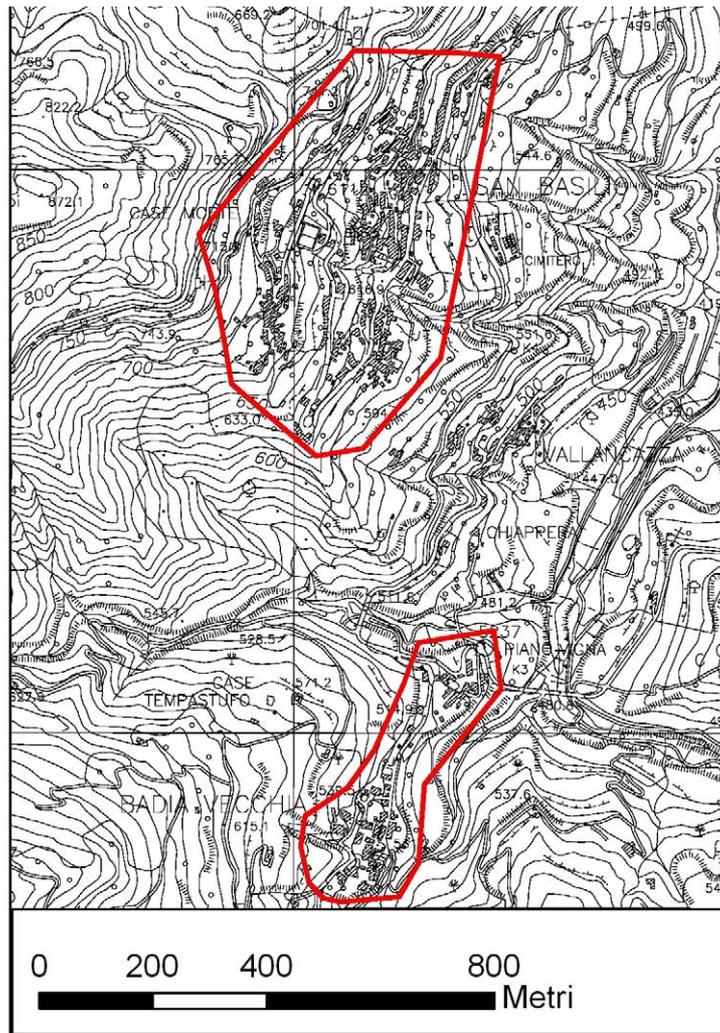


Fig. 1.7 - Comune di Novara di Sicilia perimetrazione delle aree d San Basilio e Badia Vecchia da sottoporre a MS.

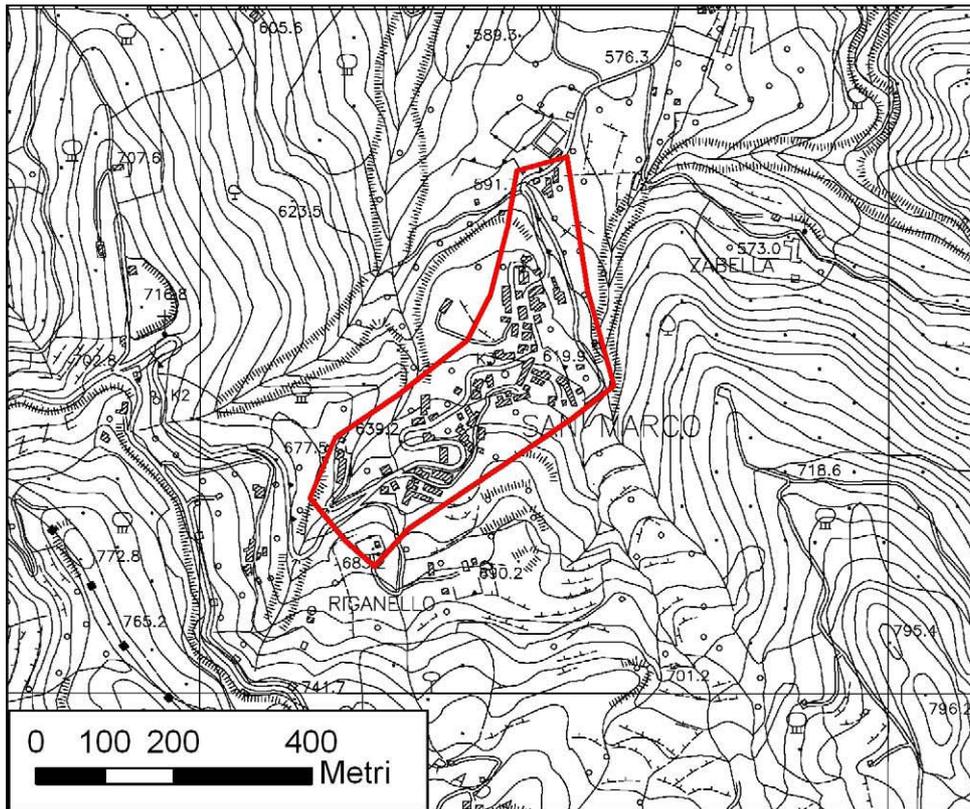


Fig. 1.8 - Comune di Novara di Sicilia perimetrazione dell'area di San Marco da sottoporre a MS.

2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE ED EVENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Sismicità storica della Sicilia Nord – Orientale

Numerosi sono i grandi terremoti che hanno colpito la Sicilia Nord – Orientale in epoca storica. La mappa di sinistra di Fig. 2.1 (Guidoboni *et al.*, 2007) riporta le intensità epicentrali dei maggiori terremoti avvenuti in Sicilia Nord – Orientale dopo il 461 a.C., mentre quella di destra è estratta dal catalogo DBMI11 che contiene 86071 MDP (Macroseismic Data Points) relativi a 1684 terremoti avvenuti dopo il 1000. I dati sono riferiti a 15416 località (Locati *et al.*, 2011) e ad ogni punto riportato in figura è associata la massima intensità ivi risentita.

Di numerosi terremoti che hanno colpito la Sicilia Nord – Orientale prima del 1600, non si hanno informazioni sufficienti per ricostruire in maniera accurata gli effetti macrosismici e ciò è causa di imprecisione della mappa delle massime intensità. Tra questi terremoti sono comunque degni di nota il terremoto del 361 (lat=38.15°, lon=15.6°, $I_{max}=10$, $M_e=6.4$), il terremoto del 31.08.853 (lat=38.183°, lon=15.55°, $I_{max}=9.5$, $M_e=6.2$), il terremoto del 26.09.1172 (ore 13:40 lat=38.183°, lon=15.55°, $I_{max}=8$, $M_e=5.6$) e il terremoto del 29.05.1494 (ore 02:15, lat=38.183°, lon=15.55°, $I_{max}=8$, $M_e=5.6$).

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 di seguito descritti i principali terremoti storici che a partire dal 1600 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.

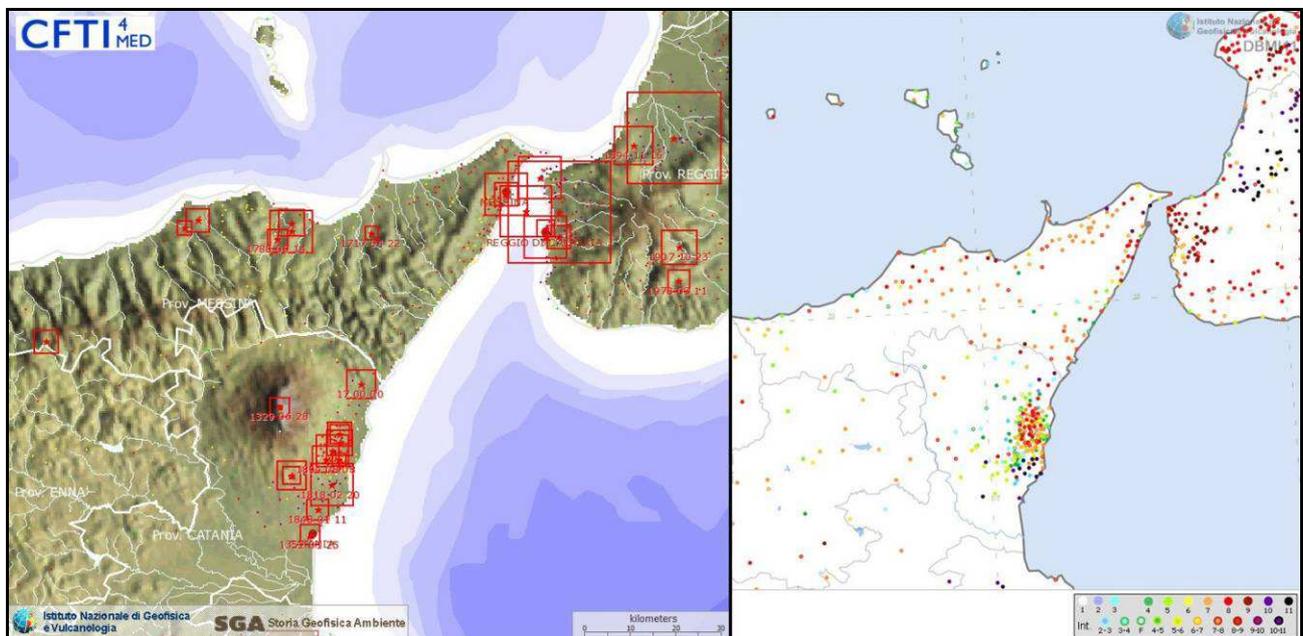


Fig. 2.1 – Epicentri dei forti terremoti (sinistra, Guidoboni *et al.*, 2007) e massime intensità macrosismiche risentite (destra, Locati *et al.*, 2011) in Sicilia Nord – Orientale

Terremoto del 25.08.1613, ore 05:00, lat=38.117°, lon=14.783°, $I_{max}=9$, $M_e=5.6$: il terremoto avvenne all'alba del 25 agosto (alla latitudine della Sicilia settentrionale, all'incirca le ore 5:00 GMT). Gli effetti più gravi risultarono concentrati nella città di Naso, dove crollarono oltre 200 abitazioni e tutte le altre furono gravemente danneggiate. I morti furono 103 (53 persone

morirono nel crollo della chiesa di S.Pietro dei Latini); numerosi i feriti. A Messina la scossa fu sentita violentemente e con grande panico, e causò qualche leggero danno.

Terremoto del 22.04.1717, ore 05:20, lat=38.1°, lon=15.217°, $I_{max}=8.5$, $M_e=5$: il terremoto avvenne all'alba del 22 aprile (ore 5:20 GMT ca.) e colpì gravemente Castoreale, che all'epoca era un centro di media grandezza con 8.400 abitanti e probabilmente non più di 1.500 case. Alcuni edifici furono distrutti completamente e molti altri gravemente danneggiati; complessivamente 632 case furono dichiarate da ricostruire, perché crollate o demolite, o da restaurare. Furono completamente distrutti gli acquedotti che garantivano il rifornimento idrico della città. La scossa fu sentita fortemente, ma senza danni, a Messina e in alcuni altri centri della Sicilia nord – orientale.

Terremoto del 10.05.1739, ore 15:25, lat=38.1°, lon=14.75°, $I_{max}=8.5$, $M_e=5.1$: le scosse iniziarono il 9 maggio e fino al 19 dello stesso mese furono avvertite oltre 100 repliche. La scossa principale avvenne il 10 maggio alle ore 21 italiane (15:25 GMT ca.); causò danni gravi e diffusi a Naso, dove varie case crollarono e la maggior parte delle altre rimasero cadenti e inabitabili; 2 monasteri e 6 chiese subirono gravi lesioni e crolli parziali. A San Marco d'Alunzio alcune abitazioni crollarono e altre furono gravemente lesionate. La scossa fu avvertita in alcune località della Sicilia nord – orientale, per le quali non furono segnalati danni.

Terremoto del 14.09.1780, ore 17:20, lat=38.083°, lon=14.983°, $I_{max}=8$, $M_e=5.4$: il terremoto avvenne il 14 settembre 1780 e colpì le località della Sicilia nord – orientale situate nell'entroterra del golfo di Patti. La prima scossa fu sentita alle ore 15:05 GMT circa (ore 21 e mezza in uso orario "all'italiana"): a Patti la popolazione spaventata abbandonò le abitazioni rifugiandosi all'aperto. Poco più di due ore dopo, alle 17:20 GMT circa (ore 23 e tre quarti "all'italiana"), avvenne la scossa più forte. La località più colpita fu Raccuja dove il terremoto danneggiò gravemente le abitazioni e gran parte degli edifici pubblici, civili ed ecclesiastici, causando la morte di due persone. La chiesa madre, le altre chiese parrocchiali e filiali, un monastero e il convento dei padri Basiliani subirono crolli e risultarono in gran parte rovinati; danni molto gravi subirono anche il palazzo baronale e il castello. A Patti due case crollarono quasi totalmente e molte altre subirono crolli parziali. Danni notevoli furono riscontrati nella cattedrale e nel palazzo vescovile; gravi lesioni alle murature e alle volte si aprirono nei conventi dei Riformati, Osservanti, Cappuccini e Francescani Conventuali. Danni rilevanti avvennero anche a Milazzo Montalbano Elicona, San Piero Patti e in altri paesi della zona non menzionati. Nei giorni seguenti furono sentite repliche leggere.

Terremoto del 06.02.1783, ore 00:20, lat=38.217°, lon=15.633°, $I_{max}=9.5$, $M_e=6.2$: il 5 febbraio 1783 iniziò un periodo sismico, protrattosi per più di tre anni, che presentò 5 massimi di attività: 5 febbraio, 6 febbraio, 7 febbraio, 1 marzo e 28 marzo 1783, e varie centinaia di scosse minori, che ebbero effetti cumulativi devastanti su un territorio di varie migliaia di km². In meno di due mesi, a partire dal 5 febbraio fino al 28 marzo, gli epicentri delle scosse principali si spostarono dalla regione dell'Aspromonte all'istmo tra il golfo di Sant'Eufemia e il golfo di Squillace. La scossa del 5 febbraio 1783 ebbe un'area di risentimento estesa a tutta la Sicilia e a gran parte dell'Italia meridionale, dalla costa amalfitana al Salento. L'area dei maggiori effetti si situa nel versante tirrenico dell'Appennino calabrese, in una regione corrispondente ai Piani d'Aspromonte e alla Piana di Gioia Tauro, delimitata a sud dal massiccio aspromontano e a nord dalla catena delle Serre. Il terremoto ebbe effetti devastanti in 25 paesi; in altri 23 ci furono crolli estesissimi; in 49 località vi furono crolli gravi diffusi; altre 117 località subirono effetti distruttivi. La scossa del 6 febbraio 1783 causò danni gravissimi a Scilla e a Messina; la scossa del giorno successivo, 7

febbraio, fu avvertita in una vasta area compresa tra Messina e Matera e causò nuove distruzioni nei centri dei Piani d'Aspromonte e della Piana di Gioia Tauro, già gravemente danneggiati dalla scossa del 5 febbraio. L'area epicentrale di questa scossa si spostò in direzione nord – est rispetto a quelle dei terremoti precedenti, verso le valli del Mesima e del Marepotamo, sul versante tirrenico della catena delle Serre. Il terremoto fu completamente distruttivo in 20 località; altre 28 subirono crolli gravi diffusi; in 47 località causò effetti distruttivi diffusi. La scossa dell'1 marzo 1783 fu avvertita in un'ampia regione compresa tra Messina e Scalea e, rispetto ai precedenti eventi sismici, ebbe l'area dei massimi effetti spostata ancora più a nord, lungo la dorsale appenninica. A causa di questa scossa si ebbero effetti distruttivi a Polia e a Poliolo e danni molto gravi a Castelmonardo e Francavilla Angitola, centri del bacino dell'Angitola. La scossa del 28 marzo fu sentita in tutta l'Italia meridionale, dalla Sicilia a Napoli, alla Puglia meridionale. L'area dei massimi effetti è collocata nella regione istmica a sud di Catanzaro, sia sul versante ionico che su quello tirrenico: rappresenta la localizzazione più settentrionale tra le aree di maggiore danneggiamento dell'intero periodo sismico. La scossa ebbe effetti catastrofici in 12 località; altre 25 subirono effetti distruttivi; gravi danni si registrarono in 71 paesi. La scossa del 26 aprile 1783, in precedenza classificata di VIII – IX grado MCS, causò danni soltanto a Milazzo e fu sentita fortemente a Messina; si tratta perciò di un evento piuttosto marginale e notevolmente sovrastimato. La successione delle violentissime scosse avvenute tra il 5 febbraio e il 28 marzo 1783, caratterizzata da una migrazione degli epicentri lungo la catena appenninica in direzione nord – est, diede luogo ad ampie aree di sovrapposizione degli effetti distruttivi. Il quadro degli effetti che si è delineato è quindi, per alcune località, il risultato dell'azione cumulativa di più scosse. Quando la documentazione lo ha consentito, sono stati distinti gli effetti di danno relativi ai singoli eventi sismici. Rimane tuttavia aperta la questione relativa alla eventuale sovrastima dei danni non quantificabile indotta dalla vulnerabilità di un patrimonio edilizio fortemente indebolito da numerosissime e ravvicinate scosse e già di per sé di cattiva qualità.

Terremoto del 10.03.1786, ore 14:10, lat=38.1°, lon=15.017°, $I_{max}=9$, $M_e=6.2$: la scossa avvenne alle ore 20:45 italiane (14:10 GMT ca.) del 10 marzo e colpì soprattutto le località della Sicilia settentrionale affacciate sul golfo di Patti. Gravi distruzioni si ebbero, in particolare, a Oliveri, San Piero Patti e Scala; crolli e gravi dissesti a Milazzo e a Patti. A Naso furono notevolmente danneggiate 72 case e vari edifici religiosi; a Messina caddero alcuni muri degli edifici in ricostruzione dopo i terremoti del 1783.

Terremoto del 28.12.1908, ore 04:20:27, lat=38.15°, lon=15.683°, $I_{max}=11$, $M_e=7.1$: il terremoto del 28 dicembre 1908 è considerato uno degli eventi di più elevata magnitudo della storia sismica italiana e, dal punto di vista degli effetti, rappresentò una autentica catastrofe, sia per l'altissimo numero di morti, sia perché distrusse due città importanti come Messina e Reggio Calabria. La ricostruzione del quadro complessivo di un disastro di tale portata è influenzata da alcuni fattori preesistenti. Per comprendere adeguatamente l'impatto di questo evento sismico è infatti necessario ricordare che, se si escludono le due città dello Stretto e poche altre zone più sviluppate, la regione su cui si abbatté il terremoto era un'area caratterizzata da un'economia molto povera. Questo inevitabilmente si ripercuoteva sulla qualità dell'edilizia: i materiali impiegati erano scadenti e le tecniche costruttive molto vulnerabili dal punto di vista sismico; l'età e il degrado dei manufatti erano elevati; la manutenzione scarsa o inesistente. Inoltre, in molte località calabresi, gli effetti di questo terremoto si sovrapposero ai danni, non adeguatamente riparati, dei terremoti degli anni precedenti (1894, 1905 e 1907) aumentando l'entità delle distruzioni. La scossa avvenne alle ore 4:20 GMT e, per quanto riguarda i danni più gravi, colpì un'area di circa 6000 km². In circa 80 località delle province di Messina e Reggio Calabria gli effetti

furono devastanti, con distruzioni estese dal 70 al 100% delle costruzioni. Nel Messinese l'area delle distruzioni pressoché totali fu ristretta e comprese, oltre a Messina, 13 località dell'immediato entroterra della città e delle estreme propaggini settentrionali dei monti Peloritani, fino alla costa tirrenica. Per quanto riguarda la città di Messina, il terremoto, con il maremoto e gli incendi che lo seguirono, distrusse completamente il tessuto urbano (abitazioni, edifici pubblici civili ed ecclesiastici, infrastrutture). Le costruzioni che resistettero furono incredibilmente poche: secondo le statistiche ufficiali del Ministero dei Lavori pubblici, soltanto due case risultarono illese. Tutti gli altri fabbricati furono o distrutti totalmente o completamente sventrati: ne rimasero in piedi solo le pareti esterne, mentre collassarono tetti, solai, muri divisorii, scale. In Calabria il terremoto ebbe effetti distruttivi in una regione molto più estesa, comprendente tutto il versante occidentale del massiccio dell'Aspromonte. A Reggio le distruzioni furono di entità leggermente inferiore rispetto a Messina; tuttavia nei rioni più popolari della città i crolli totali furono estesissimi e in molti edifici sprofondarono tutte le strutture interne. Il terremoto fu quasi totalmente distruttivo in diversi centri abitati importanti come Calanna, Sant'Alessio e Sant'Eufemia in Aspromonte, Villa San Giovanni, e in tutte le località della riviera sia a nord che a sud di Reggio, che furono devastate anche dal grande tsunami che seguì la scossa. Distruzioni estese fino a circa il 50% degli edifici furono riscontrate in 35 località, fra cui, in Calabria, alcuni paesi posti sul versante ionico dell'Aspromonte. L'area all'interno della quale gli effetti del terremoto furono gravi, con crolli totali limitati, ma molti edifici gravemente lesionati e resi inagibili, fu molto vasta e comprese oltre 170 località. Tale area include, in Calabria, la piana di Gioia Tauro, la Grecanica, la Locride e arriva fino alla penisola di capo Vaticano e alle località dell'istmo di Marcellinara, in provincia di Catanzaro; in Sicilia, comprende tutto il versante ionico dei Peloritani fino alle pendici nordorientali dell'Etna. Secondo i dati statistici rilevati dal Ministero dei Lavori pubblici, approssimati per difetto, nelle tre province di Messina, Reggio Calabria e Catanzaro (che all'epoca comprendeva anche l'attuale provincia di Vibo Valentia), le case distrutte o demolite furono oltre 40.000; quelle gravemente danneggiate e rese totalmente o parzialmente inabitabili circa 33.000; quelle lesionate circa 68.000. La popolazione rimasta senza tetto fu certamente superiore a 120.000 persone. Danni più leggeri, con lesioni in genere non gravi e in un numero complessivamente limitato di case o edifici pubblici, furono rilevati in oltre 350 centri abitati sparsi su un'area estesa a nord fino alle province di Crotone e Cosenza; in Sicilia fino ad alcune località delle province di Enna, Caltanissetta, Agrigento e Ragusa. La scossa fu sentita dalle persone in un'area vastissima: in direzione nord fino all'isola d'Ischia e alla provincia di Campobasso; verso est fino al Montenegro, all'Albania e alle isole Ionie della Grecia; verso sud fu sensibile fino all'arcipelago maltese; a ovest fino a Ustica.

Terremoto del 31.10.1967, ore 21:08:07, lat=37.867°, lon=14.417°, $I_{max}=8$, $M_e=5.6$: la scossa principale avvenne il 31 ottobre alle ore 21:08 GMT e fu avvertita in due fasi della durata complessiva di 15 secondi. Fu seguita da numerose repliche che durarono fino oltre la metà di dicembre.

Il terremoto colpì la regione occidentale dei Monti Nebrodi, al confine tra le province di Messina e di Enna, causando gravi danni nei centri abitati del versante settentrionale e del versante meridionale. Nei giorni seguenti, e fino oltre la metà di dicembre, furono avvertite numerose repliche che, seppure più leggere, aggravarono progressivamente le condizioni statiche degli edifici, causando nelle località più colpite un diffuso stato di inagibilità. A Mistretta, su 2.700 abitazioni, 2.286 (85%) furono danneggiate più o meno gravemente e circa 300 (11%) furono dichiarate inabitabili e fatte sgomberare. A Capizzi, su 1.100 abitazioni, 907 (82%) risultarono danneggiate e più di 100 (9%) furono dichiarate inabitabili. A Santo Stefano di Camastra il 70% delle abitazioni fu lesionato e oltre il 10% divenne inabitabile; a Nicosia quasi tutte le abitazioni

furono lesionate e alcune dovettero essere demolite; a Cerami le abitazioni crollate o pericolanti furono 40 e quelle gravemente danneggiate più di 400; a Castel di Lucio 2 case crollarono e 225 furono danneggiate, di queste 22 furono fatte sgomberare e 17 furono dichiarate solo parzialmente abitabili. In una quindicina di altri comuni gli edifici subirono lesioni rilevanti, e in altrettanti si ebbero danni più leggeri. Complessivamente, secondo le stime governative, più di 6.000 abitazioni urbane e rurali e numerose chiese, scuole, ospedali, sedi di enti pubblici e strade subirono danni di varia entità. La scossa fu avvertita in tutta la Sicilia: a Palermo, Trapani e Agrigento causò notevole panico nella popolazione; a Messina, Catania, Siracusa e Ragusa fu sentita più leggermente. A Nicosia, tra il 31 ottobre e il 9 novembre, furono avvertite 27 scosse.

Terremoto del 15.04.1978, ore 23:33:47, lat=38.117°, lon=15.017°, $I_{max}=8$, $M_e=5.7$: la scossa avvenne il 15 aprile 1978 alle ore 23:34 GMT ca.; colpi, l'area tirrenica della Sicilia nord – orientale e fu risentita in quasi tutta la Sicilia, esclusa la provincia di Trapani, e nella Calabria centro – meridionale. Furono riscontrati danni apprezzabili in circa 100 località. Gli effetti più gravi riguardarono una ventina di centri situati lungo la costa e nell'immediato entroterra del golfo di Patti e sul versante nord – orientale dei Monti Nebrodi (Barcellona Pozzo di Gotto, Castoreale, Falcone, Oliveri, Patti, Brolo, Gioiosa Marea, Naso, San Piero Patti, Sant'Agata di Militello, Sant'Angelo di Brolo, etc.). Danni notevoli furono riscontrati anche in alcuni paesi delle isole Eolie, in particolare sulle isole di Vulcano e di Lipari. Complessivamente, oltre 70 edifici crollarono totalmente, 650 furono giudicati da demolire totalmente o parzialmente e altri 2.000 circa furono gravemente danneggiati. Le distruzioni più rilevanti riguardarono i centri storici, dove le caratteristiche costruttive e urbanistiche produssero un'amplificazione degli effetti sismici. Nelle località principali dell'area colpita (Patti, Barcellona Pozzo di Gotto, Castoreale, Milazzo), la parte antica degli abitati era costituita da edifici costruiti in muratura di pietre legate da malta comune; soffitti alti generalmente più di 4 metri, spesso con volte d'incannucciato; sezioni portanti costituite da archi in mattoni e tetti esercitanti una notevole spinta laterale. La rete stradale era principalmente costituita da vie strette e vicoli; gli edifici, spesso uniti tra loro da strutture murarie in comune, erano staticamente e dinamicamente interdipendenti. Negli edifici più recenti e in quelli costruiti secondo norme antisismiche i danni furono minori e riguardarono soprattutto tramezzature e pareti divisorie.

2.2 Sismicità storica e pericolosità sismica del comune di Novara di Sicilia

Il comune di Novara di Sicilia è situato in un'area caratterizzata da un'intensa attività sismica generata dalle faglie sismogenetiche presenti nel territorio circostante. La Fig. 2.2 mostra la distribuzione degli epicentri dei terremoti avvenuti nell'area tra il 1981 e il 2011 con una indicazione della classe di magnitudo. Questa attività è caratterizzata da un'elevata frequenza di eventi di bassa energia poco profondi, anche se numerosi sono gli eventi, con epicentro distante da Novara di Sicilia meno di 20 km, che negli ultimi 30 anni hanno avuto una magnitudo locale maggiore di 4.

Il "*Catalogo dei forti terremoti dal 461 a.C. al 1997*" dell'INGV permette di individuare più di venti forti terremoti con epicentro in Sicilia che, ipotizzando normali leggi di attenuazione dell'Intensità macrosismica, dovrebbero avere avuto a Novara di Sicilia effetti macrosismici di notevole intensità ($I > VI$ grado MCS) ma, mancando documentazioni storiche che consentano di effettuare attendibili stime di intensità macrosismica, essi sono trascurati nella descrizione seguente.

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

In Fig. 2.4 è riportata la storia sismica del comune di Novara di Sicilia estratta dal Database Macrosismico Italiano (DBMI11, Locati *et al.*, 2011). Da questa si evince come dalla fine del 1700 ben 21 eventi sismici abbiano prodotto a Novara di Sicilia effetti che hanno condotto a stime dell'intensità macrosismica. L'elevato numero di eventi risentiti è chiaramente legato al posizione geografica del comune, a meta strada tra le strutture sismogenetiche del Sicilia settentrionale e quelle della Sicilia orientale.

Il primo terremoto storico di cui si conosca il risentimento a Novara di Sicilia è quello del 11 gennaio 1693 ($M_W = 7.41$) che ha avuto massima intensità macrosismica risentita nel comune pari a VII grado MCS. Il secondo terremoto storico di cui si abbia informazione di un importante risentimento sismico (VII grado MCS) è quello del 20 febbraio 1818 di $M_W = 6.23$. Il massimo risentimento sismico (VII-VIII grado MCS) lo si deve al terremoto del 28 dicembre 1908, con epicentro nello stretto di Messina. La Fig. 2.5 mostra la distribuzione delle intensità macrosismiche risentite a seguito di tale terremoto.

In tempi più recenti il comune di Novara di Sicilia ha risentito di effetti macrosismici a seguito del terremoto del 15 aprile del 1978. Tale evento di magnitudo $M_W = 6.06$ è stato localizzato nel Golfo di Patti e la stima della sua intensità macrosismica media nel comune di Novara di Sicilia è pari al VII grado MCS.

La scossa causò lievi lesioni in qualche casa privata con la caduta di tegole. Il terremoto provocò l'aggravamento di lesioni preesistenti agli intonaci della Chiesa della Nunziata (già in cattivo stato di conservazione) e la caduta di frammenti di cornice. L'evento sismico causò inoltre piccole lesioni nella Chiesa Madre.

Questo terremoto è stato attribuito alla struttura sismogenetica "Patti Eolie" che si estende dai Monti Peloritani sino alle Isole Eolie (DISS, Database of Individual Seismogenic Sources, Basili *et al.*, 2008).

Il comune di Novara di Sicilia sorge a ridosso della su menzionata struttura sismogenetica ed in prossimità di altre due importanti zone sismogenetiche, quella Sud Tirrenica e quella Calabria (Fig. 2.6, DISS, Basili *et al.*, 2008) che hanno in passato generato forti terremoti (Guidoboni *et al.*, 2007; Rovida *et al.*, 2011).

In Tab. 2.1 sono riportati i valori della pericolosità sismica relativi al comune di Novara di Sicilia; questa è espressa in termini di accelerazione orizzontale massima al suolo (PGA) con probabilità di eccedenza del 2, 5, 10, 22, 30% in 50 anni, su suoli rigidi ($V_s > 800$ m/s), come previsto dall'Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n. 3519, All. 1b, estratta da: <http://zonesismiche.mi.ingv.it>. Le stime di PGA sono state determinate con la tecnica di analisi statistica degli effetti stimati sulla base dei dati contenuti nei cataloghi sismici, proposta da Cornell (Cornell, 1968; Bender & Perkins, 1987; Gruppo di Lavoro MPS, 2004) e la loro incertezza è espressa mediante percentili, considerando il catalogo un campione rappresentativo dell'intera popolazione di eventi possibili con effetti significativi nel luogo.

La mappa riportata in Fig. 2.7 mostra come il comune di Novara di Sicilia ricada in un'area con PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, cioè periodo di ritorno 475 a, compresa fra 0.200 g e 0.225 g. Questa è una scelta di parametri convenzionale ed in particolare è il valore di riferimento per l'Eurocodice8 (EC8), nel quale vengono stabilite le norme per il progetto e la costruzione di strutture.

Vista l'elevata pericolosità sismica, il comune di Novara di Sicilia risulta inserito in Zona Sismica 2.

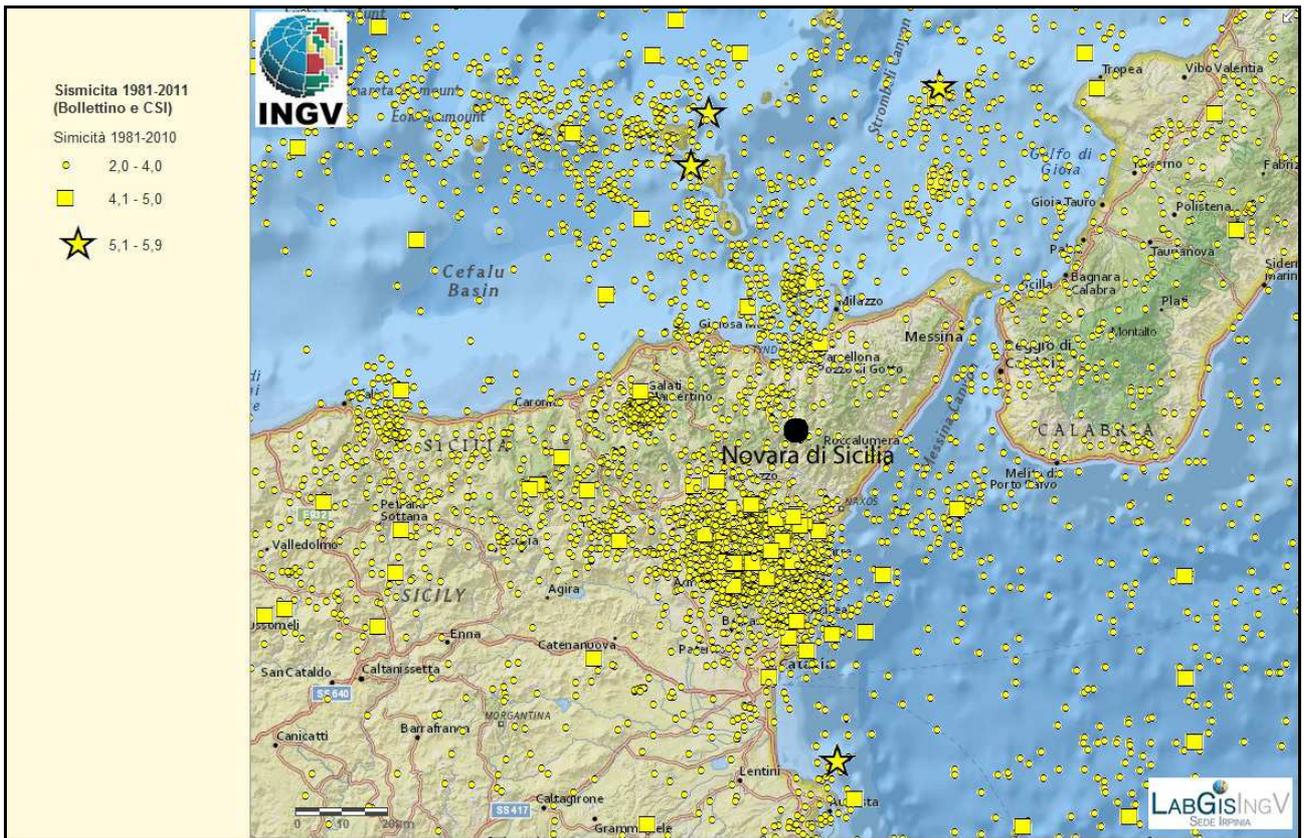


Fig. 2.2 - Distribuzione degli epicentri dei terremoti strumentali localizzati dall'INGV tra il 1981 e il 2011.

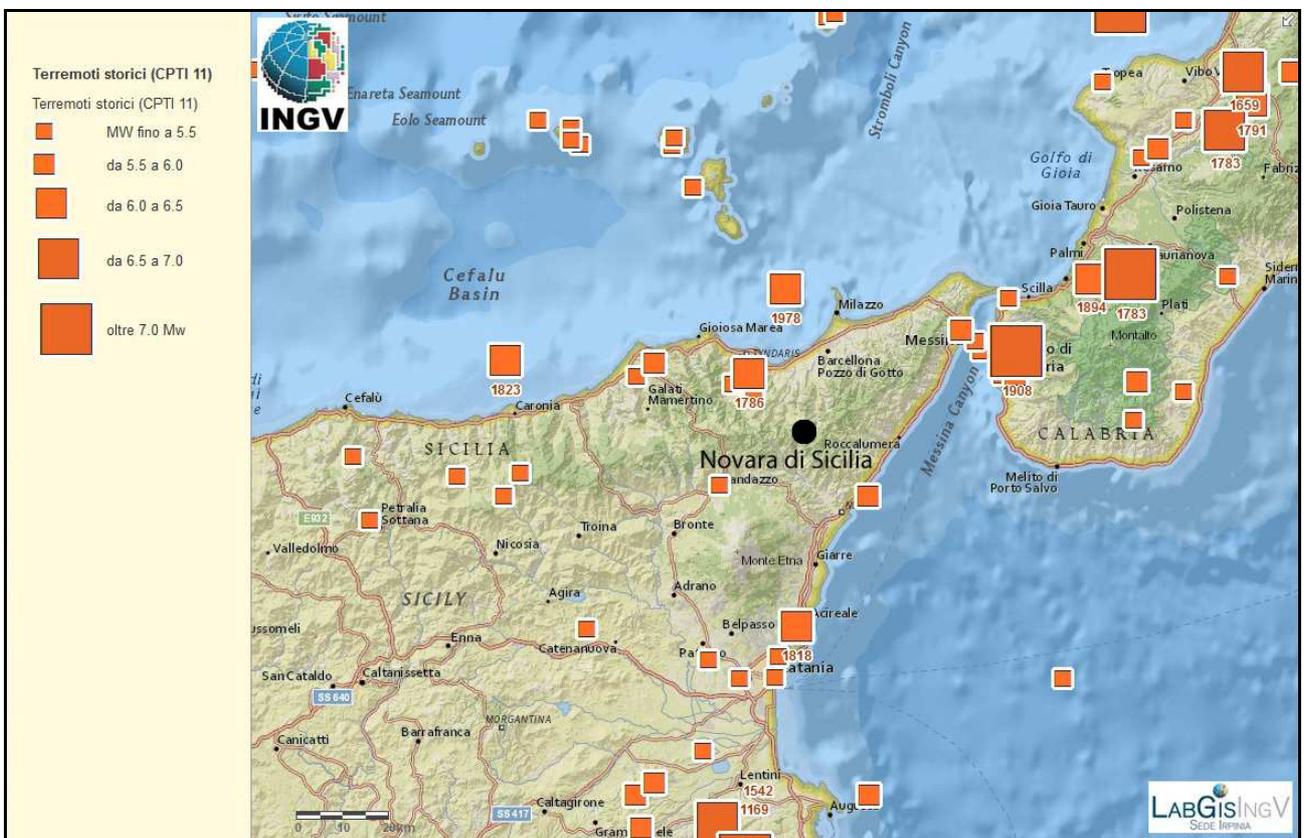


Fig. 2.3 - Mappa della distribuzione degli epicentri degli eventi sismici storici estratta dal Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI11, Rovida *et al.*, 2011).

Storia sismica di Novara di Sicilia [38.015, 15.130]

Numero di eventi: 21

Effetti

In occasione del terremoto del:

I [MCS]	Data	Ax	Np	I ₀ Mw
7	1693 01 11 13:30	Sicilia orientale	185	11 7.41 ±0.15
7	1818 02 20 18:15	Catanese	128	9-10 6.23 ±0.12
3-4	1884 01 10 20:35	VERSANTE SETTENTRIONALE	14	5 4.39 ±0.34
4	1892 03 16 12:38	ALICUDI	28	7 5.29 ±0.31
6-7	1893 04 22 03:20	MONTALBANO	33	6-7 4.87 ±0.28
6	1894 02 20	NOVARA DI SICILIA	16	5 4.28 ±0.36
NF	1898 05 14 04:45	S. M. LICODIA	35	7-8 4.39 ±0.26
3	1898 08 12	ROMETTA	69	6-7 4.89 ±0.22
5	1905 09 08 01:43	Calabria meridionale	895	7.04 ±0.16
7	1908 12 10 06:20	NOVARA DI SICILIA	64	7 5.13 ±0.26
7-8	1908 12 28 04:2	Calabria meridionale-Messina	800	11 7.10 ±0.15
4-5	1926 08 17	ISOLA DI SALINA	44	7-8 5.41 ±0.23
NF	1947 05 11 06:3	Calabria centrale	254	8 5.70 ±0.13
4-5	1975 01 16 00:0	Stretto di Messina	346	7-8 5.20 ±0.09
NF	1977 06 05 13:5	MISTRETTA	108	6 4.72 ±0.11
3	1978 03 11 19:2	Calabria meridionale	126	8 5.24 ±0.09
7	1978 04 15 23:3	Golfo di Patti	332	6.06 ±0.09
3-4	1980 11 23 18:3	Irpinia-Basilicata	1394	10 6.89 ±0.09
4-5	1990 12 13 00:2	Sicilia sud-orientale	304	7 5.64 ±0.09
5-6	1999 02 14 11:4	Patti	101	4.69 ±0.09
4-5	2002 09 06 01:2	PALERMO	132	5.94 ±0.09

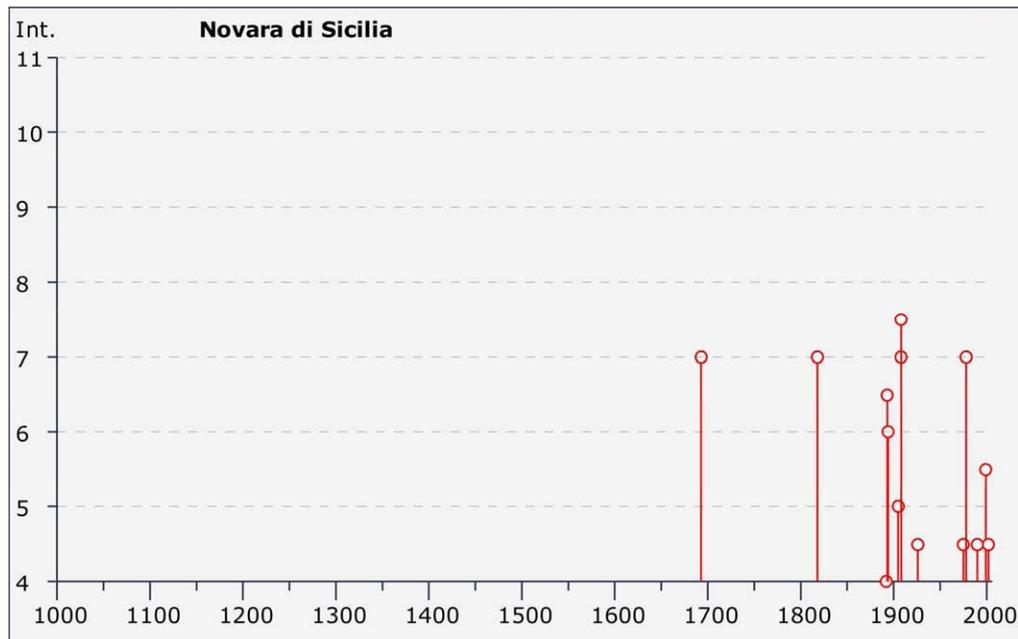


Fig. 2.4 - Storia sismica del comune di Novara di Sicilia estratta dal Database Macrosismico Italiano (DBMI11, Locati *et al.*, 2011); I_s è l'intensità macrosismica risentita (MCS); Ax indica l'area epicentrale; Np è il numero di località per le quali è stata determinata l'intensità macrosismica; I_0 è l'intensità macrosismica epicentrale (MCS); M_w è la magnitudo momento dell'evento; L'ultima colonna indica il valore di incertezza della stima di M_w .

