

ALMA MATER STUDIORUM · UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

---

---

Scuola di Scienze

Corso di Laurea Magistrale in Fisica del Sistema Terra

Analisi della vulnerabilità sociale e danno da tsunami  
per la città di Siracusa

Relatore:

Prof. Stefano Tinti

Presentata da:

Eleonora Accorsi

Correlatore:

Dott. Gianluca Pagnoni

Sessione II

Anno Accademico 2014/2015



# Sommario

Siracusa, importante città della Sicilia sud orientale, si affaccia sul Mar Ionio ed è situata in una zona altamente esposta al pericolo di tsunami, di tipo locale e non: fra i numerosi eventi che hanno colpito quest'area si ricordano i maremoti del 21 luglio 365, dell'11 gennaio 1693 e del 28 dicembre 1908.

L'obiettivo di questa Tesi è studiare la vulnerabilità sociale, esposizione e impatto legati a un'eventuale inondazione di Siracusa dovuta a tsunami. Il presente lavoro è strutturato come segue. Innanzitutto, si fornisce una descrizione della regione interessata illustrandone gli aspetti geografici e geologici e tracciando una breve sintesi della sequenza degli tsunami che l'hanno colpita. Successivamente si prende in esame la vulnerabilità, in particolare la vulnerabilità sociale, facendo un breve excursus dei concetti e delle metodologie di analisi. Nella Tesi lo studio sarà diviso in tre fasi che si differenziano sia per l'approccio utilizzato che per le dimensioni dell'area in esame. Nella prima fase viene studiata tutta la costa orientale della Sicilia con l'obiettivo di calcolare la vulnerabilità sociale su base comunale. Per ogni comune della costa verrà calcolato un indice di vulnerabilità noto nella letteratura specialistica come SoVI (Social Vulnerability Index). Nella seconda fase ci si concentra sul comune di Siracusa e si stima il numero di persone potenzialmente colpite da tsunami sulla base di dati statistici disponibili a livello municipale. La terza fase consiste in un'analisi ancora più dettagliata che studia puntualmente le strutture che si trovano nella zona inondata e quantifica l'impatto sulle persone e sulle costruzioni considerando per queste ultime anche il loro valore economico.



# Indice

Introduzione .....	1
1 La città di Siracusa e gli tsunami .....	3
1.1 Siracusa.....	3
1.2 Setting geologico .....	5
1.3 Gli tsunami .....	7
1.3.1 Il maremoto del 21 luglio 365 .....	7
1.3.2 Il maremoto dell'11 gennaio 1693 .....	7
1.3.3 Il maremoto del 28 dicembre 1908 .....	8
1.3.4 Altri tsunami.....	9
1.4 Scenario di tsunami per la città di Siracusa .....	10
2 Analisi della vulnerabilità .....	13
2.1 Definizione di vulnerabilità .....	13
2.2 Analisi della vulnerabilità sociale.....	16
2.3 Gli indici di vulnerabilità sociale.....	18
2.3.1 SoVI .....	19
2.4 Analisi di vulnerabilità sociale in ambito comunale .....	20
2.4.1 Presenze giornaliere totali .....	21
2.4.2 Presenze negli edifici scolastici e universitari.....	22
2.4.3 Presenze negli ospedali pubblici .....	22
2.4.4 Presenze giornaliere negli stabilimenti balneari.....	22
2.4.5 Presenze giornaliere nei porti .....	23
2.5 Analisi di vulnerabilità sociale a livello delle singole strutture nell'area di inondazione.....	23
2.5.1 Presenze nelle strutture ricettive .....	24
2.6 Danno da maremoto alle persone .....	25
2.7 Stima del Probable Maximum Loss.....	29

2.7.1	Stima del PML relativo agli edifici .....	30
3	Raccolta dei dati.....	31
3.1	SoVI.....	31
3.2	Analisi di vulnerabilità sociale in ambito comunale .....	34
3.3	Analisi di vulnerabilità sociale a livello delle singole strutture nell'area di inondazione.....	36
3.3.1	CTN.....	37
3.3.2	Altri dati .....	40
3.4	Stima del PML relativo agli edifici .....	42
4	Analisi dei dati .....	45
4.1	SoVI.....	45
4.2	Analisi di vulnerabilità sociale in ambito comunale .....	50
4.3	Analisi di vulnerabilità sociale a livello delle singole strutture nell'area di inondazione.....	53
4.3.1	Localizzazione delle strutture.....	53
4.3.2	Selezione delle strutture .....	56
4.3.3	Analisi di vulnerabilità .....	60
4.4	Stima del PML relativo agli edifici .....	72
5	Conclusioni .....	75
5.1	SoVI.....	75
5.2	Analisi di vulnerabilità sociale in ambito comunale .....	76
5.3	Analisi di vulnerabilità sociale a livello delle singole strutture nell'area di inondazione.....	76
5.4	Stima del PML relativo agli edifici .....	77
	Bibliografia.....	79

# Elenco delle figure

Figura 1.1: Immagine satellitare della Sicilia (da Google Earth).....	3
Figura 1.2: Immagine satellitare della città di Siracusa e della penisola di Ortigia (da Google Earth).....	4
Figura 2.1: Funzione di fragilità per il calcolo delle vittime da tsunami, da Koshimura et al. (2009), e dati sperimentali.....	27
Figura 2.2: Digitalizzazione fino a 5 m dei dati sperimentali di mortalità da tsunami di Koshimura et al. (2009).....	27
Figura 3.1: fogli della CTN utilizzati per lo studio della città di Siracusa.....	36
Figura 3.2: Schermata CTN dove sono rappresentati esempi di elementi della polyline. Le righe identificano ciascun elemento dello shape, le colonne identificano gli attributi (handle, layer, elevation et cetera) .....	39
Figura 3.3: Fasce utilizzate per le quotazioni OMI per la penisola di Ortigia .....	42
Figura 4.1: Grafico con in ascissa i fattori ed in ordinata il relativo autovalore e la varianza cumulata. I fattori con maggiore autovalore spiegano la maggiore varianza dei dati.....	45
Figura 4.2: Mappa del SoVI per i comuni considerati .....	48
Figura 4.3: Percentuali dei comuni a bassa, media e alta vulnerabilità sociale suddivisi in base alla provincia.....	49
Figura 4.4: Confronto fra l'andamento delle presenze turistiche giornaliere e le presenze giornaliere negli stabilimenti balneari.....	51
Figura 4.5: Parte della mappa creata con Google Earth dove ciascun segnaposto indica una tipologia di edificio differente.....	53
Figura 4.6: Mappa degli edifici ritenuti vulnerabili rappresentati con colori diversi in base alla tipologia. Le linee nere e celesti rappresentano rispettivamente le strade e le acque .....	54
Figura 4.7: Altre strutture e luoghi considerati vulnerabili dal punto di vista sociale .....	56
Figura 4.8: Mappa delle strutture ritenuti vulnerabili a quota uguale o inferiore a 5 m .....	58
Figura 4.9: Mappa degli edifici residenziali a quota uguale o inferiore a 5 m.....	59
Figura 4.10: Mappa delle strutture del layer B002 a quota uguale o inferiore a 5 m.....	60
Figura 4.11: Spiaggia privata dell'hotel (A), solarium Porto Piccolo (B) e solarium Forte Vigliena (C).....	62
Figura 4.12: Mappa delle strutture non residenziali in base alla colonna d'acqua .....	67

Figura 4.13: Mappa degli edifici residenziali classificati in base alla colonna d'acqua ..... 71

# Elenco delle tabelle

Tabella 2.1: Alcune definizioni di vulnerabilità con relativa fonte.....	14
Tabella 2.2: Elenco di alcune definizioni di vulnerabilità sociale con relativa fonte .....	16
Tabella 2.3: Variazioni temporali dei valori di presenze per ciascuna struttura .....	21
Tabella 2.4: Ulteriori note relative alle variazioni temporali dei valori di presenze per ciascuna tipologia di edificio .....	24
Tabella 2.5: Intervalli di colonna d'acqua con relativo livello di esposizione per persone che si trovano in edifici ad un solo piano o al piano terra di edifici a più piani.....	25
Tabella 2.6: Intervalli di colonna d'acqua con relativo livello di esposizione per persone che si trovano al primo piano degli edifici .....	26
Tabella 2.7: Intervalli di colonna d'acqua, livello di esposizione e percentuale di vittime stimati per persone al piano terra degli edifici .....	28
Tabella 2.8: Intervalli di colonna d'acqua, livello di esposizione e percentuale di vittime utilizzati per persone al primo piano degli edifici.....	28
Tabella 2.9: Intervalli di colonna d'acqua, livello di esposizione e percentuale di vittime per persone negli edifici che subiscono crolli parziali o totali.....	29
Tabella 3.1: Elenco dei comuni considerati per il calcolo del SoVI suddivisi in base alla provincia.....	31
Tabella 3.2: Elenco dei dati con anno di riferimento e fonte di informazione utilizzati per calcolare gli indicatori impiegati nella costruzione del SoVI .....	34
Tabella 3.3: Tipo di dati per il calcolo delle presenze con anno di riferimento e relativa sorgente di informazioni.....	35
Tabella 3.4: Descrizione della classificazione del layer B.....	39
Tabella 3.5: Strutture per le quali i dati sono stati raccolti individualmente con relativa sorgente di informazione .....	40
Tabella 3.6: Elenco dei dati utilizzati con relativo anno di riferimento e fonte di informazione .....	41
Tabella 3.7: Valori economici minimi e massimi (€) per m <sup>2</sup> per tipologia residenziale e commerciale in base alla fascia.....	43
Tabella 3.8: Valori economici minimi e massimi (€) per m <sup>2</sup> per tipologia terziaria e produttiva in base alla fascia.....	43

Tabella 4.1: Elenco dei fattori con variabili rappresentate, segno delle coordinate delle variabili e segno del fattore .....	46
Tabella 4.2: Classificazione del SoVI per i comuni considerati .....	47
Tabella 4.3: Presenze giornaliere totali con variazione mensile per la città di Siracusa.....	50
Tabella 4.4: Presenze giornaliere negli edifici considerati vulnerabili dal punto di vista sociale per la città di Siracusa .....	52
Tabella 4.5: Tipologia e numero di strutture nella zona analizzata .....	55
Tabella 4.6: Tipologia e numero di strutture con quota topografica uguale o inferiore a 5 m.	57
Tabella 4.7: Percentuale di frequenza mensile degli stabilimenti di Siracusa rispetto al mese con maggiori presenze (agosto).....	62
Tabella 4.8: Presenze in edifici scolastici, ospedali pubblici, case di riposo, strutture ricettive e stabilimenti balneari nella zona inondata .....	63
Tabella 4.9: Numero di edifici non residenziali a un piano suddivisi in base all'altezza della colonna d'acqua. Evidenziati in azzurro gli edifici in cui abbiamo una stima delle persone presenti .....	65
Tabella 4.10: Numero delle strutture non residenziali a due o più piani suddivisi in base all'altezza della colonna d'acqua. Evidenziati in azzurro le strutture in cui abbiamo una stima delle persone presenti .....	66
Tabella 4.11: Luoghi considerati vulnerabili dal punto di vista sociale con colonna d'acqua e relativa percentuale di vittime. Evidenziati in azzurro i luoghi per cui abbiamo una stima delle persone presenti.....	68
Tabella 4.12: Residenti in base al piano abitato degli edifici residenziali .....	68
Tabella 4.13: Presenze coinvolte in base al livello di esposizione assegnato al piano terra degli edifici residenziali .....	69
Tabella 4.14: Presenze coinvolte in base al livello di esposizione assegnato al primo piano degli edifici residenziali .....	69
Tabella 4.15: Presenze negli edifici classificati con livello di danno D4 o D5 con il metodo Schema .....	70
Tabella 4.16: Elenco degli individui coinvolti in base a livello di esposizione e tipo di edificio .....	71
Tabella 4.17: Prima parte dell'elenco delle aree inondate al 40% o totalmente inondate e dei danni economici minimi e massimi per tipologia di struttura non residenziale.....	72

Tabella 4.18: Seconda parte dell'elenco delle aree inondate al 40% o totalmente inondate e dei danni economici minimi e massimi per tipologia di struttura non residenziale. L'ultima colonna esprime i totali ottenuti sommando i valori di tutte le strutture.....	73
Tabella 4.19: Elenco delle aree inondate al 40% o totalmente inondate e dei danni economici minimi e massimi per gli edifici residenziali .....	73
Tabella 4.20: Aree inondate al 40% o totalmente inondate e dei danni economici minimi e massimi per le strutture industriali .....	74
Tabella 4.21: Riassunto e totale dei danni economici minimi e massimi per tutte le strutture	74
Tabella 5.1: Valori per i fattori F1, F2 e F3 per Siracusa con relative variabili rappresentate	75



# Introduzione

È noto che terremoti, maremoti, eruzioni vulcaniche *et cetera* sviluppano un enorme potenziale distruttivo se colpiscono elementi a rischio in dipendenza delle relative vulnerabilità fisiche, sociali, economiche ed ambientali. Questi eventi sono difficilmente prevedibili e l'unica azione possibile consiste nell'attuare politiche e pratiche che possano attenuarne gli effetti disastrosi.

Basandosi sulla definizione fornita dalla UNISDR (United Nations Office for Disaster Risk Reduction) si può introdurre il concetto di rischio che è la combinazione fra la probabilità di verificarsi di un evento e la probabilità che si verifichino conseguenze negative, ovvero perdite potenziali. Generalmente è indicato come la convoluzione di tre quantità:

$$\text{Rischio} = \text{Pericolosità} * \text{Vulnerabilità} * \text{Esposizione}$$

La pericolosità è la probabilità che un evento di una certa intensità colpisca un determinato sito entro un dato periodo di tempo, la vulnerabilità è la propensione di un elemento a subire danni, qualora sia colpito, e l'esposizione riguarda il grado di protezione dell'elemento nel contesto ambientale in cui si trova.

Per ridurre il potenziale distruttivo dei fenomeni naturali non si può agire sulla pericolosità, ma è possibile modificare la vulnerabilità e, parzialmente, l'esposizione degli elementi sotto attacco.

Tra i fenomeni naturali potenzialmente dannosi già citati vi sono gli tsunami, che si manifestano come serie di onde marine di grande lunghezza d'onda e periodo. Quando lo tsunami si avvicina alla costa, la sua velocità di fase diminuisce a causa dell'abbassamento del fondale e l'ampiezza delle onde aumenta, amplificandosi anche fino a 10-20 volte rispetto ai valori misurabili in mare aperto. Gli tsunami sono provocati da terremoti sottomarini, frane sabaeree e sottomarine, eruzioni vulcaniche e anche dall'impatto in mare di asteroidi o meteoriti. I maremoti possono causare numerose vittime, distruggere completamente villaggi e città costiere, come la storia insegna, con danni che possono persistere nel tempo per molti anni, e possono condizionare lo sviluppo di economie locali e di interi stati. Negli ultimi decenni la concentrazione di popolazione e di insediamenti nelle zone costiere è notevolmente aumentata in tutti i paesi del mondo, il che ha reso più pressante la necessità di stimare il

rischio ad essi associato e di dotare le comunità costiere di norme e mezzi di prevenzione adeguati. Il progetto europeo ASTARTE (Assessment, STRategy And Risk Reduction for Tsunamis in Europe) nel triennio 2014-2016 si pone fra l'altro gli obiettivi di accrescere il livello di resilienza da tsunami, di migliorare la preparazione della popolazione che vive sulle coste e di salvaguardare e proteggere sia le vite umane che gli edifici. L'area di studio del progetto comprende le coste europee che si affacciano sull'oceano Atlantico e quelle del mar Mediterraneo, ma di fatto si concentra su alcuni siti-campione fra i quali vi è anche la città di Siracusa, situata nella parte meridionale della costa orientale della Sicilia. Questa Tesi, il cui obiettivo è quello di studiare la vulnerabilità sociale, l'esposizione e l'impatto di tsunami tramite un'analisi della popolazione e delle strutture, focalizza la propria attenzione sull'area residenziale di Siracusa che comprende la penisola di Ortigia e la zona in prossimità della costa stretta fra il Porto Piccolo e il Porto Grande.

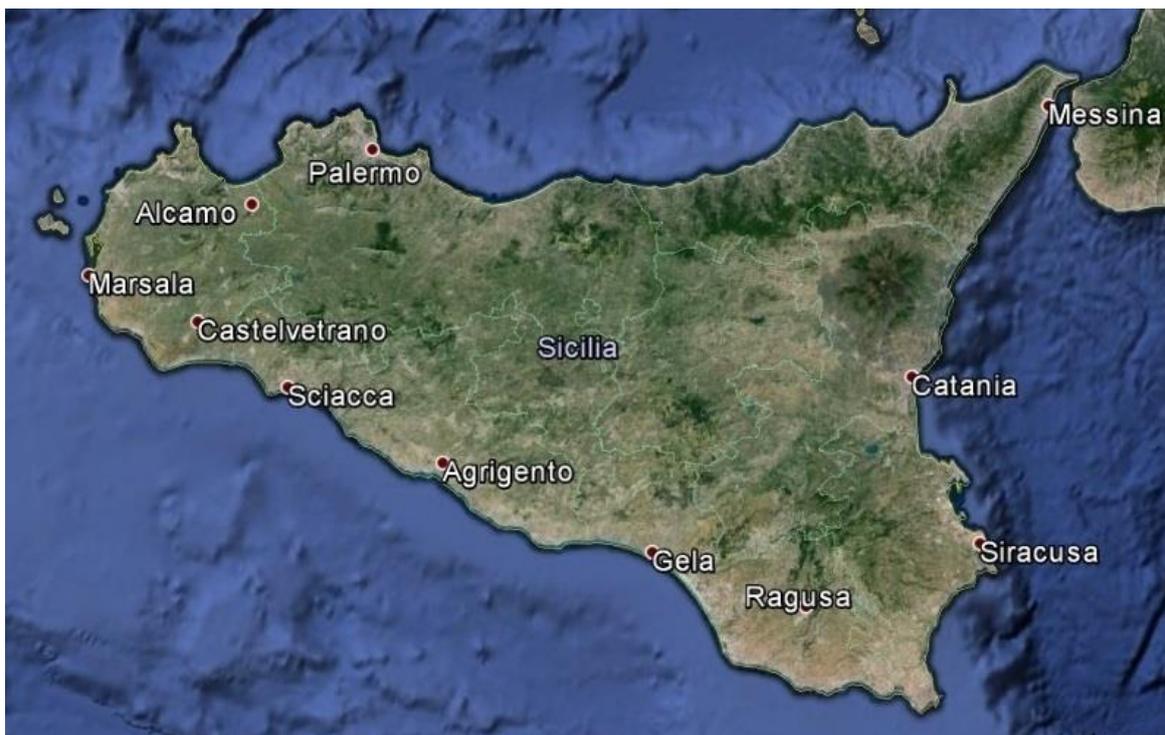
Il Capitolo 1 sarà dedicato all'inquadramento della zona sia dal punto di vista geologico che storico ed alla descrizione più dettagliata della città di Siracusa. Nel Capitolo 2 si definisce la vulnerabilità sociale e sono descritti i vari metodi utilizzati per stimarla in maniera quantitativa. Il primo metodo è applicato ai vari comuni della costa orientale siciliana e calcola un indice relativo di vulnerabilità sociale che è noto in letteratura come Social Vulnerability Index (SoVI). Con il secondo metodo si analizza la vulnerabilità nel comune di Siracusa stimando il numero di persone potenzialmente colpite da maremoto. Il terzo metodo è applicato alla penisola di Ortigia e alla zona vicino alla costa fra il Porto Piccolo e il Porto Grande e quantifica con dettaglio maggiore rispetto al metodo precedente il numero di persone potenzialmente investite ed il danno che possono subire. Si è inoltre valutata la massima perdita economica sulla base delle strutture fisicamente danneggiate. Nel Capitolo 3 si descrive la raccolta dei dati necessari per compiere le analisi che sono compiute in dettaglio e commentate nel Capitolo 4. Infine, nel Capitolo 5 si tirano le conclusioni evidenziando anche i limiti dell'analisi.

# 1 La città di Siracusa e gli tsunami

In questo primo Capitolo si fornisce una breve descrizione della città di Siracusa e delle caratteristiche geologiche del suo territorio, integrandola con l'analisi degli tsunami che l'hanno colpita nel corso dei secoli.

## 1.1 Siracusa

Siracusa, situata nella costa orientale della Sicilia (Figura 1.1), giace sul promontorio della penisola di Ortigia (lunga circa 1,6 km e larga 800 m) e sulla terra ferma. La città si apre su un'ampia baia, conosciuta come Baia di Siracusa, che si trova a sud ovest di Ortigia (Figura 1.2).



*Figura 1.1: Immagine satellitare della Sicilia (da Google Earth)*



*Figura 1.2: Immagine satellitare della città di Siracusa e della penisola di Ortigia (da Google Earth)*

Siracusa è una città molto importante dal punto di vista storico ed artistico ed è stata inclusa nella lista dei siti del patrimonio dell'umanità da parte dell'UNESCO nel 2005. La città è caratterizzata da un lungo e ricco percorso storico. I primi insediamenti nell'area risalgono all'età del bronzo e del ferro. Attorno al 734 a.C. Greci provenienti da Corinto e Tenea fondarono una colonia che si sviluppò velocemente, diventando una delle più grandi città del mondo antico. I Romani conquistarono Siracusa nel 212 a.C. e la governarono per seicento anni. Durante il dominio Romano Siracusa rimase una città importante, ma nel corso della storia successiva andò progressivamente declinando. Dal Medioevo fino all'Età Moderna Siracusa fu governata da diverse civiltà: Bizantini, Arabi, Normanni e Spagnoli. Nel 1861 divenne infine parte dell'appena nato Regno d'Italia.

Siracusa cominciò ad espandersi oltre Ortigia solamente nella seconda metà del XIX secolo quando il quartiere Umbertino ed il quartiere di Santa Lucia furono costruiti nell'entroterra a nord della penisola, al di là delle mura spagnole (distrutte nel 1870). Una seconda più intensa

urbanizzazione cominciò subito dopo la fine della Seconda Guerra Mondiale, quando molti quartieri furono costruiti nell'area settentrionale.

Ortigia è oggi collegata con l'entroterra mediante due ponti:

- il ponte Umberto I, risalente al 1870, completamente in pietra, ristrutturato alla fine degli anni '80;
- il ponte Santa Lucia, costruito nel 2004 rispettando i criteri antisismici più stringenti appositamente per ridurre il rischio di crollo in caso di terremoto.

Fino al 2014 era presente anche il ponte dei Calafatari, demolito all'inizio del 2015 perché considerato instabile e pericolante. Vale la pena ricordare che è in corso un'indagine per verificare se il suo abbattimento non sia stato compiuto senza adeguate indagini di carico e perciò senza accertato motivo.

Siracusa è dotata di un porto diviso in due settori, entrambi per lo più turistici: il Porto Piccolo, a nord est di Ortigia, ha un bacino poco profondo ed un canale lo collega al Porto Grande, costruito nella parte settentrionale della Baia di Siracusa. In passato quest'ultimo era un importante porto commerciale, ma ora ha perso importanza a causa della competizione con i porti di altre città. Al momento, sono in corso lavori di espansione.

Attualmente, l'economia della città è basata soprattutto sul turismo e sul polo petrolchimico che occupa un'ampia porzione della costa a nord di Siracusa fino ad Augusta.

## **1.2 Setting geologico**

Siracusa è situata all'interno del plateau Siculo-Ibleo, parte del prolungamento settentrionale emerso della placca Africana, che nel Mar Mediterraneo si scontra con il plateau Calabro-Ionico nella scarpata Ibleo-Maltese (Figura 1.3). La scarpata, che si estende al largo delle coste orientali siciliane, può essere suddivisa in due parti: la parte a sud di Siracusa non è stata sede di fagliazione nei tempi recenti, mentre la parte a nord è caratterizzata da faglie distensive recenti disposte in direzione NNW-SSE. Essa sembra rappresentare un margine continentale passivo ed è caratterizzata da un profondo dislivello.



