

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

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione Illustrativa

MS Livello 1

Regione Sicilia

Comune di SAN PIERO PATTI (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: Novembre 2012</p> |
|--|---|--------------------------------|

INDICE

| | Pag. |
|---|-------------|
| Premessa | 4 |
| 1. Introduzione | 5 |
| 1.1 <i>Finalità degli studi</i> | 5 |
| 1.2 <i>Descrizione generale dell'area</i> | 6 |
| 1.3 <i>Definizione della cartografia di base</i> | 10 |
| 1.4 <i>Elenco archivi consultati</i> | 10 |
| 1.5 <i>Definizione dell'area da sottoporre a microzonazione</i> | 10 |
| 2. Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento | 12 |
| 2.1 <i>Sismicità storica della Sicilia Nord – Orientale</i> | 12 |
| 2.2 <i>Sismicità storica e pericolosità sismica del comune di San Piero Patti</i> | 16 |
| 2.3 <i>Faglie attive</i> | 23 |
| 3. Assetto geologico e geomorfologico | 24 |
| 3.1 <i>Inquadramento geologico</i> | 24 |
| 3.2 <i>Assetto Tettonico</i> | 25 |
| 3.2.1 <i>Neotettonica</i> | 27 |
| 3.3 <i>Caratteri morfologici, stratigrafici e tettonici del territorio di San Piero Patti</i> | 29 |
| 3.3.1 <i>Caratteri morfologici</i> | 29 |
| 3.3.2 <i>Litostratigrafia</i> | 33 |
| 3.3.3 <i>Lineamenti tettonici di San Piero Patti</i> | 39 |
| 4. Dati geotecnici e geofisici | 41 |
| 4.1 <i>Il database</i> | 41 |
| 4.2 <i>Unità geologico – litotecniche</i> | 42 |
| 4.3 <i>Indagini geofisiche precedenti</i> | 42 |
| 4.4 <i>Il metodo HVSR</i> | 43 |
| 4.5 <i>Indagini HVSR</i> | 45 |
| 5. Modello del sottosuolo | 49 |
| 5.1 <i>Il modello e le sezioni rappresentative del sottosuolo</i> | 49 |
| 5.2 <i>Stime della profondità del tetto del bedrock sismico ottenute da misure HVSR</i> | 54 |
| 6. Interpretazioni e incertezze | 56 |
| 6.1 <i>Incertezze sul modello geologico tecnico del sottosuolo</i> | 56 |
| 6.2 <i>Breve analisi dei vantaggi e svantaggi dei metodi d'indagine con microtremiti</i> | 57 |
| 6.3 <i>Incertezze sulle stime della profondità del bedrock sismico</i> | 57 |
| 7. Metodologie di elaborazione e risultati | 59 |
| 7.1 <i>Criteri per l'elaborazione della carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica</i> | 59 |
| 7.2 <i>Standard di archiviazione informatica degli elementi morfologici</i> | 60 |
| 7.3 <i>Elementi di amplificazione topografica</i> | 61 |
| 7.4 <i>Criteri adottati per la costruzione della carta delle frequenze</i> | 66 |
| 8. Elaborati cartografici | 67 |

| | | |
|-----|--|-----------|
| 8.1 | <i>Carta delle indagini</i> | 67 |
| 8.2 | <i>Carta Geologico – tecnica</i> | 67 |
| 8.3 | <i>Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica</i> | 71 |
| 8.4 | <i>Carta delle frequenze</i> | 83 |
| 9. | Confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati | 84 |
| 10. | Bibliografia | 85 |
| 11. | Allegati | 90 |

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 San Piero Patti (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

Il territorio comunale di San Piero Patti è in gran parte compreso all'interno del bacino idrografico del Torrente Timeto. Confina ad est con Montalbano Elicona, a nord con Librizzi, a NW con Sant'Angelo di Brolo, ad ovest e sud-ovest con Raccuja (Fig. 1.1).

Il contesto morfologico del territorio comunale è di tipo collinare nella porzione settentrionale, con rilievi allungati secondo la direzione generale SW-NE nella parte occidentale e SE-NW in quella orientale, a costituire dorsali alternate agli affluenti principali del Torrente Timeto e limitati da versanti molto acclivi ed incisi da numerosi impluvi di breve lunghezza ed elevata pendenza. Le quote variano da 238 a 1267 m s.l.m.

La popolazione del comune è di 3193 abitanti. Il Centro urbano principale si sviluppa a quote variabili fra circa 350 e 500 m.

Oltre al centro urbano principale (Figg. 1.2-1.5), nel territorio comunale si trovano numerose frazioni e nuclei abitati. Fra i principali Balze, Casale, Castagnero, Ciurciumì, Contrada Marià, Fiumara, Fondachello, Linazza, Malaborsa, Martinello, Ramondino, Santa Lucia, Santa Maria, Spaditta, Tesoriero, Valdoria, Verdù.

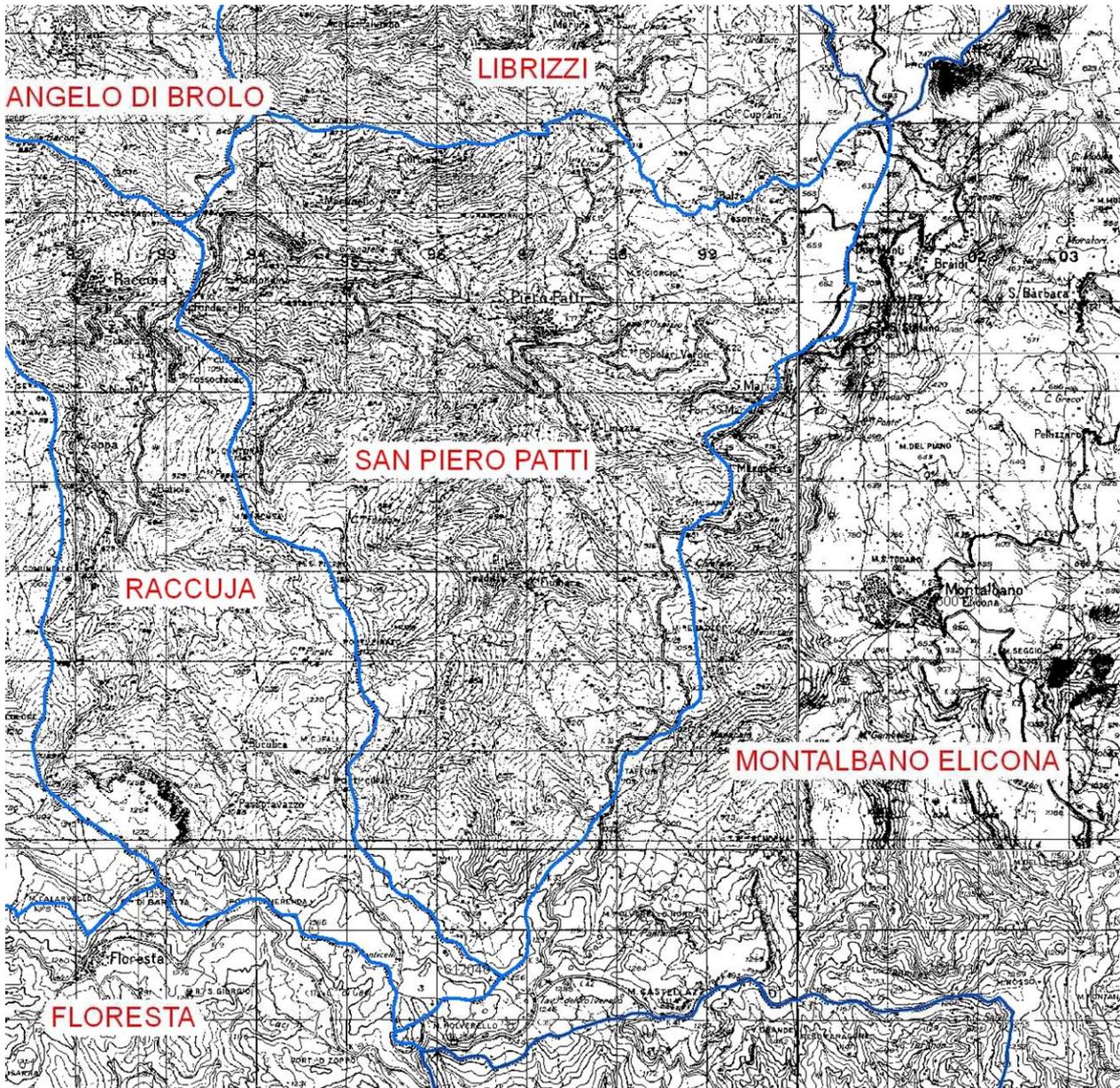


Fig. 1.1 – Inquadramento topografico del territorio comunale di San Piero Patti.



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



Fig. 1.3 – San Piero Patti. Panoramica del centro urbano (vista da NE). A destra il rilievo principale sul quale sorge il Quartiere Castello e, in primo piano, il Convento dei Carmelitani.



Fig. 1.4 San Piero Patti. Panoramica del quartiere del Castello, vista da sud.



Fig. 1.5 San Piero Patti. Panoramica del quartiere del Castello, vista da est.

1.3 Definizione della cartografia di base

| | |
|-----------------------|---|
| Copertura topografica | Carta Tecnica Regionale scala 1:10.000 - ediz. 2008 – sezioni n. 599120 – 599160 |
| | Fogli IGMI 1:50.000 n. 599 “Patti” |
| 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. 599 “Patti” 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 San Piero Patti ha indicato al Dipartimento di Protezione Civile, con nota prot. n 30038 del 19/07/2011) i toponimi delle località da sottoporre agli studi di MS di primo livello. In considerazione della carenza di indagini e di informazioni geologiche e tenuto altresì conto della bassa densità di urbanizzazione del territorio comunale si è deciso tuttavia di limitare lo studio di microzonazione sismica al solo centro urbano principale (cfr. verbale della Prot. Civile del 24/04/2012) secondo la perimetrazione riportata in Fig. 1.6.

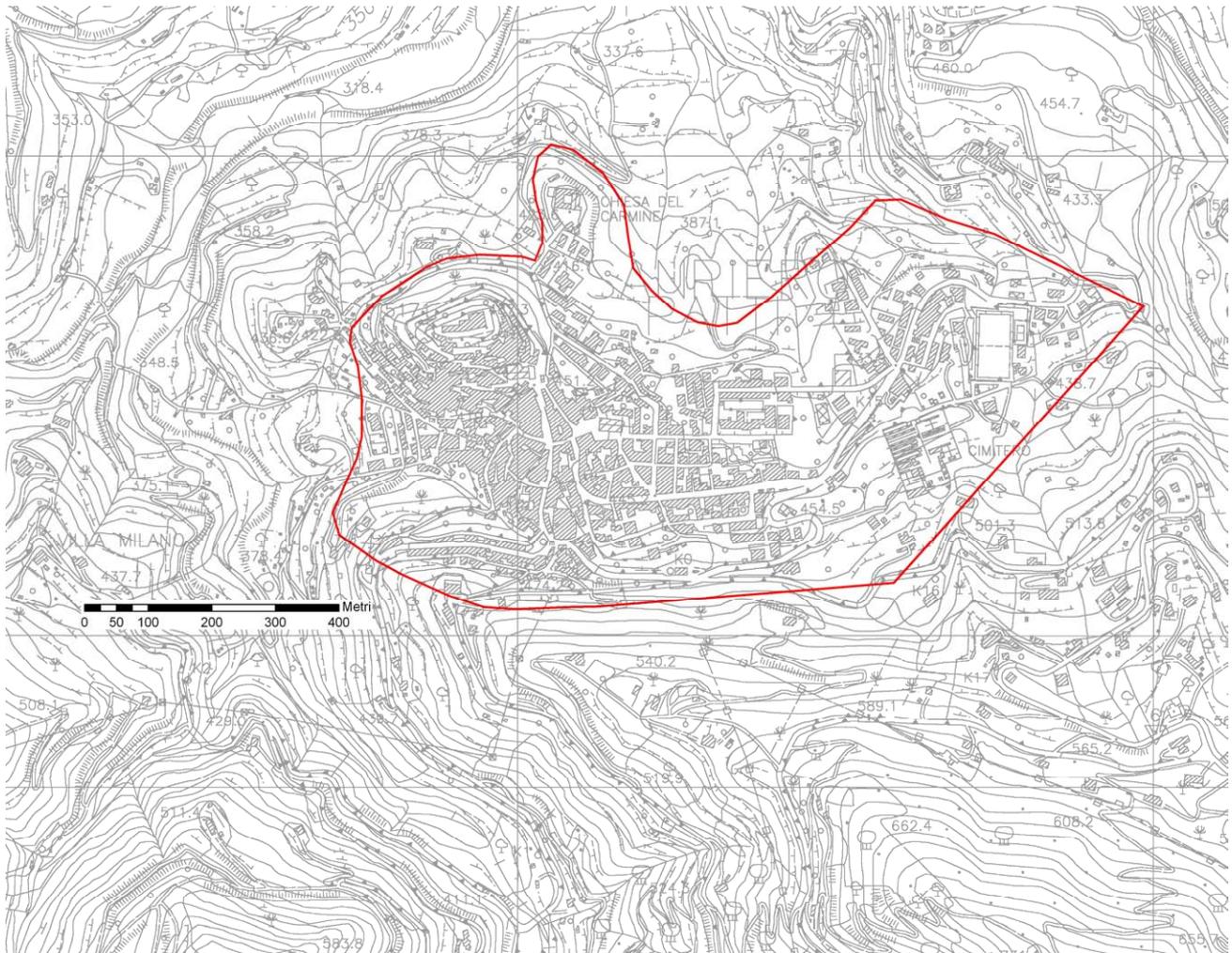


Fig. 1.6 - Comune di San Piero Patti Centro Urbano: perimetrazione dell'area da sottoporre a MS.

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.

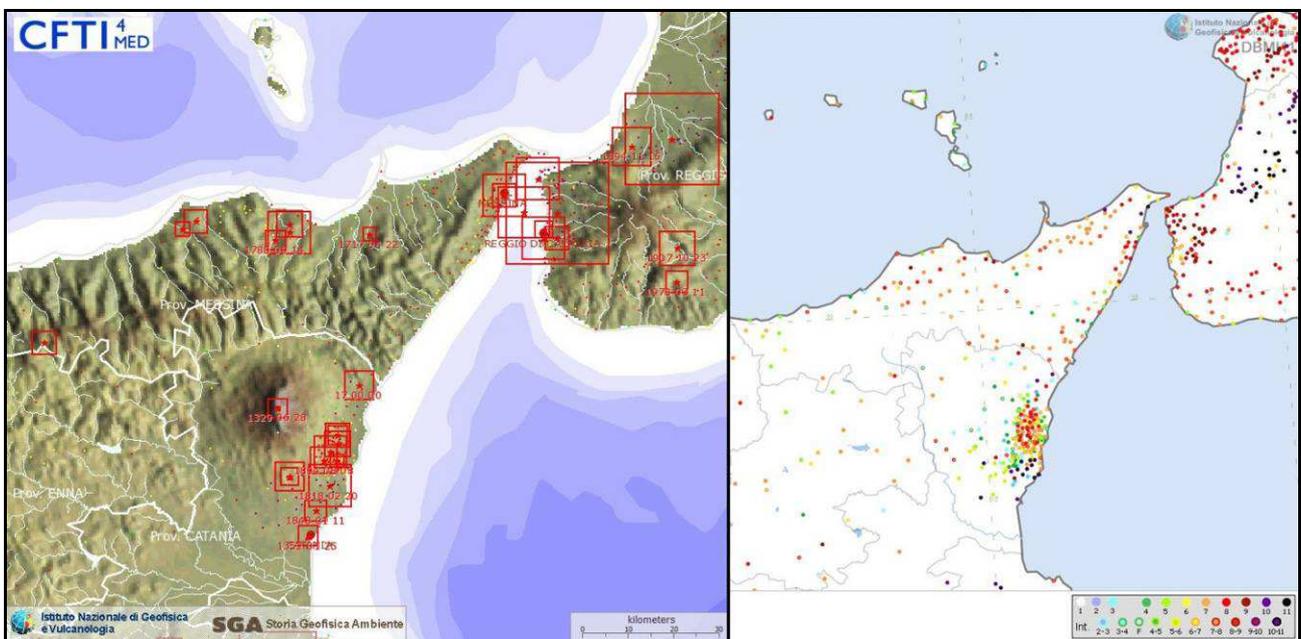


Fig. 2.1 – Epicentri dei forti terremoti (sinistra, Guidoboni *et al.*, 2007) e massime intensità macrosismiche risentite (destra, Locati *et al.*, 2011) in Sicilia Nord – Orientale

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.; colpì, 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 San Piero Patti

Il comune di San Piero Patti 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, anche se diversi eventi con epicentro distante da San Piero Patti meno di 20 km, hanno avuto negli ultimi 30 anni una magnitudo locale maggiore di 4. La profondità ipocentrale di tali eventi varia da alcuni chilometri per la parte entroterra ad alcune decine di chilometri per la parte offshore.

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 San Piero Patti effetti macrosismici di notevole intensità ($I > 6$ 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 San Piero Patti e magnitudo momento maggiore di 5.5.

In Fig. 2.4 è riportata la storia sismica del comune di San Piero Patti estratta dal Database Macrosismico Italiano (DBMI11, Locati *et al.*, 2011). Da questa si evince come dalla fine del diciassettesimo secolo ben 12 eventi sismici abbiano prodotto a San Piero Patti effetti che hanno condotto a stime dell'intensità macrosismica.

Il primo terremoto storico di cui si conosca il risentimento a San Piero Patti è quello del 11 gennaio 1693 ($M_W = 7.41$) che ha avuto massima intensità macrosismica risentita nel comune pari al VII grado MCS. Anche se di più bassa magnitudo ($M_W = 5.35$) l'evento del 14 settembre 1780, con epicentro nell'area di Patti, ha avuto anch'esso massima intensità macrosismica pari al VII grado MCS.

Tuttavia, l'evento che in tempi storici ha avuto maggiore risentimento a San Piero Patti è sicuramente quello del 10 marzo 1786. L'evento sismico di $M_W = 6.15$, ebbe probabilmente epicentro molto vicino al centro abitato, causando crolli e gravi lesioni nel comune di San Piero Patti e nei comuni limitrofi. La massima intensità macrosismica risentita per il suddetto comune fu pari al IX grado MCS. La Fig. 2.5 mostra la distribuzione delle intensità macrosismiche risentite a seguito dell'evento del 1786.

L'evento recente che ha avuto massimo risentimento sismico a San Piero Patti è quello 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 San Piero Patti è pari al VII-VIII grado MCS. La scossa causò crolli e lesioni di numerosi edifici e si registrarono diversi feriti sia a San Piero Patti che nei comuni limitrofi.

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 San Piero Patti sorge in prossimità della su menzionata struttura sismogenetica ed in prossimità di altre due importanti zone sismogenetiche, quella Sud Tirrenica e quella Calabra (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 San Piero Patti; 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 San Piero Patti 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 San Piero Patti risulta inserito in Zona Sismica 2.

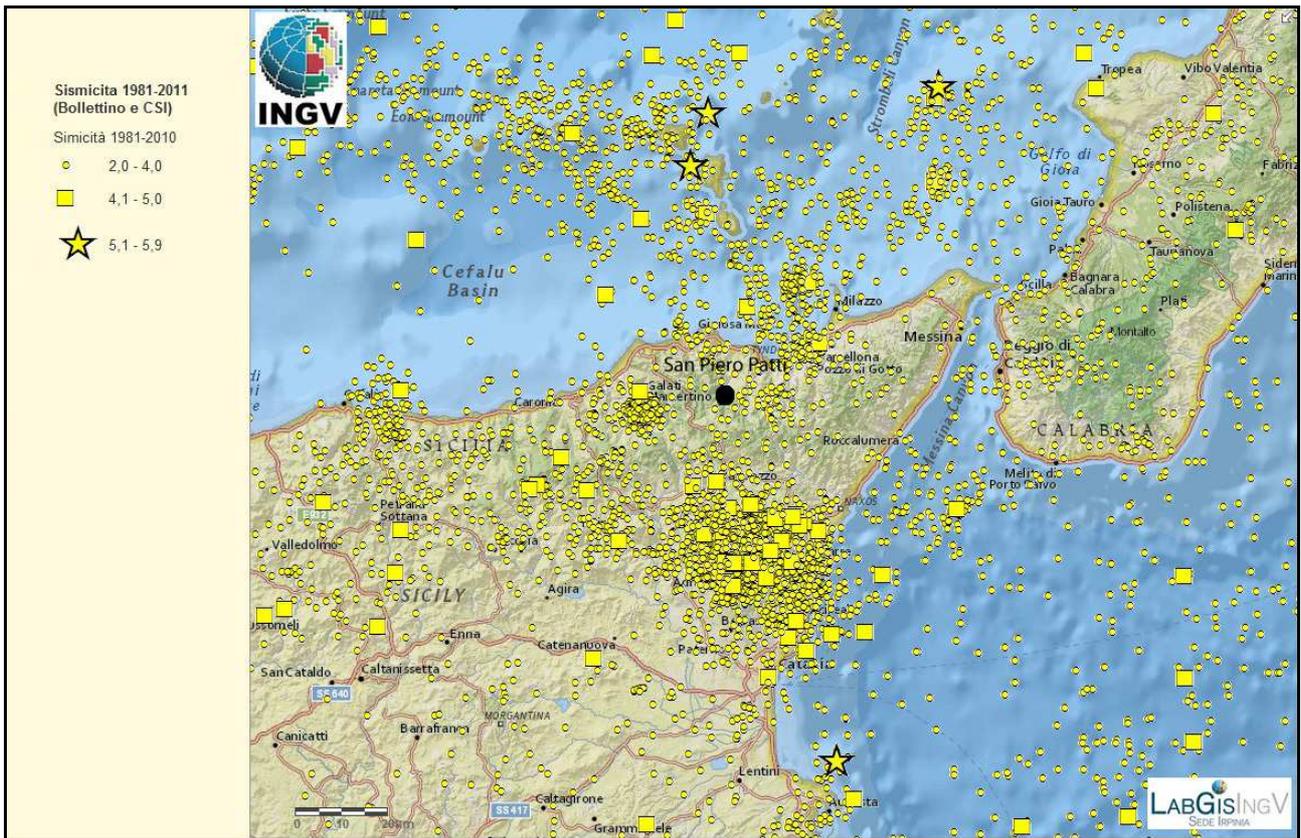


Fig. 2.2 - Distribuzione degli epicentri dei terremoti strumentali localizzati dall'INGVI tra il 1981 e il 2011.

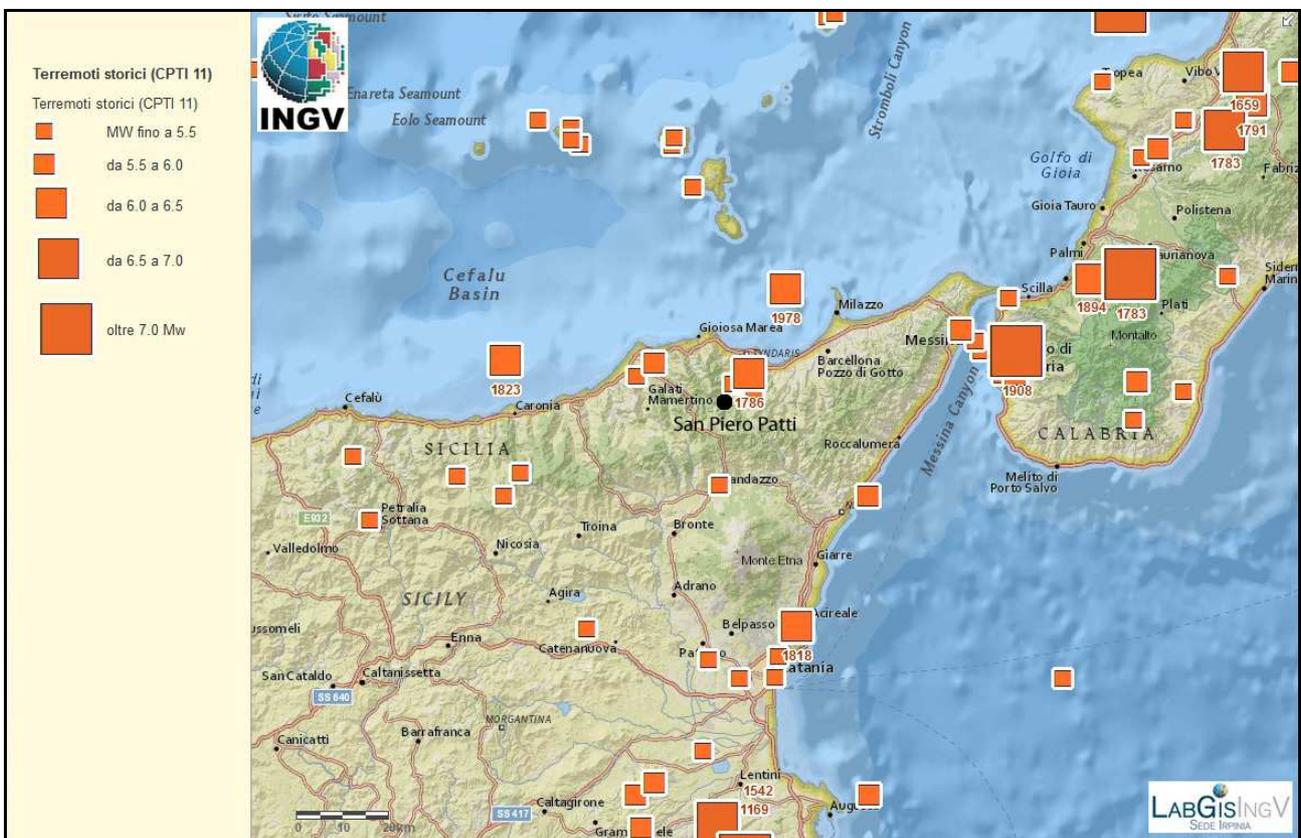


Fig. 2.3 - Mappa della distribuzione degli epicentri degli eventi sismici storici estratta dal Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI11, Rovida et al., 2011).