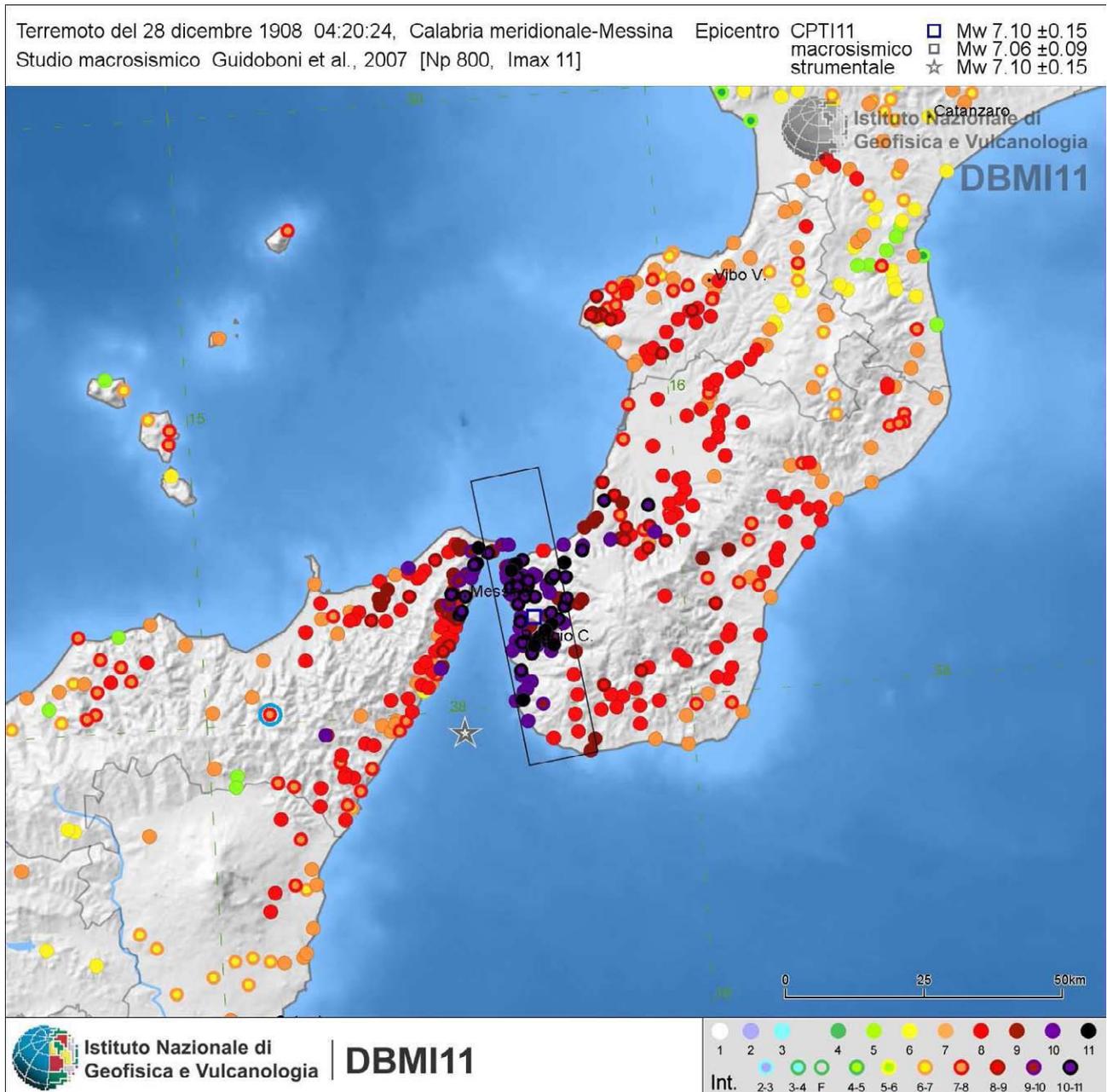


Fig. 2.5 - Mappa delle intensità macrosismiche risentite a seguito dell'evento del 28 dicembre 1908, estratta dal catalogo Database Macrosismico Italiano (DBMI11, Locati *et al.*, 2011). Il cerchio azzurro indica il comune di Novara di Sicilia.

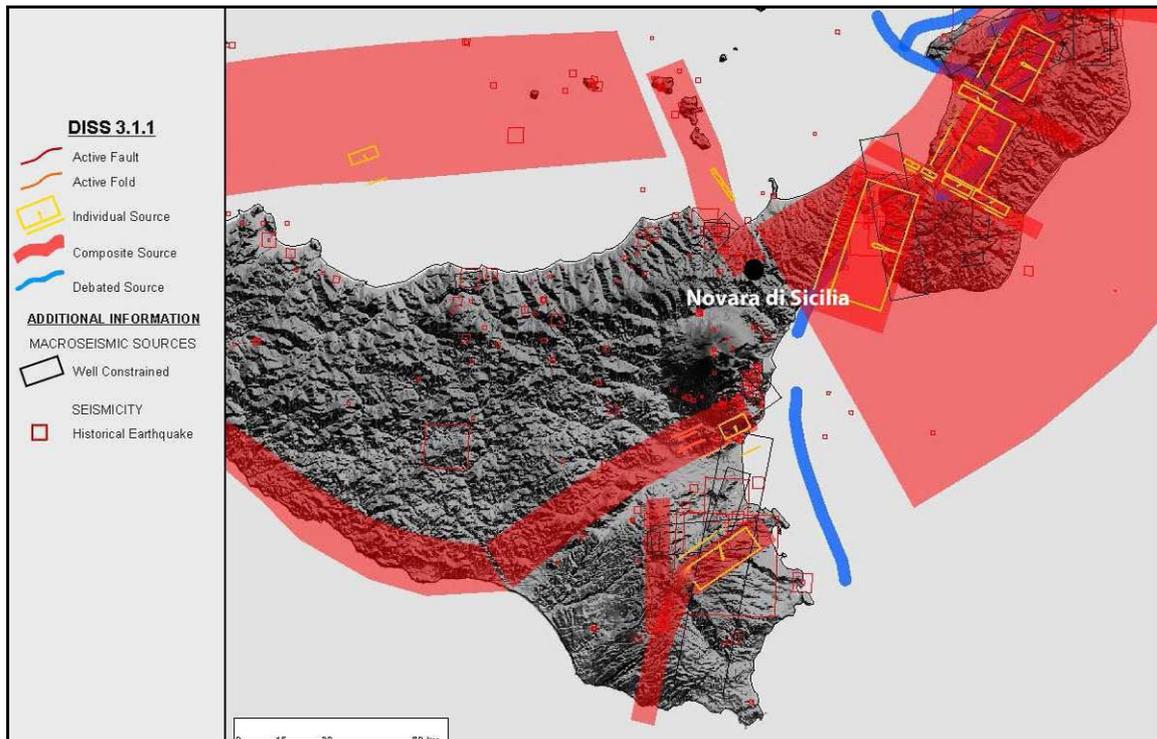


Fig. 2.6 – Mappa delle principali zone sismogenetiche estratte dal Database of Individual Seismogenic Sources (Basili *et al.*, 2008).

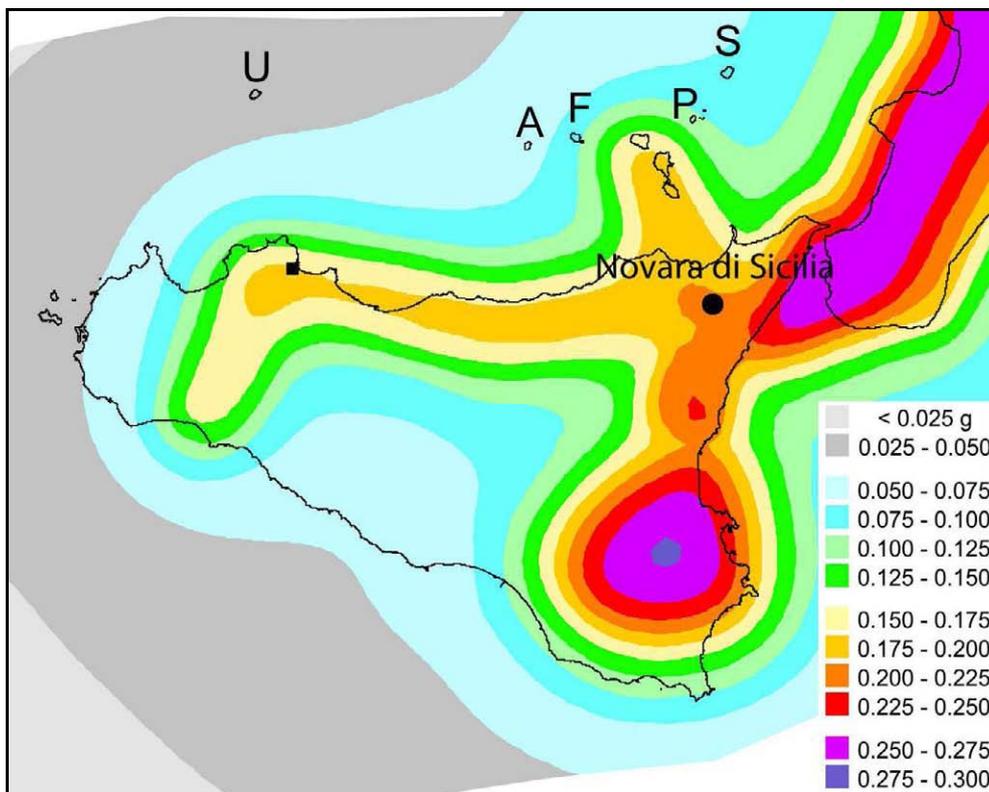


Fig. 2.7 - Mappa della pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ($V_s > 800$ m/s), Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n. 3519, All.1b; estratta da: <http://zonesismiche.mi.ingv.it>.

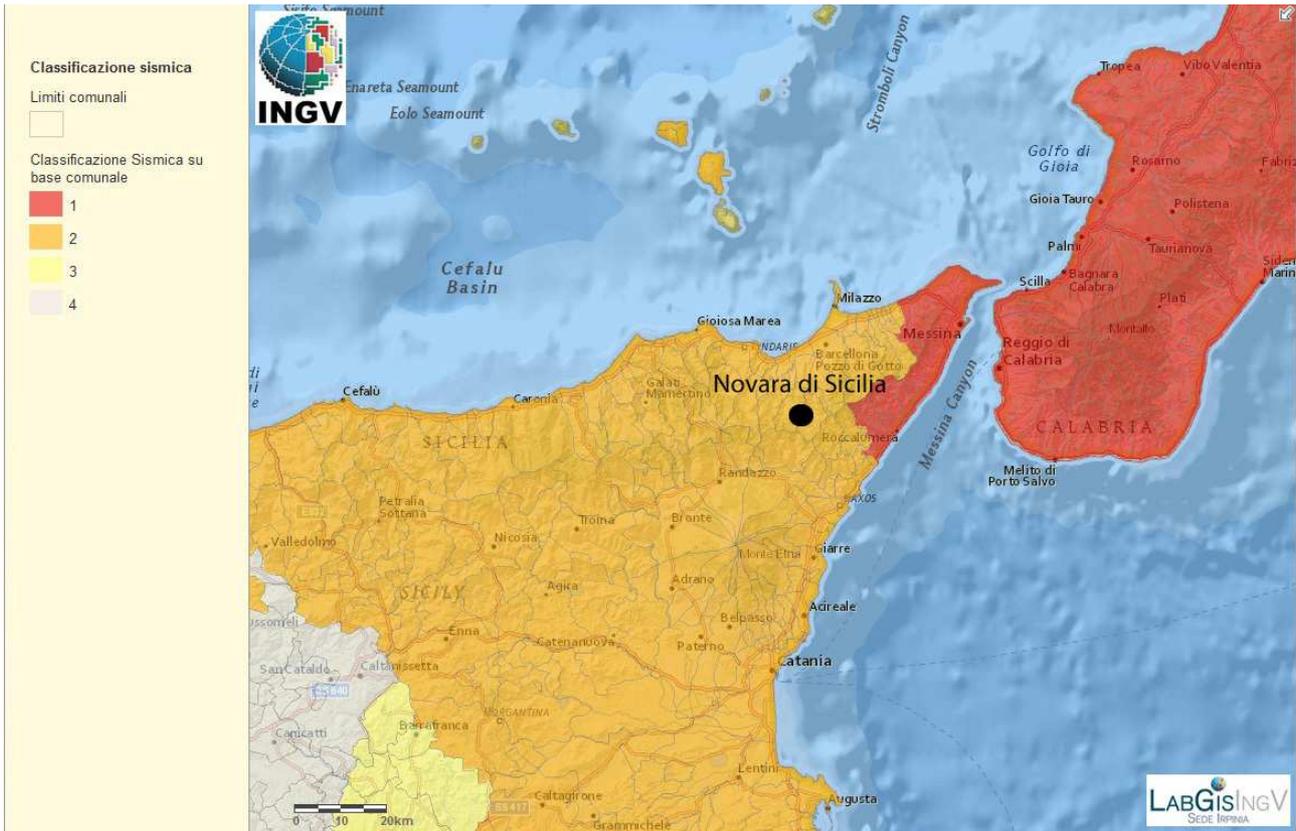


Fig. 2.8 - Classificazione sismica comunale 2010, Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la delibera della Giunta Regionale della Sicilia n. 408 del 19.12.2003.

Parametro di scuotimento PGA (g)		Probabilità in 50 anni/Periodo di ritorno				
		2%	5%	10%	22%	30%
		2475a	975a	475a	201a	140a
Percentile	16	0.2662	0.2020	0.1584	0.1144	0.0980
	50	0.3371	0.2564	0.2033	0.1493	0.1296
	84	0.4006	0.2948	0.2280	0.1628	0.1396

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

2.3 Faglie attive

Rispetto al pericolo derivante dalla presenza di faglie attive e capaci nel territorio di Novara di Sicilia 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 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. Dopo la sua prima implementazione il database

ha subito numerose modifiche. Molte faglie sono state nuovamente analizzate e 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 certamente possono produrre significativi effetti sulle aree costiere circostanti, compresi gli tsunami.

Secondo tale catalogo, il territorio di Novara di Sicilia è parzialmente attraversato da una faglia attiva di tipo diretto, denominata Tindari – Novara di Sicilia, orientata NNW – SSE, con immersione ENE (http://sgi2.isprambiente.it/website/ithaca/scheda_faglia.asp?tnid=12700#). Questa faglia corrisponde alla struttura sismogenetica “Patti-Eolie”.

Nessuna informazione è fornita riguardo all’entità dei rigetti, all’ultimo evento occorso, o agli studi che hanno permesso l’identificazione di tale faglia.

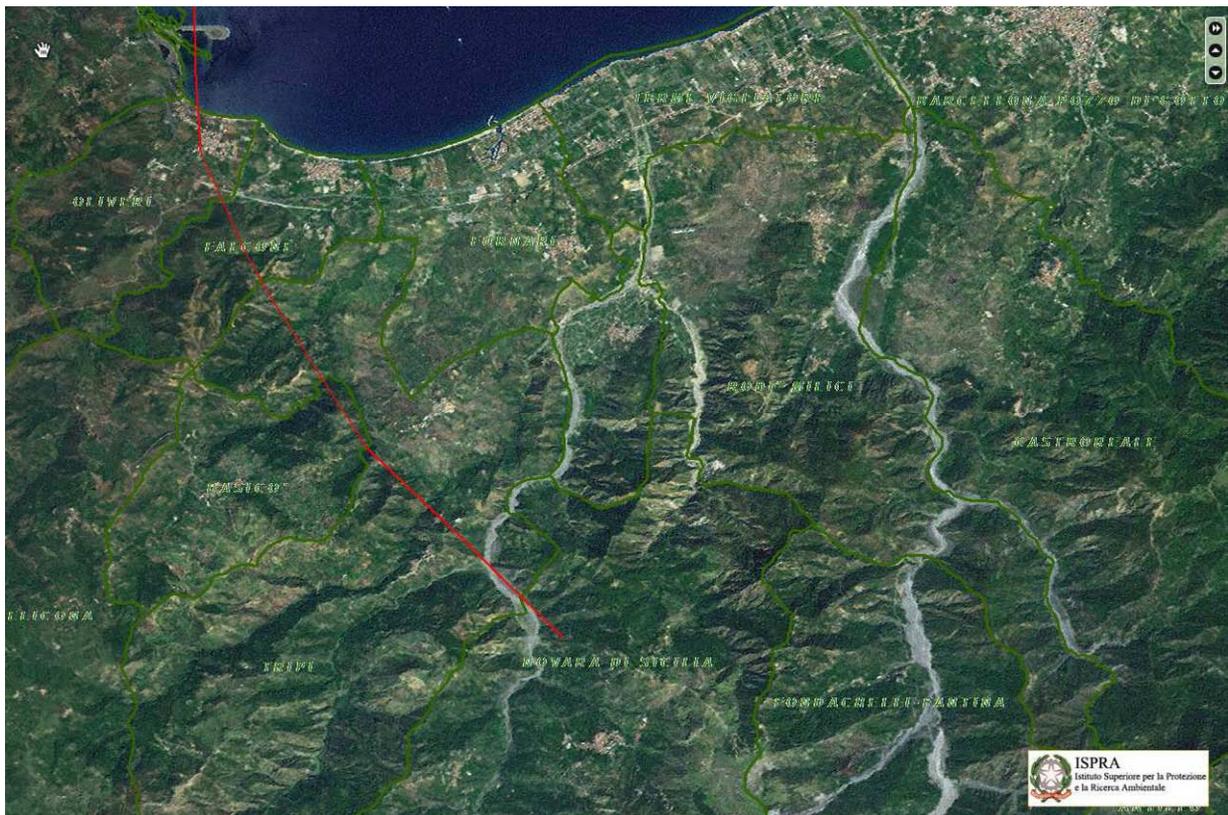


Fig. 2.9 – Ubicazione della faglia Tindari-Novara di Sicilia nel catalogo Ithaca-ISPRA.

3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

3.1 Inquadramento geologico

Il territorio di Novara di Sicilia ricade nel comparto geologico dei Monti Peloritani. L'edificio tettonico del settore peloritano è costituito da un set di corpi tettonici formati in prevalenza da rocce metamorfiche di basso ed alto grado, a luoghi con resti di coperture sedimentarie meso – cenozoiche.

Secondo le ricostruzioni più recenti (Giunta *et al.*, 1998) questo settore corrisponde nel suo insieme ad una zona della catena appenninico – maghrebide, nella quale sono rappresentate le unità tettono – stratigrafiche di primo ordine più elevate che dal basso verso l'alto sono (Fig. 3.1):

Unità Longi-Taormina: affiora nei settori frontali dell'elemento peloritano secondo un andamento NW-SE da S. Agata di Militello fino a Taormina; è costituita da un basamento epimetamorfico ricoperto da una successione sedimentaria meso – cenozoica, che mostra marcate differenze di facies correlabili con differenti storie tettono – sedimentarie;

Unità Fondachelli: costituita da un basamento epimetamorfico pre-alpino dato da filladi, metareniti e rare metabasiti e metacalcari;

Unità Mandanici: costituita da un basamento pre-alpino composto da filladi, quarziti, metabasiti, marmi e porfiroidi;

Unità Mela: costituita da un basamento pre-alpino polimetamorfico, rappresentato da paragneiss passanti a micascisti, con intercalazioni di metabasiti e marmi (unità di recente istituzione);

Unità Aspromonte: formata da un basamento varisco metamorfico di medio-alto grado, costituito da paragneiss e micascisti, gneiss occhiadini e metagraniti, anfiboliti, ultramafiti e marmi, intrusi da plutonici tardo – varisiche, e riequilibrato in età alpina.

In discordanza su queste unità tettoniche poggia estesamente la Formazione Stilo – Capo d'Orlando, di età Oligocene sup. (?) – Miocene inf., costituita essenzialmente da torbiditi silico – clastiche, il cui significato paleo-tettonico è di controversa interpretazione. La sedimentazione di questa formazione si interrompe durante il Langhiano, a seguito del ricoprimento tettonico da parte di una coltre di argille variegata (Unità Antisicilidi), di dubbia provenienza. In discordanza sulle Unità Antisicilidi e sui terreni sottostanti, giace la formazione miocenica delle Calcareniti di Floresta, costituita da arkose a cemento carbonatico, ricche di briozoi.

I depositi tortoniano-messiniani affiorano prevalentemente nella parte settentrionale dei Monti Peloritani e poggiano in discordanza su tutti i terreni più antichi. Le successioni plioceniche affiorano in modo discontinuo ed arealmente molto limitato nei settori settentrionali dei Monti Peloritani, mentre le successioni plio – pleistoceniche occupano le depressioni costiere a pronunciato controllo neotettonico.

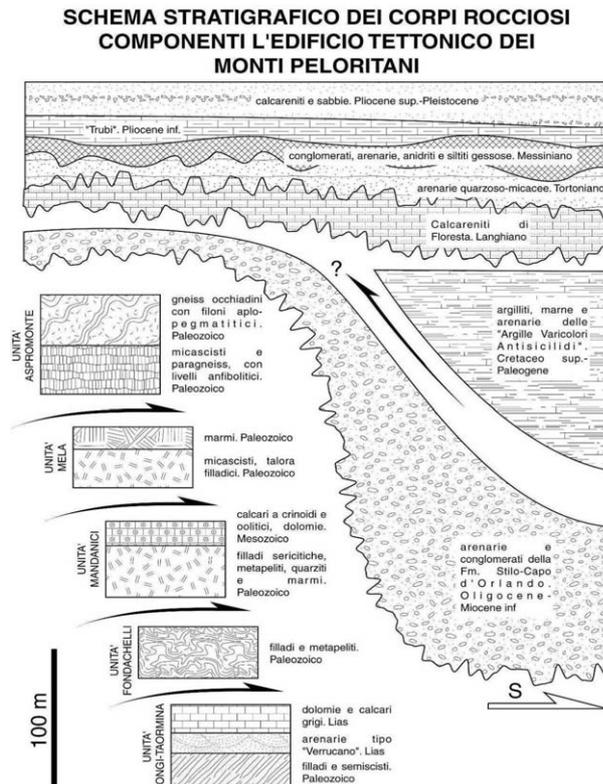


Fig. 3.1 – Schema tettono – stratigrafico dei Monti Peloritani (modificato Giunta & Nigro, 1998).

3.2 Assetto Tettonico

I Monti Peloritani costituiscono l'elemento tettonico geometricamente più elevato dell'edificio strutturale siciliano. Le unità tettoniche rappresentano il settore meridionale dell'Arco Calabro compreso tra il Bacino Tirrenico caratterizzato da processi di assottigliamento crostale a partire dal Miocene superiore ed il Bacino Ionico in subduzione al di sotto dell'arco calabro (Scandone, 1979). Nei Monti peloritani oltre alle deformazioni duttili varisiche sono presenti strutture ascrivibili alle diverse fasi deformative alpine che si sono succedute durante la costruzione dell'edificio tettonico dall'Oligocene fino all'attuale (Fig. 3.2).

Il sovrascorrimento delle unità peloritane inizia nell'Oligocene superiore (Amodio Morelli *et al.*, 1976; Bonardi *et al.*, 1976) e si protrae nel Miocene attraverso diverse fasi deformative (Giunta e Nigro, 1998).

La deformazione oligo – miocenica dell'area peloritana è stata contraddistinta da diversi momenti nei quali si è avuta la formazione di pieghe associate a sistemi di sovrascorrimenti che hanno frammentato ed impilato con polarità meridionale le diverse unità tettoniche.

Il fronte esterno dell'Arco Calabro, nei settori ionici sommersi antistanti la Calabria è attualmente soggetto a processi di sovrascorrimento (Finetti, 1982; Finetti *et al.*, 1996), mentre nei settori tirrenici sono in atto processi di assottigliamento crostale iniziati a partire dal Miocene superiore probabilmente conseguenti a fenomeni di collasso della catena legati alla dinamica di apertura del Bacino Tirrenico (Giunta *et al.*, 2000a, Pepe *et al.*, 2000). Le unità tettoniche di primo ordine sono limitate da estese superfici di *thrust* a basso angolo, e spesso mostrano piegamenti alla meso- e macroscale e delle dislocazioni fragili successive. Le superfici di sovrascorrimento principali esprimono l'effetto della fase deformativa alpina oligo – miocenica, attraverso la quale si è determinata la sovrapposizione tettonica delle unità di primo ordine, mentre le dislocazioni successive (mediamente ad angolo più elevato) ed i piegamenti delle superfici di sovrascorrimento

appaiono riferibili alle fasi tettoniche del Miocene sup. e del Plio – Pleistocene. Lungo i contatti tettonici di primo ordine, specie tra le unità Fondachelli e Mandanici, e tra queste e l'Unità Aspromonte, sono presenti lembi di successioni sedimentarie meso – cenozoiche (“trucioli tettonici” degli Autori), interessati a luoghi da metamorfismo alpino di basso grado.

Nei Monti Peloritani le geometrie dei sovrascorrimenti sono spesso di tipo *ramp – flat – ramp* (Nigro, 1994; Giunta & Nigro, 1998) o date da strutture di tipo duplex di vario ordine (Nigro, 1994; Giunta & Somma, 1997). Tali geometrie, e la presenza di una pronunciata disarmonia nel piegamento, sono determinate dalla presenza di una serie di superfici di scollamento ad andamento regionale che si impostano sia all'interno dei basamenti prealpini sia all'interno delle loro coperture sedimentarie mesozoico – terziarie.

Nell'intervallo Burdigaliano superiore – Langhiano, unità costituite da Argille varicolori (“Antisicilidi”) sovrascorrono su tutto il settore peloritano.

Nell'intervallo Langhiano – Serravalliano ulteriori strutture fuori sequenza coinvolgono anche le coltri “antisicilidi”. Durante questo periodo si realizza la progressiva sovrapposizione tra le due porzioni di catena (peloritana e nebrodica), attraverso la linea di Taormina che inizia ad assumere l'attuale significato di sovrascorrimento.

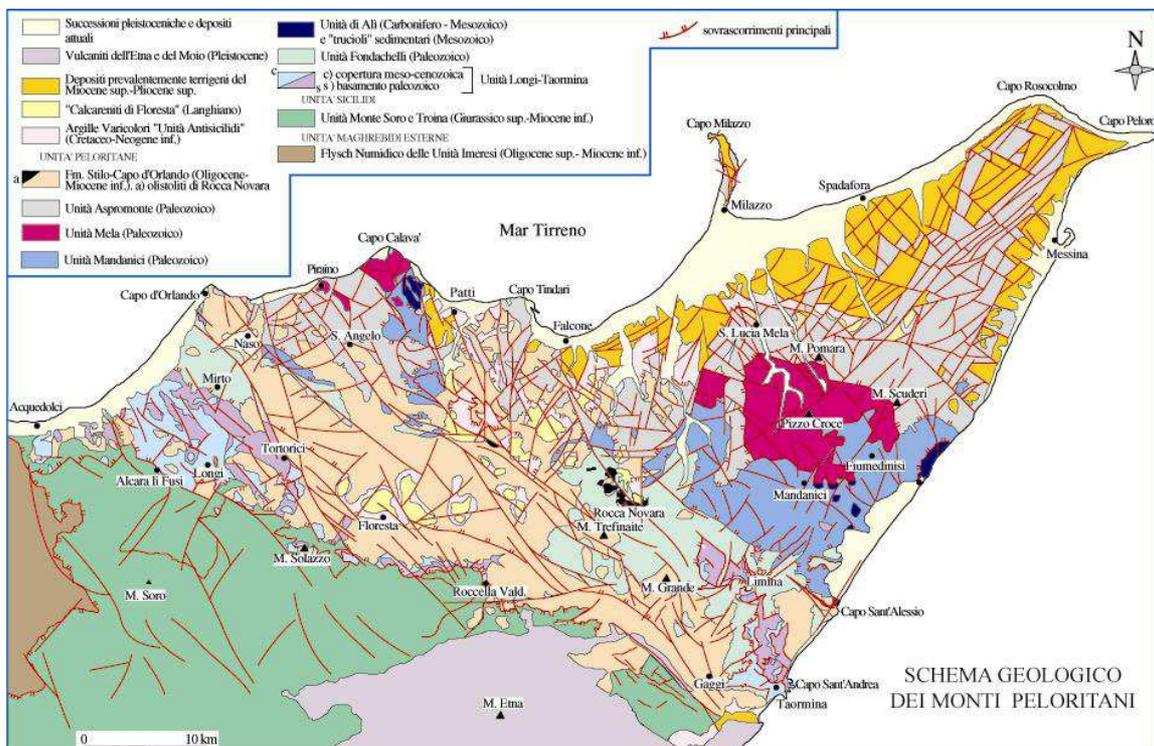


Fig 3.2 – Schema geologico dei Monti Peloritani (modificato da: Giunta & Nigro, 1998; Somma, 1998).

A partire dal Miocene superiore l'edificio tettonico così costruito viene interessato da sistemi di faglie inverse ad alto angolo (*breaching*) che determinano modesti raccorciamenti (Giunta & Nigro, 1998).

Questo tipo di raccorciamenti si sarebbe protratto fino alla fine del Miocene quando i primi effetti connessi con l'evoluzione del bacino Tirrenico meridionale hanno determinato l'attivazione di fasci di faglie estensionali a basso angolo, che invertendo il movimento di alcune superfici di *thrust* avrebbero determinato un generale assottigliamento della catena, stirando l'edificio tettonico con una generale vergenza settentrionale.

Questa fase tettonica estensionale sarebbe responsabile della enucleazione di strutture quali *ramp decollement*, *roll – over anticline* e sovrapposizioni di tipo *younger on older*: osservabili sia

nei Monti Peloritani che in buona parte delle Maghrebidi Siciliane.

Nell'intervallo Pliocene – Pleistocene una fase tettonica a marcato carattere trascorrente ha generato una complicata griglia di faglie *strike – slip* ad alto angolo rappresentata da due distinti sistemi: uno sintetico a cinematica destrale orientato da NO – SE a E – O e uno antitetico, prevalentemente sinistro prevalentemente orientato da N – S e NE – SO Tali strutture osservabili dalla scala chilometrica a quella metrica, hanno controllato la genesi e l'evoluzione di depressioni tettoniche sedi di sedimentazione clastica, presenti sia lungo le aree costiere della Sicilia settentrionale che negli antistanti settori sommersi tirrenici.

3.2.1 Neotettonica

Le deformazioni legate agli eventi neotettonici sono in parte ancora attive e alle zone di taglio ad essa collegate sono da imputarsi gli eventi sismici dell'area (Fig. 3.3).

Dal Pliocene Superiore al Pleistocene la tettonogenesi coinvolge le aree più meridionali e il fronte della catena si sposta nelle aree marine del canale di Sicilia (Nigro & Renda, 1999).

Nel settore sud-tirrenico prospiciente la costa settentrionale della Sicilia i processi di assottigliamento crostale, che a partire dal Miocene superiore hanno condotto alla formazione del Bacino Tirrenico, sarebbero stati accoppiati, nel corso del Pliocene, ad un regime tettonico trascorrente che ha causato l'attivazione di un'ampia fascia di taglio trascorrente destro orientata circa E – O (Selli, 1974; Ghisetti & Vezzani, 1977, 1984; Ghisetti, 1979; Boccaletti *et al.*, 1986; Finetti & Del Ben, 1986; Malinverno & Ryan, 1986; Giunta, 1991; Mauz & Renda, 1995; Nigro & Sulli, 1995; Abate *et al.*, 1998; Nigro, 1998; Nigro & Renda, 1999, 2000, 2001b, 2005)

Il limite settentrionale di questa zona di taglio si estende, da Ustica alle Eolie (Boccaletti & Dainelli, 1982; Boccaletti *et al.*, 1984, 1990; Renda *et al.*, 2000), mentre il più meridionale si estende lungo il Canale di Sicilia e comprende alcune strutture di primo ordine tra cui la Linea Kumeta – Alcantara (Ghisetti & Vezzani, 1984; Renda *et al.*, 2000), che si estende per oltre 300 km dai Monti di Trapani fino al Monte Etna.

Le superfici di taglio, che hanno attivato le zone di trasferimento della deformazione, (Nigro & Renda, 2001a), durante il Plio – Pleistocene distribuiscono la deformazione attraverso l'attivazione di strutture transtensive nei settori costieri tirrenici e in quelli sommersi ed attivano strutture compressive, a luoghi con componente obliqua del rigetto, nei settori del fronte di sovrascorrimento e lungo la zona assiale della catena (Fig. 3.4).

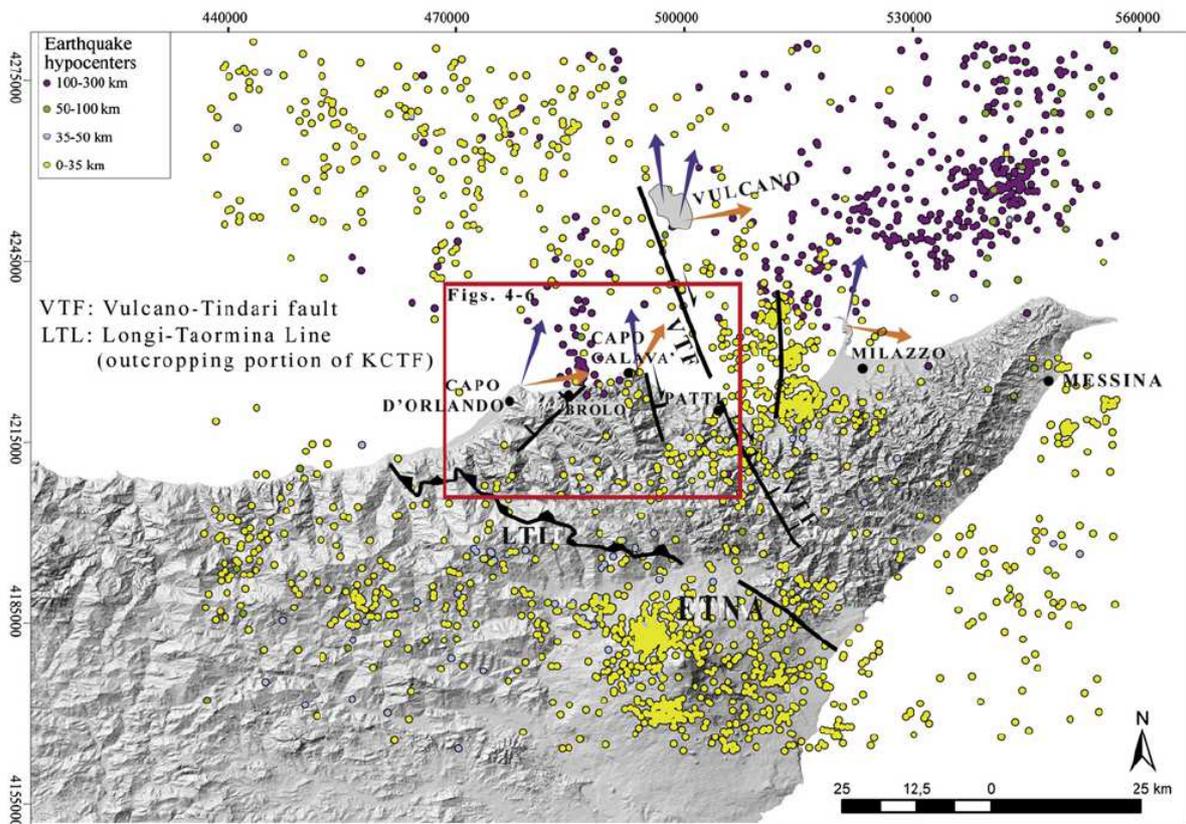


Fig 3.3 – Carta della sismicità e delle principali faglie attive della Sicilia nord-orientale (da Sulli *et al.*, 2012 sulla base dei dati forniti da Bigi *et al.*, 1992; Working Group CPTI, 2004.; Billi *et al.*, 2006; Argnani, 2009).

Le zone di taglio (laddove a volte sono concentrate le deformazioni sismiche) sono orientate NO-SE e, morfologicamente, danno luogo a dorsali a controllo strutturale (Dorsale di Capo Calavà, Dorsale di Tindari e Dorsale di Messina) e a bacini sedimentari dove sono preservati lembi di successioni pleistoceniche, le cui geometrie stratali indicano un carattere sin tettonico della deposizione (Ghisetti, 1979; Monaco *et al.*, 1996a; Catalano & Di Stefano, 1997; Lentini *et al.*, 2004; Nigro & Renda, 2005).

Lungo il versante orientale delle dorsali di Capo Calavà e di Tindari prevalgono faglie trascorrenti destre e faglie dirette a componente obliqua del rigetto orientate NO – SE, mentre lungo i loro versanti occidentali prevalgono faglie inverse e subordinatamente faglie trascorrenti sinistre orientate N – S, NNE – SSO.

Nelle depressioni tettoniche le faglie estensionali a luoghi mostrano geometrie listriche, con i tratti a basso angolo che spesso si raccordano a preesistenti superfici di sovrascorrimento. Le strutture neotettoniche corrispondono per lo più a sistemi net- e strike – slip che nel complesso sembrerebbero potersi riferire al meccanismo di taglio semplice destrale di primo ordine ad andamento circa O – E, che controlla lo sviluppo recente del margine meridionale del bacino tirrenico, e contribuisce all' "apertura" del Bacino Tirrenico, ed alla rotazione antioraria dell' Africa stabile (Giunta *et al.*, 1998; Renda *et al.*, 2000).

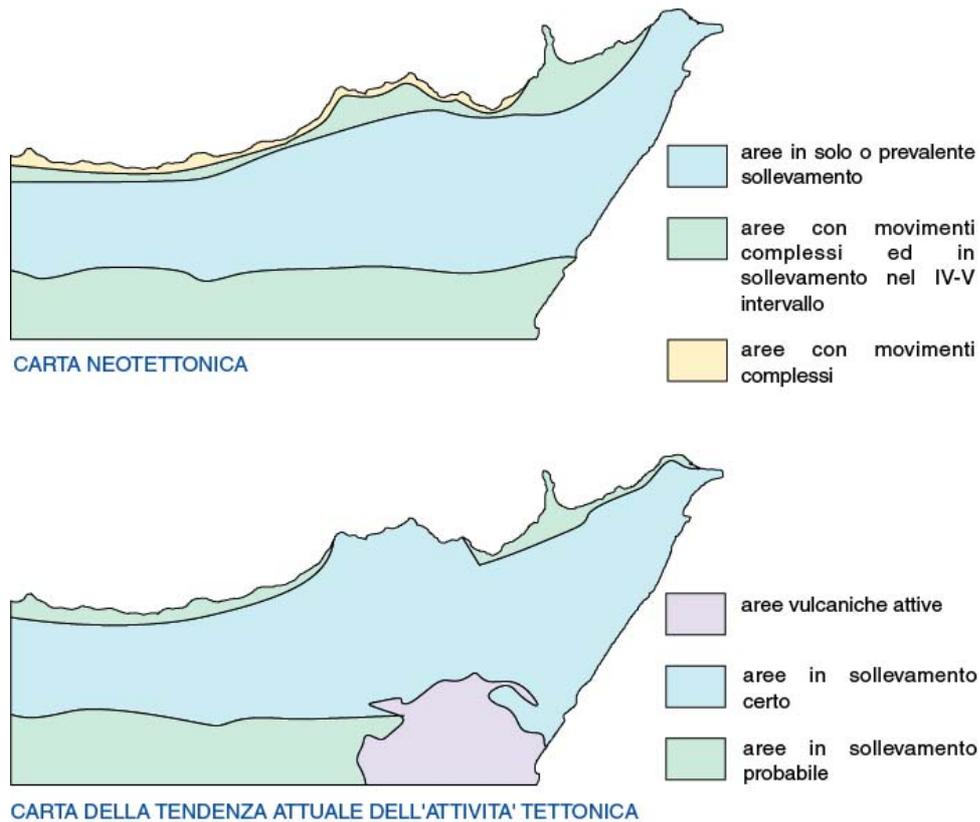


Fig. 3.4 – Carta dei sollevamenti neotettonici.

3.3 Caratteri morfologici, stratigrafici e tettonici del territorio di Novara di Sicilia

3.3.1 Caratteri morfologici

All'interno del territorio comunale di Novara di Sicilia (Fig. 3.5, 3.6) sono state segnalate come aree di interesse prioritario, insieme al centro abitato principale, alcune località periferiche, che si trovano più a Nord-Est, (S. Marco), e a Nord-Ovest, dove sono state perimetrare altre due aree di interesse che coincidono con le località di S. Basilio e Piano Vigna-Badia Vecchia.

Il territorio comunale di Novara di Sicilia occupa circa la metà orientale del settore montano e mediano del bacino del Torrente Mazzarrà. Il contesto morfologico è prettamente montano con versanti molto acclivi e profondamente incisi da numerosi impluvi di breve lunghezza ed elevata pendenza, spesso interessati, da intensa dinamica geomorfologia; localmente la morfologia assume caratteri di forte irregolarità, dove, ad aree poco acclivi e con forme sub-arrotondate, in corrispondenza degli affioramenti delle Argille Scagliose, si contrappongono versanti acclivi costituiti dalle metamorfiti di medio-alto grado dell'Unità dell'Aspromonte.

Il centro abitato principale di Novara di Sicilia è un centro abitato di versante, compreso tra le quote 550 e i 750 m s.l.m., nella porzione mediana di un versante la cui vetta raggiunge quota 950 m con pendenza media del 30% (16,7°) verso il T.te San Giorgio.

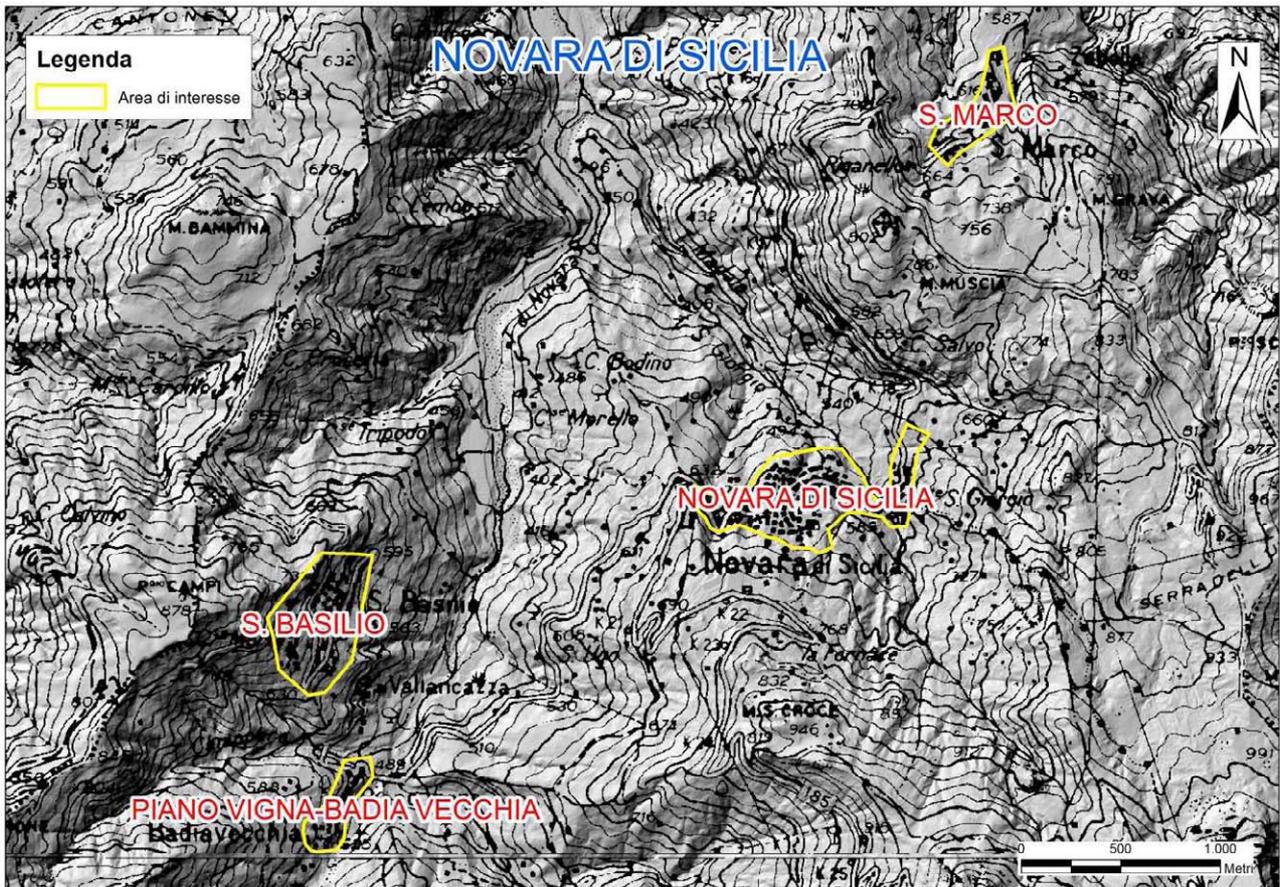


Fig. 3.5 – Stralcio del Foglio 1:50.000 n. 600: assetto morfologico del territorio di Novara di Sicilia (Me) ed individuazione delle aree di interesse (centro abitato principali e frazioni).