Figura 1.3: La scarpata Ibleo-Maltese (linea nera)

Importante è la relazione con l'Etna, poiché la parte orientale della base dell'edificio vulcanico Etneo è posizionata in mare e sembra intercettare la scarpata Ibleo-Maltese: il dislivello topografico della scarpata perciò potrebbe influenzare la stabilità dei versanti ionici dell'Etna.

L'interazione del blocco Siculo-Ibleo e del blocco Calabro-Ionico è l'origine di terremoti, anche tsunamigenici, locali e regionali lungo la costa della Sicilia orientale, che però è anche interessata da maremoti causati dalla sismicità legata all'Arco Ellenico (Figura 1.4).

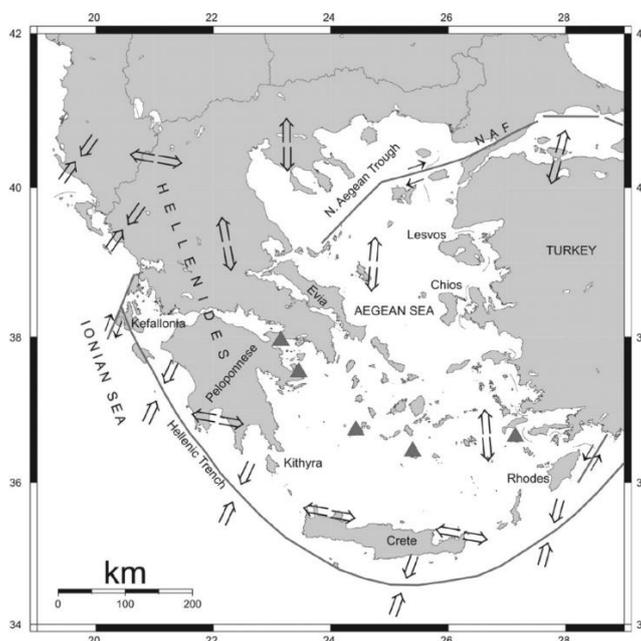


Figura 1.4: Arco Ellenico, Mar Egeo, coste greche circostanti e Turchia occidentale

L'Arco Ellenico è manifestazione della subduzione di litosfera oceanica in direzione NE-SW nel Mediterraneo orientale e separa il Mediterraneo meridionale, caratterizzato da profondità di circa 3 km e non deformato, dal Mar Egeo, che ha una struttura decisamente più complessa.

La tettonica dell'Egeo settentrionale è prevalentemente distensiva e trascorrente poiché la Turchia tende a spostarsi verso Ovest e l'Arco Ellenico verso Sud-Ovest.

### **1.3 Gli tsunami**

La Sicilia orientale e la Calabria meridionale sono le regioni Italiane con maggiore attività tsunamigenica e in queste zone si sono verificati gli eventi più disastrosi conosciuti. Siracusa è stata colpita da numerosi tsunami secondo il catalogo dei maremoti italiani (Tinti *et al.*, 2007).

#### **1.3.1 Il maremoto del 21 luglio 365**

Un terremoto ( $M=8,3$ ) con origine nell'Arco Ellenico occidentale provocò uno tsunami che fu osservato in tutto il Mediterraneo orientale. Non si hanno descrizioni precise di inondazioni sulle coste Siciliane, ma vi sono tracce geologiche sia sulla costa che in mare aperto. In particolare, vale la pena ricordare che le torbiditi di Augias (o omogeniti) che si trovano nella piana abissale dello Ionio e di Sirte e che furono attribuite alla propagazione verso ovest del maremoto provocato dall'esplosione di Santorini attorno al 1600 a.C., sono invece da collegare, secondo studi e datazioni recenti, proprio al maremoto del 365 (Polonia *et al.*, 2013). In una campagna di carotaggi effettuata in 10 siti della Sicilia orientale sono stati identificati in campioni prelevati in 4 siti diversi della Baia di Augusta, sia a riva che in mare, depositi di sedimenti collegabili a questo tsunami (Smedile *et al.*, 2012). Inoltre è bene ricordare che sono stati trovati depositi sia a nord che a sud di Siracusa e che, considerando le distanze di inondazione nei siti vicini di Priolo Gargallo (circa 10 km a nord) e Morghella (circa 40 km a sud), si può supporre che lo tsunami sia stato abbastanza violento da provocare una profonda inondazione anche nell'area di Siracusa (De Martini *et al.*, 2012).

#### **1.3.2 Il maremoto dell'11 gennaio 1693**

Un primo terremoto ( $M=6,2$ ) del 9 gennaio è stato seguito da un altro evento disastroso ( $M=7,4$ ) due giorni dopo, che ha provocato uno tsunami. I due terremoti hanno colpito la Sicilia sud orientale, ovvero le province di Catania, Siracusa e Ragusa causando enorme distruzione e più di 50.000 vittime.

A Mascali il mare penetrò per circa 1,5 km, ma il maggior impatto si ebbe ad Augusta, dove inizialmente il porto fu completamente portato a secco dal ritiro del mare. Successivamente, il mare crebbe di 2,5 m al di sopra del livello normale, inondando la città con un run-up fino a 8 m. A Siracusa furono osservate almeno 3 onde di tsunami e il mare penetrò per circa 150 m. Le informazioni sono però troppo vaghe per localizzare con precisione i luoghi inondati.

La faglia del terremoto dell'11 gennaio 1693, il più importante della sequenza, è stata localizzata in almeno tre posizioni differenti in diversi studi: a terra vicino alla costa (Sirovich e Pettenati, 1999; DISS, 2010) sulla base di dati macrosismici e di modelli di propagazione di onde sismiche; al largo nel Mar Ionio lungo la scarpata Ibleo-Maltese (Piatanesi e Tinti, 1998; Bianca *et al.*, 1999; Tinti *et al.*, 2011) sulla base di modelli sismo-tettonici e di modelli di propagazione di onde di tsunami; nella zona di subduzione Calabria (Gutscher *et al.*, 2006) sulla base di considerazioni tettoniche e modellistica di tsunami. Un'ulteriore ipotesi (Tinti *et al.*, 2007; Argnani *et al.*, 2012) sonda l'ipotesi che lo tsunami sia stato provocato da una frana sottomarina causata dal terremoto stesso.

### **1.3.3 Il maremoto del 28 dicembre 1908**

Il terremoto ( $M=7,1$ ) e lo tsunami del 28 dicembre 1908 formano insieme l'evento naturale più disastroso che ha colpito l'Italia nella storia moderna. Il terremoto ha portato a enorme devastazione nella Sicilia orientale e nella Calabria meridionale, distruggendo Messina e Reggio Calabria e causando, congiuntamente allo tsunami, oltre 80.000 vittime.

Lo tsunami ha attaccato la costa pochi minuti dopo il terremoto ed è stato altamente distruttivo nella parte meridionale dello Stretto di Messina: qui il run-up delle onde ha raggiunto i 6 m in molte località e ha superato i 10 m a Lazzaro e Pellaro in Calabria e a Sant'Alessio in Sicilia. L'altezza di run-up è diminuita fino a 2 m procedendo verso sud nella zona di Siracusa. Qui lo tsunami ha colpito prima il Porto Piccolo e ha viaggiato attraverso il canale che lo collega al Porto Grande. L'area attorno a questo canale fu inondata, ma le acque non si sono inoltrate oltre 100 m dalla banchina.

Si riconosce come responsabile una faglia localizzata nello Stretto di Messina, ma non vi è consenso né sulla posizione precisa della faglia né sulla distribuzione ed entità dello scorrimento co-sismico. È inoltre stata proposta un'ipotesi che lega lo tsunami ad una grande frana (Billi *et al.*, 2008). Sebbene la sorgente sia considerata inadeguata da altri autori (Argnani *et al.*, 2009), l'idea che lo tsunami sia causato da uno o più movimenti di massa

messi in moto dal terremoto è considerata plausibile (Favalli *et al.*, 2009; Ridente *et al.*, 2014).

### **1.3.4 Altri tsunami**

Recenti studi di paleo-tsunami nella costa orientale della Sicilia hanno gettato nuova luce su altri maremoti che in passato hanno colpito il Siracusano.

A sud di Siracusa, nella penisola della Maddalena, sono stati trovati accumuli di massi dovuti all'impatto degli tsunami del 1693, del 1908 e forse di un evento del 4 Febbraio 1169 (causato da un terremoto con epicentro a sud di Catania) (Scicchitano *et al.*, 2007; Scicchitano *et al.*, 2010). Più a sud, nell'area di Ognina, altri depositi di massi sono stati interpretati come il risultato dell'impatto dell'evento del 1169 (Scicchitano *et al.*, 2007). Sempre nella stessa zona, sono stati ritrovati sedimenti la cui analisi li collega agli tsunami del 365, del 1169 e del 1693 (Scicchitano *et al.*, 2010).

Altri depositi di massi sono stati studiati nella riserva marina di Vendicari e vengono ricondotti agli eventi del 1693 o del 1908 e ad un altro tsunami, avvenuto fra il 650 ed il 930 (Barbano *et al.*, 2001).

Nella penisola di Magnisi nella Baia di Augusta sono stati identificati massi e sono stati prelevati alcuni sedimenti dall'entroterra e in mare: sono stati riconosciuti 12 tsunami, di cui solo 9 associati a eventi conosciuti. Gli tsunami più rilevanti risalgono al 1600 a.C. (causato dall'esplosione del vulcano Santorini), al 365, al 1169, al 1693 ed al 1908 (Scicchitano *et al.*, 2007; De Martini *et al.*, 2010 e 2012; Smedile *et al.*, 2012).

Infine, è opportuno includere in questa breve sintesi sui maremoti del Siracusano anche lo tsunami del 13 dicembre 1990, il più recente verificatosi in questa zona. Un terremoto ( $M=5,6$ ) con epicentro a Brucoli, a nord di Augusta, provocò ingenti danni in molte città, soprattutto ad Augusta, mentre a Siracusa furono riportati solo danni da leggeri a moderati nella penisola di Ortigia. Il terremoto fu troppo piccolo e con un meccanismo focale sfavorevole per generare uno tsunami rilevante, ma nondimeno provocò perturbazioni nel moto ondoso ad Augusta e l'inondazione del Lungomare Granatello (Boschi *et al.*, 1997).

## 1.4 Scenario di tsunami per la città di Siracusa

Nonostante la Sicilia orientale sia una delle aree italiane più soggette all'attacco di maremoti, i dati specifici di run-up rilevati nel territorio siracusano sono molto scarsi e danno valori inferiori a 2 m. Per l'analisi condotta nella presente Tesi si è scelto come livello di inondazione un valore più alto, ovvero 5 m, per i motivi elencati di seguito.

Innanzitutto è necessario considerare le sorgenti locali di terremoto. Per ciò che riguarda la Sicilia sud-orientale, in due cataloghi di faglie (DISS, Basili *et al.*, 2008, e SHARE-EDSF, Basili *et al.*, 2013) sono riconosciute varie sorgenti sismiche posizionate nell'entroterra, che sono però incompatibili con la generazione di tsunami significativi. L'unica sorgente compresa nei cataloghi di faglie che può generare tsunami è classificata come "debated", ovvero come sorgente per la quale sono necessari ulteriori approfondimenti e sulla quale non c'è un largo consenso fra gli esperti: è localizzata al largo di Catania e Siracusa ed è parallela alla scarpata Ibleo-Maltese. Simulazioni numeriche dello tsunami del 1693 considerano fra l'altro anche questa faglia, supponendone però la rottura del solo settore a nord di Siracusa, dal momento che la maggior parte degli effetti del maremoto furono riportati sul tratto di costa che da Augusta si spinge verso nord (Piatanesi e Tinti, 1998; Tinti *et al.*, 2001). È importante sottolineare che non si può escludere che in futuro anche il settore di fronte a Siracusa possa essere interessato da una rottura, determinando un terremoto con magnitudo anche superiore a 7 e provocando uno tsunami con effetti maggiori sul Siracusano che nel Catanese (Tinti *et al.*, 2005a; Sørensen *et al.*, 2012).

In secondo luogo, si considerano le sorgenti remote di terremoto. L'Arco Ellenico occidentale, che va da Creta al Peloponneso, è unanimemente riconosciuto come una regione sorgente di grandi terremoti tsunamigenici: ne è prova il già citato tsunami del 365. Come precedentemente affermato, sebbene non vi siano prove storiche documentali, studi geologici hanno trovato tracce del maremoto del 365 in siti attorno a Siracusa e simulazioni numeriche provano che terremoti nell'Arco Ellenico possono produrre maremoti con un'altezza di inondazione di vari metri nella città.

La terza considerazione riguarda le sorgenti di frane. Gli tsunami del 1693 e del 1908 sono ancora oggetto di ricerca poiché è stato ipotizzato che possano essere il risultato anche di frane sottomarine. I versanti dello Stretto di Messina e della scarpata Ibleo-Maltese sono aree riconosciute favorevoli alle frane (Argnani e Bonazzi, 2005; Ridente *et al.*, 2014) e simulazioni numeriche di frane sottomarine nella regione provano che si possono produrre

onde più alte di 6 m nella costa siciliana (Zaniboni *et al.*, 2014). Inoltre, è bene ricordare che anche un terremoto di media grandezza come quello del 1990 può destabilizzare i versanti del margine continentale ionico da Catania fino a Siracusa. Oltre a ciò, si consideri che anche frane di volume medio-piccolo possono provocare tsunami locali con alti valori di run-up: un esempio è lo tsunami del 2002 provocato da due frane, entrambe più piccole di 40 milioni di m<sup>3</sup>, staccatesi dalla Sciara del Fuoco a Stromboli (Tinti *et al.*, 2005b; Tinti *et al.*, 2006). Non si può quindi escludere che una frana, mobilizzata da un terremoto anche moderato nella scarpata Ibleo-Maltese del settore di fronte a Siracusa, possa generare uno tsunami capace di inondare la città.

Da quanto detto, emerge i) che i dati quantitativi di run-up osservati e riportati sono inferiori a 2 m, ma riguardano solo alcuni dei molti maremoti che hanno colpito Siracusa (per esempio il maremoto del 1908), e ii) che dati e modelli geofisici e geologici concordano sul fatto che tsunami nel Siracusano hanno provocato e possono provocare livelli di inondazione ben maggiore.

In attesa di studi più precisi che possano fornire mediante specifiche simulazioni un quadro di inondazione del Siracusano più accurato (si possono ricordare al riguardo gli studi condotti nell'ambito del progetto europeo ASTARTE), si è scelto di considerare un'area di inondazione a livello uniforme con valore di 5 m che sembra mediamente compatibile con valori calcolati in alcune simulazioni di tsunami (Armigliato *et al.*, 2015). È bene sottolineare che assumere un livello uniforme è una semplificazione ragionevole, come spesso si fa in analisi di vulnerabilità, per uno studio preliminare. Infatti, in generale, i profili di inondazione, sia rilevati sperimentalmente che calcolati mediante simulazioni numeriche, sono spesso eterogenei e dipendenti dalla morfologia costiera. In presenza di transetti a topografia monotona crescente verso l'entroterra spesso i profili di inondazione sono anch'essi crescenti con minimo sulla costa e massimo in corrispondenza del punto inondato più lontano dalla costa (dove viene rilevato il run-up).



## 2 Analisi della vulnerabilità

In questo Capitolo si forniscono la definizione di vulnerabilità ed i metodi che sono stati utilizzati per analizzarla. Il primo è rappresentato da un indice di vulnerabilità sociale conosciuto in letteratura come SoVI (Social Vulnerability Index) che produce un valore di vulnerabilità relativo ed è stato calcolato in questa Tesi per i comuni della costa siciliana orientale. Gli altri due metodi sono stati concepiti ed applicati per analisi su territori più limitati e verranno utilizzati per il calcolo della vulnerabilità a Siracusa e nella zona di Ortigia.

### 2.1 Definizione di vulnerabilità

La vulnerabilità è un concetto multidimensionale che si riferisce in generale a una possibilità di danno o di perdita, ma ne esistono diverse e forse troppe definizioni in base al tipo delle perdite ed al tipo delle persone colpite. Passando dalla persona singola alla società e poi all'ambiente, si possono distinguere: la vulnerabilità individuale che è legata alle perdite relative al singolo individuo, la vulnerabilità sociale che include la sensibilità di un gruppo o di una società, e la vulnerabilità biofisica che rappresenta la possibilità di perdite dovute all'interazione fra la società e l'ambiente biofisico. Nonostante il concetto di vulnerabilità sia ampiamente utilizzato, non ne esiste una definizione univoca, poiché in ambiti diversi assume significati differenti (Tabella 2.1): ciò porta a un lessico confuso e ad incomprensioni.

<b>Definizione di vulnerabilità</b>	<b>Fonte</b>
Il grado di perdita di un certo elemento o di un set di elementi a rischio a causa di un fenomeno naturale di data intensità	UNDRO (United Nations Disaster Relief Organization), 1982
La probabilità che un individuo o un gruppo sia esposto a un pericolo e colpito sfavorevolmente da esso. È l'interazione fra il pericolo del luogo e il profilo sociale delle comunità	Cutter, 1993
Le caratteristiche di una persona o di un gruppo in base alla capacità di anticipare, superare, resistere e riprendersi dagli	Blaikie <i>et al.</i> 1994

*Tabella 2.1: Alcune definizioni di vulnerabilità con relativa fonte*

Nonostante queste ambiguità, si possono distinguere tre filoni fondamentali negli studi di vulnerabilità:

1. La vulnerabilità intesa come rischio o esposizione a pericoli. Questi studi esaminano la sorgente di rischio biofisico e si focalizzano sulla distribuzione di alcune condizioni pericolose, l'insediamento della popolazione nelle zone rischiose e il grado di perdite associato al verificarsi di un evento particolare. Prossimità alla sorgente, intensità, durata, frequenza o probabilità dell'evento e impatto spaziale sono gli elementi caratterizzanti di queste analisi.
2. La vulnerabilità come risposta sociale. Si considera la capacità di reagire, ovvero la sensibilità e l'abilità di recupero della società. Le variabili utilizzate sono ad esempio danni alle infrastrutture o alle linee di comunicazione, necessità particolari della popolazione, indicatori di povertà o ricchezza, necessità di alimenti, relazioni sociali *et cetera*.
3. La vulnerabilità dei luoghi. Si combinano le due visioni precedenti analizzando una zona geografica specifica e la vulnerabilità è vista sia in relazione al rischio biofisico sia come reazione della società.

Essendo multidimensionale, la vulnerabilità comprende numerose componenti che debbono essere studiate separatamente, ma è fondamentale sottolineare che sono importanti anche le relazioni fra ciascuna di esse e le altre. Una possibile definizione di vulnerabilità comprende i seguenti aspetti:

1. Fisico. La suscettibilità a danni strutturali di edifici, veicoli, infrastrutture e linee di comunicazione;
2. Sistemico. La suscettibilità di sistemi complessi al verificarsi di eventi avversi con attenzione a come gli effetti si propagano attraverso il sistema;
3. Culturale. Pone attenzione alle perdite potenziali dovute a particolari credenze, costumi e modi di vivere;
4. Organizzativo. Si riferisce alle perdite e alla ridotta abilità a riprendersi a causa dell'esposizione di individui, comunità ed economie locali;

5. Istituzionale. Conseguenze dovute a difetti nelle istituzioni e nelle disposizioni emanate ed attuate da esse;
6. Territoriale. Legato all'unità spaziale e al luogo dove avviene l'evento;
7. Economica. Probabilità di perdite economiche e di produttività;
8. Sociale. Si focalizza non solo sulle caratteristiche degli individui, ma anche sulle relazioni all'interno della società e la natura delle relazioni fra l'ambiente fisico e sociale.

La vulnerabilità ha inoltre una dimensione temporale: può essere infatti misurata in termini di danni alle vite future e non solo in relazione alle vite e alle proprietà danneggiate nel momento in cui è avvenuto il fenomeno.

È importante anche il concetto di resilienza: è definita come la capacità di adattamento, ovvero di reazione e di recupero dopo un evento pericoloso che si sviluppa non verso lo stato originale ma verso una nuova sistemazione. Si possono distinguere due diverse relazioni fra vulnerabilità e resilienza: la prima associa ad alti livelli di vulnerabilità bassa resilienza e viceversa; la seconda interpreta la resilienza come componente integrale della vulnerabilità. Utilizzando quest'ultima interpretazione, si può considerare la vulnerabilità come elemento statico e la resilienza come un elemento dinamico: il concetto è legato alla capacità rigenerativa del sistema come auto-organizzazione, adattamento e apprendimento. Se la resilienza è vista come risultato allora è considerata incorporata alla vulnerabilità; se, al contrario, è interpretata come processo, vulnerabilità e resilienza sono concetti distinti benché collegati.

Per studiare la vulnerabilità, occorre perciò esaminare la combinazione di componenti fisiche, sociali, economiche e politiche che influenzano la gravità delle conseguenze prodotte da un determinato evento, a cui un individuo, una comunità o un sistema sono sottoposti.

Questa Tesi si focalizza sulla dimensione sociale della vulnerabilità, per la quale esistono molte definizioni (Tabella 2.2). Si può affermare che anche la vulnerabilità sociale può essere vista a sua volta come un'entità multidimensionale.

<b>Definizione di vulnerabilità sociale</b>	<b>Fonte</b>
Suscettibilità dei gruppi sociali a perdite potenziali dovute a eventi pericolosi o resistenza della società e resilienza a pericoli	Blaikie <i>et al.</i> , 1994
Suscettibilità di una comunità che ha sviluppato specifici stili di vita e di	Hewitt,

relazione, soggetti a trasformarsi nel tempo	1997
Suscettibilità di una popolazione che ragioni storiche e socio-economiche portano ad insediarsi in aree altamente esposte, e capacità di risposta e adattamento	Yamal, 2007

*Tabella 2.2: Elenco di alcune definizioni di vulnerabilità sociale con relativa fonte*

L'analisi della vulnerabilità sociale richiede di considerare la società a diverse scale, in quanto la società stessa è costruita su diversi livelli. Una schematizzazione possibile prevede la microsocietà, che rappresenta l'individuo e le famiglie; la mesosocietà, che si identifica con la comunità locale e, infine, la macrosocietà, che rappresenta la società a livello regionale, nazionale e globale.

## **2.2 Analisi della vulnerabilità sociale**

Vi è sempre stato un grande interesse verso i metodi per caratterizzare la vulnerabilità sociale, ma è mancato lo sviluppo di una teoria generale capace di orientare l'utilizzo di dati di tipo quantitativo e qualitativo. I modelli concettuali di maggiore consenso che hanno cercato di porre le basi per l'analisi e la stima della vulnerabilità sociale sono i seguenti:

1. Risk Hazard (RH); Burton *et al.* (1978)
2. Pressure And Release (PAR); Blaikie *et al.* (1994)
3. Access model; Wisner (2004)
4. Hazard Of Place (HOP); Cutter (1996)
5. Bogardi-Birkmann-Cardona (BBC); Cardona (1999, 2001), Bogardi e Birkmann (2004), Birkmann (2006)

### Risk Hazard (RH)

Il modello RH studia l'impatto di un fenomeno naturale pericoloso in funzione dell'esposizione all'evento e della sensibilità degli elementi esposti. Al contrario, non studia né il modo in cui il sistema amplifica o attenua gli effetti dell'evento, né gli effetti diretti ed inversi dell'economia, ovvero né come l'evento influenzi lo sviluppo economico (effetto diretto), né come lo sviluppo economico influenzi esposizione e conseguenze (effetto inverso).

### Pressure And Release (PAR)

Il modello PAR esamina la pressione dovuta a fenomeni naturali pericolosi e le condizioni che portano al disastro ed inoltre evidenzia che esiste una relazione fra vulnerabilità ed esposizione della società. Studia la pressione come un processo temporale evolutivo partendo dai processi sociali preesistenti all'evento ed in particolare dai processi che generano la vulnerabilità e fragilità sociale, individuando le condizioni di insicurezza, classificate in vulnerabilità dell'ambiente fisico (strutture e infrastrutture non protette), dell'economia locale (per esempio basso livello di entrate), delle relazioni sociali (gruppi specifici a rischio) e delle istituzioni e delle azioni pubbliche (mancanza di politiche per pratiche di risposta all'emergenza).

