
MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione Illustrativa

Aggiornamento Studi MS Livello 1

Regione Sicilia

Comune di San Vito Lo Capo



CONVENZIONE TRA IL COMUNE DI SAN VITO LO CAPO E IL DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA E DEL MARE (DiSTeM) DELL'UNIVERSITA' DI PALERMO per l'aggiornamento dello studio di microzonazione sismica di 1 livello già redatto nel 2012 a supporto della Revisione Generale del PRG di S. Vito Lo Capo, per lo studio geologico a supporto del nuovo Piano Urbanistico Generale Comunale (P.U.G.).

<p>Contraente: L'Amministrazione Comunale di S. Vito Lo Capo</p>	<p>Soggetto realizzatore: DiSTeM - Università degli Studi di Palermo</p> 	<p>Data: Giugno 2022</p>
--	--	------------------------------

INDICE

	Premessa	Pag. 3
1.	Introduzione	4
1.1	<i>Finalità degli studi</i>	4
1.2	<i>Riferimenti tecnici e normativi</i>	5
1.3	<i>Descrizione generale dell'area comunale</i>	6
1.4	<i>Definizione dei documenti di base utilizzati nello studio</i>	7
1.5	<i>Aree da sottoporre agli studi di MS</i>	8
2.	Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento	10
2.1	<i>Sismicità storica dell'area di studio</i>	10
2.2	<i>Sismicità recente dell'area di studio</i>	18
2.3	<i>Pericolosità sismica di base</i>	20
2.4	<i>Faglie attive</i>	28
3.	Dati geotecnici e geofisici	30
3.1	<i>Indagini geognostiche e geotecniche</i>	30
3.2	<i>Indagini geofisiche</i>	30
3.3	<i>Misure di microtremore sismico ed elaborazioni HVSR</i>	32
3.4	<i>Vantaggi e svantaggi dei metodi d'indagine con microtremori</i>	35
4.	Modello del sottosuolo	37
4.1	<i>Stime della profondità del tetto del bedrock sismico</i>	37
4.2	<i>Incertezze sulle stime della profondità del bedrock sismico</i>	38
5.	Metodologie di elaborazione e risultati	40
5.1	<i>Criteri per l'elaborazione della carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica</i>	41
5.2	<i>Criteri adottati per la costruzione della carta delle frequenze</i>	41
6.	Elaborati cartografici	42
6.1	<i>Carta delle indagini</i>	42
6.2	<i>Carta delle frequenze naturali dei terreni</i>	46
6.3	<i>Carta della profondità del bedrock sismico</i>	48
6.4	<i>Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 1)</i>	49
7.	Confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati	52
8.	Bibliografia	53
9.	Allegati	55

PREMESSA

La presente relazione sintetizza le attività di campo, di laboratorio, di acquisizione ed elaborazione dei dati acquisiti ed illustra i risultati relativi allo studio preliminare (livello 1) per la redazione di un'apposita cartografia rivolta alla costruzione ed alla elaborazione della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica del Comune di San Vito Lo Capo (Provincia Regionale di Trapani) redatta sulla base di carte tematiche, indagini esistenti (carta geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche, indagini geognostiche e geofisiche etc.) e sulla base di osservazioni, studi ed indagini condotte direttamente. La presente relazione è il risultato all'aggiornamento dello studio di microzonazione sismica di 1 livello, (redatto nel 2012 a supporto della Revisione Generale del PRG di S. Vito Lo Capo), a supporto dello studio geologico a supporto del Piano Urbanistico Generale Comunale (P.U.G.) con quanto indicato anche ai §§ 4.1, 4.1.2, 4.1.3 del D.A. n° 120 del 17/07/2021 e secondo la convenzione tra il Comune di San Vito Lo Capo e il Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare (DiSTeM) dell'Università di Palermo, accettata dal Comune di San Vito con la Determina n. 216 del 10.03.2022 .

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 Microzonazione Sismica (MS) costituisce uno strumento estremamente utile ai fini della prevenzione sismica e della valutazione del rischio sismico, nonché per una corretta pianificazione urbanistica e gestione del territorio sia ordinaria che emergenziale. La MS ha lo scopo di valutare, ad una scala sufficientemente dettagliata, se le condizioni locali possano influire sulle caratteristiche del moto sismico atteso e soprattutto se le variazioni di queste caratteristiche possano produrre deformazioni rilevanti sulle costruzioni e sulle infrastrutture.

Attraverso questi studi è possibile quindi evidenziare se le caratteristiche litostratigrafiche e morfologiche dell'area in esame possano indurre fenomeni di amplificazione dello scuotimento e/o fenomeni di instabilità e deformazione permanente attivati dal sisma.

In particolare, lo scopo di uno studio di MS è quello di suddividere il territorio in "microzone", distinte sulla base della loro risposta ad una sollecitazione sismica:

- Zone stabili: aree in cui il moto sismico non subisce variazioni rispetto a quello atteso in terreni rigidi e pianeggianti, in maniera tale da poter equiparare gli scuotimenti attesi a quelli forniti dagli studi di pericolosità di base;
- Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali: aree in cui il moto sismico subisce una variazione (amplificazione) rispetto a quello atteso in terreni rigidi e pianeggianti, a causa delle caratteristiche litostratigrafiche e/o geomorfologiche del terreno nel quale si propaga;
- Zone instabili: aree in cui fenomeni di deformazione permanente del terreno, come instabilità di versante, liquefazioni, faglie attive e capaci, cedimenti differenziali, possono essere attivati o indotti dal verificarsi di un evento sismico.

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

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

In funzione dei diversi contesti e dei diversi obiettivi, gli studi di MS possono essere condotti a vari livelli di approfondimento:

- il Livello 1 si propone di suddividere il territorio in microzone a comportamento sismico omogeneo, tramite una raccolta ed una elaborazione a livello qualitativo di dati preesistenti. Esso rappresenta un livello propedeutico ed obbligatorio per gli studi di MS di livello 2 e 3 ed ha come obiettivo la produzione di una Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS), a scala 1:5.000;

- il Livello 2 si propone invece di quantificare numericamente (con metodi semplificati) il comportamento sismico proprio di ogni zona omogenea individuata nel Livello 1, utilizzando, ove necessario, ulteriori e mirate indagini. Il risultato finale consiste nella produzione della Carta di Microzonazione Sismica (MS), a scala 1:5.000;
- il Livello 3 ha invece come obiettivo la restituzione di una Carta di Microzonazione Sismica (MS), a scala 1:5.000, con approfondimenti su tematiche o aree particolari, per le quali non siano ritenute sufficienti le elaborazioni prodotte nei livelli 1 e 2.

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

Le finalità dello studio sono:

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

1.2. Riferimenti tecnici e normativi

I servizi sono stati svolti in conformità alle disposizioni tecniche vigenti ed ai seguenti riferimenti tecnici e normativi:

- Decreto del Dirigente generale del DRPC Sicilia 11 marzo 2022, n. 64. Aggiornamento della classificazione sismica del territorio regionale della Sicilia.
- O.P.C.M. n. 3519 del 28 aprile 2006. Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone.
- D.M. Infrastrutture e Trasporti del 14 gennaio 2008 – Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.
- D.M. Infrastrutture e Trasporti del 17 gennaio 2018 - Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni;
- Circolare Esplicativa del Ministero delle Infrastrutture e Trasporti n. 617 del 02 febbraio 2009 alle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.
- D.L. n. 39 del 28 aprile 2009, convertito in Legge n. 77 del 24 giugno 2009 – Interventi urgenti di Protezione Civile in materia di prevenzione del rischio sismico.
- O.P.C.M. n. 3907 del 13 Novembre 2010 – Attuazione dell'articolo 11 del Decreto legge 28 aprile 2009 n. 39, convertito con modificazioni, dalla legge 24 giugno 2009, n. 77
- L. R. 11 agosto 2011, n. 28 - Norme per la riduzione del rischio sismico e modalità di vigilanza e controllo su opere e costruzioni in zone sismiche.
- *Gruppo di lavoro MS, 2008*. Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome–Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 vol. e Dvd. Disponibili nel sito web del Dipartimento della Protezione Civile, area “Rischio Sismico”.
- *Contributi per l'aggiornamento degli Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica*. Ingegneria Sismica, Anno XXVIII, n. 2, 2011.
- *Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2017*. Standard di rappresentazione e archiviazione informatica degli studi di MS. Versione 4.1. Roma, ottobre 2017.

- *Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2020.* Standard di rappresentazione e archiviazione informatica degli studi di MS. Versione 4.1_Sicilia. Roma, dicembre 2020.
- *Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2015.* Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC). Versione 1.0. Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome – Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile, Roma.
- *Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2017.* Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da fenomeni di Liquefazione (LQ). Versione 1.0. Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome – Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile, Roma.
- *Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2017.* Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante sismoindotte (FR). Versione 1.0. Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome – Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile, Roma.
- *Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2014.* Linee guida per l’elaborazione della carta e delle sezioni geologico tecniche per la microzonazione sismica (CGT_MS). Dipartimento della Protezione Civile, Roma.
- Significato e contenuto degli studi di MS di livello 2 e 3.
- Software per l’archiviazione delle indagini per la MS (SoftMS versione 4.1.1).
- Documentazione tratta dall’attività della Commissione Tecnica Nazionale.
- Documentazione e riferimenti sul dissesto idrogeologico in Sicilia: PAI e suoi aggiornamenti, Progetti di Difesa del suolo.

1.3. Descrizione generale dell’area comunale

La presente relazione illustrativa è stata redatta per il territorio comunale di San Vito Lo Capo, appartenente alla Città Metropolitana di Trapani (fig. 1).

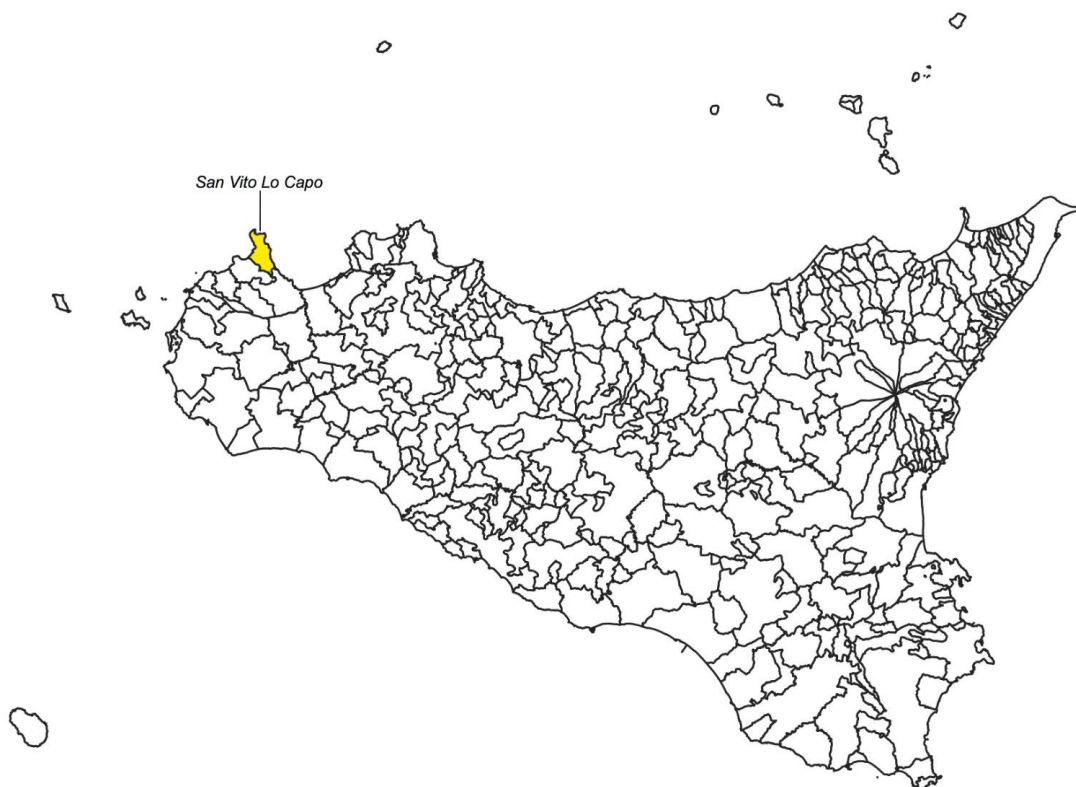


Fig. 1. Individuazione geografica dell’area.

Il territorio comunale di San Vito Lo Capo si estende sulla costa nord - occidentale della Sicilia, dal promontorio di Capo San Vito al centro abitato di Castelluzzo (ad est) alla riserva dello Zingaro (ad ovest), fig. 2.

La zona è caratterizzata da terreni carbonatici e clastico-terrigeni appartenenti a varie unità litostratigrafiche e tettoniche.

Dal punto di vista idrografico il territorio comunale San Vito Lo Capo, è suddiviso nelle due aree territoriali del bacino del Fiume San Bartolomeo e Punta di Solanto e tra Punta di Solanto e il bacino del Torrente Forgia

Dal punto di vista morfologico l'area è caratterizzata da un evidente contrasto tra le forme articolate della dorsale di Monte Monaco - Pizzo di Sella, con evidenti rotture di pendenza, scarpate subverticali e nicchie di distacco, e la zona tabulare su cui sorgono l'abitato di San Vito, le frazioni di Macari e Castelluzzo caratterizzate dalla presenza di estese superfici terrazzate e di consistenti coltri detritiche (Macari).



Fig. 2. Corografia dell'area.

1.4. Definizione dei documenti di base utilizzati nello studio

La microzonazione sismica (MS) è uno strumento di supporto per la governance del territorio nonché per la progettazione e la pianificazione delle emergenze di protezione civile. Pertanto, scopo della MS è individuare ad una scala sufficientemente grande (scala comunale) le condizioni locali che possono indurre a sensibili modifiche del moto sismico atteso e/o a deformazioni permanenti sul territorio, sulle costruzioni e alle infrastrutture. La qualità dello studio di MS è funzione del livello di approfondimento degli studi condotti nell'area oggetto di studio ed è fortemente condizionato dai budget messi a disposizione di chi redige lo studio.

Visto il forte impatto che la MS ha sulla pianificazione territoriale si è ritenuto opportuno dare priorità al censimento degli studi geologici prodotti a supporto dei Piani Regolatori Generali Comunali al fine di analizzare lo stato conoscitivo in termini di modelli geologici, geotecnici, geomorfologici (dissesti e alluvioni) e sismicità su cui si è pianificato lo sviluppo urbano del territorio. Solo nel caso in cui non è stato possibile acquisire la documentazione geologica a supporto del P.R.G. si è proceduto al recupero di informazioni provenienti da altri studi geologici realizzati in occorrenza di lavori pubblici. Si è inoltre ritenuto opportuno censire ed acquisire i dati relativi ai dissesti geomorfologici prodotti dal P.A.I. al fine di avere un quadro completo dello stato

conoscitivo dei due strumenti di pianificazione (P.R.G. e P.A.I.) che hanno maggior impatto sulla governance del territorio.

La tabella 1 riassume il materiale cartografico utilizzato come base per lo studio.

Copertura topografica	Carta Tecnica Regionale scala 1:10.000 – Sezioni n. 593010, n. 593020, n. 593050 e n. 593060
	Foglio IGMI 1:50.000 n. 593, “Castellamare del Golfo”
Cartografia geologica	Carta Geologica progetto CARG 1:50.000 n. 593, “Castellamare del Golfo”
	Carta Geologica TRAPANI scala 1:100.000 – Anselmo-Baldacci – ISPRA Firenze 1984
Ortofoto	Modello Strutturale d'Italia scala 1:500.000 AA.VV. 1990
	Ortofoto Regione Siciliana anno 2007 – 2008. Realizzazione ripresa aerea digitale pixel 0.25 m
DEM	Modello digitale del terreno passo 2 m derivato da dati LIDAR volo ATA 2007 – 2008
ISPRA	Progetto CARG – Catalogo delle formazioni italiane
	ITHACA (ITaly HAZards from CAPable faults) – Catalogo delle faglie attive e capaci
	Archivio nazionale delle indagini del sottosuolo (Legge 464/1984)
ARTA SICILIA	Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI) con aggiornamenti
	Siti di importanza comunitaria (SIC) presenti sul territorio della Regione Sicilia, aggiornati al 2011; zone di protezione speciale (ZPS)
INGV	Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI11)

Tab. 1. Materiale cartografico utilizzato come base per lo studio di MS di livello 1.

1.5. Aree da sottoporre agli studi di MS

La perimetrazione dell'area del Comune di San Vito Lo Capo, da sottoporre agli studi di MS di primo livello, è stata lasciata praticamente inalterata rispetto a quella stabilita in occasione dello studio di microzonazione sismica di livello 1, (redatto nel 2012 a supporto della Revisione Generale del PRG di S. Vito Lo Capo), e corrispondente al centro urbano principale e alle aree delle Località Macari e Castelluzzo, secondo lo schema seguente (Fig. 3).



Fig. 3. Comune di San Vito Lo Capo: delimitazione delle aree sottoposte a microzonazione sismica di livello 1.

2. Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento

2.1. Sismicità storica dell'area di studio

La storia sismica di un sito costituisce elenco cronologico degli effetti causati dai terremoti vicini e lontani espressi in intensità macrosismica, e rappresenta la base essenziale per considerare i possibili impatti del terremoto con il territorio nel tempo.

Attraverso la ricostruzione della storia sismica, pertanto, si può riuscire a valutare la pericolosità al sito mediante l'utilizzo di metodi analitici di recente sviluppo (Magri et al., 1994).

Per la ricostruzione storica degli eventi sismici che hanno caratterizzato il territorio comunale di San Vito Lo capo è stato utilizzato il Database Macrosismico Italiano (DBMI15, Locati et alii, 2022) e il Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15 v3.0), dove è possibile consultare i terremoti avvenuti tra l'anno 1000 e il 2019 (Rovida et al., 2020, 2021). Dal DBMI15, attraverso la consultazione per località, sono stati estrapolati gli eventi sismici più significativi (magnitudo ≥ 3) che hanno interessato il territorio del comune di San Vito Lo Capo e ne hanno quindi caratterizzato la storia sismica nel periodo compreso fra il 1000 ed il 2019. Nello specifico, il comune di San Vito Lo Capo appare 9 volte nel Database sopra citato con intensità registrata superiore o uguale a 3. Tali eventi sono riportati nella seguente tabella (tab. 2), con relativo diagramma di intensità (fig. 4). Nella tabella 1 sono stati elencati i vari eventi registrati, con indicati, oltre all'intensità in scala MCS al sito in esame (Int.), la data (anno, mese, giorno, ora, minuto) e l'area epicentrale in cui si è verificato l'evento, i dati di intensità macrosismica (NMDP), l'intensità massima epicentrale in scala MCS (Io) e la magnitudo momento (Mw).

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
2-3	1901	12	13	00	10	2	Calabria	46	5	4.81
6	1968	01	15	02	01	0	Valle del Belice	162	10	6.41
4-5	1979	01	20	13	49	5	Tirreno meridionale	9		4.87
4	1995	05	29	06	52	2	Isole Egadi	45	5	4.78
3-4	1998	01	17	12	32	4	Golfo di Castellammare	21		4.83
4	1998	06	21	09	00	4	Tirreno meridionale	4		4.63
3	1999	12	30	18	34	3	Tirreno meridionale	29		4.83
4-5	2002	09	06	01	21	2	Tirreno meridionale	132	6	5.92
NF	2004	05	05	13	39	4	Isole Eolie	641		5.42

Tab. 2. Storia sismica di San Vito Lo Capo estratta dal Database Macrosismico Italiano (DBMI15, Locati et al., 2022).