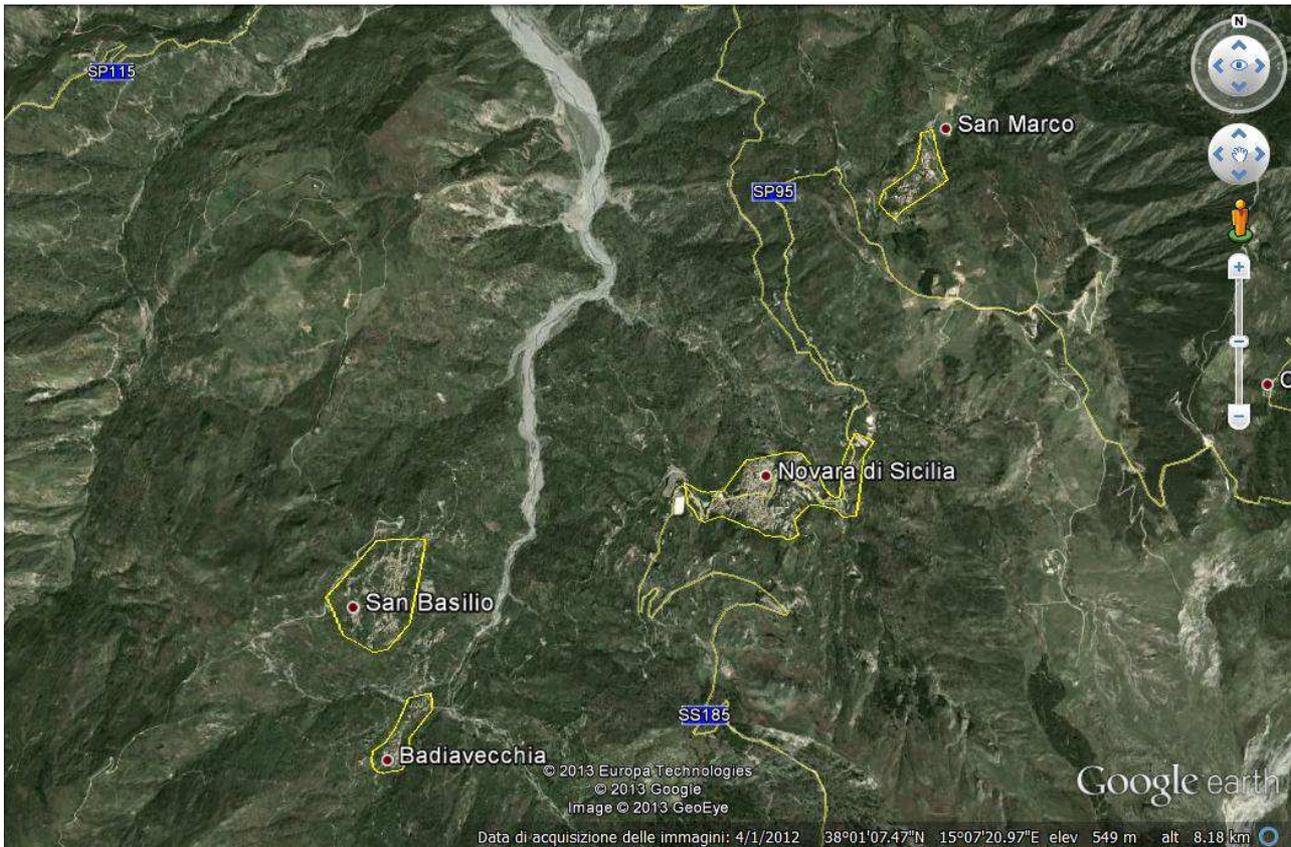


Fig. 3.6 – Immagine Google Earth™ di Novara di Sicilia: Centro abitato principale e delle aree di interesse segnalate.

Le Figg. 3.7, 3.8 mostrano l'assetto topografico e morfologico del centro urbano principale, mentre le Figg. 3.9 e, 3.10 quello delle località di S. Basilio e Piano Vigna-Badia Vecchia. Le Figg. 3-11 e 3.12 mostrano le condizioni topografiche della frazione di S. Marco.

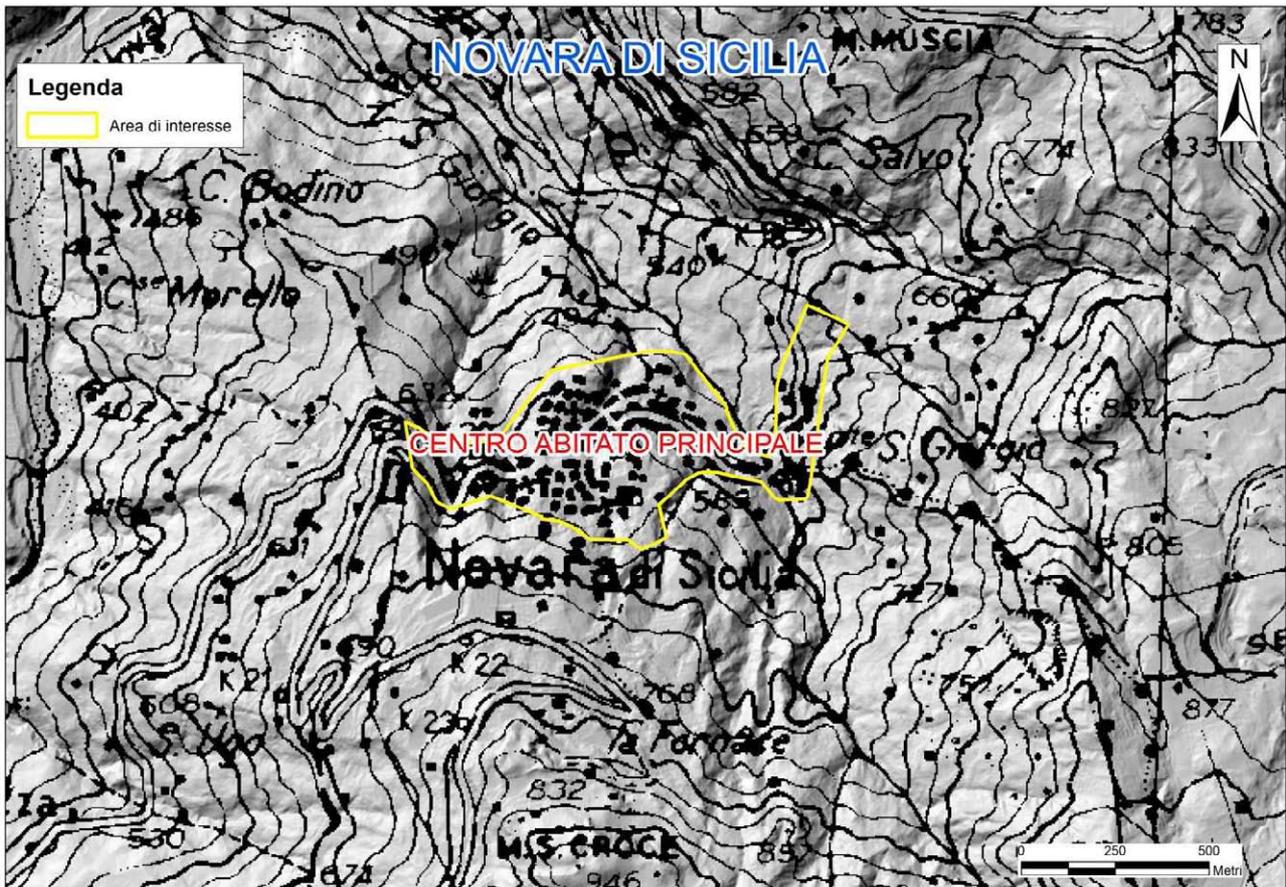


Fig. 3.7 – Stralcio del Foglio 1:50.000 n. 600: assetto morfologico del centro abitato principale di Novara di Sicilia (Me).

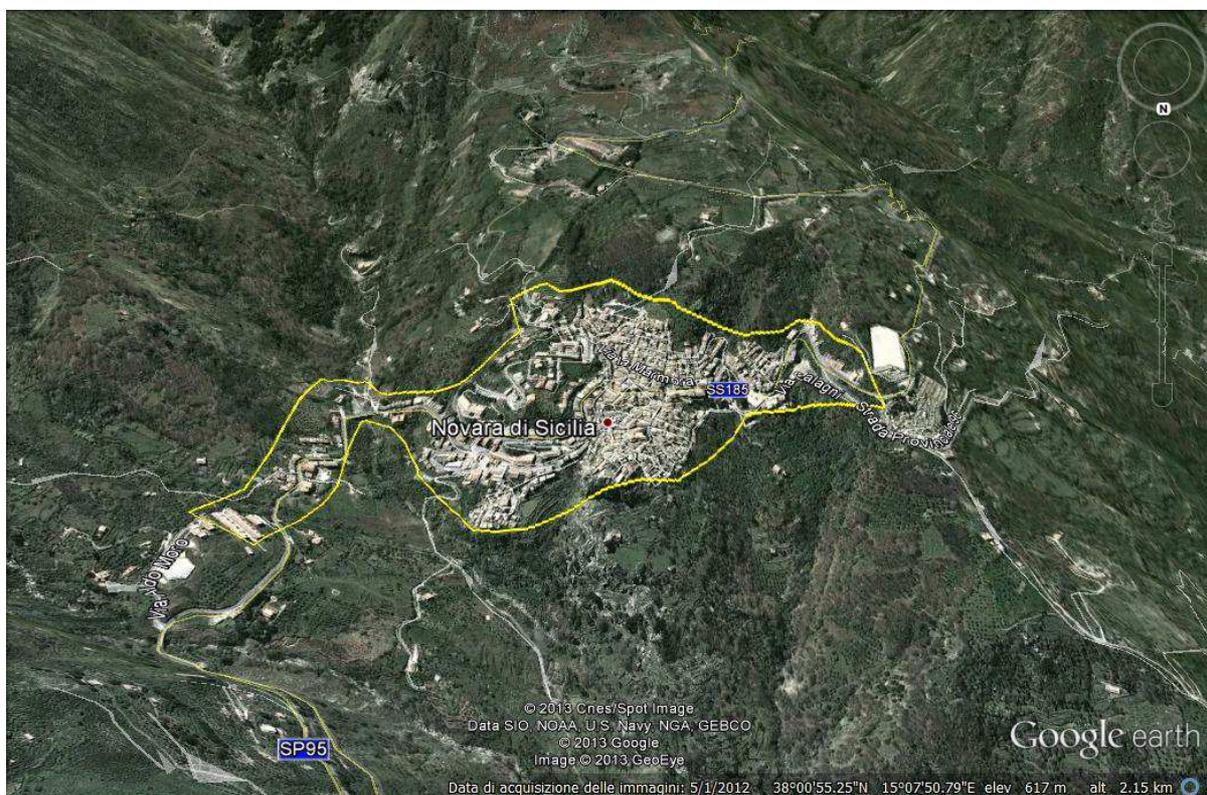


Fig. 3.8– Immagine Google Earth™ di Novara di Sicilia: Centro abitato principale.

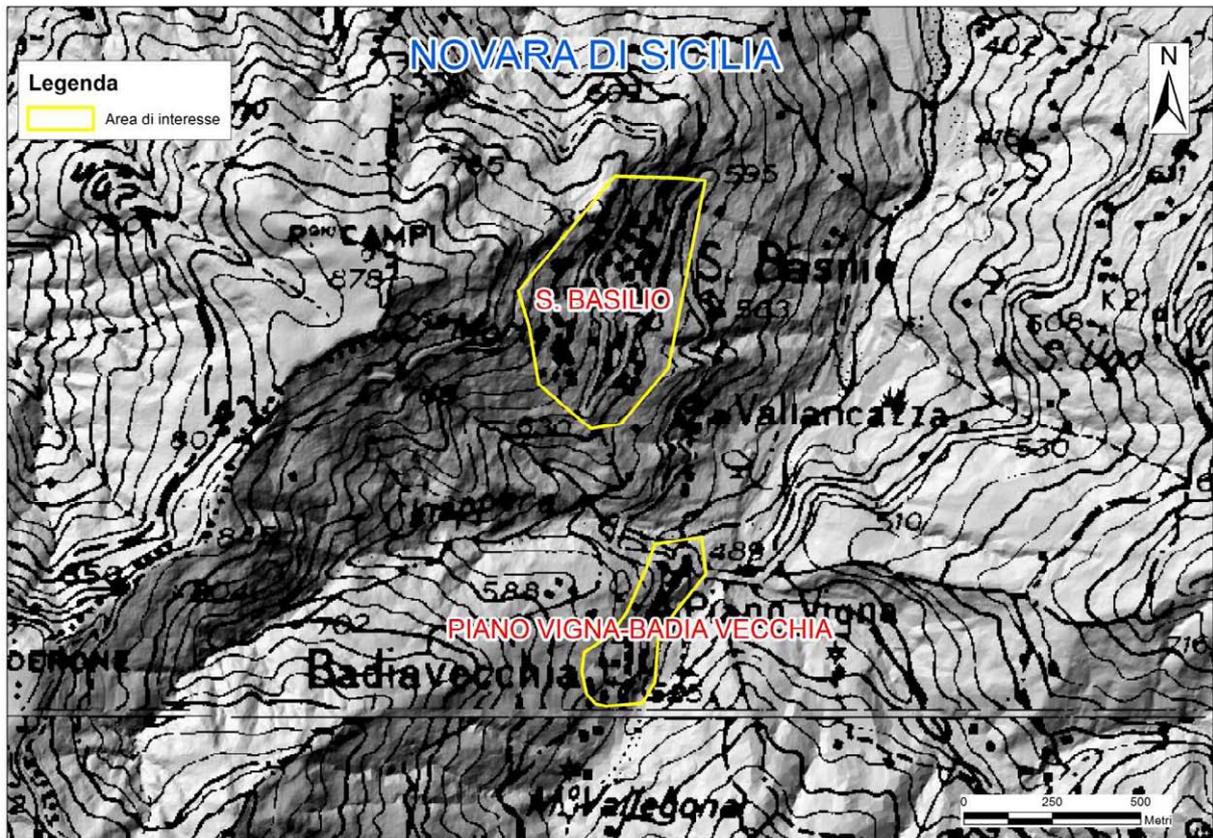


Fig. 3.9 – Stralcio del Foglio 1:50.000 n. 600: assetto morfologico delle località San Basilio e Piano Vigna-Badia Vecchia.

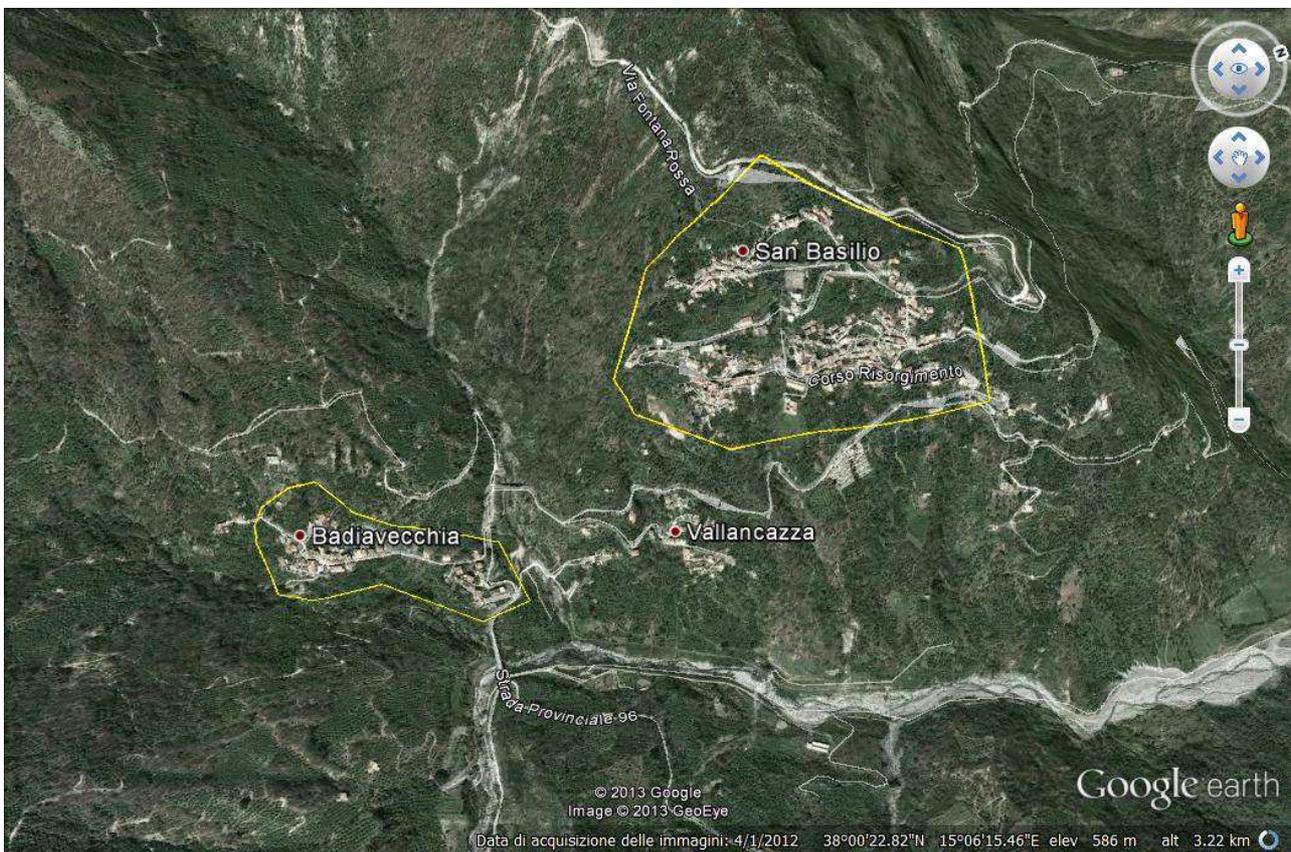


Fig. 3.10 – Immagine Google Earth™ di Novara di Sicilia: località San Basilio e Badia Vecchia.

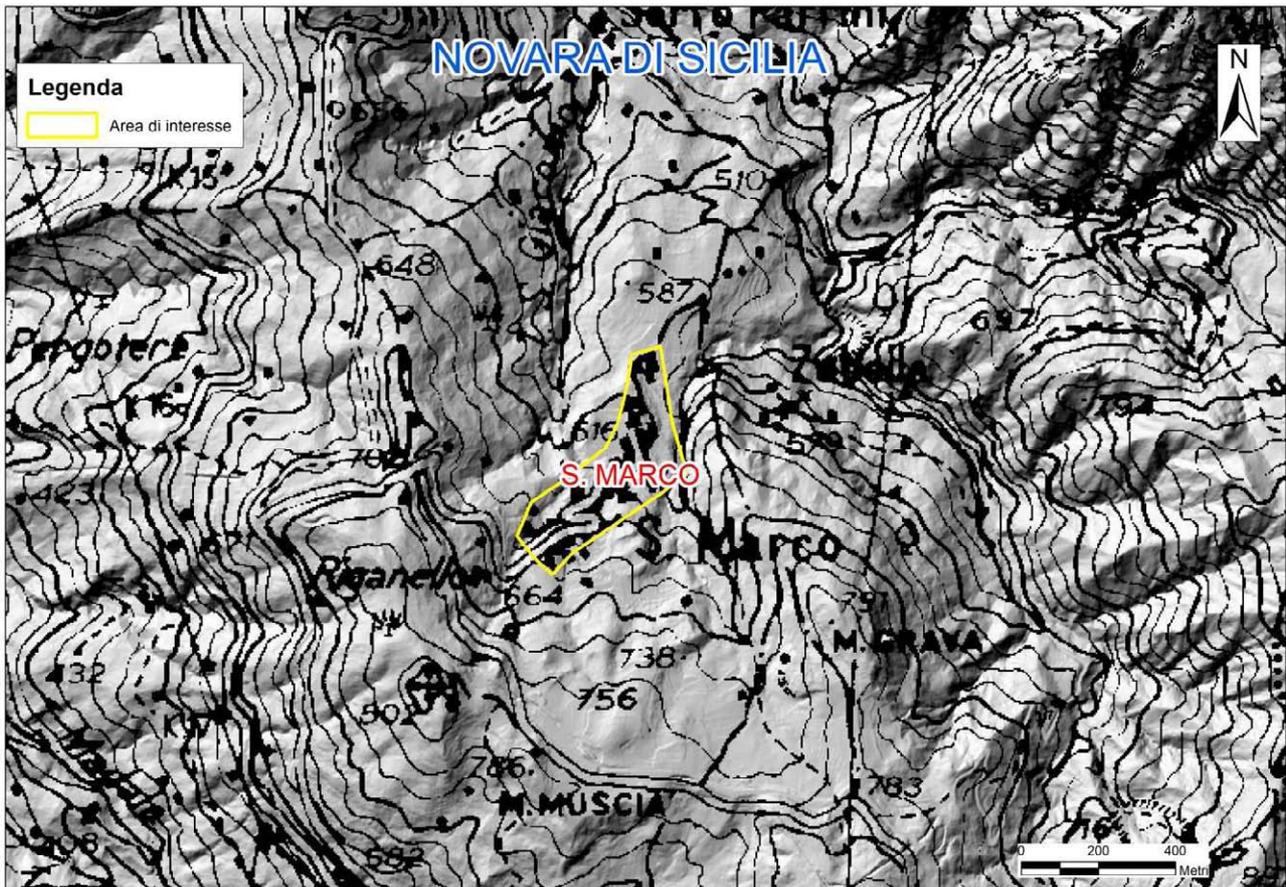


Fig. 3.11 – Stralcio del Foglio 1:50.000 n. 600: località San Marco.



Fig. 3.12 – Immagine Google Earth™ di Novara di Sicilia: Località San Marco.

Profili topografici di inquadramento

Al fine di fornire una visione delle condizioni topografiche prevalenti, sono stati realizzati dei profili topografici di inquadramento del centro urbano principale e delle frazioni di S. Marco, S. Basilio e Piano Vigna-Badia Vecchia.

Centro Urbano di Novara di Sicilia

Al fine di mettere in evidenza le caratteristiche morfologiche dell'area, sono stati realizzati tre profili topografici di inquadramento in corrispondenza del centro abitato principale (Fig. 3.13, 3.14). Il profilo 1 si sviluppa in direzione O-E, mentre i profili 2 e 3 hanno assi ortogonali che intersecano il profilo 1 ed avendo direzione di sviluppo principale N-S.

L'analisi dei profili di inquadramento (Figg. 3.15, 3.16, 3.17) mette in evidenza lo stile collinare del rilievo, che vede un asse principale longitudinale (profilo 1, Fig. 3.15), caratterizzato da una sella ad ampio raggio di curvatura ed oscillazioni altimetriche inferiori ai 100m/km. Dai profili "Novara di Sicilia 1" e "Novara di Sicilia 2", emerge con maggiore chiarezza la morfologia collinare che permette di definire il centro abitato principale di Novara di Sicilia, come un centro abitato *di versante*.

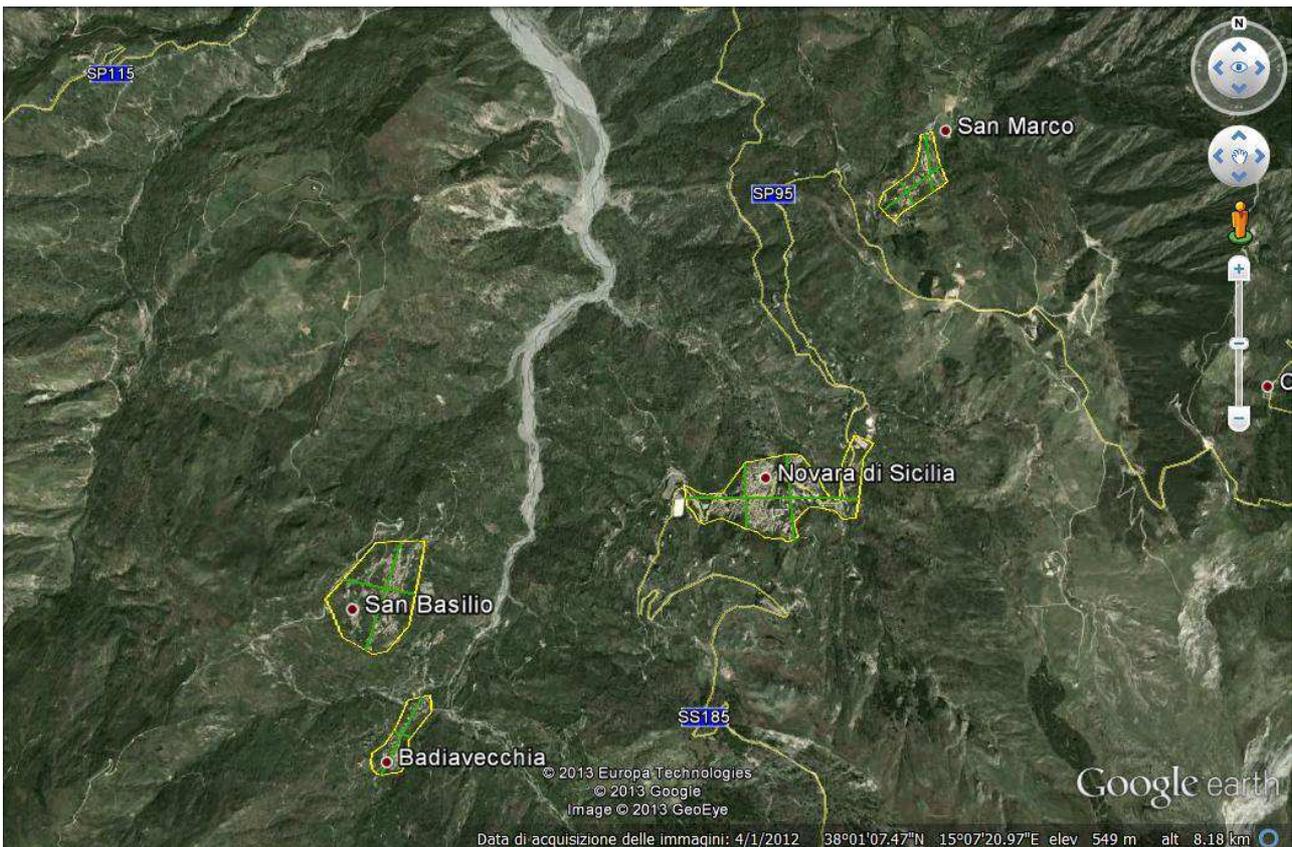


Fig. 3.13 – Immagine Google Earth™ di Novara di Sicilia e delle aree di interesse perimetrare con le tracce dei profili topografici.

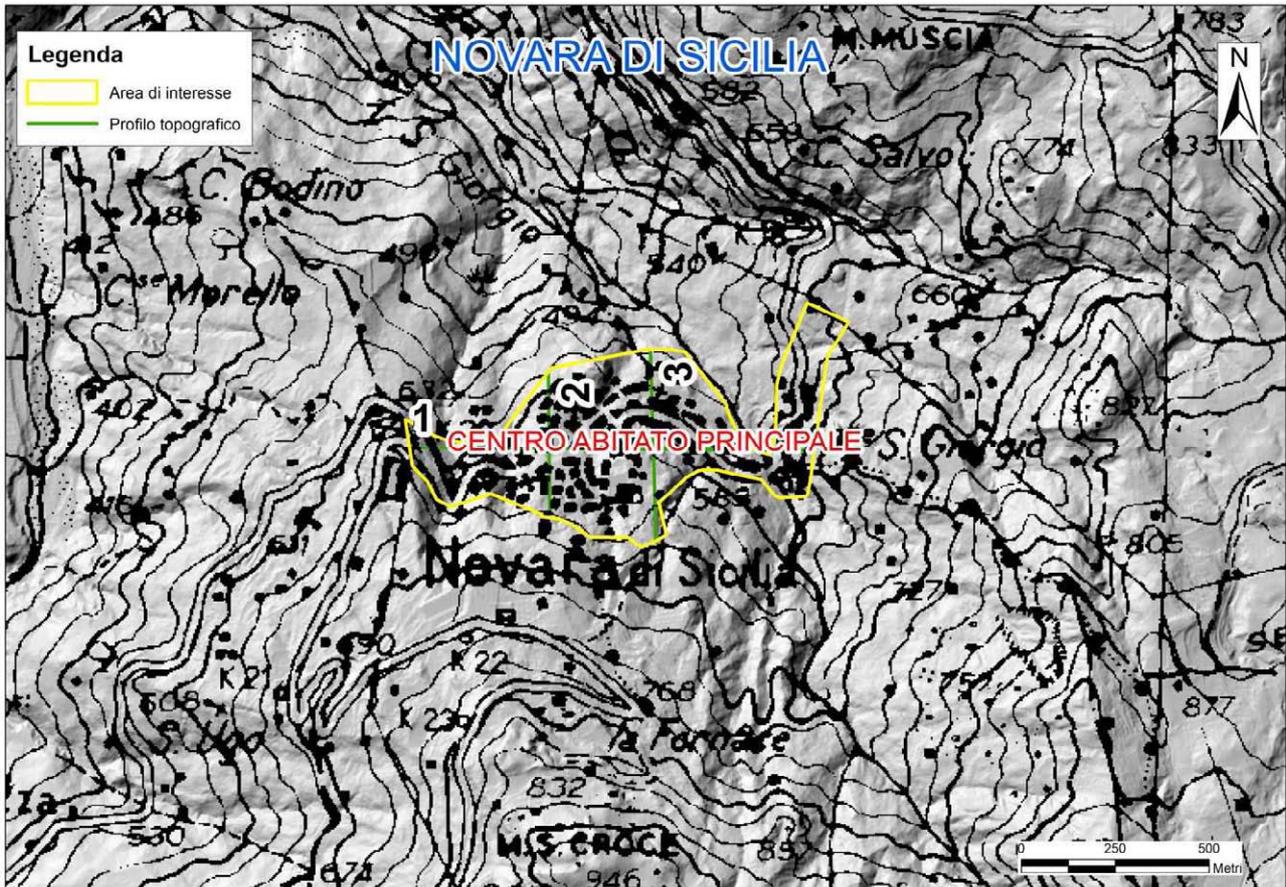


Fig. 3.14 – Centro abitato di Novara di Sicilia: Profili topografici di inquadramento.

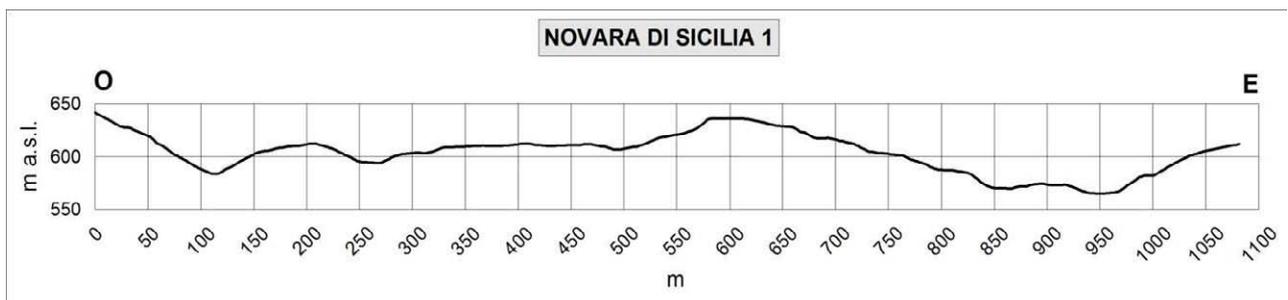


Fig. 3.15 – Profilo topografico di inquadramento Novara di Sicilia 1.

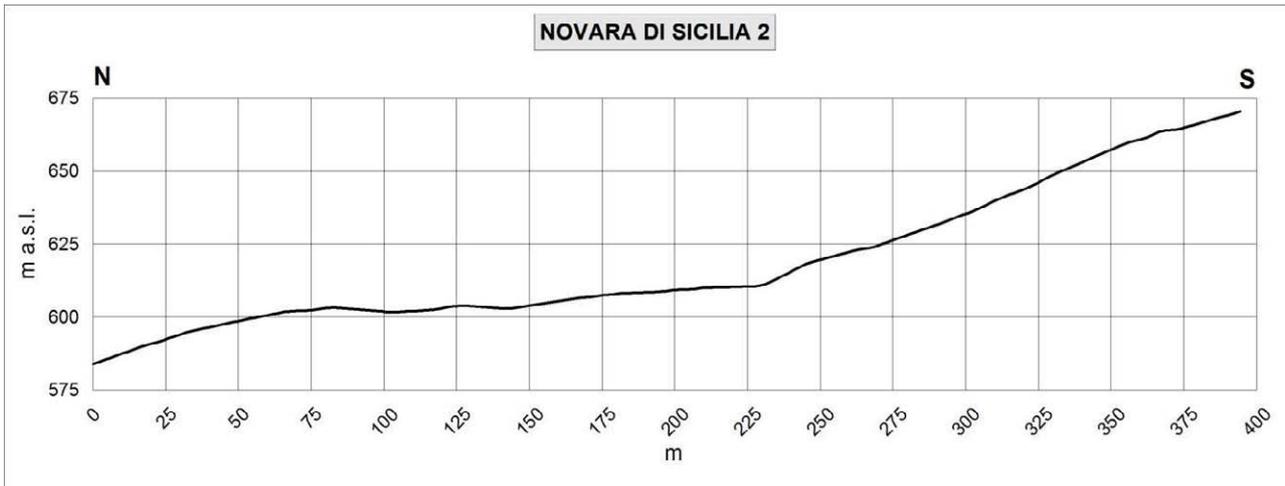


Fig. 3.16 – Profilo topografico di inquadramento Novara di Sicilia 2.

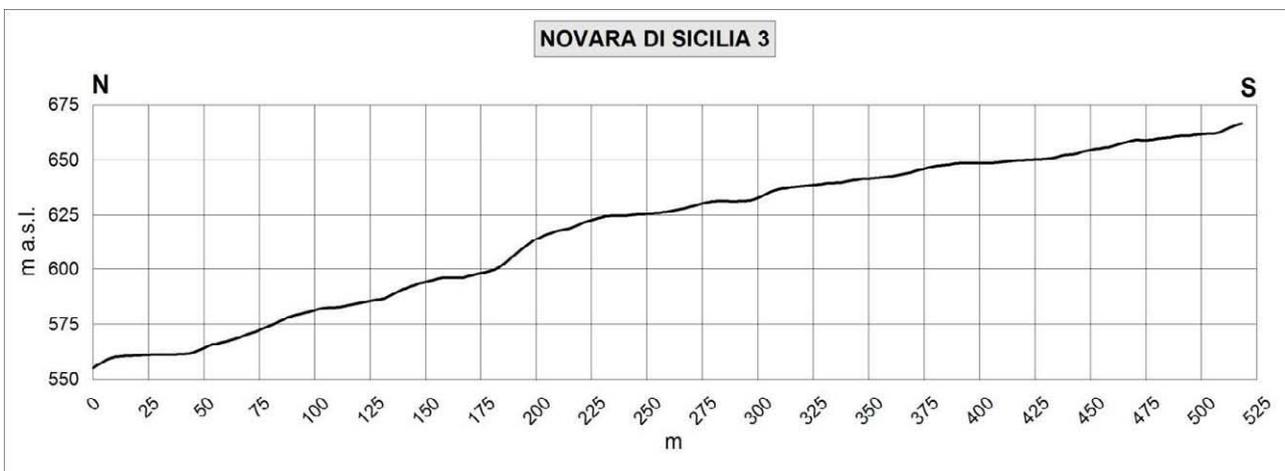


Fig. 3.17 – Profilo topografico di inquadramento Novara di Sicilia 3.

Le Figg. da 3.18 a 3.21 si riferiscono ai profili topografici attraverso il centro abitato di San Marco.

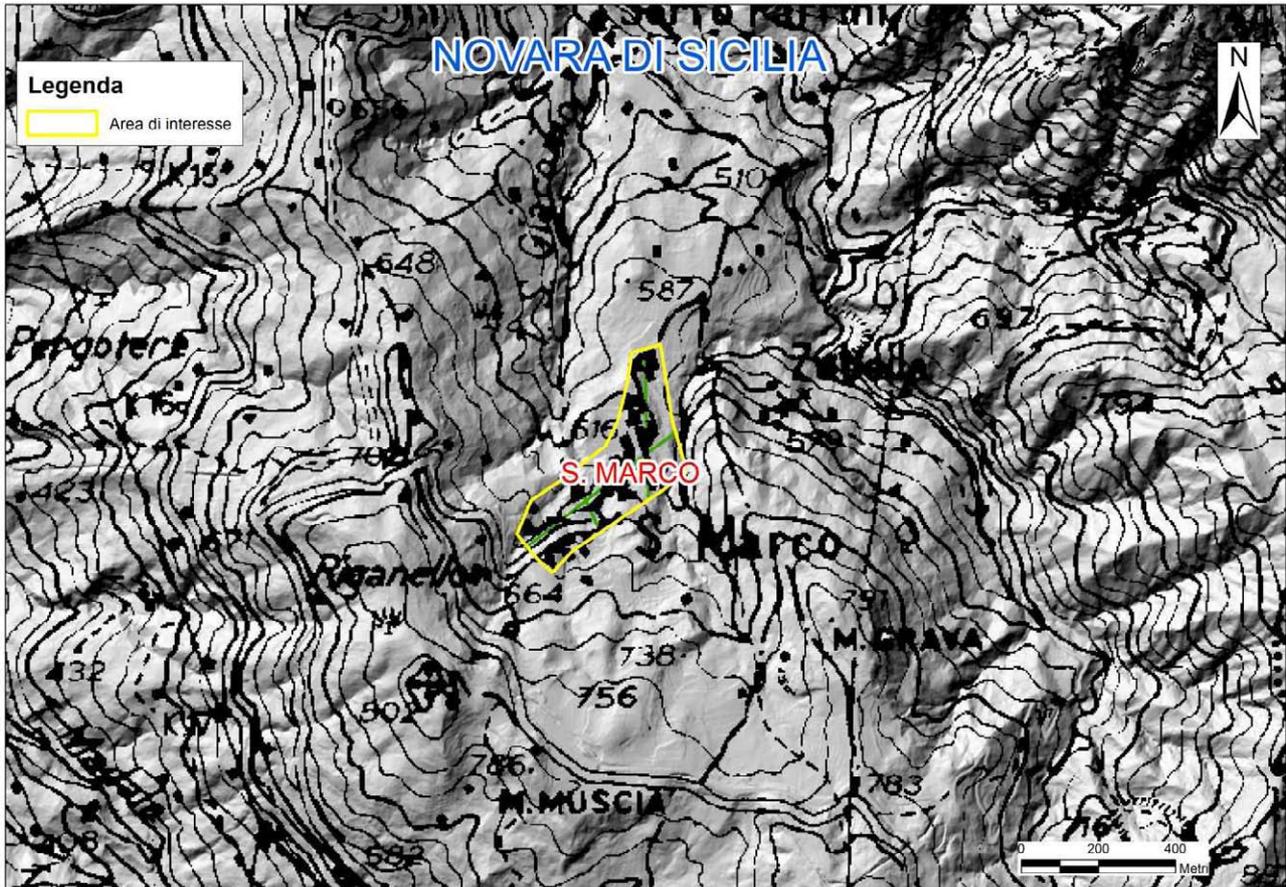


Fig. 3.18 – Novara di Sicilia. Profili topografici di inquadramento: Località San Marco.

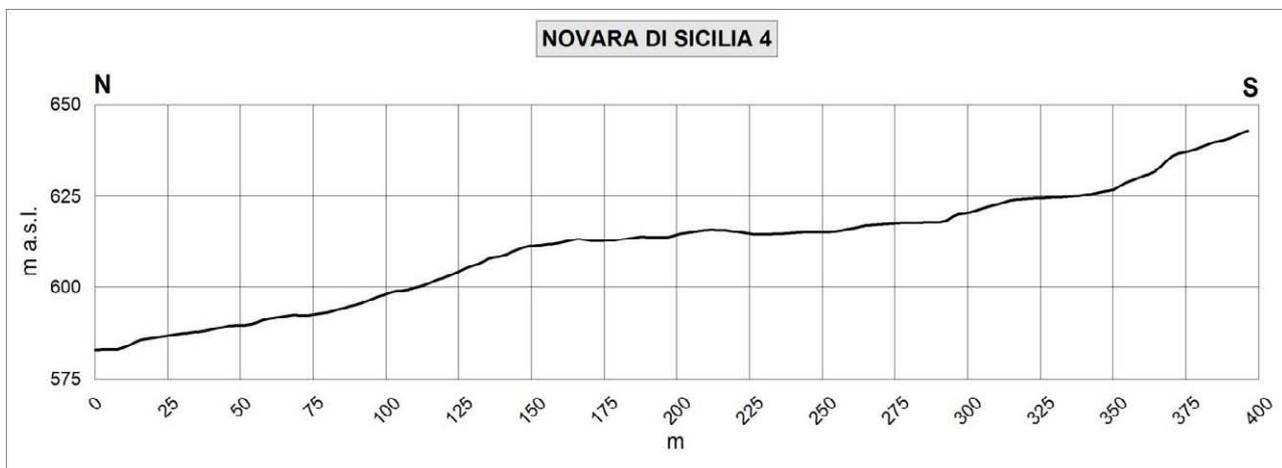


Fig. 3.19 – Profilo topografico di inquadramento Novara di Sicilia 4: Località San Marco.

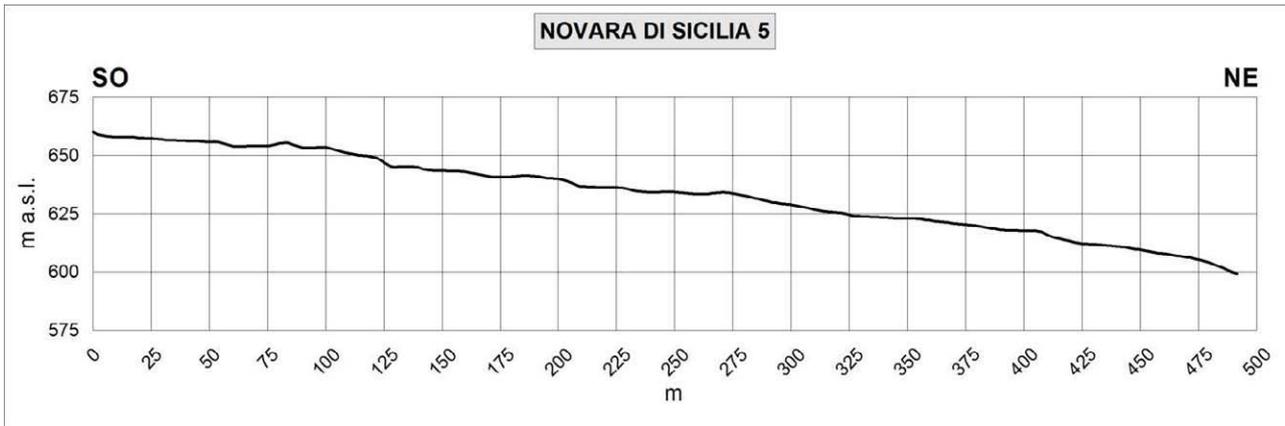


Fig. 3.20 – Profilo topografico di inquadramento Novara di Sicilia 5: Località San Marco.

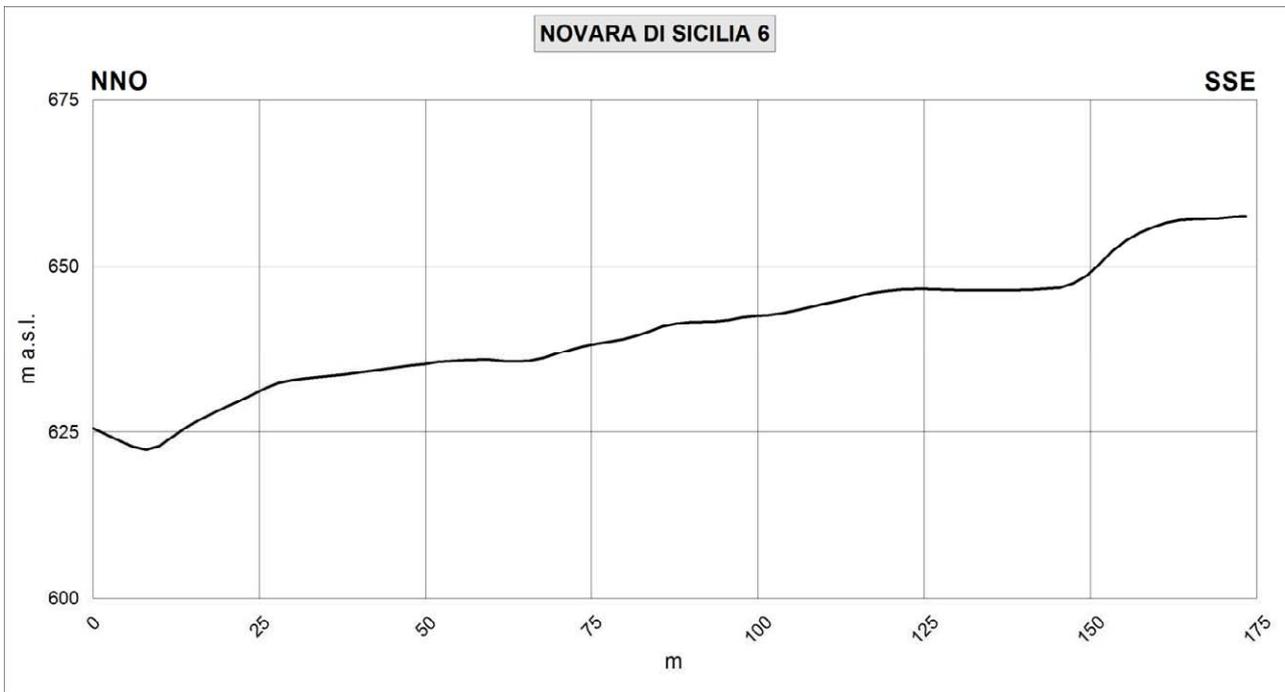


Fig. 3.21 – Profilo topografico di inquadramento Novara di Sicilia 6: Località San Marco.