Storia sismica di San Piero Patti [38.051, 14.966]

Numero di eventi: 12

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 | 1780 09 14 | PATTI | 5 | 7-8 5.35 ±0.34 |
| 9 | 1786 03 10 14:10 | Sicilia nord-orientale | 10 | 9 6.15 ±0.38 |
| 6-7 | 1893 04 22 03:20 | MONTALBANO | 33 | 6-7 4.87 ±0.28 |
| 4-5 | 1894 11 16 17:52 | Calabria meridionale | 303 | 9 6.07 ±0.10 |
| 5 | 1905 09 08 01:43 | Calabria meridionale | 895 | 7.04 ±0.16 |
| 5-6 | 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 |
| 7-8 | 1978 04 15 23:3 | Golfo di Patti | 332 | 6.06 ±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 | 2001 05 08 03:5 | Entrotterra di Patti | 21 | 5 3.88 ±0.21 |

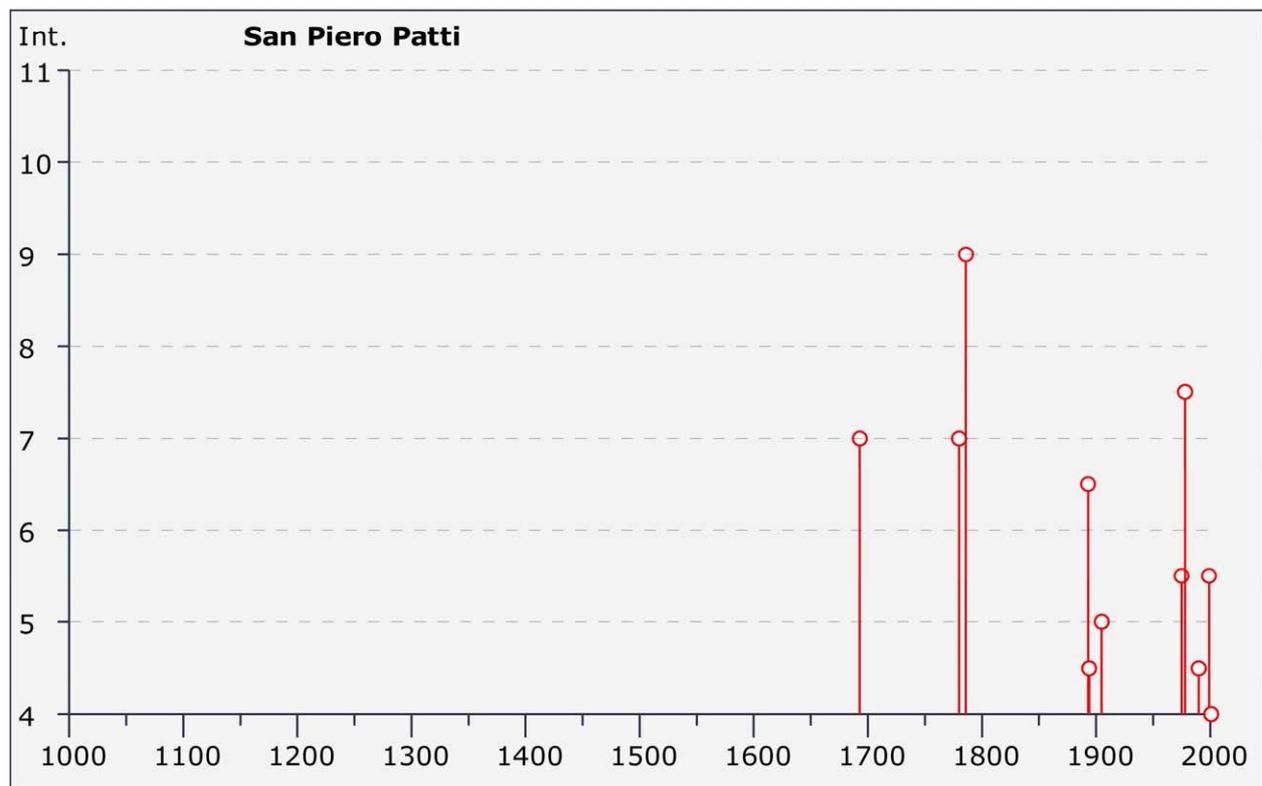


Fig. 2.4 - Storia sismica del comune di San Piero Patti estratta dal Database Macrosismico Italiano (DBMI11, Locati *et al.*, 2011); I_s è l'intensità macrosismica risentita (MCS); A_x indica l'area epicentrale; N_p è il numero di località per le quali è stata determinata l'intensità macrosismica; I_0 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 .

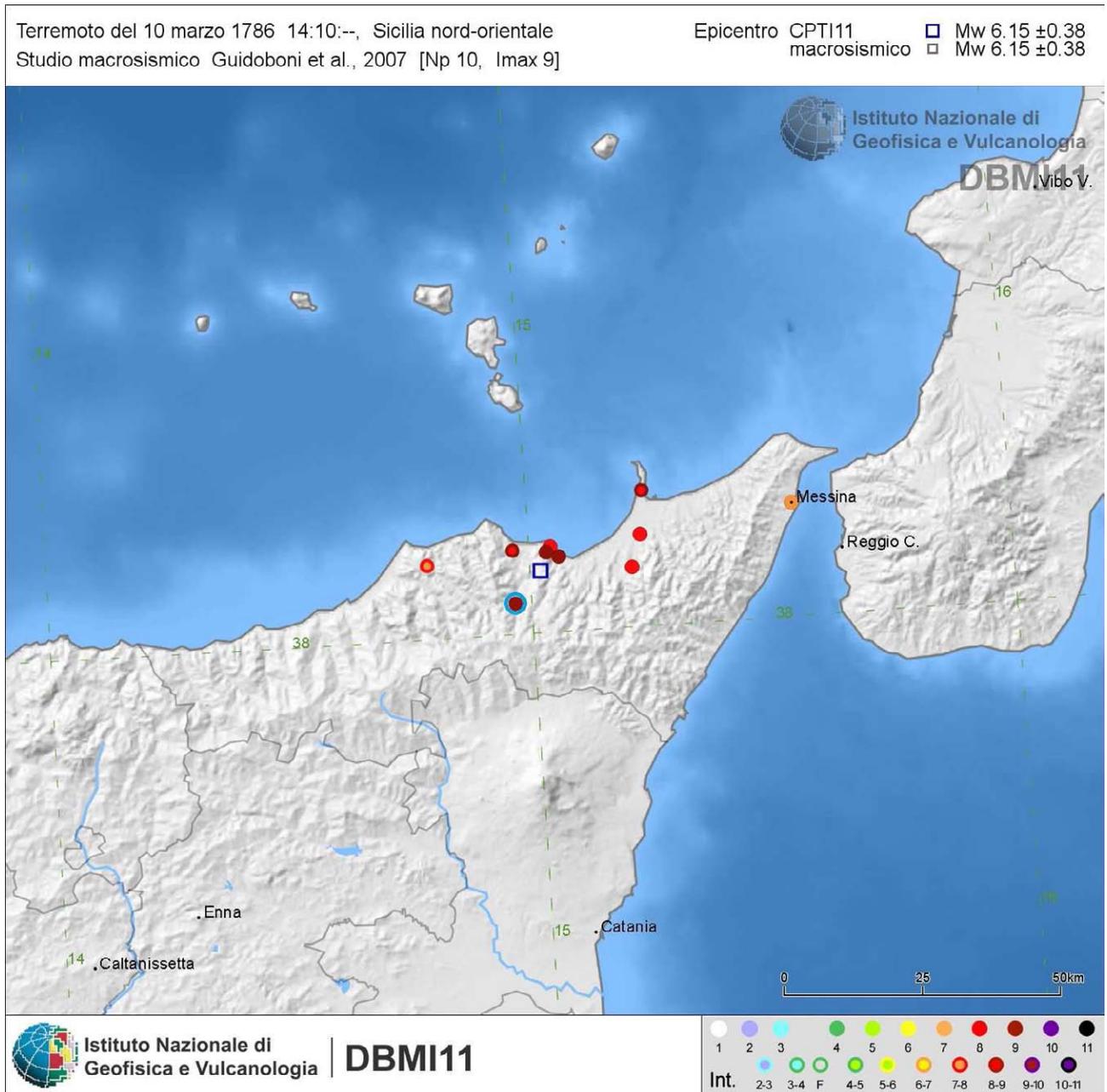


Fig. 2.5 - Mappa delle intensità macrosismiche risentite a seguito dell'evento del 1786, estratta dal catalogo Database Macrosismico Italiano (DBMI11, Locati *et al.*, 2011). Il cerchio azzurro indica il comune di San Piero Patti.

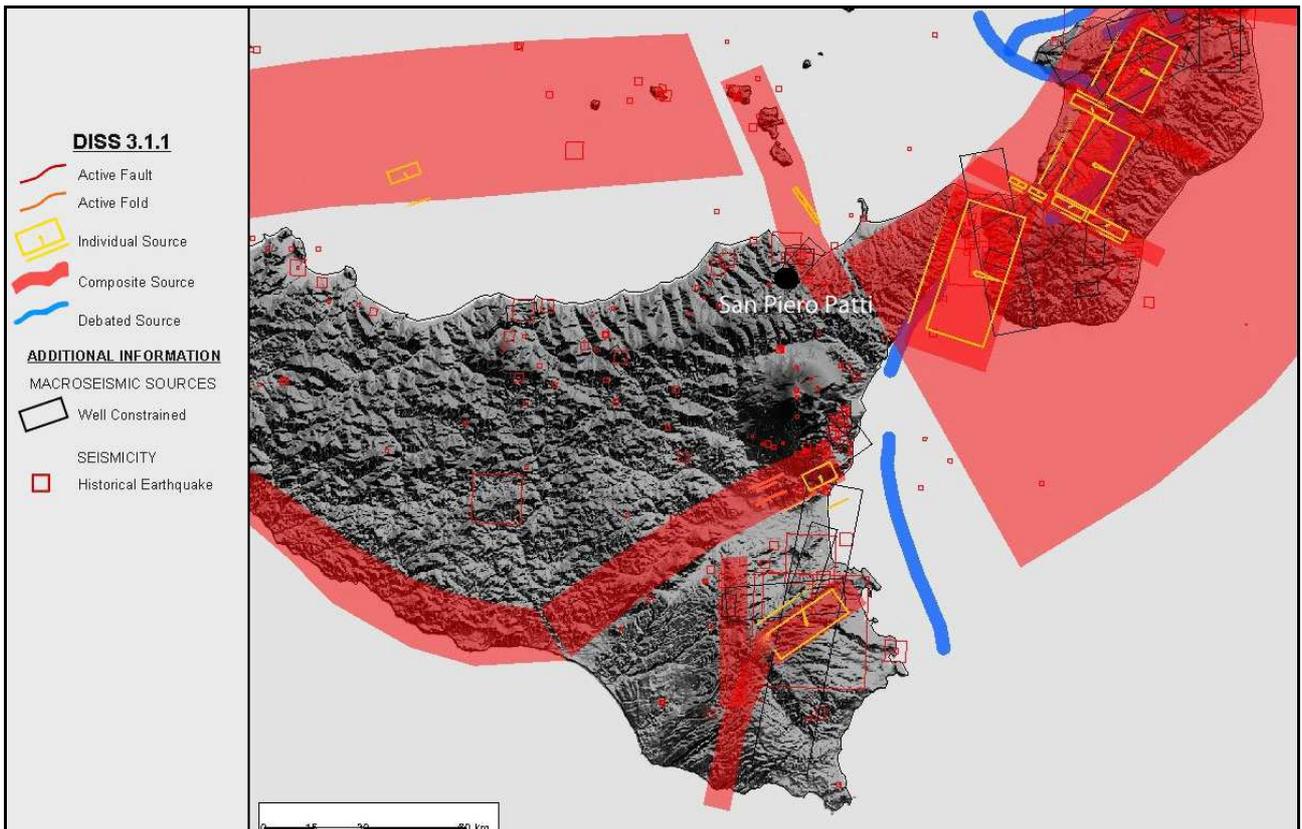


Fig. 2.6 - Mappa delle principali zone sismogenetiche estratte dal Database of Individual Seismogenic Sources (Basili *et al.*, 2008).

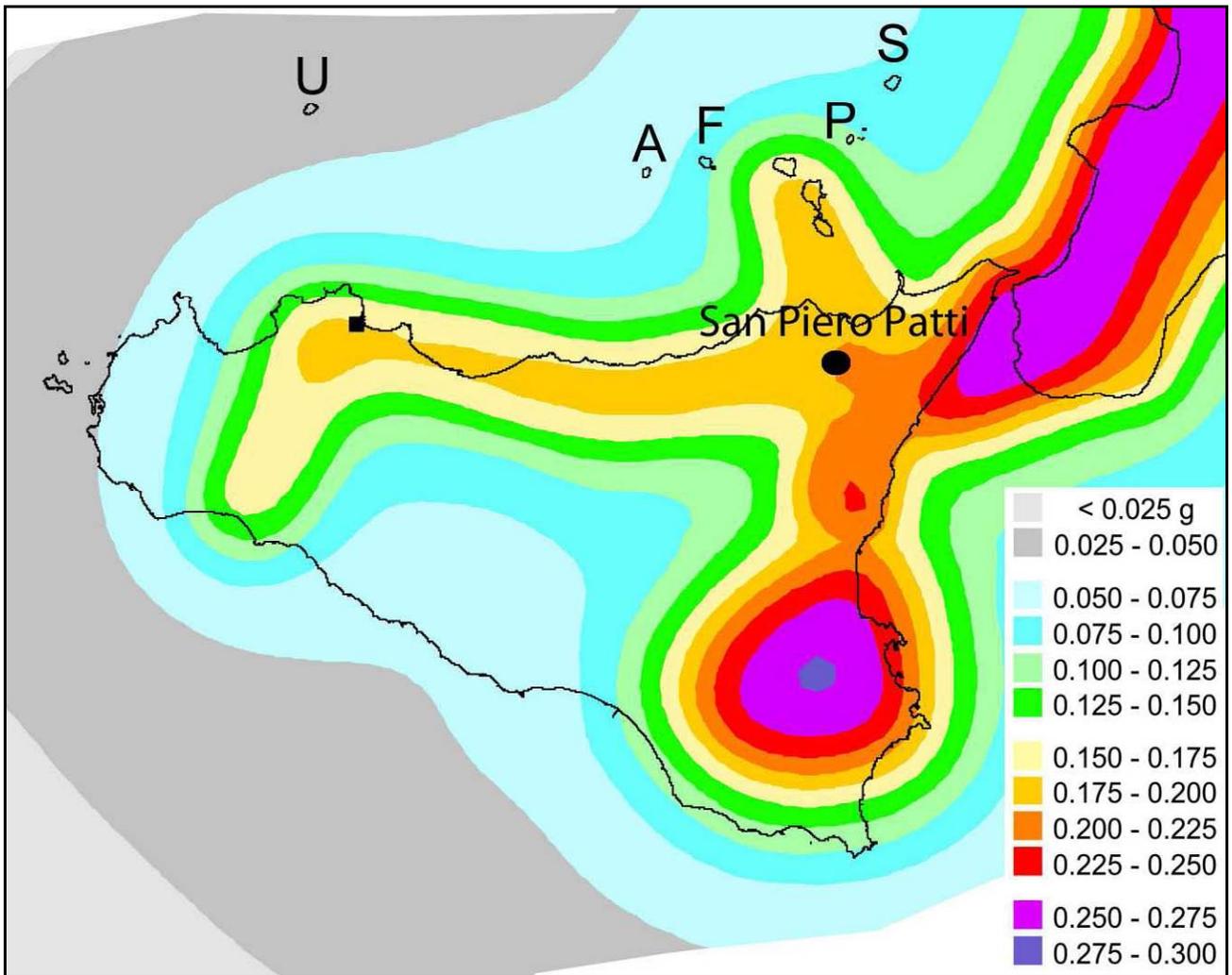


Fig. 2.7 - Mappa della pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ($V_s > 800$ m/s), Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n. 3519, All.1b; estratta da: <http://zonesismiche.mi.ingv.it>.

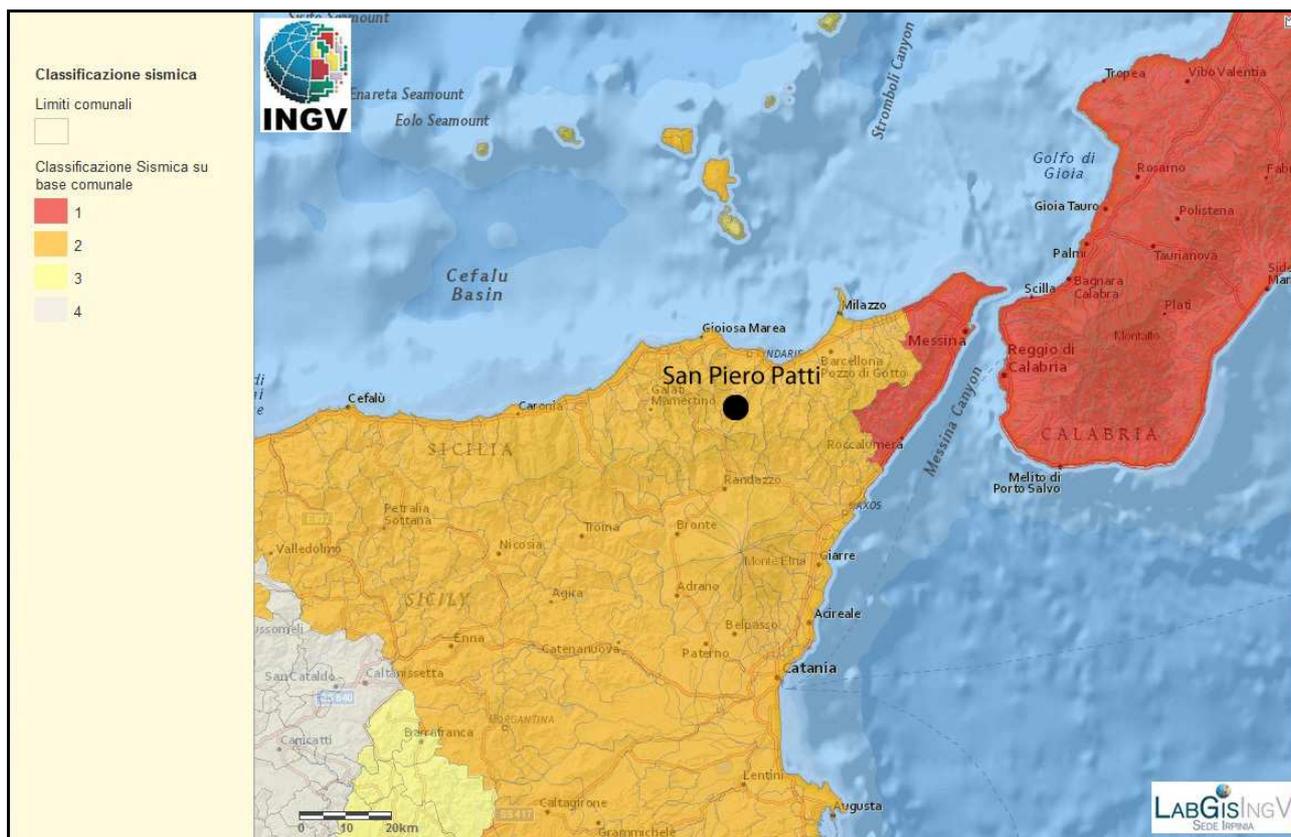


Fig. 2.8 - Classificazione sismica comunale 2010, Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la delibera della Giunta Regionale della Sicilia n. 408 del 19.12.2003.

| Parametro di scuotimento PGA (g) | | Probabilità in 50 anni/Periodo di ritorno | | | | |
|--|----|---|--------|--------|--------|--------|
| | | 2% | 5% | 10% | 22% | 30% |
| | | 2475a | 975a | 475a | 201a | 140a |
| Percentile | 16 | 0,2575 | 0,1960 | 0,1539 | 0,1122 | 0,0964 |
| | 50 | 0,3247 | 0,2484 | 0,1999 | 0,1462 | 0,1269 |
| | 84 | 0,3897 | 0,2845 | 0,2215 | 0,1562 | 0,1344 |

Tab. 2.1 - Valori di PGA stimati per il comune di San Piero Patti 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

Per quanto riguarda il territorio di San Piero Patti sottoposto agli studi di MS non risultano, nei cataloghi consultati (ITHACA-ISPRA, INGV etc...), faglie attive e capaci. Tuttavia il territorio di San Piero Patti è prossimo ad una zona di deformazione attiva (v. Fig. 2.6), e pertanto non si può escludere la possibile presenza di tali strutture nell'area in oggetto.

3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

3.1 Inquadramento geologico

Il territorio di San Piero Patti 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 varisico metamorfico di medio-alto grado, costituito da paragneiss e micascisti, gneiss occhadini 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.

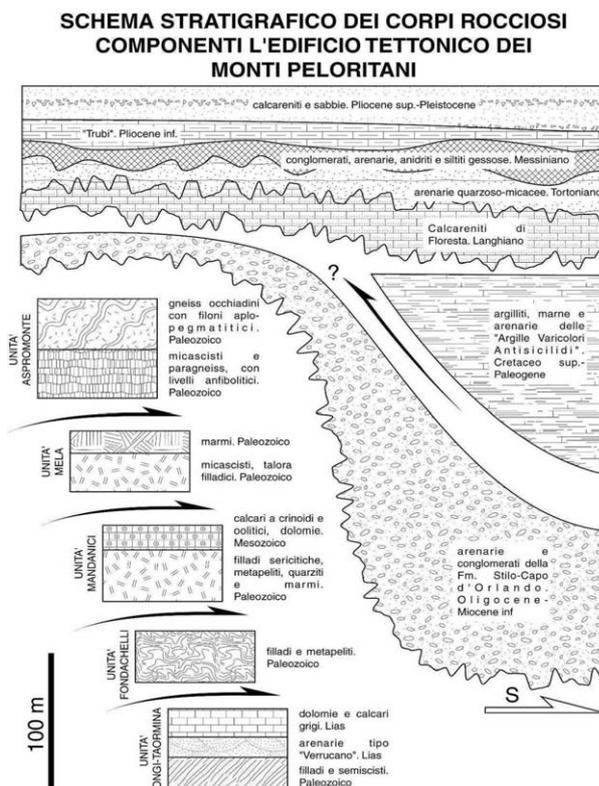


Fig. 3.1 – Schema tettono – stratigrafico dei Monti Peloritani (modificato Giunta & Nigro, 1998)

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.

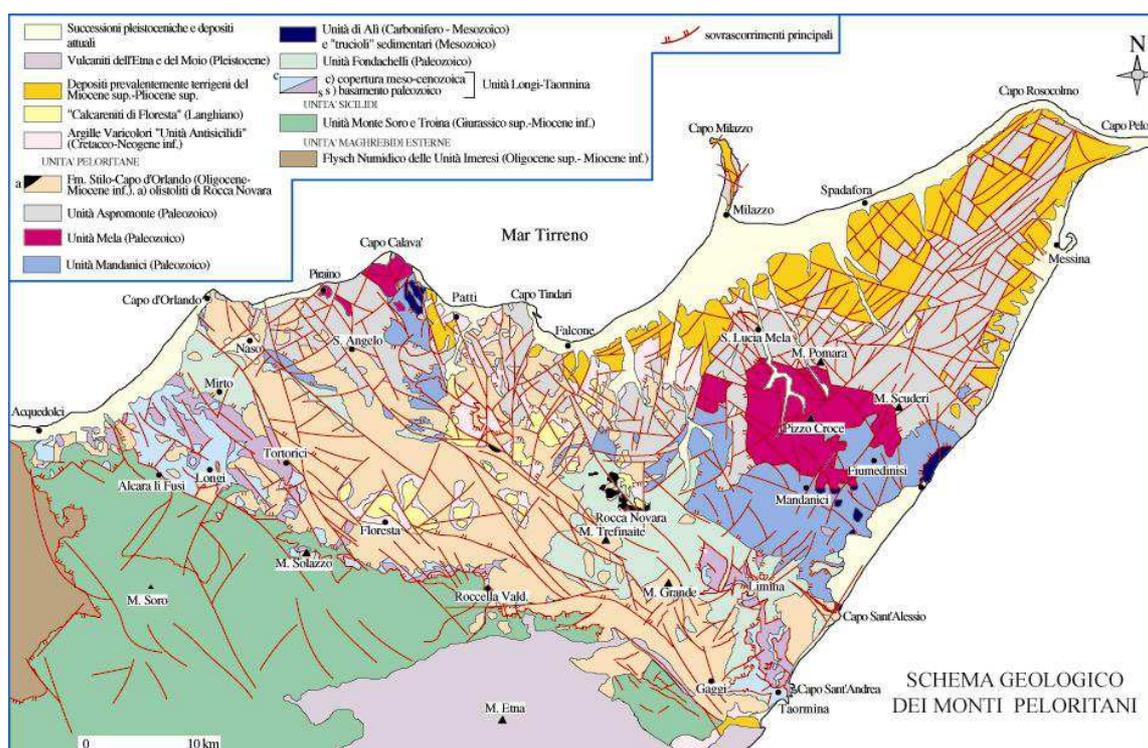


Fig 3.2 – Schema geologico dei Monti Peloritani (modificato da: Giunta & Nigro, 1998; Somma, 1998).