### Access model

L'Access model è un'analisi ampliata dei fattori principali del modello PAR che si focalizza sui processi di impatto dell'evento naturale sulla popolazione e sulla reazione della popolazione. Per questo motivo, l'Access model completa il PAR e i due modelli sono spesso usati in coppia.

### Hazard Of Place (HOP)

Il modello HOP identifica e quantifica il peso relativo dei diversi elementi che contribuiscono alla vulnerabilità e ne esamina la variazione nel tempo, ponendo al centro dell'analisi il luogo geografico dove l'evento si verifica, che diviene l'unità fondamentale di analisi. Il rischio di un evento si combina con la mitigazione per creare il potenziale totale del disastro. Il rischio può essere attenuato da una buona politica di mitigazione, oppure al contrario amplificato da processi di mitigazione inesistenti o non adeguati. Questo potenziale del disastro è filtrato sia attraverso la società per determinare la vulnerabilità sociale totale sia tramite il contesto geografico per determinare la vulnerabilità biofisica. L'intersezione e l'interazione di vulnerabilità sociale e biofisica creano perciò la vulnerabilità totale.

### Bogardi-Birkmann-Cardona (BBC)

La stima di vulnerabilità nel modello BBC considera sia la suscettibilità-esposizione che la capacità di reagire, poiché entrambe influenzano la possibilità di un evento pericoloso di produrre danni. Il modello studia la vulnerabilità nell'ambito di un processo dinamico in cui vulnerabilità, capacità di reagire e strumenti di mitigazione atti a ridurre la vulnerabilità interagiscono mutuamente. Il modello BBC riconosce e studia la vulnerabilità sociale, economica e ambientale. Inoltre evidenzia che la capacità di monitoraggio e previsione di

eventi potenzialmente disastrosi è necessaria per limitarne l'impatto e per gestire le relative emergenze, ma sostiene anche l'importanza di anticipare il rischio con azioni di prevenzione.

### **2.3 Gli indici di vulnerabilità sociale**

Gli indici sono delle variabili quantitative e possono essere composti da una singola variabile o da una combinazione di esse. Attualmente sono il metodo più adottato dai ricercatori poiché risultano utili per valutare e monitorare la vulnerabilità sociale nel tempo e nello spazio. È necessario però sottolineare che la vulnerabilità sociale non è un fenomeno direttamente osservabile e non esiste un set robusto e consistente di indicatori per la sua stima che faciliti il paragone fra diversi luoghi, come non esistono regole specifiche per l'algoritmo da utilizzare o per verificare la robustezza dell'indice stesso.

Lo sviluppo di un indice richiede la scelta dell'unità areale di riferimento e delle variabili che si adattano meglio al tipo di analisi ed alla zona geografica in esame, in base anche alla disponibilità dei dati. È inoltre necessario decidere se si utilizzano frequenze relative o assolute. L'utilizzo di frequenze assolute è giustificato quando le unità areali sono omogenee (ad esempio quando contengono circa lo stesso numero di persone, o lo stesso numero di edifici residenziali, o la stessa tipologia di asset, *et cetera*). Le frequenze relative, viceversa, servono per confrontare tra loro unità territoriali eterogenee. Quando si è in presenza di un grande numero di indicatori, rappresentativi delle varie componenti che concorrono a determinare la vulnerabilità multidimensionale, l'indice di solito viene costruito mediante una procedura statistica che identifica il set degli indicatori più significativi, ne quantifica i pesi e le regole di aggregazione per ottenere il valore finale.

Nel corso degli anni sono stati implementati numerosi indici di vulnerabilità sociale, ma si ritiene che il più adeguato al caso di studio di questa Tesi sia il Social Vulnerability Index (SoVI) implementato da Cutter, Boruff e Shirley nel 2003 nell'ambito del modello HOP. Il SoVI è stato scelto 1) perché è stato concepito per analizzare la vulnerabilità sociale in caso di evento naturale pericoloso, 2) perché è già stato utilizzato in caso di tsunami (Wood *et al.*, 2009; Guillard-Gonçalves *et al.*, 2014) ed inoltre 3) perché, fra quelli analizzati, è il più flessibile, in quanto utilizza variabili facilmente adattabili al caso specifico.

### 2.3.1 SoVI

Il SoVI quantifica la vulnerabilità sociale nell'ambito del modello concettuale HOP: un evento pericoloso interagisce con la mitigazione (le misure per ridurre l'impatto) per produrre il potenziale di rischio, limitato o aumentato da un filtro geografico (il luogo e la prossimità dell'evento) e dal tessuto sociale della zona (l'esperienza della comunità di precedenti eventi pericolosi, la capacità di rispondere, riprendersi e adattarsi ad essi, dove tutto ciò è influenzato dalle caratteristiche economiche, demografiche e dell'edificato).

L'unità areale di base è in generale un'unità amministrativa territoriale come un distretto, una contea, una città, ma spesso sono scelte aree geografiche definite a scopo di censimento. In questo studio viene utilizzata l'unità amministrativa comunale e si stimerà il SoVI per tutti i comuni sulla costa orientale della Sicilia. I risultati verranno illustrati nel Capitolo 4.

Chi ha introdotto il SoVI ha elencato ben 250 variabili che possono caratterizzare la variabilità sociale, ma nelle applicazioni più comuni ne vengono utilizzate solo circa una quarantina. Fra queste ultime per questa Tesi sono state selezionate le variabili che sono disponibili nelle statistiche ufficiali e per acquisire le quali non è necessario compiere campagne specifiche di raccolta dati, dal momento che non erano disponibili risorse finanziarie per condurle.

L'indice si basa su variabili normalizzate che vengono definite punti  $z$ . Per un dato set di valori campionari  $x_i$  di una variabile  $x$  si calcola la media ( $\mu$ ) e la deviazione standard ( $\sigma$ ), per poi normalizzarli mediante la trasformazione in punti zeta, che hanno media nulla e deviazione standard unitaria:

$$z_i = \frac{x_i - \mu}{\sigma}$$

La determinazione delle variabili significative viene condotta mediante l'analisi delle componenti principali (Principal Component Analysis, PCA) che produce dei fattori (autovettori) che sono una combinazione lineare delle variabili. Tramite l'analisi degli autovalori, si selezionano i fattori che spiegano la maggior parte della varianza dei dati e analizzando le coordinate delle variabili si è in grado di determinare le variabili più rappresentate dai fattori selezionati. Importante è la polarità (positiva o negativa) di ogni variabile rispetto alla vulnerabilità sociale: una variabile ha polarità positiva se un suo aumento provoca una crescita della vulnerabilità sociale, in caso contrario ha polarità negativa. Per ciascuna area geografica di base si sommano i fattori (col loro segno o con

segno opposto o in valore assoluto a seconda della polarità delle variabili costituenti) per ottenere il valore di SoVI che può essere discretizzato in classi. La più comune classificazione prevede 3 classi di vulnerabilità sociale: bassa, media e alta.

È fondamentale sottolineare che il SoVI non è una completa caratterizzazione della vulnerabilità sociale, ma solamente una stima in base alle variabili che sono state reputate importanti relativamente alla zona di interesse. Inoltre, dal momento che l'indice è basato su variabili zeta normalizzate, non può rappresentare valori assoluti di vulnerabilità, ma è utile per confrontare la vulnerabilità sociale di diverse aree territoriali di base. L'indice serve per identificare le caratteristiche spazialmente correlate e le zone dove c'è una maggiore concentrazione di popolazione più vulnerabile. In altre parole, un valore elevato di SoVI in una certa area non significa che tutta la popolazione presente in quella zona sia altamente vulnerabile. Questa deduzione costituirebbe il cosiddetto "errore ecologico", che consiste nel considerare una caratteristica areale come valida per ciascun elemento presente al suo interno. Inoltre, non sempre la PCA cattura le variabili che contribuiscono di più alla vulnerabilità poiché essa rappresenta ciò che meglio spiega la varianza nei dati di input.

## **2.4 Analisi di vulnerabilità sociale in ambito comunale**

L'analisi della vulnerabilità sociale per il comune di Siracusa è stata compiuta anche utilizzando un metodo diverso da quello proposto dal modello HOP che si concretizza nel calcolo del SoVI e che è stato presentato nella sezione precedente. Il metodo alternativo prevede la stima delle presenze di persone nella città in funzione della posizione e del tempo. L'idea di base è che la conoscenza dei flussi della popolazione combinata con la conoscenza delle strutture nel territorio consente di stabilire sia l'esposizione che la vulnerabilità della popolazione al verificarsi di un evento avverso. Per compiere questa prima analisi quantitativa si considerano la popolazione residente e, essendo Siracusa anche un'importante meta turistica, le presenze turistiche.

Le strutture scelte per l'analisi sono gli edifici scolastici e universitari, gli ospedali pubblici, gli stabilimenti balneari ed i due porti della città. Nella Tabella 2.3 sono riassunte le caratteristiche dell'andamento temporale delle presenze giornaliere.

<b>Struttura</b>	<b>Giorno</b>	<b>Notte</b>	<b>Giorni festivi</b>	<b>Altre note</b>
Edifici scolastici e universitari	Costante	Nulla	Nulla	Chiusura nel periodo estivo e durante l'anno scolastico per vacanze
Ospedali pubblici	Costante			
Stabilimenti balneari	Variabile	Nulla	Variabile	Il valore di presenze calcolato è il totale giornaliero
Porti	Variabile	Nulla	Variabile	Il valore di presenze calcolato è il totale giornaliero

*Tabella 2.3: Variazioni temporali dei valori di presenze per ciascuna struttura*

Per valutare le presenze sono state utilizzate delle formule, che saranno esposte nei paragrafi successivi, simili a quelle introdotte ed utilizzate da Pontrelli (2007), ma leggermente modificate per tenere conto che le attuali si riferiscono all'intera area comunale, mentre le altre si riferivano ad una realtà sub-comunale. Nelle formule, i termini contrassegnati da un apice indicano che sono valori mensili, variabili da mese a mese, mentre gli altri hanno valori in prima approssimazione costanti durante l'anno.

### **2.4.1 Presenze giornaliere totali**

Per il calcolo delle presenze giornaliere totali  $P_{TOT}$  nel territorio comunale si sommano le componenti di popolazione residente, stabile nel corso dell'anno, e di presenze turistiche mensili.

$$P_{TOT} = P_R + \frac{P'_T}{G_M}$$

$P_{TOT}$ : presenze giornaliere totali;

$P_R$ : popolazione residente per giorno;

$P'_T$ : presenze turistiche mensili;

$G_M$ : numero di giorni del mese analizzato.

## 2.4.2 Presenze negli edifici scolastici e universitari

Si considerano le strutture scolastiche sia pubbliche che private, assumendo che le presenze siano nulle nei mesi di luglio ed agosto per vacanze estive.

$$P_S = S_{S\,TOT} + A_S + S_{U\,TOT} * C + A_U$$

$P_S$ : presenze giornaliere negli edifici scolastici;

$S_{S\,TOT}$ : numero di studenti nelle scuole d'infanzia, di istruzione primaria e secondaria;

$A_S$ : numero di addetti nelle scuole d'infanzia, di istruzione primaria e secondaria;

$S_{U\,TOT}$ : numero di studenti universitari;

$C$ : coefficiente di riduzione per valutare il numero di studenti universitari frequentanti, stimato pari a 0,6;

$A_U$ : numero di addetti nelle università.

## 2.4.3 Presenze negli ospedali pubblici

Le presenze giornaliere negli ospedali pubblici sono stimate mediante la seguente formula:

$$P_O = \frac{A_O}{T} + \frac{G_O + G_D}{365} + \frac{R_{PS}}{365} * \frac{T_P}{24}$$

$P_O$ : presenze giornaliere negli ospedali pubblici;

$A_O$ : numero di addetti negli ospedali pubblici;

$T$ : numero di turni giornalieri degli addetti negli ospedali pubblici, stimato a 3;

$G_O$ : giorni di degenza ordinaria;

$G_D$ : giorni di degenza in day hospital;

$R_{PS}$ : numero di ricorsi al Pronto Soccorso;

$T_P$ : tempo di permanenza al Pronto Soccorso, stimato a 3 ore.

## 2.4.4 Presenze giornaliere negli stabilimenti balneari

Calcolando la media delle presenze turistiche giornaliere nell'arco dell'anno, si può supporre che, se il valore di presenze turistiche giornaliero supera il valore medio, la differenza

rappresenti le persone che si dedicano ad attività balneare. Ciò detto, la formula per stimare le presenze giornaliere negli stabilimenti balneari, per i quali mancano dati diretti, è la seguente:

$$P_{SB} = \left( \frac{P'_T}{G_M} - \overline{\left( \frac{P'_T}{G_M} \right)} \right)$$

$P_{SB}$ : presenze giornaliere negli stabilimenti balneari;

$P'_T$ : presenze turistiche mensili;

$G_M$ : numero di giorni del mese analizzato.

### **2.4.5 Presenze giornaliere nei porti**

Si considerano le attività sia turistiche sia commerciali che si svolgono nei due porti di Siracusa. Le presenze giornaliere possono essere calcolate mediante la formula:

$$P_P = A_P + \frac{P_{AP}}{365} + \frac{P'_{SP}}{G_S}$$

$P_P$ : presenze giornaliere nei porti;

$A_P$ : numero di addetti nei porti;

$P_{AP}$ : numero annuale di passeggeri nei porti;

$P'_{SP}$ : numero di passeggeri per attività escursionistiche presenti nel semestre maggio-ottobre nei porti;

$G_S$ : numero di giorni del semestre maggio-ottobre, pari a 184.

## **2.5 Analisi di vulnerabilità sociale a livello delle singole strutture nell'area di inondazione**

L'ultimo passo a livello di scala di risoluzione si ottiene focalizzandosi sulle singole strutture che si trovano nell'area di inondazione. Nello studio di questa Tesi, le strutture si trovano nella penisola di Ortigia e nelle vicine aree a nord e ad ovest. L'analisi dettagliata è consentita dalla disponibilità di Carte Tematiche Numeriche (CTN) concesse dalla Protezione Civile di Siracusa che forniscono informazioni accurate relative a ciascun edificio presente.

Per le ragioni esposte nel Capitolo 1, lo scenario che si è assunto per l'inondazione da tsunami è uno scenario di inondazione uniforme al livello di 5 m, e perciò le strutture coinvolte sono

solo quelle a quota topografica inferiore o uguale a 5 m. Per la vulnerabilità sociale abbiamo stimato il numero di presenze negli edifici residenziali (case private e strutture ricettive) e nelle strutture trattate nella sezione precedente (ovvero stabilimenti balneari, scuole, ospedali, *et cetera*) ed abbiamo stimato anche il numero delle possibili vittime.

Per stimare la popolazione residente è stata calcolata la superficie degli edifici residenziali mediante CTN e si è utilizzato il fatto che per ciascuna persona sono necessari per legge almeno 14 m<sup>2</sup> di superficie abitativa. Le presenze giornaliere negli edifici scolastici e negli ospedali pubblici sono valutate tramite formule simili a quelle utilizzate per l'analisi a livello comunale: la differenza è che ora si studiano solo le strutture a quota uguale o inferiore a 5 m, e perciò si utilizzano delle proporzioni. Si osserva inoltre che non vi sono istituti universitari nella zone di inondazione. Per quanto riguarda le presenze nei due porti valgono esattamente le stesse stime fatte nella sezione precedente.

Per ciò che riguarda le strutture ricettive la formula utilizzata è esposta nel Paragrafo 2.5.1: l'espressione somiglia a quella esposta da Pontrelli (2007) e si basa su una proporzione, come le formule precedenti. Similmente, anche il numero di pazienti nelle case di riposo è stato calcolato tramite un rapporto. A questo proposito, la Tabella 2.3 viene integrata dalla Tabella 2.4 che mostra l'andamento temporale delle presenze nelle strutture ricettive e nelle case di riposo.

<b>Struttura</b>	<b>Giorno</b>	<b>Notte</b>	<b>Giorni festivi</b>	<b>Altre note</b>
Strutture ricettive	Variabile			Il valore di presenze calcolato è il totale giornaliero
Case di riposo	Costante			

*Tabella 2.4: Ulteriori note relative alle variazioni temporali dei valori di presenze per ciascuna tipologia di edificio*

### **2.5.1 Presenze nelle strutture ricettive**

Utilizzando i dati di presenze turistiche, si stimano le presenze turistiche giornaliere nelle strutture ricettive a quota inferiore 5 m mediante la formula:

$$P_{SR5} = \left( \frac{P'_T}{G_M} + A_{SR\,TOT} \right) * \frac{S_{R5}}{S'_{R\,TOT}}$$

$P_{SR5}$ : presenze giornaliere nelle strutture ricettive a quota inferiore a 5 m;

$P'_T$ : presenze turistiche mensili;

$G_M$ : numero di giorni del mese analizzato;

$A_{SR\,TOT}$ : numero di addetti nelle strutture ricettive;

$S_{R5}$ : numero di strutture ricettive a quota inferiore a 5 m;

$S'_{R\,TOT}$ : numero di strutture ricettive.

## 2.6 Danno da maremoto alle persone

Per valutare i danni che l'inondazione prodotta dal maremoto causa alle persone presenti all'interno delle strutture si deve prima di tutto stimare il livello di esposizione di ciascun edificio determinato dall'altezza della colonna d'acqua. In questa Tesi si utilizzano gli intervalli di colonna d'acqua dello studio di Terrier *et al.* (2012) per persone che si trovano all'interno di edifici ad un solo piano in assenza di mura da protezione. La novità del nostro studio è che gli stessi intervalli sono replicati anche per stimare gli effetti su persone che sono al primo piano di edifici a più piani a partire dal proprio livello di riferimento, ovvero 2,5 m. Gli intervalli utilizzati sono riportati in Tabella 2.5 e in Tabella 2.6.

Colonna d'acqua (m)	Livello di esposizione	Descrizione del danno
0-1	E1	Piano terra allagato, le persone non vengono trascinate via
1-1,5	E2	Mobilità delle persone ridotta
1,5-5	E3	Persone trascinate via o intrappolate

*Tabella 2.5: Intervalli di colonna d'acqua con relativo livello di esposizione per persone che si trovano in edifici ad un solo piano o al piano terra di edifici a più piani*

<b>Colonna d'acqua (m)</b>	<b>Livello di esposizione</b>	<b>Descrizione del danno</b>
2,5-3,5	E1	Primo piano allagato, le persone non vengono trascinate via
3,5-4	E2	Mobilità delle persone ridotta
4-5	E3	Persone trascinate via o intrappolate

*Tabella 2.6: Intervalli di colonna d'acqua con relativo livello di esposizione per persone che si trovano al primo piano degli edifici*

Per stimare il possibile numero delle vittime si possono utilizzare i dati sperimentali raccolti da Koshimura *et al.* (2009) nella città di Banda Aceh, in Indonesia, la più colpita dal maremoto catastrofico dell'Oceano Indiano del 26 dicembre 2004. I dati forniscono il rapporto fra il numero di vittime ed il numero dei residenti in funzione dell'altezza della colonna d'acqua su base regionale. Fittando i dati Koshimura *et al.* (2009) hanno ricavato una curva di fragilità che segue la cumulativa di una gaussiana standardizzata con i parametri  $\mu=3,75$ ,  $\sigma=1,35$  ed è quindi data dalla formula

$$P(x) = \phi \left[ \frac{x - 3,75}{1,35} \right]$$

dove x rappresenta il valore di altezza della colonna d'acqua. Questa funzione, insieme ai dati utilizzati da Koshimura *et al.* (2009) per calcolarla, è rappresentata in Figura 2.1.

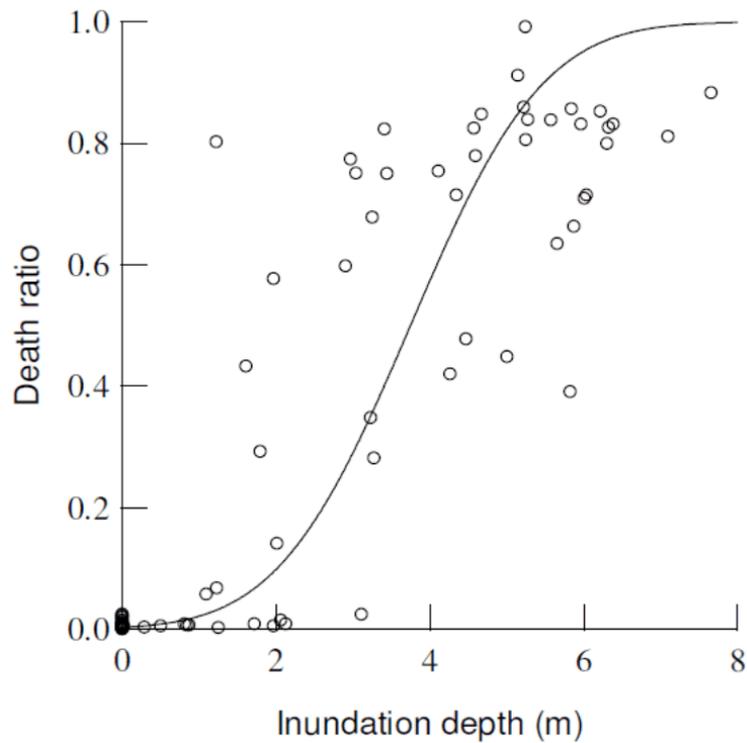


Figura 2.1: Funzione di fragilità per il calcolo delle vittime da tsunami, da Koshimura et al. (2009), e dati sperimentali

Digitalizzando i dati sperimentali nell'intervallo di interesse di questo studio, ovvero da 0 a 5 m di altezza della colonna d'acqua, si è ottenuto il grafico di Figura 2.2.

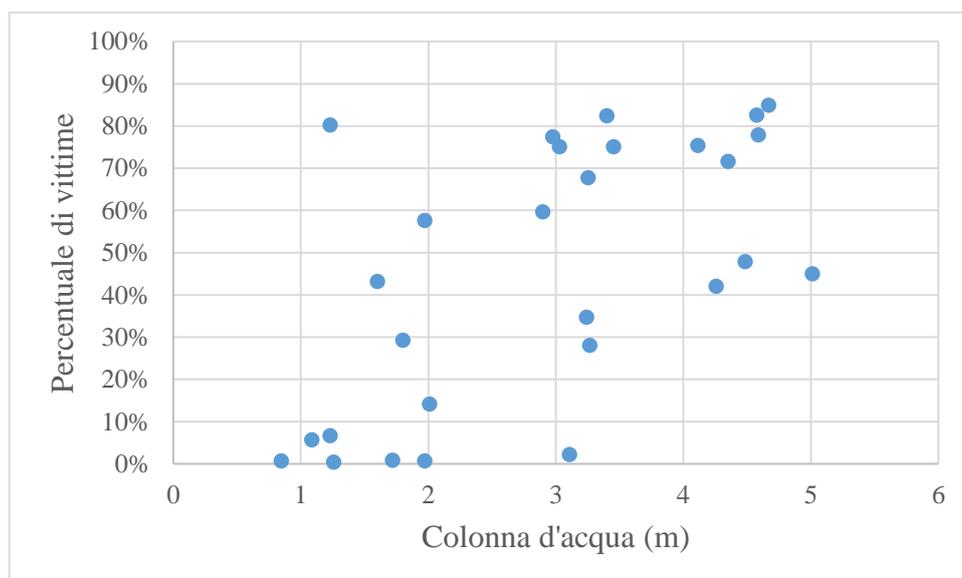


Figura 2.2: Digitalizzazione fino a 5 m dei dati sperimentali di mortalità da tsunami di Koshimura et al. (2009)

Tramite questi dati è possibile calcolare i valori medi di mortalità per gli intervalli di colonna d'acqua che si desidera utilizzare. Poiché la mortalità varia in modo significativo all'interno dell'intervallo considerato come livello di esposizione E3 per i piani terra degli edifici, si è deciso di suddividere tale livello in 3 sotto-intervalli con differente percentuale di vittime. I valori così ottenuti sono esposti in Tabella 2.7 e in Tabella 2.8.