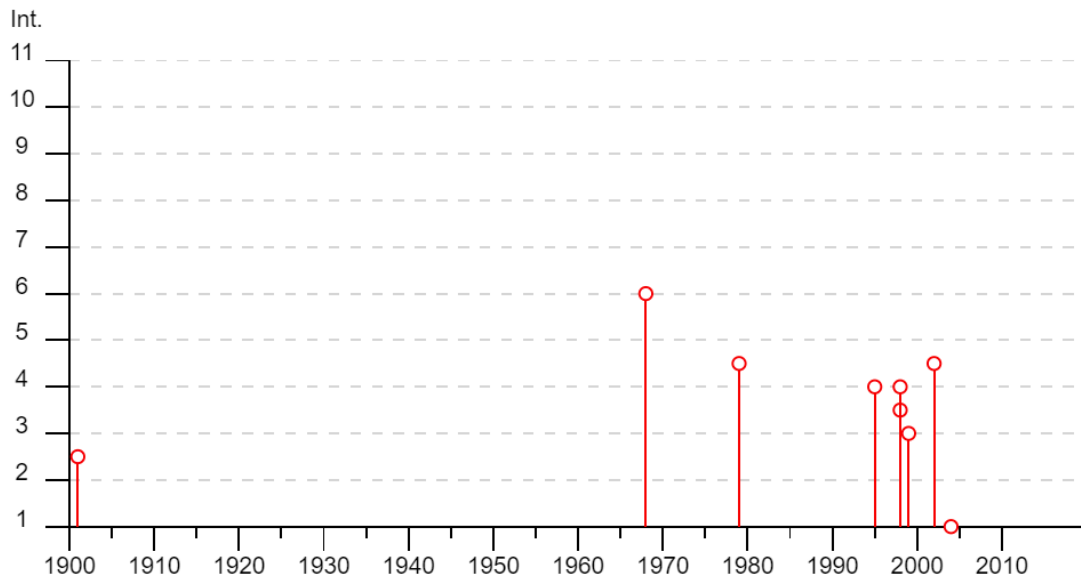


Fig. 4. Grafico tempo/intensità per la storia sismica di Mandanici relativa alla finestra temporale 1000-2019 (DBMI15, Locati *et al.*, 2022).

Dei terremoti che hanno colpito la Sicilia Nord–Occidentale prima del 1600, non si hanno informazioni sufficienti per ricostruire in maniera accurata gli effetti macrosismici e ciò è causa di incompletezza della mappa delle massime intensità. Di conseguenza le informazioni derivanti dal CPTI15 v3.0 e dal DBMI15 v3.0, sono state integrate con quelle derivanti dall'Archivio Storico Macrosismico Italiano (ASMI; Rovida *et al.*, 2017) e con il Catalogo dei Forti Terremoti in Italia (461 a.C.-1997) e nell'area Mediterranea (760 a.C.-1500) (CFTI5Med; Guidoboni *et al.*, 2018).

Vengono quindi di seguito descritti i principali terremoti storici che a partire dal IV secolo a.C. hanno avuto effetti macrosismici significativi nella Sicilia Occidentale e quelli che, a partire dal 1900 hanno fatto registrare effetti significativi nel Comune di San Vito Lo Capo.

Terremoto del IV-III secolo a.C., lat=37.584°, lon=12.825°, I₀= 7.5, I_{max}=7.5, Area: Selinunte

Sulla base di dati archeologici, è stato ipotizzato che, tra il IV e il III secolo a.C., un forte terremoto abbia colpito l'area dell'antica colonia greca di "Selinus", che sorgeva nell'odierno sito archeologico di Selinunte, situato nella Sicilia sud-occidentale, nel comune di Castelvetrano (provincia di Trapani).

Questo evento non causò l'abbandono totale dei siti interessati. I templi per i quali sono stati individuati dei crolli attribuibili a questo evento sismico sono i seguenti: il tempio A (situato sull'acropoli), con la caduta del colonnato coperto che circondava a sud e a est il tempio; il "témenos" di Zeus Meilichios (situato sulla collina della Gaggera), dove si riscontra un crollo di epoca post-punica – in entrambi i casi si tratta di un collasso parziale di strutture templari; il tempio E (situato sulla collina orientale) dove si individua un crollo parziale dell'alzato sopra i resti di un insediamento punico; l'"Heraion" di Triolo Nord (situato a sudest della collina della Gaggera), dove si rileva un crollo totale del piccolo edificio templare intorno alla metà del IV secolo a.C., seguito dall'immediata ripresa della frequentazione culturale sulle rovine del crollo; il tempio M (situato a nord-ovest della collina della Gaggera), dove si notano lesioni strutturali.

<http://storing.ingv.it/cfti/cfti5/quake.php?42852IT>

Terremoto del VIII-XII secolo d.C., lat=37.584°, lon=12.825°, I₀= 8.5, I_{max}=8.5, Area: Selinunte

Sulla base di dati archeologici, è stato ipotizzato che, in un periodo non precisabile, probabilmente compreso fra l'VIII e il XII secolo d.C., un forte terremoto abbia colpito l'area dell'antica colonia

greca di "Selinus", che sorgeva nell'odierno sito archeologico di Selinunte, situato nella Sicilia sud-occidentale, nel comune di Castelvetro (provincia di Trapani).

Questo terremoto, avvenuto in una fase di lungo abbandono e depreazione del sito, ebbe un effetto devastante: furono rovesciati in direzione nord ed est templi di dimensioni, alzata e volume considerevole, e fu quasi accartocciato su se stesso il grande tempio G, dalle spettacolari dimensioni.

I templi per i quali sono stati individuati dei crolli attribuibili a questo evento sismico sono i seguenti: i templi C e D, i templi A e O, in particolare il lato nord del tempio A (situati presso la fortezza bizantina) – questi quattro templi si trovano sull'acropoli – il tempio G sulla collina orientale, il tempio M situato sulla collina della Gaggera; possibili evidenze di difficile valutazione provengono anche dal tempio di Demetra e dal "témenos" di Zeus Meilichios, entrambi sulla collina della Gaggera.

<http://storing.ingv.it/cfti/cfti5/quake.php?42853IT>

Terremoto del 01.09.1726, ore 21:55, lat=38.121°, lon=13.253°, I₀= 7.5, I_{max}=8.5, Me=5.6, Area: Palermo

Il terremoto (fig. 5) fu avvertito in larga parte della Sicilia nord-occidentale e causò danni molto gravi a Palermo. Furono colpiti in particolare i quartieri della città che erano sorti sui terreni alluvionali anticamente occupati dalle acque dei fiumi Papireto e Cannizzaro (o Maltempo) o recuperati all'espansione urbana dal progressivo colmamento di parte della Cala del porto. In questi settori dell'incasato la scossa fece crollare totalmente interi isolati e causò lesioni e crolli parziali nella quasi generalità degli edifici. Nella Conca d'Oro, immediatamente oltre il perimetro delle mura palermitane, il terremoto causò lesioni nell'imponente complesso fortificato della Zisa e in sette arcate del ponte sul fiume Oreto (che scorre a oriente del centro storico). Lesioni, giudicate riparabili, furono rilevate in tutte le costruzioni esistenti nella campagna circostante la città.

Il terremoto causò danni di lieve entità a Trapani e fu avvertito fortemente in tutta la Sicilia occidentale da Sciacca a Mazara del Vallo, a Marsala e a Monreale; a est di Palermo il terremoto fu avvertito soltanto nelle campagne prossime alla capitale (Ciaculli).

<http://storing.ingv.it/cfti/cfti5/quake.php?01548IT>

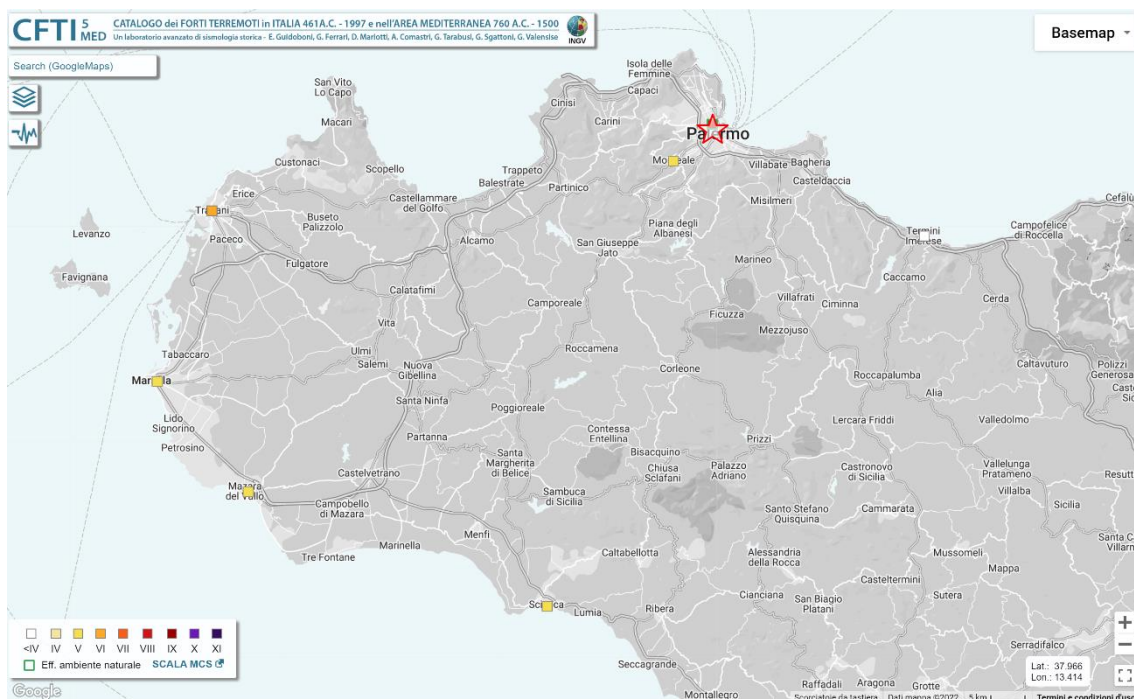


Fig. 5. Mappa delle intensità macrosismiche risentite a seguito dell'evento del 1726, estratta dal Catalogo dei Forti Terremoti in Italia (CFTI5Med, Guidoboni et al., 2019).

Terremoto del 15.01.1940, ore 13:19:24, lat=38.076°, lon=13.428°, I₀= 7.5, I_{max}=8, Me=5.3, Area: Golfo di Palermo

La scossa avvenne il 15 gennaio 1940 alle 13:19 GMT; colpì i centri della Sicilia nord-occidentale situati nell'entroterra del golfo di Palermo (fig. 6), causando danni nel capoluogo siciliano e nei comuni limitrofi, in particolare a Ficarazzi, Misilmeri e Villabate, localizzati a sud-sudest della città.

A Palermo quasi tutti gli edifici di vecchia costruzione furono lesionati più o meno gravemente; crollarono soffitti e pareti divisorie, alcuni muri e colonne si inclinarono, caddero le strutture accessorie più pesanti e sporgenti (balconi, cornicioni, camini, statue). Gli edifici più recenti, in particolare quelli in cemento armato, rimasero illesi tranne alcune fessure nei punti di minore resistenza come i vani di porte e finestre, i muri divisorii e i soffitti. Complessivamente, delle 130.000 unità immobiliari totali, il 10% subì danni gravi, che ne compromisero in parte la stabilità e il normale utilizzo e resero necessarie opere di restauro radicali; il 45% subì danni leggeri; il rimanente 45% rimase illeso.

I danni più gravi avvennero nella parte vecchia della città, in particolare nei quartieri fondati sul greto e sul letto colmato dei torrenti Cannizzaro e Papireto. In questa zona tutti gli edifici furono danneggiati, eccettuati quelli più recenti costruiti nelle aree interessate dal risanamento del centro storico avviato nel 1894. Nel rione Albergheria, nel rione Capo, in piazza Cassa di Risparmio, in piazza Marina, in corso Vittorio Emanuele, nelle vie Isnello, Paternostro, Garibaldi, Alloro, Maqueda vi furono gravi lesioni e crolli parziali; alcuni edifici dovettero essere puntellati per pericolo di crollo e varie abitazioni furono fatte sgomberare. Nella piazzetta Brunaccini crollò parte di un fabbricato; alcuni muri pericolanti furono demoliti in via Bara all'Olivella; numerosi sgomberi di abitazioni vi furono in piazza Cattolica.

Danni notevoli furono riscontrati anche in alcune zone della parte nuova di Palermo. A nord del centro storico, gravi danni subirono gli edifici edificati sopra o nei pressi delle antiche cave di pietra in galleria, estese per vari chilometri dal monte Pellegrino fino alla via Notarbartolo; a sud del centro storico, in via S.Maria di Gesù alcune abitazioni riportarono gravi lesioni o crollarono parzialmente.

Danni di rilievo furono segnalati anche in vari edifici monumentali e pubblici. Nella chiesa di S.Anna crollò il grande gruppo decorativo alto circa 4 m, sovrastante la facciata barocca; la chiesa parrocchiale di S.Nicolò di Tolentino subì gravi danni nell'interno; crollò il vecchio campanile della chiesa di San Michele Arcangelo; furono riscontrate lesioni nella cupola della chiesa di S.Giuseppe ai Quattro Canti, che venne chiusa; furono lesionati gli archi che collegano la cattedrale al palazzo arcivescovile. Nell'ospedale di S.Saverio dovettero essere demolite alcune murature pericolanti; subirono gravi lesioni alcuni locali dell'Università; nell'ala destra dell'edificio della Biblioteca Nazionale si aprì una lesione lungo tutta la facciata su corso Vittorio Emanuele; la sede della Biblioteca Comunale e alcune scuole medie furono chiuse in attesa della riparazione dei danni subiti.

Nei comuni di Ficarazzi, Misilmeri e Villabate quasi tutti gli edifici furono danneggiati, soprattutto negli interni: a Ficarazzi su 1.800 edifici, 150 (8%) furono ritenuti inagibili e 500 (28%) risultarono danneggiati in modo grave; a Misilmeri su 4.000 edifici, ne furono danneggiati seriamente 800 (20%), 100 dei quali furono dichiarati inabitabili (12%); a Villabate su 1.200 unità immobiliari, 262 (22%) risultarono inabitabili. Effetti analoghi furono riscontrati nei comuni di Bolognetta e Piana degli Albanesi (all'epoca Piana dei Greci) e nelle borgate di Acqua dei Corsari e di Ficarazzelli.

Danni più leggeri avvennero in una quindicina di altre località, fra le quali Monreale, il cui celebre Duomo normanno subì lievi lesioni nelle pareti esterne e, nell'interno, lo spostamento di alcune travi della navata sinistra e il distacco di alcune tessere della decorazione musiva; leggeri danni subirono anche alcune colonnine e il fonte battesimale.

La scossa fu avvertita in tutta la Sicilia nord-occidentale e, molto leggermente, anche ad Agrigento e a Messina; non fu sentita a Caltanissetta, Enna e Catania.

Nei giorni seguenti vi furono numerose repliche leggere, che si protrassero fino alla fine di gennaio 1940. Una nuova forte scossa avvenne il 27 febbraio 1940, alle ore 13:45 GMT; causò grande panico nella popolazione a Bagheria, Misilmeri, Villabate e Ficarazzi; in quest'ultimo paese le case già danneggiate subirono un aggravamento delle lesioni.

<http://storing.ingv.it/cfti/cfti5/quake.php?31722IT>

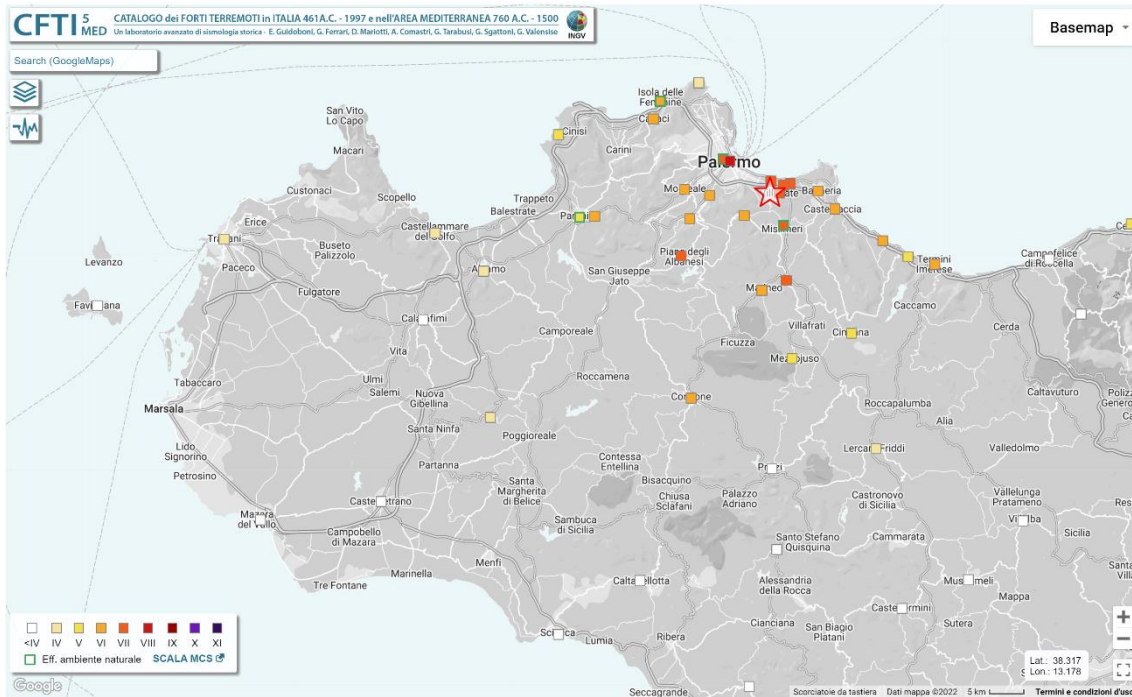


Fig. 6. Mappa delle intensità macrosismiche risentite a seguito dell'evento del 1940, estratta dal Catalogo dei Forti Terremoti in Italia (CFTI5Med, Guidoboni et al., 2019).

Terremoto del 15.01.1968, ore 01:33:02, lat=37.760°, lon=13.001°, $I_0=8$, $I_{max}=8$, $M_e=5.3$, ore 02:01:09, lat=37.760°, lon=12.987°, $I_0=10$, $I_{max}=10$, $M_e=6.5$, Area: Valle del Belice

Quasi tutta la zona altimetrica di collina della Sicilia occidentale - 6.200 kmq secondo la classificazione ISTAT - fu interessata dal terremoto (fig. 7). L'area dei massimi effetti delle scosse più intense si localizzò nel medio e basso bacino del fiume Belice e comprese 14 centri abitati, per una superficie di 1.100 kmq e una popolazione residente - al 31 gennaio 1967 - di 96.951 abitanti. La successione ravvicinata di numerose scosse di portata distruttiva rende quasi impossibile la valutazione degli effetti dei singoli eventi, difficoltà accentuata dall'assenza di una indagine macrosismica, precedente la rovinosa replica del 25 gennaio (1). Le osservazioni scientifiche condotte nelle località interessate dal terremoto e i dati ufficiali comunicati dall'"Ispettorato generale per le zone colpite dai terremoti del gennaio 1968" evidenziano che il quadro delle distruzioni rappresentò la somma degli effetti di varie scosse distruttive. A Gibellina e Salaparuta (2), le scosse che precedettero quella principale produssero lesioni e compromisero la stabilità degli edifici, la cui completa distruzione avvenne in seguito al succedersi delle scosse del pomeriggio del 14 gennaio, e soprattutto di quelle delle prime ore del 15. Diverso il quadro relativo a Montevago, dove le scosse del 14 gennaio ebbero intensità minore, tale da non spingere la popolazione ad abbandonare il centro abitato e quindi maggiore fu il numero dei morti.