Le Figg. da 3.22 a 3.26 si riferiscono all'assetto topografico dell'abitato di San Basilio e Badia Vecchia.

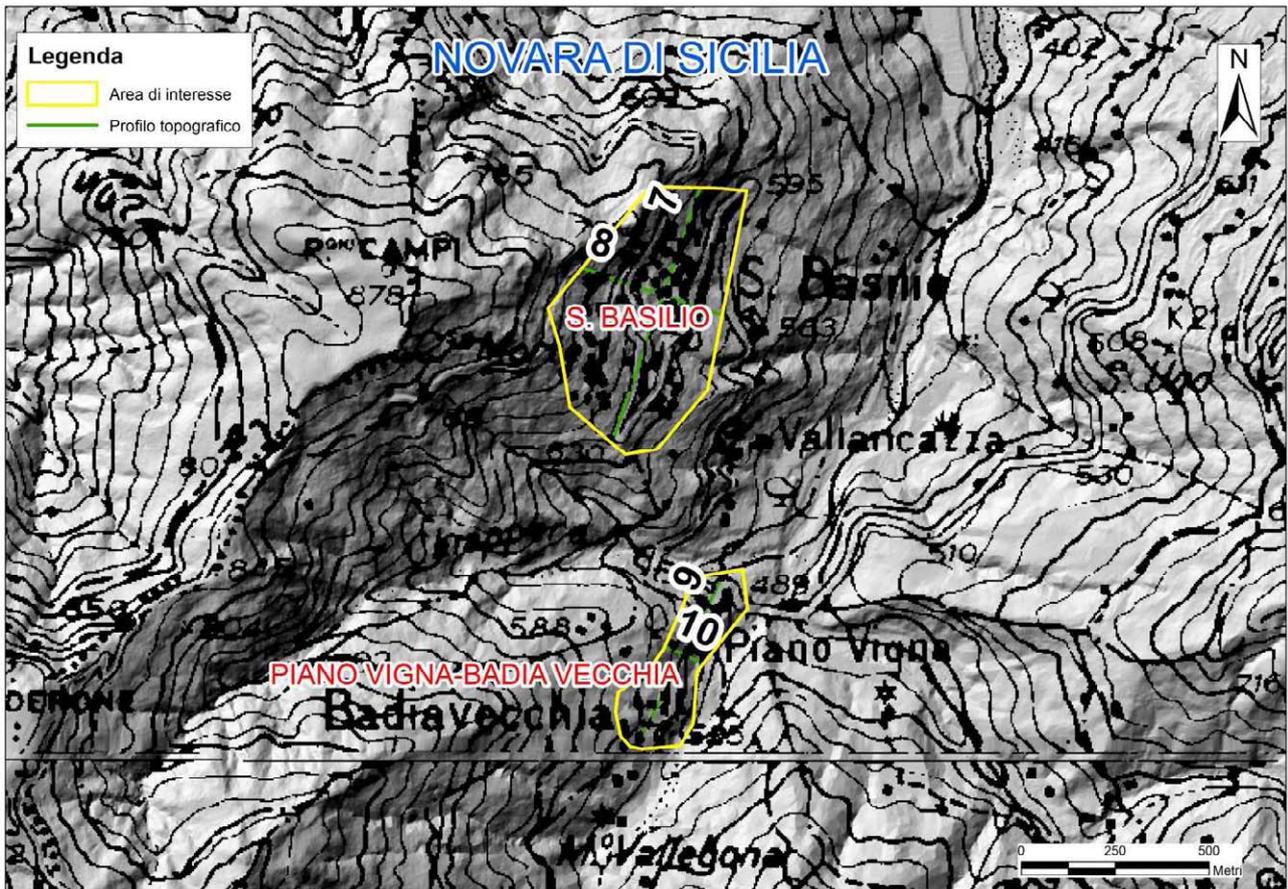


Fig. 3.22 – Novara di Sicilia. Profili topografici di inquadramento: località San Basilio e Badia Vecchia.

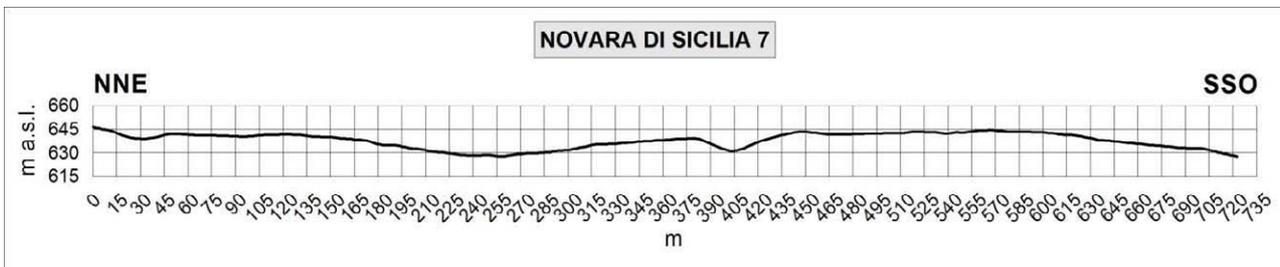


Fig. 3.23– Profilo topografico di inquadramento Novara di Sicilia7: località San Basilio e Badia Vecchia.

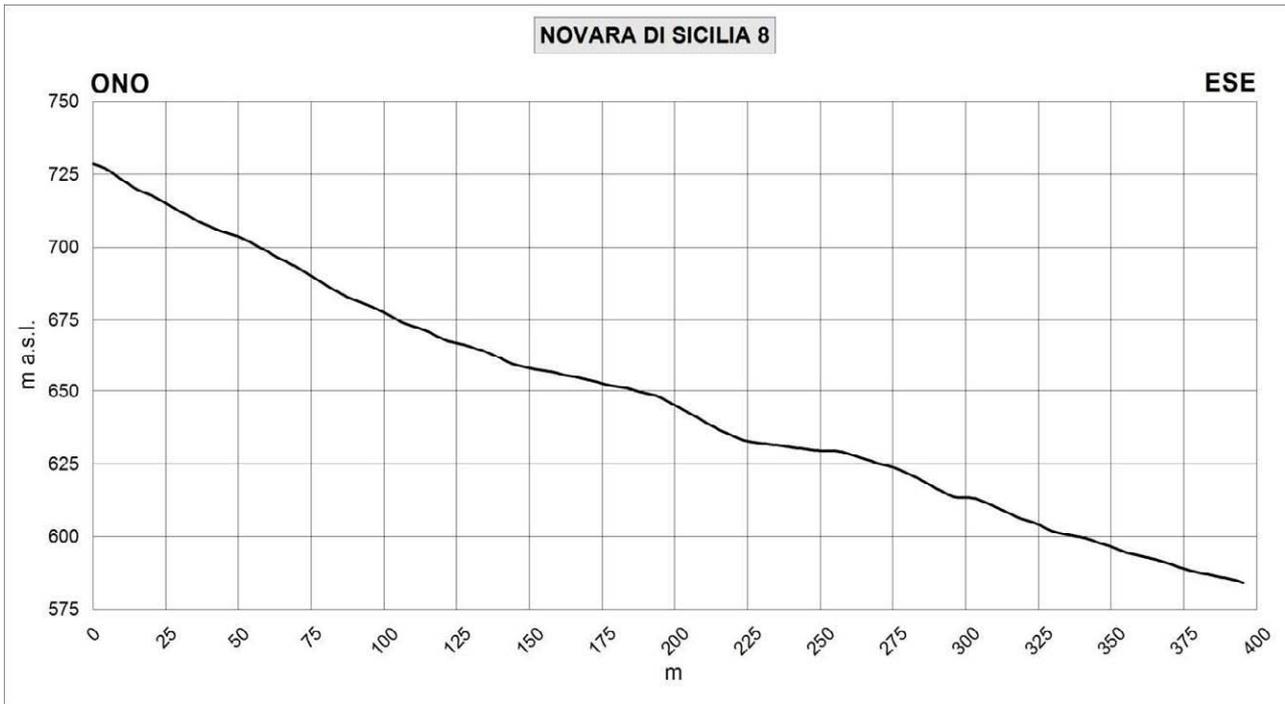


Fig. 3.24 – Profilo topografico di inquadramento Novara di Sicilia 8: località San Basilio e Badia Vecchia.

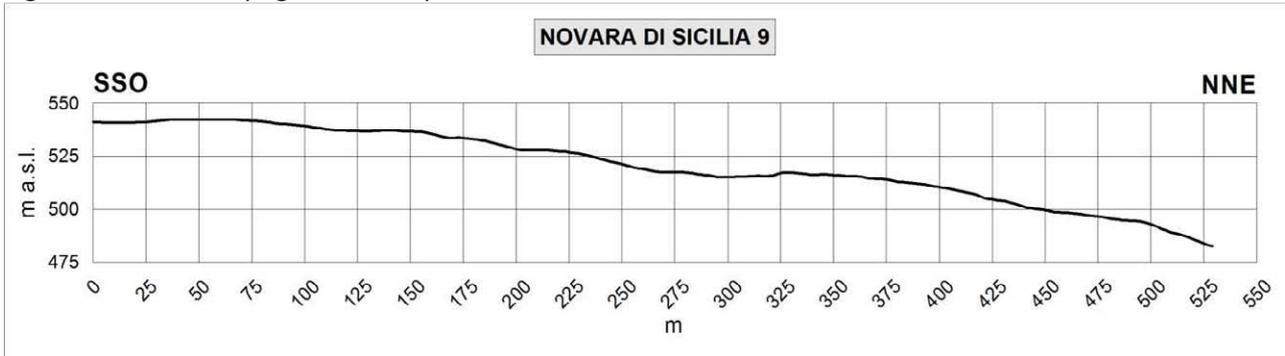


Fig. 3.25 – Profilo topografico di inquadramento Novara di Sicilia 8: località San Basilio e Badia Vecchia.

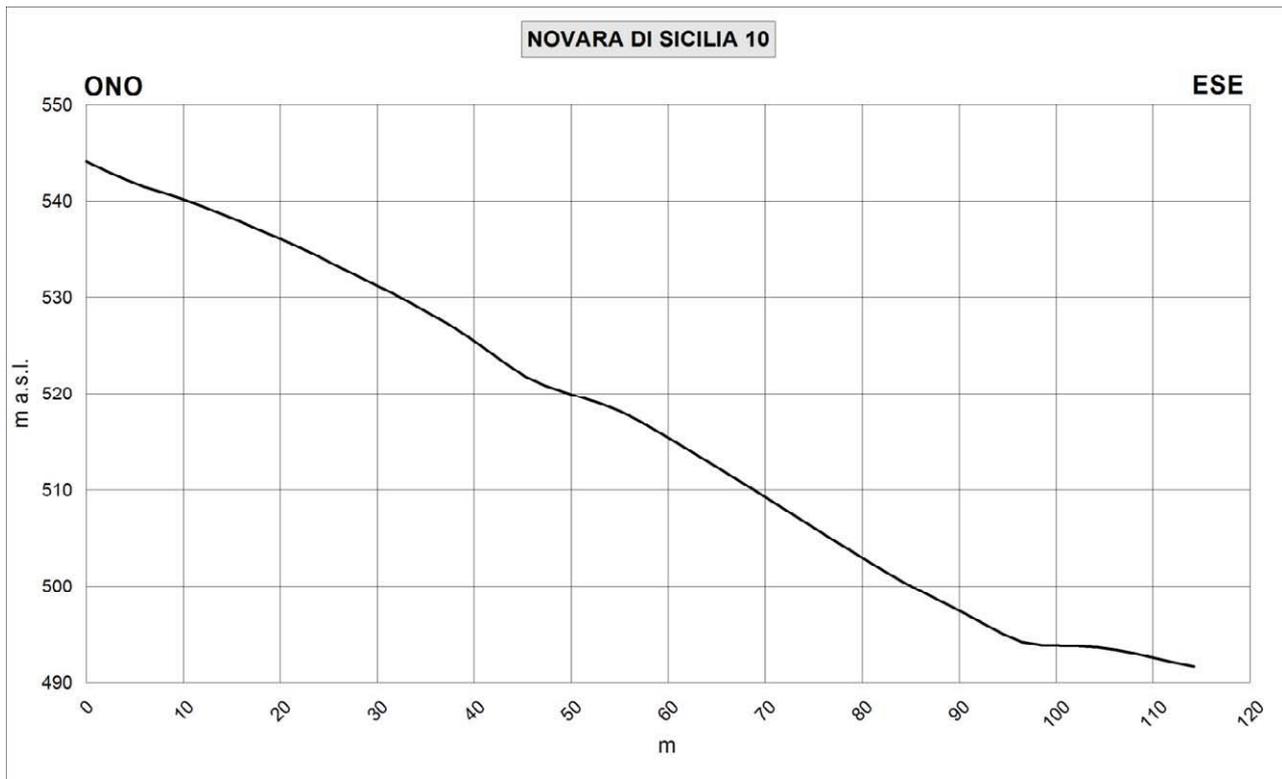


Fig. 3.26 – Profilo topografico di inquadramento Novara di Sicilia 8: località San Basilio e Badia Vecchia.

3.3.2 Litostratigrafia

Le successioni rocciose affioranti nell'area di Novara di Sicilia sono costituite da corpi litodemici di diverso grado metamorfico, da lembi di coperture carbonatiche mesozoiche e da successioni clastico-terrigene e carbonatiche terziarie.

Le rocce cristalline, rappresentanti il basamento metamorfico paleozoico dei Monti Peloritani, sono rappresentate da filladi, semiscisti, metareniti oltre a metamorfiti di alto grado. Esse vengono attribuite dagli Autori a diverse unità strutturali del basamento metamorfico.

Nell'edificio tettonico di quest'area sono presenti anche le coperture sedimentarie mesocenozoiche scollate dal basamento cristallino che costituiscono l'Unità di Novara *Auct.*

Seguono i depositi silico-clastici del Flysch di Capo d'Orlando, ricoperti tettonicamente dalle Argille Scagliose Antisicilidi. In discordanza su tutti questi terreni si trovano poi le Calcareni di Floresta.

E' da evidenziare come, nel tempo, gli Autori abbiano interpretato in modo diverso i complessi rapporti strutturali fra unità metamorfiche e terreni di copertura in quest'area ed anche la nomenclatura adottata differisce nelle diverse cartografie disponibili. Le differenze di interpretazione riguardano, in particolare, la posizione strutturale dei nuclei carbonatici, che per molti Autori rappresentano la copertura del basamento dell'Unità di Mandanici, mentre per altri essi fanno parte di un'unità tettonica indipendente sovrascorsa sull'Unità di San Marco d'Alunzio. Anche sul Conglomerato Rosso ci sono interpretazioni diverse che riguardano anche l'età, in quanto per alcuni Autori esso costituisce la parte bassa della successione molassica del Flysch di Capo d'Orlando, con un'età Oligocene superiore, mentre per altri Autori esso fa parte dell'Unità di Rocca Novara, assieme ai nuclei carbonatici di cui sopra con un'età dubitativamente attribuita all'Oligocene inferiore.

Qui di seguito viene fornita una descrizione dei diversi litotipi e della loro distribuzione in base alla nomenclatura ed interpretazione strutturale adottata nel Foglio Geologico CARG in scala 1:50.000

n. 600 “Barcellona Pozzo di Gotto”.

3.3.2.1 Unità di San Marco d’Alunzio

Questa unità è caratterizzata da un basamento epimetamorfico paleozoico, con lembi residuali di originarie coperture sedimentarie, rappresentate da una successione meso-cenozoica notevolmente condensata e lacunosa. Nell’area di Novara di Sicilia affiora il basamento filladico, costituito da metapeliti e metareniti in facies di scisti verdi con colorazione nera se grafitose e, subordinatamente, grigio-verdastro se cloritiche. Queste rocce hanno grana da fine a finissima, con cristallinità bassa, e presentano una foliazione regionale dovuta alle deformazioni erciniche e zone di taglio legate alle più recenti deformazioni alpine; localmente il reticolo di fratturazione è occluso da quarzo e/o calcite.

Nell’area affiora nel settore occidentale ed orientale del centro urbano, a sud-est di San Basilio e a Badiavecchia.

3.3.2.2 Unità di Novara

Formazione di Rocca Novara - Calcarei cristallini con alghe (*Clypeina* e *Campbelliella*, Kimmeridgiano, Berriasiano), dolomie bianco-giallastre e brecce. Questi terreni carbonatici sono in genere intensamente tettonizzati, e presentando fitti reticoli di fratturazione associati in alcuni casi a piani striati di faglia. Oltre a formare spessi ed estesi piastroni carbonatici essi affiorano come olistoliti isolati, circondati dal Conglomerato Rosso - Giurassico Superiore –Eocene

Conglomerato Rosso (Oligocene inferiore?)

Questa unità è costituita da conglomerati poligenici con matrice di colore rossastro con elementi eterogenei ben arrotondati di rocce metamorfiche di diverso grado ed altri elementi derivanti da rocce carbonatiche mesozoiche.

Nell’area sia i nuclei carbonatici della Formazione Rocca Novara che il Conglomerato Rosso sono presenti nel substrato del centro urbano di Novara, e di San Basilio.

3.3.2.3 Unità di Fondachelli

Filladi, metareniti e quarziti grafitose. Si tratta di metamorfiti varisiche caratterizzate da foliazioni e crenulazioni. Il colore è grigio-nerastro perlaceo con basso grado di cristallinità. Sono comuni lenti e noduli di quarzo.

Affiorano al margine occidentale della frazione di San Marco.

3.3.2.4 Flysch di Capo d’Orlando

Questa formazione è conosciuta in letteratura anche come “Formazione di Stilo-Capo d’Orlando” (Bonardi *et al.*, 1980). Si tratta di una potente successione torbidity costituita da depositi conglomeratici alla base, evolventi verso l’alto e lateralmente a facies arenacee e arenaceo-pelitiche, più raramente a facies pelitiche. La facies conglomeratica generalmente caratterizza i livelli basali di questa unità sedimentaria; si tratta di un deposito grossolano rappresentato da conglomerati poligenici con ciottoli di dimensioni molto variabili; i clasti, costituiti in prevalenza da ciottoli di graniti, gneiss, quarziti, porfidi, filladi e metabasiti, si presentano immersi in una matrice arcoseo – litica di colore grigio-giallastro o grigio-verdastro. La facies arenacea, di colore grigio-verdastro al taglio fresco e grigio-giallastro se alterata, è costituita da arkose a composizione quarzoso – feldspatico – micacea, organizzata in strati con spessori decimetrici che possono passare a banchi metrici; tale facies si presenta spesso come un’alternanza di strati arenacei e strati millimetrici o decimetrici a composizione argilloso-marnosa. La facies pelitica, invece, si presenta come un’alternanza di strati sottili di argille siltose grigie o nerastre ed arenarie fini e produce rilievi a morfologia blanda.

Nell'area di Novara di Sicilia affiorano sia la facies conglomeratica, al di fuori delle aree perimetrata, che la facies arenacea. Quest'ultima, in particolare, è presente in prossimità della porzione orientale della frazione di San Marco.

3.3.2.5 Argille Scagliose dei Monti Peloritani (Cretacico Superiore)

Si tratta di argille varicolori scagliettate, a giacitura caotica cui si intercalano siltiti carbonatiche grigie. Possono contenere blocchi di quarzareniti giallastre tipo Flysch Numidico e livelli centimetrici di argilloscisti bituminosi e radiolariti. Questi depositi sono sovrascorsi durante il Miocene inferiore – medio sul Flysch di Capo d'Orlando e quindi, si trovano al di sopra dei terreni flyschoidi per contatto tettonico. Le AS nell'area di Novara di Sicilia affiorano, molto alterate e, spesso, coperte da detriti e suoli, in una ampia fascia che si sviluppa in destra orografica del Torrente San Giacomo.

3.3.2.6 Calcareniti di Floresta (Burdigaliano superiore – Langhiano)

Biocalcareniti bianco grigiastre con, a luoghi, stratificazione incrociata, con alghe calcaree, briozoi ed Amphistegine. Sono presenti a luoghi anche arkose glauconitiche a cemento spatico. Questi depositi ricoprono in discordanza le AS dei Monti Peloritani e presentano uno spessore degli strati variabile da pochi dm a circa 2 m. Sono presenti, a luoghi, intercalazioni argillose ed argillo-marnose con spessori variabili da pochi cm a qualche decimetro. Le intercalazioni aumentano in frequenza nella porzione superiore.

Relativamente alle aree individuate per lo studio, le Calcareniti di Floresta affiorano soltanto lungo il margine settentrionale dell'area perimetrata di San Marco.

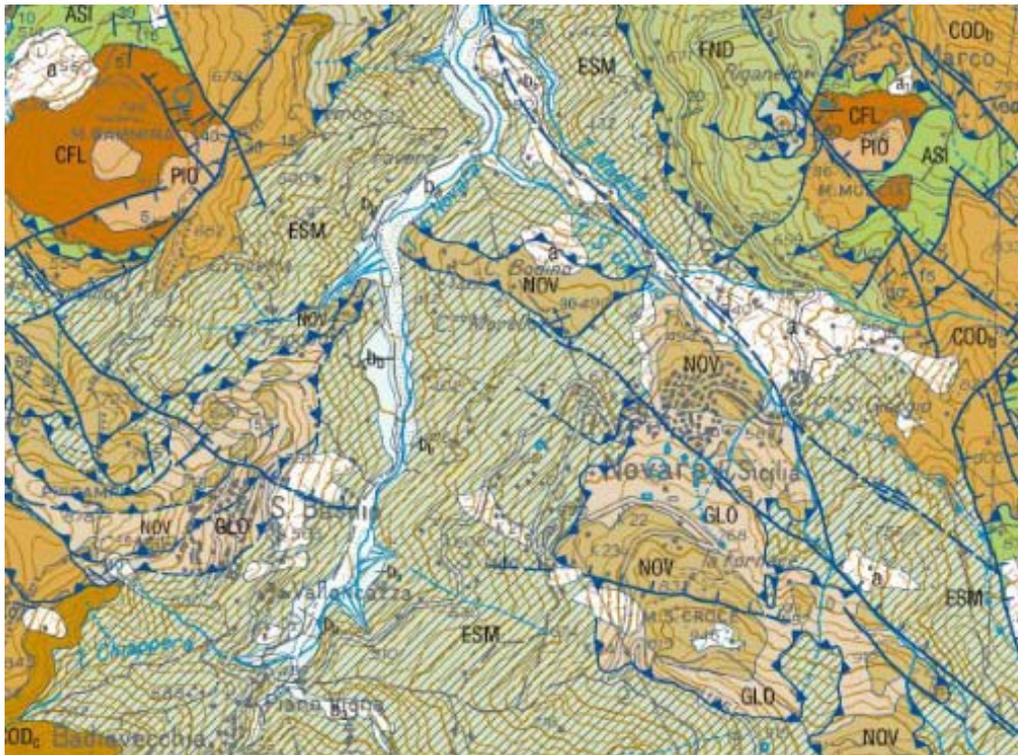
Qui di seguito (Fig. 3.27) viene riportato lo stralcio del Foglio CARG 600 "Barcellona Pozzo di Gotto" relativo all'area di Novara di Sicilia..

3.3.2.7 Coperture alluvionali, detritiche e frane

I terreni precedentemente descritti sono in genere ricoperti da coltri superficiali di alterazione, coltri detritiche di versante ed eluvio-colluviali, depositi alluvionali e frane, di spessore assai variabile.

Il confronto fra le diverse cartografie geologiche disponibili per l'area e, in particolare, fra il Foglio CARG n. 600 "Barcellona Pozzo di Gotto" (Fig. 3.27), la Carta geologica della Provincia di Messina e la carta geologica allegata al PRG di Novara di Sicilia, evidenzia significative differenze nella perimetrazione e caratterizzazione di tali coperture e nella attribuzione alle diverse unità strutturali dei terreni metamorfici. A tal fine è stata realizzata una cartografia geologica di sintesi (Fig. 3.28). E' tuttavia da evidenziare la difficoltà della valutazione dell'estensione laterale e verticale delle singole unità litodemiche in assenza di dati diretti di sottosuolo (cfr. cap. 5)

Per la descrizione delle caratteristiche e della distribuzione di questi terreni nell'area individuata per lo studio di microzonazione, si rimanda alla carta geologico-tecnica (Par. 8.2).



LEGENDA

- a - depositi di versante
b - depositi alluvionali

direzione, immersione ed inclinazione degli strati	}	+	strati orizzontali	— —	contatto stratigrafico
		20	strati diritti	— —	faglia
		20	strati rovesciati	— —	faglia diretta
		•	strati verticali	— —	faglia transtensiva
				▼ ▼	sovrascorrimento principale

PIO – Marne di Monte Pitò – Alternanza pelitico arenacea di marne, argille ed arenarie sottilmente stratificate. Langiano superiore . Serravalliano inferiore
CFL - Calcareni di Floresta - Burdigaliano – Langhiano

ASI - Argille scagliose dei Monti Peloritani - Cretacico Superiore

COD - Flysch di Capo D’Orlando: facies arenacea (arkose e arkose litiche) con intercalazioni di livelli argillo-marnosi (CODb). Facies conglomeratica (CODc) Oligocene superiore – Burdigaliano

FND - UNITA’ TETTONICA DI FONDACHELLI – Filladi, metareniti e quarziti grafitose- Paleozoico.

UNITA’ TETTONICA DI NOVARA

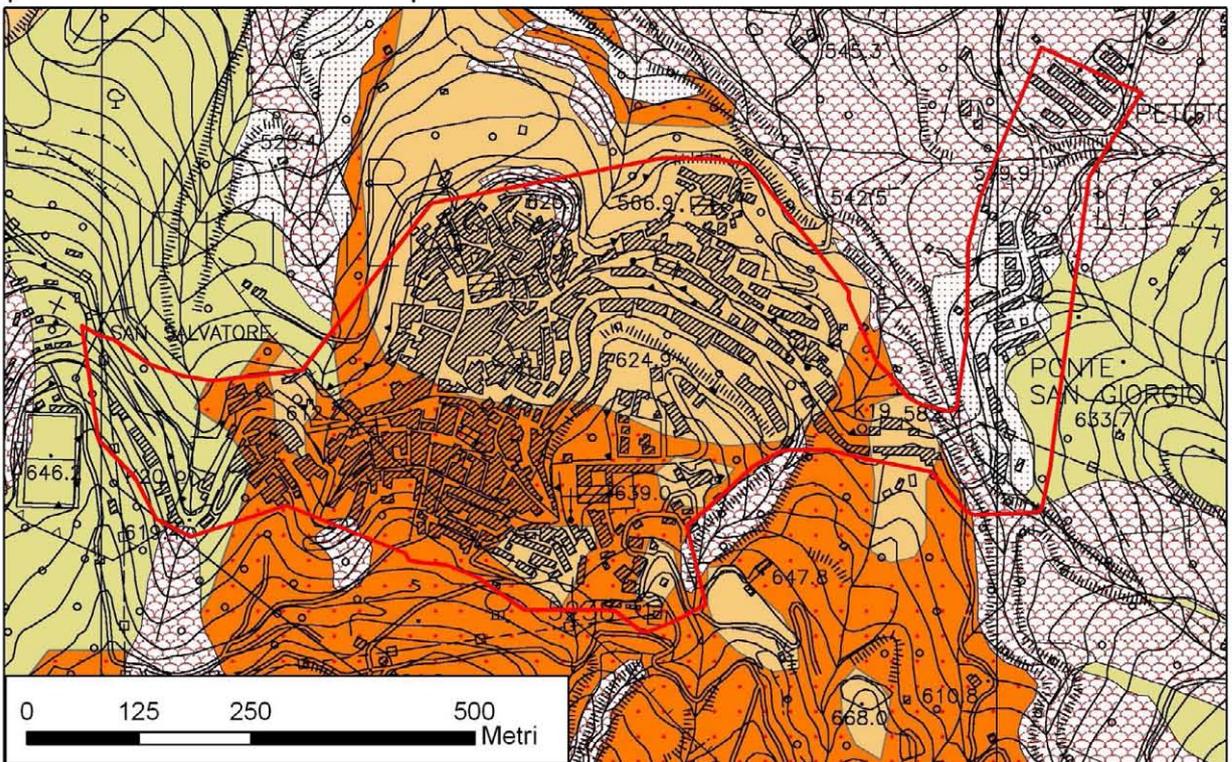
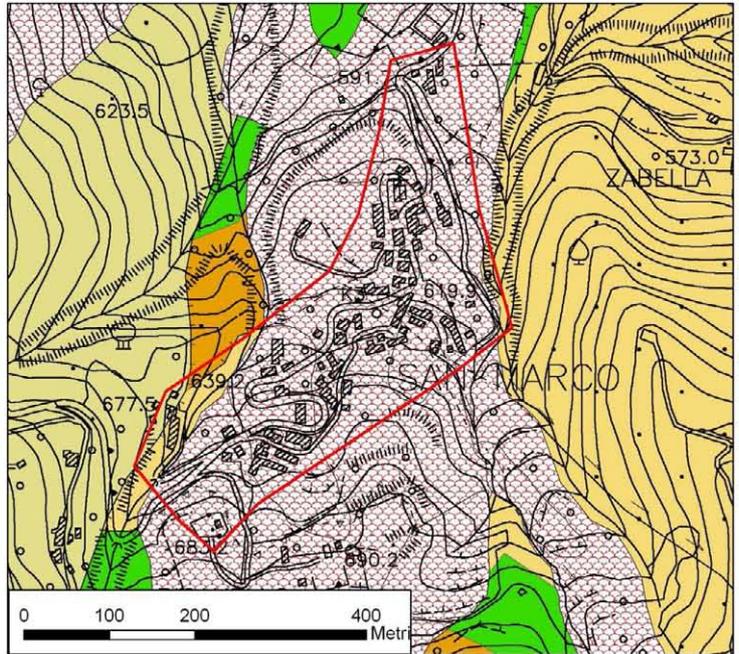
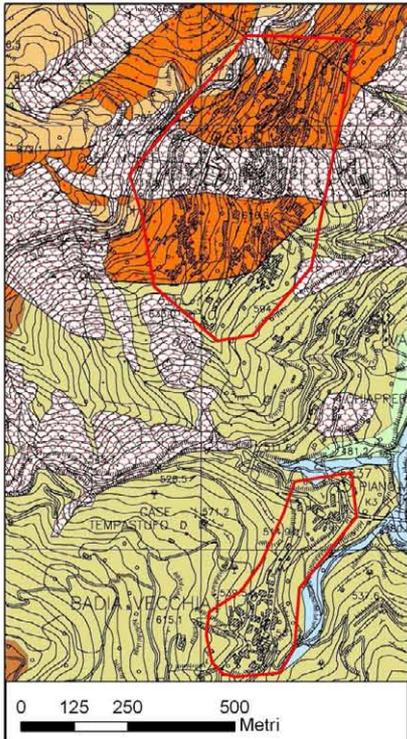
GLO- Conglomerato Rosso - Conglomerati poligenici costituiti da metamorfiti e carbonati mesozoici con inclusi eterometrici ed ettometrici - Conglomerato Rosso - ?Oligocene inferiore.

NOV – Formazione di Rocca Novara - Calcari cristallini ad alghe (*Clypeina* e *Campbelliella*, Kimmeridgiano, Berriasiano), dolomie bianco-giallastre e breccie – Formazione di Rocca Novara – Giurassico Superiore – Eocene

UNITA’ TETTONICA DI SAN MARCO D’ALUNZIO

ESM – Slate, metavulcaniti, quarziti, metabasiti e talcoscisti - Metamorfiti di San Marco -Paleozoico

Fig. 3.27 –Stralcio del Foglio Geologico 600 “Barcellona Pozzo di Gotto” in scala 1:50.000 disponibile sul sito CARG-ISPRA che riguarda l’area di Novara di Sicilia.



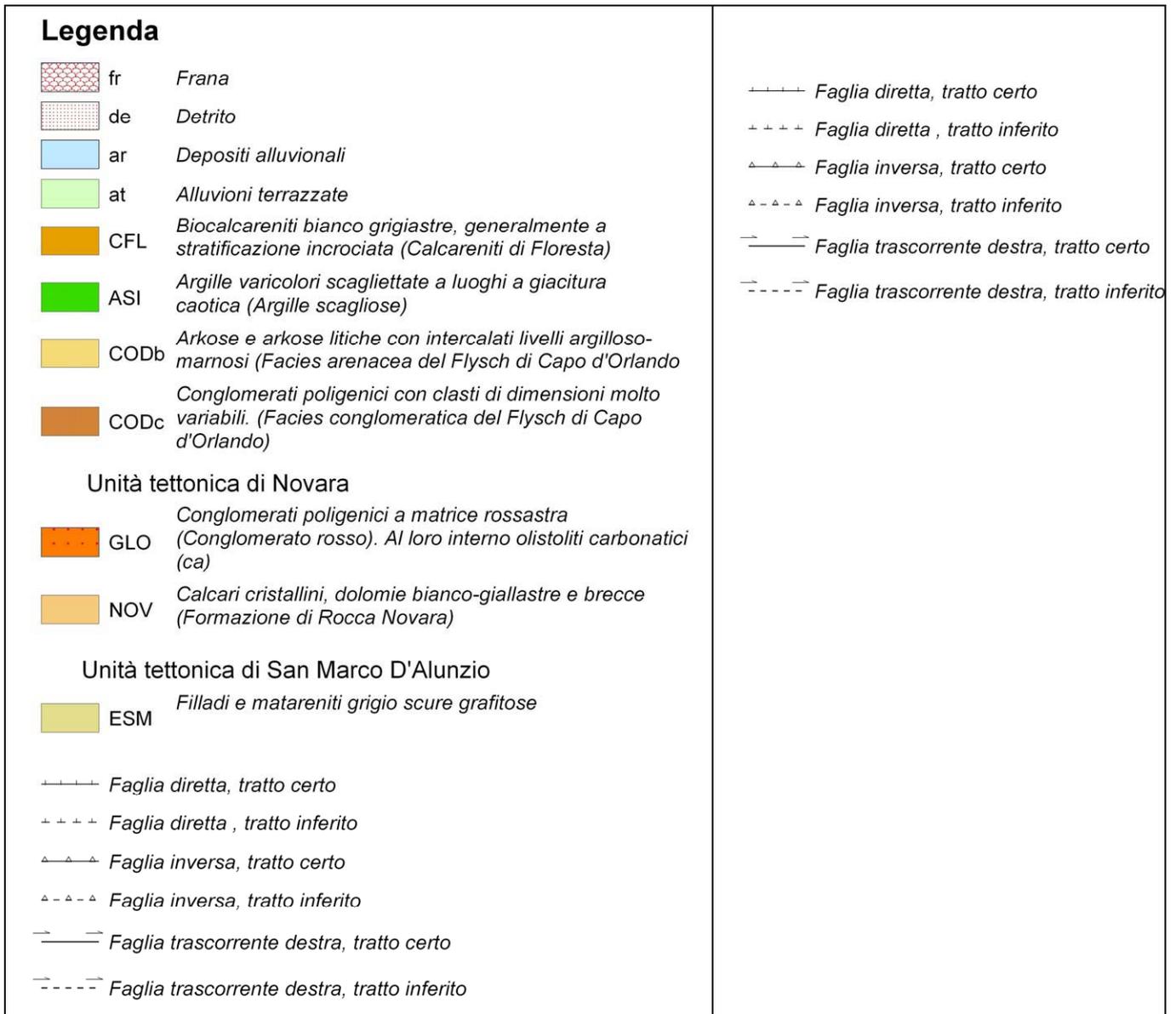


Fig. 3.28 – Carta geologica delle aree di studio del Comune di Novara di Sicilia redatta per lo studio di MS.

	Unità litostratigrafica	età	litologia	spessore
de, ar, at, fr	Coperture detritiche, depositi alluvionali e depositi da frana	Pleistocene Sup. - Recente	Materiali incoerenti o pseudocoerenti a tessitura caotica, costituiti da sabbie limose passanti a limi sabbiosi, con ciottoli e blocchi arenacei, depositi di discarica a composizione eterogenea, arenarie ed argille intensamente alterate.	
CFL	Calcareniti di Floresta	Burdigaliano superiore - Langhiano	Biocalcareni bianco grigiastre con, a luoghi, stratificazione incrociata, con alghe calcaree, briozoi ed Amphistegine. Arkose glauconitiche a cemento spatico. Strati spessi da pochi dm a circa 2 m. Presenza di intercalazioni argillose ed argillo-marnose con spessori variabili da pochi cm a qualche decimetro. Le intercalazioni aumentano in frequenza nella porzione superiore.	80-100 m
contatto stratigrafico discordante				
ASI	Unità tettonica " Antisicilide" Argille Scagliose dei Monti Peloritani	Cretacico Superiore	Argille varicolori scagliettate a luoghi con giacitura caotica con sottili intercalazioni di calcari allodapici bianchi e siltiti carbonatiche	Circa 100 m
contatto tettonico				
CODb	Flysch di Capo d'Orlando Facies arenacea	Oligocene superiore-Burdigaliano	arkose a composizione quarzoso-feldspatico-micacea, organizzata in strati con spessori decimetrici che possono passare a banchi metrici; intercalazioni millimetriche o decimetriche o, più raramente, metriche, a composizione argilloso-marnosa.	Fino a 350 m
contatto stratigrafico discordante				
GLO	Conglomerato Rosso	Oligocene Superiore?	Conglomerati poligenici con matrice rossastra.	100-150
NOV	Formazione di Rocca Novara	Giurassico Superiore-Eocene	Calcari cristallini, dolomie bianco-giallastre e brecce	Max c.a. 150m
contatto tettonico				
ESM	Unità di San Marco d'Alunzio	Paleozoico	Filladi e metareniti grigie	Fino a 500m

Tab. 3.1 – Tabella schematica rappresentativa della successione dei terreni sui quali gravitano il centro urbano di Novara di Sicilia e le frazioni di San Marco, San Basilio e Badiavecchia.

3.3.3 Lineamenti tettonici di Novara di Sicilia

Fra le principali faglie che interessano l'area sulla quale gravita il centro urbano di Novara di Sicilia, sono da evidenziare i sovrascorrimenti che sovrappongono il basamento cristallino dell'Unità di San Marco d'Alunzio sul Conglomerato Rosso, al margine occidentale del centro urbano. Due importanti faglie subparallele decorrono in senso NW-SE. La prima di queste faglie è di tipo diretto e disloca, in prossimità della porzione occidentale del centro urbano, il Conglomerato Rosso ed i terreni sottostanti, la seconda di tipo trascorrente destro decorre lungo l'impluvio di Ponte San Giorgio, alla periferia orientale del centro urbano.

Nella frazione di San Marco è inferito, al di sotto dei depositi da frana, il ricoprimento tra le Argille Scagliose ed il Flysch di Capo d'Orlando. L'abitato è inoltre bordato da due faglie dirette con complessivo andamento N-S che creano una struttura tipo graben nel quale si sviluppa l'abitato. Sono inoltre presenti delle faglie dirette, ad andamento NW-SE e NE-SW, che dislocano i terreni terziari e, al di fuori dell'area perimetrata, una faglia inversa che sovrappone le calcareniti di Floresta sulle Marne di Monte Pitò.

Per quanto concerne la frazione di San Basilio è presente uno splay costituito da tre scaglie tettoniche dell'Unità di Rocca Novara che si sovrappongono sulle metamorfite dell'Unità di San Marco, con andamento arcuato NE-SW. Questi thrust sono dislocati, a nord, da una faglia diretta ad andamento WNW-ESE.

Non si hanno evidenze che possano far considerare le faglie precedentemente descritte come attive. E' tuttavia da segnalare che il fascio di dislocazioni orientate in senso NW-SE che attraversano il territorio di Novara di Sicilia e, in particolare, la dislocazione trascorrente che decorre in prossimità del T. San Giorgio (centro urbano di Novara) potrebbero ricollegarsi al sistema di deformazioni noto come lineamento Tindari-Novara di Sicilia, considerato come faglia attiva e capace dal Catalogo Ispra (cfr. Par 2.3) oltre che da diversi lavori recenti (Sulli et al. 2012, cum bibl.).

Per un quadro schematico del complesso sistema di dislocazioni che interessano l'area si rimanda alle Fig. 3.29 e 3.30 (Giammanco et al., 2008).

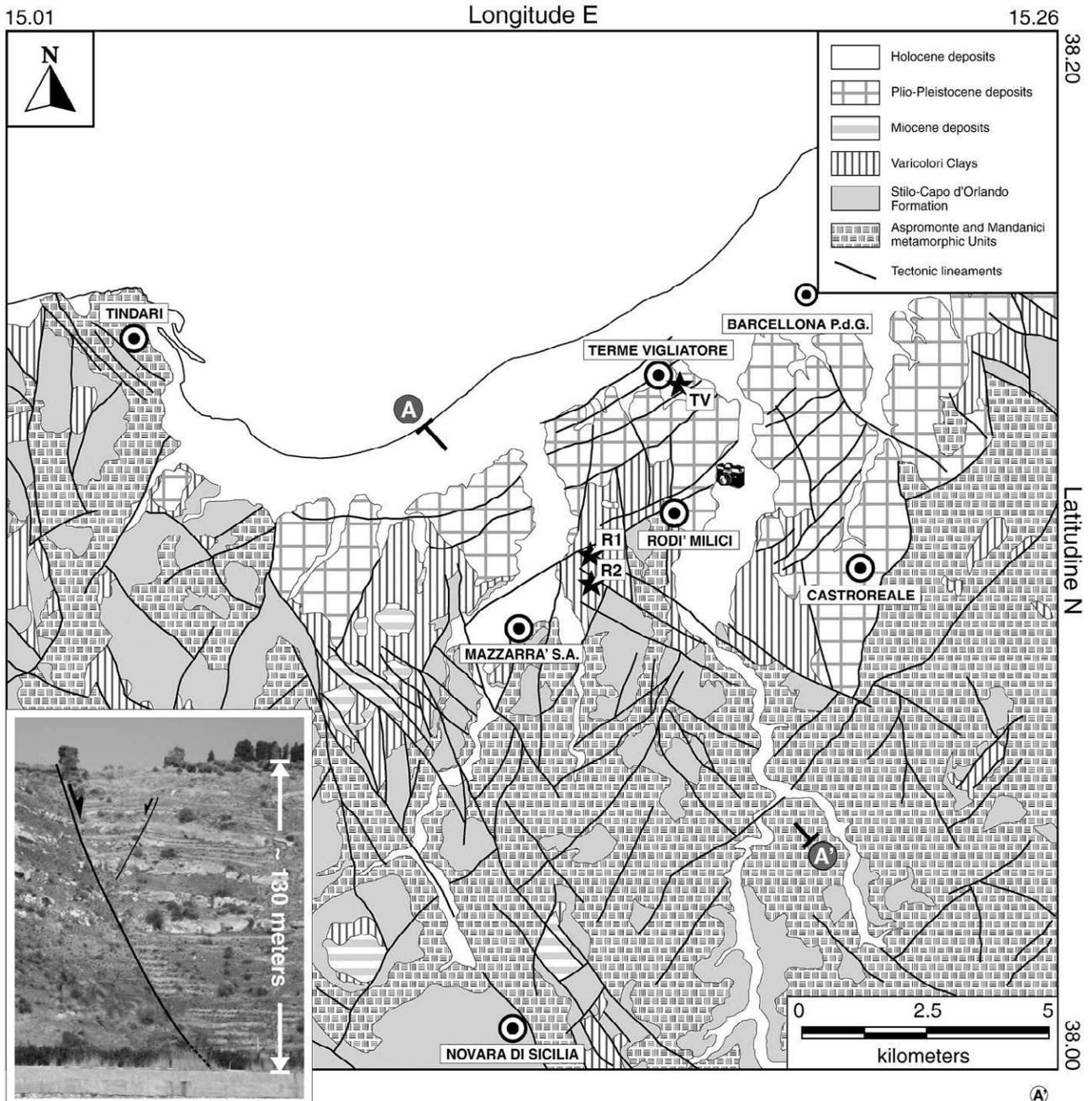


Fig. 3.29 – Carta strutturale semplificata del settore Tindari-Novara di Sicilia che mostra il complesso reticolo di faglie disposto principalmente lungo le direttrici NW-SE e NE-SW. Nell’insero in basso a sinistra, una delle faglie principali del settore (mod. da Giammanco et al., 2008).