<b>Colonna d'acqua (m)</b>	<b>Livello di esposizione</b>	<b>Percentuale di vittime (%)</b>
0-1	E1	0
1-1,5	E2	4
1,5-2,5	E3	24
2,5-3,5	E3	56
3,5-5	E3	66

*Tabella 2.7: Intervalli di colonna d'acqua, livello di esposizione e percentuale di vittime stimati per persone al piano terra degli edifici*

<b>Colonna d'acqua (m)</b>	<b>Livello di esposizione</b>	<b>Percentuale di vittime (%)</b>
2,5-3,5	E1	0
3,5-4	E2	4
4-5	E3	24

*Tabella 2.8: Intervalli di colonna d'acqua, livello di esposizione e percentuale di vittime utilizzati per persone al primo piano degli edifici*

Un caso particolare è relativo agli edifici che, supponendo un'inondazione pari a 5 m, subiscono crolli parziali o totali. Questi edifici sono stati identificati grazie al lavoro di Pagnoni *et al.* (2014), che studia i danni strutturali tramite una metodologia denominata SCHEMA. Le persone che si trovano in tali edifici non possono essere difese dall'edificio stesso e si trovano esposte al flusso come se fossero in uno spazio aperto. Ad esse si è assegnato il livello di esposizione E3. Anche in questo caso, tale livello è stato suddiviso in 3 sotto-intervalli a cui sono state attribuite le stesse percentuali di mortalità ricavate precedentemente (Tabella 2.9).

Colonna d'acqua (m)	Livello di esposizione	Percentuale di vittime (%)
0-2,5	E3	24
2,5-3,5	E3	56
3,5-5	E3	66

Tabella 2.9: Intervalli di colonna d'acqua, livello di esposizione e percentuale di vittime per persone negli edifici che subiscono crolli parziali o totali

## 2.7 Stima del Probable Maximum Loss

L'espressione Probable Maximum Loss (PML) indica la massima perdita economica che può colpire un business e/o un bene materiale a seguito di un evento catastrofico, naturale o prodotto dall'uomo, considerato come l'evento di maggiore impatto possibile. Farne la stima è importante per prendere decisioni appropriate nella pianificazione delle strategie di mitigazione e di ripresa delle attività economiche.

Per valutare un asset è opportuno distinguere fra *stock* e *flow*: il primo è l'insieme dei valori di un asset in un determinato istante temporale, il secondo si riferisce al valore delle attività che si sviluppano nel tempo in relazione all'asset. Per esempio, se si considera un'attività alberghiera, l'immobile e gli altri beni funzionali costituiscono lo *stock*, mentre *know how*, clientela e servizi costituiscono il *flow*. Se l'albergo viene danneggiato da un evento naturale, vi è una perdita di valore per lo *stock* e, solitamente, anche un calo nel servizio dovuto ad interruzione o riduzione delle attività, e quindi del *flow*.

In generale lo *stock* è più facile da quantificare del *flow*, ed è questo il motivo per cui nella valutazione del PML spesso viene conteggiato il primo ma non il secondo. Esistono diversi metodi che stimano il PML e sono generalmente incorporati nei *catastrophe model*, termine col quale si intendono modelli di simulazione che combinano modellistica numerica degli eventi catastrofici con dati relativi al valore delle proprietà e dei beni mobili ed immobili per ottenere stime di perdite potenziali prima che l'evento stesso accada. Tali modelli forniscono fra l'altro curve di probabilità di eccedenza per determinati livelli di perdita economica.

### 2.7.1 Stima del PML relativo agli edifici

Uno degli obiettivi di questa Tesi è la stima del PML per i beni immobili che si trovano nell'area di inondazione, sulla base solamente dei valori di mercato degli edifici (*stock*), evidenziando comunque che la perdita economica così calcolata è sottostimata, proprio perché viene trascurato il *flow*, che è certamente importante non solo per gli edifici a destinazione residenziale, ma anche e soprattutto per le costruzioni associate ad attività commerciali, artigianali e industriali.

Per valutare il PML per gli edifici a quota inferiore o uguale a 5 m di Ortigia è stato adottato un metodo simile a quello esposto da Grezio *et al.* (2012) e si sono utilizzati i dati delle quotazioni immobiliari dell'Osservatorio del Mercato Immobiliare (OMI) di Siracusa resi disponibili dall'Agenzia Nazionale del Territorio. Ogni città è suddivisa in fasce e per ogni fascia sono forniti il valore economico minimo e massimo (in Euro per m<sup>2</sup>) degli edifici a seconda del tipo di destinazione (residenziale, commerciale, terziario e produttivo). Nota quindi la posizione e la destinazione dell'edificio ed il valore di mercato unitario, è facile calcolarne la perdita economica e, sommando le perdite per tutti gli edifici della zona di inondazione, ottenere infine il PML. Una considerazione importante è che in questi calcoli sono stati trascurati la stazione dei treni, il cui valore economico non è soltanto *stock* ma è connesso molto al *flow*, ed anche i siti archeologici e le chiese, dal momento che il loro valore non è riconducibile al mercato trattato dall'OMI.

### 3 Raccolta dei dati

Il questo Capitolo viene fornita una descrizione dei dati che sono stati raccolti per valutare la vulnerabilità sociale ed i danni da maremoto secondo i metodi di stima illustrati nel Capitolo 2. Nei Paragrafi successivi verranno trattati in dettaglio e verranno fornite le relative fonti di informazione e l'anno di riferimento.

#### 3.1 SoVI

Il SoVI è stato calcolato per i 29 comuni delle provincie di Messina, Catania e Siracusa che si affacciano sul Mar Ionio, elencati in Tabella 3.1.

<b>Messina</b>	<b>Catania</b>	<b>Siracusa</b>
Alì Terme	Aci Castello	Augusta
Forza d'Agrò	Acireale	Avola
Furci Siculo	Calatabiano	Carlentini
Giardini-Naxos	Catania	Melilli
Itala	Fiumefreddo di Sicilia	Noto
Letojanni	Mascali	Pachino
Messina	Risposto	Portopalo di Capo Passero
Nizza di Sicilia		Priolo Gargallo
Roccalumera		Siracusa
Santa Teresa di Riva		
Sant'Alessio Siculo		
Scaletta Zanclea		
Taormina		

*Tabella 3.1: Elenco dei comuni considerati per il calcolo del SoVI suddivisi in base alla provincia*

Le variabili, o indicatori, utilizzati per la costruzione del SoVI sono i seguenti:

1. Numero di medici negli ospedali pubblici per 100.000 persone;
2. Numero pro capite di ospedali pubblici;
3. Percentuale di famiglie in alloggio in affitto;
4. Percentuale di disoccupati;
5. Percentuale di popolazione residente con età inferiore a 5 anni;
6. Percentuale di popolazione residente con età superiore a 65 anni;
7. Percentuale di popolazione residente di sesso femminile;
8. Percentuale di popolazione residente in centri abitati;
9. Numero medio di componenti per famiglia;
10. Numero di edifici residenziali per km<sup>2</sup>;
11. Numero di imprese commerciali per km<sup>2</sup>.

Le prime due variabili relative agli ospedali pubblici sono importanti per considerare la capacità di recupero e reazione del comune immediatamente dopo l'evento. Anche l'indicatore successivo è rappresentativo della capacità di recupero della società, mentre i quattro indicatori seguenti rappresentano gruppi sociali vulnerabili. Le ultime quattro variabili rappresentano la densità di popolazione e di imprese e indicano se nel comune vi sono zone dove vi può essere una grande concentrazione di persone. I primi due indicatori hanno polarità negativa, gli altri nove positiva: queste considerazioni sono essenziali per decidere i segni dei fattori ottenuti dalla PCA.

Inizialmente, si era selezionato come indicatore anche il numero di presenze pro capite nelle case di riposo. Purtroppo, poiché per alcuni comuni non è stato possibile reperire il dato, la variabile è stata esclusa dall'analisi.

Si noti che per questo studio non sono stati utilizzati valori assoluti, bensì percentuali e densità. Ciò consente di fare valutazioni relative di vulnerabilità, cioè di trovare quale comune risulta essere il più vulnerabile fra quelli considerati, ma non il numero esatto di persone a rischio. La valutazione quantitativa delle persone è invece stimata con le due modalità definite nei Paragrafi successivi, mediante i quali è possibile una stima più precisa.

Le variabili sopra elencate sono calcolate a partire dai dati statistici censuari elencati in Tabella 3.2. Dal momento che l'Istituto Nazionale di Statistica Italiano (ISTAT) non fornisce tutte le informazioni necessarie per l'analisi, è stato utilizzato l'Atlante Statistico dei Comuni, reperibile comunque nel sito stesso dell'ISTAT.

<b>Dati</b>	<b>Anno di riferimento</b>	<b>Fonte di informazione</b>	
Numero di disoccupati	2001	Atlante Statistico dei Comuni; scaricabile dal link <a href="http://www.istat.it/it/archivio/113712">http://www.istat.it/it/archivio/113712</a>	
Numero di medici negli ospedali pubblici	2010		
Numero di ospedali pubblici			
Popolazione residente	2001	ISTAT; <a href="http://www.istat.it/it/">http://www.istat.it/it/</a>	
Superficie ad utilizzo agricolo in ettari	2010		
Numero di edifici residenziali	2011		
Numero di famiglie			
Numero di famiglie con 1, 2, 3, 4, 5 e 6 componenti			
Numero di imprese commerciali			
Numero di persone residenti in centri abitati			
Percentuale di famiglie in alloggio in affitto			
Popolazione residente			
Superficie del comune in km <sup>2</sup>			
Numero di residenti con età inferiore a 5 anni			2015
Numero di residenti con età superiore a 65 anni			
Numero di residenti di sesso	2015		ISTAT; <a href="http://www.istat.it/it/">http://www.istat.it/it/</a>

femminile		
Popolazione residente		

*Tabella 3.2: Elenco dei dati con anno di riferimento e fonte di informazione utilizzati per calcolare gli indicatori impiegati nella costruzione del SoVI*

Il valore delle 11 variabili è stato calcolato tramite proporzioni e rapporti utilizzando il dato sulla popolazione residente dell'anno di riferimento o la superficie comunale. Per determinare il numero di edifici residenziali per km<sup>2</sup> sarebbe necessario il dato di superficie ad uso residenziale, ma poiché non si è potuto reperirlo né nel sito dell'ISTAT né nell'Atlante Statistico dei Comuni, si è deciso di costruire il rapporto considerando la differenza fra la superficie totale e la superficie ad uso agricolo del comune.

### **3.2 Analisi di vulnerabilità sociale in ambito comunale**

Per i calcoli di presenze nel comune di Siracusa, sono stati utilizzati i dati elencati in Tabella 3.3.

<b>Dato</b>	<b>Anno di riferimento</b>	<b>Fonte di informazione</b>
Numero di addetti nelle scuole d'infanzia, d'istruzione primaria e secondaria	2001	Atlante Statistico dei Comuni
Giorni di degenza in day hospital	2010	
Giorni di degenza ordinaria		
Numero di addetti negli Ospedali pubblici		
Numero di Ospedali pubblici		
Numero di ricorsi al Pronto Soccorso		
Numero di studenti nelle scuole d'infanzia, d'istruzione primaria e secondaria	2012	Atlante Statistico dei Comuni
Numero di addetti nei porti	2014	Ministero delle Infrastrutture

Numero di passeggeri nei porti		e dei Trasporti; conversazione via email tramite la Guardia Costiera di Siracusa
Numero di passeggeri per attività escursionistiche nei porti		
Popolazione residente	2015	ISTAT
Numero di docenti e personale nell'Istituto Superiore di Scienze Religiose San Metodio	2015	Istituto Superiore di Scienze Religiose San Metodio; conversazione via email con la Segreteria Accademica dell'Istituto
Numero di studenti iscritti all'Istituto Superiore di Scienze Religiose San Metodio		
Numero di studenti iscritti alla facoltà di Architettura dell'Università di Catania con sede a Siracusa	2014/2015	Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca
Numero di docenti del dipartimento di Architettura dell'Università di Catania	2015	
Presenze turistiche	2012, 2013, 2014	Protezione Civile

*Tabella 3.3: Tipo di dati per il calcolo delle presenze con anno di riferimento e relativa sorgente di informazioni*

Sono opportune alcune precisazioni:

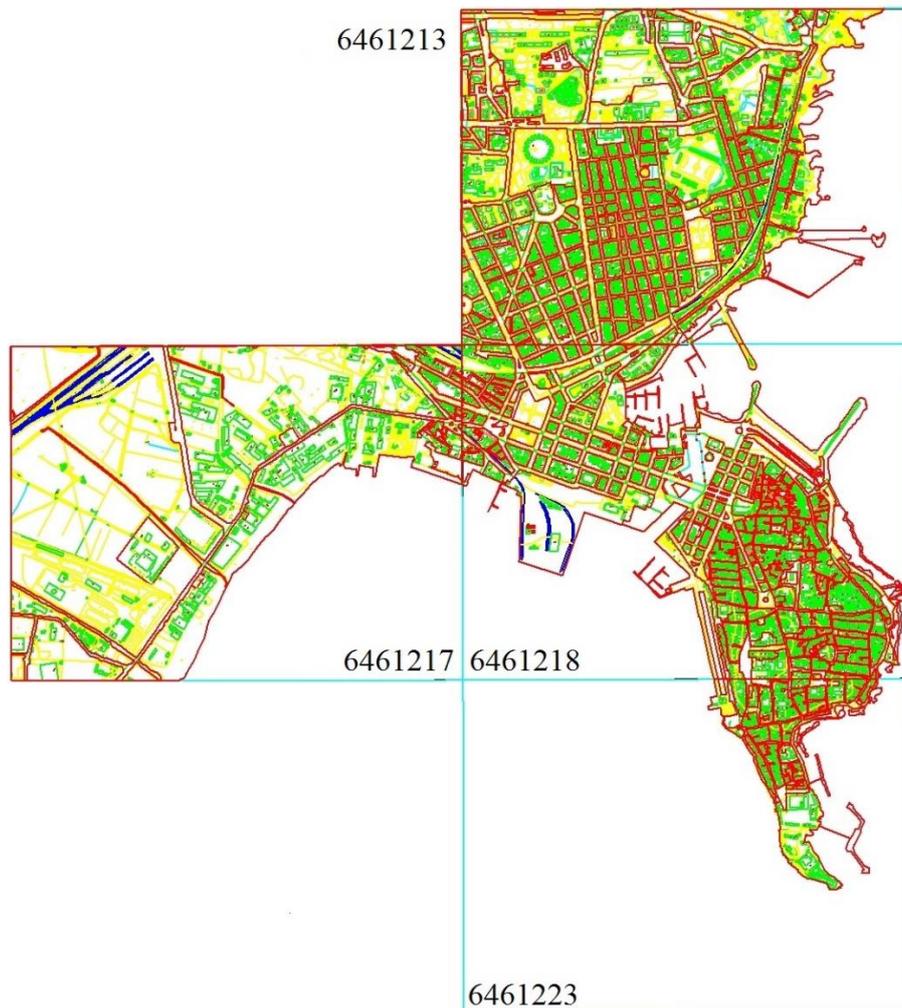
- Tutti i dati sono a livello comunale, tranne le presenze turistiche che sono provinciali;
- Il numero di passeggeri nei porti è annuale, il numero di passeggeri per attività escursionistiche nei porti è riferito al semestre maggio-ottobre e le presenze turistiche provinciali di Siracusa sono dati mensili;
- I dati sul turismo forniti dalla Protezione Civile sono provinciali e, essendo disponibili per 3 anni consecutivi (2012-2014), sono stati mediati.

I dati provinciali sul turismo sono stati trasformati su base comunale e si è assunto che il 50% del turismo sia comunale. La scelta è giustificata dal fatto che, consultando i dati disponibili, si osserva che le presenze turistiche annuali nella sola penisola di Ortigia corrispondono al 20% del turismo provinciale annuo. Inoltre si sono considerate la capacità ricettive di Ortigia,

dell'intero comune di Siracusa e di tutta la provincia e si è pervenuti alla conclusione che il coefficiente di riduzione del 50% sia ragionevole.

### **3.3 Analisi di vulnerabilità sociale a livello delle singole strutture nell'area di inondazione**

Per questa analisi è stata consultata, tramite il software ArcGis, una CTN a scala 1:2000 della zona analizzata (Figura 3.1).



*Figura 3.1: fogli della CTN utilizzati per lo studio della città di Siracusa*

### 3.3.1 CTN

Una CTN è una cartografia numerica, ottenuta tramite strumentazione topografica informatizzata, che fornisce informazioni per mezzo di dati numerici e alfanumerici organizzati in fogli. Ogni carta contiene 5 tipi di strutture (*shape*) diverse (*annotation*, *point*, *polyline*, *polygon* e *multipath*) descritte mediante le coordinate dei vertici caratteristici che definiscono tali entità.

L'unità di base di una CTN è il foglio e nel caso di questo studio ne sono stati utilizzati quattro (6461213, 6461217, 6461218, 6461223), dove il sistema di riferimento delle coordinate è il sistema Gauss-Boaga nel fuso Est. La struttura utilizzata è la *polyline*, le cui entità sono organizzate in strati (*layer*) e ciascuno di essi è associato a un livello informativo diverso:

- A. Sistema delle comunicazioni;
- B. Edificato ed altre strutture;
- C. Acque;
- D. Strutture connesse alla produzione e trasporto di energia;
- E. Elementi divisori e di sostegno;
- F. Morfologia;
- G. Vegetazione;
- H. Orografia;
- I. Limiti amministrativi e varie;
- L. Toponimi;
- M. Punti di inquadramento.

Poiché in questa Tesi sono stati analizzati gli edifici, il *layer* utilizzato è quello dell'edificato e le strutture sono catalogate con la lettera B seguita da un numero in base a tipologia ed utilizzo, secondo la classificazione presentata in Tabella 3.4.

<b>Layer</b>	<b>Descrizione</b>
B001	Unità volumetrica civile Unità volumetrica sociale Unità volumetrica amministrativa
B002	Unità volumetrica industriale

	Unità volumetrica commerciale Capannone
B003	Unità volumetrica di culto Campanile Tabernacolo rappresentabile
B004	Edificio in costruzione
B005	Rudere
B006	Baracca – edicola
B007	Tettoia, pensilina
B008	Tendone pressurizzato
B009	Centrale elettrica, cabina elettrica
B010	Serra stabile
B011	Stalla, fienile
B012	Gradinata
B013	Complesso cimitero
B014	Complesso campeggio, villaggio turistico
B015	Complesso sportivo
B016	Complesso ospedaliero
B017	Complesso scolastico
B018	Complesso religioso
B019	Complesso sociale
B020	Linee proprie degli impianti sportivi
B021	Torre, ciminiera, silos
B022	Croce isolata, tabernacolo
B023	Monumento

B024	Corpo aggettante – portico – loggiato
B025	Rampa
B026	Isolato
B027	Edificio seminterrato
B028	Spigolo di edificio collinato a terra

Tabella 3.4: Descrizione della classificazione del layer B

Ogni elemento della *polyline* è rappresentato in maniera univoca con un codice *handle*, tramite il quale si può risalire alle varie proprietà dell'edificio stesso (Figura 3.2).

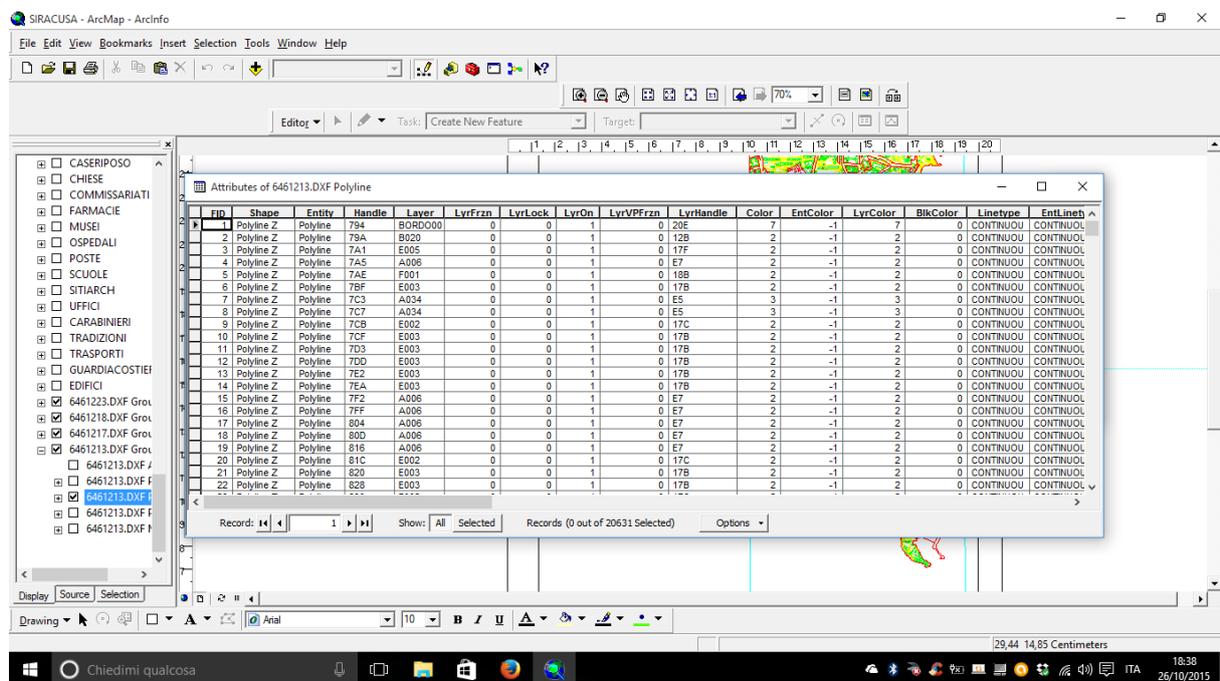


Figura 3.2: Schermata CTN dove sono rappresentati esempi di elementi della *polyline*. Le righe identificano ciascun elemento dello shape, le colonne identificano gli attributi (*handle*, *layer*, *elevation et cetera*)

Per localizzare le strutture residenziali sono stati selezionati tutti gli edifici appartenenti al *layer* B001 che rappresenta le unità volumetriche civili (Tabella 3.4). Tuttavia, per gli altri edifici e per i calcoli necessari per la stima delle presenze sono necessari altri tipi di dati, presentati nel Paragrafo successivo.

### 3.3.2 Altri dati

Per gli stabili ritenuti vulnerabili dal punto di vista sociale è stata compiuta una ricerca sul Web degli indirizzi di ciascun edificio e sono stati ricercati i dati necessari contattando gli enti che ne sono responsabili. Per il calcolo dell'area degli edifici residenziali si è fatto uso di una funzione di ArcGis trasformando le relative *polyline* in *polygon* di cui è misurabile l'area.

<b>Strutture</b>	<b>Fonte di informazione</b>
Uffici comunali, biblioteche, edifici scolastici e università pubbliche, campi sportivi, mercati, farmacie	Sito del comune di Siracusa
Commissariati, Stazioni dei carabinieri, Guardia di finanza, Corpo forestale, Vigili del fuoco, Guardia costiera	Siti del Corpo
Guardia medica, ospedali pubblici, case di riposo	Sito dell'Azienda Sanitaria Provinciale di Siracusa
Stazione dei treni, teatri, cinema, musei, castelli, siti archeologici, chiese, riserve naturali, stabilimenti balneari, zone adibite ai camper, campeggi, strutture ricettive	Siti relativi al turismo a Siracusa
Banche, edifici scolastici e università private	Sito comuni-italiani.it
Case di riposo	Pagine Bianche
Uffici postali	Sito delle Poste Italiane

*Tabella 3.5: Strutture per le quali i dati sono stati raccolti individualmente con relativa sorgente di informazione*

È necessario inoltre conoscere il numero di piani di ciascun edificio e questo dato è disponibile grazie alla Tesi di Rallo (2014): per ottenere un valore di superficie residenziale totale, si moltiplica l'area di base per il numero di piani dell'edificio.

Per ciò che riguarda i dati statistici censuari necessari, si riportano in Tabella 3.6 i dati utilizzati con relativa fonte di informazione e anno di riferimento.