La scossa delle ore 1:33 GMT del 15 gennaio causò il crollo di alcuni edifici a Poggioreale, Gibellina, Salaparuta, Montevago, Santa Margherita di Belice; fu avvertita in tutta la Sicilia occidentale e centrale e anche nell'isola di Pantelleria.

La scossa delle ore 2:01 GMT e le frequentissime, violente repliche successive, oltre alla quasi totale distruzione delle località di Gibellina, Montevago e Salaparuta, causarono danni, dissesti e

crolli nelle costruzioni rurali e negli edifici di Alcamo, Campobello di Mazara, Campofiorito, Castelvetro, Contessa Entellina, Corleone, Menfi, Partanna, Poggioreale, Salemi, Sambuca di Sicilia, San Giuseppe Jato, Santa Margherita di Belice, Santa Ninfa e Vita. Interruzioni delle linee ferroviarie furono rilevate tra Castelvetro e Alcamo, e tra Castelvetro e Salaparuta, dove al km 29 crollò parzialmente una galleria (3). All'epoca del terremoto, le regioni colpite non figuravano, sulla scorta dei parametri di regionalizzazione sismica allora adottati, tra quelle a elevato rischio sismico.

Secondo i dati ufficiali resi noti dalla stampa nazionale, il periodo sismico causò la distruzione completa di 2.960 case rurali con la perdita di 1.156 tonnellate di sementi, mangimi e foraggi. Nell'area epicentrale e in vaste zone della Sicilia occidentale fu distrutto il 90% dei fabbricati rurali; analoga percentuale di distruzione riguardò i fabbricati sociali, mentre fu distrutto l'85% delle strutture fondiarie (4). Nella campagna palermitana crollarono, secondo le stime fornite dalla Prefettura, 400 case coloniche; in conseguenza di ciò l'economia agricola fu travagliata da una grave crisi (5). Altrettanto accadde nella provincia di Trapani (6).

Nel Comune di San Vito lo Capo le scosse succedutesi nel corso del periodo sismico lesionarono lievemente lo 0,18% delle unità immobiliari su di un totale di 1725 (1, 2).

1) Cosentino P. e Mulone A., The Belice earthquake of January 15, 1968, in "Atlas of Isoseismal Maps of Italian Earthquakes", a cura di D.Postpischl, CNR-PFG, Quaderni de «La Ricerca Scientifica», n.114, vol.2A, pp.150-151. Roma

2) De Panfilis M. e Marcelli L., Il periodo sismico della Sicilia occidentale iniziato il 14 Gennaio 1968, in "Annali di Geofisica", vol.21 (1968), pp.343-422. Roma PDF_T PDF_R

3) *, Corriere della Sera, 1968.01.16, a.93, n.13. Milano

4) *, La Stampa, 1968.01.19. Torino PDF_T

5) *, Corriere della Sera, 1968.01.31, a.93, n.26. Milano

6) *, Corriere della Sera, 1968.01.30, a.93, n.25. Milano.

<http://storing.ingv.it/cfti/cfti5/quake.php?35804IT>

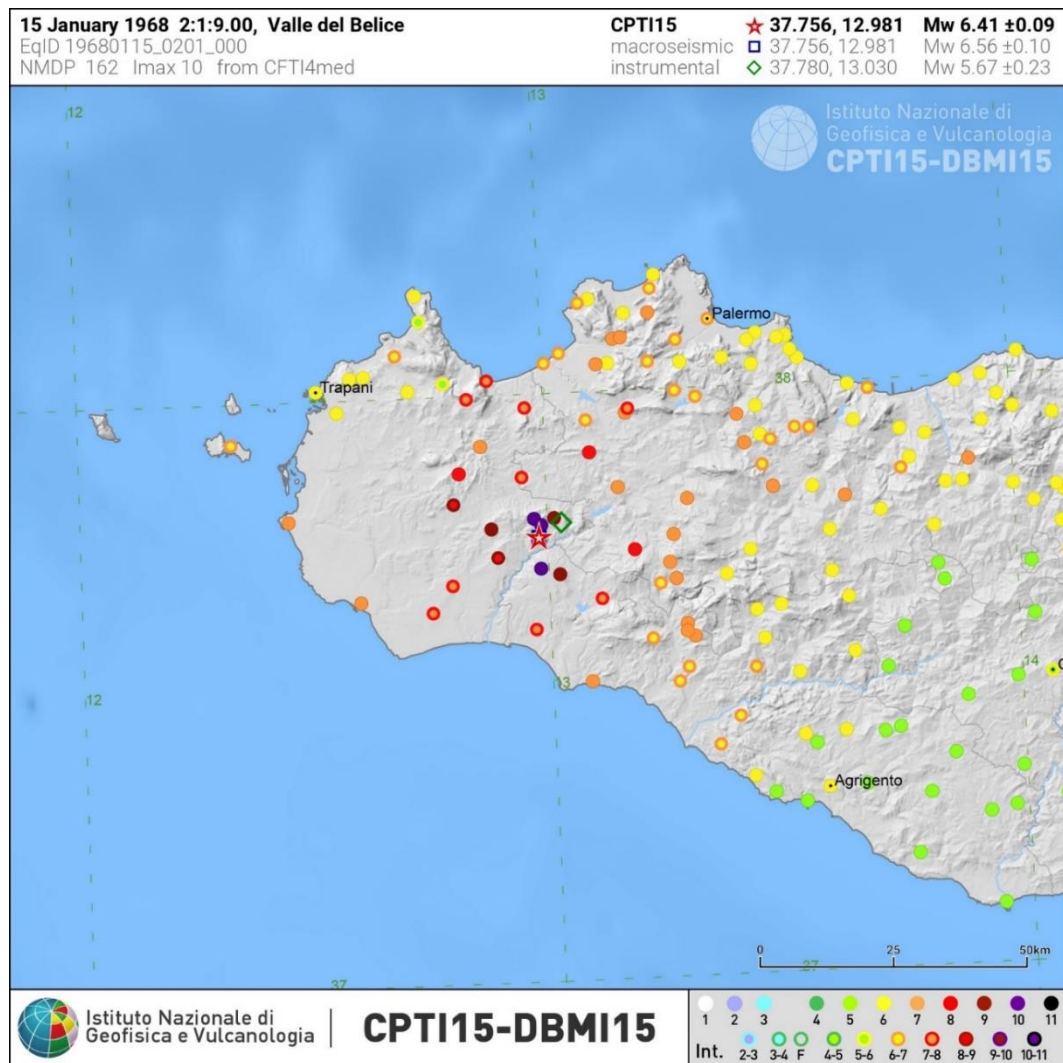


Fig. 7. Mappa delle intensità macrosismiche risentite a seguito dell'evento del 1968, estratta dal Catalogo dei Forti Terremoti in Italia (CFTI5Med, Guidoboni et al., 2019).

Terremoto del 20.01.1979, ore 13:49:58, lat=38.684°, lon=12.843°, I_{max}=5, Mw=4.87, Area: Tirreno Meridionale

L'unica fonte citata da Postpischl (1985) per questo terremoto è il Bollettino mensile dell'Istituto Nazionale di Geofisica (ING, 1979), che però fornisce dati solo di tipo strumentale, senza notizie macrosismiche (fig. 8).

Poiché la bibliografia sismologica su questo terremoto è scarsa e non fornisce informazioni sugli effetti, il recupero di eventuali notizie di stampa tramite lo spoglio di fonti giornalistiche diventa basilare. Dai dati del catalogo l'epicentro risulta ricadere nel Tirreno Meridionale, fra l'isola di Ustica e Capo San Vito, nella Sicilia nord-occidentale; pertanto è stato in primo luogo consultato il Giornale di Sicilia di Palermo, la cui area di interesse copre la zona dove la scossa può avere dato dei risentimenti macrosismici. Sono stati visti, inoltre, Gazzetta del Sud di Messina e, nell'ambito della ricerca di informazioni su altri terremoti oggetto di questo studio, anche Il Messaggero di Roma, La Nazione di Firenze e il Corriere della Sera. Solo il Giornale di Sicilia fornisce qualche informazione più precisa, mentre Gazzetta del Sud riporta solo un breve trafiletto; nessuna notizia invece compare nelle altre testate consultate.

La scossa fu avvertita ad Ustica e in una vasta zona costiera della Sicilia occidentale, da Cefalù a Trapani, inclusa Palermo, e fino a Marsala. Nei centri minori come San Vito lo Capo, Ustica e altre località costiere più vicine all'epicentro non ci fu particolare panico, mentre si registrò allarme tra le popolazioni di Palermo, Trapani e altre località come Alcamo, Castellammare del Golfo, Partinico e

Marsala. Le cronache mettono questo fatto in relazione con la maggiore presenza di edifici elevati nei grossi centri, dove la scossa fu particolarmente sensibile ai piani più alti, mentre nei piccoli centri con prevalenza di case basse il terremoto fece meno impressione. A Trapani e nella zona di Castellammare del Golfo ci fu comunque panico e molte persone si riversarono nelle strade. Non furono segnalati danni.

Nel comune di San Vito lo Capo la scossa è stata avvertita con una intensità macrosismica pari a 4-5.

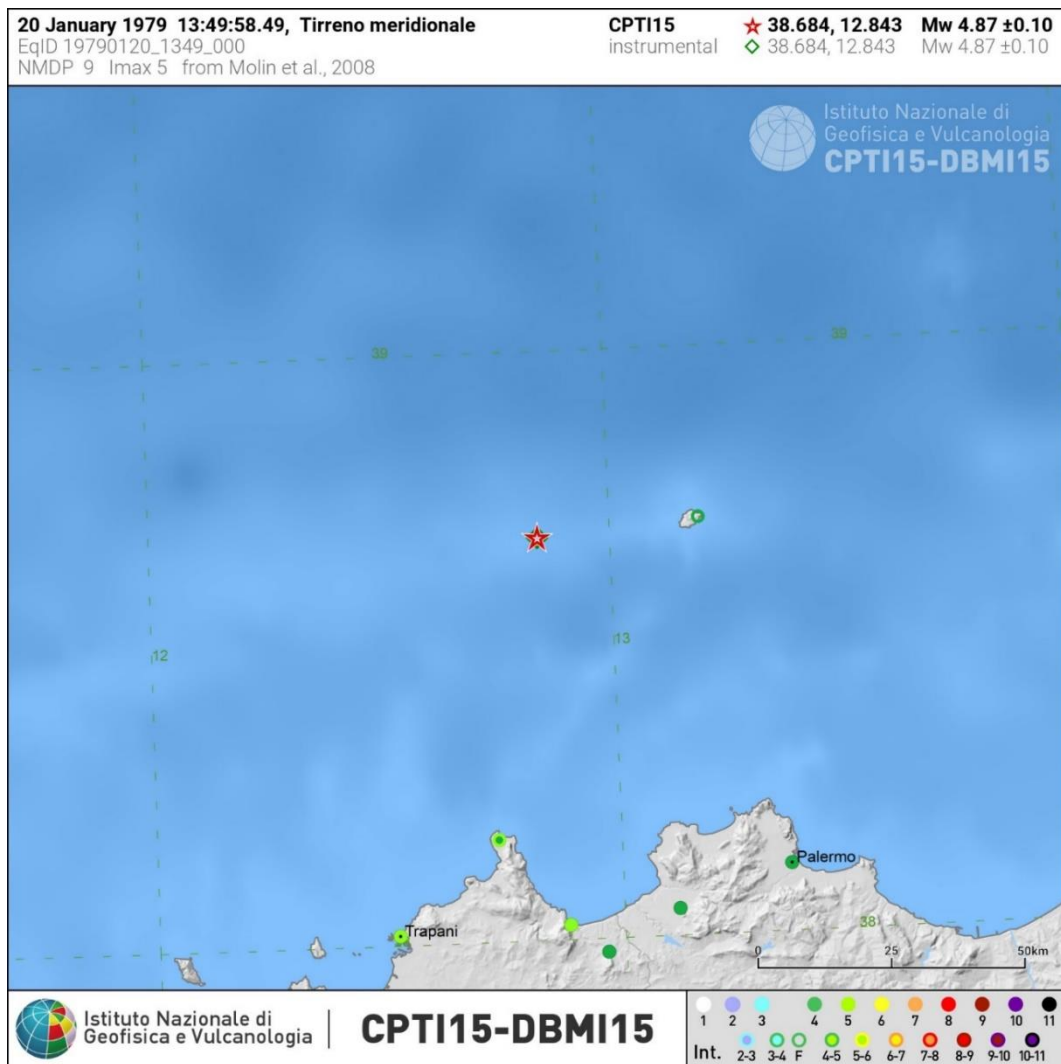


Fig. 8. Mappa delle intensità macrosismiche risentite a seguito dell'evento del 1979, estratta dal Catalogo CPTI15-DBMI15 (Guidoboni et al., 2019).

2.2. *Sismicità recente dell'area di studio*

Con riferimento al CPTI15 v3.0 (Rovida et al., 2020, 2021) ed al DBMI15 v3.0 (Locati et al., 2020), sono stati ricercati i terremoti avvenuti a partire dal 1990, con intensità massima maggiore o uguale a 3, i cui effetti sono stati registrati nel territorio di San Vito Lo Capo. Le informazioni sono state integrate con quelle derivanti dall'Archivio Storico Macrosismico Italiano (ASMI; Rovida et al., 2017) e con il Catalogo dei Forti Terremoti in Italia (461 a.C.-1997) e nell'area Mediterranea (760 a.C.-1500) (CFTI5Med; Guidoboni et al., 2018). Questi ultimi eventi vengono qui di seguito descritti:

Terremoto del 29.05.1995, ore 06:52:27, lat=38.133°, lon=12.145°, I_{max}=5, Mw=4.78, Area: Isole Egadi

Il terremoto, di magnitudo $M_l=3.9$, ha colpito l'estrema parte occidentale della Sicilia, raggiungendo gli effetti massimi nell'area di Trapani (fig. 9). L'evento, che costituisce la scossa principale di una sequenza sismica durata alcuni mesi, è stato localizzato a circa 10 Km a sud dell'isola di Marettimo ad una profondità di 5 Km.

La parte più occidentale della Sicilia è caratterizzata da terremoti poco frequenti e modesti rilasci energetici; risente tuttavia degli effetti dei terremoti che avvengono nel Belice e nel Tirreno meridionale. Eventi sismici riferibili all'area delle "Isole Egadi-Trapani" si sono precedentemente verificati nel 1259, 1726 e 1979, raggiungendo a Trapani intensità superiori ($I = VII-VIII$) rispetto a quella dell'evento del 1995.

Il terremoto ha causato i maggiori effetti in una fascia orientata circa E-O che comprende le isole Egadi, Trapani ed alcune località dell'entroterra. In quest'area sono stati rilevati fenomeni e tipologie di danno tipici del VI grado della scala EMS-98: è stato avvertito il boato e si sono avute cadute di suppellettili all'interno delle abitazioni; i danni agli edifici, complessivamente lievi (1° livello), hanno interessato le costruzioni in muratura (cl. B) dove si è avuta la formazione di piccole lesioni agli intonaci e la caduta di piccoli pezzi degli stessi.

Il capoluogo, a causa del cattivo stato di conservazione del patrimonio edilizio del centro storico, sembra aver subito maggiormente gli effetti della scossa che ha provocato negli edifici in muratura più vecchi anche alcuni crolli di cornicioni (2° livello). Danni molto lievi si sono avuti, in bassa percentuale, negli edifici in calcestruzzo armato (cl. C). Il terremoto è stato avvertito in quasi tutta la Sicilia occidentale.

Alcune repliche di bassa intensità ($I = III-IV$) sono state avvertite nella zona di Trapani nei giorni seguenti la scossa principale (Azzaro R., 1995).

Nel comune di San Vito lo Capo la scossa è stata avvertita con una intensità macrosismica pari a 4.

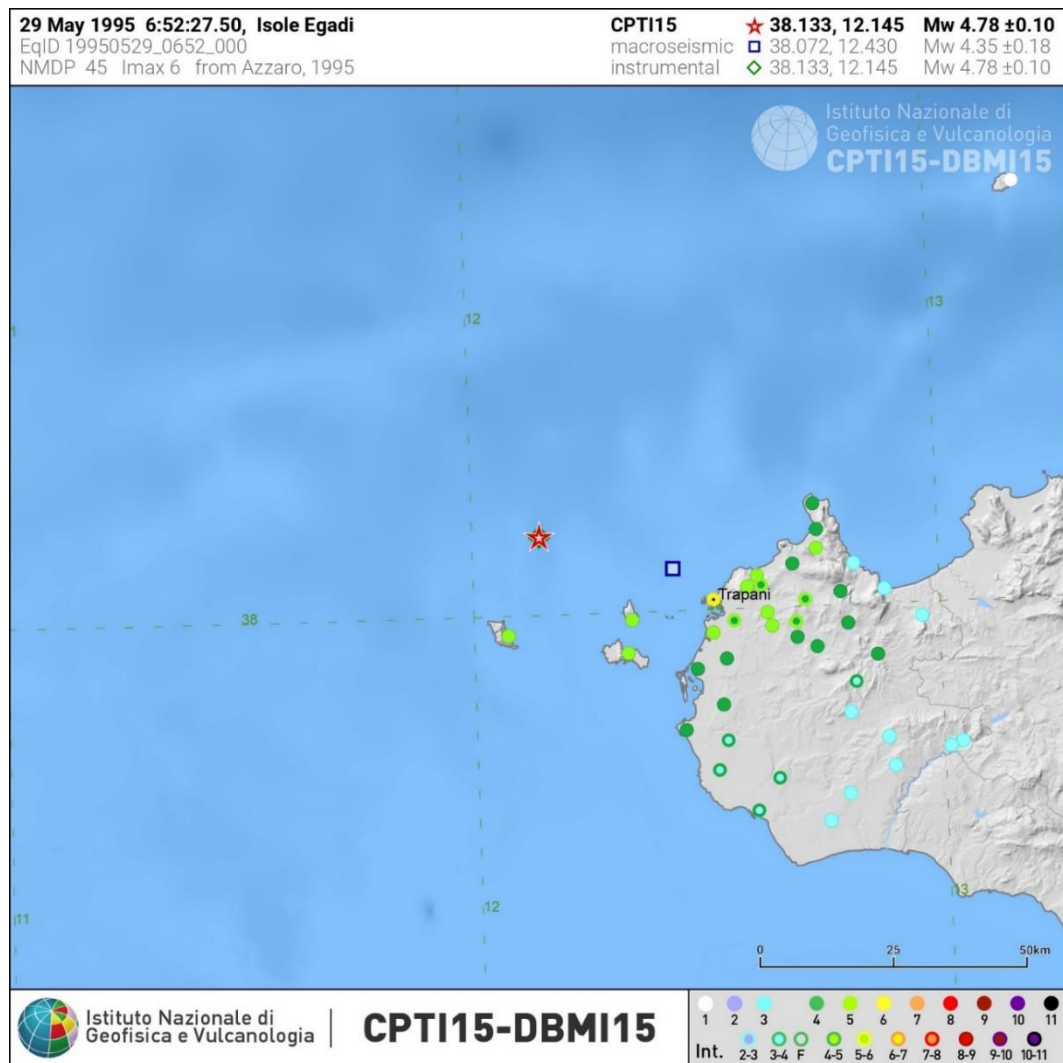


Fig. 9. Mappa delle intensità macrosismiche risentite a seguito dell'evento del 1985, estratta dal Catalogo CPTI15-DBMI15 (Guidoboni et al., 2019).