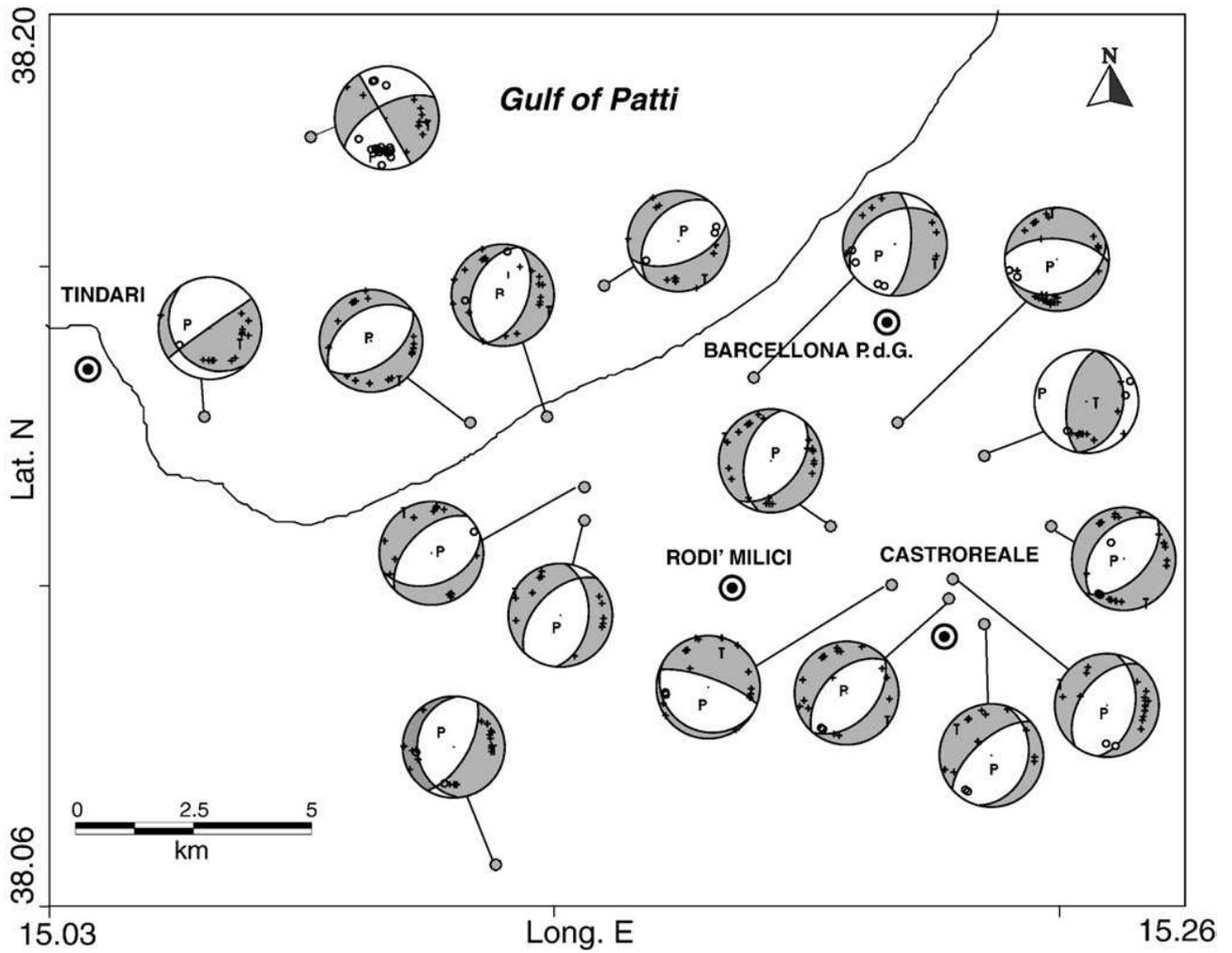


Fig. 3.30 – Meccanismi focali dei terremoti con magnitudo > 2.5 nell'area del Golfo di Patti (da Giammanco et al., 2008).

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 (Tab.. 4.2).

I dati pregressi raccolti derivano dallo studio geologico allegato al PRG elaborato dal Dr. Geol. Orazio Barbagallo.

INDAGINI PREGRESSE: NOVARA DI SICILIA	QUANTITA'
Sondaggi a carotaggio continuo: totale	17
In particolare i sondaggi riguardano i seguenti centri abitati:	
Sondaggi San Marco	7
Sondaggi Novara Centro	8
Sondaggi San Basilio	2

Tab. 4.1 – Sintesi delle prove geognostiche pregresse che riguardano il centro urbano di Novara di Sicilia.

INDAGINI DI NUOVA ACQUISIZIONE: NOVARA DI SICILIA	QUANTITA'
Misure passive del rumore ambientale (HVSR), mediante tecnica a stazione singola.	16
In particolare le misure riguardano:	
San Marco	2
San Basilio	2
Badiavecchia	2
Novara centro	10

Tab. 4.2– Sintesi delle prove geofisiche di nuova acquisizione che riguardano il centro urbano di Novara di Sicilia.

4.2 Unità geologico - litotecniche

In base all'esame dei terreni affioranti e dei dati di sottosuolo sono state distinte le unità geologico – litotecniche presenti nell'area da sottoporre a studi di microzonazione, differenziate tra terreni di copertura e substrato geologico rigido.

Per le coperture è stato considerato uno spessore minimo di 3 m e per la loro descrizione 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 (Tabb. 4.4 -4.6).

Centro Urbano di Novara di Sicilia e frazioni di San Marco, San Basilio, Badia Vecchia

Terreni di substrato

<i>Unità litostratigrafica</i>	<i>Tipologia di substrato</i>	<i>Sigla</i>	<i>stratificazione</i>
Calcareniti di Floresta	Non rigido	NRS	si
Calcareniti di Floresta	Granulare cementato	GRS	si
Argille Scagliose	Non rigido	NR	no
Argille Scagliose	Coesivo sovraconsolidato	CO	no
Flysch di Capo d'Orlando	Non rigido	NRS	si
Flysch di Capo d'Orlando	Alternanza litologica	ALS	si
Conglomerato Rosso	Non rigido	NR	no
Conglomerato Rosso	Granulare cementato	GR	no
Formazione di Rocca Novara	Non rigido	NR	no
Formazione di Rocca Novara	Lapideo	LP	no
Filladi di San Marco	Non rigido	NR	no
Filladi di San Marco	Lapideo	LP	no

Tab. 4.4 – Classificazione dei terreni di substrato del comune di Novara di Sicilia.

Terreni di copertura

RI	Terreni contenenti resti di attività antropica
SM	Sabbie limose, miscele di sabbia e limo

Tab. 4.5 – Classificazione dei terreni di copertura del Comune di Novara di Sicilia..

4.3 Indagini geofisiche precedenti

Relativamente all'area da sottoporre a microzonazione non è stato possibile reperire dati geofisici precedenti.

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 microtremiti 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).

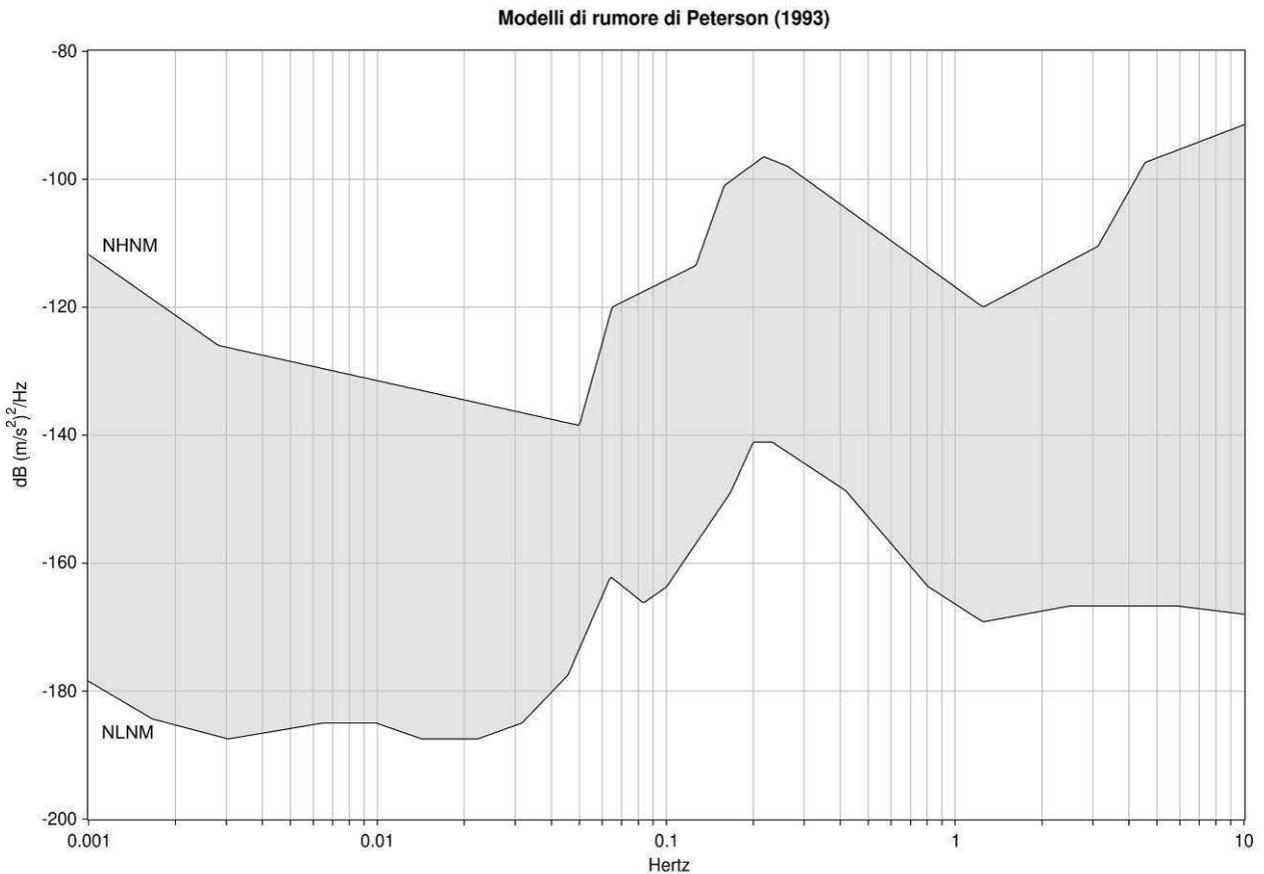


Fig. 4.1 – Spettro del rumore sismico (in termini di velocità, componente verticale del moto) minimo e massimo secondo Peterson (1993).

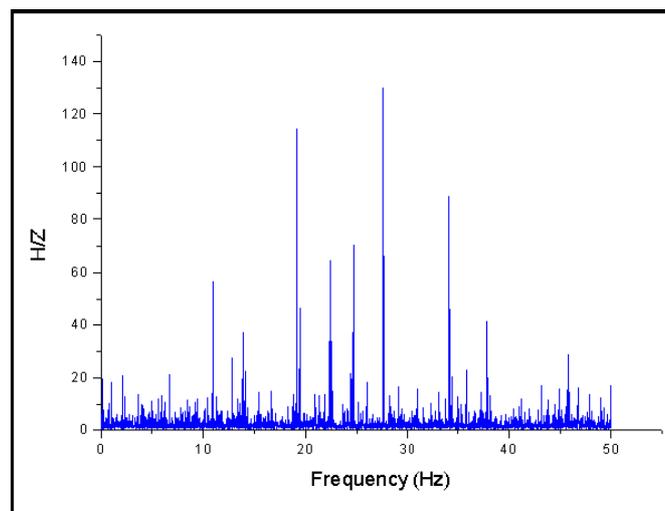


Fig. 4.2 – Esempio di spettro di ampiezza del rapporto H/Z di uno specifico sito.

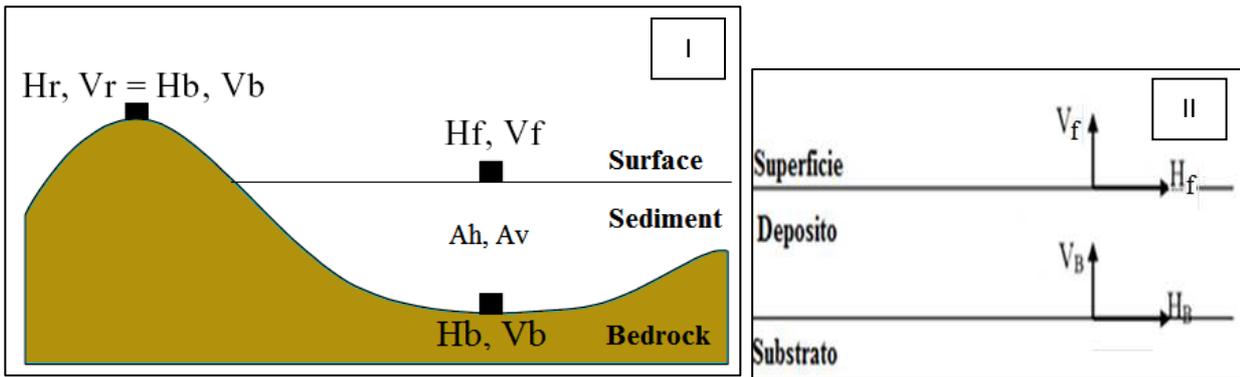


Fig. 4.3 – Schema del modello considerato da Nakamura (1989)

In queste condizioni si possono definire due spettri relativi alle misure delle vibrazioni superficiali orizzontali (H_f) e verticali (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 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.

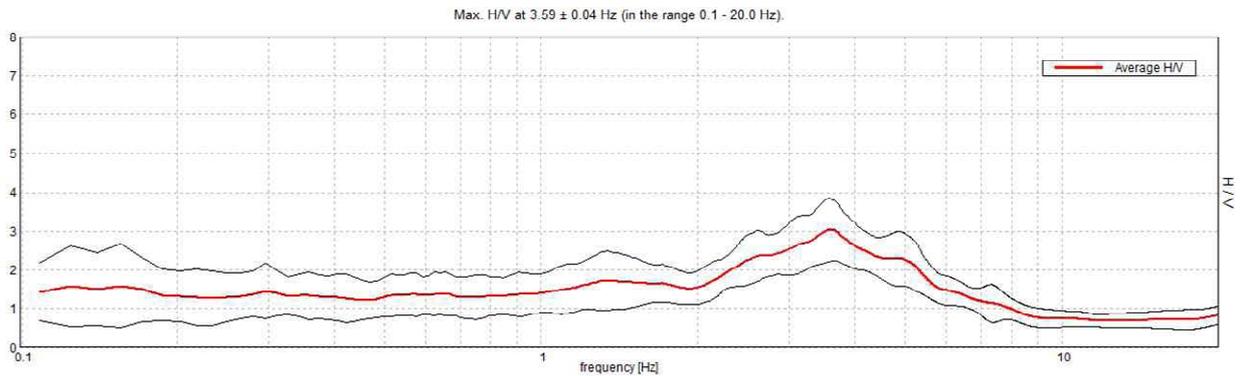
4.5 Indagini HVSR

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 16 punti di misura HVSR, come riportato nella carta di ubicazione delle indagini.

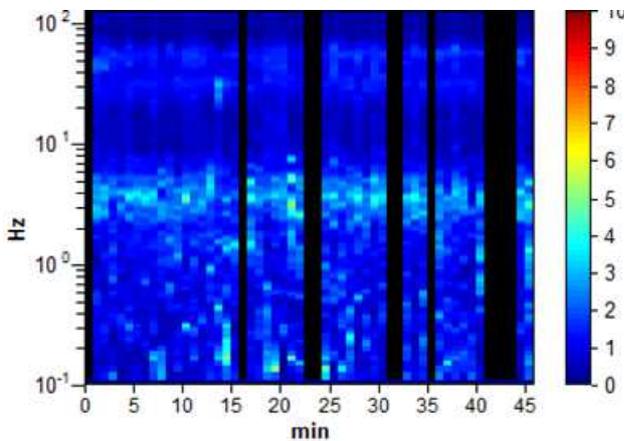
Tutte le misure sono state eseguite utilizzando il rilevatore sismico digitale TROMINO® della Micromed s.p.a., che utilizza una terna di sensori velocimetrici, smorzati criticamente, la cui funzione di trasferimento è dichiarata costante dal costruttore nell'intervallo di frequenze (0.1 ÷ 200) Hz. Il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

Per ogni punto di misura sono state eseguite registrazioni di noise della durata complessiva di 46 minuti, con una frequenza di campionamento pari a 256 Hz. I dati di rumore sismico sono stati elaborati con il software GRILLA della Micromed s.p.a., che consente di eseguire l'analisi HVSR delle tracce acquisite. La trasformata di Fourier viene calcolata su ogni singola traccia suddivisa in finestre temporali non sovrapponibili. Per ogni segnale registrato la scelta delle finestre temporali da analizzare, di durata di 50 s ciascuna, è stata effettuata manualmente, analizzando i grafici della variazione temporale e di quella azimutale dello spettro H/V e scegliendo soltanto le finestre temporali di noise caratterizzate da stime spettrali stazionarie temporalmente e non caratterizzate da chiara dipendenza direzionale, situazioni nelle quali è ipotizzabile una forte dipendenza degli spettri dal fenomeno che genera il noise. Gli effetti di direzionalità spettrale sono stati attribuiti alle caratteristiche del sottosuolo solo se stabilmente osservate nell'arco dei 46 minuti di registrazione. La scelta di estendere la durata della registrazione a 46 minuti, è stata fatta in modo da ottenere un segnale utile, generalmente non inferiore a 30 minuti, (Sesame, 2004). I dati nel dominio della frequenza sono stati filtrati con finestra triangolare per ottenere uno smussamento del 10 %. Un esempio di elaborazione di dati è riportato nella Fig. 4.4.

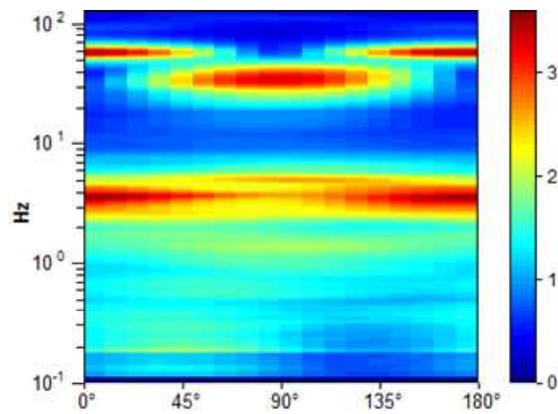
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA

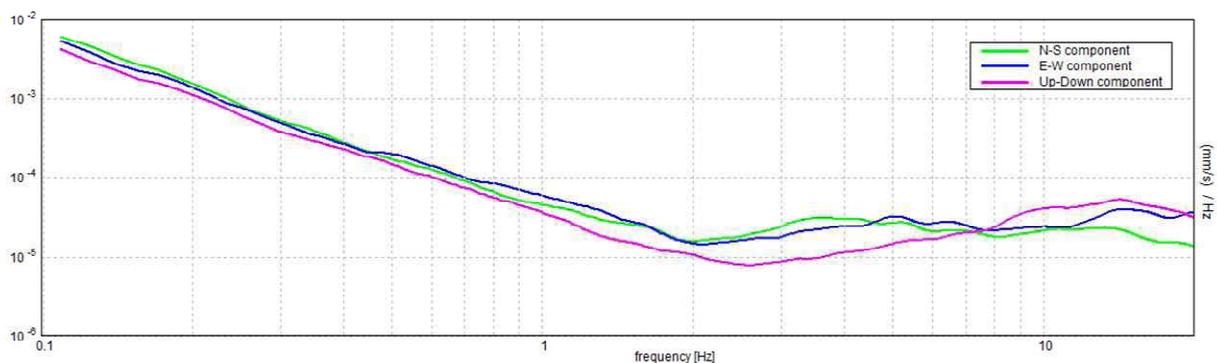


Fig. 4.4 – Analisi dei dati relativi al punto di misura 083062P28-HVSR28.

Le misure HVSR acquisite nel territorio comunale di Novara di Sicilia hanno messo in evidenza la presenza di possibili fenomeni di amplificazione del moto del suolo dovuti a fenomeni di risonanza su buona parte del territorio (Fig. 4.5). Tutti i picchi significativi, relativi alle curve HVSR, sono stati inseriti nella Tab. 4.7. In considerazione delle informazioni geologiche disponibili, la maggior parte delle misure effettuate sono state invertite per stimare la profondità del bedrock sismico. Dopo avere attribuito ad ogni punto di misura uno o più vettori a 4 componenti contenenti: frequenza del picco, ampiezza dello stesso e coordinate del punto di misura, si è proceduto ad individuare nell'insieme totale di vettori eventuali cluster relativi a insiemi di punti che ricoprivano porzioni

significative dell'area totale indagata. Nel caso specifico si è ritenuto di potere discriminare tre cluster (Fig. 4.6).

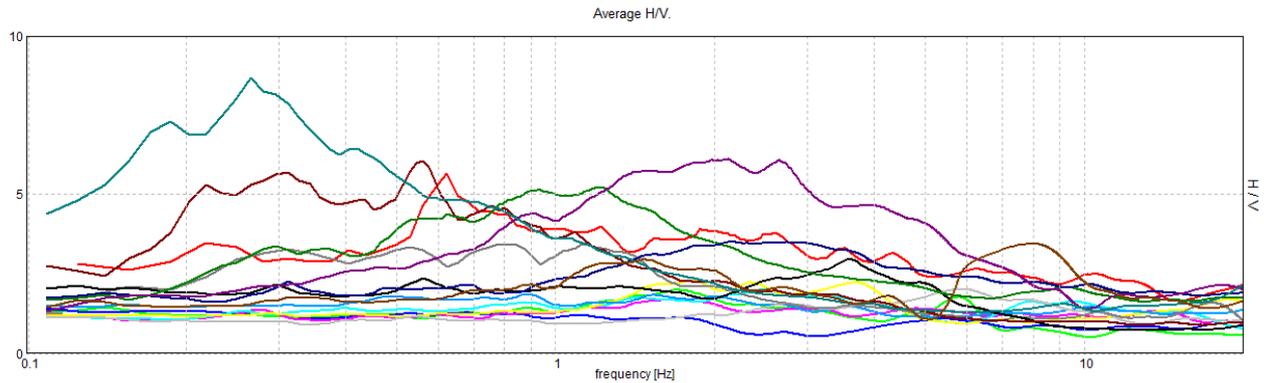


Fig. 4.5 – Segnali HVSR registrati dalle 16 stazioni singole.

	F_0	H/V di F_0	F_1	H/V di F_1	F_2	H/V di F_2	Profondità bedrock sismico
083062P25-HVSR25	*	*	*	*	*	*	*
083062P26-HVSR26	1.71	2.02	5.82	1.76	*	*	24
083062P27-HVSR27	2.48	2.02	7.85	1.63	*	*	6.6
083062P28-HVSR28	1.31	1.71	3.63	3.03	*	*	3
083062P29-HVSR29	2.64	1.51	5.82	1.91	*	*	11
083062P30-HVSR30	1.8	2.28	2.37	2.2	3.73	2.2	4.2
083062P31-HVSR31	1.69	1.72	*	*	*	*	7.5
083062P32-HVSR32	*	*	*	*	*	*	6
083062P33-HVSR33	*	*	*	*	*	*	*
083062P34-HVSR34	0.89	1.86	1.52	1.83	3.59	1.47	*
083062P36-HVSR36	2.65	3.3	*	*	*	*	3
083062P37-HVSR37	1.84	4.84	*	*	*	*	3
083062P38-HVSR38	*	*	*	*	*	*	3
083062P39-HVSR39	1.55	2.5	8.28	2.71	*	*	11
083062P40-HVSR40	1.09	3.44	2.8	2.4	*	*	*
083062P41-HVSR41	1.25	4.21	*	*	*	*	3

Tab. 4.7 – Punti di misura, frequenza e rapporto H/V dei picchi significativi individuati.

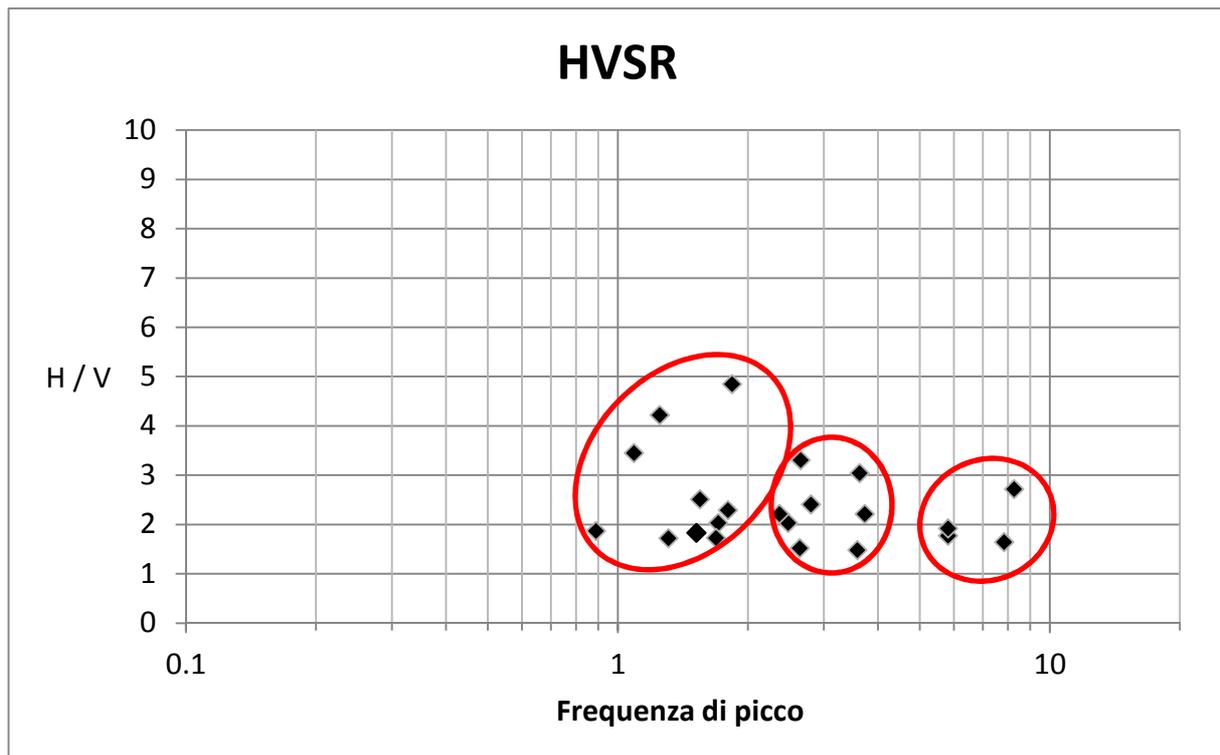


Fig. 4.6 – Frequenze di picco registrate e indicazione dei clusters utilizzati per la costruzione della carta delle frequenze.

5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

5.1 Il modello e le sezioni rappresentative del sottosuolo

L'integrazione di tutte le informazioni tratte dalla geologia di superficie, 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 Novara di Sicilia. Il modello è da ritenersi preliminare e la distribuzione, le caratteristiche geotecniche e l'accertamento di eventuali discontinuità dei corpi rocciosi presenti nel sottosuolo sono da approfondire mediante indagini indirette e dirette nei livelli di studio di microzonazione successivi.

Tale modello è rappresentato nelle 5 sezioni di Fig. 5.1 - 5.5. Le tracce delle sezioni sono riportate nella carta Geologico – Tecnica.

Frazione di San Marco

L'area di San Marco è caratterizzata da estese coperture costituite da depositi da frana, al di sotto dei quali sono presenti i termini arenacei del Flysch di Capo d'Orlando, le Argille Scagliose Antisicilidi e le Calcareniti di Floresta. Il substrato non rigido affiora nella porzione sud-occidentale dell'area perimetrata, dove affiora il Flysch di Capo d'Orlando (NRS) che viene a contatto, per faglia diretta, con i terreni metamorfici (NR)

La sezione 1-1', orientata in senso SW-NE attraversa la porzione mediana dell'area perimetrata e mostra, al di sotto dei corpi di frana, le arenarie del Flysch di Capo d'Orlando (ALS) che, verso NE, sono ricoperte tettonicamente dalle Argille Scagliose (CO). Quest'ultime sono dislocate da una faglia diretta. Nel tratto terminale di NE la sezione mostra la presenza, al di sotto dei depositi da frana di un substrato granulare costituito dalle Calcareniti di Floresta (GRS) che passa, in profondità alle Argille Scagliose.

COMUNE DI NOVARA DI SICILIA SEZIONE GEOLOGICA 1-1'

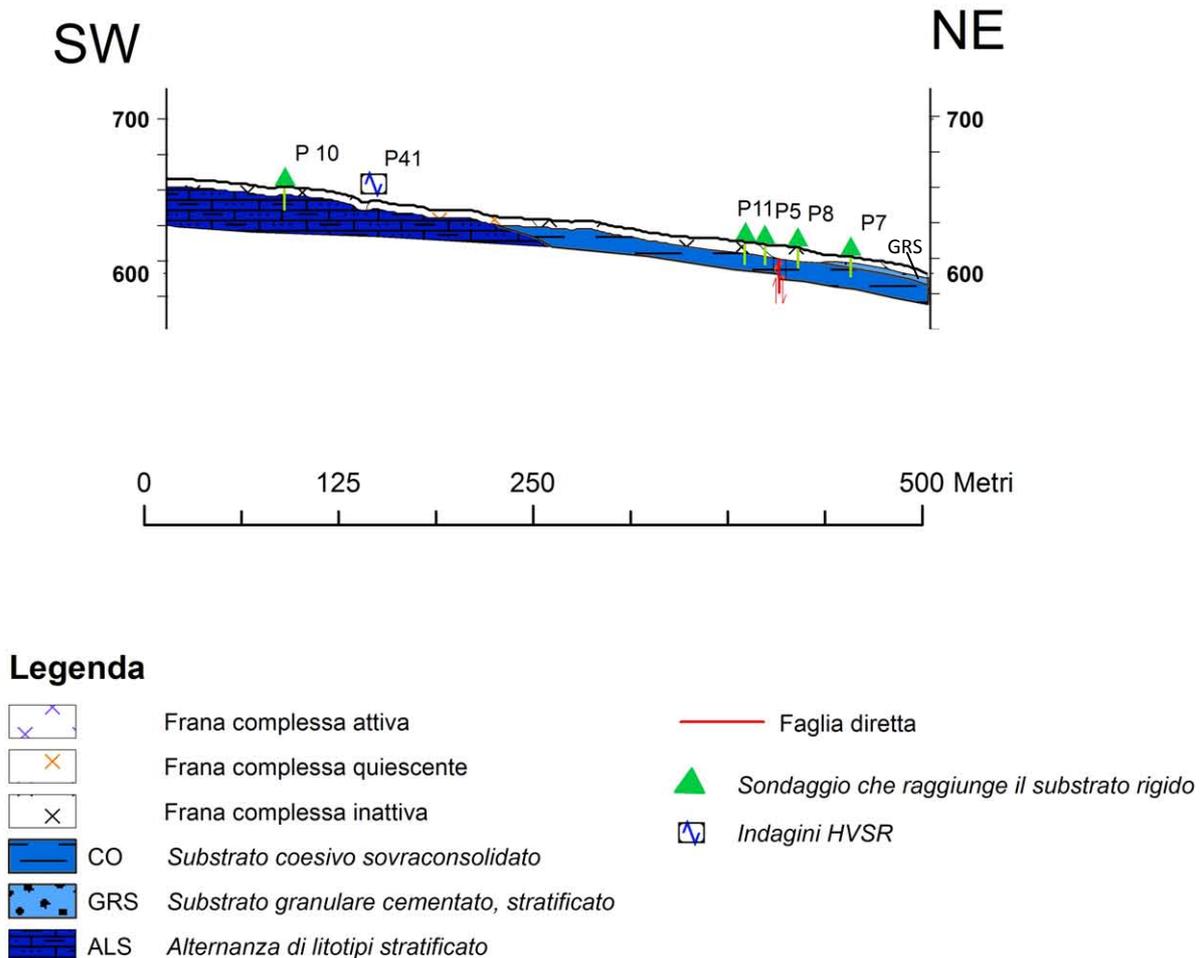


Fig. 5.1 – Sezione geologica 1-1' orientata SW-NE attraverso l'abitato di San Marco, comune di Novara di Sicilia (per l'ubicazione si veda la Carta Geologico – Tecnica).

Centro Urbano di Novara di Sicilia

Gran Parte del centro urbano di Novara di Sicilia insiste sull'omonima Unità di Rocca Novara, costituita da lembi carbonatici intensamente fratturati e dal Conglomerato Rosso. Le propaggini occidentali ed orientali dello stesso centro urbano insistono invece su terreni metamorfici. Tutti i litotipi risultano profondamente alterati nelle porzioni superficiali e coperti da spessori variabili di coltri detritiche.

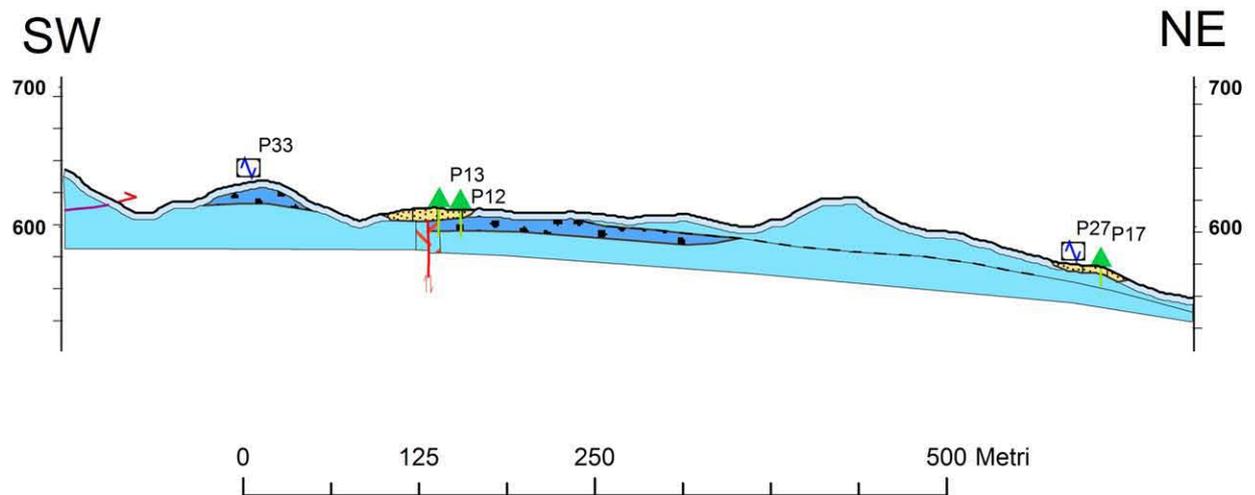
Sono state realizzate due sezioni geologiche rappresentative. La prima, sezione 2-2', decorre in senso SW-NE lungo la porzione mediana dell'area perimetrata. Procedendo da SW la sezione mostra il raddoppio delle metamorfiti di San Marco tramite un piano di sovrascorrimento che immerge ad ovest. In corrispondenza del sondaggio P33 si ha la sovrapposizione del Conglomerato Rosso (GR) sulle stesse metamorfiti. La sezione intercetta quindi una faglia, presunta al di sotto di una coltre detritica. Tale faglia mette a contatto il Conglomerato Rosso con le metamorfiti di San Marco. Procedendo verso NE la sezione evidenzia un lembo calcareo che ricopre il Conglomerato

Rosso. Nella porzione nord-orientale i carbonati risultano sovrapposti direttamente ai terreni metamorfici.

La sezione 3-3', con decorso N-S, mostra una situazione confortabile con la precedente con, lembi di carbonati e Conglomerato Rosso dell'Unità di Novara profondamente alterati in superficie che poggiano sulle metamorfiti di San Marco.

COMUNE DI NOVARA DI SICILIA

SEZIONE GEOLOGICA 2-2'



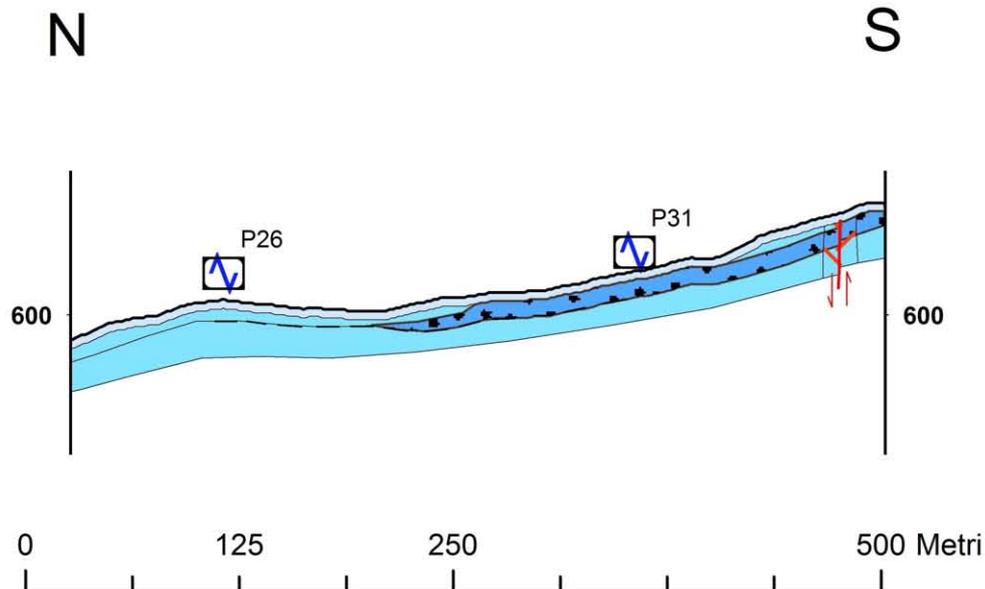
Legenda

	Fascia cataclastica		Faglia diretta
	SM Sabbie limose, miscela di sabbia e limo		Sovrascorrimento
	NR Substrato geologico non rigido		Sondaggio che raggiunge il substrato rigido
	GR Substrato granulare cementato		Indagini HVSR
	LP Substrato lapideo		

Fig. 5.2 – Sezione geologica 2-2', orientata SW-NE attraverso l'abitato di Novara di Sicilia (per l'ubicazione si veda la Carta geologico – tecnica).

COMUNE DI NOVARA DI SICILIA

SEZIONE GEOLOGICA 3-3'



Legenda

	Fascia cataclastica		Faglia diretta
	NR Substrato non rigido		Indagini HVSR
	GR Substrato granulare cementato		
	LP Substrato lapideo		

Fig. 5.3 – Sezione geologica 3-3' che decorre in senso N-S nel settore centrale dell'abitato di Novara di Sicilia (per l'ubicazione si veda la Carta geologico – tecnica).

Frazione di San Basilio

Nell'area di San Basilio affiora prevalentemente il Conglomerato Rosso che sovrascorre, nel settore meridionale sulle metamorfiti di San Marco. Le due unità litodemiche sono profondamente alterate nelle porzioni superficiali. Il settore centrale dell'area è interessato da un vasto fenomeno di dissesto che si sviluppa in senso WE e che interessa le porzioni superficiali del Conglomerato Rosso. L'assetto geologico del sottosuolo dell'area è rappresentato nella sezione 4-4'.

COMUNE DI NOVARA DI SICILIA

SEZIONE GEOLOGICA 4-4'

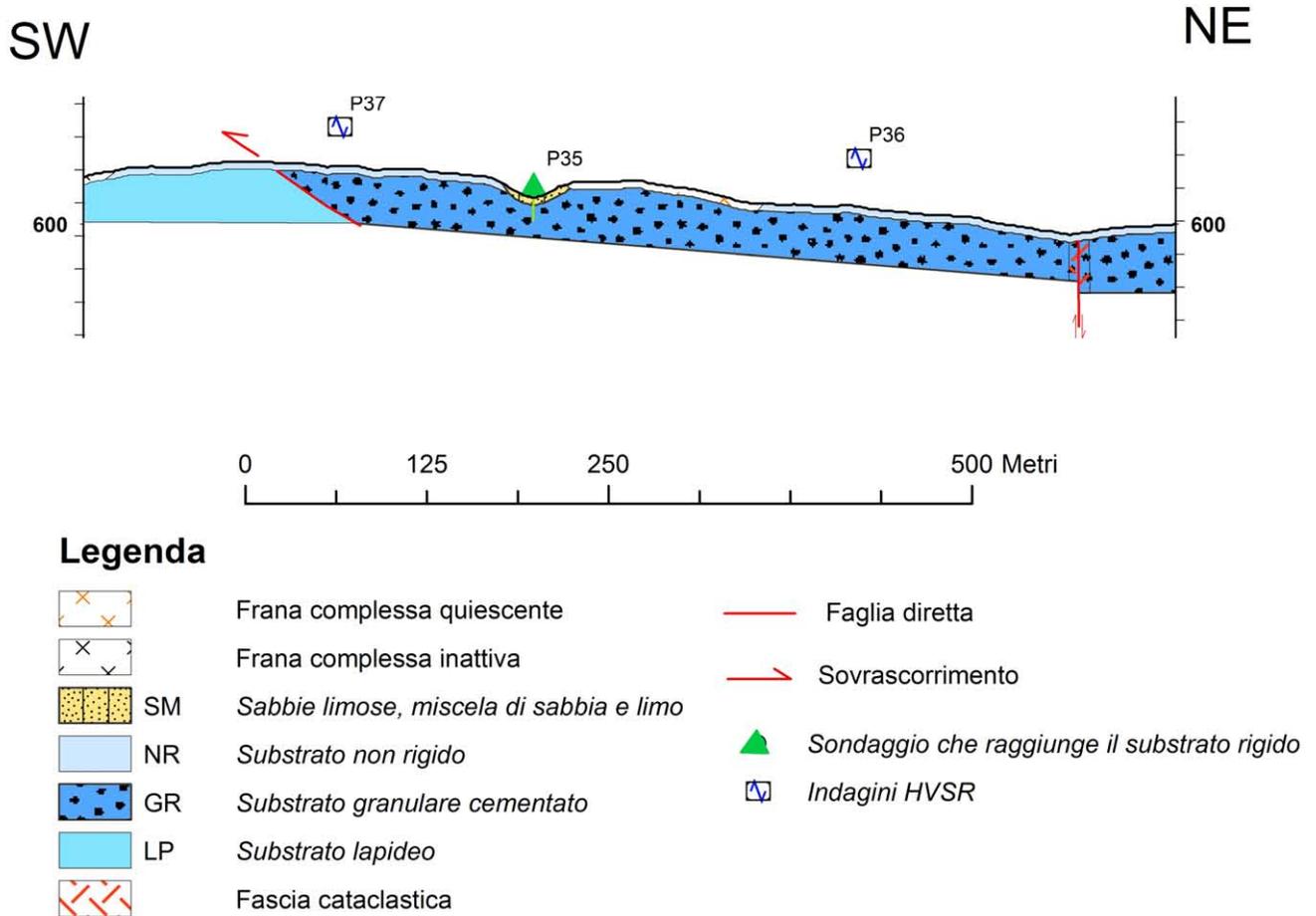
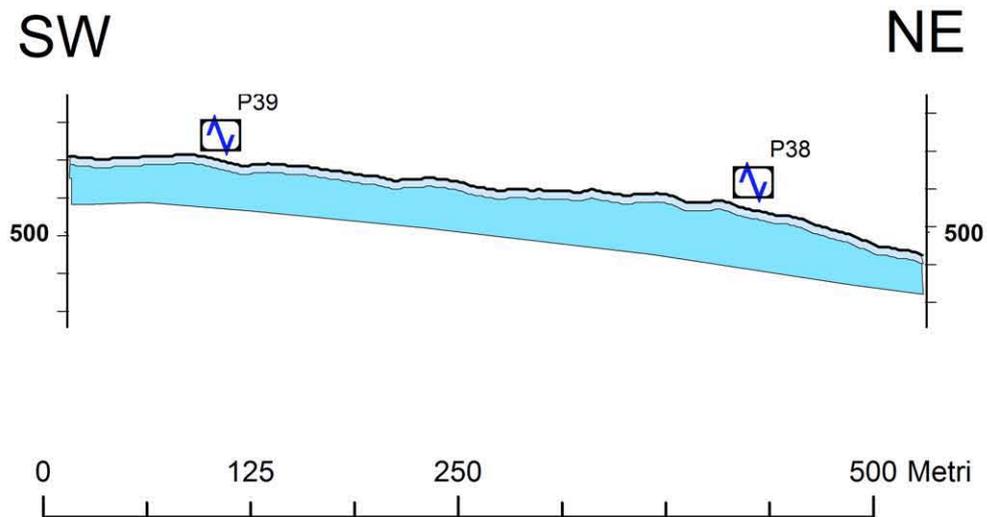


Fig. 5.4 – Sezione geologica 4-4' che decorre, in senso NE-SW, lungo il centro abitato di San Basilio (per l'ubicazione si veda la Carta geologico – tecnica).

Frazione di Badia Vecchia

Il sottosuolo di questa frazione è costituito dalle metamorfiti di San Marco, profondamente alterate nella loro porzione superficiale. Il modello del sottosuolo è rappresentato nella sezione 5-5' che decorre in senso SW-NE.