<b>Dato</b>	<b>Anno di riferimento</b>	<b>Fonte di informazione</b>
Numero di addetti nelle scuole d'infanzia, d'istruzione primaria e secondaria	2001	Atlante Statistico dei Comuni
Numero di addetti nelle strutture ricettive		
Giorni di degenza in day hospital	2010	
Giorni di degenza ordinaria		
Numero di addetti negli ospedali pubblici	2010	Atlante Statistico dei Comuni
Numero di ospedali pubblici		
Numero di Pronto Soccorso		
Numero di ricorsi al Pronto Soccorso		
Numero di scuole d'infanzia, d'istruzione primaria e secondaria	2012	
Numero di studenti nelle scuole d'infanzia, d'istruzione primaria e secondaria		
Residenti in case di riposo	2011	ISTAT
Presenze turistiche	2012, 2013, 2014	Protezione Civile
Numero di strutture ricettive aperte		

*Tabella 3.6: Elenco dei dati utilizzati con relativo anno di riferimento e fonte di informazione*

Sono necessarie altre considerazioni oltre a quelle relative all'analisi a livello comunale del Paragrafo 3.2:

- Il numero di addetti nelle strutture ricettive e il numero di strutture ricettive aperte sono dati a livello provinciale;
- Il numero di strutture ricettive aperte è un dato mensile.

In questo caso non è stato necessario calcolare le presenze turistiche nella sola città di Siracusa, al contrario del procedimento compiuto per l'analisi a livello comunale. Infatti, i

dati turistici sono utilizzati nel calcolo di presenze nelle strutture ricettive e questa formula (Paragrafo 2.5.1) si basa su una proporzione fra le strutture ricettive aperte in Ortigia con quota inferiore o uguale a 5 m e le strutture ricettive aperte nella provincia. Se, come riferimento, si utilizzano anche gli altri dati presenti nella formula a livello provinciale (ovvero il numero di addetti nelle strutture ricettive), la proporzione è realistica e non vi è alcun bisogno di trasformare i dati di turismo a livello comunale.

### 3.4 Stima del PML relativo agli edifici

Per effettuare una stima del PML è innanzitutto necessario misurare la superficie di ciascuno stabile e questa operazione è stata compiuta tramite il metodo esposto nel Paragrafo precedente. Nel caso in cui uno stesso stabile raggruppasse più numeri civici si è considerato che ciascuno di questi occupasse la medesima superficie.

Si utilizzano dati del sito dell'Agencia Nazionale del Territorio, relativi al primo semestre del 2015, sulle quotazioni immobiliari dell'OMI che individuano un intervallo di valori di mercato, minimo e massimo, per m<sup>2</sup> dell'edificio in base al tipo di destinazione, suddividendo il comune in fasce: le fasce utilizzate per l'analisi della penisola di Ortigia sono 6 (Figura 3.3).

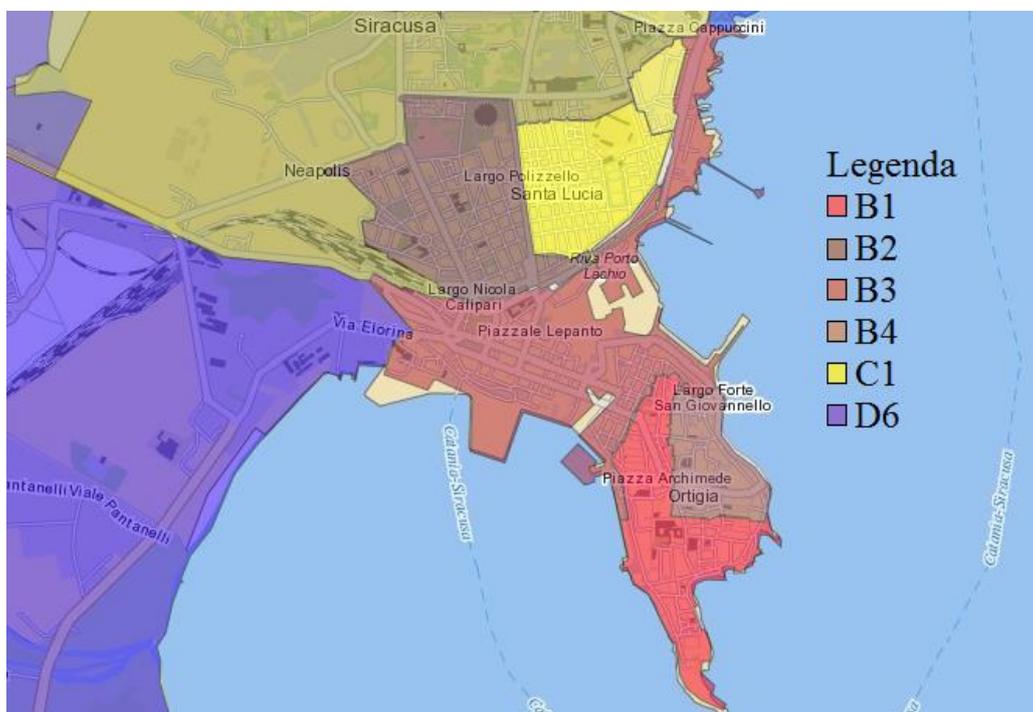


Figura 3.3: Fasce utilizzate per le quotazioni OMI per la penisola di Ortigia

Sono stati utilizzati i dati relativi agli edifici con destinazione residenziale, commerciale (per strutture ricettive, farmacie, mercati e case di riposo), terziaria (per banche, uffici comunali e postali, strutture scolastiche, Guardia di finanza, Guardia costiera, Commissariati e ospedali pubblici) e produttiva (per le strutture industriali) dati in Tabella 3.7 e in Tabella 3.8.

Destinazione Fascia	Residenziale		Commerciale	
	Minimo	Massimo	Minimo	Massimo
<b>B1</b>	1.150	1.500	3.000	4.500
<b>B2</b>	1.000	1.275	2.200	3.200
<b>B3</b>	925	1.200	1.600	2.500
<b>B4</b>	875	1.150	1.800	2.700
<b>C1</b>	840	1.005	1.500	2.200
<b>D6</b>	580	765	1.000	1.600

*Tabella 3.7: Valori economici minimi e massimi (€) per m<sup>2</sup> per tipologia residenziale e commerciale in base alla fascia*

Destinazione Fascia	Terziaria		Produttiva	
	Minimo	Massimo	Minimo	Massimo
<b>B1</b>	1.600	2.175	1.000	1.400
<b>B2</b>	1.200	1.775	900	1.300
<b>B3</b>	1.100	1.450	750	1.100
<b>B4</b>	Dati non disponibili		700	950
<b>C1</b>	1.000	1.350	600	850
<b>D6</b>	805	1.115	550	720

*Tabella 3.8: Valori economici minimi e massimi (€) per m<sup>2</sup> per tipologia terziaria e produttiva in base alla fascia*

Sono opportune alcune note per quanto riguarda i valori di mercato di Tabella 3.7 e Tabella 3.8:

- I dati per le strutture residenziali e terziarie sono suddivisi in base al tipo di edificio che li ospita ma, non essendoci alcun dato in proposito, si è deciso di mediare i valori proposti dal dataset originale;
- I dati relativi a stabili commerciali sono suddivisi in base allo stato conservativo della struttura, ma essendo indicato il tipo di conservazione più frequente nella fascia, è questo il valore che è stato riportato in Tabella 3.7;
- Sono assenti i dati relativi agli edifici con destinazione terziaria per la fascia B4, ma si è scelto di utilizzare i dati relativi alle strutture terziarie della fascia B3 poiché risulta la più affine per ciò che riguarda i valori economici delle altre strutture e si può supporre ragionevolmente che anche i valori di mercato degli edifici terziari siano simili.

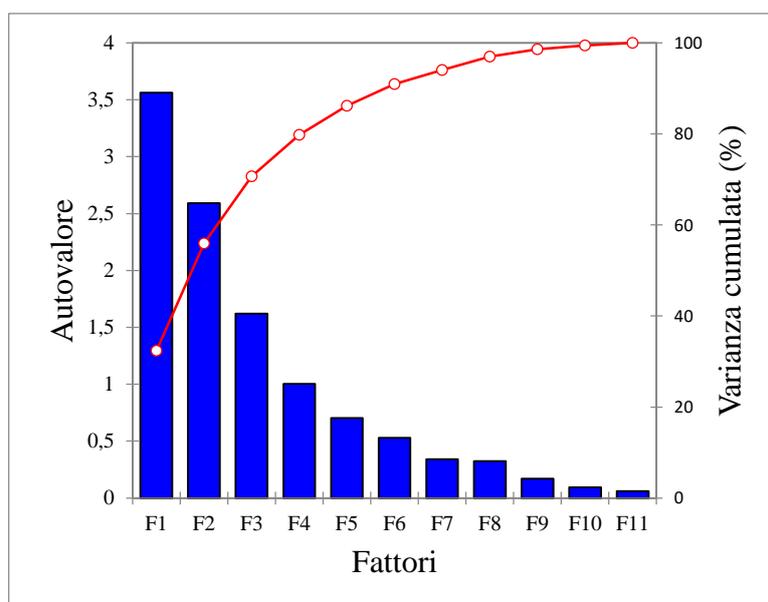
Considerando la superficie inondata e la posizione di un edificio in esame, è stato calcolato il suo valore economico minimo e massimo e, infine, questi valori sono stati sommati per ottenere la stima finale minima e massima di PML.

## 4 Analisi dei dati

Il Capitolo 4 espone l'analisi dei dati raccolti e esaminati con i metodi esposti nel Capitolo 2.

### 4.1 SoVI

Dopo aver raccolto i dati elencati nel Paragrafo 3.1 si procede con l'analisi tramite il metodo esposto nel Paragrafo 2.3.1, ovvero si normalizzano i dati a punti zeta e, successivamente, grazie al software XLSTAT, si esegue la Principal Component Analysis. Si ottengono così 11 fattori, difatti gli autovettori della matrice, rappresentati con relativo autovalore e varianza cumulata, in Figura 4.1.



*Figura 4.1: Grafico con in ascissa i fattori ed in ordinata il relativo autovalore e la varianza cumulata. I fattori con maggiore autovalore spiegano la maggiore varianza dei dati*

I primi tre fattori spiegano il 71% della varianza dei dati e perciò sono considerati sufficienti per l'analisi delle variabili. Tramite le coordinate delle variabili è possibile definire quali indicatori sono rappresentati dai singoli fattori e, scegliendo come valore di soglia 0,5, si elencano i tre fattori con relative informazioni in Tabella 4.1. È fondamentale considerare la polarità della variabile: si attribuisce un segno positivo al fattore se il segno delle coordinate delle variabili è in accordo con la polarità della variabile stessa, in caso contrario si impone un

segno negativo. Nel caso in cui tutte le variabili abbiano polarità positiva, ma alcune siano in accordo e altre no con il segno della coordinata della variabile, si applica il valore assoluto.

<b>Segno del fattore</b>	<b>Fattore</b>	<b>Variabile rappresentata</b>	<b>Segno della coordinata della variabile</b>	<b>Polarità della variabile</b>
Valore assoluto	F1	Numero di imprese commerciali per km <sup>2</sup>	Positivo	Positiva
		Numero medio di componenti per famiglia	Negativo	Positiva
		Percentuale di famiglie in alloggio in affitto	Positivo	Positiva
		Percentuale di popolazione residente con età superiore a 65 anni	Positivo	Positiva
		Percentuale di popolazione residente di sesso femminile	Positivo	Positiva
Positivo	F2	Percentuale di popolazione residente con età inferiore a 5 anni	Positivo	Positiva
Negativo	F3	Numero pro capite di ospedali pubblici	Positivo	Negativa
		Numero di medici negli ospedali pubblici per 100.000 persone	Positivo	Negativa
		Numero di edifici residenziali per km <sup>2</sup>	Negativo	Positiva

*Tabella 4.1: Elenco dei fattori con variabili rappresentate, segno delle coordinate delle variabili e segno del fattore*

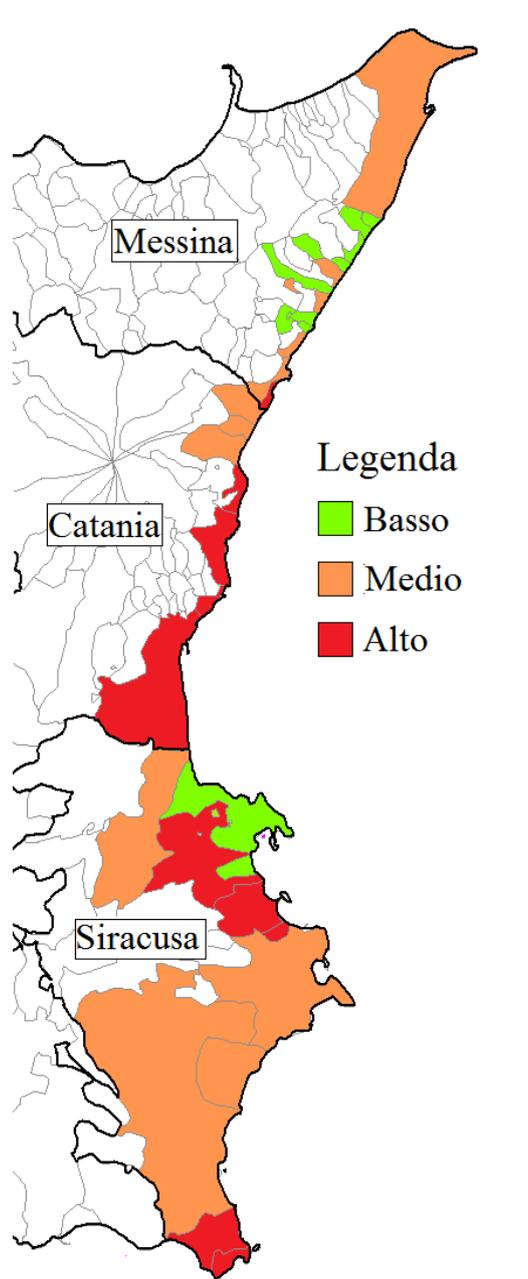
Considerando ora le coordinate delle osservazioni per ciascun comune, si costruisce il valore finale di SoVI tramite la formula basata sulle considerazioni precedenti:

$$SoVI = |F1| + F2 - F3$$

Creando tre classi di vulnerabilità sociale (bassa, media e alta) si ottiene la classificazione esposta qui sotto (Tabella 4.2 e Figura 4.2).

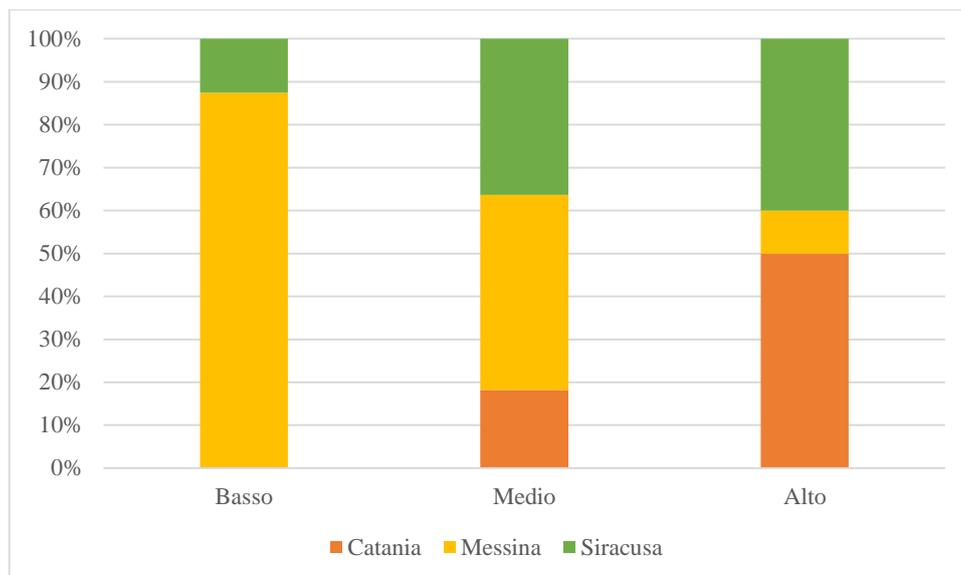
<b>Basso</b>	<b>Medio</b>	<b>Alto</b>
Alì Terme	Avola	Aci Castello
Augusta	Calatabiano	Acireale
Forza d'Agrò	Carlentini	Catania
Furci Siculo	Fiumefreddo di Sicilia	Giardini-Naxos
Itala	Letojanni	Mascali
Nizza di Sicilia	Messina	Melilli
Sant'Alessio Siculo	Noto	Pachino
Scaletta Zanclea	Roccalumera	Portopalo di Capo Passero
	Santa Teresa di Riva	Priolo Gargallo
	Siracusa	Riposto
	Taormina	

*Tabella 4.2: Classificazione del SoVI per i comuni considerati*



*Figura 4.2: Mappa del SoVI per i comuni considerati*

Successivamente si studiano i differenti comuni sulla base del valore di SoVI ottenuto e per ogni classe di SoVI si individua in percentuale la provincia che contribuisce maggiormente: la Figura seguente mostra i risultati di quanto detto.



*Figura 4.3: Percentuali dei comuni a bassa, media e alta vulnerabilità sociale suddivisi in base alla provincia*

Nella classe di SoVI più bassa si ha l'88% (7 su 8) di comuni che appartengono alla provincia di Messina e solo 1 a quella di Siracusa. Per la seconda classe (MEDIO) il contributo maggiore viene ancora dalla provincia di Messina, 46% (5 su 11), seguita da Siracusa (4 su 11) e Catania (2 su 11). Al contrario tra i comuni con alta vulnerabilità solo 1 appartiene a Messina (10%), mentre la maggioranza è sita in provincia di Catania (5 su 10) ed i restanti 4 sono di Siracusa.

Esaminando questi dati, si osserva che la provincia di Catania risulta la più vulnerabile poiché i suoi comuni hanno un valore di SoVI sempre maggiore (4) o uguale (2) a MEDIO. La provincia di Siracusa in questa classifica è seconda poiché ha un numero inferiore di comuni con valore ALTO di vulnerabilità. Messina infine è ultima siccome la maggioranza (7 su 13) dei suoi comuni è collocata nella classe con valore BASSO di SoVI.

Basandosi sui dataset originali si osserva che i comuni ad alta vulnerabilità risultano avere un valore elevato per i seguenti parametri: numero di edifici residenziali e imprese per km<sup>2</sup>, percentuale di popolazione con età inferiore a 5 anni, numero medio di componenti per famiglia e percentuale di famiglie in alloggio in affitto. Questi, avendo polarità positiva, indicano una vulnerabilità maggiore e si può perciò affermare che i suddetti indicatori rivestono un ruolo importante nel determinare la classificazione di vulnerabilità sociale che si è ottenuta.

## 4.2 Analisi di vulnerabilità sociale in ambito comunale

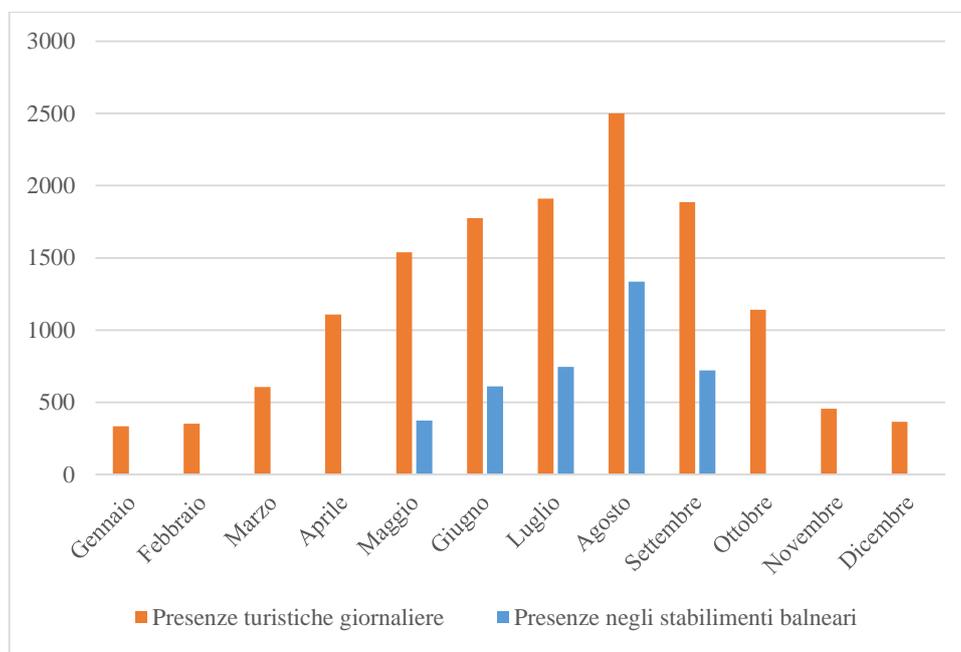
Utilizzando le formule esposte nel Paragrafo 2.4 si ottengono i valori di presenze totali (Tabella 4.3) e i valori di presenze giornaliere negli edifici considerati vulnerabili dal punto di vista sociale (Tabella 4.4).

Mese	Popolazione residente	Presenze turistiche giornaliere	Presenze giornaliere totali
Gennaio	122.503	335	122.838
Febbraio		353	122.856
Marzo		606	123.109
Aprile		1.109	123.612
Maggio		1.539	124.042
Giugno		1.775	124.278
Luglio		1.910	124.413
Agosto		2.501	125.004
Settembre		1.886	124.389
Ottobre		1.142	123.645
Novembre		456	122.959
Dicembre		365	122.868

*Tabella 4.3: Presenze giornaliere totali con variazione mensile per la città di Siracusa*

Si osserva che le presenze turistiche sono minime nei mesi invernali (gennaio) e crescono rapidamente fino ad agosto, mese in cui si registra il massimo delle presenze, mentre da settembre calano nuovamente. Il dato totale (Tabella 4.3) è ottenuto come somma della popolazione e del flusso turistico e, avendo la popolazione un valore fisso, dipende dalla variazione del flusso turistico, raggiungendo il suo apice nel mese di agosto con un valore pari a 125.004 persone, dove il flusso turistico rappresenta solo il 2% del totale.

L'andamento delle presenze negli stabilimenti balneari mostrato nella Figura 4.4 è calcolato in modo simile a quello del flusso turistico. Ciò che ragionevolmente si ottiene è che il massimo delle presenze si registra nel mese di agosto, mentre nei mesi invernali il valore si azzerava. Questo dato considera solo le persone non residenti, per mancanza di dati infatti non si è potuto tenere conto di quanti residenti usufruiscono degli stabilimenti balneari.



*Figura 4.4: Confronto fra l'andamento delle presenze turistiche giornaliere e le presenze giornaliere negli stabilimenti balneari*

La Tabella 4.4 mostra anche il numero di persone per gli altri edifici considerati importanti per la vulnerabilità sociale.

Mese	Edifici scolastici e universitari	Ospedali pubblici	Stabilimenti balneari	Porti
Gennaio	22.492	806	0	178
Febbraio	22.492		0	178
Marzo	22.492		0	178
Aprile	22.492		0	178
Maggio	22.492		374	613
Giugno	22.492		610	613
Luglio	0		745	613
Agosto	0		1.336	613
Settembre	22.492		721	613
Ottobre	22.492		0	613
Novembre	22.492		0	178
Dicembre	22.492		0	178

*Tabella 4.4: Presenze giornaliere negli edifici considerati vulnerabili dal punto di vista sociale per la città di Siracusa*

Tra gli edifici considerati, solo gli ospedali pubblici hanno un valore fisso di persone, mentre le costruzioni relative alle altre tre colonne mostrano una variabilità temporale che presenta forti discontinuità. Le scuole nei due mesi estivi, luglio ed agosto, hanno presenze nulle. Alcuni mesi (dicembre, gennaio, giugno e settembre) anche se presentano numerosi giorni di vacanza, sono stati considerati in modo uguale a quelli con un'attività scolastica continua. Altra variabilità temporale trascurata per quanto riguarda la scuola, è quella dovuta alla chiusura domenicale. Le presenze nella scuola, per quanto detto, mostrano una forte discontinuità che è da tenere sicuramente in considerazione quando si definisce la vulnerabilità sociale di una città. Le variazioni temporali delle altre due colonne, stabilimenti balneari e porti, hanno anch'esse forti discontinuità ma il numero delle persone coinvolte è un ordine di grandezza inferiore rispetto alle scuole (circa 2.000 contro 22.000), perciò hanno sicuramente un peso diverso, in particolare per approntare un piano di emergenza.