Terremoto del 06.09.2002, ore 01:21:27, lat=38.364°, lon=13.687°, I₀= 6, I_{max}=6, Mw=5.92, Area: Tirreno Meridionale

Il terremoto, di magnitudo Mw = 5.92, ha colpito il settore occidentale della costa tirrenica siciliana provocando effetti di danno nell'area di Palermo (fig. 10). La scossa, localizzata nel basso Tirreno 45 Km a nord-est da Palermo ad una profondità stimata di 9.6 km, costituisce l'evento più energetico di una sequenza sismica che ha interessato tale area con circa 580 scosse registrate nell'arco di un mese, di cui 7 eventi, oltre il mainshock, hanno avuto magnitudo MI > 4.0.

La distribuzione spaziale delle repliche individua una struttura sismogenetica ad andamento NE-SO, della lunghezza complessiva di circa 20 km; il meccanismo di rottura dell'evento principale è di tipo compressivo, coerentemente ad altri eventi di magnitudo comparabile localizzati nell'ultimo ventennio nel basso Tirreno, tra le isole Eolie ed Ustica.

Il terremoto, sebbene sia di magnitudo moderata e localizzato in mare ad alcune decine di chilometri dalla costa, ha provocato effetti macrosismici anche di rilievo in alcuni contesti specifici. Ciò è dipeso dall'elevato grado di vulnerabilità in cui si trova buona parte dell'edificato di quest'area, sia per problemi derivanti dalla vetustà delle costruzioni – è questo in particolare il caso del centro storico di Palermo – che per particolari condizioni sfavorevoli legate ad effetti di sito (in alcuni quartieri del capoluogo stesso e nel comune di Ficarazzi).

Il danneggiamento interessa una fascia estesa circa 80 km sulla costa e nell'immediato entroterra, comprendente 23 comuni. Le località interessate sono state, oltre Palermo che ha subito i maggiori

danneggiamenti, le seguenti: Misilmeri, Altavilla Milicia, Altofonte, Bagheria, Baucina, Bolognetta, Capaci, Carini, Casteldaccia, Cefalà Diana, Cefalù, Corleone, Filicudi, Finale, Monreale, Montelepre, Partinico, Pollina, San Giuseppe Jato, Santa Flavia, Termini Imerese, Trabia e Villabate. Gli effetti di danno generalmente osservati sono piccole lesioni alle murature ed ai tramezzi, soprattutto ai piani bassi, e caduta di calcinacci. Solo in situazioni occasionali, per problemi preesistenti, si sono registrati danni significativi di tipo strutturale. Nel comune di San Vito lo Capo la scossa è stata avvertita con una intensità macrosismica pari a 4-5.

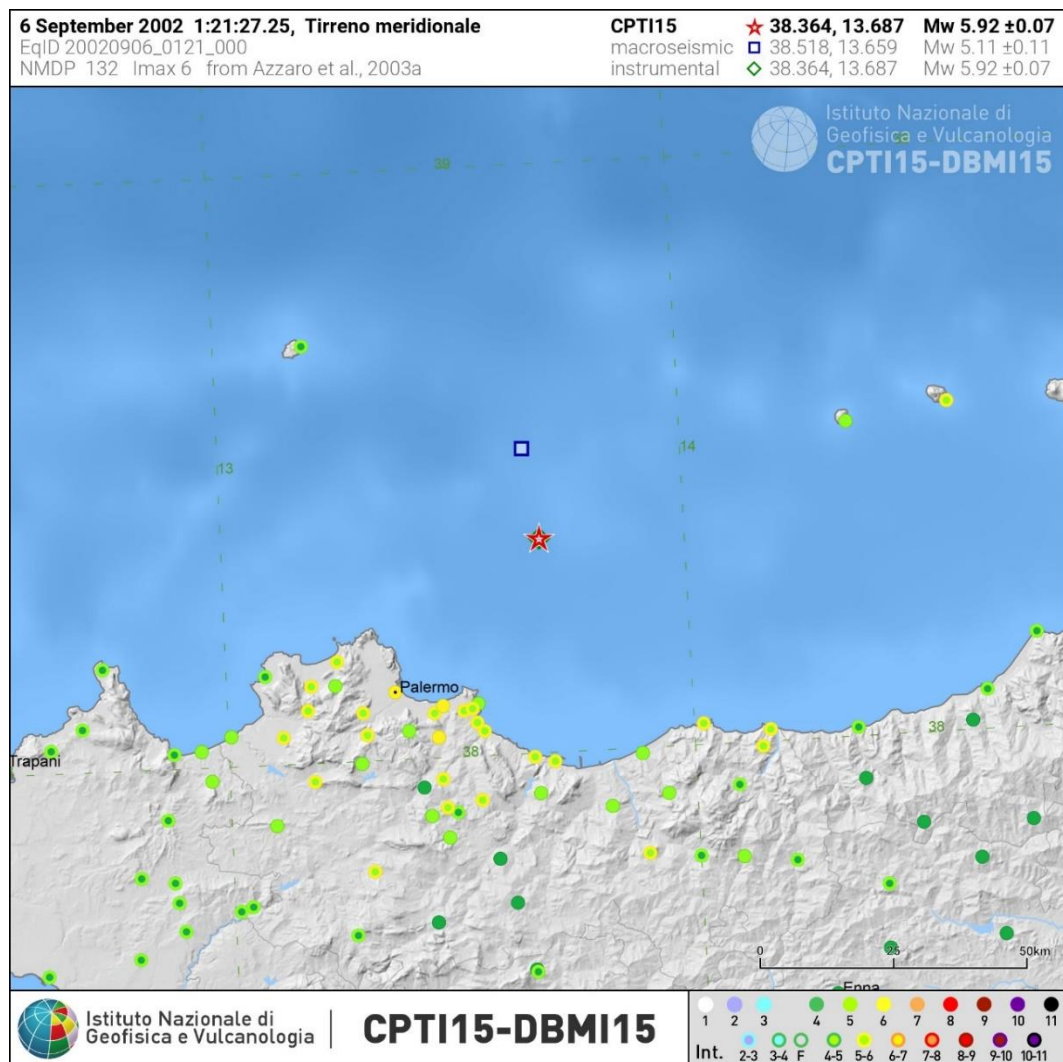


Fig. 10. Mappa delle intensità macrosismiche risentite a seguito dell'evento del 2002, estratta dal Catalogo CPTI15-DBMI15 (Guidoboni et al., 2019).

2.3. Pericolosità sismica di base

Per ridurre gli effetti dello scuotimento sismico atteso sul territorio nazionale, in ottica di salvaguardia della vita umana, la legislazione italiana ha effettuato una riclassificazione del territorio stesso, sulla base sia dell'intensità e della frequenza dei terremoti del passato, sia sull'applicazione di norme tecniche per le costruzioni nelle zone classificate sismiche.

Per quanto riguarda la storia della normativa sismica italiana, fino al 2003 l'intero territorio nazionale era classificato in tre categorie sismiche di base a diverso grado di severità, arrivando a classificare complessivamente il 45% della superficie del territorio italiano, nel quale risiede circa il 40% della popolazione.

Con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/03/2003 (pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 105 dell'08 Maggio 2003), sono stati emanati criteri di nuova classificazione sismica, basati su studi ed elaborazioni più dettagliate, ed in particolare sull'analisi della probabilità che un determinato territorio venga interessato, in un certo intervallo di tempo pari a 50 anni, da un evento sismico che superi una determinata soglia di intensità e/o magnitudo.

Attraverso tale provvedimento, le Regioni, per delega statale (D.Lgs. 112/1998 e D.P.R. n. 380/2001 denominato "Testo Unico delle Norme per l'Edilizia"), hanno classificato i comuni attribuendo ad ognuno una delle quattro zone, a pericolosità decrescente, nelle quali l'intero territorio nazionale è stato riclassificato, e che sono (fig. 11):

- **Zona 1:** è la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti;
- **Zona 2:** nei comuni inseriti in questa zona possono verificarsi terremoti abbastanza forti;
- **Zona 3:** i comuni inseriti in questa zona possono essere soggetti a scuotimenti modesti;
- **Zona 4:** è quella la meno pericolosa in cui le possibilità di danni sismici sono basse.

Di fatto, rispetto alla precedente normativa, sparisce il territorio "non classificato" che diviene Zona 4, nella quale è facoltà della Regione stessa prescrivere o meno l'obbligo della progettazione con criteri antisismici. A ciascuna zona è stato inoltre attribuito un valore dell'azione sismica utile in chiave di progettazione, valore espresso in termini di accelerazione massima su roccia:

- **Zona 1:** $a_g = 0.35g$
- **Zona 2:** $a_g = 0.25g$
- **Zona 3:** $a_g = 0.15g$
- **Zona 4:** $a_g = 0.05g$

Queste novità sono state ulteriormente modificate e affinate attraverso studi svolti da centri di competenza specifici, portando ad un aggiornamento dello studio di pericolosità, adottato con l'O.P.C.M. n. 3519/2006, attraverso il quale sono stati adottati non più dei valori singoli ma degli intervalli di accelerazione massima al suolo (a_g) con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (riferiti a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s30} > 800$ m/s), da attribuire alle sopracitate 4 zone sismiche:

- **Zona 1:** $0.25 < a_g \leq 0.35g$
- **Zona 2:** $0.15 < a_g \leq 0.25g$
- **Zona 3:** $0.05 < a_g \leq 0.15g$
- **Zona 4:** $a_g \leq 0.05g$

zona	accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni $[a_g]$	accelerazione orizzontale massima convenzionale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico $[a_g]$
1	$0,25 < a_g \leq 0,35g$	0,35g
2	$0,15 < a_g \leq 0,25g$	0,25g
3	$0,05 < a_g \leq 0,15g$	0,15g
4	$\leq 0,05g$	0,05g

Fig. 11. Estratto "Gazzetta ufficiale della Repubblica Italiana", Anno 147°, n.108 (O.P.C.M. n. 3519/2006).

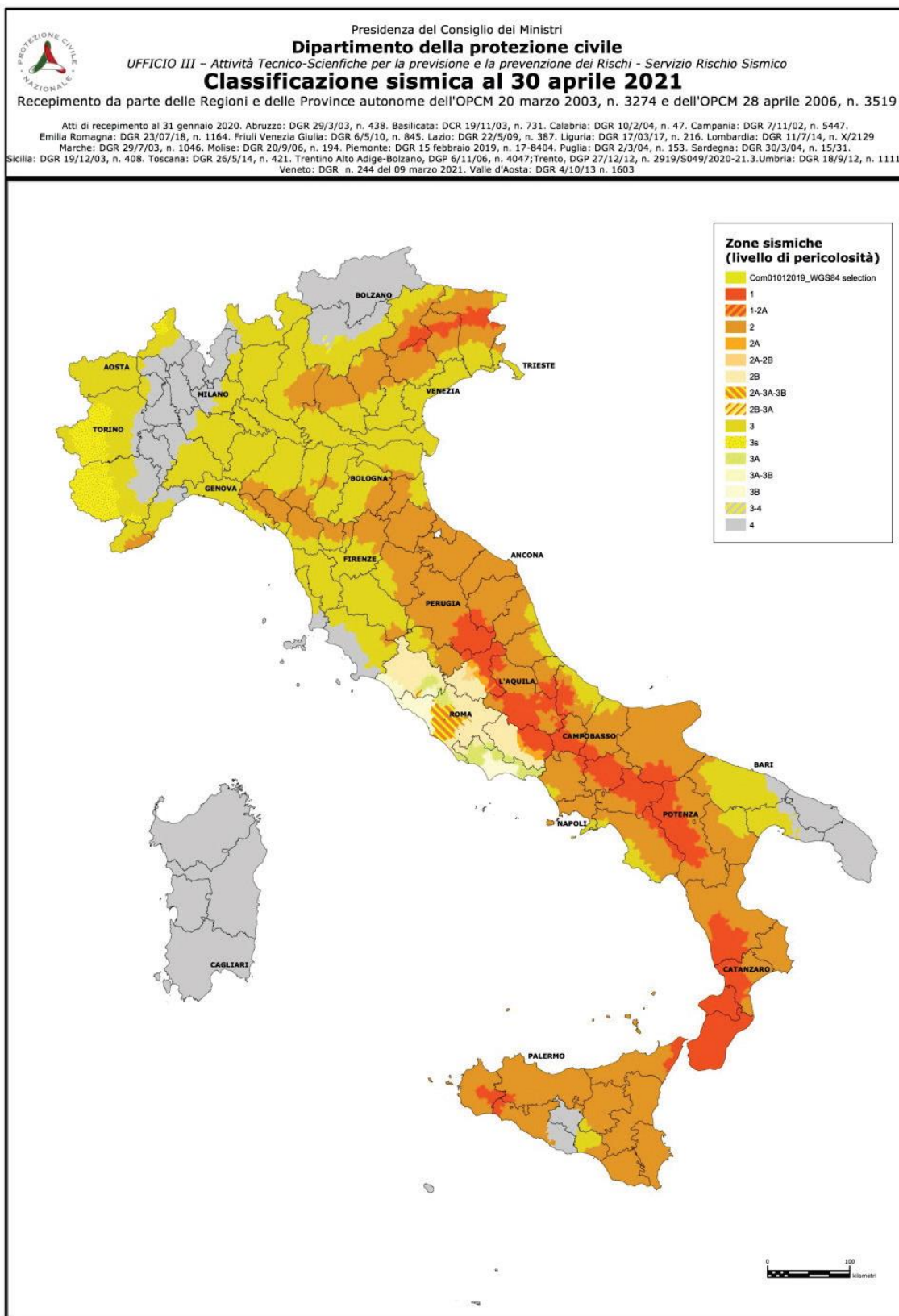


Fig. 12. Classificazione sismica italiana al 2021 (Fonte: www.protezionecivile.gov.it).

Nel suddetto decreto, la sollecitazione sismica sulle costruzioni viene stimata a partire da una “pericolosità sismica di base” di un sito, definita dalla probabilità che, in un dato intervallo di tempo, in un sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato. Tale intervallo di tempo, espresso in anni, è denominato “periodo di riferimento” (VR), connessa ad una “probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento” (PVR). In particolare, il

periodo di riferimento (VR) delle azioni sismiche della costruzione è il prodotto tra la vita nominale VN, ovvero il numero di anni nel quale la struttura deve essere utilizzata per lo scopo alla quale è destinata, ed i valori dei coefficienti della classe d'uso CU (fig. 12).

La pericolosità sismica pertanto viene espressa in termini di accelerazione massima orizzontale attesa a_g , in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido (categoria A) con superficie topografica orizzontale (T1), e di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad esso corrispondente SE(T), in determinato periodo di riferimento VR, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR.

Secondo l'ultima classificazione sismica della Regione Sicilia (Delibera n. 81 del 24 febbraio 2022) il comune di San Vito Lo Capo ricade in zona 2, quindi a media pericolosità sismica (fig. 13).

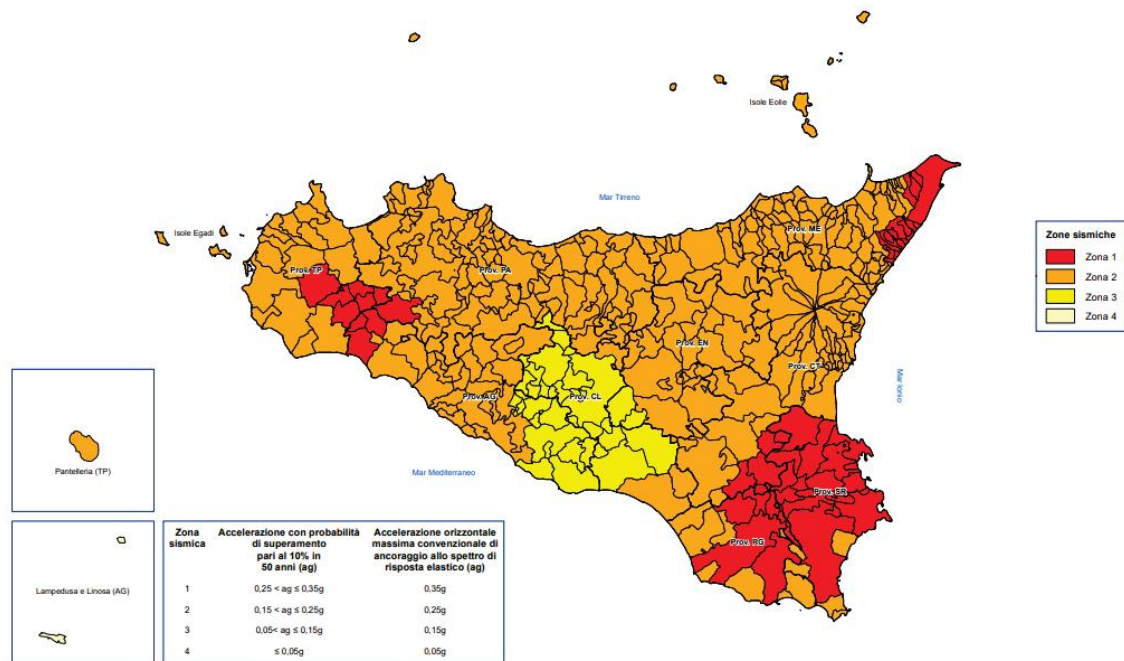


Fig. 13. Classificazione sismica della Regione Siciliana (Delibera n. 81 del 24 febbraio 2022).

La pericolosità sismica di un sito deve essere descritta in modo da renderla compatibile con le NTC e da dotarla di un sufficiente livello di dettaglio in termini geografici e temporali. Queste condizioni possono ritenersi soddisfatte se i risultati dello studio di pericolosità sono forniti:

- in corrispondenza di punti di un reticolo di riferimento i cui nodi sono sufficientemente vicini tra loro, che distano al massimo 10 km;
- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima a_g e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC;
- per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno TR ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni.

Ai fini di questa normativa, le forme spettrali vengono definite sulla base dei valori dei seguenti parametri su sito di riferimento orizzontale:

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c periodo di inizio del tratto a velocità costante nello spettro in accelerazione orizzontale.

Facendo riferimento ad informazioni così dettagliate e puntuali è possibile adottare nella progettazione e verifica delle costruzioni, valori dell'azione sismica meglio correlati alla pericolosità sismica del sito, alla vita nominale della costruzione e all'uso cui essa è destinata, consentendo soluzioni più appropriate ed anche economiche, e nello stesso tempo, trattare le problematiche connesse alla pericolosità sismica adottando una classificazione sismica riferibile anche a porzioni territoriali dei singoli comuni. In Italia gli studi sulla pericolosità sismica (fig. 14)

si sono affinati di recente con lo sviluppo delle scienze sismologiche, degli strumenti sismici e delle reti di monitoraggio, con i quali si è dato l'impulso definitivo agli studi per la caratterizzazione sismica del territorio. Questi studi di pericolosità vengono impiegati soprattutto nelle analisi territoriali e regionali finalizzate alle zonazioni (pericolosità di base per la classificazione sismica) o microzonazioni (pericolosità locale), ovvero per individuare le aree a scala comunale che, in occasione di scuotimenti sismici, possono essere soggette a fenomeni di amplificazione, e quindi fornire elementi utili per una corretta pianificazione e gestione urbanistica.