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).

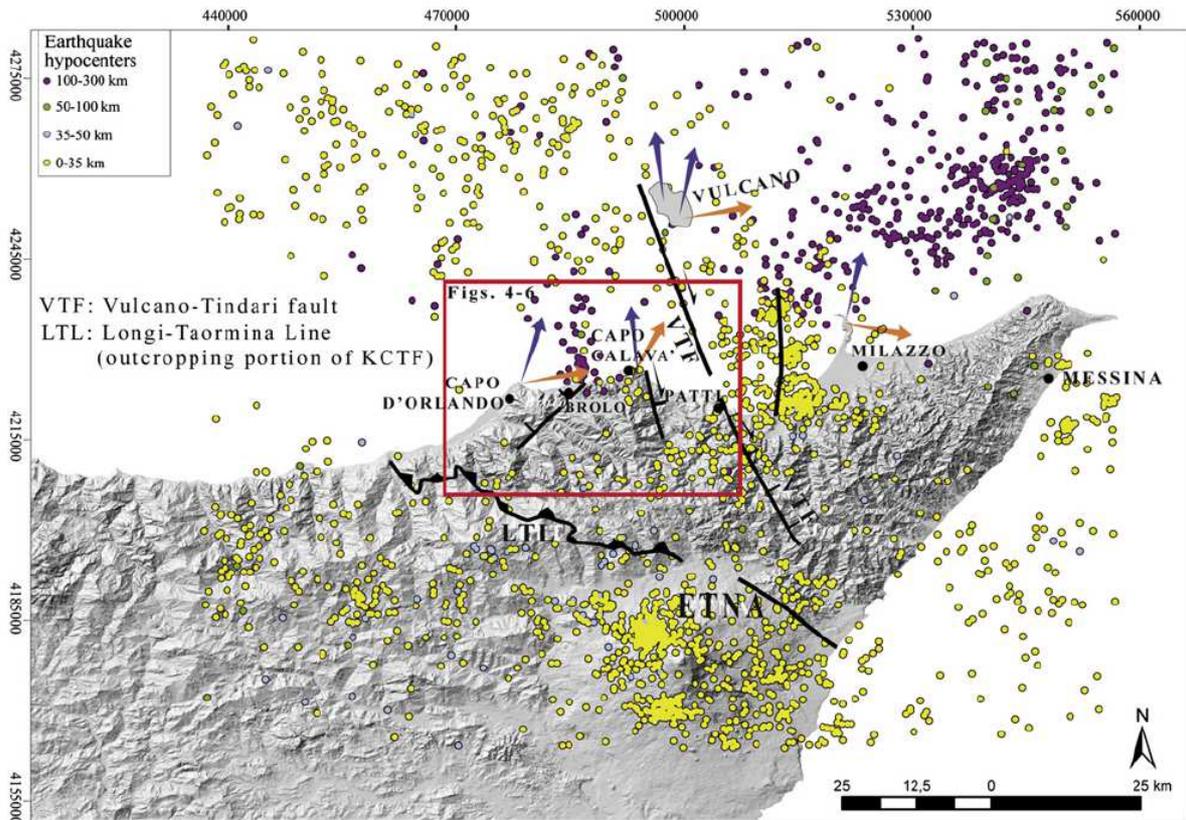


Fig 3.3 – Carta della sismicità e delle principali faglie attive della Sicilia nord-orientale (da Sulli *et al.*, 2012 sulla base dei dati forniti da Bigi *et al.*, 1992; Working Group CPTI, 2004.; Billi *et al.*, 2006; Argnani, 2009).

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 (Ghissetti, 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).

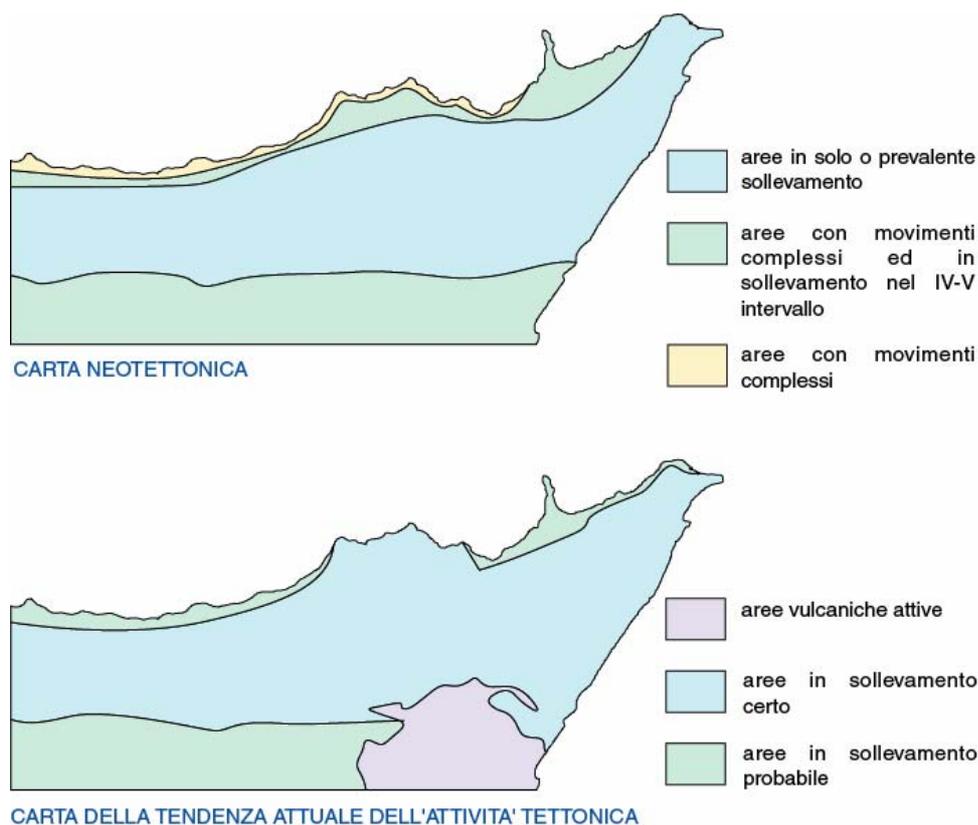


Fig. 3.4 – Carta dei sollevamenti neotettonici.

3.3 Caratteri morfologici, stratigrafici e tettonici del territorio di San Piero Patti

3.3.1. Caratteri morfologici

Il territorio del Comune di S. Piero Patti ricade quasi per intero all'interno del bacino idrografico del Torrente Timeto, a costituire la porzione centro-meridionale del bacino. L'area di interesse perimetrata ai fini della microzonazione sismica del territorio comunale di San Piero Patti (Me), ricade dentro il Foglio I.G.M.I n.599 ed è interamente compresa nelle sezione C.T.R. 599120.

Nella porzione settentrionale, la morfologia del territorio è prevalentemente di tipo collinare, con rilievi allungati secondo la direzione generale SW-NE, nella parte occidentale, e SE-NW in quella orientale. Queste costituiscono delle dorsali alternate alle incisioni degli affluenti principali del Torrente Timeto e sono limitate da versanti molto acclivi, incisi da numerosi impluvi di breve lunghezza ed elevata pendenza, laddove predominano le rocce litoidi metamorfiche e flyschoidi, per dare luogo a pareti rocciose subverticali, dove invece affiorano i conglomerati ed i calcari dell'Unità di Mandanici. A nord del Centro abitato principale, il territorio appare caratterizzato da forme sub-pianeggianti e debolmente ondulate (Fig. 3.5) per la prevalenza di terreni plastici delle Argille Scagliose, alternati a rilievi rocciosi in corrispondenza di lembi del Flysch di Capo d'Orlando e delle Calcareni di Floresta; condizioni simili si realizzano anche a quote maggiori, nella parte meridionale del territorio comunale, a contatto con il confine comunale di Raccuja.

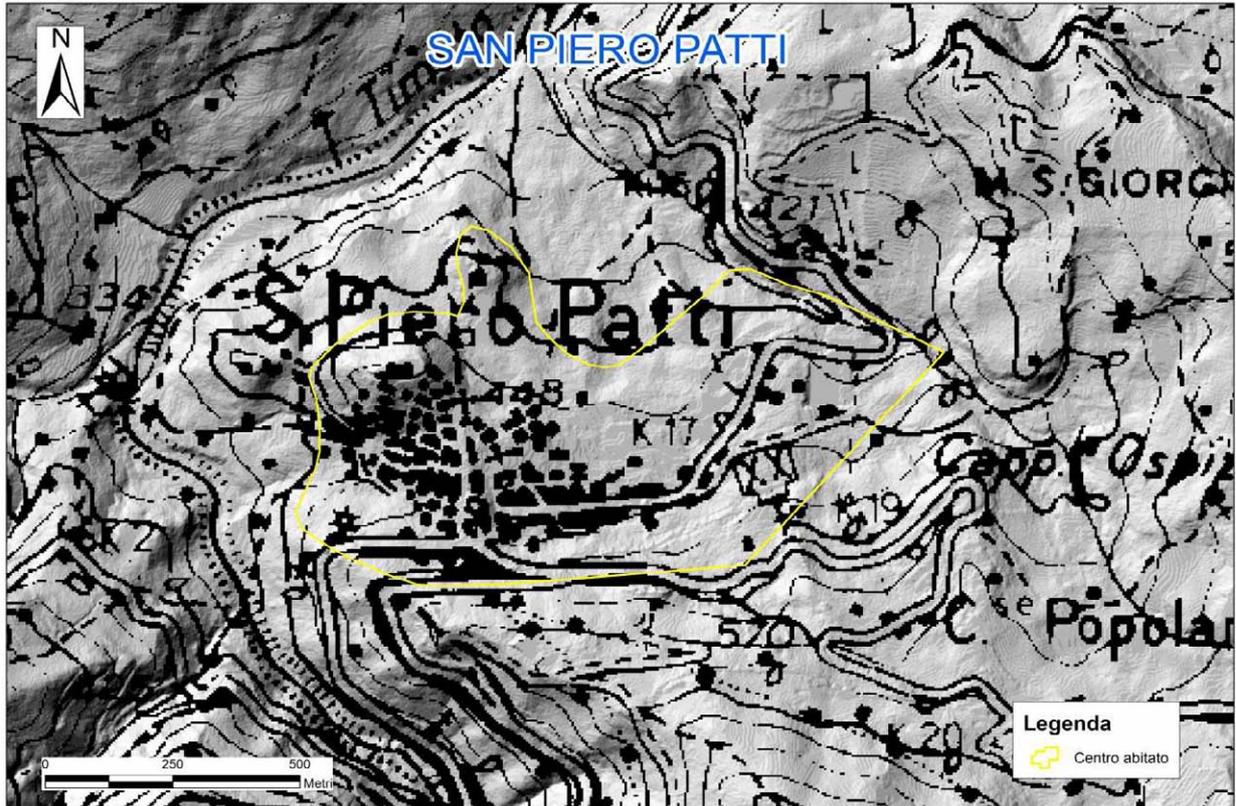


Fig. 3.5 – Stralcio del Foglio 1:50.000 n. 599: assetto morfologico del territorio di San Piero Patti (Me) e identificazione dell'area d'interesse.

Profili topografici di inquadramento

Volendo evidenziare le caratteristiche morfologiche e topografiche dell'area d'interesse, si sono ricostruiti quattro profili topografici d'inquadramento (Figg. 3.6 - 3.7) in corrispondenza del Centro abitato principale di San Piero Patti. Il primo di questi profili, contrassegnato con il codice "San Piero Patti 1" si sviluppa da Ovest verso Est intersecando ortogonalmente gli altri tre profili. Questi ultimi hanno sviluppo in direzione N-S, e aiutano a ricostruire l'assetto morfologico e topografico dell'area di studio.

L'esame dei profili d'inquadramento (Figg. 3.8a - 3.8d) evidenzia la morfologia dell'area di interesse all'interno della quale l'edificato principale del Comune di San Piero Patti, caratterizzato da un asse principale longitudinale lungo più di 1000 m (profilo 1, Fig. 3.8a), e da una larghezza compresa fra 450 e 550 m (Figg. 3.8b, c, d).

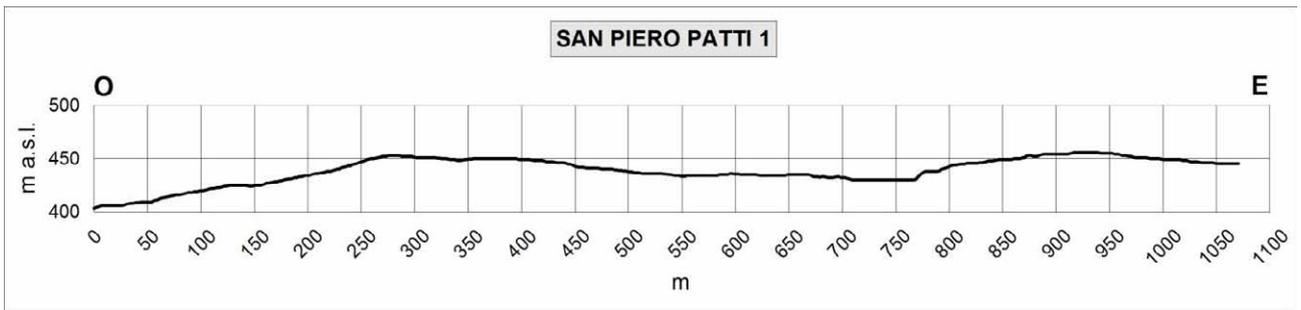


Fig. 3.8a – Profilo topografico di inquadramento San Piero Patti 1.

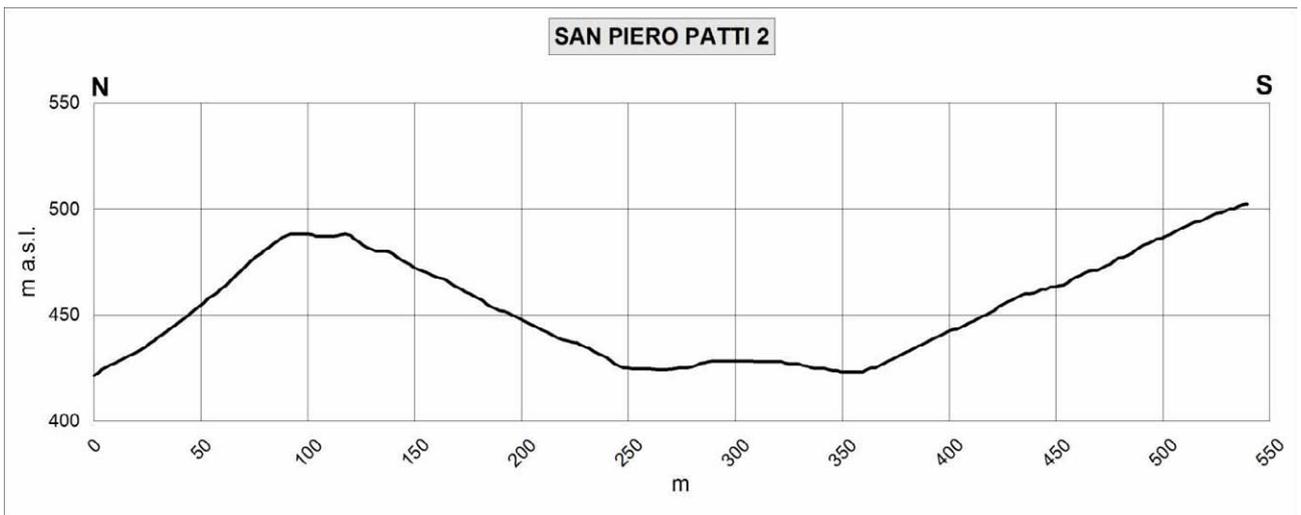


Fig. 3.8b – Profilo topografico di inquadramento San Piero Patti 2.

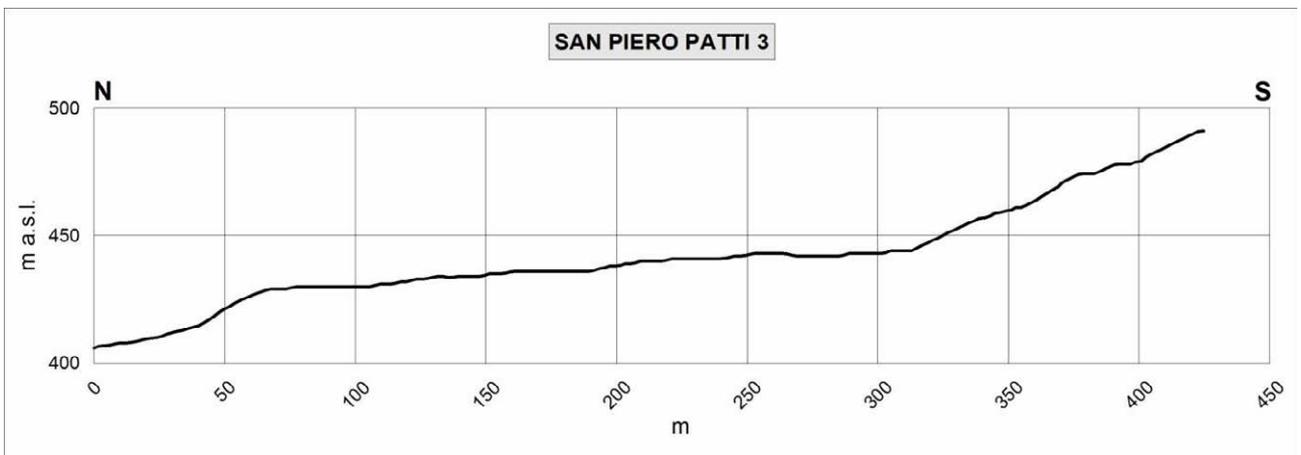


Fig. 3.8c – Profilo topografico di inquadramento San Piero Patti 3.

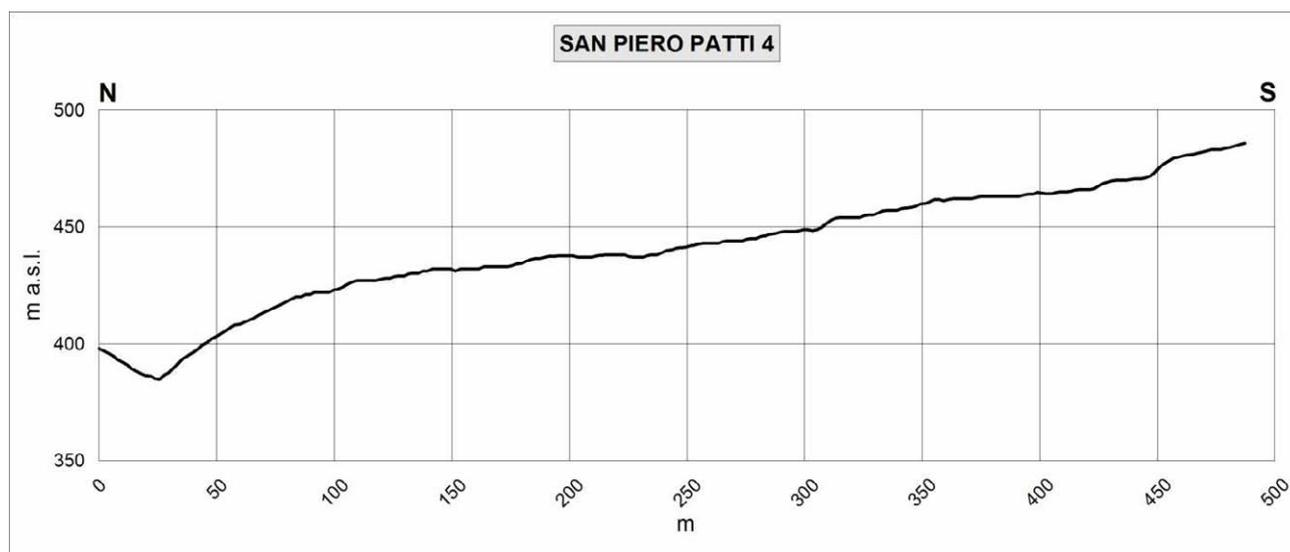


Fig. 3.8d – Profilo topografico di inquadramento San Piero Patti 4.

3.3.2 Litostratigrafia

L'assetto geologico del territorio su cui gravita il centro urbano di San Piero Patti è caratterizzato da una successione che vede, al di sopra del basamento cristallino ercinico costituito dalle Filladi delle Unità di Mandanici e Fondachelli, le coltri conglomeratiche del Conglomerato Rosso e del Flysch di Capo d'Orlando, cui seguono le facies arenacee dello stesso Flysch di Capo D'Orlando. Questi terreni sono ricoperti, in contatto tettonico, dalle Argille Scagliose dei Monti Peloritani di età Cretacico Superiore.

In discordanza su questi terreni si trovano le Calcareniti di Floresta di età Burdigaliano superiore – Langhiano, che passano, con contatto graduale, a delle marne ed argille a foraminiferi planctonici, recentemente attribuite, nell'ambito del progetto CARG, alla formazione delle Marne di Monte Pitò.

3.3.2.1 - Unità di Mandanici

Quest'unità è costituita prevalentemente da filladi grafitose, sericitiche, cloritiche o biotitiche. Queste rocce hanno grana finissima, tessitura scistosa con cristallinità bassa e presentano una foliazione regionale dovuta alle deformazioni erciniche, che ha subito stiramenti, crenulazioni e zone di taglio, legate alle più recenti deformazioni alpine; localmente mostrano struttura porfirica con porfiroblasti di clorite e/o biotite e/o granati e/o cloritoide o rara staurolite, inoltre, sono ricche in lenti e noduli di quarzo e attraversate da fratture tardive rinsaldate da quarzo e/o calcite. Lateralmente, le filladi passano a metareniti massive a grana fine. Intercalate ai litotipi precedenti sono presenti, in corpi talora di notevole estensione, quarziti, lenti di metabasiti (scisti verdi), porfiroidi e marmi.

Corpi litodemici riconducibili alle Filladi di Mandanici si estendono nella porzione sud occidentale dell'area perimetrata di San Piero Patti. Questo substrato lapideo si presenta fessurato, possiede nell'area uno spessore di diverse decine di metri ed è ricoperto da coltri di alterazione di spessore assai variabile. Sono altresì presenti, al contatto con il sovrastante Conglomerato Rosso grandi olistoliti di carbonati mesozoici, dei quali uno, in particolare, è presente al margine sud-occidentale dell'area perimetrata.

3.3.2.2 Unità di Fondachelli

Questa unità è caratterizzata da un basamento epimetamorfico paleozoico, con lembi residuali di originarie coperture sedimentarie, rappresentate da una successione mesozoica notevolmente condensata e lacunosa. Nell'area di Sinagra affiora soltanto il basamento filladico, costituito da metapeliti e metareniti in facies di scisti verdi con colorazione nera se grafitose e, subordinatamente, grigio-verdastra 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. Questa unità è stata precedentemente attribuita alle metamorfiti m3 dell'Unità di San Marco D'Alunzio (Lentini et al., 2000). Nell'area le metamorfiti di Fondachelli affiorano nel settore occidentale, al di fuori dell'area perimetrata.

3.3.2.3 Conglomerato Rosso (Oligocene superiore?)

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. Localmente sono presenti grandi olistoliti di carbonati mesozoici, in particolare al contatto con i terreni metamorfici dell'Unità di Mandanici. Nell'area, questi terreni si estendono lungo una fascia orientata E-W nel settore meridionale del centro urbano, interessando una modesta porzione dell'area perimetrata.

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 torbiditica 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 arcossica – 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 San Piero Patti affiorano le facies conglomeratiche a sud del centro urbano, al di fuori dell'area perimetrata. La facies arenacea è invece presente in diverse aree a nord-ovest del centro urbano e una modesta porzione caratterizza il settore occidentale dell'area perimetrata.

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 San Piero Patti affiorano, molto alterate e, spesso, coperte da detriti e suoli, in una ampia fascia che si sviluppa a nord e nord ovest del centro urbano principale, al di fuori dell'area perimetrata.

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. Nell'area di studio le Calcareniti di Floresta costituiscono i rilievi posti a NO dell'area perimetrata sui quali sorgono, rispettivamente, la Chiesa di Santa Maria del Carmine e il Quartiere Castello. Altri affioramenti cospicui riferibili a questa unità affiorano nell'area di Contrada Marià. In genere la porzione superficiale di questi depositi è molto alterata e fratturata, assumendo a luoghi un aspetto caotico (Fig. 3.9).