Soffermandosi sui dati presenti in Tabella 4.4, si deve specificare che le presenze nei porti, avendo questi per lo più carattere turistico, hanno un aumento sensibile nel semestre estivo a causa della presenze di società che organizzano attività escursionistiche. Relativamente ai dati di presenze negli edifici scolastici e universitari, è necessario notare che solamente il 5% delle presenze rappresenta studenti e addetti nelle università, mentre il restante 95% sono studenti e addetti nelle scuole d'infanzia, d'istruzione primaria e secondaria.

### **4.3 Analisi di vulnerabilità sociale a livello delle singole strutture nell'area di inondazione**

È innanzitutto necessario identificare la posizione di ciascun edificio studiato: tale argomento è trattato nel Paragrafo successivo.

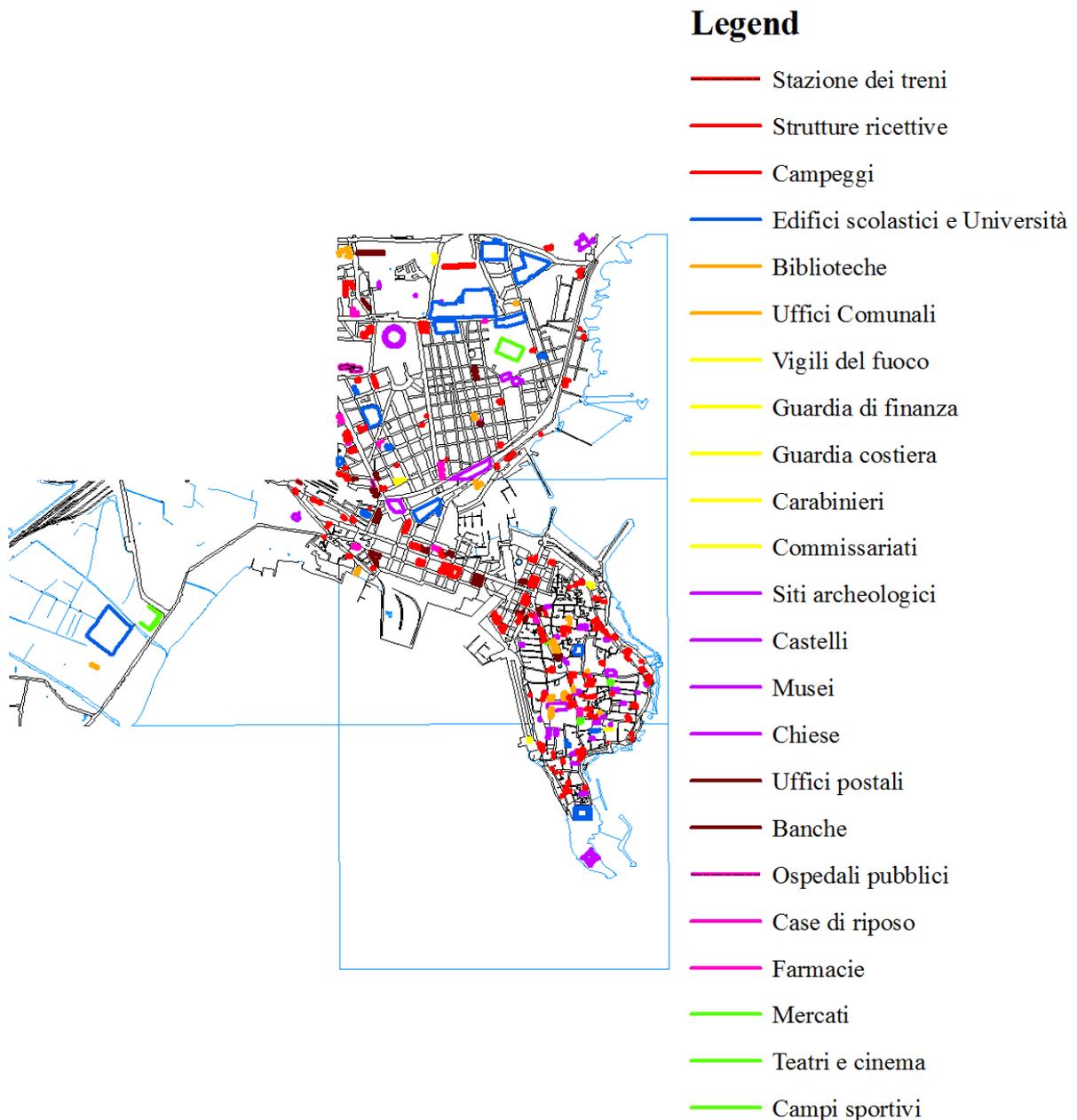
#### **4.3.1 Localizzazione delle strutture**

Per individuare gli edifici ritenuti vulnerabili dal punto di vista sociale si utilizzano i rispettivi recapiti. Non essendo disponibile in ArcGis un metodo di ricerca in base all'indirizzo è stata creata una mappa in formato KMZ tramite il software Google Earth (Figura 4.5), dove a ciascuna tipologia di edifici è stato assegnato un segnaposto differente. La mappa si è rivelata utile poiché, localizzando ciascuna struttura su di essa, risulta più semplice in seguito identificarla sulla CTN.



*Figura 4.5: Parte della mappa creata con Google Earth dove ciascun segnaposto indica una tipologia di edificio differente*

Dopo aver tenuto in considerazione esclusivamente gli edifici presenti nella zona analizzata, a ogni stabile è stato associato il proprio codice *handle* e si è costruito un file Excel per rendere più veloce la ricerca dei vari attributi, ovvero le proprietà di ciascun edificio. In seguito, tramite questi *handle*, è stata creata una mappa su ArcGis (Figura 4.6) in cui gli edifici sono rappresentati con colori diversi in base alla tipologia. Si riportano in Tabella 4.5 il tipo e il numero di edifici trovati nella zona studiata.



*Figura 4.6: Mappa degli edifici ritenuti vulnerabili rappresentati con colori diversi in base alla tipologia. Le linee nere e celesti rappresentano rispettivamente le strade e le acque*

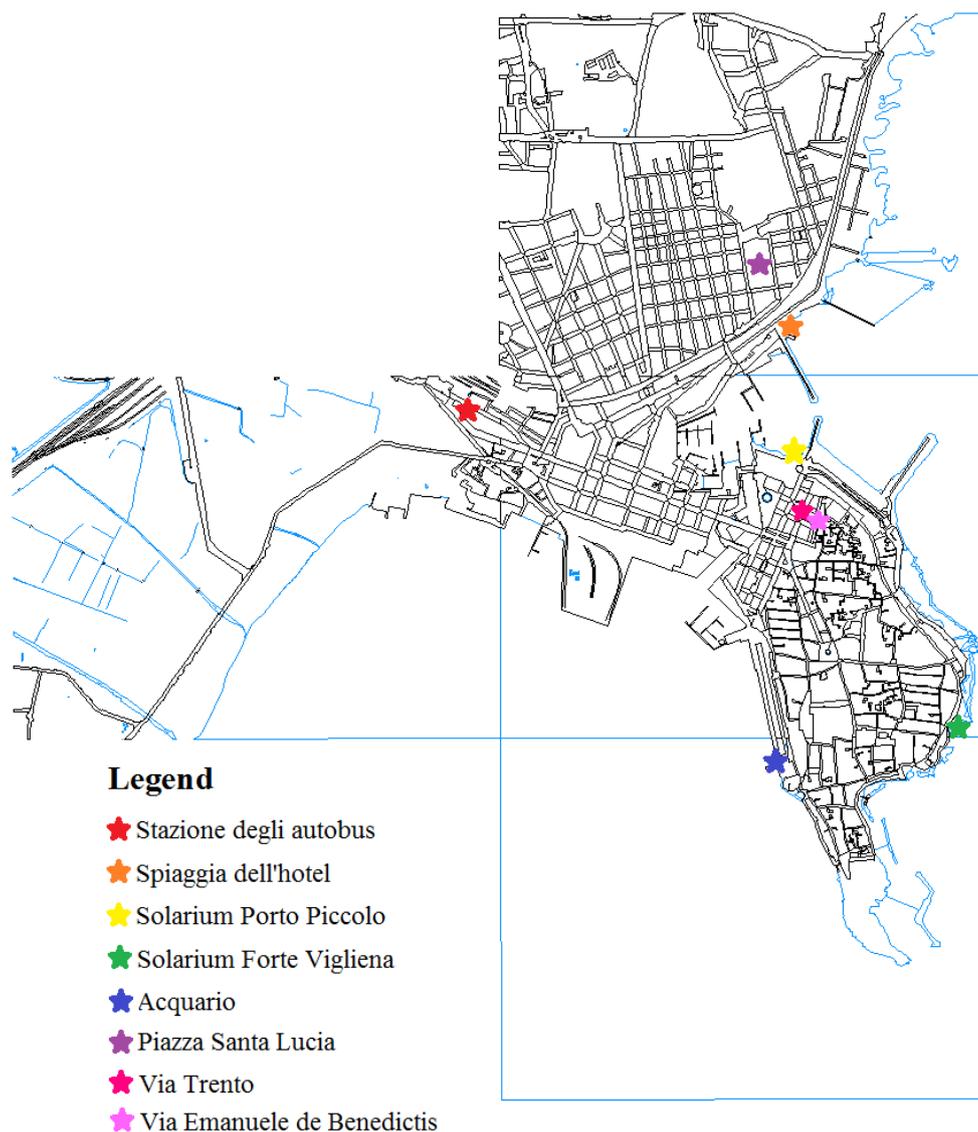
<b>Struttura</b>	<b>Numero</b>	<b>Struttura</b>	<b>Numero</b>
Stazione dei treni	1	Strutture ricettive	111
Campeggi	1	Edifici scolastici	17
Università	2	Biblioteche	2
Uffici comunali	12	Vigili del fuoco	1
Guardia di finanza	1	Guardia costiera	1
Carabinieri	1	Commissariati	1
Siti archeologici	8	Castelli	1
Musei	10	Chiese	20
Uffici postali	4	Banche	17
Ospedali pubblici	2	Case di riposo	2
Farmacie	11	Mercati	1
Teatri e cinema	3	Campi sportivi	1

*Tabella 4.5: Tipologia e numero di strutture nella zona analizzata*

È necessario considerare anche altre strutture ritenute vulnerabili dal punto di vista sociale (Figura 4.6) ma che non è stato possibile posizionare nella CTN poiché non collegate a uno stabile fisso:

- La stazione degli autobus;
- Una spiaggia privata di un hotel e due solarium;
- Tre mercati rionali situati in Piazza Santa Lucia, Via Trento e Via Emanuele de Benedictis.

Vi è inoltre un Acquario, ospitato in una unità immobiliare che non è però identificabile nella CTN, poiché situata al di sotto del Largo Aretusa.



*Figura 4.7: Altre strutture e luoghi considerati vulnerabili dal punto di vista sociale*

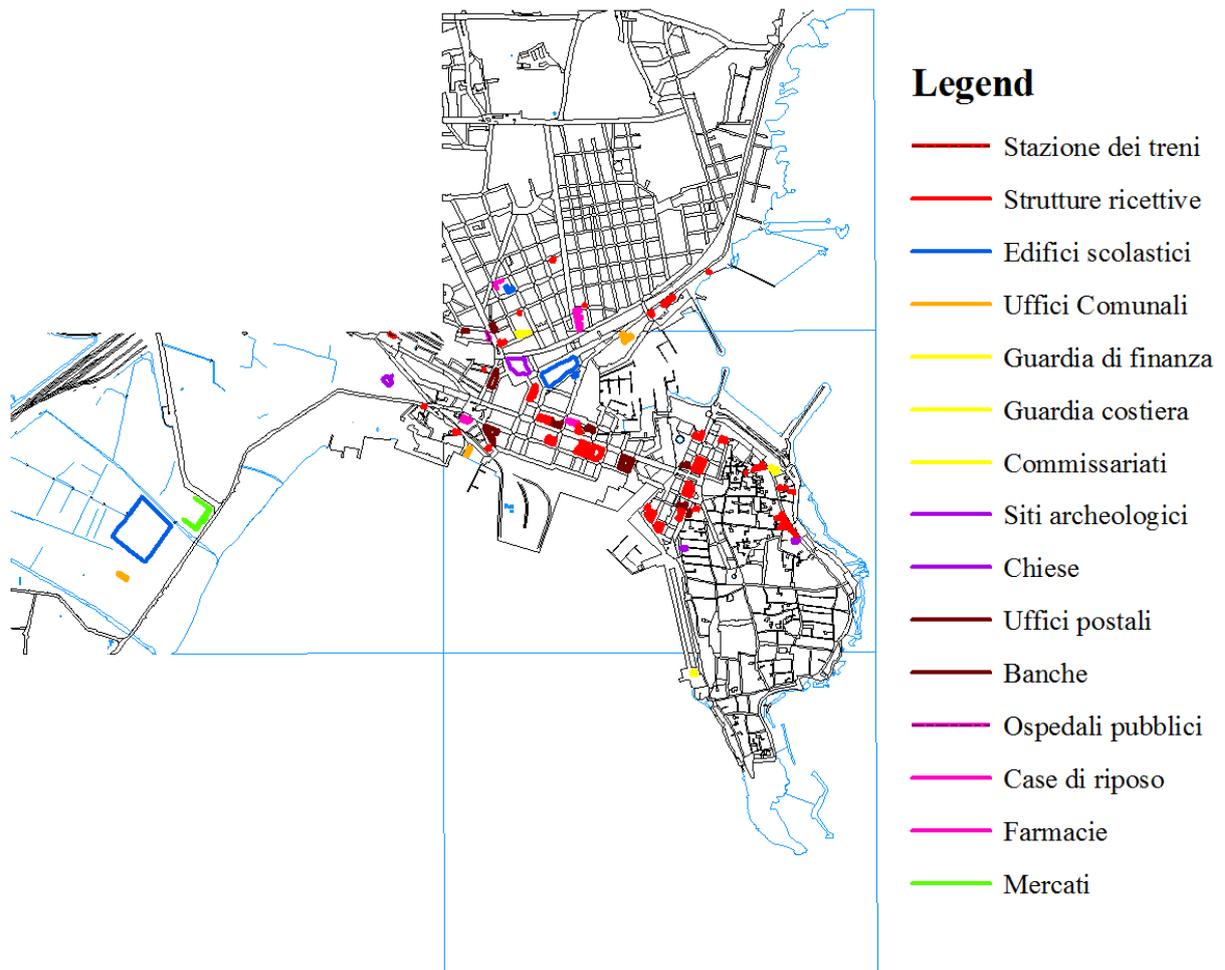
### 4.3.2 Selezione delle strutture

Lo step successivo è la selezione degli edifici con quota uguale o inferiore a 5 m, operazione effettuata utilizzando le proprietà di selezione per attributi di ArcGis. Ciò porta all'esclusione di numerosi tipi di strutture, fra cui biblioteche, campeggi, campi sportivi, castelli, musei, teatri, cinema e basi dei Vigili del Fuoco. Gli edifici che hanno una quota topografica inferiore a 5 m sono sintetizzati, sulla base della tipologia di appartenenza, nella Tabella 4.6 e nella Figura 4.8 si può vedere dove sono posizionati.

<b>Struttura</b>	<b>Numero</b>	<b>Struttura</b>	<b>Numero</b>
Stazione dei treni	1	Strutture ricettive	37
Edifici scolastici	4	Uffici comunali	3
Guardia di finanza	1	Guardia costiera	1
Commissariati	1	Siti archeologici	1
Chiese	3	Uffici postali	3
Banche	10	Ospedali pubblici	1
Case di riposo	1	Farmacie	4
Mercati	1		

*Tabella 4.6: Tipologia e numero di strutture con quota topografica uguale o inferiore a 5 m*

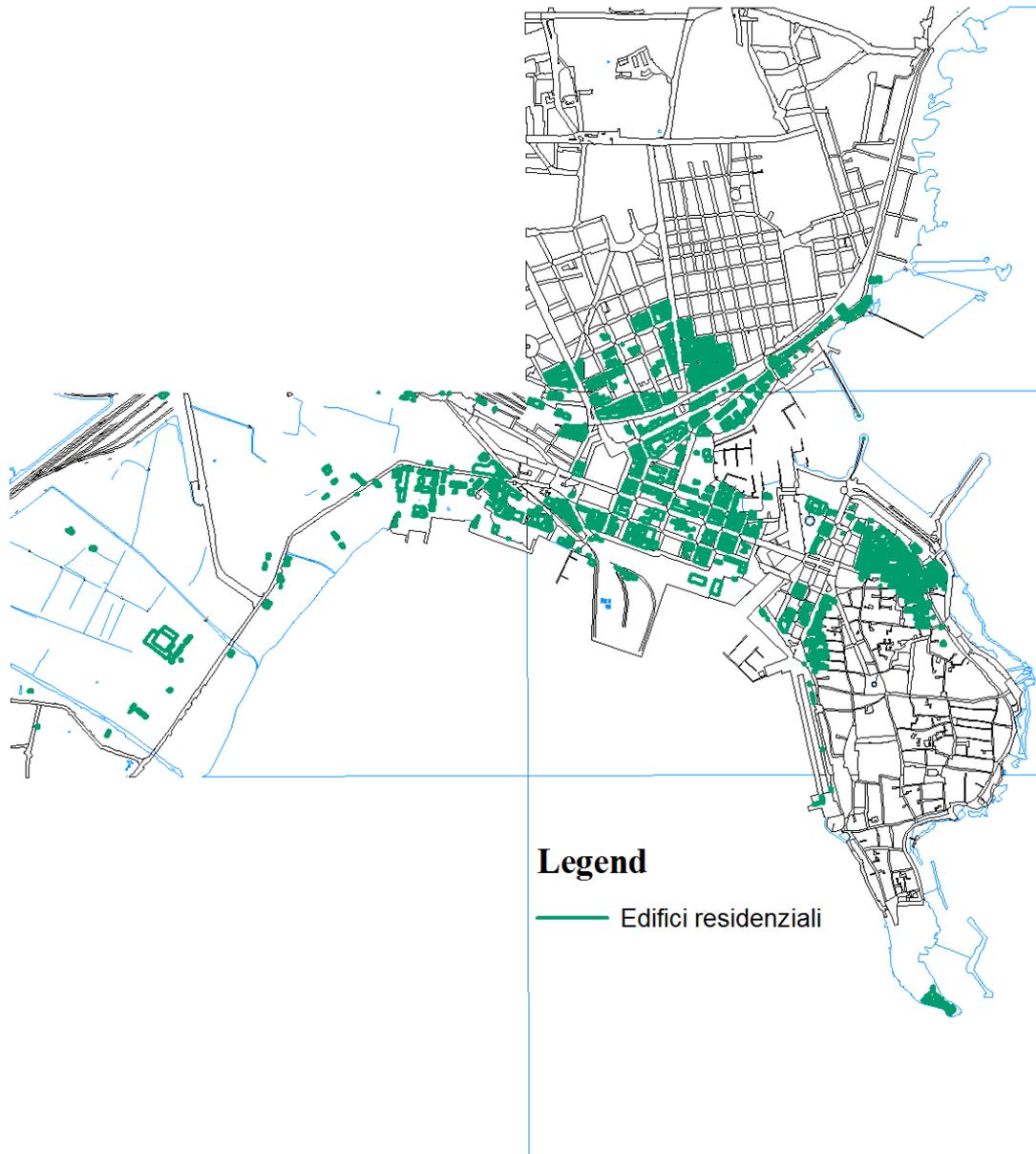
Si osserva che solamente il 33% (37 su 111) delle strutture ricettive ha quota topografica uguale o inferiore a 5 m e, fra queste, 20 sono situate nella penisola di Ortigia. Entrambe le università di Siracusa si trovano in stabili a quota superiore e, al contrario, 4 edifici scolastici su 17 hanno una quota uguale o minore della soglia selezionata, così come il 25% degli uffici comunali e 1 sito archeologico su 8. L'85% delle chiese ha invece quota topografica superiore a 5 m. Per ciò che riguarda uffici postali e banche, rispettivamente il 75% e il 59% sono a quota uguale o inferiore al valore selezionato. Relativamente a ospedali pubblici e case di riposo, in entrambi i casi 1 struttura su 2 ha quota superiore, mentre solo 4 farmacie su 11 sono state selezionate a causa della loro quota topografica uguale o inferiore a 5 m. Le altre strutture non menzionate in precedenza sono tutte a quota uguale o inferiore alla soglia selezionata e sono perciò riportate in Tabella 4.6.



*Figura 4.8: Mappa delle strutture ritenuti vulnerabili a quota uguale o inferiore a 5 m*

Da questa mappa si osserva che le strutture a rischio si trovano soprattutto nella parte settentrionale della penisola di Ortigia e nel quartiere compreso fra il Porto Piccolo e il Porto Grande. Nella sezione occidentale della mappa si identificano solamente un ufficio comunale, un edificio scolastico e il mercato ortofrutticolo. Questa zona è infatti principalmente industriale. La punta meridionale di Ortigia è zona commerciale, ma non ha stabili con quota uguale o inferiore al valore selezionato.

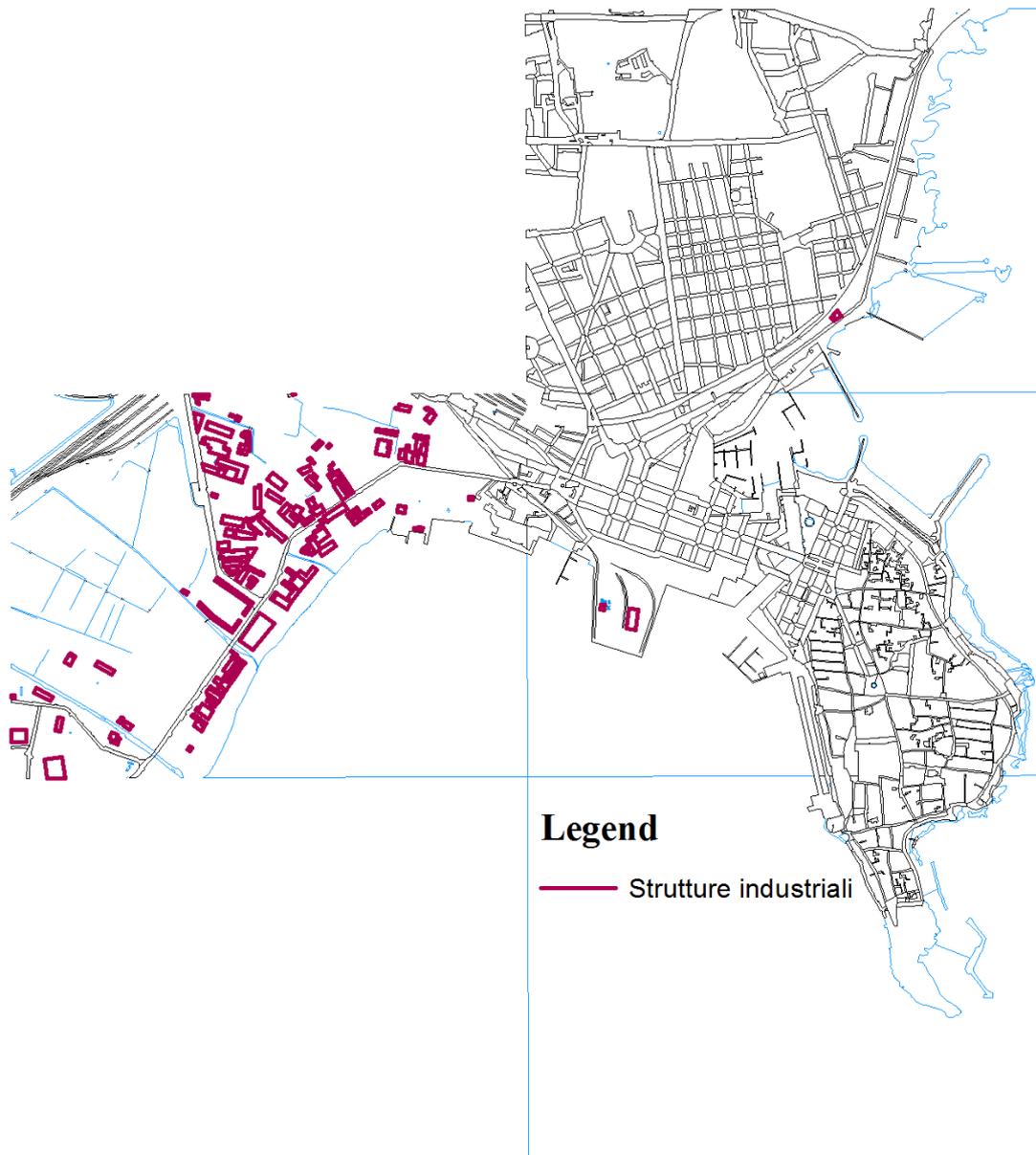
Per ciò che riguarda le unità residenziali, si riportano in Figura 4.9 i 1.825 stabili del *layer* B001 a quota uguale o inferiore a 5 m.