COMUNE DI NOVARA DI SICILIA SEZIONE GEOLOGICA 5-5'



Legenda

- | | |
|--|---|
| <p> NR <i>Substrato non rigido</i></p> <p> LP <i>Substrato lapideo</i></p> | <p>↕ <i>Indagini HVSR</i></p> |
|--|---|

Fig. 5.5 – Sezione geologica 5-5' che decorre, in senso NE-SW, lungo l'abitato di Badia Vecchia (per l'ubicazione si veda la Carta geologico – tecnica).

Nella Fig. 5.6 vengono rappresentate le stratigrafie di alcuni dei sondaggi disponibili all'interno delle aree perimetrare (si veda la Carta geologico-tecnica - Cap. 8- per l'ubicazione).

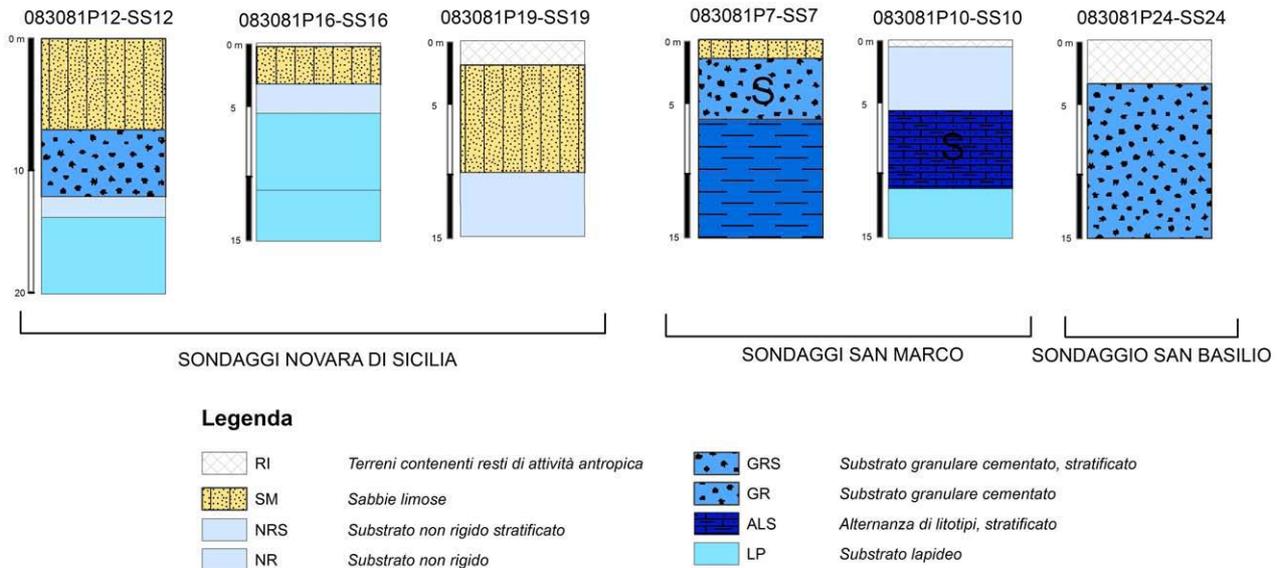


Fig. 5.6 – Colonne rappresentative di sei sondaggi (P7, P10, P12, P16, P19 e P24).

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 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 sotto determinato, anche se si ipotizza un sottosuolo rappresentabile mediante strati orizzontali perfettamente elastici, omogenei ed isotropi. E' quindi necessario integrare l'insieme di equazioni di osservazione con equazioni vincolari provenienti da altri tipi di indagine o da ragionevoli ipotesi geologiche e/o fisiche.

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

La ricostruzione, lungo determinati profili, della profondità dal piano di campagna del bedrock sismico è stata eseguita avvalendosi anche delle informazioni ottenute dall'inversione di alcuni sondaggi HVSR (Fig. 5.3) vicini ai profili, grazie alla relazione che lega i valori della frequenza fondamentale di risonanza alla profondità del bedrock sismico (Aki, 1964; Fäh et al., 2002; Wathelet et al., 2004) e ipotizzando una trascurabile variabilità della velocità delle onde S all'interno di ogni strato. Le inversioni dei dati HVSR hanno tenuto in considerazione tutti i picchi significativi individuati, per ogni punto di misura (Fig. 4.7).

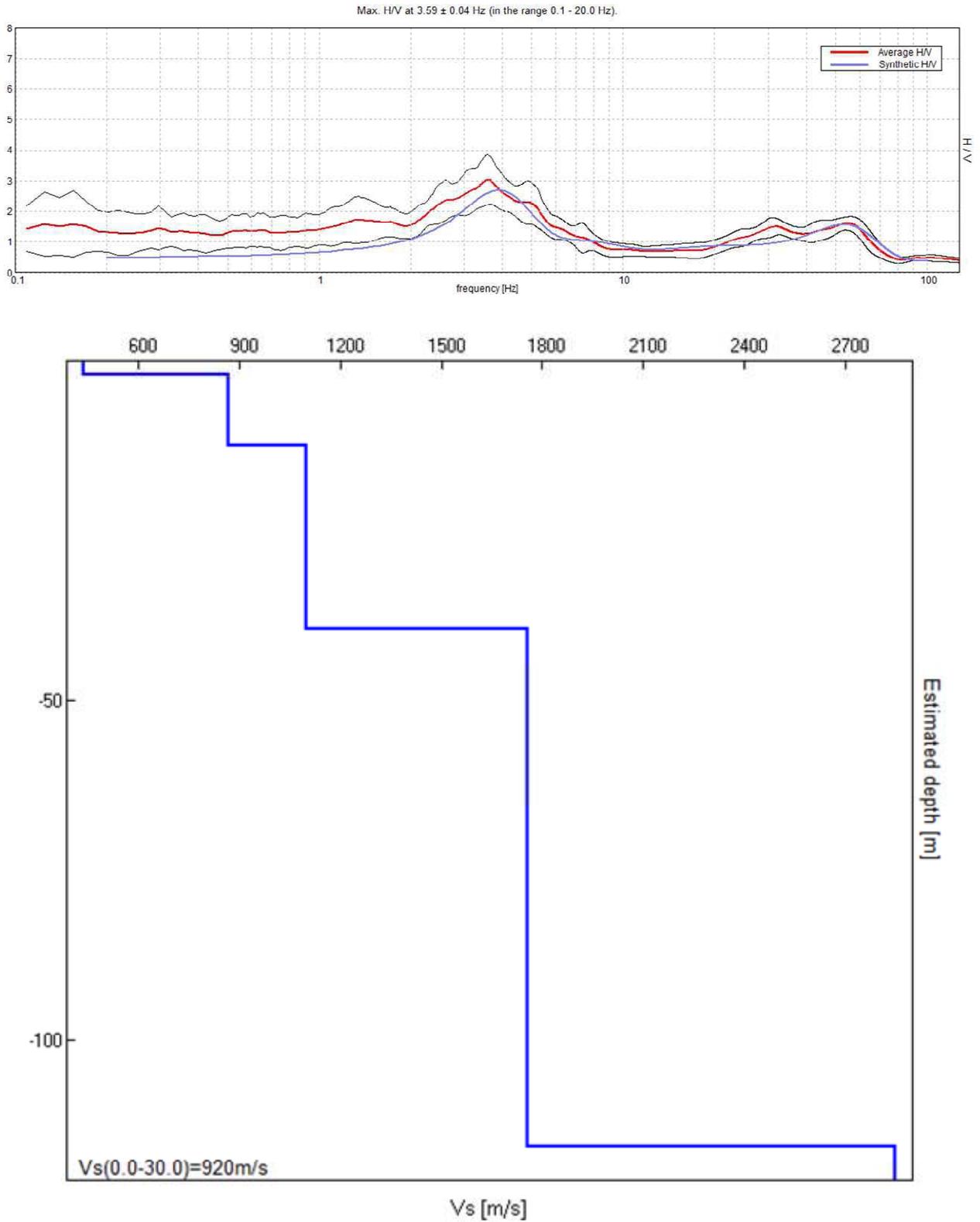


Fig. 5.3 – Esempio di modello monodimensionale a strati della velocità delle onde di taglio ottenuta dall'inversione del sondaggio 083062P28-HVSR28.

6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

6.1 Incertezze sul modello geologico tecnico del sottosuolo

Sebbene il Comune di Novara di Sicilia abbia fornito i risultati di un certo numero di indagini ed il personale tecnico si sia dimostrato disponibile e cooperativo, non ha a disposizione indagini di qualità tale da permettere la definizione di un modello geologico attendibile del sottosuolo. Le ragioni possono essere così sintetizzate:

1. La distribuzione delle indagini disponibili è concentrata solo in alcune aree, individuate in funzione della realizzazione di specifici interventi progettuali, e quindi prescinde da una pianificazione atta a definire un modello geologico del sottosuolo.
2. Non sono disponibili dati relativi a campagne di geofisica indirizzate alla ricostruzione tridimensionale del substrato geofisico, nonché all'individuazione di eventuali elementi morfologici sepolti quali ad esempio, valli, scarpate e cavità.
3. I dati relativi allo stato di fratturazione delle unità geologiche afferenti al substrato sono prevalentemente di tipo qualitativo e non quantitativo e, di fatto, non consentono di definire correttamente gli spessori delle coltri di alterazione superficiale. Questo si traduce inoltre nell'impossibilità di mappare con sufficiente precisione le zone con spessori significativi (superiore a 3 m) dello strato di copertura.
4. Non sono note le zone dove sono presenti spessori significativi di materiali di riporto.
5. Non sono noti gli spessori reali delle coltri detritiche.
6. La documentazione acquisita non ha consentito l'individuazione, l'analisi e l'elaborazione attraverso modelli numerici di tutti quei fenomeni/elementi quali la liquefazione, i cedimenti differenziali e le faglie attive e capaci.

Per le ragioni sopra elencate il modello geologico del sottosuolo prodotto con il presente studio ha carattere puramente indicativo ed ha l'obiettivo di fornire indicazioni per la pianificazione delle future indagini da condurre nelle successive fasi di MS.

E' evidente quindi 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 del sottosuolo di Novara di Sicilia.

Fra gli elementi di incertezza si segnalano:

- 1) Caratteristiche geotecniche e spessore dei depositi delle coperture e della coltre di alterazione del substrato;
- 2) Caratteristiche geotecniche delle litologie e geometria e distribuzione dei corpi rocciosi al di sotto delle coperture;
- 3) Localizzazione di eventuali discontinuità tettoniche nel sottosuolo e quantificazione dei rigetti.

Sarà opportuno pertanto definire, nei livelli successivi di indagini di MS un piano di indagini geofisiche e geotecniche in grado di integrare ed estendere le informazioni acquisite presente studio 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 alla definizione delle 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 particolari problemi inversi. Questi, comunque, risultano sempre sotto determinati rispetto a qualche parametro incognito e 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 Novara di Sicilia non ha consentito una sufficiente taratura delle stime effettuate. Per le considerazioni espresse nel par. 4.3, valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio compatibili con i vincoli sugli spessori degli strati e sulle litologie presenti nell'area sono stati adottati nell'inversione di alcune curve HVSR. In particolare sono state interpretate le curve relative a tutti punti di misura, ad esclusione di quelle relative ai punti 083062P25-HVSR25, 083062P32-HVSR32, 083062P33-HVSR33, 083062P34-HVSR34 e 083062P40-HVSR40, perché prive di picchi significativi nell'intervallo di frequenze utile o caratterizzate da forte dipendenza azimutale del segnale, causata probabilmente da effetti non

stratigrafici. I risultati ottenuti sono stati utilizzati per la costruzione di cinque sezioni geologico-tecniche riportate in relazione.

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 quindi da considerarsi solo delle stime approssimative 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 picchi caratterizzati da valori di frequenze simili tra loro (Figg. 4.6 e 4.7). Tuttavia non è possibile escludere che anche picchi relativi a valori di frequenze simili siano dovuti 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. Nel grafico frequenza di picco/ampiezza possono essere altresì individuati punti anomali, attribuibili a effetti topografici o alla predominanza di sorgenti antropiche, che non vengono considerati per la costruzione delle carte. È bene infine precisare che, a causa di variazioni laterali di parametri fisico – meccanici (porosità, contenuto d'acqua, grado di fratturazione, ecc.), non sempre gli spessori determinati attraverso questa tecnica interpretativa, coincidono con gli spessori litologici.

7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Le **discontinuità morfologiche** in grado di determinare l'amplificazione del moto del suolo in seguito a meccanismi di focalizzazione delle onde sismiche, sono state individuate attraverso diverse fasi di lavoro. In una prima fase è stato acquisito ed elaborato il modello digitale di terreno

con cella pari a 2 m (A.R.T.A. 2007/2008), allo scopo di ottenere per le aree studiate la carta delle acclività. A partire da quest'ultima è stato possibile, utilizzando semplici strumenti di analisi spaziale e 3D, individuare le rotture di pendenza significative, in corrispondenza delle quali sono stati delimitati gli eventuali elementi di amplificazione quali linee di scarpata, creste, selle e cime isolate. A questa prima fase di analisi remota della topografia dell'area, è seguita una fase di verifica diretta sul campo e/o remota, in quest'ultimo caso utilizzando strumenti di visualizzazione quali Google Earth™. Infine, sono state verificate le informazioni ottenute, mediante sovrapposizione degli elementi individuati sulle foto aeree e delle informazioni litologiche, in particolare verificando:

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

7.2 Standard di archiviazione informatica degli elementi morfologici

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Descrizione	Tipo_ep
Picco isolato	6010
Cavità sepolta isolata	6020

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

7.3 Elementi di amplificazione topografica

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

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

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

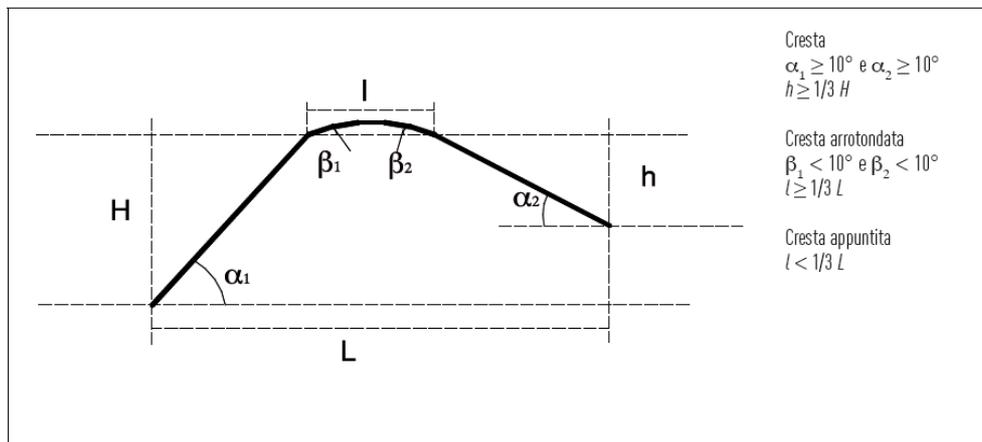


Fig. 7.1 - Schemi di riferimento per le creste e criteri di riconoscimento (ICMS).

Per quanto riguarda il riconoscimento delle scarpate, sono state considerate tali quelle situazioni che presentano (Fig. 7.2): un'altezza H , pari almeno a 10 m; 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 $\beta > \alpha/5$ la situazione è da considerarsi pendio); il dislivello altimetrico minimo (h) minore di un terzo del dislivello altimetrico massimo (H), nel caso di scarpate in contropendenza (per $h \geq H/3$ la situazione è da considerarsi una cresta appuntita); un'inclinazione al piede del fronte principale α pari almeno a 10° .

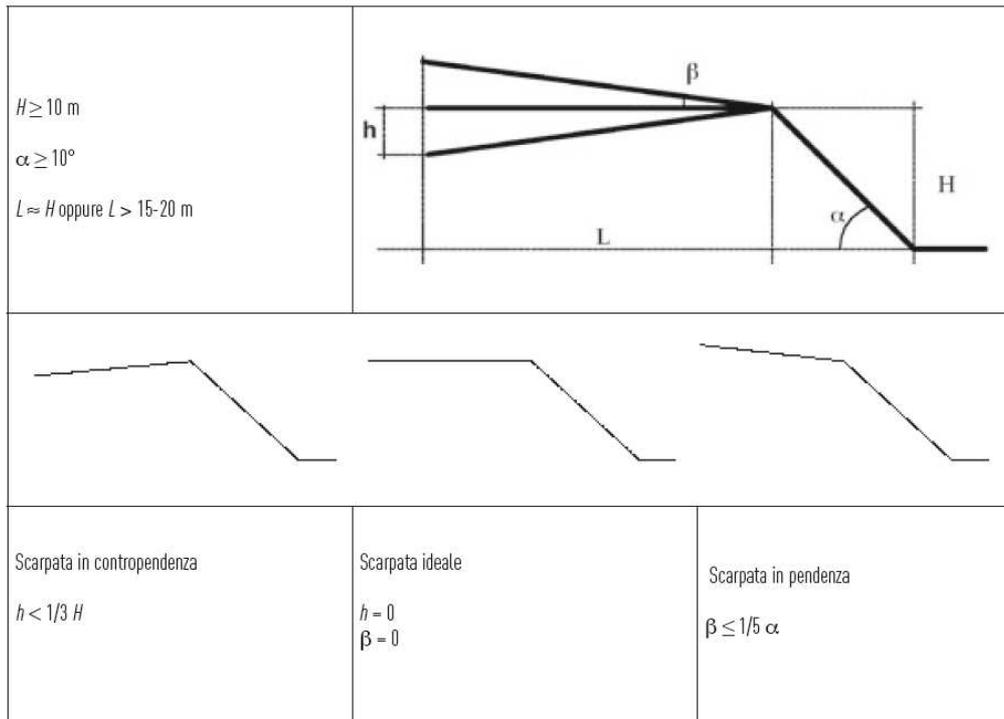


Fig. 7.2 - Schemi di riferimento per la scarpata e criteri di riconoscimento (ICMS).

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

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

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

In questa sede, si è scelto dunque di seguire una procedura che individua le linee di scarpata, corrispondenti a brusche variazioni di inclinazione, spesso associate a tratti di versante costituenti scarpate "in senso classico" (in parete o con inclinazioni tra 45° e 90°), ancorché, frequentemente, con altezze anche inferiori ai 10 m, procedendo poi ad analizzare, mediante la realizzazione di sezioni topografiche di dettaglio, le caratteristiche morfometriche dei versanti, che vengono limitati superiormente dalle linee di scarpata riconosciute. Per ciascuna linea di scarpata, vengono realizzati uno o più profili, in modo da fornire un'indicazione della variabilità spaziale delle

caratteristiche morfometriche; queste ultime dipendono infatti dall'assetto geomorfologico del versante lungo cui si imposta la linea di scarpata, così come dalla morfodinamica del versante stesso.

Analisi delle pendenze

Per l'individuazione degli elementi morfologici quali scarpate, creste e cime isolate sono stati realizzati degli elaborati intermedi, confrontando i quali è stato poi possibile pervenire ad una individuazione sistematica degli elementi di interesse, da condursi all'interno del perimetro del centro abitato.

Un primo elaborato preso in considerazione è il modello digitale di terreno ad alta risoluzione. A partire da questo, sono stati realizzati, lungo le principali direttrici di sviluppo dei centri abitati analizzati, alcuni profili topografici di inquadramento, utili al riconoscimento dei principali motivi topografici caratterizzanti l'area indagata (creste, rilievi isolati, pendii, scarpate).

Parallelamente, ricavando dal modello digitale di terreno la carta delle pendenze (Fig. 7.3) ed incrociandola con la base topografica in scala 1:10.000, è stato possibile individuare tutti gli allineamenti marcati da notevoli variazioni di pendenza in senso longitudinale. Le classi sono state individuate a partire dalla classe 0°-15°, per incrementi successivi di 1/5 del valore soglia della classe precedente, cosicché ad ogni variazione di colore corrisponda una scarpata o pendio significativi in termini di pendenza (Fig. 7.4). Si è deciso di individuare le scarpate a partire dai 15° perché al di sotto dei 15° gli effetti litologici prevalgono sempre su quelli topografici (ICMS).

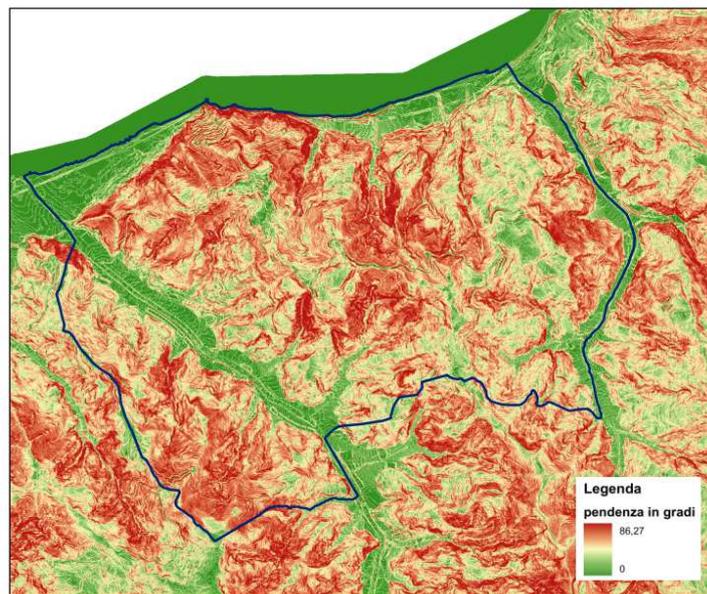


Fig. 7.3 – Esempio di carta della pendenza (esempio: Piraino, Me).

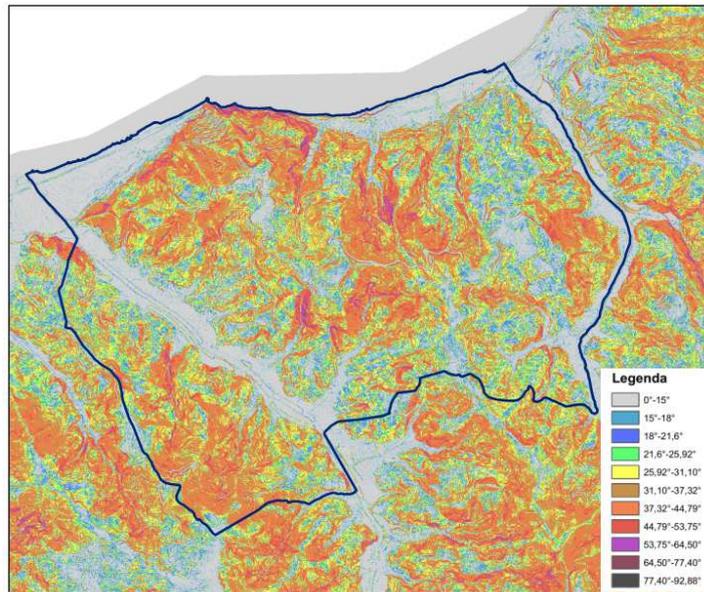


Fig. 7.4 – Esempio di riclassificazione della pendenza (esempio: Piraino, Me).

Individuazione degli elementi morfologici

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

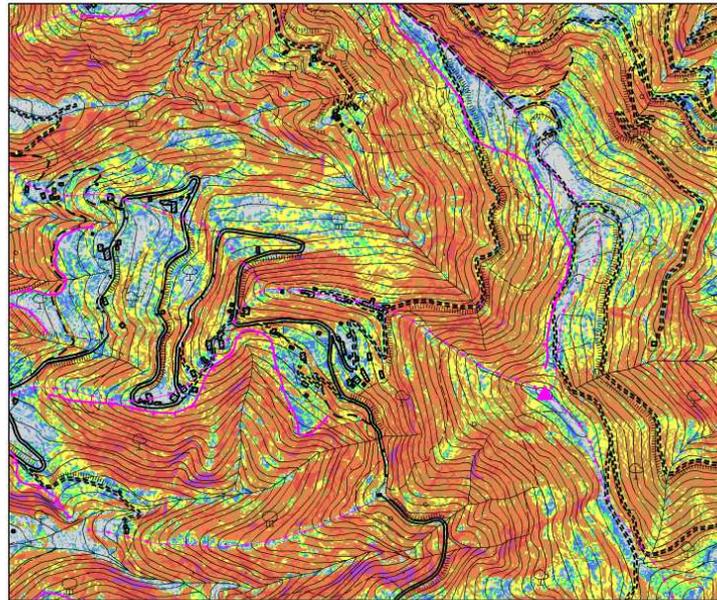
Infine, sono stati selezionati gli elementi antropici per verificare la coerenza tra gli elementi morfologici individuati ed i centri abitati. Quest'ultimo passaggio riguarda in particolare le scarpate, le quali infatti possono non intersecare case o strade, pur trovandosi nelle loro immediate vicinanze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

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

Le zone identificano quattro categorie di effetti deformativi:

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

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



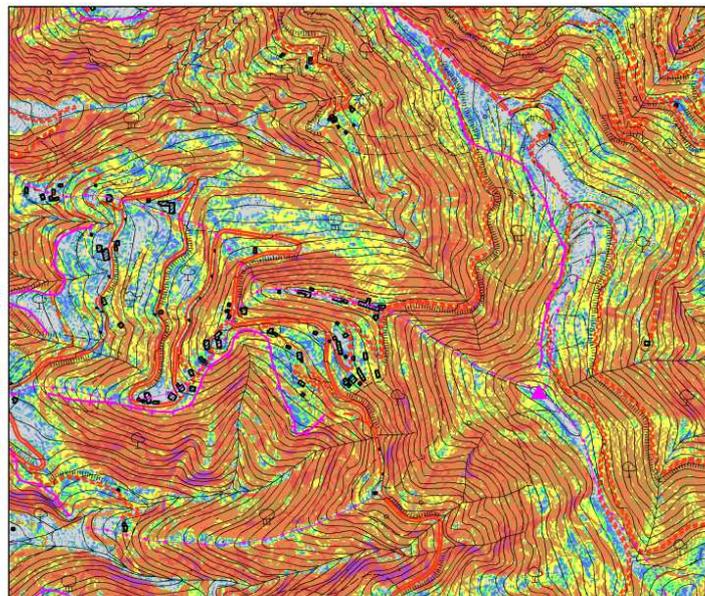
Legenda

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

Elementi morfologici

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

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



Legenda

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

Elementi morfologici

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

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

7.4 Criteri adottati per la costruzione della carta delle frequenze

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

8. ELABORATI CARTOGRAFICI

8.1 Carta delle indagini

La carta delle indagini (Fig. 8.1) mostra l'ubicazione dei sondaggi e delle prove rese disponibili per lo studio di microzonazione dell'area perimetrata del comune di Novara di Sicilia.

Le indagini presenti all'interno del territorio del Comune di Novara di Sicilia 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 nel centro urbano principale, esse sono concentrate nel settore occidentale e nord-orientale dell'area perimetrata. Nella frazione di San Marco sono localizzate principalmente al margine orientale dell'area di studio, mentre le frazioni di San Basilio e Badia vecchia contengono un numero inferiore di indagini.

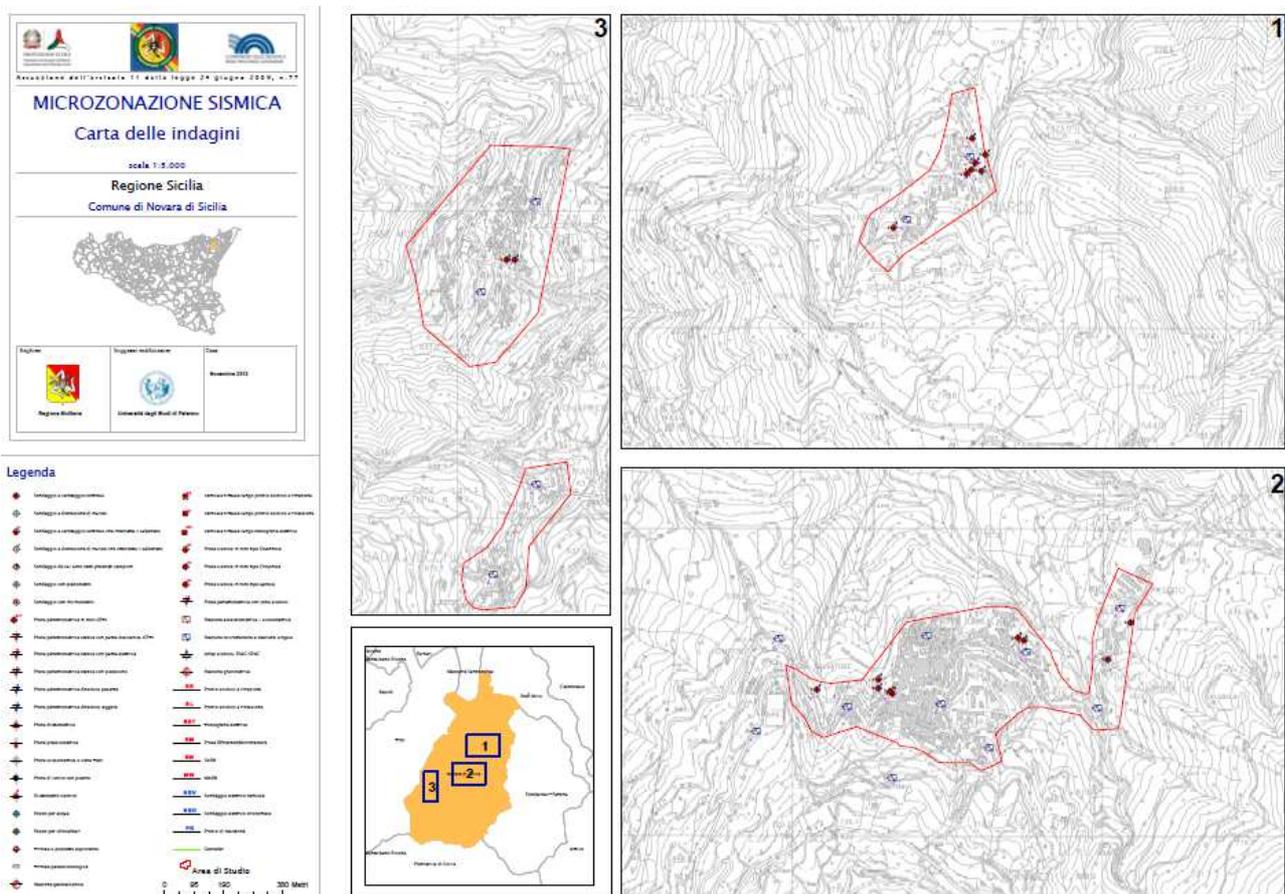


Fig. 8.1 - Riduzione della carta delle indagini del territorio di Novara di Sicilia ed indicazione dell'area oggetto di microzonazione (v. PDF in cartella PLOT).

8.2 Carta Geologico-tecnica

La carta geologico – tecnica (Fig. 8.6) evidenzia come gran parte del territorio nel quale ricade il centro urbano di Novara di Sicilia e le sue frazioni, sia caratterizzato da una elevata complessità geologica derivante dal suo assetto stratigrafico e dalla tettonica sin- e tardorogena. Sono inoltre

presenti diffuse coltri di alterazione del substrato che ne riducono le proprietà meccaniche nei primi metri dal piano di campagna. Sono inoltre presenti diverse frane caratterizzate da diverse tipologie e stati di attività.

8.2.1 Il substrato geologico

Nel Centro Urbano principale il substrato geologico affiora estesamente. E' costituito da Calcari e calcari dolomitici della Formazione Rocca Novara, dal Conglomerato Rosso e dalle metamorfiti dell'Unità di San Marco (cfr. Cap. 3), che nella porzione superficiale, risultano profondamente alterati e, per quanto concerne i carbonati, intensamente fratturati e carsificati. I nuclei carbonatici affiorano come megaolistoliti. Il più grande di questi olistoliti si estende nella porzione centro settentrionale del centro urbano e origina un rilievo sul quale è edificato parte del nucleo storico. Altri olistoliti minori, si trovano nel settore centrale e centro- meridionale del nucleo urbano. Si sottolinea come l'estensione di tali blocchi nel sottosuolo non è valutabile in assenza di indagini. I depositi clastici eterogeni ed eterometrici del Conglomerato Rosso si trovano in complessi rapporti stratigrafici e tettonici sia con i nuclei carbonatici precedentemente descritti che con le metamorfiti che si trovano al di sotto di questi terreni (cfr. Cap. 5).

Nell'area di San Marco i terreni del substrato non rigido affiorano soltanto nella terminazione sud-occidentale dell'area perimetrata e sono caratterizzati dai litotipi alterati della facies arenacea del Flysch di Capo d'Orlando e da quelli, altrettanto alterati delle metamorfiti di San Marco.

Nella frazione di San Basilio affiora estesamente un substrato geologico non rigido, costituito principalmente dai litotipi alterati del Conglomerato Rosso che, nella porzione meridionale si sovrappongono, per contatto di sovrascorrimento, alle metamorfiti di San Marco, anch'esse profondamente alterate in superficie.

Quest'ultimo tipo di substrato non rigido è presente anche nel sottosuolo di Badia Vecchia.

8.2.2 I terreni di copertura

Nel Centro Urbano di Novara di Sicilia i terreni di copertura sono localizzati principalmente in prossimità di Ponte San Giorgio e in tre aree ove è stato possibile accertarne la presenza grazie alla disponibilità di sondaggi. Si tratta per lo più di sabbie limose e miscele di sabbie e limo (SM). Coltri detritiche superficiali con caratteristiche simili sono presenti anche nella frazione di San Basilio.

8.2.3 I fenomeni di dissesto

Allo scopo di acquisire tutte le informazioni necessarie sugli eventi franosi che ricadono all'interno delle aree di interesse perimetrata per il comune di Novara di Sicilia, sono state in una fase preliminare consultate tutte le fonti bibliografiche pertinenti. Da queste emerge che l'area di Novara di Sicilia ricadente all'interno del Bacino idrografico del Torrente Mazzarà è stata interessata sin dal 1800 da diversi dissesti gravitativi che hanno interessato soprattutto le metamorfiti dell'Unità di S. Marco d'Alunzio affioranti nella porzione sud-orientale del bacino, nella parte medio-alta della valle incisa dal Torrente di Novara, tra il centro abitato principale, San Basilio, Badiavecchia, Portella Mandrazzi e Rocca Novara; in questa zona tale Unità è ricoperta in discordanza sia dall'alternanza arenaceo-pelitica del Flysch di Capo d'Orlando che dal Conglomerato Rosso (Unità Rocca Novara); su quest'ultimo, e talora direttamente sulle metamorfiti dell'Unità di S. Marco d'Alunzio, sono sovrascorsi lembi di carbonati mesozoici, così come avviene a Rocca Novara, a Novara di Sicilia ed a San Basilio.

In questa sede sono stati, anche, presi in considerazione tutti i dissesti segnalati nel PAI (Piano Assetto Idrogeologico), predisposto dall'Assessorato regionale Territorio e Ambiente. Facendo riferimento alle aree di interesse segnalate dall'amministrazione del Comune di Novara di Sicilia, si procede dunque alla analisi/revisione dei dissesti segnalati all'interno del centro abitato principale e nelle frazioni di San Marco, San Basilio e Piano Vigna-Badia Vecchia.

I crolli più importanti, per i livelli di rischio che comportano, sono rappresentati in corrispondenza dell'abitato di Novara di Sicilia, in località Rocca Castello ed a ridosso dell'abitato di San Basilio, località Rocca Roccazza, coinvolgenti sempre i calcari della copertura dell'Unità di Mandanici. Lungo la dorsale secondaria che dallo spartiacque principale giunge a ridosso dell'abitato di Novara di Sicilia e segnata dalle vette di Rocca Novara, Rocca Leone e M.te S. Croce, impostate sui calcari e dolomie della copertura dell'Unità di Mandanici, in corrispondenza del versante ovest di quest'ultima alcuni crolli interessano la S.S. 185.

NOVARA DI SICILIA: CENTRO ABITATO PRINCIPALE

Fenomeni PAI Fenomeni PAI 010-5NO-130 – PAI 010-5NO-152 - PAI 010-5NO-153 – PAI 010-5NO-162 - PAI 010-5NO-164

Il fenomeno PAI 010-5NO-130 interessa l'intero versante immediatamente a nord del centro abitato. Questo fenomeno rappresenta il movimento più esteso dell'intero bacino idrografico del torrente Mazzarà (circa 37 ettari) sviluppandosi dalla vetta di Pizzo Ciapparo fino alla base in corrispondenza della confluenza tra i torrenti San Giorgio e Madala che ne rappresentano, rispettivamente il limite sud e nord. Si tratta di una frana a tipologia complessa che coinvolge i terreni delle Filladi dell'Unità di Mandanici e, nella zona di testata l'alternanza flyscioide arenaceo-argillosa del Flysch di Capo d'Orlando. In corrispondenza di tale dissesto, avvenuto in tempi remoti e considerato quiescente, sono presenti altri dissesti di dimensioni ridotte che hanno coinvolto i materiali del corpo di frana. Nel centro abitato di Novara di Sicilia, due dissesti comportano condizioni di rischio molto elevato (R4) per alcuni tratti dell'abitato: il fenomeno PAI 010-5NO-153 (Fig. 8.2) che riguarda il costone roccioso impostato sui calcari dell'Unità Rocca Novara, interessato da crolli di massi superiori al metro cubo, e che in più occasioni hanno investito alcune case e mettono a rischio la porzione di abitato a ridosso dell'orlo della scarpata, per questo dissesto l'amministrazione comunale ha predisposto già un progetto di consolidamento; e il fenomeno 010-5NO-162, ubicato a monte della zona SW del paese, in corrispondenza della via B. Croce, consiste in un colamento rapido poco esteso, della coltre superficiale eluvio-colluviale delle semimetamorfite dell'Unità di San Marco, comporta un livello di pericolosità elevato (P3) e conseguente livello di rischio molto elevato per l'abitato a valle. Il fenomeno PAI 010-5NO-164 che si localizza a Est del centro abitato è causato da un'erosione accelerata dell'argine dell'impluvio del torrente.



Fig. 8.2 – Comune di Novara di Sicilia – Costone roccioso interessato da fenomeni di dissesto (PAI 010-5NO-153).

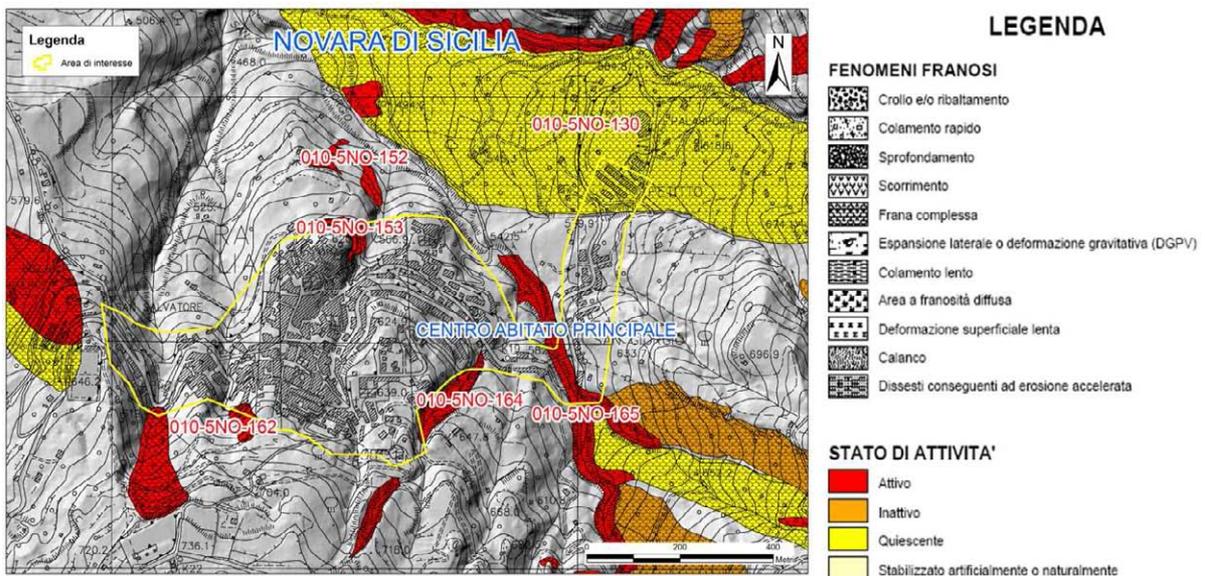


Fig. 8.3 – Comune di Novara di Sicilia – Centro abitato principale: carta dei dissesti censiti nel PAI.

NOVARA DI SICILIA: LOCALITÀ SAN MARCO

L'intera frazione abitata di San Marco, a nord Ovest del centro abito principale, si localizza in corrispondenza della porzione centrale di una frana complessa stabilizzata (010-5NO-095) molto estesa, circa 24 Ha, che essendo classificata come Stabilizzata determina un valore di Rischio R1. Più recentemente, il corpo di frana è stato interessato da riattivazioni franosi complessi: il fenomeno il PAI 010-5NO-097 che interessa la porzione più orientale del centro abitato, con pericolosità media (P2) nella zona a valle dell'intervento realizzato, mentre la porzione di abitato consolidato (010-5NO-097a) rimane caratterizzato da un livello di rischio moderato (R1); il dissesto PAI 010-5NO-096, a tipologia complessa e quiescente, che interessa la porzione SW dell'abitato, comporta livelli di pericolosità moderata (P1) e conseguente rischio medio (R2) per il centro abitato; il terzo dissesto (010-5NO-093), consiste in una frana complessa che insiste su di un versante, sotteso dal T.te San Giacomo che ne provoca lo scalzamento al piede, e che interessa le

Argille Scagliose, il Flysch di Capo d'Orlando e le metamorfiti di San Marco, mostra evidenti segni di attività, il dissesto lambisce la periferia NW dell'abitato che risulta soggetto a rischio molto elevato (R4).

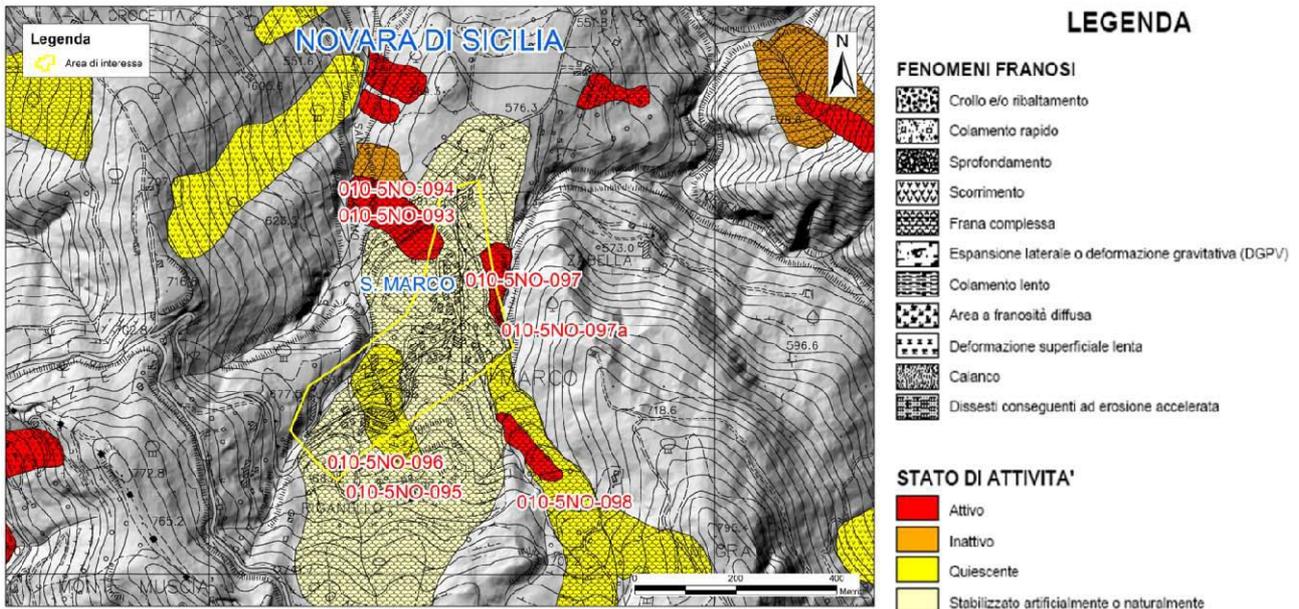


Fig. 8.4 – Comune di Novara di Sicilia – località San Marco: carta dei dissesti censiti nel PAI.

NOVARA DI SICILIA: LOCALITÀ SAN BASILIO E PIANO VIGNA-BAIDA VECCHIA.

Condizioni di rischio molto elevato (R4) per alcuni tratti dell'abitato di San Basilio, scaturiscono dai crolli censiti come PAI 010-5NO-188 che interessano il costone roccioso a monte della parte NW dell'abitato in località Rocca Roccazza. È classificato come R4 anche la frana a tipologia complessa e attiva (PAI 010-5NO-192), in località Case Morte, caratterizzata da livelli di pericolosità media (P2).