3.3.2.7 Marne di Monte Pitò (Langhiano superiore)

Marne e argille grigie con foraminiferi planctonici con occasionali intercalazioni di arenarie fini in strati sottili pian-paralleli. Questi depositi ricoprono stratigraficamente le Calcareniti di Floresta. In genere sono subaffioranti, coperte da una coltre di alterazione di spessore variabile. Piccoli lembi, al tetto delle calcareniti di Floresta sono osservabili lungo la via Torquato Tasso (Fig. 3.10).



Fig. 3.9 – Coltre di alterazione al di sopra delle Calcareniti di Floresta lungo il versante occidentale del rilievo del Convento dei Carmelitani.



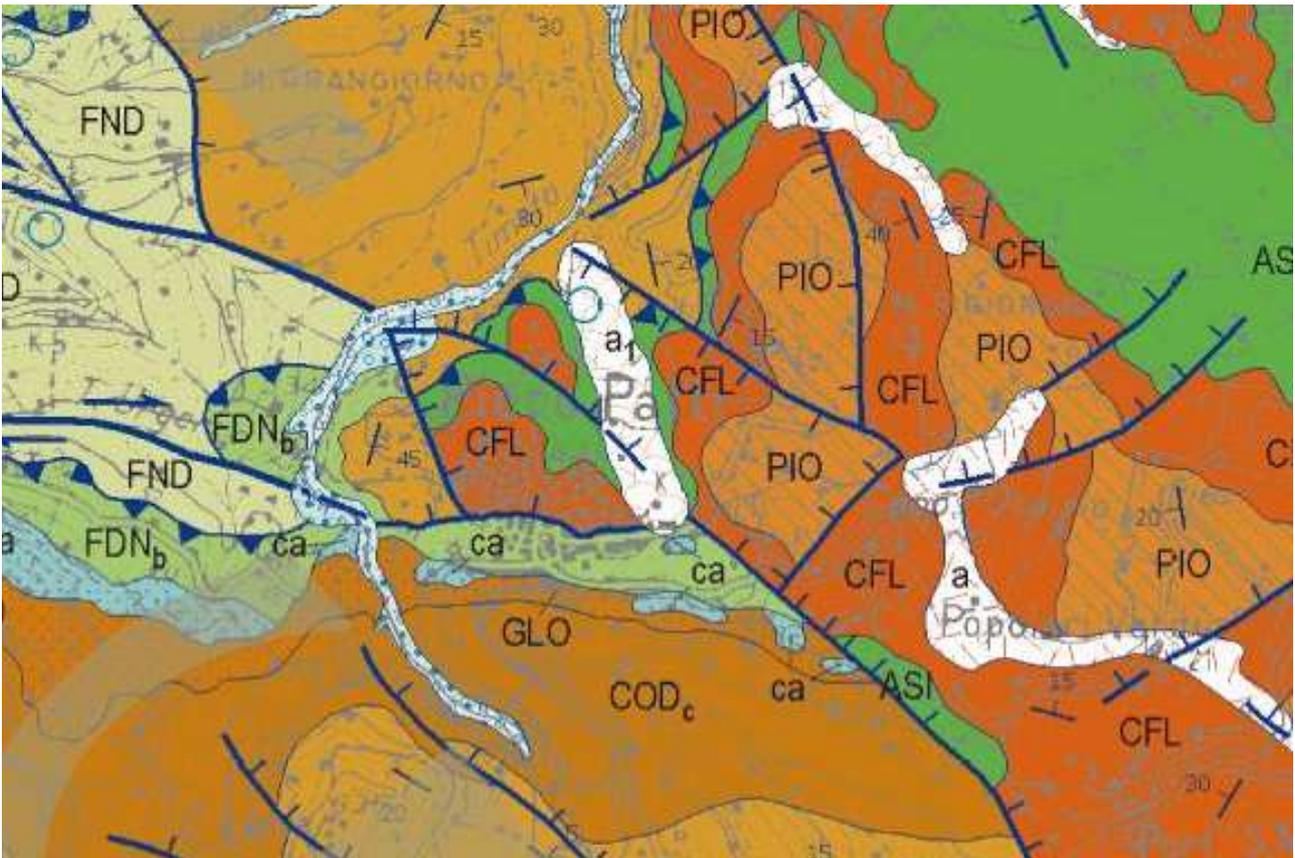
Fig. 3.10 – San Piero Patti. Contatto fra le Calcareniti di Floresta immergenti verso est con inclinazioni di circa 65° (a sinistra) e le Marne di Monte Pitò (a destra) in Via Torquato Tasso.

3.3.2.8 Coperture detritiche e frane

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

Il confronto fra le diverse cartografie geologiche disponibili per l'area e, in particolare, fra il Foglio CARG n. 599 "Patti" (Fig. 3.11), la Carta geologica della Provincia di Messina e la carta geologica allegata al PRG di San Piero Patti, evidenzia significative differenze nella perimetrazione e caratterizzazione di tali coperture. A tal fine è stata realizzata una cartografia geologica di sintesi (Fig. 3.12). E' tuttavia da evidenziare la difficoltà della valutazione dell'estensione laterale e verticale di tali coperture 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

a1 - depositi di frana

PIO - Marne di Monte Pitò - Langhiano superiore- Serravalliano inferiore

CFL - Calcareniti di Floresta - Burdigaliano - Langhiano

ASI - Argille scagliose dei Monti Peloritani - Cretacico Superiore

CODc - Conglomerati poligenici a clasti eterometrici - Flysch di Capo D'Orlando Oligocene superiore - Burdigaliano

GLO - conglomerati poligenici - Conglomerato Rosso - ca - olistoliti carbonatici nel Conglomerato Rosso - Oligocene superiore?

FND - Filladi e metareniti - Metamorfiti di Fondachelli - Paleozoico

FDNb - Filladi e metareniti - Filladi di Mandanici - Paleozoico



Fig. 3.11 –Stralcio del Foglio Geologico 599 “Patti” in scala 1:50.000 disponibile sul sito CARG-ISPRA che riguarda l’area di San Piero Patti.

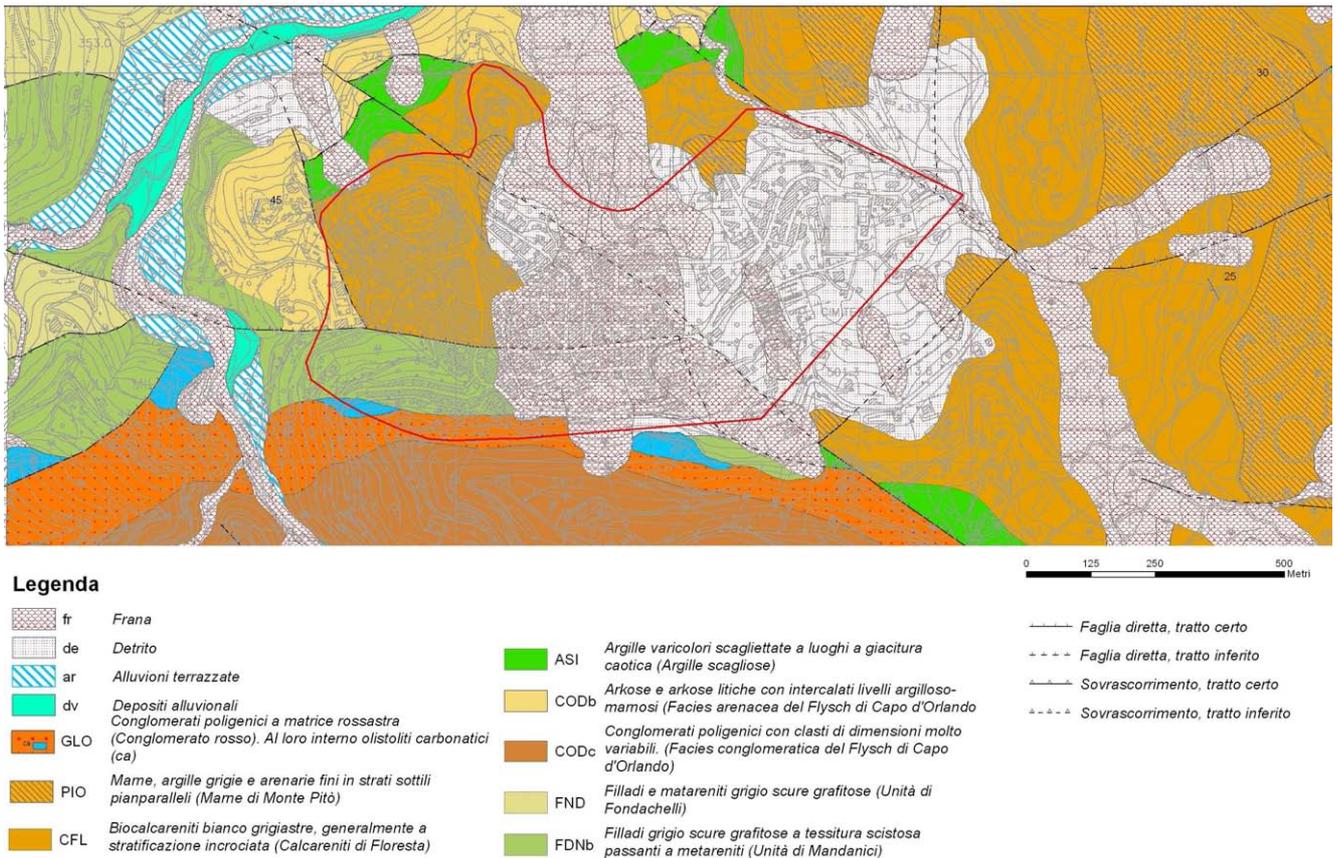


Fig. 3.12 – Carta geologica di San Piero Patti realizzata per lo studio di MS

| | Unità litostratigrafica | età | litologia | spessore |
|-----------------------|---|------------------------------------|--|-----------|
| de, ar, dv, fr | Coperture detritiche ed antropiche, alluvioni terrazzati e recenti e depositi da frana | Pleistocene Sup. - Recente | Materiali incoerenti 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. | |
| PIO | Marne di Monte Pitò | Langhiano superiore | Marne, argille grigie con foraminiferi planctonici ed arenarie fini in strati sottili pian-parallel | Max. 60 m |
| CFL | Calcareniti di Floresta | Burdigaliano superiore - Langhiano | Biocalcareniti 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 calcarei allodapici bianchi e siltiti carbonatiche | Circa 100 m |
| contatto tettonico | | | | |
| CODb | Flysch di Capo d’Orlando Facies arenaceo-pelitica | Oligocene superiore- Burdigaliano | 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 o, più raramente, metrici, a composizione argilloso-marnosa. | Circa 200 m |
| GLO | Conglomerato Rosso con olistoliti calcarei | Oligocene Superiore? | Conglomerati poligenici con matrice rossastra. Presenza di olistoliti di carbonati mesozoici. | Max 100 m |
| contatto stratigrafico discordante | | | | |
| FDNb | Filladi di Mandanici | Paleozoico | Filladi grafitose e metareniti | |

Tab. 3.1 – Tabella schematica della successione dei terreni sui quali gravita il centro urbano di San Piero Patti

3.3.3 Lineamenti tettonici di San Piero Patti

Fra le principali faglie che interessano l’area sulla quale gravita il centro urbano di San Piero Patti, sono da evidenziare i sovrascorrimenti che sovrappongono le Argille Scagliose Antisicilidi al Flysch di Capo d’Orlando. Queste dislocazioni interessano l’area a nord-ovest, al di fuori della zona perimetrata e sono legate alle fasi compressive oligo-mioceniche che hanno portato alla costruzione del settore peloritano della catena siciliana. Queste strutture sono a loro volta dislocate da faglie dirette. In particolare sono presenti due faglie dirette subparallele, con andamento NW-SE. La prima di queste faglie è presunta in prossimità della periferia nord-orientale dell’area perimetrata. La seconda attraversa diagonalmente gran parte del centro urbano decorrendo fra i due rilievi del Quartiere Castello e del Convento dei Carmelitani ove produce la dislocazione delle Calcareniti di Floresta. La stessa faglia è presunta al di sotto dei depositi di frana del settore mediano del centro urbano. Essa prosegue poi al di fuori del centro urbano mettendo a contatto il Flysch di Capo d’Orlando e le Argille Scagliose con il Conglomerato Rosso.

Altra faglia diretta di rilievo è quella che decorre in direzione W-E nella porzione sud-occidentale dell’area perimetrata. Questa faglia ribassa, verso nord le coperture sedimentarie del basamento metamorfico producendo il contatto delle Filladi di Mandanici, a sud, con le calcareniti di Floresta, a nord.

Sono altresì presenti alcune faglie dirette con andamento NW-SE. Una di queste faglie decorre in prossimità della periferia ovest dell’area perimetrata, ribassando le Calcareniti

di Floresta e le Argille Scagliose, ad est, rispetto al Flysch di Capo d'Orlando, ad ovest. Un'altra è presunta, al di sotto dei depositi da frana, nel settore sud-orientale. Non si hanno evidenze tuttavia che possano far considerare queste faglie come attive.

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 (risalente al giugno del 1982) elaborato dal Dr. Geol. Francesco Musarra, dal "Progetto esecutivo delle opere di consolidamento nel centro abitato fra le località Torre e Margi", elaborato dal Geologo Alfredo Natoli, dell'archivio nazionale delle indagini del sottosuolo (legge 464/1984) dell'ISPRA:

| INDAGINI PREGRESSE: SAN PIERO PATTI | QUANTITA' |
|--|------------------|
| Sondaggi a carotaggio continuo | 18 |
| Prove penetrometriche del tipo SPT | 62 |
| Campioni prelevati | 11 |
| Misure inclinometriche | 5 |
| Pocket penetrometer | 32 |
| Sezioni geolitologiche | 5 |
| | |

Tab. 4.1 – Sintesi delle prove geognostiche e geofisiche pregresse che riguardano il centro urbano di San Piero Patti.

E' da segnalare inoltre che nello studio geologico del PRG sono presenti n. 2 sondaggi a carotaggio continuo di cui manca l'ubicazione e n. uno sondaggio ubicato al di fuori dall'area di studio.

| INDAGINI DI NUOVA ACQUISIZIONE: SAN PIERO PATTI | QUANTITA' |
|---|------------------|
| Misure passive del rumore ambientale (HVSR), mediante tecnica a stazione singola. | 10 |

Tab. 4.2– Sintesi delle prove geofisiche di nuova acquisizione che riguardano il centro urbano di San Piero Patti.

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 San Piero Patti

Terreni di substrato

| <i>Unità litostratigrafica</i> | <i>Tipologia di substrato</i> | <i>Sigla</i> | <i>stratificazione</i> |
|--------------------------------|-------------------------------|--------------|------------------------|
| Marne di Monte Pitò | Non rigido | NRS | si |
| Marne di Monte Pitò | Alternanza litologica | ALS | si |
| 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 |
| Filladi di Mandanici | Non rigido | NR | no |
| Filladi di Mandanici | Lapideo | LP | no |

Tab. 4.4 – Classificazione dei terreni di substrato del centro urbano di San Piero Patti

Terreni di copertura

| | |
|----|--|
| RI | Terreni contenenti resti di attività antropica |
| SM | Sabbie limose, miscele di sabbia e limo |
| OH | Argille e limi organici di media - alta plasticità |
| CL | Argille sabbiose e argille limose |

Tab. 4.5 – Classificazione dei terreni di copertura del centro urbano di San Piero Patti

4.3. Indagini geofisiche precedenti

Non sono disponibili 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 microtremori che permette stime attendibili di effetti di amplificazione di sito o almeno delle loro frequenze principali senza l'utilizzo di una stazione di riferimento, permettendo così di operare in campagna con una sola stazione sismica. Nakamura (1989) interpreta i microtremori come il risultato dalla sovrapposizione di onde sismiche superficiali e di volume, considerando che l'effetto di sito sia causato dalla presenza di uno strato sedimentario giacente su di un semispazio rigido (Fig. 4.3).

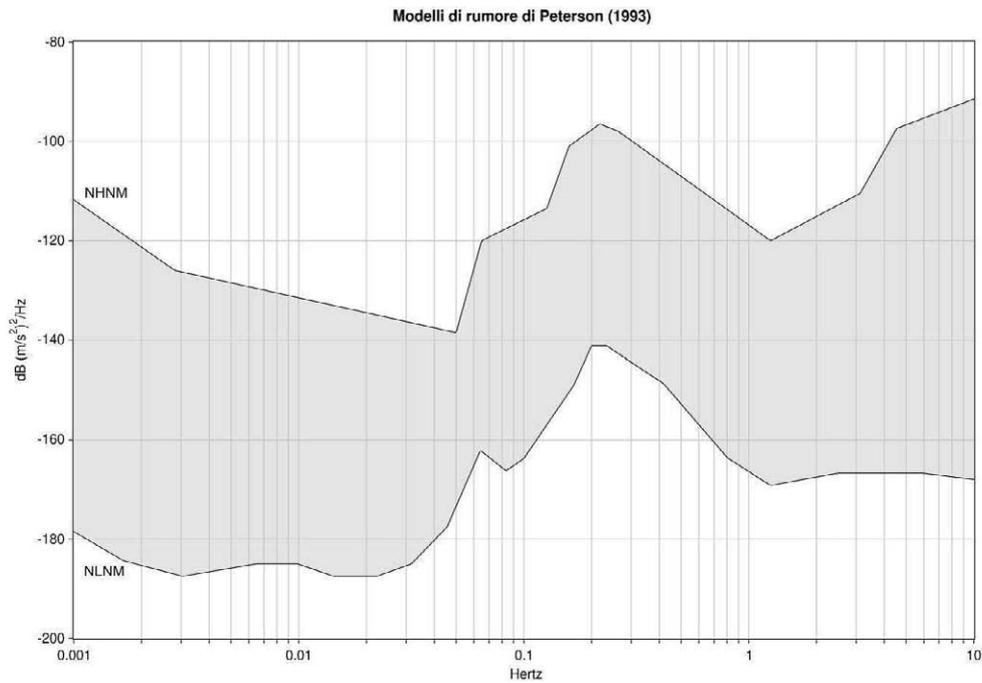


Fig. 4.1 – Spettro del rumore sismico (in termini di velocità, componente verticale del moto) minimo e massimo secondo Peterson (1993)

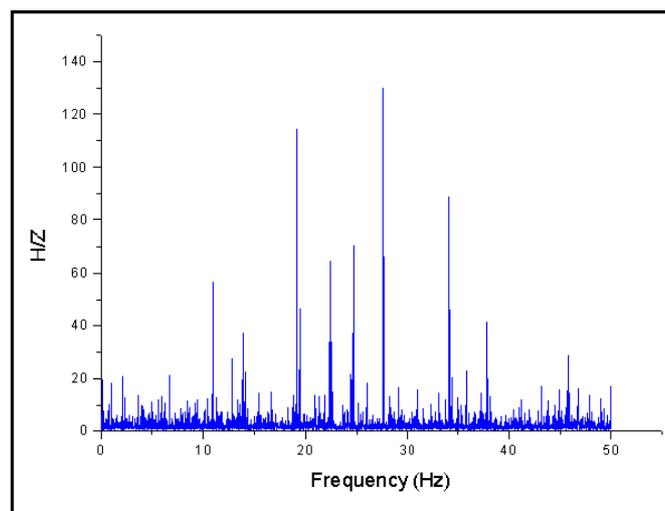


Fig. 4.2 – Esempio di spettro di ampiezza del rapporto H/Z di uno specifico sito

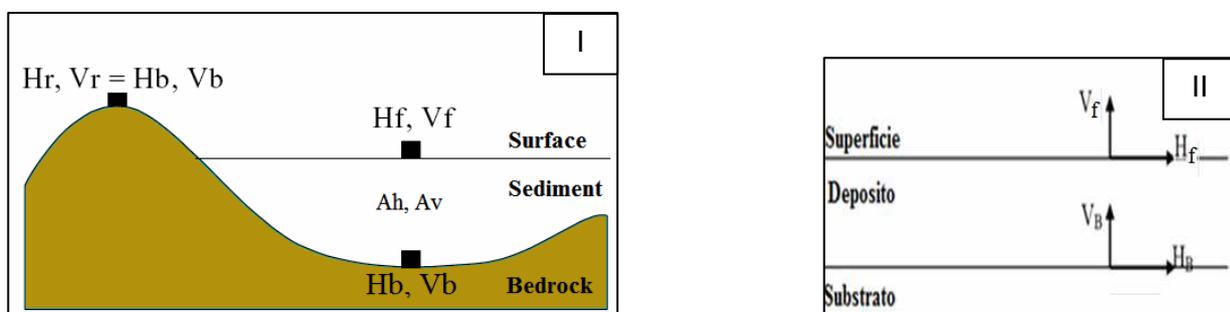


Fig. 4.3 – Schema del modello considerato da Nakamura (1989)

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

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

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

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

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

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

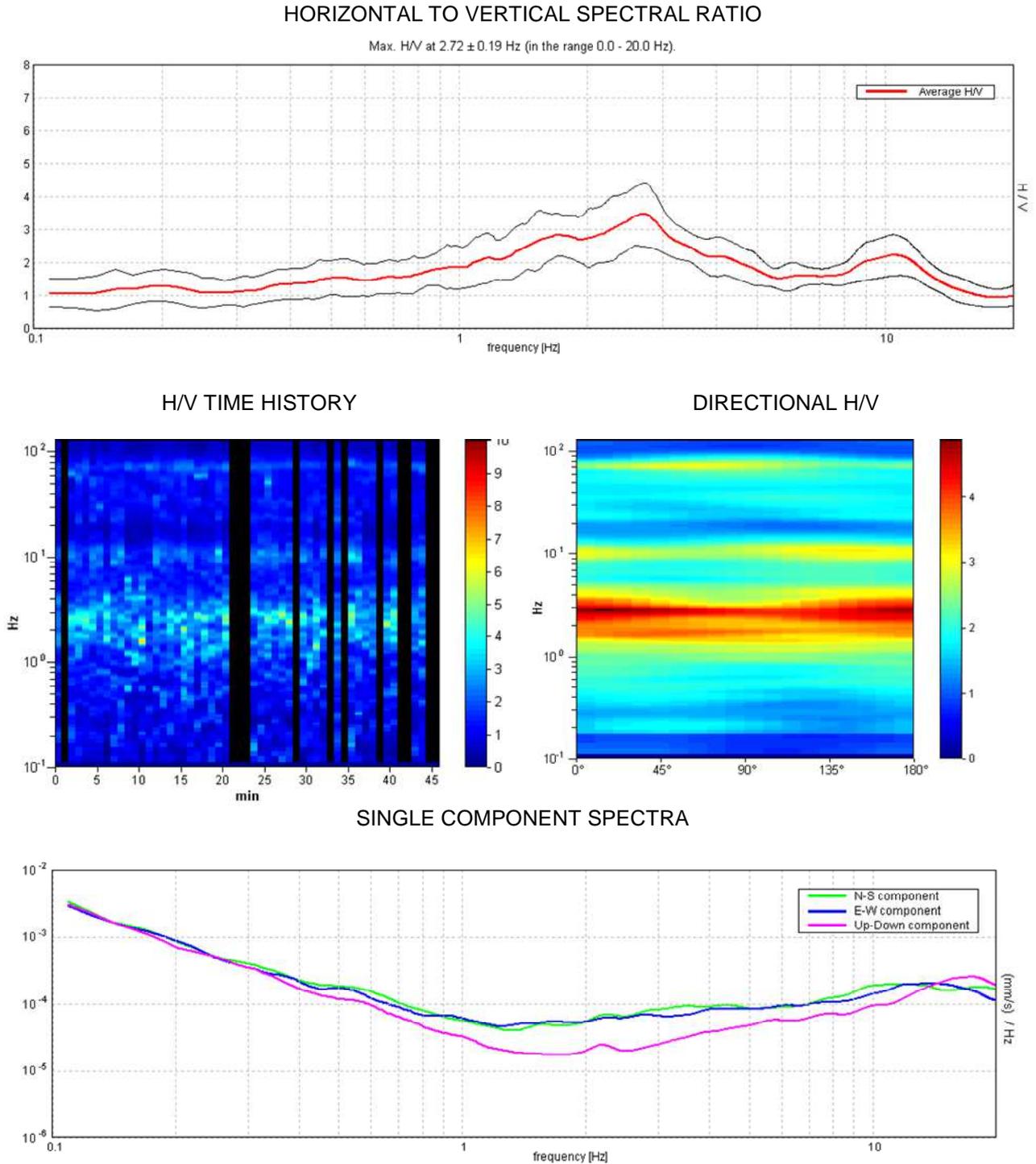


Fig. 4.4 – Analisi dei dati relativi al punto di misura 083081P26-HVSR143.