*Figura 4.9: Mappa degli edifici residenziali a quota uguale o inferiore a 5 m*

Le zone residenziali con stabili selezionati per l'analisi di questo studio sono la parte settentrionale della penisola di Ortigia, l'area compresa fra il Porto Piccolo e il Porto Grande e il quartiere leggermente a nord di questa zona. L'area a nord della mappa è zona residenziale, ma le quote degli edifici sono superiori al valore selezionato.

Per ciò che riguarda invece le strutture industriali (identificabili tramite il *layer* B002), si riportano in Figura 4.10 gli stabili a quota topografica uguale o inferiore a 5 m, anche se non saranno utilizzati nell'analisi.



*Figura 4.10: Mappa delle strutture del layer B002 a quota uguale o inferiore a 5 m*

Si osserva, come precedentemente affermato, che la zona occidentale della mappa è principalmente industriale ed è infatti qui che si concentrano questo tipo di stabili.

### **4.3.3 Analisi di vulnerabilità**

Lo step successivo è il calcolo delle vulnerabilità all'interno delle strutture selezionate. Inoltre, si studiano separatamente gli edifici ritenuti vulnerabili dal punto di vista sociale e le strutture residenziali analizzando gli stabili in base a due fattori:

1. Il numero di piani di ciascuno stabile;
2. L'altezza della colonna d'acqua, ovvero la differenza fra i 5 m di inondazione di riferimento e la quota topografica dello stabile.

Si sceglie come soglia di riferimento per l'altezza di un piano 2,5 m.

#### **4.3.3.1 Edifici e strutture vulnerabili dal punto di vista sociale**

Le presenze giornaliere in edifici scolastici, ospedali pubblici, strutture ricettive e case di riposo sono calcolate tramite la metodologia esposta nel Paragrafo 2.5, mentre per gli stabilimenti balneari abbiamo fatto una stima quantitativa sulla base di immagini fotografiche che illustreremo qui di seguito. I risultati ottenuti per ogni tipologia e il totale sono mostrati in Tabella 4.8.

Nell'area di Siracusa sono stati riconosciuti 3 stabilimenti balneari posizionati sulla costa orientale di Siracusa (Figura 4.7). La stima delle persone che possono ospitare si è basata su alcune fotografie trovate utilizzando Google Earth. Partendo da nord il primo lido (Figura 4.7) che si incontra appena fuori dal Porto Piccolo è la spiaggia sabbiosa del Musciara Siracusa Resort (Foto A della Figura 4.11). Dalle foto si è visto che la struttura può ospitare circa una trentina di ombrelloni. Il secondo lido è situato sulla costa della penisola di Ortigia, all'interno del Porto Piccolo ed è difeso dai moli di protezione del porto stesso. Questo lido, denominato solarium Porto Piccolo (Foto B della Figura 4.11), è costituito da una ridotta parte di spiaggia sabbiosa con 12 ombrelloni e una struttura in legno che può ospitare altri lettini. Il terzo ed ultimo lido è posizionato sulla parte sud della costa orientale della penisola di Ortigia, e prende il nome di solarium Forte Vigliena. La costa in questa zona è rocciosa e la strada che costeggia la costa si trova ad un'altezza superiore ai 5 m. Per raggiungere il lido, costituito da quattro piattaforme (tre in legno ed una rocciosa) ad un'altezza di circa 2 m s.l.m., si devono scendere due rampe di scale (Foto C della Figura 4.11).



*Figura 4.11: Spiaggia privata dell'hotel (A), solarium Porto Piccolo (B) e solarium Forte Vigliena (C)*

Sulla base delle fotografie, considerando 2 persone per ombrellone più eventuali bambini, si ottengono un valore di 80 e 60 persone rispettivamente per il primo e per il secondo lido. Per il solarium Forte Vigliena si misurano le aree delle piattaforme di legno e rocciosa tramite Google Earth e, considerando che una persona occupi circa 2 m<sup>2</sup>, si ottiene una stima di 150 persone. Sommando questi 3 valori si ottiene un totale massimo di 290 individui.

Per non considerare un valore di presenze costante durante l'anno si è pensato di procedere con il seguente metodo:

- Basandosi sui risultati del precedente Paragrafo, si calcolano le percentuali mensili di frequenza degli stabilimenti balneari di Siracusa (Tabella 4.7), considerando come valore di riferimento il mese con maggiori presenze, ovvero Agosto;
- Utilizzando queste percentuali e il valore massimo di 290 persone si calcolano le presenze giornaliere nei 3 stabilimenti balneari della penisola di Ortigia (Tabella 4.8).

	<b>Maggio</b>	<b>Giugno</b>	<b>Luglio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Settembre</b>
<b>Percentuale (%)</b>	28	46	56	100	54

*Tabella 4.7: Percentuale di frequenza mensile degli stabilimenti di Siracusa rispetto al mese con maggiori presenze (agosto)*

Il numero di persone stimato è mostrato nella sesta colonna della Tabella 4.8.

Mese	Edifici scolastici	Ospedali pubblici	Case di riposo	Strutture ricettive	Stabilimenti balneari	Totale
Gennaio	1.050	151	11	237	0	1.449
Febbraio	1.050			243	0	1.455
Marzo	1.050			327	0	1.539
Aprile	1.050			493	0	1.705
Maggio	1.050			631	81	1.924
Giugno	1.050			702	133	2.047
Luglio	0			745	162	1.069
Agosto	0			934	290	1.386
Settembre	1.050			731	157	2.100
Ottobre	1.050			490	0	1.702
Novembre	1.050			269	0	1.481
Dicembre	1.050			240	0	1.452

*Tabella 4.8: Presenze in edifici scolastici, ospedali pubblici, case di riposo, strutture ricettive e stabilimenti balneari nella zona inondata*

Le presenze negli edifici scolastici sono solamente il 5% del valore che si era ottenuto a livello comunale poiché si hanno solamente 4 strutture scolastiche nella zona inondata; le considerazioni relative alle variazioni temporali fatte nell'analisi a livello comunale sono valide anche in questo caso.

Per le strutture ricettive, se si escludono dai valori ottenuti gli addetti, le presenze sono mediamente il 33% dei valori a livello comunale e l'andamento risulta simile al flusso turistico comunale, con presenze massime in agosto e minime in gennaio.

Relativamente agli stabilimenti balneari, i valori sono circa il 22% di ciò che è stato ottenuto a livello comunale, mentre, per come è stato costruito il dato, l'andamento è identico: ad agosto si registra il valore massimo (290), mentre nei mesi invernali il valore è nullo. Il valore di vulnerabilità ottenuto per gli ospedali pubblici risulta essere il 19% rispetto a ciò che si è

ottenuto per l'intero comune di Siracusa e, inoltre, gli ospedali pubblici e le case di riposo sono le uniche tipologie di strutture dove la vulnerabilità si considera costante temporalmente.

I risultati della Tabella 4.8 mostrano che il massimo valore di vulnerabilità sociale (2.100 persone) si raggiunge nei mesi di settembre dove è massima la componente scolastica ed è importante il valore apportato dalle strutture ricettive e dagli stabilimenti balneari, mentre il minimo si ha nel mese di luglio (1.069 persone) quando si azzerava il valore relativo agli edifici scolastici.

Questo primo risultato evidenzia chiaramente come le strutture in cui si concentrano un numero alto di persone determini in modo significativo la vulnerabilità sociale di un'area. Ciò era già stato evidenziato nell'analisi a livello comunale.

La vulnerabilità massima così ottenuta, senza tenere in considerazione la specificità delle strutture e soprattutto la colonna d'acqua che coinvolge le strutture, sottostima il valore apportato da alcune strutture, in particolare le strutture balneari per la vicinanza alla costa e le case di riposo per la tipologia di persone.

Per gli altri edifici e luoghi selezionati (Tabella 4.6 e Figura 4.8), non essendo disponibili dati sul personale e sul flusso di individui, non si è in grado di valutare la popolazione vulnerabile presente. Tra questi, i mercati, la stazione e le chiese, rivestono un'importanza maggiore dal punto di vista sociale poiché sono luoghi dove si concentrano, anche se solo per brevi periodi (qualche ora), un numero importante di persone (maggiore di 100).

#### **4.3.3.2 Danno da maremoto alle persone**

L'ultima fase di quest'analisi ha l'obiettivo di calcolare il livello di danno alle persone utilizzando la metodologia esposta nel Paragrafo 2.6. L'analisi si basa sulla colonna d'acqua che colpisce un edificio e sul numero di persone presenti, calcolato considerando l'area delle strutture. Due altri parametri che si valutano per determinare il danno alle persone sono il numero di piani e il danno strutturale che un edificio subisce. Quest'ultimo dato è stato ottenuto dalla classificazione con il metodo SCHEMA presentato da Pagnoni *et al.* (2014). Le strutture che subiscono un danno classificato come parziale o totale collasso non rappresentano più una difesa per le persone presenti nell'edificio e quindi si assume che la mortalità sia determinata dai dati ottenuti dal lavoro di Koshimura *et al.* (2009). Questa assunzione è valida anche per le persone che si trovano in strutture aperte: mercati, stabilimenti balneari, stazioni e siti archeologici all'aperto.

Partiamo ad analizzare le strutture non residenziali considerando separatamente gli edifici ad un piano (Tabella 4.9) rispetto agli altri (Tabella 4.10). La Tabella 4.9 mostra il numero di edifici (9) ad 1 piano divisi per colonna d'acqua secondo gli intervalli definiti nel Paragrafo 2.6. L'unica struttura per cui è stato stimato il numero di persone presenti è la casa di riposo, che è colpita da una colonna d'acqua inferiore a 1,5 m e quindi le persone presenti subiranno un danno E2. Per gli altri edifici, anche in assenza del dato di persone, è possibile riferire la tipologia di danno e percentuale di fatalità che subirebbero le persone presenti. Tra i luoghi coinvolti da una colonna d'acqua superiore ai 1,5 m, soglia sopra la quale la probabilità di mortalità diventa importante, si trovano due chiese ed il mercato ortofrutticolo, luoghi in cui si concentrano un numero importante di persone anche se per brevi periodi.

	Colonna d'acqua (m)				
	0-1	1-1,5	1,5-2,5	2,5-3,5	3,5-5
<b>Banche</b>	1	0	0	0	0
<b>Case di riposo</b>	0	1	0	0	0
<b>Chiese</b>	1	0	2	0	0
<b>Guardia costiera</b>	0	0	0	0	1
<b>Mercato ortofrutticolo</b>	0	0	0	1	0
<b>Stazione ferroviaria</b>	1	0	0	0	0
<b>Uffici comunali</b>	0	0	0	1	0

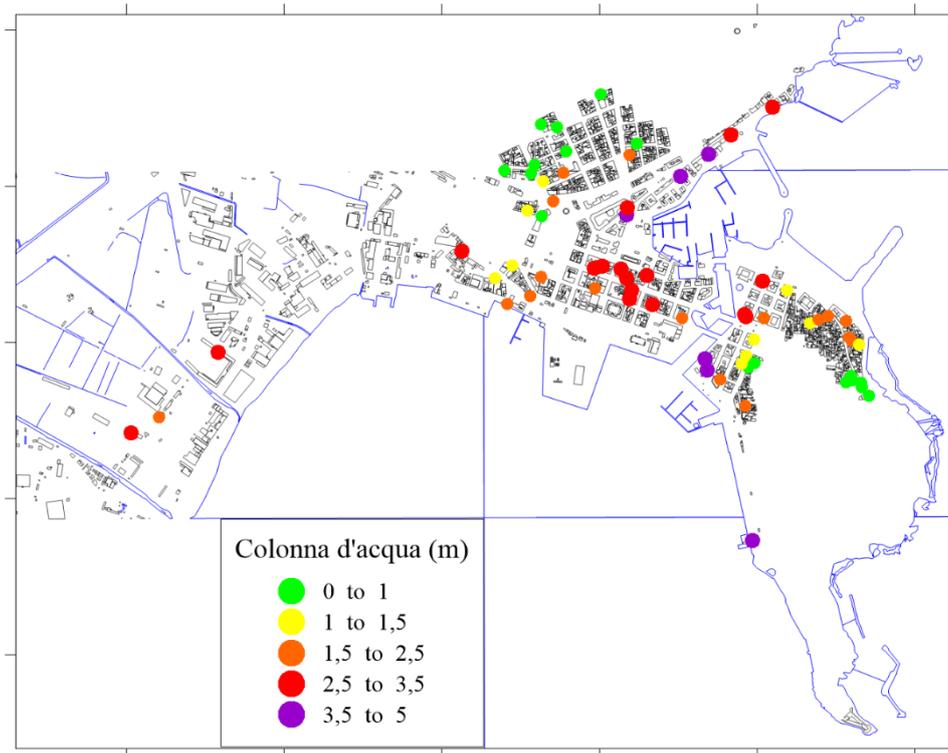
*Tabella 4.9: Numero di edifici non residenziali a un piano suddivisi in base all'altezza della colonna d'acqua. Evidenziati in azzurro gli edifici in cui abbiamo una stima delle persone presenti*

La Tabella 4.10 mostra la distribuzione degli edifici (62) a 2 o più piani in funzione della colonna d'acqua. Come già visto per gli edifici ad 1 piano abbiamo la stima delle persone solo per alcune tipologie di edifici: strutture ricettive, ospedali e scuole; mentre per gli altri è possibile solo esprimere la tipologia di danno che le persone potrebbero subire. Se si osservano gli edifici più importanti per la vulnerabilità sociale, scuole (4) ed ospedali (1), si nota che un ospedale e due scuole sono investiti da una colonna d'acqua inferiore ad 1 m che

produce il minimo danno alle persone. Altre due scuole invece si trovano in un'area dove il valore della colonna d'acqua supera i 2,5 m. La quarta e quinta colonna evidenziano gli edifici in cui anche il primo piano, insieme al piano terra, e le persone presenti sono coinvolte dall'inondazione. Tra questi ci sono 2 scuole, 12 strutture ricettive, 1 ufficio comunale, 3 uffici postali, 3 banche ed 1 farmacia. Le ultime tre tipologie di edifici, pur essendo inserite in strutture a più piani, solitamente occupano il piano terra degli edifici.

	Colonna d'acqua (m)				
	0-1	1-1,5	1,5-2,5	2,5-3,5	3,5-5
<b>Banche</b>	3	1	2	3	0
<b>Commissariati</b>	0	0	1	0	0
<b>Farmacia</b>	1	1	1	1	0
<b>Guardia di Finanza</b>	0	0	1	0	0
<b>Strutture ricettive</b>	9	8	8	9	3
<b>Ospedale pubblico</b>	1	0	0	0	0
<b>Scuole</b>	2	0	0	0	2
<b>Uffici postali</b>	0	0	0	3	0
<b>Uffici comunali</b>	0	0	1	0	1

*Tabella 4.10: Numero delle strutture non residenziali a due o più piani suddivisi in base all'altezza della colonna d'acqua. Evidenziati in azzurro le strutture in cui abbiamo una stima delle persone presenti*



*Figura 4.12: Mappa delle strutture non residenziali in base alla colonna d'acqua*

In questo Capitolo si considerano anche i luoghi importanti dal punto di vista sociale che non sono rappresentati da alcuna struttura fissa. Nella Tabella 4.11 per ogni luogo precedentemente indicato come importante dal punto di vista sociale ma senza una struttura presente nel CTN a rappresentarlo si è indicata la colonna d'acqua e la relativa percentuale di mortalità. I luoghi più esposti sono chiaramente i lidi in cui la colonna d'acqua è la massima possibile (5 m), a parte il lido Forte Vigliena che è collocato a 2 m sul livello del mare; oltre a questi c'è l'Acquario, che si trova sulla costa occidentale della penisola di Ortigia ad una quota di circa 1 m, ed il sito archeologico, posizionato a 2 m s.l.m. La colonna d'acqua è al contrario molto bassa per la stazione degli autobus ed assente per il mercato all'aperto che si svolge in Piazza Santa Lucia, che si trova ad una quota di circa 10 m. Gli altri mercati all'aperto considerati si trovano ad una quota di circa 3 m e sarebbero perciò interessati da una colonna d'acqua di 2 m.

	<b>Colonna d'acqua (m)</b>	<b>Percentuale di vittime (%)</b>
<b>Stazione degli autobus</b>	0,3	0
<b>Spiaggia Musciara Siracusa Resort</b>	5	66
<b>Spiaggia Porto Piccolo</b>	5	66
<b>Spiaggia Forte Vigliena</b>	3	56
<b>Acquario</b>	4	66
<b>Sito archeologico</b>	3	56
<b>Mercato Piazza S. Lucia</b>	0	0
<b>Mercato Via Trento</b>	2	24
<b>Mercato Via Emanuele de Benedictis</b>	2	24

*Tabella 4.11: Luoghi considerati vulnerabili dal punto di vista sociale con colonna d'acqua e relativa percentuale di vittime. Evidenziati in azzurro i luoghi per cui abbiamo una stima delle persone presenti.*

#### **4.3.3.3 Edifici residenziali**

Per ciò che riguarda i calcoli di vulnerabilità, tramite il metodo esposto nel Paragrafo 2.5 si ottiene una stima di popolazione residente in questi edifici pari a 36.160 persone.

La superficie di base occupata da questi edifici residenziali è pari a 0,2 km<sup>2</sup> e suddividendo i residenti in base al piano occupato si ottengono i valori di Tabella 4.12.

	<b>Piano terra</b>	<b>Primo piano</b>	<b>Altri piani</b>
<b>Residenti</b>	14.347	12.352	9.461

*Tabella 4.12: Residenti in base al piano abitato degli edifici residenziali*

Le persone potenzialmente coinvolte in caso di inondazione pari a 5 m sono i residenti del piano terra e del primo piano, per un totale di 26.699 individui, ovvero il 22% della popolazione di Siracusa.

Classificando gli edifici residenziali tramite il metodo esposto nel Paragrafo 2.6, si assegna alle persone presenti in ciascun piano terra ed eventuale primo piano un livello di esposizione e si ottengono i risultati esposti in Tabella 4.13 e in Tabella 4.14 dove sono riportati il numero di persone coinvolte. Gli edifici residenziali legati a crolli parziali o totali sono invece elencati, con relativi valori di persone coinvolte, in Tabella 4.15.

<b>Colonna d'acqua (m)</b>	<b>Livello di esposizione</b>	<b>Percentuale di vittime (%)</b>	<b>Presenze coinvolte</b>
<b>0-1</b>	E1	0	2.863
<b>1-1,5</b>	E2	4	2.131
<b>1,5-2,5</b>	E3	24	4.310
<b>2,5-3,5</b>	E3	56	3.926
<b>3,5-5</b>	E3	66	1.072

*Tabella 4.13: Presenze coinvolte in base al livello di esposizione assegnato al piano terra degli edifici residenziali*

La maggior parte degli individui residenti ai piani terra (8.236 su 14.302, ovvero il 58%) è presente in edifici con colonna d'acqua compresa fra 1,5 e 3,5 m e livello di esposizione E3 basso e medio. Il 7% (1.072 su 14.302) è invece a livello di esposizione E3 alto e rappresenta la parte di popolazione più a rischio.

<b>Colonna d'acqua (m)</b>	<b>Livello di esposizione</b>	<b>Percentuale di vittime (%)</b>	<b>Presenze coinvolte</b>
<b>2,5-3,5</b>	E1	0	3.334
<b>3,5-4</b>	E2	4	525
<b>4-5</b>	E3	24	354

*Tabella 4.14: Presenze coinvolte in base al livello di esposizione assegnato al primo piano degli edifici residenziali*

L'80% dei residenti ai primi piani (3.334 su 4.213) è al livello di esposizione inferiore (E1) con probabilità di morte nulla, mentre il 12% e l'8% appartengono rispettivamente a livello E2 ed E3 basso.

<b>Colonna d'acqua (m)</b>	<b>Livello di esposizione</b>	<b>Percentuale di vittime (%)</b>	<b>Presenze coinvolte</b>
<b>0-2,5</b>	E3	24	0
<b>2,5-3,5</b>	E3	56	12
<b>3,5-5</b>	E3	66	35

*Tabella 4.15: Presenze negli edifici classificati con livello di danno D4 o D5 con il metodo Schema*

Il livello di esposizione per gli edifici che subiscono crolli parziali o totali è E3 e la probabilità di morte non è mai nulla e cresce all'aumentare della colonna d'acqua: i residenti ivi presenti sono perciò parte della popolazione più a rischio.

È possibile localizzare questi edifici residenziali in base all'altezza della colonna d'acqua (Figura 4.13): ciò che si osserva è che gli edifici con colonna d'acqua maggiore sono nella zona compresa fra il Porto Piccolo e il Porto Grande, nella costa settentrionale del Porto Piccolo e nella zona occidentale della Baia di Siracusa. Sono queste perciò le zone più pericolose per la popolazione.

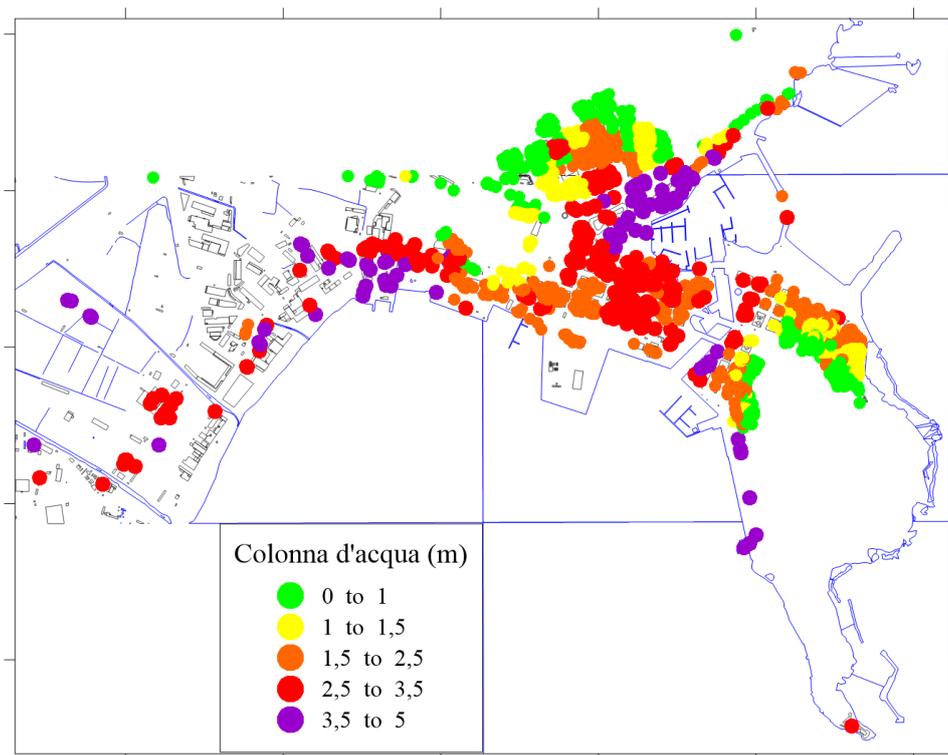


Figura 4.13: Mappa degli edifici residenziali classificati in base alla colonna d'acqua

#### 4.3.3.4 Risultati complessivi dell'analisi di vulnerabilità

Considerando la classificazione appena effettuata, è possibile valutare, per ciascun livello di esposizione, il numero di presenze coinvolte per edifici residenziali e non: i risultati sono presentati in Tabella 4.16.