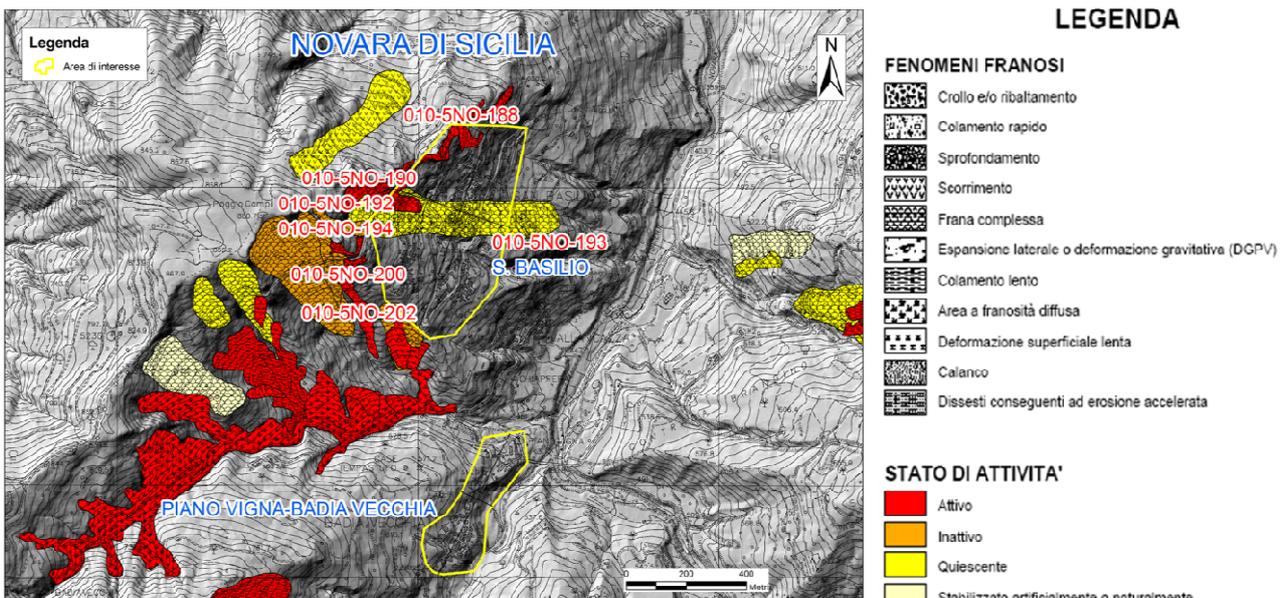
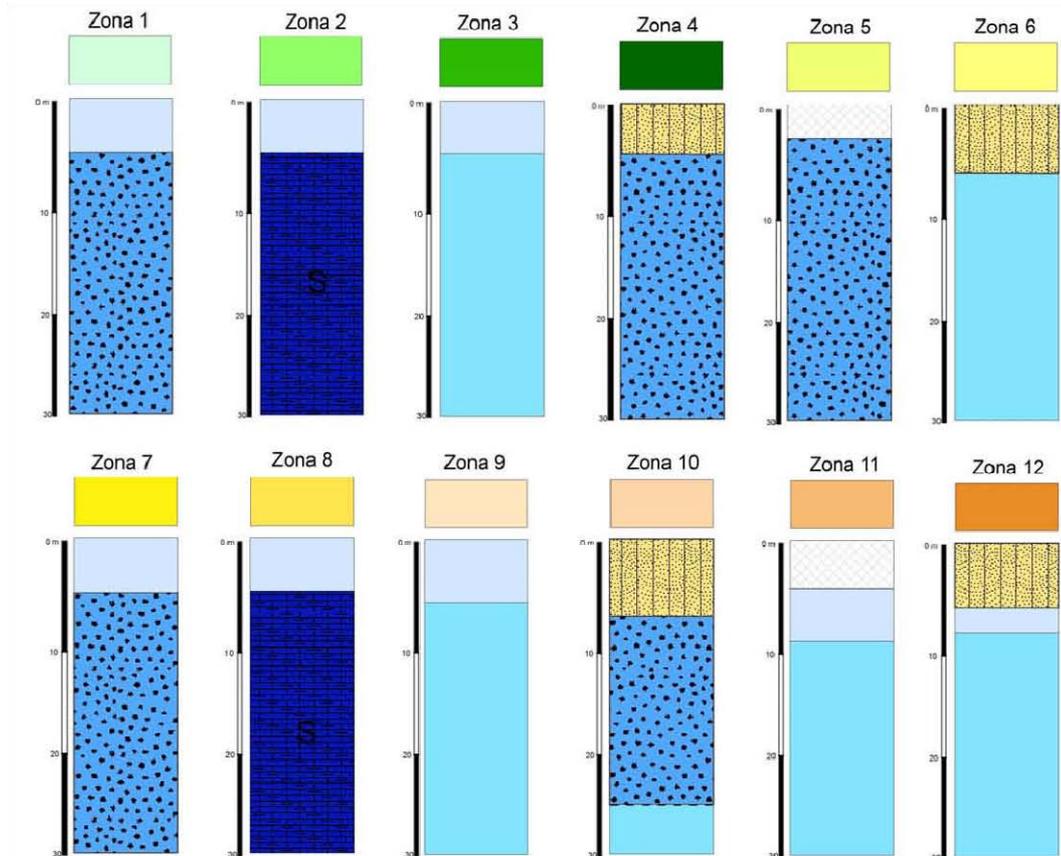


Fig. 8.5 – Comune di Novara di Sicilia: località San Basilio e Piano Vigna-Badia Vecchia. Carta dei dissesti censiti nel PAI.



Legenda

<p>Zona 1</p> <p>Zona 2</p> <p>Zona 3</p> <p>Zona 4</p> <p>Zona 5</p> <p>Zona 6</p> <p>Zona 7</p> <p>Zona 8</p>	<p>Zona di amplificazione stratigrafica per substrato non rigido (NR) derivante dall'alterazione di un substrato granulare cementato (GR) con inclinazione del versante < 15°</p> <p>Zona di amplificazione stratigrafica per substrato non rigido stratificato (NRS) derivante dall'alterazione di un substrato costituito da un'alternanza litologica (ALS) con inclinazione del versante < 15°</p> <p>Zona di amplificazione stratigrafica per substrato non rigido non stratificato (NR) derivante dall'alterazione di un substrato lapideo (LP) con inclinazione del versante < 15°</p> <p>Zona di amplificazione stratigrafica per coperture sabbioso limose (SM) > 3 m su substrato non rigido (NR) derivante dall'alterazione di un substrato granulare cementato (GR) in versanti con inclinazione < 15°</p> <p>Zona di amplificazione stratigrafica per riporti antropici (RI) > 3 m su substrato non rigido (NR) derivante dall'alterazione di un substrato granulare (GR) in versanti con inclinazione < 15°</p> <p>Zona di amplificazione stratigrafica per coperture sabbioso limose (SM) > 3 m su substrato non rigido (NR) derivante dall'alterazione di un substrato lapideo (LP) in versanti con inclinazione < 15°</p> <p>Zona di amplificazione stratigrafica e topografica per substrato non rigido non stratificato (NR) derivante dall'alterazione di un substrato granulare cementato non stratificato (GR) con inclinazione del versante > 15° e dislivello maggiore di 30 m</p> <p>Zona di amplificazione stratigrafica per substrato non rigido stratificato (NRS) derivante dall'alterazione di un substrato costituito da un'alternanza litologica (ALS) con inclinazione del versante > 15° e dislivello maggiore di 30 m</p>	<p>Zona 9</p> <p>Zona 10</p> <p>Zona 11</p> <p>Zona 12</p> <p>RI</p> <p>SM</p> <p>NRS</p> <p>NR</p> <p>GRS</p> <p>GR</p> <p>CO</p> <p>ALS</p> <p>LP</p>	<p>Zona di amplificazione stratigrafica e topografica per substrato non rigido non stratificato (NR) derivante dall'alterazione di un substrato lapideo non stratificato (LP) con inclinazione del versante > 15° e dislivello > di 30 m</p> <p>Zona di amplificazione stratigrafica e topografica per coperture sabbioso limose (SM) > 3 m su substrato non rigido (NR) derivante dall'alterazione di un substrato granulare cementato (GR) con inclinazione del versante > 15° e dislivello > di 30 m</p> <p>Zona di amplificazione stratigrafica per riporti antropici (RI) > 3 m su substrato non rigido (NR) derivante dall'alterazione di un substrato lapideo (LP) e con inclinazione del versante > 15° e dislivello > di 30 m</p> <p>Zona di amplificazione stratigrafica per coperture sabbioso limose (SM) > 3 m su substrato non rigido (NR) derivante dall'alterazione di un substrato lapideo (LP) e con inclinazione del versante > 15° e dislivello > di 30 m</p> <p>Terreni contenenti resti di attività antropica</p> <p>Sabbie limose, miscela di sabbia e limo</p> <p>Substrato non rigido stratificato</p> <p>Substrato non rigido</p> <p>Substrato granulare cementato, stratificato</p> <p>Substrato granulare cementato</p> <p>Substrato coesivo sovraconsolidato</p> <p>Alternanza di litotipi stratificato</p> <p>Substrato lapideo</p>
---	--	---	--

Fig. 8.7 – Colonne rappresentative delle zone suscettibili di amplificazione sismica.

Zona 1

Tale Zona è caratterizzata da un substrato non rigido (NR) derivante dall'alterazione di un substrato granulare cementato (GR) costituito dal Conglomerato Rosso. I versanti presentano un'inclinazione minore di 15°. Tale zona è stata riconosciuta in corrispondenza del centro urbano principale di Novara di Sicilia, in tre aree nella porzione centro meridionale dell'area perimetrata. Gli effetti attesi sono dovuti ad un'amplificazione stratigrafica del segnale sismico.

Zona 2

Questa Zona è caratterizzata dalla presenza di un substrato non rigido stratificato (NRS) derivante dall'alterazione di un substrato costituito da un'alternanza litologica (ALS) appartenente alla successione del Flysch di Capo d'Orlando. E' stata possibile riconoscere questa zona soltanto in un limitato settore della località San Marco, in corrispondenza del fondo di un'asta fluviale, posta al limite occidentale dell'area perimetrata. L'area presenta un'acclività del versante inferiore ai 15°. Gli effetti di amplificazione attesi sono di natura stratigrafica.

Zona 3

Zona di amplificazione stratigrafica dovuta ad un substrato non rigido non stratificato (NR) derivante dall'alterazione di un substrato lapideo non stratificato (LP) costituito da metamorfiti (metareniti e filladi) e da olistoliti calcarei. Le inclinazioni dei versanti sono inferiori ai 15°. Tale zona è stata individuata in corrispondenza di due grandi aree presso la frazione di Badia Vecchia, e in diverse aree, di dimensioni da medie a piccole, nella porzione centrale ed orientale del centro urbano di Novara di Sicilia. Tuttavia è da mettere in evidenza che la presenza di queste aree, nel centro urbano di Novara, è dipende dalla corretta perimetrazione degli olistoliti calcarei, non sempre agevole a causa della densa urbanizzazione e modificazione antropica delle morfologie.

Zona 4

Al centro dell'area perimetrata della frazione di San Biagio è stato possibile riconoscere la presenza di coperture sabbioso limose (SM) > 3 m poggianti su un substrato non rigido (NR) derivante dall'alterazione di un substrato granulare cementato (GR) costituito dal Conglomerato Rosso. Tali coperture, presenti lungo un impluvio, costituiscono un versante con inclinazione < 15°. L'effetto di amplificazione atteso è di natura stratigrafica.

Zona 5

Sempre nella Frazione di San Biagio è stata riconosciuta una zona con amplificazione stratigrafica del segnale sismico, imputabile alla presenza di riporti antropici (RI) con spessori maggiori di 3 m. Tali depositi poggiano su substrato non rigido (NR) derivante dall'alterazione di un substrato granulare (GR) costituito dal Conglomerato Rosso. Il versante presenta un'inclinazione inferiore ai 15°.

Zona 6

Tale zona è caratterizzata dalla presenza di una copertura sabbioso limosa (SM) > 3 m poggianti su un substrato non rigido (NR) derivante dall'alterazione di un substrato lapideo (LP) costituito da metamorfiti (metareniti e filladi) e da olistoliti carbonatici. In particolare sono state riconosciute due aree in corrispondenza del centro urbano principale di Novara di Sicilia, nella porzione centrale e all'estemità orientale dell'area perimetrata. I versanti presentano un'inclinazione < 15°. Gli effetti di amplificazione attesi pertanto sono legati alla stratigrafia del sito.

Zona 7

Zona di amplificazione stratigrafica e topografica per substrato non rigido non stratificato (NR) derivante dall'alterazione di un substrato granulare cementato (GR) costituito dal Conglomerato Rosso. I versanti presentano un'inclinazione $> 15^\circ$ e dislivello maggiore di 30 m. Tale zona è stata riconosciuta in corrispondenza della porzione centrale del centro urbano principale di Novara di Sicilia e in gran parte della frazione di San Basilio.

Zona 8

Questa zona è stata individuata in una piccola area al margine orientale dell'area perimetrata di San Marco. Essa è soggetta ad amplificazione stratigrafica e topografica la presenza di un substrato non rigido stratificato (NRS) derivante dall'alterazione di un substrato costituito da un'alternanza litologica (ALS) appartenente alla successione del Flysch di Capo d'Orlando. I versanti hanno un'inclinazione $> 15^\circ$ e dislivello maggiore di 30 m

Zona 9

Zona di amplificazione stratigrafica dovuta ad un substrato non rigido non stratificato (NR) derivante dall'alterazione di un substrato lapideo non stratificato (LP) costituito da metamorfiti (metareniti e filladi) e da olistoliti calcarei. Le inclinazioni dei versanti sono $> 15^\circ$ e il dislivello è $>$ di 30 m. Tale zona è stata individuata in corrispondenza di tutte le frazioni. Nella frazione di San Marco questa zona costituisce il limite occidentale dell'area di studio; nella frazione di San Basilio tale zona occupa un'estesa porzione dell'area di studio a sud e una piccola parte all'estremità settentrionale; nella frazione di Badia vecchia essa occupa gran parte dell'area; nel centro urbano di Novara sono numerose le aree identificate da tale zona: tuttavia, specie per la porzione centrale dell'area perimetrata, l'ubicazione dei loro limiti dipende dalla corretta perimetrazione degli olistoliti calcarei, non sempre agevole a causa della densa urbanizzazione e modificazione antropica delle morfologie. Gli effetti attesi di amplificazione sono da ricercare nei caratteri stratigrafici e topografici dei luoghi.

Zona 10

Zona di amplificazione stratigrafica e topografica per coperture sabbioso limose (SM) > 3 m poggianti su substrato non rigido (NR) derivante dall'alterazione di un substrato granulare cementato (GR) costituito dal Conglomerato Rosso e con inclinazione del versante $> 15^\circ$ e dislivello $>$ di 30 m. Tale zona è riconoscibile in due aree del centro Urbano di Novara di Sicilia: al centro del paese e in prossimità dell'impluvio di ponte san Giorgio ad est.; è inoltre presente una piccola area al centro dell'area di studio di San Basilio.

Zona 11

In corrispondenza di un impluvio, al limite occidentale dell'area di studio del centro urbano di Novara di Sicilia, è presente una zona di amplificazione stratigrafica e topografica dovuta alla presenza di riporti antropici (RI) maggiori di 3 metri poggianti su un substrato non rigido (NR) derivante dall'alterazione di un substrato lapideo (LP) costituito da metamorfiti. Il versante presenta un'inclinazione maggiore di 15° e un dislivello $>$ di 30 m. Gli effetti attesi sono dovuti ai caratteri stratigrafici e topografici del sito.

Zona 12

Zona di amplificazione stratigrafica per coperture sabbioso limose (SM) > 3 m su substrato non rigido (NR) derivante dall'alterazione di un substrato lapideo (LP) costituito da metamorfiti (metareniti e filladi) e da olistoliti calcarei. Le inclinazioni dei versanti sono $> 15^\circ$ e il dislivello è $>$

di 30 m. Tale zona affiora in corrispondenza della porzione orientale del centro Urbano di Novara e al limite occidentale dello stesso. Inoltre è presente anche nell'area di San Biagio, nell'estremità sud occidentale.

Le zone considerate **suscettibili di Instabilità** sono quelle interessate da frane con differenti tipologie di movimento (frane di crollo, scorrimento, colamento e complesse) considerate dal PAI come attive, quiescenti, inattive e non definite.

Nella Tab. 8.1 sono riassunte le condizioni geologiche e morfologiche che possono determinare effetti locali nel territorio comunale di Novara di Sicilia. Sono indicati anche i potenziali effetti attesi e il livello di approfondimento richiesto per gli studi di MS.

ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI				
	Condizioni geologiche e geomorfologiche	Classe litologica	Effetti attesi	Livello di approfondimento
Zona 1	Area caratterizzata dalla presenza di un substrato non rigido NR costituito dalla porzione alterata del Conglomerato Rosso	NR	Amplificazione stratigrafica	Secondo livello ed eventuale terzo livello
Zona 2	Area caratterizzata dalla presenza di un substrato non rigido stratificato NRS costituito dalla porzione alterata del Flysch di Capo d'Orlando	NRS	Amplificazione stratigrafica	Secondo livello ed eventuale terzo livello
Zona 3	Area caratterizzata dalla presenza di un substrato non rigido stratificato NR costituito dalla porzione alterata delle metamorfiti e degli olistoliti calcarei	NR	Amplificazione stratigrafica	Secondo livello ed eventuale terzo livello
Zona 4	Zona con coperture sabbioso-limose con spessore > 3 m su substrato granulare cementato (GR)	SM	Amplificazione stratigrafica	Secondo livello ed eventuale terzo livello
Zona 5	Zona con coperture antropiche > 3 m	RI	Amplificazione stratigrafica	Secondo livello ed eventuale terzo livello
Zona 6	Zona con coperture sabbioso-limose con spessore > 3 m su substrato lapideo (LP)	SM	Amplificazione stratigrafica	Secondo livello ed eventuale terzo livello
Zona 7	Area caratterizzata dalla presenza di un substrato non rigido NR costituito dalla porzione alterata del Conglomerato Rosso in presenza di pendio > 15° e dislivello > 30 m	NR	Amplificazione stratigrafica e topografica	Secondo livello ed eventuale terzo livello
Zona 8	Area caratterizzata dalla presenza di un substrato non rigido stratificato NRS costituito dalla porzione alterata del Flysch di Capo d'Orlando in presenza di pendio > 15° e dislivello > 30 m	NRS	Amplificazione stratigrafica e topografica	Secondo livello ed eventuale terzo livello

Zona 9	Area caratterizzata dalla presenza di un substrato non rigido stratificato NR costituito dalla porzione alterata delle metamorfite e degli olistoliti calcarei	NR	Amplificazione stratigrafica e topografica	Secondo livello ed eventuale terzo livello
Zona 10	Zona con coperture sabbioso-limose con spessore > 3 m su substrato granulare cementato (GR) in presenza di pendio > 15° e dislivello > 30 m	SM	Amplificazione stratigrafica e topografica	Secondo livello ed eventuale terzo livello
Zona 11	Zona con coperture antropiche > 3 m in presenza di pendio > 15° e dislivello > 30 m	RI	Amplificazione stratigrafica	Secondo livello ed eventuale terzo livello
Zona 12	Zona con coperture sabbioso-limose con spessore > 3 m su substrato non rigido (NR) derivante da un substrato lapideo lapideo (LP) in presenza di pendio > 15° e dislivello > 30 m	SM	Amplificazione stratigrafica e topografica	Secondo livello ed eventuale terzo livello

ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITA'				
Tipo_f	Condizioni geologiche	DESCRIZIONE	Effetti attesi	Livello di approfondimento
301X	Instabilità di versante attiva	Frane di crollo, scorrimento colamento e complesse	Instabilità	terzo livello
302X	Instabilità di versante quiescente	frane complesse,	Instabilità	terzo livello
303X	Instabilità di versante non attiva	frane complesse,	Instabilità	terzo livello
304X	Instabilità di versante non definita	frane complesse,	Instabilità	terzo livello

Tabella 8.1 – Condizioni geologiche e morfologiche che possono determinare effetti locali nel territorio comunale di Novara di Sicilia. Sono indicati anche i potenziali effetti attesi e il livello di approfondimento richiesto per gli studi di MS.

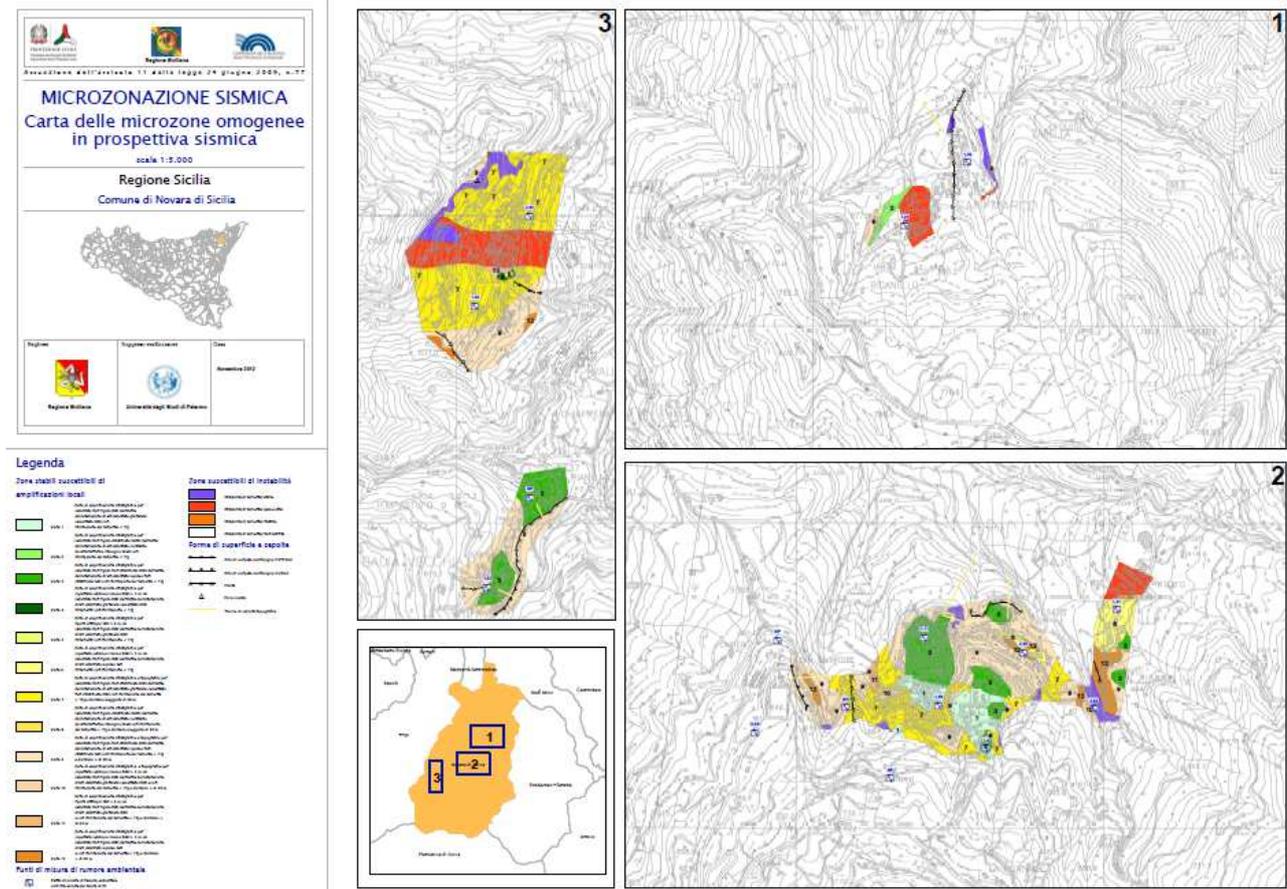


Fig. 8.8 – Riduzione della carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica delle aree urbane di Novara di Sicilia (v. PDF in cartella PLOT).

Analisi topografica

L'individuazione degli assetti topografici in grado di condizionare la risposta sismica di sito richiede il riconoscimento di tutti gli elementi morfologici di attenzione (dorsali, creste, scarpate, selle, cime isolate), che intersechino le aree di interesse, e la successiva analisi e caratterizzazione morfometrica degli stessi.

L'approccio utilizzato nella predisposizione del presente elaborato (cfr. Cap. 7), si è dunque articolato in due fasi: una prima fase di riconoscimento sistematico degli elementi morfologici lineari e puntuali che intersechino le aree di interesse proposte dalle amministrazioni comunali; la successiva analisi degli assetti morfologici e delle caratteristiche morfometriche dei versanti delimitati al piede o in scarpata dagli elementi riconosciuti, condotta attraverso la analisi di profili topografici di dettaglio rappresentativi.

Nella Tabella 8.2 sono riportati i codici identificativi inseriti in banca dati nello shape e_lineari corrispondenti ai profili topografici effettuati.

Profilo topografico	Codice identificativo in banca dati ID_el
A1	7
A2	6
A3	8
B	9
C1	10
D	11
E1	12
F1	13
F2	14

Tab 8.2 – Corrispondenza fra codici identificativi e profili topografici

Nel territorio comunale di Novara di Sicilia, in ragione dell’assetto geologico e geomorfologico, marcato sia dalla presenza di numerosi lineamenti tettonici sia dalla presenza di rocce in affioramento a differente grado di erodibilità, sono stati individuati diversi elementi morfologici, sia nel settore del centro abitato, che nelle altre aree di interesse individuate e analizzate.

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

NOVARA DI SICILIA: CENTRO ABITATO

All’interno del centro abitato principale, utilizzando i criteri di riconoscimento illustrati al capitolo 7 sono stati riconosciuti e cartografati, tre principali linee di scarpata che bordano quasi completamente il centro abitato principale.

La carta degli elementi morfologici per il centro abitato principale del comune di Novara di Sicilia (Fig. 8.9) evidenzia come, nel settore settentrionale, la linea di scarpata A borda completamente l’intero centro abitato.

Scarpata A

L’alto morfologico su cui sorge l’abitato è interessato da tre lineamenti di scarpate morfologiche, legati all’arretramento localizzato delle scarpate che lo delimitano, causato dall’azione erosivo-regressiva esercitata da processi fluviali, di dilavamento e gravitativi; questi processi hanno determinato l’incisione dei versanti, preferenzialmente lungo direttrici di debolezza strutturale, che li attraversano in direzione prevalente N-S. La larghezza in sommità del rilievo su cui sorge l’abitato è intorno ai 1000 metri in direzione O-E. L’analisi morfologica della linea di scarpata è stata realizzata in corrispondenza di tre sezioni di dettaglio (A1-A3; figg. 8.10-8.14). La scarpata presenta in generale un’altezza del fronte principale sempre superiore a 50m, superando anche i 80 metri in corrispondenza della sezione codificata come “Novara di Sicilia A1” ed una pendenza sempre maggiore di 20°.

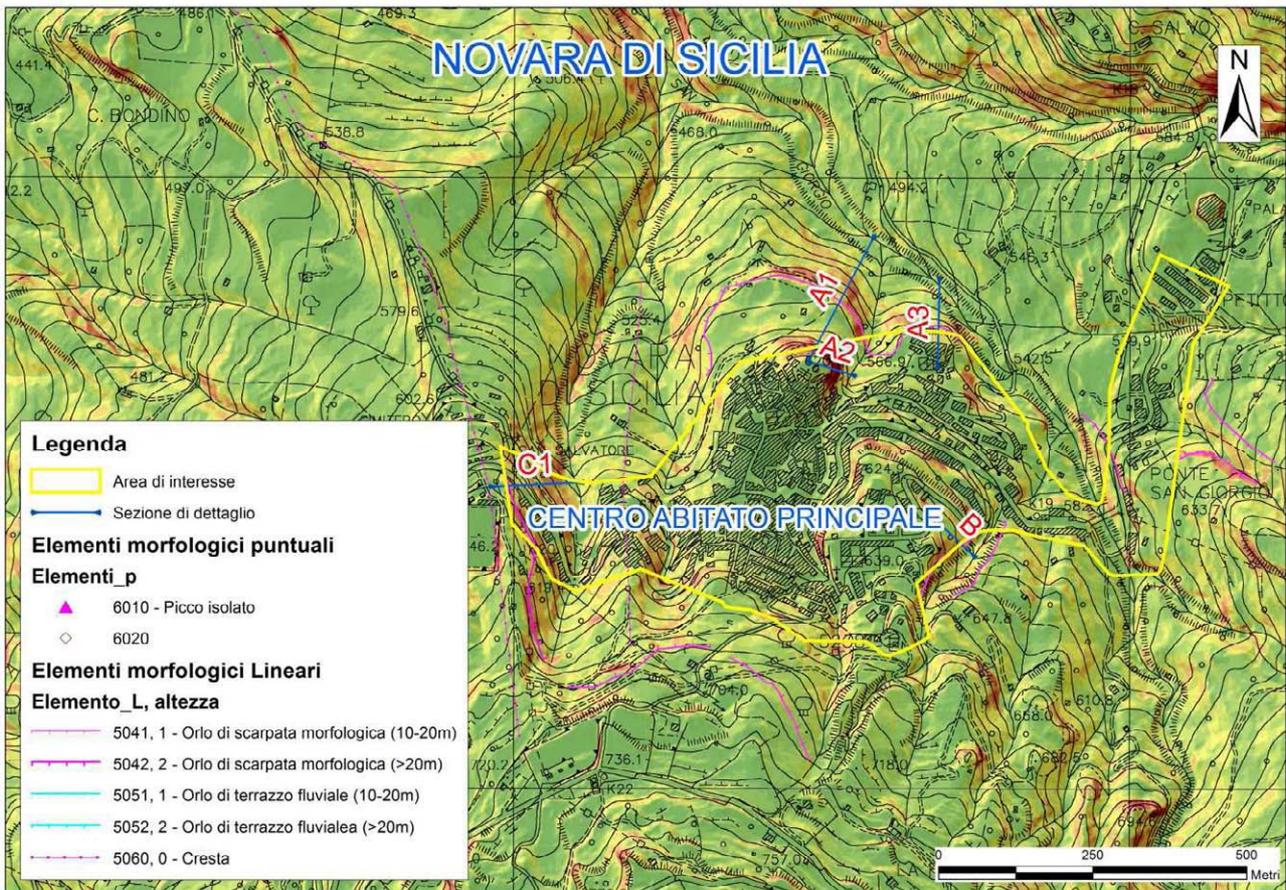


Fig. 8.9 – Carta degli elementi morfologici e tracce dei profili topografici di dettaglio del Centro abitato principale di Novara di Sicilia.

Scarpata A

La linea di scarpata A (Figg. 8.10-8.11), si sviluppa a quote comprese tra 850m e 910m s.l.m., per circa 300m, da N-O verso S-E, rappresentando un gradino morfologico che separa le due porzioni del centro abitato. La linea di scarpata presenta un andamento lineare, marcato da una convessità rivolta verso Nord-Est nella porzione più settentrionale.

La scarpata è stata analizzata realizzando due profili con direzione SO-NE i quali mostrano in pendenza, o in contropendenza come in corrispondenza del tratto nel quale è stato realizzato il profilo di dettaglio A2. La scarpata A è caratterizzata da una pendenza al piede del versante sempre superiore ai 25° , superando anche nella sezione “Novara di Sicilia A1” i 50°.

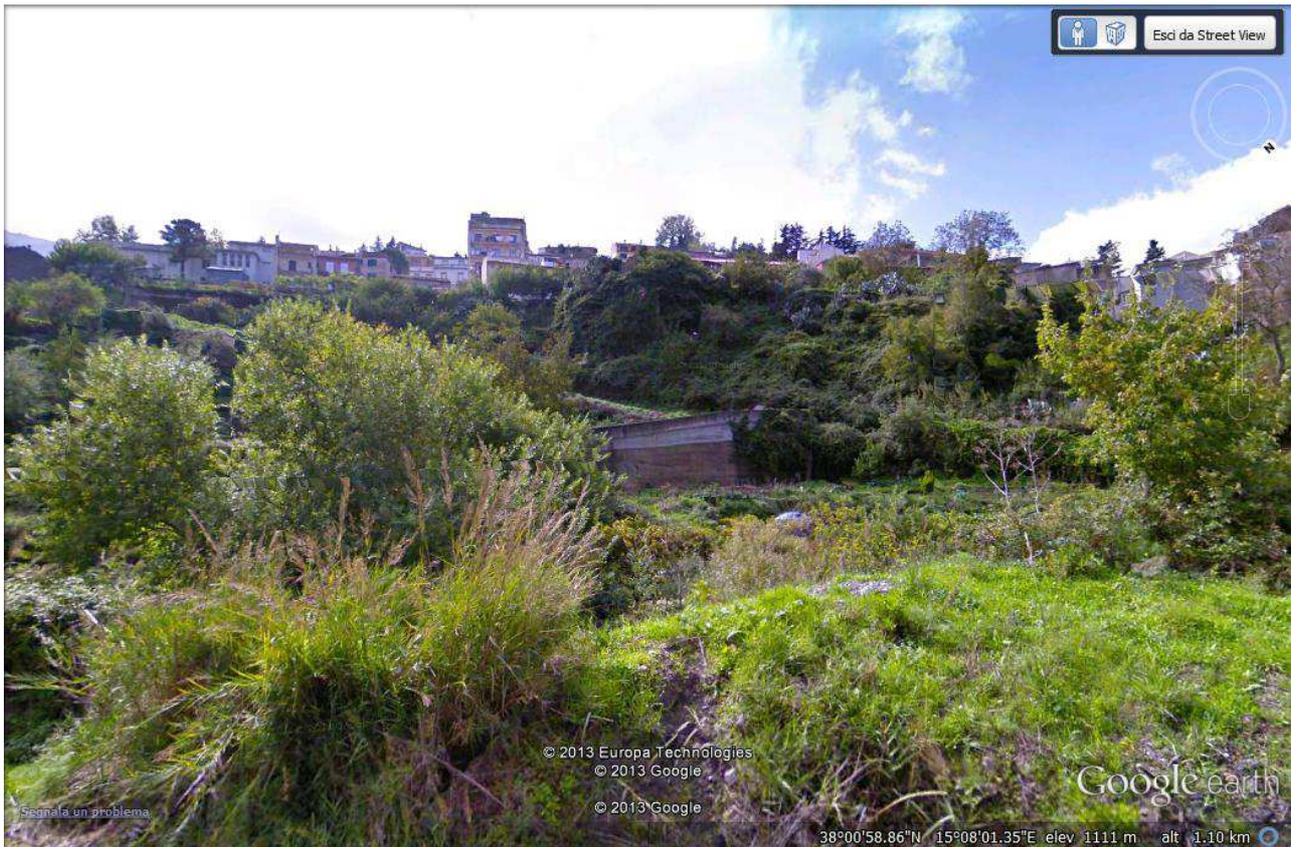


Fig. 8.10 – Immagine Street View (Google Earth™) della scarpata A.

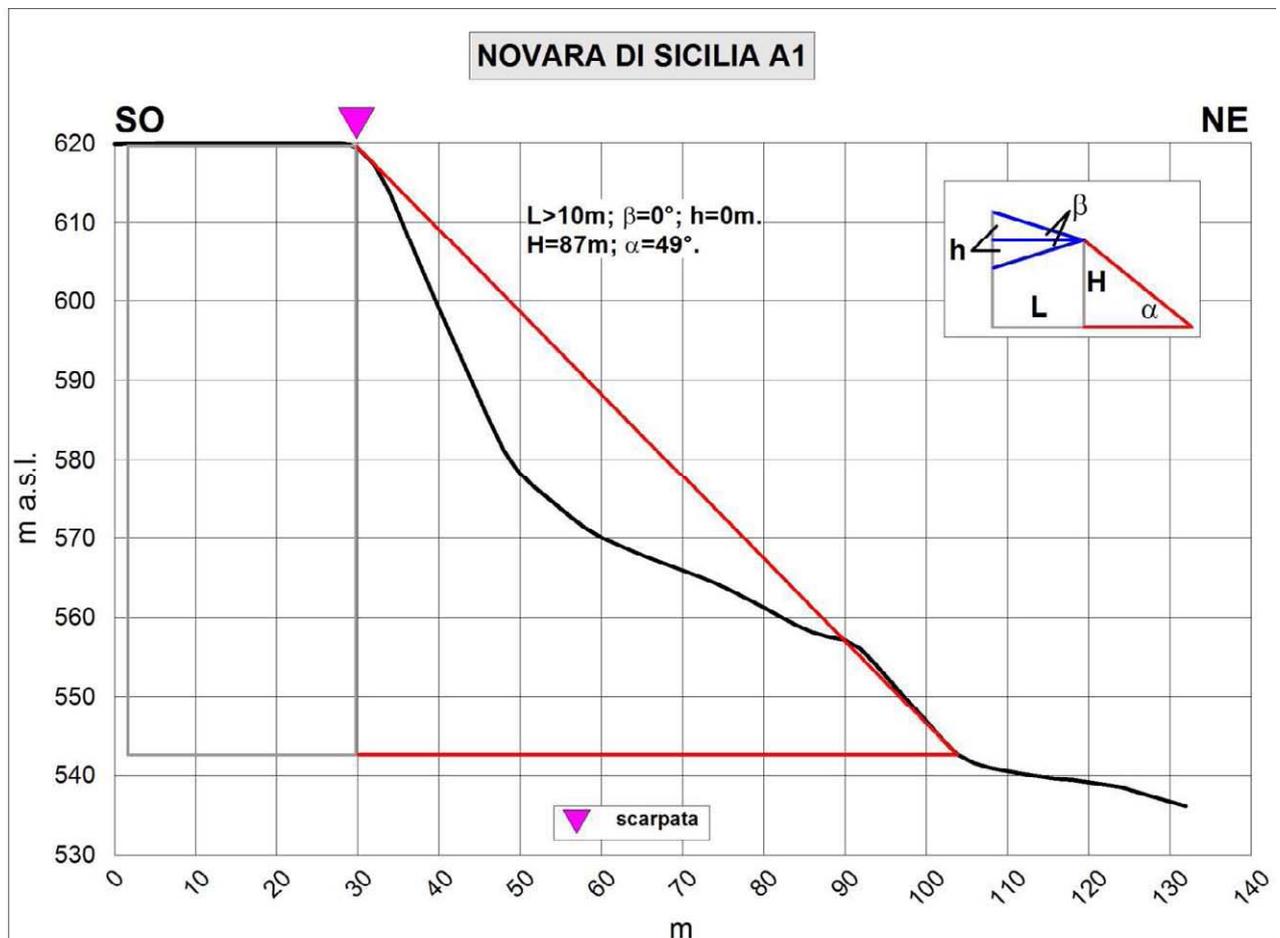


Fig. 8.11– Profilo topografico di dettaglio della scarpata Novara di Sicilia A1.

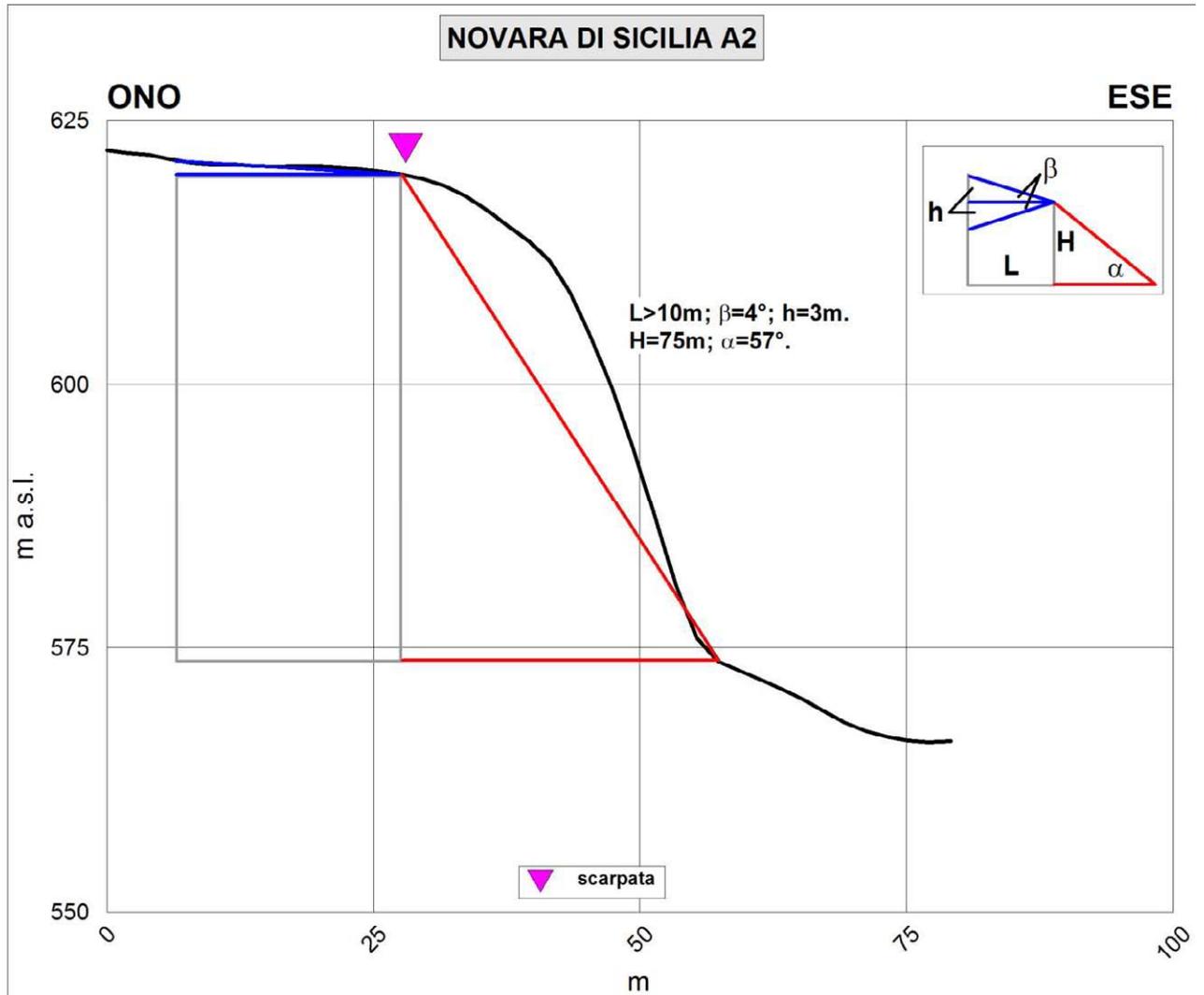


Fig. 8.12 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Novara di Sicilia A2.



Fig. 8.13 – Foto della scarpata ricostruita con il profilo di dettaglio “NOVARA DI SICILIA A2” in corrispondenza di Rocca Castello.