Le misure HVSR acquisite nel territorio comunale di San Piero Patti hanno messo in evidenza la presenza di possibili fenomeni di amplificazione del moto del suolo dovuti a fenomeni di risonanza su gran 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, alcune delle misure effettuate sono state invertite per stimare la profondità del bedrock sismico, riportata in Tab. 4.7. Dopo avere attribuito ad ogni punto di misura uno o più vettori a 4 componenti contenenti: frequenza del picco, ampiezza dello stesso e coordinate del punto di misura, si è proceduto ad individuare

nell'insieme totale di vettori eventuali cluster relativi a insiemi di punti che ricoprissero porzioni significative dell'area totale indagata (Fig. 4.6). Nel caso specifico si è ritenuto di potere discriminare tre cluster.

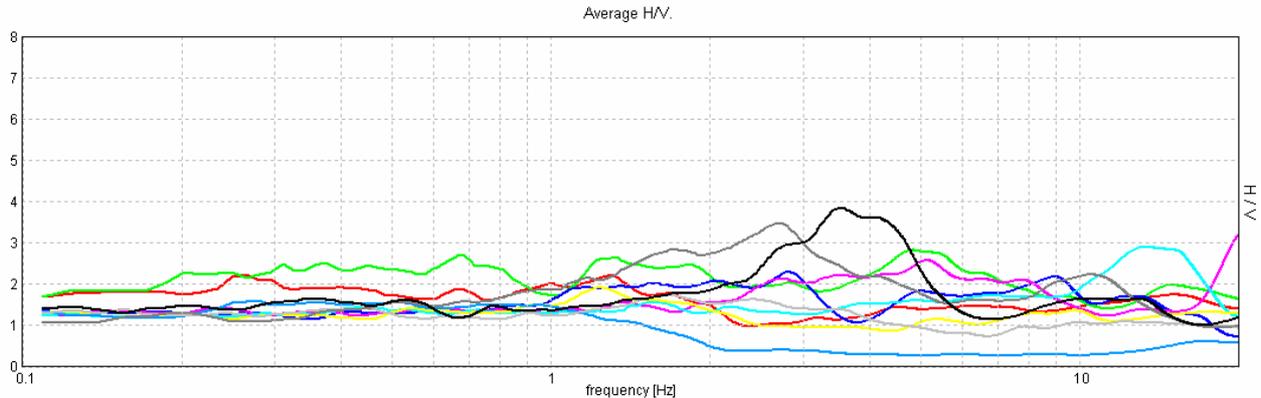


Fig. 4.5 – Segnali HVSR registrati dalle 10 stazioni singole.

| Misure HVSR | F_0 | H/V di F_0 | F_1 | H/V di F_1 | F_2 | H/V di F_2 | F_3 | H/V di F_3 | Profondità bedrock sismico |
|-------------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|--------------|----------------------------|
| 083081P19-HVSR136 | 1.3 | 2.2 | 14 | 1.8 | | | | | 7 |
| 083081P20-HVSR137 | 2.8 | 2.3 | 5 | 1.8 | 9 | 2.2 | | | 10 |
| 083081P21-HVSR138 | 5.1 | 2.6 | 8 | 2 | 19.9 | 3.2 | | | 5 |
| 083081P23-HVSR140 | 13.28 | 2.9 | | | | | | | 7 |
| 083081P22-HVSR139 | 1.23 | 1.9 | | | | | | | 5 |
| 083081P25-HVSR142 | | | | | | | | | |
| 083081P24-HVSR141 | 1.69 | 1.7 | | | | | | | 8 |
| 083081P26-HVSR143 | 2.72 | 3.5 | 10.2 | 2.2 | | | | | 9 |
| 083081P27-HVSR144 | 3.5 | 3.8 | 12 | 1.5 | | | | | 9 |
| 083081P28-HVSR145 | 1.3 | 2.8 | 5 | 2.8 | 14 | 2 | | | 8 |

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

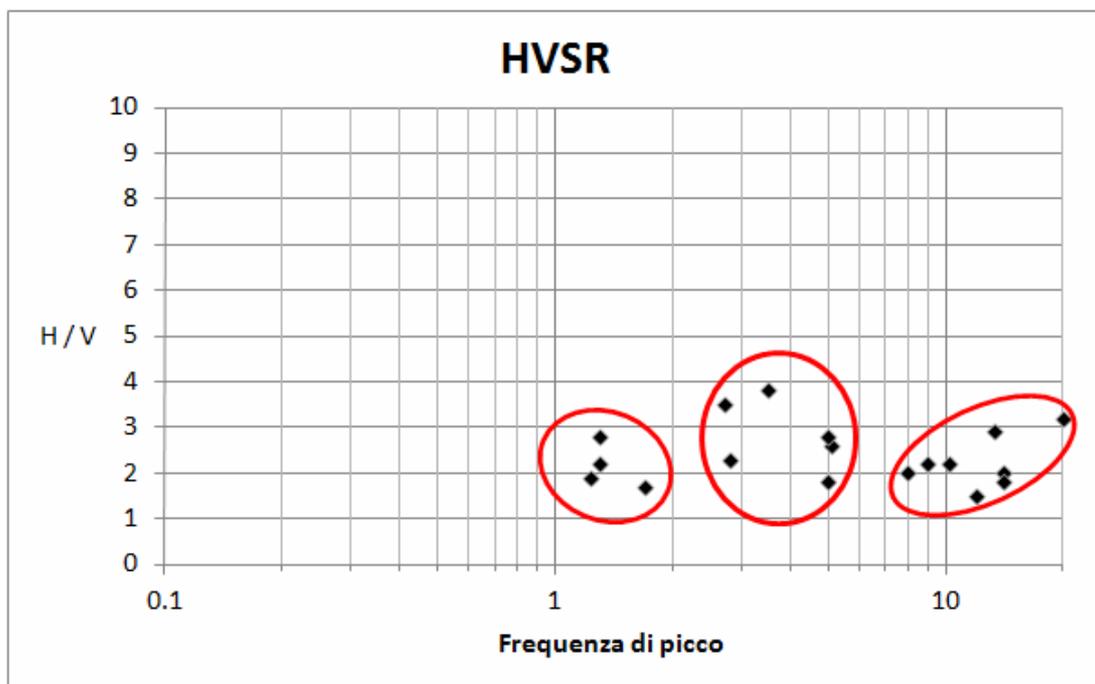


Fig. 4.6 – Frequenze di picco registrate e indicazione dei cluster individuati.

5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

5.1 Il modello e le sezioni rappresentative del sottosuolo

L'integrazione di tutte le informazioni tratte dalla geologia di superficie, 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 San Piero Patti. 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 4 sezioni di Fig. 5.1 - 5.4. Le tracce delle sezioni sono riportate nella carta Geologico – Tecnica.

La sezione 1-1' decorre in senso NNW-SSE nel settore occidentale del centro urbano, intercettando il rilievo del Quartiere Castello e decorrendo verso la Via Annunziata. La sezione evidenzia lungo tutto il suo decorso la presenza, nella porzione superficiale di un substrato non rigido. Tale substrato assume, in profondità, le caratteristiche di substrato rigido con caratteristiche diverse in ragione dei terreni presenti: nel tratto settentrionale è presente un substrato rigido granulare cementato stratificato costituito dalle Calcareniti di Floresta. Procedendo verso sud la sezione intercetta la faglia diretta che mette a contatto le Calcareniti di Floresta con le Filladi di Mandanici che, nel tratto terminale, sono ricoperte dal Conglomerato Rosso che costituisce un substrato granulare cementato.

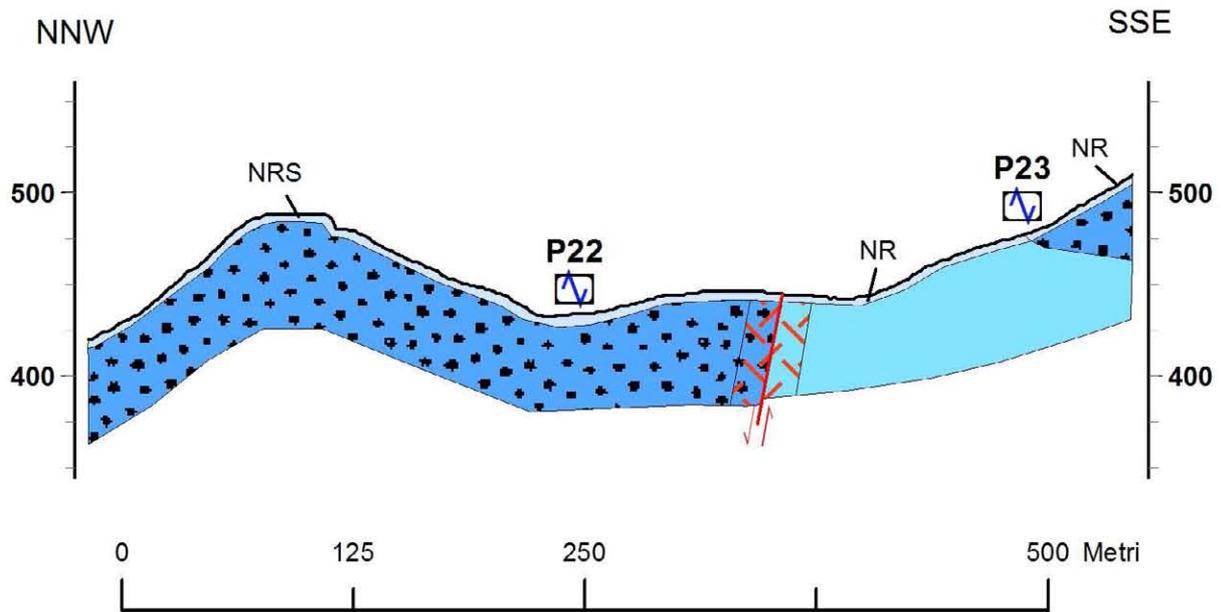
La sezione 2-2' decorre in senso NW-SE dal quartiere del Castello verso la Via Mario Rapisardi. La sezione evidenzia la presenza, nel tratto settentrionale, di un substrato non rigido costituito dalla porzione alterata delle Calcareniti di Floresta che passa, in profondità al substrato granulare stratificato costituito dalle stesse Calcareniti. Procedendo verso sud la sezione intercetta una spessa coltre di depositi eluvio-colluviali attraversati dal sondaggio P17. Questi depositi sono costituiti da argille limose che passano in profondità a sabbie argillose. Il sondaggio evidenzia inoltre la presenza in questi depositi di una falda idrica il cui livello piezometrico è indicato a 11 m dal p.c. Al di sotto viene ipotizzata la presenza di un substrato sabbioso marnoso stratificato costituito dalle marne di Monte Pitò che passano verso il basso alle calcareniti di Floresta (GRS).

La sezione 3-3' decorre in senso NNW-SSE nella porzione centro-orientale del centro urbano, ed evidenzia la presenza degli estesi depositi di frana in tutta quest'area. Al di sotto la sezione evidenzia la presenza di tre diversi tipi di substrato, messi a contatto da due faglie dirette. E' da ribadire che la sezione è ricostruita sulla base di dati geologici di superficie e che non è supportata da dati di sottosuolo in quanto soltanto il sondaggio P5 intercetta il substrato.

La sezione 4-4' decorre in senso NNE-SSW lungo la periferia orientale del centro urbano fino a Via Paleologo. In quest'area è presente un'estesa zona caratterizzata, in superficie, da una coltre eluvio-colluviale di sabbie limose (SM) che, nella porzione meridionale, è interessata da un dissesto. Al di sotto è presente una estesa fascia caratterizzata da un substrato non rigido stratificato che ricopre diversi tipi di substrato rigido costituiti, rispettivamente, dalle Calcareniti di Floresta (GRS) dalle Marne di Monte Pitò (ALS), dalle Argille Scagliose (CO), dalle Filladi di Mandanici (LP) e dal Flysch di Capo d'Orlando (ALS).

COMUNE DI SAN PIERO PATTI

SEZIONE GEOLOGICA 1-1'



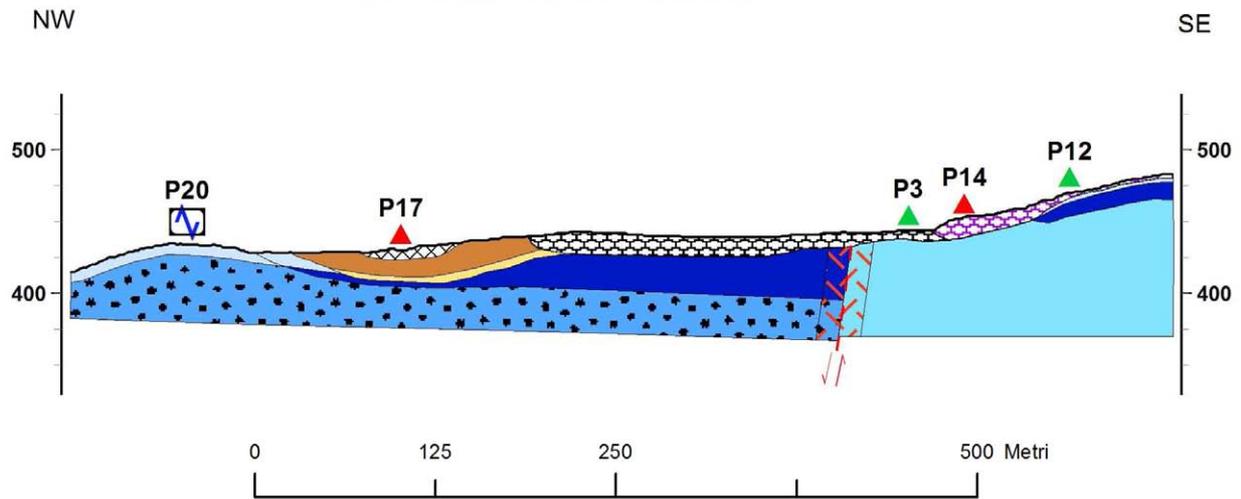
Legenda

- | | | |
|---|---------------------|---|
|  | Fascia cataclastica | <i>Fascia cataclastica</i> |
|  | NR | <i>Substrato geologico non rigido (NR)</i> |
|  | NRS | <i>Substrato geologico non rigido, stratificato (NRS)</i> |
|  | GR | <i>Substrato granulare cementato (GR)</i> |
|  | GRS | <i>Substrato granulare cementato, stratificato (GRS)</i> |
|  | LP | <i>Substrato lapideo (LP)</i> |
|  | faglia certa | <i>Faglia diretta, tratto certo</i> |
|  | HVSr | <i>Indagini HVSr</i> |

Fig. 5.1 – Sezione geologica 1-1' attraverso il settore occidentale dell'abitato di San Piero Patti (per l'ubicazione si veda la Carta geologica – tecnica).

COMUNE DI SAN PIERO PATTI

SEZIONE GEOLOGICA 2-2'



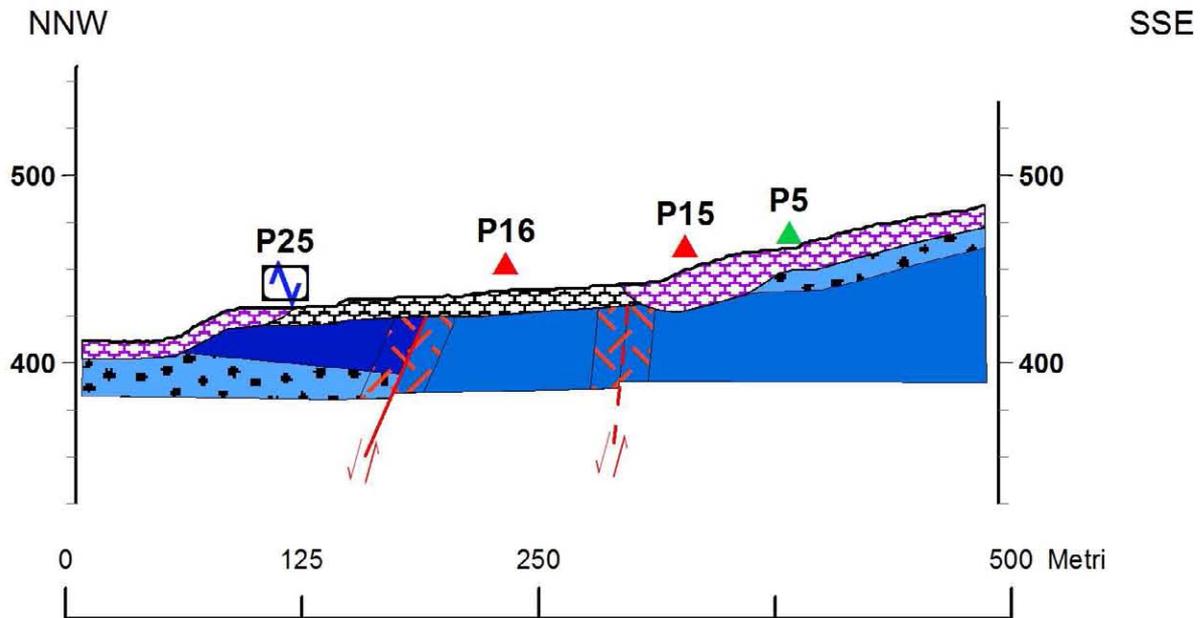
Legenda

- | | | |
|---|--|--|
|  | Fascia cataclastica | <i>Fascia cataclastica</i> |
|  | Frana attiva | <i>Frana attiva</i> |
|  | Frana non definita | <i>Frana non definita</i> |
|  | RI | <i>Terreni conteneti resti di attività antropica</i> |
|  | CL | <i>Argille limose</i> |
|  | SC | <i>Sabbie argillose</i> |
|  | NRS | <i>Substrato geologico non rigido, stratificato</i> |
|  | ALS | <i>Alternanza di litotipi, stratificata</i> |
|  | GRS | <i>Substrato granulare cementato, stratificato</i> |
|  | LP | <i>Substrato lapideo</i> |
|  | <i>Faglia diretta, tratto inferito</i> | |
|  | <i>Indagini HVSR</i> | |
|  | <i>Sondaggio che non raggiunge il substrato rigido</i> | |
|  | <i>Sondaggio che raggiunge il substrato rigido</i> | |

Fig. 5.2 – Sezione geologica 2-2' attraverso l'abitato di San Piero Patti (per l'ubicazione si veda la Carta geologico – tecnica).

COMUNE DI SAN PIERO PATTI

SEZIONE GEOLOGICA 3-3'



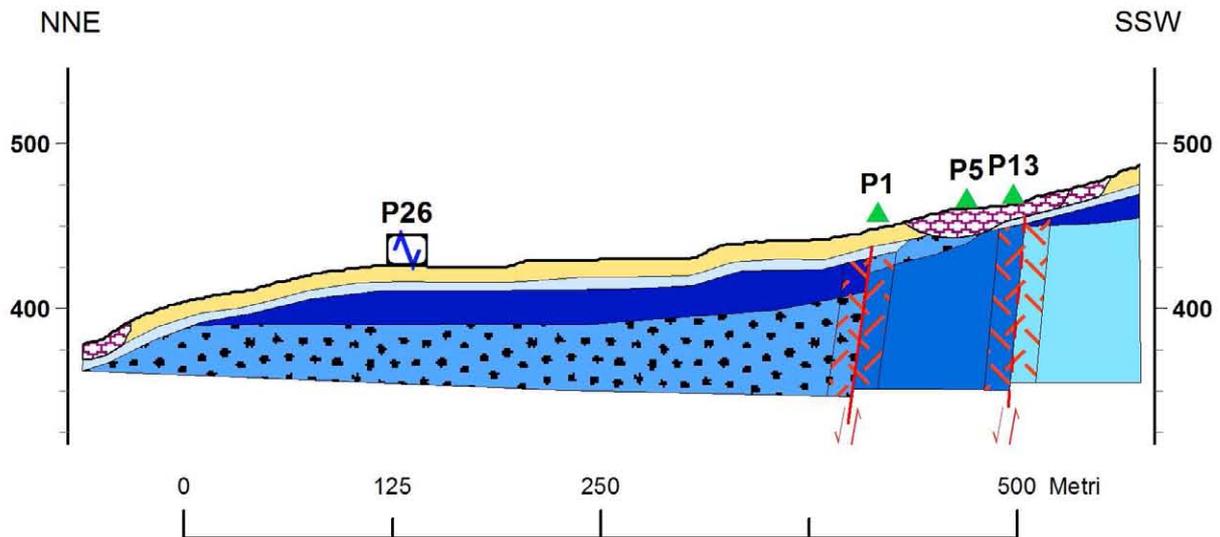
Legenda

- | | | |
|--|--|--|
| | Fascia cataclastica | <i>Fascia cataclastica</i> |
| | Frana attiva | <i>Frana attiva</i> |
| | Frana non definita | <i>Frana non definita</i> |
| | ALS | <i>Alternanza di litotipi stratificata</i> |
| | GRS | <i>Substrato granulare cementato, stratificato</i> |
| | CO | <i>Substrato coesivo sovraconsolidato</i> |
| | LP | <i>Substrato lapideo</i> |
| | Faglia diretta, tratto certo | |
| | Faglia diretta, tratto inferito | |
| | Indagini HVSR | |
| | Sondaggi che non raggiungono il substrato rigido | |
| | Sondaggi che raggiungono il substrato rigido | |

Fig. 5.3 – Sezione geologica 3-3' che decorre in senso NNW-SSE nel settore centro-orientale dell'abitato di San Piero Patti (per l'ubicazione si veda la Carta geologico – tecnica).

COMUNE DI SAN PIERO PATTI

SEZIONE GEOLOGICA 4-4'



Legenda

- | | | |
|--|---|---|
| | Fascia cataclastica | <i>Fascia cataclastica</i> |
| | Frana attiva | <i>Frana attiva</i> |
| | SM | <i>Sabbie limose</i> |
| | NRS | <i>Substrato geologico non rigido, stratificato</i> |
| | ALS | <i>Alternanza di litotipi, stratificata</i> |
| | GRS | <i>Substrato granulare cementato, stratificato</i> |
| | CO | <i>Substrato coesivo sovraconsolidato</i> |
| | LP | <i>Substrato lapideo</i> |
| | Faglia diretta, tratto certo | |
| | Faglia diretta, tratto inferito | |
| | Indagini HVSR | |
| | Sondaggio che raggiunge il substrato rigido | |

Fig. 5.4 – Sezione geologica 4-4' che decorre, in senso NNE-SSW, nel settore orientale del centro urbano di San Piero Patti (per l'ubicazione si veda la Carta geologico – tecnica) e legenda relativa alle tre sezioni.

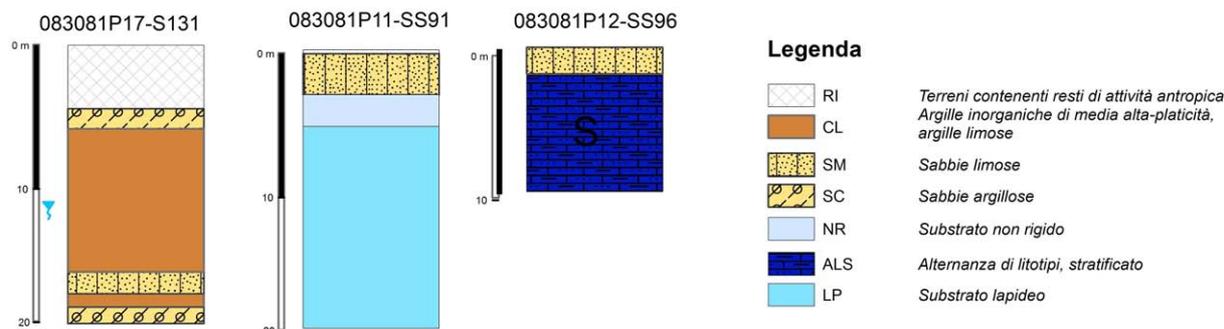


Fig. 5.5 – Colonne rappresentative di tre sondaggi (P11, P12 e P17).

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 (Tab. 4.7, 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. 4.6).