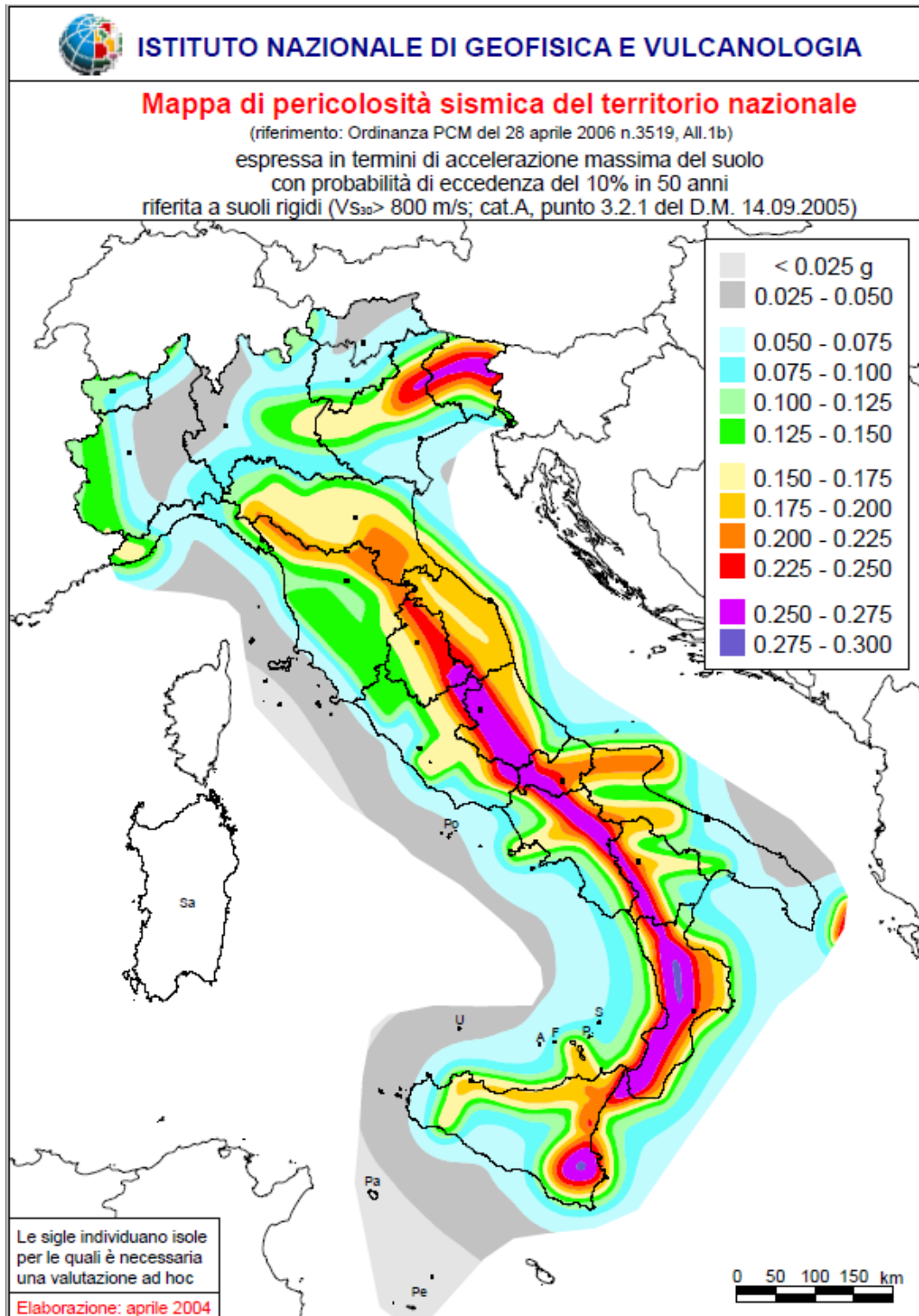


Fig. 14. Mapa di pericolosità sismica del territorio nazionale (fonte: www.ingv.it).

In questo contesto è stata anche elaborata una nuova zonazione sismogenetica (fig. 15), denominata ZS9 che divide tutto il territorio italiano in 36 zone. Tale zonizzazione è stata condotta tramite l'analisi cinematica degli elementi geologici (cenozoici e quaternari) coinvolti nella dinamica delle strutture litosferiche profonde e della crosta superficiale; essa, pur basandosi ampiamente sull'impianto generale e sul background informativo della precedente zonazione ZS4 (Scandone e Stucchi, 1996), rappresenta un suo sostanziale ripensamento, alla luce delle evidenze di tettonica attiva, delle valutazioni sul potenziale sismogenetico acquisite nei primi anni del decennio con i fondamentali contributi del Database of Individual Seismogenic Sources (DISS) (che, combinando dati geologici, storici e strumentali, censisce le sorgenti in grado di produrre terremoti di magnitudo 5.5 e superiore) e del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (all'epoca della redazione della mappa CPTI2, ora arrivato alla versione CPTI15).

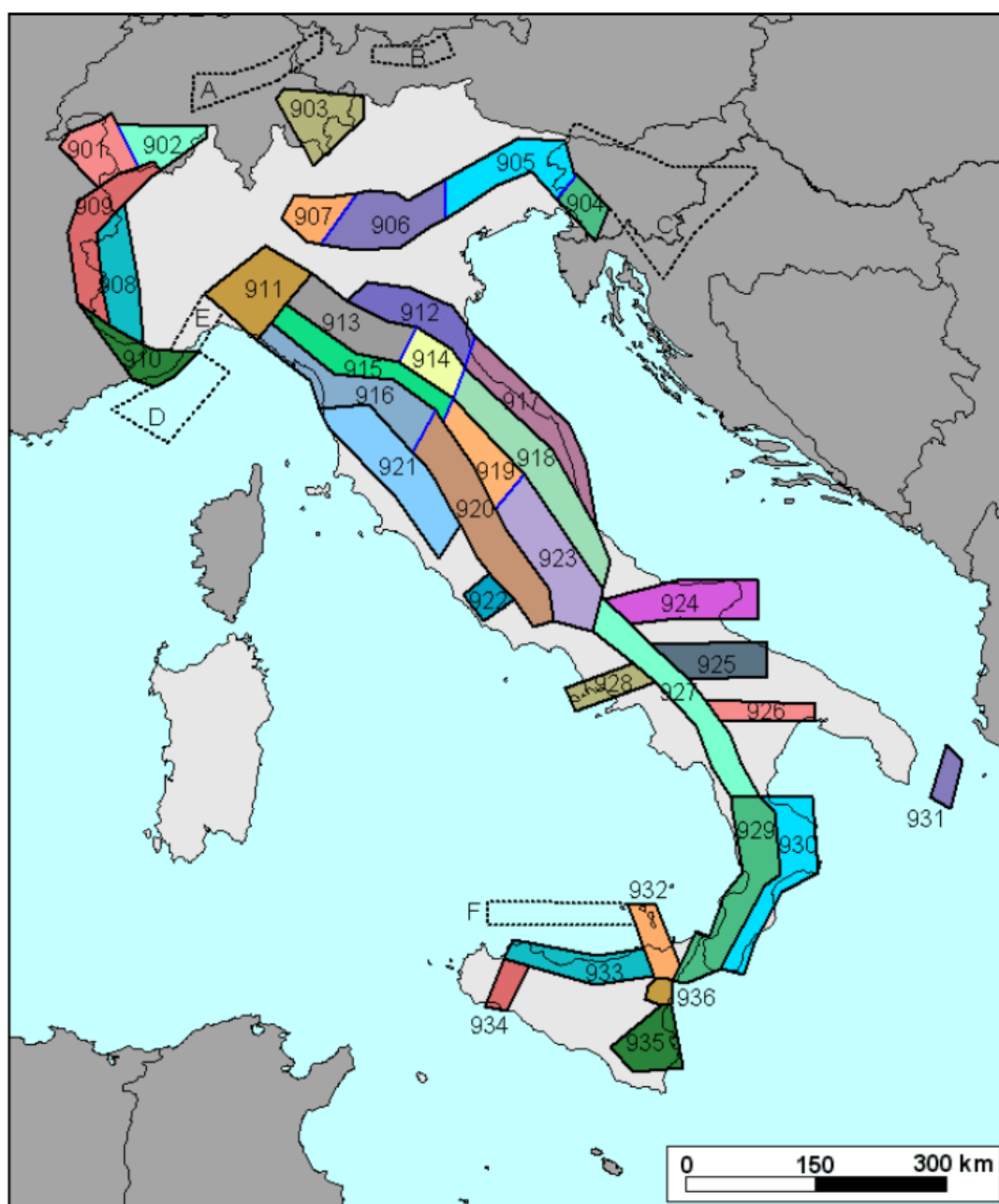


Fig. 15. Zonazione sismogenetica ZS9 (da Meletti e Valensise, 2004).

Il confronto tra le informazioni che hanno condotto alla costruzione del modello geodinamico e la sismicità osservata ha permesso di costruire la Carta delle Zone Sismogenetiche del territorio nazionale.

Ogni zonizzazione sismogenetica è caratterizzata da un definito modello cinematico il quale sfrutta una serie di relazioni di attenuazione stimate sulla base di misurazioni accelerometriche effettuate sia sul territorio nazionale che europeo.

Secondo la zonazione sismogenetica ZS9 (Meletti e Valensise, 2004), le aree oggetto di indagine non ricadono in nessuna zona sismogenetica (fig. 16).

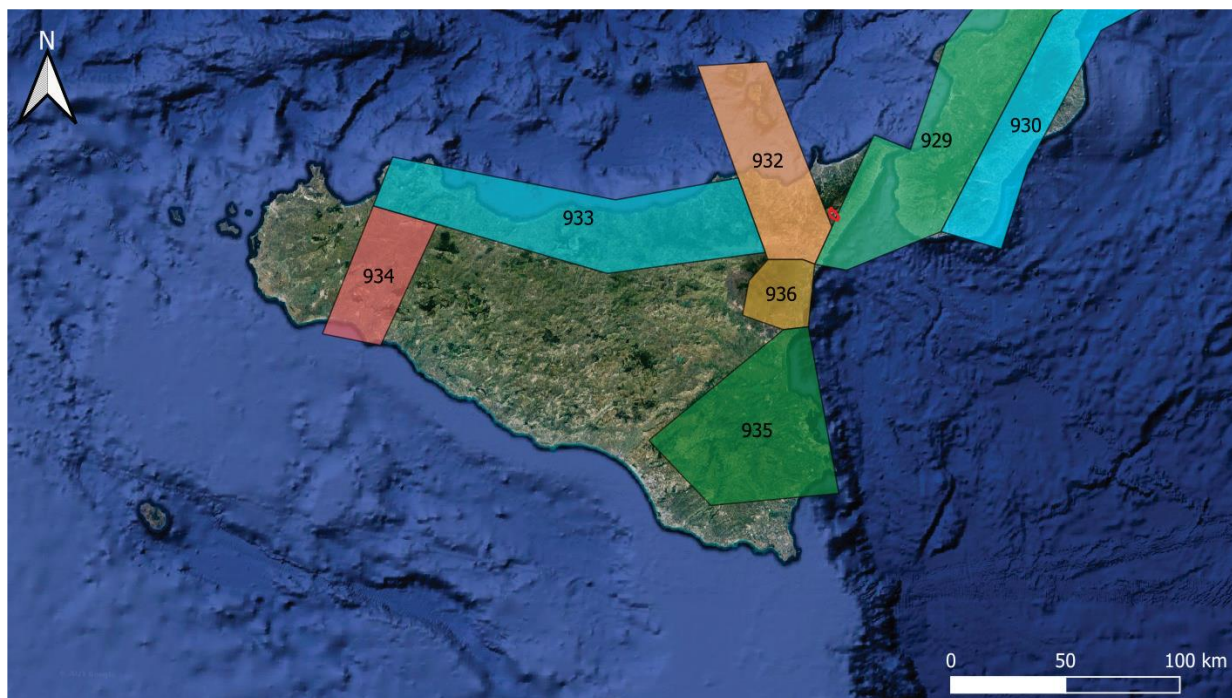


Fig. 16. Zonazione sismogenetica ZS9 della Sicilia (http://zonesismiche.mi.ingv.it/elaborazioni/dati_di_ingresso/).

Per quanto riguarda la pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento è fornito dai dati pubblicati sul sito dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (<http://esse1.mi.ingv.it/>). Nella carta, della quale la figura 17 seguente rappresenta l'estratto per il comune di San Vito Lo Capo, sono riportati i valori di accelerazione orizzontale massima al suolo a_g con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferiti a suoli rigidi sub-pianeggianti di Categoria A con $V_{s30} > 800$ m/s.

Il territorio del comune di San Vito Lo Capo presenta valori di accelerazioni di picco orizzontali del suolo compreso tra $0,050 < a_g < 0,075$ g, come mostrato in figura 17.

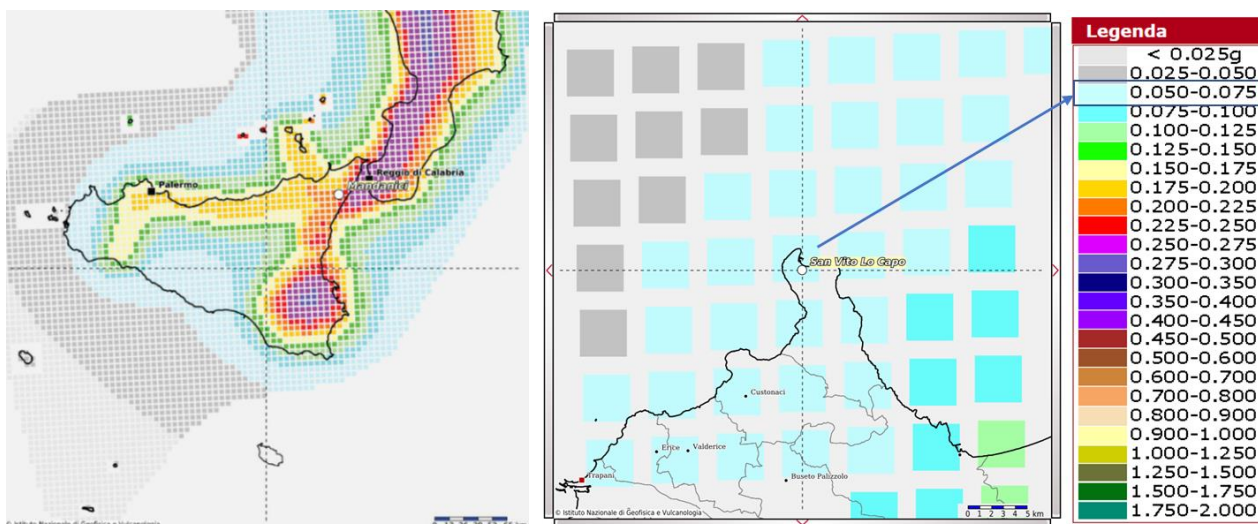


Fig. 17. Estratto della mappa di pericolosità sismica della Regione Siciliana, con dettaglio sul territorio comunale di San Vito Lo Capo (fonte: www.ingv.it).

Un altro aspetto importante riguarda il calcolo della disaggregazione della pericolosità (in fig. 18 il grafico di disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni), il cui scopo è quello di individuare il maggior contributo alla pericolosità del sito in termini di magnitudo-distanza di un evento (tab. 3).

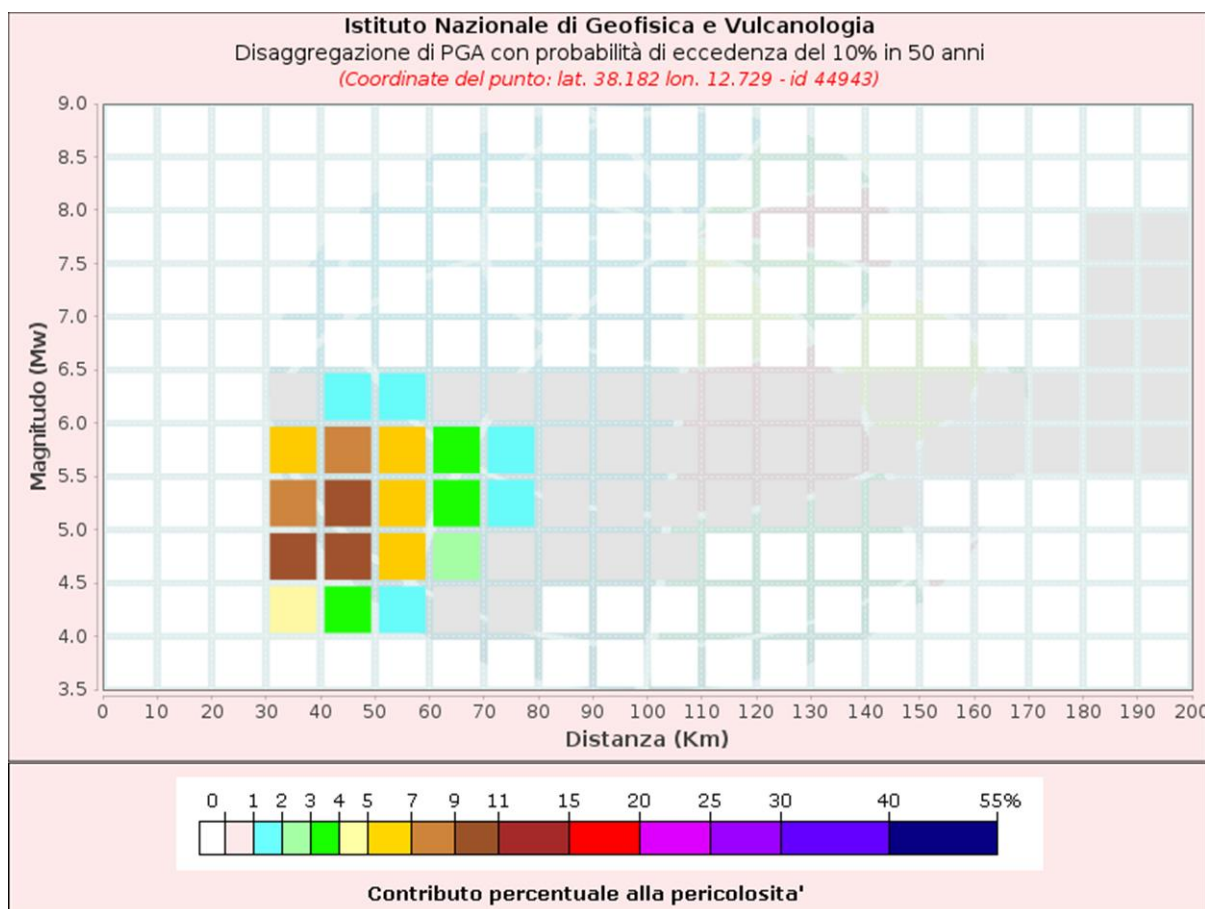


Fig. 18. Grafico di disaggregazione del valore di a_g con probabilità di eccedenza di eccedenza del 10% in 50 anni, in termini di distanza epicentrale e magnitudo.

Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto: lat. 38.182 lon. 12.729 - id 44943)											
Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)										
	3.5- 4.0	4.0- 4.5	4.5-5.0	5.0- 5.5	5.5- 6.0	6.0- 6.5	6.5- 7.0	7.0- 7.5	7.5- 8.0	8.0- 8.5	8.5- 9.0
0-10	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	4.7000	10.9000	8.3000	5.2800	0.7400	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	3.2800	9.4200	9.3300	7.5400	1.2200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	1.4800	5.4700	6.8100	6.6200	1.1900	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.4140	2.2900	3.4100	3.7100	0.7060	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0348	0.7880	1.4900	1.7600	0.3480	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.1590	0.4300	0.4770	0.0878	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0369	0.2210	0.2770	0.0523	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0041	0.1190	0.1900	0.0382	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0557	0.1280	0.0276	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0231	0.0878	0.0205	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0078	0.0599	0.0154	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0015	0.0381	0.0112	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0226	0.0081	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0123	0.0057	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0063	0.0042	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0027	0.0027	0.0011	0.0023	0.0006	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0071	0.0402	0.0843	0.0222	0.0000	0.0000

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.19	49.2	1.45

Tab. 3. Valori di disaggregazione del valore di a_g con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, in termini di distanza epicentrale e magnitudo.

Dalla ricostruzione dell'INGV riportata sopra, considerando un tempo di ritorno $T_r = 475$ anni e una Categoria A di sottosuolo in condizioni sub-pianeggianti, si evidenzia che la massima probabilità, superiore al 10%, si ha per magnitudo compresa tra 4.5 e 5.0 e distanza epicentrale tra 30 km e 40 km e per percentuali pari al 7.54% si hanno per magnitudo comprese tra 5,5 e 6 e distanza epicentrale compresa tra 40 e 50 km.

2.4. Faglie attive

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

Secondo il succitato catalogo il territorio comunale di San Vito Lo Capo non presenta faglie attive e capaci. Anche secondo Il catalogo DISS-ID - ITCS 017 edito da INGV, il territorio comunale di San Vito Lo Capo non ricade in nessuna fascia sismogenetica e non riporta la presenza di faglie attive all'interno dell'area studiata.

La faglia riportata nel settore occidentale del centro abitato di San Vito Lo Capo è poco esposta per cui non è stato possibile individuare evidenze deformazionali, o indizi morfostrutturali di movimenti recenti. Sulla base dei dati disponibili non è stato possibile ricostruire l'entità del rigetto e l'età della dislocazione.

3. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

Come prescritto dalle linee guida del testo “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica” e successive modifiche, approvato dal Dipartimento della Protezione Civile, trattandosi di studi per la microzonazione sismica di livello 1, è stata utilizzata una raccolta di dati geognostici e geofisici preesistenti opportunamente selezionati in virtù della attendibilità dei risultati in relazione alla verificabilità delle metodologie di acquisizione ed elaborazione dei dati. I seguenti dati pregressi, derivanti dal database dei precedenti studi di MS1, sono relativi alla documentazione acquisita presso l’Ufficio Tecnico Comunale (UTC) ed alle registrazioni di rumore ambientale a stazione singola (HVSR).

3.1. *Indagini geognostiche e geotecniche*

Tali indagini sono finalizzate alla definizione delle caratteristiche geologiche e geotecniche dei terreni, che permettano di definire l’assetto litostratigrafico e litotecnico del sito in esame.

Nello specifico, sono stati utilizzati i risultati delle indagini dirette ottenute da perforazioni a carotaggio continuo (denominate con la sigla **S** e numerazione progressiva se non raggiungono il substrato, oppure dalla sigla **SS** e numerazione progressiva se raggiungono il substrato) e dallo scavo di pozzi idrici (**PA** 1 e 2) eseguite nei centri abitati di San Vito Lo Capo e Macari (Tab. 4).

Come evidenziato anche nella carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica, i sondaggi diretti sono stati utilizzati per la taratura della profondità del bedrock sismico fornendo un ulteriore vincolo per la redazione della carta di sintesi corrispondente.

<i>Nome indagine</i>	<i>Tipo</i>	<i>Profondità (m da p.c.)</i>
081020P14	PA	50
081020P54	PA	44
081020P13	SS	15
081020P46	SS	15
081020P47	SS	15
081020P48	SS	15
081020P49	SS	15
081020P50	SS	15
081020P51	S	11
081020P52	S	10
081020P53	S	9

Tab. 4. Tabella riassuntiva delle indagini geologiche e geotecniche pregresse.

3.2. *Indagini geofisiche*

In questa categoria rientrano le indagini finalizzate alla definizione delle caratteristiche e dei parametri geofisici delle litologie investigate nell’area in esame (tab. 5). In particolare, per la costruzione del modello della profondità del bedrock sismico, sono stati utilizzati 52 punti di indagine (denominati con la sigla SR in ordine numerico progressivo) in cui sono stati acquisiti uno o più profili sismici a rifrazione per la determinazione della velocità delle onde di compressione V_p . Le prove sismiche a rifrazione, la cui distribuzione è visibile nella “Carta delle indagini” in scala 1:20.000 (1: 10.000 nei riquadri di dettaglio) allegata, sono ubicate nei centri abitati di San Vito Lo Capo, Macari e Castelluzzo e sono state eseguite in occasione di lavori professionali pubblici o privati.

Per tutti i profili sismici sono state calcolate le dromocrone relative ai tempi di primo arrivo delle onde P ai geofoni posizionati sul terreno e, di conseguenza, è stato costruito un modello di velocità in grado di evidenziare discontinuità sismiche a varie profondità e relative ad orizzonti rifrangenti differenti. La profondità di indagine della quasi totalità dei sondaggi sismici a rifrazione non ha superato i 10 m a causa della individuazione del bedrock sismico entro tale profondità in tutte le aree indagate del territorio comunale.

In una ampia zona a monte del centro abitato di Castelluzzo sono stati eseguiti 7 sondaggi elettrici verticali (SEV) la cui interpretazione ha consentito di ricostruire la stratigrafia locale fino a profondità superiori ai 100 m dal p.c. Tali dati, pur confermando le ipotesi formulate (profondità del bedrock e spessore della copertura) non possono essere pienamente validati in quanto mancanti di informazioni fondamentali quali le geometrie di acquisizione utilizzate (configurazioni elettroliche e intervalli di misura) e curve di resistività ottenute dai valori misurati. Infine sono state considerati anche i risultati di 5 tomografie di resistività elettrica 2D acquisite nel centro abitato di San Vito Lo Capo, utilizzando 24 elettrodi con interdistanza compresa tra 3 e 4 m.

Nome	Tipo	Etichetta	Lunghezza
081020L1_ERT1	ERT	L1	68.99
081020L2_ERT2	ERT	L2	46.00
081020L3_ERT3	ERT	L3	68.99
081020L4_ERT4	ERT	L4	68.99
081020L5_ERT5	ERT	L5	91.99
081020L07	SEV	L7	198.65
081020L53	SEV	L53	163.31
081020L54	SEV	L54	135.88
081020L55	SEV	L55	156.69
081020L56	SEV	L56	165.06
081020L57	SEV	L57	179.25
081020L58	SEV	L58	174.32
081020L01_SR1	SR	L1	47.80
081020L02_SR2	SR	L2	44.64
081020L03_SR3	SR	L3	46.00
081020L04_SR4	SR	L4	37.00
081020L05_SR5	SR	L5	91.99
081020L06	SR	L6	40.15
081020L08	SR	L8	47.79
081020L09	SR	L9	40.15
081020L10	SR	L10	47.71
081020L11	SR	L11	47.71
081020L12	SR	L12	30.83
081020L13	SR	L13	30.35
081020L14	SR	L14	38.09
081020L15	SR	L15	38.09
081020L16	SR	L16	48.05
081020L17	SR	L17	43.84
081020L18	SR	L18	46.47
081020L19	SR	L19	34.44
081020L20	SR	L20	47.55
081020L21	SR	L21	47.44
081020L22	SR	L22	46.01

081020L23	SR	L23	39.72
081020L24	SR	L24	36.46
081020L25	SR	L25	41.22
081020L26	SR	L26	47.72
081020L27	SR	L27	37.11
081020L28	SR	L28	42.94
081020L29	SR	L29	38.60
081020L30	SR	L30	42.46
081020L31	SR	L31	39.64
081020L32	SR	L32	28.58
081020L33	SR	L33	43.83
081020L34	SR	L34	54.69
081020L35	SR	L35	40.92
081020L36	SR	L36	45.07
081020L37	SR	L37	43.14
081020L38	SR	L38	46.48
081020L39	SR	L39	39.79
081020L40	SR	L40	41.07
081020L41	SR	L41	28.73
081020L42	SR	L42	37.23
081020L43	SR	L43	30.01
081020L44	SR	L44	35.06
081020L45	SR	L45	38.07
081020L46	SR	L46	39.23
081020L47	SR	L47	39.67
081020L48	SR	L48	58.12
081020L49	SR	L49	37.08
081020L50	SR	L50	37.72
081020L51	SR	L51	36.44
081020L52	SR	L52	42.63
081020L59	SR	L59	87.36

Tab. 5. Tabella riassuntiva delle indagini geofisiche pregresse (ERT, SEV e SR).

3.3. *Misure di microtremore sismico ed elaborazioni HVSR*

L'indagine sismica passiva sfrutta la tecnica dei rapporti spettrali o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) e riguarda una tipologia di indagine geofisica totalmente non invasiva, molto rapida, applicabile in ogni contesto e che non richiede nessun tipo di perforazione, né stendimento di cavi, né energizzazioni esterne diverse dal rumore ambientale che in natura già esiste ovunque. I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

- la frequenza di risonanza del sito, che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale. Nel caso in cui infatti un edificio non presenti la stessa frequenza di vibrazione del terreno, si potrebbe verificare l'effetto di doppia risonanza, estremamente pericoloso per la stabilità dello stesso;
- la frequenza fondamentale di risonanza di un edificio, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In seguito, sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito (free field) e capire se, in caso di scossa sismica, la struttura potrà essere o meno a

rischio;

- la velocità media delle onde di taglio V_s calcolata tramite un apposito codice di calcolo. È necessario, per l'affidabilità del risultato, conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia (prova penetrometrica, sondaggio, MASW, etc.) e riconoscibile nella curva H/V. Sarà quindi possibile calcolare la V_{seq} e la relativa categoria di sottosuolo come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 17/01/2018;
- la stratigrafia del sottosuolo con un intervallo di indagine compreso tra 0,5 m e 700 m di profondità anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 m. Il principio su cui si basa la presente tecnica, in termini di stratigrafia del sottosuolo, è rappresentato dalla definizione di strato inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostante per un contrasto d'impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e la densità del mezzo stesso.

Le basi teoriche della tecnica HVSR si rifanno alla teoria dei microtremori. Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento), dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Esso è anche definito microtremore poiché riguarda oscillazioni molto piccole, decisamente più piccole di quelle indotte dai terremoti. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi, poiché il rumore non è generato ad hoc, al contrario di quanto avviene per la sismica attiva. Nel tragitto dalla sorgente s al sito x le onde elastiche subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda, attenuazioni che dipendono dalla natura e conformazione del sottosuolo attraversato. Questo significa che, se da un lato l'informazione riguardante la sorgente è persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica, è presente comunque una parte debolmente correlata ad essa nel segnale, che può essere estratta e che contiene le informazioni concernenti il percorso del segnale e, in particolare, relative alla struttura locale vicino al sensore. Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartata dalla sismologia classica, contiene informazioni che possono essere estratte attraverso tecniche opportune.

Tra queste tecniche quella più diffusa è denominata *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* o semplicemente HVSR. Il rapporto tra lo spettro delle ampiezze della velocità orizzontali e verticali di oscillazione del terreno è utilizzato per fornire stime affidabili delle frequenze principali dell'amplificazione del moto sismico da parte del sottosuolo. Inoltre la presenza di picchi di carattere stratigrafico permette di interpretare le curve HVSR, con gli opportuni vincoli geologici, come causate da interfacce stratigrafiche del sottosuolo. In uesto modo è possibile ottenere informazioni sulla profondità del bedrock sismico.

Le indagini considerate (tab. 7) comprendono 32 misure eseguite dalla Diosis S.r.l. ad agosto 2012, in occasione dello studio "Studio Geofisico Ai Fini Della Microzonazione Sismica Di Livello 1" redatto dalla Diosis s.r.l. (committente Comune di San Vito lo Capo). A queste misure si aggiungono 15 misure HVSR eseguite dalla ditta GEO3 S.a.s., nel febbraio 2022, ai fini della redazione dello studio geologico propedeutico alla formazione del PUG del Comune di San Vito Lo Capo. In totale quindi sono stati considerati, elaborati ed interpretati 47 sondaggi HVSR (denominati P con numerazione progressiva), come riportato nella carta di ubicazione delle indagini. Di questi, 21 punti sono ubicati all'interno della zona di San Vito Lo Capo, 12 punti nel centro abitato di Macari e 14 nel centro abitato di Castelluzzo (tab. 6). Le ubicazioni delle stazioni di misura si sono basate su criteri di distribuzione omogenea sul territorio maggiormente urbanizzato.

ID	NOME PDF	Località	X	Y	NOME ORIGI-NALE	f ₀ (Hz)	H/V(f ₀)	F ₁ (Hz)	H/V(f ₁)	Profondità bedrock (m)	DATA MISURA
1	081020P12	San Vito	301284.20	4228472.58	T01	4.7	1.8			1.6	01/08/12
2	081020P15	San Vito	301340.28	4228008.53	T02	3.5	2.3			2	01/08/12
3	081020P16	San Vito	301259.34	4227546.91	T03					0.93	01/08/12
4	081020P17	San Vito	301782.62	4227657.19	T04	1.9	2.3	16	2	2.7	01/08/12
5	081020P18	San Vito	301729.42	4227173.60	T05	3	2			1.9	01/08/12
6	081020P19	San Vito	301621.00	4226789.99	T06	2.3	2.1			1	01/08/12
7	081020P20	San Vito	301635.49	4226339.38	T07	1.8	1.9			1	01/08/12
8	081020P21	San Vito	301752.00	4226044.12	T08					0.8	01/08/12
9	081020P22	San Vito	302327.72	4227564.00	T09	43.6	2.3			0.8	01/08/12
10	081020P23	San Vito	302349.45	4227106.66	T10	2.5	1.9			2.5	01/08/12
11	081020P24	San Vito	302158.63	4226540.37	T11	3.5	1.9			0.9	01/08/12
12	081020P25	San Vito	302806.91	4227323.48	T12	1.4	2.3			1.1	01/08/12
13	081020P44	San Vito	302331.09	4227342.41	T31	13	3.5			7.3	05/09/12
14	081020P45	San Vito	302322.73	4227453.14	T32	11	4.5	44	3.8	8	05/09/12
15	081020P55	San Vito	302478.13	4226988.44	T1/PUG	2.4	3.9			2.75	04/02/22
16	081020P56	San Vito	302128.97	4227079.55	T2/PUG					2.75	04/02/22
17	081020P57	San Vito	301827.96	4227006.61	T3/PUG	2.33	3			1.28	04/02/22
18	081020P58	San Vito	302253.80	4226179.99	T4/PUG	2.3	3.4			1.6	04/02/22
19	081020P59	San Vito	301351.75	4227667.18	T5/PUG					1.88	04/02/22
20	081020P60	San Vito	301330.56	4228807.31	T6/PUG	2.3	3.3			1.13	04/02/22
21	081020P61	San Vito	301707.84	4227457.10	T7/PUG	3	2.5			2	04/02/22
22	081020P26	Macari	302247.00	4223438.01	T13	15	3.5				03/08/12
23	081020P27	Macari	302018.39	4223203.91	T14	9.6	2.5	44	3.4	12.7	03/08/12
24	081020P28	Macari	302288.25	4223140.89	T15						03/08/12
25	081020P29	Macari	302040.11	4222875.50	T16						03/08/12
26	081020P30	Macari	301658.04	4222823.12	T17					2.5	03/08/12
27	081020P31	Macari	301956.14	4222768.97	T18						03/08/12
28	081020P32	Macari	301396.93	4222626.54	T19	3	2	31	2.9	4.4	03/08/12
29	081020P33	Macari	301804.00	4222626.99	T20	4.5	2.8	44	2.2	2.3	02/08/12
30	081020P34	Macari	302150.00	4222595.99	T21	5.5	2	11.5	1.9	7.8	02/08/12
31	081020P62	Macari	301771.32	4223027.84	T8/PUG	5.1	2.3	21.6	2	6.8	02/02/22
32	081020P63	Macari	301576.72	4222639.62	T9/PUG	11	2.2	27.5	1.9	3.6	02/02/22
33	081020P64	Macari	301698.67	4223447.95	T10/PUG	47	2.5			12	02/02/22
34	081020P35	Castelluzzo	301434.09	4220116.71	T22						02/08/12
35	081020P36	Castelluzzo	301081.73	4219899.85	T23	1.25	1.9			0.9	02/08/12
36	081020P37	Castelluzzo	301415.40	4219660.67	T24						02/08/12
37	081020P38	Castelluzzo	301691.95	4219887.11	T25	1.4	1.9				02/08/12
38	081020P39	Castelluzzo	301522.30	4219376.76	T26	1.3	2.35	54	3.2	1.5	02/08/12
39	081020P40	Castelluzzo	301755.69	4219181.99	T27						02/08/12
40	081020P41	Castelluzzo	302063.87	4218824.71	T28	1.2	2.4	45	1.4	2.36	02/08/12
41	081020P42	Castelluzzo	302357.99	4218469.95	T29	1.5	2.6	67	1.9	1.55	03/08/12
42	081020P43	Castelluzzo	300870.05	4220551.84	T30	1.5	1.7	6.3	1.5	0.3	03/08/12
43	081020P65	Castelluzzo	300614.14	4220031.26	T11/PUG	1.51	2	54	3	1.6	02/02/22
44	081020P66	Castelluzzo	301417.57	4220296.63	T12/PUG	1.72	1.7	50	4.9	1.7	02/02/22
45	081020P67	Castelluzzo	302125.10	4219219.95	T13/PUG	1	1.7	45	3.2	1.9	02/02/22
46	081020P68	Castelluzzo	301138.38	4219638.30	T14/PUG	1.25	2.06	36	1.6	2.8	02/02/22
47	081020P69	Castelluzzo	301408.71	4219896.92	T15/PUG	1.08	1.7	45	2.5	1.85	02/02/22

Tab. 6. Misure di microtremore con metodo HVSR. Per ogni misura è indicata l'ubicazione nel sistema WGS84 UTM, la frequenza fondamentale f₀ e la frequenza secondaria f₁ e le relative ampiezze H/V. Infine, per quelle curve che sono state invertite è indicata la profondità del bedrock stimata.

Tutte le misure HVSR considerate sono state acquisite con tromometri digitali Tromino®, prodotti e brevettato da Micromed S.p.A. Questa strumentazione è dotata di tre canali velocimetrici elettrodinamici, ad alta risoluzione, disposti secondo tre direzioni tra di loro ortogonali e smorzati criticamente, con intervallo di frequenza compreso tra 0,1 e 256 Hz.

Tutte le registrazioni sono state rielaborate e reinterpretate, alla luce dei nuovi dati a disposizione. Il processing dei dati acquisiti in campagna è stato effettuato con il software GRILLA realizzato dalla stessa Micromed S.p.A..