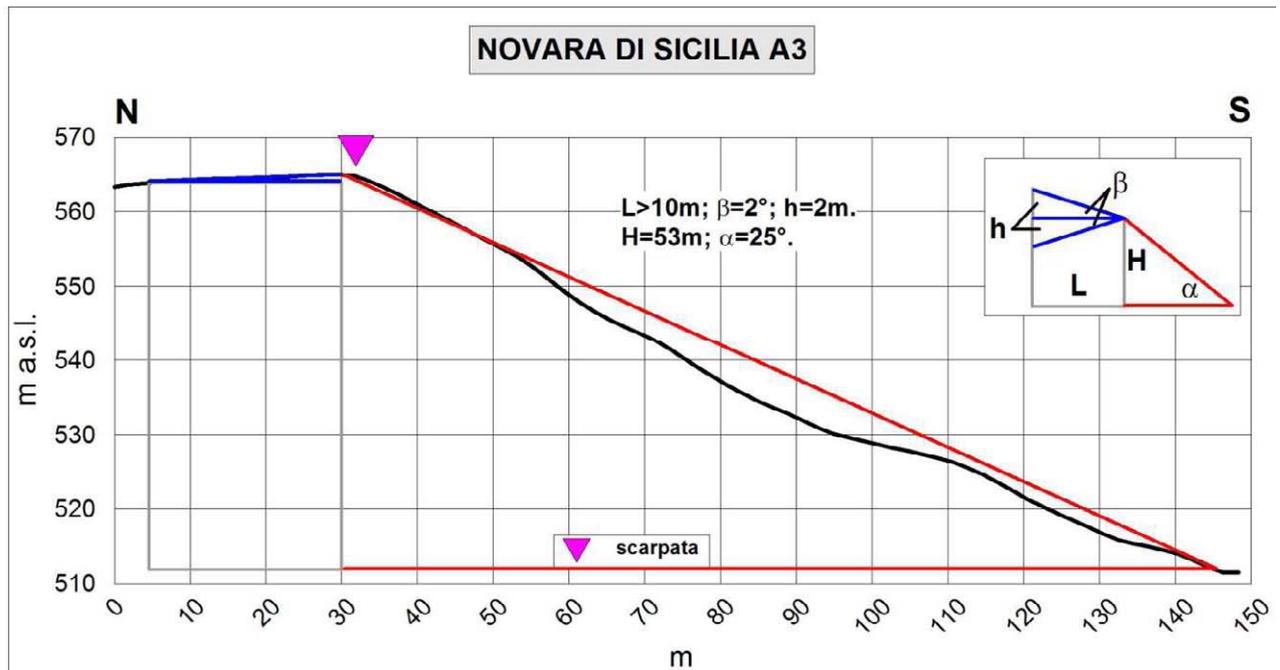
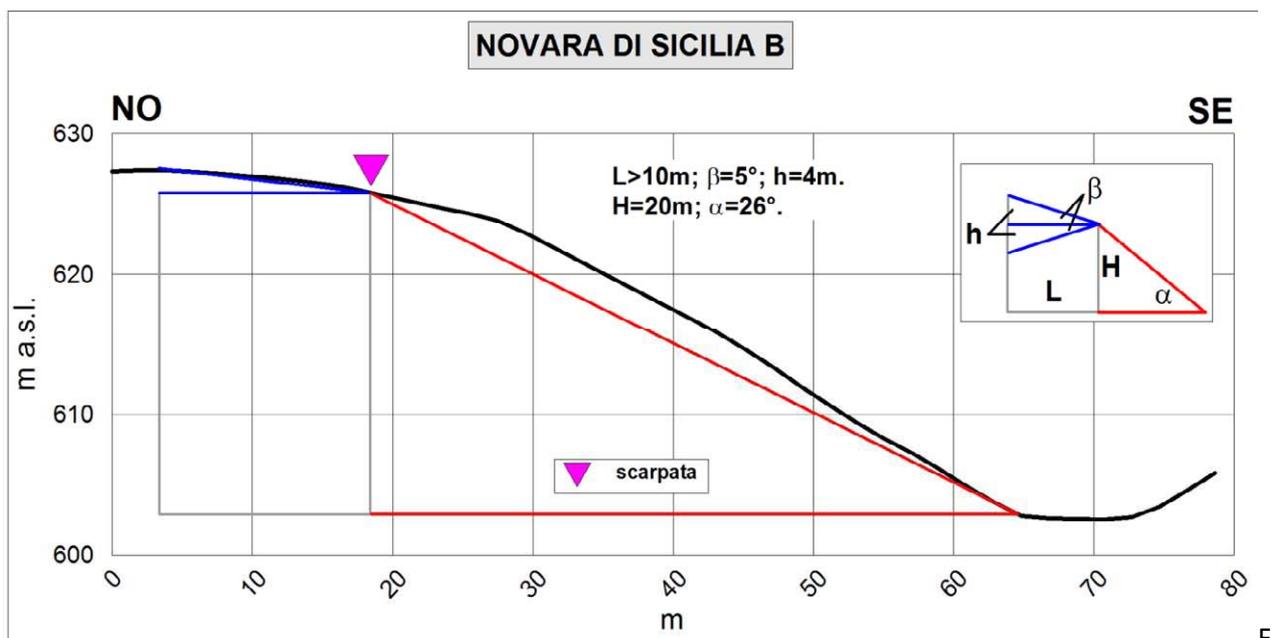


Fig. 8.14 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Novara di Sicilia A3.

Scarpata B

La linea di scarpata B si sviluppa, in corrispondenza del margine nord-orientale del centro abitato. Questa scarpata morfologica di genesi fluviale borda un canale fortemente inciso, per una lunghezza di circa 800m, drenando le acque da Nord-Est a Sud-Ovest

In corrispondenza del tratto rettilineo, è stato realizzato un profilo di dettaglio in direzione NO-SE (Fig. 8.15). la testata risalga verso monte, limitando l'estensione del fronte superiore ed andando a definire una scarpata alta 20m, con un angolo al piede di 26°.



ig. 8.15 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Novara di Sicilia B.

Scarpata C

A Ovest dell'abitato principale, viene cartografata la scarpata C, con sviluppo prevalente N-S, e per la quale è stato realizzato il profilo di dettaglio "Novara di Sicilia C" (Fig. 8.16). Dal profilo emerge una scarpata caratterizzata da un fronte principale superiore ai 60 metri e un valore angolare ai piedi del versante di 31° .

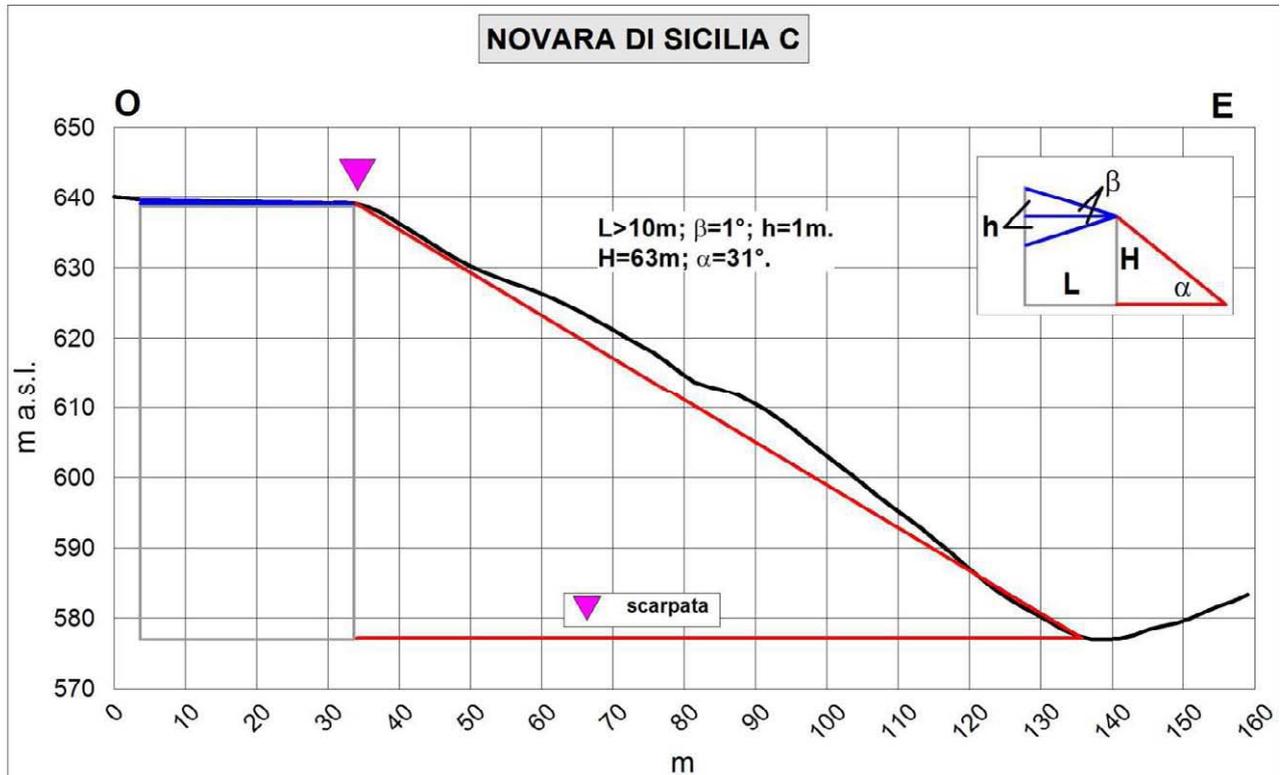


Fig. 8.16– Profilo topografico di dettaglio della scarpata Novara di Sicilia C.

Scarpata D

Spostandosi sul versante nord-occidentale del rilievo su cui sorge l'edificio in località S. Marco si individua una linea di scarpata (linea di scarpata D; Fig. 17) ad andamento convesso aperto, con lunghezza di circa 400m ed una quota media compresa tra 580m e 610m s.l.m. Un profilo di dettaglio realizzato in direzione NO-SE, all'estremità settentrionale del tratto lineare della linea di scarpata (Fig 8.18), mette in evidenza come la scarpata presenti un fronte superiore costituito dal altro strutturale, un'altezza di circa 30m ed un angolo al piede del fronte principale di 21° .

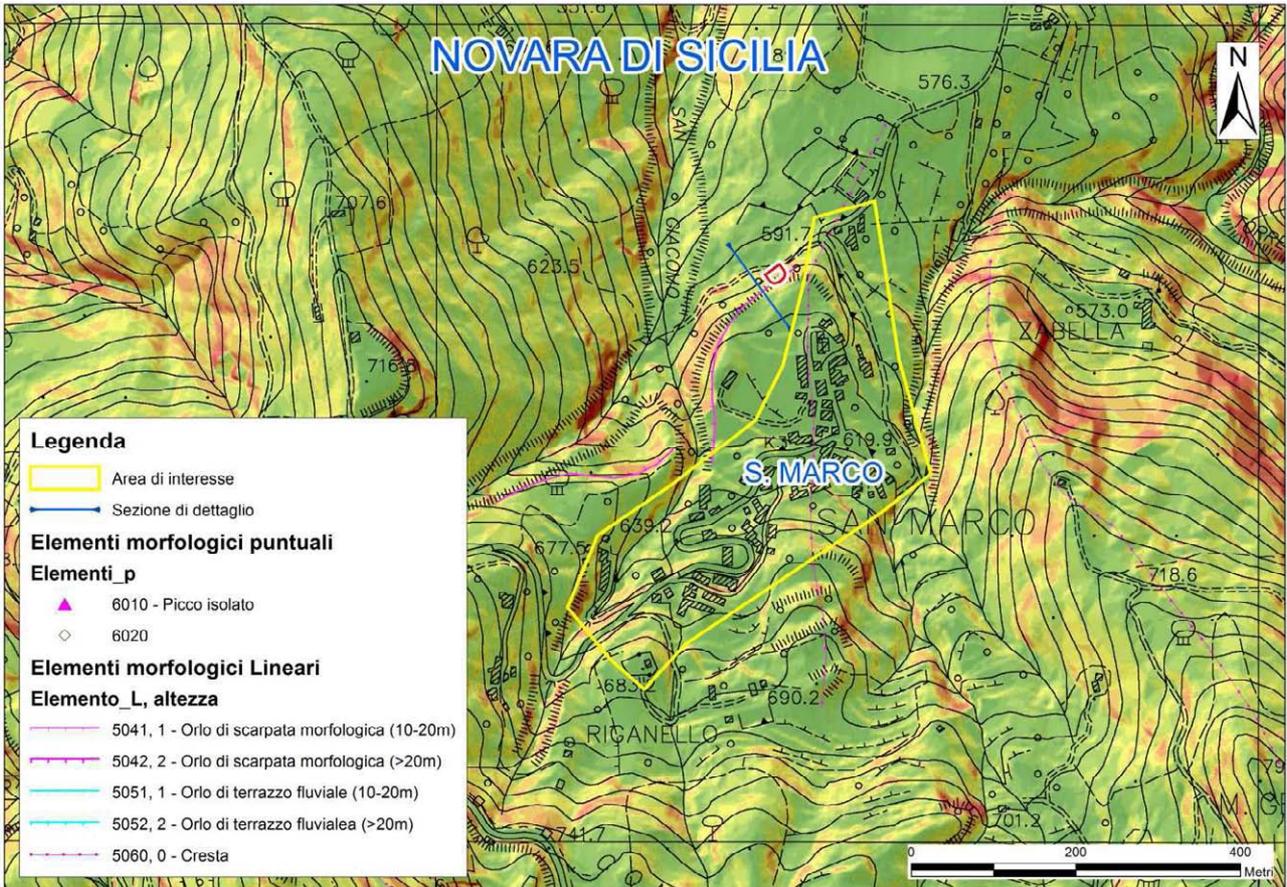


Fig. 8.17 Carta degli elementi morfologici e tracce dei profili topografici di dettaglio della località S. Marco.

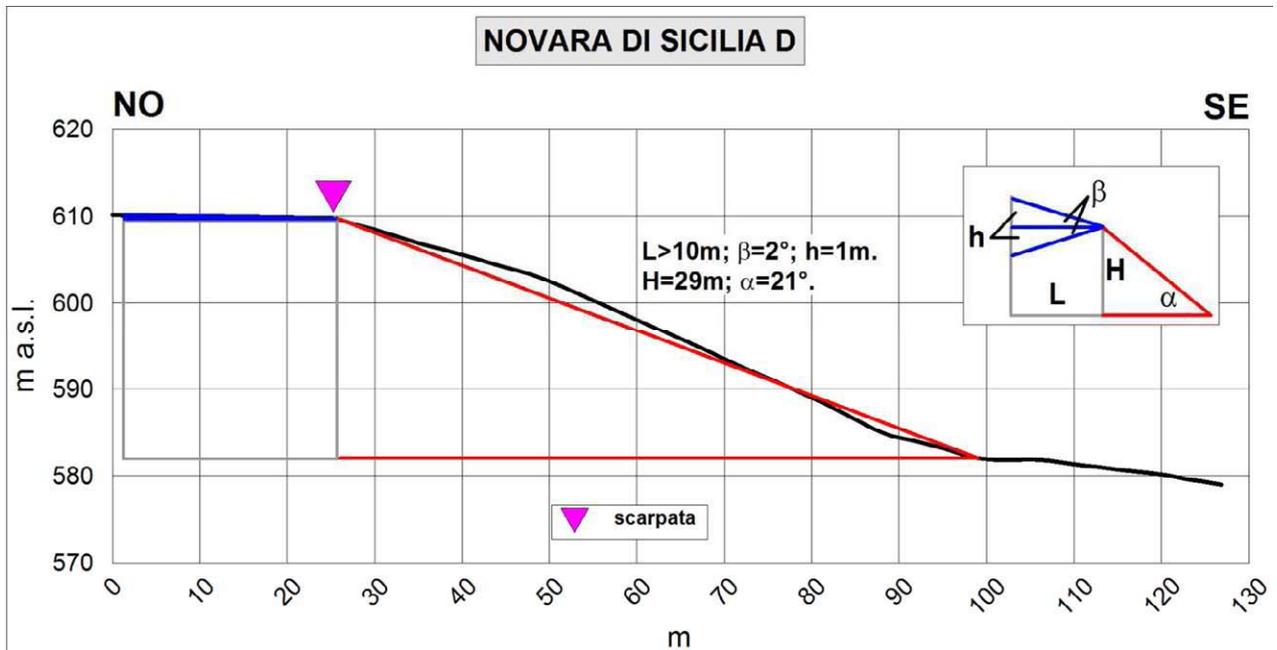


Fig. 8.18 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Novara di Sicilia D.

Scarpata E

Questa linea di scarpata (8.19) è corrisponde con il fianco in sinistra idrografica del torrente che drena in direzione O-E le acque ad Est del centro abitato della località S. Basilio. Il profilo di dettaglio realizzato, con direzione NON-SSE in corrispondenza della scarpata e codificato come "Novara di Sicilia E1" evidenzia un salto morfologico di 25 metri e un valore di α di 40° . Questa scarpata risulta essere una scarpata in contropendenza avendo un valore di β pari a 3° opposta al versante principale.

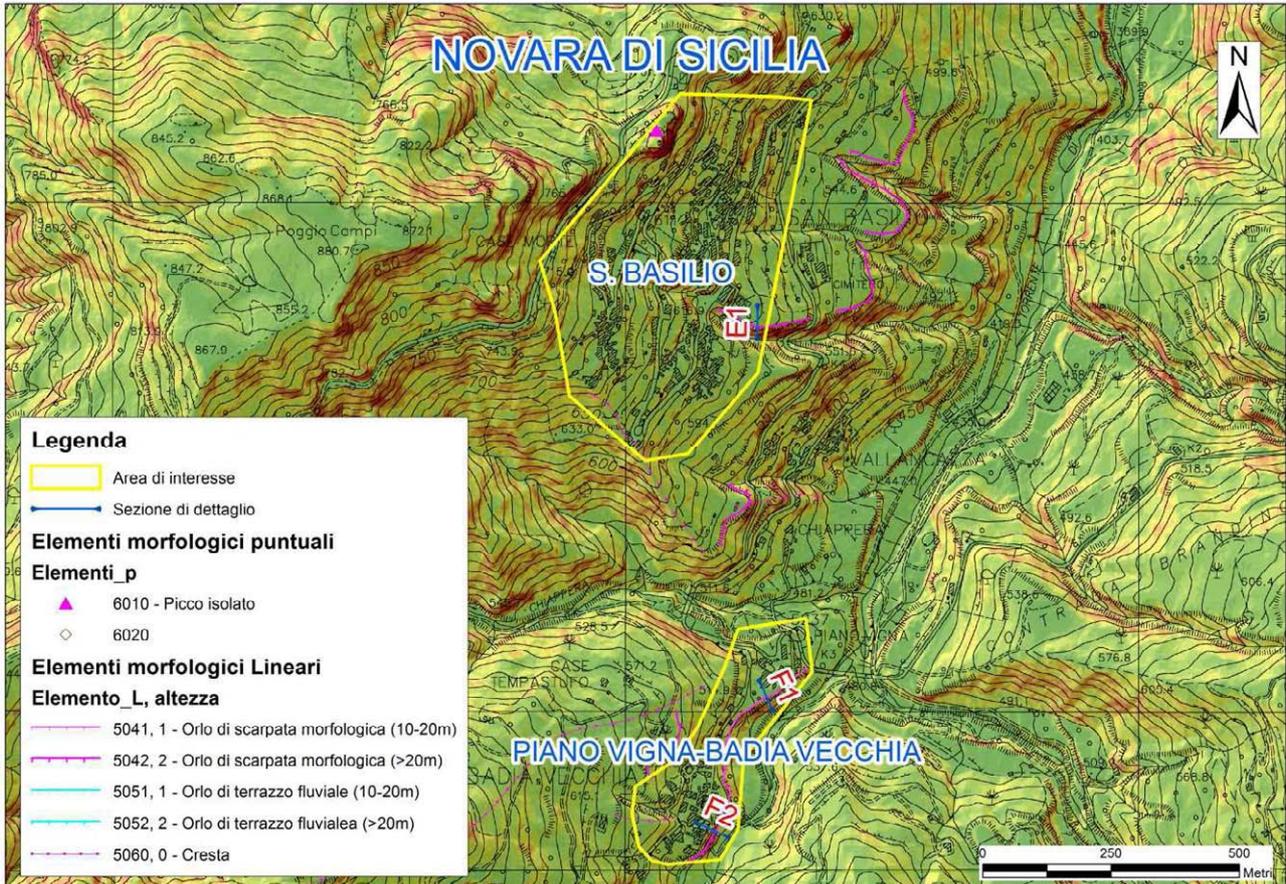


Fig. 8.19 Carta degli elementi morfologici e tracce dei profili topografici di dettaglio delle località S. Basilio e Piano Vigna-Badia Vecchia.

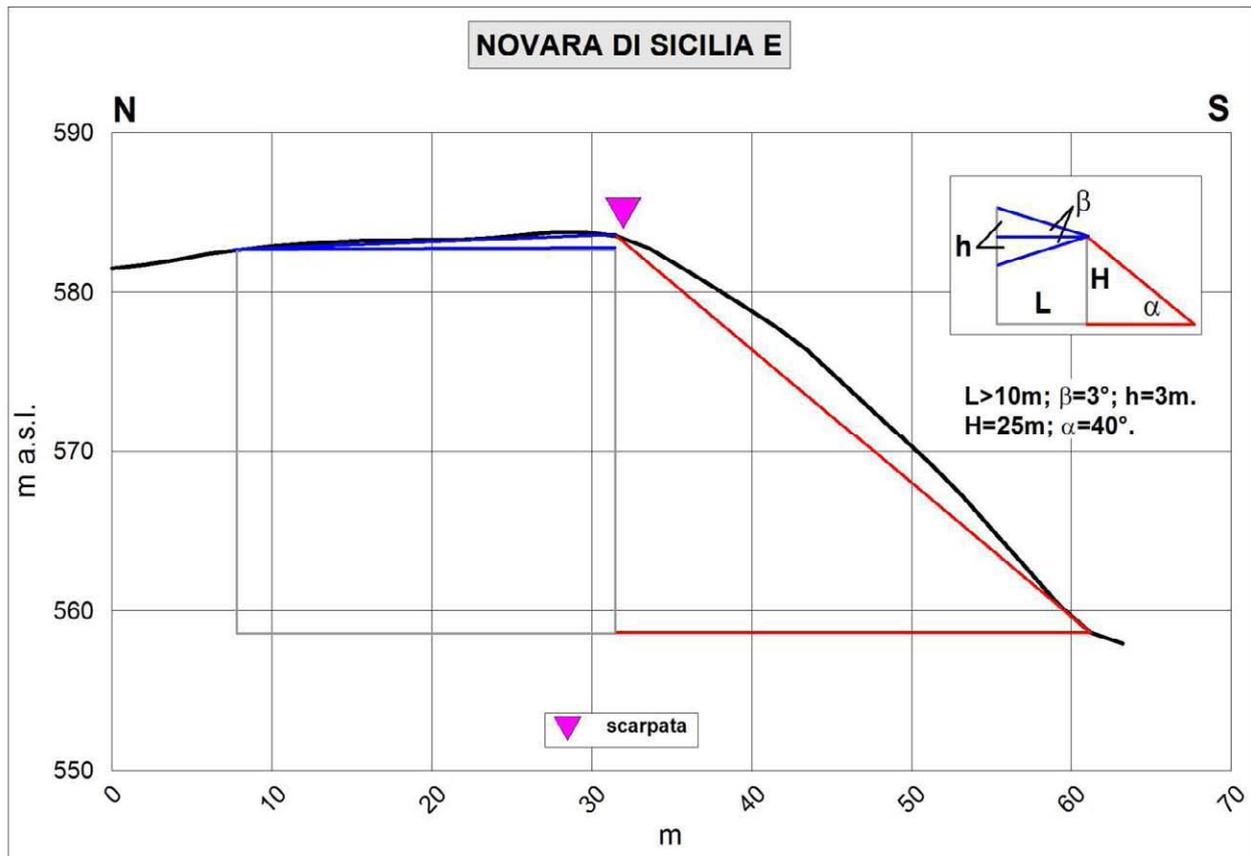


Fig. 8.20 – Immagine Street View (Google Earth™) della scarpata E.

Scarpata F

Dalla Figura 8.19 possiamo riconoscere l'allineamento di scarpata F che borda la porzione orientale della frazione di Piano Vigna-Badia Vecchi. Questa linea di scarpata presenta un'estensione (>500m) ed uno sviluppo N-S, ad una quota di circa 500m s.l.m.

Per la scarpata F, sono stati ricostruiti due profili di dettaglio "Novara di Sicilia 1" e "Novara di Sicilia 2" con direzione di sviluppo NO-SE i quali evidenziano una scarpata leggermente in pendenza con un valore angolare al piede del versante superiore ai 30° e un'altezza del fronte principale sempre maggiore a 20 metri.

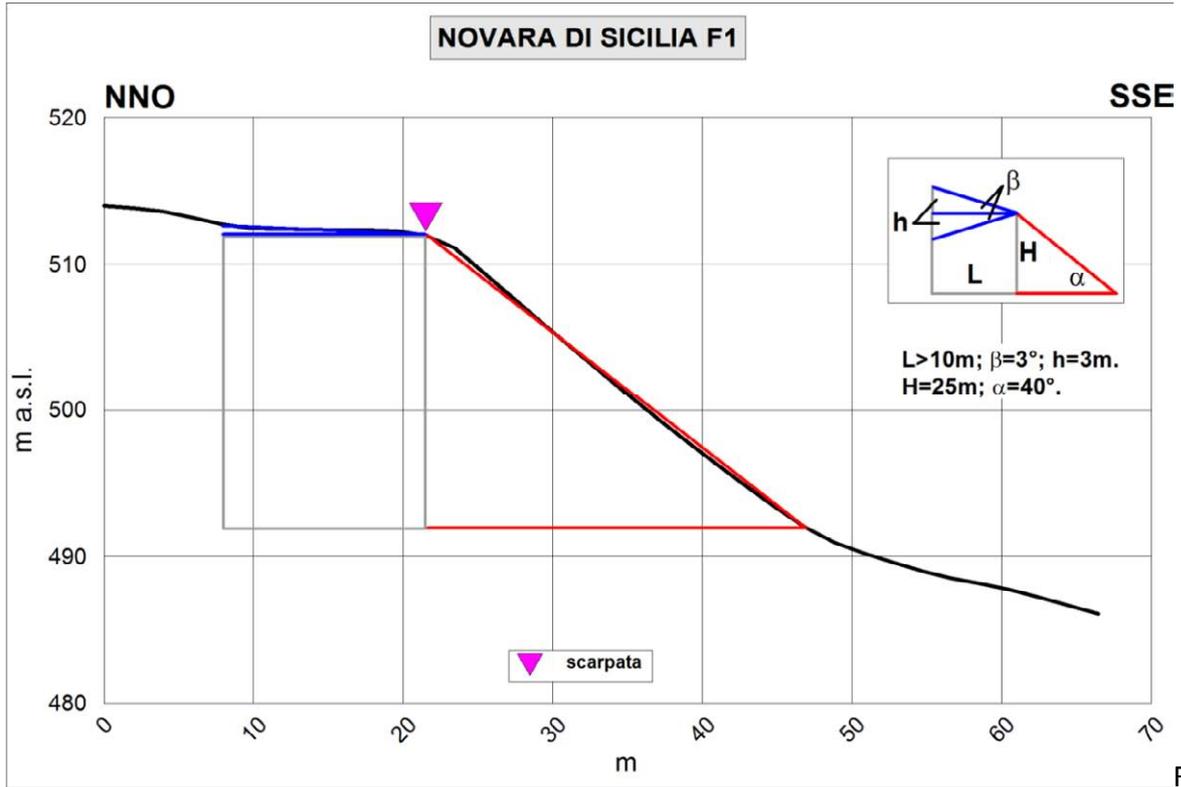


Fig.

8.21 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata Novara di Sicilia F1.

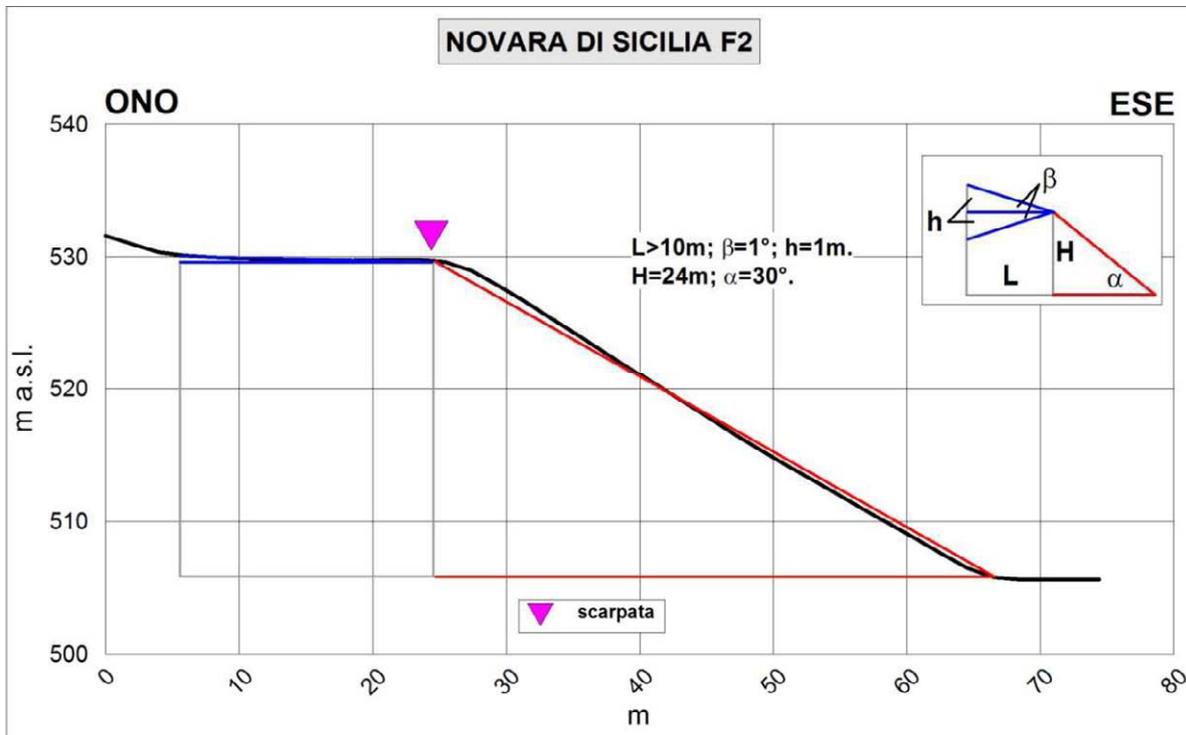


Fig.

8.22– Profilo topografico di dettaglio della scarpata Novara di Sicilia F1.

8.4 Carta delle frequenze

Tutti i punti di misura HVSR, ad esclusione dei punti 083062P25-HVSR25, 083062P32-HVSR32, 083062P33-HVSR33 e 083062P38-HVSR38 , che non mostrano picchi significativi, indicano la possibile presenza di fenomeni di amplificazione del moto sismico in un range di frequenze compreso tra 0.89 Hz e 3.73 Hz.

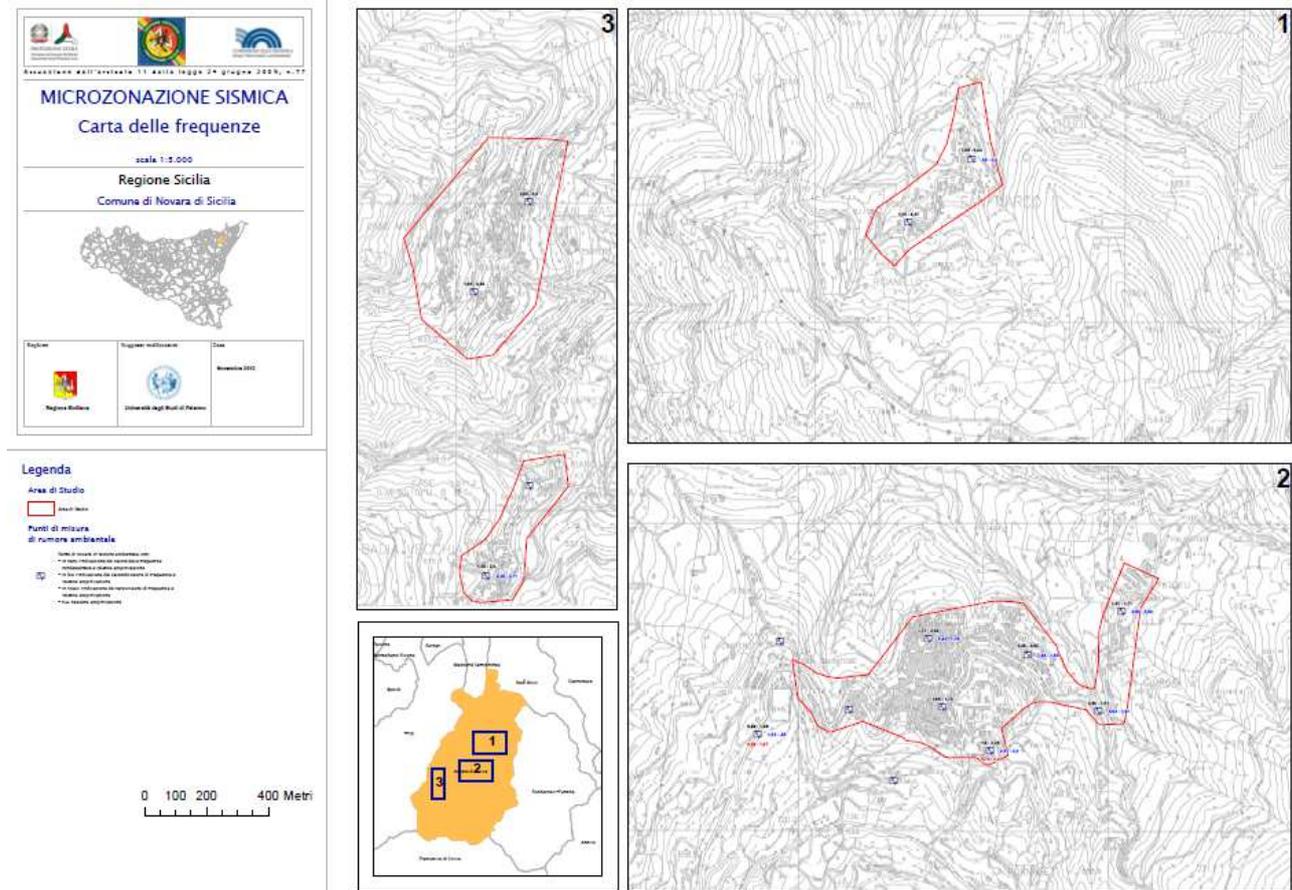


Fig. 8.23 – Riduzione della carta delle frequenze del comune di Novara di Sicilia (v. PDF in Cartella PLOT).

9. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI

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

10. BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (1981) – Carta tettonica d'Italia (1:500.000). PFG-CNR, Publ. 227, Roma.
- AA.VV. , (2006) Gruppo di lavoro – Microzonazione sismica di Norcia. 1° Stralcio. Regione Umbria, GR-DRATI, 222 pp.
- Abate D., De Pippo T., Ilardi M., Pennetta M. 1998 - Studio delle caratteristiche morfoevolutive quaternarie della piana del Garigliano, *Il Quaternario*, 11, 2, pp. 149-158.
- Aki K., 1964. A note on the use of microseisms in determining the shallow structures of the earth's crust, *Geophysics*, **29**, 665–666.
- Amodio Morelli L., Bonardi G., Colonna V., Dietrich D., Giunta G., Ippolito F., Liguori V., Lorenzoni F., Paglionico A., Perrone V., Picarretta G., Russo M., Scandone P., Zanettin-Lorenzoni E. e Zuppetta A. (1976) - L'Arco Calabro-Peloritano nell'orogene Appenninico - Maghrebide. *Mem. Soc. Geol. It.*, 17: 1-60.
- Argnani, A., 200 - Evolution of the Southern Tyrrhenian Slab Tear and Active Tectonics Along the Western Edge of the Tyrrhenian Subducted Slab. In: Geological Society of London, Special Publication 311, 193e212 pp.
- 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.
- Ben-Menahem A. e Singh S.J., 1981. *Seismic Waves and Sources*, Springer-Verlag, New York.
- Bender B., and Perkins, D.M. ,(1987) - SEISRISK III: a computer program for seismic hazard estimation. U.S. Geological Survey Bulletin, 1772, 48 pp.
- Bigi, G., Bonardini, G., Catalano, R., Cosentino, D., Lentini, F., Parotto, M., Sartori, R., Scandone, P., Turco, E., (1992) - Structural Model of Italy, 1:500.000. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Rome.
- Billi, A., Barberi, G., Faccenna, C., Neri, G., Pepe, F., Sulli, A., (2006) - Tectonics and seismicity of the Tindari Fault System, southern Italy: crustal deformations at the transition between ongoing contractional and extensional domains located above the edge of a subducting slab. *Tectonics* 25 1-0.
- Boccaletti M., Ciaranfi N., Cosentino D., Deiana G., Galati R., Lentini F., Massari F., Moratti G., Pescatore T., Ricci Lucchi F. e Tortorici L., (1990) - Palinspastic restoration and paleogeographic reconstruction of the peri-tyrrhenian area during the Neogene. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 77 (1): 41-50.

- Boccaletti M. & Dainelli P., (1982) - Il sistema regmatico Neogenico-Quaternario nell'area mediterranea: esempio di deformazione plastico-rigida post-collisionale. "Mem. Soc. Geol. It.", "24", pp. 465-482.
- Boccaletti M., Nicolich R. & Tortorici L., (1984) - The Calabrian Arc and the Jonian Sea in the dynamic evolution of the Central Mediterranean. *Marine Geol.*, 55: 219-245.
- Boccaletti M., Tortorici L. & Ferrini G. L., (1986) - The Calabrian Arc in the frame of the evolution of the Tyrrhenian Basin. In: Boccaletti M., Gelati R. & Ricci Lucchi F. Eds. "Paleogeography and geodynamics of the Perityrrhenian Area", *Giorn. Geol.*, 3a, 48 (1/2): 113-120.
- Bonardi G., Giunta G., Liquori V., Perrone V., Russo M. & Zuppetta A. (1976) - Schema geologico dei Monti Peloritani. *Boll. Soc. Geol. It.*, 95, 49-74.
- Bonardi G., Giunta G., Perrone V., Russo M. & Zuppetta A., Ciampo G. (1980) - Osservazioni sull'evoluzione dell'Arco Calabro-Peloritano nel Miocene inferiore: la Formazione di Stilo-Capo d'Orlando. *Boll. Soc. Geol. It.*, 99, 365-393.
- Bramerini, F., Di Pasquale, G., (2008) - Aggiornamento delle mappe di rischio sismico in Italia. *Ingegneria Sismica XXV(2)*, 1-56
- Burrough, P. A. and McDonell, R.A., (1998) - Principles of Geographical Information Systems (Oxford University Press, New York), p. 190.
- Catalano S. & Di Stefano A. (1997) – Sollevamenti e tettonogenesi pleistocenica lungo il margine tirrenico dei Monti Peloritani: integrazione dei dati geomorfologici, strutturali e biostratigrafici. *Il Quaternario*, 10 (2), 337-342.
- Cornell, C. A., (1968). Engineering seismic risk analysis. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 58, 1583-1606.
- 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., (1982) - Structural, stratigraphy and evolution of central Mediterranean. *Boll. Geof. Teor. Appl.*, 24 (96): 247-312.
- Finetti I. & Del Ben A., (1986) -. Geophysical study of the Tyrrhenian opening. *Boll. Geof. Teor. Appl.*, 28: 75-155.
- Finetti I. R., Lentini F., Carbone S., Catalano S. e Del Ben A. (1996) - Il Sistema Appennino Meridionale-Arco Calabro-Sicilia nel Mediterraneo centrale: studio geologico-geofisico. *Boll. Soc. Geol. It.*, 115: 529-559.
- Giammanco S. Palano M., Scaltrito A. , Scarfi L., Sortino F. (2008) - Possible role of fluid overpressure in the generation of earthquake swarms in active tectonic areas: The case of the Peloritani Mts. (Sicily, Italy) *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 178, 795-806

- Ghisetti, F. (1979) - Relazioni tra strutture e fasi trascorrenti e distensive lungo i sistemi Messina-Fiumefreddo, Tindari-Letojanni e Alia-Malvagna (Sicilia nord-orientale): uno studio microtettonico. *Geol. Rom.*, 18, 23-58.
- Ghisetti F. & Vezzani L. (1977) - Evidenze di linee di dislocazione sul versante meridionale dei Monti Nebrodi e Madonie e loro significato neotettonico. *Boll. Geodesia e Sc. affini*, 36 (4): 411-437.
- Ghisetti F. & Vezzani L. (1984) - Thin-skinned deformations of the western Sicily thrust belt and relationships with crustal shortening: Mesostructural data on the Mt. Kumeta-Alcantara Fault Zone and related structures. *Boll. Soc. Geol. It.*, 103: 129-157.
- Giunta G. (1991) - Elementi per un modello cinematico delle maghrebidi siciliane. *Mem. Soc. Geol. It.* 47: 297-311.
- Giunta G., Messina A., Bonardi G., Nigro F., Somma R. e Cutrupia D., Giorgianni A., Sparacino V. (1998) - Geologia dei Monti Peloritani (Sicilia NE). Guida all'escursione, 77° Riunione estiva, Palermo, Settembre 1998
- Giunta G. & Nigro F. (1998) - Some tectono-sedimentary constraints to Oligo-Miocene evolution of the Peloritani Thrust Belt. *Tectonophysics*, 315: 287-299.
- Giunta G., Nigro F., Renda P. & Giorgianni A. (2000a) - The Sicilian-Maghrebides Tyrrhenian Margin: a neotectonic evolutionary model. *Mem. Soc. Geol. It.*, 119: 553-565.
- Giunta G. & Somma R. (1996) - Nuove osservazioni sulla struttura dell'Unità di Ali (M.ti Peloritani, Sicilia) *Boll. Soc. Geol. It.*, 115, 489-500.
- 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/>.
- 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.
- Lentini F., Carbone S., Di Stefano A., Guarnieri P. (2004) – A multidisciplinary approach to the reconstruction of the Quaternary evolution of the Messina Strait area. In Pasquarè G., Venturini C., Gropelli G. (Ed.), *Mapping Geology in Italy*, Apat, S.El.Ca., Firenze, 43-50.
- Locati, M., Camassi, R., e Stucchi, M., (a cura di), (2011) - DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>.
- 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.

- Mauz B., Renda P. (1995): Tectonic features at the NW-coast of Sicily (Gulf of Castellammare). Implications for the Plio-Pleistocene structural evolution of the southern Tyrrhenian continental margin. *Studi Geol. Cam.*, vol. spec. 1995/2, 343-349.
- Monaco C., Tortorici L., Nicolich R., Cernobori L. & Costa M. (1996a) - From collisional to rifted basins: an example from the southern Calabrian arc (Italy). *Tectonophysics*, 266, 233-249.
- Nakamura, Y. (1989), "A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface", *Quarterly Report of Railway Technical Research Institute (RTRI)*, Vol. 30, No.1.
- Nigro F. (1994) - L'Unità Longi-Taormina. Stratigrafia e tettonica delle coperture mesozoico-terziarie dell'elemento peloritano occidentale. Tesi di Dottorato, Palermo, 276 pp.
- Nigro F. (1998) - Neotectonic events and kinematic of rhenic-like basins in Sicily and adjacent areas. Implications for a structural model of the Tyrrhenian opening. *Boll. Soc. Geol. Pol.*, 69: 1-18.
- Nigro F. e Renda P. (1999) - Evoluzione geologica ed assetto strutturale della Sicilia centro-settentrionale. *Boll. Soc. Geol. It.*, 118: 375-388.
- Nigro F. e Renda P. (2000) – Un modello di evoluzione tettono-sedimentaria dell'avanfossa neogenica siciliana. *Boll. Soc. Geol. It.*, 119: 667-686.
- Nigro F. & Renda P. (2001a) – Occurrence of oblique-slip thrusting during the Maghrebides chain building in Sicily. *Boll. Soc. Geol. It.*, in stampa.
- Nigro F. & Renda P. (2001b) – Forced mode dictated by foreland fault-indentor shape during oblique convergence: the Western Sicily mainland. *Boll. Soc. Geol. It.*, in stampa.
- Nigro F. & Renda P. (2004a) - The contribution of the pre-existing structures in the mountain belt evolution: the example of the negative inversion in Northern Sicily. *Boll. Soc. Geol. It.*, 123, 175-187.
- Nigro F. & Renda P. (2004b) - Sequence of deformations in the Sicilidi Units (Northern Sicilian chain). *Boll. Soc. Geol. It.*, 123, 97-110.
- Nigro F. & Renda P. (2005) - "Plio-Pleistocene strike-slip deformation in NE Sicily: the example of the area between Capo Calavà and Capo Tindari", *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 124(2), 2005, pp. 377-394
- Nigro F. & Sulli A. (1995) - Plio-Pleistocene extensional tectonics in the Western Peloritani area and its offshore. *Tectonophysics*, 252: 295-305.
- Pepe F.; Bertotti R.; Marsella E.; (2000) - Rifted margin formation in the South Tyrrhenian Sea: a high-resolution seismic profile across the North Sicily passive continental margin. *Tectonics*, 19, 241-257.

- Peterson, J. (1993) - Observations and modeling of seismic background noise, Open-File Report, 93-322, US Geological Survey, Albuquerque, NM.
- Renda P.; Tavarnelli E.; Tramutoli M.; Gueguen E.; (2000) - Neogene deformations of Northern Sicily, and their implications for the geodynamics of the Southern Tyrrhenian Sea margin. *Memorie Società Geologica Italiana*, 55, 53-59
- Rovida, A., Camassi, R., Gasperini, P., e Stucchi, M., (a cura di), (2011) - CPTI11, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>
- Scandone P., (1979) - Origin of the Tyrrhenian Sea and Calabrian Arc. *Boll. Soc. Geol. It.*, 98: 27-34.
- Selli R., (1985) - Tectonic evolution of the Tyrrhenian Sea. In: Stanley D. J. & Wezel F. C. Eds. "Geological Evolution of Mediterranean Basins", Ch. 7, 131-151.
- 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.
- Somma R., (1998) – Geologia strutturale del fronte meridionale dei Monti Peloritani sud-orientali ("linea di Taormina), Sicilia) Tesi di dottorato, Università di Palermo, 277 pp.
- Sulli, A., Lo Presti V., Gasparo Morticelli M., Antonioli F., (2012) - Vertical movements in NE Sicily and its offshore: Outcome of tectonic uplift during the last 125 ky, *Quaternary International*, doi:10.1016/j.quaint.2012.01.021
- 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.
- Working Group CPTI, (2004) - Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04). INGV, Bologna. <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI04>.
- 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.

11. ALLEGATI