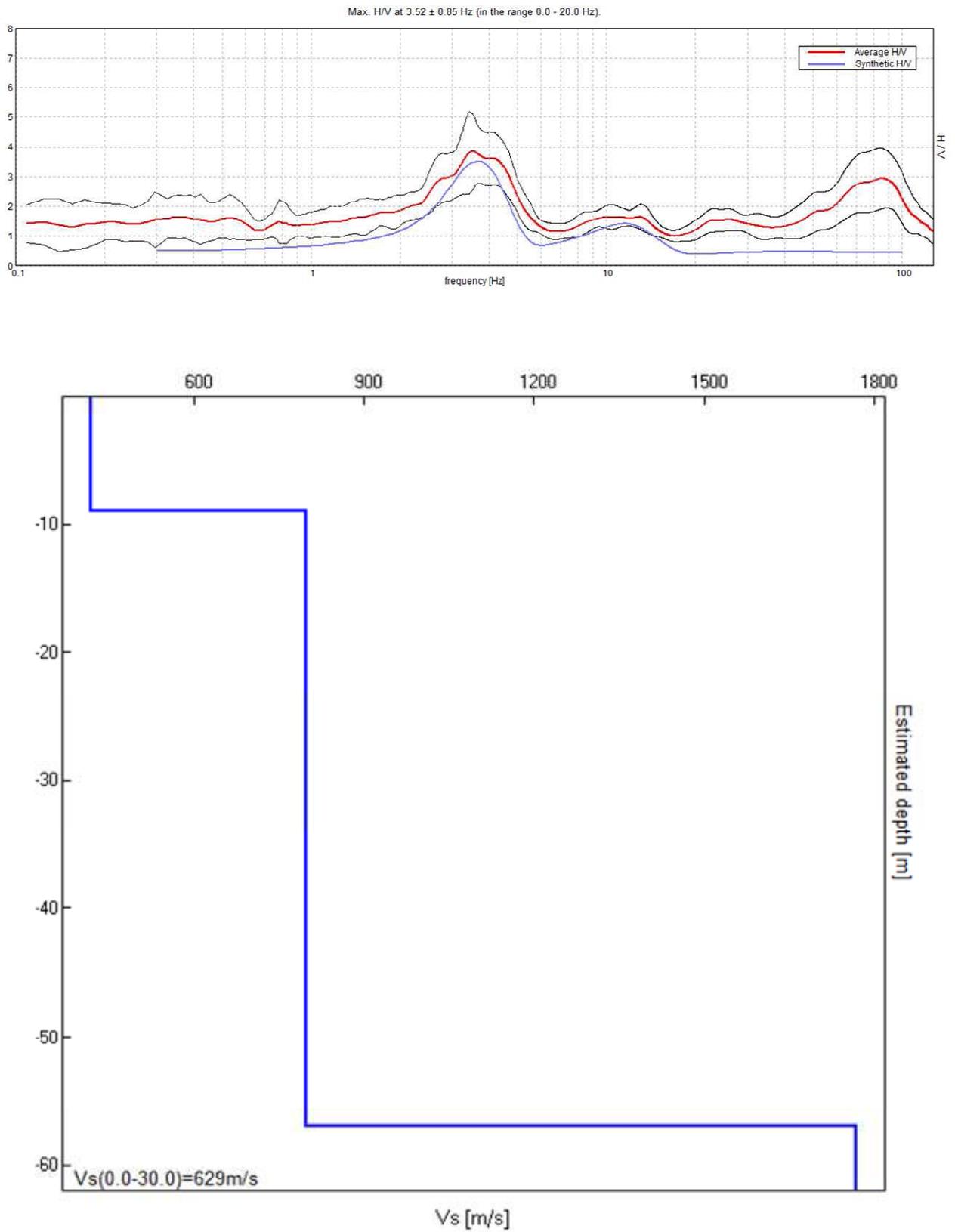


Fig. 5.6 – Esempio di modello monodimensionale a strati della velocità delle onde di taglio ottenuta dall'inversione del sondaggio 083081P27-HVSR144.

6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

6.1. Incertezze sul modello geologico tecnico del sottosuolo

Il Comune di San Piero Patti, seppure abbia fornito un certo numero di indagini ed il personale tecnico si è dimostrato disponibile e cooperativo, non ha a disposizione indagini di qualità tali da permettere la definizione di un modello geologico 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 uno specifico intervento progettuale, e che quindi prescinde da una pianificazione delle indagini atta 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 certezza le zone con spessori significativi (superiore a 3 m).
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 San Piero Patti.

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 relative Categorie di suolo di fondazione.

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

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

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

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

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

6.3. Incertezze sulle stime della profondità del bedrock sismico

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

La limitata disponibilità di dati geognostici e l'assenza di dati geofisici nell'area di San Piero Patti non ha consentito una sufficiente taratura delle stime effettuate. Per le considerazioni espresse nel par. 4.3, le velocità di propagazione delle onde di taglio

compatibili con i vincoli sugli spessori degli strati e sulle litologie presenti nell'area sono stati adottati nell'inversione di alcune curve. In particolare sono state interpretate tutte le curve relative ai punti di misura, ad esclusione del punto 083081P25-HVSR142, che non mostrava picchi significativi. I risultati ottenuti sono stati utilizzati per la costruzione delle 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 infatti da considerarsi solo delle possibili stime nell'ipotesi di minime variazioni laterali. Per evitare interpolazioni tra profondità di interfacce dovute a strutture di diversa natura geologica e stratigrafica, si è deciso di raggruppare e correlare frequenze relative ad uno stesso cluster (Fig. 4.6). Tuttavia non è possibile escludere che anche frequenze appartenenti allo stesso cluster siano dovute a strutture differenti o viceversa.

Nei grafici dei rapporti spettrali HVSR relativi a ogni punto di misura sono stati individuati tutti i picchi significativi. Questi sono stati caratterizzati mediante la loro frequenza centrale e ampiezza. L'insieme delle coppie frequenza di picco/ampiezza HVSR, relative a tutte le misure di microtremore eseguite, è stato rappresentato in un grafico a dispersione per individuare, se possibile in modo puramente visivo, clusters di punti con probabile omogeneità del fenomeno generatore e pertanto interpolabili in una singola mappa, nell'ipotesi di lievi variazioni continue dei parametri meccanici del mezzo di propagazione. Nell'analisi effettuata ci si è limitati ad individuare non più di tre cluster significativi. Nel grafico frequenza di picco/ampiezza possono essere altresì individuati punti anomali, attribuibili a effetti topografici o alla predominanza di sorgenti antropiche, che non vengono considerati per la costruzione delle carte.

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

7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

I criteri adottati per individuare le zone soggette ad **amplificazione stratigrafica** si sono basati su l'individuazione dei terreni di copertura con spessori superiori 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°

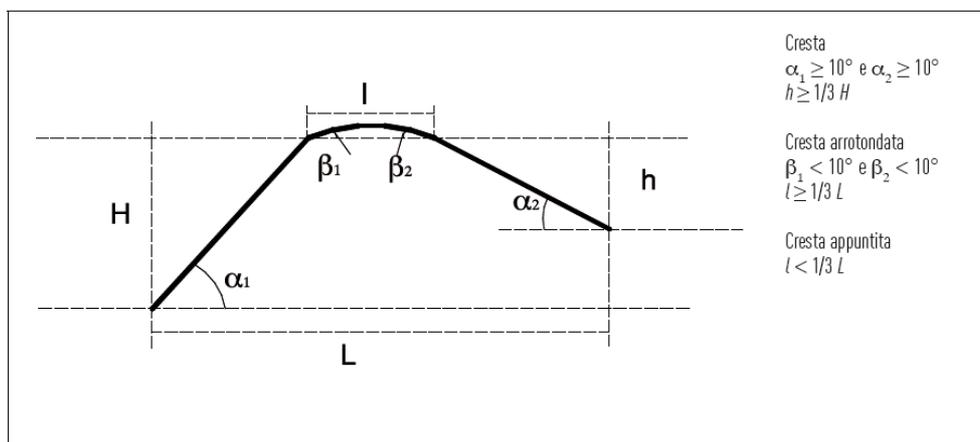


Fig. 7.1 - Schemi di riferimento per le creste e criteri di riconoscimento (ICMS).

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° .

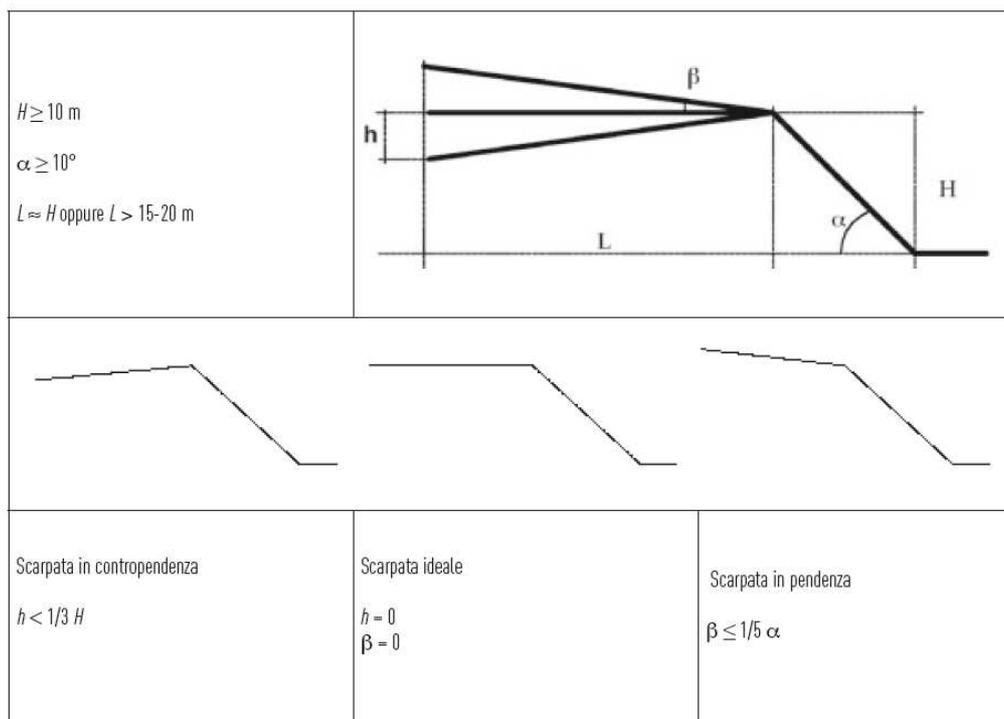


Fig. 7.2 - Schemi di riferimento per la scarpata e criteri di riconoscimento (ICMS).

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 significativa in termini di pendenza (Fig. 7.4). Si è deciso di individuare le scarpate a partire dai 15° perché al di sotto dei 15° gli effetti litologici prevalgono sempre su quelli topografici (ICMS).

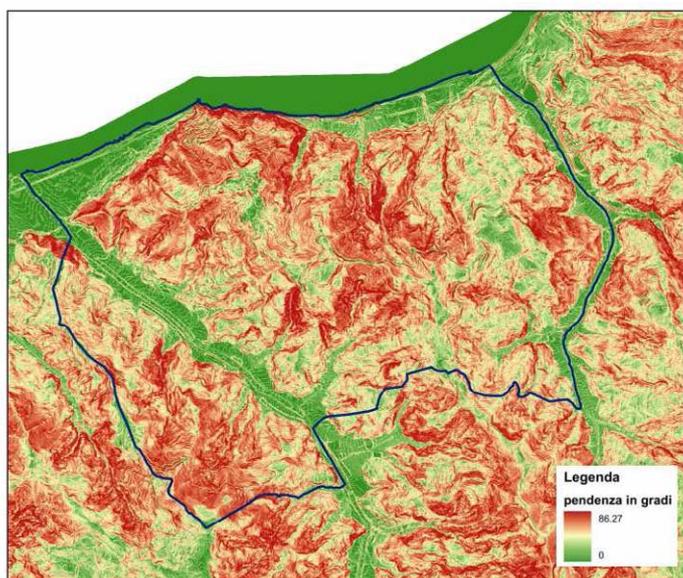


Fig. 7.3 – Esempio di carta della pendenza (esempio: Piraino, Me).

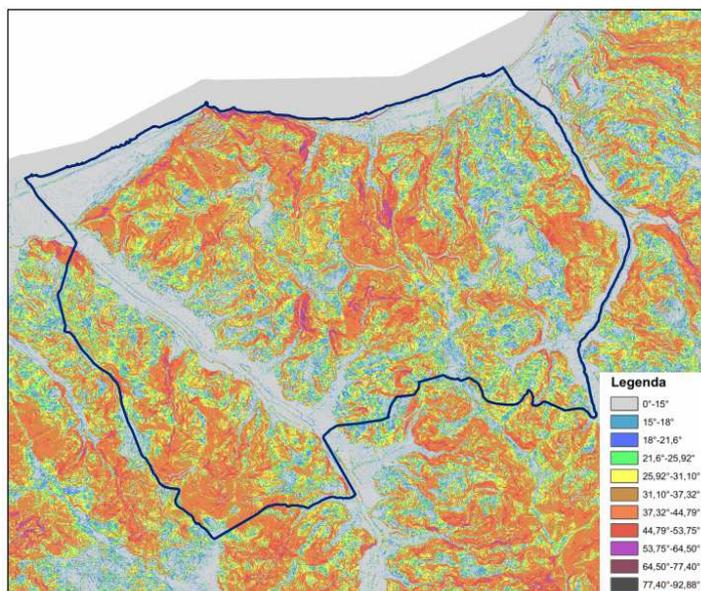


Fig. 7.4 – Esempio di riclassificazione della pendenza (esempio: Piraino, Me).

Individuazione degli elementi morfologici

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

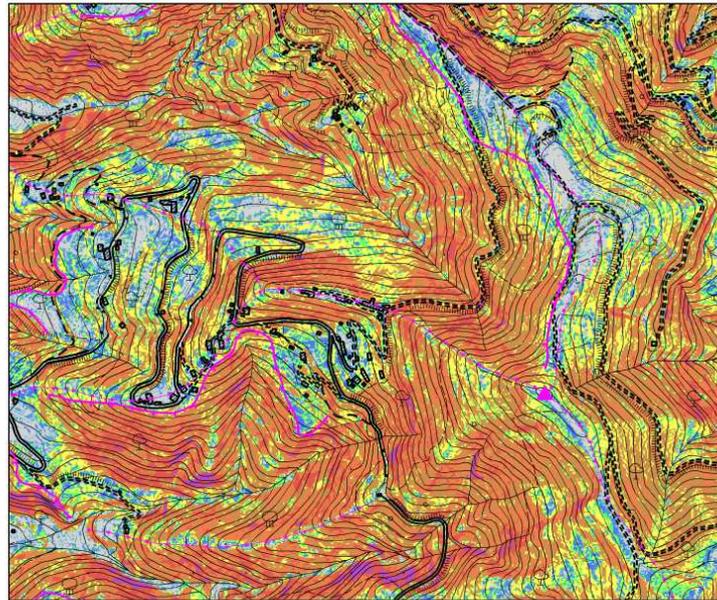
Infine, sono stati selezionati gli elementi antropici per verificare la coerenza tra gli elementi morfologici individuati ed i centri abitati. Quest'ultimo passaggio riguarda in particolare le scarpate, le quali infatti possono non intersecare case o strade, pur trovandosi nelle loro immediate vicinanze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



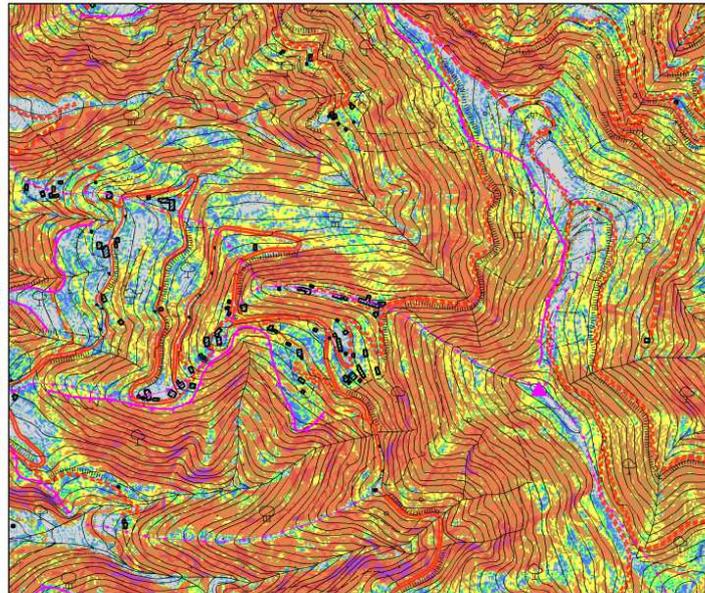
Legenda

| |
|----------------|
| 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 di San Piero Patti.

Le indagini presenti all'interno del territorio del Comune di San Piero Patti 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 centro-meridionale dell'area perimetrata, in prossimità di Via Paleologo. Alcuni sondaggi riguardano un'area in prossimità di Via Argentina, posta a più a nord.

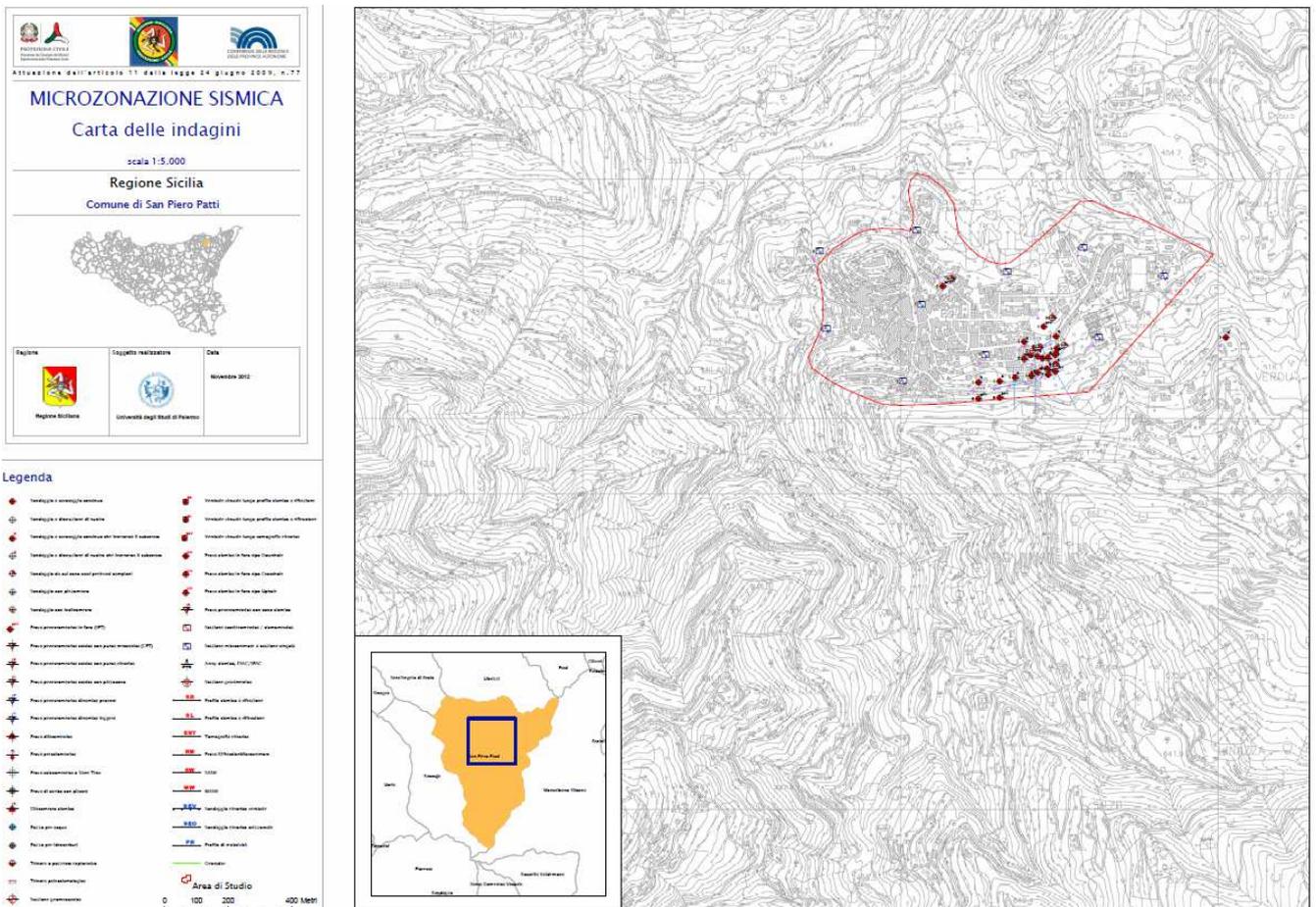


Fig. 8.1 Riduzione della carta delle indagini del territorio di San Piero Patti ed indicazione dell'area oggetto di microzonazione (v. PDF in cartella PLOT).

8.2 Carta Geologico-tecnica

La carta geologico – tecnica (Fig. 8.3) evidenzia come gran parte del territorio nel quale ricade il centro urbano di San Piero Patti, sia caratterizzato dalla presenza di estese coltri detritiche e di depositi da frana. Tali coltri poggiano in parte sulle Calcareniti di Floresta,

sulle Marne di Monte Pitò, ma anche sulle Argille Scagliose, sulle Filladi di Mandanici e sul Conglomerato Rosso.

8.2.1. Il substrato geologico

Il substrato geologico affiora principalmente nel settore occidentale dell'area perimetrata, in prossimità dei rilievi del quartiere Castello e del Convento dei Carmelitani. In quest'area affiorano le Calcareniti di Floresta che presentano estese coltri di alterazione superficiale e che pertanto sono state attribuite alla categoria NRS. Nella terminazione meridionale dell'area questi depositi, vengono a contatto per faglia con i termini arenaceo-pelitici alterati del Flysch di Capo d'Orlando (NRS) e con le Filladi di Mandanici (NR). Al margine sud-occidentale dell'area è anche presente un substrato non rigido costituito dai litotipi alterati del Conglomerato Rosso e, in limitati affioramenti alcuni lembi calcarei mesozoici pertinenti alle coperture dell'unità di Mandanici.

Altri affioramenti del substrato geologico, di tipo NRS, sono presenti nella periferia nord-orientale dell'area perimetrata. In questo caso il substrato affiorante è rappresentato dalle Calcareniti di Floresta e dalle Marne di Monte Pitò che, tuttavia, presentano coltri di alterazione superficiali.

8.2.2. I terreni di copertura

Questi terreni sono arealmente estesi a gran parte della porzione centro orientale dell'area di studio. In base alle informazioni ricavate dalla relazione geologica e alle indagini allegate al PRG è stato possibile differenziare l'affioramento di questi terreni in quattro differenti tipologie, costituite, rispettivamente da:

RI – Terreni contenenti resti di attività antropiche. La loro presenza, per uno spessore massimo di 4,7 m, è stata riscontrata durante l'esecuzione di sondaggi geognostici. La loro distribuzione è pertanto limitata alle aree dove ne è documentata la presenza con spessori superiori ai 3 m (via Argentina).

SM – Sabbie limose e miscele di sabbie e limo. Queste coperture affiorano estesamente nella porzione orientale dell'area di studio. La genesi di questi depositi è legata alla presenza di una coltre eluvio colluviale (ec). Un altro affioramento, di dimensioni più modeste, è posto al margine meridionale dell'area di studio e legato alla presenza di una falda detritica (fd).

OH – Argille e limi organici di media-alta plasticità. Questi depositi ricoprono il substrato geologico nella porzione centrale dell'area di studio. La loro origine è legata alla presenza di una coltre eluvio colluviale (ec)

CL – Argille sabbiose e argille limose. Tali terreni affiorano ai piedi del rilievo del quartiere castello e costituiscono una coltre eluvio colluviale in cui è stata accertata la presenza di una falda acquifera alla profondità di 11 m dal p.c.

8.2.3. I fenomeni di dissesto

Nel territorio Comunale di San Piero Patti, le aree maggiormente assoggettate a forme di instabilità morfologica sono quelle dove le porzioni superficiali delle Argille Scagliose assumono maggiore spessore. Queste aree sono interessate da continui e lenti movimenti di soliflusso, che evolvono spesso a fenomeni franosi di colamento lento. Altre aree instabili sono caratterizzate da frane complesse, come quelle dei versanti metamorfici e flyschoidi alterati e quelle ove fenomeni erosivi ed elevata pendenza rendono instabili le coltri detritiche di notevole spessore che rivestono gli stessi substrati (Fig. 8.2).

Allo scopo di acquisire notizie sugli eventi franosi accaduti in passato nell'area comunale oggetto dell'analisi, sono state consultate alcune fonti storiche. Da queste è emerso che all'interno del centro urbano principale del Comune di San Piero Patti, verso la fine del XIX secolo, si sono attivati alcuni fenomeni che risultano ad oggi stabilizzati. Specificatamente, le località Margi e Torre sono state interessate da eventi franosi nel Luglio 1901 e nel Giugno 1911, con gravi danni alle abitazioni ed alla strada provinciale; ulteriori riattivazioni sono avvenute il 20 Gennaio 1970 e negli anni 1984 e 1994.

I fenomeni di crollo sono limitati alle scarpate soprastanti la viabilità principale coinvolgenti principalmente le bancate arenacee ed i conglomerati del Flysch di Capo d'Orlando, ed in corrispondenza degli affioramenti calcarei sul versante sinistro del Torrente Urgeri.

SAN PIERO PATTI: CENTRO ABITATO

Le porzioni del territorio Comunale dove le Argille Scagliose interessano un maggior spessore dello strato superficiale sono interessate da continui e lenti movimenti superficiali del versante (tipo soliflusso), che possono evolvere a colamenti che interessano tutto il versante. Questo è ad esempio il caso del fenomeno PAI 014-5RA-121, localizzato a Sud di Fontana Mancusa, che coinvolge sia il suolo argilloso, che ricopre le Argille Scagliose, ma anche le coltri detritiche a notevole componente argillosa. Il fenomeno si presenta attivo e non interessa elementi vulnerabili.

Fenomeni PAI 012-5ST-125, PAI 012-5ST-129

Questi due fenomeni di scorrimento interessano i substrati rocciosi fratturati ed alterati costituiti dall'alternanza arenaceo-argillosa del Flysch di Capo d'Orlando. Lo scorrimento codificato con la sigla PAI 012-5ST-125, è posizionato a Sud del centro abitato principale ed occupa una superficie di più di 20.000 m². Il secondo borda la porzione meridionale del Cimitero e rappresenta la riattivazione recente di una paleofrana ormai stabilizzata. Entrambi i fenomeni possono essere classificati come attivi al momento del rilievo.