Durante le fasi interpretative delle misure HVSR si è cercato di individuare la frequenza “fondamentale” considerando la finestra frequenziale di 0,1-20 Hz, che risulta essere quella di normale interesse ingegneristico-strutturale, nonché quelle secondarie eventualmente presenti per una caratterizzazione sismostratigrafica più dettagliata dei siti indagati (tab. 6). Le curve HVSR che hanno presentato picchi di carattere stratigrafico sono state interpretate con modelli di velocità sismica, vincolando l’inversione e l’interpretazione con i dati geologici e geofisici disponibili. Nella tabella 7 sono stati inseriti anche tutti i picchi significativi relativi alle curve HVSR. In considerazione delle informazioni geologiche disponibili, alcune delle misure effettuate sono state invertite per stimare la profondità del bedrock sismico, riportata in tabella 6.

Visto il numero rilevante dei punti di misura e considerata la chiarezza delle schede riepilogative, non si ritiene necessaria una descrizione ed una interpretazione dei singoli sondaggi ma si rimanda alla consultazione dei report riassuntivi (vedi PDF cartella Documenti in banca dati).

3.4. 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.

4. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

4.1. *Stime della profondità del tetto del bedrock sismico*

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

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

Le stime di V_s sono state eseguite tenendo in considerazione le informazioni disponibili in letteratura, con i valori di velocità di propagazione delle onde di taglio delle litologie presenti nell'area esaminata. Le stime ottenute per ciascuna misura HVSR sono riportate nei report allegati.

La ricostruzione lungo determinati profili della profondità dal piano di campagna del bedrock sismico è stata eseguita avvalendosi anche delle informazioni ottenute dall'inversione di alcuni sondaggi HVSR (Fig. 19) 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.

In quasi tutte le misure HVSR, si evidenzia la presenza di picchi a basse frequenze (tra 1 e 3 Hz) che sembrano essere correlati a variazioni delle velocità di propagazione delle onde di taglio ad elevate profondità. Tuttavia questi picchi non sono stati attribuiti all'interfaccia copertura/bedrock perché velocità attribuibili ad un bedrock sismico (circa 800 m/s) si riscontrano in strati molto più prossimi alla superficie, riscontrabili a volte per la presenza di picchi a frequenze più elevate. Le profondità del substrato sismico sono indicate nella tabella 7.

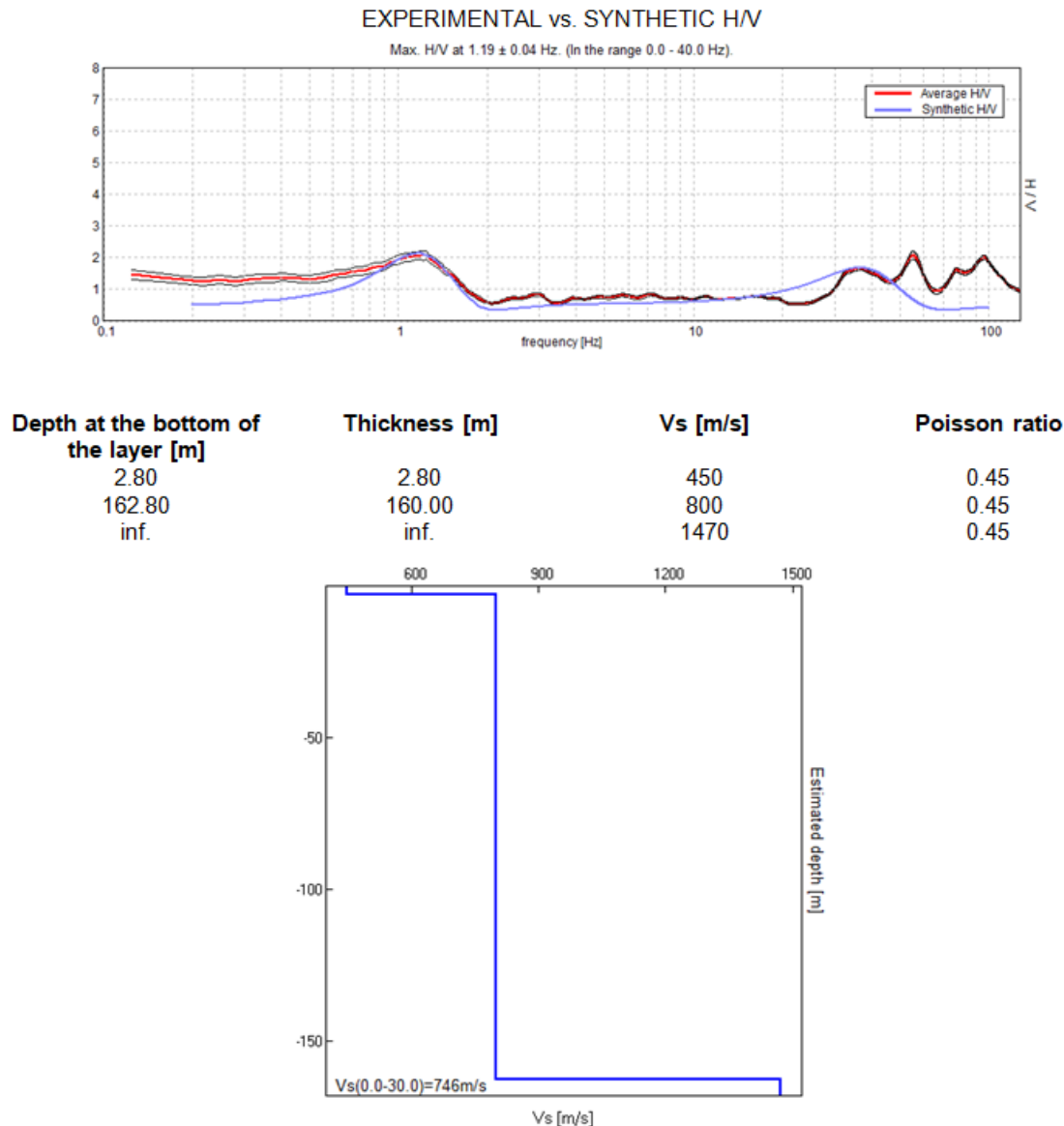


Fig. 19. Esempio di modello monodimensionale a strati della velocità delle onde di taglio (in basso) ottenuta dall'inversione del sondaggio 081020P68 / T14/PUG (in alto).

4.2. Incertezze sulle stime della profondità del bedrock sismico

Sebbene il rapporto spettrale H/V dipenda dalla distribuzione verticale delle medie orizzontali dei principali parametri meccanici delle strutture geologiche ed in modo particolare da quella della velocità delle onde di taglio, una attendibile interpretazione stratigrafica è possibile solo quando dati stratigrafici relativi ad qualche perforazione vicina al punto di misura e, possibilmente, risultati di misure sismiche in foro permettono di vincolare le stime di un certo numero di parametri incogniti. La limitata disponibilità di dati geognostici e geofisici nell'area oggetto del presente studio non ha consentito una corretta taratura delle misure eseguite.

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.

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.

5. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

5.1. *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 del PRG) 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 eventuali 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).

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

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

5.2. *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 area, 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 dagli standard per la Microzonazione Sismica. 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.

6. ELABORATI CARTOGRAFICI

6.1. Carta delle indagini

La Carta delle Indagini (CI) è stata realizzata in scala 1:20.000 per il quadro generale e 1:10.000 nei riquadri singoli delle aree di studio. Essa è l'elaborato cartografico in cui vengono riportate tutte le indagini utilizzate per lo studio di Microzonazione Sismica per il settore del territorio comunale in esame. In particolare, per la realizzazione del presente studio sono state integrate le informazioni derivanti e già inserite nel precedente studio di Primo livello con ulteriori indagini eseguite da studi successivi nel territorio oggetto di esame.

Le indagini inserite sono suddivisibili nelle seguenti tipologie (tab. 7):

- n° 11 sondaggi geognostici (S+PA);
- n° 4 trincee paleosismiche (SGE);
- n° 58 misure di microtremori a stazione singola (HVSr);
- n° 52 sondaggi sismici a rifrazione (SR);
- n° 7 sondaggi elettrici verticali (SEV);
- n° 5 prove ERT (ERT).

Come si evince dalla Carta allegata alla presente relazione (fig. 20), le indagini sono state inserite mediante una specifica simbologia, nel rispetto delle indicazioni che sono contenute negli "Indirizzi e Criteri di Microzonazione Sismica – Versione 4.1_Sicilia". Ai simboli delle indagini viene inoltre associato un "label" indicante il codice "ID_sito".

ID_INDLN	classe_ind	tipo_ind	file
081020L1ERT1	GE	ERT	Indagini lineari.shp
081020L1SR2	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L1SGE3	GG	SGE	Indagini lineari.shp
081020L2ERT4	GE	ERT	Indagini lineari.shp
081020L2SGE5	GG	SGE	Indagini lineari.shp
081020L2SR6	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L3ERT7	GE	ERT	Indagini lineari.shp
081020L3SR8	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L4ERT9	GE	ERT	Indagini lineari.shp
081020L4SR10	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L4SGE11	GG	SGE	Indagini lineari.shp
081020L5ERT12	GE	ERT	Indagini lineari.shp
081020L5SGE13	GG	SGE	Indagini lineari.shp
081020L5SR14	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L6SR15	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L7SEV16	GE	SEV	Indagini lineari.shp
081020L8SR17	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L9SR18	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L10SR19	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L11SR20	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L12SR21	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L13SR22	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L14SR23	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L15SR24	GF	SR	Indagini lineari.shp

081020L16SR25	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L17SR26	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L18SR27	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L19SR28	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L20SR29	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L21SR30	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L22SR31	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L23SR32	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L24SR33	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L25SR34	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L26SR35	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L27SR36	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L28SR37	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L29SR38	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L30SR39	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L31SR40	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L32SR41	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L33SR42	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L34SR43	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L35SR44	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L36SR45	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L37SR46	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L38SR47	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L39SR48	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L40SR49	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L41SR50	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L42SR51	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L43SR52	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L44SR53	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L45SR54	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L46SR55	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L47SR56	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L48SR57	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L49SR58	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L50SR59	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L51SR60	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L52SR61	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020L53SEV62	GE	SEV	Indagini lineari.shp
081020L54SEV63	GE	SEV	Indagini lineari.shp
081020L55SEV64	GE	SEV	Indagini lineari.shp
081020L56SEV65	GE	SEV	Indagini lineari.shp
081020L57SEV66	GE	SEV	Indagini lineari.shp
081020L58SEV67	GE	SEV	Indagini lineari.shp
081020L59SR62	GF	SR	Indagini lineari.shp
081020P1HVSRI	GF	HVSR	Indagini puntuali.shp
081020P2HVSRI	GF	HVSR	Indagini puntuali.shp
081020P3HVSRI	GF	HVSR	Indagini puntuali.shp

081020P4HVSR4	GF	HVSR	Indagini puntuali.shp
081020P5HVSR5	GF	HVSR	Indagini puntuali.shp
081020P6HVSR6	GF	HVSR	Indagini puntuali.shp
081020P7HVSR7	GF	HVSR	Indagini puntuali.shp
081020P8HVSR8	GF	HVSR	Indagini puntuali.shp
081020P9HVSR9	GF	HVSR	Indagini puntuali.shp
081020P10HVSR10	GF	HVSR	Indagini puntuali.shp
081020P11HVSR11	GF	HVSR	Indagini puntuali.shp
081020P12HVSR56	GF	HVSR	Indagini puntuali.shp
081020P13S13	GG	S	Indagini puntuali.shp
081020P14PA14	IG	PA	Indagini puntuali.shp
081020P15HVSR54	GF	HVSR	Indagini puntuali.shp
081020P16HVSR16	GF	HVSR	Indagini puntuali.shp
081020P17HVSR17	GF	HVSR	Indagini puntuali.shp
081020P18HVSR18	GF	HVSR	Indagini puntuali.shp
081020P19HVSR19	GF	HVSR	Indagini puntuali.shp
081020P20HVSR20	GF	HVSR	Indagini puntuali.shp
081020P21HVSR21	GF	HVSR	Indagini puntuali.shp
081020P22HVSR22	GF	HVSR	Indagini puntuali.shp
081020P23HVSR23	GF	HVSR	Indagini puntuali.shp
081020P24HVSR24	GF	HVSR	Indagini puntuali.shp
081020P25HVSR25	GF	HVSR	Indagini puntuali.shp
081020P26HVSR26	GF	HVSR	Indagini puntuali.shp
081020P27HVSR27	GF	HVSR	Indagini puntuali.shp
081020P28HVSR28	GF	HVSR	Indagini puntuali.shp
081020P29HVSR29	GF	HVSR	Indagini puntuali.shp
081020P30HVSR30	GF	HVSR	Indagini puntuali.shp
081020P31HVSR31	GF	HVSR	Indagini puntuali.shp
081020P32HVSR32	GF	HVSR	Indagini puntuali.shp
081020P33HVSR33	GF	HVSR	Indagini puntuali.shp
081020P34HVSR34	GF	HVSR	Indagini puntuali.shp
081020P35HVSR35	GF	HVSR	Indagini puntuali.shp
081020P36HVSR36	GF	HVSR	Indagini puntuali.shp
081020P37HVSR37	GF	HVSR	Indagini puntuali.shp
081020P38HVSR38	GF	HVSR	Indagini puntuali.shp
081020P39HVSR39	GF	HVSR	Indagini puntuali.shp
081020P40HVSR40	GF	HVSR	Indagini puntuali.shp
081020P41HVSR41	GF	HVSR	Indagini puntuali.shp
081020P42HVSR42	GF	HVSR	Indagini puntuali.shp
081020P43HVSR43	GF	HVSR	Indagini puntuali.shp
081020P44HVSR44	GF	HVSR	Indagini puntuali.shp
081020P45HVSR45	GF	HVSR	Indagini puntuali.shp
081020P46S46	GG	S	Indagini puntuali.shp
081020P47S47	GG	S	Indagini puntuali.shp
081020P48S48	GG	S	Indagini puntuali.shp
081020P49S49	GG	S	Indagini puntuali.shp
081020P50S50	GG	S	Indagini puntuali.shp

6.2. Carta delle frequenze naturali dei terreni

La Carta delle Frequenze Naturali dei Terreni è stata realizzata in scala 1:20.000 per il quadro generale e in scala 1:10.000 nei riquadri singoli delle aree di studio. Essa è l'elaborato cartografico in cui vengono riportate tutte le indagini disponibili, ricadenti nel settore in esame del territorio comunale, che permettano di definire il valore di frequenza naturale caratteristico dei terreni presenti in un determinato sito.

Come descritto nei capitoli precedenti, per la realizzazione della presente carta sono state utilizzate n° 47 misure di microtremori a stazione singola (HVSr).

Le indagini considerate sono così suddivise (tab. 8):

- n° 32 indagini dedotte dal precedente studio di 1° Livello;
- n° 15 indagini eseguite appositamente lo studio di aggiornamento;
- n° 11 indagini eseguite per uno studio paleosismico.

Codice misura	Località	F ₀	A ₀	F ₁	A ₁
081020P12	San Vito	4.7	1.8		
081020P15	San Vito	3.5	2.3		
081020P16	San Vito		0		
081020P17	San Vito	1.9	2.3	16	2
081020P18	San Vito	3	2		
081020P19	San Vito	2.3	2.1		
081020P20	San Vito	1.8	1.9		
081020P21	San Vito				
081020P22	San Vito	43.6	2.3		
081020P23	San Vito	2.5	1.9		
081020P24	San Vito	3.5	1.9		
081020P25	San Vito	1.4	2.3		
081020P44	San Vito	13	3.5		
081020P45	San Vito	11	4.5	44	3.8
081020P55	San Vito	2.4	3.9		
081020P56	San Vito		0		
081020P57	San Vito	2.33	3		
081020P58	San Vito	2.3	3.4		
081020P59	San Vito		0		
081020P60	San Vito	2.3	3.3		
081020P61	San Vito	3	2.5		
081020P26	Macari	15	3.5		
081020P27	Macari	9.6	2.5	44	3.4
081020P28	Macari				
081020P29	Macari				
081020P30	Macari				
081020P31	Macari				
081020P32	Macari	3	2	31	2.9
081020P33	Macari	4.5	2.8	44	2.2
081020P34	Macari	5.5	2	11.5	1.9
081020P62	Macari	5.1	2.3	21.6	2
081020P63	Macari	11	2.2	27.5	1.9
081020P64	Macari	47	2.5		
081020P35	Castelluzzo				

081020P36	Castelluzzo	1.25	1.9		
081020P37	Castelluzzo				
081020P38	Castelluzzo	1.4	1.9		
081020P39	Castelluzzo	1.3	2.35	54	3.2
081020P40	Castelluzzo				
081020P41	Castelluzzo	1.2	2.4	45	1.4
081020P42	Castelluzzo	1.5	2.6	67	1.9
081020P43	Castelluzzo	1.5	1.7	6.3	1.5
081020P65	Castelluzzo	1.51	2	54	3
081020P66	Castelluzzo	1.72	1.7	50	4.9
081020P67	Castelluzzo	1	1.7	45	3.2
081020P68	Castelluzzo	1.25	2.06	36	1.6
081020P69	Castelluzzo	1.08	1.7	45	2.5

Tab. 8. Tabella riassuntiva delle frequenze naturali dei terreni.

Come si evince dalla carta allegata alla presente relazione (fig. 21) le indagini sono inserite mediante una specifica simbologia che considera il valore di frequenza naturale ed ampiezza H/V di ciascun picco per le varie misure.

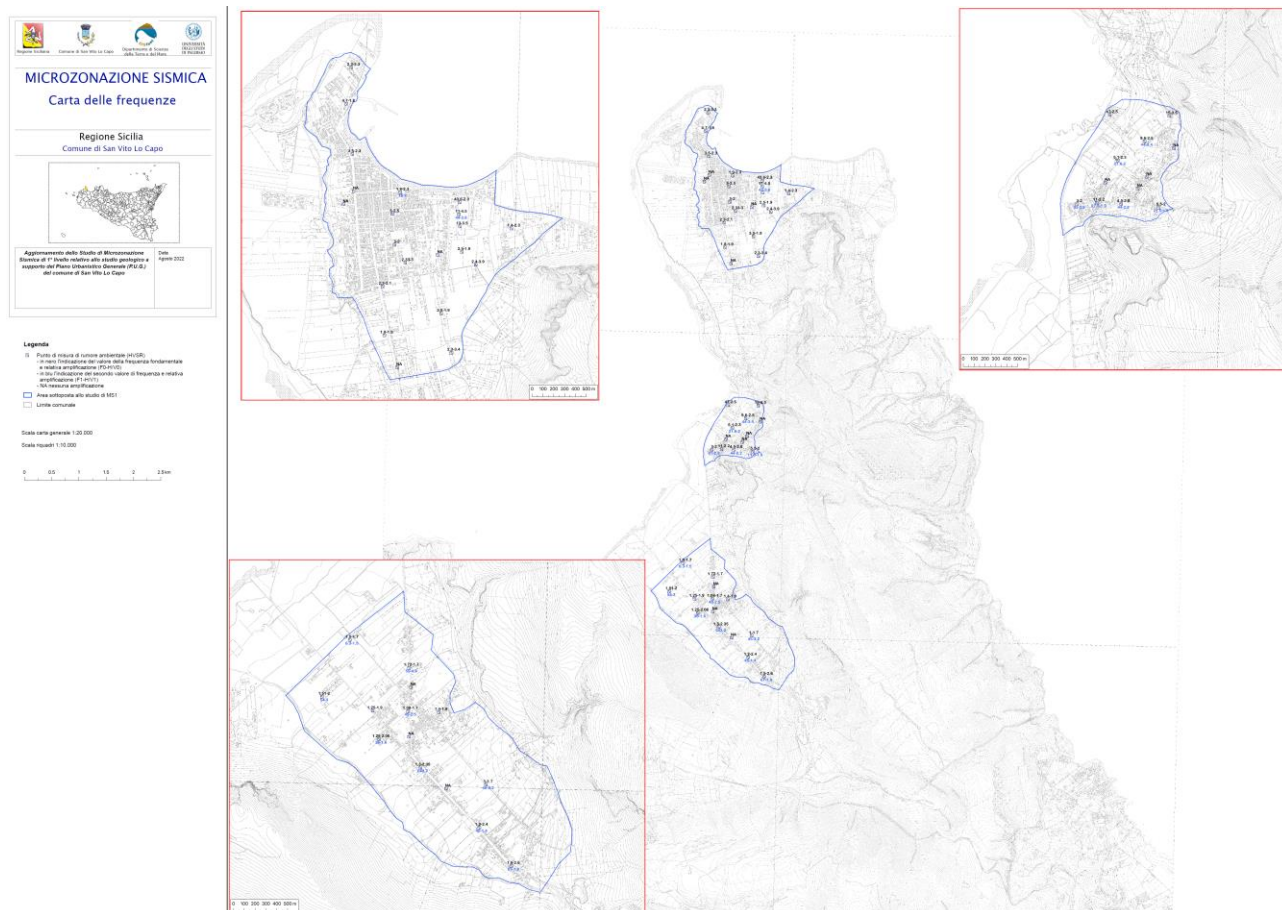


Fig. 21. Riduzione della carta delle frequenze delle aree perimetrate relative ai dei centri urbanizzati del Comune di San Vito Lo Capo (v. PDF cartella plot in banca dati).