	<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>E3</b>		
<b>Percentuale di vittime (%)</b>	0	4	Basso, 24	Medio, 56	Alto, 66
<b>Edifici non residenziali</b>	443	224	184	406	330
<b>Edifici residenziali</b>	6.187	2.656	4.664	3.938	1.107

Tabella 4.16: Elenco degli individui coinvolti in base a livello di esposizione e tipo di edificio

Gli individui coinvolti totali sono 20.139, di cui 18.852 residenti. Nel livello E1 vi sono 6.630 persone (ovvero il 33%), che hanno perciò il proprio piano allagato ma non vengono trascinati dall'acqua. Il 14% (ovvero 2.880) ha invece mobilità ridotta ed è all'interno di edifici con livello E2, con 4% di probabilità di morte. Il restante 53% (10.629 individui) rappresenta le

persone presenti in edifici con livello di esposizione maggiore, suddivisi a loro volta in tre intervalli: la maggior parte (4.848) ha probabilità di morte del 24%, per 4.344 la percentuale di vittime è del 56% e, infine, per 1.437 la mortalità è la massima considerata (66%).

#### 4.4 Stima del PML relativo agli edifici

Per calcolare il PML si deve stimare la superficie inondata ed è necessario conoscere il numero di piani di ciascun edificio e l'altezza della colonna d'acqua. Nell'articolo di Grezio *et al.* (2012) è stato considerato un valore soglia pari a un run-up di 0,5 m affinché un'inondazione provochi danni alle persone o alle strutture, ma utilizzando un livello di 5 m nell'area considerata questa condizione è superata. Si utilizzano i valori di colonna d'acqua, determinati per ogni edificio, per calcolare i numeri di piani inondata. Per ogni piano si considerano inoltre due intervalli di inondazione (l'altezza di ogni piano è già stata definita pari a 2,5 m): se la colonna d'acqua è nell'intervallo 0,1 - 1 m si considera il 40% del valore dell'area inondata, se superiore ad 1 m si valuta come danno il totale del valore. Il calcolo del PML è stato fatto per gli edifici non residenziali, per gli edifici residenziali e per i capannoni, indicati nel CTN con il codice B002 e presenti soprattutto nella parte occidentale dell'area considerata.

	<b>Struttura ricettive</b>	<b>Farmacie</b>	<b>Mercati</b>	<b>Case di riposo</b>	<b>Banche</b>	<b>Ospedali pubblici</b>
<b>Area inondata 40% (m<sup>2</sup>)</b>	1.700	0	0	0	290	1.900
<b>Area totalmente inondata (m<sup>2</sup>)</b>	2.800	200	4.100	90	330	0
<b>Danno economico minimo (milioni di €)</b>	5,6	0,3	4,1	0,1	0,5	0,9
<b>Danno economico massimo (milioni di €)</b>	8,6	0,5	6,5	0,2	0,7	1,4

*Tabella 4.17: Prima parte dell'elenco delle aree inondate al 40% o totalmente inondate e dei danni economici minimi e massimi per tipologia di struttura non residenziale*

	<b>Uffici postali</b>	<b>Edifici scolastici</b>	<b>Guardia di finanza, Guardia costiera, Commissariati</b>	<b>Totale</b>
<b>Area inondata 40% (m<sup>2</sup>)</b>	0	5.500	0	9.390
<b>Area totalmente inondata (m<sup>2</sup>)</b>	70	10.000	1.700	19.290
<b>Danno economico minimo (milioni di €)</b>	0,08	12	2,1	26
<b>Danno economico massimo (milioni di €)</b>	0,1	16	3,1	37

*Tabella 4.18: Seconda parte dell'elenco delle aree inondate al 40% o totalmente inondate e dei danni economici minimi e massimi per tipologia di struttura non residenziale. L'ultima colonna esprime i totali ottenuti sommando i valori di tutte le strutture*

<b>Edifici residenziali</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>B3</b>	<b>B4</b>	<b>C1</b>	<b>D6</b>	<b>Totale</b>
<b>Area inondata 40% (m<sup>2</sup>)</b>	4.900	20.000	33.000	8.000	5.300	7.700	78.900
<b>Area totalmente inondata (m<sup>2</sup>)</b>	4.500	34.000	97.000	14.000	2.800	21.000	173.300
<b>Danno economico minimo (milioni di €)</b>	7,5	42	101	15	4	14	184
<b>Danno economico massimo (milioni di €)</b>	9,7	54	132	19	5	18	238

*Tabella 4.19: Elenco delle aree inondate al 40% o totalmente inondate e dei danni economici minimi e massimi per gli edifici residenziali*

<b>Strutture industriali</b>	<b>D6</b>
<b>Area inondata 40%</b>	7.400
<b>Area totalmente inondata</b>	82.000
<b>Danno economico minimo (milioni di €)</b>	47
<b>Danno economico massimo (milioni di €)</b>	61

*Tabella 4.20: Aree inondate al 40% o totalmente inondate e dei danni economici minimi e massimi per le strutture industriali*

	<b>Edifici vari</b>	<b>Edifici residenziali</b>	<b>Capannoni</b>	<b>Totale</b>
<b>Danno economico minimo (milioni di €)</b>	26	184	47	257
<b>Danno economico massimo (milioni di €)</b>	36	238	61	335

*Tabella 4.21: Riassunto e totale dei danni economici minimi e massimi per tutte le strutture*

Esaminando i risultati, si riscontra che la perdita economica maggiore è legata alle strutture residenziali poiché, sebbene il valore economico per edifici residenziali sia inferiore rispetto al valore per edifici commerciali, terziari e produttivi (Tabella 3.7 e Tabella 3.8), il numero di questo tipo di strutture è decisamente maggiore rispetto agli altri edifici. La perdita economica minore è invece dovuta agli uffici postali a causa della superficie coinvolta, decisamente inferiore rispetto alle altre strutture.

Il valore minimo e massimo di PML sono 257 Milioni di Euro e 335 Milioni di Euro: questi valori si riferiscono esclusivamente al valore di mercato della struttura, senza considerare alcun bene mobile presente all'interno. Questi valori corrispondono al 3-4% del PIL della Provincia di Siracusa, stimato in circa 7,6 Miliardi di euro.

## 5 Conclusioni

Si traggono le conclusioni commentando i metodi utilizzati e sottolineandone validità e limiti.

### 5.1 SoVI

Questo indice di vulnerabilità sociale è il primo delle metodologie adoperate per la stima di vulnerabilità sociale. Al contrario degli altri due metodi utilizzati, il SoVI non indica nel dettaglio il numero di persone che subiscono danno maggiore in caso di tsunami, ma individua i comuni che possiedono una maggiore vulnerabilità sociale in base alle variabili considerate.

Tramite il calcolo di questo indicatore, si è ottenuto che la città di Catania risulta avere un valore di vulnerabilità sociale elevato, mentre Messina e Siracusa sono invece a media vulnerabilità. In particolare, i valori dei singoli fattori che determinano il valore del SoVI per Siracusa sono presentati in Tabella 5.1.

Valore del fattore	Fattore	Variabili rappresentate
0,0706	F1	Numero di imprese commerciali per km <sup>2</sup>
		Numero medio di componenti per famiglia
		Percentuale di famiglie in alloggio in affitto
		Percentuale di popolazione residente con età superiore a 65 anni
		Percentuale di popolazione residente di sesso femminile
1,4130	F2	Percentuale di popolazione residente con età inferiore a 5 anni
0,6651	F3	Numero pro capite di ospedali pubblici
		Numero di medici negli ospedali pubblici per 100.000 persone
		Numero di edifici residenziali per km <sup>2</sup>

*Tabella 5.1: Valori per i fattori F1, F2 e F3 per Siracusa con relative variabili rappresentate*

Il fattore F1 ha poca importanza quindi le variabili relative sono neutrali nel determinare il SoVI. Al contrario, la percentuale di popolazione residente con età inferiore a 5 anni è influente in modo significativo poiché il fattore F2 ha valore pari a 1,4. Infine, poiché nel calcolo del SoVI il fattore F3 si sottrae, le variabili rappresentate implicano un calo di vulnerabilità sociale. Riassumendo, si può affermare che la vulnerabilità sociale calcolata con il SoVI per Siracusa dipende sostanzialmente da 4 variabili.

La vulnerabilità sociale così calcolata non dipende dal tipo di evento considerato e perciò è valida sia per tsunami che per altri tipi di disastri naturali.

## **5.2 Analisi di vulnerabilità sociale in ambito comunale**

Questa analisi inquadra in maniera generale la situazione sociale del comune di Siracusa ed è utile per valutare, oltre al dato di popolazione residente, il numero di persone appartenenti a gruppi considerati più deboli:

- I turisti devono cercare riparo pur non conoscendo bene la città e riscontrano maggiore difficoltà se stranieri nel caso in cui non conoscano bene l'Italiano;
- Le presenze in edifici scolastici e universitari potrebbero affrontare un evento pericoloso all'interno di strutture dove un gran numero di individui potrebbe andare in panico;
- I pazienti degli ospedali potrebbero essere a ridotta mobilità o disabili e il loro trasporto sarebbe legato esclusivamente agli addetti ospedalieri;
- Gli individui negli stabilimenti balneari e nei porti, essendo allo stesso livello del mare e vicini alla costa, sono i primi ad essere colpiti.

Questo tipo di analisi, se si trascurano i dati specifici relativi a stabilimenti balneari e porti, può essere valido per un qualsiasi tipo di disastro naturale.

## **5.3 Analisi di vulnerabilità sociale a livello delle singole strutture nell'area di inondazione**

Questo tipo di analisi è importante perché suggerisce un approccio utile allo studio nel dettaglio delle strutture e dei gruppi vulnerabili dal punto di vista sociale. L'utilizzo di una mappa CTN con risoluzione 1:2000 ha permesso di analizzare puntualmente i singoli edifici

nella zona inondata. In questo modo, è stato possibile assegnare un livello di esposizione differente agli individui in base al piano in cui sono presenti e all'altezza della colonna d'acqua. I calcoli finali hanno prodotto un risultato quantificabile in 10.629 persone ad un livello massimo di esposizione (E3). La percentuale di vittime varia fra un minimo di 24% e un massimo di 66% e il valore delle vittime relativo è circa di 5.000 persone. Questo risultato è stato ottenuto considerando che tutti gli individui restino all'interno delle strutture e si suppone perciò che nessuno riesca ad uscire dallo stabile e ad allontanarsi verso luoghi a quota più elevata: ciò è ovviamente un'approssimazione, poiché si suppone che, sebbene non vi sia alcun piano di emergenza in caso di maremoto, chi è a conoscenza dei possibili effetti da tsunami abbia l'accortezza di recarsi in posti più sicuri.

#### **5.4 Stima del PML relativo agli edifici**

Il valore minimo e massimo di PML stimato, pari a 257 Milioni di Euro e 335 Milioni di Euro, corrispondono al 3-4% del PIL della Provincia di Siracusa, stimato in circa 7,6 Miliardi di euro. Questo metodo fornisce un'approssimazione per difetto perché si considerano esclusivamente i danni agli stabili senza considerare eventuali beni all'interno degli edifici stessi e, come già sottolineato, sono trascurati numerosi effetti diretti e indiretti. Fra questi possiamo citare l'interruzione delle attività economiche (industriali, turistiche, commerciali, *et cetera*), i danni alle infrastrutture (vie di comunicazione, acquedotti, linee elettriche) e i numerosi beni artistici e storici della città di Siracusa. In questo caso, la perdita non sarebbe solo culturale, ma porterebbe a un calo del turismo che inciderebbe sull'economia della città.



# Bibliografia

- Agenzia delle Entrate – Osservatorio del Mercato Immobiliare
- Argnani A., Armigliato A., Pagnoni G., Zaniboni F., Tinti S., Bonazzi C. (2012): Active tectonics along the submarine slope of south-eastern Sicily and the source of the 11 January 1693 earthquake and tsunami. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 1311–1319
- Argnani A., Bonazzi C. (2005): Malta Escarpment fault zone offshore eastern Sicily: Pliocene-Quaternary tectonic evolution based on new multichannel seismic data. *Tectonics*, 24, 1-12. doi:10.1029/2004TC001656
- Argnani A., Chiocci F.L., Tinti S., Bosman A., Lodi M.V., Pagnoni G., Zaniboni F. (2009): Comment on “On the cause of the 1908 Messina tsunami, southern Italy” by Andrea Billi et al. *Geophys. Res. Lett.* 36, 3-5. doi:10.1029/2009GL037332
- Armigliato A., Pagnoni G., Zaniboni F., Tinti S. (2015): Worst-case scenario approach to the tsunami hazard assessment for the coastal areas between Augusta and Siracusa, eastern Sicily, Italy. *Geophysical Research Abstracts Vol. 17*, EGU2015-3866.
- ASTARTE, Assessment, Strategy And Risk Reduction for Tsunamis in Europe, <http://www.astarte-project.eu/>
- Barbano M. S., Rigano R., Cosentino M., Lombardo G. (2001). Seismic history and hazard in some localities of south-eastern Sicily. *Boll. Geof. Teor. Appl.*, 42, 107-120
- Basili R., Kastelic V., Demircioglu M.B., Garcia Moreno D., Nemser E.S., Petricca P., Sboras S.P., Besana-Ostman G.M., Cabral J., Camelbeek T., Caputo R., Danciu L., Domac H., Fonseca J., Garcia-Mayofomo J., Giardini D., Glavatovic B., Gulen L., Ince Y., Pavlides S., Sestyan K., Tarabusi G., Tiberti M.M., Utkucu M., Valensise G., Vanneste K., Vilanova S., Wössner J. (2013): The European Database of Seismogenic Faults (ESDF) compiled in the frame work of the Project SHARE. <http://diss.rm.ingv.it/share-edsf/>, doi:10.6092/INGV.IT-SHARE-EDSF
- Basili R., Valensise G., Vannoli P., Burrato P., Fracassi U., Mariano S., Tiberti M.M., Boschi E. (2008): The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology. *Tectonophysics* 453, 20-43. doi:10.1016/j.tecto.2007.04.014

- Bianca M., Monaco C., Tortorici L., Cernobori L. (1999): Quaternary normal faulting in southeastern Sicily (Italy): a seismic source for the 1693 large earthquake. *Geophys. J. Int.*, 139, 370–394.
- Billi A., Funicello R., Minelli L., Faccenna C., Neri G., Orecchio B., Presti D. (2008): On the cause of the 1908 Messina tsunami, southern Italy. *Geophys. Res. Lett.* 35, 1–5. doi:10.1029/2008GL033251
- Birkmann J., Wisner B. (2006): *Measuring the un-measurable, The challenge of vulnerability*, Bonn: UNUEHS. Bonn
- Blaikie. P., Cannon T., Davis I., Wisner B. (1994): *At risk: Natural hazards, people's vulnerability, and disasters*. Routledge: London
- Bogardi J., Birkmann J. (2004): "Vulnerability Assessment: The first Step Towards Sustainable Risk Reduction" in *Disaster and Society-from Hazard Assessment to Risk Reduction*, eds. D. Malzahn & T. Plapp, Berlin: Logos Verlag, pp. 75-82
- Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Valensise G., Gasperini P. (1997): *Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1990 (2)*, I.N.G.-S.G.A, pp. 644 and CD-ROM
- Burton I, Kates RW, While GF (1978): *The environment as hazard*. Oxford University Press, New York
- Cardona O.D. (1999): "Environmental Management and Disaster Prevention: Two Related Topics: A Holistic Risk Assessment and Management Approach" in *Natural Disaster Management*, ed. J. Ingleton, Tudor Rose, London
- Cardona O.D. (2001): *Estimación Holística del Riesgo Sísmico Utilizando Sistemas Dinámicos Comple*, Technical University of Catalonia, Barcelona
- Cutter S.L. (1996): Vulnerability to environmental Hazards. *Progress in Human Geography*, 20(4), 529–539
- Cutter, S.L., Boruff B.J., Shirley W.L. (2003): Social vulnerability to environmental hazards. *Social Science Quarterly*, 84(2), 242–261
- De Martini P.M., Barbano M.S., Smedile A., Gerardi F., Pantosti D., Del Carlo P., Pirrotta C. (2010): A 4000 years long record of tsunami deposits along the coast of the Augusta Bay (eastern Sicily, Italy): paleoseismological implications. *Marine Geology*, 276, 42–57.
- De Martini P.M., Barbano M.S., Pantosti D., Smedile A., Pirrotta C., Del Carlo P., Pinzi S. (2012): Geological evidence for paleotsunamis along eastern Sicily (Italy): an overview. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 2569-2580.

- DISS Working Group (2010): Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.1.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, © INGV 2010 - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - All rights reserved; DOI:10.6092/INGV.IT-DISS3.1.1
- Favalli M., Boschi E., Mazzarini F., Pareschi M.T. (2009): Seismic and landslide source of the 1908 Straits of Messina tsunami (Sicily, Italy). *Geophys. Res. Lett.* 36, 1-6. doi:10.1029/2009GL039135
- Graziani L., Maramai A., Tinti S. (2006): A revision of the 1783–1784 Calabrian (southern Italy) tsunamis. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 6, 1053–1060
- Grezio A., Gasparini P., Marzocchi W., Patera A., and Tinti S. (2012): Tsunami risk assessments in Messina, Sicily – Italy. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 151–163
- Guillard-Gonçalves C., Cutter S.L., Emrich C.T., Zêzere J.L. (2014): Application of Social Vulnerability Index (SoVI) and delineation of natural risk zones in Greater Lisbon, Portugal, *Journal of Risk Research*
- Gutscher M.A., Roger J., Baptista M.A., Miranda J.M., Tinti S. (2006): Source of the 1693 Catania earthquake and tsunami (southern Italy): new evidence from tsunami modelling of a locked subduction fault plane. *Geophys. Res. Lett.* 33. doi:10.1029/2005GL025442
- Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, <http://www.ingv.it/it/>
- Istituto nazionale di statistica, <http://www.istat.it/it/>
- Koshimura S., Oie T., Yanagisawa H., Imamura F. (2009): Developing fragility functions for tsunami damage estimation using numerical model and post-tsunami data from Banda Aceh, Indonesia, *Coastal Engineering Journal*
- Nicolardi P. (2014): Metodi per l'analisi della vulnerabilità da maremoti applicati ad Augusta in Sicilia Orientale, Tesi di Laurea, a.a. 2013/2014, Università di Bologna
- Pagnoni G., Tinti S. (2015): Application and comparison of tsunami vulnerability and damage models for the town of Siracusa, Sicily, Italy
- Pagnoni G., Tinti S., Rallo F. (2014). Application and comparison of tsunami vulnerability models in the gulf of Siracusa, Sicily. *Geophysical Research Abstracts* Vol. 16, EGU2014-10621.
- Piatanesi A., Tinti S. (1998): A revision of the 1693 eastern Sicily earthquake and tsunami, *J. Geophys. Res.* 103, 2749-2758

- Polonia A., Bonatti E., Camerlenghi A., Lucchi R.G., Panieri G., Gasperini L. (2013): Mediterranean megaturbidite triggered by the AD 365 Crete earthquake and tsunamis. *Sci. Rep.* 3, 1285. doi:10.1038/srep01285
- Pontrelli P. (2007): Analisi del rischio associato ai maremoti in riferimento alle coste orientali della Sicilia, Tesi di Laurea, a.a. 2006/2007, Università di Bologna
- Rallo F. (2014): Applicazione e confronto di modelli per lo studio della vulnerabilità da maremoto nel golfo di Siracusa, Italia, Tesi di Laurea, a.a. 2012/2013, Università di Bologna
- Ridente D., Martorelli E., Bosman A., Chiocci F.L. (2014): High-resolution morpho-bathymetric imaging of the Messina Strait (Southern Italy). New insights on the 1908 earthquake and tsunamis. *Geomorphology*, 208, 149-159
- Rose A. (2004a): Economic principles, issues, and research priorities in hazard loss estimation. In: Okuyama Y, Chang SE (eds) *Modeling spatial and economic impacts of disasters*. Springer, Berlin, 13–36
- Scicchitano G., Costa B., Di Stefano A., Longhitano S.G., Monaco C. (2010): Tsunami and storm deposits preserved within a ria-type rocky coastal setting (Siracusa, SE Sicily). *Zeitschrift für Geomorphol. Suppl. Issues* 54, 51–77. doi:10.1127/0372-8854/2010/0054S3-0019
- Scicchitano G., Monaco C., Tortorici L. (2007): Large boulder deposits by tsunami waves along the Ionian coast of south-eastern Sicily (Italy). *Mar. Geol.* 238, 75–91
- Sirovich, L., Pettenati, F., (1999): Seismotectonic outline of South-Eastern Sicily: an evaluation of available options for the earthquake fault rupture scenario. *J. Seismology*, 3, 213–233
- Smedile A., De Martini. P.M., Pantosti D. (2012): Combining inland and offshore paleotsunamis evidence: the Augusta Bay (eastern Sicily, Italy) case study. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 2557-2567
- Sørensen M.B., Spada M., Babeyko A., Wiemer S., Grünthal G. (2012): Probabilistic tsunami hazard in the Mediterranean Sea. *J. Geophys. Res. Solid Earth* 117, 1–15. doi:10.1029/2010JB008169
- Tapsell S., McCarthy S., Faulkner F., Alexander M. (2010): Social vulnerability and natural hazards. CapHaz-Net WP4 Report, Flood Hazard Research Centre – FHRC, Middlesex University, London

- Terrier M., Monfort D., Lambert J., Le Roy S., Pedreros R., Sedan O. (2012): Method for Evaluating Vulnerability to Tsunamis of low-to-medium intensity: Application to the French Côte d'Azur. Fifth International Tsunami Symposium, Ispra, Italy. <http://www.tsunamisociety.org>, 15 p. <hal-00717416v2>
- Tinti S., Argnani A., Zaniboni F., Pagnoni G., Armigliato A. (2007): Tsunamigenic potential of recently mapped submarine mass movements offshore eastern Sicily (Italy): numerical simulations and implications for the 1693 tsunami. Abstract n.8235, IUGG XXIV General Assembly
- Tinti S., Armigliato A., Bortolucci E. (2001): Contribution of tsunami data analysis to constrain the seismic source: the case of the 1693 eastern Sicily earthquake. *J. Seismology*, 5, 41-61
- Tinti S., Armigliato A., Pagnoni G., Zaniboni F. (2005a): Scenarios of giant tsunamis of tectonic origin in the Mediterranean. *ISET Journal of Earthquake Technology*, 42, 171-188
- Tinti S., Manucci A., Pagnoni G., Armigliato A., Zaniboni F. (2005b): The 30th December 2002 tsunami in Stromboli: sequence of the events reconstructed from the eyewitness accounts. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 5, 763-775.
- Tinti S., Maramai A., Graziani L. (2007): The Italian Tsunami Catalogue (ITC), Version 2
- Tinti S., Pagnoni G., Zaniboni F. (2006): The landslides and tsunamis of 30th December 2002 in Stromboli analysed through numerical simulations. *Bull. Volcanol.*, 68, 462-479
- Tinti S., Tonini R., Bressan L., Armigliato A., Gardi A., Guillande R., Valencia N., Scheer S. (2011): Handbook of tsunami hazard and damage scenarios. JRC Scientific and Technical Reports, pp. 1-41, doi: 10.2788/21259
- Tsunami Hazard Assessment Methods: application in the NEAM region and in the ASTARTE test sites (2015), Deliverable report D8.8
- Wisner B., Blaikie P.M., Cannon T., Davis I. (2004): *At Risk. Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters*, Routledge
- Wood N.J., Burton C.G., Cutter S.L. (2009): Community variations in social vulnerability to Cascadia-related tsunamis in the U.S. Pacific Northwest, *Nat Hazards*
- Zaniboni F., Armigliato A., Pagnoni G., Tinti S. (2014): Earthquake or landslide-tsunami? Discriminating the source type by the effects on the coast. Abstract

presented at the EGU General Assembly 2014, EGU2014-10025, Geophysical  
Research Abstracts, Vol. 16