Fenomeni PAI 012-5ST-119, PAI 012-5ST-122, PAI 012-5ST-123, PAI 012-5ST-124, PAI 012-5ST-126

PAI 012-5ST-128, PAI 012-5ST-117, PAI 012-5ST-127, PAI 012-5ST-130, PAI 012-5ST-121.

Questi fenomeni franosi di tipo complesso, sono principalmente tipologie di scorrimenti evolventi a colamenti e coinvolgono, sia le porzioni detritiche con maggiore contenuto di materiali argillosi, che gli stessi substrati delle Argille Scagliose e delle Calcareniti di Floresta; molti di questi fenomeni vengono erroneamente riportati come paleofrane, di cui restano solo evidenze morfologiche, quali la nicchia e la superficie di movimento, in quanto il corpo di frana è stato quasi totalmente eroso. Possono essere classificati tutti come dei movimenti attivi configurando quindi una classe di rischio medio-alta, fatta eccezione per i movimenti PAI 012-5ST-117, PAI 012-5ST-127, PAI 012-5ST-130, PAI 012-5ST-121, che sono ormai stati stabilizzati poiché interessavano beni antropici di valore elevato quale lo stesso centro urbano (PAI 012-5ST-121) o il cimitero di San Piero Patti.

Fenomeno PAI 012-5ST-120.

Ad Est della Chiesa del Carmine è stato riconosciuta e cartografata una deformazione superficiale lenta della porzioni più superficiale del versante costituito da terreni alterati delle Argille Scagliose e del Flysch di Capo d'Orlando. Questo fenomeno si presenta attivo ed interessa con una classe di rischio pari a due delle case sparse.

Fenomeno PAI 012-5ST-098.

Con questo fenomeno si è voluta perimetrare l'instabilità gravitativa delle aree soggette ad erosione accelerata con erosione pluviale diffusa sui versanti spogli ed erosione concentrata lungo solchi e fossi confluenti negli impluvi principali, dove si associa anche l'erosione di sponda.

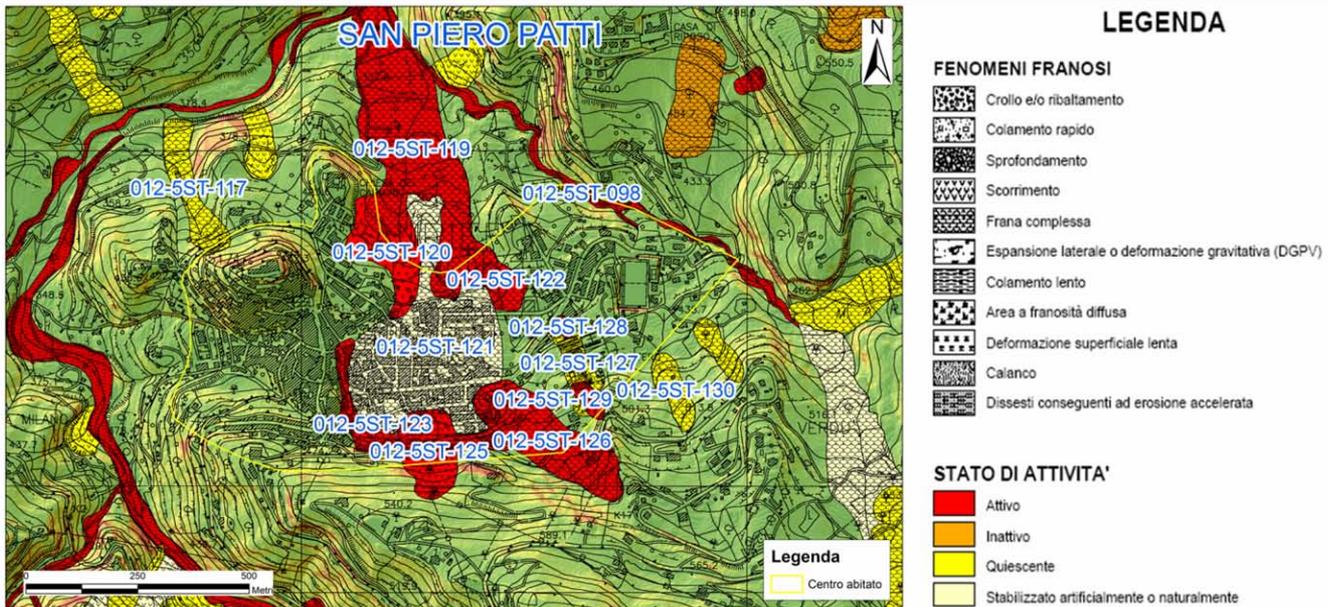


Fig. 8.2 – Comune di San Piero Patti – Aree di interesse: carta dei dissesti censiti nel PAI.

Di seguito (Fig. 8.3) viene proposta la Carta geologico-tecnica compilata in base alle informazioni raccolte.

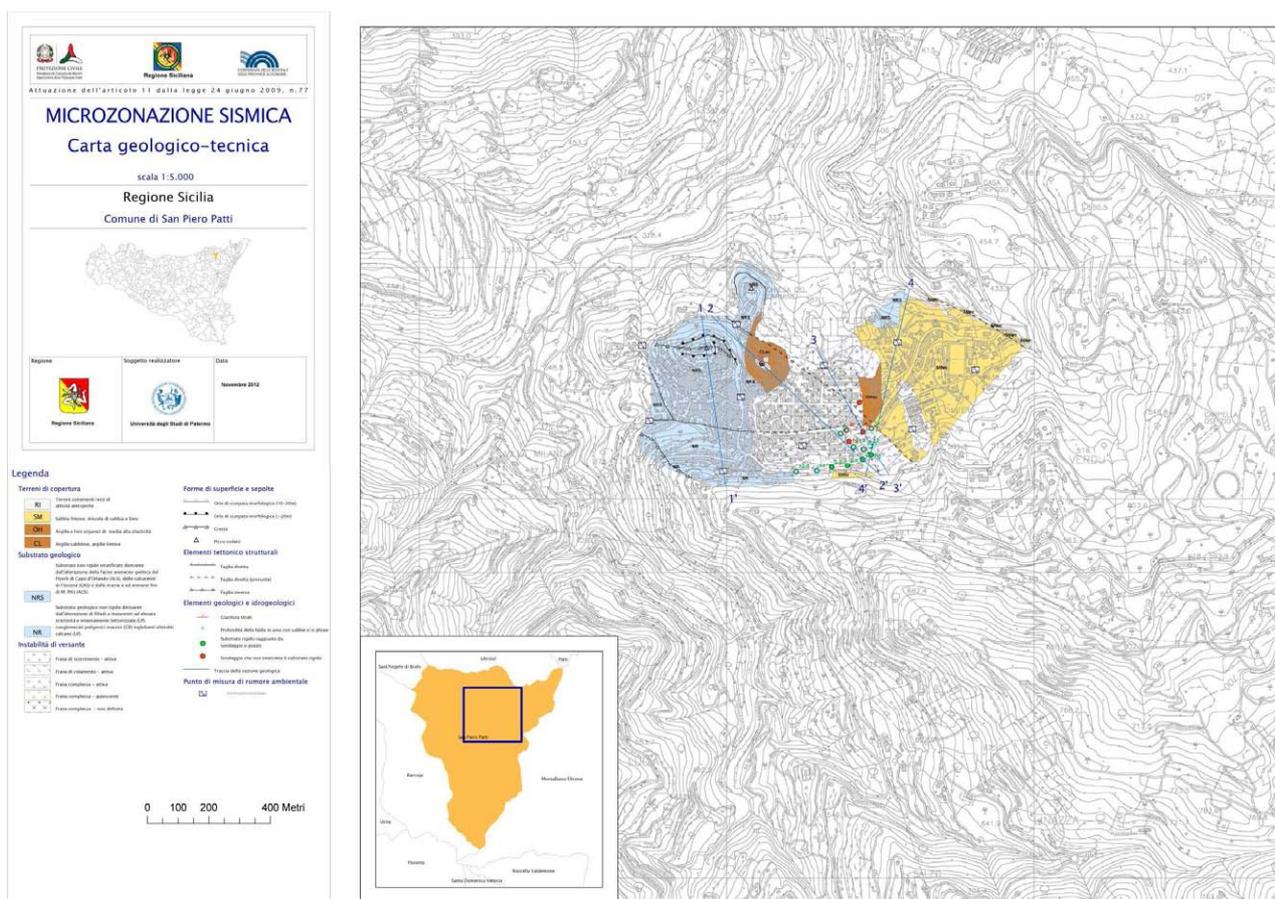
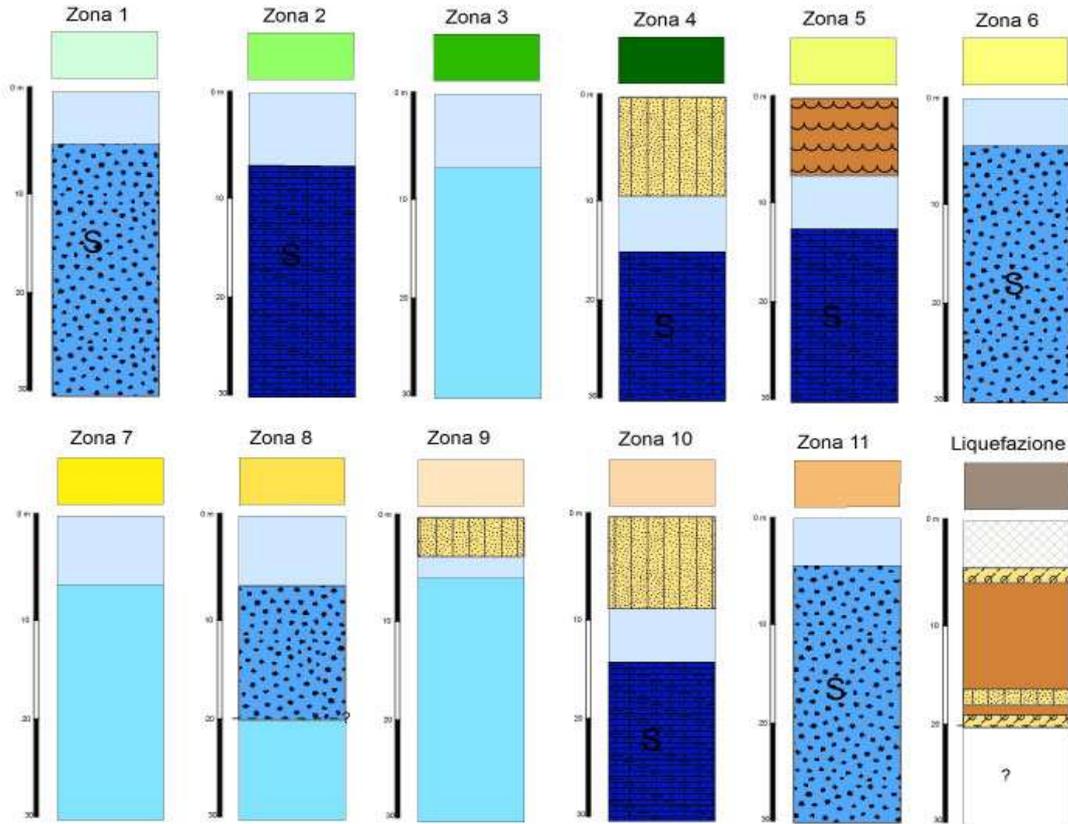


Fig. 8.3 – Riduzione della carta Geologico – tecnica del Comune di San Piero Patti (v. PDF in cartella PLOT).

8.3 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica

Nell'area del territorio di San Piero Patti sottoposta a MS non si individuano zone da poter classificare con assoluto margine di certezza come stabili.

Gli effetti locali attesi nel centro urbano consistono prevalentemente in fenomeni di amplificazione per motivi stratigrafici e/o topografici. Sono state pertanto individuate n. 11 differenti zone suscettibili di amplificazione (vedi Fig. 8.4, 8.5 e Tab. 8.1):



Legenda

Zona 1

Zona di amplificazione stratigrafica per substrato non rigido stratificato (NRS) derivante dall'alterazione di un substrato granulare cementato stratificato (GRS) con inclinazione del versante <math>< 15^\circ</math>

Zona 2

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 <math>< 15^\circ</math>

Zona 3

Zona di amplificazione stratigrafica per substrato non rigido non stratificato (NR) derivante dall'alterazione di un substrato lapideo non stratificato (LP) con inclinazione del versante <math>< 15^\circ</math>

Zona 4

Zona di amplificazione stratigrafica per coperture sabbiose limose (SM) > 3 m su substrato non rigido stratificato (NRS) e versanti con inclinazione <math>< 15^\circ</math>

Zona 5

Zona di amplificazione stratigrafica per coperture costituite da argille e limi organici (OH) > 3 m su substrato non rigido stratificato (NRS) e versanti con inclinazione <math>< 15^\circ</math>

Zona 6

Zona di amplificazione stratigrafica e topografica per substrato non rigido stratificato (NRS) derivante dall'alterazione di un substrato granulare cementato stratificato (GRS) con inclinazione del versante >math>> 15^\circ</math> e dislivello maggiore di 30 m

Zona 7

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 >math>> 15^\circ</math> e dislivello > di 30 m

Zona 8

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 >math>> 15^\circ</math> e dislivello maggiore di 30 m

Zona 9

Zona di amplificazione stratigrafica e topografica per coperture sabbiose limose (SM) > 3 m su substrato non rigido (NR) e versanti con inclinazione >math>> 15^\circ</math> e con dislivello maggiore di 30 m.

Zona 10

Zona di amplificazione stratigrafica e topografica per coperture sabbiose limose (SM) > 3 m su substrato non rigido stratificato (NRS) e versanti con inclinazione >math>> 15^\circ</math> e con dislivello maggiore di 30 m.

Zona 11

Zona caratterizzata da un substrato non rigido stratificato (NRS) con possibile amplificazione topografica e stratigrafica dovuta alla presenza di scarpate e creste.

liquefazione Zona soggetta a liquefazione

Litologie

| | |
|-----|--|
| RI | Terreni contenenti resti di attività antropica |
| OH | Argille organiche di media-alta plasticità |
| CL | Argille inorganiche di media-alta-plasticità, argille limose |
| SM | Sabbie limose |
| SC | Sabbie argillose |
| NRS | Substrato non rigido stratificato |
| NR | Substrato non rigido |
| GRS | Substrato granulare cementato, stratificato |
| GR | Substrato granulare cementato |
| ALS | Alternanza di litotipi, stratificato |
| LP | Substrato lapideo |

Fig. 8.4 – Colonne rappresentative delle zone suscettibili di amplificazione sismica.

Zona 1

Questa zona è caratterizzata dalla presenza di substrato non rigido stratificato (NRS) derivante dall'alterazione di un substrato granulare cementato stratificato (GRS) riconducibile alle Calcareniti di Floresta. Lo spessore della coltre di alterazione, in base all'interpretazione delle misure HVSR è stimato in circa 5 metri. Le località attribuite a tale zona si trovano nella porzione occidentale del centro abitato. L'inclinazione dei versanti è inferiore ai 15°, pertanto è attesa un'amplificazione stratigrafica del segnale sismico.

Zona 2

Zona di amplificazione stratigrafica caratterizzata dalla presenza di un substrato non rigido stratificato (NRS) derivante dall'alterazione di un substrato costituito da un'alternanza litologica (ALS) riconducibile alla facies arenaceo-pelitica del Flysch di Capo d'Orlando o alle marne argillose e sabbie fini della Formazione di Monte Pitò. Lo spessore della coltre di alterazione è stimato, in base all'interpretazione delle misure HVSR in circa 7 metri. Le località attribuibili a tale zona, presentano inclinazione dei versanti inferiore ai 15°. Esse sono localizzate all'estremità occidentale dell'area di studio, a sud della chiesa del Carmine e al margine nord orientale dell'area di studio.

Zona 3

Zona di amplificazione stratigrafica per substrato non rigido non stratificato (NR) derivante dall'alterazione di un substrato lapideo non stratificato (LP) costituito dalle filladi e metareniti dell'unità di Mandanici. Lo spessore dello strato di alterazione non è conosciuto. L'inclinazione del versante risulta inferiore ai 15°. Questa zona affiora nella porzione centro - meridionale dell'area perimetrata e su di essa sorge parte dell'edificato del centro abitato.

Zona 4

Questa zona si estende per gran parte della porzione orientale dell'area perimetrata. Essa è caratterizzata da effetti legati ad amplificazione stratigrafica per coperture sabbioso limose (SM) > 3 m poggianti su un substrato non rigido stratificato (NRS) derivante dall'alterazione delle marne sabbiose di Monte Pitò. I versanti su cui si estendono parte delle nuove costruzioni del centro abitato, oltre all'area cimiteriale e al campo sportivo, sorgono su versanti con inclinazione < 15°. La profondità del substrato rigido, stimata attraverso le inversioni delle misure HVSR, indicano valori compresi tra 8 e 9 metri.

Zona 5

Zona di amplificazione stratigrafica per coperture costituiti da argille e limi organici (OH) > 3 m poggianti su un substrato non rigido stratificato (NRS). Tale zona caratterizza la porzione centro-orientale dell'area di studio e su di essa sorge la centrale telefonica oltre ad altri edifici. La profondità del substrato non è nota con certezza, si raccomanda pertanto un'adeguata caratterizzazione dei terreni e dei loro spessori. I versanti mostrano inclinazione inferiori ai 15°.

Zona 6

Questa zona si estende tutto intorno al rilievo del quartiere castello, su cui sorge parte del nucleo storico del centro urbano. Tale zona risente di un'amplificazione del segnale sismico dovuta ad un substrato non rigido stratificato (NRS) derivante dall'alterazione di un substrato granulare cementato stratificato (GRS) costituito dalle Calcareniti di Floresta. Lo spessore della coltre di alterazione non è noto con precisione e merita di essere indagato in dettaglio. I versanti mostrano un'inclinazione superiore ai 15° e un dislivello maggiore di 30 m. Gli effetti attesi sono dovuti ad amplificazione stratigrafica e topografica.

Zona 7

Zona di amplificazione stratigrafica e topografica dovuta alla presenza di un substrato non rigido non stratificato (NR) derivante dall'alterazione di un substrato lapideo non stratificato (LP) costituito dalle filladi e metareniti dell'Unità di Mandanici e da olistoliti carbonatici che giacciono in discordanza su di esso. I versanti presentano inclinazioni $> 15^\circ$ e dislivello $>$ di 30 m. Tale zona costituisce la porzione sud-occidentale dell'area di studio.

Zona 8

Zona di amplificazione stratigrafica e topografica per substrato non rigido non stratificato (NR) derivante dall'alterazione di un substrato granulare cementato non stratificato (GR) costituito da un conglomerato poligenico (Conglomerato Rosso) con inclinazione del versante $> 15^\circ$ e dislivello maggiore di 30 m. Questa zona costituisce la porzione sud-occidentale dell'area di studio e lo spessore della coltre di alterazione è stimato intorno ai 7 metri.

Zona 9

Questa zona costituisce una piccola porzione posta nella porzione più meridionale dell'area di studio. Gli effetti attesi sono dovuti ad un'amplificazione stratigrafica e topografica dovuta a coperture sabbioso limose (SM) > 3 m che poggiano su substrato non rigido (NR) derivante dall'alterazione del conglomerato Rosso. I versanti presentano un'inclinazione $> 15^\circ$ e un dislivello maggiore di 30 m. Tale zona è circondata da aree con instabilità del versante attiva (frane complesse e di scorrimento).

Zona 10

Tale zona caratterizza alcune aree poste nel settore orientale dell'area di studio. Si tratta aree soggette ad amplificazione stratigrafica e topografica dovuta a coperture sabbioso limose (SM) > 3 m poggianti su un substrato non rigido stratificato (NRS). La profondità del substrato rigido non è conosciuta con precisione. I versanti presentano inclinazione $> 15^\circ$ e con dislivello maggiore di 30 m.

Zona 11

L'area sommitale del rilievo del quartiere castello è caratterizzata da elementi morfologici quali scarpate maggiori di 20 metri e una cresta, che possono produrre su tale zona effetti legati ad un'amplificazione topografica del segnale sismico. Inoltre il substrato risulta essere costituito da una coltre di alterazione di spessore non noto (NRS) che poggia su un substrato rigido costituito dalle Calcareniti di Floresta (substrato granulare cementato stratificato, GRS), soggetto quindi ad effetti di amplificazione stratigrafica.

Le zone considerate **suscettibili di Instabilità** sono quelle interessate da frane con differenti tipologie di movimento (frane complesse, colate, scorrimenti) considerate dal PAI come attive, frane complesse quiescenti ed una frana complessa non definita.

A queste zone si aggiunge un'area soggetta a possibile liquefazione per presenza di sedimenti argilloso-limosi in presenza di falda acquifera meno profonda di 15 m.

E' altresì presente una zona suscettibile di instabilità per cedimenti differenziali al contatto tra i depositi argilloso-limosi ed il substrato non rigido, lungo una fascia arcuata ad andamento nord-sud dalla Chiesa del Carmine al centro urbano.

Infine viene segnalata un'area di sovrapposizione di zone suscettibili di instabilità lungo i contatti tra frane attive, zone soggette a liquefazione e zone soggette a cedimenti differenziali.

Nella Tab. 8.1 sono riassunte le condizioni geologiche e morfologiche che possono determinare effetti locali nel territorio comunale di San Piero Patti. 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 stratificato NRS costituito dalla porzione alterata delle Calcareniti di Floresta | NRS | 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 Flysch di Capo d'Orlando o dalle Marne di Monte Pitò | 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 Filladi di Mandanici | NRL | Amplificazione stratigrafica | Secondo livello ed eventuale terzo livello |
| Zona 4 | Zona con coperture sabbioso-limose con spessore > 3 m | SM | Amplificazione stratigrafica | Secondo livello ed eventuale terzo livello |
| Zona 5 | Zona con coperture di limi organici con spessore > 3 m | OM | Amplificazione stratigrafica | Secondo livello ed eventuale terzo livello |
| Zona 6 | Substrato non rigido granulare cementato (Calcareniti di Floresta) in presenza di pendio > 15° e dislivello > 30 m | NRS | Amplificazione stratigrafica e topografica | Secondo livello ed eventuale terzo livello |
| Zona 7 | Substrato non rigido costituito dalle Filladi di Mandanici alterate in presenza di pendio > 15° e dislivello > 30 m | NR | Amplificazione stratigrafica e topografica | Secondo livello ed eventuale terzo livello |
| Zona 8 | Substrato non rigido granularestituito dai litotipi di alterazione del Conglomerato Rosso in presenza di pendio > 15° e dislivello > 30 m | NR | Amplificazione stratigrafica e topografica | Secondo livello ed eventuale terzo livello |
| Zona 9 | Coperture sabbioso-limose con spessore > 3 m su substrato NR costituito dal Conglomerato Rosso in presenza di pendio > 15° e dislivello > 30 m | SM | Amplificazione stratigrafica e topografica | Secondo livello ed eventuale terzo livello |
| Zona 10 | Coperture sabbioso-limose con spessore > 3 m su substrato NRS in presenza di pendio > 15° e dislivello > | SM | Amplificazione stratigrafica e topografica | Secondo livello ed eventuale terzo livello |

| | | | | |
|---------|--|-----|--|--|
| | 30 m | | | |
| Zona 11 | Area caratterizzata dalla presenza di creste e scarpate su substrato non rigido stratificato | NRS | 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 | colate, scorrimenti frane complesse, | Instabilità | terzo livello |
| 302X | Instabilità di versante quiescente | 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 San Piero Patti. Sono indicati anche i potenziali effetti attesi e il livello di approfondimento richiesto per gli studi di MS.