6.3. Carta della profondità del bedrock sismico

Il valore di frequenza fondamentale (o di risonanza) misurato, insieme ai valori secondari sono stati interpretati al fine di ottenere una ricostruzione sismostratigrafica per ciascun sito analizzato. In alcuni casi, tuttavia, non è stato registrato nessun picco significativo, nemmeno quello fondamentale, e quindi non è stato possibile ricavare informazioni di frequenza ed ampiezza per quel determinato sito. In altre misure invece è stato riconosciuto soltanto il picco fondamentale, che ha consentito di stimare esclusivamente la profondità dell'interfaccia fra terreno di copertura e substrato fratturato/alterato e/o bedrock sismico. Infine, nei siti in cui sono stati registrate frequenze secondarie, oltre quella fondamentale, è stato possibile ricostruire un profilo stratigrafico multistrato con contrasti di impedenza significativi (i.e. terreno di copertura, substrato fratturato/alterato e bedrock sismico).

La caratterizzazione sismica dei terreni nelle aree oggetto di studio, unitamente ai dati di sottosuolo, ha permesso di cartografare la profondità del bedrock sismico, caratterizzato da velocità delle onde di taglio >800 m/s (fig. 22). Le aree indagate sono caratterizzate dagli affioramenti di rocce calcaree consistenti che costituiscono il bedrock sismico, mostrando spessori di copertura di pochi metri. In particolare, l'area del centro abitato di San Vito Lo Capo, mostra un bedrock sismico quasi affiorante, ad esclusione di una piccola area, caratterizzata dalla presenza di materiale di riempimento, in corrispondenza di una cava a cielo aperto non più attiva. Anche l'area del centro abitato di Castelluzzo mostra spessori minimi della profondità del bedrock sismico. L'area in esame del centro abitato di Macari mostra invece una maggiore variazione della profondità del bedrock sismico, raggiungendo valori di 12 metri.



Fig. 22. Riduzione della carta del bedrock sismico, delle aree perimetrate relative ai dei centri urbanizzati del Comune di San Vito Lo Capo (v. PDF cartella plot in banca dati).

6.4. Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 1)

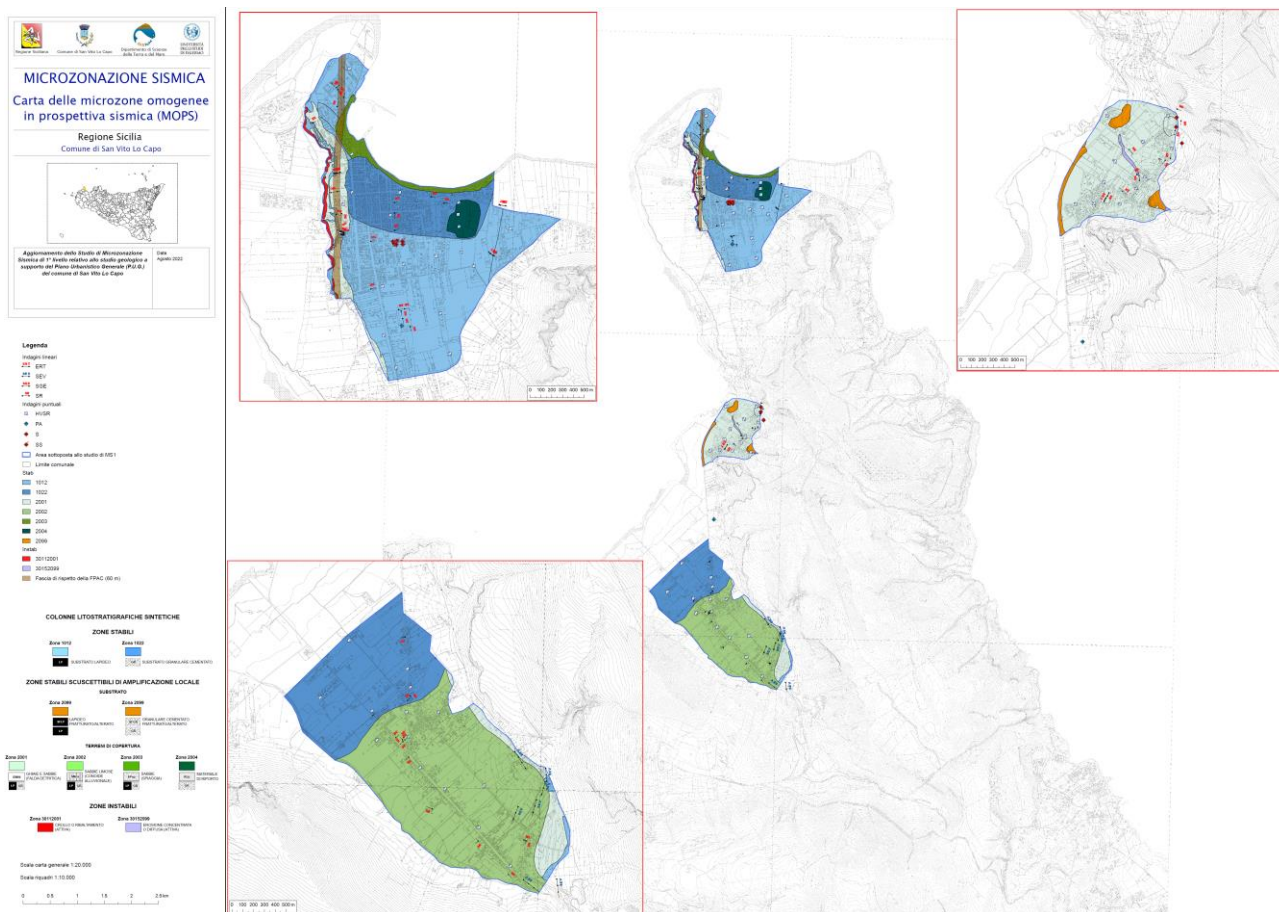
Nella Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS), realizzata in scala 1:20.000 per il quadro generale e in scala 1:10.000 nei riquadri singoli delle aree di studio, sono state distinte diverse aree all'interno delle quali si ritiene che il comportamento in termini di risposta sismica sia omogeneo. Questa distinzione è stata effettuata sulla base delle caratteristiche geologico-geomorfologiche di superficie, della geologia di sottosuolo e dai dati sia geognostici che geofisici inseriti nella Carta delle Indagini.

Secondo questo principio all'interno del territorio comunale di San Vito Lo Capo sono state distinte tre categorie:

- Zone stabili;
- Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali;
- Zone di attenzione per instabilità.

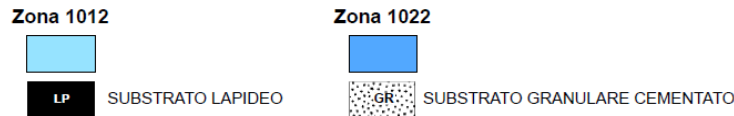
Le “zone stabili” sono state individuate in prossimità di substrato geologico locale affiorante, in quanto detto substrato, dai risultati delle indagini sismiche disponibili, raggiunge valori delle velocità di propagazione delle onde S pari a $V_s \geq 800$ m/s, necessarie a individuare, secondo le Linee Guida, le zone stabili prive di amplificazione dello scuotimento sismico, qualora gli spessori dei terreni di copertura siano inferiori a 3 metri.

A seguire la carta allegata alla presente relazione (fig. 23).



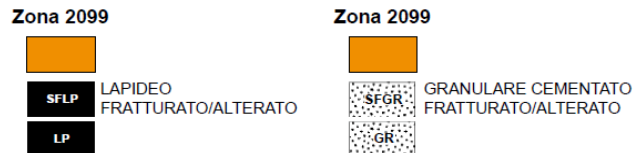
COLONNE LITOSTRATIGRAFICHE SINTETICHE

ZONE STABILI

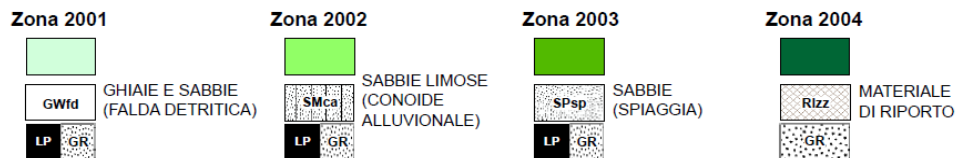


ZONE STABILI SCUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONE LOCALE

SUBSTRATO



TERRENI DI COPERTURA



ZONE INSTABILI



Fig. 24. Colonne litostratigrafiche sintetiche relative alle microzone omogenee in prospettiva sismica.

Zone stabili

Nelle zone stabili non sono attese amplificazioni del moto sismico d'input legate alla situazione litostratigrafica e/o morfologica locale. Sostanzialmente si tratta delle zone di affioramento del substrato rigido ($V_s > 800$ m/s) coperto da una coltre eluvio-colluviale e/o materiale di origine antropica di spessore < 3 m (fig. 24). Sono state individuate 2 zone stabili, che nello specifico sono:

- **Zona 1012** – Zona costituita da un substrato lapideo caratterizzato dalla presenza di litotipi di natura carbonatica e silico-clastica, in strati da decimetrici al metro, con spessore di 150 - 300 metri.
- **Zona 1022** – Zona costituita da un substrato granulare cementato caratterizzato dalla presenza di litotipi di natura carbonatica e clastico-carbonatica, con spessore di 4 - 30 m.

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

Nelle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali sono attese amplificazioni del moto sismico d'input legate alla situazione litostratigrafica e/o morfologica locale. Sostanzialmente si tratta delle zone di affioramento del substrato non rigido ($V_s < 800$ m/s) coperto da una coltre eluvio-colluviale e/o materiale di origine antropica di spessore < 3 m, e di terreni di copertura quali depositi alluvionali, falde detritiche e materiale di origine antropica con spessore sempre > 3 m e $V_s < 800$ m/s. Sono state individuate 3 zone suscettibili di amplificazioni locali, che nello specifico sono:

- **Zona 2099** – Zona costituita da un substrato lapideo di natura carbonatica e silico-clastica passante lateralmente e verso l’alto ad un substrato granulare cementato di natura carbonatica e clastico-carbonatica. Questa zona presenta una fascia di alterazione e fratturazione superficiale variabile, da pochi metri fino ad un massimo di 12 metri circa. Sotto questa coltre di alterazione e fratturazione superficiale il substrato si presenta piuttosto integro e compatto, con spessore massimo valutabile in 150-250 metri.
- **Zona 2001** – Zona costituita da una copertura di natura detritica (detriti di versante e falde detritiche), caratterizzata dalla presenza di ghiaie e sabbie, con spessore variabile da pochi metri ad un massimo di 12 metri circa. Questa copertura poggia su un substrato lapideo di natura carbonatica e silico-clastica passante lateralmente e verso l’alto ad un substrato granulare cementato di natura carbonatica e clastico-carbonatica.
- **Zona 2002** – Zona costituita da un terreno di copertura di natura alluvionale (conoide alluvionale) caratterizzato dalla presenza di sabbie limose. Questa copertura poggia su un substrato lapideo di natura carbonatica passante lateralmente e verso l’alto ad un substrato granulare cementato di natura carbonatica e clastico-carbonatica.
- **Zona 2003**– Zona costituita da un terreno di copertura di natura costiera (depositi di spiaggia) caratterizzato dalla presenza di sabbie pulite con granulometria poco assortita. Questi depositi poggiano su un substrato lapideo di natura carbonatica e silico-clastica passante lateralmente e verso l’alto ad un substrato granulare cementato di natura carbonatica e clastico-carbonatici.
- **Zona 2004** – Zona costituita da una copertura detritica di natura antropica caratterizzata dalla presenza di materiale di riporto eterogeneo ed eterometrico, spesse da pochi metri fino ad un massimo di 7 metri circa. Questi depositi poggiano su un substrato lapideo granulare cementato di natura carbonatica e clastico-carbonatica.

Zone di attenzione per instabilità

Tra le zone di attenzione per instabilità vengono comprese tutte le zone in frana individuate nella Carta Geologico-Tecnica, distinte sulla base della tipologia di movimento e dello stato di attività delle stesse (attivo, quiescente o non attivo). Nello specifico le zone di attenzione per instabilità di versante sono state distinte e classificate secondo quanto previsto dalle linee guida (*Indirizzi e Criteri di Microzonazione Sismica – Versione 4.1_Sicilia*) (tab. 9):

- **Zona 30112001** – Zona di attenzione per instabilità di versante attiva caratterizzata da fenomeni di crollo o ribaltamento.
- **Zona 30152099** – Zona di attenzione per instabilità di versante attiva caratterizzata da fenomeni di erosione concentrata o diffusa.

<i>Tipo di instabilità e stato di attività</i>	<i>MOPS</i>	<i>Codice</i>	<i>Numero</i>
crollo o ribaltamento attiva	2001	30112001	6
erosione concentrata o diffusa attiva	2099	30152099	2

Tab. 9. Tabella riassuntiva delle zone di attenzione per instabilità presenti nella Carta delle MOPS.

7. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DI DANNI PER EVENTI PASSATI

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

8. BIBLIOGRAFIA

- AKI K. (1964) - *A note on the use of microseisms in determining the shallow structures of the earth's crust*. Geophysics, 29, 665–666.
- ALBARELLO D., CESI C., EULILLI V., GUERRINI F., LUNEDI E., PAOLUCCI E., PILEGGI D., PUZZILLI L.M. (2010) - *The contribution of the ambient vibration prospecting in seismic microzonation: an example from the area damaged by the 26th April 2009 l'Aquila (Italy) earthquake*. Boll. Geofis. Teor. Appl., Vol. 52, n.3, pp. 513-538.
- AZZARO R. & BARBANO M.S. (2000b) – *Contributo alla compilazione della carta delle faglie attive della Sicilia*. Le ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica (1996-99), CNR – Gruppo Nazionale per la difesa dai Terremoti, Roma 227-235.
- AZZARO R., BARBANO M.S., RIGANO R. & ANTICHI B. (2000) – *Contributo alla revisione delle zone sismogenetiche della Sicilia*. Le ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica (1996-99), CNR – Gruppo Nazionale per la difesa dai Terremoti, Roma.
- 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.
- BOSCHI E. (1994) - “*Sismicità storica della Sicilia: le ricerche dell’Istit. Naz. Geofisica dal 1987 al 1994*”. Atti “I° Congresso Reg.le dell’ordine dei Geologi di Sicilia”, Marina di Ragusa (Rg).
- D’ADDEZIO G. & VALENSISE G. (1991) – *Metodologie per l’individuazione della struttura sismogenetica responsabile del terremoto del 13 dicembre 1990*. In: “Contributi allo Studio del Terremoto della Sicilia Orientale del 13 Dicembre 1990”, edited by E. BOSCHI and A. BASILI, Publication of Istituto Nazionale di Geofisica, Roma, No. 537, 115-125.
- FÄH D., KIND F. AND GIARDINI D. (2002)- *Inversion of local S-wave velocity structures from average H/V ratios, and their use for the estimation of site effects*. Journal of Seismology, 7, 449-467.
- FINETTI I.R. & DEL BEN A. (1996) – *Crustal tectono-stratigraphic setting of the Pelagian foreland from new CROP seismic data*. In: Finetti I.R. (Ed.), CROP PROJECT: Deep Seismic Exploration of the Central Mediterranean and Italy, pp. 581-595. Chapter 26.
- GELI L., BARD P.Y., JULLIEN B. (1988). *The effect of topography on earthquake ground motion: a review and new result*. Bull. Seism. Soc. of America, Vol.78, No.1.
- GHISETTI F. & VEZZANI L. (1981) – *Contribution of structural analysis to understanding the geodynamic evolution of the Calabrian arc (Southern Italy)*. Journal Structural Geology, 3 (4), 371-381.
- GRUPPO DI LAVORO MPS (2004)- *Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall’Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici*.
- GRUPPO DI LAVORO MS (2008) *Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Conferenza delle Regioni e delle Province autonome – Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 vol. e Cdrom*

GUIDOBONI E., FERRARI G., MARIOTTI D., COMASTRI A., TARABUSI G., SGATTONI G., VALENSISE G. (2018) - CFTI5Med, Catalogo dei Forti Terremoti in Italia (461 a.C.-1997) e nell'area Mediterranea (760 a.C.-1500). Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). doi: <https://doi.org/10.6092/ingv.it-cfti5>

GUIDOBONI E., FERRARI G., TARABUSI G., SGATTONI G., COMASTRI A., MARIOTTI D., CIUCCARELLI C., BIANCHI M.G., VALENSISE G. (2019), CFTI5Med, the new release of the catalogue of strong earthquakes in Italy and in the Medi-terranean area, Scientific Data 6, Article number: 80 (2019). doi: <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0091-9>

LOCATI M., CAMASSI R., ROVIDA A., ERCOLANI E., BERNARDINI F., CASTELLI V., CARACCILOLO C.H., TERTULLIANI A., ROSSI A., AZZARO R., D'AMICO S., ANTONUCCI A. (2022). Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 4.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/DBMI/DBMI15.4>

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

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

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

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

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

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

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.

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

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

9. ALLEGATI

1. *Report delle nuove elaborazioni degli HVSR T1-T32 eseguite da Diasis srl ad agosto 2012.*
2. *Report delle elaborazioni degli HVSR N1-N15 eseguite da Geo3 srl a febbraio 2022.*
3. *Carta delle indagini*
4. *Carta delle frequenze*
5. *Carta della profondità del bedrock sismico*
6. *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 1)*

Palermo, 11/08/2022

Il responsabile della Convenzione per il DiSTeM
Prof Raffaele Martorana