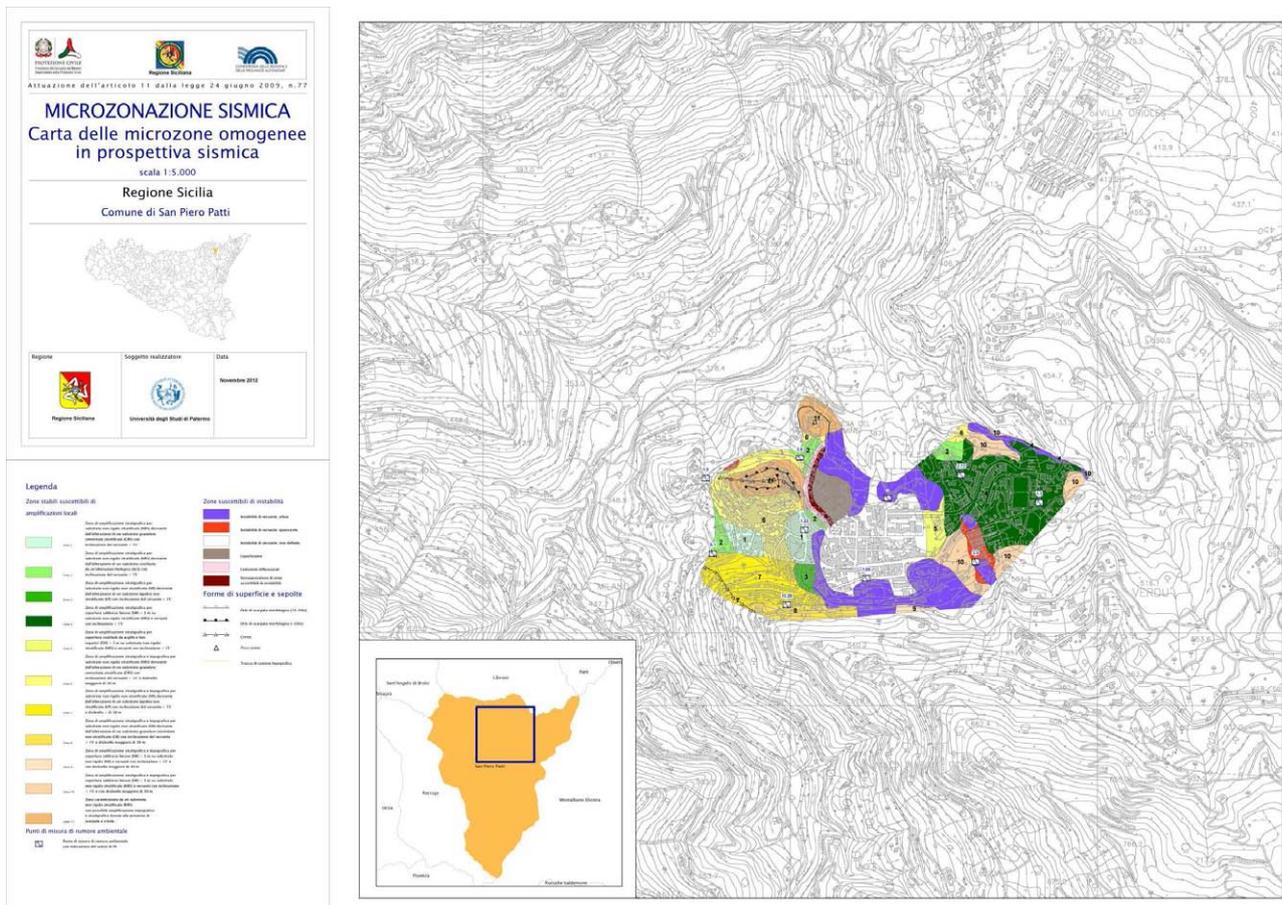


Fig. 8.5 – Riduzione della carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica del Centro Urbano di San Piero Patti (v. PDF in cartella PLOT).

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 d'interesse, e la successiva analisi e caratterizzazione morfometrica degli stessi.

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

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 | 49 |
| A2 | 47 |
| B1 | 48 |
| B2 | 50 |

Tab 8.2 – Corrispondenza fra codici identificativi e profili topografici

Specificatamente al territorio comunale di San Piero Patti, sono stati riconosciuti e cartografati gli elementi morfologici che ricadono all'interno dell'area d'interesse perimetrata.

SAN PIERO PATTI: CENTRO ABITATO PRINCIPALE

All'interno del territorio comunale di San Piero Patti sono state riconosciute e cartografate, utilizzando i criteri di riconoscimento illustrati al capitolo 7, due principali allineamenti di scarpata che bordano i due principali picchi morfologici situati a Nord-Est del centro abitato. La carta degli elementi morfologici presentati in Fig. 8.6 mostra gli elementi che possono dar luogo a effetti di amplificazione sismica, configurandosi come potenziali siti di attenzione nello studio delle condizioni di MS.

Scarpata A

La linea di scarpata A (Figg. 8.6-8.10), si sviluppa in direzione SO-NE per circa 250 m, a quote comprese tra 350 m e i 400 m s.l.m., bordando il promontorio in cima al quale si trova la chiesa del Carmine. La scarpata si presenta con la convessità rivolta verso Nord. I due profili di dettaglio realizzati allo scopo di descrivere le caratteristiche morfometriche della scarpata mostrano un fronte superiore piano che consente di poter classificare la scarpata A come una scarpata ideale con altezza sempre superiore ai 2 m e un angolo ai piedi del versante di circa 20° .

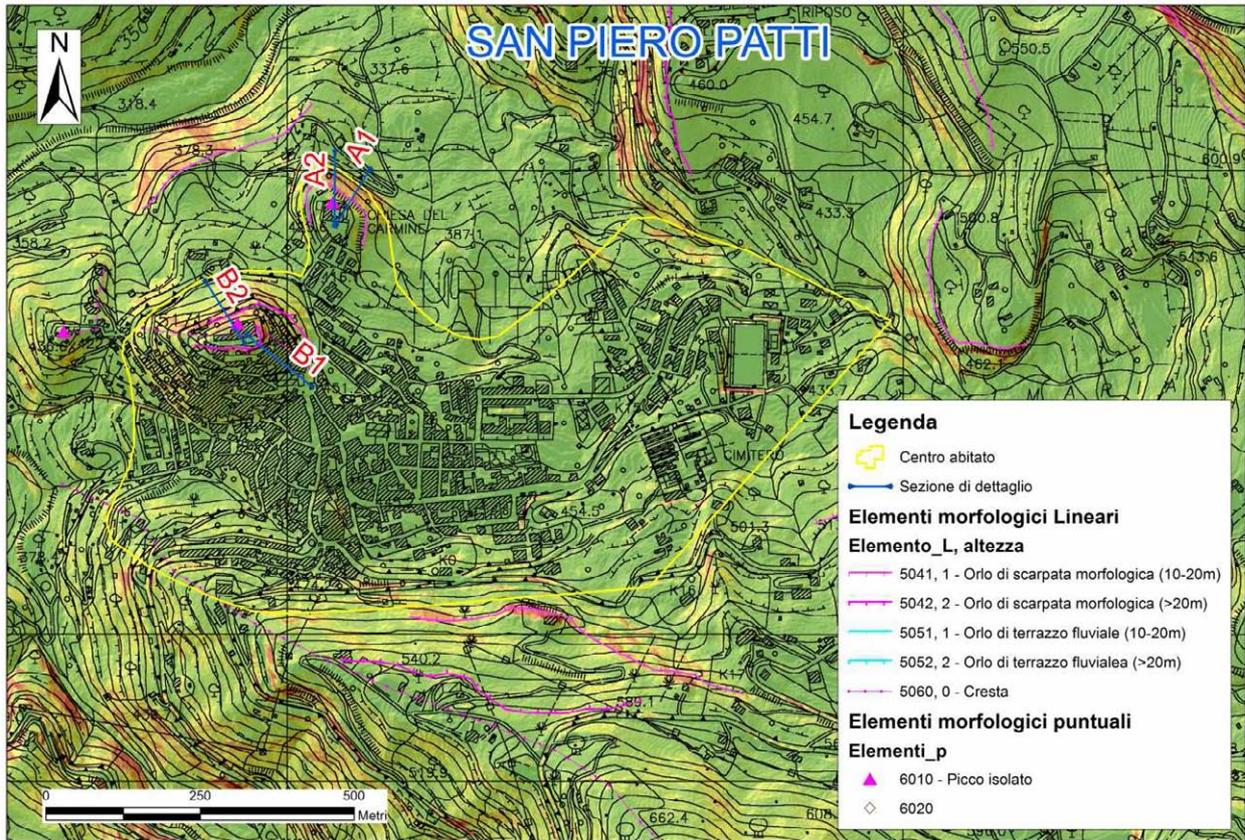


Fig. 8.6 – Carta degli elementi morfologici e tracce dei profili topografici di dettaglio.



Fig. 8.7 – Immagine Street View (Google Earth™) della scarpata A.

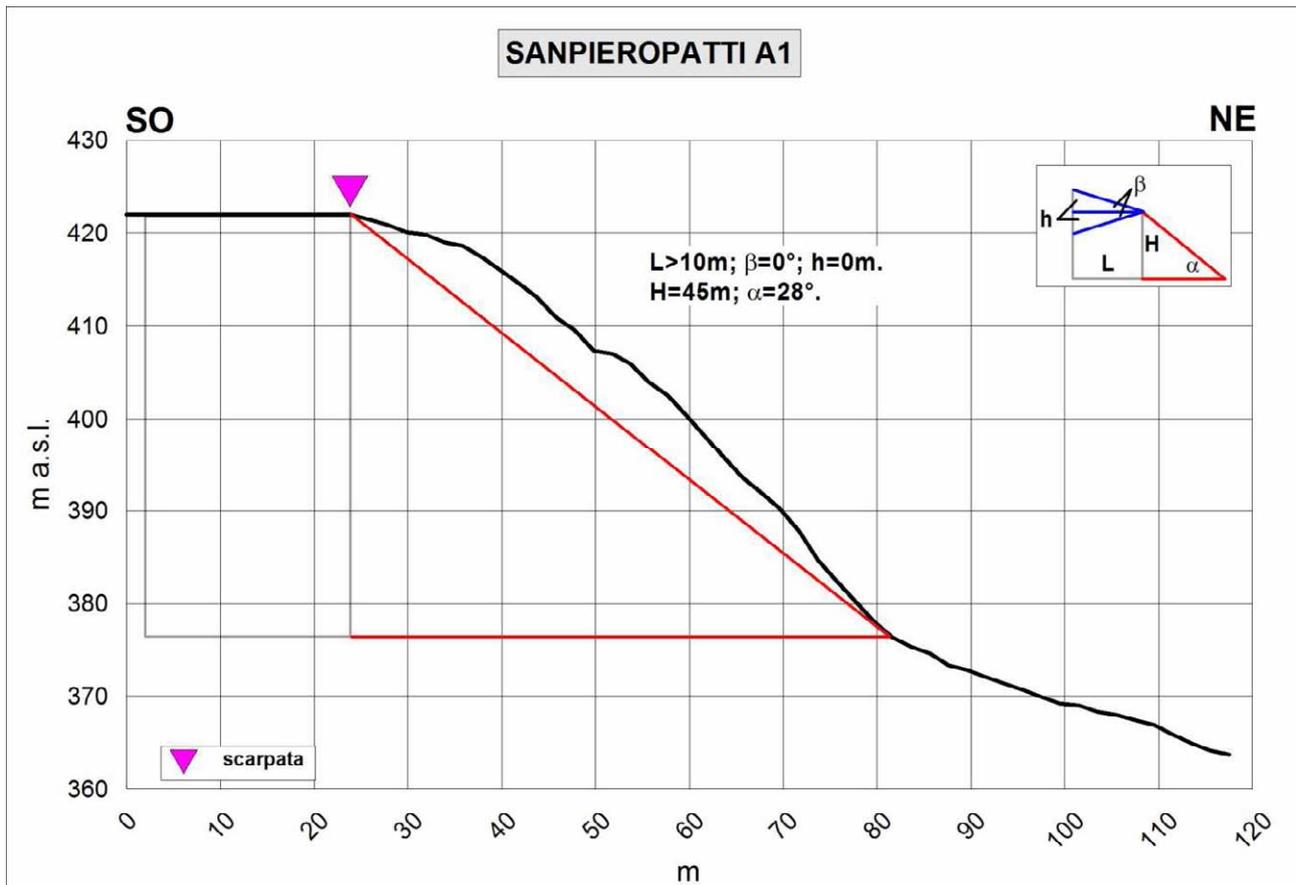


Fig. 8.8 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata San Piero Patti A1.

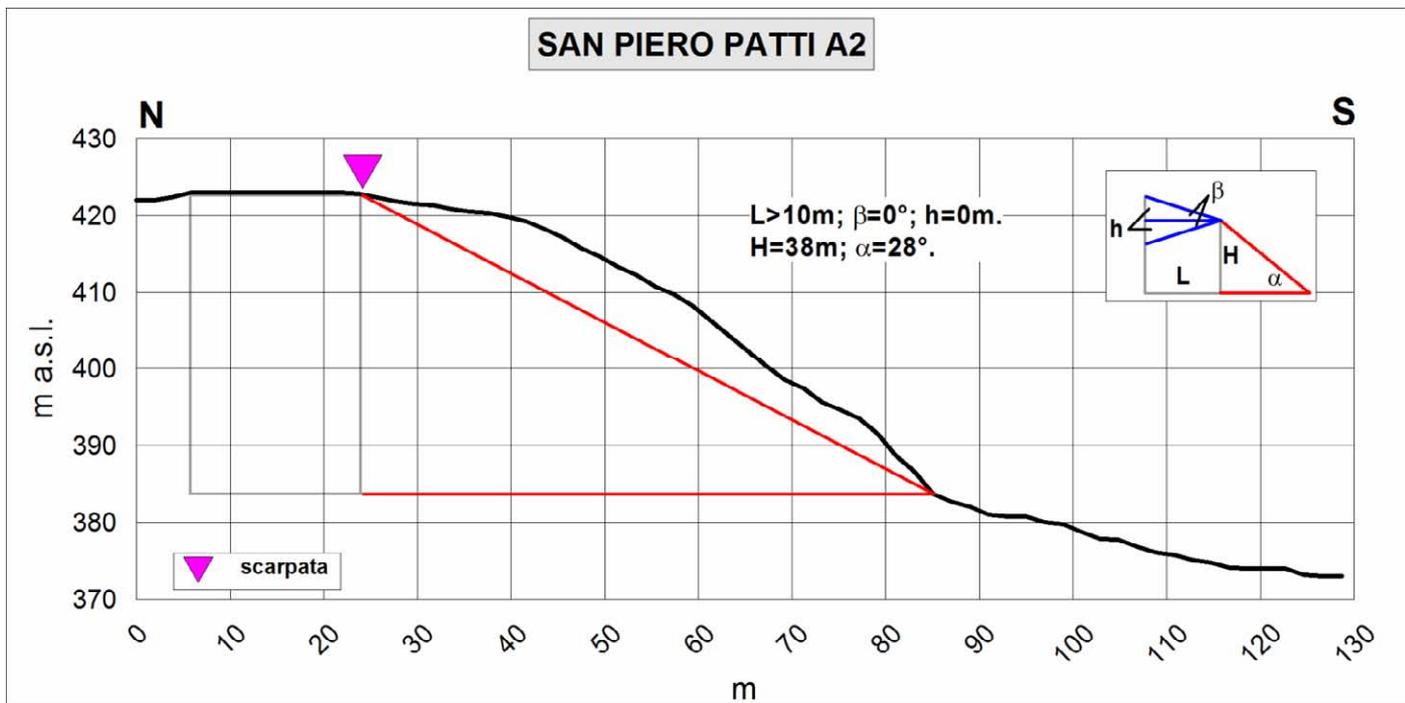


Fig. 8.9 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata San Piero Patti A2.



Fig. 8.10 – Immagine di dettaglio delle linee di scarpate A e B.

Scarpata B

La Scarpata codificata come “Scarpata B” (Figg. 8.11-8.13), borda la collina che insiste a Nord-Est del centro abitato e che rappresenta il punto più alto del centro urbano (478 m s.l.m.). Le attività antropiche che hanno interessato la porzione sommitale della collina hanno generato una pianura in cima. Per questa ragione, l’angolo β del fronte superiore assume un valore pari a zero e la scarpata può configurarsi come una scarpata ideale con un’altezza fronte principale che può raggiungere i 70 m in corrispondenza del profilo B2 (Fig. 8.12) e un angolo α di 20-30°.

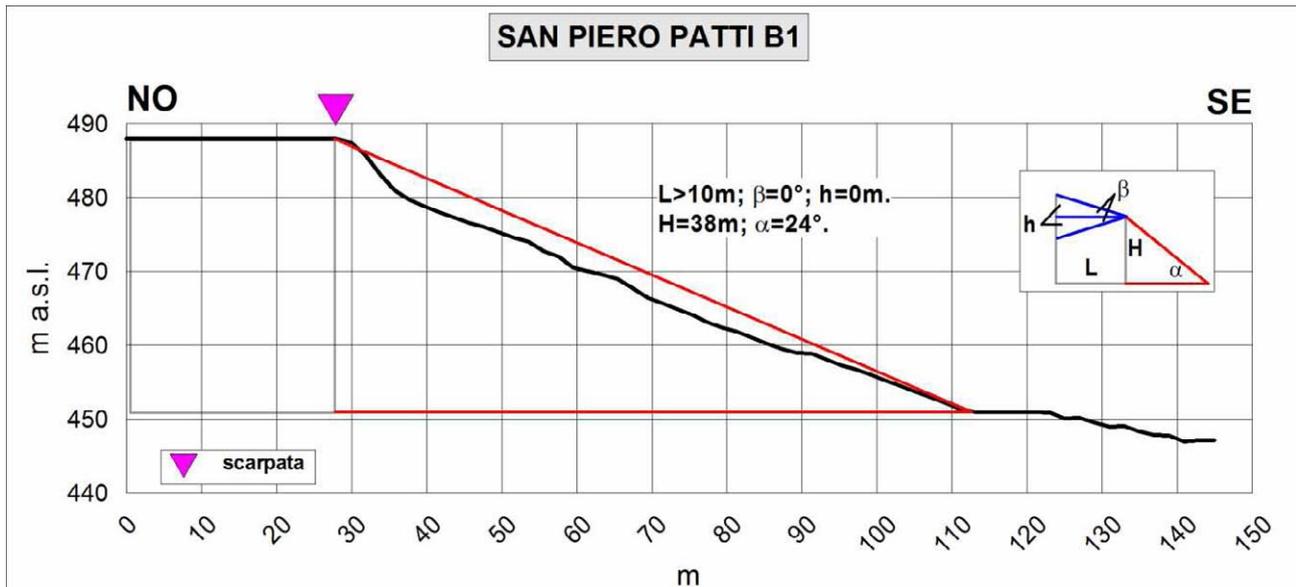


Fig. 8.11 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata San Piero Patti B1.

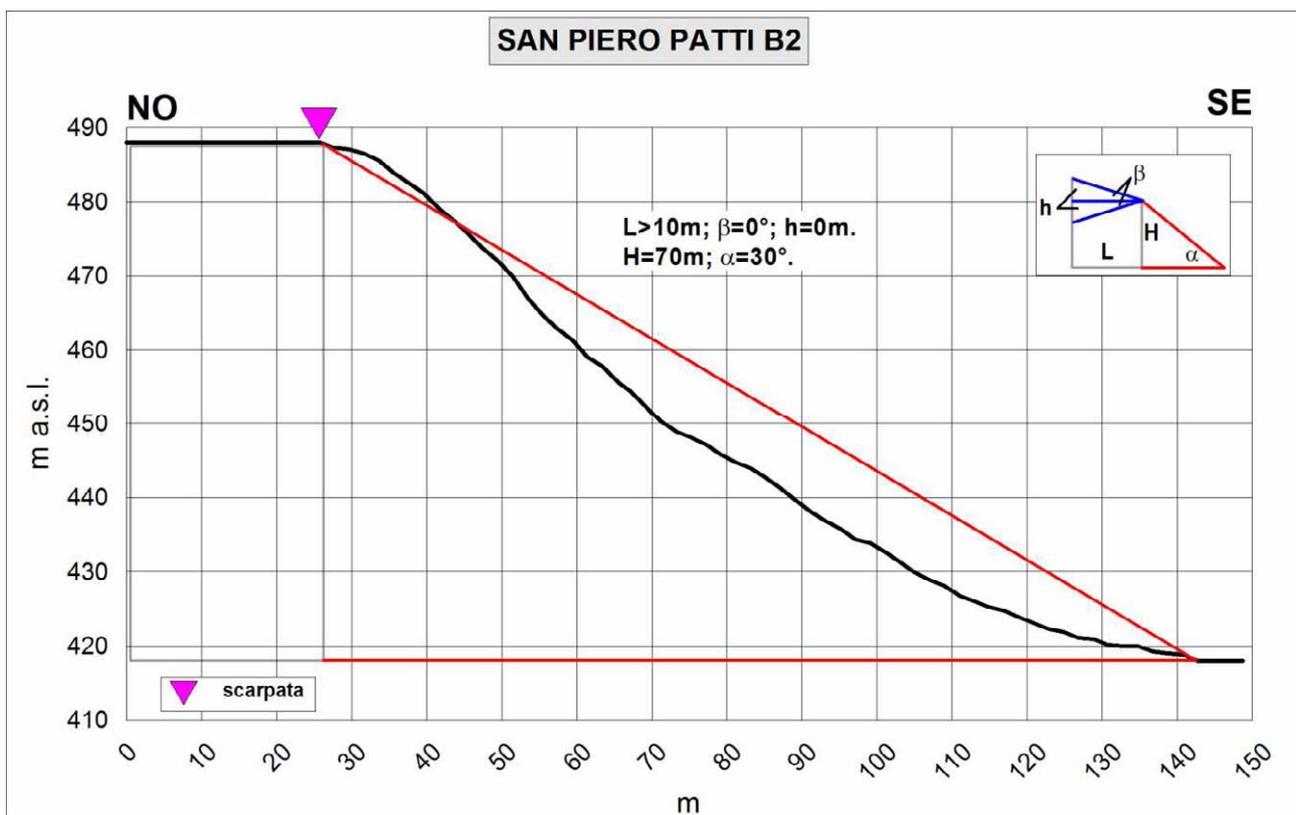


Fig. 8.12 – Profilo topografico di dettaglio della scarpata San Piero Patti B2.



Fig. 8.13 – Immagine Street View (Google Earth™) della scarpata B.

8.4. Carta delle frequenze

Tutti i punti di misura HVSR, ad esclusione del punto 083081P25-HVSR142, che non mostra picchi significativi, mostrano la presenza di fenomeni di possibile amplificazione del moto sismico a bassa frequenza (1 – 2 Hz), a media frequenza (2.5 – 6 Hz) e ad alta frequenza (maggiore di 9 Hz).

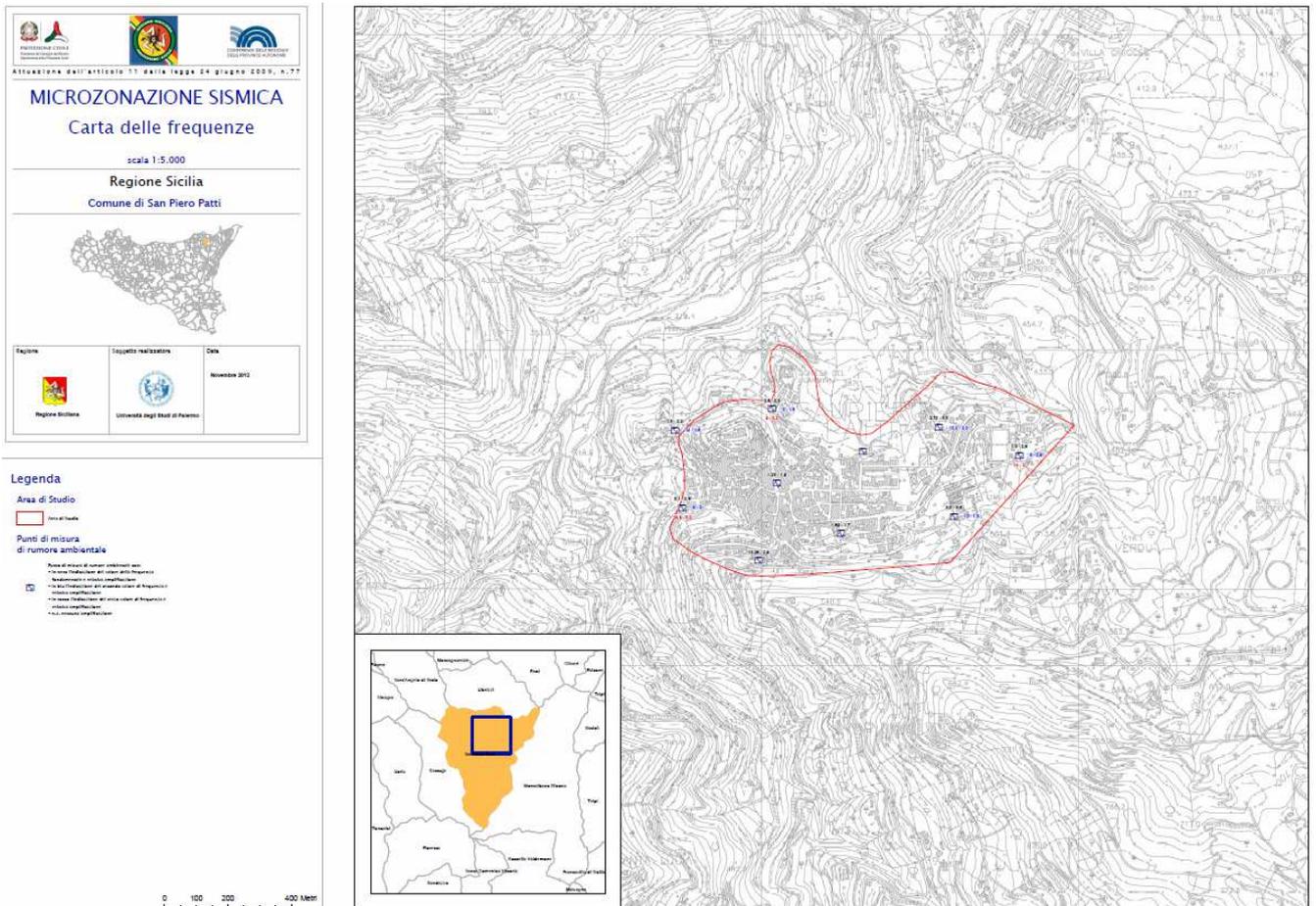


Fig. 8.14 – Riduzione della carta delle frequenze del centro urbano di San Piero Patti (v. PDF in Cartella PLOT).

9. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI

Nell'area del territorio comunale di San Piero Patti 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
- 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 Alì (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., Groppelli 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 rhegmatic-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